



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Variations in soil fluxes of methane and carbon dioxide in an immature deciduous forest [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	HU, Rui
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第16098号
Issue Date	2024-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/93502
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	HU_Rui_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博士（農学）	氏 名	HU Rui
審査担当者	主査	教授	平野高司
	副査	教授	当真 要
	副査	教授	加藤知道（国際食資源学院）

学位論文題名

Variations in soil fluxes of methane and carbon dioxide in an immature deciduous forest
(未成熟な落葉樹林におけるメタンと二酸化炭素の土壌フラックスの変動特性)

本論文は英文 102 頁，図 37，表 17，5 章からなり，参考論文 1 編が付されている。

森林土壌は巨大な炭素貯蔵庫であり，植物の枯死体からなる有機物を土壌炭素として蓄積してきた。一方，地下部へ転流される光合成産物を基質とする根呼吸と土壌有機物の分解過程である微生物呼吸で構成される土壌呼吸は，森林の生態系呼吸の 30～80% を占め，陸域生態系における主要な二酸化炭素 (CO₂) 放出源である。根呼吸と微生物呼吸では基質やプロセスが異なるため，それらの環境応答特性を評価するには，根呼吸と微生物呼吸を正確に分離した長期の野外観測が必要であるが，先行研究はほとんどない。また，森林土壌は第 2 の温室効果気体であるメタン (CH₄) の吸収源であることが報告されているが，小スケールにおける CH₄ 吸収量（フラックス）の変動特性に関する知見は限られている。そこで本研究では，大規模攪乱後の二次遷移が進む北海道苫小牧市のシラカンバ若齢林の比較的小さなエリア (30 m × 30 m) に設けた 2 つの処理区（根あり（対照区），根なし（根切り区））を対象とし，自動開閉チャンバースystemを用いて 2021 年と 2022 年の無積雪期間（4～11 月）にそれぞれ 5 反復で土壌 CO₂・CH₄ フラックスの連続観測を行い，機械学習（Random Forest: RF）を用いてデータ解析を行った。

1) 土壌による CH₄ 吸収量の時空間変動特性の解明

予測変数（特徴量）として地温，水分飽和度 (WFPS)，気温，風速，大気 CH₄ 濃度，酸素 (O₂) 拡散係数，炭素・窒素比 (C/N) およびバルク密度を用いることで，RF モデルにより根なし区の CH₄ 吸収速度を高い精度 ($R^2 = 0.70$) で推定することができた。また，細根のバイオマスと生産速度を変数に加えることで，根あり区での推定精度が向上した ($R^2 = 0.76$)。特徴量の中では，O₂ 拡散係数と WFPS の重要度が高く，CH₄ と CH₄ の酸化に寄与する O₂ の大気から土壌への供給が CH₄ 吸収速

度の主要な制限要因であることが示された。

2) 微生物呼吸のモデル化と土壌呼吸の根呼吸への分離手法の開発

大気 CH_4 濃度と O_2 拡散係数を除いた特徴量を用いた結果、根なし区（微生物呼吸に相当、 $R^2 = 0.93$ ）、根あり区（土壌呼吸に相当、 $R^2 = 0.97$ ）ともに、RF モデルによって土壌 CO_2 フラックスの時空間変動を高精度で推定することができた。特徴量の中では、地温の重要度が顕著に大きいことが示された。得られたモデルを用いて根あり区の各チャンバーの微生物呼吸を推定し、チャンバーごとに土壌呼吸から根呼吸を分離した（RF 法）。また、根なし区で測定された微生物呼吸の平均値を研究エリアの代表値とし、根あり区の各チャンバーの根呼吸を推定した。後者は、標準的に用いられている根呼吸の推定法である（従来法）。推定結果を比較すると、RF 法では従来法に比べて根呼吸が有意に高く（ $P = 0.023$ ）、また負値などの異常値が軽減した。

3) ウェーブレット解析（周波数解析）を用いた総一次生産（GPP）と根呼吸の連動性の解明

根あり区で測定された土壌呼吸と RF 法で推定された根呼吸について、研究エリアに隣接した観測タワーで渦相関法を用いて測定された総一次生産（GPP）との同期生を解析し、周期性の時間差を月ごとに定量化した。その結果、生態系の総光合成である GPP に対して、土壌呼吸は 6.56 ± 3.58 時間（平均±標準偏差）、根呼吸は 5.07 ± 4.97 時間、それぞれ遅れることが明らかになった。また、土壌呼吸、根呼吸ともに遅れ時間の季節性は認められなかった。土壌呼吸の遅れ時間が根呼吸に比べて長いのは、光合成と直接関係しない微生物呼吸の時間変化が含まれているためであると考えられる。

以上、本研究では、比較的小さな空間スケールの森林土壌における CH_4 吸収速度と CO_2 放出速度の時空間変動を RF モデルによって高精度と推定できることを示した。また、RF モデルを活用することで、従来法に比べて根呼吸の推定精度が向上することを明らかにした。さらに、生態系光合成と根呼吸との時間遅れを初めて定量化することに成功した。本研究で得られた知見は、森林生態系における温室効果気体の動態の定量化に大きく貢献できると考えられる。

よって審査員一同は、Hu Rui が博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。