

論文審査の結果の要旨

氏名 黒澤耕介

惑星の起源と進化に天体間の衝突が非常に重要な役割を果たしてきたことは、従来の多くの研究によって明らかにされている。しかし、天体間衝突の物理化学過程の詳細については、未だに未解明の部分が多く、惑星の起源と進化を考える上での大きな障害となっている。特に、衝突速度が 10 km/s を超えて地球型惑星の主要構成要素であるケイ酸塩が蒸発する過程や付随して起きる有機物質の化学反応過程に関する実証的研究はほとんどなされてこなかった。

本論文は、4章からなる。前半の2つの章では、天体衝突に伴う相変化・化学反応解明のための基礎技術となる原子/分子発光分光法による熱力学状態測定法の開発について述べられている。発光分光測定は、高時間分解計測可能であるため、衝突蒸気雲の熱力学状態計測には適した手法である。しかし、(1)高温岩石蒸気の圧力の測定法が未確立であり、実験から全熱力学量を推定できないこと、(2)分子分光測定を行うと分子の振動状態の非平衡性が現れ、温度を計測できないという問題点があり、これまでは天体衝突時の相変化・化学反応を議論できるデータを得ることは困難であった。第1章では衝突蒸気雲へ適用可能な発光輝線幅からの圧力測定法の開発を行った。開発手法は分光定数が計測されている全ての発光輝線へ適用可能である。衝突蒸気雲の温度圧力進化の情報は、相変化・化学反応過程に関する理解を飛躍的にすすめるだろうと期待される。第2章では分子の振動状態に影響されない新しい並進—回転温度推定法を開発した。並進—回転温度は、蒸気雲内の粒子同士の衝突確率を支配する重要な熱化学パラメータである。この手法は激しく化学反応を起こし、振動非平衡状態にある CN, C₂ といった炭素系ラジカルの並進-回転温度を推定可能であるため、天体中の炭素の化学進化を理解するのに最適な手法である。

後半の2つの章では、新しく開発した原子/分子分光法を天然衝突に適用した例についてまとめている。第3章では世界でも初めてのケイ酸塩鉱物の衝撃蒸発実験を行った。

時間分解発光分光観測を行い、衝撃圧縮ケイ酸塩のエネルギー分配過程を議論した。実験の結果、電離/電子再結合に伴う吸熱/発熱がケイ酸塩の熱力学状態、流体運動進化に大きな影響を与える可能性が高いことが明らかとなった。これは現在広く受け入れられている巨大衝突による月形成仮説の成立条件を大きく変化させ得る結果である。第4章では大気中での小規模天体衝突時の生命前駆物質合成過程に関する実験的研究を行った。小規模天体衝突の場合、衝突天体と原始地球大気が非常に効率よく化学反応を起こし、CNを生成する。申請者は以前、レーザー照射実験により原始地球大気中にCNが生成される状況を模擬し、効率よく生命前駆物質(HCN)が合成することを示している。本研究ではレーザー照射実験の結果を衝突現象に適用可能であるかどうかを調べるために、新たに高速度衝突実験を行い、第2章で開発した分子分光解析法を用いて、レーザー/衝突生成CNの熱力学状態を比較した。その結果衝突生成CNはレーザー照射生成CNと近い物理過程で生成されている可能性が高いことが明らかとなった。この結果は小規模天体衝突が非常に効率の良いHCN生成機構となり得ることを示唆している。

このように、本論文では、天体間衝突の解析をする上で重要な2つの新基礎計測技術を提案・開発した上、それらを惑星の起源と進化を探るために意義の高い衝突実験に応用して新しい重要な知見を得ている。このような本格的な取り組みの価値は非常に高く評価できる。

なお、本論文第1章は、指導教員の杉田精司との共同研究の形で国際誌に投稿予定の研究内容であり、第2章は、藤田和央博士、石橋高博士、門野敏彦博士、大野宗祐博士、松井孝典博士、杉田精司との共同研究であり、*Journal of Thermophysics and Heat Transfer* 誌に発表済みの内容であるが、論文提出者が主体となって実験、解析、解釈を行ったもので、論文提出者の寄与が充分であると判断する。

したがって、博士(科学)の学位を授与できると認める。