

並列計算機システムに向けた大気大循環モデルの並列化効率の評価

高山恒一†

Koichi Takayama

1 はじめに

高性能並列サーバーを利用する分野に気象シミュレーションがある。気象庁及び気象研究機関では、気象シミュレーションを実行した結果から日々の天気予報や数十年後の地球温暖化の予測を行っている[1]。そのため、精度の高い気象シミュレーションを高速に実行することが求められている。気象シミュレーションは並列計算機上で実行され、実行に要するプロセッサ数を増やすことにより、高速化を図ってきた。しかし、プロセッサ数を増やすと並列化効率が低下するため、プロセッサ数の増加に見合った高速化が図れない。そのため、気象シミュレーションに向けた並列計算機システムを構築する上で、プロセッサ数と並列化効率の関係性を求めることが重要となっている。

本稿では気象シミュレーションの中で最も多く使われている大気大循環モデルを例に、プロセッサ数と並列化効率の関係性をモデル化して、その評価を行う。このモデルにより、気象シミュレーションを実行する大規模システムの設計指針を提供する。

2 大気大循環モデルの概要

大気大循環モデルでは、地球の周りを3次元の規則的な格子で区切り、各格子点の風速、気温、湿度、地表面気圧といった物理量の時間変化を求めている[2]。格子点の間隔は100[Km]から数十[Km]となる。雲の中の水蒸気の運動など、格子間隔よりもスケールの小さい現象は物理モデルを使って計算して格子点データに反映させる。その上で、格子点データを使い、大気の流れを表すナビエ・ストークス方程式、気体の状態方程式、水蒸気や空気の質量保存の式、エネルギー保存の式を連立して解く。これらの方程式で用いる導関数を精度良く求めるために、物理量をフーリエ級数とルジャンドル関数といった基底関数で展開してから解く。物理モデルなど格子点データを直接使う計算部分 grid空間の計算、基底関数展開して連立方程式を解く部分を spectrum空間の計算として区別する[2]。

並列計算機上で効率良く気象シミュレーションを実行するには、各プロセッサの演算負荷の均等化を図ると共に、プロセッサ間で交換するデータ量を最小にして通信時間を削減することが必要である。大気大循環モデルの場合、物理モデルと方程式を解く部分は、鉛直方向データに依存関係がある演算を実行するため、水平方向に分割して演算すれば、プロセッサ間の通信を削減できる。ただし、基底関数で展開する部分は水平方向のデータに

関して演算の依存関係があるため、プロセッサ間の通信が必要である。4 プロセッサを用いたときの通信法を図1に

†(株)日立製作所 中央研究所

Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

示す。この方法では、grid空間のデータにフーリエ変換を行い経度座標 I を M に変えた後、データ転送を行う。その後ルジャンドル変換により、緯度座標 J を N に変換して spectrum空間のデータを求める。spectrum空間のデータから grid空間のデータを求める際は、図1(d)から(a)への操作を行う[3]。

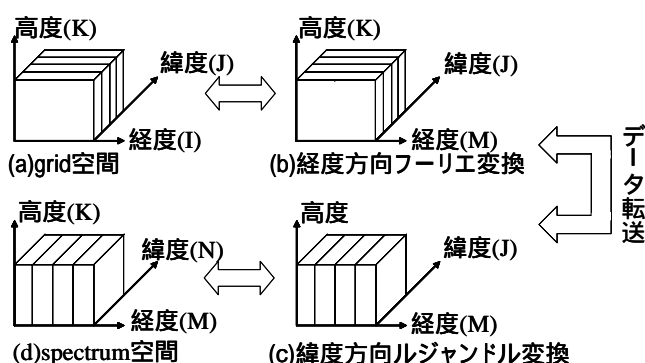


図1：4 プロセッサ使用時の通信パターン

気象シミュレーションではモデルのサイズが決まっている[1][4]。主要なサイズを表1に示す。格子間隔は、経度格子数と地球の半径から赤道上的の間隔として算出した。

No.	モデル名	経度数	緯度数	高度数	N数	M数	格子間隔[Km]
1	T170L26	512	256	26	170	170	78.2
2	T213L40	640	320	40	213	213	62.5
3	T319L40	960	480	40	319	319	41.7
4	T426L40	1280	640	40	426	426	31.3

表1：大気大循環モデルの格子数と格子間隔[1][4]

3 並列化効率評価モデル

3.1 演算部

大気大循環モデルでは、複数種の配列を用いた演算により、各格子点配列の物理量の更新を行っている。そのため、演算量は格子数に比例する。プログラムは構成法により条件分岐等の逐次処理量が変わる。これらを考慮して以下の仮定により演算部をモデル化する。

並列部：

- ・全演算量は格子数に比例すると仮定して、演算量の替わりに格子数を使う。
- ・格子数をプロセッサ数で分割して、1 プロセッサの担当格子数を求める。端数があるときは1 プロセッサが担当する最大格子数を演算量とする。

逐次部：

- ・全演算量に対する逐次処理の割合をパラメータで表し、並列部と同様に逐次処理演算量に相当する格子数を求める。

上記の並列部と逐次部を合わせて 1 プロセッサが処理する格子数を求め、1 プロセッサ実行時の格子数から並列化効率を求める。ただし、計算機上で実行する際、利用プロセッサ数によってデータ量が変化して、ベクトル化効率やキャッシュヒット率が変わり、実効性能及び並列化効率が変わる。本稿では、大気大循環モデルの一般的性質を基にした並列化効率の評価を目的としているため、ベクトル化率、キャッシュヒット率は常に一定であると仮定する。

3.2 通信部

大気大循環モデルではデータ変換部で通信を行う。各プロセッサが持つデータを均等に割り、各部分を自分以外のノードに重なり無く送信する。通信パターンは全対全通信である。ノード間で転送される物理変数は、風速、気温、湿度、地表面気圧である。これらの物理変数を倍精度実数として纏めて送信する場合の 1 回あたりの通信量を表 2 に示す。プロセッサ数によっては端数がある場合は、最も多く送信するデータ量を示す。

No.	モデル名	ノード数					
		16	32	64	128	256	512
1	T170L26	147.84	40.32	10.08	3.36	0.84	—
2	T213L40	360.64	90.16	25.76	7.73	2.58	—
3	T319L40	772.80	193.20	51.52	15.46	5.15	1.29
4	T426L40	1391.04	360.64	90.16	25.76	7.73	2.58

表 2 : 各モデルのノード数毎の 1 回あたりの通信量[KB]

本稿では、通信時間を評価するために、PC クラスタで用いられることの多い Myrinet2000 を対象に使う。Myrinet2000 の単方向通信時の実効性能データ[5]を基に通信時間を求める。

3.3 全体の評価

演算部と通信部を合わせて実行全体の並列化効率を評価する。演算と通信を共通に評価する指標は実行時間である。計算機システムを組む際のプロセッサ性能、ネットワーク性能により、演算時間と通信時間は独立に変化する。そこで、全実行時間に対する通信時間の割合をパラメータによって表し、全体の並列化効率の評価をする。モデルは以下の手順で作成する。

- 1) プロセッサ間の通信が必要となる 2 プロセッサ実行を基準に取り、全実行時間に占める通信時間の割合を指標に設定する。その上で 2 プロセッサ利用時の全実行時間を求める。
- 2) 2 プロセッサ実行時の演算時間を求め、演算部の並列化効率から、1 プロセッサ実行時の全実行時間を求める。
- 3) 1 プロセッサの演算時間と演算部の並列化効率からプロセッサ数を変えた時の演算時間を求める。これに通信時間を加えて全実行時間を求める。
- 4) 3)で求めた実行時間は仮想的な時間である。1 プロセッサの実行時間との比とプロセッサ数から並列化効率を求める。

4. 並列化効率の評価

今後の大規模システム構築を想定するため、現在気象

庁で使われている T213L40[1]の 2 倍の精度を持つ T426L40 を例に評価する。通信時間比率を 5, 10, 20%と変化させた場合の並列化効率の評価結果を図 2 に示す。

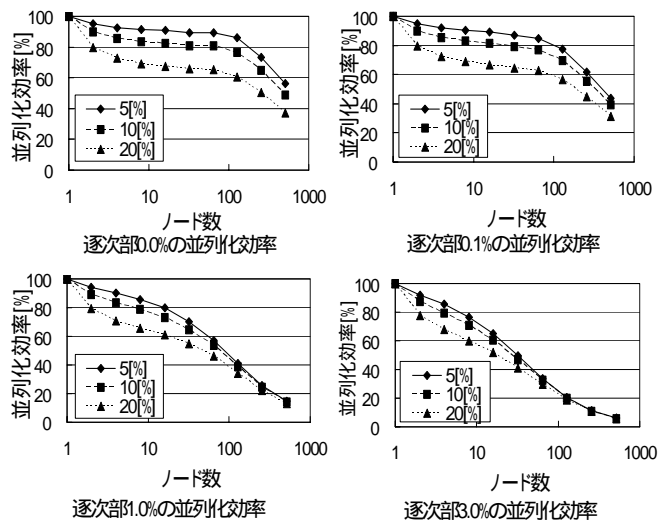


図 2 : 並列化効率とノードの関係

100 プロセッサ以上のシステムで並列化効率を 70%以上にするには、1)全実行時間に対する逐次処理が 0.1%まで削減するプログラムの作成、2) 2 プロセッサで実行したときに、通信時間が全実行時間の 10%以下になるように、ネットワーク性能の向上が必要である。

5 おわりに

提案したモデルを使い大気大循環モデルの 100 プロセッサ規模で実行する場合の並列化効率を評価して、プログラム開発指針及びネットワーク性能の指針を得た。今後、実機による評価を行う。また並列化効率評価モデルを拡張して、演算と通信がオーバーラップする非同期通信プログラムの評価、及び他の気象シミュレーションの評価を実施する。

参考文献

- [1] 気象庁予報部：“新しい数値解析予報システム”，(財)気象業務支援センタ，2000
<http://www.mri-jma.go.jp/Dep/cl/cl4/GW/GW-j.html>
- [2] 気象庁予報部：“数値予報の基礎知識”，(財)気象業務支援センタ，1995
時岡達志，他：“気象の数値シミュレーション”，東京大学出版会，1993
- [3] E. Chadwick “A hybrid parallel algorithm for the spectral transform method which uses functional parallelism”，Parallel Computing 25 (1999) 345-360
- [4] http://www.tokyo.rist.or.jp/rist/workshop/rome/exabstract/RIST2003_katayama.pdf
気象庁予報部：“全球モデル開発の現状と展望”，(財)気象業務支援センタ，2000
- [5] <http://www.myricom.com/myrinet/performance/index.html>