

学位論文題名

土壤生態系における温室効果ガスの発生に関する研究

—とくに森林土壌における土壌呼吸、  
および畑土壌における N<sub>2</sub>O 生成と放出を中心として—

学位論文内容の要旨

近年、地球温暖化の影響が指摘されている。しかしながら、様々な陸上生態系からの温暖化ガス発生に関する研究事例の絶対数は不足しており、特に陸上生態系における温暖化ガス発生と今後の炭素・窒素循環の変化が研究上の大きな課題となっている。

このような背景の下、本研究では人為の影響によって生態系の炭素・窒素循環の変化が顕在化すると思われるふたつの生態系—シベリアタイガおよび北海道の野菜畑—において、その生態系における温室効果ガス発生に関する研究を行った。シベリアタイガ生態系は、陸上生態系の炭素循環に重要な位置を占める。この生態系では、人為的な森林火災が頻発し、シベリアタイガの破壊が地球規模の気候システム・炭素循環において極めて重要視されている。この地域においては、土壌呼吸のデータが不足しており、森林火災が土壌呼吸および生態系内の炭素循環に与える影響については調査されていない。北海道灰色低地土タマネギ畑では、多量の施肥が行われ、温室効果ガスとして強い効果のある N<sub>2</sub>O 発生と硝酸の溶脱の問題が顕在化する可能性が高い。したがって、これらの生態系において土壌呼吸および N<sub>2</sub>O 放出といった温室効果ガスの発生メカニズム、および炭素・窒素循環を明らかにする必要があると考えた。

本研究は、このような生態系において、「現場における温室効果ガスの動態を定量的に測定し、土壌からの温室効果ガス発生メカニズムを解析すること」を目的とし、温室効果ガスを中心とした生態系の炭素・窒素循環を明らかにすることとした。

1 ガスフラックスの測定法

これまで、チャンバー法は土壌から大気へのガスフラックスを測定する際に用いられ、拡散法は土層中のガスフラックスを測定する際に用いられてきた。本研究では、チャンバー法と拡散法を用いて、土壌から大気への N<sub>2</sub>O および CO<sub>2</sub> フラックスを同時に測定し、それらを比較した。その結果、両方法によって、等しく定量的にフラックスが測定可能であることを確認し、以下、両方法を用いてガスフラックスを測定した。

2 シベリアタイガにおける森林火災が土壌呼吸に与える影響

森林火災が頻発するシベリアタイガにおいて、森林火災が土壌呼吸に与える影響を調査した。有機物分解量（微生物呼吸量）を室内培養実験によって推定した結果、火災後に有機物分解量は増加した。しかしながら、現場で測定した土壌呼吸は未攪乱の森林あるいは火災後再生した森

林において高かった。これらの地点において、土壌呼吸に対する根呼吸の寄与率を推定した。根呼吸の寄与率は 70%以上であり、土壌呼吸の変化は主に根呼吸の増減によって生じていると結論した。

### 3 北海道灰色低地土タマネギ畑における土壌呼吸

北海道灰色低地土タマネギ畑における土壌呼吸は、作物の成長と地温の上昇に伴って上昇し、収穫後には地温の低下とともに低下した。土壌呼吸に対する根呼吸の寄与率は 45%とシベリアタイガに比べて有機物分解が盛んであることが示された。

### 4 両土壌植物系の炭素収支

土壌-植物系が大気から正味に吸収する  $\text{CO}_2$  量を推定した。その結果、シベリアタイガにおける未撈乱の森林は大気から  $130\text{g C m}^{-2} \text{y}^{-1}$  の炭素を吸収しているのに対し、火災によって森林が焼失した地点では、逆に大気に  $90\text{g C m}^{-2} \text{y}^{-1}$  の炭素を放出していた。このようにシベリアタイガにおける森林火災は、森林を大気中の  $\text{CO}_2$  に対してシンクからソースへ大きく変化させていた。灰色低地土タマネギ畑では、大気中の  $\text{CO}_2$  を  $70\text{g C m}^{-2} \text{y}^{-1}$  吸収しているの見積られた。

### 5 北海道灰色低地土タマネギ畑における $\text{N}_2\text{O}$ 発生量

同じ灰色低地土タマネギ畑における、 $\text{N}_2\text{O}$  フラックスは、タマネギ生育後期で降水が大きく土壌水分が高かった夏から秋にかけて上昇した。これまで畑地からの  $\text{N}_2\text{O}$  フラックスは施肥直後の硝化に伴って生じるものが多いといわれていたが、この結果はそれと異なっていた。タマネギ生育期における  $\text{N}_2\text{O}$  放出量は  $0.38\sim 0.78\text{g N m}^{-2}$  であり、これは施肥窒素の 1.1~2.9%であった。この  $\text{N}_2\text{O}$  放出量の値は、これまでの測定事例の中でも極めて高かった。

なお、同タマネギ畑に窒素施肥の利用効率は半分以下であり、水圏へ施肥窒素の半分以上に相当する窒素が硝酸として流出し、さらに地球温暖化に寄与する  $\text{N}_2\text{O}$  を大気圏に放出していた。

### 6 同タマネギ畑における $\text{N}_2\text{O}$ 生成と放出のメカニズム

同タマネギ畑において、さらに、下層土から作土へ流入する  $\text{CO}_2$  フラックスと  $\text{N}_2\text{O}$  フラックスを比較したところ、 $\text{N}_2\text{O}$  フラックスは、硝酸溶脱が増加した後に上昇した。このことは、作土から粗孔隙を通して溶脱した硝酸の一部が土壌粒団内に拡散し、粒団内に発達した嫌氣的部位において脱窒され、その過程で  $\text{N}_2\text{O}$  ガスが生成したと考えられる。その  $\text{N}_2\text{O}$  ガスが  $\text{N}_2$  ガスまで還元される以前に、粒団外に拡散し、粗孔隙を通して大気へ放出されたと推察した。

以上のように、人為の影響による生態系内の炭素・窒素循環の変化が顕在化すると思われる生態系において、土壌における温室効果ガスの動態を定量的に測定することによって、土壌からの温室効果ガス発生のメカニズムを明らかにした。さらに、それらの生態系内の炭素・窒素循環から、森林火災は森林を大気中の  $\text{CO}_2$  に対してシンクからソースへ大きく変化させ、農耕地においては大気中の  $\text{CO}_2$  を正味で吸収しているものの、窒素利用効率が低く、系外に窒素負荷 ( $\text{N}_2\text{O}$  放出・硝酸溶脱) を与えていることを明らかにした。今後、炭素・窒素循環の面からこれらの負荷を軽減する対策を講じる必要がある。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 波多野 隆 介

副 査 教 授 但 野 利 秋

副 査 教 授 高 橋 邦 秀

学 位 論 文 題 名

## 土壌生態系における温室効果ガスの発生に関する研究

—とくに森林土壌における土壌呼吸、  
および畑土壌における N<sub>2</sub>O 生成と放出を中心として—

本論文は8章からなり、図 32、表 31、付表 19、引用文献 136 を含む総頁数 113 の和文論文である。他に参考論文 6 編が添えられている。

近年人間活動のインパクトにより、産業革命以降とくに 1975 年以降には大気圏における温暖化ガス濃度が急速に上昇しており、地球温暖化傾向が指摘されはじめ、人類の生存基盤の不安定さが浮き彫りになりつつある。そのために人類は対策を講じようとしたが、実態がわからないことに直面している。とくに陸域の温暖化ガスのソースおよびシンクは土壌・植物生態系をめぐる炭素循環および窒素循環に深くかかわっており、野外におけるモニタリングによる実態解明が大きな課題となっている。

本論文は、人為の影響によって生態系の炭素・窒素循環の変化が顕在化すると思われるふたつの生態系—シベリアタイガおよび北海道の野菜畑—において、温室効果ガス発生量の測定、その発生メカニズムを明らかにすることを目的にした研究成果である。

シベリアタイガ生態系は、凍土とカラマツの相互作用のもと、乾燥地に大森林を作り出している熱帯林に相当する 10 億 ha を有する地域であるが、地球温暖化の影響を最も受けやすいこととともに、近年は人為的な森林火災の頻発により、炭素収支が負になっているかもしれないことが指摘され、にわかには注意を要する地域としてクローズアップされてきた地域である。

一方、窒素化合物のうち亜酸化窒素は窒素施肥により多く発生する温暖化ガスであり、二酸化炭素の 150 倍の温室効果をもつ。欧米の畑作農業からの発生量が多く、水田湿地生態系からはほとんど発生しなかった。しかし我が国では近年の水田転換に伴ない集約的野菜栽培が増加し、また世界的にも食糧増産のための窒素肥料使用量の増加に伴ないその発生量が増加することが懸念されているものである。

以下に研究成果を要約する。

### 1 ガスフラックスの測定法

ガスフラックス測定のために、チャンパー法と拡散法を比較した。チャンパー法は一定時間、体積 31L のチャンパーを土壌表面に被せ、その内部のガス濃度変化を測定して求

める。拡散法は、土壌のガス拡散係数とガス濃度勾配を測定しその積から求めるものである。土壌から大気への  $N_2O$  および  $CO_2$  フラックスを同時に測定しそれらを比較した。その結果、両方法の測定値は統計的に差が無かった。以下、両方法を用いてガスフラックスを測定した。

## 2 シベリアタイガにおける森林火災が土壌呼吸に与える影響

森林火災が頻発するシベリアタイガにおいて、森林火災が土壌呼吸に与える影響を調査した。有機物分解量（微生物呼吸量）を室内培養実験によって推定した結果、火災後に有機物分解量は増加した。しかしながら、現場で測定した土壌呼吸は未撈乱の森林あるいは火災後再生した森林において高かった。これらの地点において、土壌呼吸に対する根呼吸の寄与率を推定した。根呼吸の寄与率は 70%以上であり、土壌呼吸の変化は主に根呼吸の増減によって生じていると結論した。

## 3 北海道灰色低地土タマネギ畑における土壌呼吸

北海道灰色低地土タマネギ畑における土壌呼吸は、作物の成長と地温の上昇に伴って上昇し、収穫後には地温の低下とともに低下した。土壌呼吸に対する根呼吸の寄与率は 45%とシベリアタイガに比べて有機物分解が盛んであることが示された。

## 4 両土壌植物系の炭素収支

土壌-植物系が大気から正味に吸収する  $CO_2$  量を推定した。その結果、シベリアタイガにおける未撈乱の森林は大気から  $130g\ C\ m^{-2}\ y^{-1}$  の炭素を吸収しているのに対し、火災によって森林が焼失した地点では、逆に大気に  $90g\ C\ m^{-2}\ y^{-1}$  の炭素を放出していた。このようにシベリアタイガにおける森林火災は、森林を大気中の  $CO_2$  に対してシンクからソースへ大きく変化させていた。灰色低地土タマネギ畑では、大気中の  $CO_2$  を  $70g\ C\ m^{-2}\ y^{-1}$  吸収していると見積られた。

## 5 北海道灰色低地土タマネギ畑における $N_2O$ 発生量

同じ灰色低地土タマネギ畑における、 $N_2O$  フラックスは、タマネギ生育後期で降水が大きく土壌水分が高かった夏から秋にかけて上昇した。これまで畑地からの  $N_2O$  フラックスは施肥直後の硝化に伴って生じるものが多いといわれていたが、この結果はそれと異なっていた。タマネギ生育期における  $N_2O$  放出量は  $0.38\sim 0.78g\ N\ m^{-2}$  であり、これは施肥窒素の 1.1~2.9%であった。この  $N_2O$  放出量の値は、これまでの測定事例の中でも極めて高かった。なお、同タマネギ畑に窒素施肥の利用効率は半分以下であり、水圏へ施肥窒素の半分以上に相当する窒素が硝酸として流出し、さらに地球温暖化に寄与する  $N_2O$  を大気圏に放出していた。

## 6 同タマネギ畑における $N_2O$ 生成と放出のメカニズム

同タマネギ畑において、さらに、下層土から作土へ流入する  $CO_2$  フラックスと  $N_2O$  フラックスを比較したところ、 $N_2O$  フラックスは、硝酸溶脱が増加した後に上昇した。このことは、作土から粗孔隙を通して溶脱した硝酸の一部が土壌粒団内に拡散し、粒団内に発達した嫌氣的部位において脱窒され、その過程で  $N_2O$  ガスが生成したと考えられる。その  $N_2O$  ガスが  $N_2$  ガスまで還元される以前に、粒団外に拡散し、粗孔隙を通して大気へ放出されたと推察した。

以上のように、土壌生態系を巡る炭素・窒素循環課程における温室効果ガスの動態を野外において定量的に測定し、土壌からの温室効果ガス発生メカニズムにも言及したものであり、その成果は学術上高く評価される。よって審査員一同は、澤本卓治は博士(農学)の学位をうけるのに十分な資格を有するものと認めた。