

「天体の衝突物理の解明(XVIII)～表層粒子から探る太陽系天体の進化～」参加報告

辰馬 未沙子¹

1. はじめに

2022年11月9日から11日にかけて、第18回「天体の衝突物理の解明」が開催された。新型コロナウイルス感染症は依然として流行しているものの、ZoomとSlackを用いたオンラインと、千葉工業大学東京スカイツリータウンキャンパスでの現地を両立させたハイブリッド形式での開催となった。なお、感染対策のため現地での懇親会は行われなかった。今年度のテーマは「表層粒子から探る太陽系天体の進化」で、榎戸祐馬氏(東北大学)、松本徹氏(京都大学白眉センター)、松島亘志氏(筑波大学)を迎え、ご講演いただいた。研究会には現地30名、オンライン45名の合計75名の研究者と学生が参加し(図1)、招待講演を含めて現地13件、オンライン6件の合計19件の口頭発表と、現地7件のポスター発表が行われた。参加人数は現地参加のみの開催時よりは多く、オンラインのみの開催時と同等とのことであった。ハイブリッド開催に対応するため、会場のマイクやスピーカー、ミキサーを用いており、質的な不自由さを全く感じる事がなく研究会に参加することができた。講演時間は質疑応答込みで招待講演が60分、一般講演が30分と一般的な学会よりも長い時間に設定されており、じっくりと研究内容を聞くことができた。

本稿では講演の概要と研究会の様子をごく簡単に紹介する。各講演内容についてはあくまで私の理解の範囲内でまとめているが、より詳細な講演内容を知りたいという方は、研究会のwebペー

1. 東京工業大学理学院地球惑星科学系
misako.tatsuuma@gmail.com



図1: 研究会の集合写真(現地とZoom画面).

ジ (<http://www.impact-res.org/impact22/index.html>)にて公開されている要旨を参照していただきたい。

2. 講演概要

以下に研究会のプログラムを示す(敬称略)。なお、*はオンライン発表者であることを示している。

<口頭講演>

11月9日(水)

諸田 智克*(東京大学)

「小惑星リュウグウ表面の微小クレータの統計と岩塊の衝突強度」

黒澤 耕介(千葉工業大学)

「リュウグウの状態方程式モデル作成と炭素質小惑星上の衝突過程への応用」

保井 みなみ*(神戸大学)

「小惑星リュウグウ表層を模擬したサイズ分布を持つボルダー模擬物質へのクレーター形成実験」

榎戸 祐馬*(東北大学)

「リターンサンプル分析から明らかになったリュウグウ母天体の歴史」【招待講演】

松本 徹(京都大学白眉センター)

「微小隕石衝突・太陽風に曝された小天体表面における揮発性物質の振る舞い」【招待講演】

11月10日(木)

松島 亘志(筑波大学)

「天体表層土の力学: 粒子物性進化とバルク力学特性評価」【招待講演】

山本 裕也(神戸大学大学院理学研究科)

「低強度粗粒標的に対する衝突実験: アーマリング効果を含んだクレータースケール則の構築」

豊嶋 遥名(神戸大学大学院理学研究科)

「ハビタブル天体表面を模擬した含水砂標的への斜め衝突実験」

柿木 玲亜(神戸大学大学院理学研究科)

「レゴリスに覆われた基盤岩へのクレーター形成実験: 衝突励起振動による物質移動との関連」

門野 敏彦*(産業医科大学)

「中空プロジェクタイルによる放出物分布」

山口 祐香理(神戸大学)

「標的物性の高速度衝突エジェクタサイズへの影響」

11月11日(金)

辰馬 未沙子(東京工業大学)

「付着N体計算で探るダスト集合体のせん断強度: 彗星表層との比較」

黒崎 健二(神戸大学)

「巨大衝突に伴う大気流出と角運動量輸送への影響」

石田 紗那*(神戸大学理学研究科惑星学専攻)

「コア・マントル構造を持つ含水小天体の衝突破壊と破片速度分布: 標的内部の粒子速度分布の計測」

道上 達広*(近畿大学工学部)

「炭素質隕石に対する衝突実験〜コンドリユール内部のクラック成長」

豊田 優佳里(神戸大学理学研究科)

「多孔質氷球の反発係数: 粘弾性変形及び塑性変形を考慮した非弾性衝突メカニズム」

大野 正和(大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻)

「レーザー衝撃圧縮を受けたSiO₂の変成分布」

多田 賢弘(千葉工業大学地球学研究センター)

「花崗岩の衝撃回収実験: 石英中のFeather Features形成機構への示唆」

<ポスター講演>

松原 光佑(神戸大学理学部惑星学科)

「高速度衝突によって形成されるクレーターの形状と分光特性の観察」

木内 真人(宇宙航空研究開発機構)

「クオータースペース法を用いた低重力下での高速度クレーター形成実験」

櫻井 諒太(神戸大学)

「ダスト集合体の衝突圧密実験」

長足 友哉(東北大学)

「ダスト凝集現象に対するダストのサイズ分布の効果」

佐藤 瑠介(東京農工大学)

「対向集中荷重を受ける2次元弾性円板内の応力伝播の解析」

黒澤 耕介(千葉工業大学)

「ナイロンの状態方程式モデルの作成」

奥山 純吾(日本大学)

「月面衝突模擬実験における発光強度の、温度と衝突角による依存性について」

2.1 招待講演

研究会初日の後半から2日目の前半にかけて、今年度のテーマである「表層粒子から探る太陽系天体の進化」に関連した3件の招待講演が行われた。

榎戸氏と松本氏はリュウグウのリターンサンプル分析結果について詳細に講演された。榎戸氏はX線回折を用いて物質の同定を行った。その結果、ほとんどが含水鉱物であることがわかった。その中には一部水との反応が弱い部分が見つかる一方、200度ほどの高温で形成される珪酸塩も見つかった。これらの分析結果を合わせると、リュウグウ母天体は主には40度くらいの温度が維持され、水が液体になり水質変成を経験したが、表層では水が溶けずに水

質変成を経験せず、より内部では40度を超える高温になったことが示唆される。松本氏はリュウグウのリターンサンプル表面における、太陽風やマイクロサイズ以下の微小隕石による宇宙風化について講演された。サンプル表面にはマイクロサイズのクレーターが見つかっており、それは微小隕石の衝突による破片がさらに衝突した、2次衝突によるクレーターだと考えられる。また、表面のFeSからFeがひげ状に成長した結晶も見つかっており、太陽風との相互作用が示唆される。

土木工学や地盤工学を専門とされる松島氏は、天体表層土の力学について講演された。粒子破碎によるサイズ分布の進化モデルについては、単粒子の破碎実験や1次元圧縮実験の結果とその解釈について紹介された。また、粒子を割り続けることによる形状の進化については、白銀比を用いてイトカワや月の粒子の形状を議論できることを示した。

2.2 一般口頭講演

例年通り一般講演では、招待講演のテーマに限らず、天体の衝突現象に関するさまざまな分野の発表が行われた。以下ではセッションごとにそれぞれ簡単に紹介する。

小惑星リュウグウについてのセッションでは3件の講演が行われた。諸田氏は岩塊の細粒化過程を調べるため、微小クレータを画像から抽出した。その結果、熱疲労による岩塊表面の剥離が起きている可能性が高いことを示した。黒澤氏はリターンサンプルを用いてリュウグウの状態方程式モデルを作成し、リュウグウ母天体の破壊計算をiSALEで行った。その結果、リュウグウの元となる物質は、母天体が衝突を受けた点から少なくとも20 km程度遠方の部分の物質であることを示した。保井氏はクレーター形成について、サイズ分布を持つ岩塊の影響を調べた。その結果、弾丸が表面の岩塊を破壊してエネルギーを散逸し減速するアーミング効果が、サイズ分布の影響で弱くなることを示した。

クレーター形成についてのセッションでは3件の講演が行われた。山本氏は空隙率が高めで強度の低いサンプルを用いてクレーター形成実験を行った。その結果、重力支配のクレーター則には合わないことがわかり、粒子破壊の効果を含むスケール則を構

築した。豊嶋氏は水を含む砂への斜め衝突によるクレーター形成実験を行った。その結果、含水砂ではクレーターが重力支配ではなく、強度支配域になっていることがわかった。柿木氏は層構造を持つ小惑星でのクレーター形状を調べるため、基盤と粒子層で構成される標的へのクレーター形成実験を行った。その結果、低速度領域と高速度領域でのクレーター形状を得ることに成功した。

エジェクタについてのセッションでは2件の講演が行われた。門野氏は中が空洞の弾丸を打ち込んだときに見られる、垂直なエジェクタの発生メカニズムについて調べた。その結果、弾丸の真真中に穴が開く場合に垂直なエジェクタが発生することがわかった。さらに、サンプルを採取しやすくするためには、円筒やリング型の弾丸の検討が必要であることを示した。山口氏は火星のエジェクタが衛星に到達する現象を模擬して、1次標的に弾丸が衝突し、そのエジェクタが2次標的へ衝突する様子を実験で調べた。その結果、エジェクタの標的物質の物性への依存性を明らかにした。

数値計算についてのセッションでは2件の講演が行われた。辰馬氏は付着N体計算でダスト集合体のせん断強度を求めて定式化を行い、彗星67P表層のせん断強度と比較した。その結果、彗星67Pの構成粒子半径が20 μm 以上5 mm以下である必要があることを示した。黒崎氏は大気を持つ惑星同士の斜め衝突を計算した。その結果を用いて、角運動量の観点から大気流出について議論した。

衝突破壊・変形についてのセッションでは3件の講演が行われた。石田氏は水を含んだコアと多孔質マントルを模擬した2層構造の試料への衝突実験を行った。その結果、画像相関法を用いて衝突による物質の変位を得ることに成功した。道上氏は炭素質隕石に対する衝突実験を行い、クラックの入ったコンドリュールの3次元モデルを作成した。その結果、クラックがコンドリュール内部に入るのか表面に沿うのかという違いから、炭素質隕石の種類による強度の違いについて議論した。豊田氏は土星リングの多孔質氷を模擬した試料の反発係数を測定した。その結果、衝突速度と反発係数の関係を求めることに成功した。

衝撃変成についてのセッションでは2件の講演が

行われた。大野氏は粉末SiO₂にレーザーを照射し、微小領域X線回折を用いて衝撃による変成を評価した。その結果、X線回折の線幅が変成の新たな分類の指標となることを示した。多田氏は衝撃変成組織のFeather Featuresという鳥の羽根のような構造の形成機構を調べるため、実験とiSALEでの圧力計算結果を比較した。その結果から、形成されるときにの圧力や衝撃波の伝播方向との関連について議論した。

2.3 ポスター講演

研究会2日目の夕方に現地でのポスターセッションが開催された。前年度に引き続き、学生のポスター講演については3分間のフラッシュトークが行われた。現地では各講演者の周りに人が集まり、熱心な議論が繰り広げられていた。今回は全て現地でのポスター講演であったが、オンライン上であるSlackにもポスターをアップロードし、オンライン参加者も議論に参加できる形態であった。しかし、Slack上での議論は特に見受けられず(ダイレクトメッセージが使われていた可能性はあるが)、ハイブリッド開催において、オンライン参加者と現地参加者がいかに交流するかは今後の課題であると感じられた。

2.4 キャンパス見学ツアー

2日目のポスター講演後、会場の千葉工業大学東京スカイツリータウンキャンパスの見学ツアーが行われた。キャンパス関係者の方々や、千葉工業大学の黒澤耕介氏を始めとした参加者の方々による解説もいただけた。キャンパスはArea IとArea IIに分けられており、Area Iではロボットを中心とした展示を、Area IIでははやぶさ2を始めとした宇宙関連の展示を楽しむことができた。個人的な見どころとしては、Area IIのはやぶさ2の実物大模型や、アニメ「マクロスF (フロンティア)」に登場する変形ロボット「バルキリー VF-25F」を挙げたい。Area Iでのロボットに関する展示では、あまりなじみのない分野ではあるものの、最先端の技術に触れることができ、存分に楽しめた。入場無料なので、機会があればぜひ見に行っていきたい。

3. おわりに

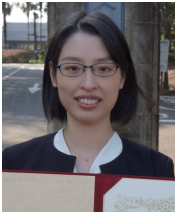
今回は「表層粒子から探る太陽系天体の進化」というテーマで、3人の招待講師を招いて開催された。初のハイブリッド開催ということで、現地とオンラインでの準備をいただいた世話人の皆様には感謝を申し上げたい。Slack上では活発な議論が見受けられなかったが、全体には公開されないダイレクトメッセージを利用した交流は(少なくとも私は)あったので、あまり使われていないと思わずに今後もZoomやSlackを用いたオンライン参加の選択肢が残ってほしいと思う。私は現地参加であったが、実際にオンラインからの口頭発表や質問は数多くあった。オンライン参加という選択肢を残すことは、研究会への参加人数を増やし、活発な議論などの交流を促進し、より多くの参加者にとって実りある研究会にする助けになると信じている。

謝辞

研究会の開催にご尽力いただいた世話人の皆様(岡本尚也氏、杉浦圭祐氏、黒崎健二氏、木内真人氏、大村知美氏、長足友哉氏、寫生有理氏)、そして会場準備をいただいた千葉工業大学東京スカイツリータウンキャンパス関係者の方々に感謝いたします。また、本稿執筆の機会は千葉工業大学の岡本尚也氏よりいただきました。さらに、集合写真は宇宙航空研究開発機構の木内真人氏よりいただきました。重ねて感謝いたします。

著者紹介

辰馬 未沙子



東京工業大学理学院地球惑星科学系 日本学術振興会特別研究員(PD). 東京大学理学系研究科天文学専攻 博士課程修了. 博士(理学). 2022年4月より現職. 専門は惑星形成論. 日本天文学会, 日本地球惑星科学連合, 天文・天体物理若手の会, 日本惑星科学会, 理論天文学宇宙物理学懇談会に所属.