

[領域]陸水・気候変動

[領域代表者]柏谷健二

[領域研究成果]

1. ユーラシア東部・環日本海域の陸域堆積物情報に基づく地球環境変動の時系列解析

1) 現行の地球環境システムの成立とユーラシア東部

氷期・間氷期サイクルを基本とする現行の気候（環境）システムの確立は2.6～2.8Maいわれているが、日射量変動に最も敏感な北半球中緯度ユーラシア東部地域にあるバイカル湖の湖底堆積物の解析結果は、その移行への開始は4Maに遡ることを示した。つまり、現行の気候システムの成立には、二酸化炭素の経時的な減少と40万年周期における振幅の増大および4万年周期（地軸の傾斜角）の増幅が4Maにおけるその開始に関係し、2.8Maにおけるそのシステムの確立には二酸化炭素の経時的な減少と4万年周期（地軸の傾斜角）の増幅が関係していることが示唆された。

日射量変動に対する熱的応答が敏感な地域は、海洋よりも陸域であり、最も敏感な場所は北緯60°東経100°を中心とする北半球中緯度の陸域部であることが指摘されている。これは陸域堆積物試料（とりわけ湖沼堆積物試料）の記録媒体としての価値、北半球中緯度地域・ユーラシア東部の試料の価値を意味し、ユーラシア東部バイカル湖や環日本海域琵琶湖の重要性を示している。現行の新生代氷河時代は氷期・間氷期サイクルをその特徴としているが、10万年周期が卓越する過去数十万年の環境変動についてバイカル湖と琵琶湖を比較してみたが、基本的な変動はいずれも同調しており、この期間の気候変動には日射量変動が先導的な役割を果たしていることが示された。

2) 湖沼－流域系と環境変動

① 琵琶湖の北に位置する余呉湖での流域の環境調査と湖沼堆積物コアの解析結果は1959年の余呉湖集水域の拡大につながる導水路工事は堆積速度の急増を促したことを示し、流域環境の変化が堆積物コアに記録されていることを明らかにした。

② 金沢地方気象台における記録的集中豪雨は1964年の7月に発生しているがこの7月にはそれまでの観測史上最大の日降水量と3番目の日降水量が記録され、金沢市や津幡町で山崩れや河川の氾濫が見られ、大きな災害となった。最大月間降水量の分布域の池沼から得られた堆積物コアの解析結果は1964年頃に相当する層序に粗粒化（豪雨）の記録が認められた。また、琵琶湖北部で採取した堆積物コアのPb-210_{exc}の濃度変動から1959年の伊勢湾台風および1896年の明治大豪雨に対応するものが見出され、中部日本における大規模豪雨災害が記録されていることが分かった。

3) 地震災害と湖（池）沼堆積物

大規模な地震の時には山腹崩壊が多発することが知られているが、阪神淡路大震災のときにも六甲山系を中心として多くの崩壊が発生した。地震後の侵食環境や堆積環境を明らかにするために山中の池沼にセディメントトラップを設置し、その経時的変化を調べた。また、地震以前に採取した堆積物コアと最近採取したコアを分析し、比較検討した。粒度変動は地震前後ではあまりその変化が見られないが、堆積速度は地震後には3倍以上も増加しており、その後徐々に減少していることが分かった（柏谷）。

2. 各種年代測定法を用いた環日本海域の短中期的環境変動解析

1) バイカル湖湖沼堆積物の放射年代決定

現在見られるような地球表層での気候・環境の多様性を考慮し、環境変動が人類に与える影響、あるいは人類が変動に与える影響を検討する場合には、全地球的な様相よりは、局所的変動を詳細に明らかにすることが重要になってくる。ここに、陸域試料（湖沼堆積物、黄砂堆積物など）の研究の有効性がある。バイカル湖の湖底堆積物は、海洋や極域からの試料と同様に日射量変動の影響を受けていることが明らかになっている。従って、日射量変動と局所的な気候環境変動間の時間差や地域的格差の有無をさらに議論するためには、各試料について独自に年代軸を設定することが重要となってくる。そこでルミネッセンス年代測定をバイカル湖湖沼堆積物（細粒の複合鉱物試料）に適用し、独自に放射年代を決定するための基礎実験を行った。試料の処理条件、測定条件などを基礎実験に基づいて決定した後、人工放射線線量に対するルミネッセンス強度をみると、きれいな一次相関を示した。つまりルミネッセンスの測定により、天然放射線による蓄積線量が測定可能であることが明らかになった。

2) ガラスの FT 年代測定法の改良

爆発的な火山噴火によって噴出される広域テフラは、同時期面として用いることで空間的に離れた地層同士の層序関係を読み解くことを可能とする。さらにこのテフラを放射年代決定すれば、良い時間指標になる。環日本海域は大陸縁辺部沈み込み帯に位置し、多くの広域テフラが分布するため、テフラの年代決定は環境変動の時間軸設定に有効である。火山ガラスの放射年代決定には FT 年代測定法が利用されてきた。しかし、火山ガラス中のトラックは常温下でも小さくなるという性質があるため、観察面に交差するトラック数の減少を引き起こし、結果として平面観察で行われていた従来の FT 年代は真の年代よりも若くなるという問題点があった。この若返りを補正するためにこれまで提案されてきた手法は、補正に長時間（30-90 日間）必要なことや熱中性子照射による放射能物質の取り扱いなど、決して使い勝手が良いとは言うわけではなかった。そこで本研究では観察面を交差するトラック数を計測するのではなく、単位体積当たりのトラック密度を測定する新しい分析手法を考案した。トラックの観察のためにエッチングと呼ぶ化学処理を施す。従来法ではエッチングを一度だけ行い、面観察を行っていた。しかしここでは試料を段階的に何度もエッチングを施し、任意の体積中におけるトラックの個数を画像処理法で計測した。また観察体積の見積もりにはトラックの形状を利用した。試料として、任意のトラック密度を与えるために原子炉で中性子照射を行ったものを用意した。分析の結果、新規手法で得られたトラック密度は、ウラン濃度及び中性子線量から計算で求めたトラック密度とよく一致し、体積トラック密度の測定が可能であることが示された（長谷部）。

[研究課題]ユーラシア東部・環日本海域の陸域堆積物情報に基づく地球環境変動の時系列解析
[事業推進担当者]柏谷健二

[目的]

陸域堆積物（湖沼・レス）情報と水文地形情報に基づき、ユーラシア東部アジアモンスーン域（大陸域と日本海域）の現在に繋がる環境変動の時系列を明らかにする。

[研究要旨]

地球環境の変動とそれへの応答を予知・予測も含めて明らかにするために、湖沼堆積物の解析から読み取ることのできる現行の地球環境（気候）システムの開始、氷期・間氷期サイクルに関わる変動、そして観測資料と比較できる短期の湖沼一流域系の環境変動を取り上げた。最初に、完新世という現在の間氷期を含む長期的変動の背景を、氷期・間氷期を繰り返す現行の大きな地球環境システムと日射量変動の観点から議論した。また、日射量変動に対する日本海を挟んだ大陸側と日本列島の応答の相違を検討した。さらに高解像度の解析と予知・予測を進めるために、環境プロセスとそのメカニズムの解明が可能な湖沼一流域系において豪雨、地震そして人為的活動と観測記録および湖沼堆積物記録に関する検討を行った。さらに、観測記録が残されている観測時代とそれに繋がる過去数百年あるいは有史時代における資料の復元について議論した。

1. 現行の地球環境システム

1) システムの成立

氷期・間氷期サイクルを基本とする現行の気候（環境）システムの確立は2.6～2.8Maいわれているが、日射量変動に最も敏感な北半球中緯度ユーラシア東部地域にあるバイカル湖の湖底堆積物の解析結果は、その移行への開始は4Maに遡ることを示した。つまり、現行の気候システムの成立には、二酸化炭素の経時的な減少と40万年周期における振幅の増大および4万年周期（地軸の傾斜角）の増幅が4Maにおけるその開始に関係し、2.8Maにおけるそのシステムの確立には二酸化炭素の経時的な減少と4万年周期（地軸の傾斜角）の増幅が関係していることが示唆された。

2) 氷期・間氷期サイクルとユーラシア東部

日射量変動の地理的な気候変動への影響については、Short et al. (1991)が海陸分布を考慮した熱平衡気候モデルにおいて、日射量変動に対する熱的応答が敏感な地域は、海洋よりも陸域であり、最も敏感な場所は北緯60° 東経100° を中心とする北半球中緯度の陸域部であることを指摘している。この陸域と海洋の感度の差は熱容量の相違に起因しているので、このモデルでは陸域で、チベット高原の熱源効果を考慮すれば多少変動するが、ユーラシア東部環日本海域では大陸側（海域よりは陸域）でより鋭敏な気候変動の記録が残される可能性を示唆している。これは陸域堆積物試料（とりわけ湖沼堆積物試料）の記録媒体としての価値、北半球中緯度地域・ユーラシア東部の試料の価値を意味し、ユーラシア東部バイカル湖や環日本海域琵琶湖の重要性を示している。

現行の新生代氷河時代は氷期・間氷期サイクルをその特徴としているが、4万年サイクルの卓越した時期が続き、明瞭な10万年サイクルが卓越するのは70-80万年前からである。そこで10万年周期が卓越する過去数十万年の環境変動についてバイカル湖と琵琶湖を比較してみた。基本的な変動はいずれも同調しており、この期間の気候変動には日射量変動が

先導的な役割を果たしていることが示された。さらにバイカル湖の記録 (biSiO_2 含有量) の詳細な検討は、琵琶湖ではそれ程でもないが、酸素同位体ステージ5dおよび7dの時期には日射量の変動に直接対応するような急激な落ち込みを明らかにし、この地域が日射量変動に敏感であるという先の指摘を裏付けた。日本列島側の相対的に緩やかな変動は、厳密な対比には代替資料の基準化が必要であるが、四海が海に囲まれていることにも関係する熱量的・水文的条件等の相違を反映している。

2. 湖沼－流域系

1) 地形改変と湖（池）沼堆積物－流域における導水路工事と堆積速度

琵琶湖の北に位置する余呉湖では流域の環境調査と数本湖沼堆積物コアが採取され、観測時代および歴史時代の水文環境の復元が試みられている [寫田他, 2003]。例えば、コア試料の一つにおける $\text{Pb-210}_{\text{ex}}$ 濃度の鉛直変動には 1959 年の余呉湖集水域の拡大につながる導水路の設置による堆積速度の変化が明瞭に認められ、集水面積の拡大に対応して堆積速度が急増していることが分かった。

2) 豪雨による災害と湖（池）沼堆積物

金沢地方気象台における記録的集中豪雨は 1964 年の 7 月に発生している。この 7 月にはそれまでの観測史上最大の日降水量と 3 番目の日降水量が記録され、金沢市や津幡町で山崩れや河川の氾濫が見られ、大きな災害となった。このときの最大月間降水量の分布域において、いくつかの池沼から何本かの堆積物コアを採取したが、多くのコア試料の 1964 年頃に相当する層序に粒度変動に粗粒化の部分が認められ、豪雨による土砂移動が記録されているが示唆された。

5000 名を越す死者・行方不明者を出した 1959 年の伊勢湾台風は琵琶湖周辺でも多くの洪水災害があり、多くの土砂が琵琶湖に流入している。また総雨量で 1000mm を越した 1896 年 9 月の明治大豪雨では河川の決壊や洪水等が発生し、やはり大量の土砂が琵琶湖に流入している。琵琶湖北部で採取した堆積物コアの $\text{Pb-210}_{\text{ex}}$ の濃度変動から 1959 年の伊勢湾台風および 1896 年の明治大豪雨に対応するものが見出され、中部日本における大規模豪雨災害が記録されていることが分かった。

3) 地震災害と湖（池）沼堆積物

大規模な地震の時には山腹崩壊が多発することが知られているが、阪神淡路大震災のときにも六甲山系を中心として多くの崩壊が発生した。1938 年における阪神大水災時等の豪雨のときも多くの山腹崩壊は発生しているが、豪雨時の場合は主として水系に沿って発生し、地震時のときは急傾斜地や直線斜面・尾根型斜面付近に多くが発生しているという違いがある。1995 年の地震時でも六甲山系の崩壊の多くも同様の傾向を示している。地震後の侵食環境や堆積環境を調べるために地震直後に、以前に水文環境を調査した池にセディメントトラップを設置した。また、地震以前に堆積物コアを採取した地点の付近の何箇所かで同様にコアを採取した。測定・分析結果から粒度変動は地震前後ではあまりその変化が見られないことが分かった。ところが、堆積速度では地震後には 3 倍以上も増加しており、その後徐々に減少している。これは地震によって容易に移動しやすい細粒の土砂が大量に生産されたことそしてその後その土砂が（侵食等により）減少していることを意味している。地震時には粗粒の土砂も生産されたと思われるが、粗粒土砂を移動させるような大きな掃流力（豪雨）が生じなかったことがその一つの理由であろう。

[研究課題]各種年代測定法を用いた環日本海域の短中期的環境変動解析

[事業推進担当者]長谷部 徳子

[目的]

近年の人口増加，経済活動の発展などの人間活動の増加から，環日本海地域の世界における重要性はますます高まっている．それに伴いこの地域が環境に与える影響も大きくなり，環日本海地域の環境を支配する要因及びその効果の現れ方（環境システム）について理解することは，将来予測，適切な対応の考案という点から重要である．システムを理解するためには観測とともに過去の記録をひもとき，各種イベントの時系列を正確に構築することが必要である．本研究では，精密な環境変動記録体である，バイカル湖湖沼堆積物の放射年代決定，および第四紀の同時面設定に有効な広域テフラ年代決定法の一つであるガラスのフィッシュントラック（FT）年代決定法の改良を行った．

[研究成果]

- (1) バイカル湖湖沼堆積物の放射年代決定：地球の古気候は歴史時代・地質時代を通じて変動している．地球全体を一つのフィールドと見なしその変動の平均像を求める際には，海洋や極地など，ある種の積分値が得られることが期待できる地域から試料を採取し，深さ方向に連続して得られたデータを利用して変動史を明らかにすることに成功している．しかし現在見られるような地球表層での気候・環境の多様性を考えると，変動が人類に与える影響，あるいは人類が変動に与える影響をみる際には，全地球的な様相よりは，地域に根ざした変動を明らかにすることが必要である．このような観点からは，陸域の湖沼などから得られた試料の研究が有効である．バイカル湖の湖底堆積物は，海洋や極域からの試料と同様に日射量変動の影響を受けていることが明らかになっている．このような報告は多くの場合，データのスペクトル解析による変動周期の検出に依存しているが，さらに日射量変動と地域の気候環境変動の間の時間差の有無や，地域毎に格差があるのかどうかなどを議論するには，各試料について独自に年代軸を設定することが重要となってくる．そこで本研究ではルミネッセンス年代測定をバイカル湖湖沼堆積物（細粒の複合鉱物試料）に適用し，独自に放射年代を決定するための基礎実験を行った．試料の処理条件，測定条件などを基礎実験に基づいて決定した後，人工放射線線量に対するルミネッセンス強度をみると，きれいな一次相関を示した（図 1）．したがってルミネッセンスを測定することにより，天然放射線による蓄積線量が測定可能であることが明らかになった．
- (2) ガラスの FT 年代測定法の改良：爆発的な火山噴火によって噴出される広域テフラは，同時面として用いることで空間的に離れた地層同士の層序関係を読み解くことを可能とする．さらにこのテフラを放射年代決定すれば，良い時間指標になる．環日本海域は大陸縁辺部沈み込み帯に位置し，多くの広域テフラが分布するため，テフラの年代決定は環境変動の時間軸設定に有効である．火山ガラスの放射年代決定には FT 年代測定法が利用されてきた．しかし，火山ガラス中のトラックは常温下でも小さくなるという性質があるため，観察面に交差するトラック数の減少を引き起こし，結果として平面観察で行われていた従来の FT 年代は真の年代よりも若くなるという問題点があった．この若返りを補正するためにこれまで提案されてきた手法は，補正に長時間（30～90 日間）必要なことや熱中性子照射による放射能物質の取り扱いなど，決し

て使い勝手が良いと言うわけではなかった。そこで本研究では観察面を交差するトラック数を計測するのではなく、単位体積当たりのトラック密度を測定する新しい分析手法を考案した。トラックの観察のためにエッチングと呼ぶ化学処理を施す。従来法ではエッチングを一度だけ行い、面観察を行っていた。しかしここでは試料を段階的に何度もエッチングを施し（図 2）、任意の体積中のトラックの個数を画像処理を利用して計測した。また観察体積の見積もりにはトラックの形状を利用した。試料として、任意のトラック密度を与えるために原子炉で中性子照射を行ったものを用意した。分析の結果、新規手法で得られたトラック密度は、ウラン濃度及び中性子線量から計算で求めたトラック密度とよく一致し（図 3）体積トラック密度の測定が可能であることが示された。

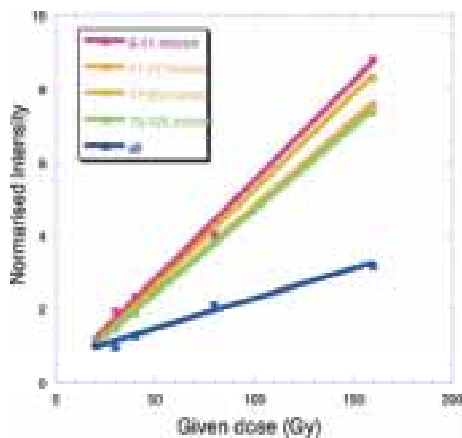


図 1 測定試料の粒子径によらず、線量とルミネッセンス強度は良い相関を示す

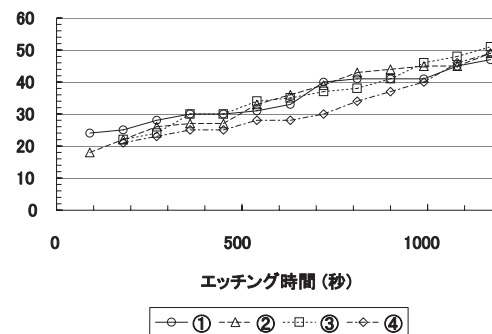


図 2 段階的にエッチングを施すことで観察されるトラック数の増加。これに基づき単位体積あたりのトラック数を算出する。

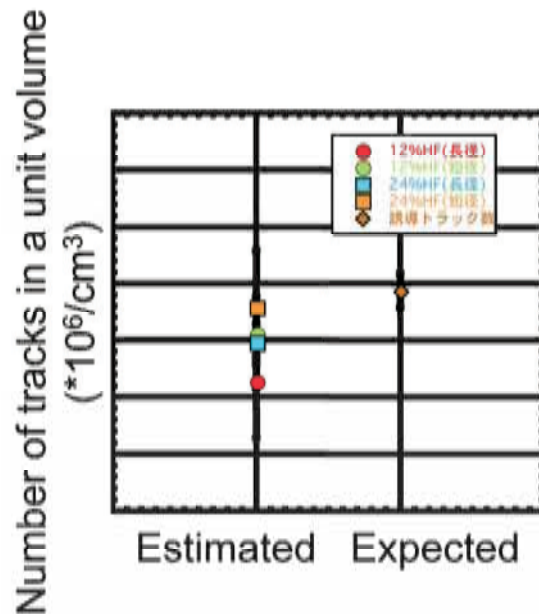


図 3 段階エッチングから見積もられたトラック密度と、期待される密度との比較