

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：82708

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K06220

研究課題名(和文) 沿岸浅海域での局所的地形変化に起因する乱流物質輸送に関する数値的・実験的研究

研究課題名(英文) Numerical and experimental study on turbulence and material transport around local topographic change in coastal shallow area

研究代表者

古市 尚基 (FURUICHI, Naoki)

国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産技術研究所(神栖)・主任研究員

研究者番号：70588243

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：浅海域では砂浜域でのバー構造などの局所的な地形変化に起因する流動が物質や卵稚仔輸送に大きな影響を及ぼすと考えられるが、多様な外力条件の影響のため、実態把握のための現地調査は困難である。本研究は、水理模型実験手法ならびに高解像度の乱流数値シミュレーション手法を用いて理想的条件下での検討を実施し、浅海域の局所的な地形変化が鉛直断面上の流動・物質輸送に及ぼす影響を調べた。バー構造の存在によって、バー背後の乱流運動、ひいては、粒子の鉛直輸送が強化されることが示された。このようにして小規模海底地形近傍の局所的な流体・物質輸送という流体力学・水産工学分野に係る課題に「ミクロな乱流」の観点から取り組んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今日、地球温暖化によって海水温・水位・波浪等の条件が将来的に変化してしまう可能性が指摘されており、我が国における気候変動適応ならびに水産業の持続可能な発展の観点から、流動など海洋構造の特性を適切に把握・予測することは必要不可欠の課題である。本研究は、数値流動シミュレーション・水理模型実験を活用した理想的条件下での高精度の取得データに基づいて、碎波・乱流過程等に起因する鉛直断面上の物質輸送特性に関する知見の進展を目指すものであり、沿岸浅海域での漁場・環境形成や生活史の理解向上、関連する流動シミュレーション能力の高度化などへの貢献が期待される。

研究成果の概要(英文)：On the basis of hydraulic model experiment and numerical simulation, we investigated turbulence and material transport in coastal shallow area. Special attention was directed to the role of small topographic changes such as sandbar on behavior of suspended particle matters that assumed transport of floating larvae. It was shown that the simulated results agreed well with the results from experiment, indicating the validity of the present numerical approach. We found that the turbulent mixing is intensified behind sandbar, which enhanced vertical exchange of suspended particle matters.

研究分野：Oceanography, Fisheries Engineering

キーワード：乱流 粒子 バー構造 沿岸浅海域

1. 研究開始当初の背景

海洋における流動変動は漁場形成の重要要因の一つであり、例えば、沖合から沿岸域まで様々なスケールで海洋流動の数値モデルの情報を用いて水産種の生活史に関わる研究が進められている。今日、地球温暖化によって海水温・水位・波浪等の条件が将来的に変化してしまう可能性が指摘されており、我が国における気候変動適応ならびに水産業の持続可能な発展の観点から、流動など海洋構造の特性を適切に把握・予測することは必要不可欠の課題である。

本課題では、浅海域での小規模の海底地形変化が流動変動に及ぼす影響に注目する。近年、計算機資源の増大、社会的高まりを背景に浅海域でのモデル計算において水平方向の高解像度化が進められているが、鉛直方向の流動特性に注目した検証・調査例は少ない。海洋流動モデル計算の高解像度化(ダウンスケーリング)を進展させる上で小規模海底地形近傍の局所的な物理過程および関連する物質輸送の問題は最も重要な未解決課題の一つである。

近年、工学分野(海岸工学等)においては、浅海域への計算のダウンスケーリングのみならず、沿岸浅海域の乱流数値シミュレーションや水理模型実験の関連計測手法などが進展していたが、それらは防災減災や海域利用(漂砂対策など)への活用を目的としたものが多く、水産分野では物理場の水産種への影響についての解析的検討事例(例:桑原ら 1994)があるものの、近年の手法進展の適用事例は少ない。本研究は、近年の工学分野で進展した手法を活用した理想的条件での高精度の取得データに基づいて、これまで検討例が限られてきた碎波・乱流過程等に起因する鉛直断面上の物質輸送特性に関する知見の格段の進展を目指すものであり、ここに本研究の大きな特色がある。

2. 研究の目的

本研究が設定する問いは、「浅海域の局所的な地形変化(バー・岩礁構造等)が特に鉛直断面上の流動・物質輸送に及ぼす影響がどのようなものであるか」というものである。この課題の解決を困難している大きな要因の一つは、該当現象である碎波や乱流、戻り流れなどの小規模現象が風や潮位変化などの外力条件の変化に伴って複雑に変化し、詳細かつ包括的な現地調査が困難である点である。そこで本研究は、水理模型実験手法と非静水圧の乱流数値シミュレーション手法とを組み合わせ、外力要因の影響を単純化した理想的な条件下で高解像度・高精度のデータを取得し、浅海域の局所的な地形変化(バー構造等)が特に鉛直断面上の流動・物質輸送に及ぼす影響を解明する、さらに、得られた高解像度の乱流計算・実験結果との比較を通じて、既往の海洋流動モデルにおける鉛直方向の輸送効果の表現(定式化)に関する検証・改良を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

【高解像度乱流数値シミュレーション・粒子追跡計算】浅海域での乱流場を再現するため、CADMAS-SURF/2Dを用いた数値シミュレーションを実施した。図1の上段に数値計算の模式図を示す。既往研究(日向野 1993 他)を参考として、勾配は50分の1とし、波高2.5 m、周期9 sの波が岸側に入射する実験を実施した。モデルの空間解像度は水平方向に0.5(沖側)~0.25m

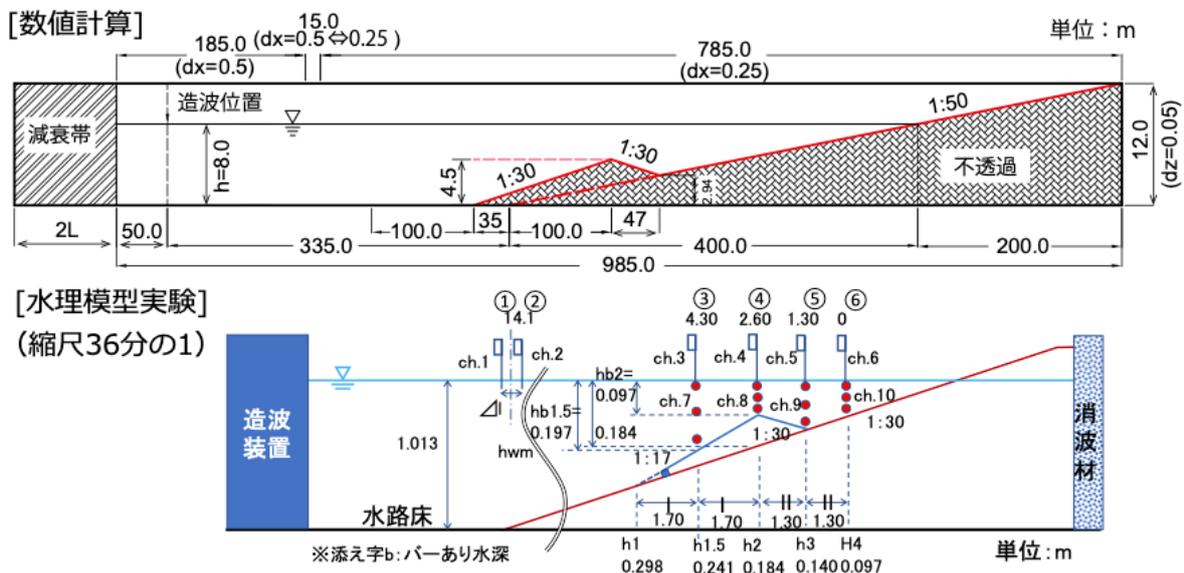


図1 (上段) 数値計算領域の模式図。(下段) 水理模型実験の模式図。③~⑥等で記した箇所は水位や流速の計測位置を示す。

(岸側)、鉛直方向に 0.05 m とした。計算は約 50 周期分の期間分実施し、最後の 9 周期分 (81 s) の期間について、時々刻々の詳細流速場、すなわち、「乱流データベース」を出力し、粒子追跡計算に活用した。粒子追跡計算では、既往研究 (古市・東 2014 ; 古市ら 2019) らを参考に、乱流条件下での粒子の振る舞いを調べた。ここで粒子には粒径 200  $\mu\text{m}$ 、比重 1.2 のストークス粒子に相当する沈降速度を仮定した。

【水理模型実験】数値計算結果の検証を主たる目的として、水産研究・教育機構、水産技術研究所 (神栖庁舎) に整備された大型造波装置を用いて、波浪が浅海部で砕波する過程を再現した。図 1 の下段には、実験の模式図を示す。装置内に斜面域 (装置の都合上、勾配 30 分の 1 とした) 並びにバー構造を模した模型を設置し、波を発生させ、バー構造近傍での水位変動や流動場を計測した。模型縮尺は実験水槽の規模から 36 分の 1 とした。

#### 4. 研究成果

図 2(a) に数値計算から得られた流速瞬間値の空間分布を示す。バーの有無によらず、水深数 m 以下の浅海域 (水平座標 750 m 超 ; 灰色矢印部分) では、砕波により流速が著しく低下していることや、波の峰では岸方向 (正值)、波の谷では沖方向 (負値) の流速が卓越している様子がみとれる。図 2(b) に、水平方向の流速の時間平均値 (9 周期分平均 ; 以下の時間平均値も同様) の分布を比較した結果を示す。なお、図 2(b) においては、平均期間中一度でも流速を検出した箇所を平均処理を行っているため、図 2(b) の流速平均値分布から、平均期間中の最大波高 (あるいは最大水位) の分布を確認できる。図 2(b) からは、バーの存在によってバー背後の最大波高が低下している様子をみとれる (黒矢印部分)。また、水平方向の時間平均値からは、初期水位以下の深度帯 (図での高さ 7m 以深の領域) では、沖方向 (負値) の流速が卓越しているとともに、バーの存在によってその周辺の沖方向流速が強化される様子を確かめる。

図 3(a) (b) に水理模型実験によって計測された波高 (水位) および水平方向流速の鉛直分布を示す (なお、図 3 では現実スケールへの換算値を示してある)。水平方向流速について、概ね沖向き方向 (負値) であるとともに、バーの存在によって岸側位置 (⑤) での波高の値が低下する

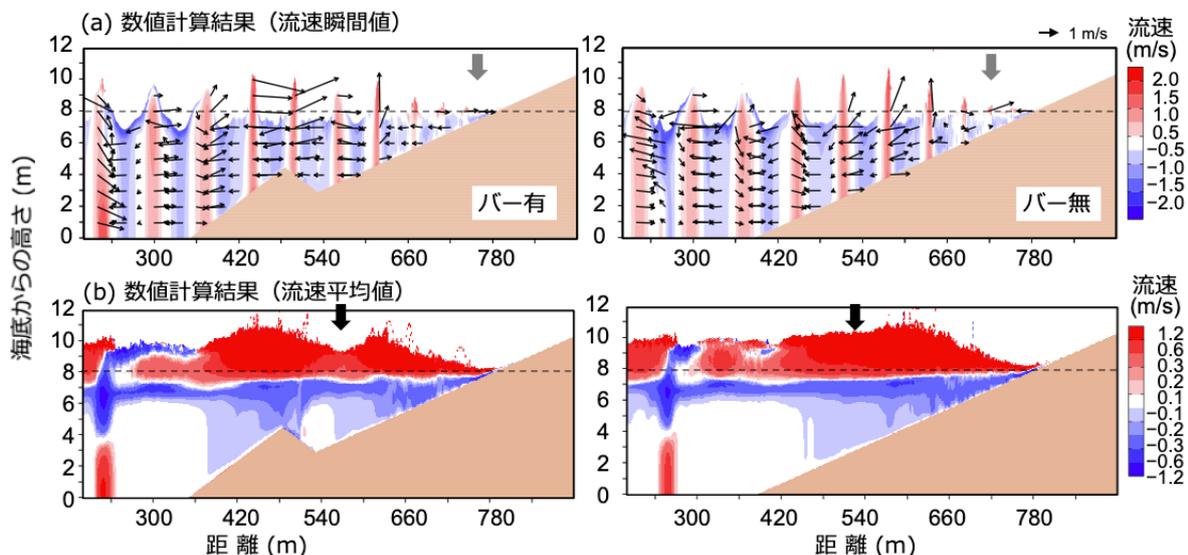


図 2 (a) 数値計算によって得られた流速場の瞬間値分布 (カラー : 水平方向流速, 矢印 : 流速ベクトル) のバーの有無に対する比較。(b) 数値計算によって得られた水平方向流速の平均値分布 (カラー・矢印) のバーの有無に対する比較。パネル内の破線は、初期水位の高さを示す

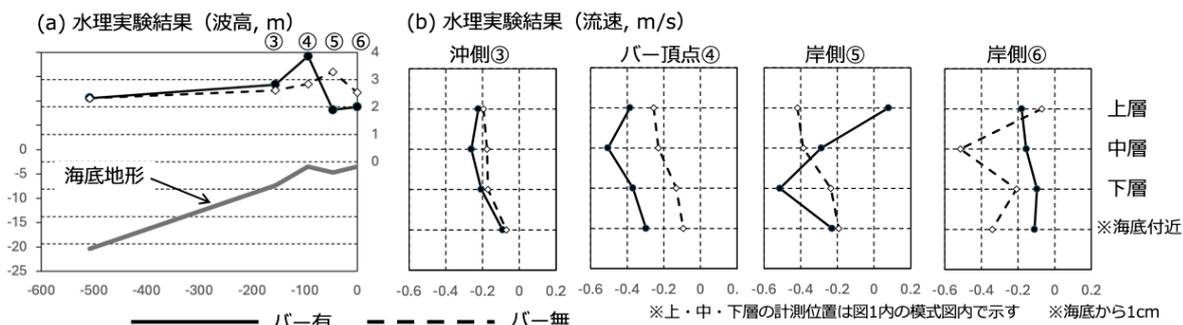


図 3 (a) 水理模型実験で計測された波高分布のバーの有無に対する比較。(b) 水理模型実験で計測された流速分布 (時間平均値) のバーの有無に対する比較。③~⑥の詳細位置については図 1 を参照していただきたい。

ことや、バー頂点付近(④)で沖向き方向の流速が強化されている様子がわかり、数値計算結果は実験結果をよく再現していることを確認できる。

図4に数値計算から得られた流速場情報を用いた粒子追跡計算の結果を示す。バーの有無によらず、水深数m以下の浅海域では、砕波により粒子が活発に混合されていること、また、バーの存在によって、例えば $T=81s$ の黒矢印部分の周辺でみられるように、バー背後で粒子が活発に混合されている様子がわかる。

バー背後での粒子混合の活発化の背後の物理機構を調べるため、流体力学分野で乱流拡散の強度の指標としてしばしば用いられている、乱流エネルギー散逸率( $\varepsilon$ )の時間平均値の空間分布を調べた(図5)。バーの存在によって、その背後で(破線四角エリア)、乱流強度が強化されている様子がわかる。広域モデルで乱流輸送の効果を十分に表現できない場合、このような乱流強化の影響を海洋モデルに適切に組み込むことで、浮遊幼生の広域的な拡散シミュレーションの高度化に寄与することが期待されると考えられた。

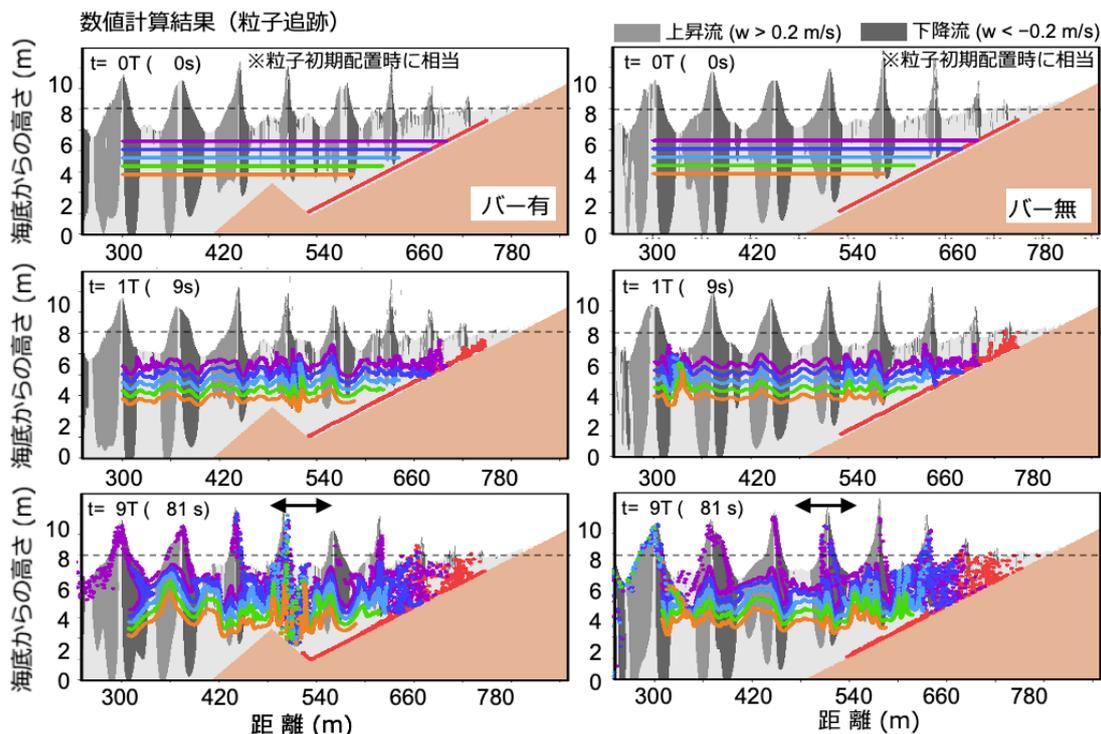


図4 数値計算によって得られた、粒子追跡実験結果の瞬間図のバーの有無に対する比較。灰色の陰影は鉛直方向流速を、カラーの点は粒子位置をそれぞれ示す。各パネルでの粒子の色は初期位置(上段)のものに対応する。パネル内の破線は、初期水位の高さを示す。

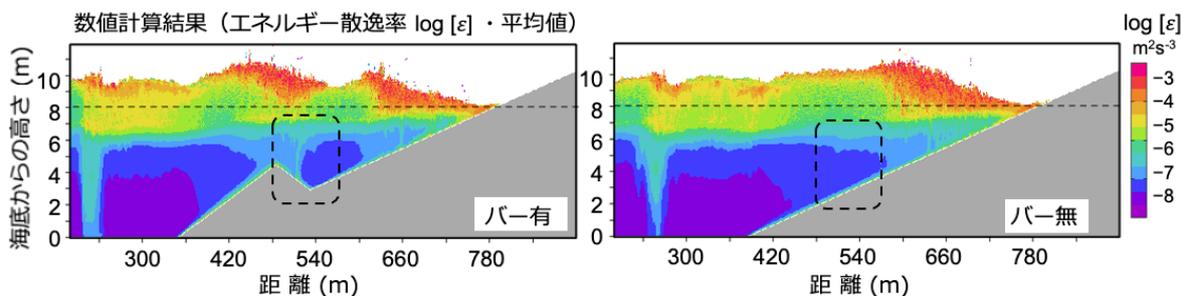


図5 数値計算によって得られた、乱流エネルギー散逸率のバーの有無に対する比較。パネル内の破線は、初期水位の高さを示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 金子 剛史・大村 智宏・古市 尚基・佐伯 信哉	4. 巻 77
2. 論文標題 漁港の斜路の波浪制御特性に関する数値的検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 I_259-I_264
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejoe.77.2_I_259	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 金子 剛史, 大村 智宏, 古市 尚基, 佐伯 信哉	4. 巻 78
2. 論文標題 不規則波作用下における漁港の斜路の波浪制御特性に関する数値的検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 I_403-I_408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejoe.78.2_I_403	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 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 古市 尚基・杉松 宏一・大村 智宏
2. 発表標題 利根川河口沖における懸濁粒子動態の現場観測
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合年会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 古市 尚基
2. 発表標題 利根川河口沖周辺における懸濁粒子動態の現場観測
3. 学会等名 海洋乱流の観測およびモデリングに関する研究集会 (北海道大学低温科学研究所研究集会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金子 剛史・大村 智宏・古市 尚基・佐伯 信哉
2. 発表標題 急勾配斜面での波浪反射特性に関する数値的研究
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金子 剛史・大村 智宏・古市 尚基・佐伯 信哉
2. 発表標題 漁港の斜路の波浪制御特性に関する数値的検討
3. 学会等名 第46回海洋開発シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古市 尚基
2. 発表標題 堆近傍の粒子物質輸送過程に関する数値的研究
3. 学会等名 日本海洋学会2021年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西野 圭佑・吉川 裕・古市 尚基
2. 発表標題 表層混合層乱流による沈降粒子スペクトルの変形に関する数値実験
3. 学会等名 日本海洋学会2021年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古市 尚基
2. 発表標題 堆近傍の粒子物質輸送過程に関する数値的研究
3. 学会等名 海洋乱流の観測及びモデリングに関する研究集会（名古屋大学・ISEE研究集会）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------