



# 「比較惑星気象」 もっと地球を知るために

山田学

宇宙航空研究開発機構/ 宇宙科学研究所

Planet-Cプロジェクト招聘研究員

(北大宇宙理学専攻渡部重十研O.B.)

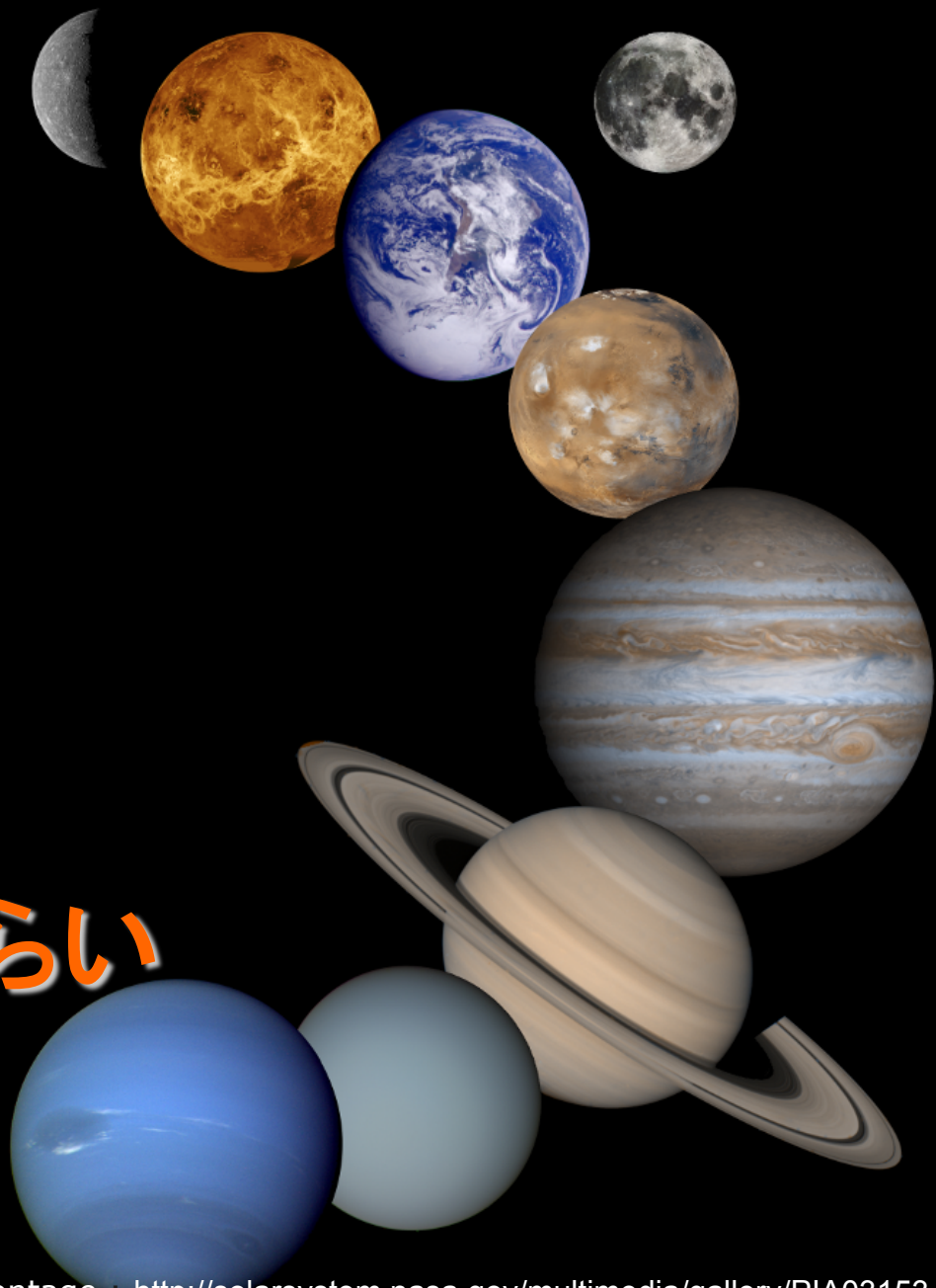
2011/11/11

北大 - 大垣東高校間 双方向遠隔授業

A handwritten signature in the bottom right corner of the slide.

# 今日の授業内容

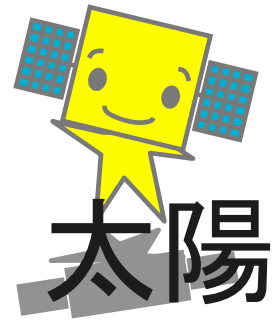
- 太陽系惑星おさらい(地球型/木星型)
- 金星はどんな惑星?
- 地球型惑星の比較
- 金星探査機「あかつき」
  - 探査概要
  - 「あかつき」のいま、これから



# 太陽系惑星おさらい

Solar System Montage · <http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/gallery/PIA03153.jpg>

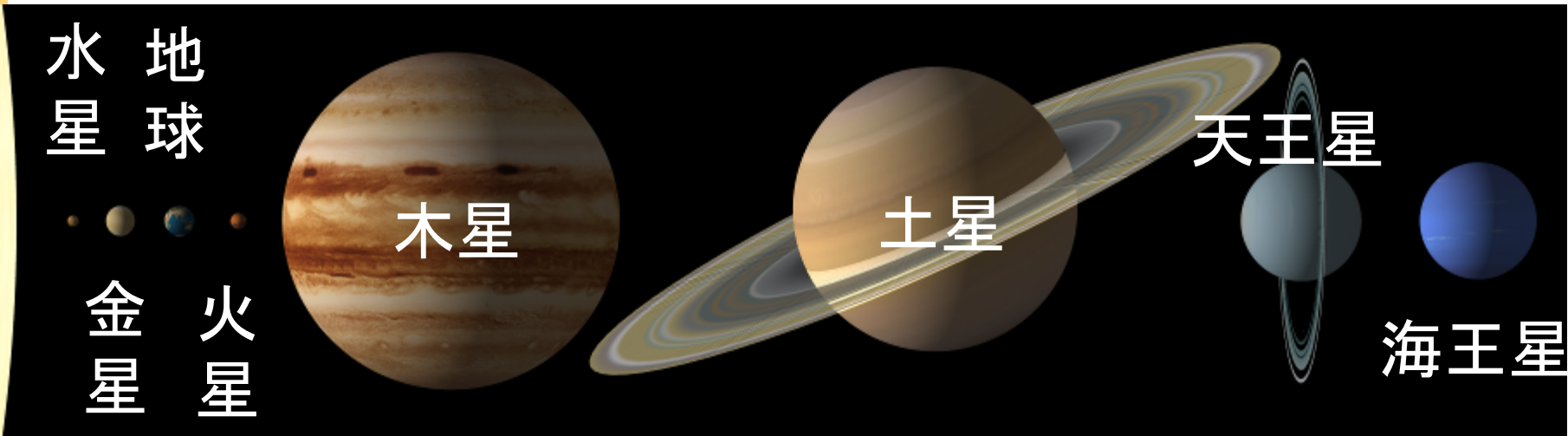
# 金星の大きさは？



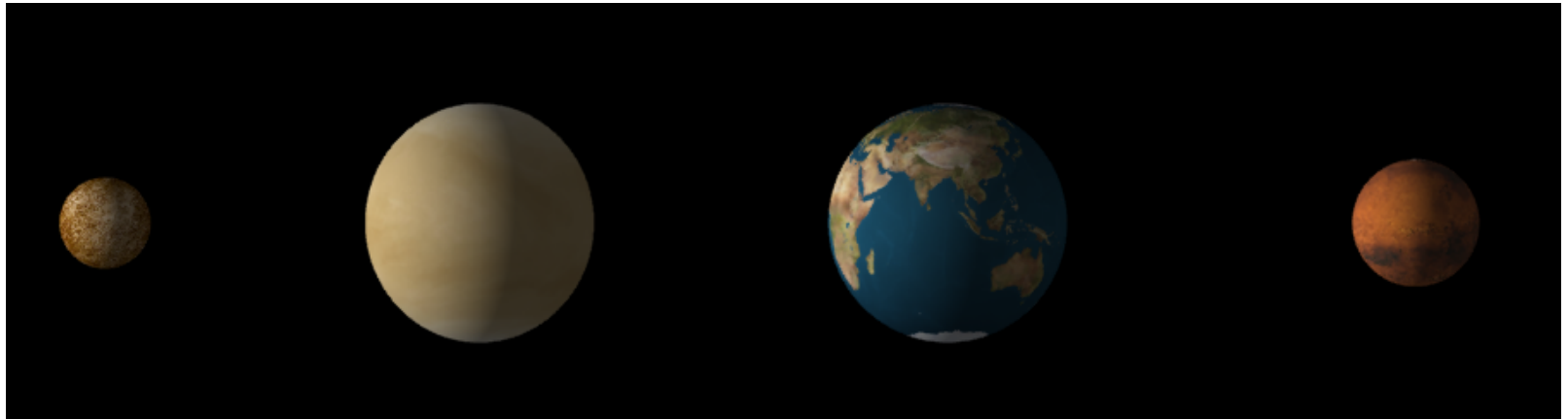
1. 地球の約100倍 太陽
2. 地球の約10倍 木星・土星
3. 地球と同じくらい 金星
4. 地球の約1/2 火星
5. 地球の約1/4 月
6. 東京タワーの高さ

小惑星イトカワ

# 太陽系惑星の大きさ比較

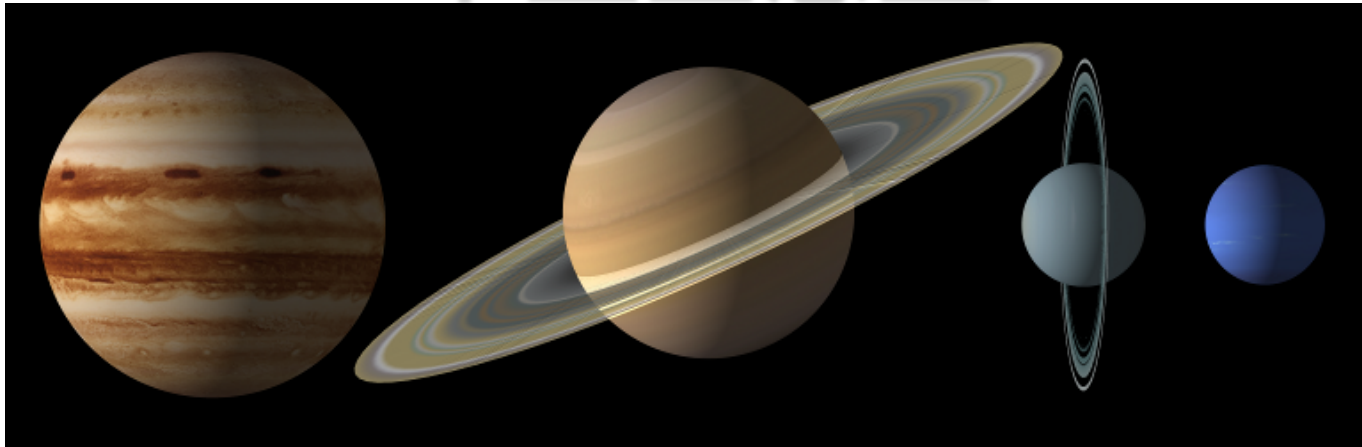


# 地球型惑星

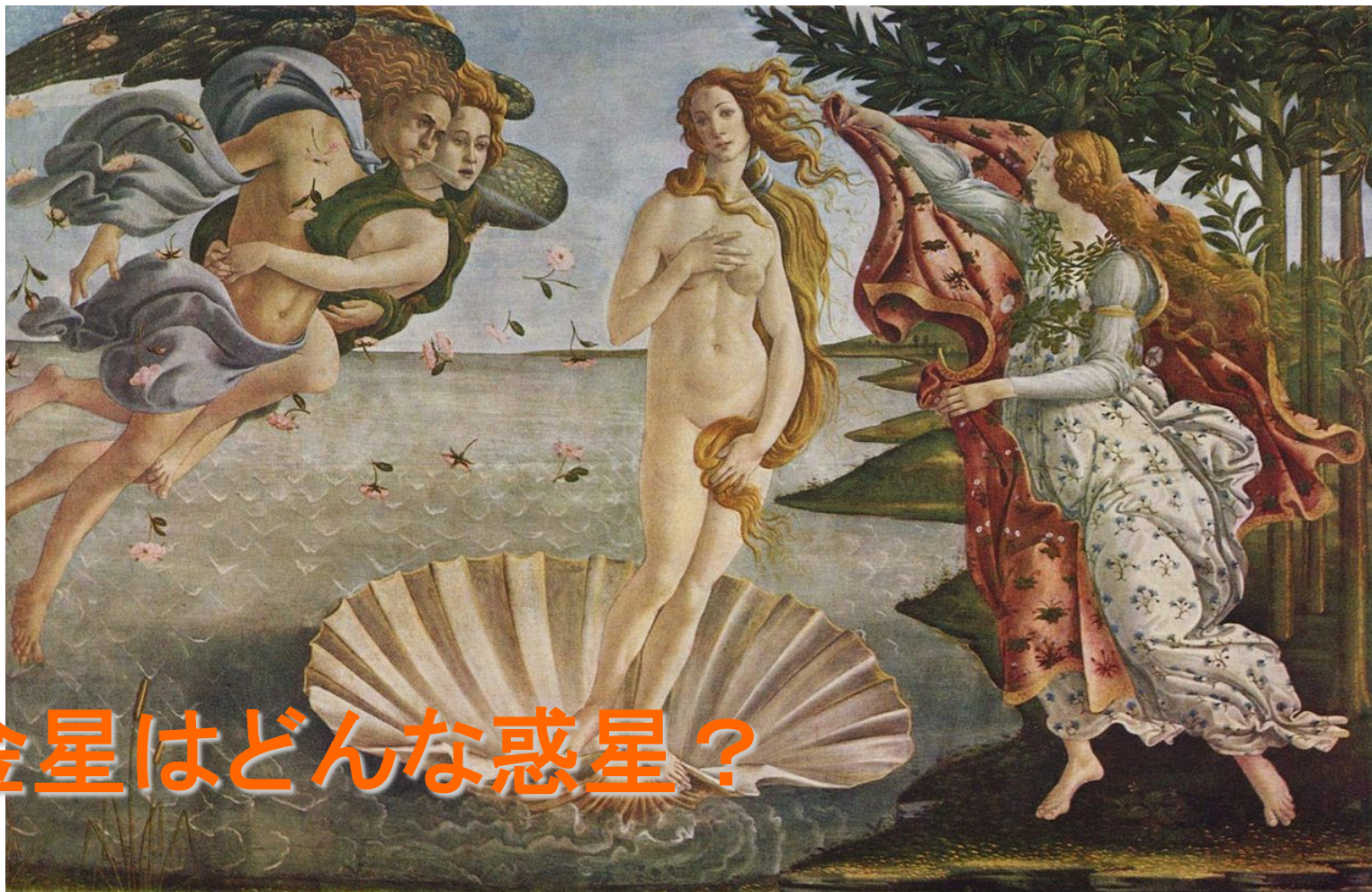


- 水星、金星、地球、火星
- 岩石惑星
  - 金属鉄コア + 岩石質のマントル (+ 大気)
  - 密度: 約 $5\text{g}/\text{cm}^3$ 前後(岩石)

# 木星型惑星



- 木星、土星、天王星、海王星
- ガス惑星
  - もともと“大きさ”による分類
  - 径：地球の数倍，質量10倍以上
  - 密度：約 $1\text{g/cm}^3$  前後



# 金星はどんな惑星？



# 金星はどんな惑星？

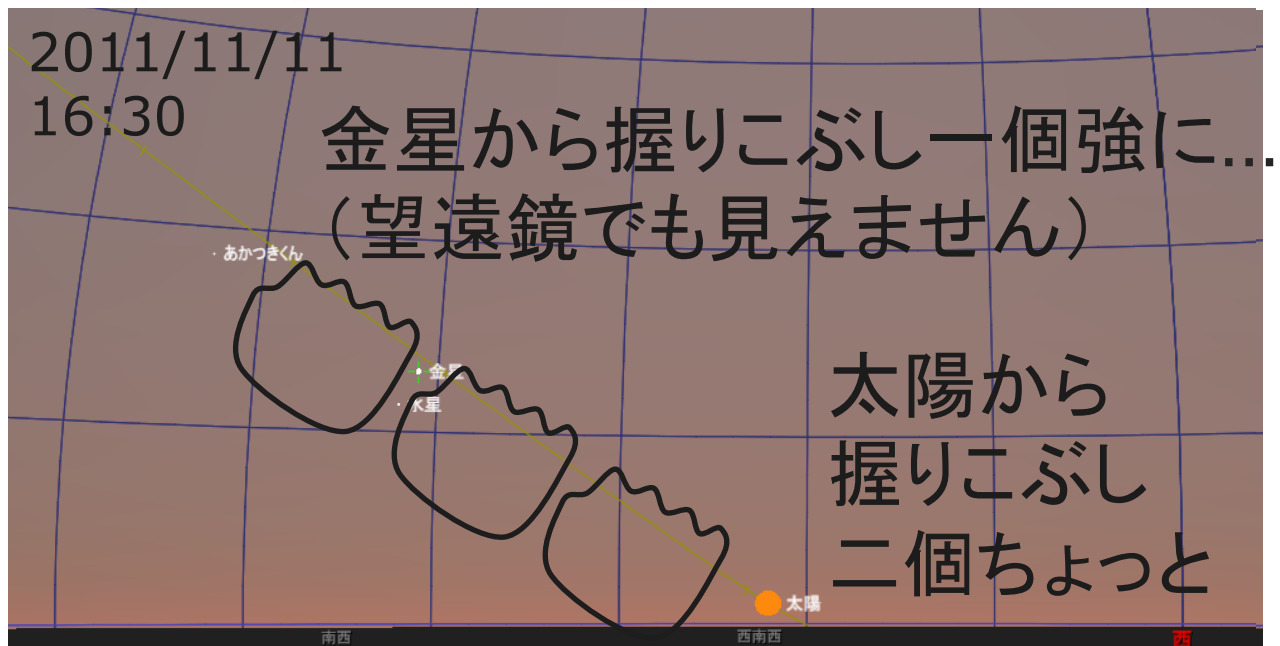
- 「一番星」
- 「双子惑星」、「姉妹惑星」
- 「あつい」気温・大気・雲
- 「超回転」

# 「一番星」 = 金星

- 太陽、月の次に明るい天体  
(Max: -4.87等星)
  - 「内惑星」: 真夜中には見えない
    - 明けの明星・宵の明星
- 望遠鏡を使えば昼間でも観測可能。

金星、太陽、地球の図

# 下校時金星をみてみよう



日付 (JST)	金星出	金星南中	金星入
2011/11/11	08:04	12:58	17:53
2011/11/12	08:06	13:00	17:53
2011/11/13	08:08	13:01	17:54
2011/11/14	08:10	13:03	17:55

# 「双子惑星」「姉妹惑星」

- 「双子」「姉妹」の所以
  - 地球のお隣さん
  - サイズ(直径、密度):よく似ている
- 地球に似ている？
  - 自転方向: ゆっくり、逆回り
  - 大気組成: 二酸化炭素が主成分
  - 分厚い硫酸の雲に覆われている

**体格(Body)そっくり**

**雰囲気(Atmosphere)似ていない**

# 「あつい」気温・大気・雲

□ 気温：477°C (天ぷら油より**熱い**)

□ 大気：**厚い**CO<sub>2</sub>大気

地表付近      90気圧

高度約50km      1気圧

□ 雲：**厚い**硫酸の雲

高度約50～70km

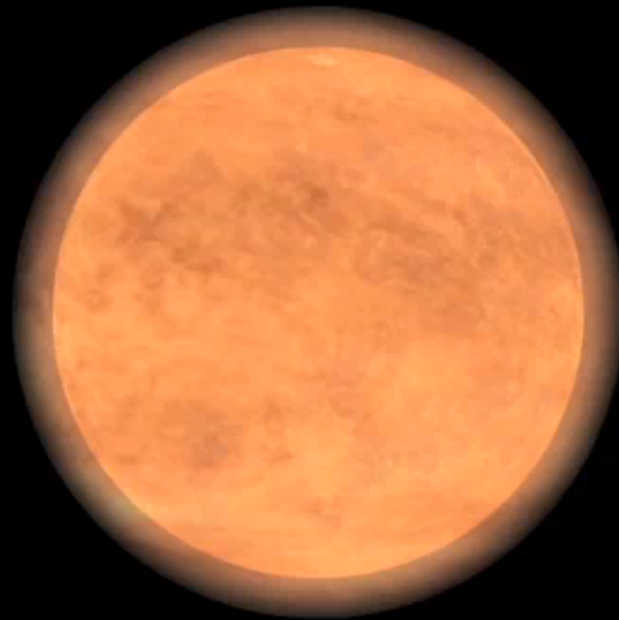
惑星全体を覆う

# なぜあつい？

- CO<sub>2</sub>による「温室効果」
- 海がない、生物いない  
炭酸塩として固定されない

地球にある炭酸塩岩石からCO<sub>2</sub>  
を取り出すと 60気圧ぐらい

# 「超回転」：“Super rotation”



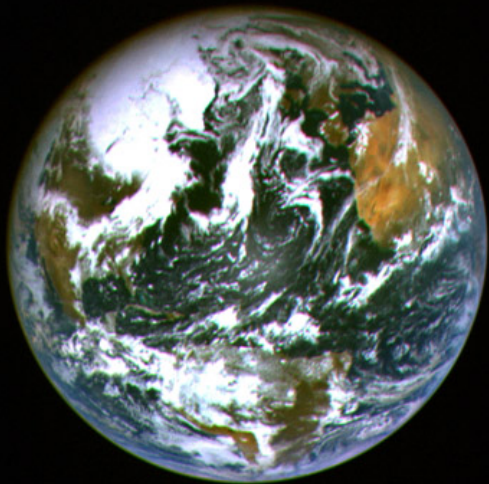
大気が自転をはるかに追い越して同じ方向に循環



# 地球型惑星の比較



# 地球



「はやぶさ」から撮影された地球  
<http://www.isas.ac.jp/j/snews/2004/0519.shtml>

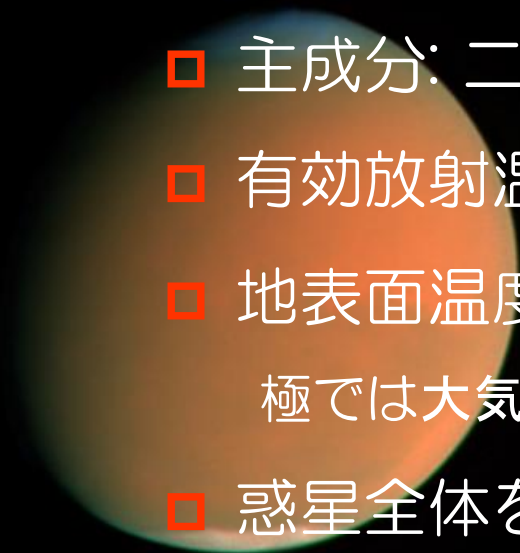
- 海と陸がある
- 大気: 1気圧
- 主成分: 窒素, 酸素
- 有効放射温度:  $-18^{\circ}\text{C}$
- 地表面温度:  $15^{\circ}\text{C}$
- 雲: 晴れ間がある
- エネルギー源は太陽からの放射

# 火星



June 26, 2001

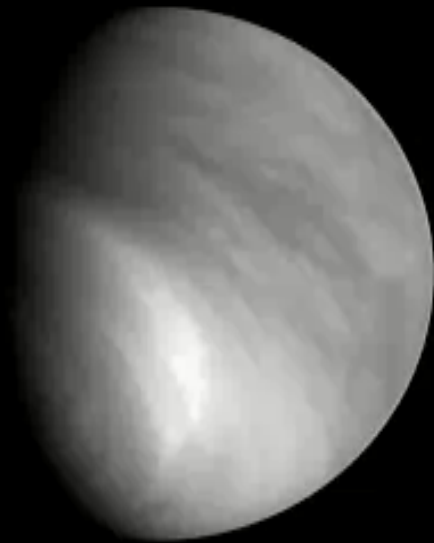
HST Wide Field Planetary Camera 2  
<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA03173>



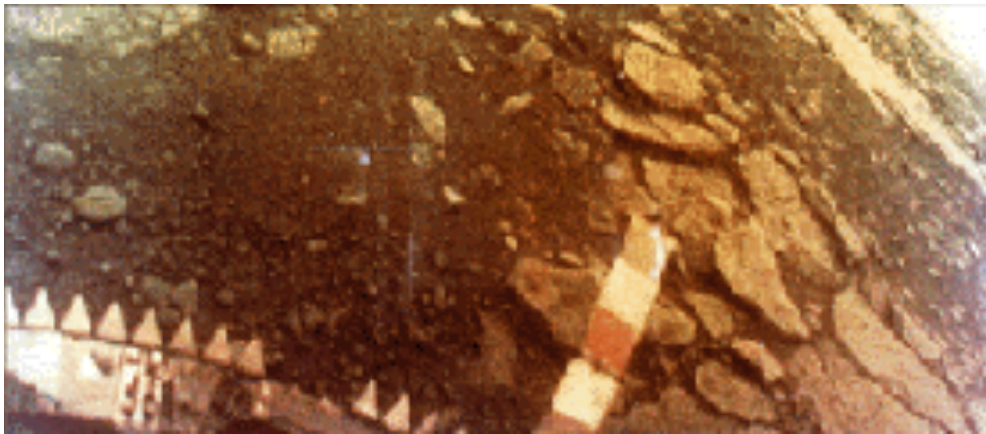
September 1, 2001

- 海なし(大気中水蒸気もわずか)
- 薄い大気: 約1/100気圧
- 主成分: 二酸化炭素
- 有効放射温度:  $-57^{\circ}\text{C}$
- 地表面温度:  $-53^{\circ}\text{C}$   
     極では大気が「凍る」
- 惑星全体を覆う砂嵐の発生  
     ダストストームの発生
- エネルギー源は太陽からの放射(地球のおよそ半分)

# 金星



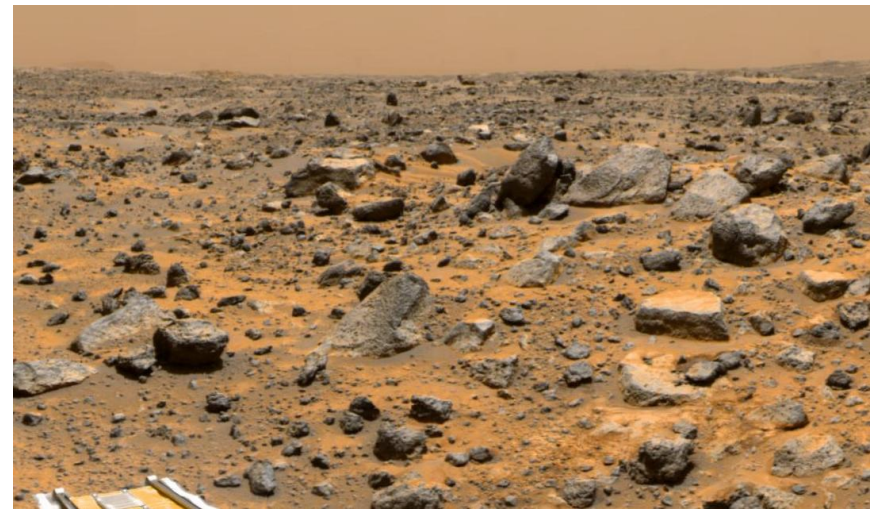
- 海なし(大気中水蒸気もわずか)
- 厚い大気: 地球の約100倍
- 主成分: 二酸化炭素
- 有効放射温度:  $-49^{\circ}\text{C}$
- 地表面温度:  $477^{\circ}\text{C}$
- 分厚い硫酸の雲に覆われている
- エネルギー源は太陽からの放射, (地球のおよそ2倍)
- 自転が非常に遅い



Venera 13 on Venus:  
<http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/gallery/v132.jpg>

## 金星 灼熱・硫酸の雲 かつては海があった？

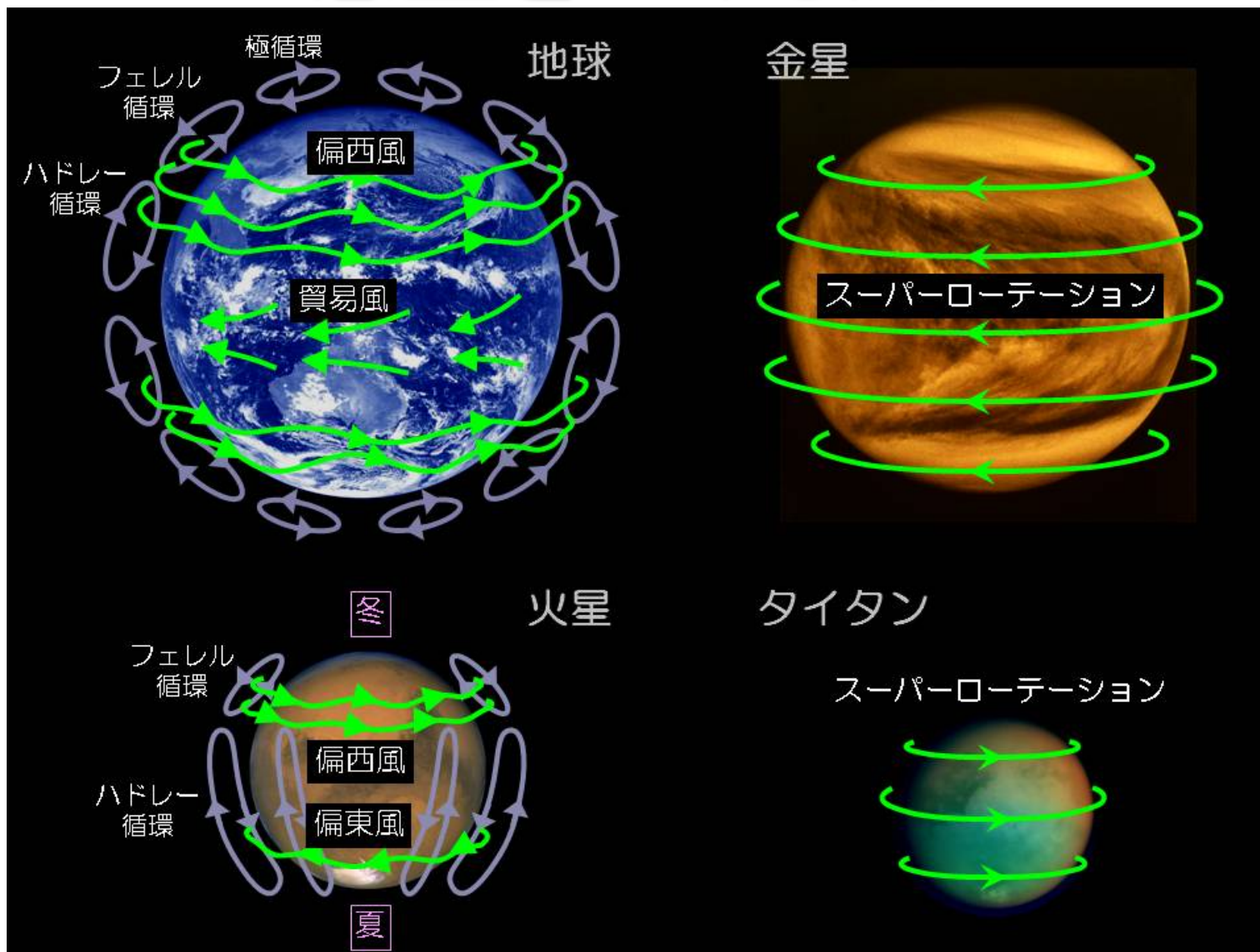
Mars Pathfinder:  
[http://mars.jpl.nasa.gov/MPF/ops/81955\\_full.jpg](http://mars.jpl.nasa.gov/MPF/ops/81955_full.jpg)



## 地球 水惑星 生命の星

## 火星 極寒・乾燥・砂塵の世界 かつては暖かかった？

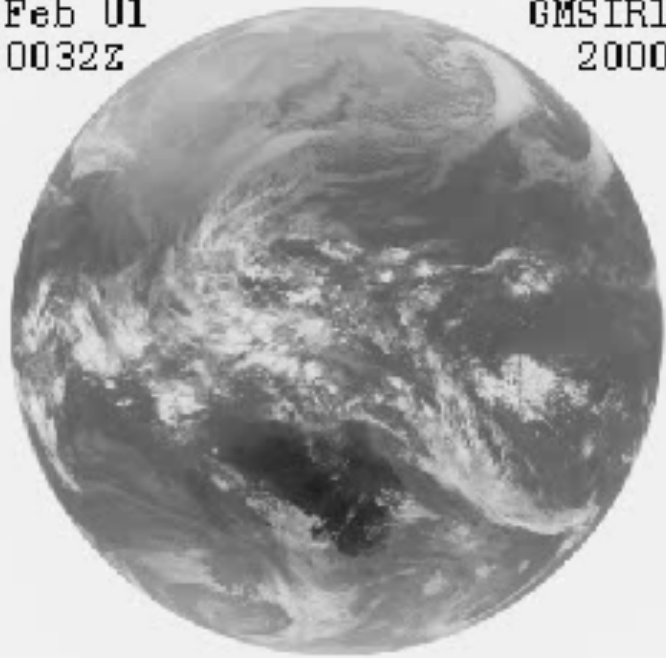
# 惑星をめぐる風



# 地球の風

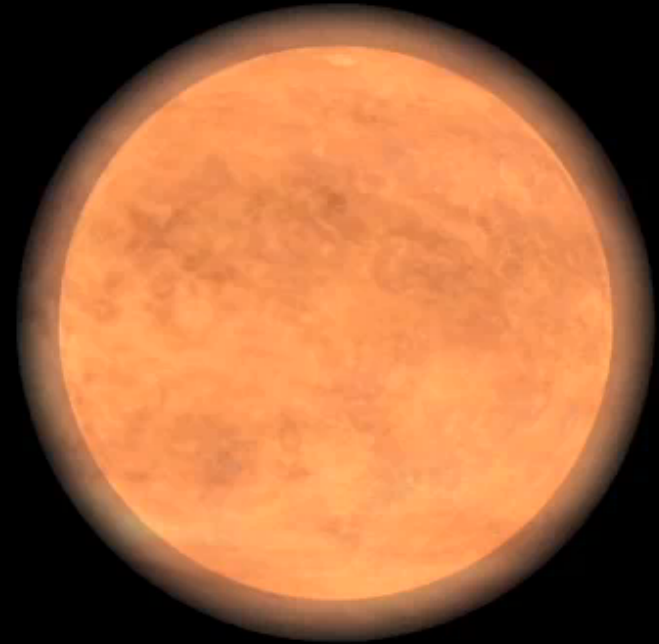
Feb 01  
0032Z

GMSIR1  
2000



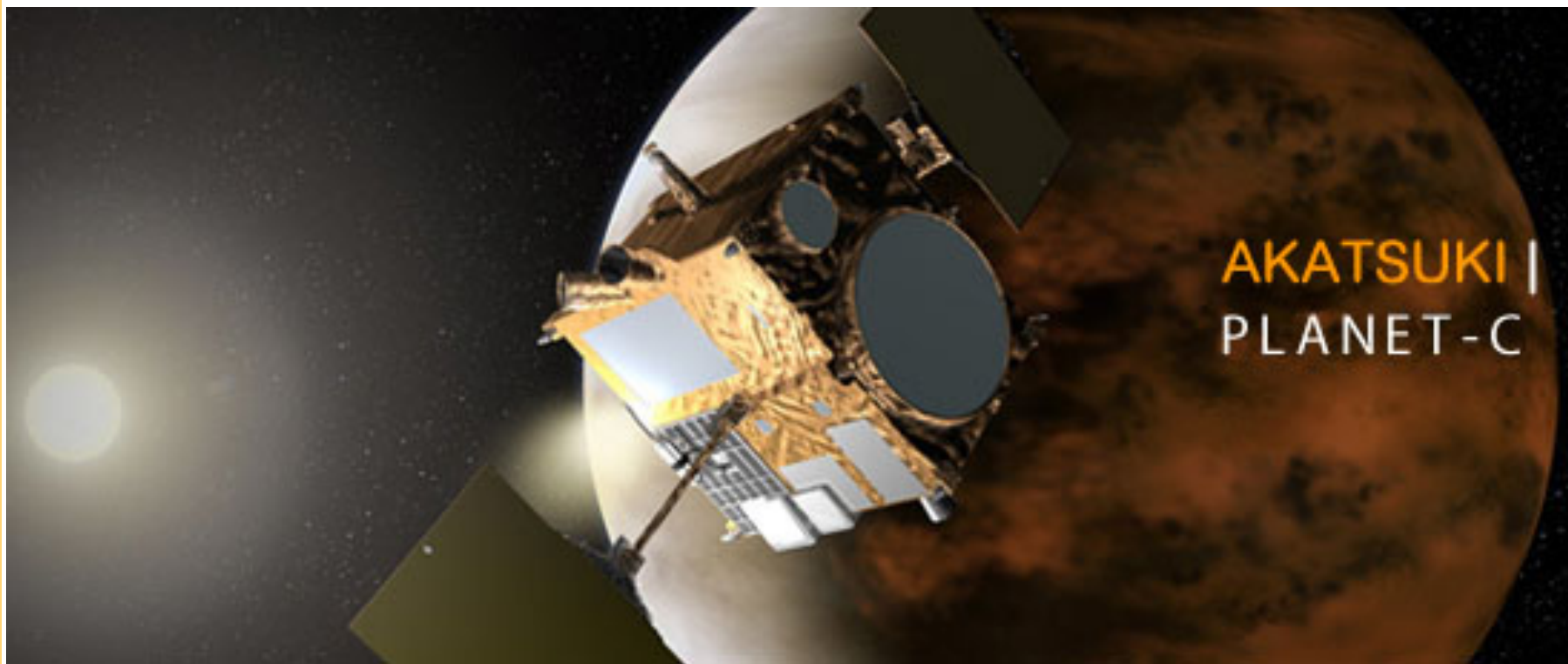
偏西風・貿易風  
自転よりはるかに遅い

# 金星の風



スーパーローテーション  
自転よりはるかに速い

# 金星探査機「あかつき」



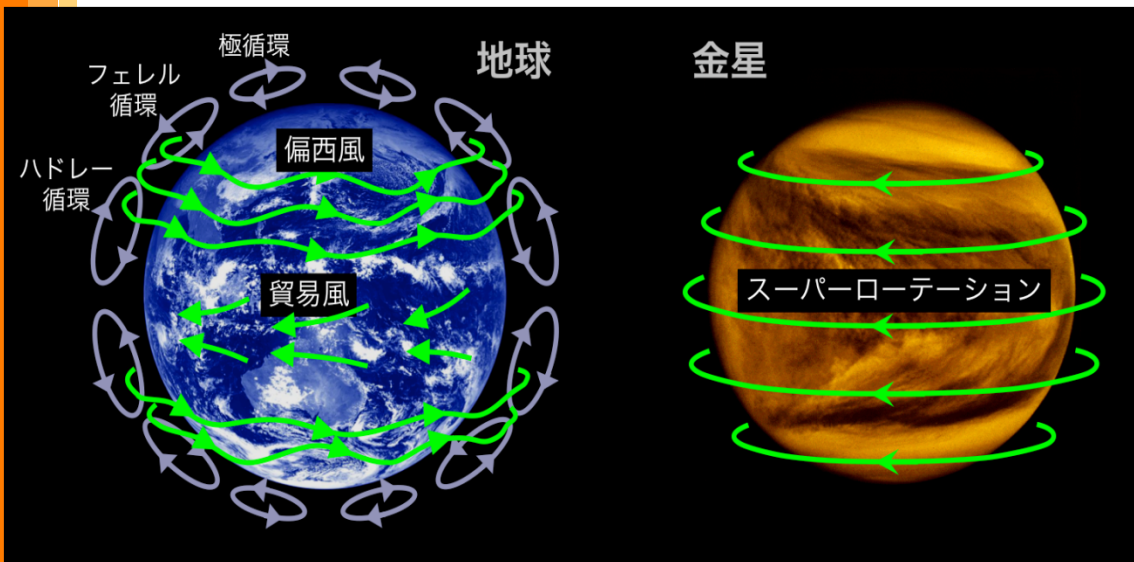
# 「あかつき」の概要

- ❖ 日本初の金星探査機
- ❖ 科学目的  
金星大気全体の動きを調べ、地球のs姉妹惑星の気候の成り立ちに迫る
- ❖ 2010年5月打上げ → 2010年12月到着

## 金星

古くから「明けの明星」「宵の明星」として親しまれてきたとともに、大きさ・質量は最も地球に近い惑星

しかし、その環境は地球と大きく異なり、二酸化炭素の厚い大気と硫酸の雲に覆われ、スーパーローテーション(超回転)と呼ばれる秒速100mの風が吹く

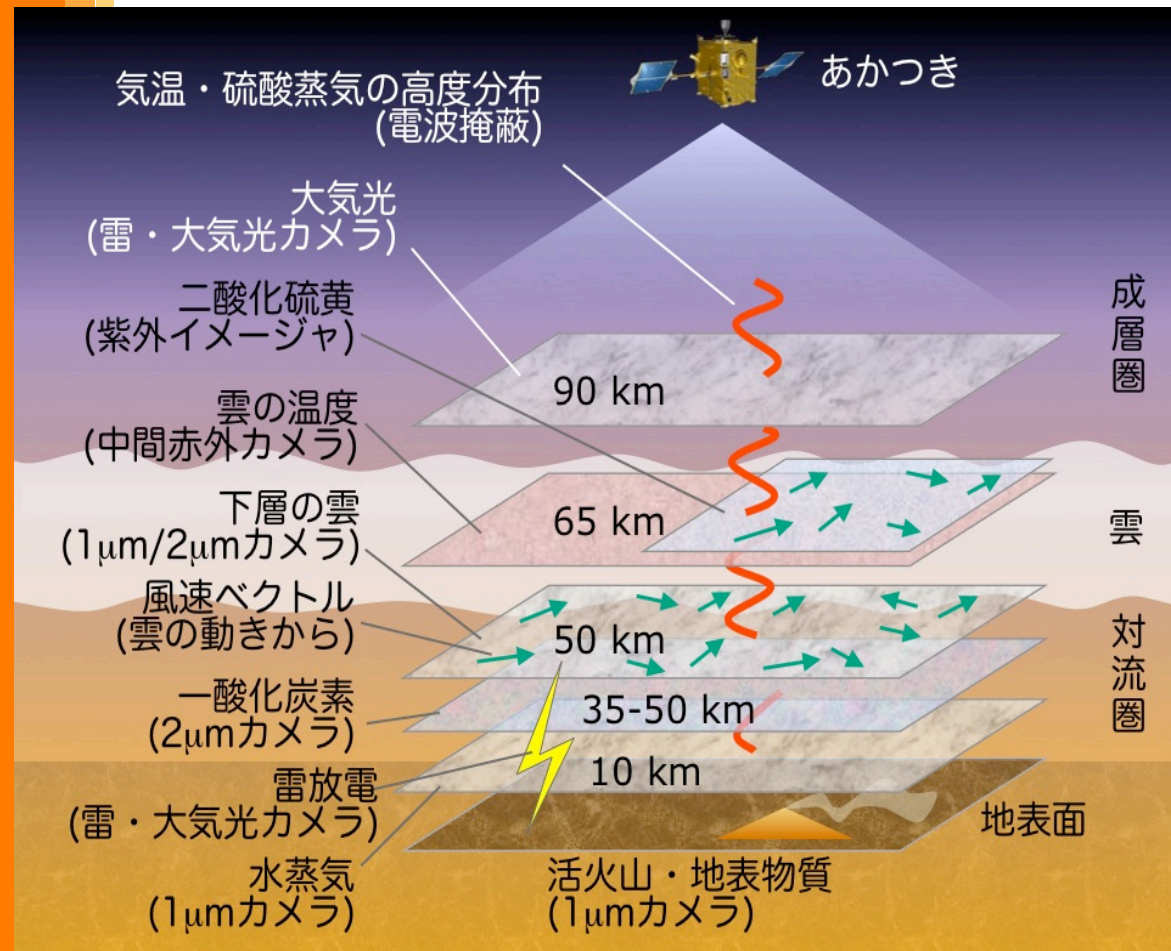


- 超回転はなぜ起こるのか
- 子午面循環はどうなっているのか
- 雲はどう作られるのか
- 雷は起こるか
- 活火山はあるか



# 金星版気象衛星

金星周回軌道からのリモートセンシングにより厚い大気層の内部の3次元運動を映像化



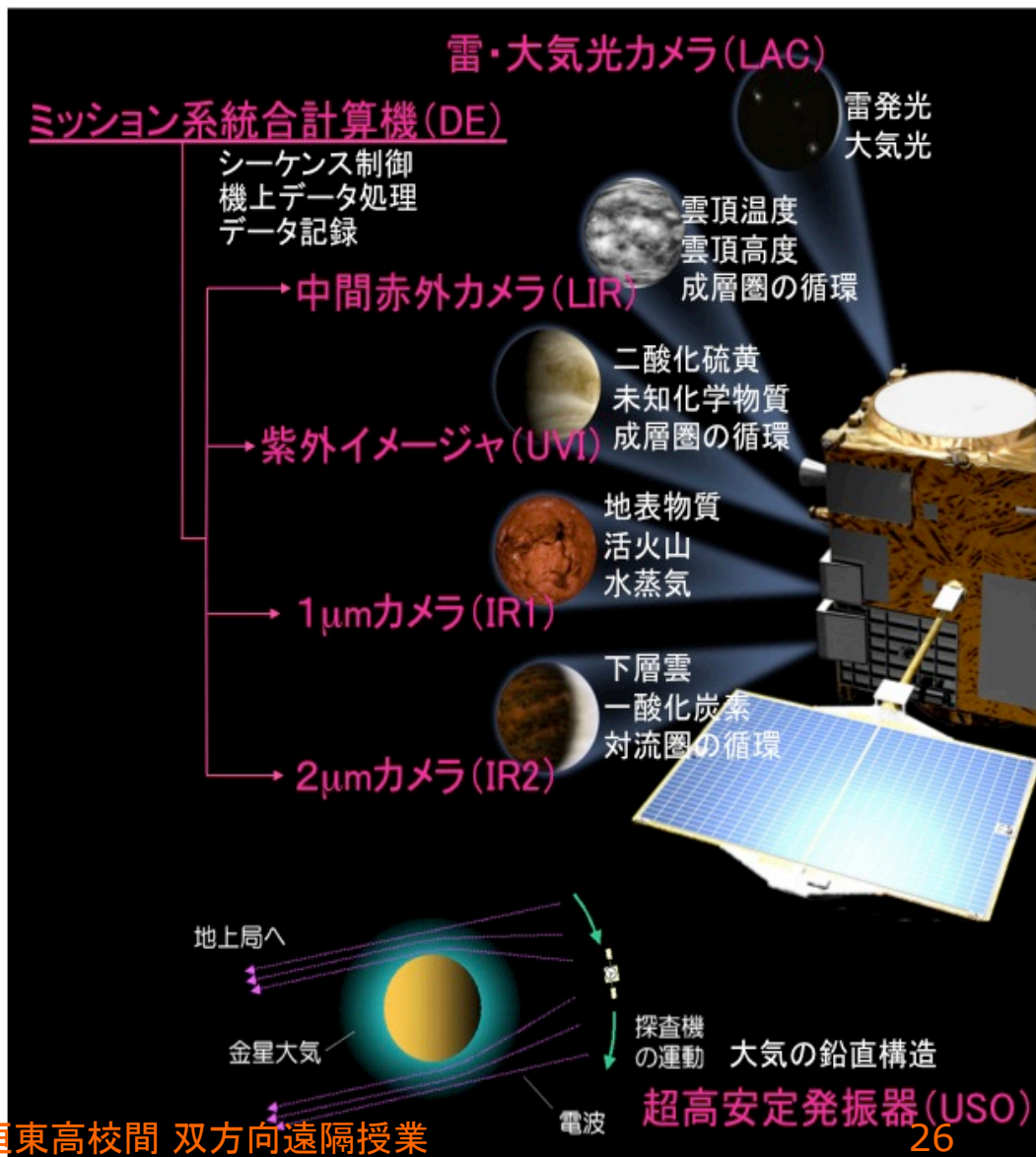
## 研究課題

- ❖ 波動や乱流の網羅的観測とそれらの超回転への寄与の解明
- ❖ 子午面循環の構造の解明
- ❖ 雲層内の物質循環とその雲層維持における役割の解明
- ❖ 雷放電の時空間分布と発生過程の解明
- ❖ 大気光の時空間変動と上層大気循環の解明

[3次元観測のイメージ図]

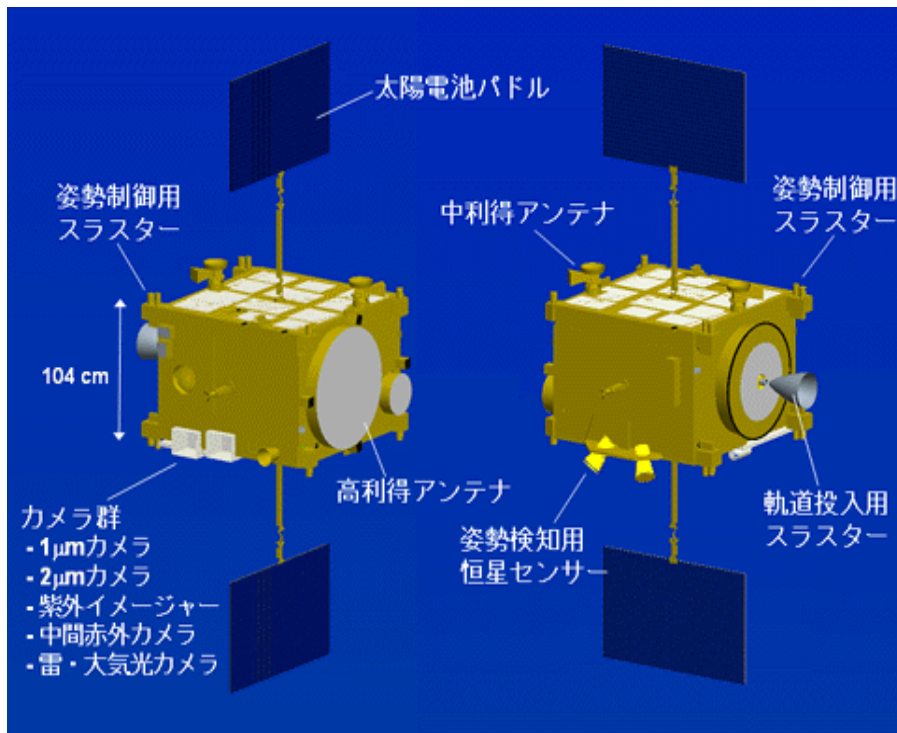
# 「あかつき」搭載観測機器

- ❖ 「あかつき」には6台の観測装置が搭載されている。
  - 紫外線～中間赤外線までの様々な波長の放射をとらえる5台の観測カメラ (IR1, IR2, LIR, UVI, LAC)
  - 電波掩蔽観測のための基準信号源 (USO)
- ❖ LAC以外の4カメラは全てミッション系統合計算機(DE)によって制御・処理・記録される。
- ❖ 探査機全体の質量約500kgに対し、6台の観測装置とDEを合わせた質量は約37kgである。





# 「あかつき」の 衛星諸元



## 「あかつき」主要諸元

形状・寸法	2翼式太陽電池パドルを有する箱形  (1.04m × 1.45m × 1.40m)
予定軌道	金星周回楕円軌道 近金点高度: 300km 遠金点高度: 約8万km 軌道周期: 30時間 軌道傾斜角: 172度
ミッション期間	金星到着後 約2地球年
質量	約500kg (打ち上げ時)
発生電力	金星軌道にて約500W (ミッション終了時)

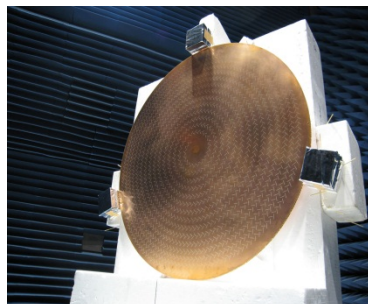
「あかつき」に採用された新技術の例



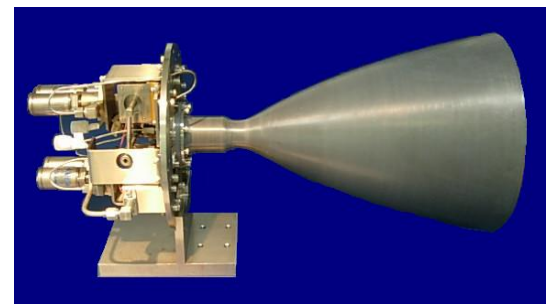
再生測距式トランスポンダ



リチウムイオン電池



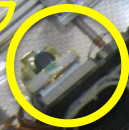
高利得平面型RLSAアンテナ



セラミックスラスタ

# 組み立て中のあかつき

雷・大気光カメラ



超高安定発振器

中間赤外カメラ



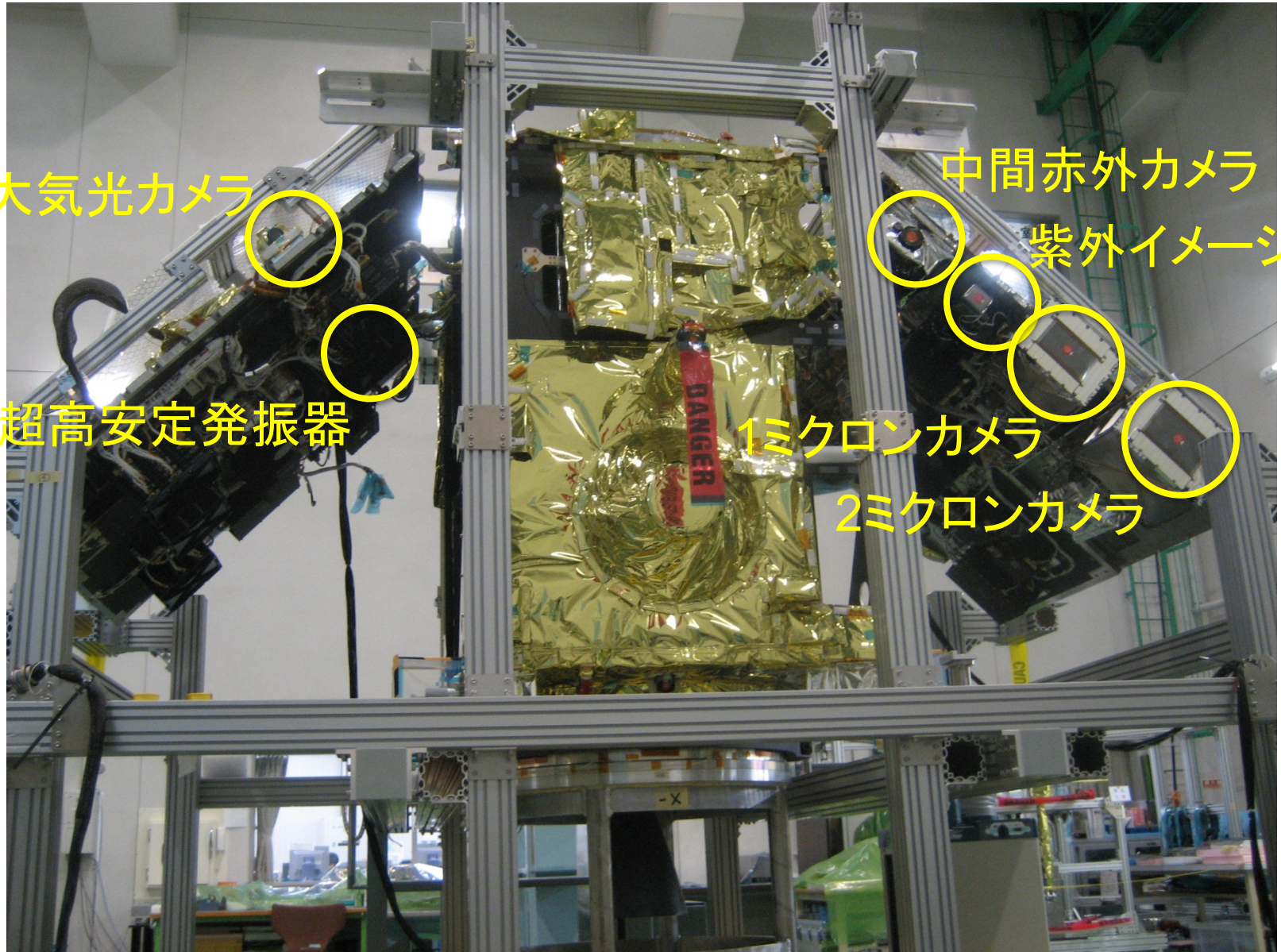
紫外イメージャ



1ミクロンカメラ

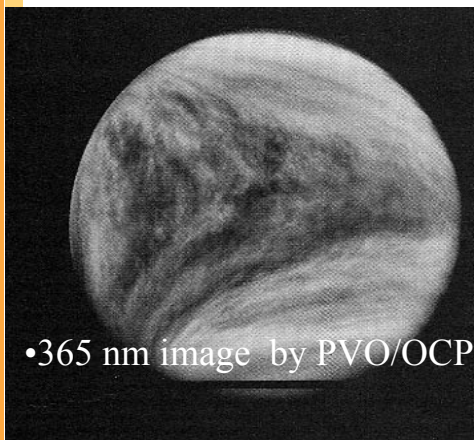


2ミクロンカメラ



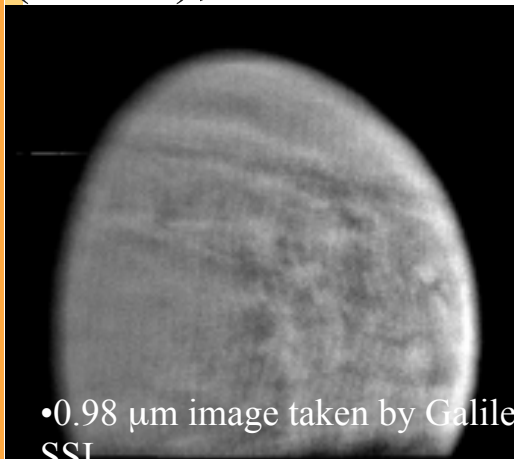
# 様々な波長で雲追跡

365nm,  
雲頂 (65km), 昼面



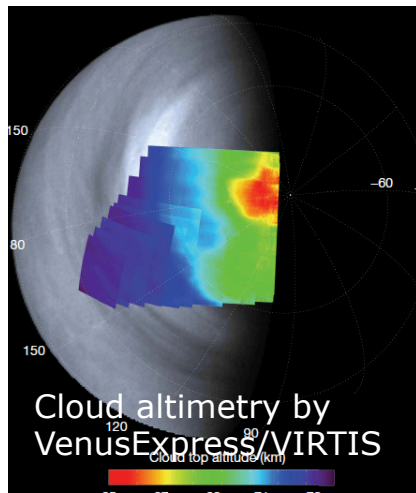
•365 nm image by PVO/OCP

•0.9 $\mu$ m, 雲下層  
(50km), 昼面



•0.98  $\mu$ m image taken by Galileo SSI

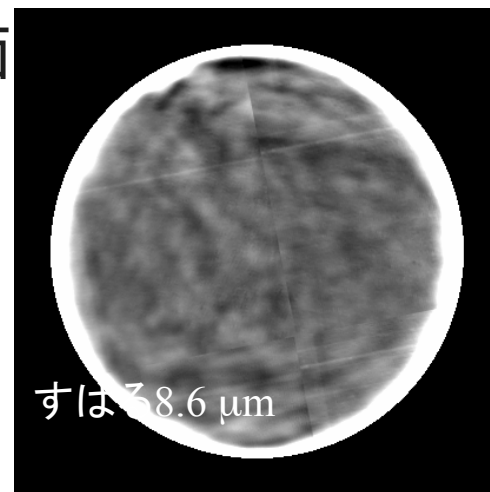
2011/11/11



2.02 $\mu$ m,  
雲頂(65km), 昼面

•雲の頂上と下層を夜も  
昼も観測する事が出来る

10 $\mu$ m, 雲頂 (65km),  
昼夜面



すはる8.6  $\mu$ m

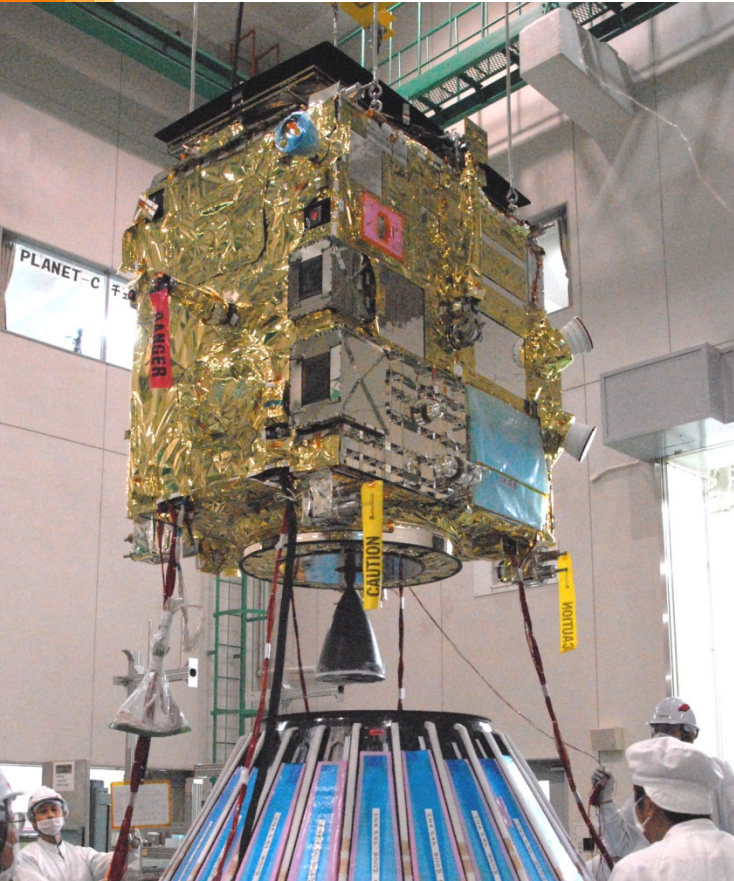
•2.3 $\mu$ m, 雲下層  
(50km), 夜面



2.3  $\mu$ m image taken by Galileo MS



# 2010年5月21日 打ち上げ

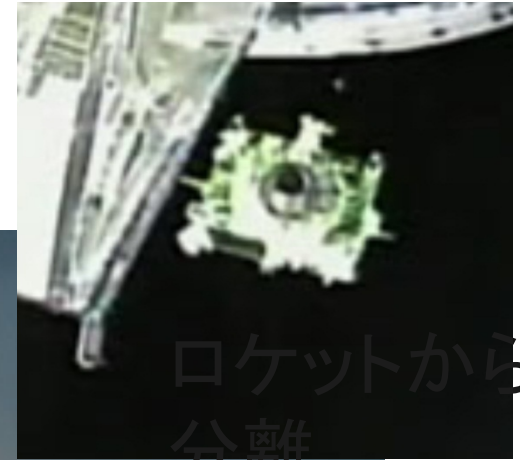


組み立て室にて

2011/11/11

種子島から  
打ち上げ

北大 - 大垣東高校間 双方向遠隔授業

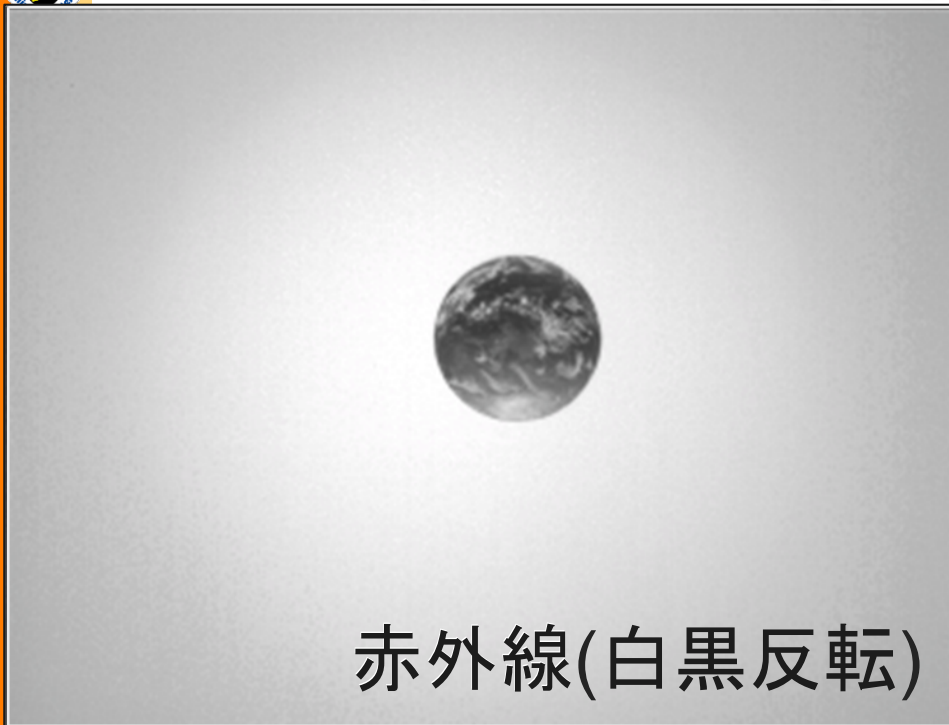


ロケットから  
分離





# あかつき初画像



赤外線(白黒反転)

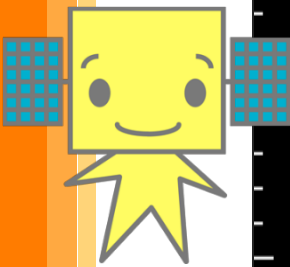
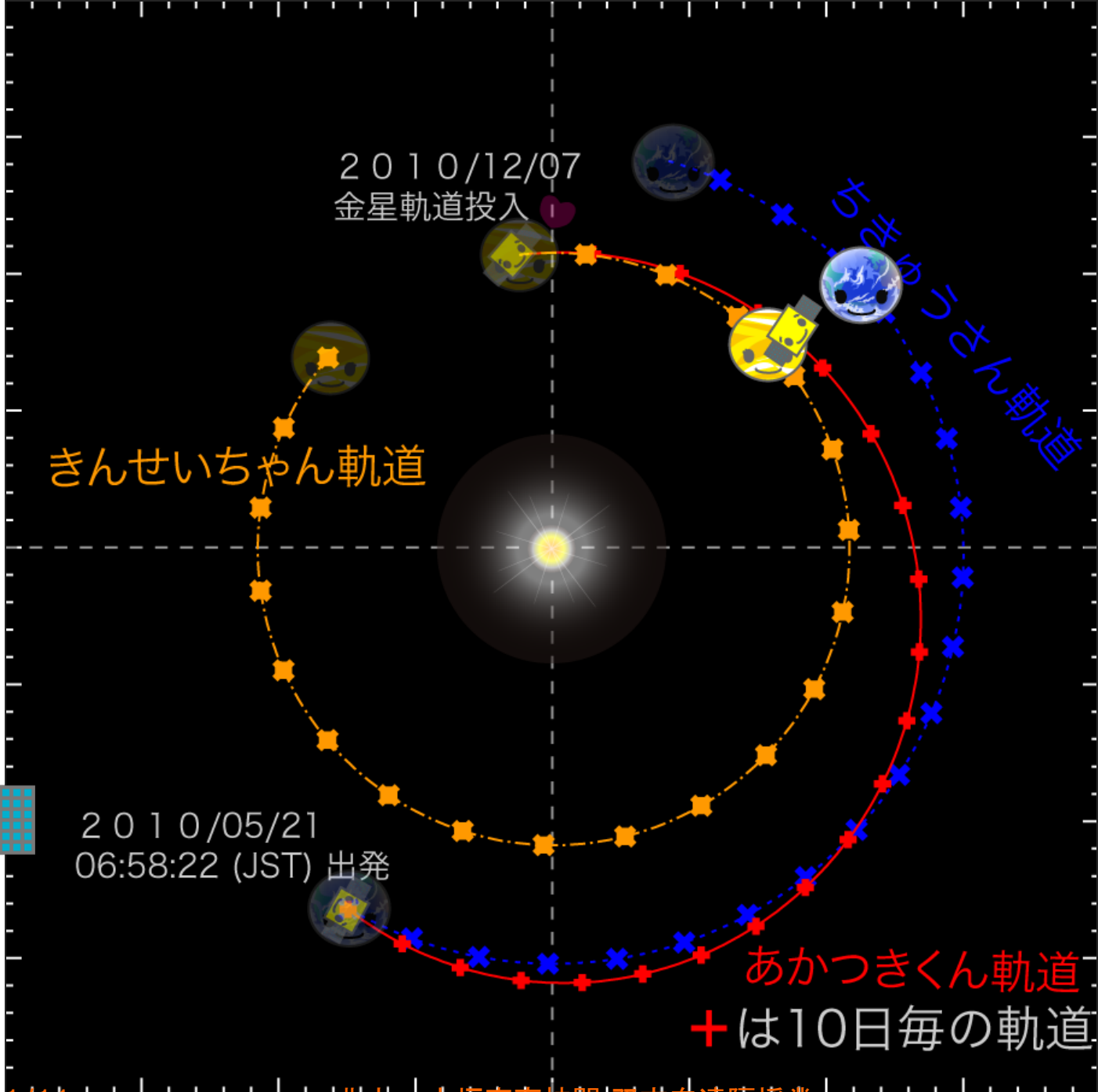
距離25万kmから地球をふりかえって撮影



紫外線



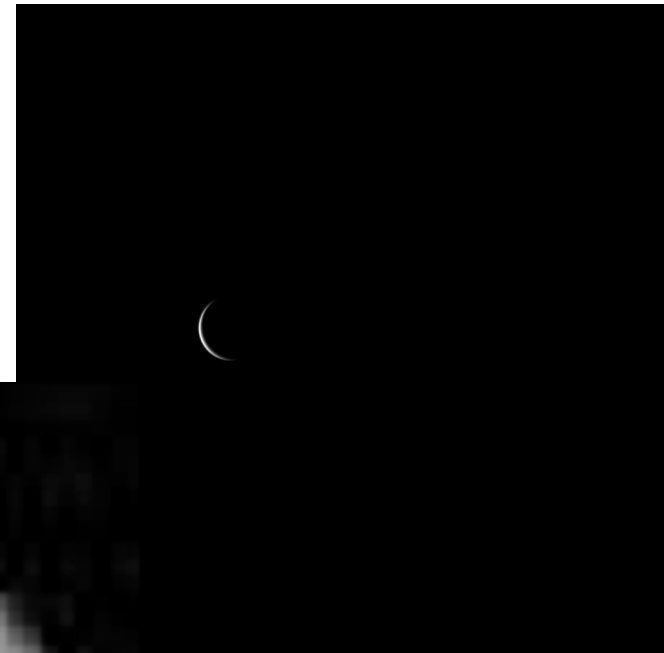
近赤外線





# 金星撮像@VOI失敗後

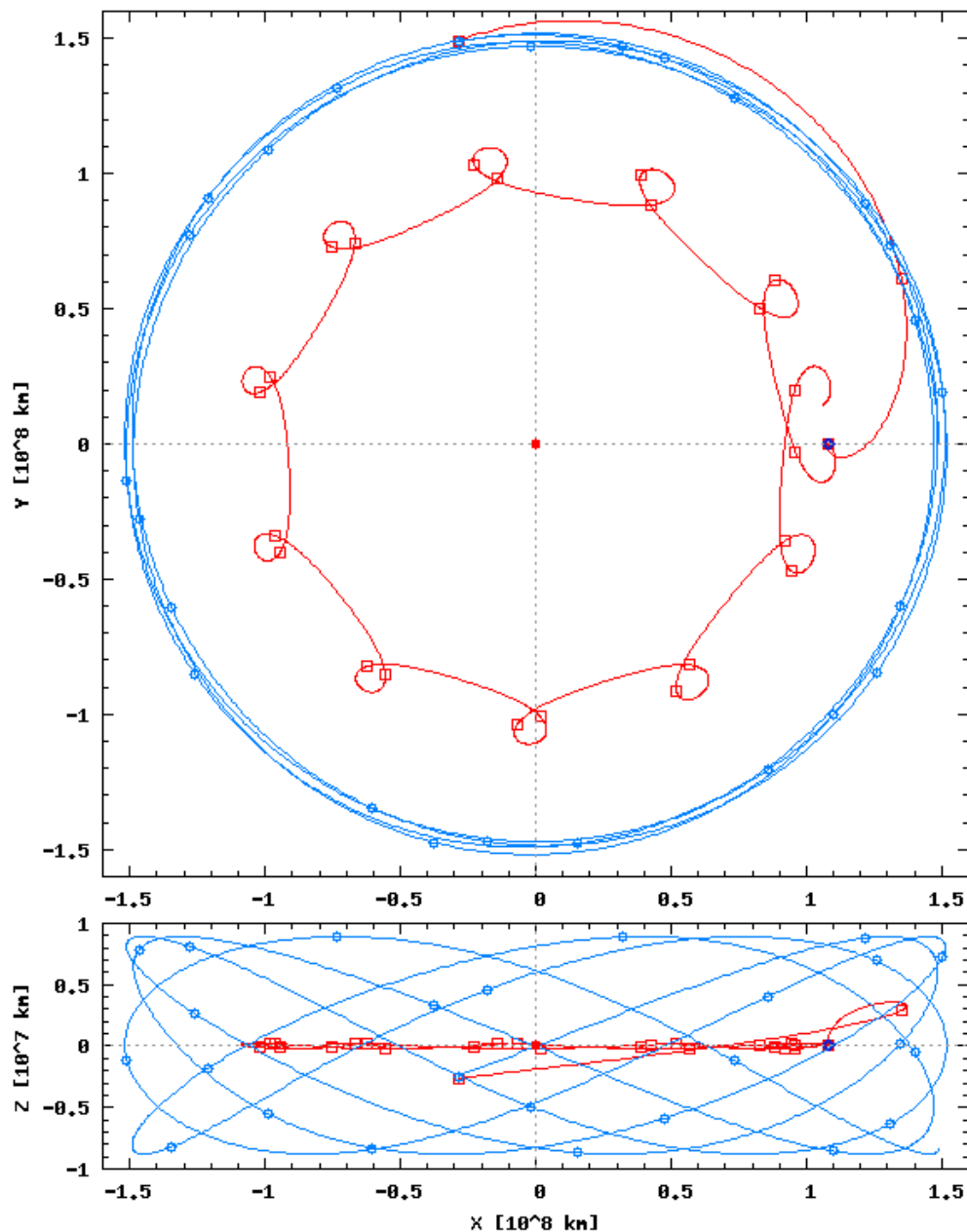
- ❑ 目的:VOI後の機器健全性確認
- ❑ 2010/12/09 00:19:05 (UT)
- ❑ 金星中心からの距離:約60万km
- ❑ 金星視直径:約1.2度



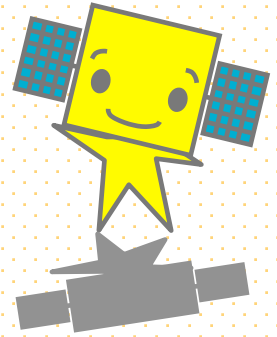
# VOI後の あかつき軌道

- 公転周期: 約203日
- 近日点距離約9000万km
- 遠日点距離約1億1000万km
  
- 2016年12月と2017年1月に金星に再接近
- ※金星公転周期225日

AKATSUKI (X-Y Rotation Frame Fixed to Sun -> Venus Direction)



# 今日のおかつき



- 地球からの距離 1.035 AU
  - 通信片道8分36秒
  - コマンドを送って返事がくるのに17分
- おかつき金星距離 0.57AU  
(金星視直径 0.008 度)
- 地球にはおよそ170万km/day  
で近づいている.

# あかつきのこれから

- 2011/11/01 軌道制御一回目
- 2011/11/06 VOI後二回目  
の近日点通過
- 2011/11/10 軌道制御二回目
- 2011/11/21 軌道制御三回目
- :
- 2015/11 頃 金星再会合(予)

## 5. 近日点における軌道制御計画

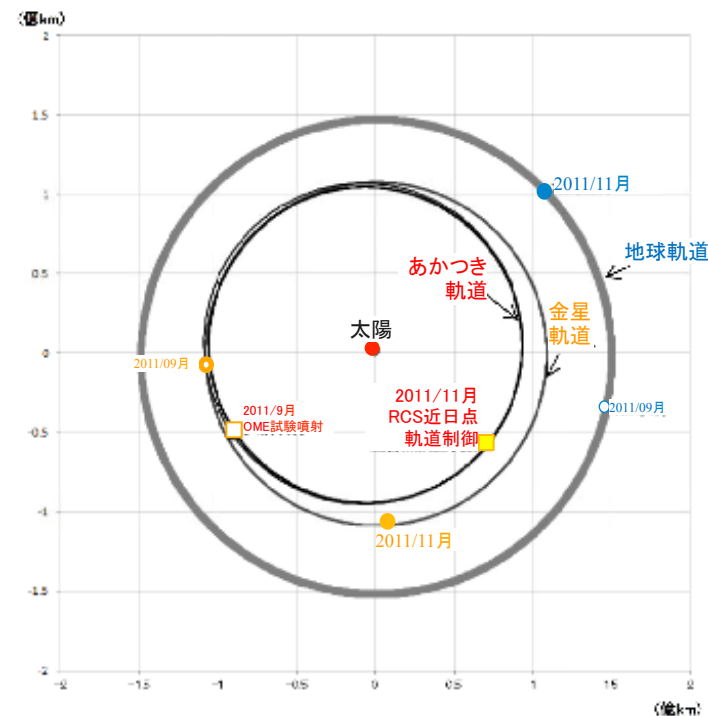
近日点における姿勢制御用エンジン(RCS)による軌道制御

- (1回目 11/1)  $\Delta V$  90m/s
- (2回目 11/10)  $\Delta V$  90m/s
- (3回目 11/21)  $\Delta V$  約70m/s

3回目の運用は1, 2回目の精密軌道決定結果を反映して必要な制御加速度を修正する予定。(噴射方向や大きさは1, 2回目の誤差に依存)

※今回行う軌道変更は、2015年以降の金星再会合のために実施するもの。

※今後の検討結果によっては軌道制御計画を変更する可能性あり。



「あかつき」軌道制御時の探査機と金星、地球の位置関係

「あかつき」の現状と金星再会合に向けた軌道制御運用について (10月26日 宇宙開発委員会 報告資料)より