

## 論文内容の要旨

論文題目 Observational Study of Comet 2P/Encke Dust Cloud  
(2P/エンケ彗星ダスト雲の観測的研究)

氏名 猿楽祐樹

彗星から放出されたダストは、サイズ、放出速度、放出時刻などの条件の違いによって、異なる軌道をとる。さらに、放出率、観測時の幾何学的条件の違いなどにより、様々な形状のダスト雲が観測される。ダスト雲の形状は、彗星の活動の履歴を反映しており、彗星核の物理的、化学的性質を調べる手がかりとなる。また、彗星から放出されたダストは、惑星間ダストの主な供給源のひとつと考えられている。そのため、古くから、彗星のコマやテイルの観測が行われ、 $0.1\mu\text{m}$ - $10\mu\text{m}$ サイズのダスト放出の研究が行われてきた。しかし、1983年に打ち上げられた赤外線天文衛星 IRAS により、8つの彗星にダストトレイルが検出され、彗星は、より大きなダスト(mm以上)によって、より多くの質量を放出していることが明らかとなった。彗星の質量放出を考える上でこのような大きいダストの放出が重要となったが、ダスト雲の表面輝度への寄与が小さいために、効率良く観測する方法がなく、研究は滞っていた。近年になり、地上望遠鏡を用いた可視光の観測で、ダストトレイルが検出されるようになり、また、Spitzer 赤外線宇宙望遠鏡が打ち上げられ、ダスト雲の解像度・感度のよいデータが得られるようになった。そのため、可視・赤外の両波長において、大きいダストに焦点を当てた彗星ダスト雲のサーベイ観測が実施されている。本研究では、Spitzer 赤外線宇宙望遠鏡で観測された 2P/Encke 彗星のダスト雲の形状(表面輝度)をシミュレーションで再現し、放出されているダストの最大径、サイズ分布、放出量を推定した。さらに可視光の観測データから mm-cm サイズのダストのアルベドを求めた。

Spitzer 赤外線宇宙望遠鏡による観測は、2004年6月20日に行われた。観測波長は  $24\mu\text{m}$ 。観測時の彗星の位置は、日心距離 2.53AU、地心距離 2.01AU であった。可視光での観測は、東京大学木曾観測所 1.05m シュミット望遠鏡、ハワイ大学 2.2m 望遠鏡を用いて行わ

れた。アルベドの推定には、Spitzer 赤外線宇宙望遠鏡の観測日に最も近い、2004年5月23日にハワイ大学 2.2m 望遠鏡を用いて取得したデータを使った。この観測時の彗星の位置は、日心距離 2.29AU、地心距離 2.12AU、また、位相角は 26.2 度であった。両観測画像において、彗星の軌道方向へ伸びた構造と軌道に交差した構造が観測されている。軌道方向へ伸びた構造は、前回の回帰以前に放出された古いダストによって形成されたダスト雲(ダストトレイル)で、軌道に交差した構造は、最近の回帰時(近日点通過日は 2003年12月29日)に放出された新しいダストによって形成されたダスト雲である。本研究では、放出された回帰が特定できる後者のダスト雲に着目して、2P/Encke 彗星のダスト放出を検証した。

2P/Encke 彗星は、発見年が古く、公転周期も 3.3 年と短いため、多くの観測が行われており、様々な物理的性質が研究されている(サイズ、自転軸、自転周期等)。さらに、ガスやダストを放出する活動領域の位置が推定されている。本研究では、放出率の時間変化も考慮して、活動領域でのダスト放出をモデル化した。放出されたダストの軌道を計算して、観測時のダスト雲の形状のシミュレーションを行い、その中から、観測されたダスト雲の形状(輝度分布)を再現できる放出条件を検証した。ダスト放出のモデル化は次のように行った。

- ・ 活動領域での日射量をもとにして、ガスの放出率を仮定する。
- ・ ガスの放出率から、ダストの放出率、放出速度、最大径を与える。
- ・ ダストのサイズ分布は、 $dn/da \propto a^{-q}$  ( $n$ : 個数、 $a$ : サイズ、 $q$ : パラメータ)の冪分布で与える。

ダストは、密度  $1\text{g/cm}^3$  の球形のダストを仮定し、放出後の軌道は、太陽の重力と輻射圧を考慮して計算を行った。

本研究の結果から、2P/Encke 彗星は、2003 年の回帰時に少なくとも  $1.5 \times 10^9 - 1.2 \times 10^{10} \text{kg}$  のダストを放出したと推定される。これは、2P/Encke 彗星の質量の  $3.2 \times 10^{-3} - 2.6 \times 10^{-2} \%$  に相当する。放出されたダストの最大半径は 0.04-1.0m、サイズ分布のパラメータは  $q=3.2-3.6$  であった。また、その質量放出の 71-98%が、近日点通過後の短期間(〜10日間)に、集中的に放出されたと考えられる。最大径、サイズ分布、放出量は、先行研究とほぼ同じ結果となったが、短期間での集中的なダスト放出を示唆しているのは、本研究のみである。注目すべきことに、2P/Encke 彗星は、過去の回帰において近日点通過付近でバーストを起こしているのが観測されている。2P/Encke 彗星のダスト放出は、周期的と仮定して、今回得られたダストの放出条件を用いて、過去の回帰時に放出されたダスト雲の形状を再現したところ、観測されたダストトレイルの形状とよく一致した。この彗星は、近日点通過付近で周期的にバーストを起こし、その時に放出された大量の大きなダストによってダストトレイルが形成されている可能性があると考えられる。また、近日点付近での集中的なダスト放出は、2P/Encke 彗星の特異なサイズ分布( $\mu\text{m}$  サイズのダストの欠乏)にひとつの説明を与えることができる。2P/Encke 彗星は、可視光のコマやテイルの観測からは、ダスト放出の少ない彗星と考えられてきた。しかし、赤外線でのダストトレイルの観測から mm-cm サイズのダストを大量に放出していることが明らかになっている。2P/Encke 彗星は、軌道の大部分では、ダストの放出が少なく、近日点付近で集中的にダストを放出するために、小さいダスト(〜 $\mu\text{m}$ )は放出されてもすぐに散逸し、大きいダスト(>mm)の存在(ダストトレイル)だけが顕著になっていると考えることができる。

Spitzer 赤外線宇宙望遠鏡の観測画像から得られたダスト放出モデルを用いて、ハワイ大学 2.2m 望遠鏡の観測時(2004年5月23日)のダスト雲の形状を再現した。モデルから求められた幾何学的断面積に対する観測画像の表面輝度から、ダストの幾何学的アルベド  $0.029 \pm 0.010$  (位相角 26.2度) を推定した。可視・赤外同時期の観測から mm-cm サイズの彗星ダストのアルベドを推定したこと、小さいダストやガスのコンタミがないことは特筆すべき点である。得られた 2P/Encke 彗星のダストの幾何学的アルベドは、2P/Encke 彗星の彗星核の幾何学的アルベドと同程度であった。つまり、放出物と表面物質のアルベドは同程度であると言える。これまでに、mm-cm サイズの彗星ダストのアルベドは求められていないため、本研究の結果は、可視のダストトレイルの観測から彗星のダスト放出量を見積もる際のひとつの基準となる。

今回得られたダスト放出量を、2P/Encke 彗星の一周期で時間平均した放出率は、現在の惑星間ダストの消失率の 0.2-1%程度に相当する。確定番号のついた全ての短周期彗星(約 200 個)が同じ割合でダストを放出しているとする、短周期彗星から惑星間ダストへの質量供給量は、その消失率の約 40-200%となる。短周期彗星の寄与は、個々の彗星のダスト放出量によって大きく変わりうるため、個々の彗星について放出量を見積もっていく必要がある。また一方で、本研究で推定された 2P/Encke 彗星の mm-cm サイズのダストのアルベドは、惑星間ダストのアルベドに比べて、数倍暗いことが分かった。他の彗星でも同様に mm-cm サイズのダストのアルベドが低ければ、彗星ダストは、惑星間ダストの供給の大半を担うことができないと考えられる。彗星が大半を供給しているとする、彗星間でダストのアルベドに大きな違いがあり、2P/Encke 彗星は、特に暗いダストを放出していることになる。