

筑波森林水文試験地スギ林下部斜面における土壌中の温室効果ガス濃度の深度依存性動態

Depth-Dependent Dynamics of Greenhouse Gas Concentrations in Soils on the Lower Slope of a Japanese Cedar Forest in Tsukuba

○進藤 綾乃*, 西脇 淳子**, 伊藤優子***, 小林政広***

○SHINDO Ayano*, NISHIWAKI Junko**, ITOH Yuko***, KOBAYASHI Masahiro***

1. はじめに

近年、地球温暖化の深刻化が問題となり、その要因とされる温室効果ガスの削減が求められている。森林は陸域生態系の中でも炭素貯留機能が高く、CO₂の吸収の場として注目されてきた。しかし、森林において土壌呼吸の多くを占める微生物呼吸が気温の上昇に伴って指数関数的に活発になることから、地球温暖化に伴い、森林土壌からのCO₂生成量が増加することが懸念されている（大類ら，2010）。

温室効果ガス削減を目的とした森林土壌における研究は、国内外で数多く行われてきた。森林土壌において温室効果ガスであるCO₂は主に有機物の分解や根の呼吸によって生成され、CH₄は嫌気的条件下でメタン生成菌によって発生する。一方、酸素が十分に供給される土壌では、メタン酸化細菌によってCH₄が分解される。これらの動態を正確に評価することは、森林の炭素収支の予測精度向上に寄与し、気候モデルの精緻化や持続可能な森林管理の実践に貢献することが期待される。しかしながら、このような複雑な動態を解明するために、深度別にフラックスや生成量を推定した研究は少ない。

そこで本研究では、原位置での観測に基づき、森林土壌における温室効果ガス（CO₂，CH₄）の生成量および分解量を推定し、土壌中の温室効果ガスの発生要因と動態を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

本研究では、森林土壌におけるCO₂およびCH₄の深度別生成・分解量を原位置非破壊測定により推定した。筑波森林水文試験地のスギ林下部斜面において5つの深度（10，20，40，60，100cm）にガス採取管を埋設し、2022年から月に1度の頻度でガス試料採取を行い、地表面のガスフラックスはクロードチャンバー法により測定した。ガスフラックスは、(1)に示したFickの法則を用いて求めた。

$$f = -D_s \frac{\Delta C}{\Delta z} \quad (1)$$

f : ガスフラックス (kg m⁻² s⁻¹)

D_s : ガス拡散係数 (m² s⁻¹)

ΔC : 2深度間でのガス濃度差 (kg m⁻³)

Δz : 2深度間の距離 (m)

採取したガス試料のCO₂およびCH₄濃度を、ガスクロマトグラフを用いて測定した。地表面ガスフラックス、土壌ガスはともに2つの試験プロットで測定した。さらに、同一地点において温度、土壌水分量、有機物量、土中ガス拡散係数（遅沢ら，1987）などの環境要因を測定し、それらがガス挙動や微生物活性に与える影響の考察を行った。

*東京農工大学大学院農学府農学専攻食農情報工学コース

(Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology)

**東京農工大学大学院農学研究院

(Institute of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology)

***国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

(Forestry and Forest Products Research Institute, Forest Research and Management Organization)

キーワード：森林土壌、温室効果ガス、CO₂、CH₄、土壌環境、炭素循環、森林管理

3. 結果

2024 年 9~11 月の測定の結果を Fig.1,2 に示す。CO₂濃度は深度 40cm から 60cm の中間層で高く、最も高い値は 8024ppm であった。そこから深くなるにしたがい低下し、同じ日の深度 100cm では 726ppm であった。一方、CH₄濃度は深度 100cm で最も高い濃度を示し、最大 2.14ppm であった。現在、分析を終えているサンプルに関する結果から、CO₂の濃度は 11 月に比べて 9 月、10 月の方が高いことが確認できた。これらの結果は 2022 年の松尾らの研究でも同様の傾向が示されている。

今回の実験結果では左右のチャンバーにおいて結果に数値に差がみられ、CO₂で最大 4917ppm、CH₄では 0.68ppm の差があった。

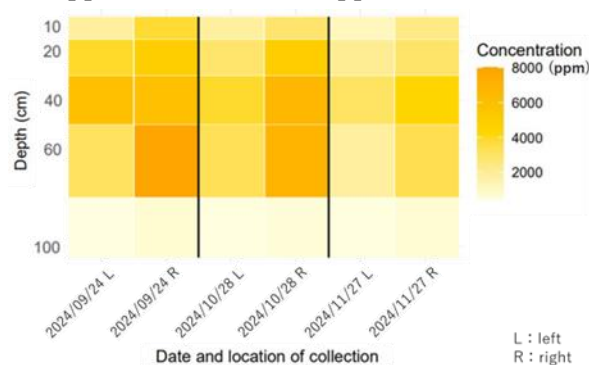


Fig.1 Heat Map of Soil Gas Concentration (CO₂)

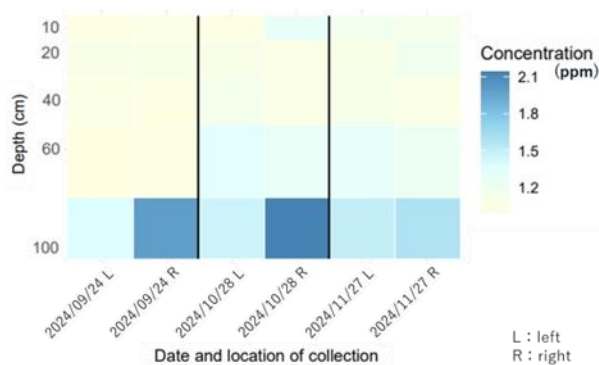


Fig.2 Heat Map of Soil Gas Concentration (CH₄)

* 図中の L と R は測定のために設けた 2 プロットのうち斜面に向かって左側と右側の地点を示す。

4. 考察

CO₂濃度の増加は、深度とともに酸素供給量が制限されることに起因し、CH₄濃度は深層で高くなっていることから、生成が嫌氣的環境で活発になったと考えられる。さらに、CH₄が深層で高い濃度を示したことは、土中水分量に関係している可能性がある。

CO₂の高濃度域は、微生物活動が活発な層と一致し、有機物の分解が主要な要因であると考えられる(高橋, 2001)。CH₄の酸化は酸素供給の多い表層で進行することから、土壌の通気性が重要な制御因子であることが示唆された。これらの結果は、森林土壌における温室効果ガス動態の深度依存性を示すものであり、モデル化のための基礎データとして有用である。また、森林土壌の温室効果ガス動態は、季節変動の影響を受けることが考えられる。降水量にともない土壌水分量が増加して CH₄の生成が促進され、乾燥した時期には土壌が通気性を増して CH₄の酸化が進行する可能性がある。

さらに、森林管理手法による温室効果ガス動態への影響も検討する必要がある。間伐や施肥といった森林施業が土壌の炭素貯留能力に及ぼす影響については、解明されていない点が多くある。特に、森林の成長段階や樹種、それに付随する菌根菌の種類や量などによって土壌中の有機物量が異なり、温室効果ガスの排出量に違いが生じる可能性がある。今後は、これらの要因を考慮した包括的な手法の確立が求められる。

5. おわり

今後は、多様な生態系における異なる季節や気候条件下での長期モニタリングを行い、環境変動が温室効果ガス排出に及ぼす影響をさらに詳細に検討する必要がある。また、森林土壌の炭素動態をより正確に理解するためには、分解プロセスの詳細なメカニズムや微生物群集の役割についての解析が必要である。特に、CH₄生成菌と CH₄酸化菌のバランスが CH₄フラックスに与える影響について調査することが重要である。これにより、温室効果ガス排出削減に向けた管理手法の開発に貢献できると考える。

参考文献:

- 遅沢省子,久保田徹. 土壌のガス拡散係数の測定法. 日本土壌肥科学雑誌. 1987, vol. 58(5), p. 528-535.
- 大類光平,檜本正明,王権,角張嘉孝,梁乃申. 地球温暖化にともなう地温上昇で土壌微生物呼吸はどう変化するのか? 日本森林学会大会発表データベース. 2010, vol. 121(0), p. 619-619
- 高橋正通. 森林土壌の炭素固定メカニズム. 日本土壌肥科学会誌. 2001, vol. 72(1), p. 15-27.
- 松尾朋実. 森林土壌における温室効果ガスの生成・分解量の推定. 茨城大学卒業研究. 2022