

# 第 134 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会 「一日速習：有限要素法プログラミング徹底入門」（オンライン）

中島 研吾

東京大学情報基盤センター

本稿では、2020年6月12日に開催した第134回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「一日速習：有限要素法プログラミング徹底入門<sup>1</sup>」（共催：東京大学情報基盤センター、PC クラスタコンソーシアム（実用アプリケーション部会・HPC オープンソースソフトウェア普及部会））について紹介する。

東京大学情報基盤センター（以下、本センター）では2007年からスーパーコンピュータを使用した「お試しアカウント付き並列プログラミング講習会」を開催しているが、新型コロナウイルス感染症対策のため、2020年4月からは全ての講習会をZoom使用による「オンライン」講習会として実施している。

有限要素法（Finite Element Method, FEM）は偏微分方程式の数値解法として、様々な科学技術計算に使用されている。基礎的な研究開発の他、NASTRANに代表される有限要素法による商用コードも既に半世紀近く産業利用も含む様々な分野で設計・安全評価などに使用されている。有限要素法は要素単位のローカルな演算から構成されているところから、並列化が比較的容易であることが知られている。

本センターでは、本センターのスーパーコンピュータの利用促進と並列プログラミング技術の普及を目的として、様々な並列有限要素法の講習会<sup>2</sup>を実施してきた。

有限要素法の理論、手法は大学教養程度の数学、物理の知識があれば十分に理解できるものであるが、並列化を実施するためには、単に個々の事項の理解に留まらず、数学的背景、数値アルゴリズムとプログラミングを結びつけて理解している必要がある。有限要素法そのものと並列化を1日で全て解説するのは、スケジュール的にも困難で、細かいところは省略せざるを得ないため、受講者にとっても消化不良となる傾向があった。

今回は初めての試みとして、並列化には立ち入らず、**スパコンを使用したハンズオンも実施せず**、有限要素法を構成する基礎的な理論、数値アルゴリズムとその実装に主眼を置いた講習会を1日で実施した。また最後には、有限要素法の並列化に向けた展望についても講義した。以下のような受講者を想定して実施した：

- 有限要素法について知りたい方（例：商用コード・公開コード等で計算をやっているが、有限要素法について系統的な勉強をしたことがない方）
- 並列有限要素法の並列化に興味のある方（例：本センターの開催する「並列有限要素法」の講習会を将来受講したい方）

<sup>1</sup> <https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/events/lectures/134>

<sup>2</sup> <https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/events/lectures/116>

本講義の内容は2019年度冬学期に講義として実施した、科学技術計算Ⅱ(大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻)／コンピュータ科学アライアンス特別講義Ⅱ(同 コンピュータ科学専攻)／ハイブリッド分散並列コンピューティング(大学院工学系研究科電気系工学専攻)「並列有限要素法入門」<sup>3</sup>の導入部と同じ内容を日本語で実施したものであり、2020年2月21日(金)～25日(火)に国立臺灣大學(National Taiwan University, NTU)で開催された「國家理論科學研究中心數學組 Taiwan Mathematics School 2020 : Parallel Finite Element Method using Supercomputer」<sup>4</sup>において1.5日程度で実施した内容(表1)を1日に圧縮して実施したものである(表2)。最初の「有限要素法入門」<sup>5</sup>については、時間の都合もあり、受講者に教材を予習してもらい、当日は簡単な説明に留めた。

表1 2020年2月に国立臺灣大學で実施された國家理論科學研究中心數學組 Taiwan Mathematics School 2020 : Parallel Finite Element Method using Supercomputer (<https://sites.google.com/site/school4scicomp/2020-a-nk>)のスケジュール、今回はこのうち2月21日10:10から2月22日14:00までの内容について実施した

Data	Hour	Content	Date	Hour	Content
Feb.21 (F)	09:10-10:00	Introduction (1/2)	Feb.24 (M)	09:10-10:00	MPI (6/6)
	10:10-11:00	Introduction (2/2)		10:10-11:00	Exercise
	11:10-12:00	FEM (1/6)		11:10-12:00	Exercise
	13:10-14:00	FEM (2/6)		13:10-14:00	MPI Practice (2/3)
	14:10-15:00	FEM (3/6)		14:10-15:00	MPI Practice (3/3)
	15:10-16:00	FEM (4/6)		15:10-16:00	Exercise
	16:10-17:00	Exercise (Optional)		16:10-17:00	Parallel FEM (1/4)
Feb.22 (Sa)	09:10-10:00	FEM (5/6)	Feb.25 (T)	09:10-10:00	Parallel FEM (2/4)
	10:10-11:00	FEM (6/6)		10:10-11:00	Parallel FEM (3/4)
	11:10-12:00	Exercise		11:10-12:00	Parallel FEM (4/4)
	13:10-14:00	Parallel FEM		13:10-14:00	Exercise
	14:10-15:00	Login to OBCX		14:10-15:00	OpenMP/MPI Hybrid (1/2)
	15:10-16:00	MPI (1/6)		15:10-16:00	OpenMP/MPI Hybrid (2/2)
	16:10-17:00	Exercise (Optional)		16:10-17:00	Exercise (Optional)
Feb.23 (Su)	09:10-10:00	MPI (2/6)			
	10:10-11:00	MPI (3/6)			
	11:10-12:00	Exercise			
	13:10-14:00	MPI Practice (1/3)			
	14:10-15:00	MPI (4/6)			
	15:10-16:00	MPI (5/6)			
	16:10-17:00	Exercise (Optional)			

**今回は、前述のようにスパコンは利用せず、各自のPCに一次元・三次元有限要素法プログラム(Fortran・C)をダウンロードしてもらい、数学的・理論的な背景から、実問題(定常熱伝導)まで、実習も交え、大規模連立一次方程式の反復解法(前処理付き共役勾配法)も含めて解説した。詳細はホームページ<sup>6</sup>を参照されたい。当日利用した資料、サンプルプログラムの他、録画したビデオを見ることもできる。**

<sup>3</sup> <http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/19w>

<sup>4</sup> <https://sites.google.com/site/school4scicomp/2020-a-nk>

<sup>5</sup> <http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/FEM/01-FEMintro.pdf>

<sup>6</sup> <http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/FEM/>

本学では、4月初頭から既に全学的にオンライン講義が開始されているが、画面にスライドを投影してのオンライン講義で重要なのは、可能な限り詳細な情報を予め資料に書き込んでおく、ということである（当たり前のことではあるが）。対面の講義では、受講者の表情を見ながら、説明不足と思われる点を更に詳しく、というようなことを臨機応変にできるのだが、オンラインではそれができない。今回も、可能な限り詳細な資料を提供するよう心がけた。

表 2 本講習会の概要

09：00-09：45	有限要素法入門
09：45-12：30	一次元有限要素法
13：30-16：00	三次元有限要素法
16：00-17：00	並列有限要素法への道
17：00-17：15	討論・質疑等

事前登録者は29名、出席者は26名（学生：8名、大学教職員5名、研究機関：2名、企業：11名）となり、学生と企業関係者の受講者が多いのが特徴である。企業で有限要素法を普段ツールとして業務に使用している技術者の皆さんが基礎的な事項を学び直したい、という事例も多かったようである。

講習会終了後にアンケートを実施した（回収本数：19）。表3は質問項目と回答（5段階評価）の人数分布である。全体的な満足度は高かった（平均値は4.32）。アンケートの自由記述欄には、多くの参加者が：

- 現地に行かなくて良い分、気軽にまた感染も気にせずに受講できる
- 有限要素法について、基礎的な理論からプログラム実装、連立一次方程式の反復解法も含めてコンパクトにまとまっていて有用であった
- 教材が詳細でわかりやすい
- 普段ブラックボックス的に使っている商用プログラムの中身がわかってためになった（企業関係者）
- 有限要素法の実用例の紹介があると良かった
- 他の参加者も含めた周囲の人とコミュニケーションをとりづらいのが難点
- 講義を聴いている時間が長かった

というようなコメントを記載していた。学生時代に筆者の講義を受講した人もおり「10年前には良くわからなかったが、今回は良く理解できた」というコメントもあった。

従来は地方からは出張して（ときには泊まりがけで）参加しなければならなかったのであるが、オンライン講習会ではそのようなことは当然不要であり、移動の時間や出張費も節約できて効率的と言えるのかも知れない。一方で、質問をしにくいなど、コミュニケーションが一方通行になりがちなオンライン講義特有の問題の解決は中々困難である。今回は、質問事項がある場合などは、事後にZoomで相談に応じることも予定していたが、実際はやや長文の質問メールが普段の講習会より多めにあった程度である。

表3 アンケート集計結果

	評点	1	2	3	4	5
(a) 講習会時間	短い⇔長い		2	9	7	1
(b) 講習会講義内容 (プレゼン)	簡単⇔難		2	12	4	1
(c) 配布資料内容	簡単⇔難		1	14	4	
(d) サンプルプログラム内容	簡単⇔難		2	14	3	
(e) 満足度 (平均 4.00)	不満⇔満足		1	2	6	10

**今回の講習会の講義部分はビデオ録画し、ホームページ (<http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/FEM/>) から公開済みである。教材もダウンロードすることができるため、より多くの方がオンデマンドで有限要素法プログラミングの基礎について学ぶことができる。今後は本センターで実施している並列有限要素法の講習会の受講準備のための e-learning 教材としても活用していく予定である。**

オンサイトでの講習会の復活は、新型コロナウイルス感染症が終息し、少なくとも本学における活動制限指針が「レベル0.5 (2020年7月6日現在では「レベル1」)」になるまでは難しいであろう。ただ、今回の一連の経験を通してオンラインならではの良さも体験することができた。特に地方からの参加者のことを考慮すると、オンライン+オンサイト併用による形式も検討する必要がある。また、オンラインを併用すれば、2日間にわたる講習会では、必ずしも連続した2日間に設定する必要もなくなる。

また、更に今回録画したビデオの活用事例に見られるように、更にオンデマンドを組み合わせ、よりフレキシブルで効果的な講習会プログラムを提供することが可能となる。**「After コロナ」, 「With コロナ」を見据え、本センターとしてもお試しアカウント付き講習会、プログラミング教育の今後のあり方を継続して検討していきたいと考えている。**