

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04254

研究課題名（和文）大気硝酸濃度を指標に用いた河川環境における窒素浄化能の高精度評価方法の開発と検証

研究課題名（英文）In-situ determination of denitrification, assimilation, and nitrification rates in streams using triple oxygen isotopes of dissolved nitrate as tracer

研究代表者

中川 書子（Nakagawa, Fumiko）

名古屋大学・環境学研究科・准教授

研究者番号：70360899

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、河川水に溶存する硝酸の濃度と三酸素同位体組成から算出される大気硝酸濃度に着目し、この時空間変化を追跡することによって、現場環境下における河川中の脱窒および同化・硝化速度の個別定量化に成功した。また、従来の培養法より求めた脱窒・同化速度と比較し、矛盾がないか検証した。この新手法は天然トレーサーをそのまま使っており、人工トレーサーを添加したり培養したりすることなく自然の状態のまま河床を含めた河川環境全体の脱窒速度を定量できる画期的手法である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の目的は、河川環境下における脱窒・硝化・同化速度の時空間変化を正確に実測する手法を開発することである。従来の河川環境における脱窒速度の推定は、生態系モデルを使った研究例や、アセチレン阻害法や人工同位体トレーサー法といった培養法を使った研究例が多く、実際の河川環境で自然の状態のまま脱窒速度を実測する手法は無かった。本研究が提案する新手法は、天然トレーサーを使っており、自然の状態のまま河床を含めた河川環境全体の窒素循環速度を定量できる。この新手法が確立することで、河川環境の窒素浄化能力やその規定因子に対する知見が深まり、関連する環境学、工学、農学、水産学など多くの分野の発展に貢献する。

研究成果の概要（英文）：In this study, we propose a new tracer called “atmospheric nitrate concentration”, which can be calculated from both concentration and triple oxygen isotopic composition of dissolved nitrate in river water, to determine the removal rate of nitrate (sum of denitrification rate and assimilation rate) in the river environments. We determine the in-situ denitrification, assimilation, and nitrification rates in the river water individually by tracing the atmospheric nitrate concentration together with total nitrate concentration. The results were compared with the denitrification / assimilation rate obtained by the conventional culture method. The new method is an epoch-making method that can quantify the denitrification rate of the entire river environment including the riverbed in the natural state without adding or culturing an artificial tracer.

研究分野：生物地球化学

キーワード：河川 脱窒速度 硝化速度 同化速度 三酸素同位体組成 大気硝酸濃度

1. 研究開始当初の背景

植物の光合成（一次生産）の多くを律速している固定態窒素〔硝酸（ NO_3^- ）やアンモニア（ NH_4^+ ）、有機態窒素（Org-N）などの総称で、以下、単に「窒素」とする〕が、近代以降に拡大した人間活動により、河川水中に大量に排出されるようになった。その結果、過剰となった窒素が河川およびその下流の水域（湖沼や海洋）の一次生産を過度に高めたり、生態系を大きく攪乱している可能性が高く、世界規模で大きな問題となっている [Hautier et al., 2015¹⁾; Paerl et al., 2014²⁾; Deegan et al., 2012³⁾など]。ただし、河川に入った窒素は全てがそのまま輸送される訳ではない。一部は脱窒により N_2 化し、河川から除去される。従って、生態系に対する人間活動の影響を正しく評価し、対策を講じていく上で、河川の流下過程における窒素の動態、特に河川環境下における脱窒速度の時空間変化の正確な把握が不可欠である。しかし、河川環境下の脱窒速度の評価は難しい。

河川水は一般に酸化的であるため、窒素は NO_3^- として下流域に運ばれることが多い。河川水中の NO_3^- は、人間活動などを通じて系外から供給される他、河床から硝化反応によって供給される。一方で微生物による脱窒以外に藻類による同化（Org-N 化）によって除去される。つまり、河川水中の NO_3^- 濃度は、供給過程（系外からの流入・系内の硝化）と除去過程（脱窒・同化）が混在して変化しており、ここから脱窒過程だけを抽出することは難しい。そこで、多くの研究者が培養法や人工肥料添加法を用いて河川環境中の脱窒速度の定量化に挑戦してきた。しかし、脱窒速度は酸化還元環境の微小変化を反映して大きく変化するため、同じ環境を培養系内に再現することが難しい。また、肥料添加法は同化や脱窒を促進し、脱窒速度・同化速度を過大評価してしまう危険性があるこのため、培養や人工肥料添加に依拠しない脱窒速度定量化の開発が望まれていた。

2. 研究の目的

近年の大気化学研究の進展に伴い、水環境中の NO_3^- の主要起源の一つである大気沈着由来の NO_3^- （大気 NO_3^- ）だけが、特異的に ^{17}O を濃縮していることが明らかになった [Michalski et al., 2003⁴⁾]。この ^{17}O 濃縮度を、三種の酸素同位体（ ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O ）の相対組成である $\Delta^{17}\text{O}$ 値（ $=\delta^{17}\text{O} - 0.52 \times \delta^{18}\text{O}$ ）を用いて表すと、大気 NO_3^- の $\Delta^{17}\text{O}$ 値は $+26 \pm 2\%$ 程度となり、硝化により生成する一般の NO_3^- （再生 NO_3^- : $\Delta^{17}\text{O} = 0\%$ ）とは大きく異なる [Nelson et al., 2018⁵⁾; Tsunogai et al., 2016⁶⁾; Tsunogai et al., 2010⁷⁾など]。しかも、沈着後に地表環境中で脱窒や同化を受けても、残った NO_3^- の $\Delta^{17}\text{O}$ 値は変化しない（図1）。従って、水環境中の NO_3^- の濃度と $\Delta^{17}\text{O}$ 値から、大気沈着に由来し、未だに脱窒や同化で分解を受けていない大気 NO_3^- の濃度を算出できる（下記式参照 [Nakagawa et al., 2018⁸⁾; Tsunogai et al., 2018⁹⁾; Nakagawa et al., 2013¹⁰⁾など]。大気 NO_3^- は、人間活動（施肥、下水処理等）や、硝化反応では決して生成されないので、除去過程のみを反映した指標として活用できる。そこで、本研究では、河川水に溶存する大気 NO_3^- 濃度に着目し、この時空間変化を河川水中で追跡することによって、系内の脱窒・同化・硝化速度を個別に見積もることに挑戦した。

$$\text{新トレーサー} \quad \text{大気 } \text{NO}_3^- \text{ 濃度} = \text{全 } \text{NO}_3^- \text{ 濃度 (観測値)} \times \frac{\text{全 } \text{NO}_3^- \text{ の } \Delta^{17}\text{O} \text{ 値 (観測値)}}{\text{大気 } \text{NO}_3^- \text{ の } \Delta^{17}\text{O} \text{ 値 (既知)}}$$

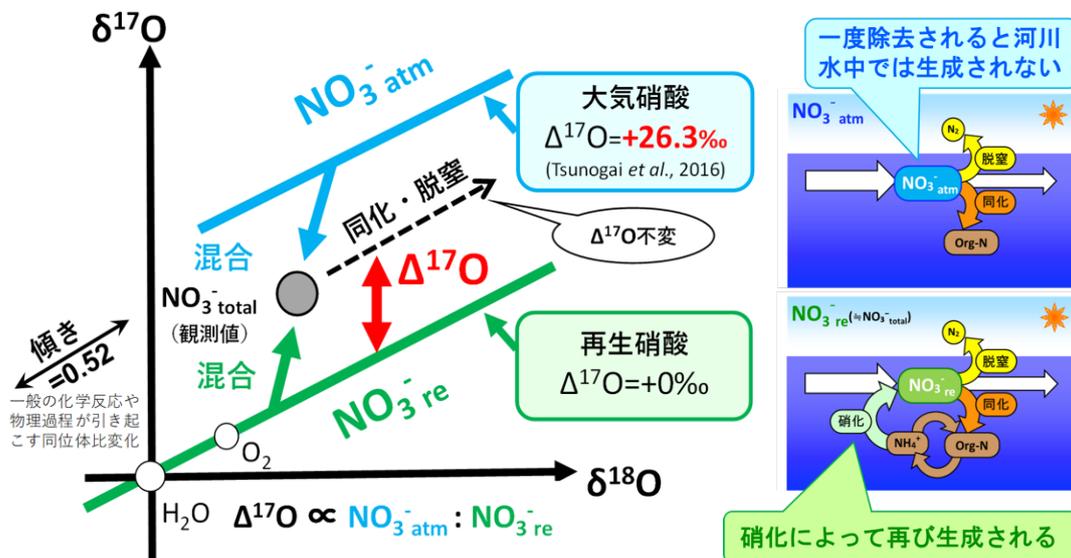


図1 大気硝酸 ($\text{NO}_3^- \text{ atm}$) と再生硝酸 ($\text{NO}_3^- \text{ re}$) の酸素同位体組成 ($\delta^{17}\text{O}$ 値と $\delta^{18}\text{O}$ 値) [左図] および 河川環境における大気硝酸 $\text{NO}_3^- \text{ atm}$ と再生硝酸 $\text{NO}_3^- \text{ re}$ の循環 [右図]

3. 研究の方法

本研究では滋賀県にある琵琶湖の主要な流入河川の1つである野洲川および愛知県名古屋市を流れる都市河川である天白川を対象とした。大気からの沈着が無視できる晴天時（ただし、河川水中の大気硝酸濃度（ NO_3^- atm濃度）が検出可能な降雨後数日以内とする）に、対象区間の最上流地点および最下流地点において河川水を採取し、それぞれについて硝酸（ NO_3^- ）濃度と三酸素同位体異常（ $\Delta^{17}\text{O}$ 値）を定量し、河川水中に含まれる NO_3^- atm濃度の時間変化を算出した。また、各点で平均流速を実測し、対象区間内を通過する平均所要時間を算出した。流下に伴う NO_3^- total濃度と NO_3^- atm濃度の変化を求め、それをもとに総除去（同化+脱窒）速度と総供給（硝化+系外流入）速度の定量化を行った。さらに、 $^{15}\text{NO}_3^-$ トレーサーを添加した河川水を培養することで水柱中の同化速度を、また河床堆積物を培養することで河床における NO_3^- 総除去速度を求め、定量化した総除去（同化+脱窒）速度の検証を行った。

4. 研究成果

① 野洲川

流下に伴う NO_3^- totalと NO_3^- atm濃度の変化（図2）から、総除去（同化+脱窒）速度と総供給（硝化+系外流入）速度を算出した結果を図2に示す。野洲川の2基のダム（野洲川ダム、青土ダム）を通過し、主要支流の1つである田村川も合流した後の20 km地点（Y-7）から最下流地点（Y-1）までの NO_3^- atm濃度の減少から NO_3^- の総除去速度を求め、さらに求めた総除去速度と NO_3^- total濃度の変化から系内の硝化及び系外からの流入を合算した NO_3^- re供給速度（総供給速度）を算出した。

その結果、各速度には明瞭な季節変化が見られた。春・夏季（5・6・8月）の総除去速度は、 $6 \mu\text{mol/L/day}$ ～ $18 \mu\text{mol/L/day}$ であった。また、それぞれの時期の総供給速度は、 $0.1 \mu\text{mol/L/day}$ ～ $6 \mu\text{mol/L/day}$ であった。春～夏季はいずれも総除去速度が総供給速度を上回る結果となった。それに対して、秋・冬季（3・10・11・12月）の総除去速度は、 $0.1 \mu\text{mol/L/day}$ ～ $15 \mu\text{mol/L/day}$ であった。一方、それぞれの総供給速度は、 $5 \mu\text{mol/L/day}$ ～ $55 \mu\text{mol/L/day}$ であった。これより、秋～冬季では、夏季とは逆に、総供給速度が総除去速度を上回る結果となった。

ここで、総供給速度が季節変化することについて考察する。市街地からの排水の流入量は、年間を通して大きな変化があるとは考えにくい。また、野洲川の流域に広がる水田からの排水は、代かき（田植えのために田を掘り起こす作業）や施肥は主に春季に行われるはずで、秋～冬季に総供給速度が増大する本研究の結果とは一致しない。山野ら（2001）¹¹⁾によると、茶畑に施肥が行われても、地下水の NO_3^- 濃度は年間を通して変化しない。よって、供給速度が季節によって変化しているのは、河川系内での硝化による NO_3^- re供給速度の季節変化に起因している可能性が高い。夏季に同化が活発になると、河川水内に有機態窒素が多く存在する状態になるため、秋季は、その有機態窒素を利用して硝化が活発になり、 NO_3^- reの供給が盛んに行われると考えられる（Islam et al., 2003）¹²⁾。

本研究で定量した野洲川の総除去速度を河床の単位面積当たりの総 NO_3^- 除去速度に換算すると、年間の平均値は $2531 \mu\text{mol/m}^2/\text{day}$ であった。これは、アメリカ合衆国北東部に位置するイロコイ川支流において、チャンパー培養法や ^{15}N トレーサーとアセチレンブロック法を組み合わせた方法で測定され報告されている脱窒速度の $816\sim 5088 \mu\text{mol/m}^2/\text{day}$ （Smith et al., 2009）¹³⁾ や、 $5112 \mu\text{mol/m}^2/\text{day}$ （Böhlke et al., 2006）¹⁴⁾、また河床堆積物を室内で培養して求めた脱窒速度の $1200\sim 94464 \mu\text{mol/m}^2/\text{day}$ （Smith et al., 2006）¹⁵⁾ とほぼ一致し、脱窒速度として整合的であると考えられる。

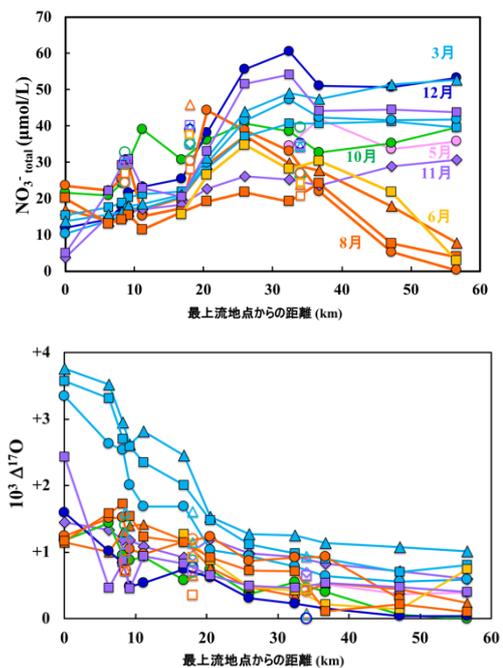


図2 野洲川の流下に伴う NO_3^- total濃度および $\Delta^{17}\text{O}$ 値の変化。

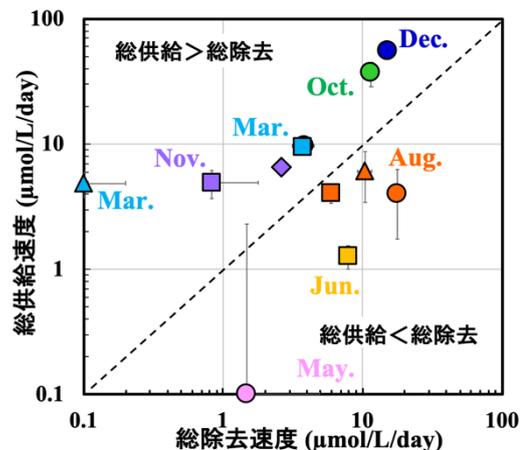


図3 流下に伴う NO_3^- atm濃度の変化から求めた供給速度と総除去速度の関係。点線は両速度の一致する線を表す。

② 天白川

現場環境下における脱窒、同化、硝化速度を図4に示す。脱窒速度は2.4~4.7 mmol/m²/h、同化速度は0.1~1.3 mmol/m²/h、硝化速度は2.0~5.5 mmol/m²/hの範囲であった。全ての観測で、NO₃⁻除去(脱窒+同化)各速度は硝化速度よりも大きいことが分かった。このことから、天白川への系外からの流入がなければ、天白川のNO₃⁻濃度は流下に伴って漸減すると考えられる。ただし、脱窒速度と硝化速度に有意差がないことから、流下に伴うNO₃⁻濃度の減少の主要因は同化によるものであり、固定態窒素自体は減少していないことが分かった。

全ての観測で、硝化速度は同化速度よりも3~5倍程度大きいことが分かった。同化で取り込まれたNO₃⁻は有機態窒素となり、その後、再無機化反応によりNH₄⁺となり、さらに硝化反応によりNO₃⁻へ戻る。このサイクルが十分回っている環境では、同化速度と硝化速度は同程度になると考えられる。しかし、これはあくまで系外からの有機態窒素やNH₄⁺の供給が無視できる場合である。天白川は、有機態窒素やNH₄⁺を多く含む系外(浄化センターの放流水等)からの流入の影響を色濃く反映するため、硝化速度が同化速度よりも大きくなると考えられる。脱窒、同化、硝化速度は、季節によって変化しており、冬に極小で夏に極大であることが分かった。これは、生物活動が夏季に活発であり、冬季に不活発であるという季節変動と一致する。また、天白川は年間を通して栄養塩濃度が高いことから、各速度は水温制限であることが示唆された。

5. まとめ

本研究では、特徴的な三酸素同位体異常を示す大気沈着由来のNO₃⁻(NO₃⁻_{atm})の流下に伴う濃度変化を指標に用いて、天白川の河川系内の窒素循環速度の定量を行った。そして、河川の流下に伴うNO₃⁻_{total}濃度とNO₃⁻_{atm}濃度の変化を求め、同化速度、脱窒速度、硝化速度を個別に定量することに成功した。以下の条件を満たせば本手法は適応できると考えられる。

- (1) 河川水中のNO₃⁻の $\Delta^{17}\text{O}$ がしっかりと検出できる。
- (2) 平均流速の確度が保証できる。
- (3) 設定区間内で系外流入が無視できる。
- (4) 流下に伴う $\Delta^{17}\text{O}$ 値やNO₃⁻_{atm}濃度の変化が有意に見られる。

引用文献

- 1) Hautier, Y., D. Tilman, F. Isbell, E. W. Seabloom, E. T. Borer and P. B. Reich (2015): Anthropogenic environmental changes affect ecosystem stability via biodiversity, *Science*, 348, 6232, 336 - 340.
- 2) Paerl, H. W., W. S. Gardner, M. J. McCarthy, B. L. Peierls and S. W. Wilhelm (2014): Algal blooms: Noteworthy nitrogen, *Science*, 346, 6206, 175.
- 3) Deegan, L. A., D. S. Johnson, R. S. Warren, B. J. Peterson, J. W. Fleeger, S. Fagherazzi and W. M. Wollheim (2012): Coastal eutrophication as a driver of salt marsh loss, *Nature*, 490, 388 - 392.
- 4) Michalski, G., Scott, Z., Kabling, M. and Thiemens, M. H. (2003): First measurements and modeling of $\Delta^{17}\text{O}$ in atmospheric nitrate. *Geophysical Research Letters*, 30, 3-6.
- 5) Nelson, D. M., Tsunogai, U., Dong, D., Ohyama, T., Komatsu, D. D., Nakagawa, F., Noguchi, I., and Yamaguchi, T. (2018) Triple oxygen isotopes indicate urbanization affects sources of nitrate in wet and dry atmospheric deposition. *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 6381-6392.
- 6) Tsunogai, U., Miyauchi, T., Ohyama, T., Komatsu, D. D., Nakagawa, F., Obata, Y. and Ohizumi, T. (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.
- 7) Tsunogai, U., Komatsu, D. D., Daita, S., Kazemi, G. A., Nakagawa, F., Noguchi, I. and Zhang, J. (2010): Tracing the fate of atmospheric nitrate deposited onto a forest ecosystem in eastern Asia using $\Delta^{17}\text{O}$. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10, 1809-1820.
- 8) Nakagawa, F., U. Tsunogai, Y. Obata, K. Ando, N. Yamashita, T. Saito, S. Uchiyama, M. Morohashi, and H. Sase (2018) Export flux of unprocessed atmospheric nitrate from temperate forested catchments: A possible new index for nitrogen saturation. *Biogeosciences*, doi:10.5194/bg-2018-258.
- 9) Tsunogai, U., T. Miyauchi, T. Ohyama, D.D. Komatsu, M. Ito, and F. Nakagawa (2018) Quantifying nitrate dynamics in a mesotrophic lake using triple oxygen isotopes as tracers. *Limnology and Oceanography*, 63, Issue S1, S458-S476.
- 10) Nakagawa, F., Suzuki, A., Daita, S., Ohyama, T., Komatsu, D. D. and Tsunogai, U. (2013): Tracing atmospheric nitrate in groundwater using triple oxygen isotopes: Evaluation based on bottled drinking water. *Biogeosciences*, 10, 3547-3558.
- 11) 山野賢一, 井伊博行, 平田健正, 田中豊和, 西川雅高, 小川裕美 (2001): 茶畑由来の肥料と大井川用水の導水による菊川流域の硝酸性窒素汚染への影響について, 38, 197-205.
- 12) Islam, M. J., Jang, C., Eum, J., Jung, S., Shin, M.-S., Lee, Y., Kim, B. (2013): The decomposition rates of organic phosphorus and organic nitrogen in river waters. *Journal of Freshwater Ecology*, 28(2), 239-250.
- 13) Smith, R. L., Böhlke, J. K., Repert, D. A., & Hart, C. P. (2009): Nitrification and denitrification in a midwestern stream containing high nitrate: In situ assessment using tracers in dome-shaped incubation chambers. *Biogeochemistry*, 96(1), 189-208.
- 14) Böhlke, J. K., Smith, R. L., & Miller, D. N. (2006): Ammonium transport and reaction in contaminated groundwater: Application of isotope tracers and isotope fractionation studies. *Water Resources Research*, 42(5), 1-19.
- 15) Smith, L. K., Voytek, M. A., Böhlke, J. K., & Harvey, J. W. (2006): Denitrification in nitrate-rich streams: Application of N₂:Ar and ¹⁵N-tracer methods in intact cores. *Ecological Applications*, 16(6), 2191-2207.

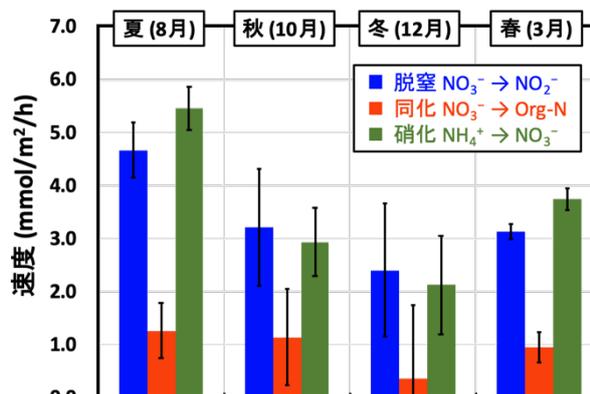


図4 天白川の現場環境下における脱窒、同化、硝化速度の季節変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Tsunogai Urumu, Miyoshi Yuko, Matsushita Toshiyuki, Komatsu Daisuke D., Ito Masanori, Sukigara Chiho, Nakagawa Fumiko, Maruo Masahiro	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 Inoue Takahiro, Nakagawa Fumiko, Shibata Hideaki, Tsunogai Urumu	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 $\delta^{17}O$ Values	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 e2020JG005876
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 Sambuichi, T., U. Tsunogai, K. Kura, F. Nakagawa, and T. Ohba	4. 巻 55
2. 論文標題 High-precision $\delta^{17}O$ measurements of geothermal H ₂ O and MORB on the VSMOW-SLAP scale: evidence for active oxygen exchange between the lithosphere and hydrosphere.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geochemical Journal	6. 最初と最後の頁 e25-e33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2343/geochemj.2.0644	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 Xu, H., U. Tsunogai, F. Nakagawa, Y. Li, M. Ito, K. Sato, and H. Tanimoto	4. 巻 35
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 e9124
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 -

1. 著者名 Sase, H., M. Takahashi, K. Matsuda, N. Yamashita, U. Tsunogai, F. Nakagawa, M. Morohashi, H. Yotsuyanagi, T. Ohizumi, K. Sato, J. Kurokawa, and M. Nakata	4. 巻 68
2. 論文標題 Nitrogen saturation of forested catchments in central Japan - Progress or recovery?	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 5-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00380768.2021.1991228	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 -

1. 著者名 Ding, W., U. Tsunogai, F. Nakagawa, T. Sambuichi, H. Sase, M. Morohashi, and H. Yotsuyanagi	4. 巻 -
2. 論文標題 Tracing the source of nitrate enriched in a forested stream during storm events, Biogeosciences, under the discussion stage	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 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) 10.5194/bg-2022-30	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 -
2. 論文標題 赤外分光法による軽元素安定同位体比の分析(原理編第2章第7節第5項)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 澤田嗣郎監修「先端の分析法 第2版」	6. 最初と最後の頁 250-254
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 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22件(うち招待講演 0件/うち国際学会 2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
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
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 Fumiko Nakagawa, 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 Urumu Tsunogai, 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 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 2019年度日本地球化学会第66回年会
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 2019年度日本地球化学会第66回年会
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 2019年度日本地球化学会第66回年会
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
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川書子, 丁トウ, 角皆潤, 山口高志, 野口泉
2. 発表標題 対流圏二酸化窒素の三酸素同位体組成定量
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川書子・丁トウ・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
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 2019年度日本地球化学会第66回年会
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
2. 発表標題 微量安定同位体トレーサーを利用した水圏環境下における酸素消費速度定量
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
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
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
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 High-precision measurement of ^{17}O -excess in phosphate in hydrosphere
3. 学会等名 JpGU Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中川 書子, 頼 鵬, 平野 一哉, 伊藤 昌稚, 角皆 潤
2. 発表標題 三酸素同位体組成を指標に用いた対流圏ガス状亜硝酸の起源解明
3. 学会等名 JpGU Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 フェイ 粹霞, 中川 書子, 角皆 潤, 伊藤 昌稚, 水野 広香
2. 発表標題 Quantifying denitrification rate across water-sediment interface in aquatic areas by using triple oxygen isotopes as tracers
3. 学会等名 JpGU Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 丁 イ天, 角皆 潤, 中川 書子, 佐瀬 裕之, 諸橋 将雪, 四柳 宏基
2. 発表標題 降雨に伴う渓流水硝酸濃度増大の原因解明とその大気硝酸直接流出率算出への影響評価
3. 学会等名 JpGU Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黄 天政, 角皆 潤, Kim Yongwon, 中川 書子, 伊藤 昌稚
2. 発表標題 土壌由来一酸化二窒素の三酸素同位体組成
3. 学会等名 日本地球化学会第68回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大石 雄太, 角皆 潤, 中川 書子, 伊藤 昌稚
2. 発表標題 光量の違いが表層水中の酸素消費速度に及ぼす影響
3. 学会等名 日本地球化学会第68回年会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

名古屋大学 環境学研究科 地球環境科学専攻 大気水圏科学系 生物地球化学グループ
<http://biogeochem.has.env.nagoya-u.ac.jp>

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

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