

(続紙 1)

京都大学	博士 (農 学)	氏 名	安宅 未央子
論文題目	Effect of the moisture heterogeneity of leaf litter layer on temporal and spatial variation in the litter heterotrophic respiration in a warm-temperate forest (暖温帯林の落葉層における水分の不均質性が落葉分解呼吸の時空間変動に与える影響)		
(論文内容の要旨)			
森林土壌は陸域生態系の中でも最も大きな炭素の貯蔵庫であり、そこから放出されるCO₂放出量、すなわち分解呼吸量のわずかな変動は全球レベルの大気中のCO₂濃度に大きな影響を及ぼす。分解呼吸のソースは多様な基質で構成されており、それぞれ異なる基質特性（物理性・化学性）を持つため、各基質の分解呼吸は環境要因に対して様々な応答を示す。しかし分解呼吸は、独立栄養呼吸との対比の形で一括量として評価される傾向があり、さらには手法上の制約から、一括量として直接測定した研究例すら少ない。そこで本研究では、分解呼吸の基質のうち、環境条件（特に水分）の変動が著しい土壌表層の落葉に着目して、炭素循環に関する多くの知見が得られている京都府南部の山城試験地において、落葉の分解呼吸速度と環境要因の詳細な観測を行い、土壌圏炭素動態における落葉分解呼吸量の寄与を評価することを試みた。 はじめに、個葉を対象とし、葉厚や落葉層内での位置関係が含水比の不均質な分布、ならびに分解呼吸速度のばらつきに与える影響を評価した。まず、葉厚の異なる広葉樹7樹種間での含水比と分解呼吸速度の関係を調べたところ、樹種間において明瞭な違いを示さなかった。一方で、降雨後の時間変化に着目すると、葉厚がより薄い樹種の落葉ほど早く乾く傾向を示し、分解呼吸速度は含水比の変動パターンに対応した時間変動を示した。 次に、落葉層内の含水比の鉛直分布とその時間変動が落葉分解呼吸速度に与える影響を評価した。その結果、落葉層内の含水比の鉛直分布に従って、夏期の分解呼吸速度は落葉層内で大きくばらつき、冬期は全層において小さい値を示した。このことから、落葉層の分解呼吸速度を定量化する上で、その層内での含水比の不均質性を考慮に入れる必要性が明らかになった。 落葉層を対象とし、分解呼吸の降雨応答性と季節変化を連続的に定量評価することを試みた。そのためまず、落葉層の含水比の変動を自動計測する必要がある、静電容量型水分センサーを用いた落葉層含水比の連続測定手法を開発した。その結果、落葉層含水比の時間変動は、土壌含水率と比べると速やかで明瞭な湿潤—乾燥サイクルを示すことを明らかにした。次に、落葉層の分解呼吸速度の連続測定手法を開発し、分解呼吸速度と含水比の連続観測を行った。その結果、落葉層の分解呼吸速度は、降雨時にピークを示し、その後、乾燥に従って数日で非常に小さい値に低下する短期的な変動を示した。その分解呼吸速度の土壌呼吸速度に対する寄与は、0~51%と大きな変			

動を示した。また、連続測定から得られた分解呼吸速度と環境要因（含水比・温度）の関数式から、降雨応答性を考慮に入れた年間落葉分解呼吸量を算出して、その値（ $0.69 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ）が年間土壌呼吸量に対する寄与は8.6%であることを示した。これらの結果から、落葉分解呼吸速度は土壌呼吸速度の時間変動における短期的な変動要因として重要であることを明らかにした。

さらに、落葉量が斜面においては大きな時空間分布を持つことに着目し、落葉の量とその分解呼吸速度の降雨応答性・年間積算分解呼吸量に与える影響を評価した。落葉量と年間積算分解呼吸量との関係を検討したところ、落葉量に4倍の差がある場合でも落葉分解呼吸量は2.6倍の差にとどまり、落葉量の大きい方において、その分解率が小さくなることを明らかにした。また、その落葉量—分解呼吸量の関係と1斜面37地点における落葉量の空間分布観測データから算出した落葉分解呼吸量は、 $0.057 \sim 1.61 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ の範囲に広がり、空間的に大きく変動することを示した。

最後に、地形の複雑な試験地流域全体（ 1.7 ha ）へと拡張し、落葉量の不均質な分布と落葉量—分解呼吸量の関係を考慮に入れた落葉分解呼吸量を推定した。落葉分解呼吸量は、 $0.31 \sim 1.41 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ （平均値: $0.78 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ）と空間的に大きく変動した。さらに、土壌炭素動態における落葉分解呼吸の寄与を調べるために、試験地で観測された他の CO_2 放出ソースと比較したところ、落葉分解呼吸量は土壌呼吸量と分解呼吸量に対してそれぞれ13%と21%の寄与を示し、分解呼吸を構成する他の有機物（枯死根・枯死木）よりも高い値を示した。また、枯死根や枯死木と比べると、落葉の分解呼吸速度の変動幅は大きく、この結果は、水分変動の大きな土壌表層の環境下に位置し、比表面積が大きいといった特徴に起因していると考えられた。

以上より、落葉分解呼吸は、落葉の量とその含水比の不均質な分布を通じて、土壌呼吸の時間的・空間的な変動の重要な制御因子になることが明らかになった。さらに、他の枯死有機物の分解呼吸速度の変動特性との比較から、各基質の形状（比表面積など）や位置関係がそれぞれに固有の温度や水分環境を形成し、その結果として、各基質の分解呼吸は異なる変動パターンを示すことが見いだされた。

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。

(論文審査の結果の要旨)

気候温暖化に対する森林生態系の応答とその大気に対するフィードバック影響が問題となっており、温室効果ガスであるCO₂の吸収・放出にかかわる森林生態系での炭素動態の解明研究が世界中で展開されている。炭素動態のうち、CO₂の土壌からの放出は、根呼吸と分解呼吸によって構成されるが、主に現地調査の困難性によって、いまだにその定量評価が進んでいない。特に分解呼吸については、基質毎の化学組成・分解特性の違いやそれぞれの基質の時空間分布の不均質性により、評価が非常に難しい。そこで本研究は、分解呼吸の基質のうち土壌表層の落葉に着目して、山地小流域内に存在する基質そのもの及び水分等の環境条件の様々な空間スケールの不均質性を考慮し、落葉分解呼吸の複雑な変動特性とその土壌呼吸・分解呼吸全体に対する寄与度を、工夫を凝らした調査手法によって明らかにしようとしたものである。特に評価できる点は次の6点である。

1. 数種の広葉樹を対象に葉厚の分解呼吸に対する影響を調べた結果、樹種間において明瞭な違いを示さなかったが、降雨直後、より薄い葉を持つ樹種の落葉ほど乾く時間が早い傾向があり、葉厚が分解呼吸速度の時間変動に影響を及ぼすことが示された。

2. 落葉層内の微小な空間スケールで含水比鉛直分布の時間変動が異なっており、夏季にはその影響が大きいなど、層内での含水比の不均質性を無視できないことがわかった。

3. 落葉層の含水比の変動を自動計測することがこれまで困難であったが、静電容量型水分センサーを用いた落葉層含水比の連続測定手法を新しく開発し、実測値によって検証した。

4. 落葉層の分解呼吸速度の連続測定手法を開発し、含水比とともに測定を継続した結果、その速度が降雨時にピークを示した後、乾燥に従って数日で非常に小さい値に低下するという、短期的な変動があることを検出できた。

5. 小流域では落葉量の空間分布が大きいことに配慮し、落葉量の違いが分解呼吸量に及ぼす影響を調査したところ、一定期間内の落葉分解率は、落葉量が大きいほど小さくなることが明らかになった。従来、森林生態系の炭素収支推定において、落葉の分解量は1年あたりの分解率によって推定されてきたが、本結果はその手法を改善する必要性を指摘したものと評価される。

6. 以上を基に、小流域における不均質性を考慮した年間落葉分解呼吸量を推定した結果、その値は他の基質の分解呼吸と比べて大きく、その変動幅が大きいことを明らかにし、最終的に、土壌呼吸量と分解呼吸量に対する寄与度を評価した。

以上のように、本論文は、森林生態系の炭素循環において情報の乏しかった落葉分解呼吸について、様々な空間スケールでの不均質性を考慮して定量評価したものであり、森林水文学、森林生態学の発展に寄与するところが大きいのみならず、炭

素固定機能を森林管理に活かす方策の立案にも貢献するものである。

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27年2月16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）