



令和 8 年 4 月 2 1 日
気 象 研 究 所
北 海 道 大 学
名 古 屋 大 学

北極の温暖化を加速する「水蒸気の連鎖」を発見
—ユーラシア大陸からの水蒸気が海氷の減少を促す可能性—

北極の温暖化の一因と考えられている水蒸気量の増加について、その起源を解析した結果、夏はユーラシア大陸からの、秋は北極海からの水蒸気が長期的に増えていることが分かりました。

このうち、特に夏は、陸域から北極へ運ばれる水蒸気が持つ温室効果によって海氷が溶けやすくなった結果、水蒸気の流れがさらに強まるという連鎖的な仕組みを見出しました。

北極の温暖化は偏西風の流れを変え、日本の気候にも影響すると考えられています。本研究は、夏の豪雨、冬の寒波などの異常気象を理解するための手がかりになります。



○研究の概要

北極域*¹は地球全体の平均よりも速いペースで温暖化が進んでおり、その要因のひとつとして大気中の水蒸気量の増加があります。

気象研究所 中村 哲研究官、北海道大学大学院地球環境科学研究院 佐藤友徳教授、名古屋大学宇宙地球環境研究所 福富慶樹特任准教授、檜山哲哉教授らの研究グループは、水蒸気の起源を追跡することが可能な数値モデル（タグ付き水蒸気輸送モデル*²）と複数の大気再解析データ*³を用いて、1980年から2024年までの北極域における水蒸気輸送を解析しました。

その結果、夏（6月から8月）にはユーラシア大陸から北極域へ運ばれる水蒸気の増加が、また秋（10月から12月）には海氷の減少に伴う北極海からの蒸発量の増加が、北極域における水蒸気の増加の主な要因であることを明らかにしました。さらに、陸域から運ばれた水蒸気の温室効果により海氷が溶けやすくなり、海氷の減少によって変化した風の流れが北極域への水蒸気流入を強めるといふ、連鎖的な仕組み（フィードバック構造）が働く可能性を世界で初めて示しました。

北極域の気候変化は偏西風の流れの変化などを通じて中・高緯度地域にも波及し、異常天候や極端気象にも影響することが指摘されています。また、水循環の変化は、降水や干ばつに関係するだけでなく、温室効果を介して地球規模の温暖化にも影響します。本研究の成果は我が国における将来の気候予測や、夏の豪雨、冬の寒波などの極端気象の理解の向上に貢献することが期待されます。

本研究成果は、2026年4月21日付で Springer Nature が発行する「npj Climate and Atmospheric Science」誌に掲載されました。

○掲載論文

掲載誌：npj Climate and Atmospheric Science

タイトル：Interlinks between sea-ice melting and continental wetting
under a changing Arctic moisture transport

著者名：Tetsu Nakamura¹, Tomonori Sato², Yoshiki Fukutomi³,
Tetsuya Hiyama³

所属：1 気象研究所 2 北海道大学 3 名古屋大学

DOI: 10.1038/s41612-026-01389-6

URL: <https://www.nature.com/articles/s41612-026-01389-6>

○関連情報

本研究は、北極域研究加速プロジェクト (ArCS II) (JPMXD1420318865)、北極域研究強化プロジェクト (ArCS III) (JPMXD1720251001)、科学研究費補助金プロジェクト「北極海－大気－植生－凍土－河川系における水・物質循環の時空間変動」(JP19H05668)、および「環北極域の熱水循環の長期変化と北極温暖化への影響評価」(JP25K23406)の助成を受けて実施されました。

○研究の背景

北極域は近年、世界平均の2～4倍の速さで温暖化しており、この現象は「北極温暖化増幅*⁴」と呼ばれています。北極域の温暖化は海氷の減少を引き起こし、大気や海洋の流れを変える可能性があるため、地球規模の気候変動研究において重要なテーマとなっています。特に北極域では、温暖化に伴って大気中の水蒸気量が増加しており、水蒸気による温室効果によって海氷が溶けやすくなると考えられています。

しかし、北極域で増えている水蒸気がどこから来ているのか、またその変化が海氷や大気の流れとどのように関係しているのかは、十分に分かっていませんでした。また、北極域を対象とした水蒸気輸送のシミュレーションでは、観測データが少ないことや、北極点付近でモデルの格子間隔が非常に狭くなることにより、水蒸気の流れを安定して計算しにくいという北極特有の課題がありました。

○研究内容と成果

研究グループは、水蒸気の起源を地域ごとに追跡できる数値モデル（タグ付き水蒸気輸送モデル、図1）について、北極付近でも水蒸気の流れを安定して計算できるよう改良を行いました。さらに、複数の再解析データを用いて解析することで、観測データの少なさに起因する不確実性も評価しました。

1980年から2024年までの45年間について、北極域の水蒸気の起源を解析した結果、長期的な水蒸気増加の要因には明確な季節変化があることが明らかになりました（図2）。

夏：大陸から北極域へ運ばれる水蒸気が増加（水蒸気輸送）

秋：海氷の減少に伴い、北極海からの蒸発が増加（局所的な蒸発）

特に夏には、従来考えられていた北極海からの蒸発の寄与は小さく、ユーラシア大陸（とくにシベリアの三大河川流域）や北米大陸からの水蒸気輸送の増加が支配的であったことが分かりました。さらに、北極周辺ではユーラシア側が低気圧、北米側が高気圧となる「北極ダイポール*⁵」と呼ばれる大

気循環が現れやすくなり、この風の流れが両大陸から北極域への水蒸気輸送を強めていることが明らかになりました（図3）。

この水蒸気輸送による北極域への流入量は、45年間で約40%増加しており、水蒸気増加の最大の要因であることが示されました。一方、その主な供給源であるシベリアの地表面からの水蒸気の蒸発散量*⁶は、使用する再解析データによって増加率が0%~18%と大きく異なり、不確実性が大きいことも分かりました。これは、陸域データの精度向上が北極の水循環や温暖化の評価にとって重要であることを示しています。

このような風の流れの変化に伴う水蒸気の増加により温室効果が強まることで、海氷が溶けやすくなります。そこで本研究では、海氷の減少によって引き起こされる風の流れの変化についても調べました。北極ダイポール循環が形成される際に北極海から放出される熱エネルギーの分布を推定した結果、海氷の減少が特に顕著なシベリア沿岸域で加熱が強いことが分かりました。

さらに、こうした関係が将来の海氷減少条件でも成り立つかを調べるため、IPCCの将来予測シナリオに基づく海氷減少を仮定して気候モデルで風の変化を計算しました。その結果、現在観測されている北極ダイポール循環がさらに強まる可能性が示されました（図4）。

これらの結果は、陸域から運ばれた水蒸気の温室効果によって海氷が溶けやすくなり、海氷の減少によって変化した風の流れが北極域への水蒸気輸送をさらに強めるという、海・陸・大気が連鎖する仕組み（フィードバック構造）が働く可能性を示しています。

○今後の展開

北極域では観測データが限られているため、陸域の蒸発散量などの推定には依然として大きな不確実性が残されています。また、北極域への水蒸気の流入には「大気の川（Atmospheric River）*⁷」と呼ばれる、短時間に大量の水蒸気を運ぶ現象が関わっている可能性も指摘されています。

今後は、衛星観測や水の酸素・水素の安定同位体比などを活用し、陸域の蒸発散過程の不確実性を低減するとともに、水蒸気輸送の実態をより詳しく解明することで、北極域の水循環の理解をさらに深めていく予定です。

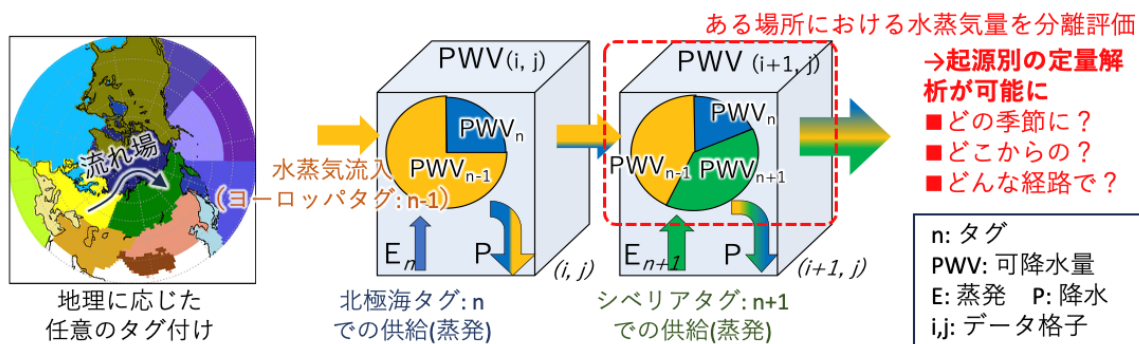


図1 タグ付き水蒸気輸送モデルの概念図

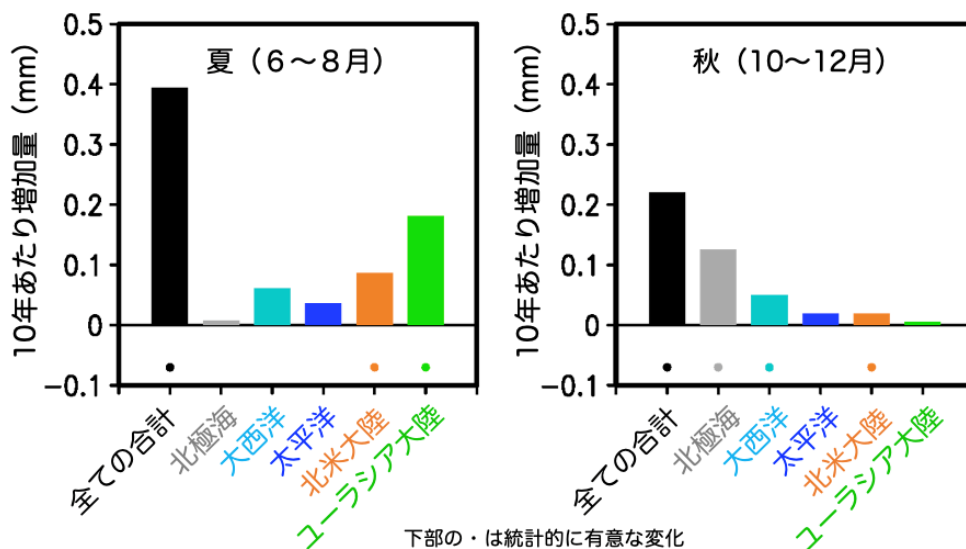


図2 1980年~2024年の北極域の水蒸気量およびその起源の変化

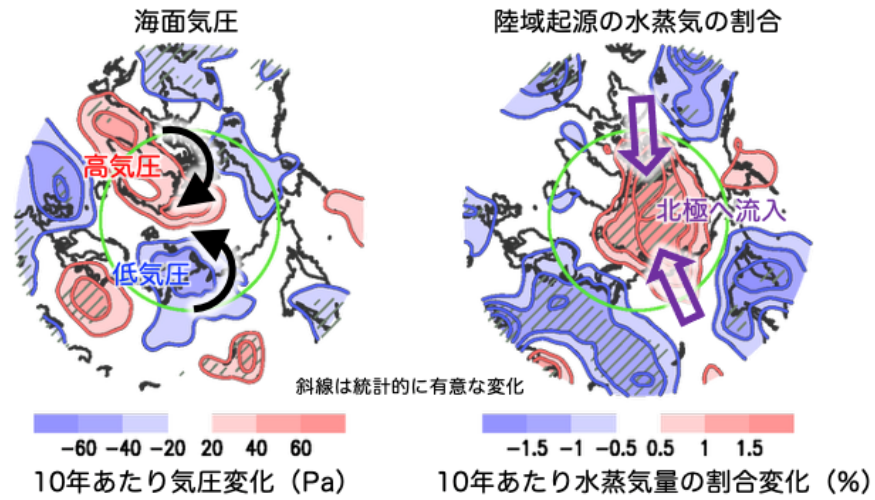


図3 夏季（6～8月）の大気循環および水蒸気輸送の1980～2024年の間の変化
 高気圧・低気圧のペアが“北極ダイポール”、この循環パターンにより陸域起源水蒸気の流入が増加。

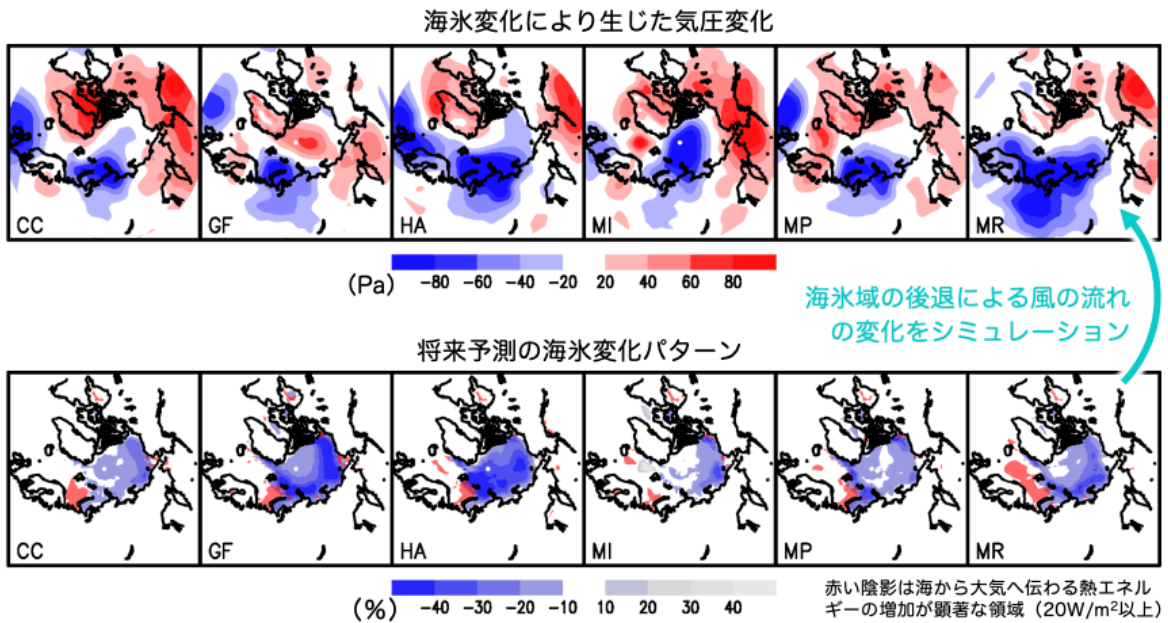


図4 将来予測の海氷変化パターンとそれに対応する大気循環の変化
 パネル左下にあるアルファベットは6つの予測モデルを表す記号でそれぞれ異なる海氷変化パターンを生じる。どの海氷変化パターン（下図、青系が減少）に対しても、シベリア沿岸域で低気圧性循環（上図、青系が低気圧）が強まるという予測。

<用語解説>

* 1.北極域 (Arctic Region)

北極点を中心とする高緯度地域の総称。本研究では主に北緯66度以北を対象としており、北極海とその周辺の陸域を含む。

* 2.タグ付き水蒸気輸送モデル (Tagged Moisture Transport Model)

水蒸気がどこから蒸発し、どこへ運ばれたのかを追跡することができる数値モデル。地域ごとに水蒸気の起源を区別して解析することができる。色水モデルと言われることもある。

* 3.大気再解析データ (Reanalysis)

観測データと数値モデルを組み合わせて、過去の大気状態を再現したデータ。気候変動の長期解析などに広く用いられている。

* 4.北極温暖化増幅 (Arctic Amplification)

北極で温暖化が地球平均よりも速く進む現象。現在、北極の気温上昇は世界平均の2~4倍の速さで進んでいるとされる。

* 5.北極ダイポール (Arctic Dipole)

北極域で現れる大気循環パターンのひとつ。ユーラシア側で低気圧、北米側で高気圧となる気圧配置で、北極への水蒸気輸送を強めることがある。

* 6.蒸発散 (Evapotranspiration)

地表面から大気へ水蒸気が供給される過程の総称。海や湖からの蒸発に加え、植物の蒸散も含まれる。

* 7.大気の川 (Atmospheric River)

大量の水蒸気が帯状に集中し、短時間に遠くまで輸送される現象。強い降水をもたらす要因となることがある。

○問い合わせ先

<研究内容について>

気象研究所 気候・環境研究部 第一研究室
研究官 中村 哲（なかむら てつ）
E-mail : te2nakamur@mri-jma.go.jp

北海道大学 大学院地球環境科学研究院
教授 佐藤 友徳（さとう ともりの）
E-mail : t_sato@ees.hokudai.ac.jp

名古屋大学 宇宙地球環境研究所
特任准教授 福富 慶樹（ふくとみ よしき）
E-mail : fukutomi@isee.nagoya-u.ac.jp

名古屋大学 宇宙地球環境研究所
教授 檜山 哲哉（ひやま てつや）
E-mail : hiyama@nagoya-u.jp

<機関窓口>

気象研究所企画室（広報担当）
Tel : 029-853-8535 E-mail : ngmn11ts@mri-jma.go.jp

北海道大学社会共創部広報課
Tel : 011-706-2610 E-mail : jp-press@general.hokudai.ac.jp

名古屋大学
Tel : 052-558-9735 E-mail : nu_research@t.mail.nagoya-u.ac.jp