

(続紙 1)

京都大学	博士 (農 学)	氏名	仲畑 了
論文題目	Long-term dynamics of fine roots in forest ecosystems evaluated by scanned image analysis (スキャン画像解析により評価した森林生態系における細根の長期動態)		
(論文内容の要旨)			
<p>細根は植物の養水分吸収のみならず、森林生態系の炭素動態においても重要な役割を担っている。しかし、細根は土壌中であって直接目視できないため、その動態を評価することは容易でない。細根動態の推定手法には大きく分けて、直接根を掘り取り計測する採取手法と透明板越しに細根の挙動を記録する観察手法がある。それぞれの方法には利点と欠点があり、手法は未だ発展段階にあるが、様々な手法を用いて細根の空間変異やフェノロジーなどの詳しい動態が明らかにされつつある。</p> <p>第1章では細根動態を解析する方法に関して、細根を掘り取り計測する採取方法と透明板越しに細根の挙動を記録する観察手法の説明とともに、これまでの研究の経緯と現状を文献調査に基づいて概観した。また、以下3つの目的に沿って森林生態系における細根の長期動態の解明を試みることを説明した。①細根動態に対する土壌攪乱の影響の考察;②ヒノキ林・コナラ林・ブナ林における5年間ほどの細根生産フェノロジーの解明;③細根動態を規定する環境要因・生理要因の効果の推定。</p> <p>第2章では観察手法を用いて、土壌攪乱直後とそれ以降で細根生産や生産される細根の形態がどのように変化するのか評価した。温帯のヒノキ林・コナラ林において観察手法の一つであるフラットルートスキャナー法を適用し、1-2週間間隔で細根の観察を数年間にわたり行った。取得された細根画像を専用の画像解析ソフトウェアで解析し、測定期間毎の細根生産と生産細根直径を推定した。推定された細根生産に対する人為的な土壌攪乱の影響を解析した。機器の埋設に伴う土壌攪乱は直後の細根生産を有意に増加させ、攪乱土壌空間に直径の大きなパイオニアルートを誘引する可能性が示唆された。この結果は、これまでイングロースコア法などの破壊的調査で考えられてきた、細根動態に対する土壌攪乱の影響が無視できるとする仮定を否定した。</p> <p>第3章ではヒノキ林・コナラ林・ブナ林において細根動態を5年間以上観察し、それらのフェノロジーの特徴を明らかにした。ヒノキ・コナラ林において観察手法の一つであるフラットルートスキャナー法を適用し、1-2週間間隔で細根の観察を数年間にわたり行った。また、冷温帯のブナ林においてミニライゾトロン法を適用し、約1か月間隔の測定を数年間行った。得られた細根の画像を専用の画像解析ソフトウェアで解析し、測定期間毎の細根生産を推定した結果、ヒノキ林・コナラ林・ブナ林においてそれぞれ数年間の細根生産フェノロジーが明らかになった。ヒノキ林は年ごとに複数のフェノロジーのパターンを示したが、コナラ林では数年間を通して一貫した細根フェノロジーが観察された。一方、冷温帯のブナ林では夏優勢型と秋優勢型の2つの細根生産様式が示された。これらの結果から、細根のフェノロジーは樹種あるいは林分により異なることが明らかになった。</p> <p>第4章では細根動態に影響する環境要因や生理要因に着目し、これらの相関関係を検討した。ヒノキ林・コナラ林・ブナ林において細根の画像データを専用の画像解析ソフトウェアで解析し、測定期間毎の細根生産を推定した。推定された細根生産に対する環境要因(地温・土壌水分)、生理要因(葉・種子生産)の効果を検討した。ヒノキ・コナラ林において、春の細根生産は温度に強く依存していることがわかった。しかし同じ温</p>			

度条件であっても秋の細根生産は温度と有意な相関関係を持たなかった。このように、細根生産は温度に対して季節的なヒステリシスを示すことが明らかになった。また、土壤水分は夏の細根生産に対して負の効果を持ち、土壤の乾燥傾向が細根の伸長をより活発化させる可能性が示唆された。ブナ林では種子生産の年変動に対して秋の細根生産が有意な相関関係を示した。種子の豊作前年に細根生産が増加し、当年に減少する傾向があった。これらの結果は、ブナの種子形成に関して細根生産量との間に言わばトレードオフの関係があり、樹木の資源利用に優先順位がある可能性を示唆している。一方、葉生産は初夏の細根生産と正の相関を示し、展葉が多ければ直後の細根生産が増加する可能性を示唆した。

第5章では、2章から4章までの解析結果を総合して、細根動態に対する土壤攪乱の影響、ヒノキ林・コナラ林・ブナ林における細根生産フェノロジーの特徴やそれらを規定する環境要因・生理要因の効果を考察した。第4章で明らかになった細根動態と環境要因・生理要因との有意な相関関係は、第3章で記述したフェノロジーにおけるいくつかの特徴を示唆している。春の生産パターンはヒノキ林とコナラ林で類似しており、実際にそれらは共通して温度上昇に強く依存していることが示唆された。ブナ林では、隔年の種子豊作に関連して秋の細根生産が年変動する傾向がみられたが、季節全体を通したフェノロジーのパターンはその隔年周期に対応していなかった。これは、初夏の細根生産が種子生産ではなくむしろ葉生産と有意に関係しているためだと考えられた。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。
論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

20世紀後半に森林生態系の構造と機能の解析が飛躍的に進んだが、根を中心とする地下部の構造と機能に関しては、測定の困難さゆえにいまだに未知の部分が多い。細根動態に関する研究は1980年代ごろからいろいろな測定方法の開発を伴いながら徐々に進んできた。しかし、十分なサンプルサイズを確保して統計学的に意味のある生態系レベルの平均値を提供しうる現実的な方法は稀有である。そんな中、フラットベッドスキャナー法が近年使われるようになり、潜在的に生態系レベルの細根現存量や生産量の推定を可能にする細根変化の長期間測定が可能になった。本研究は、5年間以上にわたり最短約1週間おきにフラットベッドスキャナー法によって継続測定した細根画像データをもとに、画像解析によって、季節変化を含めた長期の細根動態をいくつかの森林生態系について初めて明らかにしたものである。本研究で評価すべき点は以下のとおりである。

1. スキャナー画像を用いて細根動態を継続して追うことにより、多数年、高頻度の細根動態測定が可能であることを示すとともに、コナラ林においてもヒノキ林においてもスキャナーを埋めた年と2年目以降とで細根動態のパターンが異なることを明らかにした。埋めた年の細根動態パターンが異なるのはスキャナーを埋めるために周囲の細根を切断したことによる攪乱の影響と考えた。
2. 年間の細根生産量の積算値がロジスティック曲線であらわされ、かつその係数の年変動が樹種により異なることを発見した。つまり、植物の地上部と同じように細根もロジスティック成長をすること、その成長係数と細根生産量の漸近最大値の二つの係数の振る舞いが樹種ごとに異なり、それぞれの植物の性質をあらわしていることを明らかにした。
3. 多地点、高頻度のスキャン画像取得に基づいて複数年にわたる生態系レベルの細根動態を記述することにより、生産される細根直径の季節変動、年変動、細根生産量の季節変動様式および年変動、細根生産量と気象要素との相関、細根生産量と地上部生産量との関係などの定量的な解析が可能であることを示した。

以上のように、本論文はフラットベッドスキャナー法を用いることにより多地点、高頻度のスキャン画像取得に基づいた多数年にわたる生態系レベルの細根動態の記述が可能であることを示した。また、その過程で樹種により細根動態様式に定量的に記述しうる差があることを明らかにするとともに、フラットベッドスキャナー法を細根動態研究の現実的手法として確立したものであり、森林生態学、生態系炭素動態学、森林利用学の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士(農学)の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成31年2月15日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士(農学)の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

また、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降 (学位授与日から3ヶ月以内)