

# 講義紹介：並列計算プログラミング，先端計算機演習（東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻）

中島研吾

東京大学情報基盤センター

本稿では、2017年度夏季集中講義（東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻）として実施した、「並列計算プログラミング」、「先端計算機演習」について紹介する。詳細については本講義のホームページ<sup>1</sup>を参照されたい。講義資料等を入手することができる。本講義・演習は、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（観測地球科学と計算地球科学の融合拠点の形成）」（2003年度～2007年度）において2004年度より開講されたもので〔1〕、2008年度からは「理学系研究科大学院教育高度化プログラム」に認定され、夏季集中講義として開講している。

表1に講義日程と内容を示す。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。

本講義・演習は有限体積法等を題材として、2008年度からはHitachi HA8000 クラスタシステム（T2K 東大）による並列プログラミング実習を行って来たが、2012年度からはFujitsu PRIMEHPC FX10 システム（Oakleaf-FX）を使用し、講義内容も一新した。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、一次元・三次元定常熱伝導方程式を扱っている。2017年度は、Reedbush-U システムを使用し、一次元・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（表1）。

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、2014年度からMPI+OpenMP ハイブリッド並列プログラミングに関する講義・演習を実施している。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。本年度は更にループスケジューリングの導入による高速化など、最新の研究事例についても紹介した。

2012年度までは日本語、英語の教材を併用していたが、2013年度からは留学生の受講、国際化に配慮して英語版教材のみを提供しており、2017年度もその方針を引き継いだ。受講者の多様なバックグラウンドを考慮して、ほぼ全講義内容についてFortran、C両方による教材を準備した。登録者は50名（うち地球惑星科学専攻が23名（比率としてはこれまでで最も少ない））であったが、実際に出席していたのは15名程度、単位を取得したのは10名程度であった。

## 参 考 文 献

- [1] 中島研吾，東京大学における「学際計算科学・工学人材育成プログラム」，ハイパフォーマンスコンピューティング技術の進展と計算科学への展開，応用物理第80巻7号，585-589，2011.

<sup>1</sup> <http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/17e/>

表 1：講義日程，内容

日付	時間	番号	内容
9月4日(月)	0900-1030	CE01	イントロダクション
	1045-1215	CE02	有限要素法入門
	1330-1500	CE03	一次元有限要素法 (1/2)
	1515-1645	演習	演習 (自由参加)
9月5日(火)	0900-1030	CE04	一次元有限要素法 (2/2)
	1045-1215	CE05	三次元有限要素法 (1/2)
	1330-1645	CE06	三次元有限要素法 (2/2)
	1515-1645	演習	演習 (自由参加)
9月6日(水)	0900-1030	CE07	並列有限要素法入門
	1045-1215	CE08	Reedbush-U へのログイン
	1330-1500	CE09	MPIによるプログラミング概要 (I) (1/2)
	1515-1645	演習	演習 (自由参加)
9月7日(木)	0900-1030	CE10	MPIによるプログラミング概要 (I) (2/2)
	1045-1215	演習	演習 (自由参加)
	1330-1500	演習	演習 (自由参加)
	1515-1645	演習	演習 (自由参加)
9月8日(金)	0900-1030	CE11	課題 S1 解説
	1045-1215	演習	演習 (自由参加)
	1330-1500	CE12	MPIによるプログラミング概要 (II) (1/2)
	1515-1645	CE13	MPIによるプログラミング概要 (II) (1/2)
9月11日(月)	0900-1030	演習	演習 (自由参加)
	1045-1215	演習	演習 (自由参加)
	1330-1645	CE14	チューニング入門
	1515-1645	演習	演習 (自由参加)
9月12日(火)	0900-1030	CE15	課題 S2 解説
	1045-1215	演習	演習 (自由参加)
	1330-1500	演習	演習 (自由参加)
	1515-1645	演習	演習 (自由参加)
9月13日(水)	0900-1030	CE16	並列有限要素法 (1/3)
	1045-1215	CE17	並列有限要素法 (2/3)
	1330-1500	演習	演習 (自由参加)
	1515-1645	CE18	並列有限要素法 (3/3)
9月14日(木)	0900-1030	CE19	ハイブリッド並列有限要素法 (1/2)
	1045-1215	CE20	ハイブリッド並列有限要素法 (2/2)
	1330-1500	CE21	最近の話題
	1515-1645	演習	演習 (自由参加)