

月刊

UNIVERSE

うちゅう

3

2017/Mar.
Vol. 33 No.12

2017年9月10日発行(毎月1回10日発行)
ISSN 1345-2205

通巻396号

- ② 星空ガイド(3-4月)
- ④ ロゼッタの13年間を振り返る
- ⑩ 天文の話題「プラネタリウムのランキング」
- ⑫ 窮理の部屋「春の天気 ~春を見つけよう~」
- ⑭ ジュニア科学クラブ
- ⑮ 展示場へ行こう「ぐるぐるカプセル」
- ⑯ 新プログラム紹介
- ⑱ 科学館アルバム(1月)
- ⑳ うちゅう Vol.33 もくじ
- ㉒ インフォメーション
- ㉔ 友の会
- ㉘ 科学館のコレクション

2016年9月30日 ロゼッタ、彗星着陸まで高度16km。

詳しくはメイン記事「ロゼッタの13年間を振り返る」ページを参照。

© ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA

公益財団法人大阪科学振興協会
大阪市立科学館

ロゼッタの13年間を振り返る

飯山 青海(科学館学芸員)

1. 打ち上げからミッション終了まで

ロゼッタは2004年にESA（ヨーロッパ宇宙機関）が打ち上げた彗星探査機です。2014年から67P/チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星を探査し、大きな成果を挙げて、昨年2016年にミッションを終了しました。このページでは、ロゼッタの13年に渡る旅を振り返ってみます。

ロゼッタの旅の大まかな年表を表1にまとめました。打ち上げの後、地球スイングバイ3回と火星スイングバイ1回、2つの小惑星探査と、冬眠モードへの移行と復帰を経て、彗星へ到着しています。

彗星に到着後は、着陸機「フィラエ」を彗星表面に着陸させたり、長期にわたって彗星を観測したりと、彗星に関する新しい発見を重ねました。ミッションの最後は、ロゼッタ本体を彗星表面に強行着陸させる（ロゼッタには着陸のための装備は搭載されていないので、探査機は彗星表面にぶつかって壊れる）ことで、至近距離からの彗星表面の写真を撮影して、ミッションを終了しました。

表1. ロゼッタ年表

日付	できごと	軌道図の位置
2004年3月2日	打ち上げ	1
2005年3月4日	地球スイングバイ（1回目）	2
2007年2月25日	火星スイングバイ	3
2007年11月13日	地球スイングバイ（2回目）	4
2008年9月5日	小惑星（2867）シュテインスに接近	5
2009年11月	地球スイングバイ（3回目）	6
2010年7月10日	小惑星（21）ルテティアに接近	7
2011年6月8日	太陽からの距離が遠くなり、太陽電池の発電力が不足するため冬眠モードに入る	8
2014年1月20日	冬眠モードから復帰	9
2014年8月6日	67P/チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星へ到着	10
2014年11月12日	彗星への着陸機フィラエを着陸させる	11
2015年8月13日	彗星が近日点を通過	
2016年9月30日	彗星へ強行着陸し、ミッション終了	

2. 4度のスイングバイと冬眠モード

ロゼッタは、打ち上げから彗星到着までに、4回（地球で3回、火星で1回）のスイングバイを行っています。スイングバイは、探査機が惑星のそばを通過するとき、惑星の重力を利用して探査機の軌道を変える（探査機を速度を上げたり下げたりする）技術です。スイングバイを利用することで、打ち上げロケットが多少力不足であっても、重い探査機を遠くの天体まで

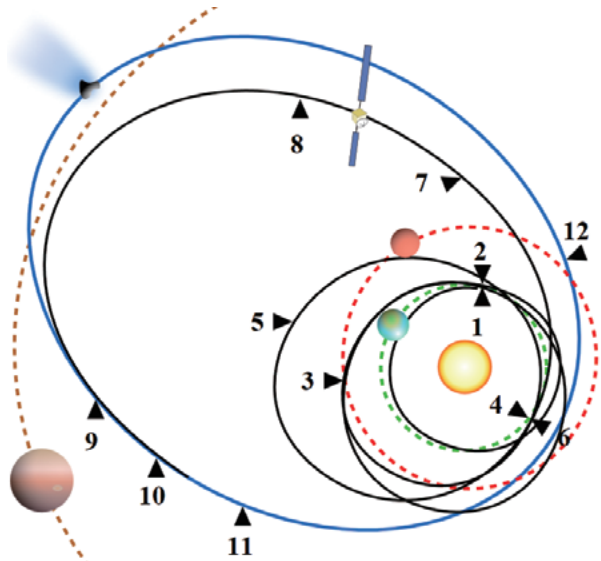


図2. ロゼッタの軌道

送り届けることが可能になる半面、寄り道をするような軌道を取るため、目的の天体へ到達するまでの時間は長くなってしまいます。

ロゼッタの場合では、目的とする天体が、木星軌道の外側まで到達するような軌道を持つ彗星なので、何度もスイングバイを行って、少しずつ探査機の軌道を大きくしていくとともに、スイングバイとスイングバイの間に、小惑星探査も行うように軌道が計画されました。

また、軌道が大きくなると、太陽から遠くになってしまう時期が発生してしまいます。ロゼッタの電源は太陽電池ですので、太陽から遠くになってしまうと発電能力が低下してしまいます。ロゼッタでは、あらかじめ、消費電力を最小限にする「冬眠モード」を用意して、この太陽から遠くなる時期に探査機を守る工夫をしています。

彗星探査という、技術的にハードルの高い目標に向かって、あらゆる工夫を施したと感じられる探査機の軌道です。

3. 小惑星ルテティアの探査

2010年に、ロゼッタは小惑星ルテティアに接近し、その写真を撮影しました。このルテティアという小惑星は、比較的大きな小惑星であるとともに、M型に属する小惑星である、という注目点があります。

小惑星は、その反射スペクトルをもとに分類が行われていて、大きなグループとしては、S型、C型、M型の3つのグループがあります。その中で、M型小惑星の破片が地球に落ちてきたものが鉄隕石ではないか、という考え方がありました。乱暴な言い方をすれば、M型小惑星は鉄の塊ではないか、という期待があったのです。もしも、そうであれば、例えば月面基地を建設する際に、地球からロケットで鉄を輸送するよりも、小さなM型小惑星を捕獲して月まで持って来る方が、現実的な鉄の調達方法になるかもしれません。



図3. ロゼッタが撮影したルテティア
表面にはクレーターや、石が転がった跡のような溝状の模様が見られる。

©ESA 2010 MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/RSSD/INTA/UPM/DASP/IDA

ですが、ロゼッタが撮影したルテティアの姿は、「鉄の塊」という感じの外見ではなく、ロゼッタが計測したスペクトルからも、ルテティアの表面物質はどちらかと言うと岩石質の物質のようです。ルテティアの近くを通過した際に、ルテティアの引力によってロゼッタの軌道がわずかに変化したことから、ルテティアの質量が推定され、ルテティアの密度は一般的な岩石質の小惑星よりは大きいことがわかり、ルテティアの内部には金属の核があると推定されていますが、むしろ鉄隕石とM型小惑星の関係は、謎が深まったように筆者は感じます。

4. 彗星への着陸

チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星に到着したロゼッタは、2014年11月12日、着陸機フィラエを切り離し、彗星へ降下させました。

彗星は、岩石と氷が混じったものと考えられており、「汚れた雪玉」と例えられますが、その表面を間近に観察できるのは、これが人類にとって初めての機会でした。

降下中のフィラエから送られてきた彗星の表面の写真は、一面石ころに覆わ

れていて、氷が見えている部分は見当たりませんでした。フィラエのカメラには1cm程度の小石まで写っていましたが、それよりも小さくてカメラには形が写らない小石もあるようです。フィラエは、狙い通りに着陸することができず、表面でバウンドしてしまい、横倒しの姿勢で着地してしまいました。着地したところからは大きな岩がカメラに写っていました。

大きな岩があるということは、筆者には驚きでした。というのも、地球で大きな岩がどうやってできるかということ、大量のマグマが固まるか、海の底で地層が厚く積もってその圧力で固まるか、地下深部で高温高压で石が固まるか、と、高い温度か高い圧力か必要なのですが、彗星が形成される過程では、高温になれば氷が解けてしまいますし、高压が発生するほど彗星は大きな天体ではないと考えていたので、いつどうやって大きな岩ができたんだろう、と不思議に感じたものです。

フィラエは、着陸姿勢が悪かったせいで、太陽電池による発電が計画通りにいかず、短時間で電池が切れてしまいましたが、着陸地点周辺の地表の有機物を分析したり、写真以外にも多くの観測データを地球に送ってきました。



図4. 降下中のフィラエによる彗星表面の写真(高度9m)

©ESA/Rosetta/Philae/ROLIS/DLR

5. 彗星からの激しいガスの噴出を捉えた

2014年11月にフィラエを切り離れた後、ロゼッタは彗星の周りにとどまって、探査を続けました。彗星は2015年8月13日に近日点（軌道の中で太陽に最も近づく点）を通過するので、2015年に入ると次第に活発にガスを噴出するようになりました。その中で、特に注目の現象が捉えられたのが、2015年8月12日でした。14:07、17:35、23:31に撮影された3枚の写真（次ページ参照）を見比べると、17:35の写真にだけ明らかに活発なガスの噴出が写っていました。短時間に、彗星表面のごく狭い範囲から、大量のガス（とそれに伴ってチリも）が放出されている様子が写っています。

それ以前から、地球からの他の彗星の観測で、大きな彗星の核近傍に、渦巻き型や貝殻型などの不思議な模様が観察されることがあり、彗星核で局所的に強いガスの放出が起きるのだろうと推定されていたのですが、ロゼッタのこの観測でそれが単なる推定ではなく、そういう現象が現実起きるのだと証明されたのです。

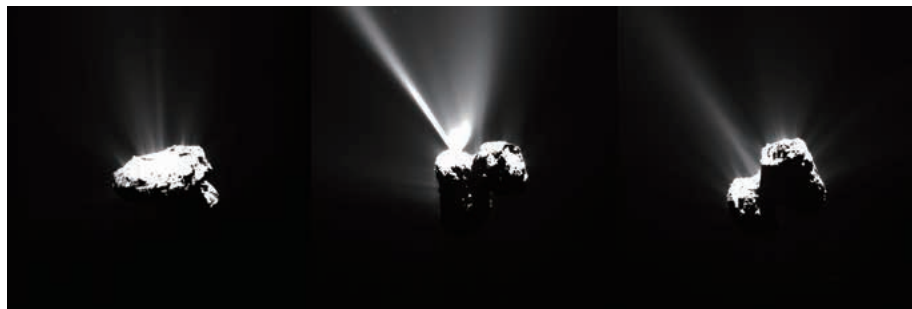


図5. 2015年8月12日に捉えられた活発なガスの噴出
左:14:07 中央:17:35 右:23:31(世界時)

©ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA

6. 彗星の地層と「くびれ」

ロゼッタが撮影したチュリュモフ・ゲラシメンコ彗星の核は、アヒルのような不思議な形をしていました。当初、このアヒルの首に当たる部分のくびれが、そこだけ集中的にガスが蒸発してできたものなのか、アヒルの頭部分と胴部分の2つが合体してできた形なのか、議論が分かれていました。

彗星の表面をアップで撮影した写真には、地層のような構造が見つかります。平坦な平原があつて、それが断崖で終わり、断崖の下にはまた次の平坦な面がある、という階段のような構造です。

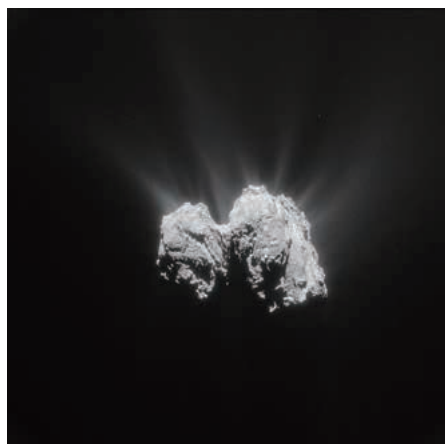


図6. チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星全体像
©ESA/Rosetta/NavCam-CC BY-SA IGO
3.0DASP/IDA

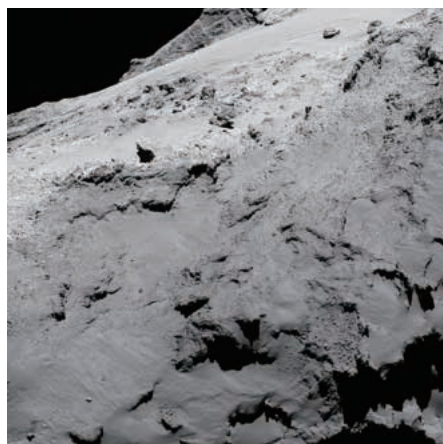


図7. 彗星表面に見られる階段状地形
©ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team
MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/
DASP/IDA

この層状の構造を、丹念に調べた結果、くびれの部分に見られる層の向きから、チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星は頭部分と胴部分が別々に形成された後に2つが合体して今の形になったと推定されました。ところが不思議なことに、頭部分と胴部分では組成や構造に大きな違いが見つからないのです。表面の地形こそ、ゴツゴツしたところやなだらかなところがあるものの、ロゼッタがレーダーを使って彗星内部の様子を観測したところ、内部はとても均質である、という結果だったのです。

頭部分と胴部分が別々に形成されたのであれば、多少の差がある方がむしろ自然な気がするのですが、これも不思議な発見でした。

7. 酸素分子の発見

ロゼッタは、彗星から放出されるガスの中に、酸素分子（O₂）が含まれていることを発見しました。酸素は、元素としては宇宙にたくさん存在する元素ですが、たいていの場合は水や二酸化炭素や岩石の中に取り込まれ、酸素分子の形で存在することはほとんどありません。地球では植物の光合成によって作り出されていますが、彗星のような環境で酸素分子が存在するとはこれまで考えられていませんでした。

これはまさに予期していなかった発見であり、この発見によって、太陽系の初期における微惑星や彗星の形成シナリオが大きく書き換えられる可能性も出てきました。

8. ミッション終了

ロゼッタは、2016年9月30日に、彗星へ強行着陸して、ミッションを終了しました。仮に、ロゼッタを彗星にぶつけることなく、そのまま彗星との軌道に置いておいた場合でも、2011年から2014年の冬眠モードの時よりもさらに太陽から遠く離れる軌道に入っているため、発電量が不足し、観測機器を低温から守ることができないと予想されていたので、ロゼッタが彗星にぶつかって壊れても構わないという判断でした。

彗星への降下を行いながら、写真を撮影して地球に送ってきます。これまでの探査で撮影された写真よりもさらに詳細な表面の様子が写っています。最後にロゼッタから送られてきた写真は、彗星に近づきすぎてカメラのピントが合わなくなってしまっているほどでした。こうして、ロゼッタは13年に渡るミッションを終了しました。

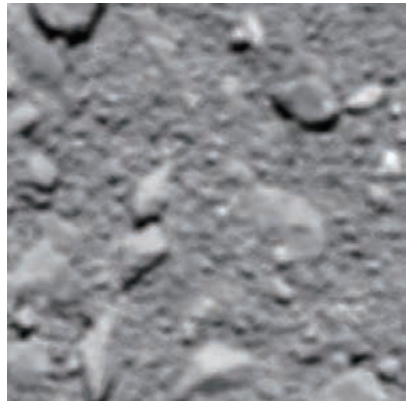


図8. ロゼッタ最後の写真

©ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team
MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/
UPM/DASP/IDA