

リター分解を考慮した有機物分解の 林床土壌呼吸への寄与評価

細江史高* 森泉純† 山澤弘実† 飯田孝夫†

*名古屋大学工学部物理工学科量子エネルギー工学コース

〒464-8603 名古屋市千種区不老町

Tel. 052-789-4676, Fax. 052-789-3782

†名古屋大学大学院工学研究科エネルギー理工学専攻

1 はじめに

陸上生態系では、リター（落葉落枝や動物遺体）として地上に落ち、土壌動物や微生物の作用によって変形、分解されながら、地表から土壌中へと移行し、しだいに無機物に還元される。そのとき、遺体の大半を占めていた有機炭素化合物は、最終的には CO_2 にまで分解される。分解産物である CO_2 の一部は水に溶け、あるいは水溶性の塩類となって溶脱されるが、大部分は植物地下部の呼吸により生じた CO_2 とともに地表から大気中に放出される。この現象は、土壌呼吸と呼ばれている。

炭素同位体は炭素循環におけるトレーサーとして重要な因子を与えることが可能である。森林生態系を構成する各リザーバーがもつ同位体比の違いや、各リザーバー間の交換過程における同位体分別効果を利用して、 CO_2 濃度測定やフラックス観測だけでは得ることができない森林生態系における炭素循環に関する詳細な情報が得られることが期待される。

本研究では、大気中 CO_2 のリザーバーとして重要性が認識されている森林土壌に着目した。林床からの CO_2 フラックスを測定し、 CO_2 フラックス変動への環境因子の影響を評価した。そして、炭素同位体比を用いて土壌呼吸の起源成分（根呼吸、土壌有機物分解、リター分解）の寄与割合を評価・検討した。

2 観測と分析

2.1 CO_2 フラックス観測期間および観測地点

CO_2 フラックス観測および炭素同位体比測定用試料の採取を、2004年5,6,7,9,11月に実施した。本研究の CO_2 フラックス観測地を含む林分は、愛知県東加茂郡稲武町に位置し ($35^{\circ}12'N$, $137^{\circ}24'$)

E), 名古屋大学生命農学研究科・農学部附属演習林（フィールド教育支援センター稲武フィールド）内にあるカラマツ (*Larix leptolepis*) 林である。稲武町はかつて林業が代表的な産業であったこともあり、カラマツは原生していたのではなく、植林されたものである。樹齢は約 40 年、樹高は約 15 m となっている。観測地の標高は 1010 m である。アメダスによると、2004 年の観測地周辺の年降水量は 2430 mm, 平均気温は 12.3 °C である。植生などが代表的である、緩斜面の地点に一辺 30 m のコドラートを設置し、観測用プロットとした。

2.2 CO₂ フラックス測定

林床からの CO₂ フラックスの測定には、密閉チャンバー法を用いた。非分散型赤外線吸収ガス分析 (NDIR) 法を用い CO₂ の濃度を測定した。

本研究では、林床からの CO₂ フラックスに対するリター分解の寄与を評価するために、各測定点において、チャンバー内の (1) リターを残したもの、(2) リターを取り除いたもの、の 2 通りの測定を行った。深さ 5 cm における土壌温度および土壌体積含水率の測定を行った。土壌温度は各測定時刻に、土壌体積含水率は測定期間ごとにそれぞれ測定した。

土壌表面からの CO₂ フラックスは、密閉チャンバー内部の CO₂ 濃度上昇率から以下のように定義される。

$$f = \frac{V \cdot \Delta C}{S \cdot T_m} \quad (1)$$

ここで、 $f[\text{gC m}^{-2} \text{h}^{-1}]$ は土壌表面からの CO₂ フラックス、 $V[\text{m}^3]$ はチャンバー容積、 $S[\text{m}^2]$ はチャンバーでおおった土壌表面積、 $T_m[\text{h}]$ はチャンバー密閉時間である。 $\Delta C[\text{gC m}^{-3}]$ はチャンバー密閉時間での CO₂ 濃度上昇量である。

2.3 炭素同位体比測定

採取したチャンバー内空気中 CO₂ およびリター、土壌有機物の炭素同位体比測定には、名古屋大学年代測定総合研究センター・タンデム加速器質量分析計 2 号機、および安定同位体比質量分析計 (Finnigan MAT252, Thermo Electron Corp.) を用いた。次に示す 2 つの工程により、試料調製を行った。まず、採取した CO₂ を分離・精製するために、真空ガラス装置を用いた。用いた装置は、Moriizumi *et al.* が開発した、大気中メタンの試料調製装置 [3] の一部分を、CO₂ の試料調製用に改良したものである。CO₂ の分離・精製操作は以下の手順で行った。

1. ガラス真空ラインの U 字トラップを液体窒素 (-196 °C) に浸した状態で試料空気を真空ラインに導入し、試料空気中の CO₂ と水蒸気をトラップする。その後、窒素と酸素と排気する。
2. 液体窒素に代えて、-90 °C 前後に調整した液体窒素エタノールに U 字管を浸し、隣り合ったもうひとつのトラップを液体窒素に浸すことによって、水蒸気をトラップしたまま CO₂ のみを次のトラップに捕集する。
3. 上記の操作を 2 段階繰り返す、空気試料から CO₂ のみを分離・精製する。

4. 分離・精製した CO_2 を定量管で定量する.
5. CO_2 を Pyrex ガラス管に移し, ガスバーナーで封じ切りを行う.

加速器質量分析計による炭素同位体比測定を行うためには, CO_2 をグラファイトにする必要がある. 分離・精製された CO_2 は, 低バックグラウンドで, かつ長時間の安定測定が可能とされる Kitagawa *et al.* [1] の方法によって鉄触媒上で水素を用いて還元, グラファイト化を行った.

2.4 $^{14}\text{CO}_2$ フラックスの算出

同位体組成が異なる 2 つの CO_2 を混ぜた場合, 混合に対する ^{14}C 同位体比は, 単純な質量収支式にしたがう. 土壌表面付近空気成分および土壌呼吸成分の CO_2 混合により, チャンバー内における CO_2 濃度および同位体比の変動が評価できる. チャンバー内の炭素収支は式 (2) のように書くことができる.

$$\delta^{14}\text{C}_f \cdot C_f = \delta^{14}\text{C}_0 \cdot C_0 + \delta^{14}\text{C}_{\text{res}} \cdot C_{\text{res}} \quad (2)$$

ここで, $\delta^{14}\text{C}_0$, $\delta^{14}\text{C}_f$, $\delta^{14}\text{C}_{\text{res}}$ はそれぞれ, 土壌表面付近 CO_2 , チャンバーを閉じて 30 分経過後のチャンバー内 CO_2 , 土壌呼吸による CO_2 の ^{14}C 同位体比, すなわち $\delta^{14}\text{C}$ 値 [%o] である. そして, C_0 , C_f , C_{res} はそれぞれ, 土壌表面付近, チャンバーを閉じて 30 分経過後のチャンバー内, および土壌呼吸の CO_2 質量濃度 [gC m^{-3}] である. さらに, $C_f = C_0 + C_{\text{res}}$ の関係が成り立つ. 式 (2) は, 土壌呼吸の $\delta^{13}\text{C}$ と $\Delta^{14}\text{C}$ に対しても適用することができる.

^{14}C 同位体比の国際標準とされる ($^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$)_{STD} は, 比放射能に換算すると西暦 1950 年当時において, 0.226 ± 0.001 [Bq/gC] である [2]. ^{14}C の放射壊変を考慮し, 測定時 (西暦 2004 年) における値に補正すると, 0.225 ± 0.001 [Bq/gC] となる. $\delta^{14}\text{C}$ の定義式より, 試料の比放射能は $(1 + \delta^{14}\text{C}/1000) \times 0.225$ [Bq/gC] となる. この関係を用いて, チャンバー内部の ^{14}C 放射能増加率から次式のように $^{14}\text{CO}_2$ フラックス F [$\text{Bq m}^{-2} \text{h}^{-1}$] が評価できる.

$$F = \frac{V}{S \cdot T_m} \left\{ \left(1 + \frac{\delta^{14}\text{C}_f}{1000} \right) \cdot C_f - \left(1 + \frac{\delta^{14}\text{C}_0}{1000} \right) \cdot C_0 \right\} \times 0.225 \quad (3)$$

3 結果と考察

3.1 林床からの CO_2 , $^{14}\text{CO}_2$ フラックス

林床からの CO_2 フラックスはチャンバー内のリターを残した場合, 取り除いた場合, とともに 5 月から 9 月にかけて増加し, 9 月にもっとも大きくなった後に 11 月にかけて減少した. CO_2 フラックスの日変動幅は, 9 月がもっとも大きく, 11 月は小さかった. どの期間においても, CO_2 フラックスはリターを残して測定したものの方が高い値を示し, CO_2 フラックスに対するリター分解の寄与がみられた. リター分解の寄与は 9 月にもっとも大きくなり, およそ 27% となった.

CO₂ フラックスと土壌温度の関係を図 1 に示す。土壌温度の上昇にともない CO₂ フラックスが増加した。環境因子の中で、林床からの CO₂ フラックスに影響を及ぼすものは土壌温度であった。

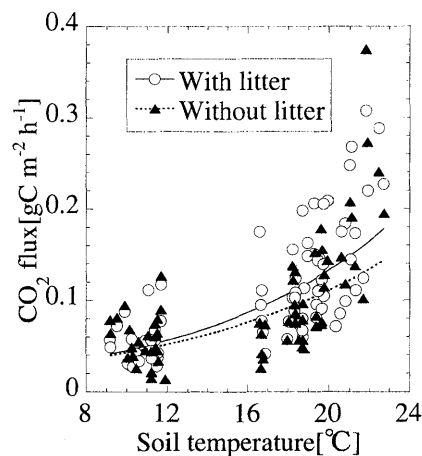


図 1 深さ 5 cm の土壌温度と CO₂ フラックスとの関係。丸と黒三角はそれぞれ、リターあり、リターなしのときの測定値を表す。実線および破線は、それぞれリターあり、リターなしのときの CO₂ フラックスと土壌温度との関係を指数関数で回帰した実験式。リターあり： $F_c = 0.016 \exp[0.107T]$ ，リターなし： $F_c = 0.017 \exp[0.095T]$ 。 F_c : CO₂ フラックス [gC m⁻² h⁻¹]， T : 土壌温度 [°C]。

表 1 は、各観測期間での土壌呼吸の炭素同位体比、CO₂ フラックス、¹⁴CO₂ フラックスおよび環境因子をまとめたものである。¹⁴CO₂ フラックスも CO₂ フラックスと同様の変動を示し、9 月に最も高い値となった。5 月において $\delta^{14}\text{C}_{\text{res}}$ が大気中 CO₂ の $\delta^{14}\text{C}$ ($\approx 80\%$) を下回ったのは、気温と土壌温度の温度差が考えられる。5 月は他の期間に比べて気温と土壌温度の差が大きい。土壌はこの時期はまだあまり温まっておらず、有機物分解は土壌表層のみでしか促進されなかったことが考えられる。

3.2 炭素同位体比を用いた土壌呼吸の各起源成分寄与割合評価

土壌呼吸の $\delta^{14}\text{C}$ 値は、以下の式より評価できる：

$$\delta^{14}\text{C}_{\text{res}} = \delta^{14}\text{C}_{\text{root}} \cdot R_{\text{root}} + \delta^{14}\text{C}_{\text{litter}} \cdot R_{\text{litter}} + \delta^{14}\text{C}_{\text{SOM}} \cdot R_{\text{SOM}} \quad (4)$$

ここで、 $\delta^{14}\text{C}_{\text{res}}$ 、 $\delta^{14}\text{C}_{\text{root}}$ 、 $\delta^{14}\text{C}_{\text{litter}}$ 、 $\delta^{14}\text{C}_{\text{SOM}}$ はそれぞれ、土壌呼吸および根呼吸、リター分解、土壌有機物分解による CO₂ の $\delta^{14}\text{C}$ 値 [%] である。(4) 式の、 R_{root} 、 R_{litter} 、 R_{SOM} は、土壌呼吸に対するそれぞれの起源の寄与割合を表し、 $R_{\text{root}} + R_{\text{litter}} + R_{\text{SOM}} = 1$ である。

土壌呼吸の各起源成分寄与割合評価の際には次のような仮定をした。

1. 土壌呼吸の起源はリター分解、土壌有機物分解、根呼吸のみである。
2. 根呼吸による CO₂ 放出の炭素同位体比は、植物体のもつ炭素同位体比と同じである。
($\delta^{14}\text{C}_{\text{root}} = \delta^{14}\text{C}_{\text{litter}}$)

表 1 土壤呼吸の炭素同位体比, $^{14}\text{CO}_2$ フラックスおよび環境因子

Date	Time	Soil respiration		$^{14}\text{CO}_2$ flux (F) [$\times 10^{-2}$ Bq m $^{-2}$ h $^{-1}$]	Temperature		Water content [vol.%]
		$\delta^{13}\text{C}_{\text{res}}$ [‰]	$\delta^{14}\text{C}_{\text{res}}$ [‰]		Air[°C]	Soil[°C]	
May 26, 2004	14:00	-25.7 \pm 1.8	54.2 \pm 13.4	1.69 \pm 0.15	17.8	13.6	29
Jun. 23, 2004	16:00	-26.0 \pm 0.9	89.0 \pm 7.5	3.30 \pm 0.19	21	19.6	NM ^a
Sep. 9, 2004	15:00	-22.3 \pm 0.5	113.7 \pm 7.6	4.54 \pm 0.21	24	22.7	NM
Nov. 8, 2004	7:30	-31.2 \pm 3.8	74.3 \pm 28.0	1.24 \pm 0.16	9	< 9	49
Nov. 8, 2004	14:00	-18.4 \pm 3.8	129.1 \pm 30.3	1.16 \pm 0.14	12	11.5	43
Nov. 9, 2004	10:30	-25.4 \pm 3.8	96.3 \pm 39.1	1.04 \pm 0.14	10	9.2	NM

^a Not measured.

3. 土壤有機物分解による CO_2 放出の炭素同位体比は、土壤有機物のもつ炭素同位体比と同じとし、土壤の平均値を用いる。
4. 土壤の液相に溶解される CO_2 は、土壤中 CO_2 の量に比べてわずかであるため無視する。

図2のような結果を得た。根呼吸は6月にもっともさかんで、その後、割合、 CO_2 放出量ともに減少した。これは、根呼吸が植物成長のさかんな初夏にもっとも促進されることに対応すると考えられる。土壤有機物分解・リター分解量は、土壤温度の変化に一致して変動し、土壤温度の高い時期にさかんになることがわかる。リター分解の11月における寄与が非常に小さい。この原因としては土壤温度の低下のほかに、リター層は地表面大気と接していることより、地表温度がリター分解に影響している可能性が考えられる。

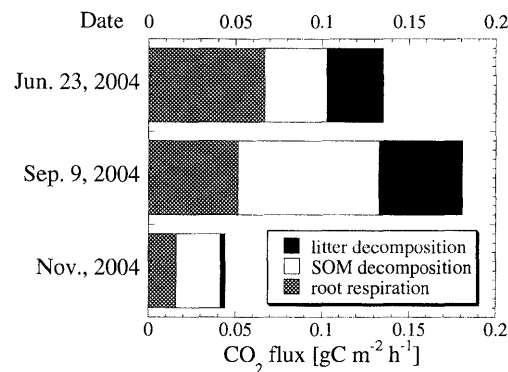


図2 土壤呼吸に対する各起源成分の寄与。

4 まとめ

山地森林で CO_2 フラックス観測を行った。その結果、林床からの CO_2 フラックス変動には土壤温度が主に関与し、リター分解の寄与は最大で27%であると評価した。そして、炭素同位体比を用いて土壤呼吸の起源成分の寄与を評価し、根呼吸は植物体の成長がさかんな時期に促進され、土壤有機物分解は土壤温度の高い時期に促進されることを得た。さらに、リター分解は土壤温度とともに、地表面温度にも影響されることが確認された。

謝辞

名古屋大学年代測定総合研究センターの中村俊夫教授にはタンデトロン加速器質量分析計2号機による ^{14}C 測定をしていただき、池田晃子技官には試料のグラファイト化調製についてご指導いただきました。この場を借りて深く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] H. Kitagawa, T. Masuzawa, T. Nakamura, and E. Matsumoto. A batch preparation method for graphite targets with low background for AMS ^{14}C measurements. *Radiocarbon*, Vol. 35, pp. 295–300, 1993.
- [2] W. G. Mook and J. van der Plicht. Reporting ^{14}C activities and concentrations. *Radiocarbon*, Vol. 41, pp. 227–239, 1999.
- [3] J. Moriizumi, K. Nagamine, T. Iida, Y. Ikebe, and T. Nakamura. Preparation of trace amount of atmospheric methane for measuring ^{14}C isotopic ratio. *Chikyukagaku (Geochemistry)*, Vol. 29, pp. 99–111, 1995. (in Japanese).

Evaluation of contribution of soil organic matter to soil respiration from a forest floor: consideration of litter layer

Fumitaka HOSOE* Jun MORIIZUMI†
Hiromi YAMAZAWA† Takao IIDA†

*Quantum Science and Energy Engineering Course, Department of Physical Science and Engineering, School of Engineering, Nagoya University
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, 464-8603, Japan
Tel. +81-52-789-4676 / Fax. +81-52-789-3782

†Department of Energy Engineering and Science, Graduate School of Engineering, Nagoya University

Abstract

To clarify the behavior of carbon in terrestrial ecosystem, soil CO₂ effluxes were measured in a deciduous forest by using closed chamber method. Soil temperature mainly took part in seasonal variation in soil CO₂ efflux from the forest floor. The contribution of litter decomposition to soil CO₂ efflux was evaluated as 27 % or less.

By using carbon isotope, the contributions of soil respiration sources were evaluated. Root respiration was promoted in the time of growth of vegetation, and decomposition of soil organic matter was promoted in the time when soil temperature was high. It was confirmed that not only soil temperature but also forest floor temperature influenced litter decomposition.

発表実績

細江史高, 森泉純, 山澤弘実, 飯田孝夫: “森林土壌表面からの二酸化炭素フラックスおよび同位体組成の評価”, 日本原子力学会中部支部 第36回研究発表会, R9, 2004年12月7日, 名古屋大学 VBL