



データ分析から見た船舶運航における波浪予報の現状と課題について

笹, 健児

寺田, 大介

塩谷, 茂明

若林, 伸和

大澤, 輝夫

(Citation)

土木学会論文集B3（海洋開発）, 69(2):I_61-I_66

(Issue Date)

2013

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(Rights)

©2013 公益社団法人 土木学会

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90002906>



データ分析から見た船舶運航における 波浪予報の現状と課題について

笹 健児¹・寺田 大介²・塩谷 茂明³・若林 伸和⁴・大澤 輝夫⁵

¹正会員 神戸大学准教授 海事科学部国際海事研究センター (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1)
E-mail:sasa@maritime.kobe-u.ac.jp

²非会員 水産工学研究所 漁業生産工学部漁船工学グループ (〒314-0408 茨城県神栖市波崎7620-7)
E-mail:dterada@fra.affrc.go.jp

³正会員 神戸大学教授 自然科学系先端融合研究環 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1)
E-mail:shiotani@maritime.kobe-u.ac.jp

⁴非会員 神戸大学教授 海事科学部 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1)
E-mail:waka@cs.maritime.kobe-u.ac.jp

⁵非会員 神戸大学准教授 海事科学部 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1)
E-mail:ohsawa@port.maritime.kobe-u.ac.jp

原油高騰や経済危機などもあり、船舶の運航時にコスト最適化が死活問題となっている。外洋を航行する場合、波浪による船体運動などの側面から気象海象の情報をいかに正確に反映・活用するかが問われている。本研究では、日本近海および遠洋海域の船舶運航者を対象に広範囲な調査を実施し、船舶運航者から見た波浪予報の利用実態と現状での信頼性、問題点をある程度明らかとした。さらに東日本の太平洋側を航行する船舶の事例から低気圧が日本近海にて発達したときの波浪予報が的中しなかったパターンを整理し、日本南岸から北東進しながら急発達する低気圧の波浪パターンが予報困難であったことをデータも交えて2例明らかとした。一方、当時の波浪データから極大波への遭遇は見られず、統計的に特異な波浪によるというよりも局所的に卓越する低気圧による風や波浪を高解像度で予報する必要性を明らかとした。

Key Words : wave forecast, ship operation, weather routing, low air pressure, failed forecast

1. 研究の目的

海上の船舶は陸上の交通機関に比べ気象海象の影響を強く受け、様々な局面にて安全性・定時性が損なわれる。一方、原油価格の高騰や世界的な経済危機から輸送コストのこれまでにない最適化が要求されている。このような背景から気象・波浪予報をもとにした船舶の最適航路を探索するウェザーラーティングの研究が注目され¹⁾、IT技術の発展により沿岸波浪データのリアルタイム配信も活用した船舶運航が行われている^{2) 3)}。しかし、これら技術発展にても荒天時の顕著な海難減少にはつながなっておらず、気象海象の予報サービスやウェザーラーティングの実務者による評価を知る必要がある。海上予報は陸上と異なり、得られる観測データも限られ、信頼性の検証事例は少ない。本研究では船舶運航者を対象に気象海象の予報およびウェザーラーティングの活用度、信頼性、荒天航海時の対応状況などについて広範囲なアンケート調査、さらに船舶運航にて予報が失敗した実例を調

査し、波浪データや天気図の整理分析から船舶運航における予報の問題点、改善すべき点を検証・考察した。

2. 波浪予報に関するアンケート調査

アンケートは外航船社および内航船社を対象に実施し、両方合わせて83社にアンケート票を送付した。このうち回答があったのは41社であり、回答率は49%であった。ここで示す内航、外航の定義は国内の港湾間輸送に従事する海運、海外の港湾との輸送に従事する海運を指す。また遠洋と近海の区別は法律によって異なるが、ここでは日本の陸岸から200海里以内を近海、それ以外を遠洋と定義する。前述したとおり、外航と内航では必要とされる波浪予報の形態が異なることから、アンケート内容も別途作成した。外航船社へはウェザーラーティングサービスの使用の有無、外航船向けの長期波浪予報サービスの使用の有無、予報の的中率・信頼性、的中しない気

象パターンおよび傾向, 荒天操船の状況, 貨物損傷の有無などを調査した. 内航船社へは短期波浪予報サービスの使用の有無, リアルタイム波浪データベースの使用の有無, 予報的中率・信頼性, 的中しない気象パターンおよびその傾向, 過去に予報が的中しなかった年月日, 荒天操船の状況, 貨物の損傷などについて調査した.

(1) 外航船に対するアンケート調査

図-1 にウェザーラーティングおよび波浪予報サービスの使用の有無をまとめた. 図よりウェザーラーティングのサービスを使用していたのは全体の 58%であり, 42%の回答者は未使用であることが分かった. 波浪予報については 50%の回答者が使用している. 使用しているサービスは守秘義務から回答できないという事例も数例あったが, 主には気象庁, 日本気象協会, ウェザーニュース, 波浪ナビ等であった.

一方, 使用している予報サービスの信頼性(的中率)を図-2 に示す. 図より信頼性は 80%以上が 11%, 60~79%が最も多く 78%であったのに対し, 20~39%も 11%占めていた. 前者は短期間の予報精度, 後者は 7 日先などの長期間の予報精度を示していると思われる. 予報が的中しにくいパターンとして表-1 に示すような回答があった.

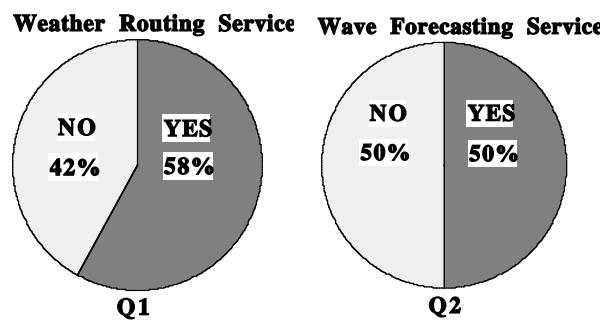


図-1 ウェザーラーティングおよび波浪予報の使用状況

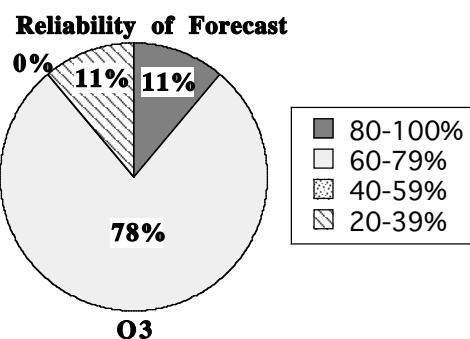


図-2 利用者が感じる予報の信頼性 (外航船)

図より信頼性は 80%以上が 11%, 60~79%が最も多く 78%であったのに対し, 20~39%も 11%占めていた. 前者は短期間の予報精度, 後者は 7 日先などの長期間の予報精度を示していると思われる. これより予報精度は必ずしも気圧配置に関連しないこと, 冬季の北太平洋のように低気圧が東西に移動する場合に精度が低下する傾向があるというコメントが得られた. このような荒天時の操船方法としては, 回転数の制御による船速の意図的な低下および波浪中の抵抗増加による自然減速の状況として図-3 のように取りまとめた. 図より意図的な減速操作(図中に示す Change R.P.M. が対応)を行うと回答したのが 75%, 状況によって判断するが 17%であり, 90%以上は操船手段として減速操作をしている. 一方, 波浪による抵抗増加(波浪の非線形成分により航行中の船舶に作用する漂流力のことであり, 速力の低下を引き起こす主要因とされる)も 80%の回答者が経験しており, 荒天時にはかなりの確率で船速低下(図中に示す Slow Down が対応)が発生していることがうかがえる. 一方, 操船者たちは明確な減速に至る指標を持たず, 波浪と船体の状況を経験的に判断している状況もコメントから明らかとなった. この点について, 現状のウェザーラーティングにおいて船速低下の予測および操船判断に至る理論体系を整備していく余地があると思われる. ここでは図示していないが, 回答者の半数が荒天時の航海で貨物損傷の経験をしていることも分かった. その他, 現状の船舶運航に対する主なコメントが表-2 のように得られた.

表-1 予報が的中しにくいパターン

回答者	コメント内容
D社	予報精度は各サービスが使用している解析モデルに強く依存すると感じる. 必ずしも気圧配置との強い相関を感じない.
R社	ベーリング海およびその南に低気圧が北東に移動するときに高波浪が発生する.
F社	低気圧が東西に移動する場合の予報が困難と感じる, 例えば冬季の北太平洋など.

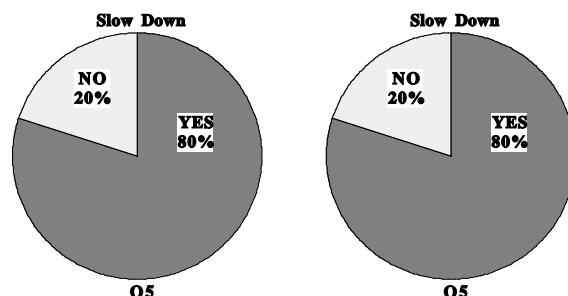


図-3 荒天航海中の船速低下およびその対応状況

表-2 現状での対応に関するコメント

回答者	コメント内容
N社	ウェザーラーティングの普及には気象予報の精度向上、船舶性能による安全評価が必要と考える。
D社	10日先の予報について信頼性が70%以上を持たせることが実用上必要である。

(2) 内航船に対するアンケート結果

図-4 に内航船社に対しナウファスによるリアルタイム波浪情報および波浪予報の活用状況を示す。これよりナウファスの活用は 44%であり、元々は港湾や沿岸関係者向けに整備された当該システムが内航関係者にも貴重な情報源となっている。一方、波浪予報サービスは 84%と大多数の回答者が使用している。図-5 に波浪予報の信頼性に関する回答結果を示す。図より 80%以上の信頼性と回答したのが 43%, 60~80%と回答したのが 48%, 60%以下が 9%であった。外航船の場合より予報期間が短いため、外航よりも信頼性は高いが、約 1 割の回答者が 60%以下と回答し、日本近海でも予報の困難なケースの存在をうかがわせる。荒天時の対応として、出港前にまず欠航判断を行い、出港後に荒天に遭遇した場合は外航船と同じく船速低下、針路変更等で対応している。図-6 に荒天時に積載貨物の損傷の有無、現在の状況に対し対策を望む割合を取りまとめたものを示す。

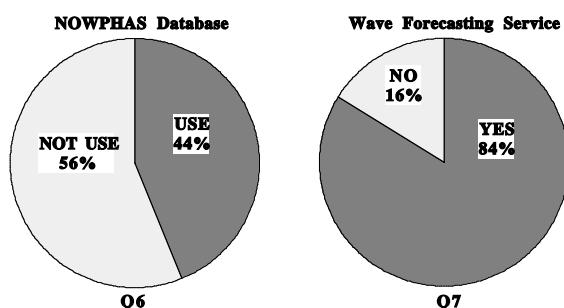


図-4 ナウファスおよび波浪予報の利用状況

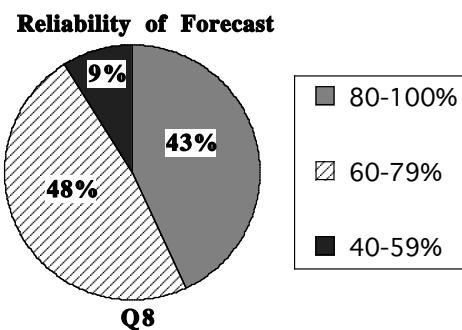


図-5 利用者が感じる予報の信頼性（内航）

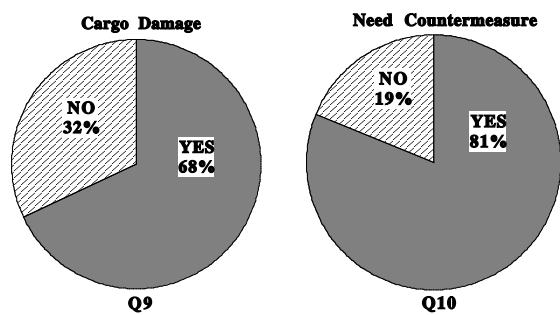


図-6 積載貨物の損傷および現状に関する状況

図より 68%が貨物損傷を経験しており、荒天航海中にて操船判断に苦慮している様子がうかがえる。また 81%が現状に対する改善案、対策を望んでおり、本研究にて波浪予報が困難な背景を明らかにしたい。

3. 予報が的中しなかった事例の分析

前章での調査結果を踏まえ、日本近海の太平洋上を航海する内航船を対象に、当時の気象海象の予報サービスが的中せず、運航が非常に危険に陥った事例の詳細と予報状況、観測データ等を照らし合わせた検証を行う。

(1) 対象とする海域および航路

図-7 に対象とする船舶の航路、その途中で設置されているナウファスのGPS波浪計の設置位置の関係を示す。対象船舶は北海道のA港と関東地方のD港を往復し、東日本の太平洋沖合を約19時間かけて航海している。

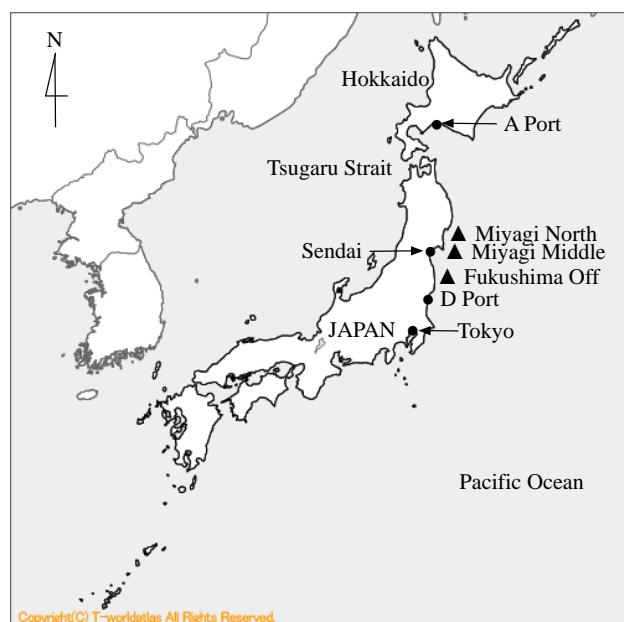


図-7 対象とする海域および港湾位置、波浪観測の位置関係

(2) 2010年12月3日の事例

2010年12月3日に北海道の太平洋側に面したA港に向かって航行する船舶について、図-8に示す12月1日～3日の天気図⁴⁾では本州の東に北海道から本州南までに至る非常に強い高気圧が張り出し、その西側から本州を縦断するように低気圧が猛烈に発達しながら関東から北海道に達する配置であった。低気圧の中心付近からの気圧傾度は大きく、寒冷前線は関東のかなり南の海上まで伸びていることから長距離の南東風が卓越し、関東の太平洋沖で発達した波浪が北海道まで達する状況が予想された。また本船のA港へ入港する頃には前線通過も予想され、強烈な南東からの風を受けながらの操船が予想された。

12月1日の夕刻に船長と運航管理者の協議が行われ、当時の波浪予報ではA港の入港時に不安を感じるという意見であった。1日後の10:00で波浪予報は前日とほとんど変わらなかつたが、B社発表のA港の気象予報では3日の9:00～18:00は平均風速15m/s、最大風速18m/s、瞬間最大風速27m/sであった。瞬間最大値の割に平均値の小さいことが気になったが、この程度であれば着岸可能と判断した。しかし、船長はこの予報値が信頼できず、別のC社にも同様の気象予報を依頼した。

もし風速が予報よりも大きければA港の港外待機は有義波高が5mを超えた中で不可能であり、津軽海峡への避難の可能性と着岸の大幅な遅れを予想した。C社の予報結果では平均風速が21～22m/s、瞬間最大値で30m/sを超えており、予報結果に大きな違いが見られた。船長はC社の予報結果を信頼し、12月3日の9:45に津軽海峡にて風浪がおさまるまで避難する旨、航海計画を変更した。

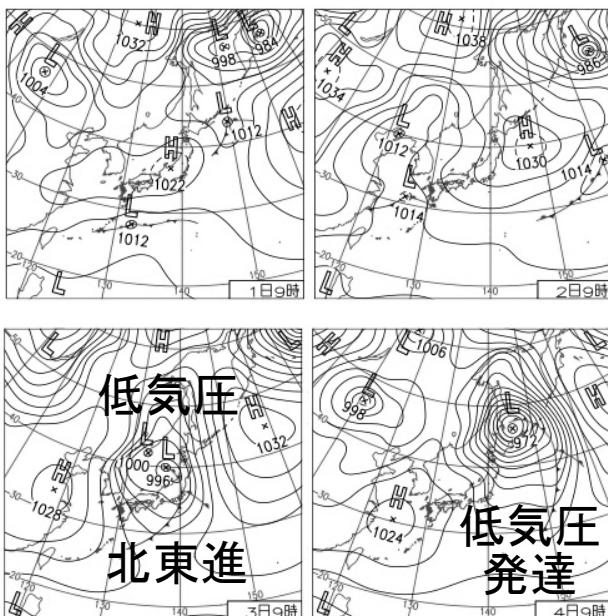


図-8 天気図の変化 (2010年12月1日～3日)

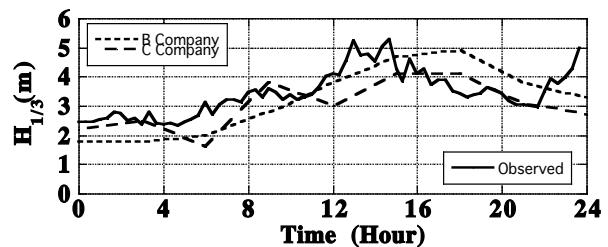


図-9 A港沖におけるB社、C社の予報値およびナウファスの実測された有義波高の比較 (2010年12月3日)

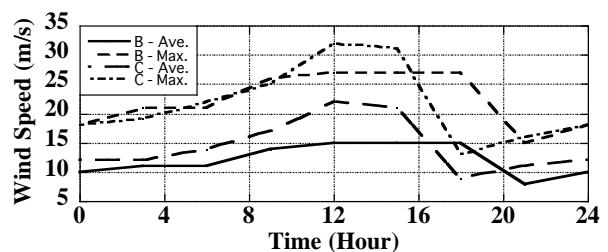


図-10 B社およびC社のA港における平均風速および最大風速の予報結果 (2010年12月3日)

15:00ごろにはA港の風速も10数メートルに低下したのを確認し、A港に再び向け航行し始めた。航海中の波高は4m程度あったが、横揺れは片舷で10°未満であり、19:45に6時間15分遅れで入港した。図-9および図-10にB社およびC社が行った12月2日9:00時点発表のA港の3日における有義波高（ナウファスの実測値を含め比較）、瞬間最大風速、平均風速の予報値を示す。図より有義波高の予報値はB社の値がC社のそれより約1m大きいが、平均風速では入港予定としていた13:30の時点で7～8m/s大きい。もし船長がB社の予報値をもとに13時すぎに入港していれば、平均風速が20m/sを超える状況での操船となり、非常に危険な状況に陥っていたと想像される。波浪については、ピーク値はB社の方が実測値に近いが、予報のピークは16:00～18:00であるのに対し、実際には12:00～15:00であり、数時間の遅れが発生している。これは波浪予報の誤差として時折見られる傾向であり、低気圧の予報以上の急な発達が影響している可能性が高い。C社の予報値は実際よりもかなり低く、信頼性のばらつきがここでも確認できる。

(3) 2010年12月22日の事例

2010年12月22日の夕刻にA港からD港へ入港予定であった船舶について、前日に低気圧の日本東岸沖での発達が予想され、当該便の欠航が議論された。図-11に12月21日～23日の天気図変化を示す⁴⁾。当時の波浪予報では、仙台沖の南方海域において22日の15:00に有義波高が5m前後、その他の海域では本船が航過する時点

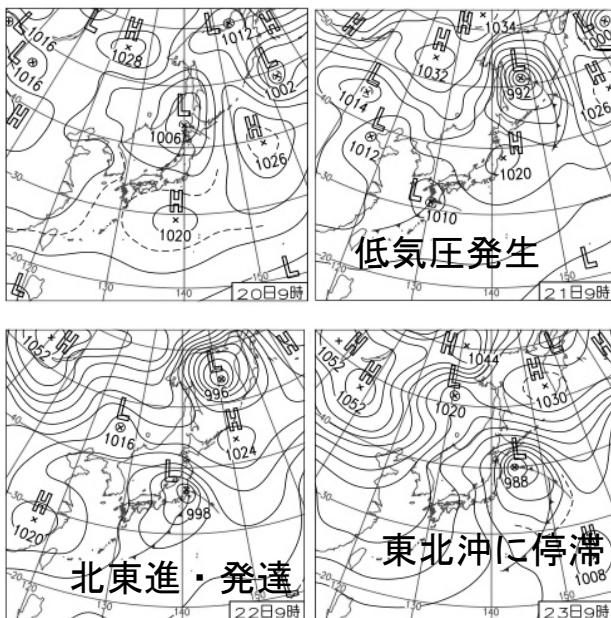


図-11 天気図の変化 (2010年12月20日～23日)

では3~4mであったため、仙台沖を予定時刻に航過しないよう速力調整を行い、貨物固縛に関し十分な荒天準備を行えば航行可能と判断した。ナウファス情報を確認しながら南下を続け、青森県沖まではほぼ予想通りの波高であり、宮古沖から針路を変更した。

予報にて高波浪が卓越する時間を調整したが、仙台沖でSE方向のうねりが5~6mと予想値の2倍近くあり、通常の針路では横方向からの波にて転覆の危険性があるため針路を155°にて航行した。有義波高で6m、最大波高で9~10mの中、斜め向波の状態で船体が大きく縦揺れおよび横揺れし、スラミングのような状態が続く中で波の状況を見ながら小刻みに変針を繰り返し、航海せざるを得なかった。16:00頃から徐々に波高が低くなり、D港に向けて針路を230°にて10~15°の横揺れが見られたものの、1時間50分遅れの21:35に入港した。

低気圧の発達による荒天は予期されていたが、発達が予想以上に急激であり、有義波高も予想の2倍近くとなつた。現場では複数の波浪予報の中で最も高い値を採用し、かつ出港後にナウファスの実況値にて逐次確認していたにも関わらず、積載貨物にも損傷が生じた。図-12～図-14に宮城北部、宮城県中部、福島県沖に設置されているGPSブイ波浪計による有義波高、周期および主波向の変動を、図-15にAIS(船舶自動識別装置)にて記録された12月22日2:00～22:00における船速および針路の変化を示す。

図-13に示すとおり低気圧が関東の南方から勢力を強めながらの北上に伴い、福島沖にて10:00～11:00で有義波高が6mのピーク値となつた。一方、宮城県中部沖、北部沖は午前から午後にかけて発達し続け、15:00の時点では両地点とも有義波高で約6m、16:00には8m近くに

発達している。有義周期は多少の違いはあるが、午前中は6sくらいであったのが波浪が成熟し、10sを超えていることから船の長さ(190m)に近づくために縦揺れが増大したことを裏付けている。

図-14より主波向は12:00～15:00では110°～130°であったので、仮に仙台沖を航行する通常の針路(200°くらい)であれば船首より70°～90°とほぼ真横で波を受けることになり、155°に変針し斜め向波(船首から25°～45°)にした判断の妥当性が検証できる。その影響で速力が12:00～16:00で大きく低下し、縦揺れの深刻な状況が現れている。

23日の9:00における天気図からも低気圧の中心は岩手県沖にまだ位置しており、福島県沖は22日午後から徐々に波高が下がっているが、23日の未明でも4m近くあった。北側の海域になるにつれて波高が5m以上の状態が半日～1日ほど持続し、前述した予報結果よりもかなり大きな波浪の存在が確認できる。図-16は宮城県中部沖で12月22日15:00～16:00における波浪時系列を示すが、1時間のうちに生じた最大波高は10.9mであり、有義波高(6~7m)の1.5～1.8倍に相当する波浪に遭遇していたこともデータより明らかとなった。

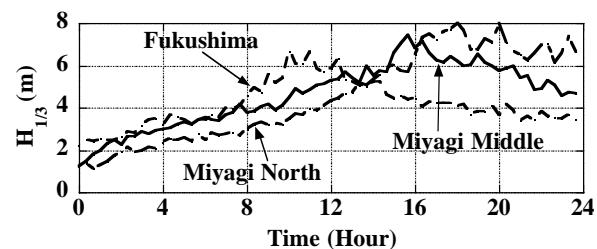


図-12 観測された有義波高の変化 (2010年12月22日)

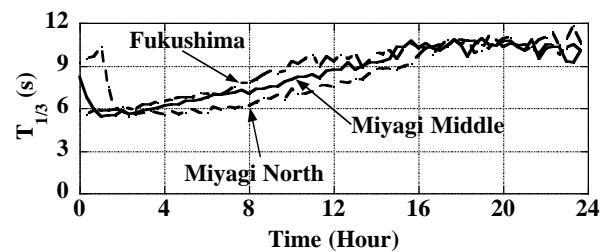


図-13 観測された有義周期の変化 (2010年12月22日)

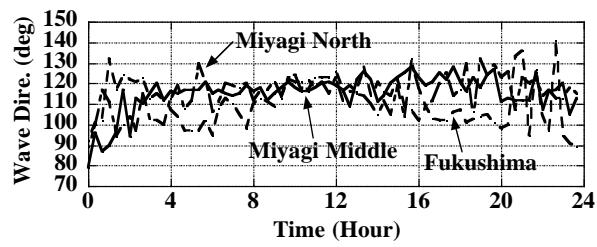


図-14 観測された主波向の変化 (2010年12月22日)

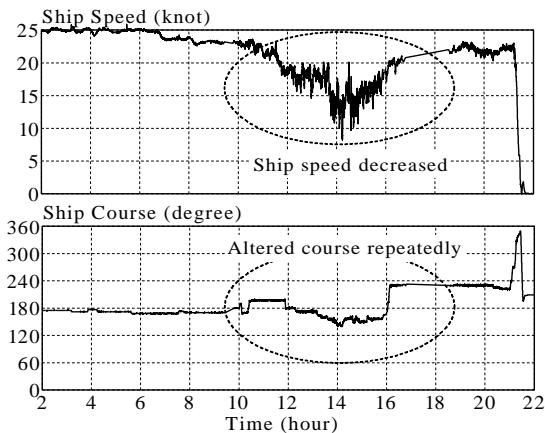


図-15 船速および針路の変化（2010年12月22日0200～2200）

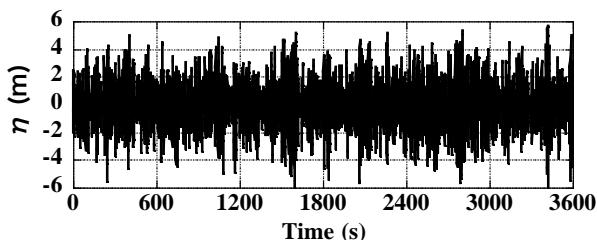


図-16 観測された宮城中部沖での水位変動の変化（2010年12月22日15:00-16:00）

4. 結論および今後の課題

- (1) 運航者を対象としたアンケート調査では外航船にてウェザーリーティングおよび波浪予報のサービス利用については、50～60%，内航船は波浪予報の利用率は84%，ナウファスの利用率は44%であり、運航判断にてこれらを重視している。
- (2) 運航者を対象としたアンケート調査では波浪予報の信頼性について、信頼性80%以上は外航船が11%，内航船が43%であった。両方とも60%以下と1割が回答し、船舶運航から見た波浪予報として改善の余地があることを示唆している。

地があることを示唆している。

- (3) 2例を分析したが、両方とも低気圧が日本の西南から北東進しながら急激に発達する配置であり、当該パターンの数値予報には改良が必要と思われる。
- (4) 12月3日は風の予報に大きな誤差があり、低気圧の発達状況が予測よりも急であったと考えられる。12月22日は低気圧の発達が予想以上であったことに加え、進行速度が遅く東北沖で長時間停滞した影響は正しく予報できていなかった。
- (5) 風および波浪の数値予報を再現するにあたり、計算領域の大きさ、計算格子の間隔、時間間隔、他のパラメーターを様々に変化させ、これらの気圧配置における波浪が正しく予測できなかった背景を明らかとして行く予定である。

謝辞：本研究にて実施したアンケート調査および聞き取り調査において、外航および内航の船舶事業者の方々には多大なご協力を賜った。ナウファス関係の波浪データについては港湾空港技術研究所海洋情報研究領域の提供を受け、アンケートおよび波浪データの分析作業にて広島商船高等専門学校学生・輿儀純平君の助力を得た。上記の各位に深く感謝の意を表する。なお本研究は科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究、平成24～26年度、代表者：笹健児）の一環として実施したことを付記する。

参考文献

- 1) 西山尚材, 庄司るり, 大津皓平, メザウイブラヒム: ウェザーリーティングによる大洋航路の検討, 日本航海学会論文集, 第125号, pp.153-164, 2011.
- 2) リアルタイムナウファス（国土交通省港湾局全国港湾海洋波浪情報網）：
<http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/index.html>
- 3) 永井紀彦：ナウファス（全国港湾海洋波浪情報網）の現況と今後の課題, 土木学会論文集（第6部門）, 第609号, VI-41, pp.1-14, 1998.
- 4) 気象庁：日々の天気図（2010年12月）,
<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/data/hibiten/2010/1012.pdf>

CURRENT SITUATION AND SUBJECTS OF WAVE FORECAST IN SHIP OPERATION FROM VIEWPOINT OF DATA ANALYSIS

Kenji SASA, Daisuke TERADA, Shigeaki SHIOTANI,
Nobukazu WAKABAYASHI and Teruo OHSAWA

Numerical forecasts of weather and oceanography are in common in the field of ship operation, as the improvement of computer science these days. However, their accuracies is still unreliable in some situations. Here, nationwide questionnaire is implemented to make sure the current effectiveness of wave forecast from viewpoint of navigation safety. A couple of weather patterns are revealed as the difficulty of forecast. Moreover, two cases of failed forecast are analyzed with observed and forecasted database. These patterns are caused under the low pressure develops and moves north-easterly. Authors concludes that the backdrop has to be revealed why these weather patterns tend to misforecast in the future.