

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580235

研究課題名(和文) 可視光 - 近赤外光反射画像を利用した新たな樹木細根動態評価手法の確立

研究課題名(英文) New approach of fine root analysis using VIS-NIR spectral images

研究代表者

野口 享太郎 (Noguchi, Kyotaro)

独立行政法人森林総合研究所・立地環境研究領域・主任研究員

研究者番号：70353802

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、可視光 - 近赤外光反射画像を利用することにより、35年生ヒノキの生細根、枯死細根の判別を行った。異なる根の分枝位置を教師データとして使用した結果、1次根と高次根を合わせて使用した場合に最も判別精度が高かった。また、異なる波長の画像の解析結果を比較すると、可視 - 近赤外4波長の反射画像を使用した場合に、判別精度が最も高かった。また、この35年生ヒノキ林において細根生産量、ターンオーバー速度を解析した結果、細根生産量は約45 g m⁻² y⁻¹、細根ターンオーバー速度は、約0.34 yr⁻¹であった。

研究成果の概要(英文)：This study examined availability of VIS-NIR spectral images to distinguish live fine roots from dead fine roots obtained from a 35-year-old *Chamaecyparis obtusa* stand. The live-dead classification was improved when training data was prepared using both of 1st and higher order roots. Furthermore, classification accuracy was improved by using VIS-NIR reflectance images including two NIR bands. In addition, fine root production and turnover rates in the same *C. obtusa* stand were estimated to be 45 g m⁻² y⁻¹ and 0.34 yr⁻¹, respectively.

研究分野：根圏生態学

キーワード：多重分光画像解析 生細根 枯死細根 マルチバンドイメージスキャナ

1. 研究開始当初の背景

炭素蓄積機能など森林の公益的機能を評価するには、森林の炭素・養分動態を定量的に解明する必要がある。そのためには、樹木の細根生産速度や細根ターンオーバー速度を精度良く明らかにする必要がある。その理由は、樹木細根の寿命が数ヶ月から長くても数年程度と短く、頻繁に更新（ターンオーバー）を繰り返していることにある。結果的に樹木の細根は大量の光合成産物を消費しており、細根の生産速度は、森林の純一次生産速度の数十%を占めることもあるとされる (Noguchi et al. 2007)。

樹木細根動態の研究において最も大きな問題の一つは、細根の生死判別が難しいことにある。これまでの研究は、連続コアサンプリング法やミニライゾトロン法により細根生産速度、細根ターンオーバー速度の解析を進めてきた。しかし、細根の生死判別を「色（黒い根が枯死根）」や「弾性（折れやすい根が枯死根）」などを指標として行ってきたため、生細根と枯死細根が混在するような試料においては、判別精度の低下が避けられなかった (Konôpka et al. 2007)。森林の細根生産速度や細根ターンオーバー速度の測定精度を改善するには、より客観的で測定誤差の小さい細根の生死判別技術を開発する必要がある。

最近になり、目に見える細根の色（可視光反射特性）に加えて近赤外光反射特性を解析することにより、細根の成長段階や生死状態を判別する新たな手法が考案された (Nakaji et al. 2008)。この研究では、ハイパースペクトルカメラにより、ポプラ苗木の根の可視光（波長 400–700nm）～近赤外光（波長 700–1000 nm）の反射画像を取得し、この領域の数波長（例えば 522 nm、679 nm、886 nm）の反射特性を利用して、細根の成長段階や生死の自動判別が行われた。

2. 研究の目的

Nakaji et al. (2008) は可視光～近赤外光反射特性を指標とする細根の生死判別技術を考案したが、これまでにこの手法が利用されたのはポプラ苗木のみで、それ以外の樹種については検証した例は無かった。また、この技術を野外における樹木細根動態の解析に利用する研究も現在まで報告されていない。そこで本研究では、従来法（色や弾性による細根の生死判別法）を用いた細根動態研究事例の多いヒノキ人工林の細根を対象として、生細根と枯死細根の持つ可視光～近赤外光反射特性を利用した新たな細根の生死判別技術（生細根・枯死細根の測定技術）を確立するとともに、ヒノキ人工林における細根の生産速度とターンオーバー速度を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 可視光～近赤外光反射画像によるヒノキ細根の生死判別

本研究では、高知県の町の 35 年生ヒノキ人工林を調査地とし、地表面から深さ 0–5cm 程度の有機物層・表層土壌からヒノキ細根を採取した。採取した細根はクーラーボックスに入れて研究室に持ち帰り、従来法（根の色、弾性など）により生細根、枯死細根に分別した。

これらのヒノキ生細根、枯死細根の可視光～近赤外光反射画像の取得には、マルチバンドイメージスキャナ (MBS-5593、アイメジャー) を使用した。このスキャナは、バンドパスフィルターを光路に取り付けることにより、特定の波長の画像を取得することができるイメージスキャナである。このスキャナで利用可能な波長域から、本研究では 560、660、840、910 nm のバンドパスフィルター（エドモンドオプティクス）を使用した。スキャンニングは 400×400 dpi、48 bit カラーの条件下で行った。細根試料をスキャナ上にセットする際には、個々の根（分枝根）がばらけるように、周囲に広げた水の中に置いた。その上に画像の背景色がつや消し黒になるように塗装したアルミ板を置き、試料を固定した。なお、スキャン毎の反射率のばらつきを補正するために、99%、50%、20%の標準反射板 (Labsphere) を同時にスキャンした。

得られた細根画像は、Photoshop CS6 (Adobe) で位置の補正などを行った後、衛星画像解析ソフトウェア (Multispec、Purdue 大学) を用いて反射特性を解析した。この際、教師データとして使用する根の分枝位置の違いが細根の生死判別の精度に及ぼす影響を明らかにするために、(a) 1 次根（根端）のみ、(b) 2 次以上の高次根のみ、(c) 1 次根と 2 次根の両者を使用する 3 セットの教師データを準備した。また、使用する波長の数が判別精度に与える効果を明らかにするために、(a) 2 波長、(b) 3 波長、(c) 4 波長の反射画像のセットを解析し比較した。

(2) 細根生産速度、ターンオーバー速度

細根生産速度、ターンオーバー速度の解析には、埋設した根無し土壌コアを定期的に回収して細根成長量を解析する方法を採用した。本研究では、直径 3.2 cm、長さ 10 cm のメッシュ円筒（穴径 2 mm）に鹿沼土を詰めたものを根無し土壌コアとした。この土壌コア 72 本を 2013 年 6 月に上述の 35 年生ヒノキ人工林の深さ 0–10 cm の土壌中に埋設した。埋設後、3 ヶ月毎に 12 本ずつ回収し、コアに含まれる細根重量から細根生産速度を求めた。また、同じ調査地の細根現存量データと併せて、細根ターンオーバー速度を算出した。

4. 研究成果

(1) 可視光-近赤外光反射画像によるヒノキ細根の生死判別

1次根のみ、2次以上の高次根のみ、または1次根+2次以上の高次根を教師データとして使用した結果、高次根のみを使用した場合には、生細根、枯死細根ともに判別精度が低く(データ示さず)、1次根のみを使用した場合には、生細根、枯死細根ともに、1次根の判別精度は高かったが、高次の生細根が誤って枯死細根と判別されるケースが多く見られた(図1)。逆に1次根と高次根の両者を教師データとして使用した場合には、枯死細根の判別精度の若干の低下が見られたが、高次根を含めた生細根の判別精度は上がり、全体としては、1次根のみを教師データとして使用するよりも、判別精度が高まったと考えられた。

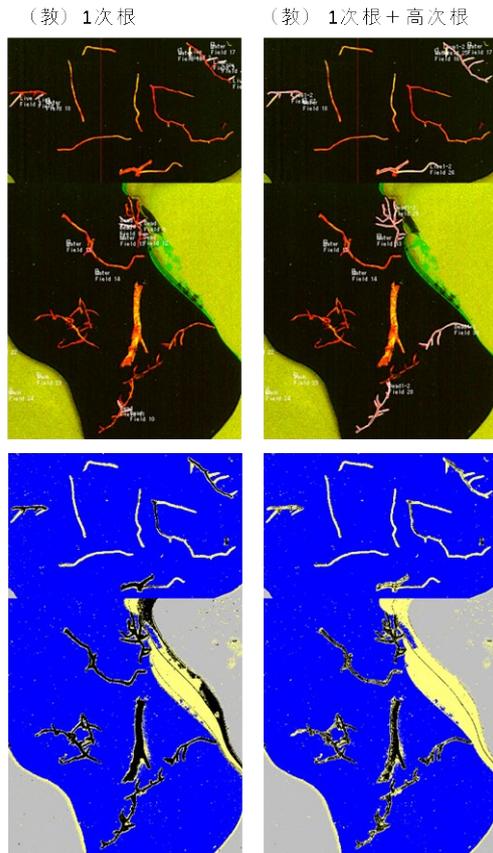


図1. 異なる分枝位置の根画像を教師データとして使用して生細根、枯死細根を判別した結果。各図の上段に生細根、下段に枯死細根を配置した。左: 1次根を使用。右: 1次根+高次根を使用。教師データとして使用した部位は上の図2枚に白い点線で示されている。下の図2枚が解析結果。図中の黄色は生細根、黒色は枯死細根と判別された部分を示す(青色は水、灰色は背景)。

また、1次根+2次以上の高次根を教師データとして使用し、使用する反射画像を2波長(560+660 nm)、3波長(560+660+840または910 nm)、4波長(560+660+840+910 nm)で得られたものに増やしていくと、教師データとして使用した部位の生細根、枯死細根の判別の正解率は、生細根では34%→82%に向上し、枯死細根では86%→75%に若干低下した(表1)。しかし、全細根試料

表1. 教師データとして使用した部位(1次根+高次根)の分類の正解率

	2波長	3波長	4波長
	%	%	%
生細根	33.7	44.8	82.4
枯死細根	85.7	82.5	75.3
水	99.8	100	100
背景	100	100	100

2波長: 560+660 nm

3波長: 560+660+910 nm

4波長: 560+660+840+910 nm

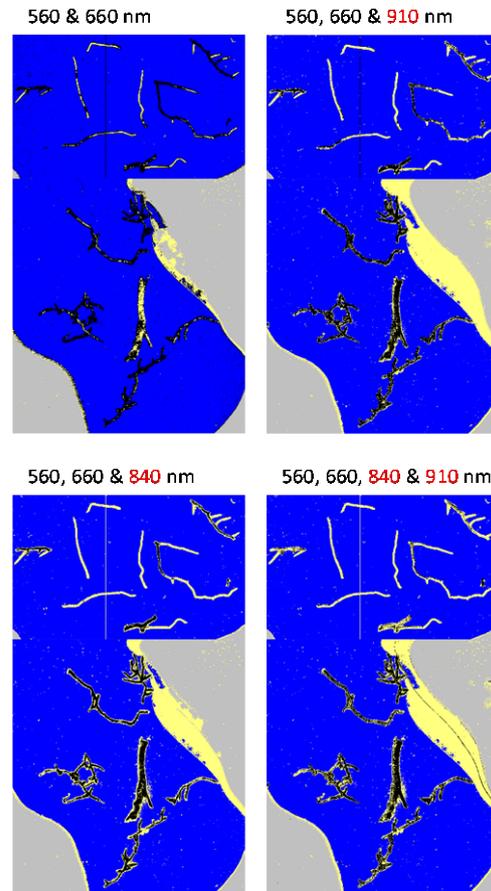


図2. 異なる波長の反射画像を用いた細根の生死判別。各図の上段に生細根、下段に枯死細根を配置した。図中の黄色は生細根、黒色は枯死細根と判別された部分を示す(青色は水、灰色は背景)。各図の上の赤い数字は近赤外波長。

について見ると、確かに枯死細根が部分的に誤って生細根として分類されているものの、生細根の判別精度の向上がより大きく、全体としては、波長数を今回使用した4波長まで増やして解析することが望ましいと考えられた(図2)。

(2) 細根生産速度、ターンオーバー速度

高知県の35年生ヒノキ林において細根生産速度(深さ0-10cm)を求めた結果、埋設した根無し土壌コア内の細根量は2生育期間にわたり増加し続け、この結果から算出した1年間の細根生産速度は約 $45 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ であった(図3)。コアサンプリング法で求めた細根現存量は約 128 g m^{-2} であり、これらを合わせて算出した細根ターンオーバー速度は、約 0.34 yr^{-1} であった。

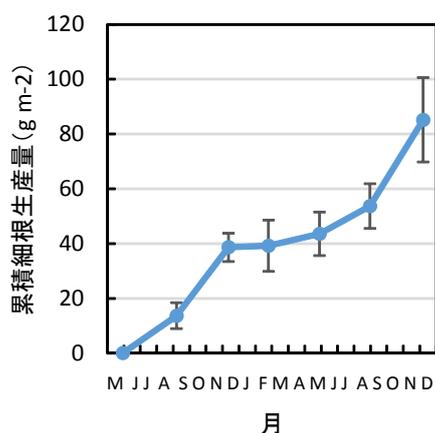


図3. ヒノキ林における累積細根生産量(深さ0-10cm、イングロースコア法)

<引用文献>

Noguchi et al. (2007) J For Res 12:83-95
Konôpka et al. (2007) J For Res 12:143-151
Nakaji et al. (2008) Plant Soil: 310:245-261

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1件)

①中路達郎、野口享太郎、小熊宏之(2012)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、査読無し、3:22-29

[学会発表] (計 4件)

①Kyotaro Noguchi and Tatsuro Nakaji, Analysis of live and dead fine roots of *Chamaecyparis obtusa* using VIS-NIR spectral images. The 6th International Symposium on Physiological Processes in

Roots of Woody Plants、2014年9月9日、名古屋大学(愛知県・名古屋市)

②野口享太郎、中路達郎、可視光-近赤外光反射画像を利用した樹木細根の生死判別、第40回根研究集会、2014年5月17日、北海道医療大学(北海道・当別町)

③Kyotaro Noguchi and Tatsuro Nakaji, Analysis of live and dead fine roots of *Chamaecyparis obtusa* using VIS-NIR images. Belowground Carbon Turnover in European Forests (COST Action FP0803)、2013年5月14日、ボルドー(フランス)

④中路達郎、野口享太郎、小熊宏之、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2012、2012年11月1日、理化学研究所 発生・再生科学総合研究センター(兵庫県・神戸市)

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況(計 0件)

○取得状況(計 0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野口 享太郎 (NOGUCHI KYOTARO)
森林総合研究所・立地環境研究領域・主任研究員
研究者番号: 70353802