

炭素同位体を用いた山地森林キャノピー内二酸化炭素輸送の研究

小林 均, 河合 伸太郎, 劉 衛, 森泉 純, 山澤 弘実, 飯田 孝夫

名古屋大学大学院工学研究科エネルギー理工学専攻

〒464-8603 名古屋市千種区不老町

Tel. 052-789-4677 Fax. 052-789-3782

1. はじめに

森林は地球温暖化ガスである大気中 CO_2 の吸収源として重要性が認識されている。一方、森林土壌は絶えず土壌呼吸により CO_2 を放出しているため、光合成がない夜間や冬季において森林は CO_2 の放出源となる。森林キャノピー内 CO_2 輸送の模式図を図 1 に示す。ここで、キャノピーとは土壌表面から樹冠までを指す。温暖化評価のための地表面過程のモデルでは、図 1 の各交換過程の温度依存性を評価しなければならない。森林の CO_2 吸収量を推定する方法として現在多用されているタワーを用いた渦相関測定法は高コストおよび図 1 の各過程の分離評価ができないという欠点がある。

天然の炭素には ^{12}C 、 ^{13}C 、 ^{14}C の 3 つの同位体が存在する。炭素同位体比は大気・植物体・土壌間で異なり、炭素循環過程を経て異なる同位体比に変化する（同位体分別効果）。特に放射性炭素 (^{14}C) の同位体比は 1963 年前後の核実験の影響により地表面付近に大きなピークを持ち、炭素循環のトレーサーとして利用できる。

そこで本研究では、林床を含めた森林全体の炭素循環過程を解明することを目的とし、炭素同位体の変動を用いてより簡便に CO_2 交換量を測定する方法を開発するために、その前段階として対象とする森林キャノピー CO_2 の動態について考察した。さらに、土壌呼吸については炭素の滞留時間が異なる三つの成分（リター分解・有機物分解・根呼吸）をその同位体比の変動を用いることで分離し、定量評価した。

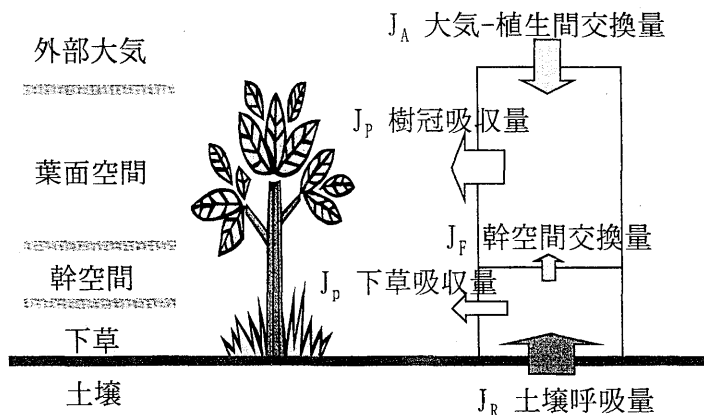


図 1 森林キャノピー内 CO_2 輸送の概略図。森林内を土壌・下草・幹空間・葉面空間・外部大気と定義し、それぞれの CO_2 交換量を図のように定義した。

2. 観測

CO₂フラックス観測を、2004年5、6、7、9、11月および2005年4、6、8、9、10、11月に愛知県稲武町(35° 12' N, 137° 24' E, 標高1010m)の名大付属演習林内のカラマツ林 (*Larix leptolepis*)で行った。観測では森林大気の採取及び、土壌呼吸量、幹空間交換量、気温、風速、土壌温度と土壌体積含水率の測定を行った。空気の採取口を外部大気、葉面空間、幹空間および下草内に6高度設定し、小型ポンプを用いてアルミニウムバッグ内に導き採取した。土壌呼吸量をチャンバーによる蓄積法で測定した。幹空間交換量を本手法の検証データ取得のため渦相関法により測定した。CO₂濃度を非分散型赤外吸口ガスアナライザにより測定した。炭素同位体分析には、名古屋大学年代測定総合研究センターのタンデトロン加速器質量分析計および安定同位体比質量分析計 (Finnigan MAT252, Thermo Electron Corp.) を用いた。

3. 土壌呼吸の測定と成分評価

測定結果によると夏季の高温期に極大を持つような季節変化が見られ、土壌呼吸量の温度依存性が示めされた。土壌呼吸量と土壌温度との関係を図2に示す。土壌温度の上昇にともなう土壌呼吸量の増加が見られた。土壌呼吸量は、表面のリター分解、土壌中の有機物分解及び根呼吸の3成分に分けられる。まず、リター分解の寄与評価のために、リターを取り除いた地表面においても土壌呼吸量を測定した結果、温度依存はあるものの土壌呼吸量に対して平均して27% (9月) の寄与があることが示された。

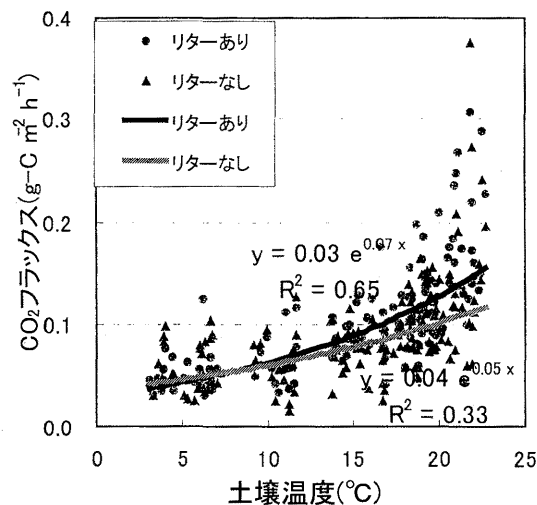


図2 土壌呼吸量の土壌温度依存性。曲線はリターありとなしの近似曲線である。

土壌呼吸、リター、土壌有機物及び根の炭素同位体比を用いて、土壌呼吸に対するそれぞれの起源成分の寄与割合をマスバランスにより評価した。 $\delta^{13}\text{C}$ を用いた場合は各成分の差が小さいので評価が困難であった。一方、 $\Delta^{14}\text{C}$ を用いた場合は図3に示した結果が得られた。根呼吸は森林の生育が盛んな6月に最大となりその後減少した。有機物分解およびリター分解は土壌温度が最も高かった9月に最大となった。

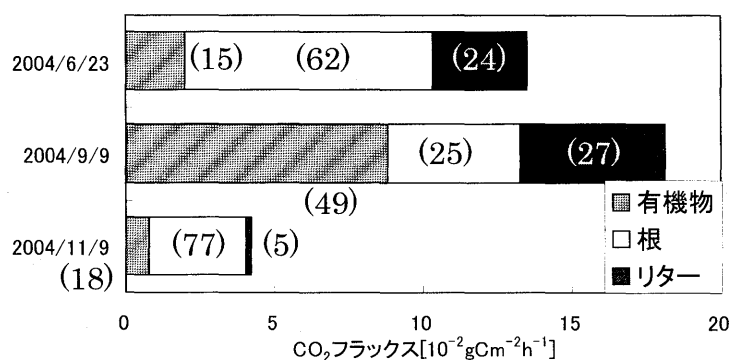


図3 土壤呼吸量の起源成分の寄与割合。カッコ内の数字はそれぞれの寄与割合 [%] である。

4. 森林キャノピー内CO₂輸送

観測されたCO₂濃度と安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) のキャノピー内鉛直分布の典型例を図4に示す。CO₂濃度分布には地表面で高い濃度が観測され、特に早朝に顕著である。これは夜間に土壤呼吸量が蓄積されたためである。 $\delta^{13}\text{C}$ についてはCO₂濃度との負の相関(キーリングの関係)が確認された(Keeling, 1958)。キーリングプロット(同位体比対濃度の逆数)の切片である呼吸成分は $\delta^{13}\text{C} = -25.8\%$ であった。この値はチャンバーによって測定された土壤呼吸量の $\delta^{13}\text{C} = -26.5\%$ とほぼ等しい。樹冠部の測定点(23m)において光合成が盛んである11:30には、樹冠によるCO₂吸収に伴う濃度の極小と $\delta^{13}\text{C}$ の極大が見られた。この特徴を利用し、炭素循環各成分の評価方法を開発できる可能性がある。

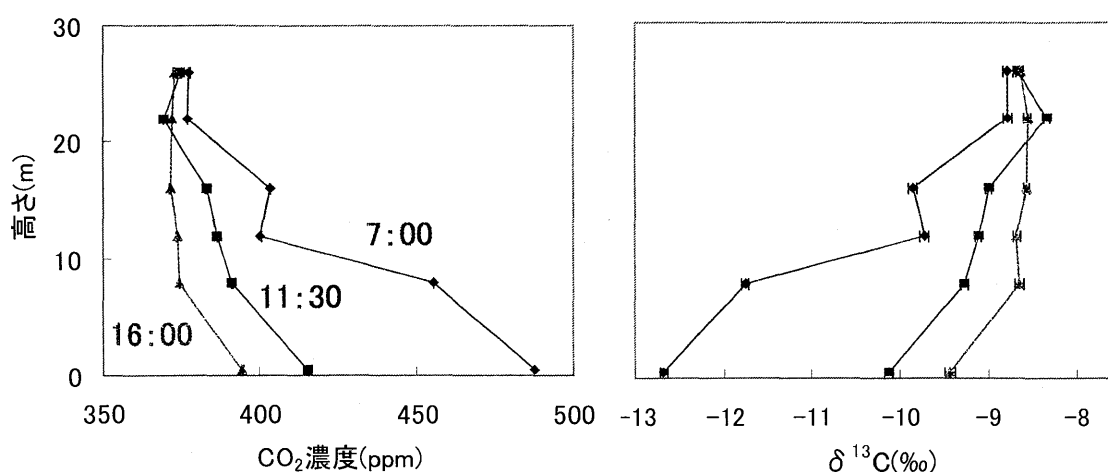


図4 CO₂濃度と $\delta^{13}\text{C}$ の鉛直分布(2005/8/5)

森林キャノピー内CO₂の $\delta^{14}\text{C}$ 鉛直濃度分布の観測結果を図5に示す。森林キャノピー内CO₂の $\delta^{14}\text{C}$ 分布については $\delta^{13}\text{C}$ のような統一的な解釈にまだ達しているとはいえない。森林キャノピー内CO₂の $\delta^{14}\text{C}$ の変動要因は以下の三つが考えられる。1) 土壤呼吸により異なる $\delta^{14}\text{C}$ をもつCO₂が付加される、2) 植生の光合成による分別作用で大気中の $\delta^{14}\text{C}$ は重くなる、3) 森林大気と上空大気との鉛直混合により希釈される、である。しかし、土壤呼吸の影響と光合成の影響を図5では見ること

ができない。上空大気の影響を考慮するために、上空の点だけ考えると、同日では午前より午後の方が $\delta^{14}\text{C}$ は重くなっている。これは上空の点だけに見られるため、上空大気は何らかの形で関与しているのではないかと考えられる。このように、現時点ではキャノピー内 CO_2 の $\delta^{14}\text{C}$ の鉛直分布および時間変化をすべて合理的に説明することができない。しかし、 $\delta^{14}\text{C}$ 分布には大きな変動が見られるので、これを用いることで森林キャノピーの炭素循環について新しい知見が得られる可能性が考えられる。

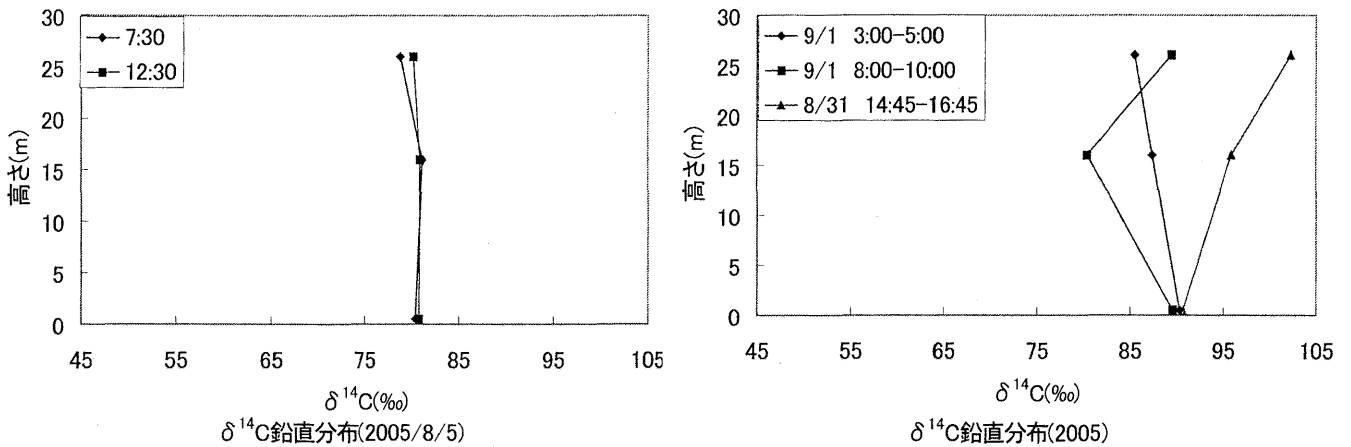


図5 CO_2 濃度と $\delta^{14}\text{C}$ の鉛直分布 (2005 年)

5. まとめと今後の課題

土壌呼吸量は主に土壌温度に依存して変動した。炭素同位体比を用いて土壌呼吸量に対する各起源成分の寄与割合を評価した。土壌呼吸量に対する発生源は季節によって異なる割合で寄与することが示された。

森林キャノピー内 CO_2 の濃度と $\delta^{13}\text{C}$ には負の相関があり、それぞれが土壌呼吸や光合成の影響を受けたためと考えられる。この特徴を利用することにより、炭素循環各成分の評価方法を開発できる可能性がある。

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、小田 寛貴助手、池田 晃子技官、太田 友子氏には試料のグラファイト化の指導、またタンデトロン2号機での測定など様々なご指導をいただきました。ここに心よりお礼を申し上げます。

名古屋大学生命農学研究科演習林の柴田 叡弍教授、今泉 保次技官、山口 法雄技官には演習林での観測にご助力いただきました。ここに深く感謝いたします。

引用文献

Keeling, C.D. 1958. The concentration and isotopic abundances of atmospheric carbon dioxide in rural areas. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 13: 322-334.

Behavior of carbon dioxide in a montane forest canopy inferred from the carbon isotopic analysis

Hitoshi KOBAYASHI, Shintaro KAWAI, Wei LIU, Jun MORIIZUMI,
Hiromi YAMAZAWA, and Takao IIDA

Department of Energy Engineering and Science, Graduated School of Engineering,
Nagoya University
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603, Japan
Tel.052-789-4676 Fax.052-789-3782

ABSTRACT

To clarify behavior of carbon in a forest canopy, vertical profiles of concentration and carbon isotopic ratios of CO₂ in canopy air and CO₂ effluxes from a forest floor were measured in a larch forest by using closed chamber method. Soil temperature was the most influential factor in seasonal variation in CO₂ effluxes from the forest floor.

By using information on carbon isotope composition, the contributions of soil respiration sources to CO₂ effluxes were evaluated. Root respiration was promoted in the period of vegetation growth, and decomposition of soil organic matter was enhanced when soil temperature was high. It was confirmed that not only soil temperature but also air temperature in the forest influenced litter decomposition.

CO₂ concentrations in the canopy were generally low during daytime and high at night, while $\delta^{13}\text{C}$ shows an opposite trend in the present study. This depletion of CO₂ concentration would be caused by photosynthesis of larch. Moreover, this low $\delta^{13}\text{C}$ values are influenced by soil respired CO₂. It is considered that CO₂ transport in the canopy can be estimated by using these characters and variations of these.

学会・学会誌への発表論文

H. Kobayashi, F. Hosoe, J. Moriizumi, H. Yamazawa, T. Iida, (2004), Evaluation of contribution of soil organic matter to soil respiration from a forest floor using carbon-14, ISORD-3 (大原、中国)