

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02285

研究課題名（和文）急速に成長するアジア諸国の窒素フローと環境汚染の国際比較

研究課題名（英文）International comparative study on nitrogen flows and environmental pollutions among rapidly-growing Asian countries

研究代表者

西田 継（Nishida, Kei）

山梨大学・大学院総合研究部・教授

研究者番号：70293438

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：経済発展段階は窒素問題にどう影響するのか。社会要因の影響はどの範囲まで及ぶのか。日本、ベトナム、カンボジア、ネパールを俯瞰することで地域と窒素の関わりを迫ることを試みた。一人当たり名目GDPが最も低く人口増加率が最も高いネパールは、首都カトマンズと周辺地域の浅層地下水が排水由来の著しい窒素汚染に晒されていることがわかった。同GDPがネパールの倍程度のカンボジアは人口密度が4カ国で最も低く、農村地域の表流水と地下水の窒素汚染レベルが低かった。同GDPが他3カ国より一桁大きい日本は、過去10年間の地下水硝酸性窒素濃度に際立った変化は見られない一方で、都市型および農業型の地域的な特徴が浮き彫りとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

例えば、ネパール・カトマンズにおいては深層地下水に地質由来のアンモニア性窒素が多く含まれていること、地中でそれらが一旦酸化された後に微生物代謝によって除去されることが明らかとなった。これは、経済発展段階や人口密度・増加率といった社会要因と地理や気候に影響された自然要因の相互作用が窒素循環を形成していることを示すものである。また、浅層地下水の窒素汚染に対しては自律分散小型の用排水処理の導入、深層地下水のそれには分散処理に加えて、自然要因に駆動される長期的な変動の予測も視野に入れた水用途または水源の変更を実装可能な対策として提案した。

研究成果の概要（英文）：The title of this study is “International comparative study on nitrogen flows and environmental pollutions in rapidly growing Asian countries”. The research questions is “how the level of economic development and social impacts affect nitrogen issues”. In Nepal, with the lowest Nominal GDP per capita (NGDP/c) and the highest population growth rate, the shallow groundwaters of Kathmandu area were severely polluted with nitrogen originated from wastewaters. In Cambodia, with double NGDP/c of Nepalese and the lowest population density among the four countries, the nitrogen level of the surface waters and groundwaters of rural areas were relatively low. In Japan, with one order-larger size of NGDP/c than that of other three countries, no temporal variations in nitrate concentrations of groundwaters were significantly observed in the last ten years, and the high concentrations were noticeably seen in urbanisation and agriculture prevailing areas.

研究分野：Environmentology

キーワード：Nitrogen cycle Development level Urban Agriculture Groundwater

1. 研究開始当初の背景

人間活動によって陸上へ投入される窒素の負荷は過去 100 年で倍増し (Galloway & Cowling 2002) 人為的な窒素固定量はすでに自然の固定量を上回っている (Fowler et al. 2013)。化学肥料の使用により食糧生産は飛躍的に増加したが、同時に、強力な温室効果ガスである亜酸化窒素の 6 割が農業から排出される事態を招くこととなった (IPCC 2007)。水質汚染の影響も顕在化しており、欧州では、農業による河川水や地下水の窒素汚染が深刻化し、亜硝酸やアンモニアによる健康影響や利水障害の不安が高まったため、1990 年代から OECD による窒素バランスのモニタリングや EU による硝酸塩指令を導入して、農業の適正化と水環境の改善を同時に図る試みを続けている。経済発展と人口増加が著しいアジアでは、食料増産や都市化に伴う余剰窒素の増加が各地の地表および地下の汚染を拡大させていると言われている (Shindo et al. 2003)。しかし、欧州に比べて汚染の構造が複雑であり、環境サイドから有効な解決策が提案できないまま、経済成長の優先を許しているのが現状である。さらに近年、人類が長期間にわたり排出した化学物質が自然界の窒素循環を改変している可能性が指摘されており、その影響は温暖化、健康、食料生産など広範囲に及ぶ恐れがある (Liu et al. 2016)。いずれも、社会の大きな変化が窒素循環のひずみに結びついていることは疑いない。

2. 研究の目的

地球規模で起こっている人為的な窒素循環の改変が、世界各地の自然環境に悪影響を及ぼす可能性が指摘されている。本研究では、目覚ましい発展を遂げるアジア諸国の中で、農業を主要産業としながらも都市への人口集中が加速しているネパール、カンボジア、ベトナムのケースを俯瞰し、成長のピークを過ぎた日本を加えて、社会構造とともに変化する窒素汚染の仕組みを明らかにする。当該地域との交流経験で培われた研究環境を最大限に活用し、水文水質に関する緻密な現地データを整備する。独自の数値モデル技術と同位体・年代トレーサーおよび微生物遺伝子の解析技術を融合させることで、窒素の移動・反応プロセスの死角を排除し、流域スケールで窒素フロー解析を行う。開発途上で顕在化している河川の汚染に加えて、潜在的な地下水汚染および食システム持続性の評価と対策の検討も実施する。異なる発展段階の地域で行う比較研究により、世界の窒素問題を戦略的に解決するための基盤情報を取得する。

3. 研究の方法

対象地域は、経済発展の前期段階にあり農村と都市が近接して都市人口が急増しているネパールの首都カトマンズ、経済発展の極大を過ぎたと考えられる日本国内の人口移入・都市発展型および人口移出・農業振興型の自治体、人口・経済交流が急速に拡大しつつあるカンボジアの首都プノンペンから 150km 離れたカンポット州の農村、ベトナム北部紅河流域に位置する首都ハノイ周辺の都市部とそこから 80km 離れたハイズン省の農村である。1)基礎データ収集(現地調査と一次データの不足を二次データで補う)、2)窒素発生負荷量(入力)の推定、3)窒素のフロー解析と環境への排出負荷量(出力)の推定、フロー解析を検証するための4)水質トレーサー解析と5)微生物遺伝子解析、6)地域間比較と対策の提案(国内の地域差も解析の対象)の6段階で研究を進める計画を立てた。2019年12月に始まった世界的流行病の影響に阻まれて初年度2020年の計画を12ヶ月延長し、2021年度の前半は現地調査等の日程の再調整に充てることとし、その間に国内で対応できる実験やモデル解析の作業を並行して進めるつもりであったが、上記の影響が長期化したことから、期間の前半は国内での活動に集中し、流感が収まってきた後半に現地調査を交えた活動を行なった。

4. 研究成果

一人当たり名目 GDP が最も低く人口増加率が最も高いネパールは、首都カトマンズと周辺地域の浅層地下水が排水由来の著しい窒素汚染に晒されていることがわかった。国全体の人口密度は日本・ベトナムより低くカンボジアより高い位置にあるが、カトマンズ地域のそれは東京 23 区を上回るとされ、世界各地で見られる都市への過度な人口流入が影響しているのは明らかである。同 GDP がネパールの倍程度のカンボジアは、人口密度が 4 カ国で最も低く、農村地域の表流水と地下水の窒素汚染レベルが低かった。窒素投入量が小さい(日本の 1/3、ベトナムの 1/10 程度)ことと、調査地域に透水性の低い地質が卓越していたことを理由として推測した。同 GDP が他 3 カ国より一桁大きい日本は、過去 10 年の地下水硝酸性窒素濃度に際立った変化は見られないが、それらの水質は都市型および農業型の地域的な特徴を反映していた。社会構造の影響が時間軸よりも空間軸でより鮮明に現れた例をとらえたと考えられる。同 GDP がカンボジアの 2 倍弱であるベトナムは、人口密度が日本と同程度で近年の人口増加率は速度を落としつつある。水インフラが十分に機能していない都市河川の窒素汚染は深刻であり、農村河川は広大な水田地帯と地理的に連結しているために、やはり汚染レベルは高かった。

ネパール・カトマンズにおいては、浅層地下水で人間活動から生じる排水・廃棄物に由来するアンモニア性窒素と硝酸性窒素が高濃度で検出されること、深層地下水に地質由来のアンモニ

ア性窒素が特に多く含まれていること、地中でそれらが一旦酸化された後に微生物代謝によって除去されること（図1）が明らかとなった。これは、経済発展段階や人口密度・増加率といった社会要因と地理や気候に影響された自然要因の相互作用が窒素循環を形成していることを示すものである。また、浅層地下水の窒素汚染に対しては自律分散小型の用排水処理の導入、深層地下水のそれには分散処理に加えて、自然要因に駆動される長期的な変動の予測も視野に入れた水用途または水源の変更を実装可能な対策として提案した。

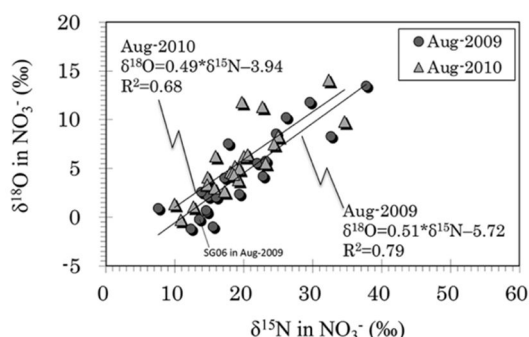


図1 ネパールのカトマンズ地域で観測された地下水中の硝酸性窒素の安定同位体比 (Nakamura et al., 2023)

また、ネパールのカトマンズ盆地においては、地下水そのものと、地下水と関連する水源から供給される公共水道の水および硝酸イオンの安定同位体比を雨季と乾季で比較できるように整備した。これにより、地下水を直接採取することが困難な場合でも、水道水を活用して窒素汚染の調査を進めることができる可能性を見出した。

カンボジアの窒素負荷軽減策の一つとして人工湿地を設計・導入した（図2）。導入した人工湿地によって、生活排水中の有機体窒素とアンモニア態窒素をほぼ全て硝化して硝酸態窒素に変換し、その処理水を農作物栽培に利用することで、生活排水由来の窒素負荷を軽減することを実証した。



図2 カンボジアの農村における“手作り・自己管理・自分事”の人工湿地

社会構造の変化・違いと窒素汚染の関係を定量的に俯瞰する試みとして、農業活動に関わる基本情報を国単位で整理した。肥料を例にとると、ベトナムの農村地域では水田への肥料用窒素の投入量が日本よりも数倍多く、カンボジアやネパールは相対的に少なかった。さらに、耕作による収量とそれに対する肥料の投入量の比にも各国で明らかな差があることがわかった（図3）。

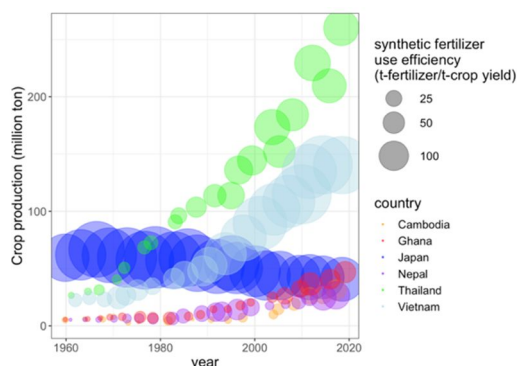


図3 農作物収量と肥料効率の時系列変化と国際比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Shakya Bijay Man, Nakamura Takashi, Shrestha Sadhana, Pathak Sarad, Nishida Kei, Malla Rabin	4. 巻 233
2. 論文標題 Tap Water Quality Degradation in an Intermittent Water Supply Area	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Water, Air, and Soil Pollution	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） 10.1007/s11270-021-05483-8	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 Cao Hai Thi Thuy, Nakamura Takashi, Toyama Tadashi, Nishida Kei	4. 巻 57
2. 論文標題 A protocol for nitrogen isotopic measurement of dissolved organic nitrogen with a combination of oxidation-denitrification and gas phase diffusion methods	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Isotopes in Environmental and Health Studies	6. 最初と最後の頁 576～584
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/10256016.2021.1948411	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 NAKAMURA Takashi, OSAKA Ken'ichi, CHAPAGAIN Saroj Kumar, NISHIDA Kei	4. 巻 132
2. 論文標題 Nitrogen Contamination and Denitrification Occurrence in Shallow Groundwater of Urbanized Area at Kathmandu Valley, Nepal	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Geography (Chigaku Zasshi)	6. 最初と最後の頁 183～196
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5026/jgeography.132.183	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 該当する
1. 著者名 Kato Kota, Saiki Makoto, Kamiya Akito, Ito Yuri, Nishida Kei	4. 巻 2
2. 論文標題 Rice grain-weight dependency on carbon and nitrogen isotope fractionation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Food Chemistry Advances	6. 最初と最後の頁 100188～100188
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.focha.2023.100188	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

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 加藤晃汰、武田浩志、齋木真琴、西田継
2. 発表標題 高度化した食品産業の窒素フローから見えた窒素の浪費-廃棄窒素に埋もれていた再利用できる窒素-
3. 学会等名 日本フードシステム学会2024年大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 武田浩志、加藤晃汰、西田継
2. 発表標題 愛知県との比較による山梨県の食品産業における窒素排出評価の検討
3. 学会等名 日本フードシステム学会2024年大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 加藤晃汰、齋木真琴、武田浩志、西田継
2. 発表標題 食料システム産業の高度化に伴う窒素汚染プロセスの変化-山梨県を事例に-
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2024年大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 加藤晃汰、齋木真琴、武田浩志、西田継
2. 発表標題 人口減少地域における食料システムの窒素フロー-山梨県を事例に-
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三輪耀大、西田継、森一博
2. 発表標題 Tidal flow人工湿地の下水処理特性-下水処理場での実証実験-
3. 学会等名 第16回人工湿地ワークショップ2021 (日本水環境学会東北支部人工湿地研究会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	遠山 忠 (Toyama tadashi) (60431392)	山梨大学・大学院総合研究部・教授 (13501)	
研究分担者	中村 高志 (Nakamura Takashi) (60538057)	山梨大学・大学院総合研究部・准教授 (13501)	
研究分担者	亀井 樹 (Kamei Tatsuru) (80792168)	山梨大学・大学院総合研究部・助教 (13501)	
研究分担者	齋木 真琴 (Saiki Makoto) (60967058)	総合地球環境学研究所・研究部・研究員 (64303)	

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		
カンボジア	Royal Academy of Cambodia	ボンロックバイトーン有機農園 学校	
ネパール	CREEW	United Nation University- FLORES	
ベトナム	Electric Power University	Hanoi University of Science	