

## 衝突実験はじまりからこれまでの流れ

藤原 顕 (関西大学, 元宇宙科学研究所)

わが国における衝突実験のはじまりと、これまでの流れを国内外における関連研究の進展とともに記しておく。といっても、筆者の身近な事柄や、関心を中心にしたもので、決して客観的なものではないことをお断りしておく。〈文中、氏名はこの会関連の身近な方々中心に挙げられており（敬称略）、また内容には、まちがいの多々あるかと思われるが、その際にご指摘いただけると幸いである〉。最後に掲げた表も参照しながら読んでいただきたい。また類似の記事を惑星科学会 {遊星人} にも書いたので興味のある方は参照いただくと幸いである(藤原, 2012)。

本格的惑星科学研究の始まりは 1963 の ICARUS の創刊とっていいであろう。この年に Gault and Heitowit(63)がすでに 2 段式軽ガス銃を使って 6km/s 程度の速度で玄武岩にクレーターを作り、破片サイズと速度の関係や、各種エネルギーモードへの弾丸エネルギー分配率を求めており、結果はその後、多くの研究者によって引用されることとなった。これで見られるように、60 年代には、すでに米国をはじめ海外では各種の衝突装置が開発されていた。わが国での惑星科学関連の活動は、60 年代後半に京大基礎研で太陽系の起源に関する研究会が清水幹夫らの呼びかけて始まった。その後、この会は月惑星シンポジウムとして宇宙科学研究所（駒場、後に相模原へ移る）で毎年行われ、現在に引き継がれている。そして後に（92 年）日本惑星科学会ができるまで、わが国の惑星科学研究者の情報交換の場として重要な役割を果たした。69 年はアポロ計画で人類が月に行き、月試料がもちかえられ、米国で月惑星会議が毎年開かれるようになる。また 70 年、わが国では初の人工衛星「おおすみ」が打ち上げられた。衝突関係では Gault and Wedekind (69)がガラス球に高速弾丸を衝突させ、破壊する実験を行った。これが初めての衝突「破壊」実験であるが、このときは、まだ惑星科学的な視点というよりは、月からのテクタイトの起源という点に関心が向いている。60 年代後半になると日本では林忠四郎を中心とした京大グループ、海外では Cameron, Goldreich, Alfvén, Safronov といった人たちによって太陽系の起源と進化に関する理論的研究が盛んになった。

69 年ごろ、長谷川博一はこれまでの宇宙線永年変化の研究から派生した問題意識をもって宇宙空間ダストの勉強会を持つことになる。このグループには、小池千代枝、筆者、向井正、山本哲生、浅田智朗ほかがいた。筆者は惑星間ダストを将来的にスペースで観測したいということで、その測定器のキャリブレーションのためのダスト加速器の開発にかかわることになった。しかし、当時、日本の飛翔体事情はまだ良くなく、スペースでの観測実現は困難であった。このような経緯を経て、筆者は高速度衝突現象に関心が向いていた。当時の、海外の、この分野の状況を知る文献としては Kinslow “High-velocity impact phenomena”がある。これには米国などで行われている発射装置や、クレーター数値シミュレーションなどが紹介されており、この分野の研究を知る上で貴重な文献であった。

このような状況のころ、筆者は京大航空工学教室（神元五郎）でバリステイックレンジが開発

されたことを知り、これを利用して岩石への衝突実験を行うようになる。この装置は国内初の2段式軽ガス銃であり、エネルギー源は火薬ではなく高圧ガスを利用したものである。これによって国内で初めて惑星科学を指向した高速度衝突実験が始まった。Fujiwara et al.(77)はその最初の論文で、当時盛んになりつつあった惑星の成長や小天体の科学にもデータが生かされることとなった。これを皮切りに、東大〈松井孝典ら〉、名古屋大〈水谷仁、高木靖彦、荒川政彦ら〉で実験が進められた。名古屋大には一段式火薬銃が製作された。これは惑星科学者が持った初めての自前の衝突装置であった。さらに筆者〈京大物理〉のところにも2段式軽ガス銃が作られ、浅田智朗、中村昭子、門野敏彦らが実験に加わった。後にこの装置が宇宙研に移ってからは、小野瀬直美らが参加した。これらがあいまって惑星科学関連の衝突の科学が広がっていく。同時に実験室で得られた結果を小惑星や惑星に適用するための、いわゆるスケーリング問題が考えられるようになった(水谷仁, Holsapple and Housen, ほか)。また小惑星の族の問題に初めて衝突現象を持ち込むこととなった。

この時代の小惑星研究の重要な書籍として71年出版の”Physical studies of minor planets”という本がある(のちのASTEROIDSシリーズの前身とも言える本である)。この時点で番号がついて登録されていた小惑星の数はたった1,748個しかなかった。小惑星の形も、当時の論文中に“cylinder with semispherical end caps”といった表現に見られるように、光度曲線から縦横比が分かる程度であった、なにせ、マリナー探査機によって火星にもやっと、どうやらクレーターがあるらしいということが分かっていた時期である。72年にはマリナー9号によってPhobosの写真が撮られた。これが小天体の外観をとらえた初めてのものであり、当時のわれわれにはインパクトは大きかった、77年にはVoyagerが打ち上げられ、本格的な惑星探査の時代に入っていく。79年には’ASTEROIDS’が出版される(その後ASTEROIDS II” IIIが出版された、IVは現在準備中)。

この年、若手を中心に惑星科学連合が作られ、会の機関誌も定期的に発行された(初号には水谷仁と筆者のそれぞれ手書き記事がある)。また、この年には宇宙研でも小惑星サンプルリターン研究会が開かれるなど、将来の惑星探査を志向する動きが見られる。85年にはハレー彗星が接近し、ヨーロッパ、ロシアとともに日本も2機の探査機(さきがけ、すいせい)を打ち上げた。これが、日本初の惑星間探査機となった。衝突関係では’Catastrophic disruption workshop’がPisaで開かれた。この会は、その後、各国持ち回りで開かれ、現時点で8回を数える(3回目は京都で開かれた)。89年までの衝突破壊に関する実験データやスケーリング測については’ASTEROIDS II”をみよ。それ以降の成果はASTEROIDS III, IVにまとめられている。

80年代後半に入ると彗星ダストサンプルリターンのための高速ダスト捕獲材の開発(京大グループ)や、ペネトレータの基礎開発(名大グループ)が始まるなど、日本でも、惑星探査を指向した研究が始まった。彗星ダスト捕獲プロジェクトは日本では実現しなかったが、このときの経験をさらに発展させて、その後〈2000年以降〉Stardustで持ち帰られたダストの解析や、デブリ回収などに生かされた(奥平恭子、北沢幸人)。90年代に入るとGaspra(91) Ida(93)など小惑星の外観が探査機によって明らかになるようになった。しかしこれらは目標惑星への飛

行の途中で、「ついでに」撮られたもので、小惑星観測が本来の目的ではなかった。92年には日本惑星科学会が発足する。ちなみにこの年にはパルサーのまわりの惑星発見報告があり、惑星科学の今後の新しい発展を予感させる。宇宙研ではこのころレーガン機の開発が始まる(河島信樹, 柳沢正久ら)。NASAもこれまでとは違って **small mission** を始めるようになり、96年にはディスカバリー計画第1号として初めて小惑星探査を主目的とした **Near Shoemaker** 探査機が打ち上げられた。95年には **MUSES-C** (はやぶさ, 2003 打ち上げ) が正式に承認される。これにともなって無重力下での効率よい試料採取方法として弾丸衝突による採取法の開発が、無重力実験も含めて実施されることになる(筆者, 安部正真, 矢野創, 長谷川直, 高木靖彦ら **MUSES-C** サンプラーグループ)。はやぶさではこの装置の本来の目的にそった使われ方ができなかったが、はやぶさ2でその有用性が確認されるかどうか注目される。またはやぶさ2では新たにインパクトによる表面掘削が試みられることになっている。

一方、著者が最初に関わっていたダスト加速器のほうは1990年ごろから、まず小型装置を筆者らが再開発を始めた。その後、小林紘一, 柴田裕美, そして長谷川直ほか、多くの若手研究者の尽力で東大原子力のバンデグラフ 3MV (東海村) を使って加速できるようになった。これによってダストの宇宙空間での直接測定の検出器のキャリブレーションが自前で行えるようになった。現在 **Bepi Colombo** 探査機搭載用のダスト測定器の準備が進められている。

京大物理の2段式銃は宇宙研に移管され、その後、共同利用化された(現在は法政大学へ移管)。宇宙研には新しい2段式銃(横, 縦型)が導入され、長谷川直の管理下で共同利用が行われている。また神戸大, 千葉工大で衝突銃が惑星科学用に使われている。またレーザー研で、より高速度の飛翔体を用いた研究も行われるようになった(門野敏彦ほか)。

以上、日本の衝突研究は始まって40年ほどになるが、その間に、小惑星や惑星に関する研究、また、はやぶさ搭載機器やペネトレータ開発、ダストの現場測定や捕集関連技術など、重要な研究や開発が、衝突研究の中から育ってきていることがわかる。世界的な惑星科学研究の大きな流れの中で日本の少数のグループがいかに工夫して独創性ある研究を生み出してきたかを知っていただければ幸いである。

上記で引用されている文献

Fujiwara, A., Tsukamoto, A., Kamimoto, G. (1977) Destruction of basaltic bodies by high-velocity impact. *Icarus* **31**, 277.

Gault, D. E. and Heitowit, E. D. (1963) The partition of energy for hypervelocity impact craters formed in rock. *Proc. Sixth Hypervelocity Impact Symp.* **2**, 419-456. Cleveland, Ohio.

Gault, D. E. and Wedekind, J. A. (1969) The destruction of tektites by micrometeoroid impact. *J. Geophys. Res.* **74**, 6780.

Kinslow, R. (1970) *High-velocity impact phenomena*. Academic Press.

Gehrels, T. ed. (1971) *Physical studies of minor planets* NASA SP-267.

Gehrels, T. ed. (1979) *Asteroids*. Univ. Arizona press.

Binzel, R. P., Gehrels, T., Matthews eds. (1989) *Asteroids II*, Univ. Arizona Press.

Bottke Jr., W. F., Cellino, A., Paolicchi, P., Binzel, P. eds. (2001) *Asteroids III*, Univ. Arizona Press.

Davis, D. R., Farinella, P., Paolicchi, P., Zappala, V. eds. (1985) *Catasrophic disruption of asteroids and satellites. J. the Italian Astron. Soc.* **57-N°** -1986

藤原顕 (2012) 衝突研究から「はやぶさ」, そしてその先へ. 日本惑星科学会誌 「遊・星・人」  
第21巻 第2号 168.

以下の表の中で 赤字は探査関連, 青字は文献, 紫字は衝突装置関連, 右端には筆者個人の履歴を表す.

### 惑星 小天体/衝突関連 年表

- 1960 *Icarus*(62-63) Gault&Heitowit(63)  
月惑星シンポ (京大基研 → 宇宙研駒場) (67?) 大学院修士進学(67)  
Apollo(69) Gault&Wedekind(69)
- 1970 おおすみ(70) Kinslow "High-velocity Impact phenomena" (70)  
このころ太陽系起源理論研究が本格化(Safronov, 林, Goldreich, Cameron, Alfven)  
*Physical Studies of Minor Planets* (71) (火星crater?)  
Phobos (Mariner 9) (72) Voyager 打ち上げ(77) 京大航空 Fujiwara et al.(77)  
*ASTEROIDS*(79) 日本惑星科学連合(79) 京大理, 名大理
- 1980 小惑星サンプルリターン小研究会 京大助手(83)  
ハレー彗星(さきがけ, すいせい) (85) 1st Catastrophic Disruption W. S.(85)  
*ASTEROIDS II*(89)
- 1990 Gaspra (91) 日本惑星科学会(92) 最初の系外惑星 (92) 宇宙研へ移動(92)  
Ida(93) ISASレールG  
MUSES-Cスタート(95) のぞみ(98) Discovery Near-S打ち上げ(96) 東大原子カダストA
- 2000 Eros(00)  
*ASTEROIDS III* (02)  
Itokawa DEEPIMPACT かぐや(07) スターダスト回収(06) (打ち上げ99) 退職(06)
- 2010 はやぶさ帰還(10) あかつき ケプラー(09) レーザー研 ISAS2 神戸 千葉工大  
Vesta C-G彗星 など