

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06270

研究課題名(和文) 流域スケールの栄養塩フロー解析を可能とする同位体水文水質モデルの開発

研究課題名(英文) Hydro-quality modelling coupled with isotopic tracing for nutrient flow analysis at river at river basin scale

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) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：アジアで窒素汚染に曝されている河川流域において、窒素フローの詳細な解析を可能とする数値モデルと同位体トレーサーを活用した手法の開発を目指した。ベトナム北部で水田と都市を主要な窒素発生源とする流域を設定し、現地観測とモデル解析を行った。アンモニア性窒素は都市排水だけでなく、広大な水田地帯でも卓越して検出された。同位体解析により同定された主要な発生源と移動・反応過程を基に水文水質モデルを構築し、代表的な流域に適用した。Cau川流域では、水田と畜産に並んで小規模分散の家内工業からの負荷の重要性を指摘した。また、Day-Nhue川流域では、人工的な流路改変に伴う窒素の大規模な越境を初めて明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to develop a method integrating numerical modelling and isotope tracing for nitrogen flow analysis in an Asian river basin. The study area was selected in northern Vietnam where major sources of nitrogen were supposed as paddy field and urban, and the field survey and the model analysis were conducted. Ammonium was the dominant form in not only urban waste water but also in paddy waters. A hydro-quality model was established based on the pollution sources and transport/transformation processes identified by isotopic tracing, and was applied to the representative river basins. In the Cau River basin, as well as paddy field and livestock, small-scale industry and craft village contributed to the total nitrogen loading, which are unique pollution sources in developing regions. In the Day-Nhue River basin, a large scale transboundary nitrogen flow caused by the anthropogenic change of water flow regime was first detected.

研究分野：環境動態解析

キーワード：国際研究交流 ベトナム 水田 窒素フロー 安定同位体比 モデル解析

## 1. 研究開始当初の背景

アジアの河川流域において、急速な産業化が引き起こす物質循環の改変は、流域の健康と生態系の維持にとって深刻な問題である。ベトナムのヌエ-ダイ川流域は、近年の目覚ましい経済発展の裏で大量の栄養塩負荷にさらされ、飲料水質基準超過、富栄養化、生物資源減少の問題を抱えている。政府はこの重大な事態を打開するため、広域水質モニタリングによる負荷量推定を試みているが、水環境データの統合化と有効な環境影響評価手法が欠如しているために、栄養塩循環の包括的かつ定量的な解析と、それに基づく主要発生源の特定と規制対策が極めて困難となっている。このような状況で、研究者や市民、自治体等の利害関係者は、異なるシナリオの下で人間活動が生態系に与える影響を予測し、最適な管理方法を選択する支援ツールを求めており、流域スケールの栄養塩の発生源と移動量に関する研究の需要は年々高まっている。

現在、栄養塩管理のために最も一般的に利用されている解析手法として原単位法があるが、土地被覆情報を基礎として定常的な発生源を推定するものであり、水をキャリアとする栄養塩のフローを解析することができない。実用的には、大気、水、土壌の環境要素のダイナミックな変化を考慮した、流域規模での栄養塩解析が可能なモデルを開発する必要がある。

## 2. 研究の目的

アジアで人間活動の影響を強く受けた流域を選定し、安定同位体比分析と水文水質モデル計算の同時アプローチにより、栄養塩の発生源と移動負荷量を明らかにする。

## 3. 研究の方法

【1年目】研究対象地域の選定とデータの収集を開始する計画であった。水環境の窒素汚染が深刻だがデータが不足しているベトナム北部に注目し、優占的な土地利用である水田からの窒素流出が検討できる地域の選定と、現地観測体制の立ち上げに主眼を置いた。7月に協力者と事前打ち合わせを行い、旧 Ha Tay 省と Hai Duong 省の2地域の水田で調査する許可を得た。次に、農事暦に合わせて夏作後期の9月と春作初期の2月に渡航し、採水、水位計の設置、農家からの聞き取り等を行った。

【2年目】本研究が対象とする地域を主としてベトナム北部とすることを決定し、現地研究協力者の支援で水田プロットの観測を継続するとともに、新たに水田ユニットモデルを作成した。また、流域スケールでの窒素フローのモデル解析も開始した。

【3年目】Day-Nhue 川の流域モデル解析と、対象地域で卓越する土地被覆である水田について、水田モデルによる詳細なフロー解析も行った。

## 4. 研究成果

### 【1年目】

(1) 旧 Ha Tay 省と Hai Duong 省はベトナム北部の典型的な水田景観を有しており、ともに低地に位置してポンプで水管理を行うなど、水文学的な特徴は共通していた。Ha Tay は過去の氾濫の影響を Hai Duong よりも強く受けており、土壌が相対的に肥沃なために施肥量が抑えられていることがわかった。

(2) 基礎的な水理水文観測とともに、田面水や灌漑用の河川水等の水田環境水を採取、分析した。9月の予備調査の結果、2地域の水文状況は似ており、以降は Hai Duong に絞って精度を上げた観測を行うこととした。施肥量はおよそ日本の平均の2倍で、灌漑、施肥、排水流入に合わせて高濃度の各種溶存窒素が田面水や水路から検出された。窒素の優占形態がアンモニアという特徴もわかった。

(3) 最終目標である流域スケールの窒素流出モデルに必要な入力データの収集も開始し、Hai Duong 上流に位置する Cau 川流域の地形、水文気象、水質、人口、産業等の二次データを取得した。

### 【2年目】

(1) 現地協力者との連携により水田プロット観測を継続し、二期作の期間を通して、田面水、土壌水、灌漑水のサンプリング、および、設置した自記式水位計による一部期間の連続水位データを取得することができた。

(2) 水田環境の窒素フローを網羅した動力学的モデルを作成し、上記データを入力値として各種パラメータを調整した。本モデルの初期バージョンでは、1-2週間程度の短期間で定常計算を行い、モデルの基本構造を設計した。その後のバージョンでは、春作および夏作期間を通して田面水窒素濃度を再現できるように、灌漑時と施肥時の境界条件、土壌相互作用、有機態窒素の部分に改良を加えた。

(3) Cau 川流域を対象として、分布型水文水質モデル SWAT を用いて、流域スケールの窒素フローを解析した。同地域では、窒素の河川流出の発生源として水田の寄与が最大であり、畜産がこれに続くこと、地域固有の発生源である小規模工業および家内工業の寄与が無視できないこと、流域全体として面源汚染が卓越するために、降雨流出の影響が顕著であることが判明した。

### 【3年目】

(1) 現地協力者との連携により水田プロット観測を継続し、二期作・2年分の期間を通して、田面水、土壌水、灌漑水のサンプリングを行うとともに、気温、降雨、農作業、水位のデータを取得することができた。

(2) 水田環境の窒素フローを網羅した動力学的モデルを作成し、上記データを入力値として各種パラメータを調整した。安定同位体比の分析により、窒素化合物の主要な発生源と反応経路を同定することで、本研究における最終版モデルの基本構造を決定した。本モ

デルにより、水田内部の窒素フローを詳細に解析できるようになり、山梨とベトナムにおける施肥や水管理の違いが、流出・浸透、脱窒反応、土壌蓄積等の重要な経路に大きく影響していることを確認した。

(3) Cau 川に続いて Day-Nhue 川流域を対象として、分布型水文水質モデル SWAT を用いて、流域スケールの窒素フローを解析した。流域界を越えて移出入する窒素の割合が非常に大きいことを推定した。流域内部で発生する窒素の半分以上は農業由来であること、山地、市街地、農地によって窒素化学種の構成割合が特徴的に異なることもモデル解析で明らかにした。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4 件)

- 1) Cao TTH, Nakamura T, Saiki M, Ta TT, Toyama T, Nishida K: Effect of DON contamination on  $\delta^{15}\text{N-NH}_4$  determination in water samples by modification of diffusion method with gas phase trapping. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 32, 635-638, 2018, doi: 10.1002/rcm.8091 査読有
- 2) Tran VB, Ishidaira H, Nakamura T, Do Thu Nga, Nishida K: Estimation of nitrogen load with multi-pollution sources using the SWAT model: a case study in the Cau River Basin in Northern Vietnam. *Journal of Water and Environment Technology*. 15, 3, 106-119, 2017, doi: 10.2965/jwet.16-052 査読有
- 3) Nakamura T, Nishida K, Kazama F: Influence of a dual monsoon system and two sources of groundwater recharge on Kofu basin alluvial fans, Japan. *Hydrology Research*, 10.2166/nh.2016.208, 2016, doi: 10.2166/nh.2016.208 査読有
- 4) Nguyen TPM, Nakamura T, Shindo J, Nishida K: Application of Stable Nitrogen Isotopes to Identify Nitrogen Sources in the Outflow Waters from a Paddy Field. *Journal of Water and Environment Technology*, 13, 5, 371-381, 2015, doi: 10.2965/jwet.2015.371 査読有

[学会発表](計 11 件)

- 1) 齋木真琴、Do Thu Nga、Ta Thi Thao、尾坂兼一、中村高志、西田継、数値解析と物質収支を組み合わせた水田における窒素循環と環境負荷の評価、第 52 回日本水環境

学会年会、2018.3.17、北海道大学(北海道札幌市)

- 2) Saiki M, Cao TTH, Do TN, Ta TT, Nakamura T, Nishida K, Estimation of Nitrogen Runoff Load from Paddy Field in Northern Vietnam by Using Concentration Simulation Model, The 5th International Young Researchers Workshop on River Basin Environment and Management, 2017.10.28-29, Hotel Swiss Garden Resort (Kuantan, Malaysia)
- 3) 齋木真琴、Cao TTH, Do TN, Ta TT, 中村高志、西田継、水田からの窒素流出負荷量推定のための田面水における濃度変動のモデル解析、土壌肥料学会 2017 年度仙台大会、2017.9.6、東北大学(宮城県仙台市)
- 4) Tran VB, Do TN, Ishidaira H, Shindo J, Nishida K, Assessment of nitrogen runoff loading in a complex hydrologic river basin, Water and Environment Technology Conference 2017, 2017.7.23, Hokkaido Uni (Sapporo, Japan)
- 5) Cao TTH, Nakamura T, Nishida K, Gas diffusion method: a simple and rapid method for delta  $^{15}\text{N-NH}_4$  determination in water samples, Water and Environment Technology Conference 2017, 2017.7.23, Hokkaido Uni (Sapporo, Japan)
- 6) 齋木真琴, Cao TTH, 中村高志, 西田継、水田における窒素起源の同定と窒素移動・変換過程の動力学的解析、第 51 回日本水環境学会年会、2017.3.15-17 (16)、熊本大学(熊本県熊本市)
- 7) Tran VB, Nishida K, Modelling nitrogen load in a complex river system in Northern Vietnam, 4th SURF Intl Workshop, 2016.11.12-13 (12), VNU University of Science, Ho Chi Minh City

(Ho Chi Minh, Vietnam)

- 8) 西田 継、Do TN、齋木真琴、流域スケール水環境管理モデルの展開：窒素収支ネットワークモデルを用いたベトナム北部におけるケーススタディの紹介、第 19 回日本水環境シンポジウム、2016.9.12-13 (13)、秋田県立大学 (秋田県秋田市)
- 9) Saiki M, Yamamoto Y, Nakamura T, Cao TTH, Do TN, Ta TT, Nishida K, Identification of Sources and Processes for Nitrogen Runoff from Paddy Fields by Using Multiple Isotope Tracers. Water and Environment Technology Conference 2016, 2016.08.27-28 (27), Nihon University (Tokyo, Japan)
- 10) Tran VB, Ishidaira H, Nakamura T, Do TN, Nishida K, Estimation of Nitrogen Load with Multi-pollution Sources Using SWAT Model: A Case Study in the Cau River Basin in Northern Vietnam. Water and Environment Technology Conference 2016, 2016.08.27-28 (27), Nihon University (Tokyo, Japan)
- 11) 齋木真琴、Nguyen TPM、中村高志、西田 継、安定同位体分析を用いた山梨県とベトナムにおける水田からの窒素流出過程の比較、第 50 回日本水環境学会年会、2016.3.16-18、アスティとくしま (徳島県徳島市)

〔その他〕

ホームページ等

<https://www.facebook.com/ICRE.UY>

## 6. 研究組織

### (1) 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

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

中村 高志 (NAKAMURA, Takashi)

山梨大学・大学院総合研究部・助教  
研究者番号：60538057

### (4) 研究協力者

Do Thu Nga (DO, Thu Nga)

ベトナム・電力大学・講師