

## 統合陸域モデル ILS とその結合について

On integrated land model ILS and its coupling

荒川隆† 新田友子§ 鳩野美佐子§ 芳村圭‡

Takashi Arakawa Tomoko Nitta 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。特に陸面は、大気に大きな影響を与えると同時に人間を含めた様々な生物の生息圏であることから、自然や社会に直接的な影響を及ぼす。従って、陸面のシミュレーションは、気象気候の再現予測のみならず気候変動に対する適用策の策定など、人間社会に直接影響するきわめて重要な役割をもっている。このような背景に基づき、我が国では東京大学、環境研究所、森林総合研究所等の共同で陸面過程モデル MATSIRO (Minimal Advanced Treatments of Surface Interaction and Run Off) が開発されてきた(1)。MATSIRO は植生や土壌、積雪における水やエネルギーの循環を表現するモデルであり、単体で陸面過程の研究に用いられる他、気候モデル MIROC の陸域パートや大気モデル NICAM の陸域パートに用いられている。MIROC や NICAM に付属している MATSIRO は、大気モデルコードの一部として時間積分ループの中から呼び出される。MATSIRO の保守開発は東京大学生産研究所など複数機関の連携によって現在も続いており、随時バージョンアップされている。一方 MIROC や NICAM に組み込まれた MATSIRO はそれぞれのモデル開発チームの管理下にあるため、バージョンの乖離が生じメンテナンスに支障をきたすようになってきた。そこで現在、陸域モデルを大気モデルから分離し独立したプログラムとしたうえで結合プログラム(カプラ)を介して結合するシステムの構築が行われている。このシステムを ILS(Integrated Land Simulator)と呼ぶ。本大会では ILS の構成と計算性能について報告する。

### 2. ILS の構成

現在までに構築された ILS の構造を図1に示す。現行の ILS は大気モデルと結合するのではなく、外部データを入力してモデルを駆動するようになっている(オフライン実験)。

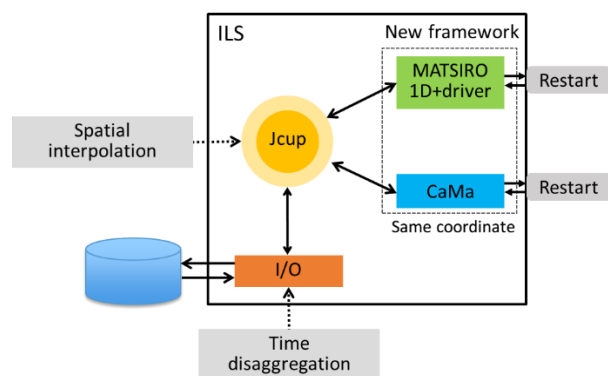
ILS の中核をなすのは MATSIRO であるが、ILS への組み込みに際してコードを全面的に書き換え、鉛直 1 次元の Column で植生や土壌を表現するようにした(MATSIRO 1D)。1次元化された MATSIRO を

水平方向に展開するのは driver レイヤで、水平方向の格子形状もこの層で規定される。これにより、一般的な緯度経度格子だけでなく地形に対応した不規則な形状の格子を表現できるようになった。

CaMa は河川モデルであり、水平方向の水の移動を表現する。CaMa の特徴とその結合については文献(2)(3)に詳述されているため、ここでの説明は省略する。

IO は外部データをファイルから入力する + MATSIRO や CaMa の計算結果を外部ファイルに出力するためのコンポーネントである。モデルを駆動する外部データには降水量や気温、風速などがあるが、これらのデータの時空間解像度は MATSIRO や CaMa とは一致せず、より粗いことが一般的である。従って、時間空間解像度の変換が必要になるが、ILS では時間補間を IO コンポーネントで、空間補間をカプラ Jcup で行うようになっている。時間補間は単純な線形内挿のほか、短波放射については各格子点での太陽高度を考慮した特殊なアルゴリズムを実装した。

図では Jcup が独立した実行単位のように描かれているが、実際には Jcup は各コンポーネントに付随するライブラリとして動作するため、実行されるバイナリは3つである。なお、IO も含めて個々のバイナリは並列化されている。



### 3. 結合方法

MATSIRO, CaMa, IO の3つのコンポーネントは並列に実行される。コンポーネント間で送受信されるデータの数と時間間隔は表1に示すとおりである。外部から駆動力として MATSIRO に渡されるデータは短

† 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

波放射、長波放射、降雨降雪、気温や水蒸気量など 8種類、MATSIRO から IO に渡される MATSIRO の計算結果は、土壌水分量や土壌温度など 57 個である。ただし、57 個のうち 11 種類については鉛直の各層を一データとして扱っているため、種類としては 29 種類になる。なお、MATSIRO が要求するデータ交換間隔が1時間毎なのに対し外部データの時間間隔は3時間であるため時間補間計算が行われている。MATSIRO から CaMa へは土壌から河川へ流入する水の量が渡される。一方、CaMa から MATSIRO へは今のところデータは渡されない。CaMa からの出力データは河口からの水の流出など 12 種類である。CaMa のデータ交換間隔は1日毎になっている。

表 1 送受信データの数と間隔

送信	受信	データ数	間隔(秒)
IO	MATSIRO	8	3600
MATSIRO	IO	56	3600
MATSIRO	CaMa	1	86400
CaMa	IO	12	86400

#### 4. 性能評価

結合した MATSIRO, CaMa, IO を用いて実行時間を測定し性能を評価した。測定に用いたマシンは東京大学の Oakforest-PACS である。Oakforest-PACS3ノードに対して MATSIRO, CaMa, IO をそれぞれ 16, 7, 8MPI プロセス割り当てた。なお、自動並列や OpenMP は用いていない。1ヶ月積分した場合の各コンポーネントの実行時間を図2に示す。図で calculation はモデルや IO の計算時間、data exchange はデータ交換に要する時間である。データ交換は通信の他に空間補間計算やバッファリングに要する時間も含まれている。

CaMa は計算量が少なく、他のモデルの通信待ち時間が実行時間の大半を占めている。IO と MATSIRO は data exchange の時間がほぼ同程度であり、2つのコンポーネントは実行時間のバランスがとれていると考えられる。

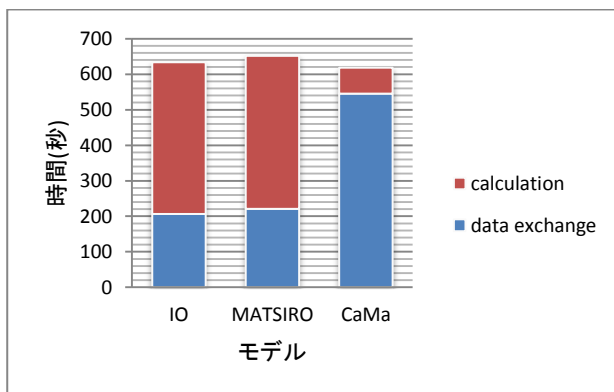


図2 3コンポーネントの実行時間

IO コンポーネントの各部について実行時間を測定した結果を図3に示す。write\_data\_mpi は MPI\_IO を用いたファイル出力、endian\_convert はエンディアンの変換計算、interpolate\_data は時間補間計算であり、ほとんどを短波放射の補間が占める。read\_data は MPI\_IO を用いたファイル読み込み、get\_data はデータバッファからのデータコピー、mpj\_set\_time はデータ交換に関わる各種処理(データ通信、空間補間、バッファリング)の時間である。moj\_set\_time の中で各ランクが同期をとる。そのため write\_data\_mpi で顕著なランク毎の差違は moj\_set\_time で吸収されるようになっている。出力するデータの種類の頻度が多いため、データ通信とファイル書き込みに要する時間割合が高いが、補間計算やエンディアン変換といった演算時間も無視できない割合を占めているため、通信、I/O、演算のそれぞれについて最適化を行い性能向上を図る必要がある。

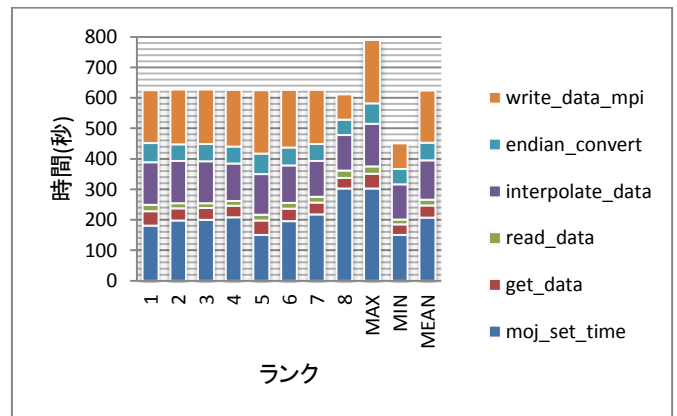


図3 IO コンポーネント各部の実行時間

#### 5. 今後の展望

今回は MATSIRO を駆動するために外部データを用いたが、今後は大気モデルと結合し、大気からの情報で MATSIRO を駆動する+MATSIRO の結果を大気の下部境界条件とするようなシステムを構築する。

(1) Takata, K., S. Emori, and T. Watanabe: Development of minimal advanced treatments of surface interaction and runoff. *Global Planet. Change*, 38, 209–222, doi: 10.1016/S0921-8181(03)00030-4.

(2) 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), 1115–1120, 2016

(3) 荒川隆, 鳩野美佐子, 芳村圭: 大気-河川モデル連成計算の性能評価. 第 15 回情報科学技術フォーラム, 富山大学, 2016 年 9 月 9 日