

日本応用数学会「2008 秋の学校」：科学技術計算のためのマルチコアプログラミング入門

中島研吾

東京大学情報基盤センター

1. はじめに

本稿は、2008年12月3日（水）・4日（木）に日本応用数学会、東京大学情報基盤センターの共催で、東京大学情報基盤センター遠隔講義室（本郷）において開催された『日本応用数学会「2008 秋の学校」：科学技術計算のためのマルチコアプログラミング入門』の開催報告である。

2. 概要

近年マイクロプロセッサのマルチコア化が進み、様々なプログラミングモデルが提案されている。中でも OpenMP は指示行（ディレクティブ）を挿入するだけで手軽に「並列化」ができるため、広く使用されており、様々な解説書も出版されている。メモリへの書き込みと参照が同時に起こるような「データ依存性 (data dependency)」が生じる場合に並列化を実施するには、適切なデータの並べ替えを施す必要があるが、このような対策は OpenMP 向けの解説書でも詳しく取り上げられることは余り無い。本講習会では、「有限体積法から導かれる疎行列を対象とした ICCG 法」を題材として、科学技術計算のためのマルチコアプログラミングにおいて重要なデータ配置、reordering などのアルゴリズムについての講習、実習を実施した。

筆者は本学理学系研究科（地球惑星科学専攻）で 2004 年度～2007 年度の間、冬学期に開講された「先端計算機演習 II」において、日立 SR8000、日立 SR11000/J2（東京大学情報基盤センター）¹等の共有メモリ型並列計算機を対象とした OpenMP による並列化についての同様の講義、演習を実施しており [1]、2007 年度には本「スーパーコンピューティングニュース」に「OpenMP によるプログラミング入門 (I～III)」 [2～4] を連載している。

今回は、2008 年 6 月より稼動を開始した、「T2K オープンスパコン（東大）(HA8000 クラスシステム)」 [5] を念頭において、最近のマルチコアプロセッサへの適用を念頭において、内容を一新した。更に希望者には、T2K オープンスパコン（東大）の講習会用アカウントを発行して実習も実施した。受講者にノート PC を持参してもらい、無線 LAN 経由で T2K オープンスパコン（東大）を使用した。

本センターではスパコンによる実習を含む講習会を 2007 年度から開催しており、2008 年 9 月からは T2K オープンスパコン（東大）を使用した講習会も実施している。これまでは、スパコンの利用資格者（学生、教育機関・研究機関教職員）に限定してきたが、2008 年 10 月より、社会貢献の一環として企業ユーザーもスパコン利用が可能となっている。今回は、企業ユーザーに門戸が開かれてから最初の講習会であった。

¹ <http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/>

3. 本講習会の理念

本講習会のスケジュールを表 1 に示す。12 月 3 日（水）の午後、12 月 4 日（木）の正味 10 時間弱の講義であるが、その中で目を引くのが、対象となるアプリケーション（有限体積法、ICCG 法）に 2 時間、オーダリングのアルゴリズム、実装について 3 時間と合計半分程度を占めていることである。それに対して、OpenMP の文法に関わる部分はごく少ない。

表 1 科学技術計算のためのマルチコアプログラミング入門 スケジュール

12 月 3 日（水）	1300～1310	開会
	1310～1330	T2K オープンスパコン（東大）の概要，ログイン（講師：中島研吾（東京大学情報基盤センター））
	1330～1530	有限体積法，ICCG 法によるポアソン方程式ソルバー（講師：中島研吾）
	1545～1700	OpenMP「超」入門+実習（講師：中島研吾）
12 月 4 日（木）	0900～1200	オーダリングについて（講師：中島研吾）
	1300～1600	OpenMP による並列化実装，T2K オープンスパコン（東大）での最適化（講師：中島研吾）
	1630～1730	実習（講師：中島研吾）

筆者は科学技術計算プログラミング教育について以下の 2 点が重要であると考えており、本講習会もこれに基づき実施した：

- ① 科学技術計算の真髄は「SMASH = Science, Modeling, Algorithm, Software, Hardware」[6] にあり、各カテゴリーについてバランスよく学ぶことが重要である（図 1）
- ② 実アプリケーションのソースコードを「読む」ことがプログラム開発能力を効率的に高める方法である。

①について、本講習会は「マルチコアプログラミング入門」と言うタイトルであるが、対象となるアプリケーションをよく理解し、それに適した並列化戦略、アルゴリズムを選択することが最も重要であると考えている。本講習会の構成、内容はタイトルから予想されるものと些か異なっているため、受講者も最初は戸惑ったようだが、途中から意図するところを理解してくれたようである。時間の制約もあるため、アプリケーションは一種類に限定しなければならないため、汎用性に乏しいという危惧もあるが、「データ依存性」を克服するための手法としてはごく一般的な手法を紹介しているため、色々な分野に応用は可能であると考えている。

②について、これまでの筆者の経験では、断片的な知識や経験を積み重ねても中々実際に使い物になるアプリケーションの開発能力は身につかない。実アプリケーションのソースコードを読む、それも各自の自習に任せるのではなく講義、演習の中で、講師が逐一「解説する」ということが、効率的に開発能力を高める教育方法の一つである。その場ではわからなくても、一

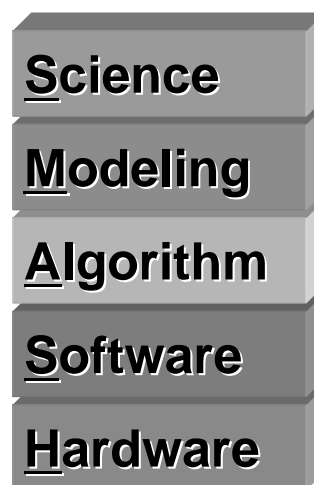


図 1 SMASH：科学技術計算の真髄

回詳しく解説しておけば、あとで自習して理解できる可能性は高くなる。

実際には、対象となるアプリケーションが余りに大規模、複雑であったり、背景となる「Science」が特殊なものであったり、難解であったりすると教材として扱うことは困難なので、「実アプリケーション」と同じデザインに基づき、本講習会でとりあげた「有限体積法、ポアソン方程式」のような比較的容易に理解できる内容で、教材用のサンプルプログラムを別途用意するのが通例である。

本講習会で使用した資料、サンプルプログラムについてはウェブページ²から取得可能である。また、本号に関連記事〔7〕が掲載されているので、そちらも併せて参考にされたい。

4. 受講者の感想等

合計 48 名の事前登録者があり、延べ 41 名が受講した。所属の内訳は表 2 に示すとおりである。企業から 14 名と全体の 3 分の 1 に達する受講者があった。挙手によるアンケートでは、半分以上が科学、工学のアプリケーション分野の専門家ということであった。

2 日目も 35 名以上が出席し、熱心に聴講し、活発な質疑が行われた。写真 1 は当日の講義、実習風景である。35 名以上が無線 LAN 経由で T2K オープンスパコン（東大）へ接続して実習に参加した。最初のうちこそ、鍵認証がうまく行かない等の問題が散見されたものの、回線容量不足なども起こらず、概ね滞りなく終了した。

表 2 科学技術計算のためのマルチコアプログラミング入門 受講者の内訳

所 属	人 数	うち日本応用 数理学会員
学部学生	5	0
大学院生	4	1
大学教職員	9	3
研究機関	9	2
企 業	14	2

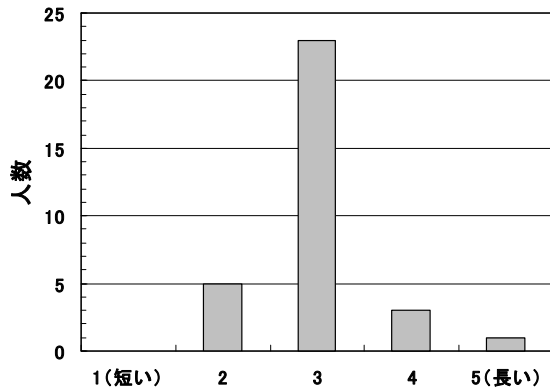


写真 1 講義，実習風景

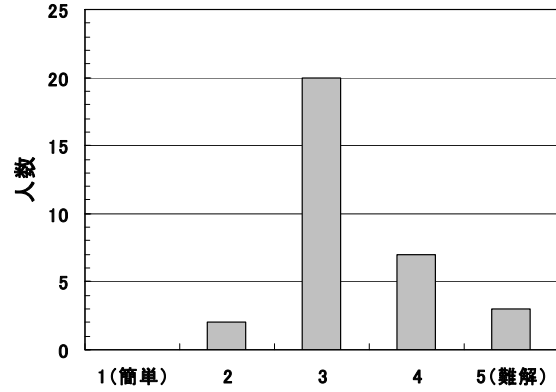
² <http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/seminars/0812-JSIAM/>

講習会終了後にアンケートを実施した。図 2 は質問項目と回答（5 段階評価）の人数分布である。なお、アンケートの回収数は 32 であった。

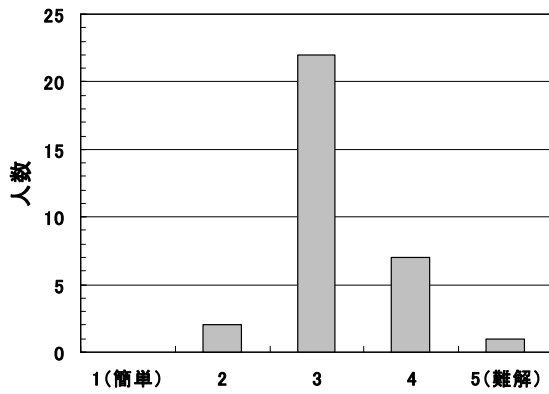
(a) 講習会時間について



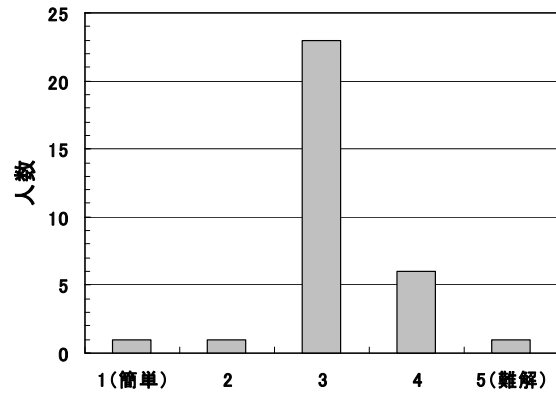
(b) 講習会講義内容（プレゼン）について



(c) 配布資料内容について



(d) サンプルプログラム内容について



(e) 満足度

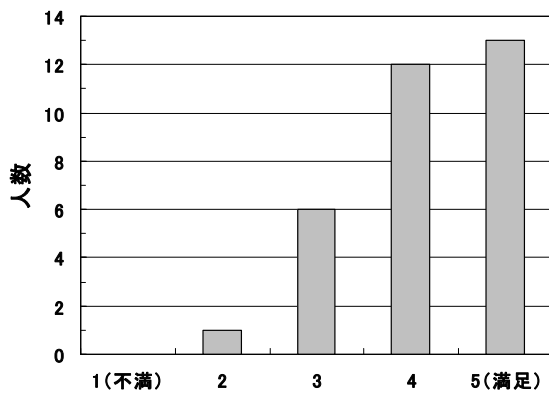


図 2 アンケート集計結果

全体的な満足度は高かったようで（平均値は 4.16）、時間、内容のレベルも適切だったようである。アンケートの自由記述部分には、以下のような当方が期待したような感想もいくつか見られた：

- これまで OpenMP を使っても中々うまく行かなかったが、今回の講習会で Ordering や First Touch のことを知ってどのようにすればよいかわかった（7名）

- 対象となるアプリケーションからアルゴリズム、実装、最適化までの一連の流れがよくわかり、イメージがつかみやすかった（5名）
- これだけ詳細にソースコードの内容を丁寧に説明してもらった機会は初めてで、とてもわかりやすかった（4名）

一方で：

- 今回説明してもらったことでどのようにすれば良いかはよく分かったが、全て自分でやるだけの時間も経験もない。最適化されたライブラリのようなものを整備して公開してほしい。

というような意見もあった。

「満足度」で評価が「3」未満の受講者中で、自由記述部分のコメントは以下のようなものがあつた。

- 進行が早くついていくのが大変だった（2名）
- 中級・上級用も実施してほしい（1名）（「簡単すぎる」ということか？）

本号の関連記事〔7〕にも示したように、T2K オープンスパコン（東大）を使用している最適化にある程度の時間を割いたのであるが、この部分については賛否が別れ、「特殊な例なので、ごく簡単な紹介でよい」、「効率が思ったほど上がっておらず、トライしてみようという気持ちが無くなった」というような厳しい意見もあった。

その他、会場、進行については「人数に対して部屋が狭すぎる」、「休憩が少ない」などの意見もあり、今後の検討課題としたい。

今後開催してほしい講習会としては、GPGPU（2名）の他、Hybrid 並列プログラミングへの要望が多数あり、質疑応答の際にも多くの質問が寄せられ、この分野への関心が高まっていることを強く感じさせられた。

謝辞

本講習会では、計算結果の可視化用ソフトウェアとして、株式会社ケイ・ジー・ティー社製「MicroAVS」教育用バージョンを無料で利用させていただいた。この場を借りて、関係各位に篤く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- [1] 中島研吾（2007）、Hitachi SR11000 を利用した並列プログラミング教育：東京大学 21 世紀 COE プログラム 多圏地球システムの進化と変動の予測可能性，スーパーコンピューティングニュース（東京大学情報基盤センター） 9-3
- [2] 中島研吾（2007）OpenMPによるプログラミング入門（I），スーパーコンピューティングニュース（東京大学情報基盤センター） 9-5
<http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/publication/news/VOL9/No5/200709OpenMP.pdf>

- [3] 中島研吾 (2007) OpenMPによるプログラミング入門 (II), スーパーコンピューティングニュース (東京大学情報基盤センター) 9-6
<http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/publication/news/VOL9/No6/200711OpenMP.pdf>
- [4] 中島研吾 (2008) OpenMPによるプログラミング入門 (III), スーパーコンピューティングニュース (東京大学情報基盤センター) 10-1
<http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/publication/news/VOL10/No1/200801OpenMP.pdf>
- [5] HA8000 クラスタシステム 利用の手引 (東京大学情報基盤センター)
<http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/ha8000/ha8000-tebiki.pdf>
- [6] 中島研吾 (2008) 究極の「並列プログラミング教育」を目指して：地球惑星科学専攻での4年間と「学際計算科学・工学 人材育成プログラム」, スーパーコンピューティングニュース (東京大学情報基盤センター) 10-3
<http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/publication/news/VOL10/No3/200805nakajima.pdf>
- [7] 中島研吾 (2009) T2K オープンスパコン (東大) チューニング連載講座 (その5), OpenMPによる並列化のテクニック：Hybrid 並列化に向けて, スーパーコンピューティングニュース (東京大学情報基盤センター) 11-1