

PRESS RELEASE (2022/04/12)

局地的豪雪をもたらす「北陸不連続線」の実体を解明

～日本海寒帯気団収束帯（JPCZ）とは異なる形成メカニズム～

ポイント

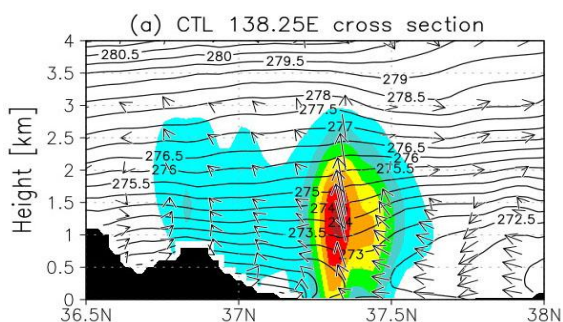
- ① 局地的豪雪による深刻な被害は近年頻繁に発生しています。豪雪被害を軽減するための降雪予測の精度向上が求められています。
- ② 本研究で、局地的豪雪をもたらす北陸不連続線は日本海寒帯気団収束帯（JPCZ）とは性質が異なる沿岸前線であることを見出し、その形成メカニズムを明らかにしました。
- ③ 要因解明は、豪雪被害軽減のための降雪予測の精度向上に貢献するのみならず、日本海沿岸地域における大雪発生頻度の将来予測の不確実性を低減していく研究にも繋がります。

概要

日本海沿岸地域の大雪の発生要因として、日本海寒帯気団収束帯（JPCZ）が最近注目されていますが、北陸地方に局地的豪雪をもたらす「北陸不連続線」の存在が古くから知られているにもかかわらず、両者の関係が非常に曖昧でした。本研究で、九州大学大学院理学研究院の川村隆一教授、理学府修士課程2年の鈴木雄斗大学院生(研究当時)らの研究グループは、気象モデルの高解像度数値シミュレーションによって2021年1月上旬の北陸地方を中心に甚大な被害をもたらした豪雪事例を再現し、JPCZと北陸不連続線によって沿岸部の極端な降雪地域が二極化すること、北陸不連続線はJPCZと区別される、沿岸前線であることを初めて明らかにしました。

JPCZ発生 の主要因の一つである朝鮮半島北の長白山系の障壁効果については従来から指摘されてきましたが、沿岸前線（北陸不連続線）の形成にも同山系を迂回する気流が一旦本州に上陸して内陸側から前線に収束するプロセスが必須であることが長白山の標高改変実験から見出されました。これらの知見はライフライン・交通障害を含む豪雪被害を軽減するための降雪予測の精度向上に資することが期待されます。また日本海沿岸地域における大雪発生頻度の将来予測の信頼性を高めるためには、JPCZや沿岸前線を十分に解像してその動態を調べていく必要があります。

本研究成果は、2022年4月8日に国際学術誌「Weather and Climate Extremes」にオンライン掲載されました。また本研究はJSPS科研費補助金（JP19H05696, JP20H00289）の助成を受けました。



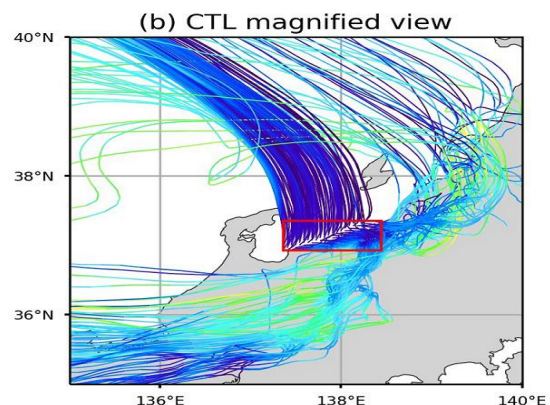
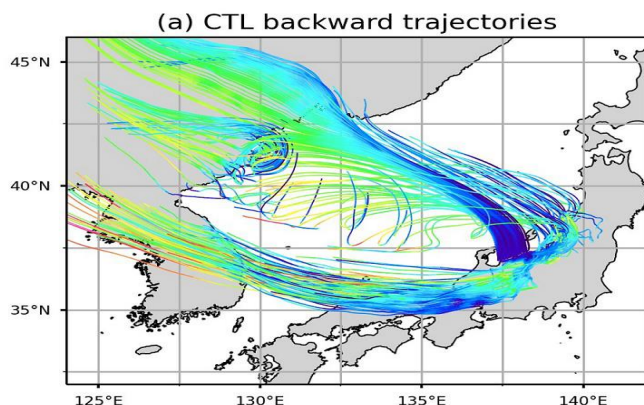
【左図】

再現された北陸不連続線の緯度-高度断面図。

黒色は山岳。沿岸付近に降水粒子の集中が見られる（赤色）。

【下図】

北陸不連続線に収束する空気塊の流跡線を示している（詳細は別紙参照）。



【研究の背景と経緯】

冬季に北西季節風が強まると、日本海上に準定常的なメソスケールの収束帯がしばしば出現します。日本海寒帯気団収束帯（Japan Sea polar air mass convergence zone; 略して JPCZ）と呼ばれ（浅井, 1988）、北陸地方などの日本海沿岸地域の局地的な大雪の発生要因として注目されてきました。JPCZ 形成の主要因として朝鮮半島の北に位置する長白山（白頭山）系の障壁効果（blocking effect）が先行研究（Nagata et al., 1986 ほか）で指摘されています。

一方、豪雪地域である新潟県上越地方の沿岸に沿って、風向・風速が急変するシアラインが形成され停滞すると、シアラインに沿って発達した雪雲によって局地的に大雪になることが古くから知られており、北陸不連続線とも呼ばれています。これまで北陸不連続線は JPCZ の一部または JPCZ に関連する現象として捉えられてきました。

領域気象モデルを用いて JPCZ の再現実験を行った先行研究（Shinoda et al., 2021）で示されている、典型的な JPCZ イベント発生時の降水量分布（図 1）を見ると、長白山系の風下側から北陸地方に延びる JPCZ 本体の降水域とは別に、富山県から新潟県にかけての沿岸部に降水極大域が存在し、前者より後者の降水量の方が極端に多いことがわかります。後者の降水域が北陸不連続線に対応しており、JPCZ との関連が示唆されますが、なぜ大雪の発生地域が二極化傾向なのか、なぜ北陸不連続線の方が降水量が多くなるのか、依然として不明のままでした。また、そもそも北陸不連続線の形成要因も十分に明らかにされていませんでした。これらの要因解明は、豪雪被害軽減のための降雪予測の精度向上に必要不可欠です。

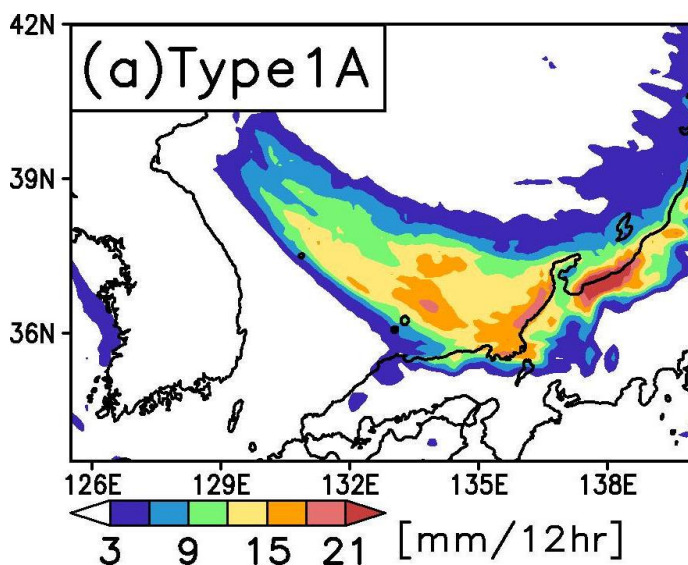


図 1
領域気象モデルで再現された JPCZ 発生時の降水量分布。
典型的な JPCZ イベント（Type 1A）の 15 事例の合成図。12 時間積算降水量（単位：mm）で示している。Type 1A は最も頻繁に出現するパターンである。
Shinoda et al. (2021) より引用。

【研究の内容と成果】

そこで本研究では、近年の顕著な豪雪事例の一つである 2021 年 1 月 7 日～11 日の期間に注目しました。例えば、新潟県上越市では 4 日間で積雪が 180cm 増加して 1 月 11 日には 249cm の最大積雪深に達するほどの豪雪で、北陸不連続線との密接な関連が示唆されました。私たちは高解像度数値シミュレーションによる JPCZ 及び北陸不連続線の再現実験（図 2 a）と並行して、長白山系（周辺山岳含む）の標高改変実験（図 2 b）を行い、両実験結果を比較することで、北陸不連続線の形成プロセスを調査しました。主な結果は以下の通りです。

(i) JPCZ は長白山系を迂回した気流が風下側の日本海上で収束する現象ですが、北陸不連続線は、長白山系を迂回した気流が直接日本海上から沿岸部の不連続線に流入する気流と、一旦本州に上陸して内陸側から不連続線に流入する気流によって、収束帯を形成している事が見出されました（図 3 参照）。これによって、JPCZ イベント発生時に北陸不連続線も出現しやすいという観測事実の説明がつかます。対

照的に、標高改変実験では JPCZ は弱化し、北陸不連続線も再現できません。

(ii) この収束帯は大気境界層¹⁾内で顕著な相当温位²⁾の水平勾配を伴っており、温位面に沿って上昇気流が生じていることから、北陸不連続線はメソスケールの沿岸前線 (coastal front)³⁾と同定できます。日本海上の大気境界層内を吹送する気流は海面から多量の熱・水蒸気供給を受けて相当温位が急激に高くなる一方、一旦上陸してから内陸側から流入する気流は相当温位に大きな変化がないため、沿岸部で相当温位勾配が形成されることになります。実体が沿岸前線であるため、北陸不連続線の地理的位置が固定されやすい特徴も説明できます。

(iii) 北陸不連続線での降雪量増加には、雪の昇華冷却による冷気プール⁴⁾ (cold pool) の形成が寄与している事が先行研究から指摘されていましたが、雪の昇華冷却を除去した感度実験から、先行研究と矛盾しない結果が得られました。一方、降雪量増加について、これまで指摘されてきた山間部からの冷気塊の流出による陸風の寄与という概念は不十分であり、陸風の起源は、長白山系を迂回して一旦本州に上陸してから、内陸側から沿岸前線に収束する気流である事が初めて明らかになりました。

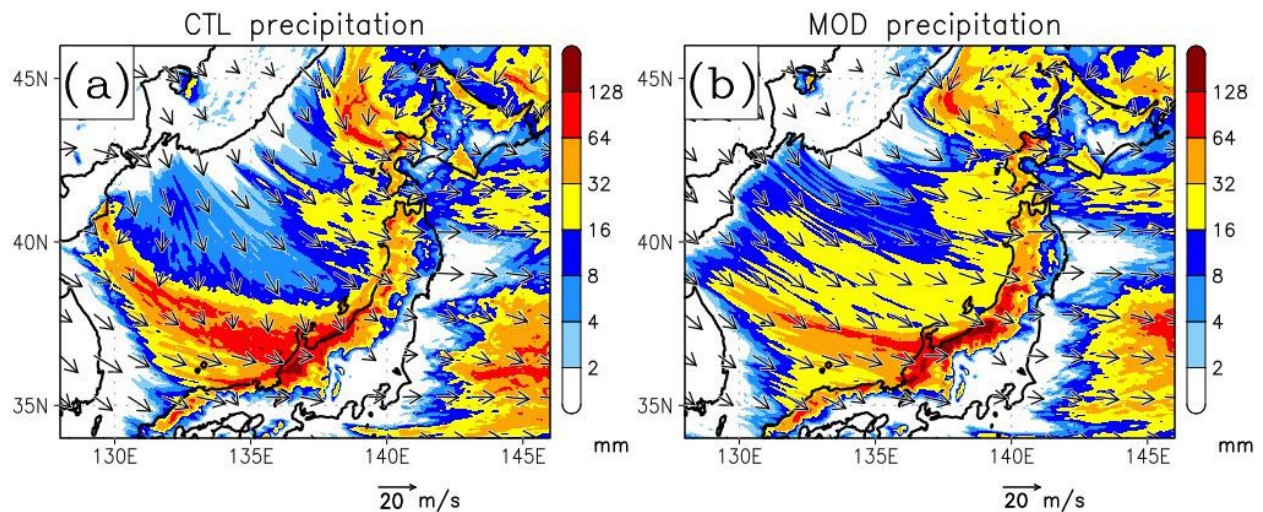


図 2 : (a) 領域気象モデルで再現された期間降水量と 925hPa 面の水平風の分布 (期間 : 2021 年 1 月 7 日 15 時 ~ 11 日 9 時)。(b) (a) と同様、ただし長白山系を標高 0m に改変した実験結果。標高改変実験 (右図) では JPCZ の弱化に伴って日本海上の降水量が極端に減少している。

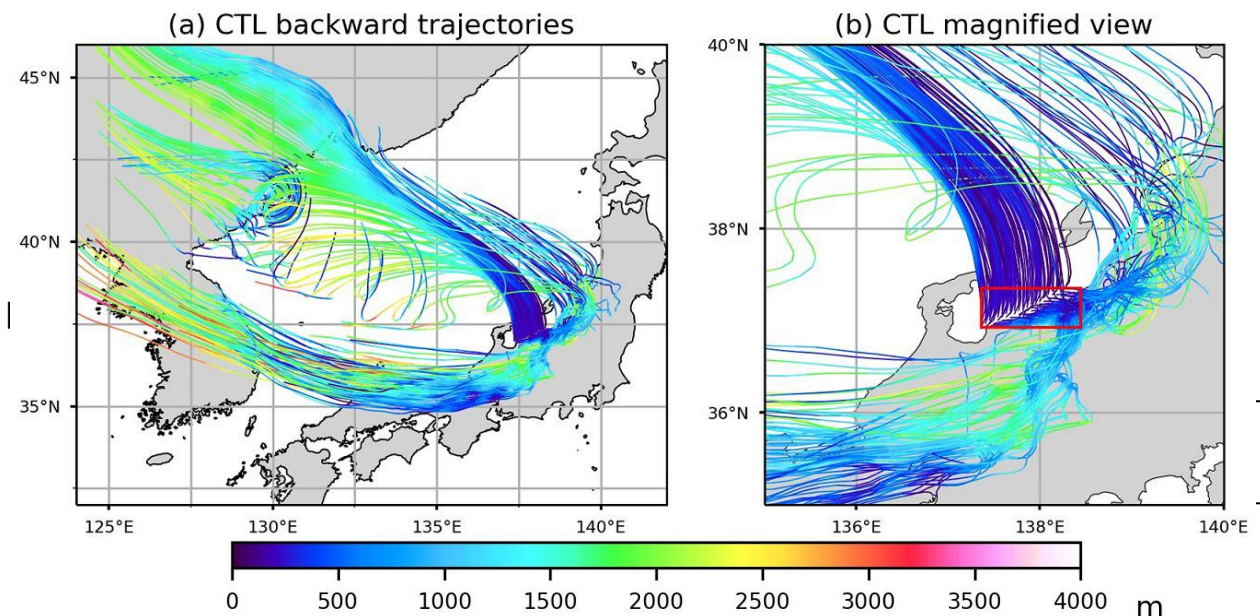


図 3 : (a) 北陸不連続線 (b) の赤枠) に流入する空気塊の流跡線。流跡線の色は空気塊の高度を表す。(b) (a) の拡大図。再現実験で北陸不連続線が明瞭にみられた 2021 年 1 月 10 日 3 時を初期時刻として時間を遡った後方流跡線解析の結果に基づいている。

【今後の展開】

本研究の成果は、①局地的豪雪をもたらす北陸不連続線は JPCZ とは形成メカニズムが異なる、水平スケールの小さい沿岸前線であること、②北陸不連続線の形成要因としてあげられていた陸風の起源は、長白山系を迂回して一旦本州に上陸してから流入する気流であること、にまとめられます。

①については、局地的に大雪をもたらされる沿岸地域が JPCZ 本体と北陸不連続線に二極化されるため、機動的な豪雪被害対策が求められます。二極化していく過程では大陸から日本海上への寒気流出が関係していますが、寒気流出時の海面からの熱・水蒸気供給による気団変質の定量的評価は観測が十分ではないため、更なる研究が必要です。②については、一旦本州に上陸してから北陸不連続線に流入する気流の経路は、対流圏下層の気圧分布と標高の高い山岳地形に大きく左右されるため、事例毎に異なる事が予想され、その観点からも、北陸不連続線に伴う大雪の予測精度を検証していく必要があります。

以上の知見はまた、日本海沿岸地域における大雪発生頻度の将来予測の不確実性を低減していくためには、JPCZ や沿岸前線を十分に解像してその変化傾向を調べる必要性を示唆しています。さらに、日本海からの熱・水蒸気供給による気団変質の大きな変化が予想されることから、近年の日本海の高温化が今後どのように推移して、どのように大雪の発生に影響していくのか注目されます。

【用語解説】

注 1) 大気境界層

地表面（海面）から高度 1km ぐらいまでの大気層で、地表面（海面）の摩擦の影響や地表面（海面）からの熱・水蒸気供給の影響を強く受ける層です。

注 2) 相当温位

外部との熱の出入りがない状態（断熱変化）で、空気塊を上空のある気圧面から地表付近の 1000hPa 面まで下降させたとなると、高い気圧のために空気塊は圧縮され、内部エネルギーが増加、つまり昇温します。昇温した時の温度 θ は当然ながら元の空気塊の温度より高くなっており、この θ を温位といいます。また、空気塊に含まれる水蒸気が全て凝結して空気塊を加熱した分を温位に加味したものは相当温位と呼ばれています。もし海面から大気境界層に熱・水蒸気が供給されると、境界層の相当温位は高くなります。

注 3) 沿岸前線

元々は、冬の嵐の襲来時に北アメリカ北東岸に沿って出現する準定常的なメソスケール前線を coastal front（沿岸前線）と呼ぶようになりました。発生条件は異なりますが、日本でも関東地方沿岸付近に形成される沿岸前線の統計的な特徴が調べられています。

注 4) 冷氣プール

雨滴の蒸発や雪の昇華などで周囲の空気が冷却され下降流が生じた結果、地表付近に形成される冷氣塊または冷氣層のことです。豪雨をもたらす線状降水帯においても冷氣プールの重要性が指摘されています。

【大学院生(当時)からひとこと】

本研究によって、日本海沿岸地域の大雪予測には JPCZ だけでなく北陸不連続線の存在も重要であることが改めて明らかになりました。大雪の予測精度向上には、局地的なスケールの視点からの更なる調査が必要であると考えています（鈴木）。

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費補助金（JP19H05696,JP20H00289）の助成を受けて行われました。

【論文情報】

掲載誌：Weather and Climate Extremes

タイトル：Cascading effects of the Changbai mountains on an extreme weather disaster in northern Japan in January 2021

著者名：Yuto Suzuki, Ryuichi Kawamura, Tetsuya Kawano, Takashi Mochizuki

D O I : <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100439>

【お問合せ先】

<研究に関すること>

九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門 教授 川村 隆一（かわむら りゅういち）

TEL：092-802-4233

Mail：kawamura.ryuichi.130@m.kyushu-u.ac.jp

<報道に関すること>

九州大学 広報室

TEL：092-802-2130 FAX：092-802-2139

Mail：koho@jimu.kyushu-u.ac.jp