

天体の衝突物理研究会報告

和田 浩二¹, 大野 宗祐², 中村 昭子³

1. 「12年後」

アレクサンドル・デュマの「三銃士」は、田舎からパリに出た若きダルタニャンが仲間の3人の銃士と一緒に大暴れする冒険活劇である。その続きは、「20年後」という題名の物語に語られる。ダルタニャンがそれぞれの道を歩んでいる旧友のもとを久方ぶりに訪れ、4人の交差する冒険活劇が新たな登場人物を加えて再開するのである。

さて、8月26日・27日の2日間、北大低温研において「天体の衝突物理の解明」研究会が開催された。本稿では、研究会の世話人のひとりである中村が研究会開催の背景を述べ、各講演についてはそれぞれの発表ファイルを元に、1日目について和田が、2日目について大野がそれぞれの視点からまとめる。

惑星系の起源と進化において、衝突はきわめて重要な素過程である。ちょうど日本惑星科学会設立のころ、1991年から1993年まで、宇宙科学研究所の小研究会として、衝突破壊の研究会が年に一度つごう3回開催された。その当時、国内では複数のグループが太陽系小天体の衝突過程の実験的研究に取り組んでおり、その中から室内実験の結果を惑星規模の問題に適用するためのスケーリング則も提案されていた。一方で、Smoothed Particle Hydrodynamic (SPH) コードを用いた数値シミュレーションによる、微惑星の衝突過程の研究にも着手がなされていた。

今回、本稿をまとめるにあたって改めてそのときの

集録を見直してみた。1回目は、実験・スケーリング則・数値シミュレーションの3つのアプローチの現状を整理し、そこから問題点を抽出してそれぞれの研究へのフィードバックをかけることを目的とした議論が行われた。こうしてクローズアップされた「衝撃破壊の進行過程」に的を絞ったのが2回目の研究会である。1, 2回目とも、研究というものに取り組んでまだ十分なキャリアを積んでいない筆者にとっては、当時の学問状況を把握するのにとても役にたったという印象がある。同時に、テーマを絞りこんだための窮屈さのようなものもうっすらと感じた。3回目は、「破壊」をキーワードに、物性物理学と惑星科学の接点を探ったもので、異分野からの切り口の新鮮な刺激を受けて大変楽しかった。が、研究会として方向づけを行うものではなく発散ぎみであったと思う。4回目を開こうという大きな声は記憶に残っていない。

「12年後」、国内を見渡すと、惑星科学における衝突現象研究の新しいグループが立ち上がり、また、1990年代前半には見られなかった手法（以下にも紹介されるが、衝突蒸気雲内での化学反応を追うためにレーザー照射によって模擬衝突蒸気雲を発生させることや、微小重力下での粒子層への衝突実験、離散要素法による数値シミュレーションコードなど）による研究が行われ、自然なことながら顔ぶれにも変化がみられる。他方、惑星探査データによる衝突地形解析の立場からも素過程への関心が寄せられている[1]。このような状況のもとで、宇宙科学研究所の衝突小研究会の世話人であった荒川が折りにふれ昔のメンバーに声をかけ新たなメンバーを勧誘することで、研究会を開く

1. 北海道大学低温科学研究所

2. 東京大学大学院新領域創成科学研究科

3. 神戸大学大学院自然科学研究科

うという機運が高まっていった。相互の交流を密にし、議論の場を設け、ハード（実験道具）・ソフト（知恵）の両面での研究協力の可能性を探り、その過程でこの分野のポテンシャルの上昇をはかる、という趣旨である。このような趣旨に理解・賛同をいただいて、低温研共同利用研究集会および共同特定領域研究「太陽系外惑星科学の展開」ダスト班研究会として開催が可能となった。

今回の研究会は、衝突現象の解明に関わるシミュレーションと衝突実験・解析についての最新の結果を持ち寄り、学会講演などでは十分に時間がとれない議論をじっくりと行うことを目的とした。研究会は、発表者のほかに北大低温研や理学部、それに台風による飛行機の便の乱れにも関わらず東京からの参加者も加わって、表1に示すプログラムの順に進行された。当初のもくろみどおりに議論が活発に行われたため、1日目夕刻の懇親会開始時刻は遅れ、そのままの勢いで2日目の昼食は講演を聴きながらになり、終わりの総合

討論の時間もなくなった。2,3のコメントを交換して、研究会はあたふたと終了することになった。

2. ～1日目(8/26)～

2.1 焼結体・粘弾性体

衝突によるクレーター形成過程や破壊過程をより現実的に理解するうえで様々な物理量の依存性を知る必要がある。本研究会では、空隙率、氷粒子やシリケート粒子の焼結度合い、有機物による粘性の効果、などに注目した室内実験・数値シミュレーション研究が報告された。

荒川政彦(名大)「雪の衝突破壊とクレータリング」

彗星や小惑星といった比較的小さな天体の表面は、氷粒子やレゴリス粒子で構成される高空隙粉体層からなるとされる。したがって粉体層の空隙率や焼結度が衝突過程におよぼす影響を理解することが重要となる。

表 1:「天体の衝突物理の解明」研究会プログラム

8月26日(金)		
13:30-13:40	荒川政彦	はじめに
<焼結体・粘弾性体>		
13:40-14:10	荒川政彦(名大)	雪の衝突破壊とクレータリング
14:10-14:40 (10分お休み)	瀬藤真人(神戸大)	ガラスビーズ焼結体の衝突破壊
14:50-15:20	和田浩二(北大)	焼結粉体層への衝突シミュレーション
15:20-15:50 (20分お休み)	城野信一(名大)	粘弾性球の相互衝突
<スケーリング則ー Part 1>		
16:10-16:40	高木靖彦(東邦学園大)	クレータースケーリング則再考
16:40-17:10	山本 聡(東大)	衝突クレーター形成のスケーリング則
17:10-17:40	原 大輔(東大)	衝突クレーター形成過程に対する大気の影響
8月27日(土)		
<衝突と大気>		
9:30-10:00	阿部 豊(東大)	惑星形成・惑星初期環境進化における衝突と大気の問題
10:00-10:30 (10分お休み)	濱野景子(東大)	隕石重爆撃期の天体衝突による惑星大気量の変化
10:40-11:10	石丸 亮(東大)	衝突蒸気雲中で進行する化学反応のキネティクス計算
11:10-11:40	石橋 高(東大)	衝突蒸気雲中におけるSiO ₂ からの遊離酸素による炭素化合物の酸化
11:40-12:10	大野宗祐(東大)	衝突蒸気雲の再凝縮物によるエアロゾルの洗い流し
<スケーリング則ー Part 2>		
13:30-14:00	門野敏彦(IFREE)	ガラスの衝突破壊
14:00-14:30 (10分お休み)	平田 成(神戸大)	クレーター放出物の速度・サイズ分布
14:40-15:10	平岡賢介(神戸大)	クレーター形状とターゲット強度との関係
15:10-15:40	中村昭子(神戸大)	玄武岩の衝突破壊
15:40-16:30	総合討論	

荒川は氷粒子とシリケート粒子の混合物をターゲットとした衝突破壊実験を行い、破片速度や衝突強度がターゲットの空隙率にどう依存するかを示した。空隙率が大きくなると、シリケート粒子を含まないターゲットの場合には衝突強度は増加したのに対し、混合物ターゲットの場合には逆に衝突強度は低下した。このことは、彗星の強度を考えると空隙率とともに氷とシリケートの混合割合が重要であることを示している。また、焼結雪への衝突によって作られる衝突クレーターの形状が空隙率や焼結度合で違ってくることを示した。即ち、クレーター形状は半球～球になり、また空隙率が比較的小さい（～50%）とクレーター外縁部にはスポールによってテラスが形成されることを示し、その形成過程について議論された。実際の天体上におけるクレーター形成過程の理解に向けて、このような空隙率、混合物質比、焼結度合といったパラメーターがクレーター形成に及ぼす影響を評価しその物理過程を明らかにすることが今後の興味ある課題である。

また、荒川は比較的空隙のある雪（空隙率50%）に対する高速衝突実験において、衝突メルト（再凍結層）が生成されることを報告した。室内実験において実際に衝突メルトが生じることの報告は貴重であり、衝突溶融に対する空隙率の影響を探る上で興味深い。

瀬藤真人(神戸大)「ガラスビーズ焼結体の衝突破壊」

荒川が主に雪・氷のターゲットに対する衝突強度を求めたのに対し、瀬藤はガラスビーズ（シリケート）を焼結させたターゲットにたいする低速度（～100m/s）衝突破壊実験を行い、その衝突強度を求めた。焼結温度・時間をさまざまに変えて作成したガラスビーズ焼結体を用意し、その圧縮強度と衝突強度を測定したところ、衝突破壊強度は空隙率および圧縮強度が大きいほど大きくなる傾向が見出された。さらにLoveらによる高速度衝突による先行研究[2]の結果に比べて1, 2桁以上小さい衝突強度（ Q^* ）という結果が得られた。用いたプロジェクトイル/ターゲットサイズ比の違いがどう関わってくるか調べるなど、パラ

メーターの範囲をさらに広げて実験を行うことが期待される。

和田浩二(北大)「焼結粉体層への衝突シミュレーション」

室内実験とともに数値計算による解析も、衝突の物理を理解するうえで有効な手段である。和田は、焼結層における衝突クレーター形成過程を明らかにすることを目的として、離散要素法（Distinct Element Method: DEM）による焼結粉体層への衝突の数値シミュレーションを行った例を示した。

DEMは粒子間相互作用を考慮して個々の粒子の運動を直接解いていく数値計算手法であり、粉体層への衝突をシミュレーションする上で有効な手法である。粉体の焼結状態を表すモデルとして粒子間付着力と回転抵抗を取り入れてクレータリングのシミュレーションを行ったが、焼結による強度の影響がほとんど見られなかった。採用した粒子間付着力や回転抵抗のパラメーターの値を検討すると共に、粒子間接合モデルのさらなる検討が必要であることが示唆される結果となった。

城野信一(名大)「粘弾性球の相互衝突」

ダスト粒子が合体して成長できるかどうかは微惑星の形成過程を制約する上で重要である。さらに有機物の存在はダスト粒子の付着を促す効果があり、有機物の混合割合が付着率にどう影響するかを調べることは微惑星形成を論じる上で重要となる。城野はシリコンオイルを模擬有機物としてこれとソーダガラス（シリケート）をさまざまな割合で混合した球を作成し、それらの自由落下実験を行い、反発係数や付着確率を混合比の関数として測定した。報告された結果は、まず反発係数はどの場合も0であった。またソーダガラス/シリコンオイルの混合比（体積比）、即ちシリケート/有機物の混合比が1.5以下で急激な付着確率の増加が見られた。したがって、より早く微惑星が形成されるのは、有機物が体積にしてシリケートの半分以上も存在する領域である、ということが示唆された。さらに

付着を決める要因として真実接触面積の大小などが議論された。

2.2 スケーリング則～ Part 1

衝突過程のスケーリング則は室内実験の結果から現実の天体衝突の結果を推定する上で欠かせないものである。これまでスケーリング則の確立が精力的に行われ、重力支配域と物質強度支配域におけるクレーターサイズのスケーリング則など、ある程度の理解を得るにいたっているがまだ良く分かっていないことも多い。本研究会で報告された実験的研究においては、そういったスケーリング則の確立に寄与するとともに、これまでのスケーリング則に再考を要請する結果も得られつつある。

高木靖彦(東邦学園大)「クレータースケーリング則再考」

小惑星や彗星など、多くの小天体の表面重力は極めて小さく（ $\sim \text{mG}$ から $\sim \mu\text{G}$ ），そのような微小重力下におけるクレーター形成過程を明らかにすることは小天体表層の進化や降り注ぐ天体のサイズ・速度分布などを考えるうえで重要となる。高木は、微小重力（ $\sim \mu\text{G}$ ）下での砂（ガラスビーズ）への衝突実験によって形成されたクレーターの大きさが、 1G 下で形成されるクレーターの大きさと変わらなかったことを報告した。重力が小さくなればクレーターサイズはその分大きくなるであろう，というのが従来のスケーリング則の予想するところであり，高木の報告はこの予想を覆すものである。この結果は，従来のスケーリング則において言われていた重力支配領域，強度支配領域のいずれにも該当せず，これまであまり考慮されてこなかった物理過程（例えば粒子間非弾性衝突や摩擦）を踏まえたスケーリング則が必要であることを示唆した。

山本聡(東大)「衝突クレーター形成のスケーリング則」

衝突クレーターサイズに関するスケーリング則もさることながら，クレーター形成の際に放出される放出

物（イジェクタ）の総量や放出速度分布に関するスケーリング則も天体の衝突進化を考える上で重要となる。例えば低速イジェクタはクレーター周辺のイジェクタ堆積層を形成し，天体の脱出速度を超えるような高速イジェクタはダストとなる。またそれらの中間の速度で放出されるイジェクタは天体表層物質の輸送・混合率に大きく関わってくる。従来の衝突実験においては数 m/s から 100m/s 程度の中間速度に対するイジェクタのデータが得られておらず，イジェクタの総量と放出速度のスケーリング則は良く分かっていなかった。山本は砂（ガラスビーズ）に対する衝突実験を工夫して行うことで，そのような中間速度のイジェクタの総量と速度の関係を求めた。その結果，従来の低速イジェクタについて適用されていたスケーリング則がより高速イジェクタまで成り立ち，比較的高速度で放出されるイジェクタが多量に存在することを定量的に示した。このことは，多量のイジェクタがクレーターから十分遠方にまで到達することを意味し，天体衝突による表層進化を考える上で興味深い。ただし，山本の実験は垂直衝突であった。天体衝突の大部分は斜め衝突であり，斜め衝突の際のスケーリング則の確立が今後期待される。

原 大輔(東大)「衝突クレーター形成過程に対する大気の影響」

衝突クレーターの形成過程に及ぼす大気の影響を考えることは，例えば火星特有のクレーター形態であるランパートクレーターの形成機構を明らかにする上で重要である。また，逆にクレーター形態やイジェクタ堆積物を調べることでクレーター形成時の大気状態が明らかになる可能性がある。

しかしながら大気の影響を評価した実験的研究は少なく，大気圧が大きくなるとクレーターサイズが小さくなることは示されているが，その物理素過程は良く分かっていなかった。原は，大気中でのクレーター形成過程を明らかにするべく， 1気圧 から 0.001気圧 まで様々に大気圧を変化させて砂（ガラスビーズ）への

衝突実験を行い、レーザー測定法によるクレーター形成過程のその場観測を行った。クレーター形成のその場観測によって、まず掘削の過程で過渡クレーター(transient crater)が形成され、その後崩壊によって最終クレーターとなる様子が分かる。したがって過渡クレーター形成における大気の影響を測定でき、掘削過程と崩壊過程を分けて論じることが可能となる。その結果、過渡クレーターの形成段階において大気圧の増大に伴ってクレーター径は減少する一方、クレーターの深さには明瞭な変化が見られないことが示された。このことから、掘削段階において既にクレーター形成が大気の影響を受けていることが明らかとなった。さらに、過渡クレーターの内壁傾斜角やイジェクタカーテンの角度が大気圧の増大と共に大きくなることが確認され、クレーター径の減少は、大気によって減速されたイジェクタがクレーター内壁に堆積するという機構によることが示唆された。このように詳細なその場観測が可能となるレーザー測定法は、クレーター形成過程を明らかにする上で重要な役割を担い得るであろう。

3. ～2日目(8/27)～

3.1 衝突と大気

衝突現象は、惑星大気の形成やその後の進化に非常に大きな影響を与えてきた。本研究会では、衝突が大気の形成・進化に及ぼした影響というテーマに関して、概論や衝突蒸気雲とその凝縮物の物理・化学に着目した最新の研究成果が報告された。

阿部 豊(東大)「惑星形成・惑星初期環境進化における衝突と大気の問題」

阿部の講演では、惑星形成と惑星初期環境進化における衝突と大気の問題についてのレビューがなされた。惑星形成過程を原始惑星が微惑星を集めて成長する段階を前期段階とそれに続く原始惑星同士の衝突合体が起こる段階を後期段階とに分けた上で、それぞれの段

階における衝突の性質・状況・問題点の検討が行われた。前期段階初期においては、微惑星同士の衝突が主で衝突速度は低速である。水の存在の有無など存在する微惑星の組成が、微惑星同士の衝突減少だけでなく、最終的に形成される原始惑星の組成、特に揮発性物質の総量に影響を及ぼす。その後原始惑星がある程度の大きさに成長すると、原始惑星が纏った大気中における比較的高速度(1～5km/s)の衝突が起こるようになる。

この衝突速度では衝突蒸気雲は発生しないと考えられるものの、揮発性成分の脱ガスが起こるため、衝突は原始惑星の大気組成に大きな影響を与える。惑星形成の後期になると原子惑星同士の衝突が起こる。このような巨大衝突(Giant Impact)が起こった際にも大気のかんりの部分が残ったと考えられている。さらに後の隕石重爆撃期あるいはそれ以降の衝突においては、多くの場合で衝突蒸気雲が生成する。衝突蒸気雲による大気の剥ぎ取りや表層環境への影響も重要な問題である。

濱野景子(東大)「隕石重爆撃期の天体衝突による惑星大気量の変化」

濱野の講演では、隕石重爆撃期の天体衝突による惑星大気量の変化について、衝突蒸気雲による大気の剥ぎ取りと衝突天体による揮発性物質の供給に着目した議論がなされた。衝突蒸気雲の膨張による周囲の大気の惑星からの散逸量や衝突蒸気雲自体の惑星からの散逸量については、これまで詳しく調べられてこなかった。そこでCIP法を用いた流体計算コードを新たに開発することにより、衝突蒸気雲による大気の散逸量と蒸気雲自体の散逸量を定量的に見積もられた。さらに衝突天体のサイズ分布について積分を行うことにより、衝突天体中の揮発性物質量と惑星の大気圧をパラメーターとして、大気質量の変化量が定量的に見積もられた。その結果、大気圧が高く衝突天体中に揮発性物質が乏しいと大気量は減少し、逆の場合には大気量が増加することが示された。衝突天体中の揮発性物質の量

が時間とともに変わらない場合，大気量は一定値に近づくように変化することが示された。

石丸 亮(東大)「衝突蒸気雲中で進行する化学反応のキネティクス計算」

石丸の講演では，衝突蒸気雲中で進行する化学反応のキネティクス計算のモデルの詳細とこれまでの単純なクエンチモデルとの比較結果について紹介された。これまでの衝突蒸気雲内の化学反応に関する研究では，化学反応がある一点で急激に停止する（クエンチ）ということが仮定され，その条件は反応と蒸気雲の冷却の特徴時間を比較することで見積もられてきた。一方，紹介されたキネティクスモデルでは，衝突蒸気雲内の気相反応のネットワークを逐一計算することにより，蒸気雲の運動と化学反応をカップリングさせて解くことが可能である。講演で示されたキネティクスモデルの計算結果により，反応の停止温度が各反応によって異なること，また，逆反応が存在するため正反応の速度だけではクエンチ温度を見積もることができないことが示された。その結果，これまでの単純なクエンチモデルでは衝突蒸気雲の最終生成物の化学組成を正確に見積もることができず，HCN やCH₄などの生成量の見積もりにはキネティクスモデルを用いる必要があることが示された。

石橋 高(東大)「衝突蒸気雲中におけるSiO₂からの遊離酸素による炭素化合物の酸化」

石橋の講演では，衝突蒸気雲内における炭素化合物の化学組成について，とくにSiO₂からの遊離酸素による酸化に着眼点をのいた議論がなされた。衝突蒸気雲内の炭素質化合物の化学組成にSiO₂が影響を及ぼすかどうかについてはよくわかっていなかった。しかし，講演者らのこれまでの実験的研究により実験室条件下においてはSiO₂の存在が炭素質化合物の化学組成に影響を及ぼすことが確認された。講演では，SiO₂と有機物の混合物の化学平衡計算を行うことにより，SiO₂の影響の有無と衝突速度の関係についての議論が

なされた。化学平衡計算の結果により，衝突速度が遅いとSiO₂の熱分解がほとんど起こらず炭素質化合物へ与える影響は限定的になることが示された。一方，衝突速度が速い場合にはSiO₂の熱分解はかなり低温まで起こり続けるため，衝突蒸気雲の最終的な化学組成においても炭素質化合物に与える影響は大きいことがわかった。

大野宗祐(東大)「衝突蒸気雲の再凝縮物によるエアロゾルの洗い流し」

大野の講演では，衝突蒸気雲の再凝縮物によるエアロゾルの洗い流しという新しいプロセスを提案するとともにK/T 事件における重要性について議論がなされた。K/T 事件の際には，衝突地点から放出された大量の硫黄酸化物から硫酸エアロゾルが生成したと考えられている。先行研究では硫酸エアロゾルのみが存在する条件で見積もられてきたため，硫酸エアロゾルの大気中の滞留時間はかなり長いと考えられてきた。しかし，もし衝突蒸気雲の岩石質再凝縮物と硫酸エアロゾルが付着してしまうと，その後非常に短期間で落下してしまう。講演では，K/T 境界層で見ついている衝突時に放出された岩石質の再凝縮物の総量が，大気中に漂う硫酸エアロゾル粒子をすべてはき集めるのに十分な量だったことが示された。続いて，岩石質再凝縮物粒子と硫酸エアロゾル粒子の両方を考慮した粒子の合体成長のモデル計算の結果が示され，それによればほぼすべての硫酸エアロゾル粒子が数日以内に地表に落下してしまうことがわかった。これは，K/T 事件の際には短期間に集中して非常に強い酸性雨が降ったことを意味している。

3.2 スケーリング則〜 Part 2

門野敏彦(IFREE)「ガラスの衝突破壊」

門野の講演では，ガラス板の衝突破壊実験を行い，その際観測された破片の速度分布が紹介され，それにもとづく議論が行われた。薄いガラス板のターゲット

の一辺に円柱型のプロジェクタイトを衝突させ、散乱する破片を高速度カメラで観測した。その結果、破片の大きさと速度の間には関係は見出されなかった。一方、破片の初期位置と速度との間には明らかな関係が見られ、衝突方向と平行な成分 V_y は衝突地点との距離の増加とともに、衝突方向と垂直な成分 V_x は衝突軸からの距離の増加とともに、それぞれ大きくなることが示された。また、ターゲットガラス板の大きさが大きい場合には V_x と V_y の最大値は同程度であったが、ターゲットが小さい場合には V_y の最大値が V_x の最大値と比べ圧倒的に大きいことがわかった。これは、ターゲットが小さい場合には自由端に達した時にも衝撃波が十分強いのでスポール破壊が起こるが、ターゲットが大きい場合には衝撃波が弱まってしまいそのような現象が観測されないのではないかという解釈が可能である。講演では、さらに次元DEMのモデル計算を用いた実験結果の解釈が議論された。

平田 成(神戸大)「クレーター放出物の速度-サイズ分布」

平田の講演では、クレーター放出物の速度-サイズ分布の二次クレーターの空間分布、サイズ分布を用いた推定について紹介・議論された。講演では、月のクレーター Tycho の周囲の二次クレーターが Clementine 探査機のデータをもとに解析された。クレーターの個別の形状とクラスターなどグループとしての産状の特徴から二次クレーターを判別し、サイズ密度分布が求められた。また、一次クレーターからの距離の異なる地点のデータを比較することで、二次クレーターを形成した破片の速度が推定された。解析の結果求められたサイズ密度分布は、一次クレーターからの距離によらず、先行研究と近い値である傾き-3.3~-3.8のべき乗則に従うことが示された。さらに、これからスケリング則により推定される二次クレーターを形成した破片のサイズ分布も、距離によらずほぼ一定であることが示された。この関係は今回初めて観測的に示された。また破片の速度分布はある程度速いものでは放出速度に対して-1~-2乗で減少する

ことが示され、破片の形成メカニズムについてスポール破壊モデルなどの可能性について議論がなされた。

平岡賢介(神戸大)「クレーター形状とターゲット強度との関係」

平岡の講演では、クレーター形状とターゲット強度との関係について、衝突実験の結果をもとに議論がなされた。強度支配域におけるクレーター形成は、ターゲットの物性に依存すると考えられる。講演では、ターゲットの物性のうち強度に着目し、ターゲット強度を変化させて衝突実験を行った結果についての報告がされた。ターゲットとしてはモルタルを用い、材齢を変えることにより強度を変化させた。衝突速度は約850m/sと約650m/s、プロジェクタイトはアルミニウムを用い、実験は神戸大学の火薬銃を用いて行われた。講演で示された実験結果は、形成されたクレーターの直径がターゲットの材齢に依存していないことが示された。また、回収されたスポール破片の厚さが、衝突速度が速いほうが大きいという結果が得られた。これらの結果は先行研究による予測とは必ずしも一致しておらず、これまでのスポールに関するモデルの妥当性や今後の実験の展望について議論がされた。

中村昭子(神戸大)「玄武岩の衝突破壊」

中村の講演では、衝突破壊を論ずるうえで着目された玄武岩のワイブル (Weibull) 定数の値の導出について紹介・議論された。岩石の破壊の過程がGrady-Kipp のひび成長のモデルに従うという仮定が小天体の衝突破壊の数値シミュレーションで用いられている[3]。この破壊モデルでは標的物質内のひびの成長のしやすさの分布がワイブル分布という2つの定数で記述されるべき乗分布になるとされている。この時、引張強度は歪速度によることが導かれるので、引張強度の歪速度依存性からワイブル定数が算出されている。中村は、同じ玄武岩試料を多数用意し、これらの圧裂引張強度を測定した。次に、ワイブルのもともとの手法に従い、この圧裂引張強度のばらつきによりワイブ

ル定数を導出した．その結果，玄武岩のワイブル分布のべき指数は20から30程度となり，これまでのシミュレーションで用いられていた値である約10とは大きく異なる値が得られた．この違いの原因の議論では，ワイブル定数の決定方法の従来との違いが候補としてあげられた．

4. これから

1991年の小研究会の集録のまとめに今後の衝突破壊研究の進め方についての議論のまとめが書かれている．それには，

- (a)実験を行うグループは目的を絞った実験を行うべきであり，衝撃破壊の物理過程がわかるような方法をとって実験を進めて行った方がよい，
- (b)真密度に近い物質のみを扱って研究しているが，微惑星を念頭においた空隙を含む物質についても積極的に研究を行うべし，
- (c)参加者に関してできるだけ広い分野の人を呼ぶべし，

という提案がなされたとある．興味深いことに，今回の総合討論でも，「衝突破壊研究の今後の方向性は」という問いかけに対して返された答えは(a)と(b)であった．今回もこれら(a)や(b)の課題に取り組んでいる研究が紹介されており，10数年前の方向づけと現状との調和を多少なりとも確認することができる．さらに(b)に関して，当時は思いもよらなかった粘弾性物質についてその衝突物性が着目されるなど，すべてが想定内のことばかりでないところに学問の面白みを感じることができる．

(c)に関しても，今回改めて「分野内に閉じては進展がないので，外の人を呼ぶ研究集会であるべし」というコメントがなされた．ダルタニャンの「20年後」の方は，ひと波乱あった後に再び時間がとび，10年後の「鉄仮面」の物語をもって三銃士シリーズの幕となる．衝突研究会のほうは，ここ数年はなんらかの形で継続して行かれるのではないかと期待される．

最後に，北大低温研，理学部の方々には大変お世話になったことをこの場をお借りして感謝いたします．文中敬称は略させていただきました．

参考文献

- [1] 平田成他，2004，遊星人 13, 57.
- [2] Love, S. G. et al., 1993, Icarus 105, 216.
- [3] Asphaug, E. et al., 2002, in Asteroids III, 463. など.