

琵琶湖における年間硝酸生産量の定量に成功！

名古屋大学環境学研究科の角皆 潤教授、中川 書子准教授らの研究グループは、湖沼水に溶存する硝酸 (NO₃⁻)^{注1} 中の酸素の同位体^{注2} 組成を利用して、湖内全体で1年間に生産される硝酸量 (総硝化速度) を定量化する新手法を開発した。

また、この新手法を琵琶湖に応用し、①1年間に硝化によって生産される硝酸の総量は、河川からの総流入量の3倍を超えること、②湖内の一次生産 (光合成) の季節変化に連動して、夏に速く、冬に遅くなる季節変化をしていること、③窒素栄養塩を湖内で何度もリサイクルして有効利用する生態系が発達していること、などを見出した。

今後は、琵琶湖をはじめとした多くの湖沼や海域で、総硝化速度を定期的に観測し、その長期変化をモニタリングすることが可能になるため、世界各地の湖沼や沿岸海域で進行しつつある富栄養化や、生態系構造変化の原因究明に貢献することが期待される。

この研究成果は、平成30年1月22日付 (米国東部時間) で米国陸水・海洋学会 (American Society of Limnology and Oceanography) の科学雑誌「Limnology and Oceanography」オンライン版に掲載されました。

この研究は、平成24～26年度の文部科学省科学研究費補助金 (挑戦的萌芽研究) と、平成29年度から始まった文部科学省科学研究費補助金 (基盤研究A) の支援のもとでおこなわれたものです。

【ポイント：硝化速度定量法について】

- ・ 栄養塩である硝酸 (NO_3^-) が湖内全域で硝化菌によって生産される速さ（総硝化速度）を定量化する新手法を開発。
- ・ 新手法は、湖沼に溶存する硝酸の自然同位体組成を利用する。現存量を測定するだけで定量できるので、従来法で必須だった培養操作や人工トレーサーの添加は不要で画期的。

【ポイント：琵琶湖について】

- ・ 一年間に硝化によって生産される硝酸の総量は、河川からの総流入量の 3 倍を超えている（図 1）。
- ・ 一次生産（光合成）が活発になる夏に速く、不活発な冬に遅くなる季節変化をしている。
- ・ 窒素は琵琶湖の一次生産（光合成）の主要制限元素となっていて、これを有効利用する生態系が発達している。

【研究成果の意義と背景】

硝酸 (NO_3^-) は、植物や植物プランクトンが行う光合成に必須の物質（栄養塩）として代表的なもので、各湖沼に対する硝酸の供給速度は、水質や基礎生産量、生態系構造などを大きく左右する。一般の湖沼水中の硝酸は、湖外から河川や降水を通じて供給される他、湖内に生息する微生物から、硝化と呼ばれる反応を通じて供給される。したがって、各供給速度の季節変化や経年変化は、各湖沼の基礎生産量や生態系構造、水質の現状や将来を考える上で重要である。各供給速度の中で、河川経由の供給速度と、降水経由の供給速度は比較的簡単に求められるが、硝化は季節や深度に応じて大きく変化するため、実測はきわめて難しかった。硝化によって 1 年間に供給される硝酸の総量が実測されたことは、琵琶湖はもちろん、国内の湖沼では過去に例が無かった。

研究グループでは、降水を通じて供給される硝酸が、三種の安定同位体の中で ^{17}O を異常濃縮していることに着目した。この異常濃縮の程度は、一般の化学反応の際は変化せず、硝化由来の硝酸と混合した時だけ、その混合比に応じて減少するという性質がある。このため、湖水中の硝酸の ^{17}O 異常濃縮度^{注3}を定量することで、湖水中の全硝酸に占める降水を通じて供給された硝酸の比率を求めることができ、これと降水経由の硝酸供給速度から、湖内の総硝化速度を求めた。

研究グループでは、2011 年に発表した論文の中で、この ^{17}O 異常濃縮を利用した世界初の新手法のアイデアを提示するとともに、貧栄養湖である摩周湖（北海道）に適応して総硝化速度を実測した。また同時に、この新手法は、貧栄養環境の湖沼が応用先として最も適しているが、それ以外の一般の湖沼でも利用できることを指摘していた。そこで、今回、大部分が中栄養環境に分類される琵琶湖にこの手法を応用し、成功した。

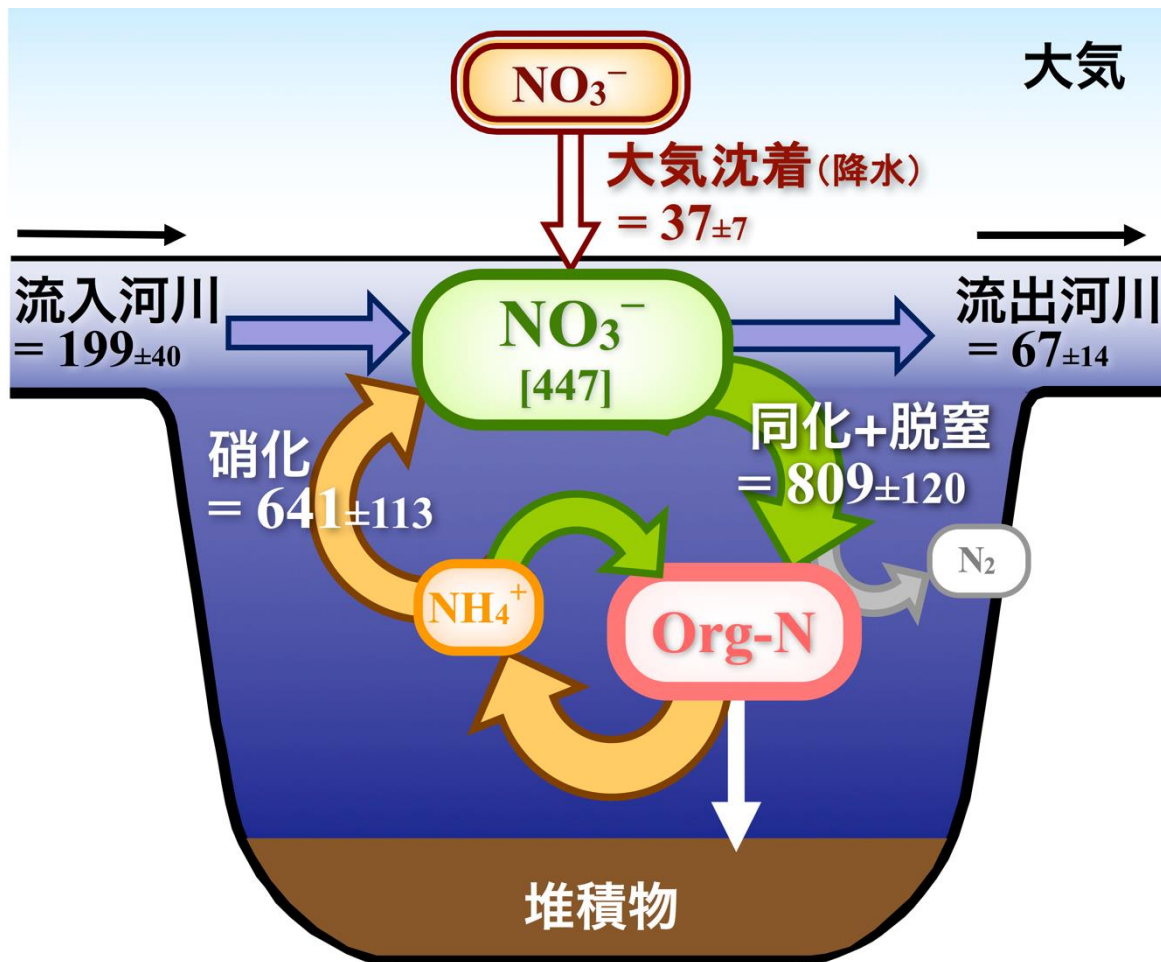


図1 本研究で見積もった琵琶湖の窒素循環速度((単位 10^6 mol/yr)。一年間に湖内の硝化によって生産される NO_3^- の総量は、約 640×10^6 mol (重量に換算すると、約 4 万トン) に達し、河川経由の NO_3^- 流入量の 3 倍以上であることが明らかになった。

【用語説明】

1) 硝酸 (NO_3^-):

生物の必須元素である窒素 (N) の地表環境下における主要存在形。代表的な栄養塩 (植物の光合成を律速する物質) であり、その供給速度は、各湖沼の基礎生産量や生態系構造を左右する。また極端に高濃度化すると、飲用水として利用できなくなる (琵琶湖水は問題無いレベル)。なお NO_3^- は、正しくは「硝酸イオン」と呼ぶべきだが、自然界には HNO_3 や NaNO_3 といった形で存在するものも多くあり、これらを総称として「硝酸」と呼び、化学式は主要形である NO_3^- を使う習慣があり、これに倣った。

2) 酸素同位体:

自然界に存在する酸素原子の大部分 (約 99.8%) は陽子 8 個と中性子 8 個の原子核から構成される質量数 16 の酸素原子 (^{16}O と表記) であるが、陽子 8 個と中性子 9 個の原子核から構成される質量数 17 の酸素原子 (^{17}O と表記) が 0.04% 程度、陽子 8 個と中性子 10 個の原子核から構成される質量数 18 の酸素原子 (^{18}O と表記) が 0.2% 程度混在する。これらはいずれも安定な原子核で放射壊変はしないが、その相対存在比

は自然界における諸過程（酸素原子を含む物質の化学反応や相変化など）に際して、微小に変化する。

3) ^{17}O 異常濃縮 :

自然界で酸素の同位体の相対存在比が変化する際に、 ^{16}O に対する ^{17}O の濃縮度と、 ^{16}O に対する ^{18}O の濃縮度は一般に比例関係を示す。ところが、大気中で進行するごく一部の化学反応では、この比例関係から大きく逸脱して、 ^{17}O が過剰に濃縮される。これは「 ^{17}O 異常濃縮」と呼ばれ、この反応の代表例がオゾン (O_3) の生成反応である。降水を通じて地表に供給される硝酸は、大気中で一酸化窒素とオゾンが反応して生成したものであり、オゾン同様 ^{17}O を異常濃縮している。したがって、 ^{17}O 異常濃縮を指標に用いると、異常濃縮の無い硝化起源の硝酸と明瞭に区別できる。

【論文名】

掲載雑誌 : *Limnology and Oceanography* (米国陸水・海洋学会の科学雑誌)

論文名 : **Quantifying nitrate dynamics in a mesotrophic lake using triple oxygen isotopes as tracers** (三酸素同位体組成を指標に用いた中栄養湖における硝酸循環速度定量)

著者 : Urumu Tsunogai¹, Takanori Miyauchi, Takuya Ohyama, Daisuke D. Komatsu^{1,†}, Masanori Ito¹, and Fumiko Nakagawa¹ (角皆 潤¹, 宮内 貴規¹, 大山 拓也¹, 小松 大祐^{1,†}, 伊藤 昌稚¹, 中川 書子¹)

※1. 名古屋大学, †現在 : 東海大学海洋学部

公表日 : 1月22日0時 (米国時間) / 1月22日14時 (日本時間)

DOI : 10.1002/lno.10775.