

日本海中部沿岸における異常波浪の発生機構の検証

Examination of Generation Mechanism of Abnormal Waves caused by the Monsoons along the Central Coast of the Japan/East Sea

駒口友章¹・李 漢洙²・山下隆男³

Tomoaki KOMAGUCHI, Han Soo LEE and Takao YAMASHITA

Hindcasts of three abnormal wave events in the central Japan/East Sea in winter in 1991, 2003, and 2008 were conducted by using a meso-scale meteorological model (MM5) and a third generation spectral wave model (WW3) to make clear the generation mechanism of the abnormal waves caused by winter monsoons. It is reported that coastal damages due to winter depression in 2008 were more serious than those in 1991 and 2003 and major damages of coastal structures in Toyama Bay in 2008 were caused by large wave-overtopping with a high sea level due to superposition of diffractive waves (from NW) and swells (from NE). It is clear in this study that the superimposition of developed wind waves and swells in the offshore region of the central Japan/East Sea makes the characteristics of abnormal high waves.

1. 緒 言

2008年2月に日本海中部沿岸に襲った「寄り廻り波」は、日本海の長軸方向を北方で発生したうねりが南下し、ほぼ同時期に北西季節風の連吹によって風浪が発達し、この両者のエネルギーが重畳して高波浪となったものである(農林水産省水産庁, 2008)。一方、富山湾沿岸に襲った寄り廻り波の事例としては、1991年2月に発生した波浪の規模も2008年と同様に大きかったが、このときの海岸施設の被害は主に浸水被害であり、2008年の場合は護岸・道路の陥没・損壊などの甚大な被害となったため、2008年の事例は既往事例に比べてどういう点が特異であったかという疑問が生じた。そこで本研究では、メソ気象モデルMM5 (Grellら, 1995) と波浪推算モデルWW3 (Tolman, 2002) を援用して、過去に日本海中部沿岸に襲った高波浪の再現計算を行い、既往の事例との比較から2008年の高波の発生機構の特異性の検証を行うとともに、この海域での波浪災害の特徴を整理する。

「寄り廻り波」は日本海中部沿岸に発生する代表的な異常波浪であり、その発生機構については以下のような要因が考えられている(磯崎ら, 1991)。

(1) 本州東北部で急激に発達して停滞した低気圧によって、北～北東の強風が継続した結果、発達した風浪が風域を抜けて日本海の長軸方向を南下する(北東方向からの)うねりとなって、富山湾に入って寄り廻り波となる。

(2) 日本海を低気圧がゆっくりと移動したために、北西

方向からの強風が連吹し、発達した風浪が日本海中部沿岸に継続して来襲し、能登半島を回折して侵入した波浪と北東方向からのうねりが重畳して寄り廻り波になる。

(3) 日本海を通過した低気圧にともなう日本海規模の広範囲での海面振動が発生し、この影響によって寄り廻り波となる。

ここでは、波浪推算による再現検証の結果から、上述した考え方の妥当性を調べるとともに、日本海中部沿岸で災害をとまなう高波をもたらした既往の事例について波浪推算を実施し、2008年の高波(2月23～24日)に対する波浪推算結果と比較することにより、この沿岸海域での異常波浪の発生機構を検証する。

2. 波浪推算ケースおよび災害の特徴

計算条件は、図-1のようにDomain1～4(36km～1.3km)の4段階ネスティングを行い、方向分割は24分割とし、周波数分割は0.025Hz～0.7026Hzの範囲で36分割とした。

表-1に検討対象とした波浪推算のケースを示す。

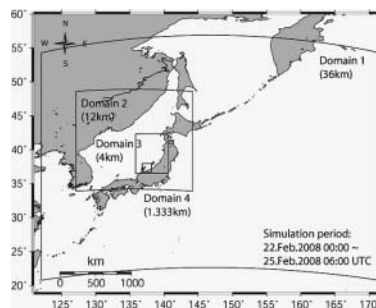


図-1 風域場および波浪場の計算領域

1 正会員	工博	(株) 碧浪技術研究所 代表取締役
2 正会員	工博	広島大学助教 大学院国際協力研究科
3 正会員	工博	広島大学教授 大学院国際協力研究科

表-1 検討対象とした波浪推算のケース

No	推算期間	気象じょう乱
1	1991年2月14日～18日	二ツ玉低気圧
2	2003年12月18日～23日	日本海低気圧
3	2008年2月23日～24日	二ツ玉低気圧

(1) ケース1 (推算期間：1991年2月14日～18日)

日本海および本州南岸を移動・停滞した2つの低気圧にともない強風が継続したため、日本海沿岸の中部地域および太平洋沿岸の東北部を中心に異常波浪が来襲した。富山県沿岸の漁港を対象にした波浪推算調査の結果では、入善漁港沖から宮崎漁港沖にかけて有義波高の最大値で5.0mを越える高波浪が数日間にかけて継続したという結果となっている。このケースでは富山湾内に来襲した高波浪の来襲期間は長く、波浪による作用エネルギーはケース3と同程度以上であったと考えられるが、公共土木施設の被害は主に浸水被害に留まっている。

(2) ケース2 (推算期間：2003年12月18日～23日)

日本付近は冬型が続いていたが、18日～20日にかけてゆっくりと日本海を通過した低気圧が20日に急速に発達したために冬型が強まり、日本海沿岸を中心に海上は強風の継続によって荒れ模様となった。この低気圧による強風によって新潟県の沿岸を中心に発達した異常波浪が来襲した。20日16時に新潟県上越市の直江津港で観測された異常波浪は既往最大値を更新したが、富山湾沿岸ではとくに高波浪は発生していない。

(3) ケース3 (推算期間：2008年2月23日～24日)

日本海や太平洋を東進した複数の低気圧が周辺の強い高気圧に囲まれ日本の太平洋側北部に停滞し強い冬型気圧配置になった。日本海側の沿岸部では北～北東方向からの強風が23日から長時間継続した。さらに24日は、日本の東海上で低気圧が発達したため、北～東日本は荒れた天気となり、地点によっては20m/sを超える強風が吹く等、寒気による大雪を伴う荒れた気象状態であった。

2008年に日本海側で発生したうねり性の高波浪による被害は新潟県と富山県に集中したが、佐渡島の本土側の漁港の防波堤などが滑動・倒壊したのに対して、富山湾内では水位上昇および多量の越波に起因すると考えられる公共土木施設の被害が発生した。

表-2～表-4に各ケースにおける日本海中部沿岸での有義波の観測値の最大値を示す。また、図-2～図-7に6時間ごとの風域場 (Domain2) と各々に対応する3時間後の波浪場 (Domain4) の変化を示す。

3. 数値計算の結果

図-2からケース1の風域場の変化をみると、二ツ玉低気

表-2 波浪観測値の最大値 (ケース1)

観測地点	波高(m)	周期(sec)	最大値の起時
新潟西	7.41	12.2	17日10時
新湊	3.16	11.0	17日12時
輪島	7.16	11.2	16日16時
金沢	7.05	13.2	17日0時

表-3 波浪観測値の最大値 (ケース2)

観測地点	波高(m)	周期(sec)	最大値の起時
新潟	7.50	12.0	20日14時
直江津	9.24	12.6	20日16時
伏木富山	1.60	12.9	20日22時
輪島	7.62	12.0	20日18時

表-4 波浪観測値の最大値 (ケース3)

観測地点	波高(m)	周期(sec)	最大値の起時
直江津	6.40	10.2	23日19時
富山	9.92	16.2	24日16時
伏木富山	4.22	14.2	24日14時
輪島	7.73	13.2	24日12時

注；富山および輪島の観測値は水圧補正を行っている。

圧によって発達した強風域が現れているが、北東方向からの強風の吹送距離はあまり長くなっていないことがわかる。図-3から波浪場をみると、日本海中部沿岸に対しては、最初に北西からの強風が吹続した後で、少し遅れて北東の強風が吹続したために、北西方向からの風波が発達して東進した後、北東方向から遅れて南下してきたうねりの影響が現れた様子がわかる。このため、ケース3に比べて、富山湾内に侵入してきたうねりの影響は相対的に低減された状態であったと考えられる。

一方、図-4、5に示したケース2の場合では、北西からの強風が日本海中部沿岸に吹続したが、北方を移動する小低気圧の影響が無かったため、富山湾内の海上は静穏な状態になっている。これらの変化に対応する波浪場をみると、北西方向からの強風によって波浪の急速な発達がみられ、新潟県沿岸を中心に高波浪域を形成している。しかしながら、北方より南下してくるうねりの成分が無いために富山湾内の波浪はあまり発達していない。

この結果に示すように、一般の北西の冬期季節風にとっても能登半島を回折する波浪だけでは富山湾沿岸の波浪は発達しにくく、寄り回り波の発生条件として、北海道沖付近の小低気圧の緩慢な動きによってうねりの南下が生じることが必須であることがわかる。

また、図-6、7に示したケース3は、ケース1の場合と類似した事例であるが、ケース1に比べて北東の強風の吹き出しが早い時期から発生している。大陸から東進した低気圧によって日本海中部沿岸～北東部沿岸に強風域

が出現し、一方、北海道の西側海域から南下した強風域
が日本海中部の沖合で前者と合成されて広範囲で強風と

なった。これと北西季節風による強風域とが合併した結
果、北東方向に長い吹送距離となったものであろう。

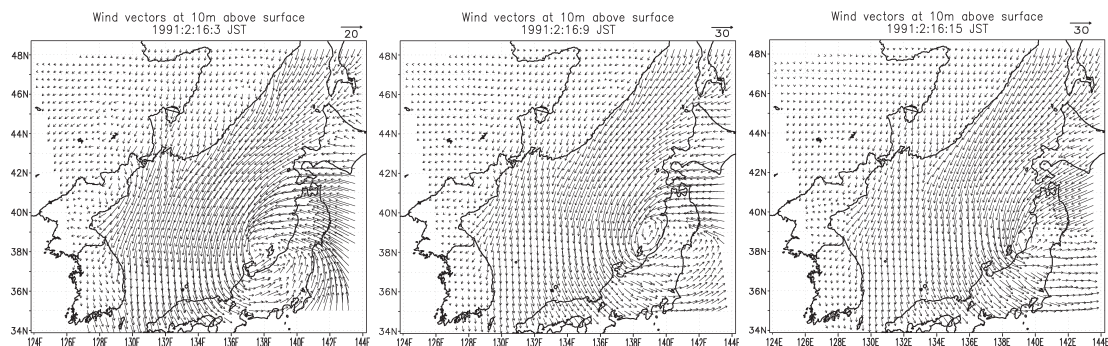


図-2 風域場の推算結果 (ケース1)

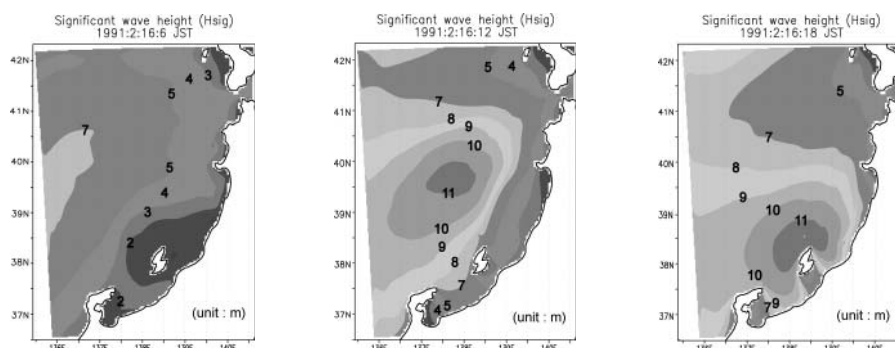


図-3 波浪場の推算結果 (ケース1)

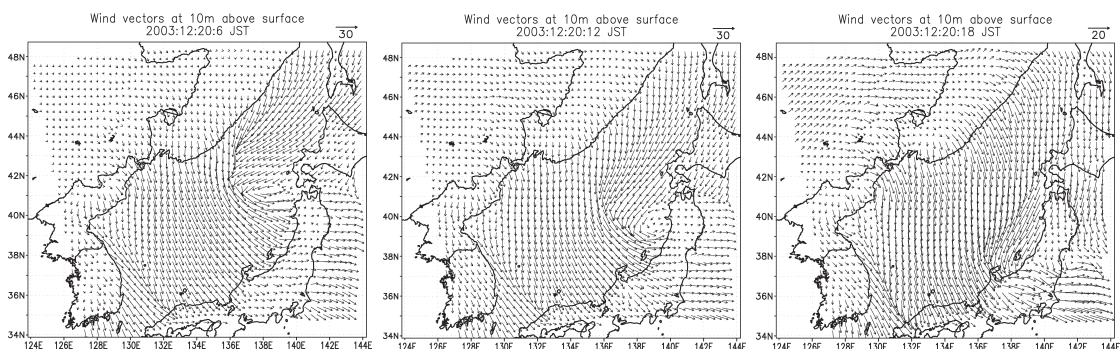


図-4 風域場の推算結果 (ケース2)

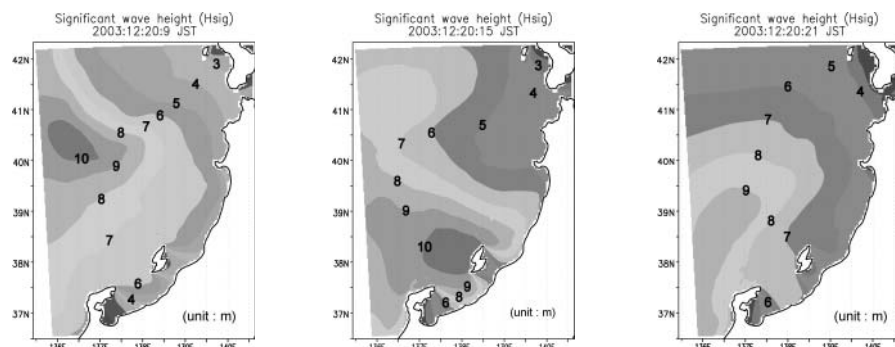


図-5 波浪場の推算結果 (ケース2)

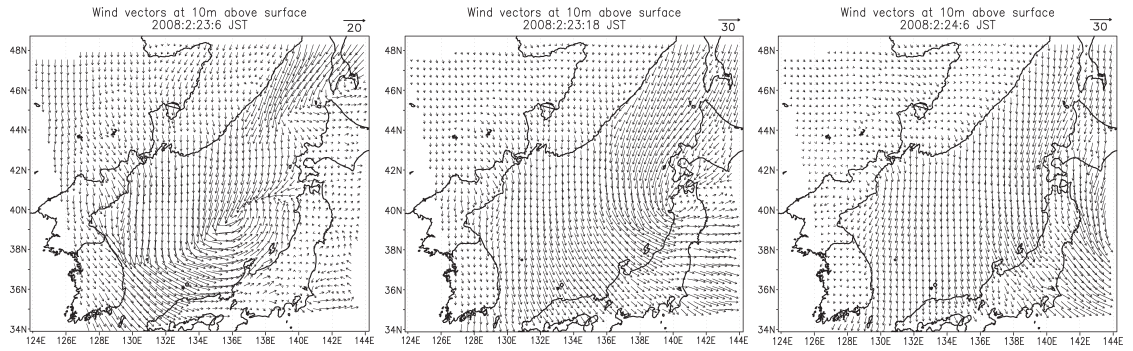


図-6 風域場の推算結果 (ケース3)

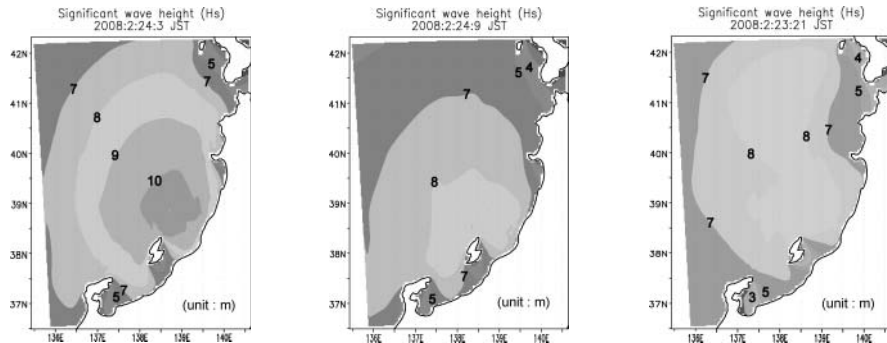


図-7 波浪場の推算結果 (ケース3)

4. 考 察

WAVEWATCHIII (Tolman, 2002) は、NOA/NCEPによって開発された第3世代の波浪モデルである。本研究では風からのエネルギー供給 (S_{wind}) として Tolman・Chalikov (1996) の定式化を採用しており、風波のエネルギーピークに対応する周波数 (WSP) は以下の式で計算する。

$$f_{p,i} = \frac{\int \left(f^{-2} * C_g^{-1} * \max[0, S_{wind}(k, \theta)] \right) \partial f \partial \theta}{\int \left(f^{-3} * C_g^{-1} * \max[0, S_{wind}(k, \theta)] \right) \partial f \partial \theta} \quad \dots (1)$$

ここに、 f は周波数、 C_g は群速度、 S_{wind} はソース項、

$$\tilde{f}_{wsp} = 3.6 \times 10^{-4} + 0.92 \tilde{f}_{p,i} - 6.3 \times 10^{-10} * \tilde{f}_{p,i}^3 \quad \dots (2)$$

ティルドは無次元パラメータ、PWPはピーク周波数に対応している。

図-8～9にケース1およびケース3に対して、鷺崎沖 (佐渡島) および入善沖 (富山湾沿岸の中央付近) の計算点について、風波とうねりの2つの状態に対して、各々の状態のエネルギーピークに対応する周波数の計算結果を示す。

鷺崎沖では、ケース1では17日未明、ケース3では24日早朝に高波浪が来襲したが、図-8と図-9に示すように、どちらもWSPとPWPのピークの時期がほぼ一致しており、北西の強風による風波のエネルギー成分と南下して

きたうねりのエネルギー成分とが重疊して、高いエネルギーレベルとなっていたことが確認できる。

ケース3の入善沖のPWPの変化をみると、24日に突如として周期14秒以上のうねり成分が顕在化しているが、WSPは安定的に変化しており、WSPは主に回折波の成分であることを示唆している。図-7から、富山湾内の高波

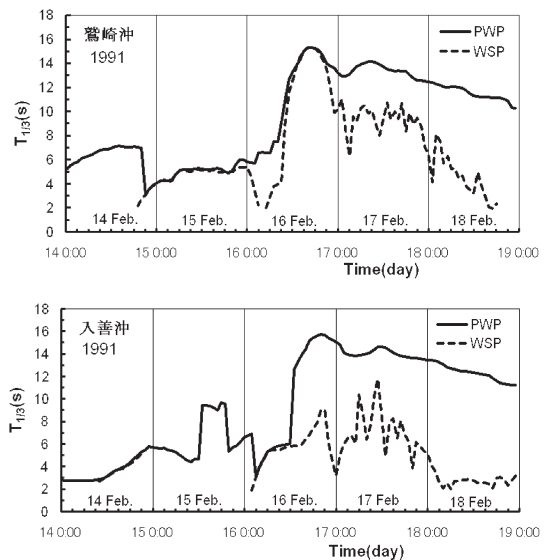


図-8 うねりと風波のピーク周期の時系列変化 (ケース1)

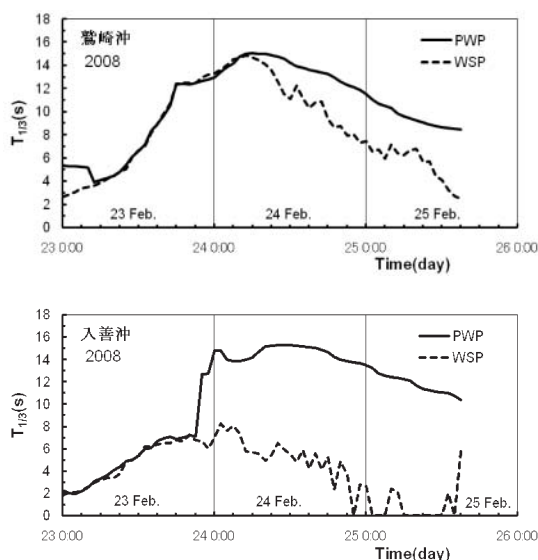


図-9 うねりと風波のピーク周期の時系列変化 (ケース3)

状態が24日午前まで継続していることから、回折波の成分にエネルギーレベルの高いうねり成分が重畳し、水位の高い状態が継続した可能性が高い。一方、ケース1の1991年の場合のWSPとPWPの変化をみると、風波とうねりの各々のエネルギー成分が卓越する時間帯が前後しており、うねりによる水位上昇の上に風波が断続的に重なる波浪状態であったと推定される。このため、沿岸域においては高波浪が来襲したが、継続的な越波状態に至らなかったため、深刻な災害が発生しなかったものと思われる。

5. 結 語

日本海中部沿岸で災害をとまう高波をもたらした3ケース (1991, 2003, 2008年) について波浪推算を実施し、異常波浪の発生機構を検討した。本研究の結果を要約すれば、以下のようである。

- (1) ケース1およびケース3の結果から、北海道の東方で停滞した低気圧による北東方向の強風によって南下したうねり性の長周期の波浪のエネルギーと北西季節風によって発達した風波のエネルギーが重畳した場合に、日本海中部沿岸 (新潟・富山) では周期が長く、エネルギーレベルの高いうねり性波浪 (寄り廻り波) が発生する。
- (2) ケース2の結果から、日本海をゆっくりと低気圧が移動しながら通過する場合には、新潟県の沿岸海域で高波が来襲するが、北東方向からのうねり性の長周期の波浪が来襲しない場合には富山湾内の波浪の発達は少ない。したがって、寄り廻り波の発生予測には北方

からのうねりの来襲を予測することが重要である。

- (3) ケース1とケース3の違いは、北東方向からの長周期のうねり性の波浪が来襲する時期が前後していることによる。すなわち、ケース3では日本海低気圧によって発達した風波が新潟・佐渡の沖合に来襲した時期と北東方向からのうねり性波浪の来襲時期とが偶然にもほぼ一致しており、この結果として富山湾内を含む広範囲での周期の長い高波浪が来襲したものである。
- (4) 今回の富山湾内の海岸施設の被害は主に大量の越波によるものと考えられる。とくに、北西風の継続によって発達した回折波に、北東方向からのうねり性波浪の影響が重畳して水位が高くなった時期が続いたと考えられる。一方、ケース1の場合にはうねりの来襲時期が高波の来襲時期と前後したことによって越波状態があまり継続しなかったものと考えられる。

また、日本海を対象に高潮推算を行った結果によれば、1991年の事例では能登半島沖を低気圧が通過したために、中心示度の降下にとまう吸い上げ効果が卓越したのに対して、今回 (2008年) は低気圧が日本海の中央をゆっくりと横切ったために、富山湾のほぼ全域で風による吹き寄せ効果による小規模な高潮が発生し、継続したことが報告されている (農林水産省水産庁, 2008)。こうした高潮の影響により、1991年2月の事例では被害箇所が限定されたのに対して、今回の被害は広範囲となった可能性があることがわかる。一般に日本海沿岸では高潮や異常潮位に対する警戒体制が不足しがちであり、富山湾沿岸などの住民は非常に親水性の高い生活を営んでいる。しかしながら、逆にこの沿岸は小規模な水位上昇に対しても非常に危険な地域であるとも考えられるので、万一に備えて十分な対策を検討しておくことが望まれる。

参 考 文 献

- 磯崎一郎・斉藤勝也 (1991) : 日本海の波浪特性, 日本気象協会, 115p.
- 沿岸技術研究センター (2005) : 全国港湾海洋波浪観測資料 (NOWPHAS 1991-2003), 国土交通省港湾局監修.
- 日本気象協会 (1981-1991) : 気象年鑑 (1981-1991年版).
- 農林水産省水産庁 (2008) : 平成20年2月の日本海高波浪に関する技術検討委員会, とりまとめ, <http://www.jfa.maff.go.jp/j/press/seibi/080930.html>.
- Grell, G. A., J. Dudhia and D. R. Stauffer (1995) : A description of the fifth-generation Penn state/NCAR Mesoscale Model (MM5), National Center for Atmospheric Research, NCAR Tech. Note, NCAR/TN-398+STR.
- Tolman, H. L. (2002) : User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 2.22, MMAB.
- Tolman, H. L. and D. V. Calikov (1996) : Source terms in a third-generation wind wave model, J. Phys. Oceanogr., Vol.26, pp. 2497-2518.