



名古屋大学
NAGOYA UNIVERSITY



配布先:文部科学記者会、科学記者会、名古屋教育記者会

2026 年 8 月 7日

報道機関 各位

雨が降ると河川水中の硝酸が増えるメカニズムを解明

【本研究のポイント】

- ・雨が降ると河川水中の硝酸(NO_3^-)^{注 1)}濃度が著しく増えることが古くから知られていたが、そのメカニズムは未解明だった。
- ・降雨に伴う硝酸同位体組成^{注 2)}の変動を観測し、上流に位置する森林域の土壌、しかも亜表層に蓄積されていた硝酸の流出が原因であることを解明した。
- ・本研究の成果を踏まえると、降水量が増えることで森林域からの窒素栄養塩^{注 3)}の流出量が増大すると予想される。また降雨に伴って濃度が増大する硝酸の同位体組成を調べることで、その上流に位置する森林域の土壌環境を広域的に評価できる。

【研究概要】

名古屋大学大学院環境学研究科の丁 瑋天(てい いてん) 博士(現:南昌大学)と角 皆 潤 教授、中川 書子 准教授、アジア大気汚染研究センターの佐瀬 裕之 部長らを中心とする共同研究グループは、降雨に伴って河川水中の硝酸(NO_3^-)の濃度が著しく増大する現象について研究し、流域の多くを占める森林土壌の亜表層(深さ 10-90 cm 程度)に蓄積した硝酸が原因であることを突き止めました。

この現象は古くから知られていましたが、原因は解明されていませんでした。当研究グループは、降雨時およびその前後を含めて河川水を採取し、濃度上昇に伴う硝酸同位体組成の変動を測定することで、上記の結論に到達しました。河川の水位上昇が、森林土壌中に蓄積していた硝酸の流出を促進したものと考えられます。本研究に先立って小規模河川において実施した観測でも同様の結論に到達していましたが(Ding et al., 2022)、今回は一般の河川に広く当てはまることを証明しました。

硝酸は一次生産(光合成)を律速する栄養塩として知られていて、河川水中における濃度の増減は、下流に位置する湖沼や沿岸海洋域の一次生産量や生態系構造などに多大な影響を及ぼすことが知られています。今回の発見は、流域の環境が河川水を通して下流域の水環境に与える変化を評価する上で貴重な知見となります。さらに降雨に伴って増大する硝酸の同位体組成を調べることで、森林集水域の広域的な土壌環境を評価できることが明らかになったため、林学や土壌学への貢献も期待されます。

本研究成果は、2026 年 8 月 6 日付で米国地球物理学連合(American Geophysical Union)の科学雑誌『Water Resources Research』オンライン版に掲載されました。

【研究背景と内容】

河川水中に含まれる硝酸(NO_3^-)の濃度が、降雨の発生に伴って著しく増大することは古くから知られていましたが、その原因は未解明でした。名古屋大学大学院環境学研究科の丁 瑋天 博士(現在は中国・南昌大学特別研究員)と角皆 潤 教授、中川 書子 准教授、さらにアジア大気汚染研究センターの 佐瀬 裕之 部長らを中心とする共同研究グループは、降雨時およびその前後を含めて 2 時間おきに河川水を採取し、その濃度上昇に伴う硝酸分子中の窒素および酸素の同位体組成の変化、中でも硝酸の起源解析に有用な ^{17}O 濃縮度^{注 4)}に重点を置いて測定しました。そして、増大した硝酸の起源が、森林の亜表層土壌(深さ 10-90 cm 程度)に蓄積していた硝酸であることを証明しました。降雨が引き起こす河川の水位上昇が、森林亜表層に蓄積していた硝酸の流出を促進したものと考えられます(図1)。

なお、共同研究グループは本研究に先立ち、新潟県内の小規模河川(集水域面積 3.8 ha)において観測を実施して同様の結論に到達していましたが(Ding et al., 2022)、今回はより大きな岐阜県内の河川(伊自良湖集水域、集水域面積 298 ha)における観測を通じて、これが一般の河川に当てはまることを証明しました。また降雨に伴って増大する硝酸の同位体組成から、これは土壌中の微生物が作り出したものであることが明らかになりました。微生物の活動が不活発になる冬季は、降雨に伴う濃度上昇が起きにくくなることが予想されます。

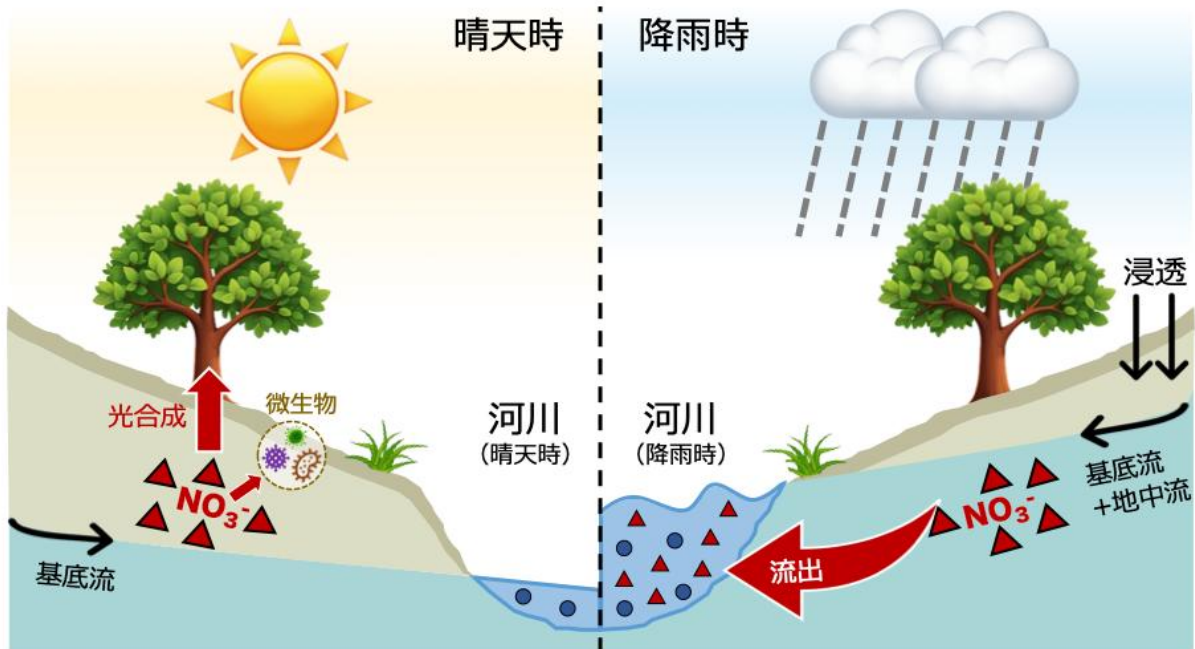


図1 本研究が解明した、降雨に伴う河川水中の硝酸濃度増加メカニズム

【成果の意義】

硝酸は一次生産(光合成)を律速する栄養塩として広く知られており、河川水中における硝酸濃度の増減は、下流に位置する河川や湖沼、沿岸海洋域の富栄養化・貧栄養化や

生態系構造、漁業生産などを左右します。今回の発見は、流域の環境が河川水を通して下流域の水環境に与える影響を評価する上で、また湖沼や沿岸海洋域における窒素過剰や窒素不足などの環境問題を解消する上で、貴重な知見となります。さらに降雨に伴って増大する硝酸の同位体組成を調べることで、その上流に位置する森林域の土壌環境を広域的に評価できることが明らかになりました。これを指標に森林土壌の「健康状態」の広域的な評価が可能になるので、林学や土壌学への貢献も期待されます。

本研究は、環境省越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング事業および 2024 - 2026 年度の文部科学省科学研究費助成事業基盤研究 B(代表:中川書子)等の支援のもとで行われたものです。

【用語説明】

注 1)硝酸(NO_3^-):

生物の必須元素である固定態窒素(N)の地球表層環境下における主要存在形態。代表的な栄養塩であり、その供給速度は、陸域・水域を問わず、一次生産(光合成)量や生態系構造を左右することが知られている。例えば、水域で高濃度化すると、富栄養化や生態系シフト等の環境問題を引き起こす。自然界に存在する硝酸は、大気から降水等を通じて地表に沈着する硝酸(大気硝酸)と、微生物がアンモニアの硝化反応を通じて作り出す硝酸(再無機化硝酸)に大別され、前者の大部分は地表から大気中に放出された NO_x を、後者の大部分は含窒素有機物(タンパク質やアミノ酸)を、その窒素(N)の起源として、地球表層圏内を循環している。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^- を使う習慣があるので、これに倣った。

注 2)窒素および酸素の同位体組成:

自然界に存在する窒素原子の大部分(約 99.6%)は陽子 7 個と中性子 7 個の原子核から構成される質量数 14 の窒素原子(^{14}N と表記)であるが、陽子 7 個と中性子 8 個の原子核から構成される質量数 15 の窒素原子(^{15}N と表記)が 0.4% 程度混在する。同じく酸素原子の大部分(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、その相対存在比は放射壊変では変化しないが、自然界における化学反応や相変化などに際してその相対存在比が微小に変化するため、相対存在比に不均一が発生する。この不均一を「指紋」として活用することで、硝酸の起源などを特定することができる。

注 3)栄養塩:

一次生産者(植物や植物プランクトン)の光合成を律速(=制限)する微量無機物質の総称。代表的な栄養塩に、窒素(硝酸やアンモニア)とリン(無機リン酸)がある。栄養塩が供給されると光合成が活発化するため、水域への過剰供給は富栄養化や赤潮、貧酸素化などの環境問題を引き起こし、また供給量の減少は漁業生産の減少を引き起こす可能性がある。また、栄養塩類の供給比の相対的な変化(=窒素とリンの供給比の変化)は主要一次生産者を変化させる可能性が高く、それを捕食する動物類を含めた生態系全体に大きな変化をもたらす危険性もある。

注 4)¹⁷O 濃縮度:

自然界で酸素の同位体の相対存在比が変化する際に、¹⁶O に対する ¹⁷O の相対存在比と、¹⁶O に対する ¹⁸O の相対存在比は、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、¹⁷O が過剰に濃縮される。この現象は「¹⁷O 異常濃縮」と呼ばれ、大気中におけるオゾン(O₃)の生成反応は、地球表層圏内で自然に進行する化学反応の中で、実質唯一の「¹⁷O 異常濃縮」反応である。降水を通じて地表に供給される硝酸(大気硝酸)は、大気中で一酸化窒素(NO)がオゾンと反応することで生成したものである。つまり、大気硝酸を構成する酸素原子の一部はオゾンに由来しており、その酸素の同位体の相対存在比は、オゾン同様 ¹⁷O を異常濃縮している。したがって、水環境中の硝酸の ¹⁷O 濃縮度を測定すると、大きな濃縮度を示す大気硝酸と、濃縮度が水などと変わらない再無機化硝酸を明瞭に区別することができる。また両者の混合している場合は、¹⁷O 濃縮度からその混合比が高精度かつ高確度で定量化できる。

【論文情報】

雑誌名:Water Resources Research

論文タイトル:Flushing of subsurface soil nitrate as the primary cause of increased stream nitrate during storm events

著者:Weitian Ding^{1&2}, Urumu Tsunogai², Fumiko Nakagawa², Takashi Sambuichi², Wenhua Ruan², Hiroyuki Sase³, and Masayuki Morohashi³
(丁 瑋天^{1&2}, 角皆 潤², 中川 書子², 三歩一 孝², 佐瀬 裕之³, 諸橋 将雪³)

※1. 南昌大学, ※2. 名古屋大学, ※3. アジア大気汚染研究センター

DOI: 10.1029/2025WR043356