

● 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 ●

平成15年度採択
研究代表者

永田 俊
(京都大学 生態学研究センター 教授)

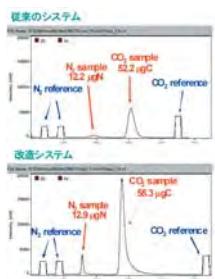


// 研究目的

東アジアでは、近年の爆発的な人口増加や人口集中、あるいは経済発展や社会経済体制の急変、さらには気候変化に伴う水循環過程の急激な変化によって、流域生態システムに対する人為擾乱が増大しています。持続可能性の観点から、流域生態系の保全を計るために、流域の景観や人為要素を考慮しつつ、水と物質の収支を流域レベルで把握する必要があります。しかし、水・物質循環の素過程に関わる諸量を網羅的に観測する従来のアプローチでは、ひとつの流域の診断に膨大な労力と経費がかかるばかりでなく、影響過程の複雑さと階層性のために、流域生態系全体としての構造やパターンを把握することがとても困難です。本研究では、このような問題を克服するために、流域生態系の健全性を、水循環、物質循環、生物多様性を含めた生態系の全体像として把握する、客観的で簡便・迅速な方法を開発することを目標とします。

// 研究概要

本研究の中心的なアイデアは、流域生態系を構成する水、物質、生物の各種安定同位体比を体系的に観測することで、水文過程（水の起源や流出経路）、物質循環（栄養負荷源や生態系の基本代謝・浄化機能）、生態系構造（多様性と食物網）を含めた流域生態系の全体を統合的に診断する新たな指標群を構築することにあります。炭素、窒素、酸素、水素などの安定同位体比は、それぞれの元素、あるいはその元素を含む化合物の発生起源や反応履歴を反映する鋭敏な指標となります。また、生物の場合ならば、炭素や窒素の安定同位体比から、生態系のエネルギー基盤（炭素源）や食物連鎖関係を評価することができます。本研究



モンゴル国ウランバートル近郊

では、流域構成要素の各種安定同位体比をマッピングし、流域における安定同位体比の分布則を解き明かすることで、水循環と生態系環境の健全度を測る、新しい流域診断技術の開発を目指します。

// 研究体制

本研究チームは、1.水循環・技術支援、2.物質循環、3.生態系の3班からなり、総括班が全体をとりまとめます（図1）。

総括班 京都大学生態学研究センター

水循環・技術支援

海洋研究開発機構
京都大学大学院農学研究科

物質循環

東京工業大学大学院総合理工学研究科
東京大学海洋研究所

生態系

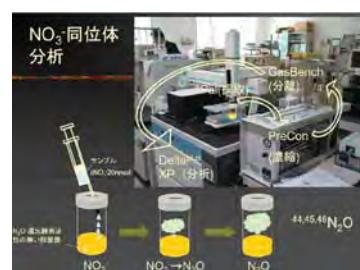
京都大学防災研究所
京都大学生態学研究センター

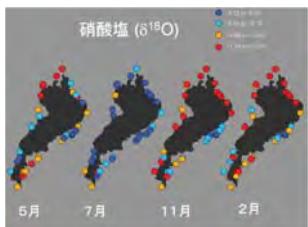
【図1】研究体制

// 成果と今後の取組み

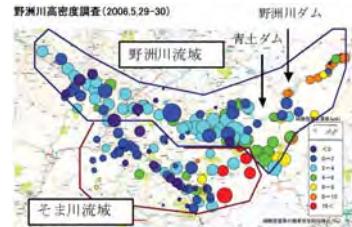
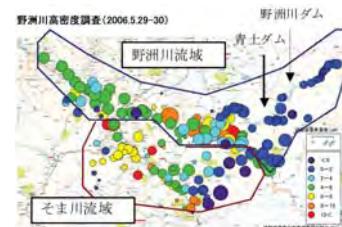
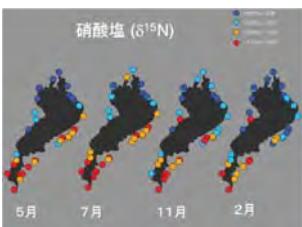
各種安定同位体比の測定の高速化・高精度化・微量化に関する技術開発

各種安定同位体比に基づく流域環境診断を実現するうえでは、多数の環境試料を高速かつ高精度に測定する新技術の開発が鍵となります。本研究では、質量分析の前処理システムを改造し、世界で最も微量な試料量で炭素・窒素の安定同位体比を測定する技術を開発しました（特許出願中、図2）。また、固体高分子膜を用いた水の電気分解装置を使って、水の酸素安定同位体比を測定するための開発研究を行っています。さらに、水域の窒素汚濁を表す重

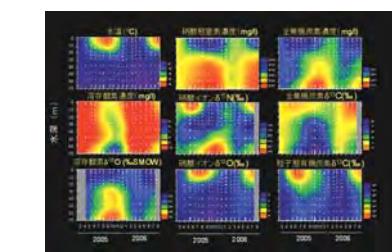
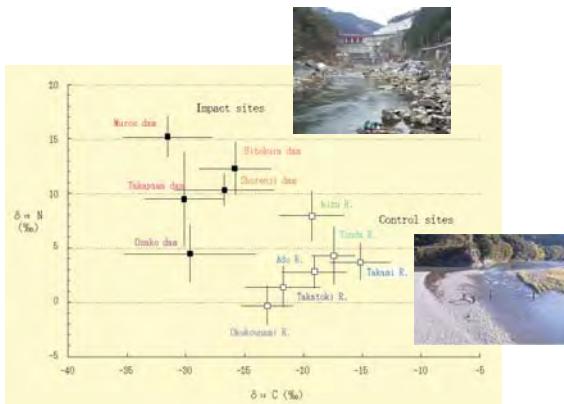




【図4】琵琶湖流入河川における硝酸イオンの安定同位体比



【図5】野洲川における硝酸イオンの安定同位体比の空間分布(約200地点)



【図6】
琵琶湖沖合定点(水深約70m)
における各種安定同位体比の
鉛直的・季節的分布



【図7】
ダム直下流の流程 (Impact site:左写真
例)とダム無し河川の流程 (Control site:
右写真例)における底生生物の炭素・窒
素安定同位体比の比較結果

重要な水質指標である硝酸イオンについて、窒素と酸素の安定同位体比を同時測定する先進的な高速・微量分析システムを構築しました(図3)。

硝酸イオンの負荷と循環からみた琵琶湖集水域の健全性評価

本研究では、硝酸イオンの安定同位体比が、その起源や循環についての情報を与えてくれることに着目しました。たとえば、「排水起源の硝酸イオンは窒素安定同位体比が高い」、「降水(大気降下物)起源の硝酸イオンは酸素安定同位体比が高い」というように、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と、発生源についての重要な情報が得られるのです。前項で紹介した最先端のシステムを駆使し、世界的にも例を見ない規模で、流域における硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比の時空間分布の観測を展開しました(図4、5)。

各種安定同位体比による湖沼内部循環過程の評価—琵琶湖における検証

自然湖沼やダム湖の水質・生態系管理においては、物質の内部循環過程を正確に評価することが不可欠です。本研究では、琵琶湖の冲合定点における定期観測を実施し、生態系の環境評価手法としての安定同位体法の有効性の検証を行っています(図6)。本研究が対象としている主な評価項目は以下のとおりです。¹⁾深水層の酸素消費に関わる有機物の供給経路の査定、²⁾溶存酸素の生成消費と輸送、³⁾湖水中および湖底泥中での硝化と脱窒素能の査定、⁴⁾各種温暖化気体の生成プロセスの評価。

炭素安定同位体比を用いた沿岸海洋の有機汚濁経路の推定

河口域生態系ではしばしば深刻な富栄養化に伴う貧酸素化と生態系の劣化が進行しています。劣化の進む河口域の環境管理上最も重要な項目の一つは懸濁態有機物です。本研究では、河口域で生産される植物プランクトンのクロロフィルの同位体比を現地性懸濁態有機物に対する指標として効果的に利用することによって、汚濁成分の起源を定量化する方法を新たに開発しました。

生物や各種有機物の安定同位体比を指標とした生態系健全度の評価

生態系に負荷された硝酸イオンや有機物の同位体シグナルは、植物による取り込みや食物連鎖を介した伝達により、生態系の各構成要素に刻み込まれます。本研究では、各種生物や非生物性有機物の炭素・窒素安定同位体比を用いた、生態系の新しい診断手法の開発を試みています。主な研究内容は以下のとおりです。¹⁾細菌群集の炭素安定同位体比を用いた汚濁有機物の起源推定法の開発。²⁾水生動植物や堆積物有機物の窒素安定同位体比を用いた汚濁診断手法の開発。³⁾人為汚濁や生息場所変更による生態系の異変を示す安定同位体指標の開発。⁴⁾貯水ダムが下流の生態系に与える影響評価法の開発(図7)。

モンゴル・トール川の汚染状況—各種安定同位体比を指標とした評価

モンゴル国では、都市部への人口集中と急激な経済・社会構造の変化に伴う環境

問題の深刻化が懸念されています。本研究ではウランバートル近郊を流れる大河川であるトール川流域の水文、水質、生態系に関する総合調査を実施しました。約800kmの流程における大域的な観測の結果、ウランバートルからの汚濁物質の流出、特に、街の西部に位置する下水処理場から流出する多量の汚濁水がトール川の水質を大きく悪化させていることが明らかになりました(図8)。現在、試料の分析を進め、汚濁域における硝化・脱窒による自然浄化機能の査定、および、温暖化気体(二酸化炭素、亜酸化窒素、メタン)の発生状況の評価を試みています。

まとめと今後の展開

本研究では、安定同位体比の先進的な分析体制の確立と新規技術の開発研究を推し進めました。その技術的な基盤に立脚することにより、各種安定同位体比の観測を大規模、高解像度かつ迅速に展開することが可能になりました。これらの結果は、溶存物質や生物・非生物性有機物の各種安定同位体比が、汚濁物質の起源や流入経路、さらには代謝過程に関する鋭敏な指標になるという本研究の仮説を強く支持しています。今後の展開としては、これまでに得られたデータの解析とモデル化を強力に推し進め、現在、その輪郭が明らかになってきた各種同位体指標の総合化を図ります。また、その成果をわかりやすい形で一般に紹介する為に、「安定同位体指標」の概念と適用についての解説本の出版も準備中です。