

高解像度海面気圧データを用いた東アジア縁辺海における爆弾低気圧の発生特性および海洋影響について

新湯 敦介¹・内山 雄介²

¹学生会員 神戸大学 大学院工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 兵庫県神戸市六甲台町1-1)

²正会員 神戸大学教授 大学院工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 兵庫県神戸市六甲台町1-1)

E-mail: uchiyama@harbor.kobe-u.ac.jp (Corresponding Author)

防災工学上の重要性が高い爆弾低気圧の追跡手法の高度化を目指し、一般的に用いられる全球データよりも高解像度な気象庁GPV-MSM海面気圧データ(約5 kmメッシュ, 2007~2023年)を用いた新たな爆弾低気圧追跡手法を構築した。本手法の精度を既往研究と比較検証した結果、従来困難であった二つ玉爆弾低気圧を含め、より多くの爆弾低気圧を検出できることを示した。17年分の追跡結果を用いて統計解析を行ったところ、爆弾低気圧の主経路は11月から4月にかけて日本海側から太平洋側へ遷移し、特に太平洋側の爆弾低気圧は冬季を通じて持続的に発生することなどが明らかとなった。さらに、GPV-CWM波浪データを用いた解析により、爆弾低気圧が日本沿岸の広範囲で波高の増大を引き起こし、日本海・東シナ海において太平洋側よりも波高増加の傾向が強いことを示した。

Key Words : *explosive cyclogenesis, bipolar cyclones, high-resolution data, East Asian Marginal Seas*

1. はじめに

一般に低気圧と呼ばれる大気の擾乱は、熱帯低気圧と温帯低気圧とに大別される。熱帯低気圧とは熱帯域で発生・発達する低気圧であり、強く発達したものを地域によって台風、ハリケーン、サイクロンと呼ぶ。一方で、温帯低気圧とは温帯域、主に中緯度地域で発生・発達するものを指し、そのうち短時間で急速に発達する温帯低気圧を爆弾低気圧と呼ぶ¹⁾。

爆弾低気圧は主に冬季から春季にかけて発生し、日本沿岸域を含む中高緯度域において高波や高潮などの沿岸災害をもたらすことがある。例えば、2014年12月16日から17日にかけて九州の南西海上で発生した温帯低気圧は、四国沖から東北の東方沖を北上し、急速に発達しながら北海道の東部を襲った。これに伴い、根室海峡の沿岸部では広い範囲で高潮、波浪災害が発生した²⁾。さらに、気候変動に伴って将来的に強度の高い爆弾低気圧の発生数が増加し、最大有義波高の発生特性に影響を与える可能性が指摘されている³⁾。また、暖流である黒潮上を低気圧が通過する際には、強い潜熱供給によって爆弾低気圧が発達しやすいこと、さらには地球温暖化に伴い、この黒潮影響が強化される可能性も指摘されている⁴⁾。したがって、爆弾低気圧は海岸工学的にも地球科学的にも重要な気象現象の一つであるといえる。

温帯低気圧から爆弾低気圧への遷移は、時間当たりの海面気圧の低下量、つまり発達率で定義される¹⁾。そのため、発生海域と最大風速で定義される台風などの熱帯低気圧とは異なり、その発生・発達過程を逐次追跡する必要がある。爆弾低気圧追跡に関する研究は枚挙に暇がないが、先行研究における課題の1つとして、爆弾低気圧が複数の低圧部を保有する場合など、その気圧構造の複雑さゆえに追跡がうまく行えない点が挙げられる⁵⁾。先行研究では比較的低解像度の海面気圧データを用いていることがその一因であり、原理的に気圧勾配が小さく評価され、低圧部の抽出精度が制限されてしまう。例えば、森ら⁶⁾、Saruwatariら⁷⁾は水平解像度1.25度のJRA-55を、Iwaoら⁸⁾は同1.25度のJRA-25/JCDASを用いて爆弾低気圧抽出を行った。より高解像度のデータを使用する事例も増えつつあり、Kuвано-Yoshida and Minobe⁴⁾は同0.5度のAFES ver. 3を、小池ら³⁾は同約20 kmのMRI-AGCM3.2Sを、さらに高解像度データの使用による抽出精度の向上を企図したCamelら⁹⁾は同0.25度のERA-5を用いている。

そこで本研究では、既往研究と比較して気圧配置をより細密に表現できる高解像度海面気圧データセット(気象庁GPV-MSM, 水平解像度約5 km)を用い、東アジア縁辺海における17年分の爆弾低気圧の抽出と追跡を試みた。複数低圧部を持つ爆弾低気圧の同定に加え、高解像度データを用いた場合の爆弾低気圧の経路・発達率の季

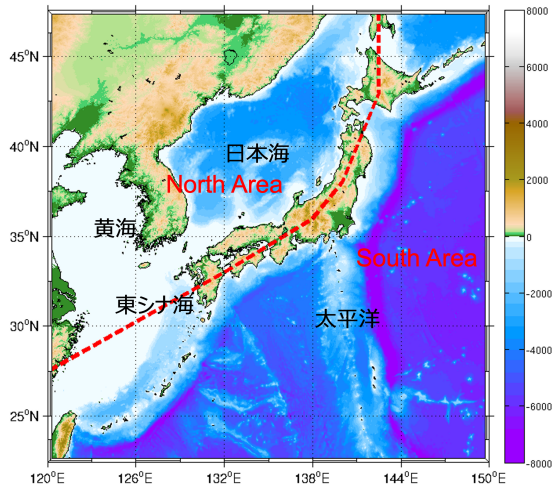


図-1 爆弾低気圧追跡領域 (GPV-MSM データ領域) . 背景カラー：標高・水深分布 (m) , 赤破線：3. (3) 以降の解析で用いる領域分割線 (赤破線より日本海側：North Area, 太平洋側：South Area と呼称) .

節変動特性や空間分布に関する統計解析を行うとともに、爆弾低気圧の有無による有義波高分布の変化について解析を行ったので、その結果を報告する。

2. 研究方法

(1) 使用した海面更正気圧データの概要

本研究では、気象庁GPV-MSMの海面更正気圧（以下、sea level pressure：SLPと略称）データの解析値を用いた。MSMデータ範囲は北緯22.4～47.6度・東経120～150度であり、この全領域を解析対象とした（図-1）。MSMデータの水平空間解像度は約5 km（緯度0.05度×経度0.0625度、格子数：505×481）であり、データ同化により初期化された解析値は3時間間隔（00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21UTC）で提供される。解析期間は2007年から2023年の寒冷期（11月, 12月, 1月, 2月, 3月, 4月）である。

また、低解像度データを用いた追跡結果との比較を行うため、爆弾低気圧情報データベース⁹⁾から提供される爆弾低気圧データも併せて用いた。このデータは、気象庁気候同化システムJRA-25/JCDAS（水平解像度1.25度、時間間隔6時間）のSLPを用いて、北緯20度～60度、東経110度～180度の領域に対してYoshida and Asuma¹⁰⁾に準拠したアルゴリズムにより抽出された6時間ごと（00, 06, 12, 18UTC）の爆弾低気圧の水平位置（緯度・経度）およびSLPとして提供されている。

(2) 爆弾低気圧自動追跡アルゴリズム

本研究では、爆弾低気圧情報データベース⁹⁾のアルゴ

リズムを参考に、MSMの3時間毎のSLPデータを用いて爆弾低気圧追跡アルゴリズムを構築し、爆弾低気圧の抽出・追跡・判定を行った。本アルゴリズムは、ステップ1：低圧部の抽出、ステップ2：低圧部の追跡、ステップ3：爆弾低気圧の判定の3段階の手順によって構成される。

a) ステップ1：低圧部の抽出

3時間間隔の各タイムステップにおけるSLPの空間分布から低圧部を抽出する。はじめに、格子数5×5（約25 km四方）の空間ガウシアンフィルタを用いてSLPの重み付け平滑化を行う。MSMのSLPデータにはノイズ状の圧力急変部がわずかに含まれているため、この空間フィルタにより空間的に不連続なSLPの微小な凹みを低圧部として抽出することを防ぎ、ステップ2において低圧部を時間的に連続に追跡することが可能となる。

次に、緯度・経度両方向に20グリッド（約100 km）毎に検査領域中心点を設定し、各中心点から半径300 kmの検査領域を設け、領域内におけるSLP平均値およびSLP最小値を取る座標を探索する。SLP最小値が複数箇所で見出された場合は、見出されたすべての最小SLP座標の重心を求め、1点に代表させる。見出されたSLP最小値が領域平均値よりも0.5 hPa以上小さい場合、この領域内最小値を低圧部の候補とする。検査中心点を緯度・経度方向に約100 kmずつスライドさせ、探索範囲をオーバーラップさせながら検査することで、SLP最小値候補を比較して最小SLP位置を修正し、真の低圧部を絞りこむ。

b) ステップ2：低圧部の追跡

ステップ1で抽出された低圧部の時間的連続性の確認を行うために、3時間毎の低圧部のトラッキングを行う。次のタイムステップにおける低圧部の位置が1つ前（3時間前）の低圧部位置から東西±4.5度、南北±3度の範囲内にあった場合、これを1つの低圧部の移動とみなして時間的連続性があるものとする。この範囲内に複数の低圧部が確認された場合は、前のステップにおける低圧部の最近傍のものを次のステップにおける低圧部の位置とする。これらの作業を繰り返し、12時間以上追跡できたものを解析対象とし、一連の作業によって得られる連続した低圧部を「低気圧」と定義する。

c) ステップ3：爆弾低気圧の判定

ステップ2において抽出された低気圧を対象に、爆弾低気圧の判定を行う。本研究では、爆弾低気圧の判定式として爆弾低気圧情報データベースで採用されている式を参考に、発達率 ε (hPa/h)を次式のように定義した。

$$\varepsilon = \frac{p_{t-6} - p_{t+6}}{12} \frac{\sin 45^\circ}{\sin \phi} \quad (1)$$

ただし、 p : SLP (hPa), t : 時間 (h), ϕ : 緯度 (deg) である。発達率 ε は12時間当たりの気圧の降下量を1時間当たりに換算した値であり、発生から6時間経過後の各タイム

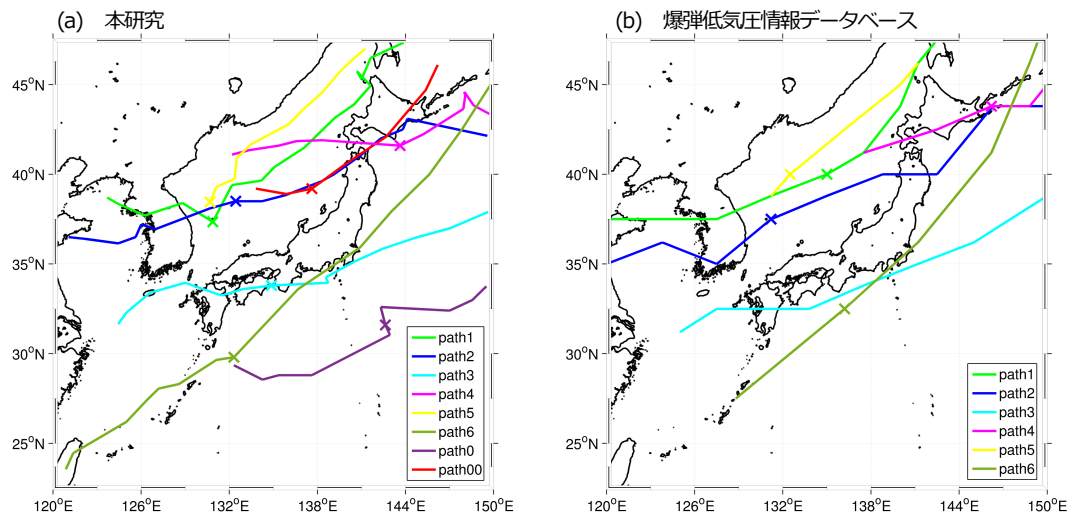


図-2 2012年12月における爆弾低気圧経路(線)と最大発達率位置(×印)。(a)本研究(path0,00,1-6),(b)爆弾低気圧情報データベース⁹⁾(path1-6)。(a),(b)において同じ線色の経路は同じ爆弾低気圧に対応している。

ステップで求める。その最大値、すなわち最大発達率 ε_{max} が 1.0 (hPa/h) を超えた場合に爆弾低気圧と定義する。

なお、式(1)中の $\sin 45^\circ$ は日本近海を対象とした爆弾低気圧情報データベースの定義に合わせて定義したが、より高緯度域を解析対象とした事例^{1),3),5),10)}では $\sin 60^\circ$ を用いることが多い。 $\sin 45^\circ$ の場合、 $\sin 45^\circ / \sin 60^\circ \approx 0.817$ であるので、 $\sin 60^\circ$ の場合よりも ε は約 18.3% 小さくなる。したがって、 $\sin 45^\circ$ とした場合は爆弾低気圧の判定がやや厳しめになり、同じデータを用いた場合、原理的に検出数が少なくなる点に注意されたい。

(3) 爆弾低気圧の有無による有義波高の比較

本研究では、東アジア縁辺海における爆弾低気圧の海洋に対する影響を評価するために、爆弾低気圧の有無による有義波高の差を調べる。使用するデータは気象庁による沿岸波浪数値予報モデル GPV-CWM の 3 時間毎の有義波高の解析値である。GPV-CWM の空間解像度は緯度・経度ともに 0.05 度、格子数は 601×601 、データ範囲は北緯 20~50 度・東経 120~150 度であり、GPV-MSM の領域よりも南北方向にやや広い。

3. 爆弾低気圧の抽出結果

(1) 爆弾低気圧情報データベースとの比較

本研究で作成した爆弾低気圧データセットのうち、抽出された爆弾低気圧の数が最も多かった 2012 年 12 月について爆弾低気圧情報データベース⁹⁾との比較を行なった。本研究では 2012 年 12 月における爆弾低気圧の発生数は 8 個であるのに対し、爆弾低気圧情報データベース

における抽出数は 6 個であった。図-2 は爆弾低気圧の経路の軌跡と、経路上で最大発達率 (ε_{max}) を示した位置を × 印で示している。爆弾低気圧情報データベースと一致する経路を発生日順に path 1~path 6 とし、本研究でのみ抽出できたものを日付順に path 0, path 00 とした(図-2(a))。path 1~path 6 に関しては、追跡開始位置に若干のズレが見られるが、両者の経路は概ね一致している。

追跡開始位置のズレは、爆弾低気圧情報データベースが用いている JRA-25/JCDAS 全球データに対して有限の MSM の領域外での発生や消失を十分に表現できないためである。反対に、領域内で発生もしくは終息する爆弾低気圧の追跡開始位置・追跡終了位置は、爆弾低気圧情報データベースよりも正確に表現できる。具体的には、天気図との目視比較により、path 1, 2, 4, 5, 6 の追跡開始位置がこれに該当することを確認している。これら 5 つの爆弾低気圧については、最大発達率 ε_{max} を示す位置もデータベースと概ね一致していた。なお、path 3 の爆弾低気圧は、本州の太平洋沿岸に沿って北上し、MSM の領域外で発達率が最大となるため、図-2(b) には ε_{max} 位置を示しておらず、本研究との差異が大きくなった。このような使用する SLP データ間の差異などの外的要因に伴う若干の差はあるものの、本アルゴリズムは低気圧検出に対して適切に動作しているものと判断される。

また、本研究のほうが全体的に発達率が大きくなり、抽出できる爆弾低気圧の個数が増えることが確認された。これは高解像度データを使用することで低気圧中心の極小構造がより明瞭に表現されることによるものと考えられ、MSM を使用する大きなアドバンテージである。一方で、MSM 領域の範囲が有限であるため、MSM 領域外に経路が拡大する場合は誤差が生じることが分かった。

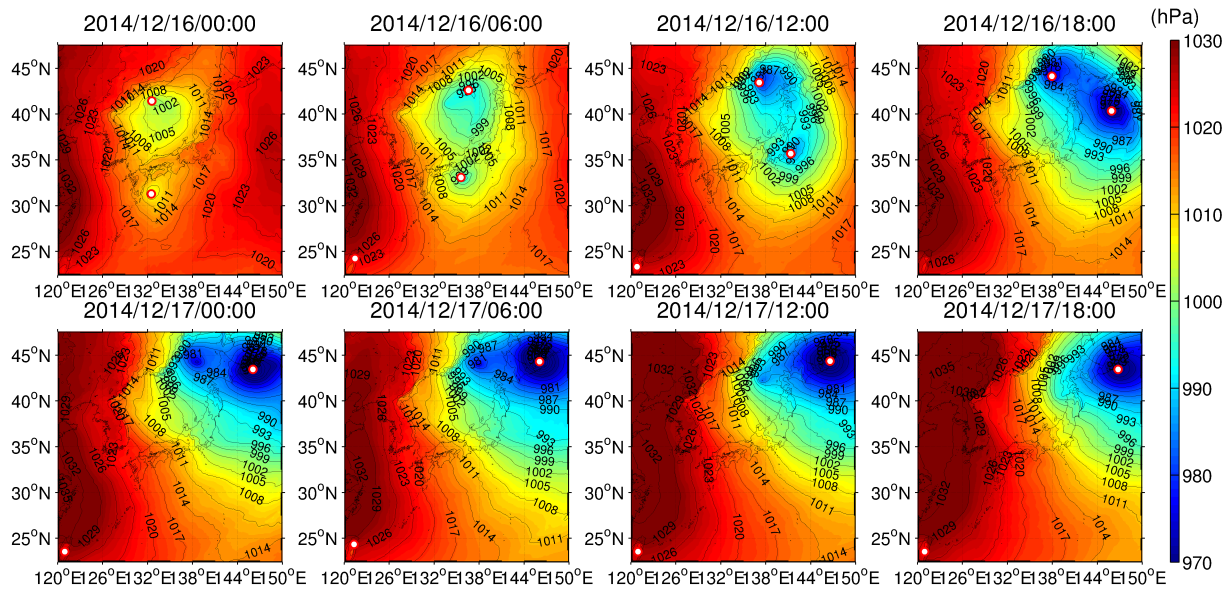


図-3 二つ玉爆弾低気圧の抽出例. 2014年12月16日00:00から17日18:00までの6時間間隔のSLP空間分布(カラー)と抽出された低圧部(赤枠○印)。

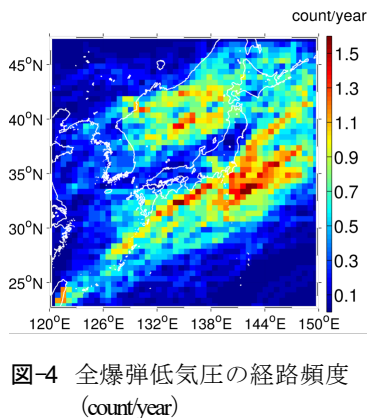


図-4 全爆弾低気圧の経路頻度 (count/year)

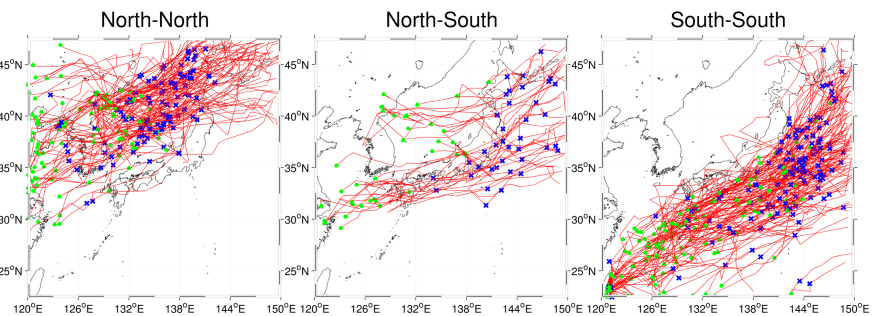


図-5 グループ分けされた爆弾低気圧経路図. 左から順にNN型, NS型, SS型の経路(赤線). 緑△は追跡開始位置, 青×は最大発達率位置を示す.

(2) 二つ玉爆弾低気圧の抽出と追跡

二つ玉爆弾低気圧とは、日本海低気圧と太平洋側で発達する南岸低気圧が接近し、相互に干渉し、強め合うことで急速に発達する爆弾低気圧である。冬から春にかけてよく発生し、これらの低気圧や前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込むため、大気の状態が非常に不安定となる。また、合流する際に楕円形に引き伸ばされた気圧構造になるが、低解像度データではこのような細長い構造を正確に表現できないため、低圧部の正確な抽出が原理的に難しい。本研究では、このような二つ玉爆弾低気圧の追跡に成功したので、その一例を紹介する(図-3)。2014年12月15日に発生した二つ玉爆弾低気圧は、主経路である南岸低気圧と副経路である日本海低気圧が相互に作用しながら日本列島に沿って北上し、北海道根室半島周辺で合流し、南下する経路をとった。この低気圧は根室地域に台風レベルの災害をもたらした²⁾。本研究では、合流直前まで二つの低気圧経路を追跡することにより、楕円状に細長く伸びた二つ玉低気圧特有

の複雑な気圧配置をより詳細に表現できるという本研究のアドバンテージを如実に示す事例である。

(3) 爆弾低気圧の経路特性

本研究では、17年間の解析期間中に287個の爆弾低気圧が抽出された。全爆弾低気圧の経路頻度を調べたところ、日本列島を境に日本海側と太平洋側に頻度ピークを有する2つグループに大別できることが分かった(図-4)。そこでYoshida and Asuma¹⁰⁾を参考に爆弾低気圧を経路毎に分類し、経路特性に関する統計解析を行った。具体的には、日本周辺をNorth Area(日本海側)とSouth Area(太平洋側)に分け、爆弾低気圧の発生位置と最大発達率 ε_{max} 位置により、North-North(NN型)、North-South(NS型)、South-South(SS型)、South-North(SN型)の4種類に分類した(図-5)。例えばNN型は、日本海側(N)で発生し、同じく日本海側(N)で ε_{max} になるグループを指す。NN型、NS型、SS型の爆弾低気圧の個数はそれぞれ141個、107個、38個、SN型は1個だけであった。

経路毎の爆弾低気圧の個数と最大発達率 ε_{max} の頻度

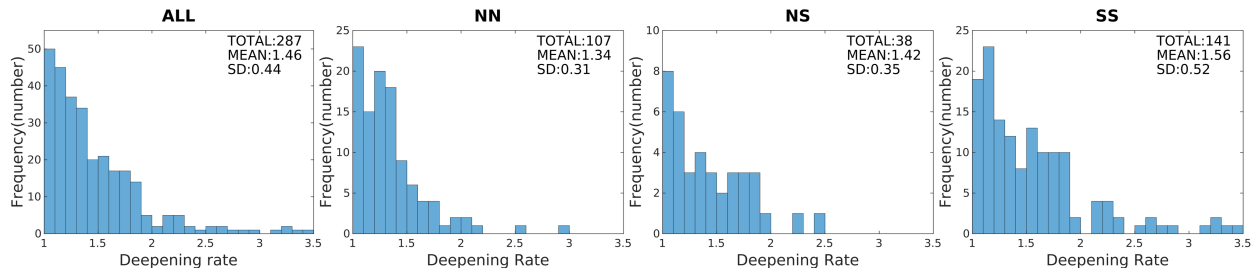


図-6 爆弾低気圧最大発達率 ε_{max} の経路別ヒストグラム. 左から順に全爆弾低気圧, NN型, NS型, SS型.

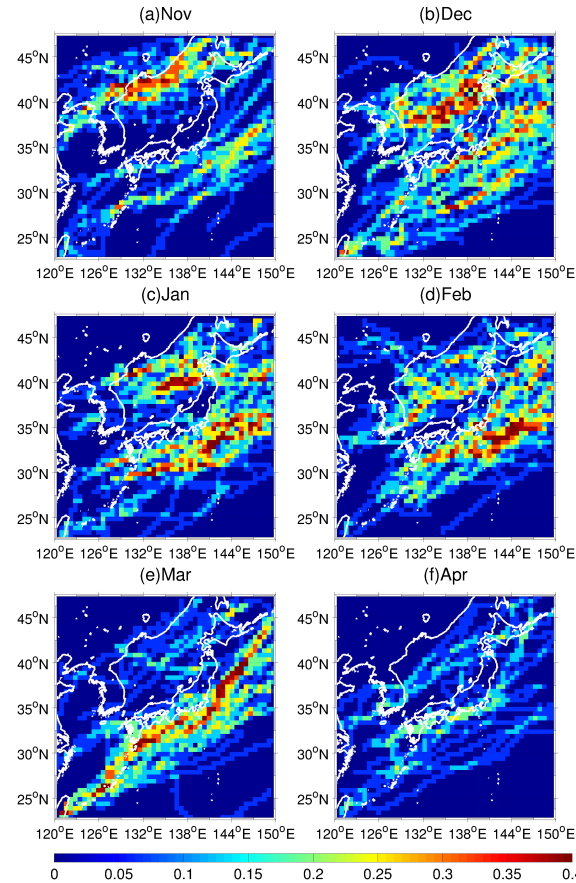


図-7 月毎の爆弾低気圧の経路頻度分布 (count/month). 左上から (a)～(f) の順に 11 月から 4 月に対応.

分布および平均値と標準偏差を図-6に示す. 全爆弾低気圧の ε_{max} の平均値は1.46, 標準偏差は0.44であった. NN型, NS型, SS型の ε_{max} 平均値はそれぞれ1.34, 1.42, 1.56であり, 太平洋側で発生・発達するSS型爆弾低気圧が3種類の経路の中で最も急速に発達する一方で, NN型の発達是最も緩慢である. これは, Yoshida and Asuma¹⁰⁾が示した大陸側で発達する爆弾低気圧よりも太平洋側で発達する爆弾低気圧の方がより急速に発達するという知見と定性的に一致する. また, SS型には $\varepsilon_{max} > 3$ となる強い爆弾低気圧が複数回発生した様子が見られるが, これは既往研究^{9,10)}では見られない高い値である.

(4) 爆弾低気圧の月別変動特性

続いて, 爆弾低気圧の月毎の経路特性に関する解析を

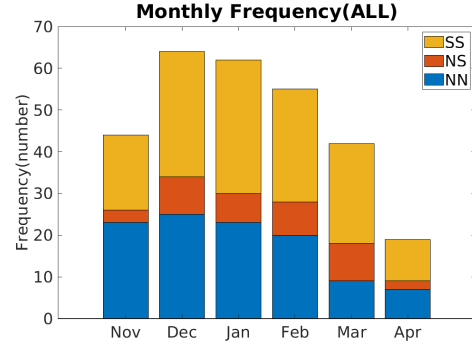


図-8 月毎の爆弾低気圧の経路別発生回数.

行う. 図-7は, 11月から4月までの爆弾低気圧の1ヶ月当たりの経路頻度の空間分布を, 図-8は経路型別に分類した月別発生数を示している. 11月は爆弾低気圧が日本海側を多く通過しており, NN型の爆弾低気圧が最も多い. 一方, 太平洋側を通過する爆弾低気圧も一定数存在しており, 11月に発生した爆弾低気圧のうちSS型の割合も比較的高いことが分かる. 12月～2月にかけて爆弾低気圧の経路は領域全体的に広がっていくが, 12月はやや日本海寄り, 2月は太平洋側寄りの経路頻度が高く, 晩秋から冬にかけて徐々に日本海側から太平洋側へと経路がシフトしていく (図-7 (b)～(d)), 3月には概ね太平洋側に経路が集中し, 4月には全体的に頻度が下がる様子が示されている (図-7 (e), (f)).

図-8から, 爆弾低気圧の発生数は12月まで増加し, その後は徐々に減少することが確認できる. 12月はNN型の爆弾低気圧の発生数が月別で最も多く, 1月はSS型の爆弾低気圧が最も多い. 月別の爆弾低気圧の発生数に占める経路型ごとの割合は, SS型の爆弾低気圧は2月に割合がやや低下するものの, 11月から3月にかけて増加傾向にある. これに対してNN型の割合は11月に最も高く, その後は4月にかけて漸次小さくなる. NS型はSS型・NN型と比べて発生数が少ないが, 2月と3月にその割合が高く, SS型と併せて太平洋側で発達する爆弾低気圧の割合を増大させている (図-7 (e), (f)).

以上の結果をまとめると, 全爆弾低気圧の発生数は11月から12月・1月にかけて増加し, その後は4月に向かって減少していく. 爆弾低気圧の経路特性としては, まず11月～12月はNN型が多く, それよりやや遅れて12月

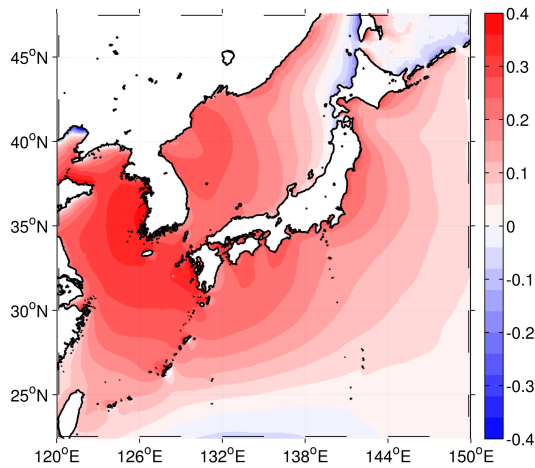


図-9 東アジア縁辺海における爆弾低気圧の有無による有義波高増幅率 δ の空間分布 (11月～4月)。

～2月にSS型が増加し、いずれも発生数にピークを迎えたあとは徐々に減少していく。NS型は11月と4月で顕著に少なくなるが、12月～3月はNN型やSS型よりは低頻度であるものの、一定数の発生が見られ、太平洋側で爆弾低気圧が増加する一因になっている。以上の帰結として、11月から3月にかけてNN型からSS型へと主たる経路が遷移していくことになる。4月の発生数は全経路とも最も少なくなり、季節の進行とともに爆弾低気圧の発生は終焉を迎える。

ここで特筆すべきは、有意な数のSS型爆弾低気圧が11月から4月の期間中常に発生していることである。特に11月頃のSS型は低解像度SLPデータを用いた既往研究⁹⁾では明確には見られなかった傾向であり、高解像度SLPデータを用いたことにより、より多くの爆弾低気圧をより正確に抽出できたことの証左であると考えている。

4. 爆弾低気圧と有義波高変化

最後に、爆弾低気圧が東アジア縁辺海の海洋環境に及ぼすインパクト評価の一環として、有義波高分布への寄与を定量的に調べた。ここでは、爆弾低気圧が発生することで領域内の有義波高分布がどれだけ変化するかを評価するために、爆弾低気圧が発生した場合に、それが無い場合と比べて有義波高が変化する割合を波高増幅率 δ と定義し、次式で評価する。

$$\delta = \frac{H - H'}{H'} \quad (2)$$

ただし、 H ：領域内に爆弾低気圧が存在する期間の時間平均有義波高、 H' ：爆弾低気圧がない期間の時間平均有義波高であり、有義波高には2007年～2023年の爆弾低気圧発生期である11月～4月におけるGPV-CWMデータ

を用いた。 δ の空間分布を見ると(図-9)、東アジア縁辺海全域で爆弾低気圧によって全体的に波高が増幅される様子が確認される。特に太平洋側よりも解析領域の西側にあたる日本海、黄海、東シナ海での増幅が顕著である。領域の南端および北部のオホーツク海では δ はわずかに負値(波高低下)となるが、これは3.(1)で考察したように、MSM領域が十分に広くないことによるartifactである。なお、爆弾低気圧がある場合とない場合の有義波高の領域平均値はそれぞれ2.18 m, 1.95 mであった。

5. おわりに

本研究では、爆弾低気圧追跡手法の高度化を目指して、一般的に用いられるJRA-55などの全球データよりも時空間的に高解像度な気象庁GPV-MSM海面更正気圧データ(約5 kmメッシュ)を用いた新たな爆弾低気圧追跡法を構築した。まず、爆弾低気圧情報データベース⁹⁾との比較を行い、本手法の精度検証を行った。高解像度の気圧分布を解析することで、従来困難であった二つ玉爆弾低気圧の抽出を含め、より多くの爆弾低気圧をより強い発達率とともにより高分解能で検出できることを示した。

次に、2007～2023年の17年分の追跡結果を用い、爆弾低気圧の経路特性と月別変動に関する統計解析を行った。解析領域を日本海側(N)と太平洋側(S)に分割し、爆弾低気圧の発生位置と最大発達率位置によってNN型、NS型、SS型に分類し、整理した。その結果、SS型→NS型→NN型の順に爆弾低気圧の発達率が高く、特に太平洋側を通過する爆弾低気圧の発達率が高いことが示され、先行研究¹⁰⁾との定性的な一致が確認された。爆弾低気圧の主経路は11月から4月にかけて日本海側から太平洋側へ遷移し、特にSS型の太平洋側を主経路とする爆弾低気圧は冬季を通じて継続的に発生することなどが明らかとなった。さらに、GPV-CWM波浪データを用いた解析により、爆弾低気圧が日本沿岸の広範囲で有義波高の増大を引き起こし、日本海・東シナ海において太平洋側よりも波高増加の傾向が顕著であることを示した。

追跡法に関する技術的な課題としては、MSM領域外での爆弾低気圧の発生・消滅を追跡できないため、今後は広域データ(例えばGPV-GSMなど)とMSMをマージするなど、解析領域を拡大する必要がある。また、二つ玉低気圧の分岐や合流を検出するためのアルゴリズムの改良も必要であると考えている。

謝辞：本研究は科学研究費基盤研究A(23H00191, 24H00337)の助成を受けた。

REFERENCES

- 1) Sanders, F. and Gyakum, J. R.: Synoptic-dynamic climatology of the “bomb.”, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 108, pp. 1589–1606, 1980.
- 2) Saruwatari, A., de Lima, A.C., Kato, M., Nikawa, O. and Watanabe, Y.: Report on the 2014 winter cyclone storm surge in Nemuro, Japan, *Coastal Eng. J.*, Vol. 57 (3), pp. 1550014-1–1550014-14, 2015.
- 3) 小池宏之進, 森 信人, 志村智也, 宮下卓也, 二宮順一: MRI-AGCM 150 年予測を用いた気候変動に伴う爆弾低気圧の将来変化と日本沿岸波浪への影響、土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 77, No. 2, pp. I_955–I_960, 2021. [Koike, H., Mori, N., Shimura, T., Miyashita, T. and Ninomiya, J.: Future changes of explosive cyclones and their impact on Japanese coastal waves using MRI-AGCM 150-year projection, *J. JSCE Ser. B2 (Coastal Engineering)*, Vol. 77, No. 2, pp. I_955–I_960, 2021.]
- 4) Kuwano-Yoshida, A. and Minobe, S.: Storm-track response to SST fronts in the Northwestern Pacific region in an AGCM, *J. Clim.*, Vol. 30, No. 3, pp. 1081–1102, 2017.
- 5) 森 信人, 千綿 蒔, 二宮順一, 間瀬 肇, JRA-55を用いた日本周辺の冬季低気圧の長期変動について、土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol. 73, No. 2, pp. I_487–I_492, 2017. [Mori, N., Chiwata, M., Ninomiya, J. and Mase, H.: Long-term variability of winter extratropical cyclones around Japan based on JRA-55 analysis, *J. JSCE Ser. B2 (Coastal Engineering)*, Vol. 73, No. 2, pp. I_487–I_492, 2017.]
- 6) Saruwatari, A., Fukuhara, K. and Watanabe, Y.: Probabilistic assessment of storm surge potential due to explosive cyclogenesis in the Northwest Pacific region, *Coastal Eng. J.*, Vol. 61 (4), pp. 520–534, 2019.
- 7) Iwao, K., Inatsu, M. and Kimoto, M.: Recent changes in explosively developing extratropical cyclones over the winter Northwestern Pacific, *J. Clim.*, Vol. 25, No. 20, pp. 7282–7296, 2012.
- 8) Camiel, C.E., Ricchi, A., Ferretti, R., Curci, G., Miglietta, M.M., Reale, M., Serafini, P., Wellmeyer, E.D., Davolio, S., Zardi, D. and Kantha, L.: A high-resolution climatological study of explosive cyclones in the Mediterranean region: Frequency, intensity and synoptic drivers. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, Vol. 150 (765), pp. 5561–5582, 2024.
- 9) 爆弾低気圧情報データベース: http://fujin.geo.kyushu-u.ac.jp/meteorol_bomb/ (2025 年 5 月 6 日最終アクセス)
- 10) Yoshida, A. and Asuma, Y.: Structures and environment of explosively developing extratropical cyclones in the northwestern Pacific region, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 132, pp. 1121–1142, 2004.

(Received March 17, 2025)

(Accepted July 22, 2025)

EXPLOSIVE CYCLOGENESIS AND ASSOCIATED OCEANIC IMPACTS IN EAST ASIAN MARGINAL SEAS USING HIGH-RESOLUTION SEA-LEVEL PRESSURE DATA

Taisuke SHINYU and Yusuke UCHIYAMA

To improve the tracking of explosively deepening extratropical cyclones, commonly referred to as “bomb” cyclones, we developed a novel algorithm utilizing high-resolution sea level pressure data from the JMA GPV-MSM atmospheric analysis. Spanning the period from 2007 to 2023 with a spatial resolution of 5 km × 5 km, this dataset provides substantially finer detail than the global reanalysis products typically employed in previous studies. Validation against earlier research demonstrated that our method successfully identifies a larger number of bomb cyclones, including bipolar events that have historically been challenging to detect. Statistical analysis of the 17-year tracking record reveals a clear seasonal shift in dominant cyclone tracks, from the Sea of Japan during early winter to the Pacific side in late winter and spring, and the persistence of bomb cyclones on the Pacific side throughout the winter season. Furthermore, analysis using the GPV-CWM spectral wave dataset indicates that these cyclones cause widespread increases in significant wave height along extensive stretches of the Japanese coastline, with more pronounced impacts observed along the coasts of the Sea of Japan and the East China Sea compared to the Pacific side.