

[領域] 水・土壌

[領域代表者] 田崎和江

[領域研究成果]

日本海重油流出事故と海岸の浄化および環日本海域の国際共同研究を中心とした水環境モニタリング

日本海重油流出事故と海岸の浄化：ナホトカ号重油流出事故から10年、私たちは何を学んだか？については田崎和江が研究を行い、環日本海域の国際共同研究を中心とした水環境モニタリングについては川西琢也が研究を行った。

1997年1月に起きたロシア船籍ナホトカ号のC重油流出事故は私たち日本人に、今まで誰も経験したことのない日本海の海洋・海岸汚染を突きつけた。何をどうやって、どこから手をつけ、誰がそれをやり、誰がその方法を知っているのか、五里霧中の状態であった。C重油は簡単には処理できず、撤去してもその処理、保管、焼却の方法、二次汚染の危惧については明確な答えが見いだされなかった。あれから10年、金沢大学は、事故後も汚染地の追跡調査、経過観察、実験による環境修復の試みについて研究を続けてきた。

一方、環日本海域の経済は急速に発展しているが、周辺諸国の環境意識は必ずしも高いとは言いがたく、日本海はややもすると巨大なゴミ捨て場になりかねない。それを防ぐには、(i) 共同で定期的なモニタリングを行い、(ii) 周辺諸国の環境科学の発展に寄与し、(iii) 周辺諸国の環境保全を促すのが、アカデミックな機関である金沢大学が、また当COEが担うべき、おおきな役割であると考えられる。その観点から、主に国際共同研究を通じて、この地域での環境負荷解析、モニタリング体制の整備を中心に拠点形成を図った。

(1) 日本海重油流出事故と海岸の浄化：

ナホトカ号重油流出事故から10年、私たちは何を学んだか？：1997年1月2日、約1万9千klのC重油を積んだロシア船籍タンカー（ナホトカ号）が隠岐島沖で分断して沈没した。船首部は北西の強風を受け漂流した後、1月7日、福井県三国沖で座標し、深刻な海洋汚染を北陸沿岸200kmにもたらした。北陸沿岸では、その時海水、砂、海藻、ごみを含む31,000klの重油が回収されたが、その年の3月まで各地で重油回収作業が続いた。その後、北陸地方では科学者により地道な追跡調査が続けられた。重油流出事故後10年たった現在、多くの研究成果が得られた。ここ5年間の研究成果で特筆すべきことは〈重油分解 細菌はどこにでもいる：浄化と称して外来種を撒くな〉ということである。福井県三国町安東の海岸で採集したC重油から初めて重油分解細菌が認められた。染色してみると、青く光り、これらの細菌は生きており、増殖していることが明らかになった。さらに、〈重油は9年でパラフィンに変わる〉ことを明らかにした。重油流出事故から9年目、2005年10月、福井県三国町安東海岸を調査したところ、大きな岩石の表面に黒くこびりついた重油を見つけた。表面も裏面も比較的滑らかであり、そのままX線分析したところ結晶度の高いパラフィンが生成しており、1ミクロンの球菌も付着していた。また、重油の部分には粘土鉱物と思われるAl、Siと海水の成分と思われるClが検出された。この球菌は電子線照射により、水分と油分が蒸発し、中に細胞の形態が見られた。すなわち、C重油は野外で揮発性分や海水を蒸発させ、かつ重油分解細菌によりパラフィンに変化し、生命体にとって無害な物質に変化することが明らかになった(図1)。これらの研究成果を、本〈ナホトカ号重油流出事故から10年、私たちは何を学んだか？〉を出版した。また、2006年12月18-22日に、当時の写真や重油回収に使った物品、ナホトカ号から抜き取ったC重油、汚染された海岸の砂礫などを展示した。また、12月19日にはフォーラムを企画し、当時のボランティア、協力研究者と情報交換を行った。

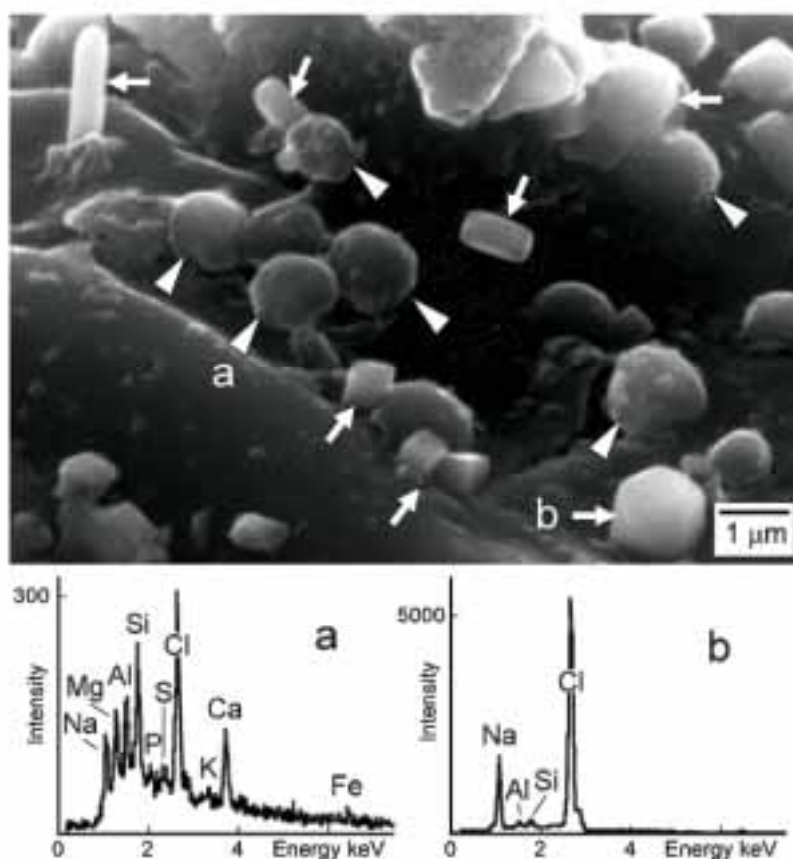


図1. パラフィン化したC重油と重油分解細菌の電子顕微鏡写真(上)と化学成分(下 a, b)

(2) 環日本海域の国際共同研究を中心とした水環境モニタリング：

日本海に注ぐ大陸側で最大級の河川である図們江(豆満江)流域での汚染物質の負荷解析を行った。主に、硝酸態窒素に注目し、この地域での窒素の負荷量と、地下水、河川水質について検討した。また、農業が窒素の環境への負荷源であることに着目し、その大量に施肥を行う野菜畑での窒素収支の検討を行った。図們江流域の吉林省延吉市の野菜畑において数年にわたって土壌水、地下水をモニタリングし、窒素動態を解析した。硝酸態窒素濃度は土壌水、地下水ともに水道基準値(10mg-N/L)をはるかに超えていた。一方、肥料投入量にほぼ等しい量の窒素が土壌に蓄積されており、今後流出してくる懸念がある。野菜畑、畜舎周辺で局所的に高濃度の硝酸態窒素汚染が生じており、モニタリングで見守る必要がある。

また、ロシア領海での化学物質測定を強化するため、ロシア船に海水化学物質サンプリング装置を載せ、アムール川河口付近のオホーツク海、日本海でサンプリングを行い、現在、その分析を進めている。ロシア極東の研究機関においては、微量有機汚染物質の分析技術の導入が遅れており、これらの物質のモニタリングが事実上できないでいる状況である。さらに、金沢市の河川におけるPAHのモニタリングおよび底質を中心に、化学物質の挙動についての詳細な知見が必要であると考え。犀川、浅野川において定期的にモニタリングを行い、河川中の多環芳香族単価水素(PAH)濃度、組成および水と固形物質の分析を行っている。

[研究課題名] 日本海重油流出事故と海岸の浄化
[事業推進担当者] 田崎和江

[目的]

1997年1月2日、約19000klのC重油を積んだロシア船籍タンカー〈ナホトカ号〉が隠岐島沖で分断して沈没した。船首部は北西の強風を受け漂流した後、1月7日、福井県三国沖で座標し深刻な海洋汚染は北陸沿岸にもたらした。北陸沿岸、特に能登半島における海岸の浄化とそのメカニズムについて研究した。その後10年間、田崎研究室は地道な追跡調査を続けてきた。事故後10年たった現在、今後の教訓とするために、研究成果を国内外に公表した。

[研究成果]

1. 具体的な活動状況

北陸沿岸では、海水、砂を含む約30000klの重油が地域住民、行政、自衛隊、多くのボランティアの手作業で回収された。その後も、田崎研究室のゼミ生延べ約50名は地道な追跡調査を続けてきた。事故後10年たった現在、今後の教訓とするために、この事実を論文や本にして世界に公表した。

事故7年後、珠洲市シャク崎や長橋、輪島市大沢アタケ海岸、千枚田海岸では重油が目視できた。岩石や消波ブロックの隙間には油塊が見られるほか、大きな岩石の表面にも古くなったゴムのようにはばりついていていた。2001年11月にはアタケ海岸で、重油の入った砂袋10kgを回収したが、粘着性の高い、黒茶色の油塊であった。海水に頻繁に洗われる環境では物理的な洗浄による油の除去が行われると共に微生物によるバイオレメディエーションも進むことが明らかになった。

海岸の汚染された砂礫の浄化法についても検討した。一般に消波ブロックやコンクリートの部分は高圧ノズルで熱湯をかけ洗浄するが、その洗浄液に界面活性剤が入っており、その周辺の生物に影響がでた。そこで、ドラム缶を改良した温海水洗浄法を見いだした。この方法は安全で、安価で、容易な方法であり、ゼミ生はボランティアとともに現地で環境修復作業を行った。

また、岩海岸は人間の手でバケツと柄杓で重油を回収したり、岩の表面を雑巾で拭いたりして浄化したが、加賀の塩屋海岸、片野海岸、浜地海岸などの砂海岸の浄化は困難を極めた。重機で汚染された砂を山にして積み上げたが、燃焼による回収のコストがかさみ、処理場やその場に埋蔵した。一時期、ボランティアが篩いを使って浄化につとめたが、結果的には、海浜の砂はくきなごはん>状に重油をまぶした状態になり、結局その場に埋めた。埋めたてられた重油の層はその後4-5年まで目視できた。

さらに、微生物や紫外線による重油の分解事実を顕微鏡で観察し、人間の手の届かない場所や取り除けなかった重油も徐々に分解の方向に向かっていることを確認した。以上の現地調査と実験室での研究成果は国内の学術誌に論文を公表してきたが、昨年のスペイン沖の油流出事故に見られるように、頻繁に事故が繰り返されているため、世界にむけて、事故の現状と環境修復法を著書によって発信した。

2. 活動の発端、経過、今後の展開

石川県加賀市では、1997年に羽や腹が重油まみれになったウミネコやアカエリカイツブリなど汚染された水鳥が615羽回収された。生体は264羽であり、羽を洗浄し手当てを施し、リハビリテーションした後、56羽を自然界に放つことができた。そのうち北海道に空輸されて16羽が空に放たれたが何羽かはそこでも死亡した。解剖した結果、内臓中に重油の蓄積が認められ腎臓や肝臓にも問題があった。また、自然界に放つ場合、生育場所の北陸地方ではなく北海道に放った是非も問われている。北陸の海岸には水鳥のみならず、さまざまな魚介類が打ちあがった。能登の外浦のしじみやムール貝は死なないまでも、かなり長期的に重油の臭いがしていた他、行政の定点観測結果からもムール貝に重油の成分が検出された。一方、ナホトカ号の重油を用いて、ヒラメとムシカレイの初期発生の実験を行った結果、ヒラメの仔魚の背骨が曲がるなど奇形が多く認められた。海棲の生物や魚介類は一世代では影響が認められなくとも、次世代で奇形や変性などの影響がでることも考えられる。回遊魚などの追跡調査はむづかしいとしても、底生魚などの生態系は長期の観察が必要である。

ナホトカ号から流出した重油の周辺には重油をエネルギーとする土着の重油分解細菌がレメディエーションを行っていた。味噌桶に粘土、水苔、酸性白土、などを入れ、その上に、海水と<ナホトカ号>のC重油を滴下した目視実験は、5年を経過した時点で、環境条件により大きな違いが見られた。野外の方が重油の分解が早く、油塊がほとんど認められないのに対し、室内にはまだ油塊が存在する。分解速度の違いは太陽光線、有機物の存在量と供給量、水質の違いを示している。この観察実験は今後も継続していく必要がある。

事故10年たった現在も波消ブロックの隙間や大きな岩石の表面に重油が認められる。しかし、日光のあたる岩石表面の重油は脱水し、固化しており、パラフィンに変化していることを突き止めた。また、その裏面には、重油分解細菌の化石化したものと現在も生育している細菌が認められた。やはり、土着の分解細菌が10年かけて重油を分解し、無害なパラフィンに変化している事実を照明できた。

今後、私たちはこの事故を教訓として今後に生かし、次代に伝えたいと考える。

発刊した出版物

1. Heavy oil spilled from Russian Tanker “*Nakhodka*” in 1997: Towards eco-responsibility, Earth Sense.

Kazue Tazaki (Editor)

2. Water and Soil Environments; Microorganisms play an important role.

Kazue Tazaki (Editor)

[研究課題] 環日本海域の国際共同研究を中心とした水環境モニタリング

[事業推進担当者] 川西琢也

[目的]

環日本海域の経済は急速に発展しているが、周辺諸国の環境意識は必ずしも高いとは言いがたく、日本海はややもすると巨大なゴミ捨て場になりかねない。それを防ぐには(i) 共同で定期的なモニタリングを行い、(ii) 周辺諸国の環境科学の発展に寄与し、(iii) 周辺諸国の環境保全を促すのが、アカデミックな機関である金沢大学が、また当 COE が担うべき、おおきな役割であると考えられる。その観点から、主に国際共同研究を通じて、この地域での環境負荷解析、モニタリング体制の整備を中心に拠点形成を図った。

具体的には、(1) 図們江（豆満江）流域での汚染負荷解析、(2) ロシア科学アカデミー極東支部と共同での日本海の化学物質モニタリング、(3) 金沢市の河川における PAH のモニタリング、の3点について研究を進めてきた。

[研究成果]

(1) 図們江（豆満江）流域での汚染負荷解析

日本海に注ぐ大陸側で最大級の河川である図們江（豆満江）流域での汚染物質の負荷解析を行った。主に、硝酸態窒素に注目し、この地域での窒素の負荷量と、地下水、河川水質について検討した。このために、定期的に河川水、地下水をモニタリングした。また、農業が窒素の環境への負荷源であることに着目し、その大量に施肥を行う野菜畑での窒素収支の検討を行った。

まず野菜畑の解析から述べる。中国の野菜畑では、年間千～数千トン-N/ha という大量の施肥が行われているが、そこでの窒素の挙動については必ずしも十分な知見が得られているわけではない。そこで、図們江流域の吉林省延吉市の野菜畑において数年にわたって土壌水、地下水をモニタリングし、そこでの窒素動態を解析した。年間施肥料 2200, 1160, 2090 kg-N/ha、灌漑水からの年間窒素投入量 1050, 1510, 1260 kg-N/ha の3つのビニールハウス野菜畑の土壌水の平均全窒素濃度は、158, 136, 140mg-N/L、地下水の平均全窒素濃度は 88, 99, 93mg-N/L 及び硝酸態窒素濃度は土壌水でそれぞれ 124, 102, 104mg-N/L と地下水で 58, 79, 68mg-N/L であった。硝酸態窒素濃度は土壌水、地下水ともに水道基準値(10mg-N/L)をはるかに超えていた。これら野菜畑では、灌漑に高硝酸態窒素濃度の地下水を使用しており、灌漑で投入される窒素と地下へ流出する窒素がほぼバランスしており、肥料を投入しても地下水へのさらなる負荷は小さいと考えられるが、一方、肥料投入量にほぼ等しい量の窒素が土壌に蓄積されており、今後流出してくる懸念がある。

負荷解析では、統計資料から算出した窒素負荷量に対し、河川に流出している窒素量はおよそその数分の1程度であった。中国での肥料使用量の急増が1980年代だったことからタイムラグを考えると、脱窒、希釈効果を考えても、今後河川等への流出負荷は漸増すると考えられる。地域全体としては硝酸態窒素による汚染が深刻になるとは考えられないが、野菜畑、畜舎周辺で局所的に高濃度の硝酸態窒素汚染が生じており、また、今後その環境への流出負荷が増大する傾向がみられる。この点について今後、モニタリングで見守る必要がある。

日本海に流入する大陸側の河川である図們江（豆満江）流域での負荷解析を実行し、延辺大学の研究者、および現地からの留学生の協力で、定期的なモニタリングの体制がひと

とおり整ったことは、環日本海域の環境研究の基盤整備として意義深いと考える。今後、このインフラを化学物質のモニタリングに利用していきたい。

(2) ロシアとの協力による日本海の化学物質モニタリング

日本海域の問題を考える上で、日本海そのもののモニタリングが重要であることは論をまたないが、これまでに、日本海における化学物質濃度のデータは著しく不足していると考えられる。そこで、特にロシア領海での化学物質測定を強化するため、ロシア船に海水化学物質サンプリング装置を載せ、サンプリングを始めている。これまでに、アムール川河口付近のオホーツク海、日本海でサンプリングを行い、現在、その分析を進めている段階である。今後、ロシア科学調査船でロシア領内の様々な地域でモニタリングを行う。

ロシア極東の研究機関においては、微量有機汚染物質の分析技術の導入が遅れており、これらの物質のモニタリングが事実上できないでいる状況である。そのため、アムール川、ウラジオストック周辺の化学物質汚染の現状は、よく分からない状態である。そこで、共同研究によりこの地域の微量有機汚染物質モニタリングを行うことは意義深いと考える。

(3) 金沢市の河川における PAH のモニタリング：

微量化学物質による汚染状況に関しては、河川河口部、および底質を中心に、対象物質は少ないものの、地方自治体を中心としたモニタリング体制は整っている。しかしながら化学物質の河川中における挙動、河口部における沈降、底質との関係については必ずしも明らかにはなっておらず、今後、種々のモニタリングデータを解釈するに際しても、河川における化学物質の挙動についての詳細な知見が必要であると考えられる。そこで、ここではケーススタディとして、金沢市の主要河川である犀川、浅野川において定期的にモニタリングを行い、河川中の多環芳香族単価水素（PAH）濃度、組成、および水と固形物質（浮遊固形物質、底質）との間の分配について検討してきた。

モニタリング結果としては、金沢市の主要河川中の全 PAH 濃度は数十 ng/L のオーダーであり、浮遊固形物質と河川水との間の分配に関しては、Log Kd の平均値として 4.2～6.5 の値が得られている。また、河口表層底質中の PAH 濃度とその上の河川水との間には、ほぼ線形のような相関が見られ、表層底質と河川水との間の交換はかなり速く、河川濃度の変化よりも早い速度で平衡に達していると考えられる。また、犀川、浅野川両河川の河口底質とも、PAH の分配においては、有機物質含有量が支配要因であることが明らかになった。そのほか、発生源解析により、両河川中の PAH は化石燃料燃焼由来によるものが多いと推測された。以上のように、モニタリングのノウハウの蓄積、および基本的な科学的知見が得られている。ここでの知見は他の河川でのデータの解析に応用できる。

(4) 成果のまとめ、

海外の学術機関との共同研究を中心に、(1) 延辺大学（中国吉林省）の研究者とともに、図們江（豆満江）流域での窒素負荷解析を行い、この流域での各種水質モニタリング体制を整えた。(2) ロシア科学アカデミー極東支部との共同研究により、この機関の調査船を用いてロシア領日本海の化学物質モニタリング体制を整えた。(3) 金沢市の河川で PAH の定期的モニタリングを行い、水環境中でのその挙動の解析法について検討を加えた。拠点形成・モニタリングネットワーク形成の観点から、成果が上がったと判断している。