

平成30年 5月30日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H05255

研究課題名(和文) 微生物機能・安定同位体比分析に基づくベトナム中部沿岸地域の地下水窒素汚染機構解明

研究課題名(英文) Identification of nitrogen contamination mechanisms of groundwater in coastal areas of Central Vietnam by using microbial technologies and stable isotope analyses

研究代表者

前田 守弘 (Maeda, Morihiro)

岡山大学・環境生命科学研究所・教授

研究者番号：00355546

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：ベトナム中部沿岸農業地帯の地下水汚染は高濃度のアンモニアあるいは硝酸態窒素によって汚染されていた。形態別窒素安定同位体比分析によってその原因を調べたところ、生活排水もしくは家畜ふん尿の混入が主因だとわかった。土壌中の窒素循環に関わる機能遺伝子の種類は農地や時季で大きく異なったが、地下水汚染との関係は判然とせず、窒素循環機能遺伝子の構成が地下水汚染に直接的に重大な影響を及ぼしている訳ではないと示唆された。また、上流域からの流出、河道流、地下水流動を一体的に再現できる水・物質循環モデルを構築し、対象流域の地下水窒素動態を解析できる可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：In the downstream agricultural areas of Central Vietnam, high concentrations of $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ were found in groundwater. Results of ^{15}N natural abundance of different nitrogen forms indicated that the groundwater contamination was attributed to unintended inflow of livestock wastes and/or domestic wastewater. Soil functional genes related to the nitrogen cycle were largely different between farms and dry/rainy seasons and were not clearly linked to the groundwater contamination, suggesting that the composition of nitrogen-cycling genes does not directly have a significant influence on the groundwater contamination. Moreover, we developed an integrated water and material circulation model composed of rainfall-runoff, unsteady river flow and groundwater models for analyzing the nitrogen dynamics in groundwater of the study areas.

研究分野：地域環境工学，土壤肥料学

キーワード：窒素 地下水汚染 安定同位体比 国際情報交換 微生物機能

1. 研究開始当初の背景

ベトナムフエ省 Huong 川下流左岸に位置する Quang Thanh 社には、農薬や化学肥料の使用量を減ずる「安全野菜」栽培圃場(QA 地区)と慣行野菜栽培圃場(QB 地区)がある。また、同川下流右岸に位置する Phu Mau 社では冬季に花栽培、それ以外は野菜栽培を行っている(P 地区)。前田ら(2014)は Quang Thanh 社の浅層地下水で硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)あるいはアンモニア態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)濃度が高いことを報告した。しかしその原因はいまだ特定されていない。

一般に、農地周辺の地下水汚染は $\text{NO}_3\text{-N}$ による場合が大半である。 $\text{NH}_4\text{-N}$ は土壤に吸着されやすいため、本事例のように地下水中で高濃度になることは稀である。高濃度 $\text{NH}_4\text{-N}$ 汚染の理由として、同地域が砂質土壤、高降水量、低地下水位であるため、畑地に過剰施用された肥料、有機質資材が溶脱した、処理が不十分なヒト・家畜し尿が混入した、地域に特有な窒素循環などによって $\text{NH}_4\text{-N}$ が生成されたなどの可能性が考えられ、地下水汚染機構の解明が急務である。

2. 研究の目的

本研究では、ベトナム中部沿岸ラグーン周辺の農業地帯を対象に、(1)DNA マイクロアレイ法などを用いて窒素循環に関わる微生物の活性や機能を網羅的に調べるとともに、(2)化学形態別窒素安定同位体比分析によって、ベトナム中部沿岸地域における地下水の高濃度 $\text{NH}_4\text{-N}$ 汚染機構を解明した。次いで、(3)同地域を含むフオン川下流域の低平地流域における水および物質の循環を推定・予測するための数値計算モデルの開発を行った。

3. 研究の方法

(1)各種活性試験および分子生物学的手法を用いた窒素循環機能の網羅的解析

土壤中の硝化活性および関連微生物群の解析

調査は、QA, QB, P 地区において、2015 年および 2016 年の乾季と雨季に実施した。現地で採取した表層土(0-10cm)を氷冷下で持ち帰り、硝化活性試験と硝化微生物群の解析に供した。硝化活性試験では、 20 mg N L^{-1} の $\text{NH}_4\text{-N}$ を含む培地を入れた 300 mL 容三角フラスコに土壤 10 g-wet を加え、28、120 rpm で回転振とう培養を行い、無機態窒素濃度の経時変化を調査した。硝化微生物群の解析では、土壤より抽出した微生物 DNA に対し、アンモニア酸化古細菌(AOA)およびアンモニア酸化細菌(AOB)の *amoA* 遺伝子、*Nitrobacter* 及び *Nitrospira* の 16S rRNA 遺伝子を標的とする定量 PCR 法、AOB の *amoA* 遺伝子を標的とした PCR-DGGE 法、窒素代謝遺伝子を網羅的に検出する DNA マイクロアレイ法による解析を行った。

土壤中の微生物叢の鉛直分布の解析

2016 年の乾季と雨季に、QA, QB, P 地区の複数の農地から深さ 0-10 cm, 100-120 cm, 140-160 cm, 180-200 cm の土壤試料を採取し、16S rRNA の V4 領域を標的としたアンプリコンシーケンス解析を行い、真正細菌と古細菌を含む微生物群集の構成を調査した。得られた塩基配列は相同性 97% を閾値として Operational taxonomic Unit (OTU) に分類し、微生物構成を解析した。また、試料間における微生物群集構成の比較は、Bray-Curtis 指数を用いたクラスター解析及び主座標分析によって行った。

(2)化学形態別窒素安定同位体測定に基づく農地・地下水系における窒素動態および地下水 $\text{NH}_4\text{-N}$ の由来解析

形態別 ^{15}N 分析法の開発

PTFE トラップ($\text{NH}_4\text{-N}$ 拡散法)とデバルタ合金($\text{NO}_3\text{-N}$ 還元)を用いた前処理手法の適用条件を検討した。全窒素(TN)についてはペルオキシ二硫酸カリウム分解後に $\text{NO}_3\text{-N}$ と同様の前処理を行った。

安定同位体質量分析計(FLASH2000-DELTA V ADVANTAGE, Thermo Scientific)で窒素安定同位体を測定するには、試料が 50~200 $\mu\text{g N}$ を含む必要がある $\text{NH}_4\text{-N}$ を回収するために、2 M H_2SO_4 20 mL を含むガラス紙を PTFE テープで包んだ $\text{NH}_4\text{-N}$ トラップを作成した。0~40 mg L^{-1} の $\text{NH}_4\text{-N}$ および同濃度の $\text{NO}_3\text{-N}$ を含む溶液をバイアルびんに分取し、NaCl, PTFE トラップ, MgO を添加後、40、90 rpm で 24 時間振とうした。ただし、従来法では 72 時間振とうを推奨している。その後、PTFE トラップを新しいものに取り替え、デバルタ合金を添加後、さらに 24 時間振とうした。回収した PTFE トラップはデシケータで 3 日間乾燥した。PTFE トラップの $\text{NH}_4\text{-N}$ 回収量を調べるため、酸性ろ紙に超純水を添加し 120 rpm で 1 時間振とう後 $\text{NH}_4\text{-N}$ 溶出量を調べた。有機態 N 回収率を検討するため、0~4 mg N L^{-1} のグリシンあるいはアラニン溶液をアルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウム分解した後、PTFE トラップ、デバルタ合金を添加し、24 時間振とうした。なお本試験では、ペルオキシ二硫酸カリウムの添加で十分に塩類濃度は高くなっていると考え、NaCl は添加しなかった。また、前処理過程における同位体分別を調べる目的で、 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, アラニン溶液について前処理前の ^{15}N 値を比較した。

安定同位体を用いた地下水窒素汚染機構の解明

化学形態別 N 回収法を用いて、ベトナム中部沿岸農業地域 QA, QB, P 地区における地下水 N 汚染源の解明を試みた。2016 年 6 月(乾季), 11 月(雨季)に、QA 地区 4 地点(Di 氏 1, Di 氏 2, N 氏, H 氏), QB 地区 3 地点(S 氏, M 氏, T 氏), P 地区 3 地点(Du 氏, A 氏, Q 氏)の井戸から地下水を採取した。酸化還元電位(Eh), 大腸菌(群)は現地、化学形態別 N, $\text{SO}_4\text{-S}$ 濃度および形態別 ^{15}N , $\text{SO}_4\text{-S}$ の ^{34}S 値は日本国内で分析した。

(3)沿岸農業地域における地下水流動モデルの開発

フエ市街地内を流下するHuong川下流域の低平地域における水および物質循環を再現することを目的として、上流の山地域から下流部への流出を表現する降雨-流出モデル、主に下流平野部の河道流の挙動を表す不定流モデル、市街地・農地を含む下流域における地下水流動モデルと物質移動モデルとを組み合わせることにより、対象流域の水・物質循環モデルを構築した。

各モデルの概要は以下のとおりである。

上流域からの流出

上流側の山地流域からの流出は、貯留型流出モデルの一つである長短期流出両用モデルを用いた。このモデルは、構造は菅原によって開発された4段タンクモデルと類似しているが、最上段の第1段タンクが上層と下層との2層に分かれていること、地表面から地下への浸入を表す第1段タンク上層から下層への水の移動が、下層の水面上部の空き容量に比例する点が従来のタンクモデルと異なっている。

河道流

次式で表される1次元不定流式に基づく差分モデルで計算を行う。

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{2QB}{gA^2} \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{2Qq}{gA^2} - \frac{Q^2}{gA^3} \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n^2 |Q| Q}{A^2 R^3} = 0$$

ここに、 H : 水位、 Q : 河道流量、 B : 水面幅、 A : 流水断面積、 R : 径深、 q : 単位流路長あたりの横流入量、 n : Manningの粗度係数、 x : 距離、 t : 時間。

地下水流

2次元不圧地下水流れの運動方程式を有限要素法による数値解法により計算を行う。基礎式は次式の通りである。

$$S \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right)$$

$$+ r_q + \alpha (h_r - h)$$

ここに、 S : 貯留係数、 r_q : 降雨・蒸発など上からの補給強度(涵養強度)、 h : 地下水位、 h_r : 河川水位、 T_x および T_y : それぞれ x および y 方向の透水量係数。

地下水流動モデルの構築には、Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)による数値標高データとGoogle Mapによる地形図を基に地理情報システム(GIS)によって構築した有限要素網を用い、また、河道流モデルの構築にも、GISによって整理した地理情報を用いた。

4. 研究成果

(1) 各種活性試験および分子生物学的手法を用いた窒素循環機能の網羅的解析

土壌中の硝化活性および関連微生物群

硝化活性試験の結果、土壌試料ごとにアンモニア態窒素の減少速度は異なったが、いずれの試料においても亜硝酸態窒素が蓄積することはなく、亜硝酸酸化は速やかに進行し、アンモニア酸化が硝化の律速反応であることが確認された。実験結果からアンモニア酸化速度を算出したところ、 $0.20 \sim 11.0 \text{ mg N L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ であり、季節(乾季/雨季)や農業形態による明確な傾向はみられなかった。

2015年に採取した試料に対して、硝化に關与する微生物群の定量解析を実施した結果、AOAの $amoA$ 遺伝子は1試料を除き検出され、定量値は $8.3 \times 10^5 \sim 8.7 \times 10^7 \text{ copies g}^{-1}$ であった。AOBの $amoA$ 遺伝子はすべての試料で検出され、定量値は $4.5 \times 10^3 \sim 2.2 \times 10^6 \text{ copies g}^{-1}$ であった。*Nitrobacter*属および*Nitrospira*属の16S rRNA遺伝子は、それぞれ全試料および1試料を除く全試料で検出され、それらの定量値は $7.0 \times 10^3 \sim 1.5 \times 10^6 \text{ copies g}^{-1}$ および $4.3 \times 10^4 \sim 4.1 \times 10^6 \text{ copies g}^{-1}$ であった。

これらの結果および土壌性状の測定結果を基にして硝化活性に影響を及ぼす因子について調査を行った結果、硝化活性は土壌pHおよびAOBの $amoA$ 遺伝子数と有意な正の相関を有することが確認された。また、pHと $amoA$ 遺伝子数との間にも有意な正の相関が見られた。これらの結果から、調査地の土壌における硝化活性は、pHに影響されるAOB数に依存しており、酸性pHでは活性が低くなることが示唆された。

また、土壌の硝化活性に対するAOBの重要性が明らかにされたため、PCR-DGGE法により種構成を調査したところ、調査地の土壌では*Nitrosospira*が普遍的に優占しており、*Nitrosomonas*の存在は一部の土壌や時季に限られることが明らかとなった。

また、DNAマイクロアレイを用いて、窒素循環の全体に関わる機能遺伝子を調査した結果、土壌中に存在する機能遺伝子の種類は

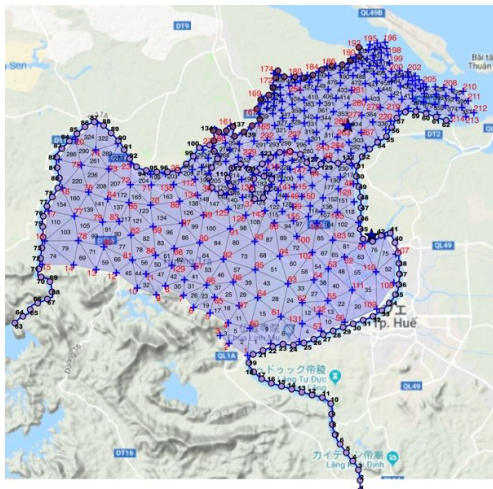


図 フォーン川下流域の有限要素網

農地や時季で大きく異なることが明らかとなった。

土壤中の微生物叢の鉛直分布

調査地域の複数の農地での異なる深度より採取した31試料を対象として16S rRNA アンプリコンシーケンスを実施した結果、各試料において36,705~56,218リードの塩基配列が得られ、それらは61,276のOTUに分類された。

得られたOTUsを門レベルで分類し、各試料中において優占する微生物について調べた結果、多くの試料において *Proteobacteria* 門が最も優占したが(19.5~57.5%)、表層土壌では *Bacteroidetes* 門(3.5~16.0%)や *Firmicutes* 門(2.1~35.8%)も高い優占度を示した。また、*Acidobacteria* 門も比較的優占度が高く(2.8~31.4%)、100-120 cmの深さより採取した一部の試料で最も優占した。また、100-120および140-160 cmの深さでは、*Chloroflexi* 門(2.4~14.8%)や *Nitrospirae* 門(3.5~11.3%)の優占度も比較的高くなった。さらに、深度が高くなるにつれて古細菌の優占度も上昇し、一部の農地では140-160 cmにおいて *Crenarchaeota* 門が最優占となった。すなわち、深度によって優占する微生物門が異なることが示唆された。

また、微生物叢全体の構成を試料間で比較した結果、門レベルの解析では、表層土壌(0-10 cm)では農地および時季によらず類似の微生物群集構成を有しており、また、一部の農地の140 cm以深でも類似の構成であることが確認された。同様の傾向はOTUレベルでの比較においても確認された。以上の結果から、調査地の土壌中においては、優占する門だけでなく、微生物叢全体の構成も深度によって大きく影響を受けていることが明らかとなった。

(2)化学形態別窒素安定同位体測定に基づく

農地・地下水系における窒素動態および地下水 $\text{NH}_4\text{-N}$ の由来解析

形態別 ^{15}N 分析法の開発

PTFEトラップを用いて水試料中 $\text{NH}_4\text{-N}$ および $\text{NO}_3\text{-N}$ 回収を試みたところ、0.25~20 mg L^{-1} で回収率はほぼ100%であった。このことから、回収時間を従来法の72時間から24時間に短縮可能であることがわかった。一方、無機態窒素無添加の場合でも残液中に0.02 mg L^{-1} 程度の $\text{NH}_4\text{-N}$ が検出され、低N濃度で溶液量が多い場合は周辺大気からの混入が無視できない。

TNについては、0.25~3 mg L^{-1} で回収率がほぼ100%であり、NaClの添加は不要と判断した。しかし、2 mg L^{-1} 試料については、溶液量によって回収率にバラツキが生じた。これはPTFEトラップの最大N回収量を90 $\mu\text{g N}$ 以下にすれば回避できた。

試薬およびPTFEトラップ回収試料のN安定同位体比の測定結果を比較したところ、その差は最大でも0.2%であり、本法における同位体分別はないといえる。

安定同位体を用いた地下水窒素汚染機構の解明

Quang Thanh社の地下水TN濃度はQB地区でQA地区より高い傾向にあった。また、形態別にみると、QA地区では乾季、雨季ともに $\text{NH}_4\text{-N}$ が主体であった。QB地区のM氏、S氏圃場では乾季は $\text{NH}_4\text{-N}$ が高く、雨季は $\text{NO}_3\text{-N}$ が高かった。ただし、QB地区のT氏圃場は季節によらず $\text{NO}_3\text{-N}$ が高かった。P地区の地下水は季節によらず $\text{NO}_3\text{-N}$ が高かった。

QA地区で施用されている肥料の割合から、地下水に移行するNの ^{15}N 値を計算すると、+4.1~+8.3‰であった。これは同地区地下水の ^{15}N 値に近く、施用Nを反映していた。同地区では、地下水のEhが低く、還元的であったため $\text{NH}_4\text{-N}$ が残存していたと考えられる。また、 $\text{SO}_4\text{-S}$ 濃度が低く、 $\text{SO}_4\text{-S}$ の ^{34}S 値が高いことから、硫酸還元により H_2S が発生したことが示唆された。QB地区では、地下水 $\text{NH}_4\text{-N}$ の ^{15}N 値はQA地区に比べて有意に高く、大腸菌が検出された。このことから、生活排水が畜産排せつ物によるN汚染が推測される。QB地区では雨季に $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の上昇にともなって $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が減少し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の ^{15}N 値が上昇した。このことから、地下水または土壌中での硝化が示唆される。P地区では ^{15}N 値、 ^{34}S 値ともに季節変動はなく、汚染源の値を反映していると考えられる。また、大腸菌が検出されたことから、地下水に堆肥もしくは生活排水が流入したと示唆された。

(3)沿岸農業地域における地下水流動モデルの開発

本研究で構築したモデルを用いた数値実験により、上流域からの流出、河川水、地下水の挙動を一体的に再現できることを確認した。

また、この水循環モデルを、現地で収集した水文データに適用して地下水観測点における地下水変動パターンの再現を試みた。現地での収集データに制約があったが、対象地域における地下水流動と、窒素などの物質の挙動を再現するための基礎的知見を得た。

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2件)

Hoang V.N.T., Maeda M., Nitrous oxide and carbon dioxide emissions from Vietnamese soil amended with different compost types at high temperature, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 査読有, 49(7), 848-861, 2018

Hoang V.N.T., Maeda M.: Nitrous oxide and carbon dioxide emissions from agricultural soil amended with different types of biochar at three temperatures, *Journal of Environmental Science for Sustainable Society*, 査読有, 8, 22-31, 2018

〔学会発表〕(計17件)

Maeda, M., Nitrogen management in soil and water for our future earth, SLAAS Theme Seminar 2017: Engagement of Scientists in the Economic Development of Sri Lanka, 2017年12月5日, Colombo (スリランカ)

Maeda, M., Kiba, H., Hyodo, F., Chikamori, H., Inoue, D., Le, T.V., Nguyen, H.D., Identification of nitrogen contamination mechanisms of groundwater in coastal areas of Central Vietnam, Okayama University-Hue University Joint Symposium on Education and Research Programs for Environmental and Agricultural Sciences, 2017年11月5日, The Hue Learning Resource Center, Hue University, Hue (ベトナム)

Inoue, D., Sawada, K., Nguyen, H.D., Chikamori, H., Maeda, M., Nitrification potential and relevant microbial populations in agricultural soil in coastal areas of Central Vietnam, Okayama University-Hue University Joint Symposium on Education and Research Programs for Environmental and Agricultural Sciences, 2017年11月5日, The Hue Learning Resource Center, Hue University, Hue (ベトナム)

Maeda, M., Kiba, H., Hyodo, F., Chikamori, H., Inoue, D., Analysis of nitrogen contamination mechanisms of groundwater in coastal areas of Central Vietnam by using stable isotopes, The International Conference of Nitrogen Cycling and Its Environmental Impacts in East Asia (NCEIEA), 2017年10月19日~22日, Nanjing (中国)

Hoang, V.N.T., Maeda, M., Temperature dependence of nitrous oxide emissions during nitrification in agriculture soil treated with high ammonium, The International Conference of Nitrogen Cycling and Its Environmental Impacts in East Asia (NCEIEA), 2017年10月19日~22日, Nanjing (中国)

前田守弘, 木場遥香, 兵藤不二夫, 近森秀高, 井上大介, 安定同位体比等を用いたベトナム中部沿岸農業地域における地下水窒素汚染機構の解明, 第20回日本水環境学会シンポジウム, 2017年9月26日~27日, 和歌山大学 (和歌山市)

Hoang, V.N.T., Maeda, M., Responses of nitrous oxide and carbon dioxide emissions from Vietnamese soil amended with different compost types to temperature, 日本土壤肥料学会 2017年度仙台大会 - 日土肥学会講演要旨集(第63集), 2017年09月5日~7日, 東北大学 (仙台市)

木場遥香, 前田守弘, 兵藤不二夫, 近森秀高, 井上大介, ベトナム中部沿岸農業地域における地下水窒素汚染機構の解明, 日本土壤肥料学会 2017年度仙台大会 - 日土肥学会講

演要旨集(第63集), 2017年09月5日~7日, 東北大学 (仙台市)

藤村拓也, 木場遥香, 近森秀高, 井上大介, 前田守弘, ベトナムフエ沿岸域の畑地における下層土の窒素形態と地下水汚染, 日本土壤肥料学会 2017年度仙台大会 - 日土肥学会講演要旨集(第63集), 2017年09月5日~7日, 東北大学 (仙台市)

前田守弘, 農地環境保全における土壤肥料学の新展開, 2016年度日本土壤肥料学会・関西土壤肥料協議会講演会 2016年12月9日, メルパルク京都 (京都市)

藤村拓也, 釜瀬諒太, 木場遥香, Hoang Ngoc Tuong Van, 前田守弘, ベトナム中部沿岸地域野菜畑における無機態窒素の鉛直分布と地下水汚染の関係, 2016年度(第112回)日本土壤肥料学会関西支部会講演会, 2016年12月8日, メルパルク京都 (京都市)

Hoang V.N.T., Maeda M., Effects of high temperature on nitrous oxide and carbon dioxide emissions from vegetable soil in Central Vietnam, 2016年度(第112回)日本土壤肥料学会関西支部会講演会, 2016年12月8日, メルパルク京都 (京都市)

Kiba, H., Hyodo, F. Asano, Y., Maeda, M., A Sequential Diffusion Method for ¹⁵N Natural Abundance Measurement of Ammonium, Nitrate and Total Dissolved Nitrogen in Water Samples, 2016 International Nitrogen Initiative Conference, Solutions to improve nitrogen use efficiency for the world, 2016年12月4日~8日, Melbourne (Australia)

井上大介, 金子紫乃, 澤田和子, Huy Duc Nguyen, 近森秀高, 前田守弘, ベトナム・フエ省沿岸域における農業形態の異なる土壌での硝化活性と硝化微生物群の解析, 日本水処理生物学会第53回大会, 2016年11月10日~12日, 千葉工業大学津田沼キャンパス (千葉県習志野市)

前田守弘, 嶋田翔子, 井上大介, 土壤還元消毒時の亜酸化窒素発生に関連する脱窒微生物挙動の分子生物学的解析, 日本土壤肥料学会 2016年度佐賀大会 - 日土肥学会講演要旨集(第62集), 2016年09月20日~22日, 佐賀大学 (佐賀市)

木場遥香, 前田守弘, 兵藤不二夫, Hoang Ngoc Tuong Van, PTFE トラップおよびデバルダ合金を用いた化学形態別窒素安定同位体分析の適用条件, 日本土壤肥料学会 2015年度京都大会 - 日土肥学会講演要旨集(第61集), 2015年09月15日~17日, 京都大学 (京都市)

Maeda, M., Monitoring and modeling nitrate leaching in upland fields using lysimeters, NAS International Workshop "Applying the Lysimeter Systems to Water and Nutrient Dynamics", 2016年9月7日, National Academy of Agricultural Science, RDA, Wanju (韓国)

〔図書〕(計1件)

前田守弘(分担執筆), 硝酸態窒素の畑土
壌からの溶脱と地下水汚染(5-11), 土のひ
みつ-食料・環境・生命-, 朝倉書店, 日本
土壤肥料学会「土のひみつ」編集グループ編,
2015, 206

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

岡山大学 環境理工学部 環境管理工学科 土
壌圏管理学研究室ホームページ

<http://www.eme.okayama-u.ac.jp/Sections/Lithosphere/lithosphere.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

前田 守弘(MAEDA, Morihito)

岡山大学・大学院環境生命科学研究科・教授

研究者番号: 00355546

(2) 研究分担者

井上 大介(INOUE, Daisuke)

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 70448091

近森 秀高(CHIKAMORI, Hidetaka)

岡山大学・大学院環境生命科学研究科・教授

研究者番号: 40217229

(3) 研究協力者

Nguyen Duc Huy

フエ大学・バイオテクノロジー研究所・

副所長

Le Van Thang

フエ科学大学・准教授

Hoang Ngoc Tuong Van

フエ大学・環境資源研究所・研究員