

Title	共有メモリ型計算機による流体問題解析の並列計算
Author(s)	黒川, 原佳
Citation	
Issue Date	1999-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/1242">http://hdl.handle.net/10119/1242</a>
Rights	
Description	Supervisor:松澤 照男, 情報科学研究科, 修士

# 共有メモリ型並列計算機による 流体問題解析の並列計算

黒川 原佳

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

1997年2月15日

キーワード： 共有メモリ型並列計算機, 並列計算, スレッド, 数値流体力学.

## 1 研究の背景と目的

近年共有メモリの並列計算機、特に SMP (*Symmetric Multi - Processor*) 型の計算機の普及は著しい。特に SMP システムの構成が容易な小規模及び中規模なシステムは、目を見張るものがある。

しかし、ハードウェアの普及は目覚ましいものの、ユーザーレベルにおける効率的なプログラム作成の方法は必ずしも確立されていない。通常並列計算システムにおいては、MPI (Message Passing Interface) など通信ライブラリを用いるという並列計算プログラムの方が確立されつつあるが、SMP などの共有メモリシステムにおいては通信をする必要がない。そのため共有メモリシステムでも様々なプログラムモデルが提案されている。その一つがスレッドである。

共有メモリシステムにおいて共有メモリプログラムモデル (スレッドなど) を用いる利点が多い。MPI などの通信ライブラリでは、通信とデータインデックスを考える必要があり、プログラミングを考えた場合非常に面倒である。共有メモリシステムでは共有データへのアクセスの同期を考えるのみである。分散メモリシステムでは、通信で同期を取っていることが同義である。通信と同期のコストを比べると、同期の方が通信を用いる場合に比べてコストがかからない。また、プログラミングも通信を考えるより、同期のみを考える方が容易である。共有メモリシステムと共有メモリプログラムモデルを用いることで、

以上のように、普及が著しい高性能な共有メモリ型の計算機を数値計算特に数値流体力学 (CFD : Computational Fluid Dynamics) のような科学技術計算に有効に利用したいと

考えた場合、現状のままでは利用し易く、計算効率の高い並列計算機とは言えない状況である。

データ依存性が強い流体解析問題である場合や負荷量が計算領域内でまちまちであるような問題が多く、分散メモリシステムでは、通信時間が多く高並列時の弊害となっているが、共有メモリシステムとスレッドによる同期を用いるプログラムを考えた場合、通信時間より少ない同期時間に置き換えることができる。これらを利用する利点は多いと考えられる。

本研究では、共有メモリシステムでの数値解析、特に流体問題解析での利用方法を示し、ハードウェアの普及に見合あった効率的な利用方法を提案する。そして、その実装と実際問題への適用を行なう。

## 2 スレッドプログラム

スレッドプログラムとは共有メモリプログラムモデルを用いて並列処理を行なうプログラムの一種である。共有メモリ型並列計算機において、スレッドを用いる利点は多く、プロセスを用いるよりリソースを節約できるためプロセスを複数生成するよりスレッドを生成する方がハードウェアの効率がよい。

## 3 同期機構

分散メモリ型並列計算機ではメッセージパッシングを用い、データ並列やパイプライン並列処理などを記述することは容易であるが、共有メモリ型並列計算機では、まだプログラミングの方法が整備されておらず、実問題を解析する前に実装すべきプログラムがある。

共有メモリ機構を持つ計算機システムにおいて並列プログラミングを行なう場合、排他制御、同期制御が非常に大きな役割を果たす。しかし、Pthread ライブラリでは、排他制御プリミティブは提供しているが、バリア同期などの大域的な同期や MPI ライブラリでの *send, recv* に相当する 1 対 1 のデータアクセスの同期は提供されていない。これらを実装することは、共有メモリ型並列計算機を利用するために不可欠であり、アルゴリズムの実装においてプログラミングのコストを下げる事が出来る。

通常スレッドプログラムの同期には、大域的に同期を取るバリア同期が用いられる。共有メモリのバリア同期には、すでに多くの文献が存在する。バリア同期には計算フェーズを揃えて、ネットワークやその他資源の不必要な混乱を解消することができるというメリットがある。しかし、大域的な同期であるためのコストが大きい。そのため、共有メモリ計算機での局所的な同期機構を用いることを考える。このような同期方法を用いた場合、パイプライン並列処理を用いた計算などを行う場合、バリア同期などの大域同期を用いる必要はない。そして、本来並列には向かないアルゴリズム内部の並列性を利用して並

列処理できるようになり、更に高速な実行を行える可能性がある。

## 4 実験と考察

SMP 型並列計算機および共有メモリシステム全体においてパフォーマンス向上が望める方法の検討を行なう。しかし、CG 法はベクトル演算が主となり、高速なメモリアクセスの能力が必要となる。つまり、PVP などのベクトル計算機やメモリシステムが強化されたシステムにおいて有効である。また、SMP システムでは、データ参照の局所性を引きだし、キャッシュの再参照性を上げて、メモリ参照能力を疑似的に上昇させ RISC プロセッサの能力を引き出すプログラミングが必要である。そのためには、巨大なベクトル演算を行わねばならない CG 法のような反復解法は SMP システムでは有効ではない。そこで、SOR 法に基づいて、パイプライン処理によって解く方法で、圧力の Poisson 方程式を高速に解く方法を検討した。

その結果、良い並列効率が得られた。また、メッセージ通信を用いた場合、効率が非常に悪くなってしまいうような、分割粒度の細かな場合、領域分割法と MPI 場合と較べると、非常に良い結果である。理由としては、局所同期による並列付加時間を低減できたためと考えられる。また、問題規模を大きくした場合、効率が 100% を越えるような場合も見られた。これは、SOR 法をパイプライン的に解くことによって、データ参照の局所性が引き出せ、キャッシュを有効に利用した結果であること、1Thread(1PE) での実行結果がかなり低調であるということが考えられる。

## 5 今後の課題

現在の時点で、並列化効率としては、ある程度の結果が出ている。また、共有メモリの PVP システム上でも同程度の結果が得られている。今後、さらなる流体解析の高速化を考えた場合、以下のようなことが必要である。

- 圧力の Poisson 方程式を解く段階で得られる、大規模  $n$  元連立方程式の係数行列に前処理を施し、最も計算時間を要する解析を高速化する。
- 前処理の並列化も同時に行ない、更に高速計算を行なう。
- 一般問題への適用とそれに伴う三次元の大規模問題への適用。

現実社会への結果のフィードバックを考えた場合、以上のことを考えなければならない。