

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 北東アジア植生変遷域の水循環と生物・大気圏の相互作用の解明

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

杉田 倫明 (筑波大学大学院生命環境科学研究科 教授)

主たる共同研究者

浅沼 順 (筑波大学大学院生命環境科学研究科 助教授)

鞠子 茂 (筑波大学大学院生命環境科学研究科 助教授)

辻村 真貴 (筑波大学大学院生命環境科学研究科 講師)

木村 富士男 (筑波大学大学院生命環境科学研究科 教授)

陸 旻皎 (長岡技術科学大学環境・建設系 助教授)

Gombo Davaa (Institute of Meteorology and Hydrology, Hydrology Section, Head)

3. 研究内容及び成果:

本研究は、気候面では湿潤域から乾燥域へ、植生面では森林－草原－砂漠へと遷移し、草原での過放牧の問題を抱えるモンゴル・ヘルレン川流域を主たる対象として、温暖化に代表される大気圏や人間活動の変化と水循環系ならびに生物圏の変化との相互作用を解明し、モデル化することを第一の目的とする。その上で、将来予測シナリオに基づいた草原生態系の維持管理システム手法、あるべき土地・水利用システムについて提案することを目指す。研究は、サブ課題を追求する次の6つのグループ; 1) 熱・水交換過程／蒸発散、2) 草原生態系と人減活動との関係、3) 同位体による水・物質循環プロセス解明、4) メソスケールモデルの構築／モンスーン水循環、5) 分布型流出モデルによる流出解析、6) データ収集／現象解析(モンゴル気象水文研究所)、および全体の調整と提案の取り纏めを行う7) 総括、で構成された。

1) 広域地表面と大気間の熱・水蒸気の交換過程の解明と蒸発散量の推定

(1) モニタリング観測: ヘルレン川流域の土地被覆を代表する流域源流部の森林と中下流の半乾燥草原の2地点に設置した自動フラックス観測(熱・水・炭素)サイトの継続観測データの解析から、年々と月別の水収支、森林と草原での降水量と蒸発散量およびそれらの変動特性の違いとその要因、両者の地下水・河川水への涵養機能の相違、両サイトの純生態系二酸化炭素交換量、保護枠内外の観測から放牧が植生量を通じて熱・水収支に与え影響、などについて明らかにした。

(2) 領域代表フラックス: 上記の森林と草原での水・熱・炭素収支観測の流域代表性を検証するために、3つの領域代表フラックス計測手法; ①シンチロメータを用いた顕熱フラックスの計測、②航空機観測と分散法を用いた顕熱フラックスの計測、③衛星データと陸面モデルを用いた地表面熱収支の推定、を用いた。①では、草原地帯においては植生量とその活性度に応じて蒸発散に数割程度の変化がある可能性、熱・水・炭素収支に対する植生量の変動評価の重要性、②では、温度変動と顕熱フラックスの空間分布(河川近傍、草原域、森林域での相違)の季節的相違、③では、人工衛星 MODIS と GOES-9 のデータおよび force-restore 法とバルク法を組み合わせた数値モデルを用いた地表面熱フラックスの広域分布特性と時間変動特性、それぞれを明らかにするとともに、各手法の適用性について詳細な検討と整理がなされた。

2) 草地生態系と人間活動の関係の解明

(1) 植生および炭素循環プロセスの解明: 草原サイトの保護枠内外で実施した 2002－2005 年の生育期間中の植生構造、地上部・地下部バイオマス、葉面積指数、炭素フラックス(生態系純

生産、総一次生産、生態系呼吸、土壌呼吸)などの測定結果から、植物種とそのバイオマスの季節変動特性、放牧が植生に与える影響、生態系における炭素循環の動態(特に、降水イベントが炭素収支に変化を及ぼさない可能性の示唆)、などにおいて新たな知見を集積した。

(2) 植生変遷域における土壌の特性および放牧の影響: 植生の異なるサイト 8 地点での土壌断面調査、一般理化学性の分析、ステップの土壌への¹⁴C 年代測定法の適用によって、各サイトの土壌構造、土壌含有成分などの特性を明らかにし、その成因が考察された。また、放牧を排除した保護枠内、放牧のある自然草原、耕作地放棄地および耕作地の4サイトで行った土壌微細形態観測や土壌物理性測定などから、草原管理のための植生指標として、種組成、拡張指数と重要値指数が有効であることを確認した。さらに、人工衛星 LANDSAT-TM データから植生指標 NDVI を求め、家畜の過放牧や耕作による土地の荒廃の程度を広域にわたって把握した。

(3) 炭素循環モデルの構築と水・炭素フラックスのシミュレーション: 改良を加えた陸域生態系炭素循環モデル Sim-CYCLE による半乾燥ステップ草原の炭素・水動態のシミュレーションは、各種の観測値を十分な精度で再現することを確認した。また、モンゴル地域の気温・降水・CO₂ 濃度変化など環境変化要因の今後 100 年の変化を想定して、炭素循環と水循環の将来予測を行った。さらに、放牧圧(家畜密度)と降水量を変えたときの草原のバイオマスと生産量に与える影響についてシミュレーションにより検討した。

3) 同位体を利用した水・物質循環プロセスの解明

水に含まれる重水素、トリチウムおよび酸素などの同位体のほか、多種類の無機溶存成分を環境トレーサーとして、対象地域の水循環量とともに水の起源と経路や流動時間などを調べ、従来の知見と異なるいくつかの発見を含む貴重な成果を上げた。また、流出土砂中に含まれるセシウム137、ベリリウム7、鉛210などの放射性同位体を用いて土壌面における侵食・堆積域の特定を行った。

4) メソスケールモデルの構築とモンスーン水循環と北東アジア半乾燥域の水蒸気輸送プロセスの解明: 観測データと再解析データおよび数値実験も併用して、雨季中の「中休み」、土壌水分や低気圧に伴う雲分布が降水の日変化に及ぼす影響など、モンゴルの降水メカニズムを明らかにした。また、乾燥域用に改良した領域モデルを用いて、北東アジア乾燥域の形成・年々変動にはチベット高原の対流活動とジェット気流の位置の変動が重要な要因であることなど、この地域の気候形成のメカニズムを明らかにした。また、温暖化ならびに砂漠化実験を行い、気温上昇、降水・気温の年々変動などの将来予測を行った。

5) ヘルレン川流域の分布型水文モデルの構築と温暖化実験: 集中観測等で得られたデータによりパラメータが同定された分布型水文モデルを用いて、ヘルレン川流域の水文レジームの時空間特性を明らかにした。また、このモデルに領域モデルの温暖化前後の気象シミュレーションデータを入力として用いることにより、温暖化が流域の水循環総量に及ぼす影響を調べた。

6) データ収集/現象解析(モンゴル気象水文研究所(IMH)とECO Asia大学): IMHとECO Asia大学は現地のカウンターパートとして、日本側研究者と共同での現地調査、既存の気象・水文・生物に関する観測データの提供、現地の人のみが知りうる知識による適切なコメントやアドバイスの提供などにおいて協力を得た。また、プロジェクトを通じて、モンゴルの若手研究者の育成にも貢献している。

7) 総括: 上記の複数グループ間の研究方向を調整し、ホームページによる情報公開、ワークショップやシンポジウムの企画などの研究事務を司るとともに、草原生態系に対する放牧圧等に関わる様々な側面からの研究成果を基に望ましい土地利用/水利用に関する提言を取りまとめた。

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 10 件、国際誌 44 件)、その他の著作物 28 件、学会発表(招待講演: 国内会議 6 件、国

際会議 14 件、口頭発表：国内会議 57 件、国際会議 41 件、ポスター発表：国内 21 件、国際 25 件)と、これまでの発表件数が必ずしも多くないが、これは観測を中心とする研究の常であり、プロジェクト期間終了後も多くの成果が発表されると期待する。特に、水循環分野では世界的に権威のある Journal of Hydrology の特集号として本プロジェクトの成果を刊行できたのは、この研究が世界的に認められている証左である。以下に主な研究成果の評価を取りまとめる。

- 1) 領域フラックス計測／推定に用いられた3つの手法はいずれも、これまで適用例が少ないものであったが、それぞれについて詳細な適用性の検証や感度実験を行うことにより長短を明らかにして、広域代表性のある熱・水フラックス推定法の実用化に大きく貢献している。
- 2) 系統的な地上フラックス観測と領域フラックス計測／推定により、アジア半乾燥気候帯の河川流域において初めて精度の高い水・熱・炭素の地表面収支を明らかにしたことは、この分野の先導的研究として高く評価できる。
- 3) 草地の植生構造と炭素循環の関係、森林から草原への遷移に伴う土壌特性の変化、放牧や耕作が土壌特性に及ぼす影響についての研究では、各種の計測・調査・試験法を駆使し、また炭素循環モデルを適用することにより、こうした本格的な研究が初めてであることもあって、多くの新たな知見を提示している。そして、いずれのサブテーマでも放牧の影響に注目した観点から適正な土地利用・水利用への提言に繋がる成果を出している。
- 4) 同位体をトレーサーとした解析ならびに領域気候モデルを基本とする同位体モデル等を用いた追跡による水蒸気・降水の起源に関する研究では、従来の地域内再循環水の役割を重視する見解とは異なり、モンゴル地域の夏季の水蒸気・降水は中国南東部水田地帯、中央アジア、シベリアからもたらされるという新しいインパクトのある知見を提示し、今後の研究の発展に貢献している。
- 5) データ解析とメソスケールモデル適用による北東アジア半乾燥地の気候形成メカニズムや気候変動に関する研究は、3-5)に上げた事項を含む多くの新たな知見を得た先導的研究として評価される。また、プロジェクト期間中には完結しなかった重要ないくつかの課題については、今後の研究の方向性と可能性が明示されている。
- 6) 以上のように、個々のサブテーマでは先進的・先導的な成果を上げているが、観測による成果をモデルに組み込むなど、サブテーマ間のクロスカッティングな融合は、プロジェクト期間中には十分達成されておらず、今後に期待する。

4-2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

半乾燥地の草原を中心に水循環系と生態系、大気を包括的に取り扱った研究としては、アジアで初めての本格的な研究であり、今後、北東アジアから中央アジアにわたる他の乾燥・半乾燥地域研究の規範になると考えられる。

本研究で自然科学的な立場からなされた土地利用・水利用に関する提言を現実の施策に反映するには、今後、モンゴルの政治・経済・文化等を踏まえた人文社会科学面からの検討が不可欠であり、自然科学者はそうした方面に積極的に発信する努力が必要である。

4-3. その他の特記事項(受賞歴など)

モンゴルに研究成果を還元するために、一般にも分かり易い形で纏めた小冊子をモンゴル語で年度内に出版する予定。