

「天体の衝突物理の解明 (XIV) ～探査機はやぶさの成果と挑戦：初号機から2号機へ～」 参加報告

脇田 茂¹

まえがき

あなたは砂場でテニスボールを見つけました。どうしますか？

A. テニスボールを砂場にぶつける

B. 何もしない

A. を選ばれた方は衝突に興味があるようですので、ぜひ研究会にご参加ください。

1. はじめに

2018年12月17日(月)から19日(水)にかけて、神戸大学統合研究拠点惑星科学研究センターで第14回「天体の衝突物理の解明」研究会が開催された。今年度の衝突研究会のテーマは「探査機はやぶさの成果と挑戦：初号機から2号機へ」となっており、佐伯孝尚さん(宇宙科学研究所)・和田浩二さん(千葉工業大学)・平田成さん(会津大学)を招待して、ご講演頂いた。彼らの招待講演を含めて、23件の口頭発表、20件のポスター発表があった。通常の学会発表とは異なり、講演中に自由に議論できることが本研究会の特徴であり、著者が一番気に入っている点である。今回も50名以上の研究者が参加して講演内外で活発な議論が行われた。本稿では参加報告という形で、筆者が理解できた範囲で研究会の様子をごくごく簡単に紹介させて頂く。なお、各講演の詳細は発表者に問い合わせさせていただくか、研究会webページ(<http://www.impact-res.org/impact18/>)に掲載されている要旨をご覧いただきたい。

1. 東京工業大学地球生命研究所
shigeru@elsi.jp

2. 講演概要

研究会のプログラムは以下に示す通りである。

《口頭発表》

12月17日(月)

長足 友哉(神戸大) 粉体流中の凝集体成長過程における粒子形状の効果

鈴木 宏二郎(東大) 非可逆的圧縮性ガスモデルによるレゴリス衝突シミュレーション

滝澤 真太(名大) 傾斜粉体層への斜め衝突クレータリング

黒澤 耕介(千葉工大) 二段式水素ガス銃を用いた無隔膜開放系衝突脱ガス実験

伊藤 広大(名大) 固体天体の衝突シミュレーションによる蒸発の理論的研究

脇田 茂(東工大) 微惑星(斜め)衝突における内部物質への影響

田澤 拓(神戸大) 多孔質天体上に形成する衝突クレーター周囲の衝突残留温度に関する実験的研究

桂木 洋光(名大) ダスト凝集体への固体弾衝突による変形および破壊

西川 花(名大) ダストの合体成長に基づいた惑星形成

磯谷 和秀(名大) 衝突・破壊をとりいれたN体計算の開発とそれを用いた地球型惑星形成後期のシミュレーション

12月18日(火)

杉浦 圭祐(名大) 衝突による小惑星形状形成と形状

を用いた衝突史への示唆

保井 みなみ(神戸大) 様々な粒径をもつ粒子層への
クレーター形成実験

山崎 祐太朗(神戸大) 小天体模擬標的に対する衝突_
圧密領域の密度推定

佐伯 孝尚(JAXA) はやぶさ2の現状と今後の衝突
運用に向けて【招待講演】

和田 浩二(千葉工大) SCIのサイエンス【招待講演】

平田 成(会津大) 小惑星の衝突地形【招待講演】

横山 康喜(神戸大) 重複クレーターサイズの空隙率
依存性

石黒 琢也(神戸大) クレーターサイズスケール則に
おける空隙率の効果

宮野 加菜(神戸大) 多孔質氷への高速度クレーター
形成実験：クレーターサイズスケール則に対する衝
突溶融の影響

12月19日(水)

荒川 創太(東工大) 過冷却液滴の高速衝突による複
合コンドリュール形成

末次 竜(産医大) 物質強度を考慮した微惑星衝突破
壊

村上 雄一(神戸大) 高空隙率小天体模擬標的の衝突
破壊実験：焼結温度の異なる混合物の影響

長友 文哉(神戸大) 多孔質天体の衝突破壊強度に対
するスケール効果

《ポスター発表》

小林 浩(名大) 小惑星帯での衝突史

諸田 智克(名大) 小惑星 Ryugu のクレータ統計と年
代学

浦上 晴奈*(神戸大) 小惑星模擬表面構造と反射率の
関係の実験的研究

山口 裕貴*(京大) 天体表面でのレゴリス粒子の摩耗
を模擬した隕石及び鉱物粒子の摩耗実験

寫生 有理(JAXA) はやぶさ2搭載TIRが示す
Ryugu熱物性

杉村 瞭*(神戸大) 小惑星表面を模擬した砂・石膏標
的上へのクレーター形成実験

小川 和律(神戸大) Hayabusa2 DCAM3による衝突
実験観測の計画と準備状況

山本 裕也*(神戸大) 低強度粗粒レゴリスを用いた
衝突実験：クレータースケール則と衝突励起振動に
対する粒子強度の影響

木内 真人(JAXA) 粉体層への低速度衝突で形成さ
れるクレーターサイズの重力依存性

森園 佳奈*(神戸大) 小天体レゴリスへのインパクト
の貫入深さ

黒澤 耕介(千葉工大) 粉体への衝突実験で自発的に
発生するラグランジアン追跡粒子

黒澤 耕介(千葉工大) 惑星検疫と衝突物理学：火星
圏における事例



図1：研究会の集合写真(石黒氏提供)。

中村 誠人*(神戸大) フラッシュ X線を用いた衝突破壊現象の観測：空隙の効果

藤田 直輝*(神戸大) 超高速衝撃荷重下におけるマグネシウム合金の変形応答に及ぼす添加元素の影響

境家 達弘(阪大) 隕石衝突に起因する金属-ケイ酸塩の分離過程の解明

松本 真由子*(神戸大) 二次標的を用いたエジェクタサイズ-速度関係の導出

岡本 尚也(JAXA) 衝突点近傍から放出されるエジェクタの超高速撮像：SPHシミュレーションとの比較

黒崎 健二(名大) 初期自転速度を考慮した巨大水惑星の衝突計算

豊田 優佳里*(神戸大) 多孔質氷球の反発係数の空隙率依存性：土星リング粒子の衝突過程に関する実験的研究

矢部 みなみ*(神戸大) 多孔質氷の圧縮変形における圧密速度と空隙率の関係
(* ポスター2分発表者)

2.1 招待講演

招待講演は今回のテーマである探査機はやぶさ2、はやぶさ2に関する話題が提供された。どの招待講演者も非常にお忙しいスケジュールの中、ご講演くださったことに感謝したい。

宇宙科学研究所の佐伯氏は、探査機はやぶさ2の機器運用にも携わっている方であり、主に工学的な視点からはやぶさ2に搭載されている衝突装置とその運用についてご講演された。はやぶさ2ミッションの概要から、本題である衝突装置の紹介がなされた。探査機に衝突装置を組み込むにあたってのプロトタイプからの試行錯誤、衝突装置での弾丸放出方法、他の機器と影響を及ぼしあわないための工夫などを紹介いただいた。実際の衝突装置の写真や衝突実験の動画など興味深い点が多数あって勉強になった。打ち上げ時や実際の運用時を想定した各種試験等々がいかに大変だったかを訥々と語ってくださる姿も筆者の印象に残っている。

千葉工業大学の和田氏は、科学的な視点から衝突運用に関して話して下さった。小惑星リュウグウの概要から、講演題目にもなっているSmall Carry-on Impactor(SCI)の目標地点をどこにするかなどを紹介

して下さった。これまでの観測結果から、リュウグウのどの地点に対して衝突運用が行われても科学的な成果が期待されるという幸運な点がある一方、どの程度のクレーターができるのか不安である点も語られた。著者としてはクレーターの深さ方向の物質分布がわかると嬉しい限りである。

会津大学の平田氏は、はやぶさ初号機が訪れた小惑星イトカワに関する話を主にして下さった。イトカワ上のクレーターは観測結果からわかる形状、周囲との比較を行うことで、いくつかのタイプに分類されることを紹介して下さった。参加者を含めた誰もがクレーターだと認めるものから、首をかしげてしまうようなクレーター？など、数々の写真を交えて紹介して下さった。衝突実験で作られる『綺麗な』クレーターとは異なる、『生の』クレーターを知ることができる良い機会になった。また、小惑星リュウグウ上のクレーターに関する最新の話もあり、みんな熱心に聞いていた。なお、リュウグウとイトカワでは、クレーターに関する決定方法が異なるようである。

2.2 一般口頭講演

さて、一般口頭講演の内容は今回も多岐にわたった。天体衝突に関わる研究は『理論・実験・観測』に大別できると考えるが、人によっては意見が分かれる点であろう。ここでは、筆者の判断で『クレーター形成実験』・『室内実験』・『数値計算』に分けて、それぞれを簡単に紹介していきたい。ちなみに、今回の研究会では粉体やレゴリスという細かい粒子から構成されたものを被衝突体とする研究発表が多かったことは印象深い。

(1) クレーター形成実験

小惑星や惑星上のクレーターはどうすれば作ることができるだろうか？はやぶさ2の衝突運用はまさにこれにあたるのだが、小惑星上で作ることはそう簡単ではない。ここでは、室内実験可能な範囲でクレーター形成過程の理解を目指した研究を紹介する。

傾斜粉体層への斜め衝突実験によるクレーター形成(滝澤)、異なるサイズの粒子層でのクレーター形成実験(保井)、空隙率に応じたクレーター形状とスケール則への適応(石黒)、多孔質氷へのクレーター形成(宮野)などは、いわゆるレゴリス層をもつ小惑星であったり空隙をもつ(氷)天体表面でのクレーター形成を理

解するための研究であると言えよう。観測で見ついている重複クレーターを再現しようとする挑戦的な研究(横山)も行われていた。衝突クレーター周囲の衝突残留温度の測定(田澤)は、隕石母天体表面上でのクレーター形成時に起きうる水質変成の可能性を調べる重要な研究であるといえ、筆者の印象に残った発表の一つである。

(2) 室内実験

天体衝突を理解するためには、どのような室内実験が必要であろうか？空隙天体への衝突を模擬した実験による圧密領域の計測(山崎)、焼結体への衝突破壊実験(村上)、多孔質天体における衝突破壊強度の標的サイズ依存性(長友)などの研究目的に応じた太陽系に存在する天体を模擬した被衝突体を選ぶことが必要であろう。また、原始惑星系円盤内でのダスト形成過程につながるような、粉体流中のクラスター形成(長足)、ダストアグリゲイト同士の衝突実験(桂木)といった研究も必要であるし、衝突時の脱ガス量実験を行うための実験装置の作成(黒澤)のように、過去に測定できなかったものを測定可能にする試みなども衝突現象の理解には欠かせない。一方、衝突現象を理解するためには、室内実験だけではなく物理の視点からの理解も必要となる。レゴリスを模擬したシートへの衝突実験とそれを再現するような理論の構築(鈴木)は、これまでに着目していなかった視点から学ぶことができて、非常に勉強になった。

(3) 数値計算

mmサイズだけではなく、kmサイズ以上の衝突現象を扱うにはどうしたらよいのか？数値計算を用いることで可能となり、ここではそのような衝突研究を紹介したい。cmサイズ以上のダストが原始惑星系円盤内でガスからの抵抗を受け落下しながら成長していく過程(西川)、微惑星衝突が内部物質に与える影響(脇田)、『Oumuamuaなどの小天体形状を再現するために必要な衝突条件の推定(杉浦)、物質強度を考慮した場合での微惑星が破壊されるしきい値の調査(末次)、衝突破壊を考慮した微惑星群から原始惑星、やがては惑星へと成長していく過程(磯谷)、氷天体が衝突時に蒸発するかの可能性(伊藤)など、まるで太陽系の歴史を辿るかのように幅広いスケールの研究が発表された。mmサイズのコンドリュールと呼ばれる球状物質が過冷却時に衝突することで複合コンドリュールが形成される可

能性を調べた講演(荒川)では、室内実験を行っている研究者とのやり取りが活発であった。異なる視点をもつ衝突研究者が集まる本研究会ならではの場面であり、楽しく聞くことができた。

2.3 ポスター講演

今回は著者が参加した中では、初めてポスターのコアタイムが懇親会と分けて開催され、口頭発表とは異なる形でじっくり聞くことができる良い機会となった。昨年度に引き続き、学生による2分間発表が企画されたのだが、そこで気になったポスターをコアタイム内ですべて聞くことができなかったのが残念である。二次標的から衝突エジェクタを調べた研究(松本)が特に印象に残っており、サイズと速度の関係性を自分の研究に活かせるのではないかと考え、つつい細かい点も尋ねてしまった。なお、衝突実験の写真だけではなく動画も見たい参加者としては、スケジュールが許す限り多くの口頭発表を行えば良いのではないかと、勝手な意見を出しておく。

3. まとめ

今回のテーマの一つ、はやぶさ2は2019年初旬にもリュウグウへのタッチダウン・衝突運用などが予定されており、2020年にはサンプルリターンが期待される。一人の研究者として、今後とても楽しみな探査機である。リュウグウなどの小惑星を想定してのクレーター形成実験から、そのような小惑星を作るための数値実験など、多様な研究発表があったが各講演中で衝突に関する疑問は増えていく。室内実験に携わったことがない著者は衝突実験の写真一枚を見るだけでも勉強になるし、疑問がわく度に質問できる本研究会の雰囲気は非常に気に入っている。本研究会中の活発な議論を通じることで衝突現象にまた一つ詳しくなった。衝突初学者であっても気になった点を気軽に聞くことができる良い機会であると思うので、ぜひ気楽に参加して質問していただきたい。

4. あとがき

この記事を読まれて少しでも本研究会に興味を持たれた方と最初の間でA.を選ばれた方は、次の研究会

に向けて衝突研究を始めてみてはいかがでしょうか？
例えば、iSALE users group in Japan(<https://www.wakusei.jp/impact/wiki/iSALE/>) が開催している iSALE 講習会[1]への参加を検討してみるのも良いかもしれません。

定年まで本研究会が続いてほしいという荒川教授の期待を受けた末次氏が次回の世話人代表となり、新たに2名(一昨年の参加報告[2]と昨年の参加報告[3]の著者達)が世話人に加わり、次の研究会が今から楽しみである。

最後となりましたが、本研究会の開催にあたりご尽力いただいた世話人代表の神戸大学の保井みなみさんを始めとする世話人の方々、神戸大学関係者の方々には会場の準備などで大変お世話になりました。この場をお借りして感謝致します。また、良カメラマンである石黒琢也さんから全体写真を提供していただきました。感謝いたします。

参考文献

- [1] 石山謙, 2018, 遊星人 27, 337.
- [2] 杉浦圭祐, 2017, 遊星人 26, 25.
- [3] 寫生有理, 2018, 遊星人 27, 49.