

# 「第5回iSALE講習会」参加報告

鳶生 有理<sup>1</sup>

2020年6月3日～6月30日にかけて第5回iSALE講習会がオンライン形式で開催された。本講習会は例年夏季に国立天文台三鷹キャンパスにて短期集中形式で開催されてきたが、本年度はコロナ禍の影響を受け、国立天文台シミュレーションプロジェクト(Center for Computational Astrophysics, 以下CfCAと略す)の支援のもと週1回・全5回のオンライン形式での開催となった。参加者は学部生・院生を含めて過去最高の合計22名であった。講習会はCisco WebExを用いた講師による講義スライドの解説、CfCAの共同利用計算機でのiSALE実行およびpySALEPlot解析の実演に加え、講師陣が新規に執筆した講習会テキスト(座学講義編、実践編)による自習によって進められた。本講習会テキストはiSALEのwiki(<https://www.wakusei.jp/~impact/wiki/iSALE/?第5回+iSALE講習会>)に掲載されており、特に衝突物理の基礎を体系的に記述した座学講義編はiSALEを利用しない研究者も一読の価値がある。遠隔開催で不足しがちな講師とのコミュニケーションは、ビジネスチャットツールであるSlackを用いた情報の共有とフォローアップおよびCisco WebExによる補講の開催で補うなど、日本全体で研究活動が困難な状況での新たな取り組みがなされた。講習会のスケジュールを以下に示す。

## ■ 2020年 6月 2日(火), 座学講義編 1

13:30 - 13:45 講習会の流れについての説明  
13:45 - 14:15 iSALEの概要

<sup>1</sup>宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所  
shimaki@planeta.sci.isas.jaxa.jp

14:30 - 15:30 衝突物理学と数値流体計算の基礎  
(前半, 講義編テキスト3章まで)

15:30 - 15:45 国立天文台共同利用計算機についての解説

15:45 - 16:00 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

## ■ 2020年 6月 9日(火), 座学講義編 2

13:30 - 14:30 衝突物理学と数値流体計算の基礎  
(後半, 講義編テキスト4章)

14:45 - 15:30 iSALEを使った研究紹介

15:30 - 16:00 iSALEを使った研究展開について  
(講義編テキスト5章)

## ■ 2020年 6月 16日(火), 実践編 1

13:30 - 14:00 ~/iSALE-DellenにおけるiSALE  
実行と配布ファイルの解説(実践編テキスト 1, 2章)

14:00 - 14:45 iSALE入力ファイル(asteroid.inp)  
の読み方解説(実践編テキスト 3.1節)

15:00 - 15:30 iSALE入力ファイル(material.inp)  
の読み方解説(実践編テキスト 3.2節)

15:00 - 15:30 iSALE開発チームによる例題の紹介  
(実践編テキスト 3.3節)

## ■ 2020年 6月 23日(火), 実践編 2

13:30 - 14:00 iSALEの計算出力についての解説  
(実践編テキスト 4.2節)

14:00 - 14:30 iPythonを用いたpySALEPlotの解説  
(実践編テキスト 4.3節)

14:45 - 16:00 初級課題(実践編テキスト 4.4節)

**■ 2020年 6月 26日(金), 補講1**

16:00 - 19:00 初級課題

**■ 2020年 6月 30日(火), 実践編3**

13:30 - 15:30 中級課題(実践編テキスト 5章)

15:30 - 16:00 計算サーバへの申請方法の解説

**■ 2020年 7月 3日(金), 補講2**

16:00 - 19:00 中級課題

iSALEは惑星科学分野において近年広く利用されている数値衝突計算コードであり、impact-SALE(Simple arbitrary Lagrangian Eulerian)の略称である[1]。iSALEは欧米の研究者を中心に開発・改良されており、弾性・塑性モデル、破壊モデル、空隙モデルなど、地球惑星科学分野で重要かつ複雑な衝突現象を扱えるように工夫されている[2-4]。iSALEは室内衝突実験との比較から天体衝突のような大規模な衝突現象まで広く扱うことができることから、現在までに150編を超えるiSALE関連論文が出版されている。

iSALEは完全なオープンソースコードではなく、開発者らに利用申請を行うことで科学目的限定での利用が認められている。日本国内では、千葉工業大学の黒澤耕介氏が中心となって活動しているiSALE users group in Japanが利用申請の窓口となっている。さらにiSALEの利用促進を目的として、これまでにiSALE勉強会[5-6]およびiSALE講習会[7-9]が開催されてきた。特にiSALE講習会では、衝突現象や数値計算の初学者に対する敷居が低くなるよう工夫がなされてきた。

研究者が所有するコンピュータへのiSALEの導入と実行および計算結果の解析は、それなりの労力と計算機資源が必要となる。この問題を解決する方法の一つが、国立天文台CfCAの共同利用計算機を利用する方法である。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(計算サーバ、解析サーバ)にリモートログインし、必要最小限の入力ファイルと解析スクリプトを編集することで、数値計算と解析作業が実施可能となる。ただし、国立天文台CfCAの計算機を利用

するには年度毎にCfCAのwebページから申請を行う必要がある。本講習会は、iSALEを用いた研究に興味がある学生と研究者を対象として、CfCAの共同利用計算機を期間限定で利用して実施された。iSALEの概要や入力ファイルの取り扱いについては以前の記事[1,5-9]や講習会テキスト実践編を参照いただきたい。本稿では、初の試みとなったオンライン開催について記述する。

本年度は2020年2月から全国に拡大した新型コロナウイルス感染症の拡大防止のため、国立天文台CfCA主催で離散日程でのオンラインでの開催となった。3月から国内研究集会の開催が順次延期・中止となる中で、本講習会の実習には現地開催が必ずしも必要ではないことから、講師陣とCfCAスタッフらはオンラインでの開催を試みるようになった。さらに、例年3日間の短期集中形式であった講習会を毎週火曜日午後12時から2.5時間・全5回の講義形式としたことで、受講者が講習の合間に十分な自習時間を取れるという利点もあった。結果として、参加者は学部生・院生を含めて過去最高の合計22名であった。講習会は講師の黒澤耕介氏からiSALEの座学と実践について解説・実演いただき、機材へのログインやトラブルシューティングについては国立天文台CfCAの伊藤孝士氏と加納香織氏に支援していただいた。また、受講者からの質問を簡便にするためにSlackチャンネルが開設され、資料の共有や接続方法、ちょっとしたTipsなどの細やかな情報が共有された。SlackによるフォローアップはVPN接続トラブルやJupyterLabの導入、pySALEPlotの実行方法、講義で聞き逃した点のフォローなど大いに活用された。また、実践編での自習を助けるため、手厚い2回の補講も開催された。補講とSlackによるフォローアップでは、講師の末次竜氏(大島商船高等専門学校)と脇田茂氏(Purdue University)も参加いただき、助言をいただいた。

講習会の前半2回では、黒澤講師から講習会の流れについて説明があった後、講習会テキスト座学講義編の内容に沿って、惑星科学と天体衝突現象、iSALE概要、衝突物理学と数値流体計算の基礎についての講義がなされた。座学編の講義内容はこれまでに開催された講習会の内容を整理・凝縮した形で体系化されており、短い講習時間で全てを理解す

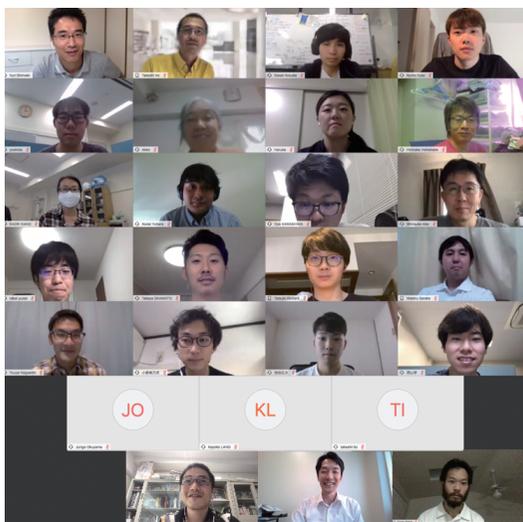


図1: Macのスクリーンショット機能で撮影した講習会の集合写真.

るには大容量のものであった。しかし、講師陣が十分な時間と熱量で執筆した講習会テキスト座学講義編を熟読することで、講義内容を自習することが可能となっている。そのため、講習会に参加されていない方々にもぜひ一読をおすすめしたい。また、初日の後半はCfCAの加納氏からCfCAの解説とその利用方法についてご紹介いただいた。本年度は離散日程での講習であったため、受講者は共同利用計算機を例年よりも長期間に渡って利用することができた。受講者(図1)はCisco WebEXを用いた講師による解説を聞きながら手元の講義資料を参照し、講義の途中で随時質問する形式で講義が進められた。しかしながら、受講者は通常カメラオフで聴講に集中していたため、黒澤講師は受講者の反応を確認することができずに難儀していたようだ。

講習会の後半3回では講義テキスト実践編の内容に沿って、iSALEを実行するための2つの入力ファイル(asteroid.inp, material.inp)の解説と実行方法、およびpySALEPlotを用いた計算結果の解析方法が実演された。実践編では受講者もCfCAの計算機にログインし、入力ファイルの編集、計算の実行と結果の確認、解析スクリプトの編集を行った。リモートの計算機からファイルを送受信するためのCyberduckや、pySALEPlotを編集・実行するための開発環境であるJupyterLabの導入など、新たな取り組みも行われた。実践編では黒澤講師が入力

ファイルや解析スクリプトの編集とiPythonによる実行を実演いただいたのだが、初学者には一部高度な部分もあったように思われた。この点は、Slackによる質問とCisco WebExによる補講で丁寧にフォローされていた。何より、実践編では例年と比較して十分な実習時間があったため、講義テキスト実践編を参照しながら各自で好みの計算に取り組んだようだった。実践編中級課題では、pySALEPlotの機能であるcraterGrowth関数を用いたクレータ半径と深さの時間発展、最大圧力フラグを用いた衝撃波面と膨張波面の可視化、最大衝撃圧力分布などが取り扱われた。筆者にとっては、特にフラグを用いた可視化は様々な解析に応用できる考え方だと大変参考になった(図2)。

講義の最終日には受講者の実習成果の報告会があり、各自の研究にちなんだ計算結果が紹介され、黒澤講師からiSALEの適用限界を踏まえたコメントがなされた。例えば、温度分布に着目した室内衝突実験を模擬した計算について、iSALEには熱伝導や輻射による冷却は実装されていないため注意が必要であること、また高空離散率物質の音速以下の低速度衝突について、iSALEは流体計算コードであるため正しく物理現象が表現できない点が指摘された。筆者もハーフスケールSCIを模擬した計算を行ったのだが、半球殻弾丸を構成する格子が少ないため圧力が十分に表現できていない可能性を指摘された。こうしたコメントが得られる点も講習会のメリットである。

講習会の最後には、iSALEを用いた研究を継続するために必要なCfCAへの共同利用申請方法が紹介された。iSALEは2つの入力ファイルを編集するだけで様々な衝突を表現できるが、設定すべき適切なモデルパラメータを選択するには、ユーザがある程度の計算を実行して勘所を掴む必要がある。本講習会で執筆された講習会テキストは、そのような自習に大いに役立つであろう。本年度の講習会は終了してしまったが、講習会テキストを見て興味を持たれた方は、iSALE users group in Japanに相談してみると良いだろう。

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、末次竜氏、脇田茂氏に感謝いたします。また、国立天文台CfCAの伊藤孝士氏、

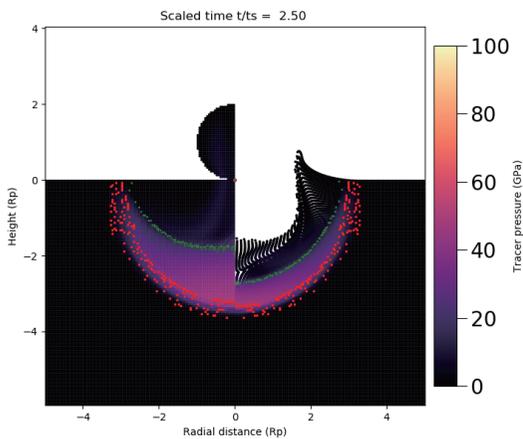


図2: 衝撃波面(赤), 膨張波面(緑)の可視化の例.

加納香織氏には講習会中の計算サーバ・解析サーバの利用などの環境を提供していただき、講習会中も細やかなフォローをしていただきました。この場をお借りして感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] 黒澤耕介ほか, 2014, 遊星人 23, 103.
- [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.
- [5] 常昱, 2014, 遊星人 23, 156.
- [6] 末次竜, 2015, 遊星人 24, 63.
- [7] 脇田茂, 2015, 遊星人 24, 346.
- [8] 石山謙, 2018, 遊星人 27, 337.
- [9] 藤谷渉, 2019, 遊星人 28, 338.