

流れ星はどんな物質から生ずるのか

長沢 工 Ko NAGASAWA

1. はじめに

1998年、1999年と2年続けて「しし座流星群」の話題が世の中を賑わした。約33年周期で太陽に近づく母彗星のテンペル・タットル彗星(P/55 Tempel-Tuttle)が1998年3月に近日点を通り、その周囲に存在する流星物質の小粒子が、かなりの流星雨をもたらすと予想されたからであった。

1998年は日本での出現条件がよいという予想で、11月17日の夜から大勢の人がこの「しし座流星群」を見ようと、観測条件のよい場所を求めて車で移動を開始し、各地で交通が渋滞した。実際の出現ピーク時刻が予想より大幅に早まったために、流れ星はあまりたくさん出なかったが、それでも明るい流星がいくつも夜空を横切り、ふだんあまり流星を見ていない人を喜ばせた。18日の4時13分に非常に明るい流れ星が伊豆半島上空に出現し、関東一円で観測していた人の目を釘付けにした。これは、日本の観測史上、もっとも大勢の人が見た流れ星といわれている。それだけでなく、消滅後に永続痕といわれる光を残した。永続痕は明るい流星が見えたあとに稀に見られるもので、すぐに光が消えずに長時間光り続ける現象である。高空の風に流されて次第にその形を変えながら、拡散して光が薄れていく。永続痕の存在は、流星の専門家の間では周知のことであったが、一般にはほとんど知られていなかった。それが、このひとつの流れ星だけで、にわかに市民権を得た感じがあった。

翌1999年にはこの「しし座流星群」がヨーロッパで大出現をした。1時間5000個といわれる出現が数時間にわたって続いたのである。このときヨーロッパ上空を飛行した2機のNASAの航空機によって、その出現状況はつづさに捕らえられた。NHKのハイビジョン・カメラは、その出現をビデオで撮影し続けた。流星が大出現する様子をビデオで撮影したのは、全世界を通じてこれが初めてのことである。流星大出現の様子がどのようなものであるか、いまはこのビデオによって、誰でも見ることができる。

ここ2年続いた「しし座流星群」の出現によって、いまは、かなり多くの人流れ星に関心をもっている。2000年1月17日に国立天文台で開催された「レオニード流星群観測小研究会」は大勢の参加者で賑わった。しかし、しかしである。この熱気も「しし座流星群」が去るにつれて、同じようにしぼんでいくのではないかと、私はそんな気がしてならない。

「しし座流星群」は、このあと年々衰えていくと思われる。一方にアッシャー予測といわれるものがある。イギリスのアッシャー博士らの計算によると、2000年11月19日未明、「しし座流星群」が西太平洋、東アジア地域で、推定出現数1時間あたり数万個の大出現をする可能性が

あるというものである。私はここでアッシャー予測の正否を論じるつもりはなく、単にその説の存在を紹介するだけである。5 年、10 年スケールで見れば「しし座流星群」が衰えていくことは間違いない。そして、33 年後のつぎの回帰のときにはあまり大きな流星出現は見込めないというのが、いまのところ一致した見解である。流れ星について語るなら、ここ数年がヤマである。それを過ぎれば、ごく一部の人が興味を示さなくなるおそれがある。

2. 天文学から見た流れ星

過去の流れ星の研究は、どちらかという現象的、力学的な面に主体がおかれていた。流れ星はどうして出現するのか。流星群としてまとまって出現するのは何故か。どのくらいの速度で、太陽系内をどんな軌道で回っているのか、といった問題である。この方面からの研究によって、流れ星のよってきたる由縁はかなり明らかになった。ご存じの方も多いであろうから、ここではごく簡単に述べるだけとする。

まず、流星群成立について説明しよう。流れ星の本体は、もともと彗星核中に含まれる固体粒子である。ホイップルの雪玉モデルで代表されるように、彗星核は、これらの固体粒子を含んだ形で、いくつもの気化しやすいガスが氷結している集合体である。彗星が太陽に近づくと、彗星核表面のところどころから、氷の溶けたガスが噴き出す。これに伴って、氷の中に含まれている固体粒子も噴き出し、氷の束縛を離れ、自由になって太陽系空間に飛び出す。こうして生まれた固体粒子が流れ星の基になる流星物質である。

彗星核からの噴出速度はおよそ数 10m/s から数 100m/s 程度で、太陽系内を運動する彗星核の速度（数 10km/s）にくらべれば格段に小さい。そのため、噴き出した固体粒子はその彗星核の軌道からあまり大きく遠ざかることはなく、もとの彗星核を取り囲むようにして、その彗星（母彗星）の軌道に沿ってひろがり、太陽系内を運動する。その軌道を地球が横切るときに、それらの粒子が地球大気に突入して流星現象を起こす。地球が粒子密度の高いところを通過すれば、激しい流星雨となる。ざっとこんなところが流星群成立の筋書きである。

通常の流星群を生み出す母彗星は周期彗星である。周期彗星でない場合は、彗星が固体粒子を放出したとしても、1 回の近日点通過に対するものだけである。この場合は粒子の存在する場所が彗星核のごく近傍だけであるから、地球がその彗星に衝突すれすれのところにまで接近しない限り、その放出粒子による流れ星は見られない。ただし、彗星自体が放物線軌道であっても、彗星核から後ろ向けに、日心速度が小さくなるように放出された粒子群は、楕円軌道になって太陽を周回するはずである。この種の粒子群に地球が衝突すれば、母彗星のわからない突発流星群として観測されるにちがいない。

流星群は、ほとんど毎年出現する定常的な群（たとえばペルセウス座流星群）と、周期的に出現数の増減がある周期的な群（たとえばしし座流星群）とに、便宜的に分けられる。成立後、十分時間が経った古い流星群は、固体粒子が軌道全体に拡散するので定常群になるとよくいわれる。これは一面真実ではあるが、定常群が生まれるのは、単に成立年代の新旧だけで済むのではなく、軌道の大きさが敏感に影響する。ペルセウス座流星群のように軌道の大きい（したがって周期の長い）場合は、ちょっとした速度差で周期が大きく変わるので、比較的短時間で粒子は軌道全

体に広がり、定常群になりやすい。単純に古い、新しいだけで決まる問題ではない。

こうして成立した流星群は、その後惑星による摂動、相互衝突、ポインティング・ロバートソン効果などの影響を受けて、しだいに母彗星の軌道を離れる形で拡散する。はじめは短時間に多数の流星が集中して見えた流星群も、年月が経つにつれてしだいに流星数が減少し、出現期間が長くなる。そして、数1000年から数万年程度の時間が経過すると、もはや流星群として認識することは不可能になる。それぞれの粒子は、ランダムな分布で太陽を周回するようになり、地球に衝突するときは散在流星として観測される。ざっとこのような過程が、現在考えられている、天文学的、力学的に見た流星像である。

3. 物質としての流れ星、探査機以前の研究

それでは、このように流れ星となる固体粒子はいったいどんな物質であるのか。こういう疑問が生じるのはすこぶる当然のことであろう。彗星は、太陽系形成の初期に固結したと考えられているから、その中の固体粒子には、初期太陽系の情報が含まれているに違いない。この点からも興味は尽きない。しかし、この方面の研究は、どちらかというところかなり遅れていた。

同じ太陽系内の固体物質でも、彗星起源ではなく小惑星起源のものは、物質的研究がかなり進んでいる。それは小惑星の一部である隕石が地球に落下するので、直接手に取って研究できる有利さがあるからである。さらに、その母体である小惑星自体にもかなり探査の手が伸びている。探査機ニア・シューメーカーが周回しながらの接近観測によって、小惑星(433)エロスがもっとも普通のコンドライトであることが突き止められ、また地上からの可視、近赤外分光観測によって、小惑星(1459)マグニアがベスタと同様の玄武岩質小惑星であることが推定された。これらはすべて1999年から2000年にかけてのことである。日本もミューゼスC計画で探査機を小惑星(4660)ネレウスに向け、その物質を地球に持ち帰るサンプル・リターン計画を進めている。打ち上げは2002年、帰還は2006年の予定であり、成功すれば画期的な出来事になる。

これらに比べると、彗星起源の物質は研究が難しい。本来の立場からいうと、大気に入射する前にそれらの物質を直接に収集し研究することが望ましい。どのような鉱物組成であり、どんな元素から構成されているかがよくわかるに違いない。しかし、残念ながら、これを実行することはすこぶる困難である。速度が数10km/sにも達する粒子は莫大な運動エネルギーをもっている。これを停止させると、そのエネルギーが熱に変わり、物質自体が高温になって溶けてしまうからである。熱を放散させながらゆっくり減速させればよいとおっしゃるかもしれない。理屈はまさにその通りである。しかし、非常に薄い大気を緩衝物質として静止させても、光を発する程の高温になってしまう、それが流星現象なのである。

そのため、これまで取られてきた研究手段のひとつに、流れ星の発光後に残存する物質を採取する方法があった。具体的には、

(1) 地上、深海底などで、流星起源の物質といわれる「流星塵」を採取、研究する。

(2) 発光残存物を、ロケット、バルーン、航空機などによって高空で採取、研究する。

などである。ただしこの方法は、高温状態を経るため、はじめにもっていた情報のかなりの部分を失っている可能性が大きい。もうひとつの手段として、天文学者の得意な方法、つまり

(3) 発光のスペクトル解析から、流星物質を研究する。

こともおこなわれた。これらはいずれも探査機を使用せず、地球上でおこなうことができる研究である。それぞれの方法の特徴をざっと挙げておこう。

(1) で採取した物質は、直径数～数 10 μm 程度の、球形、楕円体形の粒子が主である。ガラス質、鉄質、ケイ酸質のものがある。高温で溶けた物質が、冷却し、自分の表面張力で丸くなって固まるためといわれている。その意味で、丸いこと自体が流星塵である証明と考えられていたのである。しかし、実をいうと、それだけでは真に宇宙起源であると断定することはできない。地球上で、人間の活動によって似たものができる可能性が大きいからである。

しかし、さまざまな努力によって、地球外起源を証明する方法がほぼ確立している。詳細は説明しきれないが、地上の鉱物に見られない特殊な鉱物組織（たとえばビュスタイト、 FeO ）があること、宇宙線生成核種を含むこと、地殻に比べてはるかに濃度の高い親鉄元素（ Ni 、 Co など）を含むこと、その他の検定で、なんとかその証明が可能になってきた。こうして地球外起源とわかった宇宙塵の分析がおこなわれている。

(2) は、主としてワシントン大学のブラウンリーが中心となっておこなってきた方法で、特に U-2 機を使って収集したものが有名である。ここでも本当に宇宙起源であることを特定するのに、なみなみならぬ努力が必要であった。しかし、その結果明らかになった宇宙物質は、？で得られている球形の宇宙塵とはあまり似たところのない、不定形、多孔質の粒子で、鉄質、石質のものであった。地球外起源のものではあっても、本当に流星現象の残存物であるかどうか不明ではない。このような粒子をブラウンリー粒子と呼ぶ（図 1）。その分析結果のひとつの例が表 1 に示すものである。しかし、ここからは、ひとことで特徴を言い表すことのできるような華々しい結果は報告されていない。

(3) は流星発光の際に現われるスペクトル輝線を解析するものである。この方法でなんとか求められるのは、せいぜいその元素組成と発光温度などである。スペクトル輝線から検出されている元素は Fe 、 Ca 、 Mg 、 Na 、 Si といったありふれたものが中心で、それらがどのように組み合わせたり、どんな鉱物を構成していたかを知ることはできない。それでも、最近の「しし座流星

表 1 . ブラウンリー粒子の分析結果（ Si に対する相対値）

元 素	試 料		炭素質コンドライト (タイプ 1)
	U2-13A1	U2-14A6	
Na	0.25	0.10	0.098
Mg	0.84	0.87	0.890
Al	0.11	0.12	0.099
S	0.86	0.28	0.53
Ca	0.11	0.10	0.10
Ti	0.006	—	0.005
Cr	0.023	0.025	0.019
Mn	0.030	0.024	0.017
Fe	2.97	2.12	1.72
Ni	0.15	0.11	0.091



図 1 . ブラウンリー粒子 横幅約 10 μm (NASA)

R. Ganapathy et al., 1979, Science, 206, 1075 から

群」に刺激されてか、流星分光を研究する学生が新たに出てきている。そこから、これまでにない研究の芽が萌え出してほしいものと願っている。

もうひとつ、考慮する必要があるものに、理論面からの研究がある。彗星の氷が太陽系創世の頃に固結したものであれば、そこに含まれる固体粒子の構成物質は、太陽組成比のガスが濃縮、冷却したときに生じる固体粒子で近似できるであろう。太陽組成比のガスの冷却過程についてはすでに詳細な研究がおこなわれている。そこでは、さまざまな複雑な過程を経て、硫酸塩、炭酸塩、炭素質化合物、フィロケイ酸塩などが晶出することが明らかにされている。こうして生ずる物質と観測で得た結果とに、どの程度の一致があり、どんな矛盾があるかは、注目すべき問題と思われる。

4. 探査機による研究

惑星間空間に探査機を送り出すことができる時代になり、惑星間固体物質の研究方法は大きく変わった。とにかく、ここでは固体粒子を直接に観測できる利点がある。ただし、現実には観測できるのは、マイクロメートルサイズの、ごく小さい、いわゆるダストに限られる。

初期には、主としてダストのフラックスを測る目的で、衝突回数を数える各種のカウンターが用いらただけであった。それが、しだいに物質としてのダストの研究も可能なタイプの観測装置に変わっていった。たとえば衝突の際に生ずるプラズマイオンの元素を特定する衝突プラズマ型カウンターなども用いられるようになった。

一方で、ダストが衝突した際に生ずるクレーターの研究も行われた。たとえば、アポロ宇宙船が月へ往復した後で、ダストが衝突して宇宙船の表面に生じたクレーターを探し、そこに付着した物質を調べる方法である。ジェミニ宇宙船では、クレーターを調べる目的で、特製の捕集板も使われた。しかし、この調査では、衝突物質が彗星起源であるかどうかを確定することはできない。

明るい彗星を見ると、しばしば二つに分かれた尾を見ることができる。太陽の反対側にほぼまっすぐに伸びるプラズマの尾と、やや曲がって伸びるダストの尾である。ダストの尾は、彗星核に含まれていた固体粒子が太陽の光圧で吹き流され、太陽光を反射して光っているものである。このダストの尾を構成する粒子はマイクロメートルサイズで、われわれの目に見える流れ星になるミリメートルサイズの粒子よりはずっと小さい。流れ星となる粒子と、ダストの尾となる粒子は、同種の物質で単にサイズが違うだけのものか、そこに何か本質的な差があるかは明らかではない。しかし、眼視流星となるような大きさの粒子は、流星群が大出現するような場合でさえも、一辺を100kmとする立方体内に1個以下というわずかな空間密度しかないので、確率的にも捕らえることが極端に難しい。直接観測できる粒子が事実上ダストに限られるのは、この理由による。こうなると、とにかくダストの粒子を調べることが彗星起源の固体粒子を調べる現実的な手段になる。

1985年から86年にかけてハレー彗星(1P/Halley)が回帰した際、彗星の放出するダストを直接観測する計画が実施された。彗星核に接近する探査機ジョットおよびベガ1号、2号にそれぞれ特製の質量分析機を搭載し、衝突してくるダストを直接に分析する方法である。この計画

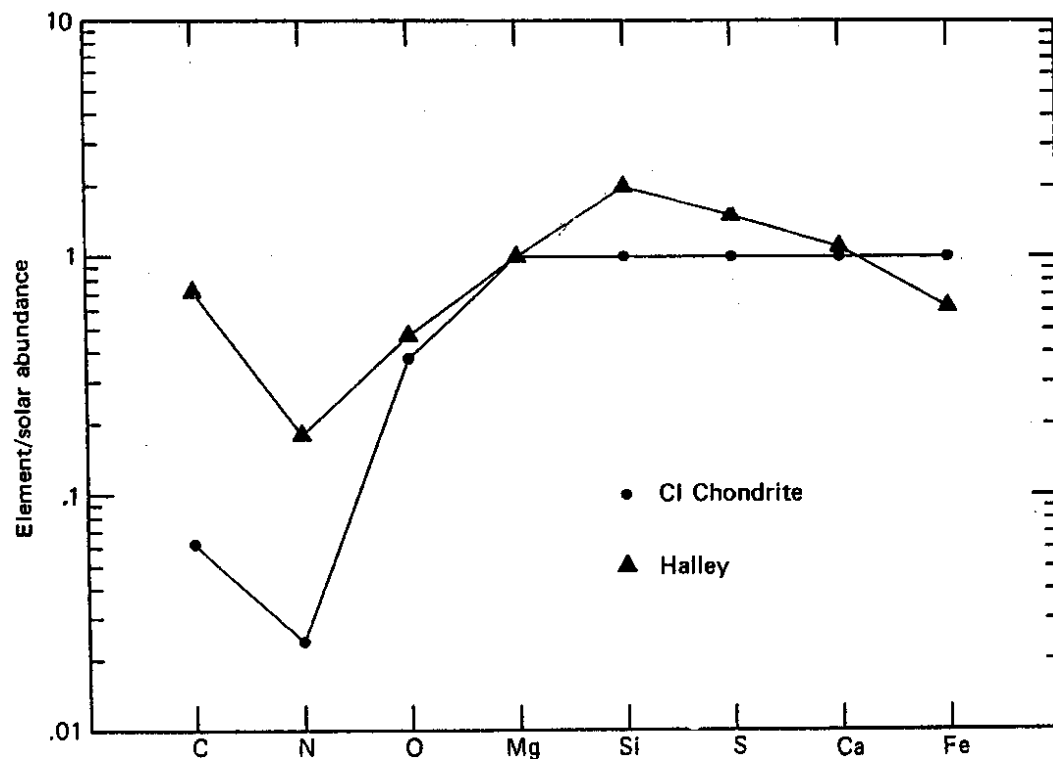


図2 . ハレー彗星ダストの組成 D.E. Brownlee and J. Kissel, 1990, The composition of dust particles in the environment of Comet Halley. in "Comet Halley, Investigations, Results, Interpretations" vol.2 から

は順調に進み、1986年3月6日および9日にベガ1号、2号がハレー彗星の核から8000～9000kmのところを通過し、3月14日にはジョットが核からわずか600kmのところを通過して、それぞれ歴史的な観測をおこなった。この観測による5000個のダストの平均元素組成を太陽組成と相対的に示したものが図2である。いまのところ、この結果が、もっとも直接的な流れ星の組成を示しているといえよう。

このときの観測結果は、大略つぎのように要約される。

(1) ダストの組成はCIコンドライトにかなり似ているが、炭素、窒素はかなり多い。

(2) 粒子個々の成分の差は大きい。約30%がC、H、O、N(チオンといわれる)だけの元素からなる粒子、約35パーセントがC、H、Nを含まないケイ酸塩、残りの約35%がCHONとケイ酸塩の混合したものであった。

(3) ハレー彗星ダスト中の炭素量は、重量比で約20%である。

他にもまだ、いろいろの結果が求められている。このような結果を見せ付けられると、さまざまな間接的な観測結果を苦労して整約するのが、なんとなくバカバカしくなってくる。

5. これからの展望

彗星起源の粒子を研究する立場として、つぎに目指すものは何であろうか。これは、何よりも、彗星から直接に採取したサンプルを地球に持ち帰り、それをさまざまな立場から分析することであろう。つまりサンプル・リターン計画である。

1999年2月に打ち上げられたNASAの探査機スターダストは、初の彗星サンプル・リターンを目標とする彗星探査機で、現在は順調に飛行しつつある。2004年にビルト第2彗星(81P/Wild2)に会合、そのコマの中を通過してダストとガスを採取し、2006年に地球に戻り、資料を入れたカプセルをパラシュートで地上に投下する予定になっている。今後も支障なく計画が進むことを期待したい。ただし、この計画が成功しても、そこで採取できるダストはせいぜい

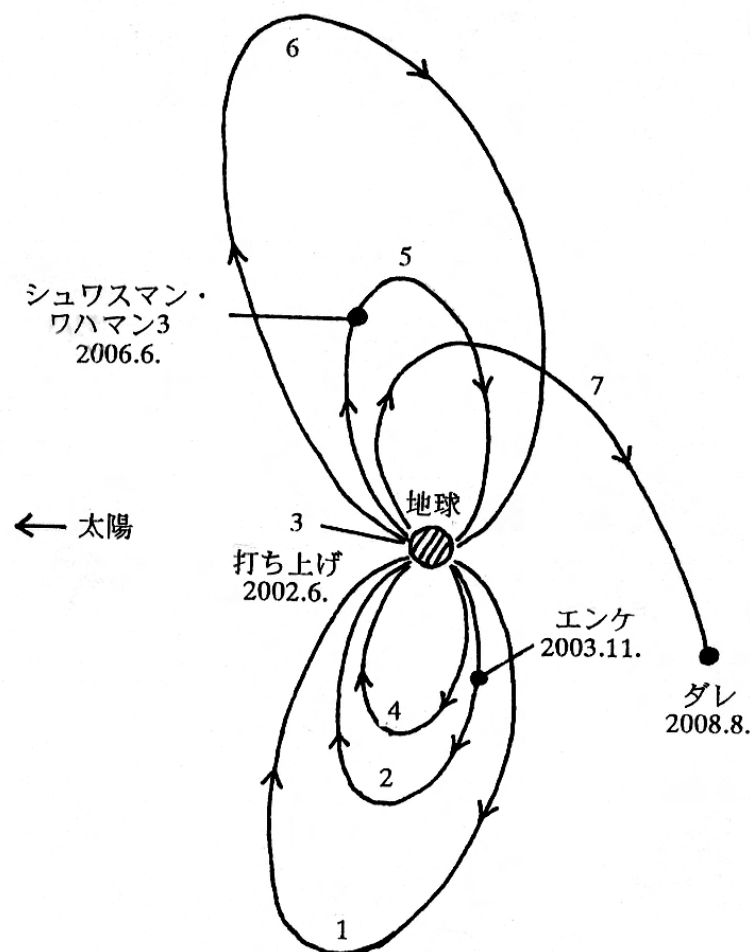


図3．探査機コンタワールの軌道
G.Taubes, 1999, The Art of the Orbit. Science, 283, 620 から

100 個程度、重量にして 0.03 グラム以下であらうといわれている。

同様の計画に、2002 年 6 月に打ち上げが予定されているコンタワール (Contour) 探査機がある。これは 2003 年にエンケ彗星 (2P/Encke)、2006 年にシュワスマン・ワハマン第 3 彗星 (73 P/Schwassmann-Wachmann 3)、2008 年にダレ彗星 (6P/d'Arrest) 3 個の彗星とのフライバイをおこなってから地球に戻る予定になっている。この計画では、フライバイを繰り返す巧みな軌道制御技術によって、安価にいくつもの彗星へ接近することが画られている (図 3)。

ただ、この方法で得ることができる資料は、ないより優ることは確かであるが、採取できるサンプルの量があまりにも少ない。探査方法としては、やはり探査機が彗星に着陸し、彗星核を直接に掘削して採取したかなりの量の

のサンプルを持ち帰ることが望まれる。そうすれば、眼視流星となるようなサイズの大きい固体粒子も含まれよう。ここまできて、やっと流れ星となる物質の直接研究ができる。

しかし、これを成し遂げるには、これから克服しなければならないさまざまな技術的問題がある。しかし、この種の計画は既に検討が始まっている。たとえば、ヨーロッパ宇宙機構 ESA が検討しているロゼッタ計画がその一つである。これは、2003 年 1 月に探査機を打ち上げ、ワータネン彗星 (46P/Wirtanen) に観測機を着陸させる予定のものである。このような探査を通じて、これからの 21 世紀、彗星に含まれる固体物質、つまり流れ星の物質の研究は、大きな花を開くことが期待されている。
(国立天文台天文情報公開センター広報普及室)

論文紹介

海で起こった衝突の証拠をさがす

Gersonde, R., and Deutsch, A., 2000, New field of impact research looks to the oceans. Eos, Vol.81, No.20 (May 16, 2000), 221, 223, 228.

現在地球上では約 165 の衝突構造が知られているが、そのうち、海の地域で形成されたことがわかっているのは 13% にすぎない。深海底で発見された 1 つの例を除くと、クレーターをつくるような海域衝突の大部分は、縁海や大陸棚のような浅い海でおこったものである (図 1、表 1)。

海での衝突は大陸上での衝突とちがって、巨大津波を発生させて海岸線に大きな被害をもたら

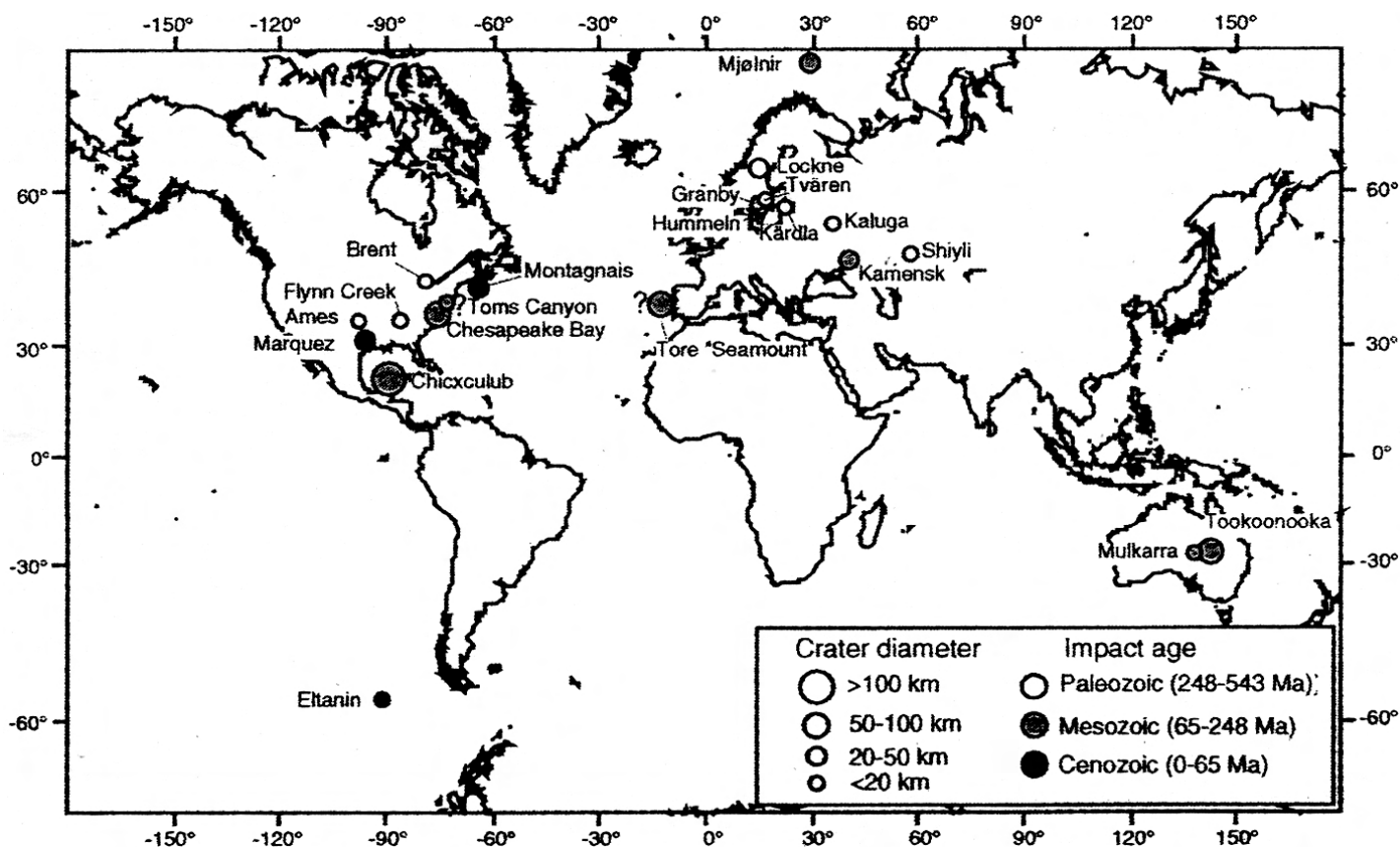


図1．現在知られている海の衝突構造の分布

したり、サンゴ礁を破壊したりする。大気中に放出された大量の水と塩分は、オゾン層の減少や地表の酸性化をおこし、地球全体のアルベドや温室効果にも影響をおよぼすだろう。かつて浅海でおこったチクシュループ衝突は、K-T境界における生物の大量絶滅をもたらした大異変をひきおこしたとされている。このときのバイオスフェアの大破壊は、食物連鎖をたち切った急激な気候変化などと結びついている。衝突で大気中に放出された大量の H_2O , CO_2 , SO_2 その他のガス、塵などが、はげしい気候変化をおこしたのだろう。しかし、このような大きな影響をもたらす海の衝突過程についての、われわれの知識はまだ限られたものである。

海域衝突の発見数が少ないことについては、プレート運動のために深海底の年齢が比較的若いこと、衝突後の堆積作用によって衝突の証拠が埋没していること、衝突天体が小さい場合には深海ほど減速や分裂がおこって証拠が残りにくいこと、そして海での衝突を調べるための探査計画がこれまでなかったこと、などに原因があると考えられる。海洋底の比較的若い年代からみると、現在の海洋では、期待される衝突構造は、直径 100km 以上のもので 1 つ、100 ~ 50km のもので 10、50 ~ 30km のもので 30 くらいと見積もられる。

現在までのところ、深海での衝突構造を調べる鍵となる場所は、水深 5000 m のベリングスハウゼン海にある鮮新世後期 (2.15Ma) のエルタニン衝突地点で、これは深海底における唯一の衝突記録である (エルタニン衝突の詳細については、本誌 Vol.10, No.1, March 1998, p6-8 の論文紹介を参照されたい)。エルタニン衝突の証拠は、主として海底堆積物中のイリジウム (Ir) 異常から見出され、クレーターそのものは見つかっていない。しかし、いろいろな観察から衝突天体の大きさは直径 1 ~ 4km の範囲と判断され、少なくとも 100Gt TNT オーダーのエネルギーが放出されたとみられる。直径 1km 大の小惑星の衝突ひん度から考えると、エルタニン規模の衝突の痕跡は、世界中の海で 80 くらいは存在するかもしれない。エルタニン衝突地域から得ら

表1. 海の衝突構造一覧

Name	Target Water Depth [km]	Locality	Diameter of the Structure [km]	Age* [Ma]
Deep Ocean Impacts				
Ellanin	ca. 5000	?north of San Martin Seamounts ca. 57°S, 91°W	no cratering observed	2.15
Shallow Water Impacts				
Chesapeake Bay	200-500	37°16'N, 76°0.7'W	85	35.5
Shiyli	ca. 300	49°10'N, 57°51'E	3.2	45
Montagnais	<600	42°53'N, 64°13'W	45	50.5
Marquez	shallow	31°17'N, 96°18'W	22	58
Kamensk	100-200	48°20'N, 40°15'E	38	65
Chicxculub	100-200	21°20'N, 89°30'W	180	65
Mulkarra	very shallow	27°51'S, 138°55'E	17	105
Tookoonooka	parallel	27°07'S, 142°50'E	55-65	128
Mjolnir	300-500	73°45'N, 29°45'E	40	140
Flynn Creek	ca. 10	36°17'N, 85°40'W	3.8	360
Kaluga	7100-400	54°30'N, 36°15'E	15	380
Ames	10-50	36°15'N, 98°10'W	15	450-460
Brent	0-25	45°05'N, 78°20'W	4	453
Kårdla	25-75	57°00'N, 22°42'E	14	455
Lockne	>200	63°00'N, 14°48'E	24	455
Tvären	100-150	58°46'N, 17°25'E	2	457
Granby	50-100	58°25'N, 14° 56'E	3	465
Hummeln	25-75	57°22'N, 16°15'E	1.2	465
Potential Impact Structures				
Toms Canyon	200-500	39°08'N, 72°51'W	15	735.5
Tore "Seamount"	deep sea	39°30'N, 13°W	122 (long), 86 (wide)*	91

* for some of age data, precision is less than 10% rel.

れた地質学的・地震学的データと、それにもとづくモデル作りは、他の場所で深海衝突の証拠を見つけるための指標として役立つだろう。

海底における衝突の影響について最近なされた数値シミュレーションによると、水深/衝突天体の直径 (h/d) 比が5をこえた場合、海底ではクレーターが形成されず、 h/d が25よりも大きいと、海底には影響がないことがしめされた (N. Artemieva and V. Shuvalov, 1999)。このことは、エルタニン衝突天体の直径が約1kmであるという見積もりと調和的である。

1997年にD. Crawfordは、エルタニン衝突と同規模の彗星衝突が海でおこった場合のシミュレーションをおこなった。それによると300~500km³の海水が蒸発して大気圏上層に超高速で放出されるが、グローバルな規模で上層にまい上がった水蒸気や塩分、塵が、どのような気候変化をひきおこすかについては、まだよくわからないことが多い。また、B.A. Klumov (1999)によるオゾン層じょう乱のシミュレーションでは、衝突地点から直径数千kmの範囲でオゾン層の変動(オゾン濃度が50%低下)がおこったが、この変動の持続時間は下部成層圏で数年、上部成層圏で数日にすぎなかった。

海での衝突によって発生する津波も大きな脅威であるが、その規模や伝播についてのモデル化にはまだ多くの問題がある。エルタニン小惑星の直径を4kmとしてシミュレーションをおこなっ

た C.L. Mader (1998) のモデルでは、津波は太平洋をとりまく海岸線にかなりの影響をあたえ、北太平洋沿岸では 19 時間後に高さ 8 m の波として到着したという。しかし一方で S.N. Ward and E. Asphung (2000) は、Mader よりも 1 けた大きな波の高さを求めている。いずれにしても、エルタニン規模の海洋衝突が現代におこったならば、環太平洋地域は甚大な被害をうけることになるだろう。

図 1 と表 1 にしめされた衝突構造のほとんどは、衝突後に形成された厚い堆積物に埋もれている。したがってこれらを調査研究するためには、地球物理的探査やボーリング掘削などにたよる他ない。この観点から、現在進行中の International Continental Drilling Program (ICDP) では、チクシュループの掘削 (Chixculub Scientific Drilling Project, CSDP) が計画され、2000 年に開始予定である。また、観測船ポーラスターン号によるエルタニン衝突地点への第 2 回探査航海が、2001 年 2 月 24 日～4 月 12 日に計画されている。その成果は、2003 年以降に予定されている Integrated Ocean Drilling Program (IODP) で、他の衝突地点の掘削をおこなうのに役立つだろう。

さらに、ポルトガル沖 300km にある Tore Seamount の探査も 2000 年夏に実施される。この海山は高さ 2000 m に達する急斜面でかこまれた水深 5000 m の中央凹地をもつ独特な地形をなし、深海の衝突構造と考えられてきたものである。ポルトガルの海岸にみられる Cenomanian-Truronian 境界堆積物 (白亜紀後期、92Ma) には、Tore 衝突に関する放出物や津波堆積物が含まれているとも考えられている。

本論文の著者 Rainer Gersonde はドイツのアルフレッド・ウェゲナー研究所、Alexander Deutch はミュンスター大学惑星科学研究所に所属する科学者。1999 年 4 月 15 日～17 日ウェゲナー研究所で開かれたワークショップで発表された海洋衝突にかんする論文は、「Reports on Polar Research」Vol.343, 1999 に掲載されている由である。 (小森長生)

論文抄録

アポロ試料ガラス小球のアルゴン同位体年代決定に基づく月衝突履歴の改訂

Culler, T. S. et al., 2000, Lunar impact history from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of glass spherules. Science 287, 1785-1788.

現在普及している月の衝突履歴はアポロ月試料の年代測定とクレーター年代学とを突き合わせた、月累積クレーター密度曲線 (BVSP: Basaltic Volcanism Study Project, 1981) である。これをガラス小球の固化年代に基づいて改訂した。そのガラスは月表面での微小衝突で生じたメルトで、時間分解能が高い。また、アルゴン-アルゴン法で精度良く年代が決められる。その結果、BVSP の時間精度を上げ、4 億年前の衝突フラックス増加が新たに認められた。カンブリア紀の急激な地球生命進化と同時期で、その相関は非常に興味深い。 (出村裕英 = D)

火星の地下水が浸出した証拠

Malin, M.C., and K.S. Edgett, 2000, Evidence for recent groundwater seepage and surface runoff on Mars. Science, 288, 2330-2335.

マーズグローバルサーベイヤーが撮影した高解像度画像から、火星で地下水が浸出し浸食したことをしめす若い地形が発見された。その多くは南半球の中～高緯度のクレーター内壁などに存在し、崖の数百 m 下から液体の水があふれ出してできたと考えられる馬蹄形の谷頭状凹地、そこから下方にのびる

チャネル、浸食物質を堆積させたエプロン状地形がみられる。これらの地形はきわめて新鮮で地質学的に若く、形成年代は古くとも 100 万年前、あるいは“昨日”のことであるかもしれない。こうした地形の多くは、極側に面した陽当たりのわるい寒冷な斜面にみられることから、地下水をせき止めていた氷のバリアーが、帯水層の圧力の増大などで破れ、液体の水があふれ出たのではないかと著者はいうが、これには反論もあるようだ。 (K)

ハフニウム - ネオジウム同位体組成から明らかになった初期地球マントル攪拌の痕跡
Albarede, F. et al., 2000, Hf-Nd isotope evidence for a transient dynamic regime in the early terrestrial mantle. *Nature* 404, 488-490.

マントル組成を反映している玄武岩について、地球・月・火星の値を比較した。ルテニウム - ハフニウム (Lu-Hf) 系とサマリウム - ネオジウム (Sm-Nd) 系の同位体組成について、地球ではグリーンランド・イスア (38 億年前) の試料を測定し、月ではアポロ試料、火星では SNC 隕石の値を採用した。その結果、現在の地球マントルは同位体組成からみて均質だが、38 億年前当時は不均質だったことがわかった。マントル対流が地球ほど活発ではないとされる月・火星の値も極端にばらつき、同じ傾向を示す。一方、27 億年前の地球玄武岩の値は一定値を示すので、太古代 (Archean: 先カンブリア代を三分した中期、45-25 億年前) の終わりまでに活発なマントル対流で均質化したことが示唆される。 (D)

マーズオービターカメラによるフォボスのレゴリスと放出岩塊調査

P.C. Thomas 他7名, 2000, Phobos, :Regolith and ejecta blocks investigated with Mars Orbiter Camera images. *Jour. Geophys. Res.*, 105, E6, 15091-15106.

マーズグローバルサーベイヤーによるフォボスへの4回のフライバイによって、フォボス最大のクレーター Stickney とその周辺の高分解能画像 (2~7 m) が得られた。最大径 85 m を初めとする 2000 個以上の岩塊が分布し、その大部分は、フォボスの速い自転によって東側に広がった Stickney からの低速度放出岩塊である。これらの岩塊は、わずか数mしか埋もれていないようである。いっぽう Stickney 東側のレゴリス層の厚さは数十mに達し、この厚さは Stickney や現在表面に分布するクレーターから供給されたとするには厚すぎる。これらのレゴリスを供給した多数のクレーターは、浸食・堆積によってもはや認められないレベルに達しているらしい。 (S)



図 マーズオービターカメラがとらえた Stickney 周辺部。分解能 4 m で岩塊や転動の跡が見える。写真の横幅は 8km。

流星の月衝突を光学的に検知

Ortiz, J.L. et al., 2000, Optical detection of meteoroidal impacts on the Moon. Nature, 405, 921-923.

月への微小衝突は検知可能な閃光を生じるはずだが、はっきりと記録できるほど大きいものは稀なためか、これまで信頼できる確認例はなかった。1999 年 11 月 18 日の獅子座流星雨のフラックス推定から、月の夜側で閃光が観測できるかもしれないと言われていた。それを、他の三観測者と共に検知・確認した。同様の衝突閃光は 1999 年 7 月 16 日にも観測されている。これらは全て 0.02 秒以下の極めて短い発光時間で、高速衝突を示唆している。 (D)

INFORMATION

● NASAの2003年火星探査計画決まる

前号のこの欄でふれた、NASA の 2003 年における火星探査計画が本決まりとなった。それによると、2003 年にはローバーを搭載した探査機が 2 機打ち上げられる。1 号は 2003 年 5 月 22 日、2 号は同年 6 月 4 日に打ち上げ、火星着陸は 1 号が 2004 年 1 月 2 日、2 号が同年 1 月 20 日の予定である。ローバーはゴルフカートくらいの大きさで、先にマーズパスファインダーが送り込んだソジャーナより大きく、性能もずっとグレードアップされる。この 2 つのミッションにかかる費用をあわせて約 6 億ドルで、失敗したクライメットオービターとポララーランダー 2 機分 3 億ドルの倍額であるが、これは昔の豪華主義にもどったものでは決してなく、先の失敗の教訓から “ faster, better, cheaper ” を極限にまで高めたものであるという。なお着陸地点の選定は、目下火星周回中のマーズグローバルサーベイヤーが得た画像を参考にこれから検討される。 (Nature, 406 (17 Aug.2000) , 666 などによる)

● 第8回CMO惑星観測者会懇談会

2001年の火星接近に向けて観測のための情報交換が行われます。詳細は下記の村上氏へお問い合わせ下さい。

日 時：9月15日（祭）・16日（土）・17日（日）

場 所：神奈川県立青少年センター会議場（最寄り駅は桜木町）

問い合わせ先：村上昌己（〒252-0804 藤沢市湘南台5-1-1 TEL:0466-45-6766 FAX:0466-42-4407

E-mail: cmo@mars.dti.ne.jp）

● 日本惑星科学会秋期講演会のお知らせ

日 時：10月31日（火）～11月2日（木）

場 所：工業技術院 筑波研究センター 共用講堂

参加費：正会員 1500 円、学生会員 1000 円、非会員 2000 円

関連イベント：11月1日午後 シンポジウム「今後の 20 年程度のタイムスケールでの月惑星探査戦略」、講演会「将来の月探査計画」（講演者：西田篤弘・狼嘉彰）

11月2日午後 筑波宇宙センター見学

ホームページ：<http://hope.tkac.nasda.go.jp/JSPS2000/>

問い合わせ先：宇宙開発事業団月利用推進研究室 春山純一（TEL:0298-52-2406、FAX:0298-52-2247、E-mail:JSPS2000@hope.tksa.nasda.go.jp）

編集後記：本号では長沢工、出村裕英の両氏から興味深い原稿をいただきました。ご協力をあつくお礼申し上げます。近年、太陽系の小天体・微小天体が大きく注目されはじめました。太陽系の本当の姿とおいたちを解明するために、これら小さな仲間たちの情報は欠かせません。これからも積極的にとりあげていきたいと思っております。 (K)