

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01870

研究課題名(和文) 海水減少が北極陸域水循環に与える影響の実態解明

研究課題名(英文) Influence of the declining Arctic sea ice on the Arctic terrestrial water cycle

研究代表者

朴 昊澤 (Park, Hotaek)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(北極環境変動総合研究センター)・グループリーダー代理

研究者番号：10647663

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、北極海水減少と季節プロセス間の相互作用に着目し、全球同位体循環モデルと陸面過程モデルを用いて、海と陸での降水と水蒸気の同位体観測データを時系列・広域化することで、海水減少による陸域水循環への影響を評価した。モデルの数値実験により海水減少が沿岸の陸地の降水量増加に影響していたこと、秋に北極海沿岸域の水蒸気の起源が異なることを降水の同位体比の分析によって明らかにした。北極海に流入する河川水熱量の増加が最大10%以上を沿岸域の海水融解に影響していたことを評価した。海水減少が陸域水循環を強化し、その影響が再び海水減少と北極温暖化を引き起こすメカニズムが本研究より明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

北極海から陸域への水蒸気輸送を調べるため、起源追跡が可能な水安定同位体に着目し、海洋及び陸上で降水と水蒸気の同位体を観測するネットワークを構築した。また、陸域に入ってきた北極海起源の水が河川を通して北極海に流れていくその実態を解明するために、同位体観測データと同位体プロセスを取り込んだモデルを統合させた。その結果、これまで漠然としてきた「海水減少-陸域水循環」の実態が明らかになり、その成果は北極温暖化増幅の解明と気候モデルの気候変動の予測精度向上のためのプロセス及びパラメータの精緻化に貢献できる。さらに、本研究で構築する河川流出量と熱フラックスは北極航路予測向上につながる。

研究成果の概要(英文)：This study aims to evaluate influence of the declining Arctic sea-ice on the Arctic terrestrial water budget focusing on the interaction between seasonal processes, based on numerical model experiments and analysis of precipitation water isotopic ratios observed at land and ocean. The model experiments indicated a significant contribution of the retreated sea ice to the increase of precipitation at the coastal regions. The precipitation-observed isotope ratios revealed different sources for the autumnal water vapor. River heat inflowing to the Arctic Ocean contributed up to 10% of the regional sea ice reduction over the Arctic shelves. These results evidently suggest that the increasing ice-free area in the shelf seas results in intensified terrestrial water cycle, which in turn enhances sea-ice decline and the Arctic warming through amplified ocean-atmosphere energy exchange caused by river heat inflow.

研究分野：水文気象気候学

キーワード：海洋減少 水循環 水安定同位体 モデル 数値実験

1. 研究開始当初の背景

北極の海水の急減はすでによく知られた事実であるが、その変化に同調するように、陸域では積雪深及び河川流量の増加などの水循環の変化が顕著になっている。北極海の沿岸域で秋季の水蒸気量が増加したこと (Cohen et al., 2012) と、シベリアで水蒸気量の増加と降水量の増加との相関が高いことが観測で確認された (Ye et al., 2015)。また、秋季の降水と冬季の積雪深の増加のつながりが指摘されている (Bulygina et al., 2009)。積雪増加は春に大量の融雪水を河川に供給し、それにより河川流量が増加した一方で、気温上昇によって春の河川流出量のピークが早まった (Holmes et al., 2015)。河川水は淡水と熱を北極海に運ぶため、北極海の熱収支と海水の融解に影響を与えることが示唆されているが、その影響の定量化には至っていない。

近年の凍土の地温上昇は気温上昇よりも積雪の断熱効果に大きく影響を受けることが、ロシアの地温観測データの解析とモデル実験によって明らかになった。冬季の暖かい地温がメモリとして夏に伝搬し、凍土表層の融解が進むために活動層が深くなる。その過程で土壌水分が増え、河川水に対する土壌水の割合が増加する (Brutsaert and Hiyama, 2012)。実際、1979 年以降のロシアの大河川では 9-10 月の流出量の増加トレンドが顕著であった。それだけではなく、積雪は河川及び湖沼の水にも影響を与えている。これらの陸域の水の変化は、河川流出量を増加させる環境を促進する。さらに夏季の河川流出量の増加は、北極海に熱を供給し、沿岸で秋の結氷を遅らせる効果があると考えられてきたが、その効果は実証されていない。

これまでの北極の水循環に関する研究は、北極の「海水-大気-積雪-凍土-河川」の水循環システムが海水減少と深い関係にあることを示唆している。しかし、海水減少が季節ごとのプロセスを通して陸域水循環に影響していたことまでは着目されていない。そのため、新たな北極研究領域として「海水減少-陸域水循環」の重要性を強調する。

2. 研究の目的

近年、海水が減少する中で、大気中の水蒸気の増加や北極温暖化増幅によって、「海水-大気-積雪-凍土-河川」の季節プロセスの変化が顕在化しており、海水減少による陸域水循環への影響が懸念される。本研究は、海水減少と季節プロセス間の相互作用に着目し、全球同位体循環モデルと陸面過程モデルに基づくモデル研究と、海と陸での降水と水蒸気の同位体観測データに基づく観測研究によって、水循環の実態を時系列・広域化することで、海水減少による陸域水循環への影響を評価することを目的とする。

3. 研究の方法

北極海から陸域への水蒸気の輸送メカニズムを明らかにするため、北極海上と陸上で降水と水蒸気をサンプリングし、同位体比を観測するネットワークを構築した。東シベリアのティクシでは 1998 年から降水の同位体観測を継続しており、同様の観測をロシア、アラスカ、及びカナダに新たに展開した (図 1 の黄色印)。これに、海洋地球研究船「みらい」をはじめ、他の国際研究機関 (カナダ、ロシア、韓国) の研究船による北極航海の協力を得て海上の降水と積雪のサンプリングを行った。なお、「みらい」北極航海では、上記に加えて水蒸気同位体の連続観測を行った。

海水後退に伴って蒸発により増加する北極海起源の水蒸気が陸域の降水量に及ぼす影響を調べるために、全球同位体循環モデル (IsoGSM) における北極海の海水分布を変化させた数値実験を行った。海水変化に対する大気循環への影響を調べるために、先行研究において大気循環モデル (AGCM) による海水変化の応答実験で境界条件として使用された海水分布のデータセットを IsoGSM の境界条件に用いた (Nakamura et al., 2016)。河川水による熱流入が海水に及ぼす影響を評価するために、3 つの気象データセットを用いて陸面モデル (CHANGE) によって計算された河川流出量と水温を計算し、海水海洋結合モデル (COCO) の境界条件として与える数値実験を行った。

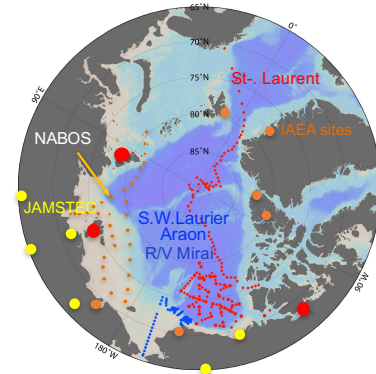


図 1. 研究船の北極航海ルート及び降水同位体の観測網

4. 研究成果

(1) 北極海と周囲陸域における降水の同位体比の特性

ロシア国東シベリアのティクシでは、研究代表者らを中心に 1998 年から降水の同位体観測を継続している。同位体比と気温との相関 (温度効果) を用いて品質管理を行った上で、1998 年から 2019 年まで $\delta^{18}\text{O}$ は約 1,500 サンプル、 $\delta^2\text{H}$ は約 1,000 サンプルの同位体データセットを作成した。ティクシ近くにある Samoylov Island の観測値 (Bonne et al., 2020) と比較した結果、2008 年以降の降水 d-excess には 10% 以上の違いが認められた。ティクシの月平均気温と、降水 $\delta^{18}\text{O}$ の長期トレンドを解析した結果、気温には 3、4、8-11 月には 0.12~0.42°C の上昇傾向が認められ、降水 $\delta^{18}\text{O}$ には 4 月と 10 月のみ上昇傾向が認められた。NCEP/NCAR 再解析データ

より、観測期間の初期5年間（1998～2002年）と終期5年間（2015～2019年）の月平均気温と海氷密度度のコンポジット解析を行った（図2）。その結果、4月には西シベリア内陸部の気温上昇、10月には東シベリア沿岸域に高温偏差と北極海沿岸域での海氷減少が認められた。以上より、ティクシの降水同位体比が高くなる原因として、4月には温度効果のみ、10月には温度効果と水蒸気起源の違いによることが明らかとなった。

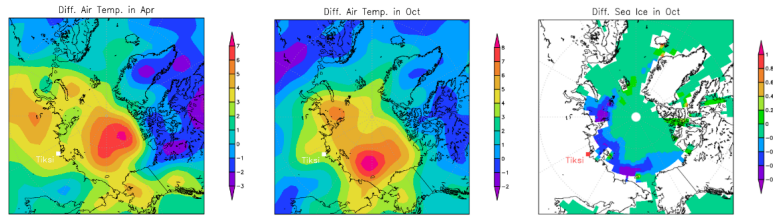


図2. 観測初期5年間と終期5年間の気温と海氷の違い。左から4月の気温、10月の気温、10月の海氷密度の違い。

その他、2016年から2019年の間に北極海上で研究船により採水された降水、および陸上で採水された降水サンプルの同位体比を分析し、データセットを作成した。研究船と陸上観測地点の天水線（Local Meteoric Water Line: LMWL）を作成し、その傾きと切片について比較した結果を図3に示す。その結果、天水線の傾きはほとんどの地点で7から8であるが、切片は研究船では-10～10‰と狭い範囲に対して、陸上観測ではフェアバンクスの+30‰を除いても-25～10‰付近と広い範囲である。また、陸上観測地点には正の相関が認められたが、研究船では相関が認められなかった。研究船で観測された降水の天水線の切片の範囲が狭い理由として、夏季のみの観測であり、降水の起源となる水蒸気が比較的均質である可能性が考えられる。

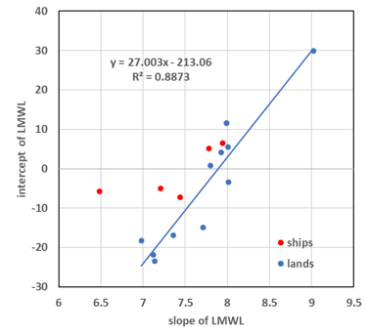


図3. 研究船と陸上観測地点の天水線の傾きと切片の関係。

(2) 降水量に対する海氷減少の影響

海氷変化に対する大気循環場や水循環場への応答を評価するために、全球同位体循環モデル（IsoGSM, Yoshimura et al., 2008）を用いた気候実験を実施した。IsoGSMでは海氷を有る(1)か無い(0)かの海氷の有無を境界条件として駆動する。海氷の分布および海面温度はNakamura et al. (2016)により作成されたデータを用いた。海氷後退実験の種類は、1979-1983年ごろを想定した実際に海氷が多い時期のCNTL、2005-2009年ごろを想定した実際に海氷が少ない時期のAICE、AICEから海氷をそれぞれ30cm、40cm、50cm薄くしたIm30、Im40、Im50である。本研究では、各気候実験について51年間の積分実験を行った。はじめの1年のスピナップとして、後の50年間を対象に月ごとの気候値を求め、各実験結果を比較した。

図4に各実験におけるCNTL実験からの1月の降水量の偏差割合を示す。海氷後退による降水量への影響は主に海域で見られ、陸域への影響は小さかった。AICE、Im30、Im40における降水量の変化パターンは類似しており、グリーンランド海付近で降水量の増減が見られた。この地域のうち、降水量が増加した地域は海氷が後退した領域と一致しており、海氷が後退した地域から蒸発した水蒸気が降水量の増加に寄与している可能性がある。この傾向はIm30やIm40でも見られた。その一方、Im50では北極点付近の海氷は全て融解したと想定されるため、北極海全域で降水量が大きく増加した。AICE、Im30、Im40における陸域降水量の違いは北アメリカ西部沿岸域などの一部の地域で見られ、それ以外の地域ではほとんど変化が見られなかった。Im50においては、シベリア北部を中心に降水量が増加する傾向が見られた。

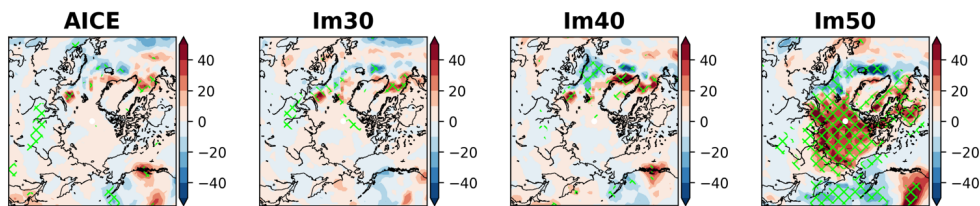


図4. CNTL実験からの降水量偏差の割合(%)。海氷に最も覆われる1月の結果について示す。有意水準5%で統計的に違いが有意な地点を緑の×印で示す。

(3) 河川流出の経年変動に対する降水量と大気循環場の影響

北極海へ淡水を供給する主要河川であるシベリア河川を対象に、河川流量の年々変動とそれに影響を及ぼす降水量及び大気循環場の長期変動に関する調査を行った。先行研究で指摘されたように、シベリア河川の流量変動は季節的なラグを持って降水量と強い正相関を示し、夏季の

降水量が年間の流量変動に強く影響する (Oshima and Yamazaki, 2019)。夏季の流量変動の特徴として、1980年代から90年代半ばにレナ川とオビ川流域の降水量及び流量が負相関となり、シベリアの大気循環場で高気圧偏差と低気圧偏差が東西に交互に現れる東西シーソーパターンが影響していたことが先行研究で指摘された。このような夏季流量変動の要因解明を目的とし、我々は過去200年間の年輪復元流量データと過去70年間の観測流量データ、過去100年間の降水量データを用いて長期解析を行った(図5)。その結果、1980年代は負相関である一方で、1960年代は正相関、90年代後半以降は弱い相関と、シベリア東西の河川流量の年々変動は年代ごとに異なる関係性であった。ただ、ここで興味深いことに、負相関の頻度が高いことが分かった。さらにこの要因を調査するため、大気再解析データに加え、AGCM及びCMIP3気候モデル(大気海洋結合モデル)のシミュレーション結果を用いて大気循環場の解析を行った。いずれのデータにおいてもシベリア東西の降水量が負相関となる期間には東西シーソーパターンが現れることが確認でき、その中でAGCMの結果は負相関の頻度が高く、顕著であった。この結果は、AGCM実験が海洋と陸域の変化による強制を受けていないため、夏季シベリアの東西シーソーパターンが大気循環で自立的に生じる自然内部変動として現れることを意味する。すなわち、夏季のシベリア上空には大気其自然変動として大気循環場に東西のシーソーパターンが現れやすい傾向にあり、その結果として降水量と河川流量が東部のレナ川と西部のオビ川で負相関になることが明らかになった(Oshima et al., 2018)。

この夏季の流量変動に影響を及ぼす大気循環場には、自然変動以外にも大西洋を起源とするテレコネクションの影響が指摘されている。最近の研究では、CMIP6による10年規模予測の結果を解析し、大西洋の水温場に見られる10年規模変動(AMV)が大気循環偏差を励起し、同地域の降水量と河川流量を増加させるとともに、さらには北極海沿岸域の海水密度や塩分へも影響することが示された(Nicoli et al., 2020)。このような海洋と大気と陸域、さらに海洋へと一連の影響の連鎖を示す統合的な水循環プロセスの解明は重要である。また、彼らの結果に基づくと、2000年代のAMVは正位相であることから同期間のシベリア域の降水量及び河川流量の増加に寄与したと推測される。

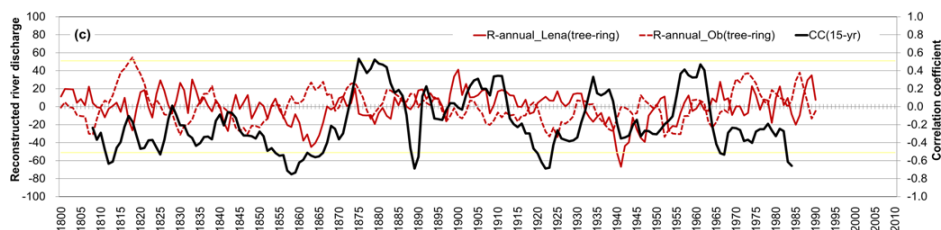


図5. 過去200年間のレナ川(赤線)とオビ川(赤点線)の年輪復元流量データ、及び両川間の流出量の相関係数(黒線)。

(4) 海氷に対する河川からの熱流入の影響

北極陸域の広域研究に用いてきた陸面過程モデル(CHANGE)により、北極海に河川水を供給する全流域を対象に、過去36年間(1980–2015年)の河川の流出量と水温を計算し、それらを海氷海洋循環モデル(COCO)の境界条件として与える実験を実施することで、河川水の北極海への熱流入量によって、北極海の家氷がどのようなメカニズムで、どこでどの程度解けたのかを調べた。海氷海洋循環モデルでは、河川からの熱流入を与えたものと与えていない二通りの実験を行い、両者の差が河川水による北極海への熱流入量を考慮した影響として評価を行った(Park et al., 2020)。

陸面過程モデルに北極域で実際に観測された気象データを与えて計算した河川水の熱流入量(Q_{rh})は、過去36年間で顕著な増加を示した。平均すると年間 94.4×10^{18} Jの熱量が北極海に流れており、その量は太平洋と大西洋から北極海への熱流入量の7%で、厚さ1mの家氷を31万 km^2 程度解かすエネルギーに相当する。またモデル計算結果からは、河川からの熱流入量によって年間で約63 km^3 の家氷融解を引き起こしたことが分かった。家氷の融解は地域的に大きな差を示す中、他の海域よりシベリアのラプテフ海での影響が著しく、最大で年平均家氷厚の10%以上が河川からの熱流入によって解けていた。

河川から北極海への熱流入は、河川出口の海洋表面を暖めた後、垂直そして水平に広がり海水温を上昇させていた。その範囲は、河川出口の海域に止まらず、陸から250km離れた北緯76°まで及んでいた。河川水の熱の影響による海水温の上昇傾向は、1980年代よりも温暖化が顕著になった近年に顕著にあり、例えば、8月には河川出口付近で最大1.5°C上昇し、この高温偏差は結氷がスタートする10月まで続いていた。それは秋の結氷を遅らせ、開氷の期間をより長くすることになる。実際、地域によっては、河川からの熱流入の影響により開氷期間が20日長くなっていたことが分かった。そこには、春に大量の河川からの熱流入に伴って解氷が早くなった影響も含まれる。

河川水の熱の影響として海氷の後退が進むことで、アルベドフィードバックが進み、大気から海洋への熱流入が増え、河川水熱流入量の64%に相当する年間 60.6×10^{18} Jの太陽エネルギー(Q_{sw})がさらに加わった。その結果、海洋に蓄積される熱量の合計は 155.0×10^{18} Jになった(図6)。その熱量の12%を占める 19.4×10^{18} Jが、63 km^3 の家氷を融解する(Q_{im})ため使われ

た。残りのエネルギーが海洋を暖める熱 (48.2×10^{18} J、 Q_{ow})、そして顕熱・潜熱として海洋から大気に放出され、大気を暖める熱 (112.0×10^{18} J、 Q_{ao}) に分配されていた。この熱収支から、河川水の熱が海氷を直接融解することに加えて、それ以上に海洋と大気を暖めることに効果として働くことが明らかになった。北極海がまだ海氷で覆われている季節に流入した河川水の熱量は、海氷融解に対する寄与が相対的に高い。しかし、海氷が沖に後退すると、その寄与が低くなる半面、沿岸の海洋を暖めて海洋—大気間のエネルギー交換が増加する。海洋から放出された熱エネルギーは気温上昇に影響し、これを簡易的な式を用いて計算した結果、 112.0×10^{18} J のエネルギーが過去 36 年間で 0.11°C の気温を上昇させたことが見積もられた。 0.1°C は、1979 年から 2008 年までに北極海沿岸の気象観測所で観測された気温上昇の平均値 (1.92°C) の約 6% に相当する。

このように、CHANGE と COCO を用いて北極海の海氷と熱収支の変動に対する河川水の影響を評価した本研究結果から、河川水の熱流入が北極海の海氷を融解するエネルギー源の一つであること、海氷減少に伴って海洋へ追加された太陽エネルギーが河川水の熱とともに海洋温暖化をもたらし、そこから大気へ出ていったエネルギーが気温を上昇させ、さらにはその影響が再び海洋、そして河川に戻ってくる、言わば河川水熱フラックスが北極温暖化増幅を強める正のフィードバックとしての働きをしていたことが明らかになった。

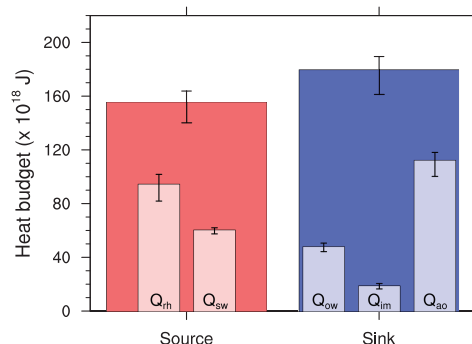


図6. 河川からの熱流入による北極海熱収支の変化。Source の 72% が大気加熱に使われ、河川からの熱流入が北極温暖化に寄与していること示す。

参考文献

- ① Bonne, J.-L., H. M. Hanno, B. Melanie, K. Sepp, R. Benjamin, S.-L., Hans Christian, H. Kirstin, A. Andrei, and W. Martin (2020) Water vapour isotopes analyser calibrated data from Samoylov station, 2015–08. PANGAEA, doi:10.1594/PANGAEA.921059.
- ② Brutsaert, W., and T. Hiyama (2012) The determination of permafrost thawing trends from long-term streamflow measurements with an application in eastern Siberia. *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 117, D22110.
- ③ Bulygina, O., V. Razuvaev, and N. Korshunova (2009) Change in snow cover northern Eurasia in the last decade. *Environ. Res. Lett.*, 4, 045026.
- ④ Cohen, J., J. Furado, M. Barlow, V. Alexeev, and J. Cherry (2012) Arctic warming, increasing snow cover and widespread boreal winter cooling. *Environ. Res. Lett.*, 7, 014007.
- ⑤ Nakamura, T., K. Yamazaki, K. Iwamoto, M. Honda, Y. Miyoshi, Y. Ogawa, Y. Tomikawa and J. Ukita (2016) The stratospheric pathway for Arctic impacts on midlatitude climate. *Geophys. Res. Lett.* **43**, 3494-3501.
- ⑥ Nicoli, D., A. Bellucci, D. Iovino et al. (2020) The impact of the AMV on Eurasian summer hydrological cycle. *Sci. Rep.*, 10, 14444.
- ⑦ Oshima, K., K. Ogata, H. Park, and Y. Tachibana (2018) Influence of atmospheric internal variability on the long-term Siberian water cycle during the past 2 centuries, *Earth Syst. Dyn.*, 9, 497-506.
- ⑧ Oshima, K., and K. Yamazaki (2019) Atmospheric water cycle. In T. Ohta, T. Hiyama, Y. Iijima, A. Kotani and T.C. Maximov (eds.) “Water-Carbon Dynamics in Eastern Siberia”, 25-42, ISBN 978-981-13-6317-7, Springer.
- ⑨ Park, H., E. Watanabe, Y. Kim, I. Polyakov, K. Oshima, X. Zhang, J. S. Kimball, and D. Yang (2020). Increasing riverine heat influx triggers Arctic sea ice decline and oceanic and atmospheric warming. *Sci. Adv.*, 6, eabc4699.
- ⑩ Ye, H., E. J. Fetzer, S. Wong, A. Behrangi, D. Yang, and B. H. Lambrigton (2015) Increasing atmospheric water vapor and higher daily precipitation intensity over northern Eurasia. *Geophys. Res. Lett.*, 42, 9404-9410.
- ⑪ Yoshimura, K., M. Kanamitsu, D. Noone and T. Oki (2008) Historical isotope simulation using Reanalysis atmospheric data. *J. Geophys. Res.-Atmos.*, **113**, D19108.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 4件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kim Jin-Soo, Kug Jong-Seong, Jeong Su-Jong, Park Hotaek, Schaepman-Strub Gabriela	4. 巻 6
2. 論文標題 Extensive fires in southeastern Siberian permafrost linked to preceding Arctic Oscillation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1126/sciadv.aax3308	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Park Hotaek, Launiainen Samuli, Konstantinov Pavel Y., Iijima Yoshihiro, Fedorov Alexander N.	4. 巻 123
2. 論文標題 Modeling the Effect of Moss Cover on Soil Temperature and Carbon Fluxes at a Tundra Site in Northeastern Siberia	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 3028 ~ 3044
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2018JG004491	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 -
1. 著者名 Oshima Kazuhiro, Ogata Koto, Park Hotaek, Tachibana Yoshihiro	4. 巻 9
2. 論文標題 Influence of atmospheric internal variability on the long-term Siberian water cycle during the past 2 centuries	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Earth System Dynamics	6. 最初と最後の頁 497 ~ 506
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5194/esd-9-497-2018	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 -
1. 著者名 Park H, Yoshikawa Y, Yang D, Oshima K	4. 巻 18
2. 論文標題 Warming water in Arctic terrestrial rivers under climate change	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Hydrometeorology	6. 最初と最後の頁 1983-1995
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1075/JHM-D-16-0260.1	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 該当する

1. 著者名 Takata K., P.K. Patra, A. Kotani, J. Mori, D. Belikov, K. Ichii, T. Saeki, T. Ohta, K. Saito, M. Ueyama, A. Ito, S. Maksyutov, S. Miyazaki, E.J. Burke, A. Ganshin, Y. Iijima, T. Ise, H. Machiya, T.C. Maximov, Y. Niwa, R. O'ishi, H. Park, T. Sasai, H. Sato, S. Tei, R. Zhuravlev, T. Machida, A. Sugimoto, S. Aoki	4. 巻 12
2. 論文標題 Reconciliation of top-down and bottom-up CO2 fluxes in Siberian larch forest	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Environmental Research Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-9326/aa926d	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 該当する

1. 著者名 斎藤和之・森淳子・町屋広和・宮崎真・伊勢武史・末吉哲雄・山崎剛・飯島慈裕・伊川浩樹・市井和仁・伊藤昭彦・大石龍太・太田岳史・堅田元喜・小谷亜由美・佐々井崇博・佐藤篤司・佐藤永・杉本敦子・鈴木力英・田中克典・新田友子・庭野匡思、E. Burke, 朴昊澤、山口悟	4. 巻 80
2. 論文標題 北極陸域モデル相互比較GTMIPの熱・水収支解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 雪氷	6. 最初と最後の頁 159-174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs10030402	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 -

1. 著者名 吉川泰弘・朴昊澤・大島和裕・横山洋	4. 巻 74
2. 論文標題 寒冷地河川における簡易的なアイスジャム計算モデルに関する検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集	6. 最初と最後の頁 I_1351-I_1356
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 Park H., E. Watanabe, Y. Kim, I. Polyakov, K. Oshima, X. Zhang, J. S. Kimball, D. Yang	4. 巻 6
2. 論文標題 Increasing riverine heat influx triggers Arctic sea ice decline and oceanic and atmospheric warming	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abc4699	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 伊波友生, 吉川泰弘, 横山洋, 矢部浩	4. 巻 26
2. 論文標題 嶮淵川における背水の影響を考慮したアイスジャムの検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 175-180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 小池太郎, 吉川泰弘, 横山洋, 伊波友生, 川邊和	4. 巻 76
2. 論文標題 2018年3月に常呂川で発生したアイスジャム現象の解明	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 163-168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 山田隆司, 吉川泰弘, 小池太郎, 横山	4. 巻 76
2. 論文標題 氷板と晶氷が混在した橋脚部におけるアイスジャム氾濫実験	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 169-174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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22件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Hotaek Park, Samuli Launiainen
2. 発表標題 Moss cover limiting carbon and methane fluxes of a Siberian tundra under warming climates
3. 学会等名 European Geosciences Union General Assembly 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hotaek Park, Alexander Fedorov
2. 発表標題 Impacts of ground ice and moss on carbon and methane fluxes in a Siberian tundra
3. 学会等名 27th International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kimpei Ichiyonagi, Hotaek Park, Masahiro Tanoue
2. 発表標題 Temporal Variability of Stable Isotopes in Precipitation Observed at Tiksi, Russia
3. 学会等名 27th International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hotaek Park, Kimpei Ichiyonagi, Masahiro Tanoue
2. 発表標題 Observed long-term variability of stable isotopes in precipitation at Russia
3. 学会等名 ArcticNet Annual Scientific Meeting (ASM) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hotaek Park, Xiaoming Wang, Daqing Yang
2. 発表標題 Blowing snow impacts on permafrost temperature and greenhouse gas release in the terrestrial Arctic
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 — 柳錦平、朴昊澤、田上雅浩
2. 発表標題 シベリア、ティクシにおける降水同位体比の変動
3. 学会等名 日本気象学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Park Hotaek, Yang Daqing, Zhang Xangdong
2. 発表標題 Changes in Arctic hydrological cycle in the context of rapidly changing climate
3. 学会等名 POLAR2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Park Hotaek, Launiainen Samuli
2. 発表標題 Moss cover induced cooler soil temperature limits carbon flux of a Siberian tundra
3. 学会等名 UArctic Congress 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Park Hotaek, Yoshikawa Yasuhiro, Oshima Kazuhiro, Yang Daqing
2. 発表標題 Warming water in Arctic terrestrial rivers under climate change
3. 学会等名 2018 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大島和裕
2. 発表標題 北極の大気・陸域水循環について
3. 学会等名 平成30年度北極域研究共同推進拠点 (J-ARC Net) 研究者コミュニティ支援事業 「北極海環境変動に関する発展的な異分野連携共同研究策定のための研究集会」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Park H.
2. 発表標題 Climate warming induced changes in the terrestrial Arctic ecohydrological regimes
3. 学会等名 International workshop Climate change: driving processes, extreme events, and global linkages (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Park H., D. Yang
2. 発表標題 Climate warming induced changes in the Arctic terrestrial ecohydrological regimes
3. 学会等名 The Arctic Science Summit Week 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡邊英嗣・朴昊澤・鈴木立郎・山崎大
2. 発表標題 北極海モデリングにおける河川熱流入の影響評価
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会2017 (JpGU)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Park Hotaek, Oshima Kazuhiro, Yoshikawa Yasuhiro, Watanabe Eiji
2. 発表標題 Impacts of terrestrial river heat flux on the declining Arctic sea ice
3. 学会等名 Japan Geoscience Union 2017 (JpGU) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Park H., D. Yang, Y. Kim
2. 発表標題 Changes in Arctic terrestrial evapotranspiration budget under climate change
3. 学会等名 The 2nd Asian Conference on Permafrost (ACOP2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Park H., Y. Kim, D. Yang
2. 発表標題 Changes in Arctic terrestrial evapotranspiration under climate change
3. 学会等名 2017 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Park H.
2. 発表標題 The amplified Arctic terrestrial ecohydrological processes under the climate change
3. 学会等名 Fifth International Symposium on Arctic Research (ISAR5) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Park H.
2. 発表標題 A retrospective analysis of snow impacts on permafrost hydrology
3. 学会等名 SnowHydro - International Conference on Snow Hydrology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ichiyanagi K., H. Park, M. Tanoue, T. Uesugi
2. 発表標題 Depleting trend of deuterium excess in precipitation observed from 1998 to 2018 at Tiksi, Russia
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020, Virtual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Oshima K., H. Park, M. E. Hori, Y. Yoshikawa
2. 発表標題 Influence of springtime Okhotsk high on rapid discharge increase accompanied by river ice melt in eastern Siberia
3. 学会等名 Arctic Science Summit Week 2021 (Online Science Conference)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大島和裕, 朴昊澤, 堀正岳, 吉川泰弘
2. 発表標題 東シベリアの河水融解に伴う急激な流量増加へ影響を及ぼすオホーツク海高気圧
3. 学会等名 日本気象学会2019年度東北支部気象研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshikawa Y., H. Yokoyama, Y. Inami
2. 発表標題 Simple ice jam simulation around bridge piers
3. 学会等名 Proceedings of The 25th IAHR International Symposium on Ice (Online)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Takeshi Ohta, Tetsuya Hiyama, Hotaek Park, Takeshi Yamazaki, Kazuhiro Oshima	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer Nature Singapore	5. 総ページ数 309
3. 書名 Water-Carbon Dynamics in Eastern Siberia	

1. 著者名 Daqing Yang, Hotaek Park, Yonas Dibike, Fengge Su, Xiaogang Shi, Terry Prowse, Alexander Shiklomanov, Ellie McLeod, Richard Lammers, John Walsh, Ke Zhang, Yinsheng Zhang	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 914
3. 書名 Arctic Hydrology, Permafrost, and Ecosystems	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	大島 和裕 (Oshima Kazuhiro) (40400006)	青森大学・ソフトウェア情報学部・准教授 (31101)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	一柳 錦平 (Ichianagi Kimpei) (50371737)	熊本大学・大学院先端科学研究部(理)・准教授 (17401)	
研究分担者	吉川 泰弘 (Yoshikawa Yasuhiro) (50414149)	北見工業大学・工学部・准教授 (10106)	

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