

2014 年 12 月の根室高潮に伴う流れ場の発達過程

Development of Three Dimensional Flow by the Nemuro Storm Surge of December 2014

北海道大学工学部環境社会工学科 ○学生員 武江寿大 (Toshihiro Takee)
北海道大学大学院工学研究院 正員 猿渡亜由未 (Ayumi Saruwatari)

1. はじめに

2014 年 12 月 16 日から 17 にかけて、東北から北海道の沖合の太平洋上で発達した強い爆弾低気圧に伴い、北日本各地で、高潮、高波、防風による被害や交通規制等がもたらされた。特に北海道東部の根室市においては港湾及び市街地において最高潮位偏差+1.63m に達する高潮が発生し、約 7ha に及ぶ地域が浸水するなど総額約 20 億円に上る被害が報告されている。(Saruwatari et al.,2015).また 2015 年 10 月 8 日前後には台風 201523 号から発達した強い温帯低気圧が北海道東部を北上したのに伴い、再び根室市で最高潮位偏差+1.67m の高潮浸水被害が発生した(気象庁報道資料, 2015). わが国では以前より伊勢湾台風や室戸台風を始め巨大な台風による数多くの高潮被害を経験してきた.しかし海水温の低い北日本に接近する前に台風は減水位、消滅するため、2014 年より以前に北海道沿岸が高潮に襲われた記録はなく、それによりハード面、ソフト面ともに高潮に対する防災対策が十分でなかったことも根室の高潮被害が助長された一因となっている。また 2014 年の根室の高潮の原因となったのは 24 時間平均で-2.33hpa/hr の急激な気圧の低下を伴い急速に発達した季節性の温帯低気圧であるが、冬季に北海道周辺で発生する低気圧の中心気圧はここ 35 年間で減少傾向にあり、その継続時間も緩やかな延長傾向にあり(猿渡、渡部, 2015),また 1 時間に 24hPa 以上の気圧の低下を伴い発達する爆弾低気圧の日本周辺における発生頻度もまたこの 29 年間で平均 0.14 個/年の割合で増加傾向にあることが報告されている(Iwao et al.,2009).即ち今後、高潮や高波などの海からの冬季の災害リスクが増大していくことが予想され、特に高緯度の北海道ではその影響を大きく受けることが懸念される。多くの既往研究において台風モデルを外力として浅水長波方程式を解くことにより高潮の再現計算が行われてきたが、本イベントの原因となった爆弾低気圧は風速及び気圧の分布の特徴が台風とは一致しない。また鉛直積分型の基礎方程式を用いた計算法では詳細な水面内部の流れの構造を明らかにすることができない。本研究では 2015 年 12 月の根室の高潮が発生した際の流れ場を非静

水圧三次元流れモデルにより再現し、高潮の発達過程について調査することを目的とする。

2.計算方法

2-1 海洋流れモデル

海洋流れモデルとして、マサチューセッツ工科大学にて開発された MIT General Circulation Model (MITgcm,例えば Marshall ら, 1997a,1997b)を用いる。MITgcm は圧縮性流体に対する Navier-stokes の式を有限体積法により解法する非静水圧三次元流れモデルである。本研究では、東方向を x、北方向を y、水深方向を z と軸を設定し、z 方向は、水面を z=0 とし海底方向を正とし。次式を基礎方程式として流速場及び圧力場を求める。

$$\frac{Du}{Dt} + (2\vec{\Omega} \times u) + \frac{\partial \phi}{\partial x} = F_u \dots (1)$$

$$\frac{Dv}{Dt} + (2\vec{\Omega} \times v) + \frac{\partial \phi}{\partial y} = F_v \dots (2)$$

$$\frac{Dw}{Dt} + (2\vec{\Omega} \times w) + \frac{\partial \phi}{\partial z} + b = F_w \dots (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \dots (4)$$

(1)(2)(3)式はそれぞれ x 方向・y 方向・z 方向の運動方程式であり、(4)式は連続式である。(1)～(3)式の各右辺は forcing/dissipation 項、u、v、w は x,y,z 方向流速。φ は圧力、は地球の自転速度、b は浮力である。また、本研究では、デカルト座標系を用いて計算を行った。

2-2 計算条件、領域

入力する海上風は、Domain1,Domain2 で欧州中期予報センター (European Center for Medium-Range Weather Forecasts,ECMWF) が公開する再解析データ、ERA-Interim(解像度 0.75° × 0.75° , 6 時間毎に公開), Domain3 以降を気象庁が公開するメソ数値予報 GPV(水平格子間隔 5km、鉛直 13 層で 3 時間間隔), 地形データは General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO, 解像度 30s×30s) である。本研究では 4 領域のネスティング計算を行い、one-way ネスティング手法をとる。計

表-1

	計算領域	dx × dy	dz	グリッド数	タイムステップ
Domain1	北緯20°~50度 東経130°~240度	30分 × 30分	2~300m	221 × 81 × 100	10秒
Domain2	北緯30°~48度 東経140°~160度	10分 × 8分	2~266m	121 × 136 × 100	10秒
Domain3	北緯41°~45度 東経143°~147度	2分 × 2分	2~203m	121 × 121 × 100	5秒
Domain4	北緯42.8°~43.6度 東経145°~146度	30秒 × 24秒	2~58m	121 × 121 × 100	5秒

算期間は 2014 年 12 月 16 日 0:00~12 月 17 日 6:00(UTC) とした。表 1 と図 1 に計算条件及び計算領域を示した。

2-3 気象条件

図-2は根室湾への吹き寄せ効果が最大となる時刻における風速分布と気圧配置を表す。根室に対し南島の位置に位置する低気圧による強風が湾奥に向かって吹いていることによって吹き寄せ効果が強くなり、水位の上昇につながった。

数値予報と ERAInterim を比較すると、爆弾低気圧の経路が異なる。観測結果との比較から JMA の予報値の方が、再現性が高いことを確認している。高潮による局所的な水位と流速分布を正しく求めるためには、入力する風と気圧の再現性が確保されていることが必須である。よって本研究では Domain3 以降、数値予報データを海上風の入力値とした。

3. 結果

3-1 潮位変化

根室、霧多布における実測と潮位偏差並びに対応する本研究の計算結果を図-3 に示す。(c),(d)における計算結果は両観測点において潮位のピークの時刻がよく一致すると共に 12 月 16 日~12 月 17 日にかけての全体的な潮位の変遷は再現出来ているものと考ええる。12 月 17 日 8:00 の潮位偏差のピークを過ぎてから再現性が著しく下がっている。また(e),(f)における計算結果は全体的に過大に評価している。本研究では風による海面摩擦係数を Large&Pond(1981)のモデルにより与えられているが、本モデルは特に強風時に過大評価となることが知られている。また、波浪付については考慮していないため、与えられた風速による風応力が全て吹送流エネルギーへと変換されていることも過大評価の一因となっていると考える。(a)と(c)との潮位の相関係数をとると、0.762384、(b)と(d)の潮位の相関係数をとると、0.789719 であった。

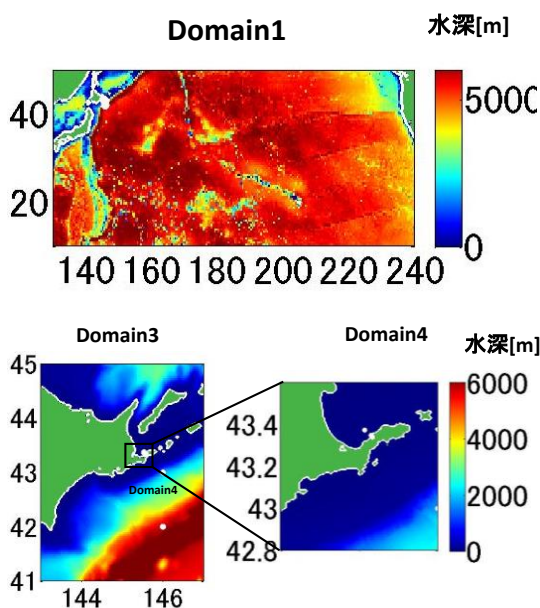


図-1 計算領域

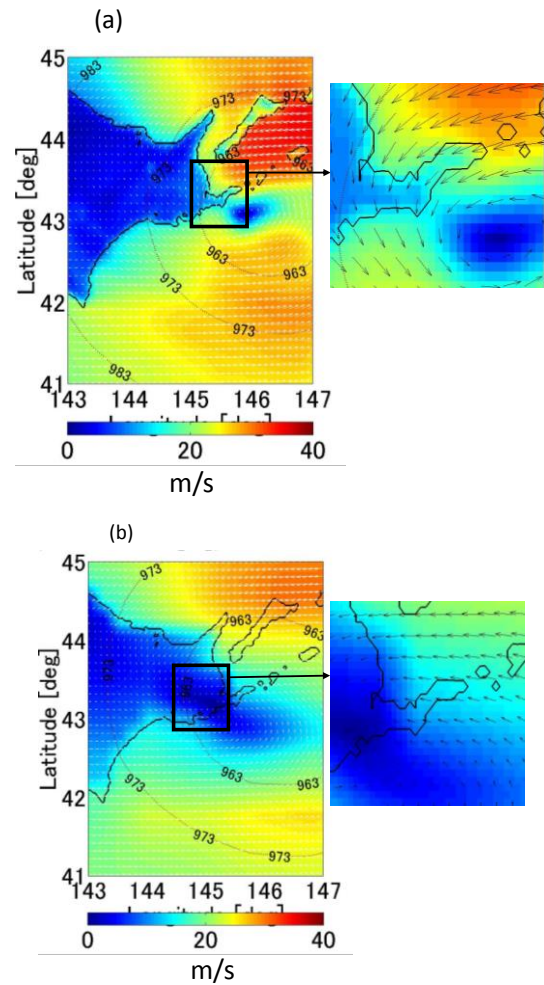


図-2 JMA-MSM(a), ERAInterim(b)による 2014/12/16 22:20(UTC)における風速分布

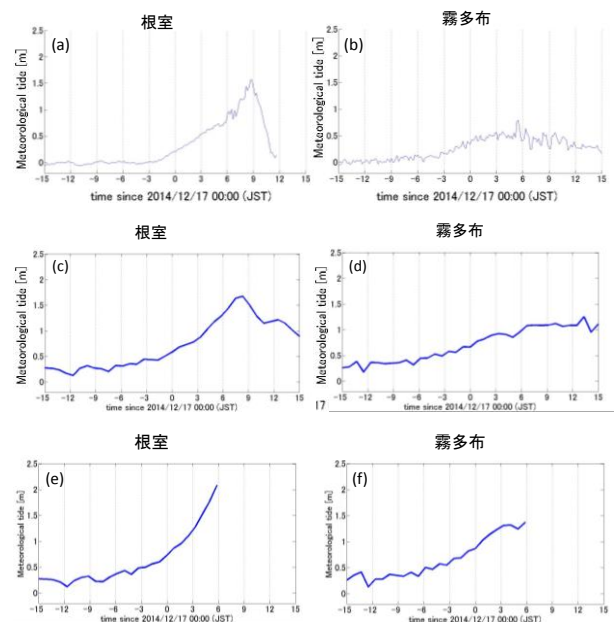


図-3

(a)(b): 根室、霧多布における潮位偏差
(c)(d): Domain3 の計算結果
(e)(f): Domain4 の計算結果

3-2 三次元的流れ

鉛直流速が最大となる時刻における表層付近の鉛直並びに水平流速の絶対値の分布を図-4に示す。表層水平流速が速い所では 7m/s 以上の過大な値が計算されているのは前述の海面抵抗の過大評価に起因するものである。低気圧が北上しながら根室に接近する際に根室半島と歯舞、色丹島との間から根室湾内に流入する流れが発生し、それと共に相対的に大きな鉛直流速が発達した。この時刻における断面流速分布を図-5に示す。図中の地図に破線でプロットされる断面における鉛直、水平流速の分布で、図中 i,j,k はそれぞれ東西、南北鉛直方向のグリッド番号であり、 $i=65\sim100, j=75\sim100$ 付近が根室湾内に相当する。図-5の水平流速分布より表層だけでなく、水深の深い所においてもある程度大きな流速が確認でき、風の影響により海底近くまで流れが発生していたのがわかる($i=80\sim110, j=80\sim95$)。このとき、鉛直流速の分布もあわせて考慮すると、太平洋から根室湾に流れが流入する際に弱い旋回流が発生したことがわかった。これは湾内の鉛直混合を誘発すると考えられる。

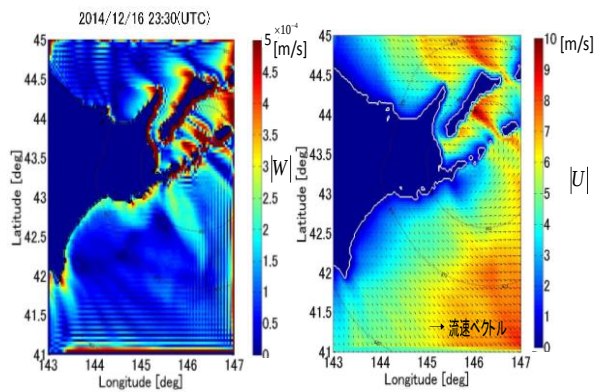


図 4

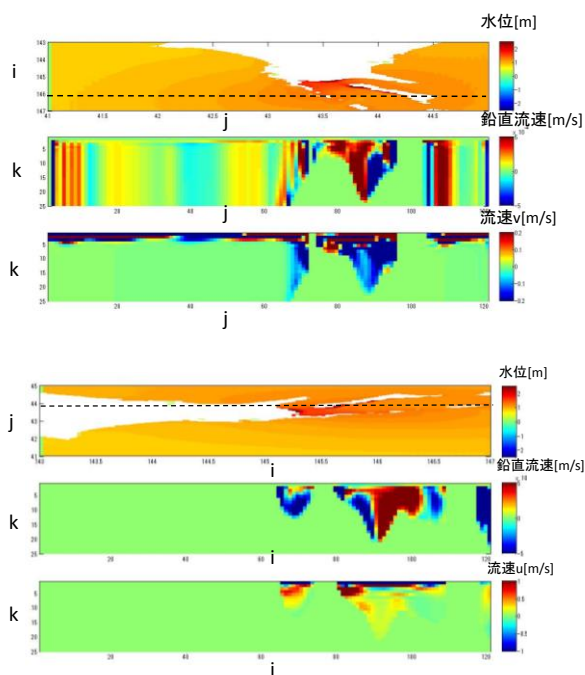


図-5

4 結論

2014 年に根室に高潮をもたらした低気圧の通過イベント中の流れ場の再現計算を行った。風応力の過大評価による影響については今後改善する必要があるもののイベント中の根室湾付近の定性的な流れの特徴は再現出来ていると考える。低気圧が北上しながら、根室に接近する際、太平洋から根室湾内へと流入する強い流れが島の間に発生するが、この流れは弱い旋回流となっていた。これにより湾内の鉛直混合が誘発されていた可能性がある。

謝辞

本研究を進めるに当たり、国土交通省港湾局より、根室、霧多布、釧路の現地観測データを頂いたことをここに記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Ayumi Saruwatari, Adriano Coutinho de Lima, Masaya Kato, Osamu Nikawa, Yasunori Watanabe: Report on the 2014 Winter Cyclone Storm Surge in Nemuro, Japan, Coastal Engineering Journal Vol.57, No.3(2015) 1550014(14pages)
- 2) 気象庁, 釧路地方気象台, 報道資料(2015) "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 (最終報)"
- 3) Koki Iwao, Masaru Inatsu, Masahide Kimoto: Recent Changes in Explosively Developing Extratropical Cyclones over the Winter Northwestern Pacific, JOURNAL OF CLIMATE VOLUME 25, pp.7282-7295, 2011
- 4) Marshall, J., C., Hill, L. Perelman and A. Adcroft (1997a): Hydrostatic, quasi-hydrostatic, and nonhydrostatic ocean modeling, J. Geophys. Res. Oceans, 102, c3, pp.5773-5752
- 5) Marshall, J., A. Adcroft, C. Hill, L. Perelman and C. Heisys (1996b): A finite-volume, incompressible Navier Stokes model for studies of the ocean on parallel computers, J. Geophys. Res. Oceans, 102, c3, pp.5753-5756