



“気象学における超並列処理の夜明け”

[The Dawn of Massively Parallel Processing in Meteorology Edited by G.-R. Hoffmann and D.K. Maretis, pp 376, Springer-Verlag 1990, 15, 419円]

大気や海洋の数値モデルによるシミュレーションに、スーパーコンピュータが使われるようになって久しい。評者の所属する気象庁本庁にも1987年暮れに導入されて以来、全球・領域数値予報モデルが毎日走り、明日・明後日、週間天気予報に欠くべからざる存在となっている。

最新のスーパーコンピュータは1台約1G FLOPS (ギガフロップス=一秒間に10億回の浮動小数点演算)の実効演算速度を達成していると見られる。しかし、数値予報や気候モデルにとって、現在の計算機の演算速度は未だ不十分である。例えば、現在の気候モデルの水平格子間隔4~5度では、中緯度の高低気圧を表現するのがせいぜいで、台風などは発生も維持もできない。また鉛直に5層程度では成層圏も表現されない。台風を最小限表現するため水平格子間隔を1度とし、層数を15層にするだけで、計算時間は $5^3 \cdot 3 = 375$ 倍¹となる。また10年積分をするために、現在数カ月要しているが、1週間でできるようになるのが望ましい。T (テラ=1兆) FLOPSの演算速度が要求される所似である。

しかし半導体技術の方面からは、ブレークスルーがない限り、処理速度を一桁上げることは難しいといわれている。またパイプライン制御²のような演算処理法の工夫も限界に近づいている。過去数10年の間達成してきた、2年で2倍という演算速度の向上は、従来の技術の延長では望めない状況となっている。ここに並列計算機の登場する理由がある。

並列計算機といっても大別して2種類ある。一つは主記憶を共有し、2~8台のCPUからなる並列スーパーコンピュータであり、1980年代半ばから実用に供されて

いる。もう一つは、本書の題名にもある超並列計算機である。パソコンに搭載されるようなCPUを数万個結合し並列処理する事により、G~T FLOPSの演算速度を安価に達成しようとするものである。

ヨーロッパ共同体では情報処理分野での日米との格差を解消しようと、ESPRIT (エスプリ) という先端研究計画を発足させた。本書はその一つ、超並列計算機の大気の数値モデリングへの応用に関して、1988年、ヨーロッパ中期予報センター (ECMWF) で開かれた第3回ワークショップ³の報告である。超並列計算機の構成 (アーキテクチャ) や数値演算上の問題点、ベンチマークテストの結果が示されている。また並列スーパーコンピュータ上で実行した数値予報モデルの計算時間の詳しい分析も報告されている。

並列スーパーコンピュータについては、大気モデル全体の90%強が並列化可能で、CRAY X(Y)-MPの場合、1台のCPUの場合に較べて4台のCPUで3倍強、CPU 8台で6倍の処理速度の向上が得られている。

超並列計算機では、各CPUに格子点での計算を割り当てるのに、鉛直方向には分割せず、1~数個の水平格子点上のすべての層の計算を割り当てたほうがよい。大気モデルの放射や対流などの物理過程が、各水平格子点毎に鉛直方向に行われるからである。水平移流や気圧傾度力の計算では、格子モデルなら隣接した格子、スペクトルモデルなら東西あるいは南北線上の全格子のデータを用いる。一方超並列計算機は各CPUがメモリーもっている。このためCPU間のデータの転送が必要となる。データ転送はCPU内のデータアクセスよりも遙かに遅い。このことから超並列計算機の場合、数値計算のデータ参照は局所的であるほうがよいことになる⁴。そこで、どのような数値計算法を採用すべきか、格子モデルかスペクトルモデルか、効率的な時間積分法⁵は何かという問題が生ずる。

超並列計算機の一つコネクションマシンCM2は、最大65536個のCPUと、各CPUにつき8KBのメモリーを持っている。このCM2で、東西256格子×南北256格子×32層のプリミティブモデルを、荒川のBタイプ格

¹ 水平格子点数が 5^2 倍、時間ステップ数が5倍となる。

² 大気の数値モデルでは、同一の四則演算を多数の格子点値に適用する処理が圧倒的に多い。このような処理は、多数の加減乗除演算器と多量の高速メモリーを備え、流れ作業式に処理すると高速化される。これをパイプライン制御という。

³ 第4回は1990年11月、同じくECMWFで開催されている。

⁴ データ参照の観点からは、スペクトルモデルより格子モデルが良いということになる。しかし超並列計算機のCPUの結合の方法によっては、線上の全データを参照するフーリエ変換でも、データ転送の問題なく実行できると述べられている。

子、スプリット・エクスプリシット法という時間積分法で解いた。その結果、1 CPU の CRAY Y-MP の約半分の時間で実行され、かつ、実行時間の40%が CPU 間のデータ転送に使われているという結果を与えている。

ただしこのモデルは物理過程を含まず、ベンチマークテストとしては不十分である。物理過程導入の効果として次の2点が予想される。第1点は、物理過程の計算は各 CPU 内で閉じているからデータ転送の悪影響を受けず、かえって CPU 間のデータ転送の全処理に対する比重を減らす。これは CM2 の性能の評価にはプラスである。第2点は、物理過程の計算量が格子点毎に大きく変動することである。例えば降水のように格子点毎に降ったり降らなかったりするの、ある CPU は忙しいのに、他の CPU は遊んでいるという状況を生じ、全体としての効率を減殺する。これは負の評価である。

物理過程を実行しなかった理由は、当時の CM2 のプログラムが C 言語で書かれていたため、フォートランからの移行が難しかったためであろう。また評者は、CM2 が各 CPU のメモリーとして 8 KB しか持たず、物理過程を実行する作業領域が取りにくいことを付け加えた。

この様なベンチマークテストの評価は非常に難しい。上に述べたように、物理過程を導入したフルモデルのテストがされていない。また特定の計算機のためにプログラムを効率化すると数割も演算速度が向上するし、採用した数値計算法にも大きく依存するという問題もある。

遠い将来、超並列計算機が主流となり、大気の数値モデルの分解能がさらに増強されれば、エクスプリシット⁶なセミラグランジュ時間積分法⁷による格子モデル⁸が登場することになると評者は見る。しかし90年代後半に数十台並列のスーパーコンピュータと超並列計算機

のどちらが優勢となるかは予断を許さない。また数値モデルについても格子点法が良いかスペクトル法がよいかを含めて不確定である。

現今の並列スーパーは、スペクトルモデルの格子点を南北に帯状に分割して計算している。物理過程計算の変動から生ずる CPU の遊びを増やさないためには、この分割数はあまり多くない方がよい。しかし大気モデルの空間分解能が増し、格子点数がますます多くなれば、スペクトル法であっても数十台の並列スーパーコンピュータを効率的に使える可能性がある。よって現在流行しているスペクトルモデルがしばらく生き残るかもしれない。

超並列計算機の弱点としては、並列化のための言語が機種によって異なるため異機種間の移行が難しいこと、機種によってはプログラムのデバッグが難しいこと、超並列計算機を供給する会社が現段階ではベンチャービジネスが主体で長期的メンテナンスに不安があること等が上げられている。最後に上げた点と、計算機の信頼性(故障の少なさ)は定常業務として利用するセンターにとっては決定的に重要なポイントである。

日本でも超並列計算機の開発が通産省のプロジェクトとして今年度調査費がつき、来年から発足する予定である。超並列計算機の CPU やメモリアクセス等のアーキテクチャが固まっていないのは、開発がまだ“夜明け”の段階にあるからか、それとも問題毎に最適のアーキテクチャを求めると時代なのか? もし後者なら、数値モデルの開発者もなんらかの関わりを持つ必要があると思われる。

本書には計算機の知識がないと理解し難い部分もあるが、上に述べたように、超並列計算とモデリングに関する多くの問題点を指摘しており、非常に有益である。

⁵ セミインプリシット対エクスプリシット法などの選択がある。セミインプリシット法はエクスプリシット法よりも3倍程度長い積分時間間隔をとることができる。しかしセミインプリシット法を用いると、ラプラスの方程式を解くという計算が必要になる。スペクトルモデルの場合この計算は非常に簡単である。しかし格子モデルでは、この計算は逆行列を求めるという速く離れた格子点を参照するような計算となり、計算時間がかかる。

⁶ 脚注5に述べたように、セミインプリシット法による格子モデルでは、逆行列を求めるという全格子を参照する演算が必要になり、局所的データ参照を求める超並列計算機に馴染まないと思像する。

⁷ 従来のオイラー法に比較し、気塊の軌跡を追うセミラグランジュ法は、積分時間間隔が数倍程度長く取れる。ただし元の連続方程式の保存性を満たさないことが、長期積分の際の欠点とされている。

⁸ 全球スペクトルモデルでは、物理空間(格子)と波数空間の間の変換が大きな割合を占める。この変換はフーリエ変換とルジャンドル変換からなる。後者は水平分解能の3乗に比例して計算量が増える。今後モデルの分解能が増すと、計算量がほぼ水平分解能の2乗に比例する格子モデルに比べて、スペクトルモデルは不利になる。しかしいかなる分解能でモデルの交替が起こるかは、他の要因もあっていちがいに言えない。

参考文献

Kauranne, T., 1991: A view on massively parallel

computing. ECMWF Newsletter, 53, 16-34.

(気象庁数値予報課・佐藤信夫)

第25回夏季大学実施報告

第25回を迎えた夏季大学は、例年通り1991年8月5～8日に気象庁講堂で、「人工衛星から地球を探る」をテーマとして開催した。参加者は64名で、例年より十数名少なかった。これは、雲仙岳の活動状況によっては、気象庁講堂が使用できなくなる可能性が考えられ、募集活動を手控えたためである。期間中の欠席者は数名程度で、終始熱心に受講していた。しかし、最終日は参加者がやや少なく、アンケートの回収率が下がった。本年度の講義は次のとおりであるが、講師の村山氏が急病のため、代講を依頼して急場を凌いだ。

8月5日「気象の測定・その現状と将来（村山信彦氏、代講：松原廣司氏）」

8月6日「ひまわりから見た気象現象（鈴木和史氏）」、「地球のモニタリング（村井俊治氏）」

8月7日「天気図実習（基礎編及び演習）（嶋村克氏）」

8月8日「気象教育の現状と問題解決への一方策（浦野弘氏）」、「ひまわりの連続画像（解説：瀬上哲秀委員）」等ビデオと映画

以下にアンケートの集約の一部を紹介する。

アンケート回収 52名（内訳：会員 29, 非会員 23）

構成（教員29；大学2, 高校18, 中学6, 小学3）

（学生13；大学11, 高校1, 専門学校1）

（気象関連業務2）,（その他8）

年齢層 ①10代；2, ②20代；15, ③30代；16, ④40代12, ⑤50代以上；7

目的①教材研究 23, ②業務上の参考 7, ③教養または趣味 28

参加回数 ①23, ②11, ③4, ④回以上14（最多 22回）

申し込み ①天気 23, ②気象 16, ③ 地学教育 3,

④ダイレクトメール 11, ⑤TV 12

受講料 ①高い 4, ②適当 46, ③安い 4

開催時期は 今回の時期 8月上旬が 34, 7月下旬は 13

以上のように、開催時期は学校の夏休みが始まったすぐの適当な時期がよいようだが、年数回の開催や通年開催を希望する声も出始めてきている。

さらに運営上考えるべき課題として、OHP を使った講義の技術を確立することがある。OHP のみで長時間講義を続けると、メモがとれない、図が手元に残らないので復習ができない等の不満が多くなる。講義内容の程度や関心度は比較的好評なので、講義技術については今後依頼する講師の方々に改善をお願いしていくこととしたい。

その他に、夏季大学受講者同士の交流の場や、受講者と講師との交流の場を考えて欲しい旨の希望があった。少数の講師で講義を構成するならばその可能性が出て来るが、限られた時間を何に重点をおいて運営するかという運営の基本に係わる課題である。また、気象庁見学は、当然のことだが既に数回参加した人から、毎年同じとの不満があり、さらに他の気象機関の見学希望もみられた。一方では、庁内見学は総じて好評で、質問に誘発される熱心な説明で時間超過したところも多かった。以上のように、運営上の基本姿勢については25回の実績を一方では踏まえるが、それに拘らないものを当委員会で検討していきたいと考えている。

今後のテーマに関する希望は、「地球環境と気象」、「生物、農業、産業と気象等の応用気象関連」の他に「天気予報」も散見される。第2の四分の一世紀に入る次回には、再び初心に帰ってテーマの設定をしてはどうかと考えている。

アンケートには、この他一つ一つ貴重な意見をていねいに記入して戴いた。全てをここに紹介できないが、今後の運営に生かしていくつもりである。

(教育と普及委員会)

なおテキストに残部があり、購入希望を付けています。