

平成 26 年度 地球シミュレータ利用報告 研究成果概要

1. 課題名

地球環境変化に伴う生態系変動の診断と予測に関する研究

Study on the Diagnostics and Projection of Marine Ecosystem Change Associated with Global Change

2. 課題責任者名、所属

千葉 早苗(海洋研究開発機構 地球環境観測研究開発センター)

Sanae Chiba

3. 課題の目的

全球的な物質循環の評価は海洋学の大きな課題の一つである。特に地球温暖化などの大規模な環境変化に関連した海洋の低次生態系および炭素循環変動の解明は喫緊の課題となっている。本課題では、空間解像度や定式化の異なる複数の海洋大循環・生態系結合モデルと現時点で利用可能な観測データを最大限融合させることにより、下記の研究開発を遂行する。

- ・ 北極海を対象とした渦解像モデルの実装および低次生態系プロセスの解析
- ・ 四次元変分法データ同化システムの炭素循環モデルへの適用
- ・ 海洋低次生態系モデルの基盤技術開発

これらを通じて、極域から全球スケールに渡る海洋生態系および炭素循環場の現状分析を進めるとともに、将来予測の高精度化を目指す。

4. 今年度当初の研究計画

【北極海全域を対象とした渦解像モデリングおよび海水変動に伴う低次生態系プロセスの解析】

COCO 最新版(ver. 4.9)に現在開発中である北極海仕様の低次生態系モデル(Arctic Marine Ecosystem Model)を組み込み、海水縁後退に伴う海洋生態系の応答を物理的側面と生物化学的側面の両方から明らかにしていく。平成 25 年度までに、北極海全域を対象とした水平 25 km 格子の中解像度版に現実的な大気境界条件を与えた年々変動実験(1979~2013 年)、およびその結果を初期条件として水平 5 km 格子の渦解像版を駆動した季節変動実験(2007/2010/2013 年)を実施している。西部北極海のノースウインド深海平原には海洋研究開発機構がセディメントトラップを係留しており、生物由来物質の時系列変化に陸棚水輸送が深く関わっていることが示唆されている。平成 26 年度も引き続き観測サイドの研究者と密に連携を取りながら、サブ海盆スケールの水塊輸送、海水変動、生態系の関係を多様な視点で評価していく。

【四次元変分法海洋データ同化システムの炭素循環モデルへの適用】

海洋研究開発機構で研究開発された四次元変分法海洋データ同化システムから得られた長期全球海洋の力学場を用いて低次生態系パラメータを含んだ炭素循環モデル(NPDZ-C)を活用することで過去の物質循環の再現を引き続き行う。利用可能な生態系パラメータ(衛星海色データ準拠のプランクトン分布、栄養塩濃度の気候値データセットなど)を観測値として変分法を応用した手法で NPDZ-C モデルにデータ同化を施すことは同様であるが、平成 26 年度はモデル変量の追

加や、海面過程の表現性向上により、さらに高精度な統合データセットを作成する。また制御変数として、新たに複数のモデルパラメータを選択し、観測値とのコストを最小化するようグリーン関数法を用いて最適解を求める。得られた炭素循環場は機構で取得された溶存無機炭素データなどを参照して検証する。

【海洋低次生態系モデルの基盤技術開発】

物質循環と食物連鎖網を包括する生態系モデルを開発するために、窒素安定同位体比(SI: Stable Isotope)を組み込んだ北太平洋域の生態系モデルの開発を引き続き行う。平成 25 年度までに実海域で得られた海水の $^{15}\text{NO}_3$ や動物プランクトンの $\delta^{15}\text{N}$ データをもとに、平成 26 年度は NEMURO をベースとした同位体モデルのパラメータチューニング作業と、窒素固定や脱窒素などの過程を組み込むことで窒素循環過程を高度化し、生物と物質循環の相互作用についてより現実的な表現を目指す。

5. 研究計画に沿った利用状況

北極海全域を対象とした既存の海洋生態系モデル(NEMURO ベース)にアイスアルジーを含む海水生態系モデルを結合させた。アイスアルジーバイオマスの時空間変動や、ノースウインド深海平原においてセディメントトラップ観測で捉えられた生物由来粒子の夏季沈降フラックスを再現するために、海水海洋間の栄養塩交換過程や各種生物パラメータを変化させる感度実験に多くの計算資源を費やした(約 8000 ノード時間)。また四次元変分法海洋全層同化モデルを用いた生物化学変数評価実験を実施した。計算資源は主にモデル変量の追加に伴うテストランと、グリーン関数を用いたデータ同化手法に必要なアンサンブルモデル実験に利用し、概ね期待される成果を得た(約 4000 ノード時間)。窒素安定同位体比を組み込んだ北太平洋生態系モデルに関しては、サブ課題間の資源量調整により、今年度は行わないこととなった。

6. 今年度得られた成果、および達成度

<成果>

【北極海全域を対象とした渦解像モデリングおよび海水変動に伴う低次生態系プロセスの解析】

北極海全域を対象とする 5 km 格子の海水海洋結合モデルで季節変動実験を実施し、ノースウインド深海平原での基礎生産性および粒子沈降に関して解析を行った。本研究では新たに海水生態系を含む Arctic NEMURO モデルを整備することで、現実的なアイスアルジーの季節変化を表現することができた。セディメントトラップによる時系列観測結果が得られている 2011 年と 2012 年の比較から、NAP 地点でのアイスアルジー成長は冬季風系場にも強く依存し、貧栄養なカナダ海盆水が拡がるような状況では基礎生産性が著しく低下するという結果が得られた。今後は 2014 年 9 月にカナダ砕氷船アムゼン号で回収された3つの係留系観測結果とも照らし合わせて、引き続き時空間変動の解析を行う予定である。

【四次元変分法海洋データ同化システムの炭素循環モデルへの適用】

炭素循環モデル(NPDZ-C)に対するモデル変量の追加作業として、溶存酸素の動態を評価する機能を追加した。溶存酸素に関係するモデルパラメータは文献を基にした参考値を採用してテストランを実行し、観測値に基づく客観解析データと比較して正常動作を確認した。プランクトンの総量をコントロールすることや溶存無機炭素の動態をコントロールするために、生物化学プロセス

の検討および改良を行った。検討には、四次元変分法データ同化手法の一種であるグリーン関数手法を用い、モデル変量の溶存無機炭素の変動を議論することができるレベルのデータセットを作成することに成功した。作成したデータセットの再現性を、高精度船舶観測から得られた溶存無機炭素データなどと比較して、基本的な分布や変動が再現できていることを確認した。そして大気二酸化炭素濃度を増加させた実験を行い、人為起源二酸化炭素の海洋への吸収と蓄積の挙動を解析した。得られた成果は論文にして国際雑誌へ投稿した。本課題で作成した生物化学変量データセットは四次元変分法データセット(Estimated State of Global Ocean for Climate Research: ESTOC)の一部として2014年10月にバージョンアップ版を一般公開した。但し公開時点ではモデル変量の追加作業が完了していなかったため、公開データには追加のモデル変量を含んでいない。

<達成度>

(年度当初の研究計画を全て達成した場合を100% / 複数の目標があった場合は、それぞれについて達成度を数値で記載)

北極海モデリングに関しては、新たに開発した海氷生態系部分の感度実験に当初の予定以上の計算資源を費やしたが、一部のプロセスを除き、観測から推定されるプロセスを支持する結果が得られたので90%達成できたと言える。また改良した炭素循環モデルによるデータ同化実験の結果を機構で取得した溶存無機炭素データと比較し、期待した性能が得られていることを確認した。モデル変量の追加と動作確認も予定通り完了したが、モデル改良を通じて課題も明らかとなったため、達成度は計画の95%とする。

7. 計算機資源の利用状況

<計算機資源の利用状況>

(計画的に計算機資源を利用できているか、状況を記載)

システム更新に伴う年度末の運用停止を見据えて、12月までに多くの実験を行うことで、区分3で割り当てられた資源をほぼ使い切る形で利用することができた。但し、北極海モデリングに年度当初に計画していた以上の資源量が必要になったため、データ同化、基盤技術開発の2つのサブ課題を実施するための資源量を減らざるを得ない結果となってしまった。今後はこのような事態を極力避けるためにサブ課題間の調整をもう少し頻繁に行うこと心掛ける。

<チューニングによる成果>

(ベクトル化、並列化チューニング等、計算機資源を有効利用するために行ったこととその効果を記載)

本課題は継続課題であり、前年度までにベクトル化、並列化チューニングなどの作業はほぼ終わっているため、今年度は各ソースプログラムを引き継ぐ形で実験を行った。

<計画的に利用できていない場合、その理由>

新たに開発した北極海を対象とした海氷生態系モデルのパフォーマンス確認のために年度当初に計画していた以上の資源量が必要となってしまった。そのため窒素安定同位体比を利用した海洋低次生態系モデルの基盤技術開発に関しては今年度は中断せざるを得なくなった。年度末までに新たに改良を加えた北極海モデルの基本的な再現性は確認できたため、次年度からはもう

少し計画的に利用できる予定である.

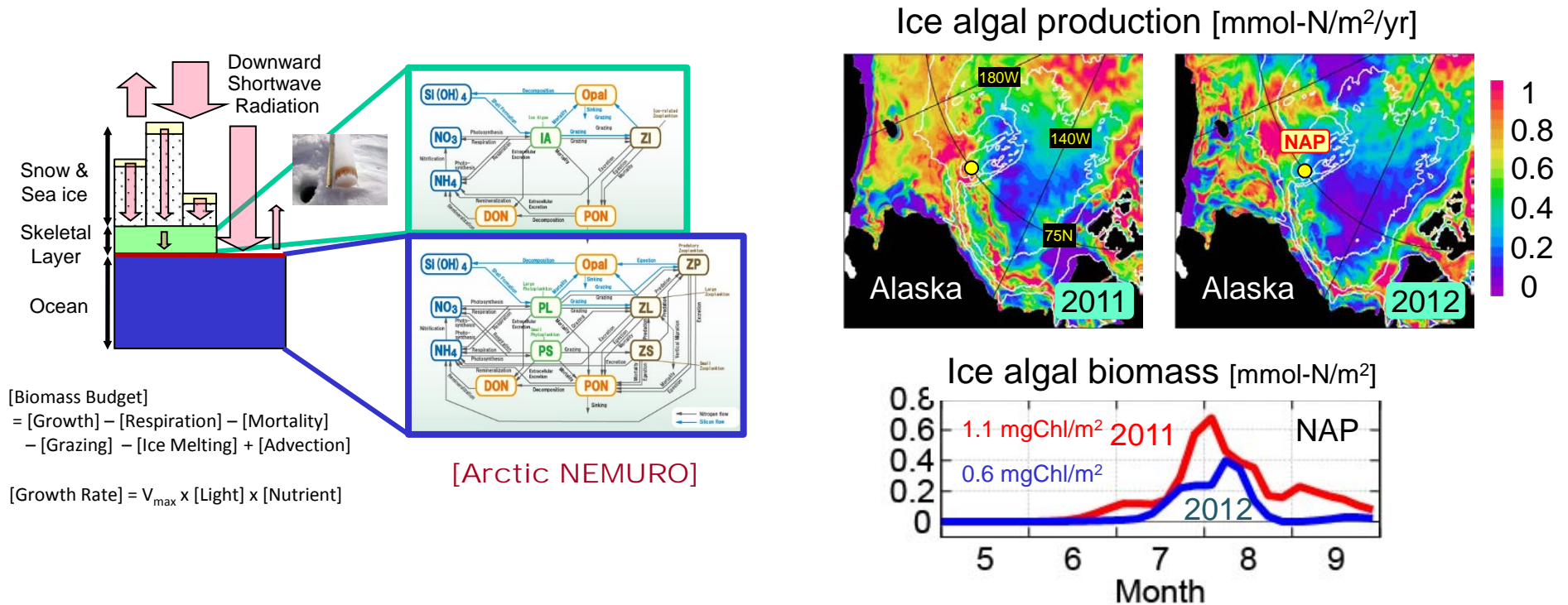
8. 新聞、雑誌での掲載記事

- ・ NHK スペシャル「流氷大回転」取材協力（2014年5月18日放送）
- ・ 東奥日報「北極海深海 生物の生息環境向上」（2014年5月28日掲載）
- ・ 日経産業新聞「北極海、生物の環境向上」（2014年6月4日掲載）
- ・ 科学新聞「北極海の活発な海流や渦でプランクトンの生息環境向上」(2014年6月6日掲載)
- ・ JAXA&学研 教育雑誌「宇宙のとびら」制作協力（2014年9月30日発行）
- ・ 日本経済新聞「北極海、温暖化進むと大漁場に？」取材協力（2015年2月15日掲載）

課題名 地球環境変化に伴う生態系変動の診断と予測に関する研究

課題責任者： 千葉 早苗 / 海洋研究開発機構 地球環境観測研究開発センター

【北極海を対象とした渦解像モデルの実装および低次生態系プロセスの解析】



北極海全域を対象とした渦解像海水海洋物理モデル(5 km格子)にアイスアルジーから動植物プランクトンまでを含む低次生態系を組み込み現場の係留系観測で捉えられた年々変動の背景場に関する知見を得た