

京都大学	博士 (農 学)	氏名	牧 田 直 樹
論文題目	Study on Tree Root Respiration in Forest Carbon Dynamics (森林炭素動態における根呼吸に関する研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>地球規模の気候変動に伴い、森林の炭素固定機能・気候緩和機能に関する役割が期待される中、森林生態系の炭素動態を正確に評価することが急務とされている。本研究は、炭素動態の主要な構成要素である「根呼吸」に着目し、根呼吸特性およびその制御要因を明らかにすることを目的とした。</p> <p>これまでの根呼吸における研究では、樹木根を、樹体を支持する粗根と水や栄養塩類などの吸収を担う細根(直径2mm以下の根)に分けて定性評価が行われてきた。しかし、近年、細根の直径2mm以内でさえ、分枝位置や直径の違いによって、化学組成、吸収機能、通導機能さらに寿命が大きく異なることが指摘されている。本研究では、既存のひとくくりで扱っていた便宜的な分類をあらため、根系を形態学・生理学特性に基づいて詳細に取り扱うこととした。得られた結果は以下のとおりである。</p> <p>2章では、広葉樹二次林のコナラとソヨゴの直径2mm以下の根をより詳細に分類し、根現存量・形態・生理機能を土壌深度ごとに調査した。微細根(0.5mm)の現存量は、表層から下層へと土壌が深くなるにつれて、他の直径階級の根と異なり、大幅に減少することが明らかとなった。形態・生理特性の土壌深度に対する変化は、0.5mm以上の根では確認されず、微細根のみで確認された。形態特性において、コナラ微細根の比根長(単位乾重あたりの長さ)は土壌深度が深くなるにつれて小さくなり、一方、ソヨゴ根では変化はなかった。生理特性において、両樹種の微細根の窒素含有量は、土壌深度が深くなるにつれて減少した。この結果は、土壌資源をより効率的に獲得するために、樹木が微細根の現存量・形態・生理機能を土壌深度に対して変化させていることを示しており、樹種に特有の最適戦略を反映したものと考えられる。</p> <p>3章および4章では、高精度なCO₂濃度測定器と小型閉鎖容器を組み合わせ、呼吸速度を調査した。重量あたりの根呼吸速度は、根直径が小さくなるほど大きくなり、特に直径0.5mm以下の微細根で非常に大きい値を示した。また根呼吸速度は、細根系の比根長が大きくなるにつれて増加した。このように、形態特性の違いは、根呼吸の変動を規定していることが示唆された。さらにこれまでの根直径2mm以下という便宜的なサイズによる細根の分類法ではなく、本研究の対象樹木の根系では直径0.5mm以下を境に根呼吸速度が高くなることから、根生理特性を基にした細根の新たな機能的な分類法を提案し、細根の再定義を可能とした。</p> <p>5章では、菌根菌の感染率および種を定性的に評価し、それらと細根特性の詳細な関係性を評価した。微細根における重量あたりの呼吸速度および比根長は菌根菌感染率が高くなるにつれて大きくなり、菌根菌の感染が根形態を変化させ、呼吸を促進させることが明らかとなった。以上より、微細根は、菌根菌との関わりを通して多くの炭素を消費しながら、形態特性および生理機能を変化させることが明らかとなり、菌根菌との共生が樹木の炭素および養分交換機能を最適化させる役割をもつことが示唆された。</p> <p>6章においては、ミズナラとブナの実生苗の土壌呼吸・根呼吸速度(1時間おきに24時間)と光合成速度(1時間おきに日中の10時間)を連続測定し、根呼吸がどのような要因によって制御されているかを調査した。根呼吸速度および光合成速度の日変化を観察したところ、葉の気孔が閉じ光合成活動が日中低下すると、根呼吸速度は土壌温度が高いにもかかわらず減少した。これは、根呼吸が植物の要求量および環境要因によって変動する地上部の光合成活動によって強く制御されることを実証したものである。</p> <p>細根系・菌根圏・土壌圏でのスケールにおいて、根呼吸のばらつきは、それぞれ形態・菌根菌感染・土壌栄養条件によって説明されることが明らかとなった。さらに根呼吸</p>			

は日変化を持ち、その変化は葉群の光合成活動パターンと関連することが示された。以上より、根呼吸の複雑かつ多様な制御要因は、根の生理機能のみならず植物全体の生理機能と密接に連携していることが明らかになった。

(論文審査の結果の要旨)

地球環境研究では、従来、気候モデルによる気候変動予測が中心となってきたが、社会の持続性が危惧される中、生物圏が環境変動に対して回復力をいかにして維持できるのかの対策を模索する研究が重視されるようになってきている。その対策に対しては、陸上生態系の炭素循環の環境応答変動とその大気へのフィードバックをモデル化することが最重要課題である。しかし、地下部の理解が決定的に遅れているため、本研究では、樹木の根呼吸について多角的な実験と解析を試み、生態系の炭素動態のモデル化に必要な新しい知見を提供した。評価できる点は次のようにまとめられる。

1. 樹木細根は、従来、直径2mmを境界とした便宜的分類によって、粗根と区別されてきた。しかし、本研究で土壌鉛直分布における根系の形態学・生理学特性を詳しく調べることにより、細根の中で微細根(0.5 mm)のみが、表層から次層へと現存量が大幅に減少することが明らかにされた。また外生菌根をもつ樹種(コナラ)と内生菌根をもつ樹種(ソヨゴ)では、土壌深度に対する微細根の形態・生理特性の変化が異なることがわかり、細根の役割を樹種特有の最適戦略の観点から再評価すべきであることが示された。

2. 細根の重量あたりの呼吸速度については、直径2 mm以下の細根系内でも5倍以上異なり、直径0.5mm以下の微細根で非常に大きいこと、細長い形態になるほど大きくなることが示された。

3. 微細根の重量あたりの呼吸速度について調べたところ、菌根菌感染率が高くなるにつれて大きくなった。また、感染率が高くなるにつれて、微細根は細長い形態となる傾向もみられた。この結果から、未解明の点が多い菌根菌との共生について、炭素消費のコストをかけながらも、養分交換機能を最適化するという役割が存在することが明示された。

4. 光合成と根呼吸との短時間の応答関係について、ミズナラとブナの実生苗を対象に測定を行ったところ、葉の気孔が閉じ光合成活動が日中低下すると、根呼吸速度は土壌温度が高いにもかかわらず減少する応答特性が明らかになった。この結果は、周辺の土壌内の温度や水分などの変動に根呼吸が単純に応答するのではなく、短時間で変動する環境要因に対して樹木が個体全体として生理的に応答することで根呼吸が制御される点をはじめ実証したものであり、高く評価できる。

以上のように、本研究は、根呼吸に関して、形態特性、菌根菌との共生関係、植物個体全体としての生理特性などの新しい視点からの知見を提供し、今後の生態系管理に必要な炭素動態の理解ならびに炭素循環モデルの構築に貢献したものであり、森林生態学、森林水文学、地球環境科学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25年2月12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。

注) Webでの即日公開を希望しない場合は、以下に公開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