

## スペースウェザリングー宇宙空間における風化作用

B.E. Clark and R.E. Johnson

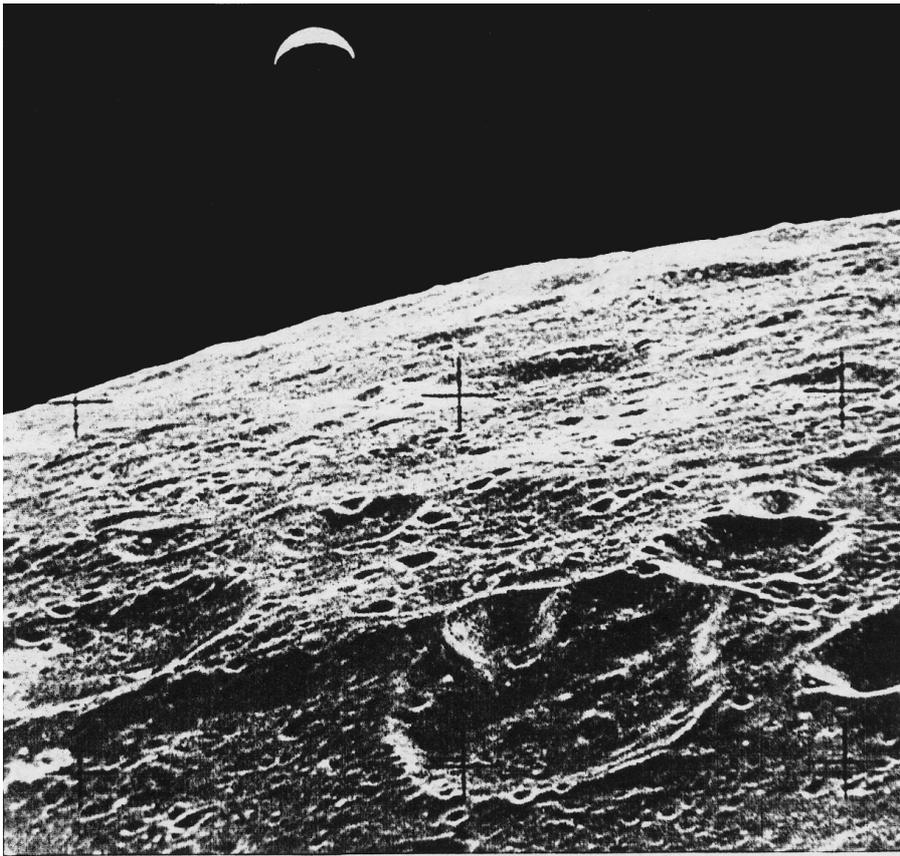
むき出しの岩石や氷の塊が惑星間空間に何百万年もさらされてきた場合、その表面にはどんなことが起こるだろうか。この基本的な疑問は、望遠鏡や探査機によって得られたデータを解釈するにあたって、重要な意味をもっている。それに答えるのはもちろんきわめてむずかしいが、惑星地質学者たちは場と粒子の物理学者たちと手を組んで、いまこの問題を解決しようと努力している。

スペースウェザリング（宇宙空間における風化）を研究するための最も価値ある材料として、アポロの宇宙飛行士が月面から採集してきた、月の表土とその下に横たわっていた岩石のサンプルがある。月の表土とその母岩は、少なくとも1つの重要な点で相異なっている。すなわちそれらは全く別ものに見えるのだ。何億年もの間、月の表土は、流星体（メテオロイドやマイクロメテオロイド）、太陽の紫外線フォトン、太陽風や太陽フレアイオン、銀河系宇宙線や銀河系外宇宙線などによってたたかれてきた。これらの過程は、月や惑星その他の天体の表面を長期間にわたって、構造的にも、化学的・物理的にも変えてきたにちがいないのである。惑星探査機や軌道天文台（たとえばボイジャーやハッブル宇宙望遠鏡など）による、外部太陽系の広範な研究から、巨大惑星の衛星たちの氷でおおわれた表面には、いろいろと異なった風化がおこっているという興味深い事実が明らかになっている。氷は外部太陽系の小天体を構成するいわば“岩石”ではあるが、それは本質的に珪酸塩よりも揮発性のつよいものであり、そのため氷の表面はよりたやすく変化する。このことは、外部太陽系における表面物質と月面の物質とでは、風化の進行するタイムスケールが異なっていることを意味している。

宇宙空間の環境下で風化をうけるのは、氷や岩石の天体の表面だけではない。宇宙空間をただよう顕微鏡的な微粒子でさえも、損傷をうけているのである。近年、地球をまわる衛星の1つ、長期間曝露実験装置（Long Duration Exposure Facility, LDEX。訳注：1984年にスペースシャトルで地球周回軌道にのせられた実験装置。1991年に実験終了し大気圏に再突入して消滅）や、U2型飛行機によって、地球の上層大気から惑星間塵の粒子（Interplanetary Dust Particles, IDPs）が採集されている。小惑星や彗星に起源があると考えられるこの微粒子も、それらが母天体から放出されて以来、エネルギーをもった荷電粒子との相互作用によって広範な風化作用をうけてきている。

### スペースウェザリング研究の動向

“ウェザリング（weathering, 風化）”という用語は、もともとは大気と水の作用によっておこる地球上の地質過程をあらわす語であるが、ここでは宇宙空間における表面の変質作用をあら



ウェザリングをうけた月面

わす語として用いる。宇宙空間の環境下では、イオンやマイクロメテオライトが、大気と水の役割をはたす。

われわれはいま、スペースウェザリングの諸過程と、それらが月の表土と惑星間塵にどのように作用を及ぼしているかを理解しはじめている。しかしながらこの過程を、小惑星、水星、木星のガリレオ衛星などにまで拡張して類推し、光学的特性への影響を予測するにあたっては、まだいくつかの問題が残されている。

この点については目下研究がすすめられている。月の表面でおこる変質作用のモデル化とその効果の定量化；変質物質、一時的にできる大気、コロナ、まい上がった塵の堆積と組成についての研究；微粒子の衝突シミュレーションとイオンやフォトンの照射による研究；実験的データや月、IDP、隕石のデータを他の天体の表面へ外挿して予測する研究；などである。研究者たちが、スペースウェザリングの本質とその根底に横たわる地質学をよく理解するための方法も開発中である。この究極の目標を達成するために、風化の諸過程とその効果、風化のおこる度合いについて十分理解し、それらを定量化しなければならない。

NASAの近地球小惑星ランデブー飛行 (Near-Earth Asteroid Rendezvous mission, NEAR) は、岩石天体表面のスペースウェザリングに関する諸問題のいくつかに解答をもたらすものと期待される。同様に、ガリレオとカシニの両探査機からのデータは、木星と土星の水衛星たちの表面でおこるスペースウェザリングの謎を解明するのに、大いに役立つであろう。しかし、探査機からの新しいデータを待っている間にも、われわれは月とIDPのデータの研究を続行し、スペースウェザリングの過程の理論的・実験的シミュレーションをおし進めなければならない。

### 月面のウェザリング

月の表面でおこる変質作用の包括的なモデルは、B. Hapkeによってまとめられている。このモデルによれば、月面における衝突と、太陽風によるスパッタリング—入射してくる粒子のエネルギーによる元素のはじき飛ばし—は、標的物質を溶かし蒸発させる。月面で作られ再堆

積する蒸発物質の量は、溶けた物質の量によってきまる。月の表面近くの化学的に還元された環境では、 $\text{Fe}^{2+}$ は溶融物中で還元され、生成したガラス中に顕微鏡的な金属鉄の粒子を形成する。つづく蒸発物の再堆積では、表面の鉱物粒子に沈積した顕微鏡的還元鉄を含む被覆層をつくる。この顕微鏡的鉄の形成は、月面に露出している岩石がうける光学的变化の原因になっているようにみえる。

C. Allen とその同僚によってなされた月面の過程の実験的シミュレーションによれば、スペースウェザリングに特有な光学的效果は、高温の水素還元によっておこりうる。この実験では、ガラスと  $\text{FeO}$  を含む鉱物中に顕微鏡的金属鉄の粒子がつくられた。これらの粒子はサンプル全体のアルベドを低下させ、スペクトルのコントラストをよわめ、可視／近赤外の連続スロープを増大させた。荷電粒子の照射効果は、月の光学的特性を支配する主な要因ではないようにみえる。

クレメンタイン探査機からの画像データと結びつけた月の表土のくわしい分析をもとに、E. Fisher は、月のマルチスペクトルデータから表面効果を数学的にとり除く方法を開発した。彼は、ウェザリングの影響を除去すると、表面下の月の基盤岩の正確な地図作成が可能であることを示した。この刺激的で重要な結果は、リモートセンシング技術を用いる惑星地質学者たちにとってきわめて興味深いものである。とくに C. Pieters は、水星、月、小惑星について、表面の変形過程と変化のすすみぐあいの原因を研究している。

P. Lucey とその仲間の最近の研究もまた興味深い。彼らは、クレメンタイン探査機のとった月のグローバルな画像から、スペースウェザリングの影響をとり除くことを試みた。表面の変質効果によってつくられた鉄が、スペクトルで決められた鉄の総量から除去された結果、月は地球よりも鉄を含む鉱物に富んでいることを Lucey たちは見出した。この発見によって、月の起源に関する分裂説（親子説）や同時集積説（兄弟説）のようなモデル（これらの説では、月と地球は同じ組成をもっていなければならない）は具合がわるくなった。代わって、巨大衝突説や捕獲説（他人説）のほうが都合がよくなっている。

少なくとも月については、われわれは表面の変質効果についてかなりよく理解するようになっており、これにもとづいて、ウェザリングの下に存在するものを考察している。リモートセンシング測定におけるこうした進歩によって、月の形成と地質学に関して多くの結論が得られたのである。

### 水星表面のウェザリング

水星は表面物質の衝突溶融によってつよく影響されていると考えられる。M. Cintala の最近の研究によると、衝突物体とその衝突速度は予想よりも大きく、ガラスとアグルチネート (agglutinates、衝突で生成したガラスで結合されたレゴリス粒子) を形成すると考えられる。表面の温度が高いために、反射光による水星の組成の研究はむずかしく、スペースウェザリングに原因する表面粒子のつよい変質によって、それはいつそう複雑困難になる。W. Smythe とその仲間によってなされた、水星におけるスペースウェザリング効果の理論的研究は、このような予想をうらづける。水星のスペクトルに、酸化鉄による吸収帯が全くみられないことから、Smythe たちは次のような3つの物理過程をもつシナリオを提案した。



ガリレオ探査機が撮影した小惑星イダ

第一に、水星の昼側と夜側の温度差が表面に微細な粒子をつくり出し、スペクトルの吸収帯の深さ（もしそれがあ  
るならば）を減少させるだろ  
う。第二に、高い太陽フラッ  
クスが熱い表面での原子の  
化学的活動を促進する。そして  
第三に、水素のフラックスが  
高いことによって、衝突物か  
ら生ずる熱の供給なしに鉄の  
化学的還元がおこるだろう。

水星は地球の月と同様に、その岩石中に鉄が多いと伝統的に考えられてきたが、最近のいくつかの観測にもとづく研究は、そうではないことを示している。カイパー空中天文台で、中赤外領域（5～14  $\mu\text{m}$ ）での水星観測をおこなった A. Sprague とその仲間は、それらの放射スペクトル組成のくわしい研究から、光学的に熟成していると思われる効果を見つけた。効果の強度は小さく、表面組成の決定には中赤外分光器を使用した。これによって Sprague たちは、水星表面の組成は斜長石に富んだ、おそらく玄武岩質のものであり、月の岩石よりも酸化鉄の枯渇した鉱物からなっているだろうと結論した。

このように、水星の組成の研究は、スペースウェザリングがもたらすものにつよく影響されているように思われる。水星表面の過程と生成物についてのさまざまな推定は、水星の組成をめぐる論争の主要な原因ともなっている。

### 小惑星でおこるウェザリング

ごく最近、ガリレオ探査機が撮影した小惑星、951 ガスプラと 241 イダの画像に、小惑星表面の変質作用を示す劇的な事実が見つかった。これらの画像は、小惑星のスペースウェザリングを示す最初の現場写真であり、岩石の表面が低重力のもとでも時間とともに変化していることを、はじめてはっきりと見せてくれたものである。この画像が暗示する最もおどろくべきことの1つは、ウェザリングの進行の程度が早いことである。2つの形態的によく似たクレーターが、異なった度合いの光学的変質をうけているようにみえるものがある。このことは、まだ定量化されていないとはいえ、変質のおこった時代がやや異なっていることによるのみ説明できる。ここで生ずる大きな疑問は、どんな過程が表面を変えさせ、それはどのようにはたらいたかということである。残念ながらこの場合、表面の変質についての月のモデルをただ外挿するだけではうまく説明できないように思われる。

とくに B. Clark によれば、月のモデルを用いて小惑星の表面を解釈する場合に、小惑星の赤外スペクトルデータと、それらの鉱物組成との関係が問題になる。最も面倒なことは、小惑星とそれらに相当する隕石の間の赤外スペクトルの差異を説明するのに、スペクトルのデータが、月

でみられるようなスペースウェザリング効果と一致しないという事実である。このことは、メインベルト小惑星の地質学と隕石の組み合わせを説明するよりも先に、小惑星のスペースウェザリングについての新しい別のモデルが開発されねばならないことを意味する。

隕石における表面の光学的変質過程の記録を知るために、D. Britt は、衝撃で暗色になり太陽風をうけてガスに富んだ普通コンドライトを調べた。その結果、これらの隕石は、過去に小惑星の光学的表面に存在した物質を含むこと、そしてその性質の研究は、隕石と小惑星のスペクトルの関連を知るために不可欠であることがわかった。これまでの研究は、まだ実証されていないある予想にもとづいていたのであった。とはいえ最終的な証明は、小惑星のサンプルリターンに待たなければならないだろう。

一方、宇宙空間で小惑星表面に影響をあたえるスペースウェザリング過程をシミュレーションするためのたいせつな仕事の1つとして、L. McFadden は C. Dukes や R. Baragiola とともに、鉱物への照射効果を調べている。この実験は、照射による化学的变化と、それらの反射率の変化との対比を理解することがねらいである。光電分光法を用いて、彼らは、太陽風のイオン衝突によっておこる化学的還元の定量的測定をおこなった。その化学的变化が光学的特性に及ぼす度合いは、小惑星の分光学的様相へのそれらの重要性を確かめるために試された。小惑星にとって、どんなメカニズムでガリレオ画像にみられるような変化がおこったのかは、まだ明かではない。

### 惑星間塵粒子に起こっていること

惑星間塵粒子 (IDPs) に発見された、宇宙空間でおこった照射効果は、J. Bradley によって研究されている。これまで Bradley は、イオン化放射が IDPs に構造的、組成的变化をおこすことを発見した。とくに、珪酸塩鉱物は非結晶化され、外来元素が埋めこまれ、陽イオンが選択的にとり去られ、特定の元素に富むようになる。これらの化学的变化は、裸の鉱物表面でおこる光化学的变化の重要な原因ともなる。実際 Bradley は、星間物質中の荷電粒子によってウェザリングを受けたと思われる IDPs 中に、ナノスケールの包有物を見つけた。

宇宙空間の環境下でのウェザリングによっておこるミクロな物理的効果は、これら IDPs の研究を通して最もよく理解できるようになるだろう。

### 一時的な効果の可能性

惑星表面の組成を決定するための、1つの間接的な、しかしもしかすると価値ある方法は、表面物質からとび出したガスの相対量を測定することである。この研究は水星と月に対してとくに有効である。水星と月では Na と K が、表面に存在する一時的な“大気”として検出されている。

A. Sprague と D. Hunten は、月と水星の大気について原子種の相対生成率を調べ、スペースウェザリングも含めたいろいろな物理的過程にもとづいて理論的に予測された生成率を、観測結果と比較した。彼らは、衝突物質と表面物質の両方が Na と K の供給源であるらしいと結論したが、一方でこのモデルは温度には直線的に依存しないとも述べた。

T. Morgan と R. Killen は A. Potter とともに、水星と月のコロナの組成を説明するための、観測とモデル化の成果を最近報告した。Morgan らは、イオンのスパッタリングが Na 原子の放出に重要な役割を演ずると結論し、観測データを用いて表面組成を決めるために、他の原子種に

についてもモデル化をすすめた。

T. Flynn と A. Stern は、イオンのスパッタリングによってつくられるらしい月の大気中の金属種の上限をあたえるために、地上からの分光観測をおこなった。それによれば、彼らは金属の非化学量論的相対量を求め、月の Na と K の大気を生み出すメカニズムは、月面の他の豊富な原子種よりも、これらの金属種にいくぶん有利にはたらくと結論した。

イオン化の放射レベルが高いときは、分子サイズの粒子が放出され、大気のない表面に浮遊することが可能かもしれない。このメカニズムは広く受け入れられてはいないけれども、小惑星表面における塵の浮遊（それは太陽イオン、電子、UV フォトンによる荷電によっておこる）は、光学的特性に影響を及ぼすかもしれない。A. Cheng は、NEAR ミッションからのデータが、このメカニズムの可能性を検証できると考えている。

### 氷衛星の表面を変えるはたらき

岩石や金属の表面の光学的特性に対して、荷電粒子がどんなウェザリング効果を示すかは、十分に確かめられていないが、外部太陽系の氷惑星の表面での効果はよく研究されている。R. Johnson は、イオンによって引きおこされる氷衛星のウェザリングを示すいくつかの観測を述べている。かすかではあるが、この効果は、氷衛星の経度のちがいによる反射率の変化に明らかに認められる。

土星と木星の氷衛星は、軌道上の回転がみかけ上固定されており（つまり、自転と公転の周期が同期しており）、またプラズマは惑星といっしょに回転する。この特有の組み合わせのために、イオンの衝突率は経度とともに変化し、経度による反射率の変異をもたらす。イオンの衝突によって生み出されるこの変化は、通常、マイクロメテオライトの蒸発とレゴリスのかき混ぜのような、他のウェザリング過程と競い合う。

かくして氷衛星は、スペースウェザリングのダイナミクスを研究するための優れた“実験室”となる。R. Baragiola は、氷衛星にみられる光学的変化を定量化するために、氷に対するイオンと UV フォトンの照射実験をおこなった。これらのデータは、ガニメデ表面の氷にとらえられた  $O_2$  の解釈に有用である。イオンのスパッタリングでつくられたテチスのまわりの OH、エウロパの  $O_2$  コロナについても同様である（この 2 つは最近ハッブル宇宙望遠鏡でとらえられた）。これらの中性コロナはウェザリングによってつくられたもので、水星と月の Na と K のコロナに、広がりにおいて比肩されるものである。

宇宙空間の環境におけるウェザリングの過程は、表面の変質のメカニズムとして重要であることは明らかである。したがって、スペースウェザリングのメカニズムとそれらの効果をよく知ることは、リモートセンシングによる惑星表面の研究への、必要かくべからざるプレリユードであるということができよう。

### 参考文献

- Hall, D.T., Strobel, D.F., Feldman, P.D., McGrath, M.A., and Weaver, H.A., 1995, Detection of an Oxygen atmosphere on Jupiter's moon Europa. *Nature*, 373, 677.
- Johnson, R.E., and Baragiola, R.A., 1991, Lunar surface: Sputtering and secondary ion mass spectrometry. *Geophys. Res. Lett.*, 18, 2169.
- Keller, L.P., and McKay, D.S., 1993, Deposition of impact generated vapors in the lunar regolith, in

- Workshop on the Space Environment: The Effects on the Optical Properties of Airless Bodies. LPI Tech. Rep., No.93-01, 9-10.
- Shemansky, D.E., Matheson, P., Hall, D.T., Hu, H.-Y., and Tripp, T.M., 1993, Detection of the hydroxyl radial in the Saturnian magnetosphere. *Nature*, 363, 329.
- Spencer, J.R., Calvin, W.M., and Person, M.J., 1995, CCD Spectra of the Galilean Satellites: Molecular Oxygen on Ganymede. *J. Geophys. Res.*, 100, 19049.
- Sullivan, R., et al., 1996, *Geology of 243 Ida. Icarus*, 120, 119-139.

訳者から：この論説は次の原著からの翻訳である。

Clark, Beth E. and Johnson, Robert E., 1996, Interplanetary Weathering: Surface Erosion in Outer Space. *Eos*, vol.77, No.15 (April 9, 1996), 141-145.

著者の Clark はアリゾナ大学月惑星研究所の惑星科学者、Johnson はバージニア大学の応用物理学者。掲載紙の「Eos」はアメリカ地球物理学連合 (AGU) が出している週刊の新聞形式の会報。各種学会情報のほか、新しい話題についての速報論文や解説記事が掲載されている。

宇宙における風化作用の問題は、惑星地質学の重要なテーマの1つであるはずだが、正面きってこういう問題を取り扱った論文や報告はあまり見かけないようだ。そのいみでこの論説は紹介する意義があると考えられる。

なお、訳文はほぼ全訳に近いが、くどいと思われる箇所は省略ないし簡略化したことをお断りしておく。また原著にはカラー写真が2点そえられているが、本誌では印刷不可能なので割愛し、代わりに関連するモノクロ写真を適当に配した。 (小森長生訳)

---

## ヨーロッパの惑星地質学の現状

小松吾郎 Goro KOMATSU

惑星科学、特に惑星地質学は、その歴史的な経過から長い間アメリカと旧ソビエトがその主流であり続け、その構造は基本的には変わっていないが、最近では日本で探査計画をテコにして盛り上げようという動きがさかんである。

本稿では、ヨーロッパで胎動しつつある新しい惑星地質学の流れを追ってみよう。

私が惑星地質学を教えている国際宇宙大学がフランスのストラスブルグにある関係で、この夏はヨーロッパに滞在した。この滞在中、オランダのデンハーグで開かれた European Geophysical Society (EGS) の会議に出席した。ここで感じたのは、ヨーロッパでの惑星地質学が、日本と同じくやはり惑星探査にからんで大きくなりつつあるということである。ヨーロッパは独自の探査計画の他にアメリカやロシアの計画にからんでいるケースが多く、それらを通じてデータの入手がかなり可能になる見通しがある。それでは研究の質はどうであろうか。これは日本の学会に参加しても感じることであるが、最近の一つ一つの研究のレベルはかなり高い。これは最近探査機データの配布が広範囲に行われているために、世界中どこにいてもそれなりに研究ができるようになってきたことも理由の一つであろう。やはり、あとは主流であるアメリカなどでの学会や論文発表で、どれだけ受け入れられるかにかかっていると思う。たぶん独自、あるいは国際協定の探査機でデータを取得し、それによって独自の研究を発表できる時が、日本やヨーロッパの惑星地質学が本当のレベルで受け入れられるときであろう。

表にヨーロッパの主要な研究者をその得意分野とともにまとめてみた。この表をみてわかるのは、国ごとに得意分野が違うということである。たとえ分野が同じでも、対象とする惑星や衛星が違う場合が多い。惑星地質学は学際的性格がつよく、各種の分野の専門家の協力が大きな理解

## ヨーロッパの主要な惑星地質研究者

イギリス	J. Guest (火山学) L. Wilson (火山学)	University of London University of Lancaster
フランス	P. Masson (構造地質学) F. Costard (氷河作用)	University of Paris CNRS (National Center for Scientific Research)
ドイツ	G. Neukum (衝突 クレーター 統計学)	Institute for Planetary Exploration DLR (German Aerospace Research Establishment)
イタリア	G. Ori (河川作用、構造地質学)	University of d'Annunzio
フィンランド	J. Raitala (構造地質学) K. Kahunen (構造地質学)	University of Oulu University of Oulu

につながることが多い。単一の国ごとではできないことも、ヨーロッパ全体ならできるかもしれないということで、面白い構想がいくつか持ち上がっている。一つは European Science Foundation (ESF) が中心となっているもので、研究者の交流を中心にサポートする各種の計画からなっている。また University of de'Annunzio の Ori が中心となって、学生がさまざまな国のいろいろな先生から指導をうけられるように便宜をはかることが考えられている。例えば、ヨーロッパ博士号を、いくつかの国で単位を修得した学生に与えることまで考えられている。実現すれば非常に面白いし、私自身長い間構想を考えている、世界規模での学位授与なども夢でなくなるかもしれない。

ヨーロッパでの研究資金源は複雑なので、くわしいことはここでは述べないが、基本的には国別、EFS、それに EU (European Union) などがスポンサーになっている。探査計画がらみだと ESA も資金を提供することがある。ヨーロッパでは Planetary and Space Science (PSS) という EGS の英文学術雑誌があり、最近惑星地質の論文が多い。特にアメリカの研究者の発表が増えてきている。また近ごろはヨーロッパの研究者がアメリカの Journal of Geophysical Research や Icarus などの学術雑誌に発表しているのをときどきみるが、多くの場合アメリカの研究者との共著がいまのところ多いようである。いままでも、それぞれの国内 (特にフランス) で、その国の言語ではかなり発表されてきたようであるが、それらの研究は主流であるアメリカではほとんど知られていない。これは、日本も直面する問題である。たしかに自分の言語でない英語で論文を発表することは私のように長いこと英語圏にいるものでもやさしいことではないが、やはり惑星科学の分野にいるものにはできなくてはならないことだと思う。極言すれば1つの英語の論文を書くことは、少なくとも3つの日本語の論文を書くことに値すると思う (もちろん内容次第ではあるが)。少なくともヨーロッパには、EGS という学会と PSS という学術誌の2つの英語での発表の場がある。日本も英語での発表の場を増やすことが必要なのではないか。あとは、特に若い人たちに伝えたいのであるが、機会を見つけてどんどん海外で武者修行すべきだと思う。いちど出てみると、海外の研究者の能力は日本と似たようなものであることに気づくが、また同時にそのフトコロの深さもわかるようになる。(アリゾナ大学惑星科学部/国際宇宙大学)

## 論文抄録

### 百武彗星から多量のエタンを検出——彗星の星間起源を示すものか？

Mumma, M.J., DiSanti, M.A., Russo, N.D., Fomenkova, M., Megee-Sauer, K., Kaminski, C.D., and Xie, D.X., 1996, Detection of abundant ethane and Methane, along with carbon monoxide and water, in Comet C/1996B2 Hyakutake: Evidence for interstellar origin. *Science*, 272, 1310-1314.

マウナケアのNASA赤外線望遠鏡での高解像度赤外スペクトル観測によって、百武彗星（C/1996B2）中にCOやH<sub>2</sub>Oとともに、飽和炭化水素のエタン（C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>）とメタン（CH<sub>4</sub>）を検出した。彗星核の蒸発によるこれらの分子の生成率（分子数/秒）はC<sub>2</sub>H<sub>6</sub>が $6.4 \times 10^{26}$ 、CH<sub>4</sub>が $1.2 \times 10^{27}$ 、COが $9.8 \times 10^{27}$ 、H<sub>2</sub>Oが $1.7 \times 10^{29}$ と求められた。C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>/CH<sub>4</sub>の高い比率は、原始太陽系星雲中で熱化学平衡のもとでC<sub>2</sub>H<sub>6</sub>が生成されたとしたのでは説明できない。むしろ、星間分子雲中のH<sub>2</sub>O-CH<sub>4</sub>氷粒子かアセチレン分子（C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>）にH原子が付加してC<sub>2</sub>H<sub>6</sub>が生成したと考えたほうが都合がよい。（K）

### 火星起源隕石 ALH84001 に生命活動の痕跡（？）

McKay, D.S., Gibson Jr., E.K., Thomas-Keprta, K.L., Vali, H., Romanek, C.S., Clemett, S.J., Chilliier, X.D.F., Maechling, C.R., and Zare, R.N., 1996, Search for past life on Mars: Possible relic biogenic activity in Martian Meteorite ALH84001. *Science*, 273, 924-930.

火星起源とされるALH84001隕石の新鮮な割れ目の表面には、この隕石に固有の多環式芳香族炭化水素（polycyclic aromatic hydrocarbons, PHAs）が多く含まれ、また炭酸塩の粒子もみられる。高解像度の電子顕微鏡観察の結果、炭酸塩粒子には細粒の単磁区磁鉄鉱や硫化鉄などの二次生成物がみられ、その組織は地球上のバクテリアの作用でできた炭酸塩沈殿物によく似る。非生物的生成も否定はできないが、著者らの観察ではこれらの粒子はPAHsの存在とあわせて、生物の作用でできたとみることが可能で、過去の火星生命の化石残存物であろうと結論される（この論文は新聞発表などで話題となった火星生命の痕跡（？）発見の原著である）。（K）

### エンケラドスの火山作用とテクトニクスの歴史

Kargel, J.S., and Pozio, S., 1996, The volcanic and tectonic history of Enceladus. *Icarus*, 119, 385-404.

土星の衛星エンケラドス（直径499km）は、衝突クレーターの形成、潜火山作用、地殻の引っぱりと圧縮、横ずれ断層形成などの複雑な歴史をもっており、主に地殻の水平方向の運動を経験してきたようにみえる。リッジ平原にはクレーターは少なく、平均年齢も $10^7 \sim 10^8$ 年と若い。曲がりくねったリッジは地球上のアパラチア山脈のような褶曲山脈に似る。なだらかな平原は洪水玄武岩の噴出に似た潜火山作用によって形成されたと思われる。氷地殻でおこる火山作用は、純粋なH<sub>2</sub>OよりもNH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>Oによるほうが可能性がたかい。（K）

### 小惑星イダの地質

Sullivan, R., Greeley, R., Pappalardo, R., ほか15名, 1996, Geology of 243 Ida. *Icarus*, 120, 119-139.

243番小惑星イダ（Ida）の表面を特徴づけるクレーターには、いろいろな侵食段階のものがある。新鮮なクレーターの深さ/直径比は1:6.5でガスプラの場合とほぼ同じだが、フォボスや他の岩石天体の1:5とは異なる。表面物質は露出年代の増加とともに赤くなる光学的熟成過程を示している。新鮮なクレーターに伴われる明るい物質は、衝突で掘り返された物質の堆積

などによるものだろう。色データによると、表面物質中の輝石のカルシウム量は一様で、輝石／かんらん石比は一定である。表面をおおうレゴリスの厚さは平均 50～100m と見積もられる。

(注) 本論文掲載の Icarus vol.120, No.1 (March 1996) はイーダのガリレオ探査機観測結果の特集号で、本編のほか 16 の論文が納められている。(K)

### 金星のヘカテ峡谷の地形とその進化

Hamilton, V.E., and Stofan, E.R., 1996, The geomorphology and evolution of Hecate Chasma, Venus. Icarus, 121, 171-194.

ヘカテ峡谷 (Hecate Chasma) は、金星の Atla Regio から Asteria Regio にかけて断続的にのびる長さ 8000km の割れ目峡谷系である。この一帯をマゼラン画像でくわしく調べた結果、グラーベンを含む正断層、圧縮リッジ、各種の火山地形、コロナなどの存在が明らかになった。これらの地形の形成と進化を2つのモデル (サブダクションモデルとリソスフェアの拡張モデル) で検討した結果、マントル上昇と地殻の拡大テクトニクスによってもっともよく説明できることがわかった。(K)

## 新刊紹介

### 火星の水

Carr, Michael H., 1996, Water on Mars. Oxford University Press, 229pp. ISBN 0-19-509938-9, \$65.00.

生命の痕跡で一躍有名になった火星について、水に注目してまとめた面白いレビュー集が出ました。火星の河川地形等で業績をあげている惑星地質学者 Carr (アメリカ地質調査所) の本です。索引・参考文献もしっかりしているうえ、写真も豊富なので楽しめる本です。ここ半年で2機も探査機が上がるという、本格的な火星探査時代です。なぜアメリカで火星生命の話題が盛り上がったのか、その背景がわかります。

火星生命が話題になるのは、過去に火星が地球のような温暖湿潤な環境を経験し、場合によっては海洋も保持していた可能性もあるためです。現在の火星表層は Viking 着陸機の地表面探査により  $-63^{\circ}\text{C}$ 、5.6hPa、であることが1976年にわかっています。液相の水・地表流は存在できない凍結乾燥した世界です。しかしそれまでの探査で、高地には無数の河川が流れた跡が確認され、海洋・氷河の痕跡と思われる地形も多数見つかりました。そうした情報に、火星起源とされる隕石の化学組成の知見を加え、これまでに検討された物理的な議論も集録しています。

英語のキーワードが豊富で索引検索が容易なこと、水に関する重要なトピックは一通り網羅していることが非常によいです。「辞書」とまで言われる University of Arizona Press の「Mars」を買うほどでもないけれど、火星生命探査等には興味があるという人にお勧めな本です。

内容は以下の10章に分かれています。

1. Introduction (導入) / 2. The Present Water Cycle and Stability Relations (現在の水循環と、水の安定性) / 3. Outflow Channels (洪水地形) / 4. Valley Networks (河川地形一般) / 5. Ground Ice (凍土層) / 6. Climate Change (気候変動) / 7. Accretion and Evolution of Water (水の集積と進化) / 8. Implication for Life (火星生命の可能性) / 9. Future Mars Exploration (今後の火星探査) / 10. Summary and Conclusion (まとめ) (出村裕英)

## 惑星火山学入門

Mursky, Gregory, 1996, Introduction to Planetary Volcanism. Prentice Hall, 292pp. 233×184mm.  
(洋書販売店から 6020 円で購入)

最近では惑星火山学の本の出版が盛んで、Cattermole 著の「Planetary Volcanism」や藤井・白尾・小森編の「惑星火山学入門」などある。これらの本が学部学生程度を対象としているのに対して、本書の内容はもう少しやさしく、理学系の大学1, 2年生のために書かれた教科書である。著者はウィスコンシン大学の人で、構成は以下の通り。1.Introduction, 2. Overview of the Solar System, 3. The Nature and Origin of Magma, 4.Volcanic Products, 5.Types and Forms of Volcanic Activity, 6. Earth, 7.The Moon, 8. Mercury, 9.Venus, 10. Mars, 11. Outer Satellites.

最初の5章は、火山学の基礎であり、残りの6章がその応用例として各惑星の火山を扱っている。したがって最初の5章と第6章の地球を扱えば、普通の火山学の教科書である。授業に時間に余裕があれば、地球外火山を扱えばよいという姿勢である。もっともまえがきで著者が述べているように、教科書として使われる以外にも、普通の解説書でもの足りない一般読者に読まれることも期待されている。火山地形や火山地質よりもやや火山岩石学に重点が置かれた本である。

(白尾元理)

## 火星の火山地形アトラス

Hodges, C.A., and Moore, H.J., 1996, Atlas of Volcanic Landforms on Mars. U.S.Geol. Survey Prof. Paper 1534, 194pp, 280×215mm, (洋書取次店から 3810 円で購入)

バイキング探査機によって明らかにされた火星の火山の写真解説書である。最初の10 pが火星の火山の全般的な解説、残り180 pがそれぞれの火山の解説に割り当てられている。各火山については最初に、緯度・経度、基底直径、高度、比高、カルデラ直径、カルデラ深さ、ベース/高さ比、時代区分、年代などデータがまとめられており、記載、議論、文献が続く。オリンパス火山などの大型火山だけでなく、小型火山や古い火山、火山地形の可能性のある成因不明の地形まで、およそ火星で火山に関係するすべての地形を網羅している。

火星のそれぞれの火山の写真とともに、形態的に似ている地球火山の写真例も豊富で、批判的に読んでいないと成因の類似性もあるのではないかと説得されてしまうほどである。パラパラ眺めても、じっくり読んでも価値のある本である。廉価なので、惑星科学の研究者のみならず、地球の地形・地質研究者にもお薦めできる。製本がよくないのが唯一の欠点。

(白尾元理)

---

## INFORMATION

---

### ●日本火山学会秋季大会

今回は大島 1986 年噴火 10 周年を記念して、伊豆大島の元町で開催されます。

日 時：11月5日(火)～11月7日(木)

場 所：大島町開発総合センター (〒100-01 東京都大島町元町 TEL: 04992-2-1441)

連絡先：日本火山学会 (〒113 東京都文京区弥生 1-1-1 東京大学地震研究所内 TEL: 03-3813-7421)

### ●日本惑星科学会秋季講演会

日 時：10月2日（水）～10月4日（金）

場 所：九州大学箱崎キャンパス（最寄駅：地下鉄箱崎線「箱崎九大前」またはJR 鹿児島本線「箱崎」）

連絡先：九州大学理学部地球惑星科学科 関谷実（E-mail: wakusei96@qdeps.geo.kukyuu-u.ac.jp）

### ●公開講演「惑星と月の科学－最新の研究成果と日本の将来探査計画－」

一般の人々を対象とした講演会で、入場は無料です。ふるってご参加ください。

日 時：10月5日（土）13:00～16:00

場 所：都久志会館（福岡市中央区天神4-8-10 TEL.092-781-2151、地下鉄天神駅から徒歩3分）

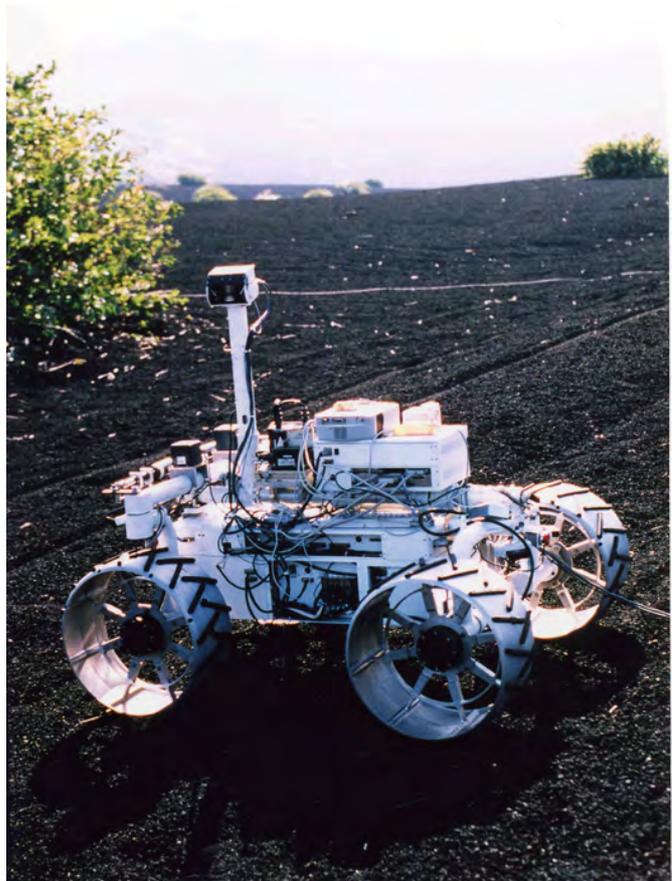
問い合わせ先：九州大学理学部地球惑星科学科 並木則行（TEL:092-642-2313、FAX:092-642-2684

E-mail:jsps\_admin@qdeps.geo.kukyuu-u.ac.jp）

### ●伊豆大島で火星ローバー走行実験

宇宙研の中谷一郎研究室は、9月17～19日伊豆大島の奥山砂漠（三原山の東山麓）で火星ローバーの走行実験をおこなった。日本のローバーが惑星環境をシミュレートした場所で走行実験をおこなうのは、今回が初めてである。

ローバーは、全長約1m、高さ80cm、重量90kgで、直径30cmのアルミ製の車輪をもつ。火星は月に比べてはるかに遠いため、地球からの交信には5分以上もかかり、遠隔操作は不可能に近い。このため、ローバーには自律走行システムが組み込まれている。まずローバーの頭部につけられたレーザーレンジファインダーによって障害物（岩石や窪地）を検出し、自己判断によって乗り越えられないと判断した場合には方向転換、後退などによって障害物を回避し、別ルートからゴールをめざす。実験場所は大島1986年噴火の1cm大のスコリアからなる4WDしか走れない荒地である。条件判断に時間がかかり、また毎秒25cmと低速ながら、今回の実験では600mの自律走行に成功した。



**編集後記：**8月初めの暑いさなかに飛び込んできた「火星に生命の痕跡？発見」のニュースは、まことに刺激的でした。サイエンス誌の原著論文を読む限り、なかなかしつかりした議論のように思いますが、真相解明はこれからの大きな課題でしょう。折しも今年末からまた火星探査機が打ち上げられます。生命探査の夢をいだくのは楽しいことです。 (K)