

大気-河川モデル連成計算の性能評価

Performance evaluation of the coupled simulation of the atmosphere-river model

荒川隆†

鳩野美佐子 §

芳村圭‡

Takashi Arakawa

Misako Hatono

Kei Yoshimura

1. はじめに

気象・気候現象は、大気に限らず海洋や植生、土壌、河川など多様な要素が相互作用する複雑なプロセスである。これらの要素を表現するシミュレーションモデルは、各専門分野の研究コミュニティで個別に開発されており、気象・気候現象を再現・予測する際には、用途に応じて適切なモデルが組み合わされて計算される。この際、コンポーネントモデル間での格子系や時空間解像度の違いを補間し、適切にデータを交換する必要がある。そのような機能を持つソフトウェアはカプラと呼ばれるが、高度情報科学技術研究機構ではカプラ Jcup の研究開発を行っており、これまでも主に気象気候分野を中心として複数のシミュレーションモデルに適用してきた。たとえば、正二十面体大気モデル NICAM と海洋大循環モデル COCO を結合した事例(1)や地震モデルと構造物モデルを結合した事例(2)である。本大会では、全球大気大循環モデルと河川モデルを結合した事例について、主に計算性能に焦点をあてて報告する。

2. モデルの説明

対象としたモデルや結合の物理的な内容については、鳩野 et al. (3)に詳しく述べられているので、ここでは簡単に説明する。

用いた大気モデルは MIROC AGCM である。MIROC AGCM (以下適宜 AGCM と略記) は気候モデル MIROC の大気パートであり、全球規模の大気を対象として、プリミティブ方程式系により風速や温度、気圧、湿度などを計算している。MIROC AGCM はスペクトル法と格子法の 2 つの方法で離散化されており、各時間ステップにおいて波数空間と格子空間を遷移しつつ方程式を解いている。ただし河川モデルとの結合を実行するのは格子空間においてなので、ここでは格子空間の格子系のみを考える。今回用いた格子空間の格子数は東西 128×南北 64×鉛直 40 層である。

河川モデルは CaMa-Flood(Catchment-based Macro-scale Floodplain Model)である。

CaMa-Flood (以下 CaMa と略記) は上流から下流への水輸送が主な役割だった従来の河川モデルと異なり、モデル内部で氾濫原をもっており、時間によって水面の面積が変化する河川氾濫を表現可能であることが大きな特徴になっている。

AGCM の格子は緯度経度に沿った方形であるが、CaMa の格子は河道に沿って、流域を表現する不定形の格子である。ただし外部データの読み込みなどのために、別途、緯度経度に沿った四角形の格子も持っており、流域を表す格子と緯度経度格子との変換は図 1 に示すように、面積比で配分されるようになっている。

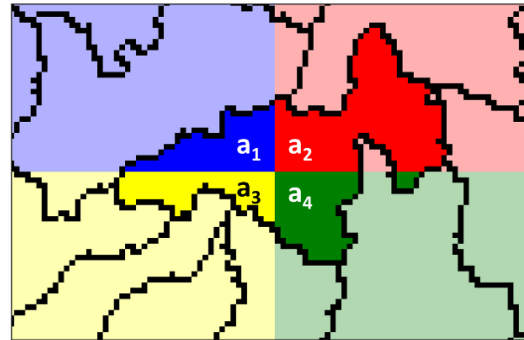


図 1 CaMa の河川格子と大気格子の関係。図は文献(3)から引用。

3. 結合の概要

双方のモデルで交換される情報は、AGCM から CaMa へは流出量 (=河川への流入量)、CaMa から AGCM は氾濫原面積である。氾濫原の面積は AGCM には湖面の面積割合の変化として与えられる。従来の MIROC AGCM は湖面の面積割合を一定としてシミュレーションを実施していたが、今回の結合によって湖面割合が時間的に変動するようになった。それによる計算結果へのインパクトは文献(3)で評価されている。なお、データ交換に関わる CaMa の変数は流域を表現する不定形の 1 次元格子ではなく、CaMa 内部で持つ 2 次元の緯度経度格子である。この格子は AGCM の格子と同じ解像度に設定されており、データ交換プロセスでは格子の変換計算は行わないようになっている。積分時間間隔は AGCM、CaMa とともに CFL 条件に基づく可変間隔で、データ交換は 24 時間毎に行うようになっている。

† 高度情報科学技術研究機構

§ 東京大学大学院工学系研究科

‡ 東京大学生産技術研究所

モデル間のデータ交換については 1) ファイルを経由して行った場合、と 2) カプラ Jcup を用いてメモリ間の通信で行った場合、の 2 通りの方法で行った。以下、各々の方法について説明する。

1) ファイルを経由したデータ交換

ファイルを経由したデータ交換では、受信側モデルが送信側モデルからのファイル出力を随時チェックし出力されたらファイルを読み込むようになっている。両モデルでの時間積分ループ内の計算とファイル入出力の流れを図 2 に示す。

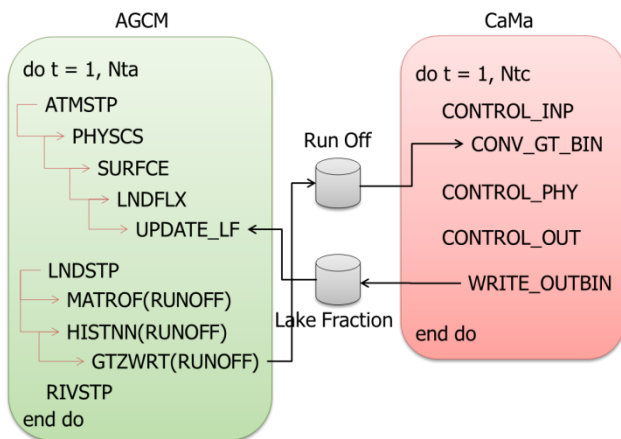


図 2 ファイルを経由したデータ交換の模式図

2) カプラ Jcup を用いたデータ交換

図 3 に示すように、Jcup を用いたデータ交換では送信データの計算が終わった時点でカプラにデータを渡す。渡されたデータはカプラの内部で保持され、時間積分の冒頭で交換される。交換されたデータはカプラの内部で保持され、モデルがそのデータを必要とする箇所までカプラから受け取るようになっている。

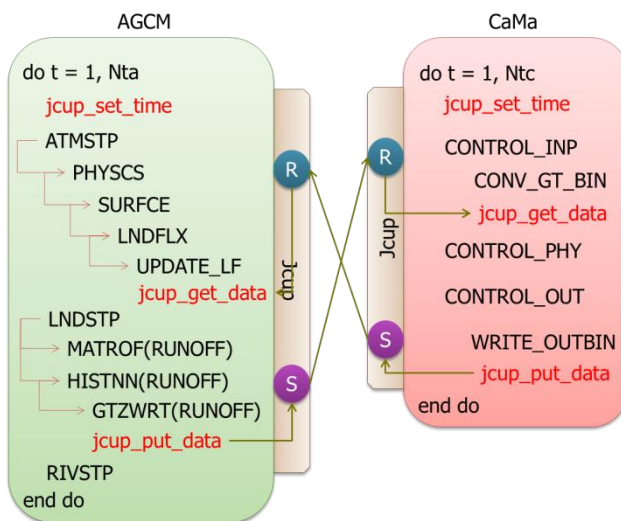


図 3 Jcup を用いたデータ交換の模式図

4. 性能測定結果

これら 2 ケースについて、プログラム各部の実行時間を測定した。測定に用いたハードウェアはインテルコンパイラを搭載した Linux マシンである。AGCM は 32PE、CaMa は 1PE で実行した。積分期間は 7 日間である。AGCM 側の時間測定結果を図 4 に示す。全体の実行時間を表す MAIN_LOOP の時間はファイルを経由した場合が 571 秒なのに対し Jcup を用いた場合が 267 秒と 47%短縮 (2.1 倍高速化) されている。両者の差は AGCM が CaMa からのデータ (Lake Fraction) を受け取る UPDATE_LF に集中しており、MAIN_LOOP の時間差 304 秒の大半がファイル経由時における UPDATE_LF の実行時間 300 秒に起因している。ファイルのサイズ自体は大きくないため、この時間はシステムがファイル出力をバッファリングしている時間に対応すると推測される。

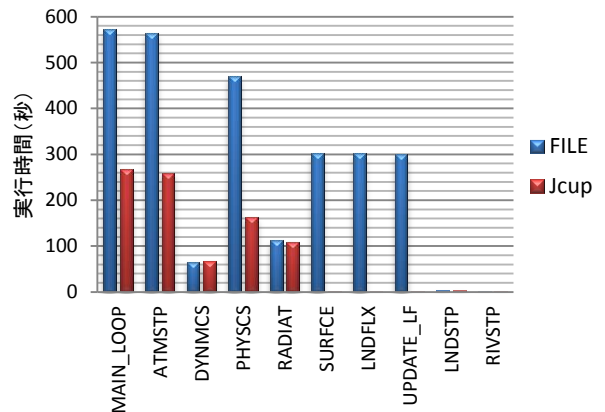


図 4 2 ケースにおける実行時間の測定結果

5. 今後の展望

今回は、両モデル同一の格子を用い補間計算を行わなかったが、今後は CaMa 本来の格子を用い補間計算を伴うデータ交換を実施する予定である。

(1) 荒川隆, 井上孝洋, 八代尚, 久保川陽呂鎮, 佐藤正樹: 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, 情報処理学会全国大会, 京都大学, 2015 年 3 月 17 日

(2) Masaharu Matsumoto, Takashi Arakawa, Takeshi Kitayama, Futoshi Mori, Hiroshi Okuda, Takashi Furumura and Kengo Nakajima: Multi-Scale Coupling Simulation of Seismic Waves and Building Vibrations using ppOpen-HPC, Procedia Computer Science, 2015, vol.51, 1514-1523

(3) 鳩野美佐子, 芳村圭, 荒川隆, 山崎大, 沖大幹: 高解像度河川氾濫過程の導入が大気大循環モデルの推計値に及ぼす影響, 土木学会論文集 B1 (水工学), 72(4), I_115-I_120, 2016