

# 遊星百景 その16

## ～フォボスとエロスの線状構造～

菊地 紘<sup>1</sup>

今回ご紹介するのは、小天体でみられる線状の構造です。小型の衛星や小さい小惑星、彗星などの小天体は大きな天体のようなテクトニクスを誘発する十分な内部熱エネルギーはなかったため、小さな天体の表面でみられる地形はその天体の起源や地質史を理解する上で貴重な痕跡です。小天体の表面には様々な地形があります。これには凹地形であるグループ、トラフ、ピットチェーンや、凸地形のリッジなども含まれています。天体によって線状構造が存在していないものもあり、天体の進化に関して関連性が乏しく、マイナーな地形だと思われるようです。しかしその特殊性ゆえ、線状構造があれば独自の情報を保持していると考えられ、その天体の進化に新しい解釈を与えてくれることがあります。

そもそも小天体の線状構造はどのようにして形成されるのでしょうか。惑星表面の観測や衝突実験などにより、衝突によって放射状に線状地形が形成されることが知られています[1]。小惑星アイダ(イダ)や小惑星ガスプラでもそのような線状構造が観測されています。一方で、内部が一枚岩のような比較的均質な天体で衝突が起きると、衝突波が伝播することで衝突方向の法線面や衝突の対蹠点で天体表面に亀裂が生じやすくなるのが数値計算で示されています[2]。例えば小惑星ヴェスタの赤道付近にある二つのトラフは、その中心を通る法線が南極付近にある二つのクレーターの中心をそれぞれ通っているため、衝突によって形成されたのではないかと推測されています[3]。まとめると、ある小天体の線状構造の起源を理解しようとす

るときには、それが表面上のクレーターに対して同心円状にあるか放射状にあるか(※)を調べるのが一つの強力な手がかりになっています。

しかし実際に(※)を調べてみてもこれに則らない小天体があります。その場合、起源がよくわからなくなることが多く、不思議な線状構造になります。その反面オリジナリティのある様々な仮説が提唱されやすく、極めて興味深いものになります。前置きが長くなってしまいましたが、今回は面白い線状構造をもつ天体を2つほど紹介したいと思います。

まずは火星の衛星フォボス(大きさ  $26.06 \times 22.80 \times 18.28$  km)です。バイキング探査機がフォボスを観測したことで初めて小天体にも線状構造があることが発見されました。フォボスの線状構造の特徴としては線状の溝になっており、その分布は非常に組織的に並んでいるようみえます(図1)。線状構造が互いに平行になっているグループが複数あり、北を上にして正面から見ると左右対称となっているため、バロック調のような美しさがあります。もう一つの衛星ディモスには線状構造は確認されていません。さて(※)の関係性を調べた研究によると、線状構造が主要なクレーターと相関があるものは35 %程度で、大部分がクレーターとはあまり関連がないことがわかりました[4]。こうしたことや新しい観測データが現在でも取得されているため、毎年のように新しい仮説(例えば(1)火星の潮汐力によってフォボス表面に亀裂が生じた、(2)火星の衝突によって飛来した破片がフォボスに衝突した、(3)フォボスに衝突した破片がフォボスに衝突あるいは転がり跡を付けた、(4)破片が火星を周回して再びフォボスに衝突したなど)が提唱されています。

小惑星エロス(大きさ  $34.4 \times 11.2 \times 11.2$  km)にも多

1. 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所  
kikuchi.hiroshi@jaxa.jp

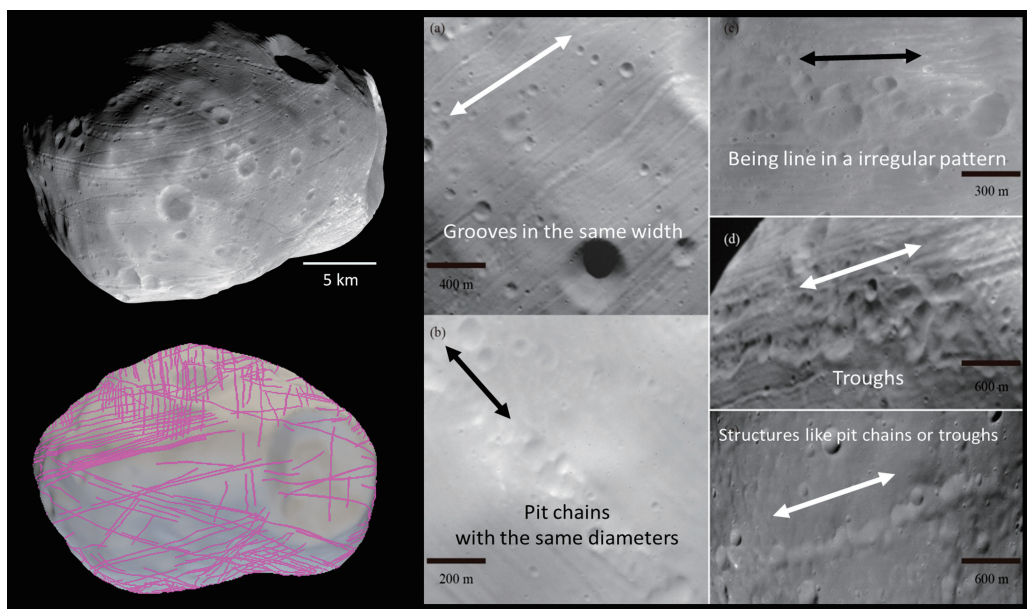


図1：火星の衛星フォボスと線状構造。左上はフォボス全体を撮像した画像（HRSC image h6906\_0000\_nd2）で、左下は私がマッピングしたフォボスの線状構造で先行面からみたもの。右はフォボスの様々な種類の線状構造 (a) HRSC image h8535\_0006\_sr2, (b) HRSC image h7937\_0003\_sr2, (c) HiRISE image PSP\_007769\_9015\_RED, (d) HRSC image h9551\_0006\_sr2, (e) HRSC image h8974\_0000\_s12.

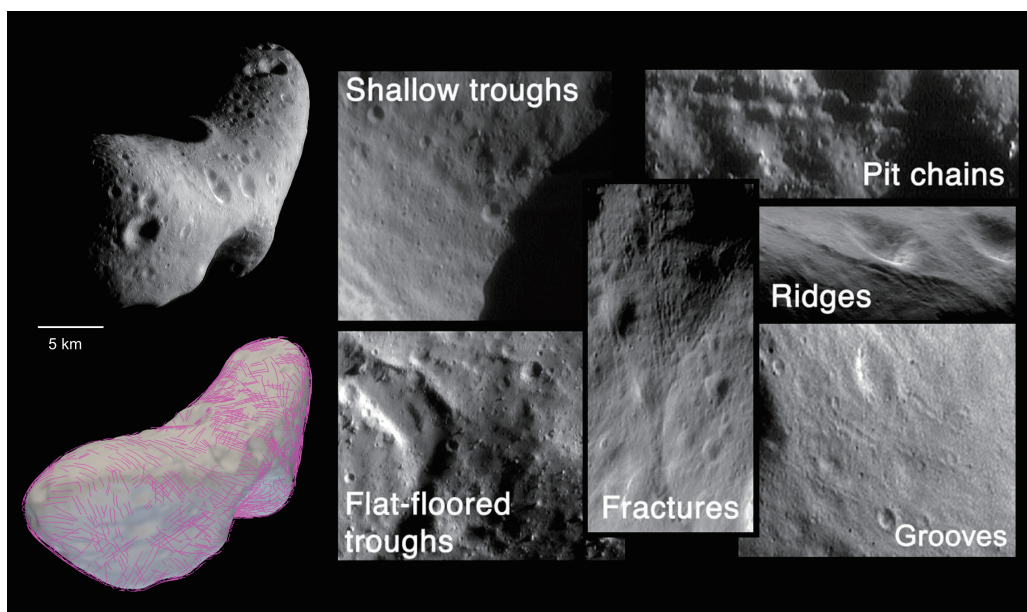


図2：小惑星エロスの線状構造 (NASA/JPL/JHUAPL)。左上はエロス全体を撮像した画像で、左下はエロスの線状構造の分布[6]。右はエロスの様々な種類の線状構造 (NASA/JPL/JHUAPL)。

くの線状構造がみられます。グループ、トラフ、ピットチェーン、リッジがあり種類も豊富です(図2)。エロスには内部構造の影響を受けて多角形になっているクレーターがあり、またエロスの平均密度(約2.7 g/cm<sup>3</sup>)が普通コンドライト隕石の密度(約3.3 g/cm<sup>3</sup>)と比べてやや小さいことなどから、エロスの内部構造はラブルパイルではなく、一枚岩のような構造であると考えられています。ここでエロスの線状構造で(※)を調査した研究によると、大規模な線状構造においてクレーターの位置との関連がみられなく、ある平らな領域に対して平行な面に存在していることが観測されました[5]。さらに詳細に線状構造の分布を調査した研究によると、線状構造のいくつかはエロス上のクレーターと相関がみられましたが、これに当てはまらない線状構造のグループが一定数存在していることが判明しました[6]。以上のことからエロスはもともと大きな母天体の一部で、そのときに衝突が起きたことでこのグループの線状構造が形成したのではないかと解釈されました。さらにエロスの内部構造が単なる一枚岩だけでなく、線状構造が形成される程度の強度でファブリック要素をもつか、連星が合体したものになっている可能性も示唆されました。

フォボスとエロスの線状構造のモデルは他にもいくつかあり、いったいどれが正しいのかはまだわかってはいないものの、いずれの仮説も斬新で非常に面白いアイデアで、天体の表層の状態や環境、進化史に新しい解釈を与えています。線状構造はマイナーな地形にみえるけれども、実はその天体の特徴や進化を極めてよく反映している情報になりえ、学生時代は線状構造の論文をたいへん興味深く論文を読んでいた記憶があります。私にとって線状構造は、自分の研究が惑星科学全体の中でどこに位置付けられていて、いったいどこに繋がるかを常に意識しなければならないことを気付かせてくれたものでした。

紙面の都合上紹介できませんでしたが、線状構造をもつ天体はいくつも存在しています。特に土星の衛星エピメシウス(エピメテウス)、小惑星ルテティアなどの線状構造は興味深いものになっています。さらに、小惑星リュウグウに赤道面にリッジ(リュウジン尾根)や南半球に二つのトラフ(トコヨ地溝とホウライ地溝)が観測されました[7]。また小惑星ベヌーでもグループやトラフなどの線状構造があることが報告されて

います[8]。これらが(※)のパターンになっているのか、あるいは別の面白いパターンになっているのかは今後明らかになっていくと思います。今回は線状構造を分布の仕方という側面でしか捉えていませんが、線状構造の形や長さ、幅なども合わせて調べるとその起源を制約できるかもしれませんし、あるいは思いもよらぬ天体の進化像が浮かび上がるかもしれません。様々な探査機が天体に訪れ続け、その詳細な姿を写した画像は爆発的に増え続けています。みなさんもそうした画像をくまなく見て面白い地形を探して、調べて、どうやってできたのかを考えてみませんか？

## 参考文献

- [1] Reimold et al., 1998, *Geology* 26, 543.
- [2] Asphaug and Melosh, 1993, *Icarus* 101, 144.
- [3] Jaumann et al., 2012, *Science* 336, 687.
- [4] Simioni et al., 2015, *Icarus* 256, 90.
- [5] Thomas et al., 2002, *GRL* 29, 46.
- [6] Buczkowski et al., 2008, *Icarus* 193, 39.
- [7] Sugita et al., 2019, *Science* 364, eaaw0422.
- [8] Barnouin et al., 2019, *Nature geo.* 12, 247.