

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23780154

研究課題名(和文)近赤外ミニライゾトロンによる樹木根圏の温暖化応答の検出

研究課題名(英文)Detection of warming response of tree rhizosphere by using NIR rhizotron

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) 2,500,000円、(間接経費) 750,000円

研究成果の概要(和文)：森林の土壌中の炭素の多くは、植物根と植物遺体由来の有機物および腐植の形態で存在し、そのモニタリングと温暖化などの気候変動への応答の解明は将来の森林環境を予測する上で非常に重要である。しかし、地中の炭素量や炭素動態に関する形質情報を非破壊で推定する手法はまだない。本研究では地中を近赤外波長で画像撮影して非破壊で炭素情報を二次元的に計測する新しいシステムを構築した。従来の可視カラー画像の観察手法と異なり、近赤外波長の情報を利用することで、温暖化に伴う林分の根圏の形質変化を非破壊で検出することに成功した。

研究成果の概要(英文)：Tree roots and litter are main component of below-ground C stock in the forest. Although the non-destructive monitoring of below-ground C balance and its response to the warming are important for estimation of current/future environment of our forests, the usable technique has not been developed yet. In this study, I developed the new rhizotron system for non-destructive monitoring of C and C-related root traits by application of NIR spectral imaging technique. I concluded that the warming responses of total C and the related traits such as live status and specific root length were able to be estimated by combination use of VIS and NIR image.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：森林生態 モニタリング 炭素動態 分光技術 非破壊測定

1. 研究開始当初の背景

森林の土壌中の炭素の多くは、植物根と植物遺体由来の有機物および腐植の形態で存在し、これらの相互関係や時空間変化といった基本動態の解明は、森林生態系の炭素収支に対する理解を深めるとともに、今後の温暖化の影響を予測する際に非常に重要な意味を持つ。本研究では、冷温帯の森林において野外温暖化操作実験を行い、非破壊の画像計測手法により根圏を連続的に観察し、ミッシングシンクとされてきた森林の地中の炭素収支の将来を予測するための科学的知見を得ることを目的とする。

これまで、微気象学的な観測研究や細根の動態研究では、根圏の一次生産量が森林の系全体の 25 ~ 60% に達することが試算されており、根圏が重要な炭素シンクであることが広く認識されている(文献 1-4)。また、温度上昇に伴う有機物の分解促進も多く報告されており、温暖化環境では根圏を含む呼吸活性の増加が森林生態系の純一次生産を押し下げる可能性も示唆されている(5, 6)。しかし、この温度応答に関しては、温帯草原における呼吸応答の順化(7)や微生物相の変化に伴う応答性の経年変化(8)なども報告されており、さまざまな気候帯の植生で長期観測を行う重要性が指摘されている。さらに、世界各地の温暖化操作実験の結果をメタ解析した研究(9)では、冷温帯の森林土壌の感受性が他の地域にくらべて高いことも示されており、わが国の冷温帯林でも根圏の温暖化研究を行う重要性は高いと位置づけることができる(10)。この温度応答性を生態学的かつメカニズムから理解するためには、根圏の動態を詳細に観察・調査することが非常に重要である。温暖地域の高い呼吸活性を樹木根の動態に注目した研究では、維持呼吸などのコスト増による枯死根の増加やターンオーバーの上昇が報告されており(11)、地上部の応答(12)も絡む複雑な森林生態系の温暖化応答を理解し予測するためには、集中観測サイトにおいて、土壌有機物と根の相互の動態解明を進めることが重要である。

2. 研究の目的

近年の根圏の炭素動態研究では、『ミニライゾトロン』と呼ばれる小型カメラを用いた画像撮影が広く用いられている(13)。この手法では、あらかじめ地中に埋設した透明なアクリルチューブ越しに周囲の根圏のカラー写真を撮影し、根の伸長成長や消失の速度を非破壊かつ連続的に解析する。生きた根の成長や消失の解析が可能であるため、この手法は根の寿命や炭素貯留の推定に利用されているが(14, 15)、たとえば、似た色で撮影される土壌と有機物の識別や、根の発達程度とその生死、有機物組織の分解程度などの評価は客観性の点からも比較的難しい。

一般に、植物体からの近赤外波長の反射はその化学性や組織構造に強い影響を受ける。Nakaji et al. (16) は、地表面のリモートセンシングで用いられる多波長分光カメラ装置を改造して実験的に土壌内部を撮影した。そして、近赤外波長の画像が、生きている根の観察だけでなく、植物遺体と土壌の分別や、根の生死判定に有効であることを報告した。本研究では、野外で近赤外波長画像を撮影するためのミニライゾトロンを開発し、実際の観測研究に用いることで、成長や分解にともなう根圏構成物の構造変化を非破壊かつ連続モニタリングする手法を提案し、さらに、温暖環境下における冷温帯林の炭素貯留メカニズムの考察を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

可視、近赤外の 3 波長を基軸にして根圏用の小型分光カメラを試作を試みる。可視 ~ 近赤外波長に感度を持つ市販の小型 CCD カメラと高精度可視-近赤外レンズを用い、光源装置の波長を変化させて撮影する方法を検討する。さらに、観測手法が野外で確率あてているフラットベッドスキャナーを改造して可視と近赤波長で撮影できる汎用機材の開発も行う。解像度は、根毛の観察も可能な 0.1mm 以下を目指す。波長は先行研究を参考に、根の生死や有機物の分離評価に有効な可視 2 波長(緑 580, 赤 679nm)と近赤外(848 ~ 894nm)を中心に設定する。従来カラー画像観察と比較できるように青色(450nm 近辺)の波長も試験する。カメラのサイズは従来のミニライゾトロンとの比較観測を想定して設定する(最大径 64mm)。解析手法としては、従来手法で一般的な画像処理ソフトウェア(WinRhizo)の他に、リモートセンシング等で利用される画像解析・分類ソフトウェアも活用し、マルチバンド画像情報を用いた自動分類、形状による構成物判別、さらに生きた根や有機物の簡易抽出を目指した評価指標の提案も視野にいたった画像解析手法の開発に取り組む。また、開発機材を用いた根圏の観察結果と温暖化実験サイトにおける土壌呼吸やバイオマスの関係を合わせて温暖化環境における炭素フローの非破壊推定についての知見を得る。

4. 研究成果

地中の有機物動態を観測する小型の可視-近赤外分光カメラの開発を行った。小型 CCD カメラを改造して近赤外波長に感度を持たせ、可視・近赤外域の小型光源の開発を行った。野外で観測を行うことを念頭に、筒型の観測用パイプあるいは箱型ケース(A4 大)で観測できる筐体を作成し、撮影システムを構築した(図 1)。光学機器の性能評価を行ったところ、地中においても可視・近赤外画像とともに、高空間分解能(約 300dpi)で撮影す

ることが確認でき、従来の撮影手法と比較可能な画像の取得に成功した。

さらに、このカメラ手法を応用し、野外でも利用が可能な観測機材として A4 スキャナータイプの可視-近赤外スキャナーを開発した(図2)。この近赤外スキャナーでは、根や土壌、有機物の可視2バンド(緑、赤)および 850nm の近赤外画像を野外で取得できる。実際に、北海道大学苫小牧研究林内の落葉広葉樹林において観測を実施し、根の呼吸活性、組織密度、比根長、炭素濃度と反射率の関係を詳細に調査した。結果として、可視と近赤外波長情報の組み合わせをもとに経験的推定式を作成して2次元画像に組み入れたところ、土壌中の窒素動態に関係した根の柔組織の増加(組織密度の低下)や炭素濃度の不均一性を検出することが可能になった(中路ら(17))(図3)。土壌の温暖化は地中の可給態窒素濃度を低下させることが判明しており(18)、炭素濃度とともに根圏の炭素フローを非破壊で推定するための貴重かつ新しい知見を得ることができた。



図1 ライゾトロン用チューブと開発した可視 近赤外デジタルカメラ。



図2. 開発した可視 近赤外スキャナと撮影画像(左下:通常スキャナ、右下:開発スキャナ). 土壌と根の自動判別が可能となった。

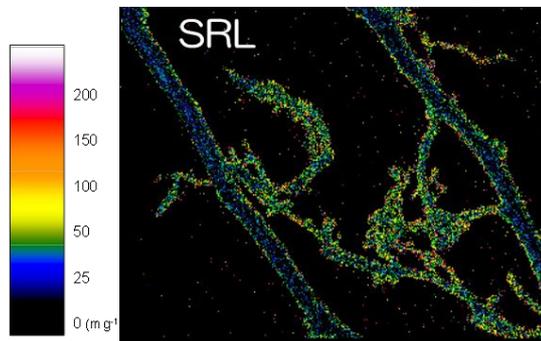


図3. 比根長(SRL、単位重量あたりの長さ)の推定画像の一例。

引用文献

- (1) Vogt K.A. et al. (1982) *Ecology* 63, 370-380.
- (2) Jackson R.B. et al. (1997) *Proc. Natl. Acad. Sci.* 94, 7362-7366.
- (3) Kajimoto T. et al. (1999) *Tree Physiol.* 19, 815-822.
- (4) Xiao C.W. et al. (2003) *Tree Physiol.* 23, 505-516.
- (5) Reich P.B. (1992) *Tellus* 44, 81-99.
- (6) Parmesan C. (2007) *Global Change Biol.* 13, 1860-1872.
- (7) Luo Y. et al. (2001) *Nature* 413, 622-625.
- (8) Knorr W.M. et al. (2005) *Nature* 433 298-301.
- (9) Rustad L.E. (2001) *Oecologia* 126, 543-562.
- (10) Nakamura et al. (2010) *Agr For Meteorol.* 150, 1026-1029.
- (11) Hendrik R.L. & Pregitzer K.S. (1993) *Nature* 361, 59-61.
- (12) Edwards E.J. et al. (2004) *Global Change Biol.* 10, 209-227.
- (13) Smit A.L. et al (2000) *Root methods.* Springer-Verlag, pp 235-271.
- (14) Grill R.A. & Jackson R.B. (2000) *New Phytol.* 147, 13-31.
- (15) Pregitzer K. et al. (2000) *New Phytol.* 147, 105-115.
- (16) Nakaji T. et al. (2008) *Plant Soil* 310, 245-261.
- (17) 中路ら (2012) *BSJ-Review*, 3, 22-29.
- (18) Ueda, Nakaji et al. (2013) *Soil Biol. Biochem.*, 61, 105-108.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

中路達郎, 野口亨太郎, 小熊宏之, 根圏動態研究における非破壊分光画像計測の可能性, 植物科学の最前線 *BSJ-Review*, 査読有, Vol. 3, 2012, pp. 22-29, <http://bsj.or.jp/saizensen/>

〔学会発表〕(計 7 件)

中路達郎, 小熊宏之, 高木理恵, 牧田直樹, 日浦勉 (2014) 樹木根圏の可視-近赤外反射スペクトルと炭素動態の関係. 第125回日本森林学会大会, 3/28, 大宮ソニックシティ(さいたま市).

高木理恵, 牧田直樹, 中路達郎, 片山歩美, 小杉緑子, 日浦勉 (2014) 落葉広葉樹林への大規模窒素施肥が細根系の呼吸速度及び

その形態特性に与える影響の解明.第 125 回日本森林学会大会, 3/28,大宮ソニックシティ(さいたま市)

Noh, N., Kuribayashi, M., Saitoh, T.M., Nakamura, M., Nakaji, T., Hiura, T., Muraoka, H. (2013) Effects of experimental soil warming on soil, autotrophic and heterotrophic respirations in cool-temperate deciduous broad-leaved forests. AGU Fall Meeting, 12/18, San Francisco, USA.

Noguchi, K., and Nakaji, T. (2013) Analysis of live and dead fine roots of *Chamaecyparis obtusa* using VIS-NIR images. Final conference COST Action FP0803 Belowground carbon turnover in European forests, 5/14, Luchey Halde, Bordeaux, France.

中路達郎,野口享太郎,小熊宏之(2012)樹木根圏の動態研究における分光画像計測の可能性.バイオイメージ・インフォマティクス ワークショップ, 11/1, 理化学研究所(神戸市).

中路達郎,野口享太郎,小熊宏之(2012)根圏動態研究における分光画像計測の可能性.日本植物学会第 76 回大会, 9/16, 兵庫県立大学.

Nakaji, T., Noguchi, K., Igasaki, T. and Oguma, H. (2012) Estimation of spatial variation in the chemical constitution of rhizospheric components by using shortwave-infrared hyperspectral images. EAFES5, 3/20, Seta, Japan.

6. 研究組織

(1)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