

ダイバーシティ事業  
国際共同若手研究者養成プログラム  
成果報告  
「天体深部ダイナモと波動」

堀 久美子<sup>1,2)</sup>

<sup>1)</sup>神戸大学 システム情報学研究科 計算科学専攻

<sup>2)</sup>イギリス・リーズ大学 応用数学科

2021年3月30日

# CV (抜粋)

- 2003年 名古屋大学理学部地球惑星科学科
- 2008年 名古屋大学環境学研究科 博士(理学)
- 2008-2011年 Max-Planck Institute for Solar System Research
  - Helmholtz Alliance “Planetary Evolution and Life” (DLR Berlin)
- 2012-2014年 東京大学地震研究所
  - 海半球観測研究センター
- 2014年-現在 University of Leeds, Dept. Applied Mathematics
  - JSPS 海外特別研究員 (2014-2016)
  - STFC consolidate grant on Astrophysical Fluid Dynamics in Leeds (2016-2017)
- 2017年-現在 神戸大学システム情報学研究科
  - JST/神戸/Leeds「ダイバーシティ研究環境実現イニシアティブ」(2019-20)

# 本プログラムによる派遣

- 派遣期間：2019年3月16日 – 2020年3月22日
- 派遣先： イギリス リーズ大学 応用数学科
- 共同研究者：
  - Prof. Steve M. Tobias (Director of Leeds Institute for Fluid Dynamics; <https://fluids.leeds.ac.uk>)
  - Prof. Chris A. Jones
  - (Astrophysical and Geophysical Fluid Dynamics グループの皆さん; <https://eps.leeds.ac.uk/maths-astrophysical-geophysical-fluid-dynamics> )
- 共同研究の内容
  - 回転磁気流体波の理論・数値シミュレーション
  - データ駆動型情報抽出法の検討・応用

# 背景：天体深部ダイナモ

- 例えば、地球

- 「地磁気」

- 双極子成分が卓越
- それ以外の成分もある
- 様々なスケールの時間変動
- 少なくとも 35 億年以上存在

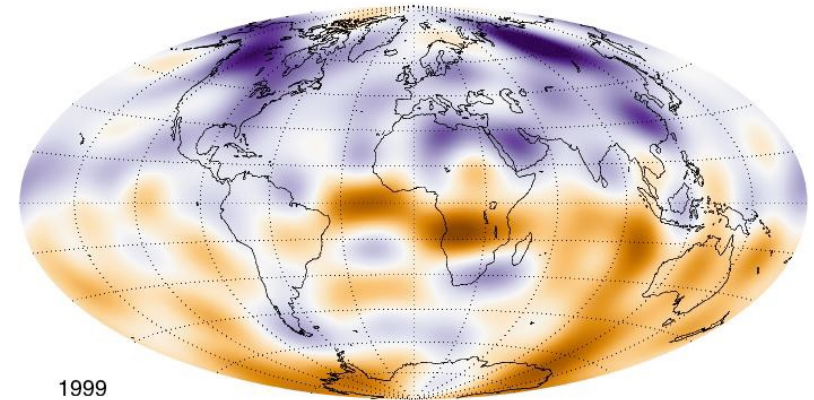
- 地球深部で生成

- 液体鉄からなる外核
- 流れ運動によって磁場が増幅・維持：  
「ダイナモ作用」
- 直接観測することができない

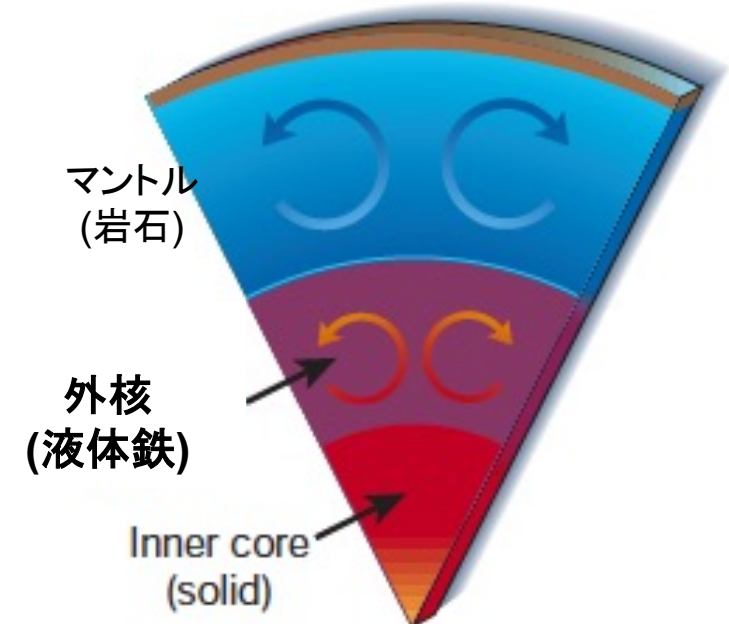
- 他の天体にも磁場やダイナモ作用

- 惑星：木星、土星、水星、など
- 恒星：太陽など

地球磁場 @ コア・マントル境界  
(chaos6; 提供 C. Finlay)



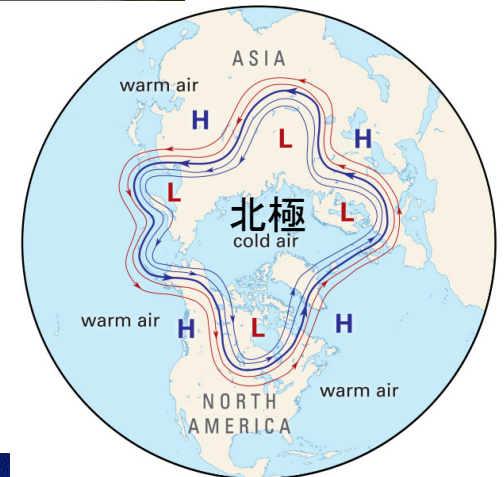
地球内部構造



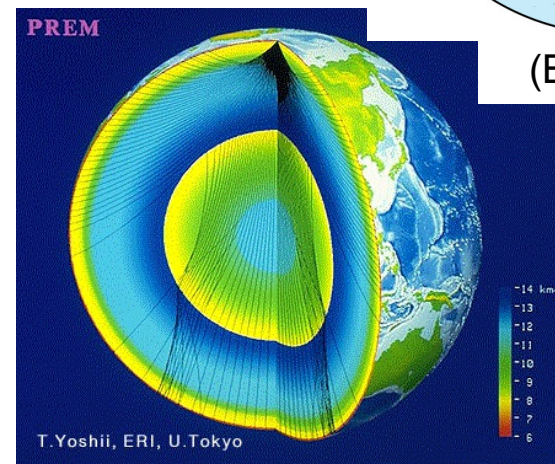
# 背景(つづき): 波動

- いたるところに波
- ものは違っても、同じ原理で説明できるものがたくさん
- 見えないものを「見る」ためのツール
- 各研究分野で膨大な知見が蓄積

地球を始めとする天体の深部におけるダイナモ作用を「見る」ためにも、「波動」を使えないか？



(Britannica Online)

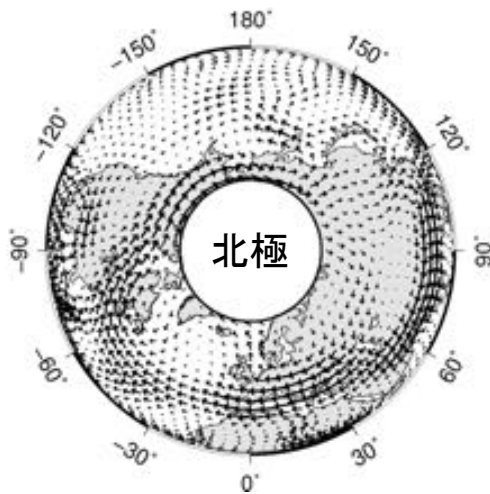


地震波による  
地球内部探査

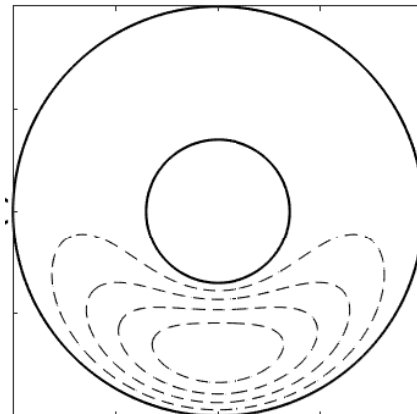
# 成果

## 1. 回転系における磁気流体力学的な波動の性質を、理論と数値シミュレーションによって調べた

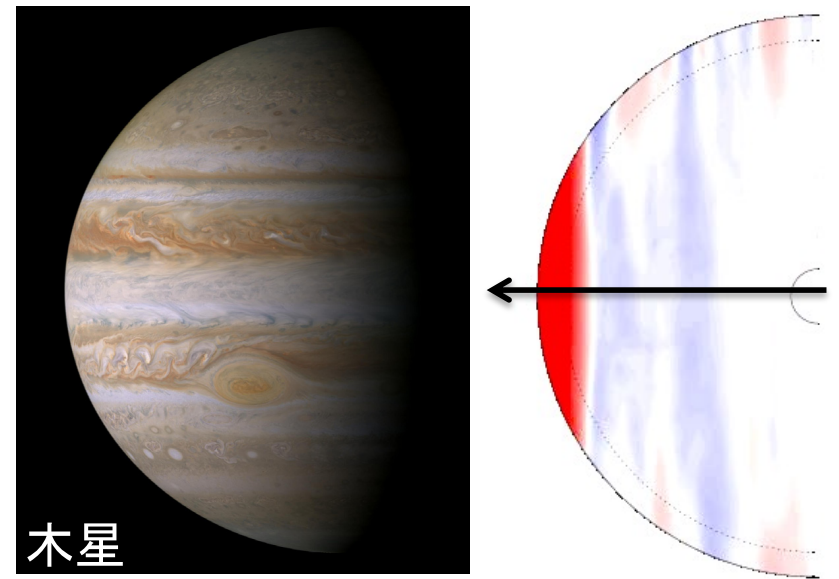
- 数理モデルの解析：線形波の伝播/反射特性や弱非線形解を導出
- 現実を模擬した数値実験：地球や木星の深部ダイナモ三次元数値シミュレーションを行い、理論的示唆をテスト



地球深部コア内の大渦



弱非線形解  
(KH, Tobias, Jones,  
JFM 2020)



木星

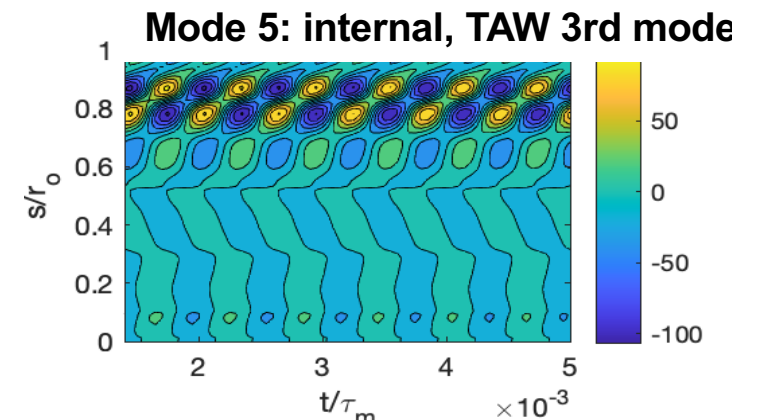
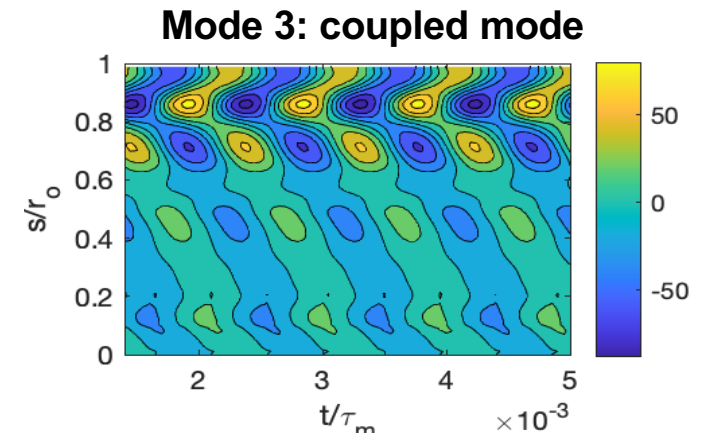
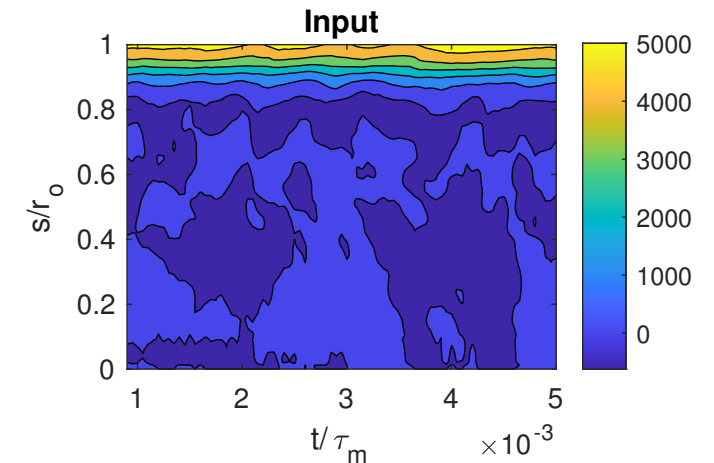
木星深部ダイナモの数値シミュレーション  
(KH, Teed, Jones, EPSL 2019)

# 成果(つづき)

## 2. 実際の観測データを調べ始めた

- まず観測的研究の昨今の状況を調査
- データの特徴を抽出するための最新技術・手法を調査
  - 「データサイエンス」: スペクトル解析、データ駆動型情報抽出技術、etc
- これら技術・手法を数値シミュレーションのデータで試用

木星深部ダイナモシミュレーションデータの動的モード分解:  
磁気流体波を抽出できることを確認  
(KH, Tobias, Teed, 流体力学会/arXiv 2019)

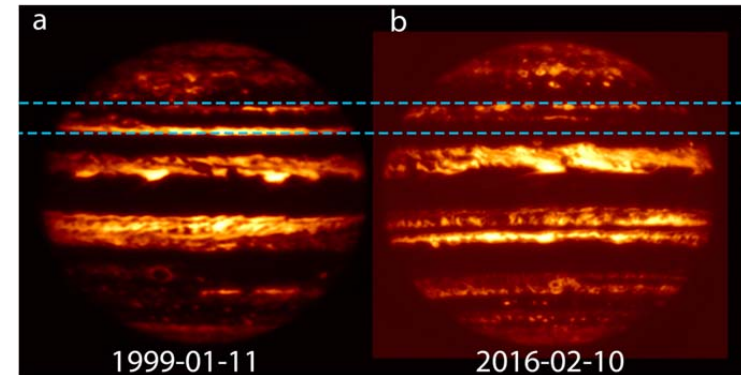


# 成果(つづき)

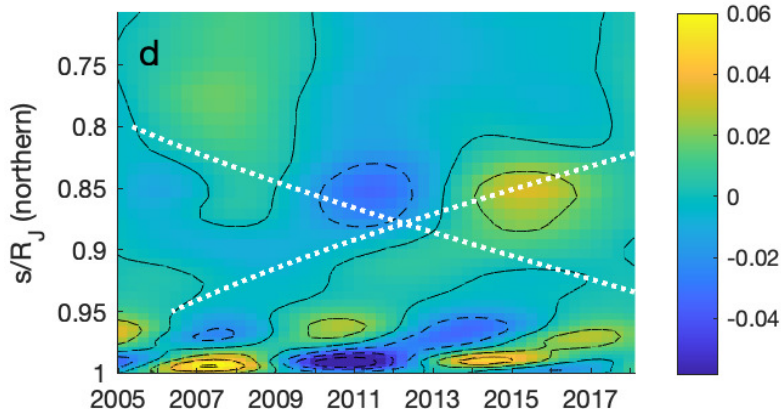
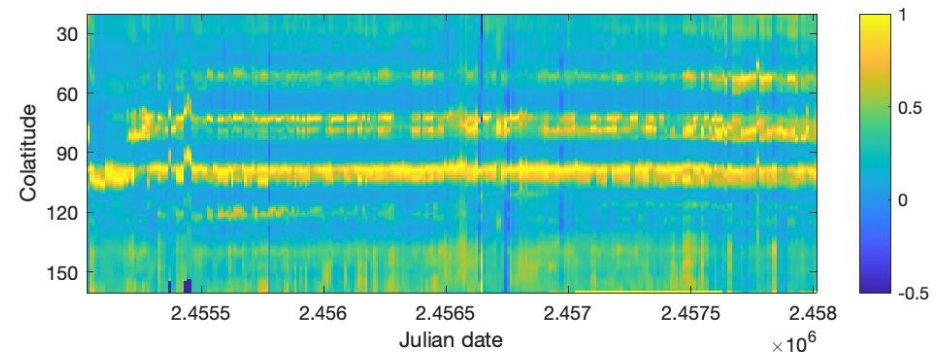
## 2. 実際の観測データを調べ始めた

- まず観測的研究の昨今の状況を調査
- データの特徴を抽出するための最新技術・手法を調査
  - 「データサイエンス」: スペクトル解析、データ駆動型情報抽出技術、etc
- これら技術・手法を数値シミュレーションのデータで試用
- データセットを収集し、解析を開始

赤外望遠鏡で見た木星  
(提供: イギリス・レスター大学 L.Fletcher)



画像輝度の時空間データ



時空間データの動的モード分解:  
木星内部の磁気流体波を検出?  
(KH, Jones, Tobias, et al., in prep)



# まとめと今後の展望

天体の深部におけるダイナモを(間接的に)知るために、  
回転磁気流体波を使いたい

- 回転磁気流体波は、どのように現れうるか
  - 波の性質をさらに調べる
    - 弱/強非線形解の探索
    - 初期値問題の数値シミュレーション
- 波動を(精度/効率よく)検出するために
  - データ駆動型情報抽出法をさらに検討する
    - 動的モード分解、スペクトル固有直交分解、etc
- 実際に検出できるのか、どの天体でできる/できないのか
  - 精度を評価する
  - 対象/データを広げる
    - 木星赤外観測
    - 地磁気観測

# 本派遣以降の業績

- 論文

- 査読つき国際雑誌(筆頭著者): 2本 (J. Fluid Mech. 2020; EPSL 2019)
  - 今後、最低 2本を投稿予定
- 査読なし国内学会論文(筆頭著者): 1本 (流体力学会年会2020; arXiv にて公開)

- 講演(筆頭著者分のみ)

- 国際会議における招待講演: 4件 (Macau Forum 2019; AAPPS-DPP2020; IAGA-IASPEI 2021 (予定); Newton Institute program 2022 (予定))
- 国際会議における一般講演: 5件 (CCC2019 など)
- 国内会議における招待講演: 1件 (惑星圏研究会 2021)
- 国内会議における一般講演: 3件 (流体力学会、地球惑星科学連合)

- 外部資金

- 科研費1件(基盤研究C)、その他 1 件(木下基礎科学研究基金)