

令和 6 年 5 月 1 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12207

研究課題名（和文）急激な温暖化に曝される北極海流入主要河川網の熱流束分布の動態解明

研究課題名（英文）Spatio-temporal distribution of heat flux in major river networks entering the Arctic Ocean exposed to the rapid warming

研究代表者

堀 雅裕 (Hori, Masahiro)

富山大学・学術研究部都市デザイン学系・教授

研究者番号：30509831

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000 円

研究成果の概要（和文）：日本の気候変動観測衛星GCOM-C搭載SGLIセンサの観測データを用いて北極海流入主要6河川の表面水温および河道幅を抽出し2018-2023年の6年分のデータセットを作成した。解析の結果、各河川の水温は6-8 程度、また河道幅も±30%程度の振幅で年変動していることが明らかとなった。SGLIによる河口付近の水温と地上観測に基づく河川流量をもとに6年間の北極海流入熱量を算出したところ、オビ、レナの両河川で7月の流入熱量に減少、増加の傾向がそれぞれみられた。このことから、近年、北極海流入熱量の流入パターンに変化が生じている可能性があることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年の地球温暖化の進行に伴い、北極海氷が著しく縮小傾向にある。北極海氷の縮小には、単なる気温の上昇以外にも雲量の変化にともなう日射量の増減、海洋の温暖化、大陸河川からの淡水・熱量の流入量変動など多くの環境要因が複合的に作用しており、各要因の定量的な理解が必要となっている。大陸河川の水温や流量は、地上観測点での計測がこれまで行われているが、昨今の国際情勢や経済動向により近年観測網は縮小される傾向にある。本研究は、日本の人工衛星センサSGLIを活用し、北極海流入主要河川の表面水温と河道幅を世界で初めて高頻度に観測することに成功したもので、北極海流入熱量の変動メカニズム解明に貢献できると期待される。

研究成果の概要（英文）：The surface water temperatures and channel widths of six major rivers in the Arctic Ocean were derived using data from the SGLI sensor onboard the Japanese climate change observation satellite GCOM-C, and a six-year data set was created for the period 2018-2023. The analysis revealed that the water temperature of each river varied about 6-8 °C and the river channel width varied about ±30% per year. A decreasing and increasing trend were observed in July for the Obi and Lena rivers, respectively. This indicates that the inflow pattern of the Arctic Ocean heat flux may have changed in recent years.

研究分野：環境リモートセンシング

キーワード：地球温暖化 北極河川 衛星リモートセンシング 水温 流量 熱量

1. 研究開始当初の背景

世界の平均気温は1900年台初頭以降、増加の一途を辿っており、地球温暖化が進行しつつあることに疑いの余地はない¹⁾。実際、人工衛星による観測が始まった1970年代後半以降、晩夏(9月)の北極海氷面積は、10年間に1割のペースで縮小が続いており、2012年の海氷面積は1980年代の約半分の小ささにまで縮小した²⁾。このような地球温暖化の影響は大陸上の季節積雪域の面積と被覆期間にも及んでいる。研究代表者は、1980年初頭以降の30年間に北半球の積雪域面積が全ての季節で縮小傾向にあり、特に夏期・秋期の面積が約1割縮小したこと、ユーラシア大陸西部では年間の積雪被覆期間が1か月間以上短縮した地域が欧州を中心に広範囲に広がっている様子等を明らかにした³⁾。雪氷圏ではこの他、大陸上広く分布する永久凍土の温度が1980年初頭以降、上昇を続けており、凍土融解による大規模な地面陥没現象も多数報告されている⁴⁾。

急激な積雪域の縮小は、融雪水の流出・蒸発や降水の季節変動パターンを変化させ、大陸規模の水循環に大きな変動をもたらす。研究代表者が1982-2017年の長期間の衛星データを用いて河川流域毎に積雪域を解析したところ、多くの河川で春期消雪時期が1週間程度早まり、それと同期して河口流量が年最大を示す時期も6月から5月に早期化し、両者に密接な関係があることを明らかにした⁵⁾。河川を通じた大陸から北極海への淡水流入量は、北極海への全淡水入力量の約4割を占めており⁶⁾、ロシアと北米大陸を流れる主要河川は北極海へ淡水と熱を流し込む大動脈と位置付けられる。研究代表者が解析してきた積雪域面積の長期縮小傾向は、河川流量が年間最大になる時期の早期化をうまく説明できており、積雪が河川への淡水供給源として主要なものである事は明白である。したがって、季節積雪域の縮小傾向は、河川を介した淡水・熱量の供給を通して、北極海の海氷や海洋生態系の動態にも大きな影響を及ぼしていると考えられる。しかし、河川から北極海への年間総流入量は現在増加傾向にあることが報告されており⁷⁾、融雪期以外の晩夏から秋期にかけての増加が認められている。これは非積雪期の降水イベントや高緯度地域を広く覆う永久凍土の融解水流出の寄与を示唆するものである。特に後者の永久凍土は近年急激に融解が進んでいるものと考えられるが、凍土は地下に埋れており、融解水の流出経路は極めて複雑で、どのくらいの凍土融解水が河川を通して流出しているかについては全く知見が得られていない。

2. 研究の目的

本研究の目標は、衛星観測により北極流入主要河川の水温・流量分布の季節・年変動を大陸規模で把握することによって、河川水の淡水供給源毎の寄与割合と流域内の排水プロセスの解明に資する河川水温度・河道幅データセットを構築することである。縮小傾向が明瞭な北極海氷に比べ、陸上積雪域の面積は、従来、春期と夏期は縮小傾向を示すが、秋期と冬期には逆に増加傾向を示していると考えられていた。しかし、研究代表者は、全ての季節で積雪が縮小傾向にあることを見出し、また、従来の知見が、衛星データから積雪を検知する際の基準を年代毎に統一していなかったことによる見せかけのトレンドであることを明らかにした³⁾。こうして北半球の陸上積雪域の縮小傾向は明瞭になってきたが、融雪水の影響が大きく波及する河川流域の水文循環については、いまだに地上の限られた場所における低頻度の観測情報しかなく、流域規模の河川水温度や流量の動態については未解明である。この地上観測網の不足を補う上で、衛星観測の果たす役割は今後重要性を増していくと考えられるが、これまでボトルネックとなっていたのが衛星センサの空間分解能である。従来、北極域を毎日観測可能なセンサの分解能は1kmと粗く、河川の下流・上流の水温度計測には適さなかった。本研究では、従来の1/4(250m)のセンサ分解能を有し2017年末に打ち上げられた日本の地球観測衛星のデータを河川観測に世界に先駆けて活用し、河川水温度・河道幅分布に関する基盤データを作成する。将来的に大陸規模河川の熱流束を予測する水文モデルの検証や改良に資するデータになると期待される。

3. 研究の方法

衛星搭載光学センサが観測した放射輝度データを取得・解析し、以下の手順にて主要河川の河道幅および水温度の時空間分布を抽出するとともに、地上データを用いて抽出精度の検証を実施する。

まず、宇宙航空研究開発機構(JAXA)の気候変動観測衛星GCOM-C搭載光学センサSGLIの校正済み放射輝度(Level1-B)のデータをJAXAより取得し、北極海流入主要6河川(ロシアのオビ、エニセイ、レナ、コリマ、北米のユーコン、マッケンジー)の主要流路に沿った水域を判別し河道幅と水温度分布を抽出する。

次に、各河川の河口付近に設置された地上サイトで計測された水温度・流量データをArcticGROより取得し、1.で抽出した水温度分布の精度検証を行うとともに、河口の流量と相関の高い河道幅変動を示す流路沿いの地点を探索し、河道幅から河口流量を推定する推定式を決定する。また、日単位の河川水温度、河道幅の時空間分布データを用いて、水温度、河道幅の6年間の平均分布、各年の偏差分布を作成し、各年の季節変動および経年変化の特徴を調査する。さらに、衛星による

積雪域分布や地表面温度データ、気象データ（欧州中期気象予報センサーのERA5等）を用いて、流域内の積雪、降雨量、気温、地表面温度等の気象・環境要素との依存関係について調査する。

以上の研究によって、大陸スケールの水循環変動の実態とそのメカニズム解明に有用な北極海流入主要河川の水温および河道幅の時空間分布データセットを作成する。

4. 研究成果

日本の気候変動観測衛星GCOM-C搭載SGLIセンサーの観測データを用いて北極海流入主要6河川（ロシアのオビ、エニセイ、レナ、コリマ、北米のユーコン、マッケンジー）の表面水温および河道幅を抽出し2018-2023年の6年分のデータセットを作成した。解析の結果、各河川の水温は、春の解氷時期と秋の結氷時期の0°C付近から夏季の16-20°Cまでの大きな季節変動を示すこと（図1）、同じ季節でみた場合、河川周囲の陸面温度の年偏差にともない河川水温も6-8°C程度の年変動を示すことが明らかとなった。また河道幅については、春先の融雪時期に最も河道幅が広がること（図2）、春先の積雪量、融雪のタイミングのズレや降水イベントの多寡により±30%程度の振幅で年変動していることが明らかとなった⁸⁾。SGLIによる河口付近の水温と地上観測に基づく河川流量をもとに6年間の北極海流入熱量を算出したところ、河川流量が多くなる6-7月に流入熱量が最大になることが明らかとなった。また、2018-2023年の期間でオビ、レナの両河川では7月の流入熱量に減少、増加の傾向がそれぞれみられ、エニセイ川では8月の流入熱量に増加傾向が見られた。このことから、近年、北極海流入熱量の流入パターンに変化が生じている可能性があることがわかった。このようにSGLIのデータが蓄積してきたことで北極海流入河川の水温と河道幅（流量）との相関関係、そして北極海への流入熱量の変動傾向が明らかになりつつある。今後もSGLIによる観測を継続することで、北極河川の温度や流量に影響を及ぼす環境因子やそのメカニズムを明らかにすることができる。と期待される。

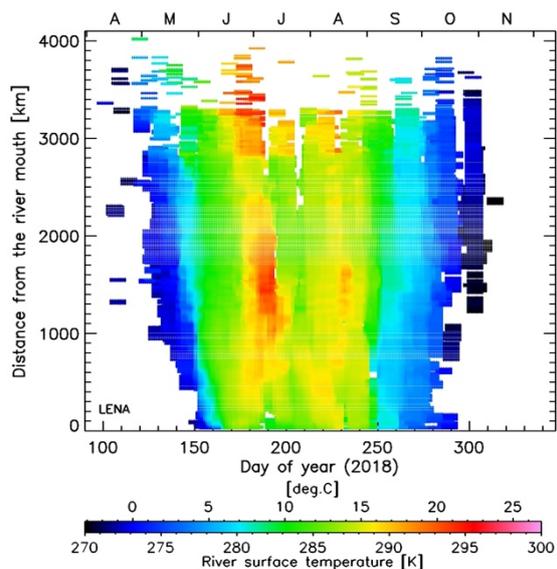


図1 レナ川流路（河口～4000km上流）の2018年の河川水温の日変動

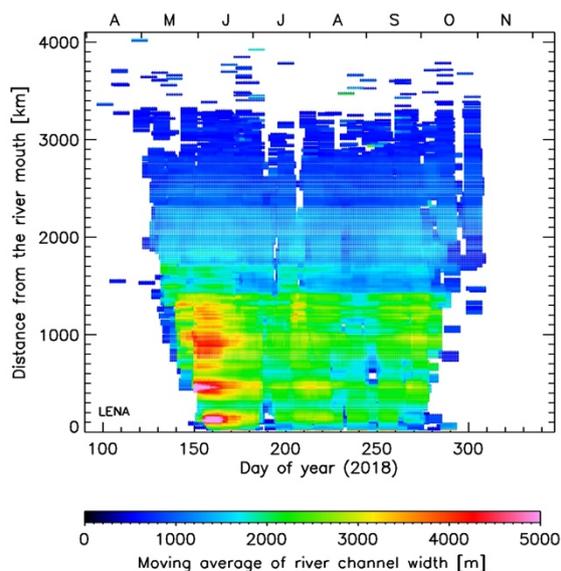


図2 レナ川流路（河口～4000km上流）の2018年の河道幅の日変動

<引用文献>

- 1) IPCC, 2013: Climate Change 2013, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- 2) JAXA プレスリリース, 2012, https://www.jaxa.jp/press/2012/09/20120920_arctic_sea_j.html
- 3) Hori, M., Sugiura, K., Kobayashi, K., Aoki, T., Tanikawa, T., Kuchiki, K., Niwano, M. & Enomoto, H., 2017: A 38-year (1978-2015) Northern Hemisphere daily snow cover extent product derived using consistent objective criteria from satellite-borne optical sensors. *Remote Sens. Environ.*, 191, 402-418, doi:10.1016/j.rse.2017.01.023.
- 4) Lewkowicz and Way, 2019: *Nature Commun* 10, 1329, doi:10.1038/s41467-019-09314-7.
- 5) 堀, 2018: 雪氷研究大会 (2018・札幌) .
- 6) Vihma et al., 2015: *J. Geophys. Res.*, 121, 586-620, doi:10.1002/2015JG003132.
- 7) Holmes et al., 2018: River Discharge [in Arctic Report Card], <https://www.arctic.noaa.gov/Report-Card/Report-Card-2018/ArtMID/7878/ArticleID/786/River-Discharge>
- 8) Hori, M., 2021: Near-daily monitoring of surface temperature and channel width of the six largest Arctic rivers from space using GCOM-C/SGLI. *Remote Sens. Environ.*, 263, 112538, doi:10.1016/j.rse.2021.112538.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hori Masahiro	4. 巻 263
2. 論文標題 Near-daily monitoring of surface temperature and channel width of the six largest Arctic rivers from space using GCOM-C/SGLI	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Remote Sensing of Environment	6. 最初と最後の頁 112538 ~ 112538
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.rse.2021.112538	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 堀雅裕
2. 発表標題 主要な大陸河川を通じた北極海へ流入するエネルギーフラックスの 2018-2023年の季節・経年変動
3. 学会等名 JpGU2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Masahiro Hori
2. 発表標題 Spatio-temporal Variations of Surface Temperature and Channel Width of the Arctic and sub-Arctic Rivers Observed from Space Using GCOM-C/SGLI During the Year 2018-2023
3. 学会等名 AGU Annual Meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masahiro Hori
2. 発表標題 4-year (2018-2021) variations of river surface temperature and channel width in the Arctic region derived from GCOM-C/SGLI
3. 学会等名 The 13th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masahiro Hori
2. 発表標題 Monitoring surface temperature and channel width of the six Arctic rivers from space using GCOM-C/SGLI
3. 学会等名 Seventh International Symposium on Arctic Research (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masahiro Hori
2. 発表標題 River surface temperature and channel width in the Arctic region derived from GCOM-C/SGLI
3. 学会等名 The 12th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

河川データ：北極域の河川水温（RST）／河道幅（RCW） http://www3.u-toyama.ac.jp/rsees/river_data.html

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------