

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「水の循環系モデリングと利用システム」
研究課題
「北方林地帯における水循環特性と
植物生態生理のパラメータ化」

研究終了報告書

研究期間 平成14年11月～平成20年3月

研究代表者：太田 岳史
(名古屋大学大学院生命農学研究科 教授)

1. 研究実施の概要

1. 1. 研究の背景と目的

森林は全陸域の約 30%、全球の約 10%を占めるにすぎない。しかし、全バイオマス量の約 90%、全光合成量の約 50%は森林が占めるといわれている。このように、森林では物質循環が活発に行われており、それとともに生じる森林における水循環も局地スケール、全球スケールでの水循環に強く影響している。そして、北方林は全森林の約 30%を占めており、水循環に対して大きな影響を与えていると考えられる。

北方林は北緯 45°~70°の範囲に分布している。この地域の気候条件は、年降水量 200~1,000mm、年平均気温が-10~5℃などのように地域的変動が大きい。また、レナ川中流に位置するヤクーツクにおける気温の季節変化は-55~35℃であり、時間変動も非常に大きい。このように環境条件が時間的にも空間的にも大きく変動する北方林においては、植物（森林）の環境応答特性も大きく異なり、その影響が水循環にも反映されていると考えられる。しかし、北方林における水循環研究は温帯林、熱帯林における研究と比較するとその歴史が浅い。このため北方林における森林の環境応答特性の空間分布と水循環への影響、他の気候帯に位置する森林における水循環特性の相違など、未解明な部分が多いのが現状である。

また、一般に「北方林での表面コンダクタンスは小さく、温帯、熱帯にゆくにしたがいその値は大きくなる」（Jarvis and Fowler, 2001）と言われているが、これはその地域の森林そのものが有する固有の特徴なのか？成立環境に応じて表れている結果なのか？という環境応答特性の地域性にも未解明な部分が多い。

そこで、本研究チームでは、（1）気候・気象条件が大きく異なる高緯度森林帯（北方林）から中緯度森林帯（温帯林）での水・エネルギー循環の観測をとおして、北方林地帯における水・エネルギー循環の陸面過程とこれに対する森林生態生理学的影響を個葉スケールから群落スケールにおいて明らかにすること、（2）上記の成果を陸面過程—分布型流出モデルへ反映させ、北方林における森林の環境応答特性、蒸発散、河川流出量、水収支の空間分布を明らかにし、水循環特性の空間分布の現況を把握すること、（3）環境変動シナリオを陸面過程—分布型流出モデルに与え、環境変動による北方林の環境応答特性の変動と水循環に与える影響を予測すること、を大きな目的として研究を遂行してきた。

1. 2. 研究の体制と方法

研究は大きく、北方森林圏における①群落スケールでの森林の水・エネルギー・物質循環素過程・特性と森林の環境応答特性の理解（陸面水循環解析グループ）、②個葉スケールでの樹木の環境応答特性の理解と広域森林構造の推定（森林動態解析グループ）、③陸面モデル、分布型流出モデルを用いた水・エネルギー循環特性の現状の理解と将来予測（森林動態—水循環モデリンググループ）の3グループによって行われた。各研究グループの位置付けと相互関係、モデル化に向けた研究の流れは、図1. 1、図1. 2に示すとおりである。

「陸面水循環解析グループ」は、群落スケールでの水・エネルギー・物質循環の素過程

の理解とその時空間分布特性の解析，流域スケールでの流出特性解析を担当した．現地観測は，水・エネルギー・物質循環に対する森林の応答特性に関して，同一気候条件下における森林タイプによる相違，異なる気候条件下での相違が検出できるように，シベリア・

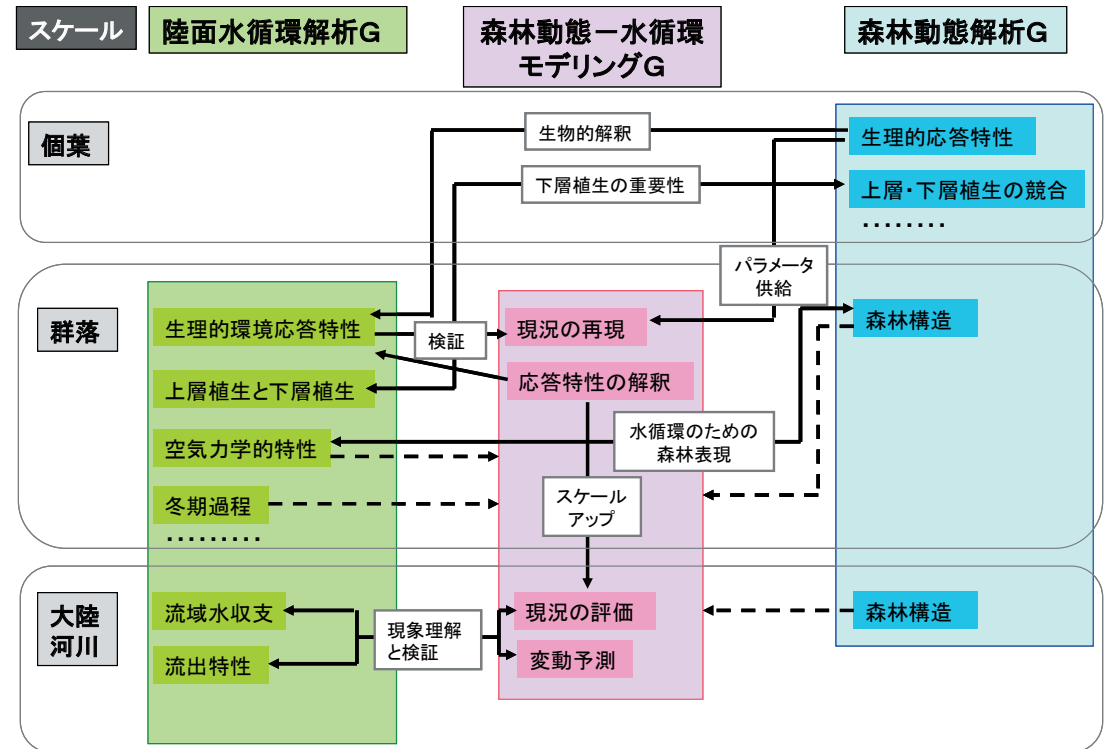


図1. 1 研究グループの位置づけとグループ間の関係

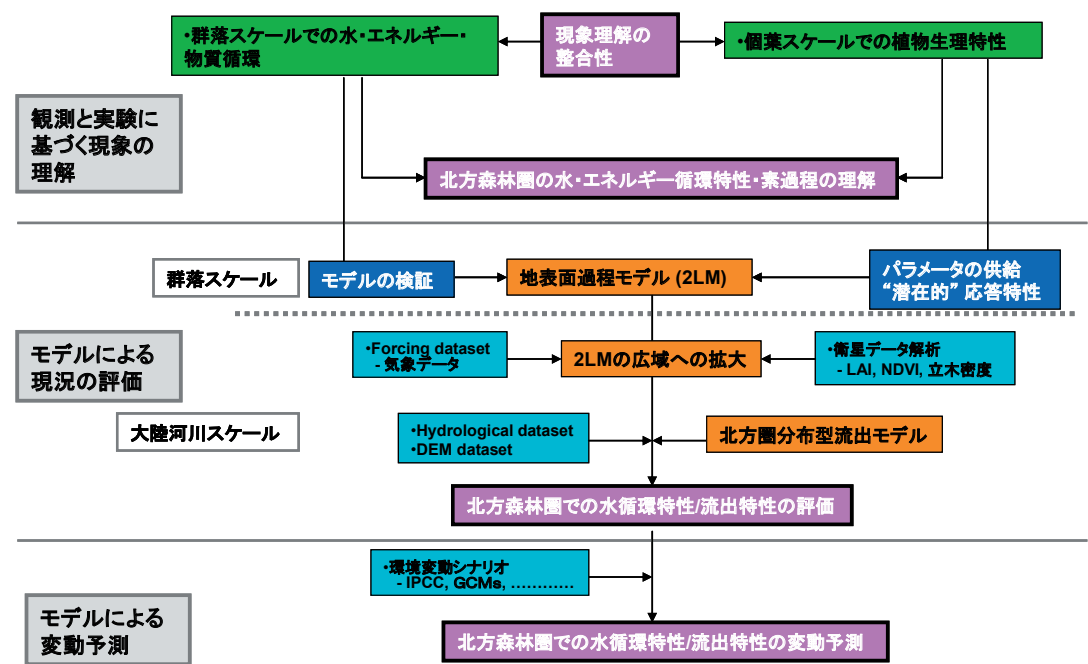


図1. 2 北方林水循環のモデル化に向けた研究のフロー

ヤクーツク、北海道・母子里、愛知・瀬戸の3地域に5サイトを設置した。そして、各森林において、樹冠上各種フラックス（ヤクーツクでは冬期を除く）、気象要素、森林構造などの連続観測を行った。詳しい観測の方法は、3. 1に記す。解析を行う姿勢としては、あるサイトの解析を特定の個人が行う「縦割り」型の解析ではなく、解析テーマごとにサイト横断的に解析を行うことを基本とした。

「森林動態解析グループ」は、個葉スケールにおける水循環に関わる樹木の生理応答特性、下層植生と上層植生の共生関係を明らかにし、「森林動態－水循環モデリンググループ」が利用する陸面モデルに対する植物生理パラメータの提供を行った。観測、実験は、できる限りの多くの地域と樹種での応答特性を解析に資するために、上記3地域5サイトに6地域を加え、全9地域7樹種での解析を行った。また、衛星データによる広域LAI推定などの森林構造評価法の開発も担当した。衛星データ解析では複数の衛星データを組み合わせて広域森林構造の把握を目指した。あわせて現地でのLAI計測手法の開発を行った。

「森林動態－水循環モデリンググループ」は陸面過程モデル（2LM）、分布型流出モデルを用いて、北方林地帯での群落スケールから大陸河川スケールでの水・エネルギー循環特性の現況の理解と将来予測を担当した。陸面モデルにより鉛直1次元スケールでの水・エネルギー交換特性の理解、提案された“潜在的”応答特性の概念のモデルを通した解釈と他地域への応用、一次元陸面過程モデルのレナ川流域への拡張を行った。そして、分布型流出モデルとのカップリングにより、大陸河川スケールでの水循環特性の現況把握と将来予測を目指した。

1. 3. 主な成果

（1）“潜在的”応答特性の概念の提唱・検証

群落スケールでの表面コンダクタンス、個葉スケールでの気孔コンダクタンスの環境応答特性の解析より、「森林あるいは樹木は、気候帯、森林タイプを越えてひとつの応答特性に収束している」（言い換えれば、森林あるいは樹木は最適（同一の条件に置かれたときに）条件に置かれたときに、森林が示す反応は類似する）という、“潜在的”応答特性の概念を提唱した。

この概念に基づいたパラメータを陸面モデル（2LM）に与えることによっても、各観測サイトの水・エネルギー循環特性を再現できた。そして、“潜在的”応答特性の概念を用いたパラメータによって水・エネルギー循環特性を再現できる意味を考察し、この概念に基づいた方が、自然条件下での現象を合理的に説明できることが分かった。2LMを用いてこの概念のAmeriFLUX、EuroFLUXの観測地点への応用を試みた。その結果、前者に関しては比較的良好な再現性を得たが、後者では計算値が過大となった。この原因に関しては、検討中である。

“潜在的”応答特性の概念を用いた2LMをレナ川流域に拡張し、分布型流出モデルとのカップリングにより、レナ川の水文特性の現況の評価を行った。その結果、1986-2003年までの18年間の特性をほぼ再現できた。また、レナ川では非常に遅い流出成分の存在とその重要性が指摘された。このように、18年間にわたって北方大陸河川の流出特性を連続的に再現でき、その流出成分の構成に関して流出モデルを介して知見を得たことは、大きな成果である。

(2) “潜在的”応答特性の概念の応用

(1)で示したように“潜在的”応答特性の有用性は認められたため、この概念を用いて、2100年までのレナ川の水循環特性の変動を予測した。この概念に基づけば、仮に気候条件や森林タイプに変動が生じていても、植生の応答特性は、変動していない。その結果、入力である降水が増加し、蒸発散量、河川流出量ともに増加することが予測された。河川流出量の季節変動は、温暖化するにもかかわらず春の出水のピークが遅れ小さくなることが予測された。これは入力である降雪量がレナ川流域では冬期には現況と大きく変動しないが、冬期潜熱フラックスの増加により積雪水量が減少するためと予測される。詳細な解釈は、現在検討中である。

(3) 北方林地帯の水循環特性の抽出

多地域、多サイト間比較研究により、以下の点が示された。北方林地帯では年間降水量に占める蒸発散の割合が非常に高いが、その年々変動は寡雨地帯であるにもかかわらず降雨と比較して小さい。これは、中低緯度地帯または永久凍土の存在しない地帯の水収支特性とは大きく異なる特徴であり、永久凍土の存在が蒸発散量の年々変動に強く影響を与えている。また、蒸発散量の年々変動は、土壌水分に強く支配された。また、北方林と温帯林の蒸発散量の相違は主に地表面側の規制によって決定され、温帯林内での小さな蒸発散量の差は大気側の条件によって規制されることが示された。そして、既存の公開データもあわせて検討した結果、解析対象とする時間が年々変動のように長い場合には土壌水分が、日内変動や日々変動のように短い場合には放射などの大気側の条件が強く影響することが示された。また、大陸スケールの水循環特性では、レナ川の年間水収支が他のオビ、エニセイ、コリマ川と大きく異なった。これは、地表面状態（森林面積率、湿地面積率）と永久凍土の発達の有無などに影響されると考えられるが、詳細は今後の課題である。

(4) 北方林水循環素過程の理解の進展

上記の他にも、多くの素過程の理解に関する知見を得た。まず、生理学的特性の表面コンダクタンス、気孔コンダクタンスとならんで森林の群落構造によって決まる空気力学的特性を森林の基本的構造（立木密度）と葉量の2つのパラメータによりモデル化し、多様な森林に関して森林間の相違、同一森林での季節変動を統一的な説明を可能とした。また、下層植生の水循環に対する役割が上層植生の構造と強い関係にあることが示された。そして、中緯度帯森林においても考えられている以上に下層植生の役割が大きいことが指摘された。そして、上層植生とは異なる環境応答特性を示し、下層植生特有の生存形態が認められた。この下層植生が多くの水を消費していることによって、上層植生の蒸散、光合成特性や葉の形態などの生態生理的特性に影響を与えていることが示された。北方林での上層植生、下層植生からの蒸発散に対する駆動力としては、放射よりも飽差の影響が大きいことが示された。これは熱帯林での蒸発散の駆動力が放射であることに對して、北方林の蒸発散に関する大きな特徴である。冬期過程に関しては、大気との熱交換に大きくかわる樹体着雪量の定量化に関するモデルが開発された。炭素循環は解析が水循環よりも遅れて開始されたため、定量的な地域間差、森林タイプ間差の評価には至っていない。しかし、光合成に對しても森林タイプを越えて共通の応答特性が存在する可能性が示唆された。また、冬期の雪面からのCO₂の射出量の重要性も指摘された。

1. 4. 成果の公表

本研究チームでは、チームメンバーでありヤクーツクの観測に対するカウンターパートでもあるロシア科学アカデミー・北方圏生物問題研究所、植物生理生態学研究室長、Trofim C. Maximov 氏、アムステルダム自由大学、教授、Albert J. Dolman 氏と 3 回のワークショップを開催してきた。本 CREST 研究が終了するのを契機に、両氏と CREST 代表研究者の太田岳史の 3 名が Guest Editorial Board となって、Agricultural and Forest Meteorology 誌から Special Issue を発刊することが Elsevier 社から認められた。そして、2007 年 10 月 31 日を原稿締め切りとして論文募集を行い、発刊に向けている。同誌は、植物圏と大気圏の相互作用を広い時空間スケールで扱う国際誌として、その国際的評価は高く、インパクトファクターも 2.9 を得ている。本 Special Issue は本 CREST メンバーの研究成果のみにとどまらず、ロシア、オランダの研究者の成果も広く投稿される予定であり、シベリア地域の植物圏と水・エネルギー・物質循環の相互作用に関する最新の知見が掲載される予定である。

引用文献

1. Jarvis PG, Fowler D. 2001. Forests and the Atmosphere. In the forest handbook, Blackwell Science Ltd., London. 229- 281.

2. 研究構想及び実施体制

(1) 研究構想

1) 研究の立案と目標

研究代表をはじめとし本 CREST メンバーの一部は、先行プロジェクトにおいてシベリアにおける水・エネルギー・物質循環の研究に参画してきた。この研究を通して、それまで未知であった当該地域の代表的地表面における水・エネルギー循環の基本的特徴を知ることができた。しかし、広大に広がるタイガ林がこれらの諸特性に与える影響に関しては、十分な知見が得られておらず、また得られた水・エネルギー循環の基本的特徴の時間的一般性を確認するためにも、より長期的な解析が必要となった。また、大陸流域スケールでの水・エネルギー循環特性を把握するには、多様な環境下に存在する植生圏がどの様に応答しているのか知る必要がある。

以上の見地から、本研究チームで設定した大きな目標は、1. でも記したように(1) 気候・気象条件が大きく異なる高緯度森林帯(北方林)から中緯度森林帯(温帯林)での水・エネルギー循環の観測をとおして、北方林地帯における水・エネルギー循環の陸面過程とこれに対する森林生態生理学的影響を個葉スケールから群落スケールにおいて明らかにすること、(2) 上記の成果を陸面過程一分布型流出モデルへ反映させ、北方林における森林の環境応答特性、蒸発散、河川流出量、水収支の空間分布を明らかにし、水循環特性の空間分布の現況を把握すること、(3) 環境変動シナリオを陸面過程一分布型流出モデルに与え、環境変動による北方林の環境応答特性の変動と水循環に与える影響を予測すること、の3点である。

2) 研究計画

上記の研究目的に即して、観測研究のベースとする観測地域に東シベリア・ヤクーツク(代表的北方林)、北海道・母子里(北方林南限)、愛知・瀬戸(代表的温帯林)の3地域を選定した。そして、同一気候帯での異なる森林タイプ間の相違、異なる気候帯間での特性の相違を抽出できるように、5観測サイト(ヤクーツク:2, 母子里:2, 瀬戸:1)を設定した。これは、北方林地帯の特性を抽出するためには、他の気候帯における森林での特性と比較・検討することが不可欠と考えたためである。また、大陸河川としては、永久凍土が最も発達している、レナ川流域を選定した。

また、観測結果の解析に対する基本的姿勢としては、特定のサイトの現象を特定の人間が解析を進める「縦割り型」ではなく、対象とする現象に対してサイト横断的に解析を進めてゆく「横割り型」の解析を基本とした。本研究が開始される数年前より、FluxNet によるデータ公開が進められて、多数の地点での解析の必要性和有用性が主張されていた(Baldocchi ら, 2001)。本研究のように、単一プロジェクトにより広範な気候帯での複数地域、複数観測サイトでの観測に基づく研究計画は、非常にめずらしい。

研究計画は、当初、多様な気候帯において①水・エネルギー・物質循環に関わる植生圏の応答特性が、どのような空間分布特性を有しているのかを導出し、②得られた結果と全球気候値、植生図などを組み合わせた応答特性分布マップを策定し、③これにより北方林地帯の水・エネルギー・物質循環特性の時空間分布の現況を把握し、④環境変動シナリオに沿って将来予測を行う、という流れであった。また、対象とする現象も大気と森林間での

水・エネルギー・物質循環過程に限って計画を開始した。

その後、5観測サイトでの観測の進展により、「各サイトに共通する森林の応答特性が存在するのではないか？」との仮説が提案され、チーム内での議論を行いこの仮説に従って個葉スケール、群落スケールでの現象を説明でき、かつより合理的ではないか？との合意が得られた。そしてこの考え方を、「森林は、気候帯、森林タイプを越えてひとつの応答特性に収束している」と表現し、“潜在的”応答特性と呼ぶこととした。また、水循環として流域スケールでの解析を推進する重要性も指摘され、レナ川流域の蒸発散・陸面過程にとどまらず、河川流出の応答特性も解析の対象とした。このために、新たな研究メンバーに参画いただいた。その結果、研究計画を①個葉、群落スケールのそれぞれにおいて、“潜在的”応答特性が適応可能であるかを検証し、②“潜在的”応答特性の概念を鉛直1次元スケールから大陸河川スケールまでのモデルに適用し、蒸発散、河川流出量の時空間分布の現況の再現性の検討と理解をすすめる、③当該地域の環境変動による水循環変動を予測する、と変化した。

上記の水・エネルギー・物質循環に関わる森林の植物生理的な応答の評価に加え、水循環素過程、特に北方林で重要となる林床植生の役割、冬期過程（特に降雪遮断特性）、根系生理、森林の空気力学特性に関する理解を深める研究、衛星データを利用した広域の森林物理量の取得に関する研究などは、当初の予定通り実施された。

3) 研究の進め方

i) 研究グループの構成

既に述べたが、本研究チームは、「陸面水循環解析グループ」、「森林動態解析グループ」、「森林動態－水循環モデリンググループ」の3グループから形成されている。

「陸面水循環解析グループ」は、群落スケールでの水・エネルギー・物質循環過程の現地観測を担当し、観測結果に基づいて森林の生理生態学的応答特性、空気力学的特性、北方林の水・エネルギー循環に対して重要な素過程の解析を進めた。また、レナ川流出量のデータ収集を行い、大陸河川スケールでの流出特性、水収支特性の解析を行った。

「森林動態解析グループ」は、個葉スケールでの樹木の環境応答特性解析、森林を構成する上層植生と下層植生の競合関係の解析などの森林の動態を生理学的見地から研究を進めた。また、広域解析に不可欠となる衛星データを利用した森林物理量、特に葉面積指数（LAI ; Leaf Area Index）の取得法の開発、現地での新たな LAI 計測手法の開発を進めた。

「森林動態－水循環モデリンググループ」は、上記2グループで得られた結果を陸面モデルに組み込み、鉛直1次元（群落）スケールから大陸河川スケールでの大気－森林間の水・エネルギー交換過程の現況の解析を進めた。また、分布型流出モデルとのカップリングを行い、レナ川流域の流出解析を担当した。そして、広域陸面モデルとカップリングモデルにより、環境変動に伴う当該地域の水・エネルギー循環特性の変動予測を担当した。

これらの研究グループは独立したものではなく、図1. 1に示したように相互に現象の解釈の整合性などの議論を行い、研究を進めた。

ii) 研究の進行

既に述べているが、観測結果の解析に対する基本的姿勢は、対象とする現象に対してサイト横断的に解析を進めてゆく「横割り型」の解析を基本とした。そのため、研究チーム

全体の進行の調整は、研究代表者と3名のサブリーダーからなるリーダーミーティングにおいて行い、研究チーム全体の研究の流れに沿った各グループの研究内容の調整などを行った。

研究チーム間の研究成果の交換及びディスカッションの場として、年2回開催の研究報告会（11回開催）とより高頻度での電話会議（34回開催）を設けた。前者は、研究メンバーのほとんどが参加するものであり、各自の研究成果に関する報告とディスカッションのみでなく、常に最終日に2－3時間の総合討論により、研究チームの方向性、得られた現象や結果の理解と解釈に関する合意形成の場とした。後者は、各メンバーの研究成果の速報や途中経過に関してディスカッションを行う場であり、本研究チームのセミナーの役割を果たした。

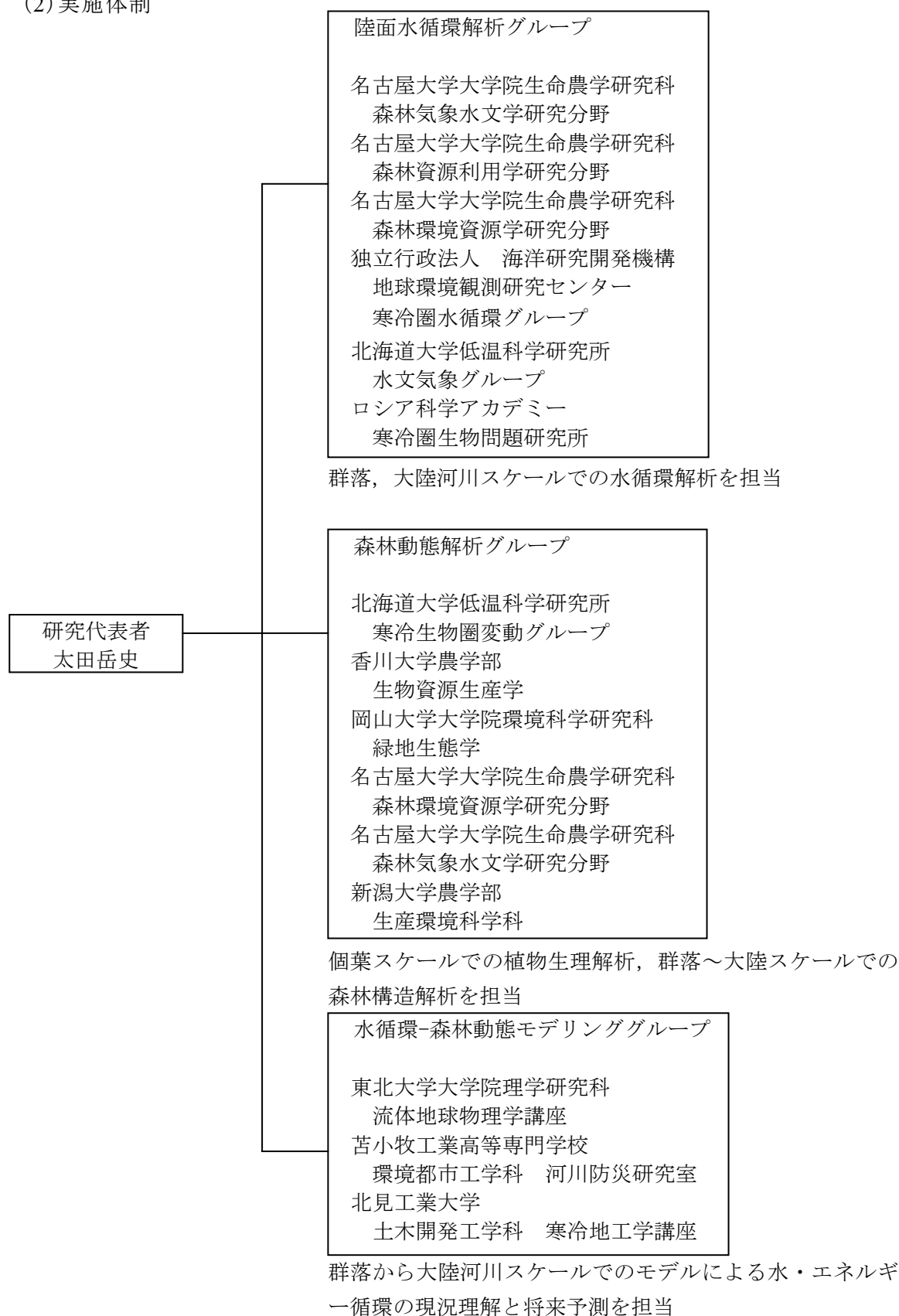
研究チーム内の集会と平行して、ヤクーツク研究サイトのカウンターパートである北方研生物問題研究所、同じ研究サイト観測を共同で行っているアムステルダム自由大学、Alterra のオランダ研究チームと共同で、3回の国際ワークショップを開催した。参加者は3研究グループに限ることはしなかったが、ワークショップの規模が大きくなりすぎ、議論が散漫になることをさけるため、semi-open 形式で行った。このため、開催規模は参加者が30－40名であり、議論の焦点が明確なワークショップになったと考えている。このワークショップをとおして、研究成果のみでなく現地での観測協力体制や今後の研究の方向性に関して有意義な議論が行うことができた。そして、ここでの研究発表の成果を基礎として、前述のように *Agricultural and Forest Meteorology* 誌の special issue の発刊へ発展した。

また、本研究によって得られたデータの一般公開にも努めた。議論の結果、各観測サイトの状況、観測項目のみでなく、気象要素、土壌水分、地温、各種フラックスに関しては、データ取得から2年後に、一般公開することとした。現在、2005年12月までの5観測サイトにおける30分データが本研究チームの WEB サイトから公開されている。同時に、Asia FluxNet プロジェクトへの貢献として、同 FluxNet の WEB サイトからも本研究チームのデータサイトへアクセス可能となっている。本研究チームのデータ公開の迅速性は、Asia FluxNet においても、高く評価されている。また、一般公開されていないデータ（一般公開以外の観測項目や一般公開以前のデータ利用）に関しては、利用者からデータ利用申請書を提出していただき、メールによるリーダーミーティングにより了承後、公開することとし、このルートによっても6件のデータ提供を既に行っている。

引用文献

1. Baldocchi, D. 2001. Fluxnet: A new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem-scale carbon dioxide, water vapor, and energy flux densities. *Bulletin of American Meteorological Society* 82: 2415-2434

(2) 実施体制



3 研究実施内容及び成果

各節または項のはじめに示す「成果の主な公表」の番号は、**6. 成果発表等**の番号を指している。

3. 1. 研究チームとしての成果 — “潜在的” 応答特性の提案と検証—

本研究チームでは、北方林地帯の水循環特性に関わる森林の生態生理学的特徴を抽出、パラメータ化し、広範な森林の水循環に関わる生態生理特性の環境に対する応答特性（以下、環境応答特性という）を、群落、個葉スケールでの観測、実験により検討した。その結果を、陸面過程モデルに反映し観測、実験結果の検証を行った。その結果、「森林の環境応答特性は、森林タイプ、気候帯を越えて一つの関係に収束する」という“潜在的” 応答特性の概念を提案した。言い換えれば、「最適あるいは同一の環境条件下では、森林が示す環境応答特性は類似する」という考え方を、提示、検証した。そして、この概念を陸面過程モデルと分布型流出モデルを統合した北方圏水循環モデルに用いることにより、本概念の大陸河川流域規模での適応性と北方森林圏の水循環特性を検証した。本節では、本研究チームが提案する“潜在的” 応答特性を研究チームの成果として報告する。

本研究では、森林の環境応答特性の重要な指標として、表面コンダクタンスあるいは気孔コンダクタンスに注目した。そして、コンダクタンスの応答特性を複数の環境因子によって表現する Jarvis 型コンダクタンスモデルによってその応答特性を検討した。Jarvis 型コンダクタンスモデルは、以下のように示される。

$$G_s = G_{smax} \cdot f(Q) \cdot f(T) \cdot f(D) \cdot f(\theta) \quad (3. 1)$$

ここで、 G_s は表面（あるいは気孔）コンダクタンス、 G_{smax} は最大表面コンダクタンス、 Q は光合成有効放射量、 T は気温、 D は大気飽差、 θ は土壌水分量、 $f(x)$ は環境因子 x に対する環境応答関数である。各環境因子に対する関数 f は、0-1 の値をとり、最大コンダクタンス G_{smax} を制御する因子として働く。各因子とコンダクタンスの関係は、一般に図 3. 1 のような応答を示すことが広く認められている(例えば, Oak, 1978)。

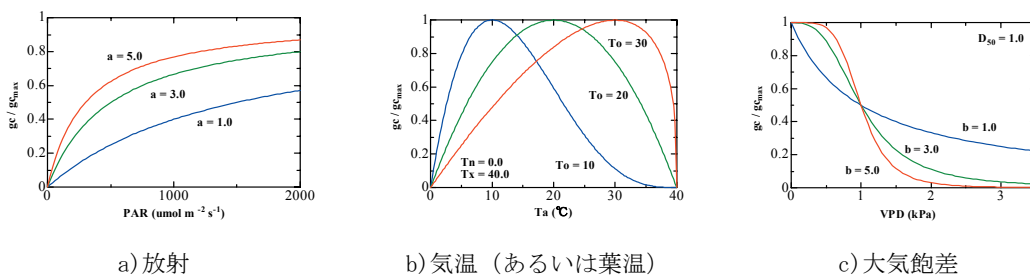


図 3. 1 表面（あるいは気孔）コンダクタンスと環境因子の関係の概念図

コンダクタンスとの応答関係は、上図のような特性があることが広く認められている。各関数の曲率や極大値の発生する位置は、観測地域や森林タイプによりいろいろな結果が過去報告されている。

(1) 群落スケールでの解析結果

[成果の主な公表：論文（国際）；50，学会（口頭国内）；35，36，（口頭国際）；31，（ポスター国際）；15]

1) 研究の方法

群落スケールの観測と解析は、図 3. 2 に示すように、北方林の代表としてシベリア・ヤ

クーツク地域に2観測サイト（カラマツ林；YL，アカマツ林；YP），北方林南限あるいは冷温帯林の代表として北海道・母子里地域に2観測サイト（カンバ林；MB，混交林；MM）ならび温帯林の代表として愛知・瀬戸地域に1観測サイト（混交林；SM）を選定した．各観測サイトの諸元は，表3．1に示す．



図3．2 観測サイトの位置

各観測サイトでは，観測タワーを用いて，樹冠上での乱流変動法による各フラックス，気象要素の鉛直プロファイル，土壌水分量（YPを除く），地温の計測が行われた．また，YP, MMでは乱流変動法により，SMではチャンバー法を用いて下層植生面あるいは林床面また積雪面からの各フラックスの計測が行われた．観測システムは，下層植生からのフラックス計測などでは各サイトの特性に応じて設計されているが，樹冠上フラックス，気象要素などの基本要素の計測は極力同一のシステム設計をした．

この他に，森林のフェノロジー（生物季節）を把握するために，各観測サイトに自動画像取得装置を設置した．また，森林構造を表す指標のLAIの計測も行われた．

表3．1 観測サイトの諸元

Site	YL	YP	MB	MM	SM
Location	62°15'18"N 129°37'08"E	62°14'29"N 129°39'02"E	44°23'03"N 142°19'07"E	44°19'19"N 142°15'41"E	35°15'29"N 137°04'54"E
Altitude (m)	220 m	220 m	584 m	340 m	205 m
Forest type	deciduous conifer	evergreen conifer	deciduous broadleaf	evergreen and deciduous mixed	evergreen and deciduous mixed
Understory	cowberry	cowberry	dwarf bamboo	dwarf bamboo	pteridophyte and evergreen shrub
Mean tree height	18 m (only tall tree)	10 m (only tall tree)	9.4	6.8	8.2
Max. tree height	21.8 m	12.1 m	13.9 m	35.5 m	19.0 m
Stand density (trees ha ⁻¹)	840	1492	4833	1767	1496
LAI of canopy layer in summer (m ² m ⁻²)	1.56 (in 2005)	1.07 (in 2005)	3.18 (in 2004) 2.94 (in 2005)	3.44 (in 2004) 3.22 (in 2005)	3.70 (in 2005)

2) 結果と考察

図3．3は，各観測サイトに対して得られた各環境因子と表面コンダクタンスの関係を

示している．各図中，プロット群の上限を描く包絡線は，コンダクタンスが（３．１）式中で当該の環境因子以外の抑制を受けていない時（当該の環境因子以外の関数 f の値が１の時）の応答関数と考えられる．すなわち，図３．３中の各環境因子に対するプロットの上限を描く包絡線が，（３．１）式中のその環境因子の応答関数を表すことになる．これによれば，飽差による抑制，最低・最高温度，土壌水分の抑制， G_{smax} のサイト間差が顕著である．また，ヤクーツク地域，母子里地域における応答特性を見ると，同一地域内での応

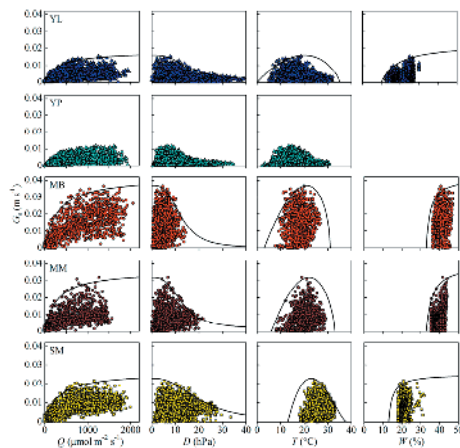


図３．３ 観測サイトごとに見た表面コンダクタンスと環境因子の関係

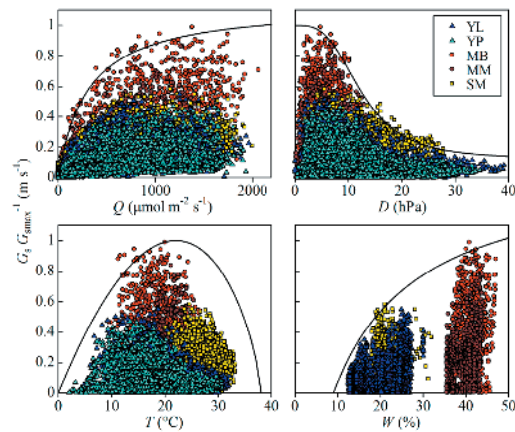


図３．４ 各観測サイトの結果をプールして得られる規格化した表面コンダクタンスと環境因子の関係

答特性は森林タイプが異なるにもかかわらず，非常に似た応答を示している．ここで，各観測サイトで観測された環境因子の範囲に注目すると，気温，大気飽差，土壌水分に関して大きな違いが認められる．観測されていない範囲での応答特性は外挿された値であり，真の応答特性を知ることは不可能である．また，観測された環境要因の範囲の相違が，各サイトに対して得られた応答特性に影響を与えていることは十分に考えられる．特に土壌水分に関しては，各サイトにおいて観測範囲が非常に狭い．サイトごとに表面コンダクタンスに対する各環境要因の抑制を考えると，土壌水分は表面コンダクタンスの規制因子として働いていないと判断される．

まず図３．３に現れる G_{smax} のサイト間差に関して LAI を用いて検討した． G_{smax} は LAI の小さい森林で低下することが既往の研究(Kelliher ら, 1995)によっても示されており，特に LAI が 3 以下で， G_{smax} の低下が顕著であることが示されている．これらの結果を参考として，本観測結果を検討した結果，以下の結果が得られた．

$$G_{smax} = G_{sMAX} [(L/6) + 0.5], \quad \text{when } L < 3$$

$$G_{smax} = G_{sMAX}, \quad \text{when } L \geq 3 \quad (3.2)$$

ここで， G_{sMAX} は LAI が十分に高い森林での G_{smax} の最大値， L は LAI である．すなわち， G_{smax} は LAI の関数として表現できる．

次に，環境因子の観測範囲がサイトごとで異なっている問題点を解消するために，各観測サイトで得られた各環境因子と表面コンダクタンスの関係を同一の図にプールすることにより，これらの関係を再検討した．図３．４は環境因子と（３．２）式で得られる G_{smax}

で規格化した表面コンダクタンスの関係を示す。環境因子は各サイトの結果をプールすることで各サイトの未観測部分を補完しあい、各環境因子に対してサイト共通の新しい応答関数が得られる。結果として、サイトを越えて共通の一つの応答関数で表面コンダクタンスの応答は表現できることになり、次式で表される。

$$G_s = G_{\text{smax}}(L) \cdot f(Q) \cdot f(T) \cdot f(D) \cdot f(\theta) \tag{3.3}$$

次に図3.3に示されるサイトごとに得られた応答関数と図3.4に示されるサイト共通の応答関数による表面コンダクタンスの再現性を検討した。

図3.5は、観測された表面コンダクタンスとサイトごとに得られた応答関数(図3.3)により得られた表面コンダクタンス、サイト共通に得られた応答関数(図3.4)により得られた表面コンダクタンスの関係を示している。また、表3.2にそれぞれの方法

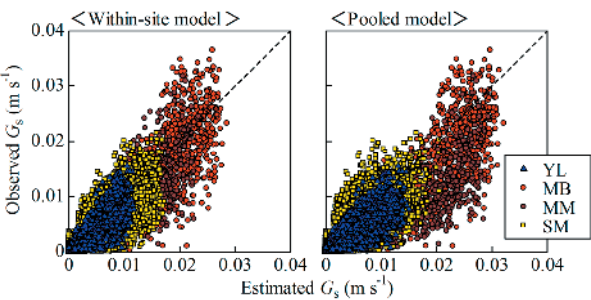


図3.5 サイトごとに得られた応答関数で推定された表面コンダクタンスの実測値との比較(左)とサイトごとに得られた結果をプールすることによって得られた応答関数により推定された表面コンダクタンスの実測値との関係

で推定した場合の、RMSE (Root Mean Square Error)を示している。これらの結果から、2つの手法で得られた推定精度に大きな相違はないことが分かる。すなわち、広い気候帯での表面コンダクタンスの環境因子に対する応答特性をプールすることにより、森林の環境応答特性を各環境因子にごとに一つの応答で表現することが可能であり、かつ各サイトの表面コンダクタンスを再現できる。これは、森林群落が気候帯、森林タイプによらない共通の環境応答特性を有することを示唆している。

表3.2 2つの方法による表面コンダクタンス推定の誤差 (m s⁻¹)

	Within-site (W)	Pooled (P)	P/W
YL	0.15	0.15	1.0
MB	0.52	0.54	1.0
MM	0.42	0.62	1.5
SM	0.24	0.24	1.0

(2) 個葉スケールでの解析結果

[成果の主な公表:学会(口頭国際);9, 39, 48]

1) 研究の方法

個葉スケールにおいても、群落スケールで認められたと同様の気候帯、樹種を越えた共通の応答特性が存在するか否かを解析した。個葉スケールでは着枝・自然環境下での観測



図3.6 個葉スケール研究の観測位置

と切枝・環境制御下での実験の2つの方法を用いた。前者の観測では各サンプル葉に対する気孔コンダクタンスの日変動が得られ、群落スケールと同様にサイト、樹種ごとの応答特性とサイト、樹種共通の応答特性を検討する。後者では同一環境条件下で各サンプル、サイト、樹種を越えて同じ応答特性を示すのかを検討する。すなわち、(3.1) 式中の各関数 f を実験的に求め、サイト間、樹種間の相違の有無を明らかにするものである。

観測、実験は図3. 6に示すシベリアで1サイト、カムチャッカで1サイト、日本で7サイトの計9サイトである。対象とした樹種は、カバノキ属3種、カラマツ、アカマツ、コナラの4属7種である。葉の樹木個体内での部位による特性の相違を小さくするために、各サンプル葉は樹冠表面の放射を十分に受けている葉をサンプルとした。

2) 結果と考察

i) 着枝・自然条件下での観測結果と考察

図3. 7は、着枝・自然条件下でのカバノキ属のサイトごとにみた各環境因子と気孔コンダクタンスの関係を示す。これより、サイトごとにその関係は大きく異なっていることが分かる。特にヤクーツク・カンバ林では同じ樹種、同じサイトであるにもかかわらず2003年と2007年ではその関係が大きく異なった。図3. 8は、群落スケールと同様に全樹種、全サイトに関して得られた値を環境因子ごとに1つの図にまとめて示したものである。図3. 4と同様に、全データをプールして得られた関係も1つの包絡線で関係を包含できる。次に図3. 7に一例を

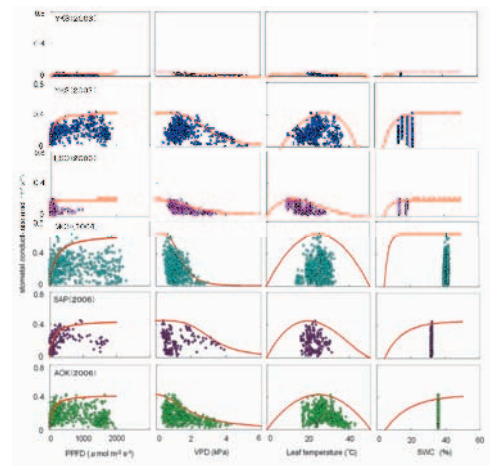


図3. 7 カバノキ属でのサイトごとにみた気孔コンダクタンスと環境因子の関係

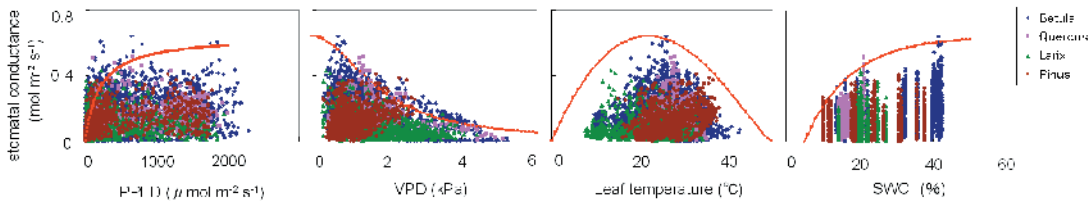


図3. 8 樹種、気候帯を越えてプールして得られる気孔コンダクタンスと各環境因子との関係。

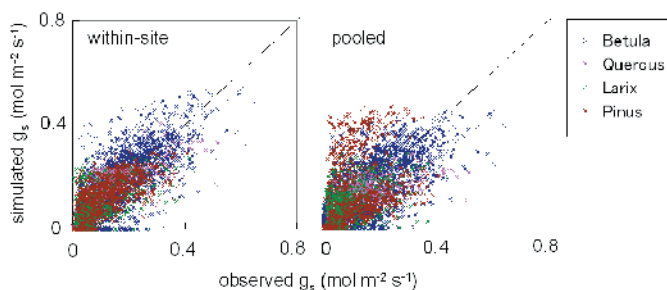


図3. 9 パラメータの決定方法による推定精度の差。(左) サイト毎にパラメータを決定した場合；(右) プールしてパラメータを決定した場合。

示した樹種ごと、実測気孔コンダクタンスに対するサイトごとの応答関数によって推定された気孔コンダクタンスと図3. 8に示した樹種、サイト共通の応答関数で推定された気孔コンダクタンスの関係を図3. 9に示す。共通の応答関数で推定された気孔コンダクタンスは、一部のアカマツに対してやや過大評価する

結果となった。しかし、RSMEを見ると前者に対しては0.058、後者に対しては過大評価されたアカマツを加えても0.070ときわだった悪化は見られなかった。このことから、個葉スケールにおいても樹種、成立環境を越えた共通の応答特性が存在することが示唆される。

ii) 切枝・環境制御条件下における実験と考察

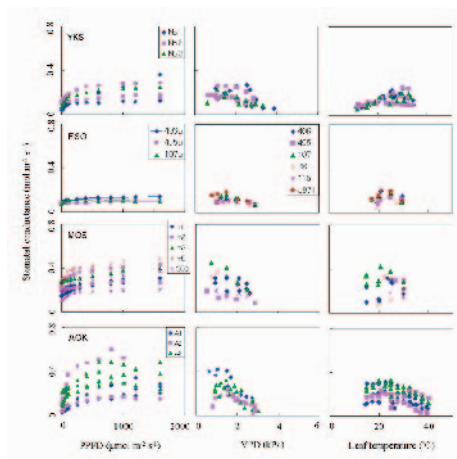


図3. 10 個葉ごとに見た切り枝実験による気孔コンダクタンスと環境因子の関係 (カバノキ属の例)

次に、切枝・環境制御条件下での実験結果を用いて、個葉スケールでの気孔コンダクタンスは同一環境におかれた場合に同様の応答特性を示すのか？否か？に関して検討を行った。図3. 10は、カバノキ属に対する切枝・環境制御条件下での実験結果を示している。これによれば、サイト、個葉ごとに応答は一見大きく異なっている。しかし、この図からは、この相違は最大気孔コンダクタンス g_{smax} が異なるために生じているのか？応答特性そのものに差があるのか？は判断できない。そこで、得られた気孔コンダクタンスを個葉ごとの最大気孔コンダクタンスで規格化した値の応答を検討した。図3. 11は、規格化された気孔コンダクタンスの各

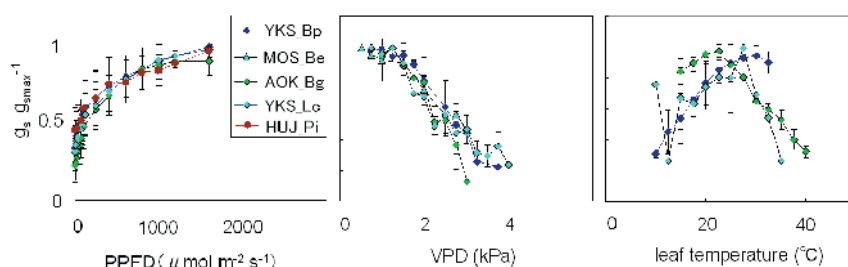


図3. 11 g_{smax} により規格化して表した切り枝実験による気孔コンダクタンスと環境因子の関係

環境要因に対する応答特性を示している。これより、規格化された気孔コンダクタンスの応答は、それぞれ非常に類似したものとなることが分かる。このことから、気孔コンダクタンスの応答特性は成立する気候帯や樹種を越えて類似していることが分かる。そして、図3. 10に見られた個葉ごとの大きな相違は、 g_{smax} の大きさに主に起因していると考えられる。すなわち、気孔コンダクタンスは、以下のように表現されることが考えられる。

$$g_s = g_{smax}(x) \cdot f(Q) \cdot f(T) \cdot f(D) \cdot f(\theta) \quad (3.4)$$

ここで、 x は最大気孔コンダクタンスを規定する要因である。

g_{smax} を規定する要因 x は、他の環境因子のように外的要因ではなく、葉そのものが有する内的要因であると考えられる。そこで、 g_{smax} の規定要因として葉内窒素濃度を考え、葉内窒素濃度と g_{smax} の関係を示したものが、図3. 12である。この図より、観測地点ごとの最大気孔コンダクタンスの変動は葉内窒素濃度に影響されていることが示唆される。しかし、個葉ごとの g_{smax} の相違を葉内窒素濃度のみで説明することは難しく、今後さらに検

討を加える必要がある。

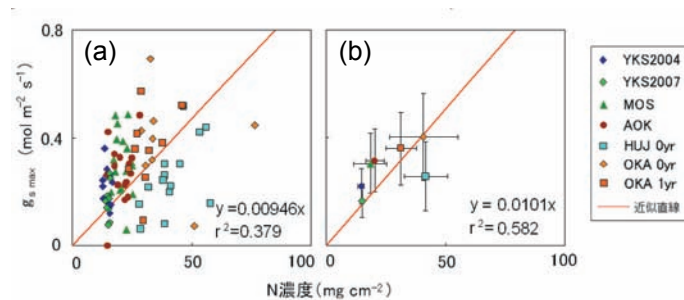


図3. 12 葉内窒素濃度と気孔コンダクタンスの関係. (左) 個葉ごと. (右) 観測地点ごとの平均値

以上のように考えると、図3. 8, 3. 9で示した、気候帯・樹種を越えて g_{smax} を含め共通の環境応答特性で各サイトの気孔コンダクタンスを再現できることと、(3. 4) 式で表現したように g_{smax} は、葉の内的要因によって規定されていることとは矛盾することになる。このことから、図3. 8, 3. 9に示される着枝・自然環境下での現段階の解析では、 g_{smax} を規定する要因を外的環境に対する応答が含んでしまう形で解析されている可能性がある。今後は、上記のように葉内窒素濃度をはじめとする g_{smax} の規定要因を分離する必要がある。しかし、i) の着枝・自然条件下での観測結果、本項の切枝・環境制御条件下での観測実験より得られた結果は、ともに群落スケールと同様に個葉スケールでの環境応答特性は気候帯、樹種を越えて類似したものになることを示している。

(3) 陸面過程モデルによるフラックスの再現と解釈

[成果の主な公表：学会（口頭国内）；24, 39, 40, 48, （口頭国際）；22, 44]

1) 研究の方法

本章の(1), (2)において群落、個葉ともに森林が成立する気候帯、森林タイプあるいは樹種を越えた共通の環境応答特性が存在することが示唆された。ここでは、この考え方に基づいたパラメータセットを用いたモデルでのフラックスでの再現性を検討する。また、サイトごとのパラメータセットによって得られたフラックスの再現性とも比較し、それぞれのパラメータセットの有する意味

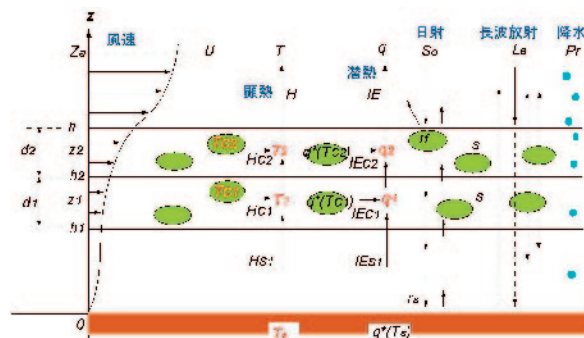


図3. 13 陸面モデル(2LM)の構造

味に関して考察を加える。そして、他大陸の森林に関しても、本研究で得られたパラメータセットを用いて、フラックスの再現性を検討する。

本研究で用いる陸面過程モデルは、図3. 13に示すモデルであり2LMと呼ぶ。なお、2LM内の植生群落の環境応答特性には、個葉スケールでの特性が与えられる。

2) 結果と考察

i) CREST 観測サイトへの適用結果とその解釈

はじめに、本研究の観測サイトに対し、サイトごとに得られたパラメータセット（以下、within-site パラメータ）によるフラックスとサイト共通のパラメータセット（図3．8．以下、pooled パラメータ）の2つのパラメータセットによりフラックスを再現し、その結果を比較した。

図3．14は、ヤクーツク・カラマツサイト、2004 年の within-site パラメータ、pooled パラメータそれぞれによるフラックス（上）とボーエン比（下）、瀬戸・混交林の2003 年

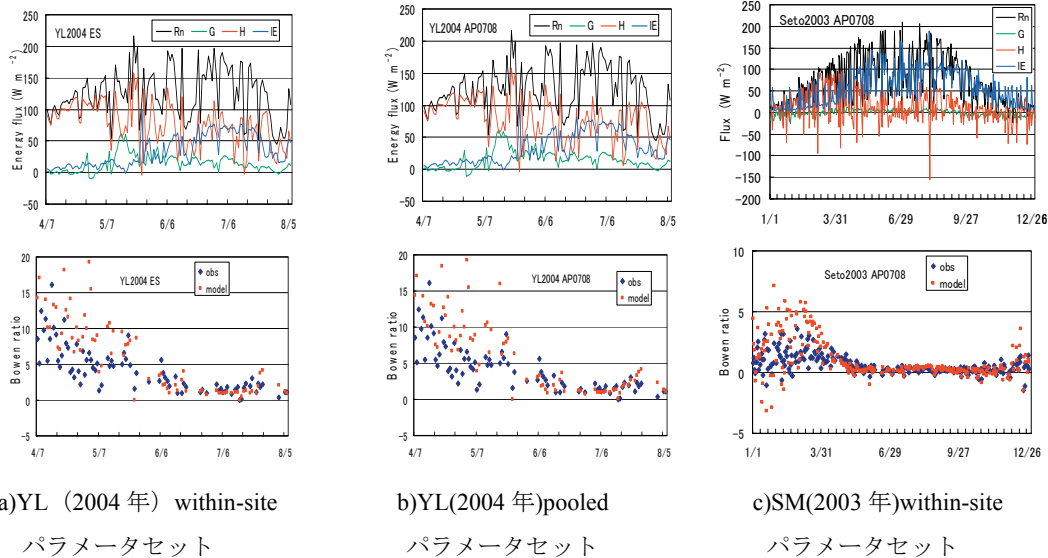


図3．14 陸面モデルによる各フラックス（上）とボーエン比（下）の再現性

の within-site パラメータによるフラックス（上）とボーエン比（下）の計算結果を示している。

ヤクーツク・カラマツ林のフラックスの計算結果を見ると、within-site パラメータ、pooled パラメータにより計算されたフラックスの季節変動に顕著な相違は認められない。フラックスの実測では熱収支が完全に閉じていないため、観測値との比較はエネルギーの配分比を表すボーエン比によって行う。下図に示したボーエン比の実測値と観測値の比較を見ると、2つのパラメータによる計算結果とも5月中旬に展葉が開始されるまでの期間は計算値が過大となって現れるが、その後はともに実測値のボーエン比を良く再現していることが分かる。また、瀬戸・混交林の結果も同様に植物の活動が弱まり潜熱フラックスが小さくなる期間のボーエン比は過大評価となるが、他の期間は非常に良く再現している。なお、植物活動が低下している時期にボーエン比が過大評価になることが顕在化するのは、本来潜熱フラックスが非常に小さい時期であり、潜熱フラックスの少しの過小評価がボーエン比の過大評価を生じさせていると考えられる。以上のことから、サイト共通の pooled パラメータによっても広範な気候帯に位置する各サイトのフラックスが再現できることが示された。

次に、2つのパラメータセットでフラックスが再現できることに関して、2LM によって感度分析を行い、その解釈を行った。図3．15は、within-site パラメータで計算された

ボーエン比 (ES), within-site パラメータから土壌水分の抑制に関するパラメータ k のみを pooled パラメータに置き換えて計算されたボーエン比 (k), within-site パラメータから最大気孔コンダクタンス g_{smax} のみを pooled パラメータに置き換えて計算されたボーエン比

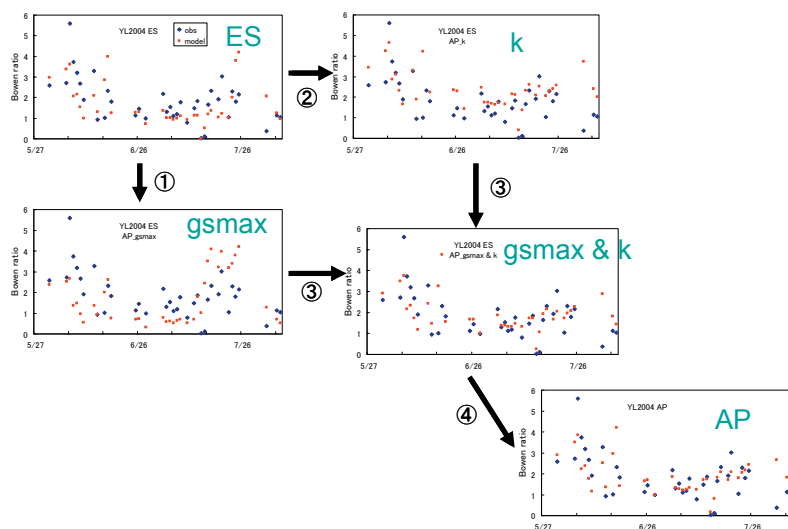


図3. 15 陸面モデルの感度分析によるボーエン比の変化

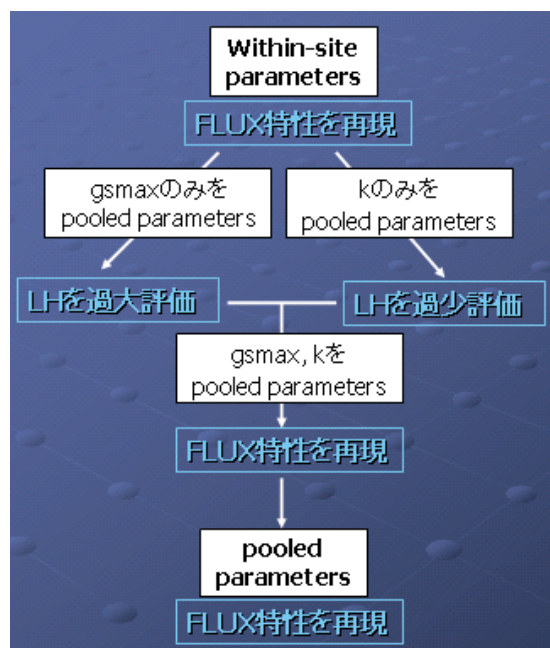


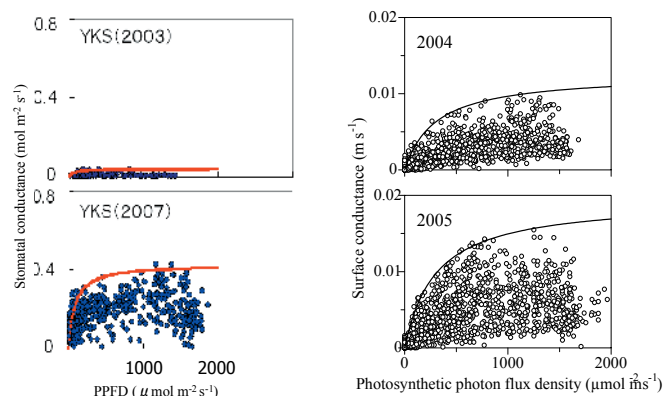
図3. 16 感度分析結果の要約

(g_{smax}), k と g_{smax} の2つを pooled パラメータに置き換えて計算されたボーエン比 (g_{smax} & k), 全てのパラメータを pooled パラメータにして得られたボーエン比 (AP) の季節変動を, 観測値とともに示している. 図3. 15に示した感度分析の結果を要約したものが, 図3. 16である. within-site

パラメータから k のみを pooled パラメータに置き換えると潜熱フラックスが過少となりボーエン比が過大となる. 反対に g_{smax} のみを pooled パラメータに置き換えると潜熱フラックスは過大となりその結果ボーエン比は過少となる. そして, 2つのパラメータを pooled パラメータにするとその再現性は within-site パラメータを同等となり, 全パラメータを pooled パラメータに変えても大きく変動しない. 上記のことから最大気孔コンダクタンスと土壌水分抑制のパラメータが逆方向に働いていることが分かる. すなわち, within-site パラメータでは g_{smax} そのものが小さい値に設定されているため潜熱フラックスが小さく出力される. 一方, pooled パラメータでは g_{smax} は大きい値を有しているが土壌水分が抑制因子として働き潜熱フラックスを小さくしていると解釈される.

ここで, 上記2つのパラメータの解釈のどちらが実際の事象に近い状態を表しているかを, 検討する. 図3. 17は気孔コンダクタンス, 表面コンダクタンスの放射に対する応

答を乾燥年（気孔コンダクタンス；2003 年，表面コンダクタンス；2004 年）と湿潤年（気



a) ヤクーツク・シラカンバ

b) ヤクーツク・カラマツ

図3. 17 土壌の湿潤年と乾燥年におけるヤクーツク・シラカンバの気孔コンダクタンス (a) とヤクーツク・カラマツ林の表面コンダクタンス (b) の相違. とともに，上が乾燥年，下が湿潤年.

孔コンダクタンス；2007 年，表面コンダクタンス；2005 年）に分けて表示している．これにより，気孔コンダクタンス，表面コンダクタンスともに土壌が湿潤になることにより顕著に増加しており，年ごと（特に乾燥年）に得られるコンダクタンスの最大値は，その植生が有している本来の値よりも小さく現れることが分かる．この

実際の事象は，pooled パラメータセットによって解釈される現象と一致する．すなわち，サイト共通のpooledパラメータで環境応答特性を表現した方が現実の現象に即した解釈をすることができ，かつ共通のパラメータで広範な森林の水・エネルギー交換特性を再現できることを示している．

2) 他大陸の森林群落への適用

前節では，樹種，サイト共通の森林の環境応答特性を用いることで，各サイトのフラックスを再現できることを示した．CRESTでの観測地域は東アジアに限られているため，この考え方が他の大陸に成立している森林に対しても適用できるか？否か？についての検討を加えた．

この解析には，既にデータが公開されている AmeriFLUX^{注1}，EuroFLUX^{注1}の中から 2LM に必要なデータが公開されている AmeriFLUX 4 サイト，EuroFLUX 3 サイトでの検証を行った．AmeriFLUX では 1 サイトが常緑針葉樹林，3 サイトが落葉広葉樹林であり，EuroFLUX は 3 サイト全てが常緑針葉樹林である．解析年数は，2～9 年である．

図3. 18 は，各サイトにおける 6，7，8 月の平均潜熱フラックスの計算値と実測値を示している．これより，AmeriFLUX の各サイ

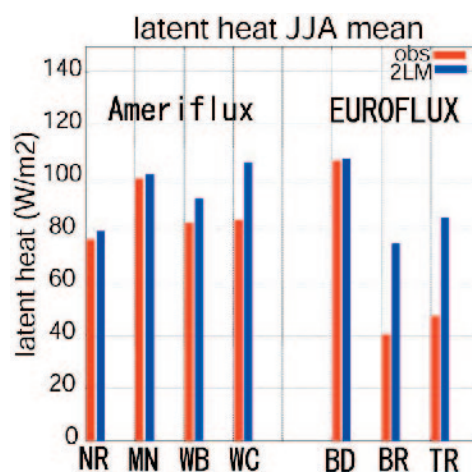


図3. 18 AmeriFlux, EuroFlux への樹種，サイト共通の森林の環境応答特性の適用結果

トでの潜熱フラックスはほぼ再現できているのに対し，EuroFLUX では BD を除きかなり過大評価となっていることが分かる．この原因として，EuroFLUX 各サイトは常緑針葉樹林でありこの森林タイプに対して，図3. 8 で示した 2LM に用いられた共通の応答特性で

は十分に表現できていないことが考えられる。しかし、AmeriFLUX の NR も常緑針葉樹林であるが、この地点に関して計算値は実測値を十分に再現している。したがって、単に森林タイプの問題と判断できない。この他に、土壌水分量の表現に関する問題も指摘できる。すなわち、現段階では土壌水分量を図 3. 4, 3. 8 に示すように体積含水率によって表現している。しかし、より正確に土壌水分量の影響を評価するには、圧力水頭による表現が必要となる。水分特性曲線は、ロシアから土壌サンプルを持ち出せない現状から CREST の 5 サイトでも全サイトに関して得られていない。また、既存の観測サイトにおいても、圧力水頭による土壌水分量が公表されていない。このため、現段階では体積含水率によって表現するにとどまっている。今後は、圧力水頭による表現を用いて再度検証することも必要である。

(4) まとめと今後の期待される成果

群落スケール、個葉スケールにおける観測、実験により、森林あるいは樹木は成立する気候帯、森林タイプあるいは樹種を越えて 1 つの共通した応答特性を有していることが示唆された。そして、陸面過程モデルによる解析より、個々のサイト、樹種ごとに得られる環境応答特性を用いるよりもサイト共通の応答特性を用いた方が、現実生じている事象を合理的に説明できることが示された。そして、本研究により得られた個葉スケールでの環境応答特性によって、ヨーロッパ、アメリカに成立している森林の多くでもフラックスを再現することができた。

これまで、森林あるいは樹木の環境応答特性を森林タイプあるいは樹種ごとに異なる応答を有していると考えて水・エネルギー・炭素循環を扱う場合が多かった。今回、本チームが示した結果は、かなり広い範囲にわたって森林は共通の応答特性を有していることを示す。この点に関して、考察を加える。樹木を含む高等植物では、温度変化に対して CO_2 固定速度を変化させる酵素 (Rubisco) や乾燥に対して蒸散を抑制させるために気孔の閉塞を引き起こすホルモン (アブシジン酸) は共通した物質である。また、植物の形態は細胞、組織、器官などが構成する基本単位の積み重ね構造から成るが、植物間の形質の相違は細胞やその生理的応答物質の本質的な相違よりも基本単位の積み重ね構造や形態の相違に基づくもの大きいと考えられる。すなわち、異なる生育環境に存在し異なる形態を持つ植物であっても細胞レベルでの潜在的な能力に大きな差があるわけではないという前提が考えられる。そして、陸上植物のガス交換の生理反応を集約すると、そこには何らかの機能的な収斂が存在するという予測ができる。一方、地球上には多様な環境条件下で様々な樹木や森林が存在している。ある植物が特定の環境に優占可能かどうかは、その物理環境やその時間的変動に耐えられる能力 (耐寒性や耐乾性など) を有しているか、同所に生育可能な他の種との競争に生き残れるか、など、ガス交換にかかわる環境応答特性以外の要因によっても多く規定されている。従って、生育環境に応じた生育地固有のガス交換特性を優占種が保持していると考えるのは必ずしも妥当ではない。

以上のことから、本研究チームは、「森林あるいは樹木の環境応答特性は、気候帯、森林タイプ、樹種を越えてある 1 つの応答特性に収束する (言い換えれば、同一の環境下では、森林あるいは樹木が示す応答は類似する).」という“潜在的”応答特性の概念を提案する。なお、図 3. 4, 3. 8 に示される各要因に関する応答関係が“潜在的”応答特性そのもの

のを示すものではなく、これらの応答はこの概念に基づいた現段階でのサイト、樹種に共通する応答特性と判断できる。

本研究チームが示した“潜在的”応答特性の概念は、これまで水・エネルギー・炭素循環に対して森林が与える影響を気候帯ごと、森林タイプごとに区分して扱ってきた、あるいはそのような必要があると考えてきた従来の考え方に対して、非常に新しい考え方を与える。森林群落の表面コンダクタンスは北方針葉樹林で小さく、温帯広葉樹林、熱帯林と南方に行くにつれて大きくなる（例えば、Jarvis and Fowler, 2001）と一般的に考えられている。光合成、蒸散や気孔コンダクタンスなどの葉の生理機能は、自然条件下では種内・種間の変動や生育地域の環境の違い等により様々な特性を示し、この結果から応答特性も森林タイプごとに異なっていると考えられている。本研究では温帯～北方林地帯にわたる広域かつ多樹種による応答が包括的な応答特性に収束できる可能性を個葉、群落スケールで示すことができた。また、この研究成果はこれまで群落～大陸スケールにわたる水・熱・炭素収支のモデリング研究において「常緑・落葉などの植物の functional type ごとに生理特性を決定する必要がある」という考えから一歩進み、物理環境要因を主要な説明変数として植物の生理応答を統一的に取り扱える可能性を示唆するものであり、森林の環境応答特性の時空間分布の理解に対して新しい考え方を与える。すなわち、特定の地点での現地観測で得られる自然条件下での結果は限られた物理環境条件の範囲での結果のみを示すものであり、その植生が固有に有する特性を十分に表現しているとは考えられない。Wright ら、(2004) は地球規模のさまざまな気候条件下の植物種を対象とした解析を行い、個葉の生理特性を左右する葉の形態的特性が、気候条件を説明変数として functional type を超えて統一的に取り扱うことができる可能性を示唆しており、本研究結果もこの考えに整合するものである。また、気候予測研究にとっての陸面モデルのパラメータは、これまで植生種類ごとに決める必要があると考えられてきた。現実にはかなり単純な形で与えられている（たとえば Cox ら、1999）が、それは根拠があるからではなく、基礎知識の不足からやむを得ずそうしてきたきらいがある。本研究の知見は、植生の密度等の情報を正確に把握できれば、気孔の応答特性については、共通のパラメータで広く水・エネルギー収支を表現できる可能性を示すもので、応用への貢献は大きい。そして、様々な森林タイプが分布している原因は、環境応答にあるのではなくその気候帯に生存する能力（例えば、耐寒性や耐乾性など）や他の樹種との競争に耐える能力などに依存していると考えられる。なお、本節では個葉、群落スケールでの解析結果を示したが、“潜在的”応答特性の大陸河川スケールでの水文特性の理解、将来予測への応用結果は、3. 4で報告する。

このような広範な地域にわたって共通の応答特性が存在するという概念を提案できたのは、同時に同質の観測を複数点にわたって実施できた大型プロジェクトでの成果である。

引用文献

1. Cox, P.M., et al., 1999. The impact of new land surface physics on the GCM simulation of climate and climate sensitivity. *Climate Dynamics* 15: 183–203.
2. Jarvis, P.G., Fowler, D. 2001. Forests and the Atmosphere. In the forest handbook, Blackwell Science, London. 229– 281.
3. Kelliher, F.M., Leuning, R., Raupach, M.R., Schulze, E-D. 1995. Maximum conductance for

evaporation from global vegetation types. *Agricultural and Forest Meteorology* 73: 1–16.

4. Oke, T.R. 1978. *Boundary layer climate*. Routledge, London. 435pp.

5. Wright, I.J., et al., 2004. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature* 428: 821-827.

注 1 : アメリカ大陸, ヨーロッパ大陸において実施されている水・エネルギー・CO₂ フラックス観測結果を統合して解析を進めようとするネットワークであり, それぞれ web サイトを通じてデータのダウンロードが可能である.

3. 2 陸面水循環解析グループ

ここでは、3. 1 に示した“潜在的”応答特性の概念の導出に関わらず、北方林の水・エネルギー・炭素循環に関わる素過程に関して、本研究チームによって明らかになった事項を報告する。

(1) 研究実施内容及び成果

1) 研究の目的とプロジェクト内での位置づけ

群落スケールでの水・エネルギー・物質循環特性を、北方林から温帯林における観測を通じて明らかにする。特に、森林の生態生理学的応答特性、水収支特性、冬期過程の解明に力点をおく。加えて、大陸河川スケールでの水循環特性を明らかにするために、レナ川を対象として、既存データセットを用いて解析を行う。

2) 研究の方法

群落スケールでの基本的な観測・解析方法は、3. 1 (1) に示したとおりである。現地での群落スケールでの解析ではこの他に、YL では北方林の根系生理特性を明らかにするために、土壤水分を制御した複数のプロットを設け、root window を用いた計測を実施した。併せて 2006 年からは、水分制御のポット実験を現地で実施した。また、大陸河川流域スケールでの水文特性を把握するために、レナ川の内部流域を含む複数地点での水文・気象データの収集を行い、水文特性の解析を行った。

3) 研究成果

i) 群落スケールでの水・エネルギー収支特性

[成果の主な公表：論文（国際）；48，学会（招待）；1，（口頭国際）；23]

ある地域での水・エネルギー循環特性を把握するためには、第一に地表面で吸収されたエネルギーがどのように配分されるかを理解することが必要である。そこで、最初にエネルギー収支の観点から 3 地域 5 観測サイトのエネルギー収支の相違を検討する。

図 3. 19 は、5 観測サイトにおける 2003 年から 2006 年の顕熱フラックス、潜熱フラックスの季節変動を示す。これによれば、観測地域によって大きな相違があることが分かる。植物生育期の 6–8 月に注目すると、ヤクーツク地域では顕熱フラックスが潜熱フラックスを大きく上回っている。そして、母子里地域ではこれらのフラックスの値は同程度となり、瀬戸地域ではヤクーツク地域とは反対に潜熱フラックスが顕熱フラックスを大きく上回る。また、顕熱フラックスと潜熱フラックスの最大値の発生時期にはズレがあり、顕熱フラックスのピークが先行する。落葉性の森林では地域によらず、落葉樹の展葉直前に顕熱フラックスが最大値を示す。そして、瀬戸地域では顕熱フラックスの最大値が 3 月に生じ、植物生育期には約 30 W m^{-2} と小さな値となる。

次に潜熱フラックスへの配分比の季節変動、年々変動を見るために、次式で定義される E_f (Evapotranspiration fraction) の変動を検討する。

$$E_f = LH / (SH + LH) \quad (3. 5)$$

ここで、 LH は潜熱フラックス、 SH は顕熱フラックスである。図 3. 20 は各観測サイトにおける日平均 E_f の系時変化を示している。図中の β はボーエン比の値を示す。これによれば、各サイトとも E_f は 6–8 月に最大値を示し、図 3. 20 に示したように高緯度地域ほど E_f の値が小さくなり、潜熱フラックスへの配分比が小さくなる。そして、この配分比の最大値の年々変動は小さいことが分かる。最大値は、ヤクーツク地域で 0.5–0.6、母子

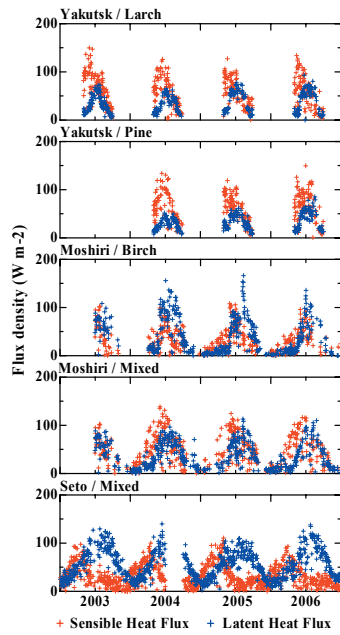


図 3. 19 顕熱フラックス（赤）と潜熱フラックス（青）の季節変動

里地域で 0.6–0.8, 瀬戸地域で 0.8–0.9 となっている。

また、これら 2 つの図から同一地域における森林タイプによるエネルギーの配分比の相違は、地域間の相違と比較して非常に小さくなっている。すなわち、同一気候帯における森林タイプによるエネルギー収支特性に顕著な相違は認められない。すなわち、高緯度帯ほど、森林タイプによらず潜熱フラックスへの配分比が小さくなる。

次に水収支の観点から、3 地域 5 サイトの相違を検討する。種々のスケールにおける水循環特性を理解する場合、まずその水収支特性を把握することが最初のステップとなる。本プロジェクトでは、SM を除くサイトが冬期に積雪を生じる。したがって、水収支のための水年を n 年 10 月 1 日から $n + 1$ 年 9 月 30 日とした。解析期間は、YL は 1997 年 10 月–2006 年 9 月、YP が 2004 年 10 月–2006 年 9 月、MB, MM が 2003 年 10 月–2006 年 9 月、SM が 2002 年 10 月–2006 年 9 月である。

まず、3 地域間の水収支特性の相違を検討する。図 3. 21 は YL, MB, SM の 3 サイト

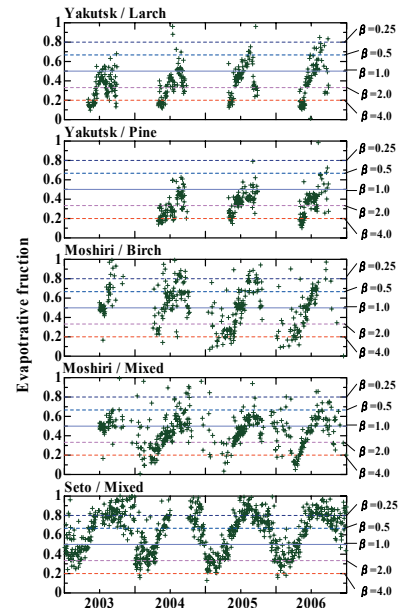


図 3. 20 Evaporative fraction の季節変動

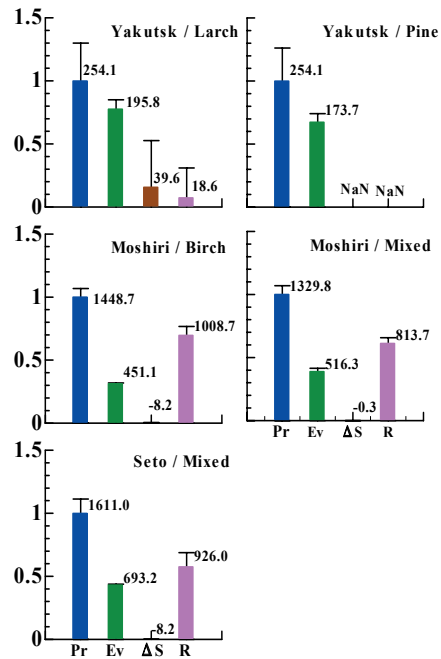


図 3. 21 3 地域の年間水収支。数字は平均値、エラーバーは 1σ を示す。

トの水収支各項の平均値とその偏差を示す。YL, YP ではそれぞれ年間蒸発散量が年降水量の 78%, 67%を占め、降水量の多くの成分が大気中へ戻る。一方, MB, MM ではそれぞれ 31%, 39%, SM では 43%となる。北方林では、エネルギー収支的には潜熱フラックスの占める割合は小さいが、水収支の観点からは降水の多くが蒸発散として費やされることが分かる。また、YL では降水量の年々変動が MB, SM と比較して大きいのに対して、蒸発散量の年々変動は比較的小さい。Zhang ら (2001) が世界の中低緯度帯の 250 カ所の流域試験をまとめた結果によると、ヤクーツク地域のように年降水量が 500 mm 以下の地域では降水量の年々変動量と蒸発散の年々変動量はほぼ対応している。しかし、図 3. 2 1 に示すようにヤクーツク地域では年蒸発散量も比較的安定した結果となった。この結果、

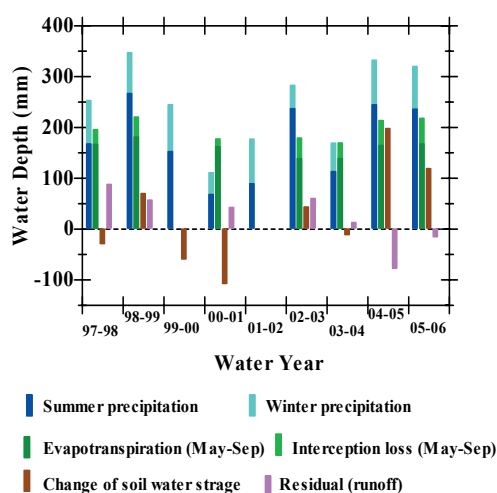


図 3. 2 2 YL における各水収支項の年々変動

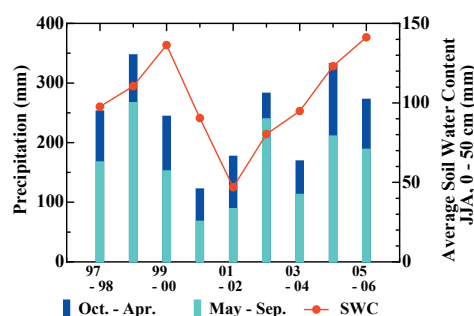


図 3. 2 3 降水量と土壌水分量の年々変動

年間の残差（流出量）は小さな値となるが、その年々変動は大きい。これは、渇水年には植生が永久凍土の融解水を利用しているという Sugimoto ら (2002) による指摘を、本研究による長期水収支の結果が支持している。また、土壌貯留量の期間平均の値は他の 2 地域 3 サイト同様に小さいものの、その年々変動は他の地域、観測サイトと比較して非常に大きいことも、YL の水収支上の大きな特徴である。このように、永久凍土が存在する地域での水収支は、中低緯度と異なった特徴を持つ。

次に、永久凍土帯の YL の水収支の年々変動に着目する。図 3. 2 2 は、1998 年から 2006 年までの YL における水収支の各項の年々変動を示している。ここで、年蒸発散量の変動を支配する要因に関して検討する。図 3. 2 3 は年降水量と表層土壌水分量の年々変動を示している。同図に示されるように、土壌水分量の年々変動は降水量の年々変動には一致せず、1 年程度遅れている。これは前年の

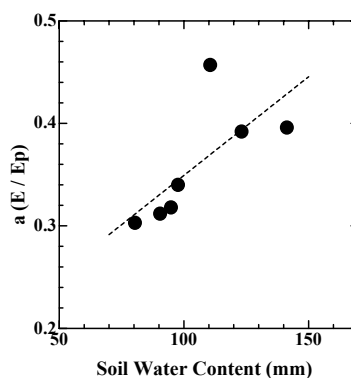


図 3. 2 4 土壌水分量と蒸発散係数の関係

表 3. 3 YL における 1998 年から 2006 年までの水収支の要約

	1998 - 2006		1998 - 2003		2004 - 2006	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD
Precipitation (mm)	259.2	82.3	248.4	86.3	273.6	78.4
October - April	69.0	18.3	63.7	19.3	76	14.2
May - September	190.3	70.1	184.7	76.8	197.6	59.9
Evapotranspiration (mm)	196.1	19.7	193.1	17.3	200.2	21.9
Change of soil water storage (mm)	39.6	94.1	-6.6	69.6	101.3	87.0
Residual (mm)	23.8	52.8	61.9	16.4	-27.0	38.4
Maximum thawing depth of permafrost (cm)	147.0	27.6	127.0	7.7	182.7	16.3
Date of maximum thawing depth (DOY)	252.6	11.4	245.5	9.8	262.0	4.6

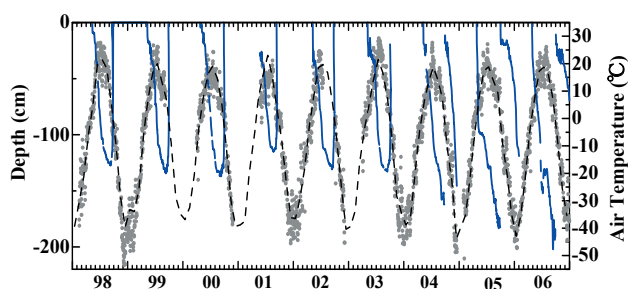


図 3. 25 YL における地温 0℃深度と気温の変動. 青線が地温 0℃深度, +は YL の日平均気温, 破線はヤクーツク市内の月平均気温,

降水状態が永久凍土によって次年度へ持ち越されている影響が考えられる. 図 3. 24 は, 土壌水分量と蒸発散係数((3.6)式参照)の関係を示している. これより, 蒸発散量は土壌水分に強く規定されていることが分かる. なお, 短波放射量, 大気飽差, 気温との間には明確な相関は認められなかった. 以上のことから, 永久凍土帯に成立する森林では, 蒸発散量の年々変

動は土壌水分に強く影響され, かつ土壌水分は前年の夏期の影響を強く受けていることが特徴として挙げられる. また, 表 3. 3 には全期間平均, 1998-2003 年, 2004-2006 年の 3 期間での水収支各項の平均値とその標準偏差を示している. 図 3. 22, 表 3. 3 より, 2003 年以前と 2004 年以降で水収支の構成に大きな変化が生じていることが分かる. 2003 年以前は, 土壌水分貯留量変動はほぼ 0 となっているのに対し, 2004 年以降急激に増加している. また, 流出量が 2004 年以降負の値を示し, 水収支を考えている系外からの流入を示している. 2003 年以前と 2004 年以降の降水量は後者でやや大きくなる傾向を示しているが, 負の流出量の存在は上記の急激な土壌水分量の増加は降水量のみで説明がつかないことを意味している. 図 3. 25 は地温プロファイルから得られた地温 0℃の深度, YL の日平均気温 (十字), ヤクーツク市の月平均気温 (破線) の 1998-2006 年の経時変化を示している. これより, 2004 年夏期より急激に 0℃の深度が深くなっていることが示されており, 永久凍土の融解深が増加してきていることを示している. また, 図 3. 26 に 1998

年，2005 年の深度 10-80cm の間の時空間分布を示す．1998 年は融雪水，降雨による地表面で供給された水が表層から深部へ浸透している様相が分かる．2005 年では 50cm までの浅層では同様に表層から下方への浸透が認められると同時に，DOY=160 以降で深部から湿潤な部分が表層へと拡大していることが分かる．このことは深部の湿潤な土壤層からの水分の供給の存在を示唆している．そして，融解深の増加により深部の水が表層へ供給されている可能性も考えられる．すなわち，永久凍土の融解深の急激な増加が表層土壤水分に強く影響を与えていることが考えられる．また，上記のように YL では土壤が 2005 年以降非常に湿潤な状態におかれている．そして，2007 年夏期には YL 周辺で多くのカラマツの葉が生育期間であるにもかかわらず茶色に変色していることが観察された．これは，土壤が長期間にわたり過湿状態におかれた影響とも考えられ，今後注意深く観測を継続する必要がある．

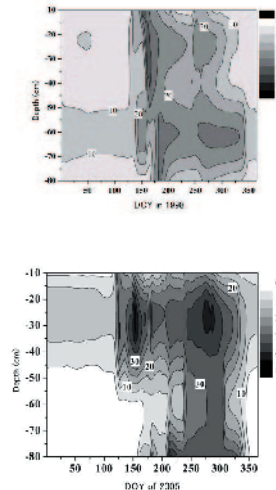


図 3. 2 6 YL における土壤水分量の時空間変動．(上) 1998 年．地温 0℃深度が安定している時期．(下) 2005 年．地温 0℃深度が深くなっている時期．

ii) 植物生長期の蒸発散量の季節・年々変動と空間変動

[成果の主な公表：論文（国際）；47，学会（口頭国際）；37]

前項で示したように，北方林では蒸発散の占める割合が非常に高い．また，中緯度帯でもその割合は低下するが，絶対値は北方林での蒸発散量をはるかにしのぐ．蒸発散量は，大気側の条件（大気要求度）と土壤水分，気候コンダクタンスなどによって決まる地表面側の条件に依存する．蒸発散量とポテンシャル蒸発散量の関係は，次式で示される．

$$E = a \cdot E_p \quad (3.6)$$

ここで， E は蒸発散量 (mm)， E_p は可能蒸発散量 (mm)， a は蒸発散係数である． E_p が大気の蒸発要求度を示し， a が小さいほど地表面側の制御が強く働いていることを示す．ここでは，各地域の蒸発散量に対して 3.6 式中の a の影響が強いのか？， E_p の影響が強いのか？，を検討する．

図 3.27 は 5 観測サイトの日単位の E_p と E の季節変動を示している．これによれば，可能蒸発散量（赤）には顕著な地域差が見られないにもかかわらず，蒸発散量（青）は，低緯度に位置する観測サイ

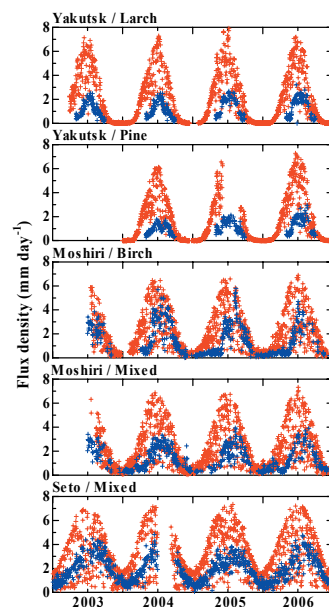


図 3. 2 7 可能蒸発散量（赤）と蒸発散量（青）の季節変動

トの方が大きくなる傾向を示している．これらの特性を詳しく検討するために， a と E の関係を検討した．図 3. 2 8 は 2003–2005 年の 6-8 月の月ごとの a と E の関係を示している．図中の実線は各 E_p の値のを a と E の関係上で示している．これによれば，YL, YP の分布範囲と MB, MM, SM の分布範囲が異なっていることが分かる．すなわち，ヤクーツク地域の E_p の値は母子里，瀬戸地域とほぼ同じであるが， a の値が小さくなっている．す

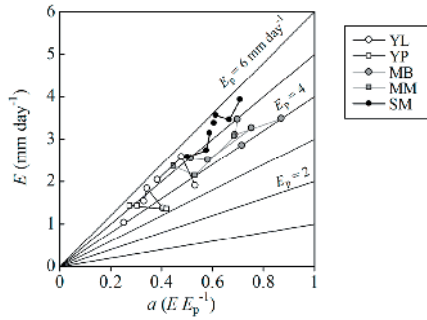


図 3. 2 8 各観測サイトにおける蒸発散

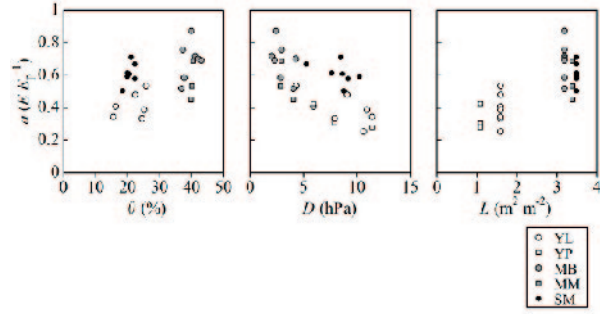


図 3. 2 9 蒸発散係数と土壌水分量，大気飽差，LAI

係数と蒸発散量の関係

なわち，ヤクーツク地域では地表面側の制御を強く受けていることを示している．また，MB, MM と SM を比較すると， a の値はほぼ同じ範囲に分布しているが， E_p の値にやや違いが見られ，SM で大きな E_p を示す．このことから，ヤクーツク地域と母子里，瀬戸地域の蒸発散の大きな相違は地表面側の制御の相違によって生じていると判断できる．一方，母子里地域と瀬戸地域の違いは大気側の蒸発要求度の差に起因し，地表面側の抑制は同程度であることが分かる．また，図 3. 2 9 は a と土壌水分量 (θ)，大気飽差 (D) 並びに LAI (L) の関係を示している．これより， a の変動はこの 3 つの成分に強く影響され，土壌，大気ともに乾燥するほど地表面の抑制がよく働くことが分かる．また，葉量が増加するほど地表面の制御は弱くなり，ほぼ同じ土壌水分，大気飽差条件下で YL の a が SM より小さくなるのは葉量の差で説明される．

次に，より広域での森林における水・エネルギー循環特性を把握するために，本観測結

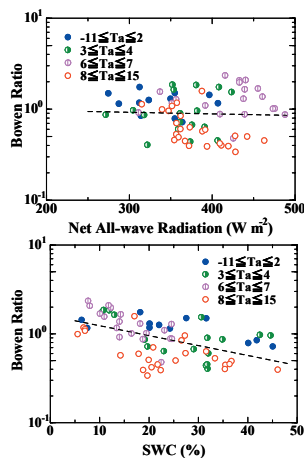


図 3. 3 0 平均化時間 90 日の時の正味放射
量 (上)，土壌水分量 (下) とボーエン比の関係

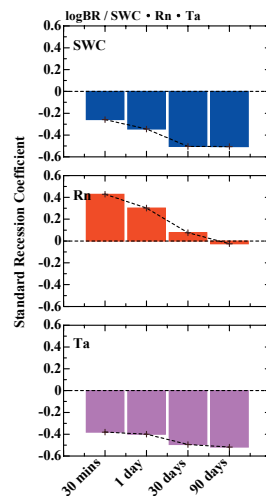


図 3. 3 1 平均化時間の変動によるボー
エン比に対する各環境因子の影響度の変動

果と既存の公開データをあわせて用い、北緯 30°~70°の間での 26 サイト、77site-years の植物生長期の水・エネルギー循環特性の規定要因を検討した。公開データからは E_p が算出できないため、ボーエン比による検討を行った。図 3. 3 0 は平均化時間を 90 日としたときのボーエン比と土壌水分量（上）、正味放射量（下）との関係を示している。植物生長期のボーエン比は土壌水分と強い相関がある。図 3. 3 1 は平均化時間を変化させたときの、ボーエン比と土壌水分量、正味放射量、気温の重回帰分析による標準回帰係数の変動を示している。これによれば、3 ヶ月平均値などを用いる年々変動のような長期変動には土壌水分量が、ボーエン比には最も影響を与え、より短い平均化時間を用いる日内変動や日々変動には大気側の要因、特に放射が強く影響していることが分かる。

iii) 群落スケールでの表面コンダクタンスの環境応答特性

3. 1. (1) に記載済み。

iv) 下層植生からの蒸発散量の役割と蒸発散の駆動要因

[成果の主な公表；論文（国際）；43, 49, 学会（口頭国内）；46, （口頭国際）；34, （ポスター国際）；17]

iii) までは、群落全体を対象とした水収支、蒸発散に関するパラメータの解析結果を述べてきた。さて、北方林では、下層植生からの蒸発散の影響の重要性が指摘されている（例えば Kelliher ら, 1997 ; Balken ら, 1997 ; Ohta ら, 2001 ; Hamada ら, 2004）。しかし、森林構造により下層植生からの蒸発散量の占める割合がどの様に変動するのか？下層植生の蒸発散に関する観測が短期的な観測に限られているため、下層植生の水・エネルギー・物質循環特性に関する環境応答特性などの基本的情報に関して、未解明な部分が非常に多い。本研究では、上記の観点から、YL, MM, SM の 3 観測サイトにおいて、下層植生あるいは林床からの蒸発散量の長期連続観測を行った。

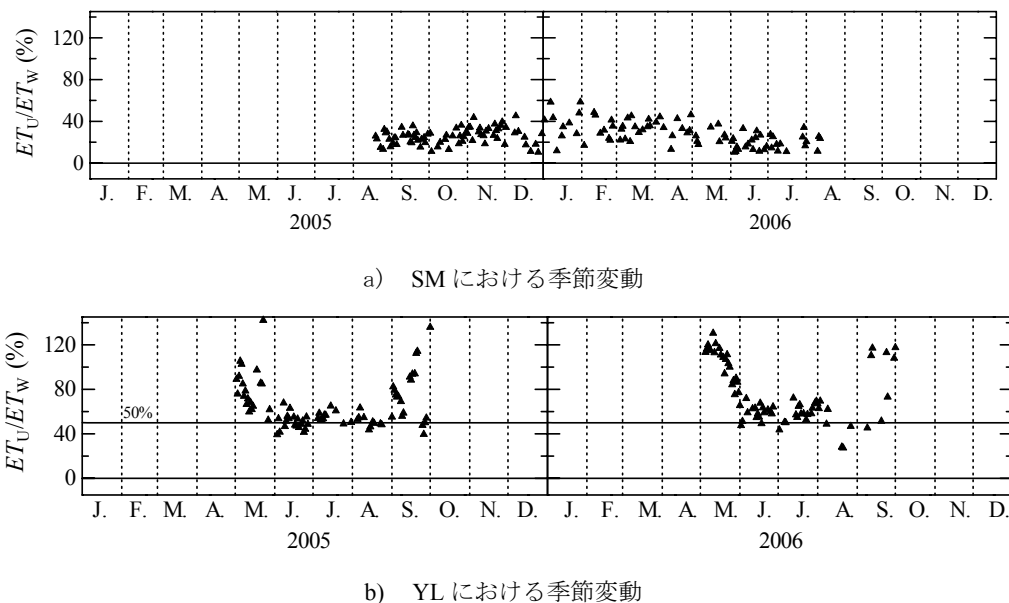


図 3. 3 2 YL, SM における全生態系蒸発散量 (ET_W) に対する下層植生あるいは林床面からの蒸発散量 (ET_U) の比の季節変動

図3. 3 2は、YL, SMにおける全生態系蒸発散量 (ET_w) に対する下層植生あるいは林床面からの蒸発散量 (ET_u) の比 (ET_u/ET_w) を表している。これによれば、YLでは上層植生であるカラマツの展葉により、 ET_u/ET_w の値が100%から約50%に急激に減少している。一方、SMではYLに比較するとその季節変動幅は小さいが、落葉期の約40%から着葉期の約20%へと減少している。このように、下層植生の蒸発散量の変動は上層植生の状態に強く影響される。図3. 3 3は、YL, MM, SM および既存の研究における LAI と ET_u/ET_w の関係を示している。これより、LAI と ET_u/ET_w の間には明確な負の関係が認められる。また、LAI が4に近いSMの着葉期においても全生態系からの蒸発散量の約20%は林床からの蒸発散によって占められていることは注目される。なお、この値は同観測サイトの降水の平均遮断率 8.7%に匹敵す

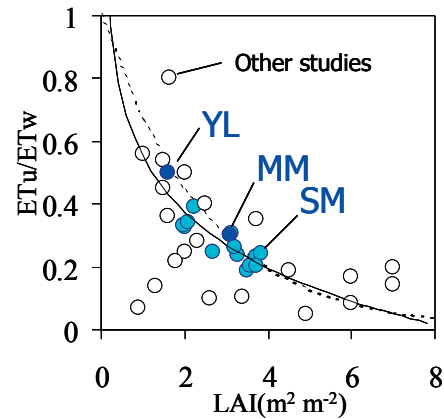


図3. 3 3 LAIと下層植生からの蒸発散が全蒸発散に占める割合

と考えられ、その重要性は無視できない。図3. 3 3に示される結果は容易に想像できるものであるが、このように定量的に下層植生の影響を示した例は、これまでほとんどなかった。この結果は、今後予想される環境変動により森林構造も変化し、蒸発散の構成が変動することを示唆するものである。

YLでは、下層植生の環境応答特性を検討し、全生態系での応答特性との相違を検討した。また、全生態系、下層植生それぞれからの蒸発散量の季節変動を支配する要因の検討をあわせて行った。図3. 3 4は2005年における全生態系と下層植生のみの、各環境応答要因に対する応答特性を示している。大気飽差 (VPD) と表層土壌水分 (SWC_{0-50}) に対する応答特性には、全

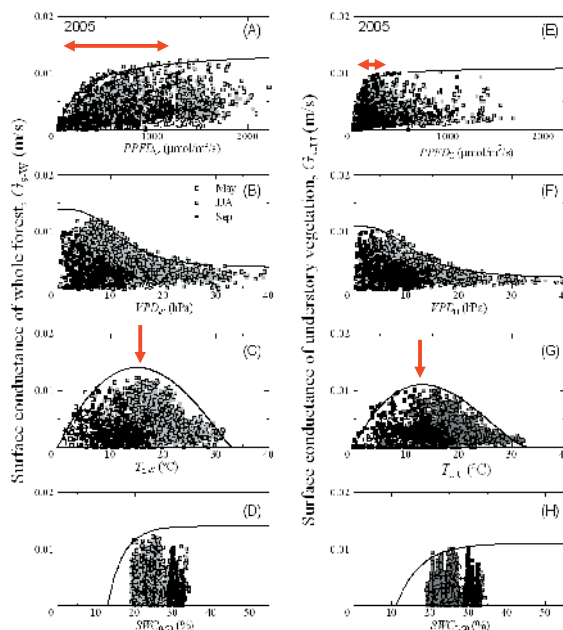


図3. 3 4 全生態系 (左) と下層植生 (右) の表面コンダクタンスの応答特性

生態系、林床植生の間に顕著な差は認められなかった。一方、光合成有効放射量 (PPFD)、気温 (T_a) に関する特性には顕著な相違が認められた。すなわち、下層植生に関する最適気温は全生態系に関する値より1~2℃程度低くなり、下層植生は低い光飽和点を有している。同様の特性の相違が、2006年にも認められた。これは、上層木に被圧、被陰された厳しい生育条件下での生存戦略を示している。次に2005, 2006年の応答特性の年変動を比較すると、やはり最適温度と光飽和点に相違が認められる。最適温度は全生態系、下層植生

ともに 2006 年の値が 2005 年の値より、1~2°C 高温側にシフトしている。これは、生育期の平均気温が 2006 年の方が高温状態におかれたためと考えられる。また、光飽和点に関してはこの 2 年間の気温と放射条件の季節変動がやや異なっており、その相互作用により

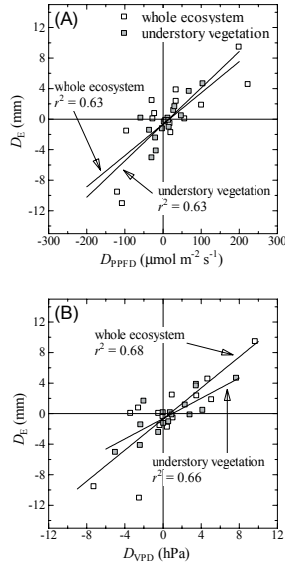


図 3. 3 5 2005 年, 2006 年の旬ごとの蒸発散量の差と放射量の差 (上), 飽差の差 (下) との関係

より強く作用しているのかは不明である。そこで、(3. 7) 式で示される decoupling factor(Ω)を用いて、蒸発散の駆動力としての重要な環境因子を検討した。

$$E = \Omega \cdot E_{eq} + (1 - \Omega) \cdot E_{imp} \quad (3. 7)$$

ここで、 E は蒸発散量、 E_{eq} は平衡蒸発量、 E_{imp} は負荷(imposed)蒸発量である。 E_{eq} は放射

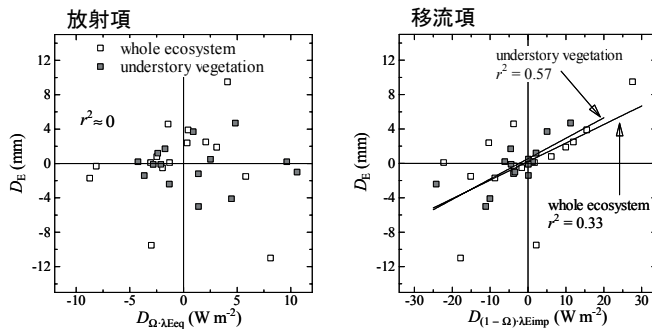


図 3. 3 6 2005 年, 2006 年の旬ごとの蒸発散量の差と放射項の差 (左) と飽差項の差 (右)

項が蒸発散の駆動力として放射項を大きく上回っている。また、図 3. 3 6 は、放射項、飽差項の旬差と蒸発散量の旬差の関係を示している。これより、2005 年, 2006 年の全生態系、下層植生からの蒸発散量の季節変動の相違は、ともに放射項による差ではなく、飽差項の差によって生じていることが分かる。これらのことから、蒸発散の駆動力として、全生態系、下層植生ともに飽差の影響が強いことを示している。これは、多くの熱帯の森

2006 年の光飽和点が小さくなったと考えられる。

次に 2005 年, 2006 年の全生態系、下層植生からの蒸発散量の季節変動の相違を引き起こしている原因に関して、検討を行った。なお、この 2 年間は、図 3. 2 3 に示したように土壌水分は非常に湿潤で、土壌水分量による蒸発散量の抑制の影響はともに小さいと考えられる。図 3. 3 5 は 6~8 月の旬ごとの光合成有効光量子束密度 (PPFD)、飽差 (VPD) の 2005, 2006 年の差と蒸発散量の差との関係を示している。この結果より、PPFD と VPD が両年の全生態系、下層植生からの蒸発散量の季節変動に強く影響を与えていることが分かる。しかし、どちらの要因が蒸発散の駆動力として

量によって決定され、 E_{imp} は大気飽差によって決定される。ここでは、(3. 7) 式右辺第 1 項を放射項、第 2 項を飽差項と呼ぶ。全蒸発散量に占める飽差項の割合は、全生態系からの蒸発散量に対しては約 80%、下層植生からの蒸発散量に対しては約 70%を占める結果となり、本地域では飽差

林では、純放射量によってその約 75%が説明できるという報告 (Kumagai ら, 2005, Fisher ら.投稿中) と大きく異なる. 以上のように, 北方林と熱帯林で蒸発散の駆動力となる成分には異なると考えられることは注目される.

v) 空気力学的特性と森林構造

[成果の主な公表; 論文 (国際); 11, 17, 46, 学会 (口頭国内); 4, 47, (口頭国際); 12, 28, 33, 42]

植生からの蒸発散は上記の生理学的要因に規定される表面コンダクタンスとともに, 群落の構造に由来する空気力学的特性, つまりゼロ面修正量 (d) と粗度長 (z_0) に影響される. これまでに, d と z_0 の評価法に関しては多くの手法が提案されている (Choudhury and Monteith, 1988; Raupach, 1994) が, 本研究で対象とする非常に疎な森林から一般的な密度を有する森林までを統一的に説明する方法は提案されていない. また, これらのパラメータの評価を行う場合, 森林群落を代表する高さで規格化して評価する場合が多い. そこで, まず森林を代表する高さを定量的に評価する方法を検討し, その結果得られる群落高を用いて空気力学的パラメータの評価法を検討した.

まず, 森林の代表的な群落高を客観的に決定するため, Thom (1971) が提案した粗度長 z_0 (m), 地面修正量 d (m), 群落高 h の関係式を用いた.

$$z_0 = \lambda(h-d) \quad (3.8)$$

λ はそれぞれの森林で決められる定数である. (3.8) 式を満たす群落高 $h_a (=h)$ (m)

を空気力学的群落高(aerodynamic canopy height)とし, CREST の 5 サイト (YL, YP, MB, MM, SM) の森林に適用した. d , z_0 は実測した 2 高度の風速と 1 高度の摩擦速度を用いて計算した. その結果, 全ての森林において (3.8) 式の線形関係が確認され, 空気力学的群落高 h_a がそれぞれ 18.4 m (YL), 9.2 m (YP), 11.8 m (MB), 24.3 m (MM), 8.1 m (SM) と求められた. これらの値の妥当性を検討するため, それぞれの森林の実際の樹高分布と比較した. 図 3.37 の赤色のグラフは, 樹高を降順に並べたものある. 一方, 緑色のグラフは, 胸高断面積で重み付けした樹高分布であり, 森林空間における高木の割合をより現実的に表している. 傾きが小さい部分は, 比較的樹高が揃った集合の存在を示唆し, 林冠表面を形成していると考えられる. 青色の線で示した空気力学的群落高は赤色または緑色のグラフの傾きが小さい部分に相当し, この高さが各森林の高さを代表することが確認された.

これにより, 客観的に同じ方法で求められた群落高 h を用いて, 各サイトの d/h , z_0/h を比較することが出来る. なお, h は d , z_0 から求められているが, h はそれぞれの森林固有の値として求まる定数であり, h 自体は実測の d , z_0 の変動に影響を及ぼさない.

次に, CREST5 サイトで実測した d/h , z_0/h には, サイト間で見られる相違と, 各サイトで見られる季節変化の 2 種類の変動が存在した. 空気力学的特性の相違を表現するには, 通常 plant area index (PAI) を用いたモデルを用いる. しかし, 既存の PAI を用いたモデルは農作物などの草本類を対象にしており, 大きな幹空間を有する森林には適用できない (Shaw and Pereira, 1982) ため, 既存の PAI によるモデルでは異なる森林間の d/h の相違を

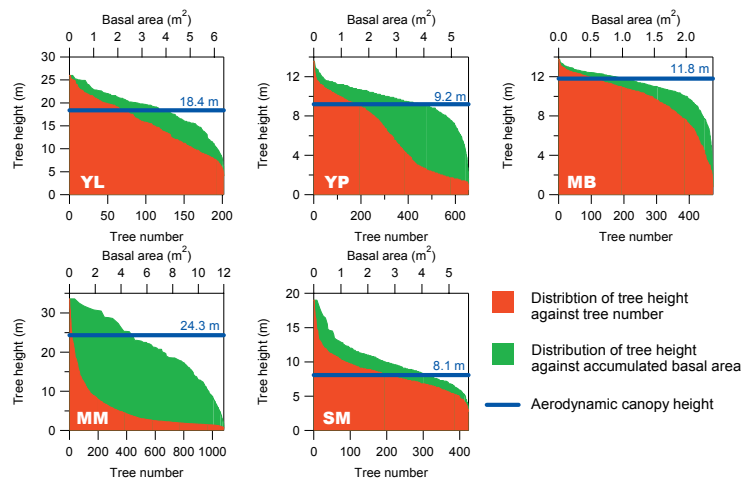


図3. 37 森林の樹高分布と空気力学的群落高との関係. 赤色のグラフは樹高を降順に並べたものであり、緑色のグラフは樹高を（累積）胸高断面面積に対して並べたものである。

表現できなかった。けれども今回の解析の結果、異なる森林間の d/h の相違は立木密度をパラメータにすることで説明できた。また、同一森林における d/h の季節変化は PAI との線形関係で概ね説明され、 d/h と PAI との関係の傾きは立木密度に依存していることが分かった。すなわち、密な森林ほど d/h の季節変化は小さく、疎になると季節変化が大きくなった。これらの結果は、森林における地面修正量 d は葉よりもまず幹・枝の密度によって規定され、密な森林では落葉後でも幹・枝の効果により相対的に大きい d を維持していることを示している。この特徴は、幹・枝を持つ木本類に特有なものであり、草本類とは別のパラメータ化が必要である。そこで、上述の観測事実を踏まえ、幹・枝の密度が d/h の森林間の相違を決定する効果と、各森林での d/h の季節変化が葉面積によって決まる効果の両方を考慮し、森林における d/h のサイト間の相違および季節変化の両方を説明するモデルを開発した。このモデルは、次式で表される。

$$\frac{d}{h} = 1.0 - \frac{1.0 - \exp(-aN)}{aN} + b \exp(-cN) \cdot A \quad (3.9)$$

ここで N は立木密度、 A は PAI、 a 、 b 、 c は経験定数である。一方、 z_0/h は (1) 式から求めた。図3. 38、3. 39 は、各サイトの d/h 、 z_0/h の実測値と計算値を比較したものである。どちらも、計算値と実測値はよく一致し、空気力学的特性のサイト間の相違と各サイトにおける季節変化の実測値をおおむね統一的に説明できた。

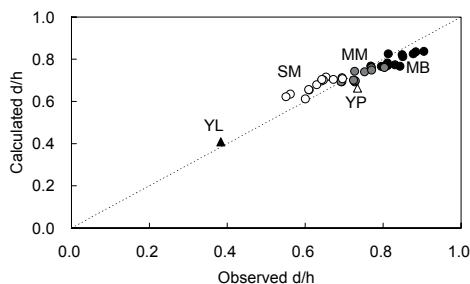


図3. 38 各サイトの d/h の実測値と計算値の比較。

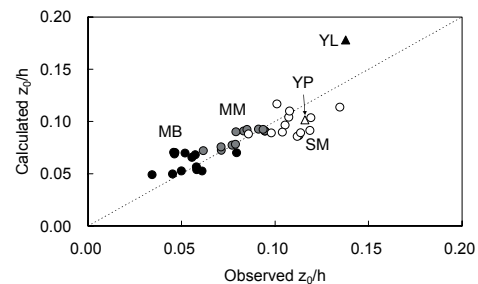


図3. 39 各サイトの z_0/h の実測値と計算値の比較

vi) 根系の生理特性

〔成果の主な公表；学会（口頭国内）；38, 44,（口頭国際）；35, 47〕

前項までは、主に大気と森林の水・エネルギーの交換特性を議論してきた。さて、植物が蒸散により消費される水は根系から吸収される。しかし、これまで水循環の視点から根系の生理特性を議論した例はない。また、i), ii) 項で示したように、北方林では寡雨であるにもかかわらず、年々の蒸発散量は非常に安定している。このようなことから、北方林の根系は当該地域の土壤水分変動に適応した生理特性を有していることが考えられる。そこで、本研究では、カラマツ根系の水分応答特性は、①根のバイオマス、②新根を発達させる深さ、③根の分枝比特性（細根量）、④根系の水分環境の履歴効果に注目し、現地観測とポット実験を実施した。

フィールド観測では、シベリア現地で林床表面をビニルシートで覆ったカバー区(Cv)と自然状態のコントロール区(Cnt)を設けた。この両区における表層 10cm の土壤水分量は図 3. 40 に示すように、異なったものとなった。2004 年はコントロール区では非常に乾燥したのに対し、カバー区では湿潤なままに保たれた。これは、シートでコケモモを覆うこ

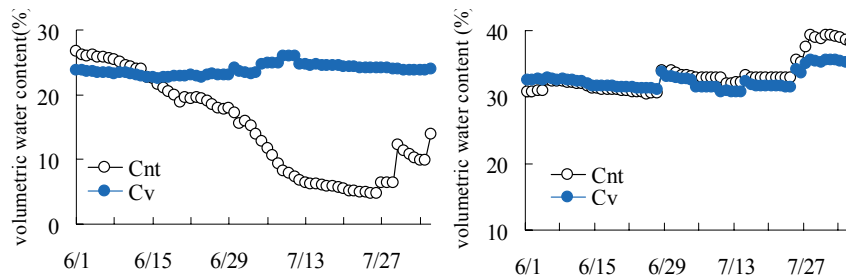


図 3. 40 2004, 2005 年の Cnt 区, Cv 区の深度 10cm の体積含水率の季節変化



図 3. 41 2005 年 7 月の根の伸長状況

とにより下層植生からの蒸発散が抑制されたためと考えられる。一方、2005 年は図 3. 23 に示すように湿潤年であったために、両区とも湿潤状態に保たれた。図 3. 41（は 2005 年の両区での根系の伸長の様子を占めしている。2005 年は図 3. 40 に示したように、両区の間で土壤水分量に大きな相違がないにも関わらず根系の伸長方向はコントロール区で鉛直方向、カバー区で水平方向が卓越していることが分かる。図 3. 42 は、2005 年における地表面と各根のなす角度のコントロール区, カバー区における発生頻度を示している。同図より、明らかに前年に表層が乾燥したコントロール区での根の伸長方向が卓越していることが定量的に示されている。この事は、当該年の根系の伸長に前年の土壤水分量が影

響していることを示唆している。

この事を検証するために現地でのポット実験を行った。実験には、2年ともポット内土壌全層を湿潤に保ったポット①と、ポット内土壌を1年目は表層を乾燥状態、下層を湿潤状態にし、2年目は全層を湿潤状態に変化させたものの2種の水分条件のポットに、現地

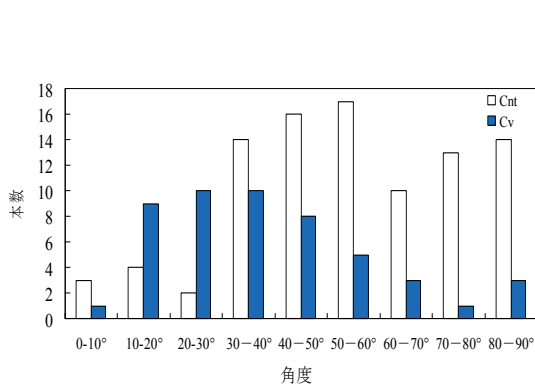


図3. 4 2 根系の伸長方向の相違

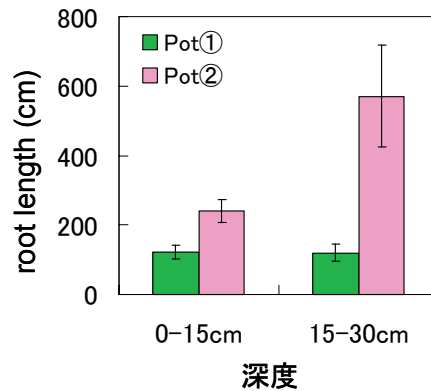


図3. 4 3 土壌水分の処理による深さ別根量の変化

カラマツを植栽して行った。図3. 4 3は実験2年目終了後のポット①、②の表層、下層の根系長を示している。なお、実験1年終了後の断面観察では、両ポットとも表層、下層で根量に大きな相違のないことが確認されている。図3. 4 3より、2年目は両ポットとも土壌水分状態が同じであるにもかかわらず、1年目に表層が乾燥状態におかれたポット②において下層の根系長が顕著に増加していることが分かる。このことは、図3. 4 2で前年に表層が乾燥したプロットでは当該年では鉛直方向への根系の伸長が卓越する結果と一致する。すなわち、前年に表層の根系が乾燥のストレスを受けることにより当該年の根系の伸長方向を前年に水分が豊富な方向へ向かわせる作用があることを示している。これは、シベリアのように極度に乾燥条件におかれる森林において樹木の生存戦略として注目されると同時に、年降水量によらず安定した年蒸発散量を示す水循環特性への影響としても注目される。

vii) 冬期過程の解析

【成果の主な公表；論文（国際）；4, 23, 25, 27, 30, 38, 学会（口頭国際）；41,（ポスター国際）；11】

北方林の水循環において特徴的な現象の一つとして、降雪－積雪－融雪という冬期過程が挙げられる。融雪現象に対する森林の影響に関する熱収支特性に基づいた研究は、国内外において精力的に行われてきた（例えば、Hendrie and Price, 1979; Price, 1988; Ohta ら, 1993 ; Ohta, 1994 ; Suzuki and Ohta, 2003a). 一方、降雪－積雪過程における降雪遮断や樹冠貯留は、水収支に影響を与えるだけでなく、森林－大気間の熱交換特性を大きく変化させる（例えば、Harding and Pomery, 1996 ; Suzuki ら, 2003b) ことが指摘されている。しかし、屋外での精密な測定の困難さなどから、降雪の樹冠貯留・降雪遮断特性に関する研究は限られている（Lundberg and Hallidin, 2001). そこで、本プロジェクトではMMにお

いて現地観測を実施するとともに、人工気象室での降雪貯留実験を行い、その特性を理解するとともにモデル化に向けての基礎情報の集積を行った。

研究は人工降雪実験により樹体冠雪モデルを植物体の面積でパラメータ化し、冠雪モデルを構築して、実際の人工林での冠雪量の観測結果に適用し、その有効性を検証した。以下に冠雪モデルについて説明する。森林帯での降雪は下記のように分配される。

$$P = \Delta I + \Delta S = (W_1 - E_1 - D) + (P_T - M - E_F), \quad (3.10)$$

ここで P は森林上での降雪量 (mm h^{-1})、 ΔI は森林樹冠内の冠雪量変化 (mm h^{-1})、 ΔS は地面上の積雪水量変化 (mm h^{-1})、 W_1 は計算時間内の冠雪量 (mm h^{-1})、 D は樹冠から落下する融雪水と落雪 (mm h^{-1})、 M は地面上の融雪量 (mm h^{-1})、 E_1 はキャノピーによる遮断蒸発 (mm h^{-1})、 E_F は林床積雪の昇華 (mm h^{-1})、並びに P_T 樹冠通過降雪量 (mm h^{-1})。

Koivusalo and Kokkonen (2002) は Aston (1979) の降雨遮断モデルを自然条件下の複数の降雪イベントに対して、以下の様に拡張した：

$$W_1 = (C_{\max} - I_0) - (C_{\max} - I_0) \cdot e^{-(1-p)(1-f_s)P/C_{\max}}, \quad (3.11)$$

W_1 は計算時間内の冠雪量 (mm h^{-1})、 I_0 は初期冠雪量 (mm)、 f_s はスカイビュー・ファクター又はキャノピーの無い所を通過する降雪の割合、並びに p は降雪が樹冠投影面積を通過出来る割合。落雪等を考慮しなければ、着雪量は昇華蒸発によって変動し、次の様に表せる：

$$\Delta I = W_1 - E_1, \quad (3.12)$$

ここで E_1 は計算時間内の昇華蒸発量である。

冠雪モデルのパラメータは、アカエゾマツとダケカンバの人工降雪実験結果に基づいて、LAI 又は PAI の関数として次の様に求められた。

$$C_{\max} = 0.92 \times \text{LAI}, \quad (3.13)$$

$$k_1 \cong 1 - p = 0.30 + 0.06 \times e^{0.30 \cdot \text{LAI}}. \quad (3.14)$$

ここで、 $C_{\max}$ は最大冠雪量、 k_1 は樹冠投影面積を通過できない降雪の割合である。

森林総合研究所北海道支所の羊ヶ丘実験林で観測された樹体冠雪量と、本研究で構築された冠雪モデルによる樹体冠雪量の推定値を比較し、モデルの有効性について検討した。観測値とモデルによる推定値の時間変動を図 3.44 に、両者の日平均値の関係を図 3.45 に示す。これらの図より推定値は時間変動を良好に再現し、モデル推定値と観測値の関係を線形回帰した傾きは 1 に近く、相関係数も高い。モデル推定値と観測値の絶対誤差は 0.42 mm、相対誤差は 0.32mm であった。このことより、本プロジェクトにより開発された冠雪モデルは、自然条件下の冠雪量を良好に再現できている。

将来、本サブモデルを陸面過程モデルや気候モデルに組み込むことにより、森林群落における冬期の水・エネルギー交換の過程や気候変動予測が向上されることが期待される。

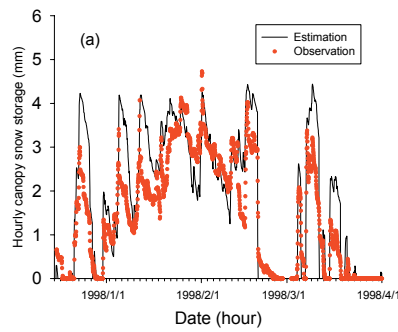


図 3. 4 4 樹体著雪量の実測値とモデルによる推定値の経時変化

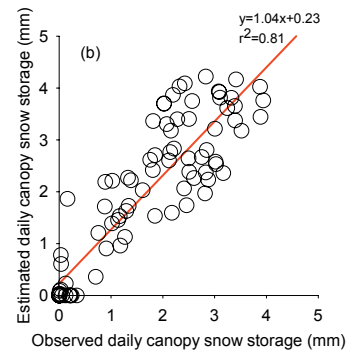


図 3. 4 5 樹体著雪量の実測値と計算値の関係

viii) 森林—大気間の二酸化炭素の交換特性

[成果の主な公表；学会（口頭国際）；24, 46,（ポスター国内）；23,（ポスター国際）；1, 2]

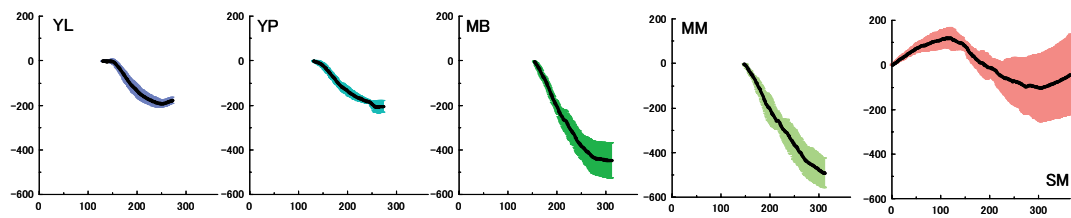
現在指摘されている温暖化の一因として大気中 CO_2 濃度の増加が挙げられている．そして，森林生態系が炭素循環に果たす役割の評価は，非常に重要になってきている．この観点から世界各地で本プロジェクトと同様の PBL タワーによる CO_2 交換の観測が実施されている（Baldocchi ら，2001）．しかし，本プロジェクトで注目しているシベリアにおける観測例は限られており（Dolman ら，2004），その特性や他地域との相違などは依然未解明である．ここでは，5 観測サイトにおける炭素収支，群落スケールで見た炭素吸収特性の地域性を報告する．また，MM において観測された冬期積雪面からの CO_2 放出の評価をあわせて報告する．

図 3. 4 6 は，5 観測サイトにおける積算 NEE (a) と積算 GPP (b) を示す．なお，ヤクーツク，母子里における積雪期呼吸量は，その評価に多くの問題点があるため，ここでは検討対象から除外した．なお，冬期呼吸量に関しては，本項の広範で報告する．年積算 GPP は瀬戸（SM： $1819 \pm 28 \text{ gCm}^{-2}$ ）で最も大きく，母子里（MB： $1057 \pm 84 \text{ gCm}^{-2}$ ，MM： $1348 \pm 30 \text{ gCm}^{-2}$ ），ヤクーツク（YL： $572 \pm 74 \text{ gCm}^{-2}$ ，YP： $699 \pm 213 \text{ gCm}^{-2}$ ）と減少する．一方，積算 NEE は母子里（MB： $-471 \pm 93 \text{ gCm}^{-2}$ ，MM： $-503 \pm 49 \text{ gCm}^{-2}$ ，ヤクーツク（YL： $-175 \pm 16 \text{ gCm}^{-2}$ ，YP： $-206 \pm 28 \text{ gCm}^{-2}$ ），瀬戸（SM： $27 \pm 130 \text{ gCm}^{-2}$ ）の順となる．年間 GPP に対する年間 NEE の比はヤクーツクと母子里で大きな差はなく 0.35～0.5，瀬戸は 0.15～0.3 となった．上記のように瀬戸は大きな光合成量を示すが，呼吸量も多いために年間 NEE が小さな値となった．また，図 3. 4 6 から，明らかなように，NEE，GPP に関しても図 3. 1 9，3. 2 0 で示したように，ヤクーツクと母子里を比較すると，同一地域内での森林タイプ差よりも地域間差の方が顕著に現れる．

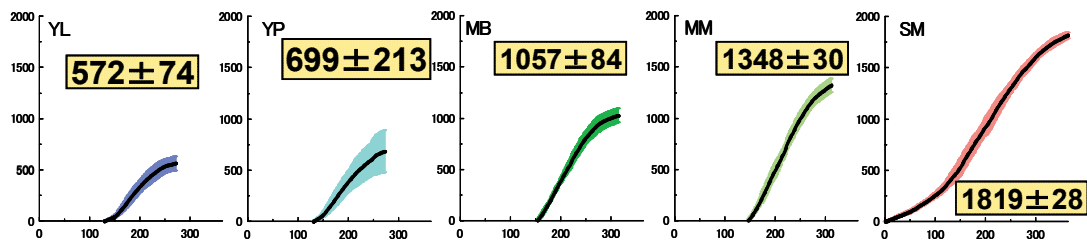
次に，光合成の応答特性の地域間差を検討する．単位水量当たりの光合成量である水利用効率は，次式で表される．

$$WUE = \frac{A}{E} = \frac{Ca(1 - C_i/C_a)}{1.6 \cdot k \cdot VPD} \quad (3. 1 5)$$

ここで、 WUE は水利用効率、 A は光合成量、 E は蒸発散量、 C_a は大気中 CO_2 濃度、 C_i は気孔内 CO_2 濃度、 VPD は大気飽差、 k は常数(9.87)である。 C_i は光合成によって気孔内か



a) 積算 NEE



b) 積算 GPP

図 3. 4 6 5 観測サイトにおける積算 NEE(a)と積算 GPP(b)の季節変動。実線は平均値，ハッチは、年々変動の 1σ を表す。

ら葉内に取り込まれることによって決まる。すなわち、 C_i/C_a は群落スケールで考えた場合の光合成特性を示す指標として用いることができると考えられる。

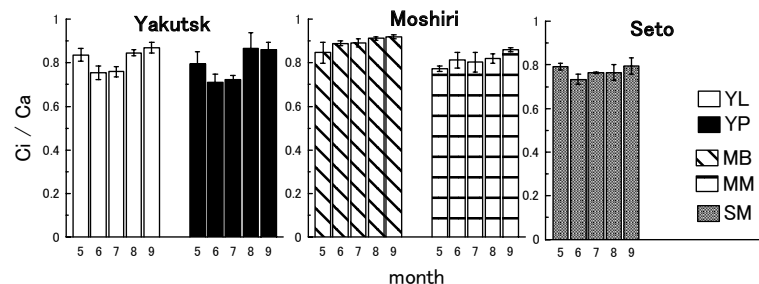


図 3. 4 7 各サイトにおける C_i/C_a の季節変化

図 3. 4 7 は、5 サイトにおける C_i/C_a の月別平均値とその偏差を示している。これによれば、図 3. 1 9、3. 2 0 と同様の季節変動には、同一地域内の異なる森林タイプでは大きな相違は認められず、季節変化パターン、大きさとも類似したものとなっている。そして、地域間の相違が顕著である。このように、同一地域内の異なる森林において C_i/C_a の季節変動が非常に類似することは、3. 1 で示した表面コンダクタンスと同様に光合成の環境に対する応答特性も、森林タイプを越えて類似した応答を示す可能性を示唆している。今後、 C_i/C_a を指標とすることによって群落スケールでの光合成の環境応答特性の地域性を進めてゆくことにより、光合成特性の時空間分布を明らかにしてゆくことが必要である。

さて、先に述べたように、積雪が存在する場合の森林生態系では炭素交換量の評価に多くの問題が存在する。これまでは冬期の雪面からの CO_2 フラックスについてはゼロか非常に小さいと仮定されていて (例えば、van der Molen ら、投稿中)、観測がなされておらず、

雪面から放出される CO₂ を支配する因子について不明な点が多い。すなわち、森林生態系において、積雪初期から厳冬期、さらに融雪期までの長期間にわたって、積雪の圧密や変態過程、融解凍結といった積雪の物理的変化と雪面から放出される CO₂ の関係について測定や考察を行った研究は少ない。MM サイトで、自動開閉チャンバーを使って雪面からのフラックスを測定し（CC 法）、また積雪下面と雪面の 2 ヶ所で CO₂ 濃度を測定し、その濃度勾配から Fick の法則を用いてフラックスを見積もった（FD 法）。また、積雪の物理量を測定し、それらと雪面からの CO₂ フラックスとの関係を調べた。

両方法とも雪面からの CO₂ フラックスは、乾雪期には積雪の増加とともに減少し、融雪期になると大きく変動した。融雪期には測定方法によって違いが出たが、これは FD 法では融雪水による空隙の減少を考慮していないためと考えられる。11 月から 4 月まで MM サイトにおける総 CO₂ フラックスは 133 gCm⁻² となった。チャンバーによる雪面での CO₂ フラックスと雪面と積雪下面での CO₂ 濃度から見かけの拡散係数を計算した。その結果、乾雪期の CO₂ の拡散係数は積雪の空隙率と良い相関があったが、融雪期には無相関となった。融雪期の CO₂ の拡散係数は積雪表面の含水率と良い関係にあり、融雪水との関わりが示唆された。MM サイトでは夏期にも土壌呼吸を自動開閉チャンバーで測定し、年間総 CO₂ フラックスを計算した。図 3. 4 8 に月別の CO₂ フラックスの割合を示す。MM サイトでの積雪表面からの CO₂ フラックス（11 月から 5 月）は地表面からの年間総 CO₂ フラックスの約 24% であり、無視できない量である事がわかった。

この研究では、積雪の状態が雪面からの CO₂ フラックスに影響を与えることがわかった。しかし、積雪下の土壌内で生成された CO₂ が積雪によって遅れて出てくるだけなのか、それとも何らかの作用により土壌内で生成された CO₂ の一部のみが大気に放出されるのか、未解明な点である。融雪水が積雪内の CO₂ を溶かし込んで地中内に輸送すると結論する報告（小南ら、1998）もあるが、その量的な把握は未解決である。

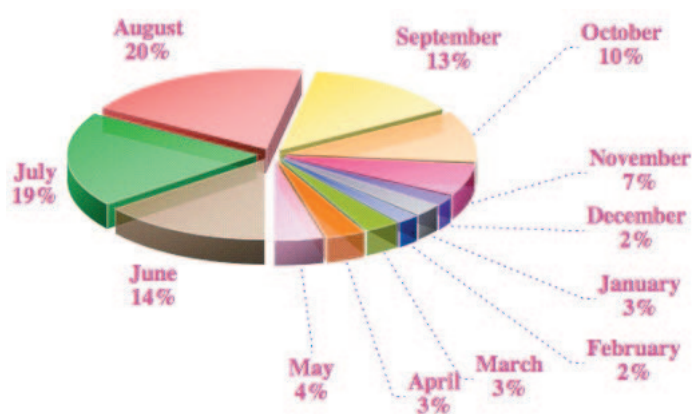


図 3. 4 8 MM サイトにおける月別土壌呼吸量，雪面 CO₂ 射出量の割合

ix) 大陸河川スケールでの水循環解析

[成果の主な公表；論文（国際）；16，学会（口頭国内）；14，（口頭国際）；10]

本研究では、最終的な空間スケールとしてレナ川流域を対象としている。本項では、本流域の水収支の時空間変動に関して、既存データセットを用いて解析を行った結果を報告

する。

はじめに、レナ川と他のシベリア河川との水収支の特性の相違を検討した。図3. 49は、オビ川、エニセイ川、レナ川、コリマ川の年間降水量と年間流出量（赤）、年間蒸発散量（緑）の関係を示している。これによれば、レナ川を除く3河川は降水量の変動により蒸発散量が変動しており、Zhang ら、(2001) が示した低中緯度帯の小流域での年降水量500mm 以下の寡雨地帯の特性と一致する。一方、レナ川のみ年降水量の変動が年流出量に現れ、蒸発散量に大きな変動はない。これは、i)

で述べた YL での群落スケールでの水収支解析結果と一致する。オビ川、エニセイ川は永久凍土があまり発達しておらず、またコリマ川は永久凍土が発達しているが森林が占める面積は小さい。レナ川の特徴は、永久凍土と森林が共生している水循環の特性を反映している可能性があり、注目すべき水収支特性である。しかし、広大な流域面積を有するため、湿地面積率などの地表面状態の相違なども含め、今後より詳細な解析が必要となる。

次に、レナ川内部でのより細かい水文特性や地域性を知るために、図3. 50に示す内部流域14地点における1980～2003年の日流量データをロシア国家水文局から収集し解析した。その結果、レナ川上流域とアルダン川流域に共通する多流出年（1983, 1997, 2000年）と少流出年（1986, 2001, 2003年）が特定された。また、融雪出水が年流出量に占める割合は高いが、図3. 51に示すように年流出量の大小には夏の降雨出水の多少、特に流域南東部の影響が大きいことがわかった。また、環北極水文データセットを用いた解析よりレナ川南東部の上流域が流出のソースとなっており、夏期のこの地域の流出量変動が、レナ川の流出量の年々変動に重要な地域であることを特定した。14地点の水収支特性については、以下が明らかになった：(1) $P-E-R=dS$ とした時の dS は、年収支で見ると、アルダン川流域では0 mmの周りを変動し、レナ川上流域では-100 mmの周りを変動する。レナ川上流域で $dS \approx -100$ mm となる理由として、標高が高い山地部での P の多さ（特に冬期降水量）が正しく評価されていないためであると考え、試行的に10月から翌年4月までの降水量増幅率1.8倍を導入し、 $dS \approx 0$ mm とすることができ、冬期降水量の制度の問題が指摘された。ビルヌイ川流域では dS がプラスになる傾向があり、ダム湖による流量調

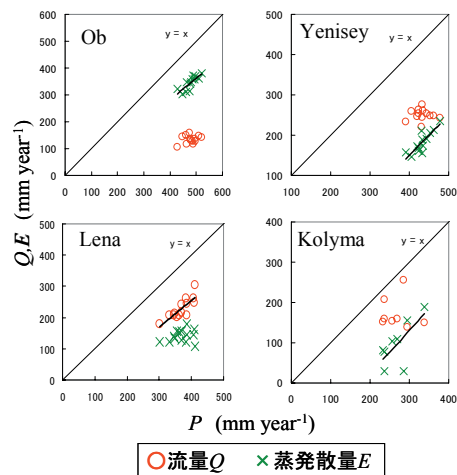


図3. 49 シベリア4河川の年間降水量と年間流出量, 年間蒸発散量の関係

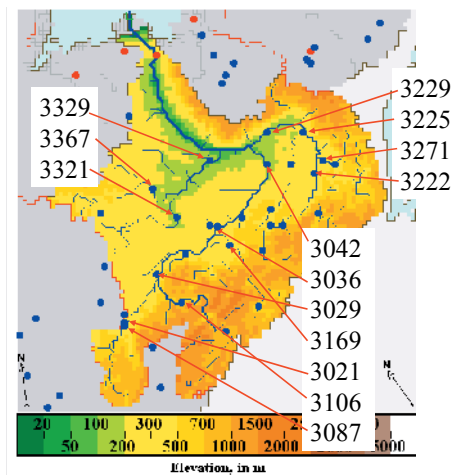


図3. 50 データ収集地点の位置

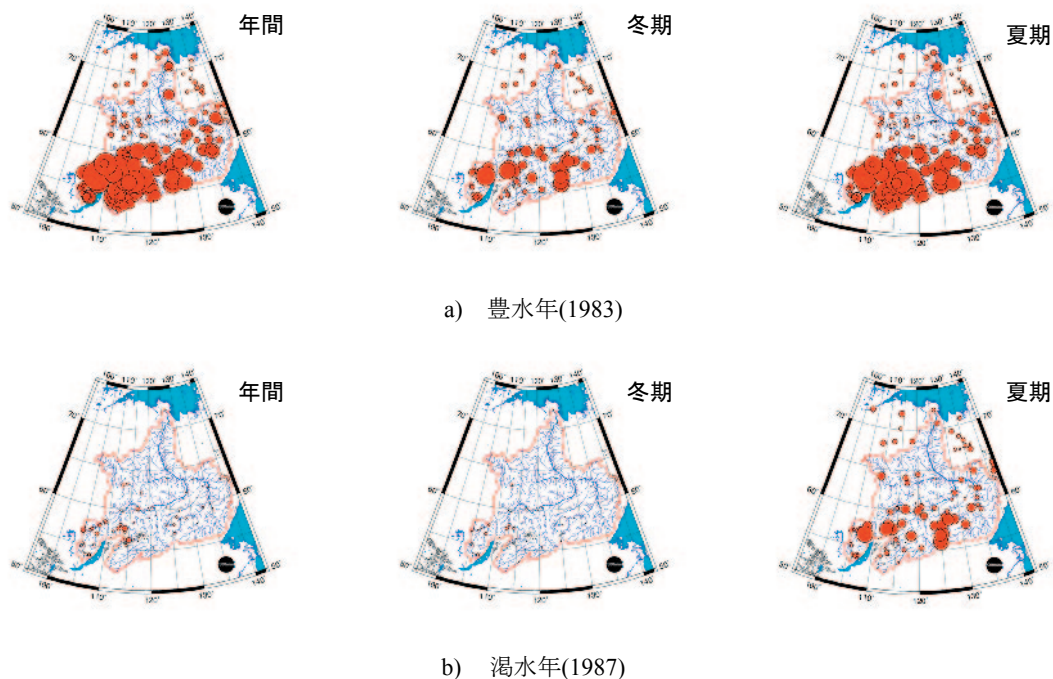


図3. 5 1 渇水年（上）と豊水年（下）のレナ川の内部流域の流出量

節効果が認められた；(2) P と R の対応が良く，P の変動が R の変動となって現れる．E は P に関係なくほぼ一定値となり，年による変動も小さい．

以上の解析を通じ永久凍土との関係，すなわち活動層の発達と流出の関係や，夏の雨が凍土中に保存され翌年の水循環（特に蒸発散）に寄与する可能性を見いだそうとしたが，上述のように水系諸河川の流出特性には水源地帯である上流山地部での夏の降水量の大小が強く反映されるため，大流域を対象とする流出特性の解析からは明らかにされなかった．

（2）研究成果の今後期待される効果

本研究チームでは，群落，大陸河川スケールでの水・エネルギー・物質循環特性の検討を観測結果に基づいて進めてきた．群落スケールでの表面コンダクタンスに関する本チームの研究成果の今後の効果に関しては，3. 1 で記したので，ここでは他の成果に関しての今後の成果をまとめる．

3 地域 5 サイトにおける長期水・エネルギー循環に関する観測より，温帯林とは大きく異なる北方森林帯での水循環特性を明らかにすることができた．特に，永久凍土と森林の共生により降水量と蒸発散量の関係が他の地域と大きく異なることを明らかにしたことは，大きな成果である．これは，永久凍土と森林の存在が当該地域の水循環に対してともに重要な役割を果たしていることを定量的に明らかにしたものであり，今後より詳細な相互作用の実態を明らかにする必要性が指摘できる．また，永久凍土の存在が土壌水分量の年々変動にも強く影響を与えていることが，観測より明らかにされた．これは北方林地帯における水循環の長期変動を理解，予測する上で土壌水分量の年々変動を凍土過程を通して理解してゆかなければならないことを強く示している．

蒸発散の駆動力として，上層植生，下層植生ともに飽差の効果が放射の効果を上回るこ

とが指摘された。これは、既存の熱帯林での研究結果と大きく異なるものであり、今後多様な気候帯での森林と水循環の関係を検討していく上で、重要な結果である。空気力学的特性に関しても、森林特有の群落構造を表現することでそのパラメータを統一的に説明することができた。これは、森林の水・エネルギー・炭素循環過程における他の植生との相違を表す重要な知見である。また、根系の土壌水分量による応答特性は、シベリア地域の水循環を植物生理の観点から理解を深める上で、貴重な情報を提供するものである。冬期過程は、シベリア地域へと拡張することはできなかったが、今後のデータの集積により冬期水循環過程をより精緻に理解する基礎を得ることができた。炭素循環に関しては解析開始が遅れたこともあり、水循環解析に比較すると定量的理解までは得られていない。しかし、群落スケールで見た場合、大気中 CO₂ 濃度に対する気孔内 CO₂ 濃度の割合の季節変動には森林タイプによる大きな相違は認められなかった。このことから、光合成に対しても森林タイプを越えた共通の応答特性が存在する可能性が示唆され、今後の解析に重要な知見を与えている。

大陸河川スケールでは、他のシベリア流域と比較してレナ川の水収支特性が非常に異なること、流域内での流出への寄与の空間的相違を抽出できた。水収支特性は上に記した群落スケールでの水収支特性を一致するものであり、流域スケールにおいても永久凍土と森林の共生系の重要性が指摘され、他流域との比較解析を進めることによりこの共生系の重要性をより明らかにすることが期待される。

引用文献

1. Aston, A.R., 1979. Rainfall interception by eight small trees. *Journal of Hydrology* 42: 383-396.
2. Baldocchi, D., et al. 2001. FLUXNET: A new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem-scale carbon dioxide, water vapor, and energy flux densities. *Bulletin of the American Meteorological Society* 82: 2415-2434.
3. Blanken, P.D., et al., 2001. The seasonal water and energy exchange above and within a boreal aspen forest. *Journal of Hydrology* 245: 118-136
4. Choudhury, B.J., Monteith, J.L., 1988. A four-layer model for the heat budget of homogeneous land surfaces. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 114: 373-398.
5. Dolman, A.J., et al., 2004. Net ecosystem exchange of carbon dioxide and water of far eastern Siberian Larch (*Larix cajanderii*) on permafrost. *Biogeosciences* 1: 133-146.
6. Fisher, J.B., et al., submitted. The tropical land-atmosphere water flux: Measurements, models and controls for evapotranspiration in the Amazon. *Journal of Geophysical Research -Biogeosciences*
7. Hamada, S., et al., 2004. Hydrometeorological behaviour of pine and larch forests in eastern Siberia. *Hydrological Process* 18: 23-29.
8. Harding, R.J. and Pomeroy, J.W., 1996. The energy balance of the winter boreal landscape. *Journal of Climate* 9: 2778-2787.
9. Hendrie, L.K. and Price, A.G. 1978. Energy balance and snowmelt in a deciduous forest. *Proceedings Modeling of Snow Cover Runoff*, Colbeck, S. C. and Ray, M. Editors, U. S. Army

- Cold Regions Research and Engineering Laboratory: 211-221.
10. Kelliher, F.M., et al., 1997. Evaporation from an eastern Siberian larch forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 85: 135–147.
 11. Koivusalo, H., and Kokkonen, T. 2002. Snow processes in a forest clearing and in a coniferous forest. *Journal of Hydrology* 262: 145-164.
 12. 小南靖弘, 高見晋一, 横山宏太郎, 井上聡, 1998. 季節的積雪地帯における積雪下の CO₂ 濃度. *雪氷* 60(5): 357-366.
 13. Kumagai, T., et al., 2005. Annual water balance and seasonality of evapotranspiration in a Bornean tropical rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology* 128: 81-92.
 14. Lundberg, A., and Halldin, S. 2001. Snow interception evaporation. Review of measurement techniques, processes, and models. *Theoretical and Applied Climatology* 70: 117-133.
 15. Ohta, T., Hashimoto, T. and Ishibashi, H. 1993. Energy budget comparison of snowmelt rates in a deciduous forest and an open site, *Annals of Glaciology* 18: 53-59.
 16. Ohta, T., 1994. A distributed snowmelt prediction model in mountain areas based on an energy balance method. *Annals of Glaciology* 19: 107-113.
 17. Ohta, T., et al., 2001. Seasonal variation in the energy and water exchanges above and below a larch forest in eastern Siberia. *Hydrological Processes* 15: 1459–1476.
 18. Price, A. G., 1988: Prediction of snowmelt rates in a deciduous forest. *Journal of Hydrology* 101: 145-157.
 19. Raupach, M.R., 1994. Simplified expressions for vegetation roughness length and zero-plane displacement as functions of canopy height and area index. *Boundary-Layer Meteorology* 71: 211–216.
 20. Shaw, R.H., Pereira, A.R., 1982. Aerodynamic roughness of a plant canopy: a numerical experiment. *Agricultural Meteorology* 26: 51–65.
 21. Sugimoto, A., Yanagisawa, N., Naito, D., Fujita, N., Maximov, T.C. 2002. Importance of permafrost as a source of water for plants in east Siberian taiga. *Ecological Research* 17: 493–503.
 22. Suzuki, K., Nakai, Y., Ohta, T., Nakamura, T. and Ohata, T., 2003b. Effect of snow interception on the energy balance above deciduous and coniferous forests during a snowy winter. *Water Resources Systems –Water Availability and Global Change (Proceedings of symposium HS02a held during IUGG2003 at Sapporo, July 2003)*. IAHS Publication no. 280: 309-317.
 23. Suzuki, K. and Ohta, T., 2003a. Effect of larch forest density on snow surface energy balance. *Journal of Hydrometeorology* 4 (6): 1181-1193.
 24. Thom, A.S., 1971. Momentum absorption by vegetation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 97: 414–428.
 25. van der Molen, M.K., et al., submitted. The carbon balance of the Boreal Eurasia consolidated with eddy covariance observations. *Global Change Biology*.
 26. Zhang, L., Dawes, W.R., Walker, G.R. 2001. Response of mean evapotranspiration to vegetation change at catchment scale. *Water Resources Research* 37: 701–708

3. 3 森林動態解析グループ

3. 3. 1 個葉生理・森林構造解析サブグループ

(1) 研究実施内容および成果

1) 研究の目的とプロジェクト内での位置づけ

個葉生理・森林構造解析サブグループは、個葉スケールの生理特性を考慮することで、植物の生理・生態的側面から群落スケールの水循環特性の解明を目指す。群落スケールの応答特性との比較を可能にするため、陸面水循環解析グループが取り扱う環境因子と同等の個葉スケールの環境因子（放射、葉温、飽差、土壤水分）に対する個葉の光合成速度、蒸散速度、気孔コンダクタンスの応答について調査・解析を行う。また、上層木の個葉の環境応答特性に対する下層植生の影響を野外操作実験から明らかにする。さらに、個葉スケールの観測で得られた生理特性を森林動態－水循環モデリンググループへの入力値として供給する。

2) 研究方法

i) 北方林地帯の樹木の個葉の生理応答特性の解明

3. 1 (2) の図 3. 6 に示す 9 サイトで調査した 4 属 6 樹種のうち、ヤクーツク、エッソ、母子里のカンバ個葉での解析結果をもとに、どの環境因子が自然条件下の気孔コンダクタンスの応答特性に影響を与えているかを、解析した。

ii) 上層樹木の個葉生態生理に対する林床植物の影響：ササ除去によるダケカンバ林冠の個葉ベースの光合成・蒸散と生理・生態的特性の変化

北方林では下層からの蒸発散が森林全体の水収支の 2 割～5 割程度を占めることが陸面水循環解析グループの研究で報告されており、下層植物による光合成・蒸散の寄与の重要性が推察される。北方森林帯の主要な林分であるダケカンバ二次林を対象として、林床のササの有無が林冠のダケカンバの光合成および蒸散特性に与える影響について、比較検討を行った。

北海道母子里のダケカンバ林サイトに下層植生であるチシマザサ（以下、ササ）の残存している調査区（ササ区）とササを除去した調査区（ササ除去区）を設け、ダケカンバ個体の幹直径・樹高成長、個体～個葉の水利用様式、および個葉の光合成活性を調べ、両調査区間で比較した。また、林冠部の着葉量や光環境を測定した。

3) 研究成果

個葉スケールでの、“潜在的”応答特性に関連した気孔コンダクタンスの環境応答特性に関する成果の一部は 3. 1 (2) で記したので、ここでは他の研究成果を報告する。

i) 北方林地帯の樹木の個葉の生理応答特性の解明

3. 1 (2) に記載済み。

ii) 気孔コンダクタンスの応答を支配する環境要因

[成果の主な公表：論文（国際）；3, 7, 45, 学会（口頭国内）；32, （口頭国際）；25, （ポスター国際）；12, 13]

自然条件下の個葉の生理的応答がどの環境因子に主に支配されているかを確かめるため、ヤクーツク（2003 年）、エッソ、母子里サイトで得られたカンバ属のデータを用いて解析を行った。まず、各サイトの個葉の切り枝・制御実験結果から放射－光合成関係（または飽差－光合成関係）の近似式をサイト毎に求めた。次に、各サイトの放射（または飽差）の日変化データを全サイトの近似式に個別に入力値として与えることで、各サイトの光合成の日変化をシミュレートした。このシミュレーションでは、放射が光合成速度の日変化を決める主要因になっているのであれば、放射－光合成関係式から推定した光合成の日変化が光合成の実測値の日変化と似たパターンを示すと考えられる。また、飽差が光合成

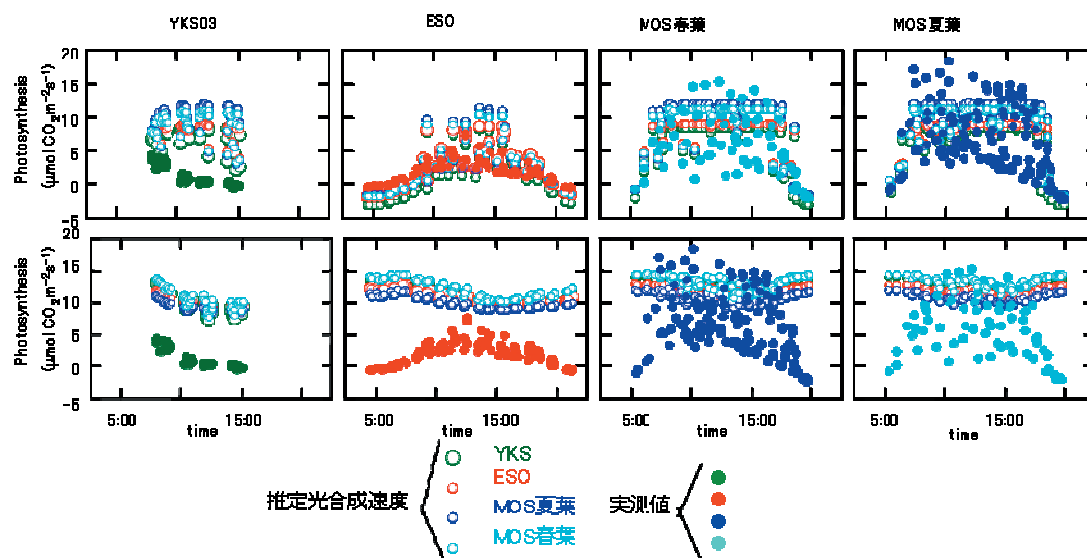


図3. 5.2 ヤクーツク（2003 年）、エッソ、および母子里の個葉光合成速度の日変化のシミュレーションと実測値との比較。各サイトの推定光合成速度（白ぬき印）は、切り枝・制御実験による放射－光合成関係（上段）および飽差－光合成関係（下段）の全サイトの近似式の各々に、各サイトの放射または飽差を代入して求めた。

速度を決める主要因になっているのであれば、飽差－光合成関係式から推定した光合成日変化が光合成の実測値の日変化に似たものとなると考えられる。これらのシミュレーションを、各サイトの光合成日変化の実測値と比較した（図3. 5.2）。このような方法で、放射、飽差、気温（葉温）のどれが光合成の日変化パターンを主に説明するか、について検討した。なお、温度－光合成関係の結果は省略する。また、土壌水分条件は日内変化が小さいので無視した。

エッソおよび母子里では、どのサイトの近似式を使っても、放射－光合成関係による推定光合成速度の日変化パターン（図3. 5.2上段）のほうが、飽差－光合成関係を用いたもの（同図下段）よりも実測の日変化パターンと似ていた。これに対し、ヤクーツクの光合成日変化パターンは、飽差－光合成関係を用いたシミュレーション（同図下段）と似たパターンを示している。実測値と推定値の間の絶対値の差は、ここでは考慮されていない環境要因や葉の解剖学的・生理生化学的変異に起因すると考えられる。以上の結果は、自然条件下の生理応答の日変化パターンを主に支配する気象因子がサイトによって異なることを示唆している。また、各サイトでは、どのサイトの近似式でシミュレーションしても同

様の日変化パターンが得られた。このことは、サイト間の生理特性の差よりも気象要因の差のほうが、自然条件下の気孔応答を左右する要因としてより重要であることを示している。

iii) 上層樹木の個葉生態生理に対する林床植物の影響：ササ除去によるダケカンバ林冠の個葉ベースの光合成・蒸散と生理・生態的特性の変化

〔成果の主な公表：論文（国際）；8, 13, 18, 24, 28, 35, 39, 40；学会（口頭国際）；30,（ポスター国際）；5〕

個体成長と林分構造との関連解析より、ササの除去によってダケカンバの直径成長は増大することが示された。また、林冠上層部の葉量はササ区で大きい傾向にあった。一方、個体の生存率に対するササ除去の影響は不明瞭だった。

ダケカンバの切枝を用いた制御条件下の実験結果では、成長期の前半では、林冠上層の個葉の葉面積あたりの最大光合成速度、蒸散速度および気孔コンダクタンスはササ区のほうが高く、成長期後半ではササ除去区のほうが高い傾向が見られた（図3. 53）。また、個葉の体積弾性率（吸水能力の指標）はササ区で高かった。しかし、水利用効率（WUE）および光合成窒素利用効率（NUE）に有意な差は見られなかった。個葉の炭素同位対比も除去区とササ区で差がなく、水利用効率に差がない結果を支持していた。

一方、葉やシュートの形態的特性を調べると、ササ除去区よりササ区のほうが当年生シュートあたりの開葉数・着葉数は少ないため、シュートあたりの総葉面積も小さい傾向があった（図3. 54）。ダケカンバは生育期間に複数の葉を順次展開させるシュート成長パターンをもっている。ササとの競合による水・養分の制限に対し、当年生シュートあたりの開葉数・着葉数を少なくするという調節によって順応していたものと考えられる。ササ除去区よりササ区のほうが開葉数・着葉数は少ないものの、それを補償するようにササ区の平均個葉面積と葉面積／葉重比は大きかった。すなわち、上層ダケカンバで見られた葉面積あたりの光合成・蒸散速度の差（図3. 53）は、下層植生の有無による葉の形態的特性の変化により副次的に検出されたものであり、葉の本質的な生理特性が下層の有無により変わったわけではないと考えられる。

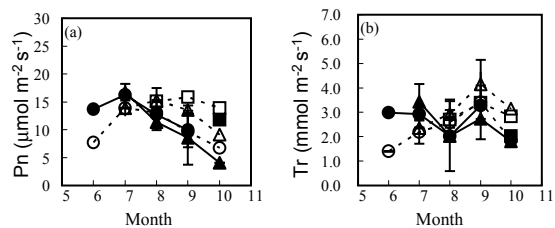


図3. 53 ササ区(黒)及びササ除去区(白)の個葉光合成速度(a)と蒸散速度(b)。縦線は標準誤差。●○, 当年性シュートの基部から数えた第1葉；▲△, 第4葉；■□, 第7葉。

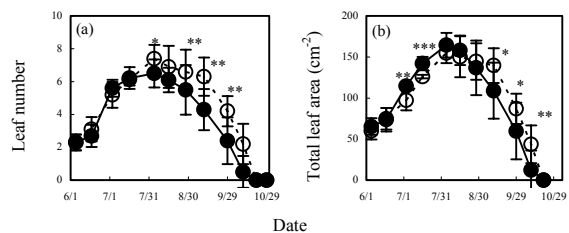


図3. 54 ササ区(黒)及びササ除去区(白)の当年性シュートあたりの着葉数(a)及び総葉面積(b)。縦線は標準偏差。*は有意であることを示す(t-test; *** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$)。

一方、これらの個葉レベルの光合成や蒸散速度、シュート構造、そして林冠の葉の垂直分布から、林冠レベルにおける夏季の日光合成量および日蒸散量を見積もったところ、ササ区はササ除去区の2/3程度であった(図3.55)。この原因は主にシュートあたりの葉量の違いおよび林冠における葉の垂直分布の違いにあった。ダケカンバ個体の樹液流速と土壌-葉の通導コンダクタンスはいずれも除去区で高いという結果も得られており、ササ除去区では下層植物との競争からの開放によって上層からの蒸発散量が大きくなっていたことを示している。

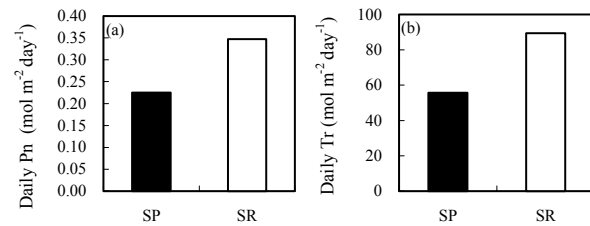


図3.55 ササ区(黒)及びササ除去区(白)のダケカンバ林冠の日光合成速度(a)および日蒸散速度(b)。

以上の結果等を総合すると、土壌中の水分や無機栄養分に関して下層植生と競合している状態では、ダケカンバの林冠光合成量や蒸散量は小さくなり、光合成や蒸散を維持するために下層植生との競合状態に見合う葉・シュートの形態変化が起こるが、下層植生の有無により上層木の葉の生理特性が本質的に変わるわけではないと考えられる。したがって、物理的環境条件だけでなく生物的要因による環境条件の影響下(下層植物の有無)でも、**3.1**で示した統一的な応答関数による個葉の生理特性解析が有効となりうることが示唆される。一方、統一的な応答関数でより詳細に森林全体の水循環特性を評価するうえでは、

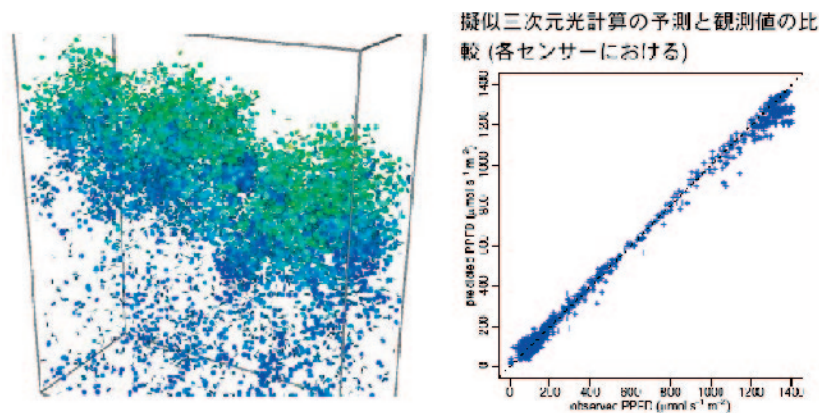


図3.56 ダケカンバ林冠部の葉量と葉群配置を三次元的に推定するデータ解析法による葉群の3次元分布(左)と推定精度(右)。

上層-下層の着葉量・着葉期間および下層植生の環境応答特性などをさらに考慮することも今後重要であろう。

林冠の生産力と蒸発散との関連解析をより詳細に可能にするため、ダケカンバ林冠内に小型光センサ(フォトダイオード)を0.3~0.6m間隔で配列することによって光強度の3次元分布の数値を得た。この分布パターンを基にして、ダケカンバ林冠部の葉量と葉群配置を三次元的に推定するデータ解析手順を開発した(図3.56)。林冠部で個葉を採取し、光強度- CO_2 固定速度および蒸散速度関係を測定した。この関係を関数化し、上で推定された葉量と葉群配置を反映した林冠全体の CO_2 固定量と蒸散量を概算した。その結果、従来の他の方法による推定よりも過大および過小評価が生じにくいことが分かった。

(2) 研究成果の今後期待される効果

日変動観測結果より、光合成の日内変動を規定する因子が、ヤクーツクでは飽差であるのに対し、エッソ、母子里では光であることが示された。これは、**3. 2. 3). iv)** で示した蒸発散の駆動力が、北方林と熱帯林ではそれぞれ飽差、放射であったことと定性的に一致する。これらは、今後、光合成、蒸発散、の地域特性を解析していく上で、重要な知見である。

上層－下層植生の競合に関する研究より、北方林の下層植物が上層木および森林全体の炭素・水収支を制御していることが野外操作実験から直接的に証明された希有な成果を得た。陸面水循環解析グループの研究において、北方林では下層からの蒸発散が場合によっては森林全体の蒸発散量6割近くを占めることが報告されていることからわかるように、上層木と下層植物との競合関係は今後水循環研究上重要な位置を占めると考えられる。さらに、下層植生の有無による林冠光合成・蒸散量の差異は主に上層木の個葉の形態的变化によって説明可能であった。したがって、上層木の個葉の本質的な生理応答特性は基本的には大きく変化することがないために、環境要因に対する包括的生理応答曲線(図3. 8)は、下層植生の有無にかかわらず似たパターンを示すと推察された。以上のことから、**3. 1** で用いたような広範なデータをプールして解析を行う手法は下層植生の有無にかかわらず有効であると言える。今後の下層植物からの蒸発散の再評価においても、個葉スケールからのさらなる研究がその詳細の解明に寄与することは間違いない。

3. 3. 2 衛星リモートセンシング・林冠構造調査法開発サブグループ

(1) 研究実施内容および成果

1) 研究の目的とプロジェクト内での位置づけ

群落～大陸規模までの様々なスケールで生物的要因との関連で水循環特性の解明を行う研究では、対象スケールに応じた生物構造としての森林・林冠構造の定量的指標化が必要であり、LAI (Leaf Area Index) は特に重要な指標値である。本プロジェクトの水循環－森林動態モデリンググループによる陸面モデル 2LM においても LAI を入力値の一つとして使用する。そこで、衛星リモートセンシング・林冠構造調査法開発サブグループでは、群落スケールの新たな林冠 3 次元構造・LAI (Leaf Area Index) 推定法の開発、および、衛星情報を利用した北方林全域にわたる大陸スケールの LAI 推定の可能性に関する検討に取り組んだ。

2) 研究方法

i) 群落スケールの詳細な林冠構造把握のための全天空画像の高度利用化

群落スケールの LAI 推定法としては全天空画像（魚眼レンズ画像）による方法が従来広く受け入れられ、本プロジェクトでも衛星データ解析において採用しているが、(1) 林冠が傾斜している場合や不均一な厚さをもつ場合の影響、(2) 林内相対照度測定に関して a) 参照値となる林外の照度測定時のセンサの視野の確保、b) 林内・林外照度測定時の天気（快晴・曇天）の影響、c) 林内・林外照度測定にタイムラグがある場合の天気（照度）の時間変動の影響、等に対する問題点があった。(2) の a) の問題では、林冠ギャップや道路を林外測定地点として利用する際、広く普及している LAI 測定器の LAI-2000 (Li-Cor 社) を用いたとしても、様々な問題が存在することが指摘されている (Chen, 1996; Laws ら, 2001)。そこで、広く基本測定項目として用いられてきた林冠の全天空画像、およびこれから求められる LAI (葉面積指数) の林冠情報の指標としての潜在的可能性に着目し、全天空画像の高度利用化のための研究に取り組んだ。この研究では、林床移動体からの上向き林冠連続測定法（特許公開 2005-30782, 発明者田中隆文）や、葉群（特に陽葉）の 3 次元位置分布に対応する「林冠エンベロップ」にターゲットを絞ったモデル化 (Agriculture Forest Meteorology 誌, 投稿中) などについての検討を重ねた。また、相対照度に関わる上記の問題を回避するために、相対照度の推定法として林内照度の近赤／赤比を用いる手法を採用した。この手法は 1960～70 年代に Jordan (1969), Szeicz (1974), Norman and Jarvis (1974) らにより精力的に研究されたが、結局、放棄されてしまった。その理由は LAI 以外の森林構造の影響を除去できなかったためとされている (Norman and Campbell, 1989)。しかしその理由としてはむしろ、彼らの近赤／赤比の計算が、ディテクターの視野の近赤指示値と赤色指示値の比を求めるという簡便な方法が採用されていたことを指摘できる。本研究ではディテクターの視野を細分して個々の近赤／赤比を求めてこれらを平均する方法（細分法）を可能とする測定システムを試作した。この手法は、特許申請中（特許公開 2005-326810, 発明者：田中隆文ら）であり、詳細も投稿中 (Tree Physiology 誌) である。

ii) 衛星データを利用した広域の LAI 推定の可能性についての検討

大陸規模で観測される衛星データにより LAI などの森林構造パラメタが推定可能かどうかについての検討を行った。LAI などの情報を大陸規模で取得するには、広域性・経時性に優れ、現在最も利用が見込まれる MODIS 衛星画像データの利用が不可欠であるが、その LAI 推定プロダクトである MOD15A2 FPAR/LAI (以下 MODIS-LAI) の検証サイトのほとんどは北米に集中しており、アジア、シベリア等における推定精度や誤差傾向は未知である。MODIS のようなラージスケール衛星画像は空間分解能が低く、MODIS-LAI の場合では一画素が 1 km×1 km をカバーする。ゆえに、画素内の土地被覆の不均一性を考慮した解析により検証を行う必要があるが、そのためのリファレンスデータの取得が現地調査では労力的に困難であるため、より高空間分解能の衛星データを利用することが有効と考えられる (Tian ら, 2002a, 2002b)。そこでまず、全天空写真を用いてさまざまなサイトで現地測定した群落 LAI と、比較的高空間分解能の ASTER 衛星画像データから、広域 LAI マップ (ASTER-LAI) を作成した。そして MODIS-LAI と MODIS-LAI 画素内の ASTER-LAI 平均値との比較により、その本研究対象領域における LAI 推定精度を検証した。

3) 研究成果

i) 群落スケールの詳細な林冠構造把握のための全天空画像の高度利用化

[成果の主な公表：論文 (国際) ; 1, 14, 36, 37, 学会 (ポスター国際) ; 3]

林冠の厚さの不均一性を補正するため、全天空画像とレーザ光切断法による林冠の 3 次元測定を組み合わせることにより、距離情報をもつアクティブ広角画像を作成した。これを用い、以下の 2 項目について実際の林冠との違いを定量化した。

- a) 任意の高低角・方位角でレンズに差し込む光線が林冠を通過する距離：全天画像から相対照度を推定する際の補正となり、林冠通過距離を用いてギャップフラクションまたは相対照度を「水平で均一な厚さをもつ林冠」の場合の値に換算した。
- b) 林冠の外形状・厚さ・傾きおよび大ギャップの位置と大きさ、すなわち、葉群とギャップの 3 次元空間分布：相対照度から LAI を求める際の補正であり、a) の結果を葉群密度に換算し、b) の 3 次元空間分布に基づいて積算し LAI を求めた。

本手法は、特許 3548215 号 (発明者：田中隆文ら) の応用例の一つと位置付けられる。現地計測の対象は愛知県豊田市内の里山二次林でコナラ、アラカシ、リョウブ、ヤブツバキなどから構成される。CCD カメラに画角 104×77 度の広角レンズを装着し、レーザ光切断法 (Tanaka ら, 1998, 2003) に基づいてアクティブ広角画像を得た。これにより、現地の LAI 値は、補正前の 2.49 から 3.39 に補正された。

近赤／赤色比の情報をもつ全天画像を使用した群落 LAI 推定システムの現地測定は愛知県瀬戸市の定光寺国有林内で実施した。コナラなどの落葉樹やクロバイなどの常緑樹の混交林内で樹冠構成のことなる 9 ヶ所を固定測定点として設置し、2006 年の春から秋まで測定した。林外測定を含む LAI-2000 の測定結果と比較したところ、従来の方法に変わる方法として十分な結果が得られることがわかった。

ii) 衛星データを利用した広域の LAI 推定の可能性についての検討

[成果の主な公表：論文 (国際) ; 10, 15]

衛星データを利用した植生指数（VI）と LAI との関係を利用する上で、まず両者の関係に対する樹種・林相特性及び時空間特性を把握するため、名古屋大学附属演習林（愛知県）・昭和の森（愛知県）・東京大学愛知演習林犬山研究林（愛知県）・信州大学農学部附属手良沢山演習林（長野県）内の複数の樹種・林層をもつ林分を対象に、

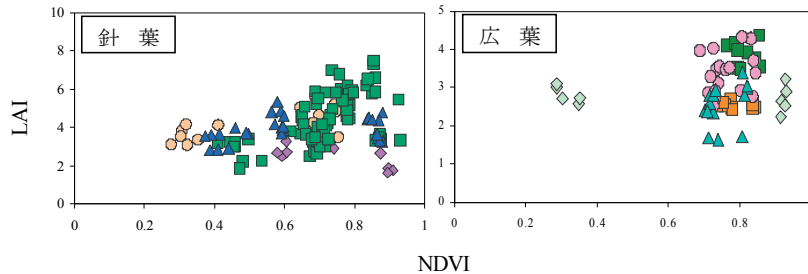


図 3. 5 7 . 針葉樹及び広葉樹における LAI-ASTER VI 間の関係（マークの違いは樹種の違いを示す）

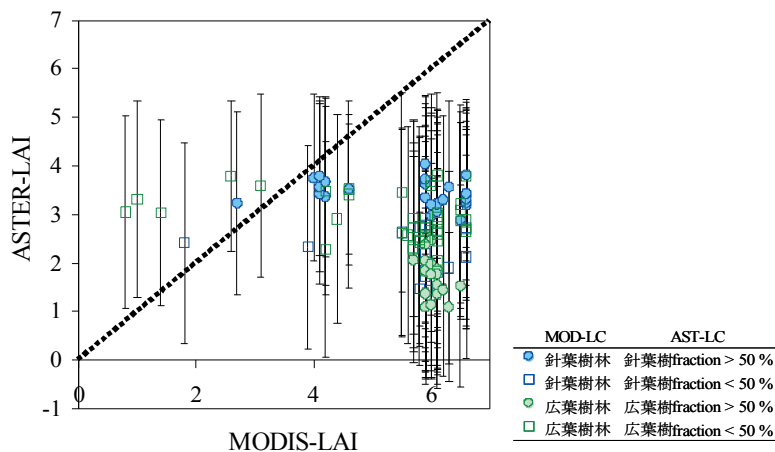


図 3. 5 8 MODIS-LAI と ASTER-LAI の関係

式の推定誤差が増加する傾向があった。さらに、北海道芦別市野花南御科山周辺(北海道)、岩手県八幡平市安比高原及び岩手郡雫石町小岩井農場周辺の現地調査結果を加え、LAI と NDVI 間の関係を対象に、そのサイト特性及び時期特性の存在について、同様に回帰分析により検討した。その結果、LAI と NDVI との関係にはサイト特性、時期特性共に存在するが、時期特性の影響は、サイト特性による影響と比較すると小さい可能性が示唆された。

次に、MODIS による広域 LAI 推定値の検証のため、上の方法で得た LAI の現地推定値と ASTER 衛星画像との関係により推定した広域 LAI マップ（ASTER-LAI）を用い、MODIS-LAI 画素内の ASTER-LAI 平均値と MODIS-LAI との比較により、MODIS-LAI の推定精度を検証した。その結果、両者に有意な相関関係は認められず、MODIS-LAI が LAI を過大推定する可能性が示唆された（図 3. 5 8）。

図 3. 5 7 で示唆された LAI-NDVI 間のサイト依存性をさらに広域的に検証するため、現地調査で得られた中部地域（愛知県及び長野県）の LAI 測定データに、北海道地域（日本）及びヤクーツク地域（ロシア）の現地調査結果を加え、各観測地域の ASTER 衛星画

像から LAI-NDVI 間の緯度帯間の差異を検討した。その結果、LAI の緯度帯間の変化に比べると NDVI の変化は少なく (図 3. 5 9), 緯度帯間で統一的な LAI-NDVI 間の推定式を得ることは困難であることが示唆された。

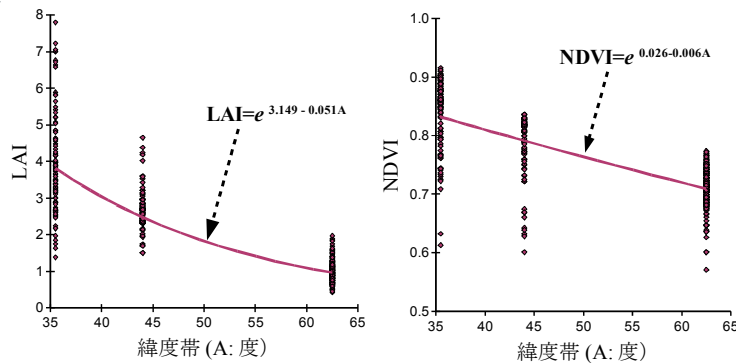


図 3. 5 9 実測 LAI 及び ASTER-NDVI の緯度帯間の比較
(緯度帯は、各地域の観測点の中心緯度 (0.5 度単位) とした)

(2) 研究成果の今後期待される効果

群落スケールにおける水・熱・CO₂ フラックス観測の多くは複雑地形や複雑な林相をも測定対象としているが、従来の方法ではこの複雑性はほとんど無視せざるを得なかった。距離情報をもつアクティブ全天画像の手法は、複雑地形・林相を考慮することなしには得られない林冠情報を引き出す可能性がある。システムは既にポータブル化されているものの、一層の軽量化と計測の高速化が求められるが、バッテリーの小型化や P C の高速化は進んでおり展望は明るい。また、近赤／赤色比の情報をもつ全天画像の手法は、パッシブな測定であるのでシステムの小型化は容易であり既に着手している。既存の市販品である LAI-2000 に比べ、林外での測定を必要としない点や天候の影響が小さい点で優れ、さらに従来の全天画像の二値化の閾値問題も回避できており、その発展可能性は大きい。

衛星データ利用による LAI 推定においては、地域スケールから大陸スケールまで、様々なスケールにおいて衛星画像による LAI 推定の可能性が検証できた。特に、MODIS-LAI のアジア・シベリア間での検証結果は少なく、本研究で得られた結果は、今後この地域での LAI 推定においては、北米地域の検証サイトを中心に構築された MODIS-LAI の推定モデルではなく、当該地域に対応した独自の推定モデルを構築する必要があることが判明した。また、図 3. 5 9 の結果が示唆するように、LAI の分布域は緯度帯により異なることから、従来の衛星画像から求められる植生指標だけではなく、緯度帯による潜在的な LAI 分布を考慮したモデルの構築の必要性が期待される。

引用文献

1. Chen, J.M. 1996. Optically-based methods for measuring seasonal variation of leaf area index in boreal conifer stands. *Agricultural and Forest Meteorology* 80: 135-163.
2. Jordan, C.F. 1969. Derivation of leaf-area-index from quality of light on the forest floor. *Ecology* 50: 663-666.

3. Laws, B.E., Van Tuyl, S., Cescatti, A., Baldocchi, D.D. 2001. Estimation of leaf area index in open-canopy ponderosa pine forests at different successional stages and management regimes in Oregon. *Agricultural and Forest Meteorology* 108: 1-14.
4. Norman, J.M., Jarvis, P.G. 1974. Photosynthesis in Sitka Spruce. (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.). III. Measurements of canopy structure and interception of radiation.. *Journal of Applied Ecology* 11: 375-398.
5. Norman, J.M., Campbell, G.S. 1989. Forest canopy. In *Plant physiological ecology: Field methods and instrumentation*. Eds. R. W. Pearcy R. W, Ehleringer J, Mooney H. A, Rundel P. W. Chapman & Hall, London.
6. Szeicz, G. 1974. Solar radiation in crop canopies. *Journal of Applied Ecology* 11: 1117-1156.
7. Tanaka, T., Yamaguchi, J., Takeda, Y. 1998. Measurement of forest canopy structure with a laser plane range-finding method - Development of a measurement system and applications to real forests. *Agricultural and Forest Meteorology* 91: 149-160.
8. Tanaka, T., Hattori, S., Park, H. 2003. Distinguishing foliage from branches in the non-destructive measurement of the three-dimensional structure of mountain forest canopies. *The Forestry Chronicle* 79: 313-317.
9. Tian, Y., et al., 2002a. Multiscale analysis and validation of the MODIS LAI product I . Uncertainty assessment. *Remote Sensing of Environment* 83: 414-430.
10. Tian, Y., et al., 2002b. Multiscale analysis and validation of the MODIS LAI product II . Sampling strategy. *Remote Sensing of Environment* 83: 431-441.

3. 4 水循環－森林動態モデリンググループ

(1) 研究実施内容及び成果

1) 研究の目的とプロジェクト内での位置づけ

陸面水循環解析グループおよび森林動態解析グループによって得られた知見を基に、陸面モデルおよび流出モデルを用いて北東ユーラシア地域での陸面における水・エネルギー・炭素循環特性の現状把握と環境変動による諸循環特性の変動予測を行う。また、“潜在的”応答特性の概念に基づく共通パラメータが有する意味をモデルにより検討する。

2) 研究方法

本研究で使用する陸面モデル(2LM)を各観測サイトに適用して、水・熱フラックスの再現性を確認し、必要な改良を加える。北方圏分布型流出モデルを整備し、陸面モデルからの余剰水を入力して河川流出量を推定する。レナ(Lena)川を対象とし、既存の流量データによってモデル全体の再現性の確認を図る。対象とするレナ川流域は図3.60に示すとおりであり、全流域を対象とするレナ川河口・キュスル(Kusur)地点(流域面積243万km²)にくわえて、アルダン川流域(69.6万km²)、ビルヌイ川流域(45.2万km²)、レナ川上流域(89.7万km²)の3流域を内部支流流域として扱った。

北東ユーラシア域での水・エネルギー循環特性を求めるため、Baseline meteorological dataの日値により0.5°グリッドの値を内挿し、各日平均値あるいは積算値より日内変動を与え、気象データセットを作成した。このデータを用いて、陸面モデルにより、林床や降水遮断の効果も含めた水・エネルギー循環特性を再現、解析する。そして、陸面モデルからの余剰水を分布型流出モデルに入力し、流量変動の再現を行う。

最後に、環境変動に関するシナリオを与え、凍土の融解過程なども含めて、水循環特性がどのように変動するかを陸面モデルおよび分布型流出モデルにより予測する。将来予測に関しても、植生パラメータには“潜在的”応答特性の概念に基づく気候帯、樹種を越えた共通の応答特性(図3.8)を用いる。

3) 研究成果

i) 現状の再現

(群落スケールでの“潜在的”応答特性の概念の適用、検証と解釈は3.1に記載済み。)

〔成果の主な公表：論文(国際)；12, 29, 32, 51, 学会(口頭国内)；41, (口頭国際)；27, 43, (ポスター国際)；18〕

3.1で提示した“潜在的”応答特性の概念を用いた陸面過程モデル(2LM)をレナ川流域に空間的に拡張し、大陸河川スケールへの本概念の適用を行い、レナ川スケールでの水・

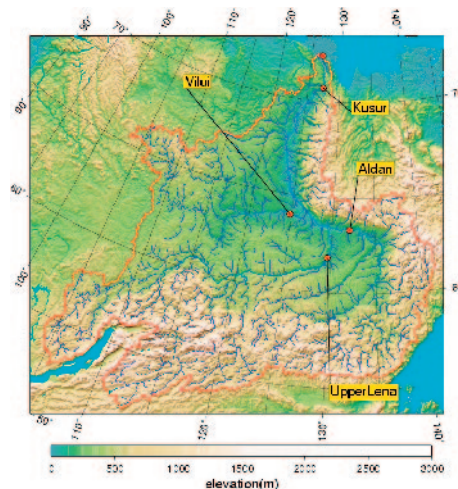


図3.60 レナ川の流域図と解析に用いた流量の観測地点

エネルギー循環の現況を評価した。陸面モデル内の植生の環境応答特性パラメータは、“潜在的” 応答特性の概念に基づく樹種、気候帯共通の図 3. 8 に示した応答特性を時間的にも空間的にも変化させることなく用いた。2LM により面的に水・エネルギー交換量を推定した結果の一部を示す。図 3. 6 1 は暖候期（6-8 月）の蒸発散量とその成分の分布を示す。蒸発散量は LAI（図省略）と高い相関を示す。レナ川中流域では 6-8 月の平均で 1.6 mm day^{-1} となっており、これは、同地域での過去の観測的研究 1.16 mm day^{-1} （Ohta ら, 2001）, 1.9 mm day^{-1} （Kelliher ら, 1997）, 1.7 mm day^{-1} （Kelliher ら, 1998）, 1.5 mm day^{-1} （Dolman ら, 2004）とほぼ一致するものである。

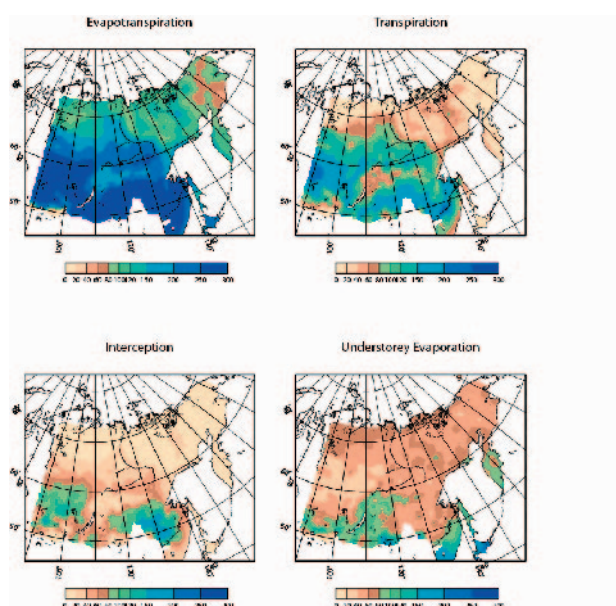


図 3. 6 1 蒸発散要素の空間分布（6-8 月，1986－2000 年）。
左上：全蒸発散量，右上：蒸散量，左下：遮断蒸発量，右下：
下層面からの蒸発散量。

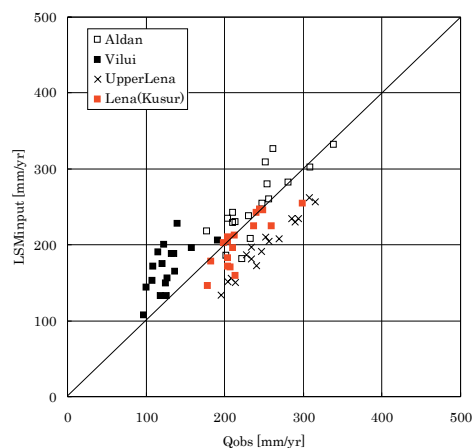


図 3. 6 2 陸面モデルにより計算された余剰水と
の支流の流出高の関係

また、年間の蒸発散量を既往の水収支解析結果と比較すると、本研究ではレナ川流域平均での年蒸発散量は $201.1 \pm 13.8 \text{ mm year}^{-1}$ となったのに対し、Serreze (2003) の結果は 182 mm year^{-1} と比較的近い値を示している。図 3. 6 2 は、前年 10/1～当該年 9/30 を 1 水年とし、陸面モデルを 1987 年から 2003 年に適用し、計算されたメッシュ毎の余剰水量（陸面モデルから後述する分布型流出モデルへ入力される水量）をレナ川の解析対象流域ごとに流域平均値（水年値）を求め、観測されている各流域の年流出高と比較したものである。流域全体では、流出モデルの入力値となる余剰水の方がやや小さく計算されているものの、ほぼ一致している。支流域別に見ると、アルダン川流域では、陸面モデルによる余剰水と河川流出量はほぼ一致しているのに対し、レナ川上流域では陸面モデルによる計算値が $40 \sim 50 \text{ mm year}^{-1}$ 程度小さく、ビルヌイ川では $20 \sim 50 \text{ mm year}^{-1}$ 程度実測流出量を上回っている。このため、流域全体で陸面モデルによる計算値が小さく現れているのは、最も流域面積の大きいレナ川上流域の影響を受けていると考えられる。しかし、各流域に対して陸面モデルは

年間の流出量の変動をほぼ良好に再現していると判断できる。

以上のことから、植生の環境応答特性に“潜在的”応答特性の概念に基づいた共通の応答関数を与えることで、大陸河川スケールでの水収支の時空間変動を再現できていると考えられる。

次に、分布型流出モデルによるレナ川流域での流出量の再現について記す。本研究では流出モデルとして、河道網上の洪水追跡によるモデルを採用した。流域モデルとなる河道網は、計算時間を考慮して5'×5'グリッドとした。河道網の算出にはアメリカ地球物理デー

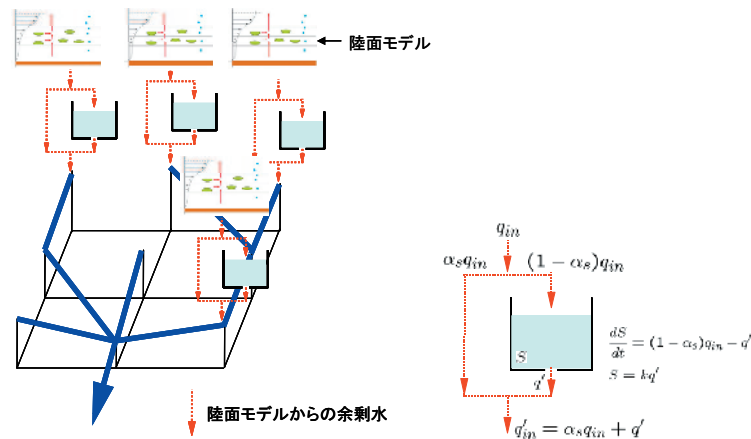


図3. 6 3 陸面モデルと分布型流出モデルを結合した北方圏水循環モデル

タセンター (NGDC) が提供している空間分解能2'の標高値であるETOPO2とアメリカ地質調査所 (USGS) が提供している主要な河道位置を表すHydro-1K Stream data set for Asiaを利用した。Hydro-1Kの河道位置が5'×5'メッシュの中央を通るよう変換し、早川 (1997) によって提案されている手順でグリッド型の流域河道モデルを作成した。

単位河道での洪水追跡には、陸ら (1989) の河道追跡スキームを採用し、河道網を介して流域下流端までkinematic wave法により洪水流の追跡を行う。洪水流の追跡には、陸面モデルで計算された単位メッシュの余剰水をメッシュ中心に集中させて河道に入力値を与えるものとし、横流入は考慮しない。この際、単位メッシュの余剰水は一定割合で直接流出成分、基底流出成分に分け、直接流出成分は直接河道に与え、基底流出成分は線型一価の貯留関数を介して河道に与えることとした (図3. 6 3)。さらに河道網上の仮想流路を広幅矩形断面と仮定し、抵抗則にManning則を用いることとした。

結氷時は、水面部分にも水路壁面と同等の等価粗度を与え、結氷部分を除いた断面を通水断面として、非結氷時と同等の計算を行うこととした。ただし、結氷については、開始日、最大結氷厚、開氷日を推定するモデルを開発してきたが、本報告ではその結果を示すことはできなかった。結氷開始日は積算寒度を指標として、結氷開始日の積算寒度を標高と川幅から推定可能であることがわかった。最大結氷厚と開氷日は積算寒度、積算暖度、積雪深等からある程度の推定が可能であるが、さらに検討の必要がある。

図3. 6 4は、以上の方法を用いて計算された日単位ハイドログラフを1986年から2003年の18年間について実測値とともに示したものである。計算値では春先の流量ピークの後、実測値よりも小さな値になっているが、図より、計算対象期間では全体として流出量を再

現できていることがわかる。また、図 3. 6 5 に流況曲線を示す。計算値では春先のピーク流量が実測よりもやや早く表れているが、これは結氷の計算が入っていないためである。次に、流出モデルに組み込まれている貯留関数の持つ意味に関して考察した。なお、貯留

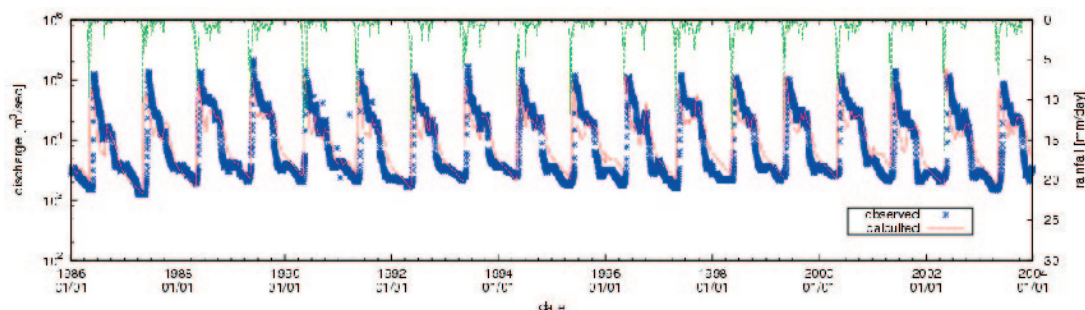


図 3. 6 4 レナ川河口近く(キュスル)での流量(現況)の計算結果。

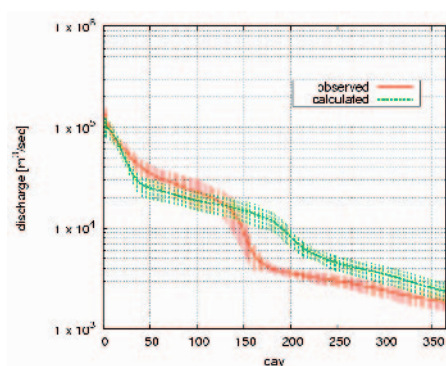


図 3. 6 5 現況の計算結果(流況曲線表示)

関数内のパラメータ k の値は 125 days と非常に大きく、非常に遅い流出成分の存在を示唆している。図 3. 6 3 に示した流出モデル中の貯留関数を付加しないと夏期の流量は再現できるものの冬季は顕著に過小評価となった(図 3. 6 6)。すなわち、夏期の流出は、陸面過程モデルにおける土壌と河道の変換系によって河川流出は説明できるが、冬期にはよ

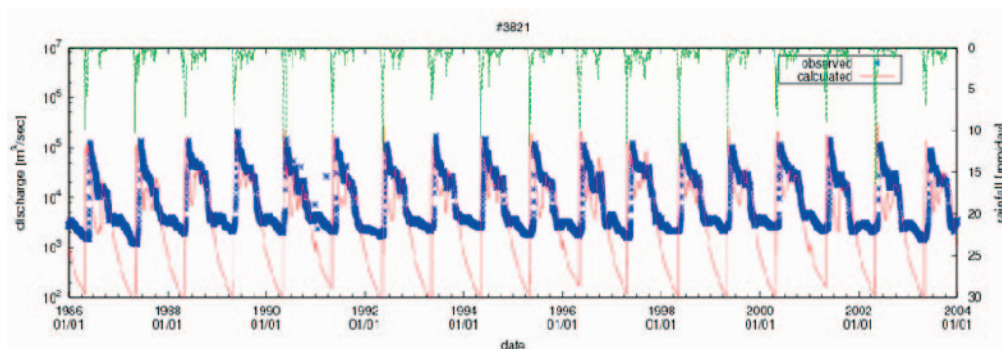


図 3. 6 6 貯留関数を用いないモデルによるレナ川河口近く(キュスル)での流量(現況)の計算結果

り遅い流出成分の占める割合が顕在化し、この遅い成分の評価が重要であることを示している。本研究では、陸面モデルの余剰水のうち貯留関数を通す割合は 30%としているが、これは Sheperev (1984) による流出に占める凍土中および凍土下からの地下水の割合が 20~30%であるとの研究とほぼ一致する。すなわち非常に遅い成分の存在が、レナ川の流出に対して重要な意味を有する。

これまでレナ川流域について、1 水文年の流出計算に成功した例はあるが (Ma and Fukushima, 2002), 同一パラメータで 10 年以上の再現ができたのは特筆すべきことである。また、流出モデルを介してレナ川流域の流出成分に関する知見を得たことは、今後の水文

解析に重要な情報である。

ii) 将来の予測

IPCC の予測結果を入力データとして、上述の陸面モデルおよび分布型流出モデルによって水・エネルギー循環特性の将来予測を行った。データはシナリオ SRES A1B（炭酸ガス濃度が 2100 年までに 720ppm に増加、その後平衡に達する）に関する 11 モデルの結果をアンサンブル平均したものを基本的に用いた。以下の報告における現在とは 1986-2003 年、2050 年は 2047-2065 年、2100 年は 2082-2100 年の計算結果を示している。

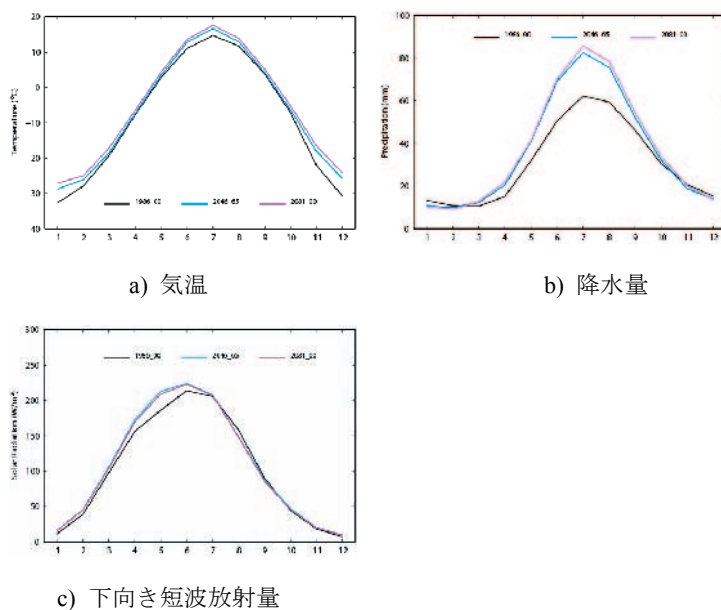


図3. 67 レナ川流域の気温、降水量、短波放射量の変動予測。
IPCC による GCMs 出力のアンサンブル平均による。

水量の増加が指摘されることが多いが、レナ川流域に限ると冬期降水量には大きな変化は予測されていない。これは、将来予測においては空間変動が大きいことを示すものであり、空間的な平均値のみで議論することは、ある特定地域に限って見ると謝った解釈を与えることになることを示している。また、下向き短波放射量には気温・降水量のような顕著な変化はみられないが、融雪期の 4、5 月に増加することが予測されている。そして、上記のような変化は 2050 年までに大きく変動し、2050-2100 年の間では大きな変動は予測されていない。

上記のような環境条件の変動のもとで、レナ川流域での水・エネルギー循環の変動予測の結果を以下に報告する。図3. 68はエネルギー収支項の年平均値の空間分布の現況と 2100 年の予測値を表す。現在に比べて 2100 年においては森林域での正味放射の増加が顕著である。これに伴い、森林域で顕熱フラックス、潜熱フラックスともに増加している。地中に流入する熱量も増加している。地中熱流量の増加は凍土層の変動にも影響すると考えられる。図3. 69はレナ流域におけるエネルギー収支項の空間平均値の季節変化の現在と 2100 年の予測値の比較を表す。将来におけるエネルギー収支は冬から春にかけて大きな差が見られ、2100 年には各エネルギー収支項は増加している。顕熱フラックスは冬から

図3. 67は、モデルへの入力となる成分の中で、気温、降水量、下向き短波放射量のレナ川流域平均での季節変動の将来予測である。気温は、冬期の月平均気温が 7-8℃の上昇が予測され、冬期の気温上昇が顕著となっている。降水量は、夏期に大きな増加が見られるが、冬期降水量は現況と大きな変動がない。レナ川平均で 2100 年には約 100mm の増加が予測される。高緯度を全球で平均してみると冬期降

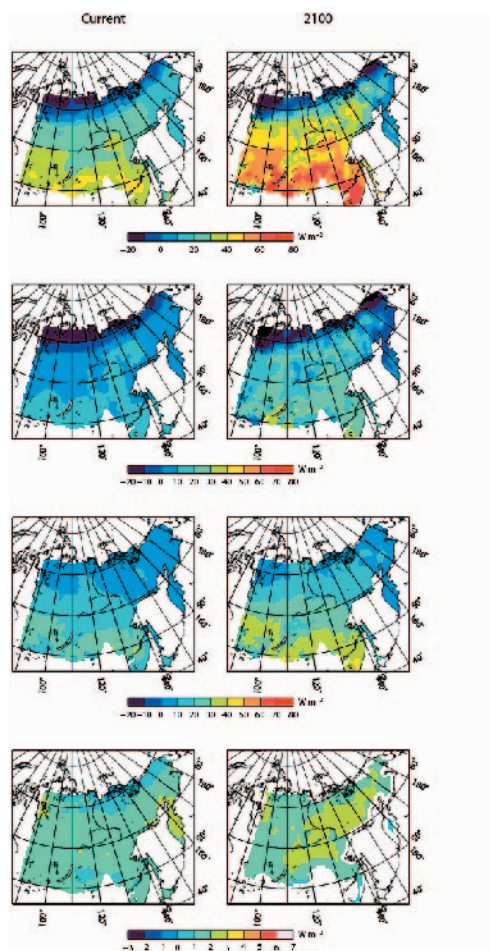


図3. 68 エネルギー交換量分布の予測. 上から正味放射量、顕熱、潜熱、地中熱流量. current は1986 - 2004 年, 2100 は2082 - 2100 年の平均を表す.

春に顕著に増加するが、夏・秋・冬の初めは変化が少ないかわずかに減少する. 一方、潜熱フラックスは一年を通して増加している. 冬季の潜熱フラックスの増加は雪の昇華を意味しており、積雪・着雪の減少が正味放射や顕熱の増加につながっていると考えられる.

次に、水循環の変動を示す. 図3. 70は降水量と蒸発散量の空間分布の現状と2100年の予測結果との比較を示す. 2100年の降水量は、ほぼ全域で増加している. 特に、東経140度より東で顕著な増加が見られる. 一方、蒸発散量も全体的に増加している. 北部のツンドラ域は、気温の上昇が顕著といわれる地域でもある. 降水量と気温の上昇は地面からの蒸発量を増加させる. また、レナ川南部での蒸発散量の増加は遮断蒸発量の増加の影響であると考えられる. 降水量は図3. 67に示したように2100年までに年間約100mmの増加が予測され、蒸発散は潜熱フラックスの変動に示されるように厳冬期には現況ではほとんど昇華蒸発が生じていなかったのに対して、約5-7 mm month⁻¹の昇華蒸発が予測される.

上記のような水循環項の変動のもとでの、ハイドログラフの変動予測結果を以下に述べる. 図3. 71はレナ川のハイドログラフの変動予測である. これによれば、温暖化が予測されているにもかかわらず融雪による5月から6月のピークは小さくなり、発生が遅れることが予測されている. これは、図3. 68に示したように冬期の潜熱フラックスの増加は積雪の昇華蒸発を意味し、積雪量の減少が一因として考えられる. しかし、結果の正確な解釈には今後より詳細に検討を加える必要がある. 図3. 72は、予測結果を流況曲線で示したものである. ハイドログラフの予測で示されたように、融雪に伴う出水が減少するため30日目流量程度までは減少するが、全体としては、流出量の増加が予測されている. 図3. 73は陸面モデルで計算される余剰水量の現況(1986-2003)と予測(2082-2100)の4-6月の平均月別値の増加量を示したものである(マイナスは将来減少、プラスは増加を意味する). 4月は全体に予測値のほうが小さくなっており、特にレナ川上流域での減少が大きい. 5月はアルダン川流域で現況に対して大きく減少している. 一方、6月～9月では、降水の増加に伴って全体に余剰水量が増えるという結果になっている(図省略).

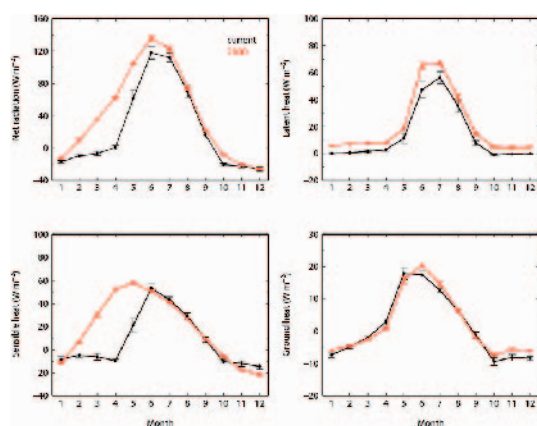


図3. 69 レナ川流域におけるエネルギー収支の季節変化の将来予測結果. 図中のバーは年による変動の標準偏差を示す. current は 1986 - 2004 年, 2100 は 2082 - 2100 年の平均.

最後に、流域平均としてのエネルギー収支 (図3. 74) と水収支予測 (図3. 75) をまとめる. 将来の正味放射量は増加し、顕熱と潜熱も増加する. この結果、エネルギー循環が活発化することが予測される. 特に顕熱の増加が大きいと予測される. 一方、水収支に関しては、2100 年に現在より降水量、蒸発散量ともに約 90 mm の増加が見込まれる. IPCC (2007) は 2100 年まで蒸発散量は約 100 mm 以内で増加すると予測と一致している. 一方、流出量も増加が予測されるが、その増加は約 25mm と蒸発散量の増加に比較すると小さい.

予測の結果について簡単にまとめる

と次のようになる. 北東ユーラシア地域では、エネルギー収支項はいずれも増加する. 正味放射、顕熱が冬から春にかけて増加が著しいのに対し、潜熱は一年を通して増加する. 冬期の潜熱増加は雪の昇華に対応しており、雪の減少が放射収支や顕熱にも影響している. このことは流出にも融雪期の出水の減少として影響する. 夏期の流出は降水量の増加に伴い増加する.

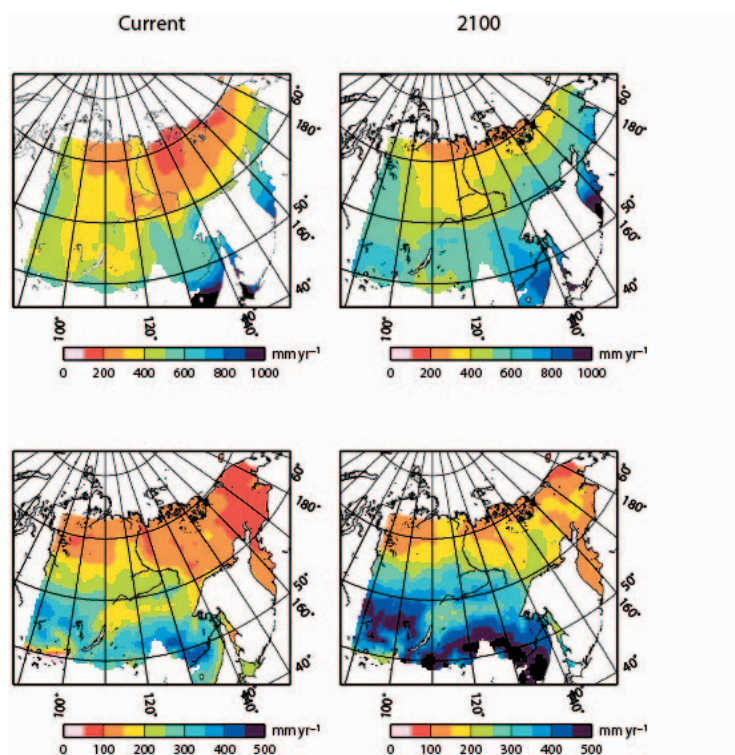


図3. 70 降水量(上)と蒸発散量(下)の空間分布の将来予測結果

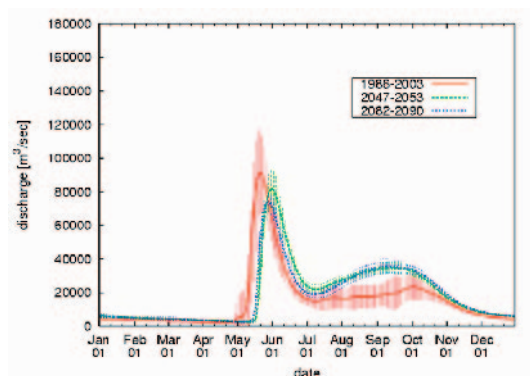


図3. 71 ハイドログラフの変動予測結果

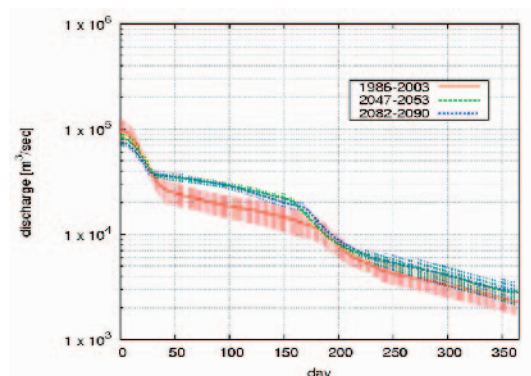


図3. 72 流況曲線の変動予測結果

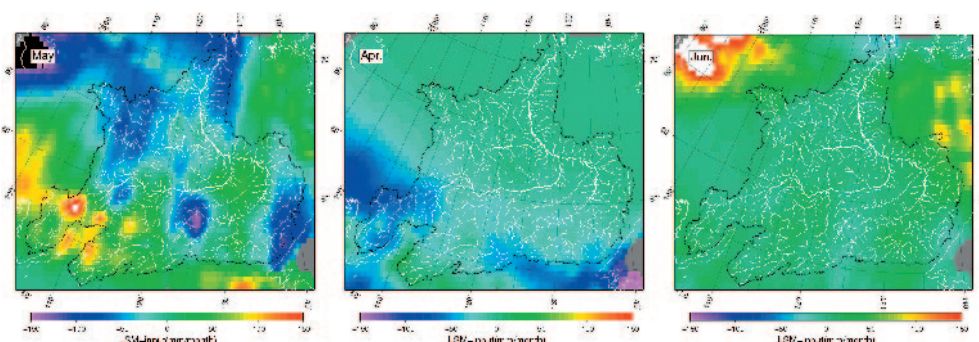


図3. 73 陸面モデルから流出モデルへの供給水量の空間分布. 左から4月, 5月, 6月.

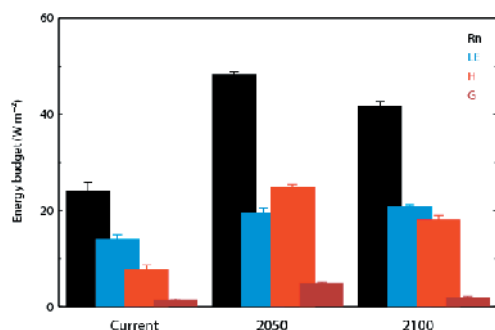


図3. 74 レナ川流域の熱収支構成要素の将来変動予測結果

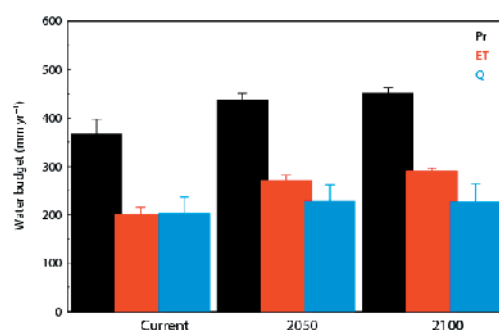


図3. 75 レナ川流域における水収支構成要素の将来変動予測結果

(2) 研究成果の今後期待される効果

水循環の将来予測を, 森林植生の潜在的応答特性にのっとって議論するのは初めてだろう. 植物応答を含めた, より現実的な将来予測の基礎となると考えられる.

気候予測研究にとっての陸面モデルのパラメータは, これまで植生種類ごとに決める必要があると考えられてきた. 現実にはかなり単純な形で与えられている(たとえばCox et al., 1999)が, それは根拠があるからではなく, 基礎知識の不足からやむを得ずそうしてきたきらいがある. 本研究の知見は, 植生の密度等の情報を正確に把握できれば, 気孔の応答特性については, 共通のパラメータで広く水・エネルギー収支を表現できる可能性を示す

もので、応用への貢献は大きい。

陸面モデルによる解析を進めてゆく中で、LAI の重要性が改めて認識された。現在、さまざまなデータセットが存在するが、植生を規定する LAI については、その定義によってかなり値が異なる。LAI を表示する際にはその測定方法、定義を明記しないと、データセットの価値を損なうことになる。

将来予測に関しては、本研究では深く扱えなかったが、植物の変動を考慮していく必要がある。"潜在的"応答特性に関しては、CO₂ の交換に関しても適用できるのかが注目される。仮に、CO₂ に関しても有効であれば、相当単純なパラメタリゼーションで予測が可能となり、モデル研究にとっては大変な朗報となるであろう。

引用文献

1. Cox, P.M., et al., 1999. The impact of new land surface physics on the GCM simulation of climate and climate sensitivity. *Climate Dynamics* 15: 183–203.
2. Dolman, A.J., et al., 2004. Net ecosystem exchange of carbon dioxide and water of far eastern Siberian Larch (*Larix cajanderii*) on permafrost. *Biogeosciences* 1: 133–146.
3. 早川博, 1997. 流域の地形構造を考慮した降雨流出系の確率応答と流域スケールに関する研究. 北海道大学博士論文.
4. IPCC, 2007: *Climate Change 2007, The physical science basis*. Cambridge University Press: 996pp.
5. Kelliher, F.M., et al., 1997. Evaporation from an eastern Siberian larch forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 85: 135–147.
6. Kelliher, F.M., et al., 1998. Evaporation from a central Siberian pine forest. *Journal of Hydrology* 205: 279–296.
7. 陸旻皎, 小池俊雄, 早川典生, 1989. 分布型水文情報に対応する流出モデルの開発. 土木学会論文集. 411/II-12: 139–144.
8. Ma, X., Fukushima, Y., 2002. A numerical model of the river freezing process and its application to the Lena River. *Hydrological Processes* 16: 2131–2140.
9. Ohta, T., et al., 2001. Seasonal variation in the energy and water exchanges above and below a larch forest in eastern Siberia. *Hydrological Processes* 15: 1459–1476.
10. Serreze, M.C., et al., 2003. Large-scale hydro-climatology of the terrestrial Arctic drainage system. *Journal of Geophysical Research* 108: D2, 8160.
11. Shepelev, V.V., Tolstykhin, O.N., Piguzova, V.N., et al., 1984. Permafrost hydrogeological conditions of Eastern Siberia. *Novosibirsk, Science*. 1984. 187 p. (in Russian)

4 研究参加者

①陸面水循環解析グループ（群落，大陸河川スケールでの水循環解析の研究）

氏 名	所 属	役 職	研究項目	参加時期
太田岳史	名古屋大学大学院生 命農学研究科	教授	総括・フラックス解析	平成 14 年 11 月～
竹中千里	名古屋大学大学院生 命農学研究科	教授	CO ₂ 解析	平成 14 年 11 月～
服部重昭	名古屋大学大学院生 命農学研究科	教授	水フラックス解析平成	平成 14 年 11 月～
栗田 孝	名古屋大学大学院生 命農学研究科	CREST 研 究員	フラックス解析, データ管理	平成 15 年 4 月～ 平成 18 年 2 月
宮原美絵	名古屋大学大学院生 命農学研究科	D3	根系生理特性解析・林床 植生生理特性解析	平成 15 年 7 月～
松本一穂	名古屋大学大学院生 命農学研究科	D3	群落フラックス解析	平成 16 年 4 月～
大黒健一	名古屋大学大学院生 命農学研究科	D3	群落フラックス解析	平成 16 年 8 月～
浅井康之	名古屋大学大学院生 命農学研究科	M1	流域水収支解析	平成 17 年 4 月～ 平成 18 年 1 月
秋山純一	名古屋大学大学院生 命農学研究科	M2	炭素循環特性の解析	平成 18 年 4 月～
大畑哲夫	地球環境観測研究セ ンター	プログラム ディレクタ ー	熱フラックス解析	平成 14 年 11 月～
兒玉裕二	北海道大学低温科学 研究所	助教	水フラックス解析	平成 14 年 11 月～
石井吉之	北海道大学低温科学 研究所	助教	水フラックス解析	平成 14 年 11 月～
鈴木和良	地球環境観測研究セ ンター	研究員	積雪期の水・熱フラックス 解析	平成 15 年 4 月～
中井太郎	北海道大学低温科学 研究所	CREST 研 究員	フラックス解析	平成 15 年 7 月～
津滝 俊	北海道大学低温科学 研究所	M2	炭素フラックス解析	平成 16 年 12 月～ 平成 18 年 3 月
栗田 孝	北海道大学低温科学 研究所	M2	冬期における二酸化炭素 の挙動解析	平成 16 年 12 月～ 平成 18 年 3 月

飯田真一	名古屋大学大学院生命農学研究科 独立行政法人森林総合研究所	CREST 研究員 研究員	フラックス解析, データ管理 フラックス解析, データ管理	平成 18 年 4 月～ 平成 18 年 11 月 平成 18 年 12 月～
Trofim C. Maximov	ロシア科学アカデミー・寒冷圏生物問題研究所	研究室長	ヤクーツクでの CO ₂ データの解析	平成 14 年 11 月～
Alexander Kononov	ロシア科学アカデミー・寒冷圏生物問題研究所	研究員	ヤクーツクでの CO ₂ データの解析	平成 14 年 11 月～
Ayal Maximov	ロシア科学アカデミー・寒冷圏生物問題研究所	研究員	ヤクーツクでの CO ₂ データの解析	平成 14 年 11 月～
田中安代	名古屋大学大学院生命農学研究科	研究チーム事務員	チーム運営補助	平成 14 年 11 月～

②森林動態解析グループ（個葉スケールでの植物生理解析，群落～大陸スケールでの森林構造解析の研究）

氏 名	所 属	役 職	研究項目	参加時期
隅田明洋	北海道大学低温科学研究所	准教授	総括・森林生態解析	平成 14 年 11 月～
原 登志彦	北海道大学低温科学研究所	教授	植物生理解析	平成 14 年 11 月～
本間航介	新潟大学農学部	准教授	森林生態解析	平成 14 年 11 月～
上野直人	新潟大学大学院自然科学研究科	研究生	群集構造と動態のパラメータ化	平成 15 年 5 月～ 平成 15 年 9 月
小林 剛	香川大学農学部	准教授	植物生理解析	平成 15 年 2 月～
山本一清	名古屋大学大学院生命農学研究科	准教授	衛星解析	平成 14 年 11 月～
田中隆文	名古屋大学大学院生命農学研究科	准教授	森林構造解析	平成 14 年 11 月～
宮地洋輔	名古屋大学大学院生命農学研究科	M2	衛星解析	平成 16 年 4 月～ 平成 18 年 3 月
伊藤珠樹	名古屋大学大学院生命農学研究科	M2	樹木の応答特性の一般化	平成 18 年 4 月～

三木直子	北海道大学低温科学 研究所 岡山大学大学院環境 学研究科	CREST 研 究員 准教授	植物生態モデル解析 植物生理観測・解析	平成 15 年 4 月～ 平成 16 年 1 月 平成 16 年 1 月～
加藤京子	北海道大学低温科学 研究所	CREST 研 究員	植物生態観測・解析	平成 16 年 4 月～ 平成 18 年 3 月

③水循環-森林動態モデリンググループ（群落から大陸河川スケールでのモデルによる水・エネルギー循環の現況理解と将来予測の研究）

氏 名	所 属	役 職	研究項目	参加時期
山崎 剛	東北大学大学院理学 研究科	准教授	総括・2LM, 植物生態モデルによる解析	平成 14 年 11 月～
隅田明洋	北海道大学低温科学 研究所	准教授	植物生態モデル解析	平成 14 年 11 月～
八田茂実	苫小牧工業高等専門 学校	准教授	北方河川の流出解析	平成 16 年 11 月～
早川 博	北見工業大学工学部	准教授	北方河川の流出解析	平成 16 年 11 月～
朴 昊澤	地球環境観測研究セ ンター	CREST 研 究員	陸面・カップリングモデル解 析	平成 17 年 4 月～ 平成 18 年 12 月
吉田龍平	東北大学大学院理学 研究科	M2	2LM による潜在的応答特 性の検証(気象学)	平成 18 年 10 月～

5 招聘した研究者等

氏 名(所属、役職)	招聘の目的	滞在先	滞在期間
Eduardus Moors (ワーヘニンゲン大学 リサーチセンター アルテラ・チームリーダー)	チーム主催ワークショップ参加	名古屋大学大学院 生命農学研究科 (名古屋)	H19.1.28 ～H19.2.2
Bart Kruijt (ワーヘニンゲン大学 リサーチセンター アルテラ・研究員)	チーム主催ワークショップ参加	名古屋大学大学院 生命農学研究科 (名古屋)	H19.1.28 ～H19.2.2
Jacobus van Huissteden (アムステルダム自由大学・助教授)	チーム主催ワークショップ参加	名古屋大学大学院 生命農学研究科 (名古屋)	H19.1.28 ～H19.2.1
Sergey Karsanaev (ロシア科学アカデミー寒冷圏生物 問題研究所・準研究員)	チーム主催ワークショップ参加	名古屋大学大学院 生命農学研究科 (名古屋)	H19.1.26 ～H19.2.2
Marina Terentyeva (ロシア科学アカデミー寒冷圏生物 問題研究所・大学院生)	チーム主催ワークショップ参加	名古屋大学大学院 生命農学研究科 (名古屋)	H19.1.26 ～H19.2.2

6 成果発表等

(1) 原著論文発表 (国内誌 9 件, 国際誌 51 件 (受理済み : 6 件, 投稿中 : 13 件. 投稿中*の 6 件は, Agricultural and Forest Meteorology (Special Issue) へ投稿.))

<国内>

1. 牧野太紀・服部重昭・佐野方昴. 土壌呼吸連続計測装置の開発と土壌呼吸量の季節変化. 中部森林研究 51: 281-284. 2003.
2. 中井太郎・浦野慎一・佐藤隆光・平野高司. 草高が異なる群落間の顕熱移流の評価. 農業気象 59(2): 155-164. 2003.
3. 三木直子・Bardel Al-Balushi・山口康人・吉川 賢. オマーン湾沿岸に分布するヒルギダマシ (*Avicennia marina* (Forssk.) Vierh.) 林の林分構造. 日本緑化工学会誌 29(1): 125-130. 2003.
4. 松本一穂・太田岳史. 樹齢の異なるコナラの気孔コンダクタンスの個葉差の検討. 中部森林研究 52: 233-234. 2004.
5. 三木直子・梅田明宏・坂本圭児・西本 孝・吉川 賢. 生育立地の違いがアカマツ (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) 樹体における水利用調節に与える影響. 日本緑化工学会誌 30(1): 104-109. 2004.
6. 加藤京子・隅田明洋・吉田俊也・秋林幸男・原登志彦. 北海道北部における針広混交林の林分構造と光環境. 日本森林学会北海道支部論文集 53: 58-60. 2004.
7. Kim, M., Takenaka, C., Yoshida, K., Park, H. High Aluminum Levels Accompanied by Near-Neutral pH in Outflow from a Forest Watershed in Aichi Prefecture, Japan. J. Japan Soc. Hydrol. & Water Resour. 18(4): 382-389. 2005.
8. 飯田真一・中谷壮・田中正. 山地源流域の落葉広葉樹林における樹液流速測定に基づく林分蒸散量の評価. 水文・水資源学会誌 19: 7-16. 2006.
9. 大黒健一・藤田裕二・田中隆文・服部重昭・松本一穂・出口愛子. 樹冠通過雨量の空間分布に及ぼす森林の3次元構造の影響. 中部森林研究 55: 143-144. 2007

<国際>

1. Tanaka, T., Park, H., Hattori, S. Distinguishing foliage from branches in the non-destructive measurement of the three-dimensional structure of mountain forest canopies. The Forestry Chronicle 79(2): 313-317. 2003.
2. Suzuki, K., Nakai, Y., Ohta, T., Nakamura, T. and Ohata, T. Effect of snow interception on the energy balance above deciduous and coniferous forests during a snowy winter. IAHS Publication 280: 309-317. 2003.
3. Miki, N., Otsuki, K., Sakamoto, K., Nishimoto, T. and Yoshikawa, K. Leaf water relations in *Pinus densiflora* Sieb. et Zucc. on different soil moisture conditions. Journal of Forest Research 8: 153-161. 2003.
4. Suzuki, K., Ohta, T. Effect of Larch Forest Density on Snow Surface Energy Balance. Journal of Hydrometeorology 4: 1181-1193. 2003.
5. Hamada, S., Ohta, T., Hiyama, T., Kuwada, T., Takahashi, A., Maximov, T.C.

- Hydrolometeorological behavior of pine and larch forests in eastern Siberia. *Hydrological Processes* 18: 23-39. 2004.
6. Matsumoto, K., Ohta, T., Irasawa, M., Nakamura, T. Climate change and extension of the *Ginkgo biloba* L. growing season in Japan. *Global Change Biology* 9: 1634-1642. 2003.
 7. Nakatuka, T., Ohnishi, K., Hara, T., Sumida, A., Mitsuishi, D., Kurita, N. and Uemura, S. Oxygen and carbon isotopic ratios of tree-ring cellulose in a conifer-hardwood mixed forest in northern Japan. *Geochemical Journal* 38: 77-88. 2004.
 8. Kobayashi, T., Shimano, K. and Muraoka, H. Effect of light availability on the carbon gain of beech (*Fagus crenata*) seedlings with reference to the density of dwarf bamboo (*Sasa kurilensis*) in an understory of Japan Sea-type beech forest. *Plant Species Biology* 19: 33-46. 2004.
 9. Dolman, A.J., Maximov, T.C., Moors, E. J., Maximov, A.P., Elbers, J.A., Kononov, A.V., Waterloo, M.J., van der Molen, M.K. Net ecosystem exchange of carbon dioxide and water of far eastern Siberian Larch (*Larix cajanderii*) on permafrost. *Biogeosciences* 1: 133-146. 2004.
 10. Inoue, A., Yamamoto, K., Mizoue, N., Kawahara, Y. Calibrating view angle and lens distortion of Nikon fish-eye converter FC-E8. *Journal of Forest Research* 9: 177-181. 2004.
 11. Watanabe, T., Yokozawa, M., Emori, S., Takata, K., Sumida, A. and Hara, T. Developing a Multilayered Integrated Numerical Model of Surface Physics-Growing Plants Interaction (MINoSGI). *Global Change Biology* 10: 963-982. 2004.
 12. Yamazaki, T., Yabuki, H., Ishii, Y., Ohta, T. and Ohata, T. Water and Energy Exchanges at Forests and a Grassland in Eastern Siberia Evaluated using a One-dimensional Land Surface Model. *Journal of Hydrometeorology* 5: 504-515. 2004.
 13. Dolezal, J., Ishii, H., Vetrova, V. P., Sumida, A. and Hara, T. Tree Growth and Competition in *Betula platyphylla-Larix cajanderi* Post-fire Forest In Central Kamchatka. *Annals of Botany* 94: 333-343. 2004.
 14. Tanaka, T., Park, H., Hattori, S. Measurement of forest canopy structure by a laser plane range-finding method: Improvement of radiative resolution and examples of its application. *Agricultural and Forest Meteorology* 125, Issues 1-2: 129-142. 2004.
 15. Inoue, A., Yamamoto, K., Mizoue, N., Kawahara, Y. Effects of image quality, size, and camera type on forest light environment estimates using digital hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology* 126: 89-97. 2004.
 16. Ishii, Y., Kodama, Y., Nakamura, R. and Ishikawa, N. Water balance of snowy watershed in Hokkaido, Japan. Northern Research Basins Water Balance (Proceedings of a workshop held at Victoria, Canada, March 2004). *IAHS Publ.* 290: 13-27. 2004.
 17. Nakai, T., Kuwada, T., Kodama, Y., Ohta, T. and Maximov, T.C. Comparison of aerodynamic characteristics among boreal, cool-temperate and warm-temperate forests. *Journal of Agricultural Meteorology* 60(5): 689-692. 2005.
 18. Tripathi, S.K., Sumida, A., Shibata, H., Uemura, S., Ono, K., Hara, T. Growth and substrate quality of fine root and soil nitrogen availability in a young *Betula ermanii* forest of northern

- Japan: Effects of the removal of understory dwarf bamboo (*Sasa kurilensis*). Forest Ecology and Management 212: 278-290. 2005.
19. Matsumoto, K., Ohta, T., Tanaka, T. Dependence of stomatal conductance on using leaf chlorophyll concentration and meteorological variables. Agricultural and Forest Meteorology 132: 44-57. 2005.
 20. Toba, T., Ohta, T. An observational study of the factors that influence interception loss in boreal and temperate forests. Journal of Hydrology 313: 208-220. 2005.
 21. Iida, S., Tanaka, T., Sugita, M. Change of interception process due to the succession from Japanese red pine to evergreen oak. Journal of Hydrology 315: 154-166. 2005.
 22. Nakai, T., van der Molen, M.K., Gash, J.H.C., Kodama, Y. Correction of sonic anemometer angle of attack errors. Agricultural and Forest Meteorology 136: 19-30. 2006.
 23. Suzuki K., J. Kubota, T. Ohata and V. Vuglinsky, Influence of snow ablation and frozen ground on spring runoff generation in the Mogot Experimental Watershed, southern mountainous taiga of eastern Siberia, Nordic Hydrology 37(1): 21-29. 2006.
 24. Tripathi, S. K., Sumida, A., Ono, K., Shibata, H., Uemura, S., Takahashi, K. and Hara, T. The effects of understory dwarf bamboo (*Sasa kurilensis*) removal on soil fertility in *Betula ermanii* forest of northern Japan. Ecological Research 21(2): 315-320. 2006.
 25. Suzuki, K., Kubota, J., Zhang, Y., Kadota, T., Ohata, T. and Vuglinsky, V. Snow ablation in an open field and larch forest of the southern mountainous region of eastern Siberia. Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques 51(3): 465-480. 2006.
 26. Iida, S., Tanaka, T., Sugita, M. Change of evapotranspiration components due to the succession from Japanese red pine to evergreen oak. Journal of Hydrology 326: 166-180. 2006.
 27. Suzuki, K., Konohira, E., Yamazaki, Y., Kubota, J., Ohata, T. and Vuglinsky, V. Transport of organic carbon from the Mogot Experimental Watershed in the southern mountainous taiga of eastern Siberia. Nordic Hydrology 37(3): 303-312. 2006.
 28. Tripathi, S. K., Sumida, A., Shibata, H., Ono, K., Uemura, S., Kodama, Y. and Hara, T. Leaf litterfall and decomposition of different above- and belowground parts of birch (*Betula ermanii*) trees and dwarf bamboo (*Sasa kurilensis*) shrubs in a young secondary forest in Northern Japan. Biology and Fertility of Soils 43: 237-246. 2006
 29. Yamazaki, T., Yabuki, H. and Ohata, T. Hydrometeorological effects of intercepted snow in an eastern Siberian taiga forest using a land surface model. Hydrological Processes 21: 1148-1156. 2007.
 30. Suzuki, K., Kubota, J., Yabuki, H., Ohata, T. and Vuglinsky, V. Moss beneath a leafless larch canopy: influence on water and energy balances in the southern mountainous taiga of eastern Siberia. Hydrological Processes 21: 1982-1991. 2007.
 31. Hiyama, T., Strunin, M. A., Tanaka, H. and Ohta, T. The development of local circulations around the Lena River and their effect on tower-observed energy imbalance. Hydrological Processes 21: 2038-2048. 2007
 32. Yamazaki, T., Ohta, T., Suzuki, R. and Ohata, T. Flux variation in a Siberian taiga forest near

- Yakutsk estimated by a one-dimensional model with routine data, 1986-2000. *Hydrological Processes* 21: 2009–2015. 2007
33. Daikoku, K., Hattori, S., Deguchi, A., Fujita, Y., Park, H., Matsumoto, K. Impact of wind direction on diurnal and seasonal changes in wind profiles. *Journal of Forest Research*. (受理済み)
 34. Toba, T., Ohta, T. Factors affecting rainfall interception determined by a forest simulator and numerical model. *Hydrological Processes*. (受理済み)
 35. Okuda, M., Sumida, A., Ishii, H., Vetrova, V.P., Hara, T. Establishment and growth pattern of *Pinus pumila* under a forest canopy in central Kamchatka. *Ecological Research*. (受理済み)
 36. Umeki, T., Sumida, A., Seino, T., Lim, E.M., Honjo, T. Fitting the truncated bivariate normal distribution to the relationship between diameter and length of current-year shoots in *Betula Platyphylla* in Hokkaido, Northern Japan. *Proceedings of the Second International Symposium on Plant Growth Modelling, Simulation, Visualization and Applications*. IEEE CP. (受理済み)
 37. Sumida, A., Umeki, K. Modeling branching structure of the stable foliage cluster (FC), a basic unit of the crown structure of *Quercus serrata*: the FC Model Configuration. *Proceedings of the Second International Symposium on Plant Growth Modelling, Simulation, Visualization and Applications*. IEEE CPS. (受理済み)
 38. Suzuki, K., Kodama, Y., Yamazaki, T., Kosugi, K. and Nakai, Y. Snow accumulation above the evergreen needle-leaved and deciduous broad-leaved trees. *Boreal Environment Research*. (受理済み)
 39. Kubo, T., Kobayashi, T., Kato, K., Nishimura, S., Uemura, S., Ono, K., Sumida, A. and Hara, T. Estimating the three-dimensional structure of canopy foliage based on the light measurements in a *Betula ermanii* forest. *Agricultural and Forest Meteorology*. (投稿中)
 40. Ishii, H., Kobayashi, T., Uemura, S., Takahashi, K., Hanba, Y.T., Sumida, A. and Hara, T. Removal of understory dwarf bamboo (*Sasa kurilensis*) induces changes in water-relations characteristics of overstory *Betula ermanii* trees. *Journal of Forest Research*. (投稿中)
 41. van der Molen, M.K., Dolman, A.J., Marchesini, L.B., Corradi, C., Heimann, M., Kuwada, T., Kononov, A.V., Kurbatova, J., Maximov, T.C., Moors, E., Nakai, T., Schulze, E-D., Shibistova, O., Ohta, T., Valentini, R., Varlagin, A., Zimov, S. The carbon balance of the Boreal Eurasia consolidated with eddy covariance observations. *Global Change Biology*. (投稿中)
 42. Shimizu, M., Marutani, S., Desyatkin, A., Hirano, T., Kodama, Y., Hatano, R. A comparison between an automated and manual closed chamber techniques for measuring heterotrophic respiration? A case study on a grassland in Hokkaido, Tellus. (投稿中)
 43. Daikoku, K., Hattori, S., Deguchi, A., Aoki, Y., Miyashita, M., Matsumoto, K., Akiyama, J., Iida, S., Toba, T., Fujita, Y. and Ohta, T. Influence of Evaporation from the Forest Floor on Evapotranspiration from the Dry Canopy. *Hydrological Processes*. (投稿中)
 44. Suzuki, K. and Nakai, Y. Influence of canopy snow on water and energy balances above the

canopy of an evergreen-coniferous plantation in northern Japan. *Journal of Hydrology*. (投稿中)

45. Miki, N. and Hirobe, M. A new method for parameterizing cumulative transpiration of detached plants. *Physiologia Plantarum*. (投稿中)
46. Nakai, T., Sumida, A., Daikoku, K., Matsumoto, K., van der Molen, M.K., Ohta, T., Kodama, Y., Kononov, A.V., Maximov, T.C., Dolman, A.J., Yabuki, H. Parameterization of aerodynamic roughness over boreal, cool- and warm-temperate forests. *Agricultural and Forest Meteorology*. (Special Issue 投稿中*)
47. Matsumoto, K., Ohta, T., Nakai, T., Kuwada, T., Daikoku, K., Iida, S., Yabuki, H., Kononov, A.V., van der Molen, M.K., Kodama, Y., Maximov, T.C., Dolman, A.J. and Hattori, S. Comparison of energy and water exchange in various types of temperate and boreal forest in the Far East. *Agricultural and Forest Meteorology*. (Special Issue 投稿中*)
48. Ohta, T., Maximov, T.C., Dolman, A.J., Nakai, T., von der Molen, M.K., Kononov, A., Maximov, A., Toba, T., Moors, E., Iijima, Y., Yabuki, H., Matsumoto, K., Hiyama, T., Tanaka, H. Inter annual variation of water balance and summer evapotranspiration in an eastern Siberian larch forest over a 7-year period (1998–2006). *Agricultural and Forest Meteorology* (special issue 投稿中*)
49. Iida, S., Ohta, T., Matsumoto, K., Nakai, T., Kononov, A.V., Maximov, T.C., van der Molen, M.K., Dolman, H. and Yabuki, H. Comparison of evapotranspiration and the environmental response of surface conductance between larch overstory and cowberry understory in an eastern Siberian boreal forest. *Agricultural and Forest Meteorology*. (Special Issue 投稿中*)
50. Matsumoto, K., Ohta, T., Nakai, T., Kuwada, T., Daikoku, K., Iida, S., Yabuki, H., Kononov, A.V., van der Molen, M.K., Kodama, Y., Maximov, T.C., Dolman, A. J. and Hattori, S. Concept of common potential responses of surface conductance to environments in mature forests of the Far East. *Agricultural and Forest Meteorology*. (Special issue 投稿中*)
51. Park, H., Yamazaki, T., Yamamoto, K. and Ohta, T. Spatial and temporal charactersitics of energy budget and evapotranspiration in the northeastern Siberia. *Agricultural and Forest Meteorology*. (Special Issue 投稿中*)

(2) その他の著作物

1. Balobaev, V.T., Gavrilova, M.K., Sjachkov, Y.B., Gavriliev, P. P., Desyatkin, R.V., Maximov, T.C., Ivanov, B.I. and Solomonov, N.G. The review of conditions and tendencies of climate changes in Yakutia. YB of the SD RUS Publishing House. Yakutsk. 64pp. 2003.
2. 隅田明洋・兒玉裕二. 研究紹介: 北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化. 低温研ニュース 21. p2-3. 2006.
3. 石井吉之. 解説・総説 積雪凍土地域における河川の流出特性と近年の流量変動. 雪氷 (日本雪氷学会誌) 68(6). p599-606. 2006.
4. 山崎剛. 積雪モデル. 日本雪氷学会誌 雪氷 68(6). p607-612. 2006.
5. 鈴木和良・山崎剛・太田岳史. 森林帯での積雪過程. 雪氷 (日本雪氷学会誌) 68(6). p589-598. 2006

(3) 学会発表 (国際学会発表及び主要な国内学会発表)

① 招待講演 (国内 0 件、国際 1 件)

1. Ohta, T. The spatial and temporal distributions of the energy partition above forests in mid-and high-latitude regions -Analyses using the AmeriFlux, EuroFlux, and E. Eurasia-Japan datasets-. International Workshop on Flux Estimation over Diverse Terrestrial Ecosystems in Asia- AsiaFlux Workshop2006 - (AsiaFlux Workshop2006 Proceedings. p6), 2006 年 11 月 29 日

② 口頭発表 (国内 48 件、国際 50 件)

<国内>

1. 兒玉裕二・矢吹裕伯・石井吉之・佐藤軌文・野村睦・平島寛行・大畑哲夫. レナ川河口付近のツンドラ域の水・エネルギー循環の特徴. 北ユーラシア水循環シンポジウム (於: 東京. 北ユーラシア水循環シンポジウム報告集. p26-29), 2003 年 12 月 18 日
2. 太田岳史. 鉛直1次元スケールで見たヤクーツク周辺における水・エネルギー循環の特徴. 北ユーラシア水循環シンポジウム (於: 東京. 北ユーラシア水循環シンポジウム報告集. p36-39), 2003 年 12 月 18 日
3. 太田岳史. CREST での北ユーラシア水循環研究の概要. 北ユーラシア水循環シンポジウム (於: 東京. 北ユーラシア水循環シンポジウム報告集. p70-71), 2003 年 12 月 19 日
4. 中井太郎・兒玉裕二・隅田明洋. 森林構造と空気力学的パラメータ. 北ユーラシア水循環シンポジウム (於: 東京. 北ユーラシア水循環シンポジウム報告集. p72-75), 2003 年 12 月 19 日
5. 桑田孝・中井太郎・兒玉裕二・太田岳史. CREST 観測サイトにおける群落スケールでの生理応答特性. 北ユーラシア水循環シンポジウム (於: 東京. 北ユーラシア水循環シンポジウム報告集. p76-77), 2003 年 12 月 19 日
6. 桑田孝・太田岳史. 個葉スケールと群落スケールにおける生理応答特性の比較. 北ユーラシア水循環シンポジウム (於: 東京. 北ユーラシア水循環シンポジウム報告集. p78-79), 2003 年 12 月 19 日
7. 三木直子. 個葉レベルにおける気孔の応答特性～気候帯間の比較にむけて～. 北ユーラシア水循環シンポジウム (於: 東京. 北ユーラシア水循環シンポジウム報告集. p80-83), 2003 年 12 月 19 日
8. 宮原美絵・竹中千里・栗田 孝・太田岳史. シベリアカラマツ林林床のコケモモによる蒸散. 北ユーラシア水循環シンポジウム (於: 東京. 北ユーラシア水循環シンポジウム報告集. p84-87), 2003 年 12 月 19 日
9. 鳥羽妙. シベリアにおける森林の遮断蒸発特性. 北ユーラシア水循環シンポジウム (於: 東京. 北ユーラシア水循環シンポジウム報告集. P90-91), 2003 年 12 月 19 日

10. 山崎剛. ルーチンデータと陸面モデルによるシベリアタイガ林の長期フラックス推定. 北ユーラシア水循環シンポジウム (於: 東京. 北ユーラシア水循環シンポジウム報告集. p96-99), 2003 年 12 月 19 日
11. 松本 一穂・太田 岳史. Jarvis 型モデルによるコナラの気孔挙動特性の検討ー葉緑素濃度の影響とパラメータの季節変化ー. 第 115 回日本林学会大会. (於: 東京大学. 第 115 回日林学術講 2004. p198), 2004 年 4 月 3 日
12. 宮地洋輔・高橋與明・山本一清. トレーニングデータの選定方法が IKONOS 画像の樹種分類に与える影響. 第 115 回日本林学会大会, (於: 東京大学. 第 115 回日林学術講 2004. p190), 2004 年 4 月 3 日
13. 山崎剛・太田岳史・大畑哲夫. ルーチンデータを用いたシベリアタイガ林での長期フラックス推定ー降雪遮断と開葉日の影響ー. 日本気象学会 2004 年度春季大会. (於: 気象庁・学術総合センター・学士会館. 日本気象学会 2004 年度春季大会講演予稿集. p63), 2004 年 5 月 16 日
14. 石井吉之. 東シベリア中央ヤクーチャにおける河川流量の経年変化. 日本雪氷学会 2004 年度全国大会 (於: 滋賀県立大学, 彦根市. 2004 年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集. p.198), 2004 年 9 月 29 日
15. 大黒健一・服部重昭. 森林の群落構造が林内微気象の鉛直分布に及ぼす影響. 第 53 回日本林学会中部支部大会 (於: 静岡大学), 2004 年 10 月 16 日
16. 中井太郎・児玉裕二. フラックスの長期連続観測における細線熱電対利用の有効性. 日本農業気象学会北海道支部 2004 年大会. (日本農業気象学会北海道支部 2004 年大会講演要旨集 p.18-19), 2004 年 11 月 30 日
17. 松本一穂・中井太郎・児玉裕二・太田岳史. 異なる森林タイプにおける群落コンダクタンスの季節変化と正規化植生指数との関係. 第 116 回日本森林学会大会 (於: 北海道大学), 2005 年 3 月 28 日
18. 宮原美絵・富岡利恵・加藤靖子・竹中千里・太田岳史. 水分環境の違いがカラマツの生理応答に及ぼす影響. 第 116 回日本森林学会大会 (於: 北海道大学), 2005 年 3 月 28 日
19. 太田岳史・児玉裕二・隅田明洋・山崎剛. 北方林における水循環にかかわる植物生理生態特性のパラメータ化. 第 116 回日本森林学会大会 (於: 北海道大学), 2005 年 3 月 29 日
20. 小林剛・隅田明洋・中井太郎. レーザー距離計を用いたダケカンバ林の葉量垂直分布の簡易推定. 第 116 回日本森林学会大会 (於: 北海道大学). 2005 年 3 月 29 日
21. 隅田明洋・田中隆文・松本一穂・本間航介・小林剛・三木直子・桑田孝・加藤京子・中井太郎. 北方林の水循環研究に対する生理・生態学的観点からのアプローチ. 第 116 回日本森林学会大会 (於: 北海道大学), 2005 年 3 月 29 日
22. 宮地洋輔・高橋與明・山本一清・太田岳史・山崎剛・鈴木和良・児玉裕二・隅田明洋・中井太郎・加藤京子. 中分解能衛星画像を用いた北方域における MODIS LAI の検証. 第 116 回日本森林学会大会 (於: 北海道大学), 2005 年 3 月 29 日
23. 太田岳史・栗田孝・松本一穂・児玉裕二・山崎剛. 中～高緯度森林における群落

- コンダクタンスのモデルパラメータと蒸発散量の空間分. 布 水文・水資源学会 2005 年研究発表会 (於:筑波大学. 水文・水資源学会 2005 年研究発表会要旨集 p268-269), 2005 年 8 月 4 日
24. 山崎 剛・加藤京子・桑田 孝・太田岳史. 陸面モデルによる北方林の水・エネルギー循環に関する考察. 日本気象学会 2005 年秋季大会. 神戸大学 (日本気象学会 2005 年度秋季大会講演予稿集 p294), 2005 年 11 月 22 日
 25. 中井太郎・Van der Molen, M.K. ・Gash, J.H.C. ・兒玉裕二. 超音波風速計の Angle of attack 依存誤差の補正. 日本農業気象学会北海道支部 2005 年大会. 苫小牧市文化交流センター (日本農業気象学会北海道支部 2005 年大会講演要旨集 p.16-17), 2005 年 11 月 29 日
 26. Ohta, T. Overview of the results obtained by WECNoF/CREST project. 第 2 回北ユーラシア水循環シンポジウム (Proceedings of 2nd Symposium on Water Cycle in Northern Eurasia p91-92), 2005 年 12 月 14 日
 27. Nakai, T., Van der Molen, M. K., Gash, J. H. C., and Kodama, Y. An improved method to correct the sonic anemometer angle of attack error. 第 2 回北ユーラシア水循環シンポジウム (Proceedings of 2nd Symposium on Water Cycle in Northern Eurasia p23-24), 2005 年 12 月 14 日
 28. Nakai, T., Sumida, A., Kuwada, T., Kato, K., Daikoku, K., Matsumoto, K., Ohta, T., Kodama, Y. and Maximov, T.C. Parameterization of aerodynamic roughness over the forest. 第 2 回北ユーラシア水循環シンポジウム (Proceedings of 2nd Symposium on Water Cycle in Northern Eurasia p47-48), 2005 年 12 月 16 日
 29. Park, H., Yamazaki, T., Kato, K., Yamamoto, K. and Ohta, T. Modelling water and energy fluxes in eastern Siberia. 第 2 回北ユーラシア水循環シンポジウム (Proceedings of 2nd Symposium on Water Cycle in Northern Eurasia p57-58), 2005 年 12 月 16 日
 30. Suzuki, K., Kubota, J., Ohata, T. and Vuglinsky, V. Summary of water and energy balance in southern mountain region of eastern Siberia. 第 2 回北ユーラシア水循環シンポジウム (Proceedings of 2nd Symposium on Water Cycle in Northern Eurasia p69-70), 2005 年 12 月 16 日
 31. Yamazaki, T., Kato, K., Kuwada, T., Nakai, T., Park, H. and Ohta, T. Land surface model simulation on boreal forest using measured leaf-scale physiological parameters. 第 2 回北ユーラシア水循環シンポジウム (Proceedings of 2nd Symposium on Water Cycle in Northern Eurasia p55-56), 2005 年 12 月 16 日
 32. Kato, K., Kuwada, T., Miki, N., Kobayashi, T., Matsumoto, K., Homma, K., Vetrova, V. P., Maximov, T. C., Sumida, A., Ohta, T. and Hara, T. Leaf-level gas exchange traits of deciduous trees growing in boreal forests: Are there any variations in stomatal responses to some microclimatic factors? 第 2 回北ユーラシア水循環シンポジウム (Proceedings of 2nd Symposium on Water Cycle in Northern Eurasia p27-30), 2005 年 12 月 16 日
 33. 太田岳史. シベリアのタイガと気候・水循環の相互作用. 名古屋大学地球水循環

研究センター公開講演会, 2005 年 12 月 17 日

34. 朴昊澤・山崎剛・加藤京子・山本一清・太田岳史. 北方林における水・エネルギー収支の時・空間分布のモデリング. 第 117 回日本森林学会大会 (東京農業大学, 第 117 回日本森林学会大会学術講演集 CD-R, G15), 2006 年 4 月 2 日
35. 松本一穂・中井太郎・栗田孝・大黒健一・Kononov, A. V.・Maximov, T. C.・太田岳史. "森林の群落コンダクタンスの多地点比較-広域に不変な潜在的環境応答特性の存在可能性について-. 第 117 回日本森林学会大会 (第 117 回日本森林学会大会学術講演集 CD-R, B17), 2006 年 4 月 2 日
36. 太田岳史・松本一穂・桑田孝・加藤京子・中井太郎・朴昊澤・山崎剛・CREST/WECCNoF チームメンバー. 北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化 —2003~2005 年の中間報告—. 第 117 回日本森林学会大会 (第 117 回日本森林学会大会学術講演集 CD-R, G16), 2006 年 4 月 2 日
37. 出口愛子・服部重昭・大黒健一・宮下茉莉. 落葉広葉樹二次林における林床面蒸発量の実態解析. 第 117 回日本森林学会大会 (第 117 回日本森林学会大会学術講演集 CD-R, G20), 2006 年 4 月 3 日
38. 宮原美絵・富岡利恵・加藤靖子・竹中千里・太田岳史. 水分環境の違いがカラマツ根系の生理応答に及ぼす影響. 第 117 回日本森林学会大会 (第 117 回日本森林学会大会学術講演集 CD-R, C26), 2006 年 4 月 3 日
39. 山崎剛・加藤京子・桑田孝・中井太郎・朴昊澤・太田岳史. 潜在的応答特性を用いた北方林での水・熱フラックスのシミュレーション. 水文・水資源学会 2006 年度研究発表会 (於:岡山大学), 水文・水資源学会 2006 年度研究発表会要旨集. p18-19, 2006 年 8 月 29 日
40. 山崎剛・加藤京子・中井太郎・朴昊澤・太田岳史. 陸面モデルによる北方林の水・エネルギー循環に関する考察(2). 日本気象学会 2006 年度秋季大会 (於:ウィルあいち, 2006 年度 秋季大会講演予稿集. p241), 2006 年 10 月 27 日
41. 朴昊澤・山崎剛・加藤京子・山本一清・太田岳史. 東ユーラシア域における水・エネルギー収支の時・空間変動特性の評価 日本気象学会 2006 年度秋季大会 (於:ウィルあいち, 2006 年度 秋季大会講演予稿集. p240), 2006 年 10 月 27 日
42. 山崎剛. 森林環境での雪モデル相互比較 SnowMIP2. 2006 年度日本雪氷学会全国大会 (於:秋田市民交流プラザ ALVE), 2006 年日本雪氷学会全国大会講演予稿集. p61), 2006 年 11 月 16 日
43. 八田茂実・早川博・朴昊澤・山崎剛・太田岳史. 分布型水文モデルの Lena 川流域への適用. 平成 18 年度土木学会北海道支部年次研究発表会 (於:室蘭工業大学), 2007 年 2 月 3 日
44. 宮原美絵・竹中千里・太田岳史・T. C. Maximov. 水分環境が東シベリアのカラマツ根系に及ぼす影響—ルートウィンドウ法による観察から—. 第 118 回日本森林学会大会 (於:九州大学箱崎キャンパス. 第 118 回日本森林学会大会学術講演集 CD-ROM. D08), 2007 年 4 月 2 日
45. 太田岳史. 中・高緯度帯における樹冠上水・エネルギー交換特性を決める環境要因. 第 118 回日本森林学会大会 (於:九州大学箱崎キャンパス. 第 118 回日

本森林学会大会学術講演集 CD-ROM. M13), 2007 年 4 月 3 日

46. 青木悠・服部重昭・出口愛子・大黒健一・松本一穂・宮下茉莉. 落葉広葉樹二次林における林床面蒸発の季節変化の実態解析. 第 118 回日本森林学会大会 (於:九州大学箱崎キャンパス. 第 118 回日本森林学会大会学術講演集 CD-ROM. M15), 2007 年 4 月 3 日
47. 中井太郎・隅田明洋・兒玉裕二. 森林の代表群落高を空気力学的に決定する. 第 53 回風に関するシンポジウム (第 53 回風に関するシンポジウム講演要旨集 p12), 2007 年 6 月 21 日
48. 吉田龍平・山崎剛・太田岳史. 陸面過程モデル 2LM を用いた潜在的応答特性の検証. 日本気象学会 2007 年度秋季大会 (於:北海道大学. 日本気象学会 2007 年度秋季大会講演予稿集 p278), 2007 年 10 月 14 日

< 国際 >

1. Yamazaki, T., Yabuki, H., Okubo, R. and Ohata, T. A study on hydro-meteorological effect of intercepted snow using a one-dimensional land surface model. IUUGG2003 Sapporo (IUUGG2003 Abstracts Week B. p51-52), 2003 年 7 月 10 日
2. Maximov, T.C. Regional and continental peculiarities of carbon cycle in permafrost forests ecosystems. World Climate Change Conference, Moscow, 2003 年 9 月 23 日
3. Maximov, T.C., Ivanov, B.I., Dolman A.J., Ohta T., Takahashi K., Heimann M. Regional and continental peculiarities of carbon cycles in permafrost forests ecosystems. International Conference on Boreal Forest Disturbance and its Effect to Global Warming. Sapporo, 2003 年 11 月 17 日.
4. Maximov, T.C., Dolman, H., van der Molen, M.K. Moors, E., Maximov, A., Kononov, A. and Ivanov, B. The Carbon Dynamics of Permafrost-dominated Forest Ecosystems of the Yakutia Region in Russia. International Conference "Climate Disturbance Interactions in Boreal Forest Ecosystems" (May 3-7, Fairbanks, Alaska), 2004 年 5 月 3 日
5. Maximov, T.C., Ivanov, B. I., Dolman, A. J., Ohta, T., Heimann, M. and Takahashi, K. Balance of Organic Carbon in Permafrost Forest Ecosystems. Conference "Permafrost soils: diversity, ecology and protection", Yakutsk, 2004 年 6 月 28 日
6. Ivanov, B.I., Maximov, T.C. The Monitoring on Condition Permafrost Ecosystems: Spasskaya Pad, Yakutsk. Conference " The structural and functional organization and dynamics of forests". Krasnoyarsk, 2004 年 9 月 1 日
7. Ohta, T. Outline of the CREST project and scientific significance of the Spasskaya Pad observations. International Semi-Open Workshop "C/H₂O/Energy Balance and Climate over Boreal Regions With Special Emphasis on Eastern Eurasia". (Proceedings of the International Semi-Open Workshop "C/H₂O/Energy Balance and Climate over Boreal Regions with Special Emphasis on Eastern Eurasia" p19-22), 2004 年 10 月 25 日

8. Yamazaki, T., Ohata, T. and Yabuki, H. The activity of IORGC at Spasskaya Pad and in other Eurasian cold regions. International Semi-Open Workshop "C/H₂O/Energy Balance and Climate over Boreal Regions With Special Emphasis on Eastern Eurasia". (Proceedings of the International Semi-Open Workshop "C/H₂O/Energy Balance and Climate over Boreal Regions with Special Emphasis on Eastern Eurasia" p23-24), 2004 年 10 月 25 日
9. Kato, K., Kuwada, T., Miki, N., Matsumoto, K., Kobayashi, T., Vetrova, V.P., Maximov, T.C., Sumida, A., Ohta, T., Hara, T. Ecophysiological responses of boreal forest trees to climatic conditions. International Semi-Open Workshop "C/H₂O/Energy Balance and Climate over Boreal Regions With Special Emphasis on Eastern Eurasia". Proceedings of the International Semi-Open Workshop "C/H₂O/Energy Balance and Climate over Boreal Regions with Special Emphasis on Eastern Eurasia" p25-28. 2004 年 10 月 25 日
10. Ishii, Y. Inter-annual variation of streamflow in Central Yakutia, eastern Siberia. International Semi-Open Workshop "C/H₂O/Energy Balance and Climate over Boreal Regions With Special Emphasis on Eastern Eurasia". (Proceedings of the International Semi-Open Workshop "C/H₂O/Energy Balance and Climate over Boreal Regions with Special Emphasis on Eastern Eurasia" p55-58), 2004 年 10 月 25 日
11. Kodama, Y., Nakai, T., Tsutaki, S. and Awata, T. Snow and Snowmelt in Boreal Forest. International Semi-Open Workshop "C/H₂O/Energy Balance and Climate over Boreal Regions With Special Emphasis on Eastern Eurasia". (Proceedings of the International Semi-Open Workshop "C/H₂O/Energy Balance and Climate over Boreal Regions with Special Emphasis on Eastern Eurasia" p63-66), 2004 年 10 月 25 日
12. Nakai, T., Kuwada, T., Kato, K., Daikoku, K., Kodama, Y., Ohta, T. and Maximov, T. C. Roughness Parameters and Forest Structure Factors. International Semi-Open Workshop "C/H₂O/Energy Balance and Climate over Boreal Regions With Special Emphasis on Eastern Eurasia". (Proceedings of the International Semi-Open Workshop "C/H₂O/Energy Balance and Climate over Boreal Regions with Special Emphasis on Eastern Eurasia" p75-78), 2004 年 10 月 26 日
13. Kuwada, T., Ohta, T. and Maximov, T.C. General results about the gas exchange measurements at the canopy scale in a larch and pine forest. International Semi-Open Workshop "C/H₂O/Energy Balance and Climate over Boreal Regions With Special Emphasis on Eastern Eurasia". (Proceedings of the International Semi-Open Workshop "C/H₂O/Energy Balance and Climate over Boreal Regions with Special Emphasis on Eastern Eurasia" p83-86), 2004 年 10 月 26 日
14. Ohta, T. Spatial variation of the parameters of canopy conductance model in temperate and boreal forests. International Semi-Open Workshop "C/H₂O/Energy Balance and Climate over Boreal Regions With Special Emphasis on Eastern Eurasia". (Proceedings of the International Semi-Open Workshop "C/H₂O/Energy

- Balance and Climate over Boreal Regions with Special Emphasis on Eastern Eurasia" p87-90), 2004 年 10 月 26 日
15. Maximov, T.C., Dolman, H. van der Molen, M.K., Moors, E., Ohta, T., Sugimoto, A., Maximov, A., Kononov, A. and Ivanov, B. The Regional and Global Carbon Scales of Permafrost-dominated Forest Ecosystems. International Semi-Open Workshop "C/H₂O/Energy Balance and Climate over Boreal Regions With Special Emphasis on Eastern Eurasia". (Proceedings of the International Semi-Open Workshop "C/H₂O/Energy Balance and Climate over Boreal Regions with Special Emphasis on Eastern Eurasia" p91-94), 2004 年 10 月 26 日
 16. Miyahara, M., Takenaka, C., Kuwada, T., Ohta, T., Maximov, T.C. How much does cowberry transpiration contribute to evapotranspiration in larch forest?. International Semi-Open Workshop "C/H₂O/Energy Balance and Climate over Boreal Regions With Special Emphasis on Eastern Eurasia". (Proceedings of the International Semi-Open Workshop "C/H₂O/Energy Balance and Climate over Boreal Regions with Special Emphasis on Eastern Eurasia" p99-102), 2004 年 10 月 27 日
 17. Yamazaki, T., Ohta, T., Suzuki, R., Yabuki, H. and Ohata, T. Characteristics on CREST observation sites extracted using a one-dimensional land surface model. International Semi-Open Workshop "C/H₂O/Energy Balance and Climate over Boreal Regions With Special Emphasis on Eastern Eurasia". (Proceedings of the International Semi-Open Workshop "C/H₂O/Energy Balance and Climate over Boreal Regions with Special Emphasis on Eastern Eurasia" p117-120), 2004 年 10 月 27 日
 18. Ohta, T., Ohata, T., Fukushima, Y., Maximov, T.C. Desyatkin, R.V. and Vuglinsky, V. S. GAME-Siberia findings on one-dimensional land-surface processes in forested areas and follow-up research. The 6th International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, 2004 年 12 月 3 日
 19. Ohta, T., Suzuki, R., Yabuki, H., Ohata, T. Overview of Japanese projects on hydro-meteorological field experiment in northern Eurasia. Regional GOFC-GOLD Workshop "Observations of landcover and needs of research projects in northern Eurasia. (18-19 June 2005, Saint Petersburg, Russia), 2005 年 6 月 18 日
 20. Yamazaki, T., Suzuki, K., Ohata, T. Snow simulation on deciduous and evergreen forests. IAMAS (International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences: 国際気象学・大気科学協会) 2005 年会合, 2005 年 8 月 5 日
 21. Nakai, T., van der Molen, M.K., Gash, J.H.C and Kodama, Y. Correction of sonic anemometer angle of attack errors and its impact on the eddy flux measurements. 2nd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia (International Workshop on H₂O and CO₂ exchange in Siberia p31-32), 2006 年 1 月 26 日
 22. Yamazaki, T., Kato, K., Kuwada, T., Nakai, T., Park, H. and Ohta, T. Land surface model simulation on CREST forest sites using measured leaf-scale physiological parameters. 2nd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal

- regions with special emphasis on eastern Eurasia (International Workshop on H₂O and CO₂ exchange in Siberia p81-84), 2006 年 1 月 26 日
23. Ohta, T., Kuwada, T., Dolman, H., Moors, E., Maximov, T.C., Kononov, A.V. and Yabuki, H. Interannual variation in water and energy exchanges at a larch forest in Spasskaya Pad, eastern Siberia. 2nd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia (International Workshop on H₂O and CO₂ exchange in Siberia p67-70), 2006 年 1 月 26 日
 24. Awata, T., Kodama, Y., Ishikawa, N. and Nakai, T. CO₂ efflux from snow surface in southern boreal forest in Hokkaido, Japan. 2nd International WS on C/H₂O /Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia (International Workshop on H₂O and CO₂ exchange in Siberia p41-44), 2006 年 1 月 26 日
 25. Kato, K., Kuwada, T., Miki, N., Kkobayashi, T., Matsumoto, K., Homma, K., Vetrova, V.P., Maximov, T.C., Sumida, A., Ohta, T. and Hara, T. Leaf-level gas exchange traits of *Betula* and *Larix* trees growing in boreal forests: Are there any variations in stomatal responses to microclimatic conditions? 2nd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia (International Workshop on H₂O and CO₂ exchange in Siberia p11-14), 2006 年 1 月 26 日
 26. Ohta, T. Overview of WECNoF/CREST project from 2003 to 2005. 2nd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia (International Workshop on H₂O and CO₂ exchange in Siberia p7-10), 2006 年 1 月 26 日
 27. Park, H., Yamazaki, T., Kato, K., Yamamoto, K. and Ohta, T. Modeling spatio-temporal variations of energy and water fluxes in Eastern Siberia: An applicability of a lumped stomatal conductance parameter set by a land surface model. 2nd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia (International Workshop on H₂O and CO₂ exchange in Siberia p85-86), 2006 年 1 月 27 日
 28. Nakai, T., Sumida, A., Kuwada, T., Kato, K., Daikoku, K., Matsumoto, K., Ohta, T., Kodama, Y. and Maximov, T. C. How can the aerodynamic roughness be parameterized in terms of forest structures? 2nd International WS on C/ H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia (International Workshop on H₂O and CO₂ exchange in Siberia p27-30), 2006 年 1 月 27 日
 29. Nakai, T., van der Molen, M.K. Gash, J.H.C., Kuwada, T., Kodama, Y., Ohta, T. and Maximov, T. C. Characteristics of angle of attack dependent errors in different forest sites. 2nd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia (International Workshop on H₂O and CO₂ exchange in Siberia p23-26), 2006 年 1 月 27 日

30. Kobayashi, T., Miki, N., Kato, K., Kubo, T., Nishimura, S., Uemura, S., Ono, K., Sumida, A., Ohta, T. and Hara, T. Understory removal increases carbon gain and transpiration in the overstory of birch (*Betula ermanii*) stands in northern Hokkaido, Japan: trends in leaf, shoot and canopy. 2nd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia (International Workshop on H₂O and CO₂ exchange in Siberia p19-22), 2006 年 1 月 27 日
31. Matsumoto, K., Nakai, T., Kuwada, T., Daikoku, K., Maximov, T. C. and Ohta, T. Responses of canopy conductance to environmental variables in forests in the northern Far East. 2nd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia (International Workshop on H₂O and CO₂ exchange in Siberia. p15-18), 2006 年 1 月 27 日
32. Park, H., Yamazaki, T., Kato, K., Yamamoto, K., Ohta, T. Modeling water and energy budgets in north-east Siberia by land surface model. Third International Conference The role of permafrost ecosystems in global climate change (The Republic of Sakha (Yakutia), Russia), 2006 年 8 月 29 日
33. Nakai, T., Sumida, A., Daikoku, K., Matsumoto, K., Kodama, Y., Ohta, T., Kononov, A. V., Maximov, T. C., Yabuki, H. Determination of the canopy height of a forest from meteorological data. Third International Conference The role of permafrost ecosystems in global climate change (The Republic of Sakha (Yakutia), Russia), 2006 年 8 月 29 日
34. Iida, S., Ohta, T., Matsumoto, K., Nakai, T., Kononov, A. V., Maximov, T.C., van der Molen, M.K., Dolman, A.J., Yabuki, H. Comparisons of transpiration and canopy conductance between main canopy trees of larch and understory vegetation in a boreal forest. Third International Conference The role of permafrost ecosystems in global climate change (The Republic of Sakha (Yakutia), Russia), 2006 年 8 月 30 日
35. Miyahara, M., Takenaka, C., Ohta, T. and Maximov, T.C. Is growth direction of root related to soil moisture condition of last year? Third International Conference The role of permafrost ecosystems in global climate change (The Republic of Sakha (Yakutia), Russia), 2006 年 8 月 30 日
36. Ohta, T. Which environmental variables are important for energy partitioning above forests at various spatial and temporal scales? 3rd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia (Proceedings of 3rd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia p3-6), 2007 年 1 月 29 日
37. Matsumoto, K., Ohta, T., Nakai, T., Kuwada, T., Daikoku, K., Iida, S., Yabuki, H., Kononov, A.V., van der Molen, M.K., Kodama, Y., Maximov, T.C., Dolman, H. and Hattori, S. Comparison of the fundamental energy balance and evapotranspiration properties of several Far Eastern temperate to boreal forests. 3rd International WS on

- C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia (Proceedings of 3rd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia p7-10), 2007 年 1 月 29 日
38. Iida, S., Ohta, T., Matsumoto, K., Nakai, T., Kononov, A.V., Maximov, T.C., van der Molen, M.K., Dolman, H. and Yabuki, H. Strategies of water use of main canopy trees and understory vegetation in a boreal forest. 3rd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia (Proceedings of 3rd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia p11-14), 2007 年 1 月 29 日
 39. Ito, T., Matsumoto, K., Ohta, T. and Takenaka, C. Morphological study of seasonal variation in stomatal conductance. 3rd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia (Proceedings of 3rd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia p15-18), 2007 年 1 月 29 日
 40. Daikoku, K., Hattori, S., Deguchi, A., Aoki, Y., Miyashita, M., Matsumoto, K. and Fujita, Y. Influence of evaporation from the forest floor on evapotranspiration from dry canopy. 3rd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia (Proceedings of 3rd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia p23-26), 2007 年 1 月 29 日
 41. Kodama, Y., Suzuki, K. and Nakai, T. Rainfall and snowfall interceptions of the forests in Moshiri, Hokkaido. 3rd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia (Proceedings of 3rd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia p27-30), 2007 年 1 月 29 日
 42. Nakai, T. and Kodama, Y. Analysis of high frequency temperature data within and above forest canopies. 3rd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia (Proceedings of 3rd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia p31-34), 2007 年 1 月 29 日
 43. Park, H., Yamazaki, T. and Ohta, T. Characteristics of water and energy balance over north-eastern Eurasia. 3rd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia (Proceedings of 3rd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia p57-59), 2007 年 1 月 30 日
 44. Yamazaki, T., Kato, K., Nakai, T., Park, H., Iida, S. and Ohta, T. Study on water and energy balance over boreal forest using a land-surface model. 3rd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on

eastern Eurasia (Proceedings of 3rd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia p61-64), 2007 年 1 月 30 日

45. Yamazaki, T., Iida, S., Kruijt, B., Moors, E., Park, H. and Groenendijk, M. Summary of open special session "model output comparison". 3rd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia (Proceedings of 3rd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia p65-66), 2007 年 1 月 30 日
46. Akiyama, J., Ohta, T., Maximov, T.C., Kononov, A.V., Maximov, A., Nakai, T., Matsumoto, K., Daikoku, K., Kodama, Y. and Hattori, S. Characteristics of carbon dioxide exchange between the atmosphere and forests from the temperate to subarctic zones. 3rd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia (Proceedings of 3rd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia p67-70), 2007 年 1 月 31 日
47. Miyahara, M., Takenaka, C., Ohta, T. and Maximov, T.C. Response of root development of larch to different water conditions in eastern Siberia. 3rd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia (Proceedings of 3rd International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia p83-86), 2007 年 1 月 31 日
48. Sumida, A., Kato, K., Miki, N., Kobayashi, T., Matsumoto, K., Ito, T., Hara, T. and Ohta, T. Leaf-level gas exchange in boreal forests is likely to be more influenced by environmental conditions than by physiological properties. Eco Summit2007/the 3rd EAFES International Congress (Jiuhua Resort and Convention Center, Beijing, China), 2007 年 5 月 24 日
49. Yamazaki, T., Suzuki, K., Ohata, T. Snow simulation on and under canopy using a land-surface model. IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics: 国際測地学・地球物理学連合) 2007 年大会, 2007 年 7 月 10 日
50. Yamazaki, T., Suzuki, K., Ohata, T. Snow simulation on and under forest canopy using a land-surface model. 2nd Asia CliC symposium, 2007 年 10 月 24 日

③ ポスター発表 (国内 25 件、国際 18 件)

<国内>

1. 小林 剛・加藤京子・植村 滋・西村誠一・小野清美・原登志彦・隅田明洋・高橋耕一. 北海道北部のダケカンバ若齢林における林冠構造に対する林床のチシマザサ除去の影響 - 林冠内の光環境と光合成生産. 日本生態学会第 50 回大会, 2003 年 3 月 20 日
2. 松本 一穂・太田岳史. 葉内葉緑素濃度の関数を組み込んだ Jarvis 型気孔コンダ

- クタンモデルの提案. 水文・水資源学会 (於: 福岡市. 水文・水資源学会 2003 年研究発表会要旨集. p202-203), 2003 年 8 月 1 日
3. 小林 剛・久保拓弥・中谷暢丈・佐久川 弘. アカマツ苗木の構造とバイオマス生産に対する OH ラジカル発生水の影響: 暴露から 20 年後までのシミュレーション. 第 44 回大気環境学会年会, 2003 年 9 月 25 日
 4. 山崎剛・矢吹裕伯・大畑哲夫. シベリアタイガ林における冠雪のモデル研究. 日本雪氷学会 (於: 上越市. 日本雪氷学会全国大会予稿集), 2003 年 10 月 10 日
 5. 宮原美絵・桑田孝・竹中千里・太田岳史. シベリアカラマツ林林床におけるコケモモの蒸散速度. 第 115 回日本林学会大会. (於: 東京大学. 第 115 回日林学術講 2004. p505), 2004 年 4 月 1 日
 6. 栗田孝・中井太郎・児玉裕二・太田岳史. ヤクーツク、母子里、瀬戸観測サイトにおける群落スケールでのガス交換の環境応答. 第 115 回日本林学会大会. (於: 東京大学. 第 115 回日林学術講 2004. p788), 2004 年 4 月 3 日
 7. 小林 剛・加藤京子・植村 滋・小野清美・石井弘明・三木直子・隅田明洋・原登志彦. 北海道北部のダケカンバ林に対する林床チシマザサ除去の影響 - 林冠葉のフェノロジーと光合成. 第 115 回日本林学会大会, (於: 東京大学. 第 115 回日林学術講 2004. p497), 2004 年 4 月 3 日
 8. 加藤京子・小林 剛・西村誠一・植村 滋・高橋耕一・石井弘明・小野清美・隅田明洋・原登志彦. 北海道北部のダケカンバ林に対する林床チシマザサ除去の影響 - 林冠構造、林内光環境そして林冠木の動態 -. 第 115 回日本林学会大会, (於: 東京大学. 第 115 回日林学術講 2004. p498), 2004 年 4 月 3 日
 9. 中井太郎・児玉裕二・桑田孝・太田岳史. 複雑地形上におけるフラックスの評価について - Planar fit 法のパラメータ決定に関する考察 -. 日本気象学会 2004 年度春季大会. (於: 気象庁・学術総合センター・学士会館. 日本気象学会 2004 年度春季大会講演予稿集. p275), 2004 年 5 月 16 日
 10. 宮地洋輔・高橋與明・山本一清. 高分解能衛星 IKONOS による単木検出 - 急傾斜地への適用可能性 -. 第 53 回日本林学会中部支部大会 (於: 静岡大学. 第 53 回日林中部支講 p30), 2004 年 10 月 16 日
 11. 加藤京子・隅田明洋・吉田俊也・秋林幸男・原登志彦. 北海道北部における針広混交林の林分構造と光環境. 第 53 回日本林学会北海道支部大会, 2004 年 11 月 1 日
 12. 桑田孝・中井太郎・大黒健一・太田岳史・児玉裕二・マキシモフ・トロフィム・クリストロビッチ. 北方林域から暖温帯域に位置する複数の森林群落の蒸発散特性の比較. 第 116 回日本森林学会大会 (於: 北海道大学), 2005 年 3 月 29 日
 13. 鈴木和良・中井太郎・児玉裕二・大畑哲夫・石井吉之. 北海道母子里における針広混交林の笹並びに積雪上での水・熱・二酸化炭素フラックスの季節変化. 第 116 回日本森林学会大会 (於: 北海道大学), 2005 年 3 月 29 日
 14. 加藤京子・桑田孝・三木直子・松本一穂・小林剛・隅田明洋・太田岳史・原登志彦. 北方林における落葉樹の個葉レベルの生理生態学的特性 - 環境に対する気孔の応答 -. 第 116 回日本森林学会大会 (於: 北海道大学), 2005 年 3 月 29 日

15. 朴昊澤・山崎剛・山本一清・太田岳史. 東ユーラシア域における水・エネルギー収支の時・空間分布の評価. 日本気象学会 2005 年秋季大会. 神戸大学 (日本気象学会 2005 年度秋季 大会講演予稿集 p405), 2005 年 11 月 22 日
16. 加藤京子・桑田孝・三木直子・小林剛・松本一穂・隅田明洋・太田岳史・原登志彦. 北方域に分布するカバノキ属における個葉ガス交換特性の地域間相違と類似. 第 53 回日本生態学会新潟大会 (於:新潟コンベンションセンター), 2006 年 3 月 27 日
17. 久保拓弥・小林剛・加藤京子. 林冠三次元構造を推定する MCMC 計算法. 第 53 回日本生態学会新潟大会 (於:新潟コンベンションセンター) 講演要旨集. p328, 2006 年 3 月 27 日
18. 伊藤珠樹・松本一穂・太田岳史・竹中千里. 葉内元素含量と気孔の形態的变化からみたガス交換特性の季節変動. 第 117 回日本森林学会大会 (第 117 回日本森林学会大会学術講演集 CD-R、PE38), 2006 年 4 月 3 日
19. 中井太郎・van der Molen, M.K.・Gash, J.H.C.・兒玉裕二. 超音波風速計の angle of attack 依存誤差補正とそのフラックスへの影響について. 日本気象学会 2006 年度春季大会 (於:つくば国際会議場), 2006 年 5 月 23 日
20. 中井太郎・van der Molen, M.K.・Gash, J.H.C.・兒玉裕二. 異なる森林における超音波 風速計の angle of attack 依存誤差の補正の影響. 農業環境工学関連学会 2006 年度 合同大会 (農業環境工学関連学会 2006 年度合同大会講演要旨集 CD-ROM P061377.pdf), 2006 年 9 月 13 日
21. 飯田真一・太田岳史・松本一穂・中井太郎・Alexandar Kononov・Trofim Maximov・Michiel van der Molen・Han Dolman・矢吹裕伯. 北方林における上層木および下層植生の群落コンダクタンスの環境応答特性の差異. 第 118 回日本森林学会大会 (於:九州大学箱崎キャンパス. 第 118 回日本森林学会大会学術講演集 CD-ROM. P2a22), 2007 年 4 月 3 日
22. 松本一穂・太田岳史・中井太郎・桑田孝・大黒健一・飯田真一・矢吹裕伯・A.V.Kononov・M.K. van der Molen・兒玉裕二・T.C. Maximov・Han Dolman・服部重昭. 極東域の森林の水・熱交換における共通の潜在的環境応答の概念. 第 118 回日本森林学会大会 (於:九州大学箱崎キャンパス. 第 118 回日本森林学会大会学術講演集 CD-ROM. M14), 2007 年 4 月 3 日
23. 秋山純一・太田岳史・大黒健一・服部重昭・中井太郎・松本一穂・飯田真一・矢吹裕伯・T.C. Maximov・Han Dolman・M.K. van der Molen・兒玉裕二. 温帯から亜寒帯における森林・大気間の二酸化炭素交換特性. 第 118 回日本森林学会大会 (於:九州大学箱崎キャンパス. 第 118 回日本森林学会大会学術講演集 CD-ROM. P2a16), 2007 年 4 月 3 日
24. 田中隆文・太田岳史・松本一穂. LAI測定法再々考. 第 118 回日本森林学会大会 (於:九州大学箱崎キャンパス. 第 118 回日本森林学会大会学術講演集 CD-ROM. P2a20), 2007 年 4 月 3 日
25. 山崎剛・鈴木和良・大畑哲夫. 森林での積雪・着雪のシミュレーション—SnowMIP2 を中心として. 2007 年度日本雪氷学会全国大会 (於:富山大学,

<国際>

1. Kodama, Y., Sato, N., Yabuki, H., Ishii, Y., Nomura, M. and Ohata, T. Seasonal variation of surface fluxes observed over tundra in Eastern Siberia IUGG2003 Sapporo (IUUGG2003 Abstracts Week B. B. 67), 2003 年 7 月 8 日
2. Iwakura, T., Kodama, Y. and Ishikawa, N. Breakup of inversion layer over snowy forested basin. IUGG2003 Sapporo (IUUGG2003 Abstracts Week B. B. 53), 2003 年 7 月 10 日
3. Tanaka, T., Park, H. and Hattori, S. A new practical method of ground-truth survey for forest canopy structure over hundreds meter-size. IALE 2003 Landscape Ecology World Congress (Darwin, Australia), 2003 年 7 月 13 日
4. Nakai, T., Kuwada, T., Yuji Kodama, Y., Ohta, T. and Maximov, T.C. Comparison of aerodynamic characteristics among boreal, cool-temperate and warm-temperate forests. The International Symposium on the Food Production and Environmental Conservation under Global Environmental Deterioration, 2004 年 9 月 9 日
5. Miki, N., Kato, K., Uemura, S., Ono, K., Sumida, A. and Hara, T. Effects of understory dwarf bamboo on daily photosynthesis of leaves and shoots in canopy of a *Betula ermanii* Cham forest, northern Japan. The First EAFES (East Asian Federation of Ecological Societies) International Congress Proceedings of the First EAFES International Congress. p160-160), 2004 年 10 月 21 日
6. Nakai, T., Kuwada, T., Kodama, Y., Ohta, T. and Maximov, T. C. Characteristics of roughness parameters in boreal, cool-temperate and warm-temperate forests. The 6th International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, 2004 年 12 月 3 日
7. Yamazaki, T., Ohta, T., Suzuki, R. and Ohata, T. Flux variation in a Siberian taiga forest near Yakutsk from 1986 to 2000 estimated by a one-dimensional model with routine data. The 6th International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, 2004 年 12 月 3 日
8. Miyahara, M., Takenaka, C., Kuwada, T., Ohta, T., Maximovm T.C. Contribution of cowberry transpiration to evapotranspiration in larch forest. The 6th International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, 2004 年 12 月 3 日
9. Hashimoto, T., Ohta, T., Toba, T., Maximov, T. C. Heat and water exchange of the snowpack and permafrost during the snowmelt season in a larch forest in eastern Siberia. The 6th International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, 2004 年 12 月 4 日
10. Ohta, T., Kodama, Y., Kuwada, T., Nakai, T., Maximov, T.C. Spatial variations of forest effect on the water and energy cycles in the mid- and high- latitude area using canopy conductance model. 5th Int. Sci. Conf. on the Global Energy and Water Cycle. (20-24 June 2005, Costa Mesa CA, USA), 2005 年 6 月 21 日
11. Suzuki, K., Yamazaki, T., Kodama, Y. and Kosugi, K. Parameterization of snow

cover on the coniferous canopy under steady-state conditions. IAMAS (International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences: 国際気象学・大気科学協会) 2005 年会合, 2005 年 8 月 5 日

12. Miki, N., Otsuki, K., Nishimoto, T., Sakamoto, K. and Yoshikawa, K. Effects of growing soil moisture conditions on leaf photosynthetic properties in *Pinus densiflora* Sieb. et Zucc. The XXII IUFRO (International Union of Forest Research Organization) World Congress, 2005 年 8 月 9 日
13. Miki, N., Sakamoto, K. and Yoshikawa, K. Stomatal response and water storage. 2nd EAFES International Congress (Niigata, Japan), 2006 年 3 月 26 日
14. Sumida, A. and Nakai, T. Estimation of a foliage profile in a deciduous forest using a low-cost, portable laser system: an estimation error owing to the method and calculation. 2nd EAFES International Congress (Niigata, Japan), 2006 年 3 月 26 日
15. Matsumoto, K., Ohta, T., Nakai, T., Kuwada, T., Daikoku, K., Iida, S., Yabuki, H., Kononov, A.V., Kodama, Y., Maximov, T.C. and Hattori, S. Common potential responses of canopy conductance to environmental variables in various forests in the Far East region. International Workshop on Flux Estimation over Diverse Terrestrial Ecosystems in Asia- AsiaFlux Workshop2006 - (AsiaFlux Workshop2006 Proceedings. p78), 2006 年 11 月 29 日
16. Nakai, T., van der Molen, M.K., Gas, J.H.C., Kodama, Y., Ohta, T., Dolman, A.J. Yabuki, H., Kononov, A.V. and Maximov, T.C. Effect of correction of sonic anemometer angle of attack errors on eddy fluxes over boreal and cool temperate forests. International Workshop on Flux Estimation over Diverse Terrestrial Ecosystems in Asia- AsiaFlux Workshop2006 - (AsiaFlux Workshop2006 Proceedings. p67), 2006 年 11 月 29 日
17. Iida, S., Ohta, T., Matsumoto, K., Nakai, T., Kononov, A.V., Maximov, T.C., van der Molen, M.K., Dolman, A.J. and Yabuki, H. Differences in environmental responses of canopy conductance between understory vegetation and main canopy trees in a boreal forest. International Workshop on Flux Estimation over Diverse Terrestrial Ecosystems in Asia- AsiaFlux Workshop2006 - (AsiaFlux Workshop2006 Proceedings. p77), 2006 年 11 月 29 日
18. Park, H., Yamazaki, T., Yamamoto, K. and Ohta, T. Modeling temporal-spatial water and energy budgets in North-eastern Siberia by land surface model. International Workshop on Flux Estimation over Diverse Terrestrial Ecosystems in Asia- AsiaFlux Workshop2006 - (AsiaFlux Workshop2006 Proceedings. p106), 2006 年 11 月 29 日

(4) 特許出願

①国内出願 (3件)

1. 発明名称: 葉面積指数の間接測定方法および間接測定システム
 発明者: 田中隆文・太田岳史
 特許出願人: 国立大学法人名古屋大学

出願日:2005 年 12 月 22 日

出願番号:特願 2005-370404

2. 発明名称:森林内光環境測定装置

発明者:田中隆文、太田岳史

特許出願人:名古屋大学長松尾稔

出願日:2004 年 3 月 31 日

出願番号:特願 2004-102832

公開番号:特開 2005-291734

3. 発明名称:気体濃度分布測定装置

発明者:鈴木和良、寄崎哲弘

特許出願人:独立行政法人海洋研究開発機構

東京都豊島区池袋2-54-1東拓ビル4階有限会社クリマテック

出願日:2004 年 11 月 9 日

出願番号:特願 2004-325735

公開番号:特開 2006-133200

②海外出願 (1件)

1. 発明名称:森林内光環境測定装置

(LIGHT ENVIRONMENT MEASURING SYSTEM SUITABLE FOR
MEASURING IN THE FOREST)

発明者:田中隆文・太田岳史

出願国:アメリカ合衆国

出願日:2005 年 3 月 29 日

出願番号:11/091379

公開番号:20050219517

(5) 受賞等

①受賞

なし

②新聞報道

・International Semi-open WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions
with special emphasis on eastern Eurasia"に関して

・"Yakutia", "Zabota" and "Vecherni Yakutsk". Oct, 2004.

・研究活動全体に関して

・" Komsomolskaya Pravda" by Maximov, July 2005.

③その他

・International Semi-open WS on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions
with special emphasis on eastern Eurasia"に関して

・ラジオ報道:"Sakha radio" (interviews by Ohta, Dolman, Moors, Lloyd,
Yamazaki and Maximov). Oct, 2004.

(6) その他特記事項
なし

7 研究期間中の主な活動

ワークショップ・シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
H14.12.27-28	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第1回全員ミーティング	北海道大学低温科学研究所(札幌市)	12	1) 全体研究計画に対する意見交換と検討 2) 全体計画と各メンバーの研究計画の整合性, 重複・欠落部の確認と調整 3) プロジェクトの運営方法の検討 4) PDの雇用とメンバーの強化
H15.2.17-18	第1回グループリーダミーティング	名古屋大学大学院生命農学研究科(名古屋市)	6	H15年度計画の立案
H15.3.17-18	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第2回全員ミーティング	名古屋大学大学院生命農学研究科(名古屋市)	12	1) H15年度の具体的な研究方針の決定 2) 全体研究計画に対する意見交換と検討 3) 全体計画と各メンバーの研究計画の整合性, 重複・欠落部の確認と調整 4) 新規メンバーの役割分担
H15.4.17	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第1回電話会議	研究チームメンバー各自の電話	15	1) 桑田孝: 東シベリアヤクーツク周辺の北方林で得られた生態生理学的知見と今後の展開 2) 太田岳史: ヤクーツク訪問報告
H15.5.14	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第2回電話会議	研究チームメンバー各自の電話	17	1) 三木直子: これまでに明らかになっている内容と今後の測定について 2) 太田岳史: 北ユーラシア地球科学連携の開始に関するワークショップ(NEESPI)の報告
H15.6.12	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第3回電話会議	研究チームメンバー各自の電話	16	1) 宮原美絵: 水ストレスが樹木根系に及ぼす影響 2) 各チームからの経過報告
H15.7.17	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第4回電話会議	研究チームメンバー各自の電話	17	1) 中井太郎: フラックス評価手法の検討 2) 太田岳史: フラックスネットデータを利用したコンダクタンスパラメータの地域性—予備解析の予備解析— 3) その他報告: (1) 母子里観測サイトの設置状況: 児玉, 隅田 (2) 瀬戸観測サイトのデータ取得状況: 桑田, 服部
H15.8.28	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第5回電話会議	研究チームメンバー各自の電話	15	1) 海外観測地報告(1)ヤクーツク(太田, 竹中)(2)カムチャッカ(原, 本間) 2) 国内観測地報告(1)母子里(中井, 隅田)(2)瀬戸(服部) 3) 10月全体ミーティング

				に向けての意見交換
H15.9.18	第2回グループリーダミーティング	名古屋大学大学院生命農学研究科(名古屋市)	6	各チーム今年度前期の報告(問題点を含む). 各チーム今年度(来年度も見越した)後期の計画. 全体計画と照らし合わせた各チーム間の調整. より効率的な予算の執行方法
H15.10.1-2	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第3回全体ミーティング	北海道大学低温科学研究所(札幌市)	15	各観測サイトの報告各メンバーの中間報告, 今後の予定, 後期の計画
H15.10.30	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第6回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	15	1) 小林剛: 異気候帯における植物のガス交換の環境応答-そのアプローチの前提の再整理- 2) 報告(1) ヤクーツク報告(桑田・中井) (2) 高山WS(鈴木)
H15.11.27	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第7回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	16	1) 桑田孝: CRESTサイトでの群落レベルでの蒸発散にかかわる植物生理特性と環境要因 2) 中井太郎: 森林構造の変動に伴う空気力学的特性の変動
H15.12.17-19	北ユーラシア水循環シンポジウム: ＜主催＞GAME 実行委員会、地球観測フロンティア研究システム、地球フロンティア研究システム、CREST(太田チーム)	JAMSTEC 東京連絡所(東京都港区)	37	北ユーラシアの大気陸域系における水循環研究に関する複数のプロジェクト間で、研究内容・成果・今後の計画についての情報交換を行う
H16.1.22	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第8回電話会議:	研究チームメンバー 各自の電話	20	1) 中井太郎: 観測計画の提案 2) 太田岳史: 個葉レベルでの生理特性観測に対する要望 3) 3月全体会議について
H16.2.21	第3回グループリーダミーティング	名古屋大学大学院生命農学研究科(名古屋市)	6	各チームの中間達成点の設定 中間達成点に向けての各グループでのH16年度計画(案)
H16.3.10-12	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第4回全体ミーティング	名古屋大学大学院生命農学研究科(名古屋市)	20	1) 15年度の各自の成果発表 2) 16年度計画 3) 瀬戸観測サイトの見学
H16.3.16	Special seminar by Prof. A.J. Dolman	名古屋大学大学院生命農学研究科(名古屋市)	30	Euro Flux およびシベリアにおけるオランダチームの活動
H16.4.26	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第9回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	20	1) 松本一穂: 個葉レベルにおける気孔コンダクタンスの環境応答特性についての研究報告および今後の研究の方向性について 2) 2004年度第1回 Yakutsk 出張報告(桑田) 3) 新規研究計画(中井太郎)

				4) 山本一清:フィッシュアイ観測について 5) 3 月マキシモフ,ドルマン, 観測F, 北大 造林とのミーティング報告・データ交換(太 田)
H16.5.27	CREST「北方林地帯における水循 環特性と植物生態生理のパラメー タ化」第 10 回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	14	1) 山本一清:(1)Validation and Calibration of MODIS Image、(2)LAI 観測について
H16.6.28	CREST「北方林地帯における水循 環特性と植物生態生理のパラメー タ化」第 11 回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	17	1) 田中隆文:A practical method for ground-truthing surveys of forest canopy structure over distances of hundreds of metres. 2) カムチャッカ観測計画(三木・ 本間) 3) 地球規模水循環変動研究イニ シャティブ(山崎)
H16.7.22	CREST「北方林地帯における水循 環特性と植物生態生理のパラメー タ化」第 12 回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	17	1) 鈴木和良:2004 年冬期観測報告ー結 果と今後の課題ー 2) ヤクーツク春季観 測(桑田・宮原) 3) 瀬戸タワー雷被害(服 部)
H16.9.16	CREST「北方林地帯における水循 環特性と植物生態生理のパラメー タ化」第 13 回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	22	1) 大黒健一:森林の群落構造が林内微気 象の鉛直分布に及ぼす影響 2) YKS-LAI 観測報告:現状と課題(山本) 3) ヤクーツ ク夏季植物生態生理観測報告(松本) 4) 2004 年 7 月のカムチャッカでの生理測定 に関する報告(三木)
H16.10.4	第 4 回グループリーダミーティング ミーティング	名古屋大学大学院生 命農学研究科(名古 屋市)	5	H16 年度報告とチーム間調整
H16.10.15	CREST「北方林地帯における水循 環特性と植物生態生理のパラメー タ化」第 14 回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	22	隅田明洋:レーザー距離計を使った MacArthur-Horn 法による葉量垂直分布の 簡易推定ーダケカンバ林での測定と解析 ー
H16.10.25- 27	"Internatioanl Semi-open WS on C/H ₂ O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia"	寒冷圏生物問題研究 所(ヤクーツク・ロシ ア)	28	ロシア、オランダ、CREST チーム研究発表 (CREST 共催)
H16.11.17- 19	第5回CREST/WECNoF 研究報告 会(「全体ミーティング」改称)	北海道大学低温科学 研究所(札幌市)	21	H16 年度チーム内中間研究報告
H16.12.22	CREST「北方林地帯における水循 環特性と植物生態生理のパラメー	研究チームメンバー 各自の電話	24	1) 1/6-7 領域セミオープンWSの報告内容 (概要)

	タ化」第 15 回電話会議			2) 太田岳史:2004 年度の経過報告と北方林での水循環特性の特徴-生態生理的パラメータと蒸発散特性 3) 隅田明洋:森林動態解析グループの研究戦略 4) 山崎剛:モデルによる水循環分布算出
H17.1.20	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第16回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	20	1) 桑田孝:CRESTタワーサイトにおける群落蒸発散特性 2) 第 6 回 CREST/WECNoF 研究報告会について
H17.2.25	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第 5 回グループリーダーミーティング	名古屋大学大学院生命農学研究科(名古屋市)	5	H16 年度各チームの報告
H17.3.16-18	第6回CREST/WECNoF 研究報告会(「全体ミーティング」改称)	名古屋大学大学院生命農学研究科(名古屋市)	27	H16 年度チーム内研究報告
H17.3.29	第 116 回日本森林学会大会・テーマ別セッション「水・エネルギー・物質循環研究が求める森林科学の課題と到達点ーいくつかの大型プロジェクトの狙いと成果ー」	北海道大学(札幌市)	15	鈴木チーム、恩田チームとの合同研究セッション。森林気象水文学研究分野と水循環の総合的検討。
H17.4.28	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第 17 回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	20	1) ヤクーツク報告(桑田・中井・太田) 2) 中井太郎:Angle of attack correction 3) 兒玉裕二:積雪分布について
H17.6.2	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第18 回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	19	1) 栗田孝:積雪表面からの CO ₂ フラックス観測について 2) 津滝俊:母子里における樹冠降雪遮断の観測について
H17.6.30	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第 19 回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	23	1) 三木直子:林床のササの除去が林冠を構成するダケカンバの葉の形態および生理特性に与える影響 2) 北海道母子里における春季集中観測報告(松本)
H17.7.28	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第 20 回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	25	1) ヤクーツク観測サイト観測結果速報(2005 春季～夏季)(桑田) 2) 5 月～7 月ロシア渡航報告(宮原)
H17.8.23	第 6 回グループリーダーミーティング	北海道大学低温科学研究所(札幌市)	4	中間シンポジウムおよび報告会へのチーム内打ち合わせ
H17.8.24-27	第7回CREST/WECNoF 研究報告会	北海道大学低温科学研究所(札幌市)、母子里観測サイト(北海道雨竜郡幌加内町)	21	H17 年度チーム内中間研究報告、母子里観測サイト運用状況確認

H17.9.15	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第 21 回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	17	小林剛:個葉のコンダクタンス応答特性を解析するための方針
H17.10.27	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第 22 回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	17	太田岳史:「北方林地帯の水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」中間報告
H17.12.22	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第 23 回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	22	1) 朴昊澤:陸面モデルによる北方森林圏での水循環特性の評価 2) 宮原美絵:耐凍性を含めたカラマツ根系の根の生理反応の季節変化
H18.1.26-28	2nd International WS on C/H ₂ O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia	アムステルダム自由 大学(オランダ)	40	ロシア、オランダ、CREST チームの研究発表(CREST 共催)
H18.2.16	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第 24 回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	19	1) 鈴木和良:森林冠雪実験の予備解析と今後の予定 2) アムステルダム WS (1/26-28) 報告
H18.3.15	第 7 回グループリーダーミーティング	名古屋大学大学院生 命農学研究科(名古屋 市)	4	H18 年度研究実施内容打ち合わせ
H18.3.16-17	第 8 回 CREST/WECNoF 研究報告会	名古屋大学大学院生 命農学研究科(名古屋 市)	18	H17 年度チーム内研究報告
H18.5.11	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第 25 回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	20	2006 年 4 月ロシア観測速報(中井・太田)
H18.6.15	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第 26 回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	18	1) 朴昊澤:東シベリア森林地における水収支の年々変動について:データに関する報告 2) 飯田真一:YKS-Larch サイトの地中熱流量の補完(推定) 3) 松本一穂:瀬戸サイトの SAT データ補完(推定)
H18.6.24	第 8 回グループリーダーミーティング	北海道大学低温科学 研究所(札幌市)	5	H18 年度研究実施内容打合せ
H18.7.20	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第 27 回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	16	1) 飯田真一:ヤクーツク・カラマツ林における下層植生の群落コンダクタンスの環境応答特性 2) 朴昊澤:2LM と分布型水文モデルによる流出量の初期計算結果について
H18.8.28-30	Third International Conference The	ロシア科学アカデミー	50	CREST 共催国際ワークショップ

	Role of Permafrost Ecosystems in Global Climate Change	寒冷圏生物問題研究所(ヤクーツク、ロシア)		
H18.9.14	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第28回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	21	1) 秋山純一: CREST5 サイトの森林・大気間における CO ₂ フラックスの品質管理 2) 中井太郎: ヤクーツク報告
H18.10.17	第9回グループリーダーミーティング	東北大学理学部(仙台市)	4	H18 年度研究実施内容打合せ
H18.10.18-20	第9回CREST/WECNoF 研究報告会	東北大学理学部(仙台市)	23	H18 年度チーム内中間研究報告
H18.12.14	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第29回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	15	吉田龍平: 2LM を用いた潜在的応答特性の検証(1) EUROFLUX
H19.1.18	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第30回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	19	CREST 領域会議報告、チーム主催 WS 案内ほか
H19.1.29-2.1	3rd International WS on C/H ₂ O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia	名古屋大学野依記念 学術交流館(名古屋市)	35	ロシア、オランダ、CREST チーム研究発表 (CREST 主催)
H19.3.14	第10回グループリーダーミーティング	名古屋大学大学院生命農学研究科(名古屋市)	4	H19 年度研究実施打合せ
H19.3.15-17	第10回CREST/WECNoF 研究報告会	名古屋大学大学院生命農学研究科(名古屋市)	28	H18 年度チーム内研究報告
H19.5.25	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第31回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	20	1) 太田岳史: ヤクーツク・カラマツサイトの水収支の年々変動とその規定要因-1998-2006の結果 2) ヤクーツク報告・2007年4月(中井) 3) ヤクーツク報告・2007年5月(山崎)
H19.6.21	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第32回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	15	1) 八田茂実: レナ川スケールでの流出の現況解析 2) 朴昊澤: IPCCデータセットによる解析について
H19.7.30	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第33回電話会議	研究チームメンバー 各自の電話	15	1) 朴昊澤: IPCC データによるユーラシア域における水・エネルギー収支の将来予測 2) ヤクーツク渡航報告・2007年6月(伊藤)

H19.8.20	第 11 回グループリーダーミーティング	名古屋大学大学院生命農学研究科(名古屋市)	4	最終報告とりまとめ打合せ
H19.8.21-23	第 11 回 CREST/WECNoF 研究報告会	名古屋大学大学院生命農学研究科(名古屋市)	24	最終報告取りまとめ方針、H19 年度チーム内研究報告
H19.10.18	CREST「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」第 34 回電話会議	研究チームメンバー各自の電話	20	太田岳史:「北方森林帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」ー最終シンポの発表内容ー
H19.11.30	第 12 回 CREST/WECNoF 研究報告会	北海道大学(札幌市)	13	”Beyond CREST/WECNoF. 何が消化され？, 何が課題か？”

8. 結び

(1) 研究の目標から見た達成度

研究計画立案時と現地自然条件下で得られている結果の解釈が変わっていったが、北方林の生理的応答特性を他の気候帯の森林の特性と並行的に解析することにより明らかにすることができた。また、その応答特性を北方林特有のものではなく、多様な森林群落の中で共通の応答特性を導出することでパラメータ化できた事で、大きな目標は達成できた。しかし、本研究で用いた陸面モデル、流出モデルにまだ反映されていない素過程もあることも事実である。既存の他モデルによる出力の比較検討による不確定性の議論も今後必要になると考えられる。また、2100年までの将来予測に関しても、予測結果の吟味と解釈に関しても現時点では十分に行えたとは言えない。

本研究チームでは先行プロジェクトからの成果を引き継ぎ長期観測を継続していること、本 CREST 計画で立ち上げた観測サイトもなるべく長期のデータセットを獲得して一般性を高めたいことなどから、研究期間後期にもデータの収集をはかり、解析を並行させて進めた。そのため、研究成果の公表はやや遅れている。しかし、**6. 成果発表等**のところに記されているように、Agricultural and Forest Meteorology 誌の special issue に多くの投稿が予定されており、この他にも今後多くの成果が公表され则认为している。

上記の点から考えて、当初の 80-85%の達成度と研究代表として判断している。

(2) 得られた成果の意義

本研究チームで提唱した“潜在的”応答特性の概念は、非常に斬新な考え方であると判断している。この様に、植物種を問わずに共通の植物戦略を議論したものは、Write et al. (2004) による個葉スケールの議論は見られるが、群落スケールで論じた研究グループはおそらく世界ではじめてと考えられる。そして、この概念で流域スケールの水収支も再現されたことは注目される。森林あるいは樹木はかなり広い範囲で共通した応答特性を有しているという考え方は、水文学、気象学のみでなく森林生理生態学にもインパクトを与えるものと考えている。

また、シベリアの大陸河川の流出特性を 18 水年にわたり同一パラメータで再現し得たことも特筆に値する。

(3) 今後の研究の展開

本研究により新たな課題として浮かび上がった主なものとして、以下の課題が挙げられる。

- ✓ 森林、樹木の環境応答特性
 - G_{smax} と g_{smax} : “潜在的”応答特性の群落と個葉の整合性
 - 各地域間で種々の時間スケールで、蒸発散特性を規定する要因は何か?
 - ・ 3. 2. 1. 2). i において、日変動の規定因子がサイトにより異なっていることが示唆されたが、定量的な理解には至っていない。
 - ・ この検討は、“潜在的”特性の概念のような共通の応答関数が提示されてはじめて、議論が可能となる。
 - 他大陸や熱帯への適用と問題点の抽出
 - ・ 本研究でも実施しているが、より広範に検討を加える必要がある。

- CO₂に関して、水と同じ概念が適用できるか？
- 草本への適用
- ✓ 大陸河川スケール
 - 大陸河川スケールでの、土壌水分の時空間情報
 - 「非常に」遅い流出成分の実態
 - ・ モデルによる解析結果は、現地研究者のレポートと定性的には一致するが、実態を理解したモデル化が必要となる。
 - 流出涵養域の実態
- ✓ その他
 - フェノロジーの定量化とパラメータ化
 - 衛星：広域 LAI の推定アルゴリズム
 - ・ 空気力学的特性の把握に必要な森林物理量は、引き出せるか？
 - ・ LAI に定義の統一化

（４）代表者としてのプロジェクト運営について

研究代表者は、水・エネルギー循環に対して植生圏の重要性が近年強く認識されているが、気象水文学領域と植物生態生理学領域の研究者が、同じ土俵で議論を進めていく研究は不足していたように認識していた。この観点から、植物生態生理学の領域からの研究者の方にもかなりの数の参加をいただいた。ベースとする研究領域が大きく異なる分野の共同体であることに加え、地理的に各研究者の所属部局が大きく離れていることから、チームとしての意志疎通と合意形成を得ることに配慮した。このために、年２回の全員が集まる研究集会に加え、チームとしてのセミナーの役割を果たす電話会議を開催した。この結果、研究開始当初は気象水文学領域と植物生態生理学領域の間に感じられたギャップがかなり解消され、チームとしてのまとまりは生まれてきた。また、研究３年目に行われた中間評価も、チーム自身の方向性を見直し、再検討するよい機会であった。

また、研究代表者個人としては、研究チームとしての研究の方向性、成果と各個人の研究の興味の対象とチームへの貢献のバランスは、常に気に懸かる点であった。この点をスムーズに進めるために、全員による研究集会とは別に研究代表とサブリーダーによるリーダーミーティングも多く行い、チーム間の意志疎通、チームと個人のバランスがはかれるように努力したつもりではある。しかし、各研究者の方には種々不満も生じたことと思ひ、今後、このようなプロジェクト型研究を行う場合、その運営のための糧としたい。

若手研究者育成に関しては、国立大学法人、独立行政法人の研究機関に本研究の PD 研究者から採用していただくことができた。また、博士取得者 3 名（予定）、修士取得者 5 名（予定を含む）を排出できた。ただ、PD 研究者からの育成が十分に行えたかに関しては、反省すべき点があった。

最後に海外において観測研究を進めてゆく姿勢として、オランダチームから学ぶべき点は多かった。これまで研究代表者が参画した海外調査の多くは、計画立案から実行まで日本人が主体のものが多かった。しかし、オランダチームの現地研究を推進する姿勢は、「あくまでも主役は現地研究機関にある」と感じられ、この結果、現地研究者の研究意欲も非常に向上した事は事実である。相手側の研究レベルの如何に関わらず、海外では観測現地

を提供していただいております。獲得されたデータも現地研究機関の所有するものであると言う姿勢は非常に重要なことと感じた。今後、海外で調査研究を行う姿勢として忘れてはならない事であると思う。

（５）戦略的創造研究推進事業に対する意見、要望

CREST 研究開始当初は、JST 直轄による経費と大学への受託研究費の２本立てで煩雑さも覚えたが、それぞれの経費の使用に関する不都合な点を補い合う形で使用できたことは、現在となっては良かった点になっている。この点が、平成 19 年度以降、ほとんどの研究費が各研究機関への委託研究費によって行われるようになったことは、研究経費使用上の弾力性が失われないかと危惧を感じる。

また、本研究チームは海外での研究に比重も高く、海外研究機関との共同作業も、研究推進の中で非常に重要な位置を占めた。日本の研究費を使用して遂行しているのであるから、日本流の事務運営が強くでてくるとも致し方ないと思われる。しかし、研究フィールドは海外にあり、フィールドを利用させていただいて研究を進めていることも事実である。そのため、本人にとっては当然のことも、海外研究機関の方は非常に煩雑な手続（日本側にとっても少なからずあったが）と写った面もあった。今回の現地研究者とは本 CREST 開始以前から 10 年近くの研究交流があり“日本慣れ”されているためか理解していただけただが、より柔軟な対応は必要ではないだろうか？それでも、JST はかなり柔軟に対応していただけたが、上記のように研究機関への委託研究にほとんどの研究費用が移管されることは、この点に関しても今後危惧を感じる。

本研究チームはロシアを対象としており、ロシアの近年の種々の規制強化から中間評価時にも「外務省、在モスクワ大使館担当官への一層の支援要請を行えないか」とのコメントをいただいている。本チームも日露科学技術協定への登録を目指すなどのチームとしての努力を行ってきた。しかし、この様な 2 国間の問題は各研究プロジェクトが個別に働きかけてもその効果は小さいと思われ、文部科学省、外交への JST としての働きかけなどを今後積極的に行っていただけることを期待する。

CREST 研究では、研究開始 3 年目に中間評価がある。“評価”というと通信簿のような研究チームに対する成績付けのような印象を抱きがちであるが、本領域では“研究チームが実行したいこと”に対して“研究期間後半でどの様に進めてゆけばよいか”という建設的なご意見を多く頂けたと感謝している。単に“成績評価”にとどまらない評価が今後も行われる事を期待する。

最後に研究費の公募、申請のあり方に関して、感じたことを記させていただく。現在日本の多くの競争的研究費は、研究計画、メンバーなどをかなり煮詰めた段階での申請と審査が行われている。この手法とは別に、研究代表者とコアとなる研究協力者程度の段階で研究構想の概要段階で公募、審査を行い、採択された課題は、その後採択時のコメントを参考に半年程度で研究実行計画を立案し、再度審査の後最終採択課題が研究に移行するという制度も考えられると思う。この様にすることで、より柔軟でかつ優れた研究が実行されるのではないだろうか。

(6) 謝辞

本研究チームが行った研究は CREST メンバーのみによって行えたわけではない。現地観測では、ヤクーツク地域では、JAMSTEC・地球環境観測研究センター，ロシア科学アカデミー・北方圏生物問題研究所，オランダ・アムステルダム自由大学，ワッハニンゲン大学（Alterra），母子里地域では北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター，北海道大学 21 世紀 COE（生態地球圏システム劇変の予測と回避），瀬戸地域においては名古屋大学大学院生命農学研究科など，多くの機関と方々のご支援を受けた。また，研究実施全般にわたっては虫明研究総括はじめ研究アドバイザーの方々，実施に懸かる事務的側面からは増田技術参事をはじめ研究領域事務所のスタッフの方々のご助言とご支援を受けた。

最後に，本研究チームを支えてくれた多くの方々に心から感謝の意を表します。

研究チームのスナップ



ヤクーツクでの第1回WS (2004/10)



アムステルダムでの第2回WS (2006/01)



名古屋での第3回WS (2007/01)



ワークショップ会場風景



観測機器設置のための永久凍土穿孔



下層植生の調査