

平成 21 年 4 月 20 日現在

研究種目： 若手研究 (B)

研究期間： 2007~2008

課題番号： 19740291

研究課題名 (和文) 風の海面摩擦係数に及ぼすうねりの影響

研究課題名 (英文) The effect of Swell on drag coefficient over the ocean

研究代表者

鈴木 直弥 (SUZUKI NAOYA)

近畿大学・理工学部・講師

研究者番号： 40422985

研究成果の概要：うねりの方向別に構築したデータセットを風の海面摩擦係数と風波レイノルズ数の関係図にプロットした結果、これまでの既往研究では、うねりの影響の詳細を見ることが出来なかったが、本研究によってうねりの影響による風の海面摩擦係数の変動の以下の知見が得られた。(1) 高風速ではうねりの影響は見られない。(2) 交差するうねりの場合は方向差が大きいときに大きく変動する。(3) 同一方向のうねりの場合の影響は見られない。

交付額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 2007 年度 | 2,600,000 | 0 | 2,600,000 |
| 2008 年度 | 700,000 | 210,000 | 910,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,300,000 | 210,000 | 3,510,000 |

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：海洋物理

1. 研究開始当初の背景

大気・海洋相互作用は、人類の活動に関わる地球環境変化や、その基礎となる気候システムの変動・変化の最も基本的な要素であり、熱・運動量・物質輸送と表層の流れ、風波、砕波、気泡生成までの異なるスケールの様々な現象を含む海面境界過程はその重要な素過程である。しかしながら、その詳細な知見は未だ十分でないのが現状である。その最も問題となる点は、風から海面への運動量の吸収、すなわち海面応力を定量化する際に用いられる海面摩擦係数が風波の発達やうねりによって大いに変動しているにも関わらず、これまで単純に風速のみの関数で表わされ

てきたということである。大気・海洋相互作用の数値モデリングの近年の著しい発展の中で、海面フラックスのパラメタリゼーションの部分が残されている。この間隙を埋めることが、地球環境や気候システム変動の解析・予測のさらなる精度向上に繋がると考えられる。大気・海洋相互作用のリアルタイムのより精密な数値モデリングを進めるための海面フラックスの定式化、いわば「次世代海面フラックスの定式化」が、正にいま必要である。

本研究では、独立行政法人防災科学技術研究所所有の平塚観測塔において風の変動・風波の発達過程やうねりの存在による海面摩

擦係数の変動について研究を行ってきた結果、海洋では海面応力の変動は風波のみでなく風波と共存する種々のうねりの影響が非常に大きく、風波とうねりとの方向の違いによっても変化することが示された。特に風波に逆行するうねりが存在する場合に海面摩擦係数は大きく変動することが示された (Suzuki et al., 2002)。しかし、実際の海洋では、風波に対して同一・横方向等のいろいろな方向から来るうねりが存在しているが、この観測では風向を一方向に限定して測定をしていたため、この観測における波の方向スペクトルは、風波に逆行するうねりが存在する場合と風波に対して多方向から来るうねりが存在する場合の2つのパターンのデータセットしか収集できていない。

国内・外の海面境界過程の観測は、波高・風速・水温・気温のみがほとんどであり波の方向スペクトルを含む運動量フラックスの観測は非常に少ない状況にある。

2. 研究の目的

本研究では、現場海洋の観測塔において風波と共存する種々のうねりの方向スペクトル観測データの収集を行うことで、風波に対していろいろな方向から来るうねりのパターンのデータセットを構築する。そして、うねりの方向によってどのように海面摩擦係数が変動しているかをうねりの方向毎に種々のパラメータ(海面摩擦係数一波齢の関係、海面摩擦係数—風波レイノルズ数の関係など)を用いて表すことで海面摩擦係数の物理機構のさらなる解明とどのようなパラメータで海面摩擦係数に及ぼすうねりの影響を表現できるかを調べると同時に風波に相対的な種々のうねりの影響を調査することが目的である。

3. 研究の方法

(1) データの収集

和歌山県白浜町の田辺湾沖約 2 km に位置する京都大学防災研究所白浜海象観測所の観測塔、および平塚沖約 1 km の所に位置している独立行政法人防災科学技術研究所平塚実験場所有の観測塔でのデータの収集を行った。

(2) データセットの構築

風向(陸から吹く風の除去)による選別、風速の変動による選別を行った。そしてうねりの方向として考えられているパターンとしては、風波に対してうねりの方向が、同一・逆・横方向(それぞれ風波を基準にしてうねりが $0 \cdot 180 \cdot 90$ もしくは 270 度)と大

まかに 3 パターンにデータの選別を行った。

(3) データの解析

方向スペクトルは測定されていないが風を含む実験室・現場海洋データに対して風波レイノルズ数 $R_B (= u_*^2 / \nu \sigma_p)$ (u_* :摩擦速度、 ν :動粘性係数、 σ_p :風波のピーク角周波数)を用いることによって海面摩擦係数の変動の仕方が力学的機構を含めてよく表されることが Toba et al. (2006) によって示された。そこで、得られた方向スペクトルデータを海面摩擦係数と風波レイノルズ数の関係でプロットすることで風波と共存するうねりの方向・大きさにおける力学的機構の詳細を検証した。

4. 研究成果

(1) データの収集

京都大学防災研究所白浜海象観測所の観測塔でのデータは、2003 年から 2007 年までの波の方向スペクトルを観測していたときのデータを収集した。波の方向スペクトルの測定には WAVEADCP を使用している。本研究では、大気の安定度が中立のときのデータ、及び沖から吹く風のときのデータを選択して使用した。また、Suzuki et al. (2002) によって独立行政法人、防災科学技術研究所平塚観測塔で観測されたデータは、風波に逆行するうねりのデータ(Case 1)と風波に対して多方向から来るうねりが混在するデータ(Case 2)である。Janssen (1997)及び Johnson et al. (1998)の純粋な風波データも使用した。

(2) データセットの構築

上記の収集した観測データについて風の海面摩擦係数及び方向スペクトルを算出し、風波に対するうねりの方向毎に同一・逆・横方向の 3 パターンの全ての方向のデータセットを構築した。

(3) 解析結果

波の方向スペクトルによって、風波に対して同一方向のうねりが存在する場合(Case 3, ▲)、風波と交差するうねりが存在する場合(Case 4, ■)そして純粋な風波のみの場合(Case 5, ●)に選別したデータセットを構築した。この選別したデータと Suzuki et al. (2002) データ、Janssen (1997)及び Johnson et al. (1998) データにおいて R_B に対して C_D をプロットした結果を図 1 に示す。従来の $C_D - U_{10}$ 図では、ただ C_D が大きく変動していることしか示されなかったが、Case 5 における低風速域の純粋な風波データ(●)が風波に対して逆行するうねりが存在する場合(○)と同じような傾向が示された。また、風波に対して同一方向のうねりが存在する場合(▲)と風波と交差する

うねりが存在する場合のデータ(■)は、Janssen (1998)とJohnson et al. (1997)の純粋な風波データ(□,△)と同様な位置にプロットされた。高風速域では、同一方向・交差するうねりの場合のデータは、純粋な風はデータと同様な位置にプロットされ、高風速域ではうねりの影響は見られなかった。これは、Donelan et al. (1997)と同様な結果である。交差するうねりの場合では、方向差が約 70° のデータが海面摩擦係数の高い値を示したが、方向差が約 50° の場合には純粋な風波データと同様な位置にプロットされた。同一方向のうねりの場合には、うねりの影響は見られなかった。これは、Mitsuyasu and Maeda (2002)と同様な結果である。また、風波に対して逆方向のうねりがある場合に風波レイノルズ数の増加に対して風の海面摩擦係数が急激に増加する傾向が明らかに示された。

また、風波レイノルズ数に対して波齢でプロットした結果、波齢が異なると、風波レイノルズ数も同様に異なることが示された。

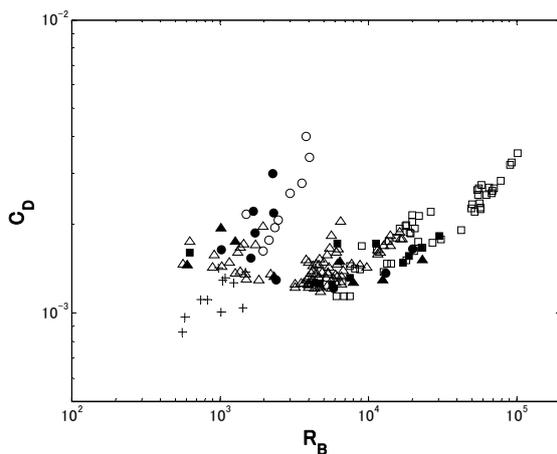


図1 うねりの方向によって分類した C_D と R_B の関係

▲は Case 3、■は Case 4、●は Case 5、○及び+は Suzuki et al. (2002)の Case 1 及び Case 2、□は Janssen (1997)、△は Johnson et al. (1997) である。

これまでの既往研究では、プロットが大きく変動しているだけであり、うねりの影響の詳細を見ることが出来なかったが、本研究によって、風・風波に相対的にさまざまな方向を持つうねり、特に、逆行するうねりが存在する場合、交差するうねりが存在する場合、多方向から来るうねりが混在の場合が、 C_D

に大きな影響を及ぼすことが示された。また、風の海面摩擦係数 C_D を表すパラメータとして、風波レイノルズ数 R_B と波齢を組み合わせる用いることの有効性が示された。

国内外では、風の海面摩擦係数のバラツキにうねりが影響しているのみの知見しかなく、どのような影響があるのか詳細な事は分かっていない。また、現在は、地球シミュレータ等の高速演算が可能なスーパーコンピュータによる高解像度で計算が可能になっている。大気・海洋結合モデル等の地球温暖化予測の数値シミュレーションの開発を行う研究者が多数いるが、現在の地球温暖化の予測精度は良いとは言えない現状である。その原因として風波を伴う海面境界課程の詳細なメカニズムが解明されていないことがあげられる。そこで数値シミュレーションでは、波の効果を顧慮せずに、ばらついたデータに対して平均的な線で近似し、そのモデルを使用している。しかしこの基礎的な研究を行う研究者は国内ではほとんどおらず、国外でも少数である。

本研究により得られた成果は、大気・海洋結合モデルなどの種々のモデル計算において、熱輸送(海面応力(海面摩擦係数)は、海流の駆動のエネルギー源でもあるため)や台風時のうねりと風波の相互作用など大気・海洋相互作用に関する種々の研究において大きく貢献すると考えられる。また、地球温暖化問題で主因となっている二酸化炭素において、現在、海洋が巨大なりザーバーとして注目され、大気・海洋間の二酸化炭素収支を積算する研究が行われているが、用いられている輸送速度は風速のみの関数となっており、風速に対する輸送速度は研究者や観測場所によってさまざまであり非常に変動した結果となっている。これは風速が同じでも海面状態は常に異なっているため二酸化炭素の輸送速度も変動していると考えられる。そこでうねりの存在によっても二酸化炭素輸送速度が変動することも最近の室内実験の結果から示唆されている。このような物質輸送に関しても本研究結果が非常に重要になると考えている。

今後、さらに風・風波に相対的に異なる大きさ・方向のうねりが存在する場合について、運動量やその他の海面フラックスの、波の方向スペクトルを含む観測データを増やし、詳細を追及する必要がある。また、それに伴って数値シミュレーションの精度向上が望まれる。

引用文献

- Donelan M. A., W. M. Drennan, and K. B. Katsaros, 1997: The air-sea momentum flux in mixed wind sea and swell conditions. *J. Phys. Oceanogr.*, 27, 2087-2099.
- Janssen J. A. M., 1997: Does wind stress depend on sea state or not? A statistical error analysis of HEXMAX data. *Bound. Layer Meteor.*, 83, 479-503.
- Johnson H. K., J. Hojstrup, H. J. Vested, and S. E. Larsen, 1998: On the dependence of sea surface roughness on wind waves. *J. Phys. Oceanogr.*, 28, 1702-1716.
- Mitsuyasu H., and Y. Maeda (2002) On the contribution of swell to sea surface phenomena (2). *Transaction of the ISOPE*, 12, 237-242.
- Suzuki N., N. Ebuchi, C. Zhao, I. Watabe, and Y. Sugimori, (2002) Study of the relationship between non-dimensional roughness length and wave age, effected by wave directionality., *Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planet Sci.)*, Vol. 111, No. 3, 305-313.

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)

[学会発表] (計 3 件)

- ① Naoya Suzuki, Yoshiaki Toba, Satoru Komori, Improved expression of the drag coefficient with special reference to the windsea Reynolds number –Consideration of the counter and mixed swell conditions-, Pan Ocean Remote Sensing Conference (PORSEC) 2008, 2008 年 12 月, 中国広州
- ② 鈴木直弥, 鳥羽良明, 小森悟, 芹澤重厚, 吉岡洋, 風の海面摩擦係数の新しい表現を求めて –風波に相対的な種々のうねりによる変化–, 2008 年度日本海洋学会秋季大会, 2008 年 9 月, 広島県呉市・広島国際大学
- ③ 鈴木直弥, 風の海面摩擦係数に及ぼすうねりの影響 –船舶における波の方向スペクトル観測計画について–, 黒潮統流域での海面フラックスに関する研究集会, 2007 年 12 月, 名古屋大学水循環研究センター

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 直弥 (SUZUKI NAOYA)

近畿大学・理工学部・講師

研究者番号：40422985