

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 24 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03791

研究課題名(和文) 高速大気海洋境界層流れの力学機構と災害脆弱性評価

研究課題名(英文) Mechanical interactions between High-speed marine boundary layer flows and ocean waves

研究代表者

渡部 靖憲 (Yasunori, Watanabe)

北海道大学・工学研究院・教授

研究者番号：20292055

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,000,000円

研究成果の概要(和文)：暴風時の風波砕波の発生に伴う大気海洋境界層流れの力学的、熱力学的影響を評価可能な数値モデルを開発し、波面上の乱流構造の遷移、熱境界層の発達、砕波下の表面更新、気泡混在流れが海面抵抗、運動量輸送に与える物理機構を提示した。高速風洞実験によって、暴風化で放出される飛沫サイズ分布と速度および混入気泡サイズ分布と速度を計測する手法を提案し、これらと海面抵抗およびバルクパラメータとの関係を提示した。混入気泡からの気体の溶解を経た大気-海洋気体輸送への影響、気泡のポイド率に応じた新たな抗力モデルを提案し、砕波下の気液混相流の理解が大きく進展した。現地観測により台風下における砕波、熱輸送の特徴抽出を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した砕波波面を挟む気液乱流境界層流れ、混入気泡と白波形成、そして熱境界層流れを再現する一連の数値モデルは、砕波現象のさらなる理解と砕波が与える大気-海洋相互作用のさらなる解明に向けて大きな学術的貢献を与えるものである。また、新たに開発した飛沫、気泡の径および速度計測法は、従来のパラメタリゼーションで評価し得なかった物理量を提示し、暴風下の海洋のステートを記述する新たな学術的展開と海洋境界層流れ、および海象の予測を通じた社会的貢献が期待できる。さらに現地観測を通して明らかになった台風下における砕波乱流混合とエアレーションの大気-海洋間熱輸送に与える影響は海洋環境評価に貢献する。

研究成果の概要(英文)：We developed computational models to simulate turbulence transitions over waves, formations of thermal boundary layers, and bubble-mediated turbulent flows, which provides physical mechanisms contributing to sea-surface drag forces and momentum transfers between atmosphere and ocean. In wind tunnel experiments, for the first, we successfully measured size spectra of the both of sea spray dispersed in atmosphere and air bubbles entrained into sea owing to wind wave breaking, which is related to the sea surface drag and bulk parameters. Contributions of gas dissolution from the entrained bubbles to air-sea gas exchanges have been identified through physical and computational experiments. A new model of bubble drag in bubble clouds was also developed in this project, contributing physical understanding of wave-induced aeration process. In ocean observation, features of sea spray, bubble entrainment due to wind wave breaking, and their contributions to heat transfers across sea surfaces.

研究分野：海岸工学

キーワード：水工水理学 海岸工学 海洋工学

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

大気の流れについても、これまで海上観測が可能であったレンジ内の既往風速分布から経験的に決められたバルク係数をもって記述されており、深刻な災害を引き起こす巨大台風あるいは将来予期される超大型台風等、未経験レンジの極端イベントに対して信頼性は担保されていない。特に暴風下で生じる風波砕波は 3 次的に発達した急峻な波浪上のせん断風場との強非線形応答として生じ、大気海洋境界層流れを混合攪乱するだけでなく、大量の飛沫の放出による抗力の増大及び気泡の海中への混入による低密度混合による海洋流れの抵抗減少等現行モデルで反映されない運動学的ファクターによる気象、海象への影響が顕著となると考えられている。通常観測可能な 30m/s 以下の風速下では、風速に対して単調増加する海面抵抗の現行モデルに対して、暴風下では逆に抵抗が低下することを発見した Powell (Nature 2003)の研究は、これら導入されていないファクターに起因するものと考えられ、これを証明するための国際的研究競争が繰り広げられてきた一方、その原因は未だ証明されていない。我が国が位置する中緯度において台風の勢力は通常進行と共に減衰する一方、暴風下で生じるこの海面抵抗リダクションは、特に巨大台風の勢力が十分に減衰せず維持され得ることを意味し、予測値の過小評価を通して、台風の来襲に伴う過小な対策から災害の拡大を誘発し、高潮、高波等の海岸災害、洪水、土砂崩れ等の水・土砂災害に対する災害脆弱性評価において本質的に重要な課題である。一方、風波砕波に起因して生じる白波、混入気泡は気化冷却を通して海面上の熱輸送フラックスを修正するだけでなく、同時に発生した乱流による表面更新を通して海面水温を変化させる。中緯度においても台風直下の熱供給によりその勢力が急速に発達し得る近年の事例報告(Kuwano-Yoshida 2017)は、我が国近海において砕波に伴う運動学的ファクターだけでなく海面上の熱力学的ファクターがその後の極端現象の発達に影響を与えていることを示唆する。しかしながら、白波砕波は、微細気泡が高体積率で海水に混合する混相乱流を伴うため、局所流れの計測が極めて困難であり、さらに気泡、飛沫のスケールから風、流体の乱流スケールさらに波浪のスケールまで幅広い複合長さスケールの変動を持つため、数値的、実験的評価が難しく、海面を介した気液流れの局所応答は未だに理解されていない。

2. 研究の目的

本研究は、台風直下暴風時の風波砕波の発生に伴う大気海洋境界層流れの力学的、熱力学的影響について、空気混合を伴う砕波上の乱流構造の遷移、砕波下の表面更新、エアレーションによる気化冷却から説明し、さらに広域に分布する micro-breaking による運動量、熱フラックス輸送メカニズムの解明を経て、不確実性をもつ現行バルクモデルでは記述できない強風下の海面抵抗リダクション及び大気海洋熱交換過程を物理的に裏付けると共に、砕波パラメータによってモデル化を目指すものである。

3. 研究の方法

本研究は、暴風下の大気海洋相互作用を解明し、喫緊の課題である巨大台風に起因する水災害の外力予測だけでなく気候変動を経た将来のインフラ整備計画の策定に不可欠な将来気候、波候予測の高度化を推し進めるものであり、目的の達成のために既に判明している 3 つの問題を含む以下の 3 つのタスクから構成される。数値解析、可視化実験、海象観測のそれぞれ専門研究で活躍する分担者からなる研究体制を組織し、研究を行った。

タスク 1 風波砕波後の渦構造の遷移とエアレーションによる運動量・熱輸送効果の解明

以下 3 つの異なる手法によって風波砕波の局所流れ及び白波のエアレート効果が果たす力学的寄与を明らかにする。それぞれの調査結果は相互にフィードバックされ、異なるスケールの現象に対して物理的に矛盾のないモデルパラメータを取得する。

1-1 数値的評価

既に開発済みである砕波乱流数値モデルにより、台風通過時の大気境界層並びに海中で発達する渦構造、そしてそれらに反応する圧力抵抗の発生機構を明らかにする。開発済みである Large Eddy Simulation 乱流計算により波面境界層内渦構造と圧力抵抗の関係を明らかにする。さらに本研究での遂行を目指して現在開発を進めている気液相変化を陽的に再現可能な Phase-Field モデルをこれら既存の数値モデルに導入することで、気液力学的相互作用に加え熱輸送に伴う気化冷却の評価が可能となる。

1-2 実験的評価

研究分担者大塚が所属する機関において、海上 10m 風速約 45m/s に相当する超高速風を生成可能な国内最大級の風洞水槽の使用が可能となる。この風洞実験設備において、世界的に例のない超高速風に対する砕波上に発達する大気境界層内風速分布、海中流速分布を既に開発済みの最高解像度で計測可能な Super-Resolution Particle Image Velocimetry (SRPIV)によって取得し、同時に蛍光励起計測によって飛沫サイズ並びに速度分布、風速に応じた海面抵抗数並びに気液乱流統計量のパラメータ化を行う。

1-3 現地観測

京都大学田辺中島高潮観測塔における台風通過時の気象海象集中観測により、海面抵抗係数、海洋性エアロゾル、海面温度分布、白波占有面積、残存 foam 分布と気象、海象諸元との関係を統計的に明らかにし、バルクパラメータとの比較により、暴風時における特徴を抽出する。結果は、1-1、1-2 ヘフィードバックし、大気海洋境界層内のローカルメカニクスに矛盾のないパラメタリゼーションを行う。

タスク 2 micro-breaking による熱・気体輸送フラックスのパラメタリゼーション

以下 2 つの調査結果の相互検証を経て、通常波浪スペクトル、可視海面画像に現れない micro-breaking による運動量、熱フラックス輸送効果を定量化し、タスク 1 による白波砕波の寄与との支配率の風況依存性を明らかにする。

2-1 実験的評価

既存の可視化風洞水槽において、海面近傍の気流、水流並びに海面熱赤外線分布、気体輸送速度分布の超高解像画像計測を行い、大気境界層流れが micro-breaking 過程を経て海中の乱流構造に与える影響、大気からの熱が micro-breaking を経た海中への輸送メカニズムに対して大気境界層流れとの関係を明らかにし、観測結果とのフィードバックの下、これらをパラメータ化する。乱流計測は既存の可視化計測システムを使用した SRP IV、熱計測は購入済みの高速赤外線カメラ、そして既存の紫外線レーザー光源を用いた Laser-Induced Fluorescence (LIF) による同時計測結果が統計的に分析され、評価される。

2-2 現地観測

京都大学田辺中島高潮観測塔における集中観測において、micro-breaking 検出(Sutherland 2013)すると同時に、micro-breaking による水面粗度が反映される X-band レーダーの後方散乱分布から、風況及び波浪場に応じた micro-breaking 発生分布を抽出し、運動量、熱輸送への寄与を見積もる。

タスク 3 局所海面抵抗と海水面温度の全球気候、波候への影響評価

GCM に波浪による海面抵抗を導入し、気候変動への影響を評価する開発済みの GCM 波浪結合モデルをさらに展開し、強風時の海面抵抗低減効果を含めたモデルに対して感度分析を行い、各種海面抵抗に対する将来気候予測への影響を評価する。これらの既存モデルに加え、タスク 1 及び 2 を経由して構築した運動量、熱フラックス輸送モデルに対する感度分析を同様に行うことで、波浪場による運動量及び熱フラックスの将来気候への影響およびモデル依存性を評価する。これにより、将来気候予測をベースとした長期的海岸脆弱性評価を経て、堤防、防波堤等インフラ整備計画に対する外力評価が可能となる。

4. 研究成果

タスク 1 風波砕波後の渦構造の遷移とエアレーションによる運動量・熱輸送効果の解明

1-1 数値的評価

波面上に形成される乱流境界層流れを 3 次元 Large Eddy Simulation によって計算し、風速に依存した渦構造の遷移によって海面抵抗の特徴が大きく変化することが明らかになった。乱流が未発達な低速風場に従来のバルクモデルを適用すると過大な海面抵抗を与える可能性があり、結果的に高風速に対して海面抵抗の低下が現れる可能性がある。

Phase-field モデルを気液混相の着水問題に適用し、熱境界層が渦によって海中へと高速で輸送される物理機構を明らかにした。

新たに開発した気液二相 sharp interface モデルを導入し、波面を境に気液両相に形成される乱流境界層流れを 3 次元 Large Eddy Simulation によって計算した。波面の不安定挙動及び気液両相に形成される乱流境界層流れの相互作用を明らかにした。さらに砕波乱流数値モデルに、Ghost Fluid モデルを導入し、気液界面の不安定による風波の発生の再現計算に成功した。

砕波によるエアレーションに伴い混入した微細気泡群のサブグリッドモデルをベースに気泡が水面に浮上し、泡沫として水面に残留する気液混相モデルを新たに開発し、気泡の運動から水面での泡沫としてのクラスタリングを通した気液流体運動を再現した。気泡の水面到達時の振動が水面上の乱流生成に大きくかかわることが明らかになった。

これらの成果は、国内雑誌、国際会議、国際雑誌に投稿し、出版されている。

1-2 実験的評価

初年度、高速風洞水槽の更正試験を行い高風速波浪場の再現実験の準備を整え、その後、砕波エアレーションに伴う気中の飛沫、海中の気泡の物理計測を可能とするレーザー干渉計測の精度の検証実験を行い、高速風洞実験に適用可能であることが確認された。この計測法は微細な飛沫気泡に対して、飛沫速度、飛沫径、気泡速度と飛沫径を計測可能とするものであり、風速に対する気泡、飛沫のサイズ分布および速度分布の計測に成功した。同時に行った波浪および流速計測をもとに大気海洋間の運動量収支と海面抵抗との関係を明らかにした。

これらの成果は、国際雑誌への投稿を目指し準備中である。

1-3 現地観測

白浜海象観測塔において気象海象集中観測を行い、海洋性エアロゾル、海面温度分布、白波占有面積、残存 foam 分布に関するデータを継続して取得し、分析を行い、特に有意な高潮災害を引

き起こした 2018 年台風 21 号を含む台風下の暴波浪とエアレーションの特徴を抽出し、モデル化を行った。ほぼ海面全面が白波化する暴浪下では従来の白波被覆率の計算が不能になるため、X バンドレーダーの観測記録から評価し、高潮の発生原因となる海洋表層流れを X バンドレーダー情報のみから算定する基本アルゴリズムを開発した。

これらの成果は、国内雑誌投稿し出版されている。

タスク 2 micro-breaking による熱・気体輸送フラックスのパラメタリゼーション：

2-1 実験的評価

高速 SRPIV 法及び高速赤外線計測を行い、風洞水槽で発生する初期波面上の海表面温度と水面形及び表層流れとの関係を明らかにした。熱境界層厚の低下による海面温度の上昇後、波面上の風のストリークの発生による海面温度の組織化を経て、毛管波の形成に依存した海中への熱供給が促進される。

波面下の酸素濃度境界層並びに濃度拡散の発達を Laser Induced Fluorescence によって見積もるための実験及び解析を行い、気泡中の気体の溶解濃度モデルを構築し、気泡混入による気体輸送を見積もることに成功した。

SRPIV を気泡流に適用し、混入気泡のポイド率に応じて気泡のマクロ抵抗係数が気泡上昇に誘発された渦群によって変化するメカニズムを明らかにした。新たに高ポイド率における抵抗係数モデルを提案した。

海面上の泡沫の発生、クラスタリング、合体、崩壊に至る解析するためのフィルターを開発し、それら一連の泡沫発達機構を調査し、泡沫の発生、クラスタリング、合体、崩壊に至る一連の泡沫発達機構の画像解析により、砕波過程を通した泡沫分布特性が明らかになった。

Diffusive Light Photography を風波に適用し、水位の面的計測を行った。時空間 3 次元スペクトル解析により、複数の異なる波数ベクトルをもつ波浪間の非線形エネルギー輸送の発生を発見した。

これらの成果は、国内雑誌、国際雑誌に投稿し出版されている。

2-2 現地観測

紋別市ガリンコタワーにおいて爆弾低気圧下の海象及び熱輸送を調査するための観測準備を整え、ドップラーレーダーの解析アルゴリズムを開発し、時化時の波高及び表層流れの面的分布を分析した。研究期間を通して、爆弾低気圧の来襲はなかったが、冬季オホーツク海の気象海象統計データの蓄積を行い、風況及び波浪場に応じた白波及び micro-breaking 発生分布を分析した。

タスク 3 局所海面抵抗と海水面温度の全球気候、波候への影響評価：

GCM に波浪による海面抵抗を導入し、気候変動への影響を評価する開発済みの GCM 波浪結合モデルによって強風時の海面抵抗低減効果を含めたモデルに対して感度分析を行い、強風時の海面抵抗低減効果を含めたモデルに対して将来気候予測への影響を評価した。

この成果は国際雑誌に投稿し出版されている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計35件（うち査読付論文 35件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 WATANABE Yasunori, WATANABE Kenta	4. 巻 77
2. 論文標題 SUBGRID MODEL OF BUBBLE-FOAM-COUPLED TURBULENT FLOW	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_43 ~ I_48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.77.2_I_43	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 WATANABE Yasunori, OGUMA Takashi	4. 巻 77
2. 論文標題 WAVE PACKET FOCUSING UNIFORM CURRENT	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_31 ~ I_36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.77.2_I_31	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shimura Tomoya, Mori Nobuhito, Urano Daisuke, Takemi Tetsuya, Mizuta Ryo	4. 巻 35
2. 論文標題 Tropical Cyclone Characteristics Represented by the Ocean Wave-Coupled Atmospheric Global Climate Model Incorporating Wave-Dependent Momentum Flux	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Climate	6. 最初と最後の頁 499 ~ 515
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/JCLI-D-21-0362.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Toyoda Masaya, Fukui Nobuki, Miyashita Takuya, Shimura Tomoya, Mori Nobuhito	4. 巻 64
2. 論文標題 Uncertainty of storm surge forecast using integrated atmospheric and storm surge model: a case study on Typhoon Haishen 2020	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Coastal Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 135 ~ 150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/21664250.2021.1997506	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takagi Masashi, Ninomiya Junichi, Mori Nobuhito, Shimura Tomoya, Miyashita Takuya	4. 巻 64
2. 論文標題 Impacts of wave-induced ocean surface turbulent kinetic energy flux on typhoon characteristics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Coastal Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 151 ~ 168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/21664250.2021.2017191	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Watanabe Yasunori, Oyaizu Haruhi, Satoh Hisashi, Niida Yasuo	4. 巻 136
2. 論文標題 Bubble drag in electrolytically generated microbubble swarms with bubble-vortex interactions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Multiphase Flow	6. 最初と最後の頁 103541 ~ 103541
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2020.103541	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Inoue Takuya, Watanabe Yasunori, Iwasaki Toshiki, Otsuka Junichi	4. 巻 45
2. 論文標題 Three dimensional antidunes coexisting with alternate bars	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Earth Surface Processes and Landforms	6. 最初と最後の頁 2897 ~ 2911
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/esp.4938	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Watanabe Yasunori, Tsuda Yosuke, Saruwatari Ayumi	4. 巻 62
2. 論文標題 Wave packet focusing in shallow water	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Coastal Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 336 ~ 349
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/21664250.2020.1756033	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Saruwatari Ayumi, Watanabe Yasunori	4. 巻
2. 論文標題 PROBABILISTIC ANALYSIS OF WINTER STORM SURGES DEPENDING ON METEOROLOGICAL FEATURES OF EXPLOSIVE CYCLONES	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Coastal Engineering Proceedings	6. 最初と最後の頁 31 ~ 31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9753/icce.v36v.currents.31	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 WATANABE Yasunori, KOJIMA Ryota	4. 巻 76
2. 論文標題 Formation and collapse of concentric focusing waves in Faraday wave field	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_13 ~ I_18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.76.2_I_13	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 WATANABE Yasunori, NONAKA Takumi	4. 巻 76
2. 論文標題 CLUSTERING, COALESCENCE AND COLLAPSE PROCESS OF RESIDUAL FOAMS ON SURFACTANT WATER SURFACES	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_19 ~ I_24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.76.2_I_19	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 WATANABE Yasunori, TSUCHIYA Hirotaka	4. 巻 76
2. 論文標題 MECHANISM TO FORM WIND WAVES VIA AIR-WATER INTERACTIONS IN WIND/OCEAN BOUNDARY LAYERS	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_157 ~ I_162
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.76.2_I_157	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mori Nobuhito、Ariyoshi Nozomi、Shimura Tomoya、Miyashita Takuya、Ninomiya Junichi	4. 巻 164
2. 論文標題 Future projection of maximum potential storm surge height at three major bays in Japan using the maximum potential intensity of a tropical cyclone	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Climatic Change	6. 最初と最後の頁 25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10584-021-02980-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shimura Tomoya、Hemer Mark、Lenton Andrew、Chamberlain Matthew A.、Monselesan Didier	4. 巻 47
2. 論文標題 Impacts of Ocean Wave Dependent Momentum Flux on Global Ocean Climate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 e2020GL089296
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020GL089296	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Saruwatari A.、Fukuhara K.、Watanabe Y.	4. 巻 61
2. 論文標題 Probabilistic assessment of storm surge potential due to explosive cyclogenesis in the northwest Pacific region	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Coastal Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 520 ~ 534
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/21664250.2019.1651519	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 TAKAGI Masashi、MORI Nobuhito、NINOMIYA Junichi、SHIMURA Tomoya、UCHIYAMA Yusuke、BABA Yasuyuki、MIZUTANI Hideaki、KUBO Teruhiro、WATANABE Yasunori、OTSUKA Junichi、YAMADA Tomohito、SARUWATARI Ayumi	4. 巻 75
2. 論文標題 REVISING WAVE INDUCED TURBULENT MIXING AND ITS IMPACT ON TROPICAL CYCLONE	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_61 ~ I_66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.75.I_61	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 WATANABE Yasunori, SUGIMURA Kazunao, YAMASHITA Kento, SARUWATARI Ayumi	4. 巻 75
2. 論文標題 HEAT TRANSFER INTO OCEAN WATER DURING GROWTH OF WIND WAVES	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_49 ~ I_54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.75.I_49	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 WATANABE Yasunori, NONAKA Takumi	4. 巻 75
2. 論文標題 SURFACTANT EFFECTS TO AIR-BUBBLE ENTRAINMENT, BUOYANT AND RESIDUAL PROCESSES ON A FREE-SURFACE	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_73 ~ I_78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.75.I_73	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 BABA Yasuyuki, KUBO Teruhiro, MORI Nobuhito, WATANABE Yasunori, YAMADA Tomohito, SARUWATARI Ayumi, OTSUKA Junichi, UCHIYAMA Yusuke, NINOMIYA Junichi	4. 巻 75
2. 論文標題 HIGH WAVES DUE TO TYPHOONS IN THE SUMMER OF 2018 OBSERVED AT AN OBSERVATION TOWER	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_271 ~ I_276
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.75.I_271	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 KIOKA Shinji, TAKEUCHI Takahiro, WATANABE Yasunori	4. 巻 75
2. 論文標題 SIMPLIFIED ESTIMATION METHOD FOR WATER DEPTH CHANGES AND TSUNAMI LOAD ON STRUCTURES DUE TO TSUNAMI INUNDATION FLOW WITH SEA ICE FLOES	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_421 ~ I_426
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.75.I_421	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 SARUWATARI Ayumi, OTSUKA Junichi, BABA Yasuyuki, KUBO Teruhiro, MIZUTANI Hideaki, SHIMURA Tomoya, NINOMIYA Junichi, YAMADA Tomohito, UCHIYAMA Yusuke, MORI Nobuhito, WATANABE Yasunori	4. 巻 75
2. 論文標題 ULTRASONIC BACKSCATTER MODEL ESTIMATING HEAT TRANSFER BY BUBBLE CLOUD IN THE OCEAN	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 1_67 ~ 1_72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.75.1_67	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 岡地 寛季, 山田 朋人, 渡部 靖憲, 猿渡 亜由未, 大塚 淳一, 森 信人, 馬場 康之, 久保 輝広, 二宮 順一, 内山 雄介, 水谷 英郎	4. 巻 27
2. 論文標題 ディスドロメータを用いた海上における2013年夏季の降雨観測	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 地球環境研究論文集 : 地球環境シンポジウム	6. 最初と最後の頁 41 - 46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Watanabe Y., Tsuda Y., Saruwatari A.	4. 巻 62
2. 論文標題 Wave Packet Focusing in Shallow Water	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Coastal Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 1756033
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/21664250.2020.1756033	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Niida Yasuo, Watanabe Yasunori	4. 巻 30
2. 論文標題 Oxygen transfer from bubble-plumes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics of Fluids	6. 最初と最後の頁 107104 ~ 107104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5040819	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Watanabe Yasunori、Mitobe Yuta、Tanaka Hitoshi、Watanabe Kazuya	4. 巻 1
2. 論文標題 HIGH-RESOLUTION TSUNAMI-BEDLOAD COUPLED COMPUTATION IN AMR ENVIRONMENT	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Coastal Engineering Proceedings	6. 最初と最後の頁 21～21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9753/icce.v36.sediment.21	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 KADOWAKI Soken、WATANABE Yasunori	4. 巻 74
2. 論文標題 Air-water interface transport and surface renewal under impacting droplets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_61～I_66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.74.I_61	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 SARUWATARI Ayumi、SAKAGAWA Ryota、OTSUKA Junichi、BABA Yasuyuki、KUBO Teruhiro、MIZUTANI Hideaki、NINOMIYA Junichi、YAMADA Tomohito、UCHIYAMA Yusuke、MORI Nobuhito、WATANABE Yasunori	4. 巻 74
2. 論文標題 RESPONSE OF THE OCEAN SURFACE LAYER WITH BREAKING WAVES IN FETCH-LIMITED WIND CONDITIONS	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_67～I_72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.74.I_67	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 YAMASHITA Kent、WATANABE Yasunori	4. 巻 74
2. 論文標題 AIR-FLOW OVER WIND WAVES AND SEA-SURFACE DRAG COEFFICIENT UNDER VERY STRONG WIND	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_73～I_78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.74.I_73	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 SARUWATARI Ayumi、ADACHI Amato、MIYATAKE Makoto、WATANABE Yasunori	4. 巻 74
2. 論文標題 DEVELOPMENT OF INTERNAL WAVES NEAR THE TSUGARU STRAIT ASSOCIATED WITH A STORM EVENT	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_661 ~ I_666
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.74.I_661	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 OKADA Nobue、UCHIYAMA Yusuke、TADA Hiroaki、ENDO So、BABA Yasuyuki、MIZUTAMI Hideaki、KUBO Teruhiro、MORI Nobuhito、WATANABE Yasunori、OTSUKA Junichi、YAMADA Tomohito、SARUWATARI Ayumi、NINOMIYA Junichi	4. 巻 74
2. 論文標題 SEASONAL VARIABILITY OF WATER EXCHANGE AT THE ENTRNCE OF A SEMI-ENCLOSE BAY AND ITS UNDERLYING MECHANISMS	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_667 ~ I_672
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.74.I_667	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Otsuka Junichi、Watanabe Yasunori	4. 巻 1
2. 論文標題 LABORATORY OBSERVATIONS OF DISSOLVED CARBON DIOXIDE TRANSPORT UNDER REGULAR BREAKING WAVES	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Coastal Engineering Proceedings	6. 最初と最後の頁 77 ~ 77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9753/icce.v36.waves.77	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Saruwatari Ayumi、Otsuka Junichi、Watanabe Yasunori	4. 巻 1
2. 論文標題 SEDIMENT ADVECTION AND DIFFUSION BY OBLIQUELY DESCENDING EDDIES	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Coastal Engineering Proceedings	6. 最初と最後の頁 96 ~ 96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9753/icce.v36.sediment.96	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Mitobe Yuta, Tanaka Hitoshi, Watanabe Kazuya, Tiwari Neetu, Watanabe Yasunori	4. 巻 60
2. 論文標題 Numerical experiments on effect of river mouth morphology on tsunami behavior in rivers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Coastal Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 516 ~ 531
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/21664250.2018.1531815	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kent Yamashita, Yasunori Watanabe, Soken Kadowaki, Ayumi Saruwatari	4. 巻 8
2. 論文標題 Turbulent Boundary Layer Flows over Progressive Water Waves	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 8th International Conference on Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 S03GFM-04
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Soken Kadowaki, Yasunori Watanabe, Kent Yamashita, Ayumi Saruwatari	4. 巻 8
2. 論文標題 Phase-Field computation of drop impacts	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 8th International Conference on Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 S04MF0-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計19件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 小熊多佳史
2. 発表標題 一様流れ中における集中包絡波
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊健太
2. 発表標題 サブグリッド気泡 泡沫モデルの開発
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小嶋亮太
2. 発表標題 Faraday波動場における波浪集中と崩壊過程
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野中拓実
2. 発表標題 残留泡沫の組織化と合体，消失過程
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 土屋裕高
2. 発表標題 気液境界層流れの相互作用を経た風波の発生機構
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野中拓実
2. 発表標題 気泡群の混入，浮上，残留過程に対する界面活性効果
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡部靖憲
2. 発表標題 風波発達過程における海中への熱輸送メカニズム
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 馬場 康之
2. 発表標題 2018年夏期に観測された 台風に伴う高波浪について
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 猿渡亜由木
2. 発表標題 海中混入気泡による超音波後方散乱と熱輸送
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高木雅史
2. 発表標題 砕波による海洋表層混合のパラメタリゼーションと台風に対する応答
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasunori Watanabe
2. 発表標題 HIGH-RESOLUTION TSUNAMI-BEDLOAD COUPLED COMPUTATION IN AMR ENVIRONMENT
3. 学会等名 International Conf. on Coastal Engineering 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasunori Watanabe
2. 発表標題 Dynamics of breaking waves in the surf zone
3. 学会等名 The 40th Ocean Engineering Conference (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasunori Watanabe
2. 発表標題 Sediment suspension in violent breaking waves
3. 学会等名 The 12th European Fluid Mechanics Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Otsuka Junichi
2. 発表標題 LABORATORY OBSERVATIONS OF DISSOLVED CARBON DIOXIDE TRANSPORT UNDER REGULAR BREAKING WAVES
3. 学会等名 International Conf. on Coastal Engineering 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Saruwatari Ayumi
2. 発表標題 SEDIMENT ADVECTION AND DIFFUSION BY OBLIQUELY DESCENDING EDDIES
3. 学会等名 International Conf. on Coastal Engineering 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木敦貴
2. 発表標題 エアチューブ崩壊時の流速変化
3. 学会等名 第73回年次学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Soken Kadowaki
2. 発表標題 Phase-Field computation of drop impacts
3. 学会等名 The 8th International Conference on Fluid Mechanics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kent Yamashita
2. 発表標題 Turbulent Boundary Layer Flows over Progressive Water Waves
3. 学会等名 The 8th International Conference on Fluid Mechanics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉村一直
2. 発表標題 風波下の海面表層流れと海面温度との関係
3. 学会等名 混相流シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Yasunori Watanabe	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Taylor & Francis CRC Press	5. 総ページ数 300
3. 書名 Dynamics of Water Surface Flows and Waves	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	猿渡 亜由未 (Saruwatari Ayumi) (00563876)	北海道大学・工学研究院・准教授 (10101)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	山田 朋人 (Tomohito Yamada) (10554959)	北海道大学・工学研究院・教授 (10101)	
研究分担者	新井田 靖郎 (Yasuo Niida) (10817703)	一般財団法人電力中央研究所・環境科学研究所・主任研究員 (82641)	
研究分担者	馬場 康之 (Yasuyuki Baba) (30283675)	京都大学・防災研究所・准教授 (14301)	
研究分担者	大塚 淳一 (Junichi Otsuka) (50540556)	国立研究開発法人土木研究所・土木研究所（寒地土木研究所）・主任研究員 (82114)	
研究分担者	志村 智也 (Tomoya Shimura) (70789792)	京都大学・防災研究所・准教授 (14301)	
研究分担者	森 信人 (Nobuhito Mori) (90371476)	京都大学・防災研究所・教授 (14301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------