

ベルモント・フォーラム
CRA「急速に変貌する北極システムにおけるレジリエンス」
終了報告書 概要

1. 研究課題名：東部ロシア北極・環北極域の凍土水文とレジリエンス
2. 研究期間：2020年4月～2023年3月
3. 主な参加研究者名：
日本側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	檜山 哲哉	教授	名古屋大学・宇宙地球環境研究所	日本側研究チームの統括、河川流出量のトレンド解析
主たる共同研究者	飯島 慈裕	教授	三重大学・大学院生物資源学研究科	永久凍土荒廃に関わる衛星データ解析・超学際研究
主たる共同研究者	朴 昊澤	グループリーダー代理	海洋研究開発機構・北極環境変動総合研究センター	河川流出モデルの改良による河川水の成分分離
主たる共同研究者	藤岡 悠一郎	准教授	九州大学・大学院比較社会文化研究院	永久凍土と水環境の変化に関わる現地調査・超学際研究
研究参加者	栗田 直幸	准教授	名古屋大学・宇宙地球環境研究所	同位体トレーサーを用いた河川水の成分分離
研究参加者	田代 悠人	研究員	名古屋大学・宇宙地球環境研究所	永久凍土融解による河川水質への影響解析
研究期間中の全参加研究者数			8名	

相手側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	GUSTAFSSON David	Senior Researcher	Swedish Meteorological and Hydrological Institute	プロジェクトの統括、河川洪水モデル解析
主たる共同研究者	LEBEDEVA Liudmila	Senior Research Scientist	Melnikov Permafrost Institute	現地調査と河川流出解析
主たる共同研究者	BOYAKOVA Sardana	Senior Researcher	Institute of Humanities Research and Indigenous Studies of the North	現地調査と環境変化に関する超学際研究

研究参加者	KLEHMET Katharina	Researcher	Swedish Meteorological and Hydrological Institute	積雪に関する 水文気象解析
研究参加者	FEDOROV Alexander	Deputy Director	Melnikov Permafrost Institute	現地調査と永 久凍土の変化 に関する超学 際研究
研究参加者	FILIPPOVA Viktoria	Senior Researcher	Institute of Humanities Research and Indigenous Studies of the North	現地調査と水 環境に関する 超学際研究
研究期間中の全参加研究者数			11名	

4. 国際共同研究の概要

気候変動が東部ロシア北極・環北極域における河川流出と永久凍土荒廃に及ぼす影響を超学際的に理解することで、地域社会のレジリエンス向上に資する研究成果を創出した。スウェーデンチームは本研究の全体を総括するとともに、春の解氷と融雪に起因する河川洪水を事前に予報するシステム（河川洪水予報システム）の開発・改良を担当した。ロシアチームはロシア連邦サハ共和国における水文気象観測・河川観測・永久凍土荒廃の実態把握を行うとともに、ステークホルダーとの対話の機会を設けた。日本チームはロシアチームにレナ川流域内の水のサンプリングを依頼し、採取された水試料の同位体分析を行った。そして同位体トレーサーを組み込んだ河川流出モデルの開発を行うとともに、永久凍土荒廃に関わる衛星データ解析を行った。3年間で計26回のオンライン会議を開催し、計4回の研究成果報告会を行うことで、3ヶ国の研究者間で研究成果と最新の知見を共有した。そしてロシアチームの主導でそれらを地域社会に還元し、東部ロシア北極・環北極域の環境変化に対する地域社会のレジリエンス向上を目指した。

5. 国際共同研究の成果

5-1 国際共同研究の学術成果および実施内容

衛星データ解析より、東シベリアのレナ川中流域では耕作放棄地において年間2cm程度の急激な地盤沈下が検出され、サーモカルスト湖沼が増加していることがわかった。このような永久凍土荒廃や水環境変化に関する住民の認識を調査した結果、同一の地域内で正反対の認識が併存していることや、年代による顕著な差異（脆弱性）が認められた。レナ川中流の河川水のトリチウム濃度と水の安定同位体比の間にはヒステリシスの関係が見られ、起源水（融雪水・暖候期降水（降雨）・地下水融解水（または地下水））ごとの寄与率が季節によって異なることがわかった。そして同位体トレーサーと水のエイジングのスキームを組み込んだ河川流出モデルの開発を行った結果、起源水は明瞭な季節変化を示し、温暖化（蒸発散量の増加）によって東シベリアの水循環が加速していることがわかった。

5-2 国際共同研究による相乗効果

4つのワークパッケージの研究計画に沿ってスウェーデンチームとロシアチームとの連絡調整を頻繁に行った。研究成果報告会を毎年度1回以上開催し、3ヶ国の研究者間で研究成果を共有した。その結果、将来の国際共同研究のテーマを抽出することができた。

5-3 国際共同研究成果の波及効果と今後の展望

自然科学的アプローチと社会科学アプローチを融合した超学際研究を行った。大学院生や研究員の研究を通して、日本チームの人材育成に貢献できた。

Belmont Forum
CRA “Resilience in Rapidly Changing Arctic Systems”
Executive Summary of Final Report

1. Project title: Hydrology, permafrost and resilience in Eastern Russian Arctic and subarctic
2. Research period: April 2020 ~ March 2023
3. Main participants:
 Japan-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	HIYAMA Tetsuya	Professor	Nagoya University	Integration of Japan-side of the project, trend analysis of river discharge
Co-PI	IIJIMA Yoshihiro	Professor	Mie University	Analysis of satellite remote sensing data on permafrost
Co-PI	PARK Hotaek	Deputy of Group Leader	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	Quantitative separation of source waters in river discharge
Co-PI	FUJIOKA Yuichiro	Associate Professor	Kyushu University	Transdisciplinary analysis on environmental change
Collaborator	KURITA Naoyuki	Associate Professor	Nagoya University	Tracer analysis of river discharge
Collaborator	TASHIRO Yuto	Researcher	Nagoya University	Analysis on permafrost degradation and river water chemistry
Total number of participants throughout the research period: 8				

Partner-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	GUSTAFSSON David	Senior Researcher	Swedish Meteorological and Hydrological Institute	Integration of the project, analysis on river flood modeling
Co-PI	LEBEDEVA Liudmila	Senior Research Scientist	Melnikov Permafrost Institute	Field survey and analysis on river discharge
Co-PI	BOYAKOVA Sardana	Senior Researcher	Institute of Humanities Research and Indigenous Studies of the North	Field survey and transdisciplinary analysis on environmental change
Collaborator	KLEHMET Katharina	Researcher	Swedish Meteorological and Hydrological Institute	Hydrometeorological analysis on snow

Collaborator	FEDOROV Alexander	Deputy Director	Melnikov Permafrost Institute	Field survey and transdisciplinary analysis on permafrost change
Collaborator	FILIPPOVA Viktoria	Senior Researcher	Institute of Humanities Research and Indigenous Studies of the North	Field survey and transdisciplinary analysis on water environment
Total number of participants throughout the research period:				11

4. Summary of the international joint research

This project produced research outcomes in permafrost hydrology through scientific and transdisciplinary approaches, with the aim of enhancing the resilience of social capital under changing conditions in the Eastern Russian Arctic and subarctic regions. It specifically aimed to improve our understanding of interrelationships among the impacts of climate warming on the hydrological regimes, river ice conditions, permafrost thaw, and related landscape changes. The Swedish team took charge of improving the flood and river ice forecasting system and generalized this project. The Russian team conducted hydrometeorological observations, river water sampling, in-situ measurement of permafrost degradation, and communication with regional stakeholders. The Japanese team analyzed stable water isotopes and tritium concentrations and developed a tracer-based hydrological model. Additionally, the Japanese team conducted an analysis of satellite remote sensing data to resolve the rate of permafrost degradation and ground subsidence in the region. We held 26 online-based meetings over the project period (for the 3 years from 2020 to 2022, Japanese fiscal year). We also convened four general assemblies during the study period to share the research outcomes among the teams. The assemblies were conducted and the gatherings were advertised to the local public for those interested in the research work and improving the resilience and climate mitigation efforts of the region.

5. Outcomes of the international joint research

5-1 Scientific outputs and implemented activities of the joint research

Satellite remote sensing data revealed fields that had been deforested and abandoned (no longer cultivated) in central Yakutia, in which ground subsidence was evident at a rate of ~2 cm/year owing to permafrost degradation. The remote sensing data also showed an increase in thermokarst lakes. Surveys on the environmental perceptions of local people, mainly attributed to permafrost degradation and climate change, revealed diverse and sometimes opposing perspectives within a village. These perspectives tended to vary with age, which could be considered a form of environmental vulnerability. Stable water isotopes and tritium concentration showed distinct seasonal variations. Hysteresis was found between the stable isotope ratios and tritium concentrations; this implies that the contributions of groundwater (ground ice-melt water) and snow-melt water to the Lena River discharge differ, with clear seasonality. We developed a tracer-based hydrological model that includes isotopic processes and a water age calculation scheme, to separate the contributions of snowfall, rainfall, and permafrost-originated water to the river discharge and evapotranspiration. Permafrost warming, characterized by earlier soil thawing and late freezing, induces higher evapotranspiration, thereby shortening the residence time of precipitation-sourced water in the active layer and further rejuvenating water in soil layers and in evapotranspiration.

5-2 Synergistic effects of the joint research

Frequent communications with Swedish and Russian principal investigators were carried out over the 3-year period. Through the sharing of research outcomes and sufficient discussion in the annual general assemblies, we obtained insight into future research

directions for subsequent collaborative studies among the teams.

5-3 Scientific, industrial or societal impacts/effects of the outputs

We conducted transdisciplinary studies combined with natural and social science-based approaches. Through supervising graduate school students and young researchers, our study provided many opportunities for human resources development and collaboration mainly for the Japanese team members.

国際共同研究における主要な研究成果リスト

1. 論文発表等

*原著論文（相手側研究チームとの共著論文）発表件数：計 6 件

・査読有り：発表件数：計 5 件

Takakura, H., Fujioka, Y., Ignatyeva, V., Tanaka, T., Vinokurova, N., Grigorev, S., Boyakova, S., “Differences in local perceptions about climate and environmental changes among residents in a small community in Eastern Siberia”, *Polar Science*, **2021**, 27, 100556 DOI:10.1016/j.polar.2020.100556

Shestakova, A.A., Fedorov, A.N., Torgovkin, Y.I., Konstantinov, P.Y., Vasyliov, N.F., Kalinicheva, S.V., Samsonova, V.V., Hiyama, T., Iijima, Y., Park, H., et al., “Mapping the main characteristics of permafrost on the basis of a permafrost-landscape map of Yakutia using GIS”, *Land*, **2021**, 10, 462 DOI:10.3390/land10050462

Park, H., Fedorov, A.N., Konstantinov, P., Hiyama, T., “Numerical assessments of excess ice impacts on permafrost and greenhouse gases in a Siberian tundra site under a warming climate”, *Frontiers in Earth Science*, **2021**, 9, 704447 DOI:10.3389/feart.2021.704447

Iijima, Y., Abe, T., Saito, H., Ulrich, M., Fedorov, A.N., Basharin, N.I., Gorokhov, A.N., Makarov, V.S., “Thermokarst landscape development detected by multiple-geospatial data in Churapcha, Eastern Siberia”, *Frontiers in Earth Science*, **2021**, 9, 750298 DOI:10.3389/feart.2021.750298

Hiyama, T., Park, H., Kobayashi, K., Lebedeva, L., Gustafsson, D., “Contribution of summer net precipitation to winter river discharge in permafrost zone of the Lena River basin”, *Journal of Hydrology*, **2023**, 616, 128797 DOI:10.1016/j.jhydrol.2022.128797

・査読無し：発表件数：計 1 件

藤岡悠一郎・高倉浩樹・Sardana Boyakova, “東シベリア・レナ川流域における環境変化に関する地域住民の認識と差異”, *日本水文科学会誌*, **2023**, 53 巻, 28-31 DOI:10.4145/jahs.53.28

*原著論文（相手側研究チームを含まない日本側研究チームの論文）：発表件数：計 7 件

・査読有り：発表件数：計 3 件

Park, H., Tanoue, M., Sugimoto, A., Ichiyangi, K., Iwahana, G., Hiyama, T., “Quantitative separation of precipitation and permafrost waters used for evapotranspiration in a boreal forest: A numerical study using tracer model”, *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, **2021**, 126, e2021JG006645 DOI:10.1029/2021JG006645

Park, H., Hiyama, T., Suzuki, K., “Contribution of water rejuvenation induced by climate warming to evapotranspiration in a Siberian boreal forest”, *Frontiers in Earth Science*, **2022**, 10, 1037668 DOI:10.3389/feart.2022.1037668

Kanamori, H., Abe, M., Fujinami, H., Hiyama, T., “Impacts of global warming on summer precipitation trend over northeastern Eurasia during 1990-2010 using large-ensemble experiments”, *International Journal of Climatology*, **2023**, 43, 615-631 DOI:10.1002/joc.7798

・査読無し：発表件数：計 4 件

檜山哲哉, “水文・水資源学会/日本水文科学会 2022 年度研究発表会 プロポーズドセッション「北極域・永久凍土域の水・物質循環」について”, 日本水文科学会誌, **2023**, 53 巻, 13-16 DOI:10.4145/jahs.53.13

飯島慈裕・阿部隆博・齋藤 仁・檜山哲哉, “東シベリア・レナ川中流域における永久凍土荒廃と水域変化”, 日本水文科学会誌, **2023**, 53 巻, 25-27 DOI:10.4145/jahs.53.25

田代悠人・檜山哲哉・金森大成・近藤雅征, “1995-1997 年のアムール川本流における溶存鉄濃度上昇について: 大気再解析データを用いた初期解析”, 日本水文科学会誌, **2023**, 53 巻, 35-37 DOI:10.4145/jahs.53.35

朴 昊澤・鈴木和良・檜山哲哉, “水トレーサーモデルを用いたレナ川流域における水循環の成分分離”, 日本水文科学会誌, **2023**, 53 巻, 38-41 DOI:10.4145/jahs.53.38

*その他の著作物（相手側研究チームとの共著総説、書籍など）：発表件数：計 0 件
該当なし

*その他の著作物（相手側研究チームを含まない日本側研究チームの総説、書籍など）：発表件数：計 2 件

檜山哲哉・飯島慈裕, “第 4 章 シベリア北方林：永久凍土と水文気候, 『森林科学シリーズ 5 森林と水』”, 三枝信子・柴田英昭・高梨 聡(編), 共立出版, **2022**, 99-146 ISBN: 978-4-320-05821-7

檜山哲哉, “温暖化が寒冷圏に及ぼす影響, 『地理学事典』”, 公益社団法人 日本地理学会(編), 丸善出版, **2023**, 514-515 ISBN: 978-4-621-30793-9

2. 学会発表

*口頭発表（相手側研究チームとの連名発表）

発表件数：計 11 件（うち招待講演：0 件）

*口頭発表（相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表）

発表件数：計 8 件（うち招待講演：0 件）

*ポスター発表（相手側研究チームとの連名発表）

発表件数：計 2 件

*ポスター発表（相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表）

発表件数：計 0 件

3. 主催したワークショップ・セミナー・シンポジウム等の開催

・2022 年 3 月 8-11 日：国際シンポジウム（関連プロジェクトと共催）、International Symposium on “Pan-Arctic Water-Carbon Cycles and Terrestrial Changes in the Arctic: For Resilient Arctic Communities”、主催者：檜山哲哉（名古屋大学・教授）、オンライン開催、参加人数 67 名

4. 研究交流の実績

【合同ミーティング (オンライン)】

- ・2020年4月20-21日：キックオフ会議
- ・2020年4月20日：Executive Board Teleconference
- ・2020年5月18日：Executive Board Teleconference
- ・2020年6月15日：Executive Board Teleconference
- ・2020年8月17日：Executive Board Teleconference
- ・2020年10月12日：Executive Board Teleconference
- ・2020年12月7日：研究成果報告会
- ・2020年12月7日：Executive Board Teleconference
- ・2021年1月25日：Executive Board Teleconference
- ・2021年2月15日：Executive Board Teleconference
- ・2021年2月26日：水文モデル会議
- ・2021年3月16日：Executive Board Teleconference
- ・2021年4月19日：Executive Board Teleconference
- ・2021年5月17日：Executive Board Teleconference
- ・2021年5月19日：研究成果報告会
- ・2021年6月14日：Executive Board Teleconference
- ・2021年8月16日：Executive Board Teleconference
- ・2021年9月21日：Executive Board Teleconference
- ・2021年10月18日：Executive Board Teleconference
- ・2021年11月9-11日：研究成果報告会
- ・2021年11月11日：Executive Board Teleconference
- ・2021年12月21日：Executive Board Teleconference
- ・2022年1月18日：Executive Board Teleconference
- ・2022年2月21日：Executive Board Teleconference
- ・2022年3月28日：Executive Board Teleconference
- ・2022年4月25日：Executive Board Teleconference
- ・2022年5月24日：Executive Board Teleconference
- ・2022年6月27日：Executive Board Teleconference
- ・2022年9月21日：Executive Board Teleconference
- ・2022年10月18日：Executive Board Teleconference
- ・2023年2月1日：Executive Board Teleconference
- ・2023年3月10日：研究成果報告会

5. 特許出願

研究期間累積出願件数：0件

6. 受賞・新聞報道等

なし

7. その他

【市民向けアウトリーチ活動】

- ・2020年8月7日：檜山哲哉

CBC ラジオ 多田しげおの気分爽快～朝から P・O・N「金曜ゲスト」(生放送スタジオインタビュー)にて、永久凍土について解説した。

・2022年4月12日：檜山哲哉

愛知学院大学 第193回モーニングセミナー（愛知学院大学 楠元キャンパス 110周年記念講堂）にて、「地球温暖化で永久凍土・北極の氷が融けている！ ～北極海の海水融解は、一段と地球温暖化を加速する！～」と題し、市民に講演した。（参加者約100名）

・2022年9月21日：檜山哲哉

春日井市 市民環境アカデミー（文化フォーラム春日井 2階 会議室）にて、「気候変動が永久凍土に及ぼす影響」と題し、市民に講演した。（参加者約40名）

・2022年10月3日：檜山哲哉

あいちゼロカーボン推進協議会講演会『気候変動をもたらす要因、気候変動をもたらす未来』（ウィンクあいち 5F 小ホール1、オンライン）にて、「気候変動が北極域に及ぼす影響」と題し、企業の脱炭素関連担当者に講演した。（参加者約50名）

・2022年11月25日：檜山哲哉

経済産業省経済産業政策局・産業技術環境局補助支援事業・カーボンニュートラル社会連携講座（オンライン）にて、「地球温暖化が北極域に及ぼす影響」と題し、国立高等専門学校機構福島工業高等専門学校の学生に講演した。（参加者約80名）

・2022年12月8日：檜山哲哉

豊山町生涯学習講座・豊寿大学（豊山町社会教育センター・2階ホール）にて、「地球温暖化と永久凍土」と題し、市民に講演した。（参加者約30名）