

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 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

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名(研究機関名・職名は研究参加期間終了時点)

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)

主たる共同研究者

隅田 明洋 (北海道大学低温科学研究所 准教授)

兒玉 裕二 (北海道大学低温科学研究所 助教)

山崎 剛 (東北大学大学院理学研究科 准教授)

3. 研究内容及び成果

本研究は、北方林(緯度 45° ~ 70°)における水・エネルギー・物質循環特性を明らかにするとともに、北方林が気候変動に与える影響を予測することを目的として、高緯度森林帯(北方林 - シベリア・ヤクーツク)から中緯度森林帯(北方林南限 - 北海道・母子里、温帯林 - 愛知・瀬戸)の3地域に5つの観測サイトを設定し、次の3つを主な研究目標として進められた。水・エネルギー循環の観測を通して、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、その成果を陸面過程 - 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、および 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。

主要な成果は以下の通りである。

1) “潜在的” 応答特性なる概念の提示と検証

群落スケールでの表面コンダクタンスと個葉スケールでの気孔コンダクタンスの環境応答特性に関する、5 サイトの観測・実験と解析に基づいて、「森林あるいは樹木の環境応答特性は、気候帯、森林タイプ、樹種を超えてある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” 応答特性という新たな概念が提示された。

この概念の妥当性については、この仮説に基づいて決めたパラメータを用いた陸面モデル(2LM)により各観測サイトの水・エネルギー循環特性を再現できること、および再現できる理由を感度分析等による考察で合理的に解釈できることによって、説明している。また、水・エネルギー・CO₂フラックス観測の公開データである AmeriFLUX と EuroFLUX の観測地点に対して、この概念を適用した 2LM によりフラックスを算定して計算値と実測値の比較を行い、前者に対しては比較的良好な再現性が得られるが、後者では計算値が過大となるとしている。

2) 大陸河川流域スケールの水循環特性の現況把握と将来予測

- “潜在的” 応答特性の概念の応用

レナ川流域の水文・流出特性の把握

レナ川流域(243 万 km²)を対象に分布型流出モデルを構築し、これと“潜在的” 応答特性の概念を用いた陸面モデル 2LM とをカップリングさせることによって、1986-2003 年の18年間のレナ川の本・支流の流量を良好に再現させることに成功している。これは、潜在的応答特性の概念の

妥当性を示す1つの証左であるとしている。再現シミュレーションを通して、この寒冷地大河川流域の水文・流出特性に関する知見が検討・整理されている。特に、レナ川では凍土に起因する非常に遅い流出成分の存在とその重要性が指摘されている。

レナ川流域の水循環変動の将来予測

潜在的応答特性の概念によれば、気候条件や森林タイプに変化が生じても植生の応答特性は変化しない。この概念を用いて、(1)と同様に分布型流出モデルと陸面モデルとのカップリングにより2100年までのレナ川の水循環の変動予測を行っている。予測の入力データとしては、IPCCのシナリオSRES A1Bに関する11モデルの結果をアンサンブル平均したものが使用された。予測結果として、入力である降水量の増加に対応して、蒸発散量、河川流出量ともに増加すること、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、これは、レナ川流域において入力である降雪量が冬期には現況と大きく変化しないが、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であること、などが指摘されている。

3) 北方林地帯の水・エネルギー循環特性の抽出

3地域5サイトの観測研究に他の既存観測データの解析を加えた比較研究により明らかにされた主な知見は、以下の通りである。

北方林地帯では、年間降水量に占める蒸発散量の割合が極めて高いが、その年々変動は寡雨地帯であるにもかかわらず降雨量と比較して小さい。これは、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からであり、中低緯度地帯つまり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る。また、蒸発散量の年々変動は、土壤水分に強く支配されている。

北方林と温帯林の蒸発散特性の相違に着目して、北方林での蒸発散は主に土壤水分や気候コンダクタンスなどの地表面側の条件によって規制される度合いが高いこと、温帯林間での蒸発散の差は大気側の条件によって規制されること、などが指摘されている。また、北緯30° - 70°間の既存の公開データを合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壤水分が、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を明らかにしている。

大陸河川流域スケールの水循環特性については、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ていることを見出している。この相違は、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あると推察されるが、詳細は今後の課題である。

4) 北方林における水・エネルギー循環素過程の理解の向上

水循環素過程についても多くの知見を得ているが、その主なものは以下の通りである。

植生からの蒸発散は、生理学的特性である表面コンダクタンスや気孔コンダクタンスと並んで、森林の群落構造によって決まる空気力学的特性に支配されるが、疎な森林から密な森林にまで適用される方法は提案されていない。本研究では、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ってモデル化し、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に説明することを可能にしている。

北方林は比較的疎であるために下層植生が水・エネルギー循環に及ぼす影響が大きい。これに注目した観測研究の結果、下層植生の蒸発散量は上層植生の状態に強く影響されること、中緯度帯森林においても予想以上に下層植生の役割が大きいこと、下層植生は上層植生とは異なる環境応答特性を示し特有の生存形態が認められること、下層植生の多量の水消費が上層植生の蒸散、光合成特性や葉の形態などの生態生理学的特性に影響を与えていること、熱帯林での蒸発散の駆動力が放射であるのに対して、北方林では放射よりも飽差の

影響が大きいこと、などが指摘されている。

降雪 - 積雪 - 融雪という冬期過程については、大気との熱交換に大きく係わる樹体着雪量を定量化するモデルが開発されている。

炭素循環については、5観測サイトにおける炭素収支や群落スケールで見た炭素吸収特性の地域的相違が定性的に吟味されているが、解析が水循環よりも遅れて開始されたために定量的な地域間差や森林タイプ間差の評価は今後の課題とされている。しかし、光合成に対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ている。また、冬期における雪面からのCO₂の放出の重要性も指摘されている。

4. 事後評価結果

4 - 1. 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

原著論文(国内誌9件、国際誌51件、但し受理済み6件、投稿中13件を含む)、学会発表(招待講演:国内0件、国際1件、口頭発表:国内48件、国際50件、ポスター発表:国内25件、国際18件)、等から判断して学会報告は活発に行われたと判断される。一般に水循環領域研究は特許を出し難い研究分野であるが、新たな測定システムや装置を開発して特許出願(国内3件、海外1件)をしたことは特筆に値する。また、研究代表者とロシアの共同研究者らが Editorial Board となって、国際的に権威のある Agricultural and Forest Meteorology 誌(Elsevier 出版)において本 CREST 研究の終了を契機に特別号を発刊することが決まっている。これは、本研究の成果が国際的に高く評価されている証左である。

以下に、研究全体を通しての評価をまとめる。

- (1) 本研究で新たに提示された“潜在的”応答特性の概念は、5つの観測サイトと各サブグループの研究を「横割り型」で進めるという研究代表者の基本姿勢から出た、インパクトがある貴重な成果である。現段階でこの仮説の妥当性は、仮説を適用したモデルによってエネルギーフラックスと実河川の流量変動が良好に再現できることに置いているが、必ずしも十分説得力があるとはいえない。今後、熱帯林を含む他の地域での検証、生理学的メカニズムをも含めた検証が待たれる。
- (2) 潜在的応答特性の概念の導入がブレークスルーとなっているが、中間評価で指摘された大河川流域レベルでの水文・流出の現況の再現と将来予測に結びつけたことは、高く評価できる。
- (3) 3地域5サイトにおける系統的かつ横割り型の観測研究アプローチによって、北方林から温帯林にわたる水・エネルギー循環過程の相違や類似性に関する多くの知見を得て、北方林の特性の解明に大きく貢献している。特に、凍土プロセスが水・エネルギー循環に与える影響に関する知見は、先駆的である。
- (4) 観測研究の常ではあるが、研究期間内に収集した観測データをすべて処理・解析して完結した成果を出すことは難しい。本研究においても、炭素循環をはじめ、未だモデル化や現象の解明や解釈が不十分な課題が残されているが、近い将来、これらの課題に関する検討が進み、成果が世に出ることを期待する。

4 - 2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

北方林の水・エネルギー循環に対する植物生態生理学的影響について、これだけ系統的な観測研究を展開して新たな成果を出した研究は、国内外に比肩するものはない。すなわち世界をリードする研究といえる。特に、本研究で提示された潜在的応答特性なる概念は、森林生態生理学上の新たな仮説というだけでなく、気候モデルの中の陸面モデルにおいて従来植生ごとに決められてきた気孔応答特性パラメータを共通の概念に基づいて決定できる点で、気候モデルに対しても有用かつインパクトのある仮説であり、今後更なる仮説の検証が期待される。また、北方林地帯の水・エネルギー循環の素過程や特性について多くの知見を得ており、この分野の今後の発展にイニシアティブをもって貢献することが期待される。

4 - 3 . その他の特記事項(受賞歴など)

特になし