

東京大学のスーパーコンピュータを用いた並列プログラミング教育
— 平成 26 年度 電気通信大学 大学院情報システム学研究所
情報ネットワークシステム学専攻「情報システム学特別講義 3」を通じて —

片桐 孝洋

東京大学情報基盤センター 准教授

1. はじめに

本稿は、平成 26 年度 電気通信大学 大学院情報システム学研究所 情報ネットワークシステム学専攻で開講した「情報システム学特別講義 3」におけるスーパーコンピュータの教育利用の報告である。東京大学情報基盤センターの業務として行われている教育利用制度であり、2012 年 4 月に試験運転を開始した、Fujitsu PRIMEHPC FX10 (FX10 スーパーコンピュータシステム、以降、FX10)が申請により無料で利用できる。

2. 高性能計算教育

(1) 講義の概要

近年、京コンピュータに代表される世界トップクラスのスーパーコンピュータが開発され注目されている。それに伴い、スーパーコンピュータの技術を取り扱う高性能計算 (HPC) 分野も注目されている。そこで本講義では、HPC に関する講義を修士学生向けの内容で開講し、HPC 分野の基礎技術を習得することを狙う。

特に、並列処理と並列プログラミングのための通信ライブラリ MPI (Message Passing Interface)の知識は必須であり、スーパーコンピュータ利用の観点から詳しく解説する。東京大学で講義されている並列プログラミング実習に関する話題を取り上げ、実際にスーパーコンピュータを利用する際に必要となる技術についても紹介する。

HPC 分野で近年注目されている、ソフトウェアの自動チューニング技術に関する話題も取り扱い、HPC 分野の基礎から最新技術まで幅広く解説する。

本講義は東京大学で実施している、工学部・工学系研究科共通科目「スパコンプログラミング 1 および I」[1]の内容を含み、座学用の拡張した内容を含む講義構成になっている。

(2) 内容

本講義で行った授業内容を表 1 に示す。

表 1 授業内容

講義回数	内容
1	ガイダンス： スパコンとは何か？ほか
2	プログラム高速化の基礎（その 1）： 性能評価指標、データ分散方式、ベクトルどうしの演算、ベクトル - 行列積、ほか
3	プログラム高速化の基礎（その 2）： 階層メモリ、アンローリング、ブロック化、その他の高速化技術、ほか

4	MPI の基礎 : MPI インターフェースの説明、リダクション演算、数値計算ライブラリについて、ほか
5	OpenMP の基礎 : OpenMP の概念、並列化事例、ほか
6	Hybrid 並列化技法 (MPI と OpenMP の応用編) : MPI と OpenMP の同時利用、並列化事例、ほか
7	プログラム高速化の応用 ボトルネック同定と対応、その他
8	行列-ベクトル積の並列化 : サンプルプログラム (行列-ベクトル積) の実行、並列化の注意点
9	べき乗法の並列化 : べき乗法とは、サンプルプログラム (べき乗法) の実行、並列化の注意点
10	行列 - 行列積の並列化 : 行列 - 行列積とは、ループ交換法、ブロック化 (タイリング) 法、Cannon のアルゴリズム、Fox のアルゴリズム、SUMMA、PUMMA、Strassen のアルゴリズム、サンプルプログラム (行列 - 行列積 (1) : 簡単版) の実行、並列化の注意点
11	LU 分解法の並列化 : LU 分解法 (ガウス・ジョルダン法、ガウス消去法、枢軸選択、LU 分解法 (外積形式、内積形式、クラウト法、ブロック形式ガウス法、縦ブロックガウス法、前進・後退代入))、サンプルプログラム (LU 分解法) の実行、並列化のヒント、演習課題、レポート課題
12	非同期通信 : 1 対 1 通信に関する MPI 用語、サンプルプログラム (非同期通信) の実行
13	疎行列反復解法の並列化 : 疎行列データ構造、疎行列 - ベクトル積、疎行列反復解法
14	ソフトウェア自動チューニング : 背景、ソフトウェア自動チューニングとは、FIBER 方式、自動チューニング記述言語 ABCLibScript、ソフトウェアデモ、レポート課題
15	エクサフロップスコンピューティングに向けて : エクサに向けた壁、新アーキテクチャ (GPU、インテル MIC) 、次世代スパコンの調査研究、計算科学者とのコ・デザイン、ほか

表 1 から本講義では、並列処理の基礎、高性能実装技法、基本的な数値計算アルゴリズムの並列化手法、最先端の研究課題、および、今後の展望に至る、幅広い範囲の話題を取り扱っている。

表 1 の内容のうち、第 6 回の「Hybrid MPI/OpenMP 並列化技法」で 1 コマの講義内容は、現

在でも、大学等で講義中に取り扱っていることが少ないと予想される。2020年～2023年ごろ設置が計画されているエクサスケールコンピュータを用いた並列処理は、Hybrid MPI/OpenMP 並列化によるプログラミング環境が主流になるといわれている。本講義は、世界に先駆けて最先端の HPC 技法を紹介しているといえる。

第13回の「疎行列反復解法の並列化」において、科学技術計算において重要である、疎行列演算に必要な疎行列データ構造と、それを利用した疎行列ベクトル積 (Sparse Matrix-vector Multiplication, SpMV) の実装を話題に取り入れているのも、本講義の特徴といえる。

表1の講義内容を解説した、教科書[2]を指定している。教科書には、MPI プログラムの解説のほかに、プログラムサンプルが添付されており、受講生は各自の PC で演習をおこなうことができる。また、東大の FX10 の利用を行う場合は、サンプルプログラムがスパコン上で配布されている。したがって、スパコンを利用することで課題提出に活用できる。なお、FX10 の利用は必須ではなく、受講生はスパコンを用いない課題でも単位が取得可能である。

(3) 単位取得状況

平成26年度は、スパコン利用登録者は41名、単位取得者は39名である。単位取得率は、95.1%であった。この数字は東京大学工学部共通科目での同様の講義に対して、受講生の数、および、単位取得率の双方で高い数字である。電気通信大学の学生の多くが、本講義を通じて HPC 分野に興味を持ってもらったものと信じている。

単位取得課題にはスパコン利用の課題を設けており、東京大学情報基盤センターの教育利用制度が有効活用された事例である。

3. おわりに

本稿は、平成26年度、電気通信大学大学院情報システム学研究科情報ネットワークシステム学専攻「情報システム学特別講義3」の教育利用の報告を行った。

本講義の授業資料は、一般に公開している。以下のページを参照いただければ幸いである。

<http://www.kata-lab.itc.u-tokyo.ac.jp/class-matr.htm>

参 考 文 献

[1] 片桐孝洋：東京大学のスーパーコンピュータを用いた並列プログラミング教育－工学部・工学系研究科共通科目「スパコンプログラミング(1)および(I)」(2014年度夏・冬学期)／全学ゼミ「スパコンプログラミング研究ゼミ」(2014年度冬学期)を通じて－、スーパーコンピューティングニュース, Vol. 17, No. 3, 2012年5月。

http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/press/news/VOL17/No3/13.Lec201505-3_1.pdf

[2] 片桐孝洋：スパコンプログラミング入門－並列処理と MPI の学習－, 東大出版会、ISBN978-4-13-062453-4, 2013年3月。