

彗星の塵から原始惑星系円盤を探る

渡 部 潤 一

〈国立天文台 〒188-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

e-mail: jun.watanabe@nao.ac.jp

彗星の塵を中間赤外線で見ると、面白いことに高温生成物と思われる結晶質シリケートが、そのスペクトル中に見いだされることがある。彗星のような低温で凝縮したと考えられる天体に、どうして高温生成物が含まれているのか、という疑問は、いまだに明快に説明されているわけではない。ここでは、彗星塵の謎についての現状と、われわれのグループの観測について紹介する。

1. はじめに

地上からの中間赤外線観測で、10 ミクロン帯のスペクトル中に彗星の塵のシリケートバンドが観測されたのは、1970年のベネット彗星にまでさかのぼる。星間物質と同様にシリケートバンドが観測されるのは、彗星の起源、すなわち彗星は原始太陽系星雲の中で比較的初期に太陽から遠方で生成した微惑星の名残であるという起源説に立てば、ごく自然なことであった。

ところが、80年代の急速な観測装置の進歩により、その観測の精度が高まってくると、同じシリケートでも、結晶質シリケートの特徴を持つスペクトルが、いくつかの彗星で得られ始めた。1986年のハレー彗星を代表に、11.3 ミクロンの結晶質シリケート起源のピークがはっきりとえられた（結晶質シリケートと非晶質シリケートの差については、本特集本田氏の原稿参照のこと）。これは不思議なことであった。というのも、彗星は太陽に近づき、多くの揮発性物質を蒸発させることで、尾をたなびかせる天体である。彗星から蒸発してくるガスを分析してみると、その中には一酸化炭素や二酸化炭素、メタンなどの低温凝縮物質が含まれている。だから、彗星はそれらの物質が凍りつくような低温で生まれたはずである。それなのに、その彗星にどうして1,000度を超えない

と生まれぬような高温生成物である結晶質シリケートが存在するのであろうか。この問題は、ここ20年間の彗星研究の懸案の一つであった。

2. 結晶質シリケートをつくる二つのシナリオ

この問題を解決するには、原始太陽系星雲の中で、かつ彗星が生まれる領域で結晶質シリケートが取り込まれるメカニズムを考えなくてはならない。これを説明するシナリオはいくつか提唱されている。一つは内部で作った結晶質シリケートを外側に運ぶという発想だ。例えば乱流によって原始惑星系円盤の中をかき乱し、内部の物質を外側の低温領域に運んでやろうというアイデアがある¹⁾。星雲に取り込まれた非晶質シリケートは、原始太陽の近くで加熱され、結晶質シリケートとなる。それを乱流によって外側まで運ぶ。運ばれた結晶質シリケートは、もともとその領域で生成しつつあった彗星に取り込まれる、というシナリオである。想定される物理状況下では、十分な量の結晶質シリケートを40天文単位まで運ぶまで、わずか100万年しかかからないという。運搬には、乱流ではなく、いわゆるX-ウィンドで運ぶという考え方もできる²⁾。

一方、全く異なる発想に基づいたシナリオも提案されている。原始太陽系星雲は、内部でしばし

ば衝撃波加熱が起きており、円盤部では、太陽から10天文単位ほどのところでも、その影響は無視できない。そして、この衝撃波加熱は、短時間のうちに非晶質シリケートを結晶化することができると考えられる^{3),4)}。このシナリオに従えば、結晶質シリケートは、彗星が生まれるような低温の領域でも生成が可能である。ただし、衝撃波はガスの密度に大きく依存するから、20天文単位を超えるような遠方では、このシナリオは適用できない可能性が大きい。

3. 彗星で探る原始太陽系星雲内のできごと

彗星を含む小天体は、生まれてから大きな熱変成を受けていない。そのために46億年前の太陽系の情報を閉じこめた化石といわれる。最近、われわれのグループでは、個々の彗星を生成された場所が特定された示準化石として用いるための、分子のオルソ・パラ比測定によるアプローチを試みてきた⁵⁾。実は、彗星の塵の結晶質シリケートについても、同様のアプローチで、上述した二つのシナリオについての正当性を調べることが可能である。彗星は力学的な軌道の分類から、大きく二つのグループに分けられており、一つがオールトの雲からやってくる軌道周期の極めて長い彗星の一群（ここではオールト彗星と呼ぶ）、もう一方が、軌道周期が短く、黄道面に集中している一群（短周期彗星と呼ぶ）である。後者の彗星は、太陽系の外縁部、いわゆるエッジワース・カイパー・ベルトを起源としている。一方、前者は、原始太陽系星雲の円盤部の中でもっと太陽に近い木星から天王星あたりで生まれた微惑星が、惑星の重力によってはね飛ばされたものと考えられている。この両者は誕生場所の環境が異なるので、何らかの差異があつてしかるべきなのである。

結晶質シリケートを考えてみよう。もしそれが、両者のグループの彗星ともに含まれているならば、遠方にまで結晶質シリケートが存在してい

ることを示し、これは衝撃波加熱モデルにとっては、かなりの致命傷となる。一方、オールト彗星には含まれていても、エッジワース・カイパー・ベルト起源の彗星に含まれていないことがはっきりすれば、これは乱流による物質の動径方向への移動が、それほど効いていないことを示す可能性が高くなる（もちろん完全に否定はできないが）。

4. エンケ彗星をねらえ

しかし、これまでのところ、力学的グループの差が果たして結晶質シリケートの差になっているかどうかははっきりしていない。というのも、後者の短周期彗星は何度も何度も太陽を周回しているため、前者のオールト彗星に比べて暗いものが多い、良質の観測データがほとんど存在しないからだ。もう一つ、短周期彗星では、その塵が大粒のものが多く、小粒で10ミクロンバンドを効率よく放射するものが少ないのも、観測が困難な一つの理由といわれている。

これまで短周期彗星で10ミクロンバンドが観測された天体は、わずか6例で、結晶質シリケートは検出されていない。一例だけ結晶質シリケートを検出したという主張があるが、論文になっていない。

そこで、われわれは、すばる望遠鏡+COMICSの組み合わせによって、このテーマに取り組もうと考えている。この装置が非常に効率がよいことは、2003年に出現して急激に明るくなったニート彗星(C/2002 V1)で、結晶質シリケートを見事にとらえた(図1)ことにより実証されている⁶⁾。

折良く、2003年11月には、短周期彗星の代表ともいえるエンケ彗星が、30年ぶりという観測好機を迎えようとしていた。この彗星は、周期は3.3年なのだが、ちょうど地球との巡り合わせが悪く、物理観測が可能になることはほとんどない。今回は、その絶好のチャンスということで、世界中の彗星研究者が望遠鏡を向ける計画を立てていた。彗星核の物理特性を決めるためのキャンペー

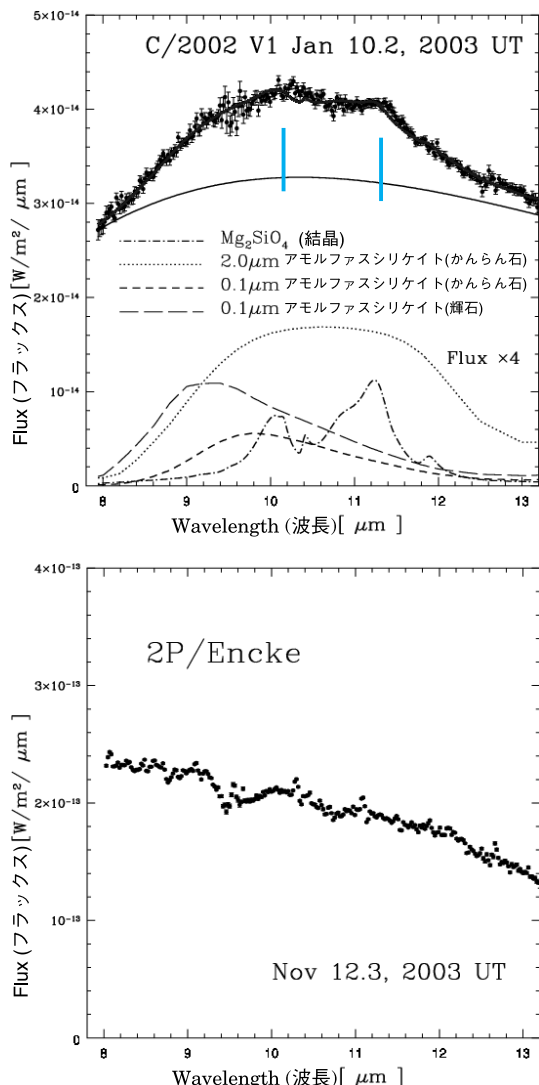


図 1 COMICS で取得したオールト雲起源彗星 C/2002 V1 (NEAT) 彗星 (上) とカイパー・ベルト起源彗星 2P/Encke 彗星 (下) の 10 ミクロン帯スペクトル。C/2002 V1 には結晶質シリケートのかんらん石のフィーチャーが見られる (青線)。

ンが企画され、われわれも参加することになった。とりわけ中間赤外線観測は、核の反射率と大きさを決定するためには不可欠であり (この原理は関口氏の原稿参照)、われわれの当初の目的で

ある 10 ミクロンバンドの観測とも同時進行が可能であったので、キャンペーン参加の研究者から希望者を募りすばる望遠鏡の観測時間を申請した。幸い、0.5 夜の観測割り当て時間をもらって、2003 年 11 月 12 日に観測をすることができた。さて、その結果は？ 現在、鋭意解析中ではあるが、残念ながら、エンケ彗星は典型的な短周期彗星で、小さな塵の放出量が極めて少なく、ほとんどのっぺらぼうのスペクトルしか得られなかった (図 1)。しかしながら、今回の観測によって、もし塵が多く、観測条件がよい短周期彗星が出現するようなら、当初の目的の観測が可能であることは確かめられた。現在、そのような彗星を探している最中である。原始太陽系星雲の中で何が起きたかを調べる道のは遠いながらも、少しずつそこにたどりつけそうな気配は感じている。

参考文献

- 1) Bockelée-Morvan D., et al., 2002, A&A 384, 1107
- 2) Shu F. H., et al., 1996, Science 271, 1545
- 3) Harker D. E., Desch S. J., 2002, ApJ 565, L109
- 4) Nakamoto T., Miura H., 2004, ApJ, in press
- 5) 河北秀世, 渡部潤一, 2002, 天文月報 95, 471
- 6) Honda M., et al., 2004, ApJ 601, 577

Protoplanetary Disks Studied by Cometary Dust

Jun-ichi WATANABE

National Astronomical Observatory of Japan, 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588

Abstract: Some comets show crystalline silicate feature in the mid-infrared spectra. We have not solved the problem that some icy bodies born in the low temperature include high temperature products such as crystalline silicate. The present status of this problem is described together with our observational trials in this article.