

# 惑星磁気圏の科学探査

寺田直樹(東北大学)、  
渡部重十(北海道大学)、  
はしもとじょーじ(岡山大学)

# 磁気圏探査ロードマップ

- 詳細は、「太陽系探査ロードマップ検討小委員会報告書」を参照
  - 総花的という意見も(可能性のある提案を全て内包)
  - しかし、磁気圏探査に関してはターゲットを絞って記述

## パネルの構成案

	水星	金星	月	火星	小惑星	彗星	木星型惑星	氷衛星	系外惑星
内部構造探査	○	○	SELEN E-2, -X	MELO S-1 (?)	Hayabusa-2	○	○	○	---
地質調査	○	○ 1	SELEN E-2, -X	MELO S-2 (?)	Hayabusa-1	○	---	○	---
アストロバイオロジー	---	---	---	○	? 3	○	---	○ 4	?
大気観測	---	Planet -C 2	---	MELO S-1	---	?	○	○	○
磁気圏探査	---	○ 2	SELEN E	MELO S-2 (?)	---	○	○	---	---

中島氏・高橋氏の講演

本講演

1: 地球型惑星固体探査パネル

3: 小天体探査パネル

2: 地球型惑星大気・磁気圏探査パネル

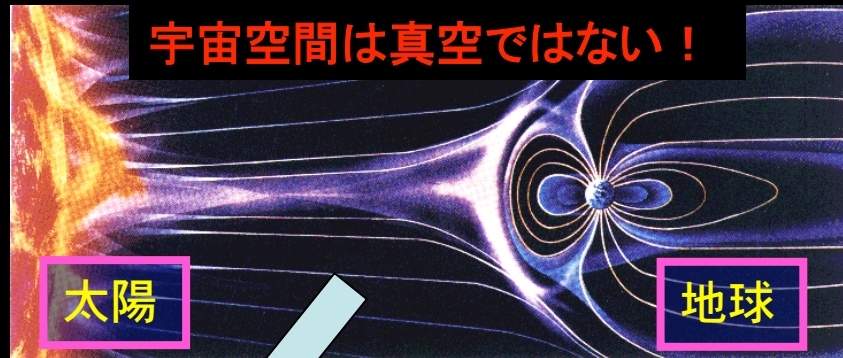
4: 木星型惑星・氷衛星・系外惑星探査パネル

# 宇宙科学諸分野における 惑星磁気圏探査の強み

- 宇宙空間を満たす宇宙プラズマは地上の常識が通用しない世界
- 宇宙プラズマダイナミクスの現場「**その場**」で**粒子分布関数レベルの詳細精密な観測**を行うのが惑星磁気圏探査
- プラズマ・磁場が関与する宇宙現象を**普遍性**を意識して捉え、“宇宙科学&宇宙活動”の全体へ関与

# 地球・惑星磁気圏探査の三大目標

太陽活動に支配される太陽・惑星圏の環境を解明する  
宇宙ガスを支配する普遍的法則を解明する  
人類の宇宙進出を支える知識基盤を構築する



精密観測が可能である  
地球磁気圏がホームグラウンド

磁場が強い: 巨大加速器

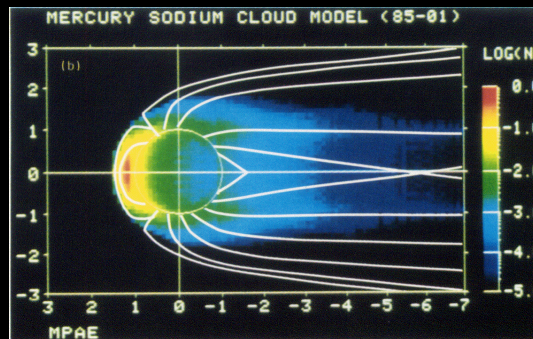
磁場による保護がない:  
大気の剥ぎ取り

磁場が弱い: 未知の物理パラメータ領域

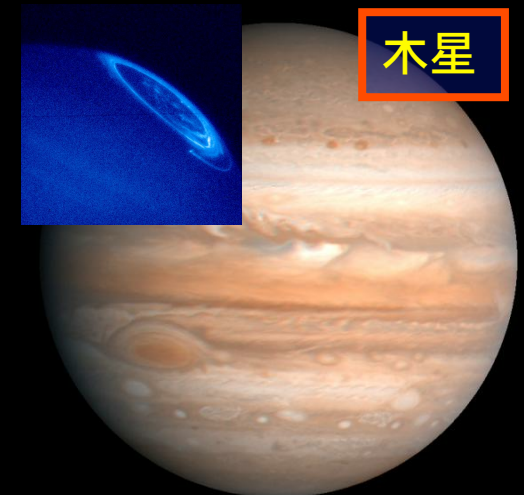
火星・金星



水星



木星





# 地球・惑星磁気圏探査:

## 三大目標と国際的潮流

国際的潮流:  
巨大惑星への  
尽きない興味

NASA/ESA Juno(木星)

NASA/ESA Cassini(土星)

ESA Venus Express(金星)

太陽観測

NASA ACE, WIND  
(L点での太陽風観測)

NASA火星シリーズ

ESA Mars Express(火星)

Geotail

ESA ClusterII

NASA RBSP

NASA THEMIS

NASA MMS

宇宙ガスを支配する  
普遍的法則の解明

国際的潮流:地球磁気圏における  
先進的観測による物理の探求

人類の宇宙進出を支える  
知識基盤の構築

太陽活動に支配される  
太陽・惑星圏環境解明

国際的潮流:  
火星システムをまる  
ごと理解する

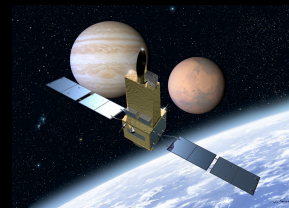
# 地球・惑星磁気圏探査計画(～2020's):

## 三大目標を達成するために

太陽活動に支配される  
太陽・惑星圏環境解明

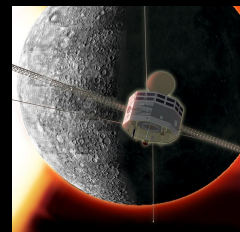
国際的潮流:  
巨大惑星への  
尽きない興味

ソーラー電力セイル  
(木星)



EXCEED  
(小型衛星による  
木星・金星分光観測)

木星探査大型計画

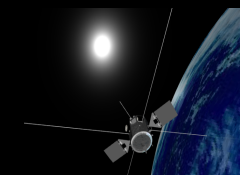


ベッピコロンボ  
(水星)

国際的潮流:  
火星システムをまる  
ごと理解する

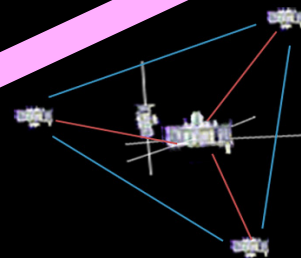


MELOS  
火星複合探査



ERG  
(小型衛星による  
地球近傍放射線環境計測)

SCOPE  
(地球磁気圏で  
編隊を組んでの  
先進的観測)



宇宙ガスを支配する  
普遍的法則の解明

国際的潮流:地球磁気圏における  
先進的観測による物理の探求

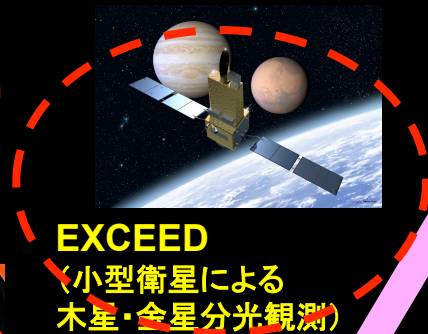
人類の宇宙進出を支える  
知識基盤の構築

# 地球・惑星磁気圏探査計画（～2020's）：

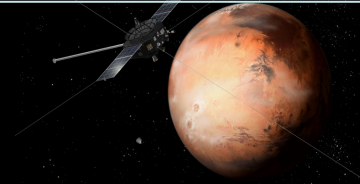
## 三大目標を達成するために

太陽活動に支配される  
太陽・惑星圏環境解明

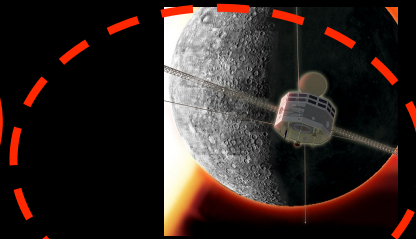
国際的潮流：  
巨大惑星への  
尽きない興味



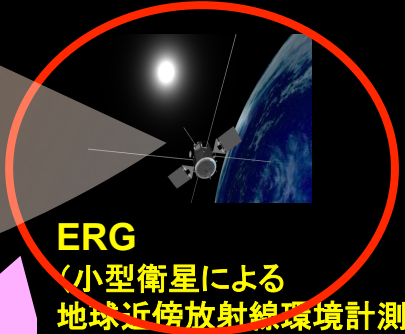
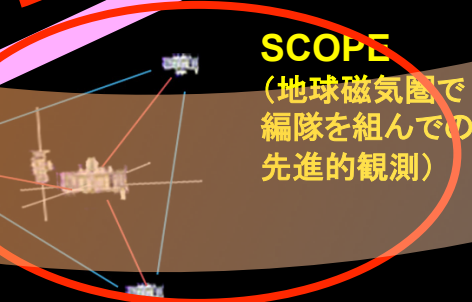
国際的潮流：  
火星システムをまる  
ごと理解する



木星探査大型計画



粒子加速過程  
(本講演では触れない→木星)



宇宙ガスを支配する  
普遍的法則の解明

国際的潮流：地球磁気圏における  
先進的観測による物理の探求

人類の宇宙進出を支える  
知識基盤の構築

# 地球・惑星磁気圏探査計画（～2020's）：

## 三大目標を達成するために

太陽活動に支配される  
太陽・惑星圏環境解明

国際的潮流：  
巨大惑星への  
尽きない興味

ソーラー電力セイル  
(木星)

### 惑星圏環境変動の理解

国際的潮流：  
火星システムをまる  
ごと理解する

木星探査大型計画

EXCEED  
(小型衛星による  
木星・金星分光観測)

MELOS  
火星複合探査

ベッピコロンボ  
(水星)

SCOPE  
(地球磁気圏で  
編隊を組んでの  
先進的観測)

ERG  
(小型衛星による  
地球近傍放射線環境計測)

宇宙ガスを支配する  
普遍的法則の解明

国際的潮流：地球磁気圏における  
先進的観測による物理の探求

人類の宇宙進出を支える  
知識基盤の構築



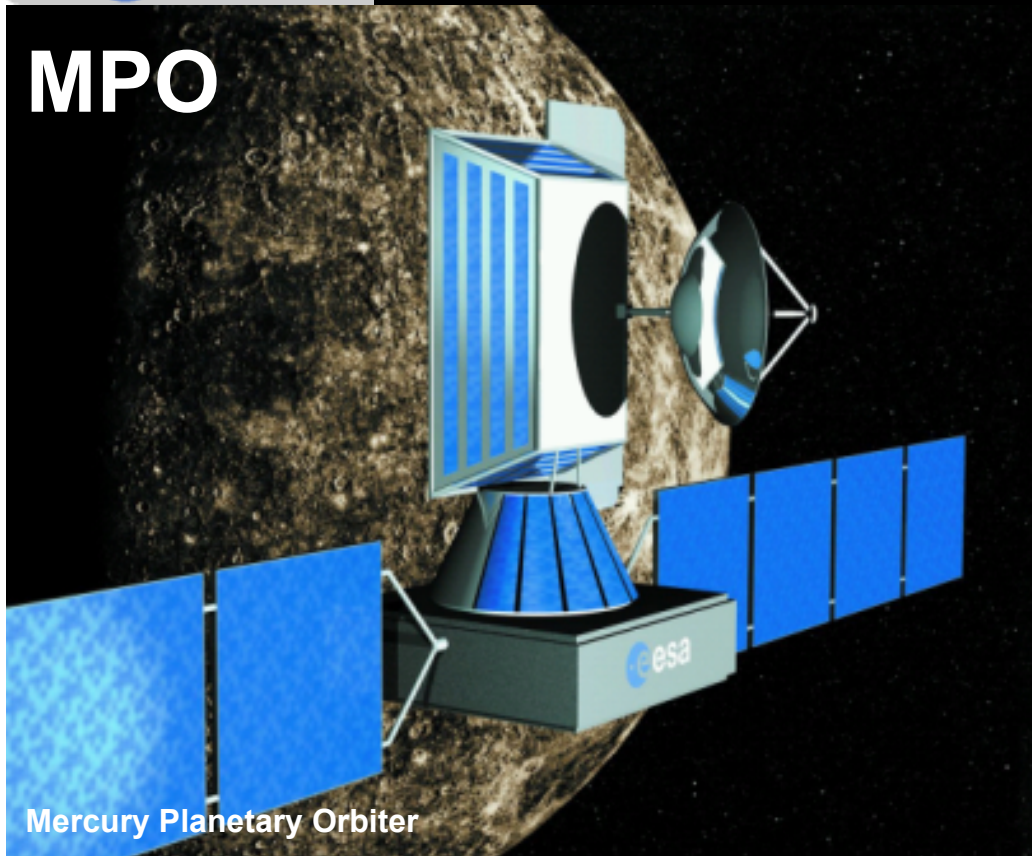
# BepiColombo水星探査計画 (L2014)

JAXA/ESA共同

日本は「磁気圏探査機MMOを製作」「全体へ観測参加」

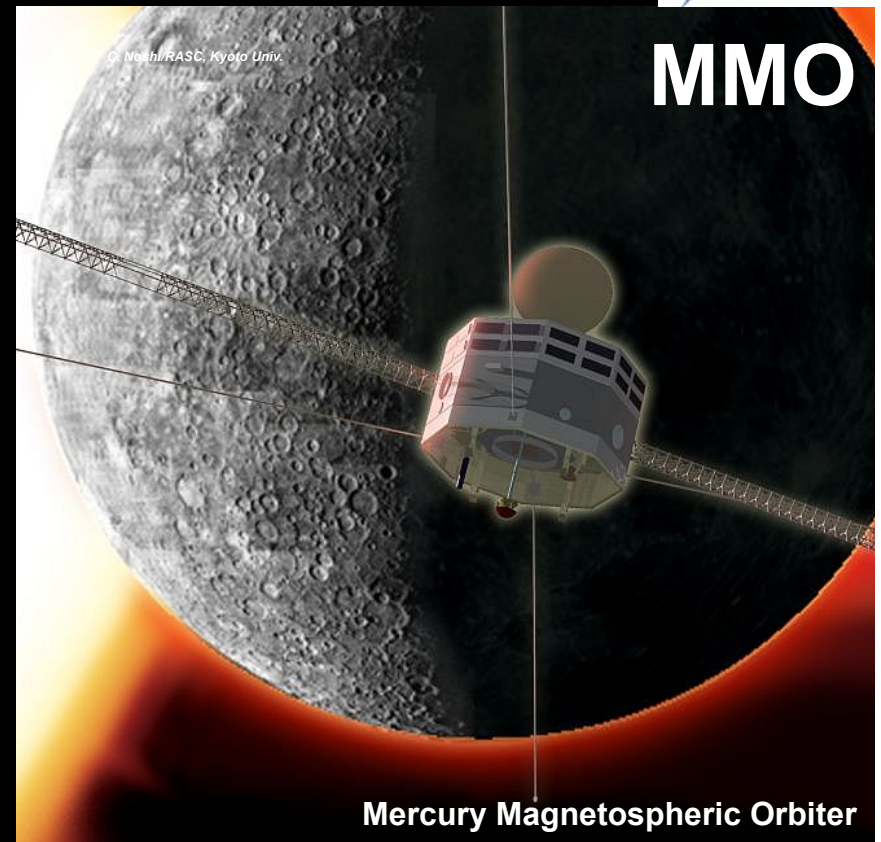


MPO



Mercury Planetary Orbiter

MMO



Mercury Magnetospheric Orbiter

# BepiColombo水星探査計画 (L2014)

## First detailed mapping of magnetosphere of other planet

Q1) Small scale magnetosphere:

Is it similar to the Earth's?

Q2) Source and Loss:

How is the plasma supplied and lost?

Q3) What is caused by the lack of Ionosphere?

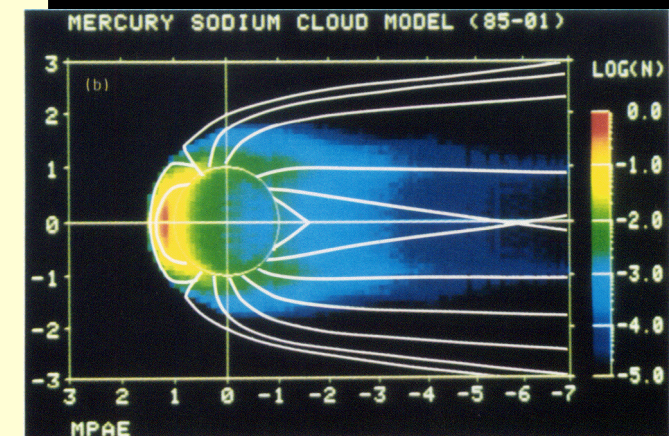
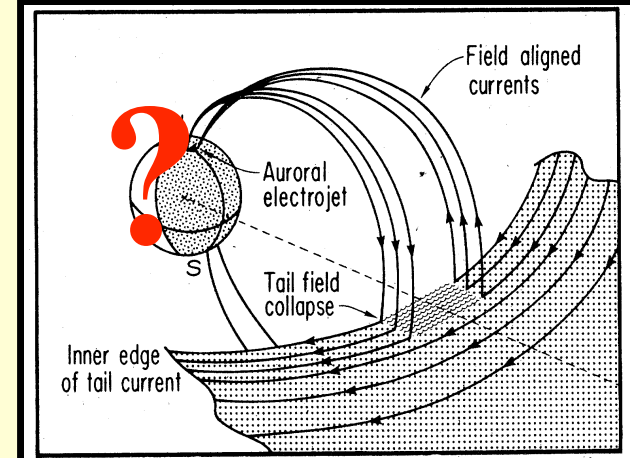
How is the current closure?

Q4) Substorm & acceleration:

How is the Mercury's energetic process?

Q5) How is the interaction between

surface, exosphere, and magnetosphere

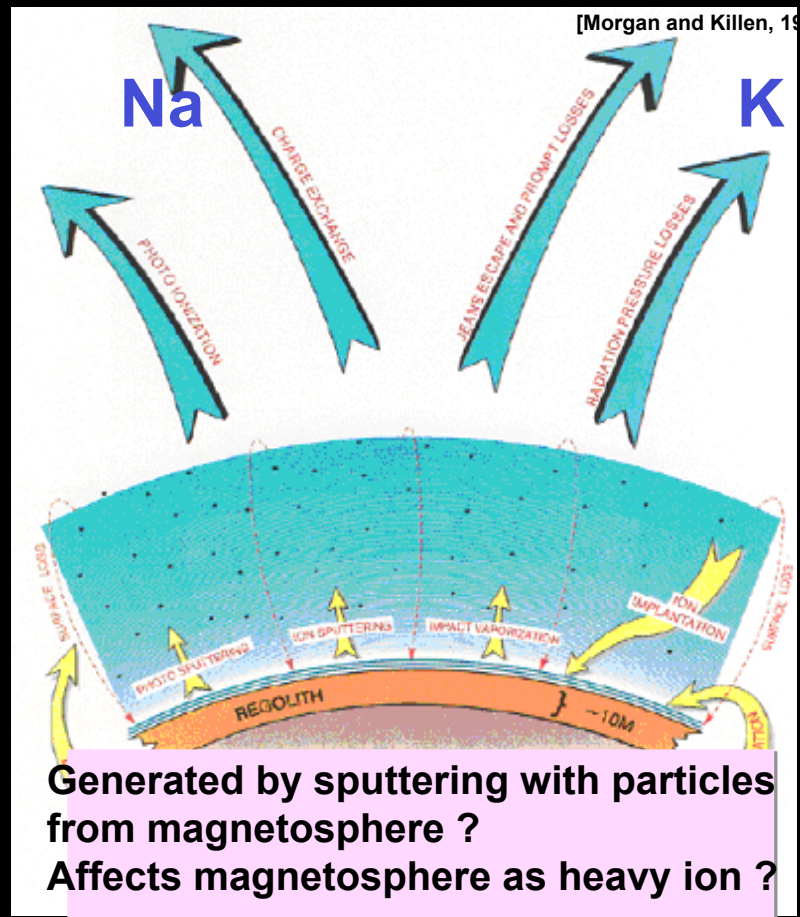
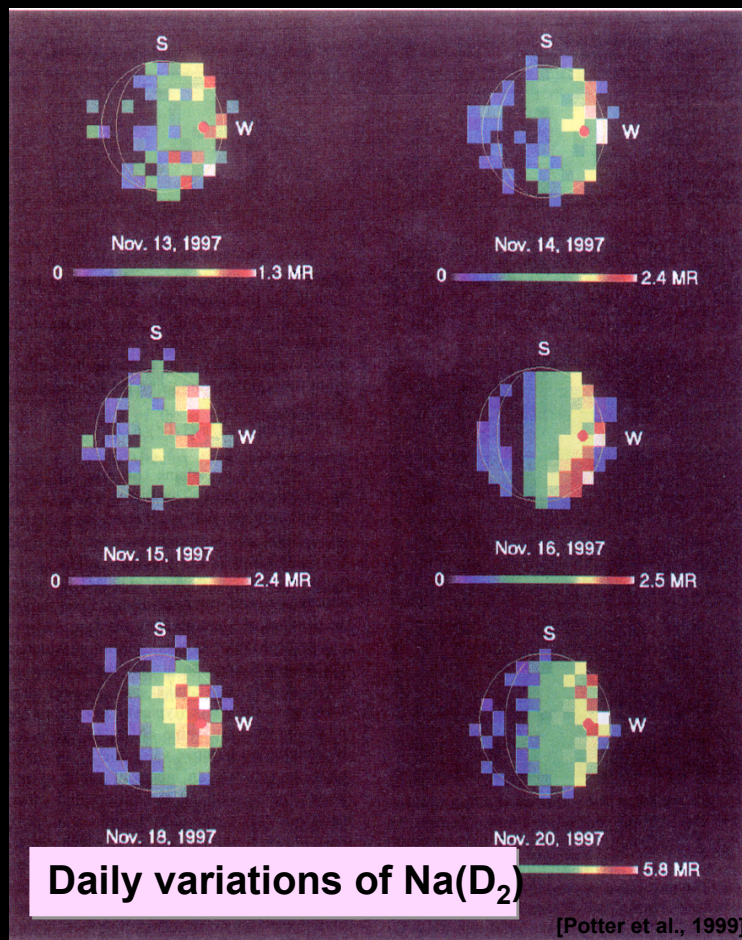


小さな磁気圏、小さな重力 ⇒ 大気(外圏)が磁気圏深部まで広がる  
水星表層-大気-磁気圏は密結合



# 惑星圏における物質とエネルギーの輸送・交換

磁気圏探査という手法から、惑星圏(水星表層-大気-磁気圏結合システム)における物質・エネルギー輸送の解明に寄与

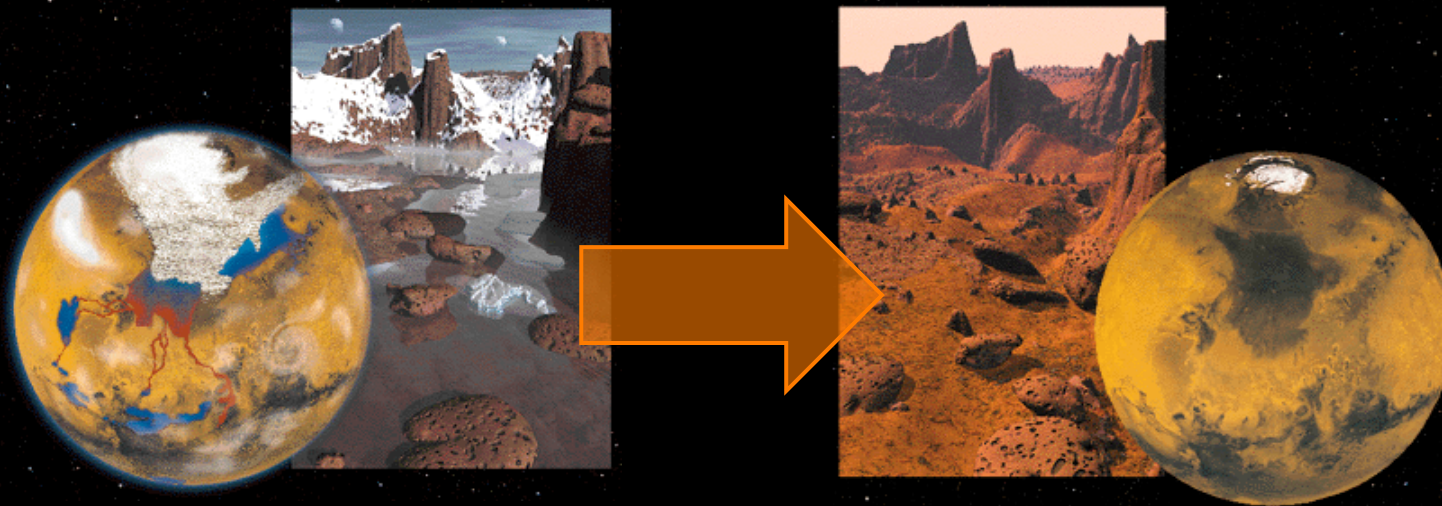


# MELOS火星探査計画 (L2022?)

## 一 火星大気の喪失を捉える

火星はかつては温暖湿潤な惑星  
生命を育んでいた可能性も

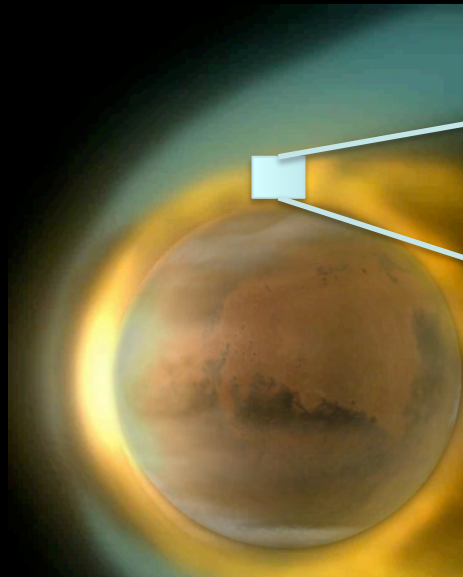
- \* 温室効果ガス( $\text{CO}_2$ )と水はどこに消えたのか？
- \* 現火星での C, H, O の宇宙空間への流出機構を初めて捉え、火星大気と表層環境の進化へと迫る
- \* 「のぞみ」のヘリテージを活かしながら、イメージング観測を強化して大規模大気流出を引き起こす大気・プラズマ過程を捉える



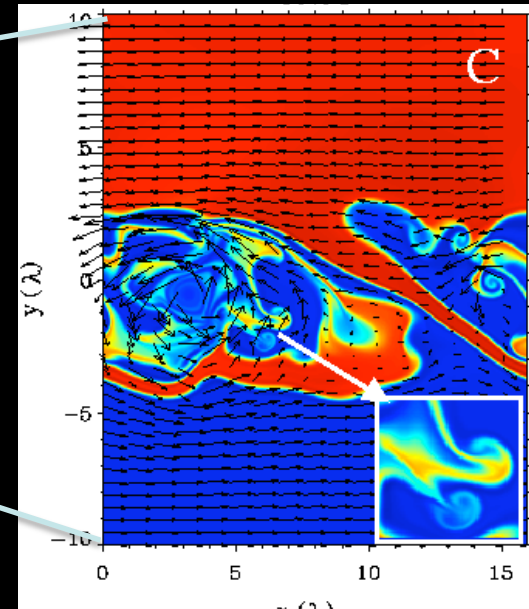


# 大規模大気流出を引き起こす大気・プラズマ過程

## 例：太陽風-火星電離圏イオンの粘性相互作用過程



Candidate processes / effects:  
K-H instability,  
ion finite gyro-radius effects,  
gravity stabilizing effects,  
vortices coalescence,  
turbulent diffusion,  
magnetic reconnection, etc...



- 粘性相互作用過程

- Spatial / temporal scales (10 km ~ planetary scale / 10 ~ 1000 sec)

Ion gyro-radius

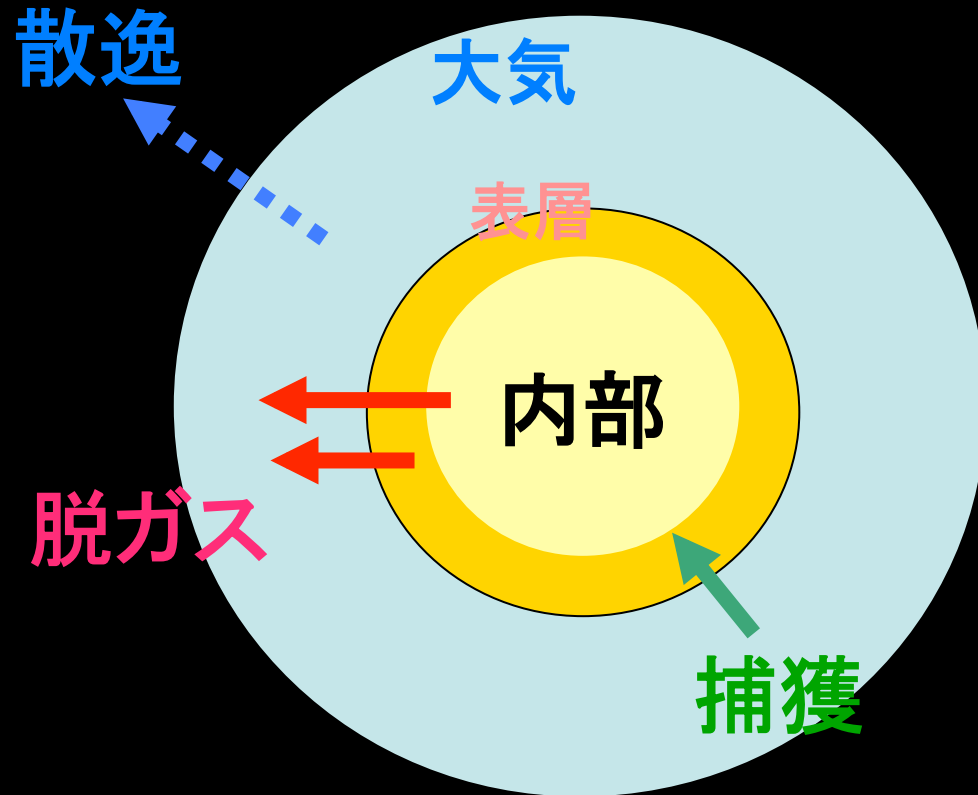
day-to-night vortex evolution

Ion gyro-frequency

day-to-night convection time

- Both global and detailed scales must be observed

# 惑星圏における物質(大気)の輸送・交換



火星大気の進化を多側面から捉える

- 火星超高層(大気の散逸)
- 火星気象(大気の輸送・表層との交換)
- 火星固体(大気の供給)

惑星圏における「物質・エネルギーの輸送・交換」という極めてファンダメンタルな問題に、磁気圏探査という手法から迫る

# 小型科学衛星 1号機 EXCEED (L2013)

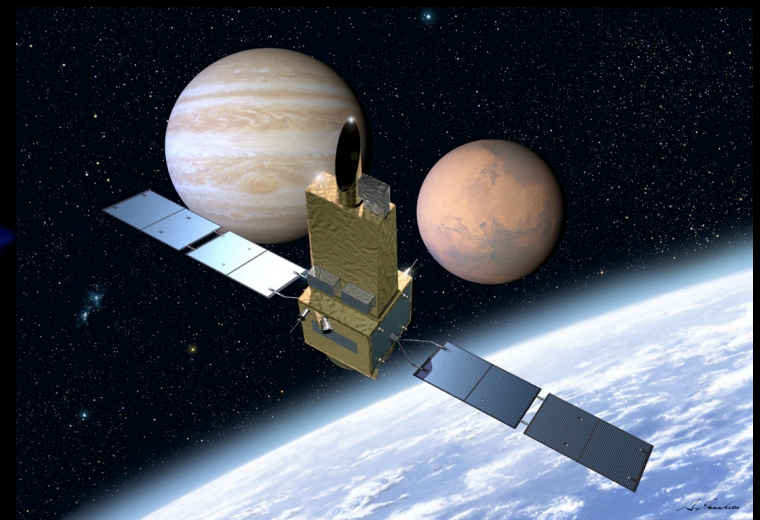
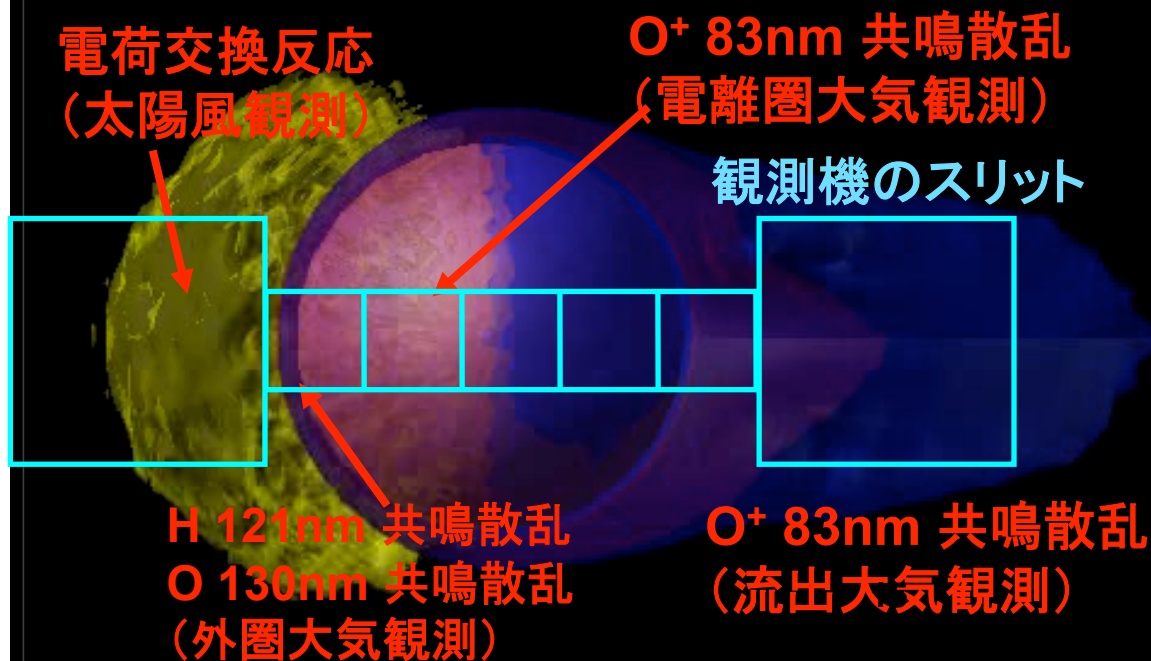
## 惑星大気流出の宇宙望遠鏡観測

「どの太陽風条件の時に、大気(外圏)がどう変化し、電離大気(電離圏、尾部)の流出率がどう変化するか」を同時に捉える

⇒ ミクロなプロセスを捉えることが出来る惑星周回機の「その場観測」に対して、マクロな量を押さえる

金星、火星、水星、彗星、EUV星が観測のターゲット

太陽系の初期(太陽風が顕著だった時代)における大気散逸問題にメスを入れる



# 磁気圏探査計画（～2020's） まとめ

粒子加速・惑星圏  
環境変動の理解 ⇒ “宇宙科学” 全体へ貢献

- 三大目標：  
太陽活動に支配される太陽・惑星圏環境を解明  
宇宙ガスを支配する普遍的法則を解明  
人類の宇宙進出を支える知識基盤を構築
- 手法：  
宇宙現象「**その場**」での**精密**観測  
(+リモセン観測)
- 対象領域：  
地球周回/惑星探査
- 枠組み：  
従来型/小型/国際協力/月惑星プログラムを活用して展開