

豪雪をもたらす線状の降雪帯, JPCZ の構造とメカニズムを 日本海洋上観測により明らかにした

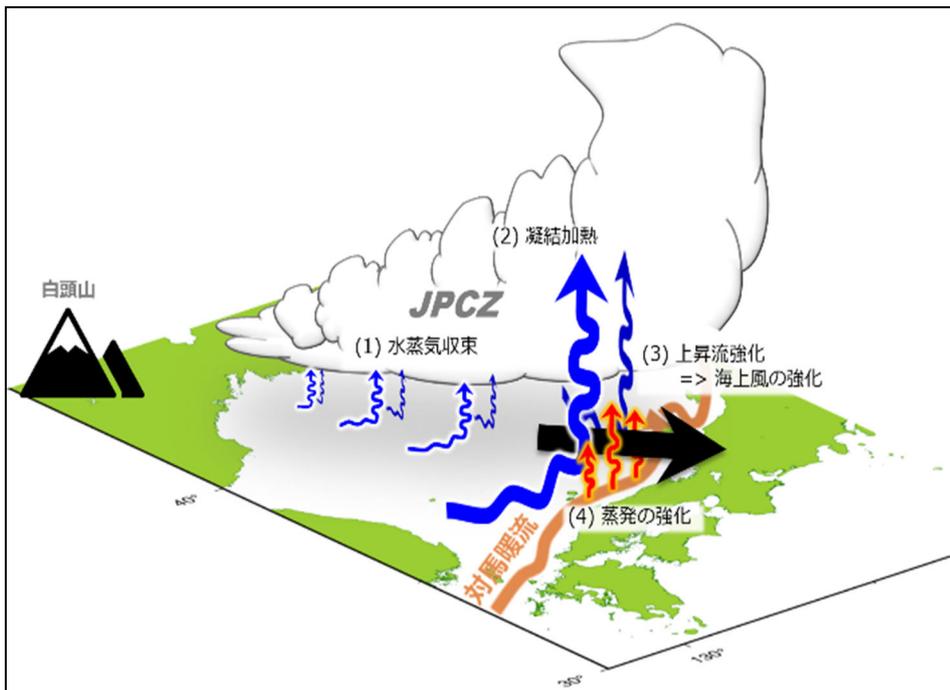


図 1 観測で示された JPCZ の構造と海洋の役割。

(1) JPCZ に周囲からの水蒸気が収束。(2) 水蒸気が上空で雲となり、凝結加熱で浮力を得る。(3) 浮力に伴い上昇気流が強化。上昇気流に引っ張られ、海上風が増す。(4) 海上風が増すことで暖かい海面からの蒸発が促進し、水蒸気の JPCZ での収束が強化。以上を繰り返すことで、JPCZ は一旦発生すると持続する機構を持つ。水蒸気の流れを示す多数の青い矢印が JPCZ に集中する構造は、多くの支流を携えた川と類似していることから、「大気の川」と呼ぶ。

- 日本に豪雪をもたらす JPCZ(日本海寒帯気団収束帯)*¹⁾を横断し、1 時間毎の洋上気球観測によってその実態を捉えることに成功。実態としては以下のものであった。
- JPCZ は、「大気の川」*²⁾のような構造を持つ。気流が JPCZ に収束することに伴い、周囲の海面から蒸発した水蒸気が JPCZ に集中する。JPCZ が河川の本流に相当する。日本海の広い範囲の暖かい海面から蒸発した水蒸気が JPCZ へ集まりそれが風下へ移動するさまは、たくさんの支流(branch)の水が本流に集まり、下流へと流れる「川」と同等。また JPCZ は帯状に伸びることから、いわば「線状の降雪帯」。
- 「支流」から「本流」に相当する JPCZ に水蒸気が集中し、強い雪雲となり豪雪となる。集中量を降雪に換算すると 7 時間で 1 メートルの降雪に相当。この降雪量の約 9 割は支流からの水蒸気の集中がもたらす。
- 「支流域」に相当する海域は、暖かい対馬暖流*³⁾。暖流の上に強風が吹き、大量の水蒸気が海から大気へ供給される。暖かい対馬暖流の影響で JPCZ が維持される。
- JPCZ は、一旦発生すると持続する機構(self-sustaining mechanism)を持つ(詳細は図と本文参照)。
- 気象庁気象研究所の数値シミュレーションでも、観測事例を概ね再現出来た。ただし気象衛星ひまわりから推定された日本海の海面水温は、我々が観測した水温よりも約 2℃低いことから JPCZ を過小評価していた可能性がある。

【概要・研究の意義】

日本の日本海側は世界でもまれに見る豪雪地域です。雪は雪国独特の文化を醸し出し、安定した水資源となりますが、豪雪被害も毎年のように繰り返されています。日本の豪雪のメカニズムを理解し、予測することは地球科学的にも重要であるだけでなく、文化の理解、交通や社会への影響の観点からも極めて重要です。豪雪が起こる理由の一つが暖かい日本海が存在と日本海上で発生する JPCZ にともなう強い雪雲であることが気象衛星画像から大まかには知られています。また、近年地球温暖化にもかかわらず寒波は頻繁に来襲している一方で、日本海では海面水温は際だって上昇しているため、気温と水温の差が大きい傾向にあります。もし、この傾向が続くのであれば、今後も JPCZ に伴う豪雪が頻発する可能性があります。しかし JPCZ については、その詳細な実態の直接観測を行った研究は 2000 年代前半以降なく、その構造は完全には解明されていません。我々研究チームは、水産大学の練習船耕洋丸を用いてその実態を把握することを目的とした大気海洋同時移動観測を 2022 年 1 月下旬に実施しました。1 時間毎の気球観測とそれと同期した海洋観測によって JPCZ の実態とそれに及ぼす暖かい海洋の影響を捉えることに成功しました。この研究は、豪雪のさらなる解明と予測において新たな鍵となるとともに、地球温暖化の研究や防災などにも役立つことが期待できます。

【背景】

JPCZ とは、冬季に発生する日本海北西部を経て日本列島まで到達する、数百キロメートルの帯状の大気の収束帯で、山陰地方から北陸地方にかけての日本海側にたびたび豪雪をもたらすことが知られています。その発生場所は、気象衛星画像により分かっています。朝鮮半島の北部には周囲の山に比べひととき高い山(白頭山)が存在しますが、冬の北西季節風がシベリアから吹くと、その山の下流に位置する日本海北西部から日本列島まで数百キロメートルの帯状に伸びた太い雲域を形成します。JPCZ 以外の「通常の」雪雲は日本海側のみに雪をもたらしますが、JPCZ の場合、その雪雲は太平洋側にまで達することがあります。実際、2021 年の 12 月や 2022 年の 1 月には JPCZ にともなう雪雲によって滋賀県南部・愛知県・三重県などにも豪雪をもたらし、東海道新幹線や高速道路など日本の交通の要衝にも影響を及ぼしました。JPCZ の発生メカニズムとしては、朝鮮半島の白頭山を迂回する気流が合流することで発生するなどのいくつかの考えが提唱されていますが、現場での毎時の高層気象観測に基づく研究は実施されていないため JPCZ の詳細な気温、風、水蒸気場の鉛直分布は確かめられていませんでした。したがって、JPCZ の実態を知るためには日本海での直接観測が必須でした。

【研究内容】

「観測結果概要」

2022 年 1 月 19 日から 20 日にかけて我々は JPCZ を横断しながら 1 時間毎の気球放球観測とそれと同期した海洋の温度塩分観測を行いました。気球には気温、湿度、風、気圧を測定する機器を搭載しています。この同期観測の結果、JPCZ 中心部で風向は 90 度激変しかつ強風化し、JPCZ で気流が収束していました(図 1 参照)。風の急変域は上空約 3.5km まで達しており、収束域は極狭く幅は約 15km でした。上空約 3km 以内に気流が収束し、集まった空気は上昇していたと考えられます。また、JPCZ 中心部の雲頂高度は約 3.5km で、観測期間中のその他の平均的な雪雲の雲頂高度は約 2km 弱であることから、約 2 倍でした。

「JPCZ は、一旦発生すると持続する」

気流が JPCZ に収束することに伴い、周囲の暖かい海面から蒸発した水蒸気が JPCZ に集中することで(図 1 の(1)参照)、JPCZ で上昇気流が起こり、雲の凝結により加熱され(図 1 の(2)参照)、上昇気流が強化されます(図 1 の(3)参照)。上昇気流が強まり、上空が加熱されることで地上の気圧が低下し、周囲から収束する風速が強まるため、周囲の暖かい海面からの水蒸気の供給もさらに増えます(図 1 の(4)参照)。このようなプロセスを経て JPCZ が強化されます。JPCZ が強化されることで、周囲の水蒸気の集中も強められ、JPCZ は、一旦発生すると自らが持続する機構(self-sustaining mechanism)を持ちます。

「JPCZ は、大気の川」

JPCZ は、「大気の川」*2)のような構造を持つことを示しています(図 1 参照)。JPCZ が河川の本流とすると、日本海の広い範囲に亘る暖かい海面から蒸発した水蒸気が JPCZ に集まるさまは、たくさんの支流から本流に水が集まる川と同等です。JPCZ の降雪量の約 9 割は支流からの水蒸気の集中でもたらされていました。「支流域」に相当する海域には、暖かい対馬暖流*3)があります。暖流の上に強風が吹き、大量の水蒸気が海から大気へ供給されることから、日本海を流れる暖かい対馬暖流の影響で本流に相当する JPCZ が維持されます。対馬暖流の水温は14度でした。そこでの地上気温は3度であることから、その温度差は11度もあり、さらに風速17m毎秒の強風が吹いていました。そのため大気は大量の水(水蒸気)を暖かい海面から得ます。なお、観測期間中の上空の寒気は普通よりも若干強い程度でしたので強い寒気は必須ではありません。

「JPCZ は 7 時間で 1 メートルの降雪をもたらす」

JPCZ は「大気の川」のような構造を持つことから、強い降雪が帯のようになりますので、「線状の降雪帯」と言っても過言ではありません。JPCZ に集まった水蒸気量を降雪に換算すると 7 時間で 1 メートルの降雪をもたらす量に相当します。

さらに、JPCZ の数値予報での予測可能性を調べるために気象予測シミュレーションを実施して、その再現性も確認できました。ただし、気象衛星ひまわりから推定された対馬暖流の海面水温は、我々が観測した水温よりも低かったため、この低水温に基づく気象予測シミュレーションは JPCZ を過小評価している可能性があります。実際、気象庁気象研究所の数値シミュレーションでは、観測事例を概ね再現できましたが、風速については観測に比べて弱めにシミュレートされています。

【今後の展望】

本研究の成果は JPCZ の予報の精度向上に寄与することが期待されます。JPCZ の実態把握には現地での観測が望まれます。

【用語解説】

*1)JPCZ (Japan sea Polar air mass Convergence Zone: 日本海寒帯気団収束帯)

シベリアからの寒波が日本に流れ込む際に、暖かい日本海の影響を受けて多数の筋状の雪雲が発生します。それら筋雲の中で、他の筋状の雲とは異なり、幅数十キロメートル程度の発達した帯状の雲域が朝鮮半島の付け根付近から日本列島にかけて長さ数百キロメートルにわたってしばしば発生します。これを JPCZ と呼びます。JPCZ が達した領域付近では、周囲と比較にならないほどの豪雪が発生します。

*2)大気の川 大量の水蒸気を含む気流の帯のことを大気の川(atmospheric rivers)と呼びます。よく知られている大気の川は、熱帯域の海上から中緯度の日本や北米に流れ、それが梅雨期の豪雨に寄与しているとされています。最近の研究では、北極海に流れる水蒸気の帯についても大気の川として議論を展開する論文が増えており、その概念や定義が地球全体に拡張されています。そのような世界的な研究背景から JPCZ が大気の川の一つであることを本研究では提示しました。

*3)対馬暖流 対馬海峡から日本海に流入し、津軽海峡や宗谷海峡から太平洋やオホーツク海に抜けて流れる暖かい海流です。日本の南岸を流れる黒潮と比較すると、流量で約 1/10、流速で約 1/4 の弱い流れで、黒潮のように連続した流れにはなっていません。

論文情報

論文名 High moisture confluence in Japan Sea polar air mass convergence zone captured by hourly radiosonde launches from a ship

著者 立花義裕(三重大学教授), 本田明治(新潟大学教授), 西川はつみ(東京大学大気海洋研究所特任研究員), 川瀬宏明(気象庁気象研究所主任研究官), 山中晴名(三重大学大学院生), 畑大地(新潟大学大学院生), 柏野祐二(水産大学校教授)

雑誌名:Scientific Reports

DOI:10.1038/s41598-022-23371-x

公表日:日本時間 2022 年 12 月 23 日(金) 午後 7 時(オンライン公開)

本研究は, 新学術領域研究を始めとした複数の文部科学省科学研究費補助金(16K13880, 17H02958, 17H01156, 17K01223, 19H05698, 19H05668, 20K12197, 19H05697, 19H01377, 17H02067, 21K18788)と, 北極域研究加速プロジェクト(ArCSⅡ, JPMXD1420318865)で実施されたものです.