

氏名	かど の とし ひこ 門 野 敏 彦
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 1691 号
学位授与の日付	平 成 8 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 第 二 専 攻
学位論文題目	Observation of Expanding Vaper Cloud Generated by Hyper-velocity Impact (高速衝突により発生する気体の膨張の観測)
論文調査委員	(主 査) 教 授 小 山 勝 二 教 授 政 池 明 教 授 佐 藤 文 隆

論 文 内 容 の 要 旨

現在の惑星は、過去に多数の固体天体の高速度衝突を受けてきたと考えられており、固体どうしの高速度衝突は惑星がいかにして形成されたかを考える上で非常に重要な現象である。しかし従来、高速度衝突に関する現象の中でも固体破片の放出現象、つまりクレーター形成や破壊現象が中心的に調べられてきた。

これに対し、近年、高速度衝突において固体破片の放出と同時に起こる、気体の放出現象の惑星科学的な重要性(たとえば、大気の起源や惑星内部構造の分化など)が認識されるようになったが、この現象の研究、特に実験的研究は非常に立ち遅れている。現状では、実験室内で惑星物質として普遍的に見られる岩石や氷などの粒子を、それらが標的衝突時に大量に蒸発するほどの速度に加速することはできない。そこで申請論文では、低い気化温度を持つナイロン粒子を約 4km/s に加速して各種の標的に衝突させ、衝突時に完全蒸発の状態を作り、気体放出現象の基本過程を解明することを主眼とした基礎実験を行っている。

本申請論文では衝突によって放出された気体が膨張するときの力学的基本量である、膨張速度、密度、また温度などについて、気体自体が発する光を超高速度カメラやフォトダイオードによって調べている。主な結果は次のとおりである。膨張の際の気体の先端速度は気体の初期状態から決まる音速に比例し、ほとんど一定である。膨張の仕方は必ずしも半球状ではなく、その形や飛ぶ方向は、衝突により発生する物質中の衝撃波の速度、衝突速度、衝突角度の組み合わせで得られるパラメータによって記述される。実際、気体が半球状に膨張するならば、密度は時間の -3 乗で減少するはずであるが、ややそれより小さいべき $(-2.3 \sim -2.7$ 乗)で減衰している。さらに、発生直後の気体は光学的に厚いが、時間とともに薄くなっている。また、気体の縁(先端)より内側には気体だけでなく、固体の破片も気体の先端と同程度で飛んでいる。ナイロンどうしの衝突では、温度は衝突直後は 4000K から 6000K でその後時間の -0.04 から -0.2 乗で減衰し、光エネルギーの入射粒子の運動エネルギーに対する割合はおよそ 10^{-4} から 10^{-5} であることが観測されている。

論文審査の結果の要旨

最近の太陽系形成のモデルでは、成長しつつある原始惑星に降り注ぐ微惑星は、特に集積後期において、衝突した固体の一部または全部が蒸発するほどの速度で衝突すると考えられている。このような激しい衝突で発生する気体のもたらす効果が、原始惑星大気の形成と進化および地殻、マントル、中心核などの内部構造の分化の過程において重要な役割を果たしたと予想されている。

これまでの高速度衝突実験において、衝突により発生した気体の膨張に関する実験的研究はまったくなされていなかった、といつてよい。衝突に関する研究は、これまで微惑星の衝突、集積、成長に関心が向けられており、おもに形成されたクレーターの形、破片のサイズ分布や速度分布などが注目され、発生する気体にはあまり注意が向けられていなかった。また、実験室内では粒子を10km/s以上に加速させることは難しく、惑星を構成している岩石物質では衝突速度が10km/sを越えないと十分蒸発しないと言われていたことも、研究の遅れているもう一つの理由としてあげられる。申請論文は高速度衝突による固体破片の放出現象に比べ著しく立ち遅れている、高速度衝突での気体の放出現象の基礎実験を以下に述べるような工夫によって行ったものである。

衝突によって気体が発生し、膨張するという現象は一時的なものであり、クレーターや固体破片のように実験後に観察することができないし、気体として出た物質を回収することは難しい。この研究の第一の特徴は発生した気体の膨張過程を気体自体が出す光を利用して調べたということである。自発光を利用することにより、発生した気体のふるまいの時間変化、および空間分布の様子などがその場で観察できる。また発生した気体のふるまいは、金属や岩石を使っていることは調べることは困難である。それは、実験室内ではマクロな大きさ(～1cm)の金属または岩石の粒子を、それらが標的への衝突時に蒸発するのに十分な速度にまで加速することが難しいからである。そこで第二の特徴として、プラスチック粒子(ナイロン)を使うことにより、金属や岩石では得られなかったマクロな入射粒子の完全蒸発の状態を実験室で実現させたことがあげられる。

このような実験条件のもとで、発生した気体の基本的な力学的性質である、気体の飛ぶ方向や形、先端の膨張速度、温度・密度の時間変化などを、高速度カメラやフォトダイオードなどを使って調べている。結果における特徴的な点は次の通りである。まず飛ぶ方向や形は、入射粒子と標的物質、入射速度および角度によって異なっており、それらの組み合わせによって得られるパラメータにより記述できることを見出している。また、気体の先端の最高速度(飛び出す方向の膨張速度)は、衝突により発生する衝撃波の通過によって達成される圧力と密度から求められる音速に比例した速度で膨張することを見出し、気体が真空中に自由膨張するときには、その初期状態の音速に比例した速度で膨張するという定性的に予想される結果を確認している。さらにこれまでに求められた例のない気体の密度と温度の時間変化を測定している。密度は -3 乗よりも小さな時間依存性を示し、必ずしも半球状に膨張しているわけではない、という結果を裏付けている。また温度はおよそ -0.1 乗の時間依存性を示していることを観測し、これから放射によってエネルギーが減少し温度が減衰している、という可能性を指摘している。

以上のように、今回の基礎実験により気体の膨張の基本的な性質はほぼ押さえられていると考えられる。

さらに、それぞれの結果は今後の研究への出発点となるものであり、重要な意味を持っている。

また、参考論文は関連分野の研究であり、申請者が惑星科学、固体衝突現象の分野で広い学識と研究能力を持つことを示している。よって、本申請論文は博士（理学）の学位論文として価値を持つものと認める。