次世代カムインズの沖波予測手法の高度化

田中秀雄*・岡田弘三**・松浦邦明***・本橋昌志****

＊（財）沿岸技術研究センター　波浪情報部　主任研究員
＊＊（財）沿岸技術研究センター　波浪情報部　業務第二課長
＊＊＊（財）気象協会首都圏支社　ソリューション部　主任技師
＊＊＊＊（財）気象協会首都圏支社　ソリューション部

気象海象情報提供サービス（カムインズ）の予測精度向上を図るために，沖波予測手法の改良を行い，平成21年度より新しい沖波予測手法による情報提供を開始する予定である．本稿では，この予測手法の開発経過について報告する．
キーワード：カムインズ，COMEINS，高度化，波浪モデル，データ同化

1. はじめに

COMEINS（カムインズ： Coastal Oceanographic and Meteorological INformation System）は，全国沿岸部の波浪予測をよりきめ細やかに行う唯一のサービスで現在まで好評を得てきている．その開始は，港湾の工事や防災に必要な気象海象の実況と精度の高い予測情報を提供するパソコン向けのサービスとして平成８年開始した．その後，カムインズをとりまく環境の変化に対応すべく平成16年度から，より情報内容が充実したNEW　カムインズとして大改修を経て今日至っている．この間，台風時の高波予測，台風時の潮位予測等予測内容の充実も図ってきたが，沖波予測手法については大きな改良は行っていなかった．

従来から，瀬戸内海，東京湾等の内湾部については予測計算のメッシュ間隔の問題もあり，外洋に比べると精度が落ちているとの指摘もあった．また，カムインズで使用している気象庁の予測情報は平成19年度に計算モデルの細密化や，更新頻度の増加等，従来よりきめ細かい情報を得ることができるようになってきている．

このような状況の中，本年度，カムインズの予測手法の改良を行った．改良内容は次の２つからなっている．①気象庁の細密化された風予測を用い，時間的，空間的に細密な波浪予測計算を行う．②上記の面的な波浪予測値にナウファス実況値による同化を行い精度向上を図る．

2. 波浪予測手法の改良

図-1に現在の波浪予測手法の概念図を示す．現在は「初期時刻から72時間後まで予測」，「73時間から192時間後まで予測」の2種類にわけ予測している．

ａ． 初期時刻から72時間後までの予測

72時間後までの予測では，気象庁が発表する近海波浪GPV（3分メッシュ，３時間間隔）を基に，局地波浪計算により格子間隔2分の波浪と風を計算する．この計算では，地形による遮蔽を受けたうねりの伝播と，局所的な海上風によって発達する風波を考慮して，内挿計算を行っている．さらに，時間内挿を行い，最終的には格子間隔2分，時間間隔1時間で波浪を予測している．

ｂ．73時間から192時間後までの予測

近海波浪GPVは予報期間が72時間後までであるので，それより後の期間については，192時間後まで予報値があるGSM（全球気象予報モデル，1.25度メッシュ，12時間間隔）による風の予報値を基にして，第三世代波浪予測モデルWAMを用いてスペクトル法により波浪の計算を行い，日本近海域について0.5kmの格子間隔で行っている．

局地波浪計算と時間内挿を行い，最終的には格子間隔2分，時間間隔3時間で波浪を予測している．

気象庁から配信されるGSMのデータは去年度より1.25度から0.5度に，予報間隔も12時間から1時間と大幅に計算精度が向上した．また，沿岸や内湾での精度が高いメソ気象モデルMSMやSYNFOS（解像度5km）の予報値も入手可能になっているので，これらを利用して波浪推算をすることにより沿岸や内湾の波浪推算精度を向上させることも期待できる．外洋に面した海域でも，特に日本海の北海道，東北，北陸付近で発生するメソスケールの擾乱（小規模低気圧）はGSM（2007年11月27日より解像度は全球で20km）では十分に表現できないため，GSMを入力風とした波浪予報ではメソ擾乱による高波現象を見逃すおそれがある．また，北海道日本海側の波浪観測の空間密度は低いことから，波浪観測網でもこのような高波浪現象を見逃すおそれがある．そこで，メソ気象モデルによる海上風を入力風とすることにより，メソ擾乱による高波予測の改善を図る．また，独自に波浪予測（波浪推算）の実施するより，内湾や海峡などの複雑地形の

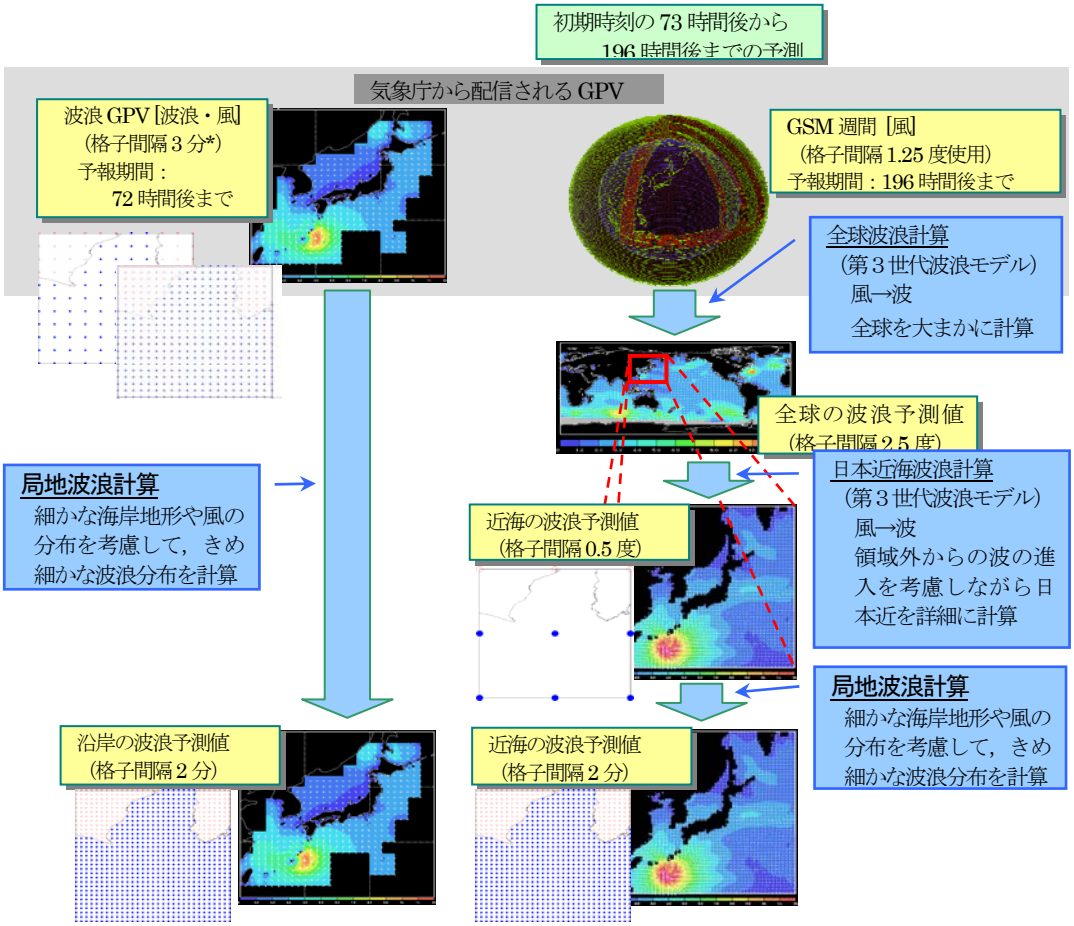

図-1　従来までのカムインズの沖波予測

海域を対象とし，さらに細密な格子で計算を実施することが可能になる．領域 5 では表中の海域を格子間隔 1’（約 1.8km）でカムインズで提供予定である．

波浪計算は実績のある WAM を用い，日本全国沿岸について，領域 1～領域 4 まで細分化し，領域 4 では，2’間隔の波浪予報を作成する．さらに，従来まで精度が外洋に比べ悪かった東京湾，伊勢湾，大阪湾，瀬戸内海の内湾については 1’間隔での波浪予報を実施する．予測計算の計算条件，領域図を図-2，図-3，表-1 に示す．

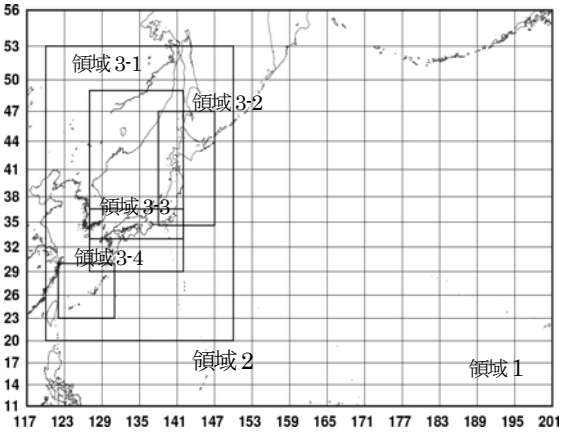

図-2　領域図

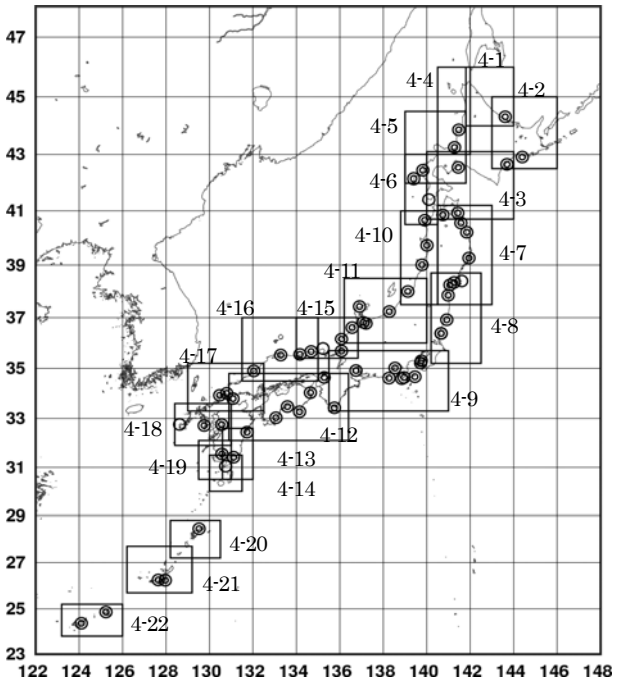

図-3　領域 4 の分割図
◎NOWPHAS，○気象庁

表-1　各領域の計算条件

	領域１	領域２	領域３	領域４	領域５（内湾等）
入力海上風	GSM			MSM,SYNFOS（予報時間に応じてGSMに変更）	
空間間隔	36’	12’	6’	2’	1’
モデル	深海	深海	深海	深海	深海または浅海
時間間隔	１時間（同化前，同化後とも）				
予測要素	全地点：有義波高・周期・波向，風向・風速				
データ同化	なし		有義波高・周期・波向 スペクトル（周期帯別）		

GSM　気象庁GPV（全球スペクトルモデル），解像度20km
MSM　気象庁GPV（メソスペクトルモデル），解像度 5km
SYNFOS　日本気象協会のメソスケール気象予報結果，解像度5km～15km
領域５　東京湾，伊勢湾，大阪湾，播磨灘・燧灘・周防灘を対象

3.　データ同化

２．で計算された面的な予測データをナウファス地点，気象庁観測地点の波浪実況値を用いてデータ同化を行うことによりさらなる精度向上を目指す．

データ同化の手法としては，リアルタイムに情報を提供する目的から，時間的な制約を満たすために，計算負荷の小さい最適内挿法を用いる．

最適内挿法はベイズ型の線形最小分散推定で，波浪予測値を初期推定値として，これにD値（観測値から観測地点の初期推定値を引いた値）の情報を加える際に，予測誤差，観測誤差の大きさおよびこれらの時空間相関の情報を元にして内挿の重みを決定するものである．概念図を図-4に示す。

（最適内挿法の原理）

$$F_g^I = F_g^P + \sum_{i=1}^{N} w_i (F_i^O - F_i^P) \frac{\sigma_g^P}{\sigma_i^P} \qquad (1)$$

ここで，

F_g^I は g 格子点における解析値（最終的な値），
F_g^P は g 格子点における初期推定値（波浪予測値），
F_i^O は i 観測地点における波浪観測値，
F_i^P は i 観測地点における波浪予測値，
w_i は i 観測データの内挿の重みであり最終的にこれを求めてD値の内挿を行う．
$F_g^I - F_g^P$ は解析インクリメント，
$F_i^O - F_i^P$ （=D値）は観測インクリメントである．

(1)式は，観測インクリメントの重み付き足し合わせによって解析インクリメントが計算されることを示す．計算の安定上，インクリメントを予測誤差標準偏差 σ^P で規格化している．
重み関数 w_i は，誤差の相関係数 μ と誤差比 λ により，次式から得られる．

$$\sum_{j=1}^{N} (\mu_{ij}^P + \mu_{ij}^O \lambda_i \lambda_j) w_j = \mu_{ig}^P \qquad (2)$$

これは，N地点の観測値からN個の内挿の重み w_j を求めるN次元連立方程式である．
μ_{ig}^P は，以下に示すローレンツモデルを拡張した橋本らのモデル)により近似する．

$$\mu_{ig}^P = \frac{a}{1 + b r_{ig}^2} \times c^{\Delta T_{ig}} \qquad (3)$$

r_{ig} は２点 i, g 間の距離(km)である．また，b は誤差相関の及ぶ距離(相関距離)を決定する量で，$r_{ig} = \sqrt{1/b}$ で共分散が半分になる．a は予測誤差分散，c は時間差 ΔT_{ig} に関する予測誤差共分散を表すパラメータである．

なお，式(3)右辺の時間差 ΔT_{ig} に関する予測誤差項は，最適内挿法の通常の適用の際には用いないが，波浪観測データの欠測時に，最適内挿法を適用する際に利用する項である．

以上から，カムインズのデータ同化は海域別に（2）と(3)から重み関数を求めて，(1)式で予測値（波高と周期）の補正を計算することになる．

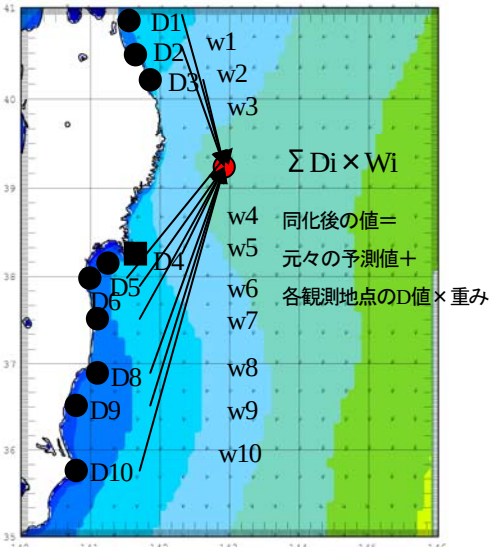

図-4　同化の概念図

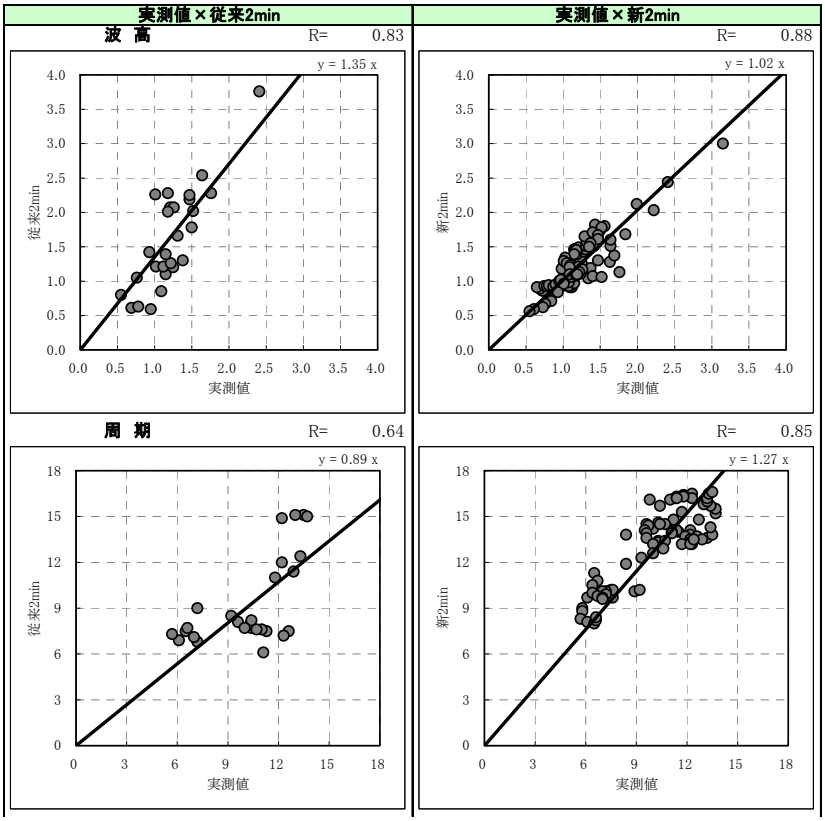

図-5 小松島における新，旧計算比較
（台風 0416 号）

4. 予測精度検証

以下に次世代カムインズの予測手法を用いて，台風 0416 号の事例を計算した結果を図-5 に示す.

相関係数（R）は波高に関しては 0.83 から 0.88 に，周期に関しては 0.64 から 0.85 と特に周期に関しては精度向上がみられる．また，回帰直線の傾きは波高に関しては 1.25 から 1.02, 周期に関しては 0.29 から 1.21 と 1 に近づく傾向となっている.

5. まとめ

平成 8 年より稼働開始したカムインズは，今回の予測手法の改良により大幅な精度改善が期待できる．また，スペクトルによる波浪計算を行うことにより，従来までの有義波諸元の予測データばかりでなく，スペクトルでの予測データを提供できる環境も整いつつあり，長周期波対策等に利用できる可能性もでてきた．今後も，カムインズの情報の内，防災の現場で必要な情報はユーザーの声を聞きながら積極的とりいれていく予定であるので，関係各位の一層のご指導・ご支援をお願いしたい.

参考文献

1) 森谷誠生・鈴木史郎・李在炯：NEW カムインズ（沿岸気象海象情報配信システム）の開発と運用，（財）沿岸開発技術研究センター，沿岸センター論文集，pp81-84 2005
2) 松浦邦明・鈴木史朗・橋本典明・本橋昌志：波浪のリアルタイム実況推定および客観解析値データベース作成システムの構築，海洋開発論文集，第 22 巻, pp.85-90, 2006.
3) 松浦邦明・西村修一・木村克俊・岡田弘三・窪田和彦・ 本橋昌志：データ同化によるリアルタイム波浪推定と海岸道路管理への利用の検討, 海洋開発論文集, 第 23 巻, pp.1123-1128, 2007