

## 「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】森林は全陸域の約1/3を占めており、その中で北方林は30%を占める。また北方林の成立範囲は、温暖化が最も顕在化すると予測されている地域と一致している。対象とする地域は寡雨、寒冷な気候条件で代表されるが、気候条件の時間的、空間的な変動は大きい。その一方で、成立している森林は中低緯度地帯と比較して樹種、構造ともに比較的単純である。このような条件下に成立している北方林の水循環に対する環境応答特性は、不明の点が多い。本研究チームでは、第1に北方林ー北方林南限ー中緯度帯にいたる地域における森林の水循環に関わる環境応答特性を明らかにすることを目的としている。そしてこの結果に基づいて、北方林地帯における林分から大陸河川スケールでの水循環の現況を把握し、将来予測される環境変動下での水循環特性の変動を予測することを目的としている。

【これまでの研究の概要と進捗状況】個葉スケールでの環境応答特性に関する観測と実験を東シベリアー中部日本の間の4地域で、群落スケールにおける水循環の素過程と群落スケールでの環境応答特性に関する観測を東シベリアー中部日本の間の3地域5観測サイトで実施してきた。また、シベリアにおける大河川の流量データの収集を行い、レナ河の流出特性を解析した。モデリンググループは個葉、群落両スケールでの研究結果を基礎として陸面過程モデルの改良を進め、各サイトの流出成分も含めた水循環素過程の再現の向上をおこなった。そして、同モデルを東シベリアから中部日本の広域へ適用し、蒸発散の時空間分布の推定を開始した。同時に陸面過程モデルと分布型流出モデルのカップリングが図られ、河道の基本定数の同定、内部流域への適用を行いモデルの基本的設計の向上をはかった。

【研究成果】個葉、群落両スケールの観測から、水循環に関する樹木、森林の環境応答特性には“潜在的”応答特性が存在し、この“潜在的”応答特性により各サイト間での自然条件下で認められる大きな環境応答特性は説明されると言う仮説を導出した。そして、鉛直1次元スケールの陸面過程モデルに個葉スケールで得られた1つのみの“潜在的”応答特性を用いることにより、東シベリアー中部日本の間の5観測サイトの各フラックスの季節変動を再現することが可能であった。また、同陸面過程モデルを空間的に拡張し、東シベリアー中部日本域での水・エネルギー交換の時空間分布推定を行った。その結果、空間的にも“潜在的”応答特性を用いることによる出力は、森林タイ

別のパラメータを与えた場合と大きく異なることが示された。また、北緯63°を境界に水・エネルギー循環特性に大きな相違があることが推定された。そして、レナ川流域での流出は多くは融雪に起因するが、レナ川南部(源頭部)では夏季にも流出が発生することが推定された。これらの結果は、実測による傾向と定性的に一致した。分布型流出モデルに関しては、河道の基本的な流出定数の同定が終了した。また、河川の凍結を考慮することにより春季の流量の増加時期のタイミングや増加過程、ピーク流出量の再現性が向上することが示された。この他にも、空気力学的特性の一般的な表現には森林を同化部と非同化部に分けて表現する必要があること、根系の伸長特性に土壌水分が大きく影響しているという新たな仮説の提唱、上層・下層植生の水循環における競合の実態と生態的特徴に与える影響、冬期過程(特に樹冠着雪能)に対する森林構造の影響、北方林における長期水収支特性など、北方林特有の新しい注目すべき知見が得られてきている。

【今後の見通し】個葉、群落スケールの観測から提唱された“潜在的”応答特性の立証が、第1の課題となる。そのために、個葉データの蓄積と群落スケールでの既存データセットの収集・解析を進める。これにより“潜在的”応答特性の存在とその適用範囲などが明らかにされることが期待される。そして、この概念を陸面過程モデルに反映させ、流出モデルとのカップリングにより北方林地帯における群落スケールから大陸河川スケールでの水循環特性を明らかにすることを目指す。また、既存の GCM による環境変動に伴う気候変動予測結果を利用して、50–100年スケール(植生に大きな変動を与えないと考えられる時間スケール)での北方林地帯での水循環変動を予測する。

## 2. 研究実施内容

報告書のスペースの関係上、個葉、群落スケールでの応答特性とそのモデルへの反映の部分に限って記載する。

### (1) “潜在的”応答特性の提唱

#### 1) 研究目的

対象地域での樹木、森林の環境応答特性の時空間分布を明らかにすることを目的としている。

#### 2) 研究方法

観測地域は、シベリア・ヤクーツク、カムチャッカ・エツソ(個葉のみ)、北海道・母子里、愛知・瀬戸の4地域である。個葉スケールの観測では、自然状態における環境応答特性と環境を人為的に制御した条件下での環境応答特性を各地域において求めた。群落スケールでは、各観測サイトの植物成長が盛んな時期において降水の影響を受けていない期間の群落コンダクタンスと環境因子の関係を調べ、その地域性を検討した。

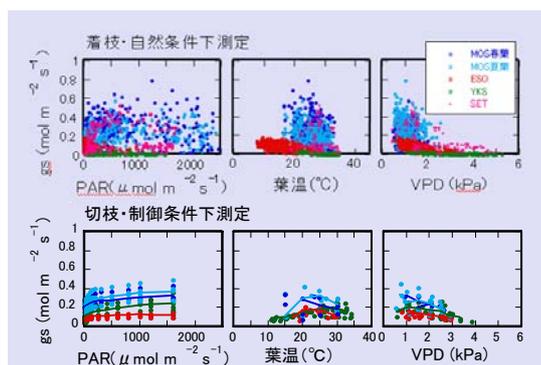


図1 個葉スケールでの環境要因に対するコンダクタンスの応答特性。上：自然条件下での応答特性。下：環境制御下での応答特性

### 3) 結果

図1は、個葉スケールにおける自然環境下でのコンダクタンスの応答特性(上)と環境制御下でのコンダクタンスの応答特性(下)を示している。これによれば、自然条件下では観測サイトごとの応答特性に非常に大きな相違が認められ、特にヤクーツクでのコンダクタンスが非常に小さいことが分かる。これに対し、環境を制御した条件ではサイトごとの差は見られるものの、その差は自然条件下で見られた差とくらべると非常に小さい。そして、自然条件下で認められた大きなサイト間差は植物が有する応答特性の差で説明できず、各樹木がおかれている環境条件によって生じていることが推定された。

図2は、各サイトで得られた群落コンダクタンスと環境因子の関係を示している。ヤクーツク(上)と

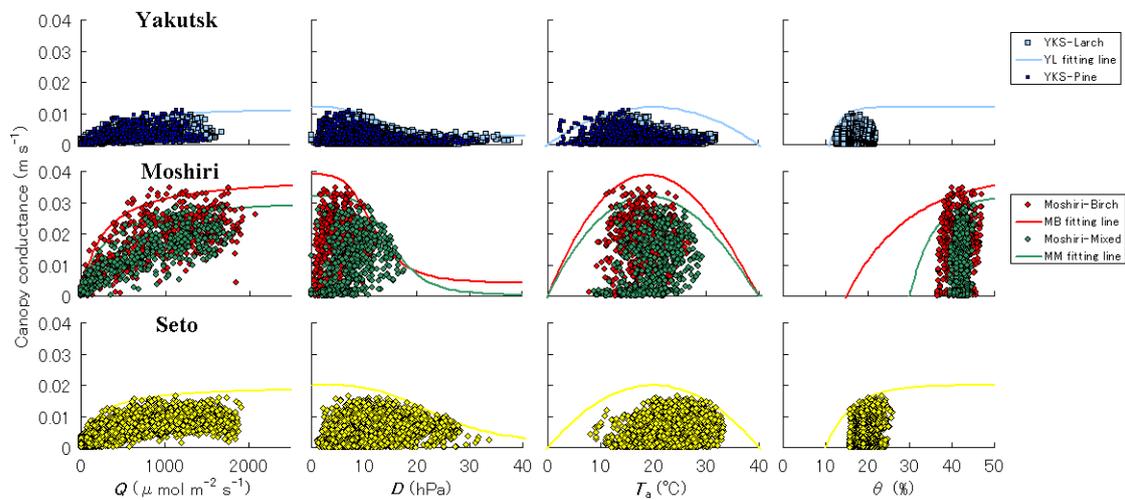


図2 群落スケールでの各サイトで得られた群落コンダクタンスの応答特性。ヤクーツク，母子里では森林タイプの異なる2つの森林での結果が，マークを変えて示されていることに注意。

母子里(中)の図には異なる2つの森林タイプでの結果が合わせて示されている。これによれば、群落スケールでも各地域により群落コンダクタンスの環境因子による応答は異なっていることが分かる。また、同じ気候帯に成立する異なる森林タイプでの応答特性の差は、異なる気候帯間の相違よりも小さい。図3は、5観測サイトで得られた結果を環境因子ごとにプールして示している。これより、全ての結果をプールすることにより、各サイトでの観測範囲を補う形で1つの応答関数で示されることが分かる。次に、図2に示した各サイトごとの環境応答特性と図3に示した5観測サイト共通に得ら

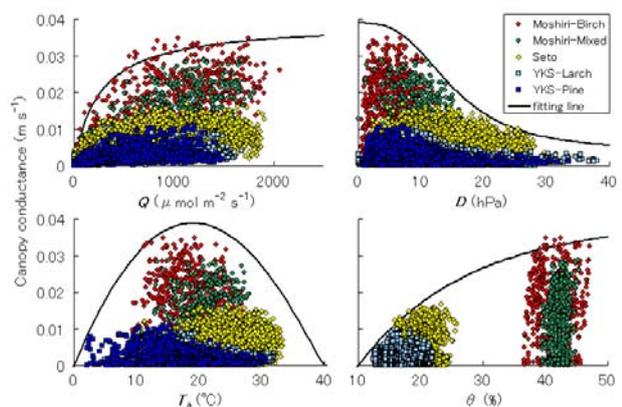


図3 5観測サイトでの観測結果をプールして得られた環境要因に対する群落コンダクタンスの応答特性。

ることが分かる。次に、図2に示した各サイトごとの環境応答特性と図3に示した5観測サイト共通に得ら

れた応答特性を用いて、観測された群落コンダクタンスの再現性を検討した。その結果、両者の再現性はほとんど変わらないことが示された。

以上の個葉スケール、群落スケールで得られた結果は自然条件下で得られるコンダクタンスの応答特性は“見かけの”応答特性であり、樹木、森林はある程度広範な範囲で成立する“潜在的”応答特性(図1下、図3)を有するという考え方が出来る。

## (2)陸面過程モデルによる各観測サイトの水エネルギー交換の表現と時空間分布の把握

### 1) 研究目的

対象地域での水・エネルギー交換過程の時空間変動の実態把握と環境変動によるその変化を予測するために、これまでに北方林地帯で適用実績の豊富な陸面過程モデル2LMの精度の向上が必要となる。また、同モデルを広域に拡張することにより、対象領域の水・エネルギー交換特性の時空間分布の現況を理解する。そして、予測される環境変動による水循環変動の予測に資する。

### 2) 研究方法

鉛直1次元スケールの 2LM を用いて、個葉スケールで各サイトにおいて得られた“見かけの”応答特性と全観測結果から得られた“潜在的”応答特性から得られた出力を比較し、その適用性を検

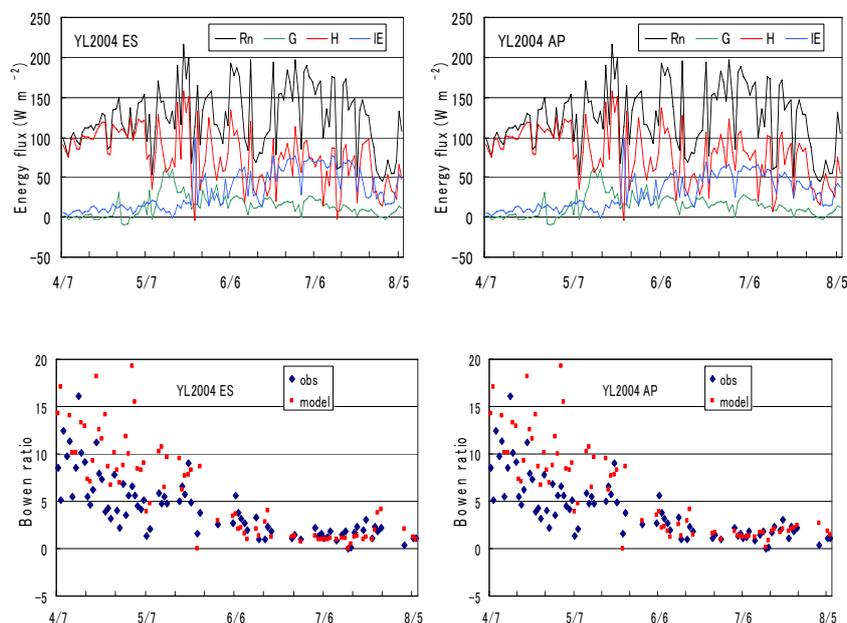


図4 ヤクーツク・カラマツサイトにおける“見かけの”応答特性を用いたフラックスの計算結果(左)と“潜在的”応答特性を用いたフラックスの計算結果(右)。

討した。そして、“潜在的”応答特性が各サイトのフラックスを再現しうる意味をモデルの感度分析より考察した。また、2LMを対象領域全域に拡張し、水・エネルギー交換特性の空間分布を検討した。この際にも森林タイプごとのパラメータによる出力と“潜在的”応答特性による出力の比較を行った。

### 3) 結果

“見かけの”応答特性と“潜在的”応答特性を用いた各サイトに対する 2LM の出力の1例は、図4に示すとおりである。これにより、両者の出力は、大きく異なることが分かる。すなわち、“潜在的”応答特性を用いることによって、各サイトの水・エネルギー交換過程を表現できることが分かる。また、モデルの感度分析の結果、“見かけの”応答特性ではコンダクタンスを制限する要因が主に最大気孔コンダクタンスであるのに対して、“潜在的”応答特性では土壤水分がコンダクタンスを強く抑制することがモデル上示された。図1～3に示した観測事実と比較すると、後者の考え方が観測結果をより説明するものであることが示された。

2LM を対象地域(東シベリア～中部日本)に適用した結果、森林タイプ別の応答特性を与えた場合と“潜在的”応答特性を与えた場合での出力に大きな相違はなかった。図5は、1998-2000 年

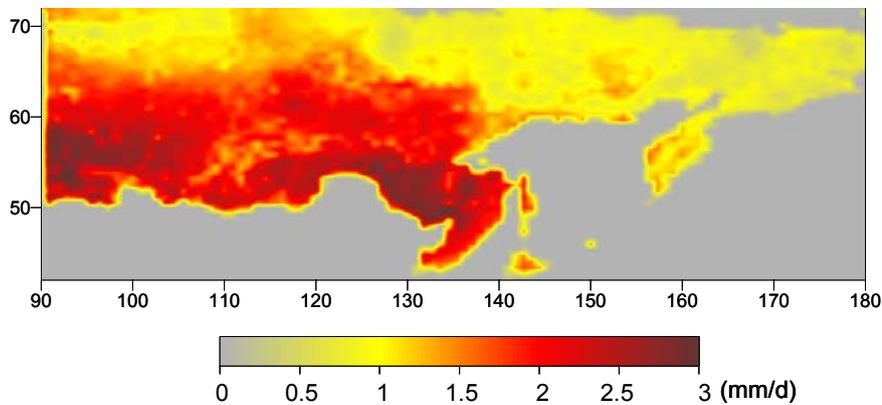


図5 東シベリアに拡張された 2LM によって推定された 1998-2000 年、6-9 月の平均蒸発散量の空間分布。

の 6-9 月の平均蒸発散量の空間分布を示す。図に示されるように、北緯 63°を境に不連続的に諸特性が変化する結果となった。これは、LAI の空間分布に強く依存していると考えられた。また、コンダクタンスに対する放射と気温の制限の空間分布が非常に顕著となり、高緯度帯では気温の制限が、低緯度帯では放射の制限が強く働くことが示された。流出はレナ川源頭部では融雪期と夏期に生じたが、他の地域では融雪期のみに限られ、この結果は定性的に観測結果と一致した。

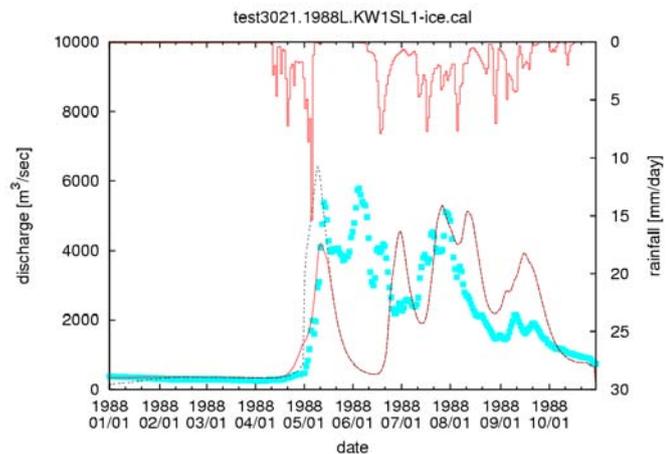


図6 レナ川源頭部、Kirenga 地点における実測ハイドログラフ(●)と河川結氷を考慮しない場合(赤線)と考慮した場合(黒線)の計算ハイドログラフの比較。図中の rain fall は実際の降水ではなく、Kirenga 地点の気象観測値を用いて 2LM により計算された土壌層からの流出成分を示す事に注意。

### (3)分布型流出モデルの構築と予備解析

#### 1) 研究目的

(2)で示した陸面過程モデルとのカップリングを行い、北方森林帯の河川の流出特性の現況を明らかにするとともに、環境変動に伴う流出特性の変動を予測する。

#### 2) 研究方法

レナ川流域を対象とし、デジタル標高データにより流域河道網図を作成し、斜面域と河道部の判別を行う。そして、側方支流からほとんど流入がないと考えられる区間での洪水波形の伝搬解析から、河道流に関する基本パラメータを導出する。そして予備解析としてレナ川の内部流域を対象として、河道パラメータの妥当性の検証、河川凍結の影響評価などを行う。本年度は小流域での予備解析を中心とし、H18年度以降レナ川全流域を対象とした解析へ移行して行く。

#### 3) 研究結果

レナ川流域は2分グリッドのデジタル標高図より作成した5分デジタル標高図により、地形特性は十分に再現されることが示された。そして、河道定数決定後、レナ川最源頭部の Kirenga 地点(流域面積 46,500km<sup>2</sup>)における流出量データをもとに、河川凍結の流出への影響を検討した。なお、現段階では流域内での陸面過程モデルから流出モデルへの水の供給は、Kirenga 地点の気象データを用いて計算された陸面過程モデルの出力を空間的に均質に与えている。図6に実測ハイドログラフと河川結氷を考慮した場合としない場合の計算ハイドのグラフの1例を示す。これより、結氷を考慮する場合としない場合で、北方河川の大きな水文イベントである春季の流出の特性が大きく異なって計算されることが分かる。そして、結氷を考慮することにより融雪期の急激な流量の増加と一時的に非常に大きな流出を示す現象が再現された。このように、北方河川では河川結氷の影響を流出過程に組み込むことが重要であることが示された。なお、6月以降の再現性が不十分な原因は、上記のように流域内での陸面過程モデルからの水の供給(図6中での rain fall)を流域内で均質に与えているためであると考えられる。

## 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) 群落コンダクタンスと環境応答特性の時空間分布
- 2) 空気力学的特性と森林構造
- 3) 水・エネルギー・炭素循環に関する冬期過程(降雪遮断特性、雪面からのCO<sub>2</sub>フラックスなど)
- 4) 下層植生が森林における水循環に果たす役割(ヤクーツク・カラマツサイト、母子里・混交林サイト)
- 5) 葉量と植物の生理活性度が分光反射特性に与える影響
- 6) 超音波風速計における Angle of Attack の影響

- 7) 北方林での水収支の年々変動
- 8) レナ川流域での流出生起場と季節変動

「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生態解析
  - 2) 林冠構造解析評価法の開発
  - 3) 空気力学的特性と森林構造との関連（陸面水循環解析グループと共同）
  - 4) MODIS データの取得と Aster 衛星データの取得・解析とグラントトゥールース

「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) 陸面過程モデルの基礎に関する研究
  - 2) 水・エネルギー交換の時空間分布に関する研究
  - 3) 流出モデルに関する研究

#### 4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

(1) 論文（原著論文）発表

- 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), p382-389, 2005
- Tripathi, S. K., Sumida, A., Ono, K., Shibata, H., Uemura, S., Takahashi, K. and Hara, T. The effects of understorey dwarf bamboo (*Sasa kurilensis*) removal on soil fertility in a *Betula ermanii* forest of northern Japan, Ecological Research 21(2), p315-320, 2006
- Kim, M., Takenaka, C., Park, H., Chun, K. Chemical characteristics of precipitation in *Pinus koraiensis* and *Larix leptolepis* forests in Korea. Journal of Korean forestry society 94(2), p96-102, 2005
- 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, p278-290, 2005
- Matsumoto, K., Ohta, T., Tanaka, T. Dependence of stomatal conductance on leaf chlorophyll concentration and meteorological variables. Agricultural and Forest Meteorology 132, p44-57, 2005

- Toba, T., Ohta, T. An observational study of the factors that influence interception loss in boreal and temperate forests. *Journal of Hydrology* 313, p208-220, 2005
- Suzuki, K., Kubota, J., Ohata, T. and Vuglinsky, V. 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), p21-29, 2006
- 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 (1-2), p19-30, 2006.

(2) 特許出願

H17 年度出願件数 : 1 件 (CREST 研究期間累積件数 : 3 件)