

本州日本海側の大雪に関わる日本海寒帯気団収束帯と北海道西岸小低気圧

本田明治（新潟大学理学部）、川瀬宏明（気象庁気象研究所）

1. はじめに

地球温暖化の進行に伴って全般的に降雪量は減少しているが、いわゆる「平成18年豪雪」の2005/06年冬季（本田・楠, 2007）以降、ほぼ毎年のように全国的または日本の各地で「大雪」の声が聞こえてくる。最近5冬では、2017/18年冬季の全国的な寒冬多雪傾向、2020/21年冬季前半の集中降雪、2021/22年冬季の各地での最深積雪更新などが記憶に新しい。

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（JPCZ: 浅井 1988）がよく知られており、海岸平野部における大雪の多くの事例がJPCZによってもたらされている。特に2017/18年冬季は、強い寒気が入った1月中旬前半、1月下旬、2月上旬は、日本海上にJPCZがしばしば発生し本州日本海側の海岸平野部に降雪が集中したことで、福井、金沢、新潟など各県庁所在地でも記録的な大雪となった。この冬は顕著な偏西風の蛇行によって日本付近は寒気が西回りで侵入しやすく、JPCZが発生・発達しやすかったと考えられるが、大雪の要因は複雑でありJPCZのみでは説明できない事例も多く見受けられる。

その一例として、通常降雪の少ない新潟市で2018年1月11日～12日に24時間降雪量が80 cmに達した記録的な事例が挙げられる。本大雪事例ではJPCZに加えて北方からの別の帯状降雪雲の合流が大雪に寄与していたと考えられる。総観場的には、北海道西岸沖合に小低気圧（ポーラロウ: PL）がみられ、その南方の東北～北陸の日本海側では高気圧性循環が現れており、この両者の寄与を指摘してきた（本田他 2018, 2022, 本田 2019, 2020）。本報告ではまず新潟市の当該大雪事例の総観場の特徴をデータ解析及び数値実験により記述し、さらに新潟市に大雪をもたらす総観場の特徴について過去52冬の資料を用いた合成図解析により普遍性を検証した。用いたデータは気象庁のMSM及びJRA-55再解析データである。

2. 1月11日～12日の新潟市の降雪の特徴と総観場

2018年1月11日昼頃～12日午前にかけて新潟市一帯ではほぼ24時間降雪が継続し、最深積雪は80 cm（2日間の降雪量は84 cm）に達した。

9日に冬型の気圧配置となり、10日～11日にかけて日本海の西側で南北に走る等圧線は次第に「くの字状」になり、その凹んだ部分を結ぶような帯状降雪雲すなわち

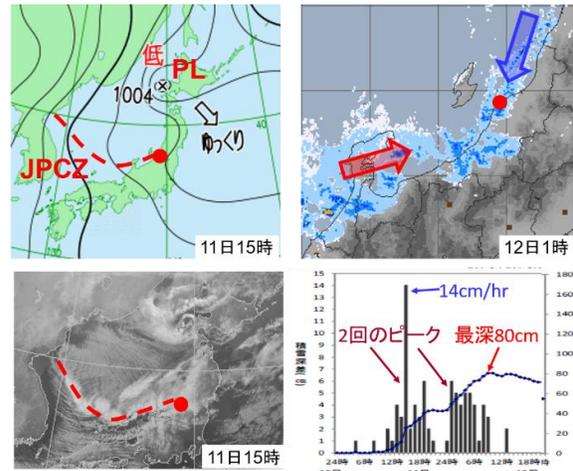


図1. (左上) 1月11日15時の地上天気図、(右上) 1月12日1時のレーダー降雨強度、(左下) 2018年1月11日15時のひまわり赤外面像、(右下) 新潟市の1月11日～12日の時間降雪量及び積雪深。図はいずれも気象庁より。

JPCZが形成され始めた（図1左上、左下）。本州上空では西南西の風が卓越し、これによりJPCZは山陰沖～北陸・新潟の走向となり、11日昼頃からの新潟市域の降雪に寄与したと考えられる。また北海道西部では10日夜に小低気圧（PL）が発現し、11日朝～12日朝にかけて後志沖で停滞していた（図1左上）。この低気圧の南方の東北日本海側～新潟県では等圧線が「逆くの字状」の高気圧性循環となり、山形県～新潟県の沿岸部では次第に北北東～南南西に延びる収束線が形成され、帯状の雪雲が新潟市域に流れ込みやすい状況となった。新潟市域への雪雲の侵入は11日後半までは主にJPCZによるものであったが、次第にこの帯状降雪雲が北～東寄りの風に伴って侵入するようになった（図1右上）。おおよそ24時間続いた降雪は2回のピークが見られ（図1右下）、前半は主にJPCZによるもの、後半は北北東からの帯状雲によるものと考えられる。尚、「くの字状」と「逆くの字状」の等圧線が東西に向かい合う気圧配置の形状から、以下「胃袋型」気圧配置と呼ぶ（図1左上）。

続いて新潟市域の大雪ピーク時の日本海上の大気場の3次元構造に着目する（図2）。上空寒気の通過に伴って日

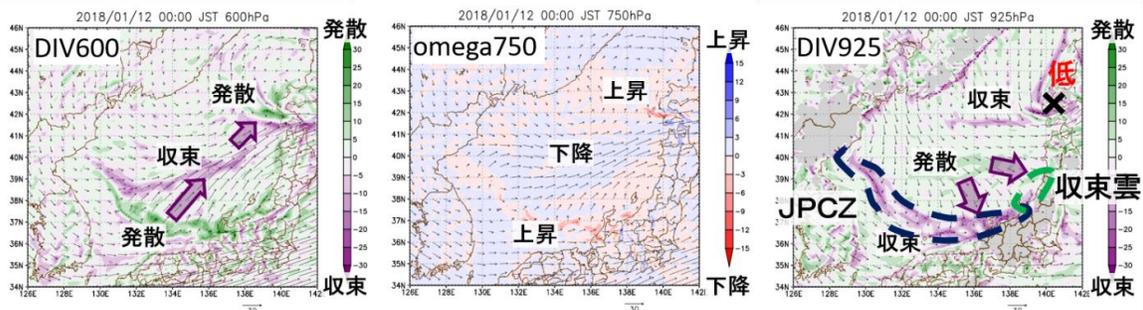


図2. 2018年1月12日0時の、(左) 600 hPa面の水平風（矢印： ms^{-1} ）、収束・発散（紫～緑の陰影： 10^{-5} s^{-1} ）、(中) 750 hPa面の、水平風（矢印： ms^{-1} ）、鉛直気圧速度（赤～水色の陰影： Pas^{-1} ）、(右) (左)に同じ、但し925 hPa面。

本海の南西部で南北に走る等圧線が「くの字状」となってまず収束域であるJPCZが形成された。JPCZ上では上昇流が強化され、対流圏中層（～600 hPa）で発散し上空の南西風の維持強化に寄与していた。つづいて上空寒気が北日本付近に到達し、北海道西岸沖合ではPLが発生した。PL上でも上昇流が強化され600 hPa付近で発散域を形成するとその南西側では南西風が減速され、JPCZとPLの間の日本海上空では収束域となる。この上空の収束域の下の海上付近では気圧が上昇し、また下降流に伴って海上へは発散場となり高気圧性循環を形成することになる。従って上空の収束域に伴う下降流が海上付近で高気圧循環を形成していたと推測される。また、海上の発散により東北沿岸に吹き出した風は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3）。なお、PLと高気圧性循環の関係については「逆向キシア」の寄与も考えられる（図略）。

3. 数値実験

前節で示された日本海上の3次元大気場構造の詳細を調べるために、気象庁非静力学メソ気象モデルJMA-NHMを用いた再現実験を試みた。計算期間は2018年1月11日6時～13日9時で、解析期間は11日9時～12日9時とした（日本時間）。初期値及び境界値は気象庁メソ客観解析データを使用し、分解能は水平2 km、鉛直50層(top 50hPa)とした。乱流過程はMYNN level 3 (Nakanishi and Niino, 2004)を適用、積雲対流はオフ、雲微物理過程は氷相を含むバルクモデルにより混合比及び数濃度を予報している。

図4左は11日9時～12日9時の24時間降水量及び地上風ベクトルで、JPCZはよく再現されており北陸～新潟の沿岸域の最大降水量は60 mm台であるが、新潟市域の降水量は45 mm程度（降雪量に換算して45 cm程度）に留まっている。しかしながら北海道西岸のPL及びその南方の東北～新潟沿岸沖合一帯の高気圧性循環は再現されており、新潟エリアの降水がこれらの寄与を受けている事が示唆される。図4右は700hPaの鉛直流及び風ベクトルで、JPCZおよびPL上の上昇流、両者の間の日本海中部の下降流が再現されており、日本海上の大気場の3次元構造も含め観測結果とはほぼ整合的であると考えられる。

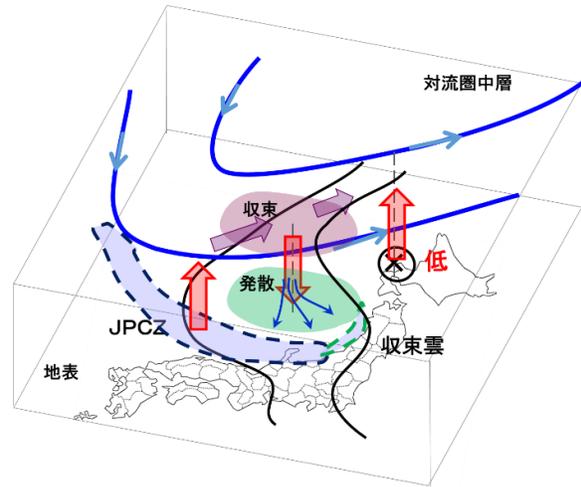


図3. 2018年1月11～12日の日本付近の総観場・循環場の模式図。黒実線：海面気圧の等圧線、青実線：対流圏中層等圧面（～500 hPa）の等高線、赤矢印：上昇流または下降流、紫矢印：600-700 hPa 付近の水平風、青矢印：地表付近の下降流～発散風、破線で囲まれた領域：降雪を伴う収束雲。

4. 過去の大雪事例による「胃袋型」気圧配置の検証

1969/70年～2021/22年の52冬の新潟市の日降雪量データを用いて、2日間降雪量が30 cm以上の85事例を抽出した。2日間降雪量としたのは夜間にまとまった降雪があった場合に日界による抽出漏れを防ぐためである。一方85事例の中には同じ日を含む重複事例もあるため、合成図を作成する場合は重複日を含まないようにしている。

図5右下は、新潟市の2日間降雪量50 cm以上（11事例）の海面気圧場の合成図である。等圧線の分布をみると西高東低の気圧配置で等圧線は全般に南北に走っているが、日本海上では大陸側で「くの字状」、日本列島側で「逆くの字状」が東西に向かい合う「胃袋型」気圧配置が明瞭で、また北海道北部を中心に低圧部が確認できる。日本海西側の「くの字状」、北海道西岸の低気圧性循環はそれぞれJPCZ及びPLに対応するものと考えられ、少なくとも新潟市の大雪発生時には両者の寄与が示唆される。合成図の対

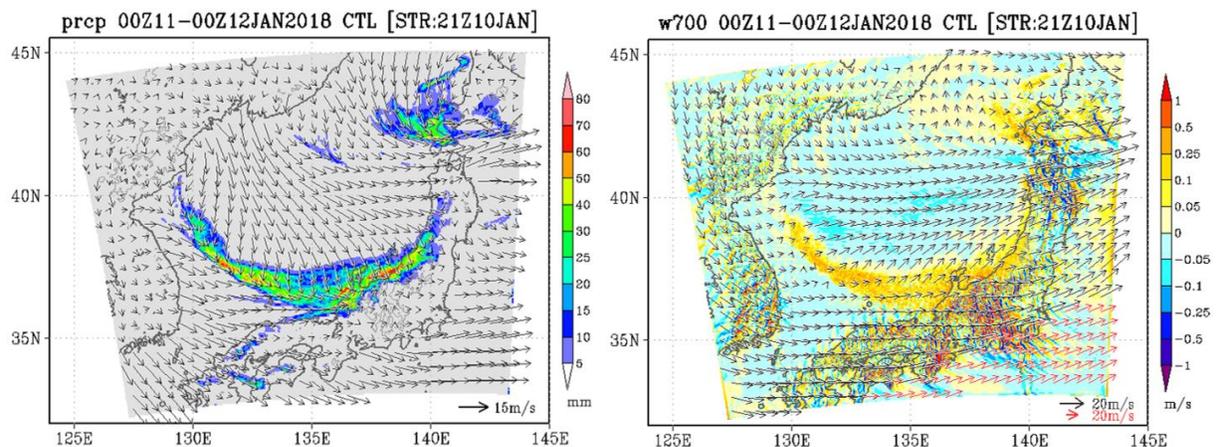


図4. (左) 気象庁非静力学モデルによって11日9時～12日9時の24時間降水量 (mm) 及び地上風ベクトル。(右) 700hPaの鉛直流 (m/s) 及び風ベクトル。

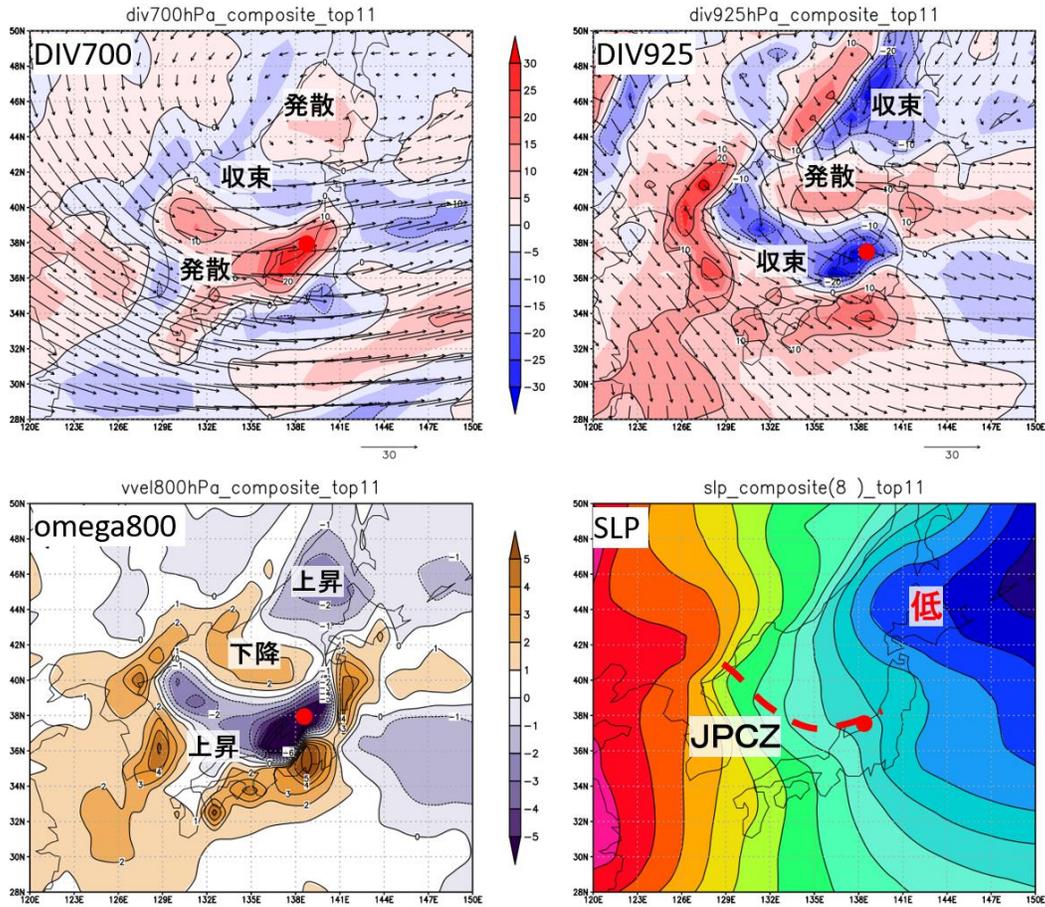


図5. 新潟市の2日間降雪量50 cm以上(11事例の合成群)の、(左上)対流圏中層(700 hPa面)の収束発散場(10^{-5} s^{-1})及び風ベクトル(m/s)。(右上)(左上)と同じ、ただし対流圏下層(925hPa面)。(左下)800 hPa面の鉛直気圧速度(Pas^{-1})。(右下)海面気圧(hPa)。

象を30 cm以上の85事例に拡大すると、北海道北部の低圧部はやや弱まるが「胃袋型」気圧配置の特徴等など本質的には同様である。

図5上は、同様に新潟市の2日間降雪量50 cm以上(11事例)の対流圏中層(左:700 hPa)、対流圏下層(右:925hPa)の収束発散場の合成群である。対流圏下層(右上)ではJPCZとPLに対応する収束場、両者の間の日本海中央部の発散場が確認できる。JPCZに伴う収束場の東端は東北日本海側沿岸まで及んでいるが、明瞭には区分できないものの、日本海中央部の発散場からの吹き出しの寄与も含んでいると考えられる。対流圏中層(左上)では、下層のJPCZとPLの上空では発散場、間の日本海中央部では収束場となっている。対応する両レベルの間の800 hPa面の鉛直流は、JPCZとPL上では上昇流、その間では下降流となっており、収束発散場と整合的な分布となっている。これらの結果からは2018年1月11~12日の特徴は、新潟市に大雪をもたらす大気場構造の普遍的な特性をよく反映していると言える。尚、2018年1月11~12日の降雪量84 cmは過去52年で最大のもので、合成図と比較して3次元構造の鉛直規模は大きかったと考えられる。

5. おわりに

2018年1月11日~12日に新潟市の大雪事例に伴って、

JPCZに伴う日本海西側の「くの字状」の等圧線、北海道西岸に発生した小低気圧(PL)、東北地方沖合の高気圧性循環の「逆くの字状」の等圧線が確認された。「くの字状」と「逆くの字状」の等圧線は東西に向かい合う形でいわゆる「胃袋型」気圧配置を形成しており、JPCZに伴って東進する雪雲と、高気圧性循環に伴って南西進する雪雲がぶつかることで極端な大雪をもたらす可能性が示された。

日本海上の大気場の3次元構造に着目すると、対流圏下層の収束域に対応するJPCZ及びPLでは上昇流が発生し、対流圏中層の600 hPa付近でいずれも発散場を形成していた。両者の間の日本海中央部では上空は収束域となっており、海面付近での気圧上昇及び高気圧性循環の形成、また下降流を伴う海上の発散風と東北沿岸との間の収束雲の形成に寄与し、雪雲を新潟市付近に継続的に侵入させたと考えられる。

これらの大気場の3次元構造は、気象庁非静力学モデルによる数値実験においても概ね再現された。また過去52年の大雪事例に基づく合成図解析により、新潟市の大雪事例は「胃袋型」気圧配置を伴っており、日本海上の大気場の3次元構造も整合的であり、新潟地域の大雪時の大気場に共通する特徴の普遍性を示すものである。

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、新潟大学災害・復興科学研究所共同研究、ArCSII 北極域研究加速プロジェクトの助成を受けています

参考文献

浅井, 天気, **35**, 156-161, 1988.

本田・楠, 気象研究ノート, **216**, 282pp, 2007.

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.

本田他, 気象学会2022年度秋季大会予稿集, 2022.

Nakanishi and Niino, Bound. Layer Meteor., 112, 1-31, 2004.