

# 「2023年度iSALE講習会」参加報告書

豊田 優佳里<sup>1</sup>

2023年6月2日から6月30日にかけて、週1回・全5回の離散日程でiSALE講習会が開催された。iSALEとはImpact-SALE (Simplified Arbitrary Lagrangian Eulerian)の略であり、数値衝突計算コードの一つである。本講習会は国立天文台シミュレーションプロジェクト(以下、CfCA)の支援のもとオンライン形式で開催され、14名(PD 2名, 博士学生2名, 修士学生8名, 学部学生2名)が参加した。講師は黒澤 耕介氏(千葉工業大学惑星探査研究センター), 黒崎 健二氏(神戸大学), 松本

侑士氏(国立天文台CfCA), 伊藤 孝士氏(国立天文台CfCA)の4名に務めていただき、機材の準備や講義動画のアップロード等の支援を加納 香織氏(国立天文台CfCA)に行なっていただいた。図1に講習会最終日に撮影した集合写真を示す。講習会では、衝突物理学と数値流体計算に関する講義、iSALEの実行及び計算出力に関する実践的な演習、補講での宿題解説、各自の計算結果発表会が行われた。講習会の時間割を以下に示す。

## ■2023年6月2日(金)

- 13:30 - 13:45 講習会の流れについての説明
- 13:45 - 15:30 iSALEの概要と衝突物理学と数値流体計算の基礎1
- 15:30 - 15:35 国立天文台共同利用計算機についての解説
- 15:35 - 15:40 国立天文台共同利用計算機へのログイン方法についての解説
- 15:40 - 16:10 講習会専用サーバ上でのiSALE実行と配布ファイルの解説
- 16:10 - 16:30 iSALE開発チームによる例題の紹介

## ■2023年6月9日(金)

- 13:30 - 14:45 衝突物理学と数値流体計算の基礎2
- 14:50 - 15:20 iSALE入力ファイル(asteroid.inp)の読み方解説
- 15:20 - 16:00 iSALE入力ファイル(material.inp)の読み方解説
- 16:00 - 16:30 iSALEの計算出力についての解説

## ■2023年6月16日(金)

- 13:30 - 14:30 衝突物理学と数値流体計算の基礎3
- 14:30 - 15:30 JupyterLab上でのpySALEPlotの解説
- 15:30 - 16:30 初級課題

<sup>1</sup>神戸大学大学院理学研究科  
yukari.m.toyoda@kitty.kobe-u.ac.jp

## ■2023年6月23日(金)

13:30 - 16:30 中級課題

## ■2023年6月30日(金)

13:30 - 15:30 各自の計算

15:30 - 16:15 各自の計算結果発表

16:15 - 16:30 計算サーバへの申請方法の解説



図1: 2023年度iSALE講習会最終日に撮影した集合写真.

iSALEは天体衝突現象を取り扱える様に、欧米の惑星科学者が提供しているShock physics codeの一つである[1-4]。すでに多くの研究者が使用しており、150報を超える研究成果が査読付き論文として出版されている。iSALEは流体運動だけでなく、物質の弾塑性体応答も同時に解くことができるため、HydrocodeではなくShock physics codeと呼ばれている。更に、岩石の破壊の物理を反映したモデル、金属の物性を反映したモデル、融点付近での流動化を表現したモデル、空隙の圧密モデル、ある閾値を超える応力を受けた際の流動化を表現したモデル等が実装されている。iSALEに関する詳しい情報は今年度のiSALE講習会のページに掲載されているため、詳細を知りたい方はそちらを参照していただきたい<sup>1</sup>。

<sup>1</sup>2023年度 iSALE 講習会のご案内 | CfCA - Center for Computational Astrophysics, <https://www.cfca.nao.ac.jp/content/isale2023>

本講習会では、講習会の前日から講習会終了1週間後(6/1-7/7)まで国立天文台CfCAの共同利用計算機を一部講習会専用貸し切って使用した。この共同利用計算機にはiSALEを実行する環境が整備されており、利用者は計算機にリモートログインすることでiSALEの実行及び計算結果の解析を自由に行うことができた。また、対面での学会や研究会が再会されつつある中、本講習会は離散日程でのオンライン講習会の利便性と効率の良さを考慮し、オンラインで開催された。そのため、講義に関する連絡はSlack上で行われ、講義及び補講はCisco WebEx上で実施された。更に、YouTubeにて講義の録画を限定公開しており、講義への参加ができない場合も録画視聴での講習会への参加が可能であった<sup>2</sup>。また、講義や計算に関する質問は講義前に行われる補講やSlack上で講師陣に聞くことが

<sup>2</sup>参加者のうち3名が録画視聴での講習会参加であった。

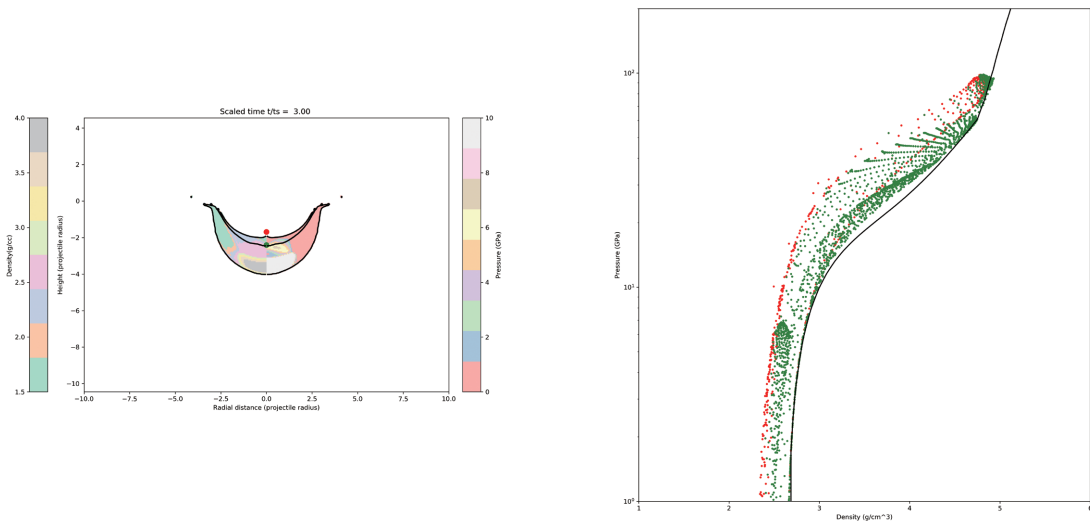


図2: 2023年度iSALE講習会中級課題にて作成した2つの球状天体の衝突計算結果の解析例. 左図は左半分は密度分布, 右半分は圧力分布を可視化して表している. 図中のプロットはそれぞれ衝突した球の重心位置を表す. 右図は個々のトレーサー粒子の密度と圧力の関係を表す. 基準となるユゴニオ曲線を実線で示している.

できた<sup>3</sup>.

1日目はiSALEの概要, 基本的な衝突物理学, 数値流体計算, 状態方程式に関する講義から始まり, その後国立天文台CfCA共同利用計算機に関する解説が行われた. また, 実践として計算機へのログイン, iSALE開発チームによって準備されている例題ファイルの展開及び実行を行なった. 講義及び実践は講師陣が執筆した講習会テキスト(座学講義編・実践編)をもとに行われた. 講義は衝突現象の数値計算に関して短い期間で理解できるよう体系化されており, 非常に充実した内容であった. また, iSALE開発チームによる例題は全部で16題あり, iSALEで行える計算を知る上で非常に参考になった.

2日目は衝撃波の補足, 弾性体モデル, 塑性体モデル, 降伏応力モデル, 熱弱化モデル, 微小空隙圧密モデルに関する講義が行われた. 実践では, 初級課題の入力ファイル及び出力ファイルをサーバー上で確認しながらの解説が行われた. 入力ファイルの解説によって, iSALEの実行に必要なパラメータについて学ぶことができた. また, 計算の出力ファイルの解説によって, 計算中に発生したエラーの確認方法や

<sup>3</sup>Slackでの質問に対し, 講習会期間中2営業日以内を目処とした対応が取られていた.

計算時間の見積もり方法について学ぶことができた.

3日目は数値流体計算を行う際の注意事項に関する講義から始まった. 実践では, JupyterLab上でのpySALEPlotの実行, 初級課題の入力ファイル及び描画スクリプトの編集を行った. JupyterLabを用いた解説によって, Python初学者の筆者でも描画スクリプトの処理内容を理解し, iSALEによる計算結果を図として描画する方法について学ぶことができた.

4日目は実践として中級課題の描画スクリプトの編集を行った. これまでは計算結果の全体像を描画する方法について学んできたが, 中級課題ではトレーサー粒子を用いて着目した計算領域を定量的に解析する方法を学ぶことができた. 解説を聞きながら自身の描画スクリプトを編集するのは難しかったが, 適切なタイミングで参加者の進捗状況が確認され, 必要に応じてBreakout roomでの個別指導が実施されるという手厚いサポートが活かっていた. 図2に中級課題で筆者が作成した計算結果の解析例を示す.

5日目は各自の計算及び発表準備, 各自の計算結果発表会, 国立天文台CfCA計算サーバ利用申請方法の解説が行われた. 参加者は自身の興味に合わせて様々な計算を行っており, 非常に聞き応え

のある発表会であった。講習会は離散日程であるため、参加者は自身の計算にじっくり取り組めたようであった<sup>4</sup>。最終日は発表会の後にオンライン懇親会が行われ、講師や他の参加者と親睦を深めることができた。

以上、2023年度iSALE講習会への参加報告を行った。筆者は実験系出身者であり数値計算初挑戦であったが、十分に付いていける初学者に優しい講習会であったと感じた。その理由は以下の通りである。一つ目は、講習内容の予習復習を行う環境が整っている点である。講習会は離散日程であるため、自習を行う時間が十分に確保できた。また、講義や実践内容を細かく解説しているテキストがあること、YouTubeで講義の内容が視聴できることも自習を行う上で非常に有用であった。二つ目は、講義ごとに宿題が用意されている点である。実際に自分の手を動かして宿題に取り組むことで、講義内容を確実に習得することができた。また、自身で宿題を完遂する

<sup>4</sup>筆者はiSALEを用いた花崗岩球の低速度衝突の計算を実行したが、花崗岩球が大きくダメージを受けてしまう結果となってしまう、実験を再現することができなかった。衝撃波の発生しないような低速度衝突を扱う場合は、工夫が必要であるようだ。

<sup>5</sup>勿論、論文公表に耐えるような計算を行うにはまだまだ修行が必要である。

ことができなかったとしても、授業前に行われている補講に参加し、解説を聞くことで問題を解消することができた。三つ目は、講習会のゴールとして自身の行いたい計算を行う発表会が設定されている点である。講習会期間中はSlackでの質問を行えるため、参加者は積極的に自身の計算に関する助言を求めていた。このように自身の行いたい計算のために試行錯誤する経験によって、iSALEを実行する知識や技能を十分に身につけることができた<sup>5</sup>。

最後に、本講習会の開催にあたりご尽力いただいた講師の黒澤 耕介氏、黒崎 健二氏、松本 侑士氏、伊藤 孝士氏に感謝致します。また、国立天文台 CfCAの加納 香織氏、波々伯部 広隆氏には機材の準備及び講習会中における細やかなフォローをしていただきました。この場を借りて感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] Amsden, A. et al., 1980, Los Alamos National Laboratories Report, LA-8095: 101p.
- [2] Ivanov, B. A. et al., 1997, International Journal of Impact Engineering 20, 411.
- [3] Collins, G. et al., 2004, MAPS 39, 217.
- [4] Wünnemann, K. et al., 2006, Icarus 180, 514.

---

## 著者紹介

---

### 豊田 優佳里



神戸大学大学院理学研究科学術研究員。神戸大学大学院理学研究科惑星学専攻博士課程修了。博士(理学)。研究テーマは多孔質氷の低速度衝突過程に関する実験的研究。