

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「水の循環系モデリングと利用システム」

研究課題

「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」

研究終了報告書

研究期間 平成15年10月～平成21年3月

研究代表者：永田 俊

(東京大学海洋研究所海洋化学部門 教授)

§ 1 研究実施の概要

(1)研究の背景

環境の保全上「健全な水循環」を確保することが、環境政策の基本の一つとして謳われており、その実現にむけてのさまざまなとりくみがなされている。その背後には、高度経済成長期以来の水循環に対する人為影響の拡大とそれに伴い生じた深刻な諸問題がある。さらに、地球規模の気候変動が、水循環や流域環境に与える悪影響がますます懸念されるなか、持続可能な水利用システムの確保にむけた、緩和策や適応策の検討も急務の課題となっている。一方、東アジア諸国では、人口集中や急激な経済成長とそれに伴う社会システムや生活様式の激変（社会要因の変化）が、気候変動による各地域の水循環特性の変化（自然要因の変化）とともに、いわば相乗的なかたちで、河川、地下水、湖沼、沿岸海域を含めた流域圏の全体に対して、未曾有の規模と強度で影響を与えつつある。

このように、問題は多岐にわたり、かつ、その要因は複雑であるが、どのような問題の解決においても、水循環や流域環境（物質循環、生態系）の状態を、できるだけ精確かつ簡便に評価するということは、もっとも基本的な課題の一つであろう。これらの客観的な情報は、水資源や水環境の管理、利用、保全に関わる主体間での合意形成や、対策の立案、また、施策効果の評価のうえでの重要な判断材料となるからである。流域環境の評価においては、従来から、全リン、全窒素、BOD、CODといった水質指標や、各種の生物指標などが用いられてきた。これらの指標は、流域環境管理の現場で有効に活用されているが、一方で、新しい状況への対応や、複雑な流域システムの把握といった面において、手詰まりになってきているのも事実である。先端的な技術を利用した、より詳細かつ効果的な流域環境評価手法の開拓が求められている。

(2)研究の目的

以上のような背景をふまえ、本研究では、先端的な安定同位体精密分析技術を駆使した、新しい流域環境評価手法の構築を提案した。環境中に存在する元素の安定同位体比には、水や物質の起源や、生態系の状態に関する情報が記録されている。そこで、本研究では、流域圏の様々な構成要素がもつ各種安定同位体比を、先端的な技術を駆使して体系的に調べ、そこに刻み込まれた情報を解析するとともに、得られた知見を総合化することで、流域環境の評価や流域管理の目標像の形成に資する新しい指標群を構築することを目的とした。

(3)研究の実施と成果の概要

研究は、(1) 研究基盤の構築および新規技術の開発、(2) 琵琶湖集水域および海外拠点における総合観測の展開、(3) 情報の総合化による各種指標の構築、を3本の柱として進めた。総括グループのリーダーシップのもとに、「水循環・技術開発」、「物質循環」、「生態系」の3つのサブテーマが密接に連携する形で研究を推進した。



プロジェクトの成果として、Science誌を含む有力国際誌に査読論文が多数(52件)発表されたほか、流域環境評価における安定同位体の利用を総合的にまとめた世界で初めての成書である「流域環境評価と安定同位体」(京都大学学術出版会)を出版した(図1)。

図1 本プロジェクトの成果として出版された「流域環境評価と安定同位体—水循環から生態系まで」永田俊・宮島利宏編（京都大学学術出版会、平成20年2月、476頁）

また、国際原子力機関（IAEA）が出版予定である、河川管理における同位体の利用に関わる国際的なマニュアルに日本代表として招待執筆した。さらに、AOGS や ISI2008 など国際学会におけるセッション企画や招待講演を通して、本プロジェクトの先駆性を世界に示した。

研究基盤の構築と新規技術の開発

安定同位体比の利用については、水文学、地球化学、生態学といった、個別分野における研究の積み重ねがある。しかし、これを分野横断的に再構成し、流域環境評価のための指標を構築するという総合的な試みは、国内外において先例が無い。本研究では、CREST という研究枠組みの利点を最大限に生かして、この新しい課題に挑戦するうえで不可欠な研究基盤を構築した。すなわち、(1) 大型資金と5年間という長い研究期間のメリットを生かし、流域環境評価という目的に対して最適の仕様をもった、最新鋭のハイスループット型質量分析装置を導入し、ここに専属の技術員を配備した。この新規の分析基盤の完成には1年間を要した。(2) 大学・研究機関に所属する、世界最高レベルの分析技術をもった気鋭の研究者からなる学際的な研究チームを編成し、複数の機関に既設の研究基盤（質量分析装置）を有効に活用した有機的な研究ネットワークを構築した。

琵琶湖集水域および海外拠点における総合観測の展開

琵琶湖集水域と、モンゴル・ウランバートル市などの東アジアの海外拠点において、総括グループの組織化のもとに総合観測を展開した。琵琶湖は近畿圏1400万人の水源であると同時に、豊かな生物多様性をはぐくむ貴重な生態系として、その保全・復元が重要な課題になっている。とくに、集水域における汚染源の特定と負荷削減、また、治水・利水と流域環境の保全の両立・合意形成といった案件は、行政に課せられた最重要の課題である。また、昨今、大気降下物に代表される汚染物質の遠距離輸送や、温室効果気体の排出量評価といった、地域や国境を超えた環境評価の必要性が益々高まっている。このような現状をふまえ、様々なスケールにおける多様な環境診断ニーズに対応できる安定同位体指標を新規構築するうえで必要な総合観測を展開することを、本研究の目的とした。

さらに、東アジア地域の異なる気候帯の生態系においても、安定同位体指標が適用可能であるかどうかを検証した。東アジア諸国では、流域圏の汚濁と生態系劣化が著しく、水環境の管理と流域生態系の保全・修復が喫緊の課題となっている。しかし環境監視体制は著しく未熟であり、また高度下水処理装置の導入による汚濁負荷軽減といった先進国型の解決は、一部の国や地域を除いては、経済的に困難である。汚濁物質の起源や流出経路を特定し、生態系が具備する自然浄化機能を生かした低コストの環境対策を計画・実行するためには、簡便で精度の高い生態系機能の査定手法と環境監視技術の開発が不可欠である。安定同位体指標はこのようなニーズに対応できる潜在性も秘めている。総括グループでは、このような観点から、モンゴル国トール川の強度汚濁域における集中観測を実施した。また、マレーシア（ボルネオ島）やタイなどの熱帯地域における観測も実施した。

以上の総合観測の結果、琵琶湖および琵琶湖の集水域において、有機物や栄養塩類および生物の安定同位体比に関する膨大なデータを取得することに成功した。これらのデータは、次節に述べる、同位体指標の構築の重要な基礎を提供するものである。なお、このデータセットは、ひとつの集水域で得られたものとしては、その質と量において、世界的にも類例をみない規模であるが、これは、本CREST研究による先端的分析基盤の構築と、複数の機関に所属する安定同位体分析のエキスパートの有機的な連携があって、初めて可能になったことである。

海外拠点の調査においては、特に、モンゴル・トール川における総合調査で顕著な成

果が得られた。トール川は、首都ウランバートル近郊を流れる大河川である。研究の第一段階として、トール川の最上流からオルホン川の合流地点にいたる約400kmの流程において、水質と生態系に関する縦断調査を行い、大域的な状況の把握を試みた。この調査結果から市の西部に位置する下水処理場の排水流出地域が重要な汚濁源であることが示された。そこで、研究の第二段階として、この強度汚濁域における集中調査を実施し、各種安定同位体比を用い、汚濁物質の流出経路や循環過程に関する情報を取得することに成功した。なお、この研究はモンゴル科学アカデミーとの共同研究として実施したが、同アカデミーの若手研究者を日本に招聘して、安定同位体法の基礎や、質量分析の実際を指導するなど、海外の若手育成にも貢献した。

情報の総合化と各種指標の構築

観測で得られたデータの解析を進め、それぞれの同位体比の変動要因を探ることで、流域環境の状態を表す指標群の開発が可能になる。本研究では、窒素負荷、有機物負荷、酸化還元プロセス（温室効果気体の発生過程）、生態系に関する新たな指標の提案を行った。

(1)窒素負荷

本CREST研究において構築した硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比の高速分析システムを駆使し、琵琶湖および琵琶湖集水域における硝酸イオンの同位体比の分布状況を詳細に調べた。その結果、琵琶湖集水域における窒素の負荷状況が、硝酸イオンの安定同位体比の分布から査定できることが明らかになった。また、河川水中の硝酸イオンの同位体比が、ヨシなどの河畔植物の窒素安定同位体比に反映することを見出した。これをもとに、河畔植物の窒素安定同位体比を、河川の窒素汚染モニタリングのツールに使うという新しい方法論の提案を行った。

(2)有機物負荷

湖沼や沿岸海域の有機物汚濁には、河川からの有機物負荷がひきおこす一次汚濁と、河川から流入した栄養塩によって湖内（湾内）に発生する藻類がひきおこす二次汚濁に類別されるが、通常のモニタリングでは、これらを区別することはしばしば困難である。本研究では、粒子態有機物、溶存態有機物、溶存無機炭素、微生物群集などの炭素安定同位体比が、陸上由来の汚濁（一次汚濁）と、湖内（あるいは湾内）の植物プランクトン由来の汚濁（二次汚濁）を区別する指標として利用できることを示した。また、有機物の消費に伴う溶存酸素の消費過程を表す指標として、溶存酸素の酸素安定同位体比が利用できることを示した。

(3)酸化還元プロセス

琵琶湖および河川において、硝酸イオン、アンモニウム、一酸化二窒素の安定同位体比を詳細に調べた。この結果から、温室効果気体である一酸化二窒素の分子内同位体比（アイソトポマー）がその発生メカニズムを示す指標として有効であることを示した。窒素循環に関わる各種安定同位体比を体系的に調べることで、従来法とは比較にならない精度で一酸化二窒素の生成過程の詳細を明らかにした。CRESTによって構築した先端的な分析基盤と、世界最高水準の分析技術をもった専門家の結集により、窒素循環研究におけるマイルストーン的な成果を得ることができた。

(4)生態系

人為汚濁（栄養負荷）が河川の生物群集に与える影響を評価する新しい方法として、水生生物（無脊椎動物と魚類）の炭素・窒素安定同位体比を用いる方法を検討した。その結果、汚濁の進行とともに、河川生態系を支える基盤有機物が、河川内で生成される有機物（現地性有機物）から、外部から流入する有機物（異地性有機物）に遷移することが、窒素安定同位体比を指標として明らかにされた。また、食物網構造を解

析する新しい指標として、アミノ酸の窒素安定同位体比を用いる方法が検討された。さらに、貯水ダムの下流の生態系が、ダム湖から供給される有機物によって支えられていることが、炭素安定同位体比を指標として用いた研究によって明らかにされた。

§ 2 研究構想及び実施体制

(1) 研究構想

研究開始時に立案した 5 年間の研究計画を下表に示す。研究はほぼ計画どおりに進んだが、一部の変更点や新たに生じた目標については、研究グループ毎の実施状況の中にまとめる。

項目	平成 15 年 度(6 ヶ月)	平成 16 年 度	平成 17 年 度	平成 18 年 度	平成 19 年 度	平成 20 年 度(6 ヶ月)
質量分析計の整備	←→					
$\Delta^{17}O$ 分析システムの設計 および調整	←→					
琵琶湖淀川集水域におけ る水・栄養塩・ガス・生 物総合調査		←→				
補助的サイトの調査・室 内実験による深化		←→				
ボルネオ・モンゴルにお ける応用	←		←→			→
調査手法のマニュアル 化、データのデータベー ス化					←→	
まとめ						←→

総括グループ

役割分担と目標

本プロジェクトの運営の中心として、研究全体の指揮と統合にあたりとともに、京大大学生態学センターに設置した質量分析装置や、琵琶湖水系の観測設備・調査船、および海外拠点などを活用して、研究開発を実施する。

実施状況

本 CREST 研究の目玉である先端的な質量分析装置の構築とその運用は計画通り実現され、本研究の推進の重要な原動力となった。特に、硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比の分布を琵琶湖の湖内および集水域において詳細に明らかにできたというのは大きな成果である。また、海外での総合調査の展開も、ほぼ計画通りに実現された。ただし、マレーシア（ボルネオ）における調査では（平成 16 年度と平成 18 年度に 2 回実施）、主な分析対象としていた硝酸イオンが予想よりも枯渇していたことなどから、同位体指標に関連するデータの取得は予備的な段階にとどまった。しかし、他の研究プロジェクトとの連携により、タイの河川における窒素安定同位体比の流程分布についての観測データを得ることができ、当初の予定通り、熱帯地域における同位体指標の有効性の検討は実現することができた。また、研究成果の統合化については、「流域環境評価と安定同位体」の出版や、国際会議・学会でのセッションの開催などを通して、期待通りの成果が得られた。

水循環・技術支援グループ

役割分担と目標

流域の水循環や環境評価に資する同位体分析技術の開発を行うとともに、技術面において他の研究グループの支援や助言を行う。

実施状況

本研究グループでは、水の第三のマーカである $\Delta^{17}\text{O}$ の超微量測定システムの構築を目標のひとつにかかげて研究をスタートしたが、本研究の期間中には完成にはいたらなかった。しかし、有機物の同位体比の超微量測定技術の開発では、当初想定していなかった顕著な成果をあげ、これは、特許申請に結びついた。また、この技術が完成したことで、本CREST研究における有機物の同位体分析が飛躍的に進展した。さらに、本グループでは、アミノ酸の同位体測定技術を新たに開発し、これを、新しい食物連鎖指標の構築に結びつけた。これも、当初は想定していなかった顕著な成果である。また、本グループは、生態系構造を解析する指標として、植物色素の安定同位体比を測定する技術の開発を進めていたが、その過程で、クロロフィルdという色素が琵琶湖の堆積物をはじめとして地球上に広く分布しているという発見をした。その成果はScience誌に掲載された。この論文の段階では、まだ同位体の分析結果は示されていないが、今後の研究の進展によって、新しい同位体指標の提案に結びつくことが大きく期待される。全体としては、本グループは、技術面において本CREST研究のレベルの向上に大きく貢献しており、その成果は当初の期待を上回るものであった。

物質循環グループ

役割分担と目標

流域の主要コンパートメントにおける有機物、栄養物質、気体の各種安定同位体比を調査する。得られた情報から、流域の物質循環系の状態と機能を総合的に評価する指標群を構築する。

実施状況

本研究グループでは、粒子態および溶存態有機物や、溶存態無機炭素の炭素安定同位体比の詳細な観測データを取得し、河口域や湖沼における有機物の起源や、炭素循環を解明する研究を行った。その結果をもとに、これらの環境中での炭素安定同位体比の変動を説明する新たなモデルを提案するとともに、一次汚濁と二次汚濁の判別指標の構築を行った。また、窒素安定同位体比を指標として用いた、河川や沿岸海域における窒素循環の研究でも成果が得られた。さらに、一酸化二窒素のアイソトポマー（分子内同位体比）の測定という高度な技術を駆使することで、琵琶湖や河川における一酸化二窒素の発生機構を判別する同位体指標の開発に関する研究を大きく推進した。これらの方法論の開発は、汚濁河川などからの温室効果気体の発生起源を査定するうえで、大変重要な意義を有するものであり、当初の期待を上回る成果が得られた。

生態系グループ

役割分担と目標

流域生態系の生物構成員の各種安定同位体比を測定する。得られた情報を、水循環および物質循環指標と比較・体系化することで、生態物質循環系の健全性と持続可能性を評価する指標を構築する。

実施状況

本研究グループでは多数の河川および琵琶湖に生息する植物、無脊椎動物、魚類および各態有機物の炭素・窒素同位体比を包括的に調べ、水域の汚濁度や集水域の土地利用

と、水域生態系の特性の関係を調べる研究を推進した。これをもとに、生態系の健全性を評価する指標の構築に関する研究を進めた。また、貯水ダム建設が、下流生態系に与える影響を評価するために、各種安定同位体比を利用する方法論についても検討を進めた。以上の研究の成果として、生物の安定同位体比が、河川への栄養負荷や、物理構造・土砂供給などの変化を鋭敏に反映する指標として有効であることが示された。このように、さまざまな生物の安定同位体比を、各態有機物や栄養物質の安定同位体比とあわせて包括的に調べた研究例は世界的にも類例がない。このような総合的な観測によって得られた膨大なデータを基礎として、安定同位体を用いた生態系健全性指標の開発がなされたという点において、当初の計画は期待どおりに実現した。

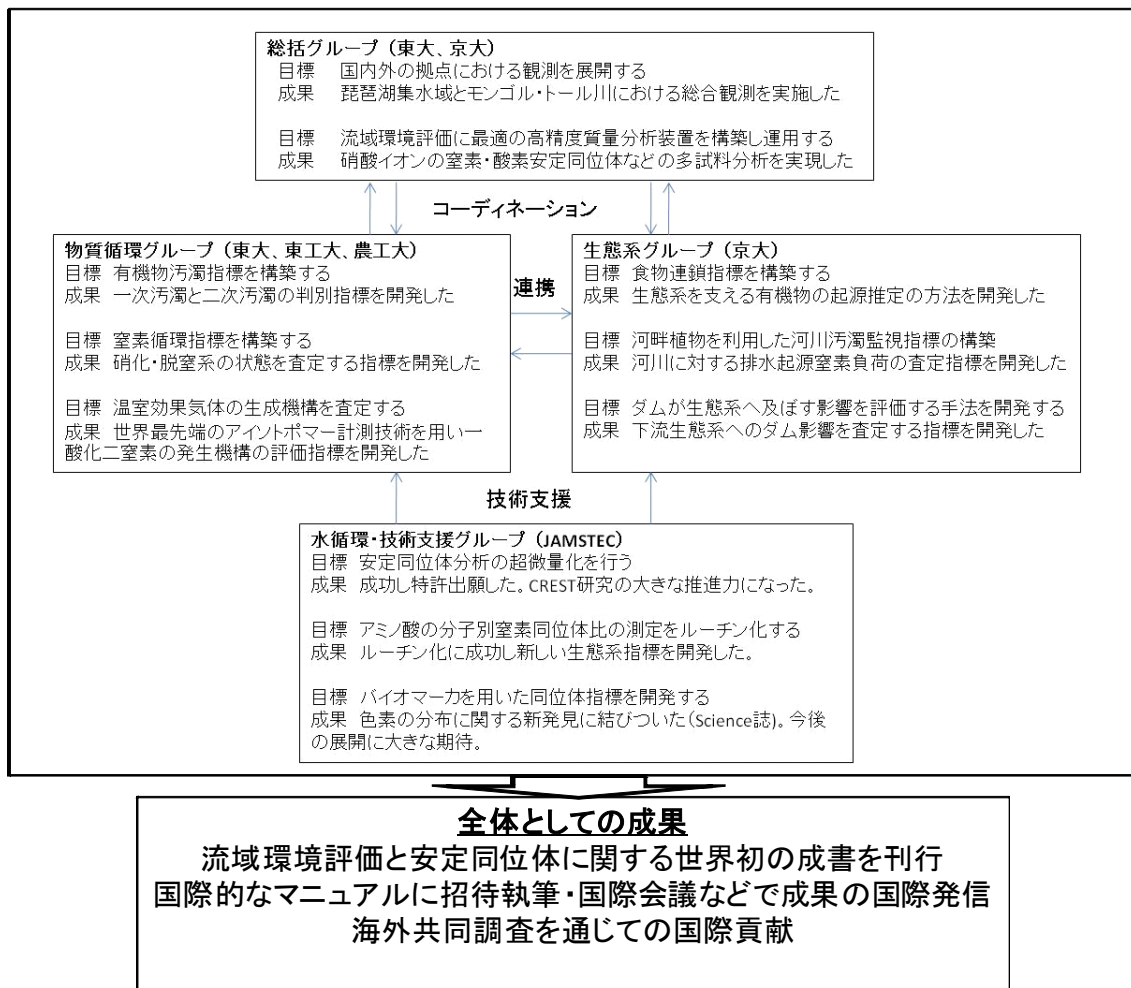
(2) 実施体制

グループ名	研究代表者 又は 主たる共同研究者氏名	所属機関・部署・役職名	研究題目
総括グループ	永田 俊 大手信人 陀安一郎	東京大学・海洋研究所・教授 東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授 京都大学・生態学研究センター・准教授	研究総括・各種安定同位体指標の構築 各種安定同位体指標の構築 各種安定同位体指標の構築
水循環・技術支援グループ	大河内直彦	海洋研究開発機構・地球内部変動研究センター・グループリーダー	各種安定同位体分析技術の開発と適用
物質循環グループ	宮島利宏 木庭啓介 吉田尚弘	東京大学・海洋研究所・助教 東京農工大学・大学院共生科学技術研究院・特任准教授 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授	物質循環指標の構築 物質循環指標の構築 物質循環指標の構築
生態系グループ	竹門康弘 奥田 昇	京都大学・防災研究所・准教授 京都大学・生態学研究センター・准教授	生態系指標の構築 生態系指標の構築

§ 3 研究実施内容及び成果

3. 1 研究チーム全体としての実施内容及び成果

研究チーム全体としての実施内容と成果を以下の図にまとめる。本研究では、総括グループのリーダーシップのもとに国内外の拠点での総合観測を展開し、また、流域環境評価に最適化した質量分析装置の運用を実現した。ここに、物質循環グループと生態系グループが連携する形で、各種安定同位体指標の構築を進めた。以上の研究を推進するうえでは、最先端の安定同位体分析技術の適用が不可欠である。そこで、水循環・技術支援グループは、その高度な技術力を生かし、技術面で各班の支援をするとともに、流域環境評価に資する画期的な新技術の開発も成し遂げた。このように、研究チームの全員が一丸となって取り組んだ成果として、流域環境評価と安定同位体に関する世界初の成書(京都大学学術出版会より平成 20 年 2 月に刊行)の出版、IAEA 国際マニュアルへの招待執筆、AOGS や ISI2008 など国際会議における成果の国際発信、また、国際共同研究を通しての国際貢献などを、実現することができた。



3. 2 総括グループ（京都大学生態学研究センター、東京大学大学院農学生命科学研究科、東京大学海洋研究所）

総括グループでは、本 CREST 研究における最大の設備投資である、ハイスループット質量分析装置の構築と運用を行うとともに、これらの基盤技術を活用して、集水域における安定同位体観測を大きく展開した。はじめに、硝酸イオンの窒素・酸素同位体比の分析システムの概要とそれを用いて得られた成果を報告する。次に、琵琶湖における溶存酸素の動態の査定に関わる安定同位体指標の開発研究についての成果を報告する。最後に、海外拠点における研究実施とその成果を報告する。

3. 2. 1 硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比の同時測定システムの構築と適用 （大手信人、由水千景、高津文人、陀安一郎、永田俊）

研究の背景

流域生態系の適正な管理のためには、水文過程や物質循環系の機能、生態系構造などを客観的に評価する必要がある。しかし、生態系の時空間的不均質性や影響過程の複雑さゆえに、現状を正しく把握するためには多試料の分析・解析が必要となる。つまり、多数の環境試料を簡便かつ高速・高精度に測定する技術の開発が重要な課題になる。また、流域環境調査においては、分析に必要な試料量を少なくすること（微量分析技術の開発）も、決して軽視できない技術的課題である。これにより、試料採取に必要な労力や、物理的制約（容器の保管スペースなど）を軽減することができ、大幅なコスト削減につながるからである。同時に、試薬量の節約、廃液量の減少などといったメリットもある。

河川水中に含まれる主要な窒素化合物のひとつである硝酸イオンの窒素安定同位体比が、窒素汚染物質の起源を示す指標となることは、1980年代にはすでに報告されている。しかし、従来の分析方法では、硝酸イオンの同位体比を測定するための前処理が煩雑であり、多大な時間や労力が必要であった。そのため、流域環境の評価の方法として硝酸イオンの同位体比を用いるというアプローチの普及は、限定的なものにとどまっていた。また、従来法では、硝酸イオンに含まれる窒素と酸素の安定同位体比を同時に測定することが不可能であったため、後述するような、窒素—酸素同位体マッピングを用いた解析には不向きであった。本 CREST 研究が始まる一年前、すなわち、2002年に、米国の Sigman らが、脱窒菌を用いた新しい硝酸イオンの同位体比測定方法を発表した(Casciotti et al. 2002)。この方法には、従来法に比べて大きなメリットがあった。すなわち、必要試料量が従来法の 100 分の 1 以下でよい、有機物による妨害を受けない、サンプル前処理時間が大幅に短縮できる、窒素・酸素安定同位体比を同時に測定できる、といった側面で大きな改良が加えられていたのである。

研究実施内容および成果

本プロジェクトでは、この新手法を、流域環境評価の研究に応用した。初年度に、機種を検討を行い、米国の研究者からの最新の情報なども参考にして、システムの構成の詳細を決定した。これに基づき、京都大学生態学研究センターにシステムを導入した。さらに、専属の技術員のもとで、分析条件の最適化と分析手順のマニュアル化を行い、ルーチン的な分析体制を確立した。本システムは、硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比測定のほか、炭素・窒素安定同位体比の微量分析や、溶存酸素の酸素安定同位体比の測定にも使い、本 CREST 研究の主要な装備としてフル稼働で活用した(由水・大手 2008)。

本プロジェクトで構築した硝酸イオンの同位体測定システムの概要を説明する。本システムで用いた脱窒菌法では、一酸化二窒素 (N_2O) 還元酵素を持たない脱窒菌株を用いることによって、サンプル水中の硝酸イオンを N_2O まで還元し、 N_2O として窒素・酸素安定同位体比を測定する。実際の作業手順は以下のとおりである。1) 測定の約 1 週間

前に脱窒菌の培養を開始する。2) ガラスバイアルに脱窒菌の培養液を入れたのち、これを密封して He 雰囲気にする。ここに、サンプル水を少量添加して培養する。これによりサンプル水中の硝酸イオンが全量還元され、 N_2O が生成する。3) 生成した N_2O を、

ページ・アンド・トラップ方式で回収・濃縮して、窒素・酸素安定同位体比の測定に供する。

本プロジェクトでは、Finnigan PreCon (試料濃縮装置)、Finnigan GasBench II (ガスの分離、質量分析計への導入装置)、Finnigan DELTA^{plus} XP (安定同位体比質量分析計) を用いて、オンライン自動測定システムを構築した。図 3.2.1-1 に分析システム全景を、図 3.2.1-2 に測定システムの模式図を示す。通常の稼働条件の場合、一日あたり 60 サンプル程度を処理することが可能である。



図 3.2.1-1 分析システム全景

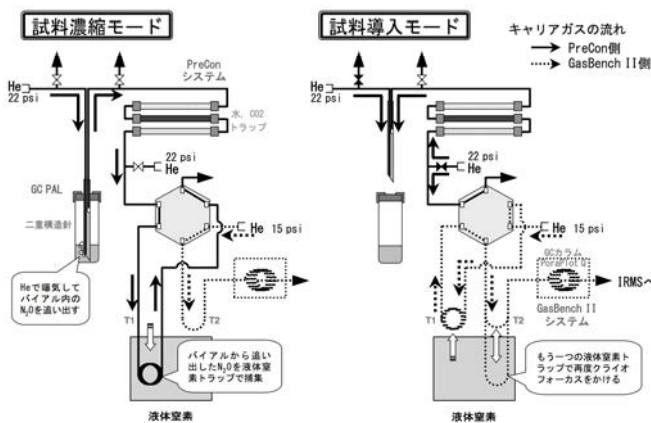


図 3.2.1-2 測定システムの模式図

琵琶湖集水域における河川水中の硝酸の窒素酸素安定同位体比

本研究では、琵琶湖に流入する河川の環境科学的健全性を評価するための調査を実施した。流入 32 河川を対象として、水質、栄養塩濃度、各種の安定同位体比等の測定を行い、環境評価のために有用な安定同位体比情報の抽出を行った。その中で、河川水の硝酸イオン(NO_3^-)が持つ窒素と酸素の安定同位体比をモニターし、様々な土地利用条件が混在する流域から河川に流出してくる溶存窒素の起源や流出過程での形態変化に関する情報を抽出する試みを行ってきた (大手 2008)。

図 3.2.1-3 に、上記の 32 河川の河口地点で採取された水サンプルの NO_3^- の濃度と安定同位体比の地理的分布を示す。まず、 NO_3^- 濃度の地理的分布は、流域に農地の多い湖東、都市域を含む湖南の河川で高く、森林が多い湖北、湖西の河川で低い。しかしながら、この空間的なパターンは維持されるものの、濃度は季節的に変化が大きい。これに対し、 $\delta^{15}N$ は、湖東、湖南で高く、湖北、湖西で低いという濃度と共通した空間パターンを示しているばかりでなく、各点の測定値に大きな季節変動はなく、空間的な高低のパターンが維持されている。このことは、地域ごとの NO_3^- 流出は、季節的な水文気象現象の変

動に左右されて濃度の変動は生じるが、流出源には大きな季節変動がないことを意味している。 $\delta^{18}\text{O}$ は、2004 年の 7 月以外は、概ね、森林域の多い湖北で高く、それ以外の地域で低いという傾向を示している。森林、山地部が多い湖北地方の河川水で $\delta^{18}\text{O}$ が高い原因としては、流程調査の結果で指摘した山地の水文過程の影響に加えて、融雪流出の影響をあげることができる。湖北地方は琵琶湖集水域の中で最も降雪・積雪の多い地域であり、暖地性の積雪地域であるため、降雪のある冬期でも同時に融雪水が溪流に供給されていることは、過去のこの地域の研究で示されている。これを考慮すると、冬期、河川に降雪由来の NO_3^- が流入している可能性も否定できない。2004 年の 7 月、サンプリングが行われた時期は、非常に渇水であった。このことは、山地域でも地下水流出の割合が増大し、降水由来の NO_3^- の河川への輸送は限定的なものになることが考えられる。この時期の湖北河川の $\delta^{18}\text{O}$ が他の季節に比べて低下していたのは、この渇水条件が影響していたものと考えられる。

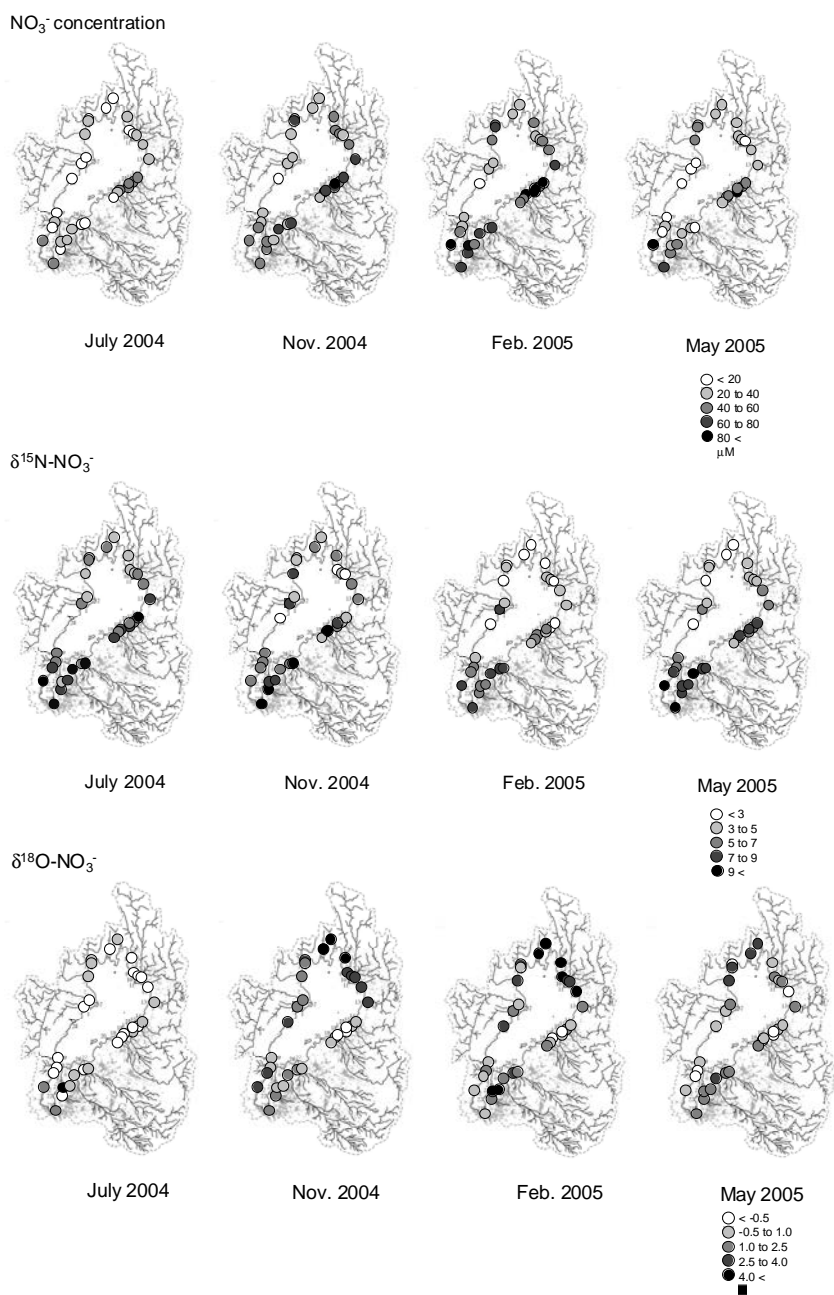


図 3.2.1-3 琵琶湖流入 32 河川の硝酸イオン濃度と窒素・酸素安定同位体比

河川流程における NO₃⁻安定同位体比の変動

図3.2.1-4は、上記河川のうち、野洲川と安曇川における流程に沿った NO₃⁻濃度と δ¹⁵N、δ¹⁸O の変動を示している。野洲川における NO₃⁻の濃度は、上流の森林集水域からの負荷に加えて、農地からの流入が加わり、さらに生活排水の流入が加わる中下流に向かって濃度が上昇している。δ¹⁵N はこれにともなって人為的な起源をもつ NO₃⁻の負荷が増えるにしたがって上昇する。これに対して δ¹⁸O は上流の森林流域でやや高く、下流に向かって低下していく傾向が見える。このことは、上流において降水（大気降水）起源の NO₃⁻を含んだ水の寄与が大きく、下流に下るにしたがって、その寄与が減少していくことを示している。これに対して、安曇川の流程では、中・下流に集中した農耕地や住宅地がないため、δ¹⁵N の高い硝酸イオンは流入せず、濃度は上昇しない。

δ¹⁸O は、野洲川でも安曇川でも最上流部分で高く、中流域で急激に低下する傾向が見られる。山地域の水文過程の特徴として、森林土壌と基岩で構成される地中水の貯留機能があげられる。これによって、このサンプリングが行われたような低水条件においても、ある程度の雨水由来の硝酸が河川に隣接する斜面から供給されることが考えられ、これが最上流域の高い δ¹⁸O の原因と見ることができ。中流域では、河川そのものの規模が増大する過程でこの影響は次第に薄れ、野洲川では流入する人為的な NO₃⁻、安曇川では河川内や近傍での有機物の分解・無機化によって供給される NO₃⁻に移り変わっていくものと考えられる。

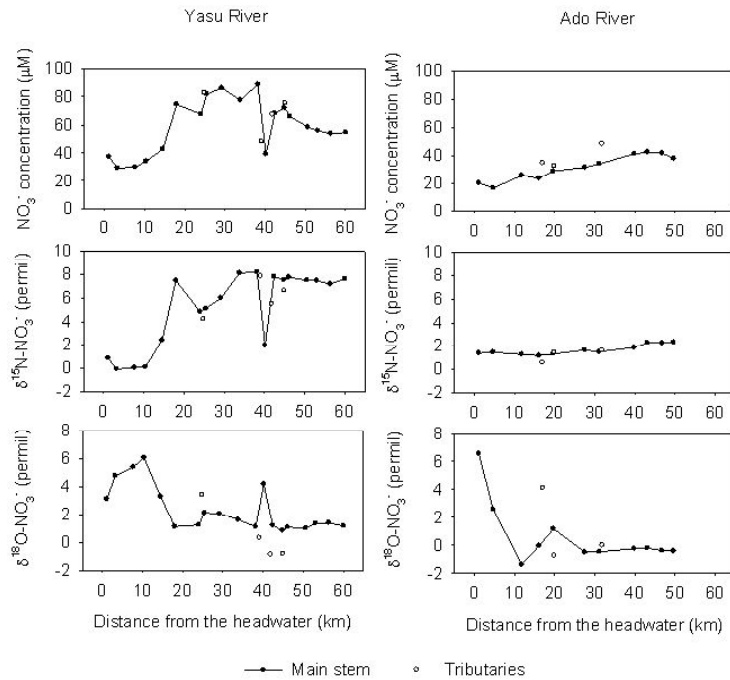
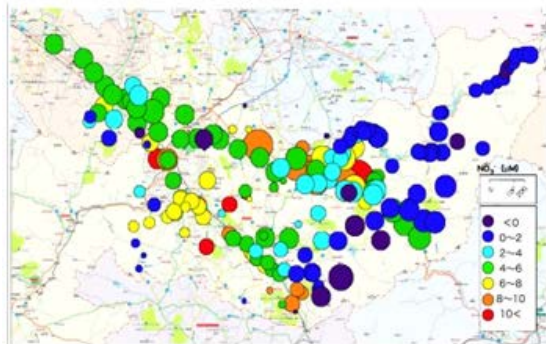


図3.2.1-4 野洲川および安曇川における硝酸イオン濃度と窒素・酸素安定同位体比。白抜きの印は支流を表す。

図-3.2.1-5には、野洲川上流から中流にかけての一带における集中的なサンプリングによる δ¹⁵N と δ¹⁸O 測定結果を示している。全体として、上記の流程に沿った調査と同様の傾向を示しているが、そればかりでなく、中流域で数点、著しく δ¹⁵N が高い NO₃⁻が流入している小支流や用水路があることを検出することができる。また、上流域の一部の支流で、δ¹⁸O が著しく高い箇所がある。これは、サンプリング時に局所的な雷雨が通過し、雨水由来の NO₃⁻が河川に流入したことを示しており、同位体情報にそうした現象の検出能力もあることが示された。

A 窒素安定同位体比



B 酸素安定同位体比

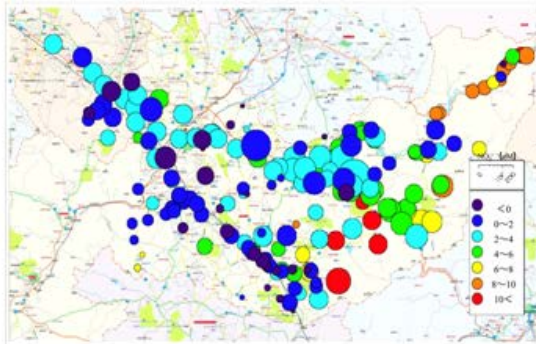


図 3.2.1-5 野洲川中上流域における硝酸イオン濃度と窒素・酸素安定同位体比の空間分布

研究成果の今後期待される効果

琵琶湖に流入する河川の NO_3^- 濃度と $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ は、流域の土地利用の影響を強く反映し、濃度と $\delta^{15}\text{N}$ は農地や宅地が卓越する流域で高く、森林が卓越する流域で低いことが明らかにされた。また、 $\delta^{18}\text{O}$ は森林が卓越する流域で高い傾向が見られた。流程では下流平野部では河川内における脱窒の影響で濃度と同位体比が変化する事例も見られたが、支流からの主に人為的な起源を持つ NO_3^- の流入による濃度・同位体比の変化の方が大きかった。濃度は水文条件の季節性に影響されて大きく変化するが、同位体比は安定して、起源の特性を示していた。 $\delta^{18}\text{O}$ の時空間分布は、降水起源の硝酸混入の程度を反映しており、天然の排水機構をもつ森林と降雨、洪水流出時に効率的な排水が行われる人工的な農地・宅地の排水機構との水文学的な違いが影響していることが示唆された。以上の知見は、流域の土地利用や水循環と窒素循環の関係を解明するうえで、 NO_3^- の窒素・酸素の安定同位体比同時測定が極めて有用なアプローチであることを示しており、今後、これらの顕著な成果は、流域スケールで流出起源・経路情報を把握する研究の進展に大きく貢献することが期待される。

引用文献

- 1) Casciotti, K., Sigman, D.M., Galanter Hastings, M., Bohlke, J.K. and Hilkert, A. (2002) Measurement of the oxygen isotopic composition of nitrate in seawater and freshwater using the denitrifier method. *Analysis Chemistry*, 74: 4905-4912.
- 2) 由水千景・大手信人 (2008) 分析の自動化・高速化. In: 永田俊・宮島利宏 (編) 流域環境評価と安定同位体-水循環から生態系まで-. 京都大学出版会 pp.376-387.
- 3) 大手信人 (2008) 大気降水物としての窒素が水源域に与える負荷. In: 永田俊・宮島利宏 (編) 流域環境評価と安定同位体-水循環から生態系まで-. 京都大学出版会 pp.59-69.

3. 2. 2 海外研究拠点での研究展開

(永田俊、陀安一郎、由水千景、高津文人、大手信人、北山兼弘、藤田昇)

研究の背景

本研究プロジェクトでは、おもに琵琶湖集水域における観測で得られたデータをもとに、各種の安定同位体指標の開発研究を推進した。同時に、このようにして開発された指標が、東アジアの異なる気候帯においても適用可能であるかどうかを検証するために、海外共同研究を推進した。海外拠点としては、京都大学生態学研究センターが先行研究を進めていた、モンゴル国・ウランバートル市周辺の集水域、および、マレーシア国サバ州の集水域を、それぞれ、寒冷域、熱帯域の調査地点として選定した。海外調査は総括グループが中心になってコーディネーションを行い、以下のように実施した。

モンゴル調査の実施状況と成果

カウンターパート： モンゴル科学アカデミー地球生態学研究所

おもな調査サイト： トール川

期間	調査の内容	参加研究者数	
		日本	モンゴル
2004年7/9-16	トール川予備調査	6	4
2005年6/29-7/11	トール川全流程調査 (約800km)	8	4
2006年6/21-28	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

モンゴル調査の概要。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された（この表には含まれず）。

2004年と2005年の調査においてトール川全流程の概要を把握した。その結果、ウランバートル市を通過後に、トール川の水質が著しく悪化することが示された（図3.2.2-1A, C）。このことは、モンゴル科学アカデミーの共同研究者が実施した季節変化の観測からも裏付けられた（図3.2.2-1B）。これらのデータを用いて、ウランバートル市からトール川への全窒素、全リンの負荷量を概算したところ、全窒素については3.3トン/日、全リンについては0.3トン/日と推定された。

次に汚濁源を特定するために、ウランバートル市近郊の大小河川の詳細な水質調査を行ったところ、市の西部に位置する大型の下水処理場から流入する排水が主要な汚濁源であることが強く示唆された（図3.2.2-2）。そこで、2006年度には、下水処理場からの廃水がトール川に流入するまでの約4kmの区間の湿地帯において、総合観測を実施した。特に、生態系（生物相）に対する影響、自然浄化（窒素除去）機能、温室効果気体の発生機構などの評価を試みた。これらの調査によってえられた安定同位体比のデータについては、3.2.3項および3.4.7項において報告する。

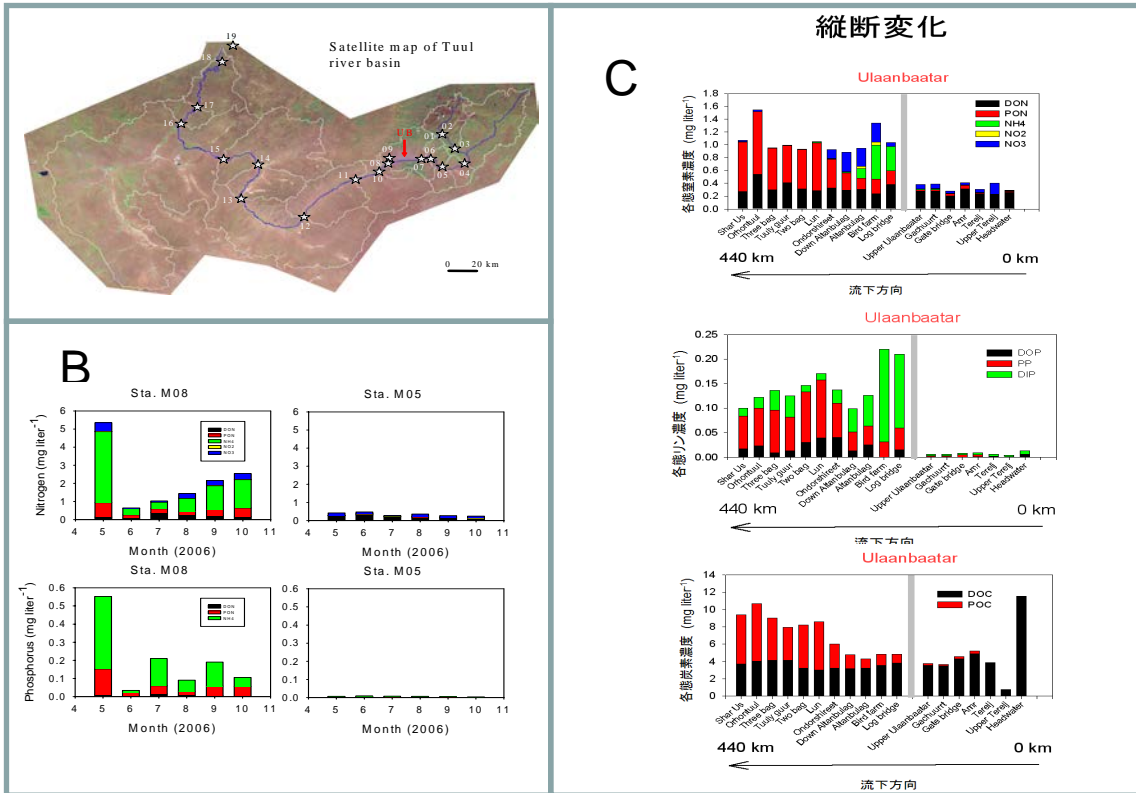


図3.2.2-1 モンゴル国トール川における観測地点 (A), 上流 (Sta. M05)と下流 (Sta. M08) の2定点における各態窒素、リン濃度の季節変化 (B), および各態窒素、リン、有機炭素濃度の縦断変化 (C)。

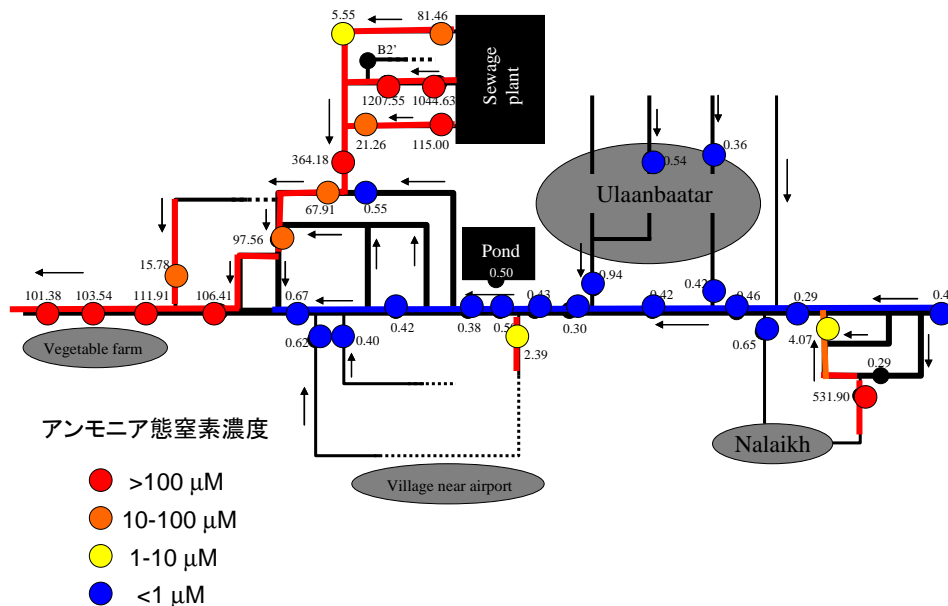


図 3.2.2-2 ウランバートル市近郊の河川における詳細な水質調査結果。ここではアンモニア態窒素濃度を示す。濃度の高い地点 (赤い色) が、市の西部にある下水処理場の下流に集中していることから、この処理水がトール川の主要な汚染源であることが示された。



下水処理場の廃水放出地点。猛烈な悪臭が立ち込める。



廃水は湿原を通過して約4 km下流でトルル川に流入する。この区間での自然浄化機能や温室効果気体の発生を査定するための48時間連続観測を実施した(2006年9月)。



図 3.2.2-3 下水処理場の廃水流出地点および、48時間観測の実施地点の概況。マレーシア調査の実施状況と成果

カウンターパート： サバ大学

おもな調査サイト： ボルネオ島キナバル山周辺の集水域

期間	調査の内容	参加研究者数	
		日本	マレーシア
2004年11月19日-25日	キナバル山南部流域における流程調査	3	1
2007年2月5日-9日	コタキナバル市周辺の流域調査	3	3

マレーシアの調査では、キナバル山およびコタキナバル市周辺の河川において、総合的な水質調査を実施した。しかし、安定同位体については、指標の有効性を検証するのに必要な、十分な数のデータの取得にはいたらなかった。この理由のひとつとしては、調査対象域の多くの河川において、硝酸イオン濃度が予想以上に低かった(分析感度以下の濃度であった)ことがあげられる。この知見自体は興味深い、同位体指標の有効性の検証という観点からは、今後の検討課題として残された。しかし、幸いなことに、物質循環グループにおいて推進していた海外学術調査(科研費)と連携し、タイ(マレー半島)の Khura 川と Trang 川において、炭素循環および窒素循環にかかわる安定同位体指標の有効性の検証研究を実施することができた。これにより熱帯域での安定同位体指標の適用という観点において、当初の研究計画を実現することができた。その成果については、3.4.3節と3.4.4節に報告する。

研究成果の今後期待される効果

本研究が対象とした海外地域、とりわけモンゴル国においては、首都への人口集中や経済・社会システムの急激な変化に伴って、重要な水資源である河川水の水質汚濁が深刻化していることが明らかになった。その一方で、汚濁の実態把握や、汚濁メカニズムの解明は遅遅として進まず、したがって、合理的な対策の立案もおぼつかないというのが現状である。本研究では、モンゴル科学アカデミーの研究者らとの共同で、水質汚濁の実態解明や汚濁源の特定を進めることができた。これらの成果は、モンゴルの共同研究者自らによって、ウランバートル市民に公表された（モンゴルエコフォーラム、於ウランバートル市、2007年8月）。また、モンゴルの若手研究者2名が、2008年6月の AOGS（於、釜山）において、本共同研究の成果をポスター発表した(Tsengelmaa et al. 2008, Avlyush et al. 2008)。今後、本研究の成果が、同国の水利用・水資源管理の現場で生かされていくことが期待される。

引用文献

- 1) Tsengelmaa, B., Javzan, C., Kohzu, A., Nagata, T. Water quality of the Tuul River, Mongolia – Deterioration due to the discharge from the waste water treatment plant of the city of Ulaanbaatar. AOGS 5th Annual General Meeting 2008. Busan Exhibition & Convention Center, Busan, Korea. 2008.6.20
- 2) Avlyush, S., Javzan, C., Kohzu, A., Takemon, Y. Urban and mining effects on macroinvertebrate communities in the Tuul river, Mongolia. AOGS 5th Annual General Meeting 2008. Busan Exhibition & Convention Center, Busan, Korea. 2008.6.20

3. 2. 3 溶存酸素の酸素安定同位体比を指標とした湖沼と河川における溶存酸素動態の査定手法の開発研究（陀安一郎、由水千景、永田俊）

研究の背景

湖沼や河川水中の溶存酸素濃度は、主に光合成による生成と、酸素呼吸に伴う消費、および、大気からの供給という3つのフラックスのバランスによって決まる。湖沼や内湾では、有機物負荷に伴う酸素消費の増大や、水体の停滞による物理的な酸素供給の低下によって、貧酸素水塊や無酸素水塊が形成されることがある。溶存酸素濃度の低下は、直接的に魚類など水棲動物の生存に関わるほか、硫化水素の発生などによる環境悪化を招くこともある。従って、水域において溶存酸素の動態を把握することは環境診断の重要な要素になる。本研究では、琵琶湖を例にとり酸素の安定同位体比を用いた溶存酸素の動態に関する研究を行った。溶存酸素の安定同位体比は、一般の酸素化合物（水、二酸化炭素など）中の酸素同位体比と同様に、VSMOW を標準物質にして表記する場合と、大気中の酸素（標準大気：HLA：Holy Land Air）を標準物質にして表記する場合がある。後者は溶存酸素の研究において使用される特別な表記方法である。HLA を標準物質とした場合の $\delta^{18}\text{O}$ ($\delta^{18}\text{O}_{\text{HLA}}$) と、VSMOW を標準物質とした場合の $\delta^{18}\text{O}$ ($\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$) の関係は、下式で表される(Kroopnick and Craig 1972)。

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{HLA}} = [(1 + \delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}/1000) \times 1000 / 1023.5 - 1] \times 1000$$

研究実施内容および成果

<琵琶湖>

本研究では、300ml容の内部を真空状態にしたストップコック付きの専用ガラス瓶に試水を半分取り、気相に拡散させた酸素ガスを分析する方法をもちいた。分析はモレキュラーシーブ5A（80/100メッシュ）を充填したカラム（内径1/4インチ、長さ5m）を接続した島津製ガスクロマトグラフ（GC-14B）を、オンラインでConflo IIIをインターフェイスとして質量分析計delta plus XP（サーモエレクトロン社製）に接続いたシステムを用いた。

$\delta^{18}\text{O}$ を用いた酸素生産（光合成）と酸素消費（呼吸）の見積もりについて解説する。光

合成では、水と同じ $\delta^{18}\text{O}$ を持った分子状酸素 (O_2) が発生する。これを分別係数 α を使うと $\alpha_p = 1.000$ となり、濃縮係数 ε を用いて表すと、 $\varepsilon_p = 0$ (‰) となる。ここで、添字の p は光合成を指す。一方、呼吸では、質量数の大きい酸素ほど反応速度が遅い。従って、質量数の大きい ^{18}O が溶存酸素中に多く残り、溶存酸素の $\delta^{18}\text{O}$ が高くなる。この際の同位体分別係数については数々の見積もりがあるが、平均的には $\alpha_r = 0.980$ 程度 ($0.977 \sim 0.982$)、濃縮係数では $\varepsilon_r = 20$ ‰程度 ($18 \sim 23$) であると報告されている。ここで、添字の r は呼吸を指す。大気中の酸素は拡散によって水に溶解込むが、この気相-液相間の平衡同位体分別係数 α_s は 1.00073 である。従って、生物活動 (光合成や呼吸) が無いと仮定した時の溶存酸素の同位体比は $\delta^{18}\text{O} = 0.7$ ‰程度になると期待される。

まず、気相と水相のガス交換については以下の式になる。

$$F = -G/Z \cdot ([\text{O}_2] - [\text{O}_2]_{\text{sat}}) \quad (1)$$

ここで、 F は気相と液相のガス交換速度、 G はガス輸送係数、 Z は水深、 $[\text{O}_2]$ は溶存酸素濃度、 $[\text{O}_2]_{\text{sat}}$ は飽和溶存酸素濃度である。一方、水塊の酸素収支は、微分方程式を用いると、

$$d[\text{O}_2]/dt = P - R + F \quad (2)$$

と表される。ここで、 P は光合成速度、 R は呼吸速度をあらわす。酸素同位体の存在比である $^{18/16}\text{O}$ のマスバランス式は、以下のように表される。

$$d[^{18/16}\text{O}]/dt = P \cdot ^{18/16}\text{O}_w \cdot \alpha_p - R \cdot ^{18/16}\text{O} \cdot \alpha_r + G/Z \cdot \alpha_g \cdot ([\text{O}_2]_{\text{sat}} \cdot ^{18/16}\text{O}_a \cdot \alpha_s - [\text{O}_2] \cdot ^{18/16}\text{O}) \quad (3)$$

ここで、 $^{18/16}\text{O}_w$ は水の酸素同位体存在比、 α_p は光合成の同位体分別係数 (1.0000)、 α_r は呼吸の同位体分別係数 (主にバクテリアの呼吸と考えられた値として 0.982 、キネト湖において植物プランクトンとバクテリアの総和と考えられる値として 0.977 などが報告されている)、 α_g はガス輸送に関する同位体分別係数 (0.9972)、 $^{18/16}\text{O}_a$ は大気中の酸素同位体存在比、 α_s は気相-液相間の同位体平衡分別係数 (1.00073) である。

今、平衡状態を仮定すると、酸素濃度・酸素同位体比とも時間変動がないと考えられるので、各方程式を 0 と置く。さらに光合成と呼吸の差だけ大気と交換が行なわれると仮定すると $G/Z = 1$ と置くことができる。従って、(2)・(3)式は以下の通りとなる。

$$\begin{aligned} d[\text{O}_2]/dt &= P - R + ([\text{O}_2]_{\text{sat}} - [\text{O}_2]) = 0 \\ d[^{18/16}\text{O}]/dt &= P \cdot ^{18/16}\text{O}_w \cdot \alpha_p - R \cdot ^{18/16}\text{O} \cdot \alpha_r + \alpha_g \cdot ([\text{O}_2]_{\text{sat}} \cdot ^{18/16}\text{O}_a \cdot \alpha_s - [\text{O}_2] \cdot ^{18/16}\text{O}) = 0 \end{aligned}$$

これを解くと、

$$R/P = (^{18/16}\text{O}_w \cdot \alpha_p - ^{18/16}\text{O}_g) / (^{18/16}\text{O} \cdot \alpha_r - ^{18/16}\text{O}_g) \quad (4)$$

となる。ここで

$$^{18/16}\text{O}_g = \alpha_g \cdot \{ ^{18/16}\text{O}_a \cdot \alpha_s - ([\text{O}_2] / [\text{O}_2]_{\text{sat}}) \cdot ^{18/16}\text{O} \} / \{ 1 - ([\text{O}_2] / [\text{O}_2]_{\text{sat}}) \}$$

である。以上より、式 (4) を用いて、溶存酸素同位体比・溶存酸素飽和度・水の酸素同位体比の測定値をもとに、呼吸速度と光合成速度の比 (R/P 比) が計算できることになる。

(陀安 2008)

調査は、京大大学生態学研究センターの調査船「はす」により琵琶湖北湖近江舞子沖の定点 (Ie:北緯 $35^\circ 12.97'$ 、東経 $135^\circ 59.96'$ 、水深約 70m) で、2003年12月より2007年4月までおおよそ月一回行なった。溶存酸素同位体測定用のサンプルは、2003年12月から2005年7月までは溶存酸素プロファイルを見て6-8深度で1深度につき3本、2005年7月は12深度(水深0、2.5、5、10、15、20、25、30、40、50、60、b-1、ただしbは湖底の水深を指す)で1深度につき2本、2005年8月から2007年4月までは14深度(水深0、2.5、5、10、15、20、25、30、40、50、60、b-5、b-3、b-1、ただしbは湖底の水深を指す)で1深度につき2本採集した。溶存酸素濃度はウィンクラー法を用いた。100ml容の溶存酸素瓶で1深度につき2本採集したのち現場で固定を行い、実験室で測定した。また、水の安定同位体比測定用の試水は2004年3月より2005年7月までは9深度で、2005年8月から2007年4月までは14深度で採集した。これに加え、多項目水質プロファイラー (SBE-911 plus, Sea Bird Electronics Sealogger) による水温および溶存酸素濃度測定を行なった。

なお、多項目水質プロファイラーで得られた溶存酸素濃度は、ウィンクラー法により求めた溶存酸素濃度を元に、濃度補正を行なった。

琵琶湖は年1回循環が起きる温暖一循環湖のため、4月ごろより成層がはじまり、1~2月ごろに全循環が起きていた。2005年度末(2006年初)における冬の低温は、琵琶湖でも観測され、その前年度に比べ1°C以上低かった。

図 3.2.2-4A に溶存酸素濃度の季節変動を示す。溶存酸素濃度は、成層期の 20m~30m と湖底直上から減少した。毎年 11 月ごろより表水層から酸素濃度が回復していった。溶存酸素濃度の最低値は、2004 年度は 2005 年 1 月 14 日に 5.2mg/l、2005 年度は 2005 年 10 月 6 日に 5.6mg/l、2006 年度は 2007 年 1 月 26 日に 5.2mg/l と、いずれも湖底直上層(b-1)で記録した。また、水温躍層の下の酸素濃度極小が、2005 年度はより顕著に見られた(2005 年 10 月 6 日水深 20m で 6.6mg/l)。

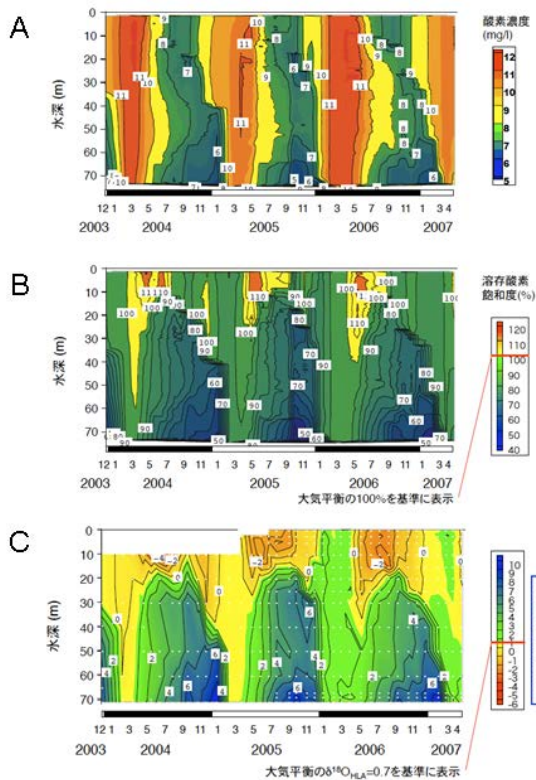


図3.2.2-4琵琶湖沖合定点における溶存酸素濃度 (A)、溶存酸素飽和度 (B)、溶存酸素酸素安定同位体比 (C) の鉛直的・季節的な変動

図 3.2.2-4B に溶存酸素濃度および水温より計算した溶存酸素飽和度の季節変動を示す。大気平衡の溶存酸素飽和度を基準にとると、春~夏期の表水層で過飽和状態が出現しており、躍層の下である底水層で飽和度は減少していった。また 2004 年度秋には表水層で過飽和域が出現したが、2005 秋にはあまり明らかなものは見られなかった。

図 3.2.2-4C に溶存酸素同位体比の季節変動を示す。ここでは、大気平衡である $\delta^{18}\text{O}_{\text{HLA}} = 0.7\text{‰}$ を基準にして議論する。2004 年度は表層近くのサンプリング点がないので表層近くのプロットはない。サンプリングされた中での 2004 年度の最低値は、2004 年 7 月 6 日の水深 7m の地点で $\delta^{18}\text{O}_{\text{HLA}} = -4.5\text{‰}$ をとっていた。2005、2006 年度は表層の値も取っているが、2005 年 6 月 9 日に水深 10m の地点で最低値 $\delta^{18}\text{O}_{\text{HLA}} = -3.9\text{‰}$ 、2006 年 7 月 12 日に水深 10m の地点で最低値 $\delta^{18}\text{O}_{\text{HLA}} = -3.4\text{‰}$ を示した。このように夏場の表水層では溶存酸素同位体比は大気平衡値 $\delta^{18}\text{O}_{\text{HLA}} = 0.7\text{‰}$ を下回っており、光合成由来の酸素のシグナルを示す。

成層期において水温躍層下の水塊は一様に、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{HLA}} = 0.7\text{‰}$ を上回っていた。また、成層がはじまって以降ほぼ単調に $\delta^{18}\text{O}_{\text{HLA}}$ は上昇していき、湖底直上層(b-1)および水温躍層の下の酸素濃度極小に対応して、最高の溶存酸素同位体比を示した。各年度における最高の値はいずれも湖底直上 1m で、それぞれ 2005 年 1 月 14 日に $\delta^{18}\text{O}_{\text{HLA}} = 7.9\text{‰}$ 、2005 年 10 月 6 日に $\delta^{18}\text{O}_{\text{HLA}} = 7.3\text{‰}$ 、2007 年 1 月 26 日に $\delta^{18}\text{O}_{\text{HLA}} = 7.8\text{‰}$ を示した。一方、水温躍層の下の酸素濃度極小は、2005 年度に顕著であるが、溶存酸素濃度の最低値と少し異なり、水深 30m で 2005 年 11 月 10 日に $\delta^{18}\text{O}_{\text{HLA}} = 6.8\text{‰}$ を示した。

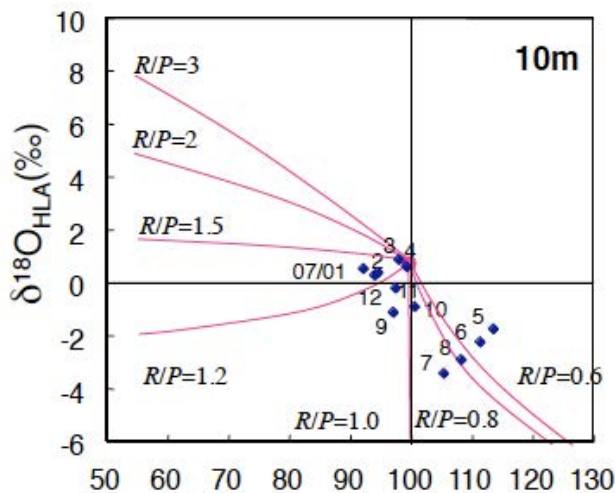


図3.2.2-5 P/R比の季節変動。図中の数字は2006年の月をあらわす。

これらのデータを元に、まず表水層について考察を行う。図 3.2.2-5 に Quay et al. (1995)などが採用した、溶存酸素飽和度と溶存酸素同位体比の関係を示す。ここでは特に2006年の水深10mに関してのみ示した。図中に記入してある等高線(アイソクライン)は平衡を仮定した場合の呼吸/光合成比(R/P比、式(4)より計算)を指す。ここで、与えるパラメータのうちで推定に幅のある α_r に関しては、Kinneret湖において植物プランクトンとバクテリアの総和と考えられる $\alpha_r = 0.977$ を採用した。水深10mでは春から初夏、および秋(10月)におけるR/P比の減少(高い酸素生産)が見える(図の右下領域:高DO濃度かつ低 $\delta^{18}\text{O}_{\text{HLA}}$)。グラフからは、2006年5月に最も

R/P比が低いことがわかる。春から初夏においては気温の上昇とともに藻類の成長が促進され呼吸速度に比べ高い光合成速度を持ったと考えられる。一方、秋のR/P比の値についても、呼吸速度に比べ高い光合成速度をもっていたことを示唆する。(Tayasu et al. 2008b)

次に深水層に関して考察を行う。成層期の酸素濃度と酸素同位体比の関係をレーリーモデルの仮定に基づき計算し得られた見かけの α (同位体分別係数)は3年間にわたって、 $\alpha_r = 0.990 \pm 0.001$ を示した。これは上述した平均の $\alpha_r = 0.980(0.977 \sim 0.982)$ よりも高い値を示す。実際2008年1月に琵琶湖湖水(深度10m)を採取し、暗所で培養実験を行った結果、琵琶湖においても $\alpha_r = 0.981$ であることが確かめられた。堆積物の酸素消費においては酸素の拡散が律速になるため $\alpha_r = 1.000$ に近くなるという事実から推定すると、この2つに差がでる理由は実際の琵琶湖深水層の酸素消費の約半分が堆積物の酸素消費に起因するからであることを示唆する。今後は、深水層での酸素動態をさらに精緻に観測することにより、この推定の信頼性を高めていく必要がある。

モンゴルの下水処理場廃水流入河川における48時間観測

モンゴルでは近年の急速な都市化に伴い、生活廃水・工業廃水の処理に大きな問題を抱えている。特に、首都ウランバートルでは下水処理水が流入するウランバートル近郊の小河川、そしてこの小河川が流入するツール川(ウランバートルを通過して流下する河川であり、最終的にはバイカル湖に達する河川)の水質にも影響を与えている。そこで、この小河川を対象として研究を行った。

ここで着目する調査項目は、溶存酸素(DO)・溶存無機炭素(DIC)・溶存メタン(CH_4)といった溶存ガスである。溶存ガスは、刻々と変化する水系の代謝(メタボリズム)に影響を受けるため、小河川のように変動の大きい場所では、通常行われる昼間だけの観測では代謝の側面のみをとらえている可能性がある。特に、富栄養な水域における物質代謝を明らかにするためには、光合成の卓越する昼間と呼吸のみがおきる夜間の変動が、生物の生息環境を診断する上で重要な観点となる場合がある。そこで、ウランバートル近郊河川において2006年9月8日～10日に48時間にわたり観測した溶存ガスの変動を解析した(図3.2.2-6)。その結果、溶存酸素濃度は大きな昼夜変動を示した。それに対応して、

夜間は呼吸由来の高い酸素同位体比、昼間は基質となる水の酸素同位体比

($\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}=-15\text{‰}$ 、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{HLA}}$ 換算では -38‰)の影響を受け低い酸素同位体比を示した。これらの変化は、光合成の昼夜変動からおこる溶存酸素の生産/消費/大気との交換のバランスが劇的に変動したからと考えられる。モデル計算の仮定によってこのバランスの見積もりは変わるので、あくまでひとつの推定であるが、一日単位の光合成/呼吸比が0.7:1.0と計算された。これは河川中で昼間の光合成を上回る呼吸が行われており、不足する酸素が大気から絶えずとけ込んでいることを示す。このように、汚れた河川における代謝過程が酸素同位体比を用いた研究で明らかになった。(Tayasu et al. 2008a) また、この時の α_r (呼吸による同位体分別係数)は0.982となり、典型的な水中でのバクテリアの呼吸による値を示した。

また、溶存無機炭素(DIC)も濃度・同位体比とも大きく昼夜変化した。昼夜変動の変化からKeeling Plotを用いた解析を行った結果、夜間に発生している CO_2 (DIC)の同位体比は -29‰ であり、典型的なC3植物起源の値を示した。一方、メタン濃度の変化は調査期間中の2日間で異なるパターンを示し、2日目の夜間の発生量が特に大きかった。この昼夜変動のあいだの同位体比の変化は少なく、一貫して $-40\sim-50\text{‰}$ の値を示した。この値は、メタンの由来が CO_2 還元ではなく酢酸開裂由来によるものであることを示唆した。

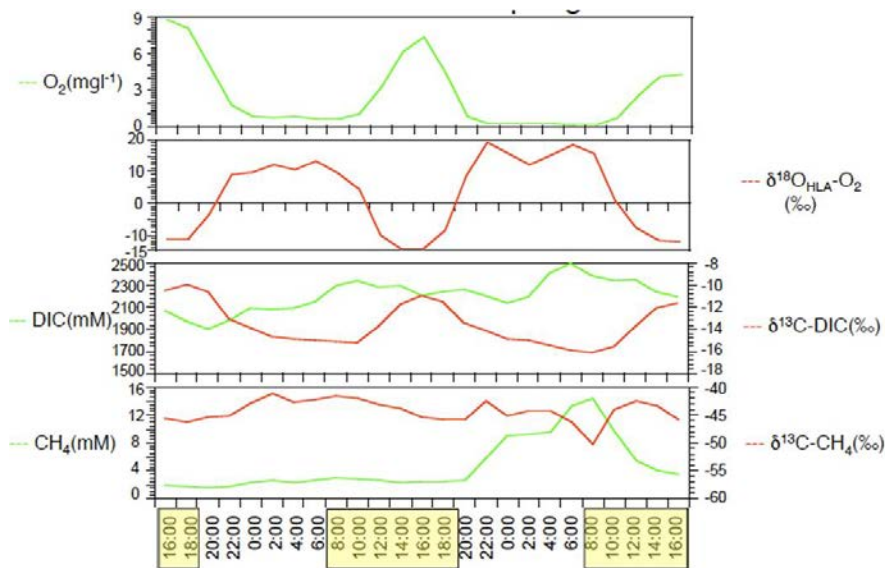


図 3.2.2-6
48 時間調査における
DO(O_2)濃度、溶存酸素
同位体比($\delta^{18}\text{O}_{\text{HLA}}$, ‰)、
DIC 濃度および同位体
比、 CH_4 および同位体比
の日変化

研究成果の今後期待される効果

湖沼や沿岸海域の底層における溶存酸素濃度の減少は、低酸素水塊や無酸素水塊の出現に結びつく。これは、魚介類の斃死や、栄養塩・有害物質の溶出を引き起こす。したがって、湖沼や港湾の管理者にとっては、溶存酸素の動態を精確に把握することが極めて重要な課題である。従来から、溶存酸素濃度のモニタリングは一般水質項目としてなされているが、その生成・消滅に関わる要因を特定することは困難な場合が多い。本研究では、溶存酸素の安定同位体比を用いて、溶存酸素の動態を支配する要因の査定を試みた。その結果、溶存酸素の安定同位体比が、酸素消費の場(水中で消費されているのか、堆積物で消費されているのか)を判別する指標として有効であることが示された。これは、重要な新知見であり、今後、このような方法が他の水域でも適用され、水資源管理技術の向上に大きく貢献することが期待される。

引用文献

- 1) Kroopnick, P., and Craig, H. (1972) *Science* 175: 54-55.
- 2) Quay, P.D., Wilbur, D.O., Richey, J.E., Devol, A.H., Benner, R., and Forsberg, B.R. (1995) *Limnology and oceanography* 40: 718-729.
- 3) 陀安一郎 (2008) 有機物の生産と分解(II)-溶存酸素安定同位体比による評価- In: 永田俊・宮島利宏 (編) 流域環境評価と安定同位体-水循環から生態系まで-. 京都大学出版会 pp.153-162.
- 4) Tayasu, I, Kohzu, A., Itoh, M., Makabe, A., Yoshimizu, C., and Nagata (2008a). Abstract of Asia Oceania Geosciences Society's 5th Annual Meeting, Busan, Korea,.
- 5) Tayasu, I., Yoshimizu, C., Kim, C., Maki, K., Nishimura, Y., Goto, N., and Toshi Nagata (2008b) Extended Abstract of the 4th International Symposium on Isotopomers (ISI2008)

3. 3 水循環・技術開発グループ（海洋研究開発機構）

3. 3. 1 水の¹⁷O アノマリの測定法の開発（大河内直彦）

研究の背景

地球上で起きる水循環に関わるほとんどのプロセスでは、同位体分別が質量に依存しているため、¹⁷O/¹⁶O 比の分別の大きさは ¹⁸O/¹⁶O 比のそれのおよそ半分である。しかし Thiemens and Heidenreich (1983)によって、大気中のオゾン生成反応において ¹⁷O の同位体分別が質量に依存しないことが初めて報告された。すなわち、この反応における ¹⁸O/¹⁶O 比と ¹⁷O/¹⁶O 比の変化が 1:0.5 ではなく 1:1 になる。このずれのことを ¹⁷O アノマリと呼び、次式によって定義される $\Delta^{17}\text{O}$ という数値で表現される。

$$\Delta^{17}\text{O} = \delta^{17}\text{O} - 0.52 \cdot \delta^{18}\text{O}$$

$\Delta^{17}\text{O}$ は、大気中のオゾン、硫酸、二酸化炭素、硝酸、雨水中の過酸化水素、海洋中の溶存酸素など酸素を含むさまざまな化合物で、有意な値（多くの場合は正の値）として見出されてきた。

水の詳細な¹⁷O/¹⁶O比を測定する試みは、1990年代後半から国内外でさまざまな手法で行われるようになった。それには、フッ化コバルトと水を高温で反応させ、酸素を分離精製する方法や (Bakar et al., 2002)、フッ素雰囲気中で水を酸化して酸素を分離精製する方法 (Jabeen and Kusakabe, 1997)、水を電気分解する方法 (阿部他、特許) などがある。

研究の実施内容と成果

本 CREST では、微量の水試料を固体高分子膜上で電気分解し、それによって生成された酸素ガスを、同位体質量分析計によって ¹⁷O/¹⁶O 比を測定するという前処理装置の開発を行った (図 3.3.1-1)。本装置で用いられている固体高分子膜は、次世代新エネルギーとして注目されている燃料電池用に開発された GORETEX 社製の固体高分子膜である。この高分子膜の利点の一つは、非常に薄い (現在用いているものは厚さ 30 μm) にもかかわらず、強度が大きいことである。固体高分子膜を用いた燃料電池の反応は、膜の両側に存在する酸素と水素から水が生成するときの電気エネルギーを取り出すものである。われわれのシステムは、その反対に水で湿らせた固体高分子膜に電気エネルギーを与えると膜上の水は電気分解され、その両側に水素と酸素を発生させるものである。1 マイクロリットルという微量の水であっても電気分解反応は進行し、同位体測定に十分な酸素ガス量が得られる。本方法によって標準水試料について測定した結果は、3 年間にわたる測定期間を通してその標準偏差がおよそ 0.5%であることを示した。

研究成果の今後期待される効果

天然水の ¹⁷O アノマリは非常に小さい (0.1%以下) と考えられるので、今後この精度を上げる工夫が必要と考えられる。特に、標準偏差を大きくしている原因と考えられる不完全な電気分解効率を上げることが必要であろう。本研究によって得られた情報は、今後の改良に向けての重要な手がかりとなることが期待される。

であれば海水・淡水を問わずほぼ普遍的である。例えば、グルタミン酸の窒素同位体比は、フェニルアラニンのそれに比べて3.4‰高い値をもっており、窒素源の違いによる明確な差も観察されない (McClelland and Montoya, 2002; Chikaraishi et al., 2007)。

動物には自ら合成することができる可欠アミノ酸 (非必須アミノ酸) と、餌から摂取しなければならない不可欠アミノ酸 (必須アミノ酸) がある。不可欠アミノ酸のうちフェニルアラニンは、代謝反応にアミノ基が関与しない (水酸基が付加してチロシンになる) ため、代謝される (チロシンになる) ものと代謝されずに残るものとの間で窒素同位体比の変化がない。そのためフェニルアラニンの窒素同位体比は、代謝の影響を受けず、餌の窒素同位体比を基本的に保存することになる。それに対し、フェニルアラニンを除くほとんどのアミノ酸は、代謝反応がアミノ基の脱離反応であるため、代謝されるものと代謝されずに体組織に残るものとの間で同位体分別が起こる。例えば、可欠アミノ酸であるグルタミン酸の場合は、代謝によって大きく同位体比が上昇する。これまでの分析結果によると、餌の窒素同位体比よりも7.6‰高い値を示し、この代謝に伴う¹⁵N濃縮の度合いは比較的一定している ($1\sigma=1.4\text{‰}$)。

以上のルールをまとめると、ある動物の栄養段階は、そのグルタミン酸とフェニルアラニンの窒素同位体比を用いて、以下の数式で表すことができることが本研究によってしめされた (図 3.3.2-1 : Chikaraishi et al., submitted)。

$$\text{栄養段階} = (\delta^{15}\text{N}_{\text{Glu}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}} - 3.4) / 7.6 + 1$$

研究成果の今後期待される効果

この推定法の長所は、動物の絶対的な栄養段階が動物の2つのアミノ酸の窒素同位体比から計算できること、言い換えれば、栄養段階の推定に生産者の試料を必要としないことである。すなわち、海洋・湖沼生態系の解析では、動物試料のアミノ酸の窒素同位体比を分析することで、その動物の絶対的な栄養段階を正確に推定できる。すなわち、生産者の妥当な窒素同位体比を得なければならないという全窒素同位体比分析法の問題点を解決する。長期間ホルマリン固定を受けた試料でも、アミノ酸の窒素同位体比は変化しない。したがって、過去の研究で採取された試料や、博物館に保管されている試料からでも栄養段階が推定できる。実際に琵琶湖で長年採取され、ホルマリン固定されて保存されてきたイサザについて分析結果は、20世紀を通してその栄養段階は3.2でほとんど変動しなかったことを示した。1960年代以降富栄養化が進んだ琵琶湖では生態系が大きく変化し、生態学者の間では、この富栄養化に伴って魚類の食性が変化したかどうかについて論争があった。今回の結果は、この論争に一石を投じるものである。

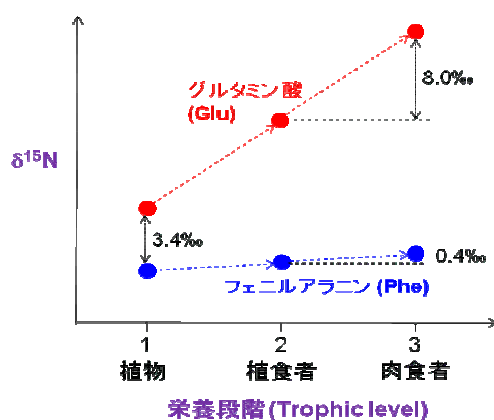


図 3.3.2-1 アミノ酸の窒素同位体比を用いた、栄養段階の推定法を図式化したもの。

引用文献

- 1) 力石嘉人, 小川奈々子, 柏山祐一郎, 大河内直彦 (2007) *Radioisotopes*, 56, 463-477.
- 2) Chikaraishi, Y., Kashiyama, Y., Ogawa, N. O., Kitazato, H., and Ohkouchi, N. (2007) *Marine Ecology Progress Series*, 342, 85-90.
- 3) Chikaraishi, Y., Ogawa, N.O., Kashiyama, Y., Takano, Y., Suga, H., Tomitani, A., Kitazato, H., and Ohkouchi, N., *Limnology and Oceanography*, submitted.
- 4) McClelland, J.W., Montoya, J.P., 2002. *Ecology* 83, 2173-2180.

3. 3. 3 同位体分析の微量化 (大河内直彦)

研究の背景

窒素および炭素の安定同位体比の精密測定には、市販の安定同位体比質量分析計が用いられている。こういった市販の機器を用いると、メーカーや機種によって多少の違いはあるものの、精密な同位体比の測定には、最低でも $50\mu\text{gN}$ 、 $50\mu\text{gC}$ の試料が必要である。しかし天然試料でも、単一の化合物や微生物など微量物質の安定同位体比を測定しようとすると、多量のサンプリングにともない多大な前処理時間を要するため、現実的には不可能な場合が多く、環境解析に足かせとなるケースが多々ある。

研究の実施内容と成果

本 CREST では、元素分析計/同位体質量分析計システム (EA/IRMS) を用いた、安定同位体比の測定に必要な試料量を軽減する改良を行った。その結果、従来よりも 2 桁以上少ない 150ngN 、 500ngC という試料量で窒素・炭素安定同位体比の精密に測定することに成功した。これにより、従来、測定がほぼ不可能であった微量物質の測定が可能になり、本 CREST においても基礎技術として貢献することができた。例えば、琵琶湖水中のアンモニアの測定はその好例である。これまでの機器を用いると、数百〜数千リットルもの湖水をろ過する必要がある、現実的には不可能であった。当技術の開発は、琵琶湖の窒素サイクルに新しい視点をもたらすことに貢献した。

本研究で用いたシステムは、ThermoFinnigan 社製 Delta plus XP に元素分析計 EA1112 を結合したものである。スズカップに包まれた試料は、オートサンプラーによって EA に導入され、酸化管中で燃焼した有機物は二酸化炭素、窒素ガス、水を水トラップによって除去した後、ガスクロマトグラフィーにおいて二酸化炭素と窒素ガスを分離し、窒素、二酸化炭素の順で質量分析計へと導入する。このシステムにおいて、微量化を行うポイントは、1) 元素分析計およびそれと同位体質量分析計の結合部 (Conflo) における試料のロスを軽減すること、2) クロマトグラフィーの最適化を行い、窒素ガスと二酸化炭素のピーク形状を改善する、そして 3) システム中のコンタミネーション (汚染) を減らす、の 3 点である (図 3.3.3-1)

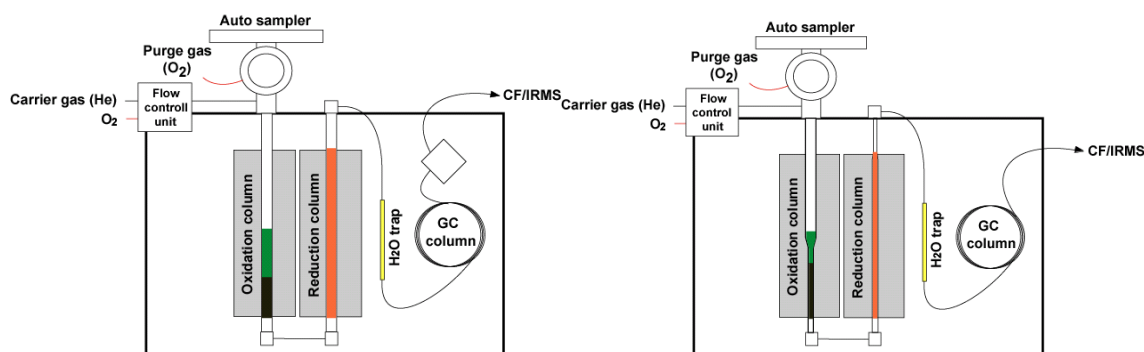


図 3.3.3-1 元素分析計の改造の概要。(左) 改造前、(右) 改造後

この微量化は、現在以下の通り特許出願中である。

名称 : 超微量試料における有機炭素・窒素安定同位体比測定のための試料前処理システムの改良および開発

提出日 : 平成 18 年 9 月 12 日

発明者 : 小川奈々子・大河内直彦 (海洋研究開発機構)・永田俊 (京都大学)

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

研究成果の今後期待される効果

本研究成果は、流域環境評価に必要な多試料分析の可能性を大きく拡大するものであり、今後、広く普及していくことが期待される。また、本法に改良を加え、さらに微量化を進める研究も本研究グループでは進めており、これが完成すると、化合物レベルでの安定同位体分析の研究におけるブレークスルー技術となる可能性がある。

3. 4 物質循環グループ（東京大学海洋研究所、東京工業大学大学院総合理工学研究科、東京農工大学大学院共生科学技術研究院）

3. 4. 1 富栄養な河口域における懸濁態有機物の起源推定（宮島利宏）

研究の背景

河口域は河川の供給する淡水が海水と混合する塩分勾配に沿って形成される、生物生産、生物多様性とも極めて豊かな生態系である。有用水産資源も豊富で経済的価値が高く、また渡り鳥の中継拠点としての重要性からラムサール条約湿地にも指定される例も多い。しかしながら、河口域はまたその利便性から人口や産業の集中する場でもあり、高い人為的改変圧力がしばしば壊滅的な生態系の劣化を招いている。

懸濁態有機物（POM）は河口域生態系の構造を規定している重要なエネルギー・炭素担体であり、魚介類生産の多くが POM の供給に依存しているが、人為的負荷に起因する過度の POM 供給があると底質のヘドロ化や底層水の貧酸素化を招いて海洋環境や水産資源に損害をもたらす。河口域の POM には、陸域で生産された（または人為的に排出された）POM が河川を通して河口域に流入したものと、陸域からもたらされる栄養塩が河口域に流入して、河口域で植物プランクトンが増殖することによって二次的に生成したものとに区別される。両者は河口域に生息する動物にとっての資源価値が異なっており、また河口域の環境管理上の観点からも、両者を区別してそれらの動態を把握することは重要である。

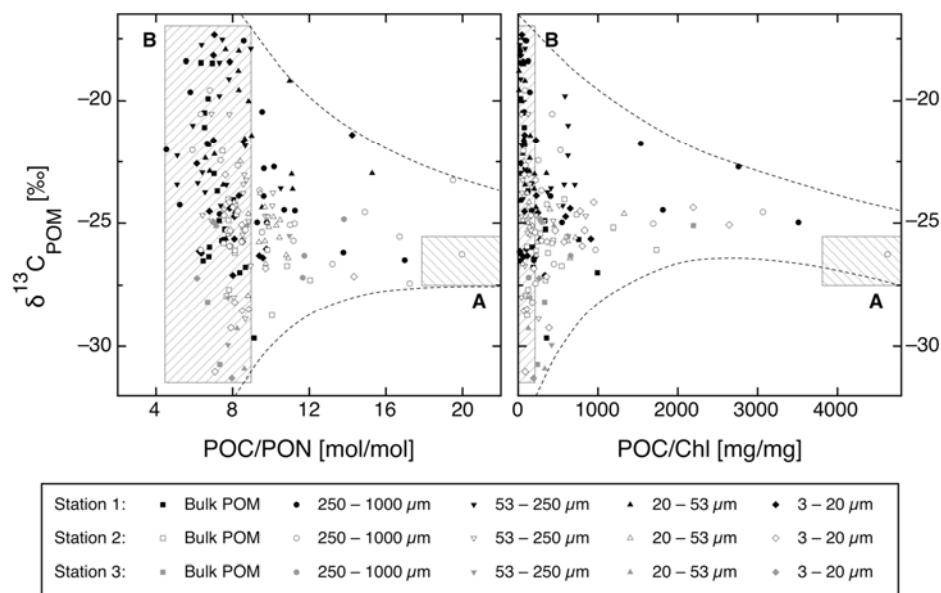


図 3.4.1-1 隅田川河口域における懸濁態有機物（POM）の炭素安定同位体比と C/N 比（左）、C/Chl 比（右）との関係。図中の枠 A は陸起源 POM に典型的な値、枠 B は河口域内起源 POM の変動範囲を示す。後者の $\delta^{13}\text{C}$ の変動幅が広いため、POM の $\delta^{13}\text{C}$ だけで起源解析を行うことは困難であることが分かる。

陸域由来の（異地性）POM は、河口域内で生産される（現地性）POM に比べて一般に炭素安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ ）が低いことが知られており、 $\delta^{13}\text{C}$ を指標とする混合モデルによって河口域 POM 中の異地性・現地性 POM の比率を推定することは従来から広く行われていた。しかしながら現実には、特に現地性 POM の $\delta^{13}\text{C}$ が環境条件や植物プランクトン組成によって大きく変動するため、この起源解析を定量的に行うことは難しく、従来の方法では異地性・現地性 POM のどちらが優占的であるかが定性的に判定できるに過ぎ

なかった (図 3.4.1-1)。

研究の実施内容と成果

本研究では、東京湾北部の隅田川河口域を例に、現地性 POM に特有のクロロフィル a を抽出してその $\delta^{13}\text{C}$ を測定することにより、現地性 POM の $\delta^{13}\text{C}$ の変動を実時間的に追跡した。この手法を従来の混合モデルと組み合わせることによって POM の起源解析における定量性をどの程度高めることができるのかを検討した (図 3.4.1-2)。

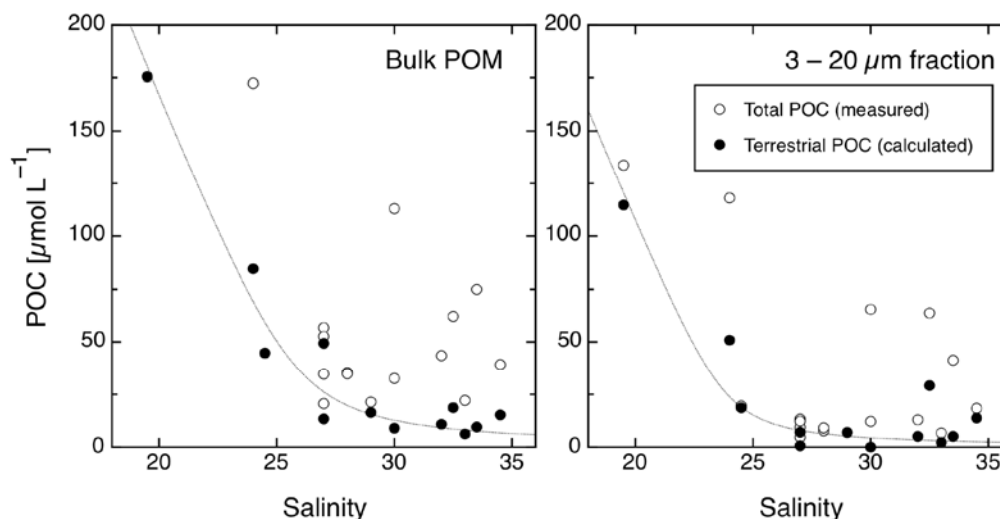


図 3.4.1-2 クロロフィル a の $\delta^{13}\text{C}$ を現地性 POM の代表値として採用することにより求められた陸域起源 (異地性) 懸濁態有機炭素 (POM) の濃度 (●) と塩分の関係。○は全 POC の濃度。塩分が海水レベル (35) まで上がらないうちに 0 近くまで落ちてしまうのは、塩分による凝析効果のためと考えられる。

東京湾では夏から秋にかけて微小鞭毛藻類がしばしば繁殖するのに対して、春から初夏にかけては珪藻類がブルームを形成するが、両者は $\delta^{13}\text{C}$ が異なっており、しかも同一種のブルーム期間中にも $\delta^{13}\text{C}$ が変化する可能性があるため、従来のように現地性 POM の $\delta^{13}\text{C}$ として固定された値を仮定して起源推定を行うと時期によっては大きな誤差を招く恐れがある。今回、クロロフィル a の $\delta^{13}\text{C}$ を利用して得られた現地性 POM の $\delta^{13}\text{C}$ の実測値に基づく起源推定を行ったところ、秋季の鞭毛藻期では従来の方法による現地性 POM の存在比率の推定値は最大 30% もの誤差を含み、春季の珪藻期でも 20% 程度の誤差を含みうるということが明らかとなった。したがって POM の起源推定を定量的に行うためには、今回行ったように、現地性 POM の $\delta^{13}\text{C}$ の変動を把握した上で混合モデルを適用することが不可欠であることが分かる。

研究成果の今後期待される効果

本研究では、変動する端成分を考慮した有機物の起源推定に関する新たなモデルを提案した点に大きな意義がある。これは、安定同位体を用いた汚濁物質の起源推定の研究の推進に貢献する成果である。しかし、現地性 POM と異地性 POM がたまたま相似た $\delta^{13}\text{C}$ を示す季節では、今回のようにクロロフィル a の $\delta^{13}\text{C}$ を援用した場合でも起源推定上の誤差を免れない。またクロロフィル a とそれを保有する植物プランクトンとの間で $\delta^{13}\text{C}$ の差が変動することによる誤差も考えられる。このような問題点を解消するためには、クロロフィル a 以外のバイオマーカーの $\delta^{13}\text{C}$ をも併用するなどの改良が今後必要となるう。

引用文献

- 1) McLusky, Donald S. and Michael Elliott. 2004. *The Estuarine Ecosystem: Ecology, Threats and Management*. Oxford University Press.
- 2) Wada, Eitaro, Masao Minagawa, Hiroshi Mizutani, Takashi Tsuji, Reiko Imaizumi and Kyoko Karasawa. 1987. Biogeochemical Studies on the Transport of Organic Matter Along the Otsuchi River Watershed, Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 25:321-336.
- 3) Sato, Taeko, Toshihiro Miyajima, Hiroshi Ogawa, Yu Umezawa and Isao Koike. 2006. 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.

3. 4. 2 炭素安定同位体比を用いた琵琶湖における溶存有機物の起源推定 (宮島利宏、永田俊、槇洸、金詰九)

研究の背景

近年、琵琶湖では COD の長期的増加傾向が報告されており、難分解性有機物の蓄積が懸念されている。有機物濃度が高くなると、飲料水の処理過程で発がん性物質であるトリハロメタンなどが生成されるからである。本研究では、COD 物質の主成分である、溶存有機炭素 (DOC) の炭素安定同位体比を指標として、その起源を推定することを試みた。

研究の実施内容と成果

近江舞子沖定点において 2005 年 5 月から 2006 年 4 月まで月一回の鉛直採水を行った。試水は GF/F ガラス繊維ろ紙でろ過し、DOC 濃度の測定に供した (TOC-5000A, Shimadzu)。ろ過試水は 60°C で乾燥後、濃縮試料を回収し、DOC の $\delta^{13}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}\text{-DOC}$) の測定に供した。 $\delta^{13}\text{C}$ の分析には質量分析計 (Delta plus XP, Thermo Electron) を用いた。 $\delta^{13}\text{C}$ は PDB を標準物質とする千分率偏差で表記した同位体比である。

結果を図 3.4.2-1 に示す。DOC 濃度は、成層期 (5 月-12 月) には表層で高く、深層で低かった。表層では 6 月に最大値 ($114.0 \mu\text{mol L}^{-1}$) を示し、その後 $93.7 - 111.4 \mu\text{mol L}^{-1}$ の範囲で推移した。深層においては成層期前半 ($86.7 \pm 2.9 \mu\text{mol L}^{-1}$, $n = 15$) から成層期後半 ($80.9 \pm 1.9 \mu\text{mol L}^{-1}$, $n = 25$) にかけて濃度の低下がみられた。循環期 (1 月-4 月) には濃度は全層でほぼ均一であった ($1 \text{ 月 } 91.2 \pm 1.8 \mu\text{mol L}^{-1}$, $n = 14$)。

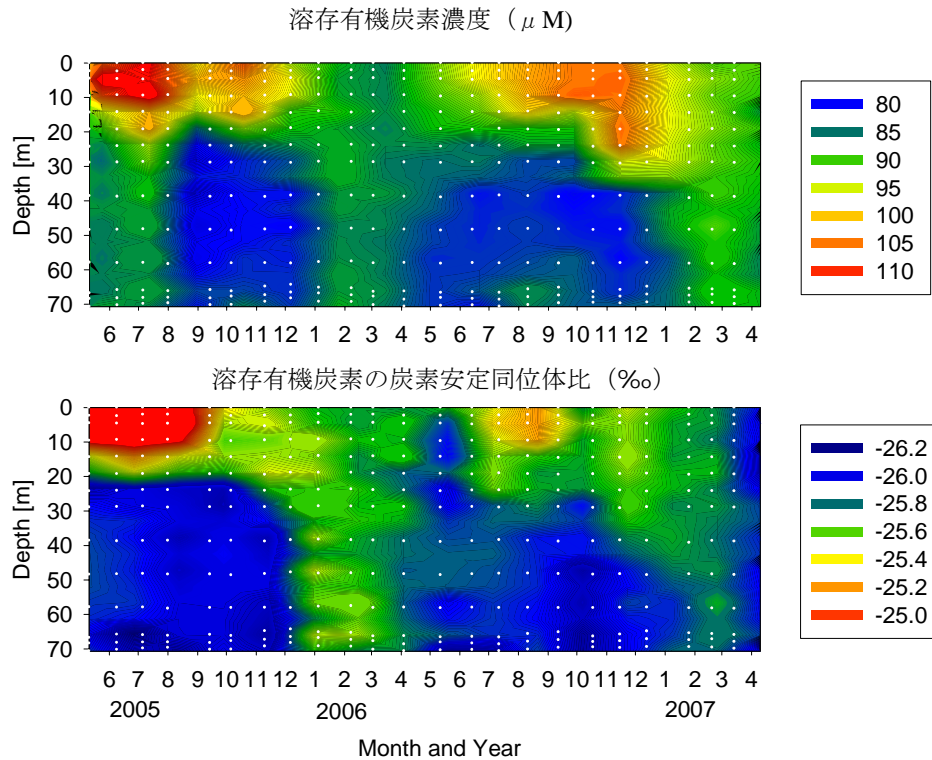


図3.4.2-1 琵琶湖沖合定点における溶存有機炭素濃度と炭素安定同位体比の鉛直的・季節的変動。

$\delta^{13}\text{C}\text{-DOC}$ は成層期を通して表層で高く ($-25.2 \pm 0.6\text{‰}$, $n = 40$)、深層で低かった ($-26.2 \pm 0.3\text{‰}$, $n = 40$)。循環期には全層でほぼ一定の値を示した (1月 $-25.7 \pm 0.2\text{‰}$, $n = 14$)。表層の $\delta^{13}\text{C}\text{-DOC}$ は5月から8月にかけて極大を示した (最大値 -24.6‰)。深層では成層期の前半から後半にかけて DOC 濃度の低下とともに $\delta^{13}\text{C}\text{-DOC}$ は低下した (最小値 -26.5‰)。

本研究により、 $\delta^{13}\text{C}\text{-DOC}$ の変動が DOC 濃度の時空間変動と密接に関連していることが明らかになった。ここで以下の仮定をおく。1) 難分解性 DOC は年間を通して全層で均一に存在し、その濃度と $\delta^{13}\text{C}$ はそれぞれ成層期後半の深層の DOC の濃度 ($80.9 \mu\text{mol L}^{-1}$) と $\delta^{13}\text{C}$ (-26.3‰) によって代表される。2) 成層期の表層に蓄積した DOC、および鉛直混合によって深層に輸送され、深層中で無機化された DOC は、難分解性 DOC の上に余剰分として付加された準易分解性 DOC である。以上の仮定に基づいた混合モデルにより、成層期の表層に蓄積した DOC、深層に輸送された後、無機化された DOC の $\delta^{13}\text{C}$ は、それぞれ $-21.7 \pm 1.5\text{‰}$ 、 $-20.6 \pm 2.2\text{‰}$ と推定された。これらの値は同湖盆において春から夏に増殖する植物プランクトンの $\delta^{13}\text{C}$ ($-21.5 \pm 1.7\text{‰}$, $n = 25$) とほぼ等しかった。以上のことから、琵琶湖における準易分解性 DOC は、主に増殖期の植物プランクトンに由来する (現地性ないしは二次汚濁である) と推察された (Maki et al. 2008; 榎ほか 2008)。

研究成果の今後期待される効果

本研究においては、炭素安定同位体比を指標として用いることで、琵琶湖に蓄積する溶存有機物には、湖内起源 (二次汚濁性) の成分と、河川起源 (一次汚濁性) の成分が含まれることが示された。また、それぞれの成分が異なる分解速度をもつことも示唆された。一次汚濁成分と二次汚濁成分の比は、現時点の情報では、約 4 : 6 と推定される。今後、この推定の前提となる端成分の変動について詳細な検討を加えることで、より正確な推定に結びつくことが期待される。本研究では、CREST 研究において開発した、有

機炭素の安定同位体の微量測定技術を駆使することにより、湖沼としては世界で初めての詳細な炭素安定同位体比の変動パターンの解析が可能になった。この成果は、安定同位体法が湖沼の炭素循環の査定手法としてきわめて有効であることを明確に示しており、今後、このような方法論を他の水域において適用する試みを大きく活性化すると期待される。

引用文献

- 1) 槇洗・永田俊 (2008) 湖沼における溶存態有機物の起源と動態. In: 永田俊・宮島利宏 (編) 流域環境評価と安定同位体-水循環から生態系まで-. 京都大学出版会 pp.187-198.
- 2) Maki, K., Kim, C., Yoshimizu, C., Tayasu, I., Nagata, T. Source and reactivity of dissolved organic carbon in Lake Biwa: A stable isotopic approach. ISI2008, Nihon Kagaku Miraikan, 2008.10.

3. 4. 3 マングローブ河口域における水中二酸化炭素放出量の評価 (宮島利宏)

研究の背景

マングローブは熱帯～亜熱帯の河口域の潮間帯を中心に発達する特殊な常緑広葉樹林であり、大気中の二酸化炭素 (CO_2) を光合成によって固定し、有機物やその分解産物としての CO_2 の形で汽水・海水中に供給することによって、沿岸域の生物生産と炭素循環に大きな影響を及ぼしている。マングローブはまた陸域から海域に流出する諸物質に対するフィルターとして、また海域から陸域への影響を抑制する防潮林・防風林としても、沿岸域の生態系と人間生活とを安定化させる機能を担っている。

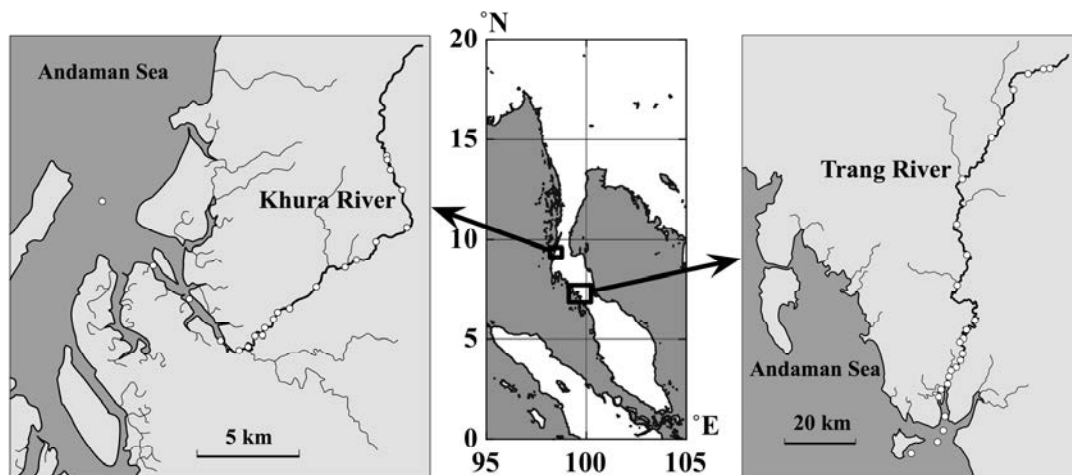


図 3.4.3-1 マレー半島からアンダマン海に流れる Khura 川 (左) と Trang 川 (右)。図中の調査地点 (o) には、3. 4. 3 項と 3. 4. 4 項との両方のものが含まれている。

CO_2 の流出はマングローブと周辺水域とをめぐり炭素循環の中の大きなパスの一つであり、マングローブ生態系の全体的な活性が反映される。また CO_2 が海水を酸性化させる効果は、周辺生態系、特に石灰化を行う造礁サンゴ群集に影響を与える可能性がある。このため、マングローブから河口域への CO_2 流出量を簡便に評価する方法が求められている。従来は、海水・汽水中の二酸化炭素分圧 ($p\text{CO}_2$) や全溶存無機炭素濃度 (DIC) がこの目的に使われているが、この方法では、マングローブから海水に放出されたのちに海水面から大気中にすでに逸出した CO_2 は計量されないため、マングローブからの CO_2 放出量としては必然的に過小評価となる。

研究実施内容と成果

この問題を解消するために、本研究では DIC の炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) を指標とした同位体マスバランスモデルを応用することを試みた。本研究ではマレー半島西岸の豊かなマングローブを有する Khura 川ならびに Trang 川の河口域において塩分勾配に沿った $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ ならびに関連項目の調査を行った (図 3.4.3-1)。その結果、マングローブ周辺の河口域の水中 DIC 濃度は海水・河川水の混合モデルに合う変化を示し、マングローブからの影響はほとんど認められなかった。また $p\text{CO}_2$ はマングローブ周辺で高まっていたものの、DIC 全体の濃度に比較すると変動は小さかった。これに対して、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ はマングローブ周辺において顕著に低下しており、マングローブから流出する CO_2 の影響が明瞭に認められた。

この結果は、マングローブから汽水中に流出する CO_2 は流出後ほどなく大気中に逸出するため、DIC の濃度や $p\text{CO}_2$ の変化からは CO_2 の総流出量を十分に評価することができないこと、それに対して CO_2 と DIC との同位体交換速度が極めて速いため、 CO_2 の低い $\delta^{13}\text{C}$ シグナルが逸出前に DIC に移され、逸出後も $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ の中に定量的に痕跡を留めることを示唆している。このことから、 CO_2 の大気中への逸出が DIC との同位体交換平衡を保ちながら進行したと仮定して、同位体マスバランスモデルに基づいてマングローブから流出した CO_2 の総量を推定することを試みた。その結果、DIC の濃度としては最大 100 μM 以内しか変動していないにもかかわらず、実際には最大 800 μM もの CO_2 がマングローブから流出していたことが推定された。 CO_2 流出量は相対的にマングローブの豊かな Khura 川河口域の方が高く、また日射量が高く河川流量が少ない乾季の方が高くなることも確認された (図 3.4.3-2)。

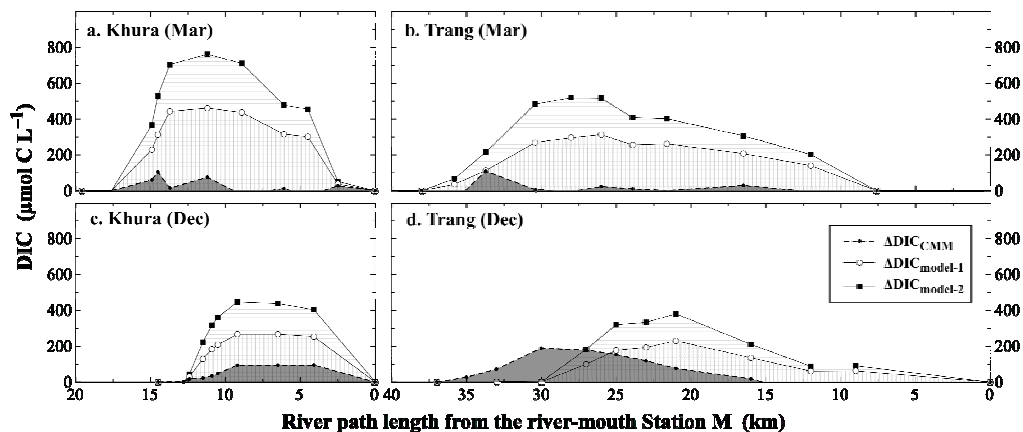


図 3.4.3-2 マングローブから流出する CO_2 量の見積。 $\Delta\text{DIC}_{\text{CMM}}$ は DIC の濃度変化から見積もった場合、 $\Delta\text{DIC}_{\text{model-1}}$ は CO_2 の逸出を考慮せずに同位体マスバランスによって $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ の変化から推定した場合、 $\Delta\text{DIC}_{\text{model-2}}$ は CO_2 の逸出を考慮した同位体マスバランスモデルによって推定した場合。

研究成果の今後期待される効果

本研究の成果はマングローブなどの生態系からの温室効果気体の放出量の推定方法の改良という点で大きな意義がある。すなわち、DIC 濃度や $p\text{CO}_2$ からでは CO_2 放出量を正確に求めることができない場合でも、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ を指標として利用すると、いくつかの仮定の下にはあるが、妥当な推定を行うことができることが明らかになった。今後、本研究で開発された手法が、沿岸域の炭素循環研究や環境管理において利用されることが期待される。

引用文献

- 1) Bouillon, Steven, Alberto Vieira Borges, Edward Castañeda-Moya, Karen Diele, Thorsten Dittmar, Norman C. Duke, Erik Kristensen, Shing Y. Lee, Cyril Marchand, Jack J. Middelburg, Victor H. Rivera-Monroy, Thomas J. Smith, III and Robert R. Twilley. 2008. Mangrove Production and Carbon Sinks: A Revision of Global Budget Estimates. *Global Biogeochemical Cycles* 22:GB2013.
- 2) Koné, Y. J.-M. and Alberto Vieira Borges. 2008. Dissolved Inorganic Carbon Dynamics in the Waters Surrounding Forested Mangroves of the Ca Mau Province (Vietnam). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 77:409-421.
- 3) Miyajima, Toshihiro, Yoshie Tsuboi, Yoshiyuki Tanaka and Isao Koike. 2007. Emission of mangrove-derived dissolved inorganic carbon to the Trang and Khura River estuaries and its potential influence on seagrass beds. *In: Masahiro Nakaoka (ed.), Evaluation of Ecosystem Function of Coastal Areas Based on Biodiversity of Tropical Seagrass Beds (official report for the Grant-in-aid for Oversea Scientific Research, JSPS, No.16405007). The University of Tokyo.*

3. 4. 4 河川流程内における窒素循環プロセスの解析 (宮島利宏)

研究の背景

サンゴ礁、海草藻場、マングローブなどの熱帯・亜熱帯沿岸域を彩る海洋生態系は、低緯度地方の表層海水に典型的な貧栄養な環境を前提として成立したものであるため、人間活動の活発化による陸域からの栄養塩負荷の増大は、これらの生態系にとって慢性的なストレスとなっている。特に近年顕著な地球温暖化に伴うサンゴ礁の白化現象の背景には、こうした人為ストレスによる造礁サンゴ群落の生理的弱体化があると考えられている。

陸域の人間活動と海域の富栄養化を結びつける代表的なパスは、河川を通しての陸起源物質の流出である。もとより河川そのものもまた一つの生態系であり、外部から流入する栄養塩類を単に輸送するだけでなく、河川内でそれを消費もしくは再生産することによって栄養塩濃度や流量を調整する機能を有している。陸域から河川に栄養物質が流入した場合に、河川生態系もまたそれに応答して、その緩衝効果によって海域への栄養塩流出量を抑制するポテンシャルを持っているが、人口の集中する沿岸部では植生破壊や人口護岸等による河川生態系の劣化が著しく、緩衝効果が十分に機能しなくなっていると考えられる。しかしながら河川内部での栄養塩の消費・再生産による緩衝効果を診断評価するには、従来行われているような栄養塩濃度や全窒素・全リン濃度のモニタリングだけでは不十分である。

研究実施内容と成果

本プロジェクトにおいて立ち上げられた、硝酸イオン (NO_3^-) の窒素・酸素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$) 測定システムを応用すると、河川内での栄養塩、特に窒素の内部循環プロセスについて比較的容易に有益な情報を引き出せる可能性がある (図 3.4.4-1)。本研究では、河口から沖合にかけてマングローブ・海草藻場・サンゴ礁に臨む熱帯河川 (既出の Khura 川と Trang 川 : 図 3.4.3-1) を例として、その上流部から汽水域に至るまでの河川内窒素循環をこの方法によって解明することを試みた。

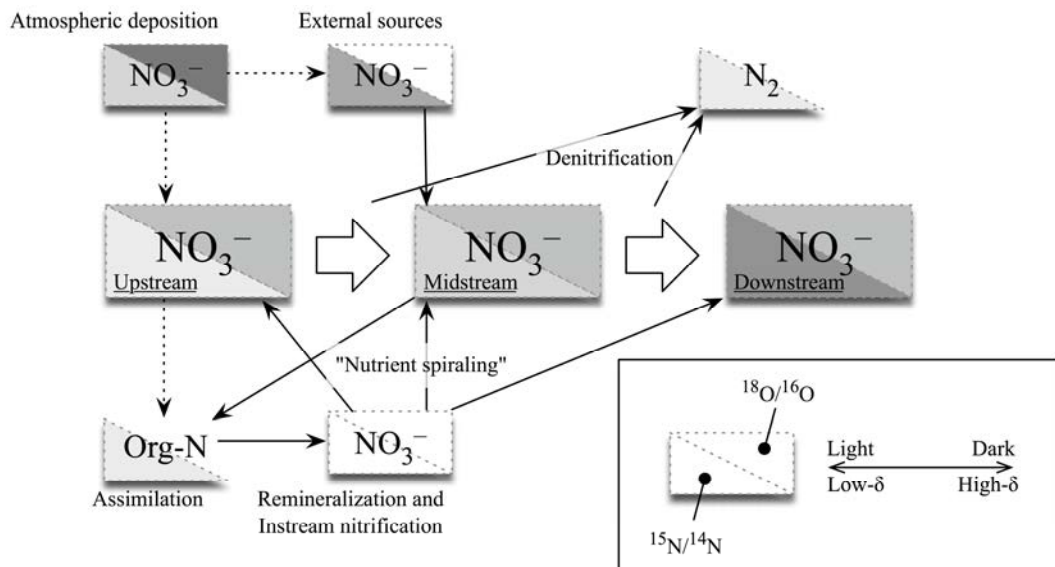


図 3.4.4-1 河川内におけるさまざまな生物地球化学的プロセスとそれが河川水中の NO_3^- の窒素・酸素安定同位体比に与える変化の概念図。変化の方向は実際には環境因子や境界条件に依存するので、いつでもこの図のようになるとは限らない。

NO_3^- の同位体比を含む諸変数の流程変化を検討したところ、河川流程は上流部と中流部を含む、比較的傾斜が急で流速の速い区間（淡水区）、下流部から汽水域にかかる、流程の遅くなる区間（境界区）、汽水域の、マングローブからの影響を受ける区間（汽水区）の3区間でそれぞれ特徴的な生物地球化学的性格を示すことが明らかになった（図 3.4.4-2）。このうち境界区では流速の低下によって多量の粒子状有機物が滞留し、従属栄養活性が特に高まっていた。これは温帯河川においてもよく知られている現象である。境界区では NO_3^- と POM との $\delta^{15}\text{N}$ が一致して変動しており、栄養塩の消費・再生産の循環ポテンシャルが高いことが示唆された。

淡水区においては NO_3^- の $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{18}\text{O}$ がいずれも一貫した変動傾向を示した。栄養螺旋仮説に基づいて作成した同位体変動モデルを適用して解析した結果、Khura 川の淡水区では流域の自然植生から供給される有機態窒素の分解無機化・硝化による NO_3^- の生成と脱窒による NO_3^- の除去とから成る、自然状態に近い窒素循環系が支配していることが示唆された。これに対して Trang 川では、人為起源の $\delta^{15}\text{N}$ の高い NO_3^- の負荷が河川内窒素動態に強く影響していることが示唆された。

汽水区においては特に NO_3^- の $\delta^{18}\text{O}$ が特異的に上昇する現象が見られ、汽水域内での NO_3^- の消費・再生産系が機能していることが示唆された。マングローブ林床における酸化還元プロセスが大きな役割を果たしている可能性があり、今後いっそう詳細な調査が望まれる。

研究成果の今後期待される効果

境界区は地勢上、特に人口が集中しやすく、重大な人為的負荷や改変を受けがちな区域である。また汽水区のマングローブも、最近 30 年ほどの間に養殖場開発等のために著しく破壊が進み、東南アジア地区全体では樹林面積が半分以下にまで減少したと言われる。本研究では、窒素安定同位体比を指標として用いることで、こうした境界区や汽水区における NO_3^- の消費・再生産サイクルがとりわけ活発であることが示された。すなわち、このような区域では、海域への窒素負荷に対する緩衝効果が期待される。今後はこうした区域の河川生態系の機能を極力保全・最適化することを前提として、土地利用を

工夫することが望まれる。適正な土地利用を判定するうえで、本研究で用いた窒素安定同位体手法は有効に活用されることが期待される。

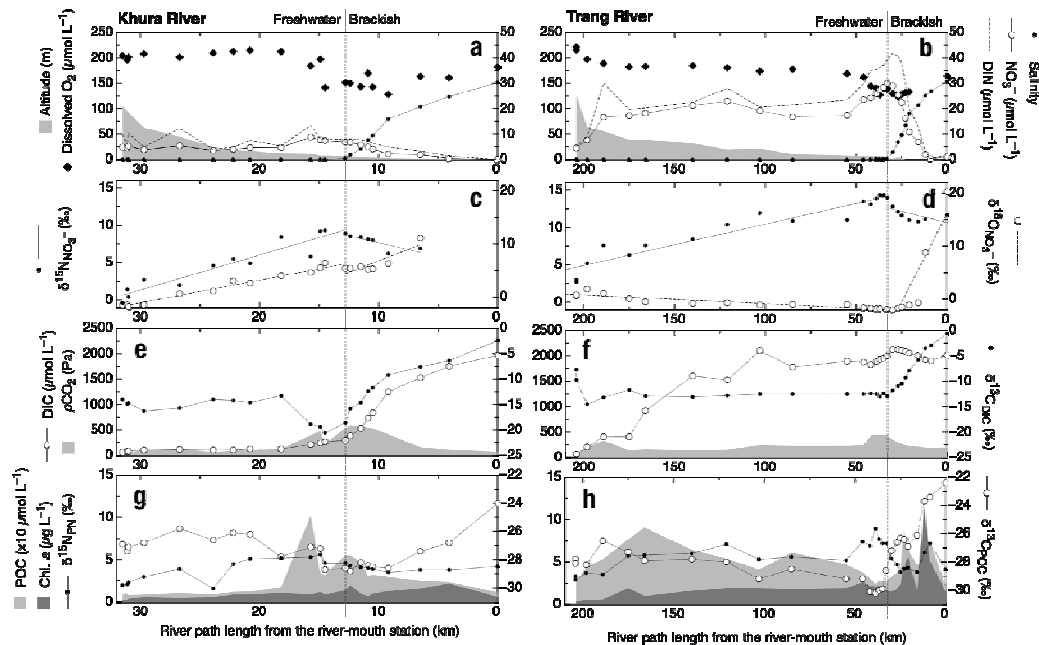


図 3.4.4-2 Khura 川と Trang 川における水質諸因子の流程変化。2006 年 12 月 (雨季が明けた直後にあたる)。

引用文献

- 1) McManus, John W. and Johanna F. Polsenberg. 2004. Coral-Algal Phase Shifts on Coral Reefs: Ecological and Environmental Aspects. *Progress in Oceanography* 60:263-279.
- 2) Kendall, Carol, Emily M. Elliott, and Scott D. Wankel. 2007. Tracing Anthropogenic Inputs of Nitrogen to Ecosystems. In Michener, Robert, and Kate Lajtha, eds., *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. Malden, MA: Blackwell Publishing.
- 3) Miyajima, Toshihiro, Chikage Yoshimizu, Yoshie Tsuboi, Yoshiyuki Tanaka, Ichiro Tayasu, Toshi Nagata and Isao Koike. Longitudinal distribution of nitrate $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$ in two contrasting tropical rivers: Implications for instream nitrogen cycling. (Submitted to *Biogeochemistry*)

3. 4. 5 海草藻場における海草の成長速度の推定 (宮島利宏、田中義幸)

研究の背景

海草は熱帯から寒帯にかけての海洋沿岸域 (主として潮下帯) に生育する多年生の単子葉植物であり、群落としての単位面積あたりの一次生産速度は非常に高く、場所によっては熱帯雨林を凌ぐほどにもなる。葉を含む光合成器官全体が水面下にあることから、微細藻類の付着基質、小型無脊椎動物の生息場所、魚類や軟体動物の産卵場所などの多様な機能を担い、また堆積物を集めて安定化させる機能があることから海底微地形の形成維持にも寄与するなど、生態学的に極めて重要な場である。しかしながら底生植物という特性上、懸濁物の負荷や浮遊藻類の増殖による光透過阻害の影響を受けやすく、人為的な水質汚濁・富栄養化による影響のために容易に衰退する。このため、人的負荷の

高い沿岸域を中心に、海草群落の消長に関して細やかなモニタリングが求められており、海草の生理的状态を簡便に知ることのできる方法論の開発が待たれている。

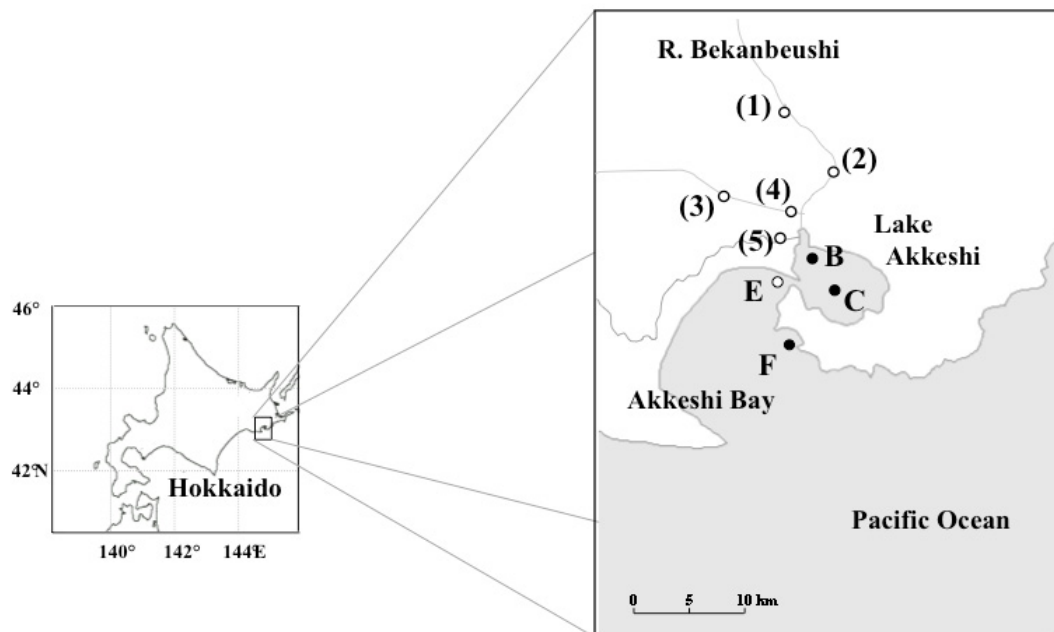


図 3.4.5-1 北海道東部の厚岸湾周辺の調査地点。B, C, F でアマモの成長速度の測定が行われた。(1)～(5), E は水中の DIC の $\delta^{13}\text{C}$ を評価するために設定した。

研究の実施内容および成果

本研究では、海草をはじめとする底生植物群落（大型藻類、造礁サンゴ等を含む）の生理状態をモニタリングするために植物体の安定同位体比を利用するという試みの一環として、温帯の代表的な海草であるアマモ (*Zostera marina*) の地上部の炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) を利用してその成長速度を推定する手法を開発した。海草類の成長速度を評価するためには、従来から葉の基部にマーキングして1～2週間かけてその伸長量を測定するという方法がとられている。本研究では、北海道厚岸湖～厚岸湾のアマモ場において、この方法によって測定された実際の成長速度と炭素安定同位体比とを比較し、両者の相関を調査した（図 3.4.5-1）。

一般に、アマモの $\delta^{13}\text{C}$ （環境の DIC の $\delta^{13}\text{C}$ を基準とする相対値）とその成長速度との間に正の相関が見られることは従来から指摘されている。これは、成長速度が低い場合は炭酸固定を行う酵素反応の部分が律速段階となっているために同位体分別が大きくなり、 $\delta^{13}\text{C}$ が低くなるが、成長速度が高まるにつれて DIC の取込段階の拡散過程が律速となるために同位体分別が小さくなり、 $\delta^{13}\text{C}$ が高くなるためと解釈されている。本研究ではこの関係にさらに検討を加え、アマモの $\delta^{13}\text{C}$ は成長速度自体よりも比成長速度に対して良い相関を示すことが明らかになった（図 3.4.5-2）。本研究のデータからは、比成長速度 (area \% d^{-1}) が1ポイント高くなると、 $\delta^{13}\text{C}$ が $1.8 \pm 0.2\text{‰}$ だけ高くなるという関係が得られた。

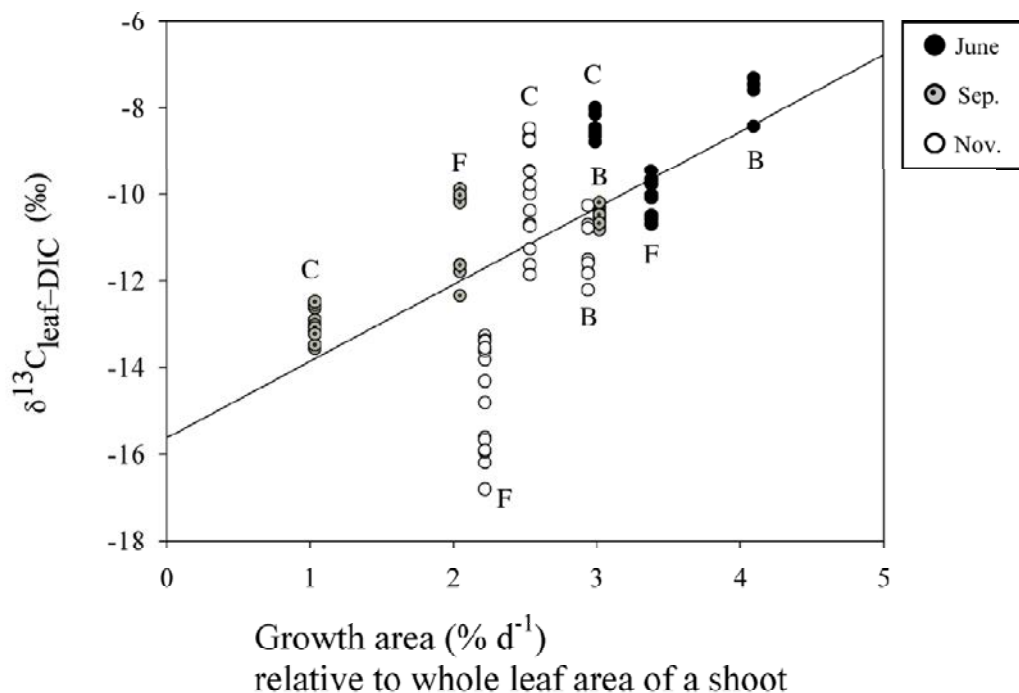


図 3.4.5-2 アマモの葉の炭素安定同位体比（環境の DIC の $\delta^{13}\text{C}$ に対する相対値）と相対成長速度との関係。厚岸湾における 3 地点 (B, C, E)、3 季節のデータを合わせたもの。

研究成果の今後期待される効果

本研究により、炭素安定同位体比が、海草の増殖速度の推定に利用できること、すなわち、沿岸海域の生態系の健全性の判定指標として利用できる可能性が示された点に大きな意義がある。しかし、 $\delta^{13}\text{C}$ の値からのみ成長速度を推定するという試みには限界もあり、例えば波浪などによる物理攪乱の強度が異なると拡散境界層の厚さが変わるため、比成長速度と $\delta^{13}\text{C}$ との関係も変化することなども示唆されている。同様の関係が他種の見られるのかどうかも未確定である。今後、海草の生理状態をより正確にまた詳細に診断するために、植物体のバルク同位体比だけでなく、構成成分（セルロース等）や他の特定の生化学成分を抽出して、化合物ごとの安定同位体比を測定して利用するという方面での研究が発展していくことが大きく期待される。

引用文献

- 1) Hemminga, M. A. and Miguel A. Mateo. 1996. Stable Carbon Isotopes in Seagrasses: Variability in Ratios and Use in Ecological Studies. *Marine Ecology Progress Series* 140:285-298.
- 2) Papadimitriou, S., H. Kennedy and D. P. Kennedy. 2005. Seasonal and Spatial Variation in the Organic Carbon and Nitrogen Concentration and Their Stable Isotopic Composition in *Zostera Marina* (Denmark). *Limnology and Oceanography* 50:1084-1095.
- 3) Tanaka, Yoshiyuki, Toshihiro Miyajima, Katsumasa Yamada, Masakazu Hori, Natsuki Hasegawa, Yu Umezawa and Isao Koike. 2008. Specific Growth Rate as a Determinant of the Carbon Isotope Composition of the Temperate Seagrass *Zostera Marina*. *Aquatic Botany* 89:331-336.

3. 4. 6 湖沼における窒素除去プロセスの解析 (宮島利宏、由水千景、永田俊)

研究の背景

湖沼やダムのような止水域は、流域全体の物質収支において特殊な役割を果たしており、例えば河川水系の中流部に止水域がある場合、上流域から河川を流下してきたケイ酸やリン酸のような栄養塩類が止水域においてトラップされ、下流部から海域への流下率が明瞭に低下することが知られている。これは止水域において河川水が滞留した際に、豊富な入射光量を利用して植物プランクトンが増殖し、栄養塩を取り込んで沈降し、最終的にはこれらの元素が湖底に不動化されるためと考えられている。このため、上流部に数多くのダムを構築した結果、河川を通して海域に供給されるケイ酸の量が激減し、河口域と沿岸海域における植物プランクトンの種構成が一変してしまう事例も知られている。

止水域の存在が窒素栄養塩の流下率に与える影響は、ケイ素やリンの場合ほど単純ではない。植物プランクトンが湖底に沈積して分解を受けた場合、ケイ素やリンは無機物の粒子として湖底に留まる比率が高いが、窒素は通常、アンモニアや硝酸となって水中に回帰し、湖底に不動化される比率はきわめて低い。止水域における窒素の除去においては、湖底酸化還元境界層における脱窒が通常主要な役割を果たしている。従って止水域が窒素の流下率に与える影響の強度は、植物プランクトンによる取込だけでなく、その分解無機化と硝化、生成した硝酸イオン (NO_3^-) の湖内における滞留時間、湖底酸化還元境界層の深さと活性などに依存することになる。

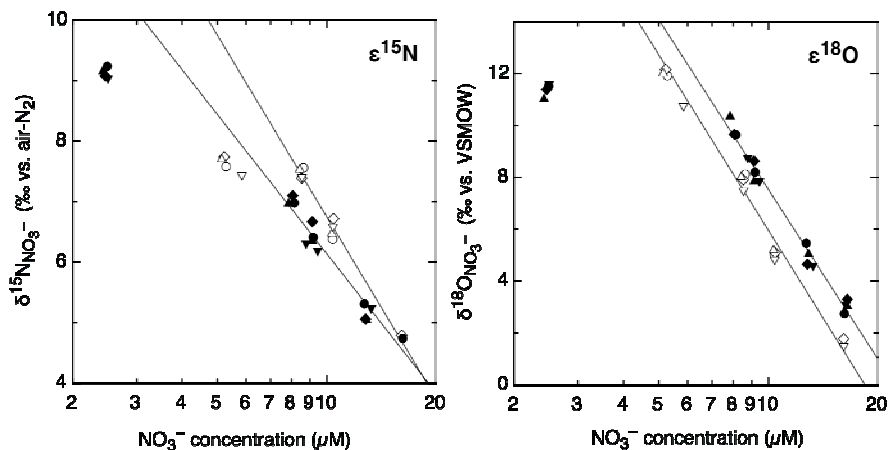


図3.4.6-1 琵琶湖の成層期表層における植物プランクトンの取込に伴う NO_3^- 濃度の低下と $\delta^{15}\text{N}$ (左) および $\delta^{18}\text{O}$ (右) の上昇との関係。

研究の実施内容と成果

本研究は、湖盆全体としての窒素除去のメカニズムと効率を評価するために、湖沼の表層における植物プランクトンの取込による NO_3^- の除去、深層部での分解無機化および硝化による NO_3^- の再生産、湖底酸化還元境界層における脱窒による NO_3^- の除去という3つのプロセスの進行状況を、 NO_3^- の窒素・酸素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$) の時空間分布から解析することを試みたものである。事例研究は琵琶湖において、2005年と2006年にわたって行われた。琵琶湖では湖水の滞留時間はおよそ5年であり、河川から流入する窒素のうちの約半分が琵琶湖に滞留中に除去されること、窒素の除去は湖底酸化還元境界層における脱窒の作用にその多くを負っていることが既往研究により明らかにされている。

琵琶湖は例年5月頃から夏、秋を経て翌年の1月頃まで水温成層し、植物プランクトンの増殖は表層の混合層内にはほぼ限定される。成層期前半の植物プランクトン増殖期において、植物プランクトンの NO_3^- の取込に伴う $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{18}\text{O}$ の変化を調べたところ、海

洋における既往研究でも知られているとおり両者とも一貫して上昇していた(図3.4.6-1)。しかし海洋では一般に $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{18}\text{O}$ の上昇率が等しいとされていたのに対して、琵琶湖の場合は $\delta^{18}\text{O}$ の上昇率の方が2-3倍大きいという特徴があった。 $\delta^{15}\text{N}$ の上昇に伴い、増殖して沈降していく植物プランクトンの $\delta^{15}\text{N}$ も季節とともに上昇していると考えられる。

これに対して深層部では、沈降してきた植物プランクトンの分解無機化と硝化によって NO_3^- 濃度が次第に上昇した。 NO_3^- 濃度とその $\delta^{15}\text{N}$ ならびに $\delta^{18}\text{O}$ との変化との関係を解析して、深層部において新規に生成された NO_3^- の $\delta^{15}\text{N}$ を推定したところ、それは水深とともに高くなっていった(図3.4.6-2)。底層付近で生成された NO_3^- は、深層に存在する有機態窒素とほぼ一致する $\delta^{15}\text{N}$ を示していたのに対して、中層部で生成する NO_3^- は著しく低い $\delta^{15}\text{N}$ を示し、成層期初期に増殖した $\delta^{15}\text{N}$ の低い植物プランクトンが起源になっていると推定された。一方、新規に生成した NO_3^- の $\delta^{18}\text{O}$ は、湖水の $\delta^{18}\text{O}$ に近接した値を示した。これは海洋における既往研究の結果と一致している。

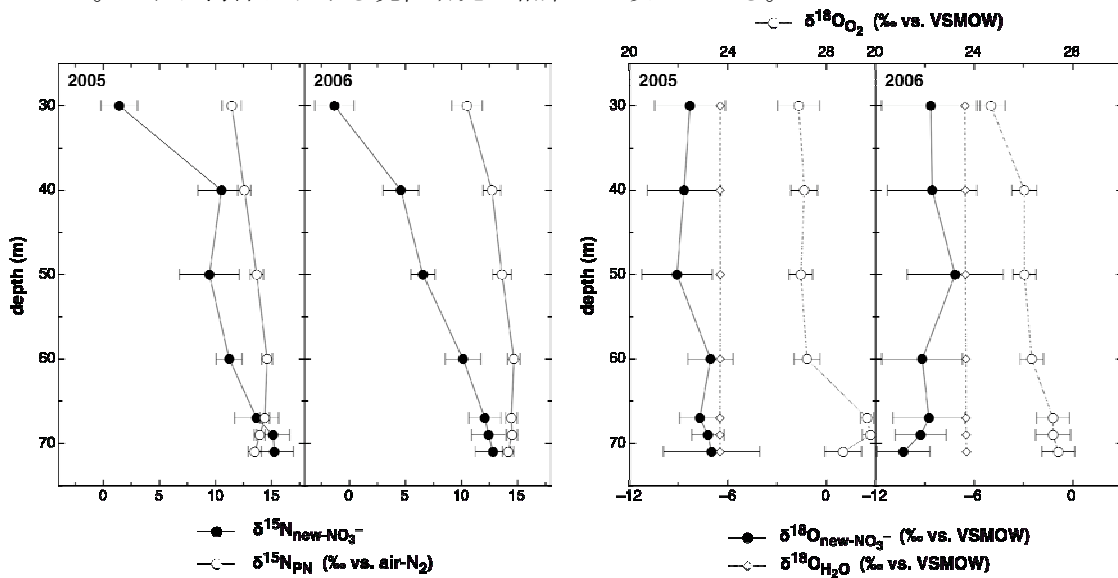


図 3.4.6-2 琵琶湖深層部において硝化によって新たに生成した NO_3^- の $\delta^{15}\text{N}$ (左)と $\delta^{18}\text{O}$ (右)の推定値。懸濁態有機窒素(PN)の $\delta^{15}\text{N}$ (左)、湖水と溶存酸素の $\delta^{18}\text{O}$ (右)の鉛直分布も合わせて示した。

深層部で生成した NO_3^- の一部は湖底酸化還元境界層において脱窒により消費されていると考えられる。脱窒は潜在的には大きな同位体分別を示すため、脱窒による消費が進むと NO_3^- の $\delta^{15}\text{N}$ や $\delta^{18}\text{O}$ が上昇する可能性があるが、琵琶湖における観察結果はそのような傾向を示さなかった。これは湖底酸化還元境界層における脱窒過程は湖水中の NO_3^- よりも、酸化還元境界層内で硝化により作られる NO_3^- に依存していること、および NO_3^- の輸送が律速段階となっているために脱窒の同位体分別が現れにくいことが原因であり、同様の事例は海洋堆積物においても報告されている。

研究成果の今後期待される効果

本研究では、 NO_3^- の $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{18}\text{O}$ の変動パターンは、湖沼表層における植物プランクトンによる NO_3^- の消費過程や、深層における硝化による NO_3^- の再生産過程を特徴付けるために有効な指標として利用できることが示された。これに対して、湖底酸化還元境界層における脱窒による NO_3^- の最終的な除去プロセスを記述するためには、それらはあまり感度の良い指標とは言えないことも示唆された。今後、湖底酸化還元境界層における脱窒が同位体分布に与える変化について詳細に検討することにより、窒素循環プロセスを査定する同位体指標の精緻化が進むことが期待される。

引用文献

- 1) Humborg, C., M. Pastuszak, Juris Aigars, H. Siegmund, C.-M. Mörrth and V. Ittekkot. 2006. Decreased Silica Land-Sea Fluxes Through Damming in the Baltic Sea Catchment – Significance of Particle Trapping and Hydrological Alterations. *Biogeochemistry* 77:265-281.
- 2) 宮島利宏, 由水千景, 大手信人, 眞壁明子, 木庭啓介, 陀安一郎, 永田俊. 2007. 硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比から見た琵琶湖の窒素循環. 2007 年度日本陸水学会大会講演要旨集.
- 3) Miyajima, Toshihiro. 1994. Mud-Water Fluxes of Inorganic Nitrogen and Manganese in the Pelagic Region of Lake Biwa: Seasonal Dynamics and Impact on the Hypolimnetic Metabolism. *Archiv für Hydrobiologie* 130:303-324.
- 4) Granger, Julie, Daniel M. Sigman, Joseph A. Needoba and Paul J. Harrison. 2004. Coupled Nitrogen and Oxygen Isotope Fractionation of Nitrate During Assimilation By Cultures of Marine Phytoplankton. *Limnology and Oceanography* 49:1763-1773.
- 5) Sigman, Daniel M., Julie Granger, Peter J. DiFiore, Moritz M. Lehmann, Ruby Ho, Greg Cane and Alexander van Veen. 2005. Coupled Nitrogen and Oxygen Isotope Measurements of Nitrate Along the Eastern North Pacific Margin. *Global Biogeochemical Cycles* 19:GB4022.
- 6) Sigman, D. M., R. Robinson, A. N. Knapp, A. van Geen, D. C. McCorkle, J. A. Brandes and R. C. Thunell. 2003. Distinguishing Between Water Column and Sedimentary Denitrification in the Santa Barbara Basin Using the Stable Isotopes of Nitrate. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 4:1040.

3. 4. 7 琵琶湖および河川における温室効果気体（一酸化二窒素）の生成機構—窒素安定同位体比とアイソトポマーを用いた評価（木庭啓介、吉田尚弘、眞壁明子）

研究の背景

一酸化二窒素（ N_2O ）は硝化（アンモニアが硝酸に変化する反応）と脱窒（硝酸が還元されて窒素ガスとして生態系から除去される反応）という 2 種類の窒素代謝反応の中間産物として生成される。一モルあたりの温室効果は、二酸化炭素の 300 倍もあるため、その生成プロセスやフラックスを正確に評価することは、地球環境の保全のうえで重要な課題である。流域環境管理においては、人為的な窒素負荷と、一酸化二窒素の生成の間の因果関係を精確に把握することが必要である。すなわち、どのような場で、どのようなプロセスを経て一酸化二窒素が生成されるのかを明らかにする必要がある。本研究では、琵琶湖と河川を対象として、窒素安定同位体比とアイソトポマーを指標として利用することで、一酸化二窒素の生成機構の査定を行った。

研究実施内容および成果

（琵琶湖）

琵琶湖成層期と循環期の各態窒素成分の濃度鉛直プロファイルを図 3.4.7-1 に示す。

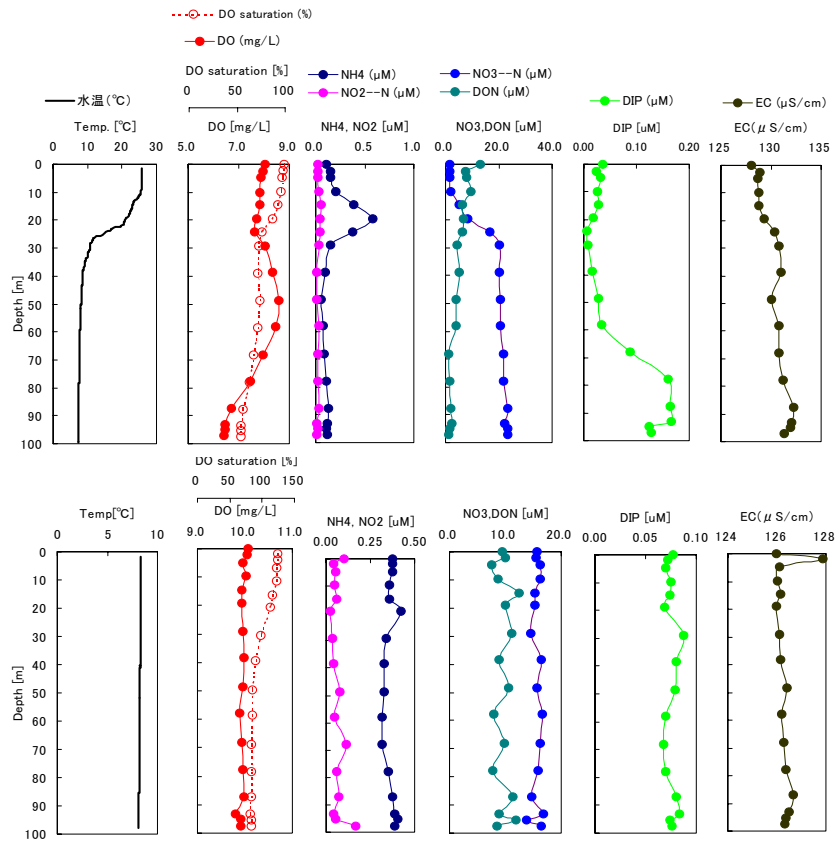


図 3.4.7-1 琵琶湖沖帯の養分鉛直プロファイル。上段が成層期、下段が循環期。

循環期では、すべての成分が一定の値をとっているが、成層期では、水温躍層（20-30m）の下で大きな変化が生じている。図 3.4.7-2 に脱窒の基質である NO_3^- と中間生成物である N_2O の鉛直プロファイルを示す。 NO_3^- は底層に向かって緩やかに濃度が上昇し、 N_2O は NO_3^- と比較して顕著に濃度が底層に向かって上昇していた。本研究では、この N_2O の蓄積がどのようなプロセスによるのかを明らかにするために、各種化合物の安定同位体比およびアイソトポマー比 (N_2O) の測定を行った。

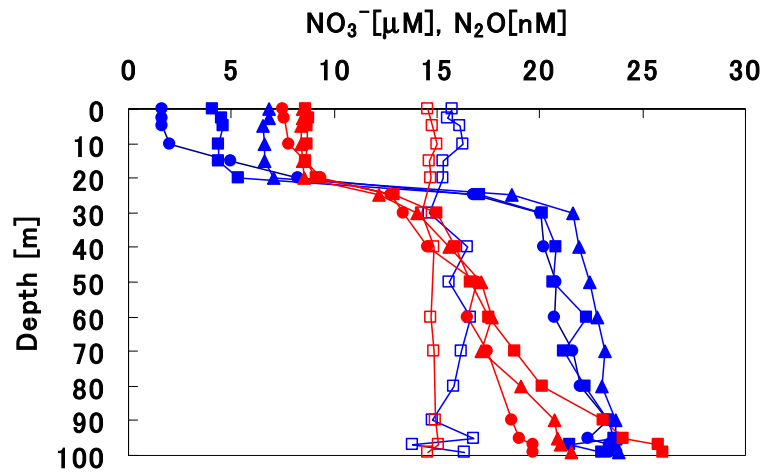


図 3.4.7-2 琵琶湖沖帯の NO_3^- (青)、 N_2O (赤) 鉛直プロファイル。白抜きは循環期 (2004 年 2 月)、その他は成層期 (2004 年 9、10 月、2005 年 10 月) のデータ。

NH_4^+ 、 NO_3^- 、 N_2O の同位体鉛直プロファイルを図 3.4.7-3 に示す。もし、湖水中で蓄積している N_2O が硝化によって生成されたとすれば、つぎのことが予想される。1) N_2O の $\delta^{15}\text{N}$ が NH_4^+ の $\delta^{15}\text{N}$ と正の相関をしめす。2) 大きな同位体分別 (Yoshida 1988) を考慮すると、 N_2O の $\delta^{15}\text{N}$ は NH_4^+ の $\delta^{15}\text{N}$ よりもはるかに低い (60%程度) 値をとる。しかし、 NH_4^+ 同位体比測定の結果、 NH_4^+ の $\delta^{15}\text{N}$ と N_2O の $\delta^{15}\text{N}$ の間にはそのような関係が認められなかった。

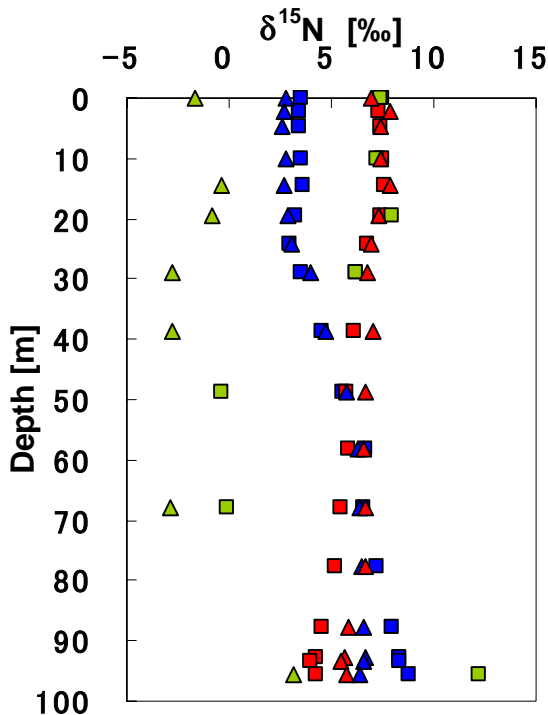


図 3.4.7-3 N_2O の同位体比と溶存酸素の同位体比の関係。もしも N_2O が湖水中の硝化によって生成されているならば、溶存酸素の $\delta^{18}\text{O}$ と N_2O の $\delta^{18}\text{O}$ の間に関連が認められると予想される。琵琶湖の溶存酸素の $\delta^{18}\text{O}$ は酸素消費と共に上昇するものの、 N_2O の $\delta^{18}\text{O}$ はほぼ不変であり、このことから湖水中での硝化は N_2O の蓄積に貢献しているとは考えにくい。

以上の結果は、湖水中での硝化が N_2O の主要な生成機構であるという仮説を支持しない。溶存酸素の $\delta^{18}O$ と N_2O の $\delta^{18}O$ の対比を図 3.4.7-4 に示す。Kim and Craig (1990)では海洋 N_2O に関して、溶存酸素の $\delta^{18}O$ と N_2O の $\delta^{18}O$ に強い相関があることを示し、 N_2O が硝化によって生成し、その結果、アンモニア酸化の際につかわれる溶存酸素の $\delta^{18}O$ が N_2O の $\delta^{18}O$ に反映されていると結論づけた。しかし、本研究では、酸素の消費に伴う溶存酸素の $\delta^{18}O$ 上昇とは N_2O の $\delta^{18}O$ の間には関連がなかった。この結果も、湖水中での硝化が N_2O 蓄積の主要なメカニズムであるという仮説を支持しない。

琵琶湖湖水はたとえ成層期であっても酸素が枯渇するまで酸素消費は進行することがないため、湖水中での脱窒が N_2O 蓄積に関与する可能性は低いいため、湖水でのプロセスではなく、堆積物での N_2O 生成の可能性が浮上した。

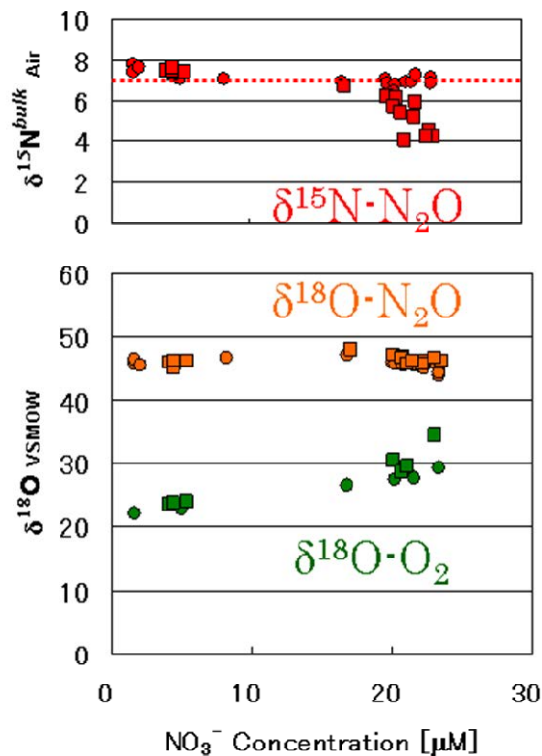


図 3.4.7-4 NH_4^+ (緑)、 NO_3^- (青)、 N_2O (赤) の窒素同位体比鉛直分布。 NH_4^+ の $\delta^{15}N$ はその高い回転速度を反映して大きな変動を持つが、ほとんどの場合 N_2O よりも低い値をとっていた。このことは、 N_2O が湖水中での硝化によって生成されたものではないことを示唆するものである。

図 3.4.7-5 に深層 N_2O の site preference についての Keeling Plot を示した。このグラフから、 N_2O のプロファイルは堆積物から放出された N_2O が湖水中の N_2O と混合して形成されたこと、また、放出された N_2O は 39‰ という高い SP 値をとることがわかる。この高い SP 値は、脱窒 (SP 値が 0‰) によるものとは考えにくい。以上の結果から、琵琶湖で成層期に蓄積する N_2O は堆積物表面での硝化の際に生成したものが湖水へと拡散したものであることが明らかとなった。この N_2O は循環期にすべて大気中の N_2O と交換し、湖より放出されることが、循環期の N_2O のアイソトポマー比が大気のそれと近いことから示唆され、琵琶湖が N_2O のソースとなる可能性を示している。

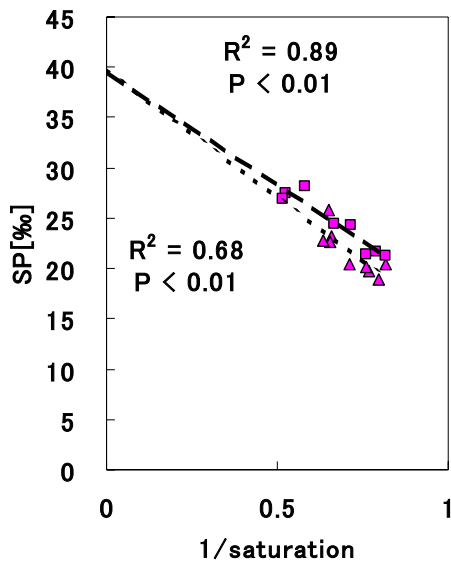


図 3.4.7-5 琵琶湖深層 N₂O の Keeling plot。SP 値が 39%という高い値を持つ N₂O が堆積物から湖水へと供給されていることがわかる。39%という高い SP 値は、脱窒 (SP 値が 0) の N₂O が強度の還元を受けたものである可能性もあるが、硝化 (33%) 由来の N₂O が多少の還元を受けながらも堆積物から湖水中へと拡散していると考えることが出来る。

(河川の N₂O)

河川の N₂O は、硝化・脱窒・還元といった、琵琶湖で見たプロセスに加えて、大気との交換というプロセスがあるため、その動態は非常に複雑である。本研究では、N₂O のアイソトポマー比を用いて、河川で発生している N₂O の特徴付けを試みた。

図 3.4.7-6 に安曇川の水質、溶存 N₂O の濃度及び同位体比を示す。安曇川は比較的人口密度の低い集水域を有しており、窒素化合物濃度も低い。このような河川では、N₂O はほぼ大気平衡の濃度およびアイソトポマー比をとっており、この河川での N₂O 生成は極めて小さいことがわかる。安曇川同様、滋賀県を流れる比較的清浄な高時川でも同様に N₂O は濃度・アイソトポマー比共に大気平衡状態であった。

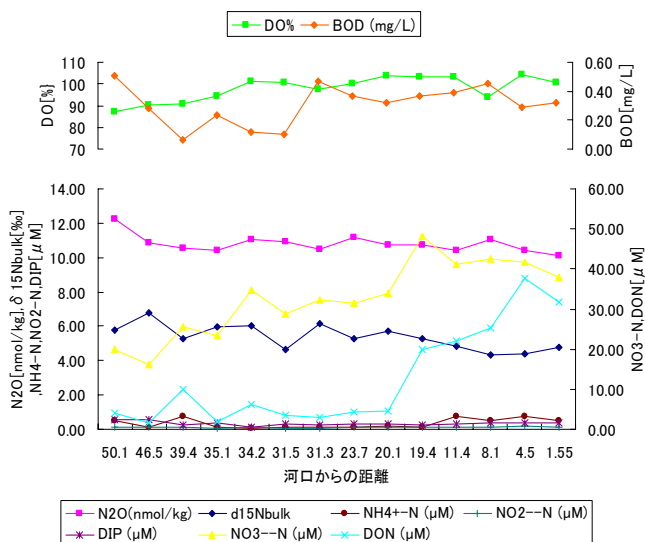


図 3.4.7-6 安曇川流程の養分濃度変化。下流に向かって NO₃ 濃度が上昇しているが、概してその濃度は低く、人間活動の影響を余り受けていないことが伺える。N₂O の濃度はほぼ大気平衡で、その同位体比もほとんど変動が見られなかった。

一方、同じ滋賀県ではあるが人口密度の高い流域を流れる野洲川では、傾向は異なっていた (図 3.4.7-7,8)。窒素化合物濃度は下流に行くに従い顕著な増加を見せており、N₂O の濃度も広範囲にわたって大気平衡濃度を上回っていた。野洲川に流入してくる支流が

特に高い N_2O 濃度をとっており、支流によってもたらされる N_2O が本流の N_2O 濃度に影響していた。これは、同位体比でも確認でき、支流からは低い $\delta^{15}N$ 値をもった N_2O が混入しており、結果、合流地点の N_2O の同位体比が低くなっていることがわかる。

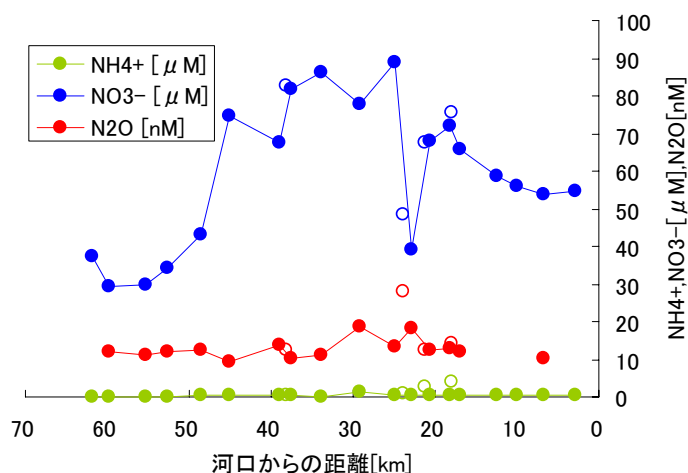


図 3.4.7-7 野洲川流程の養分濃度変化。中流部で大きな濃度変化があり、ここでの人間活動が窒素化合物を供給していることが示唆される。

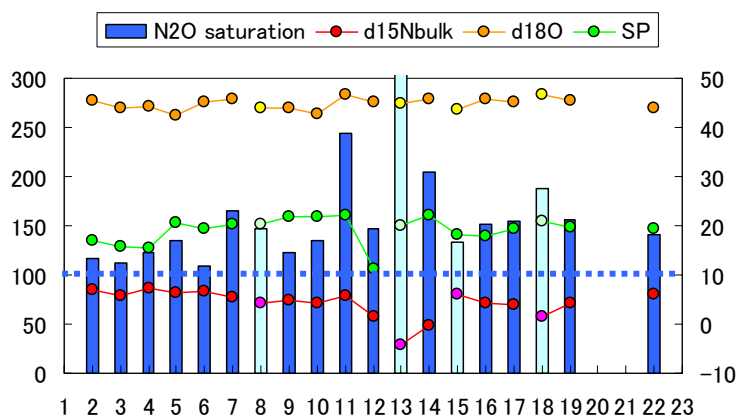


図 3.4.7-8 野洲川の N_2O 濃度及びその同位体・アイソトポマー比。支流（地点 8、13、15、18）で高濃度の N_2O が存在し、特異的な同位体比をとっていた。

野洲川よりもさらに人間活動の影響を受けるモンゴルトル川の結果を図 3.4.7-9 に示す。非常に高い N_2O 濃度（飽和度 200%）を示す地点付近で急激な $\delta^{15}N$ の変動があり、非常に軽い N_2O （おそらく硝化由来）が河川に流入していることがわかる。一方、トル川では、 N_2O 濃度が大気平衡濃度よりも低い調査箇所も散見された。この地点では NO_3^- が枯渇していたことから、 N_2O の還元が生じていることが示唆された。

これら 4 河川のデータをまとめると、図 3.4.7-10 のようになる。 N_2O が大気平衡に近い濃度をとっていた場合でも、実は大気 N_2O 以外の N_2O が混入しており、結果として同位体比が大気平衡状態からずれていることがあることがわかる。

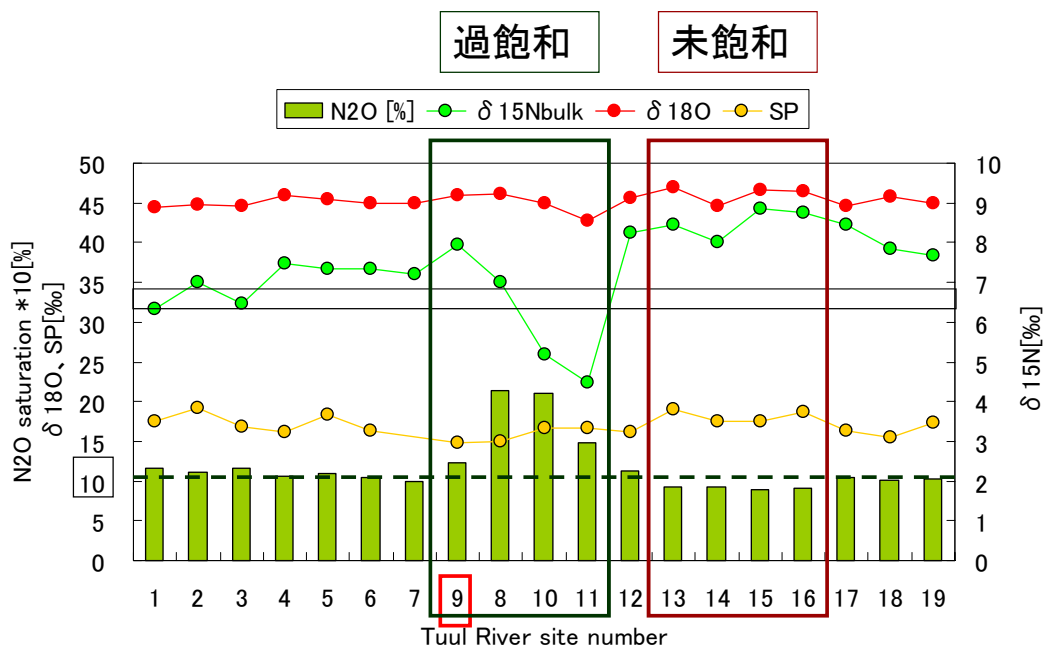


図 3.4.7-9 モンゴルトール川における N_2O 濃度とアイソトポマー比の変動。上流 (1) から下流 (19) にかけて、一定の傾向は見られないが、ウランバートル市街で大きな濃度及び同位体比の変動が認められ、窒素循環が大きく変化していることが伺える。

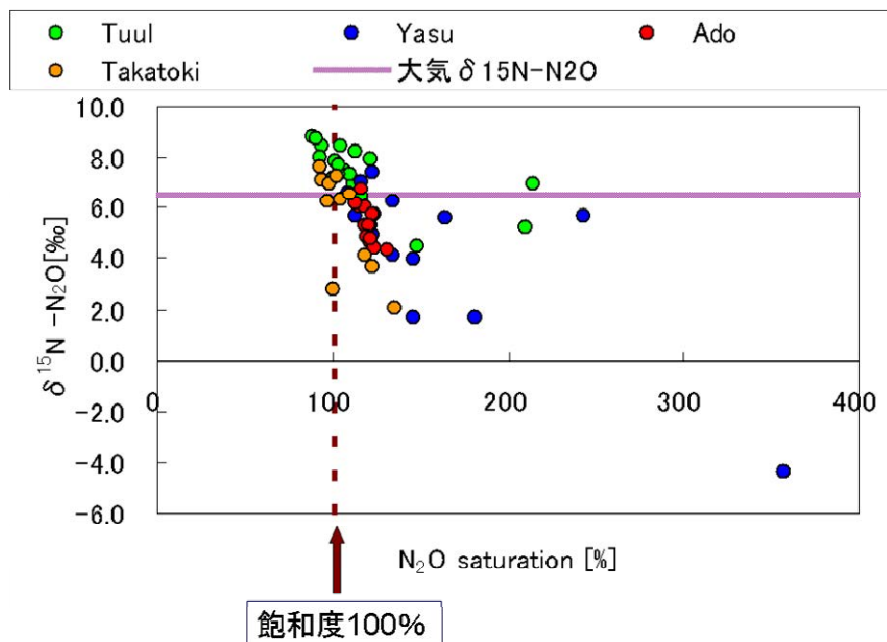


図 3.4.7-10 本研究で調査した河川中の N_2O 濃度とその同位体比の関係。大気平衡濃度の N_2O は必ずしも同位体比も平衡になっているわけではなく、河川水 N_2O は生成・消費・平衡が複雑に混在した結果、濃度が形成されていることが示唆された。

この結果をふまえて、河川水中の N_2O の $\delta^{15}N$ と $\delta^{18}O$ について、大気 N_2O の貢献をマスバランス計算で差し引いたものを、図 3.4.7-11 に示した。 $\Delta\delta^{15}N$ と $\Delta\delta^{18}O$ が高いほど濃度が減少していることから、脱窒によって生成された N_2O がさらなる還元を受けているこ

とが明らかになった。河川水中では酸素が枯渇することは少なく、 NH_4^+ 濃度は低く、 NO_3^- 濃度が高いため、硝化が起きていることは間違いなく、その結果、硝化由来の N_2O が河川では優勢であるという見方があったが、本研究結果では、河川における脱窒の重要性を明らかにすることが出来た。より詳細な脱窒と硝化の議論を行うために、よりきめ細かなサンプリングと、ハイスループットの同位体比測定技術が今後必要となってくると思われる。

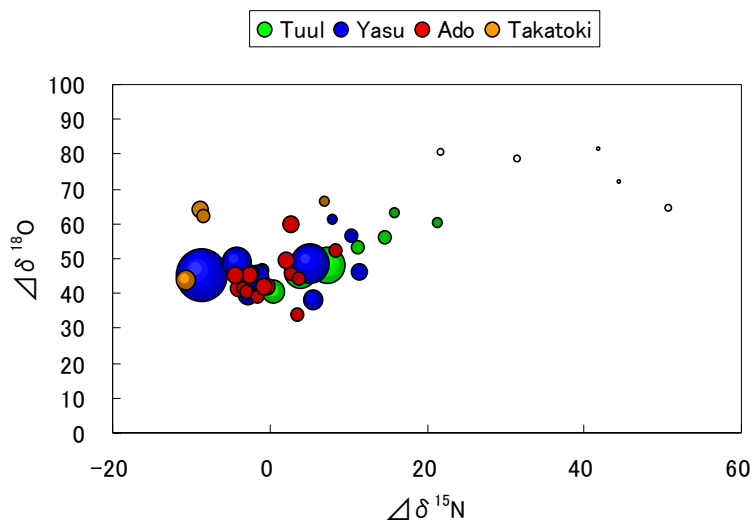


図 3.4.7-11 河川 N_2O における大気平衡状態から濃度および同位体比のズレ。濃度 (バブル) が小さくなるにつれて、窒素も酸素も同位体比が上昇してゆくことから、河川での脱窒 (N_2O 還元) が生じていることがわかる。

(モンゴル河川における N_2O の日変化)

トール川の流程調査で見たとおり、 N_2O の濃度・同位体比・アイソトポマー比は、河川での脱窒・硝化についての情報を与えることがわかった。本研究では、トール川の富栄養状態である流程において、 N_2O の日変化を追跡することで、 N_2O 発生メカニズムの解明を目指したものである。

図 3.4.7-12 に 2 日間にわたる N_2O の濃度・同位体比・アイソトポマー比変化を示す。 N_2O 濃度は飽和度の 800% から 10000% となっており、非常に高濃度であった。 $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{18}\text{O}$ は大きく変動し、この変動はおそらく基質 (NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 O_2) の同位体比の変化に対応していると考えられる。しかし、特筆すべきは SP 値であり、常に 0‰ 程度の値をとっていた。このことは、 N_2O が脱窒によって生成されたこと、さらに生成された後還元を受けることなく河川水に溶存しているということを示している。

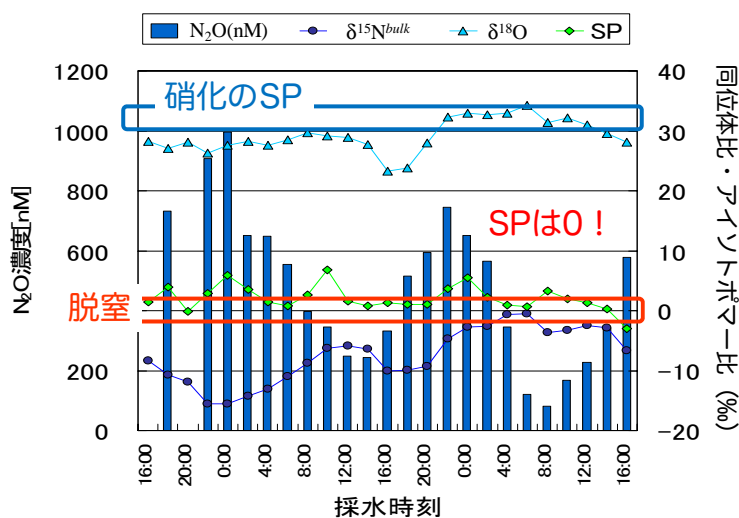


図 3.4.7-12 トール川における N_2O の濃度及びアイソトポマー日変化。

河川水の溶存酸素濃度は大きな変動を見せ、夜間には 0 になるものの、日中は脱窒が生じるような低酸素状況ではない。そのため、脱窒は河床堆積物中で生じていると考えられる。しかし、SP が 0 でほぼ一定であり、 N_2O が還元を受けていないことから、おそらく河川水中の N_2O は堆積物表面で脱窒によって生成され、還元を受ける前に河川水へ拡散したものであると考えられる。表層によってのみであるが、これだけの高濃度の N_2O を生成していること、また大変高い NO_3^- 濃度を考慮すると、この地点での脱窒速度は大変高いものであると予想される。堆積物の深部では、 NO_3^- が完全に N_2 まで脱窒されていると容易に予想できるが、その高い脱窒速度の結果、一部 N_2O として河川水に放出してしまうことは避けられない現象である。脱窒によって大量の窒素化合物を N_2 として系外に放出している一方で、この N_2O 放出を抑制するのは極めて困難であり、窒素化合物の供給そのものを減少させることでしか、この地点での N_2O 放出を抑制することは難しいと考えられる。

研究成果の今後期待される効果

本研究の最大の成果は、温室効果気体である一酸化二窒素の生成・消滅過程を、各種安定同位体比を用いることによって、従来の方法とは比較にならない精度で明らかにした点にある。すなわち、本研究では、各態の窒素化合物の窒素安定同位体比、一酸化二窒素のアイソトポマー、一酸化二窒素、硝酸、溶存酸素、水の酸素安定同位体比を、一般水質データや物理パラメータとあわせて綿密な計画のもとに調査した。これを、湖（琵琶湖）と河川（野洲川、モンゴルの汚濁河川）をモデル系として実施した。本研究成果は、流域環境における窒素循環査定における同位体手法の適用に関する、里程標的な研究事例であるといっても過言ではない。これは、本 CREST 研究による基盤構築と、総合的な安定同位体分析体制の確立によって初めて可能になったものである。これらの先駆的な成果の一部については、すでに国際学会における招待講演において海外発信もなされているが、今後、国際誌にその全貌が公表されることで、世界の窒素循環研究に大きなインパクトを与えることが期待される。

引用文献

木庭啓介（2008）アイソトポマー・分子内同位体分布. In: 永田俊・宮島利宏（編）流域環境評価と安定同位体-水循環から生態系まで-. 京都大学出版会 pp.388-393.

3. 5 生態系グループ（京都大学防災研究所、京大大学生態学研究センター）

3. 5. 1 河道の有機物捕捉機能と貯水ダム生産物の栄養起源としての到達範囲の評価 （竹門康弘）

研究の背景

流域環境の健全度を評価する方法として、COD、BOD、水温、濁度、透視度などの水質を用いるものや、生物群集の種多様性、希少種、上位種などの生物特性を用いることが一般的であるが、生態系の機能を総合的に評価する手法は未だ確立していない。水質については、生態系や人為影響を特徴づける要因ではあるが、河川生態系の働きのみならず、人為的影響も含めた流域の条件を反映することが多いので、流域環境の類型化に有効である。また、流程変化を追うことによって、生態系の物質循環機能を評価することができるが、水質変化の要因が複雑であることや、時間的に変化しやすいことが制約となる。

一方、生物の種構成は、生態系の構造や機能を反映するので、生物群集の特性をうまく用いれば、流域環境の現況を示す指標として有効であると考えられる（竹門, 2005）。ただし、生物の系統分類による種構成は、氷河や隆起などの地史的な履歴の影響を受けたため、現在の河川生態系の健全性評価のためには、生態型などの機能的な分類による種構成を用いることが有利であると考えられる。また、生物は一定の生存期間の環境変化の情報を履歴的に反映する点は水質測定にない利点であるが、逆に増水攪乱、河川工事、水質事故など様々な影響を反映する可能性がある。このため、環境条件の各項目に1対1対応するものとしてではなく、項目は必ずしも特定できないものの何らかの変化を検出することのできる総合評価指標として活用すべきである。

流況や土砂の量、質、動態といった物理的要因や、地形や植生様式などの景観的要素は、流域生態系の機能を生み出す条件として注目されるようになり、健全性評価の観点からも類型化が試みられている。しかし、流況、土砂動態、河床地形、植生発達程度などの条件と河川生態系の特性との対応については、未だ追究すべき課題が多いのが現状である。たとえば、生物多様性や水質浄化などの生態系機能が河床地形とその形成要因である流況や土砂動態と強く関係していることが示されるならば、好適な生物多様性や水質浄化機能を実現するための流況管理や土砂管理に活用できると期待される。そこで、本グループでは、河床地形と生態系機能の対応関係を明らかにすることを目的とした一連の研究を行った（Takemon, 2006; Anbutsu et al., 2006; 竹門, 2007; Doi, et al., 2007; 玉・竹門, 2007; Takemon et al., 2008）。

研究実施内容および成果

（河床の粒状有機物の捕捉機能）

河床に堆積する粒状有機物には、陸上で生産された植物由来の他生性有機物と河道内で生産された藻類由来の自生性有機物が様々な割合で混合している。これらの粒状有機物の炭素・窒素安定同位体比を測定することによって、有機物の各生産起源の寄与率を推定することができる。本課題では、河床に堆積する粒状有機物量やその生産起源の空間分布について、河床地形と対応させて明らかにするために、河床堆積粒状有機物をセグメント・リーチ・瀬—淵・微生物場の各空間スケールで定量的に採集し、サイズ分画別の現存量炭素・窒素安定同位体比の分析を行った。また、流況変動が堆積粒状有機物の分布に及ぼす影響を調べるため、小規模増水時の水位低減過程においてそれらの分布変化を分析した（Takemon et al., 2008）。

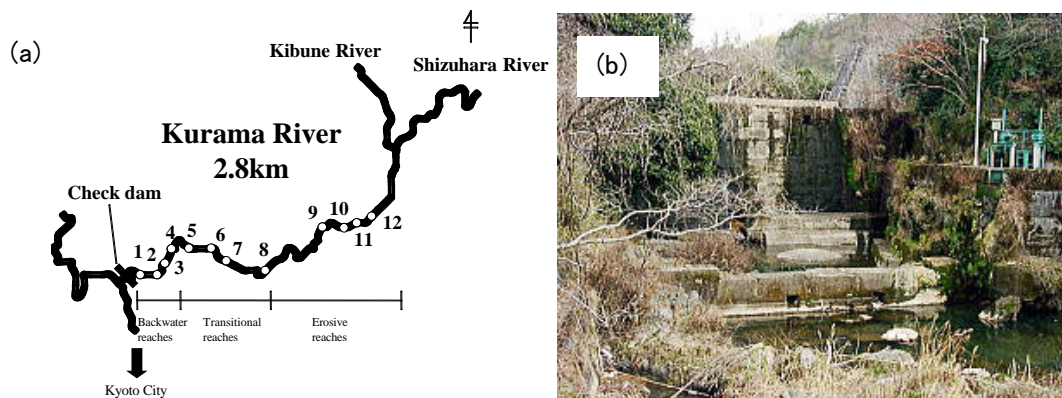


図 3.5.1-1 調査地地図(a)。ならびに砂防ダム写真 (b)。京都市鞍馬川の砂防ダム上流 2.8km 区間に堆積区 (D : st1-4) ・移行区 (T : st5-8) ・浸食区 (E : st9-12) を設けた。勾配はそれぞれ 13/100, 12/100, 1/100。

調査は、京都市内の淀川水系鴨川の支流である鞍馬川約 2.8 km 区間で行った (図 3.5-1-1)。本研究では、調査地のセグメントを、堆積区 (D) ・移行区 (T) ・浸食区 (E) に区分した。堆積区は、ほぼ満砂状態の砂防堰堤の背水域にあり平均勾配が 1/100 と緩く、砂底が多い。浸食区は勾配 (13/100) が急で、岩や石が多い。その中間の移行区 (勾配 12/100) は増水時に砂防堰堤の背水の影響一部受けるため砂利や礫の砂礫堆が発達している。各区内の 1 リーチ (蛇行区間) に含まれる瀬 (R) と淵 (P) について縦断方向に上端 (u) ・中央 (m) ・下端 (l) の 3 区分、横断方向に蛇行の外側 (o) ・滞筋部 (c) ・内側 (i) の 3 区分し、微生物場の空間スケールとした。

河床表面に堆積する粒状有機物を定量的に採集するための BPOM サンプラーを考案し、河床の瀬・淵ごとの微生物場区分から堆積粒状有機物を採集した。それぞれの試料について、クロロフィル a 量、炭素・窒素安定同位体比、 $\phi > 1\text{mm}$ 、 $1-0.5\text{mm}$ 、 $0.5-0.25\text{mm}$ 、 $0.25-0.125\text{mm}$ 、 $0.125-0.025\text{mm}$ の 5 つの分画ごとの強熱減量を測定した。

平水時の浸食区・移行区・堆積区における全粒状有機物量の平面分布 (図 3.5.1-2) を分析した結果、平均粒状有機物量は堆積区 (22.5 gAFDW/m^2) ・浸食区 (15.5) ・移行区 (4.3) の順に多く、瀬と淵の明瞭な移行区では淵に多いことがわかった。また、平均粒状有機物量を瀬や淵の上流側、中央部、下流側を比較すると、いずれの区でも瀬・淵ともに上流側が下流側よりも多いことがわかった (図 3.5-1-3)。これらの結果から、瀬では流下有機物の濾過が瀬頭でよく起こり、淵では流下有機物の沈降が淵頭でよく起こることが示唆された。さらに陸上植物由来物質、河道内付着藻類の遺体由来物質ならびに生きた付着藻類由来物質の 3 種混合モデルによって粒状有機物中の構成比を推定した結果、移行区の瀬では自生性有機物が淵では他生性有機物が多く分別されていたのに対

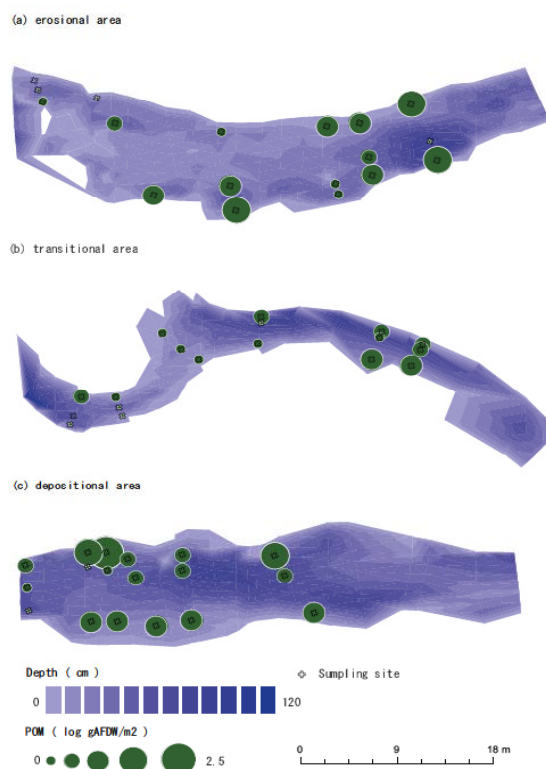


図 3.5.1-2 鞍馬川の浸食区 (a)、移行区 (b)、堆積区 (c) における堆積粒状有機物の河床分布図。調査は 2005 年 10 月 12-19 日の平水時に実施した。

し、侵食区では地点間のばらつきが大きく、堆積区では一様に混合されていることが示された (図 3.5.1-4)。

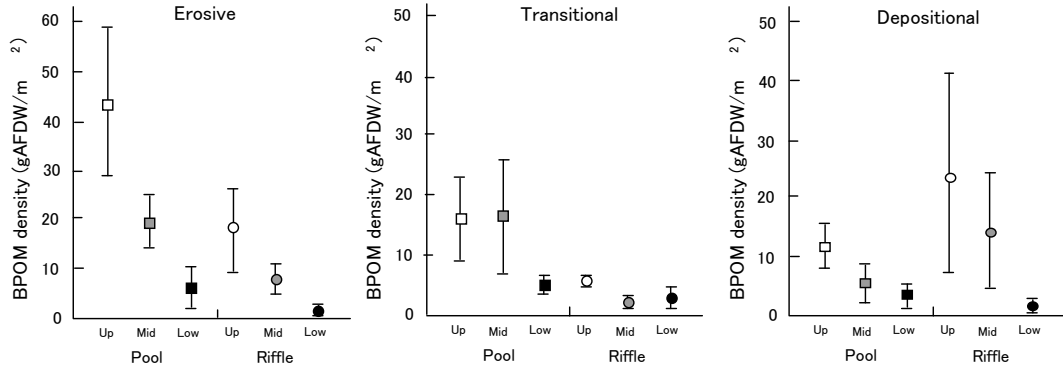


図 3.5.1-3 鞍馬川の侵食区、移行区、堆積区における堆積粒状有機物の河床内分布の比較結果。各プロットは河道横断線上で採取した 3 データの平均値を示す。堆積粒状有機物量は、移行区では瀬よりも淵で多く ($p < 0.05$, U-test)、全区の瀬と淵のいずれにおいても上流側が下流側よりも多いことがわかった ($p < 0.01$, U-test)。

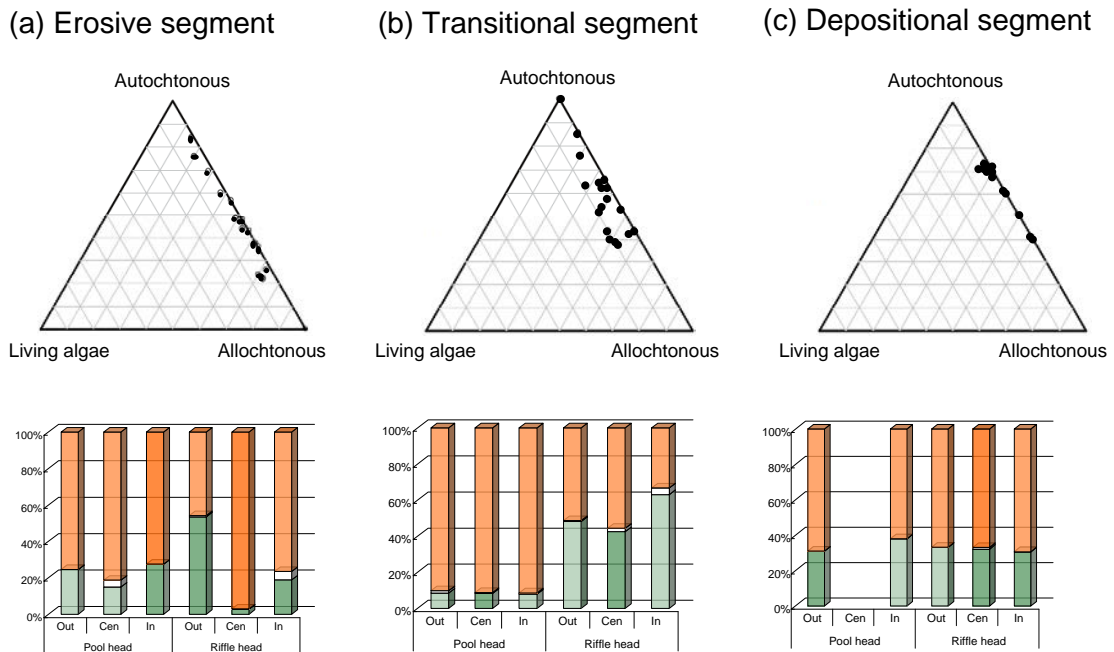


図 3.5.1-4 鞍馬川の侵食区(a)、移行区(b)、堆積区(c)における堆積粒状有機物中に占める陸上植物由来物質、河道内付着藻類の遺体由来物質ならびに生きた付着藻類由来物質の 3 種混合モデルによる構成比推定結果。下段のグラフは、各区の瀬頭と淵頭における堆積粒状有機物の起源構成比を示している。棒グラフの上側が陸上植物起源、下側が付着藻類起源、中間が生きた付着藻類起源を示す。

全サンプルの構成比を流程間で比較した結果、侵食区では他生性有機物が 53.9%を占めたのに対して移行区では 37.4%、堆積区では 36.8%に現象し、自生性有機物の割合が増加した。これらの結果は、数百 m の流程で河道内に滞留する有機物の起源が大きく変化することを示している。一方、Doi et al. (2007)は、この調査地に隣接する賀茂川上流地点で造網型のヒゲナガカワトビケラの炭素安定同位体比を測定し、樹冠による光遮断のあ

る河床環境と光遮断のない開けた河床環境で比較研究した。その結果、樹冠域では陸上起源の栄養に依存し、開放域では付着藻類起源の栄養に依存していることを明らかにした。この成果を総合すると、これまで連続的に変化すると思われていた河川生態系の栄養起源が 100m スケールで不連続であるが示された点が大きな発見である。これらの事実は、河川を流下する粒状有機物が比較的短距離の流下過程で河床に捕捉されていることを示している。

(貯水ダム下流域の安定同位体比構造の特性)

近畿圏における 5 つの貯水ダム（室生ダム、一庫ダム、青蓮寺ダム、高山ダム、大迫ダム）の下流域とダムの無い 5 河川（高時川、安曇川、高見川、富田川、木津川）において貯水池から放流された懸濁態有機物（SPOM）、河床の付着層（Epilithon）、底生動物群集を採集し、各生態系構成要素の炭素・窒素安定同位体比を分析した。その結果、貯水ダムの下流域においては、生物体の炭素安定同位体比が低下し、窒素安定同位体比が上昇する現象が見出された（図 3.5.1-5）。また、文献調査の結果、この現象は米国でも観測されており、とくに冬期に顕著となることがわかった。

2005-6 年には、この現象がダム湖内で生産された有機物に由来するか、あるいはダム湖内の物質循環過程で生成された無機物質に由来するかについて検証するために、全 10 地点で再調査を行なうとともに、無機態炭素の安定同位体比、貯水池放流水の NO_3 の窒素安定同位体比、水の酸素安定同位体比も併せて測定した。その結果、SPOM の炭素安定同位体比がダム放流水の値が生物群集の値よりも若干低く、ほとんどの地点で -30‰ よりも低い値を示した（図 3.5.1-6）。これに対して、付着層の測定結果は -30‰ ~ -20‰ とかなり高い値を示した（図 3.5.1-7）。無機態炭素の安定同位体比も低いことから、貯水ダム下流域の一時生産で軽い炭素の有機物ができ易いことも否定できないものの、上記の事実は、貯水ダム下流域生態系において生物体の炭素安定同位体比が減少する現象に、主にはダム湖内で生産された有機物に由来すると考えられた。

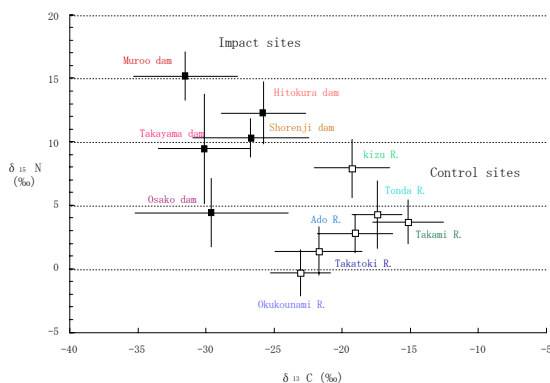


図 3.5.1-5 ダム直下流の流程（Impact site）とダム無し河川の流程（Control site）における底生生物群集の炭素・窒素安定同位体比の比較結果。

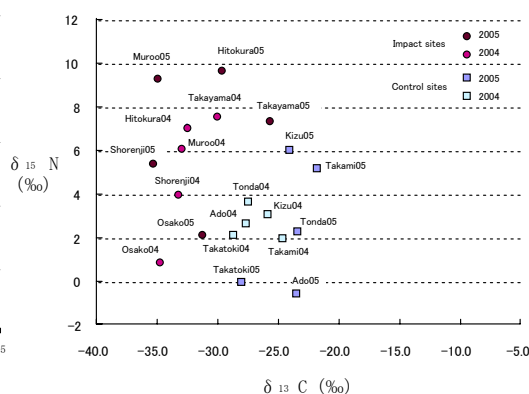


図 3.5.1-6 ダム直下流の流程（Impact site）とダム無し河川の流程（Control site）における懸濁帯有機物（SPOM）の炭素・窒素安定同位体比の比較結果。

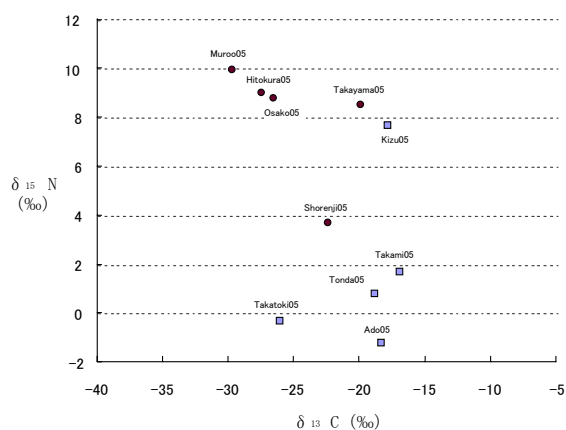


図 3.5.1-7 ダム直下流の流程 (Impact site) とダム無し河川の流程 (Control site) における付着層 (Epilithon) の炭素・窒素安定同位体比の比較結果。

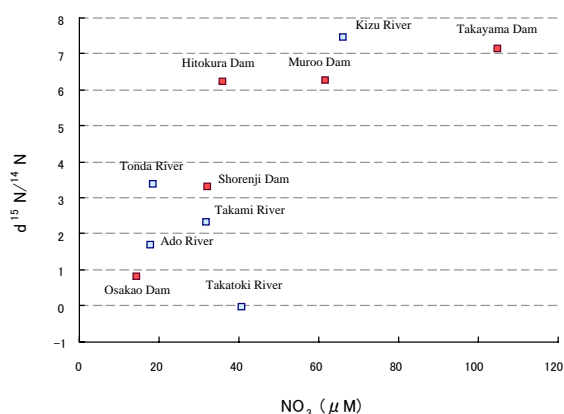


図 3.5.1-8 ダム直下流の流程 (Impact site) とダム無し河川の流程 (Control site) における溶存態硝酸濃度と窒素の安定同位体比の関係。

また、溶存態の硝酸態窒素濃度に対して窒素安定同位体比は有意な相関関係 ($R=0.726$, $p<0.05$) を示し、ダム下流とダム無し流程にかかわらず硝酸態窒素濃度が高いと窒素安定同位体比も高まる傾向が認められた (図 3.5.1-8)。これに比べて付着層の窒素安定同位体比はダム下流生物群集の値に呼応するように高い値を示した (図 3.5.1-7)。ところが、ダム無し流程では、硝酸態窒素と付着層の窒素安定同位体比には大きな差が認められなかったことから、貯水ダム下流域生態系において生物体の窒素安定同位体比が増加する現象には、SPOM が付着層に取り込まれる過程や付着層内部で窒素安定同位体比が増加する過程が働いていると考えられた。

(貯水ダム起源物質の影響範囲から推定された河川生態系の栄養起源変化)

平成 15 年 1 月に、底質の粗粒化と細粒沈着現象が顕著に認められた大迫ダムの直下から数百 m ずつ離れた 5 地点を設け、底質の粗粒化、マトリクス中へのシルトや微粒状有機物が沈積、付着層マット固着状況、底生動物群集の調査を行った。その結果、この区間では、河床材平均粒径は有意に減少するが、付着層量は減少しなかった。一方、底生動物群集の組成は、100〜数 100m スケールで劇的に変化することがわかった。ダム直下では、とくに滑行型・刈取食者が少なく固着型・濾過食者が多いことが顕著であった。

さらに、付着層、SPOM、主要底生動物の炭素ならびに窒素安定同位体比などを分析した結果、ダムからの距離によって、炭素同位体比が上昇し、窒素同位体比が減少する傾向が認められた。各地のダム下流ならびに対照河川の結果と大迫ダム下流の流程変化とを重ねあわせると、底生動物群集の食物網における同位体比構造は、総集水域面積 10-30ha 程度の流入がある 2-3km 程度の流程において、ほぼ対照河川に近い同位体比構造へ回復することが示された (図 3.5.1-9)。これは、河川生態系における栄養螺旋が予想以上に短距離であることを表している。これらの結果は、河川生態系における栄養螺旋が短距離であることを表している。また、4-2 の自然河道の調査結果は、河床の有機物起源が短距離で変化することが示されたが、本調査結果では有機物の栄養起源のみならず、そこに生息する動物群集全体の栄養起源が短距離で丸ごと変わることを示した点で意義が大きいと考えられる。

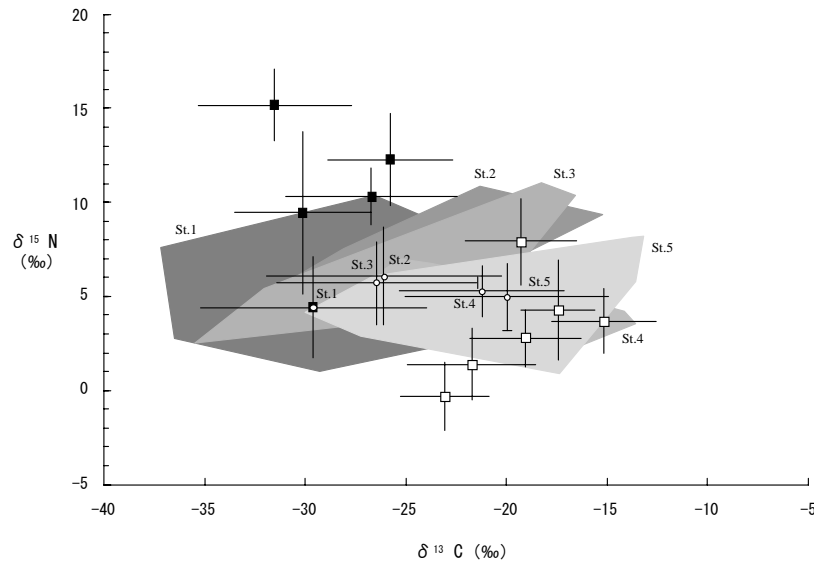


図 3.5.1-9 ダム直下流の流程（黒四角）とダム無し河川の流程（白四角）における底生生物群集の炭素・窒素安定同位体比の差異と大迫ダム下流域における各種底生生物の炭素・窒素安定同位体比の流程変化。

以上のように貯水池や湖沼で生産されたプランクトンは、下流域生態系において栄養起源のトレーサーとして利用できることがわかったことも本研究の成果である。この現象をより詳細に追究するため、河床地形の異なる木津川、宇治川、ならびに京都市内の琵琶湖疏水において、プランクトン濃度の流程変化様式を調査した（竹門ほか, 2006; 玉・竹門, 2007）。木津川本川は、河床材料の粒径が比較的小さく、下流域では 1 km 程度の長さの砂州が発達している河川である。一方、宇治川の下流域は、河床低下によって砂州が減少し岩盤や粘土層が露出している流程が卓越している。また、琵琶湖疏水には鴨川運河と疏水分線とがあり、いずれも U 字形または矩形の断面構造をしているが、鴨川運河では河床や側壁がコンクリートで流量が多く流速も大きいのに対し、疏水分線は緩勾配で流量が少なく流速が小さい特性がある。

鴨川運河ならびに疏水分線における琵琶湖由来プランクトンの合計出現率と流下距離との関係について、対数関係を仮定して最小自乗法で求めた較正曲線を描いた。これらに、竹門ほか（2006）が木津川や宇治川において同様の方法で得た較正曲線を併せて比較した（図 3.5.1-10）。その結果、鴨川運河は宇治川よりもさらにプランクトンを捕捉しにくい河道であり、疏水分線は木津川よりもさらにプランクトンを捕捉しやすい河道であることが示唆された。そこで、これらの較正曲線から各事例における 50% 減耗距離ならびに 90% 減耗距離を求めたところ、湖沼由来プランクトンの流下距離は疏水分線が一番短く、ついで木津川、宇治川の順で、鴨川運河が最も長いことが分かった（表 3.5.1-1）。今後、これらの減耗距離の差異と河床地形との対応関係について分析予定である。

研究成果の今後期待される効果

本研究によって得られた知見は、河川生態系の栄養起源の変換距離に着目した新たな河川環境保全評価の可能性を示している。また、その応用的な課題として、河川に流入した負荷物質の浄化に要する距離を短くするための河川環境条件の検討などに役立つだろう。さらに、これらの知見は、流域の総合土砂管理において、河床にどのような粒径の土砂がどのくらい移動滞留することが河川環境上このましかといった課題に対して一つの回答を与えることが期待される。

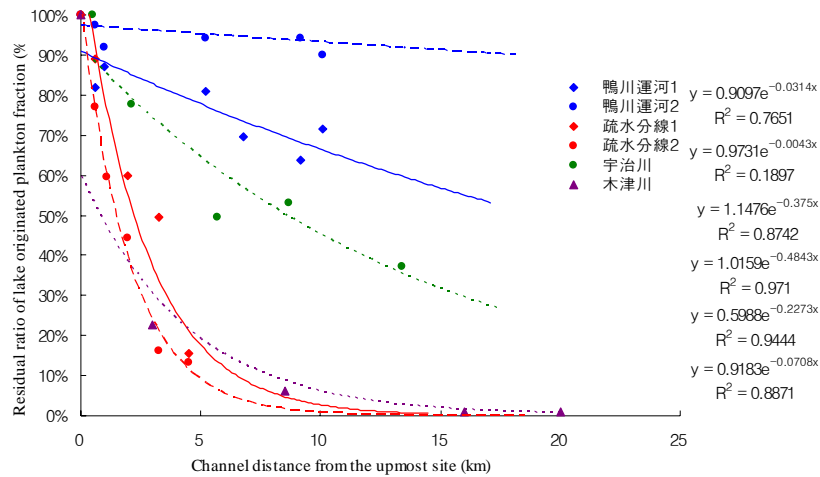


図 3.5.1-10 鴨川運河、疏水分線、宇治川、木津川における湖沼由来プランクトンの合計出現率と流下距離の関係 (2007 年 7 月調査の結果)。下の表は、対数関係を仮定して最小自乗法で求めた較正曲線から 50%減耗距離ならびに 90%減網距離を推定した結果を示す。

表 3.5.1-1 琵琶湖疏水分線ならびに鴨川運河で採集された流下粒状有機物 (粒径 1mm 未満) の同定結果

	鴨川運河 1	鴨川運河 2	疏水分線 1	疏水分線 2	木津川	宇治川
Estimated 50% transport distance	19.1 km	154.9 km	2.2 km	1.5 km	3.1 km	9.8 km
Estimated 90% transport distance	70.3 km	529.1 km	6.5 km	4.8 km	10.1 km	30.5 km

引用文献

- 1) Anbutsu, K., Makajima, T., Takemon, Y., Tanida, K., Goto, N. and Mitamura, O. (2006) Distribution of biogeochemical compounds in interstitial and surface standing water bodies in the gravel bar of the kizu River, Japan. *Archiv fur Hydrobiologie* 166: 145-167.
- 2) Doi, H., Takemon, Y., Ohta, T., Ishida Y. and Kikuchi, E. (2007) Effect of reach scale canopy cover on trophic pathways of caddisfly larvae in a Japanese mountain stream. *Marine and Freshwater Research*, 58:811-817.
- 3) 玉基英・竹門康弘 (2007) 「京都市疏水における琵琶湖由来のプランクトンの流下距離推定」応用生態工学会第 11 回研究発表会講演集：201-204. 応用生態工学会第 11 回研究発表会 (名古屋大学) 平成 19 年 9 月 16 日
- 4) 竹門康弘 (2005) 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.
- 5) Takemon, Y. (2006) Ecohydrological Roles of Debris-Flow and Flood in Stream Ecosystems and Challenges for Their Restoration. *The 6th Japan-Taiwan Joint Seminar on Natural Hazard Mitigation*, Kyoto, Japan, 2006.10.
- 6) 竹門康弘・山本佳奈・池淵周一 (2006) 河川下流域における懸濁態有機物の流程変化と砂州環境の関係. *京都大学防災研究所年報*, 49B: 677-690.
- 7) 竹門康弘 (2007) 6. 砂州の生息場機能. 土と基礎の生態学, 講座, 土と基礎, 55(2): 37-45.
- 8) Takemon, Y., Imai, Y., Kohzu, A., Nagata, T. and Ikebuchi, S. (2008) Spatial distribution patterns of allochthonous and autochthonous benthic particulate organic matter on the riverbed of a mountain stream in Kyoto, Japan. *Water Down Under 2008*: 2393-2403.

3. 5. 2 食物網解析に基づく琵琶湖流域生態系の健全性評価 (奥田昇、陀安一郎)

研究の背景

流域生態系は環境異質性が高く、その内部における物質の挙動は、内在的なプロセスと多所的・異時的な外部負荷によって複雑に、そして、目まぐるしく変化する。したがって、流域生態系の時空間動態を把握するには、網羅的な測点と膨大な労力が必要となる。しかし、流域管理の現場においては、人的資源や財政上の制約がしばしば存在するため、最少の測点数で予測精度の高い環境指標群を構築することが望まれる。そこで、我々は、流域生態系管理の最少必須測点として流域の終着点とも言える河川流入沿岸部に焦点を当てることを試みた(奥田 2008)。沿岸に流入する河川水は、流域生態系における環境攪乱の影響を物質の様態の流程変化として積分したものにはほかならない。沿岸域に形成される生物群集とその捕食・被食関係の総体である食物網が、流入河川水の影響を通じて変化する様を安定同位体分析によって定量的に記述する方法論を提案するのが本研究の狙いである。また、食物網の構造特性と生態系機能の連関を解きほぐすことによって、流域生態系の健全性を生態学的な観点から定義し、合理的かつ実用的な流域環境診断指標を確立することを目的とする。

研究実施内容および成果

沿岸生態系には、3つの主要な有機物供給源が存在する。すなわち、自生性生産者の底生藻類、沖合生産者の植物プランクトン、そして、河川水を通じて集水域から運搬される陸性有機物である。これらの有機物は溶存態および懸濁態として存在するが、とりわけ懸濁態有機物は生食連鎖の基点として沿岸生態系の物質循環において重要な役割を担う。これら3つの有機物源を従来の化学分析手法である炭素・窒素含量比やクロロフィル濃度の測定によって分離することは原理的に困難である。一方、3つの有機物源の炭素・窒素安定同位体比が既知であるなら、未知の懸濁態有機物試料の安定同位体比を測定することによって、これら3種の有機物源の混合比を推定することが可能となる。これらは以下の混合モデル(1a-c)によって記述される。

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}} = f\delta^{13}\text{C}_{\text{植物プランクトン}} + j\delta^{13}\text{C}_{\text{底生藻類}} + k\delta^{13}\text{C}_{\text{陸性有機物}} \quad (\text{式 1a})$$

$$\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}} = f\delta^{15}\text{N}_{\text{植物プランクトン}} + j\delta^{15}\text{N}_{\text{底生藻類}} + k\delta^{15}\text{N}_{\text{陸性有機物}} \quad (\text{式 1b})$$

$$f + j + k = 1 \quad (\text{式 1c})$$

ここで、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ は炭素および窒素安定同位体比(‰)、添え字は懸濁態有機物(POM)試料および3種の端成分(エンドメンバー)を表し、 f 、 j 、 k は植物プランクトン、底生藻類、陸性有機物の混合比をそれぞれ表す。本研究では、まず初めに、ベントス(底生動物)群集の餌源としての懸濁態有機物に対して集水域の人間活動が与える質的・量的影響を上記の混合モデルを用いて解析する。

河川から流入する人為負荷物質の影響を調査した幾つかの先行研究では、沿岸域のPOMや一次生産者の安定同位体比を用いるよりも、むしろ専食性の強い一次消費者の安定同位体比を用いることが推奨されている(Cabana & Rasmussen, 1996)。これは、POMの安定同位体比が河川流量に応じて時々刻々と変化し、代謝回転速度の速い微細藻類の同位体比も環境要因の不均一分布によって時空間的に大きく変動するため、正確な値を得るのに多くの測点を必要とするからである。これに対して、一次消費者であるベントスは、代謝回転速度が相対的に遅いため、餌となるPOMや微細藻類の安定同位体比の時間変動をより長い期間積分した効果を持つ。さらに、ベントスは移動能力に乏しく定着性が高いため、その場の環境負荷物質の情報をよく反映する生物指標として有用である(Vander Zanden et al. 2005)。そこで、本研究では、沿岸生態系の底生藻類食者であるカワナ類および懸濁物濾過食者であるタテボシガイの炭素・窒素安定同位体比から、集水域の環境攪乱指標群を抽出することを試みる。

集水域における人間活動は、河川水の化学的性状の変化を通じて、沿岸域に生息する特定の生物種の数の増減や食性変化をもたらす。これは沿岸生態系の食物網構造の変化を意味する。いま、沿岸生物群集の種ごとに炭素・窒素同位体比を測定し、二軸平面座標上にこれらの値を投影すると、二次元的な食物網構造を表現することができる。さらに、個々の種のバイオマスを考慮することによって、量的食物網マップを描出できる。量的食物網マップは食物網内のエネルギーフローを量的に記述する指標群として有効である。本研究では、沿岸ベントス群集の総バイオマス ($\log(\text{mg}/\text{m}^2)$)、平均栄養段階 ($TL_{\text{平均}}$)、底生生産依存率 (BPR) を生態系機能の指標と定義し、量的食物網の構造特性との関係について論ずる。

$TL_{\text{平均}}$ は、生態系の健全性を生態学的に評価する新しい指標として、ここに初めて提案する。 $TL_{\text{平均}}$ は、複数の端成分と個々の生態系構成種の炭素・窒素安定同位体比から推定した栄養段階をそれぞれのバイオマスで重み付けした生物群集の栄養段階の平均値と定義される。生態学的には、生食連鎖を経由して生物体に貯留された有機窒素の栄養転換率を反映し、この値が大きいほど、バイオマス当たりの高次生産性が高いことを意味する。以下のように定式化される。

$$TL_{\text{平均}} = \sum_{x=i}^n (TL_i \times BM_i) / TBM \quad (\text{式 2})$$

ここで、 TL_i は i 種の栄養段階、 BM_i は i 種のバイオマス、 TBM は総種数 n のバイオマスの和を表す。

また、 BPR は以下の式により計算される。

$$BPR = \sum_{x=i}^n (j_i \times BM_i) / TBM \quad (\text{式 3})$$

ここで、 j_i は i 種の底生生産依存率を表す。沿岸生態系の一次生産者である底生藻類と植物プランクトンを餌源とする 2 ソースモデルを使用し、摂食に伴う栄養濃縮計数は $\delta^{13}\text{C}$ が 0.8‰、 $\delta^{15}\text{N}$ が 3.4‰ とした。一般に、陸性懸濁態有機物は琵琶湖内の底生藻類や植物プランクトンより低い炭素同位体比を示すので、これら 2 種類の微細藻類を餌源と仮定するより低い $\delta^{13}\text{C}$ を消費者が示す場合は、沿岸に流入する陸性懸濁態有機物の既知の値 (谷内ら 2007) を食物連鎖の基点として栄養段階を推定した。

最後に、生態系機能の指標となりうる上記 3 つの変数に影響を及ぼす環境要因および従来の生物多様性指標との関連性について考察する。

(調査地および調査項目)

琵琶湖に流入する 1 級河川の内、流域規模や土地利用様式の異なる 29 河川を抽出し、その湖沼流入部沿岸を調査対象とした。さらに、河川の流入がない沿岸域の比較対照地として、岩礁湖岸に 2 地点、抽水植物湖岸に 2 地点を設定した。

調査は、2005 年 11 月、2006 年 2 月、5 月、7 月の計 4 回行った。各地点にて毎回、水温、pH、濁度、電気伝導度、溶存酸素濃度、表層底泥の酸化還元電位を計測した。さらに、目視によって、底質を 7 段階、沈水植物および抽水植物被度をそれぞれ 5 段階で評価した。各調査地の水深約 5m 地点において、表層 2m から採取した試水を GF/F フィルターで濾過した画分 (0.7–150 μm) を懸濁態有機物 (POM) 試料とした。POM の採集は、炭素・窒素安定同位体比、炭素・窒素含量、クロロフィル濃度の測定用に 3 反復した。

ベントス群集はサーバーネット (30cm×30cm) を用いて採集し、少なくとも目レベルまで同定した。分類群ごとにその個体数と乾燥重量 (バイオマス) を記録した。生物多様性の指標として、タクサ数およびシャノン・ウィーナーの種多様度 (H') を求めた。

乾燥試料は安定同位体分析に使用した。沿岸生態系の主要な有機物源として、礫上の付着藻類を採集した。植物プランクトンの代表標本を得るために、陸性有機物の流入や底生藻類生産の影響がほとんどない北湖盆の沖合、水深 72m 地点 (Ie) の表層水を採水した。これを GF/F で濾過したもの (0.7–150 μ m) を植物プランクトンの端成分試料とした。これらの微細藻類も乾燥後、安定同位体分析に供試した。陸性有機物の安定同位体比として、各調査地に流入する河川の下流域で採取された POM の既存の分析値 (谷内ら 2007) を使用した。

その他の流入河川の化学的性状 (POC・PON 濃度およびそれらの $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ 、硝酸態窒素の $\delta^{15}\text{N}$ など) ならびに集水域の土地利用 (GIS) データは、谷内ら (2007) を引用した。流入河川流量および沿岸物理環境 (湖岸勾配、波高) は、国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所の琵琶湖河川情報図データを使用した。

(安定同位体分析)

GF/F フィルターで濾過した POM および微細藻類サンプルは、0.1NHCl で脱炭酸処理を施し、60 $^{\circ}$ C で 24 時間以上乾燥させたものを分析試料とした。動物サンプルは、60 $^{\circ}$ C で 24 時間以上乾燥後、粉末状に破碎したものをメタノール：クロロホルム=1：2 溶液に浸潤して脱脂したものを分析に供試した。

炭素・窒素安定同位体分析には、質量分析計 (Finnigan MAT DeltaS と Delta XP) を使用した。炭素 ($\delta^{13}\text{C}$)・窒素 ($\delta^{15}\text{N}$) 同位体比は標準物質からの千分率偏差として以下の式で表される。

$$\delta^{13}\text{C}, \delta^{15}\text{N} = \left[\frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}} - 1 \right] \times 1000 \text{ (‰)}$$

$$R = {}^{13}\text{C} / {}^{12}\text{C}, {}^{15}\text{N} / {}^{14}\text{N}$$

ここで、炭素の標準物質としてやじり石 (PDB)、窒素の標準物質として大気中の N_2 を使用した。

(POM の時空間変異)

琵琶湖沿岸域の懸濁態有機炭素 (POC) 濃度は時空間的に大きな変異を示した (図 3.5.2-1 a-d)。POC 濃度は湖南および湖東地域で高く、さらに、7 月になると湖岸全域で増加した。安定同位体比に基づく混合モデルの解析結果より、7 月の懸濁態有機物組成の大部分 (78.7 \pm 10.6%) が植物プランクトンによって構成されることから、この時期の POC 濃度の増加は外部負荷ではなく内部生産の増加によって説明できる (図 3.5.2-2d)。

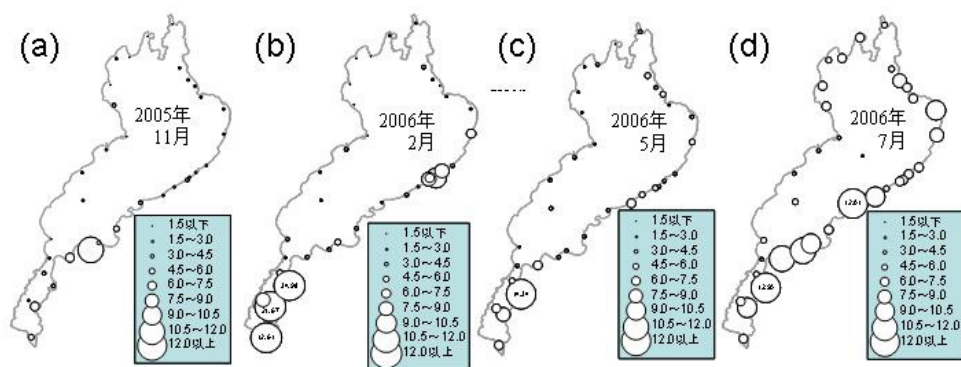


図 3.5.2-1 懸濁態有機炭素 (POC) 濃度の地点間変異および季節変異。プロットサイズは POC 濃度に対応する。沿岸 33 地点および沖合 1 地点 (Ie) において、(a) 2005 年 11 月、(b) 2006 年 2 月、(c) 2006 年 5 月、(d) 2006 年 7 月に採集。

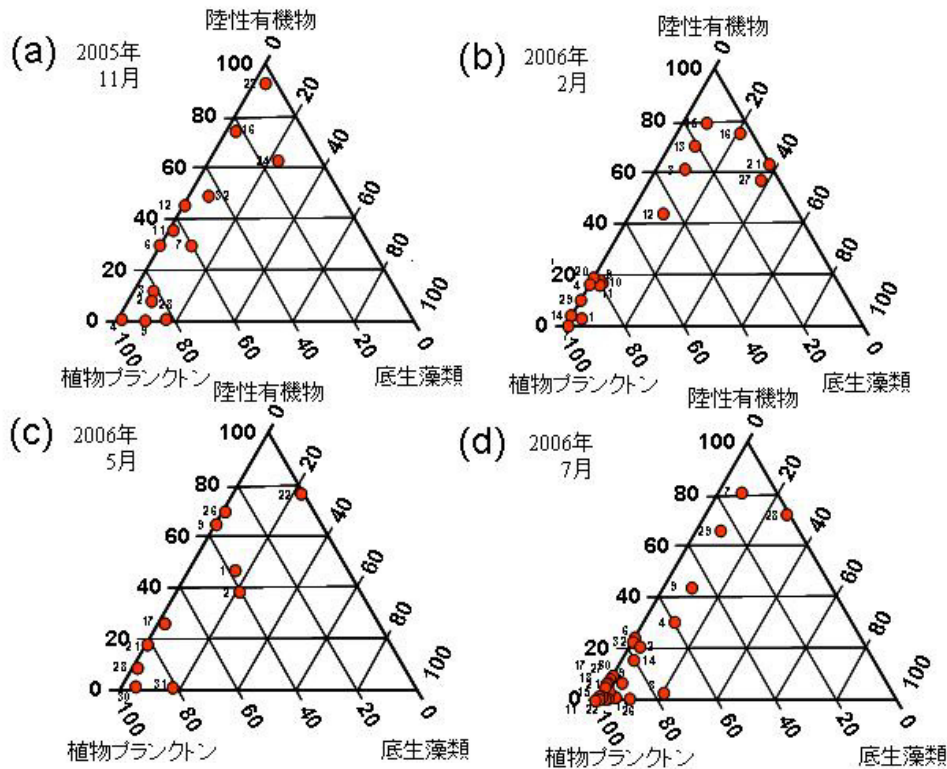


図 3.5.2-2 琵琶湖沿岸の POM を構成する 3 つの端成分（陸性有機物、植物プランクトン、底生藻類）の混合比率。(a) 2005 年 11 月、(b) 2006 年 2 月、(c) 2006 年 5 月、(d) 2006 年 7 月の解析結果。各プロットの添え字は調査地点番号を示す。

河川流域の土地利用様式と沿岸物理環境が湖水 POC 濃度に与える影響を共分散構造分析によって解析したところ、2 月と 5 月に異なる環境要因の効果が検出された。5 月は、流域人口密度が高く、水田面積割合が高い河川ほど POC 負荷量が高く、沿岸 POC 濃度のほとんどは河川からの負荷量によって説明可能であった（図 3.5.2-3a）。一部の地域では、沿岸 POC に占める陸性有機物組成比が顕著に高かった（図 3.5.2-2c）。琵琶湖流域において、5 月は水田の代掻き期に相当し、湖南や湖東の水田地帯では短期間に集中的に農業濁水が琵琶湖沿岸部に流入することが報告されている（谷内ら 2007）。本解析結果は、この知見とよく一致する。

休耕期の 2 月は、流域人口密度のみが河川の POC 負荷量を増加させたが、これ自体は沿岸 POC 濃度に有意な効果を及ぼさなかった（図 3.5.2-3b）。雨量の少ない冬季は、河川流量が少ないため、河川から沿岸への POC 負荷の効果が相対的に低減するものと考えられる。その一方で、沿岸域の物理的攪乱の指標となりうる波高は POC 濃度に正の効果をもたらした（図 3.5.2-3b）。北西風が強まる冬季には、琵琶湖の湖東地域とりわけ彦根市周辺湖岸で高波が発生することが知られている。当地域における冬季の POC の由来は、沿岸部に流入・堆積した陸性有機物が波浪によって再懸濁されたものと推察される。

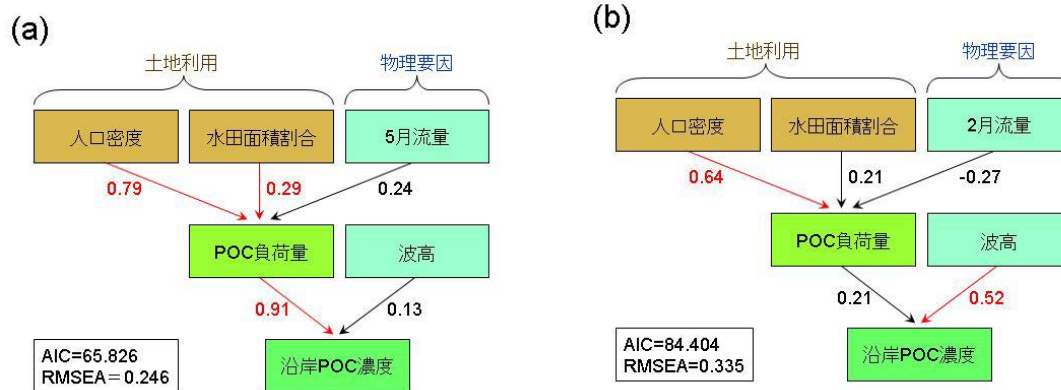


図 3.5.2-3 琵琶湖の湖水 POC 濃度に対する流域の人間活動と沿岸物理環境の影響の共分散構造分析。パス図中で有意な効果の検出された矢印は標準化係数とともに赤色で示す。モデル適合度の指標として、AIC と RMSEA の値を示す。沿岸 POC 濃度に対する有意な効果は、5 月 (a) と 2 月 (b) にのみ検出された。

以上のように、沿岸食物網の基点となる POM（本解析では特に POC に限定）の質と量は、流入河川水の化学的性状の変化を介して、流域人口や土地利用形態の影響を強く受けることが明らかとなった。また、分解速度の遅い陸性懸濁態有機物は琵琶湖に流入・堆積後、湖沼の物理的な攪乱作用によって湖沼水中に再び供給される時間差効果をもたらすことも明らかとなった。このような沿岸 POM の質的・量的変化は、沿岸生態系の食物網構造の時空間動態をもたらす潜在的要因となりうる。次節では、ベントスの安定同位体比から流域環境攪乱のシグナルが読み取れるか否かを検討する。

(環境攪乱指標としてのベントス)

底生藻類食者であるカワナ類と懸濁物濾過食者であるタテボシガイの炭素・窒素安定同位体比を用いて、流域の人為攪乱の影響を検出する方法の有効性を検討した。解析の結果、カワナ類は流入河川の流域人口密度が増加すると体組織の窒素同位体比が上昇する有意な傾向を示した ($r^2=0.50, n=20, p<0.001$; 図 3.5.2-4)。一方、タテボシガイではそのような相関関係は見られなかった ($r^2=0.03, n=16, p=0.49$)。流域人口密度とカワナ類の窒素同位体比の間には図 3.5.2-5 のようなパスが存在した。流域人口の増加は河川水の硝酸態窒素同位体比と懸濁態窒素同位体比を上昇させるが、特に、硝酸態窒素として沿岸域の底生藻類に取り込まれたものがカワナ類によって摂食されることによって、その体組織の窒素同位体比に反映されるとするモデルが得られた。

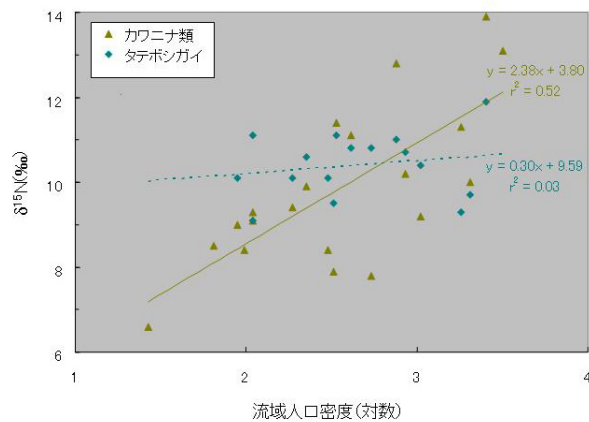


図 3.5.2-4 流域人口密度と沿岸部に生息する巻貝および二枚貝の窒素同位体比の関係。

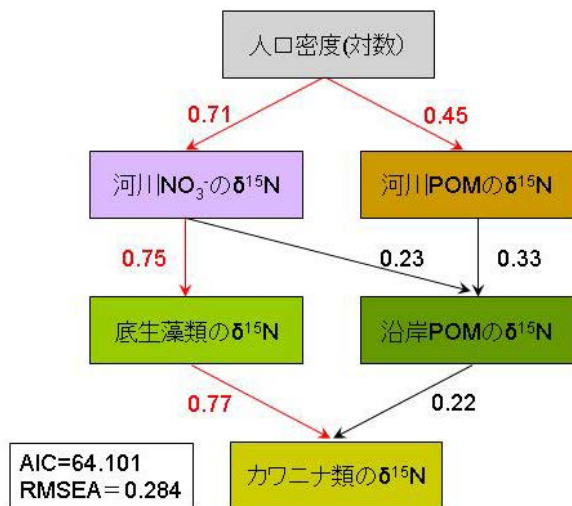


図 3.5.2-5 カワニナ類の $\delta^{15}\text{N}$ に影響する要因の共分散構造分析。パス図中で有意な効果の検出された矢印は標準化係数とともに赤色で示す。モデル適合度の指標として、AIC と RMSEA の値を示す。

一方、懸濁物濾過食者であるタテボシガイは流域の水田面積割合が増加するほど、その炭素同位体比が低下する有意な傾向を示した ($r^2=0.28, n=16, p<0.04$; 図 3.5.2-6)。また、水田面積割合は、5 月に河川から流入する POC の $\delta^{13}\text{C}$ をよく説明した ($r^2=0.26, n=30, p<0.005$)。すなわち、水田面積割合が高い河川では、河川 POC の $\delta^{13}\text{C}$ が -28‰ 前後まで低下する傾向を示した。稲ワラの $\delta^{13}\text{C}$ が流域の土地利用形態とは無関係に $-28.6\sim-25.7\text{‰}$ の範囲で保守的な値を示すことを鑑みると、タテボシガイによる懸濁態有機物の濾過摂食を通して、その $\delta^{13}\text{C}$ が河川から流入する陸性有機物の値に近接したものと推察される (図 3.5.2-6)。

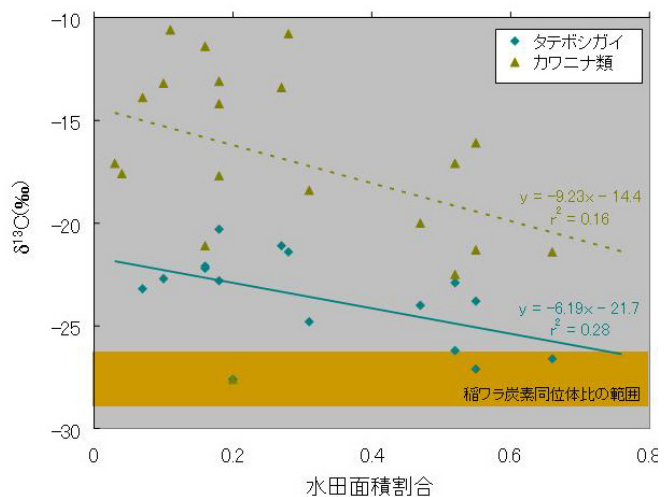


図 3.5.2-6 流域の水田面積割合と沿岸部に生息する巻貝および二枚貝の炭素同位体比の関係。

以上より、摂食機能の異なるベントスの安定同位体比を用いることで異なる人為攪乱の影響を検出することが可能となった。前節でも述べたように、河川から流入する物質の性状と負荷量は大きな季節変化を示す。一方、沿岸域に周年生息するベントスの安定同位体比は顕著な季節変化を示さないことが知られている (荻部、未発表データ)。代謝回転速度が遅く、定住性の高い巻貝類および二枚貝類の炭素・窒素安定同位体比は、流域における環境攪乱の影響を反映する指標として、理化学的環境を直接計測するよりも積分効果の高い生物ロガーとして有効であることが本研究により実証された。

(食物網構造と健全性指標)

琵琶湖沿岸域に形成されるベントス群集の生物多様性および食物網構造を比較したところ、地点間で大きな変異を示した。流入河川の影響が全くない地点、および、人為影響が大きい河川と小さい河川の流入部沿岸に形成される典型的な食物網の事例を図 3.5.2-7 に示す。流入河川のない岩礁湖岸や人為影響の小さい河川流入部では、ベントスの出現タクサ数が多く、底生藻類生産への依存率 (BPR) も高いことが分かる。

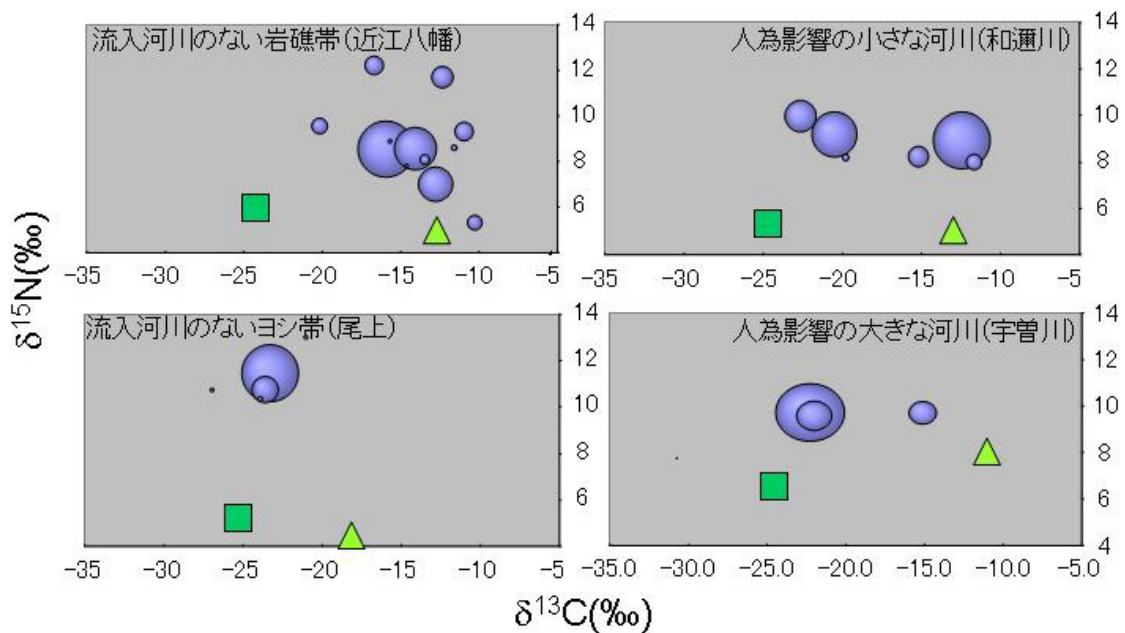


図 3.5.2-7 琵琶湖岸に形成されるベントス群集を炭素・窒素安定同位体座標平面上に投影した典型的な量的食物網マップ。各プロットは同定された分類群を表し、プロットサイズはバイオマスの大きさを示す。△と□は、沿岸生態系の一次生産者である底生藻類と植物プランクトンの餌源の同位体位置を表す。

一方、人為影響の大きな河川流入部は生物多様性が低く、*BPR* も低い。流入河川のない湖岸でも、泥底で閉鎖性の高い抽水植物湖岸ではタクサ数が少なく、栄養構造も植物プランクトンや陸性有機物生産に偏っているのが分かる。湖岸の物理・化学的環境要因が種多様度 (H') に与える影響を解析したところ、底質サイズが小さくなる、すなわち、泥化するほど種多様度が低くなる有意な傾向を示した。さらに、溶存酸素濃度が低く、クロロフィル濃度が低い地点ほど種多様度は減少した。

種多様度が高い地点では、ベントス群集の総バイオマスも高い値を示したが ($r=0.43$, $n=29$, $p<0.03$)、底質サイズが大きい湖岸ほど *BPR* が増加する有意な傾向を示した ($r=0.40$, $n=28$, $p<0.04$)。 *BPR* はベントスの出現タクサ数とも正の相関関係を示すことから ($r=0.62$, $n=28$, $p<0.001$)、底質サイズの大きい湖岸では単にベントスのタクサ数が増すだけでなく、その摂餌機能の多様性も高いということが裏付けられた。

クロロフィル濃度が増加すると種多様度が増加するという結果は、ベントス群集の多様性を高めるには適度な一次生産性も必要であることを示唆する。しかし、陸性有機物負荷の過剰な河川流入部は、底質が泥化しやすく、溶存酸素濃度が低下しやすいといった特徴からベントス多様性を低下させる効果を持つと推測される。本解析では、流域人口密度が高い河川ほど沿岸部の平均溶存酸素濃度が低下する有意な傾向を示したが ($r=0.48$, $n=28$, $p<0.02$)、溶存酸素濃度を低下させる直接的な負荷要因を特定するには至らなかった。しかし、湖水の POC 濃度が高い地点ほど溶存酸素濃度が低いことから ($r=0.61$, $n=32$, $p<0.001$)、河川水を通じた陸性有機物の流入が溶存酸素低下に関与するものと示唆される。

また、種多様度の増加はベントス群集の平均栄養段階 ($TL_{平均}$) の上昇をもたらした ($r=0.53$, $n=28$, $p<0.005$)。単位バイオマス当たりの栄養転換効率と定義される $TL_{平均}$ は、生物体としての有機態窒素がどれだけ高次生産に転換されたかを表す生態系機能の指標となりうる。

研究成果の今後期待される効果

本研究は、従来の生物多様性指標が物質循環的な観点から生態系機能、とりわけ、高次生産性を高めることを実証した初めての報告であり、その関係性を明らかにしたことは生態学的にも大変意義深い。安定同位体分析を用いた量的食物網マップは、流域生態系の健全性の診断指標として極めて有効であり、今後の流域生態系管理の現場において実用性を発揮するものと期待される。

引用文献

- 1) Cabana, G. & Rasmussen, J. B. 1996. Comparison of aquatic food chains using nitrogen isotopes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 93, 10844-10847.
- 2) 奥田昇 (2008) 食物網解析にもとづく沿岸生態系の健全性評価. In: 永田俊・宮島利宏 (編) 流域環境評価と安定同位体-水循環から生態系まで-. 京都大学出版会 pp.309-330.
- 3) 谷内茂雄・田中拓弥・陀安一郎・原雄一・中野孝教・脇田健一. 2007. 琵琶湖-淀川水系における流域管理モデルの構築. 総合地球環境学研究所 プロジェクト 3-1 最終成果報告書. pp643. ショウワドウ・イープレス, 京都
- 4) Vanderzanden, M. J., Vadeboncoeur, Y., Diebel, M. W. & Jeppesen, E. 2005. Primary consumer stable nitrogen isotopes as indicators of nutrient source. *Environmental Science & Technology*, 39, 7509-7515.

§ 4 研究参加者

①総括グループ (研究基盤の運用と観測の組織化および各種指標の構築に関する研究)

	氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
○	永田 俊	東京大学海洋研究所 海洋化学部門	教授	各種指標の構築	平成 15 年 10 月～平成 21 年 3 月
	陀安 一郎	京大大学生態学研究センター 生態学研究部門	准教授	各種指標の構築	平成 15 年 10 月～平成 21 年 3 月
	北山 兼弘	京大大学生態学研究センター 生態学研究部門	教授	各種指標の構築	平成 15 年 10 月～平成 21 年 3 月
	藤田 昇	京大大学生態学研究センター 生態学研究部門	助教	各種指標の構築	平成 15 年 10 月～平成 21 年 3 月
	大手 信人	東京大学大学院農学生命科学研究科	准教授	各種指標の構築	平成 16 年 4 月～平成 21 年 3 月
*	高津 文人	京大大学生態学研究センター 生態学研究部門	CREST 研究員	各種指標の構築	平成 16 年 4 月～平成 20 年 3 月
*	由水 千景	京大大学生態学研究センター 生態学研究部門	CREST 技術員	各種指標の構築	平成 16 年 4 月～平成 20 年 10 月
*	西村 洋子	京大大学生態学研究センター 生態学研究部門	CREST 研究補助員/教務補佐員	各種指標の構築	平成 16 年 1 月～平成 20 年 3 月

*	金 詰九	京大大学生態学 研究センター 生態学研究部門	日本学術 振興会外 国人特別 研究員	各種指標の構築	平成16年1月～ 平成19年2月
	小林 由紀	京都大学大学院 理学研究科	大学院生 (D3)	各種指標の構築	平成16年1月～ 平成21年3月
	茂手木 千晶	京都大学大学院 理学研究科	大学院生 (D3)	各種指標の構築	平成16年4月～ 平成20年3月
	槇 洸	京都大学大学院 理学研究科	大学院生 (D2)	各種指標の構築	平成17年4月～ 平成21年3月
	苅部 甚一	京都大学大学院 理学研究科	大学院生 (D2)	各種指標の構築	平成17年4月～ 平成21年3月
	伊藤 雅之	(独)農業環境技 術研究所	研究員	各種指標の構築	平成16年11月～ 平成21年3月
	尾坂 兼一	(独)農業環境技 術研究所	研究員	各種指標の構築	平成16年11月～ 平成21年3月
	石川 尚人	京都大学大学院 理学研究科	大学院生 (D1)	各種指標の構築	平成18年5月～ 平成21年3月
	横川 太一	京大大学生態学 研究センター 生態学研究部門	COE 研究 員	各種指標の構築	平成15年10月～ 平成19年3月
	大川 聡	京都大学大学院 理学研究科	大学院生 (M1)	各種指標の構築	平成18年5月～ 平成19年3月
	藤本 将光	京都大学大学院 農学研究科	研究員	各種指標の構築	平成18年5月～ 平成21年3月
*	生駒 優佳	京大大学生態学 研究センター 生態学研究部門	CREST チ ーム事務 員	各種指標の構築	平成15年11月～ 平成21年3月
	杉本 敦子	京大大学生態学 研究センター 生態学研究部門	助教授	各種指標の構築	平成15年10月～ 平成15年11月
	柴田 淳也	京大大学生態学 研究センター 生態学研究部門	研究員	各種指標の構築	平成18年11月～ 平成21年3月
	佐々木 雄治	東京農工大学大 学院農学府	大学院生 (M1)	各種指標の構築	平成19年9月～ 平成21年3月
	酒井 陽一郎	京都大学大学院 理学研究科	大学院生 (D1)	各種指標の構築	平成19年8月～ 平成21年3月
	小山 晋平	東京大学大学院 農学生命科学研 究科	大学院生 (M2)	各種指標の構築	平成19年8月～ 平成21年3月
*	伊東 亜未	京大大学生態学 研究センター 生態学研究部門	CREST 研 究補助員	各種指標の構築	平成19年4月～ 平成20年3月

②水循環・技術支援グループ（水および各種安定同位体分析技術の高度化に関する研究）

	氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
○	大河内 直彦	海洋研究開発機構 地球内部変動研究センター	グループリーダー	安定同位体分析技術の高度化と新規指標の開発研究	平成15年10月～平成21年3月
	伊藤 雅史	海洋研究開発機構	研究員	水の ¹⁷ O/ ¹⁶ O比の測定	平成16年4月～平成18年3月

③物質循環グループ（物質循環指標の開発に関する研究）

	氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
○	宮島 利宏	東京大学海洋研究所 海洋化学部門	助教	物質循環指標の構築	平成15年10月～平成21年3月
	木庭 啓介	東京農工大学大学院共生科学技術研究院	特任准教授	物質循環指標の構築	平成15年10月～平成21年3月
	吉田 尚弘	東京工業大学大学院総合理工学研究科	教授	物質循環指標の構築	平成19年4月～平成21年3月
	田中 義幸	東京大学海洋研究所	海洋科学特定研究員	物質循環指標の構築	平成17年2月～平成21年3月
	戸張 賀史	東京工業大学大学院総合理工学研究科	大学院生(D3)	物質循環指標の構築	平成15年10月～平成20年3月
	鈴木 希実	東京工業大学大学院総合理工学研究科	大学院生(D3)	物質循環指標の構築	平成16年4月～平成20年3月
	眞壁 明子	東京工業大学大学院総合理工学研究科	大学院生(D3)	物質循環指標の構築	平成16年6月～平成21年3月
	藤原 彬充	東京工業大学大学院総合理工学研究科	大学院生(M2)	物質循環指標の構築	平成17年10月～平成19年3月

④生態系グループ（生態系健全性指標の開発に関する研究）

	氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
○	竹門 康弘	京都大学防災研究所	准教授	生態系指標の構築	平成15年10月～平成21年3月
	奥田 昇	京都大学生態学研究センター 生態学研究部門	准教授	各種指標の構築	平成17年4月～平成21年3月

*	石田 裕子	京都大学防災研究所	非常勤研究員	生態系指標の構築	平成15年10月～平成20年3月
	土居 秀幸	愛媛大学 農学部	日本学術振興会特別研究員	生態系指標の構築	平成16年1月～平成21年3月
*	山本 佳奈	京都大学防災研究所	大学院生(M2)	生態系指標の構築	平成16年5月～平成18年3月
	田中 武志	京都大学防災研究所	大学院生(M2)	生態系指標の構築	平成16年9月～平成17年3月
*	波多野 圭亮	京都大学防災研究所	大学院生(M3)	生態系指標の構築	平成16年9月～平成18年3月
*	今井 義仁	京都大学防災研究所	大学院生(M2)	生態系指標の構築	平成17年5月～平成19年3月
	田崎 紘平	京都大学防災研究所	大学院生(M2)	生態系指標の構築	平成17年5月～平成19年3月
	松嶋 フィオナ	京都大学防災研究所	大学院生(M2)	生態系指標の構築	平成18年6月～平成21年3月
*	玉 基英	京都大学防災研究所	大学院生(D2)	生態系指標の構築	平成19年2月～平成21年3月

§5 招聘した研究者等

氏名(所属、役職)	招聘の目的	滞在先	滞在期間
Carol KENDALL (米国地質研究所(USGS)、主任研究員)	CREST 水循環 WS in Singapore に参加。京都大学生態学研究センター・同大学大学院農学研究科にて講演・研究議論	SUNTEC 京都大学生態学研究センター	H17.6.20-7.3
Tsogtbaatar JAMSRAN (モンゴル地球生態学研究所(IG-MAS)、所長)	国際共同研究に伴う成果の検討、ワークショップに参加、および、研究打ち合わせ及び研究打合せ	京都大学生態学研究センター	H18.3.7-3.11
Javzan CHOIJILSUREN (モンゴル地球生態学研究所(IG-MAS)、研究員)	国際共同研究に伴う成果の検討及び研究打合せ	京都大学生態学研究センター	H18.3.7-3.11
Saulyegul AVLYUSH (モンゴル地球生態学研究所(IG-MAS)、大学院生)	国際共同研究に伴う成果の検討及び研究打合せ	京都大学生態学研究センター	H18.3.7-3.11
Tsengelmaa BAYANSAN (モンゴル地球生態学研究所(IG-MAS)、大学院生)	国際共同研究に伴う成果の検討及び研究打合せ	京都大学生態学研究センター	H18.3.7-3.11
Rich SHEIBLEY (Edmonds Community College、)	流域生態系管理に関わる実験、セミナー	京都大学大学院農学研究科・京都	H18.9.1-9.13

Instructor)	ナー及び研究打合せ	大学生態学研究センター	
-------------	-----------	-------------	--

§ 6 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 9 件、国際(欧文)誌 53 件、国際 (欧文) 誌に投稿中の論文 7 件)

(国内誌)

1. 永田俊, 谷内茂雄 (2005) 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
2. 陀安一郎 (2005) 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
3. 竹門康弘 (2005) 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
4. 木庭啓介, 眞壁明子 (2006) 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
5. 高津文人(2006) 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
6. 大河内直彦 (2007) 赤潮の地球 ～クロロフィル分子化石と温室地球～. *Japan Geoscience Letters* 3(2): 4-6
7. 力石嘉人, 小川奈々子, 柏山祐一郎, 大河内直彦 (2007) 生態学指標としての安定同位体: アミノ酸の窒素同位体分析による新展開. *Radioisotopes* 56: 463-477
8. 辻野亮, 松井淳, 丑丸敦史, 瀬尾明弘, 川瀬大樹, 内橋尚妙, 鈴木健司, 高橋淳子, 湯本貴和, 竹門康弘 (2007) 深泥池湿原へのニホンジカの侵入と植生に対する採食圧. *保全生態学研究* 12: 20-27
9. 竹門康弘 (2007) 外来淡水産底生無脊椎動物の侵入実態と防除に向けた課題. *陸水学雑誌* 68: 445-447

(国際誌)

1. Nakajima, Y., Shimizu, H., Ogawa, N.O., Sakamoto, T., Okada, H., Koba, K., Kitazato, H. and Ohkouchi, N. (2004) Vertical distributions of stable isotope compositions and bacteriochlorophyll homologues in suspended particulate matter in saline meromictic Lake Abashiri. *Limnology* 5: 185-189
2. Kohzu, A., Kato, C., Iwata, T., Kishi, D., Murakami, M., Nakano, S. and Wada, E. (2004) Stream foodweb fueled by methane-derived carbon. *Aquatic Microbial Ecology* 36: 189-194
3. Ohkouchi, N., Nakajima, Y., Okada, H., Ogawa, O.N., Suga, H., Oguri, K. and Kitazato, H. (2005) Biogeochemical processes in the saline meromictic Lake Kaiike, Japan: implications from molecular isotopic evidences of photosynthetic pigments. *Environmental Microbiology* 7(7): 1009-1016
4. Chikaraishi, Y., Matsumoto, K., Ogawa, O.N., Suga, H., Kitazato, H. and Ohkouchi, N. (2005) Hydrogen, carbon and nitrogen isotopic fractionations during chlorophyll biosynthesis in C3 higher plants. *Phytochemistry* 66: 911-920
5. Kohzu, A., Miyajima, T., Tateishi, T., Watanabe, T., Takahashi, M. and Wada, E. (2005) Dynamics of ¹³C natural abundance in wood decomposing fungi and their ecophysiological implications. *Soil Biology and Biochemistry* 37: 1598-1607
6. Ohkouchi, N., Nakajima, Y., Okada, H. and Kitazato, H. (2005) Copper-chelated bacteriochlorophyll *e* homologues in sediment from an anoxic lake (Lake Abashiri, Japan). *Organic Geochemistry* 36: 1576-1580
7. Nishimura, Y., Kim, C. and Nagata, T. (2005) Vertical and seasonal variations of bacterioplankton subgroups with different nucleic acid contents: Possible regulation by phosphorus. *Applied and Environmental Microbiology* 71(10): 5828-5836
8. Kim, C., Nishimura, Y. and Nagata, T. (2005) Role of dissolved organic matter in

- hypolimnetic mineralization of carbon and nitrogen in a large, monomictic lake. *Limnology and Oceanography* 51(1): 70-78
9. Sato, T., Miyajima, T., Ogawa, H., Umezawa, Yu. and Koike, I. (2006) 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
 10. Tanaka, Y., Miyajima, T., Koike, I., Hayashibara, T. and Ogawa, H. (2006) 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
 11. Tanaka, Y., Miyajima, T., Umezawa, Y., Fukuda, H., Koike, I., Ogawa, H. and Hayashibara, T. (2006) 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* 925-931
 12. Osaka, K., Ohte, N., Koba, K., Katsuyama, M. and Nakajima, T. (2006) Hydrologic controls on nitrous oxide production and consumption in a forested headwater catchment in central Japan. *Journal of Geophysical Research* 111: G01013, doi:10.1029/2005JG000026
 13. Takemon Y., Yamamoto A., Nakashima N., Tanida K., Kishi M. and Kato M. (2006) Isolation of sperm vesicles from adult male mayflies and other insects to prepare high molecular weight genomic DNA samples. *Molecular Biology Reports* 33: 65-70
 14. Anbutsu, K., Makajima, T., Takemon, Y., Tanida, K., Goto, N. and Mitamura, O. (2006) Distribution of biogeochemical compounds in interstitial and surface standing water bodies in the gravel bar of the kizu River, Japan. *Archiv fur Hydrobiologie* 166: 145-167
 15. Takemon, Y. (2006) Ecohydrological Roles of Debris-Flow and Flood in Stream Ecosystemsand Challenges for Their Restoration. *The 6th Japan-Taiwan Joint Seminar on Natural Hazard Mitigation*, 9-11 October, Kyodai Kaikan, Kyoto, Japan. 5pp. published in CR-ROM
 16. Shimamura, T., Osaka, K., Itoh, M., Ohte, N. and Takemon, Y. (2006) Spatial distribution of nitrate in Mizoro-ga-ike, a pond with floating mat bog. *Advances in Geosciences* 6: Hydrological Science: 129-137
 17. Itoh, M., Ohte, N., Koba, K., Katsuyama, M., Hayamizu, K. and Tani, M. (2007) Hydrologic effects on methane dynamics in riparian wetlands in a temperate forest catchment. *Journal of Geophysical Research* 112: G01019, doi: 10.1029/2006JG000240
 18. Kabeya, N., Katsuyama, M., Kawasaki, M., Ohte, N. and Sugimoto, A. (2007) Estimation of mean residence times of subsurface waters using seasonal variation in deuterium excess in a small headwater catchment in Japan. *Hydrological Processes* 21: 308-322
 19. Kohzu, A., Miyajima, T., Tateishi, T., Watanabe, T., Takahashi, M. and Wada, E. (2007) Dynamics of ¹⁵N natural abundance in wood decomposing fungi and their ecophysiological implications. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 43(2): 83-94
 20. Chikaraishi, Y., Kashiyama, Y., Ogawa, N. O., Kitazato, H. and Ohkouchi, N. (2007) Metabolic control of nitrogen isotopic composition of amino acids in macroalgae and gastropods: implications for aquatic food web studies. *Marine Ecology Progress Series* 342: 85-90
 21. Kashiyama, Y., Kitazato, H. and Ohkouchi, N. (2007) An improved method for isolation and purification of sedimentary porphyrins by high-performance liquid chromatography for compound-specific isotopic analysis. *Journal of Chromatography A* 1138: 73-83
 22. Umezawa, Y., Ishitobi, T., Rungsupa, S., Onodera, S., Yamanaka, T., Yoshimizu, C., Tayasu, I., Nagata, T., Wattayakorn, G. and Taniguchi, M. (2007) Evaluation of fresh groundwater contributions to the nutrient dynamics at shallow subtidal areas adjacent to metro-Bangkok. *IAHS Publications* 312 : 169-179
 23. Anzai, K., Sasada, H. and Yoshida, N. (2007) Best pair of 3.3- μ m band transitions for isotopomer abundance ratio measurements of ¹³CH₄ to ¹²CH₄. *Japanese Journal of Applied Physics* 46: 1717-1721
 24. Sorai, M., Yoshida, N. and Ishikawa, M. (2007) Biogeochemical simulation of nitrous oxide cycle based on the major nitrogen processes. *Journal of Geophysical Research* 112: G01006,

doi:10.1029/2005JG000109

25. Yamagishi H., Westley, M. B., Popp, B. N., Toyoda, S., Yoshida, N., Watanabe, S., Koba, K. and Yamanaka, Y. (2007) Role of nitrification and denitrification on the nitrous oxide cycle in the eastern tropical North Pacific and Gulf of California. *Journal of Geophysical Research -Biogeosciences* 112: G02015, doi: 10.1029/2006JG000227
26. Charpentier, J., Farias, L., Yoshida, N., Boontanon, N. and Raimbault, P. (2007) Nitrous oxide distribution and its origin in the central and eastern South Pacific Subtropical Gyre. *Biogeosciences Discussions* 4: 1673–1702
27. Parrenin, F., Dreyfus, G., Durand, G., Fujita, S., Gagliardini, O., Gillet, F., Jouzel, J., Kawamura, K., Lhomme, N., Masson-Delmotte, V., Ritz, C., Schwander, J., Shoji, H., Uemura, R., Watanabe, O. and Yoshida, N. (2007) 1-D-ice flow modelling at EPICA Dome C and Dome Fuji, East Antarctica. *Climate of the Past* 3: 243–259
28. Uemura, R., Matsui, Y., Motoyama, H. and Yoshida, N. (2007) Deuterium and oxygen-18 determination of microliter quantities of a water sample using an automated equilibrator. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 21: 1783–1790, doi: 10.1002/rcm.3022
29. Yamada, K., Yoshida, N., Calderone, G. and Guillou, C. (2007) Determination of hydrogen, carbon and oxygen isotope ratios of ethanol in water at millimole levels. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 21: 1431-1437, doi 10.1002/rcm2977
30. Kohshima, S., Takeuchi, N., Uetake, J., Shiraiwa, T., Uemura, R., Yoshida, N., Matoba, S. and Godoi, A. (2007) Estimation of net accumulation rate at a Patagonian glacier by ice core analyses using snow algae. *Global and Planetary Change* 59: 236-244
31. Nara, H., Toyoda, S. and Yoshida, N. (2007) Measurements of stable carbon isotopic composition of ethane and propane over the western North Pacific and eastern Indian Ocean: a useful indicator of atmospheric transport process. *Journal of Atmospheric Chemistry* 56(3): 293-314, doi: 10.1007/s10874-006-9057-3
32. Umezawa, Y., Miyajima, T., Tanaka, Y. and Koike, I. (2007) Variation in internal $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ distributions and their bulk values in the brown macroalgae *Padina australis* growing in subtropical oligotrophic waters. *Journal of Phycology* 43: 437-448
33. Tanaka, Y., Miyajima, T., Koike, I., Hayashibara, T. and Ogawa, H. (2007) Imbalanced coral growth between organic tissue and carbonate skeleton brought by nutrient enrichment. *Limnology and Oceanography* 52: 1139-1146
34. Doi, H., Takemon, Y., Ohta, T., Ishida, Y. and Kikuchi, E. (2007) Effect of reach scale canopy cover on trophic pathways of caddisfly larvae in a Japanese mountain stream. *Marine and Freshwater Research* 58: 811-817
35. Nakamura, Y., Horinouchi, M., Shibuno, T., Tanaka, Y., Miyajima, T., Koike, I., Kurokura, H. and Sano, M. (2008) Evidence of ontogenic migration from mangroves to coral reefs by black tail snapper *Lutjanus fulvus*: a stable isotope approach. *Marine Ecology Progress Series* 355: 257-266
36. Danielache, S.O., Johnson, M.S., Nanbu, S., Grage, M.M., Mclinden, C. and Yoshida, N. (2008) Ab initio study of sulfur isotope fractionation in the reaction of OCS with OH. *Chemical Physics Letters* 450: 214-220
37. Toyoda, S., Yamamoto, S., Arai, S., Nara, H., Yoshida, N., Kashiwakura, K. and Akiyama, K. (2008) Isotopomeric characterization of N_2O produced, consumed, and emitted by automobiles. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 22: 603-612, doi: 10.1002/rcm.3400
38. Sugimoto, R., Kasai, A., Miyajima, T. and Fujita, K. (2008) Temporal variation in natural isotopic composition of nitrate during the development of hypoxia in a coastal marine environment. *Journal of Oceanography* 64: 39-48
39. Nomaki, H., Ogawa, N. O., Ohkouchi, N., Suga, H., Toyofuku, T., Shimanaga, M., Nakatsuka, T. and Kitazato, H. (2008) Benthic foraminifera as trophic links between phytodetritus and benthic metazoans: carbon and nitrogen isotopic evidence. *Marine Ecology Progress Series* 357: 153-164
40. Kashiyama, Y., Miyashita, H., Ohkubo, S., Ogawa, N. O., Chikaraishi, Y., Takano, Y., Suga, H., Toyofuku, T., Nomaki, H., Kitazato, H., Nagata, T. and Ohkouchi, N. (2008) Evidence of global chlorophyll d. *Science* 321: 658

41. Watanabe, K., Monaghan, M. T., Takemon, Y. and Omura, T. (2008) Biodilution of heavy metals in a stream macroinvertebrate food web: Evidence from stable isotope analysis. *Science of the Total Environment* 394: 57-67
42. Takemon, Y., Imai, Y., Kohzu, A., Nagata, T. and Ikebuchi, S. (2008) Spatial distribution patterns of allochthonous and autochthonous benthic particulate organic matter on the riverbed of a mountain stream in Kyoto, Japan. *Water Down Under 2008* 2393-2403
43. Itoh, M., Ohte, N., Koba, K., Sugimoto, A and Tani, M (2008) Analysis of methane production pathways in a riparian wetland of a temperate forest catchment, using $\delta^{13}\text{C}$ of pore water CH_4 and CO_2 , *Journal of Geophysical Research* 113, G03005, doi:10.1029/2007JG000647
44. Kohzu, A., Tayasu, I., Yoshimizu, C., Maruyama, A., Kohmatsu, Y., Hyodo, F., Onoda, Y., Igeta, A., Matsui, K., Nakano, T., Wada, E., Nagata, T. and Takemon, Y. (2008) Nitrogen stable isotopic signatures of basal food items, primary consumers and omnivores in rivers with different levels of human impact. *Ecological Research* doi: 10.1007/s11284-008-0489-x
45. Danielache, S., Eskebjerg, C., Johnson, M. S., Ueno Y. and Yoshida., N. (2008) High-precision spectroscopy of ^{32}S , ^{33}S , and ^{34}S sulfur dioxide: Ultraviolet absorption cross sections and isotope effects, *Journal of Geophysical Research (Atmosphere)* 113 doi:10.1029/2007JD009695
46. Ishikawa, T., Ueno, Y., Komiya, T., Sawaki, Y., Han, J., Shu, D., Li, Y., Maruyama, S. and Yoshida, N. Carbon isotope chemostratigraphy of a Precambrian/Cambrian boundary section in the Three Gorge area, South China: prominent global-scale isotope excursions just before the Cambrian Explosion. *Gondwana Research* 14: 193-208
47. Tanaka, Y., Miyajima, T., Koike, I., Hayashibara, T. and Ogawa, H. Production of dissolved and particulate organic matter by the reef-building corals *Porites cylindrica* and *Acropora pulchra*. *Bulletin of Marine Science* (in press)
48. Fujimoto, M., Ohte, N. and Tani, M. Effects of hillslope topography on hydrological responses in a weathered granite mountain, Japan: comparison of the runoff response between the valley-head and the side slope. *Hydrological Processes* (in press)
49. Umezawa, Y., Hosono, T., Onodera, S., Siringan, F., Buapeng, S., Delinom, R., Yoshimizu, C., Tayasu, I., Nagata, T. and Taniguchi, M. The source and mechanisms controlling nitrate and ammonium contaminations in groundwater at developing Asian-Mega cities, Metro Manila, Bangkok and Jakarta. *Science of the Total Environment* (in press)
50. Umezawa, Y., Miyajima, T. and Koike, I. Stable nitrogen isotope composition in sedimentary organic matter as a potential proxy of nitrogen sources for primary producers at a fringing coral reef. *Journal of Oceanography* (in press)
51. Uemura, R., Matsui, Y., Yoshimura, K., Motoyama, H and Yoshida, N. Evidence of deuterium excess in water vapor as an indicator of ocean surface conditions *Journal of Geophysical Research (Atmosphere)* (in press)
52. Kohzu, A., Miyajima, T., Tayasu, I., Yoshimizu, C., Hyodo, F., Matsui, K., Nakano, T., Wada, E., Fujita, N. and Nagata, T. Use of stable nitrogen isotope signatures of riparian macrophytes as an indicator of anthropogenic N inputs to river ecosystems. *Environmental Science and Technology* (in press)
53. Kobayashi, Y., Kim, C., Yoshimizu, C., Kohzu, A., Tayasu, I., Nagata, T. Longitudinal changes in bacterial community composition in epilithic biofilms of rivers: possible influences of nutrients and organic matter. *Aquatic Microbial Ecology* (in press)

(投稿中)

54. Ueno, Y., Johnson, M.S., Danielache, S.O., Eskebjerg, C., Antra, P and Yoshida, N. Photochemical Mechanism Unlocks Atmospheric History in Geological Sulfur Isotope Record. *Science* (submitted)
55. Toyoda, S., Iwai, H., Koba, K. and Yoshida, N. Isotopomeric analysis of N_2O dissolved in a river in the Tokyo metropolitan area. *Journal of Geophysical Research (Biogeosciences)* (submitted)
56. Itoh, M., Ohte, N. and Koba, K. Methane flux characteristics in forest soils under an East Asian Monsoon climate. *Soil Biology and Biochemistry* (submitted)
57. Chikaraishi, Y., Ogawa, N.O., Kashiya, Y., Takano, Y., Suga, H., Tomitani, A., Kitazato,

- H., and Ohkouchi, N. Amino acid trophic level (ATL): Aquatic food web structure based in compound-specific nitrogen isotopic compositions of amino acids. *Limnology and Oceanography* (submitted)
58. Kato, Y., Takemon, Y., Hori, M. Macroinvertebrate community structure in relation to microhabitat types on the floating mat in Mizoro-ga-ike pond, Kyoto City, Japan. *Limnology* (submitted)
59. Takano, Y., Chikaraishi, Y., Ogawa, N. O., Kitazato, H., and Ohkouchi N. Diastereomerization and cation-exchange for the precise determination of nitrogen isotopic composition of alanine enantiomers. *Analytical Chemistry* (submitted)
60. Miyajima, T., Yoshimizu, C., Tsuboi, Y., Tanaka, Y., Tayasu, I., Nagata, T., Koike, I. Longitudinal distribution of nitrate $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$ in two contrasting tropical rivers: Implications for instream nitrogen cycling. *Biogeochemistry* (submitted)

(2) 学会発表 (国際学会発表及び主要な国内学会発表)

①招待講演 (国内会議 5件、国際会議 8件)

(国内会議)

1. 竹門康弘 水生生物にとって必要な水辺環境とその存続の仕組み. 公開シンポジウム「身近な水環境の保全と再生: 人間は水環境と共生できるか?」日本陸水学会第71回大会 (松山大会) 愛媛大学. 2006.9.18.
2. 竹門康弘: 生息場の科学としての応用生態工学. 応用生態工学会10周年記念シンポジウム『応用生態工学会の10年とこれから』-土木工学と生態学の壁はとりのぞかれたか?- 東京大学. 2006.10.1.
3. 永田俊: ウランバートル市内トル川の水質と水循環について. モンゴルエコフォーラム 第3回モンゴルの環境は今-環境問題の最前線-. 駐日モンゴル大使館 2006.11.25
4. 宮島利宏: 陸水域におけるマンガンの酸化還元サイクル—琵琶湖の場合を例に. 日本地球惑星科学連合2007大会. 幕張メッセ国際会議場. 2007.5.19
5. 永田俊: 地球温暖化と琵琶湖の生態系. 環境大臣会合開催記念 APN 国際セミナー「地球温暖化と生態系・生物多様性の変化: 変わりゆく生態系にどのように向き合うか?」兵庫県立美術館 ミュージアムホール. 2007.12.2

(国際会議)

1. Nagata, T., Kohzu, A., Yoshimizu, C., Tayasu, I. and Ohte, N.: 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
2. Takemon, Y.: Ecological impacts of reservoir dams on river ecosystems in Tai waters. AOGS 3rd Annual Meeting Public Lecture. SUNTEC, Singapore. 2006.7.13
3. Ohkouchi, N., Kashiya, Y., Chikaraishi, Y., Ogawa, N.O., Tada, R. and Kitazato, H.: Nitrogen isotopic composition of chlorophylls and porphyrins in geological samples as tools for reconstructing paleoenvironment. 16th Annual V.M. Goldschmidt Conference 2006. Melbourne Exhibition and Convention Centre, Melbourne, Australia. 2006.8.28
4. Koba, K., Osaka, K., Tobari, Y., Toyoda, S., Ohte, N., Katsuyama, M., Suzuki, N., Itoh, M., Yamagishi, H., Kawasaki, M., Kim, S., Yoshida, N. and Nakajima, T.: Characterization of N_2O in a temperate forested ecosystem by natural abundances of stable isotopes. The 4th Okazaki Biology Conference on 'Terra Microbiology II'. Okazaki Conference Center, Okazaki, Japan. 2006.9.12
5. Ohte, N., Fujimoto, M., Asano, Y. and Uchida, T.: Conceptual modeling approach to explain the spatial variability of streamwater chemistry in the meso-scale forested catchment under Asian monsoon climate: focusing on variability-scale relationship. IAHS, International Symposium on "Hydrology delivering Earth System Science to Society", Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Japan. 2007.2.29.
6. Ohte, N., Nagata, T., Tayasu, I., Kohzu, A., Yoshimizu, C. and Osaka, K.: Simultaneous measurement of nitrogen and oxygen isotopes of nitrate to survey the sources and

transformation of nitrogen loads in rivers. Technical Meeting on the application of isotope techniques for nutrient cycling and management in rivers. International Atomic Energy Agency. The Vienna International Centre, Vienna, Austria. 2007.10.9

7. Ohkouchi, N., Chikaraishi, Y., Kashiyama, Y. and Ogawa, N.O.: Tetrapyrroles in ancient sediments: Tools for reconstructing environments in the geological past. 7th International Conference on Tetrapyrrole Photoreceptors and Photosynthetic Organisms. Kyoto TERRSA, Kyoto, Japan. 2007.12.10
8. Makabe, A., Koba, K., Toyoda, S. and Yoshida, N.: Isotopomeric signature of nitrous oxide discharged from Lake Biwa in Japan and a polluted river in Mongolia. 2007 AGU Fall Meeting. Moscone Center West, California, USA. 2007.12.13

②口頭発表 (国内会議 96 件、国際会議 44 件)

(国内会議)

1. 竹門康弘: 柿田川における底生動物群集の構造と特徴. 柿田川生態系研究会. 三島グランドホテル. 2004.6.6
2. 竹門康弘: 河川生態系評価の生息場所-群集アプローチ-. 第 51 回日本生態学会釧路大会. 釧路市観光国際交流センター. 2004.8.26
3. 陀安一郎¹: 流域生態圏の環境診断-安定同位体アプローチ-.第 51 回日本生態学会釧路大会. 釧路市観光国際交流センター. 2004.8.26
4. 高津文人:メタンガス由来の炭素によって駆動する河川食物網. 第 51 回日本生態学会釧路大会. 釧路市観光国際交流センター. 2004.8.26
5. 由水千景, 西村洋子, Kim Chulgoo, 永田俊: 琵琶湖深水層における溶存酸素の消費. 第 69 回日本陸水学会新潟大会. 新潟大学. 2004.9.18
6. 佐藤妙子, 宮島利宏, 梅澤有, 小池勲夫, 小川浩史: 隅田川河口域におけるサイズ別粒状有機物の炭素・窒素安定同位体比による起源解析. 日本海洋学会 2004 年秋季大会. 2004.9.26
7. 木庭啓介: 安定同位体比を用いた流域における窒素循環研究. 第 52 回日本生態学会大阪大会. 大阪国際会議場. 2005.3.27
8. 眞壁明子, 木庭啓介, 豊田栄, 戸張賀史, 吉田尚弘, 高津文人, 由水千景, 小川奈々子, 大河内直彦, 金詰九, 小林由紀, 陀安一郎, 永田俊: 安定同位体比を用いた都市河川における窒素化合物の挙動解明. 第 52 回日本生態学会大阪大会. 大阪国際会議場. 2005.3.27
9. 鈴木希実, 木庭啓介, 戸張賀史, 山田桂大, 豊田栄, 吉田尚弘, 伊藤雅之, 尾坂兼一, 大手信人, 勝山正則, 永田俊: 安定同位体比を用いた森林土壌におけるメタン動態の解析. 第 52 回日本生態学会大阪大会. 大阪国際会議場. 2005.3.27
10. 大手信人: 乾燥地の中規模河川の水質に及ぼす流域の水文環境・土地利用. 第 52 回日本生態学会大阪大会. 大阪国際会議場. 2005.3.27
11. 高津文人: 琵琶湖流入河川の富栄養化と食物網構造の関係. 第 52 回日本生態学会大阪大会. 大阪国際会議場. 2005.3.27
12. 田中泰章, 宮島利宏, 小池勲夫, 小川浩史, 林原毅: ^{13}C ・ ^{15}N 安定同位体トレーサーを用いた造礁サンゴによる有機物生産に関する研究. 日本海洋学会 2005 年春季大会. 2005.3.28
13. 木庭啓介: 森林生態系における物質循環研究への窒素安定同位体比の利用. 第 116 回日本森林学会大会. 北海道大学. 2005.3.30
14. 永田俊: Nitrogen pollution, food web structure and microbial diversity in rivers. 第 52 回日本生態学会大阪大会企画シンポジウム”Relationships between biodiversity and ecosystem functioning across different scales”. 大阪国際会議場. 2005.3.30
15. 小林由紀, Kim Chulgoo, 由水千景, 高津文人, 陀安一郎, 永田俊: 河床バイオフィームにおける細菌群集の存在量と多様性. 第 52 回日本生態学会大阪大会. 大阪国際会議場. 2005.3.30
16. 陀安一郎: 安定同位体が語る世界～土壌動物・集水域・物質循環. 第 28 回日本土壌動

- 物学会大会公開講座. 名古屋大学農学部. 2005.5.28
17. Kim Chulgoo, Nishimura, Yoko, Nagata Toshi: Role of dissolved organic matter in hypolimnetic mineralization of carbon and nitrogen in a large monomictic lake. 第2回日韓合同陸水シンポジウム. 大阪国際交流センター. 2005.9.17
 18. 西村洋子, 永田俊: 琵琶湖北湖沖合における糸状細菌群集の季節変動-生物量と系統分類群組成. 日本陸水学会第70回大会(大阪大会). 大阪教育大学. 2005.9.20
 19. 小林由紀, 金詰九, 由水千景, 高津文人, 陀安一郎, 永田俊: 栄養条件の異なる河川環境における石面付付着細菌群集の組成と多様性. 日本陸水学会第70回大会(大阪大会). 大阪教育大学. 2005.9.20
 20. 金詰九, 西村洋子, 永田俊: 琵琶湖における有機基質の鉛直輸送媒体としての溶存有機物の役割. 日本陸水学会第70回大会(大阪大会). 大阪教育大学. 2005.9.20
 21. 陀安一郎, 由水千景, 和田英太郎, 永田俊: 琵琶湖北湖沖合における溶存酸素の生成・消費と輸送 - 酸素安定同位体比を用いた解析. 日本陸水学会第70回大会(大阪大会). 大阪教育大学. 2005.9.20
 22. 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: 厚岸水系における一次生産者の炭素・窒素安定同位体比の時空間変動. 2005年度日本ベントス学会・プランクトン学会合同大会. 厚岸町役場庁舎. 2005.9.25
 23. 大河内直彦, 伊藤雅史, 永田俊: 固体高分子膜を用いた微量天然水試料の酸素同位体比($\delta^{17}\text{O}$, $\delta^{18}\text{O}$)測定方法の開発. 2005年度(第52回)日本地球化学会. 琉球大学. 2005.9.28
 24. 石田裕子, 竹門康弘, 池淵周一: 溪流におけるカワヨシノボリの産卵場所と生育場所の選好性比較. 応用生態工学会第9回研究発表会. 科学技術館サイエンスホール. 2005.10.1
 25. 高津文人, 由水千景, 金詰九, 陀安一郎, 永田俊: 水草の炭素、窒素安定同位体比による河川環境評価. 応用生態工学会第9回研究発表会. 科学技術館サイエンスホール. 2005.10.2
 26. 陀安一郎, 和田英太郎, 谷内茂雄, 永田俊: 安定同位体を用いた琵琶湖集水域研究. (社)日本水環境学会関西支部第5回研究発表会. キャンパスプラザ京都. 2005.11.15
 27. 石田裕子, 竹門康弘, 池淵周一: 土砂堆積構造に基づく生息場把握法-カワヨシノボリの生活史を通じた研究例-. 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
 28. 陀安一郎, 由水千景, 和田英太郎, 永田俊: 酸素安定同位体比を用いた、琵琶湖北湖沖合における溶存酸素動態解析. 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). 2006.3.27
 29. 高津文人, 宮島利宏, 立石貴浩, 渡辺隆司, 高橋旨象, 和田英太郎: 大気由来窒素を吸収する木材腐朽菌. 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). 2006.3.27
 30. 柏山祐一郎, 小川奈々子, 菅寿美, 多田隆治, 北里洋, 大河内直彦: Nitrogen and carbon isotopic analyses on sedimentary porphyrins: A novel proxy for the paleo-photoautotrophs. 地球惑星科学関連学会2006年合同大会. 幕張メッセ国際会議場. 2006.5.17
 31. 小川奈々子, 野牧秀隆, 柏山祐一郎, 力石嘉人, 和田英太郎, 大河内直彦, 北里洋: 生元素安定同位体比を用いた生態系構造解析とその応用. 第54回質量分析総合討論会. 千里ライフサイエンスセンタービル. 2006.5.19
 32. 力石嘉人, 柏山祐一郎, 小川奈々子, 北里洋, 野本信也, 大河内直彦: GC/C/IRMSを用いたクロロフィルの窒素同位体比分析. 第24回有機地球化学会シンポジウム. 信州大学理学部. 2006.8.3
 33. 柏山祐一郎, 小川奈々子, 力石嘉人, 多田隆治, 北里洋, 大河内直彦: ポルフィリンの窒素・炭素同位体比分析. 第24回有機地球化学会シンポジウム. 信州大学理学部. 2006.8.3

34. 力石嘉人, 柏山祐一郎, 多田洋平, 豊福高志, 小川奈々子, 北里洋, 大河内直彦 : GC/C/IRMS によるアミノ酸の分子レベル安定窒素同位体比分析: 生体アミノ酸の窒素同位体比変動メカニズムの解明と生態学研究への応用. 2006 年度日本地球化学会年会. 日本大学文理学部. 2006.9.15
35. 小川奈々子, 力石嘉人, 和田英太郎, 北里洋, 大河内直彦: 魚類ウロコのアミノ酸窒素安定同位体比を用いた生物的窒素循環の解析. 2006 年度日本地球化学会年会. 日本大学文理学部. 2006.9.15
36. 大河内直彦, 柏山祐一郎, 力石嘉人, 小川奈々子, 北里洋: クロロフィル起源のバイオマーカーを用いた古海洋環境の推定. 日本地質学会第 113 年学術大会. 高知大学. 2006.9.16
37. 武田英祐, 浅枝隆, Siong Kian, 山室真澄, 田中善幸, 宮島利宏, 小池勲夫: 炭素および窒素の安定同位体比から見た gyttja 上のシャジクモの栄養塩源. 日本陸水学会第 71 回大会 (松山大会) 愛媛大学. 2006.9.17
38. 竹門康弘: 水生生物にとって必要な水辺環境とその存続の仕組み. 日本陸水学会第 71 回大会 (松山大会) 公開シンポジウム身近な水環境の保全と再生: 人間は水環境と共生できるか? 愛媛大学. 2006.9.18
39. 石田裕子, 竹門康弘, 池淵周一: 土砂堆積構造の階層スケールから見た河川の生息場評価—カワヨシノボリの研究例を中心に—. 日本陸水学会第 71 回大会 (松山大会) 課題講演 2, 河川生態系の構造と機能: 超マイクロハビタットから景観スケールまで. 愛媛大学. 2006.9.18
40. 竹門康弘: 河川における生息場多様性と種多様性の階層的関係」日本陸水学会第 71 回大会 (松山大会) 課題講演 2, 河川生態系の構造と機能: 超マイクロハビタットから景観スケールまで. 愛媛大学. 2006.9.18
41. 西村洋子, Kim Chulgoo, 由水千景, 永田俊: 琵琶湖深水層における浮遊性細菌群集の動態. 日本陸水学会第 71 回大会 (松山大会) 愛媛大学. 2006.9.18
42. Kim Chulgoo, 由水千景, 槇洗, 陀安一郎, 永田俊: 琵琶湖深水層への有機物供給と無機化-炭素安定同位体比を用いた解析. 日本陸水学会第 71 回大会 (松山大会) 愛媛大学. 2006.9.18
43. 槇洗, Kim Chulgoo, 由水千景, 陀安一郎, 永田俊: 琵琶湖沖合の細菌群集による陸起源有機物の利用-炭素安定同位体比による推定-. 日本陸水学会第 71 回大会 (松山大会) 愛媛大学. 2006.9.18
44. 杉本亮, 笠井亮秀, 宮島利宏, 藤田弘一: 伊勢湾における無機態窒素の挙動と低次生産機構の解明. 2006 年度日本海洋学会秋季大会. 名古屋大学. 2006.9.27
45. 田中泰章, 宮島利宏, 小池勲夫, 小川浩史, 林原毅: サンゴ群体からの有機物排出とその分解速度について. 2006 年度日本海洋学会秋季大会. 名古屋大学. 2006.9.28
46. 竹門康弘: 生息場の科学としての応用生態工学. 応用生態工学会 10 周年記念東京大会 記念シンポジウム「応用生態工学会の 10 年とこれから—土木工学と生態学の壁はとりのぞかれたか?—」. 東京大学農学部, 2006.10.1
47. 小林由紀, Kim Chulgoo, 由水千景, 高津文人, 陀安一郎, 永田俊: 人為影響を強く受けた河川における礫上バイオフィーム細菌群集の組成と多様性の流下変化. 日本微生物生態学会 第 22 回大会. 東京大学. 2006.10.28
48. 竹門康弘: 貯水ダム下流の生態系影響とその伝播距離. 土木学会水工学委員会環境水理部会. シンポジウム貯水池土砂管理の現状と将来. 京大桂キャンパス. 2006.12.1
49. 竹門康弘: 流域環境と溪流生態系の関係. 全国フィールド科学シンポジウム, 森—里—海をつなぐフィールドサイエンス. 京都大学国際交流ホール. 2006.12.19
50. 安部倉完, 竹門康弘, 堀道雄: 深泥池の外来魚防除事業. 日本生態学会第 54 回大会自由集会「地域生態系の保全・再生に関する合意形成とそれを支えるモニタリング技術の開発」愛媛大学. 2007.3.19.
51. 田中賢治, 嶋村鉄也, 竹門康弘, 池淵周一: 深泥池における生態水文学的管理手法の

- 開発. 日本生態学会第 54 回大会自由集会「地域生態系の保全・再生に関する合意形成とそれを支えるモニタリング技術の開発」愛媛大学. 2007.3.19.
52. 陀安一郎, 由水千景, Kim Chulgoo, 榎洗, 西村洋子, 後藤直成, 永田俊: 琵琶湖北湖沖合における溶存酸素動態-酸素安定同位体比を用いて. 日本生態学会 第 54 回大会 (愛媛). 愛媛大学. 2007.3.20
 53. 竹門康弘: ダム湖が下流環境に与える影響解析. 流域の保全: 大規模な止水域が流域環境に与える影響解析. 日本生態学会 第 54 回大会 (愛媛) 公募シンポジウム「流域の保全: 大規模な止水域が流域環境に与える影響解析」. 愛媛大学. 2007.3.21
 54. 竹門康弘, 岩崎敬二: 淡水産外来無脊椎動物の侵入実態と防除に向けた課題. 日本生態学会第 54 回大会自由集会. 愛媛大学. 2007.3.22.
 55. 木庭啓介: 安定同位体比を用いた窒素循環と酸化還元状態へのアプローチ. 日本地球惑星科学連合 2007 大会. 幕張メッセ国際会議場. 2007.5.19
 56. 吉田尚弘: 惑星地球環境生命を貫く物質循環とフィールド科学としての包容力. 日本地球惑星科学連合 2007 大会. 幕張メッセ国際会議場. 2007.5.22
 57. 梅澤有, 細野高啓, 小野寺真一, 由水千景, 陀安一郎, 永田俊, 谷口真人: アジア大都市における地下水中の硝酸汚染の時空間的な起源の評価. 日本地球惑星科学連合 2007 大会. 幕張メッセ国際会議場. 2007.5.23
 58. 大河内直彦, 力石嘉人, 柏山祐一郎, 小川奈々子, 豊福高志, 北里洋: 古環境における食物網解析. 日本地球惑星科学連合 2007 大会. 幕張メッセ国際会議場. 2007.5.22
 59. 力石嘉人, 北里洋, 野本信也, 大河内直彦: 榛名湖堆積物中のクロロ色素・フェオ色素の起源. 2007 年度日本有機地球化学会. 第 25 回有機地球化学シンポジウム. 金沢大学. 2007.7.26-27
 60. 永田俊, 陀安一郎, 由水千景, 高津文人, 大手信人, 眞壁明子, 木庭啓介, 宮島利宏: 各種安定同位体比を用いた琵琶湖の物質循環系の解析. 日本陸水学会第 72 回水戸大会. 茨城大学水戸キャンパス. 2007.9.11
 61. 陀安一郎, 由水千景, Kim Chulgoo, 榎洗, 西村洋子, 後藤直成, 永田俊: 酸素安定同位体比の年間変動からみた、琵琶湖北湖沖合における溶存酸素動態. 日本陸水学会第 72 回水戸大会. 茨城大学水戸キャンパス. 2007.9.11
 62. 由水千景, 陀安一郎, Kim Chulgoo, 榎洗, 西村洋子, 永田俊: 琵琶湖における懸濁態有機物の鉛直輸送と分解—窒素安定同位体比による解析—. 日本陸水学会第 72 回水戸大会. 茨城大学水戸キャンパス. 2007.9.11
 63. 荻部甚一, 武山智博, 酒井陽一郎, 奥田昇, 由水千景, 永田俊, 陀安一郎: 琵琶湖流入河川が沿岸ベントス群集に及ぼす影響. 日本陸水学会第 72 回水戸大会. 茨城大学水戸キャンパス. 2007.9.11
 64. 酒井陽一郎, 武山智博, 荻部甚一, 小板橋忠俊, 陀安一郎, 由水千景, 永田俊, 奥田昇: 安定同位体比から見た琵琶湖沿岸 POM の形成過程と時空間変異. 日本陸水学会第 72 回水戸大会. 茨城大学水戸キャンパス. 2007.9.11
 65. 榎洗, Kim Chulgoo, 由水千景, 陀安一郎, 永田俊: 琵琶湖北湖における溶存有機物の起源と鉛直輸送-炭素安定同位体比による解析-. 日本陸水学会第 72 回水戸大会. 茨城大学水戸キャンパス. 2007.9.11
 66. 宮島利宏, 由水千景, 大手信人, 眞壁明子, 木庭啓介, 陀安一郎, 永田俊: 硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比から見た琵琶湖の窒素循環. 日本陸水学会第 72 回水戸大会. 茨城大学水戸キャンパス. 2007.9.11
 67. 眞壁明子, 木庭啓介, 由水千景, 小川奈々子, 陀安一郎, Kim Chulgoo, 大河内直彦, 豊田栄, 吉田尚弘, 永田俊: 安定同位体からみた琵琶湖における一酸化二窒素の生成機構. 日本陸水学会第 72 回水戸大会. 茨城大学水戸キャンパス. 2007.9.11
 68. 嶋田智皓, 高松信樹, 上田眞吾, 陀安一郎, 由水千景, 和田英太郎: 西印旛沼集水域における窒素化学種の起源と挙動-安定同位体比による解析-. 日本陸水学会第 72 回水戸大会. 茨城大学水戸キャンパス. 2007.9.13

69. 力石嘉人, 柏山祐一郎, 小川奈々子, 高野淑識, 菅寿美, 福高志, 富谷朗子, 北里洋, 大河内直彦: 有機化合物の分子レベル安定窒素同位体比分析による地球環境解析-2: アミノ酸. 2007年度日本地球化学会年会. 岡山大学津島キャンパス. 2007.9.20
70. 河野恒平, 吉田磨, 山田桂大, 渡邊修一, 若土正暁, 吉田尚弘: 安定同位体比を用いたオホーツク海における溶存メタンの解析. 2007年度日本海洋学会秋季大会. 琉球大学工学部. 2007.9.26
71. 中村洋平, 堀之内正博, 渋谷拓郎, 田中義幸, 宮島利宏, 小池勲夫, 黒倉寿, 佐野光彦: マングローブ域は稚魚の成育場になっているのか?: 安定同位体比分析を用いた成育場評価. 2007年度日本魚類学会大会. 北海道大学学術交流会館. 2007.10.7
72. 田中泰章, 宮島利宏, 小池勲夫, 小川浩史, 林原毅: 富栄養化がサンゴ群体からの有機物排出に与える影響. 日本サンゴ礁学会大会第10回大会. 琉球大学. 2007.11.23
73. 杉本亮, 笠井亮秀, 宮島利宏, 藤田弘一: 窒素安定同位体比に基づく伊勢湾における低次生産機構の解明. 2007年度日本水産海洋学会大会. 静岡県産業経済会館. 2007.11.23
74. 笠井亮秀, 杉本亮, 宮島利宏, 藤田弘一: 伊勢湾における無機態窒素の安定同位体比特性. 2007年度日本水産海洋学会大会. 静岡県産業経済会館. 2007.11.23
75. 加藤義和, 奥田昇, 陀安一郎, 竹門康弘, 堀道雄: 高層湿原の植生に応じた底生動物群集の食物網. 日本生態学会第55回大会(福岡). 福岡国際会議場. 2008.3.15.
76. 陀安一郎: モンゴル国ウランバートル近郊河川における各種同位体比の日変動. 日本生態学会第55回大会(福岡). 福岡国際会議場. 2008.3.16
77. 大手信人: 硝酸の窒素・酸素同位体比同時測定による栄養塩動態解析. 日本生態学会第55回大会(福岡). 福岡国際会議場. 2008.3.16
78. 永田俊: 安定同位体解析を用いた集水域研究. 日本生態学会第55回大会(福岡). 福岡国際会議場. 2008.3.16
79. 高津文人: 河川環境と生物の安定同位体比. 日本生態学会第55回大会(福岡). 福岡国際会議場. 2008.3.16
80. 眞壁明子, 木庭啓介: 河川における一酸化二窒素の動態 - 硝化・脱窒におけるアイソトポマー比を利用して -. 日本生態学会第55回大会(福岡). 福岡国際会議場. 2008.3.16
81. 梅澤有, 宮島利宏, 田中泰章, 大葉英雄, 林原毅, 由水千景, 陀安一郎, 永田俊: 大型藻類の硝酸塩取り込みに伴う同位体分別効果の定量. 東京海洋大学品川キャンパス. 2008.3.27
82. 杉本亮, 笠井亮秀, 宮島利宏, 藤田弘一: 伊勢湾における無機態窒素の挙動と低次生産機構の解明—陸棚域の硝酸態窒素の起源と挙動. 日本海洋学会2008年春季大会. 東京海洋大学品川キャンパス. 2008.3.27
83. 吉田尚弘, 上野雄一郎: SO₂光解離と非質量依存同位体分別. 日本地球惑星科学連合2008大会. 幕張メッセ国際会議場. 2008.5.26
84. Antra Pandey: Determination of internal distribution of ¹⁷O in ozone: Implication for Earth's atmosphere. 日本地球惑星科学連合2008大会. 幕張メッセ国際会議場. 2008.5.26
85. 竹門康弘, 小林草平: 森林伐採と土石流発生の履歴が溪流の生息場構造に及ぼす影響. 水文・水資源学会2008年度研究発表会講演要旨集. pp.56-57. 東京大学・生産技術研究所. 2008.8.27
86. 鈴木淳史, 竹門康弘: 底生動物群集を用いた鴨川の河道内湧水の環境評価. 土木学会第63回年次学術講演会. 東北大学. 2008.9.12
87. 中川麻悠子, 上野雄一郎, 吉田尚弘: 四種硫黄同位体比を用いた成層湖、深見池における季節変動解析. 日本地球化学会. 東京大学教養学部. 2008.9
88. 山田健太郎, 上野雄一郎, 山田桂大, 吉田尚弘, 丸山茂徳: 南中国三峡地域の原生代/顕生累代境界層から抽出したバイオマーカー. 日本地球化学会. 東京大学教養学部. 2008.9.17

89. 阿部理, 早川和秀, VVSS Sarma, 吉田尚弘: 溶存酸素の三種同位体組成による水圏 O₂ 収支評価～. 日本地球化学会. 東京大学教養学部. 2008.9.18
90. 豊田栄, 岩井宏之, 木庭啓介, 吉田尚弘: アイソトポマー比を用いた都市河川における N₂O の動態解析. 日本地球化学会. 東京大学教養学部. 2008.9.18
91. 上野雄一郎, ダニエラチェ セバスチャン, 吉田尚弘, ジョンソンマシュー: 二酸化硫黄の光解離と太古代原生代境界の硫黄同位体異常. 日本地球化学会. 東京大学教養学部. 2008.9.19
92. 田畑美幸, 上野雄一郎, 石川智子, 澤木佑介, 小宮剛, 吉田尚弘, 丸山茂徳: 南中国、エディアカラ紀炭酸塩岩の高解像度炭素,酸素同位体化学層序. 日本地球化学会. 東京大学教養学部. 2008.9
93. 鶴岡昂, 上野雄一郎, 小宮剛, 西澤学, 丸山茂徳, 吉田尚弘: 四種硫黄同位体分析による～29 億年前の硫黄循環の推定 (東工大). 日本地球化学会. 東京大学教養学部. 2008.9
94. 加藤 義和, 竹門 康弘, 奥田 昇, 陀安 一郎, 堀道雄: ミズゴケ湿原 (京都市深泥池) の植生類型に応じたガムシの栄養経路. 日本陸水学会第 73 回札幌大会. 北海道大学学術交流会館. 2008.10.11
95. 陀安一郎, 由水千景, 永田俊: 琵琶湖北湖沖合における溶存酸素の消費過程: 酸素消費に伴う酸素同位体分別係数測定実験より. 日本陸水学会第 73 回札幌大会. 北海道大学学術交流会館. 2008.10.13
96. 槇洸, Kim Chulgoo, 由水千景, 陀安一郎, 宮島利宏, 永田俊: 琵琶湖における細菌粒径画分有機物の窒素安定同位体比の季節的・鉛直的な変動. 日本陸水学会第 73 回札幌大会. 北海道大学学術交流会館. 2008.10.13

(国際会議)

1. Nagata, T.: Integrated assessment of watershed ecosystems by the use of stable isotope ratios of water, nutrients and organism. 日韓合同セミナー”Ecohydraulics and Ecological Process – Principle, Practical, and Evaluation”, Kyung-Hee University, Korea, 2004.7.5
2. Kohzu, A.: Nitrogen isotope ratios of riverine organisms and sediments - New indicators of human impacts on river ecosystems. 日韓合同セミナー”Ecohydraulics and Ecological Process – Principle, Practical, and Evaluation”, Kyung-Hee University, Korea, 2004.7.5
3. Takemon, Y.: Integration of habitat index and trophic 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
4. Ohte, N.: Relationship between spatial distribution of the streamwater chemistry and catchment-scale geomorphic characteristics: Conceptual model approach focusing on subsurface and groundwater interaction. American Geophysical Union 2004 Fall Meeting. California, U.S.A. 2004.12.14
5. Osaka, K.: Hydrologic controls on nitrous oxide production and consumption in a forested headwater catchment in central Japan. American Geophysical Union 2004 Fall Meeting. California, U.S.A. 2004.12.14
6. Itoh, M.: Spatial and Temporal Variation Of Methane Fluxes In A Small Humid Temperate Forest Watershed In Japan. American Geophysical Union 2004 Fall Meeting. California, U.S.A. 2004.12.16
7. Nagata, T., Kohzu, A., Yoshimizu, C. and Tayasu, I.: Integrated assessment of watershed ecosystems by the use of stable isotope ratios. AOGS 2nd Annual Meeting 2005. SUNTEC, Singapore. 2005.6.23
8. Takemon, Y., Yamamoto, K., Ikebuchi, S.: 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
9. Ohte, N., Tokuchi, N., Hobar, S., Katsuyama, M., Kim, S.: Impacts of forest defoliation by pine wilt disease on biogeochemical cycling and streamwater chemistry in a headwater catchment in central Japan. AOGS 2nd Annual Meeting 2005. SUNTEC, Singapore. 2005.6.23

10. Kohzu, A., Tayasu, I., Maruyama, A., Kohmatsu, Y., Hyodo, F., Onoda, Y., Igeta, A., Matsui, K., Nakano, T., Wada, E., Nagata, T., Takmon, Y.: Nitrogen isotope ratios of aquatic organisms and sediments –New indicators of human impacts on river ecosystems. AOGS 2nd Annual Meeting 2005. SUNTEC, Singapore. 2005.6.23
11. Tayasu, I., Yoshimizu, C., Wada, E., Nagata, T.: Estimation of production/respiration in Lake Biwa by stable isotope ratio of dissolved oxygen and oxygen consumption rate. AOGS 2nd Annual Meeting 2005. SUNTEC, Singapore. 2005.6.24
12. Nagata, T., Kohzu, A., Yoshimizu, C., Tayasu, I. and Ohte, N. : Integrated assessment of watershed ecosystems by the use of multiple stable isotope ratios - A case study in the Lake Biwa watershed -. The 11th Japan-US Workshop on Global Change "Biodiversity, Ecosystem Function, and Dynamic Human-Nature Interactions". 独立行政法人海洋研究開発機構横浜研究所. 2005.10.31
13. Ohte, N., Fujimoto, M., Ohtsuka, I. and Mimasu, Y.: Effect of the in-stream processes on spatial distribution of stream nitrate concentration in the meso-scale headwater catchment. 2006 AGU Joint Assembly. Baltimore Convention Center, Baltimore Maryland, USA. 2006.5.25
14. Shimamura, T., Osaka, K., Itoh, M., Ohte, N, Takemon, Y.: Pathways of nutrient loading and effects of emergent plants in Mizoro-ga-ike, a pond with floating mat bog. The 4th Cross-Visit Bi-national Seminar between Korea and Japan on Ecological Engineering. Honam University, Gwangju, Korea 2006.7.17
15. Ishida, Y., Takemon, Y., Ikebuchi, S.: Hierarchical measurement of habitat preference of goby fish within the a segment scale of Kurama Stream. The 4th Cross-Visit Bi-national Seminar between Korea and Japan on Ecological Engineering. Honam University, Gwangju, Korea 2006.7.17
16. Chikaraishi, Y., Kashiyama, Y., Ogawa, N. O., Kitazato, H., Nomoto, S., and Ohkouchi, N. : Stable nitrogen isotope analysis of chlorophylls by gas chromatography-isotope ratio mass spectrometry. 16th Annual V.M. Goldschmidt Conference 2006. Melbourne Exhibition and Convention Centre, Melbourne, Australia. 2006.8.28
17. Eglinton, T.I., Ohkouchi, N., Drenzek, N., Dickens, A., Mollenhauer, G., Schefuss, E., Sessions, A., Montlucon, D., Sylva, S., Hayes, J. M.: Multi-isotopic constraints on the origin and fate of n-alkyl lipids in recent sediments. 16th Annual V.M. Goldschmidt Conference 2006. Melbourne Exhibition and Convention Centre, Melbourne , Australia. 2006.8.28
18. Makabe, A., Koba, K., Yoshimizu, C., Tayasu, I., Kim, C., Ohkouchi, N., Tobari, Y., Nagata, T., Ogawa, N.O., Toyoda, S., Yoshida, N.: Nitrogen dynamics in Lake Biwa using stable isotopes. Third International Symposium on Isotopomers. University of California, California, USA. 2006.8.31
19. Sugimoto, R., Kasai, A., Miyajima, T., Fujita, K.: Changes in natural isotopic composition of nitrate during the development of hypoxia in Ise Bay, Japan. International Symposium 2006 "Pioneering Studies of Young Scientists on Chemical Pollution and Environmental Changes". Ehime University, Ehime, Japan. 2006.11.17
20. Takemon, Y., Kozu, A., Imai, Y., Avlyush, S., Choijilsuren, J., Nagata, T.: Longitudinal patterns of benthos community in relation to habitat structure and trophic sources in the Tuul River, Mongolia. North American Benthological Society 55th Annual Meeting. Columbia Metropolitan Convention Center, Columbia, South Carolina, USA. 2007.6.5
21. Umezawa, Y., Ishitobi, T., Rungsupha, S., Onodera, S., Yamanaka, T., Yoshimizu, C., Tayasu, I., Nagata, T., Taniguchi, M.: Groundwater contributions to the nutrient dynamics at shallow inter- and sub- tidal areas adjacent to a mega city, Bangkok. International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG). University of Perugia, Perugia, Italy. 2007.7.10
22. Takemon, Y., Imai, Y., Kohzu, A., Nagata, T., Ikebuchi, S.: Redistribution patterns of benthic particulate organic matter on the riverbed through a descending period after rising. AOGS 4th Annual Meeting 2007. Queen Sirikit National Convention Centre, Bangkok, Thailand. 2007.7.31
23. Chikaraishi, Y., Kashiyama, Y., Ogawa, N.O., Kitazato, H., Ohkouchi, N.: Stable nitrogen isotopic composition of amino acids: implications for aquatic food web studies. Goldschmidt Conference 2007. University of Cologne, Germany. 2007.8.24

24. Tanaka, Y., Miyajima, T., Koike, I., Hayashibara, T., Ogawa, H.: Imbalanced coral growth between organic tissue and carbonate skeleton through nutrient enrichment. ASLO 2008 Ocean Sciences Meeting. Orange County Convention Center, Orlando, Florida, U.S.A. 2008.3.4
25. Takemon, Y., Imai, Y., Kohzu, A., Nagata, T., Ikebuchi, S.: Spatial distribution patterns of allochthonous and autochthonous benthic particulate organic matter on the riverbed of a mountain stream in Kyoto, Japan. Water Down Under 2008. Adelaide Convention Centre, Adelaide, Australia 2008.4.17
26. Takemon, Y., Tanaka, T., Yamada, H. and Ikebuchi, S.: Ecological implications of oviposition sites of the mayfly *Ephemera strigata* selected at the riffle shore of gravel bar head. International Joint Meeting on Ephemeroptera and Plecoptera. State Museum of Natural History, Stuttgart, Germany 2008.6.12
27. Makabe, A., Koba, K., Tayasu, I., Kohzu, A., Itoh, M., Yoshimizu, C., Ogawa, N.O., Ohkouchi, N., Toyoda, S., Yoshida, N., Nagata, T.: Dynamics of nitrous oxide in the sewage-polluted river in Mongolia. AOGS 5th Annual General Meeting 2008. Busan Exhibition & Convention Center, Busan, Korea. 2008.6.20
28. Nagata, T., Miyajima, T.: Stable isotopes in environmental assessment of watersheds – Progress towards an integrated approach. AOGS 5th Annual General Meeting 2008. Busan Exhibition & Convention Center, Busan, Korea. 2008.6.20
29. Tayasu, I., Kohzu, A., Itoh, M., Makabe, A., Yoshimizu, C., Nagata, T.: Diurnal fluctuations in oxygen in a small sewage-polluted stream in Ulaanbaatar, Mongolia. AOGS 5th Annual General Meeting 2008. Busan Exhibition & Convention Center, Busan, Korea. 2008.6.20
30. OCK, G., Takemon, Y.: Estimation of the transport distance of suspended particulate organic matter measured by lake originate plankters in Tailwater. AOGS 5th Annual General Meeting 2008. Busan Exhibition & Convention Center, Busan, Korea. 2008.6.20
31. Ohte, N., Nagata, T., Osaka, K., Tayasu, I., Kohzu, A. and Yoshimizu, C.: Dual Measurement of Nitrogen and Oxygen Isotopes of Nitrate to Survey the Sources and Transformation of Nitrogen Loads in Rivers of the Lake Biwa Watershed, Japan. AOGS 5th Annual General Meeting 2008. Busan Exhibition & Convention Center, Busan, Korea. 2008.6.20
32. Yoshida, N.: Some innovative measurements and analyses of isotopically substituted molecules of geochemical interests. Goldschmidt 2008. University of British Columbia, Vancouver, Canada. 2008.7.18
33. Tayasu, I., Yoshimizu, C., Kim, C., Maki, K., Nishimura, Y., Goto, N., Nagata, T.: Estimation of oxygen consumption in Lake Biwa using oxygen isotope ratio ($\delta^{18}\text{O}$) of dissolved oxygen. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
34. Antra, Toyoda, S., Yoshida, N.: Investigation of oxygen and nitrogen isotope fractionation in N_2O dissociation by electric discharge. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
35. Danielache, S.O., Eskebjerg, C., Johnson, M.S., Ueno, Y., Yoshida, N.: High Precision Spectroscopy of ^{32}S , ^{33}S and ^{34}S Sulfur Dioxide: Ultraviolet Absorption Cross Sections and Fractionation Constants. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
36. Fujii, A., Yoshida, O., Boontanon, N., Toyoda, S., Watanabe, S., Yoshida, N.: Concentrations and isotopic characteristics of nitrous oxide in the eastern subtropical North Pacific Ocean. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
37. Ghosh, P.: Reconstruction of Paleo-temperature using clumped isotopic signatures of the Phanerozoic soil carbonate from Satpura Gondwana succession. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
38. Johnson, M.S., Nilson, E.J.K., Nielsen, C.J., Wallington, T.J., Anderse, V.F., Walter, S., Röckmann, T.: The complete photochemical mechanism for deuterium propagation through the atmospheric carbon cycle, experiment, theory and modeling. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.

39. Sasaki, Y., Koba, K., Yoh, M., Makabe, A., Yamamoto, M., Ueno, Y., Nakagawa, M., Toyoda, S., Yoshida, N.: Isotopic analysis of seasonal change of nitrogen cycling in Lake Kizaki. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
40. Nakagawa, M., Ueno, Y., Yoshida, N.: Biological fractionations of quadruple sulfur isotopes in a stratified lake. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
41. Ueno, Y., Johnson, M.S., Danielache, S.O., Eskebjerg, C., Yoshida, N.: Geological Sulfur Isotope Distributions and MIF originated from SO₂ photolysis. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
42. Yoshida, N.: Isotopomers to trace material cycles in the Earth's history, global change, food analysis, and metabolic pathways. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
43. Nagata, T.: Integrated assessment of watershed environments by the use of multiple stable isotopes. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10. Ohkouchi, N., Chikaraishi, Y., Suga, H., Ogawa, N.O.: Intramolecular carbon isotopic signature in tetrapyrrole nucleus of chlorophylls. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
44. Ohte, N., Osaka, K., Tateno, R., Tokuchi, N.: Oxygen isotope signal of nitrate shows how high the gross nitrification was in the surface soils in a temperate forest in Japan. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.

③ポスター発表 (国内会議 61 件、国際会議 44 件)
(国内会議)

1. 山本佳奈, 竹門康弘, 池淵周一: 木津川における流下粒状有機物の流程変化. 日本陸水学会近畿支部会第 16 回研究発表会. 奈良女子大学. 2005.3.5
2. 石田裕子, 竹門康弘, 池淵周一: カワヨシノボリの成魚と稚魚の生息場所選好性の違い. 第 52 回日本生態学会大阪大会, 大阪国際会議場. 2005.3.30
3. 尾坂兼一, 大手信人, 木庭啓介, 由水千景, 陀安一郎, 永田俊, Scott Wankel, Carol Kendall: NO₃ の窒素、酸素安定同位体比を用いた森林流域における NO₃ 動態の解析. 日本陸水学会第 70 回大会 (大阪大会). 大阪教育大学. 2005.9.20
4. 苅部甚一, 奥田昇, 陀安一郎: 琵琶湖沿岸食物網の空間的異質性-安定同位体からのアプローチ- (予報). 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
5. 眞壁明子, 木庭啓介, 由水千景, 陀安一郎, 金詰九, 小川奈々子, 大河内直彦, 豊田栄, 戸張賀史, 吉田尚弘, 永田俊: 安定同位体を用いた琵琶湖における亜酸化窒素生成・消費メカニズムの解析. 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
6. 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 d13C and d15N 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
7. 苅部甚一, 奥田昇, 陀安一郎: ベントスの安定同位体比から見る琵琶湖沿岸食物網の基礎生産構造. 日本陸水学会第 71 回大会 (松山大会) 愛媛大学. 2006.9.16
8. 坪井良恵, 宮島利宏, 田中善幸, 小池勲夫: 河川水中の溶存態シリカの生物学的除去-炭酸系との関係を指標として. 日本陸水学会第 71 回大会 (松山大会) 愛媛大学. 2006.9.16
9. 嶋村鉄也, 伊藤雅之, 尾坂兼一, 大手信人, 竹門康弘: 温帯湿原において植物種が制御する水質形成機構. 日本陸水学会第 71 回大会 (松山大会) 愛媛大学. 2006.9.16
10. 嶋村鉄也, 徳地直子, 尾坂兼一, 大手信人, 竹門康弘: 深泥池における集水域の森林土壌特性と流入水質. 応用生態工学会第 10 回研究発表会. 東京大学農学部. 2006.9.30
11. 苅部甚一, 武山智博, 酒井陽一郎, 奥田昇, 陀安一郎: 琵琶湖沿岸食物網の基礎生産構造-ベントスの安定同位体比からわかること-. 日本生態学会第 54 回大会 (愛媛). 愛

媛大学. 2007.3.20

12. 柴田淳也, 由水千景, 大川聡, 西村洋子, 眞壁明子, 永田俊, 奥田昇: 生物の安定同位体比から見た琵琶湖内湖の地理的特性と土地利用形態. 日本生態学会第 54 回大会 (愛媛). 愛媛大学. 2007.3.20
13. 眞壁明子, 木庭啓介, 陀安一郎, 高津文人, 伊藤雅之, 由水千景, 小川奈々子, 大河内直彦, 豊田栄, 吉田尚弘, 永田俊: モンゴル下水流入河川における硝化・脱窒の日変化～アイソトポマー比による解析～. 日本生態学会第 54 回大会 (愛媛). 愛媛大学. 2007.3.21
14. 今井義仁, 高津文人, 竹門康弘, 永田俊, 池淵周一: 河川地形の階層構造に対応した堆積有機物と生産起源の分布動態. 日本生態学会第 54 回大会 (愛媛). 愛媛大学. 2007.3.21
15. 石田裕子, 中林真人, 竹門康弘, 細谷和海: 堰堤に仕切られた都市河川: 賀茂川における生息場構造と魚類相の関係. 日本生態学会第 54 回大会 (愛媛). 愛媛大学. 2007.3.21
16. 伊藤雅之, 嶋村鉄也, 大手信人, 竹門康弘: 深泥池浮島湿原の植生とメタン生成の関係. 日本生態学会第 54 回大会 (愛媛). 愛媛大学. 2007.3.21
17. 嶋村鉄也, 伊藤雅之, 尾坂兼一, 大手信人, 竹門康弘: 深泥池における浮島の浮沈と植物種が地下水質に与える影響. 日本生態学会第 54 回大会 (愛媛). 愛媛大学. 2007.3.21
18. 加藤義和, 村上宜之, 奥田昇, 陀安一郎, 竹門康弘, 堀道雄: 深泥池浮島の底生動物はなぜ多様なのか?～植生類型に応じた栄養起源による解釈～. 日本生態学会第 54 回大会 (愛媛). 愛媛大学. 2007.3.22
19. 村上宜之, 高原光, 加藤義和, 竹門康弘: 深泥池浮島湿原の植生類型に対応した底生動物群集の組成と機能. 日本生態学会 第 54 回大会 (愛媛). 愛媛大学. 2007.3.22
20. 安部倉完, 竹門康弘, 堀道雄: 個体群変動モデルによる外来魚の繁殖阻止および非繁殖魚除去の努力量とその抑制効果. 日本生態学会 第 54 回大会 (愛媛). 愛媛大学. 2007.3.22
21. 尾坂兼一, 大手信人, 木庭啓介, 勝山正則, 由水千景, 陀安一郎, 永田俊, Scott Wankel, Carol Kendall: 森林流域における脱窒の定量的評価と窒素収支に与える影響. 第 118 回日本森林学会大会. 九州大学. 2007.4.1-4
22. 藤本将光, 谷誠, 大手信人, 大塚泉, 谷尾陽一: 風化花崗岩山地の流出特性に及ぼす岩盤地下水の影響. 第 118 回日本森林学会大会. 九州大学. 2007.4.3
23. 眞壁明子, 木庭啓介, 由水千景, 小川奈々子, 大河内直彦, 豊田栄, 吉田尚弘, 永田俊: 安定同位体からみた琵琶湖堆積物における窒素循環. 日本地球惑星科学連合 2007 大会. 幕張メッセ国際会議場. 2007.5.19
24. 鈴木希実, 木庭啓介, 山田桂大, 吉田尚弘: 北極圏における植生の違いが与えるメタン放出量およびメタン同位対比の違い. 日本地球惑星科学連合 2007 大会. 幕張メッセ国際会議場. 2007.5.21
25. 梅澤有, 石飛智稔, 小野寺真一, 山中勤, 由水千景, 陀安一郎, 永田俊, 谷口真人: バンコク市近郊の潮下帯における海底地下水湧出と含有栄養塩に占める淡水地下水寄与量の評価. 日本地球惑星科学連合 2007 大会. 幕張メッセ国際会議場. 2007.5.23
26. 高津文人, 由水千景, 大手信人, 陀安一郎, 木庭啓介, 眞壁明子, Kim, Chulgoo, 槇洗, 西村洋子, 小林由紀, 横川太一, 伊藤雅之, 尾坂兼一, 藤本将光, 石川尚人, 永田俊: 高密度シノプティック観測による河川の環境診断-炭素安定同位体比による評価. 日本陸水学会第 72 回水戸大会. 茨城大学水戸キャンパス. 2007.9.11
27. 由水千景, 高津文人, 大手信人, 陀安一郎, 木庭啓介, 眞壁明子, Kim Chulgoo, 槇洗, 西村洋子, 小林由紀, 横川太一, 伊藤雅之, 尾坂兼一, 藤本将光, 石川尚人, 永田俊: 高密度シノプティック観測による河川の環境診断-窒素安定同位体比による評価. 日本陸水学会第 72 回水戸大会. 茨城大学水戸キャンパス. 2007.9.11
28. 藤本将光, 大手信人, 川崎雅俊, 伊藤雅之, 尾坂兼一, 大塚泉: 火山山地源流域の流出機構における山体地下水の影響. 日本陸水学会第 72 回水戸大会. 茨城大学水戸キャン

パス. 2007.9.11

29. 酒井陽一郎, 武山智博, 荻部甚一, 小板橋忠俊, 陀安一郎, 永田俊, 奥田昇: プランクトン群集は食物連鎖長を決定するか? 日本陸水学会第 72 回水戸大会. 茨城大学水戸キャンパス. 2007.9.11
30. 玉基英, 竹門康弘: 京都市疏水における琵琶湖由来のプランクトンの流下距離推定. 応用生態工学会第 11 回研究発表会. 名古屋大学. 2007.9.16
31. 松島フィオナ, 竹門康弘: 鴨川の水辺環境と鳥類の分布様式の関係. 応用生態工学会第 11 回研究発表会. 名古屋大学. 2007.9.16
32. 野村理絵, 竹門康弘, 小林草平, 堤大三, 藤田正治: 土砂動態の異なる溪流における生息場構造と底生動物群集の関係. 応用生態工学会第 11 回研究発表会. 名古屋大学. 2007.9.16
33. 嶋田智皓, 高松信樹, 上田眞吾, ナリンブンタノン, 高津文人, 陀安一郎, 由水千景, 吉田尚弘, 石井励一郎, 和田英太郎: 都市小河川(蛇砂川)および湧水(西印旛沼域)における N_2O と NO_3^- の分子内同位体分布と起源. 2007 年度日本地球化学会年会. 岡山大学津島キャンパス. 2007.9.19
34. 矢野翠, 豊田栄, 木庭啓介, 秋山博子, 早川敦, 須藤重人, 西村誠一, 八木一行, 吉田尚弘: 施肥された農耕土壌から放出される N_2O のアイソトポマー比. 2007 年度日本地球化学会年会. 岡山大学津島キャンパス. 2007.9.19
35. 深澤真, 豊田栄, 前田高輝, 長田隆, 白石誠, 吉田尚弘: 牛ふん堆肥化過程で発生する N_2O のアイソトポマー比. 2007 年度日本地球化学会年会. 岡山大学津島キャンパス. 2007.9.19
36. 林田茉莉子, 山田桂大, 豊田栄, 吉田尚弘: バイオマス燃焼起源水素ガスの安定同位体特性. 2007 年度日本地球化学会年会. 岡山大学津島キャンパス. 2007.9.19
37. 高野淑識, 力石嘉人, 小川奈々子, 北里洋, 大河内直彦: 有機化合物の分子レベル安定窒素同位体比分析による地球環境解析-3: 光学異性体および構造異性体. 2007 年度日本地球化学会年会. 岡山大学津島キャンパス. 2007.9.20
38. 多田敦志, 上野雄一郎, 高井研, 吉田尚弘: 培養実験による硫黄還元菌の四種硫黄同位体分別効果の決定. 2007 年度日本地球化学会年会. 岡山大学津島キャンパス. 2007.9.20
39. 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: 温帯性海草 *Zostera marina* の炭素安定同位体比に与える比生長速度の影響. 2007 年度日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会. 横浜市立大学金沢八景キャンパス. 2007.9.23
40. 藤井彩子: 海洋における一酸化二窒素の生成量および海洋-大気フラックス. *Blue Earth 08*. 横浜市立大学金沢八景キャンパス. 2008.3.13
41. 安部倉完, 竹門康弘, 堀道雄: 根絶へ向けての個体群変動モデルを用いた外来魚の個体群抑制. 日本生態学会第 55 回大会. 日本生態学会第 55 回大会(福岡). 福岡国際会議場. 2008.3.15
42. 鈴木淳史, 竹門康弘: 鴨川の河道内湧水における底生動物群集の特性. 日本生態学会第 55 回大会(福岡). 福岡国際会議場. 2008.3.16
43. 玉基英, 竹門康弘, 山本佳奈, 一瀬諭: Effect of channel morphology on FPOM transport distance based on dam originated plankters as tracer. 日本生態学会第 55 回大会(福岡). 福岡国際会議場. 2008.3.16
44. 荻部甚一, 岡田直紀, 陀安一郎: 琵琶湖沿岸のヨシ帯食物網-炭素・窒素・硫黄安定同位体比からの解析-. 日本生態学会第 55 回大会(福岡). 福岡国際会議場. 2008.3.16
45. 伊藤雅之, 眞壁明子, 竹門康弘, 高津文人, 陀安一郎, 由水千景, Tumursukh, 大手信人, 木庭啓介, 藤田昇, Javzan, C., Bayansan, T., Saulyegul, A., 永田俊: モンゴル国ウランバートル市の下水処理場からの排水流出とそれが湿地・河川環境に及ぼす影響 -安定同位体比による評価-. 日本生態学会第 55 回大会(福岡). 福岡国際会議

場. 2008.3.16

46. 戸張賀史, 木庭啓介, 柴田英昭, 豊田栄, 鈴木希実, 佐藤冬樹, 吉田尚弘: 針広混交林の伐採による窒素循環攪乱機構の安定同位体比による解釈. 日本生態学会第 55 回大会 (福岡). 福岡国際会議場. 2008.3.16
47. 鈴木希実, 木庭啓介, 伊藤雅之, 尾坂兼一, 大手信人, 戸張賀史, 勝山正則, 山田桂大, 豊田栄, 永田俊, 吉田尚弘: 同一湿地から放出されるメタン同位体比の時空間変動とその要因. 日本生態学会第 55 回大会 (福岡). 福岡国際会議場. 2008.3.16
48. 田中義幸, 宮島利宏, 坪井良恵, 小池勲夫: 炭素安定同位体比を用いた熱帯性海草ウミシヨウブ群落の健全度の評価. 日本生態学会第 55 回大会 (福岡). 福岡国際会議場. 2008.3.16
49. 藤本将光, 谷誠, 大手信人, 谷尾陽一: 風化花崗岩山地斜面における岩盤地下水の動態. 第 119 回日本森林学会大会. 東京農工大学. 2008.3.28
50. 中川麻悠子, 上野雄一郎, 吉田尚弘: 四種硫黄同位体を用いた湖水の物質循環解析. 日本地球惑星科学連合 2008 大会. 幕張メッセ国際会議場. 2008.5.26
51. 柴田裕樹, 山田桂大, 豊田栄, 吉田尚弘: 自動車排ガス中水素の安定同位体特徴. 日本地球惑星科学連合 2008 大会. 幕張メッセ国際会議場. 2008.5.29
52. 井上一大, 上野雄一郎, 高井研, 中川聡, 布浦拓郎, 吉田尚弘: 沖縄トラフ伊平屋北および南庵西熱水域におけるメタンの安定同位体解析. 日本地球惑星科学連合 2008 大会. 幕張メッセ国際会議場. 2008.5.29
53. 服部祥平, 山田珪大, 豊田栄, 鈴木有理, 藤井彩子, 吉田尚弘, 河野里名, 村山康樹: 水高度処理過程における溶存態メタンの安定同位体を用いた解析. 日本地球化学会. 東京大学教養学部. 2008.9
54. 野村理絵, 竹門康弘, 寶馨, 堤大三, 藤田正治: 溪流の地形特性、微生物場構造ならびに底生動物群集の関係. 日本緑化工学会・日本景観生態学会・応用生態工学会合同大会. 福岡大学. 2008.9.20.
55. Giyoung OCK, Yasuhiro Takemon: Downstream Changes in SPOM Sources Composition below Dams based on Stable Isotope Mixing Model. 日本緑化工学会・日本景観生態学会・応用生態工学会合同大会. 福岡大学. 2008.9.20.
56. 宮袋智弘, 豊田栄, 吉田磨, 吉田尚弘: アイソトポマー比を用いた東部北太平洋における N₂O の動態解析. 日本地球化学会. 東京大学教養学部. 2008.9
57. 今井翔, 吉田磨, 河野恒平, 豊田栄, 藤井彩子, 山田桂大, 渡邊修一, 吉田尚弘: 北太平洋 WOCE-P01・P03 におけるメタンの挙動. 日本地球化学会. 東京大学教養学部. 2008.9
58. 由水千景, 小坂橋忠俊, 合田幸子, 陀安一郎, 熊谷道夫, 石川俊之, 長谷川直子, 後藤直成, 伴修平, 永田俊: 冬季琵琶湖における溶存酸素濃度の東西断面観測 (2003~2008 年)-暖冬がもたらした全循環の遅延. 日本陸水学会第 73 回札幌大会. 北海道大学学術交流会館. 2008.10.11
59. 石川尚人, 陀安一郎: 河川食物網における炭素・窒素同位体比の流程変化. 日本陸水学会第 73 回札幌大会. 北海道大学学術交流会館. 2008.10.11
60. 荏部甚一, 岡田直紀, 陀安一郎: ヨシ帯の空間構造がベントス群集に与える影響-炭素・窒素・硫黄安定同位体比からの解析-. 日本陸水学会第 73 回札幌大会. 北海道大学学術交流会館. 2008.10.11
61. 酒井陽一郎, 由水千景, 永田俊, 奥田昇: 安定同位体比を用いた動物プランクトンの鉛直的餌資源利用様式の推定. 日本陸水学会第 73 回札幌大会. 北海道大学学術交流会館. 2008.10.11

(国際会議)

1. Ishida, Y., Takemon, Y., Tanaka, T., Yamada, H., Ikebuchi, S.: Difference in habitat preference of *Rhinogobius flumineus* among erosional and depositional reaches. AOGS 2nd Annual Meeting 2005. SUNTEC, Singapore. 2005.6.24

2. Ohte, N., Uchida, T., Asano, Y., Mimasu, Y., Fujimoto, M., Kawasaki, M. : Conceptual Modeling Approach to Explain the Spatial Variability of Streamwater Chemistry in a Meso-Scale Headwater Catchment. 2005 AGU Fall Meeting. Moscone Center West, California, USA. 2005.12.6
3. Koba, K., Osaka, K., Tobari, Y., Toyoda, S., Ohte, N., Katsuyama, M., Suzuki, N., Itoh, M., Yamagishi, H., Kawasaki, M., Kim, S., Yoshida, N., Nakajima, T.: Characterization of N₂O in a temperate forested ecosystem. Third International Symposium on Isotopomers. University of California, California, USA. 2006.8.31
4. Ohte, N., Fujimoto, M., Mimasu, Y.: Information behind the seasonal variation in nitrate discharge from the forested catchment. 2006 AGU Fall Meeting. Moscone Center West, California, USA. 2006.12.11
5. Makabe, A., Koba, K., Yoshimizu, C., Ogawa, N.O., Tayasu, I., Kim, C., Ohkouchi, N., Toyoda, S., Tobari, Y., Yoshida, N., Nagata, T.: Nitrate isotopic composition at sediment in Lake Biwa. 2006 AGU Fall Meeting. Moscone Center West, California, USA. 2006.12.11
6. Tanaka, Y., Miyajima, T., Koike, I., Ogawa, H., Hayashibara, T.: Effects of nutrient enrichment on the balance between photosynthesis and calcification in a zooxanthellate coral. 2007 ASLO Aquatic Science Meeting. Santa Fe, New Mexico, USA. 2007.2.7
7. Danielache, S., Yoshida, N., Ueno, Y., Eskebjerg, C., Johnson, M.S.: Ancient Atmospheres: High Precision UV Spectroscopy of ³²S/³³S/³⁴S and ³⁶S Sulfur Dioxide, 8th Informal Conference on Atmospheric and Molecular Science, LO-Skolen Conference Center, Helsingør, Denmark, 2007.6.9.-10.
8. Danielache, S., Johnson, M.S., Nanbu, S., Grage, M.M.L., Mclinden, C., Yoshida, N.: ³²S/³³S/³⁴S and ³⁶S Kinetic Fractionation Effects in the Reaction of OCS with OH Radical, 8th Informal Conference on Atmospheric and Molecular Science, LO-Skolen Conference Center, Helsingør, Denmark, 2007.6.9.-10.
9. Eskebjerg, C., Danielache, S., Nilsson, E., Johnson, M.S.: Atmospheric Chemistry of Sulfur: Isotope Effects in OCS + hv and OCS + O, 8th Informal Conference on Atmospheric and Molecular Science, LO-Skolen Conference Center, Helsingør, Denmark, 2007.6.9.-10.
10. Kohzu, A., Yoshimizu, C., Tayasu, I., Nagata, T.: Use of nitrogen stable isotope signatures of riparian macrophyte as an indicator of human-induced N inputs to river ecosystems. ESA/SER Joint Meeting. San Jose McEnery Convention Center, San Jose, California, USA. 2007.8.9
11. Ohte, N., Osaka, K., Tateno, R., Matsumura, M. and Tokuchi, N.: In situ isotope signals of nitrate show how the gross nitrification was high in the surface soils in a humid temperate forest in Japan. 2006 AGU Fall Meeting. Moscone Center West, California, U.S.A. 2007.12.12
12. Ohte, N., Nagata, T., Osaka, K., Tayasu, I., Kohzu, A. and Yoshimizu, C.: Dual measurement of nitrogen and oxygen isotope of nitrate to survey the sources and transformation of nitrogen loads in the Lake Biwa Watershed, Japan. the Isoscapes 2008 meeting, Hotel Mar Monte, Santa Barbara, California, U.S.A. 2008.4.7-10
13. Fujii, A., Kawano, K., Bootanon, N., Yoshida, O., Watanabe, S., Yoshida, N.: Production and sea-air flux of nitrous oxide. EGU General Assembly 2008, Austria Center Vienna, Vienna, Austria. 2008.4.14
14. Danielache, S.O., Eskebjerg, C., Johnson, M.S., Ueno, Y., Yoshida, N. : High precision spectroscopy of ³²S, ³³S and ³⁴S sulfur dioxide: ultraviolet absorption cross sections and fractionation constants. EGU General Assembly 2008, Austria Center Vienna, Vienna, Austria. 2008.4.15
15. Kato, Y., Okuda, N., Tayasu, I., Takemon, Y., Hori, M.: Trophic pathways of macrobenthos in relation to vegetation types on the floating mat in Mizoro-ga-ike pond, Kyoto City, Japan. NABS 56th Annual Meeting, Salt Palace Convention Center, Salt Lake City, Utah, U.S.A. 2008.5.27
16. Maki, K., Kim, C., Yoshimizu, C., Tayasu, I., Nagata, T.: Stable isotopic evidence for autochthonous origin of semi-labile dissolved organic carbon in a large monomictic lake (Lake Biwa, Japan). 2008 ASLO Summer Meeting. Delta Hotel, St. Johns, New Foundland, Canada. 2008.6.12

17. Tsengelmaa, B., Javzan, C., Kohzu, A., Nagata, T. Water quality of the Tuul River, Mongolia – Deterioration due to the discharge from the waste water treatment plant of the city of Ulaanbaatar. AOGS 5th Annual General Meeting 2008. Busan Exhibition & Convention Center, Busan, Korea. 2008.6.20
18. Avlyush, S., Javzan, C., Kohzu, A., Takemon, Y. Urban and placer mining effects on macroinvertebrate communities in the Tuul river, Mongolia. AOGS 5th Annual General Meeting 2008. Busan Exhibition & Convention Center, Busan, Korea. 2008.6.20
19. Ohte, N., Kawasaki, M., Fujimoto, M., Ohtsuka, I.: Carbon discharge through hydrological processes from a temperate forest watershed in the central Japan. 2008 Western Pacific Geophysics Meeting, Cairns Convention Center, Cairns, Australia. 2008.7.29
20. Kobayashi, Y., Sheibley, R.W., Nagata, T.: Bacterial communities in sediment and epilithic biofilms in streams: possible relationships with the adjacent land use. The 12th International Symposium on Microbial Ecology, Cairns Convention Centre, Cairns, Australia. 2008.8.19
21. Yoshimizu, C., Tayasu, I., Kim, C., Maki, K., Nishimura, Y., Nagata, T.: ¹⁵N enrichment during microbial decomposition of particulate organic matter: implications for ¹⁵N systematics in a freshwater lake. ISI2008, Nihon Kagaku Miraikan, 2008.10.
22. Maki, K., Kim, C., Yoshimizu, C., Tayasu, I., Nagata, T. Source and reactivity of dissolved organic carbon in Lake Biwa: A stable isotopic approach. ISI2008, Nihon Kagaku Miraikan, 2008.10.
23. Antra, Toyoda, S., Yoshida, N.: A new method for $\Delta 17O$ measurement in N₂O. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
24. Danielache, S.O., Ueno, Y., Yoshida, N., Eskebjerg, C., Johnson, M.S.: Stratospheric Sulfur Aerosols: Applying stable isotopes to readdress sources. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
25. Danielache, S.O., Johnson, M.S., Nanbu, S.: 32S/33S/34S and 36S Kinetic Fractionation Effects in the Reaction of OCS with OH Radical. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
26. Hattori, R., Yamada, K., Ito, Y., Sakamoto, Y., Yoshida, N.: An improved method for measurement of isotope ratio of ethanol in various samples, including alcoholic and non-alcoholic beverages. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
27. Imai, S., Yoshida, O., Kawano, K., Toyoda, S.: Distribution of Methane at WOCE-P01·P03 lines in the North Pacific. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
28. Inoue, K., Ueno, Y., Takai, K., Nakagawa, S., Nunoura, T., Yoshida, N.: Carbon and hydrogen isotopic compositions of methane in Minami-Ensei and Iheya North hydrothermal fields, Okinawa Trough. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
29. Ishijima, K., Toyoda, S., Takigawa, M., Patra, P.K. Nakazawa, T., Aoki, S., Morimoto, S., Yoshikawa, C., Arihara, S., Yoshida, N.: Three-dimensional model simulation of atmospheric nitrous oxide isotopes: comparison with balloon-observed profiles and estimation of the stratospheric effect on the surface. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
30. Koba, K., Isogai, Y., Yoh, M., Mo, J., Toyoda, S., Yoshida, N.: Nitrogen dynamics in a sub-tropical forest in south China. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
31. Kobayashi, Y., Ghosh, P., Yamada, K., Toyoda, S., Ueno, Y., Yoshida, N.: Analysis of seasonal variation of mass 47-CO₂ in urban air. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
32. Kubota, C., Yoshida, O., Kawano, K., Yamada, K.: Methane production and consumption in the Sea of Okhotsk based on carbon isotopic ratio. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
33. Makabe, A.: Isotopomer signature of nitrous oxide dissolved in hydrothermal-seawater mixing area. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
34. Miyafukuro, T., Toyoda, S., Yoshida, O., Yoshida, N.: Isotopomer analysis of N₂O dynamics in the eastern North Pacific Ocean. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.

35. Morimoto, M., Abe, O., Yamanada, K., Yoshida, N., Ghosh, P.: Estimation of allogenic and authigenic carbonates in sediments from Lake Hovsgol, Mongolia using multi-isotope analysis. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
36. Shibata, H., Yamada, K., Toyoda, S., Yoshida, N.: Isotopic characterization of molecular hydrogen emitted from automobile exhaust. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
37. Suzuki, N., Koba, K., Matsui, Y., Horaba, S., Shaver R, G., Giblin, A., Yamada, K., Yoshida, N.: Influence of Long-term, Whole-Ecosystem Experiments on Methane Dynamics in Arctic Soils. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
38. Toyoda, S., Yano, M., Nishimura, S., Akiyama, H., Hayakawa, A., Koba, K., Sudo, S., Yamada, K., Yagi, K., Yoshida, N., Ogawa, N.O., Ohkouchi, N: Isotopomeric analysis of N2O emitted from temperate agricultural soils. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
39. Sorai, M., Yoshida, N.: Estimate of nitrous oxide budget constrained from global nitrogen cycle. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
40. Tsuji, K., Takahata, K., Teshima, H., Sasada, H., Yoshida, N.: Spectroscopic measurement of the CH3D/CH4 ratio using difference frequency generation with an efficient periodically poled lithium niobate waveguide. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.
41. Vasiliev, M.: Clumped isotope analysis for paleothermometer by delta-XP at Tokyo Tech, ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10
42. Yamada, K., Hattori, R., Yoshida, N., Ito, Y., Shibata, H.: Isotopic characterization of atmospheric methanol emitted from biomass burning and plant leaves. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10
43. Yoshikawa, C., Fujii, A., Makabe, A., Tobari, Y., Toyoda, S., Yoshida, N.: Isotopic analysis of nitrate in the western equatorial Pacific. ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10
44. Takano, Y., Nomaki, H., Ogawa, N., Chikaraishi, Y., Kitazato, H., Ohkouchi, N.: In-situ tracer experiments for deep-sea benthic Archaea: evidence of active metabolism by membrane lipid biomarkers, ISI2008. Nihon Kagaku Miraikan, Tokyo, Japan. 2008.10.

(3)特許出願

①国内出願 (1件)

1. 元素分析用前処理装置、大河内奈々子・大河内直彦・永田俊、(独)海洋研究開発機構、京都大学、2006年9月12日、2006-246547

②海外出願 (0件)

(4)受賞等

①受賞

- 1.平成16年3月 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 d13C and d15N 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
- 2.平成19年3月 第54回日本生態学会大会 ポスター賞 (優秀賞)
眞壁明子, 木庭啓介, 陀安一郎, 高津文人, 伊藤雅之, 由水千景, 小川奈々子, 大河内直彦, 豊田栄, 吉田尚弘, 永田俊: モンゴル下水流入河川における硝化・脱窒の日変化~アイソトポマー比による解析~. 日本生態学会 第54回大会 (愛媛) . 愛媛大学. 2007.3.21

- 3.平成 19 年 9 月 日本陸水学会第 72 回水戸大会 最優秀ポスター賞
高津文人, 由水千景, 大手信人, 陀安一郎, 木庭啓介, 眞壁明子, Kim Chulgoo, 槇洗, 西村洋子, 小林由紀, 横川太一, 伊藤雅之, 尾坂兼一, 藤本将光, 石川尚人, 永田俊: 高密度シノプティック観測による河川の環境診断-炭素安定同位体比による評価. 日本陸水学会第 72 回水戸大会. 茨城大学水戸キャンパス. 2007.9.11
- 4.平成 19 年 9 月 日本陸水学会第 72 回水戸大会 優秀ポスター賞
由水千景, 高津文人, 大手信人, 陀安一郎, 木庭啓介, 眞壁明子, Kim Chulgoo, 槇洗, 西村洋子, 小林由紀, 横川太一, 伊藤雅之, 尾坂兼一, 藤本将光, 石川尚人, 永田俊: 高密度シノプティック観測による河川の環境診断-窒素安定同位体比による評価. 日本陸水学会第 72 回水戸大会. 茨城大学水戸キャンパス. 2007.9.11

②新聞報道

1. 科学ニュース「まぼろしのクロロフィル d、実は世界中にあった」
<http://www.kagakunavi.jp/topic/show/127>
2. 8 月 1 日 化学工業日報朝刊「クロロフィル d の地球的分布を発見 環境変動解明の一助に」
3. 8 月 1 日 日刊工業新聞朝刊「近赤外線で光合成する葉緑素 地球上の全海域に存在」
4. 8 月 1 日 日経産業新聞「日経テレコン 2 1」朝刊「近赤外線で光合成の生物 海・湖に幅広く存在か」
5. 8 月 1 日 朝日新聞朝刊「赤外線でも光合成 各地に CO₂ 世界で年 10 億トン吸収か」
6. 8 月 1 日 フジサンケイビジネスアイ (朝刊)「「幻」の葉緑素, 実は世界中に」
7. 8 月 1 日 時事通信ネットニュース「「幻」の葉緑素, 実は世界中に: 光合成で CO₂ 吸収に貢献」
8. 8 月 1 日 日本経済新聞夕刊「近赤外線を吸収する葉緑素 世界中の水域に分布」
9. 8 月 1 日 京都新聞朝刊「近赤外線で光合成するクロロフィル d 変わり者の葉緑素 CO₂ 吸収に貢献大」8 月 1 日 京都新聞朝刊「近赤外線で光合成するクロロフィル d 変わり者の葉緑素 CO₂ 吸収に貢献大」
10. 8 月 4 日 読売新聞朝刊 (東京)「赤外線光合成の生物 世界の海や湖に生息」
11. 8 月 4 日 読売新聞朝刊 (大阪)「赤外線光合成の生物 世界の海, 湖に生息」
12. 8 月 13 日 日本海事新聞朝刊「地球環境変動解明へ一助 グローバルに分布, クロロフィル d を発見」
13. 8 月 25 日 産経新聞朝刊 (大阪)「近赤外線で光合成行方「クロロフィル d」 海, 湖に大量分布」
14. 9 月 1 日 毎日新聞朝刊「クロロフィル d 海や湖に幅広く ~ 赤外線で光合成, 海洋機構・京大発見」

③その他

該当なし。

(5)その他特記事項

1. 竹門康弘 (分担) (2006) 羽化期, 浮石, 河床間隙水域, 河道次数, 間隙生物, 同調的羽化, 有効積算温量, 積算温量, 発育ゼロ点, 産卵床, 産卵数, 産卵期, 産卵行動, 産卵飛行, 水生大型無脊椎動物, 湿生動物, ギルド, 食い分け, 食性,

- 消化管内容物, 食物選択性, 餌選択性, 生態工学, 植物群系, 群系, 景観生態学, 出生率. 陸水の事典 (日本陸水学会編集), 講談社, 578pp.
2. 石田裕子, 竹門康弘, 池淵周一 (2006) 河川の土砂堆積様式に基づく底生魚類の生息場評価. 京都大学防災研究年報 49B: 661-675.
 3. 竹門康弘, 山本佳奈, 池淵周一 (2006) 河川下流域における懸濁態有機物の流程変化と砂州環境の関係. 京都大学防災研究年報 49B: 677-690.
 4. 嶋村鉄也, 尾坂兼一, 伊藤雅之, 大手信人, 竹門康弘 (2006) 深泥池における水質形成機構. 京都大学防災研究年報 49B: 691-699.
 5. Ikebuchi, S., Kojiri, T., Hagihara, Y., Tomosugi, K., Takemon, Y., Tanaka, K. and Hamaguchi, T. (2006) Water resources and environment assessment in the river basin based on Hydro-BEAM. Annuals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University 49C: 113-118.
 6. 竹門康弘 (2006) 川合先生の思い出. 陸水生物学報 21: 75-76.
 7. 竹門康弘 (2007) 6. 砂州の生息場機能. 「土と基礎」講座, 土と基礎の生態学 55(2): 37-45.
 8. 由水千景, 大手信人(2008) 7章2節 分析の自動化・高速化—硝酸イオン分析を例に—. 流域環境評価と安定同位体, 永田俊・宮島利宏(共編) pp376-387. 京都大学学術出版会, 京都.
 9. 奥田昇 (2008) 6章4節 食物網解析にもとづく沿岸生態系の健全性評価. 流域環境評価と安定同位体, 永田俊・宮島利宏(共編) pp309-330. 京都大学学術出版会, 京都.
 10. 伊藤雅史, 大河内直彦 (2008) 7章1節 水の第三のマーカ— $\Delta^{17}\text{O}$ の可能性. 流域環境評価と安定同位体, 永田俊・宮島利宏(共編) pp369-375. 京都大学学術出版会, 京都.
 11. 大手信人 (2008) 2章 水の同位体比を利用した水循環の評価. 流域環境評価と安定同位体, 永田俊・宮島利宏(共編) pp33-55. 京都大学学術出版会, 京都.
 12. 小川奈々子, 大河内直彦 (2008) 3章3節 湖沼の富栄養化の史的復元—長期保存生物標本の利用—. 流域環境評価と安定同位体, 永田俊・宮島利宏(共編) pp83-93. 京都大学学術出版会, 京都.
 13. 大河内直彦, 高津文人 (2008) 6章3節 バイオマーカーを利用した微生物生態系構造解析. 流域環境評価と安定同位体, 永田俊・宮島利宏(共編) pp298-308. 京都大学学術出版会, 京都.
 14. 大手信人 (2008) 3章1節 大気降下物としての窒素が水源域に与える負荷. 流域環境評価と安定同位体, 永田俊・宮島利宏(共編) pp59-69. 京都大学学術出版会, 京都.
 15. 高津文人, 梅澤有, 田中義幸 (2008) 6章1節 一次生産者の安定同位体比の特徴とその変動要因. 流域環境評価と安定同位体, 永田俊・宮島利宏(共編) pp251-283. 京都大学学術出版会, 京都.
 16. 金詰九, 宮島利宏, 永田俊 (2008) 4章2節 有機物の生産と分解 (I) —溶存無機炭素安定同位体比による評価—. 流域環境評価と安定同位体, 永田俊・宮島利宏(共編) pp133-152. 京都大学学術出版会, 京都.
 17. 高津文人 (2008) 3章2節 人為起源窒素の面源負荷—窒素同位体指標の利用—. 流域環境評価と安定同位体, 永田俊・宮島利宏(共編) pp70-82. 京都大学学術出版会, 京都.
 18. 宮島利宏 (2008) 4章1節 化学風化と河川内炭素循環プロセス—溶存無機炭素安定同位体比の利用—. 流域環境評価と安定同位体, 永田俊・宮島利宏(共編) pp111-132. 京都大学学術出版会, 京都.
 19. 木庭啓介, 高津文人 (2008) 5章3節 流域環境におけるメタン酸化とメタン食物連鎖の評価. 流域環境評価と安定同位体, 永田俊・宮島利宏(共編) pp240-248. 京

- 都大学学術出版会, 京都.
20. 木庭啓介 (2008) 5章1節 土壌と河川における微生物学的窒素除去プロセスの評価. 流域環境評価と安定同位体, 永田俊・宮島利宏(共編) pp199-216. 京都大学学術出版会, 京都.
 21. 木庭啓介 (2008) 7章3節 アイソトポマー・分子内同位体分布. 流域環境評価と安定同位体, 永田俊・宮島利宏(共編) pp388-393. 京都大学学術出版会, 京都.
 22. 竹門康弘(2008) 6章6節 貯水ダムの下流域生態系への影響と伝播距離推定. 流域環境評価と安定同位体, 永田俊・宮島利宏(共編) pp348-365. 京都大学学術出版会, 京都.
 23. 陀安一郎 (2008) 4章3節 有機物の生産と分解(Ⅱ) —溶存酸素安定同位体比による評価—. 流域環境評価と安定同位体, 永田俊・宮島利宏(共編) pp153-162. 京都大学学術出版会, 京都.
 24. 陀安一郎 (2008) 6章2節 安定同位体比による生態系構造解析. 流域環境評価と安定同位体, 永田俊・宮島利宏(共編) pp284-297. 京都大学学術出版会, 京都.
 25. 槇洸, 永田俊 (2008) 4章5節 湖沼における溶存態有機物の起源と動態. 流域環境評価と安定同位体, 永田俊・宮島利宏(共編) pp187-198. 京都大学学術出版会, 京都.
 26. 永田俊 (2008) 8章 流域環境評価と安定同位体指標. 流域環境評価と安定同位体, 永田俊, 宮島利宏(共編) pp395-412. 京都大学学術出版会, 京都.
 27. 宮島利宏 (2008) 1章 なぜ安定同位体比なのか— 同位体比の基礎知識とその読み方—. 流域環境評価と安定同位体, 永田俊・宮島利宏(共編) pp13-32. 京都大学学術出版会, 京都.
 28. 宮島利宏, 高津文人 (2008) 4章4節 河口域における懸濁態有機炭素負荷の起源推定. 流域環境評価と安定同位体, 永田俊・宮島利宏(共編) pp163-186. 京都大学学術出版会, 京都.
 29. 宮島利宏 (2008) 5章2節 淡水性堆積物における嫌氣的微生物生態系の解析. 流域環境評価と安定同位体, 永田俊・宮島利宏(共編) pp217-239. 京都大学学術出版会, 京都.
 30. Ohte, N., Tokuchi, N. and Hobara, S. (2006) Impacts of forest defoliation by pine wilt diseases on biogeochemical cycling and streamwater chemistry in a headwater catchment in central Japan. In N. Park (eds.) "AOGS 2005 Advances in Geosciences: Hydrological Sciences", AOGS (Asia Oceania Geosciences Society) publication 137-142
 31. Shimamura, T., Osaka, K., Itoh, M., Ohte, N., Takemon, Y. (2006) Pathways of nutrient loading and effects of emergent plants in Mizoro-ga-ike, a pond with floating mat bog. Restoration of streams and wetlands in urban and suburban areas, The 4th Cross-Visit Bi-national Seminar between Korea and Japan on Ecological Engineering 45-52.
 32. Ishida, Y., Takemon, Y., Ikebuchi, S. (2006) Hierarchical measurement of habitat preference of goby fish within the a segment scale of Kurama Stream. Restoration of streams and wetlands in urban and suburban areas: The 4th Cross-Visit Bi-national Seminar between Korea and Japan on Ecological Engineering 159-161.

§7 研究期間中の主な活動

ワークショップ・シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
平成16年8月26日	第51回日本生態学会 釧路大会公募シンポジウム	釧路市観光 国際交流センター	130名	流域生態系の保全・修復 戦略-生態学的ツールと その適用

平成17年3月27日	第52回日本生態学会大阪大会自由集会	大阪国際会議場	50名	流域の水・物質循環とそれを保全・管理するための生態学的視点
平成17年6月20日～6月22日	CREST 水循環ワークショップ in Singapore	SUNTEC (Singapore)	20名	水循環および関連する諸課題に関して、水循環領域の横断的討議を行った。
平成17年6月27日	CREST Workshop: use of stable isotopes for the diagnosis of watershed ecosystems	京都大学生態学研究センター	30名	流域診断における安定同位体比の利用に関する情報交換と討議を行った。
平成17年10月19日～平成17年10月20日	2005年度永田CREST中間成果検討会	京都大学生態学研究センター	18名	成果について徹底した議論と細部にわたる検討を行った。
平成18年3月8日	CREST Workshop: Water quality and ecosystems of the Tuul River, Mongolia	京都大学生態学研究センター	20名	トール川共同研究に関するデータ検討及び打合せを行った。
平成19年1月15日	CREST総合調査成果統合打ち合わせ会	京都大学生態学研究センター	15名	CREST総合調査の成果をレビュー及び今後の研究計画についてのディスカッション
平成19年6月8日	溶存酸素の安定同位体比の変動に関する研究会	京都大学生態学研究センター	15名	溶存酸素の安定同位体比の変動に関する研究成果の統合化と議論
平成19年6月14日-15日	窒素循環と安定同位体に関する研究会	京都大学生態学研究センター	15名	琵琶湖における窒素安定同位体比の分布に関する研究成果の統合化と議論
平成19年9月18日	河川成果検討会	京都大学生態学研究センター	10名	河川関連研究の成果統合と今後の研究計画についてのディスカッション
平成19年10月24日	CREST 成果検討会(全体会議)	東京大学農学部	10名	CREST 研究の成果をレビュー及び今後の研究計画についてのディスカッション
平成19年12月5日	硝酸同位体意見交換会	京都大学生態学研究センター	15名	硝酸同位体に関する意見交換及びディスカッション
平成20年3月16日	第55回日本生態学会大会企画集会(安定同位体アプローチによる河川環境と生態系の評価)	福岡国際会議場	100名	河川環境の継時的変動を追った研究から生態系解析の研究までにわたる最新の知見を紹介及び集水域を単位とした生態学研究における安定同位体解析の今後の展開についての議論。

平成 20 年 6 月 3 日	CREST 成果検討会 (全 体会議)	東京大学海 洋研究所	10 名	CREST 研究の成果をレビ ュー及び今後の研究計画 についてのディスカッシ ョン
平成 20 年 10 月 4 日-8 日	The 4th International Symposium on Isotopomers (ISI2008)	日本科学未 来館	120 名	環境科学における同位体 およびアイソトポマーの 利用に関する先端的な応 用例についての研究発表 と議論。

§8 結び

研究の目標等から見た達成度

本研究では、各種安定同位体比を用いることで、流域環境評価に資する指標を構築することを目標とした。この目標を達成するために、次のような研究の道筋を考えた。1) 新規の研究基盤を京大生態学研究センターに構築し、それを最大限有効に運用する。また、参加研究者の機関が有する既存設備も利用して、安定同位体分析ネットワークを立ち上げる。2) つぎに、国内外の拠点において総合観測を実施し、水・物質循環と生態系に関わるサンプルを体系的に取得する。これらのサンプルを上述の基盤設備と研究ネットワークを使って迅速に分析する。3) 最後に、これらのデータを用いることで、流域環境の査定に資する各種の安定同位体指標を構築する。以上の目標は、本研究プロジェクトの期間内ではほぼ予定どおり達成できた。また、新しい分析技術の開発研究においては、当初予想していなかったような新たな成果（炭素・窒素同位体比測定の微量化の成功。特許申請）が得られ、このことが、本研究プロジェクトの推進を大きく加速した。

得られた成果の意義等の自己評価

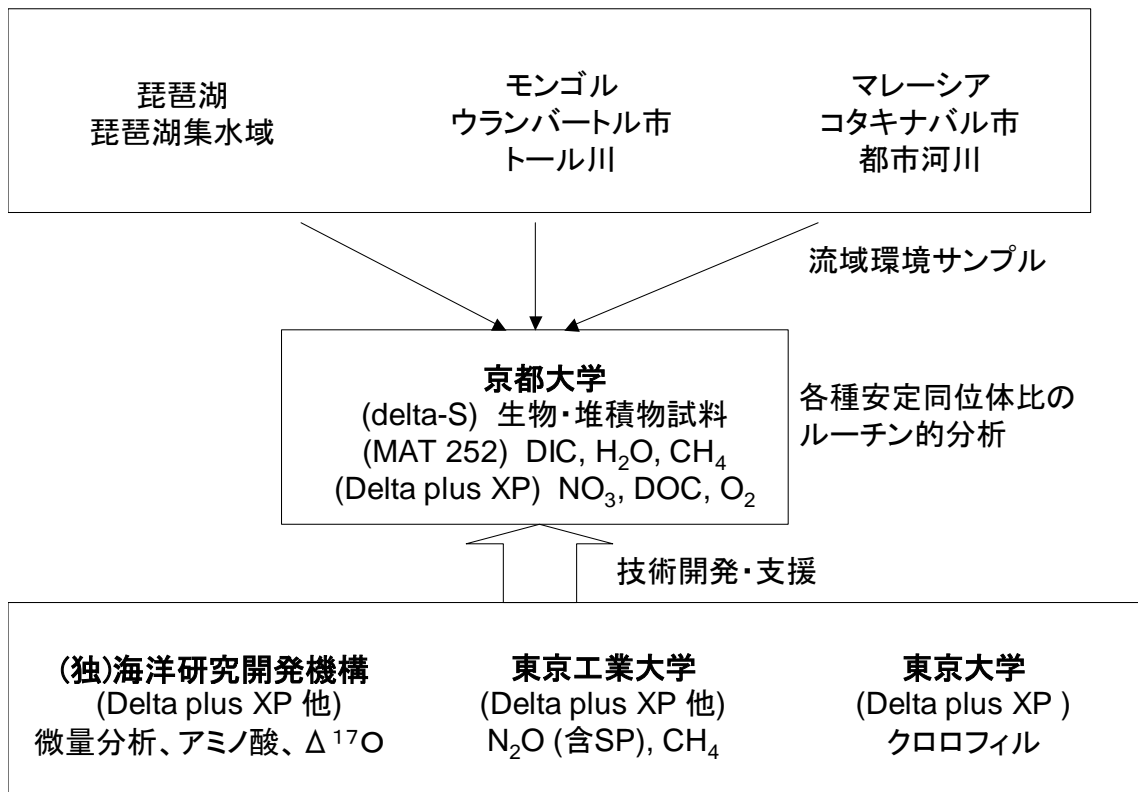
本研究プロジェクトでは、流域に負荷される有機物や硝酸イオンの起源判定について詳細な検討がなされたが、これらの指標については、湖沼や河川の管理に関わる多くの研究者・実務者からの問い合わせを受けており、反響は大きい。社会的な意義は大きいと考える。一方、本研究プロジェクトによって検討が進められた、より高度な安定同位体分析手法を用いた指標開発の成果は、きわめて先導的なものであり、本プロジェクト・チームの技術力の高さを世界に示したものである。本研究プロジェクトが扱った分野はまだ揺籃期にあるが、今後、国際的に大きく発展していくことが予想される。そのような流れのなかで、我が国の研究者が当該分野における国際的なイニシアチブを発揮できたことは成果の意義のひとつであると考えられる。

今後の研究の展開

上述のように、安定同位体比を利用した環境診断技術の開発は、これから世界的に急速に展開していくことはほぼ間違いない。国際原子力機関（IAEA）が同位体を用いた河川環境評価のマニュアルの作成を進めていること、また、AGUなどの主要な国際学会でも、同位体による環境診断のセッションが開催され始めていることなどからもそのことがうかがえる。本プロジェクトで構築した研究ネットワークは、今後も、このような世界的な動向の中で、競争力のある研究を展開していくことが期待される。なお、京大生態学研究センターに設置した質量分析装置は、本CREST終了後も同センターにおいて活用される予定である。装置の運用・維持のためには、運営費交付金や新たな競争的資金の投入が必要であるが、幸い、安定同位体指標の適用をサブテーマに含む大型研究プロジェクト（環境省地球環境研究総合推進費「温暖化が大型淡水湖の循環と生態系に及ぼす影響評価に関する研究」研究代表者 永田俊）が採択されたため、このプロジェクト研究などを通して、質量分析装置は今後も有効に活用されることが期待される。

一方、実際面から考えたときの重要な課題は、各種安定同位体指標の「実装」であろう。つまり、環境評価・環境管理の現場において、実際に、安定同位体指標を用いる仕組みを構築することである。本研究プロジェクトでは、現場観測で得られたサンプルのうち、「ルーチン的」な項目については、京大生態学研究センターがうけもち、より高度な技術が必要な分析は、他の研究機関で分析を行うというように、総計6基の質量分析装置を稼働してその分析にあたった（下図参照）。この規模のラボを、仮に新規構築すると、基盤設備費として4-5億円規模（ハードの設備費のみ、人件費をふくまず）が必要になるので、たとえば、各自治体が装備するというのは、昨今の財政状態をみたときに現実的ではない。国のレベル（あるいは大学共同利用研）で拠点分析センタ

一を設立し、そこが、各地から送られてくるサンプルの分析にあたるというのがよいであろう。本研究プロジェクトの分析体制は、その雛型を提案していると考ええる。



本CREST研究における流域環境安定同位体比の計測戦略。琵琶湖とその集水域、マレーシア（ボルネオ島）、モンゴル（ウランバートル）をモデル地域として流域観測を行い、そこで得られた様々な試料について、各種の安定同位体比を計測するという研究体制を構築した。ルーチン分析には京大生態学研究センターに設置された3台の質量分析装置をあて、技術的支援や新規分析方法の開発の面で、3研究機関（海洋研究開発機構、東京工業大学、東京大学）のラボが連携した。図中の括弧内に示したのは、質量分析装置の型式であり、そのあとに、おもな分析項目を示した。流域環境管理の現場に各種安定同位体比の分析体制を構築する際には、「ルーチン分析」と「技術支援・開発」の2部門を連携させることが効果的である。（永田俊（2008）8章 流域環境評価と安定同位体指標、「流域環境評価と安定同位体—水循環から生態系まで」 p. 395-417. 永田俊・宮島利宏（編） 京都大学学術出版会）

研究代表者としてのプロジェクト運営について（チーム全体の研究遂行、研究費の使い方、若手研究者の育成など）

どのようなプロジェクトでもそうであろうが、山あり谷ありの5年間であった。全体としては、研究代表者の力量不足にもかかわらず、組織的かつ効率的な研究遂行ができたと思うが、それは、チームの構成員の研究能力の高さと、目標達成に対する使命感の強さによるものであったと思う。研究費の使い方は、初年度に主要設備に資金を投入し、あとは、右肩下がりの配分としたが、結果的には、適正な年次計画であったと考える。本プロジェクトの遂行を通して、多くの大学院生やポスドクの研究・教育がなされた。また、モンゴルの若手研究者の育成にも貢献できた。

戦略的創造研究推進事業にたいする意見・要望

本事業は大型資金で5年間の研究を戦略的に行うという点が特徴であると考えられるが、そのようなタイプの研究を推進するうえでは、資金の使い方のルールづくりや事務方のサポート体制がしっかりしていることが、大変重要である。大学の事務と、JSTの事務

の両方にまたがる経理体制は、当初戸惑うことが多く、また、5年間のプロジェクト期間中にその仕組み自体に変更が加えられたこともあり、「もう少しシンプルにできないのか」、と思うこともあった。しかし、CRESTは運用マニュアルが大変しっかりしており、また、研究代表者にチーム事務員をつけることが予算的にきちんと裏付けられているなど、事務面での体制作りがとてもよく考えられていると思う。また、水循環事務所のスタッフによる真摯かつ心のこもったサポートは、事務面はいうにおよばず、研究推進のうえでの精神面での支えにもなった。

最後に、研究総括の虫明功臣博士、領域アドバイザーの先生方、領域事務所の皆様、JST本部の関係者の皆様にこの場をかりて厚く御礼申し上げます。



モンゴル国トール川にて