

落葉樹林のリーフリターの二酸化炭素発生量に関する研究

学位論文内容の要旨

1. 陸上生態系において、土壌呼吸は主要な CO₂ 発生源（ソース）である。地球上の土壌は、大気中に含まれる炭素量の 2 倍の炭素を有機物として蓄えていると見積もられており、土壌の炭素蓄積量および土壌呼吸のわずかな変化が大気中の炭素量を大きく変化させると考えられている。土壌呼吸は、主に植物根の呼吸と微生物による有機物の分解過程（微生物呼吸）によって生じる。微生物呼吸の基質は、デトリタス（植物体の破片、枯死体（リター）および分泌物、動物と微生物の死骸など）であるが、量的にはリターが最も重要である。リターは、植物の地上部に由来するもの（リターフォール）と地下部（根）に由来するものに別れ、リターフォールは大部分が落葉によって占められる。林床に供給されたリターフォールは、小動物や微生物によって分解され、含まれる炭素の一部は CO₂ として大気に放出される。また残りは、土壌有機物として土壌の構成成分となる。

2. リターの分解は炭素と栄養素の循環において非常に重要な役割を演じているため、地球規模での炭素循環や窒素循環を評価するには、リターの分解過程を十分に理解する必要がある。リターの分解は、最初の急激な溶脱の後、ほぼ 2 段階に分かれて進行する。数年間続く最初の段階では、糖類、アミノ酸、セルロースなどの可変性の化合物が主に分解される。一方、第二段階では、リグニンなどの安定な化合物が中心となって分解される。リターの分解に関する研究は非常に多く、そのメカニズムはかなりわかってきている。しかしながら、リターの分解にともなう CO₂ 発生速度の季節変化、および分解の初期段階における CO₂ 発生速度の環境応答性については、情報がほとんどない。また、林床に堆積したリターの分解による CO₂ 発生が、土壌呼吸から分離して測定され、定量的に評価されることはほとんどなかった。林床のリター層とその下の鉱物性土壌では、物理的、化学的環境が異なり、また生物学的機能も異なるため、リター層と土壌の呼吸速度を個別に評価し、それらの環境応答を調べる必要がある。そのような研究は、森林生態系における炭素循環の解明、および森林生態系の CO₂ 固定能力の定量化に貢献できると考える。

3. 本研究では、以上の背景を踏まえ、1) 落葉樹林におけるリーフリターの CO₂ 発生速度の季節変化および環境に対する応答性を明らかにする、2) リーフリターの CO₂ 発生速度をモデル化し、落葉樹林における土壌呼吸速度に対する寄与を定量的に評価する、ことを目的とした。そのために、北海道苫小牧市の隣接したミズナラやホオノキが優占する落葉広葉樹林と落葉針葉樹林（カラマツ人工林）において、リターバッグやリタートラップを使わずに、自然条件で堆積した林床のリーフリター（O₁層と O₂層）を、2001 年 10 月～2002 年 10 月に積雪期間（12 月～3 月）を除いて毎月採

集した。カラマツ林では、他樹種も混在しているが、カラマツのリーフリターのみを採集した。採取したリターサンプルを用いて、異なる温度および含水率の条件で、CO₂発生速度をチャンバー法により測定した。得られた結果をもとにリーフリターのCO₂発生速度をモデル化し、野外条件におけるCO₂発生速度（リター呼吸速度）を連続的に推定した。また、同じ落葉樹林において、プロファイル法を改良した方法を用いて、表層土（O_a層とA層）と下層土（C層）のCO₂発生速度（土壌呼吸速度）を連続測定し、リター呼吸速度と比較することで、リーフリターからのCO₂発生量の土壌呼吸量に対する寄与を定量評価した。

4. 単位乾物重あたりのリーフリターCO₂発生速度（ P_{dw} ）には季節変化が認められた。 P_{dw} の季節変化のパターンは、落葉広葉樹とカラマツで多少異なったが、いずれの場合も6月に最低となった。しかし、 Q_{10} を用いて評価した P_{dw} の温度応答性も夏期に低下する傾向がみられたが、季節変化はあまり明瞭ではなかった。一方、含水率との間の回帰直線の傾きで評価した P_{dw} の水分応答性は、落葉広葉樹とカラマツの両方で、リーフリターの林床における滞在時間が経過し分解が進むにしたがって低下し、夏期に最低となった。落葉広葉樹における P_{dw} の季節変化は、リーフリターの化学的品質（C:N比）の変化によってある程度説明することができた。一方、カラマツでは夏から秋にかけて徐々に供給された新鮮なリターフォールの影響が現れ、 P_{dw} とC:N比の関係は複雑であった。しかし、落葉広葉樹、カラマツともに、 P_{dw} の温度応答性および水分応答性とC:N比の間に正の直線関係が認められた。これらの事実は、比較的新鮮なリーフリターの分解の初期段階において化学的品質が重要であることを示唆している。さらに、CO₂発生を考える場合には、リーフリターの化学的品質をC:N比を用いて表すことの有効性が明らかになった。

5. 以上の室内実験で得られたデータに、 P_{dw} の温度反応を指数関数で、また水分反応を漸近線で表現するモデルを適用し、各月ごとにモデルの係数を決定した。落葉広葉樹林とカラマツ林で連続測定したリター温度と、表層土の含水率から推定したリター含水率をモデルに入力し、その出力に単位面積あたりのリター堆積量（リター密度）と乗じることで、野外条件における単位面積あたりのリーフリターのCO₂発生速度（ R_L 、リター呼吸速度）を2002年4月～11月の期間、日単位で連続的に推定した。さらに、改良プロファイル法を用いて同じ期間の表層土（O_a層とA層）および下層土（C層）の土壌呼吸速度（それぞれ R_t 、 R_s ）を分離して連続的に測定した。その結果、 R_L は土壌呼吸（ R_t 、 R_s ）とは異なる特徴的な季節変化を示した。落葉広葉樹林では、 R_L は5月下旬にピーク値である0.97 gC m⁻² d⁻¹に達した。一方、 R_t と R_s のピークはそれぞれ8月上旬、9月上旬であった。 R_L の総土壌呼吸速度（ $R_{all} = R_L + R_t + R_s$ ）に対する寄与（ R_L / R_{all} ）は、4～5月に大きく（0.15～0.40）、夏期に小さかった（0.05以下）。カラマツ林におけるカラマツのリーフリターでは、 R_L は4月に最大（0.21～0.32 gC m⁻² d⁻¹）で、その後低下した。 R_t と R_s のピークは落葉広葉樹林とほぼ同じ時期に生じた。 R_L / R_{all} は、4～5月に0.19から0.04まで大きく低下し、その後低い値（0.01～0.03）で推移した。4月～11月の8ヶ月間の積算値を計算すると、 R_L 、 R_t 、 R_s および R_{all} は、落葉広葉樹林とカラマツ林でそれぞれ、85, 683, 145, 913 gC m⁻², 34, 700, 253, 987 gC m⁻²となった。その結果、リーフリター呼吸速度（ R_L ）が総土壌呼吸速度（ R_{all} ）に占める割合は、落葉広葉樹林で9.3%、カラマツ林（カラマツのリターのみ）で3.5%となった。落葉広葉樹林での割合は、北米の森林における結果（10%程度）とほぼ等しかった。

学位論文審査の要旨

主 査 助 教 授 平 野 高 司
副 査 教 授 浦 野 慎 一
副 査 教 授 小 池 孝 良
副 査 助 教 授 谷 宏

学 位 論 文 題 名

落葉樹林のリーフリターの二酸化炭素発生量に関する研究

本論文は4章からなり、図52, 表6, 引用文献56を含む86ページの和文論文である。他に参考論文3編が添えられている。

陸上生態系において、微生物による土壤有機物の分解過程（微生物呼吸）は主要なCO₂発生源である。林床に供給されたリターフォール（落葉, 落枝）は、小動物や微生物によって分解され、含まれる炭素の一部はCO₂として大気に放出される。残りは、土壤有機物として土壤の構成成分となる。このような微生物によるリターの分解は、陸上生態系の炭素循環において非常に重要な役割を演じているため、関連した研究は多く、そのメカニズムはかなりわかってきている。しかしながら、リターの分解にともなうCO₂発生速度の季節変化、および分解の初期段階におけるCO₂発生速度の環境応答性については、情報がほとんどない。本研究では、1) 落葉樹林におけるリーフリターのCO₂発生速度の季節変化および環境に対する応答性を明らかにし、2) リーフリターのCO₂発生速度の総土壤呼吸速度に対する寄与を定量的に評価した。

北海道苫小牧市の落葉広葉樹林と落葉針葉樹林（カラマツ人工林）において、自然条件で堆積した林床のリーフリター（O₁層とO₀層）を、積雪期間を除いて、2001年10月～2002年10月に毎月採集し、異なる温度および含水率の条件でCO₂発生速度をチャンバー法により測定した。その結果、1) 単位乾物重あたりのリーフリターCO₂発生速度は季節変化を示し、夏季に最低となること、2) CO₂発生速度が温度とともに指数関数的に上昇すること、3) 比較的乾燥した条件では、含水率とCO₂発生速度の間には直線関係が成り立つこと、4) CO₂発生速度の温度応答性（ q_{10} ）も夏季に低下する傾向があること、5) CO₂発生速度の水分応答性は、リーフリターの林床における滞在時間が長くなり分解が進むにしたがって低下し、夏季に最低となること、を明らかにした。また、このようなリーフリターCO₂発生速度、およびCO₂発生速度の環境（温度、水分）応答性とC:N比の間には正の直線関係が認められ、このような季節変化が、C:N比に代表されるリーフリターの化学性によって説明できることが示唆された。

上記の室内実験の結果をもとに、リーフリターCO₂発生速度をモデル化し、野外条件におけるCO₂発生速度（リーフリター呼吸速度）を2002年4月～11月の期間、日単位で連続的に推定した。また、同じ落葉樹林において、プロファイル法を用いて表層土（O₁層とO₂層）と下層土（C層）のCO₂発生速度（土壌呼吸速度）を連続測定し、リーフリター呼吸速度と比較することで、リーフリターからのCO₂発生量の総土壌呼吸量に対する寄与を定量評価した。その結果、リーフリター呼吸速度は土壌呼吸速度とは異なる特徴的な季節変化を示した。落葉広葉樹林では、リーフリター呼吸速度は5月下旬にピーク値である0.97 gC m⁻² d⁻¹に達した。一方、表層土と下層土の呼吸速度のピークは、それぞれ8月上旬、9月上旬に生じた。リーフリター呼吸速度の総土壌呼吸速度に占める割合は、4～5月に大きく（15～40%）、夏期に小さかった（5%以下）。カラマツ林におけるカラマツのリーフリターでは、リーフリター呼吸速度は4月に最大（0.21～0.32 gC m⁻² d⁻¹）で、その後低下した。リーフリター呼吸速度の総土壌呼吸速度に占める割合は、4～5月に19%から4%まで大きく低下し、その後は低い値（1～3%）で推移した。4月～11月の8ヶ月間の積算値を計算すると、リーフリター呼吸量は、落葉広葉樹林とカラマツ林（カラマツのリターのみ）でそれぞれ85, 34 gC m⁻²となり、総土壌呼吸に占める割合はそれぞれ9.3%と3.5%と評価された。苫小牧の落葉広葉樹林におけるリーフリター呼吸量の寄与（9.3%）は、北米の森林における結果（10%程度）とほぼ等しいことが明らかとなった。また、リターフォールに関する研究を引用して考察した結果、苫小牧の落葉広葉樹では、1年間にリター層（O₁層とO₂層）から微生物による分解によって大気に放出されるCO₂量が、リターフォールとして供給された炭素の50%以上になることが示唆された。

以上のように、本論文は森林生態系におけるリーフリターからのCO₂発生速度の季節変化、および環境応答性を明らかにし、リーフリターからのCO₂発生量の総土壌呼吸量に対する寄与を定量的に評価したものであり、森林生態系における炭素循環の解明、および森林生態系のCO₂固定能力の定量化に貢献できると考えられる。よって、審査員一同は金洪鉉が博士（農学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。