

台風経路から観測地点までの距離が海面抵抗係数の逆推定精度に与える影響について

九州大学 学生会員 ○西村 大右 田中 雄太

正会員 横田 雅紀 児玉 充由

フェロー会員 橋本 典明

独立行政法人港湾空港技術研究所 川口 浩二 河合 弘泰

1. はじめに

今後の地球温暖化に伴う台風の強大化により甚大化が懸念される高波・高潮災害等を波浪推算により予測するうえでは、強風時の風から波へのエネルギー輸送メカニズムの解明が非常に重要である。風から波へのエネルギー輸送過程の重要なパラメータである海面抵抗係数は、従来の波浪推算モデルでは、**図-1**に示す本多・光易や Wu の提案式のように、風速に関する単調増加関数が用いられてきた。しかしながら、これらの提案式は概ね風速 25m/s 以下の条件に基づいて検討されたものであり、風速 25m/s 以上の強風条件については外挿されたものと考えられ、強風条件での精度には疑問が残る。事実、強風速下では海面抵抗係数が減少するという報告(Powell ら, 2003)もある。

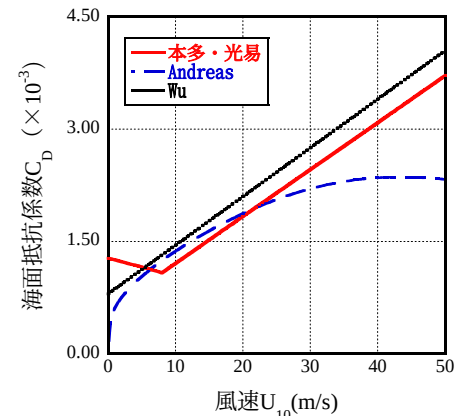


図-1 風速による海面抵抗係数

著者らは、データ同化手法を導入した波浪推算モデルを用いた数値実験により、波高の観測値から風速別の海面抵抗係数が逆推定できることを確認している。本研究では、実海域への適用にあたり課題となる、観測地点と台風経路との距離が海面抵抗係数の逆推定の精度に及ぼす影響について、数値実験による検討を行った。

2. データ同化手法

データ同化は、数値モデルと観測データ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逆推定する手法であり、観測が困難な物理量を他の観測データから推定することが可能である。本研究では WAM に 4 次元変分法(Adjoint 法)を適用した ADWAM を用い、基礎方程式の時間発展を拘束条件として式(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するものとした。

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

ここで、右辺第一項は観測誤差項であり、 x は状態変数、 y_t は観測値、 H_t は観測値への変換行列、 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 が風速に関して局所的に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。従来の WAM が時間に関して順方向に数値積分して波浪を推算するのに対し、データ同化では、時間逆方向に数値積分して同化変数の修正情報を得る。この計算を繰り返し、評価関数を最小にする解析値を求める。

3. 検討方法

海面抵抗係数を状態変数とし、式(2)に示すように風速 30m/s 以下では本多・光易の提案式、風速 30m/s 以上では単調減少する一次関数を仮定し、風速 1m/s 毎の 50 個のパラメータを目標値とした。

$$C_D = \begin{cases} (1 - 1.89 \times U_{10} \times 10^{-2}) \times 1.28 \times 10^{-3} & (U_{10} < 8 \text{ m/s}) \\ (1 + 1.078 \times U_{10} \times 10^{-1}) \times 5.81 \times 10^{-4} & (8 \text{ m/s} \leq U_{10} \leq 30 \text{ m/s}) \\ (4.361 - 0.063 \times U_{10}) \times 10^{-3} & (U_{10} \geq 30 \text{ m/s}) \end{cases} \quad (2)$$

この目標値を用いて WAM による計算を行い、特定の地点で得られた 1 時間毎の計 66 個の推算波高を観測値として ADWAM によるデータ同化を実施し、パラメータが任意の初期値から目標値に逆推定されることを確認した。

図-2 に示す格子間隔 0.5 度、10 度×10 度の深海矩形域をモデル台風が通過する条件で数値実験を行った。波浪推算に用いた海上風は、中心気圧 850hPa、最大風速半径 100km、中心移動速度 50km/h で、台風中心が図-2 の矢印のように北上するものとして、台風モデルにより算出し、1 時間毎の風速分布を与えた。

実海域においては、波浪観測地点の直上を台風が通過するとは限らないことから、台風中心の経路から観測地点までの距離によるパラメータの逆推定の精度について検討する必要がある。本検討では、図-2 中の地点 a, b, c, d, e, f, g において 1 地点によるデータ同化を行った。

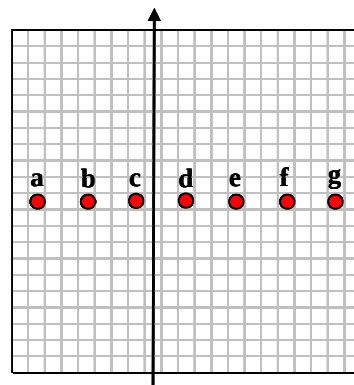


図-2 矩形海域

4. 検討結果

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。なお、図-3 中の矢印はその地点において発生している最大風速を示す。緑色の破線で示す推定値はいずれの地点とも観測地点で発生していた風速域は海面抵抗係数が初期値から目標値近くに精度良く修正されており、観測地点が台風中心の経路から離れるに従い推定精度が落ちる傾向がみられた。また、地点 a, b, g では、観測地点では発生していない強風速域の海面抵抗係数についても精度良く逆推定されている風速域がみられる。これは、他の強風域で発達した波浪が伝播し対象地点で観測されたため、同化モデルにより修正されたものと考えられる。

また、地点 a の風速 25～35m/s の範囲のように海面抵抗係数の逆推定精度が悪い範囲もみられるが、これは他方向からの波が干渉していた可能性が考えられ、方向別の波浪情報を用いたデータ同化を行うことで精度の向上が期待できる。なお、複数地点での観測データを用いることによる推定精度の向上について、地点 a 近傍の 2 地点の観測波高を用いたデータ同化を試みたが相乗効果はみられなかった。

5. おわりに

台風中心の経路から離れた地点の観測波高をもとにデータ同化を行った結果、強風域直下の観測波高データと比べるとやや精度が劣るものの、目標値周辺の海面抵抗係数が逆推定可能であることが確認できた。特に、本検討の条件では台風中心の西側 200km 及び、東側 100km の範囲では特に精度が高い逆推定が可能であった。

今後は、方向スペクトルを用いたデータ同化による精度向上を図るとともに、現在のモデルを実海域に適用し、モデルの有効性を確認する予定である。

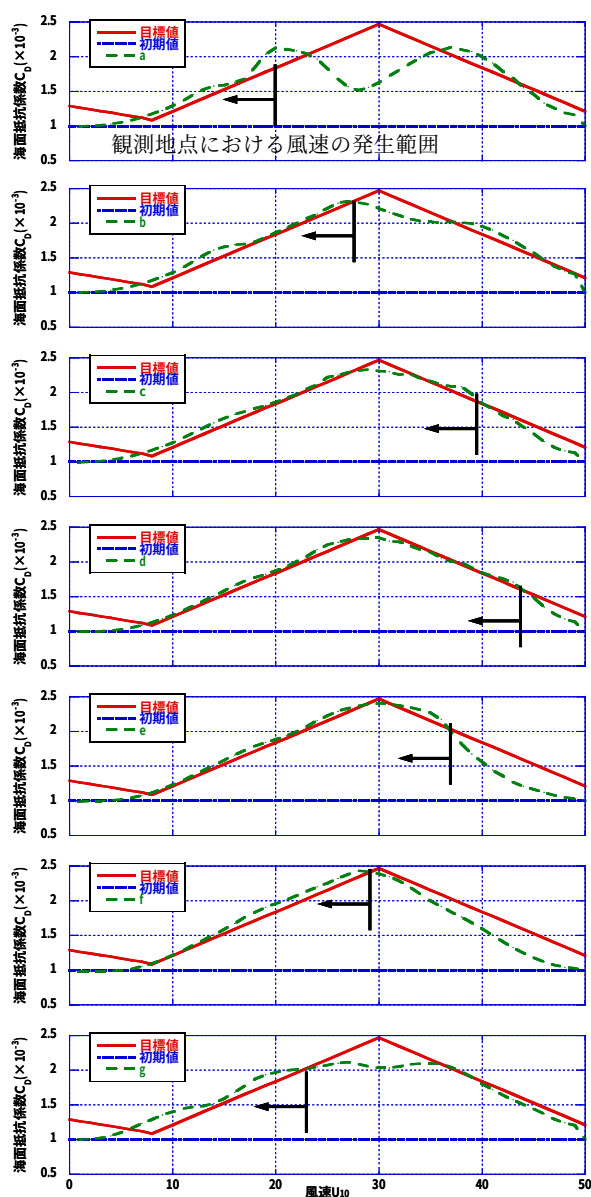


図-3 各点における逆推定結果