

ロゼッタに至る彗星探査の歴史

飯山 青海(天文担当学芸員)

昨年の秋、ESA(欧州宇宙機関)の彗星探査機ロゼッタが、チュリュモフ・ゲラシメニコ彗星に到着し、観測データを送り始めました。ロゼッタは人類にとって初めてとなる、彗星にランデブーして観測を行う探査機で、今後も継続して、彗星の観測データを送ってくるのが予定されています。

ロゼッタの観測成果については、科学館の2015年12月からのプラネタリウムで取り上げる予定にしていますが、ここでは、探査機による彗星への近接探査の歴史を振り返ってみることにします。

彗星探査機の歴史

これまでに、彗星への探査を行った探査機を表1にまとめました。1986年に回帰したハレー彗星の探査を計画した探査機群(「ハレー艦隊」と通称される)が、人類の彗星探査の始まりといえます。打ち上げ順で言うと、パイオニア7号やISEE-3/ICEがハレー彗星の回帰よりもだいぶ前に打ち上げられた機体ですが、これらは、もともとはハレー彗星のために打ち上げられた探査機ではなく、ハレー彗星の接近に合わせ

表1: 彗星探査機一覧(打ち上げ順)

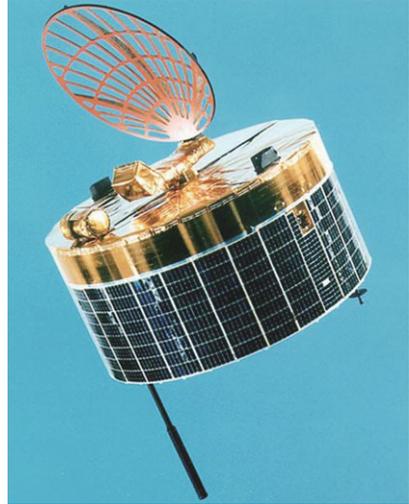
探査機名称	打ち上げ日	接近・到着日	対象彗星
パイオニア7号(アメリカ)	1966/8/17	1986/3/20	ハレー
ISEE-3/ICE(アメリカ)	1978/8/12	1985/9/11	ジャコビニ・チンナー
		1986/3/28	ハレー
ベガ1号(ソ連)	1984/12/15	1986/3/6	ハレー
ベガ2号(ソ連)	1984/12/21	1986/3/9	ハレー
さきがけ(日本)	1985/1/8	1986/3/11	ハレー
ジオット(ESA)	1985/7/2	1986/3/14	ハレー
		1992/7/10	グリッグ・シェレルupp
すいせい(日本)	1985/8/19	1986/3/8	ハレー
ディープ・スペース1(アメリカ)	1998/10/24	2001/9/22	ボレリー
スターダスト/NEXT(アメリカ)	1999/2/7	2004/1/2	ヴィルト第2
		2011/2/14	テンベル第1
ロゼッタ(ESA)	2004/3/2	2014/8/6	チュリュモフ・ゲラシメニコ
ディープ・インパクト/EPOXI (アメリカ)	2005/1/12	2005/7/3	テンベル第1
		2010/11/4	ハートレイ第2

て、彗星の観測に転用されたものです。また、ハレー彗星が去った後は、しばらく彗星探査機の打ち上げがありません。ディープ・スペース1も、もともとは小惑星探査を目的とした探査機で、主ミッションの終了後に、延長ミッションとしてボレリー彗星へ向かったものですから、彗星を主目的として計画された探査機は、ハレー艦隊以降では、ロゼッタを含めて3機しかないことになります。

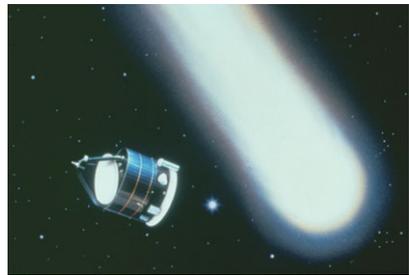
ハレー彗星の探査

太陽に近づくと尾を伸ばす彗星は、太陽系の天体の中でも非常に変わった外見を持ち、興味を引く天体でした。しかし、地上から簡単に観察できるような「大彗星」はほとんどが、非周期あるいは長周期の軌道を持ち、当時の観測技術では、せいぜい太陽に接近する1~2年くらい前にしか発見されません。これでは探査機の軌道を計画し、探査機を設計・製造しているうちに、彗星は去ってしまいます。一方、軌道がよく分かっている短周期彗星は、そのほとんどが「大彗星」になることは無く、1980年代の時点では積極的に探査機を送り込む対象とは考えられていなかったようです。短周期彗星の中で、唯一の例外ともいえる彗星がハレー彗星でした。天体望遠鏡の発明以前から歴史上何度も出現が記録されている大彗星です。そのハレー彗星の回帰が1986年に見込まれていました。ハレー彗星の周期が約76年ということもあり、ハレー彗星の回帰に合わせて探査機を送り込もうという機運が世界的に高まりました。すでに金星や火星に探査機を送り込んでいたアメリカとソ連だけでなく、日本やESAが、月以遠の宇宙へ進出するきっかけともなりました。

また、アメリカは、ISEE-3として打ち上げ、太陽風の観測を行っていた探査機を、ICEと改称し、ジャコビニ・チンナー彗星とハレー彗星に接近するように軌道変更を行いました。ICEはカメラを搭載していない機体だったので写真はありませんが、ジャコビニ・チンナー彗星が、人類が初めて探査を行った彗星となりました。



日本の探査機「すいせい」140kgの小さな機体に、真空紫外撮像装置と太陽風観測機を搭載している。(c)JAXA



ハレー彗星に接近する「ジオット」(想像図) (c)ESA

ハレー彗星の探査成果では、なんといっても最初に語られるのが、ジオットによる、ハレー彗星の核の近接写真の撮影成功です。ジオットは、ハレー彗星の核に約600 kmという非常に近い距離まで接近して、撮影を行いました。氷の塊である彗星核から蒸発したガスが盛んに吹き出している様子が見事に捉えられています。ハレー彗星の探査では、各国のチームが協力し合う体制がとられました。例えば、先にハレー彗星へ接近した探査機から得られた観測データが、彗星核への接近を試みるジオットの精密な軌道変更のために、迅速に提供されました。



ジオットが撮影したハレー彗星の核 (C)ESA. Courtesy of MPAe, Lindau

ハレー以降の彗星探査

ハレー彗星以降の彗星探査機は、ただ単に彗星に接近して観測データを得るということだけではなく、さらに何らかの要素を加えた探査計画になっています。

1999年打上げの、スターダストでは、彗星から放出されるダストを地球に持ち帰るということが計画されました。また、2005年打上げのディープ・インパクトでは、彗星に衝突体を打ち込み、彗星核の表面状態や内部構造を調べるということが計画されました。そして、ロゼッタでは、彗星へのランデブーを行うことで、長期にわたっての彗星の活動を調査するということが計画されています。

スターダストによるサンプルリターン

スターダストは、ヴィルト第2彗星へ向かい、その砂粒を地球に持ち帰る、という彗星探査計画です。彗星は「汚れた雪玉」とも例えられますが、その主成分は氷であり、岩石質の粒子を含んでいる天体です。彗星が太陽に近づくと氷が蒸発し、それに

伴って岩石質の粒子も彗星からはがれて吹き飛ばされていきます。スターダストは、彗星からはがれて飛んできた粒子を受け止めて、地球へ持ち帰ることを企図した探査機でした。

スターダストの打ち上げは、日本の小惑星探査機はやぶさに先立つこと4年の、1999年でした。スターダストは、ヴィルト第2彗星に接近しますが、ランデブーを行うわけではありません。探査機が彗星のそばをすれ違う短時間に、観測とサンプル採取を行います。スターダストのサンプル採取は、エアロジェルという、非常に空隙の多い素材で、高速ですれ違う彗星の粒子を受け止める、という方法でした。サンプルは2006年に無事に地球に送り届けられ、探査機本体は、NEXTと改称されて、テンペル第1彗星の観測に向かう延長ミッションに入りました。

スターダストが持ち帰った彗星の微粒子の中には、高温で結晶化したとみられる粒子が見つかりました。従来、彗星は、太陽系が形成されたばかりの頃に、海王星よりも遠くの、太陽の熱があまり届かない領域で形成されたと考えられていましたが、そのような環境では、このような結晶ができるような高温が生じるはずがありません。彗星が、どのように太陽系の中で作られたのかについて、新たな謎を投げかけるものでした。



サンプル採取を行う「スターダスト」(想像図)
探査機からうちわのように突き出した部分にエアロジェルが敷き詰めてあり、彗星の周囲にただよう微粒子との高速衝突を受け止めます。(c)NAXA/JPL



スターダストが撮影したヴィルト第2彗星の核。小惑星などとは違って、クレーターの底が非常に平坦であった。(c)NASA/JPL

ディープ・インパクトによる人エクレーターの形成

ディープ・インパクトは、テンペル第1彗星に向かい、その表面に衝突体を打ち込むことで人工的にクレーターを作り、彗星核の表面状態や内部構造を探索しようという彗星探査機です。

2005年1月に打ち上げられ、半年後の2005年7月にはテンペル第1彗星に接近して、衝突体を打ち込みました。370kgの衝突体を打ち込まれたテンペル第1彗星は、それにより彗星からの蒸発が活発になるなどして明るくなる可能性が予測されていたものの、実際には彗星の増光はほとんど起こりませんでした。彗星の表面は、それまで予想されていたよりも、ずいぶんしっかりと硬い殻状の構造に覆われていると考えられるようになりました。

テンペル第1彗星の観測を終えたディープ・インパクトは、EPOXIと改称されて延長ミッションに入り、2010年11月に、ハートレイ第2彗星へ接近し、観測を行いました。

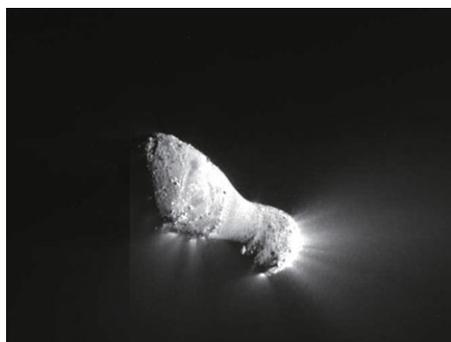
一方、テンペル第1彗星については、スターダスト探査機の延長ミッションNExTにより、2011年に彗星表面の観測が行われ、直径



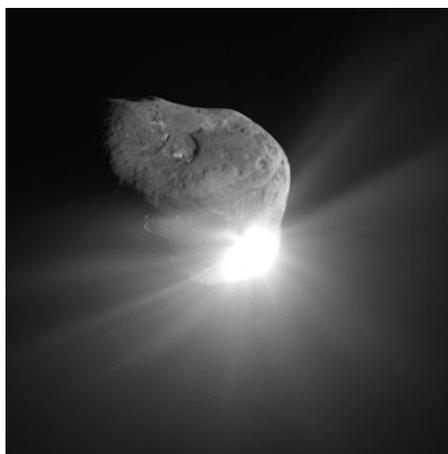
スターダストが持ち帰った彗星の微粒子

大根のような形の部分は、粒子とエアロジェルの高速衝突により破壊された部分。大根の先端から伸びる細いひげ状の部分の先端に残る黒い粒子が、彗星の微粒子。

(c)NASA/JPL



ハートレイ第2彗星
(c)NASA/JPL-Caltech/UMD



テンペル第1彗星への衝突により生じた閃光
(c)NASA/JPL-Caltech/UMD

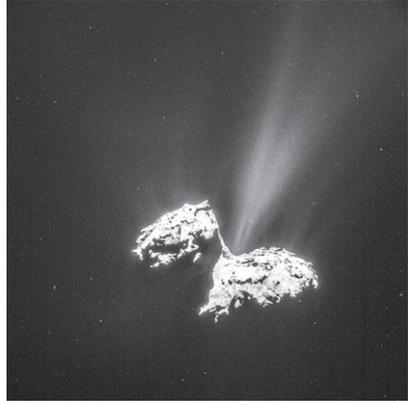
150mの人工クレーターが形成されていたことが確かめられました。

ロゼッタによる継続観測へ

これまでの彗星探査は、いずれも探査機と彗星がすれ違う時の、短時間の観測だけにとどまりました。彗星という天体は、太陽との距離が変化することで姿を変える天体ですが、1回きりの近接探査では、その変化の様子を知ることはできません。とは言え、彗星のそばにとどまって(ランデブー)、観測を継続するためには、探査機の軌道設計と搭載燃料の量の面から、高いハードルがあります。

ロゼッタの場合でも、2004年の打ち上げから、2014年のチュリュモフ・ゲラシメンコ彗星への到着に至るまで、地球スイングバイや火星スイングバイなどを繰り返し、探査機の燃料を使わずに探査機の上昇軌道を設計したため、彗星の到着までに10年の歳月を要しました。探査対象のチュリュモフ・ゲラシメンコ彗星は、2015年8月に近日点(軌道上で太陽に最も近づく点)を通過するため、その頃に彗星表面での蒸発など、彗星そのものの活動が活発になると予測されます。

ロゼッタから切り離されて彗星に着陸する、着陸機「フィラエ」は、残念ながら彗星表面での姿勢の確保に失敗し、太陽電池での計画通りの発電が行えない状況になってしまいましたが、ロゼッタ本体は健全な状況ですから、今後の彗星の活動を追う観測成果が楽しみです。



チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星
(c) ESA/Rosetta/
NAVCAM - CC BY-SA IGO 3.0

著者紹介 飯山 青海(いいやま おおみ)



大阪市立科学館 学芸員。
天文担当学芸員の中でも、流星・彗星を中心に惑星科学分野を担当。小惑星探査機「はやぶさ」を題材にした全天周映像「HAYABUSA -BACK TO THE EARTH-」の制作に中心的役割で携わった。2010年6月には、JAXAが組織した「はやぶさ」回収隊の一員として、オーストラリアにて、地球に帰還する「はやぶさ」の姿を撮影した。