

これまでの地球温暖化によって札幌の大雪は強まっている

～機械学習と高解像度シミュレーションを組み合わせた新手法で極端気象の要因分析を高度化～

ポイント

- ・機械学習と気象シミュレーションを用いて極端気象に対する温暖化の寄与を評価する新手法を開発。
- ・2021年の北海道における大雪事例が、地球温暖化によって10～20%強化されていたことを確認。
- ・世界各地で極端気象の要因分析が高度化し、科学的情報に基づいた対策の議論に繋がることへ期待。

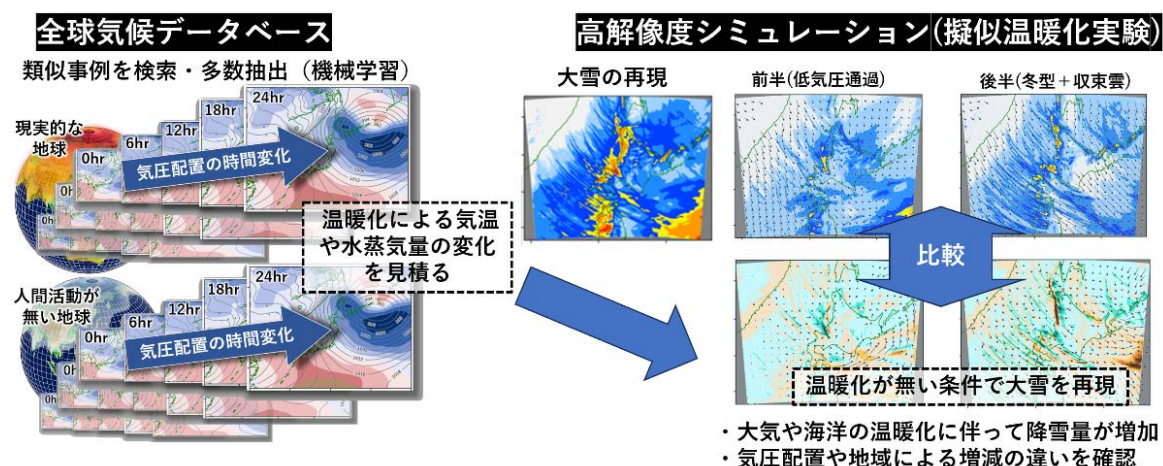
概要

北海道大学大学院地球環境科学研究院の田村健太博士研究員（現所属：防災科学技術研究所）、佐藤友徳准教授の研究グループは、機械学習と高解像度シミュレーションを組み合わせた新しい分析手法を開発し、2021年12月に北海道で発生した大雪が、既に進行した地球温暖化によって10%から20%強まっていたことを明らかにしました。

2021年12月17～18日にかけての降雪は、札幌や小樽で24時間降雪量が50cmを超える記録的なドカ雪となりました。研究グループは、機械学習を用いて膨大な気候シミュレーションのデータベースの中から、この日と類似したケースを複数抽出し、日本周辺における過去から現在までに進行した地球温暖化による気温や水蒸気量の変化を見積もりました。見積もられた変化量に基づいて、極端気象の要因分析（イベントアトリビューション*¹）の手法である、擬似温暖化実験*²と呼ばれる高解像度シミュレーションを行い、2021年の事例において、札幌など北海道各地の降雪量が地球温暖化によって強められていたことを明らかにしました。

今回の分析によって、(1) 地球温暖化による大雪への影響が既に現れていること、(2) その影響の強弱は降雪をもたらす擾乱*³の種類や地域によって異なることが明らかとなりました。本研究で開発した手法は、世界各地で深刻化する大雪・大雨や熱波などの極端気象に対する地球温暖化の影響を見積もる際に有効であり、極端気象のメカニズムの理解、さらには地球温暖化対策の推進に繋がることが期待されます。

なお、本研究成果は、2024年12月16日(月)公開のJournal of Geophysical Research -Atmospheres誌に掲載されました。



開発した手法の概念図と大雪に対する地球温暖化の影響

【背景】

世界各地で大雨や熱波、干ばつなどの極端な気象が観測されており、それらは洪水や土砂災害、熱中症などの健康被害、農作物の不作や価格高騰などをもたらし、我々の生活に様々な形で深刻な影響を及ぼしています。このような極端気象の一部は、将来、地球温暖化が進むにつれて頻度や強度が増加する可能性が高いことが、IPCC*⁴によって報告されています。また、地球温暖化は現在までも進行しており、これまでに観測された極端気象の発生確率や強さに対する地球温暖化の寄与を調査するイベントアトリビューションと呼ばれる要因分析の研究が、世界各国の研究機関によって実施されています。本研究は、地球温暖化の影響を評価する手法の一つである擬似温暖化実験と呼ばれるシミュレーション手法を応用し、2021年に北海道で発生した大雪の事例を対象として、降雪の強さに対する地球温暖化の寄与を評価しました。

2021年12月～2022年2月にかけて、札幌で複数回の大雪が発生し、大規模な道路渋滞が発生したり、札幌-新千歳空港間の鉄道が数日間にわたって終日運休したりするなど、都市機能が麻痺する事態となりました。研究対象とした2021年初冬は根雪開始日が統計開始史上最も遅く（札幌、12月17日）、地球温暖化による積雪の遅れを予感させる始まりだったにもかかわらず、根雪となった12月17～18日にかけて札幌や小樽で24時間降雪量が50cmを超える、記録的な大雪となりました。本研究はこの事例に対する地球温暖化の寄与を調べるために、擬似温暖化実験の新手法を開発しました。

【研究手法】

本研究で発表した手法の概要をp1図に示します。まず、対象とする事例と気圧配置の時間経過がよく類似した日を複数選定します。今回の事例では、日本海で発生した低気圧が発達しながら北海道の南を通過し、カムチャツカ半島付近に到達するという経路をたどりました。北海道では低気圧の通過時に広い範囲で降雪があり、通過後には西高東低の冬型の気圧配置へと遷移する過程で、日本海側を中心に降雪がありました（図1）。類似日の選定には、研究グループが2023年に開発した気候変化の診断手法（後述の【関連するプレスリリース】を参照）を採用します。具体的には、自己組織化マップ*⁵と呼ばれる機械学習手法を用いて日々の天気図を自動的に分類し、大量の天気図データから類似日を選定します。より多くの類似日に基づく統計的な診断を可能にするために、地球全体の気候をシミュレーションによって再現したd4PDF（地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース）*⁶と呼ばれる大規模データベースを利用しました。このデータベースでは観測に基づく温室効果ガスの濃度を入力することで、現実的な地球の気候を再現したシミュレーションと、温暖化が進行していない仮想的な地球のシミュレーションがあり、それぞれのシミュレーションから沢山の類似日を選定することで、低気圧通過から冬型の気圧配置へと遷移するシナリオについて、地球温暖化による日本周辺の気温や水蒸気量の増減を上空まで3次元的に見積もりました。

次に、2km格子の領域気象モデル*⁷を用いて、広域の気温や水蒸気量、海水温などの大気と海洋の物理量のデータを入力した高解像度シミュレーションを行い、雪雲の発達や降雪の様子を詳細に再現します。まず、実際に観測された降雪の様子が、現実的なデータを入力した実験でよく再現されることを確認したうえで、前工程で見積もった温暖化の効果を差し引いたデータを入力したシミュレーションを行います。両シミュレーションから得られる降雪量や空間分布を比較することで、これまで進行した地球温暖化の寄与を定量的に評価することができます。このようなシミュレーション手法は擬似温暖化実験と呼ばれており、大雪に限らず、台風による大雨など様々な極端気象に対する地球温暖化の影響の分析に採用されています。従来の擬似温暖化実験では、月平均値のように時間平均した大気状態から地球温暖化の影響を見積もっていましたが、本研究では気圧配置の遷移を考慮して見積も

った気候変化の影響を使用しており、これが新しく開発したイベントアトリビューションの手法です。

【研究結果と今後への期待】

対象とした大雪の事例は、前半（低気圧通過時の広域の降雪）と後半（低気圧通過直後の局地的な降雪）の二つの期間に分けることができます。前半では、北海道は低気圧の進行方向前面に位置しており、南風によって広い範囲に暖気と水蒸気が供給されます。南風が流入する道東地方を中心に降雪が生じており、この降雪は地球温暖化によって 20%強まっていたことが分かりました。後半は西高東低の冬型に遷移する過程の降雪です。北海道西岸沖には南北に伸びる帯状の強い収束雲*⁸ が発生し、北風が吹きつける日本海側を中心に強い降雪となりました。この降雪は地球温暖化によって 10%強まっていたことが分かりました。このうち、大気温暖化による影響が 2%相当、海洋温暖化（海面水温の上昇）による影響が 8%相当であることが、詳しい追加実験から明らかになりました（図 2）。従来の擬似温暖化実験手法で同様の評価を行った場合には、前半は 14%が地球温暖化による降雪量の増加と見積もられ、後半は 0%と温暖化の影響は無いと見積もられたことから、従来の手法では地球温暖化の影響を弱めに評価していた可能性があります。

本研究で明らかとなったように、地球温暖化の影響は既に観測された降雪にも現れていますが、その影響の強さは地域によって異なり、降雪をもたらす擾乱のタイプによっても異なります。将来は地球温暖化の進行に伴って、長期的には積雪量の減少や積雪期間の短縮が多く地域で顕在化することが予測されています。一方で、当面の間は本研究が着目したような強い降雪のイベントが発生しうることも念頭において、雪対策を講じる必要があります。

地球温暖化による経済的損失のリスク評価には、本研究のような極端気象に対する要因分析が不可欠です。地球温暖化に伴う極端気象の変化を定量的に分析する手法が精緻化することで、対策に費やすコストとリスク低減による便益の詳細な比較が可能となり、気候変動対策の意思決定を科学的に支援することに繋がります。本研究で開発した手法は北海道の大雪に限らず、世界各地の極端気象に応用することが可能な設計です。今後は、暖候期の大雨などへも研究対象を広げ、手法の適用範囲を明らかにするとともに、類似日の検索方法などをさらに改良する予定です。

【謝辞】

本研究は北極域研究加速プロジェクト (ArCSII) 「気象気候の遠隔影響と予測可能性」 (JPMXD1420318865)、気候変動予測先端研究プログラム (JPMXD0722680734) 及び科学研究費補助金 (学術変革領域研究 A) 「ハビタブル日本：島嶼国日本の生存基盤をなす大気・海洋環境の持続可能性 (変調するモンスーンと日本周辺における極端気象の予測可能性 (JP24H02228))」の支援により実施されました。

【関連するプレスリリース】

北海道大学プレスリリース「冬型の気圧配置の日は急速に温暖化している～オホーツク海の海氷減少が西高東低の気圧配置における北海道の温暖化を強めていることを解明～」

発表日：2023 年 6 月 7 日（水）

U R L : https://www.hokudai.ac.jp/news/pdf/230607_pr.pdf

論文情報

論文名 Evaluating how historical climate change affected a heavy snowfall event in northern Japan in mid-December 2021 using two pseudo global warming methods (2021 年 12 月中旬に北日本で発生した大雪に対する歴史的な気候変動の影響を二つの擬似温暖化実験手法によって評価する)

著者名 田村健太^{1, 2} (現所属)、佐藤友徳^{1, 3} (¹北海道大学大学院地球環境科学研究院、²国立研究開発法人防災科学技術研究所雪氷防災研究センター、³北海道大学北極域研究センター)

雑誌名 Journal of Geophysical Research -Atmospheres (米国地球物理学連合による気象学の専門誌)

D O I 10.1029/2024JD041553

公表日 2024 年 12 月 16 日 (月) (オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院地球環境科学研究院/北極域研究センター 准教授 佐藤友徳 (さとうともり)

T E L 011-706-2288 F A X 011-706-4867 メール t_sato@ees.hokudai.ac.jp

U R L http://www.woa.ees.hokudai.ac.jp/people/t_sato/personal/index-j.html

配信元

北海道大学社会共創部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

【参考図】

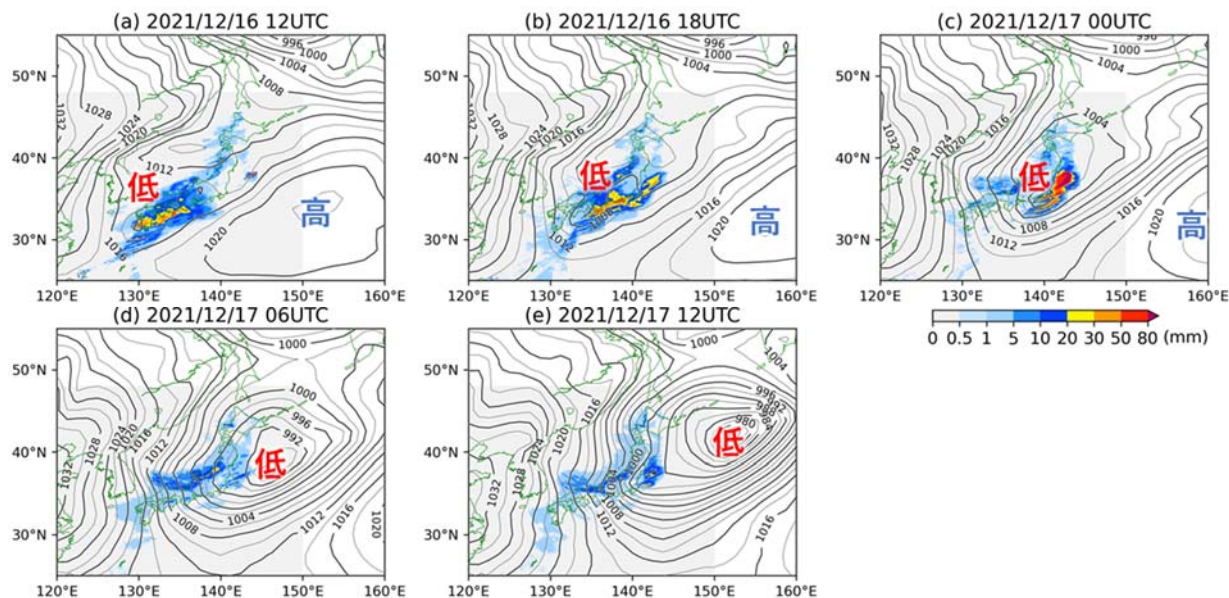


図 1. 北海道で大雪が発生した 2021 年 12 月 16 日から 17 日の海面更正気圧（等値線）と解析雨量の降水量（色）。

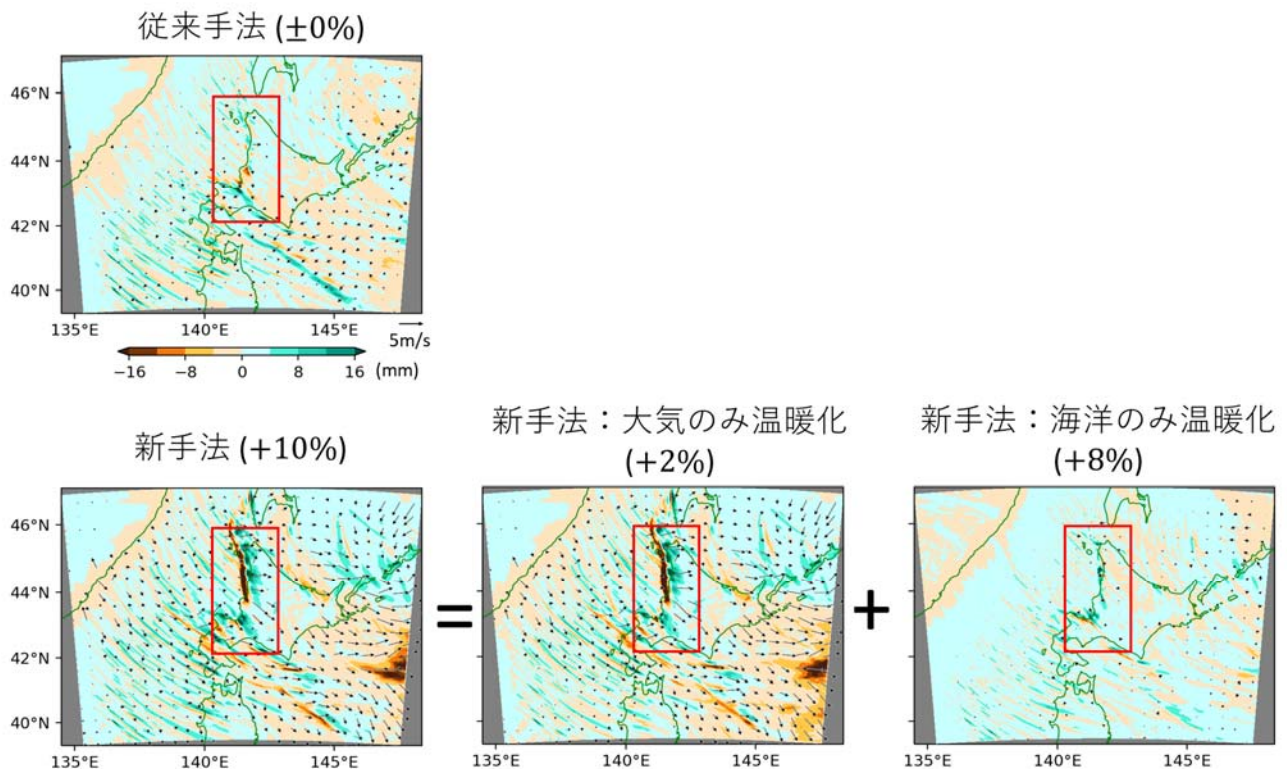


図 2. 低気圧通過後の降水に対する温暖化寄与の見積もり。温暖化による降水量（色）と地表風（矢印）の変化、及び北海道西岸（赤枠）の平均降水量変化率（％）を示す。

【用語解説】

- *1 イベントアトリビューション … 大雨・大雪や熱波などの顕著な気象イベントの要因分析を指し、特にそのイベントの発生確率や強さに対する地球温暖化の寄与を明らかにすること。
- *2 擬似温暖化実験 … 領域気象モデルを用いた数値シミュレーション（力学的ダウンスケーリング）によって地域の気象や気候に重要な因子を考慮した状態で地球温暖化の影響を調査する手法のことを指し、イベントアトリビューションにも用いられる。
- *3 擾乱 … 温帯低気圧、台風、前線など大気の乱れを伴う現象のこと。
- *4 IPCC … 気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change）。
- *5 自己組織化マップ … コホネン博士が提案したニューラルネットワークの一種。機械学習の一種である教師無し学習のアルゴリズムとして多くの分野で利用されており、データの分類に応用される。
- *6 d4PDF（地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース） … 気候モデルによって作成された地球全体及び日本周辺の気候シミュレーションのデータベースのこと。大量のシミュレーションから構成されており、低頻度の極端気象に対する統計解析に適している。本研究で用いた過去の実験だけでなく、2°C、4°C昇温した将来気候の実験も含まれる。
- *7 領域気象モデル … 対流活動や強風などの空間スケールの小さな現象や地形による効果を精度よくシミュレーションするために、対象とする領域のみを高い空間解像度で計算することのできる気象モデル。日々の天気予報にも用いられている。
- *8 収束雲 … 地表付近の風がぶつかることで生まれる強い上昇気流によって発達した雲のこと。冬季では日本海の JPCZ（日本海寒帯気団前線収束帯）や、北海道の西岸沖などにしばしば発生し、大雪の原因となることが知られている。