

令和 4 年 6 月 18 日現在

機関番号：82101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11672

研究課題名(和文) 全球スケールにおける反応性窒素影響の統合的把握と将来予測

研究課題名(英文) Integrated evaluation of reactive nitrogen pollution risks at global scale and its future projections

研究代表者

仁科 一哉 (Nishina, Kazuya)

国立研究開発法人国立環境研究所・地球システム領域・主任研究員

研究者番号：60637776

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、反応性窒素の過剰によって引き起こされるリスクの評価である。まず、過去から現在に渡って、汚染の状況を示す水質(河川、地下水の硝酸濃度)、大気質(窒素酸化物濃度)の環境基準超過観測点のデータベースを作成した。また影響項目として、有害藻類ブルームおよび人および家畜のメトヘモグロビン血症の観測例についても情報収集をした。これらのデータベースを利用して、環境変数をもとに複数の分布推定モデルを用いて、それぞれの項目に対するリスクマップを作成し、観測がない地域においても潜在リスクを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で作成したデータベースおよび機械学習モデルにより、これまでに明らかでなかった過去から現在に渡っての反応性窒素複合リスクの時空間分布が明らかになった。特に、大気質、水質、観測が手薄であるグローバル・サウスにおける潜在リスクについて、定量的評価が行うことができるようになった。また地下水質の潜在リスクの高い地域は、家畜のメトヘモグロビン血症の確率も高い傾向にあることが示された。今後、このアプローチを用いることによって、対策技術導入時のリスク低減効果や、反応性窒素複合リスク曝露人口の推計などを行い、反応性窒素の統合管理に向けた政策提言に資する研究を行うことが可能になった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to assess the risks posed by excess reactive nitrogen. First, a database of observation points exceeding environmental standards for water quality (nitrate concentrations in rivers and groundwater) and air quality (nitrogen oxide concentrations), which indicate the status of contamination, was created from the past to the present. Information was also collected on observed cases of harmful algal blooms and methemoglobinemia in humans and animals as impact variables. Using these databases, risk maps were created for each item using multiple distribution estimation models based on environmental variables to identify potential risks even in areas where no observations were made.

研究分野：生物地球化学

キーワード：反応性窒素 地球臨界点 富栄養化 大気質 水質 健康影響

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

Rockström によって提唱されたプラネタリー・バウンダリー概念の中で、窒素循環は生物多様性に次いで二番目に大きく地球環境の許容限界を超えた項目として表現されており、近年、環境問題を引き起こす要因として再び大きな注目を集めている。化石燃料由来の燃焼や化学肥料由来の人工的窒素固定による反応性窒素は、20 世紀後半になって爆発的に増え、この人為起源の反応性窒素供給は、生来自然生態系が持つ反応性窒素の供給（細菌による窒素固定）を 20 世紀後半には大きく上回るようになった。反応性窒素とは、大気にある不活性な窒素ガス以外の窒素化合物の総称であり(e.g., NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)、大気、陸水、海洋、土壌および温室効果ガスなどの環境に大きく関わっている。反応性窒素の過剰のリスクとされる、NO<sub>x</sub> による大気汚染や河川や地下水の汚染、これらに伴う生物多様性損失や人間健康影響などがあるが、プラネタリー・バウンダリーそのものは生物地球化学的な環境容量を基準として設定された全球一括の指標であるため、リスクの時間的、地理的変動は十分に明示されていない。また反応性窒素による様々なリスクがある中で分野横断的なリスク評価が十分でない状況がある。特に、何時・何処で問題になっているのかというメタ情報は圧倒的に不足しており、そのため反応性窒素の問題は依然として定量性が欠如している。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、反応性窒素によってもたらされる複数リスクの把握を、環境基準等の達成確率として表現した潜在リスクマップを全球スケールで作成し、そのリスクの可視化を行うことである。地域特性や経年変化を追うことは、複数リスクを持つ地域（ホットスポットの特定など効率的な反応性窒素管理を行うにあたって非常に重要な情報である。

### 3. 研究の方法

本研究では下記の二段階のアプローチによって、全球潜在リスクマップを作成した。

1. 文献調査によって顕在化影響の時空間情報を収集・整理し、データベース作成
2. 作成したデータベースを利用して、種分布モデル (SDM) を用いた潜在リスクマップの作成と要因解析

データベースの調査対象は、Web of science (および中国語文献については CNKI を利用) に報告されている査読付き論文や GEMSTAT 等の全球データベースから、次の項目に着目して情報まとめた。水質として河川水質、地下水質の硝酸濃度、大気質として年間平均 NO<sub>x</sub> 濃度についてデータ収集を行った。また影響項目として、陸水(河川、湖沼)における有害藻類ブルーム(HAB)の観測情報と、家畜のメトヘモグロビン血症発例に関する情報を収集した(ヒトの発症例に関しては時空間情報が明確な報告数が少ないため収集を除外した)。

手順 2 における潜在リスクマップの作成には SDM 手法のうち、一般化線形モデル、一般化加法モデル、Max Entropy 法、ランダムフォレスト、サポートベクターマシンを用いて推定し、最終的な結果はこれら 5 つのモデルの平均値を用いた。説明変数として使用した環境要因は、施肥投入量・窒素降下物・気象要因(年平均気温、年降水量)・標高・人口密度・NO<sub>x</sub> 排出に関する全球メッシュデータを各種データベースより取得して使用した。これらの環境要因を用いて、データベースの在リスク情報をもとに潜在リスクマップを作成した。また陸域の生物多様性に関するリスク指標として、窒素沈着量が 20kg-N/ha を超えた地域を、リスク地域として扱った。これらの潜在リスクマップと観測された空間分布を比較し、手法の妥当性と地域特性を抽出し、ホットスポットの特定を行った。

### 4. 研究成果

(1) 河川水質に関するデータベースについては 28 万点のレコードを収集し、そのうち硝酸イオン 3 mg-N/L 以上の 6842 地点を顕在化リスクのデータとして利用し、地下水水質に関するデータベースについては収集した総数 28 万点のうち、硝酸イオン 10 mg-N L<sup>-1</sup> 以上の 21728 点を顕在化リスクのデータとして利用した。NO<sub>x</sub> に関するデータベースは約 4 万点のデータを収集し、WHO の環境基準である年平均値 40 μg m<sup>-3</sup> を超える 2406 点を解析に利用した。HAB については 2 万点程度、家畜のメトヘモグロビン血症については 100 点程度の情報を収集できた。例え

ば、河川水質 DB を例にとると(図 1)、観測点数は 1970 年代までは十分な地点数がなく情報が少ない。1980 年代からは観測点数が増えるものの、観測地域は偏っており、アフリカ大陸、中央アジアなどのユーラシア大陸の一部等、観測数が依然として少ない地域がある。河川、地下水以外の項目では、さらに顕著に地域格差が見られた。

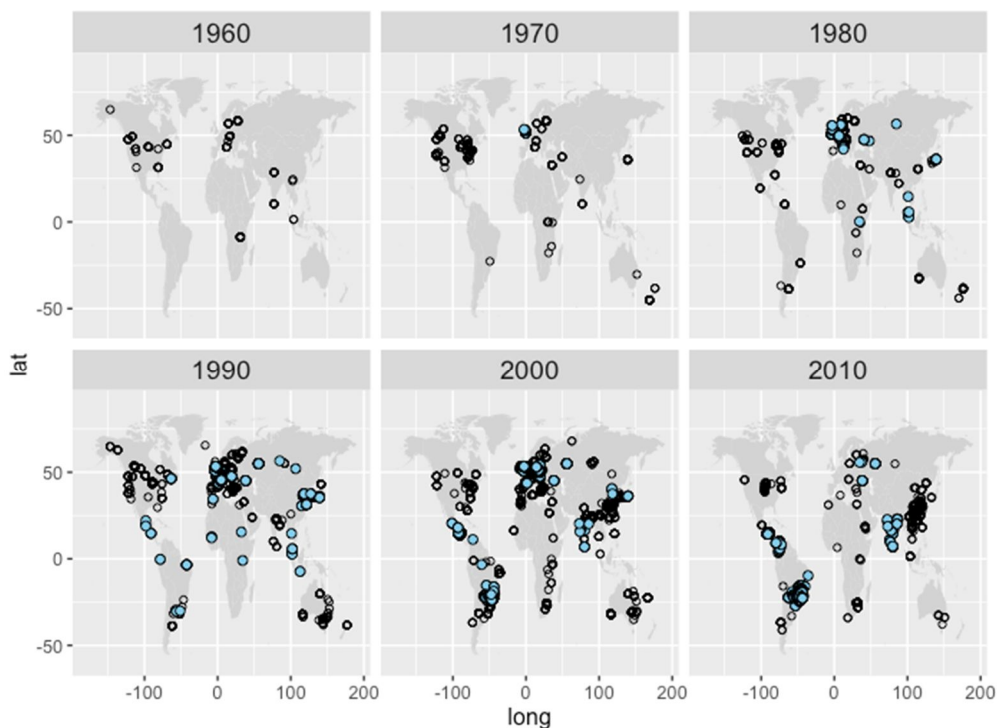


図 1 作成した河川水質データベースの概要.  $3 \text{ mg-N/L}$  以上は青い点、以下は黒い点で示す

( 2 )作成したデータベースを利用して、SDM による潜在リスクマップを作成した。図 2 は、2000 年時の各種 SDM のモデルアベレージングの結果を示したもので、河川水、地下水、大気  $\text{NO}_x$  についてはリスク顕在化確率(基準超過の確率)を示している。窒素沈着 (Ndep) については便宜的に  $20 \text{ kg/ha/year}$  以上の地域について、多様性への影響が 100% 顕出すると仮定し、 $10 \sim 20 \text{ kg/ha/year}$  を 50% として図示した。西欧、東欧の一部、東アジア、北インドでは、すべての項目において潜在リスクが高い地域があることが判明した。 $\text{NO}_x$  については、高リスク地域は局在化しているが、いずれも高人口密度地域(都市域)である。地下水汚染リスクについては、反応性窒素負荷が高い地域だけでなく、乾燥地帯においても高リスク地域が見られた。時系列でみると、河川水質、 $\text{NO}_x$  が特に高リスク地域の拡大割合が大きかった。本研究から、観測が不十分な地域においても、反応性窒素による複合的リスクの時空間分布を推定することが可能になった。

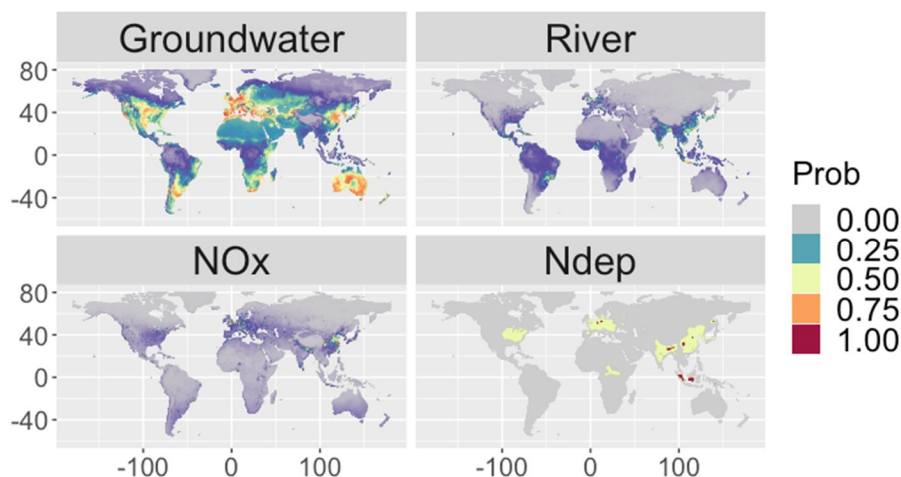


図 2 反応性窒素リスクマップ (2000 年代)

( 3 )2021 年の第 6 次エネルギー計画の中で、2 次エネルギー源として  $\text{NH}_3$  燃焼利用することが明記された。当初計画には入っていなかったものの、新たな反応性窒素リスクについて考察を行

った( )。将来の NH<sub>3</sub> 燃焼用途の使用量が現在の国内使用量と比較して非常に大きくなるだけでなく、NH<sub>3</sub> 燃焼使用量が、現在の全球における人為窒素使用量と比較しても大きなことを明らかにし、また NH<sub>3</sub> 燃焼利用によってもたらされる反応性窒素リスクについてリストアップした。

<引用文献>

Kazuya Nishina, New ammonia demand: ammonia fuel as a decarbonization tool and a new source of reactive nitrogen, ERL **17**, 0210032019, 2022

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Nishina Kazuya	4. 巻 17
2. 論文標題 New ammonia demand: ammonia fuel as a decarbonization tool and a new source of reactive nitrogen	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Environmental Research Letters	6. 最初と最後の頁 021003 ~ 021003
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1748-9326/ac4b74	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1件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 仁科一哉
2. 発表標題 全球～地域スケールの生物地球化学モデルによる窒素フロー解析
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2021年度北海道大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 仁科一哉（分担執筆：主著4章分，共著2章分）編著：林 健太郎、柴田 英昭、梅澤 有	4. 発行年 2021年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 192
3. 書名 図説 窒素と環境の科学	

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------