

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22380090

研究課題名(和文)土を掘らずに地中探査用レーダを用いて樹木根バイオマスを推定する方法の確立

研究課題名(英文) Estimation of tree root biomass using ground penetrating radar without soil excavation

研究代表者

平野 恭弘 (HIRANO, Yasuhiro)

名古屋大学・環境学研究科・准教授

研究者番号：60353827

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,000,000円、(間接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：樹木根系は樹木個体の3割程度の炭素を蓄えている。樹木根を評価する方法は一般的に掘り取りが必要であるが、近年欧米で土を掘らずに地中探査用レーダを用いた方法が提案されてきた。本課題では地中レーダによる樹木根の検出精度と制限要因を明らかにすることを目的として、海岸クロマツ林でレーダ探査および根系調査を行った。

その結果レーダを用いて直径1cm以上の根が54%検出できること、バイオマスでは68%推定できることを明らかにした。一方で根の生長方向とレーダ探査方向のなす角度が根の検出に大きく影響することも明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Tree root can accumulate 30% of individual tree biomass. Ground penetrating radar can detect roots non-destructively, but detection frequency of roots has not been elucidated. We conducted radar scanning in a Pinus thunbergii forest and compared radar detection images with vertical distribution of roots.

Detection frequency of Pinus roots that were larger than 1.0 cm in diameter was 54% and the methods using ground penetrating radar can estimate root biomass to be 68% of excavated roots. Root orientation can affect radar detection frequency in forest field.

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：樹木根 地中レーダ バイオマス 根直径 クロマツ 非破壊 国際情報交換 スイス・フィンランド

### 1. 研究開始当初の背景

樹木根系は樹木個体の 30% 程度の炭素を蓄える。樹木根系の炭素蓄積量を評価する方法は、一般に全根系掘り取り法やトレンチ法など破壊的なものであり、調査には時間と労力を要する。地球温暖化を防止する国際的約束、京都議定書の中でも、森林の炭素蓄積量変化を報告する項目の一つとして地下部根系がある。しかし、現時点では樹木の地上部炭素量に一定の値(地上部/地下部比)を乗じることで算出している。したがって、森林内で、ある一定期間の根量変化や広い森林面積における根量を推定できる方法、すなわち土の大規模な掘り取りを必要としない評価手法の開発が期待される。

近年欧米では土を掘らずに樹木根を検出する方法、地中探査用レーダを用いた非破壊的方法が提案されている。この方法の長所として、①土を掘る必要がないこと、②樹木を採取し枯死させる必要がないこと、③多くの個体・林分を短時間で労力少なく測定できることがあげられている。一方で地中レーダを用いた根の検出に関する報告例は非常に少なく、その手法は未だ確立されていない。

研究代表者らは先行科研費課題(18380095)において、マサチューセッツ州に埋設されたスギ根について、地中レーダを用いて根の検出に成功した。さらに根と土壌の水分量が地中レーダを用いた根の検出に大きく影響することを明らかにした。また野外の海岸クロマツ林において地中レーダを用いた根の検出にも成功した。しかしながら地中レーダによる根の検出から根のバイオマス推定までは至っていない。野外では、根や土壌の水分量以外にも根の検出を制限する様々な要因が予想される。

### 2. 研究の目的

本研究では、地中探査用レーダを用いた樹木根の検出について、野外森林への応用を視野に入れ、海岸クロマツ林における根系の検出を試みることで、

- (1) 地中レーダを用いた樹木根の検出率はどの程度か？
  - (2) 地中レーダで検出された樹木根から根バイオマス推定は可能か？
  - (3) 地中レーダを用いた樹木根の検出において制限要因は何か？
- を明らかにすることを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 調査地

兵庫県南あわじ市の国立淡路青少年交流の家キャンプ場にある海岸クロマツ林を調査地とした(図1)。クロマツ林は20年から40年生であり、立木密度は398本/haである。クロマツの平均樹高は11.2m、平均胸高直径は23.1cmであった。

#### (2) 地中レーダ調査

調査地内に4m×4mの方形区プロットを設け、4mの長さの地中レーダ探査測線を25cm間隔で平行に計17測線設定した。1.5GHzの地中レーダ(SIR SYSTEM 10H; Geophysical Survey Systems Inc., North Salem, NH, USA)を用いて17測線のレーダ探査を行った。

#### (3) 根の位置・直径・乾重

レーダ探査後、各測線ごとに深さ30cmまで順に土を掘り上げ、測線下土壌垂直断面における直径0.2cm以上の根の位置と直径を測定した。

#### (4) レーダ解析

レーダ画像は背景除去処理を行った後、円弧状の反射波形が確認された地点を抽出した。この地点における反射波の最大波振幅面積を持つ振幅強度(dB)、振幅時間(ns)、振幅面積(dB×ns)などレーダ波形パラメータを抽出した。また測線ごとに明らかにした根の垂直断面位置図とレーダ反射画像を比較し、位置を確認したすべての根について、どの根がレーダにより検出されているかを明らかにした。地中レーダを用いた根の本数検出率(%)は、掘ることにより位置が確認された根の本数に対する地中レーダで確認された根の本数の百分率で測線ごとに示し、7つの直径階級(0.2-0.5, 0.5-1.0, 1.0-2.0, 2.0-3.0, 3.0-4.0, 4.0-5.0, >5.0cm)で計算を行った。

#### (5) 根のバイオマス推定

採取された56本のクロマツ根から、根直径( $D$  cm)と比根重( $W$  g/cm)の間に次式の関係を構築した。

$$W = 0.3505 \times D^{1.8453}$$

$$(n = 56, r = 0.995, P < 0.0001)$$

この式を用いて、位置を確認した根全てについて、各測線下における根のバイオマスを推定した。また地中レーダで検出できた根のみについて根のバイオマス量も推定し、全根量のどれくらいの割合が地中レーダにより推定できるのかを算出した。



図1 海岸クロマツ林調査地とレーダ探査

#### 4. 研究成果

調査地クロマツ林に設置された 17 探査測線下には土を掘り返すことにより計 829 本の根を確認した。確認された根のうち 662 本が直径 1.0 cm 以下の根であった。

地中レーダ探査を行った測線下では、根のレーダ反射波形に特有な円弧状の波形を確認することができた(図 2)。これらのレーダ反射画像と土を掘り上げて確認した根の垂直断面位置とを比較すると、概ね根の位置に円弧状の反射波形が存在していた(図 2)。

17 測線で確認されたすべての根 829 本の位置とレーダ画像とを比較すると、レーダ画像では 103 本の根と思われるレーダ反射波を確認できた。

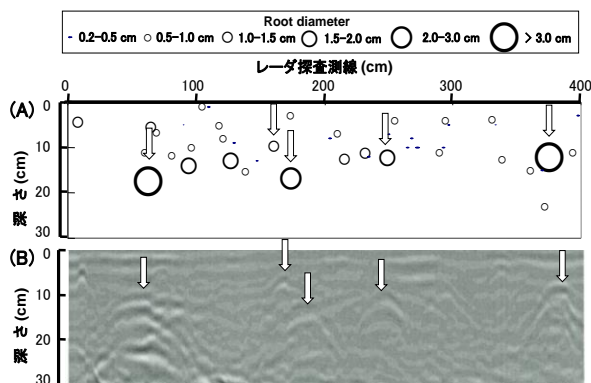


図 2 地中レーダ測線下の (A) クロマツ根の垂直分布と (B) 地中レーダ反射画像

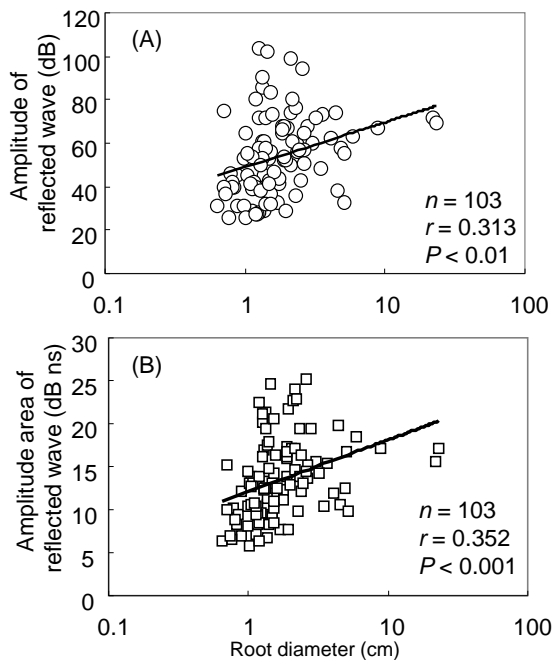


図 3 クロマツの根直径と地中レーダ最大反射波の (A) 振幅強度 または (B) 振幅面積との関係

レーダにより根の検出を確認できた 103 本について、それらの位置でレーダ最大反射波形パラメータを抽出したところ、振幅強度および振幅面積はクロマツ根の直径と有意な正の相関関係が認められた(図 3)。野外の海岸クロマツ林でこのようなレーダ波形と根直径との関係を明らかにできたことは、これまで報告されてきた実験条件下だけでなく野外でも根の直径やバイオマスを推定できる可能性のあることを示唆している。根のバイオマス推定には根直径の精度高い推定が必要であり、今後さらに様々なレーダ反射パラメータの中でどのような指標を用いると根直径の推定が精度高く可能となるかを明らかにしていく必要がある。

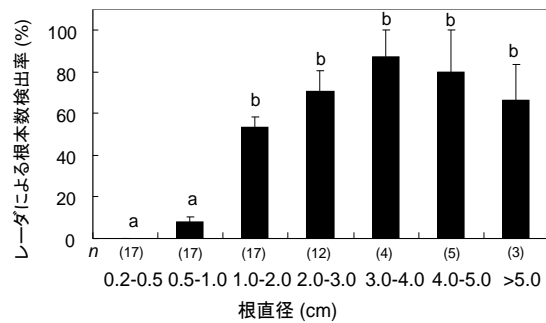


図 4 地中レーダによるクロマツ林の根直径別の本数検出率. n は測線本数 棒の上の異なる文字は有意差がある ( $p < 0.05$ ) ことを示す。

地中レーダによる根直径別の検出率をみると、直径 1.0 cm 以下の根は本数でわずかに 6.6% 検出できたのみであった(図 4)。このことは養分吸収の盛んな直径の小さい細根は地中レーダでは検出が困難ことを示唆している。一方、直径 1.0 cm 以上の根は 54% がレーダで検出可能であった(図 4)。本課題の他の実験から、根の生長方向と地中レーダの探査方向がなす角度は、レーダによる根の検出に大きく影響を与えることが示唆されている。この角度が直角するときには円弧状のレーダ波形が明らかに確認できるものの、二者が平行に近づくと円弧状の反射波は扁平に見えにくくなる。本実験で明らかにされた太い根に関して 54% の検出率にとどまる理由は、これらの探査角度が制限要因の一因であることが示唆される。

根直径と比根重の関係式から、クロマツ根のバイオマスを推定した結果、レーダで検出できる根バイオマスは、掘り上げにより確認された根のバイオマスの 68% であった。すなわち、地中レーダの本数検出率が根バイオマス推定値に影響を与えることが明らかになった。

地中レーダにおける根の本数検出率を野外森林で明らかにした例は、国内外とも報告

がなく本研究が初めての例であり、その点が高く評価され本結果は国際誌に掲載された(論文①)。

今後の課題は、生育環境の異なる海岸クロマツ林やスギヒノキ林など森林内で地中レーダを用いた根の検出実験を実施しその検出率を比較すること、また地中レーダで根を検出する際の制限となる要因を体系的に評価手法とともにまとめていく必要がある。さらに地中レーダを用いて樹木根系の広がりや推定することで、非破壊的な評価方法により、防災や減災の観点から自然災害おける対策に応用できるよう手法の確立が望まれる。

#### 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 2 件)

- ① Hirano, Y., Yamamoto, R., Dannoura, M., Aono, K., Igarashi, T., Ishii, M., Yamase, K., Makita, N. and Kanazawa, Y. (2012) Detection frequency of *Pinus thunbergii* roots by ground-penetrating radar. Plant and Soil 360:363-373 査読有 DOI10.1007/s11104-012-1252-1
- ② 大橋瑞江, 中野愛子, 平野恭弘 (2012) 土の中の根を見る方法 森林科学 65:8-11 査読無

[学会発表] (計 9 件)

- ① 平野恭弘, 山本梨加, 檀浦正子, 山瀬敬太郎, 青野健治, 五十嵐鉄朗, 石井政博, 金澤洋一 (2010) 地中レーダ法によるクロマツ林根系バイオマスの推定. 第 59 回日本森林学会大会中部支部大会. 三重大学 (津). 2010 年 10 月 16 日.
- ② 平野恭弘, 檀浦正子, 谷川東子, 山瀬敬太郎, 青野健治, 石井政博, 野本大輔, 五十嵐鉄朗 (2011) 地中探査用レーダを用いた樹木根の検出-根のレーダ反射波を妨げる要因-. 第 122 回日本森林学会大会. 静岡大学 (静岡). 2011 年 3 月 27 日.
- ③ 谷川東子, 檀浦正子, 山瀬敬太郎, 青野健治, 石井政博, 五十嵐鉄朗, 平野恭弘 (2012) 地中レーダを用いた樹木根の検出-探査方向と根の伸長方向との角度が検出角度に与える影響-. 第 123 回日本森林学会大会. 宇都宮大学 (宇都宮). 2012 年 3 月 27 日.
- ④ Dannoura, M., Hirano, Y., Tanikawa, T., Yamase, K., Aono, K., Igarashi, T., Ishii, M., Kanazawa, Y. (2012) Angle of root crossed scanning line is important for root detection with ground penetrating radar. 8<sup>th</sup> Symposium of the International Society of Root Research, Univ of Dundee (Dundee, UK). 2012 年

6 月 26 日.

- ⑤ Hirano, Y., Dannoura, M., Tanikawa, T., Yamase, K., Aono, K., Yamamoto, R., Kanazawa, Y. (2012) Application of ground penetrating radar to roots of *Pinus thunbergii* forests, COST Action FP0803, Belowground carbon turnover in European forests (Antalya, Turkey). 2012 年 10 月 29 日.
- ⑥ 関原光太郎, 谷川東子, 檀浦正子, 山瀬敬太郎, 池野英利, 大橋瑞江, 平野恭弘 (2012) 樹木根の三次元化-複数の点座標から個体根系への復元アルゴリズムの開発-. 第 37 回根研究集会. 京都大学 (京都). 2012 年 12 月 2 日.
- ⑦ 平野恭弘, 檀浦正子, 山瀬敬太郎, 谷川東子, 青野健治, 金澤洋一 (2012) 地中レーダを用いた様々な樹種根系の検出. 第 37 回根研究集会. 京都大学 (京都). 2012 年 12 月 1 日.
- ⑧ 谷川東子, 檀浦正子, 山瀬敬太郎, 青野健治, 池野英利, 大橋瑞江, 平野恭弘 (2012) 地中レーダ走査線と樹木根の伸長方向がなす角度が根バイオマス推定値に与える影響と補正法. 第 37 回根研究集会. 京都大学 (京都). 2012 年 12 月 1 日.
- ⑨ 平野恭弘, 檀浦正子, 山瀬敬太郎, 谷川東子, 山本梨加, 池野英利, 大橋瑞江, 青野健治, 牧田直樹, 金澤洋一 (2013) 樹木根を地中探査用レーダを用いて検出する-これまでの知見とこれからの課題-. 第 124 回日本森林学会大会. 岩手大学 (盛岡). 2013 年 3 月 27 日.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

平野 恭弘 (HIRANO Yasuhiro)  
名古屋大学・大学院環境学研究科・准教授  
研究者番号：60353827

##### (2) 研究分担者

檀浦 正子 (DANNOURA Masako)  
京都大学・地球環境学堂・助教  
研究者番号：90444570

山瀬 敬太郎 (YAMASE Keitaro)  
兵庫県立農林水産技術総合センター・森林  
林業技術センター・首席研究員  
研究者番号：90463413

谷川 東子 (TANIKAWA Toko)  
独立行政法人森林総合研究所・関西支所・  
主任研究員  
研究者番号：10353765