

令和 4 年 5 月 20 日現在

機関番号：32658

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06128

研究課題名(和文) 先端根圏に共生する菌根菌への炭素配分に関する研究

研究課題名(英文) Carbon allocation to mycorrhizal fungi symbiotic to very fine roots

研究代表者

今井 伸夫 (IMAI, Nobuo)

東京農業大学・地域環境科学部・准教授

研究者番号：00722638

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：これまで、菌根菌への炭素配分はホストである植物根の呼吸と一括りにされほとんど無視されてきた。また、従来の菌根菌呼吸の測定は、あくまで林分レベルでの測定であった。そのため、複数樹木の根が混合値しか得られず、また呼吸速度そのものが低かった。菌根菌呼吸は、宿主樹種、菌根菌種、根サイズ、先行光合成量などによって異なると考えられる。こうしたより詳細な応答を調べるには、各樹種の根端レベルでの呼吸測定手法が必要である。そこで本研究は、シリンジ型マイクロチャンバーと殺菌剤を組み合わせ、先端根圏における菌根菌呼吸速度の測定手法を開発した。そして、菌根菌呼吸が宿主樹木の生活型により異なることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

樹木は光合成で得た炭素のうちの相当量を、根とそれに共生する菌根菌に呼吸基質として配分している。こうした根圏呼吸の理解は、温暖化応答予測や物質循環の解明に欠かせない。本研究は、これまで植物根の呼吸と一括りにされほとんど無視されてきた菌根菌呼吸速度の測定手法を開発した。また本手法は、従来の林分レベルでの測定では不可能だった、各樹種の高活性根圏における菌根菌呼吸を測定するもので、菌根菌への炭素配分パターンの詳細な理解に寄与できる。

研究成果の概要(英文)：Carbon allocation to mycorrhizal fungi has been lumped together with root respiration, and therefore it has been largely ignored. Previous studies on mycorrhizal respiration were conducted using the chamber method on the forest floor. Mycorrhizal respiration rate using the chamber method can obtain a low, and a mixed value from multiple trees. Given that mycorrhizal respiration may vary with host tree species, mycorrhizal fungal species, root size, and prior photosynthesis rate, development of a measuring method at a fine root scale is needed. Here, we developed a method to measure the respiration rate of mycorrhizas symbiotic to very fine root, using a syringe-type microchamber in combination with a fungicide. We found that mycorrhizal respiration rates varied depending on the life type (i.e., evergreen or deciduous) of the host tree.

研究分野：植物生態学

キーワード：菌根菌 森林 炭素動態 呼吸 土壌微生物

## 1. 研究開始当初の背景

樹木は、光合成によって得た炭素を、葉/幹/根などの「生産」や「呼吸」、そして菌根菌などの「共生微生物」という3つの要素に配分している。この炭素配分の制御メカニズムの理解は、森林の物質循環の理解や温暖化応答予測のうえで欠かせない。近年、世界規模で炭素フラックス観測が進み、生産・呼吸の速度とその環境要因(温度・水分・光など)との関係が明らかになってきた。しかし、共生微生物への炭素配分については、測定の技術的困難さのために野外で直接観測された例がほとんどない。森林炭素動態を統一的に理解するには、特に研究の遅れているこの共生微生物への炭素配分の時空間変動とその制御メカニズムを明らかにする必要がある。

本研究は、主要な炭素循環経路の一つとされながら測定手法さえ確立していない「菌根菌呼吸」に注目する。90%以上の植物種の根に共生する菌根菌は、水・栄養の吸収を一部肩代わりする一方、植物根から炭素を受け取り呼吸により消費している。同位体を用いた研究から、菌根菌呼吸は土壌呼吸の25%あるいは総一次生産の16%に当たる、大量の炭素を消費していることが知られる。この菌根菌呼吸を測るには、生理活性を保ったままホスト(植物根)から菌根菌系のみを分離しなければならず、これまでは技術的に不可能だった。最近、根と各呼吸成分のサイズに応じたメッシュ(根は40 $\mu\text{m}$ 以上、菌根菌系は1-40 $\mu\text{m}$ )を用いた分離測定法が提案されたが(Moyanoら2007, Heinemeyerら2007)、これらの手法は菌根菌と腐生性土壌微生物の呼吸を分離できず根本的解決には至っていない。根と菌根菌系ではサイズや生理機構が全く異なるため、環境応答特性が両者で異なると考えられる。にもかかわらず、菌根菌呼吸は根呼吸の一部として一括りにされ、すべての炭素動態予測モデルにおいて無視されているのが現状である。

そこで申請者は、世界に先駆けて菌根菌呼吸の分離測定手法の開発に着手し、「イングロースコア法(若手B,H27-28)」と「リアルタイム呼吸測定法(若手B,H29-30)」を開発してきた。これらは、林分レベルでの菌根菌呼吸を分離測定でき、温度・水分など環境への応答特性も調べることができる。しかし菌根菌の生理活性は、環境要因だけでなく、ホスト樹木の生活型(常緑・落葉)といった生物的要因によっても大きく変化すると考えられる。例えば、一般に、根の栄養吸収効率は外生菌根菌性のほうがアーバスキュラー性樹種よりも高く、また根呼吸速度は(生理活性が一般に高い)落葉樹のほうが常緑樹よりも高い。菌根菌呼吸も同様に落葉樹や外生菌根性樹種で高いのか、あるいは生活型・菌根菌タイプ特異的な呼吸パターンがあるのか、そうした基礎的な知見さえ測定技術が無いため全く知られていないのが現状である。

## 2. 研究の目的

本研究は、菌根菌呼吸速度の1.先端根における測定技術の開発、2.常緑広葉樹と落葉広葉樹間の比較、3.時間変動の測定技術開発、を目的とする。また、目的2を通して、「光合成能力が高い落葉樹は、菌根菌への炭素供給量が多いため常に常緑樹よりも菌根菌呼吸が高い」という仮説を検証する。

## 3. 研究の方法

調査は、市村清新技術開発財団が所有する植物研究園テストフィールド(静岡県熱海市に)および東京農工大学フィールドミュージアム多摩丘陵(八王子市)で行った。対象樹種は、ブナ科の落葉樹コナラと常緑樹スダジイで、両種とも外生菌根性である。

シリンジ型マイクロ・チャンバーを用いた先端根圏の呼吸速度測定手法(Phillips et al. 2008)と菌根菌殺菌剤を用いた、新しい測定手法を開発した。50ml シリンジに接続されたガスサンプリング用チューブを介してシリンジ内空気をサンプリングし、呼吸速度を連続測定できるシステムである。地中5cm地点にある対象種の先端根(直径2mm未満の1-3次根)を純水で洗浄後、根を培養液( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ :0.1 mM、 $\text{K}_2\text{SO}_4$ :0.2 mM、 $\text{MgSO}_4$ :0.2 mM、 $\text{CaCl}_2$ :0.3 mM、 $\text{NH}_4\text{NO}_3$ :0.5 mM、細菌殺菌剤のクロラムフェニコール: $\text{C}_{11}\text{H}_{12}\text{Cl}_2\text{N}_2\text{O}_5$ :20 mg/50 ml)とガラスビーズで満たした50 ml シリンジ内に入れ、1-2日間野外で培養した。その際、2つのシリンジを用意し、片方には培養液に真菌殺菌剤(シクロヘキシミド)を混ぜて菌根菌を殺す処理(根呼吸)、もう片方は無処理とした(腐生菌呼吸を含まない根圏呼吸)。培養後、先端根をサンプリングし、直ちに恒温器(25 設定)内で先端根からの $\text{CO}_2$ 放出速度を $\text{CO}_2$ プローブ(GMP343、Vaisala、フィンランド)を用いて測定した。菌根菌呼吸速度は、次式から算出した。

菌根菌呼吸 = 根圏呼吸(非殺菌) - 根呼吸(殺菌)

本研究では、まずスダジイを用いて真菌・細菌殺菌剤濃度と呼吸低下量との関係を調べた。次に、スダジイとコナラ間で菌根菌呼吸速度を比較した。約1時間ごとでの先端根呼吸を複数回くりかえし測定した。

## 4. 研究成果

スダジイとコナラの菌根菌呼吸(根圏と根呼吸の差)の平均値は、それぞれ0.0049 および0.0022  $\text{nmolCO}_2\text{g}^{-1}\text{s}^{-1}$ であった。根圏呼吸に対する菌根菌呼吸の寄与率は、スダジイで20.0%、コナラで9.7%となった。根圏呼吸では午前10時頃と午後3時頃の2か所にピークが見られ、おおよそその日変化の傾向を見ることができたが、根呼吸は変化が不規則で呼吸量が負に転じる

こともあった。このように、先端根圏呼吸について、高強度の CO<sub>2</sub> フラックスが得られ、また呼吸の日周変化(昼高く夜低い)も観察でき、根端レベルでの研究・手法開発のうえで良好な結果であった。ただし、データのばらつきが大きいため、培養液、殺菌剤、測定システムのさらなる改良が必要だと考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Muscarella R, Emilio T, Phillips OL et al. (Imai N 94/223 persons)	4. 巻 29
2. 論文標題 The global abundance of tree palms	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Global Ecology and Biogeography	6. 最初と最後の頁 1495 1514
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/geb.13123	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Steidinger BS, Crowther TW, Liang J et al. (Imai N 99/222 persons)	4. 巻 569
2. 論文標題 Climatic controls of decomposition drive the global biogeography of forest-tree symbioses	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 404-408
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41586-019-1128-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Imai N, Sugau JB, Pereira JT, Titin J, Kitayama K	4. 巻 24
2. 論文標題 Impacts of selective logging on spatial structure of tree species composition in Bornean tropical rain forests	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Forest Research	6. 最初と最後の頁 335-340
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/13416979.2019.1666958	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 青木一真, 小南裕志, 今井伸夫
2. 発表標題 暖温帯林における菌根菌の菌糸成長に及ぼす宿主樹種の影響
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今井伸夫
2. 発表標題 菌根菌糸の呼吸速度測定手法の開発
3. 学会等名 菌根研究会大会JCOM2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirano Y, Kitayama K, Imai N
2. 発表標題 Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on the morphology and phosphatase activity of fine roots in Bornean tropical rain forests
3. 学会等名 British Ecological Society annual meeting 2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 今井伸夫, 古川恵太, 中嶋亮太, 檜谷昂	4. 発行年 2021年
2. 出版社 東京農業大学出版会	5. 総ページ数 283
3. 書名 マングローブ林の生態系生態学 (翻訳書)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	小南 裕志  (KOMINAMI Yuji)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員    (82105)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	田中 恵  (TANAKA Megumi)	東京農業大学・森林総合科学科・准教授  (32658)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関