

「水の循環系モデリングと利用システム」

平成14年度採択研究代表者

太田 岳史

(名古屋大学大学院生命農学研究科 教授)

## 「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」

### 1. 研究実施の概要

【研究のねらい】本研究チームは、高緯度森林帯における水循環に対する森林の影響を解析し、その時空間的分布特性を明らかにすることにより、高緯度帯森林帯での水収支特性の現状の理解と数10年から50年スケールでの環境変動による水循環、水収支特性の変動を予測することを目的としている。そのために、現地観測、既存データセットの活用、衛星による広域情報の獲得、モデリングなどの解析・研究手法を用い、水循環特性の解析を行っている。

【研究の概要】平成16年度は昨年度から開始された4地域6観測サイト（5タワーサイト）における現地観測を継続し、群落スケール、個葉スケールでの水循環に関する地域間比較研究を行った。また、既存データセットの収集と解析を行い、水循環に関する森林の応答特性の空間変動解析を進めた。より大きなスケールでの水循環特性を把握するために、シベリア河川流域での水収支・流出特性の解析を開始した。高緯度森林帯特有の冬期過程把握のために、降雪の樹体貯留・昇華に関する室内実験を行うとともに、北海道・母子里観測サイトに大型ライシメータを設置し、樹体貯雪量、雪面昇華、融雪量の観測を開始した。同時に広域での森林構造情報取得のための衛星データの蓄積を計るとともに、地上データとの比較・検証を開始した。モデリング研究では、現地観測から得られたパラメータセットを用いて5タワーサイトでの水・エネルギー循環特性の再現を行った。また、新たに河川流出解析を行うメンバーを加え、レナ川を中心として流出解析のための基礎解析を行った。

【研究の成果】本年度の研究で得られた成果概要は、以下の通りである。1) 個葉スケールでの解析により、同樹種であっても異なる気候帯に生育する森林の環境応答特性は大きく異なる事が示された。しかし、環境制御下での実験により異気候帯の同じ樹種が有する固有の応答特性には自然条件下ほどの大きな特性の相違を示さないことが示された。これは、自然条件下での森林は“順応”しているのではなく、環境に“順化”した応答を示している可能性が高いことを示唆している。2) 群落スケールでの観測結果より、高緯度に成立する森林ほど、水・エネルギー循環に対する植生の影響が強い傾向にあることが示さ

れた。3) 北方林では下層植生からの蒸発散量が森林全体からの蒸発散量に大きな割合を示すことが再指摘された。上層植生と下層植生の上に水利用の競争関係が認められ、この影響が春期に顕在化することが示唆された。4) 森林が有する空気力学的特性は既存のモデルで多用されるLAI, PAIなどの葉群の変動のみで森林の群落構造を表現する手法では表現されないことが示された。5) 当チームの5タワーサイトの結果と既存データセットを用いて、中緯度～高緯度森林帯でのコンダクタンスモデル内のパラメータの空間分布を検討し、観測サイトの気候値とパラメータの間に有意な相関が認められることを示した。6) 平成15年度から蓄積しているMODIS/LAIの現地検証を行った。高解像度衛星(ASTER)の結果と組み合わせることで、広域LAIの推定が可能であることが示唆されたが、高緯度森林帯では下層植生の評価が問題として残ることか示された。7) 陸面モデル(2LM)に個葉生理SGにより得られた生理パラメータを用いて、各観測サイトの水・エネルギー交換過程の基本特性が再現されることが示された。レナ川を対象として、5'メッシュ河道網モデルを作製し、本モデルで流域地形特性が再現可能であることを確認した。また、kinematic wave法により洪水追跡、流出解析が可能であることを確認した。

【今後の見通し】1) 陸面水循環解析G：5タワーサイトにおける水循環素過程の解析を進め、各気候帯ごとの特徴を抽出する。また、森林phenologyの支配要因を各観測サイトにおいて抽出するとともに、群落スケールでの植生の生理状態のモデル上での評価を試みる。また、降雪の樹冠貯留・遮断に関する室内実験結果の解析を進めるとともに、母子里観測サイトに設けた大型ライシメータの観測から降雪遮断、昇華、融雪などの冬期過程を母子里サイトを中心に明らかにしてゆく。平成16年度に示されたBig leaf型コンダクタンスモデル内のパラメータの分布をもとに流域スケールでの蒸発散量の時空間分布を推定する。2) 森林動態解析G：個葉スケールでの生理特性の解析を複数の樹種に関して進めるとともに、個葉スケールの生理特性と群落スケールでの生理特性の関連検討を進める。また、陸面水循環Gと森林動態解析Gの共同作業により、空気力学的特性のパラメータ化に対する森林構造的な評価手法の検討を進める。そして、中解像度衛星データ、高解像度衛星データの組み合わせにより、広域の空気力学的特性の把握に資する。3) 陸面水循環ー森林動態モデリングG：個葉生理SGが導出したモデルパラメータを基礎にチューニングを行い、5観測サイトの水・エネルギーフラックスの季節変動、日変動の再現を行い、各気候帯での水循環特性を解析的に明らかにする。また、陸面水循環Gが導出するBig leaf型コンダクタンスモデルパラメータの空間分布と調整を行い、2LMを用いて広域蒸発散量の検討を行う。そして、分布型流出モデルとのカップリングを行い、北方森林帯での蒸発散、河川流出特性の抽出を行う。

## 2. 研究実施内容

【研究目的】北方森林帯での水循環特性を明らかにし、環境変動による対象地域の水循環システムの変動予測に資するために、個葉、群落スケールでの水循環特性の実験、観測を

行いその実体を理解し、気候帯による森林の環境応答特性の変化を把握する。そして、得られた知見を基礎に衛星データ、モデルなどを用い、北方森林帯での蒸発散特性、河川流出特性の現況評価と環境変動による変化を解析する。このために、本チームは大きく3つのグループから構成されている。各グループにおける平成16年度の研究実施内容の外洋は以下の通りである。

①陸面水循環解析グループ：

(1) 1次元水収支の相違

2003年10月から2004年9月までの各観測サイトにおける1次元水収支が把握された。表1はその結果をまとめたものである。シベリアの2サイトでは年間降水量のほとんどが蒸発散量になっており、流出へ寄与する成分がほとんどないことが分かる。そして、高緯度に向かうにつれて水収支に占める蒸発散量の割合が大きくなることが分かる。遮断蒸発量はその絶対値には各サイト間で大きな相違があるが、水収支に占める割合という相対的な比率では10-20%を示しており、サイト間で大きな相違はない。

以上のことから、北方林では蒸発散量の重要性が中緯度森林帯より大きく、その重要性が指摘される。

表1 各サイトにおける1次元水収支

Site	Period	Precip.	Evaptrans.	Intercept.	(E + I) /Soil mois	
YKS / L	2003/10/1-2004/9/30	150.0	161.0(1.07)	21.0(0.14)	<b>1.21</b>	
	5/20 - 9/ 27	97.0*	161.0	21.0		
	-5/20	53.0	-----	-----		
YKS / P	2003/10/1-2004/9/30	150.0	138.0(0.92)	34.0 (0.23)	<b>1.15</b>	
	5/20 - 9/ 27	97.0*	138.0	34.0		
	-5/20	53.0	-----	-----		
MOS/ B	2003/10/1-2004/9/30	1430.8	612.1 (0.43)	385.0(0.27)	<b>0.70</b>	
	4 - 10	796.3	461.0	270.7		
	11- 3	634.5	151.1	114.2		
MOS/M	2003/10/1-2004/9/30	1367.3	829.6	186.0(0.14)	<b>0.74</b>	
	4 - 10	766.0	714.3	137.9		
	11- 3	601.3	115.3	48.1		
SET	2002/10/1-2003/9/30	1867.0	520.9(0.28)	252.0	<b>0.41</b>	-21
	4 - 10	1470.5	377.2	207.0		
	11- 3	396.5	143.7	45.0		
	2003/10/1 - 2004/9/30	1208.5	420.1(0.35)	163.0	<b>0.48</b>	30.5
	4 - 10	844.5	282.2	122.0		
	11- 3	364.0	137.9	41.0		

\* : 北大農学部チームより提供. \*\* : 平年値

(2) 水循環に対する植生の寄与

ロシア・ヤクーツク，北海道・母子里，愛知・瀬戸の5サイトでの群落スケールでの水・エネルギー循環の観測を継続した。各サイトで得られた decoupling factor の経時変化を図1に示す。各サイトとも植物生育期に値が大きくなる（植生の影響が小さくなる）傾向が共通している。また，高緯度ほど値が小さく，水循環に果たす植生の影響が強くなることを示している。

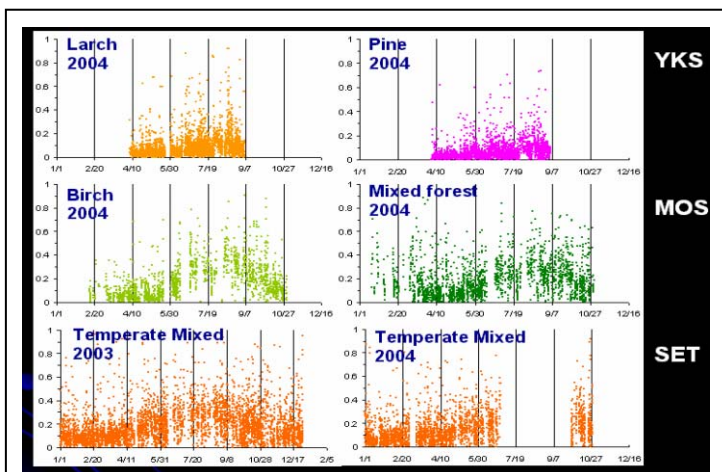


図1 5観測サイトでのdecoupling factor

(3) 下層植生の役割

図2はシベリアにおける下層植生（コケモモ）と森林全体からの蒸散量の季節変化を示している。これより下層植生が水循環に重要な役割を果たしていることが分かる。また，下層植生の蒸散には上層植生のphenologyが強く影響されていることが示唆された。

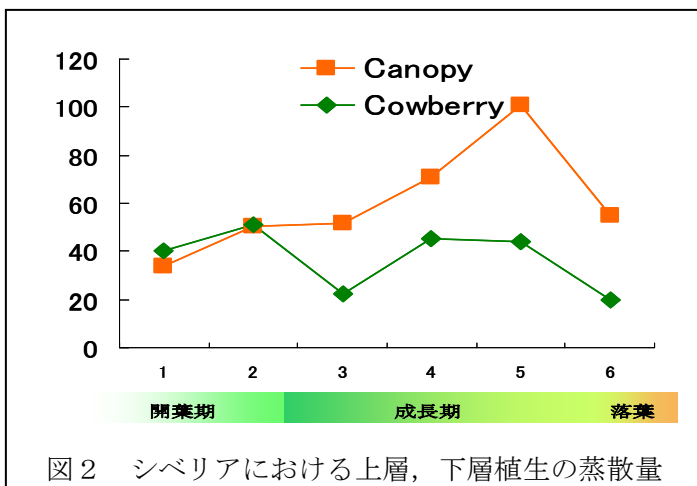


図2 シベリアにおける上層，下層植生の蒸散量

(4) 空気力学的特性

図3は5タワーサイトにおける0面修正量の実測値と計算値を示している。いずれの計算結果も実測値で得られる変動傾向を再現していない。また，同一森林での着葉，落葉による空気力学的特性の変動よりも森林間での変動の方が大きい。これらのことより，空気力学的特性は葉量の変動よりもより根本的な森林構造の変動によって決定されることが示唆される。

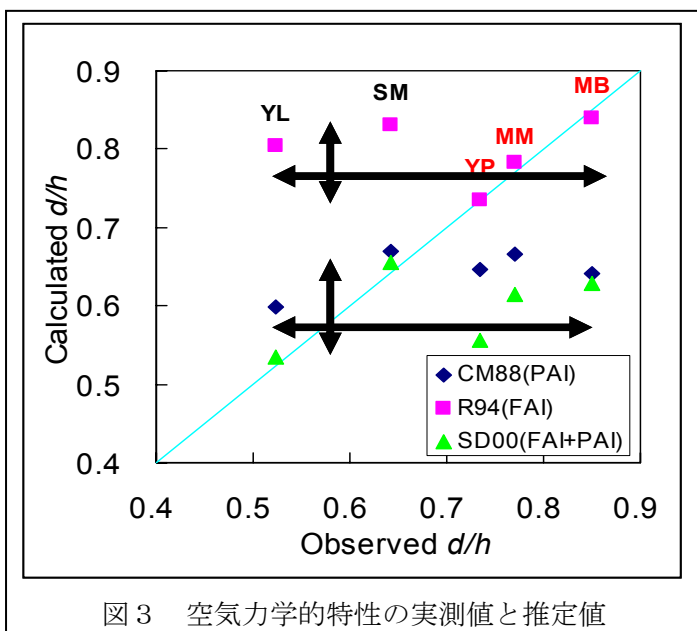


図3 空気力学的特性の実測値と推定値

(5) コンダクタンスモデルパラメータの空間分布

Jarvis型群落コンダクタンスモデル内のパラメータと気候値の間に有意な相関関係が認められた。この結果を基にユーラシア大陸東部におけるパラメ

一タの空間分布を推定したものが図5である。この空間分布をもとに蒸発散量の変動を推定したところ、同一気象条件下で東シベリア中部の蒸発散量は日本国内の約1/4~1/3に抑制されることが推定された。

②森林動態解析グループ：

(1) 個葉スケールでの植物生理応答

ヤクーツクおよびカムチャッカ研究siteにおけるカンバとカラマツ、母子里研究siteのカンバについて、着枝状態の自然条件下と、切り枝による個葉レベルでの制御条件下の植物生理特性

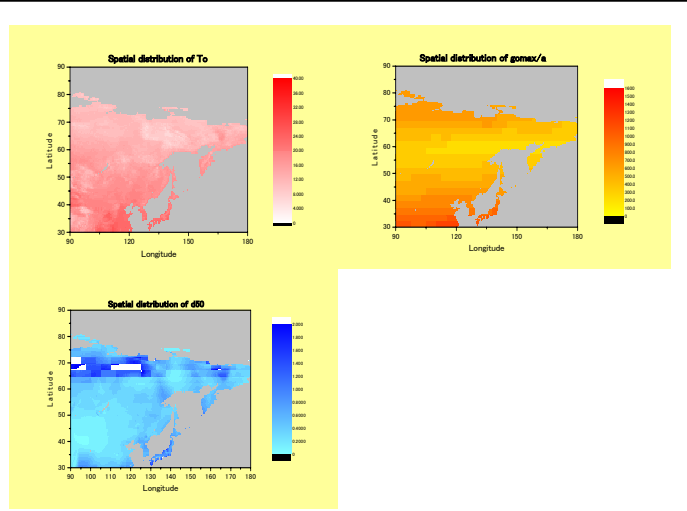


図4 コンダクタンスモデルパラメータの空間分布

について測定・解析を行った。上記3siteのカンバデータの解析の結果、切り枝による生理的潜在能力としての個葉の気孔コンダクタンスの地域間格差はそれほど大きくなかった(図5上)が、自然条件下では環境に対する生理反応の地域間格差が大きかった(図5下：縦軸の桁が違うことに注意)。このことは、生育環境が樹木の生理応答を強く規定していることを示唆している。今後はカラマツデータの解析を進めるとともに、個葉の気孔コンダクタンスと群落コンダクタンスとの関連についても検討する。

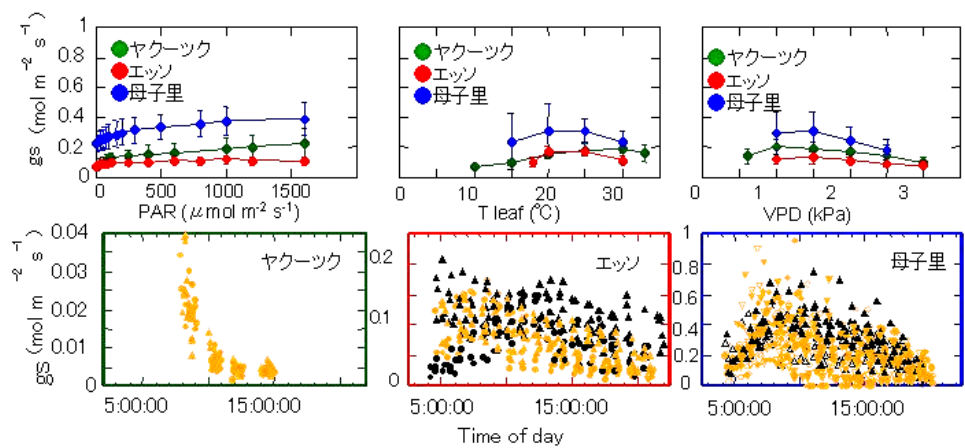


図5. 切り枝による、カンバ属樹種の気孔コンダクタンスの環境値に対する反応(上)、および着葉状態での自然条件下に対する気孔反応の日変化(下)

(2) 林冠構造の調査法開発と森林構造の解析

森林の熱・水収支は林冠構造と深くかかわっていることから、「全天空距離画像」による林冠構造解析手法を開発し、特許を申請した。この方法により、林冠の粗度が地上やタワー上からの測定で可能となった。今後はこの林冠3次元構造実測データに基づく林冠構

造数値実験等もあわせ、陸面水循環解析グループが進めている林内のNDVI測定に対して分光放射特性や葉量、林冠構造がどの程度影響するかについて解析を進める。また陸面水循環解析グループが進めている空気力学的解析に対して森林構造を表すパラメータがどのように関わるかについて解析した結果、森林群落高の定義の仕方そのものがパラメタライズにおいて重要な要因であるという初期解析結果を得た。

### (3) 衛星データによる森林構造解析と検証

前年度に引き続き、研究対象領域のMODIS衛星データのアーカイブ（LAIデータに加え、反射データ及びNDVIデータを追加）を行うとともに、日本及びヤクーツクにおいて、MODIS/LAIの精度検証のための現地測定を実施し、MODIS/LAIの精度検証を行った。その結果、公開された研究対象領域のMODIS/LAIは実測値よりも大幅に過大評価である可能性が明らかとなった（図6）。検証用リファレンスLAIの空間代表性の問題を解決するため、中分解能衛星による広域検証データ作成手法の検討を行った。

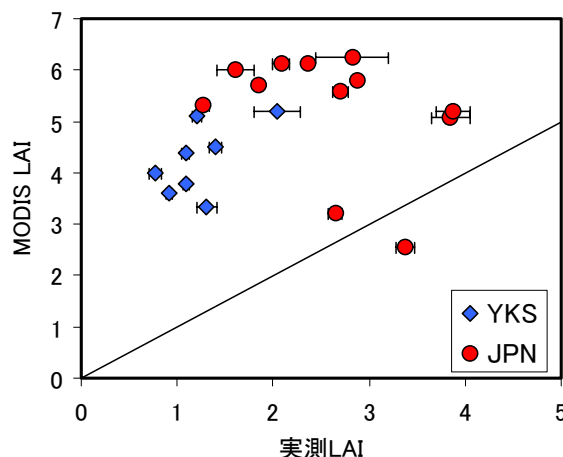


図6 MODIS/LAIの検証結果

### ③水循環－森林動態モデリンググループ

#### (1) 陸面過程モデル(2LM)

陸面過程モデル(2LM)をヤクーツク、母子里、瀬戸の各観測サイトに適用した。第一段階として、森林動態解析グループによって取得された着枝自然条件下での個葉レベル気孔パラメータをそのまま用いてシミュレーションを行った。結果として、各サイトの水・熱フラックスの季節変化を大まかに再現することができた。図7にモデルによるフラックスの計算例とボーエン比の観測との比較を示す。ボーエン比は冬期に潜熱の絶対値が小さいため、ばらつきが大きくなるが、U字型の季節変化、夏期の値を再現している。パラメータに対する敏感度を調べたところ、個葉の最大コンダクタンス、乾燥に対するコンダクタンスの低下を表すパラメータが重要であることが示唆された。細かい季節変動や日変化についてはパラメータの吟味、モデルの挙動を含めて今後検討していく必要がある。

また、降雪遮断を取り込んだモデルにより、冬期の着雪に対する貯熱の取り扱いが重要であることがわかった。ヤクーツクサイトに関して、ルーチンデータにより過去15年間の蒸発散特性を解析するとともに、植物フェノロジーの影響を検討した。



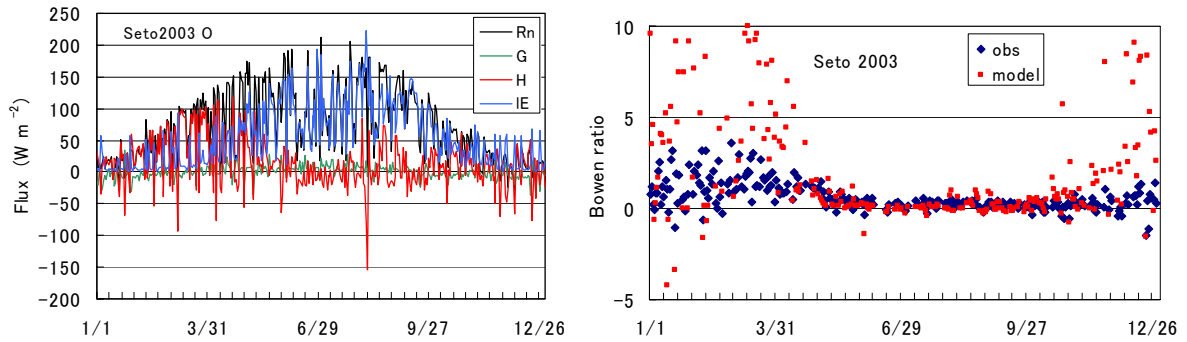


図7 モデルによる計算例. 瀬戸2003年. 左: 熱フラックス. 青が潜熱フラックス, 赤が顕熱フラックス. 右: ボーエン比 (顕熱/潜熱). 観測によって求められた値との比較.

## (2) 流出モデル

レナ川流域について, 主要な流量観測点 (流域面積10,000 km<sup>2</sup>以上) のデータの整理を行った. これらのデータから平均的な洪水伝播速度などを検討した. その結果, 河道流を一定流速で追跡する場合, 1.5 m/s程度以下の流速を与えるのが妥当と判断された.

流出モデルに関して, レナ川の流域界を設定し, 5' メッシュの河道網による流域モデルの作成を行った. データとしてEtopo2およびhydro-1K (実河道) を利用した. 図8に作成した流域図を示す. 主要な流量観測点を流域モデル内に配置し, 公表されている流域面積と流域モデル上の流域面積が一致することを確認した. また, 流域に一定雨量を与えて, 流速一定およびkinematic wave法による洪水追跡, 流出計算が可能であることを確認した.

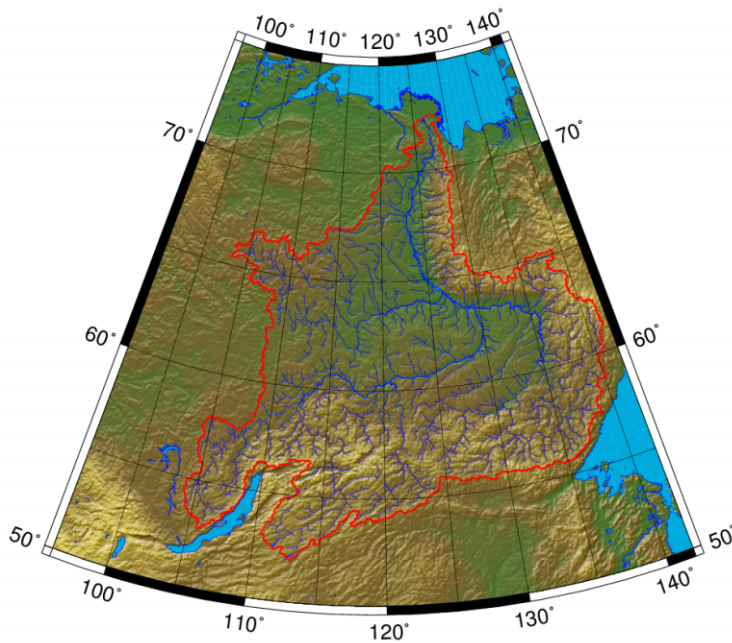


図8 作成した流域図.

### (3) モデル入力データセットの整備

対象とする北東ユーラシア域の水循環特性の時空間分布を得るために、入力データセットを他の2グループと共同で整備した。特にルーチンデータから放射量を推定する部分を担当した。

## 3. 研究実施体制

### 陸面水循環解析グループ

- ① 研究分担グループ長：太田岳史（名古屋大学大学院生命農学研究科、教授）
- ② 研究項目：1) 水・エネルギー・CO<sub>2</sub>循環の素過程の解明
  - @水循環に対する植生の影響の気候帯ごとの相違の抽出
  - @森林の空気力学的特性
  - @下層植生の水循環への影響
  - @冬期過程
  - @植物フェノロジー、生理状態と水循環特性
- 2) 既存データセットも用いたコンダクタンスモデルパラメータの空間分布と広域蒸発散量の推定
- 3) 流域スケールでの水収支、水循環特性
- 4) データベースセンターの維持

### 森林動態解析グループ

- ① 研究分担グループ長：隅田明洋（北海道大学低温科学研究所、助教授）
- ② 研究項目：1) 個葉スケールでの植物生理応答
- 2) 林冠構造の調査法開発と森林構造の解析
- 3) 衛星データによる森林構造解析と検証

### 水循環－森林動態モデリンググループ

- ① 研究分担グループ長：山崎 剛（地球環境観測研究センター、サブリーダー）
- ② 研究項目：1) 陸面過程モデル(2LM)の観測地域への適用と改良
- 2) 北方圏分布型流出モデルの開発
- 3) モデル入力データセットの整備



4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

(1) 論文発表

著者	タイトル	学会誌名	掲載日
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, p58-60	2004. 2
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（2004）NO. 52, p233-234	2004. 2
TAKESHI NAKATSUKA, KEIKO OHNISHI, TOSHIHIKO HARA, AKIHIRO SUMIDA, DAISUKE MITSUISHI, NAOYUKI KURITA and SHIGERU UEMURA	Oxygen and carbon isotopic ratios of tree-ring cellulose in a conifer-hardwood mixed forest in northern Japan	Geochemical Journal, Vol.38, pp77-88, 2004	2004. 3
Kobayashi, T., Shimano, K. and Muraoka, H	Effect of light availability on the carbon gain of beech ( <i>Fagus crenata</i> ) seedlings with reference to the density of dwarf bamboo ( <i>Sasa kurilensis</i> ) in an understory of Japan Sea-type beech forest	Plant Species Biology 19: 33-46 (2004)	2004. 4
Akio Inoue, Kazukiyo Yamamoto, Nobuya Mizoue, Yuichiro Kawahara	Calibrating view angle and lens distortion of Nikon fish-eye converter FC-E8	Journal of Forest Research (2004)9:177-181	2004. 5

TSUTOMU WATANABE, MASAYUKI YOKOZAWA, SEITA EMORI, KUMIKO TAKATA, AKIHIRO SUMIDA and TOSHIHIKO HARA	Developing a Multilayered Integrated Numerical Model of Surface Physics-Growing Plants Interaction (MINoSGI)	Global Change Biology (2004) 10, 963-982	2004.6
Takeshi Yamazaki, Hironori Yabuki, Yoshiyuki Ishii, Takeshi Ohta and Tetsuo Ohata	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	2004.6
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 ( <i>Pinus densiflora</i> 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)	2004.6
JIRI DOLEZAL, HIROAKI ISHII, VALENTINA P. VETROVA, AKIHIRO SUMIDA and TOSHIHIKO HARA	Tree Growth and Competition in <i>Betula platyphylla-Larix</i> <i>cajanderi</i> Post-fire Forest In Central Kamchatka	Annals of Botany94: 333- 343, 2004	2004.6
Akio Inoue, Kazukiyo Yamamoto, Nobuya Mizoue, Yuichiro Kawahara	Effects of image quality, size, and camera type on forest light environment estimates using digital hemispherical photography	Agricultural and Forest Meteorology126 (2004) 89-97	2004.11

YOSHIYUKI ISHII, YUJI KODAMA, RYO NAKAMURA & NOBUYOSHI ISHIKAWA	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	2004.12
Taro NAKAI, Takashi KUWADA, Yuji KODAMA, Takeshi OHTA and Trofim C. Maximov	Comparison of aerodynamic characteristics among boreal, cool-temperate and warm- temperate forests	Journal of Agricultural Meteorology, 60(5), 689- 692, 2005	2005.2
論文国際 7      国内 5			

(2) 特許出願

H16年度特許出願件数：2件（CREST研究期間累積件数：2件）