

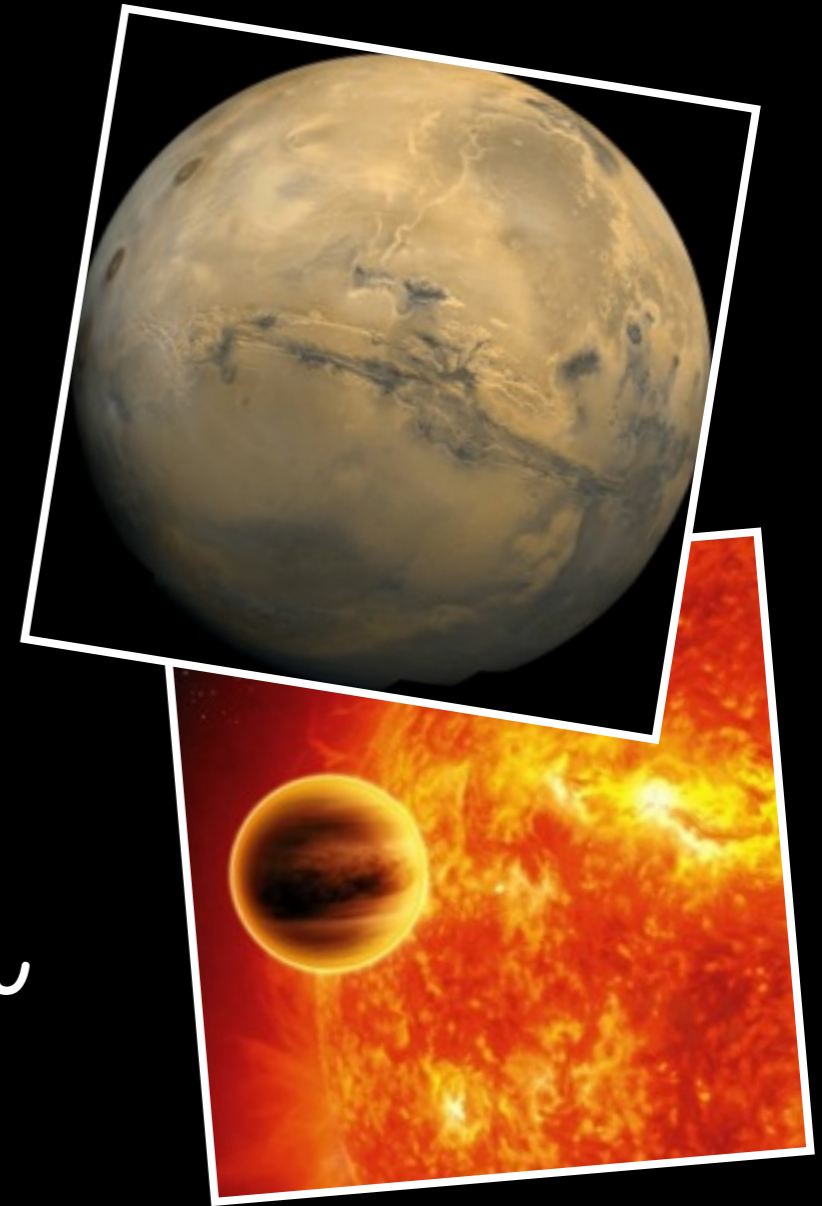
# 地球惑星圏物理学

## 第1回：地球惑星圏物理学概論

担当：黒川 宏之 (東京工業大学)

# 自己紹介

- ・ 黒川 宏之 (くろかわ ひろゆき)
- ・ 東京工業大学 地球生命研究所
- ・ 専門は“惑星の形成と進化”の理論研究
- ・ 連絡先：hiro.kurokawa@elsi.jp
- ・ ※講義以外の時間は明治大学にいません
- ・ 講義終了後、スライド・補足ノートを  
<https://members.elsi.jp/~hiro.kurokawa/lecture/>  
に載せる予定



# 授業日程と成績評価

- ・ 授業日程 (全14回)

9月：21日, 28日

10月：5日, 12日, 19日, 26日

11月：~~2日~~→補講(日程未定), 9日, 16日, 30日

12月：7日, 14日, 21日

1月：18日

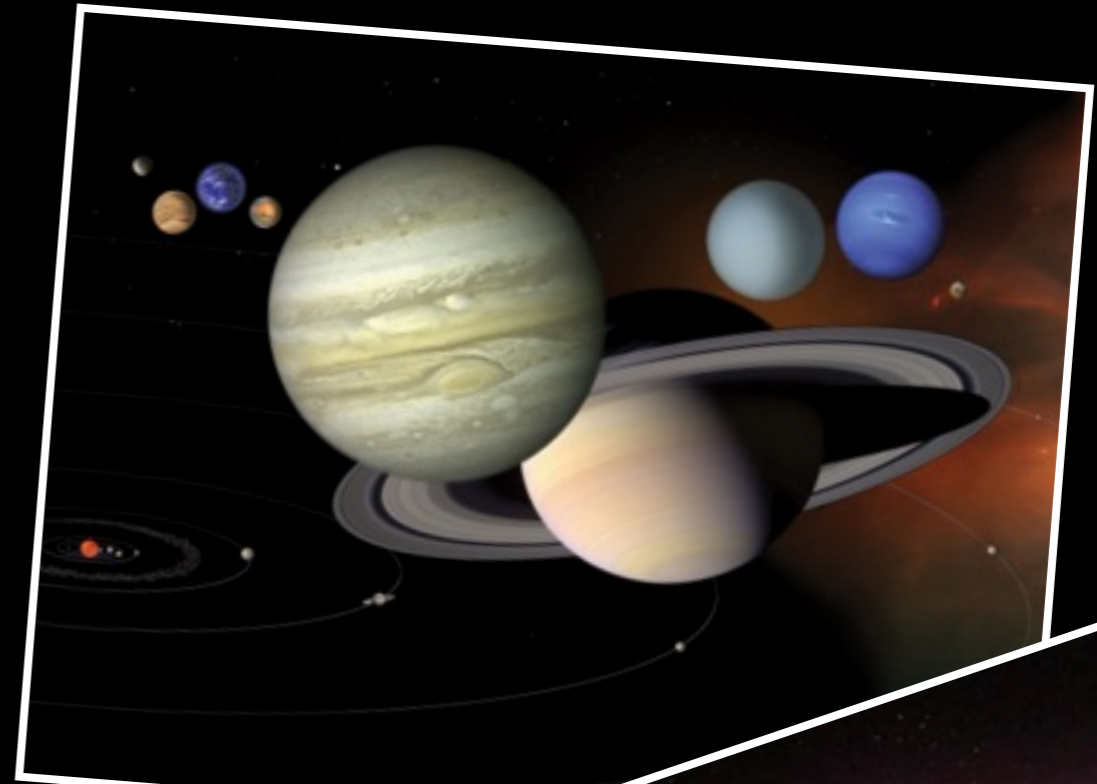
- ・ 成績評価

出席：60%, 中間・期末レポート：40%

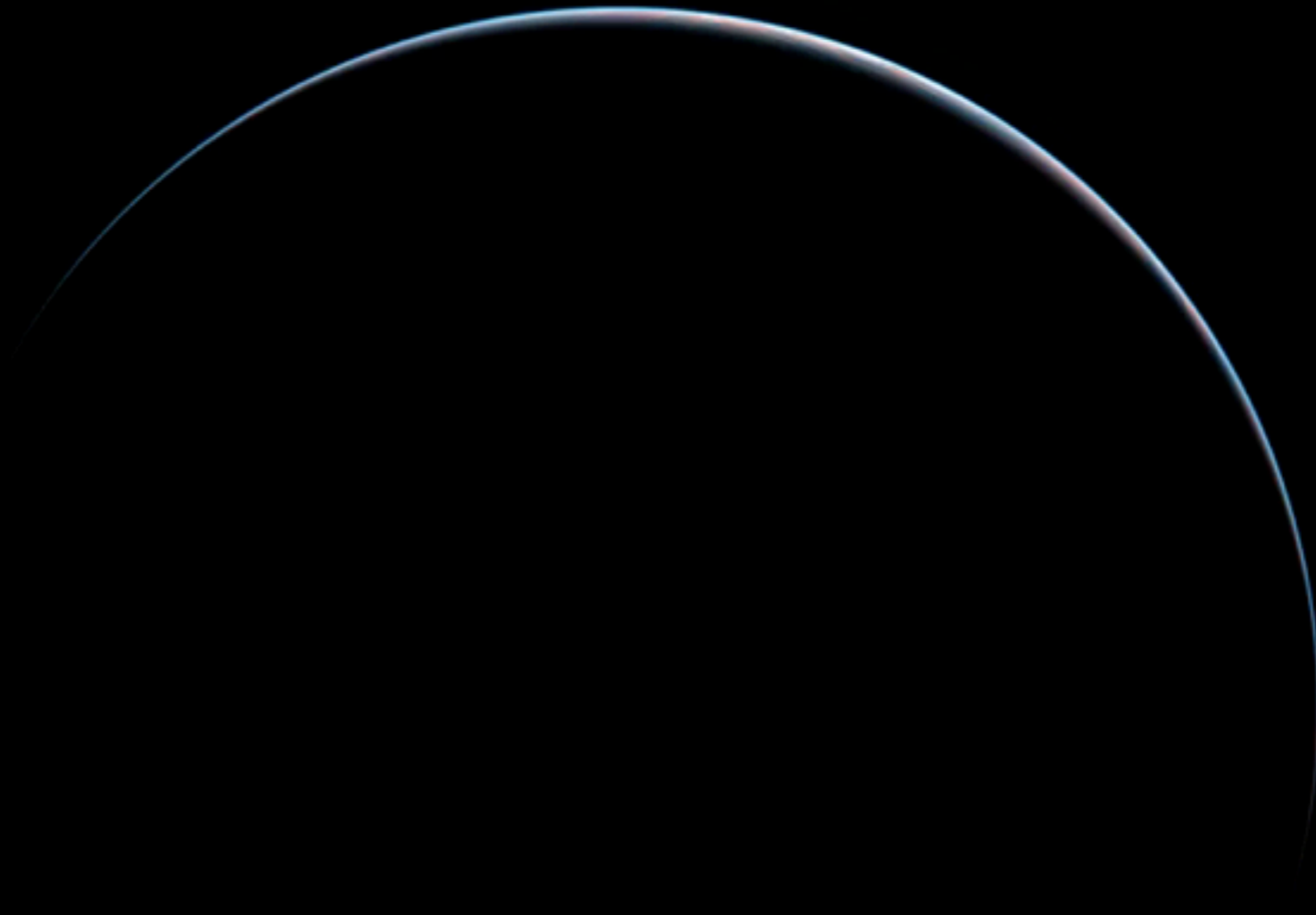
# この講義で扱うトピック

- 太陽系の成り立ち
- 太陽系の起源
- 太陽放射と太陽風
- 惑星大気と惑星間空間
- 惑星の進化史
- 生命の起源と生命存在条件

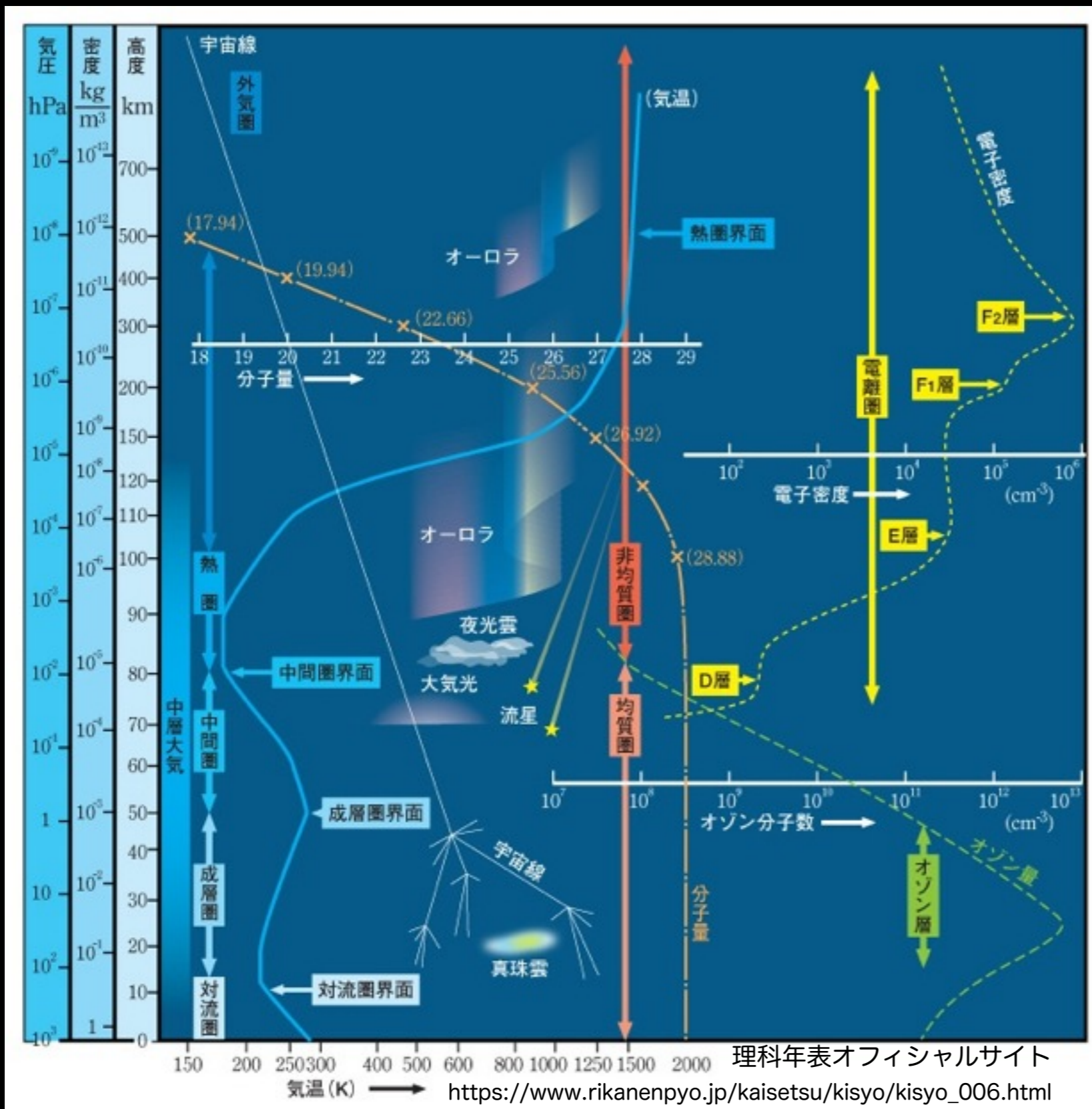
第1回(今日の講義)は  
全体像のオーバービュー



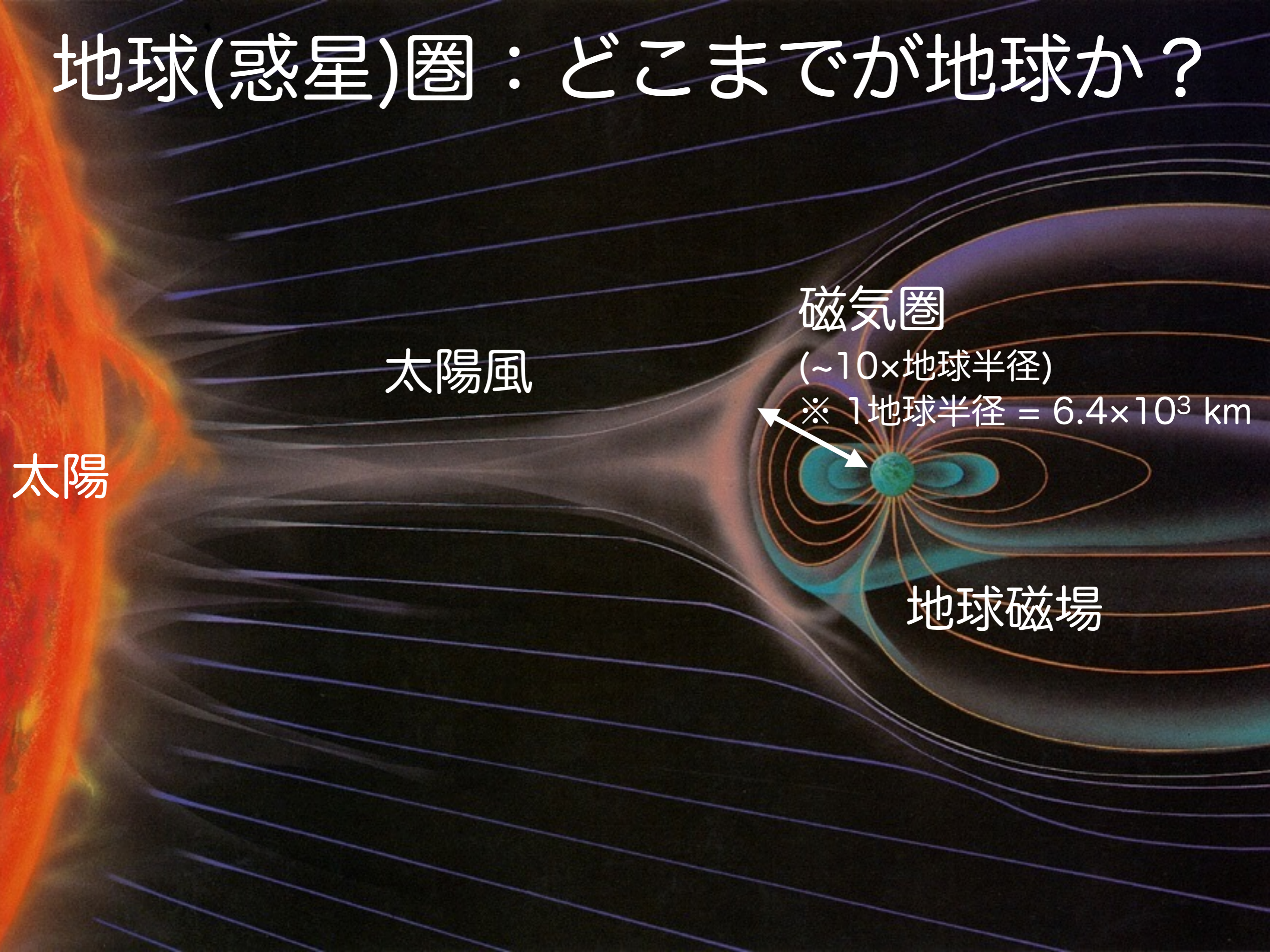
# 地球(惑星)圏：どこまでが地球か？



# 地球(惑星)圏：どこまでが地球か？



# 地球(惑星)圏：どこまでが地球か？



太陽

太陽風

磁気圏

( $\sim 10 \times$ 地球半径)

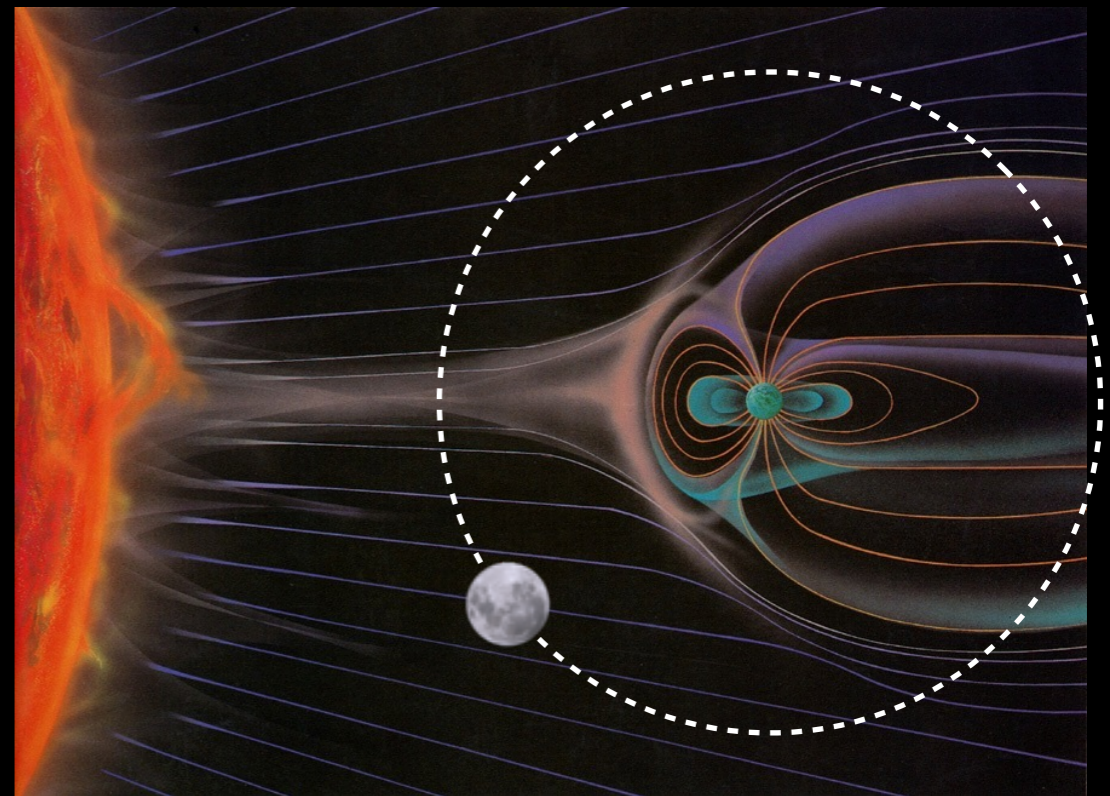
※ 1地球半径 =  $6.4 \times 10^3$  km

地球磁場

# 地球(惑星)圏：どこまでが地球か？

どこまでが地球か(=どこからが宇宙か)は、  
人や立場によって定義が異なる

- ・ 宇宙開発においては、高度100km程度まで
  - ・ 地球惑星圏物理学においては、10地球半径程度(磁気圏)まで
  - ・ 天文学においては、100地球半径程度(Hill半径)まで
- ※月は地球の中心から地球半径の60倍程度の距離をまわっている





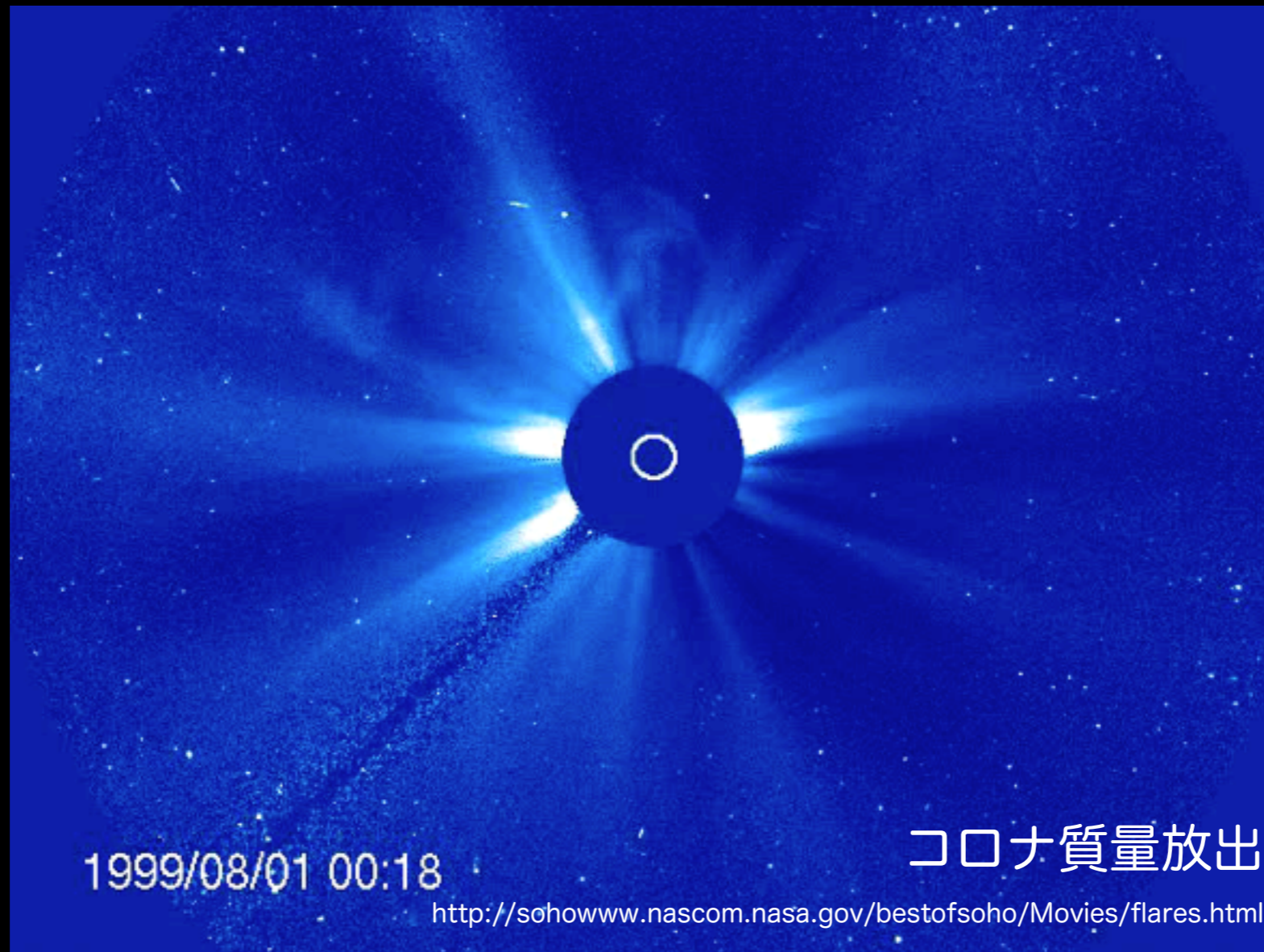
# 惑星間空間

太陽風：太陽から吹き出す高温プラズマ

速度：400-1000 km/s, 温度： $\sim 10^5$  K, 密度： $\sim 5$ 個/cm<sup>3</sup>

※1天文単位(Astronomical Unit, AUと略す)での値

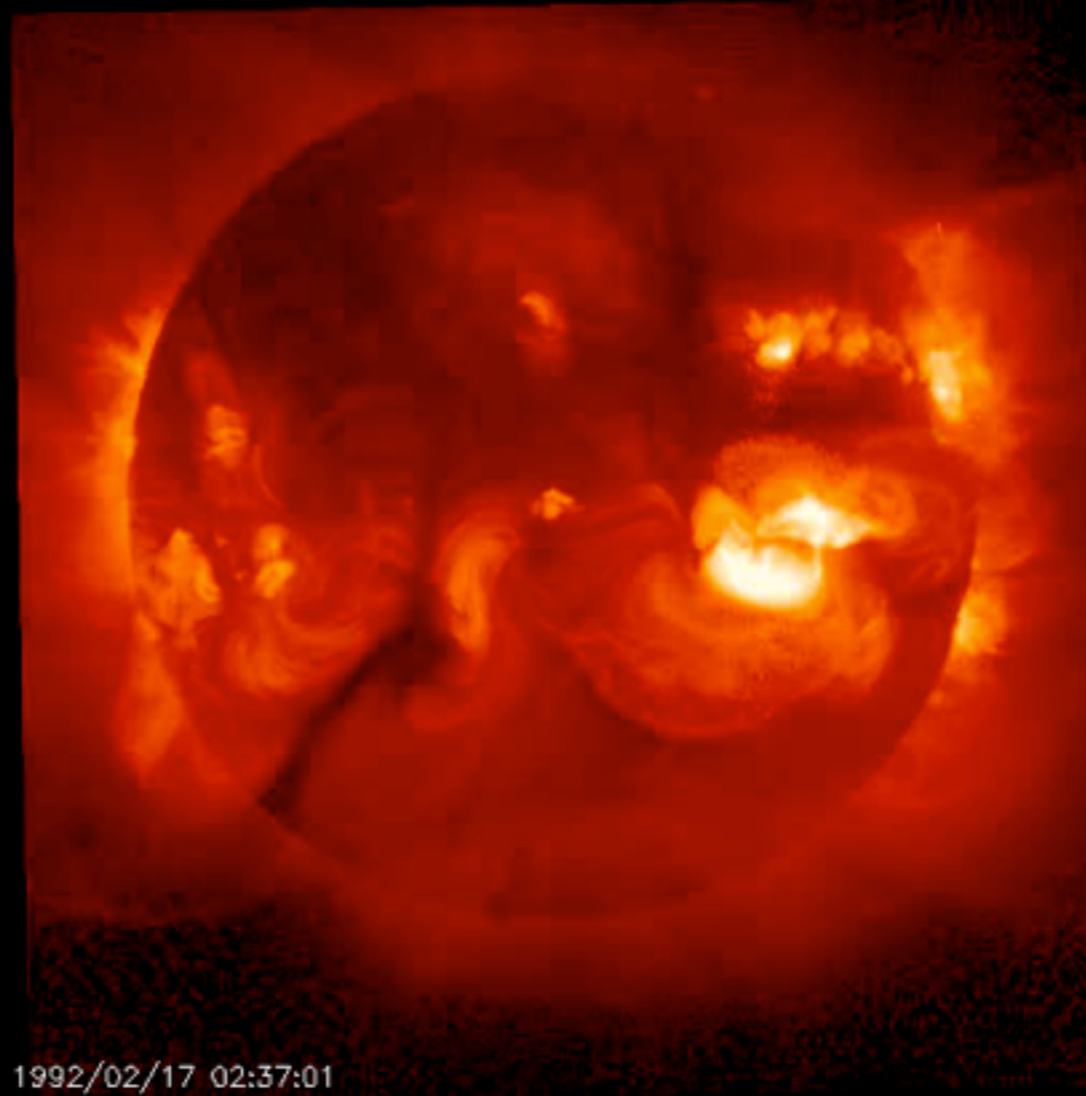
太陽-地球の距離 =  $1.5 \times 10^{11}$  m



# 太陽活動

太陽観測衛星「ようこう」による太陽コロナ観測(軟X線)

<http://www.isas.jaxa.jp/j/enterp/missions/yohkoh/best10.shtml>



- ・ 太陽コロナは温度 $10^5-6$  K
- ・ 太陽風の起源
- ・ 激しく変動している
- ・ ループ状の構造がみられる

太陽活動の成因は？

# 最近のニュース：Voyager 1

- 1977年 打ち上げ
- 1979年 木星に到達  
木星とガリレオ衛星を探査
- 1980年 土星に到達  
土星とタイタンを探査
- 2012年  
太陽圏終端(heliopause)に  
到達



Featured World USA Business Tech Entertainment Travel Photo Video

年収1,000万円への近道?!  
グローバル求人と効率よく出会う方法

CNN.co.jp Career 提供：ビズリーチ

年収1,000万円への近道?!  
グローバル求人と効率よく出会う方法

CNN.co.jp Career 提供：ビズリーチ

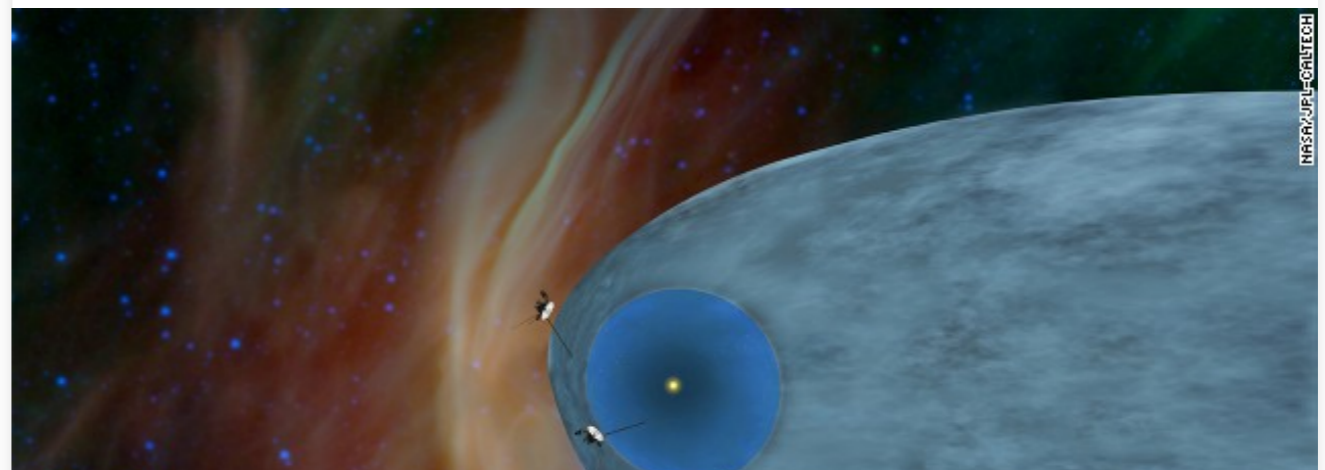
Home > Odd News

## ボイジャー1号が太陽系圏を脱出 人工物で初

2013.09.13 Fri posted at 10:19 JST

[PR]

- IoT (モノのインターネット) 時代を先取りする企業たち--その先見性をインテル、SAP、シスコトップが語る!
- IoT (モノのインターネット) 時代を先取りする企業たち--その先見性をインテル、SAP、シスコトップが語る!
- 年収1,000万円への近道?!グローバル求人と効率よく出会う方法
- 年収1,000万円への近道?!グローバル求人と効率よく出会う方法



PR注目情報



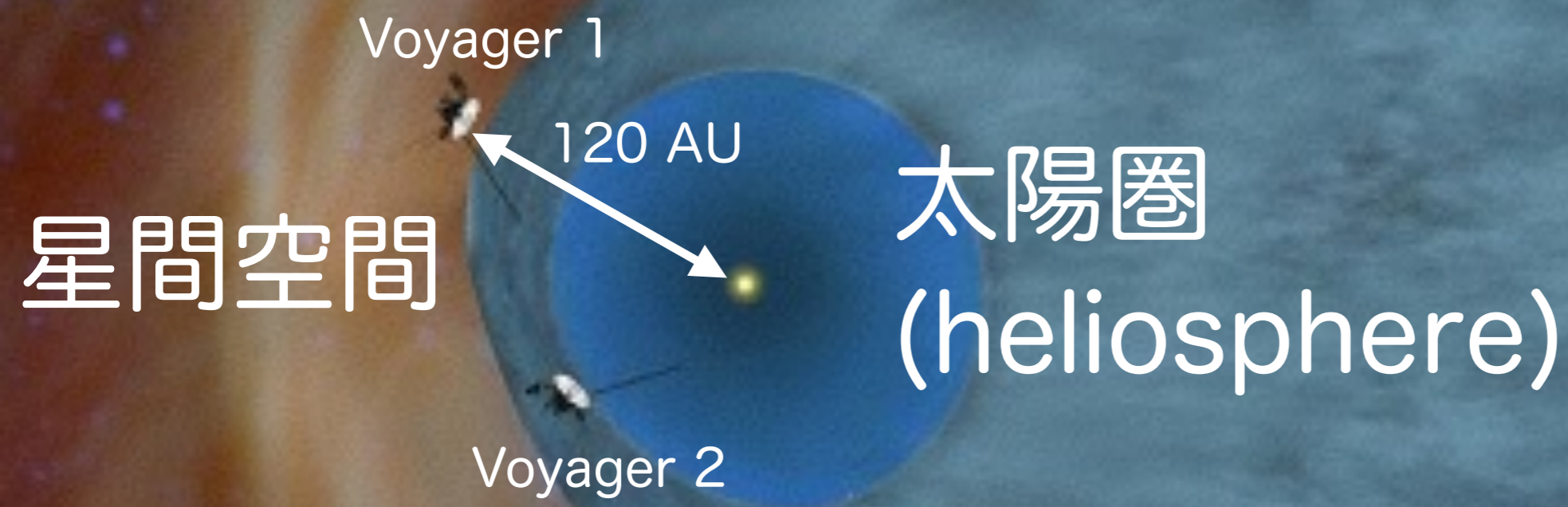
PR注目情報



PR注目情報

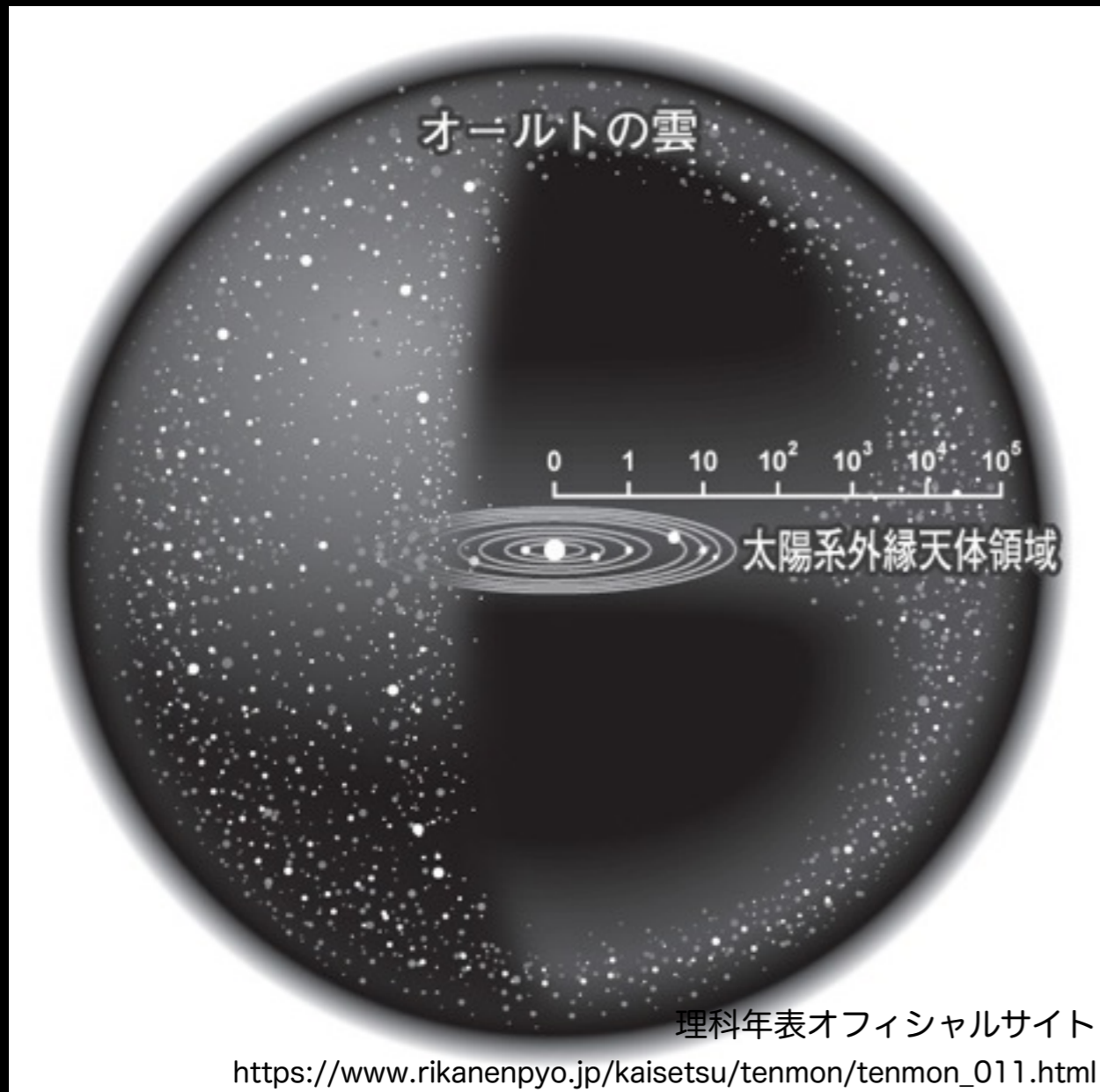
企画特集

# どこまでが太陽系か？



太陽系圏 ( $\sim 10^{13}$  m)に内包されて、  
地球惑星圏(地球磁気圏の場合 $\sim 10^8$  m)が存在

# どこまでが太陽系か？

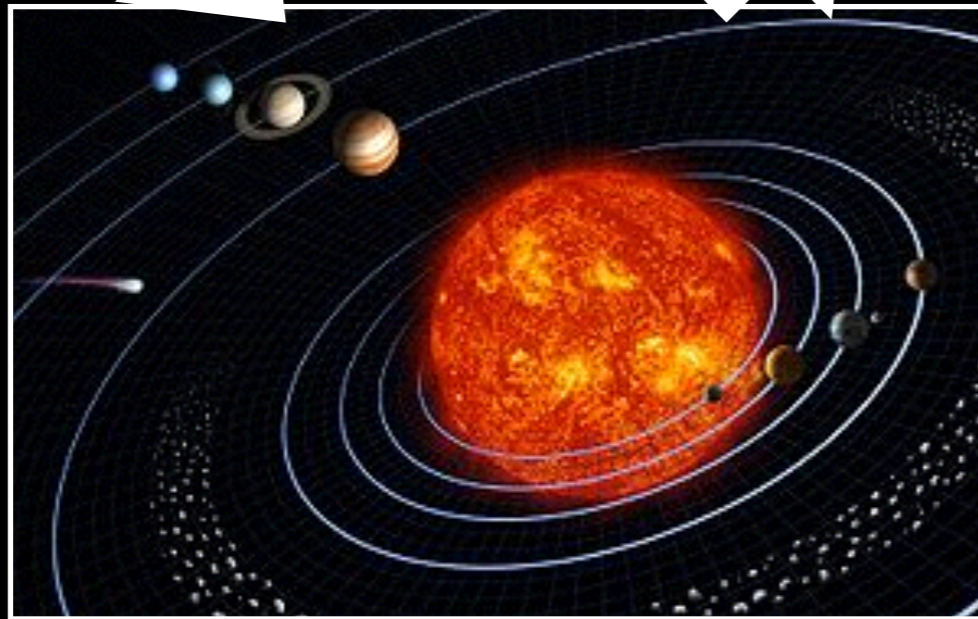
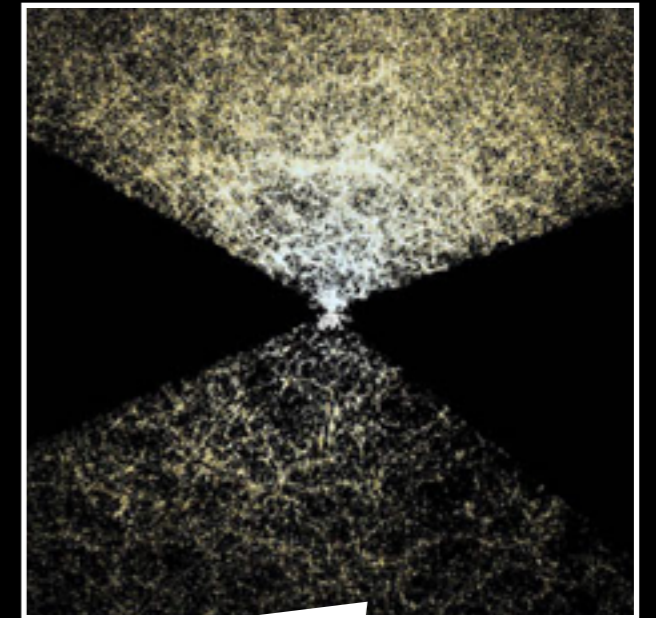


長周期彗星の起源と考えられている  
オールト(Oolt)の雲  $10^{15-16}$  m  
> Heliosphere  $\sim 10^{13}$  m

地球, 惑星, 太陽圏と呼ばれる領域は、  
人や立場によって様々な定義がある  
(重力的支配領域, 電磁氣的境界,  
物質的境界, ...)

# 宇宙の階層構造

地球圏(磁気圏)  $\sim 10^8$  m    天の川銀河(銀河系)  $\sim 10^{21}$  m    可視宇宙  $\sim 10^{27}$  m

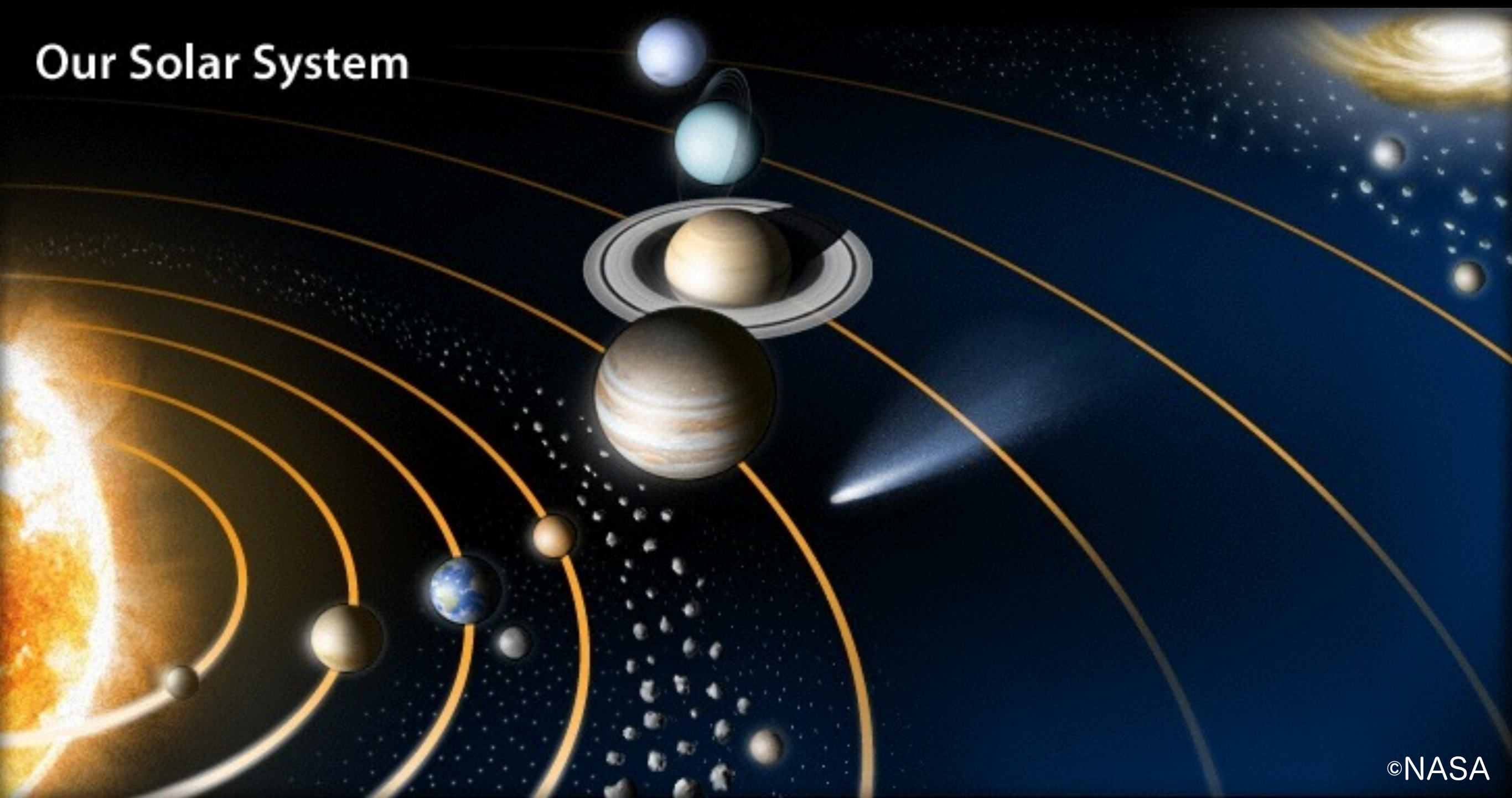


太陽系圏(heliosphere)  $\sim 10^{13}$  m    銀河群・銀河団  $\sim 10^{22-24}$  m

銀河系は局所銀河群・おとめ座超銀河団に属する

# 太陽系の構造

Our Solar System

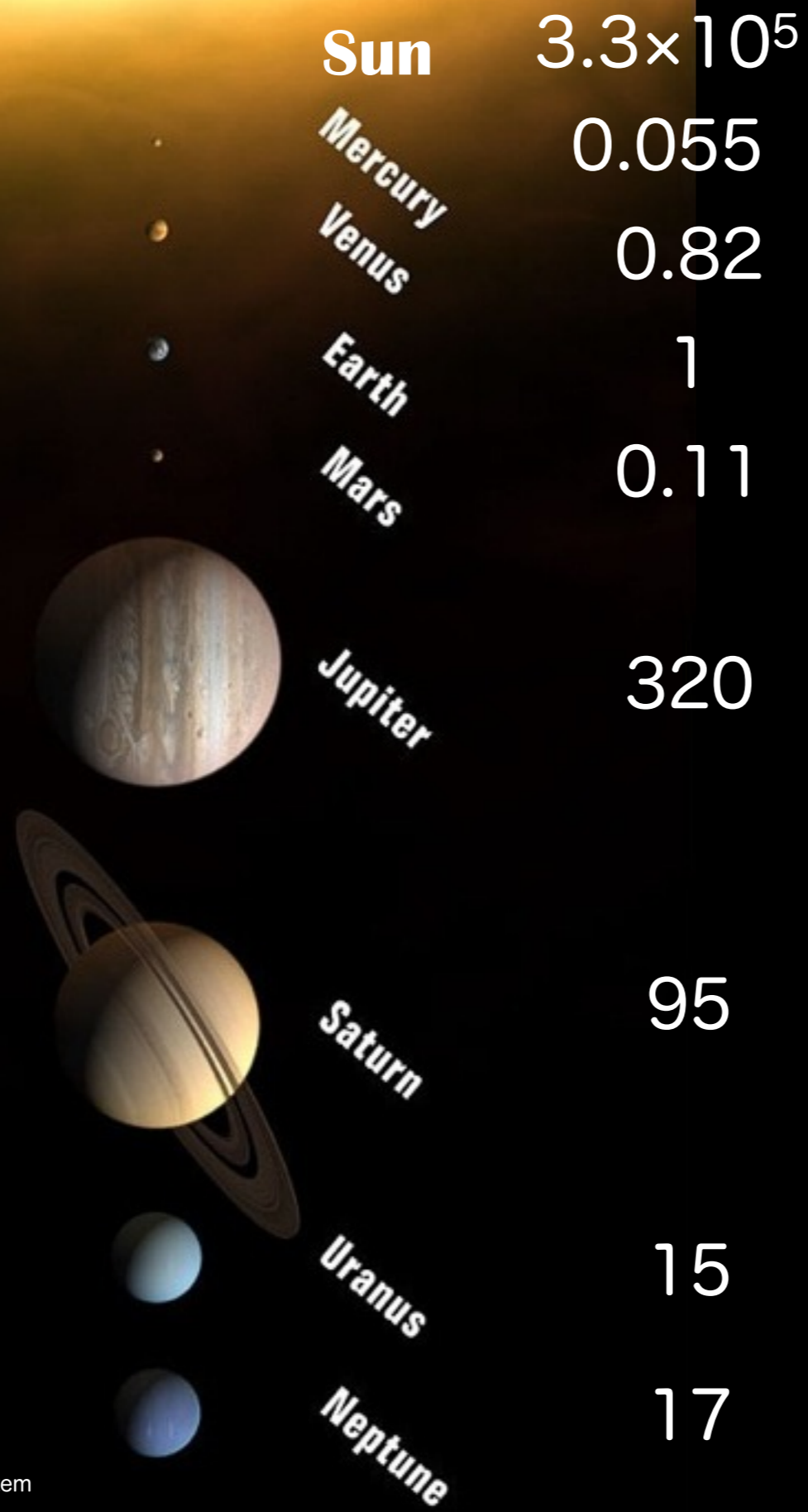


# 太陽系の構造

- 太陽 (Sun)
- 惑星 (Planet)
  - a) 太陽の周りを公転し、 b) 自己重力によって球形となり、 c) 軌道上から他の天体を一掃している 天体
    - 岩石惑星…水星, 金星, 地球, 火星
    - 巨大ガス惑星(木星型惑星)…木星, 土星
    - 巨大氷惑星(海王星型惑星)…天王星, 海王星
- 準惑星 (Dwarf Planet)
  - …冥王星(2006年国際天文学連合決議), ケレス, 他
- 太陽系小天体 (Small Solar System Bodies)
  - …小惑星, 彗星, 塵

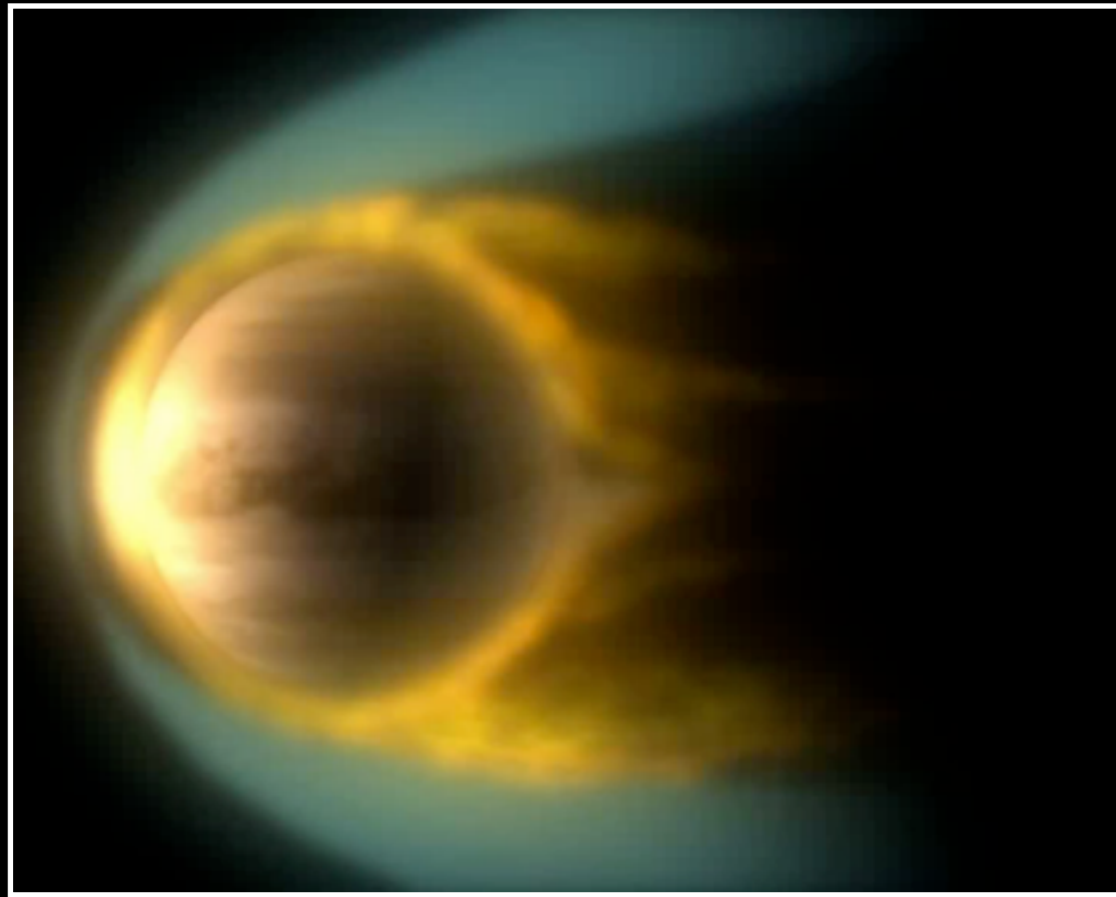


# 惑星の多様性：質量比

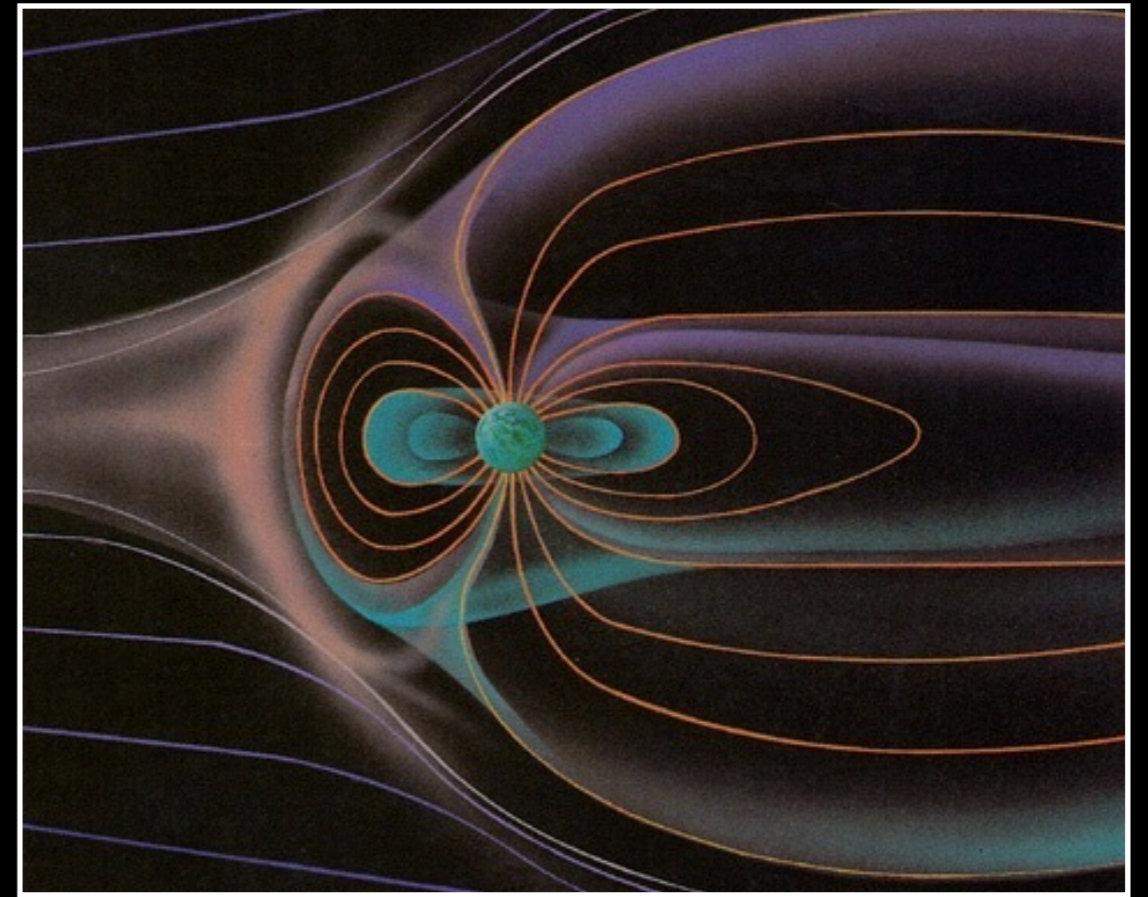


# 惑星の多様性：磁場

金星大気と太陽風 (模式図) Credit: ESA



地球の磁気圏 (模式図)



ダイナモ磁場のある惑星(括弧付きはなし)：

水星, (金星), 地球, (火星), 木星, 土星, 天王星, 海王星

磁場のない惑星は大気が直接太陽風に晒されている

# 惑星の多様性：組成

表 6.1 惑星大気の占める割合と主成分.

地球型惑星			木星型惑星		
	大気の割合	主成分 (体積比)		大気の割合	主成分 (体積比)
水星	~ 0	希薄な Na, K 大気	木星	97-100%	H <sub>2</sub> 86.3%
金星	$9.9 \times 10^{-5}$	CO <sub>2</sub> 96.5%			He 13.5%
		N <sub>2</sub> 3.5%	土星	76-92%	H <sub>2</sub> 89.7%
地球	$8.5 \times 10^{-7}$	N <sub>2</sub> 78.1%			He 9.9%
	(0.023% : 海)	O <sub>2</sub> 20.9%	天王星	5-15%	H <sub>2</sub> 83%
		<sup>40</sup> Ar 0.94%			He 15%
		H <sub>2</sub> O 0-2%			CH <sub>4</sub> 2%
火星	$3.9 \times 10^{-8}$	CO <sub>2</sub> 95.4%	海王星	5-15%	H <sub>2</sub> 79%
		N <sub>2</sub> 2.7%			He 18%
		<sup>40</sup> Ar 1.6%			CH <sub>4</sub> 3%

太陽組成 : H<sub>2</sub> 84%, He 16%.

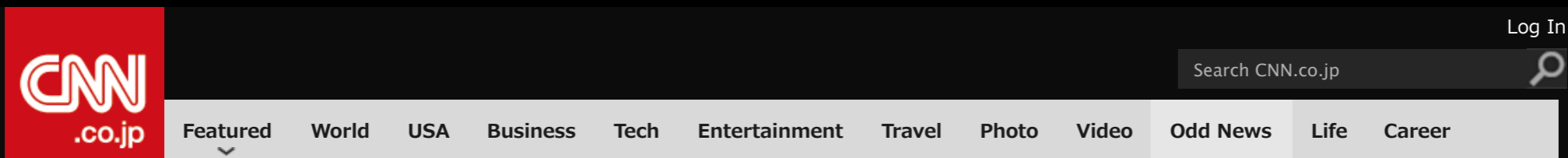
現代の天文学シリーズ9『太陽系と惑星』より

惑星の多様性はどのように生まれたのか？

# 最近のニュース：Curiosity

正式名称：Mars Science Laboratory (愛称：Curiosity)

・2011年 打ち上げ ・2012年 火星到着



Designing The Future  
**KDDI** 中小企業も義務化!マイナンバーに関するアンケート 2~3分で終わる簡単アンケート!!

**200名様に500円分のAmazonギフト券プレゼント!** [今すぐアンケートに答える](#)

法人のお客さま限定キャンペーン 受付期間 9月1日~10月31日 Amazon, Amazon.co.jp およびそのロゴはAmazon.com, Inc.またはその関連会社の商標です。

Designing The Future  
**KDDI** 中小企業も義務化!マイナンバーに関するアンケート 2~3分で終わる簡単アンケート!!

**200名様に500円分のAmazonギフト券プレゼント!** [今すぐアンケートに答える](#)

法人のお客さま限定キャンペーン 受付期間 9月1日~10月31日 Amazon, Amazon.co.jp およびそのロゴはAmazon.com, Inc.またはその関連会社の商標です。

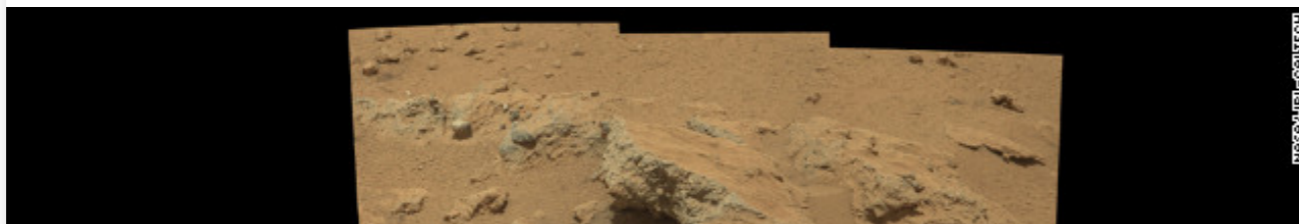
[Home](#) > [Odd News](#)

## 火星探査機「キュリオシティ」、水の流れの痕跡を発見

2012.09.28 Fri posted at 09:54 JST

[PR]

- ・ベネッセ事件の教訓--これからの「情報管理」のあり方は? 「悪意の情報漏えい」を防ぐため、知るべきこと
- ・ベネッセ事件の教訓--これからの「情報管理」のあり方は? 「悪意の情報漏えい」を防ぐため、知るべきこと
- ・年収2,000万円の生活も夢じゃない?! まずはどんな仕事があるかを確認しよう!
- ・年収2,000万円の生活も夢じゃない?! まずはどんな仕事があるかを確認しよう!



赤ちゃんのお名前入りギフト  
**出産内祝い**

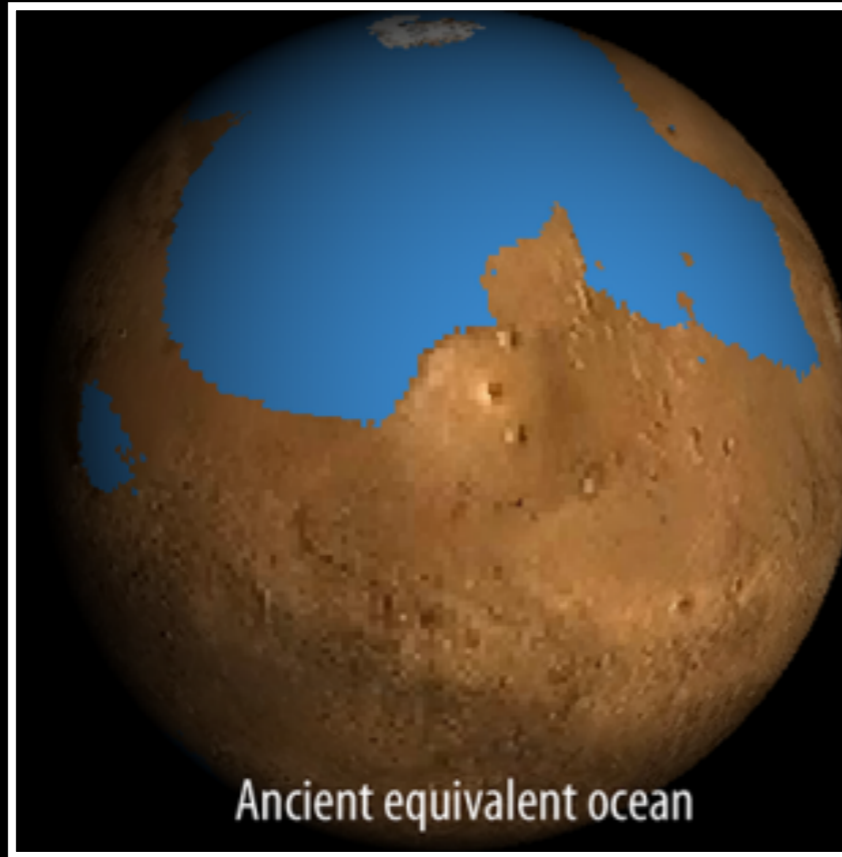
1個から  
ご注文  
できます!

ご自宅お届け  
送料無料!

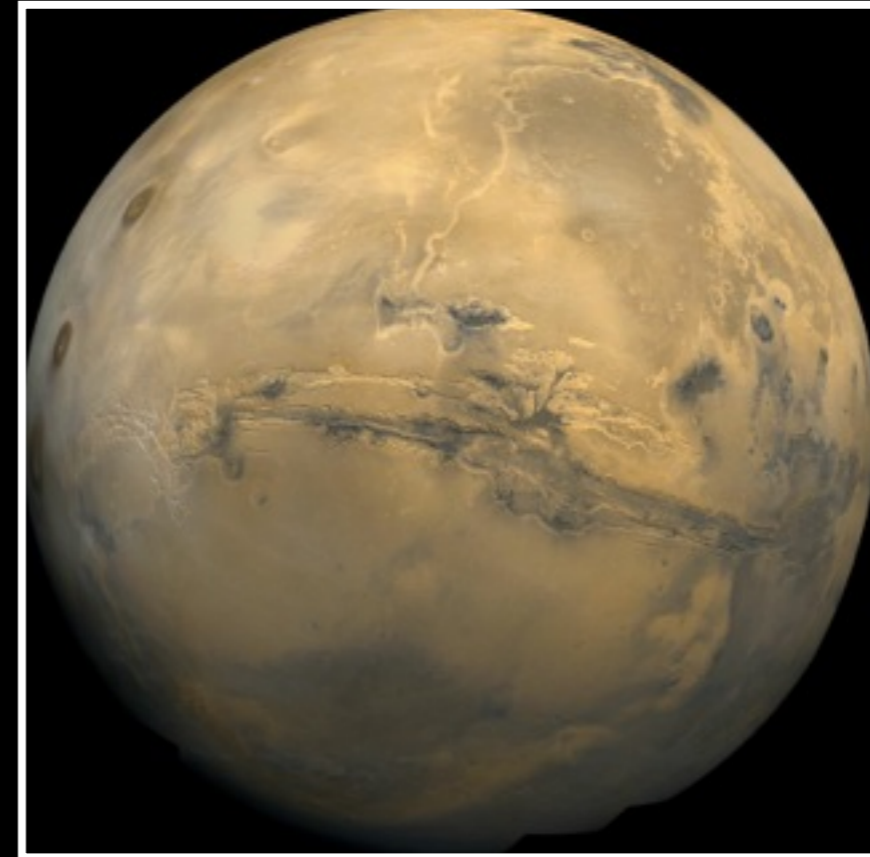
PIXTO  
**動画**

# 惑星表層環境の進化

約40億年前の火星(想像図)  
(Villanueva et al., 2015)



現在の火星(写真)



- ・火星はかつて温暖(=厚い大気の温室効果)で、大量の液体の水が存在した
- ・地球や金星も45億年の歴史の中で、表層環境変動を経験したと考えられている

惑星の表層環境変動の原因は？

# 最近のニュース：New Horizons

- ・ 2006年 打ち上げ
- ・ 2015年7月 冥王星に再接近



New photos show a youthful Pluto that's still taking shape

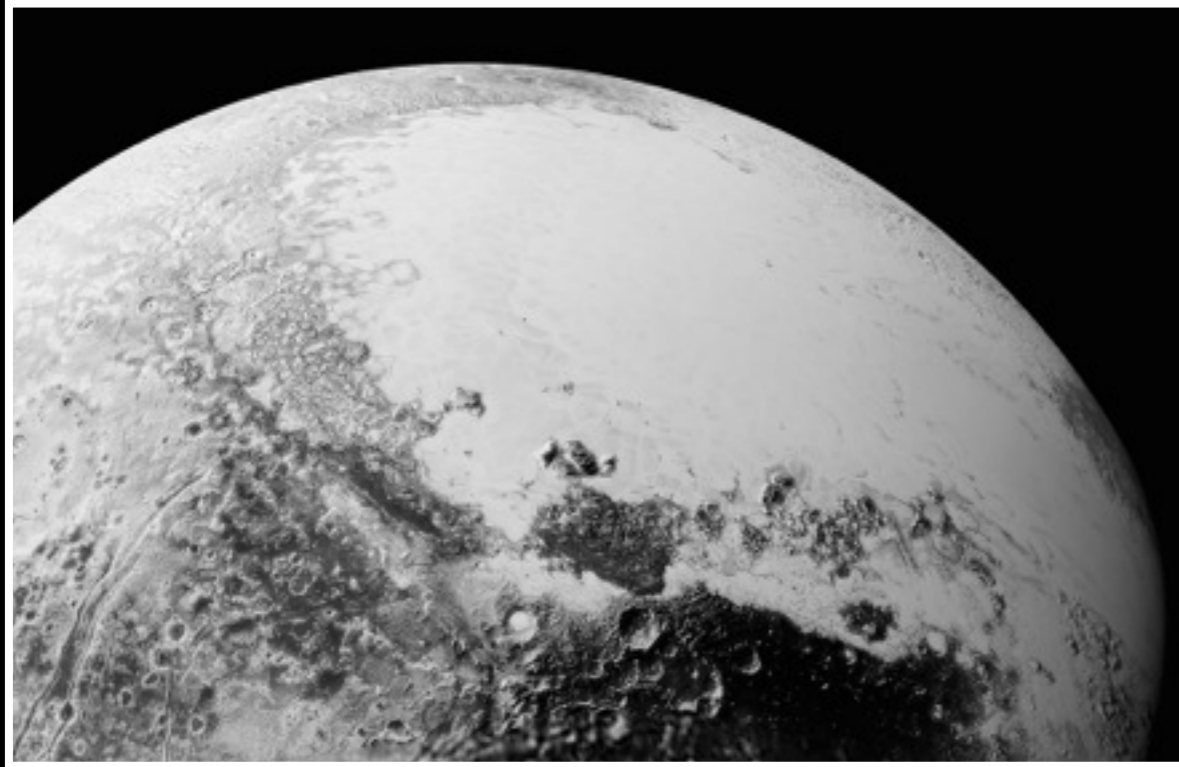
By [Amanda Barnett](#) and [Kevin Conlon](#), CNN

🕒 Updated 1802 GMT (0102 HKT) July 18, 2015

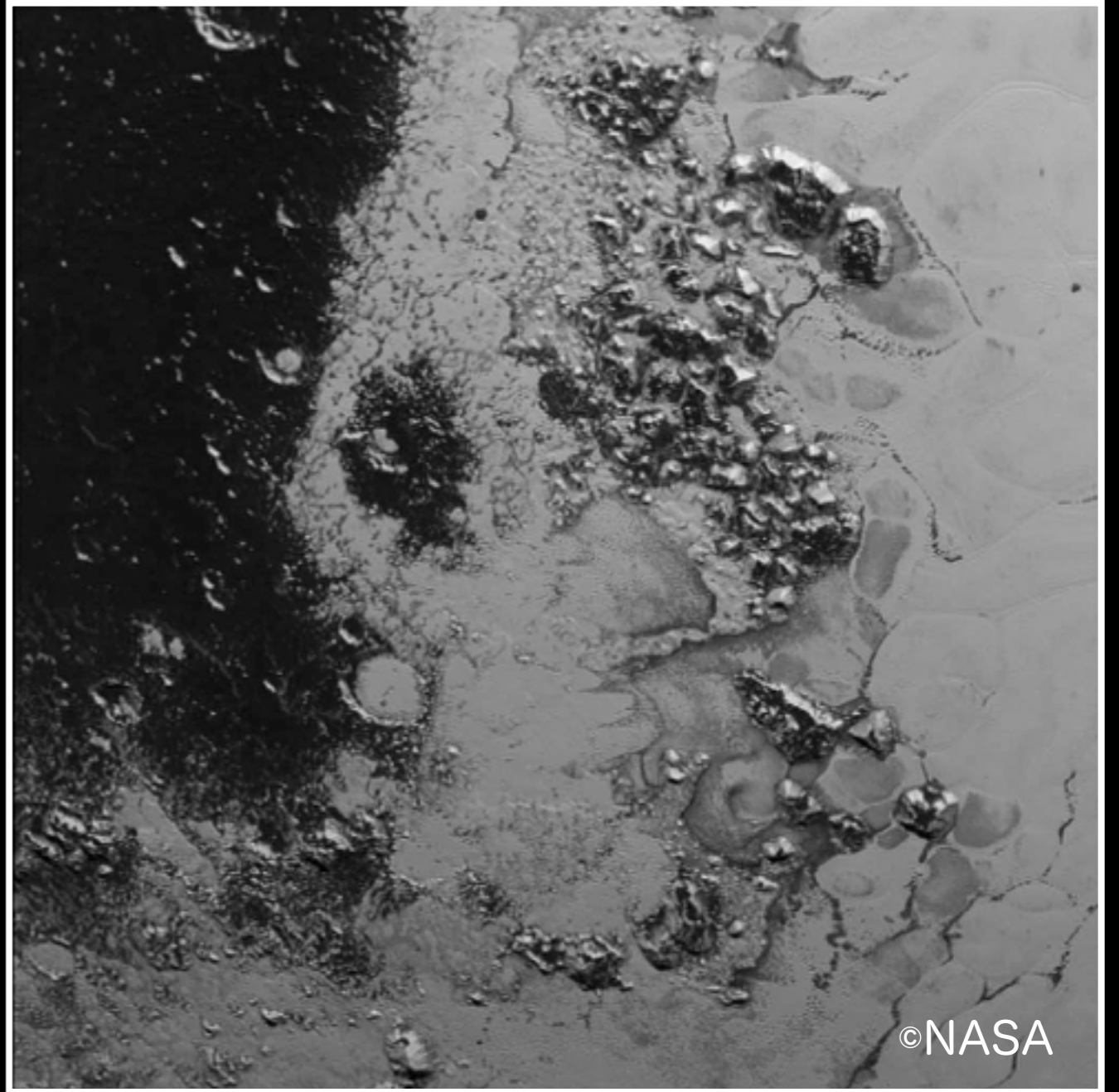


# 探査機 New Horizons の捉えた冥王星の姿

クレーターのない“若い”領域 = 最近の地質活動？



山岳地形, 氷河に埋められたクレーター？



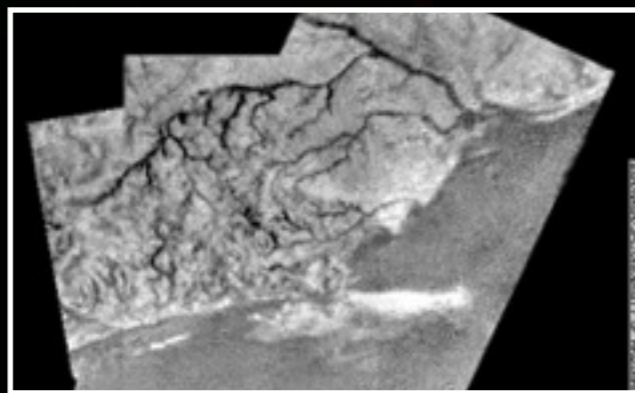
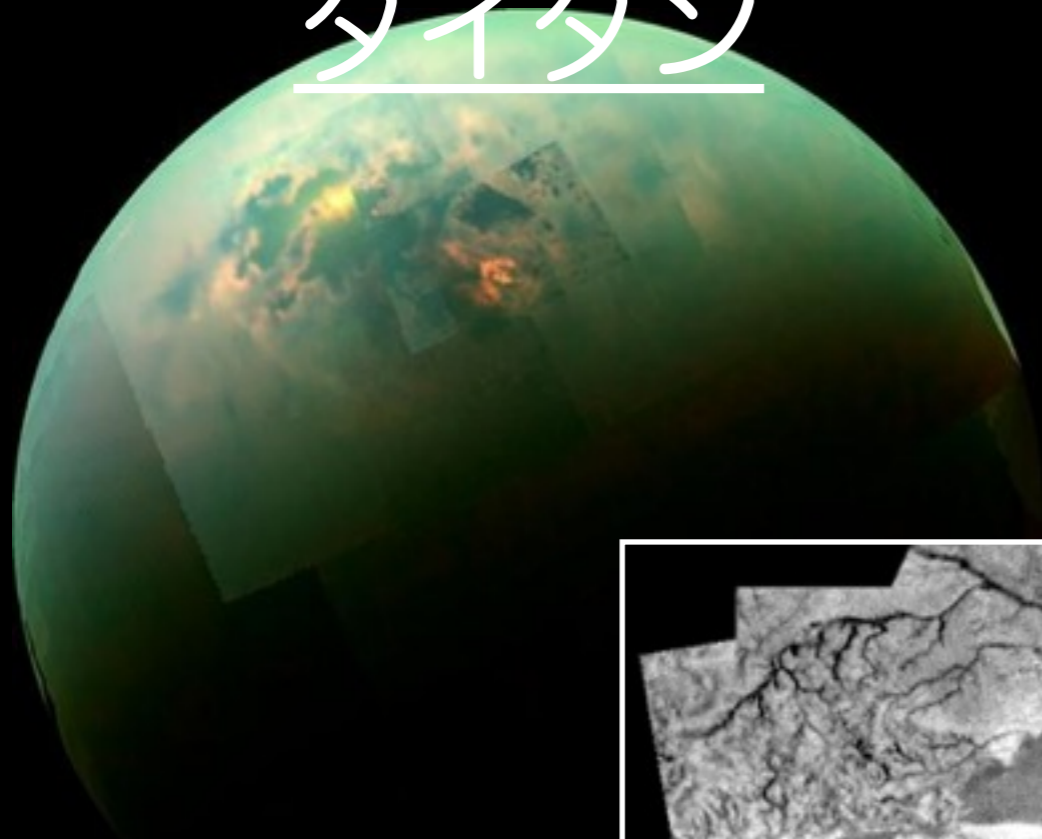
大気中の二層化した“もや”



冥王星は(惑星の定義からは外れるが)  
活動的な特徴を示している

# 巨大ガス惑星の氷衛星

## タイタン



画像元

<http://saturn.jpl.nasa.gov/>

- 大気組成：N<sub>2</sub> 95%, CH<sub>4</sub> 5%
- 高分子有機化合物のもや
- クレーターがない(=“若い”地表)
- 液体CH<sub>4</sub>の池
- 河川状の地形

## エンセラダス



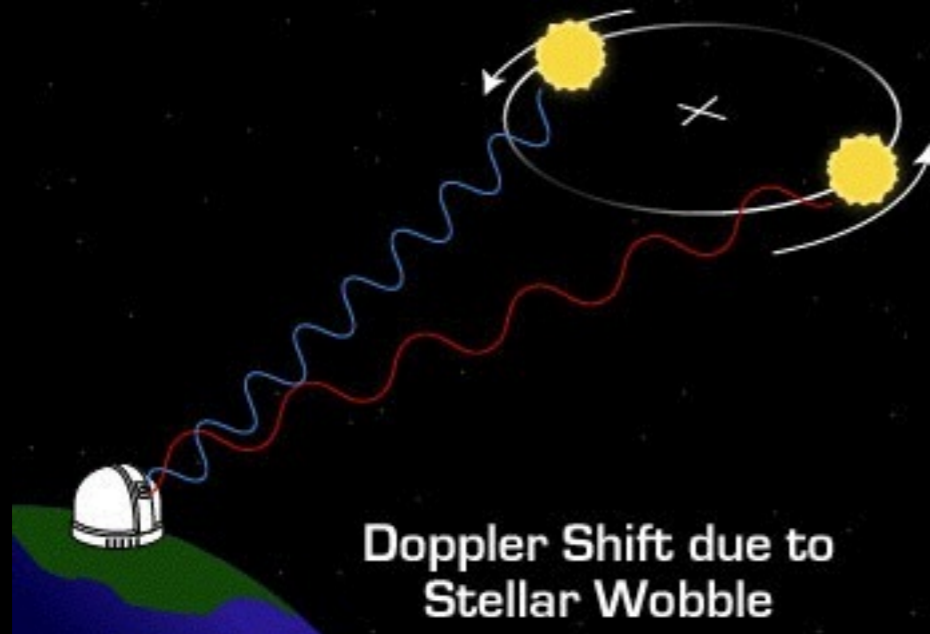
- 噴出する氷微粒子のプリューム
- 内部熱水活動？

惑星ではないが  
活動的な特徴を示している重要な天体



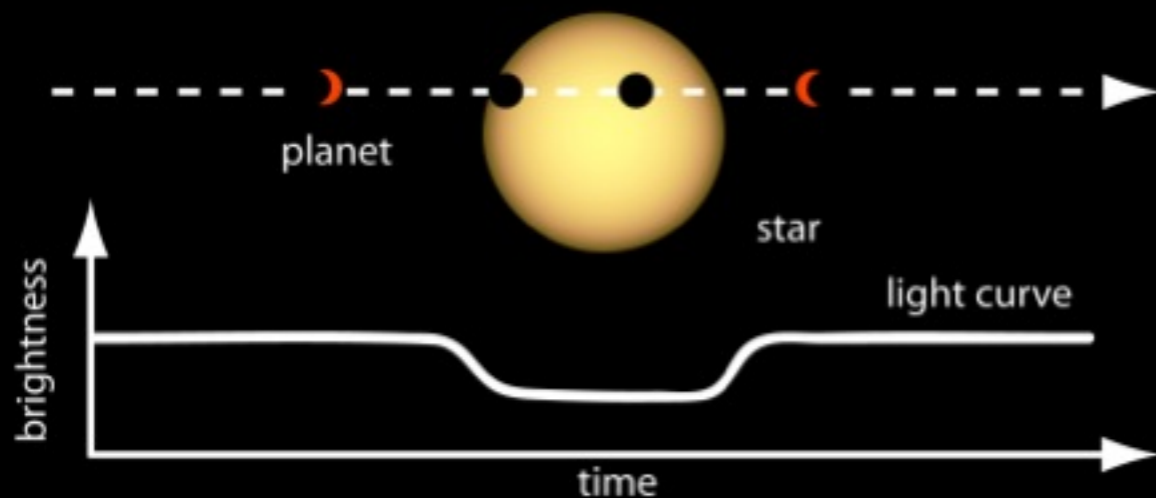
# 系外惑星

## Doppler法



- 発見数 1600個以上  
(2015年9月16日現在)
- その多くがDoppler法やTransit法による間接的な検出
- 直接撮像は十数個程度
- 軌道周期や質量、半径など  
太陽系の惑星と比較すると限られた情報

## Transit法



- 太陽系を含めた惑星形成過程の理解
- 第2の地球？

# 生命の起源

生命の定義 ※厳密な定義ではない

- 代謝(エネルギーを得る, 物質を合成する)を行う  
→ タンパク質 (アミノ酸の重合体)
- 自己複製を行う  
→ DNA(リボ核酸)とRNA(デオキシリボ核酸)
- 膜で外界と区別されている

生命の起源の研究 → タンパク質と核酸の起源の研究

- タンパク質(機能)が先か、RNA(設計図)が先か

# 有機物の起源

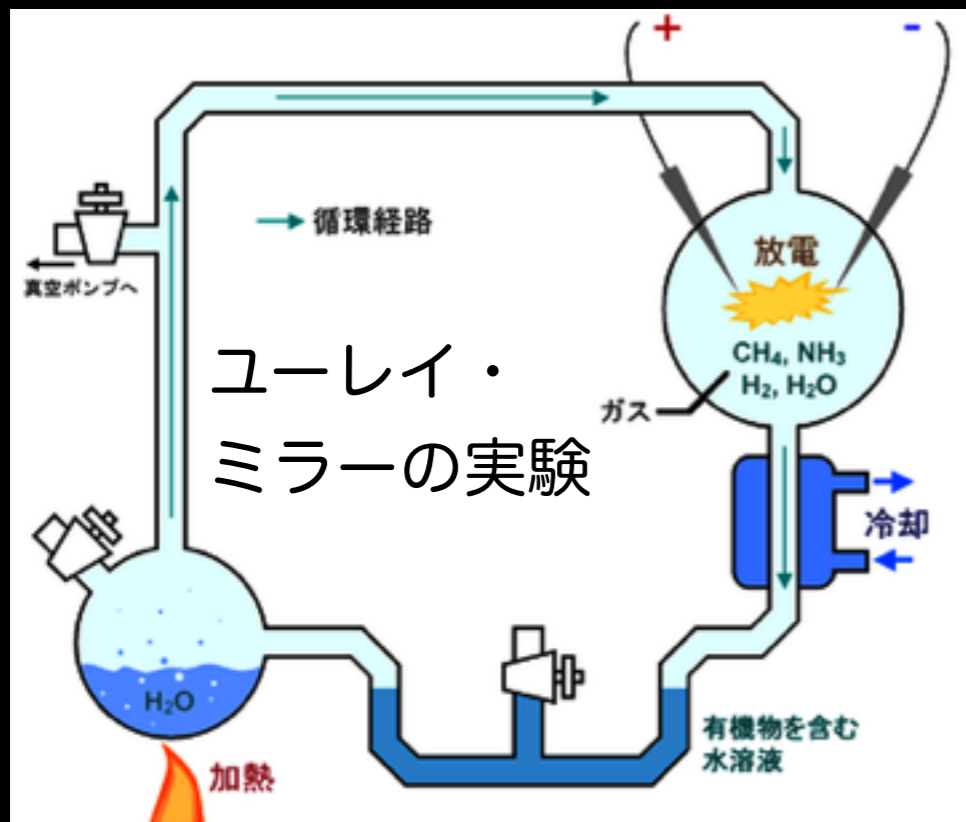
暗黒星雲のダスト表面反応で生成



隕石や彗星による供給？



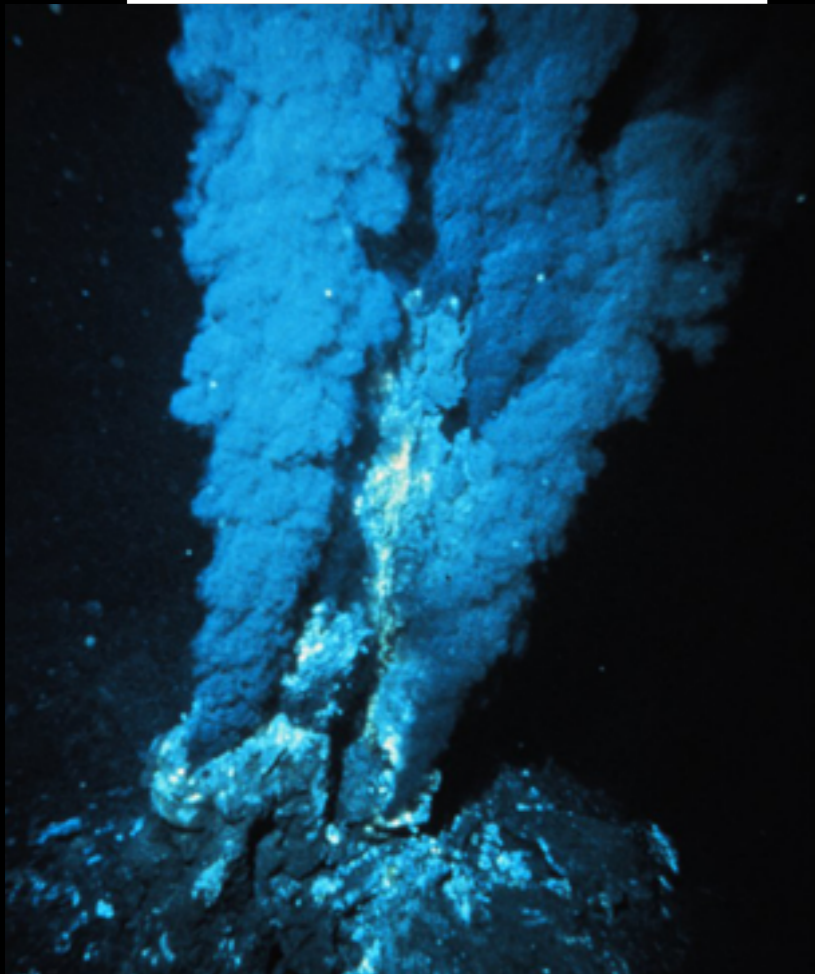
原始地球大気中での放電で生成？



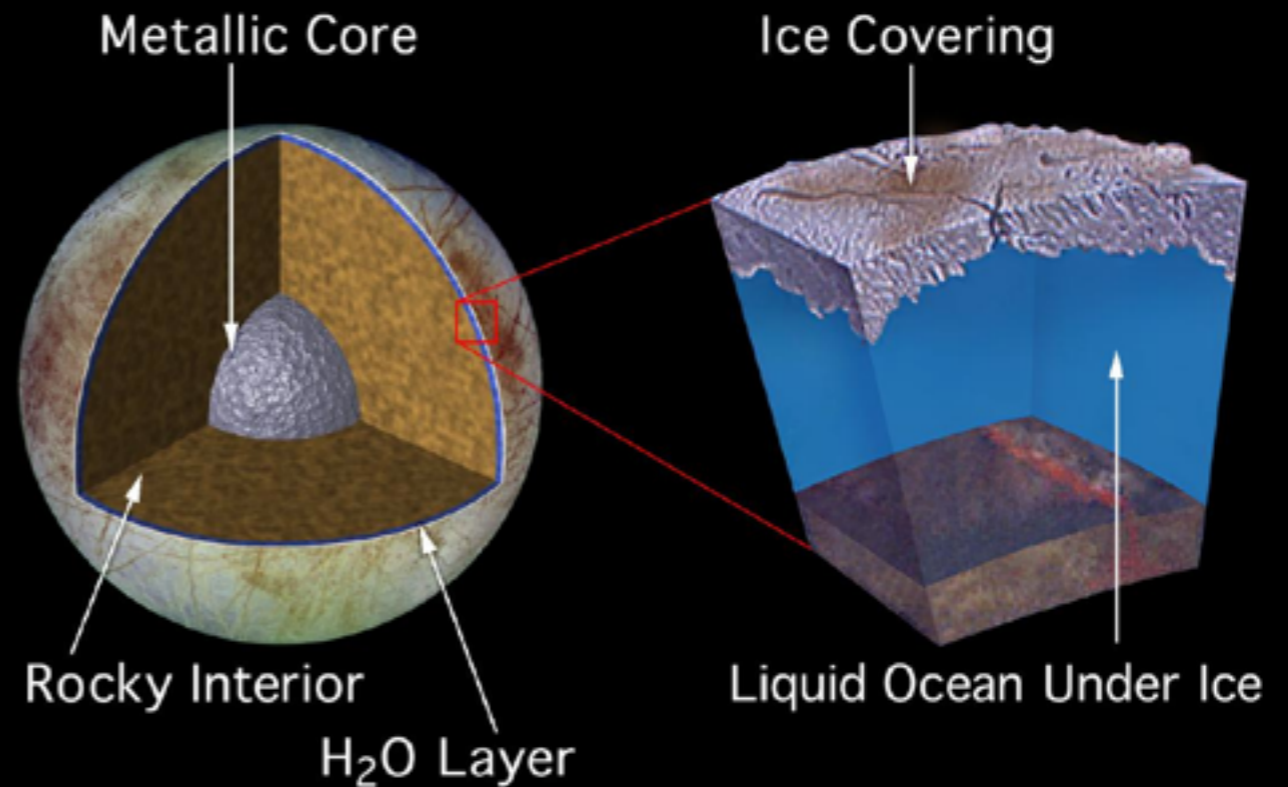
# 生命はどこで誕生したか

- ・ 干潟のような場所で有機物が濃集し誕生？
- ・ 熱水噴出孔？ → 高温, 還元的ガス組成が生命誕生に有利

地球深海の熱水噴出孔



木星の衛星エウロパ内部の想像図



初期地球環境・生命誕生の可能性のある地球以外の天体の理解  
(=地球惑星圏物理学) が生命の起源解明の鍵でもある

# 授業内容(予定)

- 第1回 : 地球惑星物理学概論
- 第2回 : 太陽系の構造と元素組成
- 第3回 : 太陽系形成論
- 第4回 : 太陽の構造と太陽活動
- 第5回 : //
- 第6回 : 惑星間空間
- 第7回 : //
- 第8回 : 惑星大気の構造
- 第9回 : //
- 第10回 : 惑星の磁気圏
- 第11回 : //
- 第12回 : 惑星の内部構造と表層環境の進化
- 第13回 : 系外惑星
- 第14回 : 生命の起源と存在条件