

「月惑星探査の来たる10年」検討
第一段階まとめ
木星型惑星・氷衛星・系外惑星パネル
第一段階検討報告

高橋 幸弘 1*, 中島 健介 2, 木村 淳 1, 中本 泰史 3, 三好 由純 4
Yukihiro Takahashi1*, Kensuke Nakajima2, Jun Kimura1, Taishi
Nakamoto3, Yoshizumi Miyoshi41 北海道大学, 2九州大学, 3東京工
業大学, 4名古屋大学 1Hokkaido University, 2Kyushu University,
3Tokyo Institute of Technology, 4Nagoya University

木星大気： 中島健介(九大)

木星電磁圏： 三好由純(名大)

氷衛星： 木村淳(北大)

系外惑星： 中本泰史(東工大)

木星探査の意義

1. 「巨大ガス惑星」の典型をよりよく知る

- 宇宙の惑星の3つのクラス(岩石惑星・ガス惑星・氷惑星)の典型のひとつとして、比較惑星学的に不可欠

2. 初期太陽系の情報源

- 木星のバルク組成

3. 系外の巨大ガス惑星とのリンク

- 限られた観測をもとに、系外巨大ガス惑星を理解するための参考情報
- 系外惑星から木星へのフィードバック

2020年代の探査(EJSM)で狙うサイエンス
その後を見据えたサイエンス

木星の気象学

- 「よりよく知る」「系外とのリンク」
 - バルク組成のヒントも与える
 - 過去の探査は断片的。**2020年代で。**
 - 渦・波動の力学： 高空間・時間分解能の観測
 - 雲層の正体の解明： 多波長観測
 - 積乱雲・雷の生態： 超高速イメージング
 - エネルギー収支
 - 高緯度の観測
 - パイオニア以後行われていない。
 - JMOが高い軌道傾角での周回を予定！

木星深部の情報

2020年代より遠い将来の課題

- 「初期太陽系の情報源」及び「よりよく知る」
 - プローブを再び
 - 世界的にはJUNO以後の課題としての位置付け。
 - 多数のプローブを投入すべし。より深部へ。
 - 他の巨大惑星への投入も
 - 木星自由振動の観測
 - コアの有無を含めた内部構造
 - 惑星のバルク組成

系外惑星観測との交流

- 「木星」から「系外」へ
 - 系外惑星観測は全て「リモートセンシング」
 - 光学観測から物理情報を得るには、大気についての詳細な知識が不可欠である。
- 「系外」から「木星」へ
 - 現在の木星は表面が低温
 - コールドトラップにより、バルク組成が見えない。
 - 系外には、出来たてほやほやのガス惑星がある。
 - 大気が高温：バルク組成が露出している。
 - 我々の木星へのヒント。

木星電磁気圏のトップサイエンス

将来の木星探査計画:

2010年代:

JUNO

-木星極軌道 — 極域電磁気圏探査



2020年代

EJSM

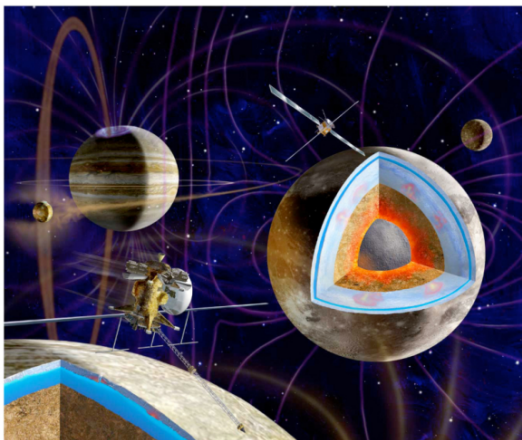
-JGO (ガニメデオービター)
JEO (エウロパオービター)
JMO (磁気圏オービター)

NASA/ESA/JAXAによる木星圏総合探査。

JGO/JEO: エウロパ、ガニメデの詳細探査

JMO: 磁気圏赤道面の探査

極域からのリモートセンシング探査



Artist: Michael Carroll

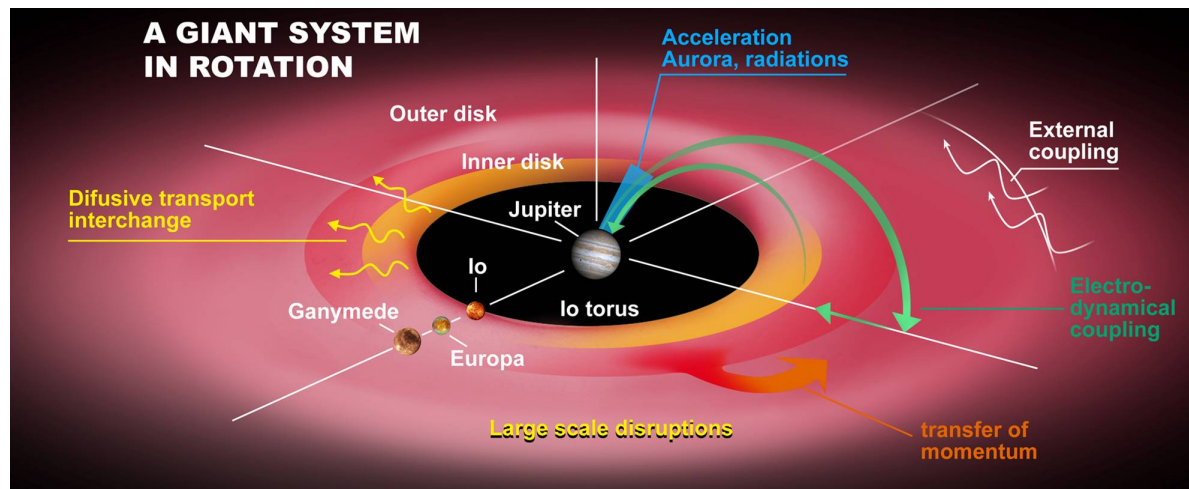
JMOのサイエンスターゲット

(1) 回転駆動型磁気圏の物理の解明

- ・地球型の磁気圏 – 太陽風との相互作用がダイナミクスを規定
- ・木星磁気圏 – 惑星の自転運動もダイナミクスに効果的

JMOの科学課題:

- ・木星本体から磁気圏への角運動量の輸送はどのように行われるか？
(磁気圏対流、磁気再結合領域、オーロラの動態)
- ・磁気圏ダイナミクスには、太陽風と自転効果とどちらがどのように効くか？



パルサーのような回転駆動型天体の物理への展開

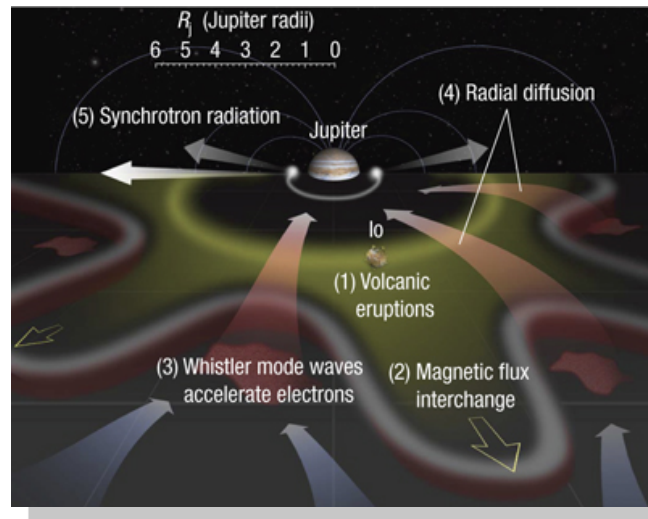
JMOのサイエンスターゲット

(2) 粒子加速過程の物理

- ・数十~数百MeVの粒子が存在
- ・内部放射線帯だけでなく、外部磁気圏にもMeV粒子が存在し惑星間空間に放出

JMOの科学課題:

- ・高エネルギーの粒子は、どこでどのように生成されているのか？
(プラズマ波動による加速、沿磁力線加速・・・)
- ・どのような磁気圏環境下で加速は起こりやすいのか？



地球磁気圏では見られない粒子加速メカニズムの存在

JMOのサイエンスターゲット

(3) 木星と衛星との電磁氣的結合

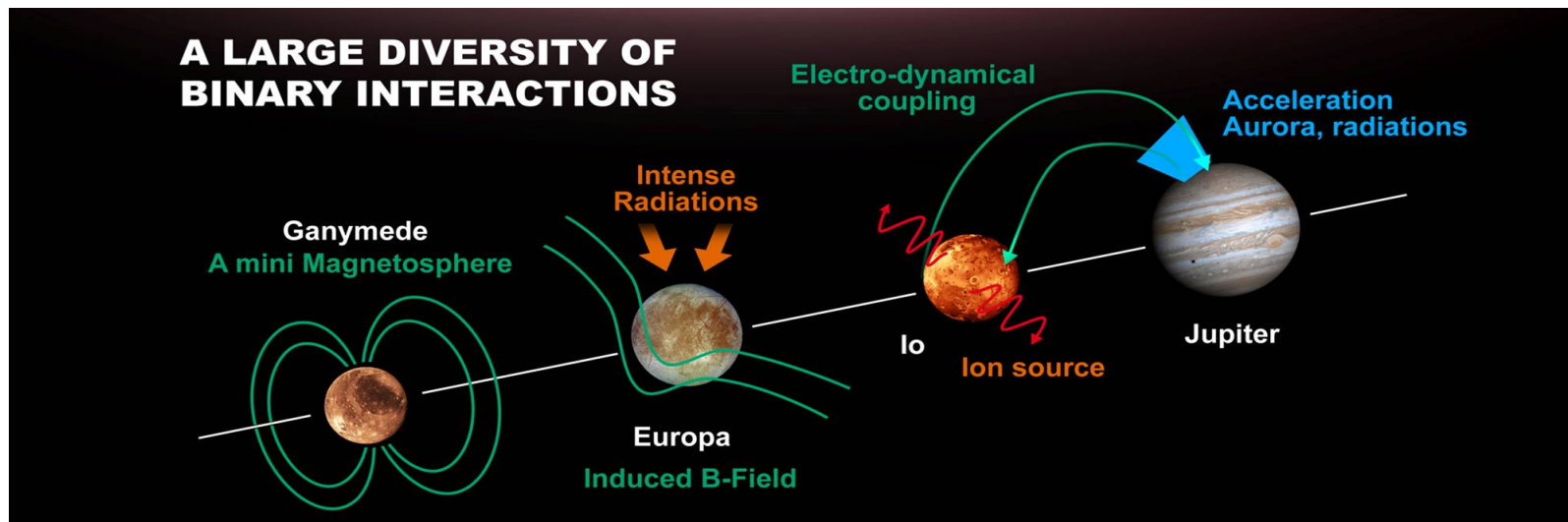
- ・電離圏/磁気圏を持つ衛星

ミニ太陽系： 木星磁気圏のプラズマ流とガニメデ磁気圏

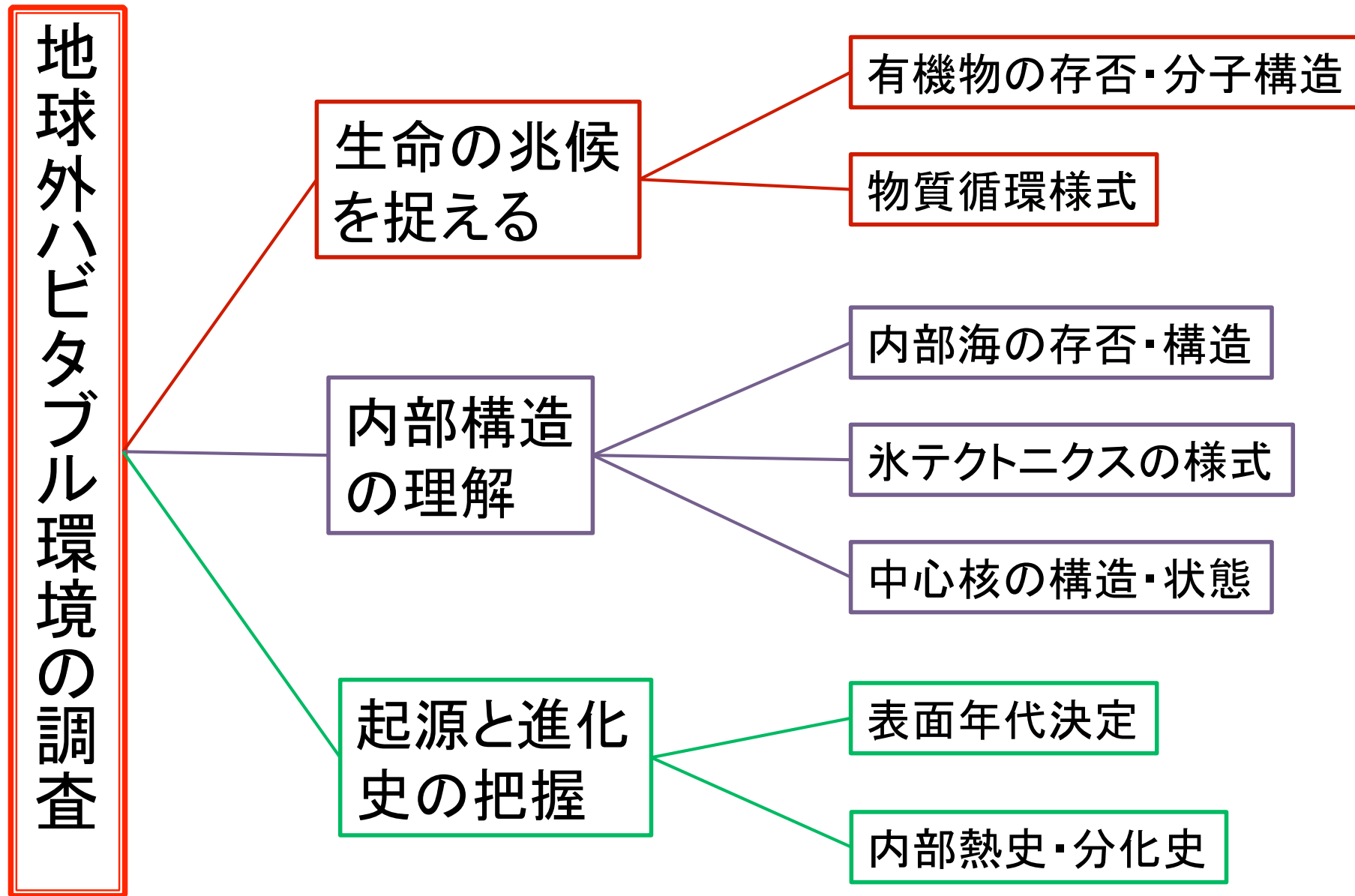
ミニ系外惑星： 木星電離圏とイオとの結合

JMOの科学課題：

- ・ 木星本体とイオの結合過程の物理と、定量的なエネルギー量
- ・ 木星プラズマとガニメデ磁気圏の相互作用
(磁気再結合、ガニメデ極冠電位 etc)



氷衛星探査のトップサイエンス



ハビタブル環境調査 >> 生命の兆候を捉える

有機物の存否・分子構造を知る

- 木星系・土星系の一部の衛星で有機物が存在. 分子構造は未確定
 - Enceladus, Titan, Hyperion, Iapetus, Phoebe, Ganymede, Callisto etc.
 - 地球外有機物の起源・地球外環境下での進化・地球生命の起源の理解
- 逆行衛星 (e.g, Triton, Phoebe) は太陽系のロゼッタストーンかもしれない
 - captured Kuper belt object / Centaurs の可能性
 - 始源的有機物 / 太陽系形成初期の情報 を保持している可能性

物質循環様式の理解 (Titanでのメタン循環とその安定性)

(物質循環・大気循環・気候が存在する(生きている)地球外天体)

- 表層環境の安定性と進化(定常か非定常か)
 - Post-Cassini による長期モニタリングを通じた季節変動の理解
- メタンは光化学的に不安定である問題
 - メタン発生源の特定が重要(火成活動か生命か)
 - 地球とは異なる物質で支配されたハビタブル環境の理解 / 原始地球環境への示唆

ハビタブル環境調査 >> 内部構造の理解

内部海の存否・構造を知る

- **固体氷－液体水境界面の検出**
 - Europa, Ganymede, Callisto, Enceladus, Titan
 - 電磁氣的観測(誘導磁場の検出)や地形学的解釈に基づく“可能性”の確認
 - 来たる10年以降の探査での掘削・サンプルリターンの前駆調査としても重要

氷テクトニクス様式の理解

- **揮発性(低融点)物質主体の地質活動の理解**
 - 熱物質輸送様式の理解(伝導か対流か、内部物質循環様式)
 - ケイ酸塩鉱物テクトニクスとの対比を通して、地球型惑星の地質活動の理解へ
- **潮汐力による変形と加熱の定量的理解**
 - 固体領域の“Q値”が制約され、内部発熱・応力場・軌道進化の理解が進展
 - 表面変位量が内部海の存否に強く依存するため、大きな判定材料となる

中心核の構造・状態 (Ganymede, Europa, Callisto, Titan)

- **金属核の存否と状態, 形成時期**
 - Ganymedeは固有磁場(核ダイナモ磁場)を持つ唯一の衛星
 - 固有磁場を持たないEuropa, Callisto, Titanとの起源・進化の違いに関する説明
 - 金属核の大きさ・組成には極めて大きい不定性

ハビタブル環境調査 >> 起源と進化史の把握

表面年代決定

- **クレータ年代学の適用性・後期重爆撃との関係**
 - Impactorの起源は asteroids か comets か？ その変遷は？
(現状のクレータ年代には1 Gyrオーダーの不確定)
- **均一かつ高解像度のグローバルマッピング**
 - クレータ年代決定と地形相関の精度向上
- **絶対年代の決定**
 - 着陸その場探査やサンプルリターンによる放射性同位体測定
 - 窒素・酸素同位体組成の測定を通して、原始太陽系円盤における物質輸送と物質進化に関する新たな知見の獲得

内部熱史・分化史

- **内部海存在時期の解明 (Galileans, Enceladus, Titan, Triton?)**
 - 内部海の生成消滅 → H_2O の状態変化 → 体積変化 → 地形形成
 - 地形マッピングと年代解析
- **金属核形成時期の解明 (Ganymede)**
 - 地質二分性の存在 (金属-岩石分離による体積変化?)
 - 衛星形成直後に分化・形成したとは限らない (地球型惑星や月との違い)

系外惑星のトップサイエンス

1. **ハビタブルプラネットの発見**と, その特徴・多様性の理解

生命のいそうな惑星はどこにあるか?

2. **生命の兆候の発見**と, その多様性の理解

生命は, いるか?

宇宙望遠鏡

3. **氷惑星**の探査

宇宙における3類型の1つを直接探査 惑星探査機

1. **ハビタブルプラネットの発見**とその特徴・多様性の理解

- 「生命がいる惑星の集合」は, 「ハビタブルプラネットの集合」の
部分集合
- たくさんのハビタブルプラネットを見つけ,
それらの**特徴や多様性**を理解する
- ハビタブルプラネットの探し方: **惑星の表層環境を探る**
→ 惑星大気のスเปクトル, 表面の反射スเปクトル
- “**惑星系**” (複数の惑星を含む系)と**ハビタブルプラネットの存在関係**も
理解する

2. 生命の兆候の発見とその多様性の理解

- 「生命の兆候」はなにか？ --- 引き続き, 要検討
- 多数のハビタブルプラネットから, 生命の兆候の検出に挑戦
- 多数の「生命の兆候を示す惑星」が見つげ, それらの特徴や多様性の理解に挑む
 - 「宇宙における生命とは何か？」という問いに迫る

3. 氷惑星の探査

- 宇宙における惑星は3つの類型に分類される：
岩石惑星，ガス惑星，氷惑星
- 氷惑星の直接探査は手薄
ボイジャー2号によるフライバイ1回のみ
- 宇宙における惑星を一般的に理解するために，
太陽系内の「氷惑星」を詳細に直接探査

観測項目例：重力，磁場，粒子，表面撮影，
大気組成，温度，風速，大気中へのプローブ投下，
リング・衛星の詳細撮影，.....