様　式　C－１９、F－１９、Z－１９　（共通）

科研費 KAKENHI

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成 ２７ 年　 ６ 月 ２３ 日現在

機関番号：１０１０１
研究種目：基盤研究(B)
研究期間：2012～2014
課題番号：２４３６０１９６
研究課題名（和文）ストーム時に発生するマイクロメカニクスによる大気海洋間輸送フラックス

研究課題名（英文）Momentum and heat transfer governed by micro-mechanics between atmonphere and ocean

研究代表者
渡部　靖憲（Watanabe, Yasunori）

北海道大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：２０２９２０５５

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　12,600,000円

研究成果の概要（和文）：強風下に発生するマイクロイベントを通じて形成される幅広いサイズレンジの飛沫及び気泡の運動を微視的確率乱流モデルをベースとする大気海洋せん断乱流シミュレータによって再現し，気液相互作用を経由した移流拡散を通じて輸送される熱，気体を見積もる数値モデルを開発した．風洞造波水槽における強風下の砕波過程を通した飛沫，気泡サイズ分布の同時計測，並びに高速サーモグラフィによる熱輸送計測を行い，エアレーションを受ける海面表層の運動量及び熱輸送が風波レイノルズ数をパラメータして整理可能であることを明らかにした．現地海洋観測により台風イベント中の飛沫，気泡計測を行い，数値的，実験的成果との検証を行った．

研究成果の概要（英文）：A novel numerical simulator to compute local behaviors of sea sprays and entrained bubbles produced by micro ocean wave-breaking processes, based on the stochastic turbulence model, was developed in this study. The model was confirmed to reasonably reproduce heat and gas transfer through advection and diffusions processes via gas-liquid mechanical interactions.
Physical experiments for measuring the size distributions of sea-sprays and bubbles entrained into sea and the thermal radiation on the breaking-waves faces were performed in a wind wave flume. The momentum and heat transfer on the aerated ocean waves were found to be parametrized by the wind wave Reynolds number.The in-situ measurements for sea-sprays and air bubbles in ocean were also performed for characterizing mechanical contributions of the aerated ocean surface to the wave and current field.

研究分野：海岸工学

キーワード：砕波　気液混相流　熱輸送

１．研究開始当初の背景

暴風下の大気海洋相互作用について，近年まで殆ど理解されておらず，今日まで誤ったバルクパラメータで気象海象を見積っていたことが Powell ら(Nature2003)により明らかにされている．従来，暴風時には気象観測が不能となるため，低風速観測で得られた風速に対する海面抵抗係数の単調増加の関係を外挿し，強風においても同一関係バスクモデルによって運動量輸送を決定してきたが，強風時には風速増加に伴い抵抗係数は逆に減少することが GPS ゾンデによる観測から明らかになっている．これは，砕波に因る海面を覆う気泡層の発達と大量に放出される飛沫が運動量，熱，水分輸送に顕著な影響を与えることが原因と推測されており，現行モデルとの抵抗係数の差異は最大で数倍以上にも及び，今日まで行ってきた気候評価の危うさが浮き彫りになっている．さらに現行モデルでは陽的に記述しない降雨による局所熱水分そして運動輸送の局所的非平衡性もまた気象海象を決定する重要なパラメータとなる (Ho, Harrison, McGillis 2007)．これまで，これら海面近傍の微視物理現象についての注目が低く，その熱力学的寄与は全く不明であり, Powell らの成果は結果としたパラメータ化されていない現象が大スケールの台風の発達あるいは高波の生成過程に極めて大きな影響を与えていることを示唆している．即ちストームイベント下の気象並びに海象擾乱の短期間の発達，減衰が本質的にこれら大気海洋間フラックスの局所分布に依存し予測性能を大きく左右するだけでなく，結果として巨大台風の発達過程の変化や高潮被害の拡大に大きく係る可能性があり，基礎物理機構の理解が必要である．

暴風下の波浪は強力なせん断流により波峰が吹き飛び，運動量輸送過程が大きく変化すると同時に，大量に大気中に放出された飛沫と海中へ混入させられた気泡により極めて複雑な気液乱流抵抗が生じると共に，著しく増加した気泡－海水間の接触界面積を介して熱気体交換が急速に促進され，さらに海面直下の砕波乱流による水面更新にフラックス輸送が顕著に促進される(Komori et al. 1989)．これを直接的なパラメータとして考慮しない現行バルクモデルによる熱・気体交換係数については以前から問題視されており(Toba & Koga 1988, Wallace & Wiric, Nature1992)，近年多くの海洋学者が指摘する (Farmer et al., Nature 1993)様に砕波による気泡，飛沫を含む微視的物理機構が適切に反映された新たな輸送モデルの開発が急務である．また，砕波に伴う飛沫は海面上の水分及び熱の鉛直フラックスを決定し(Ling & Kao 1975)，大気への熱輸送を経て気象並びに海水温度に大きな影響を与える．特に，近海域の海洋性エアロゾル濃度は外洋のそれと比べて約 2 オーダー程高く(Lugni 1999)，熱・水分フラックスが顕著に変化し，近海域の局地気象に大きな影響を与えることが明らかになっている(Leeuw1999)一方，微視物理過程を経て発生する海中への気泡混入，大気への飛沫放出そして海面上の発達した乱れの定量化が未だ十分ではなく，個々のイベントに対する熱水分輸送への定量的寄与は不明なままである．さらに，ストーム時における降水の大気海洋間熱フラックスへの影響もまた陽的に領域モデルパラメータには反映されてない一方，近年これを重要視する多くの報告がなされている．

２．研究の目的

本研究は，ストーム時に発生する豪雨，暴波浪，強風等が引き起こす大気海洋間界面過程において微視的尺度ながら暴風域全域で極めて活発となる熱水気体輸送を熱混相流体力学的アプローチにより解明し，イベントに対するこれら輸送フラックスを統計的にインテグレートすることで現行バルクモデルのパラメタリゼーションを修正し局地的気象海象応答への定量的影響を明らかにしようとするものである．即ち，現行の気候海洋予測パラメータでは陽的に記述されず直接の寄与が与えられない暴風下で発達した砕波が生成する乱流，気泡の海中への混入，飛沫の大気への放出，によるこれらマイクロイベントの修正に対する熱気体輸送機構について，最先端数値計算技術及び流体可視化計測技術を駆使して定量化，モデル化を行うものである．

３．研究の方法

本研究は，気液界面の数値乱流解析（タスク１）と風洞熱気体可視化計測実験（タスク２）により，海面近傍のエアレーションから乱流混合，飛沫生成に至るマイクロメカニクスを経由した運動量，熱・水分・気体輸送フラックスを陽的に記述し，さらにタスク３において両タスクを統合し，海洋観測を基に気象海象パラメータによるパラメタリゼーションを行う．

(1) 大気海洋せん断乱流シミュレータの開発

せん断強風下の砕波の変調と混入気泡，分裂飛沫，そして気液両相の流体運動を，数値的に再現しパラメータ化を行う．既に開発済みである水面の分裂を再現可能な気液乱流数値モデル，微細飛沫，気泡のランジュバン・サブグリッドモデルを統合し，波浪の発達から微細気泡・飛沫スケールまでの遷移的物理過程とそれに伴う熱輸送を再現する数値シミュレータを開発し，暴風下の大規模な水面更新並びに気泡・飛沫の生成，熱輸送機構と気液乱流構造との関係を解明する．

(2) ストームイベントにおける海面過程による熱，気体輸送フラックスの可視化計測予備実験により既に計測アルゴリズムが完成しているバックライト法による飛沫サイズ，数密度画像計測システム，熱赤外線計測，

３次元水面形計測技術，LIF を拡張し，降雨及び砕波後に生成された飛沫及び混入気泡のサイズスペクトルを決定する物理モデルの開発，砕波過程の進行に伴う乱れによる水面更新の発達とエアレーションに伴う表層水温と溶存酸素濃度変化，飛沫飛散過程を通した界面水温変化を風洞水槽において直接計測し，微物理過程を経た輸送フラックスを統計的に決定する．
(3) 海面上マイクロメカニクスによる熱気体輸送パラメタリゼーション　タスク１，２で得られた大気海洋間界面マイクロメカニクスと熱気体輸送との関係と現行バルクモデル，並行して行われる気象，海象，沿岸環境現地観測とを比較し，これらイベントの寄与を明らかにすると共に，気象パラメータ並びに波浪予測モデルで与えられる砕波率，頻度をインプットとしたマイクロメカニクスによる輸送フラックスのパラメタリゼーションを行う．

４．研究成果

(1)タスク１大気海洋せん断乱流シミュレータの開発
①多量の気泡の混入に対しても保存則を満足して計算し得る Stochastic-LES 系気泡乱流相互作用モデルを開発した．
静水中の底面付近ソース点より気泡群を放出し,気泡運動に伴い誘発される乱れ中の気泡群の速度と Iran et al.(2008)の実験結果と比較し対象気泡径レンジにおいて妥当性を確認した．
個々の気泡は側方への動揺を伴いながら上昇し，典型的な気泡プルームを形成すると共に付近で発生した乱れにより気泡運動の変動が促進されるという，気泡-乱流間の再帰的運動量輸送が行われる．
巻き波砕波下のエアレーションモデルとして,平面ジェットの静水面への着水に伴なう水面形変動及び気泡混入の特徴を，バックライト法による高速画像計測結果と比較し，実現象と矛盾ないことを確認した．
ジェットの着水後水面に形成されるキャビティ―先端部より水中へ放出された気泡は，その気泡運動により乱れエネルギーを増大させ，更に水面を不安定化し気泡の混入を促進する

② 気泡乱流中の力学機構に基づく酸素輸送モデルを構築した．このモデルを静水中のソース点から生成される気泡プルームへと応用し，気泡―乱流間相互作用を経由した酸素輸送過程について調査すると共に実験結果との比較によってモデルの妥当性を検証した．
気泡―乱流間の力学的な相互作用は溶存酸素濃度分布の決定に深くかかわっている．気泡プルーム中の溶存酸素濃度は，バブリング開始直後では底面近傍の気泡が共通して通る領域で高濃度となるが，ソースである気泡の上昇・拡散によって酸素の溶解領域が広がり，溶解した酸素の気泡が引き起こす液相流速や乱れによって移流拡散していく．気泡プルーム中の溶存酸素濃度変化速度は実験値に対して矛盾がないことが確認された．
本モデルを砕波ジェットモデル下の気泡乱流に適用し，ジェット下に形成される気泡乱流中の酸素輸送過程について，その特徴を調査した．気泡はジェットと受け側水面との間に形成されるキャビティ部で混入し，下方へと移流される．溶存酸素濃度は，初期においてキャビティ部で高くなるが，時間と共にせん断流れと混入気泡の影響を受けて発達した乱れの影響で拡散し，強い鉛直下向きの流れによって移流される．
ボイド率と液相乱れエネルギー，溶存酸素濃度の空間分布の相関は必ずしも高くなく，従来使われてきたボイド率のみをパラメータとするモデルでは気液混相乱流場での溶存酸素濃度分布の推定は困難であるが，本モデルを用いることによって，気泡乱流中の局所的，瞬間的な水中溶存酸素濃度変化をとらえることができる．

③砕波後に形成される 3 次元渦構造の形成，ジェットのフィンガー化そしてフィンガージェットからの飛沫の放出に至る一連の砕波過程を決定するパラメータを三次元線型安定解析により明らかにした．これは，何故砕波後の流れ及び水面形が 3 次元化し，何がこれらを引き起こすのかを初めて説明したものである．
砕波ジェットの着水に起因して生じる流体の伸張，渦度と波峰方向の 3 次元的渦度擾乱が発達する波数との関係を求めた．せん断率の増加に伴って不安定レンジが広がり，特にスパン方向の波数が顕著に増加する．これは,流れの組織的三次元化を表す交互交代渦のスケールは，ジェットの着水に伴う淀み点流れのせん断率のみに依存することを表し，過去の可視化実験結果を裏付ける．
交互交代渦は近接する自由水面を流体中へ取り込み，渦列間のジェットを分断する．水面における渦度と自由水面の曲率との関係は，solid rotation に対する接線流速をもって有意な回転半径をもつ水面形が形成されフィンガー化が促進されることを表す．フィンガージェットの不安定モード並びに飛沫の分裂間隔は，R-P 不安定の成長率と大きく変わらないが，それ以上では最大成長率及びその波数共に急増する．過去の可視化実験においてR-P不安定で説明できなかった短間隔での飛沫分裂は，フィンガー内の渦度による不安定モードの変調に起因して生じることが証明された．

(2) ストームイベントにおける海面過程による熱，気体輸送フラックスの可視化計測
①濃度勾配法を拡張し，連続する画像濃度から物質移流速度及び拡散係数の面的分布を

同時に推定する画像計測法を提案し，数値実験，水理実験によりその特徴と応用性を検討した．
ガウス分布を初期値とする拡散現象の数値実験により，濃度分布の空間的な滑らかさを制限する未定係数及び拡散の相対的支配率を規定する係数の両者の最適値を決定した．これら最適係数を導入することで，濃度分布の時間変化のみから，移流速度及び拡散係数の最適値を取得可能となり，複雑流れに対しても両者のフラックスの和は Fick の法則による濃度フラックスを相関値 0.8 以上の精度で推定する．提案する変分法に基づく計算法の方が同一方程式系を最小二乗法で解くより倍以上の精度で拡散フラックスの推定が可能となることが判明した．
践的応用性を検討するため，温水の静水への流入に伴う流れの熱赤外線画像計測実験，並びに衛星赤外線画像をベースにした台風来襲時の海表面温度のメソ客観データについて本手法を適用した．前者に対して，局所的な移流速度をもって拡散する流況，そして後者に対して台風に起因する海表面の混合や強風により局所的な熱輸送速度が時間的に連続する水温データのみからおおよそ算定可能であることが確認された．

②風波発生時の水温分布の高速赤外線計測を行った．水面温度変化の特徴として，送風後には，気温の低い風によって冷却された表層膜面を砕波による乱れが崩壊し相対的に高温のバルク水塊との混合によって小スケールの変動をもって水表面温度が上昇する典型的な表面更新が広領域に発生する．
特に波頂の通過後，位相差をもって砕波による表面更新が卓越するのが重要な特徴であり，水面温度分布の標準偏差をもって評価し，乱れの寄与を検討できる．水面温度の主要な特徴は，風波 Reynolds 数 $R_B=u_*{}^\wedge 2/\nu\ \sigma_p\$$によって整理できる．Witting(1972) と Saunders(1967)の既存モデルは，本実験レンジの風波の熱輸送を記述しない．相対平均水温の水位変動に対する相対遅れ時間($\Delta t_m/T$)と R_B の関係から，相対的に R_B の低い条件($R_B \approx 1\times 10^4$)では風波の波峰の半波長程度背後で水温が上昇するが，風速の増加と共に位相差は減少し，$R_B \approx 1\times 10^5$ 程度では，ほぼ波頂と同位相において最大平均水温となる．水温分布の標準偏差と水位との相対遅れ時間($\Delta t_s/T$)と R_B の関係から，$R_B < 4\times 10^4$では，波峰の背後に乱れによる表面更新が現れ，$R_B > 4\times 10^4$では，波峰の前方に既に乱れが顕著に境界層を攪乱していると考えられ，異なるメカニズムによる水温変調が結果として発生しているものと考えられる．

③風洞造波水槽における風波砕波下の飛沫と気泡のサイズ分布と風況，海面状態との関係を飛沫と気泡の同時画像計測を行い次の結論を得た．
画像から飛沫と気泡の形状をアクティブコンターを基本とする level-set 逐次計算により検出し，強風下の多量の気泡飛沫混在域への高い適用を
確認した．
気泡サイズスペクトルの形状は風速の増加に伴いスペクトル形状の違いが減少する．特に風速 25m/s 以上となるとスペクトル形状は変化しない．
飛沫及び気泡のサイズスペクトルの両者に勾配変化点が存在することが確認された．これは飛沫に対して 2.2mm，気泡に対して 1.2mm 程度から造波の有無に依らず勾配が緩やかとなる．
風波レイノルズ数と飛沫及び気泡の数密度及び体積率はバラつきがあるものの明確な正の相関をもつことが明らかになった．

(6) 海面上マイクロメカニクスによる熱気体輸送パラメタリゼーション
連携研究である京都大学防災研究所共同研究で行っている和歌山県白浜海象観測サイトにおける観測結果と気象，海象モデルによる数値結果を比較し，台風下における気象，海象の相互作用を調査した．観測期間中 3 回の台風イベントに対して解析を行い，当該分野の解析に必要な観測項目，及び計器のセットアップの手法を確立した．研究期間内のイベント総数が少なく十分な統計サンプルが取得できていない一方，海面の二相化のモデル化を進めるために必要な砕波率及び分布を決定する新たなパラメータが必要であることが判明し，本研究をさらに発展させる準備を整えた．

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 29 件）
※全て査読あり
① Otsuka J. and Watanabe Y., Characteristic time, length and velocity scales of transverse flows in the surf zone, Coastal Engineering Journal, DOI: 10.1142/S0578563415500060, (2015)
②渡部靖憲，田代晃基，大塚淳一，大山高弘，山田朋人，風波下の高速表面水温計測による波面を通じた熱輸送の変調の解析，土木学会論文集 B2(海岸工学),70 (2), 56—60, (2014)
③大塚淳一，渡部靖憲，田代晃基，大山高弘，猿渡亜由未，山田朋人，風波砕波下の飛沫と気泡の同時画像計測，土木学会論文集 B2(海岸工学),70 (2), 41—45, (2014)
④新井田靖郎，渡部靖憲，ジェット下に形成される気泡乱流中の酸素輸送モデル，土木学会論文集 B2(海岸工学),70 (2), 51—55, (2014)
⑤渡部靖憲，小柳津遥陽，新井田靖郎，

Stochastic-LES 系気泡乱流モデルの開発と平面ジェット下の気泡流解析，土木学会論文集 B2(海岸工学),70 (2), 61—65 (2014)
⑥Mori, N., M. Kato, S. Kim, H. Mase, Y. Shibutani, T. Takemi, K. Tsuboki and T. Yasuda, Local amplification of storm surge by Super Typhoon Haiyan in Leyte Gulf, Geophysical Research Letters, American Geophysical Union, 10.1002/2014GL060689 (2014)
⑦Nakajo, S., N. Mori, T. Yasuda and H. Mase, Global stochastic tropical cyclone model based on principal component analysis with cluster analysis, Journal of Applied Meteorology and Climatology, American Meteorological Society, Vol.53, pp.1547-1577(2014).
⑧Yasuda, T., S. Nakajo, S. Kim, H. Mase, N. Mori and K. Horsburgh, Evaluation of future storm surge risk in East Asia based on state-of-the-art climate change projection, Coastal Engineering, 83, 65-71, (2014).
⑨Farukh, M. and T. J. Yamada. Synoptic climatology associated with extreme snowfall events in Sapporo city of northern Japan, Atmospheric Science Letters, DOI: 10.1002/asl2.497 (2014)
⑩竹内大輝、山田朋人、M. A. Farukh. パキスタンに豪雨をもたらすインドモンスーンの蛇行パターンおよびブロッキングの特徴. 土木学会論文集 G(環境), Vol.70, No.5, I_263-I_259 (2014).
⑪馬場康之，水谷英朗，久保輝広，内山雄介，森 信人，渡部靖憲，大塚淳一，山田朋人，猿渡亜由未，二宮順一．台風通過に伴う田辺湾湾口部における海水温変化について，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.70, No.2, pp. I_476-I_480, (2014)
⑫内山雄介，松川大佑，神吉亮佑，馬場康之，森 信人，水谷英朗，渡部靖憲，大塚淳一，山田朋人，猿渡亜由未，二宮順一，紀伊半島田辺湾湾口部における海水交換特性に関する研究，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.70, No.2, pp. I_446-I_450, (2014)
⑬渡部靖憲，泉典洋，猿渡亜由未，砕波の三次元渦構造，フィンガージェットの形成から飛沫の放出に至る渦力学的不安定，土木学会論文集 B2(海岸工学),69 (2),51-55 (2013)
⑭新井田靖郎,渡部靖憲，ジェット下に生成される混入気泡群の酸素溶解ソースモデルの開発，土木学会論文集 B2(海岸工学),69 (2),46-50 (2013)
⑮山原康希，山田朋人，Yadu Pokhrel，全球気候モデルにおける人間活動の影響を考慮した陸面初期値が準季節予報スキルに与える効果，土木学会論文集 B1（水工学），I_1807 (2013)
⑯Hemer, M.A., Y. Fan, N. Mori, A. Semedo and X.L.Wang, Projected changes in wave climate from a multi-model ensemble, Nature Climate Change, 6p., doi:10.1038/nclimate1791, (2013).
⑰Shimura T., N. Mori and H. Mase, Ocean waves and teleconnection patterns in the Northern Hemisphere, Journal of Climate, American Meteorological Society, 26, pp.8654-8670 (2013).
⑱Mori, N., T. Shimura, T. Yasuda and H. Mase, Multi-model climate projections of ocean surface variables under different climate scenarios, Future change of waves, sea level and wind, Ocean Engineering, Vol.71, pp.122–129 (2013)
⑲Suh, K.D., D.U. Lim and N. Mori (2013) Regional projection of future extreme wave heights around Korean peninsula, Ocean Science Journal, Vol.48, No.3, pp.439-453.
⑳Yamada, T. J., S. Kanae, T. Oki, and R. D. Koster, Seasonal Variation of Land-Atmosphere Coupling Strength over the West African Monsoon Region in an Atmospheric General Circulation Model. Hydrological Sciences Journal, 58, 1276-1286. DOI: 10.1080/02626667.2013.814914 (2013)
㉑Suseno, D. P. Y. and T. J. Yamada, The role of GPS precipitable water vapor and atmosphere stability index in the statistically-based rainfall estimation using MTSAT data. Journal of Hydrometeorology, 14, 1922-1932 (2013)
㉒Pokhrel, Y. N., N. Hanasaki, P. J.-F. Yeh, T. J. Yamada, S. Kanae, and T. Oki. Reply to 'Overestimated water storage'. Nature Geoscience, 6, 3-4 (2013).
㉓渡部靖憲・佐藤駿一,熱・物質の移流拡散速度の画像計測法,土木学会論文集 B2(海岸工学),68,41-45(2012)
㉔Mori, N., Freak waves under typhoon conditions, Journal of Geophysical Research, Ocean, American Geophysical Union, Vol.117, C00J07, 12p (2012).
㉕Suh, K.D., S.W. Kim, N. Mori and H. Mase, Effect of climate change on performance-based design of caisson Breakwaters, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol.138, Issue 3, pp.215-225 (2012).
㉖Yamada, T.J., J. Sasaki, and N. Matsuoka, Climatology of Line-shaped Rainbands over Northern Japan in Boreal Summer between 1990 and 2010. Atmospheric Science Letters, **13**, 133-138 (2012)
㉗Yamada, T. J., M. I. Lee, M. Kanamitsu, H. Kanamaru, Diurnal Characteristics of Rainfall over the Contiguous United States and Northern Mexico in the Dynamically Downscaled Reanalysis Dataset (US10), Journal of Hydrometeorology, **13**, 1142-1148,

doi:10.1175/JHM-D-11-0121.1 (2012)
㉘ Suseno, D. P. Y. and T. J. Yamada, Two-dimensional threshold-based cloud-type classification using MTSAT data, Remote Sensing Letters, DOI:10, 1080, 2150704X, 2012, 698320, 737-746 (2012)
㉙Pokhrel, Y. N., N. Hanasaki, P. J-F. Yeh, T. J. Yamada, S. Kanae, and T. Oki, Model estimates of sea-level change due to anthropogenic impacts on terrestrial water storage, Nature Geoscience, 1476,doi10.1038, 20120417 (2012)

〔学会発表〕（計 8 件）
①Watanabe, Y., Dynamic Interactions of free-surface and vorticity at water impacts on still water, Int. Conf. Num. Meth. Multiphase Flows, 2014 年 7 月 30 日, Darmstadt (Germany)
②田代晃基(渡部靖憲)，風波下の高速表面水温計測による波面を通じた熱輸送の変調の解析，海岸工学講演会，2014 年 11 月 12 日，ウインクあいち(名古屋)
③大塚淳一(渡部靖憲)，風波砕波下の飛沫と気泡の同時画像計測，海岸工学講演会，2014 年 11 月 12 日，ウインクあいち(名古屋)
④新井田靖郎(渡部靖憲)，ジェット下に形成される気泡乱流中の酸素輸送モデル，海岸工学講演会，2014 年 11 月 12 日，ウインクあいち(名古屋)
⑤小柳津遥陽(渡部靖憲)，Stochastic-LES 系気泡乱流モデルの開発と平面ジェット下の気泡流解析，海岸工学講演会，2014 年 11 月 12 日，ウインクあいち(名古屋)
⑥渡部靖憲，砕波の三次元渦構造，フィンガージェットの形成から飛沫の放出に至る渦力学的不安定，海岸工学講演会，2013 年 11 月 13 日，九州大学(福岡市)
⑦新井田靖郎(渡部靖憲)，ジェット下に生成される混入気泡群の酸素溶解ソースモデルの開発，海岸工学講演会，2013 年 11 月 13 日，九州大学(福岡市)
⑧佐藤駿一(渡部靖憲),熱・物質の移流拡散速度の画像計測法, 海岸工学講演会，2012 年 11 月 14 日，広島国際会議場(広島市)

〔図書〕（計 1　件）
Gotoh H.,Okayasu A., Watanabe Y., Computational Wave Dynamics, World Scientific, 234, (2013)

〔産業財産権〕
○出願状況（計　0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計　0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

６．研究組織
(1)研究代表者
渡部　靖憲（WATANABE YASUNORI）
北海道大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：201292055

(2)研究分担者
山田　朋人　（YAMADA TOMOHITO）
北海道大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号： 10554959

森　信人　（MORI NOBUHITO）
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号： 90371476

(3)連携研究者
大塚　淳一（OTSUKA JUNICHI）
独立行政法人土木研究所・寒地水圏グループ・研究員
研究者番号：50540556