

平成21年 6月12日現在

研究種目：若手研究 (B)  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19780115  
 研究課題名 (和文) 植物群落における熱・水・炭素循環過程と群落の成長・衰退過程の統合モデル化  
 研究課題名 (英文) Integrated modeling of plant growth/decline and heat/water/carbon cycle processes in plant community  
 研究代表者  
 高梨 聡 (TAKANASHI SATORU)  
 独立行政法人森林総合研究所・気象環境研究領域・研究員  
 研究者番号：90423011

## 研究成果の概要：

熱・水・炭素循環過程と群落の成長・衰退過程との相互関係を明らかにすることを目的とし、様々な植生において環境応答特性を明らかにするための観測・モデル化の双方を行った。個葉の光合成・蒸散過程をもとにした群落熱・水・炭素循環モデルを改良し、芝地用の群落成長・衰退モデルを開発した。このモデルにより、芝群落の生長・衰退の予測を可能にしたが、森林群落への適用に当たっては植物生長戦略・生物季節の違いを考慮する必要があった。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,600,000	0	1,600,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	330,000	3,030,000

研究分野：森林科学

科研費の分科・細目：林学・森林工学

キーワード：熱・水・二酸化炭素フラックス、多層モデル、ガス交換、光合成、呼吸、群落構造、森林、寒地芝

## 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化問題に対して京都議定書が定められて以降、大気-植生系間の炭素交換量を科学的見地から定量的に把握するために、CO<sub>2</sub>フラックスタワー観測が世界の諸研究機関、諸大学で行われており、CO<sub>2</sub>フラックスと気象条件の関係、炭素収支の季節変化、年々変化が調べられている。AmeriFlux、CarboEurope、AsiaFlux、Ozflux等の地域フラックス測定ネットワークが始まっており、地域ネットワークで観測されたデータを

集積し、地球規模でのデータベースも構築されつつある (FLUXNET; Baldocchi et al. Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2001)。こういった世界各地におけるフラックス観測によって植生と大気、土壌などとの相互作用は明らかになりつつあり、植物群落における熱・水・炭素循環のモデル化が進められている。また、近年の計算機科学の進展によって、地球シミュレータなど、複雑なモデルでも大規模なシミュレーションが可能となっており、地球規模の大循環モデルにおいても、簡単な物理法則では十分に記述できない生

物圏の導入が始まりつつある。今後の地球温暖化の動向を予測するために、生物圏のCO<sub>2</sub>交換作用が大気環境において果たす役割を明確にしておく必要が大きい。

気象環境条件とそれに対応する植物群落上の熱・水・CO<sub>2</sub>フラックスを比較することは、植生と大気の相互作用を理解する上で、もちろん必要である。しかしながら、植物群落上の熱・水・CO<sub>2</sub>フラックスは、植生面上の気象条件、群落構造、個葉の蒸散・光合成特性、土壌特性などの要因が、乱流拡散、放射伝達、エネルギーの再分配、個葉による蒸散・光合成活動、土壌微生物・根呼吸、土壌面蒸発などの素過程に複雑に関わっている。これらの素過程の相互作用の結果、植生面上の熱・水・CO<sub>2</sub>フラックスが決定されているために、中身をブラックボックスとしたまま各地のデータを集積していくだけでは、これから温暖化が進行していく中で、正確な将来予測を行うことが出来ない。温暖化に対して植生の環境応答を真に理解するには、群落内外の気象環境条件の観測やエネルギーや物質が、どこに・どれだけ流れているのかといった観測を行い、物理過程のデータを集積するとともに、個々の生物種がどのように環境や他の生物と相互作用をしながら環境に適応し日々活動し、成長・衰退しているのかといった生物プロセスを含むメカニズムの理解を目指した素過程毎の観測、モデル化・検証の双方が必要であり、それを地球環境予測に結びつけるスケールアップステップを確立させることが重要である。

## 2. 研究の目的

本研究は生態系における熱・水・炭素循環と群落の成長・衰退過程との相互関係を明らかにすることを目的とし、交換過程に関わる光・温度・水分などの物理的環境と生物との相互作用をメカニズムに即して理解し、植生の環境応答特性を定量的に評価できる植物群落シミュレータを開発することを目指す。そのために、植物群落スケールにおける熱・水・二酸化炭素フラックスの日変化、季節変化の駆動力およびメカニズムを理解し、気孔開閉の時空間的変動が起こるメカニズムと個葉の樹冠内位置、葉齢、群落構造、群落内微気象環境との関わりを把握し、光合成によって固定された炭素がどのように群落内に配分され、群落が成長・衰退していき、新たなエネルギー・物質循環系を築いていくのかを明らかにすることを目標とし、植生の環境応答特性を定量的に評価できる植物群落シミュレータを開発することを目指す。

## 3. 研究の方法

本研究では、様々な植生において、群落スケール、樹木・個葉スケール、気孔スケールにおける熱・水・二酸化炭素フラックスおよび微気象環境を測定し、それぞれのスケール内のフラックスの差異を生み出す要因について、植生毎の特性が異なると予想される植物個葉のガス交換特性に着目して明らかにするとともに群落内外の熱・水・炭素循環のモデル化・パラメタリゼーションを行う。次に、各プロセスモデルを統合し、明らかにされた微気象環境および炭素動態をもとにして、気温・湿度・日射量等の気象環境要因から群落成長・衰退を予測できる統合モデルを開発し、環境要因が群落の成長・衰退および熱・水・炭素循環過程に与える影響をモデルによって定量的に明らかにする。研究は寒地芝群落(兵庫県神戸市)・熱帯雨林(マレーシア・ネグリセンビラン州・パソ森林保護区)・冷温帯常緑針葉樹林(山梨県富士吉田市)の三カ所でおこなった。

## 4. 研究成果

### (1)芝群落

芝群落に於いては、生態系呼吸量を葉・根・土壌の各コンパートメントに分離して測定した。各コンパートメントの呼吸量の温度依存特性を解析し、これまでに取得されている光合成・蒸散量および各コンパートメントの生長量・枯死脱落量のデータを併せて、成長・衰退モデルを新たに開発し、光合成・蒸散モデルとの結合を行った。モデルによる試算を行った結果、芝群落に於いては一年の間に植物のバイオマスが大きく変化し、単なる温度依存式では生態系呼吸量がうまく推定できず、熱・水・炭素循環過程と群落の成長・衰退過程とのモデルによる結合が、より正確な年間純生態系生産量の推定を可能とすることを明らかにした。このモデルにより、芝群落における地温の上昇・光条件の変化・芝の張り替え等の影響を定量的に評価し、芝群落の生長・衰退の予測を可能とした。

### (2)熱帯雨林

熱帯雨林群落である半島マレーシア低地フタバガキ林における樹冠上フラックスの観測結果から群落全体としての環境応答特性を解析し、本群落では乾期においても大気飽差に対する蒸散特性が変化しないこと、一年を通して午前と比較して、午後には二酸化炭素吸収量が低下することなどを明らかにした。チャンバー法による土壌呼吸量の多地点観測からは、土壌呼吸量は空間的には土壌水分と負の関係があり、時間的には土壌水分と正の関係があることが明らかになり、午後には顕著に土壌呼吸量が増大する様子は見られなかった。また、個葉スケールにおける観測

によって、樹冠頂上付近のフタバガキ科の樹種では乾季・雨季にかかわらず午後に光合成活性が低下することが明らかになり、この低下は大気飽差の変化や概日リズムによって引き起こされている不均一な気孔開閉が重要な役割を担っていることなどが示唆された。

### (3)冷温帯常緑針葉樹林

冷温帯常緑針葉樹林においては分光放射量観測の結果から植物のキサントフィルサイクルと関連の深い **Photochemical Reflectance Index(PRI)**が冬季に低下し、冬季の晴天日には午後に大きく低下する観測結果が得られた。また、7月と比較して気温が上昇し、呼吸量の増加する8月にも生態系純生産量が国内の他の森林と比較してそれほど低下しないことが、渦相関法による二酸化炭素フラックスの観測結果から明らかとなっている。同サイトで行われた光合成の最適温度に関する先行研究と考え合わせると、夏季の気温は最適温度に近く、午後にそれほど **PRI** が低下しなかったが、冬季においては低温で光合成回路がうまく稼働せず、過剰な光ストレスを回避するために、**PRI** が低下したものと考えられた。

### (4)モデルによる解析

芝群落で開発された統合モデルを植生タイプの違う森林群落に適用し、再現性・一般性を検討した。常緑樹林では、芝群落のように光合成量と葉面積・根量の増減が直結しておらず、熱・水・炭素循環過程と芝群落と同様の葉面積・根量の増減のみの生長・衰退過程の導入は、生態系純生産量の再現性の向上にはあまり寄与しなかった。これは植物のライフサイクルの違いによる生長・衰退過程の違いのあらわれであり、常緑針葉樹では葉・根量の増減よりも葉自体の光合成能力の変化が生態系純生産量の増減に支配的であると考えられた。熱帯雨林における午前と午後の二酸化炭素吸収量の違いを再現するには気孔開閉の不均一性を考慮することが必要であり、冷温帯落葉常緑樹林では葉面積が減少する以上に冬季に大幅に光合成能力が低下することなどを定量的に明らかにすることが可能となった。

### (5)今後の展望

以上の解析からわかるとおり、ライフサイクルが長く、多様な植物が存在する森林群落においては熱・水・炭素循環過程を真に理解するには時間的・空間的な生長戦略・生物季節の違いを考慮し、さまざまな支配要因を定量的に系統立てて把握する必要があると考えられた。そのためには、本研究によって開発・発展されたモデルを他の様々な植生地に適

用し、本研究のように観測研究と連携して、熱・水・炭素循環過程の支配要因を探ることが有用であると考えられた。

### 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5件)

- ① KOSUGI Yoshiko, TAKANASHI Satoru, MATSUO Naoko, ABDUL RAHIM Nik, Midday depression of leaf CO<sub>2</sub> exchange within the crown of *Dipterocarpus sublamellatus* in a low-land dipterocarp forest in Peninsular Malaysia, *Tree Physiology*, 29, 505-515, 2009, 査読有 doi:10.1093/treephys/tpn041
- ② OHKUBO Shinjiro, KOSUGI Yoshiko, TAKANASHI Satoru, MATSUO Naoko, TANI Makoto, ABDUL RAHIM Nik, Vertical profiles and storage fluxes of CO<sub>2</sub>, heat and water in a tropical rainforest at Pasoh, Peninsular Malaysia, *Tellus B*, 60, 569-582, 2008, 査読有 doi:10.1111/j.1600-0889.2008.00367.x
- ③ KOSUGI Yoshiko, TAKANASHI Satoru, OHKUBO Shinjiro, MATSUO Naoko, TANI Makoto, MITANI Tomonori, TSUTSUMI Daizo, ABDUL RAHIM Nik, CO<sub>2</sub> exchange of a tropical rainforest at Pasoh in Peninsular Malaysia, *Agricultural and Forest Meteorology*, 148, 439-452, 2008, 査読有 doi:10.1016/j.agrformet.2007.10.007
- ④ KOSUGI Yoshiko, MITANI Tomonori, ITOH Masayuki, NOGUCHI Shoji, TANI Makoto, MATSUO Naoko, TAKANASHI Satoru, OHKUBO Shinjiro, ABDUL RAHIM Nik, Spatial and temporal variation in soil respiration in a Southeast Asian tropical rainforest, *Agricultural and Forest Meteorology*, 147, 35-47, 2007, 査読有 doi:10.1016/j.agrformet.2007.06.005
- ⑤ 福井 佑介, 小杉 緑子, 松尾 奈緒子, 高梨 聡, 谷 誠, 生育地, 生活形態の多様な樹種における水利用様式の比較, *水文・水資源学会誌*, 20, 265-277, 2007, 査読有 doi:10.3178/jjshwr.20.265

[学会発表] (計5件)

- ① 高梨 聡, 溝口 康子, 大谷 義一, 中井 裕一郎, 中野 隆志, 安田 泰輔, 冷温帯アカマツ林における二酸化炭素交換特性の季節変動, 第120回日本森林学会大会, 京都大学, 2009年3月
- ② 小杉 緑子, 高梨 聡, 桐生 水文試験地 36年間の蒸発散量変動を説明する多層モデ

ル、第 120 回日本森林学会大会、京都大学、  
2009 年 3 月

③檀浦 正子, 兼光 修平, 小杉 緑子, 谷 誠,  
牧田 直樹, 溝口 岳男, 高梨 聡, 伊藤 雅  
之、土壌呼吸の構成要素としての根の役割  
京都ヒノキ林とマレーシア熱帯林におけ  
る測定より、第 120 回日本森林学会大会、  
京都大学、2009 年 3 月

④高梨 聡, 溝口 康子, 岡野 通明, 大谷 義  
一, 岩田 拓記, 中井 裕一郎 温帯ア  
カマツ林における分光反射特性の季節変  
動、第 55 回日本生態学会大会、福岡国際  
会議場、2008 年 3 月

⑤TAKANASHI Satoru, KOSUGI Yoshiko,  
OHKUBO Shinjiro, MATSUO Naoko,  
TANI Makoto, ABDUL RAHIM Nik,  
Water and heat fluxes above a tropical  
rain forest at Pasoh in Peninsular  
Malaysia、AsiaFlux Workshop 2007,  
Aspire Park, Taoyuan, Taiwan、2007 年  
10 月

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高梨 聡 (TAKANASHI SATORU)

独立行政法人森林総合研究所・気象環境研究  
領域・研究員

研究者番号：90423011

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：