

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19510024

研究課題名 (和文) 放射性炭素を利用した土壌呼吸起源の定量的評価とその変動因子

研究課題名 (英文) Use of radiocarbon to identify the origin of soil respiration

研究代表者

安藤 麻里子 (ATARASHI-ANDOH MARIKO)

独立行政法人・日本原子力研究開発機構・原子力基礎工学研究部門・研究副主幹

研究者番号：20354855

研究成果の概要：土壌表面から放出される CO₂ の起源には植物の根呼吸と微生物呼吸（土壌有機物分解とリター分解）がある。植物体と土壌有機物が異なる放射性炭素濃度（以下、 $\Delta^{14}\text{C}$ ）を持つことを利用し、土壌呼吸中 $\Delta^{14}\text{C}$ と各起源が放出する CO₂ の $\Delta^{14}\text{C}$ を測定することで、根呼吸と微生物呼吸を分けて評価する手法を開発した。その手法を用い、岩手県安比森林気象試験地（ブナ二次林）を対象として、積雪期を除いた5月から10月の間月1回観測を実施し、各土壌呼吸起源からの CO₂ フラックスの定量的評価を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2008 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学

キーワード：地球温暖化、森林炭素循環

1. 研究開始当初の背景

全球の陸域生態系において、土壌中に保持される炭素は 1500Pg に及ぶと推定され、植物体に貯留されている炭素の約3倍、大気中炭素量の約2倍に相当する。地球温暖化によりこれらの炭素が分解されて二酸化炭素（以下 CO₂）になって放出されれば、さらに大気

中の CO₂ が上昇し、さらなる温暖化を引き起こす可能性が指摘されている。

地表面から放出される CO₂ は土壌呼吸と呼ばれ、植物の根呼吸と土壌有機物の分解による呼吸（以下、微生物呼吸）から構成される。地球温暖化が土壌有機物の分解に与える影響を評価するためには、微生物呼吸と温度の

関係を観測し、微生物呼吸生成のメカニズムを明らかにすることが必要である。しかし、微生物呼吸だけを測定することはできず、何らかの方法で植物の根呼吸と微生物分解呼吸を分離して解析する必要がある。これらの分離には今まで様々な方法が試行されてきたが、いずれの方法も不確実性が大きく、また観測には非常に多くの労力と時間を要した。

本研究で着目する放射性炭素 (^{14}C) は炭素の放射性同位体 (半減期 5730 年) であり、人工的な核利用の開始以前は環境中の濃度は 220 Bq/gC [$\Delta^{14}\text{C}$ ($^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ の千分率偏差) では 0 ‰] 程度で平衡状態にあった。1960 年代の大気圏内核実験によりおよそ倍まで濃度が上昇したのをピークに再び減少し、現在の大気中濃度は核利用前とほぼ同じレベルに戻っている。一方、土壌中には濃度の高い時期に生育した植物遺体が土壌有機物として残留しており、土壌有機物炭素は現生の植物体構成炭素よりも多くの ^{14}C を含むという不均一な濃度分布が存在する。このことから、各 CO_2 発生源の ^{14}C 濃度と土壌呼吸の ^{14}C 濃度の変動を測定することによって、根呼吸と微生物呼吸を分離することが可能である。

2. 研究の目的

本研究では、各 CO_2 発生源の ^{14}C 濃度 (以下、 $\Delta^{14}\text{C}$) と土壌呼吸の CO_2 の $\Delta^{14}\text{C}$ の変動を測定することによって、根呼吸と微生物呼吸を分離する方法論を確立することを目指す。土壌呼吸の CO_2 の $\Delta^{14}\text{C}$ ($\Delta^{14}\text{C}_{\text{SR}}$) は、微生物呼吸の CO_2 の $\Delta^{14}\text{C}$ ($\Delta^{14}\text{C}_{\text{MR}}$) と根呼吸の CO_2 の $\Delta^{14}\text{C}$ ($\Delta^{14}\text{C}_{\text{RR}}$) から以下の式で決定される。

$$\Delta^{14}\text{C}_{\text{SR}} = a \times \Delta^{14}\text{C}_{\text{MR}} + (1-a) \times \Delta^{14}\text{C}_{\text{RR}} \quad \text{式(1)}$$

ここで、 a は微生物呼吸が土壌呼吸に占める割合である。

$\Delta^{14}\text{C}_{\text{SR}}$ は実測可能なので、 $\Delta^{14}\text{C}_{\text{MR}}$ と $\Delta^{14}\text{C}_{\text{RR}}$ が推定できれば、土壌呼吸に占める微生物呼吸と根呼吸の割合がわかる。土壌有機物に含まれる炭素 $\Delta^{14}\text{C}$ 測定及び大気中 CO_2 の $\Delta^{14}\text{C}$ 測定から $\Delta^{14}\text{C}_{\text{MR}}$ と $\Delta^{14}\text{C}_{\text{RR}}$ を推定し、微生物呼吸と根呼吸の割合を評価した。

3. 研究の方法

(1) 土壌呼吸起源の寄与率の評価

AsiaFlux ネットワークの安比試験地 (ブナ 2 次林、樹齢 70 年前後; 岩手県八幡平市) を対象とし、以下の実験を実施した。

- ・ 林内大気中 CO_2 濃度及び $\Delta^{14}\text{C}$ の高さ分布測定
 - ・ 土壌各層の $\Delta^{14}\text{C}$ 測定
 - ・ 土壌培養実験による土壌各層からの CO_2 放出速度測定
 - ・ 密閉チャンバー法により、リターがある状態及びリターを取り除いた状態での土壌呼吸速度と $\Delta^{14}\text{C}$ の測定
 - ・ 密閉チャンバー法によるリターからの CO_2 放出速度の測定
- 上記の実験結果より、以下の値を求める。
- ・ 土壌呼吸に対するリター分解の割合
 - ・ リターを除いた状態での土壌呼吸中 $\Delta^{14}\text{C}$ ($\Delta^{14}\text{C}_{\text{SR}}$)
 - ・ 根呼吸中 $\Delta^{14}\text{C}$ ($\Delta^{14}\text{C}_{\text{RR}}$): 林内大気 CO_2 中 $\Delta^{14}\text{C}$ と同じとして推定
 - ・ 土壌有機物分解による CO_2 中 $\Delta^{14}\text{C}$ ($\Delta^{14}\text{C}_{\text{MR}}$): 土壌各層有機物中 $\Delta^{14}\text{C}$ と、培養実験により求めた全 CO_2 放出に対する各層の寄与率から推定

上記で求めた $\Delta^{14}\text{C}_{\text{SR}}$ 、 $\Delta^{14}\text{C}_{\text{MR}}$ 、 $\Delta^{14}\text{C}_{\text{RR}}$ の値を用いて式(1)より微生物呼吸と根呼吸の放出割合を求めた。さらに、リター分解を含めた土壌呼吸速度とリター分解の寄与率を用いて、各起源 (根呼吸、リター分解、土壌有機物分解) それぞれの CO_2 放出速度を定量的に

表した。

(2) 各土壌呼吸起源 CO₂ 放出の季節変動

安比試験地において、積雪期を除く期間（5月から11月）に月1回、(1)で確立した手法で土壌呼吸起源推定を実施した。実験時には同時に気温・地温の測定を行い、温度変化と各起源からの CO₂ 放出速度の関係を調べた。

4. 研究成果

(1) 大気中 Δ¹⁴C 濃度

2007年5月から10月の大気中 Δ¹⁴C は平均で 37 ‰ (25-48 ‰) であり、地面のごく近く（高さ 50cm）がわずかに高めの値を示す以外は高さによる変化はなかった。そこで、根呼吸 Δ¹⁴C の推定値としてブナの葉が多く茂っている 9m から 18m 高さの平均値を用いることとした。2008 年の大気中 Δ¹⁴C 値は 30 ‰ (18-43 ‰) であり、化石燃料使用の影響等を受け前年度に比較して約 7 ‰ 低下した。

(2) 土壌有機物分解 CO₂ 中 Δ¹⁴C の推定

2007年5月採取したコアの土壌有機物中 Δ¹⁴C は、核実験起源 ¹⁴C の影響と ¹⁴C の放射壊変による低下により表層が高く下層に行くに従って低下する分布を示した。表層 0-2cm では 167 ‰、深さ 15-20cm の層で -97 ‰ を示し、Δ¹⁴C と平均滞留時間の関係を表したモデルを用いた推定を行うことにより、表層で約 20 年、深さ 15-20cm の層で約 1000 年の平均滞留時間を示すことが明らかとなった。培養実験により深さ 20cm までの土壌層の CO₂ フラックスに対する各層の寄与率を求めた結果、表層 6cm までで全体の 85% を占めた。季節変動による土壌温度の深度分布を考慮にいたれた各層の CO₂ フラックスの寄与率と土壌各層有機物中 Δ¹⁴C 値の積より求めた土壌有機物分解 CO₂ 中 Δ¹⁴C の推定値は、表層の温度が高い 6月の 127 ‰ から深い土壌層の温度

が表層よりも高くなる 10月の 118 ‰ まで変化した。

(3) 土壌呼吸中 Δ¹⁴C の季節変動

2007年5月から10月まで土壌呼吸速度及び土壌呼吸中 Δ¹⁴C を、リターのある状態とない状態、リターだけの状態で密封チャンバ法を用い毎月1回測定した。土壌呼吸速は土壌温度の変化と対応して5月から8月にかけて上昇し、その後低下した。リターのみからの CO₂ 放出速度とリターを除いた状態での土壌呼吸速度を用いて、リターからの CO₂ 放出が土壌呼吸に占める寄与率を計算すると、6月から9月の間は約 30% 前後であり、5月は 38%、10月は 52% と春と晩秋に寄与率が高くなった。秋の落葉でリター量が増加することや、春に地温に比べて測定時の気温が高かったことが原因と考えられる。土壌呼吸中 Δ¹⁴C は各季節ともリターを含めた状態と比べ、リターのない状態で測定した時が高く、土壌表層の高い Δ¹⁴C 濃度を持つ層の分解により土壌呼吸中 Δ¹⁴C が高くなっていること、より最近に固定された炭素であるリターの分解により放出される CO₂ が土壌層から放出される CO₂ よりも Δ¹⁴C 値が低いことが示された。

(4) 土壌呼吸起源推定

上記で得た根呼吸及び土壌有機物分解起源の CO₂、リターを除いた状態での土壌呼吸の Δ¹⁴C から式(1)を用いて各土壌呼吸起源の寄与率を推定し、全土壌呼吸速度から各起源の CO₂ 放出速度を求めた。結果として、リター分解と土壌有機物分解による CO₂ 放出速度は、8月にピークを示す地温の変動と高い相関を持つ変動を示した。一方で、根呼吸は7月に CO₂ 放出速度が高い季節変動を示した。リター分解と土壌有機物分解について、地温と CO₂ 放出速度の関係を指数関数を用いて表し、地温の連続測定結果を用いて年間の CO₂ 放出量を推定した。結果より、年間の土壌呼

吸量に対する各起源の寄与率は、リター分解が 34%、土壤有機物分解が 31%、根呼吸が 35%となった。本研究により土壤を攪乱せずと同じ場所で土壤呼吸起源の分別定量が可能となり、季節変動を測定することで、地温とリター分解及び土壤有機物分解の関係をより正確に評価することができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

(1) J. Koarashi, M. Atarashi-Andoh, S. Ishizuka, S. Miura, T. Saito, K. Hirai, Quantitative aspect of heterogeneity in soil organic matter dynamics in a cool-temperate Japanese beech forest: a radiocarbon-based approach, *Global Change Biology* 15, pp 631-642, 2009 査読有

(2) J. Koarashi, M. Atarashi-Andoh, S. Ishizuka, T. Saito, K. Hirai, S. Miura, Radiocarbon-based estimation of soil carbon turnover in a cool-temperate beech forest, *Proceedings of International Symposium on Application of a Closed Experimental System to Modeling of ^{14}C Transfer in the Environment*, pp 72-76, 2008 査読無

(3) 安藤麻里子、小嵐淳、石塚成宏、齋藤武史、平井敬三、 ^{14}C をトレーサーとして利用した森林中炭素挙動研究、第 1 回 JAEA タンデトロン AMS 利用報告会プロシーディング、JAEA-Conf 2008-003, pp 75-78, 2008 査読無

[学会発表] (計 5 件)

(1) M. Atarashi-Andoh, J. Koarashi, S. Ishizuka, T. Saito, K. Hirai, The use of carbon isotopes to identify the origin of

soil-respired CO_2 in beech forest, *International Symposium on Isotope Science and Engineering from Basics to Applications*, Nagoya, Japan, September 17-20, 2007

(2) J. Koarashi, M. Atarashi-Andoh, S. Ishizuka, T. Saito, K. Hirai, S. Miura, Radiocarbon-based estimation of soil carbon turnover in a cool-temperate beech forest, *International Symposium on Application of a Closed Experimental System to Modeling of ^{14}C Transfer in the Environment*, Rokkasho-muram, Japan November 15-16, 2007

(3) 小嵐淳、安藤麻里子、石塚成宏、齋藤武史、平井敬三、三浦覚、放射性炭素が示す土壤の炭素貯留機能と温暖化に対する潜在的応答、日本原子力研究開発機構-東京大学大学院工学系研究科原子力専攻連携重点研究・課題 5 「放射性廃棄物処分研究のためのネットワーク」ワークショップ、東海村 2007 年 9 月 3 日

(4) 安藤麻里子、小嵐淳、石塚成宏、齋藤武史、平井敬三、 C-14 をトレーサーとして利用した森林中炭素挙動研究、第一回 JAEA タンデトロン AMS 利用報告会、むつ市 2007 年 11 月 14 日

(5) 安藤麻里子、小嵐淳、 ^{14}C を利用した森林炭素挙動研究、炭素-14 の環境循環に関する研究会、千葉市 2008 年 12 月 15 日

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

(1) プレス発表

平成 20 年 10 月 21 日 放射性炭素を利用して、温暖化が土壌の炭素貯留能力に及ぼす影響を予測 - より高精度の地球温暖化予測手法の確立に期待 -

(2) ホームページ

<http://www.jaea.go.jp/04/nsed/ers/environment/envs/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安藤 麻里子 (ATARASHI-ANDOH MARIKO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・原子力基礎工学研究部門・研究副主幹

研究者番号：20354855

(2) 研究分担者

小嵐 淳 (KOARASHI JUN)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・原子力基礎工学研究部門・研究職

研究者番号：30421697

(3) 連携研究者

齋藤 武史 (SAITO TAKESHI)

独立行政法人森林総合研究所・企画部・地域林業室長

研究者番号：50353694

石塚 成宏 (ISHIZUKA SHIGEHIRO)

独立行政法人森林総合研究所・立地環境研究領域・主任研究員

研究者番号：30353577