

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007 年度～2008 年度

課題番号：19740107

研究課題名（和文）

分裂彗星核の非均質性から探る原始太陽系円盤中の微惑星移動

研究課題名（英文）

On the migration of planetasimals in the protosolar nebula investigated based on the inhomogeneity of cometary nuclei

研究代表者

河北 秀世 (Hideyo Kawakita)

京都産業大学・理学部・准教授

研究者番号：70356129

研究成果の概要：

本研究は、太陽系の化石とも呼べる彗星（始原天体）に含まれる化学組成比を元にして、私たちの太陽系のもととなった物質を探ることを主眼にしている。本研究では多数の破片に分裂したシュバスマン・バハマン第3彗星の観測を元に、もともとの彗星核に内在していた非均質性について議論した。その結果、彗星核は非常に均質であり、原始太陽系円盤内での微惑星の動径方向移動はあまり顕著ではなかったのではないかという結論に達した。また、その他の彗星についても、近赤外線高分散分光観測を多数実施し、その統計的性質に迫った。その結果、従来提案されているような単純な分類では不十分であることを明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,500,000	0	2,500,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	240,000	3,540,000

研究分野：天文学

科研費の分科・細目：数物系科学・天文学

キーワード：彗星、太陽系、原始太陽系円盤

1. 研究開始当初の背景

彗星は、約46億年前に太陽系が誕生した際に形成された微惑星の名残りであると考えられている。この微惑星残存物は、約46億年の長きにわたって、太陽系外縁部にとどまっており、一部が太陽系外からの摂動によって太陽に近づく軌道へと進化したものが「彗星」である。彗星には太陽系形成時に存在していた氷やチリが含まれており、その成分分析を行うことで、太陽系形成初期の環境を明らかにする手がかりが得られる。

彗星氷の成分分析は、最初、可視光波長域でスタートした。20世紀初頭から中ごろにかけて、こうした研究が始まっているが、彗星核内部に含まれていた分子を直接観測できないという問題があった。1970年代以降、電波観測が盛んになり、彗星核に含まれていた分子の一部が明らかになりはじめ、そして1996年以降、彗星の近赤外線分光観測がスタートし、種々の有機分子が観測されるようになってきた。しかし、近赤外線高分散分光観測が行われた彗星のサンプル数は

十分ではなく、彗星の起源（＝太陽系物質の起源）を探るには十分ではなかった。

2. 研究の目的

そこで本研究では、国内外の大型望遠鏡と、それに設置された近赤外高分散分光器を用いた彗星有機分子探査を進めることとした。用いた望遠鏡および高分散分光器は、Subaru 望遠鏡+IRCS、Keck2 望遠鏡+NIRSPEC、VLT 望遠鏡+CRIFES と、8～10m口径の望遠鏡群である。観測波長は、主に2.7～4.5 μm 付近であり、この波長域には、多種多様な分子のC-H、N-H、O-H間の伸縮振動モード遷移が見られる。本研究では特に、彗星氷の主成分であるH₂Oを中心に、HCN、CH₄、C₂H₆、C₂H₂、H₂CO、CH₃OH、NH₃などをターゲットとした。

彗星は、観測可能な時期に、適切なターゲットが必ずしも得られるわけではないが、今回は非常に興味深いターゲットを観測することができた。それは73P/シュバスマン・バハマン彗星と呼ばれる彗星で、太陽系の比較的外縁部に起源を持つと考えられる彗星である。特に、観測の6年前に分裂を起こしたことが知られており、観測時も多数の分裂破片が観測されていた。そこで、こうした分裂破片のそれぞれを詳しく観測することで、分裂を起こした彗星について、もともとの彗星核内部の均質性を探ることが可能となる。これは、通常では決して達成できない、彗星核内部の探査を行うことに等しい。そのため、太陽系初期に形成された微惑星が、どのような物理的・化学的過程を経て形成されたのかについて、重要な手掛かりを与えることが予想された。即ち、太陽系惑星のもととなった微惑星の形成を探る上で重要であった。

3. 研究の方法

近赤外線波長域（2.7～4.5 μm ）付近の高分散分光観測を実施し、種々の有機分子を検出することにより、彗星に含まれる氷の組成を明らかにする。そのために、エシエル分光器と呼ばれる、非常に高い波長分散を達成できる観測装置を用いた。特に、Subaru望遠鏡に設置されたIRCSや、Keck2望遠鏡に設置されたNIRSPECは、複数の「オーダー」を同時に観測できる、Cross-dispersedタイプであり、非常に高い波長分散と、広い波長範囲の両方を同時に達成可能である。これは、常にH₂Oと他の分子を同時に観測したいという我々の目的に合致したものであり、非常に強力な観測手段となった。

観測は、一般的にABBAシーケンスと呼ばれる観測手順を用いる。近赤外線波長域では、空それ自身が発光しており、ただ空から来た光を分光しただけでは、目的とする天体のシグナルを取り出すことにはならない。そのた

め、分光器に装備されたスリットの異なる位置（AおよびBと呼ぶ）に天体を置き、複数回の積分を行った後に、互いに差し引きを行うことで空全面からやってきている光を差し引くという手法である（図1）。

一方、こうして得られたスペクトルは、地球大気の吸収の影響も受けており、地上で観測した輝線のフラックスが、そのまま大気圏外でのフラックスとはならない。その補正を行うため、地球大気の吸収曲線を再現するモデル大気を構築し、その計算値を用いて、大気圏外でのフラックス値を推定した。そのためにも高い波長分散でのスペクトルは大変有用であり、高い精度で地球大気透過率を再現できた。

データの処理は主にIRAFと呼ばれる天文データ解析ソフトウェアを用いて行った。フラックスの値を決定するために、測光標準星と呼ばれる恒星を観測した結果を用いた。これは、観測ごとに適切なものを選んでいく。

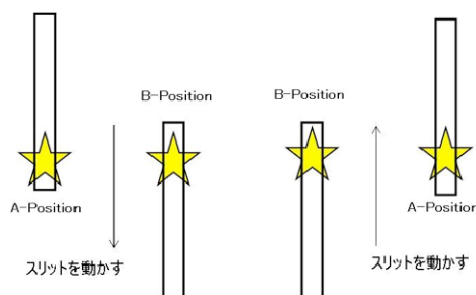


図1：ABBAシーケンス

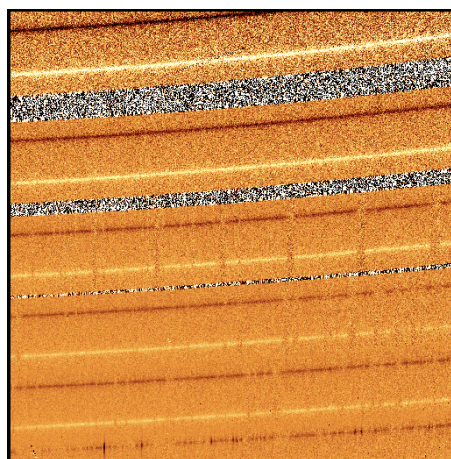


図2：73P彗星の観測データ

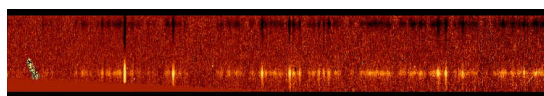


図3：一つのオーダーを取り出したところ

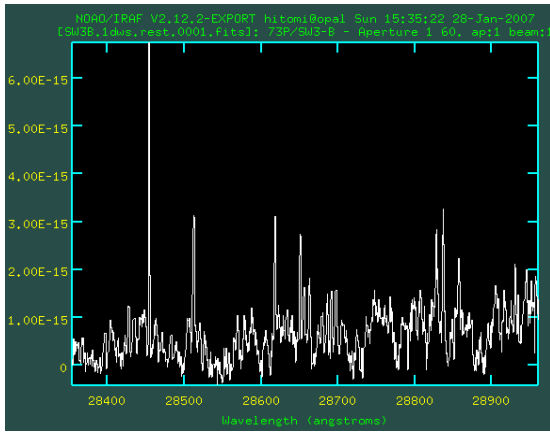


図4：1次元化したスペクトル

図4に1次元化して取り出したスペクトルの例を示した。このスペクトルには、彗星コマ中のガスからの輝線と、塵による太陽反射光とが含まれている。そこで、先ほど推定した地球大気の透過率を用いて、太陽散乱光成分を差し引く。結果の例を図5に示した。

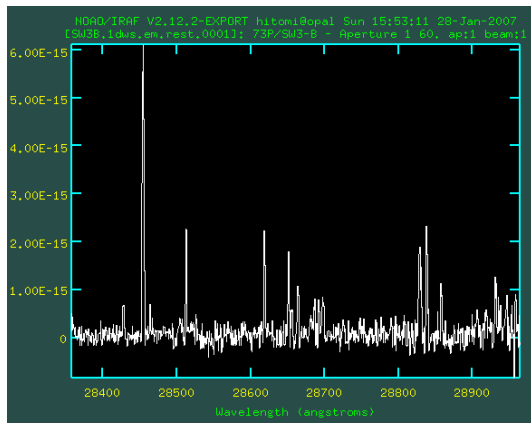


図5：輝線のみを取り出したところ

図5の例はH₂Oの輝線であり、他にも種々の分子について、こうした輝線スペクトルを得ることができた。図6にはこれらの作業をまとめた図を示してある。太陽光散乱光が正しく差し引かれている様子が分かる。

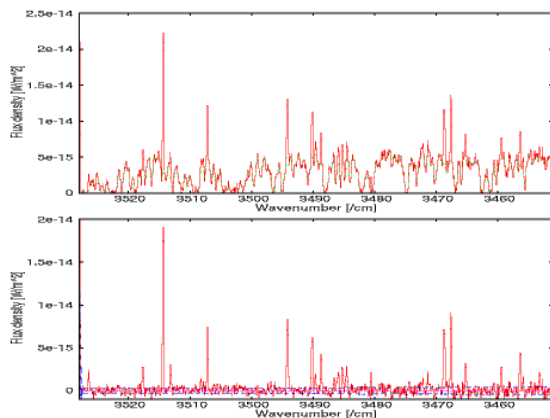


図6：輝線+連続光(上)、輝線のみ(下)

以上のようにして、各輝線の強度を測定し、そののちに、各分子種の成分比をH₂Oを100として決定する。

4. 研究成果

今回の研究期間中に、複数の彗星について、氷の分子組成比を明らかにできた。73P/シュバスマン・バハマン彗星、C/2004 Q2 (マックホルツ) 彗星、C/2001 Q4 (ニート) 彗星、8P/タットル彗星、C/2007 N3 (ルーリン) 彗星などである。

特に、先に述べたように 73P/シュバスマン・バハマン彗星については、その分裂破片の観測から、もととなった彗星核の内部均質性について議論を行うことができた。その結果、彗星核はかなり均質であることが明らかとなった。この結果は、近赤外波長域だけでなく、可視光波長域での観測から得られた種々のラジカルについても確認した。

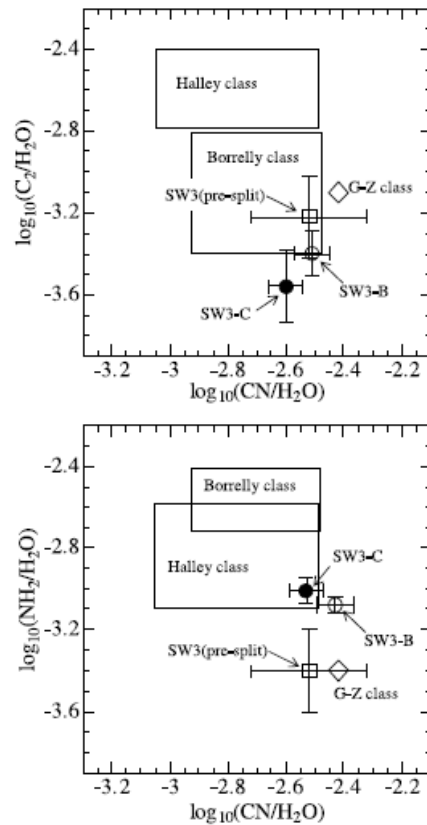


図7：分裂核B、Cのクラス分類(可視光)

図7に示したグラフは可視光の観測から得られている分類と、本研究の観測結果の比較であるが、二つの分裂破片BおよびCの成分比が一致していること、また、分裂前と異なる様相を示すことから、(1) 内部は化学的に一様だが、(2) 表層付近は太陽の加熱により変性していた可能性が高い、ということが分かる。

また、73P以外の彗星についても氷化学組成比を明らかにした結果、有機分子の組成比

に基づく分類について明らかにした。ニート彗星はオールト雲を起源とする彗星であるが、他のオールト雲起源彗星とほぼ同様の組成比を示しており、極めて一般的なサンプルであった。一方、マックホルツ彗星は、同じオールト雲起源でありながら、やや異なる成分比を示しており、もともとの氷形成領域が、他のオールト雲彗星と異なる可能性を示している。この仮説を検証するため、本研究では、 H_2O および CH_4 の原子核スピン異性体存在比を明らかにし、そこから、「核スピン温度」と呼ばれる温度指標を決定した。その結果からは、一般的なオールト雲彗星 (約 30K) よりも高い温度が得られている。また、メタン分子について、重水素/水素比を決定することに成功した。彗星における重水素化メタンの検出は世界初である。その結果、先の結果と同様に、やや温度の高い領域で氷が形成された可能性が示された。

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 4 件)

① H. Kawakita & H. Kobayashi, "Formation Condition of Icy Materials in Comet C/2004 Q2 (Machholz)", *Astrophysical Journal*, 693, 388-396, 2009, 査読有

② Kanda, Y., Mori, A., Kawakita, H., Kobayashi, H., "Optical Spectroscopic Observations of Fragments B and C of Comet 73P/Schwassmann-Wachmann 3", *Publication of Astronomical Society of Japan*, 60, 1191-1198, 2008, 査読有

③ Bonev, B., Mumma, M., Kawakita, H., et al., "IRCS/Subaru observations of water in the inner coma of Comet 73P-B/Schwassmann Wachmann 3: Spatially resolved rotational temperatures and ortho para ratios", *Icarus*, 196, 241-248, 2008, 査読有

④ Kobayashi, H., Kawakita, H., Mumma, M., et al., "Organic Volatiles in Comet 73P-B/Schwassmann-Wachmann 3 Observed during Its Outburst: A Clue to the Formation Region of the Jupiter-Family Comets", *Astrophysical Journal*, 668, 75-78, 2007, 査読有

[学会発表] (計 6 件)

① H. Kawakita, H. Kobayashi, "High Dispersion Near-infrared Spectra of Comet C/2004 Q2 (Machholz) By Keck-II/NIRSPEC:

Organic Chemistry, Nuclear Spin Temperatures and D/H Ratio", *Americal Astronomical Society*, 2008年9月, Ithaca/NY/U.S.A.

② H. Kobayashi, H. Kawakita, et al., "High-dispersion Spectroscopic Observations Of 8P/Tuttle With VLT/CRIRES/Americal", *Astronomical Society*, 2008年9月, Ithaca/NY/U.S.A.

③ R. Onishi, Y. Shinnaka, H. Kobayashi, H. Kawakita, "High-dispersion Spectroscopic Observations Of Comet C/2001 Q4 (neat) In Optical And Near-infrared Regions", *Americal Astronomical Society*, 2008年9月, Ithaca/NY/U.S.A.

④ Y. Kanda, A. Mori, H. Kawakita, H. Kobayashi, "Optical Spectroscopic Observations of Fragments B and C of Comet 73P/Schwassmann-Wachmann 3", *Americal Astronomical Society*, 2008年9月, Ithaca/NY/U.S.A.

⑤ H. Kawakita & H. Kobayashi, "Near-infrared High Dispersion Spectroscopy Of Comet C/2004 Q2 (Machholz) : Ortho-to-Para Ratio Of Water And D/H Ratio Of Methane", *Astronomical Society*, 2007年9月, Orlando/Frorida/U.S.A.

⑥ H. Kobayashi, H. Kawakita, et al., "Organic Volatiles in Comet 73P-B/Schwassmann-Wachmann 3 Observed during Its Outburst: A Clue to the Formation Region of the Jupiter-Family Comets", *Astronomical Society*, 2007年9月, Orlando/Frorida/U.S.A.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河北 秀世 (KAWAKITA HIDEYO)
京都産業大学・理学部・准教授
研究者番号：70356129

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：