

爆弾低気圧に伴う広域海面水位移動

Large-scale fluctuation of the sea surface induced by explosive cyclogenesis

北海道大学工学部 ○学生員 福原康平(Kohei Fukuhara)

北海道大学大学院工学院 学生員 本間翔希(Shoki Honma)

北海道大学大学院工学研究院 正会員 猿渡亜由未(Ayumi Saruwatari)

北海道大学大学院工学研究院 正会員 渡部靖憲(Yasunori Watanabe)

1. はじめに

1 時間に 1hpa 以上の急速な中心気圧の低下が 24 時間以上継続して発達する温帯低気圧として定義される爆弾低気圧による高潮,高波被害が近年しばしば報告されている.Chen et al. (1992) によると 11 月~3 月にかけての冬季に,北海道西部の日本海上,並びに東北~北海道の東部の太平洋上において,低気圧の発達速度が特に大きくなる傾向がある.海面からのエネルギー供給が爆弾低気圧の発達速度を決めるファクターの一つとなっており,大陸上に比べ島国である日本は特にその影響を受けやすい地域となっている.共著書ら (2015) は 1979 年以降の気象再解析データに基づき,概ね 2000 年以降,北日本周辺を通過する冬季の温帯低気圧の中心気圧は減少傾向且つ強い勢力を維持する期間は延長傾向にあり,またそれに伴い荒天時の高波の規模も増大傾向にあることを示した.また日本周辺だけでなく世界各地で爆弾低気圧の発生頻度の増加が指摘されている(e.g. Iwao et al., 2012; Sanders & Gyakum, 1980).

2014 年 12 月 17 日,最大-2.46 hPa/hr の発達率で中心気圧を低下させながら太平洋上を北上した爆弾低気圧は北海道東部の根室湾および根室半島沿岸地域に高潮被害をもたらした.このときの浸水深は平均 T.P. 2.2m であり,浸水面積は根室市街地と根室港湾区域だけで約 15ha (Saruwatari et al. 2015),また根室市によると床上床下浸水や漁具の流失等による市内の被害総額は 20 億円にも上ったと報告されている.更に根室市では翌 2015 年 10 月 8 日にも T.P. 1.5-1.7m の高潮浸水が発生した(釧路地方気象台,2015).これらのイベントは爆弾低気圧を気象外力としたものでは無かったものの,今後の北日本における冬季の高潮リスクの増大が懸念されると共に,高潮リスクの評価とそれに対する防災対策が今後求められる.

高潮の規模は,吸い上げ効果を決定する低気圧の中心気圧と,吹き寄せ効果を決定する風速,風向,更に水深や湾の開口幅などの地形条件に依存して決定される.本研究では過去日本付近を通過した爆弾低気圧のうち特に大きかった数イベントに対する高潮発達過程を三次元流れモデルにより再現すると共に,爆弾低気圧に起因する高潮発達過程の基本的な特徴について明らかにすることを目的として行うものである.本数値実験を通して,冬季の高潮リスクに関する地域的な特徴について調査する.

2. 爆弾低気圧の特徴

図-1 は九州大学爆弾低気圧情報データベースに公開

されている 1996 年から 2016 年までの間に日本付近を通過した全ての爆弾低気圧の経路と中心気圧,最低気圧の発達率を表す.爆弾低気圧は中国,シベリア等の大陸上並びに太平洋,日本海,オホーツク海など様々な地点で発生し,その後主に北東方向に移動しながら中心気圧を急速に低下させていく(図-1 (a)).発達率は北緯 40 度から 45 度にかけてピークを迎え,その後北緯 45 度から 50 度の位置で平均的に最も中心気圧が低下する(図-1 (b),(c)).これは爆弾低気圧が台風とは異なる最も顕著な特徴であり,爆弾低気圧による災害リスクが北日本で特に大きく現れることを示すものである.

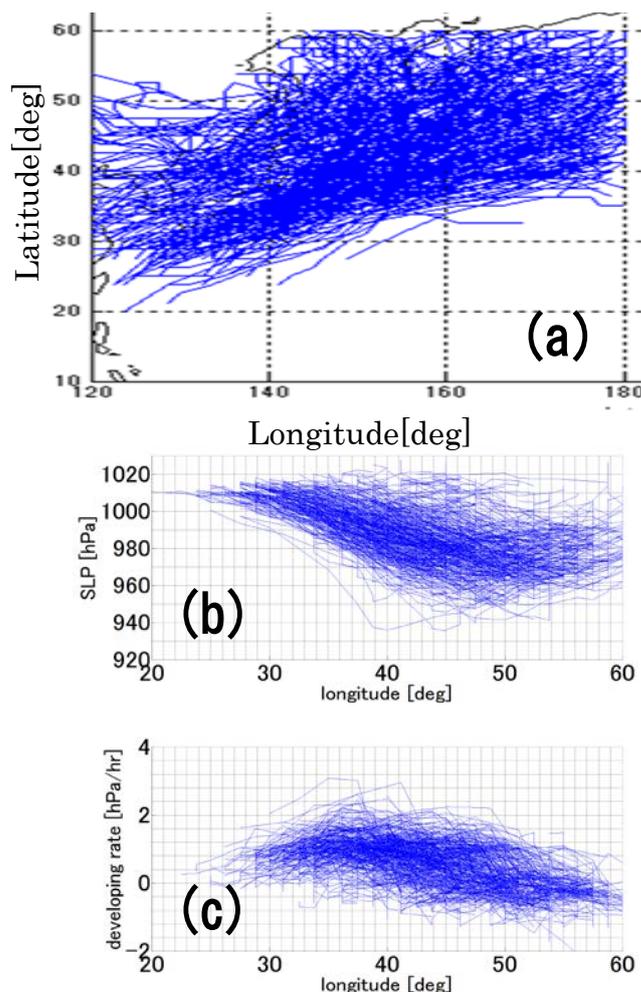


図-1 全爆弾低気圧の経路,最低気圧,最低気圧の発達率

3. MITgcmによる流況計算

(1)計算方法及び条件

三次元非静水圧近似流れモデル MIT General Circulation Model (MITgcm, Marshall,1997)により,爆弾低気圧通過時の三次元流れ場の数値計算を行った.このモデルはブシネスク近似における圧縮性流体のNavier-Stokes式を有限体積法によって解くものである.外力としては重力,粘性力,底面摩擦,コリオリ力,そして風応力と気圧による海面の吸い上げ等が考慮される.MITgcmの基礎方程式は,次式の運動方程式,連続式,トレーサーの輸送方程式から構成される.

$$\frac{D\vec{v}_h}{Dt} + (2\vec{\Omega} \times \vec{v})_h + \nabla_h \phi = F_{\vec{v}_h} \quad (1)$$

$$\frac{D\dot{r}}{Dt} + \dot{k} \cdot (2\vec{\Omega} \times \vec{v} \cdot \dot{r}) + \frac{\partial \dot{r}}{\partial r} + b = F_{\dot{r}} \quad (2)$$

$$\nabla_h \cdot \vec{v}_h + \frac{\partial \dot{r}}{\partial r} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{D\theta}{Dt} = S_{\theta}, \frac{DS}{Dt} = S_s \quad (4)$$

ここに, $\vec{v} = (u, v, w) = (\vec{v}_h, w)$ は流速, Ω は地球の自転速度, θ はポテンシャル温度, S は海水の塩分濃度を示している.大気または海洋に対して鉛直座標に気圧 P や高さ z を用いる事で,鉛直流速は次式となる.

$$\dot{r} = \frac{Dz}{Dt} = w \quad (5)$$

ϕ はジオポテンシャル高さ・圧力であり,次式で示される.本検討では,沿岸海域の浅海域に形成されうる急峻な地形変化に対応した流れ場を正確に再現するため,非静力学近似を適用して動圧も考慮した上で三次元的に流れ場を計算している.非静力学近似では圧力項が表面圧力,静水圧,非静水圧成分に分離される.

$$\phi(x, y, r) = \phi_s(x, y) + \phi_{hyd}(x, y, r) + \phi_{nh}(x, y, r) \quad (6)$$

これより,運動方程式は次式のように表される.

$$\frac{\partial \vec{v}_h}{\partial t} + \nabla_h \phi_s + \nabla_h \phi_{hyd} + \epsilon_{nh} \nabla_h \phi_{nh} = \vec{G}_{\vec{v}_h} \quad (7)$$

$$\frac{\partial \phi_{hyd}}{\partial r} = -b \quad (8)$$

$$\epsilon_{nh} \frac{\partial \dot{r}}{\partial t} + \frac{\partial \phi_{nh}}{\partial r} = G_{\dot{r}} \quad (9)$$

ϵ は非静水圧成分を示す($\vec{G}_{\vec{v}}, G_{\dot{r}}$)は次式のように定義される対流やコリオリ項を含んでいる.

$$G_{\dot{r}} = -\vec{v} \cdot \nabla u - \left\{ \frac{u^2 + v^2}{r} \right\} + \{-2\Omega u \cos \varphi\} + F_{\dot{r}} \quad (12)$$

$$G_u = -\vec{v} \cdot \nabla u - \left\{ \frac{u\dot{r}}{r} - \frac{uv \tan \varphi}{r} \right\} - \{-2\Omega v \sin \varphi + 2\Omega \dot{r} \cos \varphi\} + F_u \quad (13)$$

$$G_v = -\vec{v} \cdot \nabla v - \left\{ \frac{v\dot{r}}{r} - \frac{u^2 \tan \varphi}{r} \right\} - \{-2\Omega u \sin \varphi\} + F_v \quad (14)$$

本研究では太平洋北部を広くカバーする計算領域(図-2)で計算を行った.爆弾低気圧情報データベースに公開される1996年から2016年に発生した低気圧の内,イベント中の最低気圧が特に低かった6つの低気圧を対象として計算を行った.表-1にまとめるそれぞれのケースの計算期間は,爆弾低気圧情報データベースに公開される低気圧通過イベント期間と一致する.6つの低気圧の経路と中心気圧,気圧発達率の時間変化を図-3に表す.いずれも日本海及び太平洋上からアリューシャン列島方面に進行する典型的な経路をとっており,最低気圧950hPa以下まで発達した極めて強い温帯低気圧である.

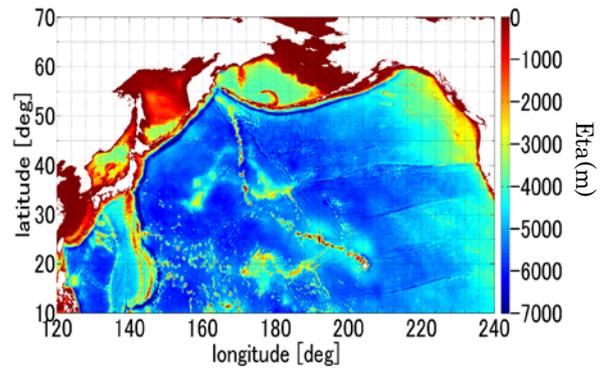


図-2 計算領域及び水位

図-4 最大水位分布 再現計算を行なった爆弾低気圧4発生

イベント発生期間	継続時間(hour)	最低気圧(hPa)	最大発達率(hPa/hour)	
2000 1/29 9:00 - 2/1 15:00		78	941.9	2
2002 12/15 3:00 - 12/25 21:00		258	949.7	1.71
2002 12/25 9:00 - 12/30 15:00		126	941.4	1.92
2004 11/26 3:00 - 12/1 19:00		126	950.5	2.56
2013 1/14 3:00 - 1/21 15:00		180	936.1	3.09
2013 3/20 9:00 - 3/23 15:00		78	950.5	1.76

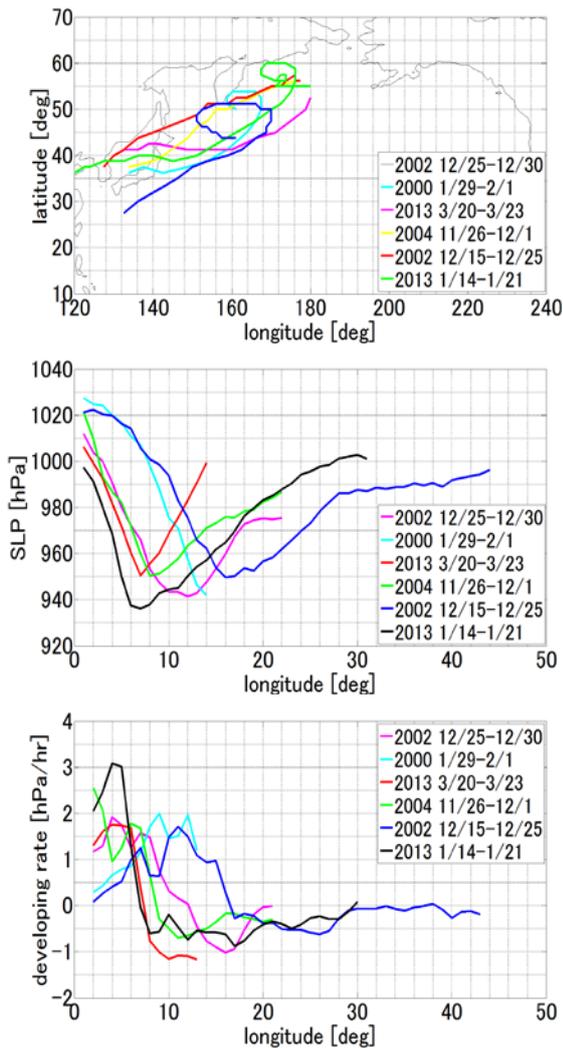
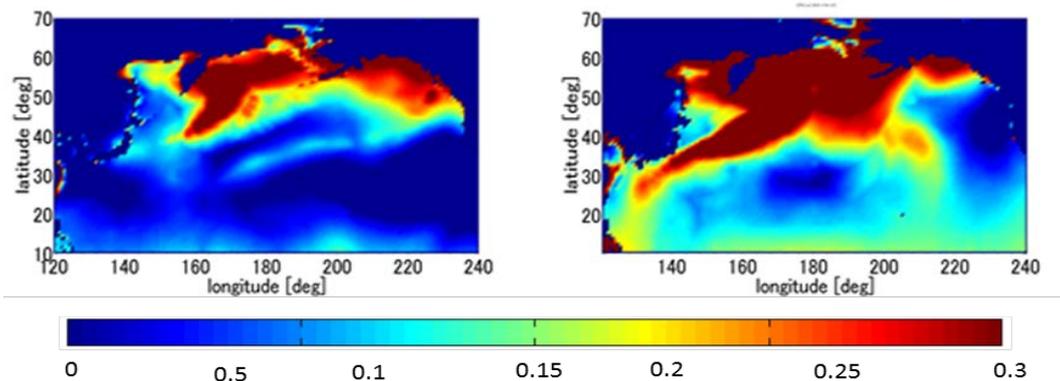


図-2 計算領域及び水位

(a)

(b)



高潮通過イベントを通しての最大水位の分布の特徴について説明する(図-4)。本スケールでの計算結果からは2種類の水位上昇機構が確認された。一つ目は低気圧による海面吸い上げによる水位上昇である。これは図-4 上では低気圧経路に沿った線上の高水位の分布として表れており、その水位上昇量は標準大気圧と低気圧中心気圧との差からおおよそ見積もることができる。二つ目は湾内の地形に依存して発達する表面ケルビン波に起因する水位上昇であり、本計算のスケールではオホーツク海北部、ベーリング海北東部沿岸、西朝鮮湾(図-5 参照)において顕著に発達が確認された。図-5 は単位時間あたりの水位上昇量

$\partial\eta/\partial\tau$ として定義される水位発達率の時間変化を表す。例えば爆弾低気圧に起因して生じたカムチャッカ半島先端における水位上昇は、波動となってオホーツク海北部沿岸を反時計回りに伝搬し、サハリン北部にまで到達する。またベーリング海に侵入した吸い上げ効果による水位上昇はブリストル湾沿岸から北に向かって、アナディリ湾まで伝搬する。これは本研究で対象とした6つの爆弾低気圧の何れによっても確認された特徴である。ケルビン波による水位発達率は湾沿岸において $\pm 0.2\text{m/hr}$ にも達し、吸い上げによる発達率($\pm 0.1\text{m/hr}$)よりも顕著に大きかった。水位発達率は低気圧接近時に高潮対策を行うための猶予時間を決定するが、これに大きく影響を与えているファクターの一つが湾地形依存の水面波動であることが確認された。

図
結
で

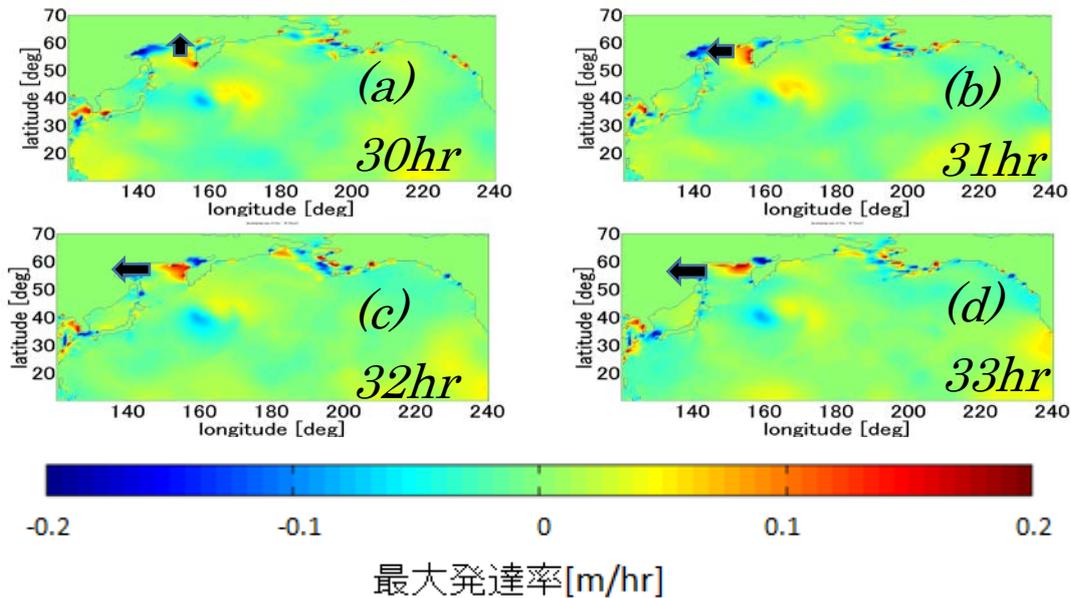


図-5 2002年12月25日発生 of 単位時間あたりの水位上昇量[m/hr]

5.結論

水位発達率の大きく影響を与えているファクターの一つは水面波動であるが、今後より詳細な検討を加える必要がある。

6.参考文献

- 1) Shou-Jun Chen, Ying-Hwa Kuo, Pai-Zhong Zhang, and Qi-Feng Bai. Climatology of explosive cyclones off the east asian coast. Monthly Weather Review, Vol.120, No. 12, pp. 3029-3035, 1992.
- 2) Koki Iwao, Masaru Inatsu, and Masahide Kimoto. Recent changes in explosively developing extratropical cyclones over the winter northwestern Pacific. J. Climate, Vol. 25, pp. 7282-7296, 2012
- 3) Frederick Sanders and John R. Gyakum. Synopticdynamic climatology of the 'bomb'. Mon. Wea. Rev., Vol 108, pp. 1589-1606, 1980.
- 4) Ayumi Saruwatari, Adriano Coutinho de Lima, Masaya Kato, Osamu Nikawa, and Yasunori Watanabe. Report on the 2014 winter cyclone storm surge in Nemuro, Japan. Coastal Eng. J., Vol. 57, No.3, p.1550014, 2015.
- 5) 猿渡亜由未, 渡部靖憲. 日本海上の爆弾低気圧に起因する高波の発達機構. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.71, No. 2, pp. 1537-1542, 2015.
- 6) 釧路地方気象台. 平成 27 年 10 月 8 日に発生した, 台風第 23 号及び台風から変わった低気圧による根室地方の高潮に関する現地調査報告. 報道発表資料, 2015.