

## 目 次

要 旨 .....	3
1. まえがき .....	4
2. 解析対象擾乱の選定 .....	5
3. うねり性波浪の来襲特性（簡易解析） .....	5
3.1 解析手法 .....	5
3.2 うねり性波浪来襲時刻に関するタイムラグの空間分布 .....	6
3.3 解析手法の問題点 .....	10
4. うねり性波浪の来襲特性（詳細解析） .....	10
4.1 解析手法の改良 .....	10
4.2 うねり性波浪来襲時刻に関するタイムラグの空間分布 .....	12
5. うねり性波浪の来襲と台風の関係 .....	15
6. あとがき .....	20
参考文献 .....	21
記号表 .....	21

# **Estimation of Encounter Timing of Swell by Using Nationwide Wave Observation System (NOWPHAS)**

**Hiroaki KASHIMA\***

**Katsuya HIRAYAMA\*\***

**Tetsuya HIRAISHI\*\*\***

**Katsuyoshi SHIMIZU\*\*\*\***

## **Synopsis**

Recently, coastal disasters due to long period swell induced by storms increase in the Japanese harbors. For example, a fishery boat was capsized in the Kurihama bay by the high waves which suddenly appeared in a calm weather. At that time, T0402 (typhoon No.2 in 2004) passed through in the offshore, and typical swell profiles were observed not only in the Ashikajima station inside the Kurihama bay but also in several NOWPHAS stations along the Pacific Ocean from the Kanto region to the Shikoku region. The swell profile appeared with a uniform delay time in such observation stations according with their locations. Therefore, it seems to be possible to estimate the swell arrival time by using the observed data in the different stations.

In this study, the analytical approaches were conducted by using the observed wave data. The cross correlation coefficients were calculated in order to estimate the delay of swell arrival time, and their characteristics were studied in the typhoon course and in the relationship between the location of target port and the position of typhoon. The swell arrival probability in a region can be judged with the classified pattern of typhoon course, averaged velocity and so on. The following remarks were derived, for example a swell approaches to the coasts of the Japan Sea after the typhoon passing. Meanwhile, the swell arrives at the Pacific coasts of Japan before the typhoon approaching.

**Key Words:** swell, typhoon, cross-correlation analysis, NOWPHAS

---

\* Researcher, Wave Group, Coastal and Ocean Engineering Research Division, Marine Environment and Engineering Department

\*\* Head of Group, Wave Group, Coastal and Ocean Engineering Research Division, Marine Environment and Engineering Department

\*\*\* Director of Department, Marine Environment and Engineering Department

\*\*\*\* Research Director, Coastal and Ocean Development Research Group, Coastal and Ocean Engineering Research Division, Marine Environment and Engineering Department

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-8445042 Fax : +81-46-8413888 e-mail:kashima@pari.go.jp

# NOWPHAS 波浪観測データを用いた うねり性波浪の来襲特性に関する一考察

加島 寛章\*・平山 克也\*\*・平石 哲也\*\*\*・清水 勝義\*\*\*\*

## 要 旨

2000 年以降，地球温暖化の影響によると思われる台風経路の変化や大型化の影響により，全国各地において港湾構造物の損壊被害が多発している．中でも，波高は設計波より小さいが，周期が設計波よりも長い 10s 以上のうねり性波浪の来襲によるものが増加している．特に，本研究を始めるきっかけとなった 2004 年 5 月には，久里浜湾において台風 2 号の通過に伴ううねり性波浪の来襲により漁船転覆事故が発生した．この時，久里浜湾近傍にある波浪観測地のアシカ島だけでなく，関東から四国地方に至る太平洋沿岸においても同様なうねり性波浪が確認された．したがって，これまで日本沿岸に網羅的に配置された NOWPHAS 波浪観測データを有効に活用し，うねり性波浪の来襲予測を行うことにより，このような事故や港湾構造物の損壊被害を低減できることが期待される．そこで，全国の港湾におけるうねり性波浪の来襲予測を行うため，台風の通過時に NOWPHAS で観測された波高データからうねり性波浪の来襲と通過台風との関係について解析的な検討を行い，台風とうねり性波浪来襲の関係からうねり性波浪の来襲予測を試みた．その結果，波高データから台風の通過に伴ううねり性波浪の来襲をある程度予測することが可能となり，日本海の地域では台風の通過後に，太平洋側では台風の通過前にうねり性波浪が来襲する危険性が高いことが判明した．

キーワード：うねり性波浪，台風，相互相関解析，NOWPHAS 波浪観測

---

\* 海洋・水工部海洋研究領域波浪研究チーム研究官  
\*\* 海洋・水工部海洋研究領域波浪研究チームリーダー  
\*\*\* 海洋・水工部長  
\*\*\*\* 海洋・水工部海洋研究領域海洋研究チーム上席研究官  
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 独立行政法人港湾空港技術研究所  
電話：046-844-5042 Fax：046-841-3888 e-mail:kashima@pari.go.jp

## 1. まえがき

2000年以降、地球温暖化の影響によると思われる台風経路の変化や大型化の影響により、全国各地において港湾構造物の損壊被害が多発している。中でも、波高は設計波より小さいが、周期が設計波よりも長い10s以上のうねり性波浪の来襲によるものが増加している。たとえば、写真-1に示すような2006年9月の台風12号の通過による久慈港の護岸の一部損壊（作用波： $H_{1/3}=4.08\text{m}$ ， $T_{1/3}=17.0\text{s}$ ，2003年改良時の設計値： $H_0=6.0\text{m}$ ， $T=12.6\text{s}$ ）（Hiraishi et al., 2008）、写真-2に示すような2007年9月の台風9号の通過による西湘バイパスの一部崩壊（作用波： $T_{1/3}=14.2\text{s}$ ，1969年の擁壁完成時の設計値： $T=11.0\text{s}$ ）（平石ら，2008）、2008年2月の低気圧の通過（寄り回り波）による伏木富山港の北防波堤のケーソン滑動・消波ブロックの沈下（作用波： $H_{1/3}=4.22\text{m}$ ， $T_{1/3}=14.2\text{s}$ ，被災箇所の設計波： $H_0=5.3\text{m}$ ， $T=12.0\text{s}$ ）等（写真-3）がある。

このようなうねり性波浪は海岸構造物の損壊だけでなく、過大なローリングによる係留船舶の荷役障害、網切れ被害、荷役中の突然の動揺による港湾労働者の転落事故や漁船の転覆事故等の要因となり、船舶への影響も大きい。特に、2004年5月には、久里浜湾において台風2号の通過に伴ううねり性波浪の来襲により漁船転覆事故が発生した。当時、漁船転覆事故現場近傍のアシカ島（横須賀）で観測された水面波形データから、波群を伴ううねり性波浪の来襲が確認されていた。さらに、アシカ島だけでなく、和歌山県の潮岬から波浮（大島）に至る太平洋沿岸においても同様なうねり性波浪の波形が確認されており、うねり性波浪が各地の港湾に順に来襲していたことも同時に確認された。したがって、これまで日本沿岸に網羅的に配置されたNOWPHAS波浪観測データを活用し、うねり性波浪が観測される時間差や台風の通過経路、位置等とうねり性波浪の来襲の関係性について調べることで、うねり性波浪の来襲予測を行うことが可能であると考えられ、上記のような港湾構造物の損壊被害や海難事故等を低減できることが期待される。

一方、うねり性波浪の来襲予測に関して、地元の漁師や港湾関係者らの間では、台風の予測進路と現地との位置関係から経験的にうねり性波浪の来襲を察知し、危険を回避している例もみられる。また、台風の経路とうねり性波浪の来襲特性の関係について、山口ら（1987）はエネルギー平衡方程式に基づく波浪推算により定性的に台風に伴ううねりの発生条件を明らかにしている。しかしながら、NOPHAS波浪観測などにより得られる実測デー



写真-1 台風0612号による久慈港半崎地区の護岸の一部損壊



写真-2 台風0709号の来襲による西湘バイパスの一部崩壊（延長1.1km）



写真-3 寄り回り波の来襲による伏木富山港北防波堤のケーソンの滑動（最大13.5m滑動）

表-1 解析対象擾乱および解析対象観測地点

ケース	解析対象擾乱	対象観測地点
1	T0415, T0416 T0418, T0514	留萌, 石狩新港, 瀬棚, 秋田, 酒田, 直江津, 富 山, 伏木富山, 輪島, 金 沢, 柴山, 浜田, 玄界灘, 釧路, 十勝, むつ小川原, 八戸, 久慈, 釜石, 石巻, 小名浜, 常陸那珂, 鹿島, アシカ島, 波浮, 下田, 清水, 御前崎, 潮岬, 小 松島, 神戸, 室戸GPS, 室津, 高知, 細島, 志布 志湾 (合計36地点)
2	T0402, T0612	
3	T0422, T0511	
4	T0404, T0423 T0709	

タを活用し、各地の港湾へのうねり性波浪の来襲特性を調べた例はなく、その来襲予測を試みた研究例もない。

そこで、本研究では台風の通過時に NOWPHAS で波浪観測されたうねり性波浪に着目し、うねり性波浪の来襲とその時における通過台風との関係について解析的な検討を行い、今まで経験的に把握されていたうねり性波浪の来襲特性を定量的に確認するとともに、台風とうねり性波浪来襲の関係からうねり性波浪の来襲予測を試みた。なお、本研究で着目しているうねり性波浪は、平成 20 年度港湾技術 WG 偶発波浪荷重サブ WG において検討されている周期 14s 以上の“長周期うねり（沖合の防波堤で用いられる設計波周期およびそれより周期の長い波に対応する。）”を含み、NOWPHAS 波浪観測において整理・分類されている周期帯別波高の周期帯  $T_1=10.7\sim 14.2s$  と  $T_2=16.0\sim 25.6s$  の成分波高をエネルギー合成した波高をもつ波浪と定義した。すなわち、波周期が 10~30s 程度の波浪をうねり性波浪と表現する。

## 2. 解析対象擾乱の選定

台風の来襲に伴ううねり性波浪の来襲特性を把握するため、各地の港湾に被害をもたらした近年の代表的な台風（たとえば、清水ら、2007a；永井ら、2005；平山ら、2005）を解析対象擾乱として取り上げた（表-1）。台風の通過する経路が異なれば、それに伴って発生するうねり性波浪の来襲の仕方が異なると考えられる。そこで、本解析では 4 パターンの台風経路、つまり台風が日本海を通過する場合（ケース 1）、台風が太平洋のはるか沖を通過する場合（ケース 2）、台風が太平洋側の日本列島のごく近傍を通過する場合（ケース 3）、台風が日本列島を

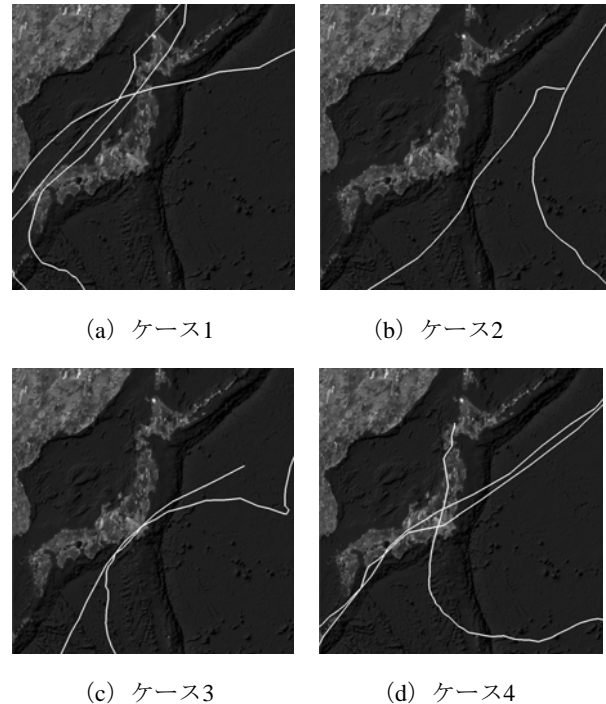


図-1 台風の中心経路パターン

縦横断する場合（ケース 4）を設定した（図-1）。なお、台風の表示方法として、たとえば‘T0416’は 2004 年に発生した台風 16 号を意味する。

## 3. うねり性波浪の来襲特性（簡易解析）

### 3.1 解析手法

うねり性波浪の来襲特性を把握するため、日本の各港湾において取得された NOWPHAS 波浪観測データ（たとえば、永井ら、2006；清水ら、2007b, 2008）により、観測地点間のうねり性波浪の波高（以下では、うねり成分波高と表記する。）に対する相互相関解析を行った。以下に、相互相関解析の概略について説明する。

まず、解析に必要なうねり性波浪の波高データを選定する。NOWPHAS 波浪観測では観測された波浪は各周期帯の成分波に分類され、各周期帯の成分波高として整理されている。本研究では、NOWPHAS 波浪観測データの周期帯  $T_1=10.7\sim 14.2s$  と  $T_2=16.0\sim 25.6s$  の成分波高を合成することにより、波周期が 10~30s 程度のうねり成分波高を算出する（式(1)）。

$$H_s(t) = \sqrt{H_{T_1}(t)^2 + H_{T_2}(t)^2} \quad (1)$$

ここで、 $H_{T1}$  および  $H_{T2}$  は各周期帯  $T_1, T_2$  の成分波高(m),  $H_s$  はうねり成分波高(m),  $t$  は時間(h)である. 解析対象範囲は台風の通過により検出されたうねり成分波高の継続期間に設定し, その期間内にうねり成分波高が最大となる時刻をうねり性波浪来襲時刻と定義する.

ついで, 式(1)で算出された2観測地点間の波高データの時間軸をずらすことによってうねり成分波高の相互相関をとる. すなわち, 以下の算定式(式(2), 式(3))により, 2観測地点間のうねり成分波高の相互相関係数が算出される.

$$C_{xy}(m) = \frac{\sum_{n=0}^{N-|m|-1} [x(m+n) - x_m][y(n) - y_m]}{N - |m|} \quad (2)$$

$$C_{xy}^{norm}(m) = \frac{C_{xy}(m)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (3)$$

ここで,  $x, y$  は各観測地点のうねり成分波高データ,  $C_{xy}(m)$  は  $x, y$  に対する共分散,  $x_m, y_m$  は  $x, y$  の平均値,  $\sigma_x, \sigma_y$  は  $x, y$  の標準偏差,  $C_{xy}^{norm}(m)$  は  $x, y$  に対する相互相関係数,  $N$  は解析対象範囲の全データ数,  $m$  は時間軸のずれである. NOWPHAS 波浪観測では, 多くの地点で2時間毎に20分間の水位観測が行われ, それにより得られる水面波形データから有義波等の統計量(うねり性成分波高)が算出されるため, 時間軸の1つのずれ( $m=1$ )は2時間に相当する.

最後に, 式(3)により算出された相互相関係数が最大となる時間軸のずれ(以下では, タイムラグと表記する.)を調べる. 言い換えると, このタイムラグを調べることにより, 2観測地点間のうねり性波浪来襲時刻の時間差が表現されることになる. 以上より, 相互相関解析では NOWPHAS 波浪観測で整理・分類されている周期帯別波高データから2観測地点間のうねり性波浪来襲時刻の時間差が算出される.

### 3.2 うねり性波浪来襲時刻に関するタイムラグの空間分布

うねり性波浪がどれくらいの時間差で各観測地点に来襲してくるのかを調べるため, 各観測地点で観測されたうねり成分波高データに上述した相互相関解析を適用し, 各観測地点間のうねり性波浪来襲時刻に関するタイムラグの空間分布を調べた. 本解析では, うねり性波浪の各港湾への来襲に着眼点を置いているため, 台風毎に相互相関解析に用いる基準観測地点を各沿岸の観測地点群の

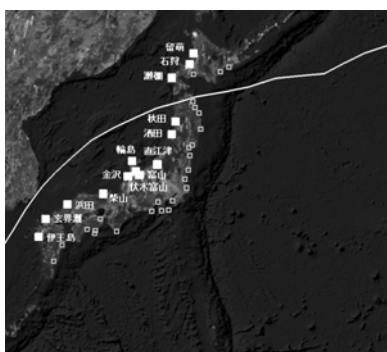
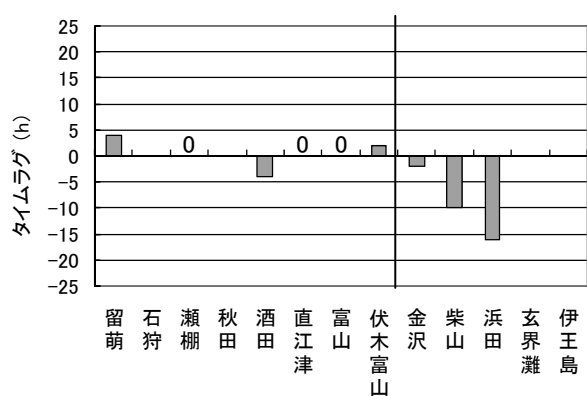
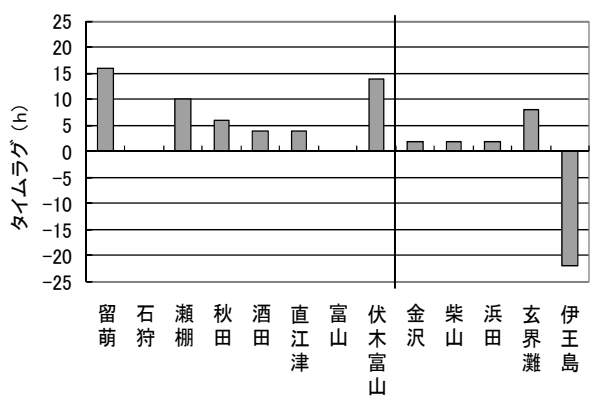
ほぼ中央部に1地点設定した. 基準観測地点はケース1の台風に対しては石川県の輪島, ケース2の台風に対しては東京都伊豆大島の波浮, ケース3の台風に対しては横須賀のアシカ島, ケース4の台風に対しては波浮あるいは茨城県の常陸那珂とした. 図-2~図-5に示すのは, 全解析対象擾乱に対して相互相関解析を行った結果得られた, 基準観測地点に対する各観測地点のうねり性波浪来襲に関するタイムラグの空間分布である. 横軸は観測地点名, 縦軸はタイムラグである. 図中のバーのない箇所は観測データの欠損等により有意な相互相関係数が計算されていないことを示し, 縦実線は基準観測地点を示している. なお, タイムラグが正の値をとる場合は, 基準観測地点にうねり性波浪が来襲してから観測地点にそのタイムラグ分だけ遅れて到達することを意味し, タイムラグが負の値からゼロおよびゼロから正の値に遷移することを「増加」と表現する. 以下に, ケースごとのうねり性波浪の来襲特性について述べる.

#### (1) 台風が日本海を通過する場合(ケース1)

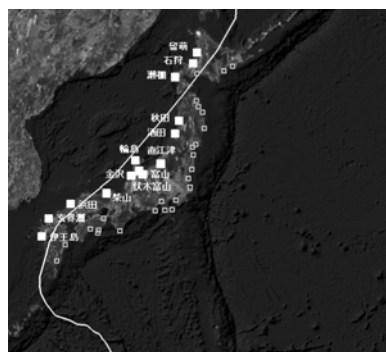
図-2よりわかるように, 台風が日本海を通過するケース1では, T0415以外では福岡県の玄界灘から石川県の金沢にかけて, 基準観測地点の輪島に対するタイムラグが5時間ずつ単調に増加し, 九州地方でうねり性波浪が来襲した時点から半日以上経って輪島に来襲している. 一方, T0415についてみると, 山形県の酒田から北海道の留萌にかけてタイムラグが単調に増加している. このように, 台風が九州地方を回り込んで日本海を通過すると, 玄界灘から金沢, あるいは酒田から留萌にかけてタイムラグが単調増加となり, うねり性波浪が時間差をもって各地の港湾に来襲する傾向にあることがわかる.

#### (2) 台風が太平洋のはるか沖を通過する場合(ケース2)

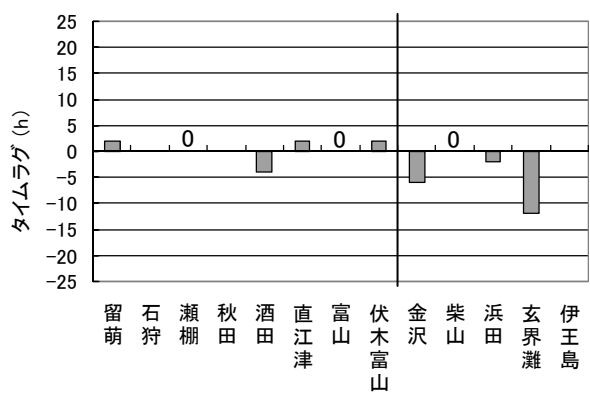
図-3よりわかるように, 台風が太平洋のはるか沖を通過するケース2では, T0402では潮岬からアシカ島にかけて, 基準観測地点の波浮に対するタイムラグが数時間ずつ増加している. これは, 第1章で述べた, この台風の通過に伴ううねり性波浪の各地の港湾への来襲の様子が NOWPHAS の水面波形データにより確認されたことに対応している. 同様に, T0612では青森県の八戸から北海道の釧路にかけてタイムラグが数時間ずつ増加している. このように台風が太平洋のはるか沖を日本沿岸に沿いながら通過すると, 潮岬からアシカ島, あるいは八戸から釧路にかけてタイムラグが増加し, うねり性波浪が数時間の時間遅れを伴って各地の港湾に来襲する傾



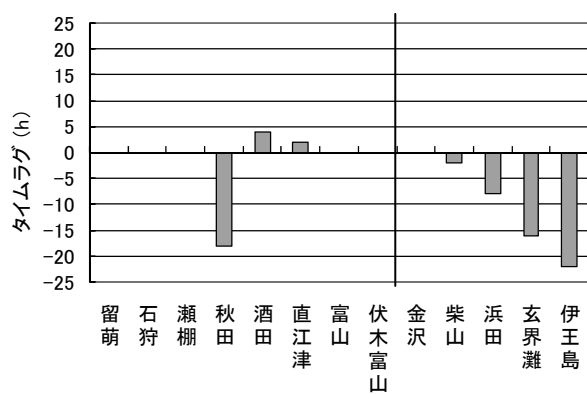
(a) T0415



(b) T0416



(c) T0418



(d) T0514

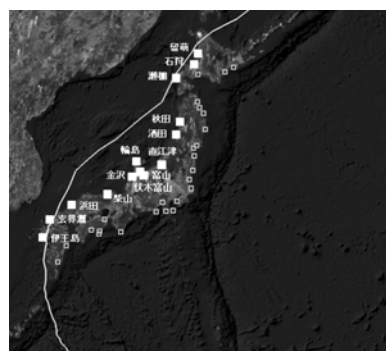
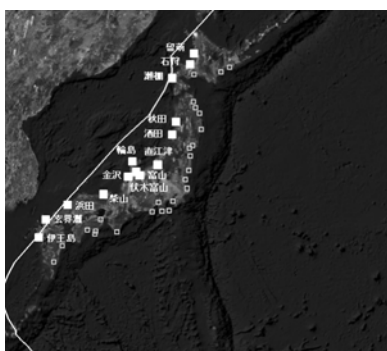
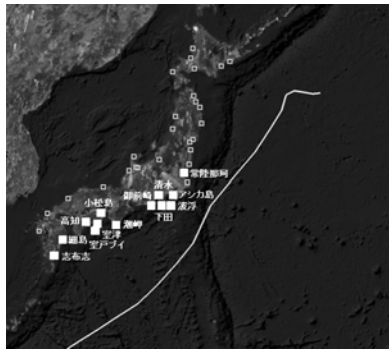
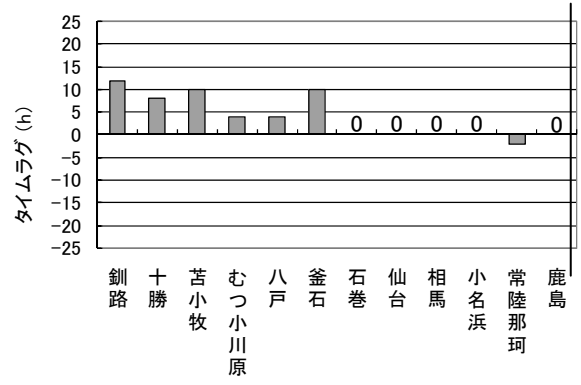
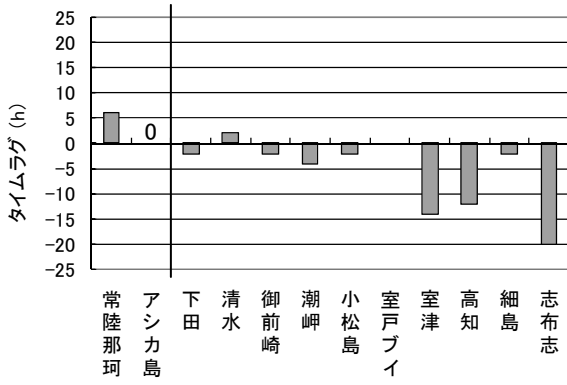
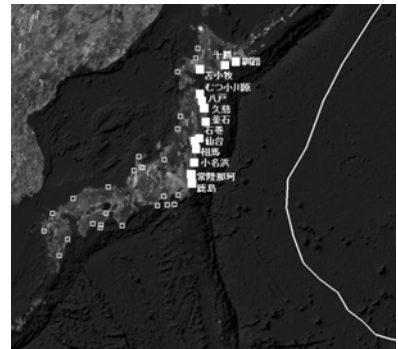


図-2 うねり性波浪来襲に関するタイムラグの空間分布と台風の中心経路図：ケース1  
(各図の上段：タイムラグの空間分布（基準観測地点：輪島），下段：台風の中心経路）

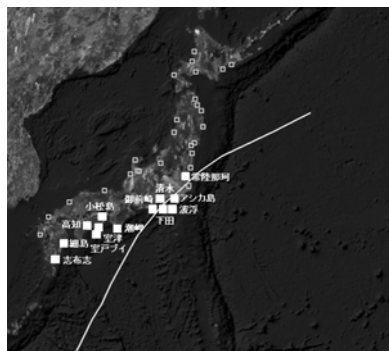
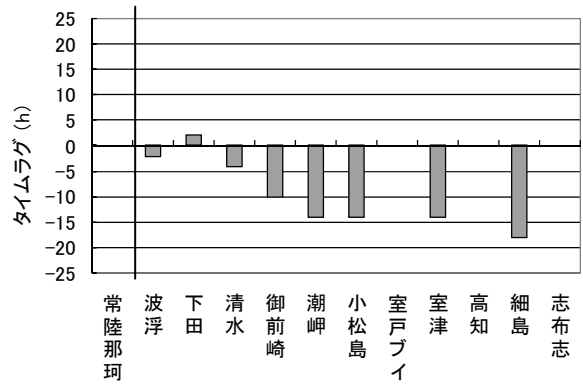
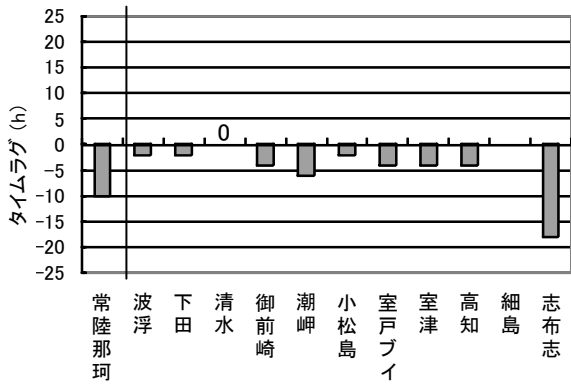


(a) T0402

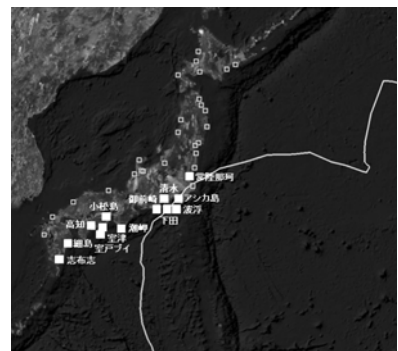


(b) T0612

図-3 うねり性波浪来襲に関するタイムラグの空間分布と台風の中心経路図：ケース 2  
(各図の上段：タイムラグの空間分布（基準観測地点：波浮），下段：台風の中心経路）



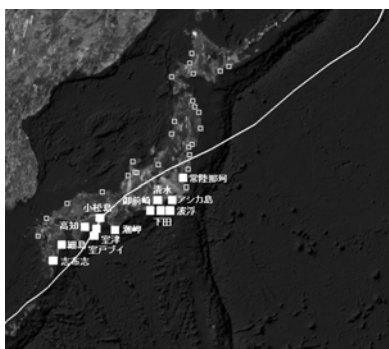
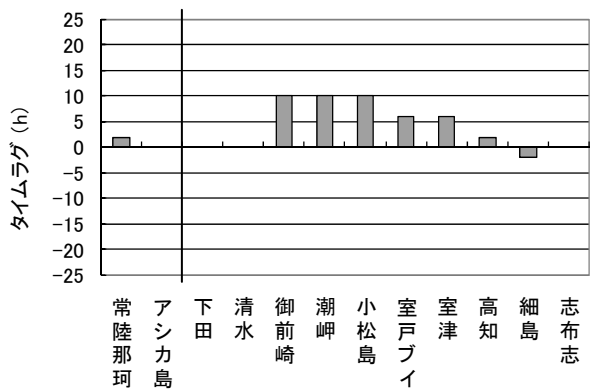
(a) T0422



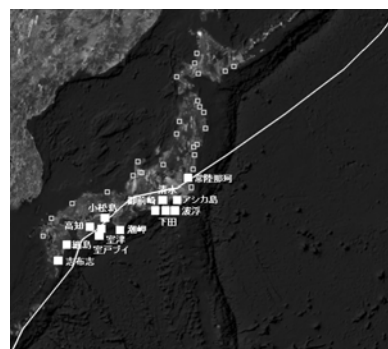
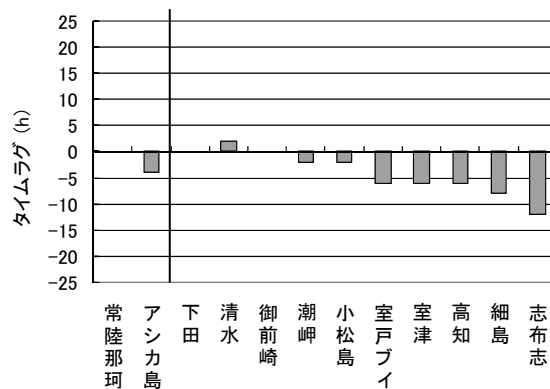
(b) T0511

図-4 うねり性波浪来襲に関するタイムラグの空間分布と台風の中心経路図：ケース 3  
(各図の上段：タイムラグの空間分布（基準観測地点：アシカ島），下段：台風の中心経路）

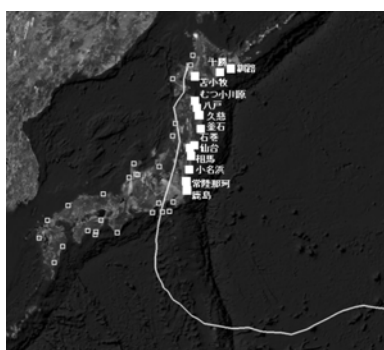
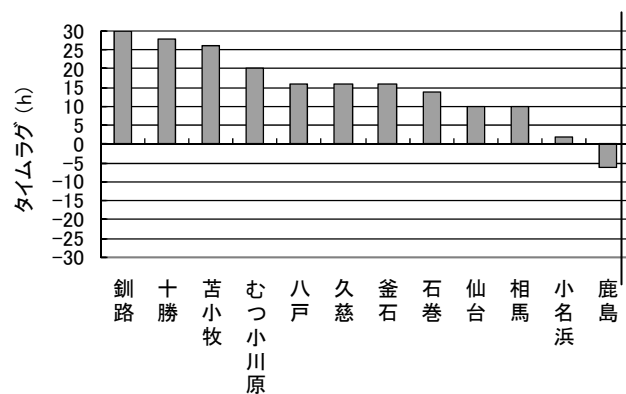




(a) T0404



(b) T0423



(c) T0709

図-5 うねり性波浪来襲に関するタイムラグの空間分布と台風の中心経路図：ケース4  
 (各図の上段：タイムラグの空間分布（基準観測地点：波浮または常陸那珂），下段：台風の中心経路）

向にあることがわかる。

(3) 台風が太平洋側の日本列島のごく近傍を通過する場合（ケース3）

図-4 よりわかるように、台風が太平洋側の日本列島のごく近傍を通過するケース3では、T0422、T0511の両台風について、台風の上陸地点（伊豆諸島）近傍の潮岬から静岡県の下田にかけて、基準観測地点であるアスカ島に対するタイムラグが数時間ずつ単調に増加している。一方、潮岬より以西の観測地点ではタイムラグが一定値をとり、T0511の方が10時間程度大きい値を示している。この理由は次のように推測される。すなわち、T0422は沖縄諸島の南方から上陸地点の伊豆諸島まで日本列島に沿いながら北上しているのに対し、T0511は東海地方のはるか南の海上から近畿地方に向けて北上し、その後進路を北東にかえ、上陸地点の伊豆諸島まで北上している。つまり、台風が日本へ向かうまでの経路によりうねり性波浪の各地への来襲距離が異なると考えられる。

(4) 台風が日本列島を縦横断する場合（ケース4）

図-5 よりわかるように、台風が日本列島を縦横断するケース4では、基準観測地点に対する観測地点のタイムラグの空間分布は各台風とも単調増加の傾向を示している。T0404では高知から静岡県御前崎、T0423では志布志から関東地方、T0709では福島県の小名浜から釧路にかけて基準観測地点に対するタイムラグが単調に増加している。このように、台風が日本列島を縦横断すると、台風の上陸経路にかかわらず、タイムラグの空間分布は単調に増加し、台風の進行とともにうねり性波浪が各地の港湾に来襲する傾向にあることがわかる。

### 3.3 解析手法の問題点

簡易解析において、各地の港湾に来襲するうねり性波浪の波高データに相互相関解析を適用することにより、うねり性波浪がどのくらいの時間差で各地の港湾に来襲する危険性があるのかを調べることが可能であることがわかった。しかしながら、相互相関係数およびタイムラグの算出において以下に示すような3つの問題が残されている。

1つ目はタイムラグのばらつきである。上記で示したタイムラグの空間分布をみると、台風によっては各観測地点間のタイムラグのばらつきの大きいケースが見られ（たとえば、ケース1のT0415の伏木富山（図-2（a））やT0514の秋田（図-2（d））、ケース2のT0402の細島（図-3（a））やT0612の釜石（図-3（b）））、うねり性

波浪の来襲特性の評価や来襲予測の精度が低下することが懸念される。

2つ目は基準観測地点の選定方法である。簡易解析では日本沿岸に対して基準観測地点を1つ設定し、その地点に対する各観測地点の相互相関係数からタイムラグを求めているため、タイムラグが大きくなるとされる観測地点（基準観測地点から遠方に位置する観測地点）では来襲するうねり性波浪の性質が変化している可能性がある。そのため両者の間で有意な相互相関関係を見出すことが難しく、タイムラグの算出精度が低下することが懸念される。

3つ目はNOWPHAS波浪観測の連続データと従来データに対するタイムラグの違いである。近年のNOWPHAS波浪観測のデータ取得方法の改良により、従来の2時間に1回の20分間水位観測から毎20分間の水位連続観測に移行しつつある。そのため、観測データの取得時間密度が及ばず算出精度に対する影響について検証を行った。

そこで、第4章ではこのような問題点に対する改良を踏まえた詳細解析について述べる。

## 4. うねり性波浪の来襲特性（詳細解析）

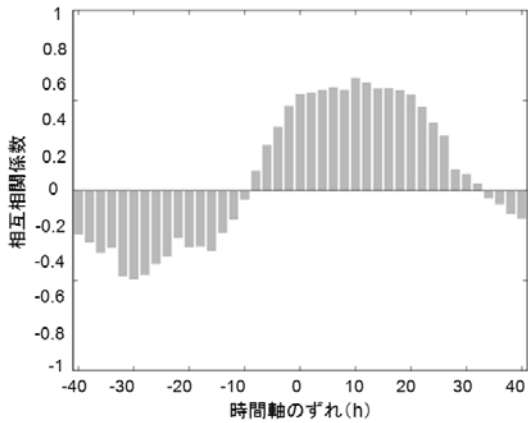
前節の簡易解析を適用することにより、台風の通過に伴ううねり性波浪の各港湾への来襲特性を把握することがある程度可能であることがわかった。しかしながら、うねり性波浪の来襲予測を行うためには、簡易解析によって生じたいくつかの問題点を改良した上でより詳細な解析が必要になる。そこで、本節では、問題点の改良およびそれを踏まえた詳細な解析によるうねり性波浪の来襲特性について調べる。

### 4.1 解析手法の改良

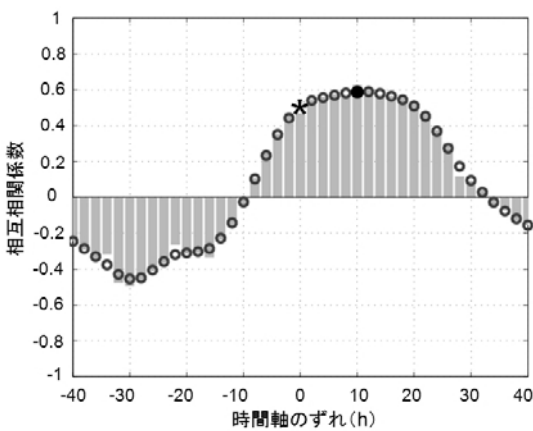
(1) タイムラグのばらつき

ばらつきのあるタイムラグの空間分布を詳細にみるため、相互相関解析の結果から得られる相互相関係数と時間軸のずれの関係に注目した。図-6に示すのは、T0612の釜石に対する相互相関解析の結果である。図中のバーは相互相関解析によって得られた時間軸のずれに対する相互相関係数を、○印は上記の相互相関係数の移動平均操作を行った結果を、●印は相互相関係数の最大値（タイムラグに相当する相互相関係数）を、\*印は後述する改良された方法により推定された、うねり性波浪来襲時刻の時間差に相当するタイムラグに対応する相互相関係数を表している。

図-6（a）よりわかるように、0～20h付近の相互相



(a) 改良前



(b) 改良後

図-6 時間軸のずれと相互相関係数の関係 (T0612の釜石の場合) (○: 移動平均操作後の各時間軸のずれに対する相互相関係数, ●: 改良前のタイムラグに対応する相互相関係数, \*: 改良後のタイムラグに対応する相互相関係数)

関係数は最大値付近ではほぼ一定であり、それらの中でわずかに大きな値が相互相関係数の最大値として検出されていることがわかる (図-6 (b) の●印)。この最大値の出現特性は必ずしも各観測地点で同様とは言えない。したがって、観測地点間で同じうねり性波浪の波形を捉えているという保証はない。そこで、新たな方法では、各観測地点におけるうねり性波浪の到達開始時刻に着目し、これらの時間差をタイムラグとして定義する。すなわち、相互相関係数の分布に対して移動平均操作を施して得られたうねり性波浪の継続時間等の性質や分布形状を考慮し、相互相関係数の変化を表す曲線の傾きが顕著に変化する時間軸のずれ (図-6 (b) の\*印) をタイムラグと再定義する。ここでは、便宜的に係数が増加する傾きが 0.01 以下となった時、うねり性波浪がその地点に

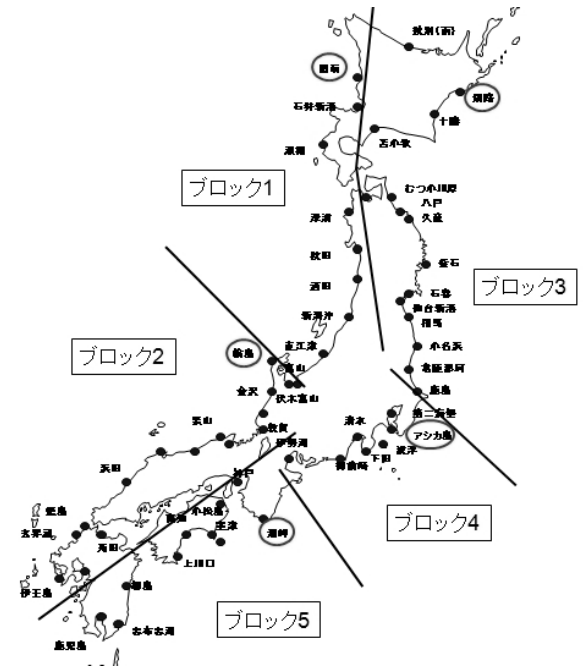
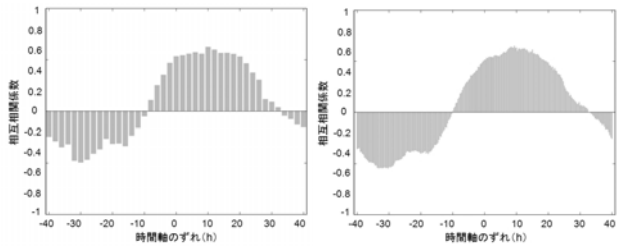


図-7 観測地点のブロック分け (○: 基準観測地点)

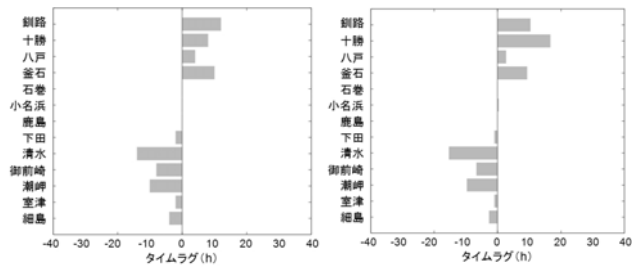
来襲したとみなすこととした。

## (2) 基準観測地点の選定方法

1 つの基準観測地点を日本列島沿岸のほぼ中央部にとり、それに対する各観測地点との相互相関をとると、北海道や九州地方の観測地点のような基準観測地点から遠方に位置する観測地点では来襲するうねり性波浪の性質が変化している可能性がある。そこで、このような問題を改善するため、タイムラグを算定する観測地点を5つのブロック (図-7) に分割した。また、各ブロックに対して各観測地点に対するうねり性波浪の来襲を容易に表現できるよう、各ブロックの基準観測地点はうねり性波浪の来襲時刻が最も遅くなると考えられる北よりまたは東よりの地点に設定した。ブロック分けは地形および簡易解析で得られたタイムラグの分布傾向をもとに行った。日本海沿岸では能登半島を境に地形が屈曲していることから留萌から伏木富山をブロック 1 (基準観測地点は留萌)、輪島から玄界灘をブロック 2 (基準観測地点は輪島) に、太平洋沿岸では房総半島を境に地形が屈曲していることから釧路から鹿島をブロック 3 (基準観測地点は釧路) に、さらに、簡易解析の結果得られた房総半島以西の観測地点におけるタイムラグの分布において、潮岬を境に分布傾向およびタイムラグの値に違いが見られたことから、アシカ島から御前崎をブロック 4 (基準観測地点はアシカ島)、潮岬から細島をブロック 5 (基準観測地



(a) 相互相関係数と時間軸のずれの関係（観測地点：釜石）



(b) タイムラグの空間分布

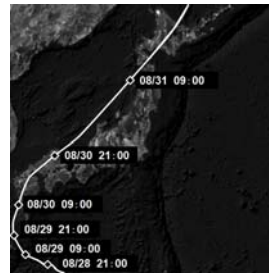
図-8 従来データと連続データの比較

(各図の左側：従来データ，右側：連続データ)

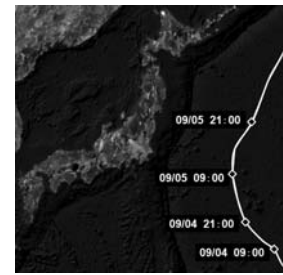
地点は潮岬)に設定した。

(3) 波浪観測データの取得時間密度の違いによるタイムラグの算出精度

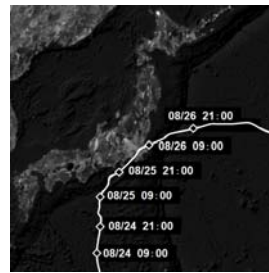
タイムラグは、相互相関解析で2つのうねり成分波高データに対する相互相関係数を求め、そのうち最も相関が高い時間差として算出される。このため、タイムラグの算出精度はうねり成分波高データの取得時間密度に依存することが想定される。一方、NOWPHAS 波浪観測では、2時間に1回の20分間観測より得られる周期帯別の有義波高（以下では、「従来データ」と表記する。）に加えて、近年の連続観測への移行により20分間毎に周期帯別の有義波高（以下では、「連続データ」と表記する。）を取得することが可能である。そこで、従来データと連続データによるタイムラグ算出精度の違いを検証するため、それぞれに対して相互相関解析を行った。図-8に示すのは、T0612に対する相互相関解析の結果得られた、相互相関係数と時間軸のずれの関係（観測地点：釜石）とタイムラグの空間分布である。図-8よりわかるように、従来データと連続データによる明確な違いは見られない。すなわち、本研究で扱ううねり性波浪来襲時刻の相互相関解析においては、従来データを使用しても連続データに十分匹敵するほどの精度を有していることがわかる。また、NOWPHAS 波浪観測の連続観測への移行は、全観測地点において完了しているわけではない。以上のことから、連続データとほぼ等価な精度を有し、全観測



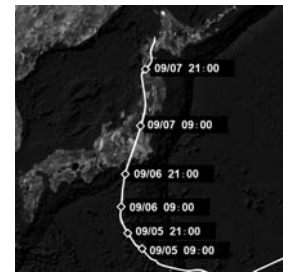
(a) ケース1：T0416



(b) ケース2：T0612



(c) ケース：T0511



(d) ケース4：T0709

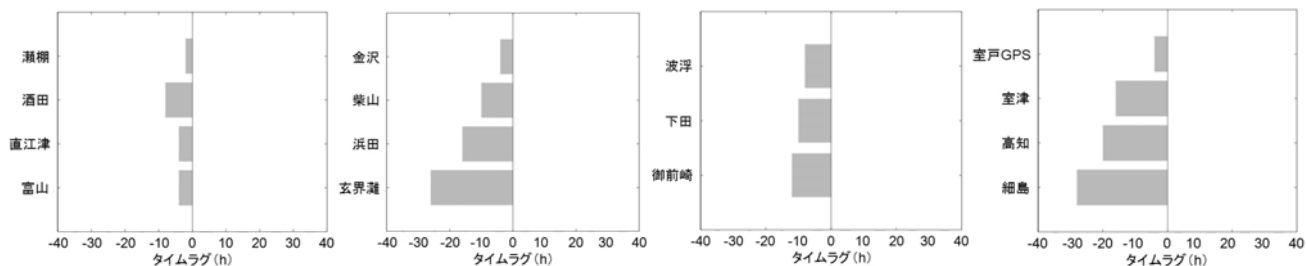
図-9 代表的な台風の中心経路

地点において観測されている従来データを用いて詳細解析を行うことにする。

4.2 うねり性波浪来襲時刻に関するタイムラグの空間分布

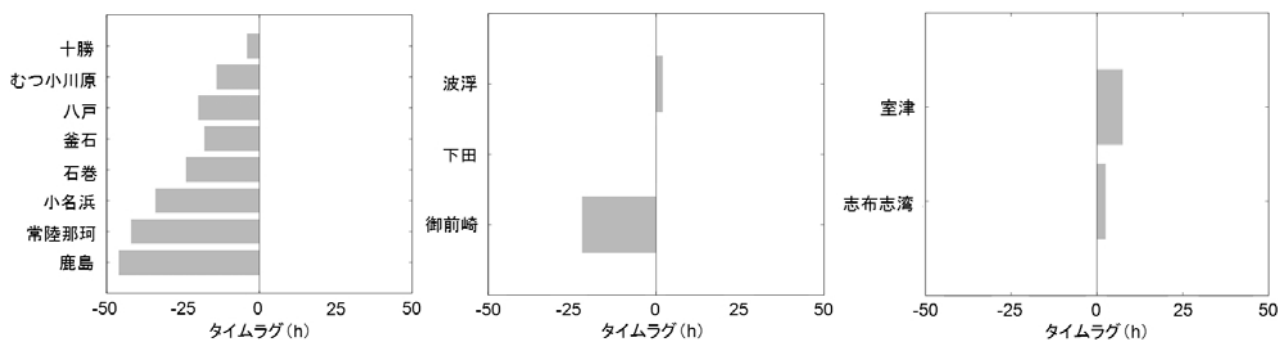
上記のように改良された解析方法に従い、台風経路別にうねり性波浪の来襲特性について詳細に調べた。ただし、詳細解析では、各ケースにおいて特徴的な台風1つを取り上げ、それらに対してうねり性波浪の来襲特性を調べた。ケース1では日本海を通過した台風の中でも最も勢力が強い台風（T0514：最大中心気圧が910hPa，最大瞬間風速が56.6m/s）を、ケース2およびケース4ではそれぞれ17s，14s程度の波周期の長いうねり性波浪の来襲により多大な被害をもたらした台風（T0612，T0709）を、ケース3では各観測地点のタイムラグの分布が比較的明瞭に示されている台風（T0511）を解析対象擾乱として取り上げた。図-9はこれらの台風の中心経路図である。図-10～図-13に示すのは、各台風に対して相互相関解析を行った結果得られた、ブロックごとの基準観測地点に対する観測地点のうねり性波浪来襲時刻に関するタイムラグの分布である。横軸はタイムラグ、縦軸は観測地点名であり、凡例の括弧内は基準観測地点である。

簡易解析結果を示した図-2～図-5と比較すると、詳細解析では、観測地点間のうねり性波浪来襲時刻に関するタイムラグを精度よく算出することが可能になり、うねり性波浪の発生波源を特定するまでには至らないが、



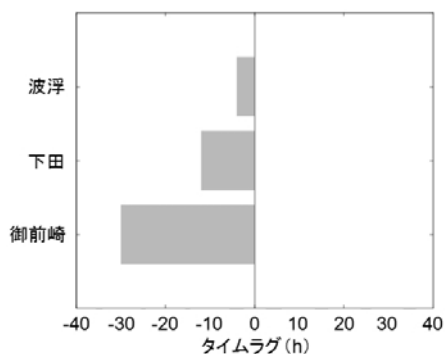
(a) ブロック 1 (留萌)      (b) ブロック 2 (輪島)      (c) ブロック 4 (アシカ島)      (d) ブロック 5 (潮岬)

図-10 タイムラグの空間分布 (ケース 1 : T0416) (括弧内は基準観測地点)



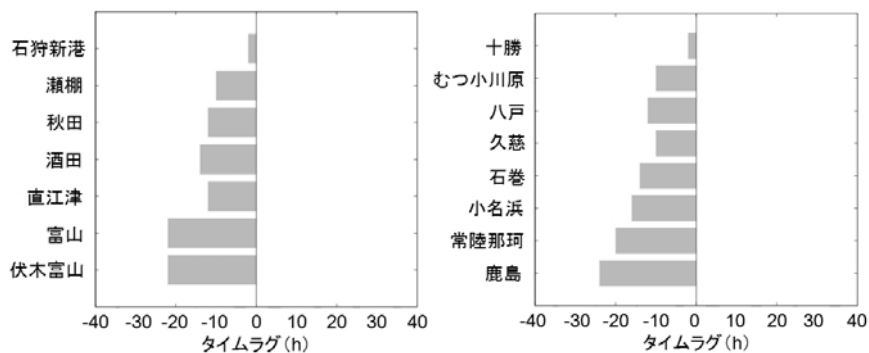
(a) ブロック 3 (釧路)      (b) ブロック 4 (アシカ島)      (c) ブロック 5 (潮岬)

図-11 タイムラグの空間分布 (ケース 2 : T0612) (括弧内は基準観測地点)



(a) ブロック 4 (アシカ島)

図-12 タイムラグの空間分布 (ケース 3 : T0511) (括弧内は基準観測地点)



(a) ブロック 1 (留萌)      (b) ブロック 3 (釧路)

図-13 タイムラグの空間分布 (ケース 4 : T0709) (括弧内は基準観測地点)

台風経路の違いに加え、地域ごとに来襲するうねり性波浪の特性を把握することが可能になった。以下では、各台風に対する詳細解析の結果を示す。

#### (1) 台風が日本海を通過する場合 (T0416)

台風が日本海を通過する T0416 についてみると、ブロック 1 では基準観測地点の留萌と各観測地点のうねり性波浪来襲時刻に関するタイムラグは、北海道の瀬棚で 2 時間、酒田で 8 時間、新潟県の直江津や富山で 4 時間であり、単調な増加傾向を示していない。これは台風が津軽海峡を北東方向に直進しているため、台風経路に最も近い酒田でうねり性波浪が観測され、その 4 時間後に直江津および富山で日本海を北東から南西に伝播したうねり性波浪を観測したのではないかと考えられる (図-10 (a))。

ブロック 2 では基準観測地点の輪島に対する玄界灘のうねり性波浪来襲時刻に 1 日以上タイムラグがあり、玄界灘から金沢にかけての各港湾において輪島に対するタイムラグが約 8 時間ずつ増加している (図-10 (b))。すなわち、玄界灘にうねり性波浪が来襲してからある一定 (約 8 時間) の時間遅れを伴って各地の港湾に次々にうねり性波浪が来襲している。

ブロック 4 では、御前崎から波浮にかけて、基準観測地点のアシカ島に対するタイムラグが 2 時間ずつ単調に増加している (図-10 (c))。また、ブロック 2 と比べると、タイムラグの変化率が小さくなっている。これは、台風経路と観測地点が離れており、観測地点間の距離が短いため、相対的に変化率が小さくなったと考えられる。

ブロック 5 では、基準観測地点の潮岬から細島にかけてタイムラグが 4~8 時間ずつ増加し、細島から潮岬の間で時間遅れを伴いながらうねり性波浪が来襲している (図-10 (d))。

#### (2) 台風が太平洋のはるか沖を通過する場合 (T0612)

台風が太平洋のはるか沖を通過する T0612 についてみると、ブロック 3 では基準観測地点の釧路に対するタイムラグが、北海道の十勝で 4 時間、石巻からむつ小川原に至る東北地方で半日~一日、鹿島から小名浜に至る北関東地方で一日半~二日であり、台風の通過に伴い、時間遅れを伴いながら各港湾にうねり性波浪が来襲していることがわかる (図-11 (a))。また、後述するように、T0612 のブロック 3 通過時の平均移動速度は 30km/h 以下と比較的ゆっくりであったため (後述する図-22 (a))、これにより北関東地方と北海道の間でタイムラグが一日半から二日ほどの値を示したと考えられる。

ブロック 4 では基準観測地点のアシカ島に対する波浮と下田のタイムラグが 2, 0 時間であり、アシカ島にうねり性波浪が来襲した 2 時間後に波浮に、少なくとも 2 時間以内に下田にうねり性波浪が来襲したものである (図-11 (b))。しかし、このケースでは、台風経路に近い観測地点から順にうねり性波浪が来襲するのではなく、アシカ島と下田で同時期にうねり性波浪が来襲しているため、アシカ島および波浮と下田に来襲したうねり性波浪は異なる海域で発生し、それが各地に来襲したと推察される。

ブロック 5 では、基準観測地点の潮岬に対するタイムラグは室津で 8 時間、志布志湾で 2 時間である。しかし、ブロック 4 と同様に、台風経路に近い観測地点から順にうねり性波浪が来襲すると仮定すると、室津に対して志布志湾のタイムラグが小さくなるとは考え難い (図-11 (c))。したがって、これらは発生波源を同じにするうねり性波浪が時間差を伴って来襲したのではなく、異なる海域において発生したうねり性波浪が異なる時間帯に各地の港湾に来襲したものと考えられる。

#### (3) 台風が太平洋側の日本列島のごく近傍を通過する場合 (T0511)

台風が太平洋側の日本列島のごく近傍を通過する T0511 についてみると、基準観測地点のアシカ島に対する波浮および下田のタイムラグが 6, 14 時間と単調に増加している (図-12 (a))。一方、御前崎のタイムラグは 30 時間であり、アシカ島と御前崎の位置関係および波浮や下田のタイムラグの分布から考えると、それは特異値を示していると思われる。図-14 に示すように、御前崎とアシカ島のうねり成分波高が検出されている期間 (8/30 の 12 時~9/8 の 12 時) はほとんど等しいが、うねり成分波高が卓越している期間が御前崎では 9/3~9/8、アシカ島では 9/4~9/8 と一日程度異なり、うねり成分波高の最大となる時刻や分布形状も異なる。このことが御前崎におけるタイムラグが特異値を示した原因であると考えられる。

#### (4) 台風が日本列島を縦横断する場合 (T0709)

台風が日本列島を縦横断する T0709 についてみると、ブロック 1 では基準観測地点の留萌に対するタイムラグは、瀬棚から酒田にかけて 2 時間ずつ増加し、10~14 時間であり、時間差を伴って順々に各地にうねり性波浪が来襲している (図-13 (a))。また、富山と伏木富山では、これらの地点間の距離が非常に短く、タイムラグが同じ値を示している。タイムラグの最小解像度が 2 時間であ

るため、うねり性波浪が同時に来襲したか、あるいは少なくとも2時間以内の時間差をもって来襲したと考えられる。

ブロック3では太平洋のはるか沖を通過したT0612のブロック3におけるタイムラグの分布と比べると、全体的にタイムラグの値は小さいが、類似した分布形状をしている(図-13(b))。また、基準観測地点の釧路に対するタイムラグは十勝で2時間であり、台風とほぼ同時期にうねり性波浪が来襲している。一方、岩手県の久慈から青森県のむつ小川原にかけてタイムラグは12時間前後であり、釧路にうねり性波浪が来襲する約半日前に来襲している。鹿島から石巻にかけての各港湾では約4時間の時間遅れを伴い、鹿島にうねり性波浪が来襲してから一日後に北海道にうねり性波浪が来襲している。

## 5. うねり性波浪の来襲と台風の関係

近年の港湾被害の傾向として、台風の通過に伴って発生するうねり性波浪によるものが増えており、NOWPHASでその様子を観測した例もある(たとえば、加島ら, 2008)。そこで、このような被害を軽減するための一つの手段として、観測データを活用してうねり性波浪をもたらす台風の来襲パターンを知っておくことが有効であると考えられる。また、来襲予測の実務への反映を考えると、「台風の経路、位置、速度等から考えて、どの港湾、どの地域にどのようにうねり性波浪が来襲するのか」というある程度の経験則を整理しておくことが非常に重要になる。そこで、本節ではブロック化された地域ごとに、うねり性波浪来襲時の台風とうねり性波浪の関係について考察した。以下の整理では、台風特性として、うねり性波浪の来襲と深くかかわると思われる、観測地点とうねり性波浪来襲時における台風の中心の位置関係や台風の移動速度、台風の規模(風場の規模)を取り上げた。

図-15～図-18は基準観測地点に対する観測地点のタイムラグにより求められたうねり性波浪来襲時刻における台風の中心位置と各観測地点の位置関係を図化したものである。凡例の括弧内は基準観測地点、■印は観測地点、●印はうねり性波浪来襲時における台風の中心位置、実線は台風の中心経路である。また、各印の色分けは同じ時刻を表している。なお、台風と観測地点の位置関係を表現する際に「通過」という言葉を用いるが、一般に日本に接近する台風は南から北へ移動するため、観測地点の緯度に対して台風の中心の緯度が高い場合を「通過後」、低い場合を「通過前」と表現することにする。

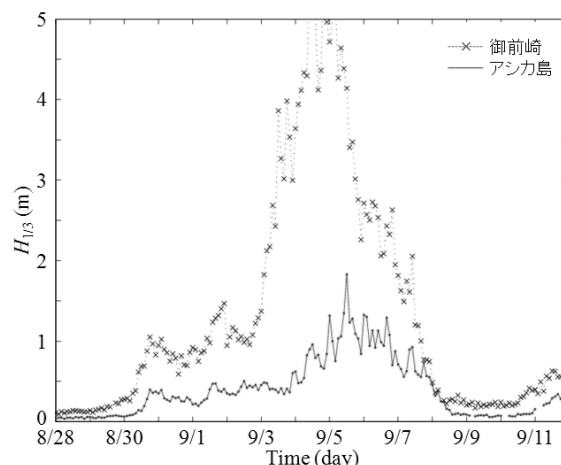
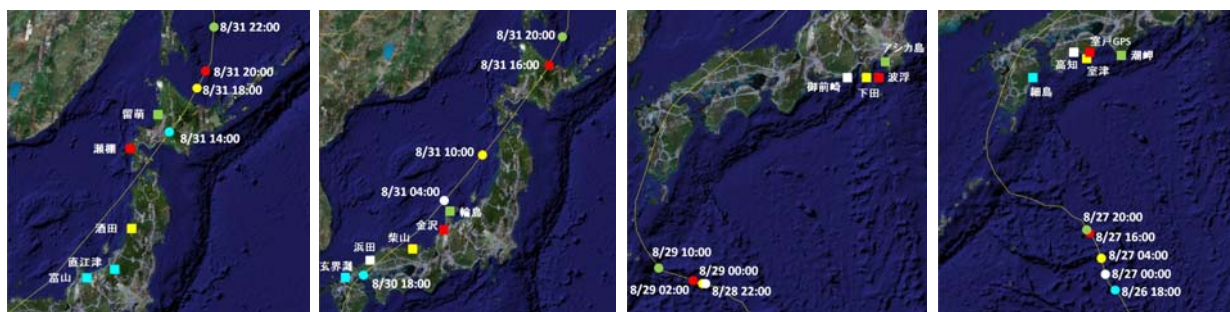


図-14 T0511に対する御前崎とアシカ島のうねり成分波高データの比較

図-19～図-22に示すのは、各観測地点に対するうねり性波浪の来襲時における台風の平均移動速度( $U$ )である。横軸は台風の平均移動速度を算出した観測地点区間、縦軸はその区間に対応する台風の平均移動速度である。一般に平均移動速度は、ある距離をその距離を移動するのに要した時間で除した値を意味する。本解析では、うねり性波浪来襲時刻における台風特性とうねり性波浪の来襲の関係を調べているため、台風的位置に対応する各観測地点間のタイムラグを用いて台風の平均移動速度を求めた。すなわち、台風の平均移動速度は各観測地点におけるうねり性波浪来襲時の台風の距離を相互相関解析で算出されたタイムラグで除して求めている。なお、ここで求められる台風の平均移動速度は、気象庁などで報告されているものとほぼ等価とみなしても差支えない。

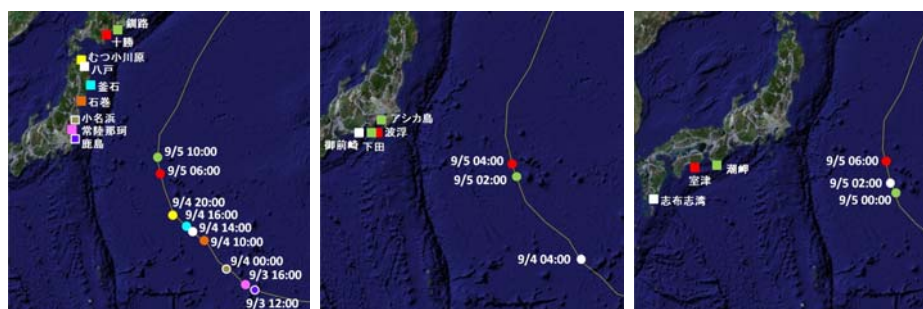
図-23～図-26は各地の港湾に対するうねり性波浪来襲時における台風の中心と観測地点の距離( $D$ )および暴風域と強風域の規模の関係を表したものである。暴風域および強風域は最大風速がそれぞれ25m/s、15m/s以上の領域を表している。一般的に台風の中心と風場(暴風域あるいは強風域)の中心がずれる傾向にあるため、風場の規模は図-27に示すようなその最大半径と最小半径を用いて表現される。本研究では、簡略化のため暴風域および強風域の規模を両半径の平均値(以下、暴風半径および強風半径と表記する。)を用いて表現する。なお、バーのない箇所は、暴風域および強風域の台風の規模に関するデータが欠損し、平均半径が算出できない箇所である。以下では、これらの図を用いて台風の経路パターンおよびブロックごととうねり性波浪の来襲と台風の関係について述べる。



(a) ブロック 1 (留萌) (b) ブロック 2 (輪島) (c) ブロック 4 (アシカ島) (d) ブロック 5 (潮岬)

図-15 うねり性波浪来襲時刻における台風の中心位置と観測地点の位置関係 (ケース 1 : T0416)

(■ : 観測地点, ● : うねり性波浪来襲時刻における台風の中心位置, 実線 : 台風の中心経路, 括弧内は基準観測地点)



(a) ブロック 3 (釧路) (b) ブロック 4 (アシカ島) (c) ブロック 5 (潮岬)

図-16 うねり性波浪来襲時刻における台風の中心位置と観測地点の位置関係 (ケース 2 : T0612)

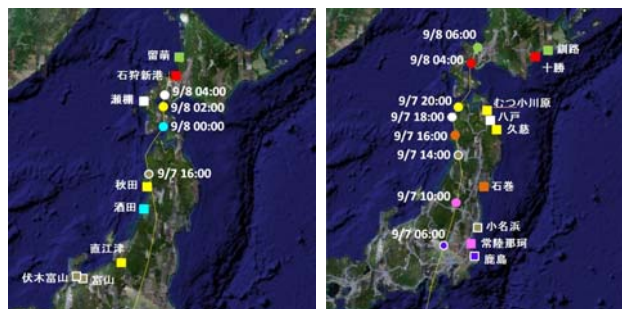
(■ : 観測地点, ● : うねり性波浪来襲時刻における台風の中心位置, 実線 : 台風の中心経路, 括弧内は基準観測地点)



(a) ブロック 4 (アシカ島)

図-17 うねり性波浪来襲時刻における台風の中心位置と観測地点の位置関係 (ケース 3 : T0511)

(■ : 観測地点, ● : うねり性波浪来襲時刻における台風の中心位置, 実線 : 台風の中心経路, 括弧内は基準観測地点)

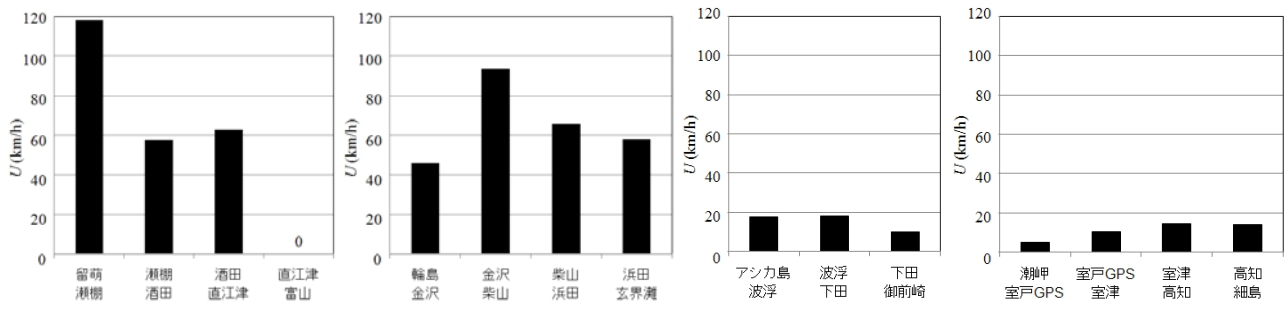


(a) ブロック 1 (留萌) (b) ブロック 3 (釧路)

図-18 うねり性波浪来襲時刻における台風の中心位置と観測地点の位置関係 (ケース 4 : T0709)

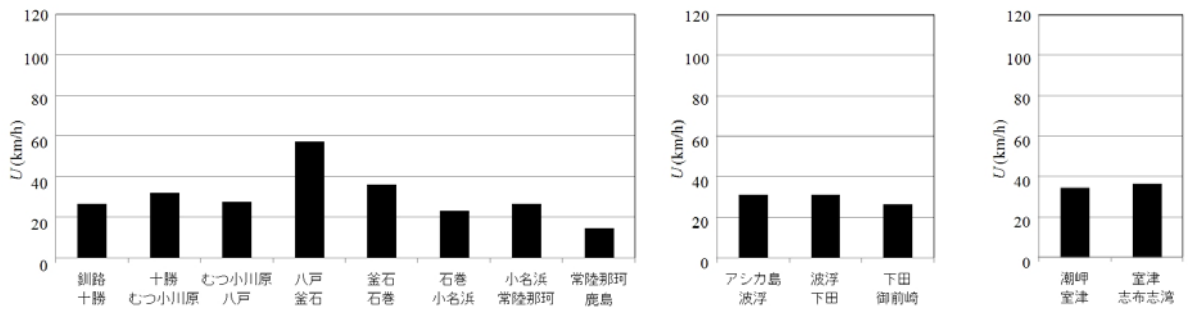
(■ : 観測地点, ● : うねり性波浪来襲時刻における台風の中心位置, 実線 : 台風の中心経路, 括弧内は基準観測地点)





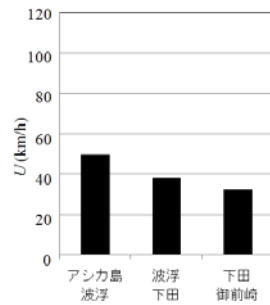
(a) ブロック 1 (留萌) (b) ブロック 2 (輪島) (c) ブロック 4 (アシカ島) (d) ブロック 5 (潮岬)

図-19 うねり性波浪来襲時刻における台風の平均移動速度分布 (ケース 1 : T0416) (括弧内は基準観測地点)



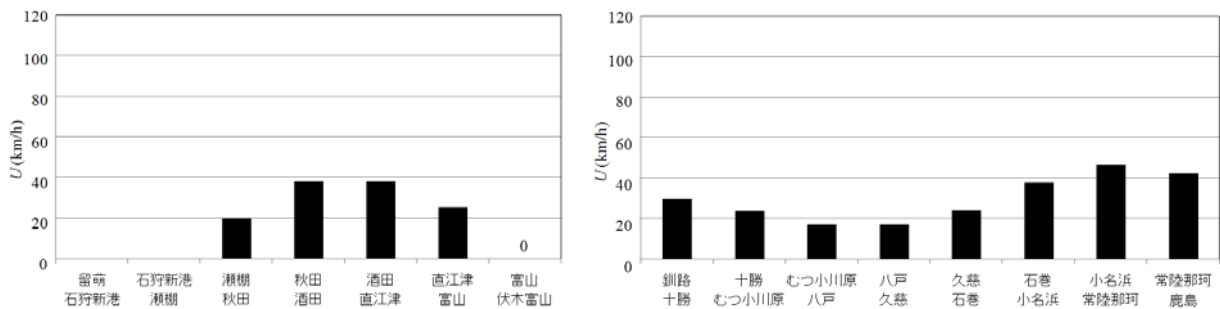
(a) ブロック 3 (釧路) (b) ブロック 4 (アシカ島) (c) ブロック 5 (潮岬)

図-20 うねり性波浪来襲時刻における台風の平均移動速度分布 (ケース 2 : T0612) (括弧内は基準観測地点)



(a) ブロック 4 (アシカ島)

図-21 うねり性波浪来襲時刻における台風の平均移動速度分布 (ケース 3 : T0511) (括弧内は基準観測地点)



(a) ブロック 1 (留萌) (b) ブロック 3 (釧路)

図-22 うねり性波浪来襲時刻における台風の平均移動速度分布 (ケース 4 : T0709) (括弧内は基準観測地点)

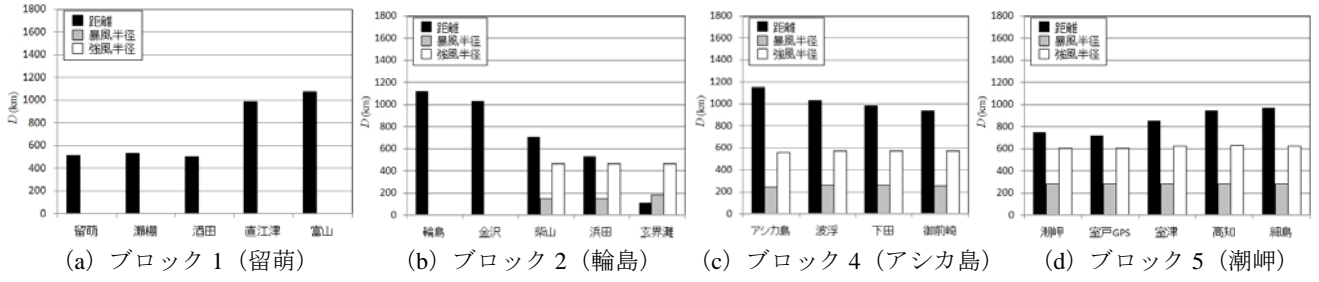


図-23 うねり性波浪来襲時刻における台風と各港湾との距離と台風規模の関係  
(ケース 1 : T0416) (括弧内は基準観測地点)

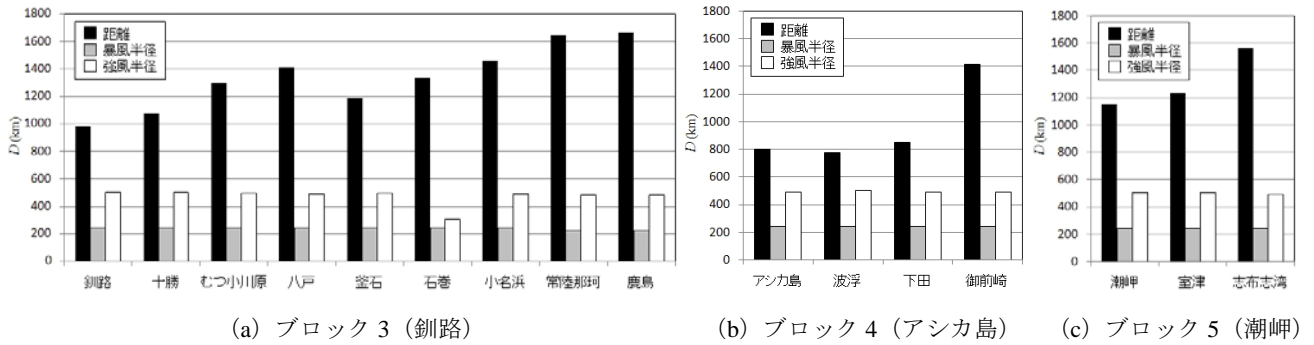


図-24 うねり性波浪来襲時刻における台風と各港湾との距離と台風規模の関係  
(ケース 2 : T0612) (括弧内は基準観測地点)

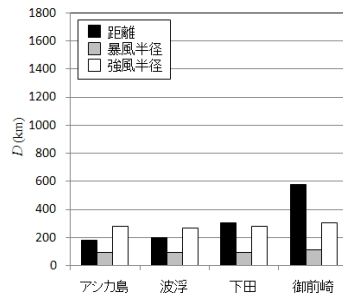


図-25 うねり性波浪来襲時刻における台風と各港湾との距離と台風規模の関係  
(ケース 3 : T0511) (括弧内は基準観測地点)

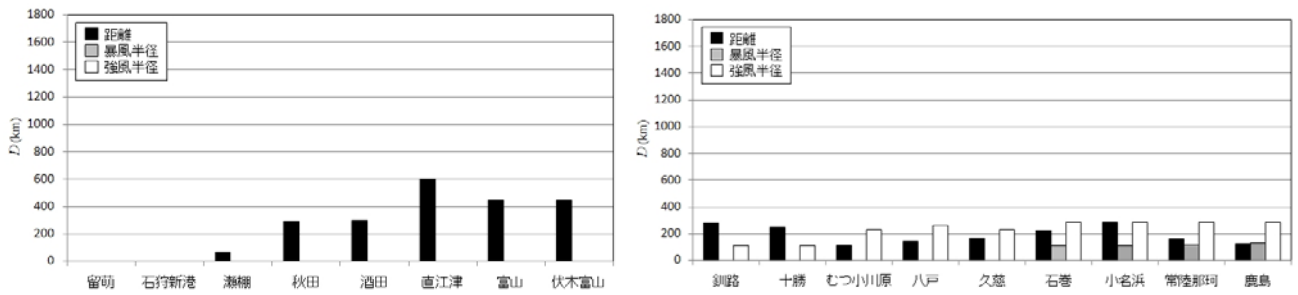


図-26 うねり性波浪来襲時刻における台風と各港湾との距離と台風規模の関係  
(ケース 4 : T0709) (括弧内は基準観測地点)

(1) 台風が日本海を通過する場合 (T0416)

台風が日本海を通過する T0416 についてみると、ブロック 1 では全観測地点においてうねり性波浪来襲時における台風の中心の緯度が観測地点の緯度に対して高緯度に位置していることから、台風が各地の港湾を通過した後うねり性波浪が来襲していることがわかる (図-15 (a)). 一般に、日本海上を通過する台風は偏西風の影響を受けやすいため、図-19 (c), (d) よりわかるように太平洋上を通過する台風と比べてその移動速度は比較的速度く、瀬棚-直江津間で 60km/h, 留萌-瀬棚間で 120km/h と非常に速い速度で移動している (図-19 (a)). このような台風の状態に加えて台風の風向が反時計回りをしていることから、これらの地域では、台風通過後の強風域あるいは暴風域内の北よりの風によって発生するうねり性波浪が来襲していると考えられる. このようなことは 2008 年 2 月 24 日に伏木富山港に来襲した寄り回り波の来襲過程と類似する.

ブロック 2 では、うねり性波浪来襲時の台風と観測地点の緯度の関係から、台風の通過後にうねり性波浪が来襲していることがわかる (図-15 (b)). また、この台風は、九州北西部を回り込むまで 20km/h 以下の速度で移動し (図-19 (c), (d)), その後日本海上を 60km/h 以上の速度で北上している (図-19 (b)). 台風が進路を変える九州北西部の玄界灘は、うねり性波浪が来襲した時に台風の暴風域内に存在しており、発達した風場が形成されている (図-23 (b)). これらのことから、ブロック 1 のように、台風通過後の風場によって発生したうねり性波浪が時間差をもって各地の港湾に来襲したと考えるよりも、台風の移動速度の遅く、風場が発達しやすい九州北西部においてうねり性波浪が発生し、それがあある時間差をもって日本海沿岸の各地の港湾に来襲したと考えることができる. そこで九州北西部 (玄界灘沖) で発生したうねり性波浪がどれくらいの時間差をもって各地の港湾に来襲するのか、つまりうねり性波浪の伝播時間を求め、その結果を相互相関解析によって得られたタイムラグと比較することにより上記の推測の検証を行った. うねり性波浪は同じ海域で発生し、深海域を同じ群速度で伝播すると仮定すると、検証の結果、数時間の誤差はあるものの定性的にうねり性波浪の各地の港湾への伝播時間とタイムラグの分布傾向が一致することを確認している. ただし、この検証ではうねり性波浪の発生波源を特定できないため、便宜上玄界灘にうねり性波浪が来襲した時の台風の中心位置においてうねり性波浪が発生したものと考えたため、本来の発生波源と検証で用いた発生波源のずれの影響が上記の誤差に現れたと考えられる.

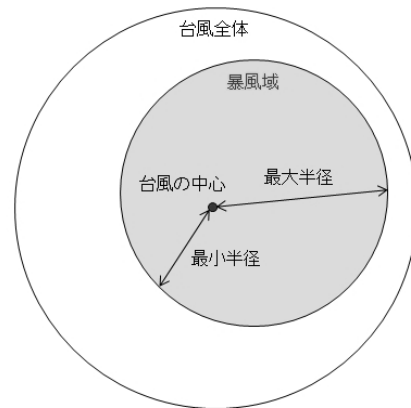


図-27 最大半径と最小半径の模式図 (暴風域の場合)

つまり、九州北西部で台風の移動速度が変化し、その後速い速度を維持したまま日本海を通過すると、九州北西部の沖合で発生したうねり性波浪が時間差をもって各地の港湾に来襲する危険性が高いことがわかった.

一方、ブロック 4, 5 では、台風が日本海に到達する以前の太平洋に位置している時にうねり性波浪が各地の港湾に来襲している. また、台風の移動速度は 20km/h 以下と遅い (図-19 (c), (d)). ブロック 2 と同様に、うねり性波浪の伝播時間とタイムラグの関係を調べたところ、両者に対応関係がみられなかった. 一般に、太平洋は日本海より開放的で台風の規模の違いにより様々な方向から様々な周期をもった波浪が来襲する可能性が高い. 対象とした台風の暴風半径が 200km 以上、強風半径が 600km 以上であり (図-23 (b), (c)), 台風の勢力が大きかったことが両者の関係に対応がつかなかった原因の一つとして考えられる. このように、ブロック 4, 5 に位置する各港湾では太平洋上のある特定の海域で発生したうねり性波浪が時間差をもって各地の港湾に来襲するのではなく、台風の進行とともに次々にうねり性波浪が発生し、それらが時間差をもって来襲するのではないかと考えられる.

(2) 台風が太平洋のはるか沖を通過する場合 (T0612)

台風が太平洋のはるか沖を通過する T0612 についてみると、ブロック 3 では全観測地点においてうねり性波浪来襲時における台風の中心の緯度が観測地点の緯度に対して低度に位置していることから、台風が各地の港湾を通過する前にうねり性波浪が来襲していることがわかる (図-16 (a)). この場合、うねり性波浪が台風の移動に先行して来襲しているといえる. たとえば、波周期が 15s

のうねり性波浪の波速は約 84km/h であり、深海域を群速度で伝播するとその速度は約 42km/h となる。これと、図-20 (a) から、うねり性波浪の伝播速度が台風の移動速度より速くなっていることが確認できる。また、図-24 (a) よりわかるように、これらの地域はうねり性波浪が来襲したときに強風域から 500~1000km 以上離れているため、台風の風場を抜けて伝播したうねり性波浪が到達しやすい条件であったと思われる。

一方、ケース 1 と同様にうねり性波浪の伝播時間とタイムラグの関係を調べたところ、太平洋のある海域で発生したうねり性波浪が時間遅れを伴って各地の港湾に来襲している様子は両者において確認されたが、その傾向が大きく異なっていることが確認された。つまり、ケース 2 では、台風の進行とともに次々にうねり性波浪が発生し、それらが時間差をもって各地の港湾に来襲していることがわかった。

同様に、ブロック 4 および 5 では、台風の移動速度(図-20 (b), (c)) や台風の風場の規模(図-24 (b), (c)) はブロック 3 を台風が通過する場合とほとんど等しく、伝播時間とタイムラグの関係も同様の結果を示した。このように、台風が太平洋のはるか沖を通過すると、太平洋側の各港湾では、うねり性波浪は台風の移動に先行し、台風の通過前に各地の港湾に来襲する、または台風の進行とともに次々にうねり性波浪が発生し、それらが時間遅れを伴って各地の港湾に来襲する危険性が高いことがわかった。

### (3) 台風が太平洋側の日本列島のごく近傍を通過する場合 (T0511)

台風が太平洋側の日本列島のごく近傍を通過する T0511 についてみると、台風の上陸地点(伊豆諸島)近傍のブロック 4 では、台風と観測地点の緯度の関係から台風の通過前にうねり性波浪が各地の港湾に来襲していることがわかる(図-17 (a))。また図-25 (a) よりわかるように、うねり性波浪が来襲した時にこれらの地域はほぼ強風域内に存在しており、うねり性波浪が台風の通過前に来襲するものの、その時期は各地の港湾に台風の強風域がさしかかる時期(通過の直前)であることがわかる。また、このケースについてもうねり性波浪の伝播時間とタイムラグの関係を調べたところ、台風の進行とともに次々にうねり性波浪が発生していることがわかった。台風の強風域が各地の港湾にさしかかる時期にうねり性波浪が来襲してくることを考えると、強風域内で次々に発生したうねり性波浪が時間差をもって各地の港湾に来襲したと考えられる。このように、台風が太平洋

側の日本列島のごく近傍を通過し、上陸すると、その上陸地点近傍の地域では台風の強風域がこれらの地域にさしかかる時期にうねり性波浪が来襲する危険性が高いことがわかった。

### (4) 台風が日本列島を縦横断する場合 (T0709)

台風が日本列島を縦横断する T0709 についてみると、ブロック 1 では台風と観測地点の緯度の関係より、台風の通過後に各地の港湾にうねり性波浪が来襲していることがわかる(図-18 (a))。しかしながら、台風が日本列島上を通過しているため、洋上を伝播したうねり性波浪が来襲したとは考え難い。つまり、この場合には、台風通過後の北よりの風により、日本海で発生した高波浪中のうねり成分が、日本海沿岸の各地の港湾において観測されたものと考えられる。

一方、ブロック 3 では台風を中心の緯度が観測地点の緯度とほぼ等しくなっていることから、台風が観測地点を通過中に各地の港湾で風波とともにうねり性波浪が来襲していることがわかる(図-18 (b))。しかし、図-26

(b) よりわかるように、うねり性波浪が来襲したときに観測地点が台風の強風域内に存在しており、ブロック 1 と同様に、うねり性波浪が洋上を伝播して来襲したのではなく、風速 15m/s 以上の風により太平洋で発生した高波浪中のうねり成分が、太平洋沿岸の各地の港湾において観測されたものと考えられる。このように、台風が日本列島を縦横断すると、台風経路の東側の地域では台風の進行とともに強風域内の風により高波浪中のうねり成分が来襲し、西側の地域では台風通過後に発生する北よりの風によりうねり成分が来襲する危険性が高いことがわかった。

## 6. あとがき

本研究では、近年のうねり性波浪の来襲頻度増加や被災増大に対応できるように、台風の通過時に NOWPHAS で波浪観測された波周期 10~30s のうねり性波浪に着目し、うねり性波浪とこれらの来襲時における台風との関係について解析的検討を行い、今まで経験的に把握されていたうねり性波浪の来襲特性を定量的に確認するとともに、台風とうねり性波浪来襲の関係からうねり性波浪の来襲予測を試みた。以下に、得られた結果を述べる。

- 日本海側の地域では、台風が偏西風の影響を受けてその移動速度が速くなる時、台風の通過後に各地の港湾にうねり性波浪が来襲する危険性が高い。
- 九州北西部で台風の移動速度が変化し、その後速い

速度を維持したまま日本海を通過すると、九州北西部の沖合で発生したうねり性波浪が、台風通過後にある時間差をもって日本海沿岸の各地の港湾に來襲する危険性が高い。

- 一方、太平洋側の地域では、台風の移動速度が20km/h以下と非常に遅い時、うねり性波浪は台風の移動に先行し、台風の通過前に各地の港湾に來襲する危険性が高い。
- 台風が日本列島を縦横断すると、日本海側の地域では、台風通過後の北よりの風により、高波浪中のうねり成分が各地の港湾に來襲する危険性が高く、太平洋側の地域では、台風の進行とともに強風域内で発達した高波浪中のうねり成分が來襲する危険性が高い。
- 台風が太平洋のはるか沖を通過すると、台風の進行とともに次々にうねり性波浪が発生し、それらが時間遅れを伴って各地の港湾に來襲する危険性が高い。

以上の結果より、NOWPHAS 波浪観測で得られる波高データから台風の通過に伴ううねり性波浪の來襲をある程度予測可能であり、現場レベルで経験的に把握されていたうねり性波浪の來襲特性が観測データから定量的に確認された。すなわち、各ブロックの波浪観測地点のうち台風経路に最も近い地点でうねり性波浪が観測されると、台風の規模や移動速度、その後の進路等により予想されるうねり性波浪の來襲パターンにあてはめることにより、各港湾におけるうねり性波浪の來襲時刻等をある程度予測することができる。ただし、これらのごく限られた台風経路とそれに伴ううねり性波浪の観測記録をもとに推定した結果であり、より精度を高めるためには、さらに数多くの観測記録を対象とした考察が必要なことは言うまでもない。

今後は、上記の考察に加え、本研究では扱っていなかったうねり性波浪の発生波源や來襲過程、伝播時間等の推定が可能な手法を合わせて構築し、それらを基に、來襲する個々のうねり性波浪の伝播過程を捉えていきたいと考えている。

## 参考文献

- 加島寛章・平山克也・峯村浩治・平石哲也 (2008) : 全国波浪観測データを活用したうねり性波浪の伝播特性について, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.171-175.
- 清水勝義・佐々木誠・永井紀彦 (2007a) : 2006年の台風等による高波の観測結果 (NOWPHAS 2006 特別号), 港空研資料No.1160, 42p.
- 清水勝義・佐々木誠・永井紀彦 (2007b) : 全国港湾海洋

- 波浪観測年報(NOWPHAS 2005), 港空研資料, No.1161, 92p. (波浪観測年報は, 1970 年版以降毎年刊行)
- 清水勝義・佐々木誠・永井紀彦 (2008) : 全国港湾海洋波浪観測年報 (NOWPHAS2006), 港空研資料, No.1172, 93p.
- 永井紀彦・里見 茂 (2005) : 2004 年台風による高波の観測結果 (NOWPHAS2004 特別号), 港空研資料 No.1100, 65p.
- 永井紀彦・里見 茂 (2006) : 全国港湾海洋波浪観測年報 (NOWPHAS2004), 港空研資料, No.1118, 15p.
- 平石哲也・平山克也・加島寛章・春尾和人・宮里一郎 (2008) : 偶発波浪荷重による被害例とその特性, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.981-985.
- 平山克也・南 靖彦・奥野光洋・峯村浩治・河合弘泰・平石哲也 (2005) : 2004年に來襲した台風による波浪災害事例, 港湾技術資料, No.1101, 148p.
- 山口正隆・畑田佳男・小淵恵一郎・早川 淳 (1987) : 台風に伴ううねりの発生条件に関する一考察. 海岸工学論文集, 第34巻, pp.162-166.
- Hiraishi, T., K. Haruo, K. Hirayama and K. Tanaka (2008) : Application of new wave transformation model to harbor design, Submission to 2<sup>nd</sup> International Symposium on Shallow Flows (印刷中)

## 記号表

$C_{xy}(m)$	: $x, y$ に対する共分散
$C_{xy}^{nom}(m)$	: $x, y$ に対する相互相関係数
$D$	: うねり性波浪來襲時刻における台風の中心位置と観測地点の距離 (km)
$H_s$	: うねり成分波高 (m)
$H_{T1}$	: 周期帯 $T1=10.7\sim 14.2s$ の成分波高 (m)
$H_{T2}$	: 周期帯 $T2=16.0\sim 25.6s$ の成分波高 (m)
$m$	: 時間軸のずれ
$N$	: 解析対象範囲の全データ数
$t$	: 時間 (h)
$U$	: 台風の平均移動速度 (km/h)
$x$	: 観測地点1のうねり成分波高データ
$x_m$	: $x$ の平均値
$y$	: 観測地点2のうねり成分波高データ
$y_m$	: $y$ の平均値
$\sigma_x$	: $x$ の標準偏差
$\sigma_y$	: $y$ の標準偏差