

氏名	たか 高	なし 梨	さとし 聡
学位(専攻分野)	博 士 (農 学)		
学位記番号	農 博 第 1518 号		
学位授与の日付	平成 17 年 5 月 23 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	Effects of Heterogeneity in Stomatal Behaviour on Gas Exchange — at the scale of a single leaf and a whole forest — (気孔開閉の不均一性がガス交換特性に与える影響——個葉から群落まで——)		
論文調査委員	(主査) 教授 谷 誠	教授 櫻谷 哲夫	教授 三野 徹

### 論 文 内 容 の 要 旨

地球温暖化などに関心が高まっている現在、森林における熱・水・CO<sub>2</sub>交換量を把握することは国際的な最重要課題である。近年、渦相関法などの樹冠上フラックス観測により、熱・水・CO<sub>2</sub>交換量の直接測定が可能となり、気候の異なる諸地域での多様な植生に対する観測結果が集まりつつあるが、植物の生理活性など森林内部の詳細なメカニズムに基づいた解析は十分にはなされていない。個葉レベルのガス交換特性に関して、光合成・蒸散メカニズムについては数多くの研究があり、詳細な生化学モデルが存在し、群落構造の情報を基に群落にも拡張されている。これらのモデルでは、一枚の葉の気孔開閉は均一であると仮定され、一つの気孔で代表されている。他方、一枚の葉には気孔が多数存在し、気孔開閉には不均一性が存在することも報告されている。しかしながら、野外においてどの程度気孔開閉の不均一性が存在し、どの程度光合成量に影響を与えているのかは定量的に十分に把握されているとは言い難く、まして、群落レベルのガス交換特性にどれほど影響を与えているのかはわかっていない。そこで、本研究は、個葉ガス交換特性および樹冠上フラックスの野外測定を基に、気孔開閉の不均一性が個葉レベルから群落レベルにおけるガス交換特性に与える影響について定量的評価を試みたものである。

温帯ヒノキ林（滋賀県大津市桐生水文試験地）、冷温帯落葉広葉樹林（北海道苫小牧市北海道大学苫小牧研究林）、および熱帯雨林（半島マレーシアパソ森林保護区）上において、渦相関法によって測定された熱・水・CO<sub>2</sub>フラックスに関する解析を行った。温帯ヒノキ林において日中におけるCO<sub>2</sub>吸収が一年を通してみられ、その最大値は初夏にみられた。冷温帯落葉広葉樹林における結果と比較すると、季節変化パターンは落葉期に違いがみられるが、成長期における日中積算のCO<sub>2</sub>吸収量には、大きな気温の違いにも関わらず、それほど差異がなかった。同じ光環境条件の下でのCO<sub>2</sub>吸収量は午前が大きく、午後小さい傾向がみられ、気孔の開閉によってCO<sub>2</sub>吸収量が制限されていることが強く示唆された。熱帯雨林において同様の解析を行ったところ、フラックスの日変化パターンに季節変化はみられなかったが、午後には群落のCO<sub>2</sub>吸収能が顕著に低下しており、大気飽差と負の相関を持っていた。群落コンダクタンスについても大気飽差と負の相関を持っていた。しかし、これらの相関は土壌水分の低下によって変化することはなかった。

植物の個葉レベルでは、広葉樹4種、すなわち、温帯の *Cinnamomum camphora* Sieb., 熱帯季節林の *Azadirachta indica* Juss., 熱帯雨林の *Dipterocarpus sublamellatus* Foxw., *Neobalanocarpus heimii* (King) Ashton について、チャンパー法によるガス交換速度測定と色素の浸潤斑によって気孔開閉を判断できる加圧浸潤法を組み合わせ測定を行った。気孔コンダクタンスと浸潤斑比（気孔開度が閾値を超えているため、色素に染まる区画の面積）との関係は、気孔が開いているか（気孔開度100%）閉じているか（0%）の2種類の形態しかない時のみ線形関係になることがわかっている。解析の結果、*C. Camphora* と *A. indica* では比較的均一な気孔開閉が示唆されたが、熱帯雨林に生育する高木である *D. sublamellatus* と *N. heimii* では気孔コンダクタンスと浸潤斑比が線形関係にあることから、気孔開度が開閉の2種類の形態しかないことが強く示唆された。気孔開閉の不均一性を考慮した光合成・蒸散モデルによってその影響を定量的に評価した結

果、気孔開度が開閉の2種類の形態しかない時には、気孔コンダクタンスの低下と共に見かけの最大炭酸同化速度 ( $V_{cmax25}$ ) も低下することが示された。

群落内外の熱・ガスの輸送をトレースできる多層モデルに、気孔開閉の不均一性を考慮した個葉光合成・蒸散モデルを組み込んで、個葉レベルの知見を群落レベルに拡張した。熱帯雨林において観測された  $CO_2$  フラックスは午後に  $CO_2$  吸収量が低下する日変化パターンであり、そのパターンは、大気飽差が午後に増大することや群落コンダクタンスの大気飽差に対する依存特性から気孔によって制限されていることが示唆された。しかしながら、 $CO_2$  吸収能の午後における低下は気孔の単純な閉鎖だけでは説明できないが、気孔開閉の不均一性を考慮した多層モデルの適用によって十分に説明できることが示された。また、日中における  $CO_2$  吸収量の約50%は群落上部 (30m-45m) の葉で賄われており、主に群落上部での不均一な気孔開閉による光合成量の低下によって、群落全体の日変化パターンが説明できることが示された。

### 論文審査の結果の要旨

陸上生態系—大気間の熱・水・ $CO_2$  交換量は、生態系の物理的構造や植物の生理活性などによって制御され、地域規模から地球規模までの気候形成に影響を及ぼしている。したがって、個葉レベルのガス交換特性をいかにして群落レベルに拡張し、気候形成予測に取り込むかが重要な課題になっている。本研究は、個葉レベルの生化学過程を群落レベルの森林—大気間のガス交換過程に組み合わせるモデリング手法と野外における両レベルの詳細な測定を結合し、葉における気孔開閉の不均一性が群落レベルのガス交換に及ぼす影響について解析したものであって、評価すべき点は、下記のようにまとめられる。

1) 温帯ヒノキ林、冷温帯落葉広葉樹林、熱帯雨林上において渦相関法によって測定された熱・水・ $CO_2$  フラックスに関する、質の高い継続データを得た。

2) 温帯ヒノキ林においては、日中における  $CO_2$  吸収が一年を通してみられた。冷温帯落葉広葉樹林と  $CO_2$  フラックスを比較したところ、落葉期には違いがみられるが、成長期における日中積算の  $CO_2$  吸収量にはそれほど差異がないことが明らかになった。

3) ヒノキ林では、同じ光環境条件の下での  $CO_2$  吸収量は午前で大きく、午後で小さい傾向がみられ、気孔の開閉による  $CO_2$  吸収量の制限が明らかになった。

4) 熱帯雨林においては、フラックスの日変化パターンに季節変化はなかったが、午後に群落の  $CO_2$  吸収能が顕著に低下すること、群落コンダクタンスは大気飽差と負の相関を持つが、土壌水分低下による影響はみられないことが明らかになった。

5) 温帯、熱帯季節林、熱帯雨林に生育する広葉樹4種について、植物の個葉レベルのガス交換速度測定と加圧浸潤法測定を行ったところ、熱帯雨林に生育する高木である *D. sublamellatus* と *N. heimii* では、気孔が100%開いているか完全に閉じているかの2種類の形態しかない気孔開閉特性を持つと推定された。また、この特性によって、気孔コンダクタンスの低下と見かけの最大炭酸同化速度 ( $V_{cmax25}$ ) とを低下させることがわかった。

6) 個葉レベルの知見を群落レベルに拡張するため、気孔開閉の不均一性を考慮した個葉光合成・蒸散モデルを組み込んだ群落多層モデルを開発した。

7) 熱帯雨林における午後に  $CO_2$  吸収量が低下する日変化パターンは、気孔の単純な閉鎖だけでは説明できないが、気孔開閉の不均一性を考慮することによって十分に説明できることが明らかになった。また、日中における  $CO_2$  吸収量の約50%は群落上部 (30m-45m) の葉で賄われていること、主にここでの不均一な気孔開閉による光合成量の低下によって、群落全体の日変化パターンが説明できることがわかった。

以上のように、本研究は、個葉における気孔開閉の不均一性が群落レベルのガス交換に及ぼす影響を、個葉レベルと群落レベルのガス交換に関する詳細な野外測定を基に説明したものであり、森林水文学、樹木生理学、接地気象学にまたがる学際的な成果によって、生態水文学の今後の発展に寄与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17年4月14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。