

11-NA15

環オホーツク圏を中心とした大気・海洋シミュレーション

中村知裕（北海道大学）

概要 環オホーツク圏では、オホーツク海起源の海洋熱塩循環・潮汐混合・栄養物質（特に鉄）循環に伴い、世界でも最大規模の基礎生産が生じ、豊富な水産資源や炭素循環に影響している。また、夏季の下層雲やオホーツク海高気圧の形成等を介して北日本の気候に影響を与えている。最近ではこれらに長期変動が生じていることも明らかになってきた。本研究では、こうした現象の理解と数値モデルによる再現性の向上に向け、環オホーツク圏の大気・海洋シミュレーションと使用する数値モデルの高速化チューニングを行う。本年度は、先ず(I)計算機科学分野の課題として、大気モデルを水平 2 方向に MPI 並列処理を行い SR16000 での性能テストを行った。次に(II)環オホーツク圏大気・海洋シミュレーションとして、(a) 海洋内鉄循環シミュレーションと各種パラメタへの感度実験、(b) 潮汐による鉛直混合過程の数値実験、(c) オホーツク海高気圧の強い年と弱い年の夏季下層雲シミュレーションとその比較、を行った。

1. 研究の目的と意義

研究の目的

環オホーツク圏（オホーツク海とその周辺地域）は、季節変動や気候変動に顕著な特徴を持ち、日本とりわけ北日本の気候に大きな影響を与えている。例えば夏季には、オホーツク海周辺では下層雲（高度の低い雲）や霧が頻繁に形成される。下層雲は、日射を遮り赤外線を放射することで大気－海洋間あるいは大気－陸面間の熱・水フラックスに大きく影響する [中村・古関, 2010]。その結果、下層雲の下では気温が低下し、これが顕著になると農作物の不作の原因となる。一方冬季には、シベリア東部は北半球の寒極（気温の最も低い地域）となり、そこから吹き出す寒気によりオホーツク海では大規模な海氷生成が起こる。

オホーツク海における海氷生成は北海道沿岸の気候や産業に影響するだけでなく、北太平洋ほぼ全域の海洋中層循環に影響を与えている。海氷生成の際には、海水が結氷点まで冷却される上に、海水が凍る際に不純物として塩が排出されるため、高密度の海水が生成される。生成された高密度水はオホーツク海そして北太平洋の中層に広がる。

また、千島列島域のように海底地形上を強い潮流が流れる海域では、内部重力波の生成と砕波により激しい鉛直混合が生じる [Nakamura et al., 2000; 2010]。これらの高密度水生成と千島列島域

での潮汐鉛直混合により、オホーツク海起源の熱塩循環（密度差に由来し、鉛直方向の輸送で特徴付けられる海洋循環）が駆動される [Nakamura et al., 2006]。熱塩循環に伴い、大気に接していた海水が海洋中層に潜り込むので、大気中の酸素、温室効果気体（二酸化炭素など）、フロンといった様々な気体が北太平洋中層に取り込まれ、それら物質の循環に影響する [Uchimoto et al., 2011; 2009]。

環オホーツク圏はまた、世界最大規模の基礎生産（海洋植物プランクトン増殖）で知られている。高い基礎生産は、食物連鎖を通し豊富な水産資源の基礎となるとともに、二酸化炭素の海洋内貯留など炭素循環にも重要な役割を果たす。この高い基礎生産を支える上で、上述の熱塩循環によりアムール川から運ばれて来た「鉄」が重要であることが最近の研究から分かってきた [Nishioka et al., 2007]。すなわち、鉄は 2 価と 3 価のイオンを持つことから光合成等における電子伝達に使われているが、海水には極めて溶けにくいいため多くの海域において基礎生産を律速している。例外的に環オホーツク圏では、熱塩循環に伴う鉄供給のおかげで鉄律速がかかりづらく、このことが水産資源の豊さに繋がっている。

環オホーツク圏におけるこれらの現象は、顕著な数年から数十年規模の変動を持つのに加えて、

シベリアを中心に顕著な温暖化が進行している。温暖化の特に著しい地域では、平均して 10 年間に 2°C のペースで冬季の気温が上昇している。温暖化に伴うようにオホーツク海の家氷面積も減少傾向にあることから、上述のオホーツク海起源の熱塩循環が弱まっていく可能性が危惧されている [Nakanowatari et al., 2007; Matsuda et al., 2009]。

このように、環オホーツク圏では科学的に興味深くかつ社会的に重要な気候・環境の形成およびそれらの長期変動が生じており、これらのより良い理解と数値シミュレーションによる再現・予測が求められている。そこで代表者らのグループでは、環オホーツク圏の気候および環境変動のより良い理解のために、環オホーツク圏を対象とした海洋および大気の数値シミュレーションを行っている。本研究ではその一環として、環オホーツク圏の気候・環境に重要な 3 つの現象—(a) オホーツク海を起源とする栄養物質循環と熱塩循環、(b) 潮汐による鉛直混合過程、(c) オホーツク海周辺の下層雲—について数値シミュレーション研究を行う。加えて、これらシミュレーションの効率化と大規模化に向けて、大型計算機更新後の新システムへの移植と新システムでの高速化チューニングを検討する。

研究の意義

現在気候・現在環境のシミュレーションとそれらの形成・変動メカニズム解明は、地球温暖化に伴う環オホーツク圏の変化の理解および信頼性の高い予測の必要条件である。中でも、環オホーツク圏では近年表層の栄養物質そして基礎生産が減少傾向にあり、温暖化がその主な原因ではないかと示唆されている。もしこの示唆が正しければ、温暖化が進むと基礎生産がさらに減少し、ひいては水産資源・炭素循環も大きく影響を受けることから、先行きが懸念されている。本研究の成果は、こうした変動の要因解明と予測の重要な基礎となる。

対象とする環オホーツク圏は上述のように日本

にとって重要な地域である。しかしながら、大半がロシア領ないしロシア経済水域に含まれているため、大気・海洋・陸面全てにおいて公開されている観測データが限られている。また、基礎生産に重要な鉄は、海水中に比べ観測船内の方が遙かに量が多いため観測には特殊な技術を要するので断片的知識しか得られていない。そのため環オホーツク圏の気候・環境研究には、数値シミュレーションとそれに基づくメカニズム解明、そして解明されたメカニズムに基づく数値シミュレーションの改良が欠かせない。

2. 当拠点公募型共同研究として実施した意義

(1) 共同研究を実施した大学名と研究体制

北海道大学

(2) 共同研究分野

超大規模数値計算系応用分野

(3) 当公募型共同研究ならではの事項など

本共同研究により、計算科学の専門家と共同研究を行えたことが本事項の第一である。このことは、数値モデルの高速化および、北海道大学情報基盤センターの大型計算機システム更新後の新システムへの移行、新システムでの高速化チューニングで特に顕著であった。

また、北海道大学情報基盤センターの大型計算機システムを使用させて戴くことで、数値シミュレーションとその結果の解析を円滑に且つ高速に実施できるのも当共同研究の利点である。

加えて、JHPCN シンポジウムにおいて他分野の計算科学に関する専門家と交流し、その研究発表を拝聴できることは、当共同研究以外ではなかなか得られない機会であった。

3. 研究成果の詳細と当初計画の達成状況

(1) 研究成果の詳細について

(I) 計算機科学分野での検討課題

本課題では、昨年度に SMP 並列をチューニングした大気モデルの MPI 並列化、および北海道大学情報基盤センター大型計算機システム更新後の新システムでの高速化チューニングを行った。

本研究で使用している領域大気モデル(IPRC 領域気候モデル)は、図 1a に示すように南北方向(以下 i 方向)に MPI 並列処理されている。SR11000 で計算する際は、分割した領域を SMP 並列とするハイブリッド並列を行っており、昨年度は、その SMP 並列の高速化チューニングを行った。

本年度は、先ず、このモデルを図 1b のように東西方向(以下 j 方向)にも領域分割した。なお、モデル・コードでは、 j が最内ループ、次が i 、最外が k (鉛直方向)である。鉛直方向は反復計算や陰解法に伴う通信が多いので、鉛直方向には領域分割しない。

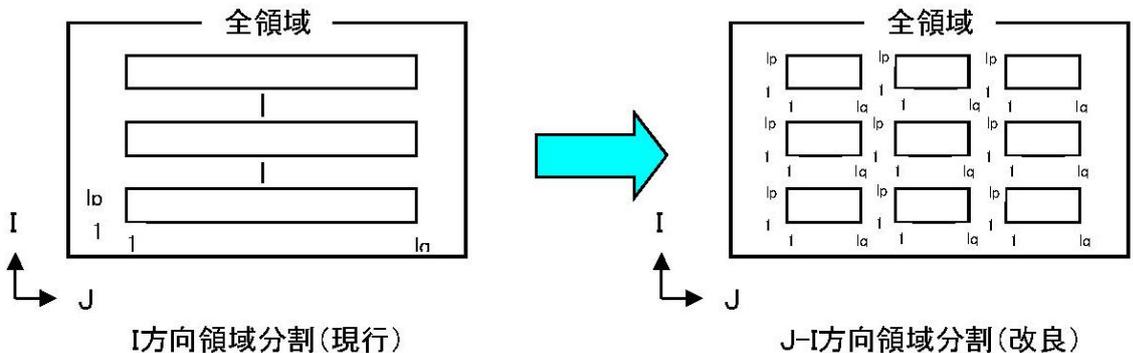


図 1 : (a)元々の領域分割。水平一方向で分割し、各領域内で SMP 並列する。(b)水平 2 方向に領域分割した。

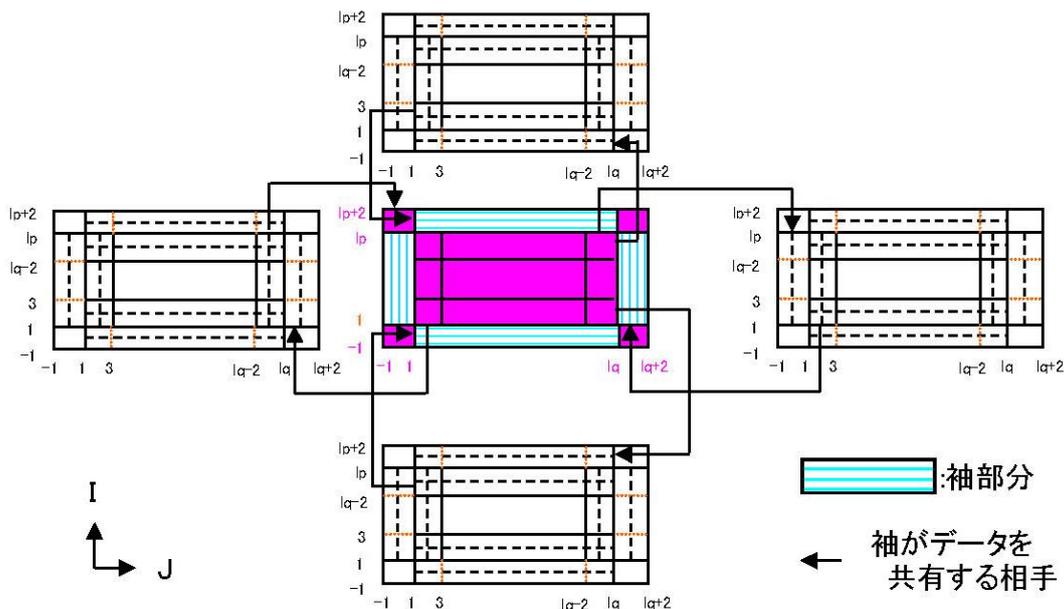


図 2 : 水平 2 方向に領域分割したことに伴う袖、及びそのデータ通信先。

領域分割に伴い、「袖」などと呼ばれるダミー・グリッドを作成し、その通信を行う。今回の場合の設定を図 2 に示す。モデル中の水平差分精度は最高で 4 次なので、袖は 2 グリッドですむ。袖の作成に伴い do ループの範囲も変更した。

次に、上記のように水平両方向に領域分割したモデルを、北海道大学情報基盤センターの新しい大型計算機システム(SR16000M1)に移植し、高速化

チューニングを行う。

性能プロファイルを調べた所、極端に性能が低くチューニング幅の大きいループはないことが確認された。そこで、測定条件をいろいろ変えて性能を比較した。その結果を表 1 に示す。

水平 2 方向で領域分割した効果を、先ず、MPI 並列と SMP 並列を併用した hybrid 並列処理で測定した所、2 方向で分割した場合の方が遅くなって

しまった（表 1 の 1, 2 段目を比較）。これは、SMP 並列高速化に有効であった「物理スキームのより上位ルーチンでの SMP 並列化」を妨げるルーチン（積雲パラメタリゼーション内の通信）があるためだと判明した。

そこで次に、MPI 並列のみを用いて比較した。i, j 両方向に 8 分割すると、i 方向のみに 64 分割した場合に比べ、計算時間が約 0.7 倍に減少した（表 1 の 4, 5 段目を比較）。これは、hybrid の場合よりも向上している（表 1 の 1, 4 段目を比較）。

また、このテストケースでは問題規模を小さくしているが、分割数を 128（4 倍）にしても約 3 倍の向上が見られた（表 1 の最下段とその上を比較）。

最後に、SR16000 の SMT 機能（一つの物理コアで複数のスレッド及びプロセスを同時に実行出来る機能）についてもテストを行った。本モデルでは比較的大量のメモリを使用するため、残念ながら、SMT 機能をオフにした方が性能が向上している（表 1 の 1, 3 段目、4, 6 段目をそれぞれ比較）。

	ノード数	MPI数	SMP数	j方向分割数	i方向分割数	SMT	経過時間
hybrid	1	4	16	1	4	on	771
同上	1	4	16	2	2	on	1322
同上	1	4	8	1	4	off	748
MPI	1	64	—	8	8	on	729
同上	1	64	—	1	64	on	1045
同上	1	32	—	4	8	off	707
同上	4	128	—	8	16	off	229

表 1：水平両方向に領域分割した後の大気モデル性能測定結果。

以上のテストを元に、高分解シミュレーションを開始した。図 3 は、実際に用いる高分解能モデルの設定での測定結果である。大気モデルを 1 日間積分して経過した実時間を測定し、プロセス数（分割数）160 の場合を基準にした相対速度で示している。プロセス数 1280 までは向上が見られるが、並列化効率は徐々に落ち、1920 ではほとんど向上しなかった。これは先に出て来た積雲パラメタリゼーション内の通信が原因であった。解決には、パラメタリゼーションの計算方法またはパラメタリゼーションを見直す必要があり、これは今後の課題とする。

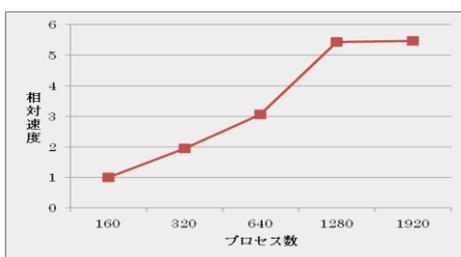


図 3: 高分解能シミュレーションの設定を用いた測定結果。

(II) 環オホーツク圏大気海洋シミュレーション
(a) オホーツク海を起源とする栄養物質循環と熱塩循環

本課題では、環オホーツク圏の栄養物質循環を特徴付ける鉄に注目してシミュレーションを行う。そのため、熱塩循環を概ね良好に再現している海洋大循環モデル[Uchimoto et al., 2011]に、鉄化学モデル[Parekh et al., 2005]を組み込む。本年度は、気候学的季節変動場について鉄化学モデルのパラメタ・テスト等を行い、鉄・リン分布の再現性向上を行った。

鉄化学モデルを組み込んだシミュレーションの結果得られた、溶存鉄濃度の中層における水平分布（図 4a）とオホーツク海西岸沿いの鉛直分布（図 4b）、および海面でのリン酸 (PO_4) 濃度（図 4c）を示す。これらは全球モデル用に調整されたパラメタをそのまま用いているが、定性的な特徴はかなり良好に再現されている。例えば図 4a に見られるように、鉄濃度が中層ではオホーツク海の方が太

平洋より高く、オホーツク海の中でも陸棚高密度水の経路であるオホーツク海北部の陸棚からオホーツク海西岸にかけて高い。

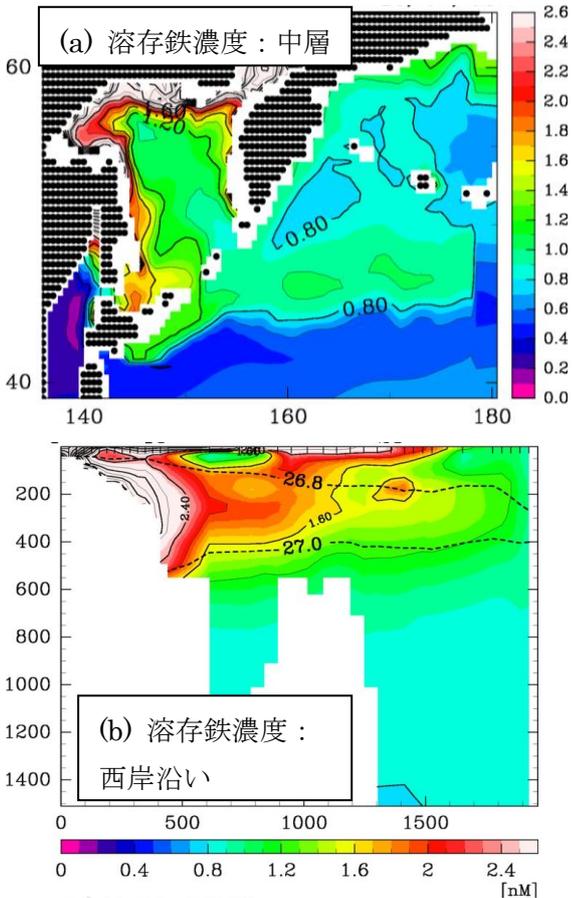


図 4：鉄循環シミュレーション結果。気候学的季節変動場における夏季。(a) 溶存鉄濃度 (nM) の水平分布。中層の等ポテンシャル密度 (26.8σ_θ) 面上のもの。(b) 溶存鉄濃度の鉛直分布。オホーツク海北西陸棚域 (東経 140 度、北緯 57 度付近) からオホーツク海西岸流域を通り、千島列島中央部に至る経路に沿ったもの。(c) 海面におけるリン酸濃度 (μM)。

鉛直断面で見ると図 4b のように、鉄濃度は陸棚域

及び中層で高い。逆にリン酸はオホーツク海より太平洋で高く、中でもアリューシャン列島域、亜寒帯域、および千島列島域で高い (図 4c)。これらの特徴は観測から指摘されている定性的特徴と一致している。加えて、オホーツク海内の鉄濃度の値も数少ない観測値から推測されている現実的な範囲に収まっていた。

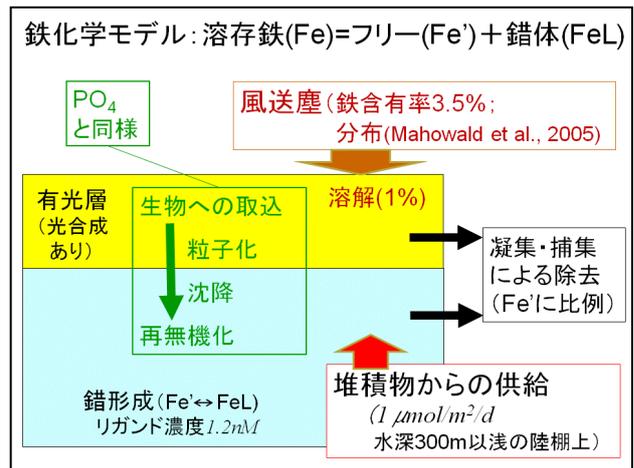


図 5：鉄化学モデルとその設定の模式図。

さらに再現性を向上するため、および鉄循環への理解を深めるため、各種パラメタに対する感度実験を行った。今回用いた鉄化学モデルの模式図 (図 5) に示すように、重要な鉄化学過程として、海洋中の鉄のソースである (1) 風送塵の沈着と溶解および (2) 堆積物からの溶解または巻き上げ、シンクとなる (3) 凝集・捕集とそれに関わる錯形成、そして内部の循環に関する (4) 生物への取込および (5) その粒子としての沈降と粒子の再無機化がある。

これらの過程には、実は、現在でも良く分かっていない点あるいは専門家の中で意見の分かれる点が幾つもある。中でも甚だしいのが、鉄のソースに関わる風送塵の溶解度と堆積物からの鉄供給率である。溶解度は 0.1%~10%と研究者により大きく異なる値が提案されている。堆積物からの鉄供給は本来、海底付近の流速や海底の堆積物の量と状態などに応じた海域依存性があるはずだが、観測がカリフォルニア沖で 1 度実施されたものしかないため、そのときの観測値が全球で用いられ

ている。加えて、生物への取込も、本来は種により取込率が異なるので種組成への依存性があり、したがって海域によって異なる。そこで、これらのパラメタについてテストを行った。

まず、沈着した風送塵の溶解度について感度実験を行った。その結果を図 6 に示す。上段は海面、下段は中層 ($26.8\sigma_\theta$) での鉄濃度で、溶解度の小

さいケースから順に左から並んでいる。一見して分かるように、海面に比べると中層は溶解度への依存性が非常に小さい。鉄の観測データは最適な溶解度を推定するには少なすぎるので、リン酸濃度の海面分布から判断すると溶解度は 1% の時が最も観測データに近かった (図は省略)。

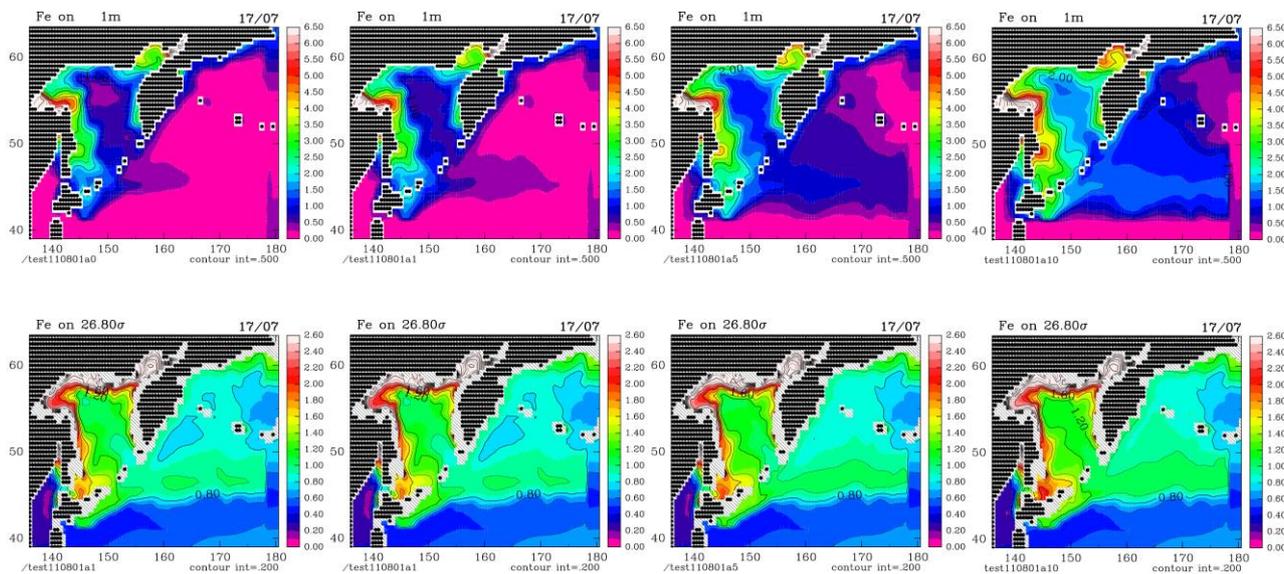


図 6: 風送塵の溶解度に対する感度実験結果。海面 (上段) と中層 $26.8\sigma_\theta$ (下段) における鉄濃度。左から溶解度が 0, 1, 5, 10% の場合。

次に、堆積物からの鉄供給率に対する感度実験を行った。堆積物からの供給をなくすと (図 7)、中層の鉄濃度は劇的に減少し、「オホーツク海の方が太平洋より鉄濃度が高く特に中層で鉄濃度が高い」といった基本的特徴が消えた。すなわち、オホーツク海周辺の中層鉄循環シミュレーションに堆積物からの供給は欠かせない。

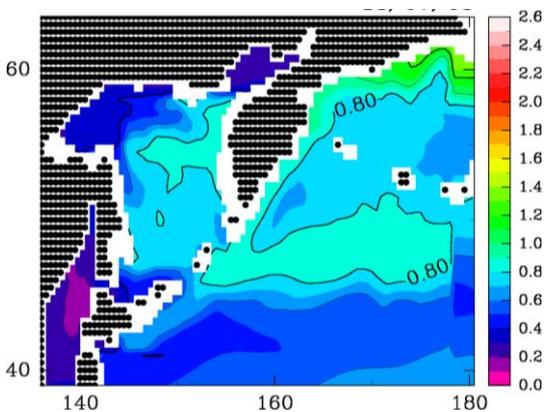


図 7: 堆積物からの鉄供給がない場合の、中層 ($26.8\sigma_\theta$) 鉄濃度。

さらに、どの海域の堆積物が重要かを調べるため、オホーツク海内の陸棚を図 8 の a-d のように 4 つに分け、それぞれの海域のみで堆積物からの鉄供給を与えた。その結果が図 9 で、a-d はそれぞれ図 8 の a-d に対応する。基本的にソース域とそれより下流で鉄濃度が高いが、下流に行くにつれて影響は弱くなっていく。

図 8 の各海域での堆積物からの供給率を変化させ、オホーツク海西部中層の鉄濃度に対する影響調べると、(1) 供給域から、距離が伸びると濃度が減少していくこと、(2) どこが供給域でも供給率が 0 から $1 \mu\text{mol m}^{-2}\text{d}^{-1}$ くらいまでは劇的に鉄濃度が高まることが分かった (図は省略)。これは、堆積物からの鉄供給が少ない場合は、リガンドが余っているため、溶存鉄が増加しやすいのに対し、鉄供給が増えて海中の鉄濃度が高くなるとリガンドが少なくなり凝集・捕集されやすくなるためと考えられる。また、(3) 海水中の鉄濃度が一定以上であれば、堆積物からの鉄供給率への応答は線形

に近くなった。このことを利用すると、各海域に与えるべき供給率の粗い推定が得られる。

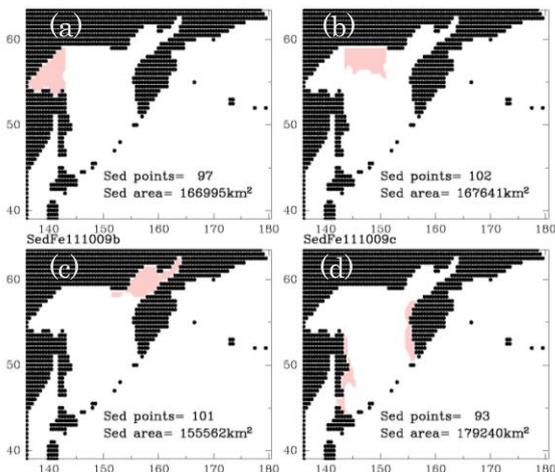


図 8：堆積物からの鉄供給を与える海域。

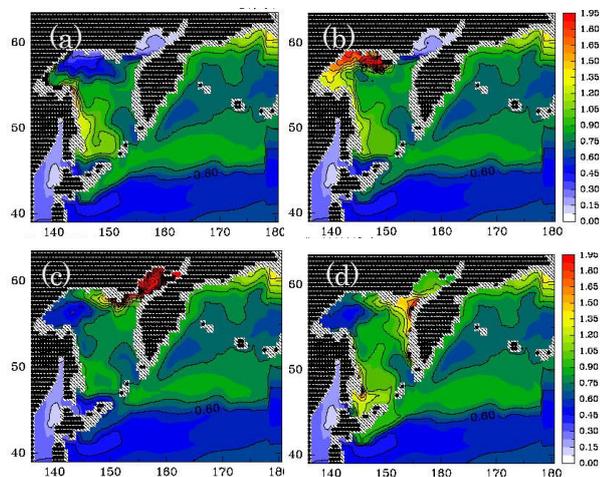


図 9：堆積物からの鉄供給を図 8 中に赤で示した海域のみで与えた場合の、中層 ($26.8\sigma_\theta$) 鉄濃度。

最後に、生物への取込過程に関するパラメタのテストを行った。取込の量はリン酸濃度 (PO_4)・鉄濃度 (Fe)・光量 (I) を用いて、次式でパラメタ化されている。この式中の α と K_{Fe} についてテストした。

$$\Gamma = \alpha \frac{PO_4}{PO_4 + K_{PO_4}} \frac{Fe}{Fe + K_{Fe}} \frac{I}{I + K_I}$$

基本的に、海面のリン酸濃度は α が大きいと減少し、 K_{Fe} が大きいと増加する (図は省略)。そこで、海面リン酸濃度が気候学的分布に近くなるようにこれらパラメタを調整した。

(b) 潮汐による鉛直混合過程

本課題では、熱・塩・栄養物質の鉛直輸送を介して熱塩循環および物質循環に重要な役割を果た

している潮汐による鉛直混合過程について数値的に調べた。代表者らの海洋大循環モデルではその効果が簡単なパラメタ化により考慮されているが、超高分解能非静水圧海洋モデルによる鉛直混合過程シミュレーションを行い、パラメタ化の改良を図る。本年度は、昨年度に行った数値シミュレーションの詳細な解析、および理論化を目指しより理想化された条件下での数値実験を行った。現在、査読付国際誌に投稿準備中であり、詳細の記述は投稿後または受理後に行いたい。

(c) オホーツク海周辺の下層雲

昨年度に高速化チューニングした領域大気気候モデルを用いて、夏季の下層雲のシミュレーションを行い、下層雲の形成・維持機構を調べた。昨年度は、オホーツク海高気圧の発達した 2003 年 7 月に注目した。本年度は、オホーツク海高気圧の発達しなかった年についてもシミュレーションを行い、比較することで下層雲形成・維持のメカニズムと再現における鍵を調べた。

例として、オホーツク海高気圧が発達した別の年 1998 年とオホーツク海高気圧が発達せず、海面気圧が平年値より有意に低かった 2004 年について 7 月月平均の下層雲分布を図 10 に示す。

下層雲はオホーツク海高気圧が顕著だった 2003 年に最も多いが、2004 年にも形成されている。1998 年はむしろ比較的少ない。分布も年によって大きく異なる。それでも詳細に見ると、どの年も定性的には、陸域や太平洋などオホーツク海の外から風の吹き込む海域で下層雲が少なく、気塊がオホーツク海上に長く止まる海域で下層雲が多い。つまり、オホーツク海外の比較的高温で乾燥した気塊が、オホーツク海上で低い海面水温に伴う顕熱フラックスで冷却されて、相対湿度が高まり雲ができて気温が下降し、放射冷却と海面熱フラックスがバランスして下層雲が形成された状態で安定に近づくという過程は多くの年で共通している。より定量的な解析は今後の課題である。

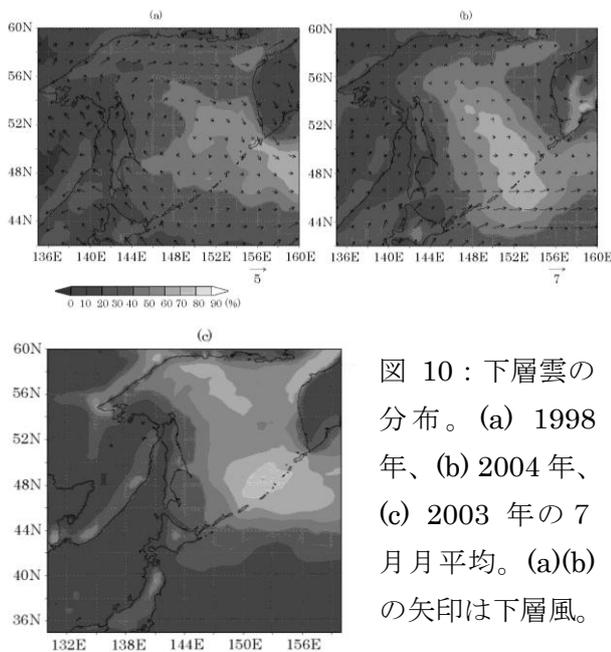


図 10：下層雲の分布。(a) 1998 年、(b) 2004 年、(c) 2003 年の 7 月月平均。(a)(b) の矢印は下層風。

(2) 当初計画の達成状況について

課題申請時の計画は全て達成された。それに加えて来年度に向けた準備(大気シミュレーション)を開始している。以下、具体的項目毎に達成状況を記す(詳細は 3 節参照)。

(I) 計算機科学分野の課題：

本年度に予定していた水平双方向領域分割による MPI 並列処理及び新スパコンへの移植と高速化を全て終了した。また、当初計画に加えて、新スパコンで数 10~100 ノードを用いる大規模計算のテストを行った。なお、今回判明した SMP およびさらなる分割化の妨げになっているルーチンは、コードの変更では解決出来ない、物理スキームに関係するものなので今後の課題とする。それ以外の点については大気モデルの高速化チューニングはほぼ煮詰まったので、来年度以降は鉛直混合過程の数値実験に用いているモデルなど、別のモデルの高速化も検討していきたい。

(II) 環オホーツク圏大気海洋シミュレーション：

(a) 鉄循環シミュレーション：計画していた気候値場の再現を実施した。またパラメタ・テストに基づく最適パラメタの推定を行い、再現性を向上した。得られた成果は、2012 年 3 月の国内学会で発表済みである。

(b) 潮汐による鉛直混合過程：計画通り理想的条

件下での数値実験を終了した。成果は国際誌に投稿準備中である。

(c) オホーツク海下層雲：計画通りオホーツク海高気圧の発達した年とそうでない年について夏季下層雲シミュレーションを行った。当初計画に加えて、(I) で MPI 並列化した大気モデルを用いた高分解能シミュレーションを開始した。

4. 今後の展望

(I) 計算機科学分野については、今年度の成果で大気モデルの高速化が一段落したので、次は海洋モデルの高速化チューニングについて取りかかりたい。

(II) 環オホーツク圏大気海洋シミュレーションについては、今年度の成果を踏まえて次は、(a) 鉄循環の経年変動シミュレーション、(b) 鉛直混合に寄与する 3 次元的過程の数値実験、(c) 下層雲の高解像シミュレーションを実施したいと考えている。

5. 研究成果リスト

- (1) 学術論文(投稿中のものは「投稿中」と明記)
 - Koseki, S., T. Nakamura, H. Mitsudera, Y. Wang (2012). Modeling low-level clouds over the Okhotsk Sea in summer: Cloud formation and its effects on the Okhotsk high. *Journal of Geophysical Research*, 117, D05208, doi: 10.1029/2011JD016462.
 - Uchimoto, K., T. Nakamura, J. Nishioka, H. Mitsudera, M. Yamamoto-Kawai, K. Misumi, D. Tsumune (2011). Simulations of chlorofluorocarbons in and around the Sea of Okhotsk: Effects of tidal mixing and brine rejection on the ventilation. *J. Geophys. Res.*, 116, C02034, doi:10.1029/2010JC006487.
 - 中村知裕, 古関俊也, 三寺史夫: 2012. オホーツク海における大気海洋相互作用：夏季の下層雲－海面水温フィードバック. 沿岸海洋研究(受理)
 - Abe, S. and T. Nakamura. Processes of Breaking of Large-Amplitude Unsteady Lee Waves Leading to Turbulence. *J. Geophys. Res.* (投稿中)
 - Nakamura, T., J. P. Matthews, T. Awaji, and H.

Mitsudera. Submeso-scale eddies near the Kuril Straits: Asymmetric generation of clockwise and counterclockwise eddies by barotropic tidal flow. *J. Geophys. Res.* (投稿中)

中村知裕, 磯田豊, 三寺史夫, 高木省吾, 長澤真樹: 2011. アムチトカ海峡で観測された大振幅内部波の砕波とグローバル評価. 月刊海洋, 通巻 494 号, Vol. 43, No. 12, 699-704.

内本圭亮, 中村知裕, 西岡純, 三寺史夫, 川合美千代, 三角和宏, 津旨大輔 (2011): オホーツク海物質循環モデリング. 月刊海洋, 通巻 493 号, Vol. 43, No. 11, 682-687.

(2) 国際会議プロシーディングス
なし

(3) 国際会議発表

Nakamura, T, J. Nishioka, T. Ono, H. Mitsudera. Winter mixed layer development by subtropical water intrusion over subarctic water and associated iron supply. 2012 Ocean Sciences Meeting, Feb 20 - 24, 2012, Salt Lake City, USA.

Abe, S. and T. Nakamura. Transition process from breaking large-amplitude internal waves to turbulence. 2012 Ocean Sciences Meeting, Feb 20 - 24, 2012, Salt Lake City, USA.

Abe, S. and T. Nakamura. Diapycnal mixing generated by breaking of tideinduced large-amplitude internal waves. IUGG2011, 28 Jun-7 Jul, 2011, P03_28PP028, Melbourne, Australia.

Uchimoto, K., Nakamura, T., Nishioka, J., Mitsudera, H., Misumi, K. and Tsumune, D. Toward a simulation of iron circulation from the Okhotsk Sea to the Pacific. ESSAS 2011 OSM, May 22-26, 2011, Seattle, WA, USA.

松田淳二, 笹島雄一郎, 三寺史夫, 中村知裕, 羽角博. Modeling of thermo-haline circulation of the Sea of Okhotsk and North Pacific. 第 27 回 北方圏国際シンポジウム「オホーツク海と流氷」2012 年 2 月 20-24 日, 紋別市文化会館, 紋別市.

(4) 国内会議発表

内本圭亮, 中村知裕, 西岡純, 三寺史夫, 三角和弘, 津旨大輔. オホーツク海のどこの海底に鉄ソースがあれば高密度陸棚水の高濃度の鉄が実現され得るか? 2012 年度 日本海洋学会 春季大会, 2012 年 3 月 26-30 日, 筑波大学, 茨城県つくば市.

松田淳二, 笹島雄一郎, 三寺史夫, 中村知裕, 羽角博康. 高解像度太平洋・オホーツク海モデルの開発. 2012 年度 日本海洋学会 春季大会, 2012 年 3 月 26-30 日, 筑波大学, 茨城県つくば市.

内本圭亮, 中村知裕, 西岡純, 三寺史夫, 三角和宏, 津旨大輔. オホーツク海における鉄移送モデリングの試み. 2011 年度 日本海洋学会 秋季大会, 2011 年 9 月 26-30 日, 九州大学 筑紫キャンパス, 福岡県春日市.

松田淳二, 笹島雄一郎, 三寺史夫, 中村知裕, 羽角博康. 高解像度太平洋オホーツク海海洋-海氷モデルの構築. 2011 年度 日本海洋学会 秋季大会, 2011 年 9 月 26-30 日, 九州大学 筑紫キャンパス, 福岡県春日市.

三寺史夫, 中村知裕. オホーツク海における大気海洋相互作用. 2011 年度 日本海洋学会 秋季大会, シンポジウム B, 東アジア縁辺海における大気海洋相互作用と海洋生態系への影響ー沿岸海洋シンポジウムー 2011 年 9 月 26-30 日, 九州大学 筑紫キャンパス, 福岡県春日市.

(5) その他 (特許, プレス発表, 著書等)

三寺史夫, 中村知裕: 数値モデルを用いた環オホーツク地域の環境研究ー将来予測へ向けて. 環オホーツク海地域の環境と経済」スラブ・ユーラシア叢書 11, 61-88, 田畑伸一郎、江淵直人編、北海道大学出版会.