

## SICORP 日本-ロシア

### 「北極観測および北極域における自然利用と エネルギー資源開発のための科学技術」領域 事後評価報告書

#### 1 共同研究課題名

「北極水循環変化:環境の持続可能性と自然資源へのインパクト」

#### 2 日本一相手国研究代表者名 (研究機関名・職名は研究期間終了時点) :

日本側研究代表者

飯島 慈裕(三重大学・教授)

ロシア側研究代表者

セルゲイ・グレフ(シルシヨフ海洋研究所・教授/海洋大気相互作用・気候研究室長)

#### 3 研究概要及び達成目標

本国際共同研究(ARCTIC-CHI)は、北極の温暖化増幅にともなう水循環(降水・蒸発散・陸域貯留、河川流出)の変化に着目し、過去と温暖化時との違いを示しつつ、今後10年規模での水循環の将来予測と、極端現象が社会に与える影響の可能性の提示を目的として、5つのワーキングパッケージ(WP:大気水循環、陸面過程、永久凍土、社会影響、将来予測)を設定して実施された。日本側チームは、ロシアで構築してきた陸域観測網と衛星観測・気象データによる水循環に着目した環境変化の解析とともに、異なる空間スケール(全球気候>領域気候>陸面過程)での変動現象を構造化して、北極水循環変化がもたらす広範な影響とその将来予測を試みた。ロシア側チームは、ロシア全域の気象・水文・凍土・植生の観測データに基づき、水循環変動や凍土環境変化の解析とモデルによる将来予測研究を実施した。これまで連携が少なかったロシア北極域での気候・水循環変化の実態と将来像の共有が図られ、様々な社会影響評価への活用・展開へと繋がるものとなった。

#### 4 事後評価結果

##### 4.1 研究成果の評価について

##### 4.1.1 研究成果と達成状況

本課題は、北極の温暖化増幅にともなう水循環要素の変化に着目し、過去と温暖化時との違いを示しつつ、今後10年規模での水循環の将来予測と、極端現象が社会に与える影響の可能性について提示することを目的とした。そして、ロシア北極域での、水循環変化がもたらす多様な自然・社会環境への影響について空間的・定量的評価と将来予測の不確定性を低減する解析方法を構築し、社会への重要情報の創出となる研究成果を公表することができた。本課題では、研究実施にあたって5つのワークパッケージ(WP)を設定した。各WPの主な成果は下記の通りである。

WP1（大気水循環変動）では、蒸発散量の計算の精緻化と、北極周辺の高緯度地域での物質収支の予報計算の不安定を回避するため、全球の経度緯度直交座標系の中に北極周辺で等面積の格子系を埋め込み、大気水収支の高精度かつ安定した計算を可能にした。この計算手法を用いた結果、新たにユーラシア大陸北部から北極海にかけて低気圧の位置や上空の循環場に応じて 2 通りの水蒸気輸送経路を確認する等、新しい知見を得ることができた。

WP2（陸域環境変動）では、ロシアの 4 大河川流域（オビ川・エニセイ川・レナ川・コリマ川）を対象に、陸水と植生の特長事例解析を行った結果、北ユーラシアの温暖化は、陸域水循環の季節性の変化（早期化）をもたらすことが明らかとなった。

WP3（永久凍土変動）では、ロシア・シベリアの現地研究者提供の現地調査情報や観測データ、地理情報データ、合成開口レーダ衛星データ、高分解能の衛星画像データ、高分解能の標高データを組み合わせて、永久凍土の荒廃影響に関する時空間変動を解析した。その結果、地形変位（サーモカルスト発達）が顕著な地域は、かつて土地改変の履歴があることが判明したほか、インターフェロメトリ（InSAR）による地形変位量と WorldView 衛星群の高解像度画像や UAV による近接画像に基づくサーモカルストのポリゴン地形発達の程度との対応関係も明らかとなった。

WP4（環境変動の社会影響）では、COVID-19 の影響のため、現地調査できない状況が続き、新しい環境変化の社会影響に関わる情報を収集することは出来なかったものの、これまで蓄積してきた現地調査や資料に基づき、日露共同著作の形で成果のとりまとめと公表を進めた。その一環として、環境変化に対する住民の認識と集団内の認識の差異のアンケート調査を詳細に解析した結果、永久凍土荒廃とその対策について、地域住民の間で認識に差があることが明らかになった。

WP5（将来予測）では、地下氷の融解水の土壌の水分・熱環境および温室効果ガスフラックスへの影響を評価するために、陸面過程モデル CHANGE に地下氷プロセスを取り込んで、ツンドラの観測サイトを対象にして、IPCC AR5 の温暖化シナリオのうち RCP 8.5 の予測結果を用いてモデル計算を行った。その結果、ロシア北極域に広く分布する地下氷を多く含む連続的永久凍土帯において、予測の不確定性を低減するために、地下氷プロセスの取り込みが急務であることがわかった。

このように、5 つの WP 各々で優れた成果が出ており、コロナ禍の影響が大きく、十分にマイルストーン通りに進捗したとは言えないが、当初目的は達成されていると思われる。

#### 4.1.2 国際共同研究による相乗効果

日本側は、ロシア北極域の水循環・気候変動影響に関する解析結果を提示し、ロシア側は、ロシア全域での環境変動に関する観測・解析結果を示し、相互に、ロシア各地で進行する環境変動の多様な事象が認識され、相互理解が深まり研究発展に繋がった。また、きめ細かい空間解析やモデル予測の共同研究の可能

性が示された。さらには、水循環の変化がもたらす様々な相互作用系（大気－陸面（生態系・凍土）、河川－海洋、海洋－大気）の観測データに基づく実態把握がロシア北極域でより精緻化され、それらを対象とした各空間スケールでの共同研究へとさらに発展させる素地を醸成することができ、相乗効果が十分認められている。

#### 4.1.3 研究成果が与える社会へのインパクト、我が国の科学技術協力強化への貢献

本共同研究の最終成果報告を兼ねて2022年3月に実施された国際シンポジウム「International Symposium on Pan-Arctic Water-Carbon Cycles and Terrestrial Changes in the Arctic: For Resilient Arctic Communities」では、33件の口頭発表（ロシア研究者9件）と、7件（ロシア研究者2件）のポスター発表があり、WPの範囲をすべてカバーする学際的な内容で実施された。総合討論では、ロシア側研究者、ドイツやスウェーデンの研究者などから、ロシア北極域での学際研究の意義と極端現象や気候変動の陸面過程・社会影響に関する多くの提言がなされ、社会へのインパクトが認められる結果となっている。

また、ロシア側から提供された凍土や陸域環境に関するGISデータと社会統計データを組み合わせて、凍土荒廃影響を可視化する取り組みとして、科学研究費基盤研究A「凍土環境利用と保全に向けた凍土荒廃影響評価の共創」（2019～2022年度）と連携して、ESRIのArcGIS onlineをプラットフォームとして、可視化の整備が進められており、今後の展開が期待できる。

#### 4.2 相手国研究機関との協力状況について

本国際共同研究は、2020年2月頃から現在もなお引き続くCOVID-19の影響で、1年度の延長が認められた一方で、当初より予定していた海外調査や、両国で開催を予定としていた二国間ワークショップなどの対面での交流企画は中止・変更せざるを得ない状況が続いた。しかし、2019年12月のAGU Fall Meetingでのキックオフ的な交流から、日本での毎年の地球惑星合同大会（JpGU）、研究期間終了時の2022年3月の国際シンポジウムなどのオンラインでの機会を通じて、ロシア側研究者とのWPに沿った幅広い交流は行われている。特に、2021年度のJpGUでは、本共同研究のテーマ全体にわたる発表で構成され、ロシア側との最新の研究成果と問題意識の共有がなされ、最終年度の多数の論文発表につながった。また、2022年3月の国際シンポジウムは、ロシアのウクライナ侵攻という事態を受けた不測かつ共同研究に極めてネガティブな状況であったが、北極域から全球規模の環境変動研究にロシア・シベリアの知見が重要であることを相互理解し、科学ベースの研究交流ができたことは今後につながる重要なステップと考えられる。

#### 4.3 その他

本国際共同研究では、ロシア北極域での気候変動にともなう環境変化の実態とその社会的影響について5つのWPに沿った、学際的な成果を上げることができた。しかし、ロシアは日本の隣国であり、北極圏までも近い距離にあるに

も関わらず、これらの知見は、日本国民には正確にまた起きている現象間の構造を分かりやすく提示されているとは言い難い。COVID-19 の影響で本来の交流事業としての実施に制約が大きかった半面、本国際共同研究期間中に、対象とする環境変動に関する様々なアウトリーチを積極的に行った点も合わせて評価できる。具体的には、社会にインパクトを与える 2 つの重要な出版物が発行されたことである。

一つは、環境教材の国際共同制作として、永久凍土に焦点をあてて、気候変動が北極域にどのような影響をおよぼすのかを文理融合のアプローチで解説した啓蒙書「**Permafrost and Culture**」の英語版である。その内容は：

- 1 北方における永久凍土の起源と人類史
- 2 永久凍土と文化
- 3 地球温暖化と氷
- 4 持続可能な未来への展望

からなり、pdf 版、冊子版、キンドル版で東北大学東北アジア研究センターから刊行された。本書は、高校生以上の副読本としても有効であり、今後も継続した宣伝によって国際的に活用が見込める成果となっている。

もう一つは、2021 年 10 月～2022 年 3 月に日経ビジネス電子版にて、全 10 回の連載した記事「永久凍土の変化から地球のこれまでとこれからを知る」（第 1 回：飯島、第 5 回：岩花、第 8 回：高倉）である。凍土荒廃影響評価の一般向けの解説と成果公表であり、多くの連載記事はロシア・シベリアを対象として最新の動向に関する内容が盛り込まれている。記事の閲覧数はのべ 10 万回以上のアクセスを得ており、北極域の環境変化に関する一般向けのアウトリーチとして大きな成果を上げている。