

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

オーストラリア中央部の隕石クレーターを訪ねて

篠田 皎 Akira SHINODA

1. はじめに

オーストラリアは地殻が安定しているうえに、大部分が乾燥した平原ですから、隕石クレーターやその痕跡（アストロブレム）が多いので有名です。特にその中央部に位置するアリススプリングス（Alice Springs）は、日帰りできる範囲内に3か所もクレーターがある珍しい町です。

2002年6～7月、木下正雄（日本流星研究会）、安部亮介（益富地学会館）の両氏と共に同地を訪れて来ましたので近況を報告いたします。主に案内書として使ったのは、Paul Hodge「Meteorite craters and impact structures of the Earth」(Cambridge Univ. Press, 1994)で、ほかに川上紳一「オーストラリアにインパクト クレーターを訪ねて」（惑星地質ニュース、Vol.3, No.1, 1991年3月）や、白尾元理「火山とクレーターを旅する」（地人書館、2002）なども参考にしました。

アリススプリングスは、大陸を南北に横断するスチュアートハイウェイ（Stuart Hw. ハイウェイといっても幹線道路の意味で、無料です）がマクドネル山脈（Macdonnell Ra.）の切れ目を通る所にできた町で、空港等もある交通の要衝です。

周辺は亜熱帯性の草原で、地肌はレンガ色をしたラテライト質の土壌です。少し湿った所、特に雨が降った時だけ水が流れるような涸れ川（現地の地図にはCreekと表記）沿いには木も生えていますが、他は藪や草むらになっています。植物はすべてカサカサした感じで、棘があるものも少なくありません。

乾燥地帯ですから安定した水場がないと人家も集落もできません。幹線道路沿いでもガソリンの補給や自動車の修理ができる場所は100kmに1つと考えてください。少し脇道に出るとたちまち未舗装の悪路に変わりますから、四輪駆動車を手配されることをお勧めします。シートベルトもお忘れなく（罰金は免許証不携帯より重いそうです）。日本では想像もつかないほど空気が透明で日射が強く、昼夜の温度差は30℃に達しますから、服装や水分補給にも工夫が必要です。小さなハエも非常に多いので、神経質な方は網か虫除けスプレーを用意したほうがよいでしょう。

表1 3つの隕石クレーターの位置と性質など

名 称	ボックスホール Box hole	ゴッセスブラフ Gosses Bluff (Tnorala)	ヘンブリー Henbury
南緯・東経	22° 37' ・135° 12'	23° 50' ・132° 19'	24° 35' ・133° 09'
直 径	185m	22km	180X140m (最大)
深 さ	約10m	—	約10m (最大)
年 代	約5000年	1.4億年	約5000年
状 態	新 鮮	ほとんど侵食	新 鮮
隕石・その他	鉄 質	シャッターコーン	鉄 質・ガラス
備 考	私有地	アストロブレム・保護地	クレーター群（11個）・保護地

2. ヘンブリー隕石クレーター群

小規模なクレーターですが、古くから有名なうえ、町からも近いので、ちょっとした観光地になっています。

アリススプリングスからスチュアートハイウェイ沿いに 90km あまり南西に走ると右手に数軒の家が建っています。ここがスチュアートウェル (Stuart well) で、ガソリンスタンド、自動車修理場の他、ラクダ牧場や私達が利用したモーターもあります。さらに約 40km 走ると西に向かう未舗装の道が分かれており、「Meteorite craters / Kings canyon」の道標が立っています。右折して岩がゴツゴツした低い尾根を右手に見ながら 11km 進みますと、また「Meteorite craters」の道標が立っています。また右折して尾根の切れ目を通りぬけ、東に回りこんだ所がクレーター群を囲む柵の入口です (その間、約 5km)。柵は一辺 1km 余の長方形でしょうか。入口には駐車場、トイレ、案内の表示板、あずまやなどが設置してありますが監視員はおらず、入場料もありません。柵は車や大型動物 (牛や野生化したラクダ) の侵入を防ぐためでしょう。

入口や内部の各所に立ててある表示板は、それなりに興味深いものです。しかし内容はいま一

息ですから、一応の予備知識を仕入れてから行くことをおすすめします。

クレーター群は尾根の北麓に、不規則ながら南南西から北北東に伸びて分布しています (長さ約 700 ~ 800m)。大型のクレーターが北北東に集中していることから考えると、隕石は南南西から飛来して空中爆発を起こした、と推定できます。小型の破片は質量のわりに空気抵抗が大きいのですぐ落下しますが、大型の破片は慣性力も大きいので飛行を続けるからです。

1931 年、初めてここを調査したオールダーマン (Alderman, A.R.) は 13 か所のクレーターを認めましたが、ホッジの本では No. 1、2、9 を誤認として削除、替

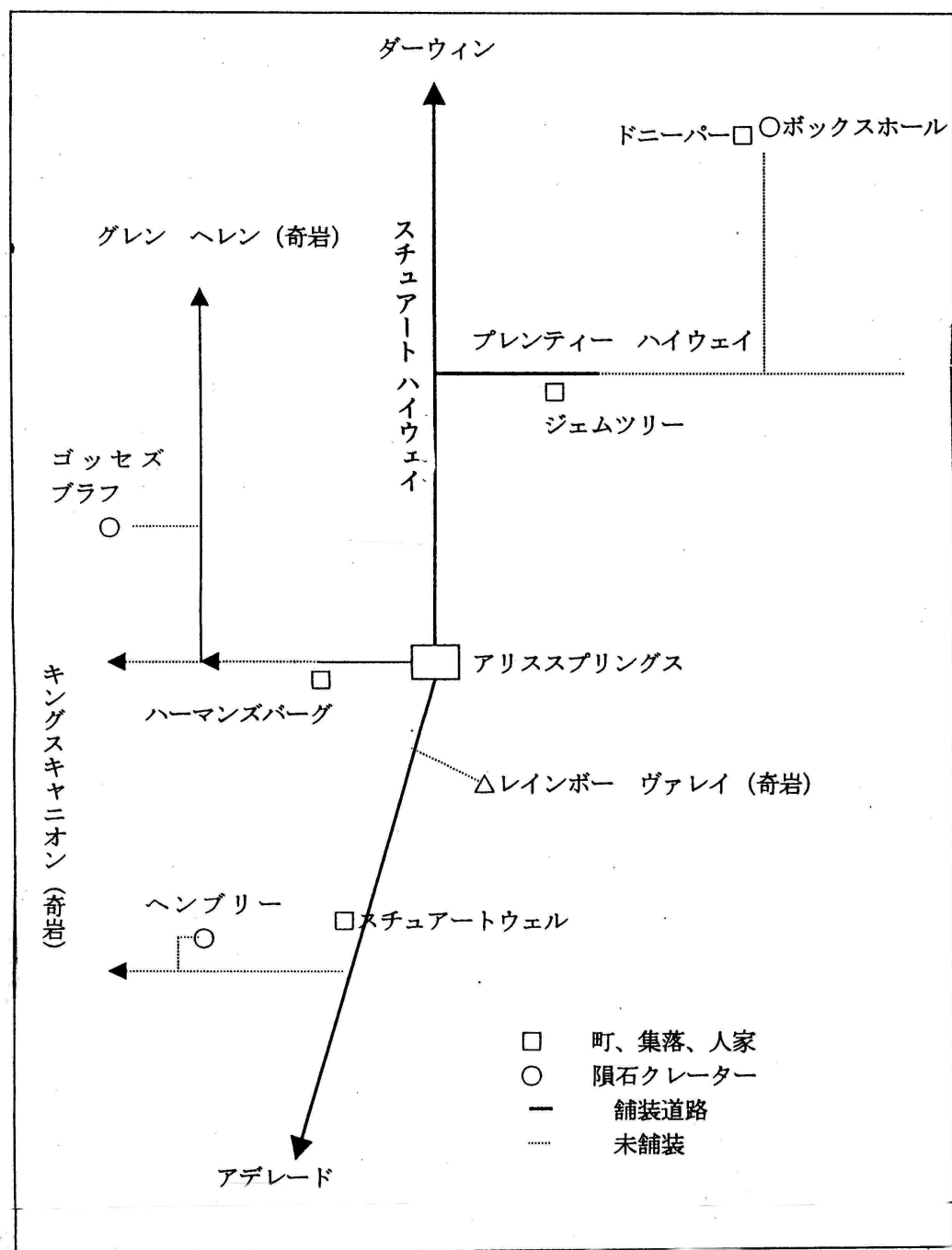


図1 3つの隕石クレーターの位置関係

わりにNo.4の東に4aを追加して、差し引き11か所を記載しています(図2)。

さて柵内に入りますと、すぐ道は2つに分かれます。左に行くと真直ぐ東に進んで主要クレーター群(No.6、7、8)をまわって引き返し、No.3の北側を通って分かれ道の所にもどってくるようになっています。左の道を少し行くと右手に表示板が立っており、風化・侵食のため見えなくなったクレーターがある、と書いてあります。しかしこの位置にクレーターはないはずですから、立てる場所を間違えたのでしょう(約100m南なら、オールダーマンのNo.1と2があるはずです)。

しばらく進むと正面に赤茶色をした地肌が現れ、かすかに盛り上がっており、右肩には緑の木立が顔をのぞかせています。足元にはラテライトの他に丸みを帯びた白色チャートなどの礫が転がっていますが、多分マクドネル山脈の方からフィンキ川(Finke R.)が運んで来たものでしょう。

ゆるやかな斜面を登ると、目の前に広がるのが最大のクレーターNo.7(Main crater)です。大きさは180×140m、深さは10mくらい、ひょうたん型をしており、2個のクレーターが合体したものだということがよくわかります。岩壁には激しく破碎された地層(原生代の黒っぽい砂岩や頁岩)が現れています。全体としては南に傾いた地層ですが、ていねいに見てゆけば、爆発のため直立・逆転した部分も観察できるはずです。

No.7の縁を回りながら反対側を見下ろすと、直径60～70mのクレーターが2個、目に入ります。東側にあるNo.8はすり鉢状ですが、南東縁が侵食されて低くなっており、外部の平原と連続しています。非常に乾燥しており、植物はほとんど生えていません。西隣のNo.6(Water crater)は尾根のほうから来た潤れ谷がつながっています。そのため雨が降ると水が流れ込むらしく、底は平坦で、草木が生い茂っています。遠くから見えていた木立はNo.6に生えていたものだったのです。

No.6を後にして出口にもどる途中、「目の前にクレーターがあっても気が付かないだろう」、と書いてある表示板が立っています。確かに何も見えませんから、道をそれて尾根のほうに向かいますとNo.3、さらに南にNo.4があります。いずれも直径60mくらいの漏斗状のクレーターで、周囲には角ばった礫が散在しており、ラテライトは目立ちません。底に生えている木の梢が頭を出しているのを目印にさがせばよいでしょう。

No.4の東側にある潤れ谷の少し広がった所が4aです。北のほうを見下ろすと、1か所だけ孤立した木立が目立ちます(他の木立は潤れ谷沿いに伸びている)。

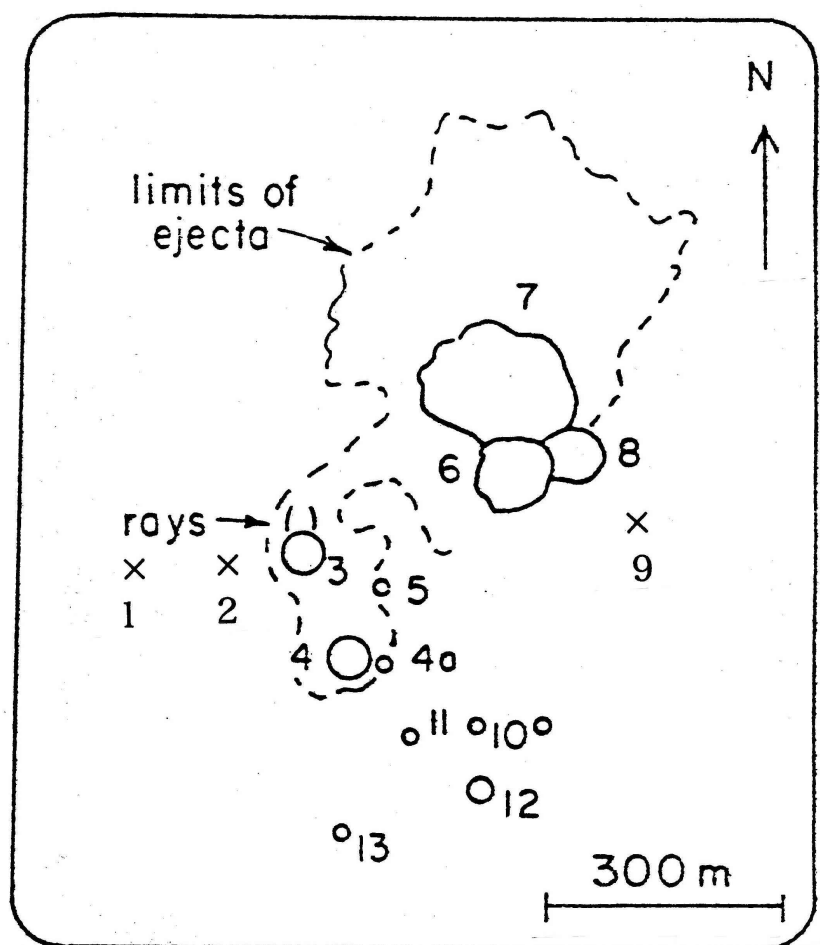


図2 ヘンブリークレーター群の小クレーターの配置



図3 ヘンブリークレーター群 (空撮)

Alex Bevan and John de Laeter 「Meteorites」
Smithsonian Institution
Press, 2002 より



図4 ゴッセスブラフ (空撮)

Paul Hodge 「Meteorite
craters and impact
structures of the Earth」
1994 より



図5 ゴッセスブラスのシャッターコーン

Alex Bevan and John de Laeter 「Meteorites」
Smithsonian Institution
Press, 2002 より

近寄って見ると平坦な草地（直径約 10m）を囲んだ木立です。これがNo. 5 です。No. 4 の近くにはNo. 10～13 の小クレーターもあるはずですが、私たちは見ておりません。

この地域では 1 トン以上もの鉄質隕石（Om III AB）や酸化物が採集されており、また落下・爆発の熱で現地の岩石が溶融してできた天然ガラス（Henbury glass）も有名です。今では保護地域になっていますから、一切の岩石や植物の採集・移動は禁止です。しかし地表を目で見て歩いた限りでは、隕石も天然ガラスも柵内にはまったく残っていません。

私たちも隕石搜索を試みることにしていたのですが、世界遺産に登録するとかで、保護地域が柵外にまで大幅に拡大されたらしいことがわかりました。でもその範囲がよくわからないので、柵から充分はなれた所で探すことにしました。まずクレーター南方の尾根で短時間、続いて東方の平原でかなりの時間をかけて金属探知機を振り回しましたが、反応したのは数片の針金や空き缶だけでした。常識的な範囲内の隕石は完全に取りつくされたように思えます。

しかし平野部の各所に、米粒～パチンコ玉大の丸みを帯びた黒い粒が散らばっているのを見つけました。金属探知機にはまったく反応しませんが、磁石にはくつつくものもあります。私が持参したフェライト磁石に反応しなくても他の二人が用意した強力磁石には付着するものや、礫の一端が磁石に着いても他の端に磁性がないものなどもあります。隕石に関係あるものか、乾燥地帯の特殊な風化の産物かはわかりかねます。

3. ゴッセズブラフ

オーストラリア内陸部は乾燥地帯特有の奇岩で有名です。エアーズ・ロックやマウント・オルガほど有名ではありませんが、アリススプリングス西方のミッシヨナリー平原（Missionary Pl.）にそびえ立つゴッセズブラフもすばらしい岩山です（別な意味で）。

アリススプリングスからキングスキャニオンに向かう舗装道路を、西に向かって 126km 走るとハーマンズバーグ（Hermannsburg）に着きます。フィンキ川東岸の教会を中心とする村で、ガソリンスタンドや食堂などもあり、20 世紀前半までの白人入植者が使った民具、地元画家の作品などが展示してあります。もしかすると宿泊できるかもしれません。

村を出て川を渡ると、道は未舗装の悪路に変わります。西に走ること 44km、突然右手に舗装道路が分かれ、「Glen Helen / Tnorala (Gosses Bluff)」の道標が立っています。ここで右折すると、ほどなく左に見えてくる岩山が目的地です。道標にしたがって脇道に入ると、曲がりくねった狭い谷底に突っ込みますが、急にポッカリ開けた盆地に出ます。遠くからは山頂が平坦なメサ（残丘）のように見えていましたが、実は直径約 5km の環状をした岩山だったのです（図 4）。

巨大な隕石（彗星核？）が衝突して直径が 22km もあるクレーター（阿蘇カルデラや南ドイツのリースクレーターとほぼ同じ大きさ）を作ったのは 1.4 億年前のことでした。大爆発を起こした瞬間、中心部の岩石は地下深くに押し込まれますが、多量の岩石が吹き飛んで凹地ができると、圧力が急減してドーム状に盛り上がってきます。

また激しい衝撃のため地層のつながり方がわからなくなるほど破碎され、岩石中にはシャッターコーンができます（図 5）。これは円錐状の割目で、その表面に細かい放射状の線条がついてい

るのが特徴です。常識的に考えると、硬くて緻密な岩石中に発達し、その頂点は爆心のほうに向くはずですが（Nature 誌 2002 年 7 月 18 日号にシャッターコーンに関する論文が出ています。本誌 Vol.14, No.3, Sept. 2002 の論文抄録参照）。

どんなに巨大なクレーターでも 1.4 億年もたつと根こそぎ侵食され、当時の地下 2km の深所にあったオルドビスーデボン紀の地層が顔を出してきました。ドーム状に盛り上がった地層のうち、特に硬くて侵食を受けにくい砂岩層だけが取り残されて、環状の山を作ったのです。もちろんクレーターの形とは直接の関係はありませんし、隕石も残っていません。

終点には駐車場、トイレ、休憩所その他、遊歩道などが整備してあります。車から降りて涸れ川をのぞくと、細かい線条のついた石片が目につきます。ソレッとばかりに溝の中に跳び込み、夢中になって転石を起こしながら西に進みました。少し落ち着いてくると、いろいろ興味深いものに気がつきます。少し厚い岩片に何重も平行な割れ目があり、割ってみると平行な線条が現れるものや、一つの岩片にソップを向いた線条がついているもの等々。

粗粒の角礫岩も見かけましたが、それにガラス片の混ざったスエヴァイトには気付きませんでした。各所に黒くてつやのある円礫が散らばっています。しかしスエヴァイト中のガラス片やテクタイトに関係したガラスとは思えません。金属探知機や磁石を用意していなかったのも、少しばかりアリススプリングスの宿に持ち帰り調べてみましたが、どちらにも反応しませんでした。やはり乾燥地帯の特殊な風化過程でできたものなのでしょうか。

西側の岩壁まで見てから休憩所に引き返しました。休憩所の中には、現地の地質やシャッターコーンの説明（ヘンブリー同様、今一息の水準）や、Tnorala にまつわるアボリジンの伝説を記した表示板が取り付けられてありました。それに「アボリジンの聖地で、保護地域につき……」、どうやら私達はトンデモナイことをしてしまったようです。

4. ボックスホール隕石クレーター

ボックスホールはアリススプリングスの北東にある単一の隕石クレーターで、ヘンブリー同様、数千年前に落下した Om III AB 型の鉄質隕石が作ったものです。そのため両者の間には何か関係があるのでは、と想像する人もいます（O.R. Norton 「Rocks from Space」 Mountain Press Publishing Co. 1994）。

このクレーターの訪問記は読んだことがないので、主にホッジの本だけを頼りに行動しました。もしかすると私たちはボックスホールを訪問した最初の日本人かもしれません。

アリススプリングスの町からスチュアートハイウェイを 69km 北上しますと（その間、南回帰線の記念碑あり）、舗装道路が右に分かれており、「Plenty Highway」の道標が立っています。東に折れて 69km 走ると右手に見えるのがジェムツリー（Gem Tree）。ここには水場があつて店やキャンプ場があり、敷地内から宝石（ガーネットやジルコンらしい）が採れるそうで、加工販売もしています。付近の丘陵には金の廃鉱が散在している様子ですから、別な意味でも興味深い地域といえるでしょう。

ほどなくハイウェイは未舗装の悪路に変わり、約 100km 走って「Dnieper」の道標で左折、

細い枝道を37km北に進むとドニーパーに着きます。家屋、倉庫、高いアンテナなどが集まっており、何となく生活の匂いがするので、何回も大声で呼んでみましたが、誰も返事しませんでした（帰途も同様）。

北方1kmの所にクレーターがあるはずですが、どう見ても私有地です。思い切って車を乗り入れ、わだちの跡をたどって藪をかき分け、小さい溝を越えるとちょっと開けた場所に出ました。目の前にはラテライトの斜面が広がっています。その赤茶色の坂を上りつめるとクレーターのへりに着きました。道標はありませんから、次に来る方のため詳しい座標を書いておきましょう。

南緯22°36'40"、東経135°11'45" (WGS84座標系)

東西に伸びた低い尾根の南斜面にあるクレーターで、直径は約200m、深さは10m強の見当です。岸壁には破碎された黒っぽい頁岩が露出しています。雨が降ると底は池のようになるらしく、細かい砂が堆積して平坦になっており、この地方としてはかなり大きな木も生えています。

1937年以来、周辺から鉄質隕石や酸化物が300kg以上採集されていますが、私たちが搜索した範囲内（主に南斜面）には一つも残っていませんでした。後でホッジの本を読み返しますと、酸化物は主に尾根の北側で見付かっているとのことでした。しかし今となっては残っている可能性は低いのではないかと思います。

5. 終わりに

アリススプリングスは小さな町ですが、石を扱っている店は少なくありません。しかし並んでいるのはオパールやピンクダイヤモンドばかりで、隕石やオーストラリア産テクタイトを展示している所は皆無でした。ただ非常に小さい店でたずねると、引き出しから小片を出してくれただけです。

また古い雑誌で、アリススプリングスの博物館にヘンブリー隕石の実物やクレーター群のパンフレットが置いてある、と読んだことがあります（大場与志男：「ヘンバリー隕石孔（オーストラリア）について」、天界1985年8月号）。町を走りながら注意していたのですが、それらしい博物館には気がつきませんでした。Cultural Precinct内に博物館があることを知ったのは帰国後のことです。今ではヘンブリー以外の資料も展示してあるかもしれません。

今回の旅行の収穫は、次の3点です。

- a) ヘンブリークレーター群周辺には隕石などはまったく残っていない。しかし東方の平野には磁性を帯びた円礫が散布している。
- b) ゴッセズブラフには多数のシャッターコーンが残っているが、保護地域になっており、採集は禁止である。また90年頃より道路事情は非常に改善されている。
- c) ボックスホールクレーターへの行き方とその精密な位置がわかった。現地は私有地である。隕石はまったく残っていないように思われる。

わが国には確実な隕石クレーターが未発見で、海外のものについても直接の情報が少ない現状を考えますと、私たちの経験も何かの参考になるかと思います。

（日本流星研究会・東亜天文学会）

論文紹介

タイタンに海は存在するか

Lorenz, R.D., Kraal, E., Asphaug, E., and Thomson, R.E., 2003, The Seas on Titan.
Eos, Vol.84, No.14 (8 April, 2003), 125, 131-132.

1997 年 10 月 15 日に打ち上げられた、NASA、ESA 共同ミッションの土星探査機「カッシーニ」は、金星 2 回、地球 1 回のスイングバイをへて、2000 年 12 月 30 日に木星をスイングバイし、目下土星をめざして飛行中である。土星到着予定は 2004 年 7 月 1 日で、あと 1 年後にせまった (図 1)。カッシーニは土星とその衛星群の意欲的な探査をおこなうが、そのなかで最も期待されているのが衛星タイタンの探査である。タイタンへは小型プローブ「ホイヘンス」を降ろし、大気や表面の様子をくわしく調べることになっている。タイタン表面には、液体の炭化水素の海があると考えられてきたが、本当に海は存在するのだろうか。本論は“海”を主題にした、地球とは異質な世界の考察である。

タイタンとはどんな天体か

タイタンは土星最大の衛星で、その半径 (2575km) は水星 (半径 2439km) よりも大きく、木星の衛星ガニメデ (半径 2631km) に次ぐ太陽系第 2 の大きさの衛星である。ただし、平均密度は 1.88g/cm^3 しかなく、岩石と氷がほぼ半々の天体だと考えられる。おそらく岩石は中心のコアに集中し、表面の固体部分は主として水の氷からなっているであろう。

タイタンは濃い大気をもつことでも有名である。大気の組成は地球に似て、窒素 (N_2) が主成分 (約 95%) であるが、化学的には還元的で、数%程度のメタン (CH_4) も含んでいる (表 1)。メ

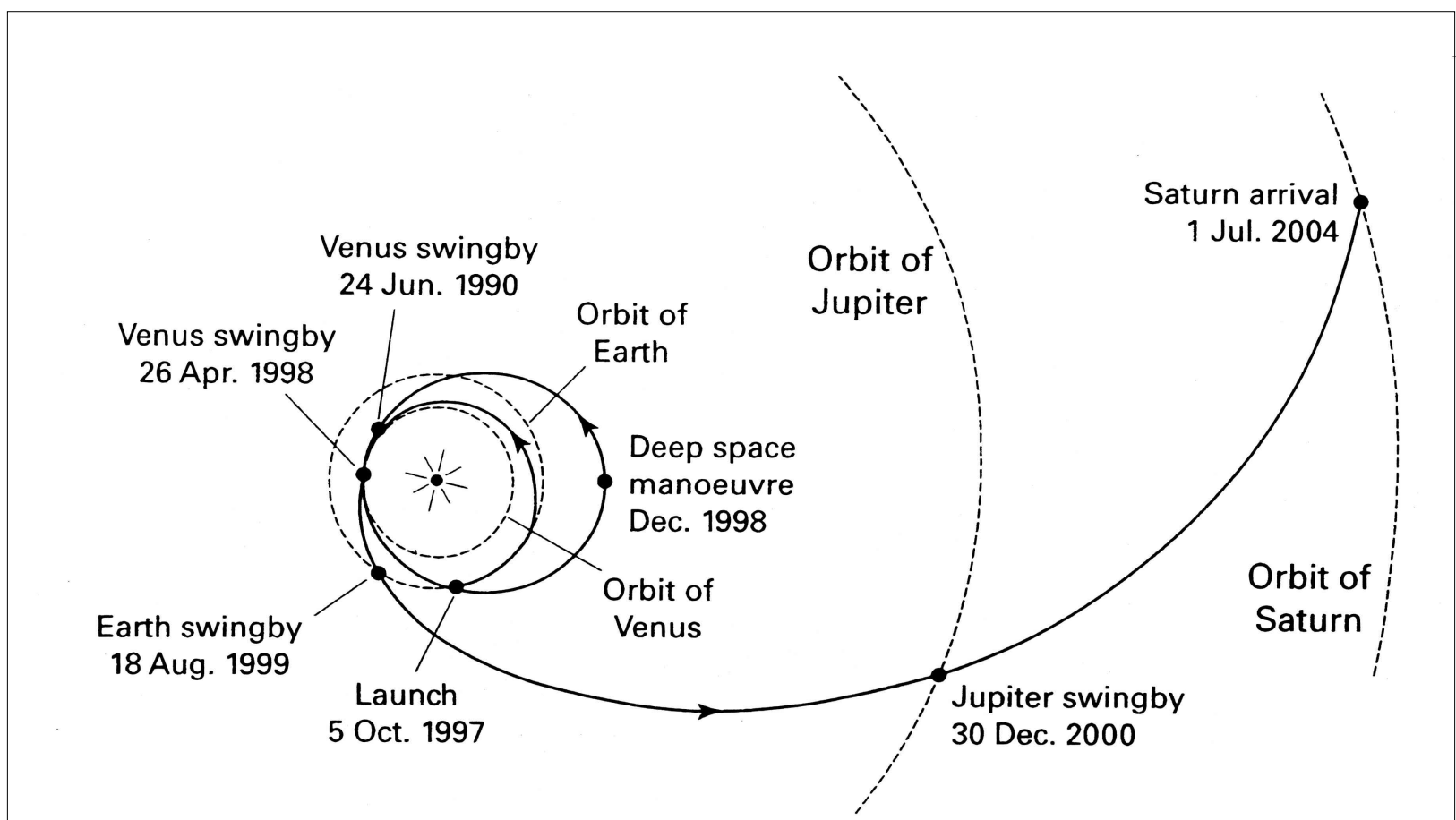


図 1 カッシーニ探査機の飛行経路 (Lorenz, R., and Mitton, J., 2002, Lifting Titan's Veil—Exploring the giant moon of Saturn. Cambridge Univ. Press より)

タンは地球大気中の水蒸気に似たふるまいを見せ、雲をつくり雨を降らすと考えられる。タイタンの太陽からの距離は、地球と太陽間の距離の 10 倍もあるので、その表面温度は 94K (−179℃) しかない。分厚い大気層の温室効果によって温められてはいるが、その反面、大気中に浮かぶもやの粒子によって太陽光の入射は妨げられ、一方赤外線はもやの粒子間を通り抜けて大気圏外に放射されるので、“核の冬” に似た反温室効果で冷やされてもいる。

1980 年にボイジャー 1 号が接近して撮影したタイタンの画像は、スモッグにおおわれたもので表面の様子は観察できなかった。これは、可視波長で不透明度が大きいためであるが、より長い波長域では不透明度が減少する。最近 10 年間にすすめられた、ハッブル宇宙望遠鏡や地上の大望遠鏡による近赤外観測によって、タイタン表面のなまの画像を得ることが可能になってきた。これらの画像には、液体の炭化水素の海を示しているかもしれない暗い地域が写し出されている。

液体炭化水素はどのように存在するか

1944 年、タイタンにメタンを含む大気が発見されて以来、科学者たちはタイタンの表面に液体の炭化水素が存在する可能性を考えてきた。タイタン大気中のメタンは、紫外線の光分解によって $10^6 \sim 10^7$ 年の間に破壊されていく。そこで、タイタンの歴史をとおして、大気中のメタンの

濃度に大きな変化がなかったとするならば、たえず大気中に新しいメタンが補なわれなくてはならない。その補給源として、タイタン表面にメタンのリザーバーが存在するのではないか、というのである。ボイジャー 1 号の観測結果によると、タイタンの表面温度はメタンの三重点の温度 (90.7K、−182.3℃) にかなり近いが、大気層の最下部でメタンは飽和していないだろうこと、したがってメタンの海は存在しそうもないこと、が示された。もっとも、地球では表面の 70% を海がおおっているにもかかわらず、地球の相対湿度は、全地球的にみて 100% をかなり下回っていることが知られているけれども。

表1 タイタンと地球の諸要素の比較 (原著の表を簡略化)

		タイタン	地球
<固体>	半 径 (km)	2575	6370
	表面重力 (m/s ²)	1.35	9.81
	自転周期 (s)	1.4×10^6 (15.9454日)	8.6×10^4 (0.9973日)
<大気>	組 成	~95%N ₂ , ~5%CH ₄	79%N ₂ , 20%O ₂
	表面温度 (K)	94	288
	表面気圧 (hPa)	1440	1013
	表面密度 (kg/m ³)	5.3	1.25
	音 速 (m/s)	~200	~330
	スケールハイト (km)	20	8
	平均風速 (m/s)	<0.5	~10
<海>	組 成	CH ₄ (C ₂ H ₆)	H ₂ O
	密 度 (kg/m ³)	450 (650)	1000
	音 速 (m/s)	1500 (2000)	~1500
	比 熱 (J/kg/K)	~2000	4200
	気化潜熱 (J/kg)	~ 5×10^5	2.9×10^6
	表面気圧下での沸点 (K)	115 (190)	373

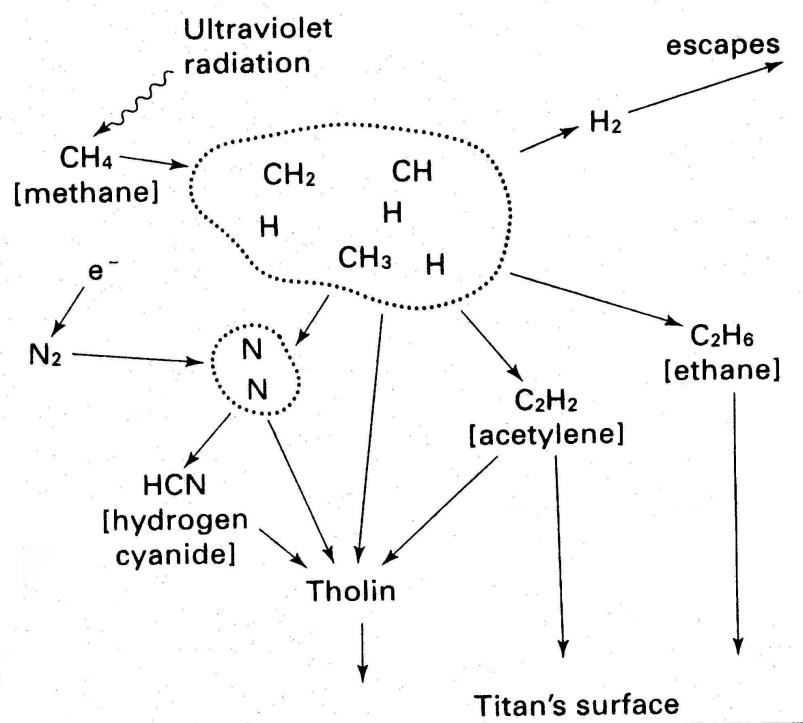


図2 タイタンの大気中でおこる光化学プロセス
(出典は図1に同じ)

このパラドックスにたいする1つの答えは、J.I. Lunine et al. (1983) によってもたらされた。それによると、メタンから光化学反応で生成したエタン (C₂H₆) は、タイタン表面の環境条件下では不揮発性の液体であり、メタンとはよく混合しうるので、エタンとメタンの混合物で海ができているとすれば、その上にある大気中のメタンの相対湿度は低いだろうという。

光化学反応のモデルによると、大気中のメタンは、時間とともに非可逆的にエタンに変えられていく (図2)。これが46億年間もつづいたならば、タイタンの表面を数100mの厚さでとりまくエタンが生成したはずである。これだけ大量

のエタンがつくられればメタンはかなり減少するが、その減少分は火山活動などによって、海と大気に補充されてきたのかもしれない。

P.H. Smith et al. (1996) によってつくられた、タイタンの新しい画像マップを見ると、かつて唱えられたようなグローバルな海は見あたらず、液体をたくわえた直径500kmほどの大きさの盆地 (おそらく衝突クレーター) が存在するものと判断される。実際このような地域はピッチのように暗黒で、液体炭化水素の集合体だろうと考えられる。

炭化水素の海に立つ波

タイタン大気の運動に寄与する太陽エネルギーは、地球の場合の1000分の1程度なので、タイタン上で吹く風は比較的弱いものだろう。とはいえ、その風が海水 (海の液体炭化水素) におよぼす影響は重要である。タイタンで風によっておこる波は、M.A. Srokosz et al. (1992) の短い先駆的な論文で論じられた。それによると、タイタンの海で発生する波は、低重力のために大きく、ゆっくりしたスピードをもつだろうという。たとえば、1m/sの風速で生ずる波は、タイタンでは波高0.2m、波長7m、周期5.7秒 (地球では波高0.025m、波長1m、周期0.8秒) になる。

N.A.-L. Ghafoor et al. (2000) によると、タイタンでは海と大気の結びつきがより強いために (海の液体と大気の密度比はタイタンで約100、地球では1000)、地球上の3分の1の風速で同等の高さの波が形成されるという。1m/sの速度の風は、タイタンでは約20kmのfetch (風による波の吹送距離) があれば、0.2mの波高を十分につくり出せる。また、T. Tokano et al. (2002) の最新の研究によると、土星の潮汐力は大気の下層部に0.5m/sのオーダーの風 (潮汐風) をつくり出すことができる。

タイタンの液体炭化水素の海は、水よりも揮発性が高く、非常に低温ではあるが地球の海水よりも沸点に近い。また、弱い風によって生ずる波は、低重力と低い流体密度、ゆっくりした周期の波の運動などによって、浜辺に打ち寄せるときのエネルギーが小さくなる。このように波の作用は弱くても、浸食作用は cavitation（空洞形成）によって強められるかもしれない。海岸線が水の氷でできていれば、浸食への抵抗力は大きくなるが、有機物にとむ物質ならば、浸食を受けやすいだろう。

遠浅のなだらかなスロープの海岸では、波は水底面と接触して長い距離を移動するので、波のエネルギーは分散させられてしまう。こうした地形をもつ tidal flat（干潟）では、波による浸食作用はほとんどおこらない。これにたいして衝突クレーター内にできた海では、けわしい内壁に海食崖などの地形がつくられるだろう。

タイタンの自転軸は黄道面の垂線にたいして 26° 傾いており、地球とよく似た季節変化がおこる。平均日射量の少ない高緯度地帯の温度は、赤道地帯にくらべて $3\sim 4\text{K}$ 低いだろう。地球では、グローバルな熱平衡を保つのに必要な極方向熱輸送の $30\sim 50\%$ は海が負っている。タイタンに炭化水素の海が本当にあるならば、それは子午線方向の熱輸送にどの程度かかわっているのだろうか。

カッシーニ・ホイヘンスへの期待

カッシーニ探査機は 2004 年 7 月初めに土星に到着すると、4 年間にわたる探査を開始する。土星を周回しながら、土星本体とその環、磁気圏、衛星群のくわしい探査をおこなう。それらのなかで最も重視されているのがタイタンの探査で、光学カメラ、マッピングスペクトロメーター、レーダー、その他の機器を動員して多角的な観測がなされる。タイタンへの最初の接近フライバイは 2004 年 10 月に予定されているが、2005 年 1 月の第 3 回フライバイ時に、いよいよ ESA 制作のホイヘンスプローブが放出される。

ホイヘンスはタイタン大気圏をパラシュートで降下する。135 分間の降下中に大気層の断面を観測し、大気とエアロゾルを採取して化学分析をおこなう。さらにカメラは、プローブの着地まで高解像度の撮影をつづける。プローブがかたい地面に落下すれば壊れるかもしれないが、海にザブンと落ちるならば、その後も送信を続けられるだろう。プローブには、海の物質の組成を調べるための機器と、海底までの深さを測定する小型ソナーが搭載されている。また、傾斜センサーと加速度計はプローブをブイとして機能させ、波の運動も明らかにされるだろう。

やがてプローブの寿命はつきるであろうが、カッシーニオービターのタイタンフライバイはその後も続行される。レーダー画像撮影はタイタン表面の約 20% を 400m の解像度でカバーし、光学撮影は表面のほとんどを（夜の北極を除いて）カバーする（ただしその解像度は、もやの不透明さの程度によるが）。

カッシーニは多くの新しいデータで、われわれを大きく刺激するだろう。このミッションは、2008 年以降に延長される可能性もある。しかし、さらにより深く知るためには、新しい探査計画を立てる必要がある。外部太陽系の探査は時間がかかるものだ。カッシーニミッションは 20

年も前に計画されたものである。だから、これからの新しい探査計画を考えるのに、早すぎるということはないのである。

〈紹介者付記〉

カッシーニの土星到着がいよいよ 1 年後にせまってきた。この探査機は、総重量が 5.8 トンもある大型のものである。最近では低予算の小型探査機が主流になりつつあるようだが、そんな情勢のなかで、カッシーニは最後のヘビー級探査機といえる。それだけに意欲的な探査計画が盛り込まれており、ぜひ成功させたいと願わずにはいられない。

カッシーニの土星到着をひかえて、このミッションの紹介やタイタンにかんする論文・書物が、いくつも出されはじめている。ここに紹介したのは、とくにタイタンの海に焦点をあて、海があるとすればどんな様相をしているか、またどんな現象が見られるかを、現在可能な限りの推論をまじえて論じたものである。著者の Lorenz は現在アリゾナ大学にいる若い惑星科学者であるが、ESA でホイヘンス計画に最初からたずさわってきた人でもある。Kraal と Asphaug はカリフォルニア大学サンタクルズ校の惑星科学者、Thomson はシドニーの海洋科学研究所の海洋学者。

タイタンはまことに興味つきない天体である。メタンの雲から雨が降り、エタンやメタンの海ができていられるらしいという。この、地球とは似て非なる世界には有機物も豊富に存在し、生命の可能性を考える人もある。まあ、生命までは無理だとしても、タイタンが有機物の進化をさぐるための、天然のよき実験室であることは確かであろう。ホイヘンスプローブがどんな事実を明らかにしてくれるか、楽しみなことである。

最後に、関連する文献のうち、新しくて入手しやすいものを若干あげておく。

Harland, D.M., 2002, Mission to Saturn---Cassini and the Huygens Probe. pp.290, Springer and Praxis Publishing.

Lorenz, R., and Mitton, J., 2002, Lifting Titan's Veil---Exploring the giant moon of Saturn. pp.260, Cambridge University Press.

McKay, C.P., 2003, Stand By! We're Landing on Titan. The Planetary Report, Vol.23, No.2 (March/April 2003), 12-17.

(小森長生)

論文抄録

水を含む小惑星の衝突破壊で生成する惑星間塵

Tomeoka, K., 他4名, 2003, Interplanetary dust from the explosive dispersal of hydrated asteroids by impacts. Nature, 423, 60-62.

地球に年間約 3 万トン降りそそぐ 20~400 μm サイズの塵粒子（マイクロメテオライト）は、化学的・鉱物学的にみると、水を含む多孔質隕石によく似ている。しかしこのような隕石は、落下回収された隕石の 2.8% にすぎない。両者のこの大きな差異は、地球大気フィルターの効果、すなわち多孔質隕石はきわめてもろいので、大気との衝突で壊れてしまうためであると考えられてきた。著者たちは 2 つの多孔質隕石（含水のマーチソン隕石と無水のアエнде隕石）の衝突実験から、含水隕石は無水隕石よりも粉砕されやすく、圧力解放時に爆発的に拡散することをつきとめた。このことは、含水小惑星が衝突時に無水小惑星よりもはるかに塵をつくりやすいことを示している。マイクロメテオライトと隕石の含水物

質量の差は、地球大気突入前にすでに定まっていたと考えられる。(K)

Hコンドライト母天体の構造と熱的歴史

Trieloff, M., 他7名, 2003, Structure and thermal history of the H-chondrite parent asteroid revealed by thermochronometry. *Nature*, 422, 502-506.

未分化隕石であるコンドライトの母天体は、珪酸塩から金属を分離するには不十分だったが、弱い熱変成作用はうけたと考えられる。その母天体の構造や冷却の歴史、熱源について、これまでもいろいろな議論があった。著者たちは、単一の母天体に由来すると考えられる衝撃を受けていないHコンドライトについて、 ^{244}Pu フィッシュントラック法と ^{40}Ar - ^{39}Ar 法による熱年代測定をおこなった。母天体は急速な形成後、 ^{26}Al の崩壊などによる内部熱源によって、母天体内部は層状に分かれながらも比較的乱されないうで冷却をつづけた。外殻の岩石はより低い変成温度で早く冷却したが、内部の岩石はより高い温度で再結晶し、化学的平衡に達した。中心部の岩石が390Kまで下がるには約1.6億年を要した。(K)

プリブラム隕石と同じ軌道をもつノイシュバンシュタイン隕石の謎

Spurny, P., Oberst, J., and Heinlein, D., 2003, Photographic observations of Neuschwanstein, a second meteorite from the orbit of the Pribram chondrite. *Nature*, 423, 151-153.

前号の本欄で紹介した隕石落下の詳細。2002年4月6日ドイツ南部に落下したノイシュバンシュタイン隕石は、ヨーロッパ火球ネットワークがとらえた写真の解析から、1954年4月7日にチェコに落下したプリブラム隕石と同一軌道をもつことが確定した。回収された1.75kgの隕石片は化学分析の結果、EL6タイプのエンスタタイトコンドライトであることがわかったが、プリブラム隕石はH5普通コンドライトであり、両者は母天体もまったく別ものである。しかも宇宙線照射年代も、ノイシュバンシュタイン隕石が4800万年なのに対し、プリブラム隕石は1200万年しかない。この性質や起源の異なる2つの隕石が同一軌道をもつことから、“Pribram stream”にはさまざまな異質天体が含まれている可能性があるが、さらなる情報収集と研究が必要である。(K)

INFORMATION

●日本の小惑星探査機「ミューゼス C」打ち上げ成功

宇宙科学研究所の小惑星探査機 MUSES-C は、5月9日13時29分、M5 ロケット5号機で鹿児島宇宙空間観測所から打ち上げられた。首尾よく目標の軌道にのり、「はやぶさ」と命名。2004年5月地球をスイングバイして加速、2005年6月小惑星1998SF36に到着予定。着陸時に鉄球を発射して舞い上がった岩石破片を採集する。同年11月小惑星を離脱、2007年6月サンプルを収めたカプセルが地球帰還の予定。小惑星の物質が少量といえども持ち帰られれば、世界初の画期的な成果となる。ぜひ成功を祈りたい。

●火星探査機 Mars Exploration Rover の着陸地点

今年6月、NASAの新しい火星探査機 Mars Exploration Rover (MER) が2機打ち上げられる。計画によると MER 1号は6月5日打ち上げ、2004年1月4日火星着陸、2号は6月25日打ち上げ、2004年1月25日火星着陸となっている。着陸方法はマーズパスファインダーのときと同じエアバック方式(1号は6月10日無事打ち上げ成功)。

1号の着陸地点は14.6°S、184.6°Wにある Gusev クレーター(直径166km)。このクレーターは、かつて液体の水をたたえた湖であったとみられている。2号の着陸地点はちょうど Gusev クレーターから半周した裏側にあたる Meridiani Terra である。ここはヘマタイトに富む地帯で、やはり液体の水が

多い環境が存在したと考えられている。両地点とも、火星生命が存在したかもしれない wet な環境条件があった場所として、ローバーの探査に期待がかけられている。なお 1 号の着陸地点は変更される可能性もあるという。

●木星の衛星が 60 個、土星の衛星が 31 個に

前号のこの欄での報告につづいて、2003 年 4 月以降に木星の衛星がさらに 8 個発見・確認された。ハワイ大学の S. Sheppard や D. Jewitt たちのチームが、マウナケア天文台の 8.3 m すばる望遠鏡、3.6m カナダ・フランス・ハワイ望遠鏡、2.2m ハワイ大学望遠鏡で観測した結果によるもの。仮符号は S/2003J13～S/2003J20 まで。順行の S/2003J20 だけを除いて他のすべてが、最外縁を回る逆行衛星の仲間である。光度は 23～24 等、直径は 1～3km の小衛星。これで、現在われわれの知る木星の衛星数は 60 となった。

一方、同じ研究チームは上記大望遠鏡をもちいた今年 2 月～4 月の観測で、土星の新衛星も 1 個発見した。仮符号は S/2003S1。これも最外縁を回る逆行衛星群の 1 つである。土星の衛星数はこれで 31 となる。なお、新発見の衛星のくわしいデータは追って紹介する予定である。

●「第 36 回月・惑星シンポジウム」のお知らせ

月・惑星の起源、進化、環境などに関連した多方面の研究成果が発表されます。

期 日：2003 年 8 月 4 日（月）～6 日（水）

場 所：宇宙科学研究所本館 2 階会議場

問い合わせ先：宇宙科学研究所 水谷仁

（〒229-8510 相模原市由野台 3-1-1、Tel.042-759-8515, Fax.042-759-8516）

●「第 28 回南極隕石シンポジウム」のお知らせ

南極隕石を始め、隕石学全般にかんする多くの研究成果が発表されます。

期 日：2003 年 9 月 3 日（水）～5 日（金）

場 所：国立極地研究所 6 階講堂

問い合わせ先：国立極地研究所南極隕石研究センター

（〒173-8515 板橋区加賀 1-9-10、Tel.03-3962-2938, Fax.03-3962-5711）

●「2003 年惑星科学夏の学校」のお知らせ

惑星科学や周辺学問について自由に議論できる場を提供し、学生相互の交流、研究意欲の促進をはかります。また第一線で活躍している研究者 4 人をお招きし、「次世代惑星探査」をテーマに講演していただきます。

期 日：7 月 29 日（火）～31 日（木）

場 所：修善寺ユースホテル（静岡県田方郡修善寺町修善寺 4279-152、Tel.0558-72-1222）

対 象：惑星科学や周辺学問領域に興味をもつ学部生、大学院生、PD、スタッフなど

参加費：一般 15000 円、ポスター発表者 14000 円、口頭発表者 10000 円

問い合わせ先：宇宙科学研究所惑星研究系藤原研究室 猿楽祐樹

（E-mail:planetss2003@yahoo.co.jp、Tel.042-759-8102）

編集後記：ESA のマーズエクスプレスは 6 月 2 日に、NASA の“スピリット”（Mars Exploration Rover 1 号を改名）は 6 月 10 日に、ともに打ち上げに成功し、火星に向かっていきます。来年初頭には“のぞみ”を含めて 6 機の探査機が火星を巡ることになり、かつてないほどの火星ラッシュを迎えます。火星のどのような謎を解き、新たな謎が生まれるのか、楽しみです。（S）