

# 科学技術計算Ⅱ／コンピュータ科学特別講義Ⅱ

## 「並列有限要素法入門」

中島研吾

東京大学情報基盤センター

本稿では、2015年度冬学期に実施した、科学技術計算Ⅱ（大学院情報理工学系研究科数情報学専攻）／コンピュータ科学特別講義Ⅱ（同 コンピュータ科学専攻）「並列有限要素法入門」<sup>1</sup>について紹介する。

2014年度までは、夏学期、冬学期に、科学技術計算Ⅰ・Ⅱ／コンピュータ科学特別講義Ⅰ・Ⅱ「科学技術計算プログラミング（有限要素法）」<sup>2</sup>を実施してきた。2014年までは偏微分方程式の数値解法として、様々な科学技術分野のシミュレーションに使用されている有限要素法（Finite-Element Method, FEM）について、背景となる基礎的な理論から、実用的なプログラムの作成法まで、連立一次方程式解法などの周辺技術も含めて講義を実施し、プログラミングの実習を実施している。題材としては二次元及び三次元弾性静力学を扱っており、プログラミング言語としてはC言語を使用している。夏学期（Ⅰ）と冬学期（Ⅱ）に分けて、夏学期は有限要素法の理論とプログラミングの基礎、冬学期はその並列化についての講義・実習を行っている。冬学期は東大情報基盤センターのスーパーコンピュータを使った実習を実施している。2011年度まではT2K 東大を使用していたが、2012年度からは2012年4月より運用を開始したFujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）を使用してきた。

2014年度までの講義では、冬学期（Ⅱ）の履修は夏学期（Ⅰ）の履修を前提としていたが、昨今の大学の国際化に伴い、10月に入学する留学生が増加しており、そのような条件を満たさない履修者が増えてきた。そこで2015年度からは、方針を変更し、両者がある程度独立した科目として履修できるよう：

- 夏学期（Ⅰ）：お試し講習会「科学技術計算のためのマルチコアプログラミング入門<sup>3</sup>」で実施している内容
- 冬学期（Ⅱ）：理学系研究科「並列計算プログラミング・先端計算機演習<sup>4</sup>」で実施している内容

を実施することとした。

表1に講義日程と内容を示す。様々な分野で広く利用されている有限要素法を題材とし、二次元・三次元定常熱伝導方程式を扱った。二次元・三次元有限要素法、MPI（Message Passing Interface）による並列プログラミング、並列要素法の順番で講義・演習を実施した。また、ハイブリッド並列プログラミングモデルの重要性を考慮して、MPI+OpenMP ハイブリッド並列

<sup>1</sup> <http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/15w/>

<sup>2</sup> <http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/14s/>, <http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/14w/>

<sup>3</sup> <http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/seminars/multicore/>

<sup>4</sup> <http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/15e/>

プログラミングに関する講義・演習を実施した。MPIによる並列有限要素法のプログラムの各プロセスにOpenMPを適用して並列化を実施した。

時間上の制約もあり、MPIプログラミングに関しては「並列計算プログラミング・先端計算機演習」の教材の中から、並列有限要素法に直接関連しない部分については削減を実施した。

講義・演習は1日4コマ実施するが、できるだけ自由参加の演習時間を増やして、予習・復習、課題の質問などを受けられるような時間を設けた。担当教員が必ず演習室に待機し、質問への対応を実施した。

他の講義と同様に、留学生の受講、国際化に配慮して英語版教材のみを提供している。登録者は12名であったが、実際に出席していたのは8名程度、単位を取得したのは5名程度であった。

表1：講義日程、内容

Date	ID	Content
October 05 (M)	CW01	Introduction, Introduction to FEM
October 19 (M)	CW02	1D FEM (1/2)
October 26 (M)	CW03	1D FEM (2/2)
October 29 (Th)	CW04	3D FEM (1/2)
November 02 (M)	CW05	3D FEM (2/2)
November 06 (F)	CW06	Introduction to Parallel FEM, Login to FX10, MPI (1/4)
November 09 (M)	CW07	MPI (2/4)
November 30 (M)	CW08	Report S1, MPI (3/4)
December 07 (M)	CW09	MPI (4/4)
December 11 (F)	CW10	Report S2, Parallel FEM (1/3)
December 14 (M)	CW11	Report S2, Parallel FEM (1/3)
December 21 (M)	CW12	Parallel FEM (2/3)
December 24 (Th)	CW13	Parallel FEM (3/3), Hybrid OpenMP/MPI (1/2)
January 07 (Th)	CW14	Hybrid OpenMP/MPI (2/2), Parallel ILU