

博士學位論文

内容の要旨及び審査結果の要旨

第38号

2015年3月

京都産業大学

は し が き

本号は、学位規則（昭和 28 年 4 月 1 日 文部省令第 9 号）第 8 条の規定による公表を目的とし、平成 27 年 3 月 21 日に本学において博士の学位を授与した者の論文内容の要旨及び論文審査結果の要旨を収録したものである。

学位番号に付した甲は学位規則第 4 条第 1 項によるもの（いわゆる課程博士）であり、乙は同条第 2 項によるもの（いわゆる論文博士）である。

目 次

課程博士

| | | | |
|--|------------|-------|----|
| 1 . 周 艷 | 〔博士（経済学）〕 | | 1 |
| 2 . 佐 藤 雅 俊 | 〔博士（法律学）〕 | | 5 |
| 3 . 新 中 善 晴 | 〔博士（物理学）〕 | | 11 |
| 4 . 新 崎 貴 之 | 〔博士（物理学）〕 | | 15 |
| 5 . <small>シーモントリー</small> SRIMONTRI <small>パイトゥーン</small> PAITOON | 〔博士（生物工学）〕 | | 19 |

論文博士

| | | | |
|-------------|------------|-------|----|
| 1 . 佐 倉 正 明 | 〔博士（生物工学）〕 | | 25 |
| 2 . 鶴 村 俊 治 | 〔博士（生物工学）〕 | | 29 |

| | |
|---------|---|
| 氏名（本籍） | 新中 善晴（広島県） |
| 学位の種類 | 博士（物理学） |
| 学位記番号 | 甲理 14 号 |
| 学位授与年月日 | 平成 27 年 3 月 21 日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 4 条第 1 項該当 |
| 論文題目 | Study of the origin of the cometary volatiles |
| 論文審査委員 | 主 査 河北 秀世 教授 |
| | 副 査 鈴木 信三 教授 |
| | ” 原 哲也 教授 |
| | ” 渡部 潤一 教授（国立天文台） |

論文内容の要旨

本申請論文は、米国天文学会論文誌 *Astrophysical Journal Letters* 782 号に掲載された” $^{14}\text{NH}_2/^{15}\text{NH}_2$ Ratio in Comet C/2012 S1 (ISON) Observed during its Outburst in 2013 November”、同じく米国天文学会論文誌 *Astrophysical Journal* 734 号に掲載された”Ortho-to-Para Abundance Ratio of Water Ion in Comet C/2001 Q4 (NEAT): Implication for Ortho-to-Para Abundance Ratio of Water”、そして同じく米国天文学会誌 *Astrophysical Journal* 729 号に掲載された”Ortho-to-Para Abundance Ratio (OPR) of Ammonia in 15 Comets: OPRs of Ammonia versus $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ Ratio in CN”（いずれも査読付き）で扱った内容を中心に据え、「太陽系の起源」について、前述の論文出版後に更に追加した自身の観測データを新たに盛り込み、かつ、最近の実験室や理論的な研究の進展をふまえた上で、新たに当該テーマについて議論を行った新しい内容を盛り込んだ論文となっている。

第 1 章では彗星科学全般について概要をのべ、自身の扱っている彗星揮発性分子の原子核スピン異性体存在比および同位体存在比について、太陽系形成過程を反映した始原的特徴としての側面から、太陽系起源解明に対する彗星科学における立ち位置を解説している。また、その中で彗星分子の原子核スピン異性体存在比および同位体存在比について、どのようなプロセスによってこれらの観測量がコントロールされているのかについても簡潔に解説を行い、博士学位論文のイ

ントロとしている。

第2章から第4章までは、上述の出版済み論文の内容をアップデートしたものが順にあてられている。第2章では、彗星コマ中の NH_2 分子輝線高分散スペクトルから同ラジカルオルト/パラ比を得る手法および、そこから NH_2 ラジカル元となった(彗星氷中に保存されていた)アンモニア分子のオルト/パラ比を精密に推定する手法および、それを 8 m クラスの大望遠鏡 (Subaru 望遠鏡および VLT 望遠鏡) によって観測した結果についてまとめている。その結果は原子核スピン温度と呼ばれる熱平衡状態を仮定した温度指標において約 30 K に集中していることを明らかにし、また、CN 分子の窒素同位体比と関連があることを観測的に示した。

第3章では、彗星氷の主成分である H_2O について、そのオルト/パラ比を可視光線の高分散スペクトルから得るための手法として、彗星コマ中に見られる H_2O^+ イオンの発光スペクトルから同イオンのオルト/パラ比を求め、更にその値から、もととなっている彗星 H_2O 分子のオルト/パラ比を推定するという手法を世界で初めて確立したという内容について、その原理的な紹介とともにいくつかの彗星についての適応結果について述べている。既に赤外線高分散分光観測によって明らかにされてきた値と矛盾の無い値が得られることが分かり、サンプル数増加による統計的な視点からの研究に大きな一歩となったことが紹介されている。

第4章では、窒素同位体存在比について着目し、それまで明らかにされていなかったアンモニア分子の窒素同位体存在比を、 NH_2 ラジカル窒素同位体存在比から推定した結果について述べている。単独彗星としては世界で初めてアンモニアの窒素同位体比を明らかにすることとなった ISON 彗星および Lovejoy 彗星における観測では、窒素同位体比が CN ラジカルにおける窒素同位体比と同程度に高い濃集をしめしていることを明らかにし(太陽系の元素組成比にくらべて3倍程度) なんらかの低温度環境における化学反応がアンモニアおよび CN ラジカル元となっている HCN 分子の形成に関わっていることを示唆する結果を得た。このことから、アンモニアや HCN 分子の形成環境温度は、約 10 K 程度であることが示唆された。また、アンモニア分子や H_2O 分子のオルト/パラ比から推定される温度(約 30 K)との違いが明らかになっている。

第5章では、第2章から第4章までの観測事実を元に、太陽系形成環境について議論を行っている。特に、従来、始原的な環境を示唆するとされてきたオルト/パラ比について、彗星コマ内の原子核スピン変換について、最近の実験室および理論的な研究を元にして、その可能性を新たに再評価し、 H_2O クラスタを介する H_2O の原子核スピン変換の可能性について議論している。 NH_3 については、 H_2O から生成される H_3O^+ イオンを介するプロトン移動反応および電子との再結合解離を通じた原子核スピン異性体比の影響について言及し、同じ彗星で似た原子核スピン温度を示す理由について考察している。

第6章は、以上の結果のまとめとして結論に当て、関連テーマの将来の研究の方向性についても示している。

論文審査結果の要旨

太陽系始原天体である彗星の氷物質が含むさまざまな特徴から、太陽系の起源について探るという手法は、これまでも多くの研究がなされ、かつ、欧米における彗星直接探査にも見られるように、極めて重要なサイエンス・テーマであると認識されている。その中で、学位申請者は、彗星氷に含まれる分子の原子核スピン異性体比の非平衡および窒素同位体比の濃集に着目し、多くの観測事実を積み上げつつ、また新たな研究手法を開拓することで多くの成果を挙げてきた。

学位申請者は、アンモニア分子のオルト/パラ比を精密に得る手法を、従来の基本的な手法を発展させる形で確立し、多くの彗星データを元に、統計的な振る舞いについて世界で初めて議論している。また、その結果を彗星が持つ他の特徴と比較し、CN 分子の窒素同位体比と関連があることを突き止めた。窒素同位体の濃集は分子形成環境の温度に依存すると考えられ、より低温度で、より高い窒素同位体濃集を示すという結果となった。この結果は、現在までに彗星科学のみならず星間物質や原始惑星系円盤の研究論文でも多くの引用されている。彗星科学のレビュー論文には必ずといって良いほど引用されることから、その研究の重要性が窺える。

また、彗星コマの可視光高分散スペクトルに見られる H_2O^+ イオン発光スペクトルを手がかりとして、 H_2O の原子核スピン異性体比を得るという全く新しい手法を開拓した点も高く評価できる。従来、 H_2O 分子のオルト/パラ比は近赤外線高分散スペクトルから得られていたが、その観測波長および手法の特殊性から、観測できるファシリティに限りがあった。一方、可視光高分散分光観測はより多くのファシリティによって実現可能であり、また、過去の観測データ・アーカイブ等も利用できるというメリットがある。この手法は学位論文申請者が初めて確立したものであり、その重要性は評価されるものである。

最後にアンモニア分子の窒素同位体比については、世界で初めて単独彗星での測定を実現し、アンモニア分子の起源について観測的に重要な結果を得ている。速やかな論文化とともに世界中がこれに注目しており、今後、更なる発展が期待されている。

平成 27 年 2 月 18 日（水）に開催した審査会において、学位申請者は申請論文の研究の背景、目的、および結果について詳しく解説し、また各審査委員の質問に対して的確に回答した。これらの結果から総合的に判断して、本調査委員会は、本論文が博士学位論文に値するものと判定する。

