

日本海観測が示す JPCZ に及ぼす対馬暖流の影響

○立花 義裕¹, 本田 明治², 西川 はつみ³, 川瀬宏明⁴, 山中 晴名¹, 畑大地², 柏野祐二⁵

1:三重大学, 2:新潟大学, 3:東京大学, 4:気象研究所, 5:水産大学校

キーワード：大気海洋同期観測・毎時ラジオゾンデ放球・XCTD 観測

1. 要旨

日本に豪雪をもたらす JPCZ(日本海寒帯気団収束帯)を横断する 1 時間毎の洋上気球観測とそれに同期した海洋観測によってその実態を捉えることに初めて成功. 実態は以下のものであった(図 1 が模式図). なお, 本研究は, Tachibana et al. (2022)^[1]で論文発表した内容に基づいている.

- イ) JPCZ 中心部では, 風・気温・湿度・気圧の急変が雪雲のトップ(上空約 3.5km)にまで達していた(図 2, 図 3)
- ロ) JPCZ 中心部で風向は 90 度激変. この急変域に向かって周囲から気流が収束. 収束域は極狭く幅は約 15 km(図 2, 図 3).
- ハ) 水温 14 度, 気温 3 度での温度差 11 度で強風(風速 17 m 毎秒). そのため, 大気は大量の水蒸気を暖かい海面から獲得(図 4)

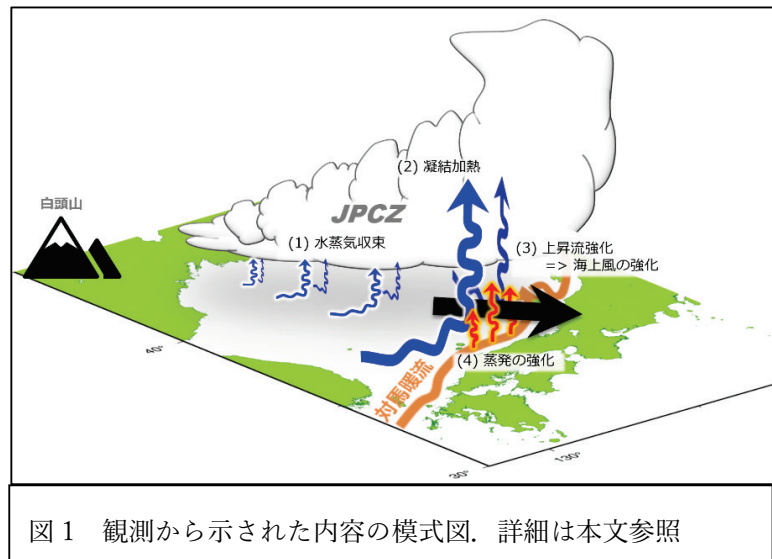


図 1 観測から示された内容の模式図. 詳細は本文参照

- ニ) JPCZ は, 「Atmospheric River」と同等な構造を持つ. 白頭山で分流した気流が 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 に集まるさまは, たくさんの支流から本流に水が集まるさまは「川」と同等. また JPCZ は带状に伸びることから, 「線状降雪帯」と記載しても過言ではない. 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た. 「支流域」に相当する海域には, 暖かい対馬暖流. 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. 「支流」から「本流」に相当する JPCZ に水蒸気が集中し, 強い雪雲となり大雪となる. 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.

ホ) 「支流域」に相当する海域は、暖かい対馬暖流。暖流の上に強風が吹き、大量の水蒸気が海から大気に供給される。暖かい対馬暖流の影響で JPCZ が維持される。上空の強い寒気は必須では無い。

へ) JPCZ は、一旦発生すると持続する機構 (self-sustaining mechanism) を持つ。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)) , JPCZ で上昇気流がおり、雲の凝結により加熱され (図 1 の (2)) , 上昇気流が強化されます (図 1 の (3)) . 上昇気流が強まると、周囲から収束する風速も強まるので、周囲の暖かい海面からの水蒸気の供給もさらに増える (1 図 1 の 4) これにより JPCZ が強化。JPCZ が強化することで、周囲からの水蒸気の集中も強められることから、JPCZ は、一旦発生すると自らが持続する機構 (self-sustaining mechanism) を持つ。

ト) 気象衛星ひまわりから推定された日本海の海面水温

(HIMSST) は、我々が観測した水温よりも約 2°C 低い。この低水温に基づく気象予測シミュレーションは JPCZ 等の雲を過小評価する可能性あり (図 5, 図 6) .

チ) 気象庁気象研究所の数値シミュレーションは、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

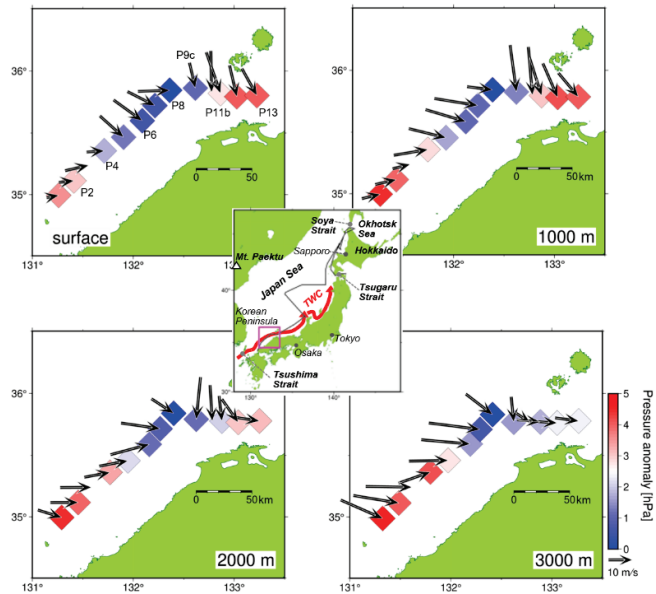


図 2 (中央) 観測コース。中央図中に描かれているピンク色の矩形が JPCZ 観測域のエリアで、四方の図に相当。(4 隅の図) 観測された風と気圧偏差 (P8 からの気圧偏差)。

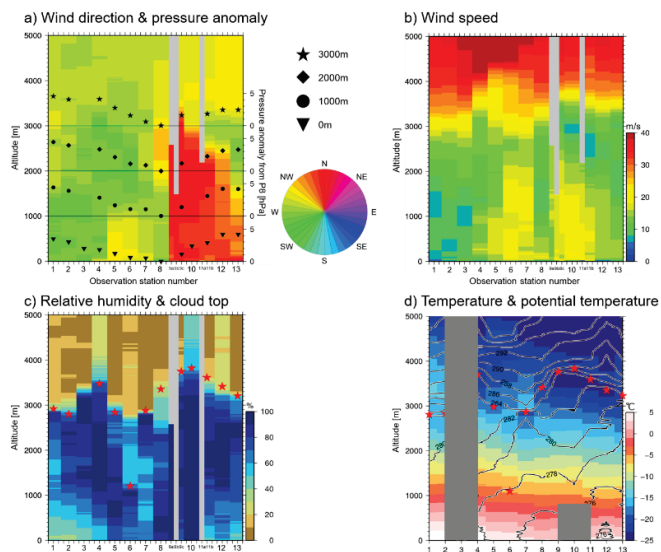


図 3 横軸が観測点番号、縦軸が高度。(a) 風向分布、8 番が JPCZ 中心部。風向の色は、緑系が西風、赤系が北風。図中のマークは各高度の気圧偏差 (P8 基準)。1000m, 2000m, 3000m の気圧偏差を描画。(b) 風速。(c) 湿度と雲頂 (星印)。(d) 温位と雲頂 (星印)

面水温は、我々が観測した水温よりも約 2°C低いことから JPCZ を過小評価の可能性があり、観測と数値シミュレーションの詳細な比較が必要 (図 7)) JPCZ の観測は気象予報の精度向上に寄与し、今後の洋上の恒常的な気象観測が望まれる

2. イントロダクション

日本海側に豪雪が起こる理由の一つが暖かい日本海の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衛星画像や数値実験から大まかには知られているが、JPCZ の詳細な直接観測や海洋の影響に関する観測に基づく研究はこれまで無く、その実態や詳細構造、海洋の影響は依然として謎である。日本海は対馬暖流が流れており、暖かい海流の上を冷たく乾いた空気が吹くことから、JPCZ に及ぼす海洋の影響が重要であり且つ寒気が海洋に及ぼす影響も重要である。我々は、水産大学の練習船耕洋丸を用いて JPCZ 実態とその海洋からの影響、さらに海洋への影響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 月下旬に実施した (図 2 中央図)。観測期間中の 1 月 19 日から 20 日にかけて JPCZ が発生し、その間 JPCZ を横断しながら 1 時間毎のゾンデ観測とそれと同期した XCTD による海洋の温度塩分観測を行った。この観測によって JPCZ の実態とそれに及ぼす暖かい対馬暖流の影響を捉えることに初めて成功した。

3. 結果

観測の結果、JPCZ 中心部で風向は 90 度激変しかつ強風化し、周囲から気流が収束していた (図 2, 3)。急変域は上空約 3.5km まで達していた。収束域は極狭く幅は約 15km であった。上空約 3.5km までが気流が収束しており、集まった空気は上昇していたと考えられる。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 であった。従って、JPCZ の雲頂高度は通常のスノークラウドの約 2 倍程度である。観測した JPCZ の下の海には暖かい対馬暖流が流れており、その水温は 14 度であった。その場所での気温は 3 度であり、その温度差は 11 度もあった。風速 17m/s の強風が吹いていた

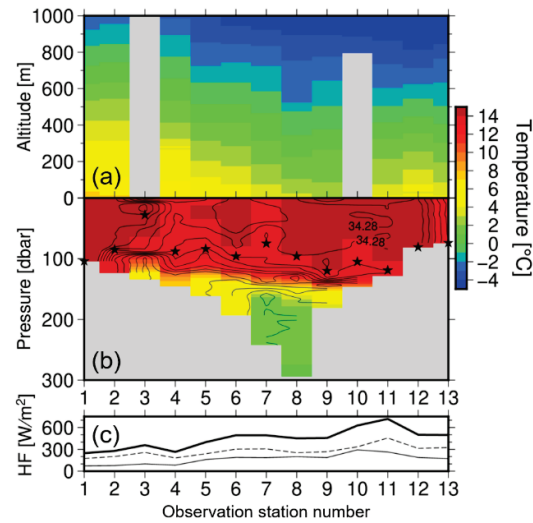


図 4 横軸が観測点番号、縦軸が高度 (a) と深度 (b). (a) 気温. (b)水温 (色) と塩分 (線). (c)潜熱と顕熱とその和

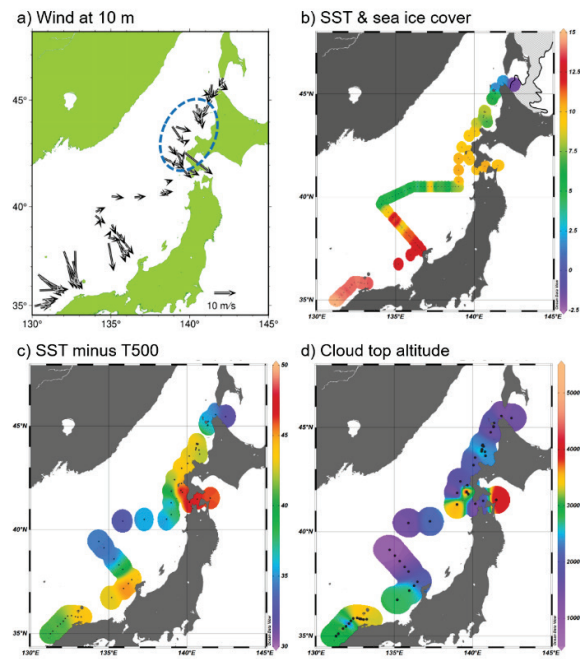


図 5(a)全観測点での風向. (b) 観測された海面水温 (c)SST と 500hPa 気温との差 (ゾンデと水温観測値による) (d) 雲頂高度

め、大気は大量の水蒸気と熱を暖かい海面から得ていた(観測値を用いたバルク法によると、 718 W m^{-2})。加えて、気流が収束することにより、それらの大量の水蒸気が JPCZ に集中し大雪がもたらされることが観測によって示された。集中した水蒸気の源は周囲の暖かい海面である。水蒸気の集中度を降雪に換算すると 7 時間で降雪量 1 メートルに相当する。この見積もりに関しては、新雪の密度を 0.1 g cm^{-1} と仮定した。なお上空 500hPa の気温は、 -28°C であった。これは観測海域の上空では平年並みの気温であり、大雪の指標とされる気温よりも高い。今回観測された JPCZ には暖かい対馬暖流が重要な役割を果たしていた。

観測航海は、JPCZ の観測海域のみならず、北海道沖を通過しオホーツク海にまで及んだ(図 5)。北海道沖において発達した渦状の雲も観測された(図 5)。これは時折北海道に豪雪をもたらす、polar low であった。polar low は上空 500hPa の寒気とその下の海面水温の差が閾値(-43°C)を超える際に発生しやすいとの過去の研究がある。今回観測された polar low は閾値を超えていた(図 5)。閾値を超えた原因には対馬暖流の影響により高い海面水温の存在が観測により確認された。

参考文献

[1] Tachibana, Y., M. Honda, H. Nishikawa, H. Kawase, H. Yamanaka, D. Hata, and Y. Kashino, (2022), High moisture confluence in Japan Sea polar air mass convergence zone captured by hourly radiosonde launches from a ship, *Scientific Reports*, **12**, 22674, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23371-x>

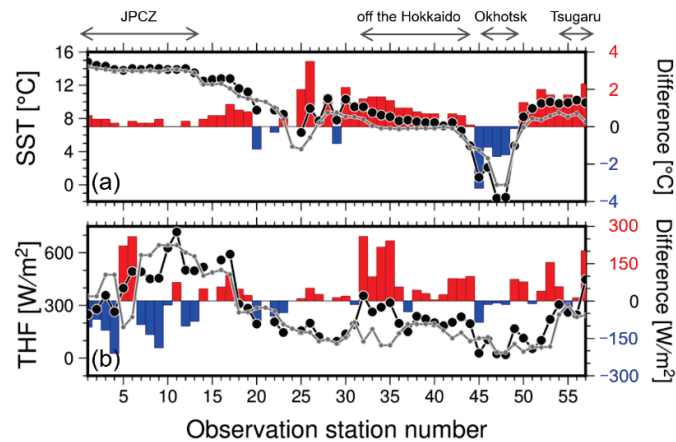


図 6 (a)観測された海面水温(黒)、観測点最近傍での HIMSST(灰)。観測マイナス HIMSST(棒グラフ：赤が観測値が高温、青：HIMSST が高温) (b) (a)と同じ、但し観測値から推定した潜熱フラックスと客観解析から推定された潜熱フラックス。

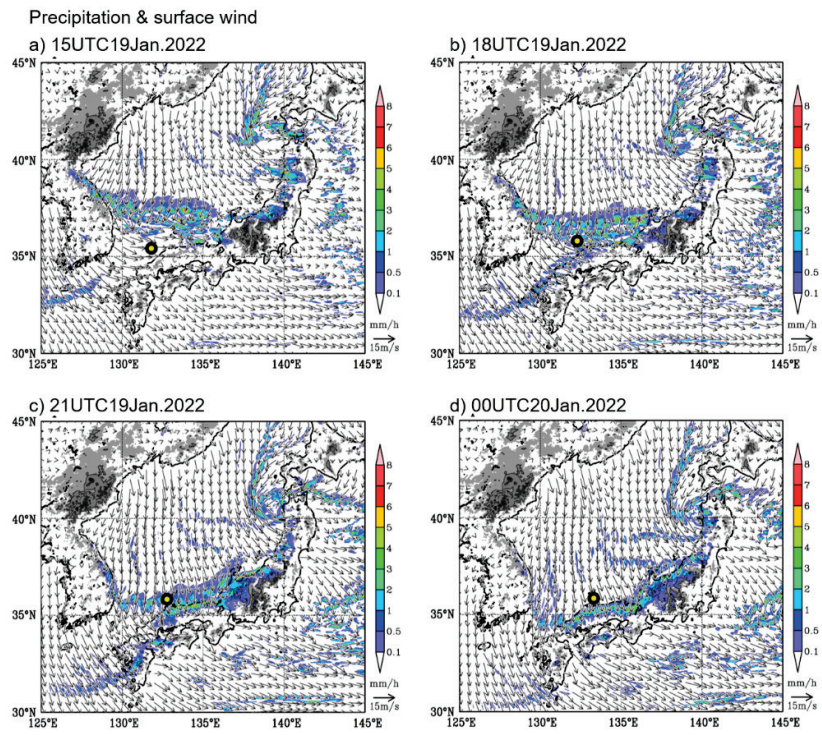


図 7 数値シミュレーションによる観測期間の計算結果。(a),(b),(c),(d)は各時刻をあらわす。