

発行人：惑星地質研究会 小森長生・白尾元理

事務局：〒193-0845 八王子市初沢町 1231-19-B-410 小森方

TEL & FAX: 0426-65-7128

E-mail: motomaro@ga2.so-net.ne.jp

郵便振替口座：00140-6-535608

月探査大競争時代がはじまった

寺園 淳也 Jun-ya TERAZONO

10年後に振り返ると、2004年が「月探査元年」として、記憶される年になるかも知れない。確かに、華々しい火星探査ローバーの活躍の陰に隠れて、月探査はどうしても地味なものにみえる。生命の発見があるかも知れないという火星探査に比べ、荒涼とした大地を探査するしかない(と思われがちな)月探査には、火星探査ほどの人気がない、という意見もありそうである。

しかし、そうだろうか。いま月探査を計画しているのは、日本やアメリカだけではない。ヨーロッパはすでに月探査機「スマート1」を打ち上げ、中国は国家の宇宙計画の中に月探査を最重要項目として据えている。インドも同様に、月探査を国家プロジェクトとして認識している。アメリカはさらに、国レベルでのいわゆる「新宇宙政策」の中での検討項目だけではなく、民間企業による月探査計画なども立案されている。まさに、月探査の大競争時代が到来しつつある。

本文では、日本を含め、世界各国で進められている月探査計画の状況を紹介し、その中で日本が何をすべきであるかを提案していく。

日本の月探査計画

間違いなくいえることは、これらの国々の中で、「いま最も充実した探査計画を持つ国はどこか」と問われたら、ひいき目を外したとしても「日本」と答えるしかないということである。独創的なLUNAR-A計画、アポロ以来の大型月探査であるセレーネ計画などがすでに走っており、その先の月探査計画についての検討も精力的に進められている。

一方、これらの計画が遅れ気味であることもまた事実である。LUNAR-Aは、当初の打ち上げ予定であった1998年をはるかに遅れ、現時点においても打ち上がっていない。しかも、この3月31日には、探査機に搭載されているスタスタ弁（姿勢制御のために推進剤を噴射するスラスタに装着された弁）がリコールの対象となり、その交換のために打ち上げの遅れが確実となっている。セレーネについても、当初の2005年打ち上げ予定が、H-IIA6号機の打ち上げ失敗によって遅れが懸念されている。それでも、両探査機共に打ち上げに向けた準備が進められている。ここでは、これら探査機を簡単に紹介しよう。

LUNAR-A

LUNAR-Aは、月震(月に起きる地震)を検知し、その伝わり方から月の内部構造を調べるために計画された探査機である。この探査機の大きな特徴は、「ペネトレーター」と呼ばれる2本の槍型の装置である。ペネトレーターは地震計と熱流量計を内蔵し、月面に高速で突き刺さり、地面に潜り込む。その状態のまま、約10か月にわたって、地震と熱流量を観測する予定である。

このような形態を取るのは、軟着陸が技術的に難しく、かつ重量などの制約があるためである。小型探査機であっても、ペネトレーターは月面に機器を送り込める手段として、理想的な装置である。とはいっても、ペネトレーターは毎秒 300 m の高速で月面に突き刺さるため、その瞬間の加速度は凄まじいものとなる。最大 10000G



程度の加速度に耐えられる地震計、
図1 LUNAR-A に搭載されるペネトレーター（長さ 70cm）写真 JAXA
そしてペネトレーター本体の開発は困難を極めたが、ようやくめどが立ってきた。現在はすでに打ち上げ用の実機の作成は完了している。

LUNAR-A 計画で忘れてはならないのは、母船に搭載される LIC(月撮像カメラ)である。搭載カメラとしてはやや古い仕様ではあるが、本格的な月撮像カメラとしては日本初のものであり、成果が期待される。

セレーネ

セレーネは、「アポロ以来の大型月探査」と呼ばれる計画である。その名の通り、14 種類の科学観測装置を搭載し、月表層の観測や重力などの測定、磁場観測、放射線環境の計測、さらには地球周辺の超高層大気の観測も行う。セレーネは高度 100km を周回することによって、約 1 年間の観測が計画されている。

セレーネの最も大きな売りは、搭載されるカメラ (LISM: 月撮像カメラ) になるであろう。最高解像度約 10m で月の地形を撮影する「地形カメラ」、全球にわたって地表のスペクトルデータを得る「マルチバンドイメジャー」、そして線状に非常に細かいスペクトルを取得する「スペクトルプロファイラー」という 3 つの機器を組み合わせることによって、月の地質や鉱物組成、地形などを細かく調べる。これだけの精度で、月の全球にわたるデータを得るのは、世界ではじめてである。エックス線やガンマ線によるスペクトロメーターでは表層の元素組成を、磁力計では月の表面に残されている磁力の測定なども行われる。

また、リレー衛星と VRAD(ブイラド)衛星という 2 つの孫衛星を使った重力探査も行われる。電波を利用して月の重力を詳細に調べることで、月の内部構造を解明することを目指している。また、リレー衛星を利用して月の裏側の重力も詳細に調べる。この月裏側の重力測定は、世界ではじめての試みである。

セレーネには、この他にもユニークな測定器が搭載される。例えば、地球周辺のプラズマを可視光線と紫外線で撮影する「プラズマイメジャー」は、月を地球観測のためのプラットフォームとして用いる観測装置になる。

さらに、セレーネで忘れてはならないのが、世界で初めて月・惑星探査機に搭載されるハイビ

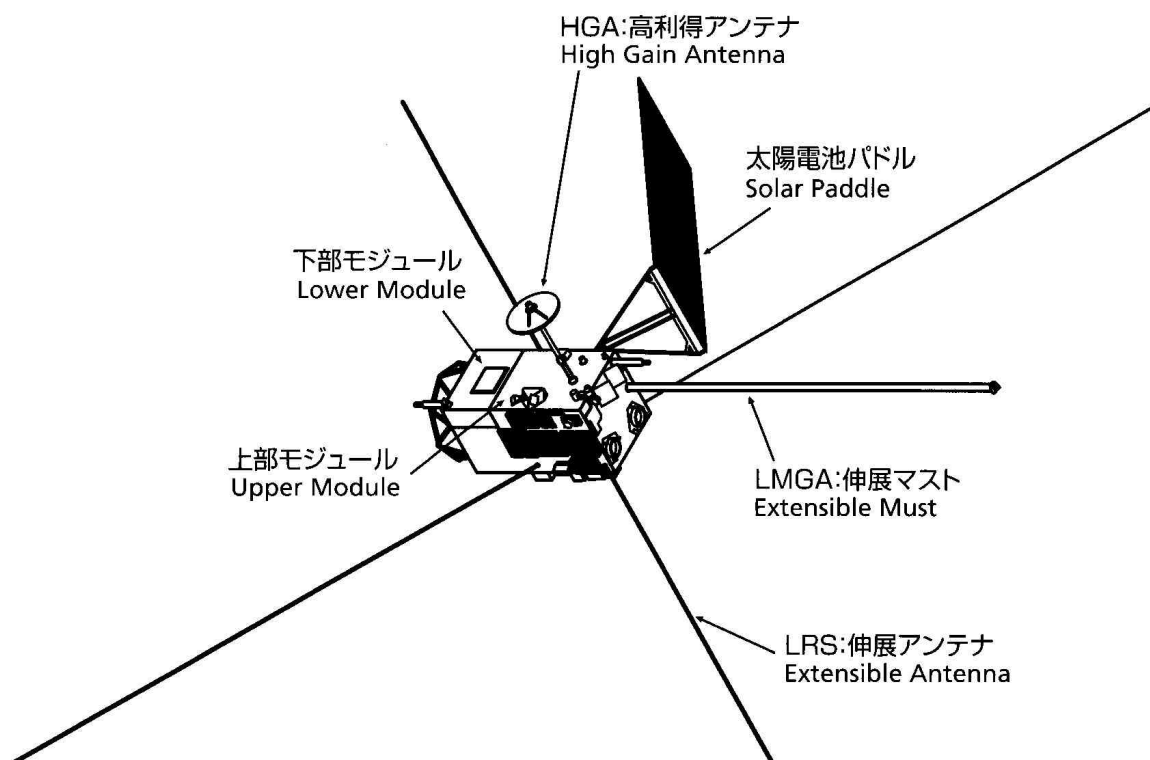


図2 セレーネの外観。総重量約2.9t（打ち上げ時）、本体は2.1×2.1×4.8mの大型月周回探査機である。
(イラスト：JAXA)

ジョンカメラである。NHKが開発中のこのカメラは、主にセレーネの広報目的に活用され、軌道途中からの地球や、月からの「地球の出」の映像など、迫力ある映像を送ることになっている。セレーネはその意味で、科学探査や技術確立に加え、広報も主要な目的に加えた探査となっている。

セレーネは、昨年度に噛み合わせ試験が行われた。噛み合わせ試験とは、完成した装置やシステム部分などを一度組み上げて、総合的な試験を行うものである。この試験結果をもとに、改めて装置やシステムなどの改良を行い、打ち上げに向けた総合試験に臨むことになる。

セレーネB

セレーネに続く探査機として、検討段階ではあるが「セレーネB」が計画されている。もともと、セレーネはその探査期間の最終段階で、母船から着陸機が切り離され、月に軟着陸する予定であった。つまり、将来の月惑星探査に必要な「軟着陸」という技術を確認させることが大きな目的の1つだったのである。ところが、ミッションの成功率をより高める必要があるということで、2000年にこの軟着陸計画がキャンセルとなってしまった。

その軟着陸計画を受け継ぎ、発展させたものが、セレーネB計画である。現在の検討案では、軟着陸だけではなく、小型のローバーを搭載し、月面のクレーター中央丘まで走行して地質や鉱物の調査を行うという計画に進化している。まだこの計画はJAXAのオフィシャルな計画とはなっていないが、JAXA内外の科学者・技術者が集まり、検討を重ねているところである。

ヨーロッパの月探査「スマート1」

2003年9月27日、南米の仏領ギアナにある発射場から、アリアン5型ロケットが発射された。搭載されていた衛星の1つは、ヨーロッパ初の月探査衛星、スマート1(SMART-1)である。

ヨーロッパはこのところ、月・惑星探査に非常に意欲的に取り組んでいる。初の火星探査機「マーズエクスプレス」の成功に続き、月探査機であるスマート1が無事打ち上げられたことで、

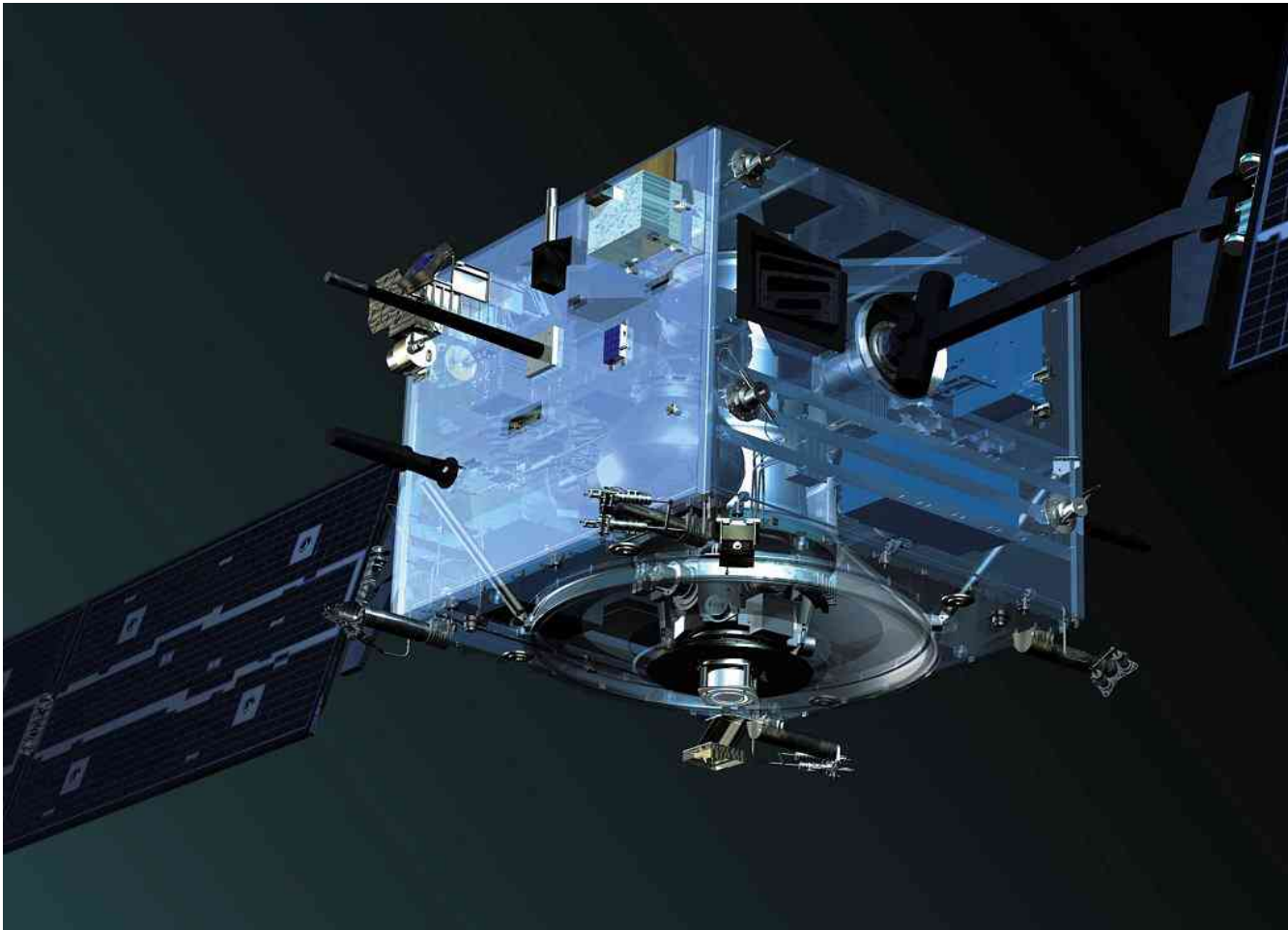


図3 ヨーロッパ宇宙機構 (ESA) が2003年9月に打ち上げたスマート1 (Photo: ESA)

ヨーロッパ (ESA) が本格的に月・惑星探査に乗り出したことが示された。

スマート1は、日本の衛星で例えると、そのコンセプトはLUNAR-Aよりはむしろ、「はやぶさ」(MUSES-C)に非常によく似ている。工学試験衛星として打ち上げられ、将来の月・惑星探査技術の修得を目的としている点、数種類の科学機器を搭載している点、そしてなんといっても、推進機構にイオンエンジンを採用しているという点までそっくりといえよう。

搭載されている観測機器は、カメラ、エックス線スペクトロメーター、赤外線スペクトル探査装置である。全体でたった370kgしかない小型の探査機である。

スマート1は打ち上げ後、予定された軌道を順調に飛行している。現在は、地球から数万km離れた周回軌道を飛行しており、この後もイオンエンジンを噴射し続けながら次第に遠地点を上げ、最終的に月の軌道に近づく。そして月を周回する軌道には2005年2月頃に投入され、その後2年以上かけて探査する予定である。

スマート1の大きな探査目標は、月にある巨大な盆地、サウスポール・エイトケン盆地である。直径2500kmにもわたるこの巨大な盆地の成因は、月の進化の大きな鍵を握っていると考えられる。また、月の内部から物質が露出している可能性も期待できる。この領域の鉱物組成などを調べるにより、月の進化に新たな説を提供できるかも知れない。

中国の「^{じょうが}嫦娥計画」

いま、月探査に世界で最も熱心な国を挙げるとすれば、そのうちの1つには確実に「中国」を入れなければならないであろう。2003年10月、中国は有人宇宙船「神舟5号」の打ち上げに成功し、アメリカ、ロシア(旧ソ連)に続いて、3番目の宇宙大国として名乗りを上げた。その中

国が、国家としての宇宙開発目標として定めたのが、月である。中国の月探査計画は、伝説の仙女にちなんで「嫦娥計画」と呼ばれている。

嫦娥計画、さらには中国の月探査計画そのものについても、現時点ではあまり詳細な情報は公表されていない。今年1月に東京で開催された月探査に関するシンポジウム⁽¹⁾や、昨年11月に行われた月探査ワーキンググループ (ILEWG) の会合⁽²⁾で発表された資料をもとに、内容に迫ってみよう。

中国も日本と同じように、何段かのステップを踏んだ月探査を計画している。最初のステップが周回、次のステップが軟着陸、そして3つ目のステップは軟着陸とローバー探査を狙っているようである。このうち、周回衛星の打ち上げは、早ければ2005年末にも計画されている。その目的は月表層の地質と鉱物分布の解明や、将来の月利用に向けた資源探査を掲げており、これも日本の「セレーネ」計画とよく似ているといえるであろう。

周回衛星は高度200kmで月を周回し、1年間にわたって観測する。立体的な月の写真撮影や元素分布の調査、月表層の調査や放射線環境などの観測が計画されているようである。全体に、「セレーネ」計画に類似した内容となっている。

なお中国は、無人探査の次に、2020年頃に有人の月探査を狙っているという報道もあったが、最近の報道(2004年5月18日のロイター電)では、その構想を断念するという情報もある。一方で、軌道上の宇宙ステーション構想には意欲的であるということである。

今後より具体的な情報が伝わってくれば、中国がどのような月探査を行うのかが次第にわかってくるに違いない。

インドが進める月探査「チャンドラヤーン」

インドは、知られざる宇宙大国である。自前のロケットを持ち、人工衛星を打ち上げてきたインドは、当然の「次の一手」として、月・惑星探査へ乗り出そうとしている。

2007年頃の打ち上げを目指し、首相承認の国家プロジェクトとしてインドが進める初の月探査衛星は、チャンドラヤーン1(Chandrayaan-1)という名前である。チャンドラヤーンとは、サンスクリット語で「月」(Chandra)の「乗り物」(yaan)という意味。文字通り、月へ向かうための探査機という「乗り物」である。

打ち上げロケットは、インド国産の大型ロケット、PSLVが予定されている。計画されている衛星の重量は約500キログラムで、LUNAR-A探査機とほぼ同じくらい、2年間の観測が予定されている。搭載する観測機器は、仕方ないことではあるが、やはり似通ってしまう。チャンドラヤーン1も、可視光領域のスペクトルを取得するスペクトルイメージャー(HySI: Hyper Spectral Imager)や地形マッピングカメラ、エックス線スペクトロメーター、ガンマ線スペクトロメーターが搭載される。中でも、地形マッピングカメラは解像度5mとされており、詳細な月画像が得られることが期待される。

チャンドラヤーン1の探査目的は非常に科学的なものであり、高解像度での月の全球立体マッピングや鉱物・元素組成の解明、重力場モデルの構築などが謳^{うた}われている。

報道によると、インドも将来的に有人月探査を目指すという情報が流れている。現在のPSLV

などの能力では有人探査は到底難しいと思えるが、伝統的なロシアとのつながりで、ロケット技術、さらにはロケットそのものを利用できれば、あるいは有人月探査に乗り出すことも、将来的には考えられなくはない。チャンドラヤーンに「1」がついていることは、将来さらに着陸などの進んだ探査をする意志が、暗示されている。

また興味深いのは、インドがチャンドラヤーン計画において外国との協力を盛んに打ち出していることで、すでにカナダやイスラエルと協力協定を結んでいる。こういった協力が進めば、将来インドは月探査をばねに、宇宙大国への道を進むことも考えられる。

アメリカはふたたび月を目指す

今年1月15日、アメリカは新しい宇宙政策を発表した。この政策の要点としては、

- ・2010年までの国際宇宙ステーション (ISS) 完成と、同時点でのスペースシャトルの引退。
- ・スペースシャトルに代わる新しい宇宙輸送手段として、乗員輸送機 (CEV: Crew Exploration Vehicle) を2008年までに開発し、2014年までに初飛行。
- ・有人月探査を再開し、将来的にはさらに先 (火星) への有人飛行を目指す。

という3つの柱に集約される。このうち我々にとっていちばん重要なポイントは、最後の「有人月探査の再開」である。アポロから実に50年近いときを経て、人間を月に送りこむための計画が再開されることになる。

新宇宙政策の要旨では、まず2008年までにアメリカは無人の月探査機を送り込む。その後数機の無人探査機を月に送り、2014年には有人月探査機を送る予定である。その後、2020年にかけて、数機の有人月探査機が着陸する計画になっている。

その先についてはまだ具体的な言及はないが、マスコミ等の報道では、2030年頃に有人火星探査が行われる可能性がある。そうすると、まさに我々のフロンティアを一気に拡大し、壮大な計画へと発展することになる。

一方、月探査実現には巨額の予算が必要となる。発表されたタイミングから、今年(2004年)のアメリカ大統領選挙に向けてのポーズだという意見もある。今後、議会などで予算が審議されていく中で、どのように進展していくかを、注意深く見守っていくことが必要であろう。

この新宇宙政策については、現在、元空軍長官のピート・オールドリッチ (Pete Aldrich) 氏が率いる委員会でより詳細な検討が進められている。2月から約3か月間の予定で検討されることになっており、この記事が出る頃には、具体的なアウトプットが出てくるかも知れない。この検討へのインプットとして公聴会が実施されており、その模様は <http://www.moontomars.org> というサイトでみることができる。

月探査ラッシュがはじまる

計画段階も含めて、これだけ多数の月探査計画が世界各国で進められるのは、これまでなかった事態である。1960年代に米ソの激しい月競争があったが、今回はその参加国が拡大し、入り乱れた競争になっている。

これには様々な原因が考えられる。例えば、衛星の小型化技術が進歩・一般化し、比較的小さ

なロケットでも月・惑星に向けた衛星を打ち上げ可能になったこと、アポロによる月のデータから得られた知見がほぼ一段落し、さらに詳細なデータが必要とされていることなどが挙げられる。

最先端を走っている日本の月探査も、のんびりとしているわけにはいかない。中国は急速に追いついてきており、インドの計画も順調に進められている。アメリカの新宇宙政策が現行通りに承認されれば、はじめての探査機は2008年打ち上げである。これから先、毎年どこかの国が月に向けて探査機を飛ばす時代がやってくるのである。

日本は、幸いにして探査機の製作技術だけでなく、月の科学に直結する地質学・鉱物学・地球物理学などの分厚い科学者層を抱えている。今後は、国内外の探査機のデータが得られることを前提に、月の科学をより進歩させると共に、これらの探査機のデータを速やかに公開し、世界中の科学者と共有することによって解析を進展させるセンターを日本に設けていくことも一案であろう。

1990年代初頭から独創的な月探査計画を進めている日本が、いまこそ国家レベルのリーダーシップを発揮して、月探査を日本の宇宙計画の前面に据えて進めるべき時がきている。

なお、これらの月探査計画の進捗の最新情報は、ウェブサイト「月探査情報ステーション」(<http://moon.jaxa.jp>)で随時お伝えしていく。

参考資料

(1) <http://moon.jaxa.jp/ja/events/2004/MoonSymp/>

(2) http://www.spaceagepub.com/ilc_2003.html

(宇宙航空研究開発機構 JAXA 広報部)

火星における水の証拠の発見をめぐって

小森 長生 Chosei KOMORI

今年1月火星に着陸したマーズエクスプロレーションローバー (MER)、スピリットとオポチュニティの活躍によって、火星に液体の水が存在したことを示す、いくつかの直接的な証拠が得られてきた。2機のローバーの活動期間はどちらも、90 ソル (1 ソルは1 火星日で24時間39分35秒にあたる) が予定され、スピリットは4月5日に、オポチュニティは4月26日にその目標を達成したが、まだ余力があるので、9月中旬まで探査活動を続行することが決められた。これによってさらなる新しい成果が期待されるが、とりあえずこれまでに判明した事実を要約し、多少の論評を加えたいと思う。

オポチュニティがメリディアニ平原で見つけたもの

まず、最もめざましい活躍をつづけているオポチュニティの成果からみていくことにしよう。

オポチュニティは、火星赤道地帯のメリディアニ平原の一角にあるイーグル (Eagle) クレーター (直径22 m) 内に着陸した。そこは暗い土壌におおわれたなめらかな地面だったが、クレーターのへりに沿う内壁斜面には、多くの断片に割れた黄褐色の基盤岩が露出していた。この岩石

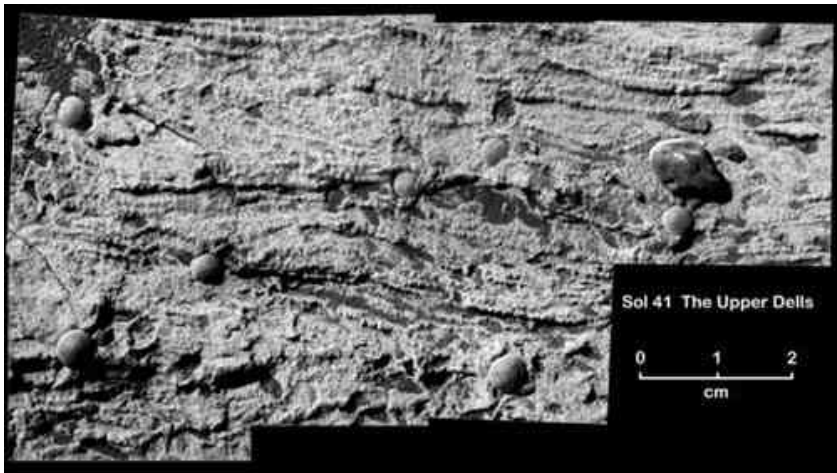


図1 Upper Dells 岩の断面に見られる細かいラミナの構造 (NASA)

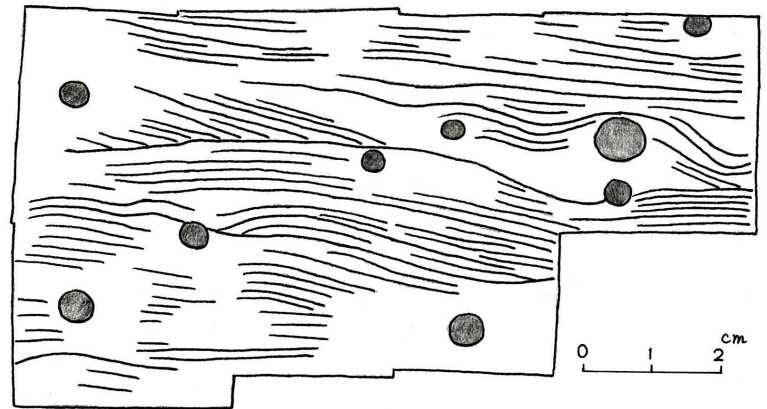


図2 図1の画像からラミナの構造をトレースした解説図 (著者原図)

群は厚さ 10 cm内外の、成層構造をもった堆積岩であった。火星表面で直接堆積岩が認められたのは初めてのことである。

オポチュニティが、アルファ粒子 X 線スペクトロメーター (APSX) やメスバウアースペクトロメーター、その他の観測機器を動員して、この岩石とその周辺を探查した結果を要約すれば、次のようになる。

- ・岩石中には、ブルーベリーと名づけられた平均直径 2~3 mmの球粒が含まれており、岩石の風化面からこぼれ落ちているものもある。周辺の土壌中にもかなりの数量の球粒が散在している。これらの球粒の組成は主にヘマタイト (Fe_2O_3) である。
- ・岩石の風化した断面には、奇妙な平板状の凹みや小さな空洞が多数見られる。これらは、堆積岩中に含まれていた鉱物結晶が水中で溶脱した跡のようにみえる。
- ・岩石中には硫黄が豊富に含まれている。その多くは Mg に富む硫酸塩の形であり、これらの岩石が塩類の濃集した湖水中で形成されたことを思わせる。
- ・岩石中には、鉄に富む硫酸塩鉱物のジャロサイト (jarosite、鉄みょうばん石) の濃集 (8~10%) した部分がある。このような鉱物の生成も水のある環境を必要とする。
- ・岩石中の塩類の量は多く、40%に達する部分がある。とくに塩素 (Cl) や臭素 (Br) など、ハロゲン元素の化合物の濃集も見られる。
- ・Upper Dells と名づけられた部分の岩石断面には、リップルマーク (漣痕) 状にうねったラミナや、クロスラミナ (斜交葉理) が観察される。これも水中で形成された構造と考えられる。

水が存在した証拠の検討

上にあげた探查結果については、近いうちにきちんとした論文の形で報告が出ると思うが、ここでは筆者の独断と偏見で検討を加えてみる。

まず球粒については、それが水中での化学的凝結作用で形成されたコンクリーション (結核体) であることはまちがいないと思われる。母岩にくらべて球粒がかなり硬いことから、珪酸質のものかとも考えられたが、メスバウアースペクトロメーターなどの測定によって、ヘマタイト質の組成であることは確かになったようだ。メリディアニ平原一帯に分布するヘマタイトは、この地

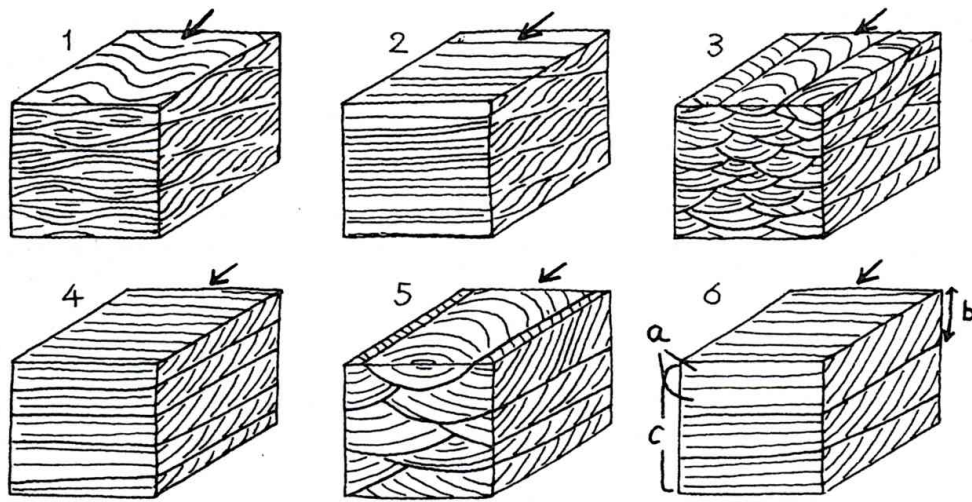


図3 いろいろなリップルマークとクロスラミナの立体構造。矢印は水流の方向を示す。6つのモデルのうち、1が火星岩石のラミナの構造に似ているように見える。（金子史朗「地形図説1」古今書院、1972による）

域に広がる堆積岩に含まれるヘマタイト球粒が、母岩の風化によってばらまかれたものなのだろうが、その分布についてはもっと別の機構が考えられるかもしれない。

堆積岩中に豊富な塩類が含まれているという事実は、かつて塩湖に似た水たまりが存在し、蒸発岩のようなものが形成されたことをよく示唆する。どの層準に、どのような塩類が濃集しているのか、といったことが細かくわかってくれば、塩湖の干上がる過程が読みとれることになるだろう。

大きく報道されたジャロサイトの発見も注目される。前号でのべたように、ジャロサイトのでき方にはいくつかあるが、最も一般的なのは火山や温泉地帯での生成である。火山から噴出する高温の火山ガスには、濃度の高い二酸化硫黄（ SO_2 ）や硫化水素（ H_2S ）などが含まれている。これらが地下水と混合すると硫酸（ H_2SO_4 ）を生じ、強酸性の硫酸泉ができる。この硫酸泉が鉄を含む鉱物や岩石と反応してジャロサイトを生成する。このような過程でできたジャロサイトの例は、群馬県の草津白根火山の山腹などに知られている。

以上のことから考えると、メリディアニ平原（少なくともオポチュニティの着陸地点付近）には、ある時期に強酸性の硫酸泉をつくるような熱水活動が存在したのではないかと考えられる。しかし、そうした火山性の活動が近くにあった証拠は、いまのところない。

アッパーデルス岩の断面に見られるラミナの構造も興味深い（図1と2）。ラミナがゆるくうねっている様子は、リップルマーク（漣痕）の一種と判断してよいだろう。明らかなクロスラミナも共存している。このような地層の微構造は陸上の砂丘などにも見られるが、今回の場合は、前記の他の事実ともあわせて、水中で形成されたものとみるのが妥当である。

NASAのプレスリリースでは、この構造は、少なくとも5 cm以上の深さの水底で、秒速10～50 cmの水流のもとで形成されたと記されている。この推定の根拠はいまひとつよくわからないが、少なくともこの画像に見られるラミナのうねりだけから、水流の具体的な状況が決められるかどうかは疑問である。この画像に対して直角方向のラミナの構造も見えない（つまり、三次元的構造がつかめないと）、水流の真の方向や強さの程度はわからないからである（図3）。

もう1つ、岩石の風化断面に見られる凹みや空洞は、岩石中に含まれていた石膏などの結晶が、水中に溶脱した跡とみてよいだろう。そうだとしたら、この岩石は水中で形成されたあと、多分陸上へ出るかして固結し、その後ふたたび水中に没して固形成分が溶脱した、とでもいうような

ことになるのだろう。つまり凹みや空洞は、堆積岩形成後におこった事件の産物である。

オポチュニティの旅は続く

オポチュニティは3月22日にイーグルクレーターを抜け出し、広々とした平原の上に出た。平原はヘマタイトの球粒を含む砂礫におおわれていたなめらかな表面で、砂丘地帯に見られるさざ波状の風紋のような小起伏が連続していた。

オポチュニティはまず、イーグルクレーターのへりから20 m余り先にポツンと場所があった、直径30×40 cmほどの岩石（バウンスと命名）を調べた。意外なことにその組成は、1979年に南極大陸で発見されたEETA79001-Bという火星隕石に酷似した火山岩であった。どこか離れた場所でおこった衝突によって放り出された火星地殻の断片が、この地に飛来して着地したものでしょうと考えられる。

その後4月20日には、イーグルから450 m東の小クレーターのフラム（Fram）に到着した。ここでもクレーターの内壁斜面に、イーグルで見たのと同様な、明るく白っぽい岩石片の群れが観察された。オポチュニティはその中の1つの岩石ピルバラ（Pilbara）を、岩石削り器で削って調べた。表面にはこれまでに見られたのと同様な球粒があり、組成はイーグルの堆積岩とよく似たものであった。

さらに東進したローバーは、フラムから250 m先のエンデュランス（Endurance）クレーター（直径130 m）のへりに、5月1日（95 ソル後）到着した。このクレーターは深さが約20 mあり、Burns Cliffと名づけられた部分の内壁には、白っぽい岩石と黒っぽい岩石の成層構造が望まれる。イーグルで調べた堆積岩よりもさらに古い時代の歴史が読みとれるものと期待されるが、内壁の傾斜はゆるいところでも20°近くあり、ローバーが支障なく降りられるかどうかは問題である（5月下旬の段階ではまだへりにとどまっている）。

ここで最上部に見られる白っぽい岩石も、イーグルやフラムの堆積岩と似ており、少なくともイーグルからエンデュランスへかけての700 mの間には、同様な堆積岩が分布しているのだろうと考えられる。これらの堆積岩を形成した湖（？）は、どのくらいの広がりをもっていたのだろうか。さらに広域探査がすすむことを期待しよう。

スピリットが見つけた水の証拠

さて、オポチュニティのめざましい活躍にくらべると、スピリットのほうはあまり目立った成果が報じられていないように見える。スピリットが着陸したグゼフクレーターは、前号でのべたように、かつて巨大な湖を形成していたと考えられる。それならば、水の存在を示す堆積物や各種塩類が見つかってよいはずであるが、決定的な証拠はいまのところ得られていないようだ。

とはいっても、水の証拠がまったくないわけではない。スピリットは、ハンフリー（Humphery）と名づけられた岩石（火山岩）の表面を岩石削り器で削り、表皮の0.3 mmの断面をAPXSで分析した。その結果、水による変質の証拠が見出されたという。

同様な証拠は、マザツアル（Mazatzal）岩でも明らかになった。この岩石では表皮が3層にわたって変質の跡を示し、水による変質に3つの異なった時期があったものと考えられる。

これら2つの岩石の変質表皮は、地球上の砂漠の岩石に見られるデザートバーニッシュ (desert varnish) に似たものではないか、という意見が出ている。desert varnish とは、砂漠に露出している岩石や礫の表面をおおう、褐色～黒色の光沢をもった薄い (0.5～5 mm) 皮膜のことで、酸化鉄や酸化マンガンからなっていることが多い。その成因はまだ十分明らかではないが、岩石表層に付着した水分が加熱によって岩石中の鉄やマンガンを溶解し、酸化・沈着させたという考えがある。日本語では「砂漠ワニス」とか「砂漠うるし」などの訳語が使われている。

グゼフクレーターの岩石の変質表皮がこのようなものならば、その形成のためには、それほど多くの水は必要ないかもしれない。かつて火星大気には水蒸気が多く含まれ、温暖湿潤な気候条件の時期があった、ということでも説明できるだろうからである。グゼフクレーターは本当に大量の水をもつ湖だったのだろうか。そうだとすれば、その証拠はこれから見つかるのか。今後の探査の成り行きを注目したい。

主な参考文献

- F. Moring, Jr., 2004, Follow the water. Aviation Week & Space Technology (AWST), 2004年3月8日号, 26-27.
- R.A. Kerr, 2004, A wet early Mars seen in salty deposits. Science, 303 (5 March 2004), 1450.
- M.A. Dornheim, 2004, Berries are hematite. AWST, 2004年3月22日号, 31.
- F. Moring, Jr., 2004, Splashdown. AWST, 2004年3月29日号, 32-34.
- M.A. Dornheim, 2004, Separated at birth? AWST, 2004年4月19日号, 61-62.
- M.A. Dornheim, 2004, Time machine. AWST, 2004年5月10日号, 25-26.
- R.A. Keer, 2004, Mars rock crud gets in the way. Science, 304 (9 April 2004), 196-197.
- D.Tytell, 2004, Opportunity's watery jackpot. Sky & Telescope, June 2004, 20-21.
- <http://marsrovers.jpl.nasa.gov/>の Press Release その他.

論文紹介

北西オーストラリア沖に二畳紀末の衝突クレーター発見か？

Becker, L., 他4名, 2004, Bedout: A possible end-Permian impact crater offshore of North-western Australia. ScienceExpress (www.sciencexpress.org), 13 May 2004, 1--7.

北西オーストラリア沖の大陸棚にある Bedout High 構造は、古生代/中生代境界の二畳紀末に海洋生物種の90%の大絶滅をひきおこした、衝突クレーターの第一候補にあがってきた。

この構造は、1970年代前半から1980年代に、オーストラリア地質調査所と日本の石油公団が炭化水素の探査目的で調査したもので、人工地震探査、重力測定に加えて、Bedout High 構造上には2本のコアが掘削された。このコア資料は20年以上も手つかずのままキャンベラにあるオーストラリア地質調査所に眠っていた。すでに南極と東オーストラリアで二畳紀末の地層から衝撃を受けた石英を発見していたカリフォルニア大学の Becker らは、このコア資料中の衝突角礫に注目した。衝突角礫には、ほぼ純粋なシリカガラス、破碎されたり衝突で溶融した斜長石や球顆状のガラスなどが含まれており、Bedout High 構造が巨大隕石の衝突によってできたことの有力な証拠となった。

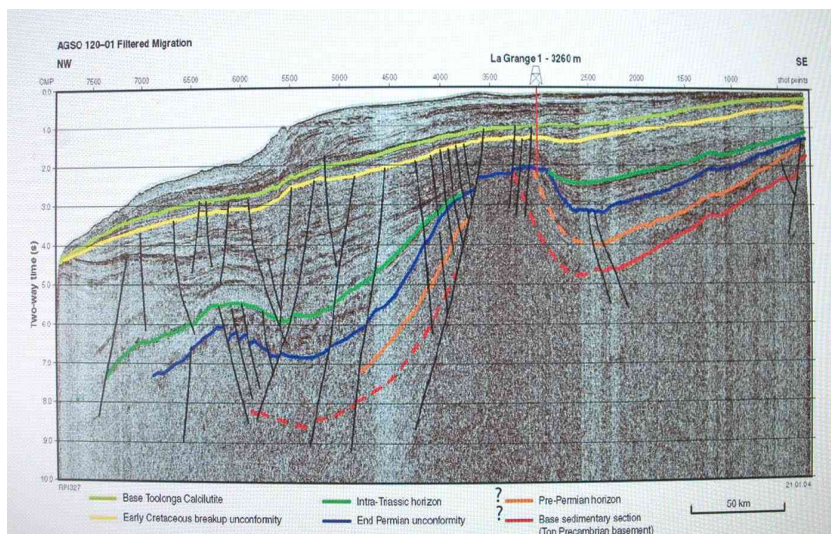


図1 マルチチャネル地震波による Bedout High 構造付近の断面図。二畳紀末よりも古い地層が盛り上がっている。

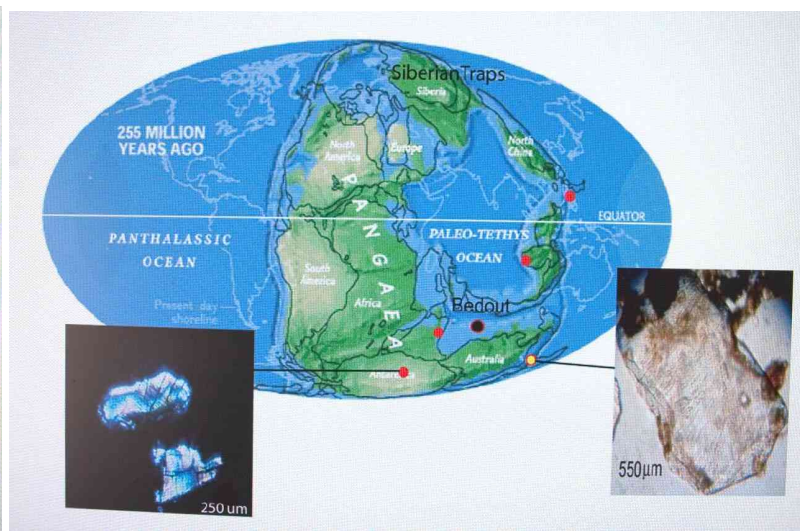


図2 二畳紀末の古地理図。この時代は地球表面は1つの巨大大陸パンゲアと巨大海洋パンタラッサからできていた。Bedout High 構造の位置は右下の●。挿入図は、東オーストラリアと南極で発見された衝撃を受けた石英。

人工地震探査、重力測定、コア資料からは、Bedout High 構造の部分では、上部二畳系よりも古い地層が周囲に比べて数 km 盛り上がっており、これを薄く三畳紀の地層がおおっている。このことから Bedout High 構造が埋もれた衝突構造の中央隆起部分である可能性が高く、もとのクレーターはチクシュルーブクレーターと同程度の直径約 200km と推定される。Bedout High 構造の年代は、2つのコア資料に含まれる衝突角礫中の斜長石を段階加熱することによって $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代を測定し、 $250.1 \pm 4.5\text{Ma}$ の年代値を得た。

従来、古生代/中生代境界の大量絶滅は、大規模な火山活動が原因であるとの説が有力であった。この時期にはシベリアで洪水玄武岩噴火が起こっているし、中生代/新生代境界ではデカンで洪水玄武岩噴火が起こっている。今回の発見によって、2回の大量絶滅で巨大隕石の衝突と洪水玄武岩噴火がほぼ同時に起こっている可能性が高くなった。しかし、どちらの場合も衝突地点と洪水玄武岩の噴出地点は遠く隔たっている。今後は、巨大衝突と洪水玄武岩噴火との関連も考慮しなければならなくなった。

(白尾元理)

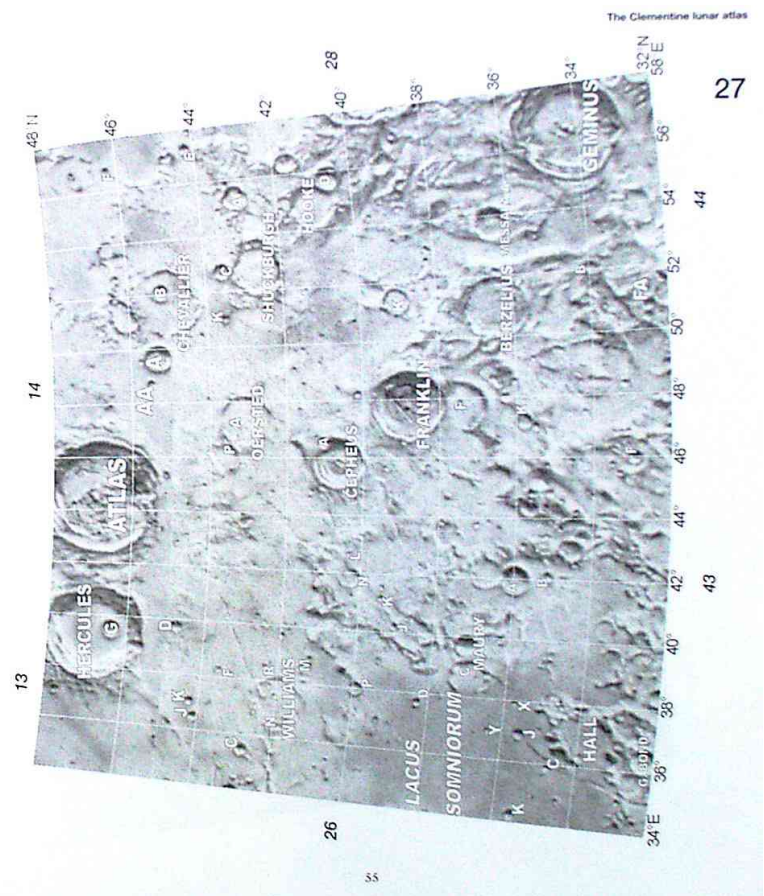
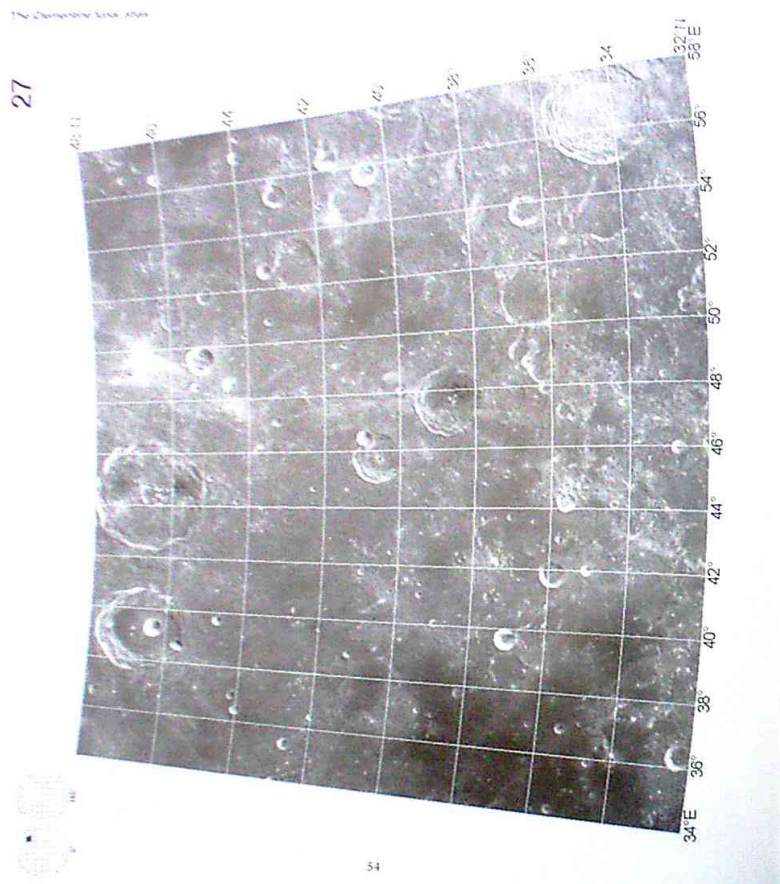
書籍紹介

クレメンタインの月面地図帳

Bussey, B., and Spudis, P. 2004, The Clementine Atlas of the Moon. 380pp, Cambridge Univ. Press, 28.3×24.5×2.3cm. (Amazonから71.48US\$で購入)

クレメンタインは、1994年に打ち上げられ、約70日間にわたって月極周回軌道をまわることによって、はじめて月のグローバルなマッピングに成功したアメリカの技術試験衛星である。クレメンタインが撮像した画像はCDやHPでみることができるが、手早く概観するには本の形にまとまっていたほうが便利で、そういった意味で待望の書である。

クレメンタインは可視～遠赤外光によって月を撮像したが、本書は750nm近赤外光で撮像した画像をもとに作られた地図帳である。月全体を144に区分し、右上の写真のように左ページにクレメンタイン画像、右ページに相当するLACのエアブラシ地図を地名入りで並べている。



掲載写真の分解能は 0.5km 程度で、クレメンタインの軌道による制約によって、月赤道部の地形は陰影が少なくてわかりにくい（極地域は陰影がついてみやすい）。しかし、緯度線、経度線が 2° ごとに入れられ、現在月につけられているほぼすべての地名（アルファベットの添字のつけられた小クレーターもすべて）が網羅されているのは便利である。以上が第2部（316 ページ）で、第1部（50 ページ）には探査機による成果、特にクレメンタインとルナプロスペクターの成果が要領よくまとめられている。

本書は、研究者が観測計画の立案や論文を読む時に参照するための地図として便利であるし、またアマチュア天文家が月の地形細部を望遠鏡で観測する時のよいガイドブックとなるであろう。

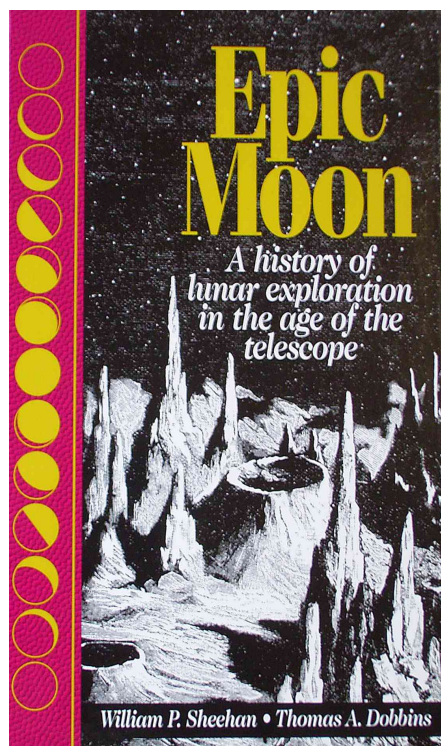
（白尾元理）

月観測の英雄列伝

Sheehan, W.P., and Dobbins, T.A., 2001, *Epic Moon : A history of lunar exploration in the age of the telescope*. 363pp, Willman-Bell, Inc., VA, USA, $23.5 \times 16 \times 2.5$ cm. (Sky Publishing Co. から 29.95US\$ で購入)

本書は副題にもあるように、宇宙開発が始まる前の、望遠鏡による月面観測の歴史をまとめたものである。最近 20 年間は、宇宙開発が始まった 1960 年以降の月研究史をまとめた本が数点出版されたが、月面観測はガリレオが 1609 年に最初に望遠鏡を向けて以来、350 年以上にわたって続けられてきた。本書は、その 350 年間の地上からの月面観測の悪戦苦闘をまとめたものである。

本書では、きちんとした成果を上げた人の研究内容も紹介している。しかし色収差や地球大気の擾乱に悩まされながら誤った結果を出した観測者、あるいはでっち上げの観測を作り出してしまった観測者なども詳細に紹介している。これらは、ウィリアム・ハーシェルが 1787 年に観測



したという月の火山噴火、1835 年にアメリカの新聞に掲載された月に羽の生えた人間が住んでいるというでっち上げ記事、1850 年頃のリンネの消失事件、20 世紀になってからのアリストルコスやアルフォンスの TLP（一時的な月面変化）事件などで、すでに真偽がはっきりしているものもあるし、依然不明のものもあるが、月をめぐるこのようなゴシップも興味深い。

著者シーハンの本職は精神科医で、望遠鏡による天体観測の歴史をライフワークにしており、すでに「Planets and Perception」(1988)、「Mars: The Lure of The Red Planet」(2001)などの優れた本を執筆している。もう 1 人の著者ドビンスの本職は化学者で、熱心な月・惑星の観測者でもある。2 人とも「Sky & Telescope」に多数の寄稿がある。本書を、1960 年以前の古き良き時代の月面観測を振り返って見たい人にお薦めする。(白尾元理)

INFORMATION

● カッシーニ探査機の土星到着せまる

NASA と ESA の共同ミッションの土星探査機「カッシーニ」が、いよいよ 7 月 1 日土星に到着する。カッシーニは 1997 年 10 月 15 日に打ち上げられ、金星を 2 回、地球と木星をそれぞれ 1 回スイングバイして加速し、順調に土星への飛行コースをたどっていた。7 月 1 日長楕円の土星周回軌道に入り、しだいに離心率の小さい軌道に移行して、12 月 24 日に小型プローブ「ホイヘンス」を放出する。2005 年 1 月 14 日、ホイヘンスは衛星タイタンの大気圏に突入し、パラシュートを開いてタイタン表面に着陸する。カッシーニ本体には 12、ホイヘンスには 6 つの科学観測機器が搭載され、撮影をはじめ多彩な観測が計画されている。カッシーニは土星オービターとして 4 年間にわたり観測をつづける予定で、その成果が期待される（本誌 Vol.15, No.2, June 2003 の「タイタンに海は存在するか」を参照）。

● 小惑星探査機はやぶさの地球スイングバイ成功

2003 年 5 月 9 日に打ち上げられた日本の小惑星探査機「はやぶさ」(旧名 Muses-C) は、この 1 年余の間、太陽周回軌道を順調に飛行し、イオンエンジンで加速してきた。そして今年 5 月 19 日、ふたたび地球に接近してスイングバイに成功し、小惑星 Itokawa へ向かう軌道にのった。地球最接近の時刻は 19 日 15 時 22 分（日本時間）、高度は東太平洋上空約 3700km であった。探査目標となる小惑星の、25143 番 Itokawa (1998SF36) は、1998 年 9 月 26 日に米国のリンカーン観測所で発見された。日本のロケットの父といわれる糸川英夫氏（1912～1999）の名を記念して命名されている。Itokawa へは 2005 年 6 月頃に到着予定。岩石サンプルを採集し、それを納めたカプセルが 2007 年 6 月地球に帰還することになっている。なお、地球最接近時に撮影された地球と月の画像が、JAXA 宇宙科学研究本部ホームページで公開されている（<http://www.isas.jaxa.jp>）。

編集後記：今回は寺蘭淳也氏から世界の月探査計画の動向をレポートしていただきました。いままでは、日本だけがのんびりと月を目指していましたが、にわかに多数の強敵があらわれてしまい、大変な状況になったようです。競争と協力によって効果的に月の謎を解明してゆきたいものです。（S）