

「9th Workshop on Catastrophic Disruption in the Solar System」参加報告

杉浦 圭祐¹

1. はじめに

2018年5月14日から17日の4日間を用いて、国際研究集会「9th Workshop on Catastrophic Disruption in the Solar System」が神戸にて、JSPS Core-to-Core ProgramとCPSの共催にて開催された(HP: http://www.impact-res.org/CD2018/Catastrophic_Disruption_2018/Welcome.html)。同国際研究集会は太陽系内の衝突現象に関わる様々な研究を行う研究者の発表・交流の場であり、海外の衝突物理に関わる研究者と密に議論を交わすことのできる貴重な機会である。1回目は1985年にイタリアのピサ大学で開催されており、30余年に渡り続いている歴史のある研究集会である。9回目を数える今回は、神戸市は生田神社の境内にある生田神社会館で開催された(図1)。三宮駅から徒歩5分程度という好立地ながら神社特有の静寂さに包まれた場所であり、学会の開催場所としては申し分ない環境であった。16日の水曜日にはエクスカーションとして姫路城を訪れたが、生田神社と合わせて海外からの参加者の方々には日本の文化を体感していただく良い機会になったのではないかなと思う。

今回の研究会には国内から35名、海外から43名の計78名が参加し、中程度以上の規模での開催となった。会場の広さ(図2参照)も程よく、参加者が広がりすぎることなく密で白熱した議論が交わされた。口頭講演は8件の招待講演を含む46件行われた。質疑応答を含む招待講演は30分、一般講演は20分と比較的長い時間を取っていたため、普段の学会では聞くことのできない深い内容に触れている講演も多々あった。ポス



図1：研究会の集合写真。生田神社前にて。



図2：研究会会場の様子。

ター講演については場所の都合上紙のポスターが掲示されることはなかったが、LOCが所持するUSBメモリを通して電子版が配布されたほか、14日の月曜日のお昼前にはポスターの内容を紹介する3分間の発表も行われた。以下では、簡単にではあるが一部の講演の内容についてお伝える。

1. 名古屋大学大学院理学研究科
sugiura.keisuke@a.mbox.nagoya-u.ac.jp

表1：口頭講演のプログラム。*は招待講演を表す。

5月14日(月)		
9:20	A. Cheng*	AIDA DART mission: Double Asteroid Redirection Test
9:50	M.Hirabayashi	NASA's DART mission to Didymos: A scenario of mutual orbit perturbation due to shape deformation of the primary caused by impacts of DART-driven ejecta
10:10	S. Sugita	Spectral search for asteroid Ryugu's parent body and implications for Hayabusa2 observations
10:50	S. Soldini	Dynamics of dust particles in the vicinity of Ryugu asteroid under the effect of solar radiation pressure: application to Hayabusa2 spacecraft operations
11:10	P. Tanga	Role of the Gaia mission (ESA) in the characterization of asteroid family members and parent bodies
11:30	J. Masiero	Asteroid families as told by NEOWISE
14:30	J. -B. Vincent*	Collisional environment in the early solar system from recent and future space
15:00	J. Deller	The plausibility of craters on comet 67P/Churyumov-Gerasimenko
15:20	Y. Kim	An observational evidence of catastrophic collision in the present asteroid belt:
16:10	S. Bus	Unravelling complex asteroid families in the inner main belt
16:30	P. Pravec	Asteroid clusters similar to asteroid pairs
16:50	C. Avdellidou	The Moon as a large-scale impact laboratory
17:10	R. Ohsawa	All sky survey and meteor observation of Tomo-e Gozen
5月15日(火)		
9:10	M. Arakawa*	Experimental study on scaling laws for high-velocity impact phenomena on water icy targets
9:40	G. Flynn	Effects of sample porosity on disruption energy: implications for asteroid survival
10:00	D. Durda	Laboratory impact experiments with decimeter- to meter-scale targets to measure momentum enhancement
10:50	M. Yasui	Impact experiments on porous gypsum and glass simulating rocky planetesimals and proto-planets: Collisional properties in oblique impacts
11:10	K. Kurosawa	A full-chain analytical model to connect projectile/target properties with ejecta velocity distributions and transient crater radii
11:30	T. Michikami	The shapes of fine fragments with sizes from several tens micrometers to few sub-millimeters in impact experiments: Comparison with Itokawa regolith particles
14:10	A. Sticke*	Results of the hydrocode benchmarking campaign for the Asteroid Impact and Deflection Assessment (AIDA) mission
14:40	D. de Niem	The BE hydrocode for impacts on small, porous bodies: Some predictions for the DART mission and catastrophic collisions of asteroids
15:00	P. Michel	Simulations of high-velocity impacts on metallic targets
15:20	S. Raducan	The effects of asteroid layering on ejecta mass-velocity distribution and implications for impact momentum transfer
16:10	M. Bruck-Syal*	Disruption simulations using adaptive SPH
16:40	K. Sugiura	High resolution simulations of catastrophic impacts of asteroids and size, rotation rate, and shape distributions of remnants
17:00	C. El-Mir	A new hybrid framework for simulating asteroid impact events: from damage to disruption and gravitational accumulation
5月16日(水)		
9:10	R. Ballouz	Large asteroid shapes from catastrophic disruption and reaccumulation
9:30	O. Barnouin	Small asteroid shapes from catastrophic disruption and reaccumulation
9:50	M. Jutzi	The shape and structure of small bodies as a result of sub-catastrophic collisions
10:40	S. Schwartz	Seeding bilobate comet formation through catastrophic disruption
11:00	A. Campo Bagatin	Relation between asteroid gravitational aggregate structure and shattering events
11:20	D. Scheeres	Disaggregation of rubble pile asteroids
11:40	E. Asphaug	Accretionary shredding: The first mechanism of catastrophic disruption
5月17日(木)		
9:10	M. Delbo	A primordial catastrophic disruption in the Main Belt and its implication for the origin of asteroids
9:30	P. Paolicchi	Age of asteroid families with the YORP-eye method
10:10	J. Leiwa-Kopystynski	Estimation of energy of impactors that formed some selected asteroid families
11:00	K. Holsapple	Simulating asteroid collisional histories
11:20	N. Haghighipour	Accurate modeling of collisions with implications for terrestrial planet formation
11:40	X. Mao	Asteroidal spin evolution by impacts: disruption in context
12:00	O. Golubov	Size distribution of boulders on asteroids, and their contribution to the YORP effect
12:20	D. Veras	Catastrophic disruption of exo-asteroid
14:40	D. Coto-Figueroa*	Scale-dependent measurements of meteorite strength: Implications for asteroid fragmentation
15:10	G. Libourel*	Are chondrules formed by protoplanetary impacts?
15:40	S. Wakita	Survivability of hydrous minerals during planetesimal collision
16:20	N. Lunning*	CV and CM chondrite impact melts
16:50	S. Sirono	Chondrule formation through collisions between planetesimals containing hydrous minerals

表2：ポスター講演一覧.

E. Asphaug	Comet Radar Explorer: Seeing the disruption record of comets
O. Barnouin	Insights on the internal nature of a rubble pile from possible surface lineaments on Itokawa
V. Unukovich	An equilibrium between YORP and tides for singly synchronous binaries
T. Omura	Porosity structure of gravitationally accumulated granular bodies inferred from laboratory measurements of fluffy granular samples
Y. Murakami	High velocity impact disruption of porous sintered targets with low density projectiles
A. Suzuki	Experimental study on oblique impacts with various projectiles
G. Libourel	Hyper-velocity impacts as a source of apparent shortage of metallic asteroids
C. Ganino	No volatile element fractionation during high velocity impact as inferred from experiment

2. 講演概要

表1に口頭講演のプログラムを、表2にポスター講演の一覧を示す。表1には示していないが、口頭講演は内容別に7つのセッションに分かれている。この7つのセッションはそれぞれ、1. Space missions and observations, 2. Experiments and scaling laws, 3. Numerical modeling of shattering, 4. Collisions and small body shaping, 5. Asteroid families, 6. A wide collisional view, 7. Meteoritic collisional signature, である。以下ではそれぞれのセッションについて、印象に残った講演を中心にして内容について簡単に触れていく。

2.1 Space missions and observations

最初のセッションでは小惑星の探査ミッションや、地上からもしくは人工衛星からの観測などに関する講演がなされた。探査ミッションとしてはNASAのAIDA DARTミッション、JAXAのはやぶさ2ミッションの進展および応用・展望についての講演がそれぞれ2件ずつあった。また過去のミッションであるが、宇宙機Rosettaが訪れた彗星67P/Churyumov-Gerasimenkoに関する講演も2件あった。Deller氏は67Pの表面にある特徴的な3つのクレータ形状を衝突によって説明できるような表面物性値を、iSALEコードを用いて調べた結果について紹介した。筆者も同じく数値計算を行なっているが、数値実験と探査ミッションの関連性という点で大いに興味をそそられた。

人工衛星を用いた観測として、ESAのGaiaミッションとNASAのNEOWISEミッションについての講演があり、それらの結果と応用に関する講演がそれぞ

れ1件ずつあった。地上観測として木曽観測所に設置されたTomo-e Gozenに関する講演が1件あり、大澤氏はTomo-e Gozenの仕様および運用スケジュールについて報告した。Tomo-e Gozenによって地球近傍の小惑星のライトカーブも測定されているが、ごく小さい小惑星の形状モデルまで作ることのできる精度で観測しているという点が印象的であった。

2.2 Experiments and scaling laws

本セッションでは様々な衝突実験およびその応用に関する講演が6件行われた。多岐にわたる衝突実験の結果が紹介されており、氷ターゲットへの衝突実験(荒川氏)、空隙が含まれるターゲットへの衝突実験(Flynn氏)、ターゲットへの斜め衝突の影響を調べた実験(保井氏)、などが紹介された。Durda氏は衝突による小惑星の軌道変化に大きく影響を与える運動量増幅効率を調べることを目的とした、メートルサイズのターゲットへの衝突実験の計画及び進捗について報告したが、大きなサイズのターゲットへの衝突実験ならではの苦勞も聞くことができ大変興味深いものであった。

2.3 Numerical modeling of shattering

本セッションではiSALEコード、SPH法、N体的手法などといった数値シミュレーションによる衝突現象の再現に関する講演が7件行われた。筆者も本セッションにてSPH法を用いた小惑星の大規模破壊の高解像度シミュレーションと得られた集積天体の形状分布について調べた結果を報告した。講演ではクレータ形成から大規模破壊まで多岐にわたる衝突現象を数値シミュレーションで再現した結果について紹介がなされ、AIDA DARTミッションへの応用を視野に入れ

た種々の流体力学計算手法の運動量増幅効率に対するベンチマークテストの結果(Stickley氏), 鉄質小惑星のクレータ形成への応用を目的とした金属ターゲットへのクレータ形成の数値計算と実験との比較について(Michel氏), adaptive SPH法を用いた衝突現象の再現の紹介(Bruck-Syal氏), などといった内容の講演が行われた。Raducan氏はレゴリス層を持つ小惑星へのクレータ形成をiSALEコードを用いて再現し, 質量放出量や運動量増幅効率がレゴリス層の厚さにどのように影響を受けるか調べた結果について報告した。講演ではクレータ形状がレゴリス層の厚さによってどのように変化するか調べた結果も紹介されたが, 薄い場合は2重リング形状, 厚い場合は単純形状, 中間の場合は平らな底を持つ形状となるそうで, 層の厚さによってクレータ形状が分類できるという結果が大変おもしろいと感じた。

2.4 Collisions and small body shaping

本セッションでは特に衝突現象と小惑星形状の関連性に着目した講演が集められており, 数値シミュレーションを用いて衝突破壊によって生じた形状を調べた結果を報告した講演4件を含む7つの講演が行われた。Ballouz氏は小惑星衝突によって生じた大きな集積天体の形状を調べた結果を報告し, 半径70kmと半径18kmの天体同士が衝突速度5km/sで衝突した場合にも平たい形状が形成されうること示した。一方Barnouin氏は衝突破壊で生じた小さな集積天体の形状分布を調べた結果を報告し, 多くの集積天体は球形状に近いという結果を示した。Jutzi氏は67Pのような頭が二つあるような形状が破壊的ではない衝突とその後の再集積で形成されることを示した数値計算を紹介した。またSchwartz氏は破壊的な衝突の後に起こる再集積でも頭が二つあるような形状が形成されうること示した。特に破壊的な場合の集積天体の形状を調べるのは解像度の観点で難しいが, 今では計算機や手法の発展のためそれも可能になってきている。本セッションの発表を聞いて, 惑星科学分野における数値シミュレーションの将来性を強く感じた。

2.5 Asteroid families

本セッションはセッション名の通り, 小惑星族と族を形成した衝突現象に関する講演が3件行われた。

Delbo氏はYarkovsky効果による小惑星族の軌道の広がりを用いて小惑星族の年齢を推測する方法と, その方法によって発見した40億年以上の年齢の小惑星族について紹介した。Paolicchi氏はYORP効果も考慮することでさらに詳しく年齢を制限する方法について報告した。またLeliwa-Kopystynski氏は族のサイズ分布などの情報を用いて族を形成した衝突のエネルギーを見積もる方法について報告した。

2.6 A wide collisional view

本セッションでは衝突現象に関連した話題を様々な視点からとらえた研究に関する講演が5件行われた。この5件の講演の中で特に興味深かったのが, 太陽系外の小惑星の破壊現象について考察したVeras氏の講演である。この講演では主系列星以降の星の周囲を回る小惑星がどのように破壊されるのか, という極めてユニークな内容が紹介された。Veras氏は白色矮星のロッシュ半径内に入った小惑星の潮汐破壊を数値シミュレーションで再現し, WD 1145+017のトランジットをうまく説明できることを示した。また赤色巨星段階の星の大きな光度によってYORP効果が増幅され, 自転が加速することによって小惑星の破壊を促進することを示した。

2.7 Meteoritic collisional signature

最後のセッションでは特に隕石を構成する物質に残された痕跡をもとにして過去の衝突現象に迫る研究に関する講演が5件行われた。そのうちコンドリュールの小惑星衝突による形成に関する講演が2件行われた。脇田氏の講演は水質変性を受けた物質に関するものであった。水質変性を受けた物質は母天体の内部の温かい環境で水に触れて形成されたと考えられているが, 一方で小惑星セレスやベスタの表面でも発見されている。これを説明するためには物質を母天体の内部から脱水しないように衝突破壊で放出する必要がある。脇田氏はiSALEコードを用いてそのような衝突が起きるかについて調べ, その結果について報告した。またCotto-Figuroa氏は小惑星の破壊強度を見積もることを目的とし, 実験によって岩石の強度のサイズ依存性を調べた結果について紹介した。

3. おわりに

参加した国際研究集会「9th Workshop on Catastrophic Disruption in the Solar System」は規模こそ中程度のものであったが、衝突業界の大御所とも言える研究者の方々が参加している豪華なものであった。筆者が使用している手法について記載された論文を執筆した研究者の方も多数出席しており、大変感慨深いと感じた。また実際にそのような方々と交流を持つこともでき、筆者にとっても非常に有意義な研究集会であった。

冒頭でも触れたように、コンパクトな研究会であるという特色を活かし極めて活発な議論が交わされていた。衝突物理は古くから研究されている分野でありながら未だ発展途上にある分野でもあり、この分野に関わる研究者にとって様々な話題についてフランクに議論できる場はとても貴重だと感じた。筆者自身も多くの方から質問・意見をいただくことができ、また何人かの方に実際に質問をすることができ、今後の研究に活かすことのできるフィードバックを得ることができた。

同国際研究会は3から6年の間隔で開催されている。次の開催までに衝突物理の理解がさらに深まるであろうことを思うと、次の研究集会に参加し様々な発表を聞くことが今から楽しみである。この参加報告記事を読んでこの国際研究集会に興味を抱いた方は、ぜひ次の機会に参加して欲しいと思う。

謝 辞

研究会を開催するにあたってご尽力いただきました世話人の皆様には発表会場の準備などで大変お世話になりました。また神戸大学の方々にはコーヒープレイクの準備など様々な場面でお世話になりました。この場をお借りして感謝申し上げます。