惑星地質ニュース

PLANETARY GEOLOGY NEWS
Vol. 11　No. 2　June 1999

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

地球と月の起源－モントレー会議に出席して－

阿部　豊　Yutaka ABE

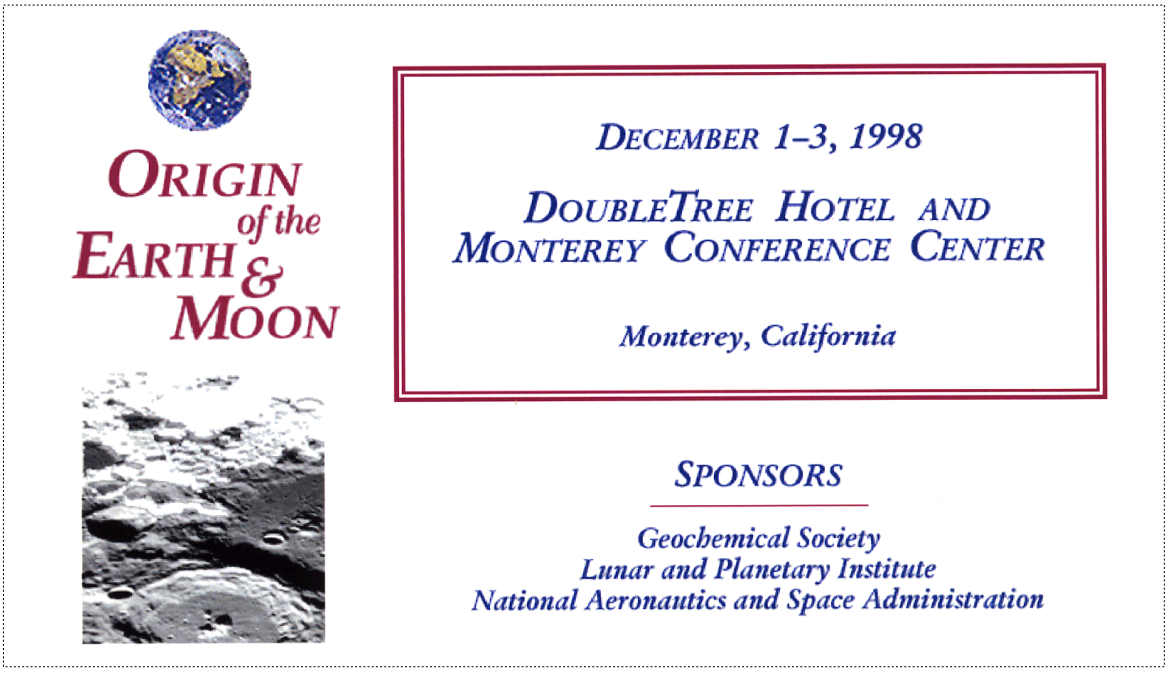
1998 年の 12 月 1 日から 3 日にかけて、カリフォルニア州モントレーで標記の会議が行われた。この会議は、1985 年のハワイ州コナにおける月の起源会議、1988 年カリフォルニア州バークレーにおける地球の起源会議の流れをくむ会議で、月惑星研究所とアメリカ地球化学会の共催であった。会議参加者は 100 人前後。風光明媚で知られるモントレーで開催されたが、3 日間にわたって朝から晩まで会議場で缶詰、しかも朝食と昼食は会議場で、というたいへん密度の高いもので、「こんなことなら他の場所でやってもよかったのに」という声もないわけではなかった。

この会議については筆者が知っているだけでも Mackenzie, D., 1999, Moon-forming crash is likely in new model. Science, 283 (5398), 15-16. / Halliday, A.N., and M.J. Drake, 1999, Colliding theories. Science, 283 (5409), 1861-1863./ Podosek, F.A., 1999, A couple of uncertain age. Science, 283 (5409), 1863-1864./ Halliday, A. N., 1999, Scientist debate origin of Earh and Moon. EOS (Trans. Amer . Geophys. Union), 215, May 11.の 4 つの報告がでている。Science 誌上に掲載された紹介記事を併せて読んでいただくことをお勧めする。

会議は、Accretion、Timing、Giant Impact、Magma Oceans、Outgassing、Early Earth-Moon の 6 つのテーマについて、招待および投稿による口頭発表とポスター発表があった。発表総数は 70 程度であった。セッションの分け方は、前回のバークレーでの会議以来 10 年間の進展をある程度反映しているものといえる。以下では主に口頭発表された内容を概観してみたい。

Accretion のセッションでの口頭発表は 3 件と発表数は少なかったが、直接的 N 体計算の進展にともなう惑星集積過程についての理解の深化は、この 10 年間で特筆すべき進展の一つだと思う。Canup and Agnor が彼らの計算結果も交えてレビューをおこなった。早い段階で暴走成長が起こり、火星程度の大きさの天体が沢山できた後で、それらの衝突合体（ジャイアントインパクト）過程で地球や金星が成長していく、というシナリオが紹介された。また、このセッションでは 1990 年代に入ってから出てきた、カリウムの同位体データにもとづく集積過程や材料物質の議論も提出された (Humayun)。カリウムなどの揮発性元素存在量は各種の隕石・天体ごとに異なっているものの、カリウム同位体比はどれもほとんど変わらない。真空中での加熱による揮発性元素の蒸発というような従来素朴に考えられていたような機構では、同位体組成が変化してしまう。月形成の際に揮発性元素が蒸発して失われたとすると、月のカリウム同位体比が説明できなくなると主張し、後述する ジャイアントインパクト による月形成の議論に注文をつけた。

Timing のセッションでの発表は 5 件で、太陽系形成の年代や、太陽系形成から地球や月ができるまでの時間間隔を問題にする研究が発表された。ここでは近年進んだ、W-Hf など消滅核種



のデータを用いた議論が新しい進展といえるであろう。しかし、W-Hf のデータは、一時期喧伝されたようには明瞭にコアの形成の時期を制約するものではないようだ。かつては W-Hf データは、太陽系形成から 6000 万年以上経てからのコア形成を示唆すると解釈されていたが、もっと早い時期にコアの主要部分ができていたとしても、遅い段階で少し付加されることによって同位体比は説明可能であるという。むしろ、5000 万年 から 6000 万年以上かけてコアができたとすると、他の同位体比が説明できないという (Jacobsen and Yin; Halliday)。

Giant Impact のセッションでの発表数は 9 件で、次に述べる Magma Ocean のセッションの発表数 10 件についで発表が多かった。ジャイアントインパクト それ自体のシミュレーション計算の進展 (Cameron and Canup) もさることながら、Kokubo, Ida, Makino によって示された、 ジャイアントインパクト で生じる原始月円盤からの月集積計算が大きな進歩といえるであろう。Ida et al (1997) で示されたような計算を拡大し、原始月円盤からきわめて短時間（約 1 ヶ月）でほぼ現在の月の大きさの天体ができることを示した。小久保英一郎氏はこの計算をもとに制作したビデオを持参していたが、これは休み時間に放映されて大変な人気があった。Ohtsuki, Ida, and Tanaka は、地球集積過程でどれだけの自転角運動量が得られるかを検討し、ジャイアントインパクト なしでも、なんとか現在の地球自転・月公転系の角運動量を得ることはできるが、原始地球の分裂を引き起こすほど大きい角運動量は得られないことを示した。これは原始地球の分裂に伴う月形成が力学的に困難であることを明瞭に示している。

一方、ポスター発表に回されてしまったが、Morishima and Watanabe は、成長している地球を周回する軌道上で月が集積することができるか否かを検討した。地球が成長することによって地球重力が強まるが、それによって月が地球に落ちてこないためには、月に対して軌道角運動量を与え続ける必要がある。その条件を検討したのである。この条件は、単に地球と月の同時集積による月形成モデルを検討したにとどまらない。ジャイアントインパクト が地球集積の最末

期ではなくて、地球集積の最中に起こった場合には (Cameron and Canup) 、ジャイアントインパクトで月の種ができた後で地球は成長してしまうから、この条件が満たされないと月は地球に落ちてくる。その意味で ジャイアントインパクト による月形成の場合でもこれは重要な研究である。

筆者ら (Abe, Zahnle, and Hashimoto) は、短時間で月が集積する場合の月の熱状態を検討し、月の平均組成がどうなるべきかを論じた。月形成で解放される重力エネルギーのために、形成中の月は蒸発するほどの高温になり、蒸発してできたシリケイトの大気は月重力では捕獲されていないために失われてしまう。その結果、揮発性元素が大規模に失われて、難揮発性元素が濃縮する。このモデルは、推定されている月の平均組成をおおむね説明するように思えるが、一方で前述した Humayun らのカリウムの同位体比データと一見矛盾する。筆者は矛盾しないと考えているが、本当に矛盾するか否かは今後の検討に待たねばならない。また、ジャイアントインパクト に伴って生成される月が初期に高温状態になってしまうが、Pritchard and Stevenson はこのことと月に目立った収縮地形がないことが矛盾しないかどうかを再検討した（冷却する温度幅が大きいと月全体が大きく縮むために、表面に圧縮地形がたくさんできるはずである（Solomon and Chaiken, 1976））。

Magma ocean のセッションでは、高圧下でのコア・マントル分離に伴う元素分配データの発表が多かった。これも最近 10 年ほどの成果といえる。高圧下における金属鉄とシリケイトの間での元素分配によって、マントル中の親鉄元素存在量が説明できるかが問題である（Walter ; Gessmann and Rubie; Hillgren and Boehler; Horzheid and Palme; Li, Agee, and Fei; Tshauner, Rocholl, and Boheler; Righter and Drake）。 細部はともかくとして、おおかたの研究者は、中程度に親鉄性が高い元素 Ni, Co などの存在量については説明できると考えている。親鉄性の高い元素についてはまだ意見が分かれているし、詳細に至っては意見は一致していない。また、発表は outgassing のセッションで行われたが、Okuchi, Abe, and Iwamori は、高圧下での金属鉄への水素の溶解を軸として、大気の形成と、コアの組成の問題を論じた。コア形成時の親鉄元素の挙動や揮発性元素、コアの中の軽元素は、それら全体で整合性が確保されなければならないが、現時点ではまだ総合が行われていない。

マグマオーシャン の進化の理論については全く発表がなく、奇妙だ、という声も出た。マグマオーシャン 進化の理論については、筆者を含めて Tonks and Melosh, Solomatov and Stevenson が 1990 年代前半にかなり検討を行ったので、バークレー会議以降に進歩したのは確かである。それにも関わらず発表がなかったのは、おそらく関係者が「解決済み」と考えたからではないかと思う。少なくとも筆者はそう思っていた。しかし、元素分配の議論がかなり進んできた今の時点で、親鉄元素、揮発性元素を総合して検討し直すことは有用であろう。筆者には全体のつじつまが合うか、やや疑問が残る。

Outgassing のセッションでの発表は 7 件あった。この分野では、むろんデータは昔に比べて良くなっているが、太陽組成の原始大気形成、集積過程での脱ガス、大気の大規模な散逸（ジャイアントインパクト や強い紫外線による）、その後の彗星や隕石の衝突による付加、これらの

組み合わせで現在の大気を説明しようとする点では、昔から基本的に変わっていない。また、複数の異なる考えが乱立している状況にあるので、新しいデータによってなにか議論が確定的になったり、定量性が増した、という状況でもない。そのなかにあって一つ変化があったのは、彗星衝突による大気（水）の供給という考えが、以前に比べてトーンダウンしたことである。最近の Hyakutake や Hale-Bopp といった明るい彗星の D/H 比が観測されたが、そこで得られた値が地球の海の値に比べて大きかったことによっている。D/H 比を大きくする機構には大気散逸などがあるが、小さくする機構は考えにくい。このことから地球大気を彗星衝突で供給しようとする考えは急速に力を失ったのである (Owen, Meier, and Bar-Nun)。さらに地球に彗星が衝突する確率が計算され、海を作るほどの量を供給するためには、太陽系外縁部に異常に大きな量の彗星がなければならないことも示された (Zahnle and Dones)。このことは、大気主成分が木星軌道より内側に存在した固体物質の脱ガスで供給されたことを意味しており、大気形成の時期や材料の選択の幅はかなり狭まったことになる。また、太陽組成原始大気（いわゆる一次大気）の役割に注目した研究も紹介された。

Early Earth-Moon の分野での発表数は 5 件あったが、そのなかに特に生命の起源に関連する講演が 2 つあった (Shock; Zolotov and Shock)。しかし今回のところはそれ以前の講演とはあまり関連せず、有効な議論のやりとりはできなかった。主催者側としては、次回（また 10 年後にやるつもりか）には生命の起源まで含めた会議にしたいという意図があって、そのための布石ということかもしれない。

このほかにも多数の面白いポスター発表があり、これは口頭発表が行われている部屋のすぐ外側に並べられていた。同じ場所で軽食が振る舞われたりしていたから、つねにポスター会場はにぎわっていた。

以上、大ざっぱに筆者の視点から今回の会議でのトピックスを概観してみた。　筆者にとっては、この会議で初めて聴いたというほど新しい考えはあまりなかったように思う。それは 10 年に一度の開催という会議の性格からみて当然の成り行きであろう。むしろ、この種の会議では、通常は無関係に研究している様々な分野の研究者が、この 10 年間に蓄積されてきたデータや考えを持ち寄ってくるわけで、それを全体として一望できるところに面白みがある。その意味では頭の中を整理するには都合がよかった。

1985 年のコナでの会議は、ジャイアントインパクト による月形成というシナリオに関心が集まる契機となった会議、バークレーでの前回の会議では、地球の融解（マグマオーシャンの形成）が、地球進化にどのような影響を及ぼすか、という宿題が提出された会議、といえるのではないかと思う。今回の会議をそのような意味で集約するならば、ジャイアントインパクトやマグマオーシャンなどの概念が定着して定量的な議論への道筋がはっきりしてきた会議といえるかもしれない。この 10 年間に地球や月の形成に関して劇的に新しい考えは出てきていないものの、個々の過程についての理解は深まって、月形成のシナリオにしても、コアの形成にしても、かなり具体的なイメージを持って議論ができるようになってきたといえる。おそらくは、今後しばらくは今までに提出されたフレームワークのなかで議論をより具体的にする方向で進んでいくのであろう。

今回の会議では、ジャイアントインパクト を引き金ととした月形成理論が近年急激に発展し、確立しつつあることを印象づけた一方で、理論の予言がより詳細になるにしたがって観測事実との不一致点もより鮮明なものとなりつつある。この状況を Halliday and Drake は上述した紹介記事で衝突による月形成の理論をもじって colliding theories といっている。

日本からの参加者は10 人を少し越える程度で、日本からの参加者による発表は口頭発表が5、ポスター発表が 4 と、全体の 1/10 強を占めていた。この割合はちょうど全参加者に対する割合と同じ程度であった。若干手前味噌ではあるが、月の形成の理論に関していえば、今回の会議での日本からの参加者の寄与は大きかったと思う。進行中の月探査計画とうまく連動して、わが国の月の科学が発展することを期待したい。一方、マグマオーシャンの進化に関連して、高圧下での元素分配のデータの蓄積に関しても、日本の研究者は相当の寄与をしているはずなのだが、残念ながらこの会議での発表は奥地拓生氏だけであった。海外の研究者からも、もっと日本の高圧実験関係者にこの種の会議に出てきて欲しい、という声があったことをここに付記したい。

この会議で発表されたアブストラクトは http://cass.jsc.nasa.gov/meetings/origin98/の web サイトを経由して読むことができる。また、このアブストラクト集全体は Lunar and Planetary Institute から Origin of the Earth and Moon, LPI contribution No. 957 として刊行されており、LPI の order department (E-mail: order@lpi.jsc.nasa.gov) から郵送料だけで入手できる。

引用文献

Ida, S., R.M. Canup, and G.R. Stewart, 1997. Lunar accretion from an impact-generated disk. Nature, 389 (6649), 353-357.

Solomon, S.C., and J. Chaiken, 1976. Thermal expansion and thermal stress in the Moon and terrestrial planets: clues to early thermal history. in Proceedings of the 7th Lunar Science Conference, pp. 3229-3243.

（東京大学大学院理学研究科、理学部地球惑星物理学教室）

論文紹介

エウロパの地質学的観察

Greeley, R.,　他 18 名、1998、Europa: Initial Galileo geological observations. Icarus, 135, 4-24.

木星のガリレオ衛星の 1 つエウロパは、直径約 3120km、平均密度約 3.0g/cm^3 で地球の月に近いが、多くの相違点もある。その 1 つは、表層部が厚さ 100〜200km の水（H_2O）の氷殻からなることで、その下底部は液体の水の層だと考えられている。

探査機によるエウロパの観測はボイジャーによって 1979 年に初めてなされたが、このときの接近距離はガリレオ衛星の中で一番遠く、解像度は 1 号で最高 15km/pixel、2 号でも最高 1.8km/pixel までであった。しかし 1996 年 6 月から木星を周回し観測を始めたガリレオ探査機は、さらに解像度の高い画像を得ることに成功し、エウロパでは最高 20m/pixel までの高解像度画像を取得した。この報告は、初期の 11 回の周回で得られた画像をもとに、エウロパの地質学的観察をまとめたものである。

表面の大地形区分

平原（plains）：平原地帯はアルベドーのちがいによっていくつかの単元に分けられる。一般に赤道帯の平原はアルベドーが低く（紫色フィルターで0.46）、珪酸塩かその他の氷以外の物質（おそらく有機物も）が多いためと考えられる。これに対して極地の平原は赤道地帯よりも明るく、これは氷の割合がより大きいためであろう。

ガリレオ号のマルチスペクトル観測（波長416〜989nm）によると、中緯度地域の明るい平原は2つの単元からなる。このちがいは表面物質の粒度の差を示し、赤外で暗い方が粗粒の物質からなると考えられる。しかし2つの単元の間には、組成的なちがいもあるかもしれない。

まだら状の地帯（mottled terrain）：紫色フィルターで0.21という低いアルベドーの斑紋で特徴づけられる。褐色と灰色の2つの単元に分けられる。平原地帯と同様にドームやピット、線状構造などがみられ、平原との境界は漸移的である。

ガリレオ号の高解像度画像を見ると、褐色のまだら状地帯のいくつかは、kmサイズに分裂した明るいプレートが移動し、氷以外のアルベドーの低い物質が露出したり、明るい部分と暗い部分が雑多に組み合わさった様相をしている。近赤外マッピングスペクトロメーター(NIMS）データの分析によると、まだら状地帯は水の氷を欠き、水和鉱物が存在することを示している。

灰色のまだら状地帯はアルベドーが0.36でやや明るいが、分布は限られる。褐色のまだら状地帯や平原との境は漸移的である。

山地と高原（mountains and plateaus）：エウロパ表面は全体に比較的平坦であるが、太陽高度が低いときとられた高解像度画像では数100 m以内の起伏がみられる。そのなかには直径35kmの台地状地域や小山がある。また34.5°N、169.5°W近くには、直径12km、高さ2±0.5kmの円錐状の丘がある。

クレーターとそれに類似する地形

ボイジャーの探査では、クレーターはわずかしか見つからなかったが、今回のガリレオ号の撮影でかなり存在することがわかった。ボイジャー以来知られているCilix（直径16km、1.2°N、181.9°W）は、エウロパ表面の経緯度座標をきめる目印になっている。

ガリレオの高解像度画像でわかったもののうち比較的大きなクレーターは、Manann'an（直径30km、2°N、240°W）とPwyll（26km、26°S、271°W）である。他にも直径＜5〜15kmの小クレーターや類似地形（後述）がある。

Manann'anはへりの様相からみて、暗いまだら地帯の下の明るい氷に富む物質が掘りおこされ、数100kmをこえる不連続なレイを放出したようにみえる。一方Pwyllは比較的暗い物質が床面やまわりの被覆層を形成している。しかし1000km以上ものびる明るいレイも伴っている。またPwyllには直径8kmの不規則な形の中央丘群もある。両クレーターの地形的特徴からみると、これらが形成されたときエウロパの氷地殻は十分にかたく、厚さは少なくとも10〜15kmはあったと考えられる。

エウロパの各所には、放出物の放射状パターンをもつ直径5〜6kmの小クレーターもみられる。これらの放出物は暗く、暗い物質が浅いところにあると思われるが、あるいは衝突で溶融し

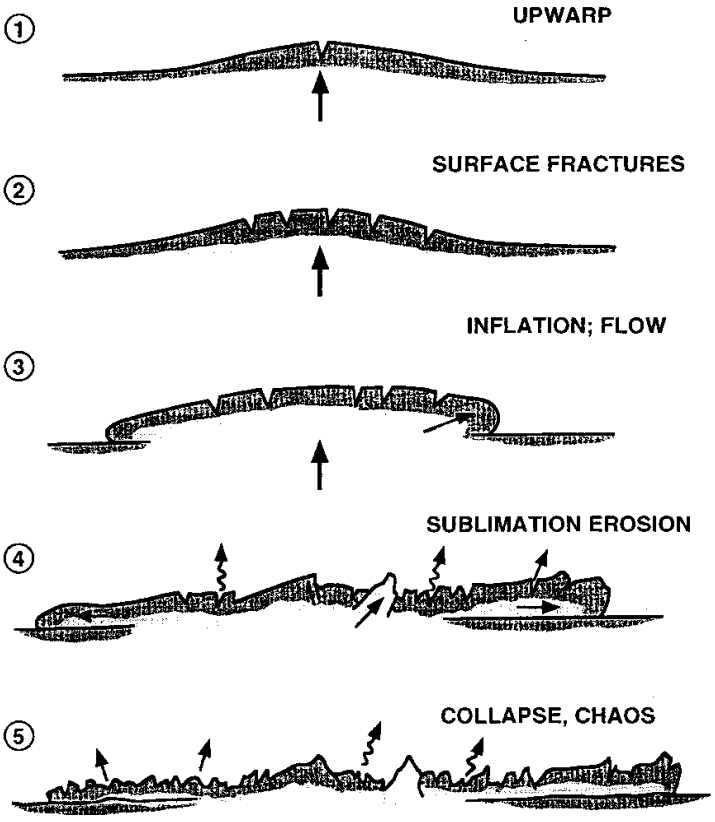


図１　流動物質の上昇によっていろいろな地形ができることを示した模式図

た物質を示すものかもしれない。また、ターミネーター周辺には浅い凹地もたくさんみられる。それらには、不規則な形の内因的と思われるものがあるが、衝突地形に特有な円形でへりのもり上がったものもある。

はっきりしたクレーター地形以外のものでは、ボイジャーの探査以来知られてきた macula（複数形 maculae、あざ、斑紋の意味）と名づけられた暗い模様がある。その代表の Tyre（直径 160 × 120km、30.0° N、145.1° W）は卵形をなし、同心円状の不連続な帯でかこまれている。中心部には直径約 18km のなめらかな明るい部分がある。古い線状構造に重なり、また若い明るい線状構造に切られている。これとよく似たもう一つの円形構造に Callanish（直径約 100km、16° S、334° W）がある。中心の直径 80km 部分はでこぼこした地形をなし、それをトラフとグラーベンの同心円状外帯がとりまいている。macula は一見金星のコロナに似ているが、むしろガニメデなどにみられるパリンプセスト（palimpsest、平坦な円形構造で衝突痕とされているもの）に近いものであろう。これらが衝突起源ならば、こうした起伏の少ない地形は、粘性をもつ氷殻のゆっくりした relaxation による結果だろう。

以上のほかに、もっと大きな多重リングのような構造が、木星の反対側半球の 20° S、203° W を中心にみられる。この中心点から北にある Belus Linea（半径 1120km）と Minos Linea（半径 1750km）、南東の Sarpedon Linea（半径 2560km）、東方の平原とまだら地帯を区切る半径 1300km、1800km、2200km の linea などを主とする円弧状の線状構造のセットである。この構造の成因はいまのところ不明である。多重リングに見えるのは円弧の偶然的な組み合わせの結果かもしれないし、あるいは氷殻の下の珪酸塩層にできた衝突痕の反映かもしれない。

流動物がつくる地形

エウロパでは、地下にある氷物質が液体や固体の形で表面に出てくることによって、表面更新がおこってきたと考えられている。液体はいろいろな成分を含んだ水や、水と氷が混じった slush 状のものだっただろう。このような物質が低温の環境で間欠泉のように噴き出したり、流れとして表面に出てくる現象は cryovolcanism とよばれる。この作用が効果的におこるためには、水は純水ではなく、アンモニアと結合した水、あるいは CO_2 などの揮発成分を十分に含ん

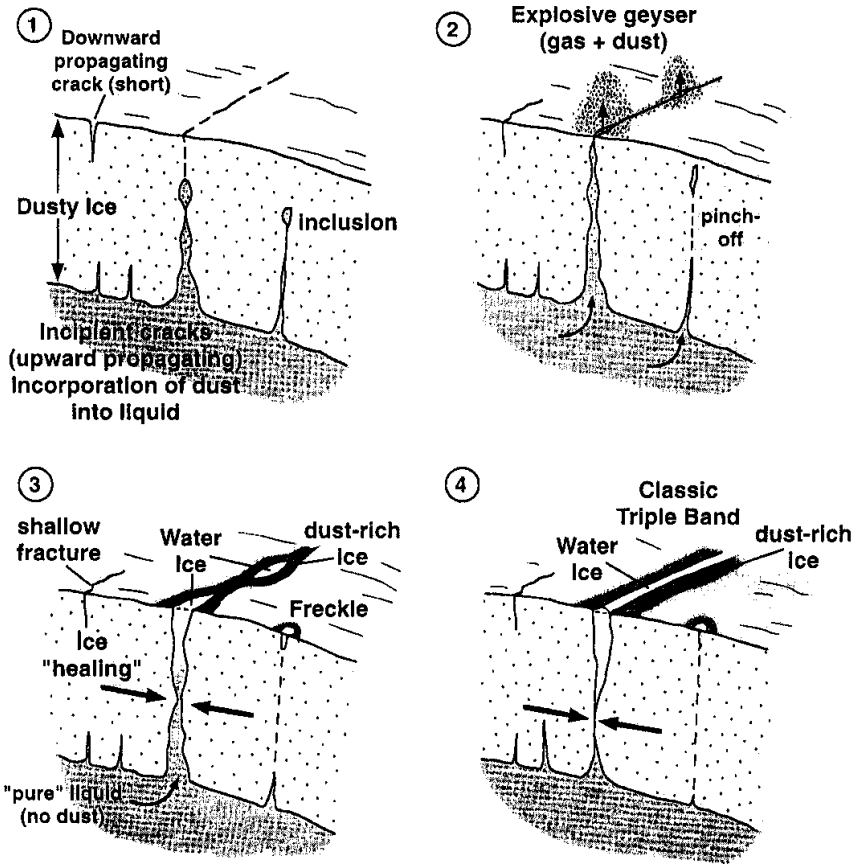


図2 トリプルバンド形成過程のモデル

だ水だったと考えられる。さらに地下の帯水層のテクトニックなはたらきによる加圧が、噴出を容易にしただろう。

こうした cryovolcanism によって（あるいは関連して）できたと考えられる地形が各所に存在する。たとえば 5.2° N、319.5° Wの地域には、舌状の粘性流がリッジと交差しているところがある。また、盛り上がった表面に割れ目が刻まれたり、さらに盛り上がってマフィンパンのようになったり、いっそう破壊がすすんでカオス的地形を示しているものもある。これらの地形は、一連の内因的過程の異なる発達段階を示しているように思われる（図 1 のモデル参照）。

lenticula（凸レンズの意味）と仮に名づけられた、直径 20km ほどのドーム状または低い丘のようなものも目を引く。あまり変化していない地殻の部分のようでもあり、内部からつき上げてきた粘性の高い固まりのようにもみえる。氷殻の solid-state な対流を示すものだという考えもある。10° N、271° W 付近の Conamara Chaos 地域は、荒々しく破壊されたところで、幅 1km、高さ 25〜200 m ほどのたくさんの氷殻ブロックが水平方向に移動している。この下には液体の水のような流動物質があるにちがいなく、氷殻の下の流体層が対流をおこした結果であろう。

テクトニックな地形

エウロパの表面には、テクトニックな活動でできたと考えられるいろいろなタイプの線状構造がある。主要なものは linea（複 lineae）で、数百〜数千 km ものびているものがあり、平原地

帯で最も目立っている。ボイジャー画像でただ暗い（または明るい）線にしか見えなかったlineaの多くは、ガリレオ画像では数10 mの高まりをもつリッジまたはその複合体である。トリプルバンド（TB）とよばれるすじは、幅10〜20kmの暗いすじの間に明るい帯をはさむlineaで、明るい帯はその中央に割れ目のような中心溝をもっている。暗い部分は氷以外の成分が多いらしく、そのスペクトル特性はガニメデやカリストの暗い地帯に似ている。

ガリレオ画像によると、TBの暗い帯の外縁は放散的で不連続な個所もある。これらの事実から次のような形成モデルが考えられる。割れ目から噴出した火砕物的な物質は、噴出孔に近いところでは厚くたまり、離れた外側ではうすく広がって放散的な外縁をつくった。最初のうちはガスや岩石質の成分が多かったが、やがてよりきれいなslush（みぞれのような水と氷の混合物）が上昇してきて凍結し、中央の明るい帯をつくった（図２のモデル参照）。このような両側に対称的な帯の形成は、地球上の海洋底拡大のしくみとよく似ている。しかし、多くの長大なトリプルバンドの成因を、このモデルだけでうまく説明できないことも確かである。

エウロパ表面の年代

ガリレオ画像からエウロパ表面のクレーター分布密度を調べ、クレーター年代学を適用してエウロパ表面の年代を決める試みが、G.B. Neukumら（1998）によってなされた。それによると10^7年という若い年代と、3×10^9年という古い年代の、まったくかけはなれた２つの見積もりが得られている。どちらがより本当らしいのかはまだわかっていない。

お断り：原著には多くの写真（ガリレオ画像）が掲載されているが、ここでは割愛した。できれば原著も参照していただければ幸いである。

〈付記〉この論文をのせた「Icarus」Vol.135, No.1（Sept.1998）は、ガリレオ探査機による観測成果の特集号である。全部で23編の論文が集められており、木星とその衛星の最新の知識を得ることができる。ここではそのなかから、従来基礎的な情報に乏しかったエウロパの報告を紹介した。ガリレオ号の木星系探査は現在も続行中で1999年末までつづく。さらなる成果が期待される。　（小森長生）

論文抄録

内部太陽系における別の小惑星帯存在の可能性

Evans, N.W. and Tabachnik, S., 1999, Possible long-lived asteroid belts in the inner Solar System. Nature, 399, 41-43.

近年、外部太陽系に安定な軌道をもつ天体群（カイパーベルト天体やケンタウルス天体）が発見されている。これと似たものが内部太陽系にもないかどうかシミュレーションした結果、２つの領域で可能であることがわかった。１つは太陽と水星の間の0.09〜0.21AUの範囲で、ここには0.1km以上の半径の微惑星が存在できる。もう１つは地球と火星の間の1.08〜1.28AUのところで、ここには円軌道の天体群が存在可能である。この領域には軌道離心率と傾斜角の小さな天体がいくつか知られており、最近発見された1996XB27、1998HG49、1998KG3などがよい例である。　（K）

エウロパ表面での過酸化水素の生成

Carlson, R.W., ほか13名、1999, Hydrogen peroxide on the surface of Europa. Science, 283, 2062-2064

ガリレオ探査機による木星の衛星エウロパの、リーディング半球（公転方向の前面）の反木星側部分の赤外と紫外スペクトル観測の結果、過酸化水素（H_2O_2）の吸収帯が見つかった。実験室のデータと比較したところ、水の氷に対して約0.13％のH_2O_2が濃集していることがわかった。この量はエネルギーの強い粒子が衝突しておこる放射線分解によってできるH_2O_2の量とよく合う。エウロパ表面では放射線分解による化学反応が顕著であるらしい。（K）

パスファインダー着陸地点の風食礫

Bridges,N.T., Greeley,R. Haldemann,A.F.C,. Herkenhoff,K.E. , Kraft,M., Parker,T.J., and Ward, A.W. 1999, Ventifacts at Pathfinder landing site. Jour. Geophys. Res., 104, E4, 8595-8615.

火星のパスファインダーの着陸地点 Ares Vallis では、約半数の岩石が風食礫で、この割合は 2 機のバイキングの着陸地点よりも多い。風食礫は、三稜石状、指状突起、延びた孔状、溝状などの特徴を示す。これらの延びの方向は、北から時計回りに 280° ～330° で南西方向の卓越風を示すが、現在の風痕や大気の大循環モデルでは北東方向の卓越風を示す。この違いは、約 20 億年前に大洪水の結果堆積した礫が、現在と異なる環境で風食されためと推定される。（S）

火星土壌の変質過程と宇宙生物学的に重要な風化生成物の同定

Bishop, J.L., Froschl, H., and Manchinelli, R.L., 1998, Alteration processes in volcanic soils and identification of exobiologically important wethering products on Mars using remote sensing. Jour. Geophys. Res., 103, E13, 31457-31476.

火星表面の鉱物組成の解明は、火星の過去と現在の環境を知るうえで重要であり、火星生命が存在したかどうかの問題にもかかわってくる。本論文では、火星の可視－赤外リモートセンシングのための参考資料として、マウイ島ハレアカラ火口、ニュージーランドのタラウェラ火山、ギリシャのサントリン火山の各物質（変質したテフラまたは溶岩）の細粒成分の、可視－赤外スペクトル例と、それに関するくわしい考察がのべられている。湿潤なサントリンとタラウェラの環境は火星の過去の環境に、ハレアカラ頂上の乾燥した気候は火星の現在の環境に、それぞれ合うと考えられる。したがってこれら各所の物質の研究は、火星の環境や生命の問題に有効なものとなろう。（K）

火星のfretted channel の起源と火成活動の関係

Carruthers, M.W., and McGill, G.E., 1998, Evidence for igneous activity and implications for the origin of a fretted channel in southern Ismenius Lacus, Mars. Jour. Geophys. Res., 103, E13, 31433-31443.

火星のIsmenius Lacus 地域（27° N～52° N、310° W～355° W）には、fretted channels をはじめさまざまな谷地形や凹地が複雑に入りくんでいる。fretted channel（床面が平坦で急斜面の壁をもち蛇行する谷地形）やそれに類する地形は、従来マスウェイスティングの過程でできたとされてきた。しかしこの地域の、fretted channelを含むMamers VallesとIsmeniae Fossaeには、衝突クレーターもあるが、火山起源と考えたほうがよいクレーター状の凹地なども伴われる。おそらく豊富な地下水とマグマの相互作用による水火山の活動（hydro-volcanism）が関係しているのであろう（K）

INFORMATION

●NEAR のエロス到着は 2000 年 2 月に

近地球小惑星探査機 NEAR（Near Earth Asteroid Rendezvous）は、今年 1 月に 433 番小惑星エロスの周回軌道にのる予定であった（本誌 Vol.9、No.3、Sept.1997 参照）が、期待のランデブーは 2000 年 2 月に延期された。昨年 12 月末エロスに接近した際、主エンジンの制御不調と 27 時間の通信断絶で周回が不可能になったためである。当初の計画は頓挫したが、このアクシデントの副産物として、エロスの画像が 1000 枚以上撮影された。この天体は直径 33×13×13km の細長い不規則な形をしており、直径 7km のクレーターなどが認められる。また接近時の電波のドプラー偏移観測などから、質量が約 7×1018g、平均密度が約 2.5g/cm^3 と見積もられた。これは 1996 年に接近した 253 番マチルドの平均密度（1.3g/cm^3）のほぼ 2 倍にあたる。エロスの物質はマチルドよりもずっとしまった岩石なのであろう。2000 年 2 月 14 日（バレンタインデー）に予定されているエロスとの再会が待たれる。

●マーズエクスプレスにゴーサイン

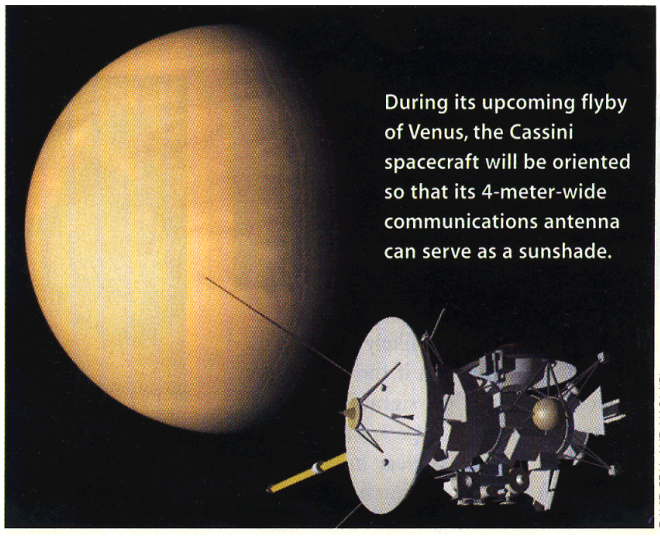
今年 3 月、ヨーロッパ宇宙機関（ESA）はイタリアの Matra Marconi Space との契約に調印し、2003 年 6 月に打ち上げられる火星探査機マーズエクスプレス（ME）の設計と建造に入ることになった。ME は先に失敗したマーズ 96 の代替機の役目もかね、多くのヨーロッパ製観測機器を搭載してロシアのソユーズロケットで打ち上げられる。オービターにはカラーステレオカメラ、赤外マッピングスペクトロメーター、レーダー高度計、大気分析器などがつまれる。いっぽうランダー（ビーグル 2）はパノラマカメラ、大気と土壌の分析装置などがつまれるほか、ミニドリル（歯医者が開発した）による岩石の下の土の採集や、生命の証拠の探査など、意欲的な試みが計画されている。

●ルナープロスペクターの近況

1998 年 1 月 11 日以来月を周回しながら、極地の氷の発見など多くの観測成果をあげたルナープロスペクターは、1998 年 12 月に軌道高度をそれまでの 100km から 40km に下げ、さらに今年 1 月 19 日には近月点高度を月面すれすれのわずか 15km にまで下げた。この軌道は月重力の不均一分布の影響で 2 月中旬には高度 20〜40km に変化し、より円軌道に近いものになった。この新しい軌道で、月の重力分布がいっそう詳細に調べられる。 観測計画は 6〜7 月にすべて終了する予定であるが、その後 7 月 31 日に探査機を月の南極近くのクレーター内（氷が存在すると考えられる太陽光の当たらない部分）に衝突させる。これによって氷が気化し、H_2O や OH が観測されれば、H_2O 氷の存在が初めて直接的に確かめられるものと期待される。

●土星探査機カッシーニが金星スイングバイ

1997 年 10 月 15 日に打ち上げられた土星探査機カッシーニは、1998 年 4 月に金星を雲頂から 284km の高度でスイングバイしたあと、今年 6 月 24 日に再度金星を 598km の高度でスイングバイする。さらに今年 8 月には地球をかすめ、これらの重力アシストによって、2000 年末に予定されている木星スイングバイに向けて木星行きの軌道にのる。木星をかすめた 4 年後の 2004 年には土星に到着する予定である。



●ルナーAの打ち上げが延期

今年の夏に打ち上げが予定されていた宇宙科学研究所のルナーAが2002年に延期されることが、6月9日に開かれた宇宙開発委員会に報告され、認められた。これはルナーAに搭載する衝突型の観測機器ペネトレーター（地震や熱流量を測定）の保護材の強度が十分でなく、衝突実験によって計測機器まで壊れてしまったことが原因である。大幅な設計変更と少なくとも3回の衝突実験が必要なため、打ち上げは2002年以降まで延期されることになった。なおルナーAには、月撮像用のモノクロカメラLICが搭載されるが、より高精度な月撮像カメラが2003年打ち上げ予定のセレーネ（宇宙科学研究所と宇宙開発事業団の共同探査機）に搭載されるので、LICの観測計画は大幅な変更が必要となる。

●火星起源隕石が14個に

火星起源隕石（SNC隕石）はこれまで12個が知られてきた（本誌Vol.8, No.1, March 1996の矢内桂三氏の記事参照）が、最近新たに2個が見つかり、現時点で14個になった。まず13番目のものは1998年5月1日サハラ砂漠北東部のリビアで発見された「Dar al Gani 461」隕石で、長さ約15cm、重さ2.015kgある。玄武岩質でシャーゴッタイトに最もよく似るが、だいぶ風化がすすんでいる。100万年前に火星を飛び出し、2〜4万年前にリビアに落下したと考えられる。さらに、この地点の近くで、もう1つの2.146kgの火星隕石が、隕石ハンターの手で拾われていた（1997年か98年に）ことがわかった。この14番目の火星隕石は仮に「Dar al Gani 489」と命名された。性質は13番目のものとよく似ており、同一物質の片われではないかと考えられている。

なお、月起源隕石も同じ場所からあらたに2個見つかっている。13番目は1997年3月23日に発見された「Dar al Gani 262」で513g、14番目は1998年3月10日に発見された「Dar al Gani 400」で1.425kgある。（「Sky & Telescope」Dec.1998, July1999のNewsnotesなどによる）

●第32回月・惑星シンポジウムの開催

月・惑星の起源、進化、環境などの研究成果が報告されます。

期　日：8月4日（水）〜6日（金）

場　所：宇宙科学研究所本館2階会議場

問い合わせ：水谷仁　TEL 042-759-8192 または加藤学　TEL 042-759-8457

●1999年惑星科学夏の学校

惑星科学関連学科の大学生を対象とした講演と勉強会です。今年は“惑星科学を外から見てみよう”をテーマとして興味深い話が予定されています。詳しくは99惑星科学夏の学校ホームページ（http://113.30.53.141/%7Ewakusei/index.html）をご覧下さい。

日　程：7月16日（金）〜18日（日）

場　所：宮城県「パイラ松島奥松島ユースホステル」

連絡先：神戸大学惑星科学夏の学校事務局

編集後記：本号のインフォメーションでは、多数の惑星探査機の現状を取り上げました。着々と成果を上げる探査機、故障しながらも工夫しつつがんばっている探査機、地上試験の不具合から打ち上げが延期される探査機などさまざまです。こんな中で私が10年以上もその撮像カメラに関わってきたルナーAの3年以上もの延期は、ショックでした。機器開発から打ち上げまでに時間がかかりすぎると、あとから計画された探査機に成果を奪われることもあり、担当者の意欲や将来の惑星探査機に取り組もうとする人々の減少も危惧されます。さまざまな事情があるとはいえ、そろそろ日本においても万能でなく単機能でも「スピーディー」な開発を重視した惑星探査機が必要だと思います。　(S)