2023 冬季日本海船舶観測で捉えた局所的大雪をもたらす高気圧性循環

本田明治1,立花義裕2,柏野祐二3,西川はつみ4,山中晴名2,山本諒2,阿部穂花1,三田優里5,川瀬宏明6 1:新潟大学 2:三重大学 3:水産大学校 4:東京大学 5:お茶の水女子大学 6:気象研究所

1. はじめに

冬季日本海側地域に大雪をもたらす要因のひとつとし て日本海寒帯気団収束帯(Japan Sea polar air-mass convergence zone: JPCZ, 浅井 1988)と呼ばれる帯状降 雪雲がよく知られている。朝鮮半島北部の白頭山を迂回し た大陸からの寒気が日本海上で合流(収束)することで、 長さ数百km、幅数+kmの発達した帯状の雪雲が形成され、 これが停滞することで局所的な大雪となる。特に、通常雪 の少ない海岸平野部における大雪の多くはJPCZによって もたらされている。JPCZが発現する際の地上天気図の特 徴は日本海の南西部で等圧線が「くの字状」になることで、 その凹みを結ぶように帯状降雪雲が現れやすい(図1)。

一方JPCZ発現時に、北海道西岸沖合に小低気圧(ポー ラーロウ: PL) がしばしば発生し、その南方の東北〜北陸 の日本海側で等圧線が「逆くの字状」となる高気圧性循環 が現れることがしばしばある。本田他(2018)、本田(2019、 2020)は2018年1月11日~12日に新潟市で24時間降雪量 が80 cmに達した記録的な大雪事例を解析して、JPCZの 雪雲に加え、この高気圧循環に沿って北北東~南南西に延 びる収束線が沿岸部に形成され、帯状の雪雲が新潟市域に 流れ込んでいたことを確認した。このような「くの字状」 と「逆くの字状」が東西に向かい合う等圧線の形状を「胃 袋型」気圧配置と名付け、図1のような模式図を提唱して いる。日本海上の大気場の3次元構造に着目すると、JPCZ 上では上昇流が強化され、対流圏中層で発散し上空の南西 風を強化するが、北海道西岸沖合のPL上でも上昇流が強 化され、対流圏中層で発散域を形成することでその南西側 では南西風が減速され、両者の間の日本海上空では収束域 となる。この上空の収束域に伴って海上付近では気圧が上 昇、また下降流に伴って海上一帯は発散場となり高気圧性 循環を形成する。海上発散風は東北地方沿岸に吹き付ける ことで海岸線に沿って収束雲を形成し、雪雲を新潟市付近 に継続的に侵入させたと考えられる (図1)。なお、本田・ 川瀬(2022)は、数値実験による当該事例の再現に成功し ており、さらに過去51冬の大雪事例に基づく合成図解析 により、新潟市の多くの大雪事例は日本海上のこのような 大気場の3次元構造に伴う「胃袋型」気圧配置に伴って発 生することを示している。

しかしながら、冬季日本海上の寒気吹き出し時の上空大 気場の観測は極めて限定されており、これまで観測事実に 基づいた検証はできなかった。2023年1月に日本海観測航 海によって「胃袋型」気圧配置時の大気海洋鉛直構造を初 めて直接捉えることが出来たのでその結果を報告する。

2. 観測結果

2023年1月19日~31日に水産大学校耕洋丸による日本海大気海洋観測を実施した(図2)。この観測では24日を中心とする最強寒波に伴うJPCZの観測に成功している(立花他,2023)。その後26-27日にかけて東北地方沖の日本海上に「胃袋型」気圧配置(図2左上)が現れ、この状況下において、東経137度線に沿って北緯39度から北進して41度15分まで、26日15時~27日9時(日本時間)まで連続18時間に渡って19回のラジオゾンデ及



図1.2018年1月11~12日の日本付近の総観場・循環場の 模式図。黒実線:海面気圧の等圧線、青実線:対流圏中層等圧 面(~500 hPa)の投高度線、赤矢印:上昇流または下降流、 紫矢印:600-700 hPa付近の水平風、青矢印:地表付近の下降 流~発散風、破線で囲まれた領域:降雪を伴う収束雲。



図2.2023年冬季日本海船舶観測の測線(1月19~29日)。 26日15時~27日9時にかけて胃袋型気圧配置発現時の大気 海洋観測を実施。左上は26日21時の地上天気図で、図中の 赤線は測線。地上天気図は気象庁 HPより。

び XCTD 観測を1時間毎(測点間隔約 6-10 km)に実施 した。この測線は胃袋型気圧配置の中心よりやや北側に位 置し(図2左上)、ひまわり可視画像によれば東西に延び る晴れ間を南北に横切っている(図3左上)。実際、観測 時の気象状況は曇りまたは晴れで海上では概ね北寄りの 風が吹いていた。海面水温(SST)に着目すると、北緯40 ~41 度付近を東西に延びる南北温度傾度の大きい前線帯 (日本海海洋極前線)を横切っている(図3左下)。気象



図3.(左上)2023年1月26日12時のひまわり可視画像。図中の赤線は図2の測線。(左下)26日の海面水温分布図。(右上)26日 15:20のレーダー降水強度。赤丸は同日時の船の位置。(右下)27日9時と前日26日9時の積雪深差(前者-後者)。赤色が積雪深の 増加を表す。海面水温分布図は気象庁 HPより。前日積雪深差は新潟大学災害・復興科学研究所 HPより。

状況をみると「くの字状」の等圧線に対応して JPCZ が本 州日本海側にかかっていることが可視画像及びレーダー 画像(図3右上)から確認できる。27日9時と26日9時 の積雪深差をみると、新潟県一帯で最大50センチ程度の 増加が確認できる(図3右下)。

続いてラジオゾンデ及び XCTD により観測された大気 海洋構造の南北鉛直断面図を示す。図4はそれぞれ風速 (上)、海水温(下)を示している。図4下の海洋構造を みると、この測線上では海面水温の最高は12.0℃、最低は 3.8℃で、図3左下のSST分布図と整合的である。海水温 の南北構造を詳細にみると、北緯40.25度付近で、水温が 大きく低下(9.3℃→4.9℃)しているのが確認できる。こ の2つの測点間の距離は約8kmで、水温勾配が極めてシ ャープな構造を持つ事実を確認できた。

続いて対応する風速場(図4上)をみると、海洋極前線 を境に、南側の高水温上で強かった風速が、北側の低海水 温上では大きく減速していることが確認できる。測線上で は風速の最大は16.9 m/s(北緯39.75度付近)、最小は6.1 m/s(北緯40.90度付近)であった。極前線南側の風速は 気圧配置からは想定されない大きさで、高水温域における 鉛直混合によって風速強化が起こっていたと考えられる。

図5上は風の南北成分を示している(図5下は図4下に 同じ)。大気下層は西高東低の冬型気圧配置と整合的で、 全般に北風である。地衡風的には東西気圧傾度の弱まる南 側ほど北風の減速が期待されるが、結果は反対で北風は海 洋極前線を挟んで北側で弱く、南側で強くなっている。こ の事実は海洋極前線域が発散場に対応しており、必然的に 海洋極前線上の大気場は下降流域になっていると考えら れる。ひまわり可視画像(図3左上)で海洋極前線上では 雲が少ない晴れ間が東西に延びていることとも整合的で ある。上空 2000~2500 m 付近をみると海洋極前線を挟 んで南側で南風、北側では北風で収束域となっている。こ の南風は JPCZ 上空の発散に伴う南風を反映していると 考えられる。このような海洋極前線上の上空の収束場、下 層の発散場は下降流の存在を支持する。ラジオゾンデ観測 では鉛直風を直接計測できないが、温位の鉛直断面図から は海洋極前線上で等温位線が鉛直に走っており、下降流の 存在が示唆される(図略)。

3. おわりに

2023冬季に実施した水産大学校耕洋丸による日本海大 気海洋観測により、日本海上に現れた胃袋型気圧配置時の 大気海洋構造を初めて捉えることができた。東経137度線 に沿って北緯39度から北進して41度15分まで、連続18時 間に渡って19回のラジオゾンデ及びXCTD観測を1時間毎 (測点間隔約6-10 km)に実施した。この測線は日本海海 洋極前線を丁度横切っており海水温は約12度から約4度 に低下、特に北緯40.25度付近では測点間 8 kmで 9.3℃



図4. 図2の測線で観測された(上)風速(m/s)、(下)海水 温(℃)の鉛直南北断面図。縦軸:(上)高度、(下)深さ(単 位:m)。横軸:左北緯 39 度~右 41 度 15 分。

から4.9℃に低下し、極めてシャープな構造であることを 確認した。また海洋極前線を挟んで風速が急変(16.9 m/s → 6.1 m/s)しており、高水温域における鉛直混合によっ て風速強化が起こっていたと考えられる。冬型の気圧配置 に伴って海上の風は全般に北風であり、海洋極前線を挟ん で北側で弱く、南側で強くなっていた。この事実は海洋極 前線域が発散場に対応しており、必然的に海洋極前線上の 大気場は下降流域になっていると考えられる。この事実は 模式図(図1)に示された下降流の形成には上層の収束の みならず、海上の発散場も寄与していることを示唆するも のである。また海洋極前線の南側の北風の強化はJPCZの 維持強化に寄与する可能性も示唆される。今後はより詳細 な解析とともに、数値実験による検証を進めたいと考えて いる。

本研究は、科学研究費補助金 17H02067 及び 19H05698、国立極地研究所 一般共同研究、ArCSII 北極域研究加速プロジェクトの助成を受けていま す



図5.図4に同じ。ただし、(上)風速の南北成分(m/s)、(下) 海水温(℃)の鉛直南北断面図。

参考文献

浅井, 天気, 35, 156-161, 1988.

本田他,気象学会2018年度秋季大会予稿集,2018. 本田,気象学会2019年度秋季大会予稿集,2019. 本田,雪氷研究大会(2020・オンライン)要旨集,2020. 本田・川瀬,令和4年度「異常気象と長期変動」研究集会報 告,2022.

立花他, 気象学会2023年度秋季大会予稿集,, 2023