

現地海域における海面抵抗係数の逆推定に関する研究

九州大学 学生会員 河端 浩平
正会員 横田 雅紀 児玉 充由
フェロー会員 橋本 典明

1. はじめに

第3世代波浪推算モデル WAM はエネルギー平衡方程式に基づき数 km スケールの計算格子における波浪場のエネルギーの増減を周波数成分別, 方向成分別に算出するモデルである. このエネルギー平衡方程式のソース関数のうち, 風から波への輸送項については Janssen の方法が採用されているが, このほか海面抵抗係数を風速の増加に伴い単調増加するパラメータとして与える Wu や本田・光易などの式が提案され広く利用されている. これらの提案式は概ね風速 25m/s 以下の条件における観測や実験に基づいて提案されたものと考えられるが, 風速 30m/s を超えるような強風速下では飛沫の発生により波浪の発達を抑えられることから海面抵抗係数は減少傾向に転じるという指摘(Powell ら, 2003)もあり, 強風条件への適用には疑問が残る. 今後, 地球温暖化の進行に伴う台風の強大化により, 高波・高潮災害の甚大化が懸念されており, 強風速下における海面抵抗係数の推定は非常に重要な課題といえる.

しかしながら, 飛沫を伴う海面を対象とした大気・海洋間の運動量輸送過程は複数の物理過程が複雑に組み合わさったものであり, 実験や観測でこれらの物理過程を個別に検討することは一般に困難である. また, 強風速下におけるパラメータ値の関数形状は未知であることから, 試行錯誤によりパラメータを同定することが非常に難しい. このような問題に対しては, 逆問題解法の利用が有望と考えられる. 波浪推算モデルにデータ同化手法(4次元変分法)を適用した ADWAM を用いれば, 強風を受けて発達した波浪の観測値から数値モデルを介して, 強風条件における海面抵抗係数の最適値を逆推定可能となる. 本研究は著者らが開発したデータ同化システムを用いて実地形および実気象条件における双子実験を行い推定精度の検証を行ったものである.

2. データ同化手法

本研究では WAM に 4次元変分法(Adjoint 法)を適用した ADWAM の同化変数を海面抵抗係数とし, 式(1)で示す評価関数を最小化する同化変数の最適値を探索した.

$$J(x) = \sum_{t=0}^T (H_t(x) - y_t)^T R_t^{-1} (H_t(x) - y_t) + W \sum_{n=1}^N (x_n - x_{n-1})^T B_t^{-1} (x_n - x_{n-1}) \quad (1)$$

ここで, 右辺第一項は観測誤差項で, 観測値と推算値の差を評価する項である. x は同化変数(海面抵抗係数), y_t は観測値, $H_t(x)$ は波浪推算値, R_t は観測誤差共分散行列を示している. また, 右辺第二項は, 海面抵抗係数 x が風速に関して滑らかな連続関数であるとする先験条件「 $x_n - x_{n-1}$ が小さい」を付加した背景誤差項であり, B_t は背景誤差共分散行列, W は背景誤差項の重み係数である.

3. 検討方法

計算条件は 図-1 に示す東経 125.0 度 ~ 150.0 度, 北緯 22.5 度 ~ 35.0 度 格子間隔 0.5 度の海域とし, 台風 0704 号が日本付近を通過した 2007 年 7 月 10 日 9 時から 7 月 17 日 9 時までの期間を対象に, 双子実験を行った. 実験はまず海面抵抗係数の目標値として図-3 の実線で示すような風速 25m/s 以下で本多・光易の式, 25m/s 以上では単調減少する式を用いて波浪推算を行い, 図-1 中に示す地点で得られた推算波高を目標波高(図-4 中の赤線)とし

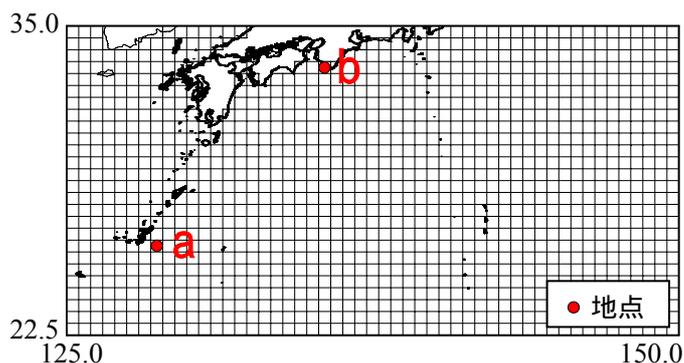


図-1 対象領域

た .次に図-3 の破線で示す初期値(本多・光易の提案式)を第一推定値とし、目標波高を用いてADWAMによるデータ同化を実施し、海面抵抗係数が初期値から目標値に逆推定されることを確認した。波浪推算に用いた海上風は、気象庁のメソ数値予報モデルGPV(MSM)による風速分布を与えた。各地点における風速の時系列を図-2に示す。地点aにおける最大風速は45.1m/sでこの領域内で吹いた最大風速である。地点bにおける最大風速は18.3m/sであった。

4. 検討

各地点において逆推定された海面抵抗係数の値を図-3に示す。また、図-4に目標値、初期値及び同化後のそれぞれの海面抵抗係数を用いて推算された波高の時系列を示す。

風速45m/s程度までの風速が発生していた地点aではすべての風速範囲で海面抵抗係数が精度良く逆推定されていることが分かる。同化後の海面抵抗係数を用いた波高についても、初期値を用いたケースでは過大に推算されていた波高が修正され、目標波高とほぼ一致している。

地点bでは発生していた最大風速である風速18m/sを超える風速30m/sまで海面抵抗係数が減少に転じる傾向が逆推定されており、波高についても同化後の海面抵抗係数を用いた波高は過大に推算されていた初期波高から修正され、目標波高の近くに修正されている。このことから風速30m/s程度の風を受けて発達した波浪が地点bで観測されていたと考えられる。ただし、波高は概ね修正されているにもかかわらず、風速30m/s以上の範囲については海面抵抗係数が逆推定できていないことから、未知パラメータ数に対して観測データが不十分であったことが考えられる。

5. おわりに

今後、実際の波浪観測値を用いたデータ同化を実施し、強風条件下における海面抵抗係数を推定していく予定であるが、現地適用にあたっては本結果を踏まえ、出来るだけ強風域から近い観測地点を用いるとともに、強風域から離れた観測地点を用いる場合は、観測地点数を複数にするなどの工夫をする必要があるものと考えられる。

本研究は科研費(22760375)の助成を受けたものである。

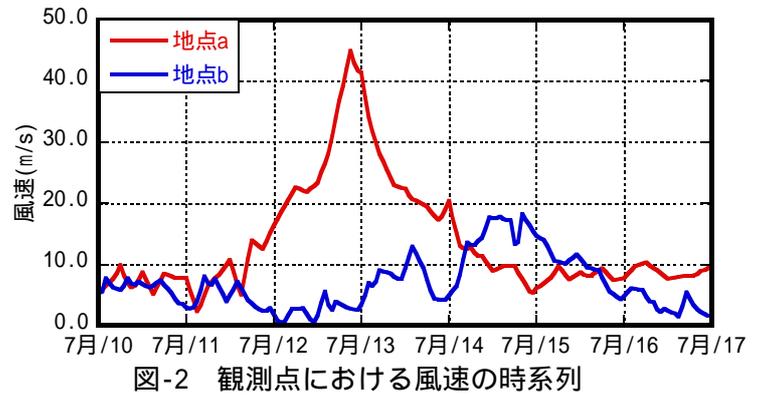


図-2 観測点における風速の時系列

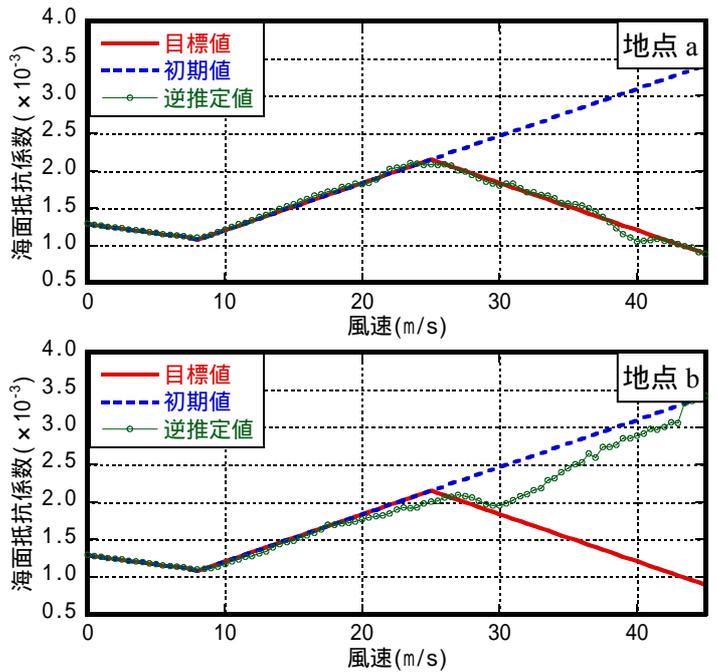


図-3 海面抵抗係数の逆推定結果

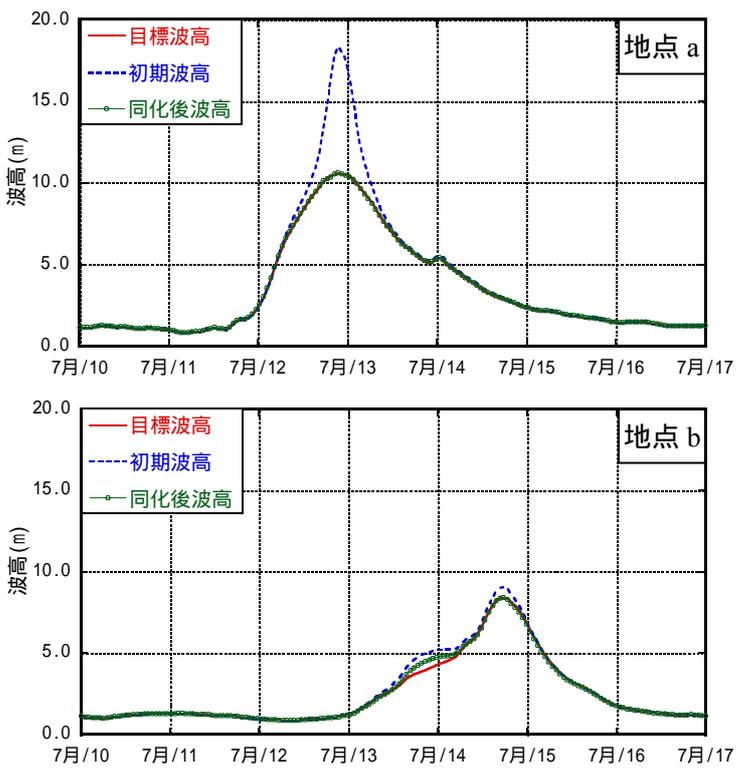


図-4 推算波高の比較