

地球のグリッドシステム

小森長生 Chosei KOMORI

はじめに

地球型惑星の表面の大きな特色は、多数のクレーターが存在することであるが、クレーターの他にも、見落としてはならない特徴がいくつかある。その1つが、割れ目や断層、溝などの線状構造である。このうちとくに、比較的直線的な方向をもっているものは、一般にリニアメント (lineament) とよばれている。これらは華やかなクレーターの陰にかくれて、昨今はあまり話題にならないが、惑星地質学の重要な対象であることはまちがいない。しかもこのような線状構造は、地球の大陸地殻上にも存在することが以前から知られており、比較惑星学的研究のよい材料と考えられる。そこでこれらの紹介をしながら、2、3の問題をのべてみたいと思う。

1. 月と水星のグリッドシステム

惑星表面のリニアメントについて、早くから注目されてきたのは月である。これまでに多くの研究があるが、イギリスの G. Fielder (1961) は月面（ここでは表側）のリニアメントの集合を総称して、ルナーグリッドシステム (lunar grid system) と名づけた。グリッドシステムを構成する地形要素には、線状リッジ (linear ridges)、山の連なり (mountain chains)、谷 (valleys)、断層 (faults)、クレーターの連なり (crater chains) などがあり、これらは放射状型と平行型の2つのタイプにわかれるという。

グリッドシステムの全体図は、いろいろな人によって発表されているが、これらを見ると、リニアメントには特定の方向性をもったものが多く、特に NE-SW 方向と NW-SE 方向のものが目立っている。なかでも NW-SE 方向の構造は、雨の海から放射状にひろがるリニアメントと一緒にあって、月面では最も目立つ構造となっている。また全体的には弱い、N-S 方向のリニアメントもみられ、一方 E-W 方向の構造はひじょうに弱い。これらグリッドシステムの網の目が、月面に多くみられる多角形クレーターの形と深いつながりがあることも、注目すべき事実である。

このような、月とよく似たグリッドシステムは他の惑星にもみられるだろうか。1974 年から 75 年にかけて水星を撮影したマリナー10号は、水星表面にも月面とひじょうによく似たリニアメントのパターンがあることを発見した。

水星表面（いまのところ半球分だけであるが）には、クレーターや盆地のような円形構造の他に、断崖状のスカープ (scarps)、リッジ、トラフ (troughs) など多数みられ、これらが表面の線状構造を形成している。そのすべてのリニアメントの分布パターンをみると、NE-SW 方向と NW-SE 方向のものが目立ち、N-S 方向のものも上の2つよりは少ないが、全域に分布している (D.Dzurisin, 1978 ほか)。この様子は、月面のグリッドシステムときわめてよく似ている。

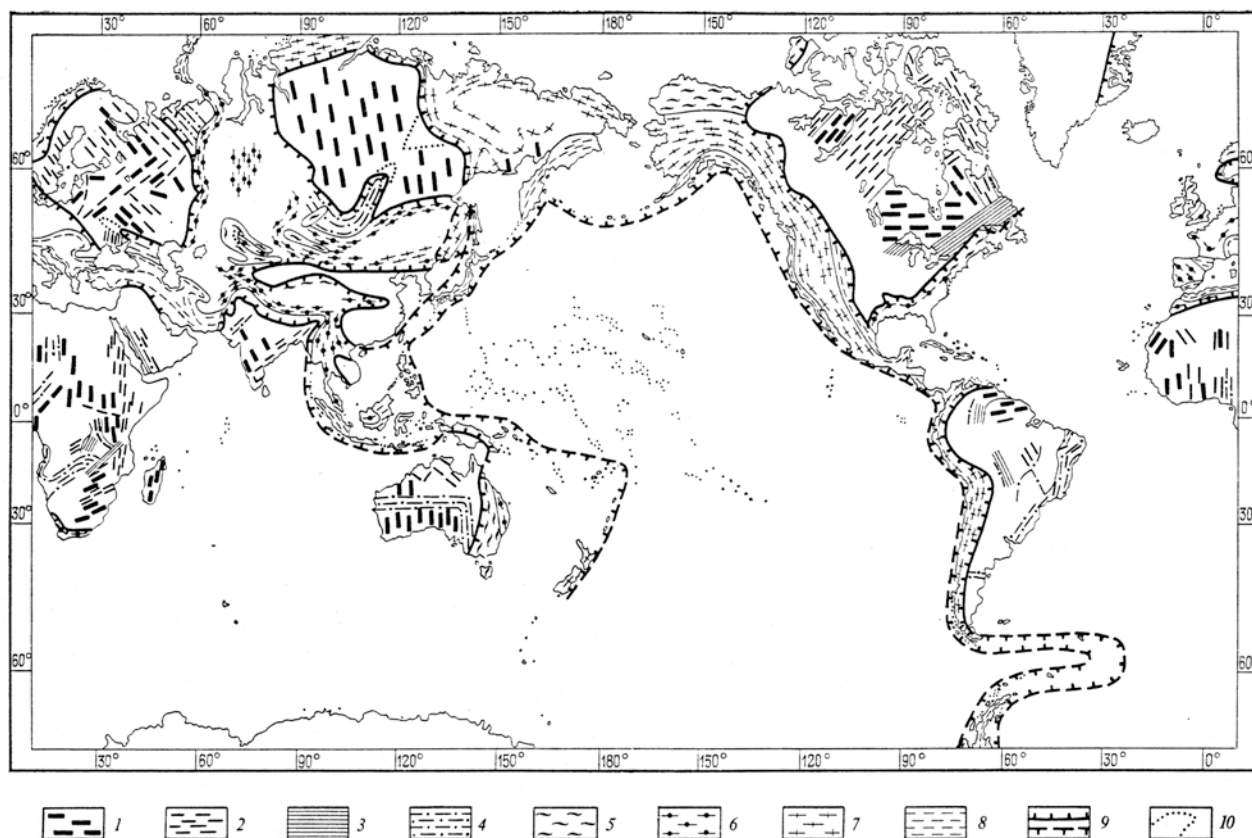


図1 安定陸塊とその周辺の構造の方向性を示す模式図 (V.V.Belousov, 1981 より)

1.始生代、2.原生代中期、3.原生代後期、4.バイカリアン、5.カレドニアン、6.ヘルシニアン、7.キンメリアン、8.アルパイン、9.地向斜帯の境界、10.卓状地内の陸向斜

2. 地球の大陸地殻の大規模リニアメント

ところで、地球の大陸地殻上にもいろいろなリニアメントがみられることは、以前から知られていた。今世紀のはじめ H.H.Hobbs は、直線的な方向をもつ地形の幾何学的な交差模様の多くの例をあげ、また 1930 年代には R.Sonder が、地殻中に存在する第一級の断層系がリニアメントとして現れていることを推論しているという (V.V.ペロウソフ 1979)。

こうした大規模なリニアメントは、その後も構造地質学者たちによって注目され、地殻の深部断裂と関連づけて議論された。また戦後、空中写真の実用化にともなう写真地質学の進歩によって、さらに規模の小さなリニアメントもとらえられるようになった。これらは地形、植生、水系、土壌、写真上の色調などによって判別されるもので、photogeologic lineament とよばれる。このように、現在リニアメントといわれているものには、大小さまざまなオーダーのものがあるが、ここでは、基盤の地質構造を反映しているとみられる、大規模なリニアメントを中心に話をすすめることにしよう。

大規模なリニアメントと地殻の深部断裂との関係をくわしくのべたのはペロウソフである。図1は、安定陸塊(楕状地や卓状地)とそのまわりのいろいろな時代の変動帯の、岩層の方向性をまとめたもの、図2は、安定陸塊における先カンブリア代の基盤にみられる構造の方向性を図示

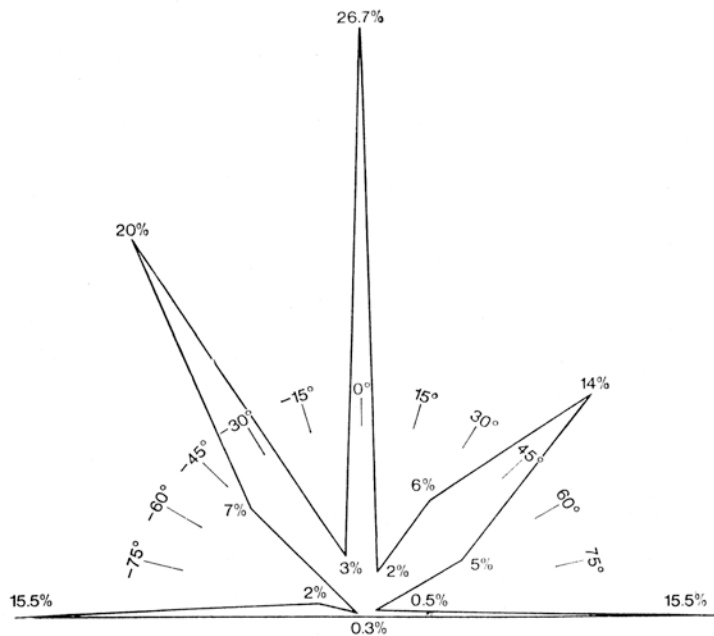


図2 卓状地の基盤をつくる先カンブリア代岩層の構造の方向性 (V.V. Belousov, 1981 より)

したローズダイアグラムである (いずれも V.V. Belousov, 1981 による。500 万分の 1 『ソ連邦基盤構造図』 (1974)、および 1500 万分の 1 『大陸の先カンブリア地域構造図』 (1974) に基づく)。これらの図から、安定陸塊の基盤をなす先カンブリア代の岩層は、N-S と E-W 方向が直交する成分と、NE-SW および NW-SE 方向の斜交する成分が卓越していることがわかる。このうち NE-SW 成分は北から正しく 45° の方向が目立つが、NW-SE 成分は北から 30° のものが最も顕著である。また、同一地域では時代が異なっても同じ方向性を受けつぐ傾向がみられるし、これらの方向性はその後の周辺の変動帯にも影響をあたえていると Belousov (1981) はのべている。

安定陸塊にみられるこのような構造方向の幾何学的な規則性は、地殻の垂直方向の運動の地表での表現であること、また垂直運動をおこす地球内部の諸過程は、無秩序におこるのではなく、主として直線上の特定の方向をもついくつかの構造線にそって発展するのだ、というのがベロウソフの考えである。

さらに、上にあげたような大陸地殻上の規則的なグリッドは、ひじょうに古いもので、おそらく地球の歴史の初期 (大陸地殻の形成当初) から存在し、その後現代にいたるまで、その地理的方位を変えることなく安定に存在したのだろうとものべている (V.V. Belousov, 1981)。

3. 衛星画像からみた大陸の線状構造

ロシアではソ連時代の 1980 年代に、メテオール、コスモスシリーズなどの多くの人工衛星や、宇宙ステーション・サリュート等を使って得られた地表の画像 (これにランドサット画像も加えて) をもとに、ソ連領土を中心にした衛星写真地質図 (50 万分の 1、100 万分の 1、250 万分の 1 など) が作成された。そしてこれとともに衛星画像のくわしい解析がすすめられ、その結果は『ソ連の宇宙地質学』(1987) としてまとめられている (本ニュースの Vol.2, No.4, 1990 に簡単に紹介してある)。

図3と図4は、この本に掲載されたソ連領土を中心とした線状構造（大規模リニアメント）の

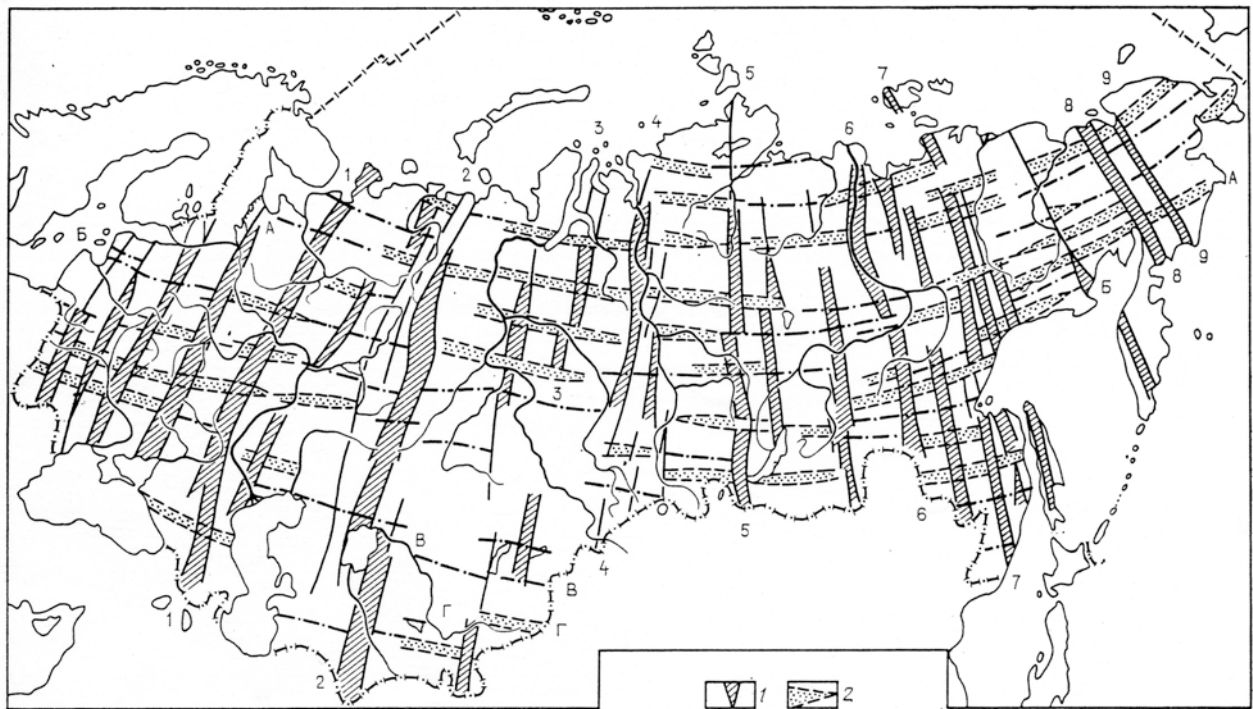


図3 衛星写真地質図からえがいた大規模リニアメントの直交成分（『ソ連の宇宙地質学』1987より）
1.経線方向の成分、2.緯線方向の成分



図4 衛星写真地質図からえがいた大規模リニアメントの斜交成分（『ソ連の宇宙地質学』1987より）
1.NNW-SSE成分とNNE-SSW成分、2.ENE-WSW成分とWNW-ESE成分

分布図で、図3はN-SおよびE-W方向の直交するグリッド構造、図4はNE-SWおよびNW-SE方向の直交するグリッド構造を示す。この図のくわしい説明や検討は紙数のつごうで別の機会にゆずるが、1、2興味ある点についてのべておく。

図中の幅の広い線状構造のいくつかは、オーラコゲン (aulacogene) と解釈されている。オーラコゲンとは、卓状地の基盤岩層を切つてのびる大規模な地溝のことで、この名称は1955年N.S.シャツキーによって提唱されたものである。その延長は700~800km、幅は数10kmにも達する。東ヨーロッパの卓状地では以前から研究されていて、これらの地溝がNE-SWとNW-SE方向の網目構造をつくっていることが知られてきた。その生成時代は原生代リフエイ期 (Riphean, 17億年前~6.8億年前) とされている。図4の<2-2>は、東ヨーロッパ卓状地のなかにのびる代表的なドニエプルードネツオーラコゲンに相当する。

また図4では、斜交するグリッドのパターンが中央シベリアを境に様相を異にし、その西方ではNNW-SSE、ENE-WSWの組み合わせであるのが、東シベリアから極東にかけてはWNW-ESW、NNE-SSWの組み合わせに変わっているのが注目される。その接合部では両者のパターンが重なり合つて複雑になっているのが興味深い。

4. 比較惑星学的にみた問題点

地球の大陸地殻上にも、月や水星とよく似たパターンの、大規模リニアメントからなるグリッドシステムがみられることをのべてきた。ここで注意しておきたいことは、一口にリニアメントといっても、写真や画像からの判断では、単一の割れ目や断層、地溝といったものだけではなく、むしろこれらいくつかの要素の複合したものを、リニアメントとしてみていることが多いのではないか、ということである。したがって、グリッドシステムの実体については、地表の調査とあわせたさらなる検討が必要なことはいうまでもない。とはいえ、グローバルな規模で分布する惑星のグリッドシステムが、地殻の構造と密接に結びついていることは確かであろう。

これらグリッドシステムは、かなり古い時代、おそらく惑星の歴史の初期に形成されたものであろうとみられている。月では、地球との距離がいまよりもずっと近かった太古に、地球-月系にはたらく強烈な潮汐力が、月の地殻につよい張力をおよぼした結果であらうと考えられている。太陽に近い水星でも同様のことが考えられるが、R.G. Strom (1987) は、創成期にはかなり速かった水星の自転がしだいに遅くなり、遠心力が弱まるにつれて、水星の形は球形に近づき、このときの水星自身の変形によって断裂のパターンが成長していったとのべている。

ひるがえって地球の場合はどうであろうか。やはり地球-月系の潮汐力にその原因があるのだろうか。また、先にものべたように、ペロウソフは地球の大陸上のグリッドシステムは、生成以来その地理的方位を変えることがなかった（すなわち、太古の地殻の構造の方向性を保存している）とのべている。大陸移動を認めないペロウソフの立場からみれば、当然の結論であろうが、これは本当なのだろうか。

Yu.A. コスイギン (1987) は、地球のグリッドシステムの形成は地球の回転（自転）運動に原因があるという考えを紹介し、大陸が地球の回転軸に対して向きを変えずに移動すれば、グリッドシステムの方向性は保たれるはずであり、大陸が移動したのか固定されたままだったのかを、

グリッドシステムの方位だけからいうことはできないとのべている。地球の地殻のグローバルな断裂系としてのグリッドシステムの生成と発展は、地殻の構造発達史や変動史と深いつながりをもっており、月や水星など他の惑星との比較惑星学的研究は、これからの惑星地質学の重要な課題の1つとなるであろう。

参考文献

- ブリュハノフ, V.N., and メジェロフスカバ, N.V., 1987 : ソ連の宇宙地質学. ネドラ出版, 240pp. (露文)
 ベロウソフ, V.V., 藤田至朋監訳, 1979 (原著1975) : 構造地質学原論. 共立出版, 368pp.
 Belousov, V.V., 1981: Continental Endogenous Regimes. Mir Publishers, 295pp.
 Dzurisin, D., 1978: The Tectonic and volcanic history of Mercury as inferred from studies of
 scarps, ridges, troughs, and other lineaments. Jour. Geophys. Res., 83, 4883-4906.
 Fielder, G., 1961: Structure of the Moon's surface. Pergamon Press, 266pp.
 金子史朗, 1967 : 構造地形学, 古今書院, 257pp.
 コスイギン, Yu.A., 押手敬訳, 1987 (原著1983) : 構造地質学, 地球科学研究センター, 251pp.
 Stom, R.G., 1987: Mercury—The Elusive Planet. Smithsonian Institution Press, 197pp.

新刊紹介

金星の地質学

Cattermole, P., 1994: Venus—The Geological Story. UCL Press, 250pp., 180×252×24mm.

マゼランによる金星探査の成果やまとめが目下ぞくぞくと発表されているが、そのさなかに、いち早く新しい資料をもちこんだ本書が刊行された。著者の Peter Cattermole は、惑星地質学・火山学・岩石学の研究で知られるイギリスの地質学者で、1974 年から 1989 年までシェフィールド大学の講師をつとめていたが、現在はフリーランスの科学ライターとして活躍している由である。同じくイギリスの有名な天文学者で作家でもある Patrick Moore と共著で、また単独でも多くの本を書いており、最近のものでは『Planetary Volcanism—a study of volcanic activity in the solar system』 Ellis Horwood Ltd., 1989, がある。

本書はマゼラン探査機のデータを中心に、最新の金星の地質学がまとめられている。内容は次の 11 章からなる。1. Introduction, 2. Planet formation, 3. Exploring the veiled planet, 4. Venusian atmosphere, 5. Topography and gravity, 6. Physiographic regions, 7. Surficial geology, 8. Impact cratering on Venus, 9. Venusian volcanism, 10. Venus: the global view, 11. What makes Venus tick?

この目次構成からもわかるように、望遠鏡による金星観測の歴史にはじまり、惑星形成論の概略、マゼラン以前の探査機による研究史金星大気の特徴、地形と重力などといった基礎的事項の記述をふまえて、6 章あたりからマゼランのデータを中心とした金星の地質学が論じられていく（これが全体のページ数の 2/3 をしめる）。このなかではやはり、著者の最も得意とする火山活動や構造運動をのべた 9 章以降が、ページ数も多くよく書けているように思われる。ただ、著者もまえがきでのべているように、新しいデータによる金星の研究は現在進行のまっただ中にあり、本書にかかっている内容の多くは流動的である。とはいえ、最新の金星像を知るための入門書としては大いに役立つであろう。

本書に多くの新しい写真や図が挿入されているのはありがたいが、それらの場所を知るための、金星全面の経緯度入りの地図がないのは残念である。マゼラン画像にもとづくくわしい地図は近々に出版されるであろうが、見取り図だけでもよいから入れてほしかったと思う。

(小森長生)

論文紹介

破壊した彗星の衝突でできた月面の鎖状クレーター列

- a. Melosh, H.J., and Whitaker, E.A., 1994: Crater chain on the Moon: Records of comets split by the Earth's tide. LPSC XXV, 893-894.
- b. Wichman, R.W., and Wood, C.A., 1994: Comet disruption and crater chain formation in the Earth-Moon System. LPSC XXV, 1490-1491.

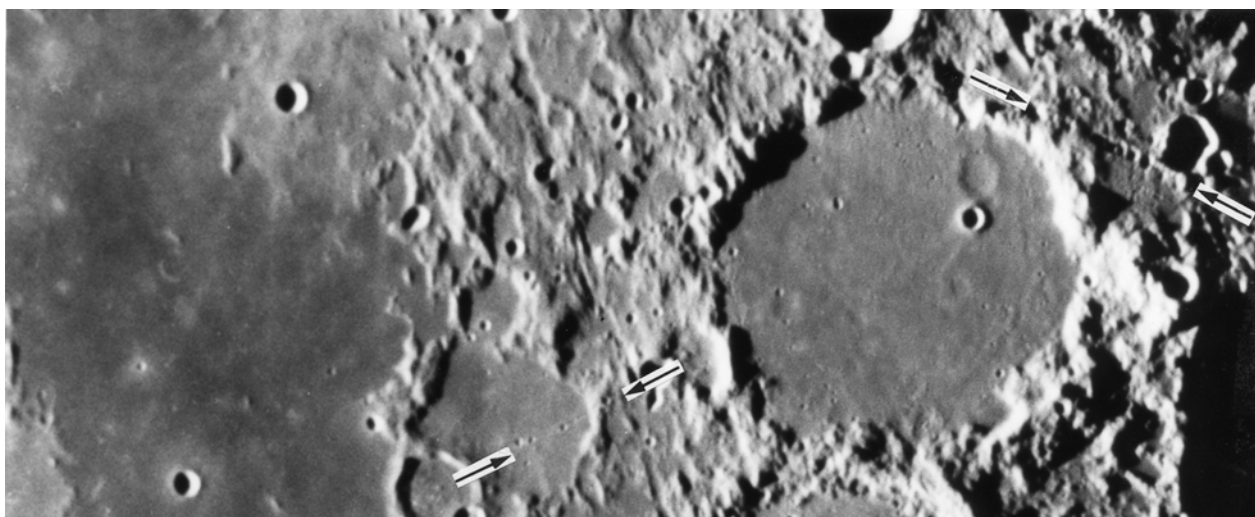
シューメーカー・レビー第9彗星の発見をきっかけにして、ガリレオ衛星の表面には、このような数珠つなぎの彗星衝突による鎖状クレーター列が16例みつかった (Melosh H.J. & Schenk, P. 1993, Nature, 365, 731-735)。このことをヒントに、地球の潮汐力によって彗星 (または小惑星) が破壊されその破片が月面に衝突する可能性があり、実際にそのようにしてできたと推定される鎖状クレーター列 (表) があることを述べているのが、上記の2論文である。

aの論文は、彗星の潮汐力による破壊の可能性や、それによってできるクレーター列の長さを計算したものである。地球半径の1.5倍まで接近した彗星に生じる潮汐力は $\sigma = 6.8 \times 10^{-4} r_c$ (bar) であらわされる (r_c : 彗星の半径 (km))。彗星にはクラックがあり、ようやく自己の重力によってつながっている状態なので、ミリバールオーダーの力が加われば破壊されるという。また破壊された彗星によってできる月面のクレーター列の長さは、地球への接近速度と近地点の距離に依存して10km以下から数百kmまでの値をとる。これは実際の月面にあるクレーター列と一致するという。

彗星・小惑星の衝突でできたと推定される月の鎖状クレーター

名 称	経度	緯度	全長	クレーター直径	クレーター数	時 代
①デービー列	-10°	-9°	47km	1 ~ 3 km	約23個	エラステネス代 (30億年前以降)
②ミューラー列	1°	-8°	60km	5 ~ 10km	約10個	インブリウム代 (38~30億年前)
③アブルフェッダ列	-15°	15°	200~260km	5 ~ 13km	24個	インブリウム代 (38~30億年前)

①と③は Melosh & Whitaker (1994)、②は白尾の測定値



潮汐破壊された彗星によってできたと推定されるクレーター列、右側の大クレーターはブトレメウス (直径150km)、右側の矢印がデービー列、左側の矢印がミューラー列、北北西-南南東方向のクレーター列は、インブリウムベイスンからの二次クレーター (写真は白尾元理撮影)

bの論文は、月面のクレーター列を地質学的に考察したもの。月に比多数のクレーター列があるが、その大部分はベイスンからの二次クレーターである。またヒギメス谷などのクレーター列は、地溝に沿って並んでおり、暗い噴出物を伴っているので、火山性クレーター列と考えられる。ところが表にかかげたクレーター列は、供給源となるベイスンがなく火山性でもない。いままで成因不明のクレーター列とされていたものである。このようなクレーター列は、破壊された彗星が月面に衝突したと考えるのがもっとも都合がよい。

表には紹介者が気付いたクレーター列を書き加えておいたが、詳しく月面を調査すれば、このようなクレーター列はまだまだ見つかるに違いない。(白尾元理)

論文抄録

マントルプルームでできた金星の地形

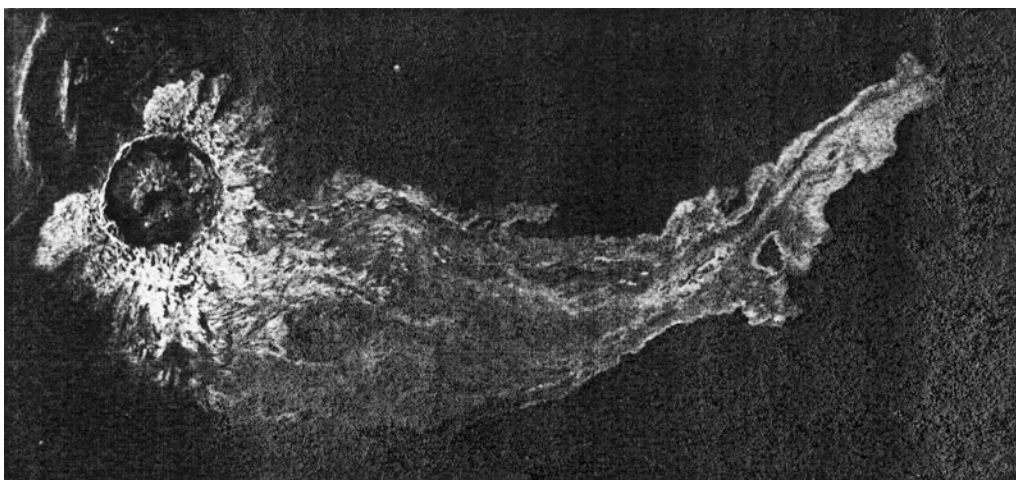
Koch, D.M., 1994: A spreading drop model for plumes on Venus. Jour. Geophys. Res., 99, E1, 2035-2052.

金星表面の火山性地形の多くは、マントルプルームによってできたと考えられる。径数1000km、高度1~5kmの高地（ベータ地域など）は、大規模なマントル上昇流によって支えられている。径100~1000kmの中間的スケールの地形の差は、地表に近づいたプルームの頭の形できまる。ノバ（放射状断裂をもつ地形）は球状のプルームの頭が地表を押し上げてできたもの、アラクノイド（くもの巣状地形）はさらに上昇したプルームの頭が扁平になってできたもの、コロナ（同心円構造が目立つ環状地形）はプルームの頭がいつそう扁平になってできることが、数値モデル実験で示された。(K)

金星の衝突クレーターからの流出物

Chadwick, D.J., and Schaber, G.G., 1993: Impact crater outflow on Venus: Morphology and emplacement mechanisms. Jour. Geophys. Res, 98, E11, 20891-10902.

マゼラン探査機によって発見された932個の衝突クレーターの大部分は、その外側に続出(outflow)をともなっている。この流出物は、①クレーターに近くて厚い部分と②クレーターから離れた薄く蛇行した溶岩流によく似た部分の2つからなり、いずれも衝突物質の進入方向の反対側に分布する。これらの流出物はインパクトメルトであり、①は形成中のクレーターから飛び出してすぐに堆積した部分、②は①からやや長い時間をかけ流出した部分と考えられる。数値



直径90kmのアダムスクレーターからの流出物は、クレーター縁から600kmも続く

モデルによると、金星の大気と地表が高温であるために、月に比べて3倍の体積のインパクトメルトが生産されることになる。(S)

金星のエピソード的テクトニック活動

Turcotte, D.L., 1993: An episodic hypothesis for Venusian tectonics. *Jour. Geophys. Res.*, 98, E9, 17061-17068.

金星では、表面活動の静かな時期をぬって、プレートテクトニクス活動がエピソード的におこってきたと考えられる。過去 500 ± 200 m.y. にわたって、金星の表面は熱伝導的冷却によって地殻が厚くなり、厚さ約 300 km に達する固い単一プレートでおおわれてきたと仮定される。このような厚い地殻は、金星の高地とそれに関連する重力異常、クレーターの新鮮な形を保存してきたと考えられる。大型のコロナにみられるサブダクションは、金星におけるプレートテクトニクスの新しいエピソードの始まりを表しているのかもしれない。(K)

マゼランがみたベネラとベガの着陸場所

Weitz, C.M., and Basilevsky, A.T., 1993: Magellan observations of the Venera and Vega landing site legions. *Jour. Geophys. Res.*, 98, E9, 17069-17097.

金星表面におけるベネラとベガの着陸地点7か所の地質図を、マゼラン画像にもとづいて作成し、ベネラ/ベガのデータとマゼラン画像の対応を検討した。その結果、両者の資料はよく一致することがわかった。ベネラ9、10、14号とベガ1、2号の地点はソレイアイト組成で、明らかに粘性の低い溶岩流からなる平原である。一方ベネラ8、13号の地点は非ソレイアイト組成で、他とは異なった火山地形の所である。山腹の急なドームとランプロファイアー状溶岩は、ベネラ8号が得たデータと最もよく合う。(K)

火星の圧縮テクトニズム

Watters, T.R., 1993: Compressional tectonism on Mars. *Jour. Geophys. Res.*, 98, E9, 17049-17060.

火星面上で地殻の圧縮によってできた地形を、収縮を示す写真地質学的事実と、地球における類似物との比較にもとづいて確かめた。火星では地殻の収縮を示す地形は wrinkle ridges, lobate scarps, high-relief ridges の3つがあるが、このうちの80%以上は火山性平原に分布する wrinkle ridges がしめる。西半球の収縮地形のパターンは、タルシス高地の影響を受けている。火星の表面の収縮変形は、ヘスペリア代初期にピークに達したが、これはこの時代におこった火山活動によるグローバルな表面更新にかかわっている。(K)

マリネリス峡谷の地形とその成因

Luccitta, B.K., Isbell, N.K., and Howington-Kraus, A., 1994: Topography of Valles Marineris: Implications for erosional and structural history. *Jour. Geophys. Res.*, 99, E2, 3783-3798.

火星のマリネリス峡谷 (Valles Marineris) の成因を、Digital Terrain Models (DTMs) を用いて定量的に考察した。マリネリス峡谷のもととなった最初の谷は、テクトニックな要因によって形成されたと思われる。その後内部に湖ができ、湖成堆積物が堆積した。現在のマリナー峡谷内の堆積物は、この湖成堆積物と、おそらく火山起源の堆積物の両方が起源であろう。また、湖成堆積物生成後、峡谷中央部の陥没が起り、谷が広がった。(寺藺淳也)

INFORMATION

●第 27 回月・惑星シンポジウムのお知らせ

わが国における月・惑星科学の分野全般における最近の進展はめざましいものがあります。本シンポジウムでは、それらを反映した月・惑星の起源、進化、環境などに関連した多数の研究成果の報告が行われます。

期 日： 1994 年 8 月 2 日 (火)～4 日 (木)

場 所： 宇宙科学研究所本館 2 階 会議場

問い合わせ先： 〒229 相模原市由野台 3-1-1 宇宙科学研究所 清水幹夫 TEL.0427-51-3911
内線 2529, または水谷 仁 内線 2515 までお願いします。

●第 3 回惑星科学フロンティアセミナー：月の起源

Lunar-A 計画を間近に控え、地球化学、地球物理、地質学、天体力学、惑星形成論などの幅広い角度から、月の起源を総合的、集中的に考えようとするセミナーです。

期 日： 1994 年 7 月 25 日 (月)～27 日 (水)

場 所： 兵庫県佐用郡 西はりま天文台

問い合わせ先： 〒152 目黒区大岡山 2-12-1 東京工業大学理学部地球・惑星科学内
惑星科学夏の学校・惑星科学フロンティアセミナーSOC
(TEL.03-5734-2622, FAX.03-3727-4662, E-mail, wakusei94@geo.titech.ac.jp)

●1994 年惑星科学夏の学校「原始太陽系星雲の形成と進化」

隕石などの始源物質がもつ原始太陽系星雲の記録、太陽系以外の原始星雲の観測データ、原始太陽系星雲の理論的な研究、これらの 3 つを有機的に結びつけることによって、原始太陽系星雲のいっそうの理解を試みます。開催場所と問い合わせ先は上記の惑星科学フロンティアセミナーと同じです。

期 日： 1994 年 7 月 27 日 (水)～29 日 (金)

●新刊『Exploring Venus』をお分けします

アメリカの代表的天文雑誌『Sky & Telescope』に掲載された、マゼランの金星探査の関する記事と写真のハイライトを集めた別刷が、上記の題名で刊行されました。迫力ある 3D 立体画像も収められていて、教材としても役立ちます。とり寄せた残部がまだありますので、希望者にお分けします。代金は 1 部につき 500 円 (送料とも)。切手 500 円分を同封して事務局宛に申し込んでください (2 部以上の場合は郵便振替でもけっこうです)。

●郵便振替口座番号の変更

惑星地質研究会の郵便振替口座番号が、下記のようにあたらしいものになりました。

新口座番号 00140-6-535608 (旧口座番号東京 4-535608)

今後のご送金は新口座番号でお願いします。なお口座名は従来通り「惑星地質研究会」です。

編集後記：この梅雨空の向こうに待っている今年の夏には、さまざまなイベントが控えています。7 月 17 日～24 日におこるシューメーカー・レビー第 9 彗星の木星衝突は、千年に 1 回の現象といわれるだけに何が起こるか楽しみです。またこのページにも紹介したように多数の研究集会も開催されます。まとまった時間のとりやすい夏を有意義に過ごしたいものです。(S)