

## 水星をめざすメッセンジャー探査機

白尾 元理 Motomaro SHIRAO

1974～75年、マリナー10号は水星に3回接近し、フライバイによる観測をおこなった。水星表面の約半分を撮影し、月によく似たクレーターに覆われた姿であることを示した。しかし以後28年間、太陽系のさまざまな天体への探査が進められているにもかかわらず、水星は探査計画からはずされたままであった。いっぽう太陽系の最外部、冥王星やカイパーベルトはニューホライズンズ探査機によって探査されようという時代になってきた。しかし、ようやくアメリカでは水星周回探査機メッセンジャー計画が承認され、現在2004年3月の打上げをめざして作業が進められている。ここでは、まず水星の残された謎を取り上げ、それからその謎解きに向かうメッセンジャー探査機による水星観測計画を紹介しよう。

### 残された水星の謎

地球型惑星の中で、水星は最も極端な惑星である。最も小さく（直径は地球の0.38倍）、最も重く（自らの重力による圧縮を補正した場合）、最も古い表面をもち、最も昼夜の温度差が大きく、そして最も探査がされていない。ここでは、水星に残された6つの謎を取り上げてみよう。

- ①なぜ水星は重いのか：水星の非圧縮密度（水星自身の重力による圧縮効果を除いた密度）は $5.3\text{g/cm}^3$ （地球は $4.0\text{g/cm}^3$ ）で、地球型惑星の中で最大である。このことは水星体積の42%

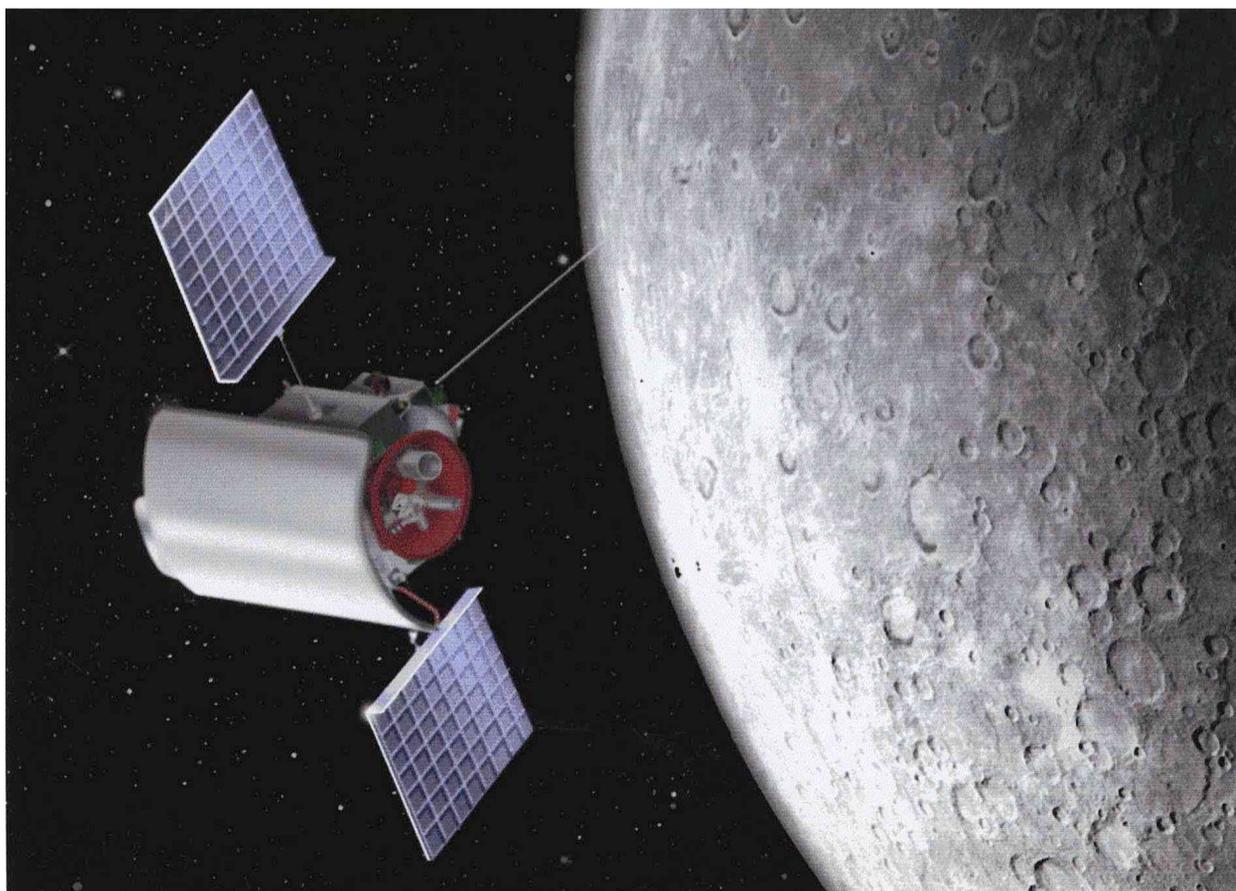


図1 水星をめざすメッセンジャー(NASA)

が金属に富んだコアからできていることを示している（地球では16%）。コアが大きいことを説明するために次の3つの案が示されている。1.原始星雲中で最初から重い粒子を差別的に集積した。2.水星形成後、強烈な太陽による加熱によって軽い外部層は蒸発してしまい、重い金属に富んだ岩屑が残された。3.水星の形成後、巨大衝突によって原始地殻と上部マントルが吹き飛ばされた。

- ② 水星はどのような歴史をたどったのだろうか：マリナー10号が水星を訪れてから28年も経っているのに、水星表面の45%しか撮影されていないままである。水星表面の一部は月の高地のように古く、多クレーター地域で覆われているが、その間にはやや若い平原がある。この平原は、多クレーター地域とわずかに色が異なり、多くの研究者は火山性の平原ではないかと考えている。しかし火山活動の証拠となる火山地形は、マリナー10号の写真では解像力が低くて認めることができなかった。水星の歴史を組み立てる上での大きな障害は、全表面の45%しか撮影されていないことである。火星では4番目の探査機、マリナー9号が火星の全面を撮影してはじめて、火星が月とはまったく異なる巨大な火山や大峡谷をもった、最近まで活動的な惑星であることがわかった。水星も全面が撮影されてはじめて、その歴史が組み立てられるようになるのである。
- ③ 水星のコアはどんな構造になっているだろうか：マリナー10号によって、水星にも全球的な双極子磁場があることが発見された。このような全球的な双極子磁場をもつ地球型惑星は、地球と水星のみである。地球の磁場は、溶けた外部コアが渦巻くことによって生じている。一方、水星のコア（直径5800km）は地球のコア（直径13000km）に比べてはるかに小さいので、すでに冷え固まっている可能性が高い。その証拠として、水星表面には冷却・収縮によってできた断層崖が分布している。すると現在の水星の磁場は、かつての残留磁場であるのかもしれない。あるいは、硫黄のように融点を下げる物質がコアに含まれるために、現在でも完全に固まっていないのかもしれない。
- ④ 水星の磁気圏はどのようなものだろうか：マリナー10号の3回のフライバイによって、水星の磁気圏は、地球の磁気圏と似た構造をもつことがわかっている。水星はきわめて希薄な大気しかなく、固有の磁場は小さく、太陽に近いために太陽風の影響が大きいと推定されるのに、どうして地球の磁気圏と似たような構造の磁気圏があるのだろうか。
- ⑤ 水星の両極にある不思議な物質は何だろうか：水星の自転軸は、公転軌道面に対してほぼ垂直である。このため極地域では太陽光線がかすめるようにしか地表を照らさない。極地域の大きなクレーターの内部では永遠に光が当たらず、-210 という極寒の世界となる。1991年、地上からのレーダーによって得られた極地域の画像には、大きなクレーター内部に明るく輝く地域が写っていた。このような性質を示す最も可能性のある物質は（水の）氷で、彗星や隕石によってもたらされた氷が、太陽光の永遠に当たらない極地域に数十億年間もトラップされている可能性が高い。しかし、水星内部から噴出した水や表面の岩石から昇華した硫黄がトラップされた可能性もあり、それらの存在量についても不明のままである。
- ⑥ 水星にはどのような大気があるのだろうか：水星は水素、ヘリウム、カリウム、ナトリウムな

どのきわめて薄い大気におおわれている。それらの原子は希薄なため、互いに衝突することなく、多数のゴム球のように水星表面をバウンドしている。このような水星大気は、火山活動や拡散などの内部要因、太陽風や磁気圏の高エネルギーによるスパッタリングなどによって生成したと考えられる。また散逸の要因としては光電離や電荷交換によるイオン化、太陽光輻射圧などが考えられるが、きちんとしたデータが得られていない。

以上のようにしてみると、マリナー10号によって水星のスナップショットはとられたが、全体像をきちんと把握するためには、長期間にわたる周回軌道上からの観測が必要だということがわかる。これを目指すのが、米国のメッセンジャー探査機とヨーロッパ宇宙機構と日本の宇宙科学研究所が協力して進めているベピ-コロノボ探査機である。

メッセンジャー探査機

最初に水星をめざすのは、2004年3月に打ち上げられる米国のメッセンジャー探査機である(図1)。メッセンジャー(MESSENGER)の名前はMERcury Surface, Space ENVIRONMENT, GEOchemistry, Rangingに由来する。1999年7月、NASAはメッセンジャーを7番目のディスカバリー計画の探査機として選択し、2002年3月正式に製作が許可された。

水星探査が非常に難しいのは、水星の周回軌道に入るためには大きく速度を変えなければならないことである。地球の重力圏を脱出するには11km/秒が必要なのに、さらに水星の重力圏にはいるためには18km/秒も加速させることが必要となる。大気のきわめて希薄な水星では、金星や火星のように大気による減速を使うこともできない。このため、メッセンジャーでは金星で2

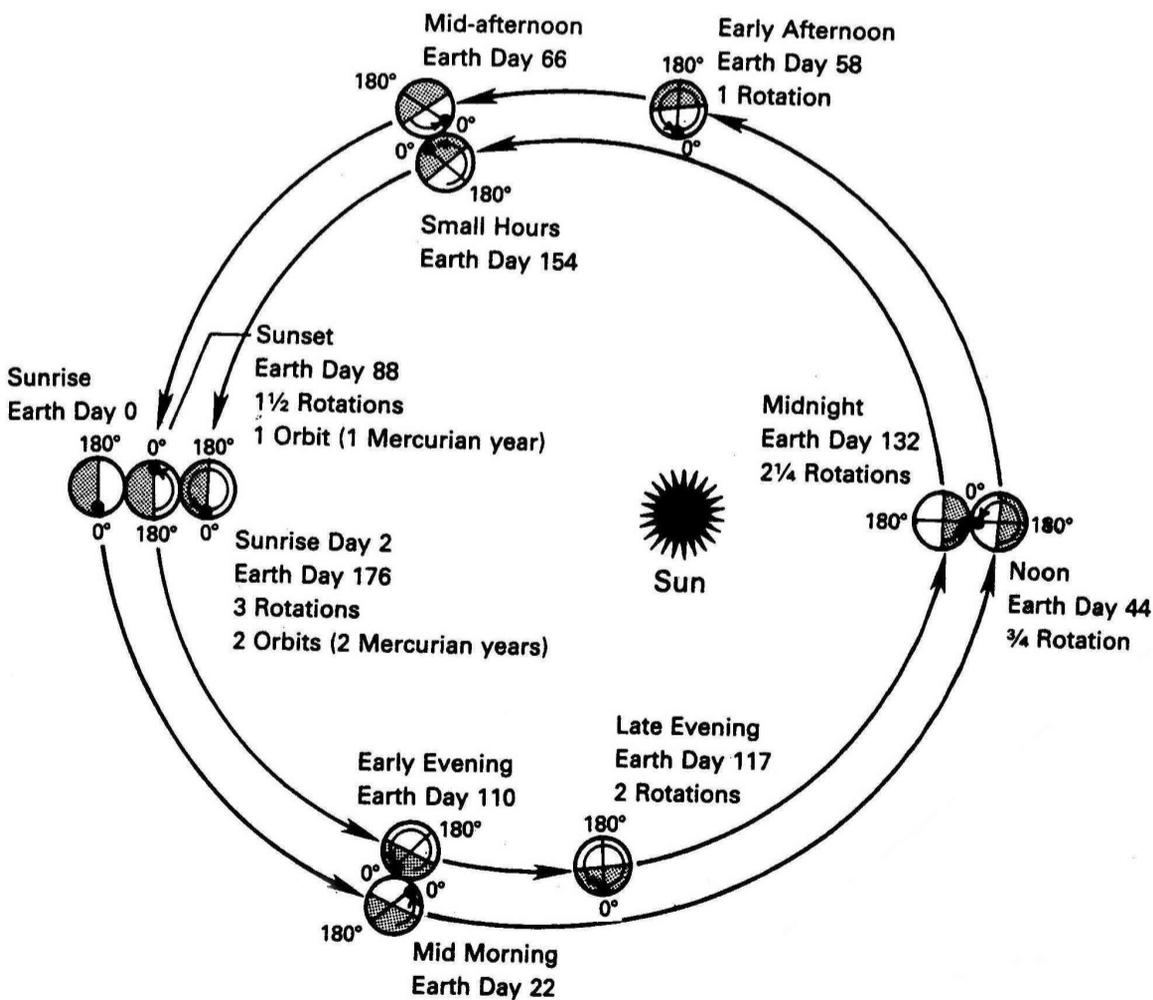


図2 水星の自転と公転の関係。水星は2回公転する間に3回自転する。このため、水星の1日は176地球日となる。(Strom, 1987から)

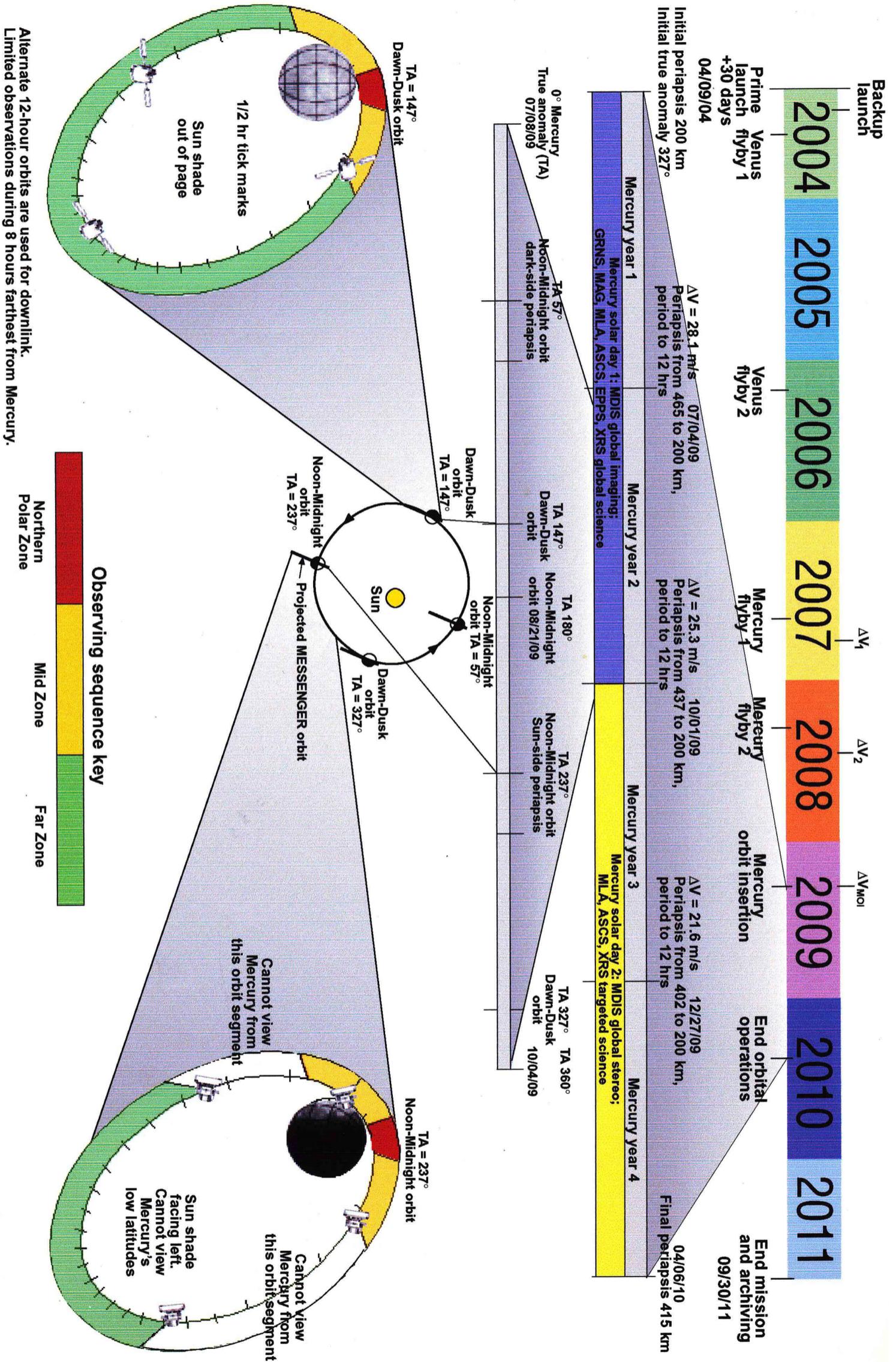


図3 ヌツセンジャーのタイムテーブル (ヌツセンジャーのHPから)

表1 メッセンジャーに搭載される科学機器と観測目的

Mercury Dual Imaging System (MDIS)	This narrow-angle imager and wide-angle multispectral imager maps landforms, surface spectral variations and topographic relief from stereo imaging. A scan mirror helps it to point.
Gamma-Ray and Neutron Spectrometer (GRNS)	The instrument's gamma-ray mode measures emissions from radioactive elements and gamma-ray fluorescence stimulated by cosmic rays; it's used to map elemental abundances in crustal materials. The neutron mode provides sensitivity to hydrogen in ices at Mercury's poles.
Magnetometer (MAG)	This maps the detailed structure and dynamics of Mercury's magnetic field and searches for regions of magnetized crustal rocks.
Mercury Laser Altimeter (MLA)	This instrument couples an infrared laser transmitter with a receiver that measures the round-trip time of a laser burst reflected off Mercury's surface, yielding a distance measurement. It produces highly accurate measurements of topography and measures Mercury's slight wobble (due to the planet's libration).
Mercury Atmospheric & Surface Composition Spectrometer (MASCS)	Its ultraviolet-visible spectrometer measures abundances of atmospheric gases; the visible-infrared spectrometer detects minerals in surface materials.
Energetic Particle and Plasma Spectrometer (EPPS)	EPPS measures the composition, spatial distribution, energy and time-variability of charged particles within and surrounding Mercury's magnetosphere.
X-Ray Spectrometer (XRS)	Designed to measure the fluorescence in low-energy X-rays that is stimulated by solar gamma rays and high-energy X-rays; used to map elemental abundances in crustal materials.
Radio Science (RS)	Uses the Doppler effect (the shift in the frequency of the spacecraft's radio signal with changes in the spacecraft's velocity relative to Earth) to measure Mercury's mass distribution, including spatial differences in crustal thickness.

(メッセンジャーのHPから)

回と水星で2回の計4回のスイングバイを使って水星周回軌道に入る。メッセンジャーは、従来の化学推進剤のロケットを使うため、衛星重量の大部分は燃料といってもよいほどである。メッセンジャーは2回の水星フライバイ時に、ほぼ水星全面の予備的な観測することが可能である。この観測は、引き続いての周回軌道での観測計画を立案するためのデータとなる。

2009年4月からの水星周回軌道は、軌道傾斜角 $80^\circ$ と極軌道に近く、近水点が水星上空200km、遠水点が同じく15000kmの長円軌道をとる。近水点は $60^\circ$  Nの上空を通過するので、北半球の中高緯度の地形が詳しく観測される。水星の自転周期は58.6地球日、公転周期は87.9地球日で、自転周期の3倍が公転周期の2倍となる共鳴関係にある。水星の1日は176地球日となり、これは水星の2年に相当する(図2)。したがってメッセンジャーが一通り水星全面を観測するには176地球日かかることになる。メッセンジャーは最初の1水星日(176地球日)で水星のグローバルな観測をおこない、次の1水星日でターゲットを絞った観測やステレオ画像の撮影をおこない、合計2水星日(約1地球年)の観測をおこなう(図3)。

メッセンジャーは3軸制御衛星で、太陽熱シールドによって地球付近の10倍にも達する太陽熱などから衛星を保護する。搭載される観測機器(表1)は衛星の下部に固定され、衛星自体の姿勢を制御することによって水星を観測することになる。ただし、イメージングシステム(MDIS)

はスキャンミラーによって向きを変えることができ、これによってモザイク画像やステレオ画像を撮影することができる。

地球型惑星のうちで、最も謎の多い水星を探查することは、金星・火星・地球も含めて地球型惑星全体をより深く知ることの手がかりとなる。またこのことによって、太陽系全体についての理解も大いに深まるに違いない。メッセンジャー探査機によって、どのように水星の謎が解かれ、また新たな謎をもたらされるのだろう。

さらにメッセンジャーの後には、ヨーロッパ宇宙機構（ESA）と日本の宇宙科学研究所（ISAS）との協力で進めているベピ・コロombo国際水星探査計画がある。これについては、機会があればぜひ誌面で紹介してゆきたい。

#### 参考文献およびHP

Armstrong, J., 2002, Heading back to the forgotten Planet. Astronomy, Vol.30, No.10, 40-46.

Burnham, R., 2002, The little planet with the big iron heart. Planetary Report, Vol.22, No.1, 6-11.

Strom, R.G., 1987, Mercury:the elusive planet. Smithsonian Inst.,196pp.

<http://messenger.jhuapl.edu/index.html>（メッセンジャーホームページ）

---

## 論文紹介

### マーズオデッセイによる火星の氷探査

マーズオデッセイは2002年2月19日から本格的な火星全面のマッピングを開始したが、その最初の成果が、「Science」Vol.297、No.5578（5 July, 2002）に次の3編の論文として発表された。

Feldman, W.C., 他12名, 2002, Global distribution of neutrons from Mars: Result from Mars Odyssey. Science, 297, 75-78.

Mitrofanov, I., 他11名, 2002, Maps of subsurface hydrogen from the High Energy Neutron Detector, Mars Odyssey. Science, 297, 78-81.

Boynton, W.V., 他24名, 2002, Distribution of hydrogen in the near surface of Mars: Evidence for subsurface ice deposits. Science. 297, 81-85.

この3つの報告には重複部分も多く見受けるので、ここではまとめてその概要を紹介しよう。

#### 火星の氷探査とその方法

マーズオデッセイは2001年4月7日打ち上げ、同年10月24日火星到着、まず近火星点高度128km、遠火星点高度27000km、周期18.7時間の長楕円火星周回軌道に乗った。その後エアロブレーキングによって軌道を修正し、2002年2月18日最終的に高度390～450km、周期2時間の円形極軌道に落ちついたあと、本格的な観測を開始した。

この探査機には、火星の氷探査を目的としたガンマ線スペクトロメーター（GRS）が搭載されている。GRSは次の3つの機器、ガンマサブシステムと中性子スペクトロメーター（この2つは米ロスアラモス国立研究所製作）、高エネルギー中性子探知器（ロシア宇宙研究所IKI製作）

の組み合わせからなる。

火星には磁場のバリアーがなく、しかも大気が希薄なので、銀河系起源の宇宙線がたえず表面に降りそそいでいる。宇宙線が火星表面に衝突すると、表層の厚さ1~2mの部分の物質の原子核から中性子をたたき出す。飛び出した中性子は、地下物質中の水素原子にぶつくとエネルギーを失って減速される。その結果として、エネルギーの低い熱中性子フラックスは増大し、それよりエネルギーの高いエピサーマル中性子や高エネルギー中性子のフラックスは減少する。地表から地下にかけての物質中に水素が多いほど、このようなことがおこる。

一方、中性子の衝突を受けてエネルギーをもらった水素原子は、特有のエネルギースペクトルをもつガンマ線を放射する。このことから、水素原子の存在が探知できる。水素原子の源は水の氷(H<sub>2</sub>O)である可能性が一番高く、この原理から地下氷の存在が推定できることになる。

今回の考察でもちいたデータは、火星から見た太陽黄経(Ls)が345°~360°の軌道位置に火星があった2002年3月20日~4月18日の間に得られたものである。この頃、火星は南半球が夏の終わり(北半球は冬の終わり)にあっていた。

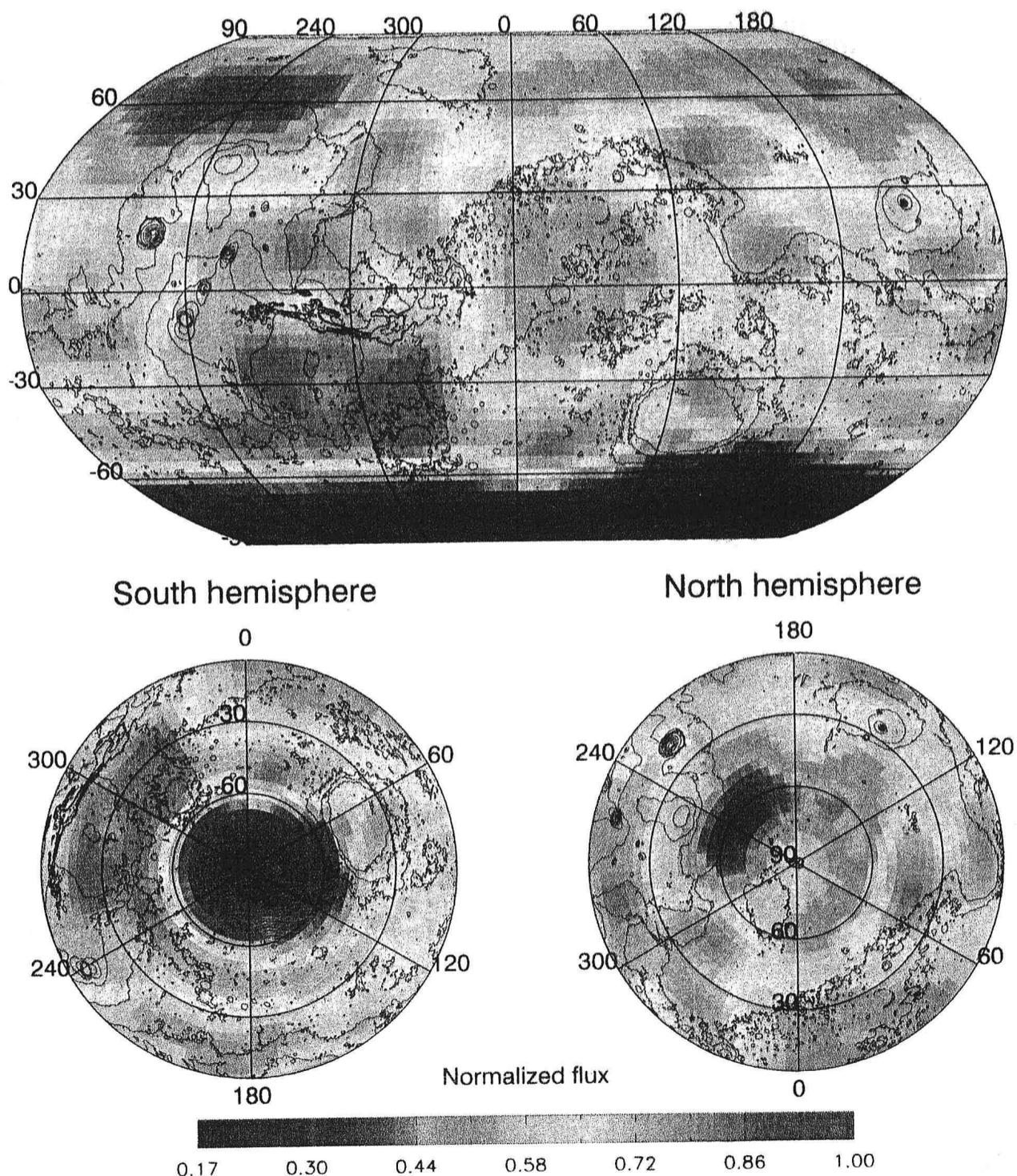


図1 HENDによるエピサーマル中性子フラクスマップ。黒いところほど水素が多い。(Mitrofanov et al., 2002)

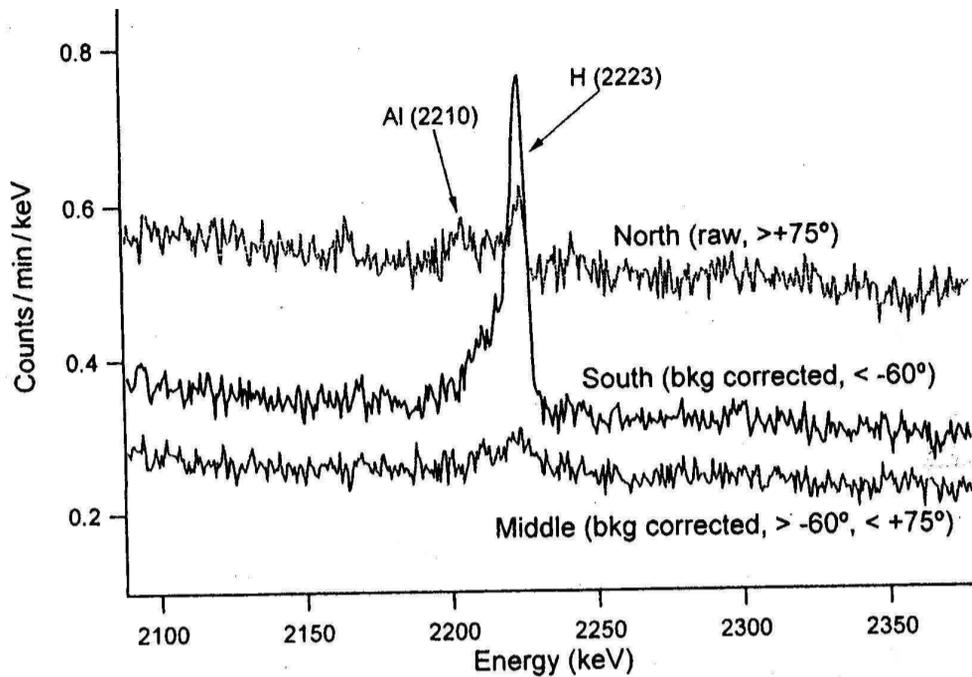


図2 ガンマ線スペクトル中の水素の emission line. 南緯 60° 以南でいちじるしい。(Boynton et al., 2002)

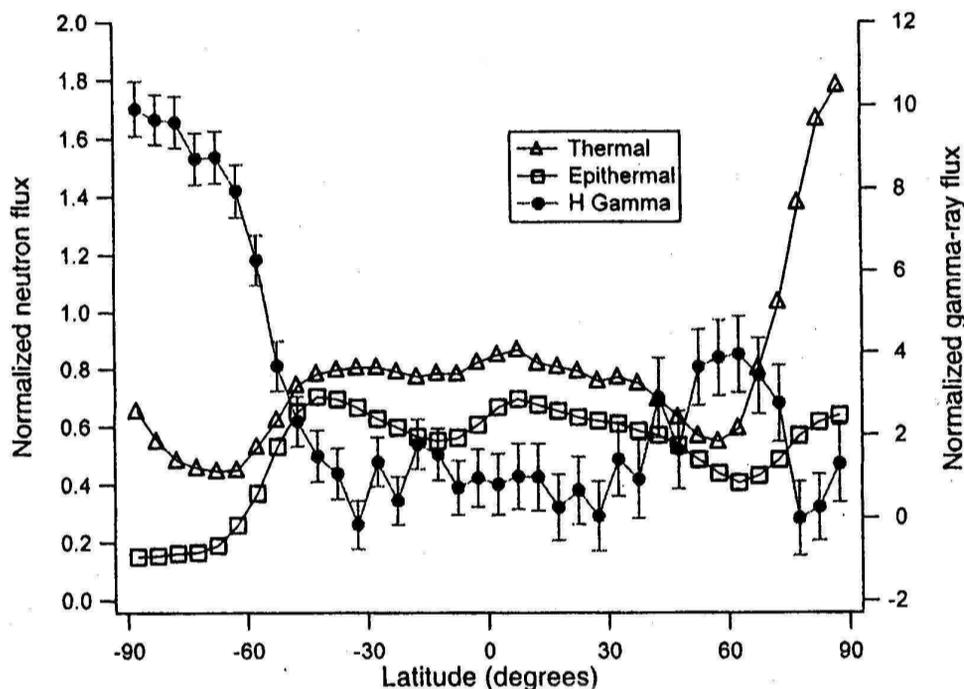


図3 東経 90° ~ 210° にそう、熱中性子 (△)、エピサーマル中性子 (□)、水素ガンマ線 (●) の緯度分布の相関関係。(Boynton et al., 2002)

### 中性子スペクトロメーターによる観測

宇宙線の衝突で生成する中性子について、熱中性子 (運動エネルギー < 0.4eV)、エピサーマル中性子 (0.4 ~ 500eV)、高エネルギー (高速) 中性子 (> 数 MeV) の各フラックスのグローバルな分布図が作成された。

まず、熱中性子フラックスは 80° N から北極にかけての地域では高いが、55° S から南極までの地域では低い。代わりにエピサーマル中性子フラックスは 60° S から南極までの地域で低く、高エネルギー中性子フラックスもほぼ同様である。これらの事実から、火星の極地を中心とした地域では、中性子の水素による減速効果が大きく、よって火星の極地は水素に富んでいることが示唆される。

この中性子フラックスマップの作成から、中～低緯度地域にも水素の濃集を示す地域が読みとれる。たとえば、北半球の Arabia Terra から Meridiani Terra、Xanthe Terra への地帯、Amazonis Planitia と Elysium Planitia をとりまく南の部分、また Valles Marineris 中心部や Kasei

Valles 河口付近などである。

以上の水素濃集地域では、表面下数 10cm ほどの地下に、水の氷が安定に存在しているものと考えられる。

#### 高エネルギー中性子探知器による観測

高エネルギー中性子探知器 (HEND) には 0.4eV ~ 1keV、0.4eV ~ 100keV、10eV ~ 1MeV のエネルギー範囲の 3 つのセンサーがある。このうち、エピサーマル中性子のエネルギー範囲を最もよく表す 0.4eV ~ 100keV での中性子フラックスのグローバルマップが作成された (図 1)。

この図によると、60° S から南極までの広大な地帯はエピサーマル中性子フラックスが最も低い。北半球でも、290° E の Alba Patera 北から 150° E の Elysium にかけて 60° N にそう幅広いアーク状地帯が低い。また赤道地帯の 30° E と 200° E 付近も比較的低い。北半球のアーク状地帯は、南半球の 60° S 以南の地域よりも 3 ~ 5km 表面高度が低く、そのぶん大気層が厚いことになるが、中性子フラックスの低下が大気層の吸収によるものとは考えにくい。HEND によるこのエピサーマル中性子フラックスマップは、同じエネルギー幅をもつ中性子スペクトロメーターの観測によってつくられた図とよく似ている。

一方、高エネルギー中性子フラックスは、850keV ~ 15MeV の範囲の別のセンサーで測定され、3.4 ~ 7.3MeV のエネルギー幅の高エネルギー中性子フラックスマップがつけられた。この図を先のエピサーマル中性子フラックスマップと比べると、特徴的な差異があることに気付く。それは、低フラックス地域が北半球ではより大きく、南半球の南極周辺でより小さく表現されていることである。さらに南のこの地域は、3.4 ~ 7.3MeV の高速中性子フラックスに比べて、エピサーマル中性子のほうがずっと低い。MeV 規模のエネルギーの中性子は、エピサーマル中性子よりも地下の浅い場所から出るので、エピサーマル中性子の大きな減少は、地下の成層構造に関係しているかもしれないと考えられる。

すなわち、最上部層は主として MeV の中性子を放射する乾燥した土壌層、その下に、主としてエピサーマル中性子を放射する水の氷を多量に含む層がある、とする二層モデルを考えればよいことになる。これに基づいて、実際の観測に合うモデルを考えると、最上部に 5% の水を含む厚さ 10 ~ 60cm の土壌層があり、その下に少なくとも厚さ 20cm の氷層がある、と結論される。

#### ガンマ線と中性子から地下の氷の量を推定

中性子がまわりの物質の原子核に衝突すると、中性子はエネルギーを失うが、原子核は励起されてガンマ線を放射する。水素の存在は、ガンマ線スペクトルの水素放出線 (emission line) から判定される。

ガンマ線観測の結果、水素の放出線は南極地域のガンマ線スペクトル中に明瞭に表れている (図 2)。火星全体では水素のガンマ線シグナルはかなり弱いですが、南半球では南極に近づくとつれて 50° S あたりから急激に増加するのが目をひく。この増大は、エピサーマル中性子フラックスの減少によく対応している (図 3)。同様なことは北半球でもおこり、水素ガンマ線は 45° N 付近から増大するが、北極冠上部をおおう CO<sub>2</sub> 氷のために (観測時に火星の北半球は冬の終わり頃であった)、60° N から北極までの正確なデータはここでは得られていない。

水素ガンマ線の増減は、地下に分布する水の氷の量に依存するものと考えられるが、氷の量を見積もるのはむずかしい。いろいろな仮定を入れて推定すると、水の氷は乾燥した表土層の下に存在することは確かである。氷をおおう表土層の厚さは、 $40^{\circ}$  Sあたりでは150cm、 $77^{\circ}$  Sで40cm程度と考えられ、極に近づくほど薄くなる。その下の層は $35 \pm 15$  重量%の水の氷を含むと見積もられる。この値は、体積で氷が平均60% (40~73%) 含まれる地下物質が存在していることを意味する。

ガンマ線と中性子からさぐることのできる深さはほぼ1mが限度である。そのため、氷含有層の下限はいまのところ不明である(少なくとも数m以上はあるだろう。1km以上という意見もある)。とはいえ、この層が火星の水の重要なリザーバーであることはまちがいないだろう。

#### 紹介者付記

本報告は、マーズオデッセイによる火星の氷探査の最初の成果として注目される。オデッセイ搭載のガンマ線スペクトロメーター(GRS)は、もともとマーズオブザーバー(1992年9月に打ち上げられ、1993年8月火星周回軌道に入る直前に消息を絶った)に搭載されたものだった。それから約10年目にして、ようやく念願がかなうことになった。

今回の報告で使われたデータは、GRSがオデッセイ本体に近接したままでの観測によるものなので、探査機本体に由来する中性子とガンマ線の影響が十分には除かれていない。今後GRSは、本体から6mの腕がのばされて隔離されるので、より精度の高いデータが得られるものと期待される。

なお、3つの論文にのせられている中性子フラックスマップはすべてカラー印刷である。色がないと詳細がわからないので、ぜひ原著も参照していただきたい。(小森長生)

## 39 個になった木星の衛星

Sheppard, S.S., 2002, Jupiter satellites: 39 and counting. Mercury, Vol.31, No.4 (July/Aug. 2002), 10.

著者たちハワイ大学を中心とするグループは、最近(2001年12月から2002年5月にかけて)木星に11個の新衛星を発見した。これによって木星の衛星は、既知のものと合わせると合計39個になった。

木星の衛星のうち8つは、軌道半径が小さくてどれも円軌道に近く、順行衛星である。とくに大型の4つがガリレオ衛星(イオ、エウロパ、ガニメデ、カリスト)である。あとの4つ(メティス、アドラステア、アマルテア、テーベ)は、軌道がガリレオ衛星よりも木星に近く、直径も100km前後と小さい。これら8つはおそらく、木星の形成時にまわりをとりまいていたガスと塵の円盤の重力凝縮によって生まれたものであろう。

これにたいして、新発見のものを加えた31個の衛星は変則衛星とよべるもので、軌道半径が大きく、離心率や軌道傾斜角もいちじるしく大きい。これらはどれも小型で、直径はほとんどが数10km前後である。この変則衛星は、少なくとも3つのグループに大別される。第1は、木星半径の100倍ほどの軌道半径をもつ1個の順行衛星(S/2000J1)で、 $45^{\circ}$ の軌道傾斜角をもつ。次は、木星半径の150倍ほどの軌道半径をもつ5つの順行衛星(レダ、ヒマリア、リシテア、エララ、S/2000J11)で、軌道傾斜角はいずれも $30^{\circ}$ に近い。そして残りの25個は、木星半径の

表1 木星の新衛星（2001～2002年発見）

衛星名	軌道長半径（天文単位）	公転周期（日）	離心率	軌道傾斜角	光度（等級）
S/2001J1	0.15346	710.63	0.50799	152° .157	21.8～22.7
S/2001J2	0.14252	636.02	0.31679	148° .712	22.1～22.5
S/2001J3	0.14143	628.74	0.28322	148° .853	21.6～22.3
S/2001J4	0.15550	724.87	0.31450	150° .305	22.5～23.2
S/2001J5	0.15073	691.71	0.51889	155° .220	22.6～23.4
S/2001J6	0.14679	664.83	0.26439	164° .575	23.0～23.5
S/2001J7	0.13645	595.78	0.20785	147° .457	22.7～22.8
S/2001J8	0.15753	739.09	0.32924	165° .992	22.5～23.5
S/2001J9	0.13937	615.05	0.28629	140° .902	23.0～23.5
S/2001J10	0.13041	556.69	0.10130	146° .367	22.9～23.4
S/2001J11	0.16237	773.40	0.20188	165° .331	22.3～23.2

(MPEC 2002-J54, 2002.5.15)

300倍前後の大きな軌道半径をもつ逆行衛星群（傾斜角は平均155°）である。

David Jewittと著者たちハワイ大学のチームは、2000年に11個の木星新衛星を発見したが、その後著者たちはさらに11個の新衛星を発見するに至った。今回のものはすべて逆行の変則衛星で、直径も2～10kmと小型である（表1参照。なお2000年発見の衛星については、本誌Vol.13, No.4（Dec.2001「巨大惑星の衛星発見ラッシュ」を参照されたい）。

こうした最近の発見は、新しいデジタル大型カメラの開発のおかげである。新しいカメラは、木星のまわりに広く分布するかすかな天体を見つけ出すことを可能にした。この成果からみると、木星は直径1km以上の衛星を100くらいはもっていそうに思われる。

軌道半径が大きく、しかも離心率や傾斜角も大きな変則衛星たちは、それらがかつては小惑星の仲間であり、木星の重力圏に捕らえられたものであろうことをよく示唆する。捕獲のメカニズムはよくわかっていないが、現在2つの考え方がある。まずgas drag仮説は、原始木星の分厚い大気に飛び込んだ小惑星が、摩擦によって減速され捕獲されたとする考えである。もう1つのmass growth仮説は、木星の急速な成長形成によって、近くを回る微惑星が捕らえられたというものである。これらのプロセスの研究は、木星の衛星系のみならず、太陽系の形成の歴史を理解するのに役立っていくだろう。

3つの族に分かれる変則衛星群は、それぞれが衝突で分裂した前駆天体の破片だと考えられる。分裂は捕獲の時点でおこったか、捕獲後に彗星との衝突でおこったかのどちらかであろう。破片のサイズ分布、表面の性質、軌道などのさらなる解析によって、分裂のしくみがわかってくるにちがいない。

現在知られている他の巨大惑星の衛星数は、土星が30（うち13が変則）、天王星が20（5が変則）、海王星が8（2が変則）である。遠距離の惑星ほど、衛星の発見が困難なことを考えると、これらの巨大惑星の衛星数はどれも似たようなものであるかもしれず、今後のいっそうの探査が期待される。

（小森長生）

## 論文抄録

### 火星のマアディム 谷源に存在した古い巨大湖

Irwin, III, R.P. 他 4 名, 2002, A large paleolake basin at the head of Ma'adim Vallis, Mars. *Science*, 296, 2209-2212.

火星南半球高地の 16° S~28° S、176° E 付近の南北にのびるマアディム谷 (Ma'adim Vallis, この名はヘブライ語の火星に由来) は、長さ 900km、幅 8~15km、深さ 2.1km に達する峡谷で、北米のグランドキャニオン (長さ 450km、最深部 1.8km) をしのぐ大きさである。この谷の成因は主に地下水のサッピングだと従来考えられてきたが、著者らはマーズグローバルサーベイヤー撮影の画像と高度データの検討から、30° S~50° S、140° E~210° E に存在した巨大湖 (約 300 万 km<sup>2</sup>、Eridania 湖と仮称) の水の、カタストロフィックなアウトフローによる浸食で形成されたと結論づけた。形成時期はノアキス代後期 (37~35 億年前) と考えられている。このような巨大湖の存在は、火星初期に温暖湿潤な気候が長く続いたことの証拠であろうという。 (K)

### ディープスペース 1 が観測したボレリー彗星の核

Soderblom, L.A., 他 21 名, 2002, Observations of Comet 19P/Borrelly by the Miniature Integrated Camera and Spectrometer aboard Deep Space 1. *Science*, 296, 1087-1091.

ディープスペース 1 号 (DS1) によるボレリー彗星 (19P/Borrelly) の観測報告。2001 年 9 月 22 日、DS1 はボレリー彗星の核に 2171 ± 10km まで接近し、Miniature Integrated Camera and Spectrometer (MICAS) で核の撮影と観測をおこなった。長径 8km の核は 200 m の解像度でまだら状の表面をもち、反射能は 0.01 から 0.03 の変位幅をしめす。短波長赤外スペクトル (1.3~2.6 μm) 観測によると、核の温度は高く (345K)、乾燥していて、水の氷や水和鉱物の証拠は認められない。昇華活動がおこっているのは表面の 10% 以下の部分である。DS1 の接近時、核に近い部分のコマは、核の中央にある広い凹地から放出する、少なくとも 3 つのダストジェットの影響をつよく受けていた。 (K)

### クレーターの形からみたガリレオ衛星の氷地殻の厚さ

Schenk, P.M., 2002, Thickness constraints on the icy shells of the galilean satellites from a comparison of crater shapes. *Nature*, 417, 419-421.

木星の衛星エウロパの氷地殻の厚さは、モデルにもとづく研究で数 km から 10km 以上と推定されてきた。著者は、エウロパ、ガニメデ、カリストの各表面の衝突クレーターの深さを測定し、クレーターの直径が増大すると形状が変化する遷移点が 2 つあることを見出した。第 1 の変化は、氷地殻の浅い場所 (エウロパで表面下 7~8km) における温度に依存した氷地殻の延性に関係しており、第 2 の変化は、3 つの衛星の地下に存在する海の影響に原因していると考えられる。この考察から、エウロパの氷地殻の厚さは少なくとも 19~25km であると推定される。ガニメデとカリストの凍結リソスフェアはともに氷に富むが、エウロパの氷地殻の熱的構造の厚みは、年代によってガニメデやカリストの地殻の 0.25~0.5 倍である。エウロパ表面のクレーターの形状は、薄い氷地殻モデルとは合わず、表面とその下の海との物質交換は困難であることを示している。 (K)

### 原始惑星系円盤における硫化鉄粒子の確認

Keller, L.P., 他 10 名, 2002, Identification of iron sulfide grains in protoplanetary disks. *Nature*, 417, 148-150.

硫黄は宇宙に比較的多い元素であり、隕石や、彗星起源の惑星間塵微粒子中には、硫化鉄の存在が広

く認められている。ところが原始太陽系星雲と似た、原始星をとりまく低温で高密度の分子雲中には、硫黄はほとんど探知されてこなかった。著者らは、始源的隕石中の硫化鉄や、惑星間塵微粒子中の磁硫鉄鉱の、実験室での赤外スペクトルが、23.5  $\mu\text{m}$  を中心とする幅広い特徴をしめすことをつかんだ。同様の幅広い23.5  $\mu\text{m}$  中心の特徴は、原始惑星系円盤の赤外スペクトルにも認められるが、これは従来、酸化鉄のものだと解釈されてきた。しかし、実験室データとのくわしい比較検討の結果、上記の特徴は明らかに硫化鉄の存在をしめすものである。このことから、原始惑星系円盤中では、硫化鉄は主に固体微粒子に含まれており、ガス相で存在するものは非常に少ないと考えられる。(K)

#### 巨大衝突による破砕で生成したシャッターコーン

Sagy, A., Reches, Z., and Fineberg, J., 2002, Dynamic fracture by large extra-terrestrial impacts as the origin of shutter cones. *Nature*, 418, 310-313.

彗星や隕石の大衝突は莫大なエネルギーを放出し、周囲の岩石を蒸発・溶解させ、破砕する。このような衝突の証拠の1つが、シャッターコーンと呼ばれる線状構造であるが、その形成過程はこれまで十分明らかではなかった。著者らは、衝突時に破砕フロントにそって伝播する非線形波(フロント波)によって、線状構造がごく自然に生成することを明らかにした。これによって、衝突地点から遠ざかるほど条線の角度が系統的に増大するという観察結果が説明できる。シャッターコーンの網状の広がり、衝突時の最初の衝撃波で生成した膨大なエネルギーによって、破砕フロントが階層的に分岐した結果形成されたものである。この理論にもとづく定量的な予測は、インディアナ州のセントランド衝突構造と南アフリカのブレデフォート衝突構造での現地調査の結果から支持される。(K)

#### メインベルト小惑星でおこった最近の分裂

Nesvorny, D., 他 3名, 2002, The recent breakup of an asteroid in the main-belt region. *Nature*, 417, 720-722.

メインベルト領域に現在分布する小惑星は、主として過去におこった多くの衝突の結果生まれたものである。これらの破片天体は、太陽系初期の惑星形成過程を理解する助けとなってきたが、既知の破片群の多くは形成が非常に古く、その後のいちじるしい衝突進化や力学的進化をたどっている。このため、本来の衝突特性は失われているものが多い。著者(米サウスウエスト研究所)は、既知の39個の小惑星の群(族)が、580万年 $\pm$ 20万年の衝突破壊によって生まれたものであり、以後の衝突進化や力学的進化をほとんど受けていないらしいことを明らかにした。39個のうちの2つは比較的大きく(直径19kmと14km)、のこりは直径2~7kmの範囲の破片である。これらすべて同一年代の若い破片は、宇宙風化作用をあまり受けていないかもしれず、今後の研究に役だつであろう。(K)

#### 隕石中のナノダイヤモンドは初期太陽系で形成された

Dai, Z.R., 他 5名, 2002, Possible in situ formation of meteoritic nanodiamonds in the early Solar System. *Nature*, 418, 157-159.

原始的な炭素質隕石(CMとCIコンドライト)には、無数の微小なナノダイヤモンド結晶(径1~10  $\mu\text{m}$ )が含まれている。これらは、太陽系形成以前に超新星爆発で生まれてまき散らされ、太陽系にとり込まれたもの、すなわちプレソーラー粒子だと考えられてきた。これが確かなら、ナノダイヤモンドは小惑星起源の隕石よりも彗星に多く存在しているはずである。太陽系形成以前の物質なら、太陽から遠いほど多く残留しているはずだからだ。著者らは、成層圏で採集した彗星起源の惑星間塵粒子を、マーチソン隕石(CM型)、オルゲイユ隕石(CI型)と比較研究した結果、彗星起源の塵粒子には、ナノダイヤモンドが存在しないか、きわめて少ないことを見出した。この事実から、ナノダイヤモンドの多くは初期太陽系で形成されたものであり、プレソーラー粒子ではないという解釈が成り立つことになる。(K)

## INFORMATION

### コントゥアー探査機交信途絶、復活絶望か

NASAの彗星探査機コントゥアー (Contour) は、2002年7月3日米国東部夏時間の午前2時47分 (日本時間同日午後3時47分)、ケープカナベラルのアメリカ空軍基地から打ち上げられた。当初は近地点高度210km、遠地点高度10万9000km、周期42時間の細長い地球周回軌道に乗ったが、8月15日、地球を離脱してエンケ彗星へ向かう軌道に乗るために固体燃料ロケットを噴射したあと、交信が途絶した。通信回復の努力がなされているが、ほぼ絶望の様相。8月16日、アリゾナ州キットピークの1.8mスペースウォッチ望遠鏡で撮影された画像によると、コントゥアーは少なくとも3つの部分に分裂したらしい。ただし交信の努力は、コントゥアーが地球スイングバイをおこなう予定の年末頃まではつづけるといふ。なお、このミッションの科学者チームは、コントゥアー2号を2006年目標で打ち上げる計画を検討し始めている。(「Aviation Week & Space Technology」Aug.26, Sept.2, 2002 などによる)

### ひじょうに珍しい星間分子の発見

カリフォルニア工科大学 (カルテク) の Dariusz Lis たちの科学者チームは、マウナケアのカルテクサブミリ波望遠鏡による観測で、ペルセウス座の濃い分子雲中に、1個の窒素原子と3個の重水素原子からなるアンモニア ( $\text{ND}_3$ ) を発見した。このような分子は地球上にも存在するけれども、きわめて稀なもので、宇宙での存在は考えられていなかった。3個の普通の水素が全部重水素で置き換わったようなアンモニア分子ができる確率は、1000兆分の1くらいのもので、カルテクのチームの1人 Tom Phillips はいう。Lis は、濃い分子雲中の10~20Kほどの極低温の条件下で、このような分子が生成しえたと考えている。(「Astronomy」Oct.2002 による)

### 『月の内部を探る！ルナA計画』講演会のお知らせ

仲秋の名月にちなんで、上記の講演会を開催いたします。奮ってご参加下さい。

講師：水谷 仁 (宇宙科学研究所)

日時：9月21日 (土) 午後6:30~8:30 (6時開場)

定員：140名 (無料)

会場：杉並区立科学教育センター科学館 (東京都杉並区清水3-3-13 Tel.03-3396-4391)

### 日本惑星科学会秋期講演会のお知らせ

下記のように秋期講演会が開催されます。今回は開期中の10月3日午後、特別講演会として「将来の惑星科学に期待すること」(講演者：観山正見国立天文台教授)がおこなわれます。また関連して10月5日 (土) 午後2:00~4:00、水沢市市民公開講座が水谷仁教授 (宇宙研) と渡部潤一助教授 (国立天文台) を講師にお迎えして (財) 胆江地区勤労者教育文化センターで開催されます。くわしくはホームページ <http://www.wakusei.jp/> をご覧下さい。

期日：10月2日 (水) ~ 10月4日 (金)

場所：水沢市文化会館中ホール他 (水沢市佐倉河字石橋41)

編集後記：今回は太陽系最内部の惑星水星の新しい探査計画をくわしく紹介しました。前号でとりあげた冥王星 - カイパーベルト探査計画とあわせて、太陽系で最も未知な領域の探査計画が具体化してきたことは喜ばしい限りです。その実現を切望します。木星にまたもや新衛星がゾロゾロ見つかったことも驚きです。まだ当分楽しみはつきませんね。 (K)