

学位論文題名

Respiration and stable-isotope ratio of soil animals

(土壌動物類の呼吸量と安定同位体比)

学位論文内容の要旨

森林では植物の光合成により生産された有機物は、そのほとんどが地上部で消費されずにリターとして地表面に落ち、腐植となって蓄積される。また冷温帯林におけるリターの蓄積量は熱帯や亜熱帯と比べてかなり多く、物質の循環も土壌中の腐植層が中心となっている。さらにこの腐植中には多くの生物が生息しているが、冷温帯林における土壌動物量は格段に大きく、他の地点と比べても土壌生態系中の物質循環に対して重要な位置を占めていると思われる。本研究では冷温帯林の土壌動物に注目し、それらの土壌中の物質循環（特に炭素流と窒素流）に対する役割を明らかにするため、2つの方向から調査を行った。

まず、室内における土壌動物の呼吸量の実測値と野外における土壌呼吸を比較することにより、土壌から排出される CO_2 への土壌動物の寄与について明らかにすることを試みた。北海道大学苫小牧演習林内の落葉広葉樹林帯において斜面沿いに $10\text{m} \times 10\text{m}$ のコドラートを3つ設置し、1997年5月から11月にかけて土壌呼吸量を測定した。土壌呼吸量は春先と晩秋に $8\text{-}10 \text{ mlCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 、晩春から秋の初めにかけて $120\text{-}140 \text{ mlCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ であった。また、二元配置（月×コドラート）分散分析の結果から、月の変動では有意性が認められたが、コドラートの差は有意ではなかった。同時に次式、 $Ra = \sum N_i \cdot r_{it} / e_i$ (Ra : 土壌動物の総呼吸量, N_i : 土壌動物の分類群 i における個体数, R_{it} : 分類群 i における地温 $t^\circ\text{C}$ の1時間あたり1個体あたりの呼吸量, e_i : 分類群 i の土壌からの抽出率)により土壌動物の呼吸量を推定した。その結果、土壌動物による総呼吸量は春先と晩秋に $2\text{-}4 \text{ mlCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 、夏期に $6\text{-}8 \text{ mlCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ となり、二元配置（月×コドラート）分散分析の結果から土壌呼吸と同様に月の間では有意性が認められたが、コドラート間では有意ではなかった。土壌動物の寄与率（土壌動物の呼吸量/土壌呼吸量）は春から夏にかけて約8%（最低: 2.65%）以下で推移したが、早春と秋にはほとんどが10%を越える値（最高: 26.57%）を示していた。さらに、寄与率について時期間での多重比較をみると、季節が春・秋とその他の2つに分かれており、寒冷期での CO_2 排出への土壌動物の寄与の高さが示された。土壌動物の採集に際し、環境要因（地温・含水率・リター量・A0量）を測定し、ステップワイズ多重回帰分析を行った結果、土壌呼吸量は地温と含水率、土壌動物の呼吸量は含水率とリターフォール量との有意な相関関係を示した。

次に分解系に対する土壌動物群の位置付けを明らかにするために、物質循環系の異なる苦

小牧演習林 (1998 年 10 月調査)・京都大学芦生演習林 (1999 年 9 月)・屋久島 (2000 年 9 月) の 3 地点の広葉樹林と針葉樹林の 2 植生において、分解系としてリターと土壌を腐食系として土壌動物を採集し、それぞれ炭素と窒素の天然安定同位体存在比を測定した。リターの同位体比は広葉樹林では樹種ごとに針葉樹では 1 種のみを測定した。3 地点ともに $\delta^{15}\text{N}$ は広葉樹林の方が高く、 $\delta^{13}\text{C}$ は針葉樹林の方が高い結果となった。また、広葉樹林の中でも分解が早い樹種はより高い $\delta^{15}\text{N}$ を示したが、これはリターの分解過程の違いが大きく反映しているためと考えられた。また二元配置 (植生×地点) 分散分析の結果から、 $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{13}\text{C}$ ともに植生の違いでは有意性が認められたが、地点間では $\delta^{13}\text{C}$ については有意性が認められたが $\delta^{15}\text{N}$ では認められなかった。土壌の同位体比は地表面から地下 30cm まで 5cm 毎 6 つ測定し、全ての地点において地表面の土壌から深さが増すごとに $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{13}\text{C}$ ともに高くなっていく傾向がみられた。また小牧より屋久島の方が全体的に ^{15}N 同位体が高かった。これは軽い分子が重い分子より早く反応する同位体効果が根の吸収や物質の回転に対し大きく影響しているためと考えられた。また二元配置 (植生×地点) 分散分析の結果から、 $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{13}\text{C}$ ともに植生の違いと地点の違いの双方で有意性が認められた。土壌動物の同位体比は種類ごとに測定し、屋久島の広葉樹林では $\delta^{15}\text{N}$ について 2.5%以下に腐食者が 2.5%以上に捕食者が位置しており、両者の栄養段階の違いは明確に区別されたが、他の 5 ヶ所では腐食者と捕食者は $\delta^{15}\text{N}$ 値で重なっていたため区別できなかった。これは緯度に伴う捕食者の雑食性の増減が $\delta^{15}\text{N}$ 値に表現されたためと考えられた。また、 $\delta^{13}\text{C}$ では屋久島の広葉樹林に生息する土壌動物群はリター・土壌間に位置付けされず、他の地点 (芦生の針葉樹林を除く) と異なり腐植を資源の由来としていないことが示された。これは元々屋久島の広葉樹林では腐植層が存在せず、さらに分解過程や循環系の違いが土壌動物群の資源利用の違いに関わっているためと考えられた。また二元配置 (植生×地点) 分散分析の結果から、 $\delta^{15}\text{N}$ では植生の違いと地点の違いともに有意性が認められなかったが、 $\delta^{13}\text{C}$ では双方に有意性が認められた。

本研究では寒冷期における CO_2 排出への土壌動物の寄与の高さ、資源流の差異と土壌動物の資源利用の関係が示され、冷温帯林での物質循環において土壌動物群が重要な役割を果たしていることが明らかになった。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 東 正 剛
副 査 教 授 岩 熊 敏 夫
副 査 教 授 甲 山 隆 司
副 査 助 教 授 露 崎 史 朗

学 位 論 文 題 名

Respiration and stable-isotope ratio of soil animals

(土壌動物類の呼吸量と安定同位体比)

アメリカで行われた Biosphere 2 の失敗は、土壌中の生物による呼吸量を低く見積もっていたためだと考えられているが、地球生態系全体における炭素循環を考える際にも、土壌呼吸量をどの程度に見積もるかは重要な課題となってくる。本研究は、IGBP (地球圏・生物圏国際共同研究計画) の一環として行われたものであり、冷温帯林における土壌呼吸量を測定し、特に土壌動物類の呼吸量が占める割合を明らかにしている。また、土壌呼吸は土壌中における食物連鎖と腐植分解の過程で生産される二酸化炭素量であることから、炭素と窒素の安定同位体比を測定することによって、異なる森林における炭素と窒素の土壌内フラックスを比較している。

土壌呼吸量の調査では、苫小牧の実験林に 10 m 平方の方形区を環境条件の異なる 3 カ所に設け、赤外線ガス分析装置を用いている。しかし、方形区間の差は有意ではなく、季節変動にのみ統計的有意性が認められ、1 平方メートル・1 時間当たりの二酸化炭素量は早春と晩秋には 8~10 ml、晩春から早秋には 120~140 ml であった。また、これらの土壌呼吸量に占める土壌動物類の貢献度を春と夏に 10%以下、晩秋には 12%以上、最大約 30%と見積もっている。今回は中型土壌動物類のみを測定対象としており、小型・大型土壌動物や越冬中の脊椎動物類の呼吸量も考慮すると、低温下における土壌呼吸の大半は動物による呼吸と推定している。

これまでに行われた土壌動物類の呼吸量測定は、 $Q_{10} = 2$ (温度が 10℃上昇すると呼吸量が 2 倍) という関係式や、呼吸量と生体量の間にみられる両対数相関関係を用いて行われてきたが、本研究では、中型土壌動物類を 10 の優占系統群とその他に分け、各系統群について 1 個体あたり呼吸量を 5℃、15℃、25℃下で詳しく測定し、温度と呼吸量の関係曲線を求めるなど、その精度は高く評価できる。また、土壌呼吸量は土壌の温度や水分含量と有意に相関しているのに対し、土壌動物の貢献度は温度と相関せず、落葉量と有意な相関関係を示すという、興味深い結果を得ている。落葉は土壌生態系における炭素循環の出発点であり、土壌呼吸に食物連鎖が大きく関わっていることを示唆している。

そこで、土壤中における食物連鎖や有機物分解系の様相を明らかにするため、苫小牧（冷温帯）、芦生（温帯）、屋久島（亜熱帯）の広葉樹林と針葉樹林よりリター、土壤、土壤動物を採取し、安定同位体比精密測定用質量分析装置を用いて $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{13}\text{C}$ を測定している。その結果、1) リターの $\delta^{15}\text{N}$ は広葉樹で高いこと、2) 土壤中の $\delta^{15}\text{N}$ も広葉樹で高いが、地域間比較では苫小牧で有意に低いことが明らかとなった。これまでの研究から、 $\delta^{15}\text{N}$ は、リター→分解系→植物を巡る窒素の循環速度を反映することが分かっており、2つの結果は、窒素循環速度が針葉樹よりも広葉樹で、また北方林よりも南方林で速いことを反映していると結論づけている。さらに、3) リターの $\delta^{13}\text{C}$ は広葉樹や屋久島で有意に低く、4) 土壤中の $\delta^{13}\text{C}$ は広葉樹と苫小牧で有意に低いことを明らかにした。先行研究から、 $\delta^{13}\text{C}$ は難分解物質であるリグニンやタンニンで低く、分解し易い炭水化物で高いことが明らかになっている。このことから、広葉樹林のリターと土壤、屋久島のリターで $\delta^{13}\text{C}$ が低いのは、分解し易い炭水化物起源の炭素が急速に大気中に放出されているのに対し、難分解物質の分解が相対的に遅いことを反映していると推測している。ただし、冷温帯に位置する苫小牧の土壤中には本来分解し易い筈の炭水化物さえ蓄積しており、これが相対的に低い $\delta^{13}\text{C}$ 値を与えていると結論づけている。また、いずれの森林においても、安定同位体比にリター<土壤<土壤動物の関係が認められ、特に $\delta^{15}\text{N}$ では腐食動物<捕食者の関係が明瞭であるが、これらは明らかに食物連鎖の方向と一致している。この傾向は特に屋久島の広葉樹林で明瞭であるが、その原因を、亜熱帯の腐食動物に菌食者が多いこと（ $\delta^{15}\text{N}$ を低める）、捕食者に雑食者が少ないこと（ $\delta^{15}\text{N}$ を高める）と関連づけ、丁寧に議論している。

これらの推測や議論の一部は今後の研究によって検証されなければならないが、異なる森林の安定同位体比を比較することによって、日本の森林土壤における炭素・窒素フラックスの全体像を大まかに示すことに成功しており、極めて興味深く独創性の高い論文内容となっている。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また申請者が研究者として誠実かつ熱心であり、大学院課程に於ける研鑽や取得単位なども併せ、博士（地球環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有すると判定した。