

氏名	まつおこなおこ 松尾奈緒子
学位(専攻分野)	博士(農学)
学位記番号	農博第1326号
学位授与の日付	平成15年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	農学研究科地域環境科学専攻
学位論文題目	Evaluation of Leaf Gas Exchange Using Carbon Isotopic Analysis (炭素安定同位体手法を用いた個葉ガス交換の評価)
論文調査委員	(主査) 教授 谷 誠 教授 櫻谷 哲夫 教授 森本 幸裕

論文内容の要旨

全球・地域規模の気候変動が問題視されるなか、それらに対する陸域植生の役割の解明が求められている。そのためのひとつの課題として、様々な植生面上の二酸化炭素・水蒸気交換量の長期推定が挙げられる。この交換過程は個葉の気孔開閉をはじめとする生理化学過程によって制御され、その種ごとの環境応答特性は細胞間隙と大気中の二酸化炭素濃度比 (C_i/C_a) によって評価されることが知られている。 C_i/C_a は植物の水利用効率と逆相関のある指標であり、植物-大気間の二酸化炭素・水蒸気交換量推定において鍵となるパラメータのひとつである。さて、 C_i/C_a を求める手法として2つの方法が開発されてきた。ひとつは、 C_3 植物の光合成の際に炭素安定同位体分別が起こることを利用して、葉と大気中の二酸化炭素中の炭素安定同位体比から C_i/C_a の期間平均値 [以下 $C_i/C_{a,iso}$] を求める手法であり、もうひとつは、個葉の光合成・蒸散速度測定から C_i/C_a の瞬間真値 [以下 $C_i/C_{a,gas}$] を求める手法である。このうち $C_i/C_{a,gas}$ は長期履歴を持ち、比較的簡単に入手できることから、植生面上の二酸化炭素・水蒸気交換量の長期推定に有効であると考えられる。しかしながら、日本の暖温帯性広葉樹林において情報が乏しく、また炭素安定同位体分別モデルの適用条件が十分に吟味されているとは言い難い。そこで、本研究では C_i/C_a を利用して個葉のガス交換制御特性を評価し、環境応答特性や種間差を明らかにすることを目的として、 $C_i/C_{a,iso}$ および $C_i/C_{a,gas}$ の特性を調べるとともに、 $C_i/C_{a,iso}$ を利用した個葉ガス交換制御特性の評価手法の確立を試みた。

調査は1999年3月から2002年1月にかけて、主に兵庫県赤穂市の人工広葉樹林における常緑広葉樹3種 (*Quercus glauca*, *Cinnamomum camphora*, *Castanopsis cuspidata*) と落葉広葉樹1種 (*Quercus serrata*) を対象として行った。数週間から2, 3ヶ月に一度、葉と大気中における二酸化炭素の炭素安定同位体比 ($\delta^{13}C$) と個葉の光合成・蒸散速度を測定し、 $C_i/C_{a,iso}$ と $C_i/C_{a,gas}$ を算出した。また、樹冠上における気象要素を連続自記測定した。

$C_i/C_{a,iso}$ と $C_i/C_{a,gas}$ の測定からは、両者に共通した結果として、

- 1) 暖温帯性広葉樹の C_i/C_a は展葉直後と土壤乾燥時を除く期間において変動が小さいこと
- 2) 樹冠内における光環境の違いに対応した鉛直変化を持つこと
- 3) 成熟した陽葉では樹種間差が小さいこと

が明らかになった。次に、対象木の成熟した陽葉の $C_i/C_{a,iso}$ を様々な気候区に生育する樹木の文献値と比較した結果、熱帯雨林に生育する樹木よりも小さく、乾燥地に生育する樹木よりも大きいこと、暖温帯性気候区に生育する樹木と近い値であることが示された。これらのことは、個葉の期間平均的な $C_i/C_{a,iso}$ が生育場所の環境条件、特に水分条件の影響を大きく受けて決定されており、それぞれの樹木が生育場所に応じた内的水利用効率を持つようにガス交換特性を調節していることを示唆している。また、 $C_i/C_{a,gas}$ についてその環境応答特性を明らかにするため、光合成・気孔コンダクタンスモデルを用いた数値実験を行い、環境要素が $C_i/C_{a,gas}$ に及ぼす影響を個別に定量評価した。その結果、 $C_i/C_{a,gas}$ 変化が主に光と飽差によって決定されていること、また $C_i/C_{a,gas}$ の季節変化は、光合成・気孔コンダクタンスモデルに葉齢と土壤水分

の影響を考慮することによって再現できることがわかった。これらのことから、暖温帯性広葉樹個葉の $C_i/C_{a,g}$ の短期的な変動（日変化）が光と飽差に依存し、長期的な変動（季節変化）は葉齢と土壤水分に依存することが示された。

さて $C_i/C_{a,i}$ と $C_i/C_{a,g}$ の特性には相違もみられ、特に展葉直後と土壤乾燥時において異なる変動を示した。この成因として期間平均的な $C_i/C_{a,i}$ と瞬間的な $C_i/C_{a,g}$ にはタイムスケールの違いがあること、 $C_i/C_{a,i}$ を求めるのに用いられる炭素安定同位体分別モデルにおいて、葉内二酸化炭素拡散に伴う同位体分別を無視していることが考えられる。こういった $C_i/C_{a,i}$ が示す情報の不明確な点を明らかにし、さらに $C_i/C_{a,i}$ の決定要因を定量化するため、瞬間的な $C_i/C_{a,g}$ を基にした個葉二酸化炭素・水蒸気交換量同時推定モデルに気象条件を入力し、約630日間の C_i/C_a と光合成速度の連続推定を試みた。得られた瞬間的な C_i/C_a を光合成速度で加重平均することによって期間平均的な C_i/C_a を計算し、葉内二酸化炭素拡散の影響も考慮できる炭素安定同位体分別モデルで推定し直した $C_i/C_{a,i}$ との比較を行った。この結果、 $C_i/C_{a,i}$ が5～30日間のガス交換特性を表していること、葉内二酸化炭素拡散に伴う同位体分別の影響は小さいことを明らかにした。このように $C_i/C_{a,i}$ と $C_i/C_{a,g}$ の両情報を統合することによって、個葉の $C_i/C_{a,i}$ が示す情報の定量的な評価が可能となった。本研究により、 $C_i/C_{a,i}$ を利用した個葉ガス交換特性の長期的評価のための手法の基礎が築かれるとともに、その意義が確認された。

論文審査の結果の要旨

地球環境変動の影響が深刻になっている現在、陸域生態系が気候の変動に対して及ぼすフィードバック効果の解明が重要な研究課題となっている。生態系は群落高などの物理構造と気孔開閉などの生理化学過程を通じて大気に影響を及ぼすが、後者における基本的な問題は、個葉における光合成生産の蒸散による水消費に対する効率（水利用効率）であり、その評価指標として、細胞間隙と大気中の二酸化炭素濃度比（ C_i/C_a ）が注目されている。本研究は、炭素安定同位体比を用いた推定手法を含む2種の調査法によって C_i/C_a の特性を詳細に明らかにするとともに、その評価手法の確立に向けて見るべき成果を挙げたものであり、評価できる点は下記にまとめられる。

1) 炭素安定同位体比測定に基づき長期間の水利用効率を反映するとみなされる $C_i/C_{a,i}$ と個葉ガス交換測定に基づき瞬間的な効率を表す $C_i/C_{a,g}$ の両方の調査を同じ林分に対して行い、展葉時や土壤乾燥時以外では季節的な変動が小さいこと、暖温帯広葉樹の成熟陽葉では樹種間の差が小さいことなどの C_i/C_a の特性が、2手法からの一致した知見として明らかにされた。

2) $C_i/C_{a,i}$ の測定結果を既存の測定値と比較することによって、この値が水分条件を主とする環境条件の影響を強く受けているという結果が、気候区を通じた一般的な傾向としてうまく整理された。

3) $C_i/C_{a,g}$ の環境応答特性を調べたところ、暖温帯性広葉樹個葉の $C_i/C_{a,g}$ の短期的な変動（日変化）が光と飽差に依存し、長期的な変動（季節変化）が葉齢と土壤水分に依存することが示された。

4) $C_i/C_{a,i}$ と $C_i/C_{a,g}$ とではそれぞれ連続的、瞬間的な水利用効率を反映しており、また、従来から葉内拡散による同位体分別が無視されている影響が $C_i/C_{a,i}$ に含まれているため、両者の比較検討を単純に行うことができない。そこで、本研究では、両情報を統合して個葉の C_i/C_a を定量評価する目的で、 $C_i/C_{a,g}$ を基にした個葉二酸化炭素・水蒸気交換量同時推定モデルに気象条件を入力して C_i/C_a と光合成速度を連続推定し、得られた瞬間的な C_i/C_a を光合成速度で加重平均することによって期間平均的な C_i/C_a を計算する手法を新たに開発した。

5) 開発されたモデルによって $C_i/C_{a,g}$ から計算された期間平均的な C_i/C_a を、葉内二酸化炭素拡散の影響も考慮できる炭素安定同位体分別モデルで推定し直した $C_i/C_{a,i}$ と比較した。この結果、見かけ上異なっていた展葉直後や土壤乾燥時の $C_i/C_{a,i}$ と $C_i/C_{a,g}$ の不一致が小さくなること、 $C_i/C_{a,g}$ が5～30日間のガス交換特性を表していること、葉内二酸化炭素拡散に伴う同位体分別の影響は小さいことが明らかになった。

以上のように、本論文は、 C_i/C_a に関する2つの推定手法を統合することによって、樹木個葉の水利用効率の定量的評価に向けた研究を前進させたものであり、森林水文学、樹木生理学の成果として高く評価されるとともに、陸域生態系の気候形成作用予測研究に対して貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成15年2月13日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。