

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21740153

研究課題名（和文）彗星の赤外線観測と採集塵の実験室分析に基づく原始太陽系星雲物質循環の解明

研究課題名（英文）Study of material circulation in the early solar nebula based on the infrared observations of comets and the laboratory investigations of dust grains

研究代表者

大坪 貴文（OOTSUBO TAKAFUMI）

東北大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：50377925

研究成果の概要（和文）：

彗星の塵と氷は太陽系形成初期の情報を比較的よく保持していると予想され、彗星塵中の結晶質鉱物と彗星分子氷は原始太陽系星雲中の温度環境を知るためにも特に重要な手がかりの一つである。本研究では、すばる望遠鏡と赤外線衛星「あかり」で近・中間赤外線観測をおこなった彗星に関し、放射モデルを基に解析した。結晶質ケイ酸塩と特に二酸化炭素の氷分子の存在量について、10以上の彗星観測サンプルを基にその主要な傾向を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

Comets consist of primordial icy materials and refractory dust grains. Comets are considered to be pristine objects that provide precious clues about the formation of the solar system. In this study, we observed comets in near- and mid-infrared wavelengths using the Subaru telescope and the infrared satellite AKARI. We derived the relative abundances of crystalline silicate in dust grains and carbon dioxide in cometary ice for more than 10 comets.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学、天文学

キーワード：光学赤外線天文学、太陽系、彗星、ケイ酸塩鉱物、結晶質

1. 研究開始当初の背景

彗星は原始太陽系星雲中の微惑星そのものといってもよく、氷と塵で形成された後に熱変成を殆ど受けていないため、太陽系形成初期の情報を保持していると予想される。近

赤外線波長域（2-5 μm ）は、彗星氷の主要成分である水・二酸化炭素・一酸化炭素の分子振動放射の波長に対応する。一方、中間赤外線波長域（5-50 μm ）には、宇宙空間の主要な固体微粒子であるケイ酸塩の特徴的なスペクトル・フィーチャが存在し、彗星塵には

結晶質のケイ酸塩も見つかっている。ケイ酸塩鉱物の結晶化には 1000 K 程度の温度環境が必要であるが、彗星中には高温生成物の結晶質鉱物と低温凝縮物の氷が共存しており、その生成過程にはまだ謎も多い。

これに関する知見は、まだ数天体の彗星の観測・探査に基づいたものであり、普遍的な傾向についての議論はできない。さらに各観測は複数のグループによっておこなわれ、特に結晶質ケイ酸塩の結果は異なるモデルを基に解釈されたものであるため定量的に比較をした議論ができていない。結晶質鉱物と氷が彗星核中にどの時点でどのように取り込まれたかは十分に分かっていないのが現状であり、今後の精力的な彗星観測とそのスペクトル解析が、謎を解く重要なカギであった。

2. 研究の目的

本研究では、複数の彗星の近・中間赤外線観測をおこない、そのスペクトルを再現する現実的な彗星氷・塵の放射モデルを構築し、彗星塵の鉱物組成・粒径分布や彗星氷の分子存在比といった性質を統計的に明らかにする足がかりを作ることとする。観測サンプル数を 10 天体以上に増やし、それらを同一の現実的な放射モデルで解析・解釈する。現時点では観測することができず直接的な観測的証拠を得ることが難しい原始太陽系星雲中の物質循環や微惑星の形成過程に関して、彗星観測の結果を通じて新たな知見を得ることを目指す。本研究では、特にオールト雲彗星と木星族彗星の間で見られる傾向の違いを探り、原始太陽形成雲中での彗星の形成領域やその周囲の温度環境に関する手がかりを探ることが目的である。

3. 研究の方法

彗星は軌道の違いにより、もともとは大惑星領域 (5-20 AU 付近) で形成された後に太陽系外縁部へ飛ばされたオールト雲起源の長周期彗星と、海王星の外側 (> 30 AU) に存在するカイパー・ベルト起源の木星族短周期彗星の 2 つに大きく分類される。つまり、オールト雲彗星は木星族彗星よりも太陽に近い領域で形成されたと考えられている。結晶質ケイ酸塩フィーチャは、これまでオールト雲彗星に多く検出され、木星族彗星ではあまり検出されないと考えられていた。

ところが 2005 年の NASA Deep Impact 衝突探査でのテンペル彗星では、彗星核内部から放出された塵に顕著な結晶質フィーチャが検出された。この結果は、木星族彗星の彗星核内部にもオールト雲彗星に近い量の結晶質が存在する可能性が高いことを示唆して

いる。これは、原始太陽系星雲中で高温の太陽近傍で結晶化した塵が短時間で効率良く外縁部へ運ばれたか、あるいは上記 2 種類の彗星の形成領域に実は大きな違いがないと考えることになり、微惑星・惑星形成時の原始太陽系星雲に関して再考を迫る結果となっている。

そこで、彗星核形成時における周囲の温度環境を定量的に調べるために、高温生成物である結晶質ケイ酸塩の塵における存在量と、低温凝縮物である二酸化炭素分子氷の水氷に対する存在量を多くの彗星で観測する。

- (1) 日本の赤外線観測衛星「あかり」であれば、近赤外線波長域 (2-5 μm) で、水・二酸化炭素・一酸化炭素の分子振動による放射を観測することができる。
- (2) すばる望遠鏡搭載の中間赤外線観測装置 COMICS であれば、中間赤外線波長域 (8-13 μm) で、ケイ酸塩 (結晶質・非晶質) のスペクトル・フィーチャをとらえることができる。

これらの観測スペクトルを実際に実験室での氷・塵の測定データを基に構築した彗星放射モデルによって統一的に解析し、鉱物組成・粒径分布・空隙率などの塵の性質、水・二酸化炭素・一酸化炭素の組成比などの氷の性質に関してオールト雲彗星と木星族彗星の間で見られる傾向の違いを明らかにし、結果をまとめる。

4. 研究成果

本研究期間中に、すばる望遠鏡では 103P/Hartley などを始め数個の彗星を中間赤外線観測することができた。一方赤外線衛星「あかり」によって近赤外線では 18 個の彗星のスペクトルを得ることができた。

- (1) すばる望遠鏡+COMICS では、2007 年 10 月にアウトバーストを起こした木星族彗星 17P/Holmes (ホームズ彗星) の中間赤外線観測をおこなったが、そのスペクトル中に結晶質ケイ酸塩のフィーチャを検出し、その強度がオールト雲彗星に近いことを明らかにした。その結果に関しては共著として論文で公表し、彗星の形成領域と彗星核に含まれるケイ酸塩鉱物の結晶性についての理解をさらに深める手がかりを得ることができた。また、ホームズ彗星はバースト直後からすばる望遠鏡で観測する機会を得ることができたため、彗星核からの結晶質ケイ酸塩の放出量に関して分光観測で時間的変化を追うことができ、その結果を国際研究会で公表することができた。

22年度後半には、新たにすばる望遠鏡でハートレー彗星(103P/Hartley)を観測する機会を得、探査機の観測結果と比較することができる中間赤外線スペクトルを得ることができた。これに関しては、世界中の望遠鏡による観測キャンペーンの一部として、欧米の研究者との共同研究として速報論文を投稿し受理された。ハートレー彗星は木星族彗星であり塵の放出量は多くないが、この彗星でも10 μ m波長域でケイ酸塩の放射フィーチャが観測スペクトル中に検出された。ただし、この彗星では結晶質ケイ酸塩の放射フィーチャ強度は非常に弱かった。この結果は、結晶質ケイ酸塩の存在量が少ないか、あるいは彗星核表面から放出される塵の粒径が大きくなっていることが予想される。

これにより、オールト雲彗星だけでなく木星族彗星にもやはり結晶質ケイ酸塩が広く存在することが明らかになってきた。オールト雲彗星と木星族彗星の原始太陽系星雲中での形成領域にはそれほど大きな差がない可能性が高い。ただし、木星族彗星の方が結晶質ケイ酸塩の存在量は少ない傾向にあり、形成後の彗星核の進化に関して更なる研究が求められる。研究期間中には、すばる望遠鏡で22P/Kopff彗星なども観測する機会を得たが、残念ながら天候が悪く、これら数個の彗星に関しては科学的な結果を導くためのデータを得ることはできなかった。木星族彗星は数年周期で戻ってくるため、将来的に機会を得て再度観測を試みたいと考えている。

(2) 一方で、本研究の中間赤外線での塵の観測を進めるうちに、その結果を赤外線天文衛星「あかり」の近赤外線データによる彗星氷の分子組成の研究と組み合わせることが、原始太陽系星雲の物質循環について明らかにするのに有用であるという新しい方向性を見いだすことができた。そこで、赤外線衛星「あかり」での近赤外線観測とその解析にも同様に注力した。

分子氷に関しては、「あかり」の観測の有用性の確認の意味合いも含め、まず非常に明るくなったルーリン彗星(C/2007 N3)の分子組成比を明らかにし論文で公表した。ルーリン彗星は、二酸化炭素・一酸化炭素ともに水氷に対する相対存在量が少ないことが分かり、オールト雲彗星の中でも比較的太陽に近い領域で彗星核が形成された可能性が高いことが明らかになった。ルーリン彗星では二酸化炭素の分子振動放射バンドを非常に良い精度で測定することができ、これにより、彗星の氷と結晶質鉱物の起源について、近・中間赤外線観測の結果を組み合わせる研究の有用性を確認することができた。

そこで、「あかり」の観測を精力的に進め

2010年2月の観測終了まで近赤外線分光観測を進めた。結果的に、分子氷に関しては「あかり」での観測結果を基に18個の彗星で二酸化炭素・一酸化炭素の水氷に対する相対存在比を導出することができ、その結果をまとめ、論文で公表した。特に彗星氷の二酸化炭素の観測結果としては、「あかり」の結果は過去最大の観測サンプル数となり、今後の彗星氷研究にとって非常に重要なものとなった。

23年度前半は東日本大震災のため、研究環境にも大きな被害を受け研究の進捗が滞ったが、年度全体を通してみれば、彗星の氷と結晶質鉱物の起源についてこれまでの3年間の総括となるようなデータをまとめるところまでこぎ着けることができた。これらの結果は今後の近・中間赤外線観測を組み合わせる彗星研究の基礎となるものと期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

(1) Ootsubo, T., et al., AKARI Near-Infrared Spectroscopic Survey for CO₂ in 18 comets, *The Astrophysical Journal*, 査読有, 2012 (印刷中)

(2) Usui, F., Kuroda, D., Mueller, T. G., Hasegawa, S., Ishiguro, M., Ootsubo, T., et al. (全13名中6番目), Asteroid Catalog Using Akari: AKARI/IRC Mid-Infrared Asteroid Survey, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 査読有, Vol. 63, 2011, pp. 1117-1138 (<http://pasj.asj.or.jp/v63/n5/630526/630526-frame.html>)

(3) Meech, K. J., Ootsubo, T., et al. (全197名中129番目), EPOXI: Comet 103P/Hartley 2 Observations from a Worldwide Campaign, *The Astrophysical Journal Letters*, 査読有, Vol. 734, 2011, pp. 1-9 (doi: 10.1088/2041-8205/734/1/L1)

(4) Ootsubo, T., Usui, F., Kawakita, H., Ishiguro, M., Furusho, R., et al. (全16名), Detection of parent H₂O and CO₂ molecules in the 2.5-5 microm spectrum of comet C/2007 N3 (Lulin) observed with AKARI, *The Astrophysical Journal Letters*, 査読有, Vol. 717, 2010, pp. 66-70 (

doi: 10.1088/2041-8205/717/1/L66)

(5) Ishiguro, M., Watanabe, J., Sarugaku, Y., Ootsubo, T., Kuroda, D., et al. (全 14 名中 4 番目), 2007 Outburst of 17P/Holmes: the Albedo and the Temperature of the Dust Grains, *The Astrophysical Journal*, 査読有, Vol. 714, 2010, pp. 1324-1333
(doi: 10.1088/0004-637X/714/2/1324)

(6) Watanabe, J., Honda, M., Ishiguro, M., Ootsubo, T., Sarugaku, Y., et al. (全 10 名中 4 番目), Subaru/COMICS Mid-Infrared Observation of the Near-Nucleus Region of Comet 17P/Holmes at the Early Phase of an Outburst, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 査読有, Vol. 61, 2009, pp. 679-685 (<http://pasj.asj.or.jp/v61/n4/610412/610412-frame.html>)

[学会発表] (計 4 件)

(1) Ootsubo, T., et al. Survey of CO₂ in 18 comets with the Japanese Infrared Satellite AKARI, EPSC-DPS Joint meeting 2011 (アメリカ天文学会惑星科学部会), 2011年10月5日, La Cité Internationale des Congrès Nantes Métropole (フランス・ナント)

(2) Yamaguchi, M., Ootsubo, T., et al. Mineralogy Of Silicate Dust Particles For Comet 17P/Holmes By Subaru/COMICS, EPSC-DPS Joint meeting 2011 (アメリカ天文学会惑星科学部会), 2011年10月5日, La Cité Internationale des Congrès Nantes Métropole (フランス・ナント)

(3) 大坪貴文, 「あかり」衛星による彗星の近赤外線分光観測, 日本天文学会2011年春季年会, 2011年3月16日, 筑波大学

(4) 大坪貴文, 「あかり」衛星によるルーリン彗星 (C/2007N3) の近赤外線観測, 日本天文学会2009年秋季年会, 2009年9月14日, 山口大学 (山口)

[その他]

JAXA 宇宙科学研究本部「ISAS ニュース」
2010年1月号
「宇宙科学最前線:『あかり』が照らし出す彗星の素顔」
<http://www.isas.jaxa.jp/ISASnews/No.346>

[/ISASnews346.html](#)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大坪 貴文 (OOTSUBO TAKAFUMI)
東北大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 21740153

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: