

全球大気モデル NICAM への結合ソフトウェアの適用と性能評価

荒川隆[†] 井上孝洋[†] 八代尚[§] 久保川陽呂鎮[‡] 佐藤正樹[‡]
 海洋開発研究機構[†] 理研・AICS[§] 東大・大気海洋研究所[‡]

1. 序論

現代の計算科学においては、ハードウェアの絶え間ない向上に伴い、各分野のシミュレーションモデルも大規模化・複雑化の一途を辿っている。例えば、NCAR の気候シミュレーションモデル CCSM は 1970 年代の開発当初、大気・海洋の 2 つのコンポーネントで構成されていたが、シミュレーションの高度化に伴い、海水や陸域生態系（植生）、大気化学など多様なコンポーネントが追加されていった。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ソフトウェア（カップラ）が重要になってくる。このような背景に基づき、結合ソフトウェア ppOpen-MATH/MP の開発計画が進捗中である。本学会では、ppOpen-MATH/MP の構造や特徴、および適用事例として正二十面体大気モデル NICAM に用いた事例を紹介する。

2. ppOpen-MATH/MP の構造と特徴

ppOpen-MATH/MP は JST/CREST 「ポストペタスケール高性能計算に資するシステムソフトウェア技術の創出」の研究課題「自動チューニング機構を有するアプリケーション開発・実行環境」研究の一部として開発されている。この研究において開発されている各種ソフトウェアは ppOpen-HPC と総称される。ppOpen-HPC 全体の構造を図 1 に示す。全体は SYS, AT, MATH, APPL の 4 階層に分かれており、ppOpen-MATH/MP は数学ライブラリ群 ppOpen-MATH の階層に位置する。

上位のアプリケーションレイヤには、FEM や FDM、FVM といった離散化手法をサポートするアプリケーションが位置している。

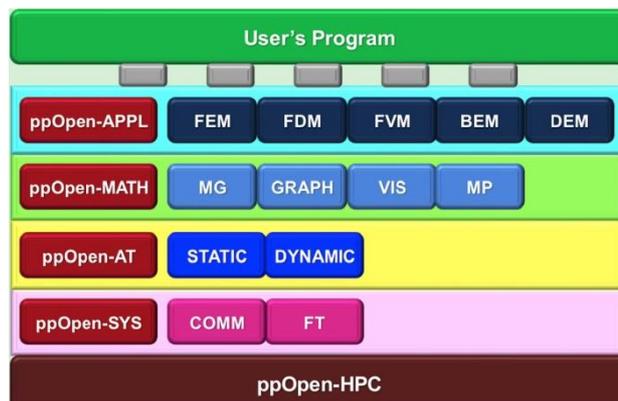


図 1 ppOpen-HPC の全体構造

ppOpen-MATH/MP はこれらの離散化手法およびそれに適した格子構造を持つモデルをサポートしている（ただし DEM を除く）。このような広い適用範囲を実現するために ppOpen-MATH/MP はコアテクノロジーとして結合ライブラリ Jcup を用いている。Jcup は①各モデルの格子情報（格子の位置や形状）ではなく、補間計算におけるの 2 つのモデルの格子点の対応関係を入力情報とする、②具体的な補間計算コードを利用者が自由に実装できる、という特徴を持ち、このためきわめて多様なモデル間の結合を可能としている。一方、Jcup を使用するためには、格子相互の対応関係や補間係数をあらかじめ計算し適切な補間計算コードを実装しなければならないなどの手続きが必要となり、実モデルへの適用はハードルが高い。そこで、図 2 に示すように各離散化手法に適した上位レイヤを Jcup の上に実装し、レイヤ毎の単純化された API をコールすることで結合計算を実行できるようにした。

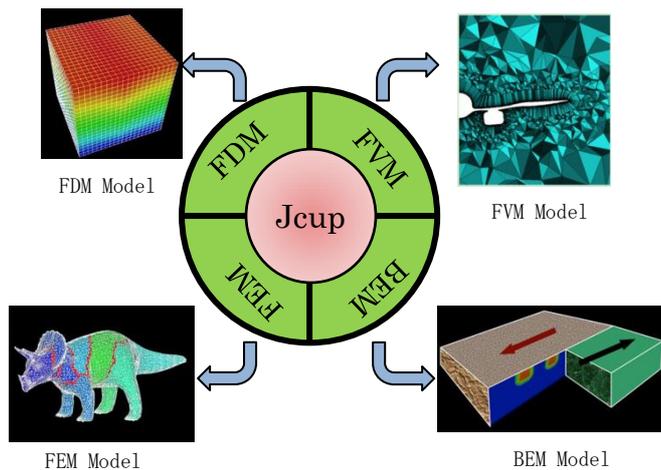


図2 ppOpen-MATH/MP の概要

3. 結合の内容

3.1 結合の概要

本研究では、全球大気モデル NICAM と NICAM の計算結果を緯度経度格子に変換してファイル出力する IO コンポーネントを結合した。計算結果の出力であるため、データの移動は NICAM から IO コンポーネントへの一方向送受信となる。また、大気の 3 次元場が出力対象となるため、2 次元データを送受信の対象とする大気海洋結合と異なり 3 次元データを送受信対象となる。

3.2 NICAM について

NICAM は正二十面体格子を持つ非静力学全球大気モデルである。従来の全球大気モデルでは、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。NICAM は正二十面体格子を採用することでスペクトル法の制約を克服し、従来では実現し得なかった高解像度の計算を可能にしたモデルであり、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。

3.3 IO コンポーネントについて

上述の通り NICAM は正二十面体格子を採用しているが、この格子形状は結果の解析には適さない。理由の一つは、正二十面体格子の計算結果から気象の解析によく用いられる緯度平均値への換算が困難なことである。もう一つの理由は、気象研究コミュニティで多く用いられる作図・解析ツール群が緯度経度格子（直方体）を前提としていることである。このため、NICAM にはポ

ストプロセスとして正二十面体格子のデータを緯度経度格子へ変換するプログラムが付属している。しかし、特に高解像度計算において、このポスト処理は時間と手間を要求されるため、リアルタイムで NICAM の計算結果を緯度経度格子に変換してファイルに出力するプログラムが求められていた。NICAM 用の IO コンポーネントは NICAM と並列に動作し、それ自身も領域分割によって並列化されている。なお、並列数は NICAM とは独立に決定される。正二十面体格子から緯度経度格子への変換方法として、trilinear 法、control-volume 法、nearest-neighbor 法の 3 種類が実装されている。これらの変換方法は設定ファイルによってデータ毎に独立して設定できるようになっている。

3.4 性能評価

性能評価は実行テスト実験と実運用を想定した実験の 2 通りについて行った。ここでは実運用を想定した実験結果について述べる。なお、用いた計算機は京コンピュータである。NICAM と IO コンポーネントの解像度（格子数）および用いた PE 数を表 1 に示す。NICAM の解像度 GL09RL03 は水平格子サイズ約 14km に相当する。NICAM の PE 数 640PE に対して IO の格子数を 2880x1440 に固定した上で PE 数を表のように増加させた。

表1 性能評価実験の実験条件

NICAM		IO コンポーネント	
解像度	PE 数	格子数	PE 数
GL09RL03	640	2880x1440	8
GL09RL03	640	2880x1440	32
GL09RL03	640	2880x1440	128
GL09RL03	640	2880x1440	512

測定結果の一部を表 2 に示す。IO の実行時間そのものは 128PE を割り当てた場合の値が最も小さくなるが、実行効率を考慮すると NICAM のプロセッサ数の 5%程度を割り当てると効率的に実行できることがわかった。

表2 性能評価実験結果

Sec	Setup	NICAM	IO
IO 8PE	2472	10004	322
IO 32PE	188	9574	186
IO 128PE	31	9498	111
IO 512PE	46	9474	152