

海洋大循環モデルによる日本海循環の再現

笹島 雄一郎（九州大学大学院 総合理工学府）

概要

九州大学応用力学研究所では、独自に開発した海洋大循環モデルを使用し、日本海の海洋循環のシミュレーションを行っている。このシミュレーションには九州大学情報基盤センターのスーパーコンピュータを用いているが、今回本センターの高性能演算サーバーを利用させて頂いた。本報告では日本海の海洋循環のシミュレーション結果と併せて、スーパーコンピュータと高性能演算サーバーの性能比較を示す。また、利用負担額に対する計算可能なシミュレーション期間の比較も行った。

1. まえがき

日本海は周囲を日本列島とユーラシア大陸に囲まれた半閉鎖的な海域である。他の海域との海水交換のほとんどは3つの海峡（対馬・津軽・宗谷）で行われ、いずれも日本海内部に比べて狭く浅い（図1）。また、日本海の面積は太平洋などの大洋に比べ小さいにも関わらず、亜熱帯循環や亜寒帯循環に相当する海流、独立した深層循環など、大洋で見られる循環現象が多く存在する海域でもある（図2）。

大洋に比べて日本海は領域が小さいため、同等の計算資源でより高解像度・長期のシミュレーションを行う事が可能である。九州大学応用力学研究所（RIAM）ではこの点に着目し、独自の海洋大循環モデル（RIAMOM）を開発して日本海の海洋循環のシミュレーションを行っている。

現在、本研究室では主に九州大学情報基盤センターのスーパーコンピュータ（富士通 VPP500/64；以下 kyu-vpp）を用いて RIAMOM による日本海モデルを計算している。

本報告では同じく九州大学情報基盤センターの高性能演算サーバー（IBM eServer p5 モデル 595；以下 kyu-cc）を用いて日本海モデルを計算し、両者の性能を比較した。また、日本海モデルによる日本海循環の再現例も簡単ではあるが紹介する。

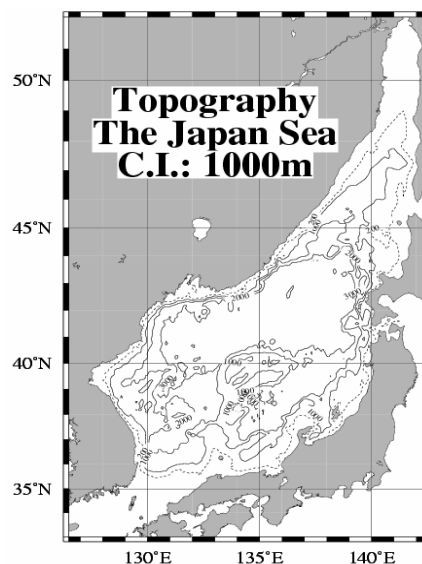


図1：日本海の海底地形。点線は200m等深線を表す。

2. 数値モデル

海洋循環の支配方程式は回転球面上の流体力学の運動方程式、連続の式、水温・塩分の移流拡散方程式などから成り立つ。RIAMOM はこれら支配方程式に静水圧・ブシネスク近似を適用したうえで差分化し、与えられた初期値・境界条件の下に各計算格子点での水平流速、海面高度、水温・塩分を時間積分して解いていく。

本報告で用いるモデルの概要は表2のとおりである。モデルの支配方程式は球面直交座標系に

従っており、領域は対馬・津軽・宗谷の3海峡を含む日本海である。計算格子間隔は水平方向がおよそ7～11kmである。この格子間隔で解像できない小規模乱流などの現象は渦粘性項および渦拡散項で表現する。海底地形は Hirose (2005)の現実的な海底地形を与える。海表面には外力として、風応力と熱フラックスの1ヶ月毎の気候値を時間内挿して与える。

前節で述べたように日本海の海水の流入・流出は主に3つの海峡を通して行なわれるが、流入は対馬海峡経由のものがほとんどである。そこで側面からの流入・流出条件は、対馬海峡については流速、水温・塩分の月ごとの気候値を時間内挿して与え、他の2つの海峡については対馬海峡からの流入流量に対応して海水が流出していくように設定した。

表1：日本海モデルの概要

数値モデル	RIAMOM (RIAM Ocean Model)
領域	東経 126.5-142.5 度、北緯 33-52 度
計算格子点間隔	(水平) 東西方向：1/12 度、南北方向：1/12 度 (鉛直) 5m～600m、計 36 層
海表面外力	風応力： ECMWF データセット 熱フラックス： Hirose et al. (1996)
側面流入条件	流速： Takikawa et al. (2005) 水温・塩分： You and Yoon (2004)

3. 計算結果

3.1 日本海循環の再現能力

ここでは表層流速場の結果を示す。日本海モデルで得られた流速場（図3）と、観測を元にした夏季の表層循環の概略（図2）を比べると、韓国東岸を北上する東韓暖流の離岸位置、日本沿岸に沿って流れる対馬暖流、日本海北部の亜寒帯循環、北朝鮮寒流などが再現されている事が分かる。

3.2 計算時間の比較

前述のように日本海モデルは主に九州大学情報基盤センターの kyu-vpp で計算されている。本報告の計算例ではコンパイル時に富士通 Fortran コンパイラを使用し、”-O3 -Kfast” オプションにより最適化を行う。kyu-cc では IBM XL Fortran を用いてプログラムをコンパイルした。使用オプションは”-O3 -qarch=pwr5 -qtune=pwr5” で、やはり最適化を行った。これらのプログラムを1年間計算した時のそれぞれの計算時間を比較する。

図4は第2節で示した日本海モデルをそれぞれの計算機で実行した際の計算時間を示す。また、図5はCPUが同数の時の kyu-cc と kyu-vpp の計算時間の比を表す。kyu-cc の計算時間は kyu-vpp に比べて計算時間が6-8倍程度長い。しかしながらCPU数が多くなる程その倍率は小さくなり、並列化による計算効率の低下は kyu-vpp に比べて kyu-cc の方が小さい事が窺える。

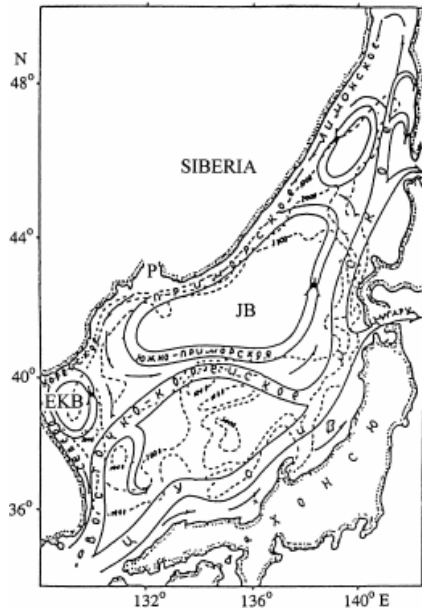


図 2 : Yarichin (1980)による日本海の夏季の表層循環の概略

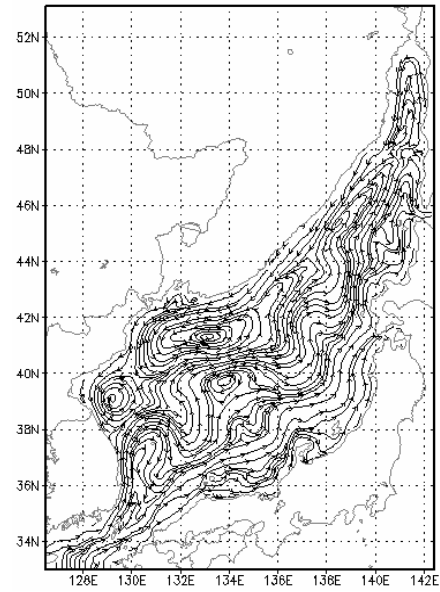


図 3 : RIAMOM による日本海の 7 月の平均流速場。流線の間隔が狭い場所は流速が速い事を示す。

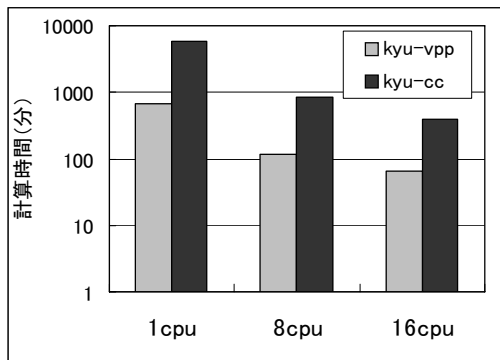


図 4 : 日本海モデルの 1 年間の計算時間の比較 (対数目盛である事に注意)。

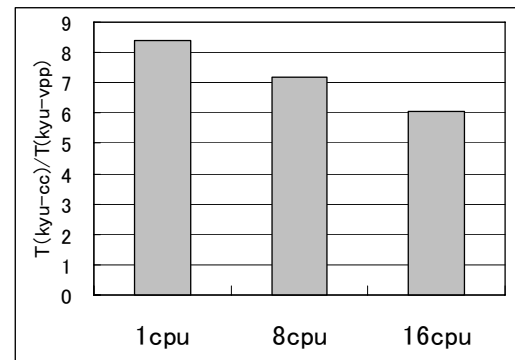


図 5 : CPU 数が同じ時の kyu-cc と kyu-vpp の計算時間の比。

3.3 計算コストの比較

3.2 節の結果を基に、日本海モデルが kyu-vpp と kyu-cc のアカウントでどれだけの期間シミュレーションができるかを表 2 に示す。計算年とは現実の時間ではなく、日本海モデル中での 1 年を指す。表 2 の結果は常に 16CPU で計算し続けた場合の値であり、実際に計算出来る計算年はこれより短くなる。同じ料金で比べると、kyu-vpp の方が kyu-cc に比べて 1/8 のコストでシミュレーションを行うことができる。計算速度の比較でも言えることであるが、本研究で用いた日本海モデルのプログラムは kyu-vpp のようなベクトル機に向けたコード (例：多次元配列を演算する際の繰り返し文の順序など) で書かれている事もあり、このように顕著な差となった。

表 2 : kyu-vpp と kyu-cc における日本海モデルの計算コストの比較

計算機	アカウントタイプ	1 アカウント当り可能な計算年	1 万円で可能な計算年
kyu-vpp	年間定額 200 万円 (実質 1000 万円分)	6304 計算年／200 万円	31.5 計算年
kyu-cc	16CPU年間占有タイプ (120 万円)	500 計算年／120 万円	4.2 計算年

4. まとめ

今回は応用力学研究所で開発した日本海モデルを用い、九州大学情報基盤センターのスーパーコンピュータと高性能演算サーバーの性能評価を行った。ベクトル計算機 (kyu-vpp) の方がスカラー計算機 (kyu-cc) に比べて速度が 6・8 倍早く、コストは 1/8 であった。