

令和元年5月21日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04929

研究課題名(和文)近赤外分光法による森林地下部炭素貯留量の時空間変動の解明

研究課題名(英文) Estimation of spatiotemporal variation in forest soil carbon stock by using field spectroscopy

研究代表者

中路 達郎 (NAKAJI, Tatsuro)

北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・准教授

研究者番号：40391130

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 7,400,000円

研究成果の概要(和文)：森林土壌中の有機物組成および水分含量を簡便かつ迅速に計測する分光計測手法を開発した。北方冷温帯林において多地点のリター、有機物土壌および鉱物土壌を採取しCO₂放出速度、土壌成分と近赤外～短波長赤外波長の連続分光反射率を計測した。回帰分析の結果、土壌水分、窒素、セルロース含有量の3成分によってCO₂放出速度が予測可能であること、分光反射率からこれらの成分を誤差6～10.3%で推定できることが明らかになった。野外で分光反射率を計測し実測値と比較した結果、深度や樹種による形質・CO₂放出速度の差が推定でき、非破壊かつ迅速な土壌炭素成分とCO₂放出の空間変動を解析する手法が確立された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

深度別および面的な成分量の変化の解明は、森林における空間異質性や環境条件に対するCO₂放出の応答性を正確に見積もるためにも有効な情報である。本研究では、室内で行われていた研究手法を野外に応用するための機材開発と、邪魔な要因であった水分条件を可変させたモデルを作るといった新しい発想をもとにして、分析の困難さから不明点の多かった地中の炭素動態を簡便かつ迅速に計測する手法を確立した。今後の森林における物質循環研究を進めるために有用な技術的知見を示した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed new spectroscopic monitoring method for estimating the vertical profiles of water content, organic component and respiration rate of forest soil in the field. Firstly we collected training data of NIR-SWIR spectral reflectance feature, chemical traits and respiration rate of forest soil from bottom of 13 tree species in cool temperate forest. Based on the statistical models, we clarified that the soil concentrations of water, N and cellulose explained the respiration rate at 2.1% RMSE, and spectral reflectance model estimated these traits with 6 - 10.3% RMSE. We tested these estimation models by using field monitoring data in the forest. Field spectral measurement showed vertical profiles of soil traits and these traits provided estimated CO₂ emission from forest soil in the field. These results indicate that the field monitoring of NIR-SWIR spectral reflectance can be used for rapid monitoring of soil traits and CO₂ emission in the field.

研究分野：森林生態学

キーワード：分光観測 土壌 森林 空間 二酸化炭素 有機物組成

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

森林は陸域の炭素の約半分を貯留する陸域最大のシンクであり、そのうち7割近くが地下部に貯蔵される。また土壌の表面からは微生物や植物根の呼吸によるCO₂の放出があり、その年間総量は年間約98 Pgにのぼり、化石燃料燃焼量の10倍以上と報告されている。地球レベルでの気候変動の抑制に対する森林の役割が期待されているなか、森林土壌における炭素の吸収・固定・放出に関わる炭素循環プロセスの解明は重要な課題である。

土壌有機炭素の多くは、腐植や落葉落枝・枯死根のリター、および生きた樹木の根として存在する。土壌有機物は微生物によって分解され大部分が最終的にCO₂として大気中に放出されるが、森林土壌の有機物分解速度は、温度や水分といった環境要因と、有機物に含まれる窒素などの養分バランスや可溶性炭水化物、リグニン、セルロースといった化学組成に影響を受ける。一方、生きた樹木根の現存量や回転率もまた、環境要因や土壌化学組成に規定されている。したがって、森林の地下部の炭素循環の時空間的な評価には、有機物の分布とその環境要因や化学組成の把握が欠かせない。

一般に土壌有機物の化学組成は野外でサンプリングした試料を実験室内で分析して得られる。しかし破壊的であり高密度の採取・分析には労力がかかるため、その広域観測は簡単ではない。また面的な観測だけでなく、深度方向の採取についても同様に作業的なコストが無視できない。もし野外でこれらの情報を簡便に取得し、土壌有機物炭素を三次元的に把握することができれば、炭素分布や分解速度の面的不均一性の予測やそのメカニズム研究が一層進むと期待される。

2. 研究の目的

近年、有機物の理化学性を非破壊で推定する計測法の一つとして近赤外分光法が注目されている。近赤外分光法は対象の分光反射を連続波長で計測し、対象物の理化学性を迅速かつ非破壊で推定する光学的な分析手法であり、野外研究ではリモートセンシングの分野で植生表面のリグニンやセルロースの研究事例などが知られている。土壌を対象とした研究では、実験室での乾燥試料の分析研究が広く進められてきたものの、近年は、提案者らの観測実験によって、未乾燥の土壌においても近赤外波長の反射率計測によるリターと枯死細根の判別、さらに炭素や窒素、リグニンやセルロースなどの有機物量の推定なども報告され、フィールド観測における実用化に注目が集まっている。

そこで、本研究では、この近赤外分光法を野外における土壌観測に導入し、迅速かつ非破壊で土壌有機物の化学組成を評価する手法を開発する。さらに検証研究として、近赤外分光法によって有機物組成を空間的に再現し、あわせて現地測定する土壌呼吸速度と比較する。土壌有機物量の空間配置とパッチサイズおよびその化学組成バランス(リグニンや窒素等)を3次元マッピングし、土壌呼吸速度との関係から地下部生態系の物質循環における空間不均一性のメカニズム解明を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、まず初めに有機物組成の推定モデルを作成するための教師データを収集する。冷温帯落葉広葉樹林において、地中の近赤外～短波長赤外波長の分光反射率と土壌のデータセットを収集する。教師データでは、土壌有機物の室内分析を行い、PLS回帰モデル等を利用して、分光反射率から有機物組成を推定するモデルを作成する。土壌水分や密度、粒径等を変化させた状況で推定を試み、それらを利用して環境影響を自己補正した野外対応型の有機物推定モデルを開発する。

次に、樹種構成や窒素負荷量の異なる森林において面的かつ深度別に計測した分光反射率データに推定モデルを適用して有機物組成を3次元化し、多地点観測した土壌呼吸(おもに微生物呼吸)と比較することで土壌炭素動態の空間不均一性の評価を試みる。

4. 研究成果

北海道大学苫小牧研究林において、未成熟森林土壌に立地する落葉広葉樹二次林および人工造林地において13樹種の樹木(針葉樹6種、広葉樹7種)を対象に、リター、有機物土壌(深度0-10cm)および鉱物土壌(深度10-20cm)を採取しCO₂放出速度を計測した。そのうち、生土から風乾状態まで土壌含水量を5段階に変化させながら近赤外～短波長赤外波長(0.9~2.4μm)の連続分光反射率を計測した(図1)。

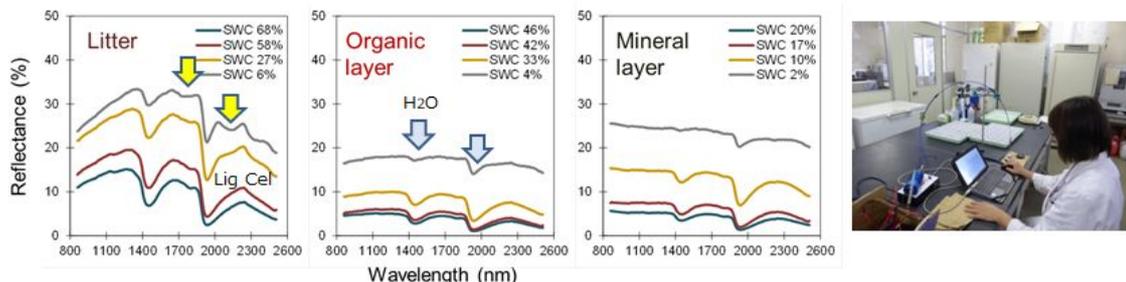


図1. 室内実験における分光反射計測の風景(右)と各土壌層の反射スペクトル色の違いは水分含量の違いを示し、矢印部分は対象物質による吸収部分を示す。

乾燥土壌中のリグニン、セルロース、全炭素、全窒素の各含有量を定量し、これらの成分とCO₂放出速度との関係性を調査した。採取土壌の解析結果をもとに分光反射率から土壌の各成分を推定するPLSRモデルを作成した結果、幅広い水分状態の土壌において、当初目指していた、水分、容積重、窒素、炭素、リグニン、セルロースの含有量を誤差6~10.3%で推定することが可能になった(図2)。重回帰分析の結果、土壌中の微生物呼吸は土壌水分、窒素、セルロース含有量を用いることで2.1%の誤差予測することが判明した。

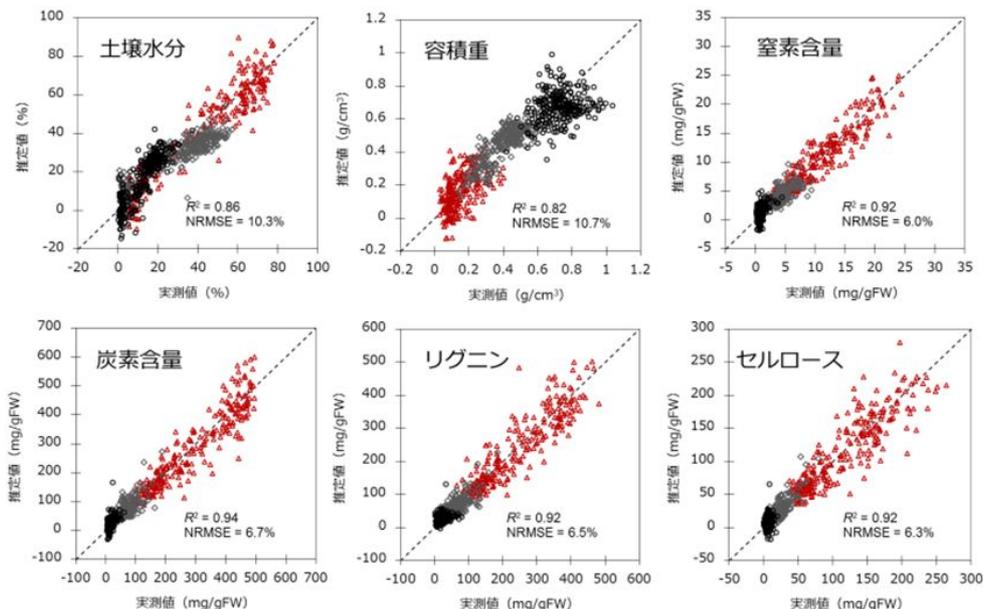


図2. 異なる樹種・層位における各土壌成分の推定結果。色の違いは層位の違いを示し(赤 リター, 灰 有機物層, 黒 鉱物層)、実測値と推定値の関係を散布図としている。

野外計測で使用可能な分光放射観測プローブ(直径1cm長さ60cm)を開発し、13樹種の林床65地点において、2cm深度毎・樹種別の連続分光反射率を計測した。その観測値毎に、開発した推定モデルを適用することで、土壌深度・樹種ごとの水分、容積比重、有機物のプロファイルとCO₂放出速度を推定した。深度ごとのCO₂放出速度推定値を積算した値と地表面でガス分析計によって実測した土壌微生物呼吸速度を比較すると、 $r=0.62$ 、傾き0.84の有意な関係で示される推定結果を導く事ができた。このことは多様な樹種において森林土壌のCO₂放出速度の推定が可能であることを示す(図3)。

さらに、窒素散布を行った林分で同様の比較試験を行った結果、実測値と推定値の間に、 $r=0.55$ 、傾き0.64の有意な関係が得られた。ともにモデル手法のほうが過大評価となったが、これは、モデルの教師データとなるCO₂放出量が23度で計測した一方で実測値は16~16.4度で得られたことによる。また、長期窒素散布は微生物呼吸量の有意な変化をもたらさず、分光計測による推定値でも有意差は検出されなかった。以上の結果は、野外森林土壌の有機物組成とCO₂放出ポテンシャルを推定する新しい分光観測法の開発に道筋を示すものであり、生の天然土壌における事例としては世界初である。

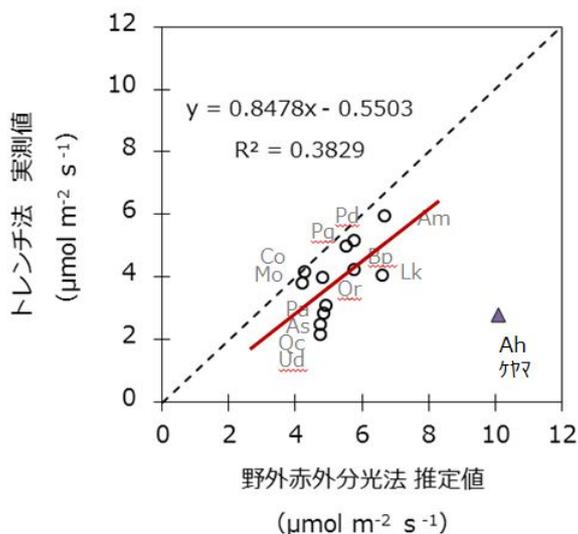


図3. 野外での地中分光観測データを用いたCO₂放出速度と実測した値との比較。各アルファベットは樹種の違いを示しており、窒素固定菌と共生するケヤマハンノキを除く12樹種では実測値との間に有意な正の相関を示す。実測値は平均16.3度、推定値は23度における値であるため過小評価することは理論的にあり得る。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計3件)

中路達郎、牧田直樹、片山歩美、安宅未央子、小熊宏之 (2019) 地中分光計測による森林土壌有機物組成と微生物呼吸の垂直分布の予測 . 第 130 回日本森林学会大会、2019 .

中路達郎、牧田直樹、片山歩美、安宅未央子、小熊宏之 (2018) 野外分光計測による樹種・深度別の土壌水分・有機物組成の非破壊推定と土壌呼吸活性の評価 . 第 65 回日本生態学会大会、2018 .

中路達郎、牧田直樹、片山歩美、安宅未央子、小熊宏之 (2017) 短波長赤外分光計測による森林土壌有機物組成の樹種間差の検出 . 第 64 回日本生態学会大会、2017 .

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：牧田 直樹

ローマ字氏名：MAKITA, Naoki

所属研究機関名：信州大学

部局名：学術研究院理学系

職名：助教

研究者番号 (8桁) : 40723086

研究分担者氏名：小熊 宏之

ローマ字氏名：OGUMA, Hiroyuki

所属研究機関名：国立研究開発法人国立環境研究所

部局名：生物・生態系環境研究センター

職名：室長

研究者番号 (8桁) : 10342734

研究分担者氏名：片山 歩美

ローマ字氏名：KATAYAMA, Ayumi

所属研究機関名：九州大学

部局名：農学研究院

職名：助教

研究者番号 (8桁) : 70706845

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。