

機関番号：82708
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21360238
 研究課題名（和文）境界層計測プラットフォームを用いた陸棚海底環境の実態計測とモデル化
 研究課題名（英文）Measurements and modeling of bottom environment in coastal and continental shelf seas based the mobile oceanographically observational platform
 研究代表者
 八木 宏（YAGI HIROSHI）
 独立行政法人水産総合研究センター・水産工学研究所・グループ長
 研究者番号 80201820

研究成果の概要（和文）：200字

本研究では、沿岸域・陸棚海域における底層環境の実態把握のために、①可搬型観測プラットフォーム及び懸濁物質の微視的動態計測のための画像解析システムなど新しい観測技術の開発、②長期係留系観測及び懸濁物質化学組成解析による懸濁物質を中心とした底層環境の実態計測、③沿岸域・陸棚海域における底層環境構造に関するモデリング（浮遊系-底生系結合型物質循環モデル構築）とその結果に基づく沿岸域・陸棚海域底層環境の時間空間変動特性の把握を行った。

研究成果の概要（英文）：To understand the characteristics of dynamics and environments of bottom boundary layer in coastal and continental shelf seas, the three subjects were performed in this project. First one is the development of new observational equipments and analytical methods (mobile oceanographically observational platform and in situ PIV system). Second is the field observation for the bottom boundary layer based on the continuous monitoring with a buoy system and chemical analysis for SPM. Third subject is the modeling and simulations of bottom boundary layer which can show the temporal and spatial variations of the bottom environment in coastal and continental shelf seas.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2009年度 | 6,400,000 | 1,920,000 | 8,320,000 |
| 2010年度 | 2,500,000 | 750,000 | 3,250,000 |
| 2011年度 | 2,200,000 | 660,000 | 2,860,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 11,100,000 | 3,330,000 | 14,430,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：陸棚海域，観測プラットフォーム，底層環境，懸濁物質，数値モデル，PIV

1. 研究開始当初の背景

2007年海洋基本法が成立、海洋基本計画が策定され、我が国排他的経済水域（EEZ）における海洋環境保全と調和した形の海洋資源開発へ期待が高まっている。研究代表者の八木が携わる水産分野においても水産基本計画において「我が国の排他的経済水域における水産資源管理」を重点施策に位置付け、EEZにおける水産資源の回復、水産資

源の管理が進められようとしており、平成19年度には新たに『フロンティア漁場整備事業』が創設され、これまで行われてこなかったEEZ海域の漁場整備・漁場環境保全を国が事業主体となる取り組みも始まった。今後、これに基づいて生産力の高い海洋環境創出に向けた具体的な取り組み（人工海底山脈、保護育成礁など）が進められていくことになるが、これら資源回復策の整備手法、特に事

業の総合的な機能設計（適地選定，事業形式等）については，これまでの経験に基づいた手法にとどまっているのが現状である．今後，EEZ 海域における貴重な再生産資源として水産資源を保全，また持続的に利用していくには，合理的・効率的な漁場整備や漁場環境保全が不可欠であり，そのためには対象となる陸棚域の特に底層環境の実態を把握し，対象水域の環境構造を正確に表現また予測する漁場環境設計支援システムの構築が不可欠である．

EEZ における水産資源回復の中心となる陸棚海域，特に，人工海底山脈や保護育成礁整備にとって重要な底層環境は，表層で生産された有機物の供給が物質循環のベースとなるいわゆるデトライタス生態系を形成している．陸棚底層は，外洋水の進入後退など外洋影響を強く受け，海底からの再懸濁も生じているため，沈降・水平移流・再懸濁などによって懸濁物質特性がダイナミックに変化しているものと考えられるが，陸棚域，特に底層については，我が国沿岸において観測例が少なくその実態把握が大きく遅れている．

2. 研究の目的

本研究では，沿岸域・陸棚海域における底層環境の実態解明に向けて以下を目的とした．

(1) 新たな観測技術の開発：沿岸域・陸棚域の底層環境の実態計測を可能とする可搬型の観測プラットフォーム及び底層環境のキーとなる懸濁物質の微視的動態計測のための画像解析システムなど底層環境把握のための新しい観測技術の開発を行う．

(2) 沿岸域・陸棚域底層環境の実態計測：長期係留系観測及び分子マーカ等を利用した懸濁物質の起源・組成解析により，懸濁物質を中心とした沿岸底層環境の実態計測・解析を行いその特徴を把握する．

(3) 沿岸域・陸棚域底層環境のモデリング：沿岸域・陸棚海域における底層環境に関するモデリングを行い，それを用いた広域シミュレーション結果から，沿岸域・陸棚海域底層の空間構造及び時間変動特性などその特徴を示す．

3. 研究の方法

(1) 新たな観測技術の開発

①可搬型観測プラットフォームは，各種水質計を搭載した降昇部が海中を一定時間間隔で上下移動し，また海底着底部に ADCP や水質計を装着することで，流速や水質の鉛直分布，底層水質の時間変動を計測可能な構造形とし（図-1），船舶等を用いて実海域に比較的容易に設置・回収が可能なシステムとして開発した．基本性能を表-1 に示す．なお，本システムの試験計測を仙台湾の阿武隈川河

口沖（距岸 12.5km，水深 32m，図-2）において，2010 年 7 月 31 日～8 月 7 日の期間に実施した．観測項目は，降昇部による鉛直分布計測については塩分・水温・DO・濁度・クロロフィル蛍光光度・懸濁物粒径分布（LISST-100X）・照度，着底部の底層連続計測は塩分・水温・DO・濁度・クロロフィル蛍光光度であり，ADCP による流速鉛直分布，波高・波向計測を合わせて行った．

②懸濁物質の微視的動態計測システムについては，ソフトウェア部分に室内実験の乱流計測で用いられている PIV（Particle Image Velocimetry）の考え方を採用し，ハードウェア部は，魚類資源計測装置 FISCOM に小型ハイビジョンビデオカメラによるテレカメラモジュールを登載する構造とした．PIV に必要なカメラパラメータを現地調整可能な簡便な較正方法を開発した上で，懸濁物質の挙動を 3 次元的に計測するためのステレオ画像処理システムを構築した．ソフト

表-1 可搬型観測プラットフォームの基本性能

| 項目 | 内容 |
|---------|-----------------------------|
| 形状(着底部) | 縦 120cm x 横 120cm x 高 150cm |
| 重量(着底部) | 空中 150kg 水中 40kgf |
| 降昇速度 | 上昇時：15m/分，下降時：9m/分 |
| 総降昇距離 | 40,000m |
| 降昇時間間隔 | 1回100mの降昇距離の場合200回降昇可 |
| | 任意設定 |

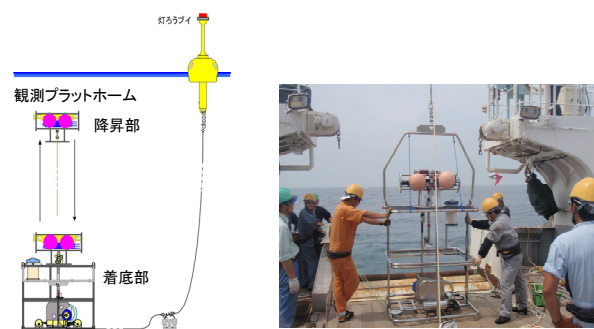


図-1 可搬型観測プラットフォーム(左：設置概念図，右：若鷹丸による機器設置作業)

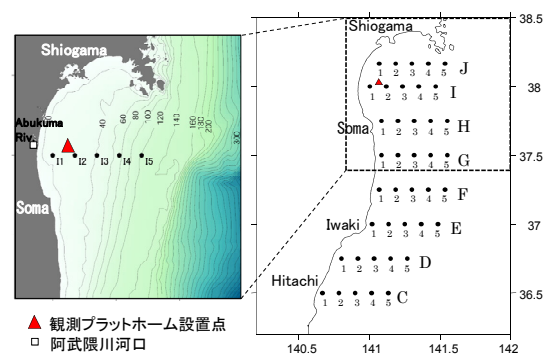


図-2 係留観測点（左図）および調査船による観測点位置

ウェアの設計にはオープンソースライブラリ OpenCV を利用することで、最新の画像解析技術を取り入れられるようにした。

(2) 沿岸域・陸棚域底層環境の実態計測

① 沿岸域底層環境把握のための長期連続観測を仙台湾阿武隈川河口沖で実施した（観測点は、観測プラットフォーム試験計測と同じ、観測期間は 2011 年 6 月 18 日～9 月 30 日）。計測項目は、流速、塩分・水温、溶存酸素、濁度・クロロフィル色素量である。

② 懸濁物質の起源・化学組成解析については、2010 年の観測プラットフォームの試験計測時に同地点で鉛直各層採水を行い、その試料に対して懸濁態有機炭素 (POC)、窒素 (PN) 濃度、および炭素安定同位体比 ($\delta^{13}C$)、窒素安定同位体比 ($\delta^{15}N$) の測定を行った。

(3) 沿岸域・陸棚域底層環境のモデリング

沿岸域・陸棚域底層環境のモデリングについては、これまで水産工学研究所が開発を行ってきた流動低次生態系モデル（流動モデル：POM, 低次生態系モデル：KKYS）に、底生系モデルを導入した形（浮遊系-底生系結合型）で構築した（図-3）。本モデルを、鹿島灘海域に適用し（計算期間は 2007 年 1 年間）、鹿島灘沿岸域及び陸棚域の底層も含めた流動と低次生態系の再現計算を行い、底層環境の空間構造を示すことを試みた。

4. 研究成果

(1) 新たな観測技術の開発

① 図-4 に、仙台湾阿武隈川河口沖における観測プラットフォーム試験計測から、降昇観測による塩分、クロロフィル a 量、DO、懸濁物質平均粒径の鉛直分布の時間変化を示す。水温・塩分は、表層が高温・低塩分となり海底から 20~25m（水深 7~12m）付近に比較的シャープな躍層が形成され、それが

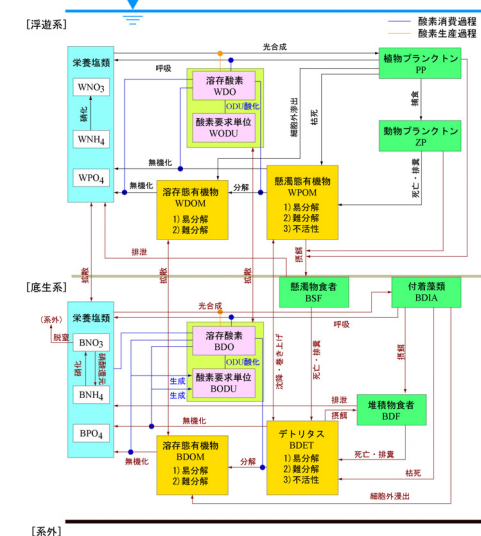


図-3 沿岸域・陸棚域における底層環境を再現するために開発した浮遊系-底生系結合型物質循環モデル

半日潮周期（内部潮汐と推定）で鉛直方向に振動している。中層（海底上 8~18m 程度）では高塩分のピークが生じその直下で塩分が低下する塩分逆転が生じており、底層（海底上 0~8m 程度）では低温で塩分が比較的一様な水塊が分布する構造となっている。植物プランクトンの指標となるクロロフィル a 量については、底層（海底上 0~10m 程度）で相対的に大きくなっており、これは採水観測から得られた栄養塩鉛直分布と（底層で DIN, PO4 が増大）と整合したものとなっている。一方、DO については全体的に飽和度 90% 以上であり貧酸素状態は見られないが、特徴として中層（海底上 8~22m 程度）で DO レベルが高い（過飽和状態）ことが挙げられ、中層上端でピークを示すような構造となっている。さらに懸濁物質の平均粒径についても中層、特に中層上部で平均粒径が大きく鉛直分布の傾向は DO と似ている。

以上の計測結果から仙台湾阿武隈川河口沖の水塊鉛直構造は、i) 高温・低塩分の表層、

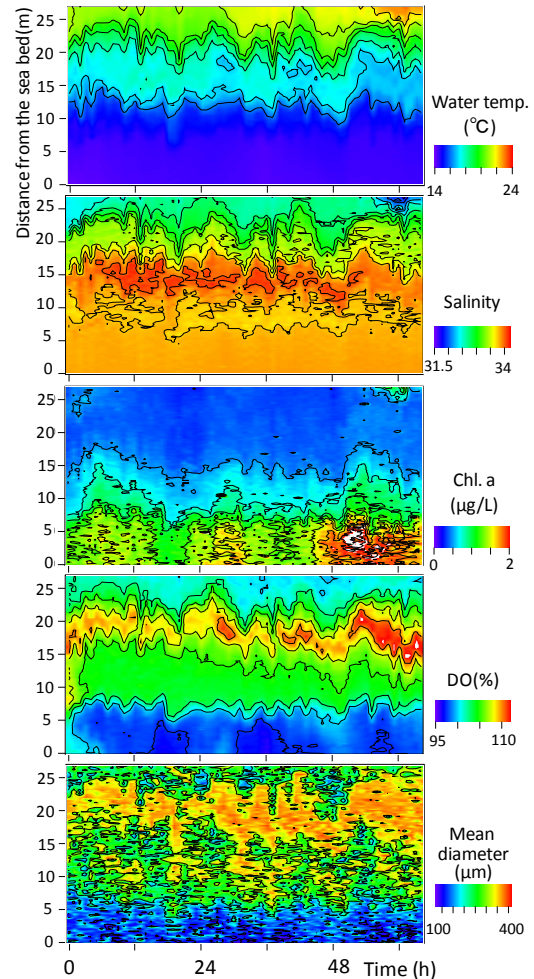


図-4 観測プラットフォームの試験計測結果（水温、塩分、クロロフィル a、DO、懸濁物質平均粒径の時空間分布）

ii)高塩分ピークとその直下の塩分低下及び相対的に高 DO で懸濁物平均粒径が大きい中層, iii)低温で塩分が比較的一様であり, クロロフィル a 量が大きい底層の 3 層構造となっていることがわかった。

このように, 本研究で開発した可搬型観測プラットフォームを適用すれば, 多項目水質の時空間構造の詳細を計測することが可能となり, 底層環境も含めた沿岸域・陸棚海域の環境構造の理解に大変有用であることが確認された。

② 懸濁物質の微視的動態を計測・解析するための現地 PIV 画像解析システム, 特に懸濁物質を撮影したステレオ画像から個々の粒子の 3 次元座標を計測するステレオ画像処理法については, i)画像のモノクロ化, ii)背景除去, iii)平滑化, iv)2 値化による粒子の抽出, v)誤粒子除去, vi)粒子の画像平面上での 2 次元座標の決定, vii)画像平面上での粒子の追跡, viii)左右の画像の分離, ix)粒子のステレオ対応処理, xi)粒子の 3 次元座標の決定, xii)3 次元空間での粒子の追跡の順に処理 & 解析を行う構成とした。このうち背景除去に関しては, 100 枚程度の画像を平均して背景画像を作成し, 対象画像と背景画像の輝度差から粒子画像を生成した。二値化に関しては, 背景と考えられる輝度の頻度分布から輝度の平均値と標準偏差を求め, 平均値から標準偏差の 3 倍だけ離れた値を閾値とした。また, 粒子のステレオ対応処理に関しては, 粒子の画像平面上での 2 次元座標をステレオ平行化し, 上下方向の座標の差が許容範囲内のものを全て対応させ, 粒子の 3 次元座標を求めた。画像平面上および 3 次元空間での粒子の追跡には, カルマンフィルターと χ^2 検定を組み合わせ合わせた KC 法を用いた。

懸濁物質を模擬した水中のポリスチレン粒子に対する本手法の検証実験から, 沈降する多数の粒子の動きを推定できることが確認され (図-5), 懸濁物質の微視的動態計測システムの基幹部分を構築することが出来た。

(2) 沿岸域・陸棚域底層環境の実態計測

① 沿岸域底層環境把握のための長期連続

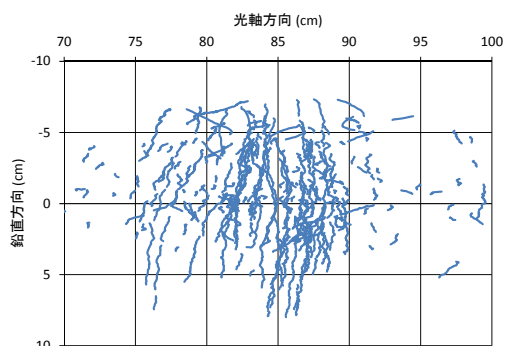


図-5 開発したステレオ画像処理システムにより推定した懸濁粒子の運動の軌跡

観測結果から仙台湾阿武隈川河口沖底層の環境変動特性を調べた。その結果, 底層環境にとって重要な底層濁度は, 観測期間中に顕著な濁度上昇が 3 回発生しており (図-6), これらはいずれも台風通過時に対応していた。底層濁度と底面せん断力 (流れ成分), 有義波高との関係を調べると (図-6), 有義波高はその時間変動パターンも含め濁度変動とも良く対応していたが, 底面せん断力 (流れ成分) は, 顕著な上昇が見られない場合でも底層濁度が上昇するケースがあることがわかった (図-6, 台風 12 号時)。このことから, 30m を超える水深帯の沿岸域であっても底層環境 (濁度変動) には波浪が重要な役割を果たしていることが示された。

② 懸濁物質の起源・化学組成解析については, 得られた試料に対し, 懸濁態有機炭素 (POC), 窒素 (PN) 濃度, および炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$), 窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) の測定を行った。計測結果から, C:N 比は 6.1~8.8 の範囲で一般的な植物プランクトンが持つ値に近いこと, $\delta^{13}\text{C}$ 値は -23.5~20.3‰, $\delta^{15}\text{N}$ 値は 4.6~8.5‰ の範囲で, 中低緯度域に生息する植物プランクトンが示す同位体比にほぼ近いが, 表層に比べると中底層では相対的に低い傾向があることが示された (図-7)。炭素の安定同位体比が低くなる原因としては, 陸起源有機物の寄与, 分解過程における同位体比の低下などが考えられるが, 観測結果の塩分, C:N 比, $\delta^{15}\text{N}$ 値の傾向が

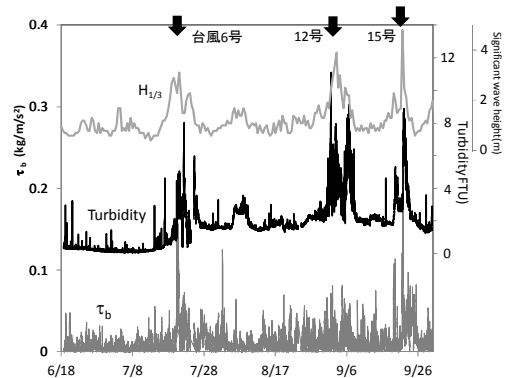


図-6 底層濁度と底面せん断力 (流動成分), 有義波高 (気象庁 GPV 波浪データ) の関係

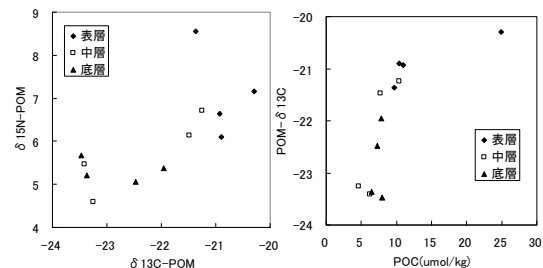


図-7 懸濁態有機物中の炭素・窒素安定同位体比 (左図), 有機炭素濃度と炭素安定同位体比の関の関係 (右図)

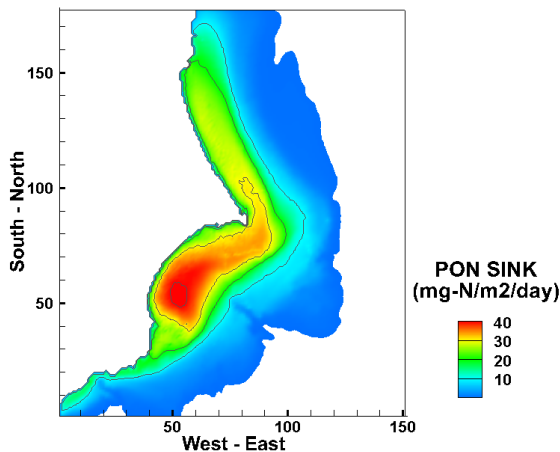


図-8 鹿島灘沿岸域・陸棚海域における底層への有機物沈降フラックスの空間分布 (2007年の年間平均値)

らこれらの可能性は低く、一方、植物プランクトン現存量の指標であるクロロフィル a 濃度は、表層に比べて中底層で高い傾向が得られていることなどから、中底層では、正常な生理状態の植物プランクトンに比べて、何らかの理由により (例えば、光環境が悪いため、増殖速度が遅い等)、炭素、窒素安定同位体比の低い植物プランクトンが存在していたことが可能性として考えられた。

(3) 沿岸域・陸棚域底層環境のモデリング

沿岸域・陸棚域底層環境を表現するために構築した浮遊系-底生系結合型物質循環モデルについて、シミュレーション結果を現地観測結果と比較することで、基本的な海洋構造や栄養塩、クロロフィル a などの変動特性を本モデルが良好に再現可能であることを確認した。さらに、本モデルの計算結果から底層環境を支配する重要な要素として有機物沈降フラックスのマッピングを行い (図-8)、沿岸域・陸棚海域における空間分布の特徴やその支配要因 (陸水影響や海流による湧昇効果など) を示した。

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 6 件)

中山哲巖, 八木宏, 藤井良昭, 渡邊浩二, 岡野崇裕, 武田真典, 渡辺秀俊, 高木隆昌, 小川浩史, 湧昇マウンド礁による低次生産効果把握のための現地調査および数値計算手法の開発, 土木学会海岸工学論文集, 査読有, 56 巻, 2009, 801-805,
DOI:10.2208/kaigan.65.801

中山哲巖, 八木宏, 藤井良昭, 佐野朝昭, 武田真典, 岡野崇裕, 湧昇マウンド礁による低次生産効果把握のための数値計算, 土木学会海岸工学論文集, 査読有, 57 巻, 2010, 1131-1135,

DOI: 10.2208/kaigan.66.1131

岡野崇裕, 八木宏, 中山哲巖, 足立久美子, 武田真典, 松村繁徳, 高城隆昌, 伊藤純一, 小川浩史, 湧昇マウンド礁周辺における懸濁態有機物に関する現地観測, 土木学会海岸工学論文集, 査読有, 57 巻, 2010, 1401-1405,

DOI: 10.2208/kaigan.66.1401

八木宏, 上原伸二, 中山哲巖, 小川浩史, 中村哲也, 足立久美子, 可搬型観測プラットフォームを用いた夏季仙台湾沿岸域における水塊構造計測の試み, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 査読有, 67 巻, 2011, 1011-1015,

DOI:10.2208/kaigan.67.I_1011

Kawasaki, N., R. Sohrin, H. Ogawa, T. Nagata, R. Benner, Bacterial carbon content and the living and detrital bacterial contributions to 4 suspended particulate organic carbon in the North Pacific Ocean, Aquatic Microbial Ecology, with referee, Vol.62, 2011, 165-176,

DOI:10.3354/ame01462

Tanaka, Y., H. Ogawa, T. Miyajima, Bacterial decomposition of coral mucus as evaluated by long-term and quantitative observation, Coral Reefs, with referee, Vol.30, 2011, 443-449,

DOI: 10.1007/s00338-011-0729-3

6. 研究組織

(1) 研究代表者

八木宏 (YAGI HIROSHI)

水産総合研究センター水産工学研究所水産土木工学部・グループ長

研究者番号: 80201820

(2) 研究分担者

中山哲巖 (NAKAYAMA AKIYOSHI)

水産総合研究センター水産工学研究所水産土木工学部・部長

研究者番号: 4037 2065

小川浩史 (OGAWA HIROSHI)

東京大学・大気海洋研究所・准教授

研究者番号: 5026 0518

長尾昌朋 (NAGAO MASATOMO)

足利工業大学・工学部・教授

研究者番号: 2019 8302

(3) 連携研究者

高橋秀行 (TAKAHASHI HIDEYUKI)

水産総合研究センター水産工学研究所

水産システム研究センター・主任研究員

研究者番号: 20372071