

ボイジャー2005年（太陽系の外側）

The screenshot shows the JAXA website interface. At the top left is the JAXA logo and name in Japanese and English. To the right are links for 'English', 'サイトマップ', and a search box. Below the header is a navigation menu with categories like 'トップページ', 'JAXAについて', 'プロジェクト', etc. The main content area features a video player with the title 'ボイジャー 太陽系を超えて Edward Stone' and a video of Edward Stone speaking. Below the video is a detailed biography of Edward Stone in Japanese. A 'FLASH PLAYER' logo is visible in the bottom right corner of the video player area.

ボイジャー
太陽系を超えて
Edward Stone
カリフォルニア工科大学物理学教授
エドワード・ストーン

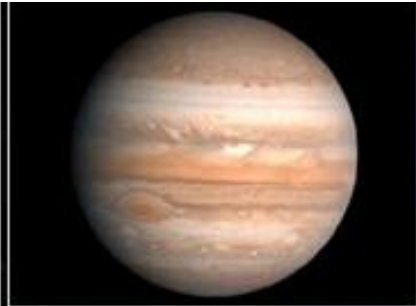
カリフォルニア工科大学物理学教授。
ジェット推進研究所（JPL）元所長。ケック財団理事。
ハワイのケック天文台では副台長として天文施設の開発を監督した。
1972年よりジェット推進研究所にて、
ボイジャー探査計画のプロジェクト科学者として、
木星、土星、天王星、海王星の科学研究、
太陽圏外探査、恒星間空間と太陽圏の境目、
太陽圏界面の研究を指揮する。

※ インタビューをご覧になる方は、
[] をクリックしてください。

Get micromedia
FLASH
PLAYER

この探査機は当初から、計画当時の新技術だった重力アシスト([スイングバイ](#))を利用するものとして設計された。幸運にも一連の惑星間探査機の開発時期が、惑星の配置がほぼ同じ方向に集中する時期(175年に一度)と重なったため、惑星グランドツアー(Planetary Grand Tour)と呼ばれる外部惑星の連続探査が構想されることとなった。このグランドツアーは、重力アシストによる飛行コースを連続してつなげることによって、軌道修正に必要な最低限の燃料だけで単独の探査機が太陽系の巨大ガス惑星4個(木星、土星、[天王星](#)、[海王星](#))を全て訪れることができる、というものであった。

ボイジャー1号は2号より後に打ち上げられたが、2号よりも飛行時間の短い軌道に乗せられたために先に木星と土星に到達した。この高速な軌道は誘導次第で冥王星へも到達できる軌道だったとも言われている。以前の発見で土星の衛星タイタンには濃い[大気](#)が存在することが分かっていたため、ボイジャー1号のグランドツアーを終えてタイタンに接近させることにした。タイタンへの接近軌道に乗ることでボイジャー1号はさらに重力アシストを受け、[黄道](#)面から外れる軌道に乗った。



ボイジャー2号が撮影した木星(提供:NASA)



ボイジャー1号が撮影した衛星イオの活火山(提供:NASA)



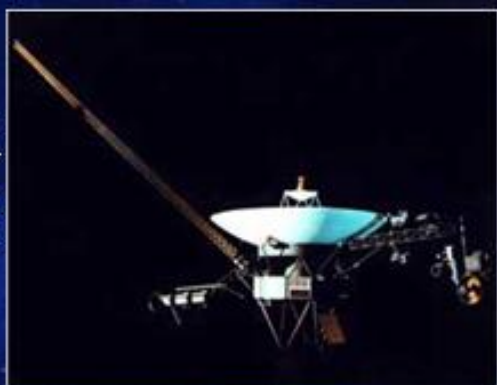
ボイジャー2号が撮影した天王星(提供:NASA)



ボイジャー2号が撮影した土星の輪(提供:NASA)

ボイジャー

NASAの惑星探査機「ボイジャー」。1977年8月20日に2号機、同年9月5日に1号機が打ち上げられ、木星から外側にある惑星を探査し数々の発見をもたらした。両機ともに現在も航行中で、1号機は太陽系の最外縁部に到達している(提供:NASA)



ボイジャー探査計画の目的は何ですか？

ボイジャーは、存在すら知られていない未知のものを発見する、真の意味での「探査」機です。木星、土星、天王星、海王星など、ボイジャーは訪れたすべての惑星において、われわれの想像をはるかに超える姿を映し出してくれました。

ボイジャーには直径3.7mの大きな通信アンテナがあり、定期的にデータを地球に送っています。その信号は、カリフォルニアとスペイン、オーストラリアの3ヶ所に設置されているアンテナで受信することができ、打ち上げから28年が経った今でも、太陽磁場などの観測を行い、宇宙の様子を毎日報告しています。

では、現在ボイジャーが航行している、太陽圏の果てについてお話ししましょう。太陽圏(ヘリオスフィア)は、太陽風の旋れの影響が及ぶ範囲のことで、その外側は太陽系外の恒星間ガスで満たされています。太陽風が恒星間ガスと衝突して弱まってなくなる境界が、太陽圏界面(ヘリオポーズ)と呼ばれる「太陽圏の果て」となります。その位置は、太陽からおよそ130~150天文単位(1天文単位は太陽と地球の間の距離で、約1億4960万km)にあると考えられていますが、太陽圏の大きさを明らかにすることもボイジャー探査計画の目的です。ボイジャーは史上初の恒星間飛行を目指し、今もなお飛行を続けています。

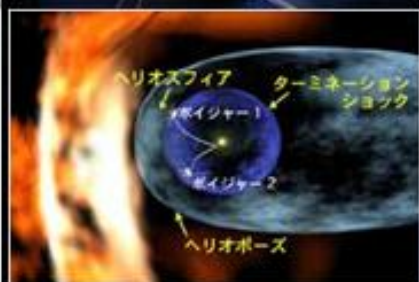
ボイジャーによるこれまでの大きな成果は何だと思われますか？

ボイジャーは、それ以前の探査機に比べ、大きく進歩した探査機です。1号機、2号機ともそれぞれ3台のコンピュータを搭載し、完全に制御されていますが、この計画が練られ始めた1970年代初頭、他にこのような機能を備えた探査機はありませんでした。

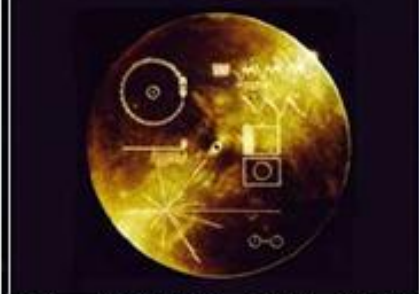
宇宙を飛行している探査機のプログラムを地上から修正できたことは、この探査を成功に導いた大きなポイントでもあります。ボイジャーの動向を見ながら修正を加えることができたので、予想以上に飛行期間を延長することができました。設計段階では木星到達までの機能しかなかったため、1977年の打ち上げ当時は、海王星付近から画像を送る機能はありませんでしたが、探査機や地上のシステムに改良を加えることにより、1989年には海王星に到達し、その素晴らしい画像を地球に送ることができたのです。海王星は、太陽から約45億kmも離れていて、太陽と木星の距離の約6倍、海王星に届く太陽の光のエネルギーは木星の36分の1で、地球に届くデータの量も36分の1になるほど遠い場所なのです。

2機のボイジャーは、太陽系の天体がいかに多様であるかを教えてくれました。木星の衛星イオに地球の100倍もの活火山があることや、土星の輪が比較的若いものだけということ、そして、その輪は、かつて土星周辺にあったいくつもの小天体が土星に近づいて破壊され、その破片が集まってできたのではないかとということなど。

太陽系の天体には、多くの物理的な共通性があるものの、外見は実に異なります。ボイジャーは、太陽系の驚くべき多様性を私たちにを見せてくれているのです。おそらく、ボイジャーが発見した天体の数は、今後どの探査機も及ばないと思います。この意味において、ボイジャーは究極の探査ミッションと言えるでしょう。



ヘリオスフィア(太陽圏)の想像図。中央の小さい点は太陽を表す(提供: NASA)



ボイジャーに取り付けられたゴールドディスク(提供: NASA)



太陽系外惑星(左下の赤い物体)

今ボイジャーはどこを飛行しているのでしょうか？

現在、2機のボイジャーとも恒星間空間への旅を続けていて、1号は太陽から約140億km、2号は約110億kmのところを飛行中です。
 “太陽圏の果て”(ヘリオポーズ)の手前では、時速150万kmという超音速で吹いている太陽風が、恒星間ガスにぶつかって急速に減速されターミネーションショック(未磁衝撃波面)が形成されています。ボイジャー1号は、そのターミネーションショックを飛行中です。

ボイジャーがこれほど長期間飛行することを予想していましたか？

ボイジャーが長期間飛行することは期待していましたが、打ち上げられた1977年というのは、宇宙時代が幕を開けてから20年しか経っていない頃です。こんなに長い間飛行することを、研究に基づいて予測するのは不可能でした。しかし打ち上げ後、「探査機の寿命が消耗部品次第である」こと、「信頼性を高めるには全体の機能に余裕をもたせればよい」ことが分かってきました。ボイジャーに搭載された原子力電池は、故障しない限り2020年まで持ちます。その頃ボイジャー1号は、太陽から約224億4000万kmという地球と太陽の150倍の距離に達し、恒星間飛行をする人類史上初の探査機となっていることでしょう。

ボイジャーに取り付けた「ゴールドディスク」の目的は何ですか？

ゴールドディスクは、旧式のアナログレコードですが、地球上のさまざまな写真や言語、音声などが記録されており、知的生命に地球を紹介するためのものです。ボイジャーを恒星間空間に到達する初めての探査機にすることは、打ち上げ当時から目指していたので、1号、2号ともに、飛行ルートは太陽圏を脱出する最短距離を選びました。そして私たちは、地球外知的生命に向けて、「地球(人類)の技術が、地球を離れ、ついに恒星間空間に到達するレベルになった」というメッセージを送ろうと思ったのです。実際に知的生命がディスクを発見することはないかもしれませんが、私たちの技術が永久に地球を離れ、恒星間空間に達することに意義があるのです。

地球外知的生命の存在を信じていらっしゃいますか？

私たちの銀河や宇宙に多くの惑星が存在していることは、明らかです。この宇宙のどこかに微生物などの生命が存在している可能性は、かなり高いと思っています。もしかすると、私たちの太陽系のどこにも微生物が存在しているかもしれません。「かつて火星には生命が存在していた」「もしかしたら今も存在しているかもしれない」「木星の衛星エウロパのひび割れた氷の下に、生命がいるかもしれない」とも言われていますからね。私たちの銀河系のどこかに微生物が生きている可能性は、非常に高いと思います。

今後、宇宙探査を進める上で大切なこととは何でしょう？

宇宙探査と宇宙開発の目的は、以下の宇宙における5つの分野を発展させることだと考えています。

1. 物理—まだ訪れたことのない場所に探査機が行く
2. 知識—宇宙には何かがあるのかを理論的に理解する
3. 技術—宇宙という新しい領域で、人間の活動を可能にするための技術を開発する
4. 人間—宇宙で人間がどう機能できるかを考察する
5. 利用—私たちの生活をより豊かにするための宇宙開発を考える

宇宙探査を計画する世界中の宇宙機関は、この5つのうちの1つ、またはそれ以上に取り組むべきだと思います。宇宙探査の幕開けからわずか50年で、まだまだ成すべきことが山積みですが、宇宙での可能性を広げるためには、この5つの分野に挑戦することが不可欠です。



NASAの火星探査機「マーズ・エクスプロレーション・ローバー」、2004年1月に火星に着陸し、かつて火星に水が存在していたことを明らかにした。現在も火星探査を続けている(提供:NASA)



2005年の夏に小惑星イトカワに到着する日本の小惑星探査機「はやぶさ」、小惑星の土壌サンプルを採取して持ち帰る史上初の探査機で、2007年の夏に地球で回収される予定

今後の日本の宇宙探査、宇宙科学に何を期待されますか？

宇宙探査の目的は、いくつかの時代に分けられます。はじめは、他の惑星へ行くための方法を研究し、実際にきたら成功という時代でした。次は1970年代に始まり、宇宙には何があり、どのような多様性があるのかを探るために、ボイジャーやガリレオ、カッシーニなど多くの探査機に観測機器を搭載し、大規模なミッションが計画されました。そして現在、ある地点へ再び戻り滞在する、または、その場所に着陸して調査し、サンプルを地球へ持ち帰るといった第三の時代に入っています。火星や小惑星については、すでにこの段階に入っています。宇宙には対象となる場所が非常にたくさんあります。火星にしても月にしても、まだまだ探査したい場所はたくさんあります。

次はどんな時代になると思いますか？ 第四の時代は、人類が宇宙へ旅立ち、着いた場所に長期間滞在したり、地球との間にネットワークを築く時代です。私たちはそれを通して地球上にいても宇宙を体験することができるようになります。

人類が宇宙へ行く滞在するという第三、第四の時代、確実に探査範囲は広がるでしょう。その新たな場所で人類の技術革新と進歩のチャンスを得られるということは、非常に重要です。JAXAは、そこに投資するだけの力を持っているはずですから、宇宙の新分野の発展に貢献し、世界において重要な役割を果たせるに違いありません。

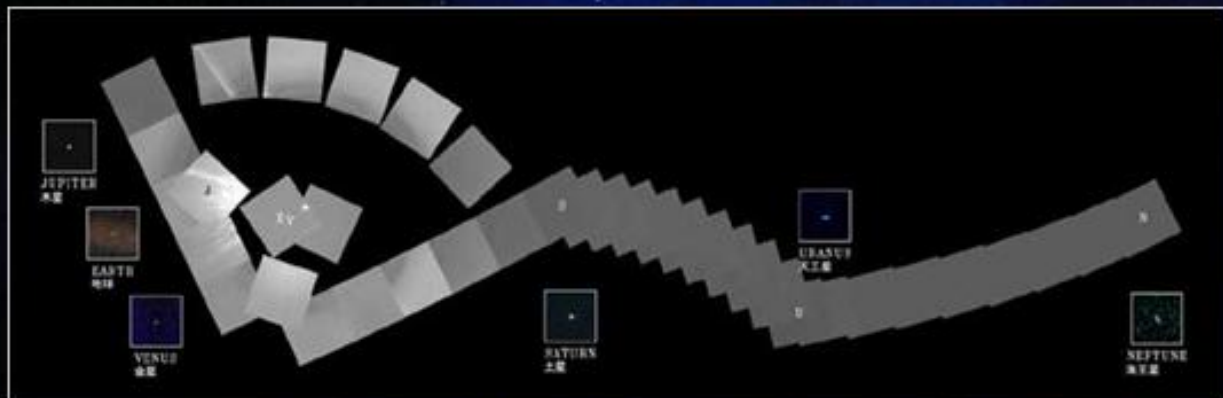
若者への宇宙教育についてどう思われますか？

一般的に、若い人というのは、宇宙に興味をもっているもののようなので、しかし大切なのは、「生きている間に、何か新しいことが起こりそうだ」「未来は現在とは違うのだ」と感じさせることなのです。将来さまざまなことが解明され、今は当たり前だと信じていることが実は違っていたということになるかもしれません。若者にとって、未来に可能性を感じることは、学んでいるのは過去についてだけではないと感じることはとても重要です。彼らが過去を学ぶのは、それが未来へつながり、未来を創造する基盤となるからです。

私たちの生活が今の水準にあるのは、これまで20〜30年の間に、科学や技術に投資してきた結果であると同時に、学生など人材への投資の結果でもあります。将来、科学者やエンジニア、専門家となって、私たちの生活を豊かにするのは、他にもない「人」なのです。

未来の可能性を若者に感じさせるためにも、宇宙探査を続ける必要があります。宇宙探査をすることによって、今まで想像もしなかった多くのことを学ぶことができるのです。ボイジャー探査機が木星や土星、天王星、海王星に到達した時と同様に、恒星間空間に近づくことしているボイジャーは、私たちの想像を超えた現象を映し出し、私たちに大きな刺激を与えてくれることでしょう。

宇宙探査で最も興奮することは、劇的なまでに新しく、今までの認識と異なることを学ぶ機会を得られることなのです。

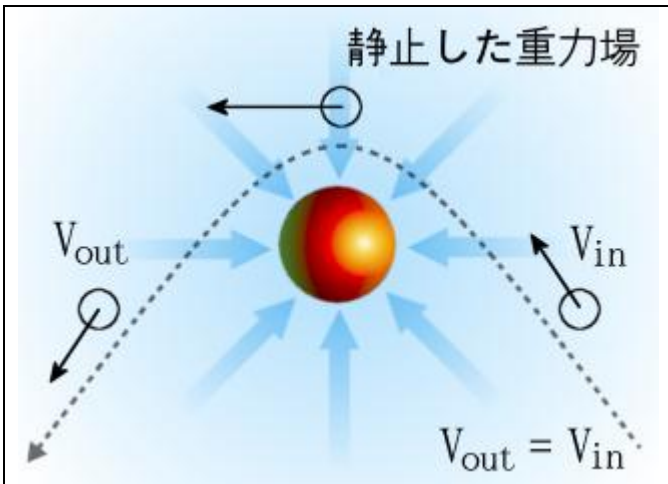


ボイジャー1号が1990年2月に撮影した太陽系の全体画像(提供:NASA)

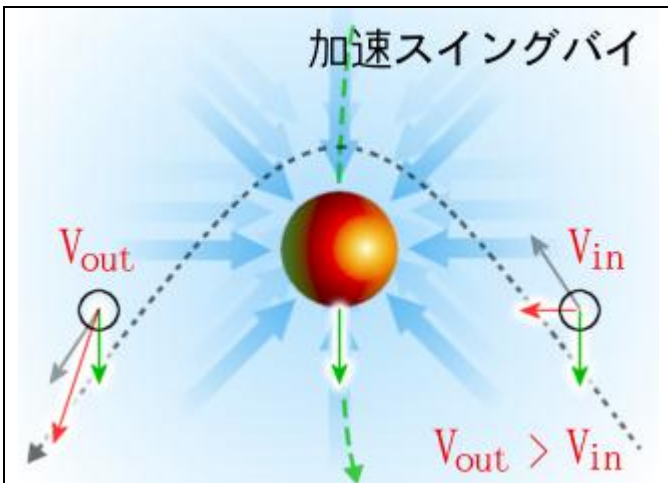
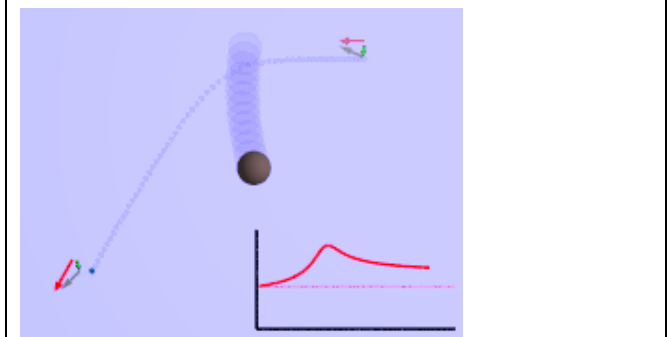
スイングバイ

惑星の公転を利用した宇宙船の加速方法

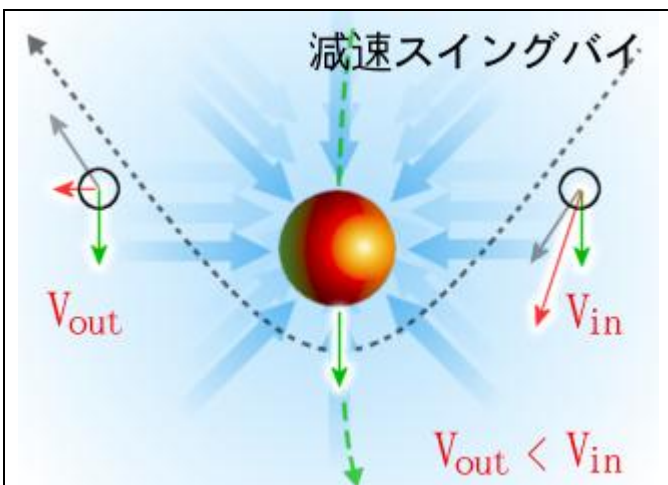
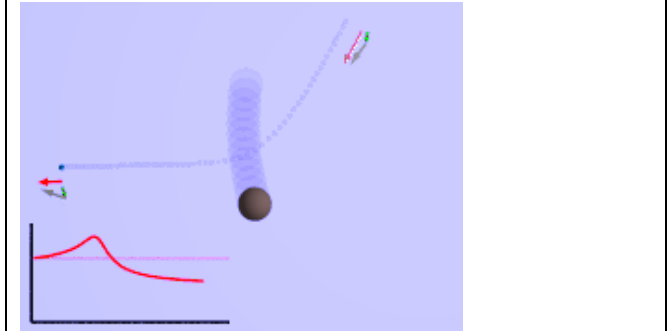
① 静止した恒星に接近した場合

	<p>静止した恒星に接近すると、接近に従って速度は増すが、遠ざかると元の速度に戻ってしまう。これは、太陽の回りを公転しているハレー彗星と同じ。軌道は放物線になり、動く方向が変わる。宇宙船が恒星に近づくと、恒星に衝突してしまうように思うが、宇宙船の速度が速いので、このような軌跡でまた離れて行く。</p>
---	---

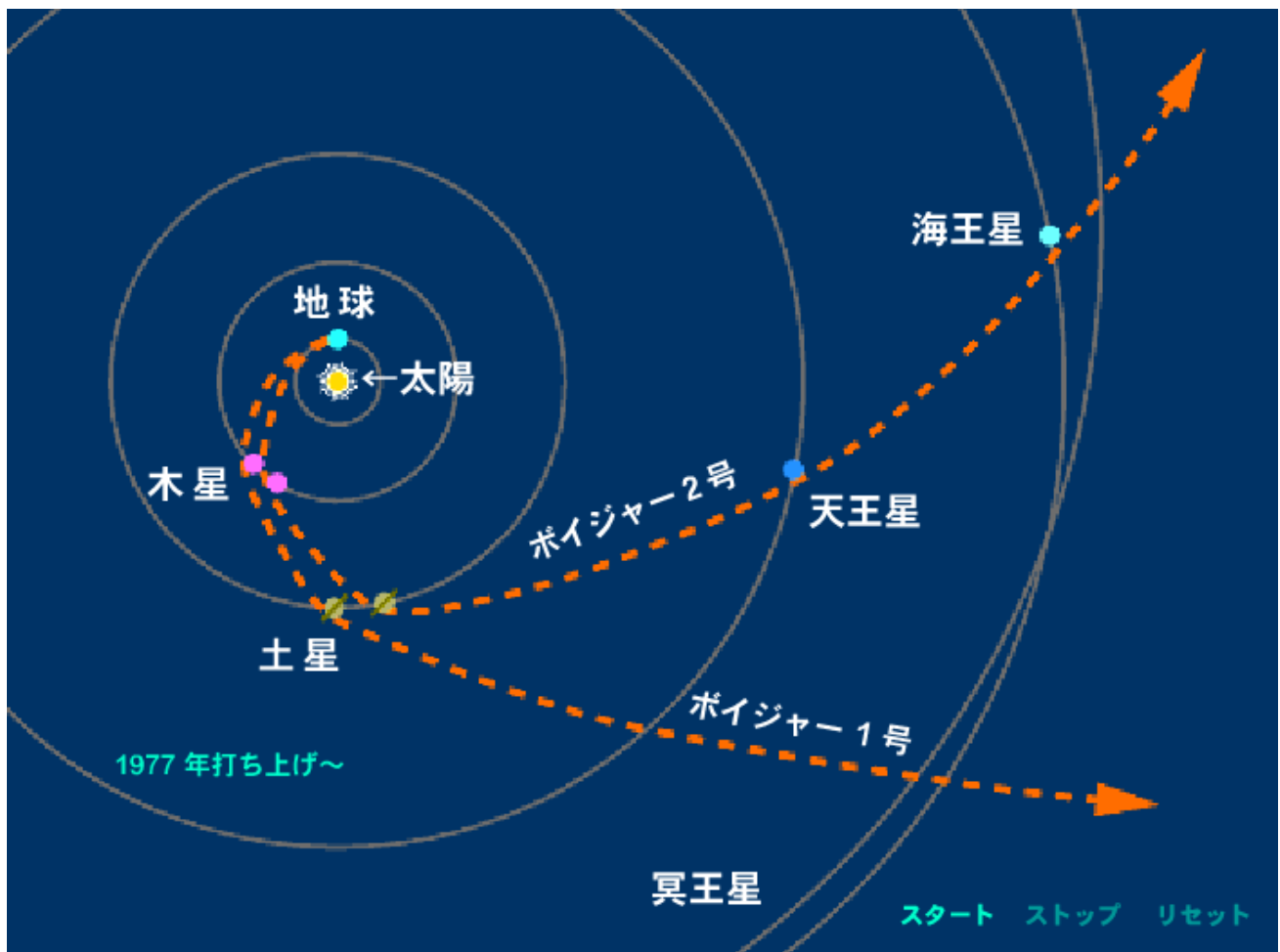
② 公転している惑星の後ろ側に接近した場合

	<p>恒星の回りを公転している惑星の後ろ側に接近すると、接近に従って速度が増し、遠ざかると前の速度よりも速くなる。</p> 
--	--

③ 公転している惑星の前側に接近した場合

	<p>恒星の回りを公転している惑星の前側に接近すると、接近に従って速度が増すが、遠ざかると前の速度よりも遅くなる。</p> 
---	--

ボイジャーの軌道



① ボイジャー2号

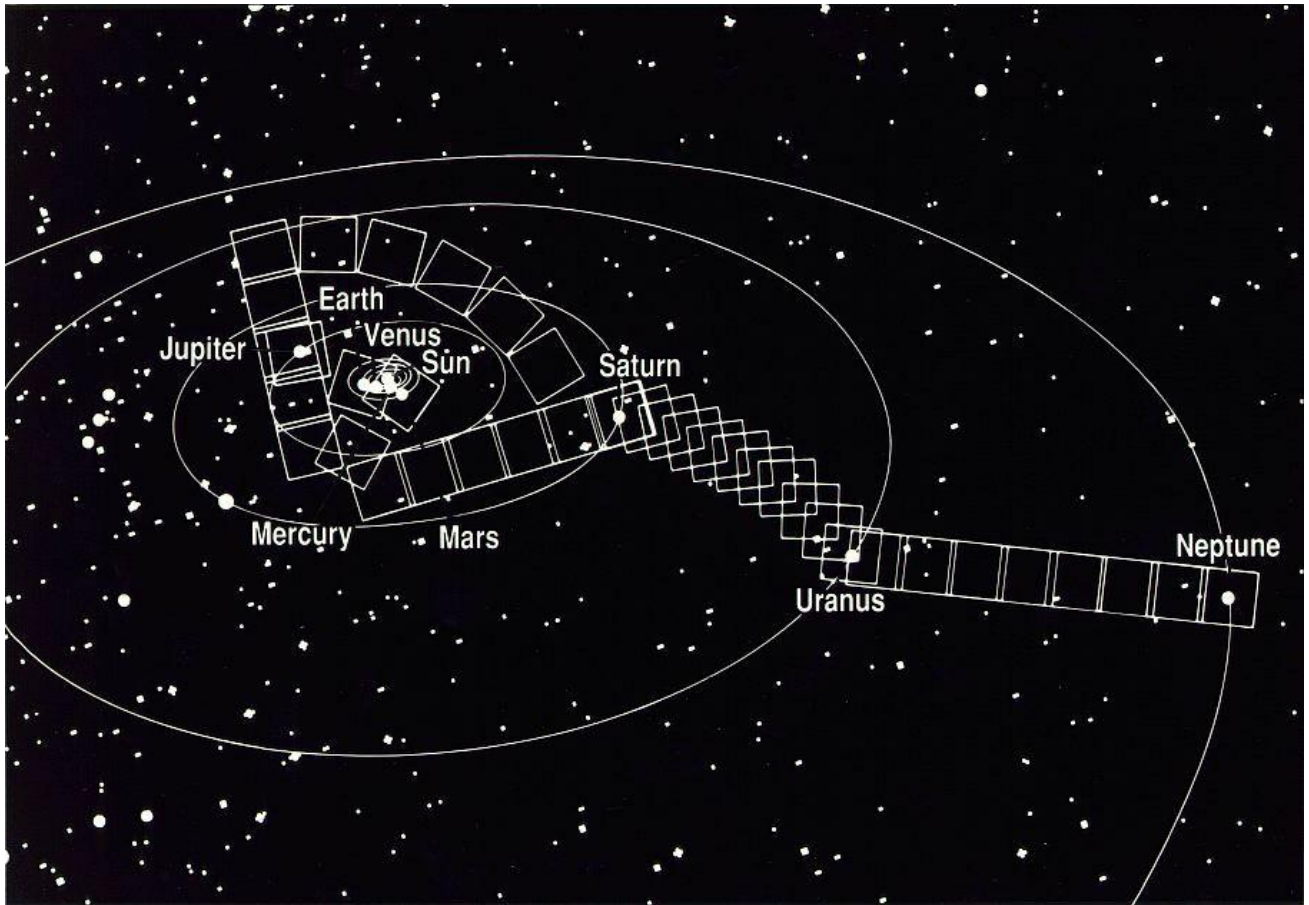
木星と土星でスイングバイを行い、天王星と海王星に接近し、現在も太陽系外へ向かっています。天王星でも少しだけスイングバイを行っており、惑星の公転面に沿って飛行しています。

② ボイジャー1号

木星でスイングバイを行い、土星の衛星タイタンに接近し、現在も太陽系外へ向かっています。タイタンの公転面は惑星の公転面から26度ずれているので、タイタンでのスイングバイで惑星の公転面から外れて飛行しています。

タイタンには液体メタンの雨が降り、地球と同じような液体による侵食地形が沢山あります。大気も地球と同じように窒素がほとんどで、地球と余り変わらない1.5気圧になっています。大きさは水星よりも少し大きく、密度が 1.9 g/cm^3 なので、氷と岩石で出来ていると考えられています。土星探査機カッシーニ本体から放出された小型プローブ「ホイヘンス」(重量319kg)は、2005年1月14日、タイタン上空約1000kmの高度から大気圏に突入し、パラシュートを開いてゆっくり降下。約2時間半かけて地表に到着した。ガスクロマトグラフ質量分析計のサンプル吸入口を地面に近づけると、大量のメタンが地面から蒸発し、近接した大気中のメタン濃度が急速に増大した。

太陽系の外側からボイジャー1号が撮影した写真



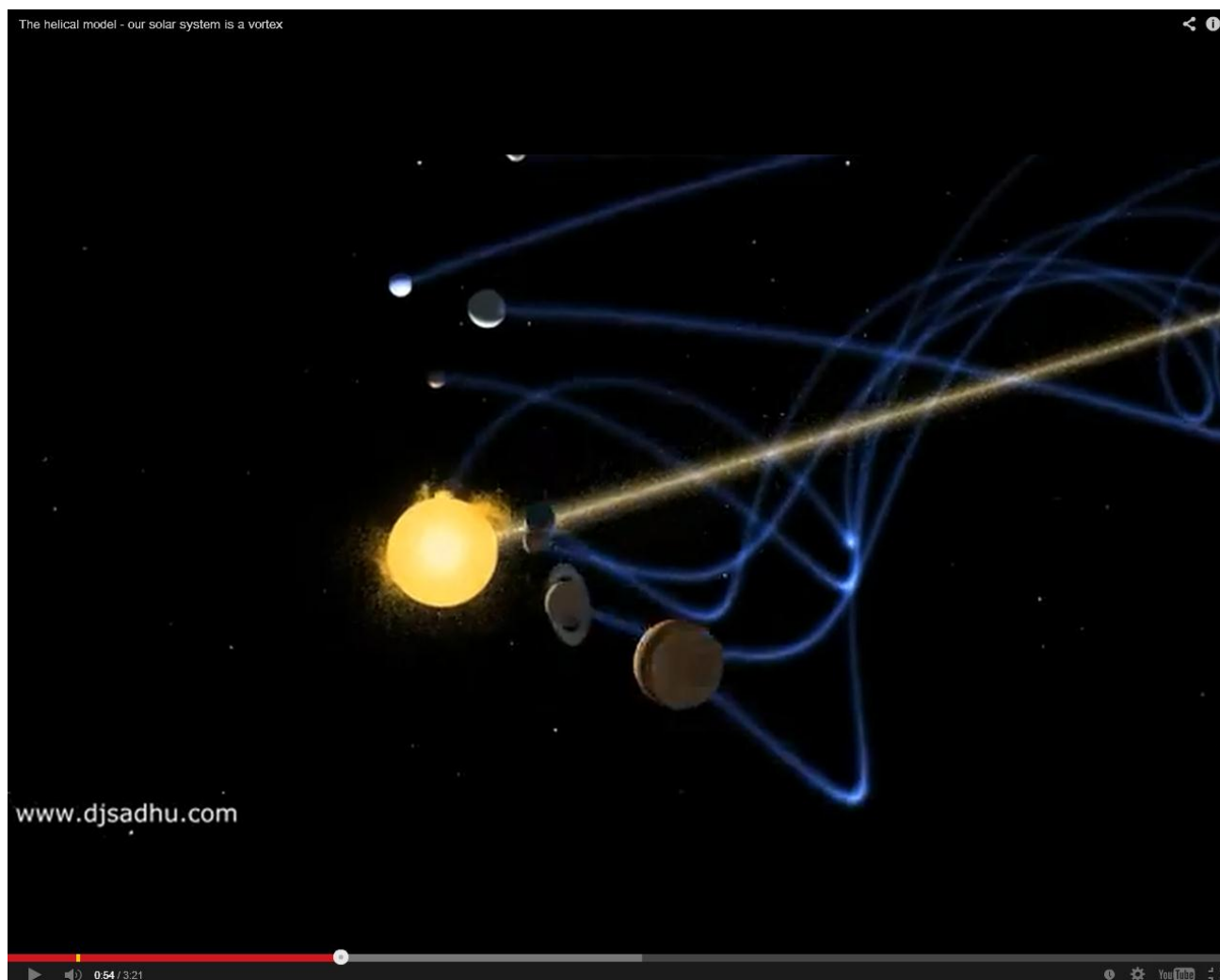
太陽系は巨大ブラックホール射手座 A の周りを 2.3 億年周期で公転しています。
公転半径は 2.6 万光年なので、太陽系の公転速度は
 $2\pi \times 2.6 \text{ 万光年} \times 108000 \text{ 億 km} / 2.3 \text{ 億年} / 365 \text{ 日} / 24 \text{ 時間} = 88 \text{ 万 km/h}$

地球は太陽の周りを 365 日周期で公転しています。
公転半径は 15000 万 km なので、地球の公転速度は
 $2\pi \times 15000 \text{ 万 km} / 365 \text{ 日} / 24 \text{ 時間} = 11 \text{ 万 km/h}$

地球上の物体は地球の周りを 24 時間周期で回転しています。
回転半径を地球の半径とすると 6400 km なので、地球上の物体の回転速度は
 $2\pi \times 6400 \text{ km} / 24 \text{ 時間} = 1670 \text{ km/h}$ (音速は 1200 km/h)

太陽系の公転面は地球の公転面に対して 63 度傾いており、地球の公転面は地球の自転面に対して 23 度傾いています。つまり、人間を含む地球上の物体は二重螺旋状に宇宙空間を超高速で移動しています。

太陽は地球を含む惑星を引き連れて、時速 88 万 km のスピードで銀河系宇宙の中を動いています。



16 世紀までは天動説が主流で、地動説のように地球が太陽の周りを公転しているとは思わなかった。20 世紀までは太陽は動かないと教えられ、太陽が射手座 A の周りを公転しているとは思わなかった。22 世紀になったら、射手座 A (ブラックホール) がもっと大きなブラックホールの周りを公転していることが分かるかもしれません。