

22. 波浪推算モデルにおける海面抵抗係数の逆推定に関する研究

網屋 凌太

1. 目的

第3世代波浪推算モデル WAM は海上風を外力条件とし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 や本多・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, 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 の利用が有望と考えられる. これまでの研究により, 強風域の外側で観測された波浪データをもとに強風条件における海面抵抗係数を推定可能であることを数値実験で明らかにしているものの, 現地観測データを用いた推定では観測誤差の影響を受け, 推定結果が不安定になることが確認されている. 本研究では観測誤差が比較的少ない擾乱事例を対象にデータ同化を実施し本モデルの現地適用性について検討した.

2. 内容

2.1 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,

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

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.

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. ADWAM では, まず任意の海面抵抗係数を用い波浪推算を行い, その推算波高と観測波高の誤差を計算し, その誤差が小さくなるように修正を繰り返すことで最適値を探索する.

2.2 検討方法

計算対象領域は, 図-1 に示す東経 125.0 度~150.0 度, 北緯 22.5 度~35.0 度とし, 格子間隔は 0.5 度の海域とした. 観測地点は NOWPHAS(全国港湾海洋波浪情報網)

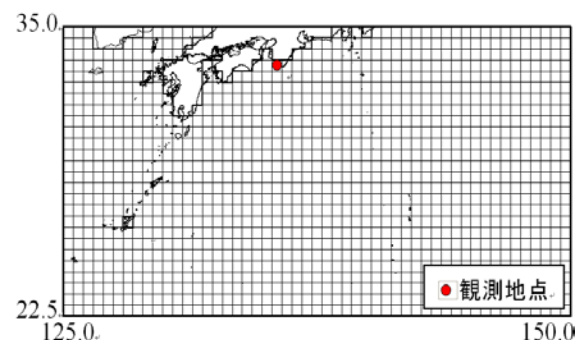


図-1 対象領域

の観測地点の内、沖合に面する潮岬とした。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。観測地点における風速の時系列を図-2に示す。データ同化の対象期間は、本多・光易の式を用いて予め実施した波浪推算において精度良く推算されていた、台風0704号及び0705号が日本付近を通過した2007年7月1日10時から8月4日8時までとした。推定風域は風速2m/sから50m/sまでとし、2m/s間隔25個として設定した未知パラメータについて、異なる一定の初期値(ケース1: 1×10^{-3} , ケース2: 3×10^{-3})でデータ同化を行い修正されることを確認した。

2.4 検討結果

観測地点における観測値、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図-3に示す。初期値1を用いたケースでは、過小に推算されていた波高が修正され、観測波高とほぼ一致しており、初期値3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、観測波高とほぼ一致していることが分かる。

各ケースで推定された海面抵抗係数の値は図-4に示すとおりであり、観測地点における風速最大値は18m/sであるにもかかわらず風速18m/sを超える風速範囲について風速の増大に伴って増加する本多・光易の式に近い値へと修正されている。これは、計算領域内の強風の影響を受けて発達した波浪が観測地点に伝播していたためと考えられる。初期値の異なる2ケースの推定結果を比較すると、風速25m/s以下については異なる初期値からほぼ同様の海面抵抗係数と修正されていることから、最適な係数が推定されたものと考えられる。一方、風速25m/s以上については初期値により異なる値が推定されており修正できていないものと考えられる。これは、対象期間中に観測地点で観測された波高は、風速25m/s以上の風の影響を受けていなかったためと考えられる。以上より、観測誤差を含むような実海域を対象とした場合でも本データ同化システムは適用可能であるといえる。

3. 結論

本研究では、データ同化手法を適用した波浪推算モデルにより海面抵抗係数を風速別の関数として推定可能であることを明らかにした。今後は、風速30m/sを超える風の影響を受けて発達した波浪が観測されている条件で推定を行う必要がある。

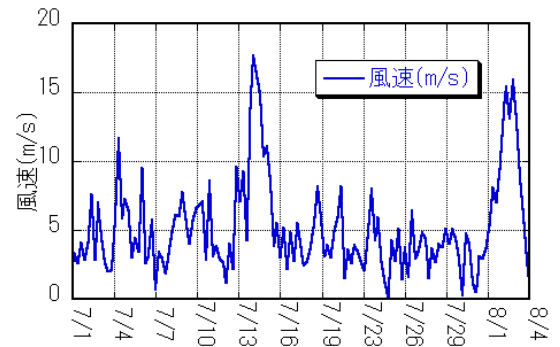


図-2 観測点における風速の時系列

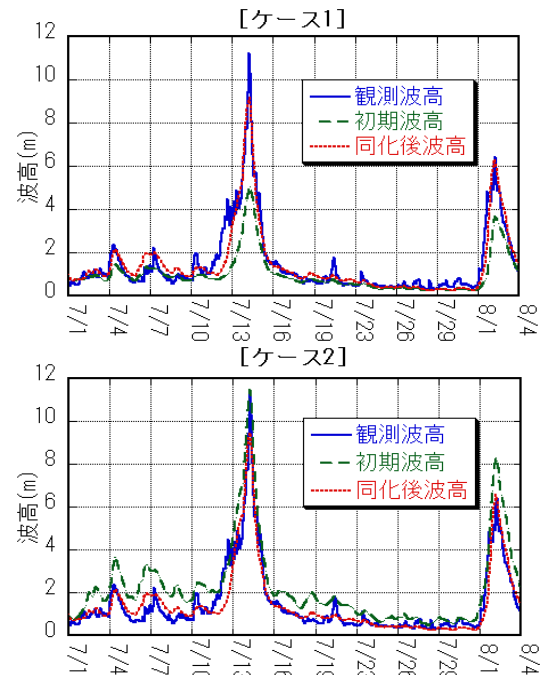


図-3 推算波高の比較

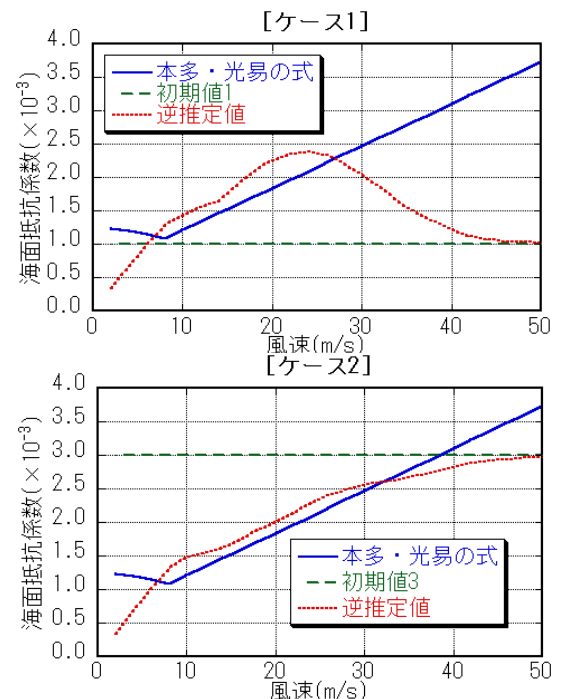


図-4 海面抵抗係数の逆推定の結果