

## [報告]

## 創造工学研修の実施報告

— スパコンを使って計算科学・計算機科学のおもしろさを体験 —

滝沢寛之<sup>†</sup> 江川隆輔<sup>‡</sup> 笹尾泰洋<sup>†</sup> 佐野健太郎<sup>†</sup> 山本悟<sup>†</sup> 小林広明<sup>‡</sup><sup>†</sup> 東北大学大学院情報科学研究科 <sup>‡</sup> 東北大学サイバーサイエンスセンター

## 1. はじめに

東北大学サイバーサイエンスセンターでは、計算科学・計算機科学分野での教育貢献・人材育成を目的として、大学院・学部における講義実習等の教育目的でのスーパーコンピュータ利用に対する負担金(利用料金)免除プログラムの試行が平成 20 年度から始まりました。この制度では、ベクトル並列型スーパーコンピュータ NEC SX-7C システムを教育目的に利用することができます。東北大学サイバーサイエンスセンターの SX-7C は 5 ノード(40CPU)構成で、合計 640Gflop/s の理論演算性能と 640GB のメモリ容量を有するシステムです。同制度を利用することによって、ベクトル化、共有メモリ型並列処理(OpenMP 等)、分散メモリ型並列処理(MPI 等)など、計算科学分野のシミュレーション開発で広く用いられている様々な高速化技術を実際のスーパーコンピュータを使って学ぶことができます。

本稿では、同制度を利用して行われた東北大学工学部 1 年生向けの研修について報告します。

## 2. 創造工学研修 「君もスパコンプログラマ ～SX から PS3 までを使いこなす～」

東北大学工学部では、創造性を養うことを目的として学部 1 年生を対象に少人数制の授業科目「創造工学研修」を実施しています。学生は多彩なテーマの中から自分のやりたいテーマを自由に選択して取り組むことができます。平成 20 年度には、151 種類もの研修テーマが用意されました。以下、創造工学研修に関する説明を東北大学工学部のウェブページから抜粋します。

本研修は学生が自らの意志と発想により、与えられた課題あるいは自ら設定した課題について着想力と想像力を駆使して問題解決の道筋を模索し、実現するための方法・手段を学ぶことに意義があり、特にその『過程』を重視しています。学生諸君が、様々な分野において独創的な研究で世界をリードしている教官の助言・指導のもとに、「研究」の香りをかきながら、グループ研修の「コミュニケーションとチームワーク」を楽しみ、「発見」に驚き、「創造」の喜びを味わうことができる絶好の機会です。また、研修テーマは学生の所属系によらずに選択ができるようになっており、幅広い知識を習得する場でもあります。

筆者らは、この研修に平成 18 年度から参加しました。平成 18 年度には東北大学情報シナジーセンター(現在のサイバーサイエンスセンター)に設置されていた NEC SX-7 システムを用い、ベクトル化の効果を確かめる研修を行いました。また、平成 19 年度には、SCEI PlayStation3(PS3)に搭載されている Cell Broadband Engine(CBE)プロセッサを用いて、(理論性能上は)スーパーコンピュータに匹敵するような性能を有するコンピュータが身近にもあることを体験してもらいました。

これら 3 年間を通じて、筆者らが開講してきた研修における一貫した目的は以下の通りです。

コンピュータの動作原理からソフトウェア開発の実際までを学び、プログラム作成のための基礎知識を身につける。さらに、様々な工学分野で重要な役割を果たしている数値シミュレーションの基礎を学び、それを題材として実用的なプログラムの作成に挑戦し、その重要性和難しさを学ぶ。

# スーパーコンピュータを使うには？



図1 研修におけるスーパーコンピュータ利用方法

平成 20 年度には、創造工学研修として、「君もスパコンプログラマ ～SX から PS3 までを使いこなす～」というテーマを企画しました。4 日間の集中講義と約 1 ヶ月間の自習(週 1 回)という実施形態で、基礎的な数値計算の高速化に挑戦するという形式で研修を行いました。まだ通常の C 言語ですら学んでいない学部 1 年生にとって本テーマで扱う内容が難しいことは当初から予想されましたが、とにかくスーパーコンピュータを使ってもらうことでより多くの学生が計算科学・計算機科学に興味を持ってもらうことを期待して行われました。定員枠 10 に対して定員通り 10 名の学生が履修登録を行い、9 名の学生が実際に受講しました。

### 3. 研修の概要

この研修を遂行する上で必要不可欠な知識やコンピュータの使い方をわずか 4 日間の集中講義で教えるのは大変難しいことでしたが、簡単なループ計算を OpenMP で並列化し、その効果を見ることを最終目標にして以下のような日程で集中講義を行いました。

#### 9 月 22 日

13:00～14:30 全体説明 (担当者：滝沢寛之)

本研修の主旨や日程、実施方法などを説明しました。

14:40～16:10 UNIX の使い方 (担当者：江川隆輔)

サイバーサイエンスセンター5 階端末室の使い方に関する講義です。端末室に設置されている Windows PC 上で X サーバのソフトウェアを起動して UNIX システムを遠隔利用する方法から始まり、ファイルシステム、ファイル操作、プログラムのコンパイルと実行の方法について説明しました。

研修におけるスーパーコンピュータ利用方法の概略を図 1 に示します。広く普及している Linux システム(図 1 中の io.isc.tohoku.ac.jp)をフロントエンドとして利用しますので、使い慣れたツール群を使ってプログラミングを行うことができます。プログラミングやファイル操作などは Linux システム上で行い、クロスコンパイラによって SX-7C 用の実行ファイルを作成し、その実行のみを SX-7C 上で行いました。

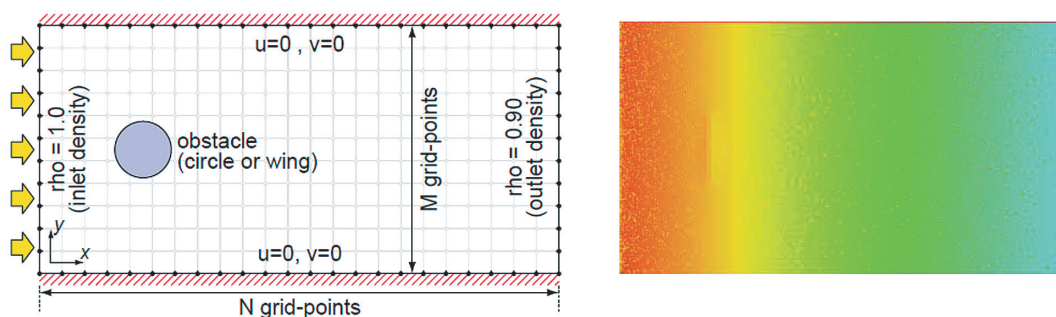


図2 研修で対象とした2次元流体シミュレーション

## 9月24日

13:00~16:10 C言語入門 (担当者: 笹尾泰洋)

ニュートン法やマチンの公式に基づく円周率の計算を題材にして、本研修を進めていく上で必要不可欠なC言語の基礎を説明しました。具体的には、

- ✓ Makefile の仕組みとコンパイル
- ✓ ヘッダファイル
- ✓ 関数
- ✓ 配列
- ✓ ポインタ

について、学部1年生が理解しやすいように配慮しながら説明しました。

## 9月25日

13:00~16:10 数値解析入門 (担当者: 佐野健太郎)

数値計算例として、2次元流体シミュレーションをフラクショナルステップ法で行うコードを説明しました(図2参照)。サンプルコードでは、実行時間の90%以上が圧力を算出するためのポアソン方程式の計算(ヤコビ法)で費やされていることを示しました。

## 9月26日

13:00~14:30 スパコンとは (担当者: 小林広明)

スーパーコンピュータで使われている高速化技術と、それを利用するためのソフトウェア開発の概要を紹介しました。

14:40~17:50 OpenMP 入門 (担当者: 滝沢寛之)

並列処理の必要性と、それを実現するためのプログラミング手法の一つとしてOpenMPの基礎を説明しました。上述の2次元流体シミュレーションのコードを題材として、計算時間を費やしている部分を特定し(図3)、その部分を並列化することでOpenMPによる高速化の効果を確認しました。

上記の集中講義で得た知識や研修中に貸し出した参考文献に基づいて、受講学生はおよそ1ヶ月の間、週一回のペースで図2の2次元流体コードの高速化に取り組みました。「着想力と想像力を駆使して問題解決の道筋を模索し、実現するための方法・手段を学ぶことに意義があり、その過程を重視する」という創造工学研修の趣旨を踏まえ、受講学生は3人一組でチームを組み、それぞれ独自に高速化を試みました。

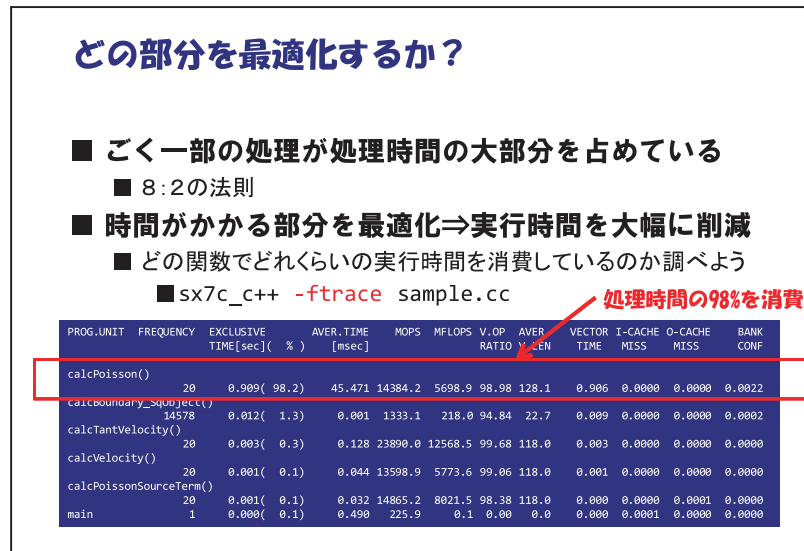


図 3 性能解析方法の説明

各グループ共にポアソン方程式の計算をヤコビ法から他の解法に置き換えるなどの試みをしました。ガウスザイデル法を使うことで、ヤコビ法で記述されたサンプルコードよりも反復回数を減らすことに多くのグループで成功しましたが、そのままでは並列化できないために実行時間を短縮するのは難しかったようです。

なお、研修テーマ名にもあるように、筆者らの研究室にある PS3 を使って同等の 2 次元流体シミュレーションコードの高速化に挑戦してもよいと言ったのですが、CBE プログラミングを希望したグループは残念ながらありませんでした。

本研修に関する筆者らの反省点・今後の課題として、C 言語も十分に習得していない学部 1 年生に対する適切な課題設定が挙げられます。平成 18 年度の創造工学研修では、課題が簡単すぎて工夫の余地がなくなっていました。一方、平成 19 年度の創造工学研修では、CBE プロセッサの性能を活かすために様々な知識が要求されるため、一般的な学部 1 年の学生には理解が難しい内容になってしまいました。平成 20 年度、研修時間が限られている割には健闘したグループもありましたが、最終的に実行時間の短縮には至らなかったことから、もう少し難易度を下げた課題の設定が望ましいのではないかと思います。学生がやりがいと達成感の両方を堪能できるような適切な難易度の課題を、今後も学生の反応を見ながら探っていかなければならないと考えています。

#### 4. さいごに

研修の最後に学生が提出したレポートから推測すると、多くの学生が本研修を通じてプログラミングの難しさとおもしろさを体感することができたようです。また、研修中に貸与した参考図書やインターネット上で収集した情報に基づいて様々な角度から課題に取り組んだ様子が見取れることから、受講学生にとって有意義な研修になったのではないかと思います。今後もこのような研修を継続的に実施していくことで、計算科学・計算機科学の裾野を広げる活動を続けていきたいと思えます。このような研修実施の場を与えていただきました東北大学サイバーサイエンスセンターの関係者各位に厚く感謝いたします。

最後に、本研修のティーチングアシスタントとして大活躍してくれた東北大学大学院情報科学研究科の初田義明氏と松永哲弥氏にも深く感謝いたします。