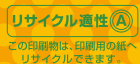


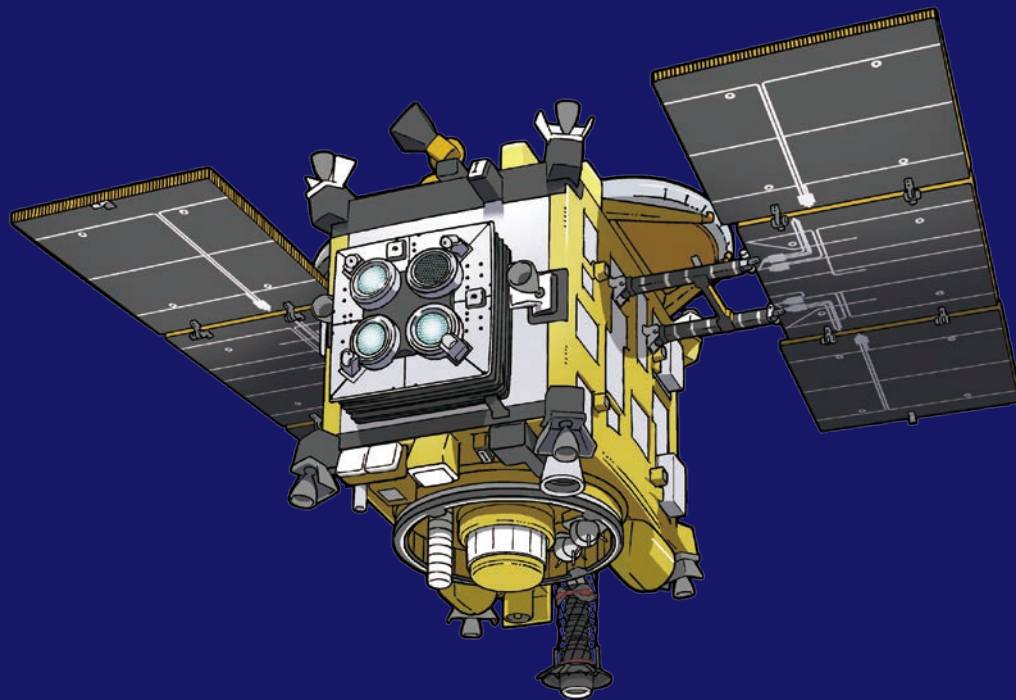
宇宙航空研究開発機構 広報部

2025年4月1日発行



太陽系の謎を探る!

月・惑星探査 ガイドブック



惑星の成り立ちを知り 地球そして生命の起源を探る。

私たちは、太陽系の惑星やその衛星などに
無人の探査機を送って探査しています。
この活動は、今なお多くの謎を秘めている
太陽系や惑星の成り立ち、さらに地球そのものについて、
そして生命の起源について、
確かな答えを見つけるための活動です。

1960年代のアポロ計画では
月に人間が行って直接探査しましたが、
近い将来には再び月へ、
そして火星など他の惑星や衛星などにも、
直接人間が行って探査したり、さらにはその天体の資源をも
利用することになるでしょう。

宇宙活動は、
人類をはじめとする地球生命体の永続的な繁栄のため、
もはや地球の周辺にとどまらず、
活動領域を拡大して太陽系全体に広がっていくこと
とでしょう。

人類の月・惑星の探査活動と、
その探査によって明らかになった太陽系の姿を探ってみましょう。



●どうやって月や惑星を調べるの? P.4~P.5

●月へ行くには? P.6~P.7

●月探査

①地球の衛星 月 P.8~P.9

②人類、月に立つ P.10~P.11

●惑星へ行くには? P.12~P.13

●惑星探査

①昼と夜の温度差が600度の惑星 水星 P.14

②厚い雲に包まれた灼熱の惑星 金星 P.15

●月・惑星の探査 P.16~P.19

③赤い大地が広がる惑星 火星 P.20~P.21

④巨大な渦をもつガス惑星 木星 P.22

⑤美しいリングをもつ惑星 土星 P.23

⑥自転軸が横倒しになった惑星 天王星 P.24

⑦太陽から最も遠い惑星 海王星 P.25

⑧未知への探究が続く冥王星と外縁天体 P.26~P.27

⑨太陽系誕生の謎を秘めた 小惑星と彗星 P.28~P.29

どうやって月や惑星を調べるの？



「人工衛星」と「探査機」との一番大きな違いは、その軌道(飛行するコース)です。

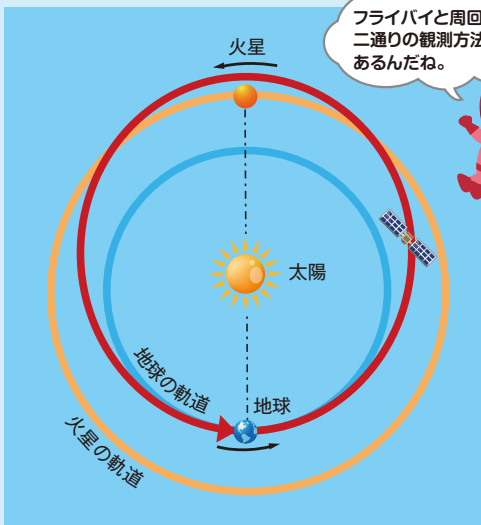
人工衛星は、地球の周りを回る周回軌道に乗っていますが、「探査機」は地球の重力圏から脱出し、他の天体に行きます。

そのため、人工衛星を打ち上げるよりも多くのエネルギーが必要で、また、その軌道は地球の周りではなく、太陽の周りを回る軌道に乗って目的の天体に向かいます。

探査機が目的の天体を探査する方法として、以下のものがあります。

① 通り過ぎながら観測 ～フライバイ観測～

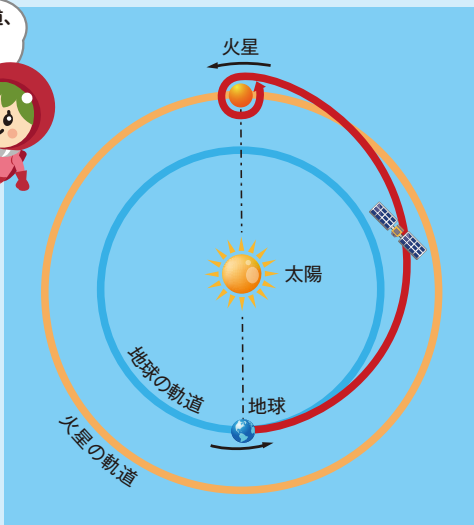
目的の天体の近くまで行き、通り過ぎる間に観測をします。探査機は太陽の周りを回り続けます。そのため、軌道をうまく調整すると、何度か接近観測することもできます。観測時間が短く、詳細な観測は難しいという難点があります。



▲フライバイでの観測

② 周りを回りながら観測 ～その星の人工衛星になって観測～

目的の天体まで行って、エンジンを噴射して加速あるいは減速を行い、その天体の周りを回る周回軌道、つまりその天体の人工衛星として観測を行います。長時間そして常にその天体の観測ができます。



▲周回軌道での観測

③ 直接観測 ～その星に着陸して観測～

目的の天体に着陸する、もしくは目的の天体の周りを回る周回軌道(人工衛星軌道)に乗った後、着陸機などを切り離し、その天体の表面に着陸して観測します。例えば無人のローバーなどを着陸させて、表面を動き回って観測します。また、周回軌道を回っている本体は、着陸機からの電波を地球に中継したり、周回軌道上からその天体を観測します。目的の天体の周回軌道に乗ったあと、軟着陸の技術が必要になります。



©JAXA/立命館大学/金沢大学

▲小型月着陸実証機SLIMのマルチバンド分光カメラにより撮影した月面

④ 試料を地球に持ち帰る ～サンプルリターン～



▲小惑星探査機「はやぶさ」は、世界で初めて小惑星のサンプルを採取した(CG)



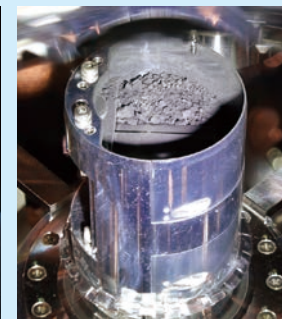
▲サンプルが入ったカプセルは無事に地球に帰還

目的の天体へ着陸したら砂や石などの試料(サンプル)を採取します。それらを密封容器に収納した後、地球に戻ってきます。これまでにサンプルリターンに成功した国は次の通りです。(2025年4月1日現在)

- | | | |
|--------------|---------------|-----------------------------|
| ● 月 | : アメリカ、旧ソ連、中国 | * アメリカは有人のアポロ宇宙船で実施 |
| ● 小惑星 | : 日本、アメリカ | * 日本は小惑星探査機「はやぶさ」「はやぶさ2」で実施 |
| ● 彗星の周囲に漂うチリ | : アメリカ | * アメリカは彗星探査機「スターダスト」で実施 |

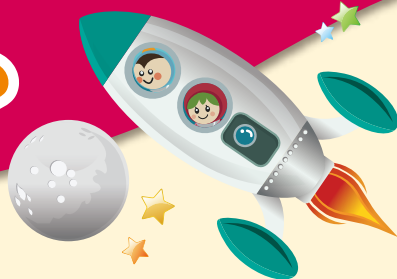


▲「はやぶさ2」は地球の近くまで戻り、サンプルが入ったカプセルだけを切り離して大気圏へ再突入させ、その後、本体は他の天体へと向かった。(イメージ図)



▲「はやぶさ2」が持ち帰った小惑星リュウグウの砂

月へ行くには?



探査機を地球から打ち上げて、月に送り込む方法として、大きく二通りあります。

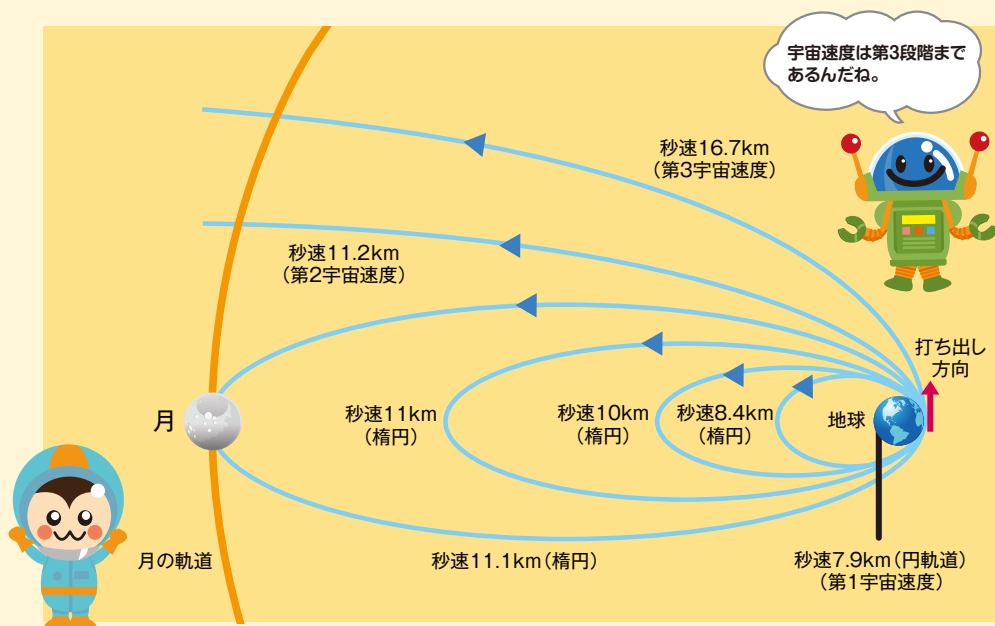
第1は地球の人工衛星軌道で行くもので、月まで届くような細長い円(楕円)を描くような軌道に乗せる方法です。

第2は地球の人工衛星軌道ではなく、地球の重力を脱出して行く方法です。

楕円軌道で月へ

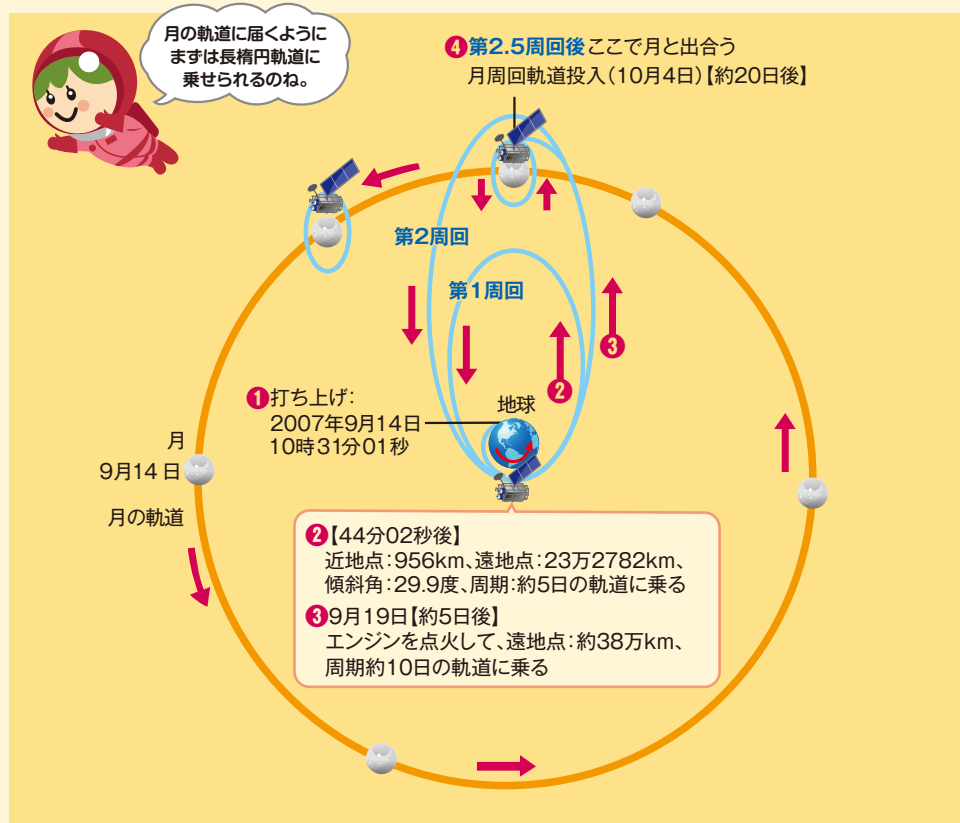
人工衛星として地球の周りを回すためには、地球からの高度に見合った速度で打ち出すと円を描いて周回します。それよりも速い速度で打ち出すと、反対側にのびた楕円軌道を描きます。速ければ速いほど、その楕円はより遠くまで離れていきます。地球の空気がないと仮定して、地表すれすれの人工衛星にするために必要な速度は秒速約7.9kmですが、秒速約11.1kmで打ち出すと、地球から約38万km離れたところまで届く楕円軌道を描いて回ります。月は地球から約38万km離れたところを回っていますので、この人工衛星は月まで届くことになります。

実際は、人工衛星の軌道と月の軌道のタイミングを計って、正確に打ち上げる必要があります。この軌道で地球を一周する周期は約10日ですので、月までは5日くらいで行けることになりますが、途中からの月の重力の影響や地球から打ち上げる高度・速度の違いなどで異なってきます。



▲打ち出しの速度が速ければ速いほど、より遠くにのびる楕円軌道を描く

●「かぐや」の月までの道すじ 日本の月周回衛星「かぐや」は、最初5日で地球を周回する楕円軌道に打ち上げられ、その後、軌道上で再加速して月の軌道まで届く、10日で地球を周回する長楕円軌道に乗せられました。地球を2.5周したとき(約20日後)に、月と出会うようにしています。また、人工衛星の速度は地球から離れば離れるほど遅くなっていきます。月の軌道付近での人工衛星の速度は秒速約100mですが、月の公転速度は秒速約1kmです。そのため、人工衛星が月の周りを回る軌道に乗るためには、月を追いかけるように人工衛星を“加速”することが必要です(月から見れば“減速”になります)。



▲「かぐや」の月までの軌道

地球重力を脱出して月へ

人工衛星を打ち上げるとき、さらに速い速度で打ち出すと、やがて人工衛星は地球の重力を脱出することができるようになります。この速度も打ち出す高度によって異なりますが、地球表面から打ち出す場合は秒速約11.2kmです。人工衛星になるために必要な速度を「第1宇宙速度」というのに対して、地球の重力圏を脱出する速度を「第2宇宙速度」といいます。地表面から打ち出した場合、放物線を描いて月までは2日程度で到達できますが、楕円軌道の場合と違って、二度と地球には戻ってこれない軌道ですので、より正確な制御が必要となります。

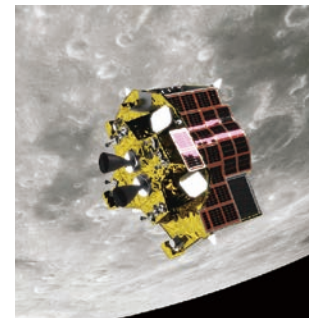
月は、地球の周りを回る“衛星”で、地球の周りを約27日かけて回っています。大きさは地球の4分の1で、ほかの惑星の衛星と比べると、木星のガニメデ、土星のタイタン、木星のカリスト、イオに次いで5番目の大きさです。月は、古来より私たちの暮らしに大きな影響を与え、また宇宙活動の大きな目的として活動の原点でもありました。



▲月は自転と公転が同じ周期のため常に同じ面を地球に向けており、地球からは裏側は見えない

世界の月探査

米・旧ソ連の宇宙開発競争は月探査に向けて激しく続けられました。1959年には、旧ソ連の無人探査機により初めて月の裏側が撮影されました。その後、米・ソから数多くの無人月探査機が打ち上げられ、有人月探査に向けて月を詳細に調べました。そして1969年7月20日、アメリカのアポロ11号により、ついに人類は月世界に足跡を記したのです。しかし1970年代後半以降、しばらくの間は世界の月探査活動は影をひそめていました。日本では2007年9月に月周回衛星「かぐや」を打ち上げ、2009年6月まで月面全体を詳細に観測しました。また、2024年1月には小型月着陸実証機「SLIM」が世界で初めての月面へのピンポイント着陸に成功しました。これまでは月面の「降りられるところ」に着陸していましたが、この成功により「降りたいところ」に着陸できることになりました。SLIMの成功は、有人月面探査計画「アルテミス計画」に必要な正確な着陸を実現するための大事な一歩となりました。無人探査機は、ヨーロッパ、中国、インドでも打ち上げており、それぞれ観測を行っています。



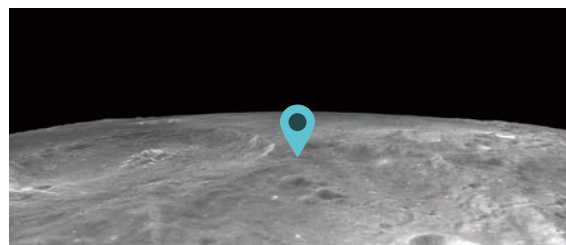
▲小型月着陸実証機「SLIM」



▲「かぐや」が月から撮影した満地球の出



▲月周回衛星「かぐや」



▲SLIMの着陸地点
月面の画像は「かぐや」撮影

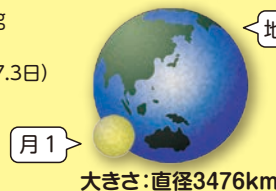


▲変形型月面ロボット「LEV-2」(愛称:SORA-Q)が撮影した着陸後のSLIMと月面画像
©JAXA/タカトミー/ソニーグループ(株)/同志社大学

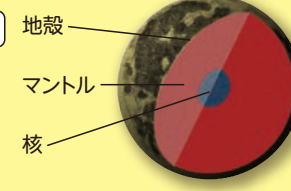
月の基本データ

重さ(質量): $0.073 \times 10^{24} \text{kg}$
 重力の強さ: 1.6m/s^2
 自転周期: 655.7時間(約27.3日)
 公転周期: 約27.3日
 近地点: 36万3000km
 遠地点: 40万6000km
 平均気温: -20°C

地球とくらべると…

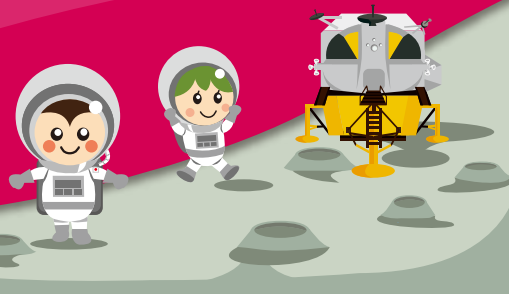


月の構造



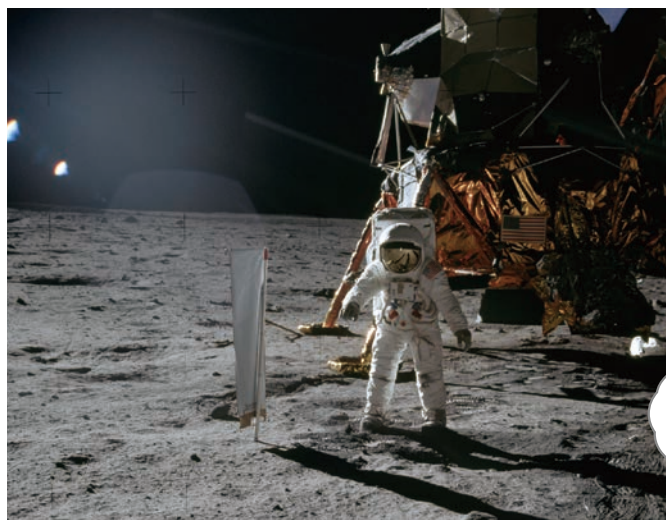
※近地点は、地球の周りを回っている間に地球に一番近づく地点の距離
 遠地点は、地球の周りを回っている間に地球から一番離れる地点の距離

人類、月に立つ

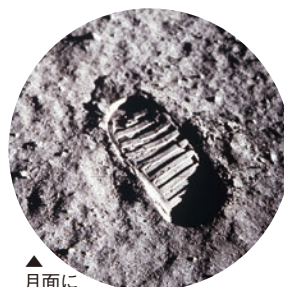


アポロ計画

月に行きたい！ 月を探検したい！ という夢は、人類の数百万年の歴史の中でも最も古い夢でしょう。1957年10月4日の旧ソ連による人類初の人工衛星「スプートニク1号」の打ち上げによって、第二次世界大戦後の米・旧ソ連二大国の冷戦を背景とした宇宙開発競争の幕が切れて落とされました。その4年後の1961年4月12日、旧ソ連のガガーリンによって人類初の宇宙飛行が行われ、アメリカもその後を追って宇宙に人間を送り出しました。宇宙開発競争の激化に伴い、その目標は人間の月探査となり、アメリカはそのためのアポロ計画を強力に推進しました。そして、人類初の宇宙飛行からわずか8年後の1969年7月20日22時56分20秒（日本時間21日午前11時56分20秒）、アームストロングによって月面に第1歩が踏み出されたのです。まさにこの瞬間は人類が種として誕生して以来数百万年もの間持ち続けてきた夢の実現でした。その後、アポロ計画では1972年12月のアポロ17号まで、6機が打ち上げられました。ただ13号は月に向かう途中、宇宙船の故障により月着陸を断念せざるを得ず、3人の宇宙飛行士は絶体絶命の危機的な状況になりながらも、奇跡的に地球に帰還しました。1972年12月19日、アポロ17号が月面探検後、太平洋に無事着水し、人類史上最大のアポロ計画の全てが終了しました。

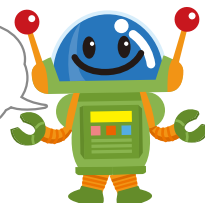


▲「静かの海」に立つオールドリン宇宙飛行士



▲月面に
つけられた
足跡

人類の夢が
実現した
第1歩だね。



アルテミス計画

アルテミス計画は、アメリカのNASAが中心となり、世界各国と協力して進められている月探査の大規模なプロジェクトです。この計画の目的は、2027年以降に再び人類を月に送り、月面に長期的な活動拠点^{かつどうきょてん}を作ることです。JAXAもこの計画に参加しており、月を周回する有人拠点「ゲートウェイ」の開発にも参加しています。ゲートウェイは、月面探査のための中継基地^{ちゅうけいきち}となるだけでなく、将来の火星探査の拠点としても期待されています。

JAXAは、ゲートウェイの中で人が生活する環境を整える技術や、地球から食料などの物資を補給する宇宙船の開発を担当しています。また、月面での人の活動を支えるため、有人と圧ローバーの研究開発にも取り組んでいます。このローバーは、宇宙飛行士が月面を広範囲に移動したり、長期間生活することを可能にする乗り物として期待されています。



▲ゲートウェイ(右)と
ゲートウェイへの補給機である
新型宇宙ステーション補給機
「HTV-X」(左)



▲有人と圧ローバーのCG



▲将来の月面基地のイメージ

ギリシャ神話と宇宙開発

アルテミス計画という名前は、ギリシャ神話の月の女神「アルテミス」にちなんでいますが、実はアポロ計画やオリオン宇宙船とも深いつながりがあります。アルテミスとは双子でもある太陽の神「アポロン」にちなんでつけられたアポロ計画は、1960年代に人類を初めて月に送り込んだミッションで、アルテミス計画はそれを引き継ぐ次世代の月探査を目指しています。また、アルテミス計画で使われる「オリオン宇宙船」は神話の狩人オリオンにちなんで名づけられ、月を目指す宇宙飛行士を乗せる役割を担います。このように、神話のアルテミス、アポロ、オリオンが現代の宇宙計画と結びつき、壮大な探査の物語が続いているのです。

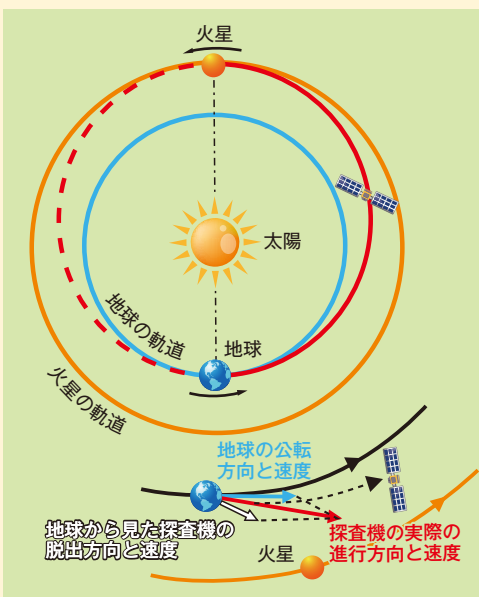
惑星へ行くには?

ホーマン軌道

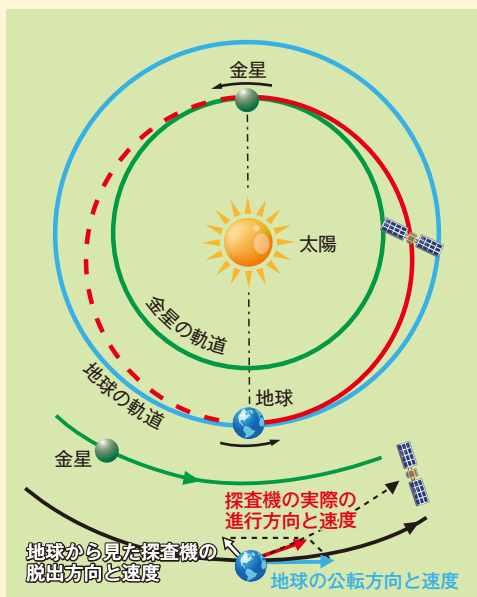
ホーマン軌道は、他の惑星に行きその惑星の周回軌道に乗るための最も効率の良い軌道です。

●火星へのホーマン軌道 探査機を地球の外側を回っている惑星、例えば火星に向けて打ち上げる場合、地球の公転方向に打ち出す場合の探査機は地球の公転速度と探査機自身の速度の合計の速度になるので、地球の公転速度よりも速くなります。したがって、楕円軌道で月に行く場合と同じように、探査機の太陽を回る軌道は遠くにのびる楕円軌道を描き、のびた軌道のところに火星が来るようにタイミングを見計らって打ち上げることになります。さらに、火星の公転速度と合わせるように、探査機を加速することによって、火星の周回軌道に入ります。この方法で火星までは約260日です。

●金星へのホーマン軌道 内惑星、例えば金星に向けて探査機を打ち上げる場合は、地球の公転方向と逆の方向に打ち出します。地球重力圏を抜けるころの探査機の速度は、地球の公転速度から探査機が持っている速度を引いた速度になるので、地球の公転速度よりも遅くなります。つまり太陽の重力とは釣り合いが取れず、その軌道はより太陽に近いところを回る楕円軌道になります。一番太陽に近いところを通るときに、金星が来るようにタイミングを見計らって打ち上げることになります。この方法で金星までは約150日です。



▲火星(外惑星)へのホーマン軌道



▲金星(内惑星)へのホーマン軌道

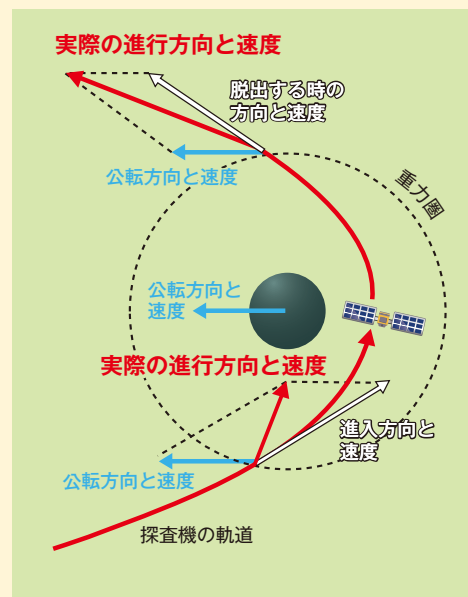
地球を離れ、他の惑星に行くためには、まず地球重力を脱出し、目的とする惑星を目指して飛行し、さらにその惑星の周回軌道に乗る場合はエンジンを作動させるなど、全体として大きなエネルギーが必要となります。しかし、地球から打ち上げるためのロケットの大きさには限りがあるので、できるだけ少ないエネルギーで行くことが必要です。



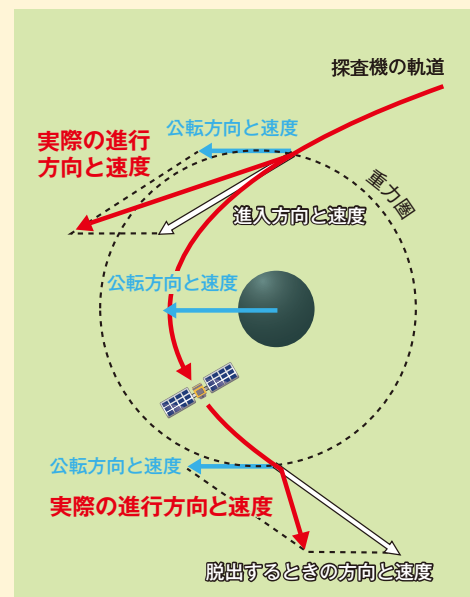
スイングバイ航法 燃料を使わないで速度を変える

木星や土星、そしてさらにその外側に探査機を送る場合は、ホーマン軌道を使っても多くのエネルギーが必要ですが、探査機には多くの燃料は積めません。そこで探査機の燃料を極力使わずに、天体の重力と公転速度を利用して軌道の変更や加速をすることが考え出されました。これは天体からみた見かけの速さとしては、近づくときも遠ざかるときも同じですが、公転速度が加わることで実際の速度(太陽から見た速度)が変化します。この航法を「スイングバイ」といいます。アメリカの惑星探査機「ボイジャー2号」は、木星、土星、天王星、海王星と次々に接近観測(フライバイ観測)を行いました。始めに木星の重力圏に入った「ボイジャー」は、木星の重力を利用して軌道を変更するとともに木星の公転運動からエネルギーをもらって加速して、土星に向かいました。土星に近づくとき土星の重力と公転運動によりボイジャーの軌道を変え、加速して天王星に向かいました。このように探査機の燃料を使わずに軌道を変え、加速して次々と目的の天体を目指しました。このスイングバイは天体の重力圏への進入方向を変えることによって、減速することもできます。ただ、スイングバイを正確に行うためには、精密な計算と探査機を正確にコントロールすることが必要です。

日本の小惑星探査機「はやぶさ2」も、打ち上げ後、地球の公転軌道周辺の太陽周回軌道に乗りました。そして1年後、地球に再接近しスイングバイにより加速して小惑星リュウグウに向かいました。



▲加速スイングバイ



▲減速スイングバイ

惑星探査…① 水星

昼と夜の温度差が600度の惑星

水星は太陽系の8つの惑星の中で一番小さな惑星です。大きさは地球のおよそ3分の2くらいしかなく、重力は地球のおよそ0.4倍と小さいのですが、水星の中心の核が密度の高い鉄、ニッケル合金で全体質量の80%も占めているため、平均密度は地球とそれほど変わりません。表面は無数のクレーターで覆われており、大きいものは直径1550kmで、水星の直径の3分の1以上にもなります。大気はほとんどないため、太陽に照らされている面と日陰の面の温度差が非常に大きくなります。

水星の探査

1973年11月、アメリカは「マリナー10号」を打ち上げ、途中金星とのスイングバイで速度を落とし、翌年3月に水星に接近、フライバイ観測を行いました。その後2回にわたって水星に接近し、観測、写真撮影などを行いました。2004年8月、アメリカは「メッセンジャー」を打ち上げ、地球、金星、水星で計6回のスイングバイの後、2011年3月、水星周回軌道に投入し、水星の観測を行いました。

日本ではヨーロッパと協力して国際水星探査計画「ベピコロンボ」を進めており、2018年に水星磁気圏探査機「みお」を打ち上げ、欧州宇宙機関(ESA)の水星表面探査機「MPO」と水星同時観測を予定しています。



表面はたくさんのクレーターで覆われている▶



▲水星磁気圏探査機「みお」



▲「メッセンジャー」

水星の基本データ

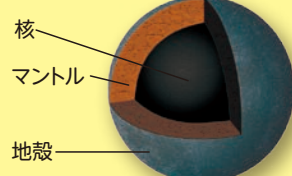
重さ(質量) : $0.330 \times 10^{24} \text{kg}$
 自転周期 : 1407.6時間
 公転周期 : 88日
 近日点 : $46 \times 10^6 \text{km}$
 遠日点 : $69.8 \times 10^6 \text{km}$
 平均気温 : 167°C

地球とくらべると…



大きさ: 直径4879km

水星の構造



※近日点は、太陽の周りを回っている間に太陽に一番近づく地点の距離
 遠日点は、太陽の周りを回っている間に太陽から一番離れる地点の距離

惑星探査…② 金星

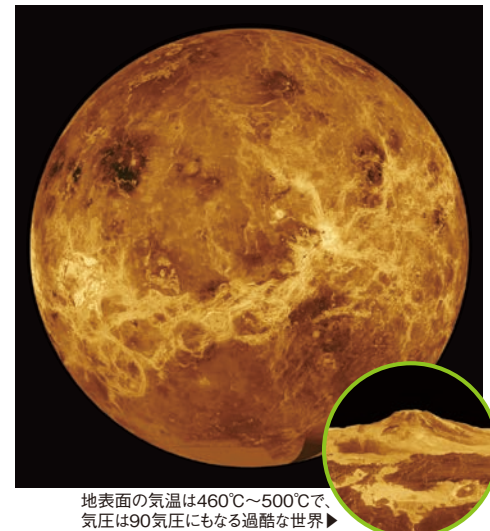
厚い雲に包まれた灼熱の惑星

地球よりも太陽に近いところを回っている金星。金星は明るく輝く惑星で日本では「明けの明星」、「宵の明星」として、さらに西洋では愛と美の女神「ビーナス」として、古くから人々に親しまれてきました。また、金星は地球と同じ岩石型の惑星ですが、その大きさ・質量・そして重力は地球よりも少し小さいだけで、地球と同じような環境の惑星と考えられてきました。ところが、探査機の観測などによって、金星はそのようなイメージとは全く異なる惑星であることが、徐々に明らかになってきました。

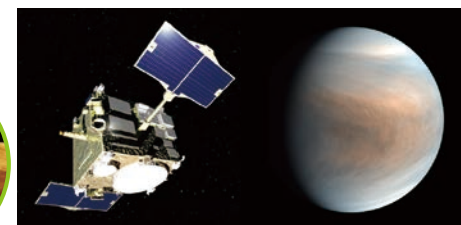
金星の探査

1962年8月、アメリカは「マリナー2号」を打ち上げ、12月に金星フライバイ観測に成功しました。1965年11月、旧ソ連は「ベネラ3号」を打ち上げ、翌年3月に金星にカプセルをぶつけることに成功しました。1990年8月、アメリカは「マゼラン」を金星周回軌道に乗せて金星の詳しい地図を作製、1970年12月には旧ソ連が「ベネラ7号」で初の金星軟着陸を行って観測をしました。2006年にはヨーロッパも「ビーナス・エクスプレス」を金星周回軌道に乗せて観測しました。日本が2010年に打ち上げた金星探査機「あかつき」は、金星を約10日で1周する橢円軌道に投入され、大気の流れや成分、雲のようす、さらに雷や火山活動などを調べています。金星は地球とほぼ同じ大きさで「地球の兄弟星」と呼ばれていますが、二酸化炭素主体の大気は地球の100倍近くもあり、地表を極端な高温にしています。地面から約70kmの雲頂高度で毎秒100mにも達する暴風「スーパーローテーション」が吹いており、その維持に熱潮汐波*と呼ばれる波が重要な役割を果たしていることが「あかつき」により分かってきました。

*熱潮汐波とは惑星の大気(空気)が太陽光で暖められて起こる波のことです。



地表面の気温は $460^\circ\text{C} \sim 500^\circ\text{C}$ で、気圧は90気圧にもなる過酷な世界▶

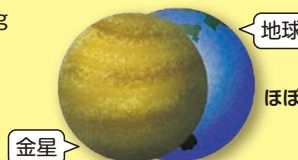


▲金星探査機「あかつき」CG(金星は「あかつき」撮影)

金星の基本データ

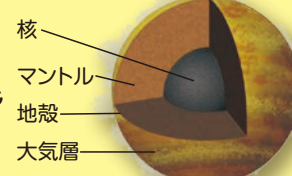
重さ(質量) : $4.87 \times 10^{24} \text{kg}$
 自転周期 : -5832.5 時間
 公転周期 : 224.7日
 近日点 : $107.5 \times 10^6 \text{km}$
 遠日点 : $108.9 \times 10^6 \text{km}$
 平均気温 : 464°C

地球とくらべると…



大きさ: 直径1万2104km

金星の構造



※自転周期が逆回転の星はマイナスの数値で表す

月・惑星の探査

太陽系と生命の起源を求めて

月の探査

～ 月の謎を探る ～

地球以外の天体に人類が足跡をしるした唯一の天体、月。
今現在でも多く残されている月の謎の解明のため
探査活動を行っています。

金星・火星の探査

～ 地球型惑星の謎、生命の謎に挑む ～

地球型惑星の謎を探るとともに、
“私たち地球の生命とは一体何なのか”を探るため、
他の天体での生命の探査活動を行っています。

水星、彗星、小惑星の探査

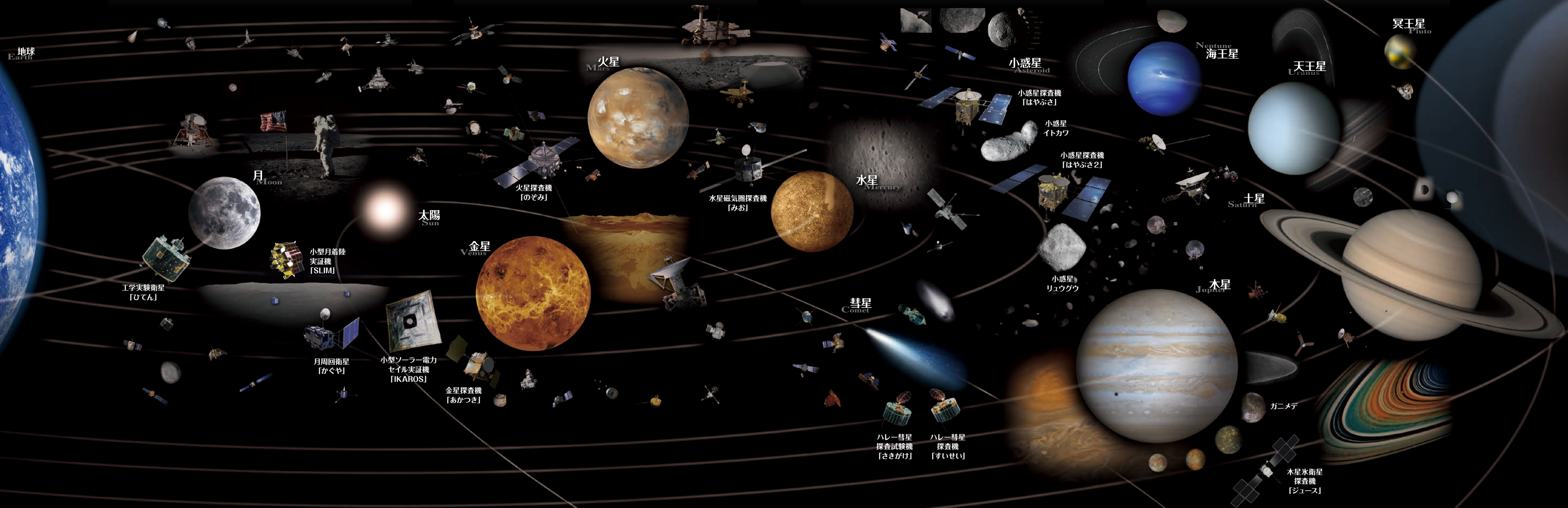
～ 太陽系誕生の謎に挑む ～

太陽系誕生時の化石ともいわれる
彗星や小惑星、そして太陽に一番近い水星。
これら天体の探査によって太陽系生成の謎の解明に挑みます。

外惑星・準惑星の探査

～ ガス惑星、準惑星の謎に挑む ～

小惑星以遠の巨大な4つのガス惑星、
そして準惑星や太陽系外縁天体など、
まだまだ多くの謎に包まれている太陽系の謎に挑みます。



惑星探査③ 火星

赤い大地が広がる惑星

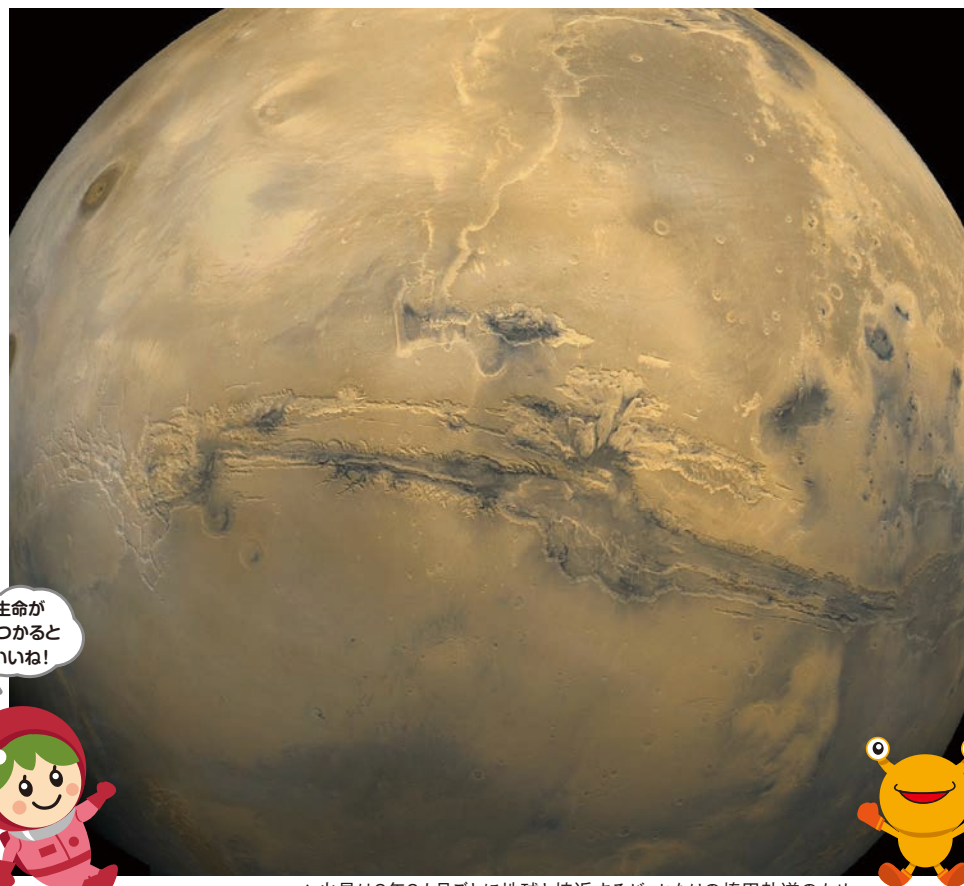


火星の大きさは地球のほぼ半分で、内部
あるなど、地球と似ているところが多い
含むケイ酸塩のマントルがあり、地殻は
の約150分の1しかありません。そのた

の構造や自転の周期(1日の長さ:約24時間)や自転軸の傾き(約25度)により四季の変化が
惑星です。中心部は鉄、ニッケル合金、硫化鉄などの核があり、それを囲むように硫化鉄を多く
ケイ酸塩からなっています。二酸化炭素が主成分の薄い大気がありますが、平均気圧は地球
め温室効果は少なく、平均気温は赤道付近で-50℃程度です。

生命存在の可能性が高い火星

火星の北極や南極には主にドライアイス(固体
の二酸化炭素)でできた極冠がありますが、こ
れらは季節の変化によって融け出して大きさが変わります。地球に似た環境をもつ火星には、生命がいる可能
性が高いとして、これまで多くの無人探査機が火星に向けて打ち上げられ、ある探査機は着陸して表面を調べ、
またある探査機は火星の人工衛星として周回しながら地表を詳しく調べています。その結果、水がなければ存
在しないはずの岩石があることや、土壌の中に水が存在していることを確認しました。そして、過去には大量の
水が存在していたこと、そしてその多くの水は南極の極冠付近に氷としてあるらしいことや、地下に水が埋まっ
ているらしいことも分かってきました。



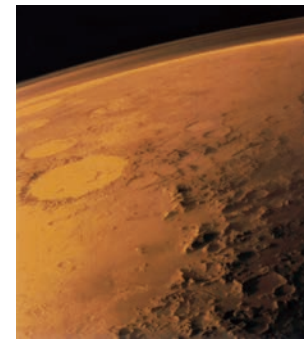
生命が
みつかる
といいね!



▲火星は2年2カ月ごとに地球と接近するが、かなりの楕円軌道のため
接近の時でも地球から5600万km~1億kmと、2倍近く違う



▲クレーターや火山、峡谷が広がる火星の大地



▲火星を覆う薄い大気

火星の探査

米・旧ソ連では1960年代の初めから火星に多くの探査機を打ち上げていま
す。1965年7月、アメリカの「マリナー4号」は火星に9600kmまで接近し、初
めてフライバイ観測をしました。それまで「火星には高等生命がいて全体に運河を建設している」との話も
あった火星表面は、荒涼としていてクレーターらしきものもあり人々に衝撃を与えました。その後も失敗を
重ねながらも、火星に多くの探査機を向かわせました。特にアメリカは、「バイキング」や、無人ローバーなどを
火星に着陸させ、火星の表面や火星の生命探査を行っています。

日本では、火星周回軌道に投入し、火星の衛星からのサン
プルリターンを行う火星衛星探査計画「MMX」を進めて
います。MMXは、2つの火星衛星(フォボス、ダイモス)
の起源や、火星圏(火星と火星衛星)の進化の過程を明らかに
することを目的としています。さらに、火星衛星への着陸・
離脱と地球に帰還する技術、「はやぶさ」や「はやぶさ2」と
は違う新しいサンプルリターンの技術など、これからの惑星
や衛星探査に必要とされる技術の獲得も期待されていま
す。

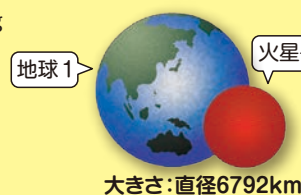


▲MMX探査機

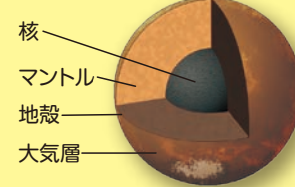
火星の基本データ

重さ(質量) : $0.642 \times 10^{24} \text{kg}$
自転周期 : 24.6時間
公転周期 : 687.0日
近日点 : $206.6 \times 10^6 \text{km}$
遠日点 : $249.2 \times 10^6 \text{km}$
平均気温 : -50℃

地球とくらべると...



火星の構造



惑星探査…④ 木星

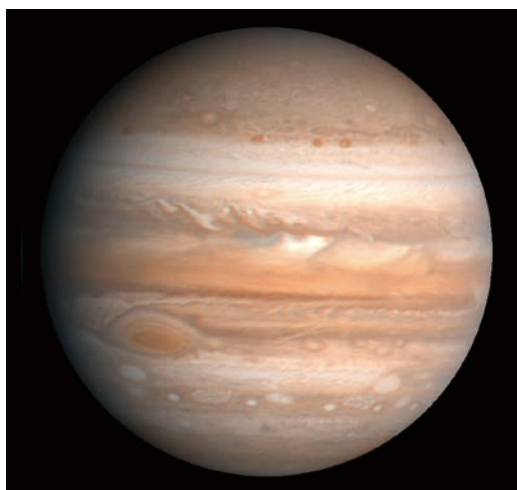
巨大な渦をもつ ガス惑星

木星の直径は地球の約11倍、質量は約318倍で、太陽系で一番大きい惑星です。中心部には、地球の質量の10倍もの岩石と金属の核があり、核の外側は木星半径の78%を占める液状の金属水素の層です。その外側は水素(約90%)とヘリウム(約10%)の大気(ガス)の層があり、少量のメタン、アンモニア、水蒸気などがあります。地球や火星のような岩石惑星とは異なり、太陽に近いガス惑星です。

木星の探査

巨大なガス惑星、木星。この太陽系最大の惑星にも、探査機が送り込まれ、さまざまな観測が行われています。

フライバイ観測を行ったのは、アメリカの「パイオニア10号、11号」、「ボイジャー1号、2号」、「ニューホライズンズ」、そしてアメリカ・ヨーロッパの協力による「カッシーニ」です。「パイオニア11号」と「ボイジャー1、2号」、「ニューホライズンズ」、そして「カッシーニ」は、木星を観測後、スイングバイにより速度を上げて、さらに外側の惑星に向かいました。アメリカ・ドイツの協力による「ガリレオ」は、木星周回軌道に乗って観測を行いました。さらに、大気の観測を行うために観測機を切り離し、木星大気へ突入させました。アメリカは木星周回軌道に「ジュノー」も送っています。日本はヨーロッパ主導の木星氷衛星探査機「ジュース」に参加しています。2023年に打上げられた「ジュース」は、ガニメデ等の氷衛星を詳しく探査する予定です。



▲大気中のメタンやアンモニア、水蒸気が縞模様を作っている



▲木星氷衛星探査機「ジュース」 ©Airbus DS



▲大赤斑と周囲に渦巻く雲



惑星探査…⑤ 土星

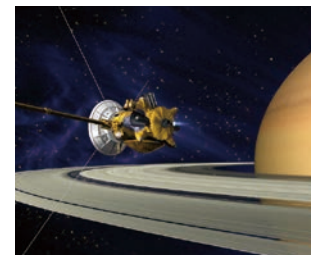
美しいリングをもつ惑星

土星は太陽系惑星の中で木星に次いで大きな惑星で、内部も木星に似たガス惑星です。直径と体積はそれぞれ地球の約10倍と約800倍もありますが、質量は約95倍しかありません。これは土星の平均の密度が、水の70%程度しかないためです。もし、水を満たしたプールに土星を入れると水に浮いてしまう…という軽さで、太陽系惑星の中で最も低い平均密度です。土星の最も大きな特徴は、何ととっても美しい輪があることです。

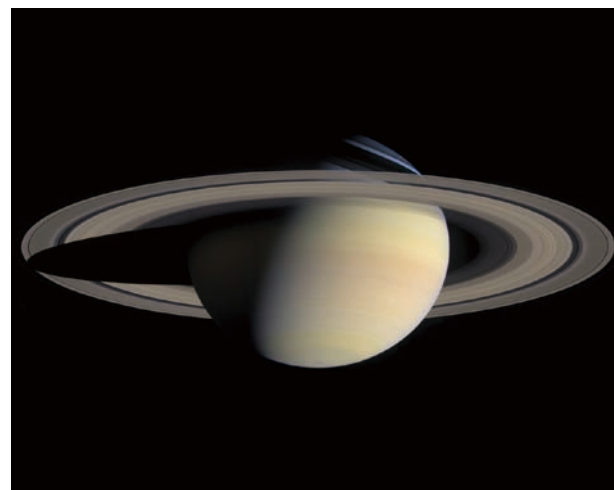
土星の探査

地球～太陽間の10倍も離れた太陽系2番目の大きさの土星。探査機はその土星の謎にも迫っています。

「パイオニア11号」、「ボイジャー1、2号」の3機は、木星スイングバイ後、土星に接近し、フライバイ観測をして、さらに太陽系の外側へと向かいました。アメリカ・ヨーロッパの協力による「カッシーニ」は木星スイングバイ後に土星到達、周回軌道に乗って観測を行いました。また、「カッシーニ」は、土星の衛星タイタンに着陸機「ホイヘンス」を着陸させ、その表面の観測も行いました。



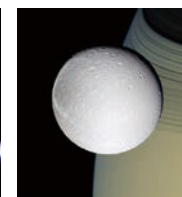
▲「カッシーニ」



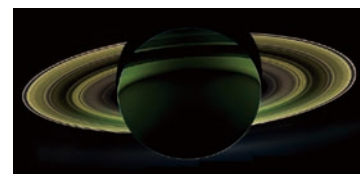
▲主に氷の粒子(1cm未満から数m)が無数に集まって輪を構成している



▲土星の衛星エンケラドスから噴出する蒸気や氷の結晶



▲土星の衛星ディオネ



▲「カッシーニ」が太陽の反対側から撮影。逆光のため、土星の環と大気を細かく観測できる

木星の基本データ

重さ(質量): $1899 \times 10^{24} \text{kg}$
自転周期: 9.9時間
公転周期: 4331日
近日点: $740.5 \times 10^6 \text{km}$
遠日点: $816.6 \times 10^6 \text{km}$
平均気温: -110°C

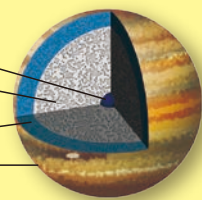
地球とくらべると…



大きさ: 直径14万2980km

木星の構造

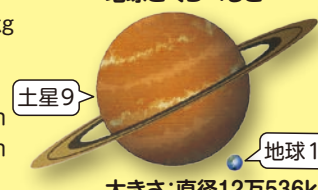
核
液体金属水素
液体分子水素
大気層



土星の基本データ

重さ(質量): $568 \times 10^{24} \text{kg}$
自転周期: 10.7時間
公転周期: 1万747日
近日点: $1352.6 \times 10^6 \text{km}$
遠日点: $1514.5 \times 10^6 \text{km}$
平均気温: -140°C

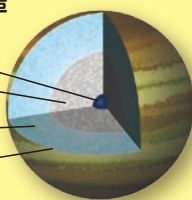
地球とくらべると…



大きさ: 直径12万536km

土星の構造

核
液体金属水素
液体分子水素
大気層



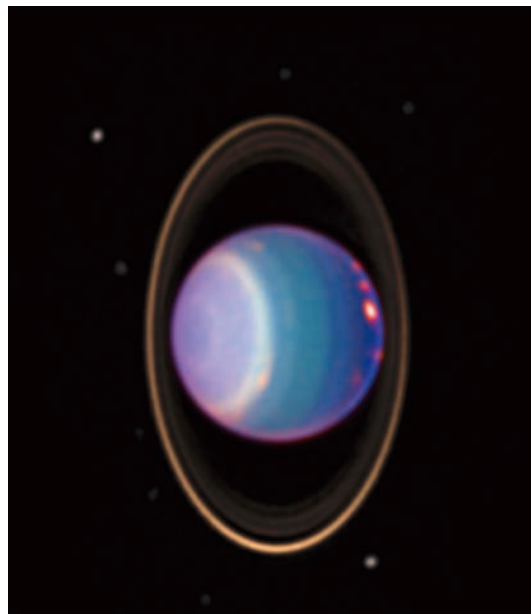
惑星探査…⑥ 天王星

自転軸が横倒しになった惑星

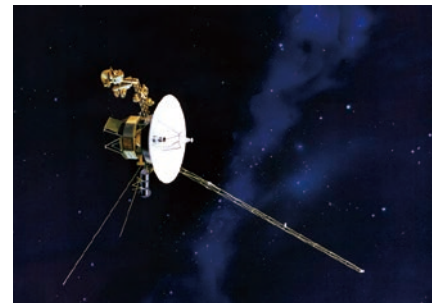
ており、木星や土星のようなガス惑星とは構造が違っています。大気層の主成分は水素やヘリウムで、メタンやアンモニアがわずかに含まれています。メタンが赤橙色の光を吸収してしまうため、天王星全体は青緑色になっています。天王星の最大の特徴は、自転軸が98度も傾いていることです。

天王星の探査

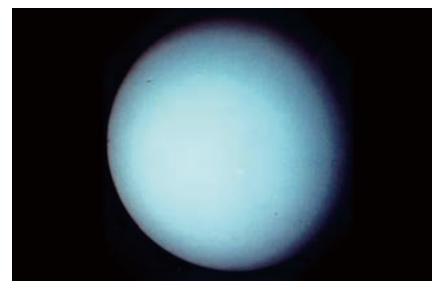
天王星のフライバイ接近観測は、土星スイングバイで加速した「ボイジャー2号」が行いました。「ボイジャー2号」は天王星に7万1000kmまで接近、観測して、スイングバイ加速、海王星に向かいました。



▲横倒しになっているため、輪も縦に回っている



▲「ボイジャー2号」



▲天王星の表面

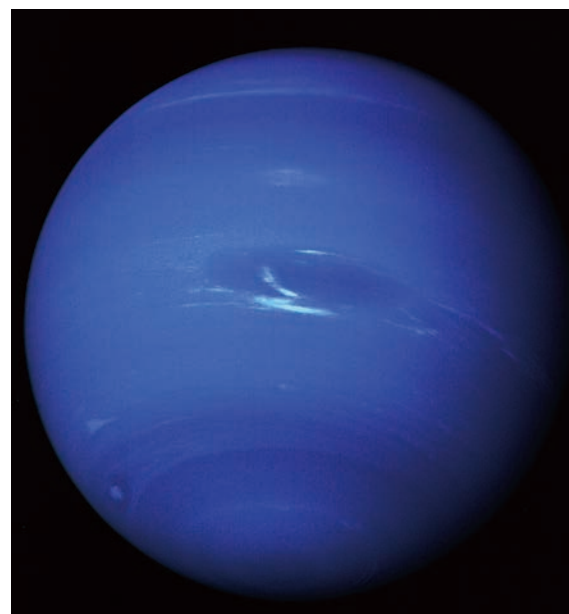
惑星探査…⑦ 海王星

太陽から最も遠い惑星

の大気は天王星と同じ水素とヘリウムと、少量のメタンです。大気中のメタンのために、赤橙色の光が吸収されて、青く輝いて見えます。また、大気上層にはメタンが凍ったものと思われる絹雲状の白い雲があり、その雲が大気の流れに乗って移動して淡い縞模様になっています。

海王星の探査

天王星でスイングバイした「ボイジャー2号」は、最果ての惑星、海王星に5000kmまで接近し、その姿を鮮明にとらえました。海王星のフライバイ観測をした「ボイジャー2号」は大きな役割を終え、さらに太陽系の脱出に向けて飛び去りました。

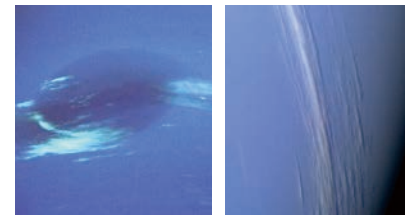


▲大気中のメタンのために、赤橙色の光が吸収されて、青く輝いて見える

「バイオニア10号、11号」と「ボイジャー1号、2号」は惑星探査の主要な目的を達成し、太陽系脱出に向けて現在も飛行中です。



▲海王星(上)とその衛星トリトン(下)



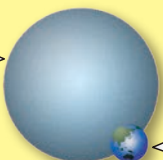
▲表面の模様のクローズアップ ▲表面のスジ状の雲

天王星の基本データ

重さ(質量) : $86.8 \times 10^{24} \text{kg}$
 自転周期 : -17.2時間
 公転周期 : 3万589日
 近日点 : $2741.3 \times 10^6 \text{km}$
 遠日点 : $3003.6 \times 10^6 \text{km}$
 平均気温 : -195°C

地球とくらべると…

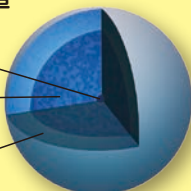
天王星4



大きさ:直径5万1118km

天王星の構造

核
 マントル
 大気層

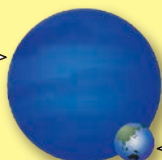


海王星の基本データ

重さ(質量) : $102 \times 10^{24} \text{kg}$
 自転周期 : 16.1時間
 公転周期 : 5万9800日
 近日点 : $4444.5 \times 10^6 \text{km}$
 遠日点 : $4545.7 \times 10^6 \text{km}$
 平均気温 : -200°C

地球とくらべると…

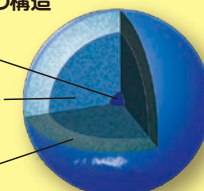
海王星4



大きさ:直径4万9528km

海王星の構造

核
 マントル
 大気層



※自転周期が逆回転の星はマイナスの数値で表す

未知への探求が続く 冥王星と外縁天体

めいおうせい
冥王星は、2006年までは「惑星」として分類されていました。その直径は地球の6分の1程度で、月の大きさの4分の3程度しかありません。大気は主に窒素^{ちっせ}で、地球の10万分の1とかなり薄く、地表には窒素、メタン、アンモニアなどが霜のように積もっていると考えられています。内部構造は、岩石構造の中心核があり、その周りを厚い水の氷の層が覆^{おお}っていると考えられています。このような構造は他の惑星とは異^{こと}なっています。また、太陽を回る軌道もかなりいびつな楕円軌道で、太陽に一番近いときは海王星よりも内側に入り込んできます。そのため、冥王星は惑星として分類してよいかどうか、疑問がもたれていました。そして2006年の国際天文学連合の総会で、新たに「準惑星」という分類が設けられ、冥王星は準惑星の位置づけになりました。

●準惑星とは

準惑星とは、①太陽の周りを回り、②十分に大きな質量があり、自分の重力によってほぼ球形の形になっており、③自分の公転軌道付近に他の天体があり、そして④惑星の衛星ではない、「天体」と定義されています。天文の観測が進むにつれて、冥王星の外側に、冥王星と同じような天体が複数発見されたため、冥王星は準惑星という分類に入ることになりました。

●現在の準惑星と分類

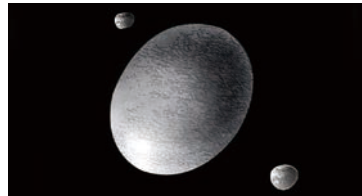
現在、準惑星は太陽から近い順に、「ケレス」、「冥王星」、「ハウメア」、「マケマケ」そして「エリス」があります。「ケレス」は火星と木星の間の小惑星帯にあり、その他の準惑星は海王星よりも外側を回っています。このように遠くを回っている天体を太陽系外縁天体^{がいえん}といいます。今後の観測によってはさらに多くの準惑星が発見される可能性があります。

●外縁天体

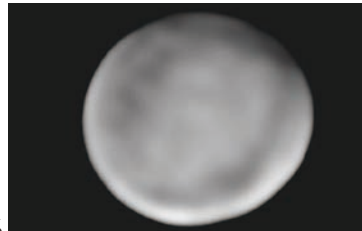
海王星の近くやその外側を回っている小さな天体で、1992年に初めて発見され、その後も次々と発見されました。現在では1300個以上発見されています。巨大なガス雲から太陽系が生まれたときに、中心から遠くで残ったガスが惑星に成長できず、そのまま固まってできた氷などで覆われていると考えられています。



▲「ニュー・ホライズンズ」が768000kmから撮影した冥王星



▲ハウメア



▶ケレス

準惑星と外縁天体の探査

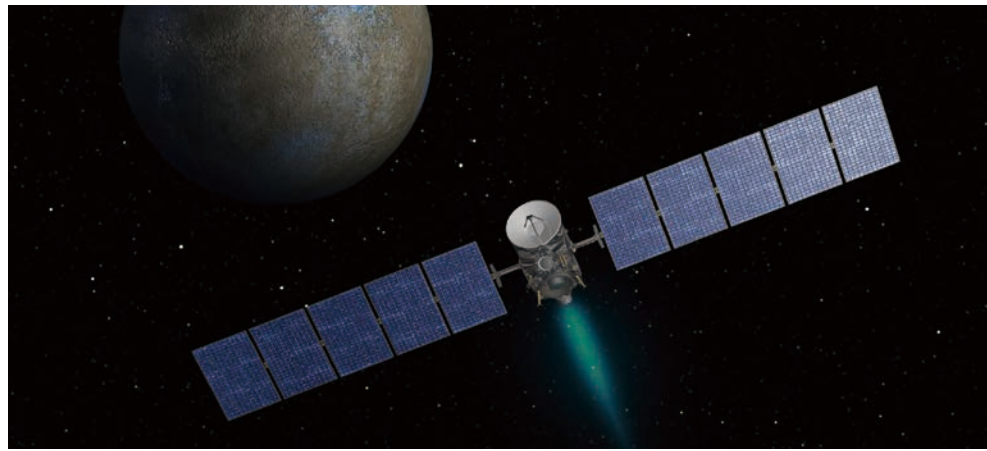
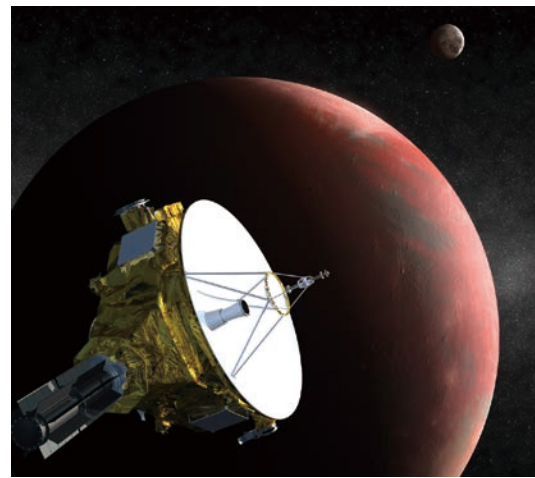
冥王星とその衛星カロン、そして外縁天体を探査するためのアメリカの「ニュー・ホライズンズ」は、それまでのどの探査機も出し得なかった高速で地球を離れ、わずか9時間で月の軌道を横切りました。

13か月後には木星に到達し、スイングバイで加速して冥王星に向かいました。

そして冥王星のフライバイ観測の後、外縁天体の観測のためにさらに航行を続けています。

▶「ニュー・ホライズンズ」

Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute



▲「ドーン」

アメリカの探査機「ドーン」は、小惑星ベスタの周回軌道に乗って観測を続け、その後、ベスタを離れ準惑星ケレスの周回軌道に乗って、それぞれ観測しました。小惑星と準惑星の詳細観測により、両者の違いなどから太陽系誕生初期のようすを探ります。

準惑星の基本データ

名称	直径(km)	質量(kg)	自転周期(日)	公転周期(年)	衛星数
ケレス	975×909	9.5×10^{20}	0.377	4.60	0
冥王星	2306±20	$\sim 1.305 \times 10^{22}$	-6.387	247.75	5
ハウメア	1960×1518×996~2500×1080×860	$\sim (4.2 \pm 0.1) \times 10^{21}$	0.1646	282.77	2
マケマケ	1300~1900	$\sim 4 \times 10^{21}$	0.3238	306.74	0
エリス	2400±100	$\sim 1.5 \times 10^{22}$	1.08±0.02	558.77	1

※自転周期が逆回転の星はマイナスの数値で表す

太陽系誕生の謎を秘めた 小惑星と彗星

小惑星は数百m～数百kmの大きさの岩石などでできており、多くの小惑星が火星と木星の間で集中的に集まって帯状に太陽を回っています。これを小惑星帯といい、発見されている数は140万個以上あります。また、小惑星の中には火星や地球の軌道を横切るものや、地球の軌道よりも内側に入り込んで太陽を周回しているものもあります。

太陽系の誕生や進化はまだまだ多くの謎に包まれています。地球をはじめ惑星では、内部の熱で融けたり火山活動などで、誕生時の情報の大部分は失われていますが、小惑星は太陽系誕生のときのようなすそをそのまま持っているものが多くあります。まさに、小惑星は太陽系誕生時の「化石」といえます。

長い尾を引きながら夜空でうっすらと光を放つ^{すいせい}彗星。この彗星も太陽の周りを回っている小天体です。その本体の核は、氷とチリでできていて、「汚れた雪だるま」のようだとされています。外縁天体と同じように、外縁部で太陽系ができたところに核ができたと考えられています。その核が何らかのはずみで太陽に引かれて、太陽に接近するように移動してきます。そして太陽に近づいたときに、太陽の熱を受けると核の表面の氷が一気に気体になり、コマと呼ばれる大気ができます。そのとき彗星は明るく輝きますが、大気がイオン化した「イオンの尾」や、核から同時に放出されたチリによる「チリの尾」をたなびかせます。



©ESA/Rosetta/
Philae/DLR

▲彗星上空3kmから欧州宇宙機関(ESA)の彗星探査機「ロゼッタ」の
小型着陸機「フィラエ」が撮影したチュリュモフ・ゲラシメンコ彗星の表面の様子



彗星は太陽の熱で
明るく輝くんだ。



◀ガスを噴き出す
ハレー彗星

小惑星の探査

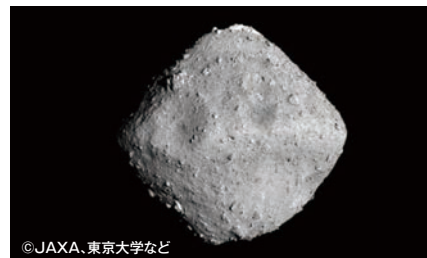
小惑星探査機「はやぶさ」は2003年に打ち上げられました。その目的は、S型の小惑星イトカワを探索し、その表面から物質を地球に持ち帰ることでした。「はやぶさ」は、イオンエンジンを使ってはるか遠くの小惑星まで航行し、自分で航路を決めながらイトカワに接近しました。イトカワへの着陸に成功し、試料(サンプル)を採取した後、2010年に地球に帰還しました。サンプルが入ったカプセルはオーストラリアの砂漠に着地し、ミッションは完了しました。このような小惑星からのサンプルリターンは、世界初でした。地球に持ち帰られたサンプルは、今でも詳しく分析されており、小惑星の形成について新しい発見をもたらしています。

その「はやぶさ」の後継機である小惑星探査機「はやぶさ2」は、2014年に打ち上げられ、イトカワとは性質の異なるC型の小惑星リュウグウを探索し、2020年にサンプルを持ち帰りました。C型小惑星には、その構成物質に有機物や水が含まれていると考えられています。地球誕生の謎に加えて、海の水の起源や生命の原材料となった有機物の起源の解明が期待されています。「はやぶさ2」はその後、拡張ミッションとして小惑星トリフネと小惑星1998 KY26を目指す探査を続けています。

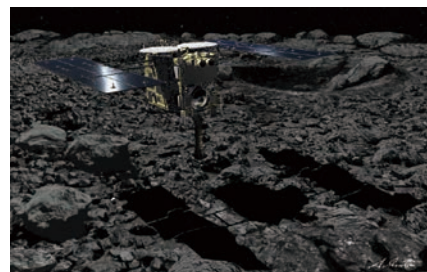
この他にもアメリカの小惑星探査機「オサイリス・レックス」は、2016年に打ち上げられ、小惑星「ベンヌ」に着陸し、2023年にサンプルを地球に持ち帰った後、他の小惑星の探査に向かいました。



▲小惑星イトカワ 長さ約540m



▲小惑星リュウグウ 直径約900m

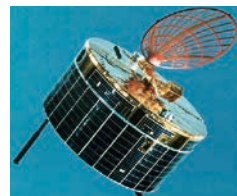


▲リュウグウへのタッチダウン(CG)

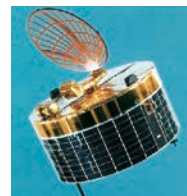
彗星の探査

1985年、日本はハレー彗星探査試験機「さきがけ」とハレー彗星探査機「すいせい」を打ち上げました。これは76年ぶりに太陽に接近したハレー彗星の国際協力探査計画によるもので、旧ソ連の「ヴェガ1号、2号」、ヨーロッパの「ジョット」、アメリカの「アイス」と共同で、ハレー彗星を探索し、多くの成果を得ました。

また、2004年に打ち上げられた欧州宇宙機関(ESA)の彗星探査機「ロゼッタ」はチュリュモフ・ゲラシメンコ彗星の周回軌道に乗り観測を行い、2014年には着陸機「フィラエ」を投下、史上初の彗星着陸を行いました。



▲「さきがけ」



▲「すいせい」



▲「ヴェガ」



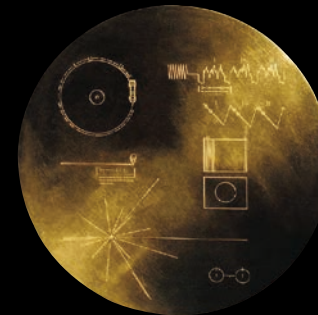
▲「ジョット」

ボイジャー1号



宇宙人へのメッセージなどを収録したレコード盤

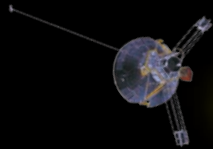
地球の写真や自然の音、世界各国のあいさつなどを収録。
「ボイジャー1号、2号」に搭載



パイオニア10号



パイオニア11号

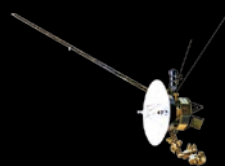


ニュー・ホライズンズ



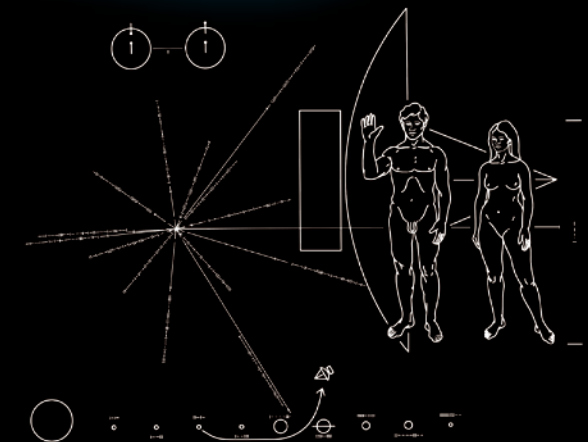
太陽系

ボイジャー2号



はるかなる旅路 宇宙へのメッセージ

地球人は、探査機にメッセージを託し、
果てしなき宇宙へと送り出した。
太陽系を超えたその先の、
どこかにいるかもしれない知的生命体へ
いつの日にか届くことを願いながら。



宇宙人へのメッセージプレート

地球人の姿、大きさ、太陽系の位置と打ち上げ時期などが分かるように記載されている。
「パイオニア10号、11号」に搭載