

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月15日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760375

研究課題名（和文） 高潮予測モデル・流動予測モデルによる海面抵抗係数の逆推定  
及びその比較研究課題名（英文） Inverse Estimation of Sea Surface Drag Coefficient  
Based on Ocean Model or Storm Surge Model

研究代表者

横田 雅紀（YOKOTA MASAKI）

九州大学・工学研究院・助教

研究者番号：60432861

研究成果の概要（和文）：

風速別の海面抵抗係数を推定可能なデータ同化システムを構築し、現地海域に適用した。推定された海面抵抗係数は、初期値によらず、風速に比例して増加する分布を示し、従来の提案式とも概ね一致するものとなった。また、観測箇所では風速 10m/s 程度しか発生していない条件で風速 30m/s の条件まで推定できたことから、超強風条件の海面抵抗係数も推定可能であることが確認できたといえる。

研究成果の概要（英文）：

The data assimilation model that can estimate the appropriate sea surface drag coefficient for each wind speed was developed and was applied to real sea condition. As a result, reasonable coefficients were estimated from the arbitrary initial parameters. Also, it was clarified to be able to deduce drag coefficient in high wind speed if waves were propagated from strong wind region even if the strong wind had not been generated in the observation station.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

研究分野：水工水理学

科研費の分科・細目：土木工学、水工学

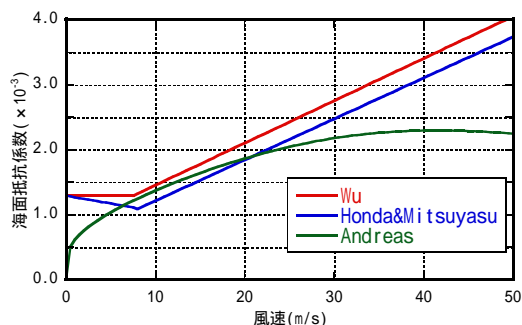
キーワード：海面抵抗係数、データ同化

## 1. 研究開始当初の背景

高潮や高波は沿岸域防災の重点課題であり、今後の地球温暖化に伴う海面上昇及び台風の高波化により、さらなる頻発化と甚大化が懸念されている。これらの災害を事前に把握し、被害を最小化するためには、コンピュータによる予測が有効である。気象及び地形

などの入力条件に対して理論式から高波や高潮の予測結果を算出するモデルは既に世界各国で開発が進められているものの、モデル内で使用される多くのパラメータは現地で観測することが困難であり、経験的に試行錯誤を繰り返しながら設定されているのが現状である。なかでも予測結果に大きく寄与

する係数として、大気から海へのエネルギー輸送過程の海面抵抗係数が挙げられる。海面抵抗係数については、国内でもいくつかの検討事例があるが、波浪予測で用いられる係数については風速の一次関数を仮定するもの、流動予測については風速によらず一定値を仮定するものも多い。



海面抵抗係数の提案式

超強風時における海面抵抗係数については、現地で直接測定することや室内実験施設の整備が非常に困難であったため、これまでは、概ね風速 25m/s 以下の条件での検討により提案された風速に関する単調増加関数を外挿して与えるのが一般的であり、超強風条件での波浪推算結果が過大となることが懸念されている。風速別の海面抵抗係数を現地観測により把握しようとしても、沖合では強風時における観測そのものが困難であるうえ、気流の剥離によって生じる激しい海面変動や砕波による気泡混入により計測が非常に難しいため未解明のまま残されているのが現状である。一方、powel (2003) の報告によれば、ゾンデをハリケーン直上から投下し、海面上の風速分布から風速別の海面抵抗係数が推定されており、海面抵抗係数は風速 30m 程度までは増加する傾向にあり、それ以上の風速では逆に減少することが指摘されている。

海面抵抗係数を定量的に把握する方法として、これまで測得されている観測データを手がかりとして、予測モデルを介して自動的に最適なパラメータが逆推定可能なデータ同化手法の利用が有効と考えられる。波浪推算モデルにおける海面抵抗係数については波高の観測データから逆推定するモデルを開発しており、このモデルにより推定された海面抵抗係数の妥当性については数値実験により検証済みである。一方、流れについては全国港湾海洋波浪情報網 (ナウファス) により観測・保管されている流れのデータをもとに全国沿岸域の流れのデータについて、長期変動も含め網羅的な検討を行い、台風の接近時や冬季季節風発生時に沖合の広い範囲で強い残差流が発生していること、その発生には

気圧分布の変動及びそれに伴って発生する風との相関が高いことを確認している。これらの大規模残差流について、高潮モデルや流動予測モデルで再現することにより、詳細な発生メカニズムの検討を進めているところである。

## 2. 研究の目的

本研究では、数値モデルを仮定の観測装置とすることで複雑な自然現象の内部構造を把握することが可能なデータ同化手法により、従来は試行錯誤により設定されていたパラメータを自動的に推定するモデルを構築する。開発されたモデルにより、実験などによる検討が困難な超強風時における海面抵抗係数などのパラメータについて、全国港湾海洋波浪情報網で既に観測・蓄積された波浪流速データを活用して推定することにより、最適値を推定する。さらに、既往の実験・観測に基づく報告事例との比較による妥当性の検証だけでなく、高潮モデルや流動予測モデルといった複数の予測モデルを用いることで、波浪推算モデルにより逆推定される海面抵抗係数の妥当性を確認する。得られた知見は高潮・高波予測の高精度化に寄与するものであり、気象予報にもとづく高波・高潮危険地域への情報発信などの沿岸防災に資することが期待される。観測データ沿岸域における防災・海岸保全・環境問題等に重要な知見を与えることが期待される。

## 3. 研究の方法

時空間的に複雑に連動した現象を解明する必要があるため、本研究では 4 次元変分法を用いた。同化期間に観測された全てのデータを用いて、次式で定義される評価関数の最小値を求めることで、力学的整合性を満たしつつ自動的に対象とする状態変数の最適推定値を得るものである。

$$J(x) = W \sum_{n=1}^N (x_n - x_{n-1})^T B_n^{-1} (x_n - x_{n-1}) + \sum_{i=0}^T (H_i(x) - y_i)^T R_i^{-1} (H_i(x) - y_i)$$

ここに右辺第 1 項は離散化された  $C_D$  の状態変数が局所的には滑らかとする背景誤差項、右辺第 2 項は観測誤差項であり、 $x$  は状態変数、 $y_i$  は観測値、 $R_i$  は誤差共分散行列、 $H_i$  は状態変数を観測値に変換する観測演算子、 $B_i$  は背景誤差共分散行列、 $W$  は観測誤差項と背景誤差項の間の重み係数を表す。

これにより強風直下での観測が困難なためにデータが取得できない場合でも、強風の影響を受けた周辺の観測情報から強風条件下を含む風速別の海面抵抗係数を推定することが可能である。アジョイントコードの作成については Tangent linear and Adjoint Model Compiler (Giering and

Kaminski, 1998)を利用した。

データ同化手法を付加したシステムの妥当性を検証するため、仮想の海域を対象として海面抵抗係数の目標値（仮の真値）を設定して予測計算を行い、目標値を用いて得られる推算値を仮想の観測値としてデータ同化の数値実験を行い、任意の初期値から設定した海面抵抗係数の目標値が正しく逆推定されることを確認した。

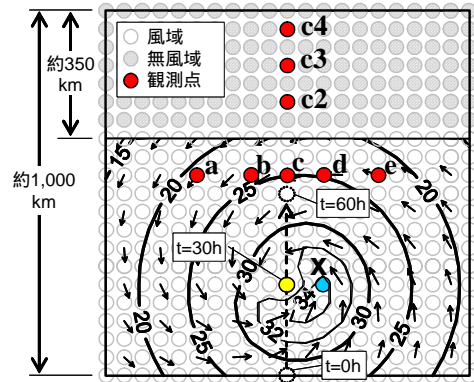
次いで、本データ同化システムにより適切な係数が推定できる条件の検討を行った。実海域に適用する際には、観測に含まれる誤差や入力条件となる風の再現誤差により、解が不安定になりやすい。ここでは、観測データ数、パラメータ数を変化させ、解が推定可能な条件を明らかにした。さらに、観測データの取得地点において強風が発生していない場合でも、強風条件の推定が出来ることを数値実験により確認した。最後に、データ同化システムを実海域に適用し海面抵抗係数の推定を行った。本検討では全国港湾海洋波浪情報網（NOWPHAS）により提供されているデータを観測値として利用することとし、なかでも太平洋側に面しており、強風の影響を受けやすく周辺地形による遮蔽効果を受けにくいことが想定される潮岬を選定した。

強風速を含む風速別の海面抵抗係数をデータ同化により推定するのに適した擾乱を抽出するため、気象庁が提供するGPV風データに基づき過去数年間の推算を海面抵抗係数が異なる複数のパターンについて実施した。主に台風などの気象擾乱を中心に推算結果を確認したが、風速30m以上の強風速範囲の海面抵抗係数により有意な違いが推算される擾乱事例はみあたらなかったことから、本研究では風速30m/s以下の範囲について海面抵抗係数の逆推定を行うこととした。

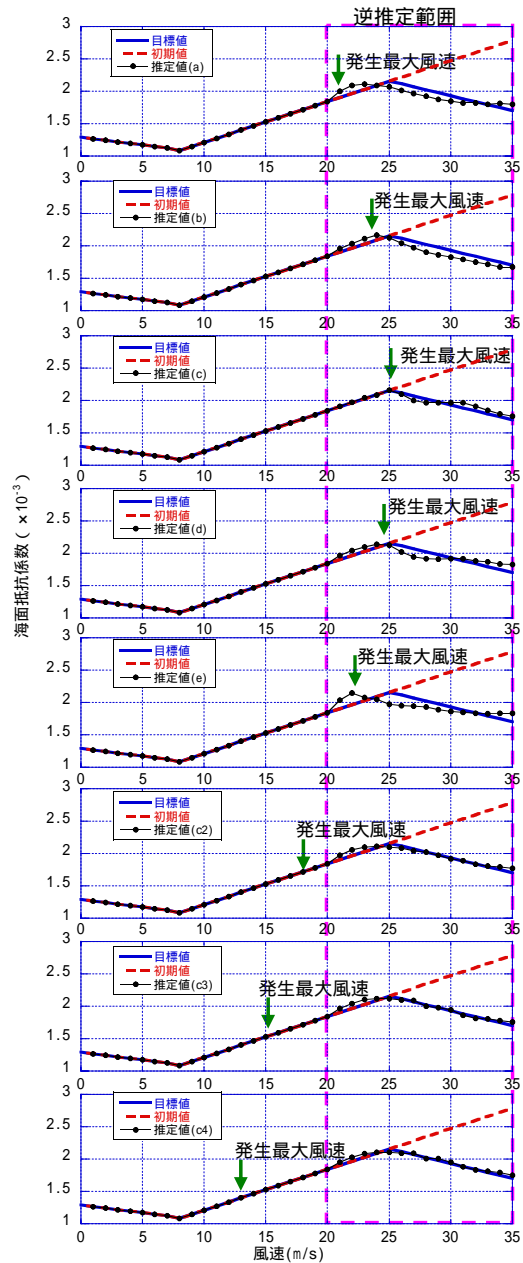
#### 4. 研究成果

高潮モデルや流動モデルを用いた計算はモデルの特性上、開境界（計算領域外）の海流などの流れの影響を受けやすく、吹送流のみの抽出が難しいため、海面抵抗係数の逆推定精度は波浪推算モデルに比べると劣っていた。そこで、海面抵抗係数の逆推定は主として波浪推算モデルを用いて実施し、流動モデルや高潮モデルによる推定は波浪推算モデルで推定された係数の妥当性を確認することを目的として実施した。

現地適用に先立ち実施した数値実験では強風の発生域から離れた観測点のデータをもとにしたデータ同化により、逆推定するパラメータ数を強風速範囲のみに限定することで推定精度が向上すること、観測値に強風域の影響が含まれていれば強風速範囲のCDが推定可能であることを明らかにした。

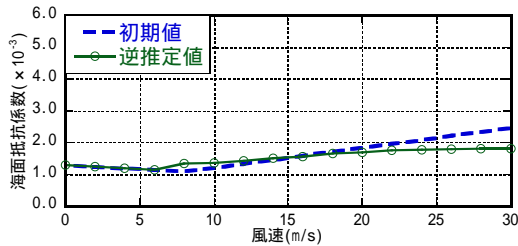


計算領域と観測点

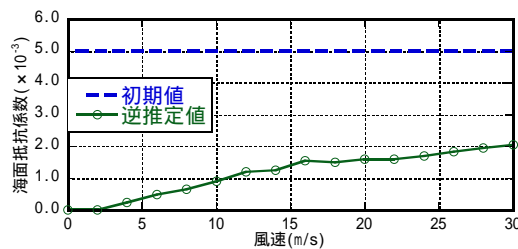


逆推定された海面抵抗係数

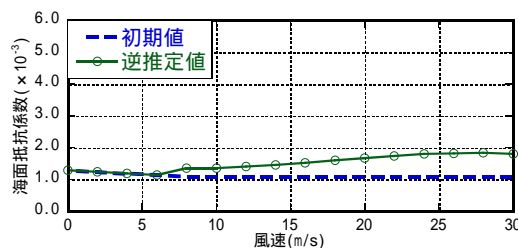
データ同化システムを現地に適用し、複数パターンの初期値から風速別の海面抵抗係数を推定したところ、初期値によらず同一の推定結果が得られた。推定された海面抵抗係数の分布は一般的に利用されている本多・光易の提案式と類似する結果であり妥当な推定がされていることが伺え、本研究で構築したモデルは観測誤差等を含む現地においても適用可能であることが確認できた。さらに、観測地点は発生していない強風速範囲まで逆推定できることも同時に確認できた。



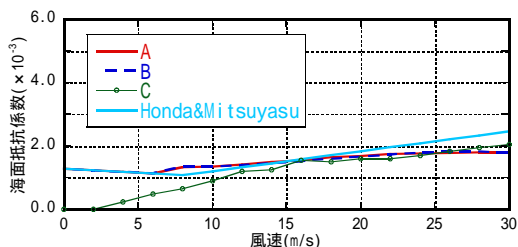
初期値を本多光易の式とした場合の推定結果



初期値を一定値とした場合の推定結果



初期値を一定値とした場合の推定結果



推定された海面抵抗係数の比較

本研究で開発したデータ同化システムを用いることで観測が困難であった超強風条

件における海面抵抗係数を明らかにすることが可能であり、地球温暖化に伴って甚大化が懸念される高波や高潮の予測精度向上に資する成果といえる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

横田雅紀, 橋本典明, 田中雄太, 児玉充由, つねりを観測する条件での海面抵抗係数の逆推定精度に関する検討、土木学会論文集 B3 (海洋開発)、査読有、Vol. 67, No. 2、pp.1\_903-1\_907、(2011)

Masaki YOKOTA, Noriaki HASHIMOTO, Yuta TANAKA, Inverse Estimation of Sea Surface Drag Coefficient Based on Waves Observed Away from Strong Wind Region, Proceedings of the 21st International Offshore and Polar Engineering Conference, 査読有, Volume 3, pp.428-433, 2011

〔学会発表〕(計3件)

横田雅紀, 橋本典明, 田中雄太, 児玉充由、つねりを観測する条件での海面抵抗係数の逆推定精度に関する検討  
第36回海洋開発シンポジウム  
2011年7月1日  
愛媛大学

Masaki YOKOTA, Noriaki HASHIMOTO, Yuta TANAKA, Inverse Estimation of Sea Surface Drag Coefficient Based on Waves Observed Away from Strong Wind Region the 21st International Offshore and Polar Engineering Conference, 2011年6月21日  
マウイ

河端浩平, 橋本典明, 横田雅紀, 児玉充由、現地海域における海面抵抗係数の逆推定に関する研究  
土木学会西部支部研究発表会  
2012年3月3日  
鹿児島大学

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

横田 雅紀 (YOKOTA MASAKI)

九州大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：60432861