

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月15日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2009～2012

課題番号：21684027

研究課題名（和文） 東アジア縁辺海の高解像度再解析（DREAMS）

研究課題名（英文） Data assimilation Research of the East Asian Marine System (DREAMS)

研究代表者

広瀬 直毅（HIROSE NAOKI）

九州大学・応用力学研究所・教授

研究者番号：70335983

研究成果の概要（和文）：

日本周辺海域において高分解能・高精度のデータ同化システムを構築した。この新たな同化モデルは北西太平洋の親モデルと縁辺海域の子モデルで構成される。主要な経験的パラメータ（粘性係数や拡散係数、海面・海底摩擦係数など）はモデルグリーン関数を用いて最適化した。潮汐・潮流もデータ同化によって高精度化した。さらに衛星観測による海面高度・水温データを近似カルマンフィルターとナudging法によって同化した。海面付近の変動や亜表層の水温変化、主要海峡の通過流量などと比較して、このモデル結果は従来の日本海モデルよりもかなり高精度である。特に東シナ海から日本海にかけての対馬暖流の再現性が高い。データの入出力を含むすべての計算手続きは自動化され、当該ホームページにて最新の予測結果を誰でも閲覧することが可能である。

研究成果の概要（英文）：

High-resolution and high-accuracy data assimilation system is developed to study the ocean changes around Japanese archipelago. The new model is nested in a basin-scale model of the northwestern Pacific. The empirical parameters such as friction, diffusion or viscosity coefficient are carefully optimized by using model Green's functions. Major tidal constituents are also calibrated by the data assimilation. The sea surface height and temperature data are assimilated to the regional model by the approximate Kalman filter and the nudging method, respectively. The assimilated and non-assimilated results are shown to be more realistic compared to the previous system in terms of surface variability, subsurface temperature bias, strait transport changes, and many others. The variation of the Tsushima Warm Current is also accurately represented by the new model. All the calculations and input/output sequences are automated and the latest forecast results can be easily visualized at our website.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2010年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2011年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2012年度	2,200,000	660,000	2,860,000
総計	12,300,000	3,690,000	15,990,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：海洋物理・データ同化・環境変動・統計科学

## 1. 研究開始当初の背景

地球環境変化や人間活動の影響を受けて、日本周辺の海洋環境の変化が著しい。実際に、エチゼンクラゲの来襲や大量のゴミ漂着など、様々な環境問題が顕在化している。しかし、地球環境や人間活動の大規模な変動と、日本周辺海域における環境変化との因果関係は、必ずしも明らかではない。問題の出所（初期条件）が不明なばかりか、途中の物理・化学・生物・地学的変化過程もまた定かでないためである。

こうした困難な状況の中、申請者らはこれまで日本海循環・中規模渦変化の予測モデルを構築し、様々な漁業資源や有害物質の輸送過程を明らかにしてきた。しかし、日本海高解像度モデルを衛星観測データで適切に修正（同化）し、かなり正確な再現性を得ているにも関わらず、依然としてその予測可能性は2～3ヶ月に留まっている。

より長期間の環境変化を予測するためには、一旦過去に立ち戻り、海洋環境の長期変動を解析し直すことも重要であろう。特に海洋の観測データは希薄かつ偏在しており、変動傾向を適切に評価することが難しい。一方、数値モデルによって過去環境をシミュレーションすることも可能であるが、実際の観測データから乖離した、非現実的な結果に陥りやすい。

そこで、観測データを数値モデルに反映し、現実的な再現値（再解析値）を得るデータ同化手法が期待される。既に様々な全球の気象・海洋の再解析データが公開されているが、いずれも緯度・経度で1度程度の大規模データセットであり、領域を特定した詳しい分析を行うためには解像度が粗い。日本周辺海域を対象とした気象庁 MOVE-NWP や海洋研究開発機構 JCOPE の同化計算は、1～2ヶ月予報が主な目的であるため、解析期間が短い。しかも、多くの再解析計算は最適内挿(OI)法や三次元変分(3D-VAR)法などの非最適同化手法に頼っており、特に力学的な時間変化の一貫性に乏しい。

精度の低い（経験的な）同化手法を使う理由は、計算機資源の限界に他ならない。しかしながら近年、各大学の大型計算機も並列化・大容量化が進み、従来は不可能であった高精度の再現計算が可能になってきている。そこで、より高度な統計力学的手法を用いて、過去の観測データを日本周辺海域の渦循環モデルへ同化し、様々な領域的環境研究の要

求に耐える高品質・高解像度の海洋再解析データセットを作成することが可能となったと判断した。

## 2. 研究の目的

申請者らが従来開発してきた近似カルマンフィルターとスモーカーを応用して、多種類の海洋観測データを高解像度の領域海洋モデルへ同化し、過去数十年にわたる日本周辺海域の海洋環境変化を再現することを目的とする。変分法では不可能な期待誤差の時空間変化をも明らかにし、再解析計算の信頼性を評価する。得られた再解析データを物理的視点から分析し、海流や水温の経年変化を定量的に解析する。

## 3. 研究の方法

まず、北西太平洋の渦解像モデルを作成する。過去の人工衛星・現場観測データを収集・整理し、モデル計算結果と比較して、双方の異常値や設定ミスを修正する。2～3年目には、モデルのグリーン関数（伝播関数）を利用して経験的パラメーターを最適化する。逐次的に海洋の状態推定を行うため、従来開発してきたカルマンフィルターの近似方法を見直し、さらに安定なスモーカー手法を探求する。以上の成果を組み合わせ、過去30年程度にわたる再解析計算を行い、インターネットを通じて推定結果を DREAMS として公開する。最終年度には、この再解析データを分析し、海流や水温の経年変化を信頼性と共に提示する。

## 4. 研究成果

日本周辺海域を特に高精度・高分解能化したデータ同化モデルを作成した。モデルグリーン関数を利用したデータ同化方法により、従来の簡便な方法では困難だった各種パラメーター（粘性・拡散係数や底摩擦係数など）の逆推定を行い、物理的一貫性のある同化推定値を計算することに成功した。

その結果、従来の再解析風応力データは約20%過大評価であることを明らかにした。このため、多くの海洋循環モデルでは、黒潮の流量が過大となっていると推察される。当モデルにおいて再現された黒潮・対馬暖流の流量は、現実的な範囲である。対馬暖流域では海面高度データとの相関が特に高く（相関係

数 0.7~0.9)、対馬海峡の通過流量観測値との相関係数も 0.8 以上を誇る。ただし、津軽海峡の通過流に関してはモデル計算値が観測値を上回る傾向があり、今後改善が必要である。

また、沿岸域の低塩分水を適切にモデル化するためには、海岸線から約 80km 以内の陸上降水を河川水として流下させる必要があることも分かった。長江流量の経年変化も加味した結果、対馬海峡における塩分変化もかなり正確に再現することができた。例えば、2010 年の夏~秋季の低塩化(Fig. 1)は、長江流量の増加に対応している。

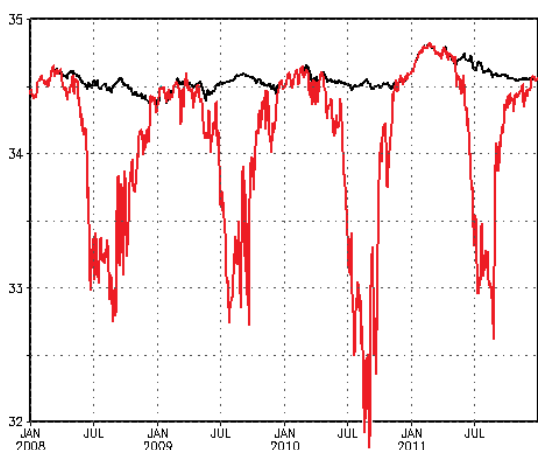


Fig.1 Time series of the estimated salinity at the southwestern side of Tsushima Island. The red and black curves indicate 10 and 100m depth, respectively.

さらに、潮汐・潮流の境界条件の最適化により、下表に示すように、特に東シナ海における潮汐の誤差が大幅に低下した。三角や高松といった内海・沿岸域の潮位変化もかなり正確に再現されている。力学的な整合性に優れた 3次元予測モデルとしては過去最高の再現性を得たといえる。

Table 1. RMS difference of tidal constituents (cm) derived from the numerical model and those from the altimeter data in the East China Sea

(cm)	baseline	optimized
M2	9.39	5.40
S2	9.81	5.59
K1	3.20	1.59
O1	3.12	1.49

以上のように静的なデータ同化(最適化)を行った後、人工衛星による海面高度と海面水温のデータを継続的に同化した。特に、カルマンフィルターの近似方法を Hirose et al. (2007) から大幅に見直した。主な改善方法は、

(1) 日本海と東シナ海で誤差共分散の計算を分離、(2) 順圧モードの縮小近似の要素を流速そのものからモード流速へ変更、(3) 沿岸付近で誤差格子点の配置を縮減、(4) 傾圧モードの観測行列をより正確に定義、(5) 海面変位を順圧モードと傾圧モードに分離する方法の改善、等である。

データ同化の結果、東シナ海から日本海の広い海域でモデルの再現性がさらに向上した。Fig. 2 に示すように、特に対馬暖流域における海面高度の相関は 0.8~0.9 を超える。しかし、黄海では衛星データ同化の効果がほとんど認められなかった。おそらく人工衛星による高度観測の誤差が大きすぎるためであろう。

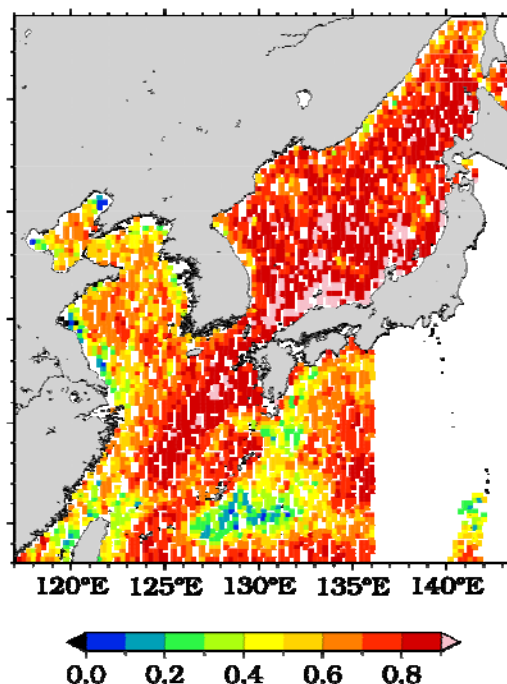


Fig.2 Correlation of sea surface height measured by satellite altimeter and modeled by DREAMS assimilation system.

観測船による CTD 観測水温と比較しても、従来の日本海データ同化モデルよりも RMS 差がかなり減少した。特に亜表層の高温バイアスがほとんど解消された。

さらに、新旧データ同化モデルの結果と非同化モデルの感度実験を通じて、日本海・東シナ海において以下に示すような様々な物理的知見を得た。(1) 日本海に流入した後の対馬暖流の流路や流量、二次循環などの特徴を詳しく調査し、定説となっていた三分枝説とは異なる描像(二群説)を提示した。(2) 低塩分水(長江希积水)の孤立渦形成に対する潮汐混合の効果を明らかにした。(3) 黄海では潮汐残差流が強く、冬季は風成循環を弱める関係にあることが分かった。夏季は季節

風が弱い場合、潮汐残差流が海流の主因となることも示された。(4) 黄海ではオイラー流速とラグランジュ流速の分布が大きく異なり、漂流物の移動には潮汐残差流よりも風成循環の寄与が大きい。(5) 川内原発付近を起源とする海水は、風や季節の変化により、太平洋側にも日本海側にも輸送される。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 17 件)

- ① N. Hirose, K. Takayama and J.-H. Moon, Regional data assimilation system extended to the East Asian marginal seas, 査読中, 2013
- ② 広瀬直毅, 東アジア縁辺海データ同化システムの手引き, 応用力学研究所所報, 査読無, 143, 2012, 97-102
- ③ J.-H. Moon, N. Hirose, A. Morimoto, Green's function approach for calibrating tides in a circulation model for the East Asian marginal seas, J. Oceanography, 査読有, 68, 2012, 345-354
- ④ N. Hirose, Inverse estimation of empirical parameters used in a regional ocean circulation model, J. Oceanography, 査読有, 67, 2011, 323-336
- ⑤ S. Nakada, Y. Sasajima, N. Hirose, Y. Yoshikawa, and J.-H. Yoon, A study of the dynamic factors of the summer-time upwelling in the Tsushima Warm Current region, Deep-Sea Res. II, 査読有, 57, 2010, 1799-1808
- ⑥ J.-H. Moon, N. Hirose, J.-H. Yoon, I.-G. Pang, Offshore detachment process of the low-salinity water around Changjiang Bank in the East China Sea, J. of Phys. Oceanogr., 査読有, 40, 2010, 1035-1053
- ⑦ 広瀬直毅, 小林 亮祐, 高山 勝巳, 対馬暖流分枝説の検証—データ同化の結果—, 海と空, 査読有, 85, 2009, 1-11

[学会発表] (計 36 件)

- ① N. Hirose and K. Takayama, Improvement of ocean prediction model for the east Asian Marginal Seas, The 17th PAMS Meeting, 2013. 4. 22, Hangzhou, China (invited)
- ② 広瀬直毅, 日本海を実験域としたオペレーショナル海洋学, 日本OR学会2013年春季シンポジウム「OR と最適化の最前線」, 2013. 3. 4, 政策研究大学院大学 (招待講演)

演)

- ③ 広瀬直毅, 対馬暖流のデータ同化モデリング, 2012 年度九州沖縄地区合同シンポジウム「対馬海峡」, 2012. 12. 7, 水産大学校 (招待講演)
- ④ N. Hirose, E. Lee, and Y. Noh, Satellite data assimilation for diurnal SST changes, Spring Meeting of Oceanographic Society of Japan, 2012. 3. 28
- ⑤ N. Hirose, Data assimilation research of the East Asian marine system, GOV COSS-TT International Coordination Workshop 1, 2012. 1. 10, Miami, Florida
- ⑥ 広瀬直毅, 川内原子力発電所付近を起源とする海水輸送シミュレーション, 日本海洋学会秋季大会, 2011. 9. 28, 春日市
- ⑦ J.-H. Moon, N. Hirose, I.-C. Pang, and J.-H. Yoon, Seasonal response of the southern East China Sea shelf water to wind-modulated throughflow in the Taiwan Strait, The 16th PMS Meeting, 2011. 4. 23, Taipei
- ⑧ J.-H. Moon, N. Hirose, N. Usui, and H. Tsujino, Estimation of strait transport in the East China Sea, AGU Fall Meeting, 2010. 12. 14, San Francisco
- ⑨ J.-H. Moon, N. Hirose, and J.-H. Yoon, Comparison of wind and tidal contributions to seasonal circulation of the Yellow Sea, Fall Meeting of Korean Oceanogr. Soc., 2009. 11. 5, Korea
- ⑩ N. Hirose, Inverse estimation of empirical parameters in a circulation model for the East Asian marginal seas, 5th WMO Symposium on Data Assimilation, 2009. 10. 07, Melbourne, Australia

[その他]

ホームページ等

DREAMS ホームページ

<http://dreams-ir.riam.kyushu-u.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

広瀬 直毅 (HIROSE NAOKI)

九州大学・応用力学研究所・教授

研究者番号 : 70335983

### (2) 研究分担者

無し

### (3) 連携研究者

無し