

大気・海洋結合モデルによる日本海の高潮・高波の数値解析 —2008年2月の爆弾低気圧への適用—

Atmosphere-Ocean Coupled Simulation for Storm Surge and Abnormal Waves in Japan Sea
:Application to the Storm in February 2008

山下隆男¹・金 庚玉²・李 漢洙³・駒口友章⁴

Takao YAMASHITA, Kyeongok KIM, Hansoo LEE,
and Tomoaki KOMAGUCHI

As a part of the intensive research on storm surges and high waves in Japan Sea, we conducted both tide observation data analysis and numerical simulation of weather and surge fields by the atmosphere-ocean coupled model for the severe storm in the central Japan Sea in February, 2008. It was made clear by numerical simulation of storm surge and data analysis that the range of surge heights generated by the storm that caused severe damage on the coastal structure, was 20 to 40cm. However, the actual tide record includes the long-period sea level changes, such as continental shelf seish, bay oscillation and surf beat, except wind waves.

1. 緒 言

冬季, 日本海では温帯低気圧が台風並みに発達し, いわゆる爆弾低気圧となる異常気象が発生することがある. この低気圧の特徴として, エルニーニョ・ラニーニャ転換期に頻発する傾向が見られ, 高緯度であるためコリオリ力効果が大きく, 急速にかつ台風以上の強さに発達する. さらに, 偏西風の経路や気圧配置によっては北緯40°~50°に停滞し, 高潮を伴う高波浪を発生させる. 2008年2月の爆弾低気圧はこの典型的な例で, 直江津から富山湾沿岸に「寄り廻り波」を, 佐渡島では高潮・高波を, 能登半島では高潮警報基準を超える高潮を発生させた. このような極度に発達した温帯低気圧による日本海の異常海象は, 季節風時の海象とは異なる特性を持っているため, 想定外の高潮や海岸構造物の破損・破壊, 氾濫災害を発生させる. すなわち, 波向きや風向きが北西, 西北西から北に, 周期が長くなり, 気圧低下と砕波によって発生した高潮を伴い, さらに低気圧の移動による海面変動が陸棚セイシュやエッジ波として高潮に重なり, 想定外の高潮上昇を発生させる. 高潮と高波(波浪, 陸棚セイシュ, エッジ波)の複合した現象として外力評価をする必要がある. 日本海における海岸外力の考え方を見

直す事を検討しなければならないように思われる.

本研究では, 日本海の高潮・高波の数値解析に関する研究の一環として, 2008年2月の爆弾低気圧による中部日本海における気象場, 波浪場, 高潮の観測データの解析と大気・海洋結合モデルによる数値解析を行い, 波浪災害, 広域海浜流・漂砂による海岸侵食の予測や, 日本海の高潮・高波に対する設計外力の評価の精度向上に資することを目的とする.

1. 日本海沿岸での潮位・長周期波の観測結果

2008年2月22日から25日にかけて, 日本海を発達しながら通過した温帯低気圧により引き起こされた海面変動と波浪の観測結果を解析する. 潮位変動は海上保安庁海洋情報部のリアルタイム験潮データ(波形), 気象庁のとりまとめた1時間潮位データおよび全国港湾海洋波浪情報網(NOWPHAS)による観測データを使用した. 図-1にリアルタイム験潮データ観測点と用いたNOWPHAS観測点(酒田, 新湊の1分間隔潮位データと解析結果)を示す. 図-2に2008年2月の日本海沿岸の潮位記録(気象庁)と1日-5日間の拡大図を示す. 図-3には日本海沿岸の潮位偏差(気象庁)の時間変化と能登(珠洲市長橋町)における潮位の1分間隔波形(リアルタイム験潮データ)と推算天文潮位, 既往最大潮位(2004年8月20日, 台風15号による), 高潮警報基準, 高潮注意報基準を示す. 図-4はNOWPHAS観測による酒田, 新湊における1分間隔波形, 図-5, 6は, それぞれ酒田および新湊の1分間隔波形データに対するNOWPHAS観測のパワースペクトルを示す. 図-2から, 潮位・高潮特性として, 以下のことがわかる.

-
- 1 正 会 員 工 博 広島大学教授 大学院国際協力研究科
2 正 会 員 工 博 韓国成均館大学研究員 工学部
3 正 会 員 工 博 広島大学研究員 大学院国際協力研究科
4 正 会 員 工 博 (株)碧浪技術研究所 代表取締役

- (1) 日本海内部の潮汐波の伝播は無く全域が一様に振動している。その振幅は気圧による数日規模の変動と同程度で20-50cmである。
- (2) 2月24日に能登で100cmを超える高潮が発生し、深浦で60cm程度の高潮が発生している。
- (3) 北部の潮位が高い2月後半には、南部の浜田では水位が低下しており日本海全域での振動特性がありそうだ。

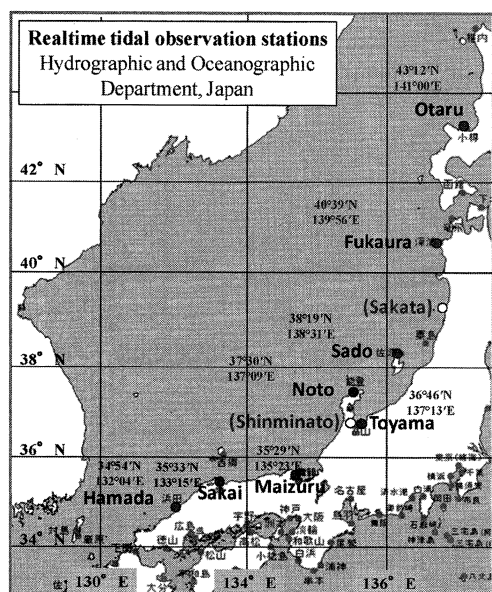


図-1 リアルタイム観潮データの観測点とNOWPHAS観測点（酒田，新湊）

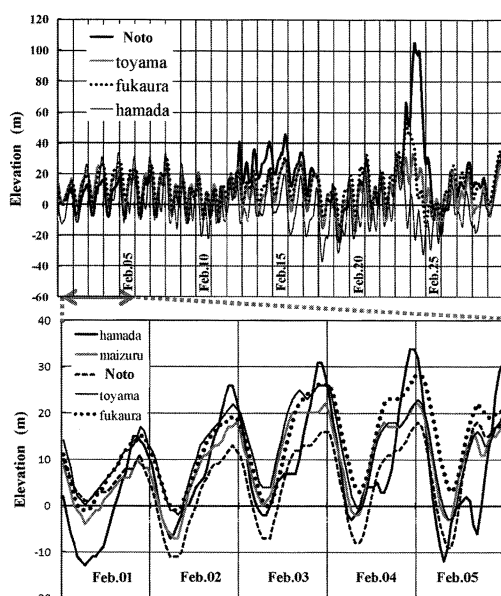


図-2 日本海沿岸の潮位記録（2008年2月）

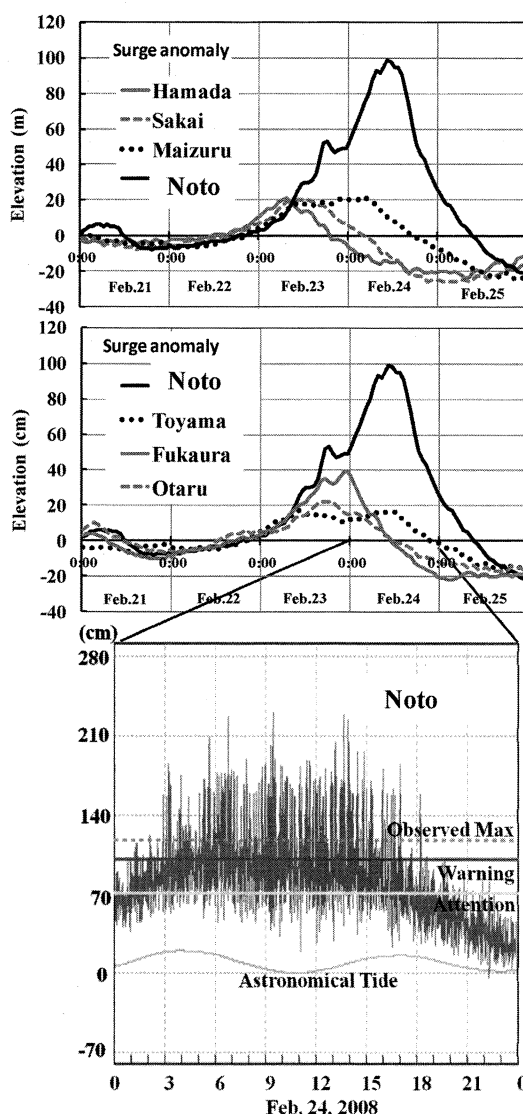


図-3 日本海沿岸の潮位偏差の時間変化と能登における潮位の30秒間隔波形

- 図-3からは、高潮偏差の特性として以下のことがわかる。
- (1) 能登の40cm、能登の100cm以外は、どの観測点の偏差も20cm程度で、吸い上げ相当分である。深浦および輪島では砕波によるwave set-upが発生していると思われる。
 - (2) 高潮は浜田・境・舞鶴・能登の順で南からは北上し、小樽・深浦・富山の順で北からは南下し、富山湾・能登半島に集まって来ているように見える。
 - (3) 能登における30秒間隔波形からは100cmの高潮偏差の上にさらに100cmを超える振動成分が足し合わさっている。これは数十分から数時間の陸棚セイシュと、富山湾の湾水振動およびサーフビートが足し合わさった長周期波であると考えられる。

以上のことから、吹き寄せによる効果が小さい日本海での高潮を考える場合には、潮汐、高潮、陸棚セイシュ、湾水振動、サーフビートの複合現象として検討する必要があることがわかる。このことを確認するために、図-4から図-6に示したNOWPHASの1時間隔波形とそのパワースペクトルを引用した。これより、外洋に面した酒田では36分程度の陸棚セイシュが顕著に出ており、富山湾内の新港では5分から18分の湾水振動成分が顕著に出ているが、問題はその強さである。陸棚セイシュで振幅10cm程度、湾水振動では10~20cm程度。これは、高潮の吸い上げ効果と同程度で、重なれば30~40cmの海面水位上昇となる。高潮だけを再現したのでは実際の水位上昇量の半分程度しか考慮できていないことになる。

以上のことは、高潮の数値計算から見ると極めて難しい問題を提示されたことになる。吹き寄せ効果が卓越する高潮とは異なり、湾や陸棚の地形特性と波群特性を考慮した高潮・高波結合モデル化が必要となる。しかしながら現在の波浪解析モデルでは波群特性は再現できないため、サーフビートの再現は難しい。湾水振動や陸棚セイシュは計算の細メッシュ化で対応できそうである。

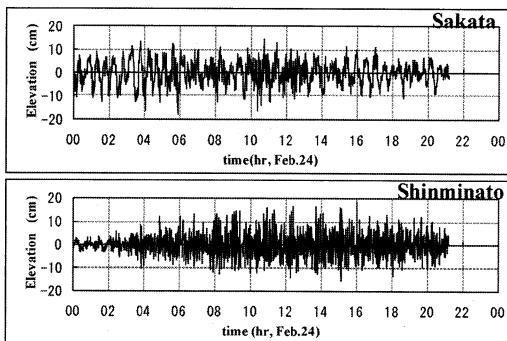


図-4 酒田、新湊における1時間隔波形 (NOWPHAS観測)

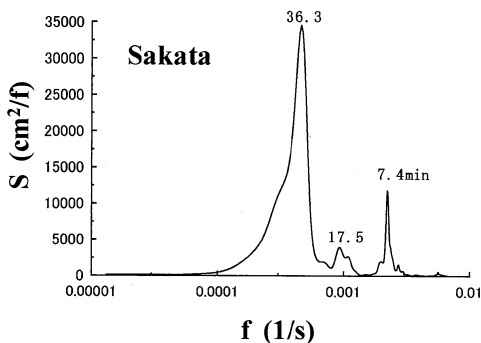


図-5 酒田の1時間隔波形のスペクトル (水産庁HP)

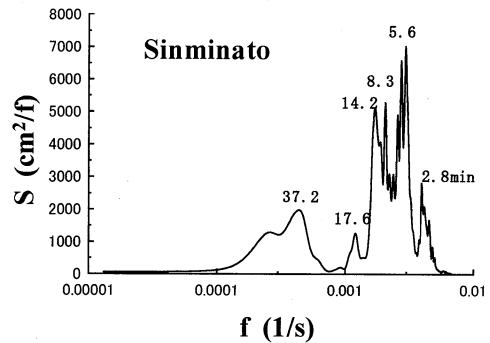


図-6 新湊の1時間隔波形のスペクトル (水産庁HP)

図-7に、能登、富山、佐渡における1時間隔波形 (リアルタイム観潮データ) と天文潮位を並べて示した。これまでの観測データの考察と、図-7により、2008年2月の爆弾低気圧が引き起こした日本海の海面変動の特徴として以下のことが言える。

- (1) 能登、深浦では吸い上げ効果以上の高潮 (おのおの100cm, 40cm) が発生しており、これはwave set-up (砕波により発生した流れが陸に止められ発生した水位上昇: 砕波吹き寄せ) によるものであると考えられる。
- (2) 能登では100cmの高潮の上に、陸棚セイシュ、湾水振動、サーフビートを成分とする100cm以上の水位変動成分 (長周期波) が足し合わさって、潮汐と合わせて220cmを超える水位上昇が観測されている。
- (3) 外洋に面した佐渡では、高潮は20cm程度で吸い上げ成分が主体であるが、陸棚セイシュ、サーフビートを成分とする振幅60cm程度の水位変動成分 (長周期波) が発生している。同じく外洋に面した酒田でも、陸棚セイシュと考えられる周期約36minの振動成分が卓越しているが、その振幅は10cm程度である。
- (4) 富山湾内では20cm程度の吸い上げを主体とする高潮に、振幅10~20cm程度の湾水振動が観測されている。最大の海面水位上昇量は約40cmである。
- (5) 日本海での海面変動 (高潮) を考える上では、いわゆる「高潮」成分以外にも陸棚セイシュや湾水振動を考慮しなければならないことがわかる。

3. 高潮の数値解析

以上のような高潮特性を再現するためには、波浪のエネルギーが流れに変わる機構を考慮した数値モデルが必要である。本研究では、波減衰項および海底地形の影響を受けた砕波減衰項を介して大気エネルギーが流れへと伝達される機構を考慮した計算を行う。

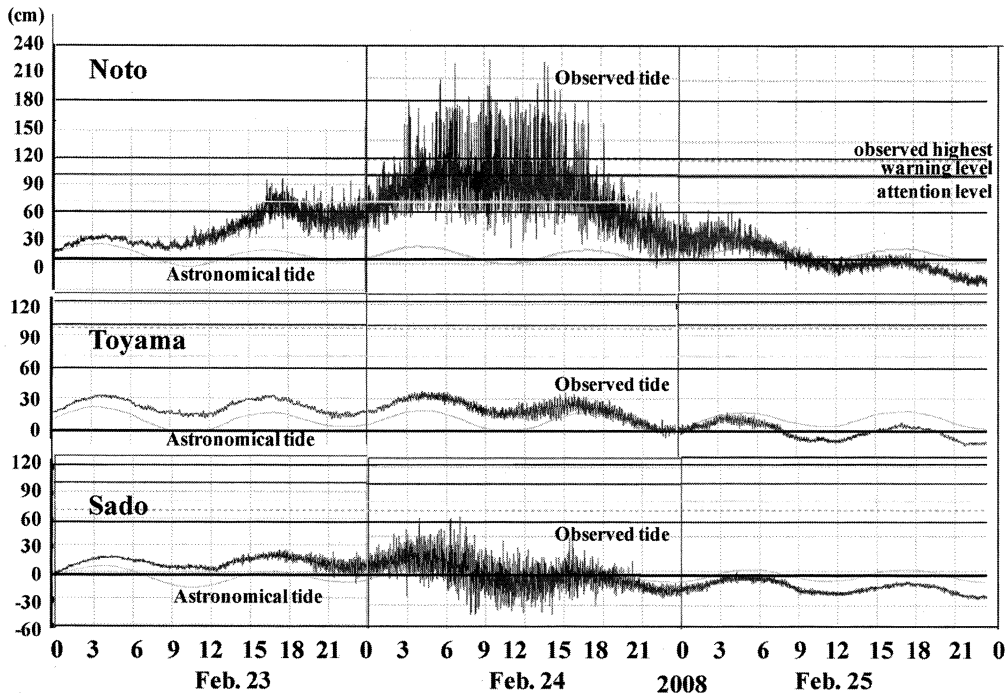


図-7 能登、富山、佐渡における1分間隔波形（リアルタイム観潮データ）の観測データと天文潮位

風域場の解析は、図-8に示す36km～1.3kmまでの4段階のネスティングの計算領域において、MM5による気象場の再現計算を行う。初期、境界条件、4次元同化にはNCEPの全球解析値を用いる。

爆弾低気圧に対して台風ポーガスを用いて強風域場の再現性を確保する。波浪推算モデルとしてSWANとWW3を、高潮計算には、静力学海洋モデルのPOMを用いる。SWANの砕波せん断応力（白波砕波減衰項＋水深による砕波減衰項）を用いて、沿岸域でのwave set-upの効果が再現できるようにする。海面せん断応力の設定には、砕

波せん断応力の寄与率を0.3、大気乱流せん断応力寄与率は風速依存型を用いた（金ら，2008）、潮汐はNAO99により計算する。観測潮位は国土地理院のものを用いた。図-9に国土地理院と観測結果の考察に用いた気象庁の偏差の比較を示す。輪島とその北側に位置する能登の偏差が大きく異なっていることから、能登の高潮は北からの波浪によるセットアップ（wave set-up）により大きな影響を受けていることが類推されるが、数値解析では極細メッシュの解析を行わないと再現できない様である。

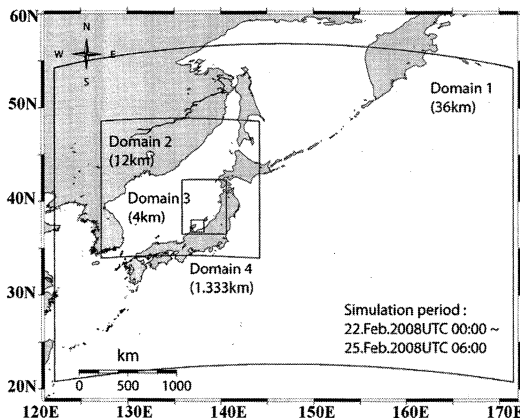


図-8 計算領域

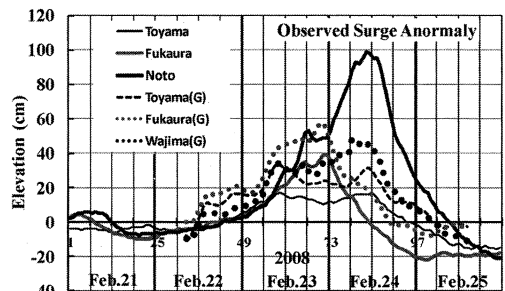


図-9 国土地理院と気象庁の観測偏差の比較

計算は、寄り廻り波を発生させた2008年2月の爆弾低気圧と1991年2月の低気圧を対象とする。図-10に2008年の爆弾低気圧による高潮の計算偏差、図-11に1991年の低気圧の結果を示す。また、図-12には2008年2月23日23

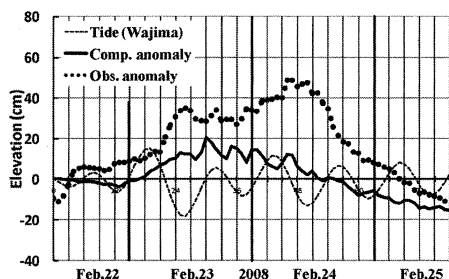
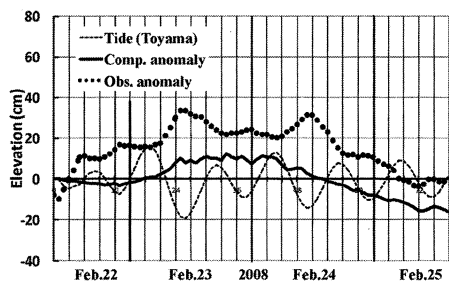


図-10 2008年の低気圧による高潮偏差

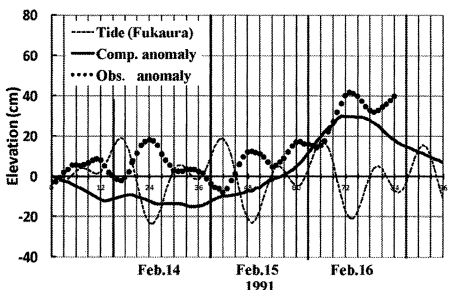
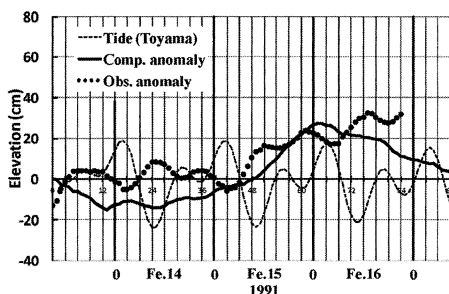


図-11 1991年の低気圧による高潮偏差

時の高潮偏差の空間分布を示す。

以上の数値計算の結果から、2008年と1991年の高潮の特性として、以下のことがわかる。

- (1) 本研究の数値計算法で1991年の高潮の再現性は良いが、2008年のものは観測結果がかなり大きくなっている。これは、今回のシミュレーションの解像度では、wave set-up成分が再現できないことに起因しているものと考えられる。このことから、2008年の高潮にはwave set-up

成分が支配的であったと言える。湾奥の富山でも35cm程度の偏差が生じている。

- (2) 陸棚セイシュやwave set-up成分が日本海の高潮の再現解析に必須であることがわかる。そのためには、極高解像度の再現計算が必要となる。

- (3) 図-12に示すように、日本海の高潮は気圧低下による吸い上げではば再現できるが、沿岸域の局所的な水位の高まりを再現するためには、陸棚セイシュが再現できる程度の解像度を導入する必要がある。

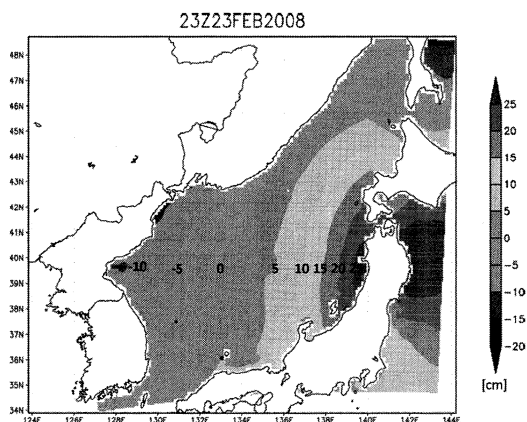


図-12 高潮偏差の空間分布

4. 結 語

本研究の成果を要約すれば、以下のようである。

- (1) 2008年の低気圧は、能登で100cm、輪島で50cm、湾奥の富山でも35cm程度の高潮偏差を発生させた。
- (2) 日本海の高潮の水位変動には、陸棚セイシュ、エッジ波、サーフビート、湾水振動が高潮偏差と同程度の強さで、吸い上げによる高潮成分の上に乗っている。
- (3) 2008年2月の北中部日本海の高潮にはwave set-up成分が支配的であった。
- (4) 沿岸域での局所的な高潮を数値モデルで再現するためには、陸棚セイシュが再現できる程度の解像度を導入する必要がある。日本海の高潮を再現するためには重要な要素である。

本研究では、全国港湾海洋波浪情報網 (NOWPHAS) によるデータ、気象庁、国土地理院の潮位データを用いた。ここに明記し、関係者に対して謝意を表明する。なお、本研究は、科学研究費基盤研究(B) (No.183101128, およびNo.18404003) の研究成果の一部である。

参 考 文 献

- 金庚玉・山下隆男・桜庭雅明(2008) 極浅海域における高潮の数値解析, 海岸工学論文集, 第55巻(印刷中).
- 水産庁HP(2008): 平成20年度2月の日本海高波浪に関する中間とりまとめ, <http://www.jfa.maff.go.jp/j/press/seibi/080507.html>