

# 各種安定同位体比に基づく流域生態系の 健全性・持続可能性指標の構築

研究代表者  
永田 俊

# 各種安定同位体比に基づく流域生態系の健全性・持続可能性指標の構築

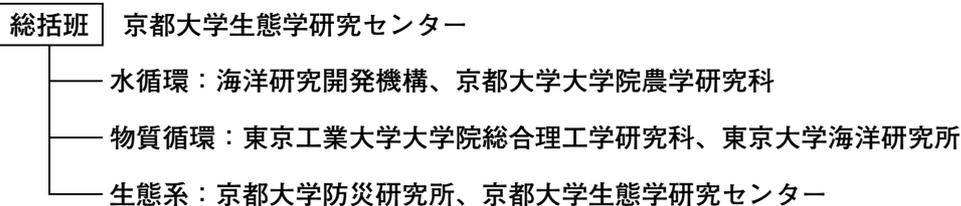
京大生大生生態学研究センター 永田 俊

## 1. 全体構想

今日、流域環境の保全と再生や、生態系環境を考慮した健全な水循環の確保をめざした様々な取り組みがなされているが、これと関連して、客観的かつ総合的な流域環境評価（アセスメント）の方法の確立が急務となっている。本研究の中心的なアイデアは、流域生態系を構成する水、物質、生物の各種安定同位体比を体系的に観測することで、水文過程（水の起源や流出経路）、物質循環（栄養負荷源や生態系の基本代謝・浄化機能）、生態系構造（多様性と食物網）を含めた流域生態系の全体を統合的に診断する新たな指標群を構築することにある。炭素、窒素、酸素、水素などの安定同位体比は、それぞれの元素、あるいはその元素を含む化合物の発生起源や反応履歴を反映する鋭敏な指標となる。また、生物の場合ならば、生態系のエネルギー基盤（炭素源）や食物連鎖関係を評価することができる。本研究では、流域構成要素の各種安定同位体比を精査し、流域における安定同位体比の分布則を解き明かすことで、水循環と生態系環境の健全度を測る、新しい流域診断技術の開発を目的とする。

## 2. 研究手法・体制

本研究では、水文学、地球化学、生態学の専門家の協力のもとに、流域生態系環境診断の基盤となる先進的な安定同位体比分析体制の構築と技術開発を強力に推進するとともに、琵琶湖流域とモンゴル国トゥール川流域を主要な調査対象とした総合的な流域観測を展開する。得られた情報の解析に基づき新たな総合指標の構築を目指す。



## 3. 研究成果と考察

### 3-1. 各種安定同位体比の測定的高速化・高精度化・微量化に関わる技術開発

各種安定同位体比に基づく流域環境診断を実現するうえでは、多数の環境試料を高速かつ高精度に測定する技術の開発が重要な課題となる。とくに流域における安定同位体比の分布を広域的にマッピングし、汚染源の特定や、汚染物質の生成消滅に関わる反応経路を推定するためには、ハイスループット安定同位体測定技術の開発が強く要請される。本研究では、質量分析の前処理に用いるフラッシュ型元素分析計に装備されている酸化管および還元管の流路断面積を最適化することで、気体の拡散消失を大幅に削減することに成功した。これにより、炭素および窒素等の元素の検出能力が著しく向上され、世界で最も微量な試料量で炭素・窒素の安定同位体比や、各元素成分の質量分析等を正確に行うことができるようになった（特許出願中、図1）。また、固体高分子膜を用いた水の電気分解装置を使って、水の酸素安定同位体比を測定するための開発研究をおこなった（図2）。この手法は、1マイクロLあるいはそれ以下という微量な水で、その3つの酸素同位体組成（ $^{16}\text{O} : ^{17}\text{O} : ^{18}\text{O}$ ）を正確に測定することを目指すものであり、微量な天然水（動物、植物体内の水、空気中の水蒸気など）の測定に応用可能である。一方、水域の窒素汚濁を表す重要な水質指標である硝酸イオンについて、窒素と酸素の安定同位体比を同時測定する先進的なシス

テムを構築した。この方法では、米国の Sigman らが開発した脱窒菌法を用いている。そのシステムの概略を図3に示す。

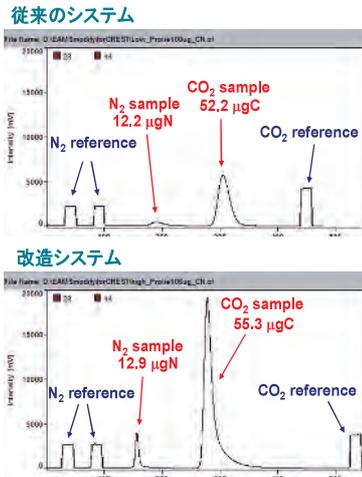


図1 安定同位体比測定の高感度化。本研究開発により、質量分析計の感度が大幅に上昇し、微量試料量での同位体測定が可能になった（特許出願中）。



図2 水凝縮型固体高分子電気分解装置の開発。極微量の水安定同位体比の測定が可能である。

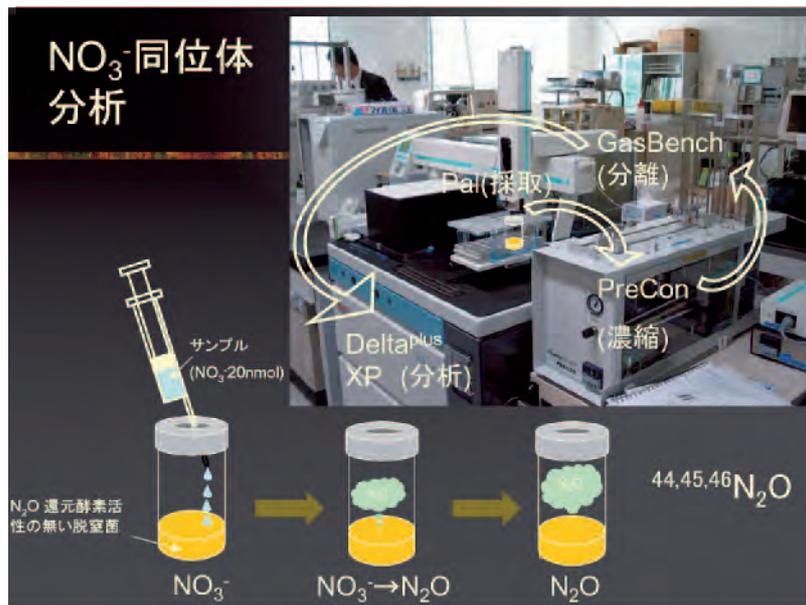


図3 硝酸イオン窒素・酸素安定同位体比測定システムの概念図。本法では、脱窒菌を用いて硝酸イオンを亜酸化窒素に変換し、同位体比を測定する。この高速・微量分析法を用いることで流域における硝酸イオンの安定同位体比の高解像度・精密観測が可能になった。

### 3-2. 硝酸イオンの負荷と循環からみた琵琶湖集水域の健全性評価

硝酸イオンは植物にとっての重要な栄養源であるが、これが水域に過剰に負荷されると富栄養化を引き起こし、水質の悪化、低酸素水塊の出現、生態系の劣化につながる。また、人が高濃度の硝酸イオンを摂取するとメトヘモグロビン症の原因となる。このため、硝酸イオンなどの栄養塩類の濃度は一般水質項目

として従来からモニタリングがなされている。しかし、これらの成分は環境中で非保存的に振る舞うため、濃度の変動のみからは、起源や循環過程の特定が困難な場合が多い。一方、先行研究において、硝酸イオンの安定同位体比が、その起源や反応過程についての情報を与えてくれることが明らかになっている。それによれば、排水処理施設、肥料、降水を起源とする硝酸イオンはそれぞれの起源に特徴的な安定同位体比を示す。たとえば、排水起源の硝酸イオンは、著しく高い窒素安定同位体比を示す。また、有機汚濁の進んだ還元的な環境中では、アンモニアの揮散や脱窒素反応に伴う同位体分別のために、窒素安定同位体比が上昇することが知られている。従って、窒素安定同位体比は、排水起源の窒素負荷の程度や、還元的な窒素循環過程の進行を示す鋭敏な指標となる。これに対して、降水（大気降下物）起源の硝酸イオンは、酸素安定同位体比が高いという特徴を持つ。従って、硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比を同時に測定することで、流域に対する窒素の負荷源と循環の診断が可能になる。近年このような考え方に基づいた窒素汚染の診断が国際的に注目を集め始めている。しかし、流域生態系の環境診断技術として、これを総合的に検討した例は無い。本研究では、琵琶湖の集水域において、硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比の時空間分布の観測を展開した。特に、野洲川の中～上流域において実施した 200 地点シノプティック観測においては、世界的にも例をみない高密度分布データを取得することに成功した。これは 3-1 項に述べた高精度・極微量安定同位体比測定技術の構築によって初めて可能になったものである。以下に主要な成果を紹介する。

#### <硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比による流域の健全性評価>

窒素汚染の状況と発生源を広域的に把握することは、統合的な集水域管理における必須の案件である。本研究では、琵琶湖集水域をモデルとして、硝酸イオン安定同位体法の有効性の検証を行った。琵琶湖に流入する 32 河川の河口付近において試料を季節的に採取し、硝酸イオンの安定同位体比の変動を調査した。図 4 には、窒素と酸素の安定同位体比を 4 色のカラーコードで表示してある。窒素安定同位体比をみると、季節に関わらず北部と西部では概ね低い値（青または薄青）である。人口密度の高い南部では、高い値（黄、赤）が見られる。このことから、南部地域では排水起源の窒素負荷が大きいものと判定される。農業地帯である東部地域では、窒素安定同位体比が、春～夏期に高く、秋～冬期に低下する傾向が認められる。農業活動に伴い、窒素安定同位体比の高い硝酸イオンが負荷されている可能性が指摘できる。酸素安定同位体比の分布からは、次のような情報が得られる。夏期を除き北部地域において硝酸イオンの酸素安定同位体比が高い。これは、大気降下物由来の硝酸イオンの負荷が相対的に高いためであると判断される。南部地域では、窒素と酸素の安定同位体比が共に高いため、脱窒素反応（浄化反応）の進行が示唆される。

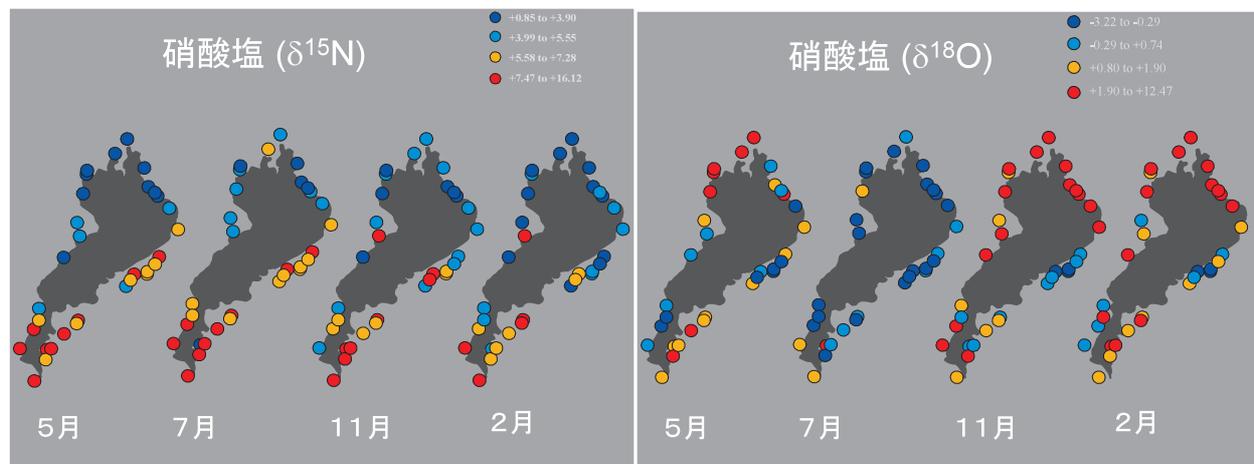


図 4 硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比の時空間分布。サンプル水は琵琶湖流入河川（河口付近）において採取した。

＜流下軸にそった河川環境の評価＞

河川の上流から下流にかけての水質や生態系の変化の把握は、流域管理における重要な課題である。特に、汚染物質の負荷源や循環・混合過程に関する情報は、環境を考慮した適正な水利用システムを構築するうえでの重要な判断材料となる。本研究では、安曇川と野洲川において、上流域から河口にかけての一般水質と各種安定同位体比の測定を行った。調査対象とした2河川はほぼ等しい流域面積を持ち、いずれも琵琶湖に流入する一級河川である。図5には、硝酸態窒素濃度と硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比の流下変化を示す。安曇川では窒素安定同位体比は1.5-2‰の範囲でほとんど変化しないことから、排水による影響は全流程を通して極めて少ないと判断される。これとは対照的に、野洲川においては10-20km付近で急激に窒素安定同位体比が上昇している。この区間が排水起源の窒素による汚濁の発生源である可能性が高い。次に酸素安定同位体比をみると、両河川ともに、上流域で高い値がみられる。これは、上流域では大気降水由来の硝酸イオンの供給が相対的に重要であることを示唆している。なお、野洲川においては、40km付近の調査地点において硝酸態窒素濃度が急激に低下し、それと連動した窒素安定同位体比の減少と酸素安定同位体比の増加が認められる（図5）。この流程においては、雨水由来の硝酸イオンを含む地下水が混合している可能性がある。

野洲川における窒素汚染の発生源をより詳細に把握するために上流～中流域において高密度シノプティック観測を実施した。野洲川の本流と支流の約200地点から試料を採取し、硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比の分析に供した。調査は2006年の5月29日から30日にかけて実施した。図6に明らかなように、野洲川本流の青土ダム下流の流域において硝酸イオンの窒素安定同位体比が著しく高くなっている（赤、橙のマーク）。この付近に排水起源の窒素負荷源が存在する可能性が指摘できる。野洲川に流入する主要な支川であるそま川についても、赤や橙色で示された地域が、窒素負荷源となっている可能性がある。酸素安定同位体比の分布を見ると、野洲川ダムの上流で高い値（橙）が集中して見られることから、最上流域における主要な窒素負荷源が大気降水物であることが裏付けられる（図7）。なお、そま川上流の一部の支川では酸素安定同位体比がきわめて高い（赤）地点があるが、これは、調査終了間際に遭遇した降雨の影響による一時的な上昇である。このように、硝酸イオンの酸素安定同位体比は大気降水物の影響を極めて鋭敏に反映するため、降雨・融雪に伴う大気汚染物質の流出過程の解析における有力なツールとなる。

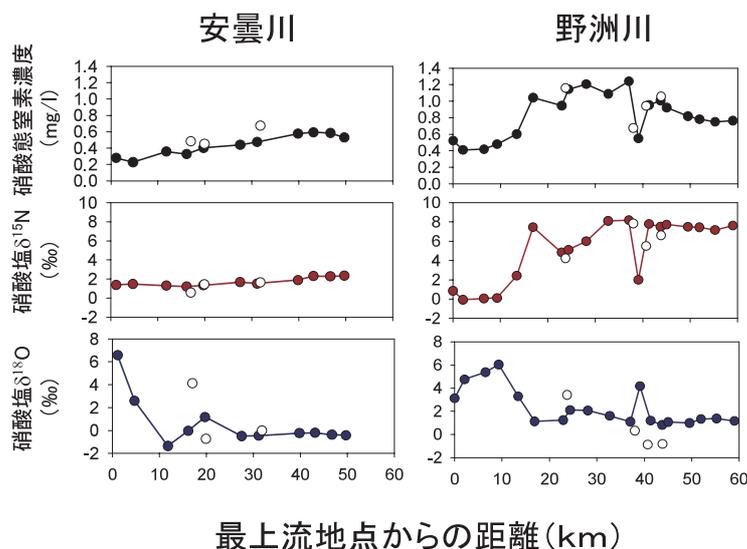


図5 安曇川（2004年9月27日～28日）と野洲川（2005年5月29日～30日）における硝酸態窒素濃度および硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比の流下変化。白丸は支流、それ以外は本流を示す。

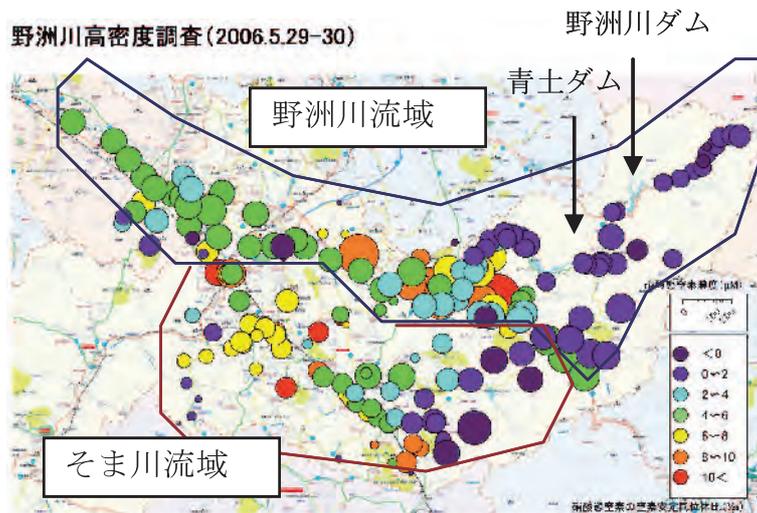


図6 野洲川上～中流域における硝酸イオン窒素安定同位体比の空間分布。濃度と同位体比はそれぞれ円の直径とカラーコードで表示。

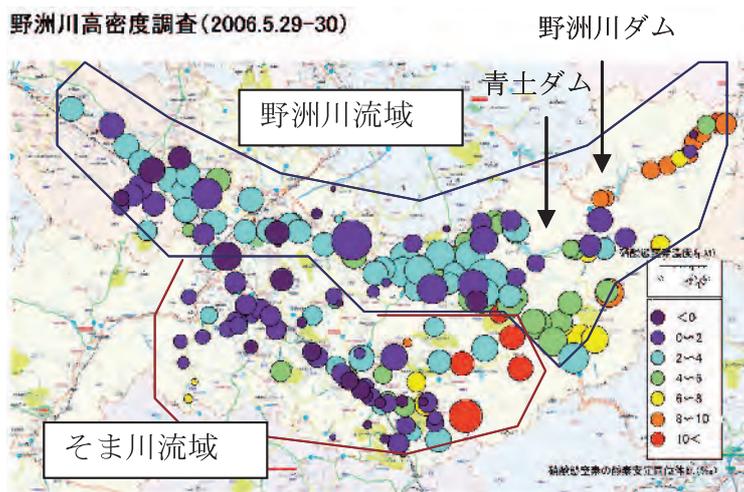


図7 野洲川上～中流域における硝酸イオン酸素安定同位体比の空間分布。表示方法は図6と同様。

### 3-3. 各種安定同位体比による湖沼内部循環過程の評価—琵琶湖における検証

自然湖沼やダム湖の水質・生態系管理においては、物質の内部循環過程を正確に評価することが不可欠である。水温成層の発達に伴う深水層の低酸素化・無酸素化は、底生生物や魚類の生息環境の破壊や劣化につながるばかりでなく、栄養物質の内部負荷の強化、有害金属の溶出、悪臭や温室効果気体の発生といった弊害を招くため、精度の高い観測と適正な管理が強く求められる。本研究では、琵琶湖の沖合定点における定期観測を実施し、各種安定同位体比の分布を求め、深水層の環境評価手法としての有効性の検討を実施している。これまでに得られた成果の一部を図8に示す。

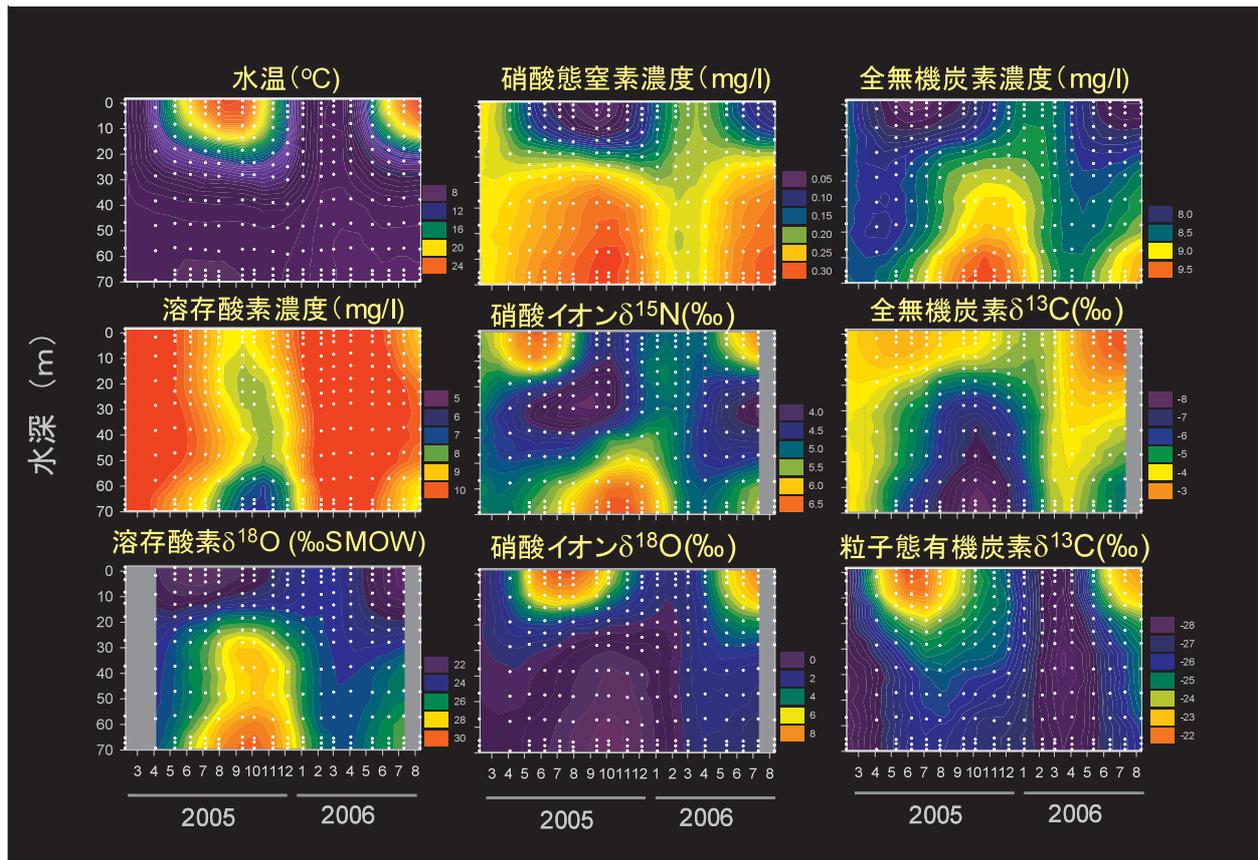


図8 琵琶湖沖合定點（水深約70m）における各種安定同位体比の鉛直的・季節的分布。水温成層の発達する春～秋にかけて、深水層中の溶存酸素濃度の低下とそれに伴う各種分解産物の蓄積が見られる。各種安定同位体比の測定を行うことで、酸素の生成消滅過程、汚濁有機物の起源、自然浄化機能（硝化、脱窒）、温室効果気体（二酸化炭素、亜酸化窒素、メタン）の発生過程といった、生態系環境管理において重要なプロセスの評価ができる。現在、データの解析とモデル化・指標化を進めている。

琵琶湖は冬期一回循環型の大型淡水湖（最大水深104m）であり、近畿圏1200万人の飲料水を供給する巨大な「水がめ」である。滋賀県のモニタリングでは、過去10年間、深水層の年間最低溶存酸素濃度は約3mg/l付近で推移しているが、長期的にこの値が減少傾向にあると懸念されている。溶存酸素濃度が減少するのは、深水層の水中や湖底堆積物中に生息する微生物の呼吸によって溶存酸素が消費されるからである。従って、呼吸に用いられる有機物が多く負荷されればされるほど、酸素の消費は活発になる。ここで、深水層における酸素消費を引き起こす有機物の起源を判定することが重要な課題となる。汚濁有機物の主要な起源としては、湖内生産（植物プランクトンによる生産）と陸起源有機物が考えられる。琵琶湖においては、春から秋にかけての生産期に湖内で生産された現地性の有機炭素の同位体比が比較的安定しており（ $-20 \sim -24\text{‰}$ ）、外部から流入する異地性有機炭素（ $-27 \sim -28\text{‰}$ ）と明確に区別することができることが明らかになった。したがって、深水層に蓄積する溶存無機炭素の安定同位体比を調べれば、キーリングプロット法により、呼吸基質として利用される有機炭素の発生源の推定が可能である。予備的な計算によれば、異地性有機炭素の寄与率は20 - 30%であり、無視できない値となる。従って、深水層の溶存酸素消費のモデル化と制御にあたっては有機物の湖内生産と外部流入の両方を考慮する必要がある。

一方、溶存酸素の安定同位体比は、酸素循環に関する有益な情報を与えてくれる。深水層の酸素安定同位体比は、呼吸に伴う同位体分別の結果、大気平衡値（約24‰）を上回る。一方、表水層では、光合成による酸素発生の影響で酸素安定同位体比が大気平衡値よりも低くなる。深水層に蓄積する「重い酸素」と表水層に蓄積する「軽い酸素」は秋から冬にかけての鉛直混合によって混ざりあう。したがって、酸素

安定同位体比の鉛直分布の季節変動を調べることで、生産・分解・混合に関する情報が得られる。予備的な解析の結果では、光合成に由来する「軽い酸素」が、循環期における深水層の酸素回復に寄与している可能性が示唆されている。なお、深水層における溶存酸素濃度の低下は、脱窒などの嫌気的な微生物反応を加速する。脱窒は窒素を生態系から排出する浄化プロセスであるが、同時に、地球温暖化気体である亜酸化窒素の発生を引き起こすので精密な評価が必要である。本研究により、琵琶湖深水層では、硝酸イオンの窒素同位体比が著しく上昇するのに対し、酸素安定同位体比は低下するという顕著な現象が明らかになった。この機構と指標性については現在検討を進めている段階である。

### 3-4. 炭素安定同位体比を用いた沿岸海洋の有機汚濁経路の推定

河口域生態系は、河口干潟や塩性湿地などの独特な生物群集を擁すると共に水産資源も豊富な、価値の高い生態系であるが、河川の最下流部にあるために流域全体の人間活動の影響を受け、しばしば深刻な富栄養化に伴う貧酸素化と生態系の劣化が進行している。劣化の進む河口域の環境管理上最も重要な項目の一つは懸濁態有機物であり、その動態を把握するためには、それを陸域起源の一次汚濁成分と河口域内で生産された二次汚濁成分とに区別して定量化することが不可欠である。この目的のために様々な指標が従来から用いられているが、しかしそれらにはいずれも弱点があり、定量的な評価を行うことは困難であった。我々はこの目的のために懸濁態有機物の炭素安定同位体比を用いる方法を発展させ、特に河口域で生産される植物プランクトンのクロロフィルの同位体比を現地性懸濁態有機物に対する指標として効果的に利用することによって、汚濁成分の起源を定量化する方法を開発した。分取用 HPLC によってプランクトン試料中のクロロフィル a を分離した後、同位体比質量分析計で測定するものである。2003 年秋から 04 年春にかけて隅田川河口域において懸濁態有機物の同位体組成に関して時間変化と粒径ごとの違いに関する調査を行った際に、この方法論によって各粒径画分中の一次汚濁成分の比率を定量化することを試みた。その結果、新しく開発された方法を用いることにより従来法に比べて定量性において確度の高い推定値が得られることを実証した (図 9, 10)。今後はクロロフィル以外の生物由来物質の同位体比分析を併用することにより、マングローブや海草藻場などを含む一層複雑度の高い河口域においても適用できるように方法論を発展させていくことを計画している。

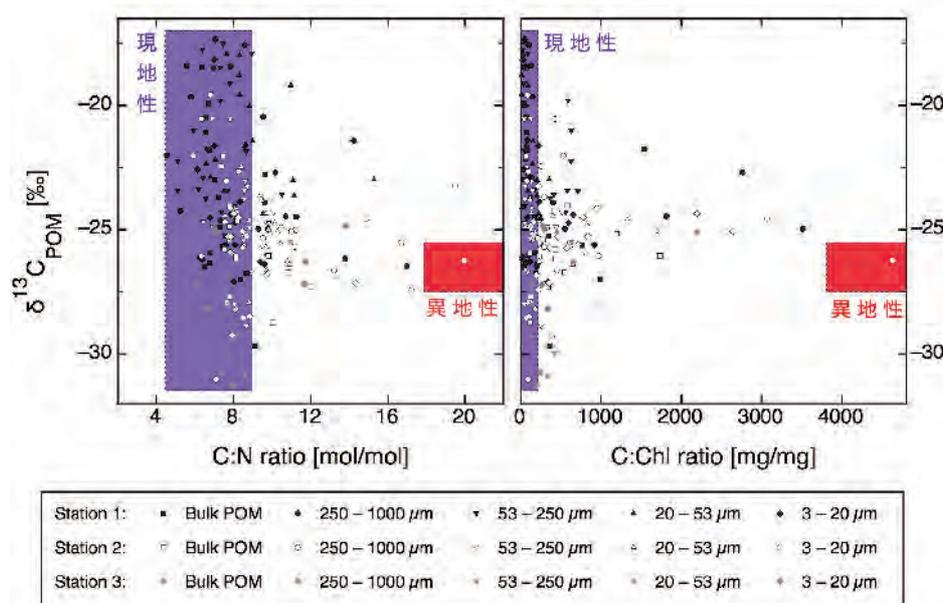


図 9 隅田川河口域において採集された POM の  $\delta^{13}\text{C}$  と C:N 比、C:Chl 比との関係。現地性 POM と異地性 POM に想定される  $\delta^{13}\text{C}$ 、C:N 比、C:Chl 比の範囲をそれぞれ青と赤の領域で示した。

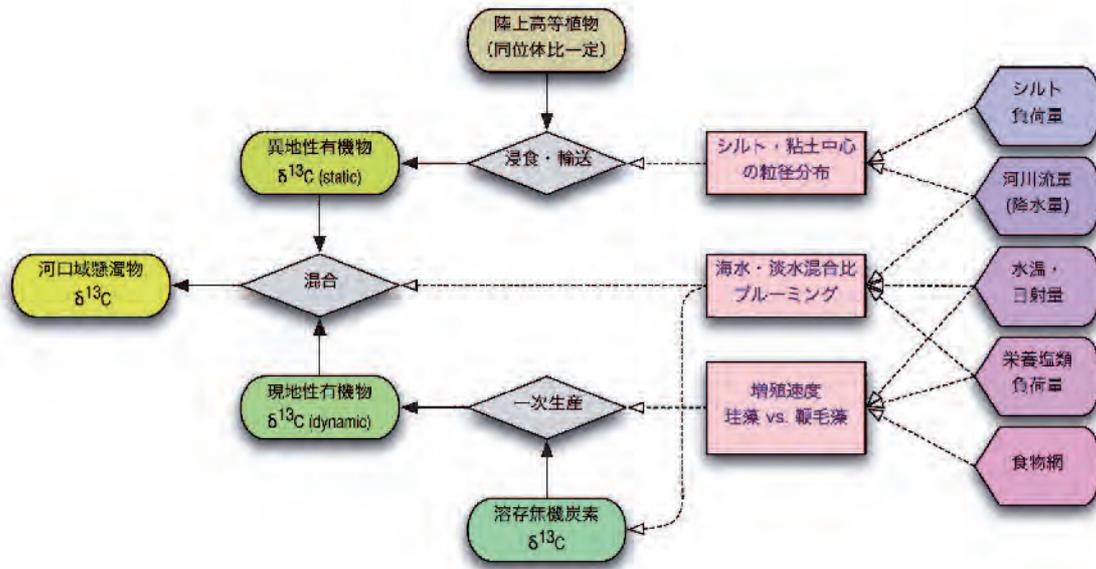


図10 河口域における懸濁物（POM）は異地性有機物と現地性有機物との混合によって形成されている。

### 3-5. 各種有機物プールの安定同位体比を指標とした窒素汚染と生態系の評価

生態系に負荷された硝酸イオンや有機物の同位体シグナルは、植物による取り込みや食物連鎖を介した伝達により、生態系の各構成要素に刻み込まれる。換言すれば、生態系を構成する様々な生物（生産者、消費者、分解者）や非生物性の有機物プール（堆積物やデトリタス）は、汚濁履歴の「記録媒体」とみなすことができる。本研究では、このような考え方に基づき、各種生物や非生物性有機物の炭素・窒素安定同位体比を用いた、生態系の新しい診断手法の開発を試みている。ここではいくつかのトピックスを紹介する。

#### <細菌群集の炭素安定同位体比を用いた汚濁有機物の起源推定の新手法>

水域に負荷された有機物を分解するのは細菌群集である。したがって、細菌群集の安定同位体比は、負荷された有機物の起源や分解プロセスについての情報を与えてくれる。本研究では、サイズ分画法を用いて細菌群集の炭素安定同位体比を測定する新たな方法を開発した。細菌の炭素安定同位体比は、微生物が利用可能な有機物の起源（現地性か異地性か）を示す有効な指標になる。

#### <水生動植物や堆積物有機物の窒素安定同位体比を用いた汚濁診断>

琵琶湖流入河川において水生植物、堆積物、魚類の窒素安定同位体比を測定した。その結果、汚濁の進行とともに、これらの窒素安定同位体比が顕著に上昇することが明らかになった（図 11）。水生動植物や堆積物は採集や保存が容易であり、また一般人（非専門家）にとって馴染みやすい。さらに、全国の博物館や学校には過去の生物試料が標本として保存されていることが多い。これら標本の安定同位体比を測定することで過去の環境復元に役立つこともできる。たとえば、ある河川が昭和 30 年代にはどのような水質であったか、ということ推定することができる。したがって、生物や堆積物試料の安定同位体比は、簡便性、啓蒙性、歴史性などの点で優れた環境指標となる。

#### <昆虫・魚類の安定同位体比を用いた炭素源と食物連鎖長の推定>

人為汚濁や生息場所改変による生態系の異変を示す指標として、昆虫や魚類の炭素・窒素安定同位体比を用いる方法を検討した。琵琶湖流入河川での調査の結果、人為汚濁の進行とともに、生態系の基盤となる炭素源が変化することや食物連鎖長の短縮が起こることが示唆された。

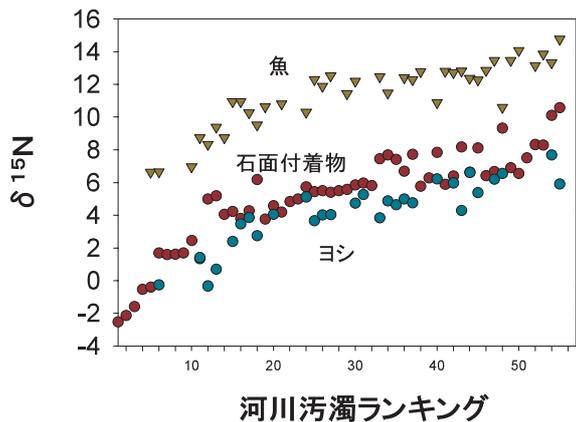


図11 生物群集の窒素安定同位体比を用いた琵琶湖流入河川の汚濁ランキング。人為起源窒素の負荷の増大とともに、生態系構成員（魚、付着藻類、ヨシ）の窒素安定同位体比は一斉に上昇する。生物は、汚濁の「記録媒体」と見なすことができる。

### 3-6. モンゴル・トゥール川の汚染状況—各種安定同位体比を指標とした評価

モンゴル国では、都市部への人口集中と急激な経済・社会構造の変化に伴う環境問題の深刻化が懸念されている。本研究ではウランバートル近郊を流れる大河川であるトゥール川流域の水文、水質、生態系に関する総合調査を実施した（表1）。最上流域からオルホン川との合流地点にいたる約800kmの流程における大域的な観測の結果、ウランバートルからの汚濁物質の流出、特に、街の西部に位置する下水処理場から流出する多量の汚濁水がトゥール川の水質を大きく悪化させていることが明らかになった。処理場の排水からは高濃度の有機態窒素とアンモニア態窒素が検出され、激しい悪臭が一带に立ち込めている（図12）。この汚濁水は、草原、河川、湿地、砂利採掘跡にできた池沼群と若干の人家から構成される複合的な景観をもった地域を通過し、複雑な経路を経てトゥール川に流入する。我々は、この汚濁地域における水文状況や物質循環と生態系に関する調査を実施し、各種安定同位体比による環境診断手法の有効性の検証を試みた。特に注目したのは、硝化・脱窒による自然浄化機能の査定、および、温暖化気体（二酸化炭素、亜酸化窒素、メタン）の発生状況の評価である。サンプルの分析を現在進めているところであるが、予備的な解析の結果では、汚濁発生源からトゥール川本流にいたる約4kmの区間における汚濁物質の流達過程には次の二類型が認められた。

- 1) 有機態窒素とアンモニア態窒素を主成分とする表流水による輸送。河床が著しく還元的である為、硝化の進行が遅い。汚濁域にもかかわらず硝酸イオンの窒素安定同位体比が低いという特徴がある。
- 2) 硝酸イオンを多く含む表流水と伏流水による輸送。トゥール川本流から浸透した比較的清浄な表層地下水との混合により汚濁物質は適度に希釈され、その結果、硝化が促進される。嫌気的な伏流水においては脱窒が進行している可能性がある。硝酸イオンの安定同位体比が高いという特徴がある。

モンゴルの流域生態系が持つ自然浄化機能を最大限に活用し、トゥール川への汚濁負荷の低減化を低コストに実現するためには、2)のタイプの流達経路を強化することが有効であると考えられる。

期 間	調査の内容	参加研究者数	
		日 本	モンゴル
2004年7/9-7/16	トゥール川予備調査	6	4
2005年6/29-7/11	トゥール川全流程調査（約800km）	8	4
2006年6/21-6/28	汚濁域予備調査・年輪試料採集	2	4
2006年9/6-9/16	汚濁域集中調査・48時間連続観測・シノプティック調査	7	4

表1 モンゴル調査の概要。カウンターパートはモンゴル科学アカデミー地球生態学研究所。トゥール川は首都ウランバートル近郊を流れる重要な水資源である。2004年と2005年の調査で大域的な状況を把握した。2006年には下水処理場の排水による汚濁域に焦点をあわせた総合調査を実施した。カウンターパートの協力により、主要な定点における季節変化の観測も実施している（この表には含まれず）。



図12 ウランバートル下水処理場から排出される汚濁水。付近は猛烈な悪臭がただよう。本研究ではこの汚濁水が流入する地域において48時間連続観測とシノプティック観測を実施し、汚濁物質の流出経路と物質循環過程の査定を試みた。

#### 4. まとめと今後の展開

本研究では、安定同位体比の先進的な分析体制の確立と新規技術の開発研究を推し進めた。その技術的な基盤に立脚することにより、各種安定同位体比の観測を大規模、高解像度かつ迅速に展開することが可能になった。琵琶湖集水域およびモンゴル・トゥール川流域で得られたデータは、その質と量において流域圏の観測データとしては世界的にも類を見ない。これらの結果は、溶存物質や生物・非生物性有機物の各種安定同位体比が、汚濁物質の起源や流入経路、さらには代謝過程に関する鋭敏な指標になるという本研究の仮説を強く支持するものである。安定同位体比を用いた生態系環境の診断は、汚染源の特定や、水系の自然浄化機能の評価、また、汚染履歴の復元や温室効果気体の発生過程の査定といった多様な環境診断ニーズに応える有効な手法である。今後の展開としては、これまでに得られた膨大なデータの解析とモデル化を強力に推し進め、現在、その輪郭が明らかになってきた各種同位体指標の総合化を図る。安定同位体比を用いた流域診断については、近年、欧米においても大きな注目を集め始めている。しかし、本研究のような総合的なデータセットを用いた解析はまだなされていない。琵琶湖集水域およびモンゴルといった自然・人文環境の異なる地域での情報を集約することで、独創的かつ先駆的な環境診断手法の構築が可能になると考える。以上のような国際的な先導性を確保する一方で、その成果をわかりやすい形で一般に紹介する為に、「安定同位体指標」の概念と適用についての解説本の出版も準備中である。

#### 5. 主要な成果報告等

##### (1) 論文

1. Yoji Nakajima, Hirotoishi Shimizu, Nanako O. Ogawa, Tatsuhiko Sakamoto, Hisatake Okada, Keisuke Koba, Hiroshi Kitazato, Naohiko Ohkouchi. Vertical distributions of stable isotopic compositions and bacteriochlorophyll homologues in suspended particulate matter in saline meromictic Lake Abashiri. *Limnology* 5:185-189, 2004
2. Ayato Kohzu, Chika Kato, Tomoya Iwata, Daisuke Kishi, Masashi Murakami, Shigeru Nakano, and Eitaro Wada. Stream food web fueled by methane-derived carbon. *Aquatic Microbial Ecology* 36:189-194, 2004
3. Naohiko Ohkouchi, Yoji Nakajima, Hisatake Okada, Nanako O. Ogawa, Hisami Suga, Kazumasa

- Oguri, Hiroshi Kitazato. Biogeochemical processes in the saline meromictic Lake Kaiike, Japan: implications from molecular isotopic evidences of photosynthetic pigments. *Environmental Microbiology* 7(7):1009-1016, 2005
4. Yoshito Chikaraishi, Kohei Matsumoto, Nanako O. Ogawa, Hisami Suga, Hiroshi Kitazato, Naohiko Ohkouchi. Hydrogen, carbon and nitrogen isotopic fractionations during chlorophyll biosynthesis in C<sub>3</sub> higher plants. *Phytochemistry* 66:911-920, 2005
  5. Ayato Kohzu, Toshihiro Miyajima, Takahiro Tateishi, Takashi Watanabe, Munezoh Takahashi, Eitaro Wada. Dynamics of <sup>13</sup>C natural abundance in wood decomposing fungi and their ecophysiological implications. *Soil Biology and Biochemistry* 37:1598-1607, 2005
  6. Naohiko Ohkouchi, Yoji Nakajima, Hisatake Okada, Hiroshi Kitazato. Copper-chelated bacteriochlorophyll e homologues in sediment from an anoxic lake (Lake Abashiri, Japan). *Organic Geochemistry* 36:1576-1580, 2005
  7. Yoko Nishimura, Chulgoo Kim and Toshi Nagata. Vertical and seasonal variations of bacterioplankton subgroups with different nucleic acid contents: Possible regulation by phosphorus. *Applied and Environmental Microbiology* 71(10):5828-5836, 2005
  8. Chulgoo Kim, Yoko Nishimura, and Toshi Nagata. Role of dissolved organic matter in hypolimnetic mineralization of carbon and nitrogen in a large, monomictic lake. *Limnology and Oceanography* 51(1):70-78, 2005
  9. Sato T, Miyajima T, Ogawa H, Umezawa Y, Koike I. Temporal variability of stable carbon and nitrogen isotopic composition of size-fractionated particulate organic matter in the hypertrophic Sumida River Estuary of Tokyo Bay, Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 68:245-258, 2006
  10. Tanaka Y, Miyajima T, Koike I, Hayashibara T, Ogawa H. Translocation and conservation of organic nitrogen within the coral-zooxanthella symbiotic system of *Acropora pulchra*, as demonstrated by dual isotope-labeling techniques. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 336:110-119, 2006
  11. Tanaka Y, Miyajima T, Umezawa Y, Fukuda H, Koike I, Ogawa H, Hayashibara T. Effects of nitrate enrichment on release of dissolved organic carbon and nitrogen from zooxanthellate coral, *Acropora pulchra* and *Porites cylindrical*. *Proceedings of the 10th International Coral Reef Symposium* pp. 925-931, 2006
  12. 永田 俊, 谷内 茂雄. 流域生態系の保全・修復戦略—生態学的ツールとその適用. *日本生態学会誌* 55:175-176, 2005
  13. 陀安 一郎. 流域生態圏の環境診断—安定同位体アプローチ. *日本生態学会誌* 55:183-187, 2005
  14. 竹門 康弘. 底生動物の生活型と摂食機能群による河川生態系評価. *日本生態学会誌* 55:189-197, 2005
  15. 木庭 啓介, 眞壁 明子. 安定同位体を用いた流域生態系における窒素循環研究の可能性について. *水文・水資源学会誌* 19(4):293-301, 2006
  16. 高津 文人. 窒素安定同位体比による富栄養化診断. *水文・水資源学会誌* 19(5):413-419, 2006

## (2) 口頭発表

国際会議発表 (招待講演・企画のみ)

1. Toshi Nagata, Ayato Kohzu, Chikage Yoshimizu and Ichiro Tayasu. Integrated assessment of watershed ecosystems by the use of stable isotope ratios of water, nutrients and organisms. 日韓合同セミナー “Ecohydraulics and Ecological Process — Principle, Practical, and Evaluation”. Kyung-Hee University, Korea. 2004.7.5
2. Yasuhiro Takemon. Integration of habitat index and tropic index of benthos communities for

- assessment of river ecosystem conditions. 日韓合同セミナー “Ecohydraulics and Ecological Process — Principle, Practical, and Evaluation”. Kyung-Hee University, Korea. 2004. 7. 5
3. Yasuhiro Takemon, Kana Yamamoto and Shuichi Ikebuchi. Variation in drift distance of suspended POM in relation to flow regimes and channel geomorphology. AOGS 2nd Annual Meeting 2005. SUNTEC, Singapore. 2005.6.23
  4. Toshi Nagata. Integrated assessment of watershed ecosystems by the use of stable isotope ratios - A case study in the Lake Biwa watershed. 2005 AGU Fall Meeting. Moscone Center West, California, USA. 2005. 12. 7
  5. Naohiko Ohkouchi, Yuichiro Kashiya, Yoshito Chikaraishi, Nanako O. Ogawa, Ryuji Tada, Hiroshi Kitazato. Nitrogen isotopic composition of chlorophylls and porphyrins in geological samples as tools for reconstructing paleoenvironment. 16th Annual Goldschmidt Conference. Melbourne, Australia. 2006. 8. 28

### (3) 受賞

第 53 回日本生態学会大会 ポスター賞 (物質循環分野)

田中義幸, 宮島利宏, 山田勝雅, 堀正和, 長谷川夏樹, 梅澤有, 小池勲夫. Among-site and seasonal variability of  $d^{13}C$  and  $d^{15}N$  for primary producers in Akkeshi water system. 日本生態学会 第 53 回大会 (新潟). 新潟コンベンションセンター (朱鷺メッセ). 2006.3.25

### (4) 特許

出願番号: 特願 2006-246547 (出願日: 平成 18 年 9 月 12 日)

発明の名称: 「元素分析用前処理装置」

発明者: 大河内奈々子・大河内直彦・永田俊

出願人: 独立行政法人海洋研究開発機構・国立大学法人京都大学