

# 科学技術計算 I / 計算科学アライアンス特別講義 I / スレッド並列コンピューティング 「科学技術計算のためのマルチコアプログラミング入門」 (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 年度 S1・S2 学期に実施した、科学技術計算 I (大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻) / 計算科学アライアンス特別講義 I (同 コンピュータ科学専攻) / スレッド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) 「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>1</sup> について紹介する。

近年マイクロプロセッサのマルチコア化が進み、様々なプログラミングモデルが提案されている。中でも OpenMP は指示行 (ディレクティブ) を挿入するだけで手軽に「並列化」ができるため、広く使用されており、様々な解説書も出版されている。メモリへの書き込みと参照が同時に起こるような「データ依存性 (data dependency)」が生じる場合に並列化を実施するには、適切なデータの並べ替えを施す必要があるが、このような対策は OpenMP 向けの解説書でも詳しく取り上げられることは余り無い。本講義では、「有限体積法から導かれる疎行列を対象とした ICCG 法」を題材として、科学技術計算のためのマルチコアプログラミングにおいて重要なデータ配置, reordering などのアルゴリズムについての講義, スパコン (大規模超並列スーパーコンピュータシステム (Oakbridge-CX, OBCX)<sup>2</sup>) を使用した実習を実施した。

講義内容の詳細については、ウェブページから資料をダウンロードできるのでそちらを参照いただきたい。本講義では、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ている。

さて、今年は「新型コロナウイルス感染症」のため、全ての講義を Zoom によるオンラインで実施した。個人的には、既に 3 月初め頃からオンライン講義に向けた準備は始めていたが、もともと、Microsoft PowerPoint を使って講義を実施し、Web から資料を公開していたので、それほど特別な準備をする必要はなかった。従来は、情報基盤センターの演習室で教育用計算機システム (Educational Campus-wide Computing System, ECCS)<sup>3</sup> の端末を使用して講義・演習を実施していたが、オンライン講義では各自の PC を使用するため、Windows, macOS, Unix/Linux に対応した必要ソフトウェア類のインストールのためのマニュアル<sup>4</sup> は今回のために特別に準備した。また、ハンズオン演習で最も障壁となるのがスパコンへの SSH ログインである。普段は問題がある人は一人ずつ見回って相談しながら解決するのだが、今回は可能な限り詳細な資料<sup>5</sup> を用意することを心がけた (図 1)。オンライン講義を体験した人の多くが感じていることであろうが、オンラインでは対面講義と同じことは決してできない。一定の制約の下でオンラインの特性を生かした講義・演習を心がける必要がある。対面であれば、学生の反応を見なが

<sup>1</sup> <http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/20s/>

<sup>2</sup> <https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/en/supercomputer/obcx/system.php>

<sup>3</sup> <https://www.ecc.u-tokyo.ac.jp/>

<sup>4</sup> <http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/20s/OnlineClass.pdf>

<sup>5</sup> <http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/20s/OBCXlogin.pdf>

ら、理解が不足している項目に関しては、より詳しく説明するということになるのだが、オンラインではそれが難しいため、とにかく可能な限り詳細な資料を用意するしかない。

14

## ① Creating Keys on PC (1/3)

```
$ ssh-keygen -t rsa
Generating public/private rsa key pair.
Enter file in which to save the key (/home/user/.ssh/id_rsa): <Return↓>
Enter passphrase (empty for no passphrase): Your Favorite Passphrase <Return↓>
Enter same passphrase again: Same Passphrase <Return↓>
Your identification has been saved in /home/user/.ssh/id_rsa.
Your public key has been saved in /home/user/.ssh/id_rsa.pub.

The key fingerprint is:
SHA256:vt880+PTcscHkOyabvxGjeRsMwLAWds+ENsDcReNwKo nakajima@KNs-NEW-VAIO
The key's randomart image is:
+--[RSA 2048]--+
|                |
|  o=oo. o+     |
| + 0...        |
| .+o+         |
| +oB.         |
| So *o*       |
| E  B. o      |
| . . = . o    |
| .oB o +     |
| +o+*0 ..    |
|                |
+--[SHA256]--+
```

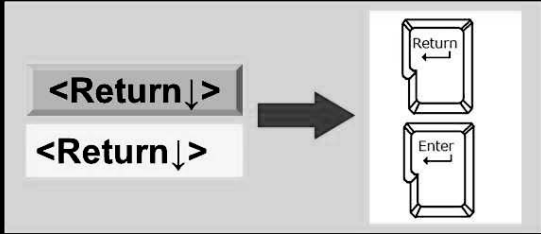


図1 PC 上での SSH 鍵生成の手順説明

Zoom のための URL, スパコンの利用者 ID, 初期パスワード等の受講者への連絡については UTAS (UTokyo Academic Affairs System), ITC-LMS (Learning Management System) 等の学務システムを駆使して比較的安全と思われる方法を選択した。実はこの部分にはそれなりの時間を費やしたのであるが、諸般の理由により、ここでは詳しくは書かない。興味がある人は個別に連絡してほしい。

本講義は4月8日に開講したが、情報理工学系研究科から「学生の通信環境が整っていない場合があるので、最初の2回程度は準備にあて、4月20日以降本格的な講義を開始する」という通達があったので、4月8日と15日は同じ講義を実施した(図2)。

登録者は54名(科学技術計算I:14名, 計算科学アライアンス特別講義I:11名, スレッド並列コンピューティング:29名)であった。例年は登録者35名程度, 出席者は20名を切る程度なのであるが, 今年はオンラインになったということもあり, 08:30 開始の1限にもかかわらず, 7月の最後の講義まで常時35~40名程度の出席者があった。毎回の講義は録画して, クラウド上の動画のありかを ITC-LMS 経由で受講者に連絡していた。どうやらこれを使って復習している学生も少なからず居るらしく, 連絡を忘れると催促が来たりした。このようにビデオ動画等を使ってオンデマンドで受講できるというのはオンライン講義の一つの利点と言えるだろう, ということもオンライン講義をやってみて得られた知見である。国際会議でもオンデマンド(発表聴講)とリアルタイム(質疑・議論)とを組み合わせる方式は, 定着しつつある。更に Slack のようなツールを組み合わせることによって, 実は従来よりも効果的なコミュニケーションを効率良く実現できる可能性もある, ということを感じている人も多いであろう。

一方で、各講義で Slack を立ち上げるため、学生にも「Slack 疲れ」というような状況に陥っている、という話も聞いたので、今学期は自分の講義用の Slack のワークスペースは作ったが結局使わなかった。来学期以降は利用を検討してみたい。

通常も同じだが、15 分に一回くらい小休止して Zoom のチャット機能による質問を受け付けることにしたところ、普段よりも活発に質問が出ていたようである。

何よりも大変だったのは学生諸君だったと思うが、各自色々と工夫しながらこの状況に適応していこうという姿勢が伝わってきた。また、6 月 24 日は、学期前は海外出張で休講の予定だったが、この時間は演習として、講義は実施せず 105 分全てを復習と質疑に当てた（これと言った質問はなかったが）。

2018・2019 年度に引き続きやや難しいプログラミング (sequential reordering の実装と評価) をレポート課題としたが、単位を取得したのは 13 名であった。出席者数は減少しないものの、実際にどれくらい理解できているのか、やや不安な面もあったが、例年よりもレポート提出者、単位取得者は若干増加した (単位取得者数は 7 名 (2018 年), 10 名 (2019 年))。理解度をモニターするために、小テスト的な課題を課することも考えたが、オンラインになって課題が増えて学生の負担になっている、というようなことも聞いていたので実施はしなかった。

2013 年度以降、資料は英語版のみ用意していたが、講義そのものは日本語で実施していた。2017 年度から英語で実施することとしたため、留学生の受講は増加しており、2020 年度は登録者の半数をやや上回っている。

以上、ほとんどがオンライン講義に関する感想のようになってしまった。A1・A2 学期も基本的にはオンライン講義継続となった。様々な模索も継続すると考えられるが、より受講者の負担を減らすような方法が何よりも重要である。

Date	ID	Title
Apr-08 (W)	CS-01a	Introduction-a
Apr-15 (W)	CS-01b	Introduction-b (Introduction-a and -b are same)
Apr-22 (W)	CS-02	FVM (1/3)
<b>Apr-29 (W)</b>	<b>(no class)</b>	<b>(National Holiday)</b>
<b>May-06 (W)</b>	<b>(no class)</b>	<b>(National Holiday)</b>
May-13 (W)	CS-03	FVM (2/3)
May-20 (W)	CS-04	FVM (3/3), OpenMP (1/3)
May-27 (W)	CS-05	OpenMP (2/3), Login to OBCX
Jun-03 (W)	CS-06	OpenMP (3/3)
Jun-10 (W)	CS-07	Reordering (1/2)
Jun-17 (W)	CS-08	Reordering (2/2)
Jun-24 (W)	-	Exercise, Q/A (Optional)
Jul-01 (W)	CS-09	Tuning
Jul-08 (W)	CS-10	Parallel Code by OpenMP (1/2)
Jul-15 (W)	CS-11	Parallel Code by OpenMP (2/2)
Jul-22 (W)	CS-12	Advanced Topics, Q/A

図 2 講義スケジュール：学期前は 6 月 24 日は海外出張で休講の予定だったが、105 分まるごと質疑にあてることとした