

令和 3 年 5 月 30 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H00780

研究課題名(和文) 硝酸の三酸素同位体異常を利用した非培養型の窒素循環速度定量法確立

研究課題名(英文) Quantifying nitrate dynamics in hydrosphere using triple oxygen isotopes as tracers

研究代表者

角皆 潤 (Tsunogai, Urumu)

名古屋大学・環境学研究科・教授

研究者番号：50313367

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,600,000円

研究成果の概要(和文)：琵琶湖湖水中の硝酸の三酸素同位体異常を利用して湖内の硝化速度や同化速度を求め、従来法である培養法で得られる各深度の同化速度と比較した。その結果、三酸素同位体異常から求める同化速度は、培養法の同化速度と比べて夏季に過大、冬季に過小評価となることが明らかになった。また、年平均で20パーセント程度小さく見積もられることも明らかになった。培養法は観測時の瞬間的な速度を反映するものであり、観測が主に夏季や静穏時に行われることを反映したものと考えられる。つまり、硝酸の三酸素同位体異常を利用した方が、より簡便で、それでいてより信頼度の高い湖内の平均的な硝化速度や同化速度が求められる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

硝酸は、植物プランクトンが行う光合成に必須の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の大部分は、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。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が、研究はこれを容易にした。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。

研究成果の概要(英文)：Vertical distributions of both concentrations and the 0-17-excesses of nitrate were determined four times during one year within the mesotrophic water column of Lake Biwa. By using both the deposition rate of atmospheric nitrate onto the entire surface of the lake and the influx/efflux of nitrate via streams, we quantified the annual dynamics of nitrate (gross production rate of nitrate through nitrification and gross metabolic rate of nitrate through assimilation) based on the 0-17-excess method. The results revealed that 642 Mmol of the remineralized nitrate was supplied into the water column through nitrification in the lake on an annual basis, while 810 Mmol of nitrate was metabolized in the lake through assimilation. In addition, the total metabolic rates of nitrate varied seasonally, with the highest rates in summer and the lowest in winter. We concluded that the 0-17-excess method reliably estimates the dynamics of nitrate in mesotrophic lakes.

研究分野：同位体地球化学

キーワード：硝酸 三酸素同位体 硝化速度 同化速度 窒素循環 湖沼 海洋 環境

# 1. 研究開始当初の背景

## (1) 湖沼の窒素循環とその重要性について

硝酸 ( $\text{NO}_3^-$ ) は代表的な窒素栄養塩であり、多くの湖沼で一次生産 (光合成) を制限する。このため、多くの湖沼やその流入河川で、 $\text{NO}_3^-$  濃度の観測が高頻度で行われている。しかし、湖沼水中の  $\text{NO}_3^-$  には多様な供給・除去過程が混在しており (Fig. 1)、 $\text{NO}_3^-$  濃度の観測結果は幾通りにも解釈出来てしまう。各湖沼の一次生産量や生態系構造の制御因子を正しく把握し、富栄養化や無酸素水塊形成、水質劣化等の諸問題を解決に導くには、各湖沼水に対する各  $\text{NO}_3^-$  供給速度の把握、特にその時空間変化の把握が必要不可欠である。

一般の湖沼では、湖内の有機体窒素 (Org-N) を起源として、微生物が担う硝化反応を通じて湖水中に供給される  $\text{NO}_3^-$  (以下これを  $\text{NO}_3^-_{\text{re}}$  とする) が多くを占めており、これに河川や大気沈着を通じて湖外から供給される  $\text{NO}_3^-$  が加わる (Fig. 1)。このうち、河川経由の  $\text{NO}_3^-$  供給速度と、大気沈着経由の  $\text{NO}_3^-$  供給速度は比較的簡単に実測できる。しかし、硝化経由の  $\text{NO}_3^-$  供給速度 (= 硝化速度) は実測が難しく、以下に示すような煩雑な観測が必要になる。まず各水深から採取した水試料に  $^{15}\text{N}$  で標識したアンモニア ( $^{15}\text{NH}_4^+$ ) を添加し、採取場所と同環境下で数時間から数日培養した上で  $\text{NO}_3^-$  の  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  比を測定し、この培養期間中の  $^{15}\text{NO}_3^-$  増加量から各水深の硝化速度を算出し、これを水柱積分することで、ようやく湖沼全体の硝化速度が求められる<sup>1)</sup>。ただし、こうして求められた硝化速度は、観測時の「瞬間値」に過ぎない。硝化速度は時間変動している可能性があり、その年間平均値が必要となる場合には、上記の観測作業を時刻や季節を変えて繰り返し、求められた速度を平均化する必要がある。その一方で、培養は容器等へ隔離して行う必要があり、その結果容器内の物理・化学・生物環境は必然的に現場とは異なるものになるので、得られた硝化速度は不正確である。このため、硝化速度が年間を通じて実測されることは稀であり、多くのモデル計算では、何らかの仮定に基づく推定値や、全く別の環境下で測定された硝化速度を転用することが多かった。これに対して我々は、大気沈着を通じて湖沼に供給される  $\text{NO}_3^-$  ( $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ ) の中の酸素 (O) の自然同位体比 ( $^{16}\text{O}$ 、 $^{17}\text{O}$ 、 $^{18}\text{O}$  の相対存在比) が特徴的な値を示す<sup>2),3)</sup> ことに着目し、これを湖沼の硝化速度定量化に活用出来るのでは無いかと考えた。

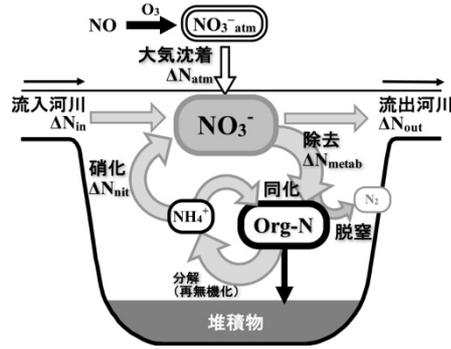


Fig. 1 湖沼における  $\text{NO}_3^-$  を中心とした窒素循環系の模式図。

## (2) $\text{NO}_3^-$ の自然同位体比について

自然同位体比の大小は、基準物質の自然同位体比との間の相対値である「 $\delta$  値」で表記され、 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  比を例にとると、その  $\delta$  値 ( $\delta^{18}\text{O}$  値) は、以下の式で定義される<sup>4)</sup>

$$\delta^{18}\text{O} = R_X/R_{\text{STD}} - 1 \quad [1]$$

ここで、 $R_X$  は対象となっている物質の  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  比、また  $R_{\text{STD}}$  は基準物質 (VSMOW と呼ばれる海水) の  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  比を表す。 $^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$  比を表す  $\delta^{17}\text{O}$  値も同様に定義される。 $\delta$  値はそのままでは、きわめて小さい数値となるので、1000 倍に拡大した上で、これに「‰ (パーミル、 $=10^{-3}$ )」を付記することが多い。自然界に存在するいろいろな含酸素分子の  $\delta^{18}\text{O}$  値や  $\delta^{17}\text{O}$  値を‰ レベルで測定すると、有意な変動が見られる (Fig. 2)。これは、自然界で進行する化学反応や相変化の反応速度定数が、同位体分子 (例えば  $^{14}\text{N}^{16}\text{O}_3^-$ 、 $^{14}\text{N}^{16}\text{O}_2^{17}\text{O}$ 、 $^{14}\text{N}^{16}\text{O}_2^{18}\text{O}$  など) 毎に微小に異なるからであり、同位体分別 (isotope fractionation) と呼ばれる。

地球上の大部分の含酸素分子は、この Fig. 2 上で原点を通る直線上に分布していることが確認されており、この直線は MDFL (Mass-Dependent Fractionation Line) と呼ばれている。これは一般の化学反応や相変化に伴う同位体分別が、MDF (Mass-Dependent Fractionation) と呼ばれる種類の同位体分別によって引き起こされているからであり、MDF が発生する際の  $\delta^{17}\text{O}$  値の変化に対する  $\delta^{18}\text{O}$  値の相対的な変化は、以下の式 [2] で表すことが出来る<sup>5)</sup>。

$$\ln(1 + \delta^{17}\text{O}) = \beta \times \ln(1 + \delta^{18}\text{O}) \quad [2]$$

ここで  $\beta$  は比例定数を表す。この式 [2] に対して近似式を適用して簡略化すると、以下の式 [3] となる。

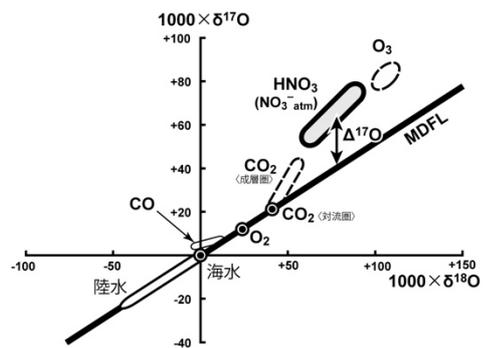


Fig. 2 大気から沈着する  $\text{HNO}_3$  ( $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ ) およびその他の地球上の含酸素化合物の酸素同位体比分布。

$$\delta^{17}\text{O} = \beta \times \delta^{18}\text{O} \quad [3]$$

$\beta$ として、式 [2] の場合は  $0.5279^6)$  を、また式 [3] の場合は  $0.52^7)$  を使用する。

ところが、大気中で酸素 ( $\text{O}_2$ ) からオゾン ( $\text{O}_3$ ) が生成する反応は例外で、 $\text{O}_3$  の酸素同位体比は MDFL から大きく逸脱する<sup>7)</sup>。このため、大気中の一酸化窒素 ( $\text{NO}$ ) が  $\text{O}_3$  と反応することで生成する  $\text{HNO}_3$  ( $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ ) も、この MDFL から大きく逸脱する (Fig. 2)。この逸脱の大きさを、以下に示す式 [4] で定義される  $\Delta^{17}\text{O}$  値を用いて定量化すると、日本を中心とした中緯度帯における  $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$  の平均  $\Delta^{17}\text{O}$  値は、+26 ‰ となることが知られている<sup>3), 8)</sup>。

$$\Delta^{17}\text{O} = \frac{1 + \delta^{17}\text{O}}{(1 + \delta^{18}\text{O})^\beta} - 1, \quad [4]$$

一方、硝化により生成する  $\text{NO}_3^-_{\text{re}}$  中の O は、MDFL 上に位置する  $\text{O}_2$  もしくは  $\text{H}_2\text{O}$  に由来し、さらにそれが生成する反応過程で起きる同位体分別は MDF なので、 $\text{NO}_3^-_{\text{re}}$  は必ず MDFL 上に位置する (Fig. 2)。つまり、 $\text{NO}_3^-_{\text{re}}$  の  $\Delta^{17}\text{O}$  値は 0 ‰ である。従って、 $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$  が地表に沈着し、そこで  $\text{NO}_3^-_{\text{re}}$  と混合すると、その混合比に応じて  $\Delta^{17}\text{O}$  値は減少する (Fig. 3)。一方  $\text{NO}_3^-$  が、地表環境中で同化や脱窒と言ったような同位体分別を受けるとその  $\delta^{17}\text{O}$  値や  $\delta^{18}\text{O}$  値は変化するが、地表環境中の同位体分別は MDF なので、 $\Delta^{17}\text{O}$  値は変化しない (Fig. 3)。つまり、同化や脱窒などの同位体分別過程の有無に依らず、 $\text{NO}_3^-$  の  $\Delta^{17}\text{O}$  値から、その中に含まれる  $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$  と  $\text{NO}_3^-_{\text{re}}$  の混合比を算出することが出来るし、 $\text{NO}_3^-$  濃度と  $\Delta^{17}\text{O}$  値から、 $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$  濃度を算出することも出来る。

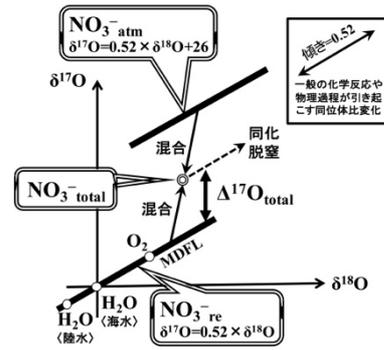


Fig. 3  $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$  と  $\text{NO}_3^-_{\text{re}}$  (各々太線で領域を示した) の  $\delta^{17}\text{O}$  値と  $\delta^{18}\text{O}$  値の関係。

## 2. 研究の目的

本研究では、湖水中の溶存する  $\text{NO}_3^-$  についてこの三酸素同位体異常 ( $\Delta^{17}\text{O}$  値) を測定し、ここから湖内の  $\text{NO}_3^-$  の総硝化速度 ( $\Delta\text{N}_{\text{nit}}$ ) や総同化速度 ( $\Delta\text{N}_{\text{assim}}$ ) 算出に挑戦する。流入・流出河川による物質収支が無視出来る閉鎖的な湖沼中に溶存する  $\text{NO}_3^-$  の平均  $\Delta^{17}\text{O}$  値 ( $\Delta^{17}\text{O}_{\text{lake}}$ ) は、その湖沼に対して大気沈着を経て供給される  $\text{NO}_3^-$  ( $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ ) と、湖沼内部の硝化反応を経て供給される  $\text{NO}_3^-$  ( $\text{NO}_3^-_{\text{re}}$ ) の供給速度比を反映するので、 $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$  の沈着速度 ( $\Delta\text{N}_{\text{atm}}$ ) が既知量なら、 $\Delta^{17}\text{O}_{\text{lake}}$  から湖内の  $\Delta\text{N}_{\text{nit}}$  を定量化出来る<sup>9)</sup> (Fig. 4)。さらに、 $\Delta\text{N}_{\text{nit}}$  と  $\Delta\text{N}_{\text{atm}}$  が求めれば、湖水中の全  $\text{NO}_3^-$  量とのバランスから、湖水から除去された  $\text{NO}_3^-$  量 ( $\Delta\text{N}_{\text{metab}}$ ) も求めることが出来る<sup>9)</sup> (Fig. 4)。ここで  $\Delta\text{N}_{\text{metab}}$  とは、一次生産に伴う  $\text{NO}_3^-$  除去量である  $\text{NO}_3^-$  同化量 ( $\Delta\text{N}_{\text{assim}}$ ) と、硝酸呼吸 (異化的硝酸還元反応) に伴う  $\text{NO}_3^-$  除去速度である脱窒量 ( $\Delta\text{N}_{\text{denit}}$ ) の和であるが、一般の湖沼であれば  $\Delta\text{N}_{\text{assim}}$  は  $\Delta\text{N}_{\text{denit}}$  より遥かに大きいので、求めた  $\Delta\text{N}_{\text{metab}}$  は  $\Delta\text{N}_{\text{assim}}$  に近似出来る。また、流入・流出河川による  $\text{NO}_3^-$  流出入が無視出来ない開放的な湖沼の場合は、流入・流出河川による  $\text{NO}_3^-$  流出入量と平均  $\Delta^{17}\text{O}$  値を実測して補正することで、同様に  $\Delta\text{N}_{\text{nit}}$  や  $\Delta\text{N}_{\text{assim}}$  を定量化出来るはずである。そこで、日本を代表する湖沼である琵琶湖をフィールドに湖水と河川水中の  $\text{NO}_3^-$  濃度と  $\Delta^{17}\text{O}$  値を実測し、これに観測や大気化学輸送モデルから求めた  $\Delta\text{N}_{\text{atm}}$  を適応することで、 $\Delta\text{N}_{\text{nit}}$  や  $\Delta\text{N}_{\text{assim}}$  を定量化する<sup>9)</sup>。また、同時に従来法 ( $^{15}\text{N}$  トレーサー法) を用いて  $\Delta\text{N}_{\text{assim}}$  を見積もり、結果を比較することで、新手法の信頼性 (確度) や従来法の問題点を評価する。さらに海洋環境への応用も試行する。

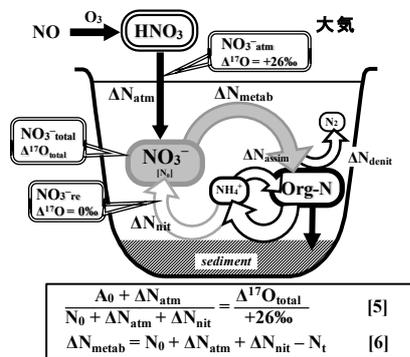


Fig. 4 流出・流入河川の影響が無視出来る湖沼における  $\text{NO}_3^-$  を中心とした窒素循環模式図と、観測インターバル ( $t=0$  より  $t=t$ ) 間に硝化により湖水中に加わった  $\text{NO}_3^-$  量 ( $\Delta\text{N}_{\text{nit}}$ ) や同化や脱窒により湖水中から除去された  $\text{NO}_3^-$  量 ( $\Delta\text{N}_{\text{metab}}$ ) と湖沼内の  $\text{NO}_3^-$  の総量 ( $N_0$  および  $N_t$ ) およびその  $\Delta^{17}\text{O}$  値 ( $\Delta^{17}\text{O}_{\text{total}}$ ) との関係。

## 3. 研究の方法

琵琶湖の主要流入・流出河川と、湖内二箇所の定点で、同一年に計 4 回 (3 月、6 月、8 月、10 月) に渡って水試料を採取し、 $\text{NO}_3^-$  の濃度と  $\Delta^{17}\text{O}$  値を測定した<sup>8), 10), 11)</sup>。湖内の定点では、各層で水試料を採取し、 $\text{NO}_3^-$  の濃度と  $\Delta^{17}\text{O}$  値の鉛直分布を求めた。なお、便宜上、

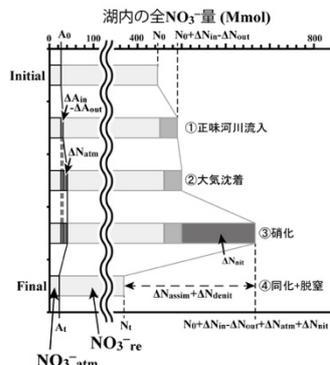


Fig. 5 正味河川流入 ( $\Delta\text{N}_{\text{in}} - \Delta\text{N}_{\text{out}}$  および  $\Delta\text{A}_{\text{in}} - \Delta\text{A}_{\text{out}}$ )、大気沈着 ( $\Delta\text{N}_{\text{atm}}$ )、硝化 ( $\Delta\text{N}_{\text{nit}}$ )、同化および脱窒による除去 ( $\Delta\text{N}_{\text{metab}} = \Delta\text{N}_{\text{assim}} + \Delta\text{N}_{\text{denit}}$ ) の各プロセス別に分けて示した、観測インターバル中の湖内の全  $\text{NO}_3^-$  量 ( $N_0$  から  $N_t$ ) と、湖内の全  $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$  量 ( $A_0$  から  $A_t$ ) の時間変化。

各観測の間のインターバル (3-6月間・6-8月間・8-10月間・10-3月間) を、それぞれ春期間・夏期間・秋期間・冬期間と呼ぶことにする。

まず、求めた湖水中の  $\text{NO}_3^-$  濃度と  $\Delta^{17}\text{O}$  値の鉛直分布と、湖底地形を元に、各観測時の湖水中の全  $\text{NO}_3^-$  量 (N) と全  $\text{NO}_3^-$  量 (A) を求めた。次に、各河川の  $\text{NO}_3^-$  濃度と  $\Delta^{17}\text{O}$  値を元に、各インターバルについて、流入流出河川経路で琵琶湖に正味供給される  $\text{NO}_3^-$  の総量 ( $\Delta\text{N}_{\text{in}} - \Delta\text{N}_{\text{out}}$ ) と、流入流出河川経路で琵琶湖に正味供給される  $\text{NO}_3^-$  量の総量 ( $\Delta\text{A}_{\text{in}} - \Delta\text{A}_{\text{out}}$ ) を求めた<sup>8)</sup>。さらに、各インターバルに湖面に沈着した  $\text{NO}_3^-$  量 ( $\Delta\text{N}_{\text{atm}}$ ) も、湖畔の大気観測点でモニタリングされていた実測データとモデルを元に推定した<sup>10)</sup>。そして、各観測インターバルの開始時を Initial ( $t=0$ )、終了時を Final ( $t=t$ ) とし、この間の全  $\text{NO}_3^-$  量の時間変化 ( $\text{N}_0$  から  $\text{N}_t$  へ) と、全  $\text{NO}_3^-$  量の時間変化 ( $\text{A}_0$  から  $\text{A}_t$  へ) が説明出来るように、各インターバルの  $\Delta\text{N}_{\text{nit}}$  と  $\Delta\text{N}_{\text{metab}}$  を算出した<sup>10)</sup> (Fig. 5)。さらに、こうして求めた各インターバルの  $\Delta\text{N}_{\text{nit}}$  と  $\Delta\text{N}_{\text{metab}}$  を積算することで、年間の  $\Delta\text{N}_{\text{nit}}$  と  $\Delta\text{N}_{\text{metab}}$  を求めた<sup>10)</sup>。また、同時に表面水および水深 10 m 水にそれぞれ  $^{15}\text{NO}_3^-$  トレーサー添加し、疑似現場環境下に置いた密閉透明容器中で 24 時間培養し、その間に粒子状有機物化する  $^{15}\text{N}$  の速度<sup>12)</sup> から  $\Delta\text{N}_{\text{assim}}$  を見積もった<sup>10)</sup>。

#### 4. 研究成果

##### ① 琵琶湖の硝化速度および $\text{NO}_3^-$ 除去速度

求めた琵琶湖における年間の総硝化量 ( $\Delta\text{N}_{\text{nit}}$ ) は  $641 \pm 113 \text{ Mmol yr}^{-1}$  ( $\text{Mmol} = 10^6 \text{ mol}$ ) となり、河川経路の  $\text{NO}_3^-$  流入量 ( $\Delta\text{N}_{\text{in}}$ ) の 3 倍を超えていた (Fig. 6)。その一方で、年間の総  $\text{NO}_3^-$  除去量 ( $\Delta\text{N}_{\text{metab}}$ ) は  $809 \pm 120 \text{ Mmol yr}^{-1}$  となり、 $\Delta\text{N}_{\text{nit}}$  と同程度であった (Fig. 6)。また求められた、各インターバルの  $\Delta\text{N}_{\text{nit}}$  や  $\Delta\text{N}_{\text{metab}}$  を、各インターバルの長さで割ることで、各インターバルの平均硝化速度 ( $F_{\text{nit}}$ ) や平均  $\text{NO}_3^-$  除去速度 ( $F_{\text{metab}} = F_{\text{assim}} + F_{\text{denit}}$ ) を求めると、 $F_{\text{metab}}$  は冬期間が一番遅く、夏期間が一番速くなるのが明らかになった (Fig. 7)。これは同化速度 ( $F_{\text{assim}}$ ) の季節変化、すなわち一次生産の季節変化を反映している可能性が高い。また、各観測インターバルの  $F_{\text{nit}} / (F_{\text{assim}} + F_{\text{denit}})$  比 (つまり Fig. 7 中で、各データと原点を結んだ直線の傾き) に着目すると、春期間が最小、秋期間が最大である。これは、 $F_{\text{assim}}$  の増減に対して 1-2 ヶ月遅れで  $F_{\text{nit}}$  が増減したことを反映したものと思われ、湖内の一次生産で生成する有機体窒素の寿命は、平均 1-2 ヶ月程度であることを示唆している。

##### ② $\Delta^{17}\text{O}$ 法と従来法の比較

従来法を用いて見積もった、各水試料の  $F_{\text{assim}}$  は 90 から  $709 \text{ mmol N L}^{-1} \text{ d}^{-1}$  となり、これを深さ方向に積分すると 4.0 から  $5.2 \text{ mmol N d}^{-1} \text{ m}^{-2}$  となった (Fig. 8)。各インターバル間は、この  $F_{\text{assim}}$  で一定であると仮定して年間総同化量  $\Delta\text{N}_{\text{assim}}$  を求めると  $978 \text{ Mmol yr}^{-1}$  ( $= 4.6 \text{ mmol NO}_3^- \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) となり、 $\Delta^{17}\text{O}$  法で見積もった年間総同化量  $\Delta\text{N}_{\text{assim}}$  ( $= \Delta\text{N}_{\text{metab}}$ ) である  $809 \pm 120 \text{ Mmol}$  ( $= 3.3 \pm 0.5 \text{ mmol NO}_3^- \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) とおおよそ一致した。 $\Delta\text{N}_{\text{assim}}$  ( $F_{\text{assim}}$ ) は  $\Delta\text{N}_{\text{metab}}$  ( $F_{\text{metab}}$ ) で近似しても問題無いこと、および  $\Delta^{17}\text{O}$  法で求める  $\Delta\text{N}_{\text{assim}}$  は十分信頼出来る見積値であることが証明された。ただし季節変化の傾向は必ずしも一致せず、 $\Delta^{17}\text{O}$  法から求める同化速度は、培養法の同化速度と比べて夏季に過大、冬季に過小評価となることが明らかになった。 $\Delta^{17}\text{O}$  法が観測インターバルの平均的な同化速度を反映するのに対して、培養法は観測時の瞬間的な同化速度を反映するものであり、静穏時の湖沼が速度見積もりの主要対象となることを反映したものと結論した。つまり、培養法で求める同化速度は代表値としては不十分であり、 $\Delta^{17}\text{O}$  法で求める方が真値として望ましい。

##### ③ まとめと今後の課題

我々が観測したのは、 $\text{NO}_3^-$  濃度とその自然同位体組成という現存量だけで、回数も年 4 回に過ぎないが、それでも年平均の硝化速度とその季節変化を定量化することに成功した。観測が行われていない、観測のインターバルに進行する硝化や同化が定量化出来るのが、この新手法の利点である。今後は、水環境

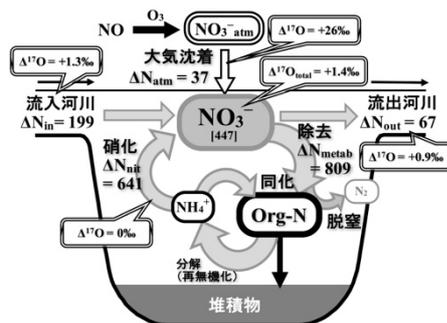


Fig. 6 琵琶湖における窒素循環図と各  $\Delta^{17}\text{O}$  値、一年間に硝化により湖水中に加わった  $\text{NO}_3^-$  量 ( $\Delta\text{N}_{\text{nit}}$ ) や同化や脱窒により湖水中から除去された  $\text{NO}_3^-$  量 ( $\Delta\text{N}_{\text{metab}}$ ) 等の各定量値 (単位  $\text{Mmol}$ )<sup>8), 10)</sup>。[] 内の数字は観測開始時点 (3 月) の湖内の全  $\text{NO}_3^-$  量 (単位  $\text{Mmol}$ )。

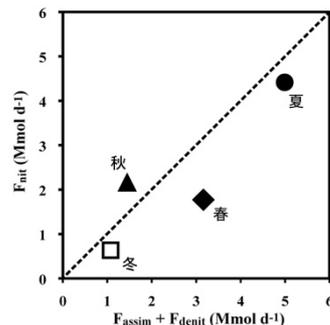


Fig. 7 琵琶湖における各観測インターバルの平均  $\text{NO}_3^-$  除去速度 ( $F_{\text{assim}} + F_{\text{denit}}$ ) と平均硝化速度 ( $F_{\text{nit}}$ ) の関係<sup>10)</sup>。

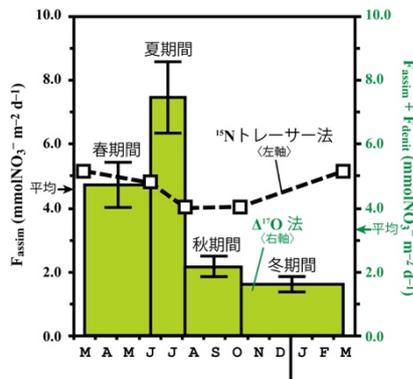


Fig. 8  $\Delta^{17}\text{O}$  法で見積もった琵琶湖における各観測インターバルの平均  $\text{NO}_3^-$  除去速度 ( $F_{\text{assim}} + F_{\text{denit}}$ ) と  $^{15}\text{N}$  トレーサー法 (培養法) で見積もった各観測時の  $\text{NO}_3^-$  同化速度 ( $F_{\text{assim}}$ ) の関係<sup>10)</sup>。各速度と  $y=0$  の囲む領域の面積が年間の総除去量 (もしくは総同化量) に相当する。

中の硝化速度やその他の窒素循環速度が実測を通じて把握されるようになること、そしてこの実測に基づく窒素循環速度が、水環境を巡る諸問題を解決へ導くことが期待出来る。

〈引用文献〉

- 1) Yool, A., et al. (2007) The significance of nitrification for oceanic new production. *Nature*, **447**, 999-1002.
- 2) Michalski, G., et al. (2003) First measurements and modeling of  $\Delta^{17}\text{O}$  in atmospheric nitrate. *Geophys. Res. Lett.* **30**, doi:10.1029/2003GL017015.
- 3) Tsunogai, U., et al. (2010) Tracing the fate of atmospheric nitrate deposited onto a forest ecosystem in eastern Asia using  $\Delta^{17}\text{O}$ . *Atmos. Chem. Phys.*, **10**, 1809-1820.
- 4) Coplen, T. B. (2011) Guidelines and recommended terms for expression of stable-isotope-ratio and gas-ratio measurement results. *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, **25**, 2538-2560.
- 5) Young, E. D., Galy, A. and Nagahara, H. (2002) Kinetic and equilibrium mass-dependent isotope fractionation laws in nature and their geochemical and cosmochemical significance. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **66**, 1095-1104.
- 6) Miller, M.F. (2002) Isotopic fractionation and the quantification of  $^{17}\text{O}$  anomalies in the oxygen three-isotope system: an appraisal and geochemical significance. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **66**, 1881-1889.
- 7) Thiemens, M.H., et al. (2001) Mass-Independent Isotopic Compositions in Terrestrial and Extraterrestrial Solids and Their Applications. *Acc. Chem. Res.*, **34**, 645-652.
- 8) Tsunogai, U., et al. (2016) Accurate and precise quantification of atmospheric nitrate in streams draining land of various uses by using triple oxygen isotopes as tracers. *Biogeosciences*, **13**, 3441-3459.
- 9) Tsunogai, U., et al. (2011) Quantifying nitrate dynamics in an oligotrophic lake using  $\Delta^{17}\text{O}$ . *Biogeosciences*, **8**, 687-702.
- 10) Tsunogai, U., et al. (2018) Quantifying nitrate dynamics in a mesotrophic lake using triple oxygen isotopes as tracers. *Limnology and Oceanography*, **63**, Issue S1, S458-S476.
- 11) 角皆 潤 (2018) 軽元素安定同位体比の高感度分析に基づく地球惑星科学研究・地球環境科学研究の新展開 (日本地球化学会賞受賞記念論文). *地球化学*, **52**, No. 4, 107-129, doi:10.14934/chikyukagaku.52.107.
- 12) Tsunogai, U., et al. (2008) Sensitive determinations of stable nitrogen isotopic composition of organic nitrogen through chemical conversion to  $\text{N}_2\text{O}$ . *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, **22**, 345-354.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 角皆 潤	4. 巻 30
2. 論文標題 高感度安定同位体質量分析に基づく海洋地球化学の革新	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 海洋化学研究	6. 最初と最後の頁 3-17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 David M. Nelson, Urumu Tsunogai, Dong Ding, Takuya Ohyama, Daisuke D Komatsu, Fumiko Nakagawa, Izumi Noguchi, Takashi Yamaguchi	4. 巻 18
2. 論文標題 Triple oxygen isotopes indicate urbanization affects sources of nitrate in wet and dry atmospheric deposition	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 6381 ~ 6392
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5194/acp-18-6381-2018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Fumiko Nakagawa, Urumu Tsunogai, Yusuke Obata, Kenta Ando, Naoyuki Yamashita, Tatsuyoshi Saito, Shigeki Uchiyama, Masayuki Morohashi, Hiroyuki Sase	4. 巻 15
2. 論文標題 Export flux of unprocessed atmospheric nitrate from temperate forested catchments: a possible new index for nitrogen saturation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 7025 ~ 7042
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5194/bg-15-7025-2018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 角皆 潤	4. 巻 52
2. 論文標題 軽元素安定同位体比の高感度分析に基づく地球惑星科学研究・地球環境科学研究の新展開	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 地球化学	6. 最初と最後の頁 107 ~ 129
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14934/chi.kyukagaku.52.107	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 角皆 潤, 中川 書子	4. 巻 41
2. 論文標題 湖沼における硝化速度定量化の手法について	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 月刊下水道	6. 最初と最後の頁 66-71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 角皆 潤, 中川 書子	4. 巻 61
2. 論文標題 三酸素同位体異常を指標に用いた生物地球化学循環解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 号外海洋	6. 最初と最後の頁 81-90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsunogai, U., T. Miyauchi, T. Ohyama, D.D. Komatsu, M. Ito, and F. Nakagawa	4. 巻 63
2. 論文標題 Quantifying nitrate dynamics in a mesotrophic lake using triple oxygen isotopes as tracers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Limnology and Oceanography	6. 最初と最後の頁 S458-S476
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/lno.10775	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Oanh Thi Ngoc Bui, Sohiko Kameyama, Yusuke Kawaguchi, Shigeto Nishino, Urumu Tsunogai, Hisayuki Yoshikawa-Inoue	4. 巻 22
2. 論文標題 Influence of warm-core eddy on dissolved methane distributions in the southwestern Canada basin during late summer/early fall 2015	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 100481 ~ 100481
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polar.2019.100481	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Urumu Tsunogai, Yuko Miyoshi, Toshiyuki Matsushita, Daisuke D Komatsu, Masanori Ito, Chiho Sukigara, Fumiko Nakagawa, Masahiro Maruo	4. 巻 65
2. 論文標題 Dual stable isotope characterization of excess methane in oxic waters of a mesotrophic lake	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Limnology and Oceanography	6. 最初と最後の頁 2937 ~ 2952
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/lno.11566	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takahiro Inoue, Fumiko Nakagawa, Hideaki Shibata, Urumu Tsunogai	4. 巻 126
2. 論文標題 Vertical Changes in the Flux of Atmospheric Nitrate From a Forest Canopy to the Surface Soil Based on 170 Values	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JG005876	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hao Xu, Urumu Tsunogai, Fumiko Nakagawa, Yijun Li, Masanori Ito, Keiichi Sato, Hiroshi Tanimoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Determination of the triple oxygen isotopic composition of tropospheric ozone in terminal positions using a multistep nitrite coated filter pack system	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Rapid Communications in Mass Spectrometry	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/rcm.9124	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計40件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 中川 書子, 鈴木 謙介, 伊藤 昌稚, 角皆 潤
2. 発表標題 現場環境下における都市河川中の脱窒・同化・硝化速度定量法開発
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020, Virtual (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 蘭 慧, 角皆 潤, 中川 書子, 伊藤 昌稚, 三好 友子, 原 修一
2. 発表標題 安定同位体組成を指標に用いた伊勢湾における過飽和メタンの起源および挙動解明.
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020, Virtual (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平野一哉, 角皆 潤, 中川書子, 伊藤昌稚
2. 発表標題 対流圏一酸化窒素の窒素及び三酸素同位体組成の定量
3. 学会等名 第25回大気化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 頼 鵬, 中川書子, 角皆 潤, 丁 とう, 野口 泉, 山口高志
2. 発表標題 多段フィルターパック法を用いたガス状亜硝酸および二酸化窒素の三酸素同位体異常定量
3. 学会等名 2020年度日本地球化学会第67回オンライン年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tsunogai, Urumu, Peng Weiqing, Masanori Ito, Chiho Sukigara, D.D. Komatsu, and Fumiko Nakagawa
2. 発表標題 The 170-excess of nitrate in the Japan Sea
3. 学会等名 SOLAS Open Science Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakagawa, Fumiko, Urumu Tsunogai, Takuya Ohyama, Daisuke D. Komatsu, Atsushi Kubo, and Jota Kanda
2. 発表標題 The triple oxygen isotopes of nitrate as tracer of atmospheric nitrate deposition in coastal seawater
3. 学会等名 SOLAS Open Science Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 角皆 潤,三好友子,松下俊之,伊藤昌稚,小松大祐,鋤柄千穂,中川書子
2. 発表標題 炭素および水素の安定同位体比を複合的に指標に用いた酸化的水柱に溶存するメタンの起源および挙動解明
3. 学会等名 日本地球化学会第66回年会, 東京大学理学部, 2019年9月17-19日
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水野宏香,角皆 潤,中川書子,伊藤昌稚
2. 発表標題 15Nアンモニア添加培養に基づく水柱の硝化速度定量
3. 学会等名 日本地球化学会第66回年会, 東京大学理学部, 2019年9月17-19日
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木謙介,角皆 潤,中川書子,伊藤昌稚
2. 発表標題 現場環境下における河川硝酸除去速度の時間変化定量法開発
3. 学会等名 日本地球化学会第66回年会, 東京大学理学部, 2019年9月17-19日
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川書子, 山本雄大, 池上文香, 角皆 潤
2. 発表標題 大気硝酸添加培養法に基づく都市河川における河床窒素循環速度の季節変化定量
3. 学会等名 日本地球化学会第66回年会, 東京大学理学部, 2019年9月17-19日
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三歩一孝, 角皆 潤, 中川書子, 伊藤昌稚
2. 発表標題 水環境中の溶存無機態リン酸の三酸素同位体組成定量
3. 学会等名 日本地球化学会第66回年会, 東京大学理学部, 2019年9月17-19日
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 角皆潤・柏木章吾・伊藤昌稚・中川書子・鋤柄千穂・水野宏香
2. 発表標題 微量安定同位体トレーサーを利用した海洋における水柱酸素消費速度定量
3. 学会等名 日本海洋学会2019年度秋季大会, 富山国際会議場, 2019 年9月25-29日
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水野宏香・角皆潤・中川書子・伊藤昌稚
2. 発表標題 15Nアンモニア添加培養に基づく水柱硝化速度の鉛直分布定量
3. 学会等名 日本海洋学会2019年度秋季大会, 富山国際会議場, 2019 年9月25-29日
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 嶺野雄登, 角皆潤, 鈴木謙介, 中川書子, 高橋菜穂子
2. 発表標題 降水用自動サンプラーの試作及びこれを用いた短時間化学組成変化の定量化
3. 学会等名 第24回大気化学討論会, ホテル明山荘 (愛知県蒲郡市), 2019年11月5-7日
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川書子・丁トゥ・頼鵬・平野一哉・角皆潤, 野口泉・山口高志
2. 発表標題 都市大気中二酸化窒素および亜硝酸ガスの三酸素同位体組成の時間変化
3. 学会等名 第24回大気化学討論会, ホテル明山荘 (愛知県蒲郡市), 2019年11月5-7日
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 角皆潤, 中川書子
2. 発表標題 連続フロー型質量分析計を用いた地球惑星科学研究の光と影
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 常川 駿, 角皆潤, 中川書子
2. 発表標題 対流圏二酸化炭素の高精度三酸素同位体異常定量法開発
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 角皆 潤, 植松 光夫, 小畑 元, 谷本 浩志, 川口 慎介, 篠原 宏志, 中川 書子, 石坂 丞二, 木村 勇氣
2. 発表標題 飛行艇を用いた臨床地球惑星科学の創成
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中川 書子, 池上 文香, 小幡 祐介, 安藤 健太, 角皆 潤
2. 発表標題 大気硝酸の存在量を指標に用いた河川環境における窒素循環速度定量
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 丁 トゥ, 穎川 叶侑, 中川 書子, 角皆 潤, 野口 泉, 山口 高志
2. 発表標題 三酸素同位体組成を指標に用いた都市域における亜硝酸ガスの挙動および起源推定
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井上 貴央, 柴田 英昭, 角皆 潤, 中川 書子
2. 発表標題 林冠から表層土壌にかけての大気由来硝酸の挙動の追跡: 三酸素同位体組成を指標に用いて
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 嶺野 雄登, 李 一君, 丁 トゥ, 角皆 潤, 中川 書子, 中根 令以, 佐藤 啓市, 谷本 浩志
2. 発表標題 対流圏オゾンの三酸素同位体組成の測定
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 彭 魏慶, 松本 佳海, 鋤柄 千穂, 伊藤 昌稚, 中川 書子, 角皆 潤
2. 発表標題 亜熱帯表層海水中の硝酸の三酸素同位体組成定量への挑戦
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中川 書子, 小幡 祐介, 伊藤 昌稚, 角皆 潤
2. 発表標題 自然同位体組成を指標に用いた植物中の硝酸同化過程解析
3. 学会等名 2018年度日本地球化学会第65回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本 雄大, 角皆 潤, 池上 文香, 中川 書子
2. 発表標題 河床堆積物に対する硝酸の添加培養に基づく河川環境下における硝化速度定量
3. 学会等名 2018年度日本地球化学会第65回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柏木 章吾, 角皆 潤, 伊藤 昌稚, 中川 書子, 鋤柄 千穂
2. 発表標題 水圏環境下における高感度酸素消費速度定量法開発
3. 学会等名 2018年度日本地球化学会第65回年会, 琉球大学千原キャンパス, 2018年9月11-13
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐野 陽子, 角皆 潤, 池上 文香, 中川 書子
2. 発表標題 硝酸の三酸素同位体異常を指標に用いた水-堆積物インターフェースにおける脱窒速度定量
3. 学会等名 2018年度日本地球化学会第65回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Peng Weiqing, 松本 佳海, 鋤柄 千穂, 伊藤 昌稚, 中川 書子, 角皆 潤
2. 発表標題 貧栄養海域における溶存硝酸の三酸素同位体組成定量への挑戦
3. 学会等名 2018年度日本地球化学会第65回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nakagawa, F., D. Ding, U. Tsunogai, T. Ohyama, D.D. Komatsu, I. Noguchi, T. Yamaguchi, D.M. Nelson
2. 発表標題 Influence of urbanization on the sources of atmospheric nitrate; Evidence from the triple oxygen isotopes of nitrate in dry and wet deposition
3. 学会等名 2018 joint 14th iCACGP QS, 15th IGAC SC, Takamatsu, Kagawa, Japan (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsunogai, U., T. Ohyama, F. Nakagawa, K. Sato, T. Ohizumi
2. 発表標題 Seasonal variation in the triple oxygen isotopic compositions of atmospheric nitrate in the Asian monsoon area
3. 学会等名 2018 joint 14th iCACGP QS, 15th IGAC SC, Takamatsu, Kagawa, Japan (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mineno, Y., U. Tsunogai, Y. Li, D. Ding, R. Nakane, F. Nakagawa, K. Sato, H. Tanimoto
2. 発表標題 Determination on the triple oxygen isotopic compositions of tropospheric ozone in Asian Monsoon area
3. 学会等名 2018 joint 14th iCACGP QS, 15th IGAC SC, Takamatsu, Kagawa, Japan (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsunekawa, S., U. Tsunogai, F. Nakagawa
2. 発表標題 Determination of the triple oxygen isotopic compositions of tropospheric carbon dioxide
3. 学会等名 2018 joint 14th iCACGP QS, 15th IGAC SC, Takamatsu, Kagawa, Japan (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ding, D., F. Nakagawa, U. Tsunogai, K. Egawa, I. Noguchi, T. Yamaguchi
2. 発表標題 17O-excess of atmospheric nitrous acid in urban area: quantification of its sources
3. 学会等名 2018 joint 14th iCACGP QS, 15th IGAC SC, Takamatsu, Kagawa, Japan (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池上 文香, 角皆 潤, 小幡 裕介, 安藤 健太, 中川 書子
2. 発表標題 硝酸の三酸素同位体組成を利用した河川水中内の窒素循環速度測定法開発
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 David M Nelson, Urumu Tsunogai, Takuya Ohyama, Daisuke Komatsu, Fumiko Nakagawa, Izumi Noguchi, Takashi Yamaguchi
2. 発表標題 Triple oxygen isotopes indicate that urbanization causes differences in the sources of nitrate between dry and wet atmospheric deposition
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 角皆 潤
2. 発表標題 軽元素安定同位体比の高感度分析に基づく地球環境科学研究の新展開 (学会賞受賞記念講演)
3. 学会等名 日本地球化学会第64回年会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 角皆 潤, 伊藤 昌稚, 鋤柄 千穂, 小松 大祐, 中川 書子
2. 発表標題 海洋学における軽元素安定同位体地球化学の新展開
3. 学会等名 日本地球化学会第64回年会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 池上 文香, 角皆 潤, 小幡 祐介, 安藤 健太, 中川 書子
2. 発表標題 硝酸の三素同位体組成を利用した河川水中窒循環速度測定
3. 学会等名 日本地球化学会第64回年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 角皆 潤, 小幡祐介, 大山拓也, 中川書子, 山下尚之, 齋藤辰善, 佐瀬裕之
2. 発表標題 大気から森林生態系に沈着した $\text{HN03}$ の直接流出率定量化
3. 学会等名 第23回大気化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 角皆 潤, 中川 書子
2. 発表標題 自然界の三酸素同位体異常を指標に用いた河川・湖沼の窒素循環定量化
3. 学会等名 第31回東海陸水談話会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

光合成に欠かせぬ硝酸：琵琶湖どれだけ生む？ (2018年1月22日日経新聞夕刊他)
---

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	須藤 健悟  (Sudo Kengo)  (40371744)	名古屋大学・環境学研究科・教授    (13901)	
研究分担者	中川 書子  (Nakagawa Fumiko)  (70360899)	名古屋大学・環境学研究科・准教授    (13901)	
研究分担者	伊藤 昌稚  (Ito Masanori)  (70762251)	名古屋大学・環境学研究科・特任助教    (13901)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	Univ. Maryland Center Environ. Science			
米国	University of Alaska Fairbanks			