

科学研究費補助金研究成果報告書

平成 24 年 4 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2011

課題番号：22780146

研究課題名(和文) 炭素安定同位体ラベリングを用いた森林地下部炭素循環の解明

研究課題名(英文) Breakthrough of underground carbon cycle in the forest ecosystems using carbon stable isotope labeling technique

研究代表者

檀浦 正子 (DANNOURA MASAKO)

京都大学・大学院農学研究科・助教

研究者番号：90444570

研究成果の概要(和文)：

炭素安定同位体ラベリング手法を森林樹木に適用し、レーザー同位体分光装置を用いて幹・根呼吸中の $^{13}\text{CO}_2$ を測定することによって、炭素が樹体に取り込まれ、滞留・循環し、放出されていく様子を定量化することを目指した。コナラ成木に計7回のラベリングを行い、炭素の移動速度を計算した。夏にはラベリングから半日程度で粗根まで、1日程度で細根まで到達していたが、秋には遅くなっており、炭素の移動速度に季節変化があることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：

To better understanding of belowground carbon cycle in the forest ecosystems, ^{13}C labeling method was applied to a *Quercus serrata* tree in the field 7 times in 2011. Respired $^{13}\text{CO}_2$ from trunks, coarse and fine root was tracked using tunable diode laser absorption spectrometry to determine time lags and the velocity of carbon transfer. The seasonal dependencies were observed with shorter time-lags and higher velocity in the summer and longer time-lag and lower velocity in the autumn.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：炭素安定同位体・パルスラベリング・森林炭素循環・根呼吸

1. 研究開始当初の背景

陸上生態系の中で、森林は主たる炭素の蓄積庫(シンク)であり、放出源(ソース)である。森林と大気間の CO_2 観測から、光合成生産物の80%が呼吸として大気に戻されることや(Law et al., 2002)、50-70%までの生態系呼吸量が土壌から放出されること

(Law et al., 1999)が報告されており、呼吸活動が生態系純生産量の変動を説明する大きな要因となっていることが示されている(Valentini et al., 2000)。

これまで土壌呼吸における短期間での変動は経験式によって記述されてきた。しかし、従属栄養呼吸はリターの質や土壌の微生物

層に大きく左右されるのに対し、独立栄養呼吸は光合成と関係があり地上部の状態に大きく影響をうけると考えられる。気候変動や林分の変化による長期的な変動予測のためには、それぞれの成り立ちを理解し、因果関係を考慮した解析およびモデルの確立が求められる。

土壌—植生—大気—伝達モデル (SVAT) は生態系と大気間の炭素交換や相互作用を取り扱い、気候変動に対する反応予測を行う際に欠くことのできないツールのひとつであり、炭素安定同位体指標は SVAT のパラメタリゼーションに重要な役割を果たしている。しかし、炭素安定同位体比を用いた森林における炭素循環に関するこれまでの研究は、キーリングプロットによって生態系呼吸の炭素安定同位体比をバルクに評価する研究が中心であり、森林内部各コンパートメントの詳細な情報は今だ未知のままである。このため SVAT モデルは、光合成によって得られた炭素の分配率や呼吸活動などの機能的な部分を網羅していない (Magnani et al., 2000)。近年、レーザー分析計 (TDLS: Tuneable Diode Laser Spectrophotometer) の開発によって同位体測定手法が飛躍的に向上し、生態系各コンパートメントにおける安定同位体比の連続観測が始まるなど (Wingate et al., 2008) 様々な可能性が示されはじめた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、安定同位体炭素のパルスラベリング手法を用いて、光合成によって得られた炭素が根系へ分配され、一部は「成長・代謝に使われ」、「呼吸として放出され」、残りは「樹体に蓄積され」ていく様子を記述し、これらの情報をよりよい生態系炭素循環モデルの開発に資することである。そのために、安定同位体比を現場で高頻度で測定できる TDLS を導入し、根からの CO₂ を測定できる新しいチャンバーによる呼吸観測と、ラベリング後のサンプル分析を組み合わせる。

3. 研究の方法

安定同位体炭素のパルスラベリング手法とは通常大気中に 1% 程度含まれている安定炭素同位体をトレーサーとして用い、その動きを追跡することである。樹冠に透明なチャンバーをかぶせ、99.9% の ¹³C₂O₂ を注入し、光合成によって固定させる。呼吸によって樹体の各部位から放出される CO₂ 中の ¹³C₂O₂ の濃度は TDLS を用いて現場で測定し、有機物として樹体・土壌に含まれる炭素中の ¹³C はサンプリング後の分析によって測定する。本課題は主に 2 つの研究からなる。

(1) フランスにおけるサンプリング

フランスにおいて 2008 年から 2009 年にかけて、ブナ、ナラ、マツの 3 樹種においてラベリング実験が行われた。この後、定期的に土壌サンプリングを行い、土壌中の根・微生物に含まれる ¹³C および、¹³CO₂ を測定した。

(2) 西日本で代表的に見られる里山広葉樹二次林である山城水文試験地 (34°47' N, 135°50' E) において、優先樹種である樹高 11.7 m、胸高直径 33.7 cm のコナラを対象木とした。樹幹最頂部の枝に設置したラベリングチャンバーに ¹³CO₂ を注入し、一定期間光合成によって ¹³CO₂ を固定した後、幹の 9, 7, 5.4m 地点、および、根、細根、菌糸を対象としてチャンバーを設置し、各チャンバーをレーザー式同位体分光装置 (EnviroSence-2050, Picarro, USA) に接続し、呼吸として放出される CO₂ 中の ¹³CO₂ 濃度を測定した。このラベリング実験を、生育期である初夏から晩秋にかけて (Jul/28, Aug/4, Aug/17, Sep/8, Sep/28, Oct/19, Nov/3) 合計 7 回行った。

4. 研究成果

(1)

落葉広葉樹であるブナ、ナラにおいて行われたラベリング実験の結果では、土壌呼吸として放出されるまでの時間は、ブナで 10–32 時間、ナラで 10–28 時間であり、このばらつきは実験に使用した個体サイズの違いによって説明された。常緑針葉樹であるマツでは、落葉広葉樹と比較して遅く、季節によって大きな違いが見られ、1.6–4.4 日後であった (Dannour et al., 2011)。TDLS による観測の結果、光合成で固定された炭素のうち、土壌呼吸に配分される炭素は、ブナ (*Fagus sylvatica* L.) で生育期に最大の 18–21%、5 月や 8 月は 1–8%、オーク (*Quercus petraea* Matt Liebl) で 7–11%、マツ (*Pinus pinaster* Ait) で生育期に 7–10%、休眠期に 1–4% と、季節によって割合が異なり樹種固有のフェノロジーによってその配分率を変えていることが明らかになった。また、定期的な細根と土壌 (有機物) のサンプリングによって、根を介して地下部に送られた炭素はすぐに菌根・菌糸へと移動していることが示された (研究成果・論文②)

(2) 西日本で代表的に見られる里山広葉樹二次林である山城水文試験地 (34°47' N, 135°50' E) において、優先樹種である樹高 11.7 m、胸高直径 33.7 cm のコナラを対象木とした。樹幹最頂部の枝に設置したラベリングチャンバーに ¹³CO₂ を注入し、一定期間光合成によって ¹³CO₂ を固定した後、幹の 9, 7, 5.4m 地点、および、根、細根、菌糸を対象と

してチャンバーを設置し、各チャンバーをレーザー式同位体分光装置 (EnviroSence-2050, Picarro, USA) に接続し、呼吸として放出される CO_2 中の ^{13}C 濃度を測定した。このラベリング実験を、生育期である初夏から晩秋にかけて (Jul/28, Aug/4, Aug/17, Sep/8, Sep/28, Oct/19, Nov/3) 合計 7 回行った。

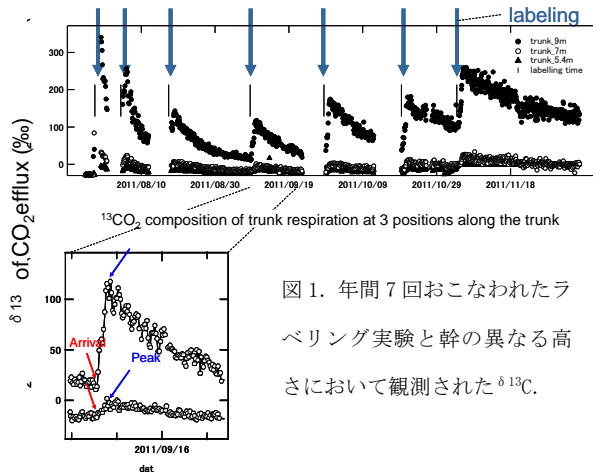


図 1. 年間 7 回おこなわれたラベリング実験と幹の異なる高さにおいて観測された $\delta^{13}\text{C}$.

ラベリング実験後、呼吸として放出される $^{13}\text{CO}_2$ の濃度上昇は、まず幹上部 (9m 地点) のチャンバーで検出され、次にその下部 (7m 地点)、最下部 (5.4 m) で順に検出された (図 1)。濃度上昇は徐々に弱くなり、根・細根では僅かながら濃度の上昇が検出されたが、菌糸からは検出されなかった。これはラベリング強度が十分ではなかったか、あるいは菌糸が十分に発達していなかったことが考えられる。図 1 に見られるように、いずれの季節のラベリング実験においても、 $^{13}\text{CO}_2$ の濃度上昇シグナルは、急激に上昇しピークをむかえたあと、減少するパターンを示した。シグナルが現れた時間は、そのチャンバーが設置された場所に光合成産物が到達し、呼吸として使用されるまでの最速の時間であり、ピークを迎える時間は、多くの光合成産物が到達する平均の時間であると考えられる。炭素がそれぞれのチャンバーにおいて、光合成から呼吸で放出されるまでの最速の時間と平均の時間が計算された。夏季には半日程度 (平均 13.3 時間) で樹木内を粗根まで移動し、細根には 1 日程度 (平均 25.6 時間) で到達していた。この時間は、幹では秋 (10, 11 月) でもやや遅くなる程度であったが、細根に到達するまでの時間は 51.7 時間と倍程度遅くなっていた。最も多くの炭素が呼吸として放出されたのは、細根をのぞいてほぼ同じ時間であり、夏季には地上部から根までは 43.9 時間、秋には 54.4 時間であり、細根では夏季に 50.7 時間、秋には 95.8 時間であった。このように、秋になり気温が低下すると、夏季と比較して遅くなっていた。本研究では、同一個体を使用しており、落葉広葉樹においても季節によって炭素の移動速度が異なることが示された。

すなわち、土壌から放出される二酸化炭素は、数日前の樹木の活動に影響され、そのタイミングや量は樹種や季節によって異なることが示された。このことは気候変動予測等にとって重要な情報になると考えられる。

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 4 件)

- ①Epron D., Bahn M., Derrien D., ALFREDO Lattanzi A. F., Pumpanen J., Gessler A., Hogberg P., PASCALE Maillard P., Dannoura M., Gerant D., Buchmann N. Pulse-labelling trees to study carbon allocation dynamics: a review of methods, current knowledge and future prospects. *Tree Physiology*, *Accepted*, 2012. 査読有
- ②檀浦正子、根をめぐる炭素循環—炭素安定同位体ラベリングを用いたアプローチ—、森林科学、2012. 査読有
- ③Epron D., Ngao J., Dannoura M., Bakker M. R., Zeller B., Bazot S., Bosc A., Plain C., Lata J. C., Priault P., Barthes L. and Loustau D.. Seasonal variations of belowground carbon transfer assessed by *in situ* $^{13}\text{CO}_2$ pulse labelling of trees. *Biogeochemistry*, 8, 1-6, 2011. 査読有 DOI:10.5194/bg-8-1-2011
- ④Dannoura M., Maillard P., Fresneau C., Plain C., Berveiller D., Gerant D., Chipeaux C., Bosc A., Ngao J., Damesin C., Loustau D., and Epron D., In situ assessment of the velocity of carbon transfer by tracing ^{13}C in trunk CO_2 efflux after pulse labelling: variations among tree species and seasons, *New Phytologist.*, 190, 181-192, 2011. 査読有 DOI: 10.1111/j.1469-8137.2010.03599.x

[学会発表] (計 11 件)

- ①Andreasson F., Dannoura M., Kominami Y., Hirano Y., Makita N. and Ataka M. The Role of Mycorrhizal Hyphae in Carbon Allocation in Temperate Forest Soils. 第 123 回日本森林学会、2012 年 3 月 27-29 日、宇都宮大学、宇都宮、日本
- ②Andreasson F., Dannoura M., Kominami Y., Hirano Y. and Makita N., Mycorrhizal Hyphae Respiration and Production. 59th Annual Meeting of Ecological Society of Japan joint with The 5th EAFES (East Asian Federation of Ecological Societies) International Congress, 2012

- 年3月17-21日、龍谷大学、滋賀、日本
- ③ Dannoura M., Kominami Y., Takanashi S., Yoshimura K., Ataka M., Andreasson F., Epron D., Makita N., Okumura M., and Takanashi K. Time lag between photosynthesis and respiration in *Quercus serrata* tree using ^{13}C pulse labeling. ISAM2012: International Symposium in Agricultural Meteorology, 2012年3月15日、大阪府立大学、堺市、日本
- ④ Dannoura M., Bosc A., Epron D. Coarse root respiration measurement using automatic chamber system, The JSRR's 20th Anniversary Symposium The Latest Frontiers of Root Research in Asia. 2011年11月5-6日、東京大学、東京、日本
- ⑤ Andreasson F., Dannoura M., Kominami Y., Hirano Y., Makita N. and Ataka M. Mycorrhizal Hyphae Respiration. The JSRR's 20th Anniversary Symposium The Latest Frontiers of Root Research in Asia. 2011年11月5-6日、東京大学、東京、日本
- ⑥ 檀浦正子・小杉 緑子・牧田 直樹・兼光 修平・高梨 聡・新山 馨・田中 克典・春田 岳彦・樹木(独立栄養)呼吸に占める根呼吸の役割、2011年3月25-28日、第122回日本森林学会、静岡大学、静岡、日本
- ⑦ Dannoura M., Bosc A., Chipeaux C., Trichet P., Lambrot C., Sartore M., Bakker M., Loustau D. and Epron D., Carbon allocation belowground in *Pinus Pinaster* using stable carbon isotope pulse labeling technique. AGU Fall meeting., 2010年12月13-17日、サンフランシスコ、USA
- ⑧ Dannoura M., Bosc A., Chipeaux C., Trichet P., Lambrot C., Sartore M., Bakker M., Loustau D. and Epron D., Carbon allocation in *Pinus Pinaster* using stable carbon isotope pulse labelling technique. Symposium on the usage of new techniques to understand gas exchange and carbon dynamics in the forest ecosystem. 2010年11月1日、京都大学、京都、日本
- ⑨ Dannoura M., Bosc A., Chipeaux C., Trichet P., Lambrot C., Sartore M., Bakker M., Loustau D. and Epron D., Continuous measurement of isotope composition of root respiration., COST 2010年9月1-4日、リュブリャナ、エストニア
- ⑩ Dannoura M., Bosc A., Chipeaux C., Trichet P., Lambrot C., Sartore M., Bakker M., Loustau D. and Epron D.

Isotope composition of CO_2 efflux in root respiration. Fifth International Symposium on Physiological Processes in Roots of Woody Plants. 2010年8月8-12日、ビクトリア、カナダ

- ⑪ 檀浦正子, Daniel Epron, Denis Loustou, 光合成産物は何時間で根・土壌圏に到達するのか? 2010年4月2-5日、筑波大学、つくば、日本

6. 研究組織

(1) 研究代表者

檀浦正子 (DANNOURA MASAKO)
京都大学・大学院農学研究科・助教
研究者番号: 90444570

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: