

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18780049

研究課題名（和文） 森林小流域における土壌および湧水からの亜酸化窒素年間放出量および生成経路の解明

研究課題名（英文） Annual nitrous oxide emission from forest soil in a small headwater catchment and the mechanism of nitrous oxide production.

研究代表者

森下 智陽（MORISHITA TOMOAKI）

独立行政法人森林総合研究所・立地環境研究領域・主任研究員

研究者番号：90391185

研究成果の概要：亜酸化窒素は、二酸化炭素、メタンについて大きな温室効果ガスである。森林土壌は亜酸化窒素の放出源であるが、放出メカニズムの解明は不十分である。そこで、斜面上部が落葉広葉樹林、斜面下部がスギ林の森林小流域で、土壌からの亜酸化窒素放出量を3年にわたって観測した。その結果、斜面上部広葉樹林よりも斜面下部スギ林で亜酸化窒素放出量が大きかった。これは、斜面下部スギ林では土壌水分率が高く、亜酸化窒素を生成する微生物が活動しやすいためと考えられた。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,500,000	0	1,500,000
2007年度	1,000,000	0	1,000,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	240,000	3,540,000

研究分野：土壌学

科研費の分科・細目：植物栄養学・土壌学

キーワード：亜酸化窒素、硝化、脱窒、スギ林、落葉広葉樹二次林、地球温暖化、溶存ガス、森林

1. 研究開始当初の背景

亜酸化窒素 (N_2O) は、二酸化炭素、メタンについて大きな温室効果ガスである。森林土壌は N_2O の放出源であり、 N_2O は土壌中の微生物過程である硝化および脱窒から生成され、土壌表面から大気へ拡散によって放出している。

農地における研究から、硝酸とともに N_2O は暗渠水等から放出され、その寄与が大きい

ことが報告されている。大気から陸域への窒素降下物量は、今後、増大することが予測されており、森林生態系でも窒素降下物量の増加によって、硝酸が河川に排出していることが報告されている。したがって農地同様に、森林でも浸透水が渓流水として流出する過程（湧水）で N_2O が大気へ放出すると考えられるが、定量的に評価されていない。

また、農地では、 N_2O 放出メカニズムの解

明に関する研究の進展によって、 N_2O 放出量を抑制する肥培管理や栽培技術の開発が進められているが、森林では N_2O 放出量の空間変動や季節変化が大きく、 N_2O 放出量の定量化やメカニズムの解明が遅れている。

2. 研究の目的

本研究は、上記研究背景から、森林小流域からの N_2O 放出量について、「土壌と湧水から発生する通年の N_2O 放出量を見積ること」および「土壌表面からの N_2O 放出プロセスを解明すること」、この 2 つを目的として研究をおこなった。

3. 研究の方法

(1) 調査地概要

茨城県東茨城郡城里町内の国有林内の小流域 (2.3 ha) を試験地とした (図 1)。試験地は標高 210~270m、地質は中古生堆積岩からなり火山灰層が厚く覆っている。土壌は褐色森林土 (林野土壌分類) である。斜面中・下部の 0.93 ha は約 40 年生のスギ人工林であり、斜面上部はアカマツをまじえた落葉広葉樹二次林である。年平均気温は 13.1°C、年間降水量は 1330 mm である。本試験地では、2003 年 12 月に本数率 33 %の間伐を実施し、伐採木は林床に放置してある。

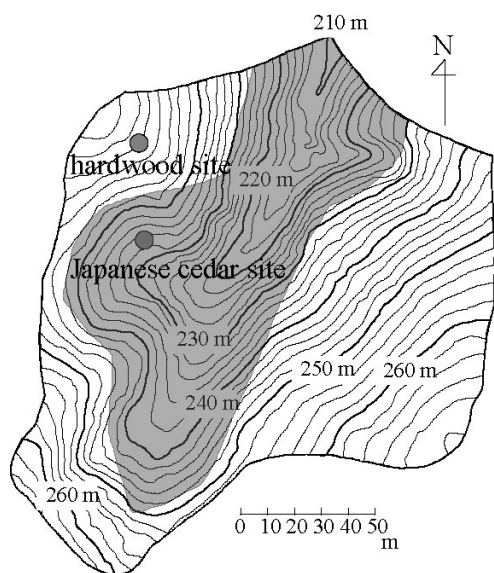


図 1 調査地概要

(2) N_2O 放出量測定方法

① 土壌表面からの N_2O 放出量の季節変化

斜面下部スギ林および斜面上部広葉樹林 (図 1) でクローズドチャンバー法による N_2O フラックスを測定し、これを土壌表面からの N_2O 放出量とした。

チャンバー (直径 40 cm、高さ 15 cm) は、それぞれの林分に 3 つずつ設置して反復とした。3 年間にわたり、原則月 1 回測定をおこなった。また、 N_2O フラックス測定時に土壌温度と土壌水分率を測定した。

② 土壌表面からの N_2O 放出量の空間変動

硝化速度が高いと考えられた夏期に、100 ml の円筒を用いて小流域内 40 地点 (広葉樹林 14 地点、スギ林 26 地点) において表層 0-5 cm の土壌を採取した。研究室へ持ち帰り、30 °C 条件で培養をおこない 24 時間における N_2O 生成量を測定して、これを土壌表面からの N_2O 放出量とした。

③ 土壌表面からの N_2O 放出メカニズム

土壌表面からの N_2O 放出量の空間変動把握時に採取した円筒土壌を用いた。

0.01 %アセチレンを用いた硝化阻害法によって、脱窒由来 N_2O 生成速度を測定した (30 °C、24 時間培養)。アセチレン添加実験と無添加実験の差から、硝化由来 N_2O 生成速度を算出した。

④ 湧水からの N_2O 放出量の季節変化

土壌表面からの N_2O フラックスを測定した日に、量水堰上部で、湧水を採取した。採取した水は、多段階平衡法によって溶存 N_2O 濃度を測定した。

4. 研究成果

(1) 土壌表面からの N_2O 放出量の季節変化

斜面上部スギ林 (図 2) および斜面下部広葉樹林 (図 3) において、土壌温度は明瞭な季節変化を示し、硝化速度も夏に大きくなる傾向がみられた。 N_2O フラックスは、スギ林では夏に大きくなった (図 2) が、広葉樹林では季節変化は不明瞭だった (図 3)。年平均 N_2O フラックスは、スギ林で $2.77 \pm 2.77 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ 、広葉樹林で $1.44 \pm 1.33 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ であり、スギ林の N_2O フラックスの方が広葉樹林よりも大きかった ($P < 0.05$)。また、スギ林土壌の N_2O フラックスは、日本国内の他の森林土壌で平均 N_2O フラックス 1.88 (0.17~12.5) $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ に比べて、高い傾向にあった。これはスギ林土壌における硝化率、アンモニウム濃度が高いことが原因であると考えられた。

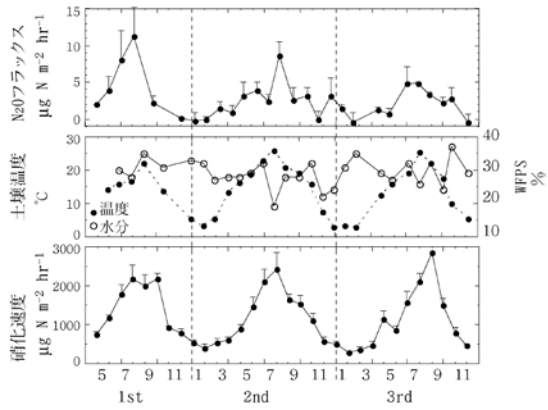


図2 斜面上部スギ林における N₂O フラックスの季節変化

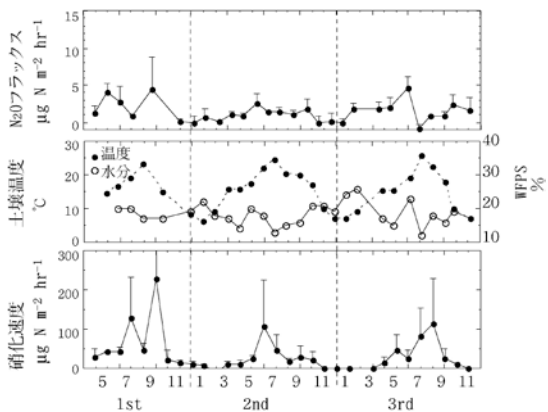


図3 斜面下部広葉樹林における N₂O フラックスの季節変化

斜面上部スギ林および斜面下部広葉樹林で測定した毎月の N₂O フラックスは、土壤温度 ($P < 0.05$) および毎月現地培養によって測定した硝化速度 ($P < 0.01$) と有意な正の相関を示した (図 4)。硝化速度に対する N₂O フラックスの比は、スギ林より広葉樹林で大きかった。斜面上部広葉樹林が、斜面下部スギ林より土壤水分率は低かったにも関わらず ($P < 0.01$)、広葉樹林で脱窒由来の N₂O 生成がみられたことから、広葉樹林土壤中の微細な嫌気部位の存在が示唆された。

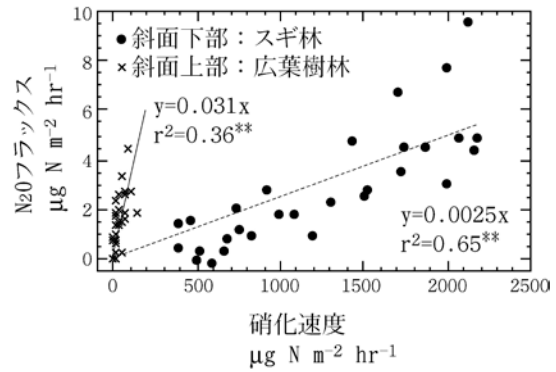


図4 N₂O フラックスと硝化速度の関係

(2) 土壤表面からの N₂O 放出量の放出メカニズム

斜面上部スギ林の方が斜面下部広葉樹林よりも WFPS、pH、硝化速度が大きく、C/N 比は低かった (表 1)。N₂O 生成速度について、空間分布を見ると、斜面下部スギ林で高く、斜面上部広葉樹林で低い傾向が見られた (図 5)。N₂O 生成速度についてまとめると、斜面下部スギ林土壤 ($4.1 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) の方が、斜面上部広葉樹林土壤 ($0.6 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) よりも大きかった (表 2)。

表 1 採取土壤の理化学性および硝化速度

	WFPS %	pH	C/N	硝化速度 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{hr}^{-1}$
広葉樹	32(9) ^b	5.1(0.6) ^c	19(3) ^a	43.6 (4, 443) ^b
スギ	45(9) ^a	5.5(0.3) ^b	16(2) ^b	1.95×10^3 (1.40, 2.85) ^a

カッコ内数字は標準偏差。硝化速度については四分位数。

表 2 N₂O 生成速度とその内訳 ($\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)

	N ₂ O生成速度	硝化由来	脱窒由来
広葉樹	0.62(0, 1.0) ^b	0.23(0, 0.6) ^a	0.31(0, 0.6) ^b
スギ	4.12(1.0, 5.6) ^a	1.57(0.1, 2.7) ^a	2.31(0.6, 3.9) ^a

カッコ内数字は四分位数。

また、アセチレン阻害法による培養実験の結果、両林分において N₂O は硝化過程よりも脱窒過程が卓越している地点が多かった。さらに、脱窒由来 N₂O 生成速度は、斜面下部スギ林 ($2.3 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) で、斜面上部広葉樹林 ($0.3 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) よりも大きかった (表 2)。

以上から、斜面下部スギ林土壤では、高 pH、低 C/N、大きな硝化速度のため硝化過程からの N₂O 放出が大きかったことに加えて、高水分率のため、硝化で生じた硝酸が脱窒を受け、その際に N₂O が大気へ放出するため、斜面上部広葉樹林よりも N₂O 生成速度が大きいたことが示唆された。

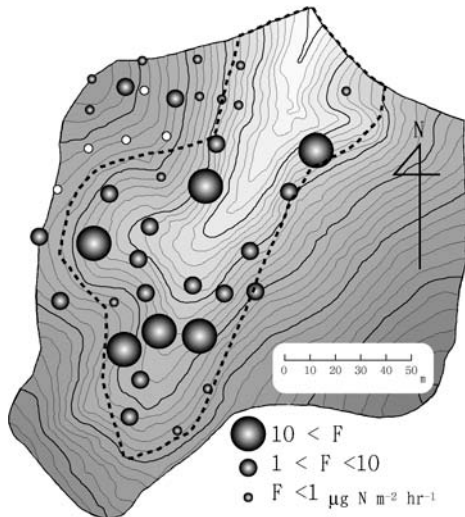


図5 N_2O 生成速度の空間分布。点線枠内がスギ林、枠外が広葉樹林。

(3) 森林小流域における土壌および湧水からの年間 N_2O 放出量

本研究地である森林小流域 2.3 ha において、スギ林の面積 0.93 ha、広葉樹林の面積 1.37 ha を考慮すると、スギ林と広葉樹林から、それぞれの年間 N_2O 放出量は、 $0.23 \text{ kg N yr}^{-1}$ 、 $0.21 \text{ kg N yr}^{-1}$ 、と見積もられ、土壌表面からの N_2O 放出量は計 $0.44 \text{ kg N yr}^{-1}$ と推定された。

一方、湧水中の溶存 N_2O 濃度は、 $0.25 \sim 0.58 \mu\text{g L}^{-1}$ であり、明瞭な季節変化は見られなかった。濃度測定時の流量を乗じると、年間 $0.0069 \text{ kg N yr}^{-1}$ が湧水から放出していると見積もられた。

以上より、本研究試験地である小流域では、湧水よりも土壌表面からの N_2O 放出量の方が、64 倍大きいと見積もられた。

(4) まとめおよび今後の展望

本研究から立地環境の違いによって、土壌表面からの N_2O 放出量および放出メカニズムが異なることが示唆された。近年、ヨーロッパ温帯林における研究から、樹種の違いが土壌表面からの N_2O 放出量に影響をおよぼすことが報告されている。樹種の違いによって、土壌に供給されるリター量および性質が異なることが原因と考えられている。そこで今後、土壌に供給されるリターの量やその分解過程が土壌表面からの N_2O 放出に及ぼす影響に関する研究が必要であると考えられる。

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)

- ① 森下智陽、阪田匡司、高橋正通、石塚成宏、溝口岳男、稲垣善之、寺澤和彦、澤田智志、五十嵐正徳、安田洋、小山泰弘、鈴木祥仁、豊田信行、室雅道、金城勝、山本博一、芦谷大太郎、橋本哲、金澤洋一、馬田英隆、Methane uptake and nitrous oxide emission in Japanese forest soils and their relations to soil and vegetation types、Soil Science and Plant Nutrition、53、2007、678~691、査読あり
- ② 平井敬三、阪田匡司、森下智陽、高橋正通、スギ林土壌の窒素無機化特性とそれに及ぼす環境変動や施業の影響、日本林学会誌、88、2006、79~84、査読あり

〔学会発表〕(計8件)

- ① 森下智陽、森林伐採前後における土壌からの CO_2 、 CH_4 、 N_2O フラックスの変化ーヒノキ4事例の観測結果を元に、日本土壌肥料学会、2008年9月10日、名古屋
- ② 森下智陽、Effects of thinning and clear-felling on greenhouse gas fluxes in Japanese cedar forest on Brown forest soils、Euro Soil、2008年8月27日、オーストリア
- ③ 森下智陽、森林小流域における亜酸化窒素放出過程、第119回日本森林学会、2008年3月28日、東京
- ④ 森下智陽、Spatial variability of N_2O emission in a forested small catchment in Japan、4th Nitrogen Conference、2007年10月3日、ブラジル
- ⑤ 森下智陽、Seasonal change in N_2O flux in Japanese cedar and hardwoods forests in Japan、International Symposium of Forest soil、2007年8月22日、オーストラリア
- ⑥ 森下智陽、森林小流域における N_2O フラックスの季節変化、第118回日本森林学会、2007年4月3日、福岡
- ⑦ 森下智陽、 CH_4 uptake and N_2O emission from the forest soils in Japan、4th USDA Greenhouse Gas Conference、2007年2月7日、アメリカ
- ⑧ 森下智陽、 CH_4 uptake and N_2O emission from the forest soils in Japan、18th World Congress of Soil Science、2006年7月11日、アメリカ

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森下 智陽 (MORISHITA TOMOAKI)
 独立行政法人 森林総合研究所・
 立地環境研究領域・主任研究員
 研究者番号：90391185