

波浪推算へのデータ同化手法の適用に関する研究

九州大学大学院 学生会員 ○吉松健太郎

正会員 横田 雅紀 フェロー 橋本 典明

独立行政法人港湾技術研究所 正会員 川口 浩二

1. はじめに

波浪推算は設計波の算定などの目的で幅広く使用されており、世界各国で高精度化が進められてきた。しかしながら、強風下における風から波へのエネルギー輸送については、観測や実験が困難であるため、未解明な点が数多く残されている。これに対し、著者らは強風下におけるエネルギー輸送のメカニズムの解明を目的とし、波浪推算モデルへのデータ同化手法の適用を進めている。データ同化モデルはすでに実海域への適用も実施されているが、適用条件等の基礎的な知見は十分に得られていない。

本研究では、簡単な矩形海域、風場を用いて波浪推算モデルにデータ同化手法を適用したモデルの妥当性の検証と、その適用条件について検討を行った。

2. 波浪推算モデルと同化モデルの概要

波浪推算モデルは第三世代波浪モデル WAM-Cycle5 を基本とし、エネルギーソース項を付加して改良したモデルを使用した。データ同化については Adjoint 法（4次元変分法）を適用したモデル（Adjoint WAM）を用いた。データ同化は与条件に対して理論式から予測結果を算出する従来の数値モデルとは異なり、数値モデルと観測値を組み合わせることにより、力学的整合性を満たしつつ自動的にモデルパラメータなどを推定する手法であり、逆計算を繰り返し、背景誤差項と観測誤差項からなる評価関数を最小にする解析値を求めるものである。

本研究では、同化の対象として風から波へのエネルギー輸送に関する海面抵抗係数の風速依存性に着目し、式(1)で与えられる本多・光易による海面抵抗係数と風速の関係式の切片および傾きを解析変数 X_1 、 X_2 （Cd 値パラメータ）として用いている。

$$C_D(U_{10}) = \underbrace{(0.581)}_{X_1} + \underbrace{(0.063 \times U_{10})}_{X_2} \times 10^{-3} \quad (1)$$

3. 双子実験による妥当性の検証

本研究における数値実験は矩形の深海を対象とし、表-1 に示す波浪推算条件で実施した。計算時間 96 時間のう

ち 48 時間までは風速 10m/s、48 時間後からは風速 15m/s の一方向の風を用いて計算を行った。本検討で用いた風速および本多・光易による海面抵抗係数を用いた場合の推算波高の経時変化を図-1 に示す。

ここで、WAM に適当な Cd 値（設定値）を与えて得られる推算波高を観測値とし、Adjoint WAM を用いて Cd 値の同化計算を実施することで、WAM で設定した Cd 値が正しく推定されるかどうかを検討した。なお、観測位置は計算領域の中心地点とした。

同化計算における海面抵抗係数の初期値は、本多・光易の 0.581、0.063 とし、設定値は係数値を 1.1 倍したケース（Case1）と、0.9 倍したケース（Case2）について同化を試みた。同化により得られたパラメータの推定結果を表-2 に示す。いずれのケースでも、設定した Cd 値に近づいていることから、Adjoint WAM は妥当であると言える。なお、同化変数の初期値が設定値と何倍も異なるケースでは精度よく設

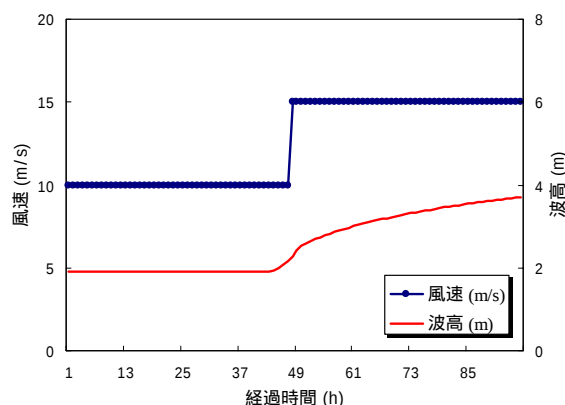


図-1 計算に用いた風速と観測波高

表-1 波浪推算条件

項目	計算条件
計算領域	21 × 21
格子間隔	0.25 °
積分時間間隔	15分
水深	深海

表-2 同化変数の変化

	設定値		初期値		推定値	
	X1	X2	X1	X2	X1	X2
Case1	0.639	0.069	0.581	0.063	0.637	0.058
Case2	0.523	0.057	0.581	0.063	0.536	0.058

定値に近づかないため、既存の事例を参考にある程度確からしい値を初期値として与えることが重要と考えられる。

4. 適用条件に関する検討

同化に使用する観測データの取得時間間隔や取得時間を変化させることにより、妥当な推算結果を得るために必要となるデータ数などの条件について検討を行った。

まず、精度の良い同化に必要な観測データ間隔を確認するため、同化に用いる観測値の時間間隔を 1h, 12h, 96h (データ数はそれぞれ 96, 8, 1) とした 3 ケースについて同化を行い、推定されたパラメータを比較した。表-3 に同化変数の推定結果を示す。さらに、図-2 に推定されたパラメータおよび初期値を使用したときの推算波高の経時変化を観測波高とあわせて示す。同化の結果、波高が初期推算値から変化し、観測値に近づいていることがわかる。観測値を計算時間の全域からとった時間間隔 1h, 12h のケースではほとんど同化に差は見られない。時間間隔 96h では、風速変化後の観測波高のみで同化をしているため、他のケースと比較して風速変化後の推算波高の精度が高くなっているものの、このときの Cd 値の同化精度は他のケースとあまり変わりはない。このことから、2 種類の風速であれば、それぞれの風速が発生していた時間帯を含む程度の間隔であれば同化が可能であることが推察される。今後、風向が急変する、風速が複雑に変化するといった、より現実に近い風場において検証する必要がある。

次に、取得データが 2 つの場合において、風速増加後のデータ取得のタイミングによる同化への影響を確認するために、風速増加後の観測値の取得時間を変えて比較した。計算ケースは同化時間が 24・60 時, 24・72 時, 24・96 時の 3 ケースについて行った。図-3 に初期値および同化による海面抵抗係数式の変化を示す。データの取り方により、同化に大きな差は見られず、風場の変化からの経過時間等にかかわらず、計算時間内に等間隔で観測データを取れば適切に同化が可能であることがわかるものの、風速変化後、ある程度定常状態に近づいている時間で同化したケースの方がより設定値に近く推定されていることが伺える。

5. おわりに

本研究では、矩形海域での数値実験により、Adjoint WAM の妥当性の検証を行った結果、適切な Cd 値が推定されたことから、モデルが妥当であることが確認された。また適用条件についての検討を行った結果、今回はデータ数

が少なくても、概ね妥当な Cd 値が推定されることが確認されたが、今後は複雑な風場により詳細に検討していく必要があると考えられる。

本検討は深海域を対象としたが、沿岸域を対象として同化を実施する際は、選定した観測地点の違いによる推定結果への影響についても検討が必要と考えられる。また、海面抵抗係数式を離散化して同化することにより風速毎の Cd 値の分布を明らかにし、より高精度な波浪推算技術の開発を進める予定である。

参考文献

松浦邦明(2008)：波浪推算精度の向上を目的としたデータ同化システムの開発とその利用に関する研究(九州大学学位論文)

表-3 同化時間間隔による比較

時間間隔	設定値		初期値		推定値	
	X1	X2	X1	X2	X1	X2
1h	0.581	0.063	0.523	0.057	0.591	0.068
12h	0.581	0.063	0.523	0.057	0.591	0.067
96h	0.581	0.063	0.523	0.057	0.573	0.066

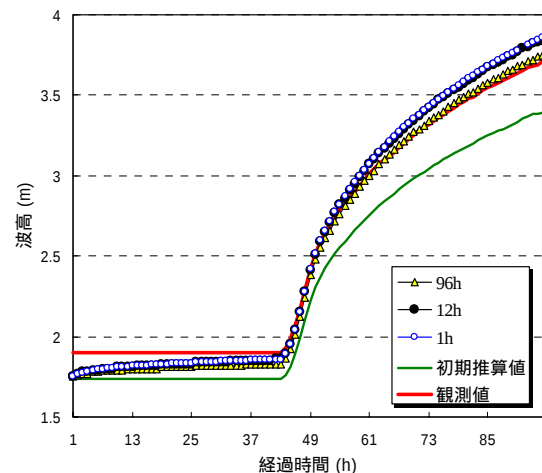


図-2 同化時間間隔による推算波高への影響

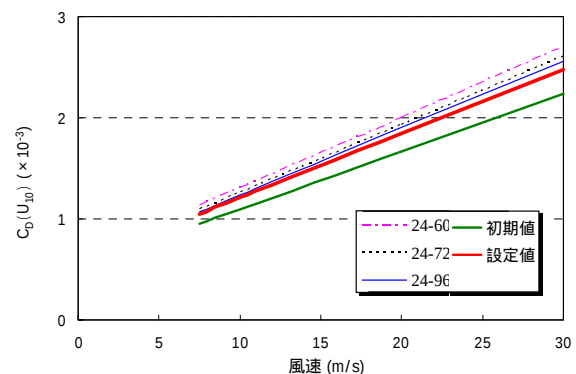


図-3 海面抵抗係数式の比較