

冬季日本の降水イベントと爆弾低気圧活動の将来変化

山下 吉隆・川村 隆一 (富山大院・理工)

水田 亮・楠 昌司 (気象研・気候)

1. はじめに

近年、将来気候における冬季の温帯低気圧活動に関する研究は盛んに行われ、Mizuta et al. (2011) は、将来温帯低気圧の発生数は減少するが、強い低気圧は増加することを指摘している。IPCC (2007) は、地球が温暖化した場合、温帯低気圧の経路は北偏する可能性が高いと報告している。また、冬季日本の降水イベントに関して気象庁 (2008) は、将来北海道を除くほとんどの地域で降雪量や大雪の頻度が減少すると述べている。

このように、降水イベントや温帯低気圧活動に関する各々の将来変化は調べられているが、冬季に日本周辺や日本近海において急激に発達し、突風や高波、豪雪による雪氷災害をもたらす温帯低気圧 (以下、爆弾低気圧) に関して、降水イベントとの関係の将来変化に注目した研究はほとんどみられない。そのため、それを明らかにすることは防災や減災のみならず、極端現象予測の面においても有益であると言える。

そこで本研究では、冬季の降水イベント、特に中部日本の日本海側の大雪と爆弾低気圧活動との関係の将来変化を明らかにすることを目的とした。

2. 使用データと解析手法

データは気象庁・気象研全球大気モデル (解像度 TL959L60) のタイムスライス実験結果 (Kitoh et al. 2009) の 1.25° 間隔のデータを使用している。将来気候再現実験では、CMIP3 の A1B シナリオ実験のマルチモデ

ル平均での海面水温の昇温と昇温トレンドを観測に加えたものを下部境界条件として与えている。

また、モデルの再現性の検証には JRA-25 長期再解析データ (Onogi et al. 2007) と気象官署の日降雪量、日降水量を用いた。解析期間は、現在気候が 1979 年 1 月から 2003 年 2 月、将来気候が 2075 年 1 月から 2099 年 2 月までの 25 冬季間(1 月、2 月)であり、再現性の検証を行った結果 12 月は除外した。

爆弾低気圧の抽出・追跡には 6 時間間隔の海面更正気圧を使用し、解析期間内に北西太平洋域で発生した爆弾低気圧を解析対象とした。爆弾低気圧の定義は、Yoshida and Asuma (2004) に従って、以下の発達率 ε が一度でも 1 hPa hr^{-1} を超え、24 時間以上持続した温帯低気圧としている。

$$\varepsilon = \frac{p(t-6) - p(t+6)}{12} \cdot \frac{\sin 60^\circ}{\sin \varphi}$$

(p : 時刻 t での中心気圧, φ : 中心の緯度)

3. 結果

まず、冬季日本の大雪イベントや日本近海の爆弾低気圧活動に関する各々の将来変化の結果を示す。尚、本研究における大雪イベントの定義であるが、使用しているデータが降水量データであり、且つ最下層が 925hPa 面のデータであるため、一般的に雪となる目安と言われている 850hPa 面の日平均気温が -6°C 以下という基準で雨雪判別を行い、日降雪量 10mm (降水量換算 10mm/day) 以上の日を大雪イベントとしている。

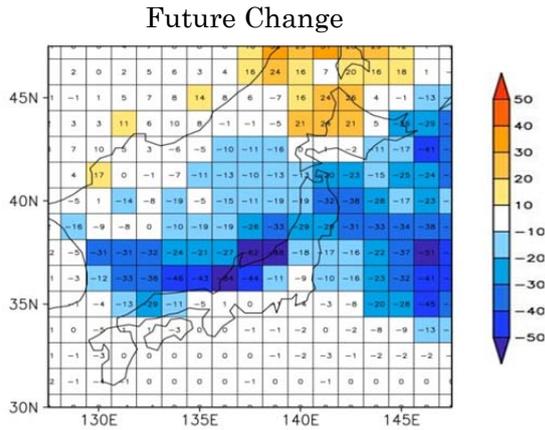


図 1. 大雪イベントの日数の将来変化.

日数の変化を空間密度分布(カラー&数字)で示す.

大雪イベントの日数の空間密度分布を調べ、現在気候と将来気候を比較したところ、気象庁(2008)で指摘されているように将来気候における大雪イベントの日数は北海道を除くほとんどの地域で減少することがわかった(図1)。その一方で、中部日本の日本海側では、将来気候においても依然として大雪イベントの日数が多く、日数の減少率を見ると他の地域に比べてやや小さいことが確認できた(図略)。つまり、中部日本の日本海側においては将来気候でも大雪に対する詳細な理解の必要性は高いと言える。

次に、爆弾低気圧に分類された低気圧の発生から衰退までの経路について、空間密度分布を示したのが図2である。図から、将来気候では日本の南岸で密度が減少し、それよりも北方で増加することがわかる。つまり、将来気候では爆弾低気圧の経路が北偏すると考えられ、IPCC(2007)で示されている温帯低気圧の経路の将来変化と類似している。また、爆弾低気圧の発達に関係する下層の傾圧性と爆弾低気圧の最大発達率を示す位置及びその大きさを見ると、日本近海では下層の傾圧性が弱体化し、一方で北海道の北方では下層の傾圧性の強化が見られ、下層の傾圧性が強化される領域付近では最大発達率を示

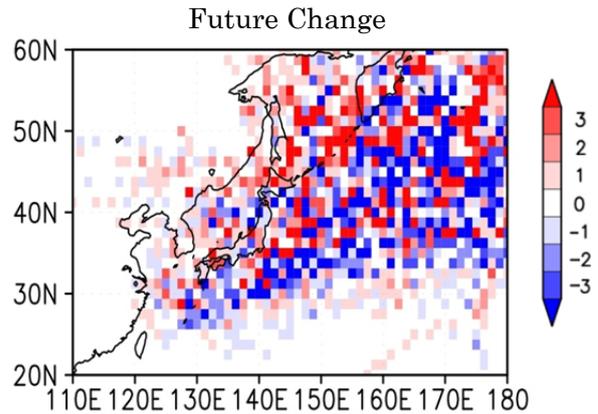


図 2. 爆弾低気圧経路の空間密度分布の将来変化(現在気候-将来気候).

す爆弾低気圧が増加している(図略)。

以上の結果から、冬季日本の大雪イベントや日本近海の爆弾低気圧活動について、各々に将来変化が見られた。次に、中部日本の日本海側における大雪の発生と爆弾低気圧活動との関係の将来変化について結果を示す。

まず、中部日本の日本海側の大雪の発生と爆弾低気圧活動との関係の将来変化を調べるにあたり、 1.25° 間隔のデータにおいて、中部日本の日本海沿岸地域に位置する8地点のデータを平均した日降雪量が10mmを超える日(連続する場合は日降雪量が最も多い日)を大雪発生日と定義し、現在気候で66日、将来気候で35日抽出した。

各大雪発生日に存在する爆弾低気圧の個数を調べると、現在気候では66日中59日に計81個、将来気候では35日中34日計44個存在しており、現在気候、将来気候ともにほとんどの大雪発生日に爆弾低気圧が存在していることがわかった。また、図3は本研究で定義された大雪発生日に存在する爆弾低気圧の空間密度分布と海面更正気圧の分布を現在気候と将来気候について示している。大雪発生日にはどちらも日本の東方海上において爆弾低気圧が集中して分布していることが確認できる。以上の特徴は現在気候

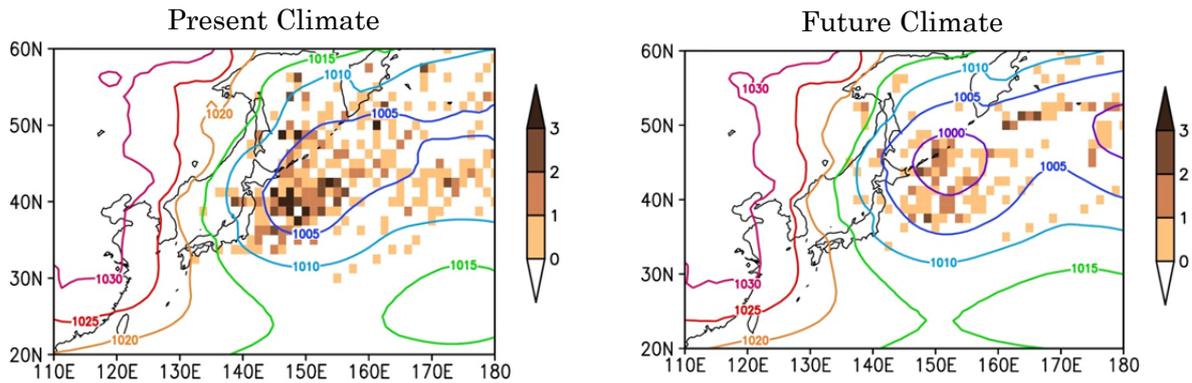


図3. 大雪発生日に存在する爆弾低気圧の空間密度分布(カラー)と大雪発生日の海面更正気圧(等値線). 左: 現在気候, 右: 将来気候.

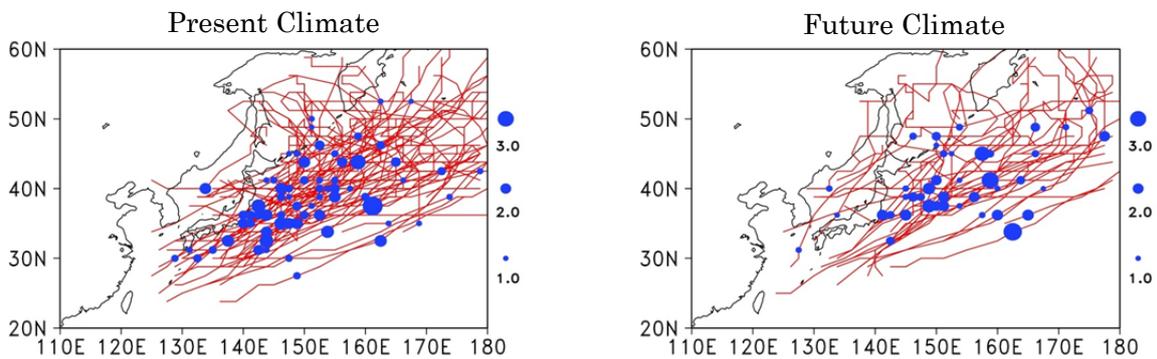


図4. 大雪発生日に存在する爆弾低気圧の発生から消滅までの経路(線)及び爆弾低気圧の最大発達率を示す地理的位置とその大きさ[hPa/hr](丸印). 左: 現在気候, 右: 将来気候.

でも将来気候でも共通して見られる点であるが、大雪発生日に存在する爆弾低気圧の地理的位置をより詳しく見ると、将来気候では現在気候における分布の割合が高い領域よりも北で分布の割合が高くなっていることがわかる。また、海面更正気圧の分布にも傾向が現れているが、大雪発生日に存在する爆弾低気圧の中心気圧の平均は現在気候で982hPa、将来気候が979hPaとなっており、将来気候の方が大雪発生日に存在する爆弾低気圧の中心気圧が低いことも確認された。

さらに、大雪をもたらすと考えられる図3に示される爆弾低気圧の発生から消滅までと、最大発達率を示す位置及びその大きさを示した図が図4である。将来気候では現在気候よりも北で最大発達率を示す爆弾低気圧が多く、大雪をもたらすためには爆弾低気圧がより北で最大発達率を示すことが必要に

なってくると考えられる。このように、大雪の発生に関して、将来気候では爆弾低気圧が現在気候よりも北で十分に発達することの重要性が高まることが示された。

以上のような地理的位置や強度に変化が見られた要因として、将来気候では気温上昇の影響で寒気が弱い場合は降雪ではなく降雨になるためであると考えられる。そこで、図5に大雪発生日と爆弾低気圧が日本の東方海上(図5の赤枠内)に1日以上存在しても大雪に至らない日(206日)とを比較すると、大雪発生日の方が北海道東方の低圧部と大陸上の高気圧が強いことがわかった。また、この差は現在気候の差よりも大きい(図略)。つまり、大雪の発生には爆弾低気圧が日本の東方海上に存在することに加え、東西気圧傾度が強化されることで強い寒気をもたらされると考えられる(将来気候で顕著)。

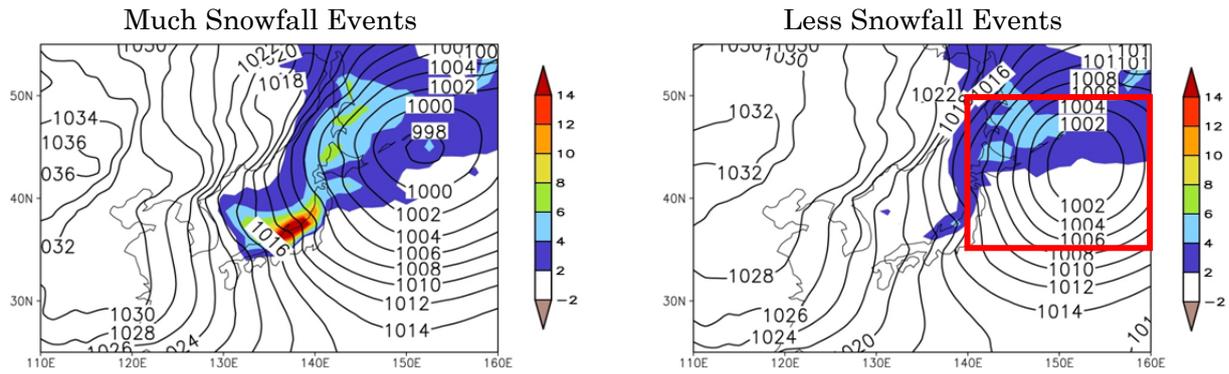


図 5. 将来気候の日降雪量[mm/day](カラー)と海面更正気圧[hPa](等値線).

左：大雪発生日，右：爆弾低気圧が存在しても大雪に至らない日.

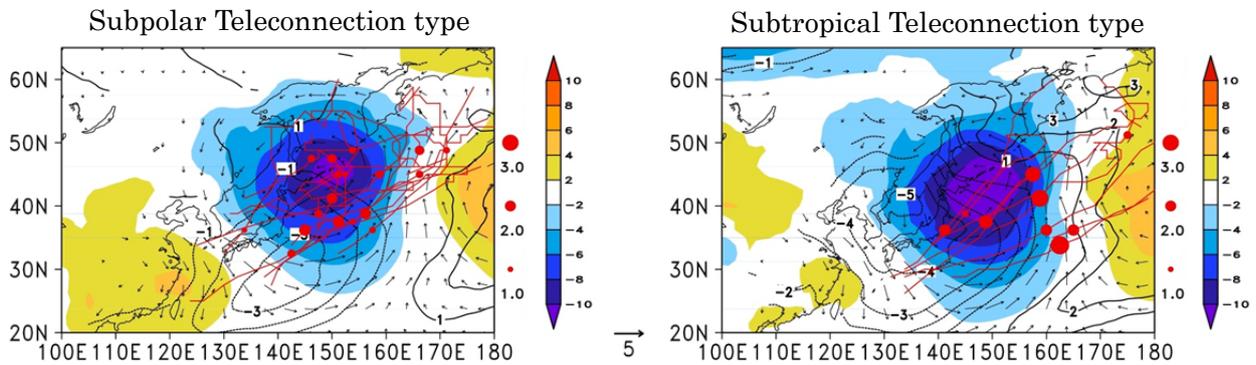


図 6. 将来気候の大雪発生日の海面更正気圧[hPa](カラー)，850hPa 気温[K](等値線)及び 850hPa 水平風[m/s](矢印)，大雪発生日に存在する爆弾低気圧の発生から消滅までの経路(線).

左：寒帯前線に沿う波列が明瞭な事例，右：亜熱帯ジェットに沿う波列が明瞭な事例

※全て“短周期変動成分=3日荷重移動平均値-31日移動平均値”である.

最後に大雪発生日に東西気圧傾度が強化される要因を調べるために、大雪の前兆現象を調べている Yamashita et al. (2011) を参考に、下記のテレコネクション指数(SPI と STI)を用いて大雪発生日の 2 日前の上流からの影響を調べると(図 6)、寒帯前線ジェットに沿う波列が明瞭に見られる場合(13 事例)では、大雪発生日にかけて日本の東の低圧部の強化と、大陸上の高気圧の南下(Takaya and Nakamura 2005)が見られた。一方、亜熱帯ジェットに沿う波列が明瞭な場合(7 事例)には、日本の東に強い低圧部が確認できる。また、大雪発生日の中でいずれかの波列が明瞭な事例は約 65%を占めている。

4. まとめ

本研究では、中部日本の日本海側の大雪と爆弾低気圧活動との関係の将来変化を調べた。その結果、大雪発生日に存在する爆弾低気圧に関して、将来気候では現在気候の分布の割合が高い領域よりも北で分布の割合が高くなっており、爆弾低気圧の中心気圧の平均も低くなっていた。つまり、大雪が発生するためには、将来気候では爆弾低気圧が現在気候よりも北で十分に発達することの重要性が高まることが示された。

将来変化の要因を調べるために、大雪発生日と日本の東方海上に爆弾低気圧は存在しても大雪に至らない日を比較すると、特に将

$$SPI = [Z^*(32.5^\circ E, 50.0^\circ N) - Z^*(85.0^\circ E, 60.0^\circ N) + Z^*(120.0^\circ E, 45.0^\circ N)]/3$$

$$STI = [Z^*(40.0^\circ E, 32.5^\circ N) - Z^*(65.0^\circ E, 30.0^\circ N) + Z^*(97.5^\circ E, 32.5^\circ N)]/3$$

※ Z*は 200hPa 面高度の短周期変動成分である.

来気候の大雪発生日において東西気圧傾度の強化に差が見られた。また、大雪発生日の数日前から寒帯前線ジェットまたは亜熱帯ジェットに沿う波列が明瞭に見られる事例が大雪発生日の 65%を占めていることから、将来気候では上流からの波列の発達に伴って日本付近で東西気圧傾度が強化されることがわかった。

今後の課題として、雨雪判別の基準の検証や将来変化の要因に関するより詳細な解析を行っていく必要がある。

謝辞

温暖化予測実験結果は気象研究所より提供して頂きました。深く感謝致します。また、この第 8 回「異常気象と長期変動」研究集会において発表する機会を与えて頂いたことを重ねてお礼申し上げます。

参考文献

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by S. Solomon et al., Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K.
- 気象庁,2008: 「地球温暖化予測情報第 7 巻」, http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdi_nfo/GWP/Vol7/pdf/synthesis.pdf.
- Kitoh, A., T. Ose, K.Kurihara, S. Kusunoki, M. Sugi and KAKUSHIN Team-3 Modeling Group, 2009: Projection of changes in future weather extremes using super-high-resolution global and regional atmospheric models in the KAKUSHIN Program: Results of preliminary experiments. *Hydrological Research Letters*, **3**, 49-53.
- Mizuta, R., M. Matsueda, S. Yukimoto, 2011: Future change in extratropical cyclones associated with change in the upper troposphere. *J. Climate*, in press.
- Onogi, K., J. Tsutsui, H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, H. Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, S. Kadokura, K. Wada, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, N. Mannoji and R. Taira, 2007: The JRA-25 Reanalysis. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 369-432.
- Takaya, K., H. Nakamura, 2005: Geographical dependence of upper-level blocking formation associated with intraseasonal amplification of the Siberian High. *J. Atmos. Sci.*, **62**, 4441-4449.
- Yamashita, Y., R. Kawamura, S. Iizuka, H. Hatsushika, 2011: Role of explosively developing cyclone activity in heavy snowfall on the Japan Sea side of central Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, submitted.
- Yoshiike, S., and R. Kawamura, 2009: Influence of wintertime large-scale circulation on the explosively developing cyclones over the western North Pacific and their downstream effects. *J. Geophys. Res.*, **114**, D13110, doi: 10.1029/2009JD011820.
- Yoshida, A., and Y. Asuma., 2004: Structures and environment of explosively developing extratropical cyclones in the northwestern Pacific region. *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 1121-1142.