

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：82111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26850155

研究課題名(和文)茶園土壌からの一酸化二窒素(N₂O)発生量を予測する基礎モデルの構築

研究課題名(英文)Modeling of nitrous oxide emissions from tea field soils

研究代表者

廣野 祐平(Hirono, Yuhei)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・果樹茶業研究部門茶業研究領域・主任研究員

研究者番号：10391418

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、高頻度の一酸化二窒素(N₂O)のモニタリング手法と統計的手法によるパラメータ推定法を組み合わせることにより、茶園土壌からのN₂O発生量に及ぼす環境要因の影響を明らかにし、N₂O発生量を推定する基礎モデルを構築することを目的とした。茶園土壌からのN₂Oフラックスは、土壌中の無機態窒素濃度の消長に大きく依存するとともに、土壌水分量の変化に対して急激に反応した。本観測結果を用いたパラメータ推定の結果、硝化由来のN₂O発生量が大部分を占めた。また、推定されたパラメータを用いて、過去の調査で得られたN₂O発生量を予測したところ、実測値をよく再現したことから、推定結果の妥当性が確認された。

研究成果の概要(英文)：The objectives of this study are to clarify the effect of environmental factors on nitrous oxide (N₂O) emissions from tea field soils and to construct a model to predict N₂O emissions. We monitored N₂O emissions from green tea field soils with high frequency using an automated gas sampling device. In addition, we modeled the N₂O emissions using the Bayesian parameter estimation methods. The N₂O fluxes from tea field soils were highly dependent on the inorganic nitrogen content and water content in soils. For the modeling of N₂O emissions, the calculated N₂O fluxes agreed well with the observed N₂O fluxes. The contribution of nitrification to total N₂O emissions were estimated to be greater than that of denitrification. The predicted N₂O fluxes using by the estimated parameters agreed well with the N₂O fluxes observed in the previous study, thus, we conclude that the estimated parameters are valid.

研究分野：土壌学

キーワード：一酸化二窒素 茶 土壌 一次反応式 物質動態モデル ベイズ推定法

1. 研究開始当初の背景

一酸化二窒素 (N_2O) は、主要な温室効果ガスの一つであるとともに、オゾン層の破壊にも関与している気体であり、農地へ施用される窒素肥料が、その主要な発生源の一つである。これまで、茶の栽培においては、他作物と比較して慣行的に窒素施肥量が多いため、 N_2O 発生量が多いことが報告されている。わが国の茶園への施肥に起因する N_2O 排出係数は 2.8% と推定されている (Akiyama *et al.*, 2006) が、この値は、畑地 1.0%、水田 0.3% と比べて高い。

土壌中において N_2O は、アンモニアが酸化される硝化過程と、亜硝酸が還元される脱窒過程等から生成することが知られている。これらの生成過程の活性は地温、土壌水分量、無機態窒素濃度、土壌 pH といった様々な環境要因に依存するため、土壌からの N_2O 発生量は条件により大きく変化する。そのため、 N_2O 発生量を予測するためには、これらの環境要因と N_2O 発生量との間の関係を明らかにすることが必要である。

近年、他の土壌では、現場で観測された N_2O フラックスと地温、土壌水分量などのデータを統計的手法により解析することにより、 N_2O フラックスの環境要因に対する依存性を評価した事例が報告されている。特に、数値計算の速度が飛躍的に向上したことにより、モデルのパラメータ推定にベイズ推定法を応用したキャリブレーション手法が、生態学や環境科学などの分野で用いられるようになった (Lehuger *et al.*, 2009; Nishina *et al.*, 2009)。このような統計的手法による解析には、膨大なデータセットが必要になるため、手作業でのクローズドチャンバー法によるサンプリングでは、時間・労力面での制限により、 N_2O フラックスと環境要因との関係を検出できるだけの詳細なデータを取得することは困難であった。しかし、最近普及してきたクローズドチャンバー法の原理に基づく自動ガス採取装置を用いることで、任意の時間間隔で自動でサンプリングを行うことが可能となった。この装置を用いて、施肥や降雨後に高頻度でサンプリングすることにより、急激な N_2O フラックスの変化を詳細に補足でき、これまでの手作業によるサンプリングの欠点を克服し、十分なデータセットに基づいた統計的手法によるパラメータ推定が可能になると考えられる。

また、近年、DNDC (Li *et al.*, 1992) や HYDRUS (Šimůnek *et al.*, 2013) といった、環境要因による微生物反応の変化を考慮した数値計算モデルを用いて、 N_2O 発生量や窒素溶脱量をより正確に予測する試みが進められている。しかし、茶園土壌へのモデルの適用においては、実測データの蓄積が不十分であること、特に土壌水分量や地温といった変化の激しい環境要因に対する N_2O フラックスの依存性が明らかになっていないため、モデルの改良や精度評価が困難な状況にある。

この課題の解決においても、高頻度な観測が不可欠である。

2. 研究の目的

上記の背景を踏まえて、本研究では、茶園土壌からの N_2O 発生量を正確に予測するモデルを構築するための基礎的な知見を得ることをねらいとした。具体的な目的は以下の通りである。

(1) 茶園土壌から発生する N_2O フラックスが、異なる環境要因の影響で大きく変化する時期に着目して、高頻度で観測する。

(2) 観測データをベイズ推定法を用いて解析することにより、茶園土壌からの N_2O フラックスの地温や土壌水分量などの環境要因に対する依存性等を表す各種パラメータを推定するとともに、茶園土壌における N_2O の生成経路を解明する。また、これまでに蓄積してきたデータを用いて、推定されたパラメータの妥当性を評価する。

(3) 土壌中の水分・窒素動態予測モデル HYDRUS-1D に、上の(2)で推定されたパラメータを適用して、茶園における総合的な窒素動態への適用可能性を検討する。

3. 研究の方法

(1) 農研機構金谷茶業研究拠点内の試験茶園 (品種:「やぶきた」、窒素施肥量:510 kgN/ha/年)において、うね間土壌からの N_2O フラックスを測定した。調査頻度はおおむね 1 回/週~6 回/日で行った。 N_2O フラックスの測定は、自動採取装置によるクローズドチャンバー法によって行った。チャンバーはステンレス製の台座部および塩化ビニル製のふた部からなる。台座にふたをかぶせた直後、10 分後、20 分後のチャンバー内部のガスを、あらかじめ内部を真空にしておいたバイアル瓶に採取し、その N_2O 濃度の変化から、 N_2O フラックスを求めた。 N_2O 濃度の分析は ECD 付ガスクロマトグラフで行った。また、土壌水分量および地温を 1 時間に 1 度の頻度で測定した。さらに、 N_2O フラックスの観測を行っている地点の近傍の土壌を 1~2 週間に 1 程度採取し、無機態窒素濃度、土壌 pH 等を測定した。

(2) 観測された土壌の各種環境要因 (水分量、無機態窒素濃度、地温等) のデータから N_2O フラックスを予測する基礎モデルを構築した。 N_2O の生成経路として硝化および脱窒を考慮し、硝化及び脱窒由来の N_2O 発生量の予測には、それぞれアンモニア態窒素 (NH_4^+-N) 濃度および硝酸態窒素 ($NO_3^- -N$) 濃度に比例する一次反応モデルを用いた。反応速度定数の地温への依存性には Arrhenius 式を、土壌水分量への依存性には Walker 式を用いた。反応速度定数や、地温・水分量に対する依存

性に関する各パラメータの推定は、ベイズ推定法に基づくパラメータ推定法により行った。パラメータ推定には、JAGS 4.0.0 および R を用いた。

(3)上記(2)で得られたパラメータを、水分・溶質移動予測モデルである HYDRUS-1D に与えることにより、茶園における窒素動態の総合的な評価への適用可能性を検討するとともに、推定パラメータの妥当性を評価した。HYDRUS-1D の計算には、過去に静岡県において行われたライシメータ試験の結果を用いた。

4. 研究成果

(1)茶園土壌からの N_2O フラックスは、施肥後に上昇し、しばらくの間発生量が高く推移した(図1)。また、まとまった降雨の後にスパイク状の高いピークが観測された。さらに、高頻度サンプリング期間における日内変動を見ると、地温の上昇(低下)に伴って N_2O フラックスも増加(減少)が見られた。以上のことから、茶園土壌からの N_2O フラックスは、土壌中の無機態窒素濃度の消長に大きく依存すること、土壌水分量の変化に対して急激に反応すること、土壌水分量に対する依存性ほどではないが、地温に対する依存性も無視できないと考えられた。

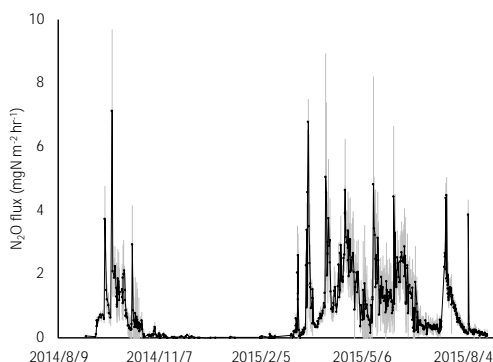
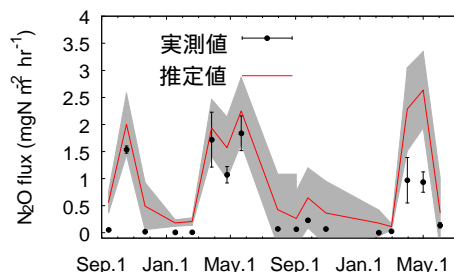


図1 茶園土壌からの N_2O フラックスの高頻度観測結果(平均値 ± 標準偏差、n=3)

(2)本研究で得られた結果および過去に観測された結果を用いて、ベイズ推定法に基づくパラメータ推定を行った結果、本調査データにおける N_2O 発生量に対しては、硝化(アンモニア酸化)由来の発生量が大部分を占め、総発生量に対して硝化の寄与が脱窒の寄与よりも大きいことが示唆された。さらに推定されたパラメータを用いて、過去に同一試験茶園で調査された異なる施肥処理条件下(慣行施肥処理、減肥処理)での N_2O 発生量を計算したところ、実測値をよく再現した。このことから、推定されたパラメータの妥当性が確認された(図2)。

慣行施肥区



減肥区 (慣行区の70%のN施用量)

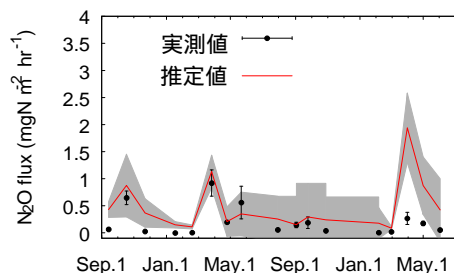


図2 推定パラメータの妥当性の評価結果
実測値：平均値 ± 標準偏差、推定値：実線は中央値、灰色に着色した範囲は 95%信用区間。

(3)窒素動態の総合的な評価については、浸透水量および窒素溶脱量とともに実測値をよく再現する計算結果が得られた。 N_2O 発生量を想定したシンク項により土壌中から取り除かれた窒素量の計算値は、施肥窒素量の 2 ~ 3%に相当した。この結果は、日本国温室効果ガスインベントリにおける茶園への施肥窒素に対する N_2O 排出係数と近い値を示しており、(2)で推定されたパラメータの妥当性が確認された。なお、総合的な窒素動態の予測をより精緻化していくためには、今後さらに、窒素ガスとして大気へ放出される窒素量についても考慮する必要がある。

<まとめ>

本研究手法をプロトタイプとして他の地域・土壌に適用することにより、茶園からの N_2O 発生量や窒素溶脱量を予測する窒素動態モデルの開発・改良といった研究への発展が期待できる。

また、 N_2O は、温室効果ガスであるとともに 21 世紀において最も重大なオゾン層破壊の要因物質であり続けるとされている (Ravishankara *et al.*, 2009)。そのため、人間活動が地球環境に及ぼす影響を考える際、今後益々注目されるべき物質であると考えられる。茶園は、わが国の農地面積のわずか 1%程度を占めるにすぎないが、他作物に比べて窒素施肥量が多く、単位面積当たりの N_2O 発生量が多いため、そこからの N_2O 発生量を削減することは、わが国の農耕地からの総発生量の削減に大きく貢献すると考えら

れる。現在、本研究で得られた知見を発展させ、茶園土壌からの N_2O 発生量を抑制するために実際の営農現場で普及し得る技術開発を進めている。

<引用文献>

Akiyama, H. *et al.*, Estimations of emission factors for fertilizer-induced direct N_2O emissions from agricultural soils in Japan: Summary of available data, *Soil Science and Plant Nutrition*, 52, 2006, 774-787.

Lehuger, S. *et al.*, Bayesian calibration of the nitrous oxide emission module of an agro-ecosystem model, *Agric. Ecosys. Environ.*, 133, 2009, 208-222.

Nishina, K. *et al.*, Spatiotemporal variation in N_2O flux within a slope in a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) forest, *Biogeochemistry*, 96, 2009, 163-175.

Li, C. *et al.*, A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 1. Model structure and sensitivity, *Journal of Geophysical Research*, 97, 1992, 9759-9776.

Šimůnek, J. *et al.*, The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media, Version 4.16, 2013.

Ravishankara, *et al.*, Nitrous oxide (N_2O): The dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century, *Science*, 326, 2009, 123-125.

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計3件)

廣野 祐平 . 茶園の窒素動態解析へのアイソトプマー比の利用 . 第 34 回土・水研究会 . 2017.2.27 つくば農林ホール (茨城県つくば市).

Hirono Y., S. Nakamura, T. Sano and K. Nonaka. Monitoring and modeling of nitrogen leaching caused by nitrogen fertilizer application to green tea fields in Japan. The 7th International Nitrogen Initiative Conference (INI2016). 2016.12.6~8 Melbourne (Australia).

廣野 祐平, 佐野 智人, 野中 邦彦 . 茶園土壌からの N_2O フラックスの季節変動とその要因の解析 . 第 63 回日本生態学会大会 . 2016.3.24 仙台国際センター (宮城県・仙台市)

〔その他〕
ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究代表者

廣野 祐平 (HIRONO, Yuhei)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・果樹茶業研究部門 茶業研究領域・主任研究員

研究者番号 : 1 0 3 9 1 4 1 8