

# 「天体の衝突物理の解明(XX) ～日本の衝突研究の未来II～」参加報告

大村 知美<sup>1</sup>



図1: 研究会の集合写真.

## 1. はじめに

2024年11月22日から11月24日にかけて、第20回「天体の衝突物理の解明」が開催された。北海道大学理学部での現地開催に加え、昨年度に引き続いてZoomとSlackを用いたオンラインによるハイブリッド形式での開催となった。今年度のテーマは「日本の衝突研究の未来II」で、玄田 英典氏(東京科学大学)、諸田 智克氏(東京大学)、杉田 精司氏(東京大

学)、荒川 政彦氏(神戸大学)を迎え、ご講演いただいた。研究会には現地48名、オンライン18名の合計66名の研究者と学生が参加し(図1)、招待講演を含めて合計24件の口頭発表と、20件のポスター発表が行われた。オンライン参加者向けには、口頭発表では発表者のPCでスライドのZoom共有を行った。ポスター発表では、ポスター掲示および議論の場としてはSlackが用意された。また、2日目の夜にはサッポロビール園ポプラ館での懇親会が行われた(図2)。本研究会は、講演時間が質疑応答込みで招待講演60分、一般講演30分と比較的長く、また、講

<sup>1</sup>大阪産業大学全学教育機構  
tomura@edo.osaka-sandai.ac.jp



図2:懇親会の様子.

演中に随時質疑応答を行えるため、じっくりと研究内容を聞けることが特徴である。

本稿では講演の概要と研究会の様子を短く紹介する。各講演内容についてはあくまで筆者の理解の範囲内でまとめたが、より詳細を知りたい方は研究会のweb ページ (<http://www.impact-res.org/impact24/index.html>) の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)。

### <口頭講演>

11月22日 (金)

松原 光佑 (神戸大学)

「クレーター内部に残存した高速度衝突インパクト物質の変成」

黒澤 耕介 (神戸大学)

「鉱物の衝撃変成分類指標作成についての新展開」

落合 葉子 (東京科学大学)

「衝突蒸気雲内の化学反応シミュレーションとアミノ酸合成への示唆」

宇都宮 忠勝 (神戸大学)

「クレーター形成に対する埋没ボルダーの影響：アーミング効果に対するボルダーの埋没深度依存性と強度依存性」

山本 大晟 (神戸大学)

「玄武岩斜め衝突エジェクタのアルミ板と砂への衝突による線状構造」

山口 祐香理 (神戸大学)

「岩石からの1 km/s以上の高速度衝突エジェクタ：二次クレータービットから探るエジェクタ形状」

道上 達広 (近畿大学)

「統計モデルを用いた小惑星エロス、リュウグウ、イトカワのボルダー空間分布評価」

平田 成 (会津大学)

「剛体物理シミュレーションで探るラブルパイル小惑星の集積過程と全体形状、内部構造」

内田 雄揮 (ISAS/東京大学)

「クレーター分布の経度方向に対する不均一性から示唆されるフォボスの表面更新と公転様式の共進化」

11月23日 (土)

横田 優作 (神戸大学)

「小惑星起伏地形に起因するクレーター形状の多様性に関する実験的研究」

柿木 玲亜 (神戸大学)

「基盤岩に覆われたレゴリス層のクレーター形成実験：基盤岩がクレーター成長・崩壊に与える影響」

松阪 竜希 (神戸大学)

「鉄・岩石ラブルパイル天体模擬試料への衝突破壊実験及び三次元軌道解析」

篤生 有理 (JAXA/ISAS)

「次世代小天体サンプルリターンでの衝突科学の検討状況」

玄田 英典 (東京科学大学) 【招待講演】

「シミュレーションによる衝突研究の20年」

諸田 智克 (東京大学) 【招待講演】

「惑星探査データによる衝突研究の20年」

杉田 精司 (東京大学) 【招待講演】

「日本の天体衝突研究20年の歩み：世界の中での立ち位置の進化」

荒川 政彦 (神戸大学) 【招待講演】

「衝突研究会が生まれたとき」

11月24日 (日)

大城 榛音 (東京科学大学)

「圧縮ダストアグリゲイトの衝突シミュレーション：付着・跳ね返り条件の推定に向けて」

中澤 淳一郎 (総合研究大学院大学)

「極超高速衝突時の電離・輻射過程を考慮した2次元衝突計算」

西尾 峻人 (神戸大学)

「破壊を伴う衝突による小惑星の速度変化」

櫻井 哲志 (神戸大学)

「ガラス焼結体を用いた微惑星の機械特性と熱伝導率の実験的研究, およびクレーター形成実験」

菊川 涼介 (神戸大学)

「内海を覆う氷地殻上のクレーター形成実験」

豊田 優佳里 (神戸大学)

「氷球の低速度斜め衝突実験: 反発係数に対する衝突角度依存性」

豊嶋 遥名 (神戸大学)

「湿った砂標的におけるクレーター形成実験での温度上昇イベント」

#### <ポスター講演>

門野 敏彦 (産業医科大学)

「エジェクタパターンとターゲット粒子サイズ分布」

荒川 創太 (海洋研究開発機構)

「階層粉体の圧縮強度」

黒崎 健二 (神戸大学)

「砂標的への衝突実験と数値シミュレーションの相互比較」

吉田 雄城 (神戸大学)

「ダスト衝突におけるモノマー圧縮過程の分子動力学シミュレーション」

宮脇 誠一 (東京科学大学)

「衝突蒸気雲内の化学反応に関する数値計算と生命起源への影響」

櫻井 諒太 (神戸大学)

「空隙率・雰囲気圧の異なる付着性レゴリス層から受ける抵抗力の実験的推定」

生駒 杏 (神戸大学)

「原始惑星衝突に伴う衝突体の残存率とその産状についての実験的研究」

長足 友哉 (東北大学)

「不溶性有機物模擬物の表面エネルギー: 大気中および真空中での付着力測定による評価」

山本 裕也 (JAXA/ISAS)

「2層構造粗粒標的への衝突実験」

鈴木 絢子 (東洋大学)

「粘性ターゲットへの低速衝突でみられる地形」

笹井 遥 (神戸大学)

「高速斜め衝突により発生する氷天体上のホットスプリング」

黒澤 耕介 (神戸大学)

「隕石の衝撃変成度2分性の成因」

黒澤 耕介 (神戸大学)

「改良Zモデルを用いた運動量輸送効率の推定: 楕円標的の場合」

澤 みゆう (神戸大学)

「大気中で形成されるクレーター周囲の隆起構造に関する実験的研究」

林 沙樹 (神戸大学)

「分化溶融天体の衝突における実験的研究: 層構造液体標的のクレーター形成過程」

長谷川 幸彦 (東北大学)

「ダスタグリゲイト間の衝突結果に物性が与える影響」

大川 初音 (神戸大学)

「エジェクタ速度スケール則に対する粒子サイズ依存性と微小小惑星形成への関連」

桂木 洋光 (大阪大学)

「エアージェット衝突により見出される現象」

森 晶輝 (東京大学)

「近赤外領域における顕微鏡的反射分光装置の開発と月隕石・Bennu試料の分析」

木内 真人 (立命館大学)

「低重力下でのクレーター形成実験をもとにしたDARTクレーターサイズの検討」

#### 2.1 招待講演

研究会の2日目に、4件の招待講演が行われた。衝突研究会が開催20回目となる今年度のテーマは「日本の衝突研究の未来II」ということで、この20年間、もしくはそれ以前からの日本の衝突研究に深く関わった招待講演者らによる講演が行われた。どの講演者の講演も、当人にしか語り得ない内容も大いに含まれた大変聞き応えがあるものであった。

玄田氏は、衝突研究が発足して以来の20年程の間に同氏が行った研究について講演された。衝突計算コードの作成に着手するきっかけとなった巨大ガス惑星同士の衝突計算にはじまり(何もない状態から2週間弱で成果を出したとの話には驚いた)、惑星形成や惑星表層進化、衝突の詳細過程や探査に関

連したするなど、幅広い研究について紹介された。話の最後には、天体衝突の普遍性が、自身の多様な研究テーマに繋がったとまとめられていた。また、話の中で、天体衝突シミュレーションに用いられる手法の概要についても解説された。

諸田氏は、20年前からこれまでにかけての日本の月惑星探査データ研究の状況と、クレーター統計研究の進展について講演された。同氏がこれまでにやってきた研究を含む、クレーターの統計研究の紹介を、日本および世界の惑星探査の進展と合わせてお話される中で、40年前に提案された月のクレーター年代学が、観測技術の進展と共に得られるデータの質が向上してもなお高い信頼性を持つモデルであることを示した。また、小惑星上におけるクレーター年代学のアプローチ方法およびそこから明らかになる内容等についてもお話された。

杉田氏は、20年前からこれまでにかけての業界の動向と、その中で自身や日本の立ち位置について語った。2000年代前半を「室内実験による衝突過程解明の時代」、00年代後半を「観測研究の時代」、10年代前半を「はやぶさ2開発の時代」、10年代後半を「はやぶさ2成果獲得の時代」、20年代前半を「サンプル分析・成果認知の時代」と題し、それぞれの時代を代表する研究成果を紹介される中で、その当時の業界の動向を、杉田氏にしか語りえない様々な裏話も含めて聞かせて頂いた。また、時代が移り変わる中でも室内実験の経験や、そこから得た知見は重要であったともお話された。

荒川氏は、衝突研究の歴史や、各時代における状況、またその中で衝突研究会が果たした役割について講演された。衝突研究会は、衝突研究業界が世代交代期であったことを受けて、今後の人材育成の場の必要性が浮上してきたことや、惑星探査による情報の増加などから、相互交流を密にし、議論や研究協力の可能性を探る場として発足したことをお話された。また、衝突研究会がコミュニティとして、衝突実験施設の充実のために果たした様々な貢献について紹介された。ほかには、このコミュニティや、コミュニティが充実させた実験設備等があったことで、衝突研究に携わる研究者の経験が必要とされるような探査の進行時期にも基礎研究が大きく停滞しなかったことなどにも触れた。講演の最後では、研究

を楽しむためのコミュニティの必要性や、信頼できる仲間の重要性を語られていた。

筆者が学生としてこの業界に入った時には、衝突研究会も共同利用施設も既に今のような状態で存在していた(初参加の衝突研究会はちょうど第10回の節目の年で、今振り返ると、水谷氏・藤原氏を招待講演者に迎えた大変豪華な回であった)。しかし、それを当たり前と思わず、今後は自分自身もこのコミュニティを維持し、発展させていく一員であることを意識していかなければならないと感じた。

## 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。

「衝撃変成」セッションでは3件の講演が行われた。松原氏は高速度衝突による含水インパクトの変成および脱水に着目し、高速度衝突によるクレーター内部に残存した蛇紋岩弾丸の顕微ラマン分光測定・赤外分光測定を行った結果について報告した。クレーター試料の昇温脱離ガス分析の結果も併せ、蛇紋岩弾丸の衝突により、衝撃変成で脱水した弾丸物質からカンラン石が生成されることを示した。黒澤氏は準開放系での岩石標的の衝撃回収実験の結果から、衝撃変成指標として、石英中に見られる羽毛組織の産状や、方解石の転移の産状から衝撃圧力の推定が可能であることを示した。また、完全開放系での粉体標的の衝撃回収実験の結果についても報告した。落合氏は初期地球への小惑星衝突を仮定した際生成される衝突蒸気雲内の化学反応を、モンテカルロシミュレーションした結果を報告した。計算結果から、衝突蒸気雲内ではアミノ酸は生成されないが、アミノ酸前駆物質は生成されること、また、それらの前駆物質が冷却に伴って凝縮した水滴中などに濃集すれば、その後の反応でアミノ酸が合成される可能性を示した。

「衝突実験I」セッションでは3件の講演が行われた。宇都宮氏は砂表面に埋没したボルダーを模擬した標的への衝突実験から、ボルダーの埋め込み深さ・強度がクレーター形成に及ぼす影響を調べた結果を報告した。ボルダーの埋め込み深さとアーマリン

グ効果の大きさの関係はボルダー強度により傾向が逆になることを示した。山本氏は玄武岩への斜め衝突時に放出されるエジェクタを衝突体として用いた実験から、斜め衝突で生成したエジェクタが砂表面に衝突すると、斜め衝突エジェクタが持つ衝突角度・速度の特徴によって、砂表面には線状構造が形成されることを示した。山口氏は、岩石への高速度衝突時に生成されるエジェクタの形状が二次標的に形成されたクレーターピットの形状から解析できることを示し、エジェクタの形状は高速度衝突であるほど球に近づく可能性があることや、蛇紋岩より放出されるエジェクタは他の岩石から放出されるものと比べて細長い形状を持つことを報告した。

「小惑星表面・内部構造」セッションでは3件の講演が行われた。道上氏は、クレーターの空間的分布の評価に用いられるZスコアをボルダー分布に適用できるよう改良したものを用いて、小惑星エロス、イトカワ、リュウグウ上のボルダー分布をサイズごとに評価した結果を報告した。その結果より、リュウグウ・イトカワの直径数mのボルダーはクラスター分布しており、これらのボルダーは小惑星形成後にかなりの移動を経験している可能性があることを示した。平田氏は、剛体物理シミュレーションでラブルパイル天体の集積過程を再現した結果から、最大破片の個数の変化だけでは小サイズ小惑星の軸比の多様性や低空隙率のラブルパイル小惑星の空隙率は再現できず、他の要因が小惑星形状や空隙率に影響している可能性を示した。内田氏はフォボスの火星側・反火星側・先行半球・後行半球それぞれにある領域におけるクレーターサイズ頻度分布を調査し、各調査領域におけるクレーターサイズ頻度分布の特徴から、フォボスの表面更新と公転様式の共進化過程について議論した。

「衝突実験II・探査」セッションでは4件の講演が行われた。横田氏は、小惑星表面の起伏を模擬した山脈型標的への衝突実験の結果から、起伏上に形成されるクレーター形状の多様性とその形成条件について報告した。また、非円形クレーターの形成メカニズムをモデル化し、クレーター形状を幾何学的に計算する手法を示した。また、同手法を用いて実験結果を詳細に解析した結果を報告した。柿木氏は、基盤岩がレゴリスに覆われた小惑星表層を模擬

した層状標的への衝突実験の結果から、クレーター形状のレゴリス層厚み及び基盤岩強度依存性について報告した。また、可視光カメラで撮影したクレーター形状の時間変化や、赤外線高速カメラで撮影した高温領域の分布の時間変化から、クレーター形成過程について考察を行った。松坂氏は、鉄・岩石ラブルパイル天体を模擬した、ゆるく接着した鉄球もしくはガラス球より成る標的を用いて衝突破壊実験を行い、衝突後の標的構成粒子の軌道を調べた結果について報告した。構成粒子の積算速度分布より推定した衝突破壊強度を外挿し、半径数十kmよりも大きいようなラブルパイル天体は凍結粘土や多孔質石膏で模擬されるような一枚岩天体よりも破壊されづらい可能性を示した。寫生氏は、現在計画段階にある、彗星を目標天体とした次世代小天体サンプルリターンミッション(NGSR)について、そのミッション概要を紹介すると共に、(衝突実験含む)彗星上での衝突科学の検討状況や課題について報告した。

「数値計算」セッションでは、3件の講演が行われた。大城氏は、圧密BCCAを用いたダストアグリゲイト衝突シミュレーションでは、実験と調和的な跳ね返り条件が得られることを示した。また、アグリゲイトの持つエネルギーの時間進化を解析した結果についても示し、跳ね返りが起こるメカニズムについて考察した結果を報告した。中澤氏は、従来の衝突計算において注目されてこなかったが、微粒子の極超高速(>20 km)衝突では無視できないと考えられる電離・熱拡散・輻射の影響に着目し、2次元放射流体コード「P4P」を用いて衝突計算を行った結果について報告した。また、同コードで再現された衝突実験を先行研究と比較した結果についても延べた。西尾氏は、SPH法で様々な質量比・破壊規模の衝突条件における数値シミュレーションを行い、衝突により小天体を受ける速度変化を調べた結果について報告した。天体の速度変化は質量比・破壊規模に大きく依存することを示し、そのメカニズムについても議論した。

「衝突実験III」セッションでは、4件の講演が行われた。櫻井氏は、ガラスビーズ焼結体の機械特性および熱伝導率の充填率依存性について調べた結果について報告した。測定結果から微惑星が持ちうる内部空隙形状の推定を行うと共に、普通コンドライトの物性は、焼結後に生成されたクラックの影



図3: ポスター講演会場の様子。

響を受けている可能性を示した。また、同焼結体でクレーター形成実験を行った結果についても報告した。菊川氏は、氷地殻で覆われた内部海を模擬した標的を用いた衝突実験を行い、内海の有無や、氷の厚みがクレーター形成に与える影響を調べた結果について報告した。また、内海に氷破片や弾丸物質が輸送される条件についても議論した。豊田氏は、多孔質氷球の平板への低速度斜め衝突実験の、特に氷球の動きを追う手法の開発について報告を行うと共に、氷球の法線方向・接線方向の反発係数および角速度変化の衝突速度依存性を調べた結果を示した。またそのメカニズムについて議論を行った。豊嶋氏は、湿った砂でのクレーター形成実験を行い、クレーター形状・サイズの含水率依存性について調べた結果を報告した。実験結果より構築したクレーターサイズスケーリング則を火星二次クレーターに応用し、クレーター形成時の表層含水量の推定を行った結果を示した。また、クレーター形成に伴う地下の温度上昇のその場観測の結果についても報告した。

### 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(図3)。例年、学生のポスター講演については数分間のフラッシュトークの時間を設けていたが、今回は会場利用時間や後のスケジュールとの兼ね合いで省略された。発表形態は現地参加のみであったが、オンライン参加者も議論に参加できるよう、Slackにもポスターをアップロードすることとされた。今回懇親会とは別開催だったこともあり、コアタイムは1時間とタイトなスケジュールではあったが、活発な議論が行われていたように思う。Slackもオン

ライン参加者との議論場所や、動画ファイルのアップロード場所として活用されていた。この研究会は対面での議論の場が多く設けられているため、Slackが活用されることは少ないと感じていたが、今後もSlackはツールとして残し、オンライン議論以外の活用方法も模索していくと良いのではないかと感じた(例えば、今回省略されたフラッシュトークをアップロードするなど)。

## 3. おわりに

今回の研究会は「日本の衝突研究の未来Ⅱ」というテーマで、4人の招待講師を招いて開催された。北海道という開催地の魅力もあってか現地参加者も多かったように思うが、参加者の3割はオンラインでの参加であった。近頃は、対面活動を自粛する動きはほぼなくなったが、オンラインでの研究会参加は選択肢のひとつとして定着していることが感じられた。ハイブリッド開催は学務との調整が必要であったり、時間や場所、旅費等の制約があったりする参加者にはありがたいものだと思うが、会場側の手間が増えるのも事実である。マニュアルの整備等で、開催時の負担を減らしていくのが今後の課題だと感じた。

## 謝辞

会場確保のために奔走してくださった実行委員長の鎌田俊一氏に、この場を借りて感謝申し上げます。また、会場準備にご協力いただいた北海道大学大学院理学研究院関係者の方々や、神戸大学大学院理学研究科ほかの学生さん方にも感謝申し上げます。研究会の企画・運営にご尽力くださった、また本稿執筆の機会をくださった世話人の皆様にも改めて感謝いたします。集合写真ほか、研究会の様子写真は立命館大学の木内真人氏に頂きました。重ねて感謝申し上げます。

---

## 著者紹介

---



### 大村 知美

大阪産業大学全学教育機構准教授. 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). 名古屋大学大学院環境学研究科地球環境科学専攻研究員, 大阪産業大学全学教育機構特任講師, 講師を経て, 2024年4月より現職. 専門は実験惑星科学. 日本惑星科学会, 日本物理学会に所属.