

科学衛星が解き明かす天体と惑星の謎



2014年9月

© JAXA/NHK

今日の授業の内容(60分)

1. 天文観測:

謎に満ちた“宇宙の起源と将来”の解明を目指す遠い星の観測

2. 太陽観測:

私たちの母なる太陽の素顔を探る太陽の観測

3. 月・惑星探査:

身近な太陽系の起源に迫る小惑星と月の探査

4. 将来の進路のヒント:

宇宙科学・宇宙開発の道に進むには？

1. 謎に満ちた“宇宙の起源と 将来”の解明を目指す遠い星 の観測（天文観測）

宇宙について分かっていること

・宇宙は(137~138)億年前に高い温度、
高い密度の火の玉の爆発で始まった。

・宇宙は今でも膨張している。

・現在の宇宙には銀河、星団、星雲、恒星、
星間ガス、惑星などがある。

6000年前
天体観測

5000年前
宇宙とのかかわり

137億年前
宇宙の誕生

130億年前
銀河の誕生

130億年前
星の誕生

46億年前
太陽系の誕生

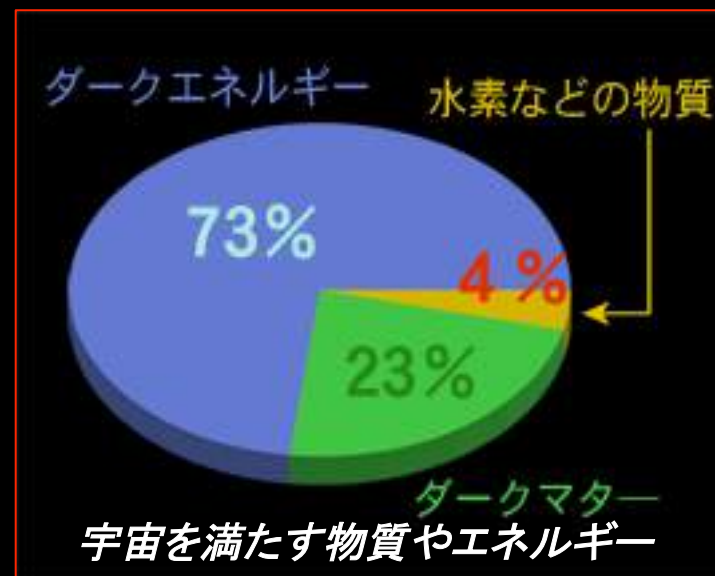
45億年前
月の誕生

40億年前
生命の誕生と進化

宇宙の誕生から現在まで(NASA Video)

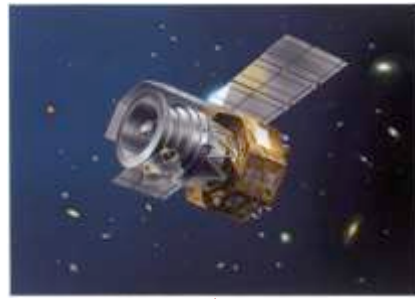
まだまだ、たくさんの謎！

- ・星はどこでどのように生まれるのか？
- ・不思議な天体ブラックホールはどんなもの？
- ・宇宙の将来は？
- ・宇宙の構造を決めているのは“見えない”暗黒物質？
- ・地球以外に生命はある？
-



衛星による天体の観測はなぜ必要？

衛星による天体観測



宇宙赤外線望遠鏡(あかり)



宇宙X線望遠鏡(すざく)

大気には光や電波の窓がある



長い波長の電波

長い波長の光(赤外線など)

可視光より短い波長(X線など)



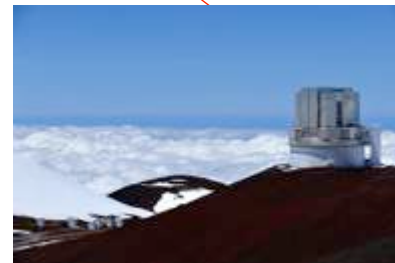
短い波長の電波

可視光

地上からの天体観測

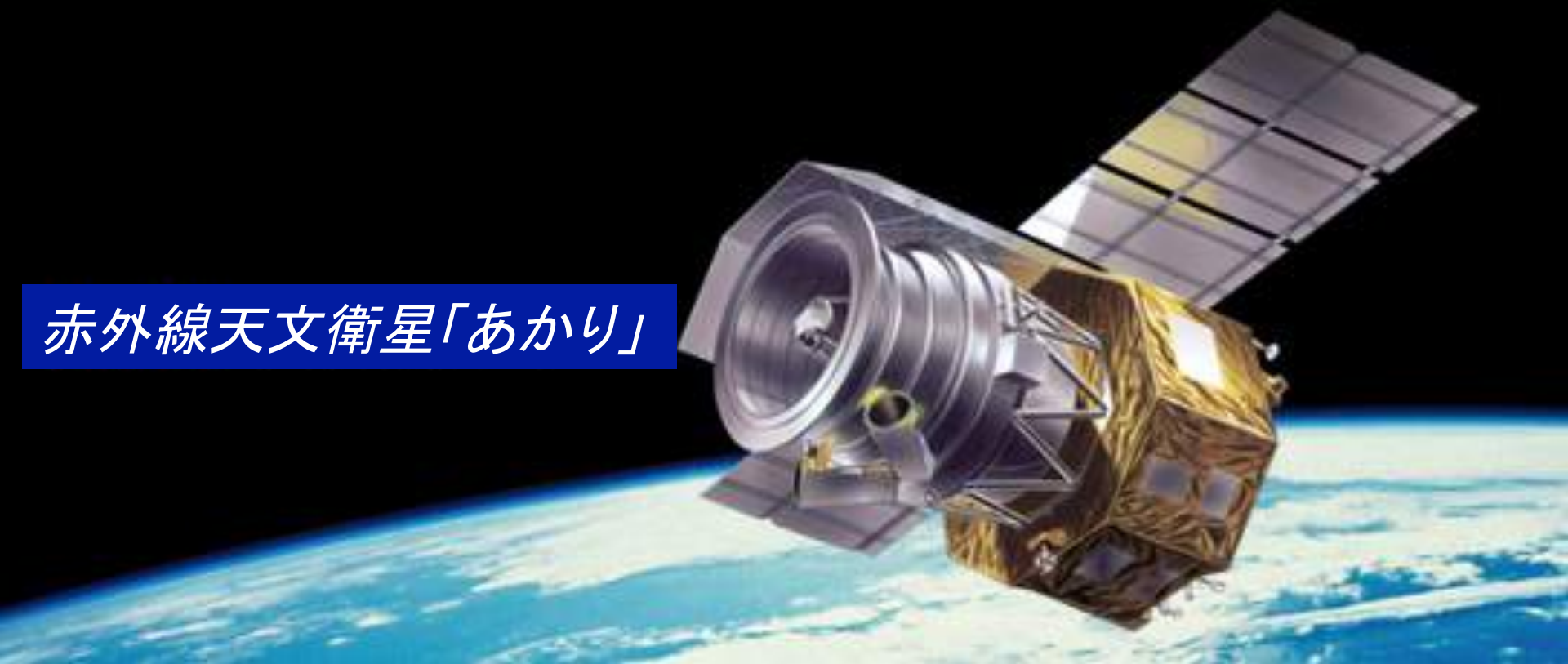


野辺山電波望遠鏡



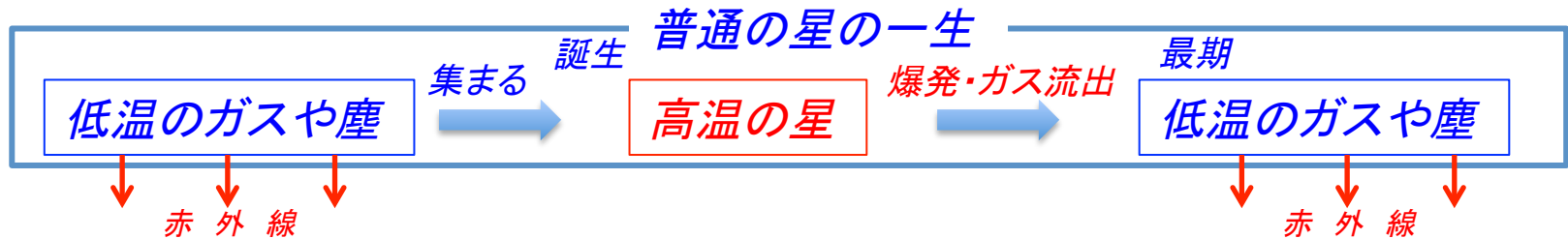
スバル望遠鏡

赤外線天文衛星「あかり」



2006年2月打ち上げ、高度700km
重さ950kg、大きさ1.9m × 1.9m × 3.2m
赤外線の高性能な望遠鏡を搭載
2011年観測終了

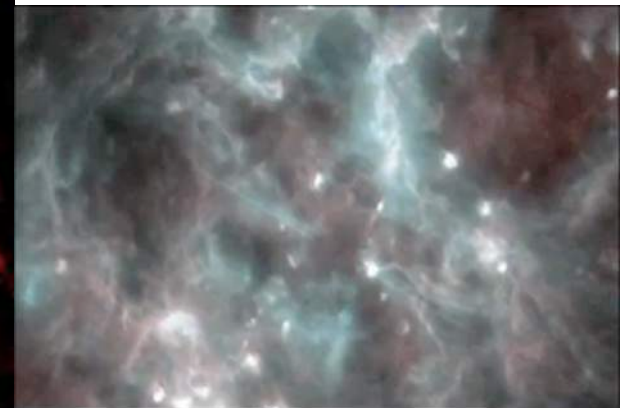
赤外線によって、目に見える光(可視光)では見えなかった低い温度の塵やガスの雲を観測し、星や銀河の誕生や、進化、最期などの様子を調べた。



可視光で見たオリオン座

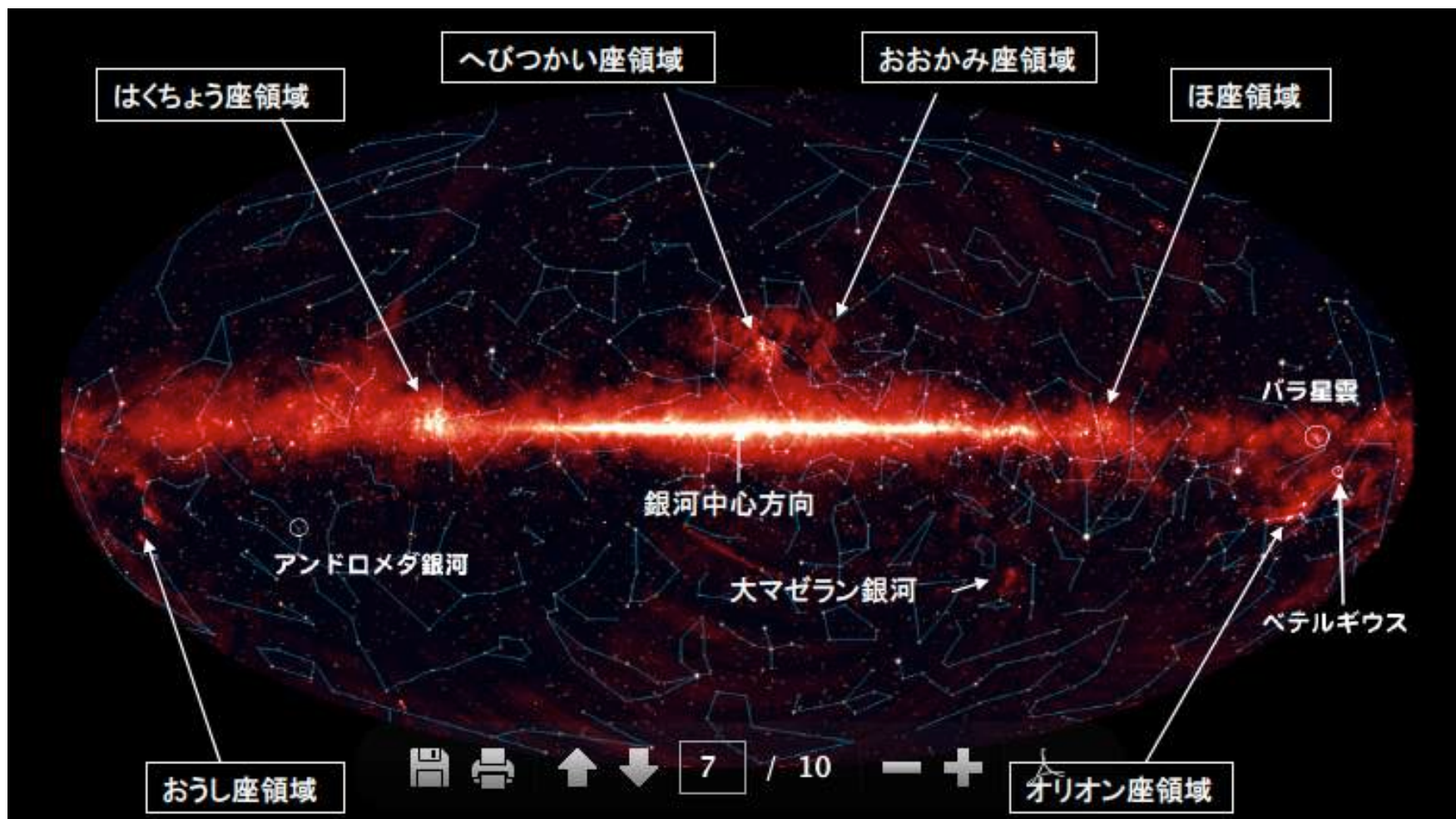
赤外線で見たオリオン座

白鳥座X領域(3000光年先
3光年の広がり)



赤外線で見た白鳥座

星が生まれつつある領域が明らかになった。

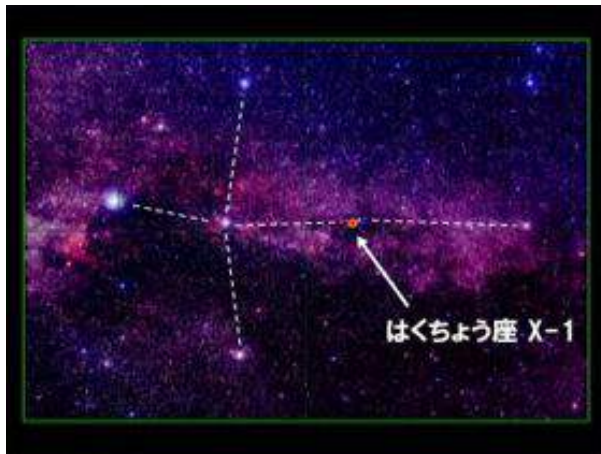
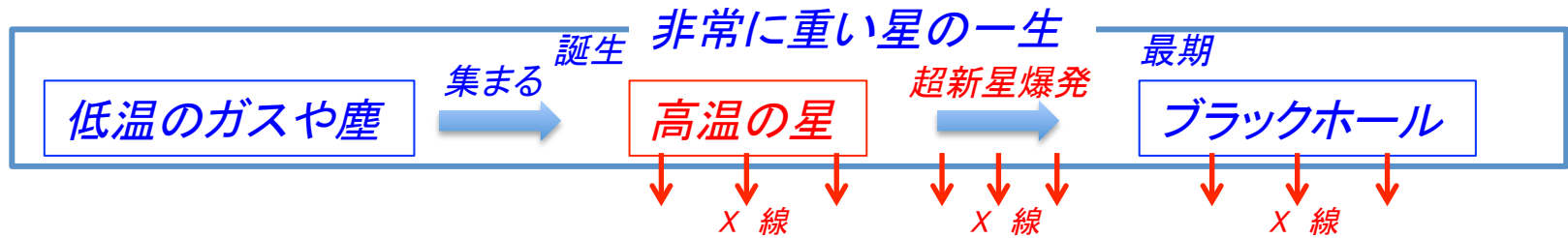


X線天文衛星「すざく」

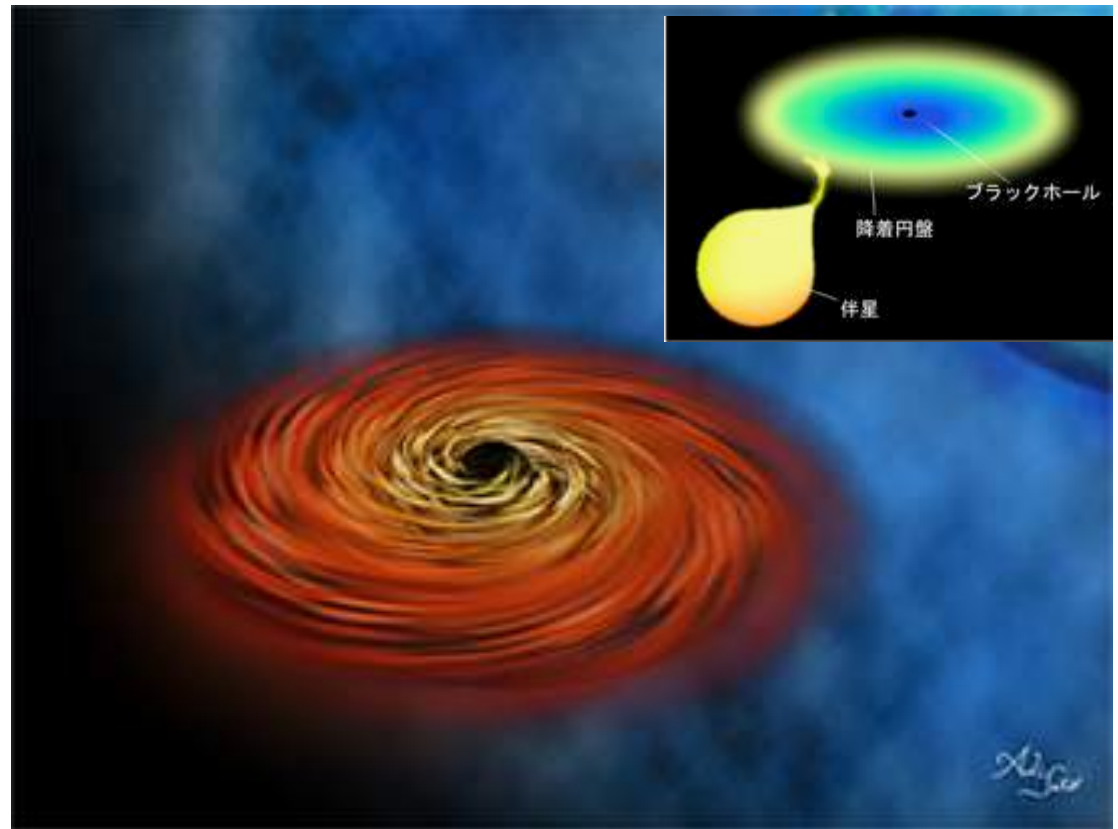


2005年7月打ち上げ、高度550km
重さ1700kg、大きさ6.5m × 2.0m × 1.9m
高性能のX線観測装置を搭載

重い星の最後の姿と言われるブラックホールは本当にあるのか？

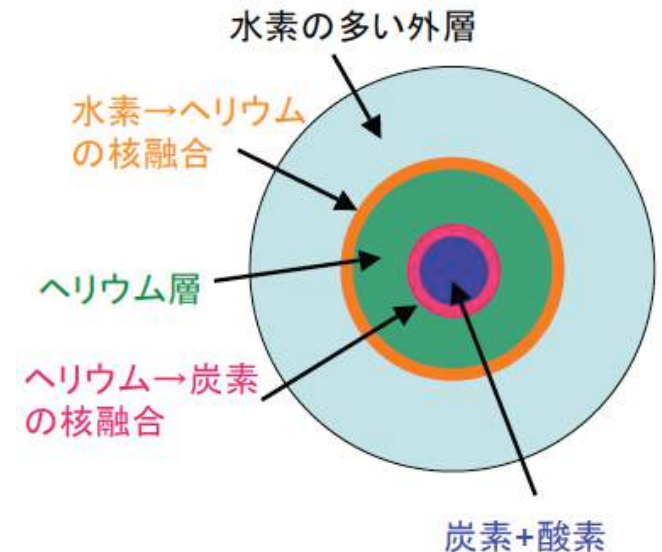
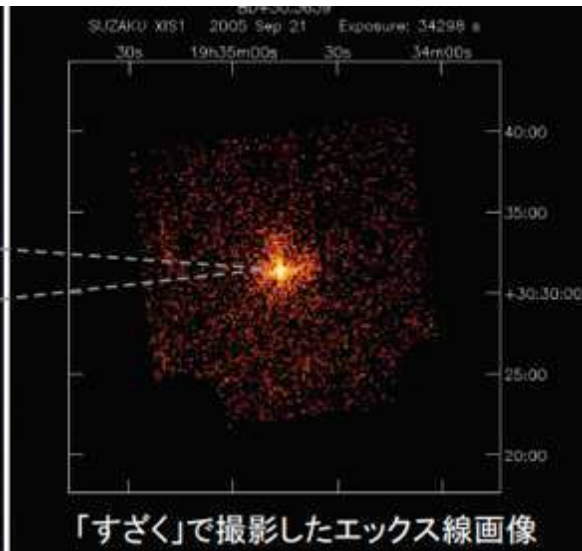
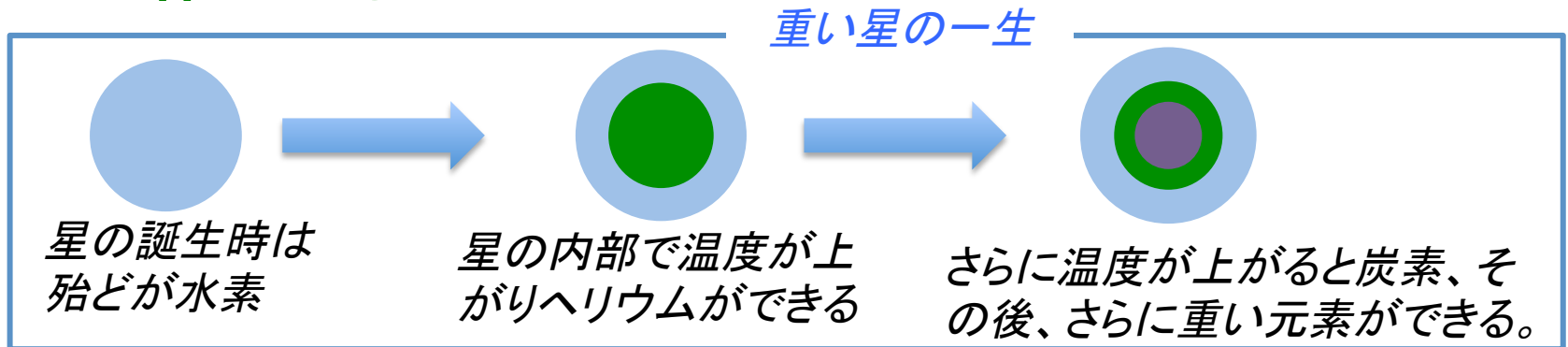


光学望遠鏡で見た白鳥座



「はくちょう座 X-1」(6000光年先)ブラックホール連星の想像図。その証拠を“すざく”がとらえた(さしわたし100万km)。

生命の源である有機物の材料である炭素は宇宙のどこで作られるのか？



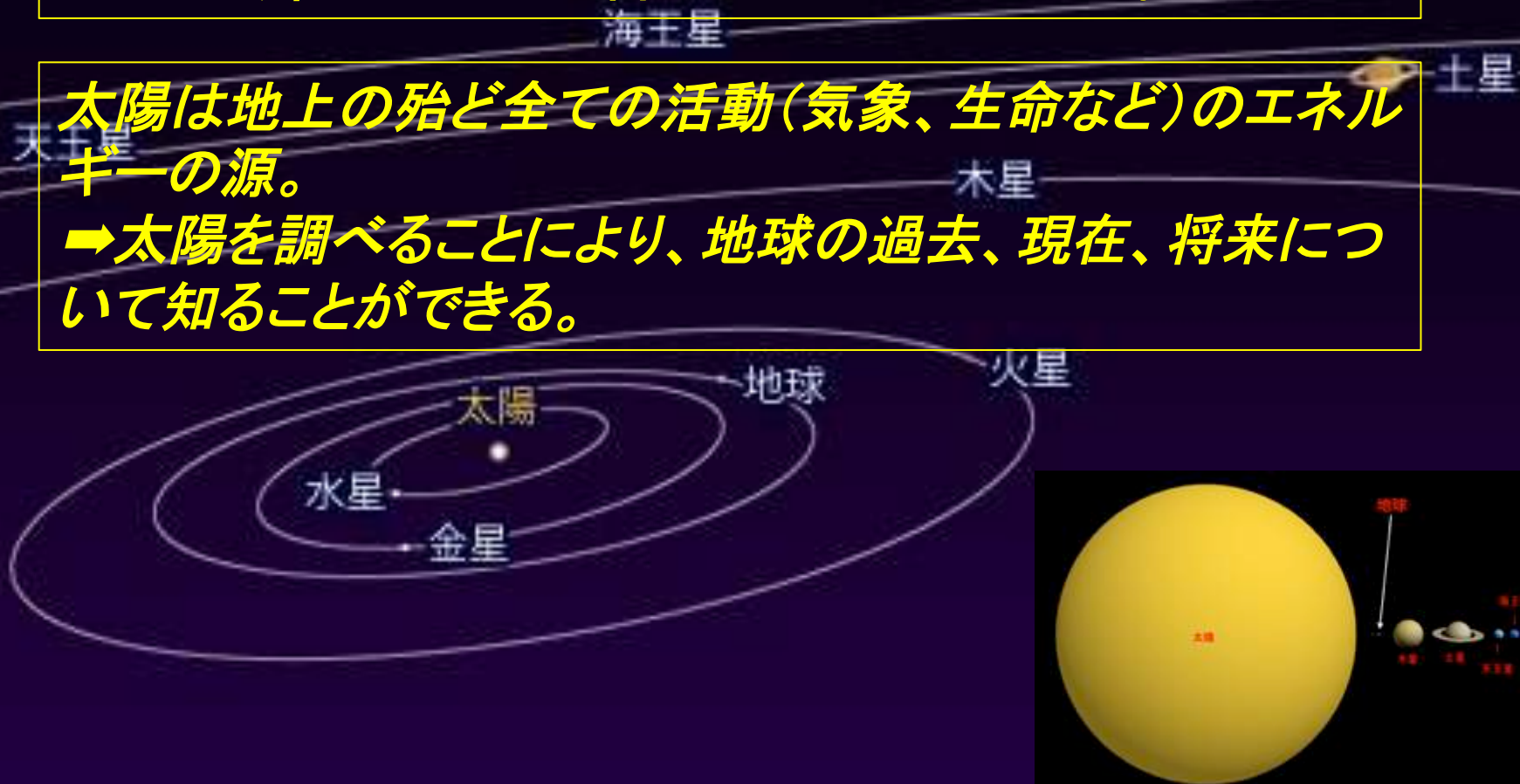
“すざく”で惑星状星雲(白鳥座)をX線で観測したところ、炭素が星雲内で生成され宇宙空間へ放出されていることがわかった(炭素の出す特有のエネルギーのX線が観測された)。

2. 私たちの母なる太陽の 素顔を探る太陽の観測 (太陽観測)

太陽の観測の意味

太陽は銀河系にある1000億個の恒星の中で標準的な星。
➡恒星を直接探査することは不可能だが、太陽を調べる
ことにより恒星について詳しく知ることができる。

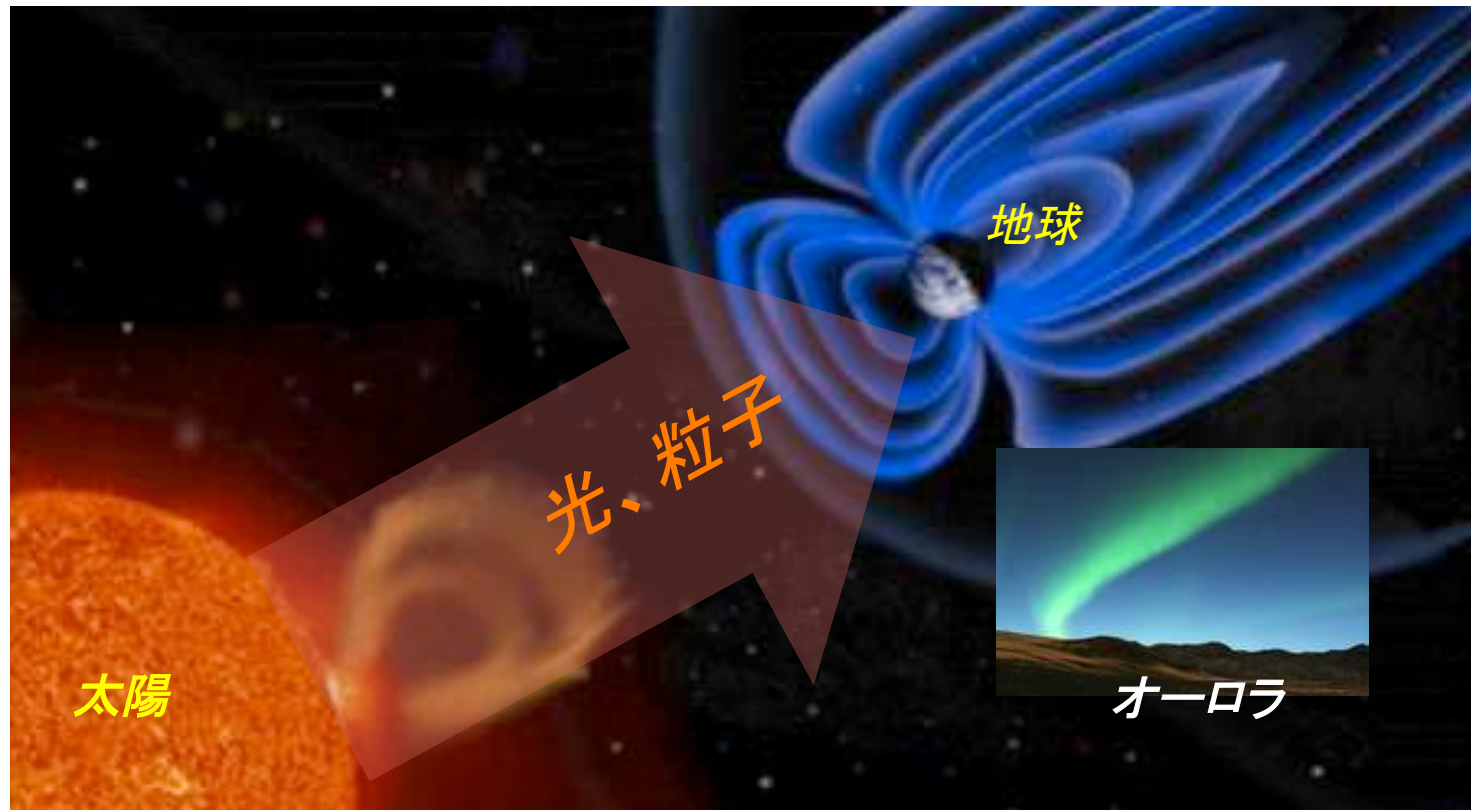
太陽は地上の殆ど全ての活動(気象、生命など)のエネルギーの源。
➡太陽を調べることにより、地球の過去、現在、将来につ
いて知ることができる。



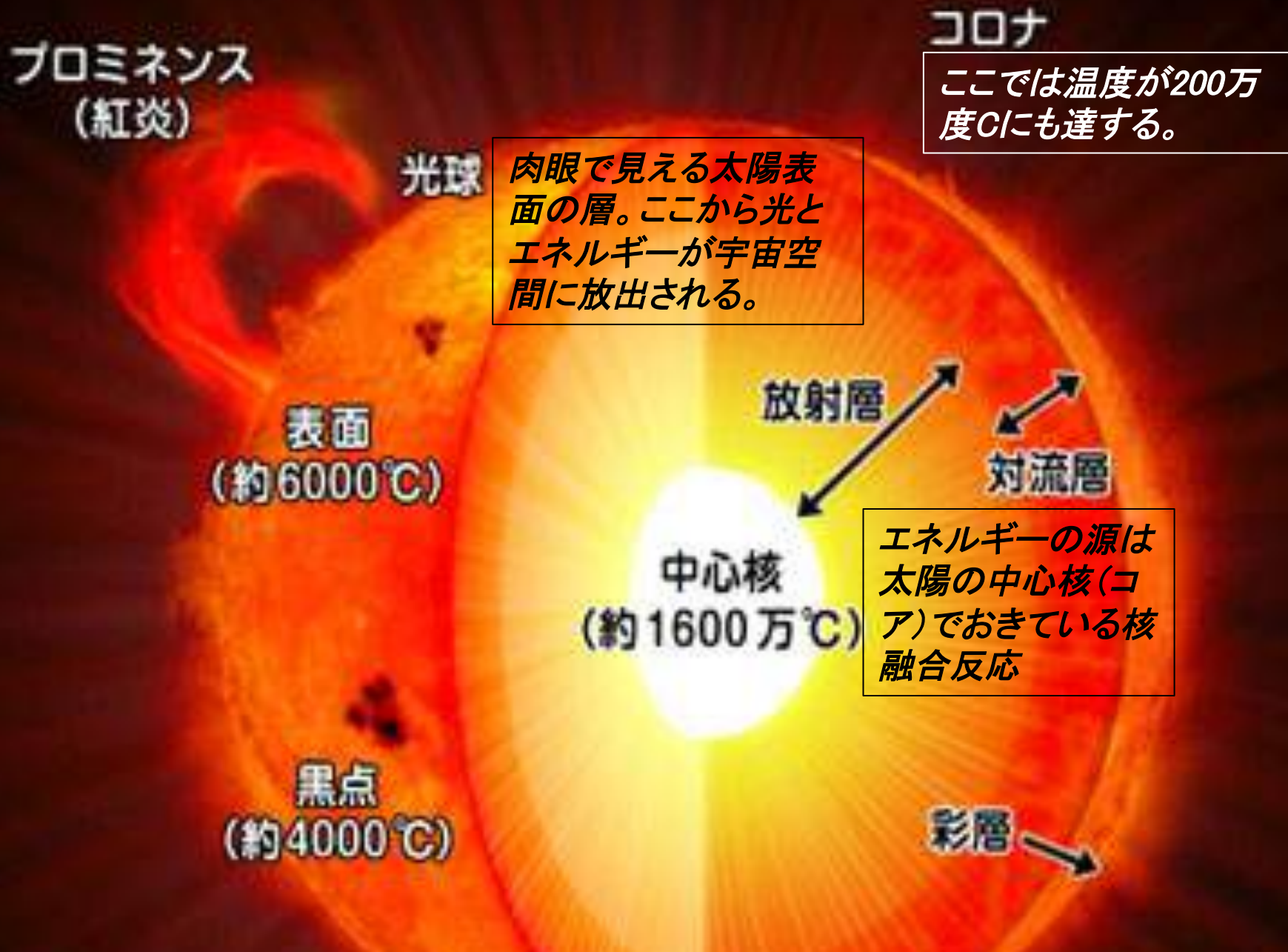
太陽と地球、私たちの生活との関わり

太陽からのたくさんの光：人類が使用している全てのエネルギーの1万倍もの膨大なエネルギーが届いている。

太陽からのたくさんの粒子（プラズマ）：地球周辺に独特の環境（磁気圏）を作り、オーロラ等の原因となっている。通信や衛星、宇宙飛行士の活動に影響。



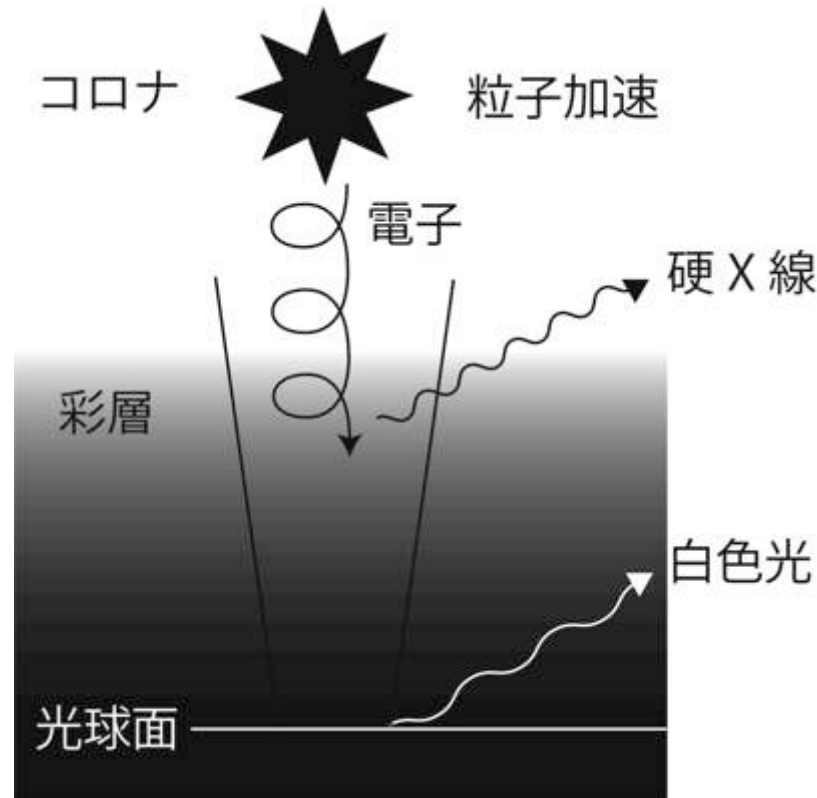
太陽について分かっていること(構造とエネルギーの源)



太陽の謎

6000度の太陽表面(光球面)
がどのようにしてコロナを数
百万度の高温に暖めることが
できるか？

光球～コロナ領域でのさまざま
な活動(フレア爆発、コロナ
質量放出、高速太陽風など)
の起源？

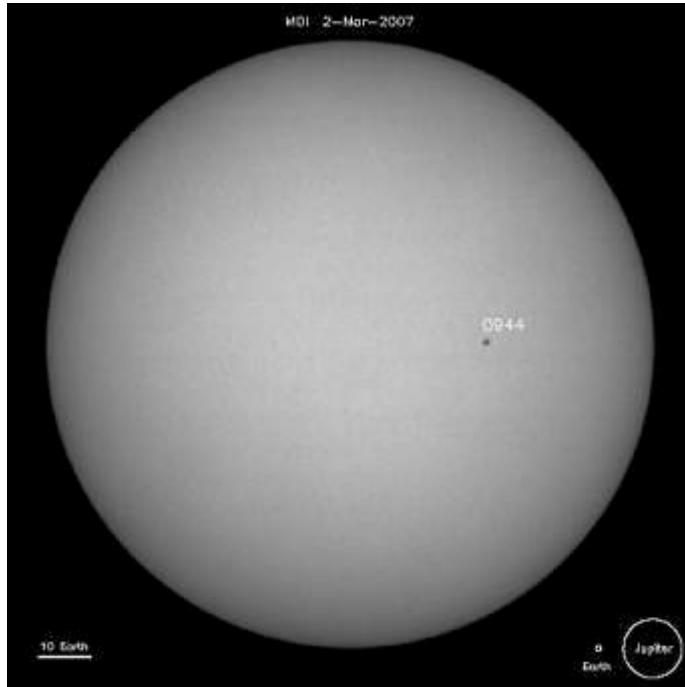


A photograph of the Hinode solar observation satellite in space. The satellite has a central body with various instruments and two large, rectangular solar panel arrays extending outwards. It is positioned against the backdrop of Earth's blue and white clouds and the black void of space.

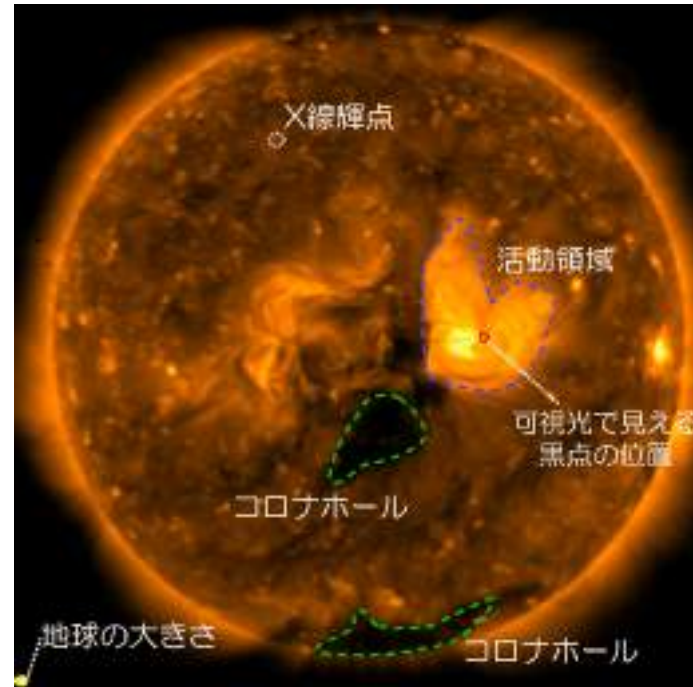
太陽観測衛星「ひので」

2006年9月打ち上げ、高度680km
重さ900kg、大きさ1.6m × 1.6m × 4m
高性能の光やX線の望遠鏡軌道上の太陽望
遠鏡を搭載

“ひので”のX線望遠鏡による太陽の観測

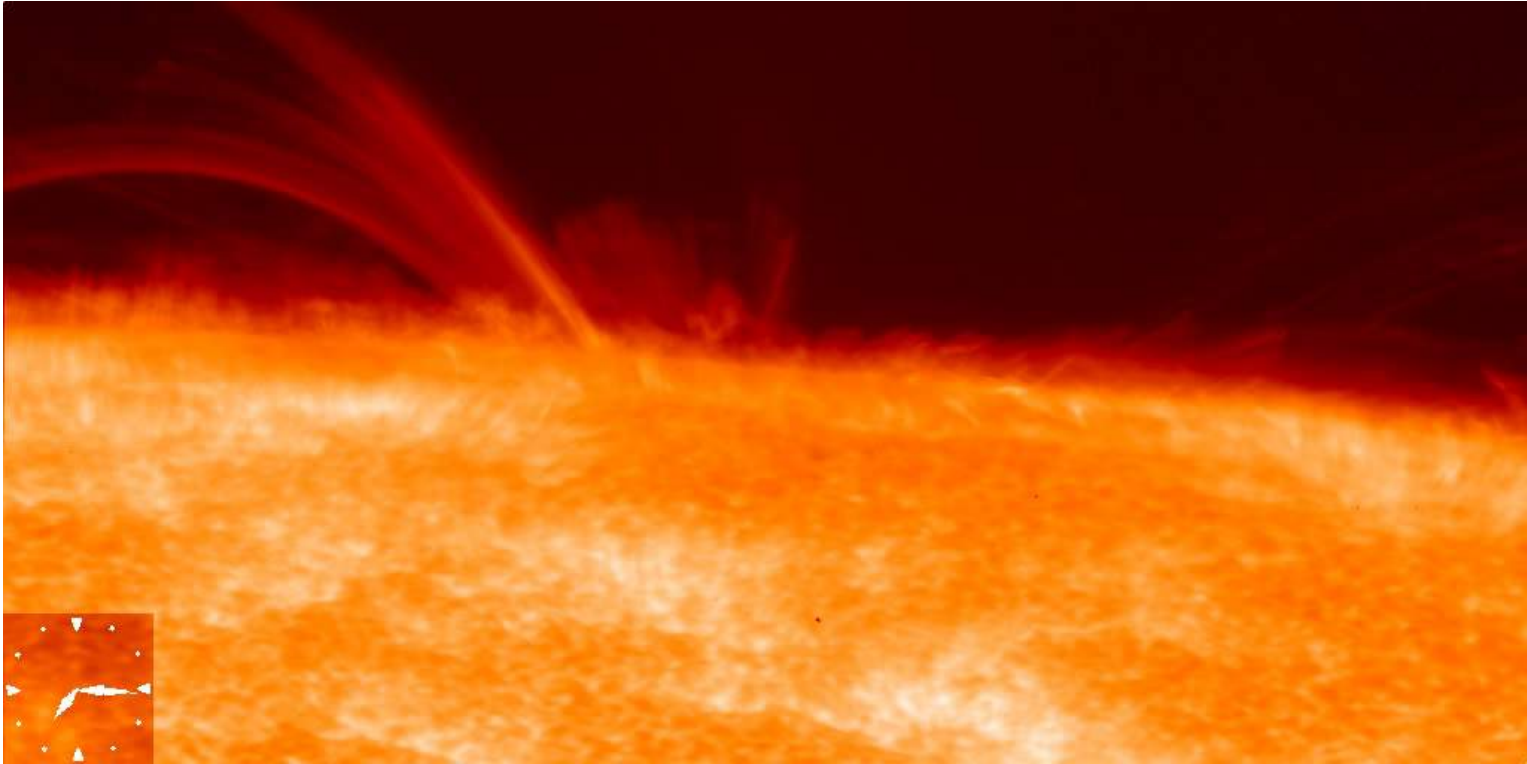


可視光でみた太陽は、のっぺりとして、唯一はっきり見える構造は黒点のみ。この写真からは静かで穏やかな太陽。



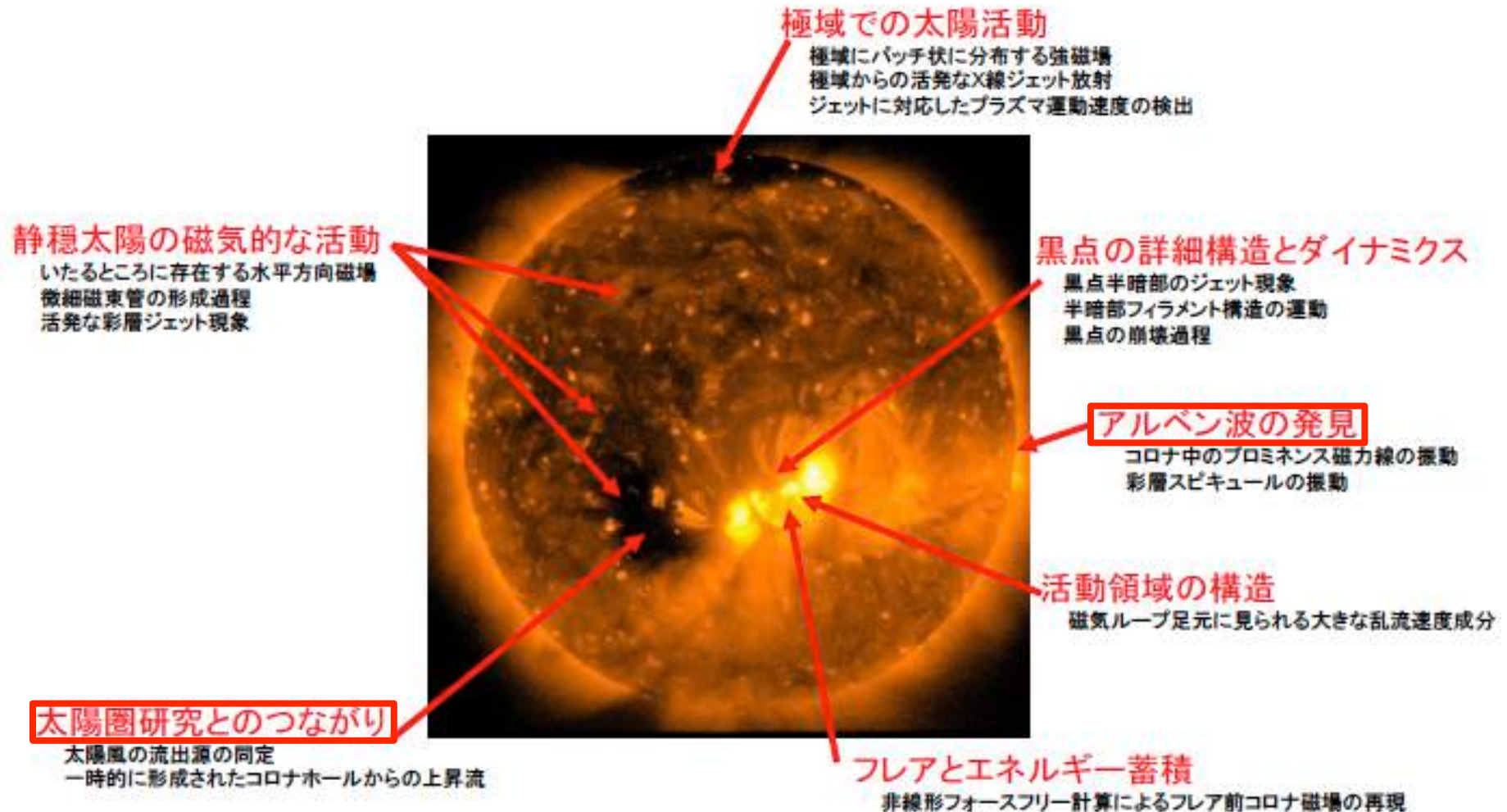
X線で見えてみると、太陽の表情は一変。明るい部分は「活動領域」。フレアと呼ばれる爆発現象もここで発生する。フレアは、地球でオーロラなどを引き起こす。暗い場所(コロナホール)は、太陽から吹き出るプラズマ流である太陽風の吹き出し口。

“ひので”の可視光望遠鏡による太陽の観測



黒点の周囲で強い光が発生し、それに伴って物質が上空へ噴き上げられている様子。ひので」可視光望遠鏡が世界で始めて観測に成功。

“ひので”によって明らかにされた太陽の素顔

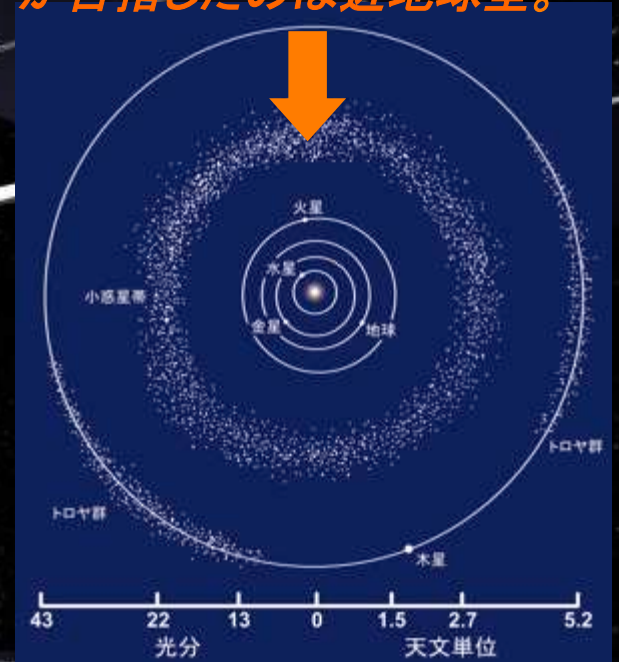


3. 身近な太陽系の起源に 迫る小惑星と月の探査 (月・惑星探査)

「はやぶさ」計画の概要

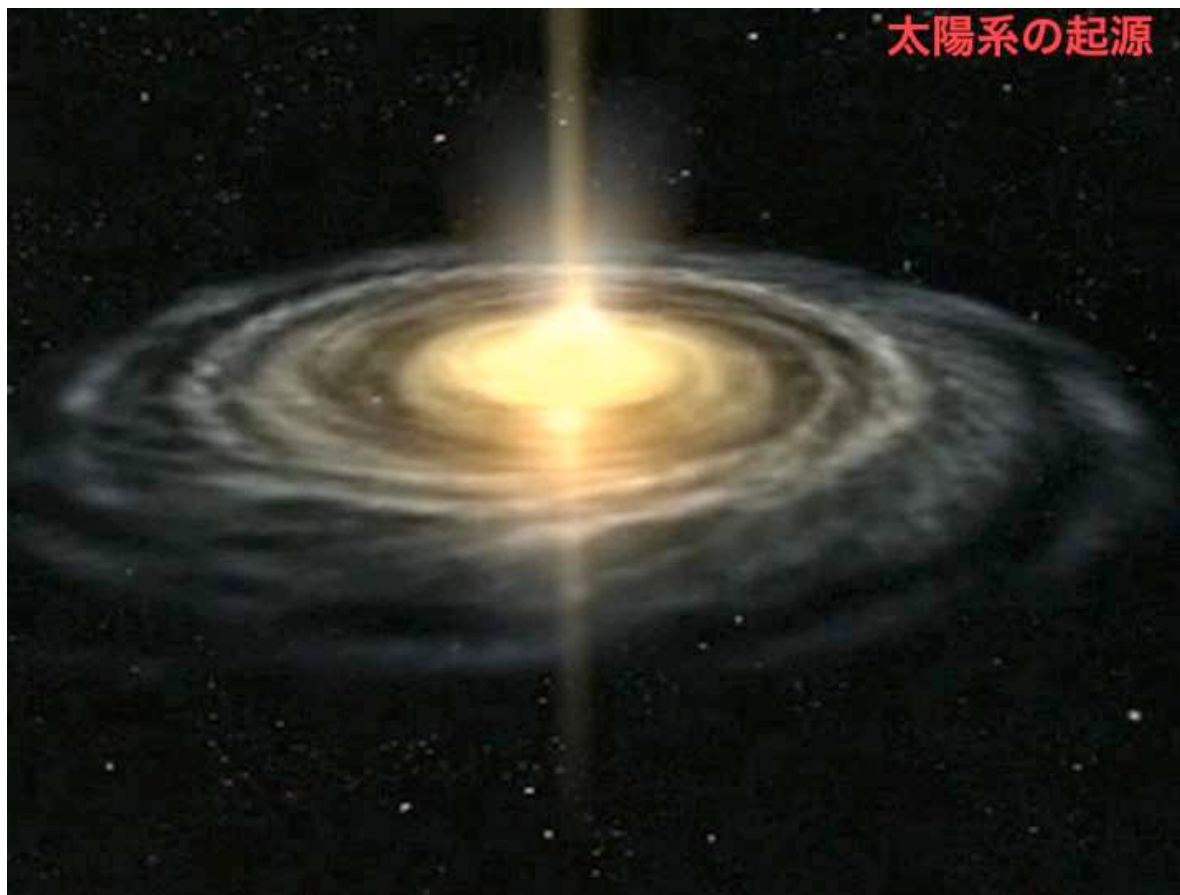
小惑星「イトカワ」に近づいて観察するとともに、着陸して表面の物質(サンプル)を地球に持ち帰り分析する。

小惑星とは、大きさが100km以下程度の小さな惑星。大きいものでも月の1/3以下。はやぶさが目指したのは近地球型。



なぜ小惑星をめざしたのか？

まず、太陽や地球が生まれたころの様子(46億年位前)を見てみよう。



分子の雲
(星のゆりかご)

密度の高い星間雲



集まって原始太
陽と小さな惑星



小さな惑星が集ま
って大きな惑星

はやぶさが小惑星をめざした理由



小惑星のサンプルを持ち帰り分析することにより、「惑星や小惑星を作るものになった材料がどんなものだったか」、「惑星が誕生するころの太陽系の様子がどうだったか」について知ることができる。

「はやぶさ」の開発と打ち上げ

1985年頃から科学者達が検討開始

1996年にプロジェクト開始

その後、衛星開発、組立、試験を実施

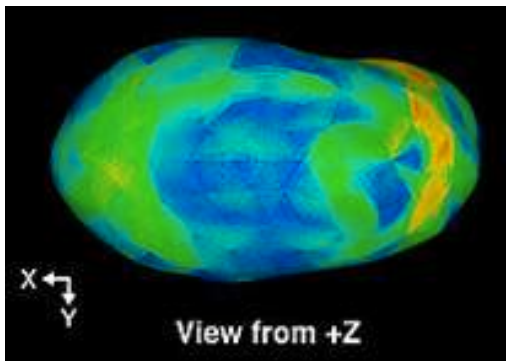


サンプル回収カプセルの取り付け
作業の様子



内之浦宇宙センターからの固体ロ
ケットM5による打ち上げの様子
(2003年)

「はやぶさ」のイトカワへの到着と観測



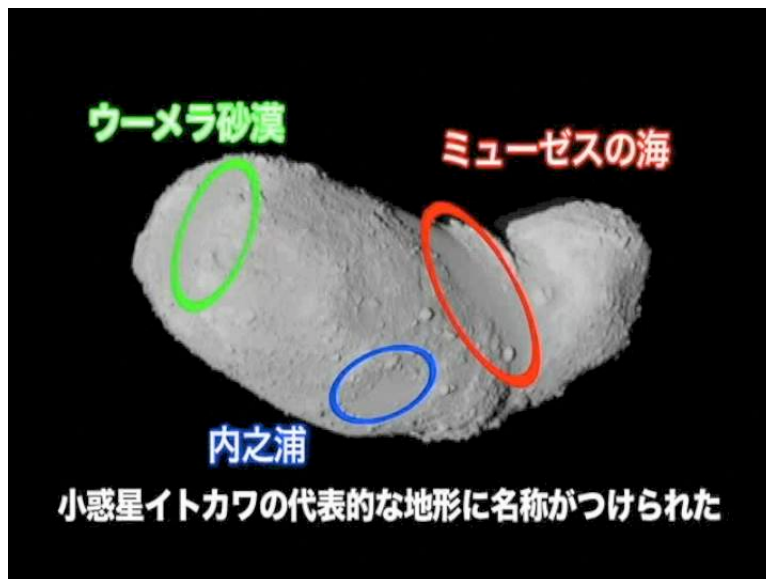
地上観測からのモデル



はやぶさが観測したイトカワ



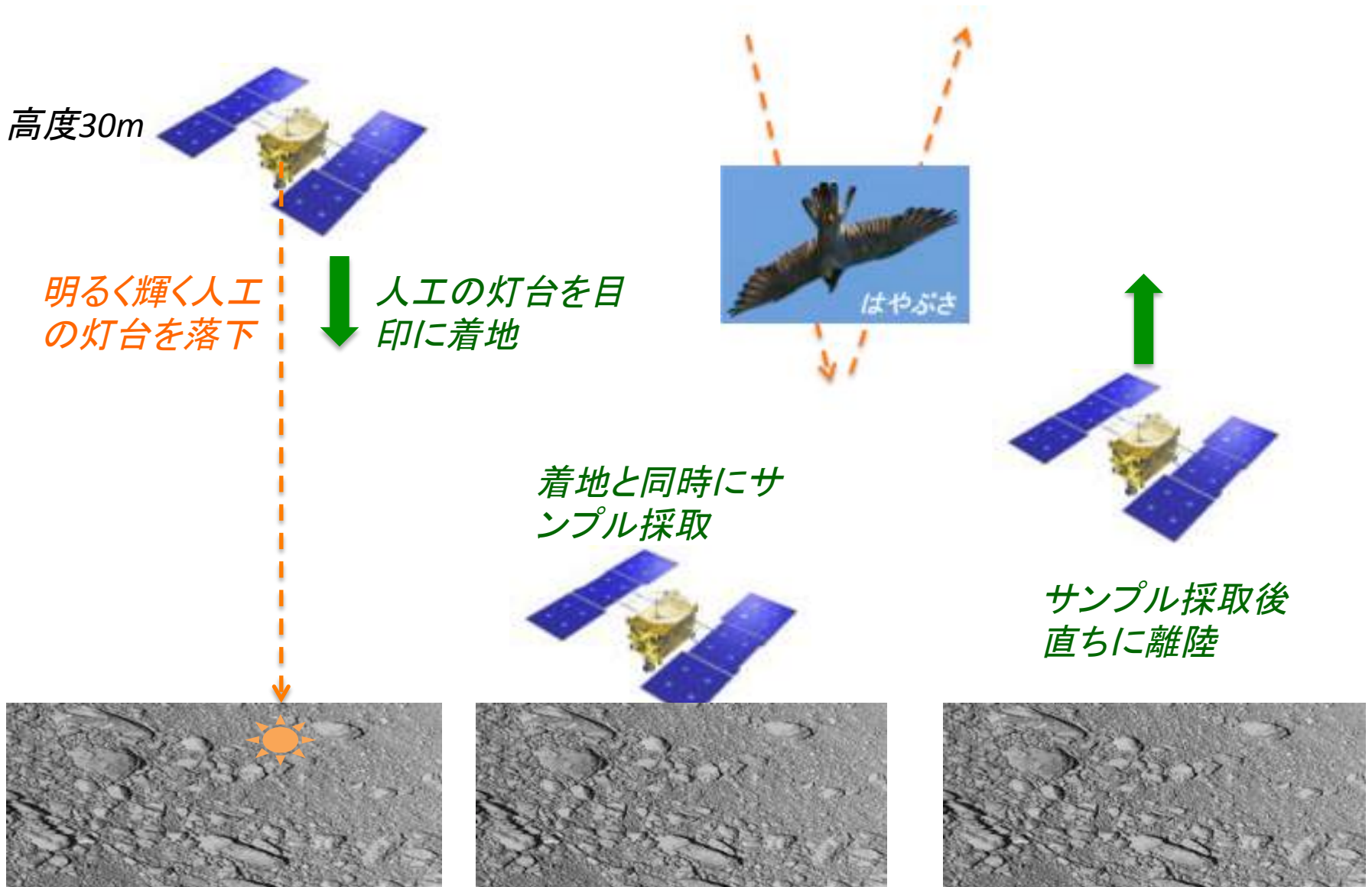
らっこに似ていたので
“イトカワラッコ”と呼ばれた。



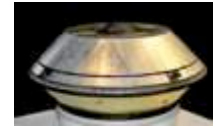
イトカワの地形に名前がついた



「はやぶさ」の着地とサンプル採取



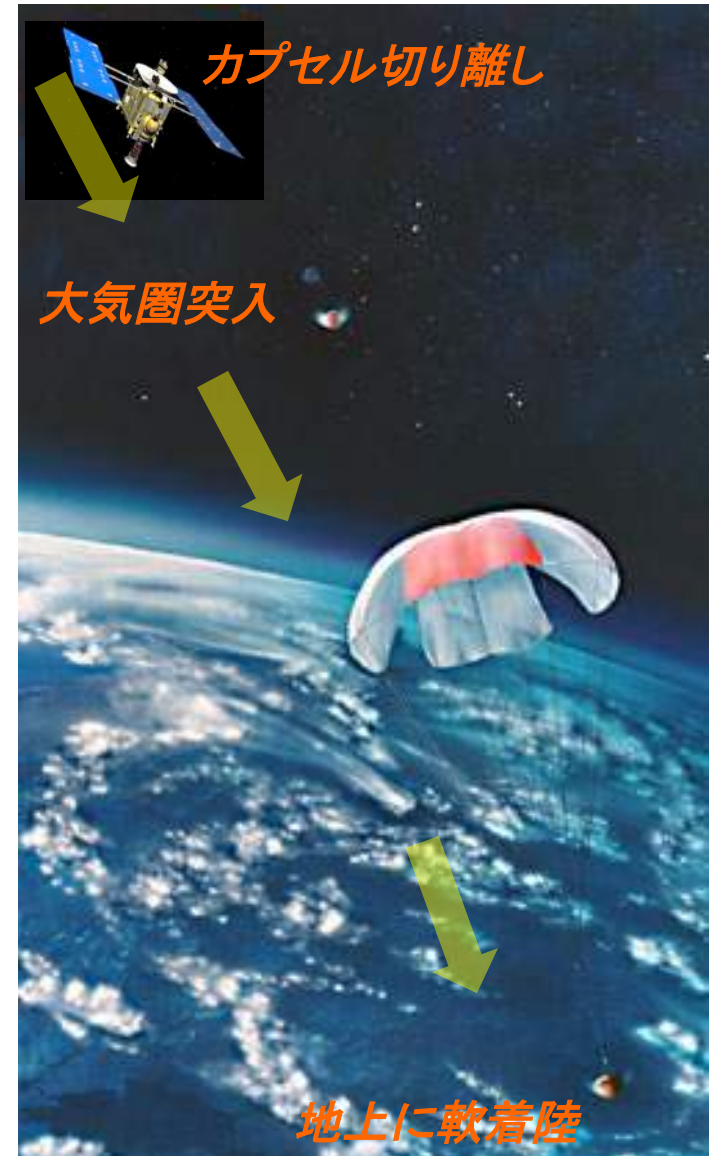
はやぶさの帰還とサンプル回収



回収カプセルは、はやぶさ本体から切り離され、宇宙から超高速（秒速12km以上）で地球大気圏に突入。

カプセルは大気との摩擦により加熱されるが、耐熱構造のため生き残る。はやぶさ本体は燃え尽きる。

カプセルは大気による減速後、パラシュートを放出して軟着陸。その際、カプセルが出す電波を用いてその位置を割り出し回収。



はやぶさの冒険/たくさんのトラブルを乗り越えて

2005年11月 1回目タッチダウン(想定外の着陸)

2回目のタッチダウン(燃料漏れ)

2005年12月 姿勢が不安定、地球との交信不能

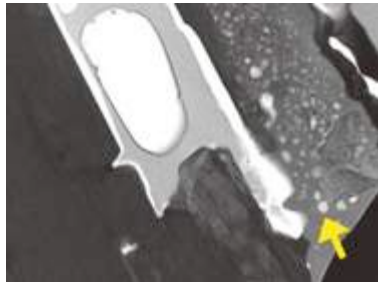
2009年11月 イオンエンジンに異常発生



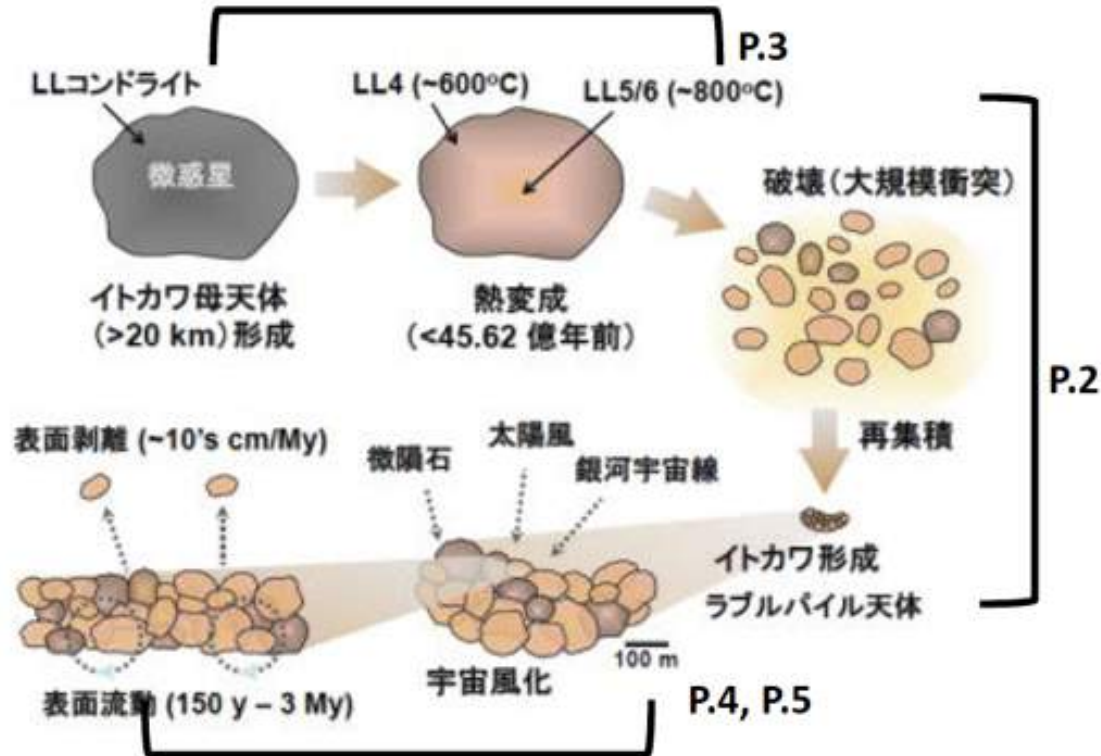
太陽系天体形成の新しい描像



持ち帰ったサンプルの分析



電子顕微鏡による画像。白い粒(矢印)は泡が発生したあと(提供:東北大学/JAXA)。



- 衝突破壊・再集積過程という微惑星から惑星への進化過程が明らかになった。
- 仮想天体であった微惑星の姿について、瓦礫の寄せ集めである「ラブルパイル天体」と類似であるという認識が強まった。
- 今後は、天体形成年代や大規模な衝突イベントが起きた時代がいつだったのかを明らかにするための研究の成果が期待されている。
- また、初期分析で見つけられていない熱変成度の低い始原物質や有機物や水の存在の検証も今後進む予定である。

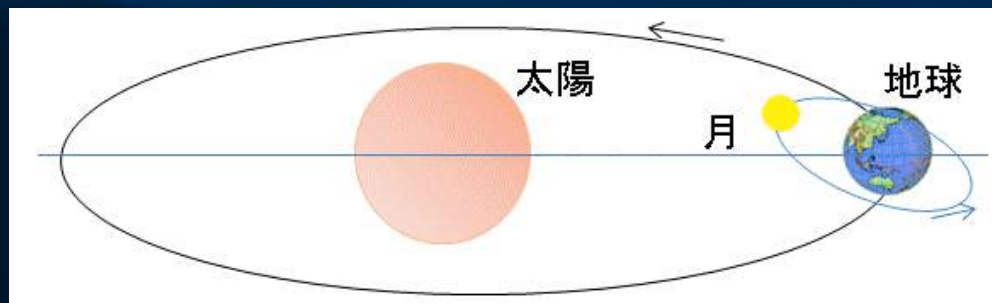
月の起源と進化の謎を探る月探査



© JAXA/NHK

月は身近な天体で良く知られている。

- ・月は地球の半径の60倍付近のところに地球の1/4程度の大きさの天体で、地球と同じ頃できた。
- ・重心が中心から少しずれているため、自転と公転の周期が同じであり、いつも地球に同じ面を見せている。
- ・表面は小天体の衝突でできたクレーターで覆われ、表側には海と呼ばれる低地、裏側には高地が多い。
- ・人類が訪問した唯一の天体で、環境も良く知られている。



月の最大の謎：起源一どのようにして生まれたのか？

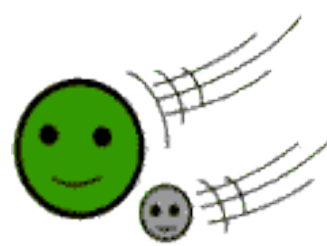
主な4つの説



双子集積説



分裂説

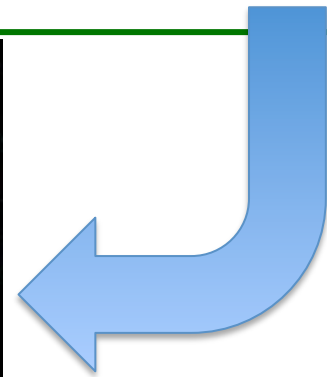


捕獲説



巨大衝突説

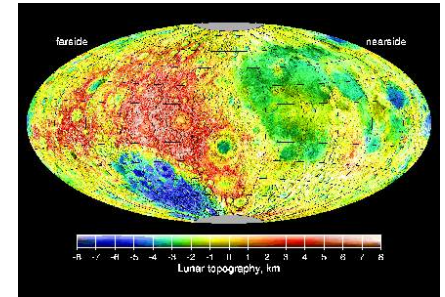
最も有力だが本当だろうか？



原始地球に火星くらい
の大きな天体
が衝突？

月の進化の謎

1. 月の表側と裏側の違いはなぜ、どのようにできたのか？



表と裏の地形の違いはなぜ？

2. マグマオーシャン(溶岩の海)の時代はあったのか。あったとしたらどのような規模だったのか？



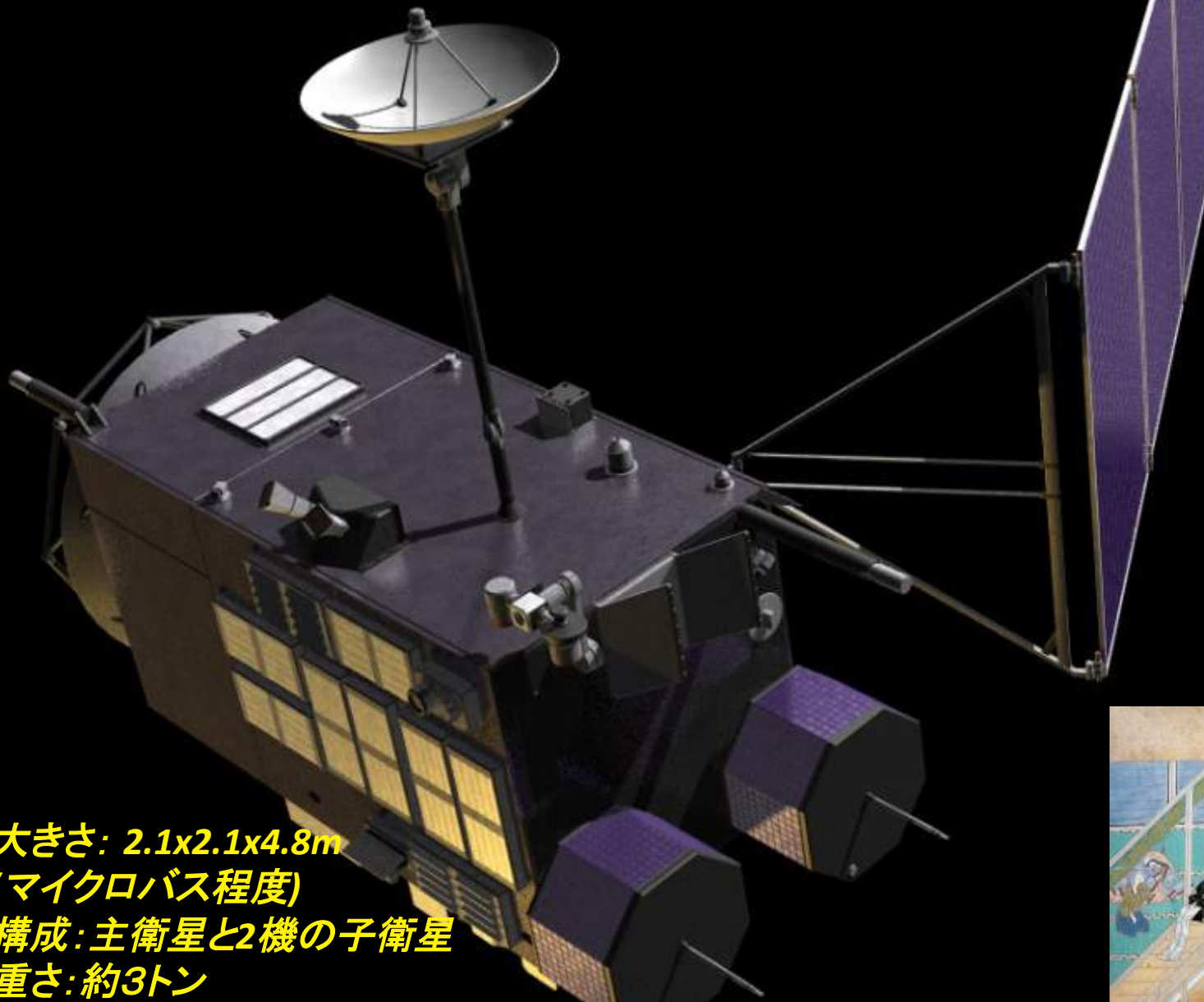
マグマの海の時代？

3. 表面の様々な地形、地質はどのように形成されたのか？



様々な地形は何時どのようにできた？

月探査機 “かぐや”

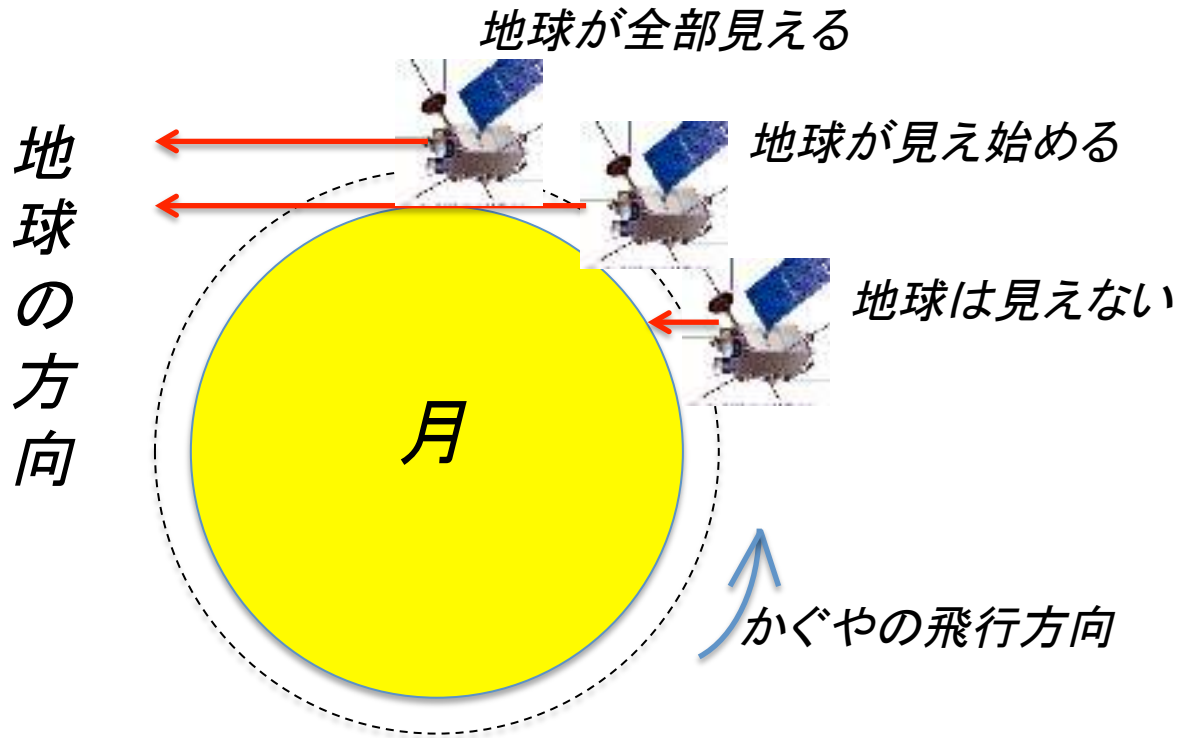


たけとり物語



大きさ: 2.1x2.1x4.8m
(マイクロバス程度)
構成: 主衛星と2機の子衛星
重さ: 約3トン

月で地球の出がみられたのはなぜ？

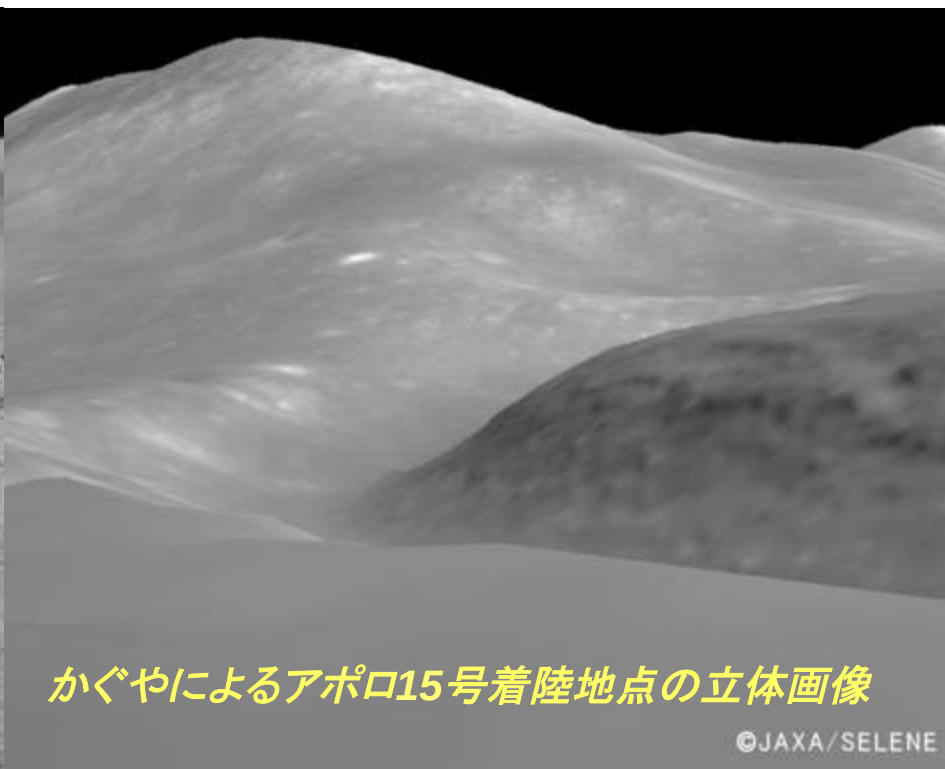


満地球の出

地形カメラ(ステレオカメラ)による詳細な地形の情報が得られた。



アポロ15号着陸地点の写真



かぐやによるアポロ15号着陸地点の立体画像

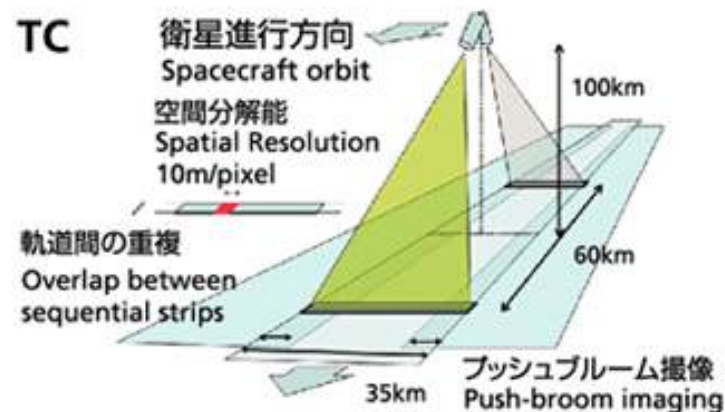
©JAXA/SELENE



1971年アポロ15号の着陸



●着陸点・観測点(雨の海
ハドリー山)



地形カメラによるステレオ観測

チコクレーター上空の遊覧飛行(飛んでいるように見える映像)

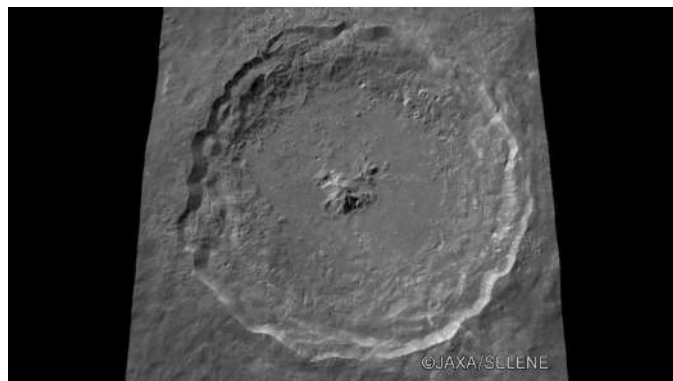
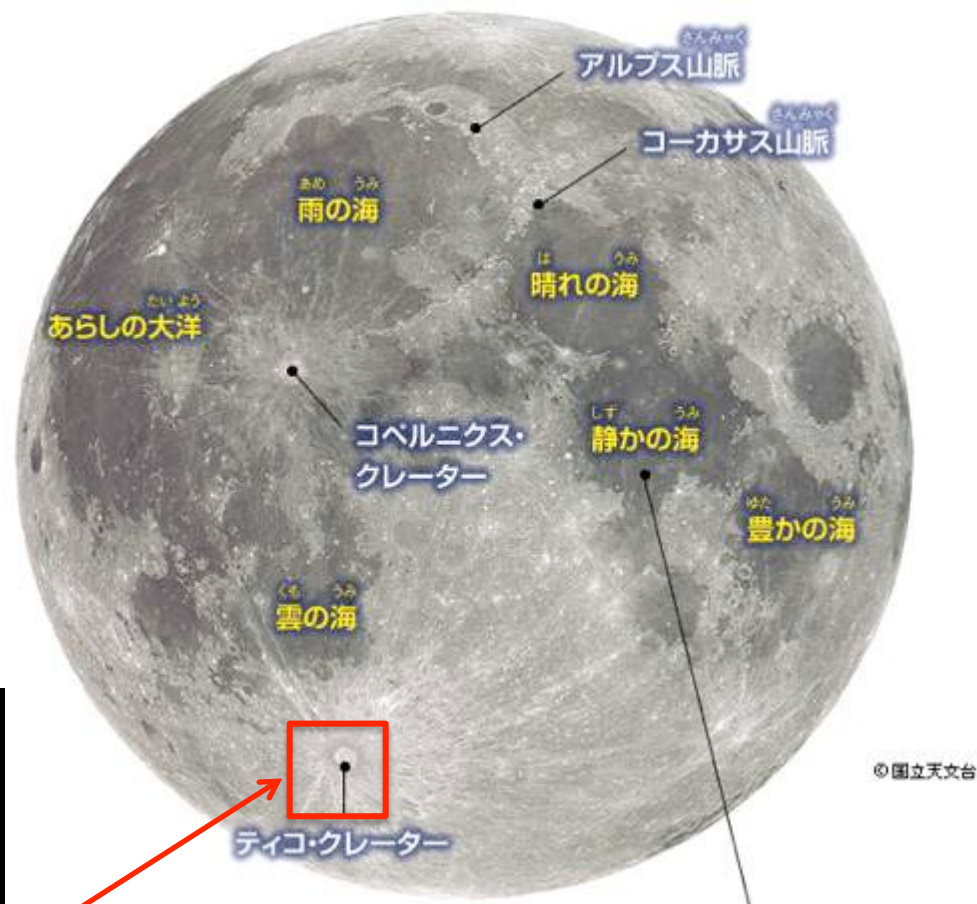
チコクレーター

直径85km

中央に山がある。

1.8億年前にできた新しいクレーター。

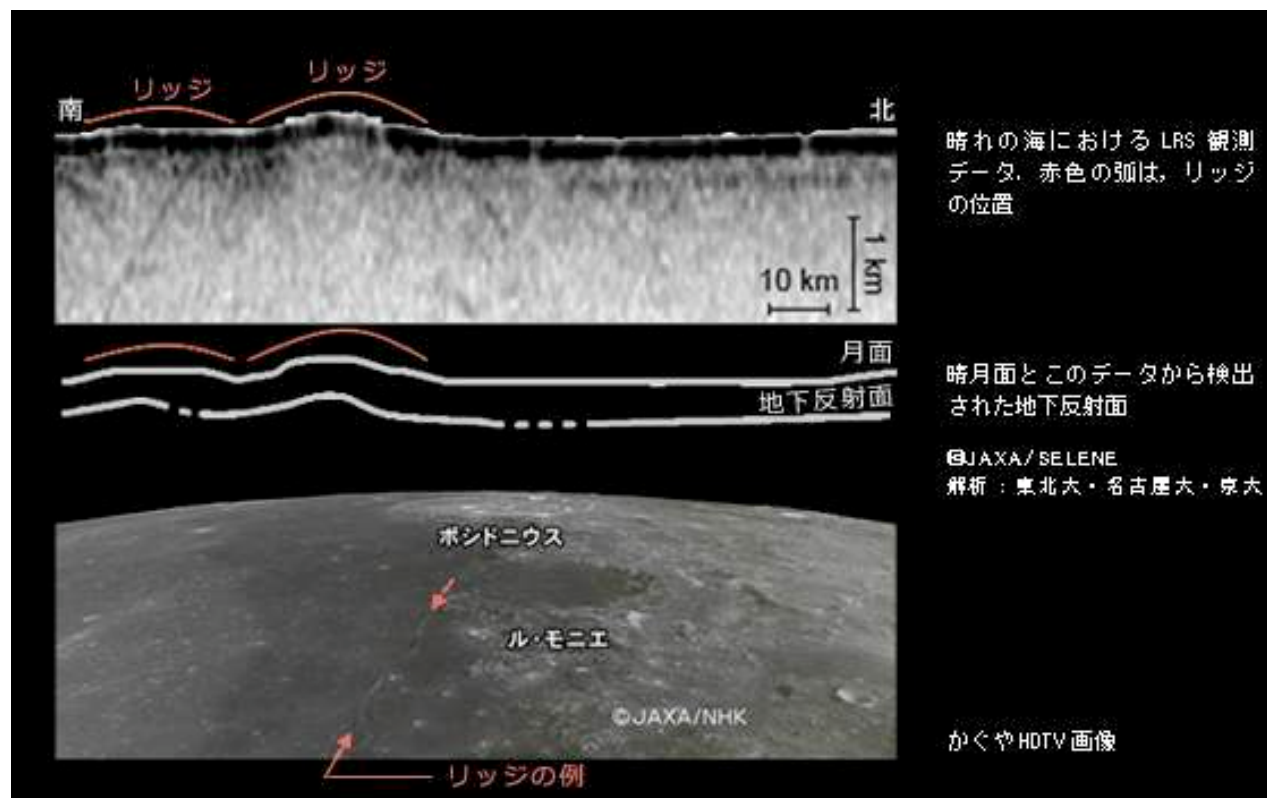
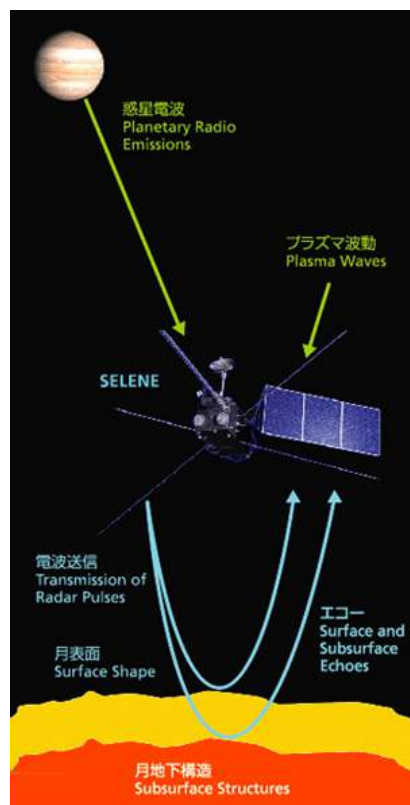
地球からも長くのびた光の筋がよく見える。



チコクレータ

人類が最初に着陸した地点(アポロ11号、1969年)

月の地下構造が初めてわかった。



月の地下の構造はこれまで殆ど調べられていない。「かぐや」は月面に向けて電波を発射し、その反射を調べる方法により地下の構造を探索した。その結果、細長く盛り上がったリッジと呼ばれる地形は、その地下構造から、冷却により月全体が収縮したためにできた表面の皺であることが判明した。年代を推定した結果、これまで考えられたよりも遅い時期まで月の冷却がおきていたことが示された。

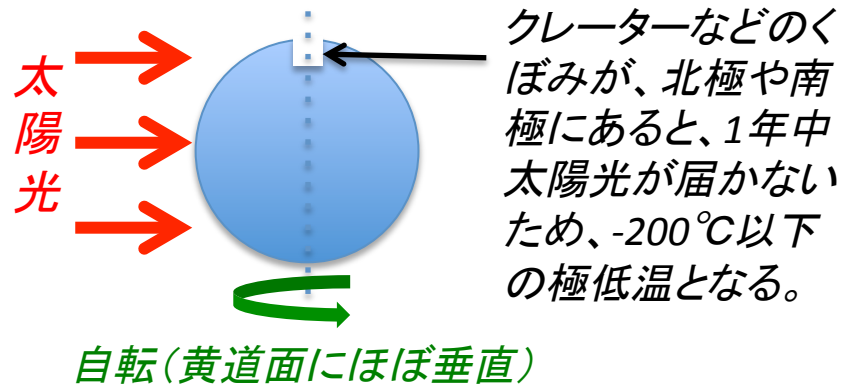
火星ではクレーターの底に氷が発見されている。月では？

火星の場合



火星の高緯度のクレーター(直径35km、深さ2km)で観測された氷。2005年ヨーロッパのマーズ・エクスプレスという探査機により発見。月では？

月の場合



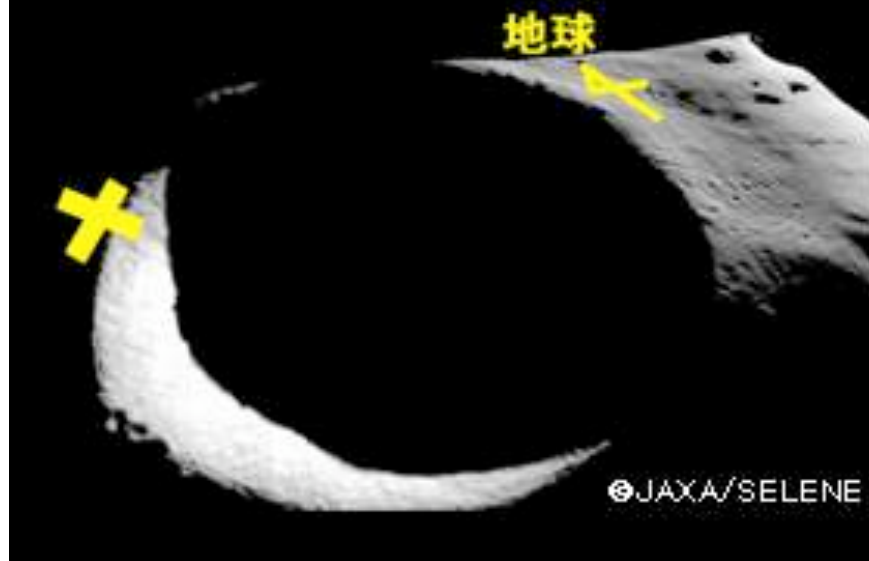
水を含んだ彗星や隕石が衝突すると水が氷として付着。



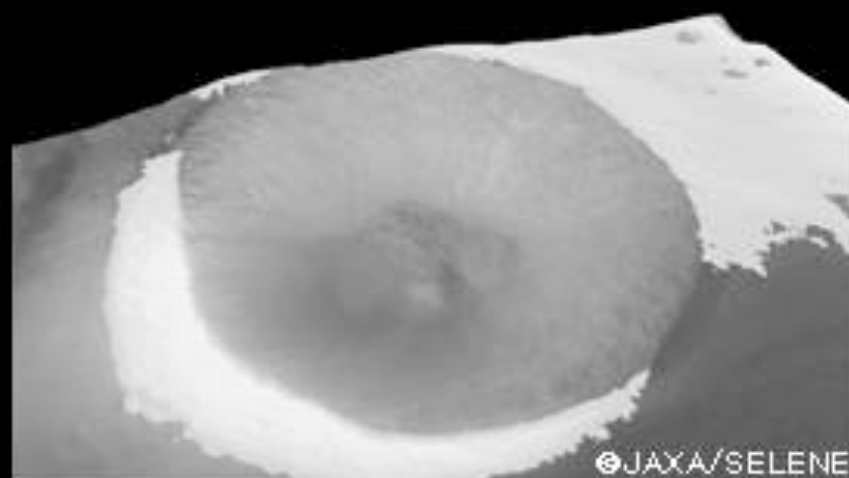
冷凍庫の例

“氷があるのでは？”に答え

これまでの観測



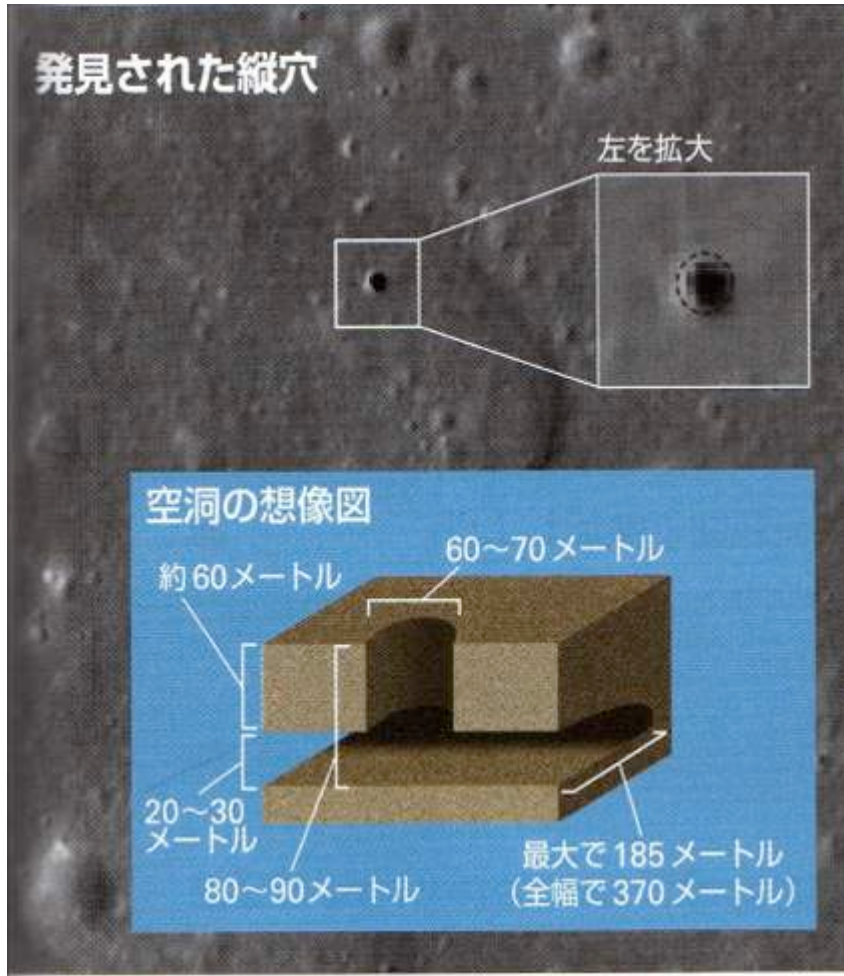
高性能地形カメラによる観測



氷があるかもしれないと期待されていた南極付近のシャクルトンクレータ

地形カメラが映し出したクレータの内部には、**水氷による高い反射率の場所**は存在せず、クレータの底には水氷は露出した形では大量には存在しないことが判明した。水氷はあるとしても非常に少ない量で、土と混ざっていたり、表面の砂(レゴリス)に隠れてしまっていると考えられる。

月に縦穴と地下空洞があることを発見



月の表面に、地下に通じる直径60~70メートルの縦穴のある場所が見つかった。縦穴は、その下に存在している空洞である「溶岩チューブ」につながっている「天窗」である可能性が高い。**溶岩チューブは、最大370mにも及ぶことがわかった。**



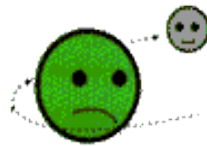
地上にもある溶岩チューブ

月の起源と進化の謎についてどれだけわかったでしょう？

“かぐや”でこれまでわかったこと

- ・月の表と裏の違いは表面だけでなく、月の奥深くまで達していた。
- ・月が生まれたころには、地球と同じような大規模な磁場があった(高温で液体状の核があった)。
- ・大きなマグマの海の時代があった。表側から裏側に向かうマグマの流れができ、固まった部分が流氷のように流されて集まって月の地殻が成長した。
- ・以前考えられたよりも最近まで(25億年前頃まで)火山活動があった(若かった)。
- ・月は現在は冷えきっていると考えられていたが、今でも深い部分(マントル下部)では熱く溶けて柔らかい部分がある。

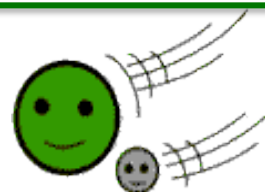
月はどのように生まれた？



双子集積説



分裂説



捕獲説



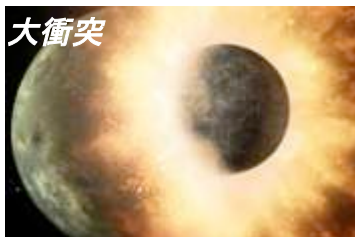
巨大衝突説

おこりやすい現象？
大きなマグマの海？
物質がにている？
中心の重い部分？
酸素の種類が同じ？



未だ結論は出ていない

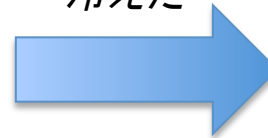
月の起源と進化



溶けた

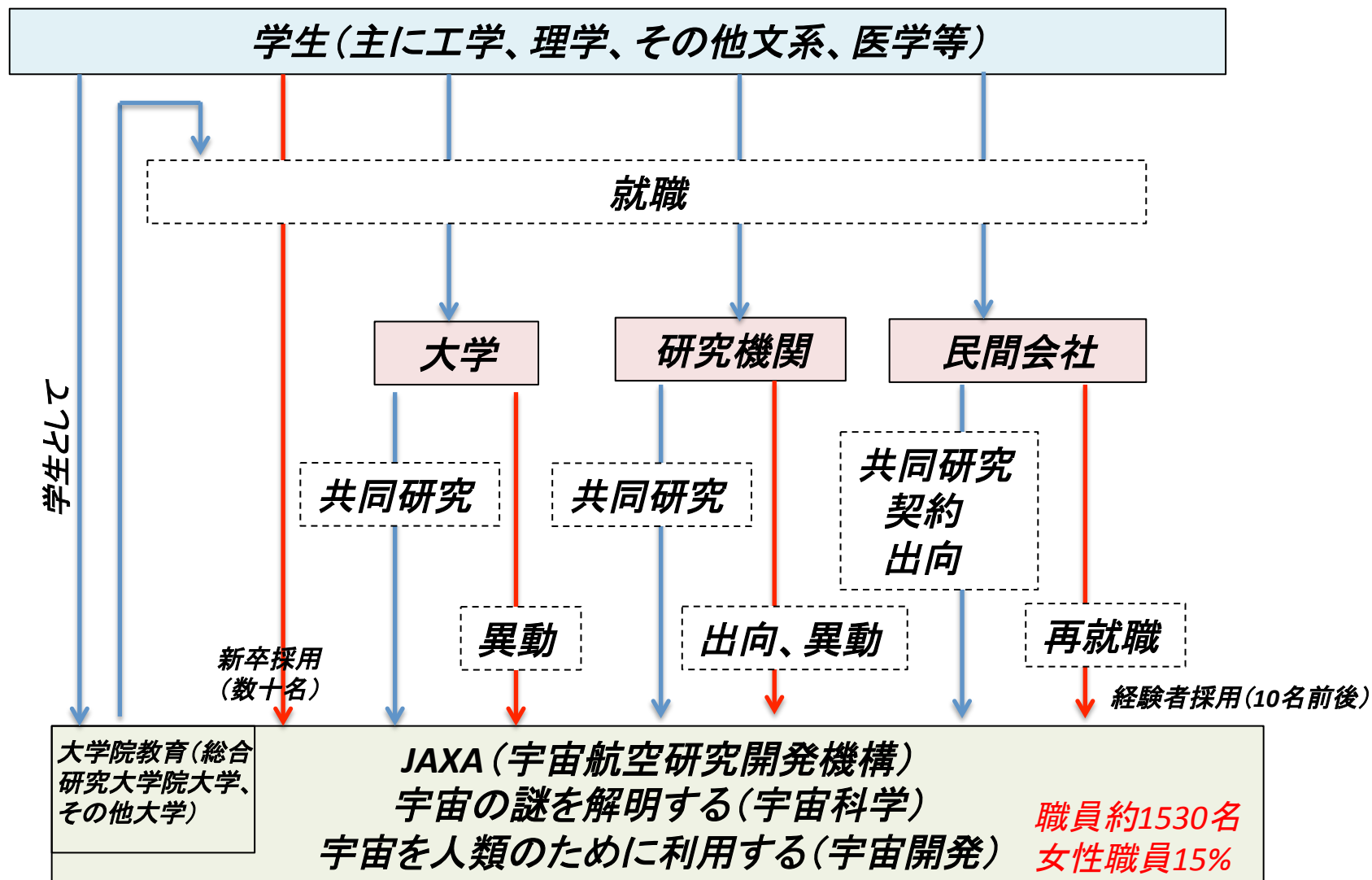


冷えた



4. 宇宙科学・宇宙開発の 道に進むには？（将来の 進路のヒント）

宇宙科学・宇宙開発の分野への道(JAXAの例)



今日の授業はこれでおわりです。



これまでの天体と惑星の研究で、豊富な水と温
和な大気に恵まれた地球は、宇宙の中で非常
に稀な存在であることが分かってきました。
この貴重な地球環境を大切にしましょう。