

金沢大学 環日本海域環境研究センター

Institute of Nature and Environmental Technology

Kanazawa University
Japan

K-INET
平成21年度

年報



2009

<http://k-inet.ee.t.kanazawa-u.ac.jp/inet/>

目 次

巻頭言	1
センターの活動	2
組織と運営	5
研究・運営活動（2009年度の研究概要）	7
研究成果リスト	24
研究費	58
研究指導	62
その他	66
研究報告	69

活動報告

巻 頭 言

地理的特性を活かした統合的環境研究：能登から日本海、東アジア大陸へ

環日本海域環境研究センター長 中村浩二

本センターは、2002年4月に当時の理学部（低レベル研究施設、臨海研究所、植物園）と工学部（電磁波実験施設）、および、両学部の環境研究者が参加して「自然計測応用研究センター」として発足しました。理学的手法による、環境変動の基礎研究と、工学的アプローチによる環境保全技術の開発・産業創出を組み合わせ、環日本海域（石川県から日本海、朝鮮半島、東アジア等）の自然、および人為活動に起因する「環境問題」の解明と解決をはかり、成果を地域へ還元し、社会的・国際的貢献をめざすことをミッションとしています。

本センターは、金沢大学21世紀COE「環日本海域の環境計測と長期・短期変動予測」（2002～06年）の中心としての役割を果たし、ポスト・COEの受け皿となるべく、「日本海域環境研究センター」と改称し、「自然計測領域」（従来部門）に加えて、「環境情報領域」（情報の収集、管理、活用）と「地域研究領域」（人文社会学アプローチ。「日本海域研究所」の継承）を発足させ（2008年）、海外分室を中国（中国科学院大気物理研究所）、韓国（韓国地質資源研究院）に設置し、ロシア（ウラジオストックのロシア科学院極東支部）にも設置予定です。

当センターは、独自の建物を持っておらず、教員が理工学域等の施設に分散していることから、有力研究者が集まっていますが、まとまりに欠け、「寄せ集めの状況」から十分に脱していません。センターとしての求心力と展開力を高める最良の手段は、センター内にとどまらず、学内、学外、国際ネットワークに広がる強い共同研究を企画・実施することです。それに向けて、前回の巻頭言でも書きましたように、最先端部にある珠洲市の能登学舎（廃校であった小学校を再生）を拠点として、地元自治体等の支援を得て多くのフィールドワーク、連携プロジェクトが進展中です。そのひとつが、「大気観測スーパーサイト」（大陸から飛来する黄砂を中心とした大気観測。三井物産環境基金により、2008～10年。代表：岩坂泰信特任教授）です。本年（2010年）4月からは、文部科学省特別経費『持続可能な地域発展をめざす「里山里海再生学」の構築』（文部科学省特別経費、2010年度から5年間、代表者：中村浩二）がはじまり、能登の里山里海生態系の動態を物質循環と生物多様性の両面から研究し、成果を本学角間キャンパス里山ゾーンや能登半島での学生教育に還元します。さらに、本学と総合地球学研究所の連携研究プロジェクト「半島域における持続可能な社会構築のための環境半島学の提言」（代表者：長尾誠也教授）も2010年度の立ち上げを目指して、準備中です。また、里山里海再生学に続く、文部科学省特別経費プロジェクトとして、「地球環境変動の高解像度千年モニタリング学の確立と研究教育ネットワークの展開－暖地性積雪地帯の流域-扇状地系プロセスの解明と長期変動予測－」（代表者：山田外史教授）を学内審査に申請中です。

当センターは、設立後10年近くになり、これまでを振り返り、今後を展望するために、来年度（2010年）には自己点検と外部評価を行いたいと思っています。皆さまの一層のご支援、ご鞭撻をお願い申し上げます。

1. センターの活動

1年間の活動概況

国際ワークショップ・シンポジウム

- (1) The 6th East Asia International Workshop “Present Earth Surface Processes and Historical Environmental Changes in East Asia” Taipei, Taiwan, 2009.9.25-27、約 100 名
- (2) ユーラシア東部/環日本海域・国際環境セミナー「東アジアにおける地表プロセスと環境」2010.1.19（金沢大学自然科学図書館棟大会議室）44 名
- (3) 第 3 回環日本海域の環境シンポジウム「地球環境地域学の創成をめざして」（平成 21 年 10 月 28～29 日、金沢、石川四高記念文化交流館、80 名）
- (4) 海外学術研究報告会「アンコール遺跡区域における環境汚染と環境破壊の現状と影響評価（International Symposium on the Present Situation of Environments in the Angkor Monument Park and Its Environs, Cambodia）」（平成 21 年 10 月 31 日、日本大学文理学部オーバルホール、42 名）

研究会等の開催

- (1) 第 4 回国際学セミナー「アンコール世界遺産と国際協力（Angkor World Heritage and International Cooperation）」（平成 21 年 10 月 29 日、金沢大学総合教育講義棟、52 名）
- (2) 第 1 回能登総合シンポジウム：アジアと能登をつなぐ環：能登半島の未来可能性（平成 21 年 11 月 30～12 月 1 日、珠洲市、商工会議所、80 名）
- (3) 北陸流体工学研究会（平成 22 年 3 月 13 日、福井大学、100 名）
- (4) 第 4 回大気バイオエアロゾルシンポジウム（平成 22 年 3 月 14 日、名古屋市、ポートビル、30 名）
- (5) 電気学会マグネティックス研究会（平成 21 年 11 月 6, 7 日、金沢大学自然科学研究棟）
- (6) 環日本海域環境研究センター講演会、講演者 Mustapha Nadi ナンシー大学（フランス）（平成 21 年 11 月 5 日、金沢大学自然科学研究棟）
- (7) 環日本海域環境研究センター講演会、講演者 Junwei Lu, グリフィス大学（オーストラリア）（平成 21 年 12 月 4 日、金沢大学自然科学研究棟）
- (8) 第 12 回バイオサイエンスセミナー（平成 22 年 2 月 24 日、金沢大学自然科学研究棟）

社会教育を目的とした実習・講義

- (1) 鹿児島大学総合研究博物館第 16 回市民講座「カンボジアの自然－アンコール文明をはぐくんだ湖－」（平成 21 年 7 月 11 日、鹿児島大学総合教育研究棟）
- (2) 長久手町平成こども塾講義、自然はすごい！岩坂の寒乾旅行（平成 21 年 7 月 25 日、愛知県長久手町平成こども塾）
- (3) 流体工学研究室見学会（平成 21 年 8 月 7～8 日、金沢大学角間キャンパス）
- (4) 世界連邦運動会石川県連合会の秋の講演会、黄砂が運ぶもの（平成 21 年 11 月 9 日、金沢エクセル東急）
- (5) 2009 年度第 2 回日本海イノベーション会議「水の帝国アンコール－過去、現在、未来－」（平成 22 年 1 月 23 日、金沢市北國新聞交流ホール）
- (6) 見学会（泉丘高校）「低騒音風洞装置」（平成 22 年 3 月 15 日、金沢大学角間キャンパス）
- (7) TiO₂/超音波触媒法による酸化ラジカル発生法とその応用、北陸 3 県・大学シーズ・プレゼンテーション 2009、金沢（2009.9.30）
- (8) MEX 金沢 2009 出展（金沢大学イノベーション創成センターと共同）（2009.5.21-23）
- (9) 公開講座『バイオ工学入門・自然システム学類』「光触媒バイオ融合ナノ粒子と超音波技術のカップリング」（2009.6.6）

- (10)「バイオによるものづくり」, 金沢大学オープンキャンパス (2009. 8. 6- 7).
- (11)TiO₂/超音波触媒法による酸化ラジカル発生法とその応用, 北陸3県・大学シーズ・プレゼンセッション2009, 金沢 (2009. 9. 30) .
- (12)「バイオによるものづくり」, 金沢大学 ふれてサイエンス&テクテクテクノロジー (2009.11.1)

シンポジウム開催報告

(1) 2009 Present Earth Surface Processes and Historical Environmental Changes in East Asia -- Earth Surface Processes in a dynamic environment

環日本海域環境研究センターの共催により、東アジア地域における環境問題や環境変動を議論することを目的として、平成21年9月24日-28日に台湾・台北にて開催された。シンポジウムには日本・中国・台湾・韓国・モンゴルより100名超の参加があった。31件の口頭発表と、33件のポスター発表が行われ、活発な議論がなされた。また9月26日~27日には、台湾北部から南部にわたる野外巡検が行われた。

(2) 第3回環日本海域環境シンポジウム：地球環境地域学の創成をめざして

エコテクノロジー研究部門 岩坂泰信/松木 篤

環日本海域は、世界的にみても極めて人間活動が高い地域の一つであり、ゆえに深刻な地球環境問題をこの地域に引き起こしつつあることも指摘されねばならない。この地域の地球環境科学の総合的な発展と研究者ネットワーク創出を図るため、平成21年10月28-29日、金沢市の石川四高記念文化交流館において、第3回環日本海域の環境シンポジウムを開催した。主催は環日本海域環境研究センター、フロンティアサイエンス機構、環日本海域環境シンポジウム実行委員会、後援は朝日新聞、三井物産環境基金、金沢大学里山プロジェクト、国連大学高等研究所いしかわ・かなざわオペレーティング・ユニットである。シンポジウムには国内各地の研究者に加え、中国、韓国からの研究者の参加も得て80名超が参加し、以下の3つのセッションが開催され活発な議論が行われた。

セッション1：偏西風帯における黄砂・バイオエアロゾル

セッション2：環日本海域・北東アジアの環境研究

セッション3：地の利が生む革新的教育研究：能登の可能性

(3) 国際学術調査報告会「アンコール遺跡区域における環境汚染と環境破壊の現状と影響評価」

エコテクノロジー研究部門 塚脇真二

カンボジア社会の発展、とくに観光産業の爆発的な発展とともに顕在化してきたアンコール遺跡区域の環境汚染/環境破壊問題について、大気環境、水/生態環境、森林環境および地盤/河川環境の各分野で推進してきた調査成果を、平成21年10月31日に東京都世田谷区の日本大学文理学部オーバルホールにて国際学術調査報告会/セミナーとして開催した。主催は海外学術調査隊「カンボジアのアンコール遺跡区域における環境破壊/汚染の現状と影響評価（通称：ERDAC）」、後援はアンコール遺跡整備公団（APSARA 公団）および UNESCO である。また、この報告会は外務省の日メコン交流年2009事業として認定されている。報告会には遺跡の環境整備事業にたざさわる APSARA 公団や UNESCO プノンペン事務所の関係者をはじめ、国内外の研究者・学生、そして一般市民ら約40名が参加し、「大気環境分野」、「水環境分野」、「水資源分野」、「森林環境分野」そして「地盤河

川環境分野」からの話題について活発な質疑が展開された。この成果は平成 22 年 6 月にカンボジア王国シェムリアプ市で開催されるアンコール遺跡国際管理運営委員会で報告予定である。

(4) 第 1 回能登総合シンポジウム：アジアと能登をつなぐ環：能登半島の未来可能性

エコテクノロジー研究部門 岩坂泰信／松木 篤

金沢大学では、能登半島を拠点とし、地域の自然を生かした地域活性化プログラム「能登半島 里山里海自然学校」（三井物産環境基金）をはじめ、農林水産業を基盤に据えた地域振興のための人材養成の拠点形成事業「能登里山マイスター養成プログラム」（科学振興調整費）、東アジア域の大気環境の変動を監視する「大気環境モニタリングを通じた環日本海域の環境ガバナンスへの貢献：能登スーパーサイト構想（略称、能登スーパーサイトプロジェクト）」（三井物産環境基金）など、いくつかのプロジェクトを実施している。

平成 21 年 11 月 30～12 月 1 日、珠洲市商工会議所において

- ・ 地域連携活動「里山里海アクティビティ」プロジェクトの構想紹介と展望
- ・ 学術活動「能登スーパーサイト」プロジェクトの成果と展望
- ・ 能登（地域）をフィールドとした教育研究、人作りに対する構想と企画

の 3 つを基本的な討議課題とする第 3 回環日本海域の環境シンポジウムを開催した。主催は能登総合シンポジウム実行委員会、金沢大学フロンティアサイエンス機構「環日本海域の風、海流、人の環」、三井物産環境基金「大気環境モニタリングを通じた環日本海域の環境ガバナンスへの貢献：能登スーパーサイト構想」、三井物産環境基金「能登半島における持続可能な地域発展を目指す里山里海アクティビティの創出」である。シンポジウムのセッション構成は以下のとおりである。

セッション 1：「里山里海アクティビティ」キックオフシンポジウム

セッション 2：能登スーパーサイト学術シンポジウム

第 1 部：東アジアの大気を探る

第 2 部：フィールド科学のあり方を考える

第 3 部：黄砂科学の新潮流：黄砂バイオエアロゾル研究の現状と展望

セッション 3：能登における教育研究の新展開

第 1 部：臨地・臨床型教育研究の構想と実践

第 2 部：臨地・臨床型教育研究の実践に求められるものは何か

(5) 北陸流体工学研究会（平成 22 年 3 月 13 日、福井大学、100 名）

エコテクノロジー研究部門 木村繁男

金沢大学、金沢工業大学、富山大学、富山県立大学、福井大学、福井工業大学から約 100 名の研究者・学生が参加し、流体力、熱移動、相変化などについて研究発表を行った。

(6) 電気学会マグネティックス研究会

電気学会磁気応用による医療へのシーズ技術調査専門委員会によるマグネティックス研究会が 2009 年 11 月 6-7 日に金沢大学自然科学研究棟にて開催された。磁気の医療応用や生体磁気、及び磁気応用技術に関する研究発表が行われ（口頭発表 23 件）、活発な討論が行われた。

環日本海域環境研究センター講演会、講演者 Mustapha Nadi ナンシー大学（フランス）

平成 21 年 11 月 5 日、ナンシー大学の Mustapha Nadi 教授より生体組織の誘電特性評価について講演があり、活発な質疑応答が行われた。

(7) 環日本海域環境研究センター講演会、

講演者 Junwei Lu, グリフィス大学 (オーストラリア)

平成 21 年 12 月 4 日にグリフィス大学(金沢大学協定校)の Junwei Lu 准教授より, Computational Electromagnetics and Its Applications for Low Frequency and High Frequency Electromagnetic Devices について講演があり活発な質疑応答が行われた。

(8) 第 12 回バイオサイエンスシンポジウム

平成 21 年度 2 月 24 日に第 12 回バイオサイエンスセミナーを開催した。このシンポジウムは、バイオサイエンス関連の研究の交流と企業への情報提供を目指し、環日本海域環境研究センターの共催により開催しているものである。

第 12 回は「一医学と工学の連携一」をテーマに合計 3 件の招待講演、一般講演があり、参加者らの間では活発な質疑応答が行われた。以下は講演プログラムである。

2009 年 2 月 18 日 金沢大学自然科学研究科

特別講演「東北大学における医工学の取り組みと研究例」

東北大学大学院医工学研究科 教授 松木 英敏

環日本海域環境研究センター 客員教授

講演 (1) 物理刺激による培養再生骨の石灰化促進

環日本海域環境研究センター 准教授 田中 茂雄

(2) 磁場による骨形成作用：魚のウロコを用いた解析

環日本海域環境研究センター 助教 鈴木 信雄

2. 組織と運営

1) 研究組織

【自然計測領域】

地球環境計測研究部門

地球環境システムの構造や変化を明らかにするために、陸域堆積物（風成堆積物・湖沼堆積物）などを対象とした物理・化学測定および解析を行う。特に極低レベルの放射能測定及び同位体比の測定を含む最新の高感度・高精度分析測定技術に基づく測定・解析を進める。その成果を予知・予測に生かすとともに、地球環境科学、地球化学の新研究領域の開拓を目指す。

エコテクノロジー研究部門

かぎりある資源とエネルギーの有効利用、および自然環境の保全と持続的活用のため、大気環境計測技術の開発とその実用化、自然界のエコエネルギー源の計測ならびにその要素技術の研究開発、日本海東縁部および東南アジアの自然環境の成立と環境変遷に関する研究をおこない、自然環境の保全技術の開発と環境にやさしい産業活動の創出とに貢献する。

生物多様性研究部門

日本海及び北陸地域に生息する“生物の多様性”と“環境の多様性”の相互関係、環境の自然及び人為的

変動が生物の多様性に及ぼす影響をマイクロな遺伝子からマクロな生態学までの種々の手法を用いて解明する。

生体機能計測部門

ヒトを取り巻く電磁界，有害化学物質，騒音等のストレスの計測技術の開発を行い，環境保全，産業活動の安全管理，環境産業の創出並びに人類の健康な生活の維持に貢献する。

環境情報領域

自然環境情報研究部門

ユーラシア東部・環日本海域自然環境情報の統合とデータベースの構築、陸域大気水圏（雪氷圏を含む）情報、リモートセンシング情報の集約と分析を進める。

人間環境情報研究部門

ユーラシア東部・環日本海域の地理環境、人間環境に関する各種の情報の集約と分析、提言、データベースの構築を行う。

地域研究領域

人文・社会研究部門・環境・防災研究部門

ユーラシア東部、中国、ロシア・シベリア地方に関する当該地域の歴史、社会情勢、環境問題などを幅広い視点から現地の調査機関と連携しながら、従来の学問領域にとらわれることなく総合的な調査、研究を行う。

センターの構成

地球環境計測研究部門

教授 柏谷健二、山本政儀、長尾誠也

准教授 長谷部徳子

助教 福士圭介、浜島靖典、井上睦夫

研究員・協力員 青田容明、落合伸也、下岡順直、荒田孔明、玉村修司、下岡順直、西川方敏

技術員・補佐員 大林麗子、中本美智代

エコテクノロジー研究部門

教授 木村繁男

客員教授 大屋裕二（九州大学応用力学研究所教授）

特任教授 岩坂泰信（フロンティアサイエンス機構）

准教授 塚脇真二

助教 仁宮一章

特任助教 松木 篤（フロンティアサイエンス機構）

研究員 洪 天祥（フロンティアサイエンス機構）

生物多様性研究部門

教授 中村浩二、笹山雄一、

准教授 木下栄一郎、鈴木信雄

助教

連携研究員 赤石大輔、笠木哲也、岩西 哲、井下田 寛、木村一也、小路晋作、宇都宮大輔

技術員・補佐員 又多政博、曾良美智子、安田晴夫

生体機能計測研究部門

教授 清水宣明、山田外史

客員教授 松木英敏（東北大学）

准教授 田中茂雄

助教 柿川真紀子

研究員・協力員 Arkadiusz Miaskowski

技術職員等 池畑芳雄、山田彩子

事務担当

総務第二係 福井彩子（係長）、蔵上由季

センター教員会議構成員

センター長 中村浩二

教授：柏谷健二、山本政儀、長尾誠也、木村繁男、岩坂泰信、笹山雄一、清水宣明、山田外史、弁
納才一、梶川伸一

准教授：長谷部徳子、塚脇真二、木下栄一郎、田中茂雄、青木賢人

3 研究・運営活動

地球環境計測研究部門

【地球環境システム分野】

地球環境システムの構造や変化を明らかにするために、地表プロセスの解明、陸域生成鉱物・堆積物などを対象とした物理・化学測定および解析を行っている。本年度は主に以下の研究課題に取り組んだ。

1) 環境情報に基づく極東地域における池沼-流域系水文環境変動の解析

流域-池沼系という準閉鎖的な環境を対象とした場合、流域において生産された土砂の多くが下流の池沼に堆積する。そのため、池沼堆積物には浸食力や流出土砂量に関する詳細な情報が連続的に含まれる可能性が高い。本研究では、極東地域の池沼-流域系水文環境の解析を目的とし、自然条件が異なる環境において池沼-流域系水文環境変動にどのような変化があるのか解明を試みた。調査池は石川県滝谷池および大池、韓国ジンヒョン池および義林池である。本研究ではセディメントトラップを用いて捕集した堆積物と採泥器により採取したコア試料を分析した。分析項目は、セディメントトラップ

試料では堆積量、全岩粒径、コア試料では含水率、全岩粒径、碎屑物粒径、有機物含有量、生物起源シリカ含有量、碎屑物含有量、Cs-137、Pb-210 である。

滝谷池では「降水量」と「堆積量」により相関関係が確認できた。この関係は季節または年という長期機関においてより明瞭となることが明らかとなった。ジンヒョン池でも「降水量」と「堆積量」の相関関係が確認された。また「降水量」は「粒径」ともよい相関を示した。大池ではコア試料の Cs-137、Pb-210 の放射能比から、 $0.062\text{g/cm}^2/\text{year}$ という堆積速度が見積もられた。義林池では堆積速度は $0.22\text{g/cm}^2/\text{year}$ と大池より 3 倍以上の速さで堆積していることが分かった。

2) フブスグル湖湖底堆積物を用いた湖沼-流域系環境変動の推定

本研究ではフブスグル湖における流入河川の流域環境の違いが堆積物の物理特性に及ぼす影響を検討した。対象とした試料は 2009 年にフブスグル湖において 3 地点で採取されたグラビティコアとロングコアである HDP09 である。各コアの各深度における有機物、塩酸可溶物、生物起源シリカ、碎屑物含有量および碎屑物粒径を測定した。

各試料の碎屑物堆積速度は、採取した地点により最大で 10 倍程度の違いがあることが認められた。一方塩酸可溶物含有量の変化挙動はいずれの試料でも大まかに一致することが認められた。このことから塩酸可溶物含有量の変化挙動をコア同士で比較することで、同時代に堆積した堆積物を対応させることが示唆された。

3) フブスグル湖湖底堆積物に記録された古気候変動の復元と急激な環境変化の考察

本研究では 2008 年にフブスグル湖最深部付近で採掘されたドリリングコア HDDP08 を対象とした。また HDP08 と近接する地点で回収されたグラビティコア HDP08-1d についても HDP08 最上部の補完を目的として分析した。分析項目は塩酸可溶物量、有機物含有量およびそれらを除去した後の碎屑物含有量と粒径である。

分析結果から、21.5~18.5ka までの 3000 年間に少なくとも 8 回の碎屑物の粗粒化が確認され、この時期の流域環境に大きなイベントが繰り返し起こったことが示唆される。塩酸可溶物含有量もいくつかの点で碎屑物の粗粒化の時期に対応して減少ピークを示し、この期間にフブスグル湖流域では水位の上昇と低下が短い周期で繰り返されていたと考えられる。特に 21.5ka での塩酸可溶物減少と碎屑物粗粒化のピークは、氷床コア GRIP の分析から明らかになっている世界的な規模での急激な温暖化を反映している可能性がある。一方で、碎屑物粒径には塩酸可溶物含有量と対応しないピークも存在している。これは当時のフブスグル地域で発達していた山岳氷河の融氷などによって突発的に粗粒な土砂の流入が引き起こされるといったローカルなイベントの結果を反映している可能性がある。このようにフブスグル湖ではローカルなイベントとグローバルな気候変動による影響が複合的に流域環境に影響を与え、堆積環境を変化させてきたと考えられる。

4) 原子間力顕微鏡によるジルコンのフィッション・トラックの観察

フィッション・トラック(FT)法は、鉱物中に含まれる ^{238}U が自発核分裂を起こすことによって生じたトラックの計数に基づく年代測定法である。トラックの数はウラン濃度と時間の関数になるため、鉱物中のトラック密度のウラン濃度を測定して年代値を算出する。通常トラックの計測は光学顕微鏡下で行うが、FT の密度が高くなるにつれ、FT 同士が重なりトラックの識別が難しくなる。そこで本研究では、より高いトラック密度のジルコンでの FT 年代測定を目指し、FT の観察に原子間力顕微鏡

の利用を試みた。

5) その他の研究

このほかに、「フブスグル湖湖沼堆積物の炭酸塩鉱物組成に記録された古環境」、「モノハイドロカルサイトの生成と安定性」、「表面錯体モデリングによる酸化物へのヨウ素吸着の予測」、「水溶液中における酸化マグネシウムの相変化挙動」、「モノハイドロカルサイトによるリン酸の取り込み」、「鉄を含む溶液によるベントナイト変質」に関する研究も行った。

【低レベル放射能実験施設分野】

本研究施設では、低バックグラウンドガンマ線測定法などの適用により、放射性核種を精密に測定し、物質の時間的・空間的分布や移行挙動の地球科学的解析を行うほか、放射性同位体をトレーサーとする研究領域の開拓を目指すことを目的としている。本年度は放射性核種をトレーサーとする地球化学研究に焦点を当て、以下の研究を実施した。

1) バックグラウンド低減化システムの開発と応用

Ge 半導体検出器の遮へい内に 2π sr 相当の薄いプラスチックシンチレータ (PS) と波長変換光ファイバーを設置して、バックグラウンド (BKG) となる宇宙線成分を検出し、逆同時計数により BKG 成分を除去するシステムを開発し、若狭湾エネルギー研究センターの地上設置 Ge 検出器での試験の結果、有効性が確認された。さらに本システムを改良し、PS と光電子増倍管 (PMT) の間に光コネクタを設け、PMT-コネクタ間を透明ファイバーとして光子損失を低減するとともに設置の自由度を確保した。また PS、遮光幕も補強し実機としての使用を可能とした。

2) 尾小屋地下測定室の整備

5 年計画「極低レベル放射能測定による新研究領域開発と全国共同利用微弱放射能測定拠点の形成」の最終年度に当り、文科省特別教育研究経費 680 万円と学長特別研究経費 980 万円の交付をもとに尾小屋地下測定室及び付属設備の整備・保守を行った。

3) 大陸からの汚染物質の長距離輸送

我が国は、極東アジアの中緯度に位置するため、ジェット気流に伴う偏西風が卓越し、冬期にはシベリア等気圧に伴う季節風によって、風上側のアジア大陸から日本海を経由して多量の自然・人為起源物質が日本列島さらに太平洋に輸送される。これらの輸送の実態把握と将来予測は気候変動の面からのみならず、黄砂を初めとする鉱物エアロゾルについては海洋への一次生産への影響評価の面からも重要視されている。当実験施設のある石川県辰口町で一月毎に採取している 10 数年継続の降下物試料を用いて放射性核種、①成層圏起源の ^7Be 、②主に大陸起源の ^{210}Pb 、③土壌起源の ^{40}K および ^{137}Cs 降下量の長期観測を実施している。これらの放射性核種は、大気エアロゾル、鉱物粒子(黄砂も含めて)の大陸から日本への輸送過程を解明する有用なトレーサーでありデータの蓄積を図っている。併せて、本年度はアジア大陸由来の空気塊が日本海でどのように変質しているかを検討するために、新たにアンダーセン・ローボリュム・エアサンプラーを用いて、エアロゾルを粒径別に採取し、放射能濃度の粒度依存性を検討した。

4) 湖底堆積物から環境変動解析

湖底堆積物は、過去における流域の変動や湖内で生息した生物などの気候環境変動に絡む物理、化学、生物的变化をそれぞれ時計として記録している。化学成分は堆積後、続成作用の影響を受けるものがあり、堆積当時を保存しているとは限らないが、基礎的な研究・検討を通じての適当な手法を用いれば、化学成分からも堆積環境変動解析が可能である。具体的には、従来の堆積物の物理・化学的測定に加えて、新規に堆積物中の天然放射性元素ウラン(トリウム) 同位体を指標にする。特に堆積物中のウランは、河川から流入する岩石・土壌に由来する成分と、湖内で溶存する成分が沈降堆積したものを含み、両者の含有割合が気候環境変動などによって大きく変動することが期待できる。数年前から陸域環境で気候変動に最も鋭敏なユーラシア東部を中心に、バイカル湖およびフズスグル湖で採取した堆積物コアを用いてウラン(トリウム) 同位体濃度の変動と堆積物のアイオニウム年代測定の応用を検討し、温暖・湿潤期は濃度が高く、寒冷・乾燥期には低くなることを見出してきた。しかし、身かけ上、ウランが何故上記のような変動をするのかについての詳細は不明であった。今年度は、フズスグル湖東岸の Borsog Bay で採取された堆積速度の速いコア、高分解能コア(約 12m の長さ)を用いて、ウランの堆積挙動を検討した。

5) 日本海固有水の多核種同時測定

平成 21 年 7-8 月の蒼鷹丸調査航海において、日本海盆、大和海盆の日本海混合層水および固有水を鉛直方向に採取、さらに現地ろ過処理もおこなった。簡便な共沈法を施した海水試料およびフィルター試料に低バックグラウンドガンマ線測定法を適用することにより、これら試料における ^7Be 、 ^{137}Cs 、 ^{226}Ra 、 ^{228}Ra および ^{228}Th の測定をおこなった。その結果より、日本海における水塊、粒子など物質循環に関する知見を引き出す。

6) 東シナ海東部における ^{226}Ra 、 ^{228}Ra および ^{228}Th 濃度の季節変動

2 月、3 月、4 月、6 月、7 月および 10 月の 6 回にわたり、東シナ海東部の 2 地点において採取された表層海水の ^{226}Ra 、 ^{228}Ra および ^{228}Th 濃度を測定した。その結果、 ^{228}Ra および ^{228}Th 濃度に大きな季節変動があることが明らかになった。東シナ海の水塊、粒子など物質循環が季節的に大きく異なることを反映する。

7) 海洋環境における放射性核種の長期挙動に関する研究

海水中に存在する極微量の人工放射性核種 ^{137}Cs (30.5 年) の海水循環の研究(気象研からの受託研究として共同で推進)で、太平洋深海約 1000-5500m の深層水中の ^{137}Cs 濃度 150 試料を尾小屋地下実験室の Ge 検出器で測定した。この結果及び表層から 1000m の測定結果を基に太平洋の海水循環が明らかになりつつある。この結果は、海水大循環予測モデルのデータとして提供し、モデルの検証が行われている。

8) 甲殻類の年齢の推定

甲殻類の脱皮後の年齢推定(若狭湾エネルギー研究センターとの共同研究)に Ra228-Th228 法が応用出来るかを検討した。本年度は 11 検体で測定を継続し、Ra-228 から Th-228 の成長が成長曲線とどの程度一致するか検討し結果、全て検体でほぼ成長曲線との一致が確認された。この結果から予測される年齢は、誤差を考慮しても、目視による経験的な年齢と一致しない検体も見られた。本年度は更

に、Ra-228 が微量な 1 歳以下の検体にも適応可能か検討するため、成長曲線を測定中である。

9) 旧ソ連核実験場セミパラチンスク周辺住民の被曝線量評価

旧ソ連の核実験場セミパラチンスクでは、450 回以上の核実験が行われ、それによって数十万とも言われる周辺の住民が幅広い範囲で外部および内部からの長期の低線量率被曝を受けてきた。1994 年以来、低線量のリスク評価に資するデータを提供するために、住民への放射線影響の基礎となる被曝線量評価、特に放射能汚染状況の把握と外部被曝および内部被曝線量評価を重点的に行っている。今年度は、1953 年の旧ソ連最初の水爆からのフォールアウトの被害を受けたサルジャーおよびカラウル村内外で、きめ細かな土壌採取を行い、 ^{137}Cs 、 Pu 測定を通して放射性雲の飛来状況（センター軸、幅）と降下レベルの把握を目指した。さらに爆発時の中性子との核反応で生成した誘導放射性核種を見積もるために ^{125}Eu 、 ^{60}Co 、加えて、水爆の原料組成や規模等の情報を得るために $^{238}\text{U}(n, 2n)$ 、 $^{238}\text{U}(n, 3n)$ 、 $^{235}\text{U}(n, \gamma)$ などの核反応で生成する可能性がある ^{237}Np 、 ^{236}U についても測定を試みた。

10) グローバルフォールアウト ^{236}U の評価と広島原爆への応用

広島原爆直後の中性子や γ 線による人体への被曝線量評価などは日米共同で信頼できるまでに至っている (DS02)。しかし、原爆投下 20-30 後に“黒い雨”が降り、これに伴うローカルフォールアウトからの被曝は、これまでその寄与が少ないとみなさら検討されてこなかった。最近、黒い雨に含まれている放射性物質からの被曝が関心を呼ぶようになり、黒い雨の降下時間推移、降下範囲、この雨に放射性物質がどの程度含まれていたのかなどの検討が緊急の研究課題になっている。1976 年と 1978 年に、厚生省が中心となり、広島市の爆心地 30 km 圏内 16 方位で、きめ細かな土壌試料の採取を行い、残留放射能の調査を行った。物理的半減期の長い核分裂生成核種 $^{137}\text{Cs}(T_{1/2}=30.17 \text{ y})$ を中心に測定が行われたが、1950 年から 1960 年代はじめに行われた米ソの大気圏核実験からの大量の地球規模フォールアウト (global fallout) のために、広島原爆由来のフォールアウト ^{137}Cs の痕跡を見出すことが極めて困難であった

広島原爆が原爆材料として ^{235}U を使用していることに着目すると、 $^{235}\text{U}(n, \gamma)$ 核反応により生成する可能性がある ^{236}U がローカルフォールアウトとして降下蓄積していることが予想される。昨年度、ウーン大学加速器研究機関 (VERA) の加速器質量分析計 (TOF-AMS) を用いて LLRL 横の森林土壌中のグローバルフォールアウト由来の ^{236}U を検出した (共同研究)。本年度は、 ^{137}Cs 、 Pu も含めて ^{236}U の詳細な深度分布をさらに検討し、広島市内から採取した土壌について、これら核種の蓄積量さらに核種間の放射能比の比較を試みた。

11) 大深度掘削井から得られる高塩濃度 Na-Cl 型地下水の Ra の地球化学的研究

油田塩水など、海水よりも高塩濃度の塩水が Ra 同位体を高濃度(例えば、 ^{226}Ra 濃度で数 10～数 100 Bq/kg)に含むことが世界の幾つかの地域で見出されている。近年、国内においても掘削技術の進歩により平野部や海岸地域において大深度井の開発が進み、様々な種類の水 (例えば、海水、化石水、沈み込むプレートからの脱水流体など) を起源とする高塩濃度 Na-Cl 型地下水が得られるようになった。その大部分は、温泉として利用されている。我々は、これら高塩濃度 Na-Cl 型地下水が ^{226}Ra を高濃度に含むのではないかと考え、Na-Cl 型地下水水中の Ra 同位体の地球化学的研究を始めたこれまで、典型的なグリーンタフ地域である石川県、日本の油田・ガス田地域である新潟県および一部石油や天然ガスを含む温泉が点在する富山県氷見市をフィールドにして研究をしてきた。その結果、1Bq/kg を

こえる地下水が点在することが明らかになり、Ra 同位体の起源や水相への輸送メカニズム解明が重要になってきた。本年度は、メカニズム解明と併せて、東北地方（青森県・秋田県・山形県）および北海道において温大深度地下水の採取を行った。

12) アクチノイドと腐植物質との錯体研究

放射性廃棄物の地中埋設処分において、放射性核種の移行に影響を及ぼす溶存有機物の検討が重要課題として残され、地下水有機物の大部分を占め、アクチノイドとの錯形成能が高い腐植物質を対象にした研究が行われている。腐植物質は、フミン酸とフルボ酸で構成され、生成される環境により構造・官能基特性等が異なる。そのため、アクチノイドの移行挙動への影響を定量化するには、1つのパラメータで系統的に評価する必要がある。我々は、腐植物質の分子サイズに着目し、分子サイズをパラメータとして錯形成、吸着移行性に関する検討を進めている。今年度は、三次元蛍光分光光度法と高速液体サイズ排除クロマトグラフィー分析法を組み合わせ、土壌から分離精製したフミン酸と Eu(III)との錯形成の特徴を蛍光消光法と分子サイズ分布の観点から検討した。その結果、高分子画分と低分子画分のフミン酸と Eu との錯形成は異なることが示唆された。

13) C-14 をトレーサーとした有機物の環境動態研究

地球温暖化に関係した有機物の動態研究では、炭素の貯蔵媒体の陸域や海洋における溶存有機炭素の特徴や起源推定、時間軸を考慮することが重要である。また、微量金属や有害有機物の輸送媒体として有機物の重要性が報告され、生態系との関連性の観点から、腐植物質の移行挙動に関心が集まっている。当実験施設では、炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) と放射性炭素 ($\Delta^{14}\text{C}$) を組み合わせて、有機物の分解・滞留時間を考慮した有機物の移行動態の検討を進めている。このアプローチでの河川や大気での報告例はそれほど多くはないが、トレーサーとしての有効性が示唆されている。今年度は北海道の湿原を流れる釧路川と別寒牛川において分離した粒子について、懸濁態有機物の炭素同位体比を測定した。その結果、同じ湿原域でも釧路川と別寒牛川の懸濁態有機物の炭素同位体比は異なり、微弱な流域環境の違いを反映していることが明らかとなった。

14) 能登半島七尾湾流域における物質動態研究

里山と里海の連関性を物質動態の観点より検討するため、熊木川で月 1 回の観測を開始し、溶存成分とともに粒子態成分の濃度と特徴を分光分析、クロマトグラフィー分析、さらに Be-7, Cs-137, Pb-210 等の放射性核種をトレーサーとした検討を進めた。河床堆積物と流域の土壌コアの Cs-137/exPb-210 の放射能濃度比を比較した結果、中流域に広がる水田からの寄与が中流以降の物質動態に重要な役割を示す可能性が示唆された。

エコテクノロジー研究部門

【エコエネルギー分野】

エコエネルギー分野では、1) 地下水流動の計測技術と低エンタルピーエネルギー利用技術の開発、2) 環境流体の凝固過程解明、3) 環境流体による熱・物質輸送プロセスの解明、の三つの柱を立てて研究を行っている。以下各個別の研究テーマについて、その研究活動の概要について述べる。

1) 地下水流動の計測技術と低エンタルピーエネルギー利用技術の開発

地下水の流動を計測することは一般に極めて難しい。それは地下水が地層の中を流れるため、計測器を設置するのが困難である点と、その流動状況を直接目で見る事が出来ない点にある。これまで本研究では一本の調査井を用いて地下水の流向と流速を同時計測する計測プローブの開発を主な目的としてきた。一般に透水性を有する砂礫層に調査孔を設ける場合には、ケーシングパイプを挿入する必要がある。ケーシングパイプの透水率が内部に設置した地下水流向・流速プローブに与える影響について水槽を用いた室内実験で明らかにした。その結果ケーシングパイプの種類により、プローブによる計測流速が水槽内実流速の最大1/2.5倍まで小さくなることがわかった。今後は地層透水率とケーシングパイプ透水率の組み合わせが計測に与える影響を究明する予定である。

2) 環境流体の凝固過程の研究

自然環境中に存在する水、すなわち海水や湖沼水、あるいは地下水の凝固は一般に冷却温度が季節変動や日変動をする場合が多い。このような冷却面温度が非定常的に変動する場合に凝固や融解がどのように進行するかを解明するのが本研究の主なねらいである。特にこのような非定常現象について一次元の解析モデルを提案することを目的とする。一次元モデルはその解法がきわめて簡単で、実用的だけでなく、どのような無次元パラメータが現象を支配しているのかについて明快な理解を得ることができる。本年度は流動管路内の凝固現象に着目した研究を実施した。鉛直に流下する角管路内の一つの壁面を冷却して固相がどのように発達して行くかについて、実験的、数値的および解析的に研究を行った。数値解では境界固定法により、成長する固液界面を追って行く手法を用いた。一次元の数値モデルでは、液相からの対流熱伝達と固相を通った冷却面への熱伝導とのアンバランスが固相成長を駆動するとして定式化を行った。これまでの研究から固相の生成量あるいは平均の厚さについて、数値モデルと解析モデルは共に実験結果と良く一致することを確認した。一次元数値モデルをさらに簡略化して、固相内準定常温度場を仮定すると、流速の変動が小さい場合に摂動法により解析解が求められることを示した。その結果、ステファン数と固相内拡散時間に基づく無次元周波数が現象を支配する二つの無次元パラメータであることを示した。

3) 環境流体による熱・物質輸送プロセスに関する研究

森林内の気流は温度、湿度、二酸化炭素濃度分布を決定し、森林内の微気象を支配する重要な要因となる。森林内の微気象条件は動植物の生存環境を形成するため極めて重要である。たとえば風媒樹木の分断化が繁殖に与える影響は花粉の飛散距離に大きく左右される。また、山火事の際に発生する火の粉の飛散などにも影響を与える。本研究では、金沢大学角間キャンパスの里山内にある20mのタワーを利用して、5台の超音波風速計を用いて樹林内での気流の計測を行なっている。観測タワーの周辺は樺やくぬぎの木が多く密生している。また、観測点は丘陵地の尾根に位置している。本年度は特に5台の超音波風速計により常時風速の計測を行う計測システムの構築を行った。この計測システムは平成21年11月に稼働させることができた。平成22年2月までは正常に稼働しデータの取得ができた。しかし、3月から一台の風速計に不具合が発生し、現在データ取得ができていない。一方、他の4台は正常に稼働しており、現在もデータの集積が行われている。今後集積されたデータを基に、渦拡散係数に与える種々の要因（葉面積密度、風速、大気安定度、風向）を順次明らかにしてゆく予定である。

4) 風ライダーの開発

相互相関法を用いてエアロゾルの動きから大気の動きを可視化する手法について引き続き研究を

行った。計算機上に一定速度で水平に運動する3次元のエアロゾル塊を発生させ、レーザー光のスキャンによる後方散乱画像（時間遅れを伴う複数枚の2次元スキャン画像）が得られたと仮定して、それらの画像を合成することにより3次元の風速ベクトル分布を計算することを試みた。基本的にはこのような手法で大気の3次元運動が観測できることを示すことができた。また、三菱電機（株）の協力を得て、ドップラーライダーによるコーン型のスキャンデータの提供を受け、本手法によりその解析を行った。

5) 木質系バイオマスの効率的利用を目指した超音波とイオン液体による前処理

木質系バイオマスをバイオエタノールなどに変換する際に問題となるのが、セルロースを覆っている難分解性物質リグニンとセルロースの結晶構造である。従来の物理化学的な方法に変わる低環境負荷型のリグノセルロース前処理法の開発を目的として、TiO₂と超音波により発生するラジカルとセルロースの結晶構造を緩める効果のあるイオン液体を組み合わせた方法を検討する。

6) 効率的なバイオ燃料生産のためのスーパー酵母株の高速育種

バイオエタノールの安価な製造に必要なスーパー酵母（セルロース糖化酵素の表層発現量が劇的に向上した酵母）の育種を目的とする。本年度は、i)重イオンビームを用いた細胞への変異導入とii)セルソーターを用いた変異集団中の一細胞ごとの酵素発現量の評価および高発現細胞の分取を行う。本研究で確立される育種法は、「日本の強みである加速器技術」と「バイオ」が融合した革新的な技術となる。

【環境保全システム分野】

1) 黄砂の発生源地域の地形的・局地気象的特長と黄砂の長距離輸送との関係：航空機による日本上空の観測

黄砂の発生メカニズムには、さまざまなプロセスが関与している。タクラマカン砂漠の砂塵は、おおきな低気圧活動に伴って大気中に舞いあげられるものに加えて、局地的な山谷風によっても自由大気圏に巻き上げられているために、バックランド黄砂の主要な生成源と考えられる。ここでは、比較的地表面近くからおよそ5キロメートル辺りまで気塊は日常にかき混ぜられているため、比較的地表面付近に浮かんでいる物質もたやすく自由大気圏高度に運ばれる。このことを利用して係留気球を使った黄砂と微生物の混合状態に関する観測研究が始まった。韓国の釜慶大学校と黄砂の長距離輸送の解明に向けた共同研究体制の準備は本年度も継続しており、一部の試験観測が釜山において行われた。蘭州大学、国立環境研究所などとの黄砂の長距離輸送監視・研究ネットワークは、本年度は中国政府の「気象法」に基づく規制の強化の影響で運用が出来ない状態になり、日本上空の航空機観測に重点を置いた。

2) 黄砂の輸送途中に生じる黄砂粒子表面の物理化学的変化に与える水蒸気の影響：船上観測

大陸起源の乾燥した気塊が日本海洋上で海からの水蒸気によって大気質を変えることは、以前から気象学あるいは大気物理学の立場から注目され降水過程や雲過程に関する研究は行われてきた。しかし、大気化学的な面での観測研究は著しく少なく、今日越境大気汚染が社会の強い関心を集めているにもかかわらずそれらの関心にこたえる科学的成果は少ない。韓国の釜慶大学校の練習船を使った試験的観測を実施した。また、これまでに得られた黄砂の個々の観察結果を検討して、黄砂粒子表面での化学反応と海洋大気中のHC1濃度や水蒸気濃度との関係を解析している。

3) 能登スーパーサイトの展開

環日本海域は、急速な経済発展をとげる大陸沿岸部を中心に汚染物質の排出が進み、世界的にみて大気環境問題がもっとも顕在化している地域のひとつである。能登半島は日本海に大きく迫り出しており、大陸から吹き付ける偏西風の風上方向に国内の大都市は存在しない。このため近隣の都市からの汚染の影響が小さく、極東アジアの代表的なバックグラウンド大気の監視ポイントとしてうってつけである。本研究では能登半島先端の珠洲市にある金沢大学里山里海自然学校（旧小泊小学校）の一角を観測拠点に選び、国内外の関連研究機関と連携しながら環日本海域における先端的大気観測サイトの整備を進めてきた。これまでの活動を通じ、能登のスーパーサイトを受け皿とした、上空の大気エアロゾルのリモートセンシング観測、係留気球を使用したバイオエアロゾル観測、大気エアロゾルインレットを介した各種連続観測、微量気体成分（対流圏オゾン、一酸化炭素、窒素酸化物）の観測、などが始まっている。2010年の春からは、これまで主に西日本に偏重してきた国内の主だった観測サイトとの比較観測も行われている。

4) 富士山山頂における大気エアロゾルの観測的研究

富士山は世界的にも稀にみる急峻な独立峰で、その山頂は地上の汚染源の影響が少ない超高感度の環境センサーとして注目されている。自由対流圏などの高高度環境において、気体から大気エアロゾルが二次的に生成する新粒子生成過程は十分に解明されておらず、その観測例もごく限られている。これを受け2009年から夏の間、フランスの研究者と共同でナノサイズの粒子と大気イオンの連続観測を行っている。

5) 国際プロジェクト Surface Ocean-Lower Atmosphere Study(SOLAS)への参加

これまでの気球観測の結果の解析を進めるとともに、長距離水平非行型気球を使った観測準備の一環として気象ゾンデ受信システムを導入し試験運転を実施した。

6) バイオエアロゾルの自由大気圏中での動態研究と気球搭載型蛍光計測装置の開発

蛍光を利用して、大気中の生物起源の微小粒子体の検出を行うために、気球搭載型の蛍光計測装置の開発を行い、プロトタイプ製作に成功した。実用に向けて光学系の改良（散乱光の集光量の増加、レーザービームの視野絞りを狭くする）を試みている。

7) チベット高気圧とエアロゾル

チベット高原に発生する強い上昇流に伴ってエアロゾルが活性化され雲粒子に成長する可能性を気球観測データの解析から明らかにした。

【環境動態解析分野】

環境動態解析分野では、北陸地方、日本海東縁部、および東南アジア大陸部を調査研究対象に地質科学/環境科学的な手法にもとづく以下の研究を展開している。

1) カンボジアのアンコール遺跡区域における環境汚染・環境破壊の現状評価

長年の戦乱から見事な復興をとげたカンボジアであるが、社会経済の発展とともに環境保全をかえりみない政策のため環境汚染や環境破壊がいきなり顕在化してきた。同国の首都プノンペンはもちろんのこと、アンコール遺跡世界遺産の観光基地シェムリアップ市でこれが著しい。これを放置することは住民の健康被害を招くことはもちろんのこと、アンコール遺跡群の観光資源としての価値低下にもつながることになる。そこで、このような環境汚染や破壊の現状を正確に評価するとともにその低減・

撲滅策の提言を目的として、大気環境分野、森林環境分野、河川/地盤環境分野、水/生物環境分野からなる分野横断的な観測・調査を同国政府やアンコール遺跡整備機構、UNESCO などとの密接な連携のもとに実施しており、2009年10月にはこれにかかる国際報告会を東京都世田谷区の日本大学文理学部で、また学生向けセミナーを同年10月に金沢大学総合教育講義棟でそれぞれ開催した。

2) カンボジアのトンレサップ湖における環境変遷史および生物多様性の解明

トンレサップ湖は東南アジア最大の淡水湖であり、熱帯低地に位置する湖としては世界最大の大きさを誇る。また、この湖は乾季と雨季とでその面積が7倍にも変化する伸縮する水域として著名であるとともに、世界最高水準の生物多様性で有名でもある。この湖が生み出す水産資源が有史以前から現在にいたるまでカンボジアの暮らす人々の社会を支えてきたともいえよう。これまでの16年間にわたっての調査で、同湖ならびにメコン河下流域における過去約2万年間の環境や地形の変化を復元し、環境変化と文明の盛衰との関係を探るとともに将来の気候変動や開発にともなう環境変化の予測に成功した。さらに、同湖の生物多様性の維持機構を、湖底地質学、水文学、植物動態学、無脊椎動物学の各分野から記録保存してきた。これらの成果をふまえながら、この湖の近い将来の環境変化、とくに現在計画されている諸開発事業が湖の生態系や水・堆積物収支などに与える影響を評価している。

3) 南タイのマングローブ林周辺海域における堆積作用とスマトラ地震津波の影響評価

東南アジアの海岸域に広く分布するマングローブ林は貴重な生物資源として、また環境保護の見地からその保全が訴えられている。さらに将来予測される海面変動がその立地環境に与える影響も大いに懸念されている。しかし、マングローブ林周辺海域での堆積物の浸食・運搬・堆積過程についてはいまだに不明な点が多くこれが立地変動予測や保全対策への障害となっていた。これまで継続してきた南タイに分布するマングローブ林周辺海域での堆積作用の調査研究、および開発や海面変動による同海域での堆積作用の将来的変化の予測にもとづき、近年では最大の環境変動といえる2004年12月に発生したスマトラ-アンダマン地震津波がマングローブ生態系や周辺海域に与えた影響とその後の生態系の再生作用について、津波襲来前後の堆積物や微小生物群集の比較検討による評価を行っている。

4) 日本海における過去2万年間の堆積作用ならびに環境変遷史

代表的な縁海である日本海は、最深部が3,000mをこえるにもかかわらず太平洋などの外洋とは対馬海峡や津軽海峡などの狭小で浅い海峡で連絡するのみであり、同じく縁海である南シナ海や東シナ海に比べて閉鎖性がきわめて高いことを特徴とする。これに加えて日本海は、閉鎖性の高さに加えて暖流と寒流とがちょうどぶつかりあう中緯度に位置することから、汎世界的海水準変動に対応してその海洋環境を著しく変えてきた。これまでの約10年間に我が国経済水域となる日本海東半部海域ほぼ全域での海洋地質学的調査を実施し、約50点の海底柱状試料および約500点の海底表層堆積物試料を採集した。そしてこれらの解析結果にもとづき、氷河時代最盛期となる約20,000年前から約6,000年前の海面高頂期をへて現在に至るまでの日本海の海洋環境変化を復元するとともに、表層堆積物の空間分布、とくに深度に応じた分布を明らかにしてきた。現在は海洋環境変化のさらに高精度での復元、ならびにこれにもとづく日本海深海域の堆積作用変遷史の解明をめざしている。

5) 北陸地方に分布する上部新生界の地質構造発達史

石川県を中心とする北陸地方には、寒流系貝化石の多産で著名な下部更新統大桑層など我が国日本海側を代表する上部新生界の時間的・空間的にはほぼ連続する分布が知られる。代表的背弧海盆である

日本海の形成過程が世界的に注目されるなか、これらの地層群は拡大中あるいは拡大後の日本海ならびに周辺陸域の環境変遷史や地質構造発達史を解明するうえで重要な存在でありその層序や地質構造などの再検討は急務である。また、2007年3月に発生した能登半島地震にみられるように、防災や開発の視点からも同地方での実用的な地質図の完備が望まれている。そこで精密な地質調査による高精度地質図の作成をまず金沢市地域から開始し、これまでに金沢市の主要地域、津幡町南部、能美市、小松市、富山県西部の小矢部市、氷見市、旧福光町での調査が終了した。今年度はこれらの調査を金沢市南部の湯涌市方面へ拡大するとともに、これまでの成果を総括することで金沢市およびその周辺地域の後期新生代層序の確立を進めている。

生物多様性研究部門

【海洋生物多様性分野】

1) 脊椎動物および無脊椎動物の生理・生化学的研究

博士後期課程に属する Arin Ngamniyom 君は、2009年の8月に課程を修了した。彼は、メダカのホルモンの研究をしている。メダカの場合、ヒレの形態が第二次性徴を現しているため、ニホンメダカとタイメダカのヒレ（背ビレ、胸ビレ、腹ビレ、尻ビレ、尾ビレ）において、男性ホルモンと女性ホルモンの受容体および、Bone morphogenic protein 2b (Bmp2b)の発現を比較した。彼の研究の結果、初めて、ヒレの性的二型が生じる分子生物学的証拠が得られた。一方、タイメダカの中には、そのヒレの形態からオスともメスとも区別できない外形的中間型が存在する。そこでニホンメダカと同様にして解析した。その結果、タイメダカの中間型においては、それらの性ホルモン受容体の発現は正常な雌雄の中間型であり、Bmp2bの発現は正常な雌雄よりも低いことが判明した（研究報告参照）。

（財）サントリー生物有機科学研究所・第二研究部部長・主幹研究員 佐竹 炎博士、同研究員 川田剛士博士、同研究員 関口俊男博士との共同研究により、カタユレイボヤのカルシトニンの構造を決定した（FEBS J., 2009）。無脊椎動物のカルシトニンの構造はこれまで報告がなく、最初の報告になる。脊椎動物のカルシトニンは、32個のアミノ酸から構成されているが、ホヤのカルシトニンは30個のアミノ酸から構成されている。2個アミノ酸が少ないにもかかわらず、キンギョのウロコの破骨細胞の活性を抑制することが判明した。詳細は、研究報告に示してある。

軟骨魚類のアカエイのカルシトニン受容体のクローニングも行っている。この研究は（財）サントリー生物有機科学研究所の佐竹 炎博士、同研究員 関口俊男博士との共同研究により進めている。さらにカルシトニン受容体の発現解析は岡山大学附属牛窓臨海実験施設の坂本竜哉教授との共同研究により行っている。現在、希釈海水に移行した時の鰓や腎臓におけるカルシトニン受容体の発現を解析中である。本年、東京大学で開催予定の日本動物学会で発表する予定である。

2) 様々な物理的刺激に対する骨組織の応答に関する研究：魚類のウロコを用いた解析

魚のウロコを骨のモデルとして、物理的刺激やホルモン等の生理活性物質の骨に対する作用を調べ、その応答の多様性を研究している。

本年度は国際宇宙ステーション「きぼう」船内実験室第2期利用に向けた候補テーマとして採択され、その準備に関する実験を行ってきた。宇宙実験では再生ウロコを用い、再生ウロコの骨芽細胞及び破骨細胞の活性を面積当たりで算出する方法を新たに開発した（Biol. Sci. Space, 2009）。また宇宙実験では、新規メラトニン誘導体の作用についても解析する。この研究は、東京医科歯科大学の服部淳彦教授と金沢大学の染井正徳名誉教授との共同研究であり、2004年から継続して研究しているテーマであ

る (J. Pineal Res., 2008a)。既に、国内特許は取得済 (JP Patent 4014052 号) であり、現在米国特許を出願中である。さらに、ハムリー (株) の関あずさ博士と共にメラトニン誘導体の卵巣除去ラット及び低 Ca 食ラットにおける影響を評価した。その結果、卵巣摘出ラットおよび低 Ca 食ラットにおいて、メラトニン誘導体を経口投与することにより骨強度が上昇することが判明した (J. Pineal Res., 2008b)。したがって、この化合物は骨疾患の治療薬として有望である。これらの成果は、Korea-Japan Joint Research Project Symposium で発表 (招待講演) した。

宇宙環境利用科学委員会研究班ワーキンググループの研究助成を受け、ホルモンに対するウロコの骨芽細胞と破骨細胞に対する応答を解析した。本年度は、特に、副甲状腺ホルモンに対する応答について解析した。この研究は、オーストラリアのメルボルン大学の Prof. T. John Martin と RMIT 大学 Dr. Janine A. Danks、東京医科歯科大学の服部淳彦教授、同大学の田畑 純准教授、岡山大学の山本敏男教授、同大学池亀美華准教授、早稲田大学の中村正久教授との共同研究により進めている。その研究の成果から、以下のことがわかった。副甲状腺ホルモンはヒトと同様にまず骨芽細胞を活性化し、次いで破骨細胞を活性化して骨吸収を行うことを *in vitro* 及び *in vivo* でも証明した。さらに骨芽細胞で発現しているリガンドである Receptor Activator of NF- κ B Ligand (RANKL) と破骨細胞にあるレセプターである Receptor Activator of NF- κ B (RANK) の mRNA 発現も副甲状腺ホルモンにより上昇することが判明した。これらの成果は、日本宇宙生物科学会及び宇宙利用シンポジウムで発表した。

また、科学研究費の助成を受け、超音波の音圧による機械的刺激に対する応答を解析した。ヒトの骨折の治療に使用されている超音波治療機器 (SAFHS: Sonic Accelerated Fracture Healing System) の骨に対する作用をゼブラフィッシュのウロコを材料として用いて解析した。その結果、破骨細胞の活性が低下し、骨芽細胞の活性が上昇した。さらに本年度は、富山大学生命科学先端研究センター遺伝子実験施設の田淵圭章准教授と高碕一朗助教との共同研究によりリアルタイム PCR を用いた解析を行った。その結果、破骨細胞のマーカーであるカテプシンKの発現が低下して、骨芽細胞のマーカーであるオステオカルシンの発現が上昇することが判明した。超音波は骨の内部には浸透せず、骨の表面に作用する。骨折した骨の表面に超音波が作用するため、骨折にはその治癒効果が認められる。ウロコの骨芽細胞と破骨細胞は表面に存在することから、ウロコは超音波に対する骨の影響を解析する非常によいモデルである。ウロコという骨のモデルを用いて、超音波の骨形成作用の詳細な機構を GeneChip により解析する予定である。

3) 海洋汚染に関する研究

金沢大学医薬保健研究域薬学系の早川和一教授との共同研究により、多環芳香族炭化水素類 (PAH) の内分泌攪乱作用を調べている。多環芳香族炭化水素 (PAH) 類は化石燃料の燃焼に伴って生成して大気中に放出される非意図的生成化学物質の一つであり、その中にはベンゾ[a]ピレンのように発癌性/変異原性を有するものが多い。また、PAH 類は原油にも含まれており、1997 年 1 月に日本海で発生したロシア船籍タンカーナホトカ号の重油流出事故では、流出した大量の重油による海洋生態系への影響が危惧された。しかし、重油残留海域で採集した魚類に癌が見出された報告はこれまでなく、重油汚染海水で孵化した稚魚に脊柱彎曲が観察されている。したがって、魚類に及ぼす重油の影響は発癌ではなく、骨代謝異常であることを強く示唆しているが、その発症機序は不明のままである。そこで、ウロコを用いて PAH 類の骨に対する作用を解析した。ウロコの *in vitro* の培養系で解析した結果、水酸化 PAH (P450 により代謝された PAH の代謝産物) の内分泌攪乱作用が、PAH 自体よりも強いことが示唆された (Life Sci., 2009)。現在、富山大学遺伝子実験施設の田淵圭章准教授と高碕一朗助教との共同研究により、GeneChip 解析を行い、詳細な機構を解析中である。これらの成果は、Busan

Symposium in Pukyong National University 及び JENESYS-POMRAC-Kanazawa University Joint Symposium 2009 で発表（招待講演）した。

トリブチルスズ（TBT）は、船・漁網に対する貝類や海藻類の付着を防ぐために日本でも大量に使用されてきた物質であり、主に防汚剤として船底塗料に入れて使われてきた。多量に使用していたときに海底に堆積した TBT が徐々に溶出しているという例が日本でも報告されており、日本近海においても TBT により確実に汚染されている。最近、九州大学大学院農学研究院大嶋雄治准教授らは、TBT 結合タンパク質が魚類の体内に存在することを明らかにした。*in vitro* の系（例えば、ウロコの培養系）では、TBT は骨芽細胞の活性を抑制し、骨代謝異常を引き起こす。しかし、*in vivo* で実験すると TBT の作用は弱まる。おそらく、*in vivo* では TBT 結合タンパク質が TBT と結合して、TBT の解毒に関与している可能性が高い。そこで、TBT と TBT 結合タンパク質を共に培地に入れて、TBT の骨芽細胞の活性抑制作用がレスキューされるかを調べた。その結果、TBT 結合タンパク質を培地に入れると、TBT の作用が軽減され、骨芽細胞の抑制作用が見られなかった。これらの成果は、日本水産学会秋季大会や日本環境毒性学会で発表した。

【陸上生物多様性分野】

陸上生物多様性部門では陸上生物の群集構造や種分化や形質進化に関する研究を行っている。これらの研究では生態学および遺伝学的な手法が用いられている。野調査は角間キャンパス里山地区や能登から東南アジア、オセアニアまで至る。

1) テンナンショウ属植物（サトイモ科）の性転換モデルの検証

金沢市のマムシグサ集団から DNA を抽出し、マイクロサテライト領域を用いて種子の花粉親を決定している。繁殖成功が個体サイズの関係が雄個体と雌個体で異なっている状況下で性転換が進化するという Size Advantage 仮説の検証を行っている。長野県の集団の性転換サイズはこの仮説の下で予想されるサイズとほぼ一致した。金沢のマムシグサ集団の性転換サイズは長野県の集団とは異なる。金沢の性転換サイズを計算するためには、個体サイズと繁殖成功の関係を知ることが必要である。雌の繁殖成功は果実数を繁殖成功とすることができるため、サイズと繁殖成功の関係は容易にわかる。雄の場合、できた種子の花粉親を決定し、それを基に繁殖成功とサイズとを構築する必要がある。異なる集団に見られる性転換サイズの違いを Size Advantage 仮説で説明できれば、この仮説はほぼ検証されたことになる。これは西沢徹氏（国立環境研究所生態遺伝部門）との共同研究である。

2) 雑種起源種トウカイコモウセンゴケの生活史の比較研究

異質倍数体起源種とその両親種の生活史の比較を行い、異質倍数体種の確立と新しい環境に対する適応や定着に関する研究を行っている。対象はとその両親種である。2009年1月8日から1月22日までオーストラリアでコモウセンゴケの現地調査を行った。コモウセンゴケはトウカイコモウセンゴケの片親と見なされている種である。これは中野真理子氏（石川県自然史資料館）と植田邦彦氏（金沢大学大学院自然科学研究科）との共同研究である。

3) 自家不和合性の崩壊過程の進化モデルの構築

ミヤマガマズミとコバノガマズミを用いて、繁殖様式の進化に関する研究を行っている。ミヤマガマズミとコバノガマズミは近縁種で里山地区でも同所的に生育している。ミヤマガマズミは自家不和合性であるが、コバノガマズミは自家不和合性が崩壊して自家和合性になりつつあることを見つけた。一般に自家不和合性は近交弱勢 $\delta > 1/2$ の時維持されるが、 $\delta > 1/2$ の時でもある状況下では自家和合性の個体が侵入できることが進化モデルから予想されている。コバノガマズミの場合であることがわ

かってきた。 $\delta > 1/2$ でも自家和合性の個体が侵入、自家不和合性の崩壊を生じさせる生態的条件に関する数理モデルの構築とその検証を現在行っている。

4) 雑種起源種オオミズヒキモとその両親種の繁殖と分散に関する研究

オオミズヒキモは栄養繁殖をおこなうため、交雑個体が不稔であっても大きなクローン集団を形成し維持することが可能である。3種が栄養繁殖によって河川の中でどのように分布しているのかを解明するために、個体を識別できる分子マーカーが必要である。マイクロサテライトは個体の認識が可能な解像力を持つ遺伝マーカーである。現在オオミズヒキモの個体識別用のマイクロサテライトマーカーを開発している。この研究は中嶋信美・西沢徹氏（国立環境研究所生態遺伝部門）との共同研究でもある。

5) 能登地域における水田畦畔植物の種多様性とその地域間比較

能登地域の農村域で水田畦畔植物相を調査し、それらの地域間比較および人為的攪乱がそれらに及ぼす影響評価を行っている。17カ所の農村域に設けた53調査地点において、計64科251種の水田畦畔植物が記録された。53地点の種組成は農村域ごとにまとまる傾向がみられた。能登の小地域ごとに農法や圃場整備の経歴は比較的似ているため、人間活動によって引き起こされる攪乱の強度は地域（農村域）内では似ていることが予想される。しかしながら、能登町波並、輪島市金蔵、羽咋町神子原などは域内で種組成の違いが大きく、その結果、他の調査地との種組成の違いがはっきりしない傾向もみられた。今後は管理手法や圃場整備経歴などを地点ごとに精査し、地域間地域内の種多様性パターンとそれらを生み出しうる要因群との関係性を明らかにしていく。

6) 熱帯山地林における *Medinilla* 属 8 種の開花・結実の季節性

1996年から2001年にかけてマレーシア・サバ州キナバル山の熱帯山地林で行った生物季節学的研究の一部に関してとりまとめを進めた。湿潤熱帯では気候の季節変化が乏しいにもかかわらず、そこに生育する植物の多くはその繁殖活動に明瞭な季節性を示す。本研究では、ノボタン科の *Medinilla* 属 8種の繁殖時期および繁殖トリガーを明らかにするため、開花・結実と気温、降水量、日照量との季節的対応について調べた。本研究の内容は、第57回日本生態学学会（2009、盛岡）で発表し、日本生態学会誌の *Tropics* に掲載されている。

7) 林内低木種ヒサカキの成長・繁殖に関する生態学的研究

林内低木種ヒサカキの成長・繁殖に関する研究を行っている。二次林低木層を優占するヒサカキの成長戦略と繁殖戦略を解明するために、個体ごとの繁殖形質（花・果実サイズ、開花・結実サイズ、フェノロジー等）、繁殖成功に影響する内外的要因（個体サイズ、枝伸長量、葉数、日照条件、送粉者、種子散布者など）と繁殖成功度（結果率、果実被害率、果実消費率、散布種子数など）の関係を明らかにする。2009年度は、調査地の選定、調査個体（100個体）のマーキング、開花数の予備調査を行った。

8) 林床植物チゴユリの繁殖戦略に関する生態学的研究

林床植物チゴユリの繁殖戦略の解明をめざした調査を行っている。チゴユリの繁殖活動には種子繁殖と、匍匐枝をのばして分布を広げる栄養繁殖がみられる。チゴユリは外的要因（送粉者、物理的環境など）の状況に応じた繁殖戦略を採っていると推測される。さらにチゴユリは光が乏しい条件下に生育するために光合成が制限され、成長と繁殖のあいだに物質投資のトレードオフがあると推測される。摘葉や摘花を行って投資先を操作し、チゴユリの種子繁殖、栄養繁殖、成長のあいだ投資配分の関係を明らかにする。

生体機能計測研究部門

【生物機能材料分野】

生物が有する優れた分子認識能や触媒機能を、ナノレベルでの解析、遺伝子操作などの手法を駆使することにより、工学的観点から活用する。これから得られる基盤技術を先端医療技術、環境浄化技術、および遺伝子組換え微生物の開発研究などへ応用することにより、地球環境の保全や人類の健康維持に貢献することを目指している。具体的には以下のような研究テーマについて研究を行っている。

1) 二酸化チタン・超音波触媒法による有害化学物質の分解処理

近年、二酸化チタンは紫外線などを照射することでラジカル（活性酸素種）を生成する事が明らかになっている。このラジカルは水溶液中に非常に短い時間しか存在しないが、その反応性は極めて高く様々な化学物質と反応することが確認されている。本研究室ではこの二酸化チタンの能力に着目し、河川中などに存在する有害化学物質（例えば環境ホルモンや農薬）を無害な物質に分解する技術に関しての基礎研究を行っている。具体的には二酸化チタンの表面に様々な生体分子（DNA、レセプター、抗体など）を修飾結合させ、河川中の有害化学物質の選択的吸着、さらに超音波照射による分解に関しての研究を行っている。

2) 標的化ナノテクノロジーと超音波技術を融合した新規がん治療

本研究は、二酸化チタン（光触媒）に超音波を照射した時生成する高濃度のOHラジカルを新規のがん治療に応用することを目的とする。がん細胞を特異的に認識するタンパク質もしくはDNA分子を修飾した二酸化チタンナノ粒子を作製し、その結合および細胞内取り込みを解析する。また超音波照射によって誘起される細胞死を解析する。

3) 超音波刺激応答性ナノキャリアによるピンポイント抗がん剤投与システムの開発

本研究目的は「抗がん剤を必要な量を必要な時期に必要な場所へ送達する」次世代型の新規薬物送達システム(DDS)のプラットフォーム技術を構築することにある。このため目的抗がん剤の運搬担体として、超音波刺激に応答するナノサイズ(50~100 nm)のリポソームを作製する。リポソーム表面にはがん細胞を特異的に認識するタンパク質あるいは抗体などを化学的に修飾することでがん組織に特異的に集積させる。さらに超音波照射による表面修飾温度感受性ポリマーの相転移によりリポソームの内容物を放出させる。

4) がん細胞を特異的に認識する機能性DNA分子（アプタマー）の探索

通常、生体内のDNAは2重螺旋構造をしている。しかし、本研究では、様々な構造を取り、生体分子に対して親和性を持つ一本鎖のDNA分子（DNAアプタマー）を設計し利用することを目的とする。本研究では、分子進化工学的手法によって、がん細胞を特異的に認識するDNAアプタマーを探索し、さらに取得されたDNAアプタマーのがん細胞に対する結合能力を評価する。

5) 嫌気性細菌をがん組織探索マイクロマシンとして用いるがん治療システムの開発

固形がん組織は極めて低酸素な状態であることから、本研究では、嫌気性細菌をがん組織探索マシンとした新規がん治療用ドラッグデリバリーシステムの構築を目的とする。ビフィズス菌や乳酸菌の「嫌気性」や「自己複製能」を利用することで、遺伝子組換え菌体表層に発現させた抗がん性タンパク質をがん組織へ「特異的」かつ「高濃度」で送達・集積させる。

6) 木質系バイオマスの効率的利用を目指した超音波とイオン液体による前処理

木質系バイオマスをバイオエタノールなどに変換する際に問題となるのが、セルロースを覆っている難分解性物質リグニンとセルロースの結晶構造である。従来の物理化学的な方法に変わる低環境負

荷型のリグノセルロース前処理法の開発を目的として、TiO₂と超音波により発生するラジカルとセルロースの結晶構造を緩める効果のあるイオン液体を組み合わせた方法を検討している。

【電磁環境分野】

電磁環境分野の研究は、「磁界」をキーワードに産業機器保全、バイオ関連検査機器、磁気アクチュエータ、パワーマグネティックデバイス等の研究開発である。また、ヒト周りの電磁界環境の把握と電磁界のもとでの生体影響評価、分子生物学から遺伝子発現機構の解明とその応用について並行して研究を行っている。

具体的に研究項目を挙げると下記のようなになる。

- 1) マイクロウズ電流探傷技術による高密度プリント基板検査への研究開発
- 2) 針形状マイクロ磁気プローブのがん温熱療法の磁性微粒子の濃度の検出
- 3) 針形状マイクロ磁気プローブの神経信号の検出
- 4) 針形状マイクロ磁気プローブの非破壊検査への応用
- 5) 受動磁気回路素子による交流電流抑制素子の研究開発
- 6) 超磁歪アクチュエータのパルスパワーによる殺菌・ウイルス不活性化への応用
- 7) 誘導加熱形ハイパーサーミア治療法における効果的加温システムの研究
- 8) 骨形成における交流磁界曝露効果に関する研究
- 9) 交流磁界による抗がん剤作用の増強効果に関する研究

下記において主な項目について概要を説明する。

1) マイクロウズ電流探傷技術による高密度プリント基板検査への研究

本研究は、うず電流探傷技術に関し高機能磁気センサを採用したアレイ形のマイクロ化プレーナプローブを研究開発し、電子産業分野における渦電流探傷技術について研究を行った。この研究により、非接触の導通検査であるうず電流探傷技術を高密度プリント基板の品質検査技術へと発展させた。現在、100 μ m以下の先端的電子技術での高密度基板上の断線等の欠陥を磁氣的検出可能である。この技術は、プリント基板の検査のみではなく、微細な欠陥が問題になるIC用の半導体基板、軸受などの超精密産業部品等の検査への適用が可能である。

2) 針形状マイクロ磁気プローブのがん温熱療法の磁性微粒子の濃度の検出

針形状マイクロ磁気プローブは、セラミック材の針先にスピンバルブ形磁気抵抗効果素子（磁気センサ）をつけた極細の磁界計測プローブである。形状は、長さ20mm、幅250 μ mのセラミック針であり、75 μ m*7 μ mの大きさの磁気センサを先端に、また温度特性を改善するために針元に同じセンサ3個を配置しホイーストブリッジの構成としている。

磁性微粒子の誘導発熱を利用する癌の誘導加温システムでは、加温温度の制御のため磁性微粒子を体内に注入し、外部磁界を印加し発熱源となる。発熱体の熱量、温度などを制御するため、磁性微粒子の体内への注入後、磁性微粒子の濃度、分布を検出する必要がある、さらに治癒後の体内に残留している磁性微粒子の評価が必要とされる。

体内で磁性粒子を検出する方法として、一様な外部磁界下の磁性粒子を含む体積内の磁界の変化を検出することで推定できることが明らかにした。このため、超小形、高感度センサの磁気抵抗効果センサを針状構造にした低侵襲の磁界プローブを作成し、体積内の磁性粒子の濃度の推定を行った。実験結果によれば、理論的に推定したとおり濃度と検出磁界とが比例することを見出し、磁性粒子の濃度

0.03%までの推定が可能であった。

3) 超磁歪アクチュエータのパルスパワーによる殺菌・ウイルス不活性化への応用

液体を微小時間内に断熱圧縮・膨張させると、無数の小さな気泡が発生、崩壊する。この現象をキャビテーションとよばれ、大きなパルスパワーを発生する。このパワーを細菌やウイルスの殺菌に用いる。本研究は、キャビテーションを発生するために超磁歪アクチュエータとピストンシリンダーの発生装置を検討するとともに、細菌（大腸菌）ならびにウイルス（ラムダファージ）の殺菌、不活性化の作用を固体からDNAレベルにわたり検討した。

本研究では、キャビテーション発生装置の等価回路作成、ピストン駆動時周波数特性測定、駆動時間・振動周波数変化によるウイルス不活性化実験を行い、キャビテーション発生装置の周波数特性とその効果に対する検討を行った。

その結果、ウイルス不活性化実験において、キャビテーション発生装置の駆動時間に比例してウイルス存在数が減少し、約60分間の駆動によりほぼ完全にウイルスを不活性化できた。キャビテーション発生装置の水質浄化への有効性が示された。ここで、キャビテーション発生装置の駆動周波数を上げることでウイルスの不活性化がより顕著になったが、これは振動周波数が大きくなるほど単位時間当たりに発生するキャビテーションの発生頻度が増し、パルスパワーによる影響がより顕著に見られるようになったためであると考えられる。また、大腸菌を用いた実験からも効果的に殺菌ができることが明らかになった。これらのことから、薬品を用いない超磁歪アクチュエータのパルスパワーによる殺菌・ウイルス不活性化が可能であることを明らかにした。

4) 誘導加熱形ハイパーサーミア治療法における効果的加温システムの研究

誘導加熱形ハイパーサーミア治療法は、磁性微粒子の誘導発熱を利用する癌の治療システムである。加温温度の制御のため磁性微粒子を体内に注入した後、外部から周波数 $f = 150$ kHz、磁界強度 $B = 10\text{-}30$ mT を対外から印加することにより、磁性流体が注入された部分のみ加温する癌の標的療法である。研究では、前記の①加熱源の磁性微粒子の濃度、位置などの制御があり、さらに②磁性粒子に印加する高周波の高磁界の発生法がある。後者について、対外に置いたパンケーキコイル（アプリケーション）の形状、励磁するコイル電源（励磁電流 数百 A、電圧 数千 V）について検討した。コイル形状について、体深部の位置（コイルから距離 $d = 15\text{-}20$ cm）での磁束密度を高くするため、磁束収束形のコイルを検討した。

5) 交流磁界による抗がん剤作用の増強効果に関する研究

本研究は、交流磁界による抗がん剤作用の増強について、効果的な交流磁界条件や抗がん剤の種類、磁界の作用メカニズムについて検討している。固形がんの治療において、交流磁界を局所的に患部に曝すことで薬の作用を増強し抗がん効果を得られれば、薬量を減らし、副作用を軽減する効果的な治療法が確立できる可能性があり、医療応用を目指して検討している。

【力学環境分野】

力学環境分野では「骨」を研究対象として、力学刺激に対する生体組織または再生組織の形成・修復反応に関する研究を行っている。また、力学環境への組織や細胞の反応を光により非破壊的に計測する技術の開発研究を並行して行っている。最終的には、以上より得られた成果を骨粗鬆症予防や骨再生医療へ応用することを目指している。主な研究課題の概要は下記の通りである。

1) 力学刺激による組織形成促進に関する研究

骨粗鬆症予防には運動による骨への力学刺激が有用であるが、運動が困難な方々が多くいることも現状である。そこで、筋への電気刺激により生じる筋収縮力で骨をひずませ、これにより実際に運動をすることなしに骨を力学的に刺激する方法を提案した。これまで、後肢懸垂ラットに対し本法を適用し、後肢懸垂により引き起こされる骨量減少が本法により抑制され得ることを動物実験により確認してきた。現在、刺激直後に発現される骨形成関連タンパクの発現を RT-PCR 法を用いて調べることで同法の骨形成効果をより高める刺激波形の探索を行っている。

2) 力学刺激による組織再生促進に関する研究

液体成分を含む多孔質体である生体組織は、動的な力学的負荷により内部に繰り返しの液体の流動が生じる。骨組織においては、このひずみ誘導型液体流動刺激により骨の細胞が刺激され適応反応を起こすことが知られている。本研究室では、培養再生骨の石灰化を促すための手段としてひずみ誘導型液体流動を利用することに着目し、実際に同力学刺激が培養再生骨の石灰化を促進することを長期培養実験により確認している。現在、刺激直後に観察される細胞内 Ca^{2+} 応答を調べることで再生骨内骨芽細胞の力学刺激への感受性における周波数依存性を調べている。

3) 光を用いた非破壊的生体情報計測法の開発

光を利用した新たな生体計測装置の開発を行っている。例えば、近赤外光 LED を利用することにより、骨粗鬆症や宇宙滞在により減少する骨組織の密度を非破壊的に調べる方法の開発や力学刺激に対する培養再生骨の石灰化促進反応を非破壊的にモニタリングするための装置を開発している。また、 Ca^{2+} 感受性蛍光プローブと LED 光源を利用することにより、刺激に対する細胞内 Ca^{2+} 濃度変化を顕微鏡の使用なしに観察することのできる小型光学装置を開発した。現在、同装置を用いて骨芽細胞の力学刺激感受性の周波数依存性を調べている。

4. 研究成果リスト

地球環境計測研究部門

1 学術論文

- (1) Kashiwaya, K., Ochiai, S., Sakai, H. et al., Climato-hydrological fluctuations recorded in long lacustrine records in Lake Hövsgöl, Mongolia, Quaternary International, 2010, in press
- (2) Nahm WH, Lee GH, Yang DY, Kim JY, Kashiwaya K., Yamamoto M., Sakaguchi A., A 60-year record of rainfall from the sediments of Jinheung Pond, Jeongeup, Korea. Journal of Paleolimnology, 2010, in press.
- (3) HDP Members (Kuzmin, I., Kashiwaya, K., Kim, JY et al.), Sedimentary record from Lake Hovsgol, NW Mongolia: Results from the HDP-04 and HDP-06 drill cores, Quaternary International, 205, 21-37, 2009.
- (4) Shichi, K., H. Takahara, K. Kashiwaya et al., Late Pleistocene and Holocene vegetation and climate records from Lake Kotokel, central Baikal, Quaternary International, 205, 98-110, 2009.
- (5) Sakaguchi, A., M. Yamamoto, K. Kashiwaya et al., Uranium-series chronology for sediments of Lake Hovsgol, Mongolia, and the 1-Ma records of Uranium and Thorium isotopes from the HDP-04 drill core, Quaternary International, 205, 65-73, 2009.
- (6) Tamamura, S., T. Sato, K. Kashiwaya et al., Seasonal Deposition Fluxes of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Lake Biwa, Japan, Water, Air, and Soil Pollution, 198, 297-306, 2009.
- (7) Ito, K., N. Hasebe, R. Sumita, S. Arai, M. Yamamoto, K. Kashiwaya, Y. Ganzawa, LA-ICP-MS analysis of pressed powder pellets to luminescence geochronology, Chemical Geology, 262, 131-137, 2009.
- (8) Kashiwaya, K., Slaymaker, O. and Church, M., Lakes and lake-catchments, In: Slaymaker, O. Spencer, T.

and Embleton-Hamann, C. (eds), *Geomorphology and Global Environmental Change*, Cambridge Univ. Press, 71-97. 2009

- (9) 末岡 茂・田上高広・堤 浩之・長谷部徳子・田村明弘・荒井章司・山田隆二・松田達生・小村健太郎, フィッション・トラック熱年代に基づいた六甲地域の冷却・削剥史, 地学雑誌 119, 84-101, 2010
- (10) Noriko Hasebe, Andrew Carter, Anthony J. Hurford and Shoji Arai, The effect of chemical etching on LA-ICP-MS analysis in determining uranium concentration for fission-track chronometry. *Geological Society Special Publication "Thermochronological methods: from palaeotemperature constraints to landscape evolution models"* 324, 37-46, 2009
- (11) 荒田孔明・長谷部徳子・荒井章司, 年代学的手法による四万十帯の付加プロセスの推定, フィッショントラックニュースレター, 22, 26-28, 2009
- (12) 郁芳隨徹・長谷部徳子・山田国見・田上高広・渡邊裕美子・山田隆二・荒井章司, 熱年代学的手法を用いた茂住祐延断層付近の岩石の熱史の分析, フィッショントラックニュースレター, 22, 29-30, 2009
- (13) Sherif Mansour, Noriko Hasebe and Shoji Arai, Apatite fission-track and zircon U-Pb LA-ICP-MS dating of Abu Zenima area West-Central Sinai, Egypt, フィッショントラックニュースレター, 22, 31-32, 2009
- (14) 末岡茂・堤浩之・田上高広・長谷部徳子・山田国見・田村明弘・荒井章司, 熱年代学的手法に基づく木曾山脈の冷却・削剥史 (予報), フィッショントラックニュースレター, 22, 33-36, 2009
- (15) 伊藤一充・長谷部徳子・住田亮輔・荒井章司・山本政儀・柏谷健二・贇沢好博, 粉末圧縮ペレットを用いた放射性同位体濃度見積もりのための新たな試み, フィッショントラックニュースレター, 22, 37-39, 2009
- (16) 宮本 光・長谷部徳子・東野外志男・荒井章司, 白山火山噴出物中のジルコンを用いた U-Th 放射非平衡年代測定, フィッショントラックニュースレター, 22, 43-45, 2009
- (17) 稲垣亜矢子・伊藤一充・遠藤徳孝・長谷部徳子, 湖沼堆積物特性分析への熱ルミネセンスカラー画像解析の有効性の検証, フィッショントラックニュースレター, 22, 51-52, 2009
- (18) 山田浩史・長谷部徳子・福士圭介, ベントナイトの変質年代と温度決定の試み, フィッショントラックニュースレター, 22, 62-63, 2009
- (19) 伊藤健太郎・遠藤徳孝・長谷部徳子, C#プログラミングによる火山ガラス中の自発フィッショントラックの計測, フィッショントラックニュースレター, 22, 69-71, 2009
- (20) 長谷部徳子・市山祐司・田村明弘, 岩石薄片のアパタイト FT 年代測定, フィッショントラックニュースレター, 22, 72, 2009
- (21) 下岡順直, 福岡 孝, 長谷川 歩, 草野高志, 長友恒人: 三瓶火山噴出物の熱ルミネセンス (TL) 年代測定, 島根県立三瓶自然館研究報告, 7, 15-24, 2009
- (22) 七山 太, 長友恒人, 下岡順直, 須崎憲一, 古川竜太, 重野聖之, 石井正之, 猪熊樹人, 北沢俊幸, 中川 充: ルミネセンス法を用いた津波堆積物の年代測定の試み: 北海道東部, 根室沿岸低地の試料を例として, 地質学雑誌, 115-6, 249-260, 2009
- (23) 下岡順直, 長友恒人, 小畑直也: 熱ルミネセンス法による御岳第一テフラ (On-Pm1) 噴出年代の推定, 第四紀研究, 48-4, 295-300, 2009
- (24) Nagatomo, T., Shitaoka, Y., Namioka, H., Sagawa, M. and Wei, Q.: OSL Dating of the Strata at Paleolithic Sites in the Nihewan Basin, China. *ACTA ANTHROPOLOGICA SINICA (人類学学報)*, 28-3,

276-284, 2009

- (25) 下岡順直, 長友恒人: 光ルミネッセンス法による忠類晩成地点における堆積物の年代推定, 化石研究会誌特別号第4号, 43-46, 印刷中
- (26) Shitaoka, Y., Nagatomo, T. and Obata, N.: Dose dependence and palaeodose estimation for IRSL of feldspar and Chinese loess with different wave ranges using an automated TL/OSL system with four optical paths, International workshop on low-level measurement of radionuclides and its application to earth and environmental science, in press
- (27) Nagata, T., Fukushi, K. and Takahashi Y., Prediction of iodide adsorption on oxides by surface complexation modeling with spectroscopic confirmation. *Journal of Colloid and Interface Science*, 332, pp. 309-316, 2009
- (28) Kanematsu M., Young T., Fukushi K., Green P., and Darby J., Extended Triple Layer Modeling of Arsenate and Phosphate Adsorption on A Goethite-based Gracular Porous Adsorbent. *Environmental Science and Technology*, in press
- (29) Abe, T., Kosako, T., Komura, K.: Relationship between variations of ^7Be , ^{210}Pb and ^{212}Pb concentrations and sub-regional atmospheric transport: Simultaneous observation at distant locations. *J. Environ. Radioactivity*, 101, 113-121 (2010)
- (30) Aoyama, M., Y. Hamajima, M. Fukasawa, T. Kawano and S. Watanabe: Ultra low level deep water ^{137}Cs activity in the South Pacific Ocean, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 282, 781-785 (2009)
- (31) T. Aramaki, S. Nagao, Y. Nakamura, M. Uchida, Y. Shibata: Effects of rainfall on carbon isotopes of POC in the Teshio River, northern Japan. *Radiocarbon* (in press)
- (32) N. Fujitake, H. Kodama, S. Nagao, K. Tsuda, K. Yonebayashi: Chemical properties of aquatic fulvic acids isolated from Lake Biwa, a clear water system in Japan. *Humic Substances Reseach*, 5/6, 45-53 (2009)
- (33) M. Fukushima, S. Shigematsu, S. Nagao: Advanced oxidation technologies in decontamination of solid matrices. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 44, 1088-1097 (2009)
- (34) M. Fukushima, S. Shigematsu, S. Nagao: Influence of humic acid type on the oxidation products of pentachlorophenol using hubird catalyts prepared by introducing iron(III)-5,10,15,20-tetrakis(p-hydroxyphenyl)porphurin into hydroquinone-derived humic acids. *Chemosphere* (in press)
- (35) M. Fukushima, S. Shigematsu, S. Nagao: Degradation of pentachlorophenol in a contaminated soil suspension using hubird catalysts via ureaformaldehyde polycondensation between iron(III)-tetrakis(p-hydroxyphenyl)prophyrin and humic acid. *Environmental Chemistry Letters* (in press)
- (36) Inoue, M., Nakamura, N. and Kimura, M.: Tetrad effects in REE abundance patterns of chondrules from CM meteorites: Implications for aqueous alteration on the CM parent asteroid. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 73, 5224-5239 (2009)
- (37) Inoue, M., Nakano, Y., Yoshida, K., Yoko Kiyomoto, Y., Kofuji, H., Hamajima, Y. and Yamamoto, M.: Seasonal variation of $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ ratio in surface water from the East China Sea and the Tsushima Strait. *J. Oceanogr.* 66, 425-428
- (38) K. Ito, N. Hasebe, R. Sumita, A. Arai, M. Yamamoto, K. Kashiwaya, Y. Ganzawa: LA-ICP-MS analysis of

- pressed powder pellets to luminescence geochronology, *Chem. Geology*, 262, 131-137 (2009)
- (39) M. Kawahigashi, S. Nagao, M. Yoh, T. Onishi, C. Guangyu, C. Xin, V. Shamov, S. Levshina, A. Prokushkin, H. Sumida: Influence of land-use and land cover changes on iron oxides in boreal soils. *Proceedings of IGU/LUCC North East Asia Conference on 2009*, pp.59-62 (2009)
- (40) T. Matsunaga, S. Nagao: Environmental behavior of plutonium isotopes studied in the area affected by the Chernobyl accident. *Humic Substances Research* 5/6, 19-33 (2009)
- (41) S. Nagao, T. Irino, T. Aramaki, K. Ikehara, H. Katayama, S. Otsuka, M. Uchida, Y. Shibata: Spatial distribution of $\Delta^{14}\text{C}$ values of organic matter in surface sediments off Saru River in northern Japan, one year after a flood event in 2006. *Radiocarbon* (in press)
- (42) S. Nagao, T. Aramaki, O. Seki, M. Uchida, Y. Shibata: Carbon isotopes and lignin composition of POC in a small river in Bekanbeushi Moor, northern Japan. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 268, 1098-1101 (2010)
- (43) S. Nagao, Y. Sakamoto, T. Tanaka, R. R. Rao: Effects of groundwater humic substances on sorption of Np (V) sandy materials. *Humic Substances Research*, 5/6, 9-17 (2009)
- (44) (16) S. Nagao, M. Aoyama, A. Watanabe, T. Tanaka: Complexation of Am with size-fractionate soil humic acids. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 347, 239-244 (2009)
- (45) S. Nagao, T. Suzuki, M. Kawahigashi, H. Kodama, T. Onishi, Y. Muneoki, T. Shiraiwa, V. P. Shesterkin, V. I. Kim, S. I. Levshina, A. N. Makhinov, B. Yan, B. Zhang: Characteristics of fluorescent dissolved organic matter in the middle and lower Amur River. *Proceedings of IGU/LUCC North East Asia Conference on 2009*, pp.107-111 (2009)
- (46) 長尾誠也、関陽児、渡部芳夫：新第三系ウラン鉱微地における地下水溶存有機物の蛍光特性. *原子力バックエンド研究*, 15, 69-76 (2009)
- (47) 長尾誠也、岩月輝希、濱克宏：岐阜県東濃地域の地下水から分離精製した溶存腐植物質の特性. *原子力バックエンド研究*, 15, 77-86 (2009)
- (48) W. H. Nahm, G. H. Lee, D. Y. Yang, Ju. Y. Kim, K. Kashiwaya, M. Yamamoto, A. Sakaguchi: A 60-year record of rainfall from the sediments of Jinheung pond, Jeongeup, Korea, *J. Paleolimnol.*, available by website (2009)
- (49) T. Onishi, M. Yoh, H. Shibata, S. Nagao, M. Kawahigashi, V. V. Shamov: Numerical experiment of land cover conversion effect on dissolved iron productivity of the Amur River Basin. *Proceedings of IGU/LUCC North East Asia Conference on 2009*, pp.118-123 (2009)
- A. Sakaguchi, K. Kawai, P. Steier, F. Quinto, K. Mino, J. Tomita, M. Hoshi, N. Whitehead, M. Yamamoto: First results of ^{236}U levels in global fallout, *Sci. Tot. Environ*, 407, 4238-4242 (2009)
- B. Sakaguchi, M. Yamamoto, J. Tomita, K. Mino, K. Sasaki, K. Kashiwaya, K. Kawai: Uranium-series chronology for sediments of Lake Hovsgol, Mongolia, and the 1-MA records of uranium and thorium isotopes from the HDP-04 drill core, *Quaternary International*, 205, 65-73 (2009)
- (50) M. Suksomjit, S. Nagao, K. Ichimi, T. Yamada, K. Tada: Variation of dissolved organic matter and fluorescence characteristics before, during and after phytoplankton bloom. *Journal of Oceanography*, 65, 835-846 (2009)
- (51) 富田純平、佐竹 洋、佐々木圭一、坂口 綾、井上睦夫、浜島靖典、山本政儀：大深度掘削井から得られた Na-Cl 型温鉱泉水中のラジウム(Ra)同位体-石川県沿岸地域, *温泉科学* (J. Hot. Spring.

Sci.) 58, 241-255 (2009)

- (52) J. Tomita, H. Satake, T. Fukuyama, K. Sasaki, A. Sakaguchi, M. Yamamoto: Radium geochemistry in Na-Cl type groundwaters in Niigata Prefecture, Japan, *J. Environ. Radioactivity*, 101, 201-210 (2010)
- (53) M. Yamamoto, A. Sakaguchi, H. Kofuji: Uranium in acidic mine drainage at the former Ogoya Mine in Ishikawa Prefecture of Japan, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 283, 699-705 (2010)
- (54) M. Yamamoto, A. Sakaguchi, T. Imanaka, K. Shiraishi: Measurements of ^{210}Po and ^{210}Pb in total diet samples: estimate of dietary intakes of ^{210}Po and ^{210}Pb for Japanese, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 279, 93-103 (2009)

2 総説・資料・報告書

- (1) 柏谷健二、東アジアの湖沼一流域系における地表プロセスと環境変動、学術の動向、2月号、10-17、2010
- (2) 長谷部徳子、地表プロセスと環境変動を測る時間軸の設定、学術の動向 2010年2月号、63-67、2010
- (3) 奥村 輔、下岡順直、ルミネッセンス年代測定を開始するために-日本における年代研究の現状を中心として-、地質技術、2、印刷中
- (4) 福士圭介、水-鉱物相互作用の素過程としてみた吸着反応、粘土科学, 48, pp. 82-91, 2009
- (5) 福士圭介、粘土ハンドブック第三版、日本粘土学会編 (分担執筆)、技報堂出版, 2009
- (6) 福士圭介、鉱物による無機陰イオン種の吸着に関する研究、岩石鉱物科学, 39, pp. 19-25, 2010
- (7) 福士圭介、鉄-ベントナイト相互作用のナチュラルアナログ研究、放射性廃棄物重要基礎技術研究調査報告書、財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター、2009
- (8) Abe, T., Kosako, T. and Komura, K. (2010) Highly time-resolved observations of airborne radionuclides by extremely low background γ -ray spectrometry. In *Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences* pp206-213
- (9) Aoyama, M. and Hamajima, Y. (2010) Cesium-137 in deep water in the Pacific Ocean. In *Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences* pp9-13
- (10) Fukuyama, T., Inoue, M., Yamamoto, M., Onda, Y. and Nakashima, T. (2010) In-situ and laboratory distribution coefficient of Beryllium-7 in overland flow on a forested hillslope. In *Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences* pp152-157
- (11) 浜島靖典、長村雄一郎：市販データベースソフトと LAN を用いた放射線施設管理.第 46 回アイソトープ・放射線研究発表会、東京 (2009.7)
- (12) 浜島靖典：物質中の環境中性子深度分布とエネルギー分布 - 尾小屋地下実験室での微弱放射能測定 - .日本地球化学会年会、広島 (2009.9)
- (13) 小島貞男、有信哲哉、小須田誓、濱島靖典、山本政儀、斎藤直：極低レベル放射能測定による旧ソ連地下核実験場土壌中の ^{208}Bi 測定の試み. 第 53 回放射化学討論会、東京 (2009.9)
- (14) 浜島靖典：微弱放射線測定用タングステン遮へい. 第 53 回放射化学討論会、東京 (2009.9)
- (15) Hamajima, Y. and Komura, K. (2010) Low Level Counting in the Ogoya Underground Laboratory. In *Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences* pp1-8
- (16) Hirose, K. and Yamamoto, M. (2010) Determination of ^{210}Pb in Atmospheric Deposition Samples: Why did Anomalous High ^{210}Pb Deposition occur at the Japan Sea Side Sites in Winter? In *Low-level*

Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences pp50-58

- (17) Inoue, M., Nakano, Y., Tanaka, K., Watanabe, S., Kofuji, H., Minakawa, M., Kiyomoto, Y., Yamamoto, M., Hamajima, Y. and Komura, K. (2010) Seasonal variation of the $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ ratio in surface waters within the Sea of Japan and the East China Sea. In Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences pp23-28
- (18) Inoue, M., Kofuji, H. and Komura, K. (2010) Distributions of ^3H , ^7Be , ^{22}Na , ^{137}Cs , and ^{228}Ra of groundwater, river water, and precipitation in Tedori River Area, Ishikawa, Japan. In Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences pp178-182
- (19) Kawai, K., Mino, K., Oikawa, S., Imanaka, T., Hoshi, M., Sakaguchi, A., Apsalikov, K. N. and Yamamoto, M. (2010) Radionuclides of the Settlements in the Semipalatinsk Historical Cohort: Laying Stress on Sarzhal and Karaul Settlements in the Southern Area. In Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences pp138-145
- (20) V. I. Kim, V. B. Kozlovsky, A. N. Makhinov, V. P. Shesterkin, A. M. Kuznetsov, D. A. Ryzhov, S. Nagao, O. Seki, M. Kawahigashi: Dynamics of water turbidity in the Amur Lower reaches and the Amur Liman. Report on Amur-Okhotsk Project, No.6, RIHN, pp.139-150 (2010)
- (21) Kofuji, H. and Inoue, M. (2010) Distributions of ^{228}Ra and ^{226}Ra in surface water off Shimokita Peninsula, Japan. In Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences pp98-105
- (22) Mino, K., Sakaguchi, A., Krivonogov, S., Orkhonselenge, A., Nakamura, T., Kashiwaya, K. and Yamamoto, M. (2010) Uranium and Thorium Records in the Holocene High-resolution Sediments from Borsog Bay in Lake Hovsgol, Mongolia. In Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences pp129-137
- (23) Nagao, S., Suzuki, T., Aramaki, T., Seki, O., Uchida, M. and Shibata, Y. (2010) Carbon isotopic signatures ($\Delta^{14}\text{C}$ and $\delta^{13}\text{C}$) of particulate organic matter in river waters from Kushiro Wetland. In Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences pp68-74
- (24) S. Nagao, M. Terashima, O. Seki, H. Takata, M. Kawahigashi, H. Kodama, V. I. Kim, V. P. Shesterkin, S. Levshina, A. N. Makhinov: Biogeochemical behavior of iron in the lower Amur River and Amur-Liman. Report on Amur-Okhotsk Project, No.6, RIHN, pp.41-50 (2010)
- (25) Nomura, R., Nakamura, K., Tsujimoto, A., Seto, K., Inoue, M. and Kofuji, H. (2010) Preliminary reports on the seasonal variations of $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ ratios in the closed area of brackish lake Nakaumi, southwest Japan. In Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences pp171-177
- (26) T. Onishi, H. Shibata, M. Yoh, S. Nagao, H. Park, V. V. Shamov: Evaluation of land cover change impacts on dissolved iron flux of the Amur River. Report on Amur-Okhotsk Project, No.6, RIHN, pp.213-223 (2010)
- (27) Sakaguchi, A., Kawai, K., Steier, P., Tomita, J., Hoshi, M. and Yamamoto, M. (2010) Measurement easurement of environmental low-level ^{236}U by AMS: As a new tracer for environmental uranium studies-. In Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences pp81-87
- (28) Shitaoka, Y., Nagatomo, T. and Obata, N. (2010) Dose dependence and palaeodose estimation for IRSL of

feldspar and Chinese loess with different wave ranges using an automated TL/OSL system with four optical paths. In Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences pp214-221

- (29) Tamamura, S., Nagao, S. and Yamamoto, M. (2010) Molecular weight dependent fluorescence quenching of humic substances by complex formation with Eu(III) for different fluorophores. In Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences pp222-228
- (30) Tomita, J., Satake, H., Fukuyama, T., Sasaki, K. and Yamamoto, M. (2010) Radium isotopes in Na-Cl type groundwater from the Japan Sea side of Japan, central Japan. In Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences pp183-190
- (31) 渡辺彰、浅川大地、川東正幸、大手信人、長尾誠也、眞家永光、加藤英孝、竹中眞：土壌—河川—海生態系における溶存有機炭素(DOC)の動態と機能。日本土壌肥科学雑誌 80, 89-94 (2009)
- (32) Yamada, Y., Yasuike, K., Amano, H. and Yamamoto, M. (2010) Temporal variation of carbon-14 concentration in tree-ring cellulose near the Semipalatinsk nuclear test site. In Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences pp200-205
- (33) 山本政儀, ビキニ被災事件から半世紀—今思うこと：広島大学平和科学研究センター、IPSHU 研究報告シリーズ、ISSN 1342-5965、研究報告 No.41、39-54 (2009)
- (34) Yokota, K., Inoue, M., Kofuji, H., Yamamoto, M., Nakashima, M., Nguyen, D. and Maeda, H. (2010) Measurement of sedimentation rate in Kagoshima Bay using the ^{210}Pb method. In Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences pp146-151
- (35) Yoshida, K., Inoue, M., Nakano, Y., Kiyomoto, Y., Nagao, S., Hamajima, Y. and Yamamoto, M. (2010) Seasonal variation of ^{228}Th and ^{228}Ra in surface water on East China Sea. In Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences pp94-97

3 著書

4 学術発表

- (1) 柏谷健二・島根亮・沖村孝、池沼-流域系情報に基づく阪神淡路地震以降の地表環境の変動、地球惑星科学連合 2009 大会、2009.5.19
- (2) Kashiwaya, K., Present earth surface processes and lake sediment information - monitoring view points, Invited Lecture, Inst. Geology & Mineralogy, RAS, Novosibirsk, Russia, 2009.7.15
- (3) Kashiwaya, K., Okimura, T., Earth-surface environmental changes since the 1995 Kobe Earthquake inferred from pond-catchment information, The 6th East Asia International Workshop, Taipei, Taiwan, 2009.9.25
- (4) 伊藤一充, 長谷部徳子, 田村明弘, 荒井章司, 年代測定のための LA-ICP-MS による放射性同位体測定, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 幕張, 2009.5.16-21
- (5) 山田浩史, 長谷部徳子, 福士圭介, ベントナイトの変質年代と温度決定の試み, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 幕張, 2009.5.16-21
- (6) 金沢大フブスグル湖研究グループ, HDP08 の分析結果: 現状と今後の予定, 日本 BICER 協議会シンポジウム, 静岡, 2009.6.20
- (7) 金沢大フブスグル湖研究グループ, HDP09 の紹介, 日本 BICER 協議会シンポジウム, 静岡,

2009.6.20

- (8) Inagaki, N.Hasebe, N.Endo, K.Ito “Thermoluminescence color image analysis to characterize lake sediments from East Asia”, Present Earth Surface Processes and Historical Environmental Changes in East Asia, Taipei, Taiwan, 2009.9.24-28
- (9) N. Hasebe, H. Miyamoto, T. Higashino, A. Hasebe, “History of Hakusan volcano activity: Implication from zircon U-Th dating” Present Earth Surface Processes and Historical Environmental Changes in East Asia, Taipei, Taiwan, 2009.9.24-28
- (10) H. Yamada, N. Hasebe, K. Fukushi, A. Hasebe, S. Arai, Approaches to estimate alteration age and temperature of bentonite, Present Earth Surface Processes and Historical Environmental Changes in East Asia, Taipei, Taiwan, 2009.9.24-28
- (11) K. Fukushi, T. Sugiura, M. Tokunaga, Y. Hasegawa, T. Morishita, H. Yamada, N. Hasebe, N. Endo, Natural Occurrences of Iron-Bentonite Interaction, Present Earth Surface Processes and Historical Environmental Changes in East Asia, Taipei, Taiwan, 2009.9.24-28
- (12) 末岡 茂, 堤 浩之, 田上高広, 長谷部徳子, 山田国見, 田村明弘, 荒井章司, 熱年代学的手法に基づいた木曾山脈の隆起・削剥史, 第34回フィッシュントラック研究会, 新潟, 2009.12.4-5
- (13) マンスール・シェリフ, 長谷部徳子, 荒井章司, Thermal history of Abu Zenima area, West-Central Sinai, Egypt, 第34回フィッシュントラック研究会, 新潟, 2009.12.4-5
- (14) 山田浩史, 長谷部徳子, 福士圭介, 田村明弘, 檀原徹, 岩野英樹, ベントナイトの FT 年代測定ー特にアパタイトのウラン濃度についてー, 第34回フィッシュントラック研究会, 新潟, 2009.12.4-5
- (15) 伊藤一充, 長谷部徳子, 柏谷健二, 田村明弘, 炭酸塩鉱物を用いたルミネッセンス年代測定ーモンゴル・フブスグル湖堆積物の報告, 第34回フィッシュントラック研究会, 新潟, 2009.12.4-5
- (16) 稲垣亜矢子, 長谷部徳子, 伊藤一充, 遠藤徳孝, 柏谷健二, 湖沼堆積物を用いた東アジアにおける古環境推定のための熱ルミネッセンスカラー画像解析, 第34回フィッシュントラック研究会, 新潟, 2009.12.4-5
- (17) 大石新之介, 長谷部徳子, AFM によるジルコン中のフィッシュントラックの観察, 第34回フィッシュントラック研究会, 新潟, 2009.12.4-5
- (18) 長谷部徳子, 田村明弘, FT 年代と U-Pb 年代の同時測定について, 第34回フィッシュントラック研究会, 新潟, 2009.12.4-5
- (19) 長谷部徳子, 地表プロセスと環境変動を測る時間軸の設定, ユーラシア東部/環日本海地域・国際環境セミナー「東アジアにおける地表プロセスと環境」金沢, 2010.1.19
- (20) 下岡順直, 長友恒人, 鶴 明信: 旧石器遺跡の年代推定に関連するテフラの熱ルミネッセンス (TL) 年代測定, 第7回日本旧石器学会, 鹿児島, 2009.6.27-28
- (21) 下岡順直, 長友恒人, 長谷川歩, 川端靖子, 福岡 孝: 旧石器遺跡に関連した三瓶山起源テフラの年代測定と蛍光 X 線分析, 第26回日本文化財科学会, 名古屋, 2009.7.11-12
- (22) 下岡順直: 日本の旧石器遺跡の年代推定に関連するテフラのルミネッセンス年代測定ー旧石器遺跡に関連した三瓶山起源テフラの年代測定ー, 金沢大学環日本海地域環境研究センター第2回総合研究討論会, 金沢, 2009.7.24
- (23) Sagawa, M., Nagatomo, T., Shitaoka, Y., CAO, M., WEI, Q.: Preliminary Report on the Age of the Disappearance of the Datong Lake and the Appearance of the Sanggan River, and Human Activities Based

- on OSL Dating and ^{14}C Dating at Hougou, Xigou and Youfang Sites in the Nihewan Basin, China, International Symposium on Paleoanthropology in Commemoration of the 80th Anniversary of the Discovery of the First Skull of Peking Man and the First Asian Conference on Quaternary Research (the Asian Paleolithic Association's annual meeting), Beijing, China, 2009.10.20-23
- (24) Shitaoka, Y., Nagatomo, T. and Obata, N.: Dose dependence and palaeodose estimation for IRSL of feldspar and Chinese loess with different wave ranges using an automated TL/OSL system with four optical paths, International workshop on low-level measurement of radionuclides and its application to earth and environmental science, Kanazawa, Japan, 2009.11.5-6
- (25) 下岡順直, 長友恒人: 中国泥河湾盆地における旧石器遺跡の OSL 年代測定, 第 26 回 ESR 応用計測研究会・2009 年度ルミネセンス年代測定研究会合同大会, 函館, 2010.3.5-6
- (26) 宗本隆志・福士圭介, Solubility measurement of monohydrocalcite; Monohydrocalcite is 3rd stable calcium carbonate at lower temperature, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 幕張, 2009.5.17
- (27) 酒井実・宗本隆志・福士圭介, モノハイドロカルサイトによるヒ酸の取り込み, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 幕張, 2009.5.17
- (28) 青山和樹・永田貴洋・福士圭介, 水 - フェリハイドライト界面における硫酸の表面化学種分布, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 幕張, 2009.5.17
- (29) 杉浦朋典・福士圭介・森下知晃, 天然に認められる鉄-ベントナイト相互作用, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 幕張, 2009.5.17
- (30) 山田浩史・長谷部徳子・福士圭介, ベントナイトの変質年代と温度決定の試み, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 幕張, 2009.5.17
- (31) 酒肆雄志・北台紀夫・横山正・福士圭介・永田貴洋・中嶋悟, ゲーサイト表面へのフタル酸の吸着状態の赤外分光測定と表面錯体モデリングによる解析, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 幕張, 2009.5.17
- (32) Fukushi K., Sugiura T., Morishita T., Yamada H., Hasebe N. and Endo N., Occurrences of Iron-Bentonite Interaction found in Bentonite Deposits, XIV International Clay Conference, Castellaneta, Italy, June 14-20, 2009
- (33) Aoyama K., Nagata T. and Fukushi K., Surface Speciation of Sulfate at a Water-Ferrihydrite Interface, Goldschmidt2009, Davos, Switzerland, June 21-26, 2009
- (34) Nagata T., Fukushi K. and Takahashi Y., Prediction of Iodine Adsorption on Oxides by Surface Complexation Modeling with Spectroscopic Confirmation, Goldschmidt2009, Davos, Switzerland, June 21-26, 2009
- (35) Munemoto T. and Fukushi K., Solubility of Monohydrocalcite between 5 to 40 °C, Goldschmidt2009, Davos, Switzerland, June 21-26, 2009
- (36) Fukumoto H., Fukushi K., Ochiai S. and Kashiwaya K., Carbonate Mineralogy in Bottom Sediment Response to Paleoenvironment in Lake Hovsgol (Mongolia), Goldschmidt2009, Davos, Switzerland, June 21-26, 2009
- (37) 宗本隆志・福士圭介, 含水カルシウム炭酸塩の生成の安定性, 鉱物科学会 2009 年年会, 札幌, 2009.9.8-9
- (38) 亀井淳志・福士圭介・高木哲一・塚本斉, 花崗岩の化学的風化度を見積もるための実用的な指標, 鉱物科学会 2009 年年会, 札幌, 2009.9.8-9

- (39) 福士圭介, 地球表層での水-鉱物相互作用におよぼす吸着の重要性, 鉱物科学会 2009 年年会, 札幌, 2009.9.8-9
- (40) 福士圭介, 水-鉱物相互作用の素過程としてみた吸着反応, 第 53 回粘土科学討論会, 盛岡, 2009.9.10-11
- (41) 福士圭介・杉浦朋典・森下知晃・長谷部徳子・伊藤弘志, 天然に見られる鉄によるベントナイトの変質挙動, 第 53 回粘土科学討論会, 盛岡, 2009.9.10-11
- (42) 山田浩史・長谷部徳子・福士圭介・田村明弘, ベントナイトの変質年代と温度決定の試み, 第 53 回粘土科学討論会, 盛岡, 2009.9.10-11
- (43) 福士圭介・酒井実・宗本隆志・横山由佳・高橋嘉夫, モノヒドロカルサイトによるヒ酸の取り込み, 日本地球化学会第 56 回年会, 広島, 2009.9.15-17
- (44) 永田貴洋・福士圭介・高橋嘉夫, 表面錯体モデリングによる酸化物への IO₃-吸着の予測, 日本地球化学会第 56 回年会, 広島, 2009.9.15-17
- (45) 青山和樹・福士圭介・永田貴洋, 水-フェリハイドライト界面における硫酸の表面スペシエーション, 日本地球化学会第 56 回年会, 広島, 2009.9.15-17
- (46) Fukumoto K., Fukushi K., Ochiai S. and Kashiwaya K., Response of carbonate mineralogy to paleoenvironmental change in bottom sediments of Lake Hovsgol (Mongolia). Present Earth Surface Processes and Historical Environmental Changes in East Asia, Taipei, September 25-27, 2009
- (47) Munemoto T. and Fukushi K., Solubility measurement of monohydrocalcite. Present Earth Surface Processes and Historical Environmental Changes in East Asia, Taipei, September 25-27, 2009
- (48) Aoyama K., Nagata T. and Fukushi K., Surface Speciation of Sulfate at a Mineral/Water Interface, Present Earth Surface Processes and Historical Environmental Changes in East Asia, Taipei, September 25-27, 2009
- (49) Yamada H., Hasebe N., Fukushi K., Hasebe A. and Arai S., Approaches to estimate alteration age and temperature of bentonite, Present Earth Surface Processes and Historical Environmental Changes in East Asia, Taipei, September 25-27, 2009
- (50) Fukushi K., Sugiura T., Tokunaga M., Hasegawa Y., Morishita T., Yamada H., Hasebe N. and Endo N., Natural Occurrences of Iron-Bentonite Interaction, Present Earth Surface Processes and Historical Environmental Changes in East Asia, Taipei, September 25-27, 2009
- (51) S. Ochiai, J. Lin and K. Kashiwaya, Sedimentation processes and lake basin development in Sun Moon Lake, Taiwan, Present Earth Surface Processes and Historical Environmental Changes in East Asia-Earth Surface Processes in a dynamic environment, Taipei, Taiwan, 2009.9.24-28
- (52) T. Aramaki, S. Nagao, Y. Nakamura, M. Uchida, Y. Shibata: Effects of rainfall on carbon isotopes of POC in the Teshio River, northern Japan. Radiocarbon Conference, Hawaii (2009.5-6)
- (53) F. Fukuyama, M. Inoue, Y. Onda, M. Yamamoto, T. Nakashima, S. Mizugaki, Y. Wakiyama: Distribution coefficient of Be-7 in overland and flow along a forested hillslope: Field measurements and laboratory batch experiments. Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry '09, Napa, California, U.S.A. (2009.11-12)
- (54) 福山泰治朗, 山本政儀, 恩田裕一, 水垣 滋, 成沢知広, 放射性降下物を用いたヒノキ林流域の土砂流出プロセスの推定. 平成 21 年度-砂防学会研究, 広島アステールプラザ (2009/5)
- (55) 広瀬勝己, 木川田喜一, 土井妙子, C. C. Su, 山本政儀: 東アジアにおける 210Pb 降下量について.

第 53 回放射化学討論会、日本大学、東京 (2009/9)

- (56) Imanaka T, Yamamoto M. et al.: Reconstruction of Radiation Situation due to Local Fallout Deposition in Settlements around the Semipalatinsk Nuclear Test Site, Kazakhstan, Late Health Effects of Ionizing Radiation: Bridging the Experimental and Epidemiological Divide. Georgetown University, Washington DC, USA (2009/5)
- (57) 今中哲二、山本政儀、川合健太、星正治、セミパラチンスク核実験場周辺村落の土壌中放射能汚染データに基づく外部線量評価. 日本放射線影響学会第 52 回大会、広島市 (2009/11)
- (58) Inoue, M., Minakawa, M., Yoshida, K., Nakano, Y., Kofuji, H., Nagao, S., Hamajima, Y. and Yamamoto, M. Vertical distributions of ^{228}Ra and ^{226}Ra in the Japan Basin; implications for water circulation and residence time. Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry '09, Napa, California, U.S.A. (2009.11-12)
- (59) 入野智久、長尾誠也：石狩川から流出する懸濁物主要元素組成の制限要因. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会、幕張 (2009.5)
- (60) 川合健太、坂口 綾、星 正治、今中哲二、山本 政儀：広島原爆フォールアウトと ^{236}U の探査. 第 53 回放射化学討論会、日本大学、東京 (2009/9/28-30)
- (61) M. Kawahigashi, S. Nagao, M. Yoh, T. Onishi, G. Chi, X. Chen, V. V. Shamov, S. Levshina, A. Prokushkin, H. Sumida: Influence of land-use and land cover change on iron oxides in boreal soils. International IGU LUCC Conference, Vladivostok (2009.9)
- (62) 小島貞男、有信哲哉、小須田馨、浜島靖典、山本政儀、斉藤 直：極低レベル放射能測定による旧ソ連核実験場土壌中の ^{208}Bi 測定の試み. 第 53 回放射化学討論会、日本大学、東京 (2009/9)
- (63) 美濃健太、坂口 綾、中村俊夫、柏谷健二、山本政儀：完新世の高時間分解能コアにおけるウラントリウム同位体：モンゴル・フブスグル湖. 2009 年度日本地球化学会年会第 56 回大会、広島 (2009/9)
- (64) S. Nagao, M. Mikami, T. Tanaka: Variations in $\Delta^{14}\text{C}$ of POC in waters from the upper to lower Ishikari River. Radiocarbon Conference, Hawaii (2009.5-6)
- (65) S. Nagao, T. Irino, T. Aramaki, K. Ikehara, M. Uchida, Y. Shibata: Spatial distribution of $\Delta^{14}\text{C}$ values of surface sediments off Saru River in Hokkaido, Japan. Radiocarbon Conference, Hawaii (2009.5-6)
- (66) S. Nagao, T. Irino, T. Aramaki, M. Uchida, Y. Shibata: Changes in $\Delta^{14}\text{C}$ and $\delta^{13}\text{C}$ of particulate organic matter in the Tokachi River during Typhoon Nabi in September, 2005. Symposium on Present Earth Surface Processes and Historical Environmental Changes in East Asia-Earth Surface Processes in a dynamic Environment, Taiwan (2009.9)
- (67) S. Nagao, T. Suzuki, M. Kawahigashi, H. Kodama, T. Onishi, M. Yoh, T. Shiraiwa, V. P. Shesterkin, V. I. Kim, S. I. Levshina, A. N. Makhinov B. Yan, B. Zhang: Characteristics of fluorescent dissolved organic matter in the middle and lower Amur River. International IGU LUCC Conference, Vladivostok (2009.9)
- (68) S. Nagao, H. Kodama, T. Miyajima, T. Tanaka: Radiocarbon of aquatic humic and fulvic acids in the Chikugo River waters. Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry '09, Napa, California, U.S.A. (2009.11-12)
- (69) S. Nagao, N. Fujitake, S. Tamanura, T. Tanaka, Y. Nakaguchi: Molecular size dependency of Am complexed with humic and fulvic acids in groundwater's with high DOC concentration. Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry '09, Napa, California, U.S.A. (2009.11-12)
- (70) S. Nagao, M. Terashima, O. Seki, H. Takata, M. Kawahigashi, H. Kodama, V. I. Kim, V. P. Shesterkin, S.

- Levshina, A. N. Makhinov: Biogeochemical behavior of iron in the lower Amur River and Amur-Liman. Closing Symposium of the Amur-Okhotsk Project, Kyoto (2010.1)
- (71) 長尾誠也、荒巻能史、内田昌男、柴田康行、外川織彦：C-14 をトレーサーとした河川懸濁態有機物の動態研究. 第 53 回放射化学討論会、東京 (2009.9)
- (72) 大西健夫、楊宗興、柴田英昭、長尾誠也：異なる土地被覆変化シナリオによるアムール川における溶存鉄生成量の数値シミュレーション. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会、幕張 (2009.5)
- (73) T. Onishi, M. Yoh, H. Shibata, S. Nagao, M. Kawahigashi, V. V. Shamov: Numerical experiment of land cover conversion effect on dissolved iron productivity of the Amur River Basin. International IGU LUCC Conference, Vladivostok (2009.9)
- (74) 坂口 綾、山本政儀、富田純平、小藤久毅、青田溶明、熊谷道夫：琵琶湖水系における天然放射性核種ウラン・トリウム同位体挙動研究. 2009 年度日本地球化学会年会第 56 回大会、広島 (2009/9)
- A. Sakaguchi, K. Kawai, P. Steier, J. Tomita, M. Hoshi, M. Yamamoto: First results of ^{236}U level in soils from global fallout-Application for Hiroshima black-rain issue. Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry '09, Napa, California, U.S.A. (2009.11-12)
- (75) Sakaguchi, A., Kawai, K., Steier, P., Tomita, J., Hoshi, M. and Yamamoto, M. Measurement easuement of environmental low-level ^{236}U by AMS: As a new tracer for environmental uranium studies-. International Workshop on Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences, Kanazawa, Japan (2009.11)
- (76) 高島容子、長尾誠也、柴田英昭：泥川における降雨時に河川へ流出する溶存有機炭素の移行挙動. 日本腐植物質学会第 25 回講演会、姫路 (2009.11)
- (77) M.Terashima, Y.Seida, T.Iwatsuki, K.Iijima, H.Yoshikawa, M.Yui, S.Nagao: Eu (III) binding abilities of dissolved humic substances isolated from deep groundwater in Horonobe area, Hokkaido, Japan. Migration09, Washington (2009.9)
- (78) 寺島元基、長尾誠也、岩月輝希、佐々木洋人、清田佳美、吉川英樹：北海道幌延地域の深部地下水から分離・精製した溶存腐植物質と Eu(III)との結合特性. 日本腐植物質学会第 25 回講演会、姫路 (2009.11)
- (79) J. Tomita, H. Satake, S. Nagao, M. Yamamoto: Ra isotopes in NaCl type groundwaters from deep wells in the coastal areas of Himi city, Toyama prefecture, Japan. Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry '09, Napa, California, U.S.A. (2009.11-12)
- (80) 富田純平、山本政儀、佐竹 洋：大深度掘削により得られた NaCl 型温鉱泉の Ra 同位体挙動-富山県氷見周辺. 日本温泉科学会第 62 回大会、2009/9、京都市
- (81) 山田悠香子、三上裕、南秀樹、長尾誠也、小畑元、谷野賢二、加藤義久：亜酸化的改訂環境堆積物中における主要元素の挙動と色相変化. 日本地球化学会年会、広島 (2009.9)
- (82) M. Yamamoto, K. Kawai, K. Mino, S. Oikawa, T. Imanaka, A. Sakaguchi, M. Hoshi, P. Steier, K. N. Apsalikov: Characteristics of residual radionuclides in soil in Sarzhal and Karaul villages affected mainly by the USSR first hydrogen atomic bomb in 1953, 15th Hiroshima International Symposium-Semipalatinsk and Other Radiation Studies, Hiroshima Univ. (2010/3)
- (83) M. Yamamoto, K. Kawai, K. Zhumadilov, S. Endo, A. Sakaguchi, T. Imanaka, M. Hoshi: Measurement of Cs-137 in soil under houses built after 1945-Charange to evaluate level and spatial distribution of close-in fallout by the Hiroshima A-bomb, International Workshop on Black rain of the Hiroshima atomic bomb

and related studies, Hiroshima Univ. (2010/3)

- (84) 吉田圭佑、皆川昌幸、井上睦夫、中野佑介、浜島靖典、山本政義：日本海盆における ^{228}Ra と ^{226}Ra の鉛直分布からみた海水循環。日本地球化学会年会、広島 (2009.9)
- (85) 吉田圭佑、井上睦夫、皆川昌幸、中野佑介、小藤久毅、乙坂重嘉、清本容子、塩本明弘、浜島靖典、山本政義：日本海、東シナ海、オホーツク海の表層海水における ^{228}Th 濃度と $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 放射能比の水平分布。第 53 回放射化学討論会、東京 (2009.9)

5 研究交流

• 共同研究

- (1) 柏谷健二、山本政儀、長尾誠也、長谷部徳子、福士圭介、モンゴルフブスグル湖掘削；モンゴル・地質資源研究所、ロシア地球化学研究所、韓国・韓国地質資源研究院
- (2) 柏谷健二、山本政儀、長谷部徳子、福士圭介、中国東北部豆満江流域の環境変動に関する共同調査・解析；中国・延辺大学
- (3) 柏谷健二、山本政儀、長谷部徳子、福士圭介、韓国中央部の地表環境の共同調査・解析；韓国・韓国地質資源研究院
- (4) 柏谷健二、山本政儀、長谷部徳子、福士圭介、台湾日月潭流域の環境に関する共同調査・解析；台湾・国立台湾大学
- (5) 長谷部徳子、インドネシアジャワ原人の時代決定、国立科学博物館
- (6) 山本政義、旧ソ連核実験場セミパラチンスクの環境放射能汚染と住民の被曝線量評価、星 正治、広島大学原爆医学放射線研究所、1995-現在
- (7) 山本 政儀、広島原爆“黒い雨”にともなう放射性降下物に関する研究広島“黒い雨”放射能研究会、2009-現在
- (8) 長尾誠也、北海道沿岸河口域における物質動態に関する検討、北海道大学低温科学研究所、一般共同研究、2009-現在
- (9) 長尾誠也、C-14 をトレーサーとし河川水中粒子態有機物の起源推定研究、日本原子力研究開発機構、施設利用共同研究、2006-現在
- (10) 長尾誠也、地下水中有機コロイドの特徴と核種移行に及ぼす影響評価、日本原子力研究開発機構、地層処分の実力を示すネットワーク、原子力重点連携研究、2009-現在
- (11) 長尾誠也、地下及び地表環境での C-14 の移行動態とモデル解析、日本原子力研究開発機構、地層処分の実力を示すネットワーク、原子力重点連携研究、2009-現在
- (12) 浜島靖典、放射性同位元素分析によるズワイガニの年齢評価、若狭湾エネルギーセンター、2007-現在
- (13) 井上睦夫、近年の海面水位上昇が及ぼす沿岸水の滞留時間の長期化問題と生態系への影響、島根大学、共同研究、2009-現在

• 海外渡航

- (1) 柏谷健二、韓国、韓国地質資源研究院、湖沼調査、2009.4
- (2) 柏谷健二、モンゴル・ウランバートル、モンゴル科学アカデミー地質資源研究所、ダラハド古湖掘削打合せ、2009.5
- (3) 柏谷健二、ロシア・ノボシビルスク、ロシア科学アカデミー連合地質鉱物資源研究所、共同調査

打合せ、2009.7

- (4) 柏谷健二、中国・延辺、中国東北部湖沼調査、2009.8
- (5) 柏谷健二、台湾・台北、台湾国立大学、第6回東アジア国際ワークショップ参加、2009.9
- (6) 柏谷健二、モンゴル・ウランバートル、モンゴル科学アカデミー地質資源研究所、ダラハド古湖掘削打合せ、2009.11
- (7) 柏谷健二、モンゴル、モンゴル科学アカデミー地質資源研究所、ダラハド古湖掘削、2010.3
- (8) 長谷部徳子、モンゴル、コア分取、2009.4.20-27
- (9) 長谷部徳子、台湾、国際会議出席、2009.9.23-30
- (10) 長谷部徳子、モンゴル、掘削準備調査、2009.10.5-14
- (11) 長谷部徳子、モンゴル・ダラハド盆地、掘削国際共同研究、2010.3.29-4.12
- (12) 下岡順直、中国・北京、国際会議出席、2009.10.19-23
- (13) 伊藤一充、ウズベキスタン、遺跡調査、2009.9.15-30
- (14) 福士圭介、イタリア・Castellaneta、国際会議出席、2009.6.14-20
- (15) 福士圭介、スイス・ダボス、国際会議出席、2009.6.21-26
- (16) 福士圭介、台湾・台北、国際会議出席、2009.9.25-27
- (17) 長尾誠也、Radiocarbon Conference、ハワイ・アメリカ (2009.5-6)
- (18) 長尾誠也、Symposium on Present Earth Surface Processes and Historical Environmental Changes in East Asia-Earth Surface Processes in a dynamic Environment、台湾 (2009.9)
- (19) 長尾誠也、International IGU LUCC Conference、ウラジオストク・ロシア (2009.9)
- (20) 長尾誠也、Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry '09、ナパバレー・アメリカ (2009.11-12)
- (21) 井上睦夫、Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry '09、ナパバレー・アメリカ (2009.11-12)

• 訪問外国人研究者

- (1) 林俊全、国立台湾大学、教授、国際環境セミナー出席、2010.1.16-20
- (2) Yang Dong Yoon、韓国地質資源研究院、地質環境災害研究部チームリーダー、国際環境セミナー出席、2010.1.18-20
- (3) 李春景、中国延辺大学、副教授、共同研究、2010.1.20-27
- (4) 楊艷超、中国延辺大学、研究生、共同研究、2010.1.20-3.29

• 非常勤講師

1. 柏谷健二、三重大学

6 各種活動

• 学会活動

- (1) 柏谷健二、日本地形学連合委員、1981-現在
- (2) 柏谷健二、日本地形学連合渉外主幹、2007-現在
- (3) 柏谷健二、国際ワークショップ「現代の環境プロセスと歴史的環境変動」共同議長、2004-現在
- (4) 柏谷健二、日本 BICER 協議会会長、2009-現在
- (5) 柏谷健二、International Symposium on Terrestrial Environmental Changes in East Eurasia and Adjacent Areas 共同議長、2003-現在

- (6) 柏谷健二、日本学術会議地球惑星科学委員会 IAG 小委員会委員長，2006－現在、連携会員、2009-現在
- (7) 柏谷健二、国際地形学会日本代表，2008－現在
- (8) 長谷部徳子、地質学雑誌編集委員
- (9) 長谷部徳子、地質学会代議員
- (10) 長谷部徳子、フィッシュントラック研究会会長
- (11) 福土圭介、日本粘土学会若手の会代表、2008-

- 社会活動

- (1) 長谷部徳子，松並知子，糸野妙子，理系女子の明るいミライー理工系女性研究者の実態と理系 z 択支援一，金沢大学ミニ講演，2009.9.13
- (2) 長谷部徳子、石川県立金沢西高等学校、高等学校学力向上実践モデル事業講師、2009.11.05
- (3) 長谷部徳子、岐阜県加茂高等学校、サイエンスパートナーシッププロジェクト「太古の大森林を探る」講師、2009.11.7
- (4) 長谷部徳子、石川県立金沢伏見高等学校「資源とエネルギー：鉱物・岩石の観察と放射能測定」実習、2009.11.20
- (5) 長谷部徳子、石川県立金沢西高等学校、高等学校学力向上実践モデル事業講師、2010.2.17
- (6) 福土圭介、(財)原子力安全研究協会人工バリアの設計・製作に関する技術課題検討専門委員会ワーキンググループ委員、2007-
- (7) 福土圭介、(独)物質材料研究機構光触媒センターナノ構造制御グループリサーチアドバイザー、2007-
- (8) 福土圭介、(独)産業技術総合研究所地質調査総合センター協力研究員、2008-
- (9) 山本政儀：日本温泉科学会編集委員
- (10) 長尾誠也：日本原子力学会編集委員、日本放射化学会編集委員 (H21 月 7 月一)、日本腐植物質学会評議委員、日本地球惑星連合 2009 年大会「水循環・水環境」コンビーナー代表
- (11) 浜島靖典：日本放射化学会ニュース編集委員
- (12) 山本政儀：原子力安全委員会核燃料安全専門審査会審査委員、国連科学委員会 UNSCEAR 国内対応委員、環境科学技術研究所委員会委員、福井県原子力安全専門委員会委員、福井県美浜町原子力環境安全監視委員、福井県客員研究員、石川県原子力環境安全管理協議会委員、石川県放射線測定試技術委員会委員、
- (13) 長尾誠也：日本原子力研究開発機構研究嘱託、総合地球環境学研究所共同研究員

7 その他

- (1) 長尾誠也：平成 21 年度日本原子力学会バックエンド部会業績賞「地下水腐植物質の特性とアクチノイドの移行に及ぼす影響評価」
- (2) 富田純平 (D3)：第 62 回日本温泉科学会ポスター賞「大深度掘削により得られた NaCl 型温鉱泉の Ra 同位体挙動-富山県氷見周辺」
- (3) 川合 健太 (M1)：2009 日本放射化学会年会・第 53 回放射化学討論会若手優秀ポスター賞「広島原爆フォールアウトと ^{236}U の探査」

エコテクノロジー研究部門

1) 学術論文

- (1) Crumeyrolle, S., Tulet, P., Garcia-Carreras, L., Flamant, C., Parker, D. J., Matsuki, A., Schwarzenboeck, A., Formenti, P., and Gomes L., 2010, Transport of dust particles from the Bodélé region to the monsoon layer: AMMA case study of the 9–14 June 2006 period, *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, **10**, 5051-5090.
- (2) Dimitrov, K., Kanev, K. and Kimura, S., 2009, Product Recommendations in Mobile Environments. *Information Technologies and Control*, **7(3)**, 10-14.
- (3) Gayet, J.-F., Treffeisen, R., Helbig, A., Bareiss, J., Matsuki, A., Herber A., and Schwarzenboeck, A., 2009, On the onset of the ice phase in boundary layer Arctic clouds, *Journal of Geophysical Research*, **114(D19201)**, DOI:10.1029/2008JD011348.
- (4) Hirabuki, Y., Araki, Y., Dourung, P., Tsukawaki, S., Suzuki, K., Im, S. and Chay, R., 2009, Herbaceous aquatic vegetation in Lake Tonle Sap at peak flooding: a case study at Chong Khnies, Southern Siem Reap. *Treatises of Faculty of Liberal Arts, Tohoku Gakuin University*, **152**, 57-68.
- (5) Iwasaka, Y., Shi, G.-Y. Yamada, M., Kobayashi, F., Kakikawa, M., Maki, T., Naganuma, T., Chen, B., Tobo, Y. and Hong, C.-S., 2009, Mixture of Kosa (Asian dust) and bioaerosols detected in the atmosphere over the Kosa particle source regions with balloon-borne measurements: possibility of long-range transport. *Air Quality, Atmosphere and Health*, DOI: 10.1007/s11869-009-0031-5.
- (6) Kanaoka, Y., Kimura, S., Vynnycky, M., Kimura, O. and Kiwata, T., 2009, Method for Measuring Fluid Velocity Based on Periodic Heating and MEMS Techniques. *Int. J. Transport Phenomena*, **11(1)**, 63-77.
- (7) Katakura, Y., Sano, R., Hashimoto, T., Ninomiya, K. and Shioya, S., 2010, Lactic acid bacteria display on the cell surface cytosolic proteins that recognize yeast mannan. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **86(1)**, 319-326.
- (8) 木村繁男・野原庸平・木綿隆弘・小松信義, 2009, 上方冷却による2成分系水溶液の凝固プロセス. 日本機械学会論文集 (B編), **75(753)**, 1143-1150.
- (9) Kimura, S., Nohara, Y., Kiwata, T. and Komatsu, N., 2010, Solidification of Binary Aqueous Solution Cooled from Above. *Heat Transfer. Asian Research*, **39(1)**, 43-58.
- (10)Kiwata, T., Kimura, S., Komatsu, N., Murata, H. and Kim, Y.-H., 2009, Flow Characteristics of a Plane Jet with an Extended Lip-Plate and Serrated Tabs. *Journal of Fluid Science and Technology*, **4(2)**, 268-278.
- (11)Kiwata, T., Yamada, T., Kita, T., Takata, S., Komatsu, N. and Kimura, S., 2010, Performance of a vertical axis wind turbine with variable pitch straight blades utilizing a linkage mechanism. *J. Environment and Engineering*, **5(1)**, 213-225.
- (12)Komatsu, N., Kimura, S. and Kiwata, T., 2009, Negative specific heat in self-gravitating N-body systems enclosed in a spherical container with reflecting walls. *Phys. Rev. E*, **80**, 041107, 1-9.
- (13)Komatsu, N., Kimura, S. and Kiwata, T., 2009, Negative specific heat in self-gravitating systems enclosed in a spherical container with adiabatic and non-adiabatic walls. International symposium YKIS2009, The Yukawa International Seminars (YKIS), YKIS 2009 "Frontiers in Nonequilibrium Physics: Fundamental Theory, Glassy & Granular Materials, and Computational Physics", pp.1, Kyoto, Japan.
- (14)Komatsu, N., Kimura, S. and Kiwata, T., 2010, Nonequilibrium process of self-gravitating N-body systems

- and quasi-equilibrium structure using normalized q-expectation values for Tsallis' generalized entropy, *Mathematical Aspects of Generalized Entropies and their Applications* (Kyoto RIMS workshop; Kyoto, JAPAN, (2009.7)). *Journal of Physics: Conference Series*, **201(2010)**, 012009, 1-10.
- (15) Maki, T., Suzuki, S., Kobayashi, F., Kakikawa, M., Yamada, M., Higashi, T., Matsuki, A., Hong, C.-S., Tobo, Y., Hasegawa, H., Ueda, K. and Iwasaka, Y., in press, Phylogenetic diversity and vertical distribution of a halobacterial community in the atmosphere of an Asian dust (KOSA) arrival region, Suzu City, *J. Echo Technol.*
- (16) Masuda, Y., Yoneya, M., Suzuki, A. and Kimura, S., 2010, Numerical analysis of re-oscillation and non-centrosymmetric convection in a porous enclosure due to opposing heat and mass fluxes on the vertical walls. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, **37(3)**, 250-255.
- (17) Matsuki, A., Quennehen, B., Schwarzenboeck, A., Crumeyrolle, S., Venzac, H., Laj, P. and Gomes, L., 2010, Temporal and spatial variations of aerosol physical and chemical properties over West Africa: AMMA aircraft campaign in summer 2006, *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, **10**, 4463-4500.
- (18) Matsuki, A., Schwarzenboeck, A., Venzac, H., Laj, P., Crumeyrolle, S. and Gomes, L., 2010, Cloud processing of mineral dust: direct comparison of cloud residual and clear sky particles during AMMA aircraft campaign in summer 2006, *Atmospheric Chemistry and Physics*, **10**, 1057-1069.
- (19) Ninomiya, K., Matsuda, K., Kawahata, T., Kanaya, T., Kohno, M., Katakura, Y., Asada, M. and Shioya, S., 2009, Effect of CO₂ concentration on the growth and exopolysaccharide production of *Bifidobacterium longum* cultivated under anaerobic conditions. *J. Biosci. Bioeng.*, **107(5)**, 535-537.
- (20) Ohtaka, A., Watanabe, R., Im, S., Chhay, R. and Tsukawaki, S., 2009, Spatial and seasonal changes of net plankton and zoobenthos in Lake Tonle Sap, Cambodia. *Limnology*, **11**, 85-94.
- (21) 大八木英夫・遠藤修一・奥村康昭・塚脇真二・森 和紀, 2009, カンボジア・トンレサップ湖における水温特性について. 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, **44**, 167-176.
- (22) Park, J.-M., Kim, M., Yoon, J., Kobayashi, F., Iwasaka, Y., Hong, C.-S., Min, J. and Kim, Y.-H., 2009, Biodegradation of diisodecyl phthalate (DIDP) by *Bacillus* sp. SB-007. *J. Basic Microbiology*, **49**, 1-5
- (23) Rahman, M. M., Ninomiya, K., Ogino, C. and Shimizu, N., 2010, Ultrasound-induced cell damage and membrane lipid peroxidation of *Escherichia coli* in the presence of non-woven TiO₂ fabrics. *Ultrason. Sonochem.*, **17(4)**, 738-743.
- (24) Shimizu, N., Ninomiya, K., Ogino, C. and Rahman, M. M., 2010, Potential uses of titanium dioxide in conjunction with ultrasound for improved bacterial disinfection. *Biochem. Eng. J.*, **48(3)**, 416-423.
- (25) 武田 浩・井下田寛・木村繁男・木綿隆弘・小松信義, 2009, 単一調査孔を用いた地下水流動計測プローブの開発. 日本地熱学会誌, **31(4)**, 193-202.
- (26) Tobo T., Zhang, D., Nakata, N., Yamada, M., Ogata, H., Hara, K. and Iwasaka, Y., 2009, Hygroscopic mineral dust particles as influenced by chlorine chemistry in the marine atmosphere. *Geophys. Res. Lett.*, **36**, doi 10.1029/2008GL036883.
- (27) 山本洋民・木村繁男・木綿隆弘・小松信義・小林正弘, 2009, 鉛直管路内の層流片側冷却における非定常凝固特性. 日本機械学会論文集 (B編), **75(755)**, 1470-1478.

2) 総説・資料・報告書

- (1) Japan National Committee for CCOP (Kato, T., Tsukawaki, S., Saito, T. *et al.*), 2009, Member Country Report of Japan. *Coordinating Committee for Geoscience Programmes in East and Southeast Asia (CCOP), 46th Annual Session, Vung Tau, Vietnam, CCOP-46AS/3-7, 272p.*
- (2) 仁宮一章, 2009, 嫌気生菌ですが, 抗がん剤お届けします. 生物工学会誌 バイオメディア, **87(11)**, p.545.
- (3) 仁宮一章・荻野千秋・清水宣明, 2009, 光触媒ナノ粒子と超音波をカップリングしたがん治療法. *Materials Integration* 特集「マイクロ・ナノバブル [2] -マイクロバブルとソノプロセス」, **6(22)**, 8-12.
- (4) 仁宮一章, 2009, 生物機能性材料の創成. *i-BIRD* 活動のご紹介, **3**, p.4.
- (5) 塚脇真二, 2010, 金沢大学角間キャンパスの地質-キャンパスを教材に-. *地質いしかわ*, **64**, 24-25.
- (6) 塚脇真二・荒木祐二・石川俊之・大八木英夫・本村浩之, 2010, トンレサップ湖の自然. *クロマートラベルガイドブック*, **14**, 23-26.
- (7) Tsukawaki, S. and All Members of Team ERDAC, 2009, Report: International Symposium on the Present Situation of the Environment in Angkor Park and Surroundings. *18th Technical Committee, International Coordinating Committee for the Safeguarding and Development of the Historic Site of Angkor*, UNESCO/Phnom Penh Office, 123-125 (English) and 132-134 (French).

3) 著書

- (1) 岩坂泰信 (編集及び分担執筆), 「黄砂」, 古今書院, 東京 (2009年7月)
- (2) 岩坂泰信 (分担執筆), 「持続性学」(名古屋大学 環境学叢書2), 明石書店, 東京 (2010年3月)

4) 学術発表

- (1) 松木 篤, Schwarzenboeck, A., Quennehen, B., Crumeyrolle, S., Venzac, H., Gomes, L. and Laj, P.: 西アフリカ上空における大気エアロゾルの物理・化学的特性:2006年夏 AMMA 航空機集中観測から. 日本気象学会 2009年度春季大会, つくば (2009.5)
- (2) 仁宮一章・川畑隆司・金谷忠・片倉啓雄・浅田雅宣・塩谷捨明, 偏性嫌気性ビフィズス菌 *Bifidobacterium longum* JBL05 の CO₂ 要求性に関する代謝解析. 2009年度乳酸菌腸内細菌工学研究部会講演会, 加賀観光ホテル, 加賀 (2009.5)
- (3) Matsuki, A.: Climatic and Environmental study of atmospheric trace gases and aerosols in Noto peninsula: Establishing a new monitoring station and international collaborations. *JSPS Asia-Africa Platform Program Japan-Korea Joint Seminar*, Busan, Korea (2009, 6)
- (4) 岩坂泰信: 黄砂が運ぶもの. 日本学術会議公開シンポジウム「黄砂・ダスト輸送と越境大気汚染」, 東京 (2009.6)
- (5) 小松信義・木村繁男・木綿隆弘: 長距離相互作用 N 体系の負の比熱のシミュレーション. 第 58 回理論応用力学講演会講演論文集 NCTAM2009, 277-278, 東京 (2009.6)
- (6) Tsukawaki, S. and All Members of Team ERDAC, Report on International Symposium on the Present Situation of the Environment in Angkor Park and Surroundings. *18th Technical Committee, International Coordinating Committee for the Safeguarding and Development of the Historic Site of Angkor*, Sokka Hotel, Siem Reap, Cambodia (2009.6)

- (7) Matsuki, A., Schwarzenboeck, A., Crumeyrolle, S., Quennehen, B., Gomes, L., Venzac, H., Laj, P., Laurent, O., Momboisse, G. and Bourriane, T.: Mixing states and related hygroscopicity of aerosol particles over West Africa: AMMA aircraft campaign in summer 2006. *The 3rd International AMMA (African Monsoon Multidisciplinary Analysis) Conference*, Ouagadougou, Burkina Faso (2009. 7)
- (8) Komatsu, N., Kimura, S. and Kiwata, T.: Negative specific heat in self-gravitating systems enclosed in a spherical container with adiabatic and non-adiabatic walls, International symposium YKIS2009, The Yukawa International Seminars (YKIS), YKIS 2009 "*Frontiers in Nonequilibrium Physics: Fundamental Theory, Glassy & Granular Materials, and Computational Physics*", pp.1, Kyoto, Japan (2009.7)
- (9) 松木 篤, Schwarzenboeck, A., Deboudt, K., Gayet, J.-F., Febvre, G., Goubeyre, C.: 北極域対流圏における大気エアロゾルと雲残渣粒子の直接観測: POLARCAT 春季航空機観測から. 第 25 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 岡山 (2009. 8)
- (10) 張 代洲・山田 丸・長谷徹志・緒方裕子・原 和嵩・岩坂泰信, 係留気球を用いた大気エアロゾルの観測について: 北京と天草の観測例. 岡山 (2009.8)
- (11) Matsuki, A.: Environmental Monitoring Station: Noto Super site. *JENESYS-POMRAC-Kanazawa University Joint Symposium*, Kanazawa, Japan (2009. 9)
- (12) 清水宣明・仁宮一章・Mizanur, R. M.・荻野千秋, 二酸化チタン/超音波触媒法と電気化学を組み合わせた新規殺菌技術. 日本防菌防黴学会第 36 回年次大会, 千里ライフサイエンスセンター, 吹田 (2009.9)
- (13) 仁宮一章・野口智子・片倉啓雄・塩谷捨明, 乳酸菌 *Lactococcus lactis* のナイシン生合成経路における律速段階の解析. 化学工学会第 41 回秋季大会, 広島大学, 東広島 (2009.9)
- (14) 岸本淳平・Moukamnerd Churairat・大道徹太郎・平尾桂一・仁宮一章・塩谷捨明・紀ノ岡正博・片倉啓雄, 固体連続併行複発酵によるバイオエタノールの生産. 日本生物工学会第 61 回大会, 名古屋大学, 名古屋 (2009.9)
- (15) 橋本高志・植松亜弥・仁宮一章・塩谷捨明・紀ノ岡正博・片倉啓雄, 乳酸菌と炭水化物の接着機構の解析. 日本生物工学会第 61 回大会, 名古屋大学, 名古屋 (2009.9)
- (16) 仁宮一章・野口智子・片倉啓雄・塩谷捨明, 乳酸菌 *Lactococcus lactis* のナイシン生合成経路における律速段階の解析. 日本生物工学会第 61 回大会, 名古屋大学, 名古屋 (2009.9)
- (17) 片倉啓雄・加藤真由・仁宮一章・近藤昭彦・植田充美・塩谷捨明, 酵母に表層提示される糖化酵素のみかけの活性に及ぼす糖鎖修飾の影響. 日本生物工学会第 61 回大会, 名古屋大学, 名古屋 (2009.9)
- (18) 小松信義・木村繁男・木綿隆弘: 反射壁に囲まれた自己重力系の負の比熱. 日本流体力学会年会 2009 講演要旨集, pp.110 (CD-ROM: pp.1-3), 東洋大学, 東京 (2009.9)
- (19) 木綿隆弘・齊藤雅之・杉沼淳子・木村繁男・小松信義: 点検口付き円筒型給水タンクの流動特性, 日本機械学会 2009 年度年次大会講演論文集(2), **09-1**, 187-188, 盛岡 (2009.9).
- (20) Japan National Committee for CCOP (Kato, T, Tsukawaki, S. *et al.*, Member Country Report of Japan, *Coodinating Committee for Geoscience Programmes in East and Southeast Asia (CCOP)*, 46th Annual Session, Plaza Hotel, Vung Tau, Viet Nam (2009.10)
- (21) 大島周平・仁宮一章・荻野千秋・黒田俊一・清水宣明, TiO₂ ナノ粒子と超音波触媒法を併用したがん治療法の *in vitro* および *in vivo* 評価. 日本ソノケミストリー学会第 18 回討論会, 長岡技術科学大学, 長岡 (2009.10)

- (22) 河端伸哉・仁宮一章・清水宣明, 非侵襲刺激応答型ナノキャリアを用いたドラッグデリバリーシステムの構築. 日本ソノケミストリー学会第 18 回討論会, 長岡技術科学大学, 長岡 (2009.10)
- (23) 岩坂泰信・小林史尚・山田 丸・牧 輝弥・柿川真紀子・松木 篤・當房 豊・洪 天祥, 黄砂バイオエアロゾル学の展望. 第 3 回環日本海域の環境シンポジウム, 金沢 (2009.10)
- (24) Mohammad Mizanur Rahman・仁宮一章・清水宣明, TiO₂/超音波触媒法を用いた殺菌におけるメカニズム解析. 日本ソノケミストリー学会第 18 回討論会, 長岡技術科学大学, 長岡 (2009.10)
- (25) 仁宮一章・田中順喜・清水宣明, ケナフチップの酵素糖化に及ぼす超音波照射処理の効果. 日本ソノケミストリー学会第 18 回討論会, 長岡技術科学大学, 長岡 (2009.10)
- (26) Tsukawaki, S., Ishikawa, T. and Oyagi, H., Three reseach programmes in Lake Tonle Sap, Cambodia. *International Seminar on Establishment of Lake and River Water Quality Monitoring Techniques in East Asia using Remote Sensing*, Tsukuba University, Tsukuba, Japan (2009.11)
- (27) 岩坂泰信, KOSA (Asian dust) particles and atmospheric constituents on particle surface, ILTS International Symposium "Frontier of Low Temperature Science", 札幌 (2009.11)
- (28) 三浦哲也・木村繁男・木綿隆弘・小松信義: 水の凝固速度に及ぼす自然対流の影響. 日本機械学会熱工学コンファレンス 2009 講演論文集, **09-33**, 49-50, 山口, (2009.11)
- (29) 小松信義・木村繁男・木綿隆弘: 自己重力 N 体系の非平衡過程と一般化エントロピーによる準平衡構造. 日本物理学会北陸支部定例学術講演会講演予稿集, A-p5, 金沢 (2009.12)
- (30) 松木 篤 Laj, P., Sellegri, K., Venzac, H., Boulon, J., 三浦和彦, 岩坂泰信: 富士山山頂における新粒子生成の観測. 平成 21 年度富士山測候所利活用に関する成果報告会, 東京 (2010. 1)
- (31) 三浦哲也・木村繁男・木綿隆弘・小松信義: 自然対流が水の冷却速度と氷生成に及ぼす影響. 第 6 回生体工学と流体工学に関するシンポジウム講演論文集, 41-43, 金沢 (2010.2)
- (32) 根上 司・木村繁男・木綿隆弘・小松信義: LIDAR と画像処理を用いた上空の 3 次元風速測定手法の開発. 第 6 回生体工学と流体工学に関するシンポジウム, 39-40, 金沢 (2010.2)
- (33) 小西謙悟・木綿隆弘・木村繁男・小松信義・岡島 厚・六郷 彰: 平面壁上を移動する角柱に作用する流体力と流れ特性に関する数値シミュレーション. 第 6 回生体工学と流体工学に関するシンポジウム講演論文集, 45-47, 金沢 (2010.2)
- (34) 富岡裕之・木綿隆弘・小松信義・木村繁男: FLUENT による可変ピッチ式直線翼垂直軸風車性能の数値解析. 第 6 回生体工学と流体工学に関するシンポジウム講演論文集, 49-51, 金沢 (2010.2)
- (35) 富岡裕之・木綿隆弘・小松信義・木村繁男: 可変ピッチ式直線翼垂直軸風車性能の数値解析. 日本機械学会北陸信越支部第 47 期総会講演会講演論文集, **107-1**, 455-456, 新潟 (2010.3)
- (36) 小西謙悟・木綿隆弘・木村繁男・小松信義・六郷 彰・岡島 厚: 地面板上を移動する角柱まわりの流れの数値解析. 日本機械学会北信越支部第 47 期総会講演会講演論文集, **107-1**, 457-458, 新潟(2010.3)
- (37) 根上 司・木村繁男・木綿隆弘・小松信義: Imaging LIDAR を用いた上空風速測定手法に関する研究. 日本機械学会北陸信越支部第 47 期総会講演会講演論文集, **107-1**, 469-470, 新潟 (2010.3)
- (38) 本荘仁史・木村繁男・木綿隆弘・小松信義: 鉛直円筒周りの凝固特性: 冷却面温度変動に対する動的な応答. 第 44 回北陸流体工学研究会, 福井 (2010.3)
- (39) 寺井康志・木綿隆弘・木村繁男・小松信義・岡島 厚・六郷 彰: ブラフボディから放射される空力音の強制振動による影響. 第 44 回北陸流体工学研究会, 福井 (2010.3)

- (40) 小松信義・木村繁男・木綿隆弘：Tsallis エントロピーに基づく恒星ポリトロープと散逸を伴う自己重力 N 体系の非平衡過程. 第 65 回日本物理学会年次大会講演概要集第 2 分冊, **65(1)**, 2010, pp.349, 岡山大学, 岡山 (2010.3)
- (41) 松木 篤: 航空機搭載 CVI を用いた雲残渣粒子の直接観測. 科振費「渇水対策のための人工降雨・降雪に関する総合的研究」研究発表会, 水上高原, 群馬 (2010.3)

4) 研究交流 (共同研究)

・共同研究

- (1) 木村繁男, Michael Vynnycky, MACSI Senior Research Fellow, Department of Mathematics and Statistics University of Limerick, Limerick, Ireland, Mpemba 効果に関する研究
- (2) 木村繁男, Robert McKibbin, Professor, Department of Mathematics, Massey University, New Zealand, 植生内の乱流拡散に関する研究
- (3) 木村繁男, 矢崎総業 (株), マイクロフローセンサーの開発に関する研究
- (4) 木村繁男, 産業技術総合研究所, 二重拡散現象に関する基礎研究
- (5) 木村繁男, (株) エオネックス, 地下水の計測に関する研究
- (6) 木村繁男, 三菱電機 (株), Imaging LIDAR を用いた上空の風速測定手法に関する研究
- (7) 岩坂泰信, D. I. Lee, Professor, Laboratory of Atmospheric Environment, Pukyong University, Busan, Korea, 日本海洋上大気中のエアロゾル粒子分布
- (8) 岩坂泰信, Professor, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Science, Beijing, China, 中国起源の大気エアロゾルの観測・研究
- (9) 塚脇真二, カンボジア王国アンコール遺跡整備機構 (APSARA 機構), アンコール遺跡区域における環境汚染の現状と評価
- (10) 塚脇真二, カンボジア王国産業省資源総局 (GDMR), アンコール遺跡整備機構 (APSARA 機構), 水資源気象省水文河川局, UNESCO/MAB-IHP, カンボジアのトンレサップ湖における生物多様性維持機構調査 (EMSB&EMSB-u32)
- (11) 塚脇真二, タイ王国マヒドゥ大学, 同プリンスオブソンクラ大学, 同産業省資源局 (DMR), 東北大学, 信州大学, 弘前大学, スマトラアンダマン津波の影響評価
- (12) 塚脇真二, タイ王国プリンスオブソンクラ大学, 南タイのゴムプランテーションにともなう大気汚染の歴史的評価
- (13) 塚脇真二, カンボジア王国教育省教育学研究所 (NIE), 同カンボジア工科大学 (ITC), 同産業省資源総局 (GDMR), 東アジアおよび東南アジア地球科学諸計画調整委員会 (CCOP), カンボジアにおける地球科学/環境科学教育ネットワーク構築計画
- (14) 松木 篤, ブレーヌ・パスカル大学物理気象研究所(LaMP), 春季北極圏における大気エアロゾル航空機観測
- (15) 松木 篤, ブレーヌ・パスカル大学物理気象研究所(LaMP), 富士山山頂における新粒子生成の観測

・海外渡航

- (1) 塚脇真二, カンボジア (シェムリアプ, プノンペン), アンコール遺跡世界遺産における環境評価

調査およびアンコール世界遺産国際管理委員会技術小委員会 (2009. 5-6)

- (2) 塚脇真二, カンボジア (シェムリアプ, プノンペン), アンコール遺跡世界遺産およびトンレサップ生物圏保護区の環境影響調査 (2009. 8-9)
- (3) 塚脇真二, ヴェトナム (ホーチミン, ブンタオ), 第 46 回東アジアおよび東南アジア地球科学諸計画調整委員会 (CCOP) 年次総会日本代表委員 (2009. 10)
- (4) 塚脇真二, カンボジア (シェムリアプ, プノンペン), アンコール遺跡世界遺産およびトンレサップ生物圏保護区の環境影響調査およびアンコール世界遺産国際管理委員会 (2009. 12)
- (5) 塚脇真二, カンボジア (シェムリアプ, プノンペン), アンコール遺跡整備公団およびカンボジア工科大学との大学間交流協定締結式, ならびにアンコール遺跡世界遺産およびトンレサップ生物圏保護区の環境影響調査 (2010. 2)
- (6) 塚脇真二, カンボジア (シェムリアプ, プノンペン), アンコール遺跡世界遺産およびトンレサップ生物圏保護区の環境影響調査 (2010. 3)
- (7) 松木 篤, 韓国 (釜山), アジアアフリカ学術形成基盤事業 日韓セミナー(2009. 6)
- (8) 松木 篤, 中国 (北京), 大気エアロゾル試料採集に関わる調査 (2009. 10)

・訪問外国人研究者

- (1) Sylvie Lorente, Professor of Civil Engineering, INSA(National Institute for Applied Science)-Toulouse, France, The Constructal Law に関する研究 (2009. 10)
- (2) Paolo Laj, Senior Scientist, Laboratoire de Glaciologie et Geophysique de l'Environnement, Grenoble, France, 富士山山頂における大気エアロゾル共同観測 (2009. 7)
- (3) J. Heizenberg, Director, Leibnitz-Institute for Tropospheric Research, Germany (対流圏科学ライプニッツ研究所・所長), 大気エアロゾル研究の促進にかかわる打ち合わせ (2009. 9)
- (4) Peou Hang, Deputy Director-General, Authority for the Protection and Management of Angkor and the Region of Siem Reap (APSARA Authority), Cambodia (カンボジア王国国立アンコール遺跡公園整備公団副総裁), アンコール遺跡公園の環境保全事業にかかる打合せおよび合同セミナーの開催 (2009. 10)
- (5) Bun Hok Lim, National Staff in charge of Angkor Monuments, Culture Division, UNESCO/Phnom Penh Office, Cambodia (ユネスコ/プノンペン事務所文化部門アンコール遺跡世界遺産担当職員), アンコール遺跡公園の環境保全事業にかかる打合せおよび合同セミナーの開催 (2009. 10)
- (6) Adrian Bejan, J.A.Jones Professor of Mechanical Engineering, Duke University, USA, The Constructal Law に関する研究 (2009. 10)
- (7) S.-C. Yoon, Professor, Seoul National University (ソウル大学・教授), 能登スーパーサイト運営の打ち合わせ (2009. 10)
- (8) D. I. Lee, Professor, Pukyong University(釜慶大学校・教授), 能登スーパーサイト運営の打ち合わせ (2009. 10)
- (9) H. S. An, Professor Emeritus, Seoul University, Seoul, Korea (ソウル大学名誉教授), 能登スーパーサイトの活動に関する助言 (2009. 10)
- (10) Michael Vynnycky, MACSI Senior Research Fellow, Department of Mathematics and Statistics University

of Limerick, Limerick, Irland, Mpemba 効果に関する研究 (2009. 11)

5) 各種活動 (学会・社会)

・学会活動

- (1) 木村繁男：2012年日本機械学会年次大会実行委員会副委員長 (2012. 9, 金沢), 日本機械学会校閲委員, 日本冷凍空調学会 2010年度年次大会実行委員 (2010. 9, 金沢), 日本流体力学会代議員, International Editorial Board Member of “Transport in Porous Media”, Springer, International Editorial Board Member of The Open Transport Phenomena Journal, Bentham Science Publishers, International Scientific Committee Member for the 21th International Symposium on Transport Phenomena (2010. 11, 高雄), International Program Committee Member for "Fluxes and Structures in Fluids: Physics of Geospheres", Russian Academy of Science (2011. 9, ウラジオストック)
- (2) 岩坂泰信：「黄砂」編集委員会代表, Advanced in Meteorology 編集委員, 第3回環日本海域の環境シンポジウム実行委員長, エアロゾル研究 (日本エアロゾル学会機関誌) バイオエアロゾル特集編集委員
- (3) 塚脇真二：日本応用地質学会中部支部評議員, 東アジアおよび東南アジア地球科学計画調整委員会 (CCOP) 日本国代表委員, 同委員会日本国内委員会委員, UNESCO-MAB (Man and Biosphere: 人と生物圏) および UNESCO-BR (Biosphere Reserves: 生物圏保護区) 東アジア・東南アジア地区メンバー, カンボジアのシェムリアプ州ならびにアンコール遺跡区域水問題会議委員, アンコール遺跡国際管理運営委員会メンバー
- (4) 仁宮一章：日本生物工学会乳酸菌腸内細菌工学研究部会委員, 日本生物工学会 IT 駆動型微生物学研究部会委員, 日本生物工学会システムバイオテクノロジー研究部会委員

・社会活動

- (1) 木村繁男：静岡大学電子技術研究所外部評価委員, 科学技術振興機構調査研究「環境共生地熱開発のための計測・探査技術に関する調査研究」委員会委員, NEDO 研究補助金審査委員
- (2) 岩坂泰信：環境省黄砂問題検討会座長, 環境省オゾン層保護検討会科学分科会委員, 文部科学省南極地域観測推進統合本部委員, 財団法人環境創造センター理事, みなと振興財団運営委員, 国立総合地球環境科学研究所プロジェクト評価委員および運営協議委員, 海洋開発研究機構評価委員, 福岡大学理学研究科非常勤講師, 名城大学非常勤講師, 熊本県立大学環境共生フォーラム講師, 静岡県立大学大学院特別講義講師, 名古屋大学地球水循環研究センター公開講演会講師
- (3) 塚脇真二：鹿児島大学総合研究博物館第16回市民講座講師, 金沢子ども財団中学校サイエンスクラブ講師, 海外学術調査報告会/一般講演会「アンコール遺跡区域における環境汚染と環境破壊の現状と影響評価」日メコン交流年 2009 認定事業, 2009年度第2回日本海イノベーション会議講師
- (4) 仁宮一章, 金沢大学ふれてサイエンス&テクテクテクノロジー「バイオによるものづくり」, 北陸三県・大学シーズ・プレゼンセッション 2009「TiO₂/超音波触媒法による酸化ラジカル発生法とその応用」, 金沢大学オープンキャンパス「バイオによるものづくり」

生物多様性研究部門

学術論文

- 1) Suzuki, N., Hayakawa, K., Kameda, K., Toriba, A., Tang, N., Tabata, M.J., Takada, K., Wada, S., Omori, K., Srivastav, A.K., Mishima, H. and Hattori, A.: Monohydroxylated polycyclic aromatic hydrocarbons inhibit both osteoclastic and osteoblastic activities in teleost scales. *Life Sci.*, 84: 482-488 (2009)
- 2) Ngamniyom, A., Magtoon, W., Nagahama, Y. and Sasayama, Y.: Expression levels of hormone receptors and bone morphogenic protein in fins of medaka. *Zool. Sci.*, 26: 74-79 (2009)
- 3) Hamazaki, T., Suzuki, N., Widyowati, R., Miyahara, T., Kadota, S., Ochiai, H. and Hamazaki, K.: The depressive effects of 5,8,11-eicosatrienoic acid (20:3n-9) on osteoblasts. *Lipids*, 44: 97-102 (2009)
- 4) Ikegami, T., Azuma, K., Nakamura, M., Suzuki, N., Hattori, A. and Ando, H.: Diurnal expressions of four subtypes of melatonin receptor genes in the optictectum and retina of goldfish. *Comp. Biochem. Physiol.*, part A 152: 219-224 (2009)
- 5) Sasayama, Y., Fukumori, Y., Nakabayashi, H. and Shimizu, N.: Detection of sulfur using an X-ray analytical microscope from the trophosome of a beard worm, *Oligobrachia mashikoi*, Frenulata, Siboglinidae. *Nihonkai Kenkyu*, 40: 13-18 (2009)
- 6) Srivastav, A.K., Srivastava, S.K., Mishra, D., Srivastav, S.K. and Suzuki, N.: Effects of deltamethrin on serum calcium and corpuscles of Stannius of freshwater catfish, *Heteropneustes fossilis*. *Toxicol. Environ. Chem.*, 91: 761-772 (2009)
- 7) Sekiguchi, T., Suzuki, N., Fujiwara, N., Aoyama, M., Kawada, T., Sugase, K., Murata, Y., Sasayama, Y., Ogasawara, M. and Satake, H.: Calcitonin in a protochordate, *Ciona intestinalis*: The prototype of the vertebrate Calcitonin/Calcitonin gene related peptide superfamily. *FEBS J.*, 276: 4437-4447 (2009)
- 8) Srivastav, A.K., Srivastava, B., Mishra, D., Srivastav, S.K. and Suzuki, N.: Alterations in the ultimobranchial and parathyroid gland of garden lizard, *Calotes versicolor* after prolactin administration. *J. Biol. Res.*, 12: 187-192 (2009)
- 9) 鈴木信雄, 田畑 純, 大森克徳, 井尻憲一, 北村敬一郎, 根本 鉄, 清水宣明, 染井正徳, 池亀美華, 中村正久, 近藤 隆, 古澤之裕, 松田恒平, 田淵圭章, 高崎一朗, 和田重人, 安東宏徳, 笠原春夫, 永瀬 睦, 久保田幸治, 鈴木 徹, 遠藤雅人, 竹内俊郎, 奈良雅之, 服部淳彦: 魚類のウロコを用いた宇宙生物学的研究: 宇宙実験に適したウロコの培養法の 検討. *Space Utiliz. Res.*, 25: 166-169 (2009)
- 10) 鈴木信雄, 矢澤一良, 渡部和郎, 繁森英幸, 山田昭浩, 畠 伸彦, 田中雅子, 前 成美, 矢野純博, 稲葉信策, 中間俊彦, 笹山雄一: イカの皮に存在する生理活性物質及び色素. *日本海域研究*, 41: 1-5 (2010)
- 11) 鈴木信雄, 田畑 純, 大森克徳, 井尻憲一, 北村敬一郎, 根本 鉄, 清水宣明, 笹山雄一, 染井正徳, 池亀美華, 中村正久, 近藤 隆, 古澤之裕, 松田恒平, 田淵圭章, 高崎一朗, 和田重人, 安東宏徳, 笠原春夫, 永瀬 睦, 久保田幸治, 鈴木 徹, 遠藤雅人, 竹内俊郎, 江尻貞一, 小萱康徳, 前田齊嘉, 内田秀明, 田谷敏貴, 林 明生, 中村貞夫, 杉立久仁代, 芹野 武, 奈良雅之, 服部淳彦: 魚類のウロコを用いた宇宙生物学的研究: 魚類のウロコにおけるホルモン応答. *Space Utiliz. Res.*, 26: 210-213 (2010)
- 12) Mishra, D., Srivastav, S.K., Suzuki, N. and Srivastav, AK: Corpuscles of stannius of a freshwater teleost,

- Heteropneustes fossilis* in response to metacid-50 treatment. J. Appl. Environ. Sci. Manag., in press.
- 13) Suzuki, N., Kitamura, K., Omori, K., Nemoto, T., Satoh, Y., Tabata, M.J., Ikegame, M., Yamamoto, T., Ijiri, K., Furusawa, Y., Kondo, T., Takasaki, I., Tabuchi, Y., Wada, S., Shimizu, N., Sasayama, Y., Endo, M., Takeuchi, T., Nara, M., Somei, M., Maruyama, Y., Hayakawa, K., Shimazu, T., Shigeto, Y., Yano, S. and Hattori, A.: Response of osteoblasts and osteoclasts in regenerating scales to gravity loading. Biol. Sci. Space, in press
 - 14) Srivastav, A.K., Srivastav, B., Mishra, D., Srivastav, S.K. and Suzuki, N.: Calcitonin induced alterations in the ultimobranchial and parathyroid gland of garden lizard, *Calotes versicolor*. Turk. J. Zool., in press
 - 15) Prasad, M., Kumar, A., Mishra, D., Srivastav, S.K., Suzuki, N. and Srivastav, A.K.: Acute Toxicities of Diethyl Ether and Ethanol Extracted *Nerium indicum* Leaf to the Fish, *Heteropneustes fossilis*. Niger. J. Nat. Prod. Med., in press
 - 16) Endo K, Sakamoto J., Kashiwano Y., Yokota H., Nakamura S. & Kinoshita E. A biomechanical study on burst mechanisms of plant fruit. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. In press.
 - 17) Kimura, K., Yumoto, T., Kikuzawa, K. & Kitayama, K. 2009. Flowering and fruiting seasonality of eight species of *Medinilla* (Melastomataceae) in a tropical montane forest of Mount Kinabalu, Borneo. Tropics 18: 35-44.

総説

鈴木信雄：魚類のウロコを用いた骨代謝評価系の開発と磁場研究への応用．財団法人磁気健康科学研究振興財団 会報 22：19-22 (2009)

著書

- 1) 鈴木信雄，田畑 純，服部淳彦：第3章 キンギョ．『身近な動物を使った実験1』，鈴木範男編，三共出版，東京，31-77 (2009)
- 2) 服部淳彦，田畑 純，鈴木信雄：第3章 親子判別．『身近な動物を使った実験4』，鈴木範男編，三共出版，東京，印刷中

【研究発表及び研究活動】

1) 研究発表

- 1) 鈴木信雄，笹山雄一：軟骨魚類と円口類のカルシトニンの生理的役割．第23回海洋生物活性談話会．東京大学附属臨海実験所，神奈川県 (2009, 5/24)
- 2) Suzuki, N.: Fish scale is a good model for the evaluation of the bone metabolism in fish: The effects of heavy metals and endocrine disruptors on osteoblasts and osteoclasts in the scales. Busan Symposium in Pukyong National University (JSPS' s Asia and Africa Science Platform Program), Pukyong National University (Busan, Korea), June 19, 2009 (招待講演)
- 3) 鈴木信雄：魚類のウロコを用いた宇宙生物学的研究．平成21年度日本動物学会中部支部大会，相山女学園大学，愛知県 (2009, 8/2)
- 4) Suzuki, N.: The toxicity of bisphenol A and polycyclic aromatic compound in osteoblasts and osteoclasts of teleosts. JENESYS-POMRAC-Kanazawa University Joint Symposium 2009, Kanazawa University (Ishikawa, Japan), September 10, 2009 (招待講演)

- 5) 鈴木信雄, 早川和一, 服部淳彦: ウロコのアッセイ系を用いた水酸化多環芳香族炭化水素類の魚類の骨代謝に及ぼす影響評価. 第 80 回日本動物学会, 静岡コンベンションアーツセンター グランシップ, 静岡県 (2009, 9/19)
- 6) 大場由美, 鈴木信雄, 島崎洋平, 佐藤根妃奈, 笹山雄一, 大嶋雄治: ヒラメトリブチルスズ結合タンパク質タイプ 1 (TBT-bp1) は TBT と結合しその毒性を抑制する. 平成 21 年度日本水産学会秋季大会, いわて県民情報交流センター・アイーナ, 岩手県 (2009, 10/2)
- 7) 鈴木信雄: 魚類のカルシウム代謝におけるウロコの生理学的役割: 副甲状腺ホルモンに対する作用. 宇宙生物学会第 23 回大会, 筑波宇宙センター, 茨城県 (2009, 10/2)
- 8) 佐藤根妃奈, 李 在萬, 日下部宣宏, 川畑俊一, 大場由美, 島崎洋平, 大嶋雄治, 鈴木信雄, 笹山雄一: トリブチルスズ結合タンパク質 (TBT-bp1) は TBT の骨芽細胞 ALP 活性阻害を回復させる. 第 15 回日本環境毒性学会・バイオアッセイ研究会, 東京海洋大学, 東京都 (2009, 10/3)
- 9) Suzuki, N.: Development and application of a fish scale in vitro assay system: Fish scale is a suitable model for analysis of bone metabolism. 2009 Korea-Japan Joint Research Project Symposium. "Aging, Radiation and Environment", Pusan National University (Busan, Korea), October 16, 2009 (招待講演)
- 10) 鈴木信雄, 柿川真紀子, 山田外史, 田渕圭章, 高崎一朗, 古澤之裕, 近藤 隆, 和田重人, 廣田憲之, 北村敬一郎, 岩坂正和, 服部淳彦, 上野照剛: 交流磁場の骨代謝に対する作用: 魚鱗を用いたモデル系による解析. 第 34 回日本比較内分泌学会大会, 千里ライフサイエンスセンター, 大阪府 (2009, 10/23)
- 11) 丸山雄介, 鈴木信雄, 服部淳彦: 繁殖期の雌キングギョにおける破骨細胞の活性化と血漿カルシウム濃度. 第 34 回日本比較内分泌学会大会, 千里ライフサイエンスセンター, 大阪府 (2009, 10/23)
- 12) 鈴木信雄: 魚のウロコをモデル系とした磁場の骨代謝に対する作用. 日本磁気科学会年会 サテライトシンポジウム, 信州大学, 長野県 (2009, 11/12) (招待講演)
- 13) 三島弘幸, 北原正大, 服部淳彦, 鈴木信雄, 田畑 純, 箕 光男, 見明康夫: 象牙質の成長線の形成リズムとメラトニンの分泌リズムとの関連. 第 4 回バイオミネラルリゼーションワークショップ, 東京大学農学部, 東京都 (2009, 12/13)
- 14) 鈴木信雄, 田畑 純, 大森克徳, 井尻憲一, 北村敬一郎, 根本 鉄, 清水宣明, 笹山雄一, 染井正徳, 池亀美華, 中村正久, 近藤 隆, 古澤之裕, 松田恒平, 田渕圭章, 高崎一朗, 和田重人, 安東宏徳, 笠原春夫, 永瀬 睦, 久保田幸治, 鈴木 徹, 遠藤雅人, 竹内俊郎, 江尻貞一, 小萱康徳, 前田斉嘉, 内田秀明, 田谷敏貴, 林明生, 中村貞夫, 杉立久仁代, 芹野 武, 奈良雅之, 服部淳彦: 魚類のウロコを用いた宇宙生物学的研究: 魚類のウロコにおけるホルモン応答. 第 26 回宇宙利用シンポジウム, 宇宙航空研究開発機構・相模原キャンパス, 神奈川県 (2010, 1/26)
- 15) 石岡憲昭, 浅島 誠, 石原昭彦, 泉 龍太郎, 宇佐美真一, 大石浩隆, 大森克徳, 鎌田源司, 黒谷明美, 鈴木ひろみ, 鈴木信雄, 曾我部正博, 高橋昭久, 二川 健, 東谷篤志, 東端 晃, 馬嶋 秀行, 宮崎安将, 向井千秋, 保田浩志, 山崎 丘, Chattopadhyay, K., Orlov, O.I., Sharma, S.C., Shivaji, S., 庄逢 源: 平成 21 年度宇宙ストレス生物学研究班WG活動報告. 第 26 回宇宙利用シンポジウム, 宇宙航空研究開発機構・相模原キャンパス, 神奈川県 (2010, 1/26)
- 16) Suzuki, N.: Fish Scales: Investigation of the osteoclastic and osteoblastic responses to microgravity using goldfish scales. Prelim Increment 23-24 Science symposium, JAXA (Ibaraki, Japan), February 4, 2010 (招待講演)

- 17) 鈴木信雄：磁場による骨形成作用：ウロコを用いた解析．バイオサイエンスシンポジウム，金沢大学，石川県（2010, 2/24）
- 18) 鈴木信雄，早川和一：水酸化多環芳香族炭化水素は魚の骨芽細胞及び破骨細胞の活性を抑制し、魚の骨代謝を攪乱する．第44回日本水環境学会，福岡大学，福岡県（2010, 3/15）
- 19) 中野 淳，鈴木信雄，鳥羽 陽，早川和一：多環芳香族炭化水素類を魚に投与後の血中 Ca 濃度、胆汁組成と骨芽・破骨細胞活性の変化．第130回日本薬学会年大会，岡山コンベンションセンター，岡山県（2010, 3/30）
- 20) 田畑 純，中野崇文，池亀美華，鈴木信雄，服部淳彦，井関八郎，馬場麻人，高野吉郎：宇宙実験のためのキングョ再生鱗の培養法の開発と保冷・培養下での細胞動態の観察．日本解剖学会，岩手県民会館，岩手県（2010, 3/28）
- 21) 吉本敦子，木村一也，木下栄一郎：コバノガマズミにおける自家不和合性の崩壊．第57回日本生態学会，東京（2010,3）
- 22) 木村一也・田辺慎一・中村浩二：果実食鳥類のfruit tracking? 地域スケールでみた果実生産と鳥飛来数の対応関係．日本生態学会・第57回大会（2010年3月，東京）

【研究交流】

1) 共同研究

- 1) 笹山雄一：タイ・バンコク郊外におけるメダカの雌雄性を指標にした環境汚染の研究，国立 スリナカリンウイロット大学（タイ）Dr. Wichian Magtoon
- 2) 笹山雄一：メダカの鰭の形成に及ぼす性ホルモンの研究，基礎生物学研究所教授 長濱義孝氏
- 3) 笹山雄一：マシコヒゲムシ栄養体のバクテリオサイト微細構造の研究，島根大学生物資源科学部教授 松野あきら氏
- 4) 笹山雄一：マシコヒゲムシ栄養体の脂肪酸組成の研究，東京学芸大学教授 三田雅敏氏
- 5) 鈴木信雄：魚類の副甲状腺ホルモンに関する研究，メルボルン大学（オーストラリア） Prof. T. John Martin、RMIT 大学（オーストラリア）Dr. Janine A. Danks
- 6) 鈴木信雄：魚類のカルセミックホルモン（カルシトニン、ビタミン D、スタニオカルシン）に関する研究，ゴラクプール大学（インド）Prof. Ajai K. Srivastav
- 7) 鈴木信雄：メラトニンの骨代謝に関する研究，東京医科歯科大学教授 服部淳彦氏，九州大学大学院農学研究院准教授 安東宏徳氏
- 8) 鈴木信雄：重金属の骨芽・破骨細胞に及ぼす影響：ウロコのアッセイ系による解析，国立水俣病研究センター主任研究員 山元 恵氏，東京慈恵会医科大学医学部准教授 高田耕司氏
- 9) 鈴木信雄：ニワトリのカルシトニンレセプターのクローニングとその発現に関する研究，新潟大学農学部助教 杉山稔恵氏
- 10) 鈴木信雄：ウロコの破骨細胞に関する研究，岡山大学大学院医歯薬学総合研究科教授 山本敏男氏，同准教授 池亀美華氏
- 11) 鈴木信雄：プロラクチンの骨組織に対する作用，岡山大学理学部付属臨海実験所教授 坂本竜哉氏，北里大学水産学部教授 高橋明義氏，同准教授 森山俊介氏
- 12) 鈴木信雄：再生ウロコに関する研究，北海道大学大学院水産科学研究院教授 都木靖章氏，東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科准教授 田畑 純氏
- 13) 鈴木信雄：円口類と軟骨魚類のカルシトニンの構造決定，東京大学海洋研究所教授 竹井祥郎氏，

同准教授 兵藤 晋氏

- 14) 鈴木信雄：交流磁場の骨代謝に及ぼす影響，九州大学大学院工学研究院特任教授 上野照剛氏，千葉大学 工学部准教授 岩坂正和氏
- 15) 鈴木信雄：魚類の鰓後腺に存在するエストロゲンレセプターに関する研究，早稲田大学教育学部 名誉教授 菊山 榮氏，早稲田大学人間総合研究センター研究員 山本和俊氏
- 16) 鈴木信雄：ヒラメの初期発生におけるカルシトニンの作用，東北大学農学研究科教授 鈴木徹氏，独立行政法人水産総合研究センター養殖研究所発育制御チーム長 黒川忠英氏
- 17) 鈴木信雄：脂肪酸の石灰化に対する作用，富山大学 和漢薬研究所教授 浜崎智仁氏
- 18) 鈴木信雄：超音波の骨代謝に及ぼす影響，富山大学大学院医学薬学研究部教授 近藤 隆氏，同大学 医学部講師 和田重人氏
- 19) 鈴木信雄：ウロコの破骨細胞で発現している遺伝子の解析，早稲田大学教育学部教授 中村正久氏
- 20) 鈴木信雄：重力及び微小重力の骨組織に対する作用，東京大学 アイソトープ総合センター 教授 井尻憲一氏
- 21) 鈴木信雄：歯の石灰化に関する研究，高知学園短期大学教授 三島弘幸氏
- 22) 鈴木信雄：静磁場の骨代謝に及ぼす影響，独立行政法人 物質・材料研究機構 強磁場研究 センター 研究員 廣田憲之氏，同研究センター 特別研究員 木村史子氏
- 23) 鈴木信雄：インドール化合物の抗菌活性及び植物の根の成長促進作用に関する研究，富山大学大学院理工学研究部客員教授 神坂盛一郎氏，同准教授 唐原一郎氏
- 24) 鈴木信雄：魚のウロコを用いた宇宙生物学的研究，宇宙航空研究開発機構主任研究員 大森克徳氏，富山大学大学院理工学研究部教授 松田恒平氏
- 25) 鈴木信雄：トリブチルスズの海域汚染に関する研究，九州大学大学院農学研究科准教授 大嶋雄治氏
- 26) 鈴木信雄：インドール化合物のラットの骨代謝に及ぼす影響，ハムリー（株）国際事業部 部長 関あずさ氏
- 27) 鈴木信雄：魚類の骨代謝におけるビタミンKの作用，神戸薬科大学教授 岡野登志夫氏，同講師 中川公恵氏
- 28) 鈴木信雄：魚のウロコで発現している遺伝子のメカニカルストレスに対する応答，富山大学生命科学先端研究センター 遺伝子実験施設 准教授 田淵圭章氏，同助教 高碓一朗氏
- 29) 鈴木信雄：耳石の石灰化に対するメラトニンの作用，奈良県立医科大学准教授 大西 健氏
- 30) 鈴木信雄：海産魚類及び海産無脊椎動物のカルシトニンの構造進化及び作用進化に関する研究
- 31) (財)サントリー生物有機科学研究所・第二研究部部長・主幹研究員 佐竹 炎氏，同研究員 川田剛士氏，同研究員 関口俊男氏
- 32) 木下栄一郎．テンナンショウ属植物（サトイモ科）の性転換モデルの検証，国立環境研究所 生態遺伝部門研究員 西沢徹氏
- 33) 木下栄一郎．雑種起源種トウカイコモウセンゴケの生活史の比較研究，中野真理子氏 石川県自然史資料館
- 34) 木下栄一郎．雑種起源種オオミズヒキモとその両親種の繁殖と分散に関する研究，国立環境研究所生態遺伝部門主任研究員 中嶋信美氏，同研究員 西沢徹氏
- 35) 木下栄一郎．自動散布する植物果実の残留応力に関する研究，金沢大学理工学域 教授 坂本二

郎氏

各種活動

社会活動

- 1) 笹山雄一：石川県環境影響評価委員会委員，2003-現在
- 2) 笹山雄一：石川県原子力発電温排水検討委員会委員，2000-現在
- 3) 笹山雄一：のと海洋ふれあいセンター研究報告編集委員会委員，1994-現在
- 4) 笹山雄一：石川県公共事業評価監視委員会委員，2005-現在
- 5) 木下栄一郎：石川県環境影響評価委員会委員，2003-現在
- 6) 木下栄一郎：金沢市文化財保護委員会委員、2000-現在

学会活動

- 1) 鈴木信雄：日本動物学会中部支部代議員，2008-現在
- 2) 木下栄一郎：種生物学会庶務幹事，2007-2009

生体機能計測研究部門

1) 学術論文

- (1) Y. Miyachi, N. Shimizu, C. Ogino, A. Kondo. Selection of DNA aptamers using atomic force microscopy. *Nucleic Acid Res.*, 2010, in press. (IF=6.878)
- (2) N. Suzuki, K. Kitamura, K. Omori, T. Nemoto, Y. Satoh, M.J. Tabata, M. Ikegame, T. Yamamoto, K. Ijiri, Y. Furusawa, T. Kondo, I. Takasaki, Y. Tabuchi, S. Wada, N. Shimizu, Y. Sasayama, M. Endo, T. Takeuchi, M. Nara, M. Somei, Y. Maruyama, K. Hayakawa, T. Shimazu, Y. Shigeto, S. Yano, A. Hattori. Response of osteoblasts and osteoclasts in regenerating scales to gravity loading. *Biol. Sci. Space*, 2010, in press.
- (3) K. Kitamura, N. Suzuki, Y. Sato, T. Nemoto, M. Ikegame, T. Yamamoto, N. Shimizu, T. Kondo, Y. Furusawa, S. Wada, A. Hattori. Osteoblast activity in the goldfish scale responds sensitively to mechanical stress. *Comp. Biochem. Phys. A: Mol. Int. Phys.*, 2010, in press.
- (4) M.M. Rahman, K. Ninomiya, C. Ogino, N. Shimizu. Ultrasound-induced cell damage and membrane lipid peroxidation of *Escherichia coli* in the presence of non-woven TiO₂ fabrics. *Ultrason. Sonochem.*, 17, 738-743, 2010.
- (5) N. Shimizu, K. Ninomiya, C. Ogino, M.M. Rahman, Potential uses of titanium dioxide in conjunction with ultrasound for improved bacterial disinfection, *Biochem. Eng. J.*, 48, 416-423, 2010.
- (6) Y. Miyachi, N. Shimizu, C. Ogino, H. Fukuda, A. Kondo. Selection of a DNA aptamer that binds 8-OHdG using GMP-agarose. *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, 19, 3619-3622, 2009.
- (7) Y. Sasayama, Y. Fukumori, H. Nakabayashi, N. Shimizu. Detection of sulfur using an X-ray analytical microscope from the Trophosome of a beard worm, *Oligobranchia mashikoi*, Frenulate, Siboglinidae. *Nihon-Kaiiki Kenkyu Kanazawa University*, 40, 13-18, 2009.
- (8) S.M. Tanaka and K. Kondo: Frequency and resting time dependencies of electrically-induced muscle contraction force, *Journal of Biomechanical Science and Engineering (Special Issue on Biomechanical Design)*, Vol.4, No.2, pp.201-211, 2009

- (9) 杉浦直樹、武田 純、田中茂雄、細胞内 Ca^{2+} 動態観察用小型光システムの開発、臨床バイオメカニクス、Vol.30, pp.41-46, 2009
- (10) 曹 廷舜、辻本敏行、田中茂雄、光深度分解法による骨密度計測—モデル実験による検証—、臨床バイオメカニクス、Vol.30, pp.15-19, 2009
- (11) 瀧本貴友、田中茂雄、骨形成促進のための電氣的筋刺激法に関する研究—有限要素法による骨内電流密度分布解析—、臨床バイオメカニクス、Vol.30, pp.21-26, 2009
- (12) S. M. Tanaka and H. B. Sun, Walking-induced bone strain stimulates cultured osteoblasts accompanied by the low-magnitude, high frequency components, *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, Vol. 4, No. 3, pp. 434-442, 2009
- (13) S. M. Tanaka, S. Tanaka, T. Yamakoshi, M. Nogawa, K.-I. Yamakoshi, A novel hip protector material with high impact force attenuation: Leak-allowed air cushion, *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, Vol.4, No.3, pp. 443-455 2009
- (14) C.P.Gooneratne, M.Kakikawa, M.Iwahara, GMR Sensor Application in Detecting and Estimating Magnetic Fluid Weight Density inside Various Size Tumors, *Journal of the Magnetics Society of Japan*, 33, 175-178 (2009).
- (15) Agnieszka Lekawa, Henryka D. Stryczewska, Sotoshi Yamada, Chinthaka Gooneratne, Review of biomedical applications of SV-GMR sensors, *Przeglad Elektrotechniczny*. ISSN 0033-2097, R, 85 NR (2009).
- (16) T.Somsak, K.Chomsuwan, S.Yamada, M.Iwahara, Application of Giant Magnetoresistance Sensor for Micro Material Detection, *Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechannics*, 17, Supplement, S101-S104 (2009).
- (17) C.P.Gooneratne, S.Yamada, M.Iwahara, M.Kakikawa, Y.Matsumoto, Novel GMR Sensor for Estimation of Magnetic Nanoparticles inside Minute Cavities, *Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechannics*, 17, 63-66 (2009).
- (18) M.Kakikawa, T.Fujihata, M.Iwahara, S.Yamada, Enhanced Potency of Anticancer Drug Bieomycin by ELF Magnetic Fields, *Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechannics*, 17,3, 83-86 (2009).
- (19) Y.Hirai, M.Kakikawa, S.Yamada, M.Iwahara, Influence of ELF Magnetic Field on Anticancer Drug Cisplatin Potency, *Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechannics*, 17, 3, 95-98 (2009).
- (20) K.Yotsutsuji, M.Kitazawa, S.Yamada, M.Iwahara, Loss Consideration of Magnetic Fault Current Limiter, *Journal of the Japan Society of Applied ,Electromagnetics and Mechannics*, 17, Supplement, S5-S8 (2009).
- (21) H.Suzuki, S.Yamada, M.Kakikawa, Y.Matsumoto, M.Iwahara, Enhancement of Performance of Internal Combustion Engine by Electromagnetic Fuel Saver, *Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechannics*, 17, Supplement, S145-S148 (2009).
- (22) H.Arima, S.Yamada, M.Iwahara, Measurement of Axis Eccentric of Round Rod by Multi Giant Magnetoresistance Probe, *Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechannics*, 17, Supplement, S153-S156, (2009).
- (23) C.P.Gooneratne, M.Kakikawa, T.Ueno, S.Yamada, Measurement of Minute Changes in Magnetic Flux Density by Means of a Novel GMR Needle Probe for Application in Hyperthermia Therapy, *Journal of the*

Magnetics Society of Japan, Vol. 34, No.2, 119-122 (2010).

- (24) T. Suzuki, S. Yamada, T. Ueno, M. Kakikawa, Action of Cavitation Phenomena Generated by Giant Magnetostrictive Actuator to Inactivation of Phage, Journal of the Magnetics Society of Japan, Vol. 34, No.2, 131-135 (2010).
- (25) Y. Iwasaka, G.-Y. Shi, M. Yamada, F. Kobayashi, M. Kakikawa, T. Maki, T. Naganuma, B. Chen, Y. Tobo, C. Hong, Mixture of Kosa (Asian Dust) and Bioaerosols detected in the atmosphere over the Kosa particles source regions with balloon-borne measurements: possibility of long-range transport, Air quality, atmosphere and Health, 2, 29-38 (2009).
- (26) 柿川真紀子, バイオエアロゾルとは, 日本生物工学会誌, 87, 239 (2009).
- (27) T. Maki, S. Susuki, F. Kobayashi, M. Kakikawa, M. Yamada, T. Higashi, A. Matsuki, C. Hong, Y. Tobo, H. Hasegawa, K. Ueda, Y. Iwasaka. Phylogenetic diversity and vertical distribution of a halobacterial community in the atmosphere of an Asian dust (KOSA) arrival region, Suzu city. J. Ecotech. Res. 14, 255-259 (2009).
- (28) 柿川真紀子, 岩坂泰信, 小林史尚, 牧輝弥, バイオエアロゾルのメタゲノム解析, エアロゾル研究, 25, 29-34 (2010)
- (29) 小林史尚, 小谷口久美子, 柿川真紀子, 牧輝弥, 山田丸, 當房豊, 洪天祥, 松木篤, 岩坂泰信, 能登半島珠洲市上空における黄砂バイオエアロゾルの直接採集および分離培養・同定, エアロゾル研究, 25, 23-28 (2010)
- (30) 牧輝弥, 小林史尚, 柿川真紀子, 鈴木振二, 當房豊, 山田丸, 松木篤, 洪天祥, 長谷川浩, 岩坂泰信, 黄砂バイオエアロゾルに含まれる耐塩細菌群の種組成解析, エアロゾル研究, 25, 35-42 (2010)

2) 総説・資料・報告書

- (1) 仁宮 一章, 荻野 千秋, 清水宣明: 光触媒ナノ粒子と超音波をカップリングしたがん治療法. *Materials Integration* 特集「マイクロ・ナノバブル [2] -マイクロバブルとソノプロセス」, 6(22), 8-12, (2009).
- (2) 田中茂雄, 山越憲一: 骨粗鬆症性骨折予防を目的とした筋刺激用エレクトロニクスデバイスの開発, 立石科学技術振興財団助成研究成果集、第 18 号、pp. 30-36, 2009
- (3) 岩原正吉, 伏見允秀, 水野祐亮, 武内伊久磨, 山田外史, 電気 - 磁気 - 力学系回路法による突極性を考慮した回転機一般の統一的数値解析手法, マグネティクス研究会資料、MAG-09-36 (2009).
- (4) 鈴木峻, 中村翔太郎, 上野敏幸, 柿川真紀子, 山田外史, キャビテーションに基づくパルスパワーによるウイルスの不活性化, マグネティクス研究会資料、MAG-10-65、41-46 (2009).
- (5) 中村翔太郎, 鈴木 峻, 上野敏幸, 柿川真紀子, 山田外史, キャビテーション発生のための超磁歪アクチュエータ装置と殺菌操作への応用, マグネティクス研究会資料、MAG-10-65、41-46 (2010).

3) 著書

- (1) 金沢大学設計教育グループ (浅川直紀, 岩田佳雄, 大西 元, 酒井 忍, 坂本二郎, 高森達郎, 田中茂雄, 野川雅道, 古本達明, 米山 猛) 著, 3次元 CAD・CAE・CAM を活用した創造的な機械設計 - SolidWorks を活用した設計・製作 -, 日刊工業新聞社, 東京, 2009年8月27日

4) 学術発表

- (1) 清水宣明, 仁宮一章: 光触媒・超音波化学のカップリングとその医療応用, 平成 21 年度電気関係学会北陸支部連合大会, 金沢 (2009. 9)
- (2) 清水宣明, 仁宮一章, Mizanur, R.M., 荻野 千秋: 二酸化チタン/超音波触媒法と電気化学を組み合わせた新規殺菌技術, 日本防菌防黴学会 第36回年次大会, 大阪 (2009. 9)
- (3) 大島周平, 仁宮一章, 荻野千秋, 黒田俊一, 清水宣明: TiO₂ ナノ粒子と超音波触媒法を併用したがん治療法の *in vitro* および *in vivo* 評価, 日本ソノケミストリー学会 第 18 回討論会, 長岡 (2009. 10).
- (4) 河端伸哉, 仁宮一章, 清水宣明: 非侵襲刺激応答型ナノキャリアを用いたドラッグデリバリーシステムの構築, 日本ソノケミストリー学会 第 18 回討論会, 長岡 (2009. 10).
- (5) Mohammad Mizanur Rahman, 仁宮一章, 清水宣明: TiO₂/超音波触媒法を用いた殺菌におけるメカニズム解析, 日本ソノケミストリー学会 第 18 回討論会, 長岡 (2009. 10).
- (6) 仁宮一章, 田中順喜, 清水宣明: ケナフチップの酵素糖化に及ぼす超音波照射処理の効果, 日本ソノケミストリー学会 第 18 回討論会, 長岡 (2009. 9).
- (7) 清水宣明: 二酸化チタン・超音波触媒法によるがん細胞傷害と増殖抑制, 第 3 回超音波分子診断治療研究会, 福岡 (2010. 3).
- (8) S.M. Tanaka, M. Kakio: In vitro osteogenesis promoted by strain-induced fluid flow, Commemorative international conference on the occasion of the 4th cycle celebration of KMUTT, Sustainable development to save the earth technologies and strategies vision 2050 (SDSE 2008), Millennium Hilton Bangkok hotel, Bangkok, Thailand, April 7-9, 2009
- (9) 曹 廷舜, 辻本敏行, 田中茂雄: 光深度分解法による骨密度計測—組織内光散乱状態の解析—, 第 48 回日本生体医工学大会, 東京, 2009 年 4 月 23 - 25 日
- (10) 田中茂雄, 垣尾雅文: ひずみ誘導型液体流動刺激による培養再生骨の石灰化促進, 第 48 回日本生体医工学大会, 東京, 2009 年 4 月 23 - 25 日
- (11) 瀧本貴友, 田中茂雄, ノイズ電気刺激による培養再生骨のアルカリ性フォスファターゼ活性の促進, 第 36 回日本臨床バイオメカニクス学会, 松山, 2009 年 10 月 16-17 日
- (12) 田中茂雄, コラーゲン担体を用いた培養再生骨への力学刺激と石灰化促進, 第 36 回日本臨床バイオメカニクス学会, 松山, 2009 年 10 月 16-17 日
- (13) S.M. Tanaka, N. Sugiura, Observation of intracellular Ca²⁺ dynamics in three-dimensionally cultured osteoblasts under dynamic loading, 4th International Symposium on Advanced Fluid/Solid Science and Technology in Experimental Mechanics, Toki Messe, Niigata, Japan, 28-30 November, 2009
- (14) 杉浦直樹, 田中茂雄, 基質変形を伴う動的負荷を受ける三次元培養骨芽細胞の細胞内 Ca²⁺ 応答観察, 平成 21 年度日本生体医工学学会北陸支部大会, 金沢大学サテライト・プラザ, 2009 年 12 月 12 日
- (15) 瀧本貴友, 田中茂雄, ノイズ電気刺激による培養下での骨再生, 平成 21 年度日本生体医工学学会北陸支部大会, 金沢大学サテライト・プラザ, 2009 年 12 月 12 日
- (16) 杉浦直樹, 田中茂雄, 動的負荷を受ける三次元培養骨芽細胞群の細胞内 Ca²⁺ 動態観察, 第 22 回バイオエンジニアリング講演会, 岡山理科大学, 2010 年 1 月 9-10 日
- (17) 荒井雄輝, 曹 廷舜, 田中茂雄, 共焦点型光 C T の開発, 日本機械学会北信越学生会第 39 回学生員卒業研究発表講演会, 新潟大学, 2010 年 3 月 9 日

- (18) 橘 孝平、杉浦直樹、田中茂雄、力学的刺激による培養再生骨の石灰化促進、日本機械学会北信越学生会第 39 回学生員卒業研究発表講演会、新潟大学、2010 年 3 月 9 日
- (19) 川村 惇、瀧本貴友、田中茂雄、ノイズ電気刺激による培養再生骨の活性・成熟化の促進、日本機械学会北信越学生会第 39 回学生員卒業研究発表講演会、新潟大学、2010 年 3 月 9 日
- (20) 田中茂雄、杉浦直樹、三次元培養骨芽細胞の力学刺激への細胞内 Ca^{2+} 応答、日本機械学会北陸信越支部第 47 期総会・講演会、新潟大学、2010 年 3 月 10 日
- (21) 田中茂雄、曹 廷舜、散乱制御型深度分解法を用いた生体光計測装置の開発、日本機械学会北陸信越支部第 47 期総会・講演会、新潟大学、2010 年 3 月 10 日
- (22) 岩原正吉、田中重行、山田外史、CT 法を用いた電磁機器周辺磁界の 3 次元可視化計測システムとその応用、平成 21 年電気学会全国大会、北海道 (2009・3)
- (23) 有馬浩史、岩原正吉、山田外史、マルチ GMR プローブを用いた金属棒の形状歪みの測定、平成 21 年電気学会全国大会、北海道 (2009・3)
- (24) A.Kurnicki, R.Haraszuk, M.Iwahara, S.Yamada, Magnetic Field Detection from Nerve Model Using Novel Needle Type GMR Sensor, 平成 21 年電気学会全国大会、北海道 (2009・3)
- (25) C.P.Gooneratne, S.Yamada, M.Iwahara, M.Kakikawa, Estimation of Very Low Concentration Magnetic Fluid Weight Density using a GMR Sensor, 平成 21 年電気学会全国大会、北海道 (2009・3)
- (26) 山田外史、交流磁束収束効果の原理と電気機器への応用、第 17 回磁気応用技術シンポジウム、東京 (2009・4)
- (27) 鈴木宏尚、柿川真紀子、山田外史、岩原正吉、清水宣明、超磁歪アクチュエータ駆動による殺菌に関する研究、第 21 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム、長野、(2009・5)
- (28) 有馬浩史、山田外史、岩原正吉、マルチ GMR プローブによる金属丸棒の偏芯・形状歪の非接触検査、第 21 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム、長野 (2009・5)
- (29) 北澤瑞喜、山田外史、岩原正吉、磁気式限流器の磁界解析と特性、第 27 回電気設備学会全国大会、富山 (2009・8)
- (30) 山田 外史、GMR センサの非破壊検査応用、(社)日本磁気学会第 167 回研究会、(2009・8)
- (31) 宇野彰吾、井波孝仁、山田外史、上野敏幸、渦電流探傷技術によるプリント基板配線の欠陥検出に関する研究、平成 21 年度電気関係学会北陸支部連合大会、富山 (2009・9)
- (32) Arkadiusz Miaskowski, 山田外史, Andrzej Krawczyk, Eddy Current and SAR Distribution in Realistic Human Body Model, 平成 21 年度電気関係学会北陸支部連合大会、富山 (2009・9)
- (33) 藤井邦明、山田外史、上野敏幸、柿川真紀子、池畑芳雄、誘導加温法における磁束収束効果応用の検討、平成 21 年度電気関係学会北陸支部連合大会、富山 (2009・9)
- (34) 藤畑貴史、柿川真紀子、山田外史、上野敏幸、抗がん剤ブレオマイシンにおける交流磁界の影響評価、平成 21 年度電気関係学会北陸支部連合大会、富山 (2009・9)
- (35) 北澤瑞喜、岩原正吉、山田外史、磁気式限流器におけるバイアス用磁石配置に関する検討、平成 21 年度電気関係学会北陸支部連合大会、富山、(2009・9)
- (36) 柿川真紀子、平井雄一郎、山田外史、交流磁場による抗がん剤マイトマイシン C の増強作用、第 33 回日本磁気学会学術講演会、長崎 (2009・9)
- (37) ホアンテイトゥハー、山田外史、柿川真紀子、上野敏幸、High Spatial Resolution Measurement of Low Magnetic Field by Needle-Type GMR Sensor, 第 33 回日本磁気学会学術講演会、長崎、(2009・9)
- (38) C.Gooneratne, S.Yamada, M.Kakikawa, T.Ueno, Low Concentration Estimation and Distribution Analysis

- of Magnetic Fluid by a GMR Needle Probe, 第33回日本磁気学会学術講演会、長崎、(2009・9)
- (39) 上野敏幸、山田外史、鉄ガリウム合金 (Galfenol) の E コアを用いた小型磁歪振動子、第33回日本磁気学会学術講演会、長崎 (2009・9)
- (40) 鈴木峻、中村翔太郎、上野敏幸、柿川真紀子、山田外史、キャビテーションに基づくパルスパワーによるウイルスの不活性化、電気学会マグネティックス研究会、金沢 (2009.11)
- (41) 上野敏幸、三浦英充、山田外史、引張力下でのマイクロ磁歪振動子の磁気・磁歪特性、平成22年電気学会全国大会、東京 (2010・3)
- (42) 山田外史、藤井邦明、柿川真紀子、池畑芳雄、がん誘導加温治療法における磁束束効果による磁束密度の局所分布制御、平成22年電気学会全国大会、東京(2010・3)
- (43) 今井俊輔、山田外史、柿川真紀子、上野敏幸、交流磁界曝露による抗がん剤の作用増強、平成22年電気学会全国大会、東京 (2010・3)
- (44) 鈴木峻、山田外史、上野敏幸、柿川真紀子、清水宣明、二酸化チタンマイクロ粒子によるラジカル生成とウイルスの不活性化、平成22年電気学会全国大会、東京 (2010・3)
- (45) 上野敏幸、澤村一樹、山田外史、鉄ガリウム合金を用いた球面モータの小型化に関する研究、マグネティックス研究会、新潟 (2010・3)
- (46) 中村翔太郎、鈴木峻、柿川真紀子、上野敏幸、山田外史、キャビテーション発生のための超磁歪アクチュエータ装置と殺菌作用への応用、マグネティックス研究会、新潟 (2010・3)
- (47) M. Yamada, F. Kobayashi, B. Chen, T. Maki, M. Kakikawa, D. Zhang, Y. Tobo, G. Shi, Y. Iwasaka, Microscopic Analysis of Individual Bioaerosols Collected in the Boundary Layer over Asian Dust Source with Tethered Balloon, 18th International Conference on Nucleation & Atmospheric Aerosols, Czech Republic (2009.8)
- (48) S. Susuki, T. Maki, M. Kobayashi, F. Kobayashi, M. Kakikawa, M. Yamada, T. Higashi, A. Matsuki, C. Hong, Y. Tobo, H. Hasegawa, Y. Iwasaka, Phylogenetic diversity of bioaerosol in the atmosphere of an Asian dust (KOSA) arrival region, Suzu City, 16th Asian Symposium on Ecotechnology, China Dalian (2009.10)
- (49) T. Maki, S. Susuki, K. Aoki, F. Kobayashi, M. Kakikawa, H. Hasegawa, Y. Iwasaka, PCR-DGGE analysis of Asian dust (KOSA) bioaerosol recorded in snow cover at Mount Tateyama, Central Japan. 16th Asian Symposium on Ecotechnology, China Dalian (2009.10)
- (50) 柿川真紀子、珠洲上空バイオエアロゾルのメタゲノム解析、能登総合シンポジウム、石川(2009.11)
- (51) 柿川真紀子、能登半島上空で採取した黄砂バイオエアロゾル：メタゲノム解析、第4回大気バイオエアロゾルシンポジウム、愛知 (2010.3)

5) 研究交流

- 共同研究

- 海外渡航
 - 田中茂雄、タイ、バンコック、SDSE 2008 (2009.4)
 - 柿川真紀子、中国、敦煌、黄砂発生地でのバイオエアロゾル調査 (2009.9)

- 訪問外国人研究者
 - (1) Mustapha Nadi, ナンシー大学、フランス、教授、研究交流、2009.11.05
 - (2) Junwei Lu, グリフィス大学、オーストラリア、准教授、2009.12.14
 - (3) Anak Khantachawana、キングモンクット工科大（タイ）、准教授、研究交流、2009.10.1-2

- 非常勤講師

- 6) 各種活動
 - 学会活動

清水 宣明：日本ソノケミストリー学会 理事

山田外史：電気学会マグネティクス技術委員会1号委員、電気学会磁気応用による医療へのシーズ技術調査専門委員会委員長、電気学会電力用磁気デバイスの高機能化技術調査専門委員会委員、電気学会新世代アクチュエータの多自由度化可能性調査専門委員会、電気学会北陸支部監査委員、電気設備学会北陸支部理事、日本磁気学会編集委員、日本AEM学会理事・企画運営委員、日本能率協会・磁気応用シンポジウム委員、

田中茂雄：日本機械学会第バイオエンジニアリング部門代議員（北陸信越地区）、日本機械学会校閲委員、日本機械学会トピックス委員、日本機械学会北陸信越支部石川県運営委員、日本生体医工学会専門別研究会のバイオメカニクス研究会幹事、日本生体医工学会北陸支部評議委員

柿川真紀子：電気学会磁気応用による医療へのシーズ技術調査専門委員会委員、日本磁気学会論文委員

 - 社会活動

清水宣明：・「バイオによるものづくり」、金沢大学ふれてサイエンス&テクテクテクノロジー (2009.11.1)

 - ・TiO₂/超音波触媒法による酸化ラジカル発生法とその応用、北陸3県・大学シーズ・プレゼンセッション2009, 金沢 (2009. 9. 30) .
 - ・「バイオによるものづくり」、金沢大学オープンキャンパス (2009. 8. 6-7).
 - ・公開講座『バイオ工学入門・自然システム学類』「光触媒バイオ融合ナノ粒子と超音波技術のカップリング」(2009. 6. 6)
 - ・MEX 金沢 2009 出展（金沢大学イノベーション創成センターと共同）(2009. 5. 21-23)

山田外史：北陸電気使用合理化委員会委員，電気保安功労者表彰専攻北陸委員会委員，北陸グリーン電力基金運営委員会

5. 研究費

地球環境計測研究部門

- 1) 科学研究費
 1. 柏谷健二（代表）：科学研究費基盤(A)，ユーラシア東部の湖沼堆積物情報に基づく間氷期の推移に関する考察，13,300 千円
 2. 長谷部徳子（分担）、2009-2011 基盤研究(B)海外学術調査、白亜紀中期における陸域湿潤化：温室地球システム解明に向けたモンゴル白亜系調査（代表：安藤寿男）、300 千円

3. 長谷部徳子（分担）、2009-2011 基盤研究(A)海外学術調査、ユーラシア東部の湖沼堆積物情報に基づく間氷期の推移に関する考察（代表：柏谷健二）、300 千円
4. 福士圭介（代表）、科学研究費若手B、水・酸化物界面における陰イオン表面化学種（スペシエーション）のその場分光観察、800 千円

1) 研究助成金等

1. 長谷部徳子（代表）、平成21年度 金沢大学重点戦略経費海外共同研究「東アジアのテクトニクスと環境変動解析」、600 千円

2) 共同研究費

1. 長谷部徳子（代表）、2009 白山自然保護調査研究会 石川県委託事業「白山の自然および人文に関する学術調査」「白山火山の年代学的研究」80 千円

3) 受託研究費

1. 長谷部徳子（分担）、2007-2009 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査、「鉄-ベントナイト相互作用のナチュラルアナログ」
2. 長谷部徳子（分担）、2009 いしかわ女性基金研究助成「女子生徒の理工系選択に関する意識調査および選択支援の効果」、190 千円
3. 福士圭介・長谷部徳子・遠藤徳孝、公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター、放射性廃棄物重要基礎技術研究調査研究、鉄-ベントナイト相互作用のナチュラルアナログ研究、5,000 千円

4) 奨学寄付金

1. 福士圭介（代表）、株式会社金沢大学ティ・エル・オー、411 千円

5) その他

エコテクノロジー研究部門

1) 科学研究費

- (1) 木村繁男（分担）基盤研究（B）デジタル情報を搭載した科学技術教材と双方向教育システムの開発、200 千円
- (2) 岩坂泰信（代表）基盤研究（A）砂漠上空での砂塵とバイオエアロゾルの混合状態に関する研究、17,000 千円
- (3) 松木 篤（代表）、基盤研究（C）雲エアロゾル相互作用の解明にむけた雲採集装置の開発、1,000 千円
- (4) 仁宮一章（代表）若手研究（B）バイオエタノールの効率的生産を目指したスーパー酵母の育種、5,000 千円

2) 研究助成金等

- (1) 岩坂泰信 (代表), 日本学術振興会二国間交流事業共同研究 大陸起源物質の大気圏を介した海洋への沈着: 黄砂の振る舞いに着目して, 1,000 千円
- (2) 仁宮一章 (代表), 平成 21 年度金沢大学重点戦略経費 (中核的教育拠点「学際・複合・新領域」) 「21 世紀を支える新自然エネルギー利用に向けた分野横断的研究」, 1,000 千円
- (3) 仁宮一章 (分担), 平成 21 年度三谷研究開発支援財団研究開発資金助成「低環境負荷ラジカル生成法によるケナフチップ糖化前処理とバイオエタノール発酵生産」, 1,500 千円
- (4) 仁宮一章 (分担), 平成 21 年度医科学応用研究財団調査研究助成金「腫瘍認識型 TiO₂ ナノ粒子と超音波触媒法をカップリングさせた臓器機能温存型がん治療法」, 1,000 万円

3) 共同研究費

- (1) 木村繁男 (代表), 矢崎総業 (株) マイクロフローセンサーの開発に関する研究, 500 千円

4) 受託研究費

- (1) 仁宮一章 (代表), 平成 21 年度独立行政法人科学技術振興機構シーズ発掘試験 A(発掘型)「低環境負荷ラジカル生成法による木質系バイオマスの糖化前処理」, 2,000 千円

5) 奨学寄付金

- (1) 仁宮一章 (代表), 第 29 回 (平成 21 年度) ゼネラル石油研究奨励財団研究助成「TiO₂/US 法によるリグニン処理」と「重イオンビームによる“超進化型”酵母」を用いたリグノセルロース由来バイオ燃料の効率的生産プロセス」, 1,000 千円
- (2) 岩坂泰信 (代表), 三井物産環境基金, 15,420 千円

6) その他

- (1) 松木 篤 (代表), 平成 21 年度金沢大学と北陸先端科学技術大学院大学との教育研究活動の支援, 100 千円
- (2) 岩坂泰信 (代表), 平成 21 年度金沢大学学長戦略経費 (重点研究経費) 拠点形成, 4,000 千円

生物多様性部門

科学研究費

- 1) 鈴木信雄 (代表), 基盤研究 (C), 磁場と骨代謝調節ホルモンとの相乗効果を利用した新規骨疾患治療システムの開発, 1,200,000 円.
- 2) 鈴木信雄 (分担), 基盤研究 (C), ナノ粒子を利用した特異的温度制御による口腔癌治療
- 3) (代表: 和田重人, 富山大学) 分担金 2009 年 100,000 円 (2009 年の直接経費 total 1,000,000 円)
- 4) 鈴木信雄 (分担), 基盤研究 (B), 多環芳香族炭化水素類が環境・生体で新たに獲得する毒性に関する戦略研究 (代表: 早川和一, 金沢大学医薬保健研究域薬学系・教授) 分担金 2009 年 200,000 円 (2009 年の直接経費 total 2,600,000 円)
- 5) 鈴木信雄 (分担), 挑戦的萌芽研究, 重油汚染海水で孵化した魚の脊柱彎曲は多環芳香族炭化水素

が原因か？分担（代表：早川和一，金沢大学医薬保健研究域薬学系・教授） 分担金
2009年750,000円（2009年の直接経費 total 1,600,000円）

- 6) 鈴木信雄（分担），二国間交流事業，東アジアにおける多環芳香族炭化水素類の挙動と毒性（代表：鳥羽 陽，金沢大学医薬保健研究域薬学系・准教授）（2009年，1,000,000円）

受託研究費

- 1) 鈴木信雄（代表），独立行政法人 科学技術振興機構 平成21年度「シーズ発掘試験」，新規インドール化合物を用いた骨粗鬆症の治療薬の研究開発，2,000,000円
- 2) 鈴木信雄（分担），環境省 ExTEND2005 フィージビリティースタディー，多環芳香族炭化水素類の内分泌かく乱作用の構造活性相関に基づく魚鱗の化学物質スクリーニング法に関する研究．（代表：早川和一，金沢大学医薬保健研究域薬学系・教授），2009年 2,000,000円
- 3) 鈴木信雄（分担），環境省 地球環境推進費 H21 地球環境問題対応型研究課題，日本海域における有機汚染物質の潜在的脅威の把握，（代表：早川和一，金沢大学医薬保健研究域薬学系・教授）2009年 47,701,000円
- 4) 木下栄一郎，財団法人日本科学協会，交雑種オオミズヒキモと両親種ホソバミズヒキモとヤナギモの栄養繁殖体による分散パターンの解析，2009年 1,000,000円

共同研究費

- 1) 鈴木信雄（代表），宇宙航空研究開発機構，宇宙空間における骨代謝制御：キンギョの培養ウロコを骨のモデルとした解析，4,000,000円
- 2) 鈴木信雄（代表），宇宙航空研究開発機構 宇宙環境利用科学委員会研究班ワーキング グループ活動支援，魚類のウロコを用いた宇宙生物学的研究，2,800,000円

4) 奨学寄附金

- 1) 鈴木信雄（代表），（財）クリタ水・環境科学振興財団助成金，骨代謝異常を評価する 迅速・高感度なシステムの開発：重油汚染海域における魚の脊柱彎曲の発症機構の解明，2009年10月～2010年9月 750,000円

生体機能計測研究部門

科学研究費

- (1) 清水宣明（代表）、仁宮一章，基盤研究 B，分子標的ナノ粒子を用いた診断と治療を同時に行う超音波力学的がん治療，18,720千円
- (2) 山田外史（分担），基盤研究(C)，磁場と骨代謝調節ホルモンとの相乗効果を利用した新規骨疾患治療システムの開発，200千円
- (3) 田中茂雄（代表）、基盤研究（C），ひずみ誘導型液体流動による骨形成反応促進効果の実験的検証、900千円

2) 研究助成金等

- (1) 柿川真紀子（分担），環境省・地球環境総合推進費，風送ダストの飛来量把握に基づく予報モデルの精緻化と健康・植物影響評価に関する研究，1,000千円

3) 共同研究費

4) 受託研究費

5) 奨学寄付金

- (1) 清水宣明:住友商事(株), 二酸化チタン/超音波触媒法を用いたアンモニア水からの水素生成, 2,000 千円

5) その他

- (1) 清水宣明, 山田外史, 柿川真紀子 (分担), 金沢大学重点研究費 (中核的教育研究拠点形成), がん医学・工学テクノロジー連携によるがん分子標的治療法開発のための拠点形成, 3,000 千円
- (2) 清水宣明 (代表):平成 21 年度研究開発資金助成, 財団法人 三谷研究開発支援財団, 低環境負荷ラジカル生成法によるケナフチップ糖化前処理とバイオエタノール発酵生産, 1,500 千円
- (3) 清水宣明 (代表):平成 21 年度 調査研究助成金、財団法人医科学応用研究財団, 腫瘍認識型 TiO₂ ナノ粒子と超音波触媒法をカップリングさせた臓器機能温存型がん治療法, 1,000 千円
- (4) 清水宣明 (分担):第 29 回 (平成 21 年度) 研究助成、ゼネラル石油研究奨励財団, TiO₂/US 法によるリグニン処理」と「重イオンビームによる“超進化型”酵母」を用いたリグノセルロース由来バイオ燃料の効率的生産プロセス, 1,000 千円
- (5) 山田外史 (代表), 金沢大学重点研究費, 極細針状構成の磁気抵抗効果素子プローブによる生体内磁気情報の低侵襲計測, 1000 千円
- (6) 柿川真紀子 (代表), 金沢大学重点研究費, 抗がん剤作用増強のための磁場曝露システムの構築, 600 千円

6. 研究指導

地球環境計測研究部門

1) 博士論文

2) 修士論文

1. Sherif Mansour, Evolution and Thermo-Tectonic Development of the Basement Complex, West-central Sinai, Egypt: Constraints from Uranium-Lead Dating and Apatite Fission Track Low-Temperature Thermochronology、自然科学研究科地球環境学専攻、修士 (理学)、長谷部徳子
2. 永田貴洋、Prediction of iodine adsorption on oxides by surface complexation modeling、自然科学研究科地球環境学専攻、修士 (理学)、福士圭介
3. 福本寛人、Paleoenvironment recorded in carbonate minerals in bottom sediments of Lake Hovsgol、自然科学研究科地球環境学専攻、修士 (理学)、福士圭介
4. 宗本隆志、Formation and stability of monohydrocalcite、自然科学研究科地球環境学専攻、修士 (理学)、福士圭介

3) 卒業研究

1. 湯本仁亨、フブスグル湖湖底堆積物を用いた湖沼—流域系環境変動の推定、理学部地球学科、学

士（理学）、柏谷健二

2. 横山貴則、環境情報に基づく極東地域における池沼—流域系水文環境変動の解析、理学部地球学科、学士（理学）、柏谷健二
3. 中川拓也、フブスグル湖底堆積物に記録された古気候変動の復元と急激な環境変化の考察、理学部地球学科、学士（理学）、柏谷健二
4. 大石新之介、原子間力顕微鏡によるジルコンのフィッション・トラックの観察、理学部地球学科、学士（理学）、長谷部徳子
5. 長谷川優介、鉄を含む溶液によるベントナイト変質、理学部地球学科、学士（理学）、福士圭介
6. 八木新大朗、モノハイドロカルサイトによるリン酸の取り込み、理学部地球学科、学士（理学）、福士圭介
7. 矢部太章、水溶液中における酸化マグネシウムの相変化挙動、理学部地球学科、学士（理学）、福士圭介

エコテクノロジー研究部門

1) 博士論文

- 1) 山本洋民、「鉛直角管路内の層流片側冷却における非定常凝固特性」博士（工学）、木村繁男
- 2) Mohammad Mizanur Rahman, Study on Sonodynamic Disinfection in Conjunction with Non-woven TiO₂ Fabrics (TiO₂ 不織布と超音波を組み合わせた殺菌手法に関する研究) 自然科学研究科物質科学専攻, 博士(工学), 清水宣明・仁宮一章

2) 修士論文

- (1) 根上 司, Imaging LIDAR を用いた上空の風速測定手法に関する研究. 自然科学研究科機械科学専攻, 修士（工学）, 木村繁男
- (2) 藤岡佑平, 里山森林内における乱流拡散係数の大気安定度依存性に関する研究. 自然科学研究科機械科学専攻, 修士（工学）, 木村繁男
- (3) 本莊仁史, 鉛直円筒周りの凝固プロセスの動的な応答に関する研究, 修士（工学）, 木村繁男
- (4) 三浦哲也, 水の凝固速度に及ぼす自然対流の影響に関する研究, 修士（工学）, 木村繁男
- (5) 金田壺彦, Cell-SELEX 法を用いたヒト肝がん細胞に対する DNA アプタマーの選抜. 自然科学研究科物質工学専攻, 修士(工学), 清水宣明・仁宮一章
- (6) 河端伸哉, 超音波刺激応答型リポソームを用いたドラッグデリバリーシステムの構築. 自然科学研究科物質工学専攻, 修士(工学), 清水宣明・仁宮一章
- (7) 大島周平, TiO₂ ナノ粒子と超音波触媒法を併用したがん治療法の *in vitro* および *in vivo* 評価, 自然科学研究科物質工学専攻, 修士(工学), 清水宣明・仁宮一章

3) 卒業研究

- (1) 藤沢 純, マイクロフローセンサーの性能特性に関する研究. 工学部工学部機能機械工学科, 学士（工学）, 木村繁男
- (2) 石川直敬, 自然対流における対流パターンとエントロピー生成率との関係. 工学部機能機械工学

科，学士（工学），木村繁男

- (3) 山田悠介，エントロピー生成最小化による熱交換器の最適化．工学部機能機械工学科，学士（工学），木村繁男
- (4) 上田将誉，水を用いた凝固界面制御に関する研究．工学部機能機械工学科，学士（工学），木村繁男
- (5) 二井佑希，地下水流動計測プローブ周囲の透水係率変化による測定影響の検証，工学部機能機械工学科，学士（工学），木村繁男
- (6) 宮川朋也，ケーシングパイプ及び地層の透水率が地下水流動計測に及ぼす影響，工学部機能機械工学科，学士（工学），木村繁男
- (7) 岩倉和希，二酸化チタン・超音波触媒法を用いた殺菌における超音波周波数の影響．工学部物質化学工学科，学士(工学)，清水宣明・仁宮一章
- (8) 松本真実，TRAIL ならびにルシフェラーゼを発現するビフィズス菌株の構築．工学部物質化学工学科，学士(工学)，仁宮一章・清水宣明
- (9) 野田恭平，二酸化チタン・超音波触媒法によるがん細胞殺傷時の超音波強度と二酸化チタン添加量の影響．工学部物質化学工学科，学士(工学)，清水宣明・仁宮一章
- (10) 曾田裕司，セルラーゼ高発現酵母株の FACS による選抜．工学部物質化学工学科，学士(工学)，仁宮一章・清水宣明
- (11) 高前田竜也，石川県津幡町南部津幡地域の地質．工学部土木建設工学科，学士（工学），塚脇真二
- (12) 塚原直幸，石川県津幡町南部七黒～吉倉地域の地質．工学部土木建設工学科，学士（工学），塚脇真二
- (13) 宇野弘基，石川県津幡町南部市谷～蓮花地域の地質．工学部土木建設工学科，学士（工学），塚脇真二

生物多様性研究部門

博士論文

修士論文

- 1) 大宮正太郎、能登半島におけるゴミムシ類の多様性、分布、生態、修士(理学)、中村浩二

卒業研究

- 1) 山口翔、珠洲市の圃場整備区域におけるアメリカザリガニ駆除のための生態調査、学士(理学)、中村浩二
- 2) 田上雄史、医王山に生育するイタドリの倍数性と開花フェノロジーの関係、学士(理学)、木下栄一郎
- 3) 壺内巧馬、雌雄異株ヒメアオキに見られる成長と繁殖の関係、学士(理学)、木下栄一郎

生体機能計測研究部門

博士論文

- (1) Mohammad Mizanur Rahman, Study on Sonodynamic Disinfection in Conjunction with Non-woven

TiO₂ Fabrics (TiO₂ 不織布と超音波を組み合わせた殺菌手法に関する研究) (清水宣明・仁宮一章), 自然科学研究科物質科学専攻, 博士(工学)

- (2) Chinthaka Gooneratne, Estimation of Magnetic Fluid Weight Density by a Giant Magnetoresistance Needle Probe (山田外史), 自然科学研究科電子情報科学専攻, 博士(工学)

修士論文

- (1) 大島周平, TiO₂ ナノ粒子と超音波触媒法を併用したがん治療法の *in vitro* および *in vivo* 評価 (清水宣明・仁宮一章), 自然科学研究科物質工学専攻, 修士(工学)
- (2) 金田孝彦, Cell-SELEX 法を用いたヒト肝がん細胞に対する DNA アプタマーの選抜 (清水宣明・仁宮一章), 自然科学研究科物質工学専攻, 修士(工学)
- (3) 河端伸哉, 超音波刺激応答型リポソームを用いたドラッグデリバリーシステムの構築 (清水宣明・仁宮一章), 自然科学研究科物質工学専攻, 修士(工学)
- (4) 曹 廷舜, 「散乱制御型光深度分解法を用いた新規骨密度計測装置の開発」、自然科学研究科人間・機械科学専攻, 修士(工学)
- (5) 瀧本貴友, 「ノイズ電気刺激による培養再生骨の石灰化反応促進」、自然科学研究科人間・機械科学専攻, 修士(工学)
- (6) 杉浦直樹, 「三次元培養骨芽細胞の細胞内 Ca²⁺動態観察と力学刺激応答」、自然科学研究科人間・機械科学専攻, 修士(工学)
- (7) 宇野彰吾, 渦電流探傷技術による高密度プリント基板の配線形状変化部を対象とした欠陥検出法の研究 (山田外史), 自然科学研究科電子情報工学専攻, 修士(工学)
- (8) 北澤瑞喜, 永久磁石配置を考慮した磁気式限流器の製作と磁界数値解析による動作解析 (山田外史), 自然科学研究科電子情報工学専攻, 修士(工学)
- (9) 藤畑貴史, 抗がん剤ブレオマイシンとシスプラチンの細胞毒性作用における交流磁界の影響評価 (柿川真紀子、山田外史), 自然科学研究科電子情報工学専攻, 修士(工学)
- (10) 藤井邦明, 誘導加温法における磁束収束効果を応用した磁束密度の局所分布制御の研究 (山田外史), 自然科学研究科電子情報工学専攻, 修士(工学)

卒業研究

- (1) 岩倉和希, 二酸化チタン・超音波触媒法を用いた殺菌における超音波周波数の影響 (清水宣明・仁宮一章) 工学部物質化学工学科, 学士(工学)
- (2) 曾田裕司, セルラーゼ高発現酵母株の FACS による選抜 (仁宮一章・清水宣明) 工学部物質化学工学科, 学士(工学)
- (3) 野田恭平, 二酸化チタン・超音波触媒法によるがん細胞殺傷時の超音波強度と二酸化チタン添加量の影響 (清水宣明・仁宮一章) 工学部物質化学工学科, 学士(工学)
- (4) 松本真実, TRAIL ならびにルシフェラーゼを発現するビフィズス菌株の構築 (仁宮一章・清水宣明) 工学部物質化学工学科, 学士(工学)
- (5) 荒井雄輝, 「共焦点型光深度分解法の開発」、工学部人間・機械工学科, 学士(工学)
- (6) 川村 惇, 「ノイズ電気刺激による培養再生骨の石灰化促進」、工学部人間・機械工学科, 学士(工学)
- (7) 橘 孝平, 「力学的刺激による培養再生骨の石灰化促進」、工学部人間・機械工学科, 学士(工学)

- (8) 中村翔太郎, 超磁歪アクチュエータを用いたキャピテーション発生機構における機械的特性の解析 (山田外史)、工学部電気電子システム工学科、学士 (工学)
- (9) 奥谷俊彦, 超小形針形状磁気プローブを用いた高分解の磁界分布計測 (山田外史)、工学部電気電子システム工学科、学士 (工学)
- (10) 中田篤志, 白金製剤の抗がん作用における交流磁界曝露の影響評価 (柿川真紀子, 山田外史)、工学部電気電子システム工学科、学士 (工学)
- (11) 河村一平, 抗がん剤マイトマイシンCの作用における交流磁界の周波数に対する評価 (柿川真紀子, 山田外史)、工学部電気電子システム工学科、学士 (工学)
- (12) 三浦英充, 鉄ガリウム合金を用いたマイクロ磁歪振動子とその応用に関する研究 (上野敏幸, 山田外史)、工学部電気電子システム工学科、学士 (工学)
- (13) 北川大樹, スムーズインパクト方式磁歪マイクロリニアアクチュエータのパルス電圧駆動に関する研究 (上野敏幸, 山田外史)、工学部電気電子システム工学科、学士 (工学)
- (14) 澤村一樹, 歪素子を用いたマイクロ球面モータの駆動特性の評価 (上野敏幸, 山田外史)、工学部電気電子システム工学科、学士 (工学)

7. その他

地球環境計測研究部門

1) 学術賞等の受賞状況

- 1. 富士圭介、日本鉱物科学会研究奨励賞(2009)

2) 新聞等報道

- 1. 「金大富士助教 海水使いヒ素無毒化」北國新聞 2009.3.27

3) 特許

エコテクノロジー研究部門

1) 新聞等報道

(1) 岩坂泰信

・報道関係 (新聞・書籍)

最相葉月著「ビヨンドエジソンー12人の博士が見つめる未来」(ポプラ社, 2009.9)

2009年10月29日: 黄砂の微生物研究報告, 北陸中日新聞朝刊

2009年10月29日: 黄砂研究の現状を紹介, 北國新聞朝刊

2010年1月24日: 日本海イノベーション会議・金大プログラム「環境問題など興味深く3氏が語る」, 北國新聞朝刊

2010年2月24日: 2009年度金沢大学(第2回)プログラム 日本海イノベーション会議, 北國新聞朝刊

(2) 塚脇真二

・報道関係（新聞）

2009年4月3日：Phnom Penh air dangerously polluted: study. The Cambodia Daily

2009年6月18日：Pollution not harming temples, yet. The Phnom Penh Post

2009年10月22日：アンコール遺跡環境調査報告会世田谷で31日。毎日新聞朝刊都内版

2009年11月1日：アンコール遺跡調査隊世田谷で研究報告会「大気汚染が進んでいる」。毎日新聞朝刊都内版

2010年1月24日：日本海イノベーション会議・金大プログラム「環境問題など興味深く3氏が語る」。北國新聞朝刊

2010年2月3日：カンボジア工大と協定 金大 環境調査や教育推進 月内に調印式。北陸中日新聞朝刊

2010年2月24日：2009年度金沢大学（第2回）プログラム 日本海イノベーション会議。北國新聞朝刊

・報道関係（ラジオ）

2009年7月9日：金沢名物G○G○は本多町三丁目「金沢大学の研究室から生中継」。北陸放送

2009年10月15日：金沢名物G○G○は本多町三丁目「第4回国際学セミナー“アンコール遺跡と国際協力”の紹介」。北陸放送

(3) 松木 篤

・報道関係（新聞）

2009年8月3日：富士山頂で観測。日本経済新聞

生体機能計測研究部門

1) 学術賞等の受賞状況

(1) 山田外史, 柿川真紀子「GMR Sensor Application in Detecting and Estimating Magnetic Fluid Weight Density inside Various Size Tumors」平成21年度日本磁気学会論文賞、日本磁気学会年会、長崎大学、2009年9月15日

(2) 田中茂雄、「三次元培養骨芽細胞の力学刺激への細胞内Ca²⁺応答」、日本機械学会北陸信越支部賞優秀講演賞、日本機械学会北陸信越支部第47期総会・講演会、新潟大学、2010年3月10日

2) 新聞等報道

3) 特許

(1) 仁宮一章, 清水宣明: ヒト肝臓がん細胞 HepG2 に特異的な結合性を有する DNA アプタマー, 特願2010-28012 (2010) 2010.2.10

(2) 仁宮一章, 高橋憲司, 清水宣明: バイオマスを用いたアルコール又は有機酸の製造方法, 特願2009-238797 (2009) 2009.10.16

研 究 報 告

旧石器遺跡に関連した三瓶山起源テフラの年代測定

下岡 順直・長谷部 徳子

〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学環日本海域環境研究センター

Yorinao Shitaoka and Noriko Hasebe :

The age determination of the tephra erupted from Mt. Sanbe related to paleolithic sites as key bed

1 目的

広島県と島根県にまたがる山間地において、近年、原田遺跡（島根県）、和知白鳥遺跡、段遺跡、向泉川平第一遺跡（広島県）など複数の旧石器遺跡が発見されている。これら遺跡で始良丹沢火山灰（AT）とともに検出された三瓶山を給源とする火山灰（テフラ）は、この地方における旧石器遺跡遺物包含層の年代推定のための示準層として重要である。特に、三瓶浮布テフラ（Suk）と三瓶池田テフラ（SI）は近畿や東海地域においても検出されており、広域の鍵層テフラとしてその年代値を正確に決定することは旧石器時代研究ばかりでなく第四紀学研究においても非常に意義がある。今回、三瓶山近傍の給源付近および原田遺跡において Suk と SI を採取し、熱ルミネッセンス（TL）法と放射性炭素（C-14）法を用いて数値年代を求めた。なお、給源付近のテフラ層は層厚が厚く、一次堆積であることから異物の混入が少ないのに対して、考古遺跡で検出されたテフラは一般に薄層であり異物混入の割合が高いため、給源付近で採取したテフラを用いた年代測定の方がより信頼性の高い数値年代を求めることができる。本研究では、鍵層テフラの数値年代を決定するために、給源付近でテフラ試料を採取して年代測定を行うことを目的とする。

2 測定

TL 測定用試料は、Suk を三瓶山近傍（島根県大田市三瓶町、久部露頭）において、SI を三瓶山近傍（三瓶町、藤木川上流露頭）と島根県奥出雲町原田遺跡（8層下部）において採取した。C-14 測定用試料は、三瓶山近傍（三瓶町、志学露頭）において Suk 軽石堆積物中の炭化材を採取した。

TL 測定は多試料付加線量法を用いて蓄積線量を評価し、年間線量は TL 線量計を用いて測定を行った。C-14 測定は、古環境研究所と地球科学研究所に委託した。

3 結果と考察

志学露頭 Suk の炭化材の C-14 年代は、 $16,000 \pm 40$ yBP (PLD-6317) と $16,280 \pm 60$ yBP (Beta-222238) であった。この結果は、三瓶山近傍でこれまで得られている Suk に関連した C-14 年代（福岡ほか 2007）と非常に調和的である。今回得られた C-14 年代を CalPal-2007_{Hulu} により暦年較正した年代は、 $18,930-19,340$ calBP と $19,160-19,770$ calBP（どちらも 1σ ）となった。久部露頭 Suk の TL 年代は 19 ± 4 ka（表）であり、Suk の C-14 年代は TL 年代と良く一致した。

藤木川上流露頭で採取した SI の TL 測定結果を図に示す。SI の TL 年代は、藤木川上流露頭で 49 ± 10 ka、原田遺跡で 43 ± 8 ka（表）となり、原田遺跡の年代が若干若い値であるが、両者は誤差の範囲で一致した。SI は、これまで理化学的手法を用いた年代測定で年代が得られた例がないことから、今回の測定例は非常に意義があると考えられる。段丘形成史など気候変動から推定した SI の年代と比較すると、町田（2005）は、SI が武蔵野ローム最上部、中津原段丘砂礫層中にあるとし、その形成が高海

面期の海洋同位体ステージ (MIS) 3.3 と見積もった結果、SI の年代を 50 ka 前後とした。また、吉川・加 (2001) は、琵琶湖湖底堆積物の花粉分析と酸素同位体比編年を対比させた結果、SI の年代を 49 ka とした。今回の TL 年代は、町田 (2005) や吉川・加 (2001) が推定した年代と調和的であった。

本報告では、島根県で検出された三瓶山起源テフラの年代測定を行い、SUK が 19 ka、SI が 43-49 ka という数値年代を求めることができた。今後、広島県などで検出される三瓶山起源テフラの年代測定を実施し、給源付近の試料データと比較しながら、複数地点で採取した試料を用いてデータを蓄積することにより、三瓶山起源テフラの年代値の信頼性を高めていきたい。

<参考文献>

- 福岡 孝、長友恒人、下岡順直、草野高志 (2007) 三瓶火山第IV期・浮布降下軽石堆積物の ^{14}C 年代、島根県立三瓶自然館研究報告、5、35-39
- 町田 洋 (2005) 日本旧石器時代の編年：南関東立川ロームの再検討、旧石器研究、1、7-16
- 吉川周作、加三千宣 (2001) 琵琶湖湖底堆積物による過去 40 万年間の高精度火山灰編年、月刊地球、23、594-599

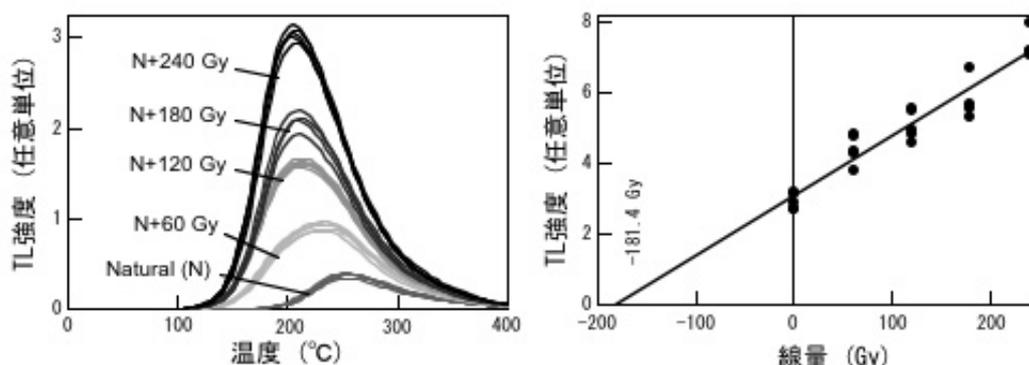


図 藤木川上流露頭で採取した SI の TL 測定結果

表 三瓶山起源テフラの TL 年代

テフラ/採取地点	蓄積線量 (Gy)	年間線量 (mGy/a)	TL 年代 (ka)
三瓶浮布 (SUK)			
久部露頭	35.7 ± 6.6	1.89 ± 0.04	19 ± 4
三瓶池田 (SI)			
藤木川上流露頭	182.5 ± 37.5	3.72 ± 0.10	49 ± 10
原田遺跡 (8 層下部)	58.6 ± 10.5	1.38 ± 0.05	43 ± 8

フブスグル湖湖沼堆積物の炭酸塩鉱物組成に記録された古環境

福本寛人¹・福士圭介²・柏谷健二²

¹〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学大学院自然科学研究科

²〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学環日本海域環境研究センター

FUKUMOTO Hiroto, FUKUSHI Keisuke and KASHIWAYA Kenji:

Paleoenvironment recorded in carbonate minerals in bottom sediments of Lake Hovsgol

1. はじめに

モンゴル北西部にあるフブスグル湖は気候の変動に敏感な大陸内部に位置している。フブスグル湖は準閉塞湖であり人為的な攪乱が少ないことから堆積物の保存状態が良いことが知られ、近年多くのコアが採取され研究されている(吉良, 1999)。Prokopenko *et al.* (2005) は、フブスグル湖は時期によって水位の変動が激しく、大陸を代表する水位計となり得ることを示唆している。特に最終氷期極相期(LGM)の間、フブスグル湖が現在よりも約 100m水位が低く閉塞湖であったことを示し、この寒冷期と温暖期で著しく異なる水位変動が炭酸塩鉱物含有量から復元できる可能性を示唆している。角野卒論(2006MS)では、堆積物コアの炭酸塩含有率が気候の変動に対応していることを示唆している。しかし、これらの先行研究では、炭酸塩鉱物が水位、気候変動を記録するメカニズムまでは言及されていないため、本当に炭酸塩鉱物が水位、気候変動の指標となり得るかはわかっていない。そこで本研究では HDP04 コアに残された炭酸塩鉱物の鉱物学的分析により、炭酸塩鉱物が古環境を記録するメカニズムを明らかにし、フブスグル湖における炭酸塩鉱物の古環境指標としての役割を検討することを目的とする。

2. 試料と実験方法

HDP04 コアの全長は 81m であり、採取したサンプルは 2cm ごとにカットされた。HDP04 コアでは表層部の堆積構造は乱されており、深度 2m が現在に相当することが認められている(Watanabe *et al.*, 2007)。さらに帯磁率の測定から、57.45m がブルネ - マツヤマ境界(780ka)に相当することが認められている(Hovsgol Drilling Project Group, 2009)。そこで本研究では 2~57.4m までを分析対象とした。なお深度 23.8m に不整合があることが確認されている(Hovsgol Drilling Project Group, 2007)。

実験方法は、粉末 X 線回折(XRD)、炭酸塩鉱物の選択抽出分析、エネルギー分散型 X 線分析装置(EDS)つき走査型電子顕微鏡(SEM)観察、粘土鉱物に関する XRD 分析である。XRD は Rigaku Rint1200 を使用し、CuK α 、40kV 30mA の条件で行った。炭酸塩鉱物の選択抽出分析は、モーガン試薬(pH5.0 の緩衝溶液)を用いて炭酸塩鉱物を溶解させた後、誘導結合プラズマ質量分析(ICP-MS)、及びイオンクロマトグラフィーを用いてる液の Ca²⁺, Mg²⁺, Sr²⁺濃度を測定した。粘土鉱物分析は、まず堆積物中の <2 μ m の粒子を回収し、スライドガラスに貼り付けたものをエチレングリコールを入れた密閉容器内に入れ、70°C で 12 時間加熱した後に XRD を行った。

3. 結果

XRD 分析から、堆積物は初生鉱物として石英、長石および角閃石、粘土鉱物として緑泥石、イライトおよびスメクタイト、炭酸塩鉱物としてカルサイト、ドロマイトおよびモノハイドロカルサイト (MHC) を含有することが認められた。いずれの深部から得られたサンプルも上記初生鉱物と粘土鉱物を含んでいた。一方炭酸塩鉱物は深度によって異なり、組み合わせは下記の4つのタイプに分類できた(図 1)。MHC、カルサイト、及びドロマイトを含むもの、カルサイト及びドロマイトを含むもの、ドロマイトのみ含むもの、炭酸塩鉱物を含まないものの4つである。

炭酸塩鉱物の選択抽出から得られた結果は、Ca、Sr、Mg 含有量の変動が比較的類似していることを示していた。またこれらの値は深さごとに値が大きく異なることが示された。

XRD のピーク面積から計算した MHC/石英(M/Q)の変動と Ca 含有量の変動の比較から、MHC の多いサンプル程、Ca 含有量が高い傾向があり、MHC を含むサンプルは最低でも 36ppm の Ca を含んでいた。しかし、MHC を含まないサンプルでも 36ppm を超えるサンプルが多く見られた。

SEM 観察から Ca-炭酸塩に関して、三角両錐～球状(2~4 μm)、板状(2~4 μm)、不定形(10~60 μm)、不定成長形(10~30 μm)の4つのタイプが確認された(図 2)。またドロマイトは不定形(5~80 μm)であった。

4. 考察

SEM と XRD の結果から、三角両錐～球状は湖内で自生した MHC、ドロマイトは碎屑性、その他はカルサイトと考えられ、板状は湖内で自生、不定形は碎屑性、不定成長形は碎屑性が部分的に成長したものと考えられる。板状カルサイトは湖内で直接生成、または MHC が堆積後変質してできた可能性がある。カルサイトと MHC の両方が生成する条件では準安定相である MHC が優先的に生成するはずであるにもかかわらず、板状カルサイトは MHC を含むサンプルで多く見られた。従って、湖内で直接生成したとは考えにくく、MHC が堆積後に変質してできたと考えられる。

HDP-04 コアの 2~5m は ^{14}C による年代測定が行われており(Watanabe *et al.*,2007)、MIS1(温暖期)と MIS2(寒冷期)に一致することがわかっている。MIS1 では炭酸塩鉱物が見られず、MIS2 では MHC が見られる。このことから、MHC は水位が 100m 程度低かった寒冷期に形成されていたこと、現在の様な温暖期には炭酸塩鉱物が見られないことがわかる。

図 3 は 5°C での炭酸塩鉱物の溶解度曲線を示しており、Hayakawa *et al.* (2003)によって測定された現在のフブスグル湖の水質データをプロットしてみると、現在のフブスグル湖はカルサイトに関してわずかに未飽和、MHC に関してかなり未飽和である。この図から MHC が生成するためには、現在の水質より高 pH、高 Ca^{2+} 濃度の条件が必要であることがわかる。

一般に、カルサイトにわずかに未飽和な閉鎖系の溶液にカルサイトを投入すると、少量のカルサイトが溶解することで溶液は平衡に保たれるはずである。しかし現在のフブスグル湖の水はわずかに未飽和であるにもかかわらずカルサイトが保存されていない。このことは現在のフブスグル湖が開放湖であることによると考えられる。つまり流入してきたカルサイトが少量溶解することで一旦湖水はカルサイトに関して平衡に近づくが、その湖水が流出することで湖水は再びカルサイトに関して未飽和となる。このプロセスの繰り返しによって現在のフブスグル湖にカルサイトがことを説明することができる。またドロマイトはカルサイトよりも不活性であり(Drever,1997)、カルサイトの方が先に溶解する。従ってドロマイトのみ含むサンプルは、湖水がカルサイト、ドロマイトを含むサンプルと炭酸塩鉱物を含まないサンプルの中間の飽和度だったときに堆積したことを示す。

MHC を含まず碎屑性カルサイトが保存されているサンプルは、湖水が MHC には未飽和だがカルサ

イトに過飽和であったことを示している。現在の様な開放湖の状態から水位が低下し始めると、水面が流出河川の川底よりも低くなった時点でフブスグル湖は閉塞湖となり、前述の様な流出入プロセスがなくなるために湖水はカルサイトに関して平衡になると考えられる。さらに水位が低下すると湖水がよりカルサイトに関して過飽和になると考えられる。この時カルサイトに平衡となる時の Ca^{2+} 及び CO_3^{2-} を超過した分のこれらのイオンは、新たなカルサイトを生成するよりもすでに存在する碎屑性のカルサイトを成長させるために消費されると思われる。つまり堆積物に残された碎屑性カルサイトの成長の度合いが高ければ高い程、堆積当時の湖水はカルサイトに関して過飽和であったと考えられる。

さらに水位が低下して湖水の Ca^{2+} 濃度が上昇し、MHC に関して過飽和になった時 MHC は生成したと考えられる。この時、水位がより低下して湖水が MHC に関して過飽和になればなるほど多くの MHC が生成する。生成した一部、もしくはすべての MHC は堆積後板状カルサイトに相変化してしまいが、堆積物中の MHC と板状カルサイトの総和(堆積当時生成した MHC に相当)は堆積当時の飽和度を反映すると考えられる。

以上のことから、MHC に過飽和な時は堆積物中の MHC と板状カルサイトの総和(生成した MHC に相当)、MHC に未飽和でカルサイトに過飽和な時は堆積物中の碎屑性カルサイトの成長度合いが堆積当時の炭酸塩鉱物に関する飽和度をそれぞれ直接反映していると考えられる。またカルサイトに未飽和な時はドロマイトの有無が定性的に堆積当時の飽和度を反映している。そしてこれらの炭酸塩鉱物は、すべて主要構成元素として Ca を含む。つまり飽和度を反映した 3 つのプロキシは、炭酸塩鉱物を溶解させた際の Ca 含有量変動に影響を与える。従って炭酸塩鉱物中の Ca 含有量は堆積当時の炭酸塩鉱物に関する飽和度に対応し、フブスグル湖における水位の変動に相当すると考えられる。

4. まとめ

- ・炭酸塩鉱物組み合わせにより堆積物は 4 つのタイプに分類された。
- ・炭酸塩鉱物組み合わせは堆積当時における各鉱物の飽和度により決定された。
- ・MHC と板状カルサイトの総和(MHC の生成量)、不定形成長カルサイトの成長度合い、ドロマイトの有無は堆積当時における各鉱物の飽和度を反映していた。
- ・堆積物中の全炭酸塩鉱物に含まれる Ca の変動は、フブスグル湖における湖水位の変動に一致していた。

引用文献

- Drever, J.I. (1997) *The geochemistry of natural waters*. 3rd ed, Prentice Hall, 436 pp.
- Hayakawa *et al.* (2003): *Limnology*, **4**, 25-33.
- Hovsgol Drilling Project Group (2007): *Russian Geology and Geophysics*, **48**, 863-885.
- Hovsgol Drilling Project Group (2009): *Quaternary International*, **205**, 21-37.
- 吉良 龍夫(1999): 世界の湖沼. NEWSLETTER,34.
- Prokopenko *et al.* (2005): *Quaternary International*, **136**, 59-69.
- Sakaguchi *et al.* (2009): *Quaternary International*, **205**, 65-73.
- Sakai *et al.* (2005): *Journal of Paleolimnology*, **33**, 105-121.
- 角野 玄(2006MS): 金沢大学卒業論文.
- Watanabe *et al.* (2007): *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, **259**, 565-570.

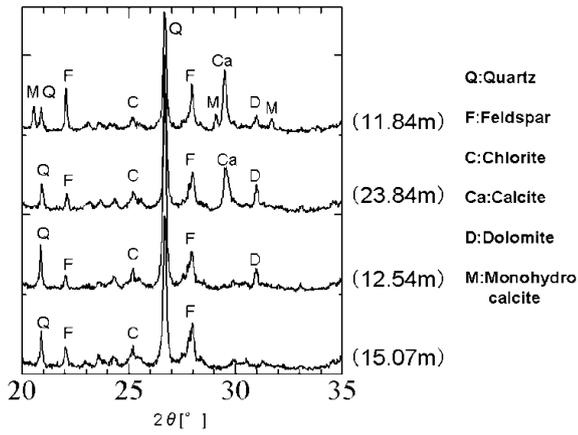


図1 堆積物の4つのXRDパターン

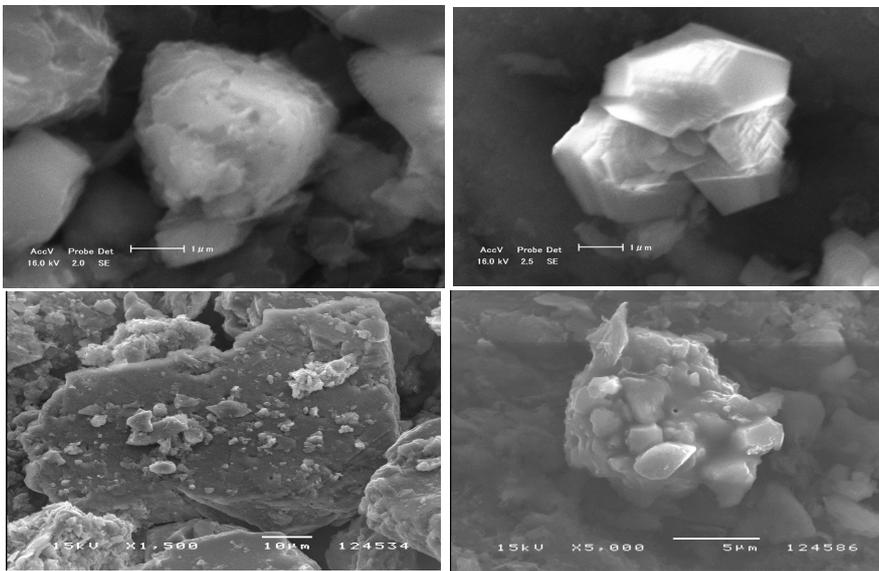


図2 Ca-炭酸塩のSEM写真(左上:三角両錐状、
 右上:板状、左下:不定形、右下:不定形成)

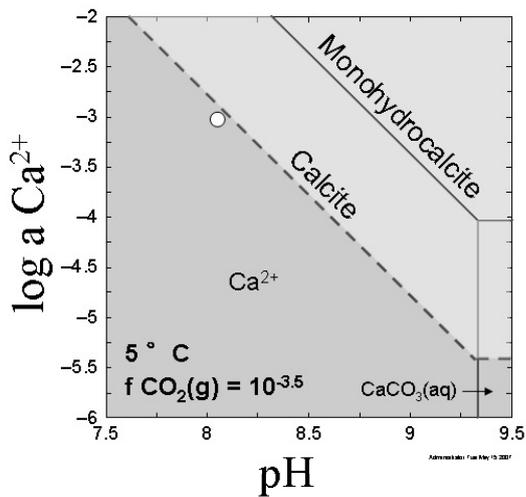


図3 5°Cでの炭酸塩鉱物の溶解度曲線

モノハイドロカルサイトの溶解度

宗本隆志¹・福士圭介²

¹〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学大学院自然科学研究科

²〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学環日本海域環境研究センター

MUNEMOTO Takashi and FUKUSHI Keisuke: Solubility of monohydrocalcite

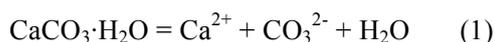
1. はじめに

モノハイドロカルサイト($\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$:MHC)は塩湖や海水環境における現代の堆積物から確認される炭酸カルシウム鉱物である[1]。MHCは母液に Mg^{2+} イオンが存在し、高pH、高 CO_2 過飽和度が達成された水質条件において速やかに生成することが知られている[1]。MHCの溶解度はこれまでに2例報告されている。Hull and Turnbull [1]は 25°C における溶解度について、天然試料を用い $\log K_{\text{sp}} = -7.60 \pm 0.03$ と報告している。一方、Kralj and Brecevic [2]は室内実験で合成した試料を用い $\log K_{\text{sp}} = -7.15$ と報告しており、Hull and Turnbull [1]による報告との差が大きい。またKralj and Brecevic [2]は溶解度の温度依存性に関して $15\text{-}50^\circ\text{C}$ で測定をおこなっているが、MHCの生成が確認されている湖水のイオン活量積は見積もられている溶解度よりも有意に低く、天然におけるMHCの生成を説明できるものではない。そこで本研究では湖水の温度範囲である $5\text{-}25^\circ\text{C}$ におけるMHCの溶解度を再検討し、天然におけるMHCの生成条件を考察することを目的とする。

2. 試料と実験方法

本研究で用いるMHCは 0.06M CaCl_2 , 0.06M MgCl_2 , $0.08\text{M Na}_2\text{CO}_3$ の混合溶液を48時間 $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ で熟成させ、生成した懸濁液を固液分離して得られたものである。得られた物質をよく洗浄した後自然乾燥させ以下の実験に用いた。尚、合成試料の粉末X線回折(XRD; Rigaku, RINT1200, CuK, 40kV, 30mA)からMHC以外の相は認められていない。

合成したMHCを予め実験温度($5, 10, 15, 20, 25^\circ\text{C}$)に温めた 0.1M NaCl 支持電解質溶液に加え、高純度 CO_2 ガスを用いてバブリングし、懸濁液を攪拌しながらpHの測定を行った。なおMHCの相変化を抑制する目的で $0.2\text{-}0.8\text{mM}$ の Na_2HPO_4 を添加した。溶液のpH測定はデジタルpHメータ(DKK-TOA, HM-21P)およびガラス電極(GST-2729C)を用い、実験ごとにpH緩衝溶液($\text{pH}=4.01, 6.86, 9.18$ at 25°C)にて電極の校正を行った。pHはMHCを添加後5分ごと記録した。pHが一定に達した後、懸濁液を孔径 $0.2\mu\text{m}$ フィルターにより固液分離し、イオンクロマトグラフィー(TOSO, 8020)にて液相の全 Ca^{2+} , Mg^{2+} 濃度の測定、XRDにて固相の鉱物同定を行った。MHCの溶解度積はMHCの溶解反応式(1)とその質量作用式(2)によって定義される。



$$K_{\text{MHC}} = a_{\text{Ca}^{2+}} \cdot a_{\text{CO}_3^{2-}} \cdot a_{\text{H}_2\text{O}} \quad (2)$$

溶解度積は式(2)に基づき、測定した CO_2 分圧、全 Ca^{2+} , Mg^{2+} 濃度をインプットパラメータとして計算した。溶存種のスペシエーション計算にはThe Geochemist's workbench [3]を用いた。

3. 結果と考察

3.1 溶解度測定

本研究で行った全ての実験条件はより安定な炭酸カルシウム鉱物やリン酸塩鉱物に対して過飽和状態であったが、XRD 結果から反応後の MHC の変質、リン酸塩鉱物の生成は確認されなかった。このことから、本研究で得られた実験結果は MHC の溶解度を示すと考えられる。MHC の相変化を防ぐために添加したリン酸は実験条件において MHC の溶解度積に影響を及ぼさないことが確認された。図 1 に本実験で得られた温度の関数とした MHC の溶解度の平均値を示す。温度の減少に伴って溶解度がわずかに減少する傾向が見られた。5 °C、25 °C において溶解度積はそれぞれ -7.71 ± 0.02 、 -7.66 ± 0.02 であり有意差が認められた。

3.2 MHC の熱力学的性質

MHC の溶解度積の温度依存性は 5-25 °C の温度範囲において次式で示された。

$$\log K_{sp} = -6.99 - 200/T$$

式(1)から、MHC の溶解の標準反応自由エネルギー(ΔG_r^0)、エンタルピー(ΔH_r^0)、エントロピー(ΔS_r^0)はそれぞれ

$$\Delta G_r^0 = -RT \ln K_{sp} = 43.71 \pm 0.07 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_r^0 = RT^2 (\partial \ln K_{sp} / \partial T) = 3.8 \pm 0.4 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta S_r^0 = -\partial \Delta G_r^0 / \partial T = -134 \pm 1 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

と算出された。Ca²⁺、CO₃²⁻、H₂O の熱力学データ [4] から、MHC の標準生成自由エネルギー(ΔG_f^0)、エンタルピー(ΔH_f^0)、エントロピー(ΔS_f^0)はそれぞれ、

$$\Delta G_f^0 = -1362 \pm 1 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^0 = -1507.9 \pm 0.4 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta S_f^0 = -489 \pm 4 \text{ J/mol}$$

と算出された。

3.3 先行研究との比較

図 1 に先行研究および本研究で得られた MHC の溶解度、MHC の生成が確認されている湖水のイオン活量積を温度の関数として示す。報告されている湖水は本研究で得られた溶解度積に対して過飽和状態となり、天然環境における MHC の生成は本研究で見積もった温度の関数とした MHC の溶解度で説明できる。本研究で得られた MHC の溶解度積は 25 °C において $\log K_{sp} = -7.66 \pm 0.03$ であり、Hull and Turnbull [1] によって報告されている $\log K_{sp} = -7.60 \pm 0.03$ とほぼ一致したが Kralj and Brecevic [2] によって報告されている $\log K_{sp} = -7.15$ とは一致しなかった。

4. 結論

・本研究における MHC の溶解度は、温度の増加に伴って増加し、溶解度の温度依存性は 5 °C から 25 °C の温度範囲において、 $\log K_{sp} = -6.99 - 200/T$ と示された。このときの熱力学的パラメータは

$\Delta G_r^0 = -43.71 \pm 0.07 \text{ kJ/mol}$ 、 $\Delta H_r^0 = -3.82 \pm 0.37 \text{ kJ/mol}$ 、 $\Delta S_r^0 = -133.9 \pm 1.2 \text{ J/mol}$ 、であった。

・MHC の生成が報告されている湖水は全て本研究で得られた溶解度に対して過飽和状態であった。

引用文献

[1]Hull, H. and Turnbull, A.G. (1973) *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37, 685-694.

[2]Kralj, D. and Brecevic, L. (1995) *Colloids. Surf. A*, 96, 287-293.

[3]Bethke, . (1998) *The Geochemist's Workbench Release 3.0 A User's Guide to Rxn, Act2, Tact, react, and Gtplot*

[4]Atkins, P., and Paula, J.D. (2006) *ATKINS' PHYSICAL CHEMISTRY* 8th edition.

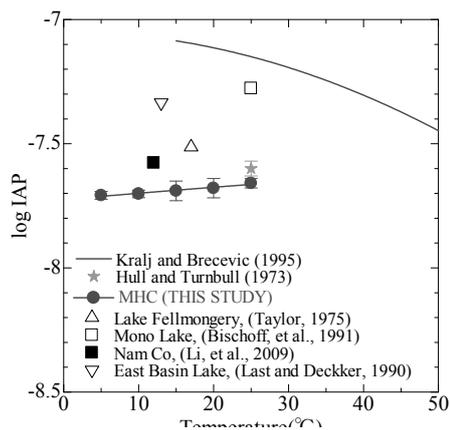


図 1. The solubility of MHC compared the previous works and ion activity products of lake water as a function of temperature.

表面錯体モデリングによる酸化物へのヨウ素吸着の予測

永田貴洋¹・福士圭介²

¹〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学大学院自然科学研究科

²〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学環日本海域環境研究センター

NAGATA Takahiro and FUKUSHI Keisuke:

Prediction of iodine adsorption on oxides by surface complexation modeling

1. はじめに

ヨウ素は甲状腺ホルモンの構成成分として生体に必須の微量栄養素である。ヨウ素の欠乏は甲状腺腫、胎児異常、知的障害といった健康問題を引き起こし、地球規模でのヨウ素循環により世界各地でヨウ素欠乏症が生じている。また、放射性廃棄物中に含まれる長半減期($T_{1/2} \approx 1570$ 万年)の放射性ヨウ素(^{129}I)は、人体に有毒なことから人体への影響が懸念されている核種である。以上のことより、表層環境でのヨウ素の挙動評価が必要とされている。表層環境においてヨウ素は水に溶存した状態で移行し、その際、酸化還元状態に応じてヨウ化物イオン(I^-)及びヨウ素酸イオン(IO_3^-)といった一価陰イオンの化学形態で存在する。金属酸化物や金属水酸化物は、溶存する陰イオンの吸着に重要な役割を果たし(Sverjensky and Fukushi, 2006)、特に鉄やアルミの酸化物は ZPC(Zero Point of Charge)が高いことから、ヨウ素を吸着することで移行挙動に影響を与えることが知られている(Whitehead, 1984)。しかしながら、酸化物への I^- 及び IO_3^- の吸着に関する研究は数少なく、限られた酸化物種に対して限られた水質条件下でしか吸着挙動の評価がなされていない。又、酸化物表面に吸着するイオンの結合形態(表面化学種)は、吸着後の安定性や共存イオンとの吸着の競合性に影響を与える重要な因子であるが、 I^- 、 IO_3^- 共に表面化学種は特定されていない。表層環境におけるヨウ素の移行挙動を理解するためには、幅広い水質条件下で吸着挙動と表面化学種の分布を明らかにすることが重要である。表面錯体モデリング(Extended Triple-Layer Model (ETLM: Sverjensky, 2005))は、吸着現象を酸化物の表面水酸基と溶存イオン種の錯体生成反応として化学平衡論的に取り扱う手法であり、幅広い水質条件下でイオンの吸着挙動と表面化学種の分布を予測することが可能である。そこで、本研究では酸化物表面への I^- 及び IO_3^- の吸着反応に関する巨視的なデータを ETLM によって解析することで、様々な溶液条件下で I^- 及び IO_3^- の吸着挙動と表面化学種の分布を予測することを目的とした。Nagata et al. (2009)では、ETLM に基づいて分光学的に認められる吸着構造と調和的な酸化物への I^- の吸着予測モデルを示した。今回は酸化物への IO_3^- 吸着予測モデルに関する結果を報告する。

2. 実験方法

本研究では HFO(Hydrous Ferric Oxide)、 α -FeOOH、 γ -Al₂O₃ を吸着媒体として用いた。各酸化物の表面電荷特性を調べるために、各酸化物を含む NaCl 電解質溶液(0.01、0.05、0.1 M)に対し、25 °C の高純度窒素雰囲気下で酸/塩基滴定実験を行った。又、各酸化物への IO₃⁻ のバッチ吸着実験を高純度窒素雰囲気下のグローブボックス内で行った。実験は、4~10 の pH 範囲、0.05 及び 0.1 M の NaCl 濃度、1 mM の全 IO₃⁻ 濃度、25 °C、HFO を用いた場合は 0.5 及び 1 g/L、 α -FeOOH 及び γ -Al₂O₃ を用いた場合は 5 及び 10 g/L の固液比の条件下で行った。得られた各酸化物の表面電荷量と各酸化物による IO₃⁻ 吸着量を陰イオンの配位子交換反応を考慮できる ETLM によって解析した。

3. 結果と考察

3.1 HFO、 α -FeOOH、 γ -Al₂O₃ への IO₃⁻ 吸着挙動

バッチ実験によって認められた pH を関数とした(a)HFO、(b) α -FeOOH、(c) γ -Al₂O₃ による IO₃⁻ 吸着量(%)を図 1 の各点に示す。どの系においても pH の減少と共に吸着量が増加していることが確認できる。これは低い pH ほど酸化物の表面水酸基が正に帯電し、負の電荷をもつ IO₃⁻ が吸着されやすくなるためである。又、NaCl 濃度が 0.05 M と 0.1 M の条件における IO₃⁻ 吸着量を比較すると、同一の pH、固液比条件において、各酸化物とも吸着量がほぼ同じ程度を示した。一般に、酸化物表面に対し直接結合し強固に吸着された内圏錯体を形成するイオンは、共存するイオンによって吸着が阻害されないため、共存イオン濃度が変化しても吸着量が変化しない吸着挙動をとる。一方、静電的に吸着し結合の弱い外圏錯体を形成するイオンは、共存イオンによって吸着が阻害されるため、共存イオン濃度の増加に伴い吸着量が減少する。これより、実験条件下において、IO₃⁻ が各酸化物表面に対し内圏錯体を形成していることが推測される。

3.2 HFO、 α -FeOOH、 γ -Al₂O₃ 表面における IO₃⁻ の化学種分布の予測

図 2 に上述より算出した IO₃⁻ の吸着反応式とその平衡定数を用いて予測した pH、イオン強度(NaCl 濃度)、全 IO₃⁻ 濃度を関数とした(a)-(c)HFO、(d)-(f) α -FeOOH、(g)-(i) γ -Al₂O₃ 表面における IO₃⁻ の化学種分布を示す。図 2(a),(d),(g)は、バッチ吸着実験を行った際の溶液条件の一つである NaCl 濃度が 0.1 M、全 IO₃⁻ 濃度が 1 mM の条件下での各酸化物表面における IO₃⁻ の化学種分布、図 2(b),(e),(h)は、NaCl 濃度を 0.01 M に下げた際の分布、図 2(c),(f),(i)は全 IO₃⁻ 濃度を 0.1 mM に下げた際の分布を示す。HFO に関しては、実験条件下の溶液(図 2(a))において外圏錯体が幅広い pH 条件に渡って低い割合で存在し、内圏錯体が pH9 以下で pH の減少と共に割合が増加し、中性~酸性で優勢種となることが確認できる。イオン強度が減少した場合、内圏錯体の寄与は変化しないが外圏錯体の寄与が大きくなることが確認できる。一方、全 IO₃⁻ 濃度が減少した場合、内圏錯体の寄与が大きくなることが確認できる。 α -FeOOH と γ -Al₂O₃ に関しても、イオン強度の減少に伴い外圏錯体の寄与が大きくな

り、全 IO_3^- 濃度の減少に伴い内圏錯体の寄与が大きくなる IO_3^- の表面化学種分布が予測された。酸化物間での分布を比較してみると、HFO、 α -FeOOH、 γ - Al_2O_3 の順に内圏錯体の寄与が小さくなり、外圏錯体の寄与が大きくなることが確認できる。

3.3 酸化物への IO_3^- 吸着の予測

Born solvation 理論に基づくと鉱物へのイオン吸着の平衡定数は誘電率(ϵ)の逆数と一次関数で関係付けられる(Sverjensky, 2005)。上述で算出した HFO、 α -FeOOH、 γ - Al_2O_3 の IO_3^- 吸着平衡定数と Sverjensky(2005)より引用した各酸化物の誘電率(HFO:1000、 α -FeOOH:15、 γ - Al_2O_3 :10.3)の逆数をプロットし、線形回帰を行った(図 3(a)外圏錯体、(b)内圏錯体)。外圏錯体、内圏体共に、 R^2 値の高い回帰直線が示された。従って、この回帰直線を用いることで、誘電率が既知の酸化物に対しては、 IO_3^- 吸着平衡定数を予測可能となることを示す。回帰直線の傾きは外圏錯体に比べ内圏錯体の方が急であることより、誘電率の低い酸化物ほど、内圏錯体が形成されにくくなる。これより、図 2 で示されたように内圏錯体が HFO のような高い誘電率の酸化物で優位となり、外圏錯体が γ - Al_2O_3 のような低い誘電率の酸化物で優位となる。

上述のようにして予測された IO_3^- の平衡定数値が正しいのかを確かめるために、Rex and Martin(1983)で報告される α - Fe_2O_3 への IO_3^- 吸着量と Szczepaniak and Koscielna(2002)で報告される γ - Al_2O_3 への IO_3^- 吸着量を、予測される平衡定数値を用いて解析した(図 4)。図 4 の各点は先行研究の実測 IO_3^- 吸着挙動を示し、各線は α - Fe_2O_3 の予測 IO_3^- 吸着平衡定数($\log K_{>\text{SOH}_2^+ \text{IO}_3^-}=4.6$, $\log K_{(>\text{SO})_2\text{IO}^+}=9.9$)と γ - Al_2O_3 の予測 IO_3^- 吸着平衡定数($\log K_{\text{SOH}_2^+ \text{IO}_3^-}=4.3$, $\log K_{(>\text{SO})_2\text{IO}^+}=9.0$)を用いて計算した予測 IO_3^- 吸着挙動を示す。図 4 に示されるように、予測した吸着挙動はと実測値をよく再現しており、本研究の予測モデルの妥当性を確認することができた。

4. まとめ

- ・ HFO、 α -FeOOH、 γ - Al_2O_3 の IO_3^- 吸着量の ETLM 解析から、 IO_3^- は各酸化物表面水酸基に対し、外圏錯体(正に帯電した酸化物表面と静電的に吸着)と内圏錯体(酸化物の表面金属原子と化学結合して吸着)を形成することが示唆された。

- ・ HFO、 α -FeOOH、 γ - Al_2O_3 の IO_3^- 吸着平衡定数を比較することで、様々な酸化物の IO_3^- 吸着平衡定数を予測する式を得た。

- ・ 外圏錯体はイオン強度が低い場合に寄与が大きくなり、内圏錯体は全 IO_3^- 濃度が低い場合に寄与が大きくなる。又、低い誘電率の酸化物は外圏錯体の寄与が大きくなり、高い誘電率の酸化物は内圏錯体の寄与が大きくなる。

- ・ 予測された IO_3^- 吸着平衡定数を用いた ETLM は、Rex and Martin (1983)で報告される α - Fe_2O_3 の IO_3^- 吸着量と Szczepaniak and Koscielna(2002)で報告される γ - Al_2O_3 への IO_3^- 吸着量をよく再現した。

引用文献

Sverjensky D.A., Fukushi K., *Geochim. Cosmochim. Acta* 70 (2006) 3778.

Whitehead D.C. *Environment International* 10 (1984) 321.

Sverjensky D.A. *Geochim. Cosmochim. Acta* 69 (2005) 225.

Nagata T., Fukushi K., Takahashi Y. *Journal of Colloid and Interface Science* 332 (2009) 309.

Rex A.C., Martin G.S. *Nuclear and Chemical Waste Management* 4 (1983) 301.

Szczepaniak W., Koscielna H. *Analytica Chimica Acta* 470 (2002) 263.

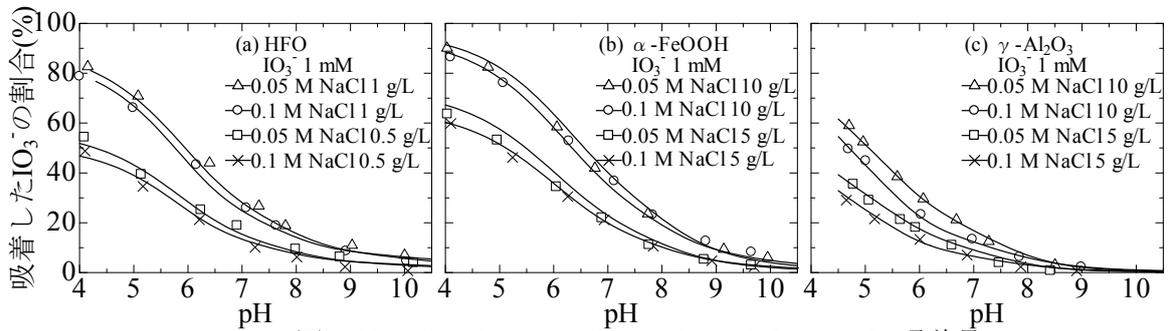


図.1 (a)HFO、(b) $\alpha\text{-FeOOH}$ 、(c) $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ への IO_3^- 吸着量

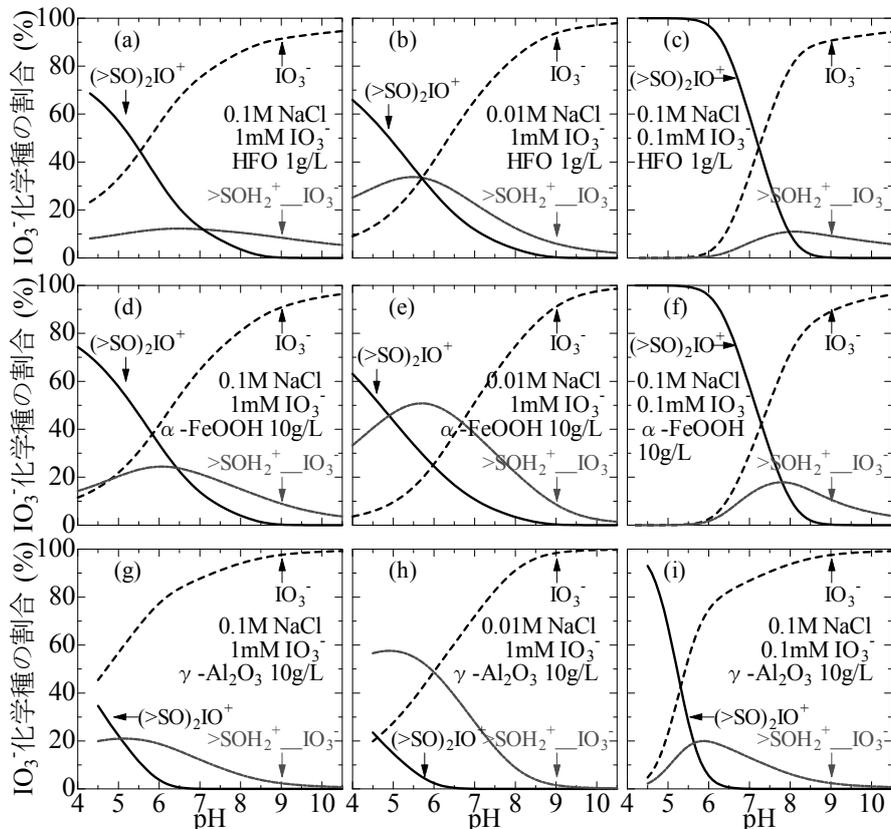


図.2 ETLMより予測されるpH、イオン強度、全 IO_3^- 濃度を関数とした (a)-(c)HFO、(d)-(f) $\alpha\text{-FeOOH}$ 、(g)-(i) $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 表面における IO_3^- の化学種分布

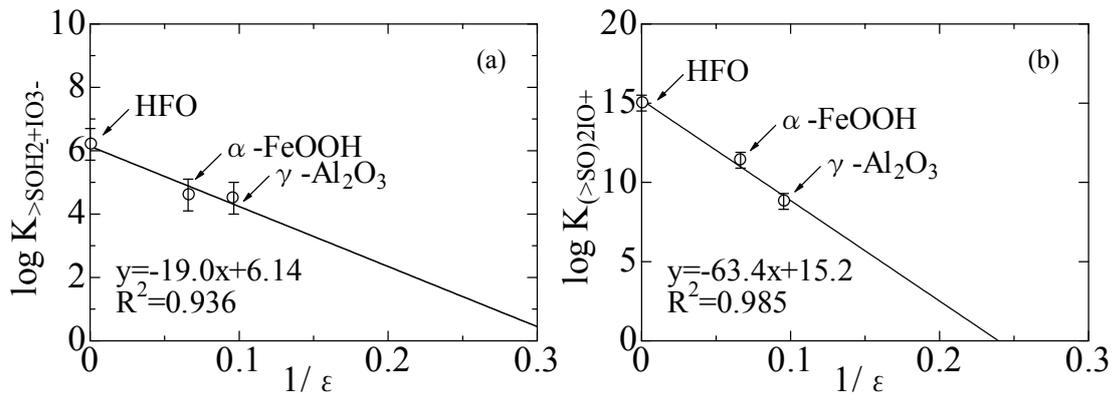


図.3 酸化物の誘電率の逆数と
(a)外圏型、(b)内圏型の IO₃⁻吸着平衡定数の関係

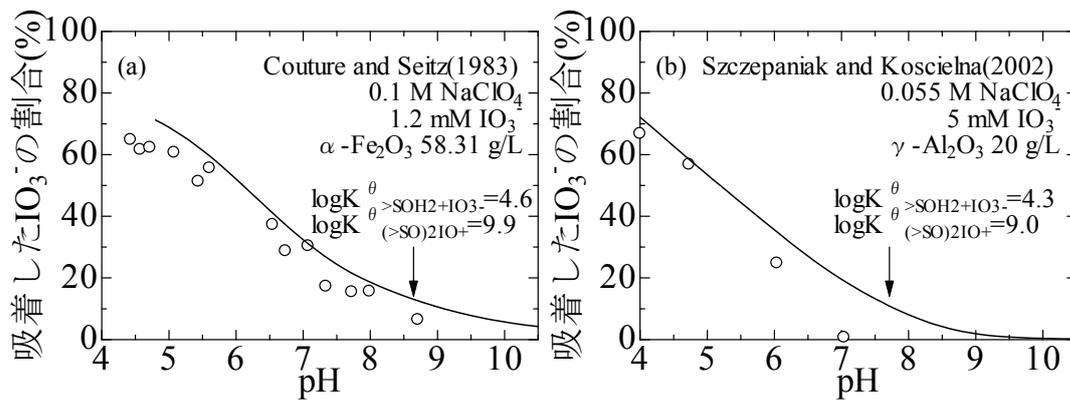


図.4 先行研究で報告される
(a) α -Fe₂O₃、(b) γ -Al₂O₃の IO₃⁻吸着量の ETLM解析結果

Variations in $\Delta^{14}\text{C}$ of POC in Waters from the Upper to Lower Ishikari River

Seiya Nagao¹, Masato Mikami², Takayuki Tanaka³

¹ Low Level Radioactivity Laboratory, KU-INET, Kanazawa University

² Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University

³ Aomori Research and Development Center, Japan Atomic Energy Agency

The dynamics of bulk particulate organic carbon (POC) discharged from rivers is important to understand the role of rivers in global biogeochemical cycles. We have been investigated dynamics of riverine POC at the Ishikari River system, which is 268 km long from the source to mouth and a drainage basin of 14330 km², in northern Japan. The Ishikari River has two peaks of water discharge at spring snowmelt and autumn rain events. For better understanding the origin, forms, and fate of POC, it is important to study the characteristics of riverine POC because of its heterogeneous mixtures of organic matter.

This study reports the variations in $\Delta^{14}\text{C}$ values of POC at three observation sites from the Upper to Lower Ishikari River during spring to autumn in 2006. Riverine suspended particles were collected with a single-bowl continuous-flow centrifuge. The organic ¹⁴C measurements were performed by accelerator mass spectrometry at the Aomori Research Center of Japan Atomic Energy Agency.

Variations in $\Delta^{14}\text{C}$ values of riverine POC are different from each station. In the Lower Ishikari, the $\Delta^{14}\text{C}$ values were -260‰ for the spring snowmelt season, and $-148 \sim -122\text{‰}$ for the normal flow condition. On the other hand, POC of the Middle site shows opposite variation trend. The POC had $\Delta^{14}\text{C}$ of -47‰ and $-148 \sim -122\text{‰}$ at the spring snowmelt and low water discharge, respectively. In the upper Ishikari, the $\Delta^{14}\text{C}$ values were $+19\text{‰}$ for the spring snowmelt season, but -148 and $+208\text{‰}$ for the normal flow condition. The variation range of $\Delta^{14}\text{C}$ value is in the order of the Middle \leq Lower $<$ Upper stations during spring to autumn. These results suggest that the sources and supply processes of POC from watershed are different from the Upper, Middle and Lower Ishikari River.

Spatial distribution of $\Delta^{14}\text{C}$ values of organic matter in surface sediments off Saru River in southern Hokkaido, Japan

S. Nagao¹, T. Irino², T. Aramaki³, K. Ikehara⁴, M. Uchida³, Y. Shibata³

¹ LLRL, KU-INET, Kanazawa University

² Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University

³ AIST, Geological Survey of Japan

⁴ National Institute for Environmental Studies

A variety of geochemical approaches have been employed to define the mixing ratio of marine and terrestrial organic matter. The simultaneous use of $\Delta^{14}\text{C}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values adds a second dimension to isotopic studies of carbon cycling in surface aquatic environments. This study discussed the effects of the flood on the spatial distribution of organic matter at shelf region on the basis of the $\Delta^{14}\text{C}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values. Because transport of organic matter due to flooding is important for the dynamics and flux of organic matter released from terrestrial environment. The surface sediments off the Saru River, southern part of Hokkaido, Japan were collected from twenty sites with a grab sampler in August of 2007, one year after the severe flood in 2006. Suspended particles of the Saru River were concentrated with a single-bowl continuous flow centrifuge in August 2007 and 2008. ^{14}C measurements were performed by accelerator mass spectrometry at the National Institute for Environmental Studies.

The $\Delta^{14}\text{C}$ values of organic matter in surface sediments (water depth of 10 to 39 m) off the Saru River range from -665 to -77 ‰. The silt and clay sediments have $\Delta^{14}\text{C}$ values of -240 to -77 ‰, but the sandy sediments ranges from -665 to -388 ‰. The $\Delta^{14}\text{C}$ values of particulate organic carbon in the Saru River are -292 to -247 ‰ at normal flow condition. The sediments with fine particles deposited by flood events have organic carbon with a mixture of young and older organic carbon. Therefore, these results indicate that surface soil with younger organic matter is deposited by flooding on the sediment off the Saru River and/or freshly produced organic matter in sea surface is deposited after the flooding.

日本海盆における ^{228}Ra と ^{226}Ra の鉛直分布からみた海水循環

井上睦夫¹、皆川昌幸²、吉田圭佑¹、中野佑介¹、小藤久毅³、
長尾誠也¹、濱島靖典¹、山本政義¹

¹〒923-1224 石川県能美市和気町 金沢大学環日本海域環境研究センターLLRL

²〒236-8648 神奈川県横浜市 独立行政法人水産総合研究センター中央水産研究所

³〒035-0064 青森県むつ市港町 日本海洋科学振興財団

Inoue, M., Minakawa, M., Yoshida, K., Nakano, Y., Kofuji, H., Nagao, S., Hamajima, Y. and Yamamoto, M.: Vertical profiles of ^{226}Ra and ^{228}Ra in the Japan Basin of the Sea of Japan

[はじめに]

日本海は、ユーラシア大陸と日本列島に囲まれた縁辺海で、対馬、津軽、宗谷といった浅い海峡 (<150 m) により隣接する海洋とつながっている。表層水は対馬海流やリマン海流により循環系を形成しているが、これら海流により蓋をされる形で水深約 300 m 以下に、冬季の鉛直混合によって形成された低温の日本海固有水として深層循環を形成している。Ra 同位体は海水中に溶存しているため、海水循環のトレーサーとして有効である。本研究では ^{226}Ra 、 ^{228}Ra 濃度の鉛直分布から固有水の滞留時間を見積もった。

[試料と実験]

海水試料は、07 年蒼鷹丸調査航海において日本海盆 (SY07; N41°02', E138°10'; 水深 3700 m) で 14 層 (各 50 L) 採取した。 ^{226}Ra 、 ^{228}Ra の測定には、低バックグラウンド γ 線法を適用した。測定法は Nakano *et al.* [1] に詳しい。

[結果]

^{226}Ra 濃度は表層で 1.5 mBq/L と低く、下部固有水層 (1000 m 以深) では 2.3 mBq/L に上昇した (Fig. 1b)。一方、 ^{228}Ra 濃度は日本海盆の表層では 1.2 mBq/L と高く、深さとともに急激に減少、下部固有水層でほぼ一定 (~0.1 mBq/L) となった (Fig. 1c)。

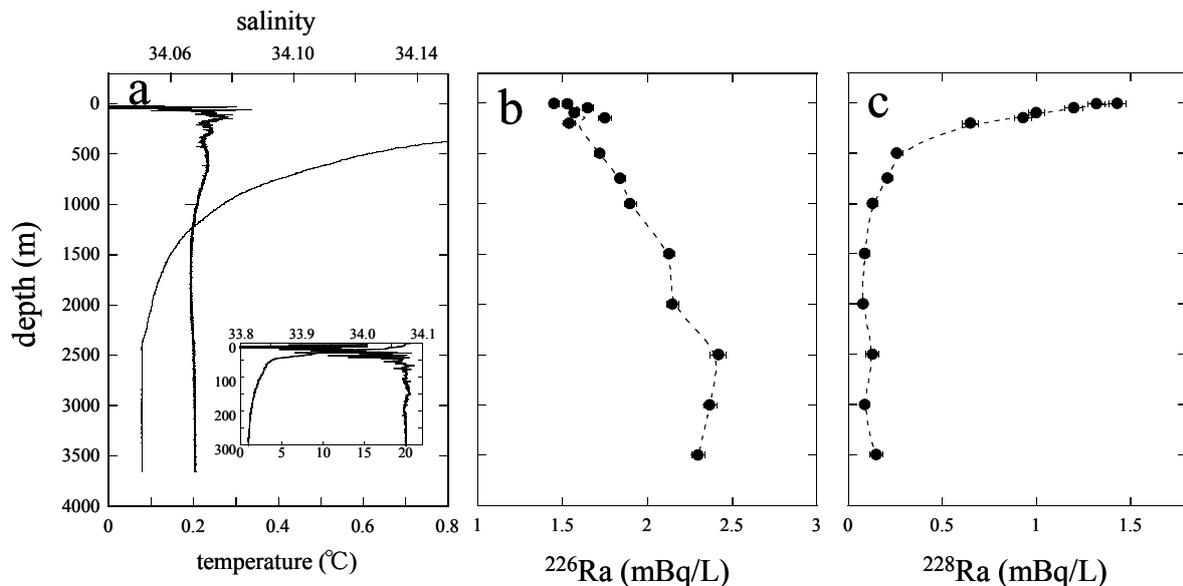


Fig. 1. Vertical profiles of a) potential temperature and salinity, b) ^{226}Ra , and c) ^{228}Ra activities of the SY07 water samples from the Japan Basin.

[固有水滞留時間の見積もり]

本研究では、2 ボックスモデル（混合層 (MLW) + 上部固有水層 (UPW) と下部固有水層 (DPW)）を想定し、 ^{226}Ra , ^{228}Ra 濃度より、下部固有水の滞留時間を計算した (Fig. 2)。

下部固有水層の ^{226}Ra , ^{228}Ra 量は式 1)、2) で表わされる。

$$V\delta[^{226}\text{Ra}]_D/\delta t = [^{226}\text{Ra}]_{(M+U)}\nu + F_{226}S - [^{226}\text{Ra}]_D\nu - [^{226}\text{Ra}]_D V\lambda_{226} \quad 1)$$

$$V\delta[^{228}\text{Ra}]_D/\delta t = [^{228}\text{Ra}]_{(M+U)}\nu + F_{228}S - [^{228}\text{Ra}]_D\nu - [^{228}\text{Ra}]_D V\lambda_{228} \quad 2)$$

[V ; 下部固有水量 (m^3): $[^{226}\text{Ra}]$, $[^{228}\text{Ra}]$; ^{226}Ra , ^{228}Ra 濃度 (Bq/m^3 ($= \text{mBq}/\text{L}$)): ν ; 混合層-上部固有水層と下部固有水層間の混合速度 (m^3/y): F_{226} , F_{228} ; 海底堆積物からの ^{226}Ra と ^{228}Ra の溶出フラックス ($\text{Bq}/\text{m}^2/\text{y}$): S ; 海底の面積 (m^2): λ_{226} , λ_{228} ; 壊変定数 ($1/\text{y}$) (下付きの M+U, D は、混合層+上部固有水層および下部固有水層)

^{226}Ra , ^{228}Ra 濃度 が定常状態と仮定 ($\delta[^{226}\text{Ra}]_D/\delta t = \delta[^{228}\text{Ra}]_D/\delta t = 0$) すると、

$$\Delta[^{226}\text{Ra}]_{(M+U)-D}/\tau_w + F_{226}S/V - [^{226}\text{Ra}]_D\lambda_{226} = 0 \quad 1)'$$

$$\Delta[^{228}\text{Ra}]_{(M+U)-D}/\tau_w + F_{228}S/V - [^{228}\text{Ra}]_D\lambda_{228} = 0 \quad 2)'$$

ここで固有水滞留時間を $\tau_w (= V/\nu)$ (y)、 $[^{226}\text{Ra}]_{(M+U)} - [^{226}\text{Ra}]_D = [^{226}\text{Ra}]_{(M+U)-D}$ 、 $[^{228}\text{Ra}]_{(M+U)} - [^{228}\text{Ra}]_D = [^{228}\text{Ra}]_{(M+U)-D}$ とすると、 τ_w は式 3) より見積もられる。

$$1/\tau_w = \{\lambda_{226}[^{226}\text{Ra}]_D - F_{226}/F_{228}\lambda_{228}[^{228}\text{Ra}]_D\} / \{\Delta[^{226}\text{Ra}]_{(M+U)-D} - F_{226}/F_{228}\Delta[^{228}\text{Ra}]_{(M+U)-D}\} \quad 3)$$

日本海海底堆積物のリーチング実験で求めた $^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Ra}$ 比 ($F_{226}/F_{228} = 0.92$)、混合層+上部固有水層および下部固有水層の ^{226}Ra , ^{228}Ra のインベントリー ($[^{226}\text{Ra}]_{(M+U)} = 1.83 \text{ mBq}/\text{L}$; $[^{226}\text{Ra}]_D = 2.47 \text{ mBq}/\text{L}$; $[^{228}\text{Ra}]_{(M+U)} = 1.08 \text{ mBq}/\text{L}$; $[^{228}\text{Ra}]_D = 0.11 \text{ mBq}/\text{L}$) を式 3) に代入すると、100 年という値が得られる。滞留時間 100 年に相当する量の上層水が下部固有水層に混入していると考えられる。この結果は、最近、様々な核種により計算された固有水層の滞留時間 (100-200 y: ^3H [2]; ^{14}C [3, 4]; ^{129}I [5]) と矛盾はない。

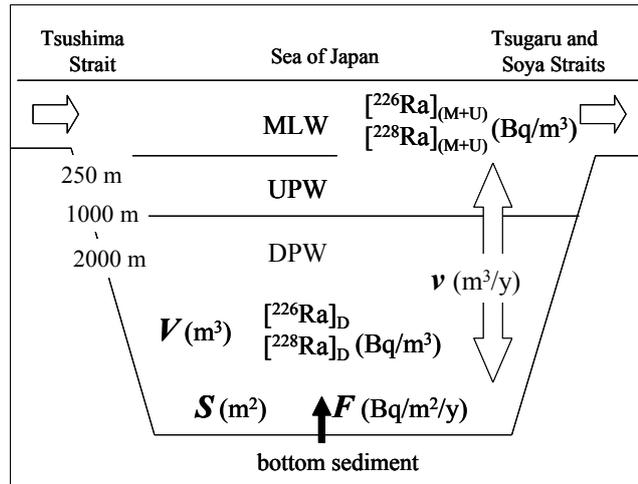


Fig. 2. A simple two-box model for the delivery of ^{226}Ra and ^{228}Ra to the DPW

参考文献: [1] Nakano, Y., Inoue, M., Komura, K.: *J. Oceanogr.* **64**, 713-717 (2008). [2] Watanabe, Y. W., Watanabe, S., Tsunogai, S.: *Mar. Chem.* **34**, 97-108 (1991). [3] Chen, C.-T. A., Bychkov, A. S., Wang, S. L., Pavlova, G. Y.: *J. Geophys. Res.* **100** (C7), 13737-13745 (1995). [4] Kumamoto, Y., Yoneda, M., Shibata, Y., Kume, H., Tanaka, A., Uehiro, T., Morita, M., Shitashima, K.: *Geophys. Res. Lett.* **25**, 651-654 (1998). [5] Suzuki, T., Minakawa, M., Togawa, O.: *Geophys. Res. Lett.* (2009) (submitted).

様々な金属イオンによるフミン酸凝集のフミン酸分子サイズ分布依存性

玉村修司, 長尾誠也, 山本政儀

〒923-1224 石川県能美市和気町 金沢大学環日本海域環境研究センター LLRL

T.Tamamura, S.Nagao, M.Yamamoto: Molecular size distribution dependent aggregation of humic substances by various metal ions

[はじめに] 腐植物質は、土壌・堆積物・天然水中で普遍的に認められ、地表環境で最も多量に存在する有機物である。それらは特定の分子サイズ・化学組成を持たず、ある範囲にわたり分布する。溶解状態の腐植物質は、その高い金属元素との結合能により、天然水中における金属元素の移行挙動に大きな影響を与える。金属元素濃度が高くなると、腐植物質は凝集してサイズが大きくなり、地層間隙にトラップされる可能性がある。これら凝集物は、腐植物質に結合された金属元素を含む。したがって、腐植物質の凝集は、金属元素の移行挙動に大きな影響を与えると予測される。しかしながら、この凝集メカニズムの詳細については明らかでない。凝集の腐植物質分子サイズ依存性を明らかにすることにより、本メカニズムの特定に役立つ情報が得られると期待される。そこで本研究では、 Na^+ 、 Ag^+ 、 Ca^{2+} および Eu^{3+} 添加による腐植物質凝集プロセスを、特に腐植物質分子サイズとの関連で明らかにした。次に、腐植物質の凝集が起こる溶液条件を、金属元素濃度と腐植物質濃度の関数で、半定量的に予測できる経験式を導出した。

[実験方法] 腐植物質は比較的溶解度の高いフルボ酸と、溶解度の低いフミン酸に分画される。本研究では、凝集されやすいフミン酸(HA)の方を用いた。比較のために、2つのHA (Fluka HA (F-HA)とIHSS peat HA (I-HA)) を使用した。金属元素の標準溶液作成には、試薬分析用の NaCl 、 $\text{Ag}(\text{ClO}_4)_2$ 、 $\text{CaCl}_2(2\text{H}_2\text{O})$ および $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3(6\text{H}_2\text{O})$ を用いた。様々な金属元素濃度に調整したフミン酸 50 mg/l 溶液を、暗所・25°Cで一晩攪拌した。攪拌後の溶液を0.45 μm のフィルターで濾過した後、pH分析、280 nmの吸光度分析および高速液体サイズ排除クロマトグラフィー(HPSEC)分析に供した。なお、上記反応溶液は、競合イオン混入による解析の複雑化を回避する目的で、支持電解質を加えないで行った。

[実験結果と考察] 各々の反応溶液のpHは、 Na^+ 、 Eu^{3+} でpH 5-6、 Ag^+ でpH 6-7、 Ca^{2+} でpH 6.5-7.5の範囲にあった。 Na^+ ・ Ca^{2+} 濃度の増加に伴う残存吸光度は、金属元素濃度の増加に伴い緩やかに減少した。一方 Ag^+ ・ Eu^{3+} 濃度の増加に伴うそれらは、ある金属元素濃度付近における、急峻な吸光度の減少が認められた。例えばF-HAは、 Ag^+ 10mM付近から2 mMの Ag^+ 増加でおおよそ60%、 Eu^{3+} 40 μM 付近から12 μM の Eu^{3+} 増加で、おおよそ70%元の吸光度が減少した。 Na^+ ・ Ca^{2+} によるHPSECクロマトグラム(図1a,b)は、金属元素濃度の比較的微量な増加で、低分子分画(9 ml付近)の方が、高分子分画(8.4 ml付近)に対し選択的に凝集したことを示唆した。これよりも濃度が高くなると、逆に高分子分画の選択的凝集(0.45 μm フィルターによる除去)が認められた。この傾向はDLVO理論で定性的に説明できると考えられる。すなわち、金属イオン濃度が低く、したがってコロイド粒子の表面電位が高い状態では、微小粒子ほど電氣的な相互反発が小さく容易に凝集する。一方、金属イオン濃度が高くなると、静電遮蔽効果などにより粒子間の電氣的反発が小さくなり、分子量(サイズ)の大きい粒子の方が、分子間力による引力が大きくなり凝集が容易になる。これと対照的に、 Ag^+ ・ Eu^{3+} では(図1c,d)、凝集の分子サイズ選択性は顕著でなく、DLVO理論とは異なるメカニズムで凝集したと考えら

れる。

腐植物質の中性付近における電荷量はおよそ 5×10^{-3} mol/g で、凝集時に全ての Eu^{3+} (50 μM) が腐植物質と結合しても、40%ほどの電荷は中性化されずに残る。 Eu^{3+} は電荷密度が大きく、 Ag^+ は“柔らかい酸”に分類されるため、腐植物質と内圏型錯体をなすと考えられる。これらの結合部は疎水性であることと (Engebretson et al., 1994), 特に Eu^{3+} の場合は高い電荷を保った状態で凝集したと推定されることから、腐植分子が集合してミセルが形成された可能性がある。以上のことから、腐植物質の凝集メカニズムは、静電的な腐植分子相互反発の減少に伴う凝集 (DLVO 理論) と、内圏型錯体形成部の疎水性上昇によるミセル形成の2つが提唱される。

Eu^{3+} と腐植物質の 1:1 型錯体の安定度定数 ($\sim 10^6$) から、腐植配位子の 60%程度が金属元素と結合し、ミセルが形成されると推定される。中性付近で、腐植配位子の 60%の結合によりミセル化 (凝集) が起こるとすれば、その条件式は次のように導かれる：

$$[M]_t = \frac{2}{3K} + 0.6 \left(\frac{\text{CEC}}{z} \right) \times A$$

ここで、 $[M]_t$ は、添果された金属元素の総濃度 (mol/l), K は腐植物質と金属元素の 1:1 型錯体安定度定数, CEC は腐植物質のプロトン交換容量 (mol/g), z は金属元素のイオン価数, A は腐植物質濃度 (g/l) である。 Ag^+ と腐植物質の 1:1 型安定度定数の報告例は乏しいが、同じく内圏型錯体を形成すると考えられる Cu^{2+} と腐植物質のそれらは $\sim 10^5$ と報告されている。Bryan et al. (2001) は、中性で Cu^{2+} がおよそ 5×10^{-5} M で凝集すると報告している。その報告で腐植物質濃度 (A) の記載はないが、通常の前形成実験で一般的な 0.05 g/l 以下であれば、(CEC を 5×10^{-3} mol/g として) 上式はよく一致した結果を導く。このことから、特に腐植物質と内圏型錯体を形成する金属元素に対し、中性付近における腐植物質の凝集条件が、半定量的に予測される可能性が示された。

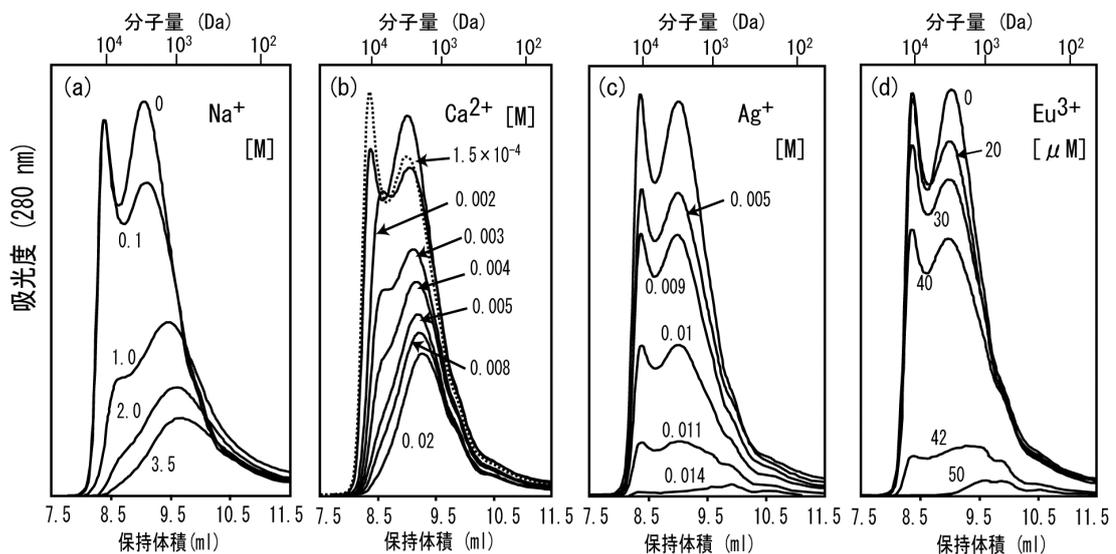


図 1

(a) Na^+ , (b) Ca^{2+} , (c) Ag^+ , (d) Eu^{3+} 濃度増大に伴う F-HA の HPLC クロマトグラムの変化。同様の傾向は I-HA でも認められた。

[参考文献] Engebretson, R., Wandruszka, R. (1994): Environ. Sci. Technol., 28, 1934-1941.

Bryan, N.D., Jones, M.N., Birkett, J., Livens, F.R. (2001): Anal. Chim. Acta, 437, 281-289.

降雨時に河川へ流出する溶存有機物の移行挙動

高嶋容子¹, 長尾誠也², 柴田英昭³

¹北海道大学 大学院環境科学院

²金沢大学 環日本海域環境研究センター LLRL

³北海道大学 北方生物圏フィールド科学センター

Takahatake, Y., Nagao, S., Shibata, H.: Dynamics of dissolved organic materials in a mountain stream during storm events

【はじめに】

河川水の溶存有機炭素 (DOC) 濃度は降雨時や融雪期に高濃度になることが知られている。そのため、河川の DOC フラックスを算出する際、融雪期・降雨時を無視すると DOC フラックスの過小評価につながる。また、土地利用改変・地球温暖化により河川水の DOC 濃度が増加していること、地球温暖化により降雨・降雪パターンが変化していることから、降雨時における溶存有機物の河川フラックスを正確に見積もる必要がある。しかし、降雨時の DOC 濃度変動は流域により異なり、また同一流域であっても降雨により異なることが報告されている。したがって、DOC 濃度変動と降雨、流域との関係を解明する必要がある。本研究では北海道北部の北海道大学雨龍研究林内を流れる小河川の泥川 (図 1) において詳細な降雨、河川流況の観測、DOC 濃度測定、河川水中溶存有機物の 40~60% を占めるとともに流域環境ごとに特性が異なる溶存腐植物質の簡易測定、その他溶存物質濃度測定、河川水の水素・酸素安定同位体比測定を行い、降雨時における河川水の DOC 濃度変動を支配する要因を検討した。

【試料採取、測定項目】

図 1 に示した 2 地点に観測点を設置し、試料採取を行った。上流観測点は勾配が急な森林地帯、下流観測点は河畔湿地帯で、DOC 供給源として知られている。各観測点で 2006 年~2008 年にかけて平水時に数回試料採取を行った。下流観測点には連続採水器を設置し、降雨量や河川水位、流速、濁度の観測とともに、1 時間あたり 10 mm 以上の降雨時に河川水を 1 時間ごとに 24 回採水した。研究対象とした降雨イベントは計 5 回で、2007 年 6 月 22 日、8 月 9 日、9 月 21 日、27 日、2008 年 9 月 3 日である。採取した試料は河川水安定同位体比測定用試料を分取したのち、ろ過を行い、分析項目ごとに適宜保存した。

DOC 濃度測定、三次元蛍光スペクトル分析、紫外可視吸収スペクトル分析、高速液体サイズ排除クロマトグラフィー分析 (蛍光検出: 320/430 nm, 275/335 nm、紫外検出: 280 nm)、栄養塩濃度測定、主要陽・陰イオン濃度測定、河川水の水素・酸素同位体比測

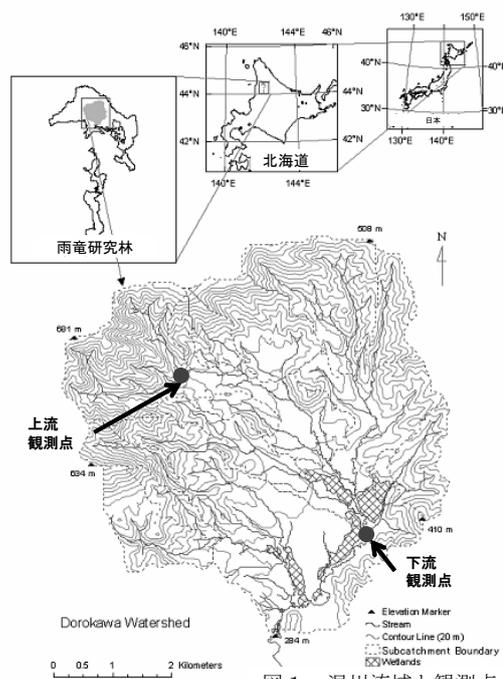


図 1: 泥川流域と観測点

定を行った。

【結果、考察】

全降雨イベント時の DOC 濃度変動幅と河川水位変動幅との関連性を図 2 に示した。水位変動が大きい 2007 年 9 月 21 日の降雨イベントと他の 4 イベントを比べたとき、DOC 濃度変動幅が水位変動幅に依存するといえる。しかし 4 イベントのみを比べたとき、DOC 濃度変動幅と水位変動幅には関係が見られない。これより、DOC 濃度変動幅は水位変動幅だけで決まらず、降雨状況が関係すると考えられる。

図 3 には 2008 年 9 月 3 日の降雨イベント時の DOC 濃度と河川水位を示した。降雨観測 2~4 時間後に水位が 0.6m から 1.2m に急激に上昇して最高位となり、7 時間後からは緩やかに減少し、23 時間後には 0.8m となった。DOC 濃度は降雨観測 4 時間後に急増し、5.5 mg/L から最高値の 10.6mg/L となり、9 時間後から徐々に減少し、23 時間後には 5.6mg/L となった。このときの河川水の水素・酸素同位体比は図 3 のように、水位変動や DOC 濃度変動と似た変動を示した。先行研究より、この変動は河川水の起源が Subsurface water へ変化したことにより生じたと推察される。

280 nm における紫外検出の高速液体サイズ排除クロマトグラフィー (HPSEC) の結果は、図 4 に示した。平常時、ピーク①は上流観測点において観察されず、下流観測点においてのみ観察された下流域に特徴的なピークである。ピーク①/ピーク② (図 5) は降雨観測 3 時間後から急増し、6 時間後に最高値となったことから、降雨イベント時の DOC 濃度変動は上流の森林地帯より下流の河畔湿地帯の影響を強く受けることを示唆している。

以上の結果より、降雨イベント時には湿地帯の Subsurface 層からの寄与が増大し、DOC 濃度増加を引き起こすことが明らかとなった。

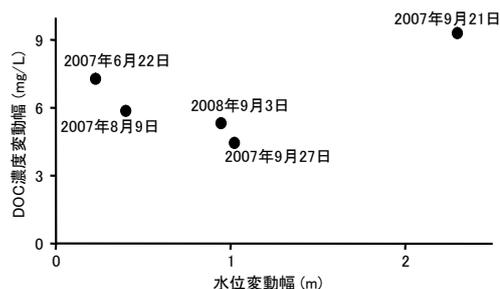


図 2 : 全降雨イベントにおける DOC 濃度変動幅と河川水位変動幅

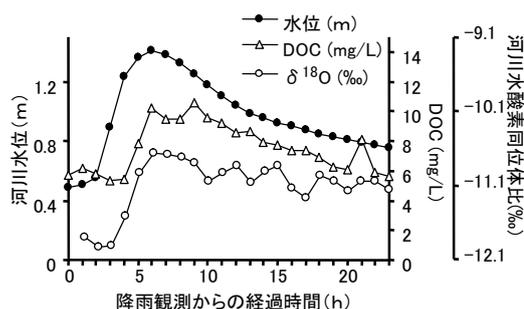


図 3 : 2008 年 9 月 3 日の降雨イベント時の河川水位、河川水 DOC 濃度、河川水酸素安定同位体比の降雨観測直後から 23 時間後までの経時変化

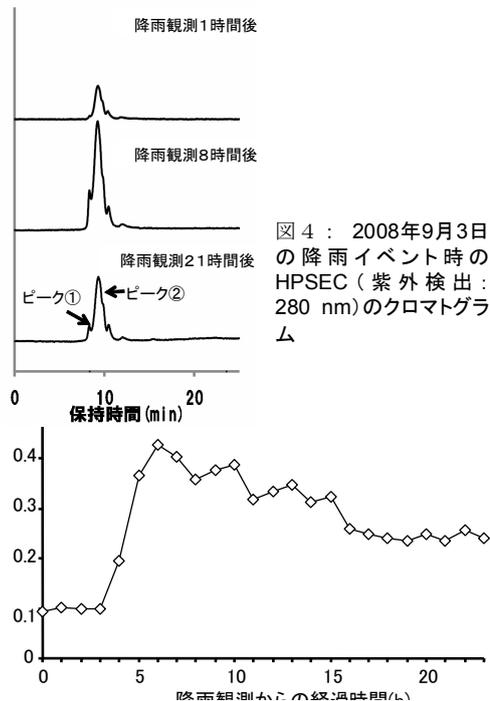


図 4 : 2008 年 9 月 3 日の降雨イベント時の HPSEC (紫外検出: 280 nm) のクロマトグラム

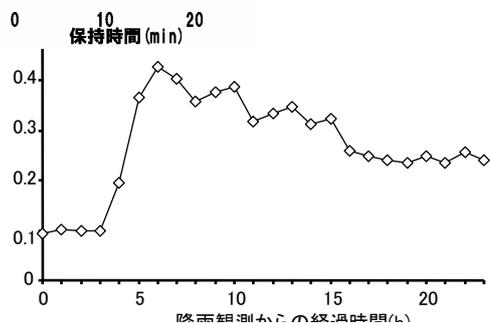


図 5 : 図 4 のピーク①とピーク②の比 (ピーク①の高さ/ピーク②の高さ)

Uranium in acidic mine drainage at the former Ogoya Mine in Ishikawa Prefecture of Japan

Masayoshi Yamamoto,^{1*} Aya Sakaguchi,² Hisaki Kofuji³

¹Low Level Radioactivity Laboratory, *K-INET*, Kanazawa University, Wake, Nomi-shi, Ishikawa 923-1224, Japan.

²Faculty of Science, Hiroshima University, Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima 739-8526, Japan

³Japan Marine Science Foundation, Mutsu Marine Laboratory, Mutsu, Aomori 035-0064, Japan

Nowadays, radioactive disequilibrium (i.e., activity ratios among nuclides that are not unity) in the uranium decay series is a quite common and well-investigated phenomenon. The $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ radioactive disequilibrium is still of interest in connection with hot atom phenomena, and the extent of this disequilibrium has been used as a tool in hydrologic investigations such as water circulation, mixing of water masses between various aquifers and geochronology.

We found high $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity ratios of around 13 in acidic mine drainage (pH: around 3.5) from the former Ogoya Mine where is ca. 20 km from the LLRL. Generally, anomalous ratios of $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ have been found in neutral water samples obtained mainly under a reducing condition where weathering (dissolution) of aquifer rock is suppressed. Therefore, the appearance of high $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity ratios in water under the acidic condition is a striking feature, because the $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity ratio is considered to be near unity if the dissolution of rocks is accelerated under the acidic water condition, which makes a better understanding of the processes controlling high $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity ratios scientifically very interesting.

In this paper, we measured uranium isotopes in mine drainage from the former Ogoya Mine in Ishikawa Prefecture, Japan, and in surface waters from its surrounding rivers from the viewpoint of radioactive disequilibrium in the uranium decay series. Based on the measurements, we discuss probable processes controlling the high $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity ratios in acidic drainage from the mine.

The results of the ^{238}U and ^{234}U concentrations and their $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity ratios in water samples are summarized in Table 1. The ^{238}U concentrations in the water samples varied widely from 0.0036-0.78 mBq/L with a factor of about

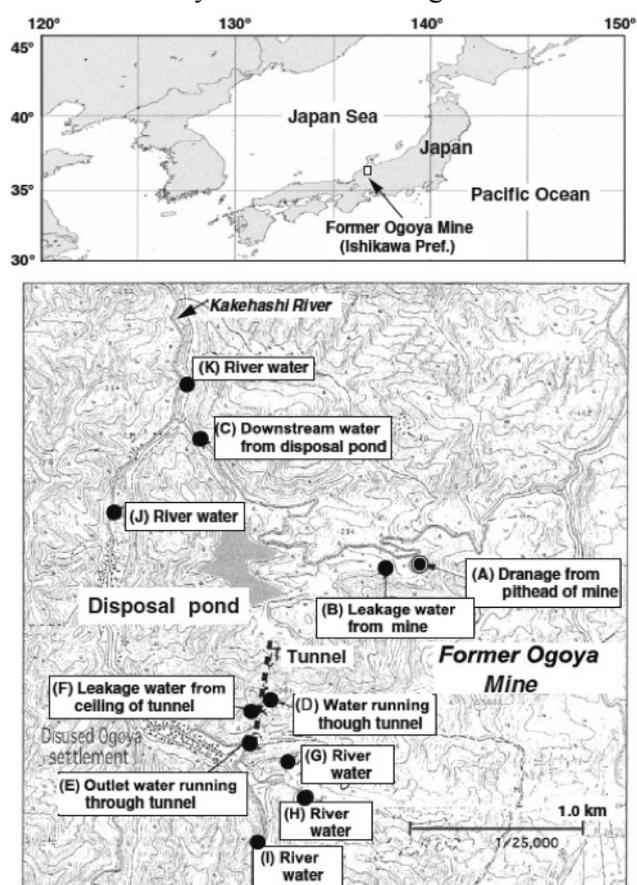


Fig. 1 Map showing the location of the former Ogoya Mine and water sampling points

200. Higher values were found in the acidic water samples from the pithead (A) and leakage (B).

Mine drainage discharged to the outside environment has been generally divided into three categories from the viewpoint of water quality: (1) acidic water (pH: 3-5) of Ca-SO₄ type including a large amount of iron; (2) mildly alkaline water (pH: 8-9) of NaHCO₃-SO₄ type; and (3) neutral water of Na-SO₄ type. The drainage from the Ogoya Mine is probably category (1).

It can be interpreted as given below. Immediately after the drainage flows onto the earth's surface, its pH is about 5, and it is acidified to pH of 2-3 rapidly on contact with air. Pyrite (FeS₂) is dissolved under the reducing condition, and after contact with air, Fe²⁺ is oxidized to Fe³⁺, then a brown precipitate of limonite is produced, and then the water is acidified strongly by the oxidation of S to SO₄²⁻. By taking into account this interpretation, underground water in deeper layer of mine drainage seems likely to be neutral and under reducing condition. The acidic water may be limited only in the upper part of the water

in the pits. If the underground water in a deep layer is made acidic, Th isotopes in rocks are expected to be dissolved to some extent, although this is speculative. In fact, although we tried to detect Th isotopes by using water samples of 170 L from the mine pithead, the detected concentrations were very low. The ²³⁴Th concentration, which is expected to be ejected directly by recoil due to the α-decay of ²³⁸U, was a similar level to that of

Table 1 Uranium isotopes and their activity ratios in water samples

Sampling point	Sampling date	pH	Concentration (mBq/L)		Activity ratio
			²³⁸ U	²³⁴ U	
(A)	06.04.03 ^a	3.6	0.44 ± 0.04	8.72 ± 0.21	13.8 ± 1.0
	11.28.02	3.7	0.62 ± 0.02	8.07 ± 0.19	13.0 ± 0.4
	08.09.95	3.6	0.75 ± 0.03	10.8 ± 0.4	14.3 ± 0.9
	06.19.95	3.5	0.76 ± 0.08	10.5 ± 0.8	13.8 ± 1.0
(B)	01.13.94	3.5	0.78 ± 0.09	9.57 ± 0.67	12.3 ± 1.5
	11.28.02	3.6	0.59 ± 0.03	8.26 ± 0.29	14.0 ± 0.7
	11.24.02	4.1	0.27 ± 0.02	2.70 ± 0.10	10.1 ± 0.7
	03.20.02	4.3	0.35 ± 0.04	3.67 ± 0.14	10.5 ± 1.1
(C)	10.13.94	3.7	0.57 ± 0.07	7.73 ± 0.80	13.6 ± 1.2
	06.02.94	3.8	0.50 ± 0.05	7.71 ± 0.56	15.4 ± 1.1
	11.24.02	6.9	0.28 ± 0.03	0.76 ± 0.05	2.69 ± 0.25
	10.13.94	5.6	0.18 ± 0.02	0.67 ± 0.07	3.66 ± 0.39
(D)	11.24.02	6.6	0.032 ± 0.003	0.54 ± 0.02	16.8 ± 1.8
(E)	01.13.94	7.1	0.022 ± 0.005	0.29 ± 0.03	13.6 ± 3.2
(F)	07.03.95	7.2	0.0071 ± 0.0010	0.030 ± 0.001	4.17 ± 0.33
	06.02.95	6.7	0.0036 ± 0.0014	0.019 ± 0.002	5.36 ± 0.91
	11.30.94	6.6	0.0060 ± 0.0011	0.024 ± 0.003	3.95 ± 0.88
	01.13.94	7.0	0.0056 ± 0.0009	0.022 ± 0.002	3.93 ± 0.59
(G)	11.24.02	6.8	0.083 ± 0.003	0.17 ± 0.01	2.01 ± 0.15
(H)	11.24.02	5.4	0.063 ± 0.007	0.11 ± 0.01	1.69 ± 0.24
(I)	11.24.02	7.0	0.022 ± 0.003	0.069 ± 0.006	3.15 ± 0.51
(J)	11.24.02	6.3	0.021 ± 0.003	0.065 ± 0.006	3.17 ± 0.55
(K)	11.24.02	6.4	0.11 ± 0.01	0.26 ± 0.02	2.42 ± 0.27
	10.13.94	5.9	0.050 ± 0.008	0.21 ± 0.02	4.09 ± 0.74

²³⁸U. The respective concentrations of ²³⁰Th, a daughter nuclide of ²³⁴U, and ²³²Th were 100 times lower than that of its parent nuclide ²³⁴U, and one order of magnitude lower than that of ²³⁸U, respectively, although the activities of ²³²Th in rocks sampled around here were nearly the same as those of ²³⁸U. Thus, the existence of excess ²³⁴Th relative to ²³⁸U could not be observed and Th dissolution was found to be very low compared with U, indicating that deeper water of the pits was unlikely to be under the acidic condition. Under the neutral condition, Th hydrolyses very easily and is rapidly adsorbed by the surface of surrounding mineral particles. High ²³⁴U concentration may be attributed to the preferential leaching of ²³⁴U produced mainly from such ²³⁴Th adsorbed on the surface of the mineral particles. It seems to be reasonable to assume that the acidic water flowing from the mine pithead is from only the upper layer of the pits, and its high ²³⁴U/²³⁸U ratio is attributable to the deeper underground water under the neutral and reducing conditions.

炭素同位体比を用いた土壌有機物蓄積状況の解析

松田 奈々、長尾誠也、山本政儀

〒923-1224 石川県能美市和気町 金沢大学環日本海域環境研究センター LLRL

N. Matsuda S. Nagao, M. Yamamoto: Study of soil organic matter accumulation using carbon isotopic signature

【はじめに】

日本の国土の約70%は森林によって占められているため、我が国の陸域環境における炭素循環を考える上で、森林土壌における有機物の蓄積状況を理解することが重要である。森林土壌の鉛直分布についてのデータは数多くあるが、環境が異なる森林土壌での土壌有機物の蓄積、分解についての詳細は未だ明確ではない。そこで本研究では、日本における数地点の森林土壌における有機炭素含有量の鉛直分布とともに、炭素・窒素同位体比、放射性炭素を測定し、有機物の蓄積・分解状況に関して検討した。また、里山放棄が引き起こす森林土壌の有機物蓄積状況への影響の評価も併せて検討した。

【採取・実験】

研究フィールドとして、長野県伊那、茨城県埴、石川県七尾における森林では0~30 cmまでの土壌を、高山では0~80 cmまでの土壌の採取を行ない、5 cmの深度毎に、全有機炭素(TOC)含有量を元素分析器、有機物の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ を同位体分析計、 $\Delta^{14}\text{C}$ を加速器質量分析計、 ^{137}Cs を γ 線スペクトロメトリで測定した。七尾地域では、森林土壌の他に水田、放棄田、人工林地(幼齢林、老齢林)の各地点で土壌の採取を行ない、同様な測定を行なった。

【結果・考察】

各地点での森林土壌のTOC含有量の測定結果を図1(a)に示す。各地点におけるTOC含有量は表層の深さ0~5 cmで6~12%と高く、下層に向かい1.0~9.5%まで減少している。その減少率は0~5 cm-5~10 cm間で30~50%、5~10 cm-10~15 (15~20)cm間で0~30%と地域により変動していた。しかし、その鉛直分布の特徴から、1)伊那No.3と七尾、2)伊那No.2と茨城、3)高山に分類できる。つまり、森林の状況により、森林土壌有機物の蓄積状況は異なることが示唆される。

土壌有機物中の $\delta^{13}\text{C}$ については、各地点ともに0~5 cmが-30~-25‰と低く、下層にかけて有機物の分解により値が-24~-23‰まで高くなった(図1(b))。日本の一般的な森林土壌である褐色森林土は、 $\delta^{13}\text{C}$ が-27‰前後であり、茨城と伊那の土壌表層と七尾の土壌は褐色森林土であるといえる。高山の土壌や、伊那、茨城の下層では $\delta^{13}\text{C}$ が高い値を示した。そこで今回は、TOC含有量と $\delta^{13}\text{C}$ の鉛直分布が特徴的な高山の土壌をより深い深度まで分析した結果について検討した。

高山のTOC含有量は0~20 cmでは減少し、20~50 cmでは12%程度でほぼ一定であり、50 cm以深では再び減少した(図2(a))。一般的な森林土壌のTOC含有量が、表層から下層にかけて徐々に減少するのに比べ、明らかに異なる。 $\delta^{13}\text{C}$ に関しては、0~20 cmでは増加し、20~50 cmでは-19~-22‰と高い値を示し、50 cm以深では減少した(図2(b))。森林土壌有機物の $\delta^{13}\text{C}$ は、植生の変化がない場合に、下層へ行くと増加し、ある深度で一定となるような鉛直分布をとる。 ^{14}C の測定から見積もった ^{14}C 年代では、0~5 cmで-222yr.B.P.という核実験の影響を示す値を示し、5~50 cmにかけて520~5400yr.B.P.まで徐々に増加しているため、0~50 cmまでは急激な土壌の流入などが無いといえる。

高山の森林土壌の下層50~80 cmでは、 $\delta^{15}\text{N}$ が6‰以上、 $\delta^{13}\text{C}$ が22‰以上という黒ボク土の性質を示した。よって、高山の森林土壌は、黒ボク土であった土地から、褐色森林土に近い土壌へと遷移していった土壌であるといえる。これは、土砂が流入などにより徐々に蓄積し、それに伴う植生の遷移が起こったという可能性が考えられる。

土地利用変化に伴うTOC含有量、 $\delta^{13}\text{C}$ の推移状況を七尾の水田、放棄田、幼齢林、老齢林で検討した。 $\delta^{13}\text{C}$ は、各地点で-25~-30‰と変動しているが、土地利用変化に対応するような変動傾向は認められなかった。放棄田、幼齢林、老齢林のTOC含有量は、0~20 cmでほぼ一定で、その値は放棄田の1.3%から老齢林の2.7%まで徐々に高くなった。これより、七尾の土地利用変化では、有機炭素は蓄積する方向に働くことが示唆された。

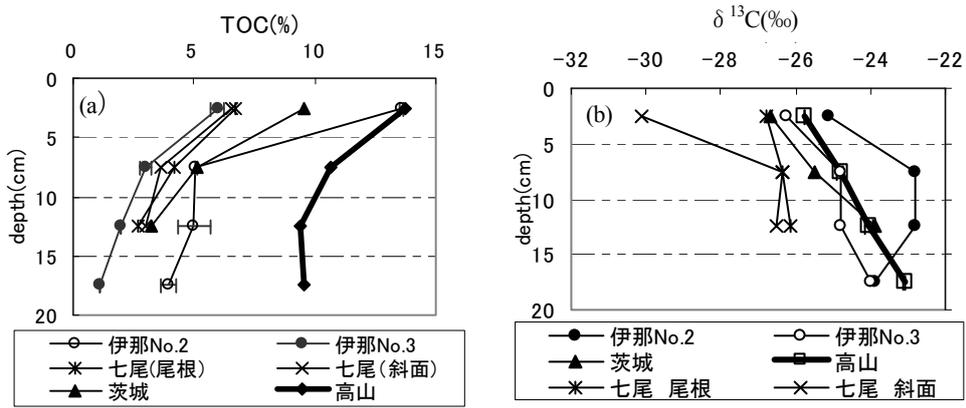


図1.森林土壌の TOC 含有量(a)と森林土壌有機物 δ¹³C の鉛直分布(b)

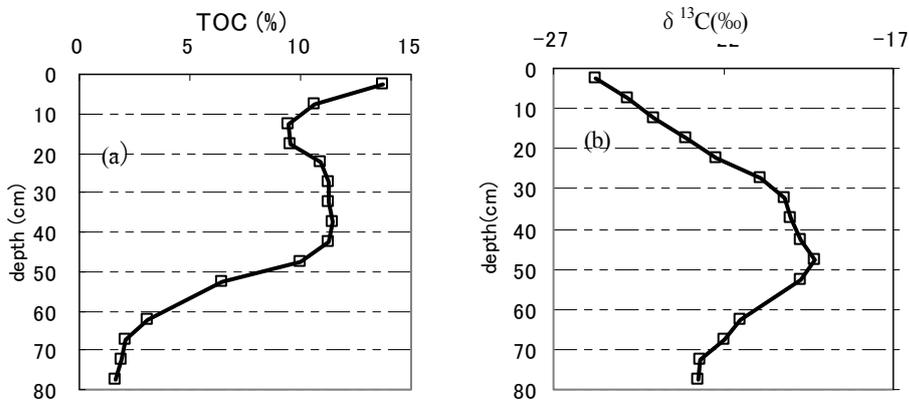


図2.高山森林土壌の TOC 含有量(a)と土壌有機物 δ¹³C の鉛直分布(b)

Toward the solution of radiation dose assessment to the residents living around the former USSR's nuclear test site: laying stress on Sarzhal and Karaul settlements in the southern area

K. KAWAI¹, K. MINO¹, S. OIKAWA², T. IMANAKA³, M. HOSHI⁴,
A. SAKAGUCHI⁵, K. N. APSALLIKOV⁶, M. YAMAMOTO¹

¹Low Level Radioactivity Laboratory, Kanazawa Univ., Nomi, Ishikawa, 923-1224, Japan

²Marine Ecology Research Institute (MERI), Shinjyuku, Tokyo 162-0801 Japan

³Research Reactor Institute, Kyoto Univ., Kumatori-cho, Osaka 590-0494, Japan

⁴Research Institute for Radiation Biology and Medicine, Hiroshima Univ., Minami-ku, Hiroshima 734-8553, Japan

⁵Graduate School of Science, Hiroshima Univ., 1-3-1 Higashi-Hiroshima, 739-8526, Japan

⁶Kazkh Scientific Research Institute for Radiation Medicine and Ecology, The Kazakhstan Republic

Over a period of 40 years from 1949-1989, the former Union of Soviet Socialist Republics (USSR) conducted more than 450 nuclear explosions at the Semipalatinsk Nuclear Test Site (SNTS), Kazakhstan. It has been said that several hundred thousand peoples who were living in settlements around the SNTS have been impacted by long-term low-dose radiation from the close-in fallout. Considerable efforts have been devoted to investigate the consequences of radiation exposures to the residents living in the area, particularly in villages contaminated heavily by fallout of the radioactive clouds. Since 1994, we have also investigated the radiological situation in and around the SNTS, and measured long-lived radionuclides such as ¹³⁷Cs and plutonium (Pu) isotopes, mainly for soil samples from various areas.

From the detailed soil sampling around Dolon village affected directly by the radioactive plume associated with the 29 August 1949 nuclear test, it has been gradually clarified that residents of Dolon received a radiation dose in air around 0.5 Gy.

In this paper, to obtain a more reliable estimation of radiation dose to residents of Sarzhal and Karaul villages contaminated mainly by the USSR's first hydrogen bomb in 1953, many soil samples up to a depth of 30 cm were collected along a line perpendicular to the supposed center-axis of the plume in 1953 and their Pu isotopes and ¹³⁷Cs were measured. Based on the measurements, we discuss the spatial distribution of the close-in fallout from the 1953 test. Furthermore, we present information on the neutron-induced radionuclides ¹⁵²Eu and ⁶⁰Co which were detected in some soil samples.

The distributions of ¹³⁷Cs inventories are respectively plotted in Fig. 2 for Sarzhal and Karaul as a function of distance from the supposed center axis of the radioactive plume from the 12 August 1953 hydrogen bomb test. All data are as of the date of measurements (2007-2008).

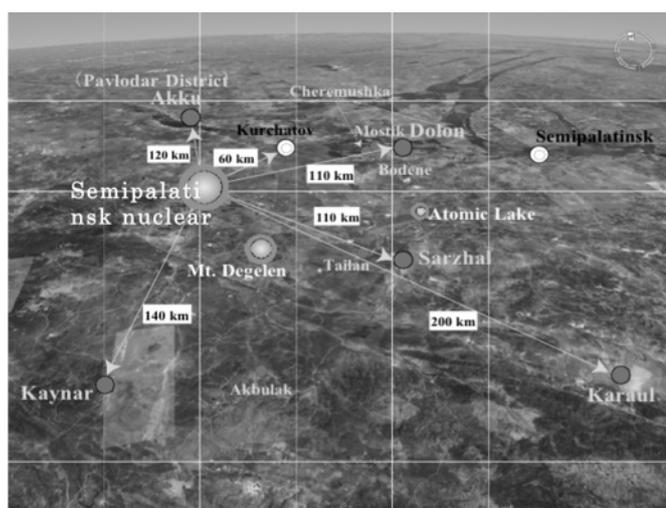


Fig.1 Locations of settlements in the Semipalatinsk historical cohort

Positive and negative values on the abscissa correspond to the distances from the trace center-axis toward the directions.

In Sarzhal village, although the inventories of these nuclides vary largely, overall, peak-like distributions similar to Gaussian function seem to be observed for both ^{137}Cs and $^{239,240}\text{Pu}$. Their maxima are near the supposed center-axis. It is probable that the ^{137}Cs and $^{239,240}\text{Pu}$ inventories at the center-axis are around 10,000 and 2,000 Bq/m^2 , respectively, and in the village where were located at about 5 km away from the center-axis, their inventories are, respectively, approximately 5,000 and 500-1,000 Bq/m^2 .

On the other hand, in Karaul village, although nearly the same distribution pattern as the ^{137}Cs and $^{239,240}\text{Pu}$ inventories found in Sarzhal was observed, their levels seem lower for each maximum. It is probable that the real center-axis where the plume passed is near the village several km away from the supposed centerline. The ^{137}Cs and $^{239,240}\text{Pu}$ inventories in the vicinity of the village are 5,000-7,700 and 200-400 Bq/m^2 , respectively. The $^{239,240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ activity ratios in Sarzhal and Karaul vary in a wide range from 0.1-0.6 and 0.1-0.3, respectively.

Neutron-induced radionuclides ^{152}Eu and ^{60}Co were detected successfully by using extremely low-background Ge detector installed at the Ogoya underground laboratory after simple chemical separation. The ^{152}Eu contents do not vary so largely, ranging from 120-184 Bq/m^2 , while ^{60}Co contents change in a wide range from 268 Bq/m^2 in Tailan to 23 Bq/m^2 in Karaul, with increasing distance from hypocenter. It seems likely that the ^{60}Co found is attributable to Co which is contained in materials used for the hydrogen atomic bomb, the iron tower and so on. These data will provide useful information on the efforts to estimate radiation dose to the residents living in Sarzhal and Karaul villages.

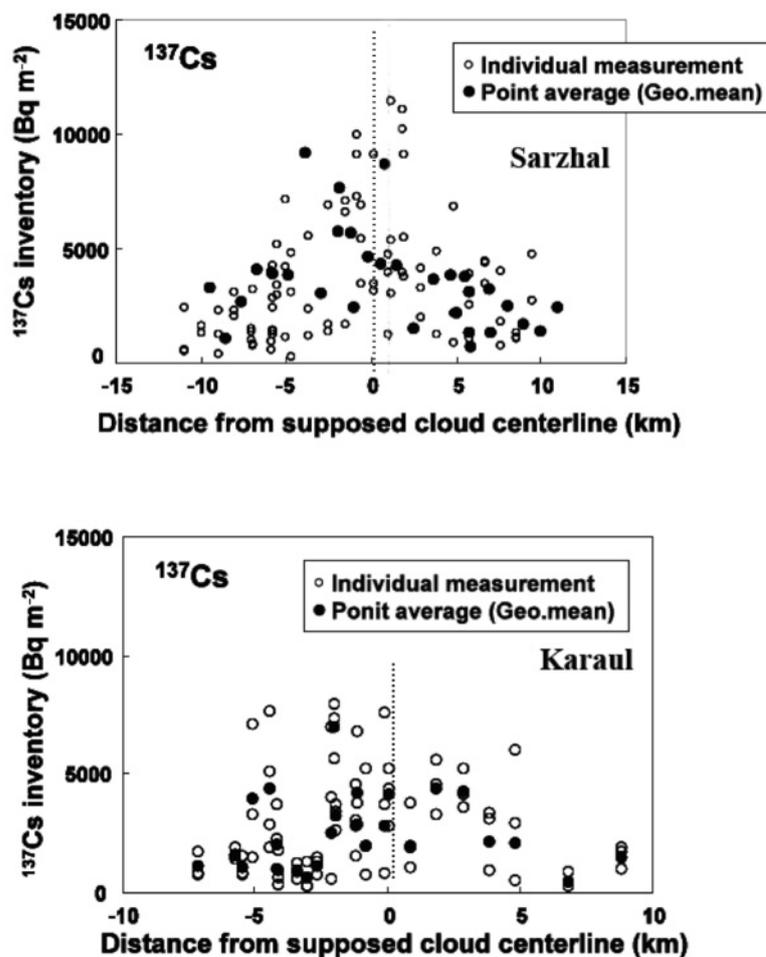


Fig. 2 Spatial distribution of ^{137}Cs inventories for soil samples collected from 38 locations around Sarzhal and Karaul villages. Average values (solid circles) are plotted as geometric mean.

熊木川-七尾湾水系から読み解く 里山から里海への粒子流出の現状

徳成 武勇、長尾誠也、鈴木智代、山本政儀

〒923-1224 石川県能美市和気町 金沢大学環日本海域環境研究センターLLRL

T. Tokunari, S. Nagao, T. Suzuki, M. Yamamoto: Investigation on transport of suspended solids from Satoyama to Satoumi : a case study in Nanao, Ishikawa Prefecture, Japan

1. 研究背景と目的

日本では古来より山や海は資源の生産場として活用されており、いわゆる里山や里海はそれらを利用して生活する人々の手によって豊かな環境が維持・管理されてきた。しかし、近年の一次産業従事者の減少により、このような環境の維持が難しくなっており、里山では管理放棄された森林（放棄林）や水田（放棄田）が増加している。放棄林は日照量不足で地表が裸地化するために涵養力が低下し、降雨時の土壌流出が増大する可能性が指摘されている。放棄田についても、土壌の団粒化が進まず乾燥化する例が報告されており、水涵養機能の低下や土壌侵食量の増加の可能性が懸念されている。沿岸生態系は主に陸上からの栄養塩の供給によって支えられているため、里海の持続発展のためにも陸上からの粒子流出の増大による沿岸生態系への影響を評価することは必須である。



Fig1. Location of the study area

このように一連の環境変化を考えるには陸-川-海をつなぐ物質動態を研究する必要がある。しかし、これらの研究は各地で行われ始めたばかりでまだ十分な結果が得られていない。本研究では、石川県七尾市に存在する熊木川の集水域における環境変化が七尾湾へ及ぼす影響を評価するために、現在の陸上生産源からの河川懸濁粒子の供給状況を、放射性核種をトレーサーとして検討することを試みた。対象とした核種は ^{137}Cs 及び $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ であり、後者は ^{210}Pb のうち親核種である ^{226}Ra と放射平衡でないものを指す。これらは大気から表土へと沈着し、共に土壌表層の微細な土壌粒子や有機物画分に吸着して容易に脱着しないことが知られているため、生産源の情報を保持したトレーサーとして利用できる。各試料についてこれら2核種の放射能濃度及び放射能比 $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ を求め、生産源の特徴を検討した。

2. 試料採取及び実験方法

熊木川水系は、水田や森林の放棄が進んでいる熊木川本流と、比較的管理林や水田の多い支流の西谷内川から構成されている。この集水域において、主な粒子生産源と考えられる森林、水田、放棄田・林等で表層から深さ 20~25cm 程度までの土壌試料を採取した。また、熊木川本流と西谷内川が合流する熊木川中流と下流でそれぞれ河床堆積物を採取した。

これらの試料は 100°C で乾燥した後、土壌は 2mm、河床堆積物は 1mm の篩にかけたものを均質化し、加圧成型した。当実験施設の Ge 半導体検出器で γ 線スペクトルを測定し、 ^{137}Cs 及び $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ を定量した。

3. 結果と考察

$^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ の鉛直分布を調べた結果を Fig.2 に示す。森林表層土壌の鉛直分布特性については、Fig.2(a)(b)のように ^{137}Cs 及び $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ が表層 20cm 程度に留まっていることが明らかになった。しかし、管理林と放棄林の区分けでは2核種の濃度に大きな差が見られず、特に $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ については誤差範囲内であった。この要因としては、管理林と放棄林では流出挙動に大きな違いがないこと、あるいは調べた森林が最近放棄されたもので、粒子流出量の増大までにタイムラグが存在することが考えられる。

水田土壌コアでは、Fig.2(d)(e)のように土壌攪乱により ^{137}Cs 及び $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 濃度の減少と鉛直方向の均質化が顕著に見られ、それに付随して Fig.2 (f)のように $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ も森林表層より低い値が

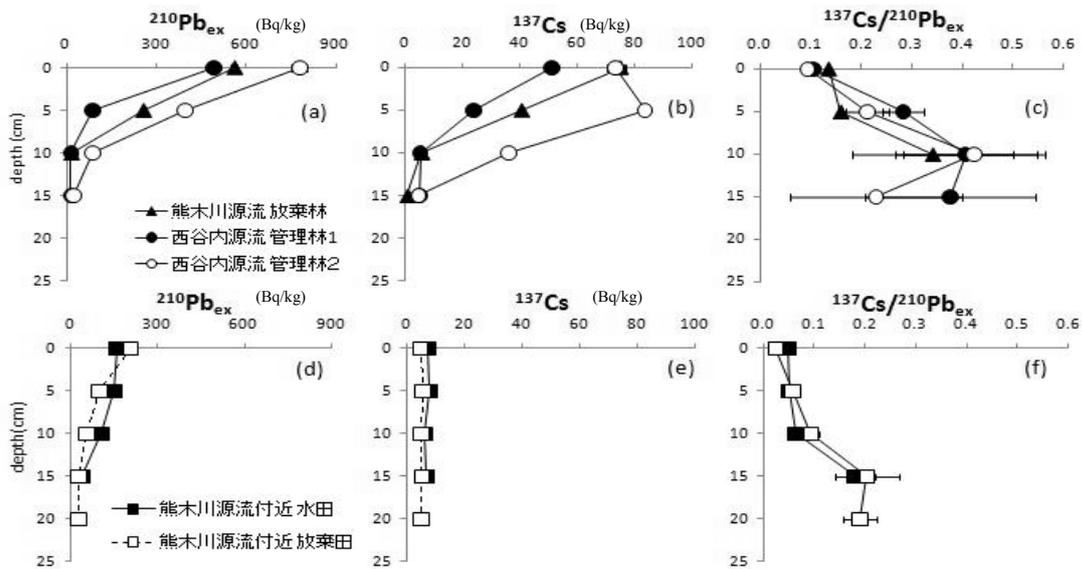


Fig.2 Depth profiles of excess Pb-210 and Cs-137 from soil : potential sources of suspended solids

得られた。特に放棄田表層 0-5cm においては極めて低い値を示した。 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ が定常的に大気から地表へと降下しているのに対し、 ^{137}Cs は大半が過去の核実験由来であり現在の降水量は減少している。従って、放棄田では表層において $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ の濃度が相対的に高く、 $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ がより低い値を示したと説明できる。

河床堆積物も含めた結果は Fig.3 および Table.1 に示す。河床堆積物中のこれら 2 核種の放射能濃度は森林表層や水田に比べ著しく低く、河川堆積物試料が砂質であることから、砂による濃度の希釈が起こった可能性が考えられる。希釈の影響を無視できる $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ について位置ごとに比較した(Fig.3)ところ、西谷内川では源流から下流までで値は大きく変わらなかったのに対し、熊木川本流では上流で低い放射能濃度比が得られた。熊木川本流域では源流から上流部にかけて放棄田が多く見られたことから、放棄田表層からの粒子供給をより多く受けたことが考えられる。あるいは各粒子供給源に保存されている濃度と実際に流出する粒子とで濃度が異なっていることが考えられる。

また、合流地点である熊木川中流で採取した河床堆積物に関して、放射能濃度・放射能濃度比ともに熊木川上流の値とほぼ一致していた。よって今回採取した 11 月末においては、合流後は本流からの寄与が大きい可能性が考えられる。一方で中流域に卓越する水田からの流入が支配的な供給源になっていた可能性もあるため、経時的に変化を追うことで水田からの粒子流入を把握し、より適確かつ総合的に河川懸濁粒子の動態を評価する必要がある。

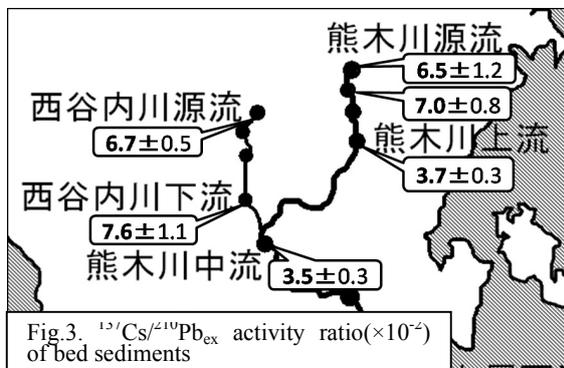


Fig.3. $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ activity ratio ($\times 10^{-2}$) of bed sediments

Table1. Results of bed sediments and surface soils

採取地	利用形態	$^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$	^{137}Cs	$^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$
		(Bq/kg)	(Bq/kg)	($\times 10^{-2}$)
熊木川源流	放棄林	559 ± 11	75 ± 1	14 ± 0
西谷内源流	管理林	490 ± 17	51 ± 2	10 ± 1
西谷内源流	管理林	777 ± 27	73 ± 3	9.5 ± 0.5
熊木川源流付近	水田	159 ± 7	7.5 ± 0.7	4.8 ± 0.5
熊木川源流付近	放棄田	207 ± 6	5.0 ± 0.4	0.0 ± 0.2
西谷内川源流	河床堆積物	69 ± 4	4.6 ± 0.3	6.7 ± 0.5
西谷内下流		72 ± 9	5.6 ± 0.5	7.7 ± 1.1
熊木川源流		69 ± 8	4.5 ± 0.7	6.5 ± 1.2
熊木川源流付近		169 ± 12	12 ± 1	7.0 ± 0.8
熊木川上流	(11月時点)	226 ± 8	8.5 ± 0.6	3.7 ± 0.3
熊木川中流		223 ± 9	7.9 ± 0.6	3.6 ± 0.3

Uranium and thorium records in the Holocene high-resolution sediments from Borsog Bay in Lake Hovsgol, Mongolia

K. MINO¹, A. SAKAGUCHI², S. KRIVONOGOV³, A. ORKHONELNGE⁴,
T. NAKAMURA⁵, K. KASHIWAYA⁶, M. YAMAMOTO¹

¹Low Level Radioactivity Laboratory, *K-INET*, Kanazawa University, Tatsunokuchi, Nomi-shi, Ishikawa 923-1224, Japan

²Department of Earth and Planetary Systems Science, Graduate School of Science, Hiroshima University, 1-3-1 Higashi-Hiroshima, 739-8526, Japan

³United Institute of Geology, Geophysics and Mineralogy of the Russian Academy of Science

⁴Institute of Geography, Mongolian Academy of Science

⁵Center for Chronological Research, Nagoya University, Chikusa, Nagoya 464-8602 Japan

⁶Department of Earth and Environmental Science, *K-INET*, Kanazawa University, Kanazawa, Ishikawa 920-1192, Japan

Climatic changes occurring in central Asia have been recorded in lacustrine sediments as variations of indices such as diatoms, pollen particles, water content and chemical fossils (Fedtov et al., 2004; Prokopenko et al., 2005, 2007). Among these indices, trace element, uranium (U) has also been noted as one of the most important chemical fossils (Edgington et al., 1996; Goldberg 2008).

Lake Hovsgol (elevation 1645 m), the largest lake in Mongolia, is located in the Baikal Rift Zone on the southern fringes of the East Siberian permafrost zone and it is connected to Lake Baikal through the Egiin River, a tributary of the Selenga River. These features promise a sensitive response to regional environmental changes in East Asia. It is, therefore, of great interest to study sedimentary U and Th and their sedimentation behaviors in Lake Hovsgol, considering the unique aqueous chemical conditions such as high salinity and alkalinity, and past changes in lake-level and other factors.

In this study, an attempt was made to understand the U depositional behavior as a link to the further possibility of U serving as a climatic indicator. A sediment core (BB03) was obtained from Borsog Bay on the eastern shore of Lake Hovsgol. By taking into account the BB04 core (7.2 m length, already dated by ¹⁴C) which was previously taken near where core BB03 was obtained, the BB03 core is expected to retain records for about the past 10 kyr, during the Holocene period, and to be characterized as a core having a high sedimentation rate (ca. 0.1 cm/y). The concentrations of U and Th isotopes (²³⁸U, ²³⁴U, ²³⁰Th, ²³²Th) and some major elements (Fe, Al, Ti, etc.) in the sediment core BB03 were measured along with ¹⁴C dating, sediment composition (organic, carbonate and biogenic silica contents, etc.) and grain sizes of whole sediment particle and mineral.

The ¹⁴C age for TOC was 2.5 kyr BP at the surface

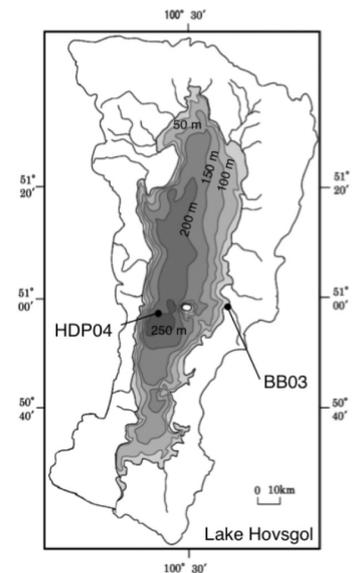


Fig.1 Map of Lake Hovsgol showing coring sites BB03.

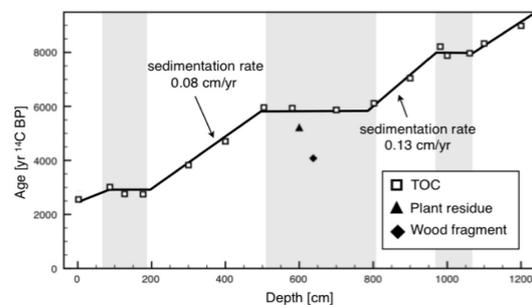


Fig.2 Downcore distributions of the conventional ¹⁴C age of TOC, plant residue and wood fragment. The shaded areas indicate a layer with sedimentation rate anomalies.

layer, and 9.0 kyr BP at the lowermost layer. Small age differences observed at depth ranges of 87-177, 504-802 and 981-1061 suggested the occurrence of some climatic events that increased the sedimentation rate. These events were tentatively estimated to be 0.3-0.8, 3.5-4.0 and 5.5-6.0 kyr ^{14}C BP by subtracting 2.0-2.5 kyr as the regional reservoir effect from ^{14}C ages for TOC. The $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ and $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ ratios during event periods showed a trend to move closer to equilibrium, indicating that a large amount of terrestrial matter deposited rapidly.

The discrepancy of the depth distributions between ^{232}Th and Ti or Al suggested the existence of authigenic ^{232}Th in sediments. The authigenic ^{232}Th fraction estimated by using Ti as the correction index for terrigenous component was up to 80% of the bulk concentration. The existence of authigenic ^{230}Th would have a serious effect on U-Th dating for lacustrine sediments.

The downcore distribution of authigenic U estimated by using Ti correlated well with that of bulk U in sediments. The apparent distribution coefficient ($^{U}\text{Kd}^{\text{Fe}_0}$) between dissolved U and authigenic Fe at present was estimated to be $10^{5.5}$ ($\log(^{U}\text{Kd}^{\text{Fe}_0}) = 5.5$), suggesting that the coprecipitation with iron oxy-hydroxides was the main cause of authigenic U.

The U concentration in bulk sediments was more likely to be controlled by dissolved U, the amount of precipitated iron oxy-hydroxides and $^{U}\text{Kd}^{\text{Fe}}$. If the $^{U}\text{Kd}^{\text{Fe}}$ values have been constant, the U concentration of bulk sediments could reflect the intensity of chemical weathering of terrestrial rock. However, considering the instability and variation of $^{U}\text{Kd}^{\text{Fe}}$ under the conditions of Lake Hovsgol, further interpretation of the variation of U in sediments will be needed.

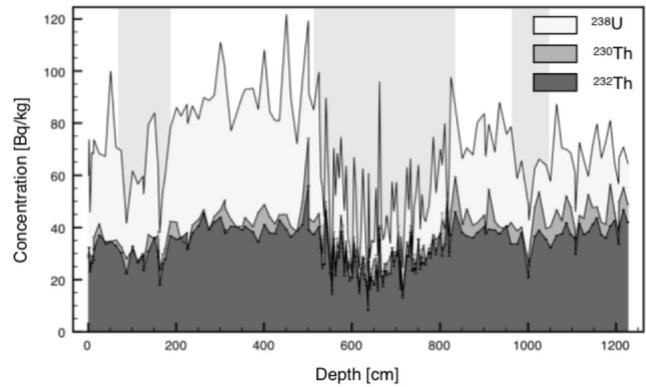


Fig.3 The depth profiles of ^{238}U , ^{230}Th and ^{232}Th in bulk sediments.

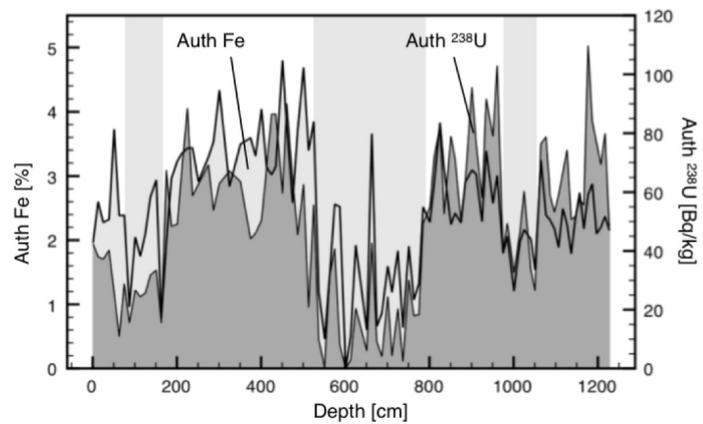


Fig.4 Comparison of authigenic Fe and authigenic ^{238}U .

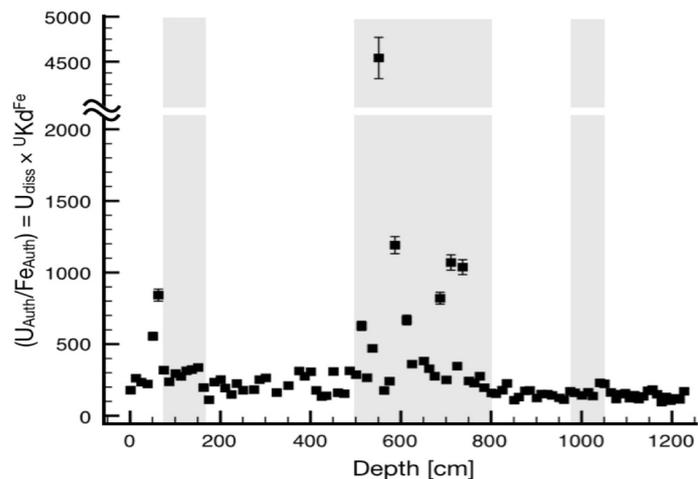


Fig.5 Product of $^{U}\text{Kd}^{\text{Fe}}$ and U_{diss} calculated from authigenic Fe and U.

微弱放射線測定用タングステン遮へい

浜島靖典

〒923-1224 石川県能美市和気町 金沢大学環日本海域環境研究センター LLRL

Y, Hamajima: Tungsten shield for low level counting

【はじめに】 微弱放射線測定の指標として FOM (Figure Of Merit) が用いられる。S をシグナル強度、B をバックグラウンド(BKG)強度とすると、 $FOM = S^2/B$ で表される。FOM を大きくするには、検出効率を上げ (試料の減容等も含む)、長時間測定を行って、S を大きくすることはもちろんであるが、B を小さくすることも重要となる。B を小さくする方法の 1 つは、効果的な遮へいを行うことであり、密度が大きく放射性不純物が少ない遮へい材を用いる。よく用いられる材料は Pb (密度 $d=11.3 \text{ g cm}^{-3}$) であるが、通常の Pb には半減期 22.3 年の ^{210}Pb が含まれる。 ^{210}Pb は 46.5 keV のガンマ線(放出率 4.3%)を放出する。ガンマ線測定の際に問題となるのは、46.5 keV の他に娘核種の ^{210}Bi から放出される 1.16 MeV のベータ線に起因する制動放射線がある。また、Pb の X 線が妨害する場合もある。これに対処するため、Pb の内側に Cu (同 8.9)や Hg (同 13.5)を用いたり、Fe (同 7.9)を遮へい材とする場合もある。尾小屋地下実験室(OUL)の Ge 検出器には、通常鉛による遮へいの内側に、製造後 200 年以上経過したと思われる約 4cm 厚の Pb (通称金沢城 Pb)を用いて B を小さくしている。金沢城 Pb はもはや入手不可能であったため、本研究では、金沢城 Pb に代わる遮へい材として、最近しばしば目にする密度の大きい W (同 19.3)遮へい体に注目し、微弱放射線測定に利用可能か検討した。

【実験】 W 粉を焼結し、円柱(外径×高さ×厚さ:130 mm×200 mm×10 mm)と、円盤(外径×厚さ:130 mm×10 mm) を試作依頼した。焼結 W の比重は 17.9 であった。テストに使用した OUL の井戸型 Ge (Ge 結晶の直径×高さ:68 mm×70 mm, 結晶の井戸径×深さ:22 mm×54 mm)には金沢城 Pb で作成したほぼ同じ内径で高さ×厚さは約 150 mm×約 40 mm の円柱及びほぼ同形の円盤を用いている。これと W 遮へいを交換し BKG を測定した。

【結果と考察】 焼結 W 遮へいの BKG スペクトルを図 1 に示す。比重を考慮した厚みでは金沢城 Pb 遮へいの約 2/5 しかなく、形状も異なっているので単純には比較できないが、焼結 W 遮へいの 50 KeV から 2000 KeV までの積算 BKG 計数率は、金沢城 Pb 遮へいの 1.6 cpm から 7.9 cpm 増加し 9.5 cpm となった。主なピークは ^{40}K (1461 keV で 0.31 cpm, 金沢城 Pb の 44 倍), ^{214}Pb , ^{214}Bi (609 keV で 0.13 cpm, 同 26 倍), ^{228}Ac , ^{208}Tl , などであった。最も低エネルギーのピークは W の X 線である。 ^{210}Pb は見られない。また、70 keV から 200 keV の間にピークは全く見られない。この焼結 W 遮へいは、地上で長時間放置し、OUL に持ち込み後直ちに設置し測定したが、環境中性子放射化で生成する ^{187}W (半減期 23.7 時間)の 686 keV はごく僅かであった。今回試作した焼結 W 遮へいは、OUL の遮へいに用いるには BKG が高い。しかし、積算 BKG 増加分を考慮すると、70 keV から 200 keV の測定や U, Th 系列以外の核種の測定には利用できる可能性がある。

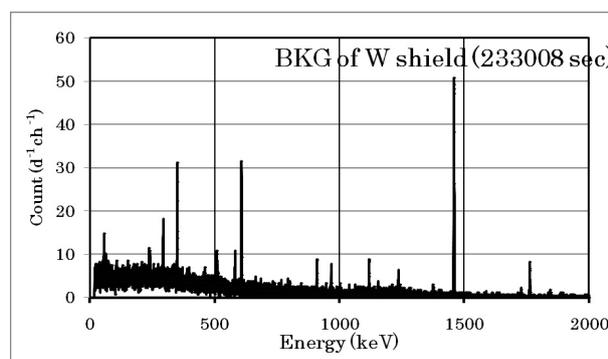


Fig.1 BKG spectrum of W shield.

Radium isotopes in Na-Cl type groundwater from the Japan Sea side of Japan, Central Japan

Junpei TOMITA¹, Taijiro FUKUYAMA¹, Keiichi SASAKI², Seiya NAGAO¹,
Masayoshi YAMAMOTO¹

¹Low Level Radioactivity Laboratory, Kanazawa University, Nomi-shi, Ishikawa,
923-1224, Japan

²Department of Cultural Properties & Heritage, Kanazawa Gakuin University,
Kanazawa 920-1392, Japan

Radium isotopes, mainly ^{226}Ra , in groundwater have been investigated worldwide from various viewpoints such as radiation exposure and behavior of Ra isotopes at oil- and gas-fields, search of uranium deposit at underground, Ra isotope contamination of drinking water (Vengosh et al., 2009), and natural analogue study related to radioactive waste disposal. Anomalously high ^{226}Ra concentrations over several tens of Bq kg^{-1} have been often found in brine and saline waters from oil-and gas-fields worldwide.

In Japan, ^{226}Ra contents in groundwater have been measured from 1930's, and many studies have focused on the survey of radioactive springs or analytical methods. However, detailed and systematic studies on Ra isotope transport into groundwater were very scarce. Recently, with the development of more sophisticated drilling techniques, various types of deep groundwaters have been obtained from deep wells over 1000 m in depth drilled in sedimentary basin and coastal areas. These groundwaters are commonly characterized by Na-Cl type groundwaters with intermediate salinity (ca. 1-36‰) and are considered to be fossil seawater in origin from the stable isotope signature, which makes a better understanding of the processes controlling ^{226}Ra concentrations and $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ activity ratios in these groundwaters scientifically very interesting.

In this paper, Ra isotopes (^{226}Ra and ^{228}Ra) in Na-Cl type groundwaters from Ishikawa, Niigata and Toyama (Himi) prefectures, where are located in the central Japan and face the Sea of Japan, were measured together with ^{238}U and ^{232}Th contents of rock samples (vertical borehole rock, rock from outcrop) collected from each area. Transport behavior of Ra isotope into groundwater was mainly investigated, based on ^{226}Ra concentrations and $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ activity ratios in groundwaters, and ^{238}U and ^{232}Th contents in rocks measured.

Groundwater samples were approximately neutral and their concentrations of total dissolved solids (TDS), which were defined here as the sum of major dissolved ions, ranged from about 1-36 ‰. Relationship between ^{226}Ra and ^{228}Ra concentrations in Na-Cl type groundwater samples is shown in Fig. 1. The concentrations of ^{226}Ra in the groundwater samples ranged widely from 1.8-2143 mBq kg^{-1} , and higher ^{226}Ra concentrations over 1000 mBq kg^{-1} were found in some groundwater samples. Activity ratios of $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$

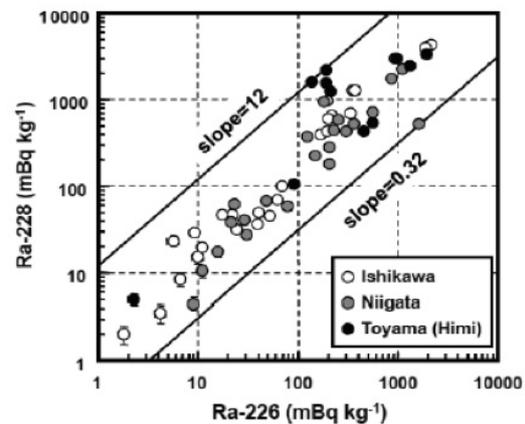


Fig.1 Relationship between ^{226}Ra and ^{228}Ra contents in Na-Cl type groundwaters

in water samples varied from 0.32-12, and were similar to or higher than $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ activity ratio (0.12-2.3) of rock samples. It is worth noting that groundwater samples from Himi City, Toyama prefecture, showed high $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ activity ratio as high as around 10, most of the groundwater being from 1-3. Such high $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ activity ratios in the groundwaters are rarely seen.

Radium isotope are supplied into groundwater by multiple processes; (1) decay of dissolved parent nuclides (Th isotope is considered as insoluble element), (2) weathering and/or dissolution of aquifer rock, (3) α -recoil at water-rock interface and (4) desorption reaction at water-rock interface.

For old groundwater, weathering and/or dissolution of Ra-bearing aquifer rock would result in the lower $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ ($^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$) activity ratio than those of host aquifer rock due to the difference of their half-lives. On the other hand, α -recoil process would produce the same $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ activity ratio in groundwater as the $^{232}\text{Th}/^{230}\text{Th}$ ($^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$) activity ratio of host rock. Desorption reaction at water-rock interface would reflect the same $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ ($^{232}\text{Th}/^{230}\text{Th}$ and $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$) activity ratios in groundwater as those in rock surface. Thus, α -recoil and desorption reaction are considered to be dominant processes to explain the measured $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ activity ratio in groundwater by assuming no retardation of ^{228}Ra relative to ^{226}Ra . Recently, some researchers have pointed out the existence of surface coating enriched in Th isotope at water-rock interface. It is interpreted as given below. Thorium is extremely insoluble element. Thorium isotope ejected into groundwater by weathering of minerals might be rapidly precipitated onto the surface of aquifer grain due to their solubility limit. Radium isotope produced by the decay of such Th isotopes can be ejected easily into water phase by α -recoil and desorption reaction. Thorium-232 accumulated in the water-rock interface, therefore, might be acceptable and possible source leading $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ activity ratio in groundwater towards higher level.

As shown in Fig. 2, ^{226}Ra concentrations in groundwater samples show a increasing tendency with increasing TDS contents, indicating strongly that ^{226}Ra concentrations in groundwater samples are much more controlled by adsorption/desorption reaction depending on salinity (Kraemer and Reid, 1984; Sturchio et al., 2001). If this is a main process leading ^{226}Ra concentration in groundwater towards higher level, higher production rate of Ra isotope by α -recoil would be required. According to the equation by Kraemer (1981), such condition can be readily attained if the layer of higher specific activity of Th isotope is present at grain surface. Since half-life of ^{230}Th (7.54×10^4 yr) is short compared with geological scale, the activity of ^{230}Th of surface coating might be supported by U isotope (^{238}U and ^{234}U) in old aquifer. Therefore, both salinity in groundwater and distribution of ^{232}Th and ^{230}Th (^{238}U) at water-rock interface are considered to be very important for the transport of Ra isotope into groundwater.

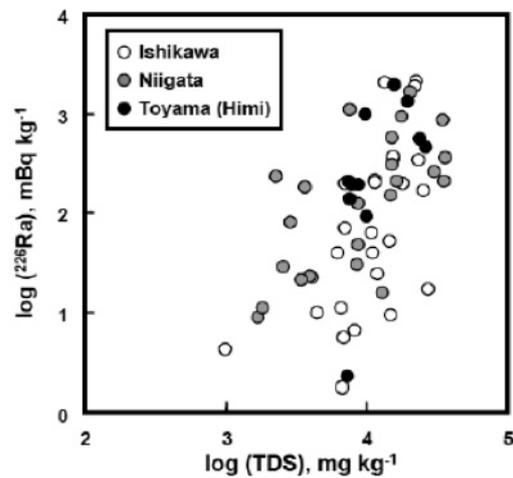


Fig.2 Relationship between ^{226}Ra and TDS contents in Na-Cl type groundwaters

能登半島における里山周辺河川水中の溶存有機物の挙動と特徴について

鈴木智代¹, 長尾誠也¹, 福山泰治郎², 倉光英樹³, 徳成武勇¹, 松田奈々¹, 山本政儀¹

¹〒923-1224 石川県能美市 金沢大学環日本海域環境研究センター, LLRL ; ²〒399-4598 長野県上伊那郡 信州大学農学部 ; ³〒930-8555 石川県富山市 富山大学理工学研究部

T. Suzuki¹, S. Nagao¹, T. Fukuyama², H. Kuramitsu³, T. Tokunari¹, N. Matsuda¹, M. Yamamoto¹

: Study of characteristics and behaviors of dissolved organic matters in river water at ‘Satoyama’ in the Noto Peninsula, Japan

【はじめに】

日本では近年、農村の後継者不足や里山の管理放棄等により、これまで循環的に維持されてきた農村・里山の自然が荒廃する問題が生じてきた。里山の植生管理は、里山の物質循環に作用する重要な役割を担っており、耕地や里山の放棄により自然が荒廃すると、土壌の化学的性質や湧水の水質に影響を及ぼすという報告もある。このことは同時に、山林から流出する溶存有機物の濃度や構造特性も変化することが考えられる。溶存有機物は最終的に河川を経由して海洋へ流出する。海洋沿岸域の生態系の豊かさには、山林からの有機物の流出が関与しているとの指摘もあり、山林の環境が変化することによって海洋沿岸域の環境も変化する可能性がある。また、里山環境の変化によって有機物の移行挙動も変動している可能性がある。

里山の放棄が海洋沿岸の生態系へ及ぼす影響を把握するためには、局所的な有機物の挙動だけでなく、広範囲にわたる有機物の移行挙動を解明する必要がある。しかし有機物の移行挙動についての研究は、大河川での報告や、河川から河口までの報告等に留まっていた。本研究では、里山—河川—里海までの一つの系が集約され、里山放棄が問題となっている能登半島に着目し、有機物の供給源から河川—海洋に至るまでの広範囲にわたる有機物の移行挙動を観測する。里山放棄が及ぼす有機物の濃度・構造特性の変化や有機物の移行挙動を解明し、里山の荒廃が里海の生態系に与える影響を評価することを目的として研究を進める。本年度は、降雨時に見られた有機物の濃度・構造特性の時系列変化について報告する。

【試料採取および分析方法】

サンプリングは2009年6月～2010年3月まで、七尾西湾流域河川の熊木川・日用川・二宮川で河川水・河床堆積物試料を採取した。熊木川では、里山の管理と放棄による寄与を比較するため、人工林の管理放棄が目立つ熊木川上流、比較的人工林が管理されている支流の西谷内川で、またそれらの河川水が合流する熊木川中流、中流から下流域に広がる水田からの排水が流入している熊木川下流でサンプリングを行った。採取した試料はGF/Fフィルターでろ過し分析まで冷凍保存した。河川水試料は三次元蛍光スペクトル測定、高速液体サイズ排除クロマトグラフィーにより分析した。七尾西湾流域の降雨量・水位データは石川県河川総合情報システム（石川県土木部河川課）よりご提供いただいた。

【結果と考察】

今回は2009年7月27日～28日に採取した大雨時の結果に焦点を当てて議論する。2009年7月27日は前日26日から降雨があり（約15mm/h）、河川水位が上昇（最大0.73m）していた。27日に熊木川現地を観察したところ、上流の河内周辺の水田で河川水が水田にまであふれている様子が確認できた。

そのため 27 日～28 日にかけては、上流と中流に定め、午前と夕方の計 4 回河川水を採取した今回は 2009 年 7 月 27 日～28 日に採取した大雨時の結果に焦点を当てて議論する。2009 年 7 月 27 日は前日 26 日から降雨があり（約 15mm/h）、河川水位が上昇（最大 0.73m）していた。27 日に熊本川現地を観察したところ、上流の河内周辺の水田で河川水が水田にまであふれている様子が確認できた。そのため 27 日～28 日にかけては、上流と中流に定め、午前と夕方の計 4 回河川水を採取した。水質・有機物分析の結果は図 1 に示した。降雨量・水位の増加時には濁度（Turbidity）・溶存有機炭素濃度（DOC）は高い値を示した。また三次元蛍光スペクトル測定において、腐植物質様ピーク（励起波長/蛍光波長：310～340/430～440nm）が見られ、濃度を反映する相対蛍光強度（RFI）も高い値で検出された。降雨量が減少し水位が低下するに従って、物質の濃度も減少している。これは、図 2 に示す液体サイズ排除クロマトグラフィーの結果からも明らかであり、また上流・中流ではほぼ同じピーク形状であったことから、上流から流れてきたものが中流に到達するまでに、降雨によって流出したもの以外の寄与は比較的少ないと考えられる。この結果から有機物の分子サイズや性質に関わらず、降雨時には河川水の流量増加と共に物質がパルス的に流出する特徴を示している。

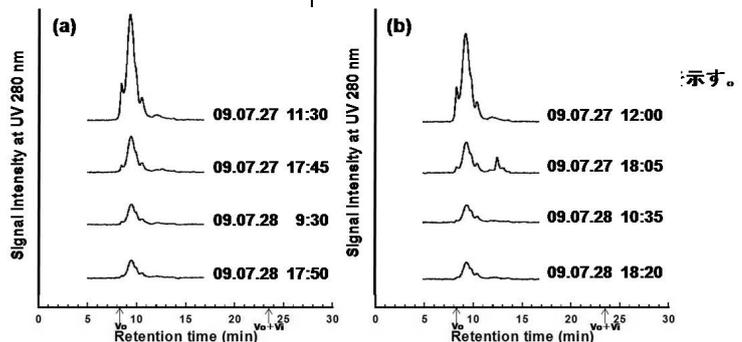
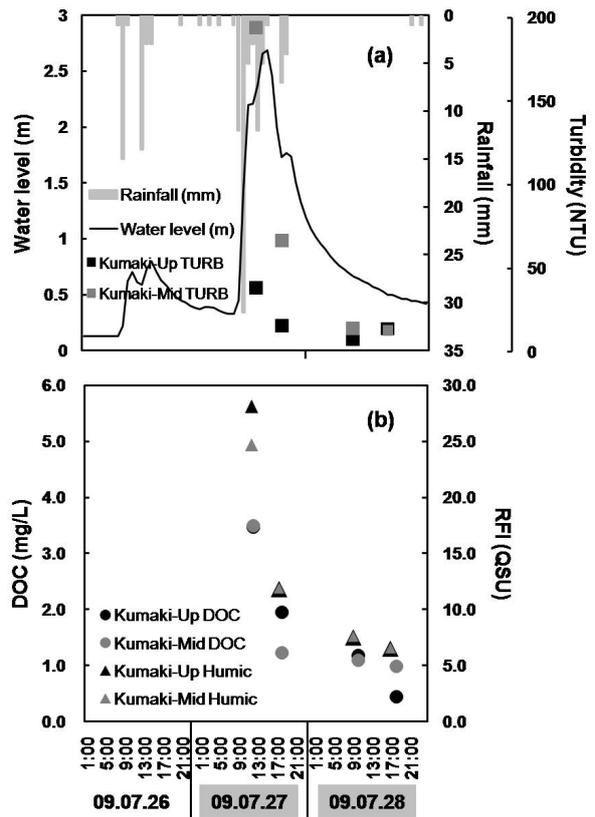


図2. 降雨時における河川水のクロマトグラムの経時変化 (a)は熊本川上流を、(b)は熊本川中流のクロマトグラムを示す。

今後、一年を通しての定常時・季節ごとの物質動態の変動を明らかにするため、各月の河川水の分析を行う。また管理された里山と、管理放棄された里山という土地利用変化の違いが有機物の挙動や濃度に影響を与えるのかを解明するためにも、焦点を絞って試料採取を行い、蛍光測定や液体クロマトグラフィーだけでなく、堆積物の同位体比を分析し、有機物の起源の推定も行っていく予定である。

【参考文献】

S. Findley et. al. (2001): *Limnology Oceanography*, 46(2), 345-335

大手信人, 川崎雅俊(2004): *地球環境*, Vol.9, No.1, 101-111

奥村博司, 島山元, 山地弘起, 石賀伸太郎, 若月利之(2007): *近畿大学農学部紀要*, 第 40 号, 71-80

篠村善徳, 大久保悟(2004): *ランドスケープ研究*, Vol.65, No.5, 547-550

松永勝彦(1993): *森が消えれば海も死ぬ*, 講談社

カタユウレイボヤのカルシトニンは、キンギョのウロコに存在する 破骨細胞の活性を抑制する

鈴木信雄¹, 関口俊男², 佐竹 炎², 笹山雄一¹

¹〒927-0553 鳳珠郡能登町小木, 金沢大学 環日本海域環境研究センター 臨海実験施設 ; ²〒618-8503 大阪府三島郡島本町若山台, 財団法人 サントリー生物有機科学研究所
Nobuo SUZUKI¹, Toshio SEKIGUCHI², Honoo SAKAKE², Yuichi SASAYAMA¹: Calcitonin in *Ciona intestinalis* suppresses osteoclastic activity in the scales of goldfish.

カルシトニンは 32 個のアミノ酸から構成され、哺乳類では甲状腺の C 細胞から分泌され、鳥類以下の脊椎動物では、鰹後腺という内分泌器官から分泌されるホルモンである。カルシトニンは破骨細胞の活性を抑制する作用があることは、一部の脊椎動物（哺乳類及び魚類）では明らかになっている（鈴木, 2005）。一方、無脊椎動物においてカルシトニン陽性細胞が検出されているが（Sasayama et al., 1991）、無脊椎動物のカルシトニンの構造は、これまで報告されていなかった。

カタユウレイボヤのゲノムプロジェクトが終了して、カタユウレイボヤの全ゲノム情報が明らかになった。この情報を基にして、最近、(財) サントリー生物有機科学研究所の佐竹らのグループは、カタユウレイボヤのカルシトニンの配列を決定した。このペプチドは 1 位と 7 位がシステインであり、C 末端のアミノ酸がプロリンでアミド化していた。しかし、脊椎動物のカルシトニンとは異なり、30 個のアミノ酸から構成されていた。ヒトのカルシトニン受容体が発現している COS-7 細胞に、このペプチドを作用させた結果、高濃度 (10^{-5} M) でないとヒトのカルシトニン受容体とは結合しない。 10^{-5} M でしか効果がみられないので、カタユウレイボヤのカルシトニンが生理活性を有するかは不明である。カタユウレイボヤのカルシトニン受容体の配列も佐竹らのグループにより決定されているが、COS-7 細胞等での発現に失敗しており、カタユウレイボヤのカルシトニンが生理活性を有するか否かは不明である。ヒトのカルシトニン (identity 25%) よりもサケのカルシトニン (identity 34.4%) の方がカタユウレイボヤのカルシトニンに似ているので、魚のアッセイシステムを用いた方が、カタユウレイボヤのカルシトニンの生理活性を正しく評価できる可能性がある。そこで、カタユウレイボヤのカルシトニンの破骨細胞に対する作用をウロコのアッセイ系で評価した。

【方法】

実験 1 : カタユウレイボヤのカルシトニンの破骨細胞に対する作用

材料としてキンギョ (*Carassius auratus*) (メス、体重 50-80 g) を用いた。これらのキンギョを MS222 で麻酔し、キンギョからウロコを取った。そのウロコを半分に分けて、実験群と対照群とに分けた。そのウロコを HEPES (20 mM) (pH 7.0) 及び抗生物質 (1%) を含む培地 (MEM, ICN Biomedicals Inc.) に加え、カタユウレイボヤカルシトニンの破骨細胞に対する作用をサケカルシトニンと比較した。培養温度は 15°C で、それぞれのカルシトニンの濃度は 10^{-11} M から 10^{-6} M にして 6 及び 18 時間培養して、カタユウレイボヤとサケカルシトニンの作用を解析した。

本研究では、破骨細胞の活性の指標として酒石酸抵抗性酸フォスファターゼ (TRAP) を用いて、Suzuki et al. (2009) の方法に従い、カルシトニンの破骨細胞に対する作用を調べた。

実験 2 : カタユウレイボヤのカルシトニンの骨芽細胞に対する作用

材料としてキンギョ (メス、体重 50-80 g) を用いて、実験 1 と同様にしてウロコを培養して、カタユウレイボヤとサケカルシトニンの骨芽細胞に対する作用を解析した。

本研究では、骨芽細胞の活性の指標としてアルカリフォスファターゼ (ALP) を用いて、カルシトニンの骨芽細胞に対する作用を調べた。

【実験結果】

1) カタユウレイボヤ及びサケカルシトニンの破骨細胞に対する作用

6時間の培養において、カタユウレイボヤカルシトニンは、 10^{-7} 及び 10^{-6} MでTRAP活性が低下した。一方、サケカルシトニンは、6時間の培養において、 10^{-9} MでもTRAP活性が低下した。

18時間の培養では、6時間の培養よりもTRAP活性の低下の割合が大きく、カタユウレイボヤでは 10^{-8} Mで抑制作用が認められ、サケカルシトニンでは 10^{-11} Mでも効果が認められた (Figure 1)。

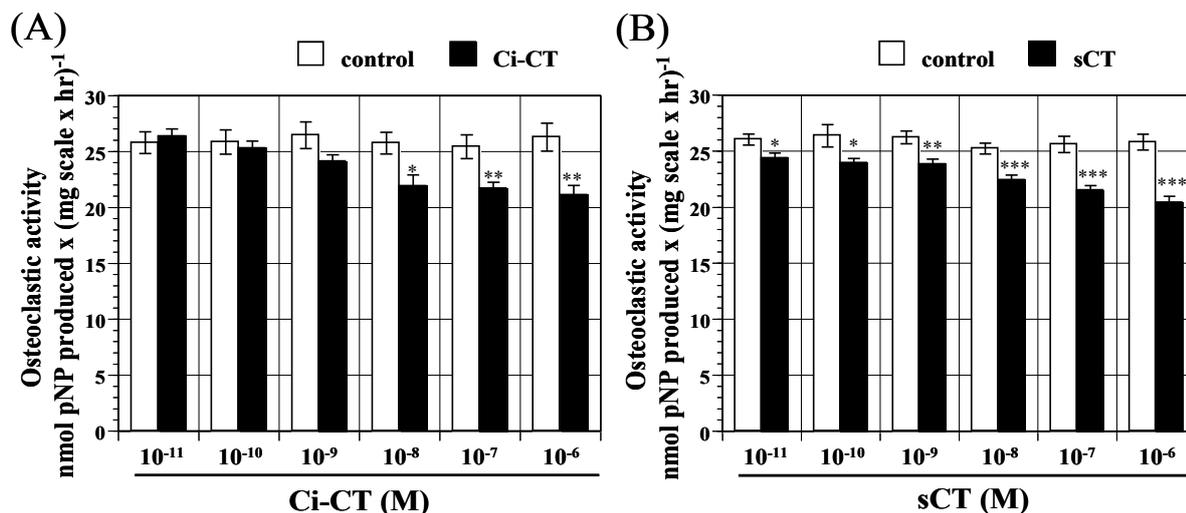


Figure 1: Effects of *Ciona intestinalis* calcitonin (Ci-CT) (A) and salmon calcitonin (sCT) (B) on osteoclastic activity in the scales of goldfish.

*, ** and *** indicate statistically significant differences at $P < 0.05$, $P < 0.01$, and $P < 0.001$, respectively, from the values in the halved control scale. The results are expressed as the means \pm SEM ($n = 8$).

実験2：カタユウレイボヤ及びサケカルシトニンの骨芽細胞に対する作用

実験1と同様にして、骨芽細胞に対する作用を解析した。その結果、6時間の培養において、骨芽細胞のマーカであるALPの活性は、カタユウレイボヤ及びサケカルシトニンを添加しても変化しなかった。18時間の培養においても、ALP活性は変化しなかった。

以上のことから、カタユウレイボヤカルシトニンは、骨芽細胞の活性を変化させることなく、キンギョのウロコに存在する破骨細胞の活性を抑制することが判明した。したがって、他の脊椎動物と同様に生理活性を持っているので、ホヤ自体に何らかの生理機能を有している可能性が高い。今後、ホヤ自体におけるカルシトニンの作用を調べていく予定である。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金（基盤研究（C）No. 18500375、代表：鈴木信雄）の援助により行われた。

引用文献

鈴木信雄, *Clinical Calcium*, **15**: 459-466 (2005)

Sasayama, Y., et al., *Gen. Comp. Endocrinol.*, **83**: 406-414 (1991).

Suzuki, N., et al., *Life Sci.*, **84**: 482-488 (2009)

Comparison of the mRNA expression rates of the androgen receptor, estrogen receptor β , and bone morphogenic protein 2b in dorsal, anal, pectoral, and caudal fins between normal males and females in Japanese and Thai medaka (Teleostei) and in sex-undeterminable individuals in Thai medaka

Arin Ngamniyom

Noto Marine Laboratory, Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University, Noto-cho, Ishikawa 927-0553, Japan

The Japanese medaka (*Oryzias latipes*, Teleostei) is a model organism frequently utilized for experiments in various fields such as reproductive biology and the study of sex determination. The medaka was recently used as a sensitive bio-indicator of exogenous active endocrine chemicals. In the genus *Oryzias*, males can be distinguished from females by the secondary sex characters of fins. The dorsal and anal fins of males are usually longer than those of females. In contrast, the pectoral fins of females are longer than those of males. Papillar processes are present on the anal and pectoral fins only in males. In addition, leucophores are well developed on the caudal fin in males. In males, the numbers of papillar processes on the anal and pectoral fins and of leucophores on the caudal fin increase during the breeding season. The Thai medaka (*Oryzias minutillus*) is widely distributed in Thailand. This species inhabits shallow ponds, ditches, and paddy fields. The secondary sex characters of fins in male Thai medaka are similar to those in male Japanese medaka, and the dorsal and anal fins are likewise longer in males than in females.

In this study, we sought to clarify the molecular-biological background of the secondary sex characters of fins between normal males and females by examining mRNA expression levels of the androgen receptor (AR), estrogen receptor (ER) β , and Bone morphogenic protein 2b (Bmp2b) in the dorsal, anal, pectoral, and caudal fins in Japanese and Thai medaka. In addition, we examined how these genes are expressed in the fins of sex-undeterminable individuals of Thai medaka by comparing the expression levels to those of normal males and females.

In males of the Japanese medaka (*Oryzias latipes*) and Thai medaka (*Oryzias minutillus*), the AR expression rates of the dorsal, anal, and pectoral fins were higher than those in females. On the other hand, in females of both species, the ER β expression rates of the dorsal and anal fins were higher than those in males. In sex-undeterminable individuals of Thai medaka, however, the AR and ER β expression rates in the dorsal and anal fins were intermediate between normal males and females of Thai medaka. In the Bmp 2b expression rates, there was no difference between males and females of Japanese medaka. In contrast, in Thai medaka, the Bmp2b expression rates in the dorsal fin of sex-undeterminable individuals were lower than those of normal males and females. Therefore, it is clear that, in both *Oryzias* species, androgen and estrogen regulate the sex-dependent characters of fin morphology. In sex-undeterminable individuals of Thai medaka, the low expression rates of Bmp2b in the dorsal fin are evidence that those hormones are necessary for the adequate expression of Bmp2b for normal development of at least the dorsal fin.

(本研究は、金沢大学大学院自然科学研究科 生物科学専攻 Arin Ngamniyom 君の博士論文の一環として行われた)

富山湾の深海底で採集されたホシムシに関する 2, 3 の知見

笹山雄一¹, 北田 貢², 竹内 章³, 三輪哲也⁴

¹〒927-0553 鳳珠郡能登町小木, 金沢大学 環日本海域環境研究センター 臨海実験施設; ²〒251-0035 神奈川県藤沢市片瀬海岸, 新江ノ島水族館; ³〒930-8555 富山市五福 3190, 富山大学 大学院 理工学研究部; ⁴〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町, 独立法人 海洋研究開発機構
Yuichi SASAYAMA¹, Mitsugu KITADA², Akira TAKEUCHI³, Tetsuya MIWA⁴: A few findings regarding a peanut worm collected from the bottom of the deep sea of Toyama Bay.

星口（ほしくち）動物といわれるナガムシ状の動物に学名を与えたのは、Linne で小さな水管を意味する（Sipunculus）とした。その後、この動物は幾多の変遷を経て、現在は、遺伝子等の知見から環形動物に属することがわかっている。但し、環形動物のような体節性はまったく示さない。普段は、人間社会とは無縁の動物で、わずかに、魚釣りの餌や南方の一地域で食用にされる程度である。日本語のホシムシの意味は、口の周囲にある触手状突起が星の輝きに似ているという、ドイツ語の Sterunwurmer の直訳である。ホシムシは種によっては、南京豆に細い柄がついたようにも見えることか英名は peanut worm という。

今回、平成 21 年度深海調査研究調査「ハイパードルフィン」調査潜航（NT09-16）において 9 月 11 日と 12 日の 37°17.0'N 137°40.0'E 及び 37°02.6'N 137°08.7'E の二回の潜航においてそれぞれ 1400 m および 1500m の海底より、合計 3 個体のホシムシが採集された（Figure 1）。それらは長さで 12 cm、5 cm、3cm 程度である。文献を調べると population の中心は潮干帯に多い動物であるが、ホシムシは世界中の海の浅海から深海、並びに北極海・南極海に分布する。深海は約 5000 m から複数の記録があり、極洋の種は北極と南極で共通種がある。

今回の発見は、オオグチボヤを岩盤から引き剥がす時に、岩盤側に 1 個体が穿孔した状態で見つかったのがきっかけである。岩盤の割れ目の色からして明らかに還元的な環境で酸素は非常に少ないと判断された。採集された直後には外皮を通して消化管が観察され、その色は、岩盤の色と同じであったので、周りの泥を食べていると判断された。ホシムシは、還元環境下や硫化水素が多い土中では酸素を必要としない嫌気呼吸をして ATP を得ていることがわかっている。したがって、この個体は浅海から何らかの理由により偶然にそこに落ちてきたものではなく、そこで生活していた個体であると判断される。もう 2 個体はクモヒトデ等と一緒に最後の仕分けの段階で泥の中から発見された。その 3 個体が同一種であるか否かは、現在、不明である。さらに、その 3 個体すべてに長さ 0.5 mm 以下の白色の所属不明の動物が多数付着しているのが見つかった。内肛動物の可能性が高い。一方。最近では、ホシムシが環境の泥を食べ、中の成分を結果として濃縮してしまう為、PCB やカドミウム等の環境汚染の指標動物として注目されており、より積極的な利用が望まれている。



Figure 1. Photograph of a peanut worm discovered on the bottom of the deep sea of Toyama Bay.

本邦初報告となる海水棲マクロストマム2種について

小林一也

〒160-8582 東京都新宿区信濃町，慶應義塾大学 医学部 総合医科学研究センター

Kazuya KOBAYASHI: Macrostomidae (Platyhelminthes, Macrostomida) from Japan: Description of two species of *Macrostomum* and *Bradburia* living in seawater.

扁形動物門渦虫綱に属する多食目 (Macrostomida) はマクロストマム科 (Macrostomidae)、ドリコマクロストマム科 (Dolichomacrostomidae) そして、ミクロストマム科 (Microstomidae) の3科からなる。一般的にいわれるマクロストマム類というのはマクロストマム科の種を指している。マクロストマムは淡水、汽水、海水に棲息し、世界的には100種以上の種が同定されている。ヨーロッパ産海水棲マクロストマム *Macrostomum lignano* は、プラナリアのもつ再生能力に加えて、圧倒的に少ない細胞数 (約2万5千個)、圧倒的に短いライフサイクル (約20日間) という特徴を持っている (Ladurner et al., 2005)。これらの特徴は、プラナリアでは困難であった生体顕微操作や遺伝学の確立を許し、*M. lignano* は新たなモデル動物として期待されている。一方、日本では、淡水棲マクロストマムの記載が6種ほど報告あるのみで、海水棲マクロストマムの種記載は未だ為されていない。本研究では、ナチュラルヒストリー的な観点からも、日本からモデル動物となり得る海水棲マクロストマムを記載することを目的とした。

海水棲マクロストマムは、間隙動物 (Interstitial organisms) であり、海砂や泥の粒子の隙間に生息している。間隙動物の調査には、彼らを海砂や泥からどのように取り出すかが重要であり、動物種に応じて方法が異なる (Ax, 1966; Anderson & Black, 1980; 伊藤立則, 1985)。甲殻類や線虫のように体表がキチン質で覆われている場合は、メッシュで直接、海砂や泥を濾すなどして採集できるが、扁形動物のように体が柔らかく傷つきやすい場合は工夫が必要である。そこで、本研究では、峯岸が改良した海水氷法を採用した (峯岸, 1988)。日本各地からサンプリングした海砂や泥を海水氷法で処理し、得られた間隙動物の中にマクロストマムが含まれているかどうかを調査した。

【方法】

1) 海砂・泥の採取

海砂・泥の採取は、Table.1の4カ所12地点で行なった。一般に、海水棲マクロストマムは汽水や泥地を好むものが多いことが知られていたため、採取地としてなるべく河口付近や干潮時の泥地を選んだ。各地点の表面約1cmの海砂・泥を手で掻き取った。採取した海砂・泥はビニール袋に入

れ、保冷しながら運搬し、下述の海水氷法に用いた。

2) 海水氷法

径 160 μm のナイロンメッシュを貼った直径 9.5 cm、高さ 16.0 cm のプラスチック製の円筒を用意した。直径約 10 cm のシャーレやビーカーに比重 1.023 に調整した人工海水（ロートマリン、

Table. 1 Sampling data

Date	Localities	Sites	
10 May, 2008	Turugisaki, Miura Peninsula, Kanagawa	Kataya-1	35°08'31.24"N 139°40'14.50"E
		Kataya-2	35°08'31.24"N 139°40'14.50"E
25-26 May, 2008	Noto, Ishikawa	Tsukumo Bay-1	37°18'14.76"N 137°14'28.38"E
		Tsukumo Bay-2	37°18'23.87"N 137°14'21.34"E
		Koiji	37°27'58.86"N 137°14'36.12"E
		Hanami	37°17'19.09"N 137°07'00.76"E
		Hane	37°18'02.37"N 137°10'30.84"E
		Oura	37°18'01.90"N 137°11'21.85"E
		Hime	37°17'46.30"N 137°13'01.31"E
28 Sep, 2008	Toba, Mie	Sugashima-1	34°29'04.48"N 136°52'36.27"E
		Sugashima-2	34°29'04.38"N 136°52'31.68"E
7 Nov, 2008	Ajigasawa, Aomori	Akaishi	40°45'38.11"N 140°09'32.07"E

REI-SEA) を満たし、その上に金網をのせ、金網の上に、円筒のナイロンメッシュ側を底にして置いた。円筒部にスプーンを用いて採取した海砂や泥を約 500 mL 入れた。海砂や泥の上に、脱脂綿を挿んで、一般家庭で用いられる製氷皿で作製した人工海水の氷一皿分をのせた。海水氷が完全に溶けたのちに、海砂や泥からシャーレやビーカーに逃げ出てきた動物を実体顕微鏡下で観察した。

3) 飼育方法

飼育方法は、海砂・泥の採取地の環境を考慮し、ヨーロッパ種 *M. lignano* の条件を基本として決定した (Ladurner et al., 2005; Egger et al., 2007)。海水は人工海水を用い、飼育温度は 20 °C とした。餌には珪藻を与えた。1 週間に一度、人工海水の交換および珪藻の添加を行なった。珪藻培養液は以下の手順で作製した。600 mL 人工海水、1 mL 溶液 A (100 mL に 20 g Sodium nitrate, 1 g Sodium β-glycerophosphate, 1 g EDTA-Fe, 6 g Clewat 32, 10 g Tris, 20 mg Vitamin B₁₂ を溶解し塩酸で pH 7.0 に調整した。)、2.5 mL 溶液 B (500 mL に 7 g Sodium silicate を溶解した。) を混合したあと、純水で 1000 mL までメスアップした。珪藻培養液に珪藻を入れて蛍光灯下、エアレーションを施し室温に置いた。約 1 ヶ月で珪藻が増えてくるので、遠心回収したものを 4 °C に保存した。

【結果】

Table.1 で示した海砂・泥からマクロストマムと思われる動物が、三浦半島片谷-1 と能都町波並で確認できた。便宜的に前者を Miura-2、後者を Noto-4 と呼び、同地点での調査を継続した。

1) Miura-2について

2008 年 5 月 10 日の採集では、約 500 mL の泥から Miura-2 は 30 匹確認できた。生殖巣は卵巣が確認できたが、精巣はわからず性的には未成熟であると判断した。2008 年 7 月 19 日の採集では、約 2000 mL の泥から Miura-2 が 39 匹確認できた。2008 年 5 月 10 日に採集した個体と比べて、明らかに大きく精巣も確認できた。採集翌日には、シャーレ底に産みつけられた卵が確認できた。この卵は *M. lignano* のものと類似していた (Egger et al., 2007)。産卵後約 1 週間でふ化したが、3 日後には溶けて死んでしまった。成体も同様に、水温や塩濃度などの条件が生息地と極端に違いないにも関わらず、1 週間も維持できなかつた。2008 年 7 月 19 日の採集個体は、性的に成熟しておりマクロストマムの種判定となる copulatory stylets (ペニス) も確認できた。共同研究者の Dr. Schärer L. (スイス・バーゼル大) に判定してもらったところ、Miura-2 は地中海や北海で確認されている *M. pusillum* に類似しているが (Faubel, 1977)、形態的に違いが多くみられるとのことだった。

2) Noto-4について

2008年5月27日の採集では、約1000 mLの海砂から Noto-4 は71匹確認できた。Noto-4 は *Macrostomum* 属と同じくマクロストラム科に属する *Bradburia* 属の新種であると Dr. Schärer L.により判定された。*Bradburia* 属はこれまでに *B. australiensis* と *B. miraculicis* の2種が報告されているのみである (Faubel et al., 1994)。

その後、2008年7月29日の採集では、約2000 mLの海砂から52匹の Noto-4 が確認できた。しかし、2009年1月20日(約8000 mLの海砂)、2009年2月17日(約4000 mLの海砂)、2009年3月25日(約3000 mLの海砂)、そして、2009年6月15日(約2000 mLの海砂)の調査では、全く Noto-4 が確認できなかった。2009年7月末に採取した約2000 mLの海砂に Noto-4 が4匹確認できた。

Noto-4 は、Miura-2 のように研究室で、数日で溶けて死ぬことはなく、採集後半年程は維持できる。しかし、餌の珪藻が適していないのか摂食している様子が観察されない。結果として、扁形動物特有の現象である逆成長により徐々に小さくなっていくため正常な飼育とはいえない段階である。

【まとめ】

本研究では本邦初となる海水棲マクロストラム2種を発見した。Miura-2 は *Macrostomum* sp.、Noto-4 は *Bradburia* sp.であると判定された。飼育法は確立できなかった。

謝辞 本研究は水産無脊椎動物研究所 2008年度個別研究助成の援助により行なわれた。

引用文献

- 1) Anderson, F. and Black, L. F., *Mar. Biol.* **17**: 637-638 (1980)
- 2) Ax, P., 1966. *Ökologie und Biologie. Veroff. Inst. Meeresforsch. Bremerh. Sonderbd.* **2**: 25-65 (1966)
- 3) Egger, B., et al., *Dev. Genes Evol.* **217**: 89-104 (2007)
- 4) Faubel, A., *Senckenb. Marit* **9**: 59-74 (1977)
- 5) Faubel, A., et al., *Invertebrate Taxonomy* **8**: 989-1007 (1994)
- 6) Ladurner, P., et al., *J. Zool. Syst. Evol. Res.* **43**: 114-126 (2005)
- 7) 伊藤立則, 砂のすきまの生きものたち. 海鳴社 (1985)
- 8) 峯岸秀雄, *Interstitial organisms (or Mesopsammon) — 間隙動物の分離について —* (1988)

ミヤマガマズミとコバノガマズミにおける交配様式の比較研究

吉本敦子¹・木村一也・笠木哲也・木下栄一郎²

¹〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学大学院自然科学研究科

²〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学環日本海域環境研究センター

Yoshimoto A., Kimura K., Kasagi T., and Kinoshita E.: Estimation of the fertilization and reproductive success and breeding system in *Viburnum wrightii* and *V. erosum* (Caprifloriaceae)

1. はじめに

植物の開花時期は植物と植物、植物と動物（昆虫）との関係の要因（生物要因）によって微調整されており（Rathcke and Lacey 1985 ; Kochmer and Handel 1986 ; Haman 2004）、開花開始日、開花持続期間が種子生産に影響している（O’Neil, P. 1999）といわれている。

金沢大学里山地区にはミヤマガマズミとコバノガマズミが同所的に生育し、4月中旬に開花をはじめ、その後4月下旬にコバノガマズミが開花を始める。雪どけの時期により、開花開始時期に多少ずれはあるものの、両種の開花の順序は過去5年間同じ結果であった。

交配様式も植物の繁殖成功に大きくかかわっているとされている（Loyd and Schoen 1992, Thompson 1998, Schoen, D.J. and Brown, A.H.D. 1991, Goodwillie, C. 2001）。

そこで、研究の目的をミヤマガマズミ、コバノガマズミの交配様式を明らかにすることとした。

2. 調査方法

金沢大学里山地区で、ミヤマガマズミとコバノガマズミの開花フェノロジー調査と授粉実験を行った。

開花フェノロジー調査は、個体ごと、花序ごとに開花の状態を5段階（0: 5%以下, 1: 5%~25%, 2: 25%~50%, 3: 50%~75%, 4: 75%~満開）であらわした。

交配実験は以下の4処理を行った（Open-pollination, cross-pollination, self-pollination, Auto-pollination）。実験に使われた花序（Open-pollinationは、除く）は、前もって袋がけをし、実験の際にはずした。開花終了後は、すべてはずした。開花終了後3週間後の花序あたりの果実の残存率を受精成功とし、成熟種子（開花終了2週間後）をプラスチックポット（5×5×5 cm）に蒔き、発芽実験を行った。発芽率から、花序あたりの繁殖成功を推定した。

3. 結果と考察

開花フェノロジー

5年間とも、4月初旬にミヤマガマズミが先に開花を開始し、4月下旬にコバノガマズミが、開花を開始した。2種の開花の重なりは約1週間、開花ピークは約4日間ずれていた（図1）。2種の開花は遺伝的に決まっている可能性がある。

交配様式

それぞれの種レベルで開花終了3週間後の果実の残存率を比較した。

ミヤマガマズミは3年間とも強制自家受粉花序と自動自家花序はほとんど結実しなかった。コントロール花序の残存率は、強制自家受粉花序の残存率より有意に高かった。このことから、ミヤマガマズミは自家不和合性であるといえる。

コバノガマズミは、コントロール花序の残存率は強制自家受粉花序の残存率と有意な差がなかった。強制自家受粉花序の残存率は、自動自家受粉の残存率より有意に高かった。このことから、コバノガマズミは種レベルでは、自家和合性である可能性が高い。また、コントロール花序は、結実したが、自動自家受粉花序は結実しなかったことから、結実するためには、ポリネーターの存在が不可欠であるといえる。しかし、コバノガマズミは、個体差があった(表1)。また、コバノガマズミのp/o比は高く、3年間の年間・処理間で、交互作用があった。この理由として、コバノガマズミのFSで0.1以下の個体が50%~76%あったことが影響していると考えられる。これらの個体は、ミヤマガマズミ同様、自家不和合性の個体であるといえる。そのほかのコバノガマズミの24%~50%の個体はFSが0.1より大きく、これらの個体は、自家和合性の個体であるといえる。

進化の過程の中で被子植物の交配様式で自家不和合性が失われ、自家和合性に移行している(Igic et al 2008)という報告がある。コバノガマズミの和合性の個体差は、自家不和合性が崩壊し、自家和合性へと移行してきたと捉えることができる。自家不和合性の損失は、地域的な交配集団の生態学的見地に影響を与えてきたであろう。

表1 Frequency distribution of fertilization success in the self-pollination experiment

N, the number of plants examined.

Fertilization	<i>V. wrightii</i>			<i>V. erosum</i>		
	2005	2006	2007	2005	2006	2007
Success	<i>N</i> = 12	<i>N</i> = 40	<i>N</i> = 37	<i>N</i> = 12	<i>N</i> = 33	<i>N</i> = 32
0	0.33(0.32)	0.49(0.25)	0.57(0.23)	0.08(0.68)	0.18(0.33)	0.16(0.38)
< 0.1	0.58(0.41)	0.44(0.37)	0.41(0.35)	0.42(0.56)	0.58(0.44)	0.56(0.51)
< 0.2	0.08(0.61)	0.02(0.15)			0.09(0.50)	0.06(0.76)
< 0.3			0.03(0.55)	0.08(0.40)	0.03(0.56)	0.09(0.14)
< 0.4		0.05(0.32)		0.08(0.34)	0.06(0.36)	0.03(0.30)
< 0.5					0.03(-)	0.06(0.32)
< 0.6				0.08(0.73)		0.03(0.27)
< 0.7				0.25(0.64)		
< 0.8						
< 0.9						

Mean FS in the cross pollination experiment is given in the parenthesis.

超音波刺激応答型リポソームを用いたドラッグデリバリーシステムの構築

河端伸哉¹・仁宮一章²・清水宣明²

¹〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学

²〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学環日本海域環境研究センター

Shinya KAWABATA¹, Kazuaki NINOMIYA² and Nobuaki SHIMIZU²:

Development of novel drug delivery system with ultrasound-mediated thermosensitive liposomes

1. 緒言

がん治療法の一つに抗がん剤を用いた化学的療法があるが、副作用による患者への負担が大きいことが問題となっている。これは十分量の抗がん剤をがん組織に送達させるためには、抗がん剤の大量投与が必要となり、正常な組織に対しても作用してしまうためである。この問題を解決するために、抗がん剤を効率よくがん組織のみに送達させることが不可欠であり、その方法として薬剤投与の最適化を目指した技術・方法論であるドラッグデリバリーシステム(DDS)を導入した治療法が、新規のがん治療法として検討されている。しかし従来の DDS 治療では、臨床において十分な治療効果を得ることが困難とされていた。

近年、より高効率で副作用の少ない次世代型 DDS 治療として、光・超音波・磁気などの物理エネルギーを利用した治療システムと抗がん剤の DDS 治療とを融合させたピンポイント抗がん剤投与システムが提案されている。この治療システムでは従来の DDS 治療と比較して、①物理エネルギーによって薬剤効果が増強される、②薬剤効果を空間的に制御できる、③薬剤効果を時間的に制御できるといった利点があり、より選択的に標的細胞を狙い撃ちでき、非侵襲的ながん治療が可能となる。

本研究では、非侵襲的ながん治療を目指した DDS 治療として超音波刺激応答型 DDS の構築を目的とする。我々は超音波照射に伴い発生する超音波キャビテーションによる局所的な温度上昇に注目した。そこで温度応答性高分子を修飾したリポソームを作製し、超音波照射時の薬剤放出機能について評価した。また構築した超音波刺激応答型リポソーム系の *in vitro* での抗腫瘍効果について検討した。

2. 理論

2.1 リポソーム

リポソームとは、生体膜成分であるリン脂質によって構成され、内側に水相をもつ脂質二分子膜(ラメラ構造)で形成される小胞体である(Fig.1)。リポソームには薬剤キャリアとして、①毒性がほとんどなく、抗原性が低い、②様々な表面修飾が容

易であり、標的化が簡単に行える、③生体で代謝される、④薬剤だけでなく遺伝子なども封入できるといった利点が挙げられる。

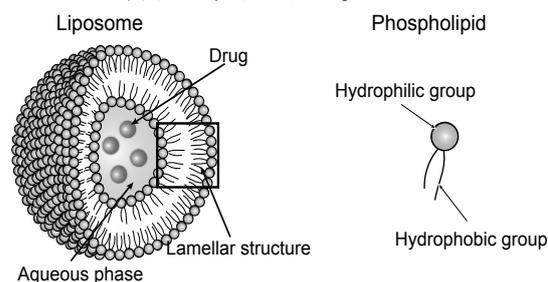


Fig.1 Structure of phospholipid and liposome.

2.2 温度応答性高分子

温度応答性高分子とは、ある温度によって性質を変える高分子をいう。低温では親水性で水に溶解するが、下限臨界溶液温度(LCST)と呼ばれる温度以上になると疎水性となり不溶化して白濁・沈殿する(相転移現象)。Fig.2 にその様子を示す。この温度応答性高分子を利用して、温度応答機能を付加したリポソームを作製することができ、内包物の放出を温度によって制御することが可能となる。

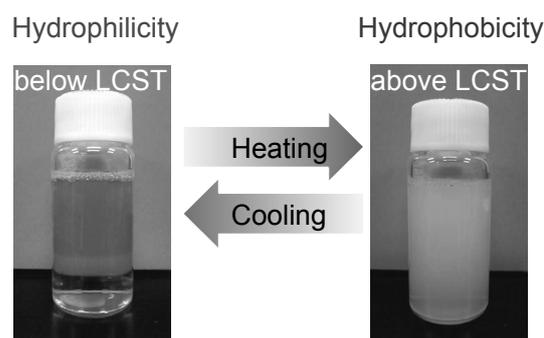


Fig.2 Phase transition of thermosensitive polymer.

3. 実験

3.1 温度応答性高分子修飾リポソームの作製

本研究では、超音波刺激に応答するナノキャリアを作製するために、リポソームの膜表面に温度応答性高分子を修飾させた。まず凍結乾燥リン脂

質(DMPA:DPPC:Chol=10:40:50(モル比))20 mg、温度応答性高分子 2C₁₂-poly(NIPAM-co-NIPAM)20 mg に、薬剤モデルとして蛍光試薬である 10 mM カルセイン溶液 500 μ l を混合し、これを 4°C で 3 時間攪拌する。攪拌後、遠心分離(20000 rpm, 40 min, 25°C)によって洗浄し、未内包のカルセインと未反応の温度応答性高分子を除去し、カルセインを内包した温度応答性高分子修飾リポソーム(TSP-Lipo)を得た。

温度応答性高分子の修飾を確認するため、ブロックインキュベータを用いて 25~42°C の範囲で 15 分間加温した。加温後、蛍光マイクロプレートリーダーを用いて、カルセインの蛍光強度(Ex:490 nm, Em:520 nm)を測定することにより、温度による内包物の放出制御を評価した。

3.2 温度応答性高分子修飾リポソームの超音波応答性

薬剤放出機能の評価

リポソーム懸濁液を PBS で OD₅₄₀=1.0 となるように希釈し、希釈した懸濁液 1 ml に PBS 1 ml をさらに加え、35 mm dish に添加し、超音波(1 MHz, 100% Duty 比, 30 sec)を任意の強度(0.1~0.5 W/cm²)で照射した。照射後、蛍光マイクロプレートリーダーを用いて、カルセインの蛍光強度(Ex:490 nm, Em:520 nm)を測定することで、超音波による内包物の放出制御を評価した。

超音波照射時の溶液温度の測定

PBS 2 ml を 35 mm dish に添加し、サーモメータを dish の溶液中にセットし、温度が安定するまで待つ。温度が安定したことを確認し、超音波(1 MHz, 100% Duty 比)を任意の強度(0.1~0.5 W/cm²)で照射し、照射開始時から 120 sec まで 10 sec 毎に温度を測定した。

3.3 Doxorubicin 内包超音波刺激応答型リポソームの作製

本研究では、抗がん剤として協和発酵より発売されているアドリアシン®注用 10 を用いた。

まず Doxorubicin(DOX)10 mg を生理食塩水 5 ml で溶解し、2 mg/ml DOX 溶液を作製し、凍結乾燥リン脂質 20 mg、温度応答性高分子 20 mg に、2 mg/ml DOX 溶液 500 μ l 加え、これを 4°C で 3 時間攪拌する。攪拌後、遠心分離(20000 rpm, 40 min, 25°C)による洗浄を 3 回行い、未内包の DOX と未反応の温度応答性高分子を除去し、DOX 内包超音波刺激応答型リポソーム(TSP-Lipo)を得た。

3.4 超音波照射条件の検討

超音波照射によって放出した DOX 量

作製したリポソーム懸濁液を生理食塩水で希釈

し、35 mm dish に 2 ml 添加する。このとき、リポソーム懸濁液に内包されている DOX 濃度は約 20 μ M に調整した。超音波(1 MHz, 100% Duty 比, 30 sec)を任意の強度(0~0.5 W/cm²)で照射した。照射後、遠心分離(15000 rpm, 20 min)し、上澄みの吸光度を測定(測定波長:480 nm)し、検量線から放出した DOX 濃度を求めた。

超音波照射単独の細胞損傷効果

4×10⁵ cells/dish となるように 35 mm dish に 2 ml ずつ細胞懸濁液を播種し、37°C、5%CO₂ で 24 時間培養した。培養後、新しい培地に交換し、超音波(1 MHz, 100% Duty 比, 30 sec)を任意の強度(0~0.5 W/cm²)で照射し、24 時間培養した。培養 24 時間後の生細胞数をトリパンブルー染色により測定した。

フローサイトメトリーによる DOX の定量化

4×10⁵ cells/dish となるように 35 mm dish に 2 ml ずつ細胞懸濁液を播種し、37°C、5%CO₂ で 24 時間培養した。培養後、新しい培地(リポソーム懸濁液を遠心分離し、上澄みを取り除いた後、培地 1 ml で懸濁)を 2 ml 添加した。このときリポソーム懸濁液に内包されている DOX 濃度は約 20 μ M に調整した。超音波を 1 MHz, 0.5 W/cm², 100% Duty 比, 30 sec で照射した。照射後 30 min と 60 min、フローサイトメーターを用いて細胞内へ取り込まれた DOX 量を定量した(Ex:514.5 nm, Em:550 nm)。

3.5 超音波刺激応答型リポソーム系の *in vitro* での抗腫瘍効果

4×10⁵ cells/dish となるように 35 mm dish に 2 ml ずつ細胞懸濁液を播種し、37°C、5%CO₂ で 24 時間培養した。培養後、新しい培地(リポソーム懸濁液を遠心分離し、上澄みを取り除いた後、培地 1 ml で懸濁)を 2 ml 添加した。このときリポソーム懸濁液に内包されている DOX 濃度は約 20 μ M に調整した。超音波を 1 MHz, 0.5 W/cm², 100% Duty 比, 30 sec で照射した。照射後 60min に PBS(-)で 2 回洗浄し、新しい培地 2 ml 添加し、6 時間培養した。培養 6 時間後の生細胞数をトリパンブルー染色により測定した。

4. 結果および考察

4.1 温度応答性高分子修飾リポソームの作製

作製した TSP-Lipo に温度応答性高分子が修飾されているかを確認した。その結果を Fig.3 に示す。温度応答性高分子を添加し作製した TSP-Lipo では LCST(37.5°C)を超えた温度でカルセインの放出が確認された。さらに温度が高くなるに伴い、カルセインの放出は増大した。しかし、温度応答性高分子が修飾されていないリポソーム(Lipo)では、同じように加温した場合であってもカルセインの放出は見られなかった。以上の結果から、作製した TSP-Lipo に温度応答性高分子が修飾され

ていることが確認できた。

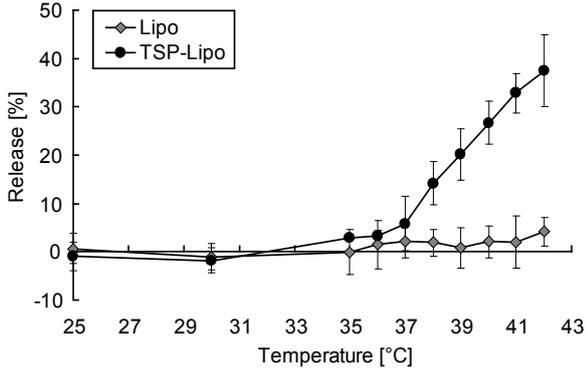


Fig.3 Release of calcein from liposome with increase in temperature

4.2 温度応答性高分子修飾リポソームの超音波応答性

薬剤放出機能の評価

作製した TSP-Lipo の超音波応答性について評価した。その結果を Fig.4 に示す。超音波照射 0.1 W/cm² の場合、TSP-Lipo、Lipo 両方ともにカルセインの放出はほとんど見られなかった。しかし 0.2 W/cm² 以上の超音波照射によって、Lipo と比較して TSP-Lipo からカルセインの放出が増大していることが確認できる。また照射強度の強さに比例して TSP-Lipo の放出率は増大しているが、Lipo の放出率は照射強度の強さによって放出率が增大することはなかった。以上の結果より TSP-Lipo は超音波刺激にตอบสนองし、内包物を放出することが示唆された。

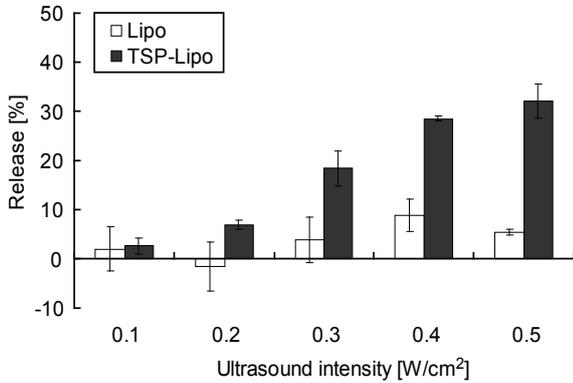


Fig.4 Increase in release of calcein by U.S. irradiation.

超音波照射時の溶液温度の測定

超音波キャビテーションによる局所的な温度上昇の他に、超音波照射時の超音波エネルギーが溶液中で熱エネルギーへと変換するため、超音波照射によって溶液温度が上昇する。そこで、超音波照射時にリポソーム懸濁液の溶液温度が LCST を上回っているかどうかを調べた。その結果、Fig.5 に示すように今回実験を行った照射条件下では、照射時間の増加に伴い温度は上昇したが、溶液の

温度が LCST に達することはなかった。以上の結果から超音波照射による TSP-Lipo から内包物の放出は、キャビテーションバブル圧壊時に形成される局所的な高温場によって、温度応答性高分子の相転移が起こり、リポソームが崩壊したと考えられる。

TSP-Lipo の超音波応答性が確認されたので、これ以降の実験では、TSP-Lipo のことを超音波刺激応答型リポソームと呼ぶことにする。

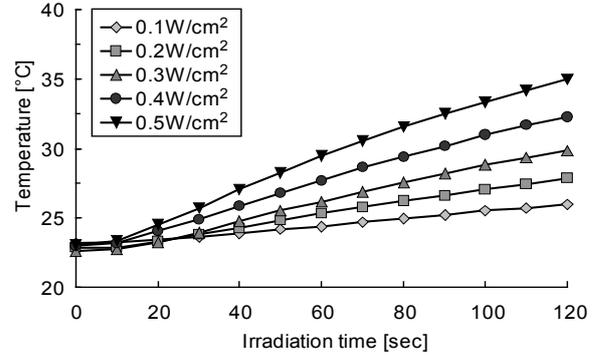


Fig.5 Temperature of solution rise during U.S. irradiation

4.3 DOX 内包超音波刺激応答型リポソームの作製

抗がん剤 DOX を内包した TSP-Lipo の熱応答性について評価した。その結果を Fig.6 に示す。LCST 以上の 42°C で加温した場合、TSP-Lipo から DOX を約 80% 放出したことから、蛍光試薬カルセインを用いた実験系と同様、DOX を内包した TSP-Lipo においても温度応答性高分子が修飾されていると考えられる。しかし、カルセインの実験系ではカルセインの放出が見られなかった Lipo からも約 30% の放出が見られた。さらに LCST 以下の 37°C で加温した場合も、TSP-Lipo と Lipo の両方で約 20% の放出が見られた。本来ならば DOX の放出が起こらない温度、そして Lipo から DOX の放出が見られたことから、DOX がリポソームから漏出した可能性が考えられる。

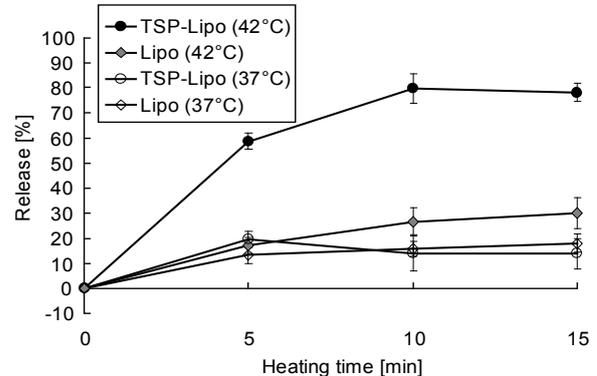


Fig.6 Time course of doxorubicin release

4.4 超音波照射条件の検討

超音波照射によって放出した DOX 量

DOX 内包超音波刺激応答型リポソームへ超音波照射を行い、dish に放出される DOX 濃度について評価した。その結果を Fig.7 に示す。対照(0 W/cm²)は超音波を照射せず、振動子の上に 30 sec 放置したグループであるが、dish には約 2 μM の DOX が放出されていた。リポソーム懸濁液に内包されている DOX 濃度は約 20 μM なので、10%の DOX は超音波を照射しなくても漏出したことになる。照射強度 0.3 W/cm² までは DOX の放出量に大きな差は見られなかったが、0.4 W/cm² 以上では TSP-Lipo の方が Lipo と比べて約 2 μM 以上多く DOX が放出した。

超音波照射単独の細胞損傷効果

培養細胞 HepG2 に対する超音波単独の細胞損傷効果について確認した。その結果を Fig.8 に示す。対照(0 W/cm²)は超音波を照射せず、振動子の上に 30 sec 放置したグループである。照射強度が 0.1 W/cm² や 0.2 W/cm² では細胞の生存率はほぼ 100% であり、細胞死は誘導されなかった。しかし 0.3 W/cm² 以上の照射強度において生存率の低下が見られたが、0.5 W/cm² で超音波照射を行った場合でも生存率が約 70% だったことから、照射強度の増強によって生存率が極端に低下するという事はなかった。

以上の結果から、超音波刺激応答型リポソーム系の *in vitro* での抗腫瘍効果を行うための照射条件を 1 MHz、0.5 W/cm²、100% Duty 比、30 sec とした。

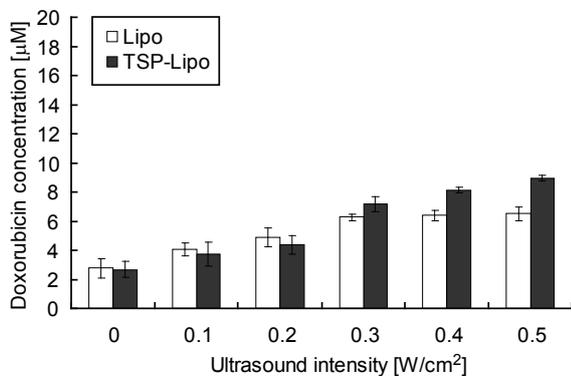


Fig.7 Effect of ultrasound intensity on doxorubicin release. U.S. was irradiated for 30 sec.

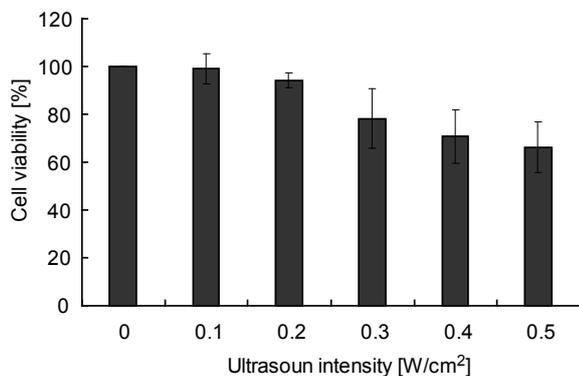


Fig.8 Effect of ultrasound intensity on cell viability. U.S. was irradiated for 30 sec.

フローサイトメトリーによる DOX の定量化

超音波照射によって細胞への薬剤の取り込みが促進することが知られている。そこでフローサイトメーターを用いて、決定した照射条件の超音波照射によって細胞内に取り込まれた DOX 量を蛍光として評価した。照射後 30 min の結果を Fig.9(A)に、60 min の結果を Fig.9(B)に示す。照射後 30 min では、DOX を内包したリポソームで処理した 4 つのグループのヒストグラムはすべて重なっていた。この結果から、30 min では超音波照射による DOX の取り込みを促進させるのに十分な時間ではなかったと考えられる。

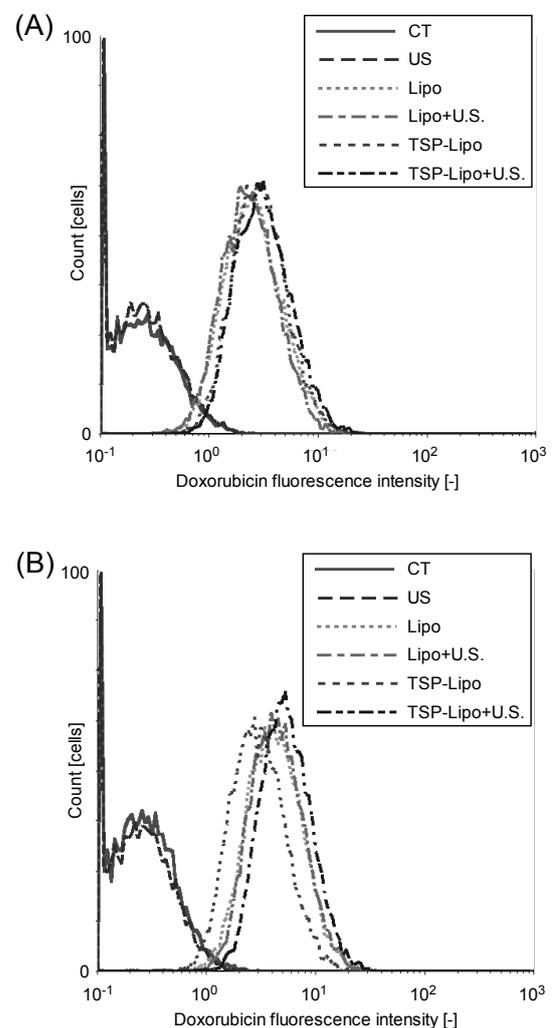


Fig.9 Flow cytometric measurements of DOX uptake at (A)30 min or (B)60 min after U.S. irradiation.

照射後 60 min では、TSP-Lipo+U.S.のヒストグラムが最も右にシフトしているのがわかる。これは超音波照射によって DOX の取り込みが促進した

ためと考えられる。しかし、同じように超音波を照射した Lipo+U.S.では Lipo のヒストグラムと重なっていた。これらの結果から、Lipo に超音波照射を行っても、DOX の取り込みが促進することはなく、TSP-Lipo に超音波照射を行い、照射後 60 min で他の処理法と比べて有意に細胞内へ DOX を取り込ませることが可能であった。

4.5 超音波刺激応答型リポソーム系の *in vitro* での抗腫瘍効果

最も抗腫瘍効果が期待できる条件下で超音波刺激応答型リポソームの抗腫瘍効果について検討した。結果を Fig.10 に示す。培養 6 時間において TSP-Lipo+U.S.で処理することで最も高い抗腫瘍効果を示した。Lipo、Lipo+U.S.、TSP-Lipo では約 80 ~ 85% の生存率だったのに対して、TSP-Lipo+U.S.は約 60%と生存率が大幅に低下した。これは TSP-Lipo+U.S.で最も細胞内に取り込まれた DOX 量が多かったため、アポトーシスが速やかに誘導され、培養 6 時間という短い時間で高い抗腫瘍効果が得られたと考えられる。

詳しいメカニズムは明らかとなっていないが、①超音波刺激応答型リポソームに超音波照射を行うことで大量の DOX を放出できる、②放出した DOX を超音波照射によって細胞内へ取り込ませる、以上超音波照射による相乗効果によって、HepG2 細胞内に DOX が大量に取り込まれ、アポトーシスを早期に誘導させたと考えられる。

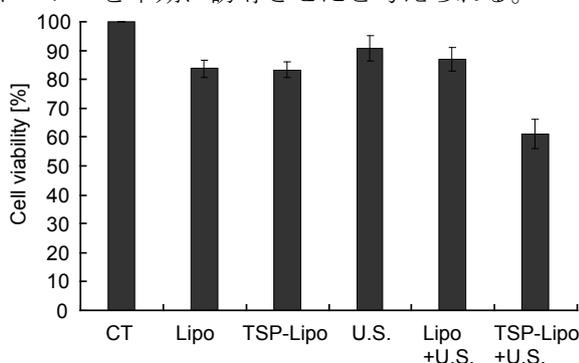


Fig.10 Cell viability of HepG2 exposed to U.S. and TSP-Lipo.

5. 結言

本研究によって得られた知見を以下に示す。

- 1) 超音波刺激応答型ナノキャリアとして、リポソームの膜表面に温度応答性高分子を修飾した温度応答性高分子修飾リポソームの作製に成功した。
- 2) 作製した温度応答性高分子修飾リポソームは超音波照射により内包物の放出を制御できることを確認した。
- 3) 超音波照射による内包物の放出には、キャビテーションバブル圧壊時の局所的な温度上昇が関与している可能性が示唆された。
- 4) 抗がん剤ドキシソルビン塩酸塩を封入したリポソームを作製し、構築した超音波刺激応答型リポソーム系の *in vitro* での有効性を確認した。

今後、超音波刺激応答型リポソーム系の *in vitro* での抗腫瘍効果について詳細なメカニズムを解析する必要がある。また、より選択的な治療を可能にするための技術として、作製した超音波刺激応答型リポソームへターゲティング機能を付加する必要がある。

Cell-SELEX 法を用いたヒト肝がん細胞に対する DNA アプタマーの選抜

金田 孝彦¹・仁宮一章²・清水宣明²

¹〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学

²〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学環日本海域環境研究センター

Kazuhiko KANEDA¹, Kazuaki NINOMIYA² and Nobuaki SHIMIZU²:

Selection of DNA aptamer for human hepatic carcinoma based on cell-SELEX

1. 緒言

がんは日本人の死亡原因の第一位を占め、日本人の約3分の1ががんで亡くなっている。しかし、現在がんに対する画期的な治療法はまだ確立されていない。その原因の一つとしてがん細胞と正常細胞を識別することが困難であることが挙げられる。この問題を解決するために、がん細胞を特異的に認識する生体物質が必要とされている。これまで、生体物質として抗体が広く用いられてきた。しかし、新規な抗体を得るには多くの時間、手間、資金が必要、ターゲットが限られるといった問題点がある。そこで近年、抗体に代わる生体物質としてアプタマーが注目されている。DNA アプタマーとは、特異的に分子を認識する single-strand DNA (ssDNA) である。これまでに、様々なタンパク質やアミノ酸などに対するアプタマーが SELEX(Systematic Evolution of Ligands by EXponential enrichment)法という手法により選抜されている。近年、細胞に対するアプタマーの選抜法として Cell-SELEX 法という手法が考案された。

本研究では、ヒト肝がん細胞である HepG2 細胞を特異的に認識する DNA アプタマーの獲得を目的として Cell-SELEX 法により DNA アプタマーの選抜を行った。

2. 理論

2.1 DNA アプタマー

ある物質を特異的に認識する ssDNA を DNA アプタマーと呼ぶ。通常2本鎖状態で二重らせん構造をとる DNA 分子であるが、これを一本鎖状態にすることによりステム型、バルジ型、シュードノット型、あるいはカルテット型等の様々な立体構造をとる (Fig.1)

この様々な立体構造により、物質を特異的に認識すると考えられている。DNA アプタマーの立体構造は塩基配列に依存しているので、DNA アプタマーの立体構造は塩基配列を変えることにより無限に存在し、理論上ではあらゆる物質に対する DNA アプタマーが獲得可能と言われている。またアプタマーには、(1) 熱や pH の変化に対する安定性が非常に優れている、(2) PCR 法を用いるこ

とにより迅速かつ安価に増幅が可能である、(3) 様々な化学修飾が可能であるといった特徴を持っており、がんの診断や治療への応用が期待されている。

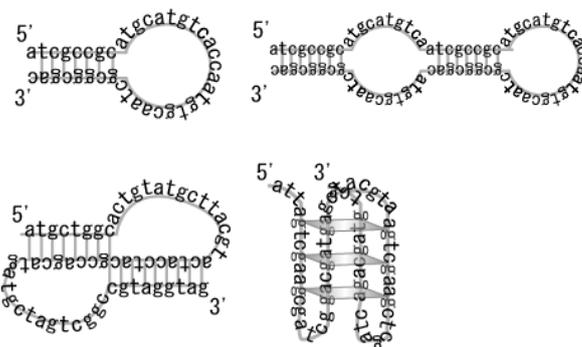


Fig. 1 Schematic drawing of various structures of DNA aptamer.

2.2 Cell-SELEX 法

SELEX 法とは、ランダム配列を持つランダム ssDNA ライブラリーからターゲットと結合する DNA アプタマーだけを選抜してくる手法である。これまで、細胞に対する DNA アプタマーを獲得するときには、ターゲットとして細胞の膜タンパク質を用いて SELEX 法が行われてきた。近年、Cell-SELEX 法と呼ばれる、ターゲットとして細胞自体を用いる手法が開発された。この手法には従来の SELEX 法と比べ、(1) 膜タンパク質の解析が不要、(2) 細胞表面に存在する様々な膜タンパク質のアプタマーを同時に選抜できる、(3) 目的細胞とより特異的に結合するアプタマーを選抜できるといった特長がある。

3. 実験方法

3.1 ssDNA の作製

本研究では、50 bp のランダム領域をもつ N50-ssDNA (95 bp) をランダム ssDNA ライブラリーとして用いる。

ssDNA の作製は、以下の手順で行った。まず、5'末端をビオチン修飾した Reverse プライマーを用いて PCR を行い、ビオチン修飾 double strand DNA (dsDNA) を作製する。次に、アビジン修飾

セファロースビーズとビオチン修飾 dsDNA 反応させビーズ表面に dsDNA を固定化する。最後に、NaOH 水溶液を加え dsDNA 間の水素結合を切断しビオチン修飾されていない側の ssDNA をだけを分離、回収する。(Fig. 2)

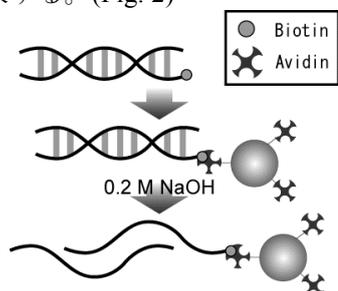


Fig. 2 Separation of ssDNA by streptavidin-coated sepharose beads.

3.2 DNA アプタマーの選抜

Cell-SELEX 法では「増幅」「結合反応」「Wash」「回収」を 1Round とし、この Round 繰り返すことで HepG2 細胞と特異的に結合する DNA アプタマーを選抜する。Round を重ねるに連れて Wash 条件を厳しくし、より結合力の強い DNA アプタマーの獲得を目指す。また、DNA アプタマーの特異性を向上させるため、8~11Round の開始前では、ヒト正常肝細胞を用いてカウンターセクションを行った。Fig. 3 に Cell-SELEX 法の一連の流れを示す。

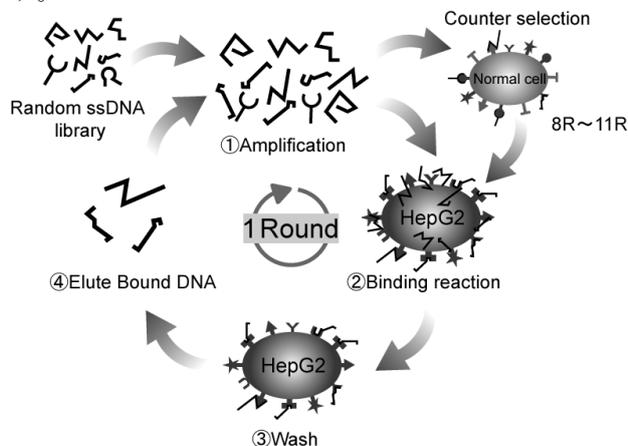


Fig. 3 Schematic drawing of Cell-SELEX process.

3.2 アプタマーの単離

Cell-SELEX 後に回収された ssDNA は選抜されたとはいえ、まだ、様々な塩基配列の DNA アプタマーが混在した状態である。そして、その様々な DNA アプタマーは、それぞれ違う特徴を持っていると考えられる。そこで、大腸菌を用いて TA クローニングを行い、DNA アプタマーの単離を行った。そして単離された DNA アプタマーについて、シーケンサにより塩基配列を決定し、Web 上のデータベース、mfold を使用することで、DNA

アプタマーの平面構造解析を行った。平面構造解析は、そのアプタマーの配列およびアプタマーを溶解した溶液の塩濃度、フォールディング時の温度を入力すると、自動的にその条件で最も安定な平面構造をシミュレーションにより解析される。塩基配列と平面構造の情報を元に、Cell-SELEX 後に回収された ssDNA を分類した。

3.3 DNA アプタマーの機能評価

Cell-SELEX 法で選抜後、単離された DNA アプタマーについて機能評価を蛍光顕微鏡、フローサイトメーターを用いて行った。DNA アプタマーの細胞への結合量を評価するため FITC ($\lambda_{ex}=495nm$, $\lambda_{em}=520nm$) で蛍光修飾した DNA アプタマーを用いてそれぞれの実験を行い、DNA アプタマーの細胞への結合量を蛍光量として検出し評価した。

4. 結果と考察

4.1 ssDNA の作製

アビジン修飾セファロースビーズにより分離された ssDNA についてポリアクリルアミドゲル電気泳動により確認した。Fig. 4 よりアビジン修飾セファロースビーズにより分離された ssDNA がポジティブコントロールとして流した N50-ssDNA (Template) と同じ高さにバンドが確認された。このことより、dsDNA から目的の ssDNA が確実に分離、回収できていることが確かめられた。95 bp であるはずの ssDNA が 160 bp 付近にバンドが確認されたのは、ssDNA が直鎖状ではなく独特な立体構造を形成するためである。

以上のことより、今回用いた方法により、N50-ssDNA 増幅できていることが確かめられた。

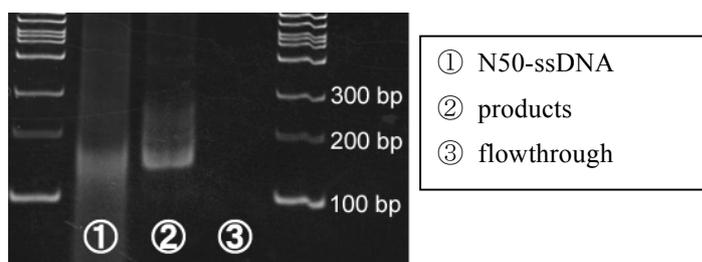


Fig. 4 Confirmation of separated products by streptavidin-coated sepharose beads.

4.1 DNA アプタマーの選抜

本実験では、HepG2 細胞を特異的に認識する DNA アプタマーを選抜するため Cell-SELEX 法の Round を 11Round 行った。また DNA アプタマーの特異性を向上させるために正常ヒト肝細胞を用いてカウンターセクションを 8~11Round の前の計 4 回行った。

各 Round 後に回収された DNA アプタマーの機能評価を蛍光顕微鏡、フローサイトメーターを用いて行った。Cell-SELEX 法の最初に用いたランダ

μ ssDNA ライブラリー(N50-ssDNA)を 0Round とする。Fig. 5 より HepG2 細胞では、Round を重ねるに連れて蛍光強度が増加していることが明らかとなった。また、正常ヒト肝細胞では、Round を重ねても蛍光強度の増加は見られなかった(Fig. 6)。このことから Cell-SELEX 法の Round を重ねるにつれて、アプタマーの HepG2 細胞への特異性が向上していると考えられる。また、Fig. 5 から 7 Round 以降で蛍光強度の増加が頭打ちになっていることが明らかとなった。これは 7 Round までで、HepG2 細胞に対する DNA アプタマーがほぼ絞り込まれていたため 7 Round 以降では大きな変化が見られなかったのだと考えられる。以上のことより、Cell-SELEX 法の Round を重ねることで、HepG2 細胞と特異的に結合するアプタマーが選抜されていることが確認された。また Cell-SELEX を 11Round 行うことで、HepG2 細胞に対する DNA アプタマーの候補を十分に絞り込むことができていたことがわかった。

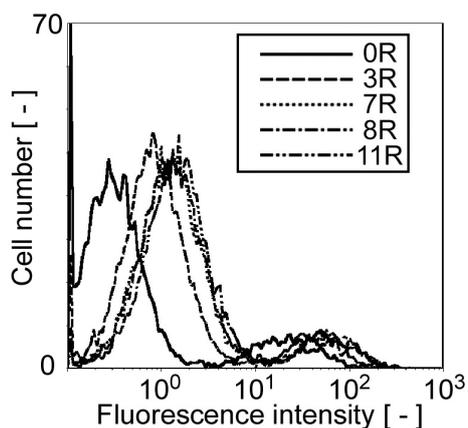


Fig. 5 Flow cytometric assay for the binding of the each round aptamers with HepG2 cells.

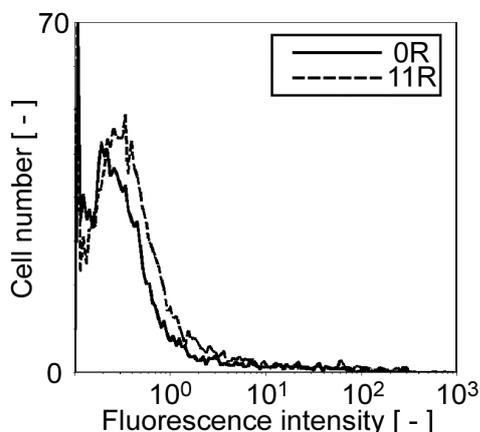


Fig. 6 Flow cytometric assay for the binding of the each round aptamers with human primary hepatocyte cells.

4.2 アプタマーの単離

TA クローニングによってクローン化した中から、45 サンプルについてシーケンサにより塩基配列を決定した (Table. 1)。全体の 82% の 37 サンプルが類似の配列であった(Group 1)。この 37 サンプルの配列の違いは、1 番多いものでも 2 塩基の違いであった。このことは、Cell-SELEX の Round を繰り返し、正常ヒト肝細胞を用いてカウンターセクションを行ったことで、HepG2 細胞と特異性の低い配列を有した DNA アプタマーは淘汰され、特異性の高い配列の DNA アプタマーだけが選抜されたためだと考えられる。

Table. 1 List of selected aptamers for HepG2 cells.

次に塩基配列を決定した 45 サンプルについて、その平面構造をシミュレーションにより解析した。45 サンプルを平面構造により分類すると、6 種類に分類された。1、2 塩基の相違しかない Group 1 を平面構造で分類すると 3 種類(A,B,C)に分類された(Fig. 7)。最も数の多かった A-1 を基準として比較すると同じ種類の DNA アプタマーは似た位置に塩基配列の違いが現れることが判明した。このことより、塩基配列のわずかな違いであっても、その位置や塩基の種類によって構造が変化する可能性があることが明らかになった。

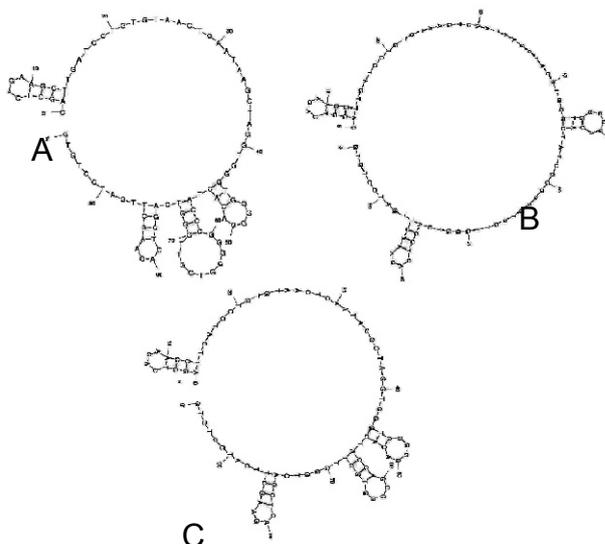


Fig. 7 Secondary structures of aptamers (Group 1).

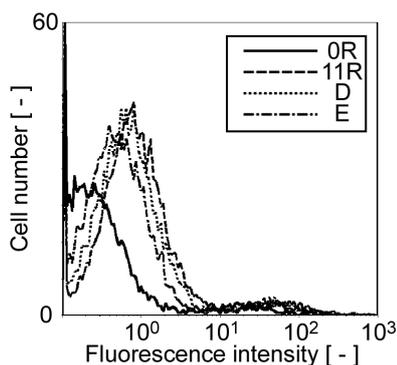
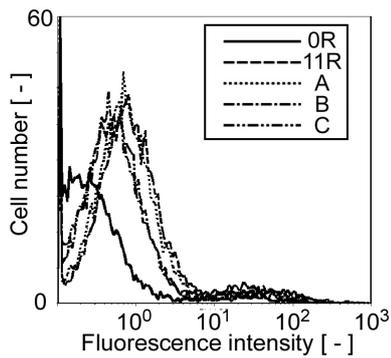


Fig. 8 Flow cytometric assay for the binding of the selected aptamers with HepG2 cells.

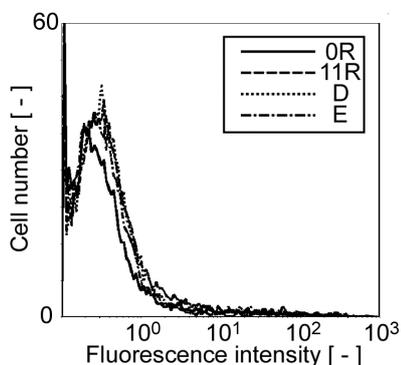
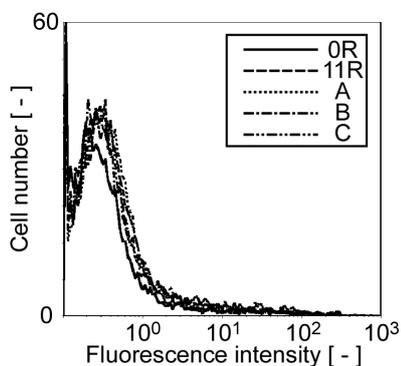


Fig. 9 Flow cytometric assay for the binding of the selected aptamers with human primary hepatocyte cells

4.3 DNA アプタマーの機能評価

4.2 で獲得された 6 種類のアプタマーの中で A、B、C、D、E について機能評価を行った。Fig. 8 より A~E の全ての DNA アプタマーで、蛍光強度がランダムライブラリーと比べ増加していることが確認された。11 Round と比較した場合には A、D では、ほとんど差がない結果となったが B、C、E についてはわずかではあるが 11 Round よりも蛍光強度が弱いという結果になった。また正常細胞に対しては、A~E の全ての DNA アプタマーで、ランダムライブラリーとの差は見られず、弱い蛍光強度となった (Fig. 9)。

以上の結果から、11 Round 後に回収された ssDNA から単離された A~E の DNA アプタマーは正常ヒト肝細胞を認識することなく、HepG2 細胞を特異的に認識していることが確かめられた。また、単離することにより 11 Round より特異性の強い DNA アプタマーが獲得できる可能性があるが、11 Round よりも特異性の強い DNA アプタマーは獲得することができず、最も蛍光強度の強いものでも 11 Round とほぼ同等という結果になった。これは、Table. 1 を見てわかるように Cell-SELEX 法を 11Round 行ったことにより DNA アプタマーがかなり絞り込まれ 11Round 後に回収された ssDNA のほとんどが同じ配列、もしくは似た配列であったためと考えられる。また、45 サンプルの中で、11.1 パーセントしか占めなかったグループ D が 11Round とほぼ同等の蛍光を示したのは、グループ D の塩基配列が PCR により増幅されにくい配列であったため、実際は 11 Round 後に回収された ssDNA の中には多く存在していたが PCR で増幅し TA クローニングを行ったことで、その割合が減少したためだと推測される。またグループ B、C が A よりもわずかに蛍光強度が減少していたのは少しの塩基配列の違いで立体構造が微妙に変化し結合力が弱まったのではないかと推測される。

Cell-SELEX 法により、HepG2 細胞を特異的に認識する 5 種類の DNA アプタマーを獲得することができた。そして、その 5 種類の DNA アプタマーの塩基配列を決定することができた。

5. 結言

本研究により得られた成果を以下に示す。

- 1) ssDNA の作成方法を確立した。
- 2) Cell-SELEX を 11Round、正常ヒト肝細胞によるカウンターセレクションを 4 回行うことで、HepG2 細胞を特異的に認識する DNA アプタマーの候補を選抜することができた。

- 3) Cell-SELEX 後に回収された ssDNA 集団から 45 サンプルを単離し、塩基配列を決定した。
- 4) 回収された 45 サンプルを塩基配列、二次構造により 6 種類に分類し、その内の 5 種類について機能評価を行った。その結果 HepG2 細胞を特異的に認識する DNA アプタマーを得ることができた。

Literature cited

1. Z. Tang, D. Shangguan, H. Sui, K. Sefah, P. Mallikratchy, H. W. Chen, Y. Li, W. Tan. *Anal. Chemist.*, 79, 4900-4907, 2007.
2. J. Tanga, T. Yub, L. Guoa, J. Xiea, N. Shaoc, Z. Hed. *Biosensors Bioelectronics*, 22, 2456–2463, 2007.

TiO₂ ナノ粒子と超音波触媒法を併用したがん治療法の *in vitro* および *in vivo* 評価

大島周平¹・仁宮一章²・清水宣明²

¹〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学

²〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学環日本海域環境研究センター

Shuhei OSHIMA¹, Kazuaki NINOMIYA² and Nobuaki SHIMIZU²:

In vivo and *in vitro* evaluation of sonodynamic cancer therapy coupled with TiO₂ nanoparticles

1. 緒言

光触媒として知られている二酸化チタン(TiO₂)は強い酸化力や超親水性といった特性からさまざまな分野で利用されている。本研究では TiO₂ に超音波を照射すると、活性酸素であるヒドロキシルラジカル($\cdot\text{OH}$)の生成が促進され、大腸菌やレジオネラなどに対し効果的な殺菌効果が得られることを報告した^[1] (二酸化チタン/超音波触媒法 (TiO₂/U.S.法))。そこで、がん細胞に対しても同様の効果があると考え、TiO₂/US 法のがん細胞への適用について検討を行った。また、がん治療では薬剤による副作用の問題があげられる。これは薬剤が正常な細胞にも送達され、損傷することが主な原因と言われている。そのため効率よく薬剤を患部のみに送達させること (Drug Delivery System : DDS) が不可欠である。そこで DDS の観点から、モデルタンパク質として B 型肝炎ウイルスの持つ肝細胞認識部位である preS1/S2 タンパク質に注目した。これまでの研究で、モデルタンパク質である B 型肝炎ウイルス由来タンパク質 (preS1/S2) を TiO₂ ナノ粒子表面に修飾することで、肝細胞を特異的に認識する粒子の構築に成功している (preS1/S2 固定化 TiO₂)。

本研究の目的は構築した preS1/S2 固定化 TiO₂ を用いて、*in vitro* での培養がん細胞に対する細胞損傷効果の確認およびその機構の解析、さらに *in vivo* での担がんマウスに対する抗腫瘍効果を検討することである。

2. 理論

2.1 TiO₂ / U.S. 法

TiO₂ は光によって励起され活性酸素種を発生させることが知られている。TiO₂/U.S.法とは、その二酸化チタンに超音波を照射すると、強い酸化力をもつ化学種 ($\cdot\text{OH}$) が発生することを利用した方法である。この原理を応用し、二酸化チタンを細胞内に取り込ませた後、超音波を照射することで、腫瘍細胞を死滅させることができると考えられる(Fig.1)。

また、光触媒としての二酸化チタンは励起エネルギーとして紫外光照射を必要とするため、ラジカルの発

生は紫外光が到達可能な表面近傍でのみしか起こらないと考えられる。しかし本研究で提案する TiO₂ / U.S. 法によりラジカルを発生させれば、皮膚組織などの表面部位だけでなく臓器深部の腫瘍組織においても治療が可能となり、非侵襲的ながん治療法を開発できる。

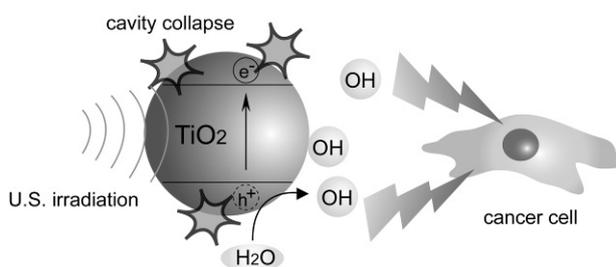


Fig. 1 Schematic illustration of TiO₂/U.S. method.

2.2 B型肝炎ウイルスエンベロープ

B型肝炎ウイルスエンベロープは、B型肝炎ウイルスからウイルスゲノムを除去した外皮タンパク質が、宿主由来の脂質二重膜上に膜タンパク質として存在し直径約 100 nm の中空粒子を形成したものである(Fig. 2)。この粒子はウイルスが本来持つ肝臓への高い感染力を保持しつつも人体に危険性のないことが明らかになっている。本研究では、この B型肝炎ウイルスの肝細胞認識タンパク質 (preS1/S2) を大腸菌遺伝子組換え生産系を用いて作製し、二酸化チタンナノ粒子表面に修飾した。また、B型肝炎ウイルスエンベロープの分子認識部位を他の臓器を特異的に認識する分子に置き換えることで、任意の臓器に遺伝子や薬剤を送達することが可能であると考えられる。

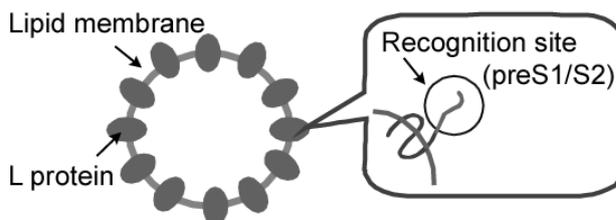


Fig. 2 Hepatitis B virus envelope.

3. 実験

3.1 TiO₂/ U.S. 法による細胞損傷効果

4×10⁵ cells/dish になるように 3.5 cm dish に 2 ml ずつ細胞懸濁液を播種し、37℃、5% CO₂ で 24 時間培養した。その後、TiO₂ 濃度 0.1% (w/v) の preS1/S2 固定化 TiO₂ を 200μl 添加し、さらに 37℃、5% CO₂ 条件下で 6 時間培養し細胞に取り込ませた。培養がん細胞に TiO₂ を取り込ませた後、超音波照射を行った (周波数 1 MHz, 照射強度 0.1 W/cm², 照射時間 30 sec)。その後、超音波照射直後から 96 時間後までの生細胞数をトリパンブルー染色により計測した。また、それに伴い細胞の形態変化を顕微鏡を用いて観察した。

3.2 細胞死メカニズムの解析

細胞死はアポトーシス、ネクローシスという 2 つのメカニズムにより起こると考えられており、がん治療への応用を目指す場合アポトーシスを誘発させることが望ましい。そこで TiO₂/U.S.法適用時に見られる細胞死メカニズムの解析を行うため、上記と同様の方法で培養がん細胞に対して TiO₂/U.S.法を適用した後、ミトコンドリア膜電位の低下、核の凝集、膜のリン脂質の局在変化について検討を行った。Fig.3 にアポトーシスおよびネクローシスの仕組みについて簡潔に示す。

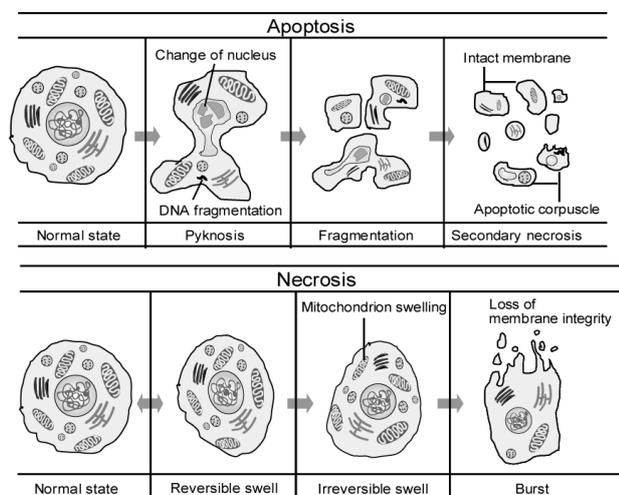


Fig.3 Scheme of apoptotic and necrotic process.

3.3 担がんマウスを用いた抗腫瘍効果

抗腫瘍効果を検討するため、ヌードマウスにヒト肝臓がん由来細胞 HepG2 を移植し、xenograft model を作製して実験を行った^[2]。マトリゲルと細胞懸濁液を混合し、細胞濃度を 5×10⁶~1×10⁷ cells/ml となるように調整し、ヌードマウス (5 週齢) の背中側の皮下に注射した。約 1 ヶ月後、腫瘍の形成を確認した。ペントバルビタールナトリウムを 1 mg/匹の濃度で腹腔内に投与することで麻酔を行い、0.1% (w/v) の preS1/S2 固定

化 TiO₂ を腫瘍部位に 100μl 注入した。投与して 2 分後、約 37℃ の水槽内にマウスの腫瘍部位を浸し、超音波照射を行った。TiO₂ 投与および超音波照射 (周波数 1 MHz, 強度 0~2.0 W/cm², 照射時間 30~60 sec) を行った時点を 0 日目とし、3 回/ week の頻度で TiO₂ の投与および照射を行い、腫瘍体積および体重を測定した。腫瘍体積は 1/2×(長径)×(短径)² (mm³) より算出した。

4. 結果および考察

4.1 TiO₂/ U.S. 法による細胞損傷効果

周波数 1 MHz, 強度 0.1 W/cm², 照射時間 30 sec の条件で超音波をそれぞれ照射したところ、どの細胞群でも照射直後から 12 時間後までは細胞数に有意差は見られなかった。超音波照射を行っただけの細胞群では 96 時間後までコントロールと同様に正常に細胞数が増殖しているのに対し、preS1/S2 固定化 TiO₂ を添加した細胞群では超音波照射後 24 時間から徐々に細胞損傷効果が現れ始めた。その効果は時間を追う毎に増大し、96 時間後の時点で TiO₂/U.S.法で処置した細胞群は細胞数がコントロール群の 1/2 程度までしか増殖しなかった (Fig.4)。この実験より、TiO₂/U.S.法を適用した細胞には細胞増殖抑制効果が現れ、その効果は時間が経過するごとに増大していくことを確認した。超音波照射を行っただけでは細胞損傷効果を確認することはできなかったことから、TiO₂/U.S.法によって起こる細胞損傷効果は超音波照射による物理的な影響は少ないと考えられる。つまり TiO₂/U.S.法を用いた細胞は細胞膜などに超音波による物理的な損傷を受けた結果細胞死に至ったのではなく、OH ラジカルなどの化学種の酸化作用により損傷を受け細胞死をひき起こしたと考えられる。

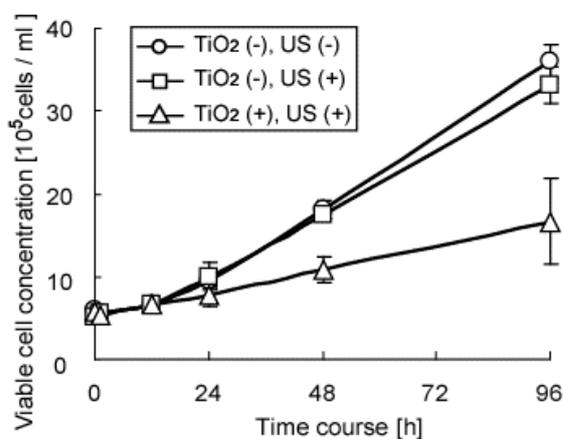


Fig.

4 Effect of TiO₂/U.S. method on cell proliferation after U.S. irradiation.

細胞の形態に関しては、照射直後では細胞破裂などは観察されずどの細胞群でもコントロールと同様の結果となった。一方、照射 24 時間後では TiO₂ / U.S.法を適用した細胞群では付着性細胞である HepG2 が dish から剥離し縮小する様子が観察された(Fig.5)。

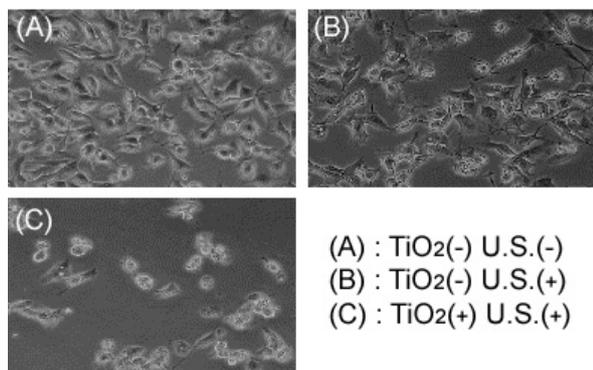


Fig.5 Alteration of cellular morphology at 24 h after U.S. irradiation.

4.2 細胞死メカニズムの解析

以下に TiO₂ / U.S.法適用時に見られた細胞死メカニズムの解析結果を示す。

ミトコンドリア膜電位の低下 ミトコンドリアはいくつもの生体内プロセスにおいて重要な役割を果たしており、その 1 つがアポトーシスへの関与である。ミトコンドリア膜電位の低下は比較的アポトーシス初期の段階で起こるといわれている。そこでミトコンドリア膜電位の低下を蛍光色素 JC-1 を用いて検出した。その結果、超音波照射後 1 時間からアポトーシス細胞のシグナルである緑色蛍光が観察されはじめ、照射後 6 時間の段階でも観察することが出来た(Fig.6)。つまり本実験条件では照射後 1 時間から 6 時間の間にアポトーシスが起りはじめると考えられる。

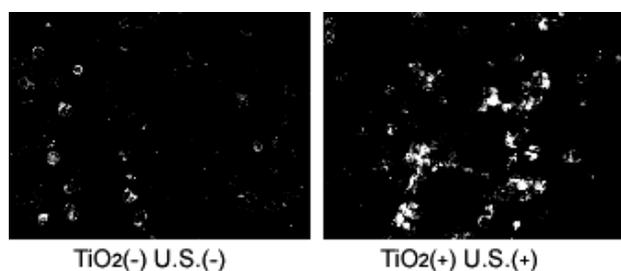


Fig.6 JC-1 staining of HepG2 at 6 h after U.S. irradiation.

核の凝集 細胞がアポトーシスを誘導するシグナルを分泌した後、細胞内では核内のクロマチンの凝集が起こる。クロマチンの凝集は不帰点と呼ばれる不逆

逆点の通過を意味し、最終的な実行機構である DNA 断片化などを経て食食され死滅していくと考えられる。そこで 4%パラホルムアルデヒドによって細胞を固定し、4,6-diamino-2phenylindole(DAPI)によって細胞核を染色し観察を行ったところ、超音波照射後 6 時間から核内のクロマチンの凝集が確認でき、その現象は 24 時間後にさらに顕著に観察できた(Fig.7)。

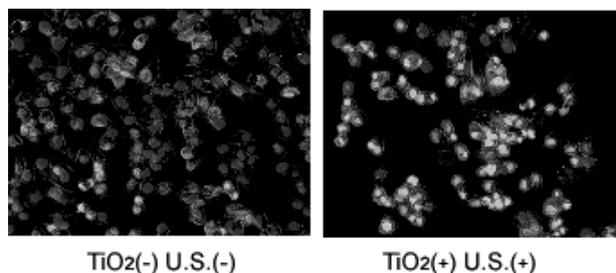


Fig.7 Nuclear condensation cells at 24 h after U.S. irradiation.

膜のリン脂質の局在変化 リン脂質の局在変化に伴い phosphatidylserine (PS)が細胞膜上に露出する。この PS は蛍光色素 Annexin V / FITC を使用することで検出することができる。また、アポトーシスが進行するにつれ膜の透過性が変化し、生細胞の膜は透過できない propidium iodide (PI)が透過できるようになる。Annexin V / FITC, PI を用いて二重染色を行った結果、超音波照射後 24 時間の段階でリン脂質の局在変化に伴う PS の細胞膜上への露出を検出することが出来た(Fig.8)。さらに PI によっても染色されたことから照射後 24 時間ではアポトーシス後期のステージであることが明らかとなった。

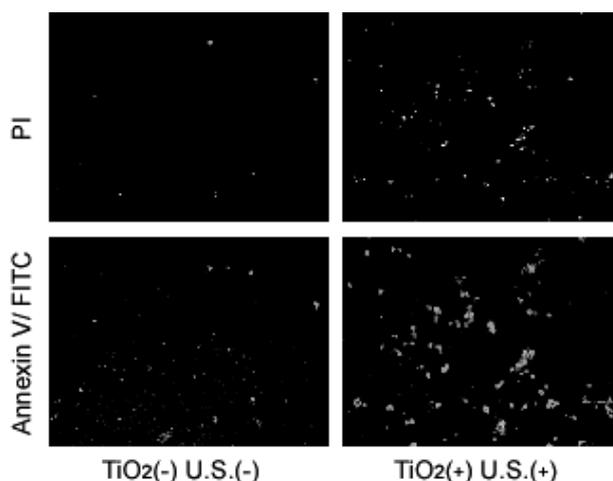


Fig.8 Fluorescence microscopy images stained with Annexin V / FITC and PI.

以上の結果から TiO_2 /U.S.法を適用した細胞群は、超音波照射後 24 時間までの間に様々なアポトーシスシグナルを観察することが出来た。つまり細胞はアポトーシスを誘導した結果、最終的に死に至ると考えられる。

4.3 担がんマウスを用いた抗腫瘍効果

TiO_2 /U.S.法による抗腫瘍効果の確認および最適な超音波照射条件の検討を行った。抗腫瘍効果を評価するにあたり、マウス個々の腫瘍体積の経時変化を指標とすることでマウスの個体差も考慮した実験結果を得ることが出来た。

まずはじめに TiO_2 / U.S.法による抗腫瘍効果を検討するため、1 MHz, 1 W/cm², 1 min, Duty 連続という条件で超音波照射を行った(Fig.9)。これまでの研究でマウス個体に対して 0.1% (w/v) の preS1/S2 固定化 TiO_2 粒子の毒性はなく、実験に対する影響はないということを確認している。そこでコントロール, TiO_2 (-) U.S. (+), TiO_2 (+) U.S. (+) という 3 つの条件で実験を行った。コントロールの系では、時間経過と共に腫瘍は大きくなり約 1 ヶ月後には実験開始時の 2~6 倍まで成長した。実験全体を通して、腫瘍体積比・体重比どちらにも言えるが、コントロールの系である程度腫瘍の成長速度にばらつきが見られることから、この程度のばらつきは個体差として扱えると考えられる。超音波照射のみを行った系では、コントロールの系と同様に腫瘍の成長が確認された。一方、 TiO_2 /U.S.法を適用した系では 6 匹中 4 匹のマウスにおいて腫瘍の成長が抑制された。つまり、超音波のみでは腫瘍の成長を抑制することは出来ないが、 TiO_2 /U.S.法を適用することにより抗腫瘍効果が現れると考えられる。

TiO_2 /U.S.法による抗腫瘍効果が確認されたので、最適な超音波照射条件の検討を行った。照射強度が 0.5 W/cm² の場合、コントロールの系と同様、腫瘍が成長し抗腫瘍効果を確認することは出来なかった。1 W/cm² の場合、4 匹中 3 匹のマウスにおいて腫瘍体積が半分程度まで縮小することを確認した。2 W/cm² の場合、マウスが実験途中で死亡もしくは衰弱し実験の続行が不可能となった。これは、 TiO_2 粒子と超音波を併用したことによる毒性が現れたのではなく、週に 3 回という高頻度かつ 2 W/cm², 1 min という超音波照射条件がマウスにとって非常に強力であったため足を損傷し衰弱したと考えられる。以上の結果から、照射強度 1 W/cm² がマウスに対してストレスもなく腫瘍の成長抑制を可能にする最適な照射強度であると考えられる。さらに

照射時間について検討を行った。照射強度 1 W/cm² の条件下で照射時間を 30 sec に短縮して照射を行ったところ 3 匹中 2 匹のマウスにおいて腫瘍の成長が抑制された。しかし照射時間 30 sec という条件では実験のサンプル数が少ないため抗腫瘍効果があるとは言いきれない。つまり現段階では 1 MHz, 1 W/cm², 1 min, Duty 連続が最適な超音波照射条件であり、最も有意に抗腫瘍効果を示すと考えられる。本実験系では腫瘍の成長を抑制することはできたが、腫瘍細胞を完全に死滅させることはできないため、継続して処置する必要があると考えられる。

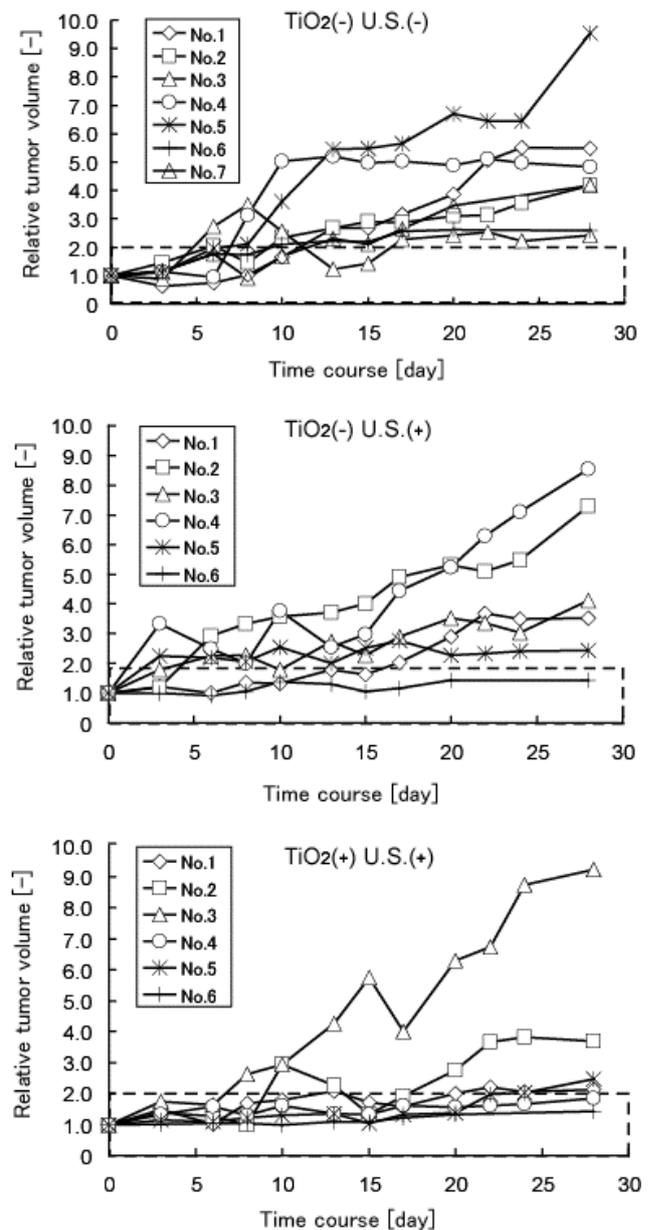


Fig.9 Anti-tumor effect of TiO_2 / U.S. method.
Condition of U.S. irradiation : 1 W/cm², 1 min

5. 結言

本研究によって、以下の結論が得られた。

1. 照射強度 0.1 W/cm^2 、照射時間 30 秒で $\text{TiO}_2/\text{U.S.}$ 法を適用した場合、細胞増殖抑制を確認することができ、その効果は照射後 24 時間から時間の経過とともに増大する。
2. 細胞の形態変化を観察したところ、 $\text{TiO}_2/\text{U.S.}$ 法を適用した細胞群では HepG2 が接着能を失い培養液中に浮遊する様子が観察することができた。
3. ミトコンドリア膜電位の低下、核の凝集、膜のリン脂質の局在変化の解析により、 $\text{TiO}_2/\text{U.S.}$ 法適用時に見られる細胞損傷機構はアポトーシス誘導に起因する。
4. 超音波照射のみでは腫瘍の成長を抑制することはできないが、 $\text{TiO}_2/\text{U.S.}$ 法を適用することで抗腫瘍効果が現れる。
5. 週 3 回の頻度で超音波照射を行う場合、照射強度 1 W/cm^2 、照射時間 1 min が最適な照射条件である。

In vivo の実験ではマウスの個体差による影響が大きいため、抗腫瘍効果を確認するにはさらに試行回数を増やす必要がある。今後は体内動態の評価として、尾静脈から TiO_2 ナノ粒子を投与し肝細胞認識能などを詳しく調べる必要がある。

Literature cited

1. S. D. Terzakis, M.S. Fountoulakis, D. Mantzavinos, T. Manios, *Ultrason. Sonochem.* (2009) 629-634.
2. J. O. Larkin, G. D. Casey, M. Tangney, J. Cashman, C. G. Collins. *Ultrasound Med. Biol* 34 (2008) 406-413

誘導加温法における磁束収束効果を応用した 磁束密度の局所分布制御の研究

藤井邦明 山田外史 池畑芳雄
環日本海域環境研究センター生体機能計測研究部門

Magnetic Field Distribution Control on Induction Heating Type Hyperthermia Therapy by Using Flux Concentration Effect K. Fujii, S. Yamada, Y. Ikehata

1. はじめに

がん治療の一種に、磁性微粒子を発熱体として用いる誘導加温ハイパーサーミアという治療法が研究されている⁽¹⁾。磁性微粒子を用いた誘導加温法は深部局所加温に適しているが、さらに加温効率を上げるには、励磁周波数や磁束密度を高くするなどの改良を行う必要がある。しかし、現状の誘導加温装置では、体表面における発熱等の負担を軽減するために励磁条件が限られている。

本報告では現状の誘導加温法における励磁条件の問題点の改善法として磁束収束効果⁽²⁾に着目した。磁束収束効果とは渦電流制御による磁束密度の局所分布制御作用である。図1に示すような穴付導体板にスリットを設けることにより、渦電流の流れがスリットにより阻害され、外環を流れるはずであった渦電流はホールに沿って内環を流れるようになる。内環へと流れを変えた渦電流は、ホール内へ励磁磁束を誘導し、ホール内に磁束密度を収束させ増強する。一方、外環を流れる渦電流は、励磁磁界を打ち消し、板下部における磁束密度を減少させる。この磁束密度の増強、抑制の2つの作用を総合して磁束収束効果と呼ぶ。

本報告では、磁束収束効果を応用することにより、磁性微粒子を含む目標部位に励磁磁束を集中させることによる局所加温を提案する。その評価手法として、誘導加温モデルを用いた励磁磁束の分布制御を行い、磁束密度の増加、抑制効果について評価を行ったので報告する。

2. 磁束収束形誘導加温法の原理と評価モデル

2.1 励磁コイルによる電界の影響

誘導加温法に用いるアプリケーションとしての励磁コイルの端子間には、約4000 Vの高電圧が印加されている。そのため、コイル端子間には強電界が生じる。周波数が100 kHz~10 MHzまで増加するにつれて、高強度の電磁界の曝露により、生体は発熱する。誘導加温法では、体表面において、誘電体損失などの意図しない発熱などの影響が懸念されている。

誘導加温法では体表面に生ずる電界の影響を軽減するため、体と励磁コイルの間に、ある程度間隔を設けなければならない現状にある。

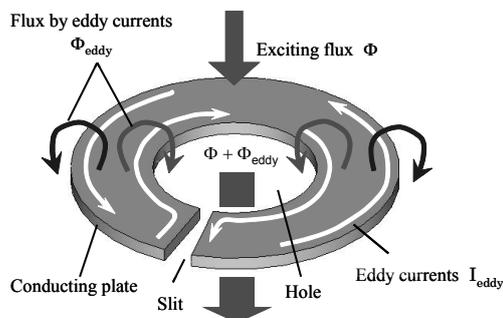


図1 磁束収束効果の原理図

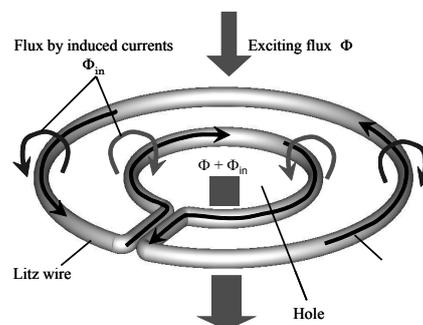


図2 リッツ線を用いた磁束収束用コイル

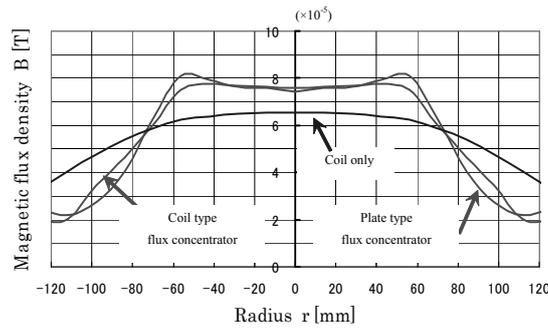


図3 磁束収束板と磁束収束用コイルの磁束密度分布の比較

2.2 磁束収束用コイル

測定には、図1に示す磁束収束板ではなく、図2に示すリッツ線を用いた磁束収束用コイルを用いる。磁束収束用コイルでは、励磁磁束によって渦電流ではなく誘導電流が発生する。この誘導電流の向きをリッツ線の配線によって変えることができ、外環から内環へと変えることによって磁束収束効果を得ている。

リッツ線は表皮効果を低減させるために用いられる導線である。リッツ線を磁束収束用コイルの構成材として用いることにより、冷却が容易となり、磁束収束板と比較して発熱が低減されると考えられる。

磁束収束板と磁束収束用コイルについて磁束収束効果による分布制御作用の比較を行った。その結果は図3に示すように、磁束密度の抑制効果が若干減少したが磁束密度分布はほぼ同様であった。従って、磁束収束用コイルを用いても磁束収束板とほぼ同様の磁束収束効果を得られることが確認された。

2.3 磁束収束形アプリケーション

図4に励磁コイルと体の間に磁束収束コイルを挿入した誘導加熱法における磁束収束形アプリケーションを示す。磁束収束用コイルは、外部電源が不要な短絡コイルであるため、移動に制限はない。そのため、磁束収束効果による磁界の照射範囲の移動が容易である。励磁コイルは体表面に密着させることは困難であるが、磁束収束コイルは短絡コイルなので、電界が発生せずに励磁コイルから生じる電界に対してシールドとしての役割も果たすため、体表面に密着させることが可能である。

2.4 誘導加熱モデル

磁束密度の分布制御を行うにあたって誘導加熱モデルを製作した。図5に製作した誘導加熱モデルの構成図を示す。誘導加熱モデルは、励磁コイルモデル、磁束収束用コイル、3軸サーチコイルによって構成されている。測定は、磁束収束用コイル直下を基準面とし、3軸サーチコイルを移動することにより、磁束収束用コイル近傍および遠方の磁束密度分布を測定し磁束密度の増強、抑制効果を評価する。

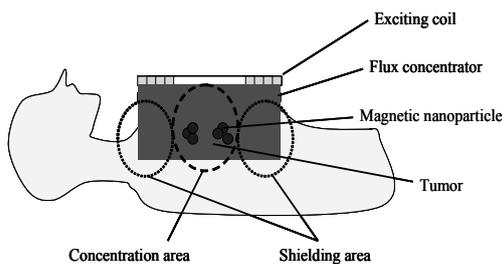


図4 磁束収束形アプリケーション

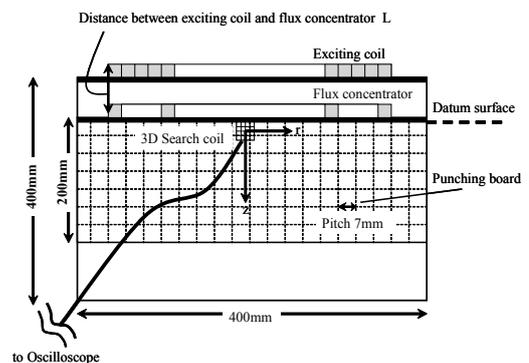


図5 誘導加熱モデルの構成図

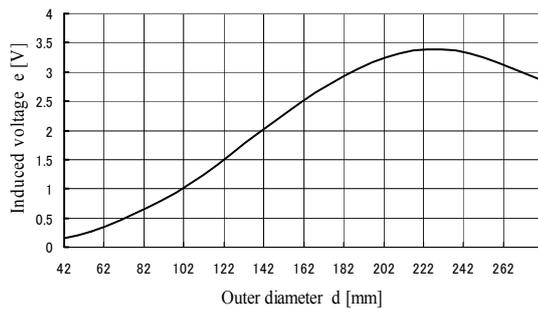


図 6 磁束収束用コイルの外径と誘起電圧の関

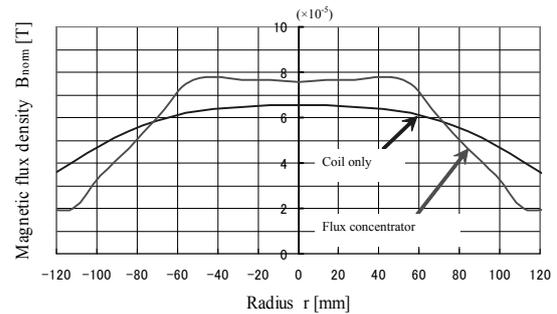


図 7 磁束収束用コイル近傍の磁束密度分布

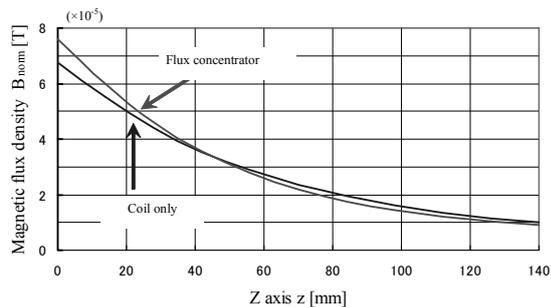


図 8 磁束収束用コイル遠方の磁束密度分

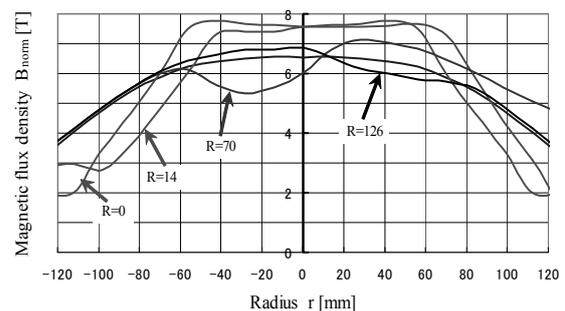


図 9 磁束密度の増強領域の移動範囲

3. 磁束収束効果による磁束密度の局所分布制御の評価

3.1 磁束収束用コイルの最適外径の選定

磁束収束用コイルにおいて、鎖交磁束数が最も多く、磁束収束効果が最大となる外環部の径を設定するために、磁束収束用コイルの外径と誘起電圧の関係について検討を行った。結果を図6に示す。誘起電圧が最大となる磁束収束コイルの外径は240 mm近傍であった。この径は励磁コイルの外径とほぼ等しい。鎖交磁束数が最も多くなる磁束収束コイルの外径は励磁コイルの外径と等しい240 mmであることが分かった。

3.2 磁束密度の局所分布制御の評価

3.2.1 磁束収束用コイル近傍および遠方における磁束密度の増減効果

外径240 mm、内径120 mmの磁束収束用コイルを用いて磁束密度の局所分布制御を行い、磁束収束用コイル近傍および遠方における磁束密度の増強および抑制効果の評価を行った。磁束収束用コイル近傍の磁束密度分布を図7に、遠方の磁束密度分布を図8に示す。磁束収束用コイル近傍においては、磁束収束用コイルの内径120 mmの領域において約14 %の磁束密度の増強効果が確認できた。一方、内環部と外環部との領域において最大40%の磁束密度の抑制効果が確認できた。また、磁束収束用コイル遠方においては、基準面から約40 mmの磁束収束用コイル近傍に磁束密度の増強が留まった。

3.2.2 磁束密度の増強領域の移動範囲

磁束収束用コイルが磁束収束効果を維持しつつ、移動できる範囲Rについての評価を行った。結果を図9に示す。R = 126 mmの場合において磁束収束効果が完全に失われていることが確認できる。この結果より磁束収束用コイルの移動の限界は励磁コイルの内半径と磁束収束用コイルの内半径の和で得られることが確認できた。

しかし、磁束密度の高い部位を維持しつつ移動できる範囲は数10 mmである。

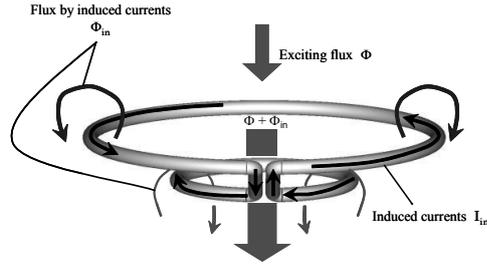


図 10 階層形磁束収束用コイル

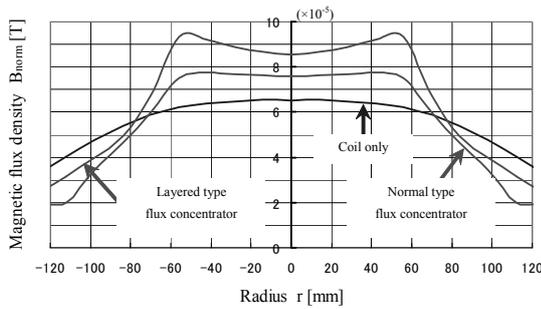


図 11 階層形磁束収束用コイル近傍における磁束密度分布

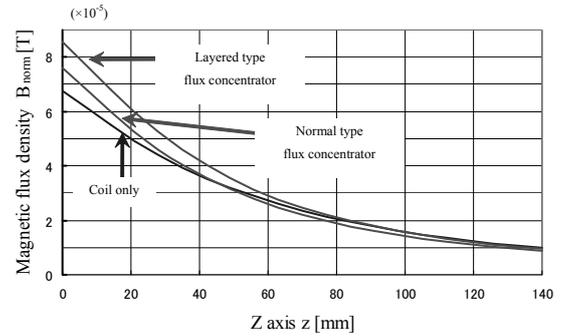


図 12 階層形磁束収束用コイル遠方における磁束密度分布

3.3 階層形磁束収束用コイルによる磁束密度の増強

図10に示すように磁束収束用コイルの内環と外環を階層状に構成することにより、磁束収束効果を増加させる階層形磁束収束用コイルを製作し、近傍および遠方における磁束収束効果を評価した。階層形磁束収束用コイル近傍の磁束密度分布を図11、遠方の磁束密度分布を図12に示す。階層形磁束収束用コイル近傍においては通常形と比較して増強効果が14%増加した。一方、抑制効果は60%減少した。遠方においては、基準面から2倍の80 mmまで増強領域が拡大することが確認できた。また、階層形磁束収束用コイルは、近傍における抑制効果は減少するものの、遠方における増強距離の拡大に対して有効に働くことが確認できた。

4. 結論

誘導加温法において、磁束収束効果を用いた磁束密度の分布制御を行い、磁束密度の増強および抑制効果の評価を行った。磁束収束用コイルによる磁束密度の増強および抑制効果は、磁束収束用コイル近傍において有効に働くことが示された。磁束収束用コイルは、数10mm程度の距離ならば磁束収束効果を維持しつつ移動できることが分かった。この結果より、磁界照射範囲の微調整に対して磁束収束コイルが有用であることが示された。

磁束収束用コイルの内環と外環を階層状に構成した階層形磁束収束用コイルを用いることによって、通常形磁束収束用コイルと比較して、遠方における磁束密度の増強効果が増加することが確認された。階層形磁束収束用コイルは、磁束収束用コイル遠方における磁束密度の増強領域を拡大する手法の一つとして有用性が認められた。

文献

- (1) I.Nagano,et.al.: Development of a portable cancer treatment system using induction heating--- A new weapon for killing the cancer---, 2nd Kanazawa Workshop, WAVE11-P15 (2006).
- (2) 別所, 他: 渦電流制御に基づく磁束収束型電磁ポンプとその改良, 日本磁気応用学会誌, 16, 351, 354 (1992).

永久磁石配置を考慮した磁気式限流器の製作と磁界数値解析による動作解析

北澤瑞喜 山田外史 池畑芳雄

環日本海域環境研究センター生体機能計測研究部門

Magnetic Fault Current Limiter with a Noble Magnet Arrangement and Its Operating Analysis

M.Kitazawa S.Yamada Y.Ikehara

1. はじめに

電力需要の押し上げ要因には根強いものがあり、今後も拡大傾向が予想される。また、高度情報化に伴い、情報機器の常時運用も常態化している。加えて、近年太陽光発電に代表される分散型電源が積極的に導入されるなど電源の多様化が進行しており、電力系統が複雑化しますます難しい系統運用に迫られている。この様な中にあり、電力系統の安定運用は、現用系統の保全を含め、今後も現状以上の堅持が求められており、これに応える方策の一つとして、事故発生時に故障電流を瞬時に抑制し系統を保護する目的で、故障電流抑制用限流器（FCL：Fault Current Limiter）の開発・研究が行われている¹⁾。

その一手法として、低圧配電系統向けに永久磁石を磁心に挿入した複合型磁心と巻線で構成される完全受動型の磁気式限流器が検討されている²⁾。これまで限流特性の向上のために磁心やうず電流損失が大ききことが報告されている³⁾。本稿では永久磁石配置の変更による限流性能の改善について検討したので報告する。

2. 磁気式限流器の動作原理と直流偏磁点

電源電圧100 V、線路電流10 Aで限流を開始する低圧配電系統向けの2 kVA級の完全受動形磁気式限流器を目指している。限流器は、図1に示すように系統内に直列に挿入し、図2に示す限流性能を実現する。すなわち、通常時には電圧降下はできるだけ小さく、系統内で短絡故障時($I_{fcl} > I_{Line}$)には大きな負荷となり、故障電流を瞬時に抑制する。磁気式限流器の構成は、図3に示す磁心中央脚に永久磁石を挿入し、左右脚に飽和特性を示す磁心に巻線を巻いた構造である。十分に限流作用を得るには、永久磁石により両脚磁心の磁束密度を十分に飽和領域まで高くする必要がある。また、永久磁石内に流れるうず電流の影響を小さくするために中央脚上部の磁束密度を大きくし中央脚への交流磁束の流入を抑制する必要がある。

この複合型磁心の動作点図4のように永久磁石の磁気特性（線形近似：実線）と磁心の全体的な磁気特性（折れ線近似：破線）の交点となるが、磁気式限流器は巻線が巻かれている左右脚で動作するので、限流器の動作点は図4で示される左右脚の磁気特性（折れ線近似：点線）上のP点（直流偏磁点）となる。然るに、装置はこの直流偏磁点Pを中心に動作することから、P点が磁

気式限流器の設計に強く影響する³⁾。また、図4中の $\Delta\phi$ は限流器として利用可能な磁束の振れ幅を示し、最大限流器電圧 V_{fclm} との間で次式が得られる。

$$V_{fclm} = N\omega\Delta\phi \quad (1)$$

N は巻数、 ω は角周波数である。また、 ΔU は限流器として動作し始める起磁力の振れ幅を示し、限流器を含む回路の回路電流 I_{linek} との間で次式が成り立つ。

$$NI_{linek} = \Delta U \quad (2)$$

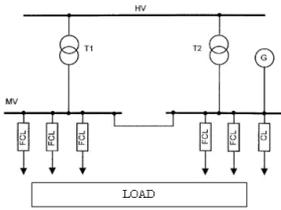


図1 限流器挿入例

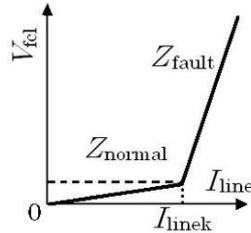


図2 実現されるべき限流器特性

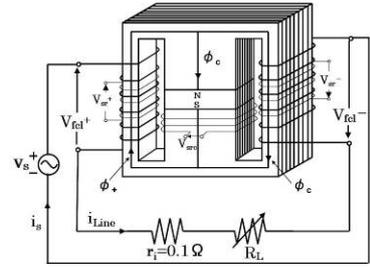


図3 限流器の構造と測定回路

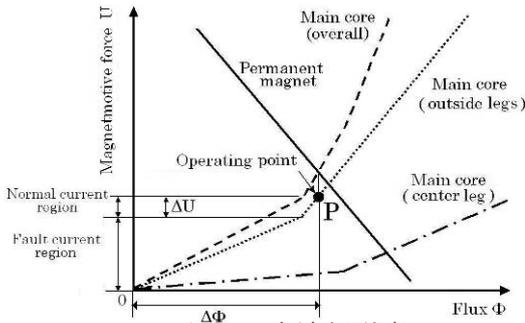


図4 直流偏磁点

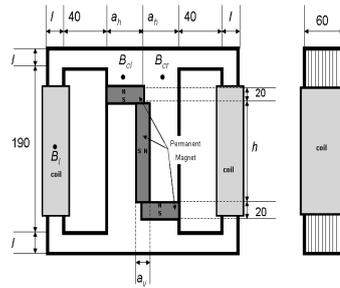


図5 磁心寸法

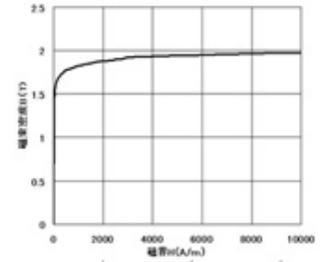


図6 磁心飽和特性

すなわち、永久磁石によって深い位置まで偏磁することにより限流性能が向上する。そこで、永久磁石の配置を変更して中央脚全体の起磁力を大きくすることを考える。図5に示すように中央脚に挿入する永久磁石をS字形に配置し、図6に示す磁心磁気特性と永久磁石で図5に示すように磁心と永久磁石の寸法 (a_v, a_h, l, h) を変化させ各部の磁束密度 (B_l, B_{cr}, B_{cl}, B_r) を有限要素法によって解析した。永久磁石の厚みを $a=20$ mm とすると、

$$\alpha = \frac{a_h}{a} \geq 25, \beta = \frac{a_v}{a} \leq 1, \delta = \frac{l}{a} \leq 1.5 \quad (3)$$

となる。(3) 式の条件を満たす図7の寸法比について磁束密度分布を解析した結果を図8に示す。図8から、両脚は十分に飽和しており、中央脚上部の磁束密度も高くなっている。S字形に永久磁石を配置することにより永久磁石と鉄心の接する面積が大きくなり、より高い起磁力が生じている。

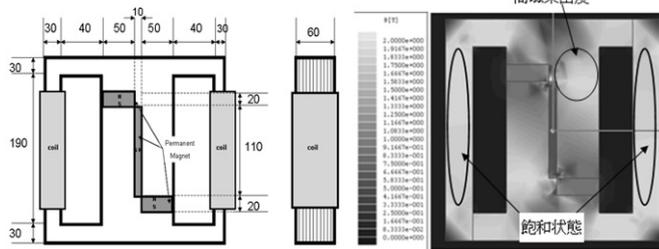


図7 製作した限流器

図8 磁束密度分布

3. 磁気式限流器の製作と特性

3.1 磁気式限流器の製作

低圧配電系統向け電源電圧100 V、回路電流10 A程度で限流を開始する磁気式限流器製作した。磁心にはケイ素鋼板(協電製作所: 30ZH-100)を用いて、永久磁石にはネオジム磁石を用いた。構造および寸法を図7に示し、構成図を図9に示す。巻線には各脚150回巻いた。

3.2 定常動作波形, 限流特性, 限流率特性

初めに, 試作した限流器が動作解析通りに動作しているかを確認する。実験は図10の測定回路において $V_s=100\text{ V}$, $f=60\text{ Hz}$ として負荷抵抗 R_L を変化させておこなった。通常動作時と限流動作時の各部動作波形を図11, 12に示す。通常動作時には限流器の有無にかかわらず電流の値はほとんど等しく, 限流器電圧も小さい。しかし, 限流動作時には電源電圧のほとんどが限流器電圧となっており限流器によって電圧を負担し電流を抑制している。次に, 限流器の限流性能を限流特性と(3)式により定義する限流率 λ すなわち

$$\lambda = I_{\text{nonfcl}} / I_{\text{withfcl}} \quad (4)$$

の2つの特性で限流器を評価する。ここで, I_{nonfcl} :限流器なしの場合の回路電流, I_{withfcl} :限流器ありの場合の回路電流である。限流特性と限流率特性は図13に示す。図13の限流特性は, 図2のように十分な折れ線特性にはなっていないが, 約25 A付近から急激に大きな負荷へシフトしていることがわかる。また, 限流率 λ は限流特性の折れ点付近から上昇し, 25 A付近で λ が5.5 近くまで達していることから, 限流器を挿入することで電流を抑制していることが確認できる。図13の限流特性で十分な限流性能が得られていない理由は可変インダクタンス方式の限流器であるため, 限流開始電流を超えても急に限流器電圧が大きくなるのでシャープな特性が現れにくいことが考えられる。

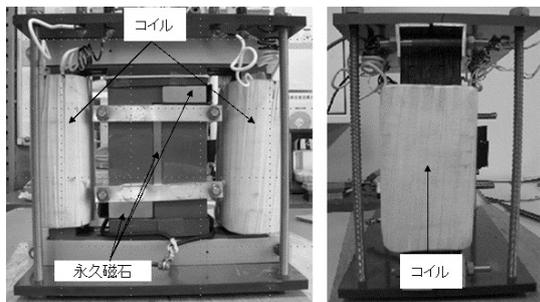


図9 磁気式限流器構成図

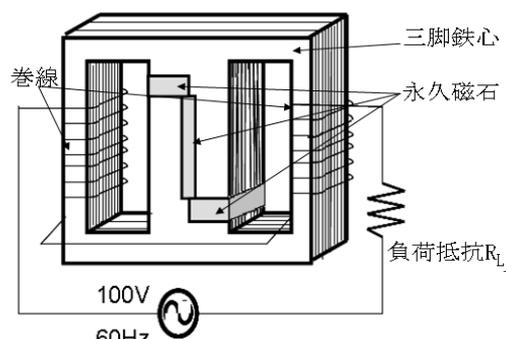


図10 磁気式限流器実験回路

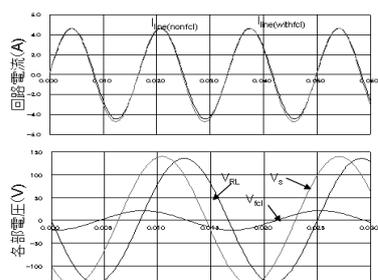


図11 通常動作時の各部時間波形

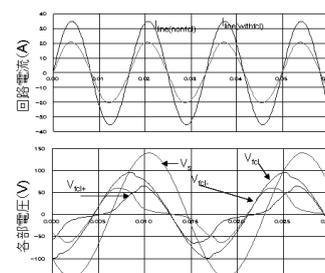


図12 限流動作時各部動作波形

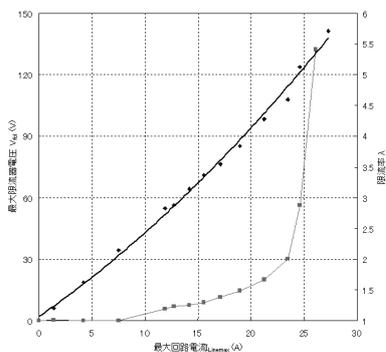


図13 限流器,限流率特性

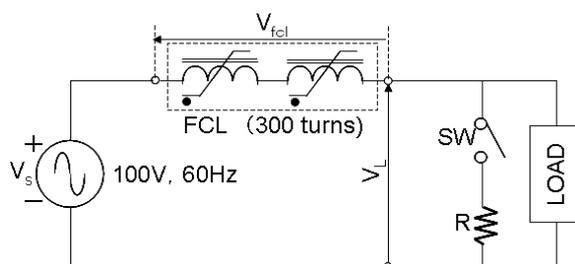
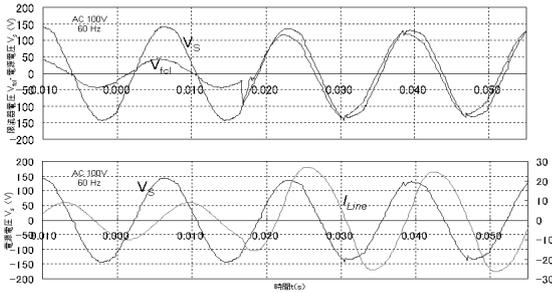
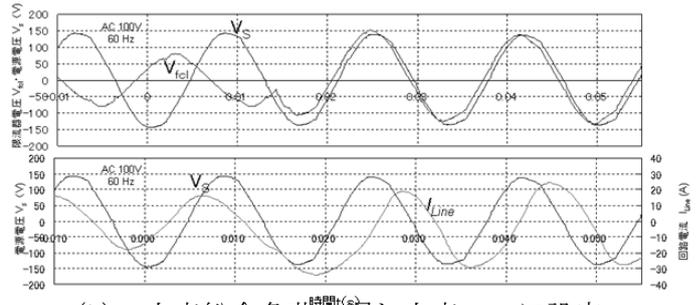


図14 検討実験回路

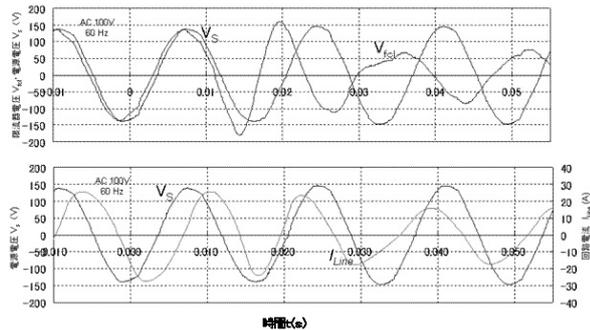


(a) 力率総合負荷を進み力率 0.2 に設定

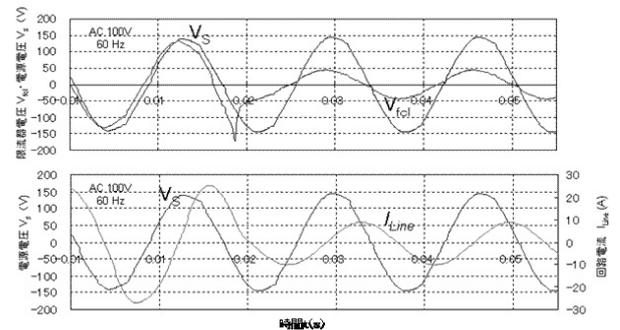


(b) 力率総合負荷を遅れ力率 0.2 に設定

図 15 限流器電圧・回路電流瞬時応答波形 (通常動作から限流動作)



(a) 力率総合負荷を進み力率 0.2 に設定



(b) 力率総合負荷を遅れ力率 0.2 に設定

図 16 限流器電圧・回路電流瞬時応答波形 (事故発生時：スイッチ開放)

4. 磁気式限流器の瞬時負荷特性

4.1 磁気式限流器の瞬時動作波形

磁気式限流器の重要な限流性能の一つとして事故が発生し事故電流が流れたときに瞬時に応答し、限流器電圧が大きくなり電流が安全電流にまで抑制し故障回復後は速やかに通常状態に戻らなくてはならない。磁気式限流器の過渡応答特性を検討するためにモーターなどのあらゆる負荷を想定して力率総合負荷を挿入した図14の実験回路を用いた。

力率を変化させたときの瞬時応答波形を力率の値を進み・遅れ共に0.2のときの事故発生・回復後の瞬時動作波形を図15, 16に示す。位相が変化しても事故発生・回復に対して限流器電圧は数ms以内にほとんどを負担し、回路電流を抑制している。しかし、スイッチが投入時の負荷の力率と電源電圧の位相の変化によって過渡状態から定常状態へ移行するまでに要する時間に負荷の種類によって時定数が変化するため瞬時に定常状態に戻らない。

4.2 磁気式限流器の過渡電圧・電流位相特性

事故発生・回復時(スイッチ投入・開放時)、過渡動作から定常動作へ移行するために要する時間についてスイッチ投入時の電源電圧の位相と定常状態までに要する時間について検討した。代表的な力率として進み・遅れともに力率0.2 に設定したときの結果を図17に示す。事故発生・回復後ともに進み・遅れ力率ともに定常状態までに長くとも電源電圧の2周期程度で通常状態に復帰できる。

事故発生, 事故回復時(スイッチ投入, 開放時)の電源電圧の位相が 90° のときの力率総合負荷の位相による定常状態までに要する時間の位相特性について図18に示す。まず図18(a)から限流器が通常動作から限流動作へ移行するとき負荷の位相変化によって最大でも約20 msであり、電源電圧の1周期程度で限流動作へ移行できる。また図18(b)を見ると通常動作へ移行するときは誘導性負荷, 容量性負荷に

よって大きく定常状態になるまでの時間に違いがあるが、スイッチが投入される時の電源電圧の位相がどの値であっても定常状態になるまでに最大でも36 ms程度であることから電源電圧の二周期程度で通常動作へ復帰できる。

磁気式限流器はどのような負荷であっても事故が発生し事故電流が流れると電源電圧の70 %程度を素早く負担し回路電流を約30 A程度まで抑制し、1周期程度で定常状態になり、事故復旧後は最大でも電源電圧の2周期程度で通常状態へ移行できる。

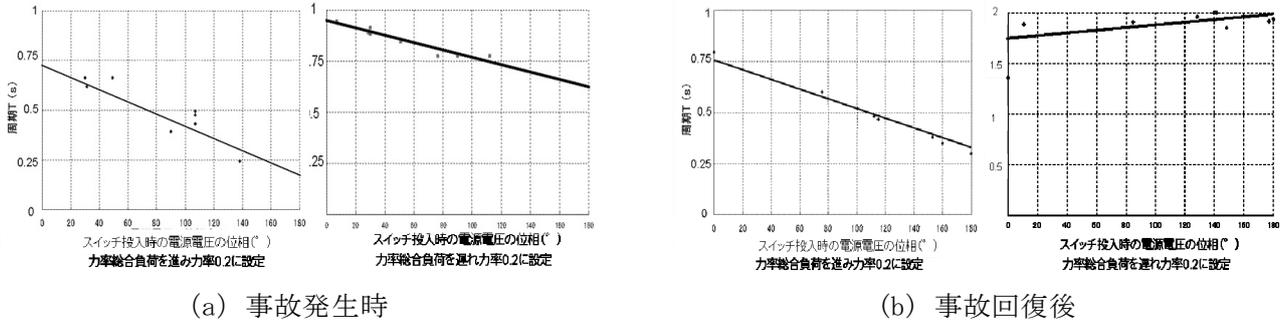


図17 過渡応答時間電源電圧位相特性

5. まとめ

磁気式限流器の限流性能の向上を目指し、永久磁石配置を変更し起磁力の増強について有限要素法を用いて検討した。その結果、既存の永久磁石を用いて装置外形を変化させずに起磁力増強のために適した永久磁石配置が明らかとなり、最適な寸法条件を導出できた。

その最適な寸法条件を考慮した磁気式限流器を製作し、定常・過渡状態について検討した。その結果、通常動作時は限流器電圧は小さく、回路電流はほとんど抑制されないが、限流動作時は電源電圧のほとんどを瞬時に負担し、大きな故障電流を約30A付近まで抑制できることが分かった。

限流器特性・限流率特性から約25 A付近から限流動作を開始し負荷が限流器の負荷が大きくなった。磁気式限流限流率特性から約25A付近から限流動作を開始し負荷が限流器の負荷が大きくなった。また、磁気式限流器の過渡応答動作について検討したところ、誘導性・容量性負荷などの位相を変化させるようなあらゆる負荷が挿入されても、事故発生時には瞬時に限流器電圧が大きくなり、回路電流を抑制し、最大でも電源電圧の2周期以内に過渡状態から定常状態へ自動的に復帰できることが明らかとなった。

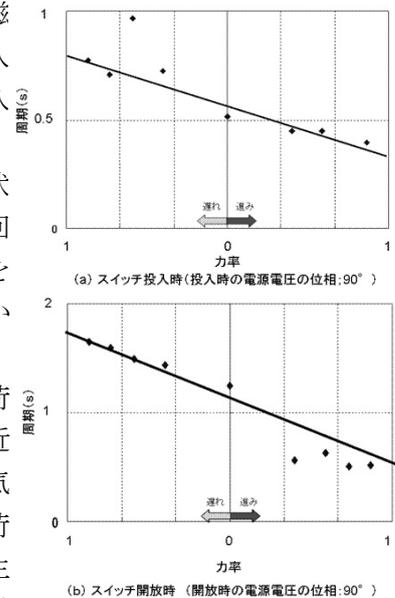


図 18 過渡応答時間負荷位相特性

文献

- 1) H. Shimizu: Current State and Trends of Fault Current Limiting Technology, *IEEJ Trans. Power and Energy*, No.125 (2005)
- 2) H. Nakamichi, K. Yotsutsuji, S. Yamada, M. Iwahara: Numerical Analysis of the Core Dimensions of a Magnetic Fault Current Limiter Assuming a Practical Design and Trial Production, *Journal of MSJ*, Vol.30, No.2, pp. 282-285(2006)
- 3) K. Yotsutsuji, M. Kitazawa, S. Yamada, M. Iwahara: “Loss Consideration of Magnetic Fault Current Limiter”, *Asia-Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics 2008(APSAEM2008)*, (2008)

Low-Invasive Detection of Magnetic Particles inside Human Body

Sotoshi Yamada, Chinthaka. P. Gooneratne, Makiko Kakikawa
Institute of Nature and Environmental Engineering, Kanazawa University

ABSTRACT

Due to its biocompatibility, magnetic fluid or nanoparticles have been used inside the body to deliver medicines or to act as self heating agents to kill cancerous tumors. The estimation of magnetic fluid inside tumors is critical in hyperthermia therapy. We propose a unique GMR needle probe fabricated for the purpose of confirming the presence and location, and estimating low-concentration magnetic fluid inside the body, in a minimally-invasive way. Theoretical analysis is presented for detecting and estimating magnetic fluid weight density *in vivo*. Experiments are performed initially to detect magnetic fluid in trays with embedded cavities followed by detecting and estimating magnetic fluid inside agar cavities simulating various-size tumor by the GMR needle probe. A methodology and experimental results are also presented for analyzing magnetic fluid distribution in cavities. The results show that the GMR needle probe sensor has a high potential to be used in clinical applications such as hyperthermia therapy, a kind of cancer treatment.

INTRODUCTION

Magnetic fluid based hyperthermia has the potential to be an effective, non-invasive cancer therapy with negligible side effects¹. Magnetic fluid is injected into the affected area and an external ac magnetic flux density is added to exploit the self heating properties of the particles. Temperatures in excess of 42 °C destroy tumors (apoptosis). Currently one of the main problems associated with magnetic fluid hyperthermia is that the magnetic fluid spreads inside tissue after injected, reducing its content density. Specific heat capacity is directly proportional to magnetic fluid content density. Inaccurate estimation of magnetic fluid content density gives thermal under-dosage in the target region which often leads to recurrent tumor growth. Hence, it can be stated that the quality of magnetic fluid hyperthermia treatment is proportional to the accuracy of estimating magnetic fluid content density *in vivo*². The purpose of this research is to develop a method and appropriate tools to estimate magnetic fluid content density *in vivo*. The key feature of this research is the fabricated novel giant magnetoresistance (GMR) needle probe. The GMR needle probe is designed in such a way so that it can be inserted *in vivo* in a minimally-invasive way to detect and estimate magnetic fluid content density.

NEEDLE-TYPE GMR PROBE AND METHOD OF ESTIMATING MAGNETIC WEIGHT DENSITY

Giant Magnetoresistance Needle Probe

The fabricated GMR needle probe as shown in Fig. 1 is unique in the sense that it can be applied inside the body in a low-invasive way. The needle is fabricated from a compound of Aluminium Oxide and Titanium Carbide ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$) and has a diameter of 250 μm and length of 20 mm, where 15 mm is available to be inserted inside the body. The novel idea of the GMR needle probe is the GMR sensing area ($75 \mu\text{m} \times 9 \mu\text{m} \times 4$ elements) present at the tip of the needle³. The Wheatstone bridge structure design of the GMR needle probe allows it to measure the magnetic flux density inside and outside a magnetic fluid filled tumor simultaneously, since one GMR sensor is at the tip (which is inserted into magnetic fluid) and the other three sensors further up near the connecting pads (which is exposed to the applied flux density). These distinctive characteristics allow the potential use of the needle sensor in a variety of clinical applications. The small signal characteristics of the GMR needle probe at 100 Hz are shown in Fig. 2. The sensitivity of the sensor is approximately 13 $\mu\text{V}/\mu\text{T}$.

Method of Estimating Magnetic Fluid Weight Density inside Body

Relationship Between Relative Permeability and Weight Density of Magnetic Fluid

The magnetic nano-particles are assumed to be uniformly distributed in the fluid and cylindrical in shape, where the height equals the diameter. Furthermore, the respective relative permeabilities of nano-particles and liquid are assumed to be infinite and one. The permeance of an equivalent magnetic path through magnetic nano-particles and air is estimated and hence, used to obtain the equivalent permeance of a unit volume. The relative permeability is then derived from the equivalent permeance of a unit volume. Considering magnetic fluid as a bulk, the relative permeability μ^* , is, ⁴

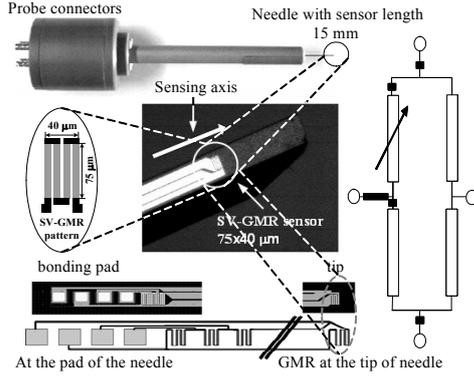


Figure 1: Fabricated GMR sensor.

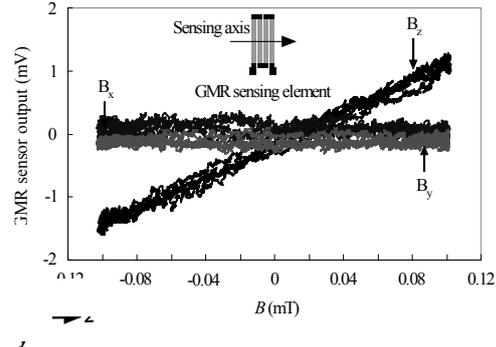


Figure 2: Small signal ac characteristics at 100

$$\mu^* = 1 + 4D_v \approx 1 + 4D_w / \gamma_f \quad (D_w \ll 1) \quad (1)$$

where $\gamma_f = 4.58$ (W-35 sample – Taiho company) is the specific gravity. The magnetic fluid volume density, D_v , is a volume ratio of ferrite particles, while the weight density is the amount of ferrite particles in 1 milliliter water (gFe/ml). Eq. (1) shows that the relative permeability is proportional to D_v and D_w but independent of shape or size of magnetic nano-particles.

It can be seen from the electron microscopy image in Fig. 3 that magnetic nano-particles have a cluster structure. It was then assumed that it is also uniformly distributed as shown in the spherical cluster of the model. Since there is space between the particles, the space factor of spherical magnetite was considered. Equation (1) is then written as,

$$\mu^* = 1 + 4D_w / \gamma'_f \quad (2)$$

where $\gamma'_f = h_s \gamma_f$ (space factor of spherical magnetite, $h_s = 0.523$). In Fig. 3, the calculated results were obtained by

Eq. (2) while the experimental results were obtained by measuring the relative permeability of various magnetic fluid weight densities using a vibrating sample magnetometer (VSM). It can be seen from the results that the relative permeability is linearly proportional to the magnetic fluid weight density.

Weight Density Estimation by Measuring Magnetic Fields inside and outside a Magnetic fluid Filled Body

Figure 4 shows a uniform magnetic flux density B_0 , applied to a tumor that is injected with magnetic fluid. Magnetic flux lines will converge at the fluid filled tumor and the magnetic flux density at the center of the tumor B_1 , can be expressed as

$$B_1 = \mu^* B_0 / \{1 + N(\mu^* - 1)\} \quad (3)$$

where N is the demagnetizing factor of the cavity. By substituting Eq. (2) into Eq. (3), the difference between magnetic flux density inside the magnetic fluid filled tumor (B_1) and applied magnetic flux density (B_0) can be expressed as [3]

$$\begin{aligned} \delta &= (B_1 - B_0) / B_0 = (\mu^* - 1)(1 - N) / \mu^* \approx (\mu^* - 1)(1 - N) \quad (\mu^* \approx > 1) \\ &= 4(1 - N)D_w / \gamma'_f \end{aligned} \quad (4)$$

Equation (4) shows that the magnetic fluid weight density can be effectively calculated from the difference of B_1 and B_0 . While the change ratio of B_1 and B_0 is directly proportional to the magnetic fluid weight density, it must be noted that the shape of the tumor has an effect and thus influences differential magnetic flux density.

Evaluation of Error due to Variational Shape of Magnetic Fluid Filled Area

Magnetic nano-particles are considered to be uniformly distributed in a spherical or ellipsoidal cavity. However, when magnetic fluid is injected into the tumor during the medical procedure, fluid may be concentrated near the injected part. Thus, the exact shape and the size of the area are difficult to predict and the density is not uniform. Therefore, the relationship between the shape of the cavity and the accuracy of the estimated value should be considered.

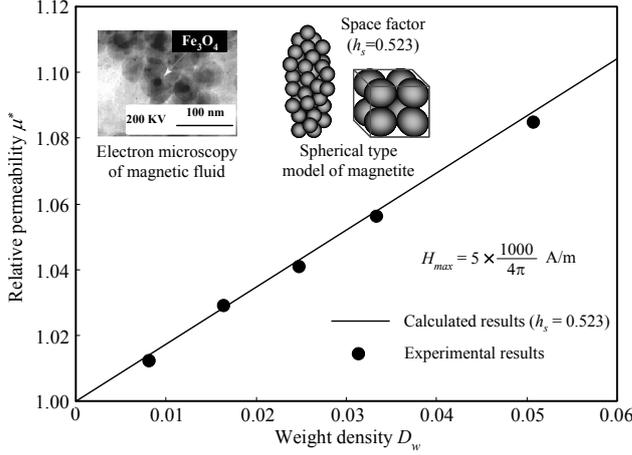


Figure 3: Relative permeability as a function of weight density ($H_0 = 100$ A/m), assuming space factor h_s , of 0.523

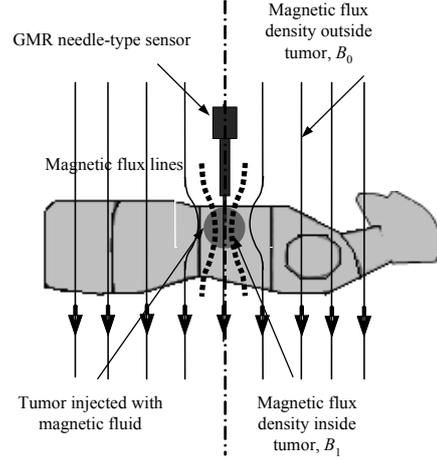


Figure 4: Magnetic fluid filled tumor under a uniform magnetic flux density.

It is assumed that the density of magnetic fluid is uniform with the shape of magnetic fluid filled cavity. Consider the errors of N and D_v as follows:

$$D_v = \langle D_v \rangle + \Delta D_v, \quad N = \langle N \rangle + \Delta N \quad (5)$$

where $\langle D_v \rangle$, $\langle N \rangle$ are the expected mean values, and ΔD_v and ΔN are errors. Given that the tumor has a spherical structure ($N = 1/3$) we assume the injected area can vary between $N = 0.25$ (long ellipsoidal, aspect ratio $s = (\text{long axis } b)/(\text{diameter } a) \approx 1.4$) and $N = 0.5$ (flat ellipsoidal, $s \approx 0.6$). The shape of the mean value $\langle N \rangle = 0.375$ and corresponding $s \approx 0.864$. Taking the aforementioned $\langle N \rangle$ into account and substituting equation (5) into (4) we obtain the following equations,

$$\frac{\Delta D_v}{\langle D_v \rangle} = 0.6 \frac{\Delta N}{\langle N \rangle} \quad (6), \quad \frac{\Delta D_v}{\langle D_v \rangle} = 0.2 \quad (\text{if } (\Delta N / \langle N \rangle))$$

It can be seen from Eq. (7) that the maximum error is 20 %. In this research, experiments are performed with cylindrical cavities so the magnetic flux density is not uniform inside the cavity. Therefore, the position of the sensor is important. Even though the sensor needle is inserted at the center of the cavity, it is assumed that there could be some positioning error within a spherical area of 5 mm diameter. Then, by numerical analysis we obtain conditions for the shape and diameter of the cavity which is within the 20 % error limit (N at any point in the spherical area should be between 0.25 and 0.5) as shown in Fig. 5.

DETECTION AND ESTIMATION OF MAGNETIC FLUID WEIGHT DENSITY IN VARIOUS CAVITIES

Estimation of Magnetic Fluid Weight Density inside Cylindrical Containers

The experimental setup is shown in Fig. 6. The tip of the needle was placed at the center of the Helmholtz-tri-coil, which supplied 0.1 mT magnetic flux density at 100 Hz for all experiments.

Magnetic fluid of original weight density 40 % was thinned by mixing with distilled water. Plastic trays with embedded cavities ($s = 0.625$) were filled with thinned fluid of various densities. The GMR needle probe was inserted as shown in Fig. 6. The GMR needle probe was then used to estimate the D_w of the thinned magnetic fluid, by measuring the applied magnetic flux density ($B_0 = 100 \mu\text{T}$) and the magnetic flux density (B_1) inside thinned magnetic fluid filled cavities simultaneously^{3, 4}. The experimental results are shown in Fig. 7. The figure denotes the relationship between D_w and the change ratio of magnetic flux densities. When the cavity is thin and long ($N = 0$), the relationship shows the upper limit. The demagnetizing factor N for an elliptic body depends on the shape ratio of the cavity s , as shown in the figure. For spherical shaped cavities $s = 1$ and $N = 1/3$, and for flat shaped cavities $s = 0.5$ and $N = 0.527$. It can be seen from the experimental results that D_w is proportional to change in magnetic flux density and the results fall between theoretical lines for long and flat ellipsoidal cavities.

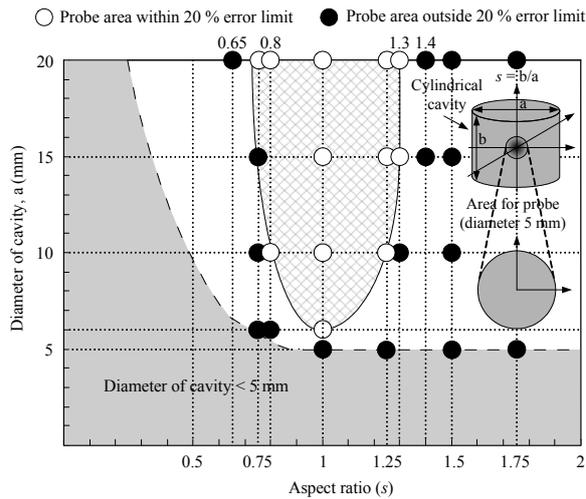


Figure 5: Condition for cavity (20 % error inside 5 mm spherical area).

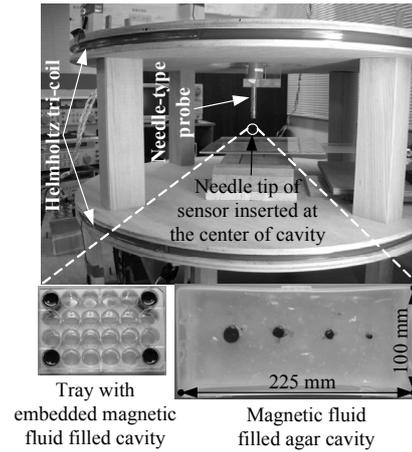


Figure 6: Experimental setup for detecting and estimating magnetic fluid weight density.

Detection of Magnetic Fluid inside Various Cylindrical Agar Cavities

To simulate the situation of detecting magnetic fluid inside the body, cylindrical agar pieces (simulating tumors) were injected with thinned magnetic fluid of various densities and immersed in potato starch, which acted as a reference medium. The diameters of the agar pieces were chosen to be 4 – 14 mm ($s = 1$, $N = 0.33$). The needle tip of the sensor was inserted at 10 mm intervals hence, to the middle of agar pieces along the length (225 mm) of the magnetic fluid filled cavity tray as shown in Fig. 6. The change in signal corresponds to the difference between the signal obtained inside the magnetic fluid filled agar and the reference medium (potato starch). It can be seen from Fig. 8 that the GMR needle probe can detect magnetic fluid injected into agar pieces with diameter as low as 4 mm. Figure 8 shows that for a given weight density of thinned magnetic fluid, the change in signal does not vary so much between the four samples (since s and N is the same) and that the signal is proportional to the weight density of thinned magnetic fluid. This means that even though the size of the cavity may change (s and N are constant), the signal will only change with D_w , thus verifying Eq. (4). Furthermore, detection of magnetic fluid in samples with diameters as low as 4 mm shows that the GMR needle probe has a potential to be used effectively as a tool for detecting drug coupled magnetic nano-particles, in targeted therapy for tumors.

Estimation of Low-Concentration Magnetic Fluid Weight Density

Since the GMR needle probe was used to successfully detect magnetic fluid inside cylindrical agar pieces of different sizes, experiments were performed to accurately estimate D_w inside cylindrical agar pieces. Experiments are performed with the GMR needle sensor to estimate D_w in 18 mm diameter agar cavities ($s = 1$, $N = 0.33$) since, to provide adequate heat to kill the tumor without affecting surrounding healthy cells, D_w needs to be confirmed before and after treatment (to check remaining density)^{5,6}. The GMR needle was inserted at the center of the 18 mm agar cavities and, B_1 and B_0 were measured simultaneously due to the bridge circuit design of the GMR needle probe. It can be seen from Fig. 9 that D_w is proportional to the change in magnetic flux density and agrees well with theoretical results obtained based on ellipsoidal cavities. Concentrations as low as 0.145 % weight density could be successfully estimated.

ESTIMATION OF VERY LOW-CONCENTRATION MAGNETIC FLUID WEIGHT DENSITY

Since, for very low weight densities the percentage change in magnetic flux density is in the order of 1/10,000 and distribution analysis requires super uniformity, it is imperative that the applied magnetic flux density is at least 1/10th more uniform in the experimental area. A Lee-Whiting coil was designed and fabricated to produce a uniform magnetic flux density (fluctuation $\leq 0.001\%$, 0.1 m along the axial and radial direction from the midpoint). The experimental setup is shown in Fig. 10.

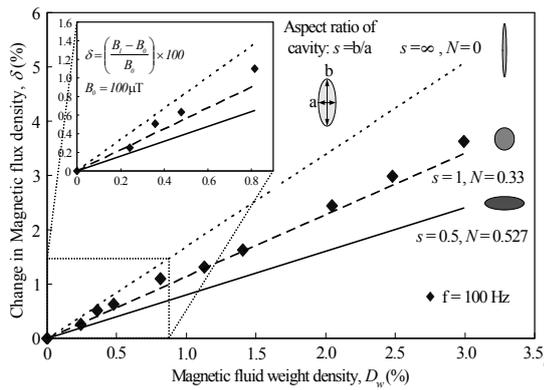


Figure 7: Estimation of magnetic fluid weight density in tray with embedded cavities.

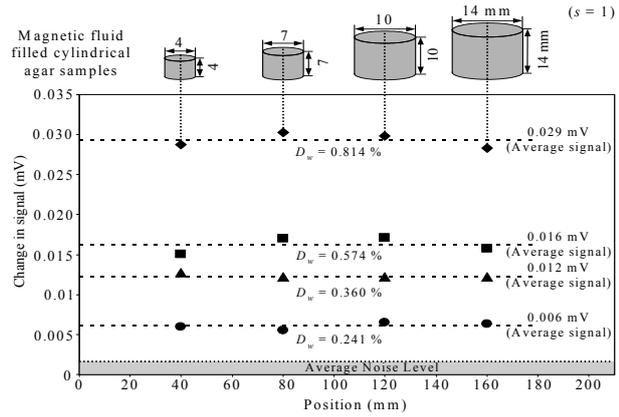


Figure 8: Detection of magnetic fluid inside agar cavities.

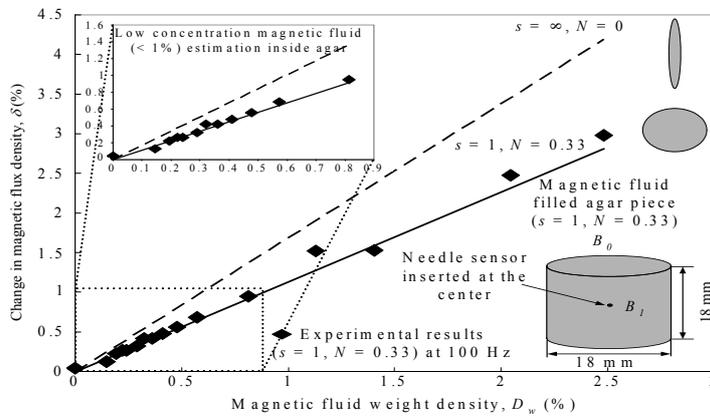


Figure 9: Estimation of low-concentration magnetic fluid weight density.

Cylindrical agar pieces of $d = 18$ mm ($s = 1$) were injected with very low concentration magnetic fluid ($D_w = 0.03 - 0.2$ %). The GMR needle probe with a sensing area of 75×45 μm at the tip of the needle was inserted to the center of magnetic fluid filled agar cavities. The differential magnetic flux density is in the order of nT in the experimental situation. The bridge structure of the GMR needle probe measured the differential magnetic flux density simultaneously. Experimental results shown in Fig. 11 indicate that the change in magnetic flux density is proportional to D_w . However, the current limit of estimation has a good possibility to be influenced by the construction and coiling errors of the Lee-Whiting coil. Shown in Table 1 are the error percentages at 0.02 m in the axial direction if the coils or diameters are altered by $\pm 1/2$ mm.

CONCLUSION

This paper describes a novel GMR needle probe that is utilized to detect and estimate magnetic fluid weight density. The unique design of the fabricated GMR needle probe is especially made for application *in vivo* in a low-invasive way. A theoretical basis is obtained for detecting and estimating magnetic fluid weight density *in vivo* based on relationships between relative permeability, weight density of magnetic fluid and magnetic flux density inside and outside a magnetic fluid filled cavity. An experimental setup (including a novel GMR needle probe, Helmholtz tri-coil and Lee-Whiting coil) and procedure with agar injected with magnetic fluid to simulate actual clinical process was developed. Experiments were performed to detect and estimate magnetic fluid weight density inside a variety of mediums simulating tumors, using the GMR needle probe, with the long term objective of estimating *in vivo*, especially in the area of hyperthermia therapy, a form of cancer treatment.

Table 1: Analysis of error percentages due to coiling and construction.

Coil number	+1 mm (%)	-1 mm (%)	+2 mm (%)	-2 mm (%)
1 Distance	0.007	0.007	0.015	0.015
2 Distance	0.008	0.008	0.015	0.015
1 Radius	0.0037	0.0037	0.0075	0.0075
2 Radius	0.006	0.006	0.012	0.012

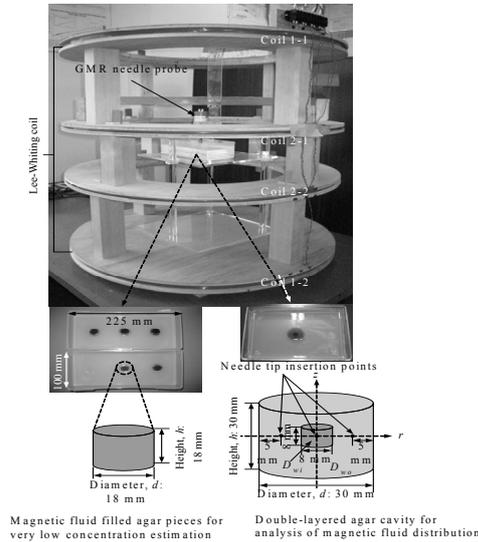


Figure 10: Experimental setup for very low-concentration estimation and distribution analysis of magnetic fluid.

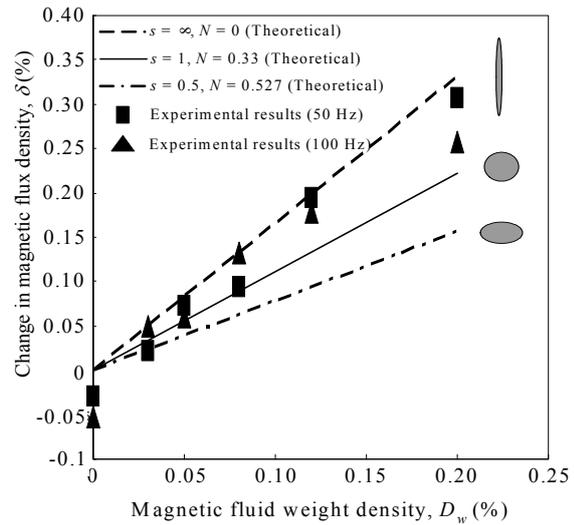


Figure 11: Estimation of very low-concentration magnetic fluid weight density in cylindrical agar cavities.

REFERENCES

1. S.Wada, K.Tazawa, N. Suzuki, I. Furuta, and I.Nagao, "Pulp Ablation Therapy by Inductive Heating: Heat Generation Characteristics in the Cavity", *Oral Diseases*, Vol. 13, 2007, pp.193-197
2. C. P. Gooneratne, S. C. Mukhopadhyay, and S. Yamada, "An SV-GMR Needle Sensor-Based Estimation of Volume Density of Magnetic Fluid inside Human Body," *Journal of Sensors*, Hindawi Publishing Corporation, Volume 2008, Article ID 890293, doi: 10.1155/2008/890293 .
3. A. Lękawa, C. Gooneratne, K. Chomsuwan, M. Iwahara, H. Stryczewska, and S. Yamada, "Detection of Magnetic Field Distribution from Nerve Action Model with Needle-Type SV-GMR Sensor," *Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics*, Vol. 16, No. 3, 2008, pp. 221-226.
4. C. Gooneratne, A. Lekawa, M. Iwahara, M. Kakikawa, and S. Yamada, "Estimation of Low Concentration Magnetic Fluid Weight Density and Detection inside an Artificial Medium Using a Novel GMR Sensor," *Sensors and Transducers Journal*, Vol. 90, Special Issue, 2008, pp. 27-38.
5. S. Yamada, C. P. Gooneratne, M. Iwahara, and M. Kakikawa, "Detection and Estimation of Low-Concentration Magnetic Fluid Inside Body by a Needle-Type GMR Sensor," *IEEE Transactions on Magnetics*, 2008, Vol. 44, No. 11, pp. 4541-4544.
6. C. P. Gooneratne, S. Yamada, M. Iwahara, M. Kakikawa, and Y. Matsumoto, "Novel GMR Sensor for Estimation of Magnetic Nanoparticles inside Minute Cavities," *Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics*, Vol. 17, No. 3, 2009, pp. 63-66.

三次元培養骨芽細胞の細胞内 Ca²⁺動態観察と力学刺激応答

杉浦直樹¹・田中茂雄²

¹〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学自然科学研究科

²〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学環日本海域環境研究センター

Naoki Sugiura¹ and Shigeo Tanaka² :

Intracellular Ca²⁺ response of 3D-cultured osteoblasts to mechanical stimulation

1. 緒言

細胞は外部からの刺激情報を受け取った後、細胞内のさまざまな情報伝達物質の反応により伝達され、必要な細胞応答を引き起こす。その情報伝達物質の中でも、刺激後初期の段階で細胞内へ伝達するセカンドメッセンジャーとしてカルシウムイオン (Ca²⁺) が知られており、細胞内 Ca²⁺の挙動を観察することは刺激感知機構や伝達機構を解明する上で重要である。これまでの骨の細胞に対する細胞内 Ca²⁺応答観察では、二次元培養された細胞に力学刺激として液体流動を負荷し、その際の細胞内 Ca²⁺応答を蛍光顕微鏡や共焦点レーザー顕微鏡により観察してきた¹⁾。それに対し、実際の骨組織内では荷重負荷で生じた組織の変形 (ひずみ) により骨小腔や骨小管内に骨液の流動が生じ、これが骨の細胞を力学的に刺激していると考えられている (ひずみ誘導型液体流動)。このような基質の変形が伴う三次元的な力学的環境では、焦点位置のずれやそれに伴う蛍光強度の変化が生じるため、骨の細胞の細胞内 Ca²⁺応答を顕微鏡により観察することは困難である。そこで我々はこれまでに、発光ダイオード (LED) とフォトダイオード (PD) といった小型光学素子を利用し、基質変形を伴う力学刺激に対して細胞内 Ca²⁺応答をマクロレベルで観察できるシステムを構築してきた²⁾。本研究では、同システムを用いて基質変形を伴う力学刺激に対する骨芽細胞内 Ca²⁺応答の負荷周波数依存性を調べることを目的とした。

2. 実験方法

2. 1 三次元培養骨芽細胞

16×10⁶個のマウス頭蓋冠由来の樹立系骨芽細胞様細胞 (MC3T3-E1) をI型コラーゲンスポンジ担体 (W 20 mm×L 16 mm×t 2 mm、孔径：約 100 μm) に播種することで三次元培養した (図1)。使用した培地は、10%牛胎児血清と1%抗生物質を含むα-MEMである。細胞播種12時間後、濃度が3 μMとなるようにCa²⁺感受性蛍光プローブを培地に添加し、さらに1時間インキュベートした後実験に用いた。なお本研究ではCa²⁺感受性蛍光プローブとしてFluo4-AM (励起波長：490 nm、蛍光波長：518 nm) を使用した。

2. 2 細胞への力学刺激

本研究では、バイモルフ型ピエゾアクチュエータ³⁾を駆動させることで再生骨に対して最大0.2%の繰り返し圧縮負荷を0.2 Hz、2 Hz、20 Hzで150秒間与えた。細胞はスポンジの変形により生じるひずみ誘導型液体流動により刺激される (図2)。圧縮負荷により生じるスポンジの変位はうず電流型非接触変位計を用いてモニタリングした。

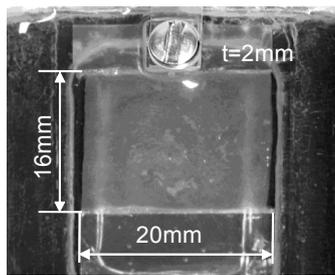


図1 I型コラーゲンスポンジと MC3T3-E1 細胞から構成される再生骨

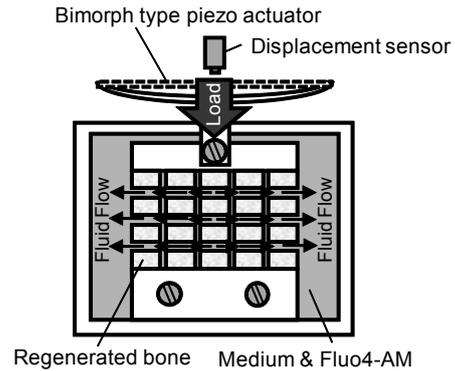


図2 細胞へのひずみ誘導型液体流動の負荷

2. 3 細胞内 Ca^{2+} 動態観察

図3は本研究で構築した細胞内 Ca^{2+} 動態観察システムである。本システムは Ca^{2+} 感受性蛍光プローブの励起光源である4つのLED（波長：490 nm）と、その中央に配置された蛍光検出用のPDから構成され、培養チャンバー直下に設置される。LED光により細胞内 Ca^{2+} と結合したFluo4を励起し、細胞内 Ca^{2+} の濃度に依存した強度の蛍光をPDにより検出する。なお、PDで蛍光のみ検出するために、LED上とPD上に光学フィルターを設けた。また、LEDからの励起光は凸レンズにより再生骨中央部の直径約5mmの領域に集光され、この領域における平均的な細胞内 Ca^{2+} 応答が観察される。LEDの発光強度と発光時間の制御、PDからの検出信号の取得および力学刺激負荷装置の制御は、Visual Basicで記述したプログラムにより16bitの分解能を持つAD/DAインターフェイス・ボードを操作することで行った。なお細胞応答の評価パラメータとして、検出信号から刺激時間に対する応答時間割合および応答振幅の時間積算値を求めた。

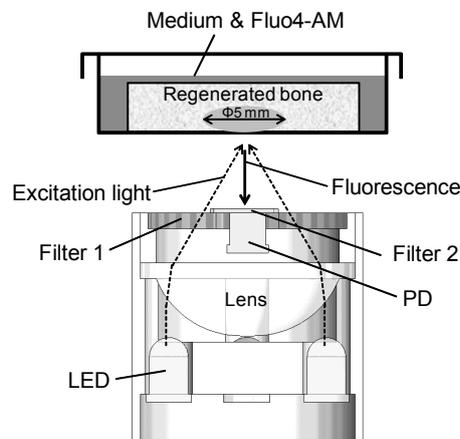


図3 細胞内 Ca^{2+} 動態観察システム

3. 実験結果

図4は力学刺激を受けた際の細胞内 Ca^{2+} 応答の代表例である。骨芽細胞は20 Hzの刺激に対し最も大きな反応を示した。各負荷周波数における細胞内 Ca^{2+} 応答の違いを図5に示す。刺激時間に対する細胞の応答時間割合は、0.2 Hzで19.5%、2 Hzで38.0%、20 Hzで73.5%であった（図5 a）。また刺激時間に対する細胞の応答振幅の時間積算値は、0.2 Hzで3.4 mV、2 Hzで8.9 mV、20 Hzで23.2 mVであった（図5 b）。以上より、負荷する刺激の周波数が増加すると、細胞の応答が高まることが確認できた。

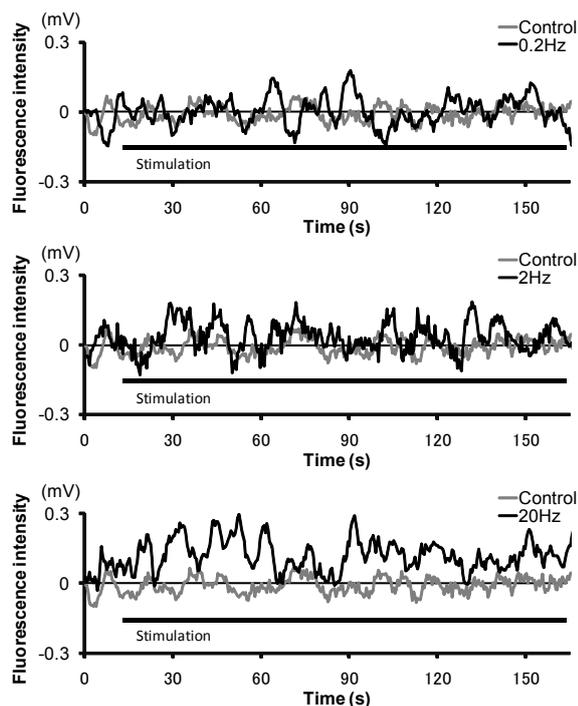


図4 各負荷周波数における細胞内 Ca^{2+} 応答
(a) 0.2Hz、(b) 2Hz、(c) 20Hz

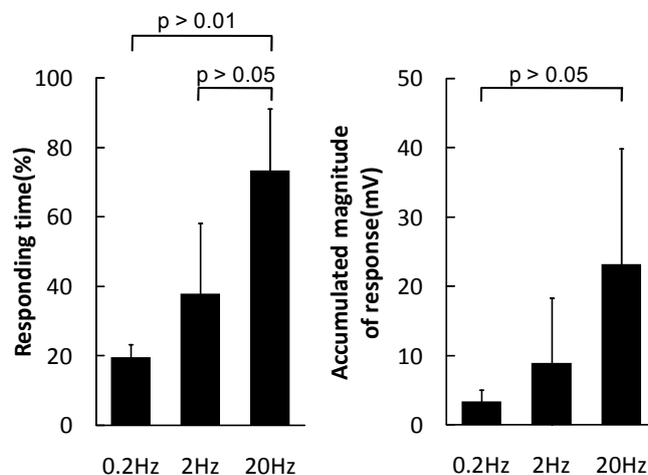


図5 負荷周波数の違いによる細胞内 Ca^{2+} 応答の比較 (n = 4~5)

4. 考察

以上の結果より骨芽細胞の細胞内 Ca^{2+} 応答は力学刺激の周波数に依存することが示された。これは周波数の増加に伴い、スポンジ担体内の培地の流動により生じるせん断応力が増加したことが要因であると考えられる。本実験で生じたせん断応力は、0.2 Hz で約 0.04 Pa、2 Hz で約 0.4 Pa、20 Hz で約 4 Pa であると推測される⁴⁾。実験動物を用いた研究においても、力学刺激に対する骨形成反応には周波数依存性があることが報告されており⁵⁾、本研究で得られた結果と一致している。今後、より高い周波数での力学刺激における細胞内 Ca^{2+} 応答を調べるとともに、本研究で観察された細胞内 Ca^{2+} 応答の周波数依存性が石灰化過程においても同様であるかどうかを確認する必要がある。

5. 結言

本研究では基質変形を伴う力学刺激に対する骨芽細胞内 Ca^{2+} 応答の周波数依存性を 0.2 Hz ~ 20 Hz の範囲で調べた。その結果、三次元培養骨芽細胞は高い周波数の力学刺激に対し、より大きく反応することが示された。本研究で得られた知見は、実際の骨組織内の力学的環境下における骨の細胞の刺激応答性を理解する上で有用な情報になり得ると考えられる。

参考文献

- 1) Donahue SW et al., Journal of Biomechanics, Vol.38, pp1909-1917, 2005
- 2) 杉浦ら、臨床バイオメカニクス、Vol. 30, pp41-46, 2009
- 3) Tanaka SM et al., Journal of Biomechanics, Vol.32, pp427-430, 1999
- 4) Tanaka SM et al., Calcified Tissue International, Vol.76, pp261-271, 2005
- 5) Rubin, CT et al., Clinical Orthopaedics and Related Research, Vol.298, pp165-174, 1994

散乱制御型光深度分解法を用いた新規骨密度計測装置の開発

曹 廷舜¹・田中茂雄²

¹〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学自然科学研究科

²〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学環日本海域環境研究センター

Naoki Sugiura¹ and Shigeo Tanaka²:

Development of an optical bone densitometer based on the depth-resolved measurement method by scattering modulation

1. 緒言

軽微な転倒でも骨折に至る骨粗鬆症性骨折は、医療費の増大をもたらすだけでなく、長期の入院または治療を強いられる患者自身の生活の質を大きく損なう。骨粗鬆症の特徴として自覚症状がなく、骨折により発症に気付くことが多い。また治療が困難な疾患でもあるため定期的に自身の骨密度を把握しながら、運動などにより骨密度の維持・増進に努めることが現実的な対策と言える。しかし現在、主に使用されている大型の骨密度計測装置は病院等に設置され、またX線を用いるため、容易に骨密度を知りうる機会が提供されているとは言い難い。そこで我々は、光を利用した小型骨密度計測装置を開発することに着目した。この実現より、簡便かつ安全な定期的骨密度チェックが可能となると考えられる。我々はこれまで皮膚組織に影響されずに骨密度を光計測する方法として散乱制御型光深度分解法を提案してきた^(1,2)。本研究では、同法に基づき小型骨密度計測装置を試作し、それを模擬骨試料に適用することで有効性を検証した。

2. 散乱制御型光深度分解法

散乱制御型光深度分解法では、計測対象物に対し光散乱特性を有する参照散乱媒体 (OSM : Optical scattering modulator) を介して光を照射する。図 1 に示すように、光源から計測対象物までの距離 (L^{OSM}) を変化させることで計測対象物へ侵入する光の散乱状態を変え、これにより計測対象物内の光到達深度を変える。OSM が厚い場合、等方散乱光となり、光到達深度は浅くなり、逆に、OSM が薄い場合、前方散乱光となり光到達深度は深くなる。 L^{OSM} を変化させた際に得られる入射光強度 (I_0) と反射散乱光強度 (I) の比の対数值 ($\ln(I/I_0)$ 、以下、反射光密度 ROD: Reflectance optical density と記す) の変化 (以下、ROD 曲線と記す) は骨密度の増減に伴う光散乱特性変化の影響を受けることから、ROD 曲線の傾きから骨密度を評価できると考えられる。ここで、皮膚 (skin) に覆われた骨組織 (bone) に対し OSM を介してコヒーレント光が強度 I_0 で照射され、骨組織に到達して反射した光が強度 I で検出されたとする。 I_0 と I の関係が反射に対し拡張したランバート・ベール則に従うとすると、両者の関係は次式のように表わされる。

$$I = I_0 \exp(-\mu_t^{OSM} L^{OSM} - \mu_t^{skin} L^{skin} - \mu_t^{bone} L^{bone}) \quad (1)$$

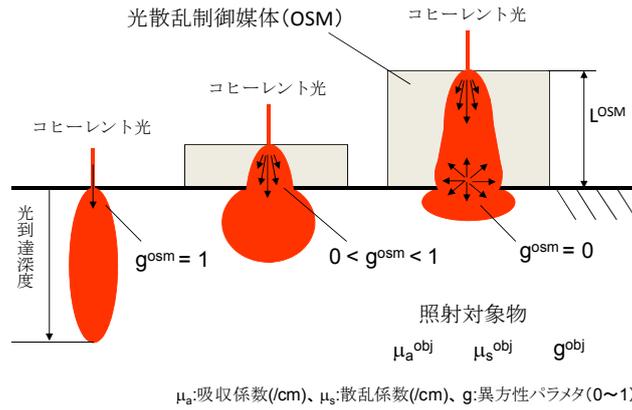


図1 散乱制御型光深度分解法の原理

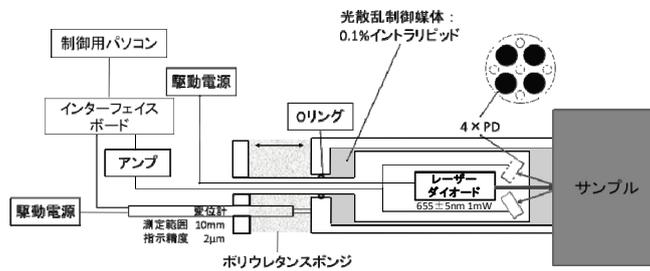


図2 散乱制御型光深度分解法に基づく小型骨密度計測装置の概略

なお、 μ_t は反射における減光係数、 L は代表光路長を示す。ここで、 L^{OSM} を変化させても L^{skin} が変化しないと、また、 L^{OSM} の微小変化と L^{bone} の微小変化が等しい仮定すると次式が成り立つ。

$$\frac{d}{dL} \ln \left(\frac{I}{I_0} \right) = \mu_t^{bone} - \mu_t^{OSM} \quad (2)$$

ここで、 μ_t^{OSM} は既知の定数として扱えるため、ROD曲線の傾き((2)式左辺)から μ_t^{bone} を求めることができる。すなわち、ROD曲線の傾きは皮膚の影響を受けない骨密度評価パラメタとして用いることができる。なお $\mu_t^{bone} < \mu_t^{OSM}$ とした場合、骨密度が高いと μ_t^{bone} が小さくなるためROD曲線の傾きは負方向に大きくなり、逆に、骨密度が低いと傾きは小さくなる。

3.実験方法

図2に本研究で試作した小型骨密度計測装置の概略を示す。本装置は、直径50mm x 全長150mmのジュラルミン製円筒体であり、内部にOSMと光源および光検出器を密封した円筒の光学ユニットが収められている。OSM中にある光学ユニットを長さ方向に移動させることにより L^{OSM} が調整される。なお、光学ユニットの移動はウレタンスポンジの復元力を利用することで自動的に行う。また移動中の L^{OSM} の計測は、装置外部に取り付けたリニアゲージ(LG、分解能:2μm)を用いて行った。本研究では、光源にレーザーダイオード(LD、655nm、1mW)、光検出器に4つのシリコンフォトダイオ

ード (PD)、そして OSM には 0.1%の乳液 (イントラリピッド液) を用いた。PD からの信号はアンプで増幅した後に得られた電圧値を I とした。なお I_0 は、試料位置に全反射鏡を置き、 L^{OSM} が 0 cm で検出される電圧値とした。PD および LD の検出信号の取得は、Visual Basic で記述されたプログラムにより自動的に行った。実験に用いた模擬皮膚は、直径 70 mm で厚さが 0.9、1.6、または 2.3 mm の円形シリコン樹脂シートである。また、模擬骨はシリコン樹脂と $CaCO_3$ 粉末を均質に混合して作製した直径 100 mm x 高さ 70 mm の円柱体である。模擬骨は、 $CaCO_3$ 粉末の体積含有量を調整することで 0、22.5、66.7、または 198.3 mg/cm^3 の 4 つの異なる密度に調整した。実験は模擬皮膚がある場合とない場合に分けて実施され、各条件に対し 3 回の計測を行った。

4.実験結果

図 3 および 4 はそれぞれ、模擬皮膚がある場合とない場合の ROD 曲線である。なお図 4 は、模擬骨密度 66.7 mg/cm^3 に対する結果を代表して示している。図 3 より、模擬骨密度が増加すると ROD 曲線の傾きが急になる傾向があることが分かる。また図 4 より、模擬皮膚の異なっても模擬骨密度が同じであれば ROD 曲線の傾きはほぼ同じであることが分かる。図 5 は ROD 曲線の傾き (絶対値) と模擬骨密度の関係を示したものである。なお、ROD 曲線の傾きは、 $L^{OSM}=0.5\sim 1.5 \text{ mm}$ の範囲の曲線を最小二乗法により直線近似することで求めた。同図より、模擬骨密度が $0\sim 66.7 \text{ mg/cm}^3$ までの範囲において、模擬皮膚の有無や厚さに関係なく密度の増加に伴い ROD 曲線の傾き (絶対値) も増加するものの、密度が 66.7 mg/cm^3 と 198.3 mg/cm^3 の場合では傾きにほとんど違いがないことが分かった。これは、模擬骨密度 198.3 mg/cm^3 ではより強い光散乱が生じるため、照射光に対し垂直方向へ伝搬する光の成分が多くなることに関係していると考えられる。この影響により、実際の L^{bone} が L^{OSM} よりも長くなり ROD 曲線の傾きが緩くなったと思われる。このことは、本装置の適用範囲が比較的散乱特性の弱い骨密度状態に限定されることを意味しており、今後、光散乱が比較的起こり難い近赤外光など他波長の光を利用するなどして光散乱の影響を除去することが必要である。

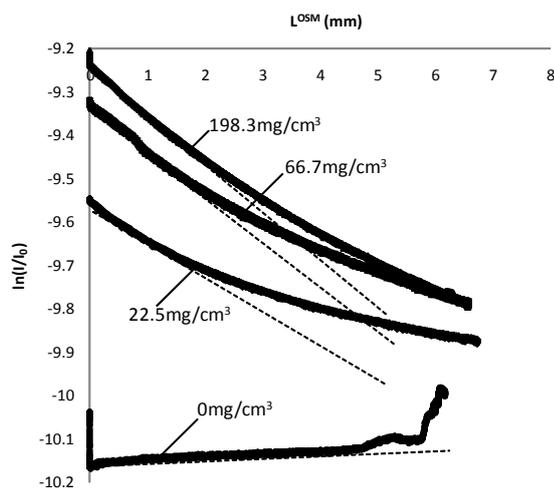


図 3 模擬皮膚がない場合の ROD 曲線

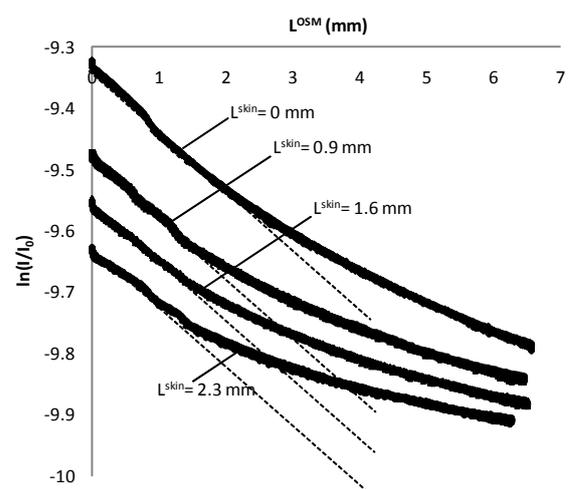


図 4 模擬皮膚がある場合の ROD 曲線 (密度 66.7 mg/cm^3 の模擬骨に対する結果)

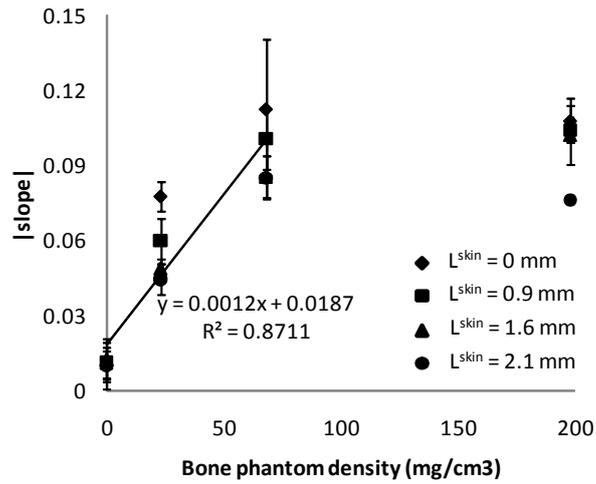


図5 ROD 曲線の傾き（絶対値）と模擬骨密度の関係

5. 結言

本研究では、散乱制御型光深度分解法に基づき小型骨密度計測装置を試作し、それを模擬骨試料で有効性の確認を行った。その結果、ROD 曲線の傾きと模擬骨密度は正の相関を示し、ROD 曲線の傾きによる骨密度評価の可能性が示された。しかし、本装置の適用範囲は光散乱特性が弱い低密度領域に限定されることが分かった。

参考文献

- 1) 田中茂雄, 他, 日本臨床バイオメカニクス学会誌, 29: 181-186, 2008
- 2) 曹廷舜, 他, 日本臨床バイオメカニクス学会誌, 30: 15-20, 2009

ノイズ電気刺激による培養再生骨の石灰化促進

瀧本貴友¹・田中茂雄²

¹〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学自然科学研究科

²〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学環日本海域環境研究センター

Naoki Sugiura¹ and Shigeo Tanaka²:

Calcification of regenerative bone tissue promoted by electrical stimulation with noise-like waveform

1. 緒言

電気刺激は骨形成を促進することが知られており、臨床医療において電気刺激による骨形成促進効果がさまざまな形で利用されている。また電気刺激は、培養骨芽細胞の増殖やコラーゲン産生などの活性や石灰化を促進させることも知られている。一般的に電気刺激では、正弦波などの周期的な波形が用いられているが⁽¹⁾、未だ最適な刺激周波数は見出されていない。一方、我々は後肢懸垂ラットにおける大腿骨の骨量減少が周期的な電気刺激よりもノイズ状の電気刺激により抑制されることを確認した^(2,3)。そこで我々は、このノイズ電気刺激の効果に着目し、それを培養下で効率的な骨組織再生を必要とする再生医療分野へ応用することを着想した。本研究の目的は、ノイズ電気刺激の培養再生骨の成熟化および石灰化に対する促進効果を周期的な電気刺激波形と比較することにより検証することである。

2. 実験方法

2.1 培養再生骨への電気刺激

骨芽細胞をI型コラーゲンスポンジ担体 (W 20mm × L 16mm × t 2mm) に 1×10^6 個 (1600 cells/sponge) 播種・培養することで再生骨を構築した。再生骨を培養ディッシュ内に培地とともに設置し、ステンレス製の板電極により電気刺激を与えた。なお、再生骨が常に電極間中央に位置し同じ方向から電気刺激が与えられるように、再生骨の両端をアクリル製アンカーに固定した。図1に本実験で用いた電気刺激システムを示す。実験グループは、①Control 群、②周期的刺激群、③Noise 刺激群の3群とした。Control 群では電極を培養ディッシュに設置した状態で電気刺激を与えずに培養した。②の群では1 msの持続時間を持つ大きさ $20 \mu A$ (電流密度で $0.625 A/m^2$) の電気パルスをさまざまな繰り返し周波数 (2 Hz~500 Hz) で与えた。一方、Noise 刺激群では、前述の電気パルスがおよそ 50 Hz から 500 Hz の繰り返し周波数でランダムに出現するように設定し与えた。周期的刺激波形の例として 500 Hz を図 2 a に、Noise 刺激波形の例を図 2 b に示す。電気刺激は、播種翌日より毎日1日1回、3分間与えた。

2.2 アルカリ性ホスファターゼ (ALP) 活性評価

電気刺激による培養再生骨の成熟化を評価するために、培養3日目に再生骨を取り出してALP活性評価を行った。ALP活性評価は、p-NP (ニトロフェノール) 基質法に基づき、単位タンパク量当たりのp-NP量を分光器により計測した。なおこの評価実験ではマウス頭蓋冠樹立の骨芽細胞様細胞 (MC3T3-E1細胞) を用いた。

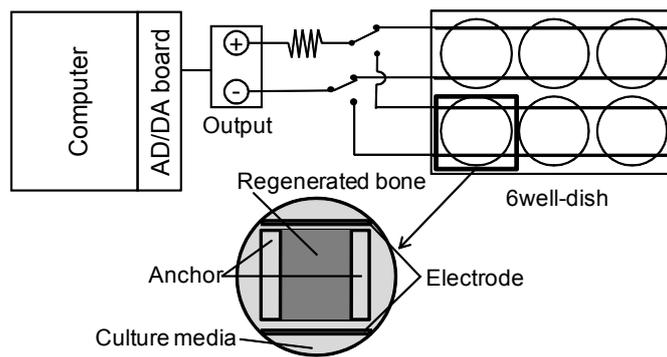


図1 培養再生骨への電気刺激システム

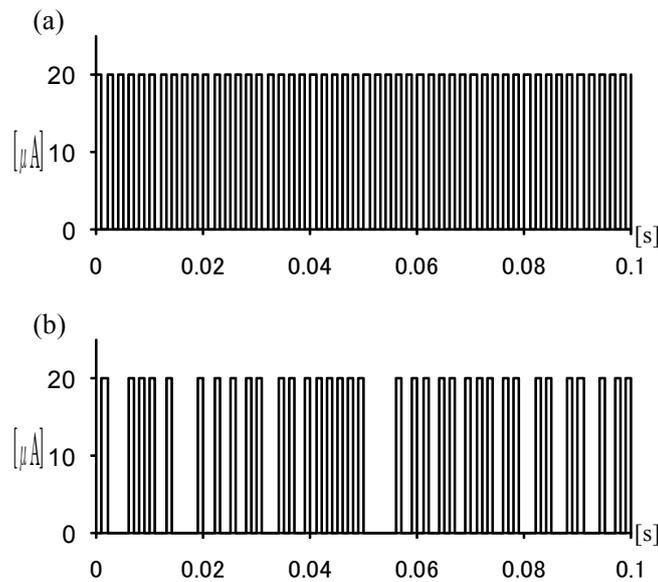


図2 電気刺激波形。(a)周期的刺激波形 (500 Hz)、(b)Noise 刺激波

2.3 石灰化評価

23 日間の培養期間において培養再生骨の石灰化度のモニタリングを行い、電気刺激の石灰化促進効果を評価した。石灰化モニタリングは、近赤外光 LED とフォトダイオード (PD) を利用した小型光学装置により非破壊的に行われ、再生骨の石灰化度は外寸体積当たりの Ca 含有量もしくは乾燥重量 (担体密度) により評価した⁽⁴⁾。なお、この実験では石灰化能に優れた初代培養骨芽細胞を用いており、この細胞は SD ラット (雌、8 週齢) の大腿骨および頸骨より採取した間葉系細胞を分化させることで得た。なお、周期的電気刺激群として 500Hz のものを代表として採用した。

3. 結果および考察

単位タンパク量あたりの p-NP 量 (Control 群の平均値で正規化) の各群間での比較を図 3 に示す。Noise 群は Control 群と比べ 13% ($p < 0.001$) 増加した。周期的刺激群においては 2 Hz、333 Hz、500 Hz を除き Control 群との有意差は見られなかった。また、周期的気刺激群と比較すると、Noise 群はどの周期的刺激群よりも高い値を示し、2 Hz、20 Hz、333 Hz を除き有意差が示された ($p < 0.01$)。以上の結果は、ノイズ電気刺激が周期的な電気刺激よりも効果的に培養再生骨の成熟化を促すことを示唆している。

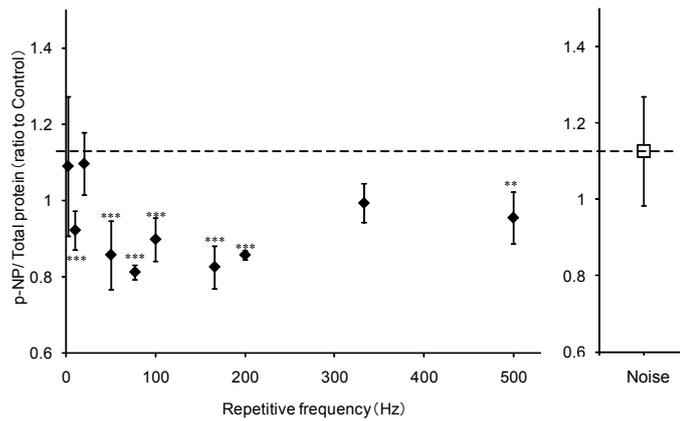


図3 ALP 活性（単位タンパク量当たりの p-NP 量）における周期的刺激群とノイズ刺激群の比較. ** p<0.01, *** p<0.001 v.s. ノイズ刺激群

図4に石灰化度（Ca含有量および担体密度）の培養期間に伴う変化を示す。全ての群において培養期間に伴う石灰化度の増加がみられるものの、およそ培養7日目より刺激群はControl群よりも高い石灰化度を示した。特に、Noise群においては培養8日目以降でControl群より有意に高い石灰化度が観察された。一方、500Hz群ではControl群との有意差はほとんど見られなかった。培養最終日（23日目）における各群のCa含有量を比較すると、Control群（1.26mg/cm³）に比べ、500Hz群（1.35mg/cm³）では1.08倍、Noise群（2.35mg/cm³）では1.87倍となった。担体密度では、Control群（22.34mg/cm³）に比べ500Hz群（23.38mg/cm³）で1.05倍、Noise群（33.01mg/cm³）で1.48倍となった。以上のように、ノイズ電気刺激は周期的刺激波形の刺激よりも培養再生骨の石灰化を促進することを示され、ALP活性の結果と同様の傾向となった。図5は、細胞播種後1、7、14、および21日目における各群の代表的な再生骨の接写画像である。どの群においても培養期間の経過とともに石灰化領域とみられる白濁領域の面積と濃さが増大していることが分かり、特に、Noise群の再生骨においてより顕著であった。ノイズ電気刺激の骨芽細胞の成熟化および石灰化促進効果には、ノイズ波形に含まれる高い周波数成分と各成分の出現頻度が関係していると推察される。特にこれに関連して、細胞の刺激に対する鈍感化⁽⁵⁾と刺激感度の周波数依存性⁽⁶⁾の二つの要素は重要な役割を演じていると考えられ、メカニズム解明には両者の調査が必要である。

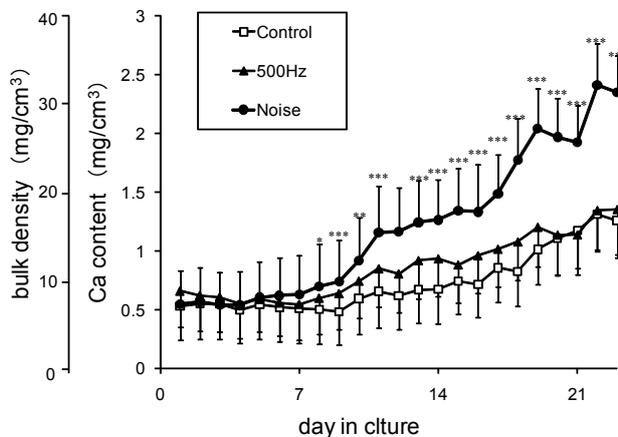


図4 再生骨の石灰化度（Ca含有率および担体密度）の変化. * p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001 v.s. Control

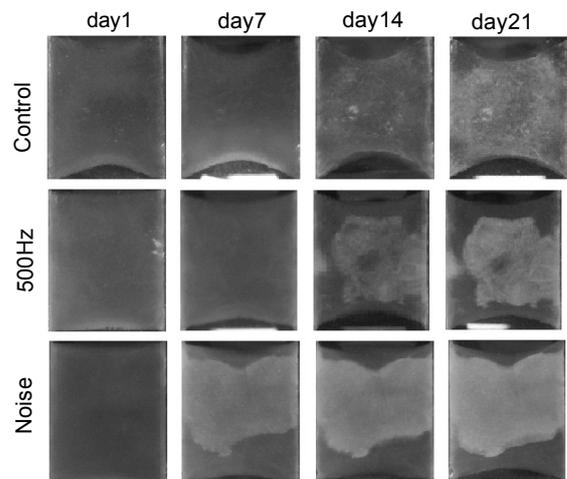


図4 再生骨の接写画像

4. 結言

本研究では I 型コラーゲンスポンジと骨芽細胞より構築した培養再生骨にノイズ電気刺激と周期的刺激を与え、両刺激がもたらす再生骨の ALP 活性と石灰化の促進効果を比較した。その結果、周期的刺激よりもノイズ刺激で ALP が活性化され、また石灰化が促進された。以上より、ノイズ刺激は培養再生骨の成熟化や石灰化を促進させる効果があると結論づけられた。

参考文献

- (1) Supronowicz P.R. et al, J Biomed Mater Res 59: 499-506, 2002
- (2) 近藤香菜子ら, 日本臨床バイオメカニクス学会誌 29: 199-204, 2008.
- (3) 瀧本貴友ら, 臨床バイオメカニクス 30: 21-26, 2009.
- (4) Tanaka, S.M., et al., J Biomech Sci Eng 3,332-342, 2008.
- (5) Donahue S.W., et al., J Biomech 36: 35-43, 2003.
- (6) McLeod K.J., et al., JBJS 74: 920-929, 1992

ブレオマイシンの細胞毒性作用における交流磁界効果とうず電流の影響評価

藤畑貴史, 柿川真紀子, 山田外史
環日本海域環境研究センター 生体機能計測研究部門

T. Fujihata, M. Kakikawa, S. Yamada

Effects of extremely low Frequency Magnetic Fields and eddy current on Potency of Anticancer Drugs Bleomycin

1. はじめに

放射線や変異原性試薬などと磁界とを併用をすることにより、生体への作用の変化を生じさせるという報告がある^[1,2]。例えば、肺癌マウスにおいて抗がん剤シスプラチン投与後、磁界に曝露するとシスプラチンのみに比べ延命効果がみられたと報告されている。また、これまでに著者らはバクテリオファージを用いた実験系により、抗がん剤マイトマイシン C と 45 mT, 60 Hz の ELF 磁界曝露を併用することにより、DNA 損傷が 2 倍ほど高まることを見出した^[3]。また、大腸菌を実験対象とした場合、抗がん剤マイトマイシン C およびシスプラチンにおいて交流磁界曝露を併用することにより抗がん剤の作用が上昇し、この時作用増強率は曝露した交流磁界の磁束密度に依存的であった^[4]。一方、濃度などの依存性は不明であり、加えて、なぜ交流磁界を曝露することによって抗がん剤の作用が上昇するのかというメカニズムについても解明されていない。

そこで、本研究では、ブレオマイシンの作用増強率を求め、濃度依存性の検討を行う。また、メカニズムの解明のため、交流磁界によって誘導されるうず電流の影響について検討を行った。

2. 抗がん剤作用における交流磁界曝露の影響評価方法

2.1. 交流磁界発生装置

(1) 交流磁界発生装置

本研究で使用した 60 Hz 交流磁界発生装置を図 1 に示す。磁界発生装置では、U字型鉄心を用いその鉄心の頭頂部に立方形のギャップを設け、アクリルケースを設置し実験領域とした。実験領域内の磁束密度分布を計測した結果、最大で 54.5 mT, 最小で 45.0 mT であり、ばらつきが 10%以内であった。また、アクリルケース内部には鉄心およびコイルによって発生する熱の影響を避けるため、恒温装置で一定温度の水を循環させ、実験領域内の水温を 36 °C の一定にした。

(2) うず電流影響評価用交流磁界発生装置

本研究で、うず電流の影響評価において使用した 60 Hz 交流磁界発生装置の図を図 2 に示す。図 2 において、励磁コイルは、コイルの銅線の直径 1.66 mm(銅の直径 1.6 mm)、巻数 252 ターンのものを上下のフェライトコアに設置してある。また、コイルの発熱に対して、冷却剤として本装置においてはフロリナートを使用し、恒温装置によって、アクリルケース内を循環させることにより、実験領域内の室温を 36°C にし、コイルの発熱を冷却させた。

2.2 うず電流検出用シャーレの作製

空間的に一様な交流磁界下ではうず電流密度の大きさは、径に比例する。このことは Maxcell の方程式から導き出すことができる。

$$J = -\sigma \pi r f B \quad (2.1)$$

ここで、 J はうず電流密度、 σ は導電率、 r は径、 f は交流磁界の周波数、 B は磁束密度である。

このことを利用し、本研究において図 3 のようなシャーレを作製した。このシャーレにおいて、3 つの溝がある。図 3 において、それぞれの溝を Inner ring, Middle ring, Outer ring とする。交流磁界条件は磁束密度を 50 mT, 周波数を 60 Hz で行った。導電率は、大腸菌を培養するための溶液である LB 溶液には 1% の NaCl を含んでおりその影響が主にあると考えられる。1% の NaCl の導電率は 1.6 S/m であることが分かっている。以上の条件を式(2.1)に代入し、各 ring のうず電流密度の平均および Inner ring と Middle ring および Outer ring の比率を表 2.1 に示す。表 2.1 より、Inner ring と Outer ring において、うず電流密度の差が最大 15 倍まで生み出すことが分かった。

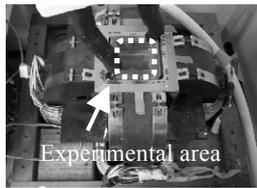


図1 60 Hz 交流磁界発生装置

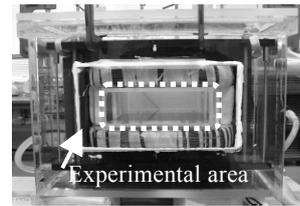


図2 うず電流影響評価用 60 Hz 交流磁界発生装置

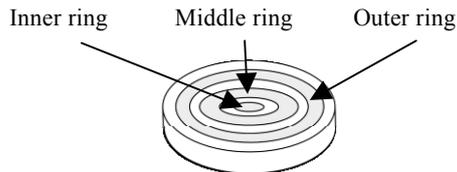


図3 うず電流影響評価用シャーレ

表 2.1 各 ring における電流密度平均

	Average of current density[A/m ²]	Ratio to inner ring
Inner ring	3.77×10^{-2}	1.0
Middle ring	27.1×10^{-2}	7.2
Outer ring	57.3×10^{-2}	15

2.3 抗がん剤

抗がん剤ブレオマイシンはがん細胞内の鉄イオン (Fe⁺⁺) と結合して細胞内の DNA を切断することによって DNA の複製を阻害する。これによりがん細胞の増殖を止めることができ、抗がん作用が得られる^[6]。一方、うず電流影響評価用の抗がん剤には、すでに磁界により作用増強が明らかなシスプラチンを使用した。シスプラチンはプラチナ化合物であり、プラチナ化合物はがん治療において広く使われている。その中でもシスプラチンは最も広く使われている抗がん剤の一種である。シスプラチンはがん細胞の DNA 鎖に架橋結合することにより DNA の複製・転写を阻害する。これによりがん細胞の増殖を止めることができ、抗がん作用を得られる^[7]。

2.4 大腸菌 (*Escherichia coli*)

本研究の実験対象として、大腸菌を使用した。大腸菌は増殖サイクルが早く、ヒトがん細胞と同様に抗がん剤ブレオマイシンおよびシスプラチンの作用を受けるからである。

本研究では、W3110 と JE5595 という 2 つの大腸菌を使用した。W3110 は大腸菌の中で野生株である。これに対して、JE5595 は DNA 修復遺伝子の 1 つである recA を人工的に欠損させたものであり、DNA 損傷に対して、感受性の高い株である。

2.5 抗がん剤の細胞毒性作用における交流磁界の影響評価方法

抗がん剤の作用における交流磁界曝露の影響を評価する場合、大腸菌の数を評価指数として、抗がん剤と交流磁界曝露を併用した場合 (Exposure) と抗がん剤のみで交流磁界曝露を併用しない場合 (Control) とを比較することにより交流磁界曝露の影響を評価することができる。大腸菌の数を比較するためには大腸菌の数を定量化する必要があるが、本研究ではそのための方法としてコロニーアッセイ法を用いた。抗がん剤を投与したあと、コロニーアッセイ法で定量化した、大腸菌の生菌数を比較することにより、交流磁界曝露の併用が抗がん効果を評価した。

3. 抗がん剤の細胞毒性作用における交流磁界の影響評価測定結果

3.1 抗がん剤ブレオマイシンの交流磁界の影響測定結果

ブレオマイシンの濃度は 3, 6, 12 μg/ml で行った。磁界条件は、磁束密度 50 mT, 周波数 60 Hz とし、曝露時間は 1 時間で行った。その際、0.5 時間ごとに非磁界曝露 (Control) と磁界曝露 (Exposure) の生菌数を 2.5 節で述べたコロニーアッセイ法で定量化し測定を行った。各濃度における大腸菌の生菌数の時間変化を図 4 に示した。なお測定結果の生菌数は 6 回の実験の平均値である。グラフの横軸は磁界曝露時間(Control は培養時間)、縦軸を培養液 1 ml あたりの大腸菌の生菌数としている。

0.5 時間目における各濃度における Control の生菌数に対する、Exposure の生菌数の存在比 (Exposure の生菌数/Control の生菌数)をそれぞれ計算し、ブレオマイシンの濃度 3 μg/ml では 0.89 倍、6 μg/ml では 0.79 倍、12 μg/ml では 0.61 倍となった。ここで、統計学的に有意な差があるのかを T 検

定により検討した結果、ブレオマイシンの濃度が 6, 12 $\mu\text{g/ml}$ において有意な差 ($p < 0.05$) が認められた。この結果をもとに、作用増強率を求めた結果を図 5 に示す。図 5 が示すように交流磁界により抗がん剤の効果が 1.2 倍上昇した。また、作用増強率のブレオマイシンの濃度の依存は認められなかった。

3.2 うず電流の影響測定結果

シスプラチンの濃度は 2.5 $\mu\text{g/ml}$ で行った。交流磁界条件は磁束密度 50 mT, 周波数 60 Hz とし、曝露時間は 6 時間で行った。その際、3 時間ごとに非磁界曝露 (Control) と磁界曝露 (Exposure) の生菌数の測定を行った。各時間における Control の生菌数に対する, Exposure の生菌数の存在比 (Exposure の生菌数/Control の生菌数)をそれぞれ計算し、図 6 に示す。グラフの横軸は時間、縦軸は生菌数の存在比としている。6 時間目における生菌数の存在比は各 ring とも 1 より小さくなっており、交流磁界の影響によりシスプラチンの作用が増強した。

この増強が交流磁界によって誘導されるうず電流の影響であるかについて評価した結果について述べる。評価方法は、2つの ring の各時間の生菌数の存在比(どちらか一方の ring の生菌数を 1 とした時のもう一方の比率)を求め、Control と Exposure のその存在比を比較することによりうず電流の影響を評価した。

6 時間目における Inner ring の生菌数を 1 としたときの Middle ring, Outer ring の生菌数の存在比および Middle ring の生菌数を 1 としたときの Outer ring の生菌数の存在比を図 7 に示す。グラフの横軸は時間、縦軸は生菌数の存在比としている。Inner ring との比較において、Middle ring と Outer ring において磁界を曝露することによって、生菌数が減少した。このことから、交流磁界曝露によるシスプラチンの細胞毒性作用の増強がうず電流によるという傾向が見られた。

4. 結論

抗がん剤ブレオマイシンにおいても交流磁界の影響で細胞毒性作用が 1.2 倍上昇した。この作用における抗がん剤の濃度の依存性は見られず、過去の結果を踏まえると、抗がん剤の作用における交流磁界に影響に抗がん剤の濃度の依存性がないことが示唆できる。濃度依存がないということは、将来臨床応用する際、患者によつての投与量の違いに関係なく治療することができるかもしれない。

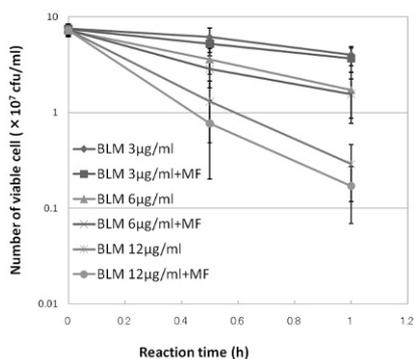


図 4 交流磁界曝露でのブレオマイシンの各濃度における生菌数の時間変化

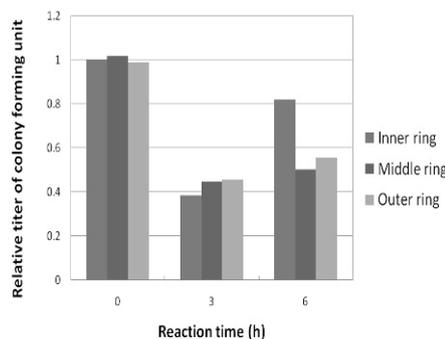


図 6 各 ring におけるコロニー存在比の時間変化

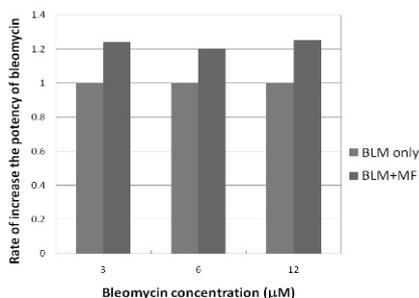


図 5 交流磁界によるブレオマイシンの作用増強率

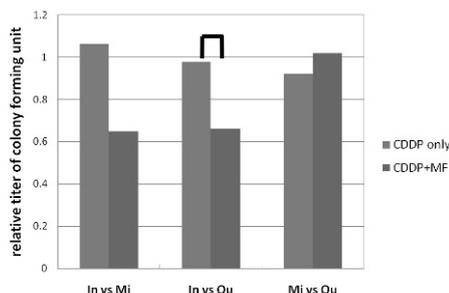


図 7 生菌数の各 ring での比較結果

※ BLM : Bleomycin
MF : Magnetic fields

※ CDDP : Cisplatin MF : Magnetic fields
In : Inner ring Mi : Middle ring
Ou : Outer ring

シスプラチンの細胞毒性作用における交流磁界効果におけるうず電流の影響について検討を行った。この結果、交流磁界による抗がん剤の作用の上昇はうず電流の影響があると考えられる。また、この結果より交流磁界による抗がん剤の作用の上昇においては、ある一定以上のうず電流が誘導される必要あると考えられた。

今後は、他の抗がん剤でも検討を行い、交流磁界の影響がどの抗がん剤でも影響があるかなどの検討を行う必要がある。また、交流磁界による何がどこに影響を与えているのか、メカニズムの解明を進める必要がある。今回は、より効果的な抗がん剤やメカニズムの解明を目的としたため、培養サイクルが早い大腸菌を使用した。今後は大腸菌で得られたデータをもとに、ヒト培養細胞での検討を行う。

文 献

- [1] Juutilainen J. et al., Do extremely low frequency magnetic fields enhance the effects of environmental carcinogens? A meta-analysis of experimental studies, *Int. J. Radiat. Biol.*, 82, 1-12 (2006).
- [2] Tofani S. et al, Static and ELF magnetic fields enhance the in vivo anti-tumor efficacy of cis-platin against lewis lung carcinoma, but not of cyclophosphamide against B16 melanotic melanoma, *Pharmacol. Res.* 48, 83-90 (2003).
- [3] Kakikawa M. et al., 磁界による細菌細胞の DNA 損傷及び生理状態への影響, *日本応用磁気学会誌*, 28 (2004) 437-440
- [4] 平井雄一郎：平成 20 年度修士論文，金沢大学
- [5] 藤畑貴史：平成 19 年度卒業論文，金沢大学
- [6] 日本標準商品分類番号 874234 医薬品インタビューフォーム 抗腫瘍性抗生物質 プレオ注射用，日本化薬株式会社，2009 年 10 月改訂
- [7] 日本標準商品分類番号 874291 医薬品インタビューフォーム 抗悪性腫瘍剤 シスプラチン注「マルコ」，マルコ製薬会社，2008 年 1 月改訂

編集委員会

井上睦夫・柿川真紀子・木下栄一郎
鈴木信雄・田中茂雄・塚脇真二・長谷部徳子

金沢大学環日本海域環境研究センター

平成21年度年報

発行日	2011年3月31日
発行人	中村浩二
編集・発行	金沢大学環日本海域環境研究センター 〒920-1192 金沢市角間町
印刷所	田中昭文堂印刷株式会社 〒920-0377 金沢市打木町東1448番地

金沢大学
環日本海域環境研究センター
<http://k-inet.ee.t.kanazawa-u.ac.jp/inet/>

〈事務局〉

金沢大学角間南地区事務部総務課総務第二係

Address 920-1192 金沢市角間町
Tel 076-234-6825, 6830, 6833
Fax 076-234-6844
E-mail s-somu2@adm.kanazawa-u.ac.jp