

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 24 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24380080

研究課題名(和文)安定同位体パルスラベリングを用いた樹木内炭素循環速度の樹種間比較

研究課題名(英文)Comparison of carbon flow among tree species using ^{13}C pulse labelling technique

研究代表者

檀浦 正子 (Dannoura, Masako)

京都大学・地球環境学堂・助教

研究者番号：90444570

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円

研究成果の概要(和文)：環境変動予測のためには、陸域炭素循環において大きな役割をもつ森林の炭素循環解析およびモデルの確立が必要である。

そこで、炭素同位体パルスラベリングをアカマツ、コナラ、ミズナラ、マテバシイに適用し樹木内の炭素移動速度および樹木内滞留時間の樹種間比較を行った。

アカマツにおける移動速度は広葉樹と比較して遅く、樹木内滞留時間には季節変動がみられ特に冬季は顕著に遅くなった。ミズナラ・マテバシイについては大きな違いは見られなかった。コナラの葉に固定された炭素は4日程度でそのほとんどが幹へと移動した。しかしラベリングから長期間経過後も ^{13}C が残存し、同化産物によって滞留時間が異なることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Forest ecosystems have large and complex contribution to the carbon balance of biosphere. For global change forecasting due to the climate change, it is needed to get a deeper understanding of the system for more mechanistic modeling of carbon acquisition and partitioning within trees and within the different ecosystem pools.

$^{13}\text{CO}_2$ pulses labelling was used to estimate the velocity and the residence time of carbon in the tree. *Pinus densiflora*, *Quercus crispula*, *Quercus serrata*, *Lithocarpus edulis* were used as model species.

The velocity of carbon in *Pinus densiflora* was slower than other broad leaf species, showing large difference on the residence time in trunk respiration across seasons. Especially, residence time in the winter was long. Most of the carbon fixed by the leaves of *Quercus serrata* flowed to the stem within 4 days. However a fraction of ^{13}C fixed by the foliage remained in the leaves after long time suggesting that there are fast and slow residence time carbon pools.

研究分野：森林生態学

キーワード：森林炭素循環 炭素安定同位体 パルスラベリング 樹種間比較 光合成分配

1. 研究開始当初の背景

森林は、地球炭素循環において大きな、そして複雑な機能をもっている。これまでの森林炭素収支は、生態系純生産量(NEP)/総一次生産量(GPP)で表される炭素利用効率(CUE)などで評価されてきた。これは炭素が森林生態系に入る量と出る量とで評価され、森林生態系をめぐる炭素の「循環速度」と「滞留時間」は考慮されていない。樹体や土壌のどこに固定されるかによって、また気候帯によって、炭素が気体になるまでの時間は大きく異なる。数時間で呼吸として大気に戻される炭素、組織として固定され枯死分解を経て数年後に戻される炭素、土壌中に残存し数万年を経る炭素等。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。

炭素安定同位体をトレーサーとして用いたパルスラベリングによって、植物内での炭素の動態を研究する手法(例えば Hogbard et al., 2007, Kagawa et al., 2006)は、非破壊的に樹木内炭素循環を研究するためには非常に有効な手法のひとつである。炭素安定同位体パルスラベリングとは、光合成によって ^{13}C を樹体にとりこませ、追跡を可能にすることであり、同位体比赤外分光計(TDLS)を用いて呼吸として放出される ^{13}C シグナルの経時変化の観測および、安定同位体比質量分析器(IRMS)を用いて葉・枝・幹・根・根リター・地上部リター・有機物土壌等に含まれる炭素同位体比の測定を行うことで、炭素の流れを評価できる。TDLSの開発によって連続的に二酸化炭素フラックス中の炭素安定同位体比を測定することが可能になり、成果が報告され始めている(例えば Bahn et al., 2009, Plain et al., 2009)。

2. 研究の目的

ラベリング手法が炭素の流れを追跡するのに効果的な方法であり、「循環速度」と「滞留時間」を含めた炭素固定速度・量の違いが観測できること、日本の多様な森林を理解し、環境応答性を評価するためには、炭素利用効率だけではなく、加えて炭素が固体として樹体の各部分に蓄積される時間を含めた炭素循環の評価が必要であることから、本研究では、 ^{13}C パルスラベリングを数樹種に適用し、樹木内炭素移動速度の違い、また樹木内における炭素配分とその滞留時間を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

1) 安定同位体パルスラベリング

99.9%の高濃度 ^{13}C を用い、光合成の際に葉から取り込ませ、トレーサーとして用いた。対象樹木の周りに鉄パイプで足場を組み、ラ

ベリング用チャンバーを作成し、足場を利用し樹体に設置した。チャンバー内の二酸化炭素濃度(富士吉田試験地においては加えて二酸化炭素の安定同位体比)、温度をモニタリングしながら、ラベリングを行った。チャンバーを密閉して ^{13}C (99%)を注入し、チャンバー内の ^{13}C がほぼ樹体に固定された後チャンバーを開封した。ラベリング時間は約1時間とした。

2) TDLSによる樹木内炭素移動の追跡

ラベリング後の炭素の流れを追跡するため、樹木各部位からの生態呼吸における炭素安定同位体比を野外において連続観測する観測システムを構築した。観測システムは、TDLS式炭素同位体比赤外分光計、呼吸量測定用チャンバー、それらを制御する切り替え装置からなり、複数のチャンバーを同時に測定することができる。観測システムにより、ラベリング後の ^{13}C の移動を追跡した。光合成で取り込まれた炭素は、まず葉から枝、幹を通り、根から土壌へと移動し、それぞれの器官で使われ、呼吸として大気へ放出されるため、これらの値を用いて、樹木内の炭素移動速度を測定した。

3) モデリング

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。モデリングは富士吉田試験地のアカマツを対象に、SVATモデルを改良中の高梨聡氏(森林総合研究所)と連携して行った。

常緑針葉樹・アカマツ

富士吉田試験地は冷温帯常緑針葉樹林でアカマツ(*Pinus densiflora*)が優先しており、このアカマツを対象にラベリング実験・長期観測を行った。2012年9月、12月、2013年7月に同試験地にてアカマツ成木の ^{13}C パルスラベリング実験を行った。対象樹木は樹高約20.5mのアカマツであり、ラベリングチャンバー内の ^{12}C と ^{13}C の濃度をTDLSで測定することにより、取り込まれた炭素量を計算した。閉鎖循環型のチャンバーを幹4箇所(高さ15.5, 11.1, 7.3 および 3.8m)に設置し、幹からの炭素放出量を測定した。炭素の移動速度はそれぞれの幹チャンバーへの ^{13}C のパルス到着時間から推定した。

落葉広葉樹・ミズナラ

常緑広葉樹・マテバシイ
森林総合研究所のミズナラ(*Quercus crispula* Blume)3本、マテバシイ(*Lithocarpus edulis*)2本(樹高3-5m)を対象に2014年10月16, 23, 29日に ^{13}C パルスラベリング実験を行った。サンプル木の

周囲には土壌下部の母岩に到達するまで深さ 50-60cm の溝を掘り、耐水性布で区切った後埋戻し、土壌呼吸として放出される ^{13}C が、対象樹木由来であることを確実にする処理を行った。TDLs 式炭素同位体比赤外分光計 (Picarro Inc., CA USA, G2101-i) を現場に設置し、葉・枝・幹・根・土壌に設置した呼吸量チャンバーに接続し、放出される二酸化炭素を分析した。

4) IRMS による樹木内炭素移動の追跡

TDLs 式炭素同位体比赤外分光計の故障により平成 25 年度の野外実験が予定通り進まなかった。この間、同位体比赤外分光計をつかわずに、サンプリングと IRMS による同位体比分析による以下の実験を行った。

葉から樹体への炭素移動

森林総合研究所関西支所において、落葉広葉樹であるコナラ (*Quercus serrata*) の枝を対象に ^{13}C パルスラベリング実験を行った。葉を 3 時間おきにサンプリングし、IRMS で炭素同位体比を測定した。

炭素の配分様式の違い

ヤブツバキ (*Camellia japonica*) 24 個体・イロハモミジ (*Acer palmatum*) 48 個体の実生を対象に ^{13}C パルスラベリング実験を行った。また樹木は多くの場合菌根菌と共生しているため、半数の個体には菌根菌を感染させ、菌根菌の有無による炭素配分の影響も調査した。ラベリング後数時間おきに数個体をサンプリングし、葉・幹・根にわけて、IRMS で炭素同位体比を測定した。

4. 研究成果

常緑針葉樹・アカマツにおいては、取り込まれた炭素の放出パターンに季節変化がみられ、冬季においては他の時期と大きく異なっていた。炭素移動速度は 0.04m/hr から 0.24m/hr であり、比較的冬季に遅かった。またこの樹木内移動速度は、季節を通して、山城試験地で過去に行われた研究よりもとめられた、落葉広葉樹であるコナラにおける移動速度よりも遅かった。幹から放出された炭素量は吸収した炭素の 14 - 20% であった。秋・夏季では幹下部での消費が多く、冬季は比較的上部での消費が多かった。興味深いことに、冬季に固定された炭素は冬の間幹にとどまり、3 月になってようやく地下部へ移動していた。

また、樹木内の炭素移動をタンクモデルで計算し、パルスラベリングによる同位体比変動のシミュレーションを行ったところ、幹上部の同位体比変動をおおむねよく再現することができた。

落葉広葉樹・ミズナラと、常緑広葉樹・マテバシイの 2 樹種において同時期に行ったラベリング実験からは、炭素移動速度に大きな違

いは見られなかった。しかしこれまでの研究より、コナラにおいて炭素移動速度に季節変化があることが示されており、生育期を通して評価する必要があると考えられる。

落葉広葉樹・コナラにおける、枝ラベリング実験からは、獲得された炭素の大部分がおよそ 4 日で葉から非同化器官へと輸送される様子が示された。しかし、ラベリングから一か月経過後も ^{13}C が残存し、滞留時間が短い同化産物と長い同化産物とが存在することが示唆された。

ヤブツバキ・イロハモミジの実生を用いた実験からは、炭素が数時間で根に到達すること、菌根菌の有無によって地下部への炭素配分速度が異なること、その反応に樹種間差がみられることが明らかになった。

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)

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 65, 査読なし, 2012, p12-15

Epron. D., Bahn M., Derrien E., Lattanzi FA, Pumpanen J., Gessler A., Hogberg P., Maillard P., Dannoura M., Gerant D., Buchmann N.

Labelling trees to study carbon allocation patterns: a review of methods, current knowledge and future spect.

Tree Physiology 32(6), 査読有, 2012, 776 - 798, doi:10.1093/treephys/tps057

Yuji Kominami, Mayuko Jomura, Mioko Ataka, Koji Tamai, Takafumi Miyama, Masako Dannoura, Naoki Makita, Kenichi Yoshimura
Heterotrophic respiration causes seasonal hysteresis in soil respiration in a warm-temperate forest

Journal of Forest Research, 17, 査読有, 2012, 296-304

[学会発表](計 13 件)

Dannoura M., Takeuchi M., Kominami Y., Takanashi S., Yoshimura K., Ataka M.
Tracing photosynthetic carbon in leaves with nanoSIMS after $^{13}\text{C}_2$ labelling
European Geosciences Union General Assembly 2015, 2015.4.12-17. ウィーン、オーストリア

高梨聡、檀浦正子、小南裕志、中野隆志、深山貴文

冷温帯常緑針葉樹アカマツの幹呼吸変動特性
第 126 回日本森林学会、2015.3.26-29、北海道大学、北海道、日本

高梨聡、檀浦正子、小南裕志、中野隆志、安間光

冷温帯常緑針葉樹アカマツの炭素移動フェノロジー

第 62 回日本生態学会、2015.3.18-22 鹿児島大学、鹿児島県、日本

Dannoura M., Bosc A., Cepeaux C., Kominami Y., Takanashi S., Takahashi K., Nakano T., Cabral O., Nouvellon Y., Laclau JP., Epron D.

Carbon allocation to the root -what we found from pulse labelling experiments- 6th International Symposium on Physiological Process in Roots of Woody Plants

2014.9.8-13, Nagoya University, Aichi, Japan

檀浦正子、小南裕志、高梨聡、高橋けんし
樹木根・細根・菌糸をめぐる炭素の流れと呼吸による炭素放出

第 125 回日本森林学会、2014.3.26-30、大宮ソニックシティ、埼玉、日本

下里知沙、檀浦正子、高梨聡
樹木実生の炭素動態にアーバスキュラー菌根が及ぼす影響

第 125 回日本森林学会、2014.3.26-30、大宮ソニックシティ、埼玉、日本

檀浦正子
同位体を用いた土壌呼吸からの根呼吸の分離

第 61 回日本生態学会、2014.3.14-18、広島国際会議場、広島県、日本

高梨聡、檀浦正子、小南裕志、中野隆志、安間光、中井裕一郎

アカマツの樹体内炭素移動と光合成・呼吸速度

第 61 回日本生態学会、2014.3.14-18、広島国際会議場、広島県、日本

Masako DANNOURA, Yuji KOMINAMI, Satoru TAKANASHI, Kenshi TAKAHASHI

Carbon transfer from photosynthesis to fine root/ hyphae respiration in Quercus serrata using stable carbon isotope pulse labelling technique

AGU, 2013.12.15-19, Moscone Center, San Francisco, USA

檀浦正子
炭素安定同位体パルスラベリングによる樹

体内炭素配分の追跡
JpGU, 2013.5.22 幕張メッセ、千葉県、日本

Masako DANNOURA, Yuji KOMINAMI, Satoru TAKANASHI, Kenichi YOSHIMURA, Mioko ATAKA, Frida ANDREASSON, Daniel EPRON, Naoki MAKITA, Motonori OKUMURA, Takafumi MIYAMA Kenshi TAKAHASHI

Carbon allocation in fine root and hyphae respiration using ¹³C pulse labelling approach

Belowground Carbon Turnover in European Forest (COST ACTION FP0803), 2013.5.13-15, Chateau Luchey Halde, Bordeaux, France

高梨 聡・檀浦正子・小南裕志・中野隆志・安間光・中井裕一郎

アカマツに吸収された二酸化炭素はいつ、どれだけ呼吸として放出されるのか？

第 60 回日本生態学会 2013/3/7, 静岡県コンベンションアーツセンター（静岡県）

Masako Dannoura, Yuji Kominami, Kenichi Yoshimura, Mioko Ataka, Frida Andreasson. Daniel Epron, Naoki Makita, Motonori Okumura, Takafumi Miyama and Kenshi Takahashi.

Time lag between photosynthesis and fine root/hyphae respiration in Quercus serrata tree using ¹³C pulse labelling.

37th meeting of JSRR (Japanese Society of Root Research), December 2-3, 2012, Kyoto University, Japan

〔図書〕(計 2 件)

檀浦正子

教養としての森林学(20 講: 挑戦 真意 りん 研究の多様なベクトル - 細根 森林を支える小さな巨人)

日本森林学会 監修 井上雄二・大河内勇・井上真(編) 2013、文永堂 総ページ数 260

植松千代美、小南裕志、吉村謙一、檀浦正子、和田佳子、上村真由子、安宅未央子、佐々木隆史、他 8 名

都市と森の共生をめざして

植松千代美編 2013、京大出版 総ページ数 320

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

スーパーサイエンススクール(西大和学園)、長岡市環境セミナー、京都大学公開講座、樹木医技術講座において研究紹介を行った。また、2015年国際安定同位体トレーニングコース(フランス・ナンシー)において炭素安定同位体パルスラベリング実験をコースの一つとして提携した。

6. 研究組織

(1)研究代表者

檀浦正子(DANNOURA, Masako)
京都大学・地球環境学堂・助教
研究者番号：90444570

(2)研究分担者

小南裕志(KOMINAMI Yuji)
森林総合研究所・関西支所・主任研究員
研究者番号：70353688

(3)研究分担者

高橋けんし(TAKAHASHI Kenshi)
京都大学・生存圏研究所・准教授
研究者番号：10303596

(4)研究分担者

植松千代美(UEMATSU Chiyomi)
大阪市立大学・理学研究科・講師
研究者番号：30232789

(5)連携研究者

高梨聡(TAKANASHI Satoru)
森林総合研究所・気象環境研究領域・主任研究員
研究者番号：90423011