

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 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22540452

研究課題名（和文） 大気-海洋間運動量交換過程に対する波浪の影響に関する研究

研究課題名（英文） Study on influence of oceanic wave for momentum exchange process between ocean and atmosphere

研究代表者 轡田 邦夫 (KUTSUWADA KUNIO)

東海大学・海洋学部・教授

研究者番号：40205092

研究成果の概要（和文）：

本研究は、波浪ブイを用いた風波・うねりの観測結果を用いて、大気-海洋間の運動量交換過程に対する波浪の影響を評価することを目的とする。当初予定した2011年3月の調査航海が東日本大震災発生で中止となったため、代替として平成23-24年春季に望星丸（東海大学研究調査船）による本州南方海域での調査航海において、海洋混合層の乱流エネルギーと波浪の同時観測及び独自に試作した超音波風速計による大気乱流観測を行った。これら観測航海では、外洋域における異なる気象・海象条件下における風波・うねりの分離可能なエネルギー特性が得られた。これら天候に左右される限定的な条件下でのデータに加えて、京都大学防災研究所白浜海象観測所観測塔において波浪データを収集し、風波に対して横方向からうねりが来る場合と風波のみの場合へ分離でき、風の海面摩擦係数に対するうねりの影響の知見が得られた。更に有義波高などの高次情報について現業波浪モデルとの間の整合性を確認した。一方、高精度海面フラックスデータとして、衛星データによる海面フラックスデータの整備と日射・長波放射の船上実測検証実験を継続的に進めた。マイクロ波放射計の海上風速観測値には、特定の向きの波浪と海上風向に対して系統的な誤差の生じる傾向が見られ、海上風データセットの整備に関して波浪情報を加えることでより高精度化できる可能性が見出された。

研究成果の概要（英文）：

This study aims to examine effects of oceanic waves on momentum exchange between ocean and atmosphere based on measurements of wind-wave and swell using drifting buoys. The experimental cruise planned in March 2011 was suspended due to the Great East Japan Earthquake. In alternate cruises by R/V Bosei-Marui (Tokai Univ.) in spring 2011 and 2012, we have performed simultaneous measurements of oceanic waves with turbulent energies in both the oceanic and atmospheric surface layers. In these cruises, we had spectral energies which are distinguishable between wind waves and swells under different atmospheric and oceanic conditions on open ocean. In addition to these data under restricted conditions depending on weather, we have also measured oceanic waves under various conditions at the Shirahama observation tower in the Disaster Prevention Research Institute of Kyoto University. These measurements permitted us to classify into two cases in which the cross swell and pure wind-wave cases are measured, and gave a new insight about effects of swells on frictional coefficient by wind on sea surface. Further, we could verify the consistency with the current wave model about high-order information such as significant wave height.

We have also constructed surface flux products persistently by satellite data, and made direct measurements of solar and long-wave radiations on ship board. We have found that surface winds by satellite microwave radiometer have systematic errors under the conditions with specific wave and wind directions, meaning a possibility that the additional wave information make the reliability of surface wind data higher.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

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：大気—海洋，波浪プイ，海面フラックス，黒潮続流，放射観測

1. 研究開始当初の背景

中緯度域における大気と海洋の混合層間の変動には、海面境界過程が重要な役割を担っているが、そのパラメーター化の多くは陸上での接地境界層の観測理論に基づいており、近年実施された洋上実験観測の結果からも、大気・海洋での乱流による熱・運動量輸送による境界層変動への影響の定量的な評価は殆ど成功していない現状であった。

我々は、人工衛星データによる広域高解像データ構築をしてきた経験に基づき、海面における乱流エネルギー交換が大気海洋境界層変動に与える影響を定量的に評価するためには、波浪の影響を考慮し、大気海面に対する相対速度という海上固有の条件を考慮することが重要であるとの着想に至った。具体的には、下層大気中における乱流フラックスの直接観測システムと海洋中の乱流観測、および外洋波浪の同時観測を通して、大気—海洋間における境界層変動に対するパラメーター依存性の定量的な評価を実現することである。

2. 研究の目的

本研究では、主に波浪プイを用いた風波・うねりの観測結果を用いて、大気海洋間の運動量交換過程に対する波浪の影響を評価することである。

波浪による海表面流が乱流フラックスの生成に影響を与える可能性は理論的には指摘されているが、定量的な評価が可能な外洋観測は世界的にもほとんど皆無であった。予定される冬季の研究航海において、大気海洋境界層の乱流フラックス、海洋混合層の乱流エネルギーおよび波浪観測を同時に実施する。これによって、海洋と大気それぞれの混合層における変動過程を結びつける境界条件の情報を得ることが期待できると共に、近年注目されている中緯度海域における大気—海洋相互作用の物理過程を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究における主要な対象は、研究期間内の冬季に予定された研究航海において、船舶による大気海洋境界層での乱流フラックスの直接観測と同時に、海洋混合層の乱流エネルギーおよび波浪観測を実施する。具体的な作業項目は以下となる。

- ① 大気下層における乱流フラックスおよび海洋混合層内における乱流エネルギー観測の実施
- ② 波浪観測の実施およびデータ解析
- ③ 海面乱流フラックスの評価のパラメーター化
- ④ 海面乱流フラックスの評価の再検討

4. 研究成果

当初予定した2011年3月12日からの研究航海が東日本大震災のために中止となり、計画の大幅な変更を余儀なくされた。

(1) 波浪プイによる洋上での観測結果 (全員)

東海大学海洋学部所有の望星丸における2011年5月20日から26日の観測航海で波浪プイにおける波浪観測を実施した。波浪プイでは、21日から23日で1日1,2時間の観測を行った。得られた波浪データから周波数スペクトルおよび方向スペクトルの算出を行った。方向スペクトルの推定にはMEP(Maximum Entropy Principal)を使用した。

図1(a)(b)に波浪プイでの2011年5月22日7:40に観測した周波数スペクトルと方向スペクトルを示す。図1(a)より周波数0.1以下のうねり以外に周波数0.24(周期4.2秒)の風波のピークが示されている。図1(b)でも同様に周波数スペクトルに対応した方向スペクトルが推定されているのがわかる。

従来の外洋での波浪計測では、低周波数の波浪(うねり)しか測定は出来なかったが、本研究で使用した波浪プイで風波の情報を得ることが可能であることが本研究で初めて示された。

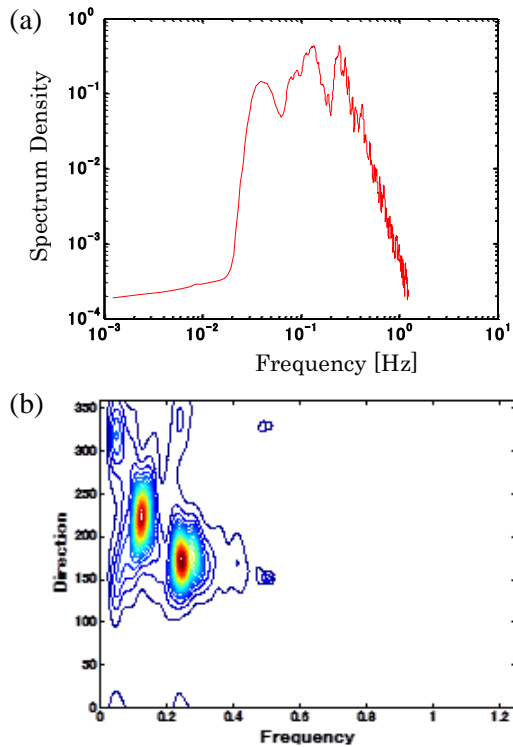


図1. 波浪ブイの2011年5月22日7:40-8:00に測定した波浪データにおける(a)周波数スペクトルおよび(b)方向スペクトルの算出結果

(2) 観測塔における波浪の観測結果
(根田・鈴木)

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田辺中島高潮観測塔で2005年から2009年まで観測されたデータを使用した。ここで風速および波高は常時観測であるが、波の方向スペクトル観測は2005年から2008年まで不定期に行われた。

風速の測定には超音波風速計、波の方向スペクトルには WAVEADCP を使用している。また、摩擦速度の算出には渦相関法を使用した。さらにデータの選別として、本研究では、大気不安定度が中立のときのデータ、およ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、神奈川県平塚沖約1 kmに位置する東京大学所有(旧防災科学技術研究所所有)の平塚観測塔で観測を行った Suzuki et al. (2002) における2000年10月18, 19日、2001年2月19~22日、5月21日~30日、10月15~17日、11月5~7日の観測データも使用した。Suzuki et al. (2002) では沖へ吹く風のときのデータを使用しているが、本研究では、田辺中島高潮観測塔データと同様に沖から吹く風のときのデータを選択して使用した。

図2に U_{10} に対して C_D をプロットした結果を示す。この結果より、従来と同様に全体的

にばらついているのが分かる。また、20 m/s以上の高風速域で U_{10} の増加と共に C_D が増加する場合と逆に急激に減少する場合が示された。

図2の中から波の方向スペクトルを測定しているデータを用いて、風波に対して同一方向のうねりが存在する場合(□)、風波と交差するうねりが存在する場合(△)、多方向のうねりが混在する場合(×)、そして純粋な風波のみの場合(○)に選別した。この選別したデータセットにおいて U_{10} に対して C_D をプロットした結果を図3に示す。高風速域ではうねりの影響は見られなかった。風波に対して同一方向のうねりが存在する場合(□)のプロットの多くが、純粋な風波のみの場合(○)と比べて同じもしくは若干 C_D が低い値を示した。交差するうねりが存在する場合(△)には、方向差が 70° 以上の場合に C_D が大きい値を示しており、約 50° の場合に同一方向のうねりが存在する場合(□)と同様な位置にプロットされた。多方向のうねりが混在する場合(×)に C_D が大きく変動することが示された。

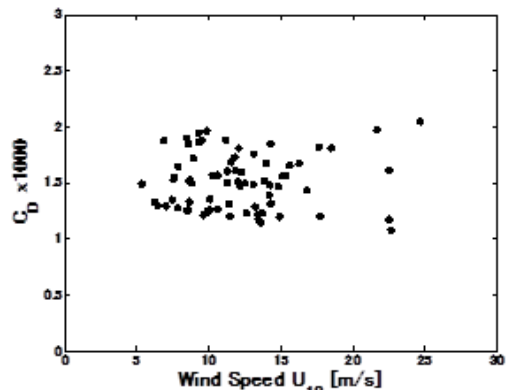


図2. C_D と U_{10} の関係(全データ)

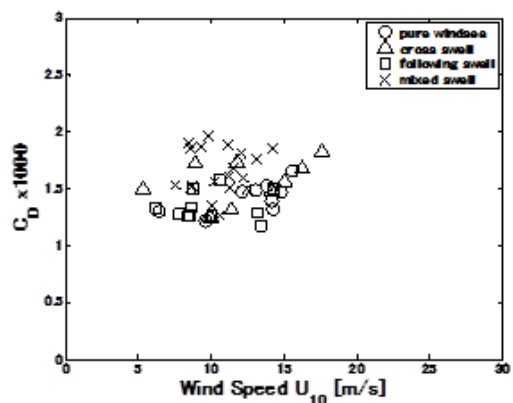


図3. 図2より波の方向スペクトルを測定しているデータを風波に対するうねりの方向で分類した C_D と U_{10} の関係(同一方向(□)、交差(△)、多方向(×)、風波のみ(○))

(3) 日射・長波放射の船上実測検証実験
(轡田・根田)

東海大学および海洋研究開発機構の研究船「望星丸」および「白鳳丸」に搭載した下向き短波および長波放射の実測を行い、それら実測値と数値気象予報モデル(NCEP/NCAR)の推測値との比較を通して、信頼性および精度検証を行った。主な対象海域は北太平洋中高緯度域であり、期間は、2011年2/25~3/12(KH-11-3)、2011年8/14~9/5(KH-11-8 Leg 1) および9/7~10/3(同 Leg 2)であった。

図4は、KH-11-8 航海 Leg1における短波&長波放射の実測値と推測値間の散布図を示している。

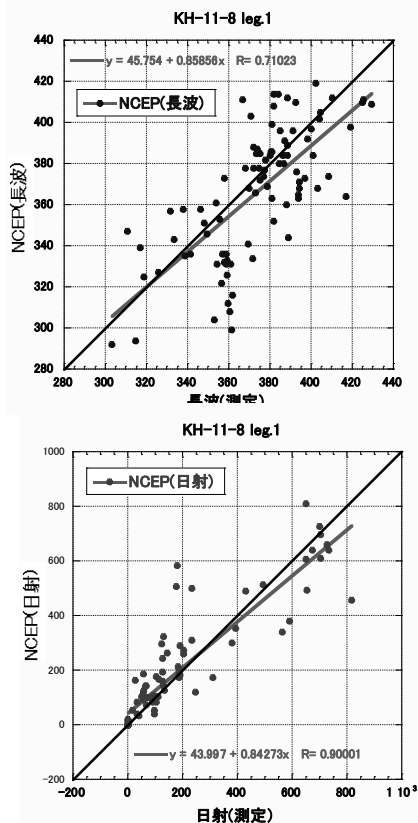


図4. KH-11-8 Leg 1における短波放射(上)と長波放射(下)の散布図

短波放射は冬季の日本近海中緯度での推測値が過大評価、長波放射は過小評価の傾向が見られた。一方、夏季に関しても短波放射の推測値は過大評価、長波放射は過小評価の傾向がみられ、これらは熱帯域を主な対象にした過去の研究結果とほぼ同等の傾向であった。一方長波放射は、総じて過小評価傾向がみられたが、米国西岸付近の北太平洋東部海域における少なめの観測値の時に過大評価の傾向がみられた。その要因が海域的な特性、或いは気象条件に起因するのかは明らかではない。

こうしたモデル解析データに対する精度検証をより広域かつ多様な条件下で実施する

ことが重要であり、船上での継続的実測が重要と言える。

(4) マイクロ波放射計の海上風速検証実験
(根田)

AMSR2(Advanced Microwave Scanning Radiometer 2)は、GCOM-W(Global Change Observation Mission)シリーズの第一世代であるGCOM-W1衛星に搭載されたマイクロ波放射計で、AMSRおよびAqua衛星搭載のAMSR-Eの後継であり、2012年5月18日に打ち上げられた。AMSR2の観測項目である海上風速と海面水温について、波浪の影響評価を行った。AMSR2と比較する現場観測として、NOAAのKuroshio Extension Observatory(KEO) buoyとJAMSTECのJAMSTEC-KEO(JKEO)の2つの定点観測のデータを使用した。KEOは144.6°E, 32.4°Nと黒潮続流の南の再循環渦に位置し、JKEOは37.9°N, 146.6°Eと黒潮続流の北に位置している。期間は、KEOではAMSR2と同じく2012年7月3日から2012年1月23日までの約7ヶ月、JKEOではreal timeのデータが途絶えた8月14日までのものを使用した。

衛星観測セルと最も近いもの(赤)と25kmの範囲内にある観測セルの平均値(青)を検証した。

これらのブイ観測値と同期したAMSR2の観測値を用いて、海上風速と海面温度の誤差評価を行った。その結果、KEOブイ、JKEOブイのそれぞれについて、誤差の平均とその標準偏差は(KEO) SST: $-0.11 \pm 0.59^\circ\text{C}$ 、SSW: $0.86 \pm 1.51\text{m/s}$ (JKEO) SST: $0.07 \pm 0.50^\circ\text{C}$ 、SSW: $0.24 \pm 1.06\text{m/s}$ であった。

本研究においては、これまで観測データの不足などの理由からよく検討されてこなかった、波浪の影響について新たに検討した。NOAAが継続的に海洋の波浪の予測に用いている波浪モデルであるwave watch IIIのアーカイブデータから、有義波高とピーク波の方向、ピーク波の周期のデータを用いた。その結果、波浪に対しては風速が小さい状況で波向きが海上風と逆方向のとき誤差が大きくなるという傾向が表れた。従来ランダムな誤差と考えられてきた成分の中に、波浪に伴う海面の流速の状況による系統誤差がある可能性が強くなった。海面温度には明瞭な傾向が見られなかったことから、海流や波浪による海面の流速に対して放射率の変化が起こるといよりは、海面に対する相対風の大きさに対して系統的に海面の粗度長さの変化がAMSR2の放射温度に反映されている可能性が高い。この傾向が今後のさらなる検証によって確かめられれば、AMSR2による観測アルゴリズムの中に、この影響を軽減させる手法を取り込むことによって、観測精度の向上につながる可能性があると考えられる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 7 件)

- ① Suzuki N., Y. Toba, S. Komori, N. Takagaki, Y. Baba, T. Kubo, K. Shintaku and M. Yamamoto, Variation of the drag coefficient investigated using tower-based long period measurement—Condition with following and cross swell—, Proc. ISOPE2013, 査読有, 2013, in press.
- ② Kameda, S. and K. Kutsuwada, Analysis of long-term variation using satellite-derived wind data set/J-OFURO in the recent decade, Proceeding of Pan-Ocean Remote Sensing Conference 2012, 査読無, 2012.
- ③ Kutsuwada, K. and S. Kameda, Construction and Validation of Gridded Data set of Global Surface Wind/Wind-stress Field, Proceeding of Pan-Ocean Remote Sensing Conference 2012, 査読無, 2012.
- ④ Kameda, S. and K. Kutsuwada, Intercomparison among gridded data sets of global surface wind field and their validation, Proceeding of ISRS 2011, 2011.
- ⑤ 根田昌典, 気候の維持と変動における大気海洋相互作用の役割, 第10回地球システム・地球進化ニューイヤースクール、レクチャーノート, 査読無, 2011, 11-20.
- ⑥ 響田邦夫, 海洋リテラシーの育成と日本海洋学会教育問題研究会の活動, 査読有, 2011, 第四紀研究「地学教育」, 別冊号, 159-168.
- ⑦ Kutsuwada, K., M. Koyama and S. Kameda, Gridded Data Set of Global Surface Momentum Flux constructed by Satellite Data, Proceeding of Techno-Ocean 2010, 査読無, 2010.

[学会発表] (計 26 件)

- ① 亀田傑・響田邦夫・大村文美・亀村光, 全球海上風データセットを用いた北太平洋における10年スケール変動の解析, 2013年度日本海洋学会春季大会, 2013年3月22-24日, 東京海洋大学
- ② 響田邦夫・亀田傑・渡辺貴志・川合義美, 北太平洋中高緯度海域における下向き放射の実測—数値気象予報モデルデータとの比較検証—, 2013年日本海洋学会春季大会, 2013年3月22-24日, 東京海洋大学
- ③ 根田昌典・響田邦夫・鈴木直弥, 大気海洋間の運動量交換過程に対する波浪とエネルギー散逸の影響に関する研究, 新学術領域「気候系のhot spot」第4回全体会議, 2013年3月15日, 東京大学先端科学技術研究センター
- ④ Konda, M., K. Kutsuwada and N. Suzuki, Validation of the modulation of the ocean

- wind derived by AMSR2 caused by swell waves, Joint PI workshop of global environment observation mission 2012, 2013年1月30日, 東京都千代田区TKPお茶の水カンファレンスセンター
- ⑤ 亀村光・響田邦夫・亀田傑・大村文美, 篤志観測船データを用いた海上風の長期変動の解析, 平成24年度日本気象学会中部支部研究会, 2012年11月13-14日, 愛知教育大
 - ⑥ 亀田傑・響田邦夫, 全球海上風データセットを使用した10年スケール変動の解析, 平成24年度日本気象学会中部支部研究会, 2012年11月13-14日, 愛知教育大
 - ⑦ Konda, M., T. Ono, K. Uehara, K. Kutsuwada, O. Tsukamoto, F. Kondo and N. Iwasaka, Ocean mixing layer variation as indicated by the measurement of the dissipation rate in the Kuroshio Extension region, PICES(The North Pacific Marine Science Organization)- 2012, Annual Meeting, 2012年10月15日, 広島市カンファレンスセンター
 - ⑧ 鈴木直弥・鳥羽良明・小森悟・高垣直尚, 観測塔長期観測データによる風の海面摩擦係数の解析, 2012年日本海洋学会秋季大会, 2012年9月14~16日, 静岡県静岡市東海大学海洋学部
 - ⑨ 鈴木直弥・鳥羽良明・小森悟・高垣直尚・芹沢重厚・吉岡洋, 田辺中島高潮観測塔長期観測データによる風の海面摩擦係数の解析, 2012年度日本海洋学会春季大会, 2012年3月27日-29日, 筑波大学(つくば市)
 - ⑩ Suzuki N., Y. Toba, S. Komori, N. Takagaki, H. Yosioka, Variation of the drag coefficient investigated using tower-based long period measurements, 2012 Ocean Sciences Meeting, 2012年2月19日-24日, 米国ユタ州ソルトレイクシティ
 - ⑪ Konda, M., T. Ono, Y. Karino, K. Uehara, K. Kutsuwada, T. Kameda, M. Masujima, O. Tsukamoto, F. Kondo, N. Iwasaka, Ocean mixing layer variation as indicated by the measurement of the dissipation rate in the Kuroshio extension region, 2012 Ocean Sciences Meeting, 2012年2月19日-24日, 米国ユタ州ソルトレイクシティ
 - ⑫ 依田和子・響田邦夫, DPOIとの相関場に基づく南大洋上における海上風の経年変動特性, 大気海洋相互作用に関する研究集会, 2012年1月27日, 三重大学
 - ⑬ Konda, M., K. Kutsuwada, N. Suzuki, Validation of the modulation of the ocean

- wind derived by AMSR-2 caused by swell waves, Joint PI workshop of global environment observation mission 2011, Jan. 17-20, 2012, Tokyo
- ⑭ 根田昌典・小野珠実・仮野靖・植原量行・轡田邦夫・塚本修・近藤文義・岩坂直人, 黒潮続流海域における乱流散逸率の観測に基づいた海洋のMixing Layerの変動について, 2011年度東京大学大気海洋研究所附属国際沿岸海洋研究センター共同利用シンポジウム, 2011年11月11日, 岩手県大槌町
- ⑮ 安藤雄太・立花義裕・根田昌典, 三重大学練習船「勢水丸」に設置された超音波風速計がとらえた乱流フラックス, 2011年度東京大学大気海洋研究所附属国際沿岸海洋研究センター共同利用シンポジウム, 2011年11月11日, 岩手県大槌町
- ⑯ 亀田傑・轡田邦夫, 全球海上風・海面応力格子データセット精度の再検証, 2012年度日本海洋学会秋季大会, 2011年9月28日, 九州大学筑紫キャンパス
- ⑰ 小野珠実・根田昌典・塚本修・植原量行・近藤文義・轡田邦夫・岩坂直人, KT09-21淡青丸観測航海における乱流フラックス直接観測 (II), 2012年度日本海洋学会秋季大会, 2011年9月28日, 九州大学筑紫キャンパス
- ⑱ 轡田邦夫, 白鳳丸航海における日射・赤外放射の実測, 大気海洋相互作用研究会, 2011年6月11日, 東海大学山中湖セミナーハウス
- ⑲ Kutsuwada, K., Construction and validation of gridded product of surface wind speed over the world ocean using AMSR-E data, Joint PI Workshop of Global Environment Observation Mission, 2010年12月8日, 東京国際会議センター
- ⑳ 亀田傑・轡田邦夫・小山真, 全球海上風格子データセットの相互比較による精度検証, 平成22年度気象学会中部支部研究会, 2010年11月15日, 富山大学
- ㉑ 依田和子・轡田邦夫・永延幹男, 南大洋における海上風の長期変動 -DPOI との相関解析-, 平成22年度気象学会中部支部研究会, 2010年11月15日, 富山大学
- ㉒ Kameda, S., K.Kutsuwada and M.Koyama, Intercomparison among gridded data sets of global surface wind field and their validation, Pan-Ocean Remote-Sensing Conference 2010, Oct. 18-22, 2010, National Taiwan Ocean University, Taiwan
- ㉓ Suzuki, N., Y.Toba, S.Komori, H. Yoshioka, S. Serizawa and Y. Muto, The effect of swell on wind stress over the ocean examination of the drag coefficient with special reference to the wind sea Reynolds number-, Techno-Ocean 2010, 2010年10月16日, 神戸国際会議場
- ㉔ Konda, M., T. Ono, O. Tsukamoto, and K. Uehara, Shipboard measurement of turbulent fluxes by eddy covariance technique in the Kuroshio extension region, Techno-Ocean 2010, 2010年10月16日, 神戸国際会議場
- ㉕ Kutsuwada, K., S.Kameda and M. Koyama, Gridded data set of global surface momentum Flux constructed by Satellite Data, Techno-Ocean 2010, 2010年10月16日, 神戸国際会議場
- ㉖ 亀田傑・轡田邦夫・小山真, 全球海上風・海面応力格子データセット間の相互比較, 2010年度日本海洋学会秋季大会, 2010年9月7-9日, 東京農業大学網走校舎

6. 研究組織

(1) 研究代表者

轡田 邦夫 (KUTSUWADA KUNIO)
東海大学・海洋学部・教授
研究者番号：40205092

(2) 研究分担者

根田 昌典 (KONDA MASANORI)
京都大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号：10273434

(3) 連携研究者

鈴木 直弥 (SUZUKI NAOYA)
近畿大学・理工学部・准教授
研究者番号：40422985