

令和元年6月25日現在

機関番号：82101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K13882

研究課題名（和文）沿岸域における海表面塩分マッピングのための海色衛星データ同化手法の開発

研究課題名（英文）Development for data assimilation of satellite-derived sea surface salinity maps in coastal seas into an ocean model by using ocean color satellite images.

研究代表者

中田 聡史（NAKADA, Satoshi）

国立研究開発法人国立環境研究所・地域環境研究センター・特別研究員

研究者番号：70540871

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：外洋の海表面塩分（SSS）を測定するセンサーを沿岸域で使用するには水平分解能が粗く、センサーの観測エラーも大きい。本研究では、SSSと有色溶存有機物（CDOM）が高い相関関係にあることに着目し、世界初の静止海色衛星「千里眼」（COMS/GOCI）から得られる時空間的に高解像度のCDOMプロダクトを利用し、瀬戸内海を対象とした水平解像度500mのSSSマップを作成した。しかし、COMS/GOCIは夜間や雲被覆が高い場合には欠測となり、必ずしも毎時データが連続的に得られるわけではない。そこで、グリーン関数法を用いて、衛星SSSデータを海洋モデルに同化し、SSSマップを補完する簡易な手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、静止海色衛星データから沿岸域における海面塩分を高分解能で知ることができる世界初の試みである。毎時の海面塩分マップが得られれば河川プルームを時々刻々追うことができ、海洋生態系や漁場環境への影響を推測できる。海面水温データが充実したことで海洋学や気象学が発展したように、海面塩分データを充実させ、次世代の気象学・水文学・海洋学へと貢献できると期待している。例えば、水文研究者は河川流量の検証のために、海面塩分データを利活用できるだろう。

研究成果の概要（英文）：Traditional satellite sensors to measure sea-surface salinity (SSS) have coarse resolutions and large errors to capture riverine plumes in coastal oceans. To accurately observe SSS patterns in coastal oceans, high temporal and spatial resolutions are required. We produce hourly, high-resolution (approx. 500 m) SSS maps in Seto Inland Sea based on the close relationship between SSS and chromophoric dissolved organic matter (CDOM) data collected by the Geostationary Ocean Color Imager (GOCI). However, the derived SSS maps frequently have data losses due to cloud cover and no data in nighttime, leading to difficult analysis of river plumes in coastal oceans. The data assimilation method was developed to interpolate SSS maps based on Green function method, in Osaka Bay selected as a pilot region.

研究分野：海洋物理学

キーワード：有色溶存有機物 河川プルーム 静止海色衛星 海面塩分 大阪湾 瀬戸内海 データ同化 グリーン関数

1. 研究開始当初の背景

沿岸海域に河川から出水された低塩分水(河川プリューム)は陸からの有機物を多く含むため、海洋生態系や漁場環境への栄養塩を供給するが、時として有害な赤潮を引き起こすこともある。それゆえ、低塩分水の指標となる海面塩分(SSS)の情報は、内湾域の水環境のみならず漁場環境の保全の観点から非常に重要であり、沿岸漁業者からも関心が極めて高いことが近年の研究結果からわかってきた(例えば、Nakada et al., 2014)。近年、衛星観測技術の発達により、毎日の海面水温(SST)だけでなく、面的なSSSがグローバルかつ動的に捉えられ(例えば、AQUARIUS)、アマゾン川の出水や海水の融解による低塩分水の動態が如実にわかるようになった(図1左)。しかし、このSSSデータの水平分解能は約50kmであり、沿岸域で使用するには解像度が極めて粗く観測誤差も大きい。

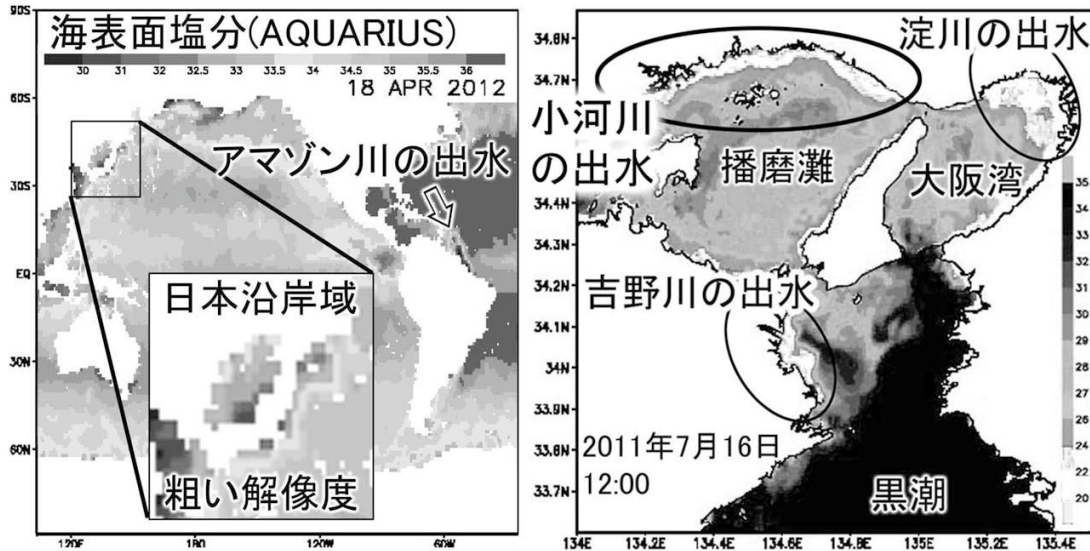


図1 (左)従来のグローバルSSSマップ(AQUARIUS)。(右)新推定法による高解像度の沿岸域SSSマップ(COMS/GOCI)

Nakada et al. (2018) の研究結果では、沿岸域においてSSSと有色溶存有機物(chromophoric dissolved organic matter: CDOM)の間には高い相関関係があることを確認し、この関係にもとづいて衛星観測によるCDOMマップからSSSマップを推定する方法を開発した。その結果、図1(右)のように、淀川等の一級河川だけでなく小川からの出水(プリューム)の動態が把握できるようになった。しかし、推定SSSマップには雲による欠測があり不完全である。そこで、これまで手掛けてきた海洋モデルに推定SSSマップをデータ同化することで、欠測を時空間的に補完した再解析SSSマップを作成できると考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、静止海色衛星プロダクトから得られるCDOMデータと同化手法を用いて再解析SSSデータセット及びマップを作成するための方法論を確立することである。再解析SSSデータセットを用いて、低塩分水で特徴づけられる河川プリュームの動態を高解像度で解析し、複数の小川からの河川プリュームの空間スケールや、発達から減衰までの持続性等の時間スケールを定量化すると共に、その時空間変動のメカニズム解明に迫る。

3. 研究の方法

河川水の影響が大きく塩分水平勾配が顕著な大阪湾を実験対象とした。また本海域は、定期観測や自動海洋観測システム(HFレーダ等)の観測インフラ整備が進み、他海域より現場観測データが豊富である。さらに、先行研究(Nakada et al., 2018)で開発した衛星CDOMマップを用いたSSSマップの推定法が活用できるという利点がある。また、大阪湾とその他の海域との精度比較をするため、瀬戸内海とその周辺海域におけるSSSデータセットを整備した。

精度向上させた再解析SSSデータセットを用いて、河川プリュームの動態を記述し、小川からの河川プリューム(低塩分水)が沿岸域ではどのような挙動を示すのか、そしてプリュームがどのように移流され減衰していくのかを調べる。そのような河川プリュームの動態に影響を与える河川出水や気象イベントを解析する。

(1) 沿岸域における高解像度SSS推定マップの作成

静止海色衛星(COMS/GOCI)から得られる高い時空間解像度(水平解像度500m、1日8回)のGOCI標準プロダクトを入手した。現在、約8年分のプロダクトを蓄積することができており、プロダクト中のCDOMデータと、SSS推定式を用いて対象海域における推定SSSマップを作成

した。

(2) 海洋モデルを用いたデータ同化システムを構築

海洋シミュレーションには有限体積法による三次元沿岸海洋モデル(FVCOM; Chen et al., 2003)を適用した(図2)。FVCOMは、沿岸部を高解像度で、外洋部を低解像度で表現できるマルチスケール分解能を有する海洋モデルである。また、表層の塩分鉛直分布を表現可能な鉛直分解能を有し、本研究目的に十分耐えうる性能を持つ。同化法として、実装が簡易なグリーン関数法(Nakada et al., 2013)を採用した。

Nakada et al. (2013)にて開発された「海の“天気”予報」と呼ばれる海況予測システムDREAMS(図2a)からの海況予測データを利用した。このシステムは外洋域(日本南岸沿岸域を含む太平洋)における1週間先までの海況を予測できる。現在から過去10年間までの高精度の海況再現結果も蓄積されている。ネスティング法を用いて、DREAMSの再現計算結果を陸海統合モデルへ境界条件として入力した。

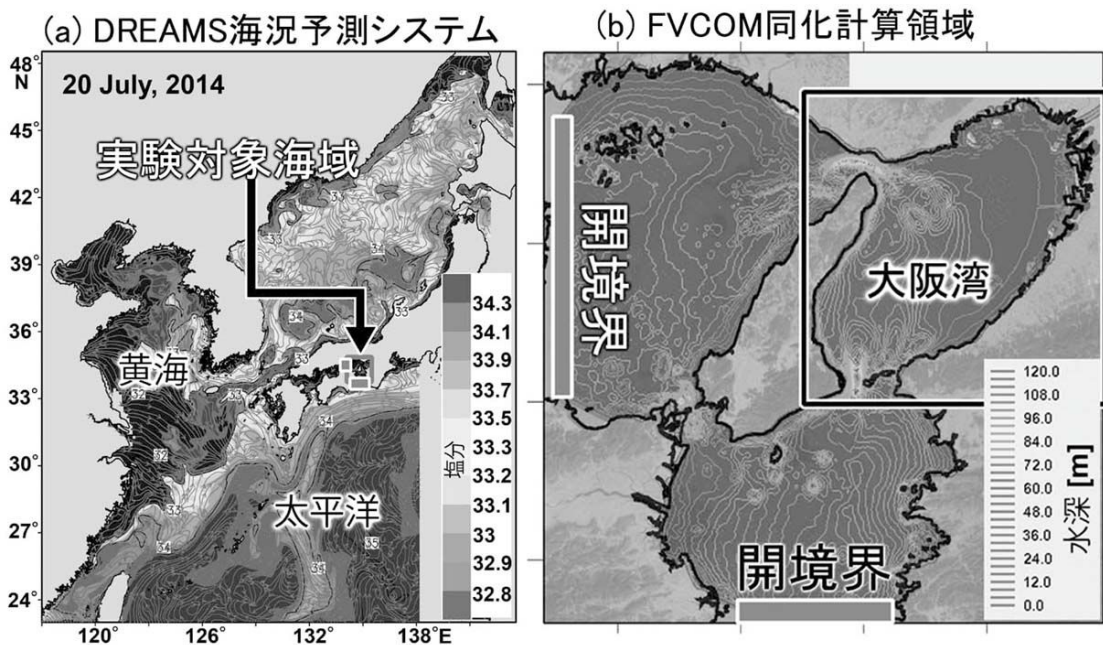


図2 (a)海況予測システム DREAMS による海況予測領域。(b)FVCOM の計算領域

(3) 再解析 SSS マップの作成

手順(1)により整備された推定 SSS データを、(2)のマルチスケール海洋モデルに同化させ、2011年から6年分の再解析 SSS データセットを下記の手順で整備する。

(3)-1 同化データ

(1)で整備された推定 SSS データ以外にも、大阪湾には海洋観測インフラ(HF レーダ、検潮所、13基の水質定点自動観測塔等)が充実しており、毎時の各種観測データ(水温、塩分、潮位、流速)を可能な限り収集し、これら全データを同化に用いた。

(3)-2 同化方法(図3)

欠測の少ない良好な SSS 推定マップを客観空間補間してモデル初期値とする。
同化インターバル(1時間~1週間)における同化計算によりモデル物理パラメータを修正。
修正済みパラメータを用いて同化期間の再解析 SSS データを作成。
同化インターバル最後の再解析 SSS マップを初期値として ~ を繰り返す。

データ同化手法の一つであるグリーン関数法(Nakada et al., 2013)を採用して、海洋モデルの物理パラメータ(例えば、水平粘性係数等)および流入河川流量を修正する。この手法は、4次元変分法等の計算コストが格段に高い同化方法より効率的に計算精度を向上でき、かつ実装が容易であるという利点がある。最大の特徴は SSS のデータ同化により河川流量も改善可能な点である。同化手順は下記の通りである。適切な同化インターバルを設けて、欠測が無い信頼性の高い1時間毎の再解析 SSS マップを作成していく(図3)。

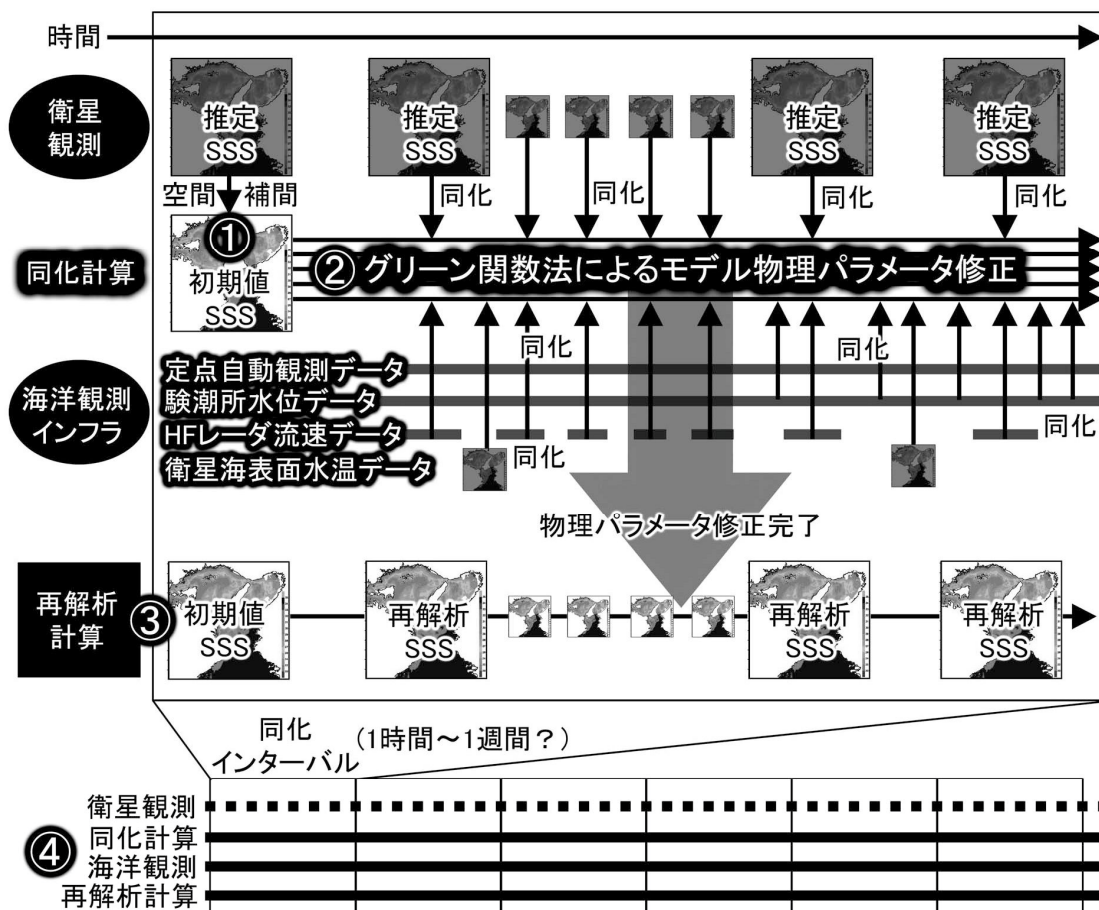


図3 再解析 SSS マップ作成のためのデータ同化計算のフロー図。丸番号は(3)-2 の同化手順を示す。

(4) 再解析 SSS データを検証するための現場観測

再解析 SSS 値と現場 SSS 値を比較して両者の差異を明らかにし、(3)-2 の方法の妥当性を検証するため、現場塩分データを海洋観測により収集する。同時に、衛星 CDOM から SSS への変換式の精度が再解析値の精度に与える影響も検証するため、現場塩分測定に加えて海水分析等の海洋観測を実施した。すでに協力関係にある関係諸機関(大阪府立環境農林水産総合研究所等)により定期的実施される定線海洋観測に便乗して塩分・CDOM データを収集した。同時に観測が及んでいない湾奥等の海域において現場観測データを充実させるため、神戸大学の調査船「白鷗」により海洋観測を実施した。河川出水が卓越する夏季(7,8,9 月)や冬季(12,1,2 月)を重点観測期間とした。海水の CDOM 吸光度測定には、京都大学の分光光度計 U-2900 を用いた。CDOM 吸光度に影響を与える Chl-a 等も測定・分析した。

4. 研究成果

COMS/GOCI プロダクトの CDOM データから推定した、沿岸域における SSS マップデータを 2019 年 3 月まで整備できた。大阪湾においては水質定点自動観測データの現場塩分データが利用できるため、現場 SSS と衛星 SSS データの差を計算し、それを用いて SSS マップデータを補正している。本研究では、諸研究機関から瀬戸内海における現場塩分・CDOM データをご提供いただくことができたため、SSS マップ作成領域を大阪湾から瀬戸内海全域に拡張した SSS データセットも整備することができた。瀬戸内海における湾灘毎で収集された現場塩分および CDOM データを用いて SSS 推定式を湾灘毎に作成して、対象海域における SSS マップを作成した。また、毎時の海面塩分(SSS)マップの開発を継続するとともに、瀬戸内海における現場塩分の時系列データを収集して SSS 推定精度の向上を試みた。

一例として、図 4 に瀬戸内海およびその周辺海域において得られた、平成 30 年 7 月豪雨前の期間(6/20 ~ 6/27)と豪雨後の期間(6/28 ~ 7/14)における SSS マップを示す。豪雨前後を比較すると瀬戸内海および日向灘においては塩分が大きく低下しているのがわかる。特に瀬戸内海西部では、豪雨前に高塩分水塊(白色部)が豊後水道から伊予灘を経由し広島湾や周防灘にまで分布していたが、豪雨後には分布が大きく南に移動しており、広島湾における塩分低下が顕著となった。一方、瀬戸内海東部では、大阪湾、播磨灘、紀伊水道における塩分が概ね 30 以下となり塩分低下が顕著にみられた。日向灘や土佐湾では河川プリュームが沖合にまで大きく発達していた。

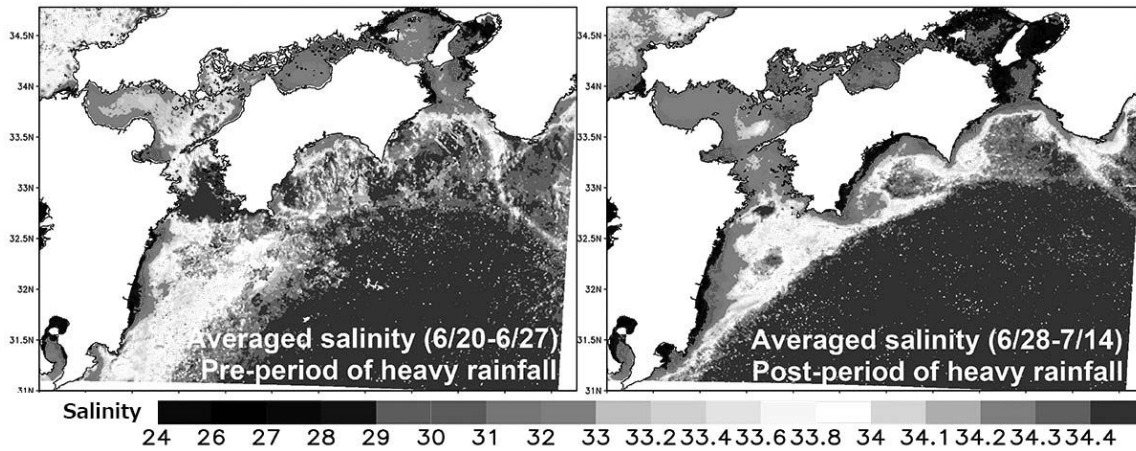


図4 瀬戸内海と周辺海域における平成30年豪雨前後のSSSマップ

大阪湾における三次元沿岸海洋モデルFVCOMを用いた計算結果の一例として、図5に2015年8月5日における海面塩分場と流速場を示す。また図5右に、衛星SSSマップを示す。両者のSSSマップには、淀川や吉野川の河口域に低塩分水が分布しており、定性的には類似した分布パターンを示している。計算結果は衛星SSSより塩分値が高い傾向を示しているものの、塩分場をある程度表現していることがわかる。これらのデータセットを用いて、1日間における提案のデータ同化手法を試したところ、風応力の推定式のパラメータへの修正が大きかった。このような計算データセットを様々な期間において少しずつ作成しながら、提案したデータ同化手法を試している段階である。本研究では、当初の研究予算要求金額の54%に減額されており、そのため大型計算機使用料(スパコン)に使用できる予算に余裕が無く、計算リソースが十分ではなかったため、短期間の同化期間における実験結果のみが可能であった。今後は、計算期間と同化期間を十分にとれる計算リソースを確保し、同化期間および摂動させるパラメータを増やした実験計算ケースを実施する計画である。

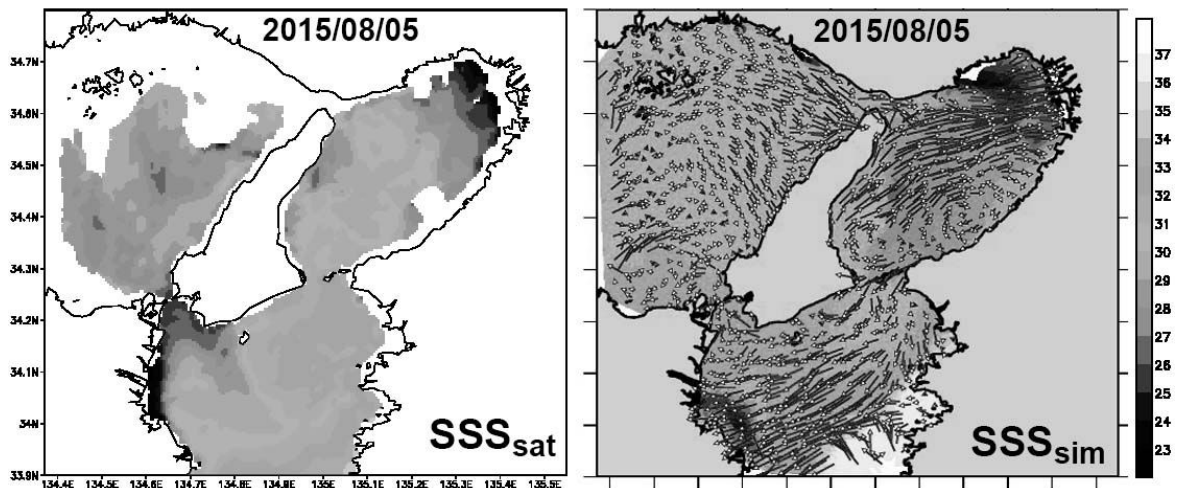


図5 (左)大阪湾と周辺海域における衛星SSSマップ。(右)FVCOMを用いたシミュレーションによるSSSおよび表層流速。

本研究は、海色衛星データから沿岸域における海面塩分(SSS)を高分解能で知ることができる世界初の試みである。海面水温(SST)データが充実したことで海洋学や気象学が発展したように、SSSデータを充実させ、次世代の気象学・水文学・海洋学へと貢献できると期待している。例えば、水文研究者は河川流量の検証のために、SSSデータを利活用できるようになるだろう。

<引用文献>

- Chen C., Liu H., Beardsley R.C. (2003): An unstructured grid, finite-volume, three dimensional, primitive equations ocean model: application to coastal ocean and estuaries, *J. Atmos. Ocean Technol.* 20(1), 159–186.
- Nakada, S., N. Hirose, T. Senjyu, K. Fukudome, T. Tsuji, N. Okei (2013): Operational Ocean Prediction Experiments for Smart Coastal Fishing, *Progress in Oceanography*.
- Nakada, S., K. Baba, M. Sato, M. Natsuike, Y. Ishikawa, T. Awaji, K. Koyamada, S. Saitoh, (2014): The

role of snowmelt runoff on the ocean environment and scallop production in Funka Bay, Japan, Progress in Earth and Planetary Science, 1(1), 1-25. DOI: 10.1186/s40645-014-0025-2
Nakada, S., Kobayashi, S., Hayashi, M., Ishizaka, J., Akiyama, S., Fuchi, M., Nakajima, M., (2018): High-resolution surface salinity maps in coastal oceans based on geostationary ocean color images: quantitative analysis of river plume dynamics, Journal of Oceanography, 74(3), 287-304. DOI: 10.1007/s10872-017-0459-4

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- 1) Nakada, S., Hayashi, M., Koshimura, S., (2018): Transportation of Sediment and Heavy Metals Resuspended by a Giant Tsunami Based on Coupled Three-Dimensional Tsunami, Ocean, and Particle-Tracking Simulations, Journal of Water and Environment Technology, 16(4),161-174. DOI: 10.2965/jwet.17-028 [査読有]
- 2) Kobayashi S., Nakada S., Nakajima M., Yamamoto K., Akiyama S., Fuchi M., Hayashi M., Ishizaka J. (2017): Visualization of the Distribution of Dissolved Organic Matter in Osaka Bay using a Satellite Ocean Color Sensor (COMS/GOCI). Journal of Water and Environment Technology, 15(2), 55-64. <http://doi.org/10.2965/jwet.16-055> [査読有]

〔学会発表〕(計6件)

- 1) Nakada S., “High-resolution observation of river plume in Seto Inland Sea using geostationary ocean color images.” The 15th Korea-Japan (Japan-Korea) Joint Seminar in the Ocean and the Atmosphere, Jeju, Korea, 2018.9.
- 2) Nakada S., Kobayashi S., Hayashi M., Ishizaka J., Akiyama S., Fuchi M., Nakajima M., “High-resolution observation of river plume by using geostationary ocean color satellite.” Japan Geoscience Union Meeting 2017, Makuhari, Japan, 2017.5.
- 3) 中田聡史・小林志保・石坂丞二・千手智晴・大慶則之：静止海色衛星を用いた富山湾における河川プリューム観測，第1回富山湾研究会研究発表会，富山大学，2017年3月，富山．
- 4) 中田聡史・小林志保・石坂丞二・林正能・淵真輝・中嶋昌紀・秋山諭・山本圭吾・中村一平・浅岡聡・吉江直樹・中川美和・原田慈雄・御所豊穂：瀬戸内海における有色溶存有機物と海面塩分(SSS)の関係：高解像度 SSS マップの開発に向かって，第二回海洋環境研究集会，神戸大学，2016年12月，神戸．
- 5) 中田聡史・小林志保・石坂丞二・林正能・淵真輝・中嶋昌紀：静止海色衛星による海面塩分の高時空間分解能観測，日本海洋学会2016年度秋季大会，鹿児島大学，2016年9月，鹿児島．
- 6) Nakada S., Kobayashi S., Ishizaka J., Hayashi M., Fuchi M., Nakajima M., “Analysis of the river plume dynamics in Osaka Bay: a new estimation of sea surface salinity using ocean color satellite images.” Japan Geoscience Union Meeting 2016, Makuhari, Japan, 2016.5.

〔図書〕 無し

〔産業財産権〕 無し

〔その他〕

受賞

クリタ水・環境科学研究優秀賞，公益財団法人クリタ水・環境科学振興財団，2018年8月31日，“沿岸水環境における静止海色衛星観測データを用いた海面塩分推定手法の開発に関連する研究活動”。

アウトリーチ

- 1) 中田聡史：平成30年豪雨による海洋における被災状況について，第12回海事防災研究会，2019年2月15日，神戸市。（招待講演）
- 2) 中田聡史：静止海色衛星を利用した瀬戸内海における高解像度の塩分・溶存有機物マップの開発，第47回南海瀬戸内連絡協議会，瀬戸内海区水産研究所，2017年12月1日，廿日．
- 3) 中田聡史・小林志保・石坂丞二・林正能・淵真輝・中嶋昌紀・秋山諭：静止海色衛星による表面塩分の高頻度・高解像度観測—主に大阪湾において—，第46回南海瀬戸内連絡協議会，海上自衛隊呉地方総監部，2016年11月10日，呉．

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：小林 志保

ローマ字氏名：KOBAYASHI Shiho

所属研究機関名・部局名・職名：京都大学・フィールド科学教育研究センター・助教

研究者番号(8桁)：60432340