

電子加熱による 原始惑星系円盤中の磁気乱流の抑制

概要

惑星形成論において、原始惑星系円盤中の乱流は最も大きい不定性である。円盤中の乱流は、磁気回転不安定が発達することで発生する磁気乱流だと考えられている。近年、磁気乱流中の電場によって電子が加熱され、最終的に気相中の電離度が下がる効果が発見された。電離度の減少は磁気回転不安定の抑制を示唆し、乱流構造の描像が大きく変わる可能性がある(詳しくは論文Mori & Okuzumi, (2016)を参照)。本研究では、電子加熱によって乱流を抑制する効果を定量的に明らかにするため、電子加熱現象を考慮したMHDシミュレーションを行った。その結果、電流と乱流強度の間に関係があることを発見し、電子加熱時の乱流強度を解析的に表すことに成功した。また、電子加熱が円盤の広い領域で起こり、円盤の大局的構造に影響を及ぼすことも分かった。

論文・ポスターのダウンロード



森 昇志

東京工業大学 D1
mori.s@geo.titech.ac.jp

共同研究者：村主崇行(理研)、
奥住聡(東工大)、犬塚修一郎(名大)



1 原始惑星系円盤と乱流

- 原始惑星系円盤は、惑星が誕生する場所である。惑星の形成過程を解き明かすには、円盤の理解が不可欠。
- 特に**円盤の乱流**は、ダスト成長や円盤散逸を決定づける。
- しかし、円盤の乱流状態は未解明であり、多くの場合、非常に簡単(一様・一定の乱流強度)なモデルで扱われる。

現状、惑星形成理論において、乱流の不定性は大きい。

ALMA partnership et al. (2015)

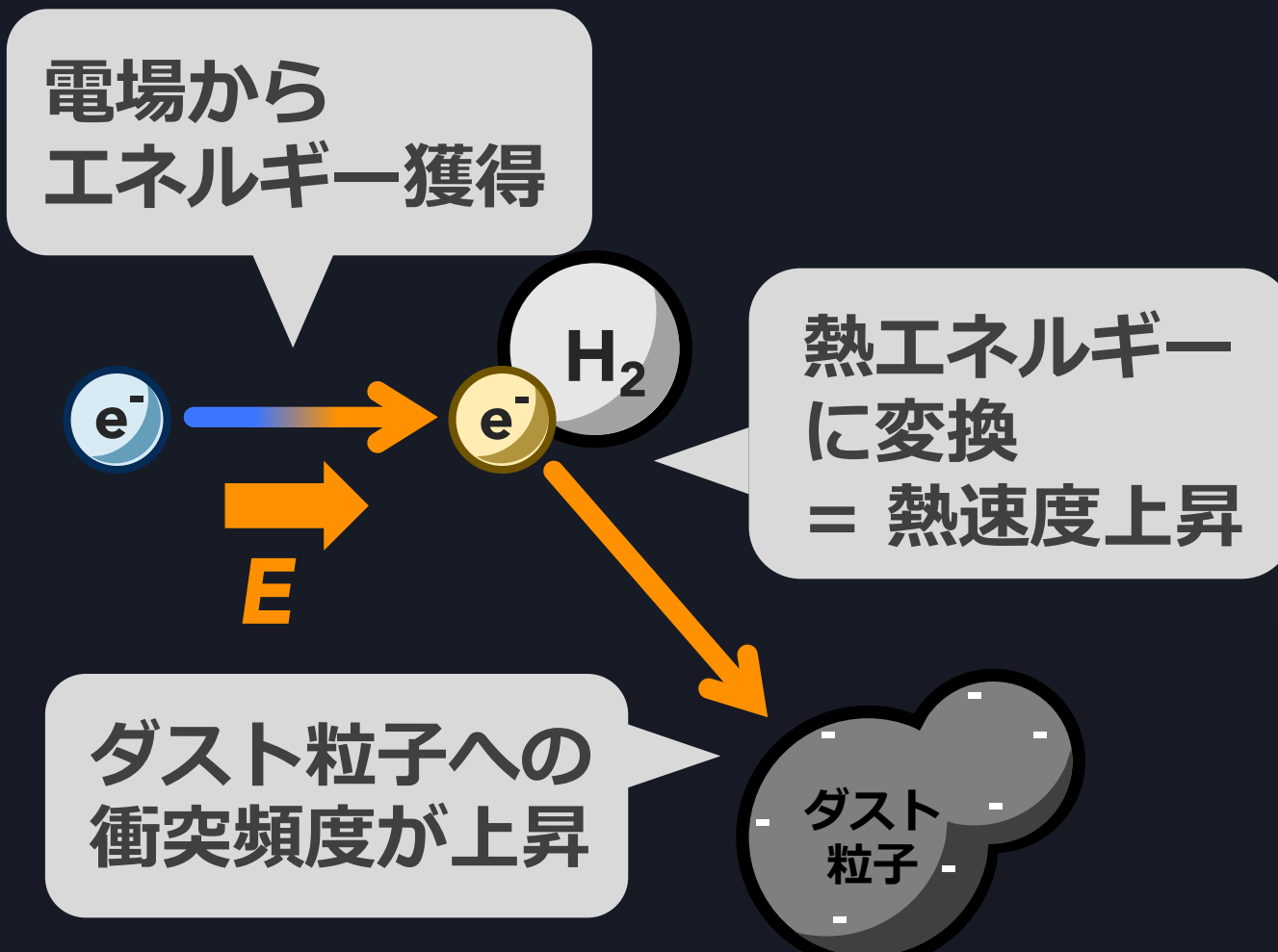
3 着目点：電子加熱

磁気乱流中の電場によって電子が加熱される。

(Inutsuka & Sano 2005)

加熱された電子はダストへと衝突&吸着され、ガスの電離度が減少する。

(Okuzumi & Inutsuka 2015)



研究目的

電子加熱が円盤の磁気乱流に与える影響を調べる
特に どのくらい乱流を抑えるのか？

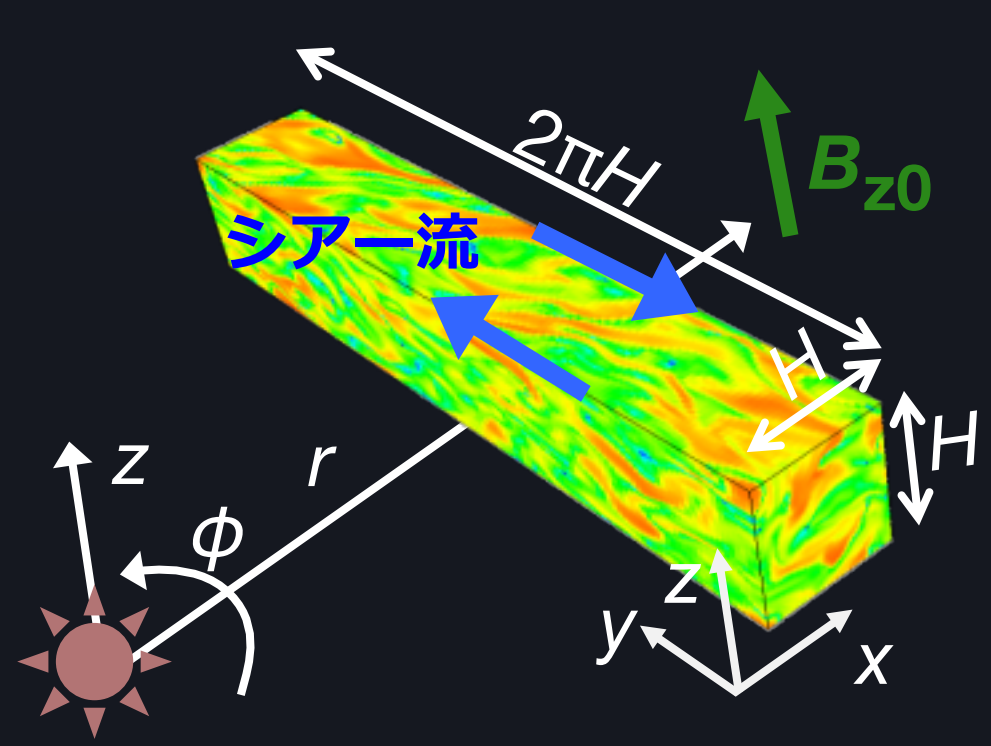
5 磁気流体計算：手法

- 電子加熱を考慮し、磁気流体計算を行った。
- 電子加熱時の抵抗をモデル化したオームの法則を使用。
- 電子加熱が発生する電流 J_{EH} (～電子加熱のおこりやすさ) を変えて計算を行い、乱流強度の違いを調べる。

電子加熱を模擬したオームの法則

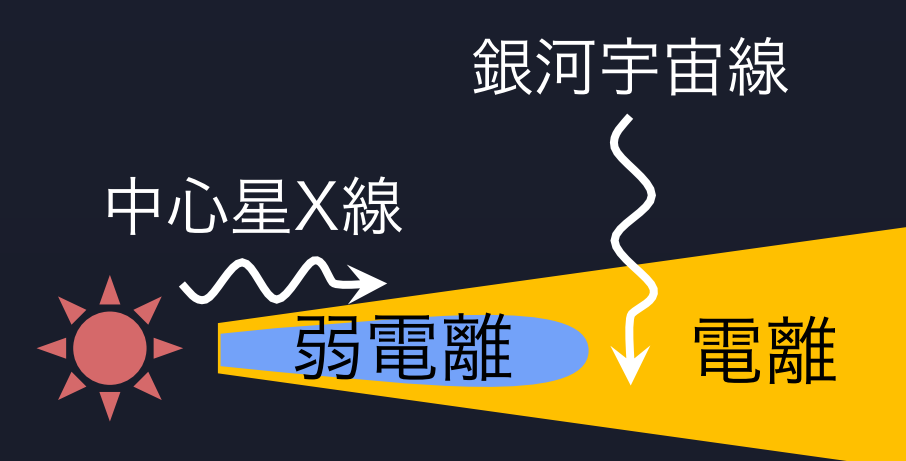


計算領域



2 磁気回転不安定による乱流

- 磁気回転不安定(MRI)は乱流起源の有力な候補
- MRIの成長には**十分な電離度が必要**：
十分電離 → 発達し乱流を生成
低電離 → 磁場が散逸し安定に



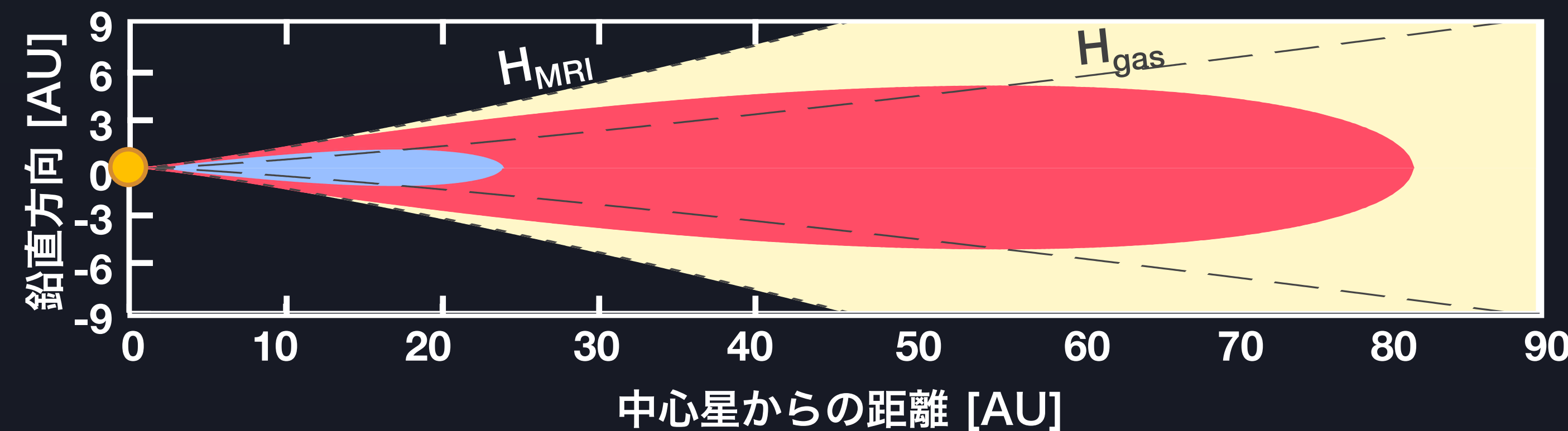
- しかし、円盤の電離度には不定性が大きく、MRIによって円盤が乱流状態かどうかは未だに不明。

4 電子加熱領域

- **デッドゾーン** : MRI は安定化される
- **電子加熱領域** : 電子加熱が磁気拡散を増幅
- **MRI活性領域** : 激しいMRI乱流を維持

円盤モデル

- 密度：最小質量円盤
- 温度：光学的に薄い
- 赤道面 β ($\beta = P_{\text{gas}}/P_{\text{mag}}$) = 10^3
- ダスト粒子：
半径 = $0.1 \mu\text{m}$, 物質密度 = 3g/cm^3
- ダストガス比 = 0.01
- 電離源：銀河宇宙線・中心星X線



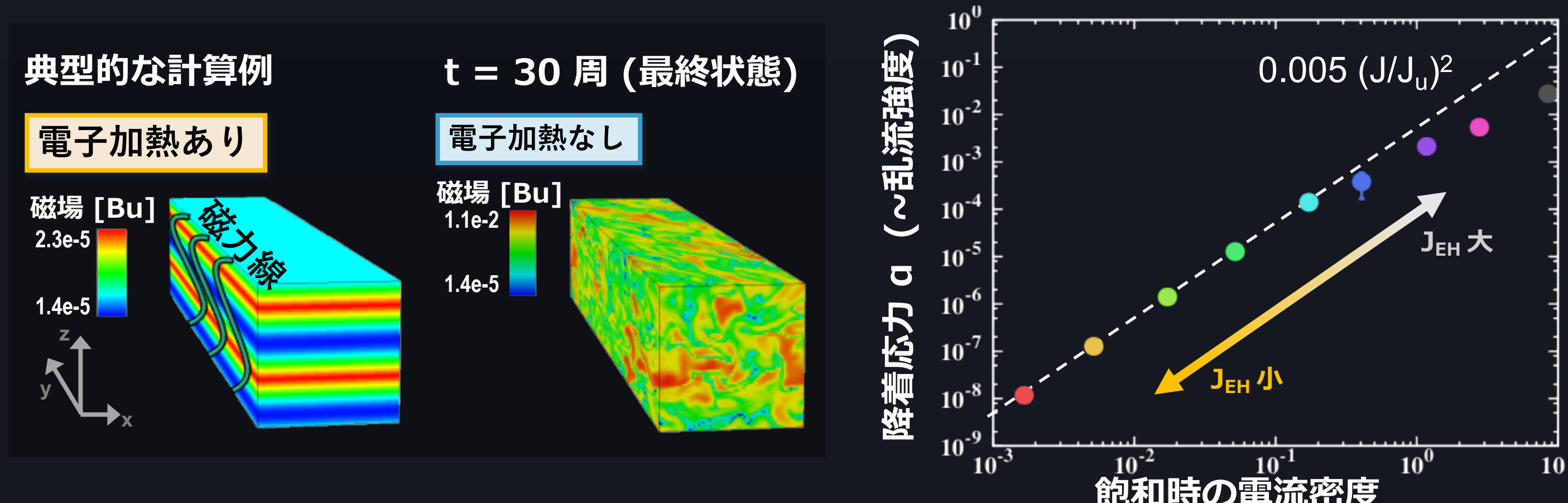
電子加熱領域 が 80AU まで及ぶ

→ **広い領域で電子加熱が起こる**

(Mori & Okuzumi, 2016)

6 磁気流体計算：結果・議論

- 電子加熱によって飽和時の電流密度が下げられると、降着応力が減少し、**乱流は完全に抑制される**。
→ **電子加熱は十分乱流を抑制できる効果である**。
- 電子加熱時の降着応力の経験式を得た。
円盤進化への影響等を調べる事が可能に。



結論

電子加熱は、これまで見落とされてきた磁気乱流を抑制する効果である。電子加熱は円盤の広い領域で起こる。今回、電子加熱によって磁気乱流が大きく抑制されうることを実証した。したがって、円盤全域の乱流を抑制することが可能な機構として期待できる。また、得られた降着応力の経験式により、電子加熱が惑星形成・円盤進化に与える影響を調べられるようになった。