

学 位 論 文 題 名

Methane Flux and Soil Respiration in Various Types of Land Use

（さまざまな土地利用におけるメタンフラックスと土壌呼吸）

学位論文内容の要旨

気候変動に関する政府間パネル (IPCC)によれば、産業革命以来、二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素の地球温暖化ガス濃度はそれぞれ年率 0.5%、0.9%、0.25%づつ上昇し、地球温暖化による環境変動が懸念されている。1997 年の地球温暖化防止京都会議 (COP3) では人為発生源からの二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素を 1990 年レベルからさらに 6%削減することを義務付けることが決定され、現在その交渉が行われている。これら温暖化ガス発生は土壌・植物系における炭素・窒素循環に深く関わっており、土地利用がガス発生に大きな影響を与えており、その実態把握が急務とされている。本研究は、炭素循環に関わる二酸化炭素、メタンを中心に、さまざまな土地利用におけるガス発生の違いを明らかにすることを目的に行ったもので、別に測定された亜酸化窒素発生の結果も用いて温暖化ポテンシャルによる土地利用間の比較を試みたものである。

1. 北海道静内町の多腐植質黒ボク土の林地、草地、トウモロコシ畑、札幌市羊ヶ丘の黒ボク土、三笠市の灰色低地土タマネギ畑においてメタンフラックスをチャンバー法により測定した。タマネギ畑では 1999、2000 年の 2 ヶ年、他は 1999 年の 5 月から 11 月の 7 ヶ月間に測定を行った。

- 1) 静内では、林地でのメタンフラックスは常に負の値を示し、メタン吸収が認められたのに対し、草地でのメタンフラックスは常に正で、メタンを放出していた。トウモロコシ畑でのメタンフラックスは降雨後正の値を示していた。これらすべての土地利用においてメタンフラックスは土壌水分が多くなるほど大きくなる傾向を示した。測定期間中のメタンフラックスは林地で -223 mgC/m^2 と吸収を示したが、草地では 108 mgC/m^2 、トウモロコシ畑で 37 mgC/m^2 と放出を示した。
- 2) 羊ヶ丘のトウモロコシ畑、草地でのメタンフラックスは降雨直後に正の値となったが、概ね負の値を示した。静内同様、メタンフラックスは土壌水分が多くなるほど大きかった。測定期間中のメタンフラックスはトウモロコシ畑で -124 mgC/m^2 、草地で -14 mgC/m^2 であり、両者ともにメタン吸収が認められた。
- 3) 三笠のタマネギ畑では、夏期の降雨後の乾燥過程で比較的大きなメタン放出が認められた。しかし土壌水分との関係は全く認められなかった。測定期間中の降水量は 1999

年が 642mm、2000 年が 1008mm であったが、メタンフラックスは 1999 年で 59.1 mgC/m^2 、2000 年で 3.2 mgC/m^2 と、降水量が少ない 1999 年で高かった。また土層内のメタン濃度を経時的に測定したところ、ほとんどの測定日で大気より高く下層ほど高い濃度分布が見られた。本土壤は構造の発達した粘土質土壤で、メタンは下層から土塊間の粗孔隙を拡散して放出されると考えられる。降雨が多いとこの粗孔隙が水で封入され拡散経路が閉ざされ、放出量が低下すると考えられた。

2. 三笠タマネギ畑において、栽植区および窒素施与がメタンフラックスに及ぼす影響を検討した。メタンフラックスは栽植の有無により違いは認められなかったが、窒素施与により有意に増加した。5 月から 11 月の測定期間中のメタンフラックスは窒素施与区では 1999 年に 59.1 mgC/m^2 のメタン放出が認められたが、無窒素区でのフラックスは 0.2 mgC/m^2 と著しく小さかった。窒素施与区で測定期間中に 3.2 mgC/m^2 のメタン放出が認められた 2000 年の無窒素区は -26.6 mgC/m^2 とメタン吸収も認められた。メタン酸化菌はアンモニウムも酸化することが知られており、施肥アンモニウムの硝酸化成がメタン酸化と競合したことが、窒素施与区のメタンフラックスを増加させた原因であると考えられた。

3. すべての地点で土壤呼吸は温度と有意な相関関係が認められた。Q₁₀ 値は 1.9 から 4.8 を示し、トウモロコシ畑、草地で高く、林地で低く、無栽植区では低かった。土壤呼吸には根呼吸と微生物呼吸が寄与する。Q₁₀ の違いは根呼吸によるものと思われた。微生物呼吸を無栽植区の土壤呼吸、あるいは根を取り除き培養することにより見積もった結果、土壤呼吸のうち根呼吸が 31% から 60% を占め、これまでの推定値と同程度の値であった。

4. 生態系の炭素固定量 (NEP) は純一次生産量から微生物呼吸量を差し引くことにより求められる。NEP はトウモロコシ畑、林地で高く、ついで草地であり、タマネギ畑で低かった。無施肥区、無栽植区では負の値を示し炭素放出が生じていた。メタン、亜酸化窒素の温室効果は二酸化炭素に比べメタンで 21 倍、亜酸化窒素で 310 倍強い。別に測定され、発表されている亜酸化窒素の値も用いて生態系から放出される温室効果ガスを炭素換算し測定期間中の地球温暖化ポテンシャル (GWP) を見積もった。GWP が正であれば温暖化を促進し、負であれば温暖化を抑制する。なお亜酸化窒素は窒素施肥が多いほど放出量が増し GWP を増加させる。GWP は -487 mgC/m^2 から 417 mgC/m^2 の値を示した。メタンフラックスによる GWP は -1.71 から 0.83 であり、GWP の変動は二酸化炭素と亜酸化窒素フラックスにより生じていた。林地は大きな炭素固定をもち、メタンを吸収し、亜酸化窒素をほとんど放出せず、その GWP は負の大きな値となり温暖化抑制効果を示した。一方、炭素放出があり、メタン吸収が小さく、大きな亜酸化窒素放出が認められた窒素施肥の無栽植区では GWP は大きく正の値となり強い温暖化効果を示した。タマネギ畑の GWP はすべて正の値を示した。これはタマネギの炭素固定量が小さい上、窒素施肥量が多く亜酸化窒素放出量が多かったことに起因すると考えられた。温暖化抑制のためには、窒素施与量の抑制、乾物生産能の向上が望まれる。

5. 結論

土地利用の違いは土壤・大気間の温暖化ガスフラックスに大きな影響を与えていた。窒

素施肥は生態系の炭素固定量を増加させるが、メタン吸収を阻害し、亜酸化窒素放出を助長する。温暖化効果を抑制する土地利用に関わる総合的な判断が要求される。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 波多野 隆 介

副 査 教 授 山 口 淳 一

副 査 教 授 大 崎 満

学 位 論 文 題 名

Methane Flux and Soil Respiration in Various Types of Land Use

(さまざまな土地利用におけるメタンフラックスと土壌呼吸)

本論文は 10 章からなり、図 28、表 27、写真 1、引用文献 120 を含む総頁数 124 の英文論文である。別に参考論文 1 編が添えられている。

気候変動に関する政府間パネル (IPCC)によれば、産業革命以来、二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素の地球温暖化ガス濃度はそれぞれ年率 0.5%、0.9%、0.25% ずつ上昇し、地球温暖化による環境変動が懸念されている。これら温暖化ガス発生は土壌・植物系における炭素循環・窒素循環に深く関わるため土地利用がガス発生に大きな影響を与えており、その実態把握が急務とされている。本研究は、炭素循環に関わる二酸化炭素、メタンを中心に、さまざまな土地利用におけるガス発生の違いを明らかにすることを目的に行ったもので、別に測定された亜酸化窒素発生の結果も用いて温暖化ポテンシャルによる土地利用間の比較を試みたものである。

1. 北海道静内町の多腐植質黒ボク土の林地・草地・トウモロコシ畑、札幌市羊ヶ丘の黒ボク土の草地・トウモロコシ畑、三笠市の灰色低地土タマネギ畑において、融雪後の 5 月から降雪前の 11 月までの 7 ヶ月間、メタンフラックスをチャンバー法により測定した。なお、負の値はメタン吸収を示す。

1) 静内の林地での測定期間中のメタンフラックスは -223 mgC/m^2 であり、メタン吸収が認められた。一方、草地では 108 mgC/m^2 とメタンを放出した。しかし、羊ヶ丘の草地では -14 mgC/m^2 とメタン吸収が見られた。トウモロコシ畑では静内で 37 mgC/m^2 とメタンを放出したのに対し、羊ヶ丘では -124 mgC/m^2 とメタンを吸収していた。これらの地点ではメタンフラックスは土壌水分が多くなるほど大きくなり、排水状態の違いがメタンフラックスに影響を与えていると思われた。

2) 三笠のタマネギ畑では、夏期の降雨後の乾燥過程で比較的大きなメタン放出が認められ、メタンフラックスと土壌水分との間に関係は認められなかった。測定期間中のメタンフラックスは降水量が 642mm と少なかった 1999 年で 59.1 mgC/m^2 、1008mm

と多かった 2000 年で 3.2 mgC/m^2 と、降水量が少ない 1999 年で高かった。本土壌は構造の発達した粘土質土壌で、下層ほどメタン濃度が高く、メタンは下層から土塊間の粗孔隙を拡散して放出されると考えられ、降雨が多いと粗孔隙が水で封入され拡散経路が閉ざされ、放出量が低下すると思われた。

2. 三笠タマネギ畑において、栽植および窒素施与がメタンフラックスに及ぼす影響を検討した。メタンフラックスは栽植の有無により違いは認められなかったが、窒素施与により有意に増加した。5 月から 11 月の測定期間中のメタンフラックスは窒素施与区では 1999 年に 59.1 mgC/m^2 のメタン放出が認められたが、無窒素区でのフラックスは 0.2 mgC/m^2 と著しく小さかった。2000 年は、窒素施与区で 3.2 mgC/m^2 のメタン放出が認められたが、無窒素区は -26.6 mgC/m^2 とメタン吸収も認められた。メタン酸化菌はアンモニウムも酸化するが、施肥アンモニウムの硝酸化成がメタン酸化と競合したことが、窒素施与区のメタンフラックスを増加させた原因であると考えられた。

3. すべての地点で土壤呼吸は温度と有意な相関関係が認められた。Q10 値は 1.9 から 4.8 を示し、トウモロコシ畑、草地で高く、林地で低く、無栽植区では低かった。窒素施肥の影響はほとんど認められなかった。土壤呼吸には根呼吸と微生物呼吸が寄与する。Q10 の違いは根呼吸によると思われた。微生物呼吸を無栽植区の土壤呼吸、あるいは根を取り除き培養することにより見積もった結果、土壤呼吸のうち根呼吸が 31% から 60% を占め、これまでの推定値と同程度の値であった。

4. 生態系の炭素固定量 (NEP) は純一次生産量から微生物呼吸量を差し引くことにより求められる。NEP はトウモロコシ畑、林地で高く、ついで草地であり、タマネギ畑で低かった。無施肥区、無栽植区では負の値を示し炭素放出が生じていた。メタン、亜酸化窒素の温室効果は二酸化炭素に比べメタンで 21 倍、亜酸化窒素で 310 倍強い。別に測定された亜酸化窒素の値も用いて生態系から放出される温室効果ガスを炭素換算し測定期間中の地球温暖化ポテンシャル (GWP) を見積もった。GWP が正であれば温暖化を促進し、負であれば温暖化を抑制する。なお亜酸化窒素は窒素施肥が多いほど放出量が増し GWP を増加させる。GWP は -487 mgC/m^2 から 417 mgC/m^2 の値を示した。メタンフラックスによる GWP は -1.71 から 0.83 であり、GWP の変動は二酸化炭素と亜酸化窒素フラックスにより生じていた。林地は大きな炭素固定をもち、メタンを吸収し、亜酸化窒素をほとんど放出せず、その GWP は負の大きな値となり温暖化抑制効果を示した。一方、炭素放出があり、メタン吸収が小さく、大きな亜酸化窒素放出が認められた窒素施肥の無栽植区では、GWP は大きく正の値となり強い温暖化効果を示した。タマネギ畑の GWP はすべて正の値を示した。これはタマネギの炭素固定量が小さい上、窒素施肥量が多く亜酸化窒素放出量が多かったことに起因すると考えられた。温暖化抑制のためには、窒素施与量の抑制、乾物生産能の向上が望まれる。

以上のように本論文は、さまざまな生態系における温暖化ガスの放出・吸収をモニタリングし、温暖化に対する生態系の影響力とその内容の違いを把握することの重要性を述べたものであり、その成果は学術的に高く評価される。よって審査員一同は、胡 栄桂は博士(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。