

月の謎はどこまで解けたか

B.L. Jolliff ほか 14 名

月を理解することは、将来の太陽系探査にとってきわめて重要である。月は、原始地球への巨大衝突で生じた破砕物の集積でできたという証拠とともに、地球-月系における最初の 10 億年間の記録を保存し、月の岩石は、月の地殻が初期に分化したことを教えてくれる。また月のレゴリスは、過去 40 億年間にわたる太陽風の活動を記録し、それは衝突クレーター形成の過程も保持している。岩石やレゴリスの分析によって、それらの生成年代がわかり、他の惑星表面の年代決定にも役立てられるようになった。

このように月の科学は、アポロとルナのミッション以来の 30 年間にいちじるしく進歩した。最近のタングステン同位体の研究によると、月の分化は太陽系形成後の早い時期におこったことがわかった。古い高地の岩石は、月が初期に分化したこと、海の玄武岩はその後にはマンツルの溶融によってつくられたことをしめしている。しかしながら、分化の時期、広がりや深さ、マンツル内部の変異性、地殻内部の水平・垂直方向の変異性などについては、アポロ時代の限られたサンプルや重力データ、表面の geophysics から推測されているにすぎないのである。

最近のルナースペクトラとクレメンタインミッションからのデータによって、月のグローバルな性質を調べることが可能になり、残留磁気、重力場、全体の地形とともに、元素成分の分布、岩石と土壌のタイプ、資源などについての再検討がなされてきた。これらの新しい研究によって、これまでの月の謎についていくつかの解答が得られたが、またあらたな疑問点も浮かび上がっている。これからの月科学の目標は、これまでのサンプルデータなどの情報と、新しいグローバルリモートセンシングデータを総合して、月やその他の岩石惑星の構造と歴史を調べる方法を確立していくことである。

月のグローバルな探査の成果

グローバルな探査によって、月表面の組成の複雑さや、衝突による掘り返しから深部の物質分布をさぐる事が可能になった。月の地殻の geochemistry、重力場、磁場などもグローバルなスケールで研究されてきた。これらのデータは、空間的、地質学的時間との関連の中で、岩石や土壌と結びつけて考えなければならない。

月のホットスポットと組成異常 ルナースペクトラによるトリウムガンマ線マップの作成によって、月のおもて側のあらしの大洋-雨の海地域の地殻に、熱を生み出す放射線元素が濃集していることが明らかになった。この事実は、月の熱的進化に大きな影響をもたらしたであろう。また、ルナースペクトラの中性子スペクトロメーターとクレメンタインの組成データから、こ

表 1 月科学の最近の進歩

◎ 月のグローバルマップ

- ・ 100 mから km スケールでの岩石と土壌の組成
 - 主成分鉱物
 - FeO, TiO₂, 土壌熟成度
- ・ 数 10km スケールでの元素組成
 - H, Fe, Ti, Th, K, REE(Sm, Gd)
 - 極地に見つかった水素
- ・ ジオフィジックス
 - 重力 (クレメンタイン、ルナープロスペクター)
 - 磁場 (ルナープロスペクター)
 - 地形 (クレメンタイン)
- ・ 正確な global coordinate system

◎ レゴリス形成過程

- ・ マイクロメテオライト衝突によって起こった粒径の選別破壊の定量化
 - 10~40 μ m フラクションが光学的性質を決める。
- ・ 太陽風と宇宙線が粒子表面の変質と付着をおこす。顕微鏡的金属鉄の増加が反射スペクトルを修飾する。

◎ 月の地殻

- ・ 熱を生み出す元素がおもて側のあらしの大洋一雨の海地域に濃集
- ・ うら側の南極-エイトケン盆地 (直径 2500km) は、地殻がはがされ、マフィックな下部地殻または上部マントルが露出。
- ・ 衝突盆地の輪に純粋に近い斜長岩ブロックが露出。

◎ 月の火山活動と貫入活動

- ・ 玄武岩サンプルがマントル逆転の証拠をしめす。
- ・ 初期に分化したマグマの残存物との相互作用に関連したマグネシウムにとむ深成岩体。
- ・ 深部 (>400km) での溶融によってつくられた火山ガラス。
- ・ グローバルにみて、玄武岩はフルレンジの TiO₂ 量をもつ (分布はバイモーダルではない)
- ・ 比較的最近までつづいた (~1.3Ga) 火山活動

◎ 月起源隕石

- ・ これまでに採集されていなかった場所から 18 個

◎ レゴリス形成過程に関係した月の希薄な外気圏

表 2 月科学における未解決の問題

◎ どんな元素や分子種が希薄な月大気をつくっているのか。

それは時間とともにどのように変化するのか。

◎ 月の初期状態はどうだったのか。

◎ グローバルスケールでの非対称性の原因は何か。

- ・ 対流と密度逆転ダイナミクス?
- ・ あらしの大洋と初期巨大衝突の効果?
- ・ 月のマグマオーシャンの非対称的結晶化作用?
- ・ 潮汐効果?

◎ 月のマグマオーシャン時代の分化の深さはどれくらいだったのか。

◎ 月のコアの特性 (サイズ、組成) は?、そして月はダイナモによる磁場をもっていたか。

◎ 後期の集積でできた層はあったか (コア形成後/初期分化)

◎ 未分化の下部マントルはあるか (マグマオーシャン溶融の限界または非関与); そうならば、月の火成作用におけるマグマオーシャンの役割は何だったのか。

◎ 火山ガラスは深部のマントル下のガーネット含有域から来たのか。

◎ 月深部にはどんな揮発成分がある (あった) のか。またマグマの活動と噴出スタイルでの役割はどうだったのか。

◎ 二次的なマグマ活動をおこす熱の源と規模は何だったのか。

◎ 熱は Th, U, K とむに地殻のリザーバーからマントルへどのように運ばれたのか。

◎ 大スケールの地殻の絶縁の役割は何だったのか。

◎ いろいろな深成岩は、特定の、また局所的な地質区にどのように関係しているのか。また、グローバルなジオケミカルな非対称性との関係は?

◎ H と He が最も濃集し、広く存在し、すぐにとり出せる堆積物は何か。またどこにあるのか。

- ・ 極地の永久に陰のクレーター内の H または H₂O 氷堆積物の鉱物学的・物理学的形態、厚さ、濃集のぐあい。
- ・ 極地の H は経済的に採取可能な資源か。
- ・ このような施設をつくる最適の場所はどこか。(H と ³He の放射・通信・輸送からの保護)

の月のホットスポットが希土類元素のガドリニウム (Gd)、サマリウム (Sm) に富んでいること、海の玄武岩の多くについて中性子吸収が予想よりも低く、クレメンタインデータによる TiO_2 の高い値に対応していることがわかった。

衝突クレーターにもとづく地殻の層序 衝突クレーターは地殻の岩石の新鮮な部分を見せてくれる。クレメンタインのマルチスペクトルデータをもとに、クレーター内部に露出している岩石のタイプをさぐり、地殻上層部の層序が調べられた (S. Tompkins and C.M. Pieters, 1999)。大型クレーターからの放出物は、地殻の組成の水平・垂直方向の変化を調べる鍵になり、多くの場合、深い部分から掘り返された放出物はまわりの表面物質よりもマフィックである。クレーターや盆地内部の中央丘には、斜長岩質岩石からなるものがある。雨の海の盆地をつくった大衝突 (インブリウム衝突) で掘りおこされた Th に富むマフィックな物質は、おそらく盆地の対極点にまでこの物質を拡散させただろう。

月の深部 グローバルな探査で初めて判明したのが、月のうら側でおこった大衝突で生まれた、南極-エイトケン盆地 (直径 2500km) である。この盆地は、他の小規模な盆地に比べて geophysical な面で異常で (M.A. Wieczorek and R.J. Phillips, 1999)、斜め衝突でできたのか、あるいは熱的におこった relaxation でかつて存在した質量集中が消し去られたかの、いずれかをしめしている。盆地の床面はマフィックであるが、その組成が下部地殻か、上部マントルか、あるいは両者の混合物をしめすのかどうかは明らかでない。

月起源隕石 過去 20 年間に、19 個の月起源隕石が地球上で発見された。アポロとルナの月サンプルが月のおもて側の限られた地点のものであるのに対して、これらの月隕石は月面のいろいろな場所の 11 のクレーターを起源としており、月全体の公平な代表者といえそうである (図 1)。実際、斜長石に富む月隕石は、高地に降りたアポロ 16 号が採取したレゴリスよりも、ずっと斜長石に富む高地を代表しているようにみえる。月隕石が月面の広い範囲をカバーするサンプルだとすれば、リモートセンシングデータとあわせて、岩石タイプの分布と地殻の組成をより正確につかむ鍵となるだろう。

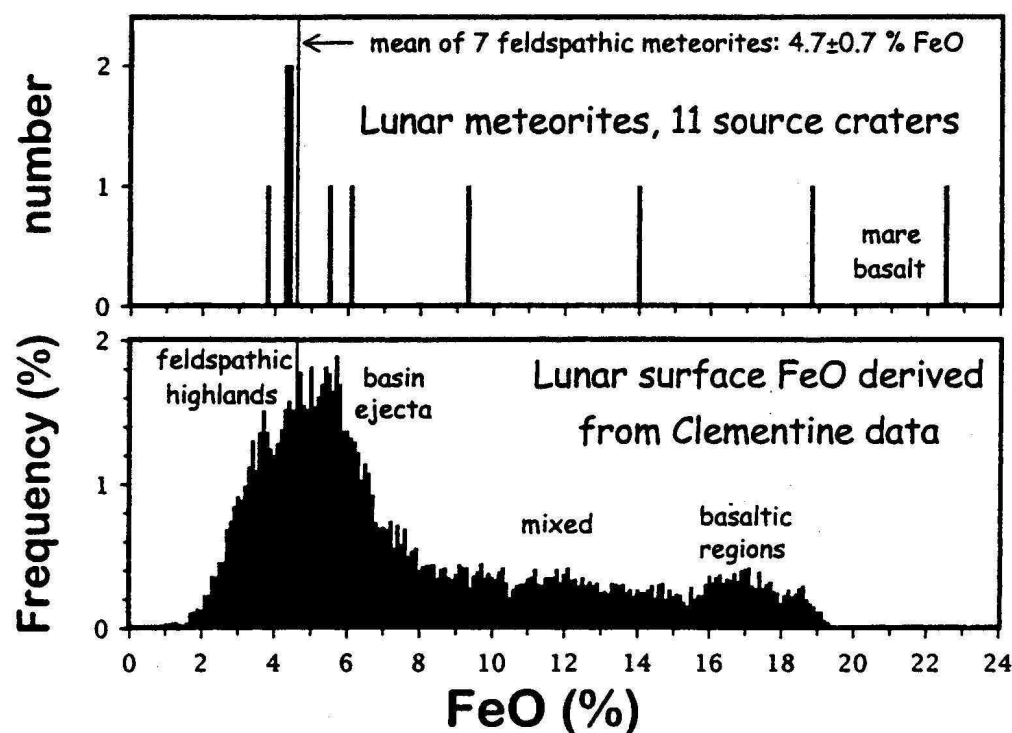


図1 月隕石の FeO 濃集量と、クレメンタインによる月のグローバルな FeO 濃集量との比較。斜長石にとむ月隕石 7 個の FeO 量の平均値は、月のうら側の斜長石にとむ高地の平均的な FeO 量 (4.5%) に近い。

初期の歴史と月の内部

月の初期における物理・化学的分化は、地殻とマンツルの分離という一般的な概念以上にくわしいことは、まだよくわかっていない。力学的モデルと新しい同位体データにもとづくと、原始地球をまわる岩片の集積とその後の分化は、どちらも急速におこったにちがいない (M. Drake and A. Halliday, 1998)。集積につづくマグマオーシャンの形成と Al に富む地殻の分化は、惑星規模のできごとであった。しかし、マグマオーシャンの広がりや深さ、未分化のマンツルの存在、コア形成のメカニズムなどについては、まだ検討すべき問題が残されている。

月のコア ルナープロスペクターによる高解像度の重力データと磁場の詳しい解析から、月は半径 300~450km の鉄に富む核 (コア) をもつと考えられる (L.L. Hood, et al., 1999)。これは地球からのレーザー反射によるデータの分析とよく合う (J.G. Williams et al., 1999)。この情報は、月がかつてダイナモ活動をしていたこと、内部熱源への臨界的制約をあたえること、月は形成後すぐに全体が溶けたであろうことをしめしている。

月の地殻の非対称性 月の地殻はおもて側でうすく、うら側で厚く、質量の中心と形の中心は一致しない。また、玄武岩質火山活動はおもて側のほうでさかんだった。この非対称性の形成は、月の初期における分化と地殻の形成の時期にさかのぼる。月のマグマオーシャンは明らかに、均一に同心球状に固化していったのではない。溶けた部分での熱輸送の諸因子や、厚い衝突破片堆積物の絶縁効果などが、非対称性の形成に影響したであろう。マグマオーシャン固化後、Th、U、K の濃集で生まれたホットスポットの火山活動や、関連する火成活動は、この非対称性の形成の結果おこった可能性がある。

マンツルの溶融 広範な玄武岩質火山活動は、月のマンツル溶融の証拠である。もしマグマオーシャンの固化の間に、かんらん石と輝石の結晶成長によって残液のほとんどが追い出されたのならば、それは後の再溶融の熱源を欠くことになる。深部での Mg に富むかんらん石の集積と、浅部での Fe と Ti に富む物質の密度差による逆転が、解決の鍵になるかもしれない。しかしながら、マグマオーシャンの残留物が存在する地域があったのならば、海の玄武岩の長いレンジの年代 (4Ga~1.3Ga) でしめされるような、長期間の熱的活動がおこったであろう。初期のマンツル内での局地的な熱と物質移動のダイナミクスは、初期の分化がグローバルな非対称性の形成と関係していたことを思わせる。

月の火山活動 クレメンタインとルナープロスペクターによるデータは、月サンプルの最近の分析結果とあわせて、月の火山活動に新たな制約を課している。アポロのサンプルでは、玄武岩の TiO_2 量が顕著なバイモーダル分布をしめしていたが、上記 2 つの探査機からのデータでは、 TiO_2 はユニモーダルな分布をあらわしている。またクレーター年代学の研究から、若い (1.3Ga) 玄武岩の存在する地域がある。

海の玄武岩と火山ガラスの比較研究から、ガラスをつくり出したメルトの起源は、玄武岩を生み出したメルトよりも深い (>380km) ことがわかった。ガラスがマンツルのガーネット含有領域または未分化の領域から来た可能性をさぐるために、希元素組成の変化が調べられている。今後は、月マンツル中の揮発成分の起源と役割、マグマの組成と噴火ダイナミクスの関係、深部

Soil Chemistry and Petrography

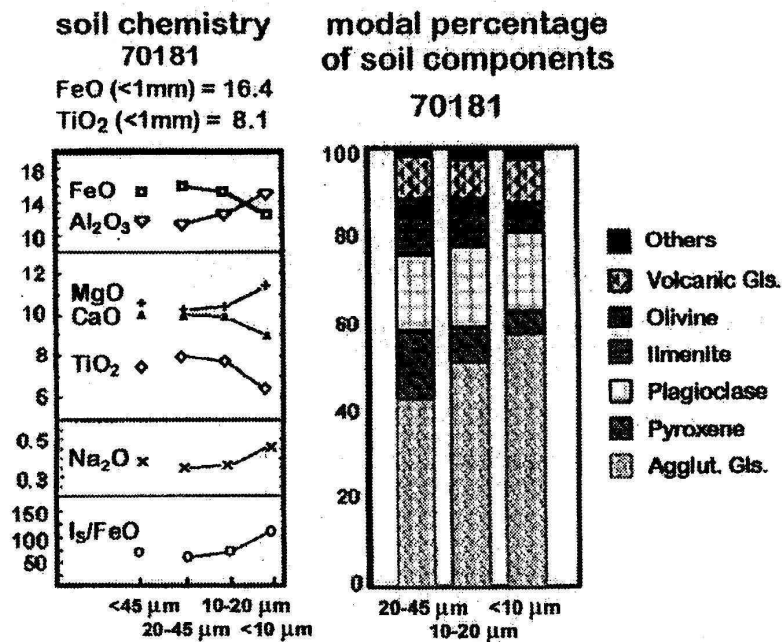


図2 月の土壤中の細粒物質の特性 (1)
 粒径の変化に応じて化学組成と鉱物組成も変化する。(アポロ17号サンプル)

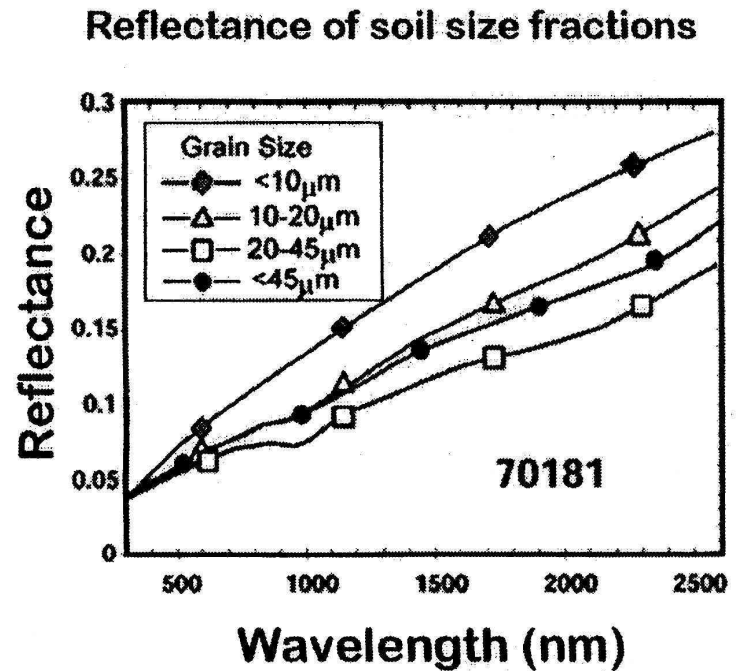


図3 月の土壤中の細粒物質の特性 (2)
 図2と同じ粒径粒子の反射スペクトル。
 <45 μm粒子 (○印) はすべてのより粗い粒子をおおっている。(アポロ17号サンプル)

からもたらされた火山ガラスで代表されるマグマ輸送のメカニズム、などのさらなる解明のために、サンプルリターンが必要である。また、月の深部構造と火山活動とのかかわりをさぐるために、地震観測ステーションを設けることも重要である。

月の衝突の歴史 月の衝突クレーター形成の歴史は、地球も含めて内部太陽系のすべての天体の年代決定の鍵となる。初期の衝突集積は地球中心に急速におこったが、その後の衝突は太陽中心の息長いゆるやかなものになった。集積の間におこった衝突は、月の非対称性の形成に影響をあたえたかもしれない。後期の海の形成とその後の衝突の時期は不明瞭であるが、クレメンタインのデータから得られた光学的熟成パラメーターからのレイクレーターの相対年代の決定に役立つかもしれない。このデータは、過去20億年にわたって衝突フラックスが一定であったことをしめしている。月の衝突クレーター年代学は、今後の継続的な研究と、サンプルおよびリモートセンシングデータの蓄積によって、さらに有効なものとなるだろう。

月の土壌

月の土壌は、スペースウェザリング（宇宙空間における風化作用）とよばれる過程を記録している。マイクロメテオライトの衝突による変質効果、宇宙線や太陽光線の照射による変化、イオンのimplantationなどのプロセスは、宇宙空間の環境下だけでなく、月やそのほかの大気のない天体上での土壌形成を特徴づけている。これらの情報は、リモートセンシングデータから固体の天体の正確な組成を知るために重要である。また、月の土壌に水素や他の物質がどのくらいあるかを知ることは、将来の月資源利用のためにも役立つだろう。

月土壤中には、ナノメートルスケールの金属鉄の泡が含まれ、また熟成した土壌粒子の90%以上にアモルファスな変質核がみられる。土壌粒子のサイズの変化とともに化学組成や鉱物組成も変化し、それは金属鉄に関連した土壌の磁氣的性質の変化にも対応する(図2)。また、土壌サンプルの反射スペクトルをみると、 $<45\text{ }\mu\text{m}$ 大の粒子はマクロスコピックな光学的性質をきめていることがわかった(図3)。反射スペクトルは、土壌の化学的・鉱物学的性質だけでなく、土壌をつくった源の岩石との関係を知るためにも重要である。

これからの探査の課題

今後の探査では、南極-エイトケン盆地、あらしの大洋のThに富む玄武岩、異常に若い(1~2Ga)玄武岩、アリストタルクス高原のユニークな火山地域、などのサンプル採集探査が必要である。地震計ネットワークと熱流量の測定からは、重要なgeophysicalな情報が得られるだろう。さらに将来の月面での人間活動と居住のための資源開発も、探査の目標になるだろう。

(小森長生記)

〈訳者付記〉

本稿は次の論文の抄訳である。

Jolliff, B.L., Gaddis, L.R., Ryder, G., Neal, C.R., Shearer, C.K., Elphic, R.C., Jonson, J.R., Keller, L.P., Korotev, R.L., Lawrence, D.J., Lucey, P.G., Papike, J.J., Pieters, C.M., Spudis, P.D., and Taylor, L.A., 2000, New views of the Moon: Improved understanding through data integration. Eos, Vol.81, No.31 (Aug.1, 2000), 349, 354-355.

月探査の成果と問題点の概要を知るのに役立つと考えて紹介した次第である。なお最近、月科学の現状を知るのに好適な次の本が出版された。

Paul D. Spudis 著, 水谷仁訳「月の科学——月探査の歴史とその将来」, シュプリンガー・フェアーク東京, 2000年6月刊, A5判297ページ, 3000円(原著は「The Once and Future Moon」 Smithsonian Institution Press, 1996)

是非ご一読をおすすめしたい。また下記のJGRには、月探査の最近の成果が特集されている。New Views of the Moon, Part 1 (Feb. 2000) Jour. Geophys. Res., 105, E2, 4173-4368. New Views of the Moon, Part 2 (Aug. 2000) Jour. Geophys. Res., 105, E8, 20275-20450.

討 論

作ってみませんか! 流れ星を

田中剛 Tsuyoshi TANAKA

1 はじめに

本誌2000年9月号(vol.12,no.3)に国立天文台の長沢氏による流れ星の研究の意義が紹介されている。流れ星は、もともとは現象的/力学的な興味が主体だったが、やがて太陽系を構成する物質としての研究が盛んになり、これからの研究は探査機による流れ星の発生源としての彗星核の研究に移るのではないかと、との展望である。

このような研究の展開は、昨今の宇宙科学の展開方向にも合致しており、大方の合意を得るものとおもわれる。しかし、これらの将来計画が実行されても、昔から疑問に思われてきたことが解明されるわけではない。すなわち、物質の発光強度から求められるように、流れ星の元になった物質の大きさは本当にグラム以下なのか？ 分光観測で求められる化学組成にはもっと幅広いものはないのか？ 高度と光度と大きさの関係は？ などなど、現象的で素朴な疑問も依然として推測の域にとどまっている。ここでは、それらに実験的解決の糸口をあたえるかもしれない人工流れ星計画を提案したい。人工流れ星は、サイエンス面だけでなくたくさんの市民を楽しませることにしよう。

2 人工流れ星計画

地震学では地殻の構造を知るために時々爆薬を用いた人工地震を使う。自然におきる地震もちろん研究に使われるが、いつ/どこで/どのくらいの大きさの地震が起きるか予想がつかないため、使い勝手は悪い。人工地震は、たとえ小さくても計画した場所で計画した時刻に地震波を得ることができる。人工流れ星も同じ利点を求めるものである。人工流れ星は、計画した場所と高度で、計画した時刻に、計画した物質を流れ星にするものである。流れ星の明るさ、速さ、スペクトルなどなどを地上の多くの観測装置でしらべることは、人工地震の観測と意義を共にする。

まず、ロケットで原料物質を地上 1000km 以上に持ち上げよう。楕円軌道を持つ人工衛星にしておくと、近地点では流星の初速が稼げるかも知れない。高さ 1000km の位置を毎秒 10km で公転する人工衛星から斜前方に流星を打ち出すと、地上 100 km **では十数** km/秒の流れ星ができる。流れ星になる原料は様々な大きさ、材質で作られており、平均 1 個 1g として 1000 個で合計 1kg、流星の射出装置は時計仕掛けの銃かもしれない。ある時は水平に、ある時は斜方向に定刻に流星弾丸が発射される。地上では流星として出現する状態を定量化できる位置に、複数の観測装置を配置しよう。

人工衛星が日本の上空に来た時、所定の時刻/方向に流星銃が発射される。0.1g から 10g まで、鉄、カルシウム、マンガン、アルミニウム……最後は金の流れ星も作ってみたい。地上では方向や速さ、明るさやスペクトル、電波雑音等が観測される。ひょっとしたら流星塵が回収できるかもしれない。物理的初期値や化学組成がわかった流れ星のデータは、世界で初めてのデータとして天然の流れ星の解析にも役立つ。流れ星が流れる場所と時刻が決まっているから、観測も失敗はない。実験日時は西暦 2002 年 7 月 7 日、七夕にしよう。たくさんの人(人工の実験としては多分世界一)がこのスペクタクルを楽しむだろう。

3 これから

楽しい実験ではあろうが難しい点もあろう。人工衛星から銃を発射しつつ衛星の姿勢を制御しなければならない。スターウォーズと幌馬車映画の矛盾のない合作が必要である。しかし、このくらいの技術は日本の宇宙技術からしてなんてことはなかろう。費用も小惑星帯に探査に出かける数分の 1 かもしれない。作ってみませんか！流れ星を

(名古屋大学理学研究科地球惑星理学専攻)

長沢工さん（国立天文台・広報普及室）からのコメント

名古屋大学、田中氏による人工流れ星の提案はたいへんユニークで面白い。実験的に流れ星を作って観測することは、流星の発光物理学の立場からもたいへん歓迎される。できることなら、ぜひ実現してもらいたい。実をいうと、人工的に流れ星を作って観測するアイデアはこれが初めてではない。NASA とスミソニアン天体物理研究所は、1962 年から 1967 年にかけて、7 回ロケットを打ち上げ、数 g の鉄、ニッケル、ステンレスなどによる 10 個の人工流星を打ち出して、さまざまな観測をおこなっている。

当時からみて、流星発光を物理、化学的に解釈する立場は大きく進んでいる。過去に実験したとしても、新しい立場で再び人工流れ星を観測することはたいへん有意義であろう。問題は流れ星の速度である。上記の実験では最大で 16.4km/s にしか達しなかった。現実の流星は、ほとんどが 35~70km/s の速度をもつ。10km/s 台の実験結果をそこまで延長して適用するのは、いささか問題がありすぎる。実験では最低 30km/s がほしい。しかし、それだけの速度を作り出すことは容易ではない。これが実験の最大の問題点であるように私には思われる。

現実の流星の発光は、飛行中に流星がしだいに破碎するフラグメンテーションの影響を大きく受けている。人工流れ星の実験ができるなら、何らかの形で、破碎の影響を含めた実験をしてほしいものである。

* * * * *

長沢工さんからのコメントについての補足（田中剛）

長沢さんからのコメントを有り難く拝見いたしました。まずは NASA がそんな実験をしていたとはつゆ知りませんでした。どんな方法で実験をしたのか／どんな結果が得られたのか知りたいところです。とくに興味があるのは 16.4km/s ものスピードをどうやって得たかについてです。当時はまだ月にも行ってない時で、相当遠方から物を撃ちおろさないとこれだけの速度は得られそうになく、どんな手法を使ったか興味があります。

もう一つの興味は流れ星の本当の大気突入速度にあります。私が先の記事に十数 km/秒の速度での実験と書いたのは、私のように地学に近い者が良く読む隕石についての本、たとえば島誠さんの『隕石の科学』（玉川選書）は 10~20km、Mason の『Meteorites』（John Wiley and Son）には（実測でなく計算値）12~70km、Heide & Wlotzka の『METEORITES』（Springer）には実測値として 15km 前後の記述があったからです（これらはいずれも光りはじめる大気突入速度であり、地上落下速度ではない）。これは、隕石学と天文学で違いがあるのかと考え、『現代天文学辞典』（荒木駿馬、恒星社）を見ると、流星には緩行と急速があり、実測値として後者が平均 66km/秒、前者が平均 27km/秒、McGraw-Hill の『Encyclopedia of Astronomy』には流星群の軌道速度と共に、観察される流星の平均速度は 18 マイル (30km)/秒と書かれています。興味があるのは文献による違いです。なぜでしょうか？ やはりまだまだ流星も調べる必要がありそうです。その結果、やはり 30~40km/秒の速度が必要となれば、これはもう、どこか遠くに観測に出かける探査機が地球近くに舞い戻った時に流れ星を打ち出してもらおうようにお願いするしかなさそうです。

論文抄録

火星隕石ALH84001は低温のまま放出された

Weiss, B.P., ほか6名, 2000, A low temperature transfer of ALH84001 from Mars to Earth. Science, 290, 791-795.

火星表面の物質が大衝突ではじき出されたとき、放出物は高温に熱せられると一般には考えられる。ところがALH84001に含まれる磁鉄鉱 (Fe_3O_4) と磁硫鉄鉱 (Fe_7S_8) の磁性から、これらの鉱物が温度条件の違いによって受けた変化を調べた結果、表面に近いごく一部を除いて、地球大気圏に突入する際もふくめて、 40°C 以上には熱せられなかったことがわかった。この温度では、大部分のバクテリアや真核生物も死滅させることはできない。このことは、隕石が惑星間における生命体の移動を可能にするという考えを支持する。 (K)

タギシ湖隕石は太陽系の原始物質の1つか

Brown, P.G., ほか21名, 2000, The fall, recovery, orbit, and composition of the Tagish Lake Meteorite: A new type of carbonaceous chondrite. Science, 290, 320-325.

2000年1月18日16:43 UT、カナダの北西からアラスカにかけて明るい火球（推定速度 16km/s ）が観測され、ブリティッシュコロンビアのタギシ湖氷原 ($59^\circ 42' \text{N}$ 、 $134^\circ 12' \text{W}$) に多数の隕石片が落下した。回収岩片は 2.3kg から 1g 以下の細片にわたり、突入前の質量は $2 \times 10^5\text{kg}$ あったと推定される。この天体の衝突前の軌道は、軌道半径 2.1AU 、近日点距離 0.89AU 、離心率 0.57 で、アポロ型近地球小惑星であることをしめす。酸素同位体の分析などからみて、CMコンドライトよりも水／岩石比が高く、CIコンドライトよりも低温 (0°C 近い) での水による変質を受けている。諸分析結果を総合すると、タギシ湖隕石はCIコンドライトのタイプ1よりも始源的で、炭素質コンドライトの新しいタイプといえるかもしれない。 (K)

タイタンの大気中で変転をくり返す雲

Griffith, C.A., Hall, J.L., and Geballe, T.R., 2000, Detection of diaily clouds on Titan. Science, 290, 509-512.

1999年9月、著者らはマウナケアのイギリス赤外線望遠鏡をもちいて、波長 $1.5 \sim 1.8\ \mu\text{m}$ 、 $1.8 \sim 2.4\ \mu\text{m}$ 、 $2.4 \sim 3.0\ \mu\text{m}$ で、土星最大の衛星タイタンの近赤外スペクトルを得た。その解析結果によると、この衛星の表面積の1%以下ながら、ひんぱんに生成・消滅するメタンの雲が存在することがわかる。この事実、タイタンの大気圏で対流運動がおこっていること、雲が短命なのはそれがメタンの雨として降っていることをしめす。タイタンの気象現象は、大気中のメタンが地球大気中の水蒸気のようにふるまい、メタンが凝結するときに生ずる大量の潜熱が、大気運動のエネルギーになっていると考えられる。 (K)

INFORMATION

●小惑星探査のミューゼス-C計画にいくつかの変更

日本の小惑星サンプルリターン計画として注目される、宇宙科学研究所のミューゼスC (MUSES-C) 計画 (本誌Vol.10, No.4, Dec.1998の藤原顕氏の解説参照) は、当初2002年7月打ち上げ予定で準備がすすめられていたが、打ち上げロケット (宇宙研のM-V型) の事情により、2002年12月の打ち上げに変更された。これにともない、探査目標の小惑星も当初の4660番ネレウスから10302番小惑星 (仮符号1998SF36) に変更になった。新標的のこの小惑星は1998年9月26日にLINEARプログラムで発見されたもの。近日点距離 0.95AU 、遠日点距離 1.70AU 、軌道傾斜角 1.6° のアポロ型近地球小惑星。直径 1km 程度と推定されている。一方、NASAがミューゼスCに搭載を予定していたナノローバー (重量約 1kg の手のひらサイズの探査車) も、開発予算 (2100万ドル) をオーバーして、結局NASAは11月3日に中止を決めた。ただし、NASAは探査車以外の面で宇宙研に協力する方針である。

●新たに発見された火星隕石

先に、サハラ砂漠北東部のリビアで2つの火星隕石（Dar al Gani 476と489）が発見されたことを紹介した（本誌Vol.11, No.2とNo.3参照）が、同じ地域から見つかったDar al Gani 670（重量1619g）とDar al Gani 735（重量588g）の2つが、さらに火星起源隕石であることが判明した。先の2つの隕石と性質がよく似ているので、これら4個の隕石は同一天体のものと考えられる。

これとは別に、ロシアの地質学者たちが、アラビア半島南部のオマーンのDhofar地域で、新たな火星隕石Dhofar 019（1065g）を発見したという。玄武岩質であるが溶融皮殻を欠くので、大気中で分裂した破片の1つだろうと思われる。この隕石をとり囲むように、1.9km離れてSayh al Uhaymir 005と008が昨年11月26日に発見された。2つの落下地点では、総重量9.9kgの5つの緑灰色の破片が見つかった。これで火星隕石は19個（4つのDar al Ganiを1つと数えれば16個）となった。（「Sky & Telescope」Sep. 2000のNewsnotesによる）

●月隕石にも新顔見つかる

今年3月初め、オマーンの砂漠で一对の新しい月隕石Dhofar 025（751g）とDhofar 026（148g）が発見された。月の高地から放出されたとみられる褐灰色の角礫岩。2つの組織や組成は異なっているが、同一物体の分裂片であることは否定できないという。また、Northwest Africa 032と名づけられた月隕石が、昨年10月モロッコで発見された。これは通常の月隕石と大きく異なり、岩石片の集合体ではなくて、玄武岩の単一岩片（海からの飛来物か）である。もう1つ、昨年11月にオマーンの砂漠で見つかったDhofar 081（174g）も、月起源隕石であることがわかった。こちらはいろいろが鉱物の組み合わせが特徴的。これで月隕石は17個となった。（「Sky & Telescope」Sep. & Dec. 2000のNewsnotesによる）

●火星のサンプルリターンミッションで仏米協力

フランスとアメリカは、火星サンプルリターンミッションの共同プログラムを、2001年末までに最終的にまとめる意向である。この計画では、2009、11、14年に予定されている各ミッションについてフランス宇宙局（CNES）がオービターと再突入機、NASAが打ち上げ、ランダー、ローバー、火星からの帰還機の製作を受け持つ。また、技術的問題の検討のために、2007年に仏米共同の予行ミッションを行うことにも同意した。この計画のためにCNESは、約30億フラン（4億ドル）の予算を計上している。

サンプルリターンミッションには、イタリアとESAも協力する。ESAは2003年に独自の火星探査機マーズエクスプレスを打ち上げる予定であるが、それとは別にこの計画に協力する。またフランスは、NASAが2001、2003、2005年に予定している火星探査にも、科学観測などの面で密接に協力していく予定である。（「Aviation Week & Space Technology」Nov.13, 2000による）

●第1回宇宙科学シンポジウム開催のお知らせ

昨年度までの科学衛星・宇宙観測シンポジウムを発展的に改組し、宇宙科学研究所の理学・工学全体にかかわる議論の場として“宇宙科学シンポジウム”が開催されることになりました。進行・開発中の衛星計画、将来の衛星計画、衛星共通技術・基盤技術、これまでの衛星によって得られた成果についての発表があります。

期 日：1月11日（木）10：15～19：00 12日（金）9：30～18：00

場 所：宇宙科学研究所（相模原市由野台3-1-1）A棟大会議室

連絡先：宇宙科学研究所研究協力課共同利用担当（電話042-759-8019）

編集後記：最近のJGR-PlanetではLunar Prospector、Mars Pathfinder、Galileo 探査の特集が組まれ、筆者の顔触れをみるとアポロ時代からの研究者もいれば新進気鋭の研究者もあり、米国の惑星地質学研究者の層の厚さをまざまざと見せつけられます。とはいえ日本でもこの10年、ようやくこの分野の研究者が育ちつつあり、彼らの今後の活躍に期待したいものです。よい年をお迎え下さい。（S）