

A-20

並列気候モデルNJR-AGCMの スペクトル法における動的負荷分散手法

浅野俊幸 堀口進
北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

1 はじめに

近年、計算機の高速度にともなって先端科学技術分野でのコンピュータ・シミュレーションの果たす役割が大きくなってきている。特に地球温暖化やエルニーニョ等の地球規模の現象のメカニズムを解明する気候変動シミュレーションが注目されている。文部科学省と関係機関においては、地球規模の複雑な諸現象をシミュレートするために超高速並列計算機システム「地球シミュレータ(GS)」の開発と、その上で利用する気候変動シミュレーションモデルの開発を行っている[1]。GSは数百の計算ノード、メモリ4TByte以上、ピーク処理速度40TFLOPSの大規模並列計算機である。大規模並列計算機上での性能を高めるために通信負荷の軽減や均等な計算負荷分散について研究の重要性が増している。気候シミュレーションを大規模並列計算機にて実行すると、領域分割による最大並列化可能プロセッサ数の約半分で速度向上比が飽和することが報告されている[2]。また、各PE毎の計算負荷は力学過程の計算に用いられているスペクトル法や物理過程の放射の計算、また、PE間データ通信に顕著な不均衡が確認されている。また、並列計算機でシミュレーションを行う場合、一般的には専有することは難しくマルチユーザ環境での使用となる。並列プロセスを実行しているノードのうち1つでも他のプロセスと競合すると、並列プロセス全体の終了時間が影響を受ける。このような競合状態の場合、いかに実行時間の遅延を軽減させるかは大きな問題となる。従来のスペクトル法の並列化手法では、負荷(競合)による遅延に対処することが出来なかった。そこで本稿では、並列大気大循環モデル(NJR-SAGCM)を並列計算機(IBM RS/6000 SP)に実装し、ノードの負荷量を考慮したスペクトル法の負荷分散手法を提案した。

2 大気大循環モデル(NJR-SAGCM)

大気大循環モデルは、地球上の大気の流れを計算機上で再現するものである。モデルは、様々な物理法則は基礎方程式(運動方程式、状態方程式 etc)とモデルで直接表現できないサブグリッドスケールに分かれている。各々は、力学過程と物理過程と呼んでいる。力学過程は大気温度や気圧などの大気の状態を計算し、物理過程は

放射・積雲対流・地表面過程などを計算している。

3 従来のスペクトル法の並列化手法

並列化手法は領域分割法を採用している。具体的には全球を緯度線で分割し、各領域をそれぞれノードに割り当て、必要時にノード間でデータの交換を行い並列計算を実行する。スペクトル法では、空間微分の計算は波数空間で行っている。波数空間と格子空間との物理量の変換は球面調和関数展開を用いる。球面調和関数展開による格子空間から波数空間への変換は、東西方向にはフーリエ変換、南北方向にはルジャンドル変換を施す。この時、注目すべき点はルジャンドル変換に用いる領域数はフーリエ変換に用いる領域数よりも少ない点である。また、各PEの計算量も異なっている。例えばT106L20の解像度の計算では、東西方向には最大160の領域で計算できるが、南北方向には106の領域となる。従って、160PEで計算した場合にはルジャンドル変換の計算には106PEしか使わずに54PE余ってしまうことになる。つまり各PE毎に割り振られる領域数と計算量が異なることになる。そこで図1のような領域振り分けを行い、計算量の均等化が行われている。TYPE1は南北方向の領域を0,1,2,0,1,2,...と割り振り、TYPE2は0,1,2,2,1,0,...の順に割り振る。

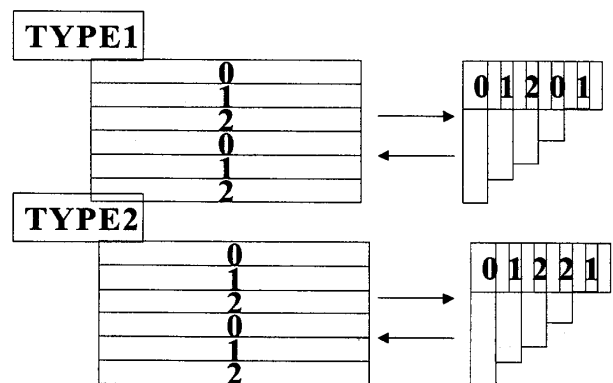


図1: 従来のルジャンドル変換の並列化手法

Load-Balancing Algorithms in Spectral Transform Method of the Parallel Climate Model
Toshiyuki Asano, Susumu Horiguchi
Japan Advance Institute of Science and Technology, HOKURIKU

4 負荷適応型負荷分散方式 (TYPE3)

並列計算機でシミュレーションを行う場合、一般的に計算機を専有することは難しくマルチユーザ環境での使用となる。このとき問題になるのは、並列プロセスを実行しているノードのうち1つでも他のプロセスと競合すると、並列プロセス全体の終了時間が影響を受ける。このような競合状態の場合、いかに実行時間の遅延を軽減させるかは大きな問題となる。従来のスペクトル法の並列化手法では、負荷(競合)による遅延に対処することが出来なかった。本稿で提案する負荷適応型負荷分散手法は、数STEP毎に各PEの負荷量を把握しこの情報を考慮し、ルジャンドル変換に用いるノードの領域割り当て順序を決定する。具体的には、決められたSTEP毎にフリー変換に使われた実行時間を集計し、これをもとに実行時間が短いノード順に順序を入れ替える。次に、このノード順に先に説明した並列化手法 (TYPE1,TYPE2) で計算領域を割り当てルジャンドル変換を行う。この時点で、競合などの負荷により計算が遅れてしまうノードは順序が後ろとなり、結果的に割り当たる計算領域が少ないか割当たらないこととなる。図2参照。このようにして、負荷があるノードになるべく計算させないように計算領域を割り当てることができる。

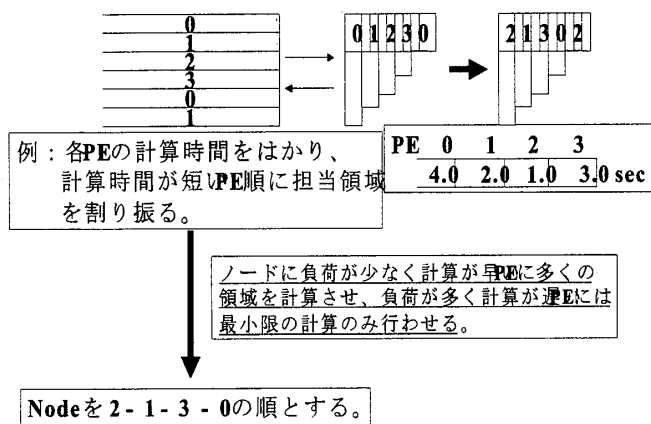


図2: 負荷適応型負荷分散手法

5 評価条件と性能評価

NJR 用の入力初期データは、等温静止大気、分解能は T106L20 とし、使用ノードは 40PE とした。並列化された大気大循環モデルを並列計算機 IBM SR/6000 SP 上でプロセス TYPE1,TYPE2,TYPE1+TYPE3,TYPE2+TYPE3 をそれぞれ単独で実行した結果を示す。ルジャンドル変換のノード入れ替えのタイミングは、シミュレーショ

ンサイクルで 3STEP 毎とした。図3は、実行ノードのうちノード2と4に対して行列計算の負荷プロセスを2プロセスずつ実行した結果である。負荷プロセスが実行されることにより PE5 - 8、PE13 - 16 は、ルジャンドル変換の計算に約倍の時間が生じている。また、TYPE1,2 に比べ TYPE1+3,2+3 はノードの負荷を考慮し、実行されるプロセスを効率よく分散させていることが確認される。このように各ノードの負荷量を収集しルジャンドル変換の計算領域割り当て順序を入れ替えることにより、負荷の多いノードを避けより負荷の少ないノードを利用し負荷を効率的に分散させることができるといえる。

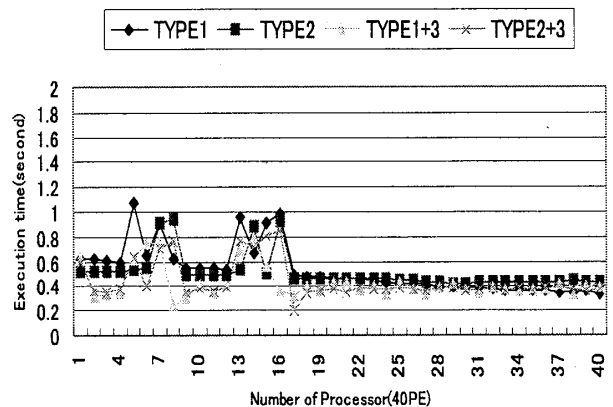


図3: プロセス競合時の性能評価

6 おわりに

本稿では、並列気候モデル (NJR-SAGCM) を並列計算機上で実行し、マルチユーザ環境という負荷の多い実行環境で各ノードの負荷量に適応した負荷分散手法を提案した。今後の課題としては、さらに多様な分解能のモデルを用いて並列計算性能を詳細に評価する予定である。

参考文献

- [1] 浅野俊幸、堀口進、”地球シミュレータ計画の現状”，北陸先端科学技術大学院大学 Research Report, IS-RR-99-0021,1999
- [2] Toshiyuki Asano, Takahiro Inoue, Susumu Horiguchi, “Parallel Performance of Global Climate Models NJR on Parallel Computers”, The 3rd International Workshop on Next Generation Climate Models for Advanced High performance Computing Facilities, pp.28-30, 2001