

「マルチスケール・マルチフィジックス現象の統合シミュレーション」
平成 18 年度採択研究代表者

羽角 博康

東京大学 気候システム研究センター 准教授

海洋循環のスケール間相互作用と大規模変動

1. 研究実施の概要

本研究の目的は、現在の海洋の状態を司る物理プロセスのモデリングによる把握と、その理解に基づく効率的な海洋変動モデリング手法の開発である。特に、気候の中・長期変動や大規模変動において重要となる、海洋の中・深層循環をターゲットとする。この目的に対し、本研究では「①中・深層循環マルチスケールモデリング」、「②海氷-海洋相互作用モデリング」、「③マルチタイムスケール海洋変動モデリング」という 3 個のサブテーマを設定している。本年度、①では深層水形成領域・縁辺海・大洋の各スケールにおいて、中・深層循環のコントローリングプロセスに関するシミュレーションを実施した。②では海氷域モデリングの検証や境界条件に必要とされる海氷生産量のグローバルマッピングおよび既存の海氷モデルの熱力学パラメータ再評価を実施した。③ではネステッドグリッドモデルの開発を中心に、10 年スケールから 1000 年スケールまでの各種海洋変動に対する効率的シミュレーション手法開発を実施した。

2. 研究実施内容

(文中にある参照番号は 4. (1)に対応する)

① 中・深層循環マルチスケールモデリング

深層水形成領域に関して、大陸斜面を下降する高密度水のシミュレーションに適用するための非静水圧海洋モデルを開発し、ウェッデル海を対象とした予備的シミュレーションを行った[①-1]。今後はこれを発展させ、ウェッデル海深層水形成過程の定量的把握を行うとともに、モデルを他の深層水形成領域のシミュレーションに適用していく。

縁辺海規模に関して、主要な深層水形成領域であるラブラドル海とオホーツク海のシミュレーションを実施し、結果の解析を続けている。今後は、渦に伴う淡水輸送による深層対流抑制を定量

的に把握することを通し、中・深層循環の起点における数 km から千 km のスケールに及ぶ様々な海洋現象の相互作用の働きを調べていく。

大洋規模に関して、南大洋シミュレーションに基づき、中規模渦が海洋大循環に与える影響について解析した[①-2, ①-3]。その結果、アルゼンチン東岸付近におけるブラジル海流とマルビナス海流が合流し中規模渦の活動が非常に活発な場所で渦輸送による強い下降流が存在し(図1)、中規模渦が南極中層水の大循環規模の輸送を担っていることが明らかになった。

全球規模に関して、全球規模熱塩循環の通り道として提唱されている cold water route と warm water route の量的関係を明らかにするために、アフリカ南端付近の中規模渦が大規模海洋循環に与える影響について解析した。解析手法として、海面に人為的トレーサを散布して、時間発展を調べた。この解析より、アフリカ南端で発生した比較的小規模なスケールの渦が、ドレーク海峡を通過してきた海水を大西洋に取り込んでいることが明らかになった。これらの渦の活動は従来の水平格子 40 km のシミュレーションでは再現されず、小規模スケールの渦を高解像モデルで解像することにより初めて解明されたものである。

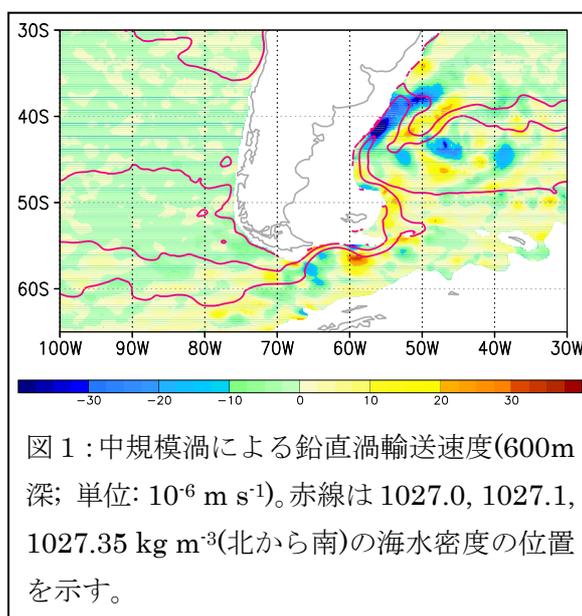


図1：中規模渦による鉛直渦輸送速度(600m 深; 単位: 10^{-6} m s^{-1})。赤線は 1027.0, 1027.1, 1027.35 kg m^{-3} (北から南)の海水密度の位置を示す。

② 海氷-海洋相互作用モデリング

海氷モデル開発・モデルパラメータ決定・モデリング結果検証に必要とされる**海氷生産量のグローバルマッピング**を人工衛星観測データと熱収支計算に基づいて行った[②-1,2]。

特に今年度は、昨年度行った南極海とオホーツク海でのマッピングの精度を高め、また、新たに北極海においても海氷生産量マッピングを行った(図2)。これら海氷生産量マッピングに基づき、モデルの海氷域での境界条件となりえる熱塩フラックスデータも作成した。

海氷モデル開発に関して、最新の観測的知見に基づき既存の海氷モデルの熱力学パラメータ再評価を行うとともに[②-3]、新規海氷力学モデルの定式化開発に必要となる各種データ解析を実施した

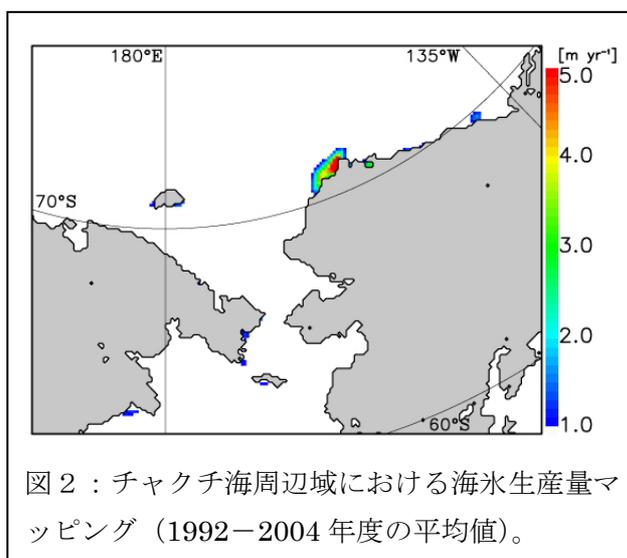


図2：チャクチ海周辺域における海氷生産量マッピング (1992-2004 年度の平均値)。

[②-4,5]。

また、オホーツク海での海氷生成・熱塩循環の弱化を示す、海洋中層のデータセットを作成した。これはオホーツク海氷・海洋モデルの比較・検証データ使用される予定である。

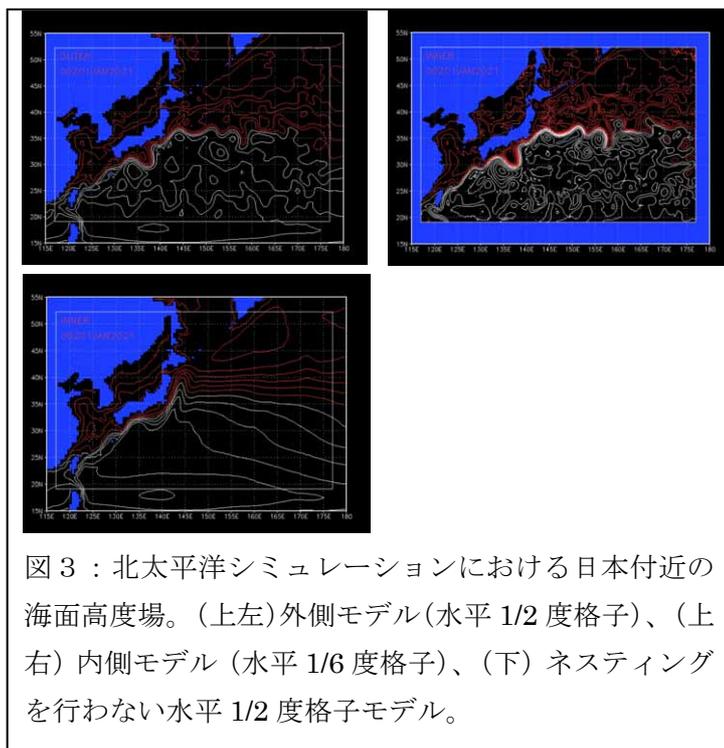
上述の研究成果に基づき、海氷生産量が大きく高密度水の生成領域となる沿岸ポリニヤを再現・パラメタリゼーションできるモデルの開発に着手した。

③ マルチタイムスケール海洋変動モデリング

本研究課題の最終目標である「海洋変動の効率的・効果的シミュレーション方法開発」の核となる、重要領域の部分的な高解像度化を実現するネステッドグリッドモデルについて、そのプロトタイプを開発した。このモデルを日本近海を部分的に高解像度化した北太平洋シミュレーションに適用してモデルパフォーマンスを調べるとともに、過去の黒潮流路変動の原因を探るための研究に着手した（図3）。

代表的なタイムスケール別シミュレーションとして**歴史的海洋再現実験・現在海洋平均状態再現実験・古海洋再現実験**を実施した。それぞれの実験は現状の汎用スーパーコンピュータ上で複数回実行可能な解像度設定のもとで行ったが、その実験結果に見られる問題点等に鑑み、今後はもう一段階大きな計算資源を使用することを前提とした場合に重点的に改善していく部分（数値計算アルゴリズム・パラメタリゼーション・ネステッドグリッドによる重点解像領域の選定など）を特定し、開発を続ける。

また、局所的な海洋変動によって引き起こされる大規模海洋変動に関して、前年度に行った千島列島の混合現象の変動が太平洋規模の海洋循環に及ぼす影響に関する数値実験結果の解析を進め、そのメカニズムを明らかにした[③-1]。



3. 研究実施体制

(1)「羽角」グループ

- ① 研究分担グループ長:羽角 博康(東京大学 気候システム研究センター 准教授)
- ② 研究項目
 - ・ 海洋モデル開発
 - ・ 変動モデリングの手法開発と実験実施
 - ・ 観測データに基づく実験結果検証

(2)「田中」グループ

- ① 研究分担グループ長:田中 幸夫(海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター)
- ② 研究項目
 - ・ 縁辺海から大洋までの各スケール別およびスケール間相互作用モデリングの実施
 - ・ 高解像度モデルを用いた海洋変動モデリングの実施
 - ・ 棚氷-海洋相互作用モデル開発

(3)「大島」グループ

- ① 研究分担グループ長:大島 慶一郎(北海道大学低温科学研究所 准教授)
- ② 研究項目
 - ・ 海氷モデル・パラメタリゼーション開発
 - ・ 海氷域(オホーツク海・南大洋など)モデリングの実施

4. 研究成果の発表等

(1) 論文発表(原著論文)

- ①-1: Matsumura, Y., and H. Hasumi, A nonhydrostatic ocean model with an effective Poisson solver, *Ocean Modelling*, in press.
- ①-2: Tanaka, Y., and H. Hasumi, Resolution dependence of eddy fluxes, in *Eddy-resolving ocean model*, AGU Geophysical Monograph Series, in press.
- ①-3: Tanaka, Y., and H. Hasumi, Injection of Antarctic Intermediate Water into the Atlantic subtropical gyre in an eddy resolving ocean model, *Geophys. Res. Lett.*, in press.
- ②-1: Tamura, T., K. I. Ohshima and S. Nihashi, Mapping of sea ice production for Antarctic coastal polynyas, *Geophys. Res. Lett.*, **35**, doi:10.1029/2007GL032903, 2008.
- ②-2: Tamura, T., K. I. Ohshima, T. Markus, D. J. Cavalieri, S. Nihashi and N. Hirasawa, Estimation of thin ice thickness and detection of fast ice from SSM/I data in the Antarctic

Ocean, *J. Atmos. Oceanic Tech.*, **24**, 1757-1772.

- ②-3: Nihashi, S., and K. I. Ohshima, Bulk heat transfer coefficient in the ice-upper ocean system in the ice melt season derived from concentration-temperature relationship, *J. Geophys. Res.*, **113**, doi:10.1029/2007JC004127, 2008.
- ②-4: Toyota, T., S. Takatsuji, K. Tateyama, K. Naoki and K. I. Ohshima, Properties of sea ice and overlying snow in the southern Sea of Okhotsk, *J. Oceanogr.*, **63**, 393-411.
- ②-5: Toyota, T., K. I. Ohshima, N. Ebuchi, K. Nakamura and S. Uto, Retrieval of ice thickness distribution in the seasonal ice zone from L-band SAR, Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007.
- ③-1: Hasumi, H., I. Yasuda, H. Tatebe and M. Kimoto, Pacific bidecadal climate variability regulated by tidal mixing around the Kuril Islands, *Geophys. Res. Lett.*, in review.