

結合ライブラリ Jcup を用いた 大気モデル NICAM と海洋モデル COCO の連成シミュレーション

荒川隆[†] 井上孝洋[†] 佐藤正樹[‡]

海洋開発研究機構[†] 東大・大気海洋研究所[‡]

1. 序論

気候は大気のみならず海洋・海氷・海陸生態系や化学物質の動向など、多様な現象が非線形に関連する複雑系現象である。従って、現象の写像としての気候シミュレーションモデルも、大気モデル・海洋モデル・海氷モデル・生態系モデル・化学輸送モデルなど、相互に関連する複数のコンポーネントモデルで構成される。近年、気候研究コミュニティでは、このようなモデルは地球システムモデルと呼び習わされているため、以下、本稿においても地球システムモデル (ESM) と呼ぶ。

地球システムモデルを構成するコンポーネントモデルは、各分野を専門とするサブコミュニティで個別に開発されることが多く、並列計算における領域分割手法や物理量の内部表現形式はまちまちである。また、表現すべき現象に適応した独自の格子系や時空間スケールを持っている。従って、これらのコンポーネント間で情報を交換するには、格子系や時空間スケール、領域分割手法等の相違を吸収し、適切な変換や通信を行うための結合ソフトウェア (カップラ) が用いられる。日本においては、気象庁・気象研究所の地球システムモデルを主対象としたカップラ Scup が気象研究所の吉村らによって開発・実用化された⁽¹⁾。また、東大・JAMSTEC・環境研究所の地球システムモデル MIROC ESM を主対象としたカップラ Jcup が荒川らによって開発された⁽²⁾。本学会では、Jcup の特徴および適用事例として正二十面体全球大気モデル NICAM と全球海洋モデル COCO の結合について報告する。

2. Jcup の特徴

カップラの主要な機能は、相互に異なる格子系や領域分割手法を持つコンポーネント間で、補間計算を施しデータ交換を行うことである。

従って一般に、カップラの適用範囲は、カップラがサポートする格子系や補間計算アルゴリズムで決定される。例えば、欧州の各気象・気候研究機関で広く用いられている OASIS カップラがサポートする格子系は Regular, Irregular, Gaussian reduced 格子、補間アルゴリズムは nearest neighbor, bilinear, trilinear, bicubic であり⁽³⁾、これら以外の格子系・補間計算を要求するコンポーネントモデルは結合できない。他方、計算機性能の向上に伴い、従来の格子系とは異なる新たな格子系のモデルが各国の機関により開発されており、より適用範囲の広いカップラが求められている。そこで Jcup では、格子情報そのものをカップラに与えるのではなく、補間計算に伴う格子点の対応関係 (Mapping Table) をカップラの入力情報等することで、格子系に依存しない結合を可能とした。また補間計算については、任意のコードを利用者が自由に実装できるようなインターフェースを提供することで、きわめて広範な補間計算アルゴリズムに適応することを可能とした。

3. NICAM と COCO の結合

3.1 NICAM と COCO について

従来の全球大気モデルでは、極域での格子集中を避ける、物理量の保存性が高い、等の理由によりスペクトル法が広く用いられてきた。しかし、スペクトル法では格子空間と波数空間の遷移に際して並列効率が著しく低下するため、大規模並列計算には適さない。そこで従来のスペクトル法とは異なる格子系を持つ大気モデルが、各国の研究機関で開発されている。佐藤・富田らの開発になる全休大気モデル NICAM は正二十面体格子を採用しており、従来のスペクトル法では実現し得なかった高解像度の計算が可能なることから、次世代気候シミュレーションにおいて中核を担うモデルとなることが期待されている。

Coupled simulation of AGCM NICAM and OGCM COCO by
a coupling library Jcup.

[†]Takashi Arakawa, Takahiro Inoue, JAMSTEC

[‡]Masaki Satoh, Univ. of Tokyo

一方、海洋大循環モデル COCO は MIROC ESM の海洋コンポーネントであり IPCC 第四次報告書に採択される等、実績のあるモデルである。今回の結合試験に用いたのは、最新バージョンである Tri-polar COCO である。Tri-polar COCO は北極海での格子集中を避けるため、ユーラシア大陸と北米大陸に北極点を移動した格子系を持つ。

このように従来とは異なる格子系を持つコンポーネントモデルの結合は前例が無く、地球システムモデルを対象としたソフトウェアエンジニアリング分野にとってきわめて重要なチャレンジである。

3. 2 Mapping Table の計算

前述のように、Jcup は補間計算に伴う格子点間の対応関係 (Mapping Table) を入力情報とする。従って、事前にこれらの値を求めておかねばならない。格子点の対応関係は用いる補間アルゴリズムに依存する。ここでは Jones による First-order 近似 (面積重み付け) を用いた。この場合、格子間の対応関係を計算することは、格子を構成する多角形の重なり部分を求めることと同義である。例えば、図 1 中央の六角形 (NICAM 格子) の値は、4 角形格子 (COCO 格子) の 7 番から 19 番格子の値および重なり部分の面積比から算出される。Mapping Table の計算は単純には格子点数 N に対して $O(N^2)$ の計算量となるが、本研究に際してはほぼ $O(N)$ で計算出来る手法を開発・実装した。

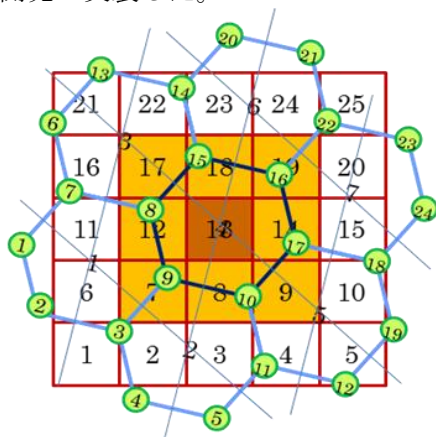


図 1 NICAM と COCO の格子対応関係

3. 3 NICAM と COCO の結合

前述のように COCO は MIROC ESM の海洋コンポーネントであり、Jcup によって MIROC ESM の大気コンポーネントと結合されていた。従って、NICAM と COCO の結合は、MIROC ESM の大気コンポーネントを NICAM に置き換えることに相当する。そのため COCO のコードは、ほぼそのまま

使用可能であった。一方 NICAM は独自の海洋混合層モデルを実装していた。そこで、このモジュールを結合用モジュールに流用することで、COCO との結合を実現した。

結合に用いた格子数は NICAM が glevel15 (解像度約 220km)、COCO が東西 360×南北 192 である。交換データは NICAM から COCO が風応力や降水量など 13 種類、COCO から NICAM が海面温度など 6 種類である。図 2 に送信側 COCO と受信側 NICAM の海氷厚を示す。解像度の差異に起因して NICAM 側には六角形のパターンが見えるが、両者の分布はよく一致しており、データ交換が正しく行われていることがわかる。

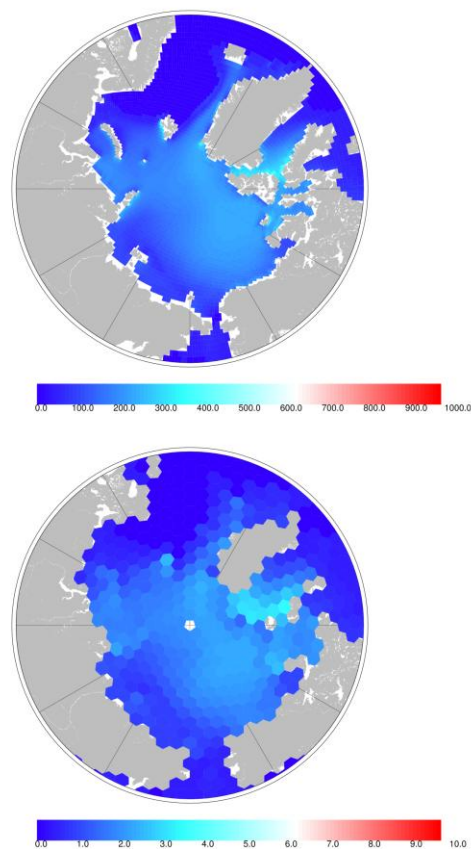


図 2 COCO (上図) と NICAM (下図) の海氷厚

- (1) H. Yoshimura and S. Yukimoto, Development of a Simple Coupler (Scup) for Earth System Modeling, *Pap Met Geophys*, 2008, 59, 19-29
- (2) 荒川隆 and 吉村裕正, 気候モデルを対象とした結合ソフトウェアの性能評価, *情報処理学会論文誌*, 2009, 2, 95-110
- (3) R. Redler et al. OASIS4 - a coupling software for next generation earth system modeling, *Geoscientific Model Development Discussions*, 2009, 2, 797-843