

# 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

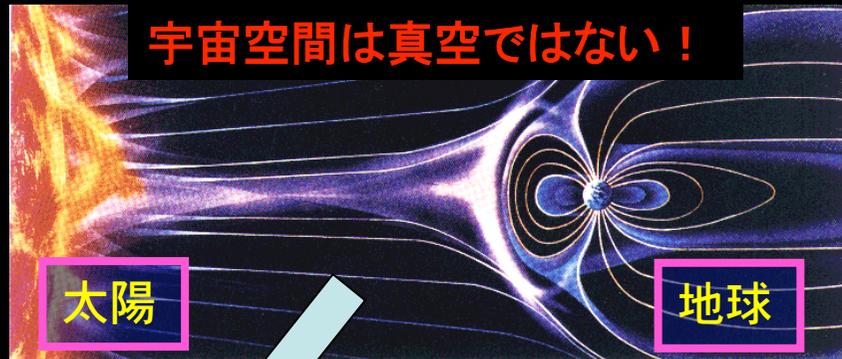
4: 木星型惑星・氷衛星・系外惑星探査パネル

# 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



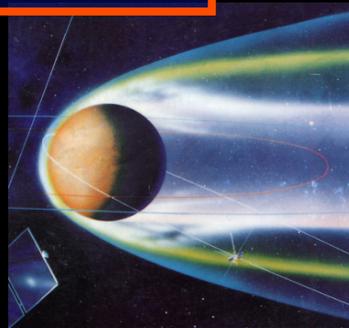
精密観測が可能である  
地球磁気圏がホームグラウンド

磁場が強い：巨大加速器

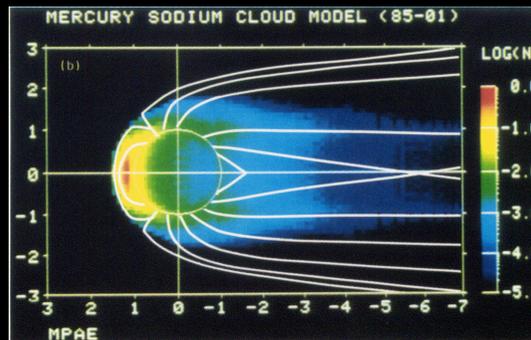
磁場による保護がない：  
大気の剥ぎ取り

磁場が弱い：未知の物理パラメータ領域

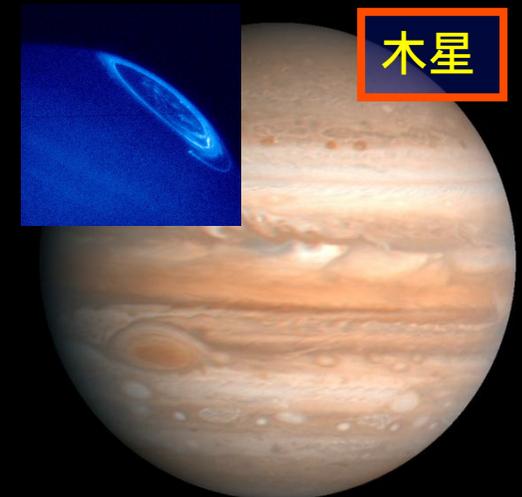
火星・金星



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

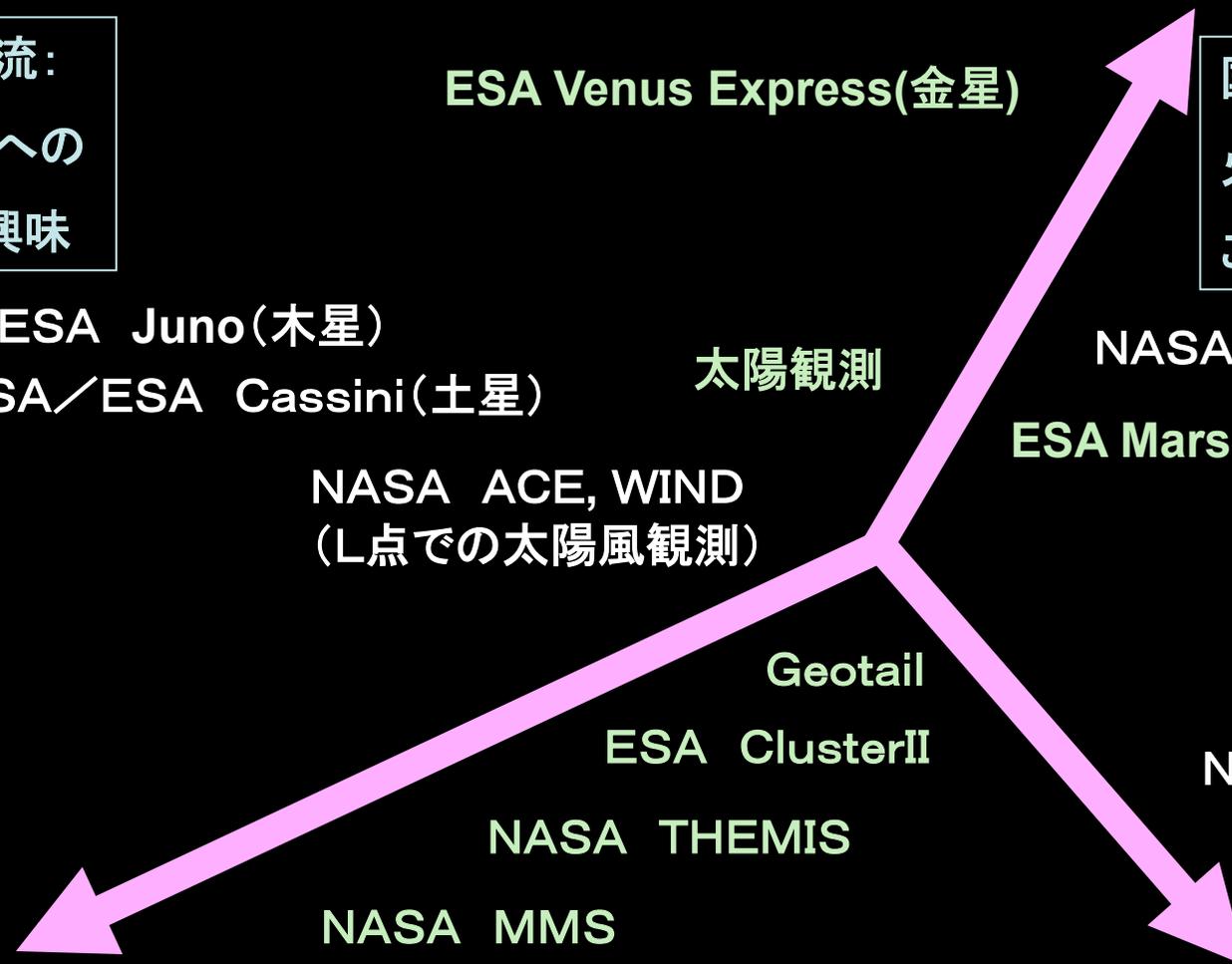
宇宙ガスを支配する  
普遍的法則の解明

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

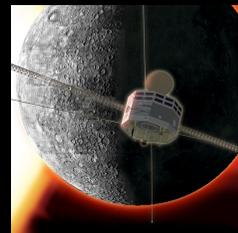
国際的潮流：  
巨大惑星への  
尽きない興味

ソーラー電力セイル  
(木星)



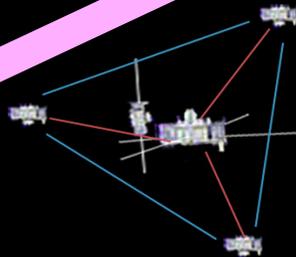
EXCEED  
(小型衛星による  
木星・金星分光観測)

木星探査大型計画



ベッピコロンボ  
(水星)

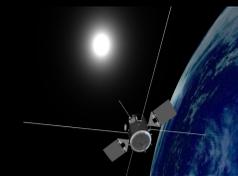
SCOPE  
(地球磁気圏で  
編隊を組んでの  
先進的観測)



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)

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

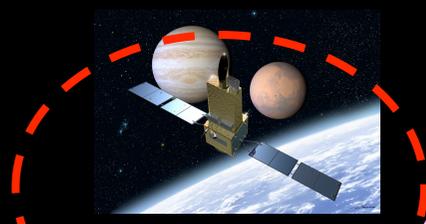
人類の宇宙進出を支える  
知識基盤の構築

# 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

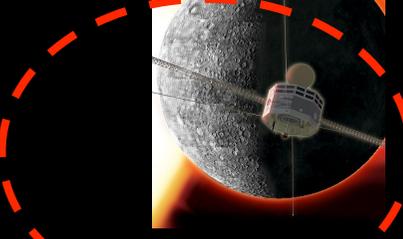
国際的潮流:  
巨大惑星への  
尽きない興味



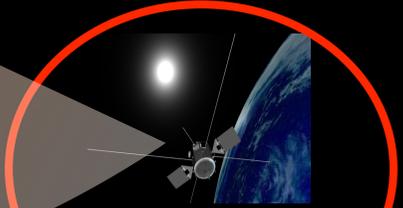
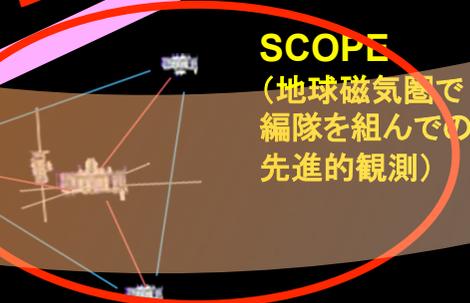
国際的潮流:  
火星システムをまる  
ごと理解する



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

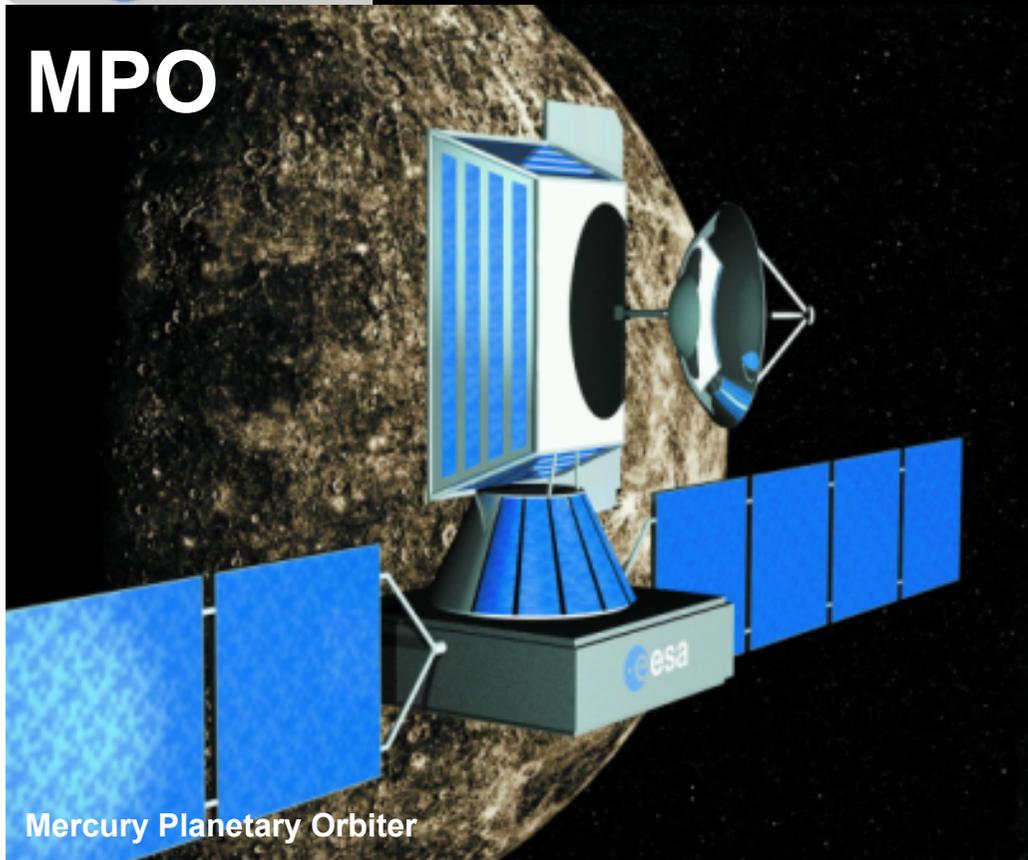
# BepiColombo水星探査計画 (L2014)

JAXA/ESA共同

日本は「磁気圏探査機MMOを製作」「全体へ観測参加」

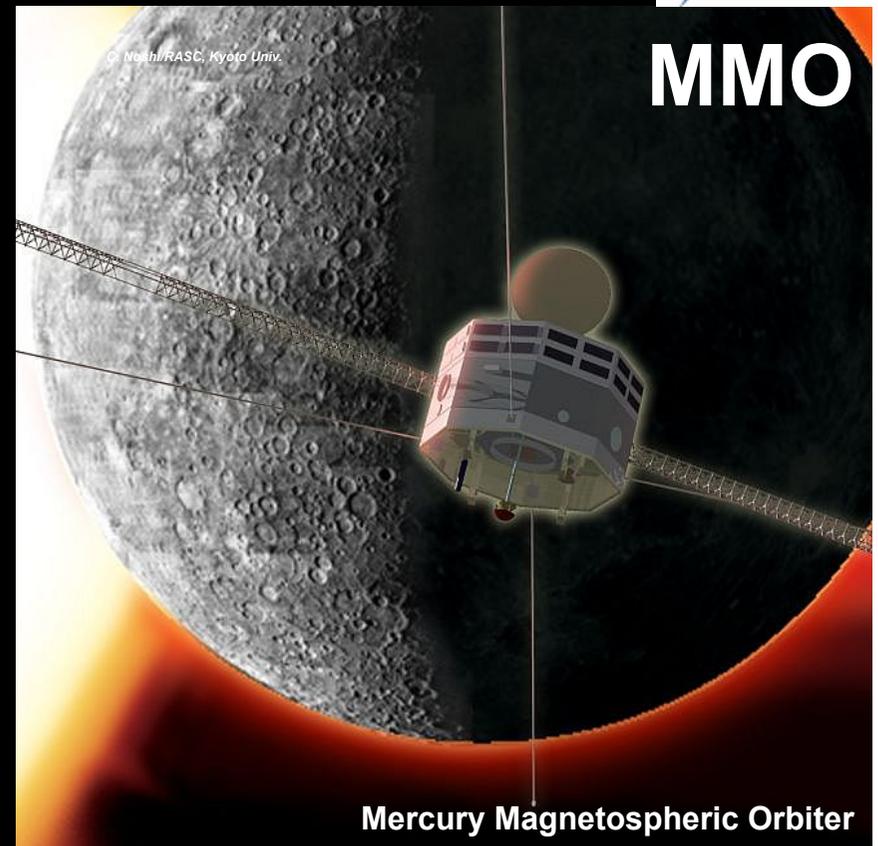


MPO



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?

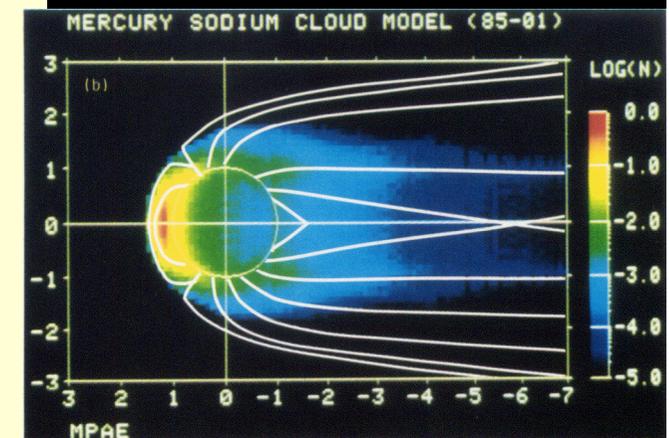
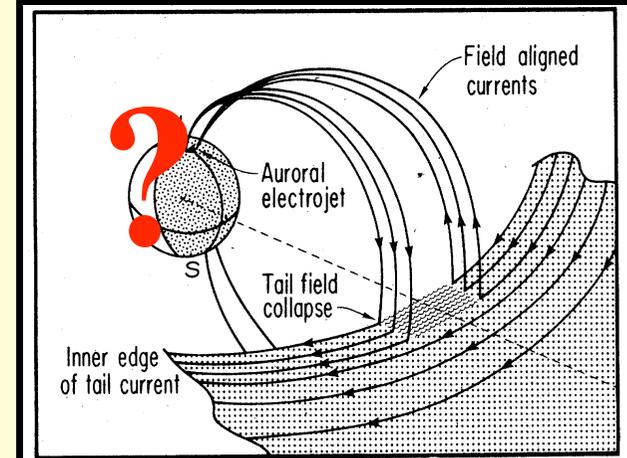
How is the current closure?

Q4) Substorm & acceleration:

How is the Mercury's energetic process?

Q5) How is the interaction between

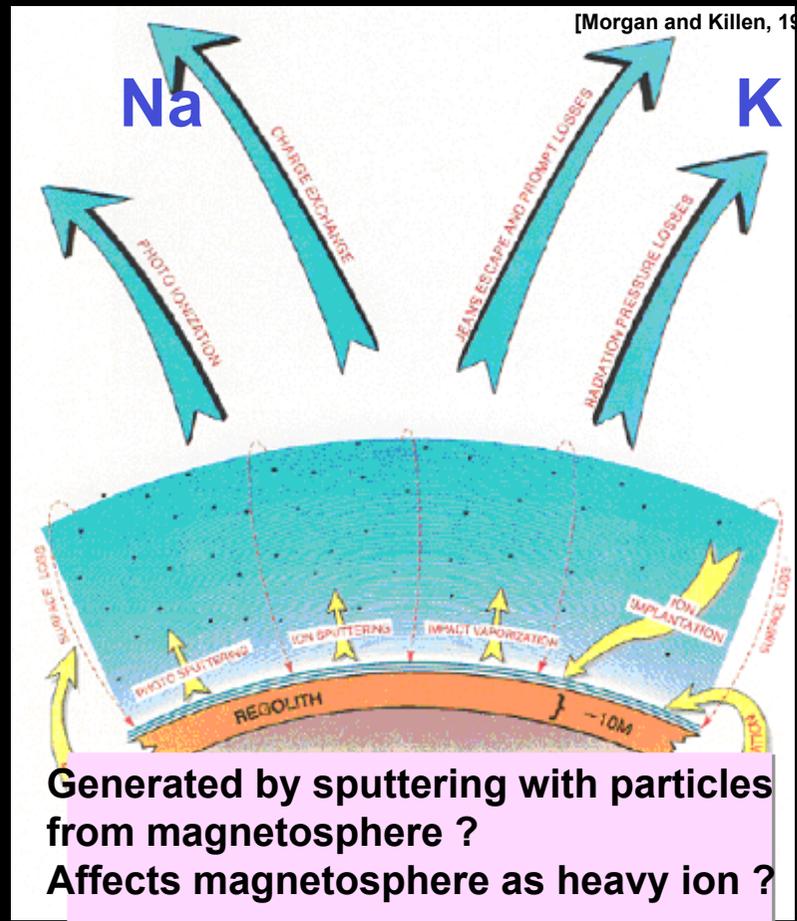
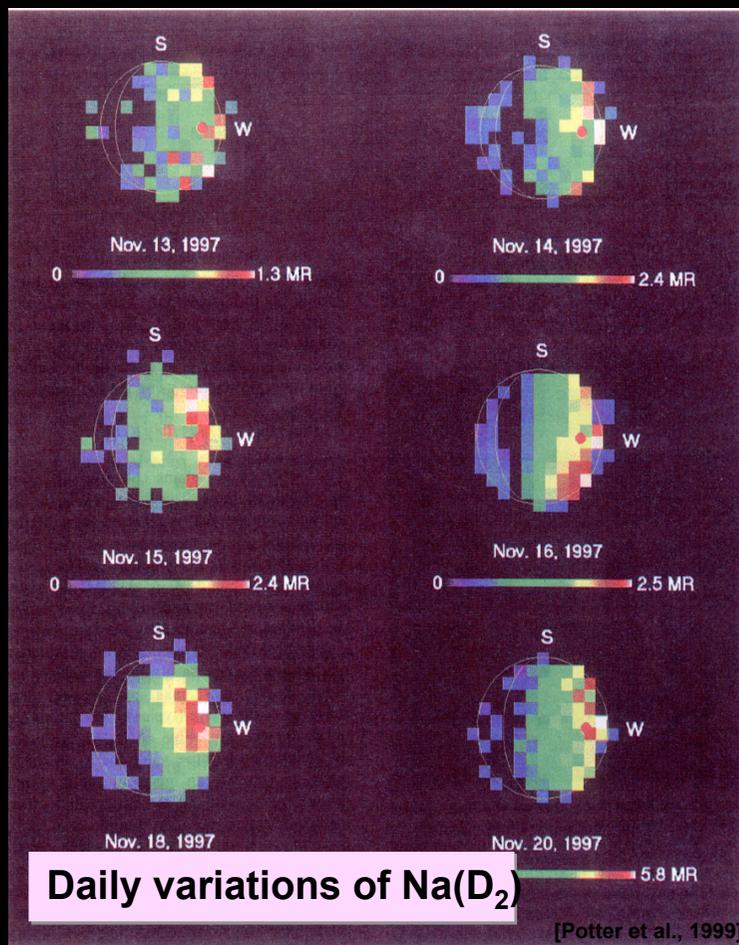
surface, exosphere, and magnetosphere



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

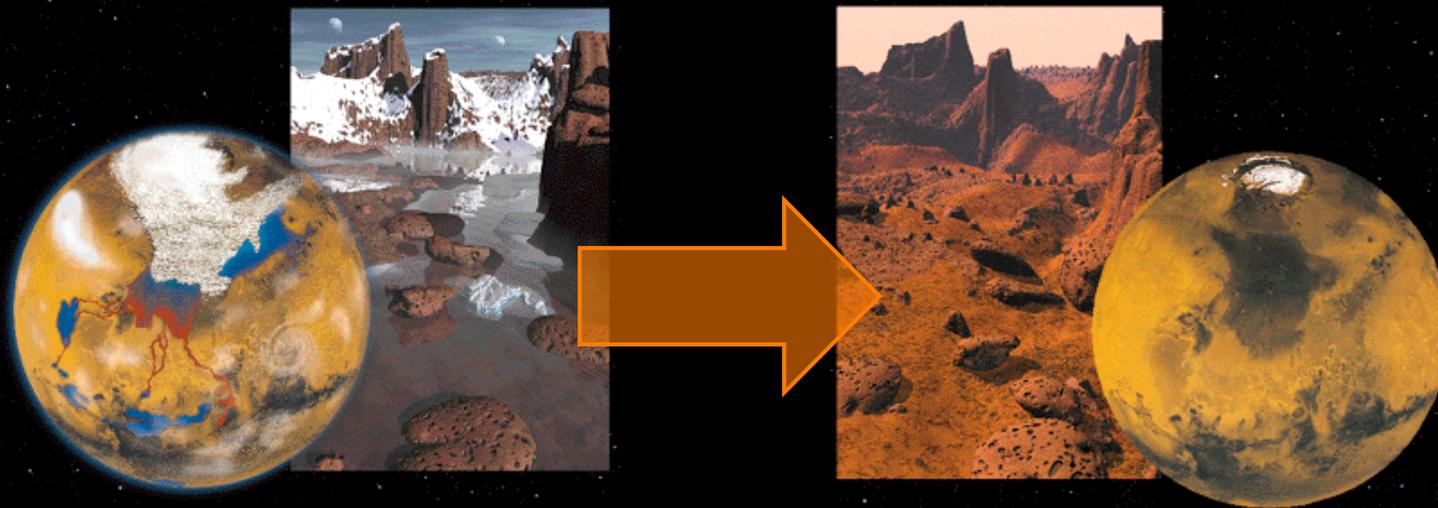


# MELOS火星探査計画 (L2022?)

## 一 火星大気の喪失を捉える

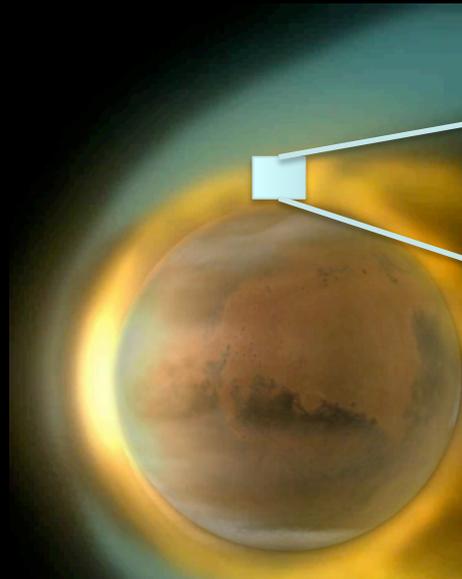
火星はかつては温暖湿潤な惑星  
生命を育んでいた可能性も

- \* 温室効果ガス(CO<sub>2</sub>)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

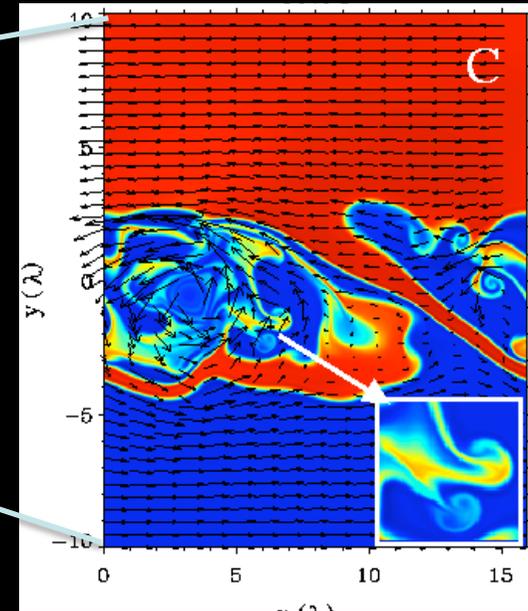


# 大規模大気流出を引き起こす大気・プラズマ過程

## 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

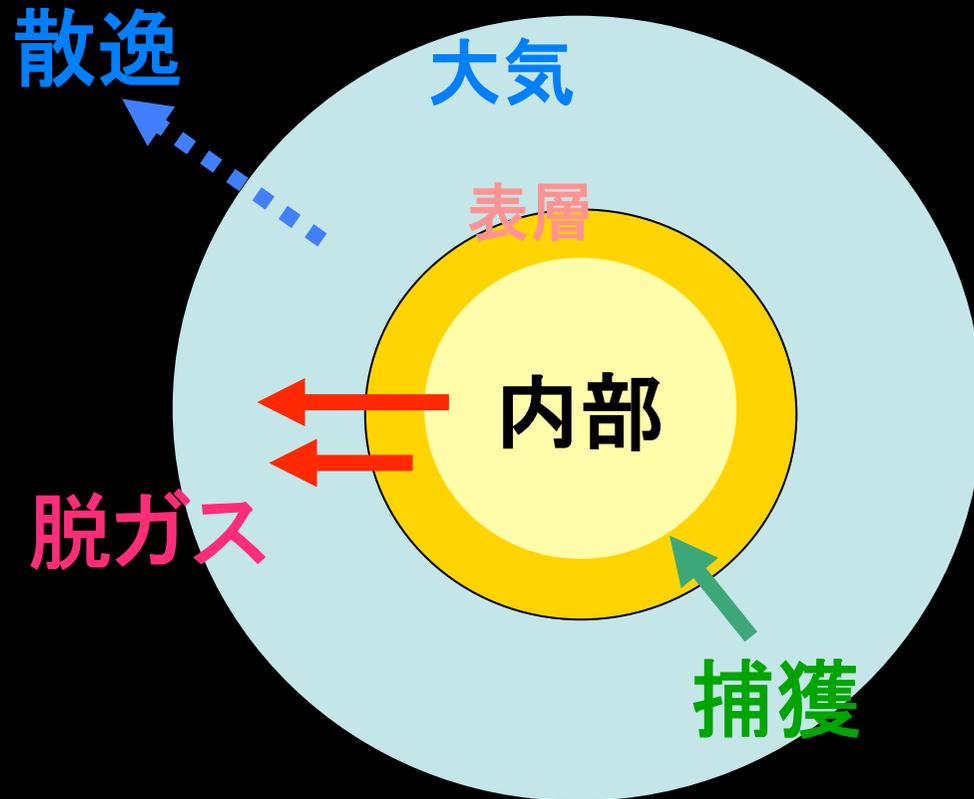
day-to-night vortex evolution

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)

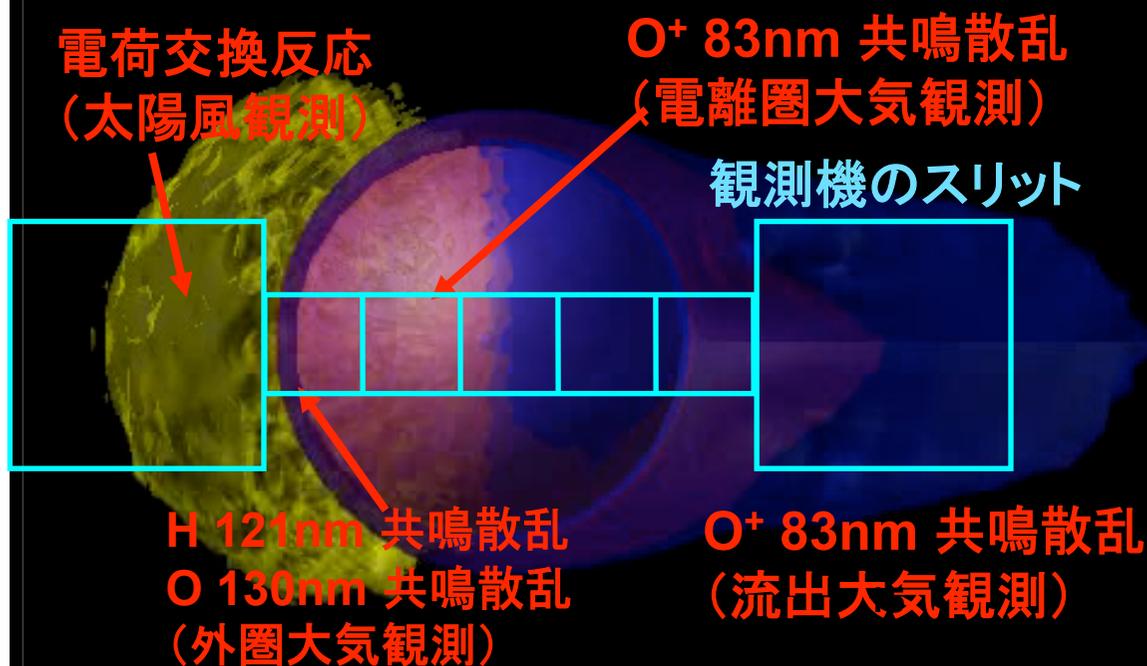
## 惑星大気流出の宇宙望遠鏡観測

「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