

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 濃度に強く影響を及ぼす。分解呼吸のソースは多様な基質で構成されており、供給される位置も違えば、それぞれ様々な基質特性（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異なった応答を示す。しかし分解呼吸は、独立栄養呼吸との対比で一括量として評価される場合が多く、さらには手法上の制限から、一括量として直接測定した研究例すら少ない。また、分解呼吸のソースとなる各基質の分解量を推定しようとする場合であっても、これまでの森林生態学での炭素循環研究においては、基質サンプルの重量変化から計算される数か月から 1 年単位程度の長期間の分解率として評価することが通例であった。そのため、時々刻々と変化する基質の環境要因（温度や含水比）が分解呼吸量の変動に及ぼす詳細な影響を評価することが難しかった。

そこで本研究は、分解呼吸の基質のうち、環境変動（特に水分）の大きな土壌表層に位置する落葉に着目し、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ける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。まず、2 章と 3 章では、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、ひいては分解呼吸速度のばらつきに与える影響を評価した。ここから得られた知見を基に、4 章・5 章・6 章では、落葉層を対象とし、その含水比の時空間分布を考慮した落葉分解呼吸量の定量評価を行った。7 章では、試験地流域全体へとスケールアップし、複雑地形である試験地流域における落葉量の不均質性を考慮に入れた落葉分解呼吸量の評価を行った。得られた結果は以下のとおりである。

2 章では、多樹種の広葉樹サンプルを用いて、樹種間で異なる葉厚の違いが分解呼吸速度と含水比に与える影響を評価した。7 樹種間での含水比と分解呼吸速度の関係は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、樹種間で異なる葉厚が降雨後の落葉

含水比の時間変動に影響し、より薄い落葉ほど乾くのが早い傾向を示した。その樹種間で異なる含水比の変動パターンに応じて、分解呼吸速度は時間変動を示した。この結果から、異なる含水比の変動パターンは積算落葉分解呼吸量に寄与すると考えられた。

3章では、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。落葉層内における落葉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いた。その鉛直分布は、分解呼吸速度と含水比ともに下層ほど高く、上層ほど低い値を示した。一方、落葉層内での含水比分布にかかわらず、冬期の分解呼吸速度は全層において小さい値を示した。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た、落葉層含水比の時間変動の評価が必要であることを実証した。

4章では、落葉層の含水比の時間変動を調べるために、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。センサーのまわりに直接落葉をまきつけ、落葉の水分変動を安定して測定できるように工夫した。落葉層内における含水比の鉛直分布を考慮するため、落葉層内の上層と下層にセンサーを設置し、その平均値を落葉層の含水比とした。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明瞭な湿潤－乾燥サイクルを示すことを明らかにした。

5章では、落葉層の分解呼吸速度の降雨応答性・季節変化を定量評価するために、落葉層の分解呼吸速度の連続測定手法を開発し、それと4章で開発した水分センサーを併用し、分解呼吸速度と含水比の連続観測を行った。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、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であることを明らかにした。

6 章では、斜面における落葉の不均質な時空間分布に着目し、落葉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。さらに、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が $0.057 \sim 1.61 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ の範囲に広がり、空間的に大きく変動することを示した。

7 章では、複雑地形の試験地流域全体へと拡張し、落葉量の不均質な分布を考慮に入れた落葉分解呼吸量を推定した。試験地を代表する落葉分解呼吸量を求めるために、流域全体 (1.7 ha) での落葉堆積量の観測を行い、それと 6 章で算出された落葉量－落葉分解呼吸量の関係から、試験地流域内における落葉分解呼吸量の空間分布を推定した。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。落葉分解呼吸量は、土壌呼吸量と分解呼吸量に対して 13% と 21% の寄与を示し、さらに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、土壌表層といった水分変動の大きな環境下に位置し、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 (土壌表層・土中) 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明らかになった。森林炭素収支研究における分解呼吸の推定においては、単純な気候因子 (降水量や気温)

との関係にとどまらず、基質によって特徴づけられた環境要因に対する枯死有機物の分解特性の多様性を考慮にいれた評価が必要である。