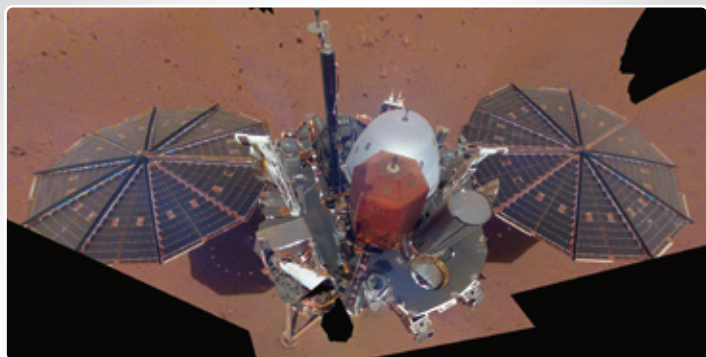


火星に穴を掘る

地震計測・測地・熱流量
測定地中探査機インサイト

InSight; Interior exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport

火星の核、地殻、マントルの構造を明らかに



インサイトの「自撮り」。火星のエリシウム平原にて。11枚の写真を貼り合わせたもの。
撮影：2018年12月6日。提供：NASA/JPL-Caltech

主目的

地震活動と隕石活動を観測する

打ち上げ/稼働

2018/05/05 12:05 (協定世界時)。
2020年現在、運用中。火星のエリシウム平原に設置。

開発国、組織

アメリカ

観測装置/観測手法

内部構造探査地震計
(SEIS; Seismic Experiment for Interior Structure)

熱流量・物理量探査装置
(HP3; Heat Flow and Physical Properties Probe)

回転・内部構造実験装置
(RISE; Rotation and Interior Structure Experiment)

火

星は太陽に近い方から4番目の惑星です。軌道長半径 (p.43参照) は1.5237天文単位、公転周期は地球の686.9804625日、つまり火星の1年は地球の1年と10カ月と少々です。自転周期は1.0260日と、これはあまり地球と変わりません。

37億年前、地球で生命が誕生したころ、火星には濃い大気があり、海が存在したと考えられています。

しかしその後火星の大気は宇宙空間に散失し、海は干上がりました。現在の火星の大気圧は0.006気圧ほどで、その主成分は二酸化炭素です。水はほとんど含まれません。

気圧(水蒸気圧)が0.006気圧以下だと、水という物質は液体の状態をとれません。温度が低ければ氷、高ければ水蒸気になってしまいます。そのため、たとえ現在の火星の地表に水があっても、液体にはならないでしょう。**火星には海も水溜まりも存在できません。**

火星は、そこが地球に似た一つの世界であることが知られるようになって以来、生命がいるのではないかと想像され、期待されてきました。

これまで報告された火星生命の「証拠」は、残念ながら全て誤りと判明したのですが、それでもなお、数十億年前に火星の海で発生した生命の痕跡を現在の火星に探す試みは、真剣に続けられています。これから紹介するいくつかの火星探査機には、生命の発見を目的とする観測装置を搭載しているものもあります。

地震計測・測地・熱流量測定地中探査機インサイトは2018年5月5日に打ち上げられ、2018年11月26日19時52分に火星の

インサイトの位置、つまり火星の位置を数cmの精度で監視することにより、火星の自転の変化を精密に測定できます。火星の内部や地殻に変動があると、自転に影響が現われるので、こうして火星の内部についての情報が得られるのです。

POINT!

ドップラー効果

ドップラー効果とは、動いている物体から発せられる音や電磁波（光）の周波数が増減して観測される現象です。音源や光源が観測者に近づく場合には、周波数は高くなり、波長は短くなります。音の場合には高い音になります。反対に音源や光源が観測者から遠ざかる場合には、周波数は低くなり、波長は長くなり、音ならば低くなります。

日常生活では、救急車とすれ違う際、サイレン音が急に低くなる現象として観察されます。

音のドップラー効果と光のドップラー効果は、似て非なる計算式で表わされます。アルベルト・アインシュタイン（1879-1955）の「相対性理論」によると、動いている物体の時間経過はゆっくりになるので、光のドップラー効果はこの理論を考慮して計算する必要があります。

1842年、オーストリアの物理学者ヨハン・クリスチャン・ドップラー（1803-1853）は光のドップラー効果について発表しました。けれども残念ながら、ドップラーの発表は間違っていました。当時はアインシュタインも相対性理論もまだ生まれていなかったのです。ただし、ドップラーの数式は音には正しく応用できました。

現在では、音のドップラー効果も、相対性理論を考慮した光のドップラー効果も、ドップラーの名にちなんで呼ばれています。

赤道近くのエリシウム平原に着陸し、それ以来そこで計測を行っています。このように、天体に着陸する探査機をランダー（着陸機）と呼びます。

インサイトに搭載された3台の主要観測装置のうち、内部構造探査地震計SEISは火星の地面に設置され、地震や隕石落下による地面の振動を計測します。地震や隕石による振動は火星の内部を伝わり、SEISで検出されます。この振動を解析することにより、火星内部の情報が得られます。

火星には火山があり、火星の内部では火山活動が続いていると考えられています。地震の計測により、火星の火山活動について知ることができます。

また火星の大気は薄いので、多くの隕石が大気で燃え尽きることなく地表に落下します。SEISの運用期間中に、5個～10個の隕石落下が検出されると予想されています。

熱流量・物理量探査装置HP³は地面に5mの深さの穴を掘り、内部の温度やその変化を測ります。必要に応じて自ら熱を発することもできます。温度によって、火星の地下深部から表面に伝わってくる熱流量が分かります。これにより、火星の内部の組成や放射線物質の量が見積もられ、46億年前に火星ができたときの原料や状況が推測できます。火星は地球や月と同じ原料からできているのかが、HP³の結果から判明すると期待されます。

回転・内部構造実験装置RISEは電波を送信します。この電波を地球で受信し、その「ドップラー効果」を調べることで、RISEを積んだインサイトの位置が数cmの精度で測定できます。

世界最大口径の電波望遠鏡

ロシア科学アカデミー電波
天文望遠鏡ラタン 600

RATAN-600; Radio Astronomical Telescope Academy Nauk of Russia

天体を追尾しない特殊な光学系



ラタン600遠景。撮影：2011年9月11日。提供：Sergei Trushkin

主目的

天体および太陽の電波観測

打ち上げ／稼働

1974/07/12 (モスクワ時間)。
2020年現在、運用中。

開発国、組織

ソ連

観測装置／観測手法

副鏡1 (Secondary Mirror No.1)
副鏡2 (Secondary Mirror No.2)
副鏡3 (Secondary Mirror No.3)

電

波は波長がだいたい $0.1\text{mm} = 10^{-4}\text{m}$ より長く、振動数がだいたい $3\text{THz} = 3 \times 10^{12}\text{Hz}$ より低い電磁波です。電波天文学は天体からの電波を観測する天文学分野であり、電波望遠鏡はその道具です。

電波と可視光という2種の電磁波は、他の電磁波とちがって、大気を透過するという特質があります。そのため、可視光観測装置と電波観測装置は、地上に設置して天体観測ができます。(他の電磁波は、基本的に、ロケットなどを用いて観測装置を大気の外に持ち出す必要があります。)地上に設置できるため、電波望遠鏡と可視光望遠鏡は大小無数に存在し、全部を紹介することは困難です。

電波望遠鏡には様々な原理と形状のものがあります。典型的なタイプは、天体からの電波を皿形の板(反射鏡)で反射し、受信機に集光し、電波を電気信号に変えて強度を測定するというものです。皿は面積が広いほど望遠鏡の感度が高くなり、微弱な電波も検出できます。また皿が大きいほど角度分解能も原理的には良くなるので、天体の細かい構造も観測することができます。ただし、角度分解能を良くするには単に大きい皿を用意するだけではなく、皿の形状精度や天体追尾性能など、様々な性能を全て向上させる必要があります。

電波を放射する天体が(太陽以外に)存在することが分かったのは1932年のことです。アメリカのベル研究所の研究者カール・ジャンスキー(1905-1950)は、天の川銀河方向から太陽電波よりも強い電波がやってくることを見出しました。ジャンスキー

は天文学者ではなく、電波通信の障害となる電波雑音の正体を調べていたのです。

ジャンスキーの発見を受けて、直径9mの皿形反射鏡を備える世界初の電波望遠鏡を自作し、天体観測を始めたのは、アメリカ人のアマチュア無線技師グロート・リーバー（1911-2002）で、1940年のことです。リーバーもまた職業的な天文学者ではありませんでした。天文研究者は電波天文学の可能性に最初は気づかなかったようです。リーバーは世界初の電波天体マップを作製しました。そこには天の川銀河、はくちょう座A（Cyg A）、カシオペア座A（Cas A）といった電波天体が現われていました。カシオペア座Aはぼやっと広がる雲のような電波天体で、約300年前の超新星爆発の残骸です。はくちょう座Aはここから約8億光年離れた「電波銀河」です。

ロシア科学アカデミー電波天文望遠鏡ラタン600は反射鏡の直径が540mある世界最大の電波望遠鏡です。ただし反射鏡は皿形ではなくリング状で、これは皿の縁の部分に相当します。リングで反射された電波はリング中心付近にある副鏡（写真参照）に反射し、受信機に導かれます。1台の副鏡はリングの4分の1周からの反射電波を受信します。リングの全周を同時に使う運用は現在行なわれていません。

太陽電波観測も行ないますが、通常の副鏡を使って電波を一点に集めると、熱で受信機が融けてしまうので、平面の副鏡を使い焦点をばかします。

地球の自転につれて、天体の位置は1時間に約15°ずつずれて

いきます。これを「日周運動」といいます。そのため、通常の望遠鏡は1時間に15°ずつ方向を変えて天体を追尾する機能を備えています。ラタン600の場合は日周運動の追尾を行わず、1時間に15°の速度で天を走査観測します。超新星残骸のような大きな電波天体の構造の研究や、特定の天体を毎日1回モニタ観測して強度変化を調べるといった研究に向いています。

ラタン600はロシア科学アカデミー特別宇宙物理学研究所の研究施設です。ソ連時代に建設され、1974年7月12日（モスクワ時間）に初観測を行ないました。世界最大の反射鏡直径という記録を40年以上保持しています。その間、ソ連の崩壊、経済危機などを乗り越え、研究施設として存続し続けました。

筆者らはラタン600のチームとブラック・ホール連星系の共同研究を行ない、特別宇宙物理学研究所を日本人として初めて訪問しました。ラタン600は牧草地に建設されています。反射鏡内に牛がいる電波望遠鏡はおそらく世界でここだけでしょう。



太陽観測用の副鏡。太陽光の収束を避けるため平面鏡が用いられている。位置は固定されているが、角度は変えられる。撮影：2005年11月3日、筆者による。



天体観測用の副鏡。レール上におかれ、移動できる。副鏡で反射した電波は下の観測小屋内の受信機に集光する。撮影：2005年11月3日、筆者による。