

機関番号：17102
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20360222
 研究課題名（和文） 大気・海洋間の運動量輸送過程の帰納的推定と沿岸防災技術の高度化に関する研究
 研究課題名（英文） Development of an inductive method for estimating momentum flux from winds to ocean waves for advancement of coastal disaster prevention
 研究代表者
 橋本 典明（HASHIMOTO NORIAKI）
 九州大学・大学院工学研究院・教授
 研究者番号：90371749

研究成果の概要（和文）：大気・海洋間の運動量輸送を支配する海面抵抗係数の暴風時における特性を定量的に解析可能な方法として、数値モデルを介して複雑なシステムの内部構造を推定する立場から、データ同化技術(4次元変分法)を利用した新しい解析法を開発した。また、種々の条件で本方法の精度や適用性を検討した。その結果、本方法は、観測が極めて困難な暴風時の海面抵抗係数を、暴風域外で観測された波浪観測データから逆推定可能であることを示した。

研究成果の概要（英文）：The sea surface drag coefficient is an important parameter controlling the momentum transfer between the ocean and atmosphere. However, its characteristics under stormy winds are unknown due to difficulty of its observation. In this research, in order to deduce the quantitative characteristics of the sea surface drag coefficient under stormy winds, a new analysis method using a data assimilation method, i.e. 4th dimension variational method, was developed from the viewpoint where an internal structure of a complex natural system can be deduced through a numerical model and observation data. Accuracy and applicability of the method were examined for various conditions. As a result, the inverse estimation of the sea surface drag coefficient under stormy winds, where its observation is extremely difficult, was shown to be possible with the method applying to the wave data observed outside the storm.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	6,900,000	2,070,000	8,970,000
2009年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2010年度	3,000,000	900,000	3,900,000
年度			
年度			
総計	13,000,000	3,900,000	16,900,000

研究分野：海岸工学、海洋工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：データ同化、波浪推算モデル、大気・海洋間の運動量輸送過程、非線形相互作用

1. 研究開始当初の背景

近年、地球温暖化に伴う海面上昇及び台風の大規模化により、高潮・高波による災害の頻発化と規模の拡大が世界各地で懸念されている。台風に伴う高潮・高波災害を防ぐにはコンピュータによる予測が有効である。現在、

世界各国で用いられている波浪予報モデルは、波浪のエネルギー平衡方程式に基づき、エネルギーソース関数（風から波へのエネルギー輸送項、非線形エネルギー輸送項、エネルギー消散項）を適切に記述することにより、最新の第三代波浪予報モデルへと発展し

た。しかし、実際の推算では観測値に合うようにパラメータを調整するなどの便宜的な調整が依然として行われているのが実状である。これは大気・海洋間の運動量輸送のモデル化が未だ不完全であることが原因である。特に、風から波へのエネルギー輸送項は、実際には概ね 25m/s 以下の風速で実験や観測に基づいて提案されたものであり、大災害をもたらすような強風での適用には疑問がある。この関数形の適切な設定は、大気・海洋間の運動量輸送過程のモデル化における最重要課題であり、沿岸防災技術の高度化のみならず地球温暖化予測においても非常に重要であることから、早急に検討しなければならない課題である。

2. 研究の目的

本研究では、内外の研究および申請者らがこれまでに実施してきた研究成果を総合的に評価し、これまで検討が不十分あるいは未解明な課題の内、特に以下の2項目に着目した研究を行い、より高精度で信頼性の高い大気・海洋間の運動量輸送モデルを構築することにより、沿岸防災技術の高度化に資することを目的とする。

(1) 従来のシミュレーションによる演繹的な検討に加えて、データ同化技術を利用して既に測得されている種々の観測データを手がかりとして、数値モデルを介して複雑なシステムの内部構造を逆推定するという帰納的方法により、観測が困難な暴風時の大気・海洋間の運動量輸送過程を解析可能な新しい方法を開発することで、数値予報モデルの精度向上を図る。

(2) 波浪予報モデルのエネルギーソース関数の内、非線形エネルギー輸送項については、任意水深に適用可能な厳密計算法を改良し、計算時間の短縮が可能な実用的計算手法を開発・導入することにより、波浪モデルおよび波浪・高潮双方向結合モデルの精度向上と実用性の向上を図る。

3. 研究の方法

本研究では、研究の目的に示した2項目の成果達成のため、以下の5項目に分類して研究を実施した。

(1) 既往の波浪推算結果の収集・整理・解析
国土交通省および(独)港湾空港技術研究所がこれまでに実施してきた波浪推算結果を収集・整理・解析し、推算値が観測値よりも過大(誤差が大きい)であった33ケースを選定し、海上風データ及び、同期間のNOWPHAS(全国港湾海洋波浪情報網)波浪観測データを収集・整理した。また、これらの

波浪推算結果の再解析を実施し、波浪の推算精度に影響を与える気象条件(風速や台風の移動速度など)を整理した。さらに、超強風下での波浪の数値実験を行い、台風の移動速度や移動経路、計算格子間隔、エネルギー入力項の算出法の違いによる推算波高の違いを明らかにすることにより、推算波高が過大となりやすい条件について検討を行った。

(2) 有限水深域における非線形エネルギー輸送の離散相互作用近似の改良

エネルギーソース関数の内、理論的な検討が可能な非線形エネルギー輸送項について申請者らが開発した任意水深域に適用可能な非線形エネルギー輸送の厳密計算法を基に、浅海域においても計算精度が高く計算負荷の小さな新しい離散相互作用近似を開発し、うねりの伝播では非線形相互作用が波高の推算結果に与える影響について検討を行った。さらに、改良した非線形エネルギー輸送の離散相互作用近似を波浪モデルに組み込んだ。なお、波浪予報モデルには第三世代波浪モデル WAM-Cycle-4 を用いたが、オリジナルの WAM には浅海域で重要な地形性碎波によるエネルギー消散項が含まれていないため、浅海波浪予報モデル SWAN を参考に改良したモデルを上記の WAM-Cycle-4 に組み込むことにより改良した。

(3) 波浪予報モデルの Adjoint コードの開発

暴風時の大気・海洋間の運動量輸送過程で重要な海面抵抗係数 CD に着目し、波浪観測データから波浪推算モデル WAM を介し、離散的な一定値関数形で設定した CD を逆推定可能な Adjoint 法(4次元変分法)を利用したモデルを開発した。データ同化に際しては、Adjoint コードを用いて逆推定された値をもとに、降下法および準ニュートン法を用いた非線形最適化によりモデルの内部パラメータを逆解析するため、改良した波浪モデルに対する Tangent Linear コードおよび Adjoint コードを作成した。ただし、CD を離散的な一定値関数とする場合には U10 の分割数が未知パラメータ数となり、パラメータ数を増せば解の分解能は向上するが推定値が不安定になりやすい。そこで CD が U10 に関する連続関数と仮定し、離散化した CD の値が局所的には滑らかな連続関数である先験条件を付加し、モデルによる推定値と観測値の観測誤差項と先験条件の満足度を表す背景誤差項の和で表されるコスト関数を最小化することにより最適なパラメータを推定できるモデルとした。作成した Adjoint コードの妥当性を数値シミュレーションによる双子実験により、目標値に近い海面抵抗係数の値が適切に推定されることで確認した。

(4) 開発したモデルの適用性に関する検討
 強風速域の海面抵抗係数を精度良く推定するため、観測値として有義波高の時系列データを与える方法に加え、各方向別の波浪成分の時系列データを観測データとして与える場合および周波数と方向の関数である方向スペクトルそのもの時系列データを観測データとして与えてデータ同化を行う Adjoint コードを開発し、各モデルについて妥当性及び高精度で推定可能な適用条件を数値シミュレーションにより検討した。

(5) 沿岸防災技術の高精度化に関する検討
 研究代表者らが開発した波浪・高潮双方向結合モデルに、得られた大気・海洋間の運動量輸送モデルを導入して改良し、その適用性と精度を、本研究で準備した高精度海上風データを用いて検討を行い、精度の良い波浪と高潮に関する沿岸防災数値解析システムを構築した。

4. 研究成果

(1) 推算波高が過大となる気象擾乱事例を対象として気象条件との比較を行った結果、風速 15m/s 程度では精度良く推算されているものの、強風速下では推算波高が過大となる傾向が確認された。また、台風の移動速度が 30km/h ~ 40km/h 付近で推算波高が最も過大になる傾向がみられた。
 超強風下の波浪推算について、数値実験を行い、推算波高が過大となりやすい条件について検討した結果、台風の中心付近が通過する場合には、台風の移動速度や計算格子幅の違いが強く影響することが明らかとなった。さらに、定常風での検討により、風速 15m/s 付近ではエネルギー入力項の算出式によらず、同程度の波浪推算結果が得られるが、強風速下では推算結果に差が生じることを確認した。(図 1)

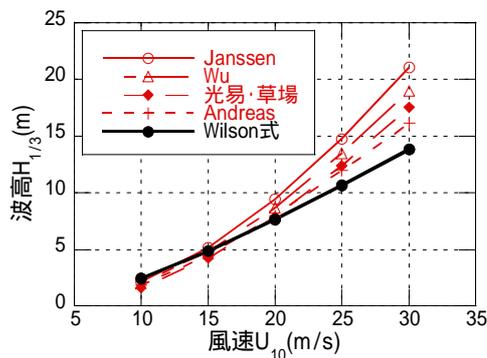


図 1 エネルギー入力項別の推算波高

(2) モデル海域を対象とした検討により、うねりの伝播では非線形相互作用が波高の推算結果に大きく影響し、うねり性波浪の推算

精度向上に対して、非線形相互作用の高精度化が有効であることを確認した。(図 2)

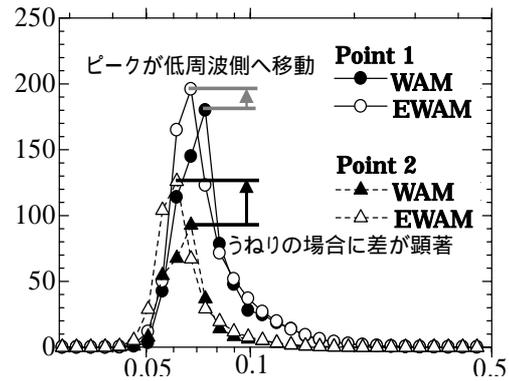


図 2 周波数スペクトルの比較

(3) 波浪推算モデルにデータ同化手法を適用し、有義波高の時系列データから、観測地点で発生している風速範囲について風速別の海面抵抗係数 C_D を逆推定可能な方法を開発した。また、 C_D を離散化表現するために必要な未知パラメータ数に対して、観測データ数が十分な場合には高精度な推定が可能であること(図 3a)、また、仮に観測データ数が十分でないために推定値が不安定になる場合においても、評価関数に適切な先験条件を加えることで推定値が安定化し、推定精度が向上すること(図 3b)を明らかにした。

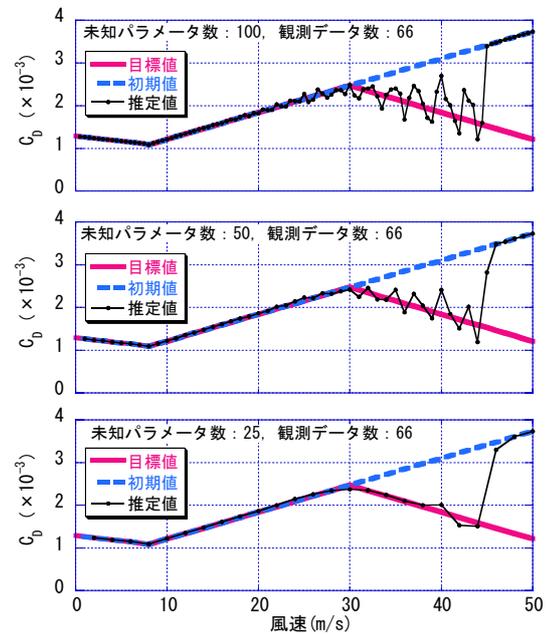


図 3a 逆推定された海面抵抗係数

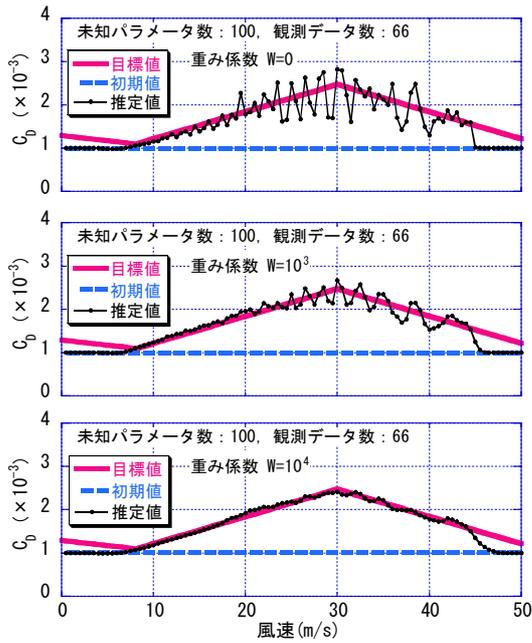


図 3b 逆推定された海面抵抗係数

(4) 観測値として各方向別の波浪成分の時系列データを与える手法についてもモデルを構築し、観測地点で発生する風速範囲の海面抵抗係数を逆推定可能であることを数値実験により明らかにした。また、強風の発生域から離れた観測点の波浪を観測値としてデータ同化実験を行った結果、台風経路の延長線上の観測点では強風が発生していない条件であっても、強風域で発生し伝播してきたうねりが観測されていれば、データ同化により観測が極めて困難な強風速範囲の CD が逆推定可能であることが確認できた。さらに、台風経路から離れた観測点においても、強風速範囲の CD のみを未知パラメータとし、逆推定するパラメータ数を減少させることで、観測点で発生する風速範囲を超えて強風速範囲の CD が精度良く逆推定できることを明らかにした(図 4, 5)。

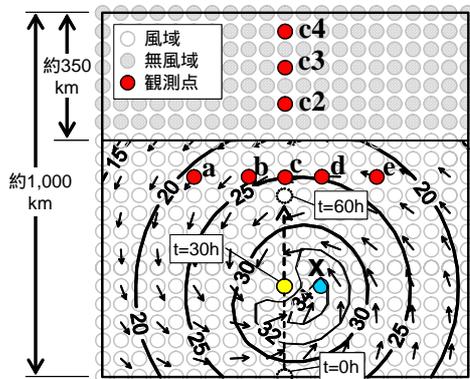


図 4 計算領域と観測点

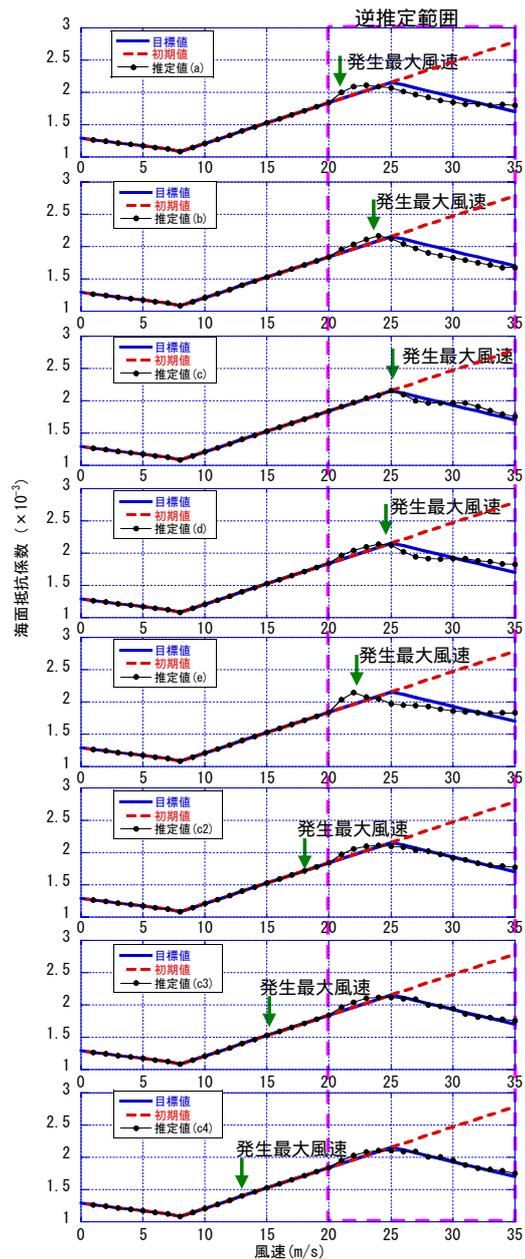


図 5 逆推定された海面抵抗係数

(5) 本研究で開発した暴風時の海面抵抗係数の逆推定法では、気象学や海洋学等で利用されてきたデータ同化技術を応用した。ただし、気象学や海洋学の分野では、データ同化技術は一般に初期条件や境界条件あるいはモデルパラメータの逆推定などに利用されている。本研究では、それをさらに拡張し、モデルに含まれるパラメータ(海面抵抗係数)を風速の関数として逆推定可能な方法として開発した。申請者らの知る限りでは、このような拡張は新しいアプローチである。今後、本研究を参考にして、同様な方法が各方面で利用されるものと期待される。

(6) 本研究で開発した暴風時の海面抵抗係数の逆推定法を現地観測データに適用することにより、風速 30m/s を越える暴風時の海面抵抗係数の特性や大気・海洋間の運動量輸送過程のメカニズム等が検討可能になると期待されることから、本研究の成果は、今後の波浪・高潮予報モデルの精度向上に有効利用され、沿岸防災技術の高度化に資することができるものと期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 11 件)

Masaki Yokota, Noriaki Hashimoto, Koji Kawaguchi and Hiroyasu Kawai Development of an Inverse Estimation Method of Sea Surface Drag Coefficient under Strong Wind Conditions. Proceedings Of The International Conference On Coastal Engineering, No. 32(2010), Shanghai, China. Paper #: waves.32. Retrieved from <http://journals.tdl.org/ICCE/> (査読有)

三井正雄, 橋本典明, 河合弘泰, 横田雅紀, 北村康司、高度化した海象計による海洋波の方向スペクトル推定精度向上に関する研究、土木学会論文集 B2(海岸工学)、査読有、Vol.66, No.1, pp. 1446-1550、(2010)

中野俊夫, 山城賢, 橋本典明, 大西健二、4DVAR を用いた台風 9918 号の追算、土木学会論文集 B2(海岸工学)、査読有、Vol.66, No.1, pp. 381-385、(2010)

橋本典明・三井正雄・河合弘泰・児玉充由・岩崎裕志、海象計の方向スペクトル推定におけるベイズ法の適用性に関する研究、海洋開発論文集、査読有、Vol.26, pp. 1245-1250、(2010)

横田雅紀・橋本典明・西村大右、波浪観測の位置が海面抵抗係数の逆推定精度に与える影響について、海洋開発論文集、査読有、Vol.26, pp. 1257-1261、(2010)

Noriaki Hashimoto et al.、Attempt for Accuracy Improvement of Wave Hindcasting/Forecasting in Coastal Sea and Inner Sea by Data Assimilation、Proc. 31th Int. Conf. Coastal Eng. 'Coastal Engineering 2008'、査読有、pp.483-495、(2009)

Hiroyasu Kawai et al.、Real-time Probabilistic Prediction of Storm Water Level at Japanese Ports、Proc. of the 19th International Offshore and Polar Engineering Conference、査読有、pp. 784-791、(2009)

橋本典明, 横田雅紀, 川口浩二, 吉松健太郎, 河合弘泰、暴風時における海面抵抗係

数の逆推定法の開発、海岸工学論文集、査読有、第 56 巻, pp. 181-185、(2009)

橋本典明, 川口浩二, 鈴山勝之, 山城賢, 児玉充由、非線形相互作用の高精度化が波浪推算に及ぼす影響、海岸工学論文集、査読有、第 56 巻, pp. 171-175、(2009)

中野俊夫, 山城賢, 橋本典明, 大西健二、3DVAR を用いた温帯低気圧時の海上風推算手法の精度向上、海岸工学論文集、査読有、第 56 巻, pp. 446-450、(2009)

横田雅紀, 児玉充由, 橋本典明, 田中雄太, 春元崇志, 河合弘泰、気象擾乱時の波浪推算精度に関する基礎的研究、海洋開発論文集、査読有、Vol.25, pp. 867-872、(2009)

[学会発表](計 1 件)

Hiroyasu Kawai and Noriaki Hashimoto、Lessons Learned from Recent Storm Surge Disasters for Performance Evaluation of Coastal Defense、Storm Surge Congress 2010、17 September 2010、Germany

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋本典明 (HASHIMOTO NORIAKI)

九州大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：90371749

(2) 研究分担者

山城賢 (YAMASHIRO MASARU)

九州大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：70336014

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

河合弘泰 (KAWAI HIROYASU)

(独) 港湾空港技術研究所・海洋・水工部

・海象情報研究チームリーダー

研究者番号：40371752

川口浩二 (KAWAGUCHI KOJI)

(独) 港湾空港技術研究所・海洋・水工部

・主任研究官

研究者番号：50371753

(3) 連携研究者

なし