

「水の循環系モデリングと利用システム」

平成15年度採択研究代表者

永田 俊

(京大大学生態学研究センター 教授)

「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」

## 1. 研究実施の概要

自然との共生に配慮した流域管理を行うためには、流域生態系の健全性や持続可能性を指標化し、管理や復元の目標を明確にすることが重要である。本研究では、この目標設定のために、生物や物質の各種安定同位体比を用いた総合的な流域検査法の確立を目指している。平成16年度は、琵琶湖集水域において各種安定同位体比測定試料のサンプリングと観測を集中的に実施し、安定同位体比を用いた人為的窒素負荷の査定方法および、窒素汚濁の生態系影響評価法についての検討を大きく推進した。具体的には、琵琶湖の最大流入河川である野洲川をはじめ、大小32河川において、安定同位体比の総合調査を展開し、一般水質項目と各種安定同位体比の関連を解析するための大量の試料の採取と分析を進めた。本年度の解析から得られた大きな成果のひとつは、流域の土地利用変化に対応した、窒素安定同位体比の変化パターンが検出された点にある。すなわち、集水域の森林面積の減少とともに、窒素安定同位体比の上昇傾向が検出された。これは、農耕地や宅地からの窒素負荷が、河川生態系の窒素安定同位体比の上昇につながることを示唆しており、水質劣化状況を表現する窒素安定同位体指標を確立するうえで、重要な基礎的知見として位置づけられる。もうひとつの大きな成果としては、河川生物群集の食物網構造（食物網の複雑さや食物連鎖の長さ）を、生物体の窒素安定同位体比を用いて推定する新しい技術の開発にむけての重要な基礎知見が得られた、という点が挙げられる。すなわち、琵琶湖に流入する多数の河川において、雑食魚の窒素安定同位体比を指標として、生物群集の食物連鎖長を推定したところ、人為的な窒素汚濁に伴い、食物連鎖の著しい短縮が生じていることが定量的に示された。食物連鎖の短縮は、河川生物群集の健全性の劣化を表している。したがって、雑食魚の窒素安定同位体比は、河川生態系の健全性指標として、きわめて有効であることを示唆している。以上の成果は国内外のシンポジウムで発表するとともに、現在、論文としてとりまとめている。以上の研究に加え、ダムが河川生態系に与える影響を診断するための同位体指標構築にむけての観測的研究を推進した。現在、サンプルの解析を鋭意進めている段階であるが、予備的な解析の結果、ダム直下生態系においては、ダムの無い河川にくらべて、炭素安定同位体比が低下する傾向が見られた。このことは、ダムの建設により、河川の食物連鎖のエネルギー基盤が大きく変化することを示唆しており、

今後の重要な検討課題と位置づけられた。さらに、モンゴル（ツール川）とボルネオ（キナバル山水系）における安定同位体比の分布についての予備観測も実施し、琵琶湖集水域との比較検討を行うための試料を採集した。さらに、水の $^{17}\text{O}$ アノマリ測定のための前処理ラインの作成、硝酸の窒素酸素同位体比自動測定にむけての前処理実験、溶存酸素の安定同位体比測定システムの設計を進めた。開発研究の結果、新規購入した質量分析装置を用いることで、硝酸の窒素、酸素安定同位体比の連続測定システムの構築が大きく推進された。

## 2. 研究実施内容

研究の目的と進捗状況：

本研究では、流域における水・生物・栄養物質の各種安定同位体比を用い、流域の健全性や持続可能性を評価するための指標を構築することを目的とする。この目的を達成するために、水文学、生態学、地球化学などの専門家が協力し、流域診断の基礎となる現場情報を体系的に収集し、これを解析することにより、安定同位体比の指標化を図る。また、新たな指標構築の基礎となる、先端的な分析技術の開発（酸素安定同位体比の高精度測定、各種窒素化合物の安定同位体比測定手法の開発）も推進する。平成16年度は、窒素安定同位体比を用いた、窒素汚濁の検出と、その生態系影響評価法について重点的な研究を進めた。

本年度の最も重要な成果のひとつは、琵琶湖集水域における各種安定同位体比のマッピングから、人為負荷の影響により生態系構成員（植物、動物、微生物）の窒素安定同位体比が一斉に上昇することを明らかにした点である。河川の石面付着物（河床に存在するレキ上に発達する微生物層）の窒素安定同位体比を例にとると、人口密集地帯である東部および南部の湖岸地帯で窒素安定同位体比が高く（6 - 10 ‰）、過疎地帯である北部や西部では窒素安定同位体比が低い（4‰以下）といった傾向が明らかに見られた。また、最大の流入河川である野洲川における流下変化の調査結果でも上流から下流に向けて、石面付着物の窒素安定同位体比が0 ‰から12 ‰に上昇する傾向が見られた。これらの結果を、集水域の土地利用や一般水質項目と比較し、多変量解析を行った結果、集水域における森林面積の減少とともに、窒素安定同位体比が飽和型曲線を描いて上昇することが明らかになった。この結果は、森林を起源とする「安定同位体比の低い窒素」と、住宅地や農耕地を起源とする「安定同位体比の高い窒素」が、河川水において混合しているというモデル（2ソースモデル）を用いて、よく説明することができた（図1を参照）。土地利用と窒素安定同位体比の関係が「飽和型」である、ということは、窒素安定同位体比は、比較的軽微な汚濁（汚濁の予兆）に対しては敏感に応答するが、逆に、ある一定限度以上に汚濁が進行すると、あまり応答しなくなることを意味している。一般水質項目との比較の結果、アンモニウム濃度が上昇すると、窒素安定同位

体比の上昇が抑えられる傾向が見られたことから、河床の酸化還元状態が、窒素安定同位体比に強い影響を及ぼしている可能性が示唆された。これに関しては今後の検討が必要である。

本年度に得られた、もうひとつの重要な成果としては、河川に生息する多様な水生生物群集の炭素・窒素同位体比から、河川生物群集の健全性を「食物網の構造」あるいは「食物連鎖のエネルギー基盤」という観点から評価する新しい方法の開発にむけての重要な基礎的知見が得られたことが挙げられる。この成果は、従来から行われている、「生物群集のリスト」に基づく河川の健全性評価の方法に対して、生態系の構造を定量的に査定するという、新しいアセスメント技術の開発の可能性を示唆している。具体的には、琵琶湖に流入する31河川において、雑食魚の窒素安定同位体比を指標として、生物群集の食物連鎖長を推定したところ、人為的な窒素汚濁に伴い、食物連鎖の著しい短縮が生じていることが定量的に示された。この新しい知見は、国内外のシンポジウムなどで公表するとともに、現在、論文としてまとめている段階である。また、ダムが河川生態系に与える影響を診断するための同位体指標構築にむけての観測的研究も推進した。現在、サンプルの解析を鋭意進めている段階であるが、予備的な解析の結果、ダム直下生態系においては、ダムの無い河川にくらべて、炭素安定同位体比が低下する傾向が見られた。このことは、ダム湖内で内部生産された有機物がダム下流域の食物連鎖に対しての大きなエネルギー基盤となっている可能性を示唆している。今後、ダムから流下する有機物の負荷と、ダム直下でみられる生物多様性の変化の間の因果関係を解析することが重要な課題である。

本研究計画では、国内の研究拠点（琵琶湖集水域）にくわえ、海外の研究拠点での流域診断手法の適用も研究テーマとなっている。本年度は、モンゴル（ツール川）とボルネオ（キナバル山水系）における安定同位体比の分布についての予備観測を実施し、琵琶湖集水域との比較検討を行うための試料を採集した。試料の分析を進めている段階であるが、予備的な解析結果では、モンゴル河川においては、河川水中の溶存窒素化合物に占めるアンモニウムと溶存有機窒素の割合が高く、その結果、人為汚濁に対する窒素安定同位体比の応答のパターンが、琵琶湖集水域におけるパターンとは異なる可能性が示唆されている。平成17年度の集中調査においては、その可能性を詳しく検討する予定である。さらに、水の $^{17}\text{O}$ アノマリ測定のための前処理ラインの作成、硝酸の窒素酸素同位体比自動測定にむけての前処理実験、溶存酸素の安定同位体比測定システムの設計を進めた。これらの開発研究の本年度の大きな成果としては、新規購入した質量分析装置を用いることで、硝酸の窒素、酸素安定同位体比の連続測定システムの構築が大きく推進された点が挙げられる。このシステムは平成17年度には本格的に稼働し始めるが、これにより、流域規模での硝酸の安定同位体比マッピングの研究が大きく進展することが期待される。

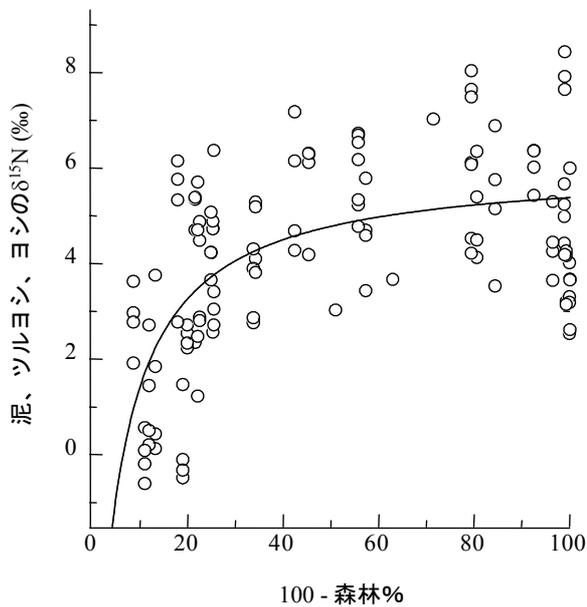


図1 琵琶湖に流入する32河川における、河岸堆積物や河畔植物の窒素安定同位体比（y-軸）と集水域の土地利用（x-軸）の関係。土地利用指数としては、各集水域における森林伐採の強度を表す100-F値（ただし、Fは各河川の集水域面積に対する森林面積の百分率）を用いた。2発生源混合モデルに基づく回帰分析の結果、森林域、非森林域を起源とする窒素の安定同位体比がそれぞれ-7.7‰と+5.4‰であること、また、森林伐採により、単位面積当たりの窒素流出量が約20倍に増加すること等が推定された。図中には回帰曲線を示す。

### 3. 研究実施体制

#### 統括グループ

- ① 研究分担グループ長：永田 俊（京都大学 生態学研究センター、教授）
- ② 研究項目：各班の成果を統合化。海外拠点における指標の適用。

#### 水循環研究グループ

- ① 研究分担グループ長：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、研究員）
- ② 研究項目：水の安定同位体比を用いた新しい水循環指標の開発。

#### 物質循環研究グループ

- ① 研究分担グループ長：宮島 利宏（東京大学 海洋研究所、助手）
- ② 研究項目：生元素の各種安定同位体比による流域物質循環指標の構築。

#### 生態系研究グループ

- ① 研究分担グループ長：竹門 康弘（京都大学 防災研究所、助教授）
- ② 研究項目：生物の安定同位体比による流域生態系の健全性指標の構築。

#### 4. 主な研究成果の発表

##### (1) 論文発表

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