

## 報 告

### 「航行に危険な荒れた海域情報」の波浪予想図への追加

高野 洋雄\*・山根 彩子\*\*

#### 要 旨

平成 29 年 3 月 7 日から、突然の大波等が発生しやすい「航行に危険な荒れた海域」の情報を波浪予想図に追加した。波高の大小は海上における危険性を表す第一の指標であるが、複雑又は急激に変化する海面もまた船舶の航行に支障をきたすことから、今般、これらの状況を評価する手法を開発し、このような荒れた海域を波浪図に示した。

波浪の成分を算出する手法、海面状況の評価に関する開発等と、白黒の気象無線模写通報（JMH 無線 FAX）でも十分視認できるプロダクト内容の検討を進め、更に、利用者である大手船会社や漁業関係者からプロダクトに関する意見をもらいつつ、最終的にプロダクトの表示内容を確定した。

本稿では、プロダクトの意図とその内容、評価結果等について紹介する。

#### 1. はじめに

波浪の情報は、船舶の航行や漁業等の海上作業における安全確保等にとって重要なものであり、気象庁は、気象無線模写通報（以下「JMH 無線 FAX」と言う）により、第 1 表のような各種波浪図の提供を行っている。波浪図で用いられる波高は「有義波高」のことである。通常、海面の波は様々に変化し、一定とは言い難いが、このような複雑な状況を単一の値で代表したものが有義波である。有義波は、1 点においてある時間内に観測した多数の波のうち、波高の高い方から上位 1/3 個までの波について波高・周期を平均したもので定義される（Sverdrup and Munk, 1947）。一定ではない複雑な波の状況を単一の値で表現でき、波浪

の平均的な状況変化を表すのに大変便利である。

一方で有義波は統計的な値であるため、風浪やうねりが複数存在するような場合に、それぞれの波成分についての個別情報を表せないし、一つ一つの波の大きさや個々の波に応じた海面変化を示すのにも適さない。例えば、第 1 図に示したように、同じ有義波高の場合でも、単一の波だけの場合と二つの波が重なった場合とでは、後者の方が海面の振れ幅の最大値は大きくなり、海面の変化が激しくなる。更に多数の波が重なると海面の変化はより複雑になる。このように海面の変化が複雑になる海域では、船が不規則に大きく揺れて航行に支障が出るうえ、船体の傾きが復元する前に次の波を受けて転覆を誘発したり突然の大波で

\* 地球環境・海洋部海洋気象課海洋気象情報室

\*\* 地球環境・海洋部海洋気象課海洋気象情報室（現総務部企画課）

（平成 30 年 3 月 29 日発行）

破損したり荷崩れを起こしたり、という危険も高まる。多方向から来る波が重なり合うことで、海面の形状が複雑になるとともに、突然の大波が発生しやすくなる。特に、形がピラミッドのように切り立った一発大波は、古来「三角波」と呼ばれ航海関係者に恐れられてきており、災害の要因のひとつと考えられている（野口、1967；松本、1977；運輸省船舶局、1981；宇野木、2012など）。ただし、三角波は俗称であり、学術用語のような明確な定義はない。因みに、うねりに比べて風浪が一般的に危険とされるのは、前者の海面変化が比較的一定でゆっくりしているのに対して、後者は不規則で急な変化をするためである。

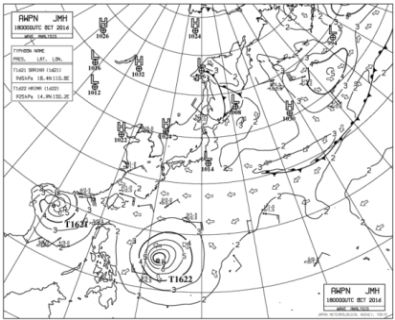
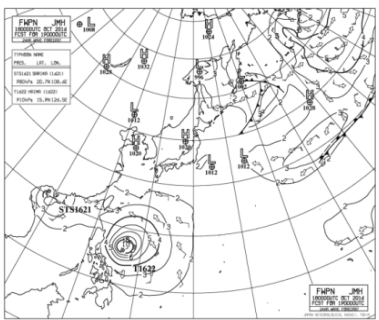
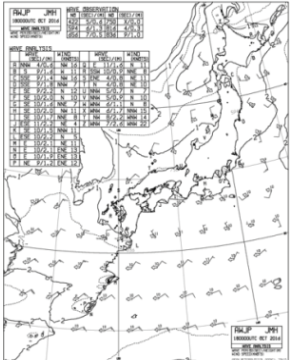
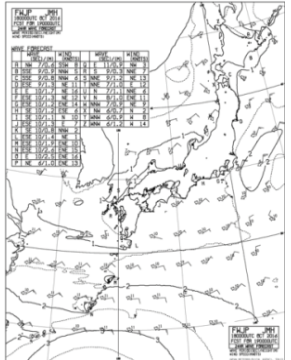
また、波と逆向きの流れがある海域では、流れによって波が変化し、波高が増幅されるとともに波長が短くなり波形勾配（波高を波長で割った比率）が大きくなる（第2図）。波形勾配が大き

なると波が険しくなる。流れによって作られる荒れた海面は、大型の船舶では船の揺れが大きくなる程度でさほど危険とはならないが、中・小型の船舶にとっては船体の激しい動揺によって転覆事故などにつながりやすい（千葉県銚子漁港事務所、2004；Greenslade、2001）。

このような海域について注意喚起するため、海洋気象情報室では、波浪モデルの予測結果、特に波浪スペクトルを高度活用し、海域を特定する手法の開発を進めてきた（高野、2014）。技術開発が一通り完了して海域を特定する目処が立ったこと、また一般船舶が受信する白黒のJMH無線FAX図でも十分視認できる表示内容が固まったことから、平成29年3月7日より、波浪予想図にこれらの海域に関する情報を追加した。

追加した情報の具体的な内容は、1) 二つ以上の波が存在して海面が複雑になる海域とそれぞれ

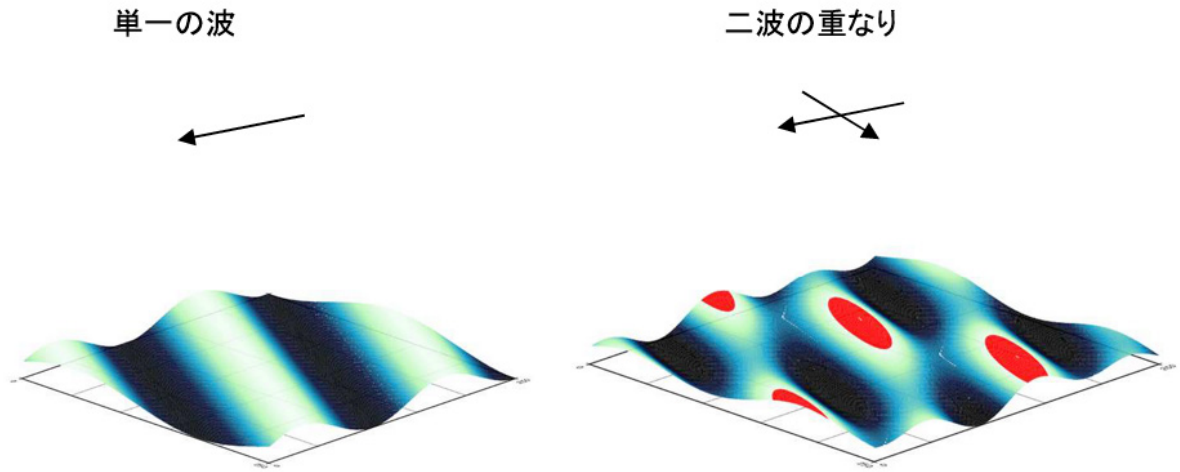
第1表 気象庁から提供される波浪図

画 種	実況図	(24時間) 予想図
外洋波浪図 (北西太平洋)	<p>AWPN</p> 	<p>FWPN</p> 
沿岸波浪図 (日本近海)	<p>AWJP</p> 	<p>FWJP</p> 

解析・予想対象時刻は00, 12UTC(1日2回)

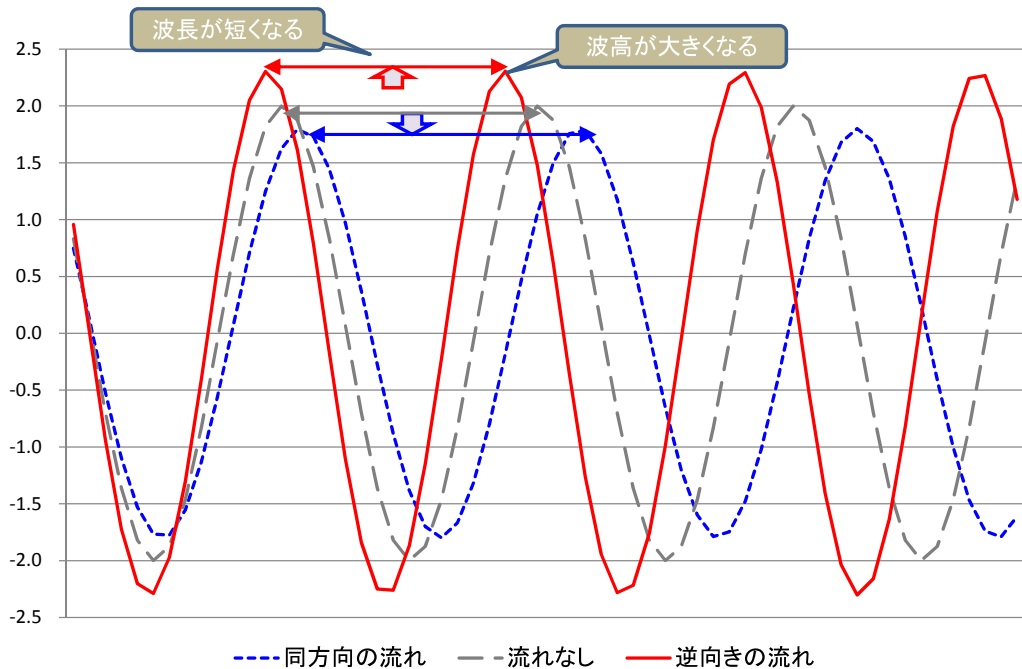
の波の情報、2) 波と逆向きの海流により波高が増大し、海面の変化が激しくなる海域の情報、の二つである。前者は外洋波浪予想図 (FWPN) に、後者は沿岸波浪予想図 (FWJP) に、それぞれ追加される。図によって情報の内容が異なるのは、

現象の空間スケールの規模や影響を受ける船の大きさ、ノイズの入りやすい白黒の JMH 無線 F A X での視認性が落ちないこと等を考慮したためである。なお、波浪実況図は、解析時刻の数時間後に提供される事後情報となることから有効性が低



第 1 図 波の重なりによる海面の変化

同じ有義波高における (左) 単一波と (右) 二重波。赤い部分は、単一波の最大値よりも大きいところを示す。



第 2 図 流れによる波浪の変化

波高 2 m, 周期 8 秒 (位相速度 12.5 m/s) の波に,  $U = \pm 1.0$  m/s の流れを加えた場合の変化。

いと判断し、これらの海域情報は予想図のみに追加した。

第 2 章では、二つ以上の波が存在する海域の情報、第 3 章では海流の影響を受ける海域の情報について、それぞれ紹介する。

## 2. 二つ以上の波が存在する海域の情報

### 2.1 波浪成分の抽出

複数の波を評価するには、まず風浪とうねりという「波浪成分」を正しく算出することが必要になる。高野 (2012) は、海上風を参照し、数値波浪モデルで計算される 2 次元波浪スペクトル  $F(f, \theta)$  から、風浪の成分  $F_{sea}(f, \theta)$  を切り分けて、それ以外をうねり成分とした。なお、波浪スペクトルの  $f$  は周波数を、 $\theta$  は角度を示す。具体的な風浪成分  $F_{sea}$  は、境界の周波数  $f_{cr}$  と風向  $\theta_w$  との角度から以下のように抽出される。

$$F_{sea}(f, \theta) : f > \frac{f_{cr}}{\cos(\theta - \theta_w)} \quad (2.1)$$

$$(|\theta - \theta_w| < 90^\circ)$$

ただし、

$$f_{cr} = 0.65 \cdot f_p = 0.65 \cdot \frac{0.13g}{u_{10}} \quad (2.2)$$

$$(u_{10} > 0.2 \text{ m/s})$$

ここで、 $f_p$  は風速  $u_{10}$  から求まる風浪の飽和スペクトル<sup>1</sup>のピーク周波数、 $g$  は重力加速度である。この判別手法では、風浪とうねりの分離のみを考え、うねりの成分については考慮しなかった。このため、高野 (2014) では、波浪スペクトルを活用したうねりの成分を含む判別手法の開発状況と展望について紹介した。開発を始めた当初、波浪スペクトルの形状のみに着目して成分の算出を試みたが、海上風の変化に伴う風浪の急変が目立ち、理論上は正しくても、現業での利用には適さない場合が多く見られた。このため、風浪成分は海上風から算出する従来の手法 (高野, 2012) に戻し、風浪域のしきい値を再検討するとともに、うねりについては風浪域以外のスペクトル形状を

評価して求める方法に改めた。この方法は、結局 Hanson and Phillips (2001) の方法と同様であるが、しきい値と判別手法は、気象庁のモデル特性等も踏まえて独自に決定した。最終的に確定した判別手法の具体的な手順は以下のとおりである。(算出のイメージを第 3 図に示す。)

- 1) 海上風を参照し、風浪域のスペクトル空間  $F_{sea}$  を、以下のように決定する

$$F_{sea}(f, \theta) : f > \frac{f_{cr}}{\cos(\theta - \theta_w)} \quad (2.3)$$

$$(|\theta - \theta_w| < 60^\circ)$$

ただし、

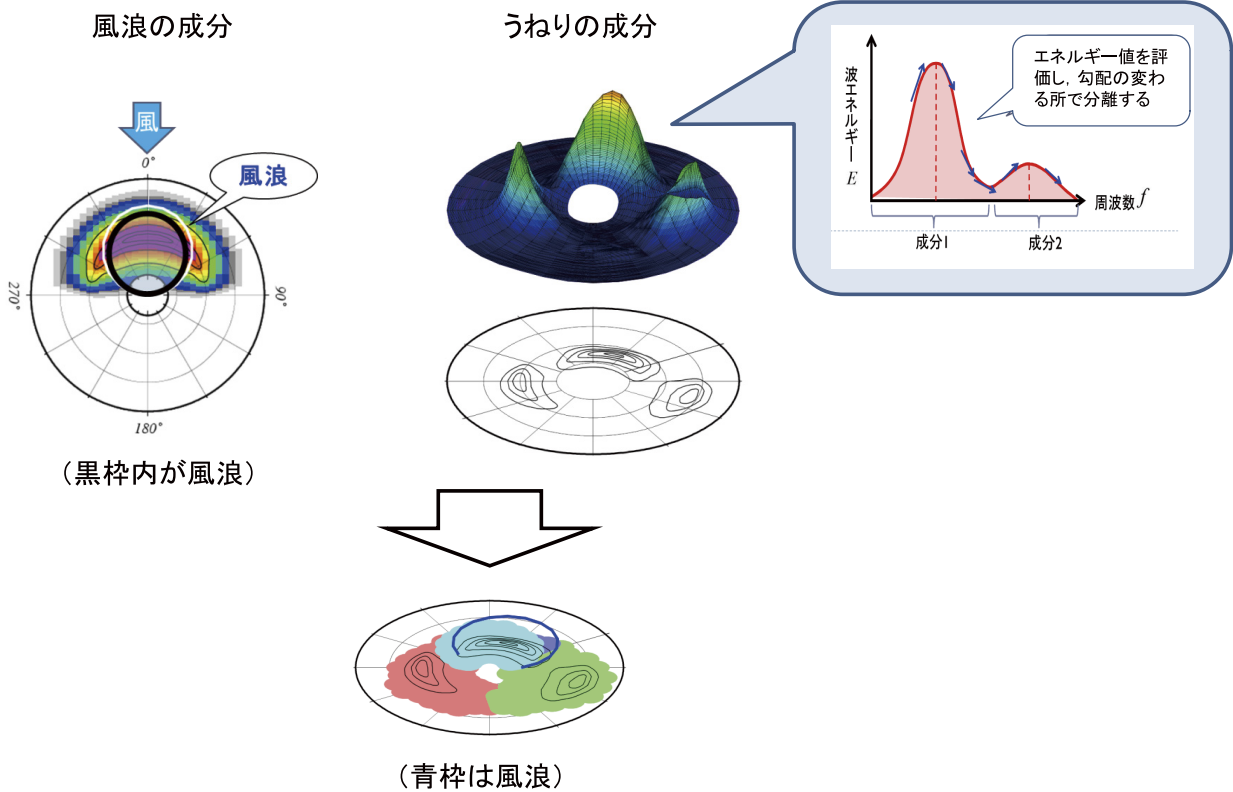
$$f_{cr} = 0.8 \cdot f_p = 0.80 \cdot \frac{0.13g}{u_{10}} \quad (2.4)$$

$$(u_{10} > 0.2 \text{ m/s})$$

- 2) 上で定義された範囲の波浪スペクトルから風浪の成分  $W_w$  の波高・周期・波向を算出する
- 3) 風浪として抽出されたスペクトル空間以外における (エネルギー) ピークの位置 (周波数・波向) を特定する
- 4) ピーク位置から、周囲のエネルギー値を参照し、エネルギーが 0 になるか勾配が逆転するまでの連続した範囲を抽出し、うねりの成分  $W_{s1}$  とする
- 5) まだ抽出されていないスペクトル空間に対し、3)、4) の手順を繰り返す、うねりの成分  $W_{s2}$  を抽出する
- 6) 抽出したうねり成分  $W_{s1}$ 、 $W_{s2}$  について、波高・周期・波向を算出する
- 7) 波高の大きい方からうねり第 1 成分、うねり第 2 成分とする (スペクトルのピーク値は  $W_{s1}$  の方が大きくても、抽出されたスペクトル領域の広がりによっては波高が逆転する可能性がある)

風浪の境界周波数  $f_{cr}$  の係数は、高野 (2012) では、ほぼ全て (99%) の風浪エネルギーが含

<sup>1</sup> 外洋で一定の風が吹き続けると、風浪は飽和して安定し一定のスペクトル形状をとる。代表的なスペクトルとして、PM スペクトル (Pierson and Moskowitz, 1964) と JONSWAP スペクトル (Hasselmann et al., 1973) があり、いずれも風速から決定できる (両者のピーク周波数は同じ)。



第3図 波浪成分算出のイメージ

まれるように、周波数の0.65倍（ピーク周期の1.54倍）、波向は±90度までの角度としていたが、強風時に風浪が過大評価されがちとなる問題があった。これは、指標に用いたピーク周波数 $f_p$ が、飽和スペクトルのものであることに起因している。飽和スペクトルは、風が十分吹いて発達しきった風浪に対応するが、風が強いほど波が飽和に至ることは稀になるため、風浪の範囲が過大評価されやすくなる。このような強風の場合、風浪の範囲内にうねりのエネルギーも存在しうることを考慮して範囲を狭め、最終的に周波数の係数を0.80（ピーク周期の1.25倍）、角度の範囲を±60度とし、風浪のエネルギーの約90%を網羅するように変更した。一方で、風の吹き渡る範囲で風浪域を設定することで、風向の変化に伴って風浪が急変することも目立たなくなった。これにより風浪の過大評価が軽減されるとともに不連続な急変はなくなり、より妥当な波浪成分を算出することが可能となった。また、スペクトル空間で値の勾配を評価する際には、絶対値ではなく、最大値

で規格化した相対値を用いることで、波高の大小に関わらず、勾配の変化を精度よく評価出来るようになった。うねりについては、海上実況気象通報式（SHIP報）にならない最大2成分までを算出している。原理上はいくつでも成分を求めることは可能であるが、多くの成分は観測されないうえ、うねりの第3成分以降に波高30cm以上の有意な波高が計算されることはあまり無いので、風浪及びうねり2成分があれば、十分であろう。

## 2.2 海域の特定手法

複数の波が重なると、これらの波が衝突し、いわゆる三角波のようなひととき大きな一発大波が発生しやすくなる。このような大波の発生を考慮するため、求めた波浪の各成分を評価し、海面の変化を考慮するとともに、海面が複雑になりうる状況を特定する条件を検討した。

第2.1節の手法により、各格子には、風浪、うねり第1成分、うねり第2成分の計3成分の情報が得られるので、これらの成分を、波高の大きい



ほうから  $H_{wi}$  ( $i=1,2,3$ ) とする. 各成分の波高を評価し, 相応の複数波により海面が複雑となる場合に海域をマークすることにする. しきい値は試行錯誤しつつ, 最終的に以下のように決定した.

1. 有義波高  $H_w > 1.8$  m
2. 複数の波が相応の波高 ( $H_{w2}/H_{w1} \geq 0.6$  又は  $H_{w3}/H_{w1} \geq 0.45$ ) を持つ

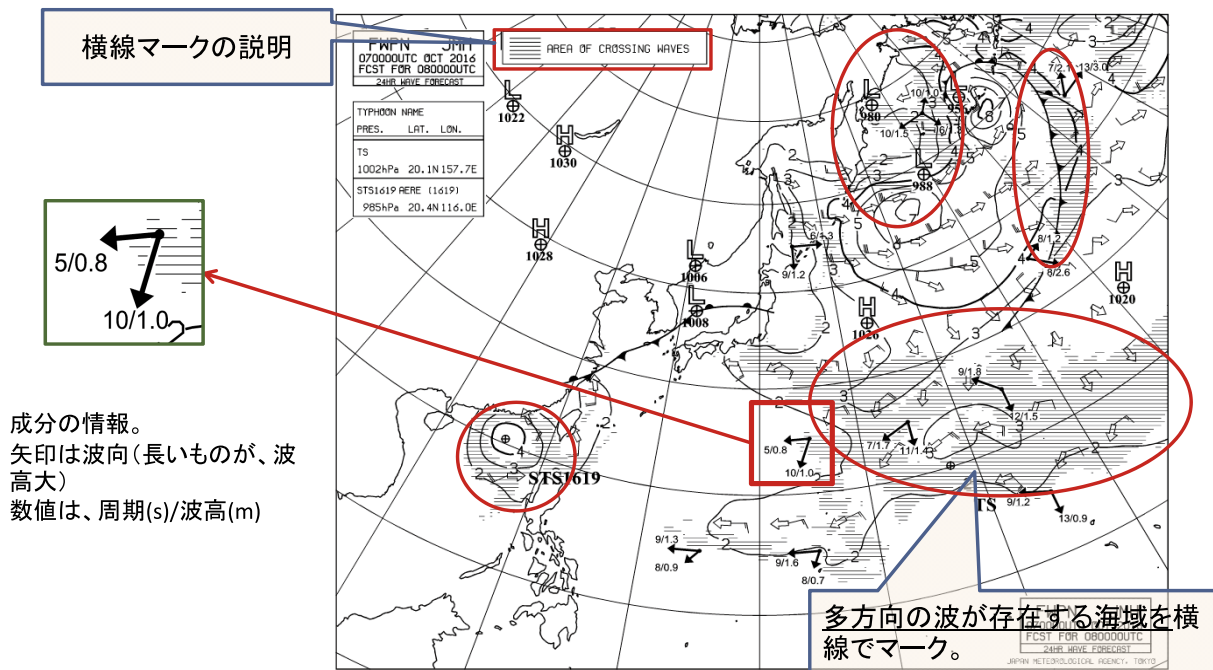
多方向の波が存在する場合は, さほど(合成)波高が大きくななくても, 海面が複雑となって航行に支障が出ることから, ある程度波高が低い段階から注意喚起をする必要がある<sup>2</sup>. しかし, 外洋を航行する大型の船舶にとって波高が低ければ影響は小さく, あまり重要ではない. 外洋波浪図では, 波高の等値線は 2 m 以上を対象に描かれていることを考慮し, 情報を示す波高の下限を, この値の 1 割低い値である 1.8 m とした.

仮に複数の波が存在しても, 一つの波のみが卓越するのであれば, 海面の状況は単一波の場合

とあまり変わらない. 波浪第 1 成分の波高を他の成分と比較し, 第 2 成分の波高が第 1 成分の波高の 6 割以上, 又は第 3 成分の波高が第 1 成分の波高の 4.5 割以上(必然的に第 2 成分は 4.5 割以上)を満たす場合に, 複数の波が相応の波高を持つ条件とした. ただし, 二つの波が 30 度未満の方向から来る場合は, ほぼ同じ方向から来ることになるので多方向波としては扱わない.

### 2.3 プロダクトの表示内容

上記の判別条件を満たす海域を, 多方向から波が来て海面が複雑になる海域とする. この判別は, あくまで波浪の状況を定性的に評価したものである. 外洋波浪予想図(FWPN)には, この海域を横線でマークする. 具体的なイメージを第 4 図に示す. JMH 無線 FAX で波浪図を受信した際に, 多少ノイズが入っても海域の情報が判別しやすい, シンプルな内容になるように配慮している.



第 4 図 多方向波の海域を表示した新しい外洋波浪予想図

二つ以上の波が存在する海域を横線でマーク. 波の成分情報を, 「矢印(波高), 周期/波高」で表示.

<sup>2</sup> 波が高い場合は, 波高の情報自体で危険性について十分注意喚起されている. その意味では, 船舶が航行をためらうほど波は高くないが, 複数の波により航行に支障がでて危険となりやすい海域について注意喚起することが, この情報の目的であるともいえる.

海域のマークに加えて、多方向から波が来る海域については、それぞれの波の情報も示してある。最大3成分(風浪及びうねり二つまで)について、波向を矢印で示し、その脇に「周期(秒)/波高(m)」を示してある。周期と波高の表示形式は、外洋波浪実況図(AWPN)に示された船舶の観測値と同じ表記であるので、表示情報はなじみがあり理解しやすいと考えている。波向の矢印は、長いものが波高の大きい成分に対応している。

成分の情報を加えたのは、船舶の関係者に表示内容に対して意見照会を行ったところ、海域のマークだけでは具体的なイメージがわかりにくく、より具体的な波の情報も知りたいという要望が多くでたことによる。なお、周期よりも波長のほうが船体の長さで直接比較できて使いやすという意見もあったが、周期がよいという意見が多かった。

### 3. 海流の影響を受ける海域

#### 3.1 海域の特定手法

波浪は、流れがあるところに来ると、その影響を受けて変形することが分かっている(例えば、Mei *et al.*, 2005)。メカニズムは基本的にドップラー効果で説明される(ただし、発信源の移動ではなく媒体の移動に伴うものであり、風によって音程が変化すると同じメカニズムになる)。海洋気象情報室では、流れによる波浪変形の影響を評価し、情報提供を行うことを目的として調査を行ってきた(久保・高野, 2010)。同評価手法は現業的に十分利用できることも確認されている。このため、流れの影響は、この手法を用いて評価している。

海流の流速を一定とし、流向と波向が一致した場合の波高の増幅率は

$$\frac{h}{h_0} = \sqrt{\frac{2}{1 + \frac{4U}{C_p} + \sqrt{1 + \frac{4U}{C_p}}}} \quad (3.1)$$

と見積もることが出来る(土木学会, 2000)。ここで、 $h$ は変形後の波高、 $h_0$ は変形前の波高で、 $U$ は流速、 $C_p$ は波の位相速度である。なお、外洋を対象としているので、深水波を想定し位相速

度は以下のように表される。

$$C_p = \frac{g}{2\pi f}$$

波と海流が逆方向の場合は、流れによって波が圧縮されて、第2図に示したように波高が大きくなる。また、波長は短くなるため、波形勾配は大きくなって海面の変動が急になることから、船の揺れが激しくなる。このような流れの影響を受けた海域は「潮波」域とよばれ、船乗りたちに敬遠されてきた。なお、波と同方向の流れがあると、逆に波高は小さく波長は長くなるので、問題にはならない。

海流の影響を算出するための情報は、波浪モデルで予測した有義波の値を使った。スペクトルの成分ごとに流れの影響を評価するほうがより詳細で妥当な取り扱いではあるが、基本的に変化の程度は、代表的な波の状況で決まるので、実用的にはあまり問題ないことを確認してある。

海流は、海洋気象情報室で運用している北西太平洋同化・予測システム(MOVE-4DVAR/MRI.COM-WNP)の予想値を参照している。同システムは、平成28年6月より4次元変分法が導入され、海流の解析精度が格段に向上している(平原ほか, 2017)。精度の高い海流の情報が利用できるようになったことで、潮波域特定の精度も向上した。

増幅率から求めた変化後の波高の値として定量的に示すことも可能である。しかし、波浪図では1m(一部0.5m)単位の等値線で波高が示されており、小さな波高の違いは表現できないうえ、単に波高を示しただけでは、波形勾配の増大による船舶への影響を十分には注意喚起できないことが心配される。増幅率を示しても波高への換算が必要で使いにくい。このため、増幅された波高等の値を単に示すのではなく、流れの影響を受けた海域であることを強調するため、定性的に領域をマークして表示することにした。

海流は長い流路を持っていても幅は高々100kmとさほど大きくなく、また逆行する波が変形して荒れる潮波域は海流の流路の限定的な部分になる。このため、潮波は広範囲には起こりえず局所的な現象であることから、日本近海の波浪を詳細に示すことができる沿岸波浪予想図(FWJP)

に表示する。日本の近海には、黒潮や親潮、対馬暖流などの海流があり潮波域が発生しやすいこと、また、外洋を航行する大型船舶には、波の変化の影響はほとんどないが、日本近海を航行する中・小型の船舶にとっては影響が大きく、船の揺れが顕著に激しくなることも理由になっている。

なお、沿岸波浪図に、複数波が存在する海域を加えて表示することは技術的には可能だが、二つの情報を重ねると波浪図の表示が複雑になって見にくくなるため、JMH無線FAXでの視認性を優先し、海流による影響を受ける海域の情報のみを掲載することにした。

### 3.2 プロダクトの表示内容

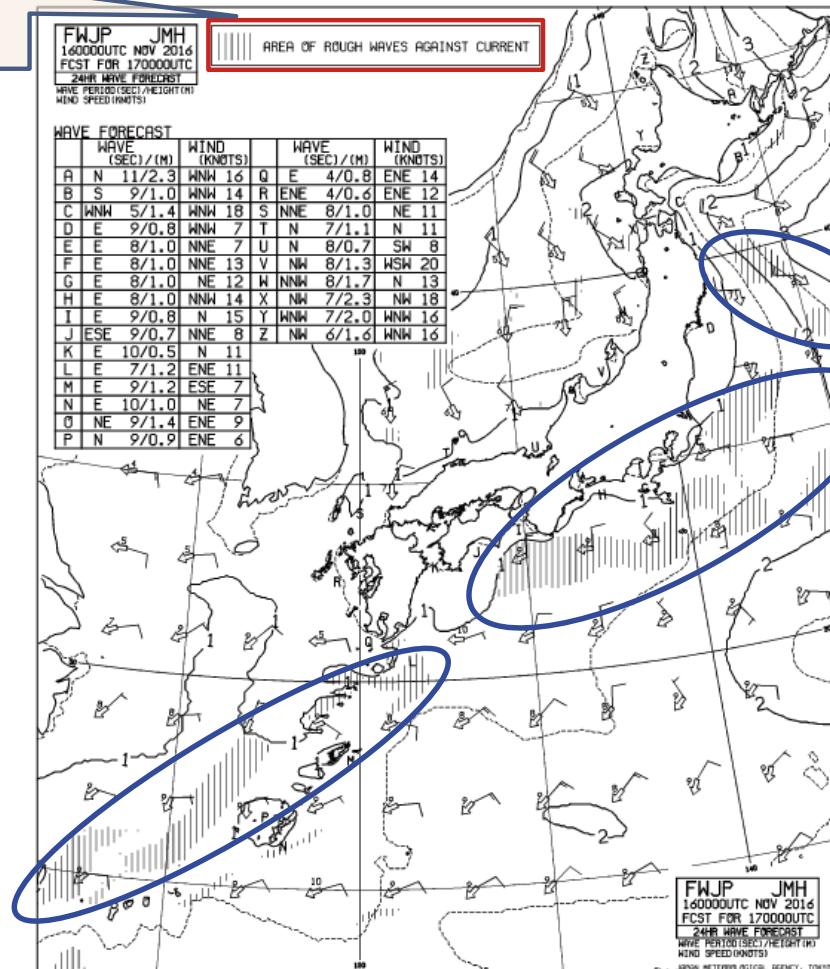
海流による影響を受ける海域を示すため、しき

い値の設定が必要になる。しきい値は、気象庁の海洋気象観測船「凌風丸」及び「啓風丸」（ともに約1,400トン）が黒潮等を通る際の、実際の揺れ具合の変化について観測員等からのコメントをもらい、これらを参考にして決定した。ただし、沿岸波浪図は、これらの観測船よりも小型の船舶・漁船等も対象になることを考慮して、最終的にしきい値を以下のように決定した。

- 1) 有義波高  $H_w > 1.0$  m
- 2) 逆向の流れにより波高が5%以上増大

海域の判別は波高の増幅率を考慮して行っているが、当然波形勾配も増大している。なお、外洋波浪図と内容が異なることを強調するため、海域のマークは、横線ではなく縦線で示してある。具体的なイメージを第5図に示す。

#### 縦線マークの説明



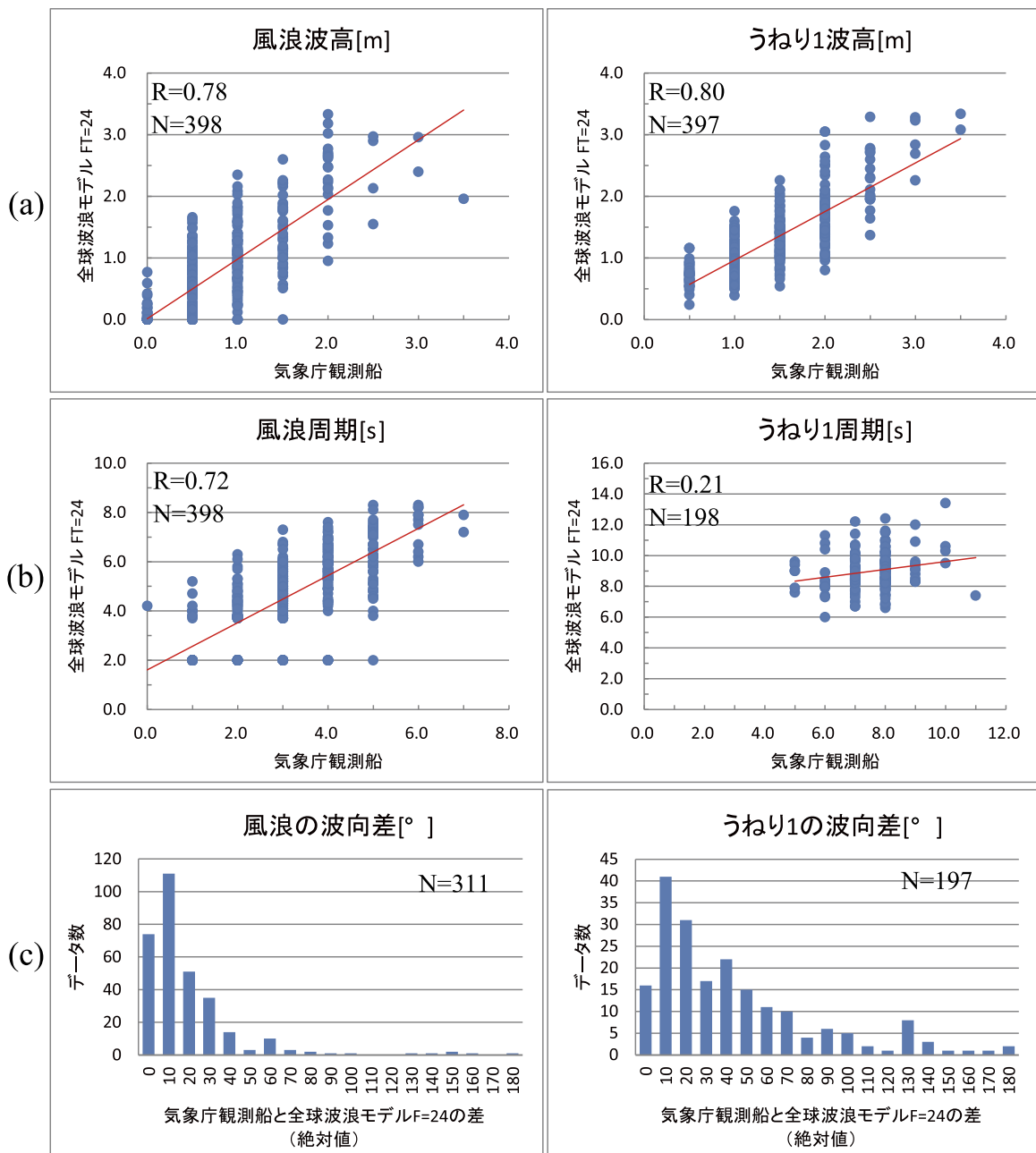
第5図 流れの影響を受ける波の領域を表示した沿岸波浪予想図  
 逆向きの流れで波高が5%以上増加する海域を縦線でマーク。



4. 波浪成分の評価

今回新しい情報を発表するにあたり、情報内容の評価を行った。流れによる波浪の変化に関しては、既に久保・高野（2010）で衛星の波高観測値を用いた精度評価を行っており、手法の有効性は確認済みであるため、ここでは割愛する。一方で、波浪成分と複数波の精度評価はまだ実施していないため、特に波浪成分の評価を中心に精度評価を実施した。

比較を行った波浪の成分は、2016年2月から7月における全球波浪モデルの24時間予想値（波浪予想図で使う予測時刻）と「凌風丸」及び「啓風丸」の目視観測結果である。それぞれ、波浪予想図の対象となる00UTC及び12UTCのデータを用いた風浪及びうねり第1成分の比較結果を第6図に示す。なお、うねり第2成分は、観測データ数が少ないため、今回は統計の対象外とした。風浪については、波高・周期ともに相関係数が0.7



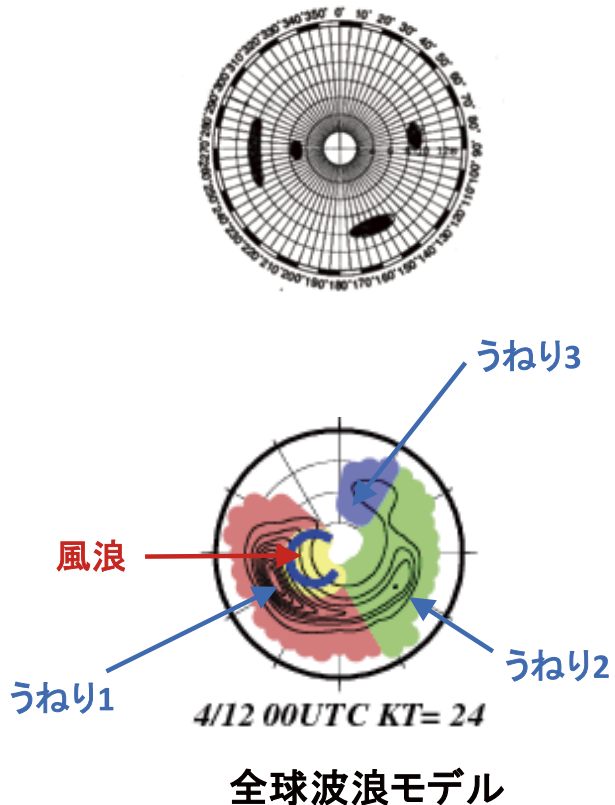
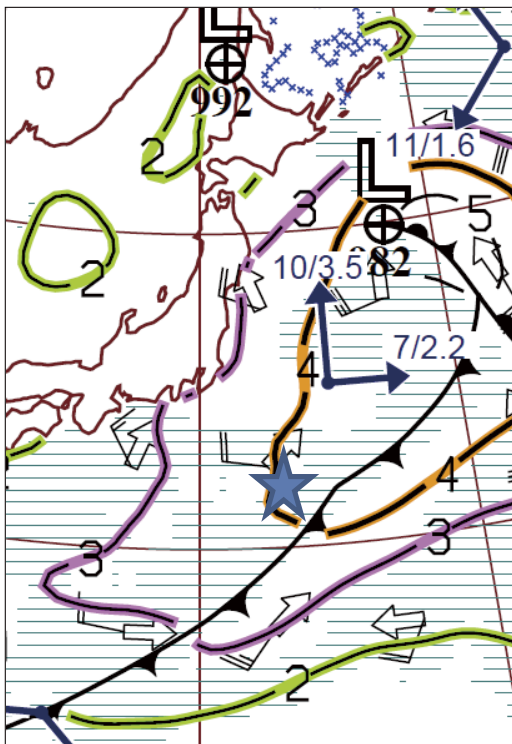
第6図 風浪とうねり第1成分の、(a) 波高、(b) 周期、(c) 波向の差（絶対値）  
2016年2月～7月の期間を対象。Rは相関係数、Nはサンプル数。

を超え、全データの 87% で算出値と観測値の波向差が 30 度以内に収まっており、精度よく成分が算出できているといえる。うねり第 1 成分は、モデルの周期が観測値に比べやや長い傾向があり、周期のレンジが小さいために相関は低い、値としての対応はさほど悪くない。波高の相関係数は 0.80、全データの 53% で波向差 30 度以内、78% で波向差 60 度以内となっており、全体としては精度よく算出されていると言えよう。

気象庁の海洋気象観測船による波浪成分の検証は、2017 年 4 月より、定時の SHIP 報の観測結果に加え、波の広がりを見視的に示した円グラフやうねり第 3 成分の観測なども報じてもらい、より体系的に実施している。海洋気象観測船は原則 00UTC に波浪成分を観測し、その結果を波浪モデル 24 時間予測値の結果と比較する。ただし、目視観測の正確性を期すために、停船中など精度のよい観測が期待できる場合のみに実施す

る。検証事例比較の一例として、2017 年 4 月 12 日 00UTC の事例結果を第 7 図及び第 2 表に示す。このとき「啓風丸」は関東の南東海上にあり、三陸沖の低気圧から延びた寒冷前線が通過して、うねり主体の波浪場となっていた。有義波高は観測 3.5 m に対し、全球波浪モデルの予測値は 4.1 m で、他の波浪成分もモデルの方が全体的に高めの波高値を予測している。これは全球波浪モデルの海上風が過大になっていることが一因と考えられる。うねり第 3 成分については、モデルでは東からのエネルギーが弱いので波高が観測よりも低く、波向も北よりとなっている。周期についても、モデルが若干大きめであるものの概ねよく合っており、波向についてはうねり第 3 成分を除きよく一致している。判定にはうねり第 2 成分までを用いていることから、モデルから求めた波浪成分は信頼できると言えよう。

比較結果を見ると、全般的に、波高が高い時の



第 7 図 2017 年 4 月 12 日 00UTC の比較観測結果

(左) FWPN と観測船啓風丸の位置 (★)。

(右) 啓風丸による波浪成分観測結果と全球波浪モデルのスペクトルと算出された波浪成分の分布 (モデルは 4 月 11 日 00UTC 初期値の 24 時間予測値)。

第2表 2017年4月12日00UTCにおける海上風・波浪成分の比較結果

	観測値			全球波浪モデル		
	風速 (m/s)	風向 (°)		風速 (m/s)	風向 (°)	
海上風	7.4	270		8.3	259	
	波高 (m)	周期 (s)	波向 (°)	波高 (m)	周期 (s)	波向 (°)
合成波	3.5			4.1	10.3	230
風浪	1.0	5.0		1.4	6.7	
うねり1	2.5	10.0	250	3.2	10.9	240
うねり2	1.5	10.0	150	1.6	10.4	120
うねり3	1.0	9.0	80	0.4	11.9	30

波浪成分は比較的精度よく算出されているが、波高が1 m程度と低い場合には、波の状況が急に変わることもあり、わずかな違いが成分の誤差につながるため、算出精度が落ちる傾向がある。ただし、合成としての有義波高が低い場合には、波浪成分のエネルギーは小さく、波が重なっても海面の変化は大きくはならないため、さほど危険とはならない。また、波が低いと成分それぞれについての情報も、さほど重要とならない。したがって、ある程度波がある場合に算出された波浪成分が信頼できるのであれば、十分実用に使えると考える。なお、今回の精度評価も波浪図で提供している海域情報も、波浪モデルの24時間予想値を用いている。波浪予測では海上風の予測値を用いて推算しているため、海上風の予測値が合わない場合は、当然ながら波浪成分の精度も低くなる。

## 5. おわりに

平成29年3月7日より波浪予想図に追加された「航行に危険となる荒れた海域の情報」につい

て紹介した。近年波浪モデルの予測精度は大幅に向上してきており、有義波のみを考えると、実用的な精度で結果を利用することが可能である。一方で、一発大波のような波浪の予測は依然として難しく、学術的課題として研究開発が進められている。

波浪予測技術の進歩により、現状では、波浪スペクトルの高度活用により波浪成分を算出することも実用的な段階になった。これらの波浪成分を利用して海面の状態を評価することも可能になりつつある。また、海洋モデル等の進展は、海況の解析・予測精度の大幅な向上をもたらし、精度のよい海流情報を利用できるようになっていることから、海流による波の変化も現業的に見積もることが可能になった。今回の情報追加で、従来の有義波（高）より踏み込んだ高度な波浪情報を提供することになり、船舶の安全により寄与できるのではと自負している。

このような高度な波浪情報は、各国の気象機関でも取り組まれており、例えばFleak Wave<sup>3</sup>の発

<sup>3</sup> 有義波高の2倍を超える一発大波のことでRogue waveとも言う。高波の発生確率は統計的に見積もられるが、実際には想定されるよりも高い頻度で発生することがあり、その発生機構について研究が進められている。なお、第1章で書いたように三角波は俗称であるのに対しFreak waveは学術用語で、波高の定義を満たせば三角波もfreak waveである。

生を考慮した最大波予測など、様々なアプローチが試みられている。より高精度で利用しやすい情報にするためには、情報内容の高度化を進めつつ、定性的な情報内容をレベル化等により定量化する、表示内容の世界標準化等も進めることで、利用者が容易にわかり使いやすいものとしていくことが必要である。更なる高度化を進めていきたい。

また、今回の情報追加に際しては、海運会社や船舶関連団体、漁業関連団体など多数の方々から、プロダクトの表示内容に対する要望や船舶における波浪情報の利用状況等について、たくさんの貴重な意見を聞くことができた。波浪についても、従来に比べ細かい情報が考慮されており、様々なニーズがあることも明らかになった。貴重なコメントを寄せていただいた皆様に感謝するとともに、これらのニーズにこたえられるよう、今後とも情報を更に高度化していきたい。

なお、いただいた意見の中で、より見やすい波浪図の要望があった。近年、洋上の船舶にもブロードバンドの利用が普及しつつあり、天気図等の情報を、白黒のJMH無線FAXではなく電子メールの添付ファイルとして受け取る船舶も増えてきている。添付ファイルであれば、見やすいカラーの図も利用できるため、今回波浪図への情報追加にあわせて、気象庁ホームページにカラー版波浪図(実況図も含む)の掲載も開始した。これらカラー版の見やすい波浪図も活用されることを期待したい。

#### 参 考 文 献

千葉県銚子漁港事務所 (2004) : 銚子漁港整備史. 132pp.  
 土木学会 (2000) : 水理公式集. 平成11年版, 丸善, 478-479.  
 Greenslade, D.J.M. (2001): A wave modelling study of the 1998 Sydney to Hobart yacht race. Australian Meteorological Magazine, 50, 53-63.  
 Hanson, J.L. and O.M. Phillips (2001): Automated analysis of ocean surface directional wave spectra. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 18, 277-293.  
 Hasselmann, K., Barnett, T.P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D.E., Enke, K., Ewing, J.A., Gienapp,

H., Hasselmann, D.E., Kruseman, P., Meerburg, A., Müller, P., Olbers, D.J., Richter, K., Sell, W. and Walden, H. (1973): Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). Dtsch. Hydrogr. Z., A8, No.12.

平原 幹俊・檜垣 将和・桜井 敏之・小林 健作・小林 熙 (2017) : 瀬戸内海監視予測システムの概要. 測候時報, 84, 33-59.

高野 洋雄 (2012) : 波浪情報について. 平成23年度予報技術研修テキスト (第4章, 第1節), 68-77.

高野 洋雄 (2014) : 波浪スペクトルを活用した波浪情報の高度化について. 測候時報, 81, 特別号, S39-S51.

久保 剛太・高野 洋雄 (2010) : 波浪に対する海流の影響調査. 測候時報, 77, 特別号, S141-S157.

松本次男 (1977) : 「三角波」. 海と安全, 11, 17.

Mei, C. C., Stiassnie, M. and Yue D. K. P. (2005): Theory and Applications of Ocean surface waves. World Scientific Pub.

野口岩男 (1967) : 「三角波」. 気象, 195, 11.

Pierson, Willard J., Jr. and Moskowitz, Lionel A. (1964): Proposed Spectral Form for Fully Developed Wind Seas Based on the Similarity Theory of S. A. Kitaigorodskii. Journal of Geophysical Research, 69, 5181-5190.

Sverdrup, H. and Munk, W. H. (1947): Wind, Sea, and Swell: Theory of relations for forecasting. H. O. Publication No. 601, U. S. Navy Department, 44 pp.

運輸省船舶局 (1981) : 尾道丸事故に係る技術検討会報告書.

宇野木早苗 (2012) : 海の自然と災害. 成山堂書店, 370pp.