



KYUSHU UNIVERSITY 2011
100th Anniversary

ブラックホール降着円盤での 渦状腕衝撃波の形成

町田 真美 (九州大学)

共同研究者

川島 朋尚 (NAOJ)

工藤 祐己 (鹿児島大学)

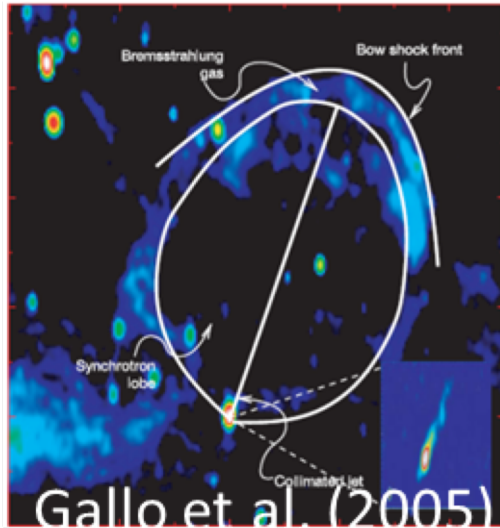
松本 洋介 (千葉大学)

松元 亮治 (千葉大学)

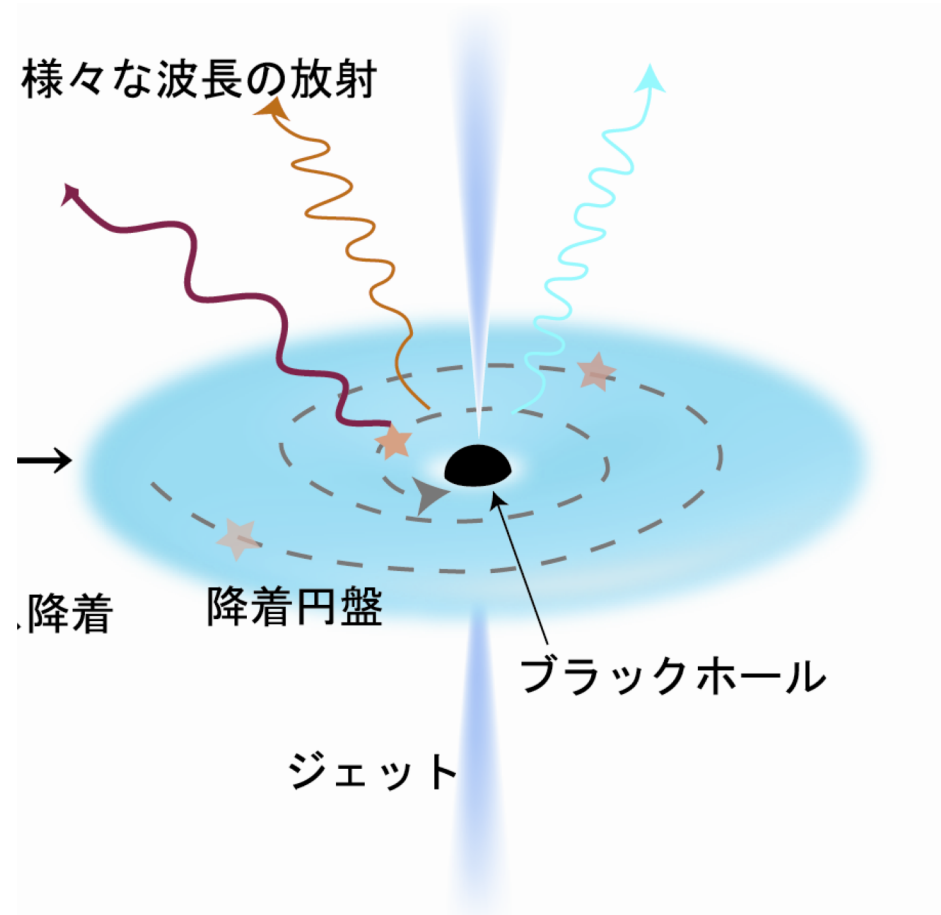


KYUSHU UNIVERSITY

降着円盤の角運動量輸送の起源～磁気回転不安定性



Cyg X-1



X線連星からの放射やジェット

～降着円盤を介して引き抜かれる重力エネルギーの解放

粘性の起源＝磁気回転不安定性(MRI)が作る磁気乱流



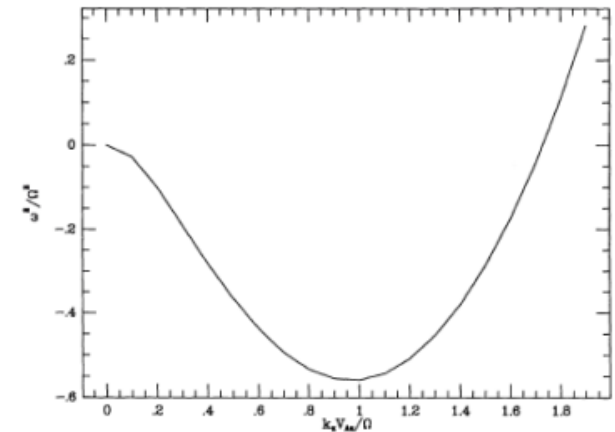
磁気回転不安定性の不安定条件

MRIの成長条件： $\frac{kv_A}{\Omega} < 1.$

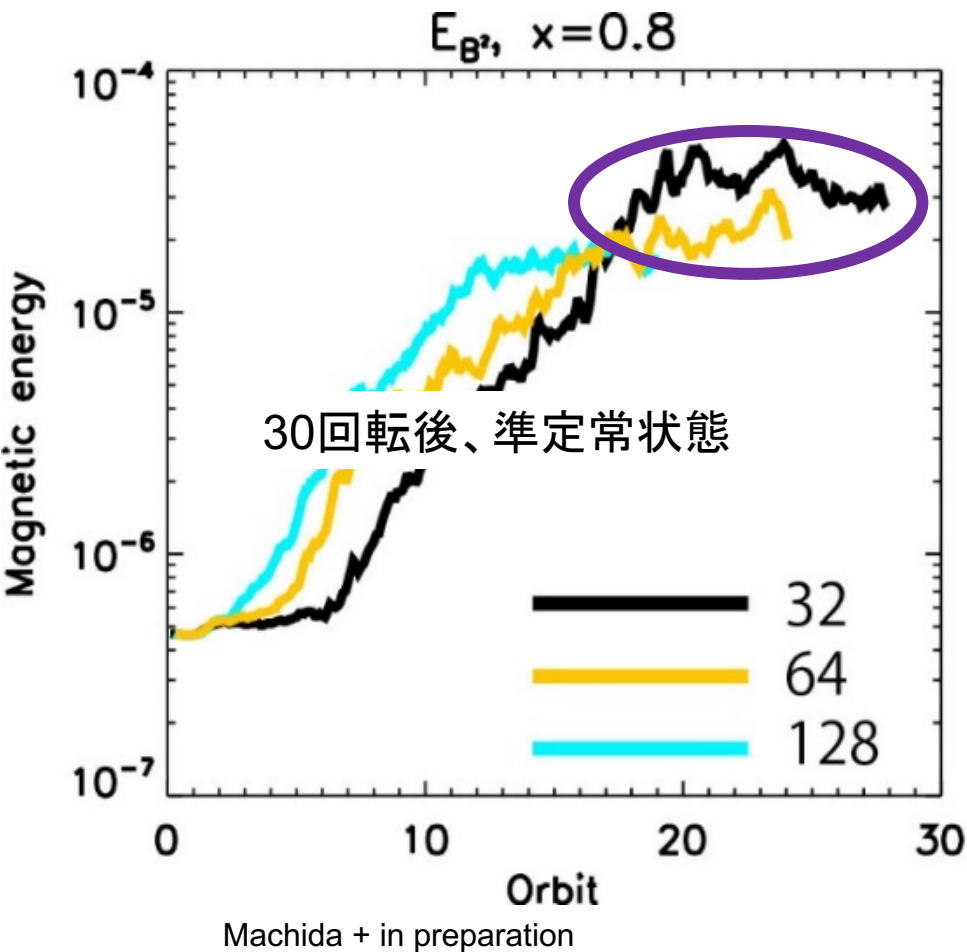
⇒ 長波長モードで不安定性が成長
= 弱い磁場が存在すると必ず不安定が成長する。

～ 乱流状態になるため、結果は数値計算の解像度に依存

Balbus & Hawley (1991)



飽和値の空間解像度依存性



- ・質量降着の開始が早い
⇒ 小スケールの乱流を増幅
- ・磁気エネルギーの飽和値は解像度に反比例
⇒ 増幅された磁場は小スケールで散逸。

本プロジェクトの目的

- 一番解像度が足りないのは方位角方向
- 方位角方向の解像度依存性を調べる

CANS+ (Matsumoto et al., PASJ, 2019)

- HLLD近似リーマン解法を用いた有限体積法
- TVDルンゲクッタ法による時間3次精度
- MP5法による空間5次精度
- 9 wave法を用いた div B クリーニング



初期条件

理想MHD、円筒座標系を仮定。

Pressure maximum : $r_0 = 40 r_s$.

Plasma β at r_0 : 100

Field direction : B_ϕ

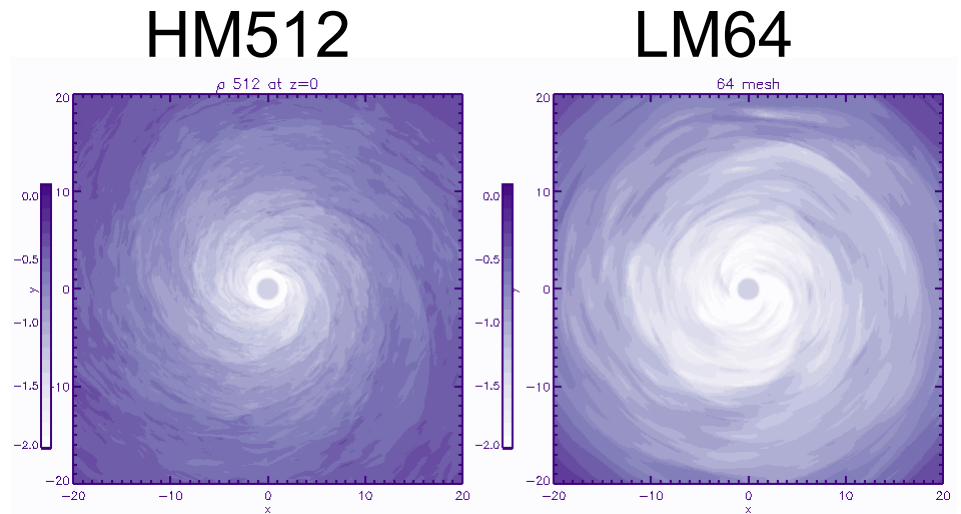
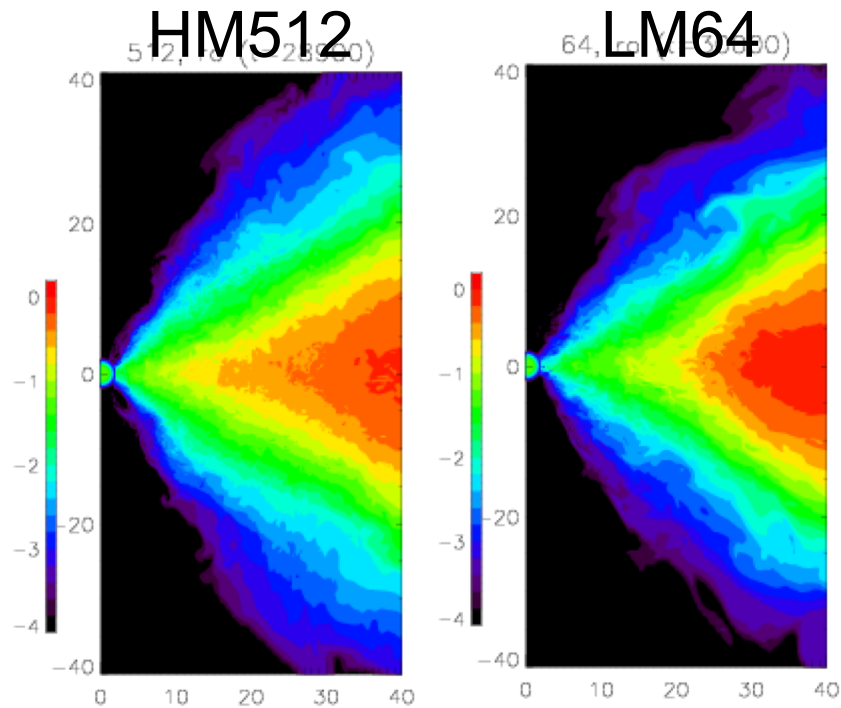
Grid number : $(N_r, N_z) = (774, 744)$

Grid interval : $\Delta x = \Delta z = 0.05$

Parameter: Azimuthal grid number: N_ϕ
LM64, MM128 HM512



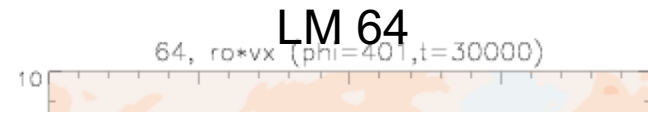
解像度依存性～密度分布 ($t \sim 30,000t_0$)



- 密度の渦状構造を形成
- $m=3$ のモードが卓越
- 鉛直断面内に密度の不連続を形成 (HM512.)

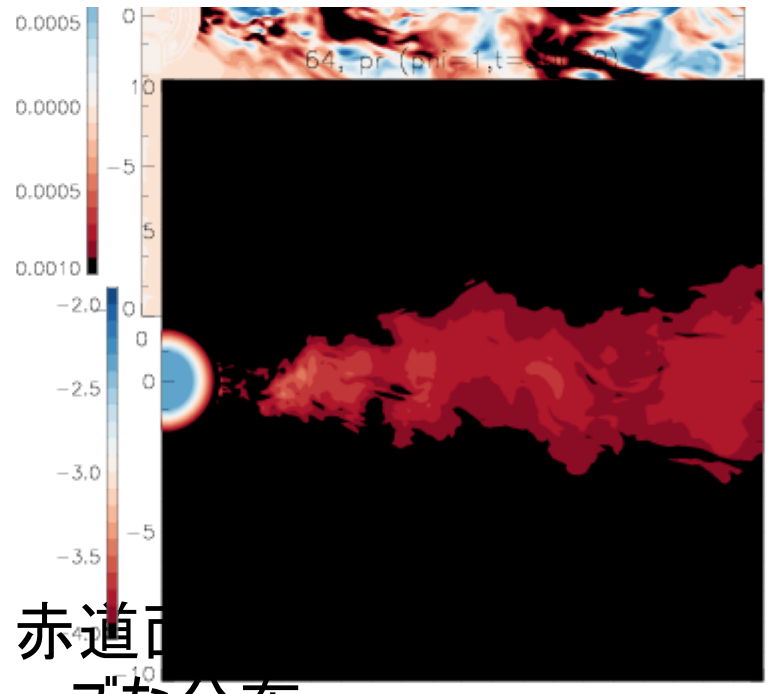
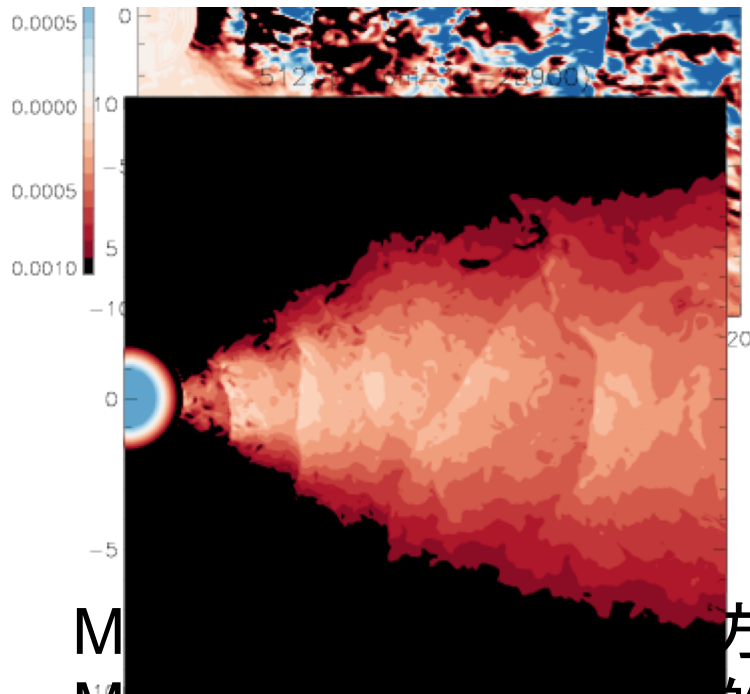


動径方向運動量分布



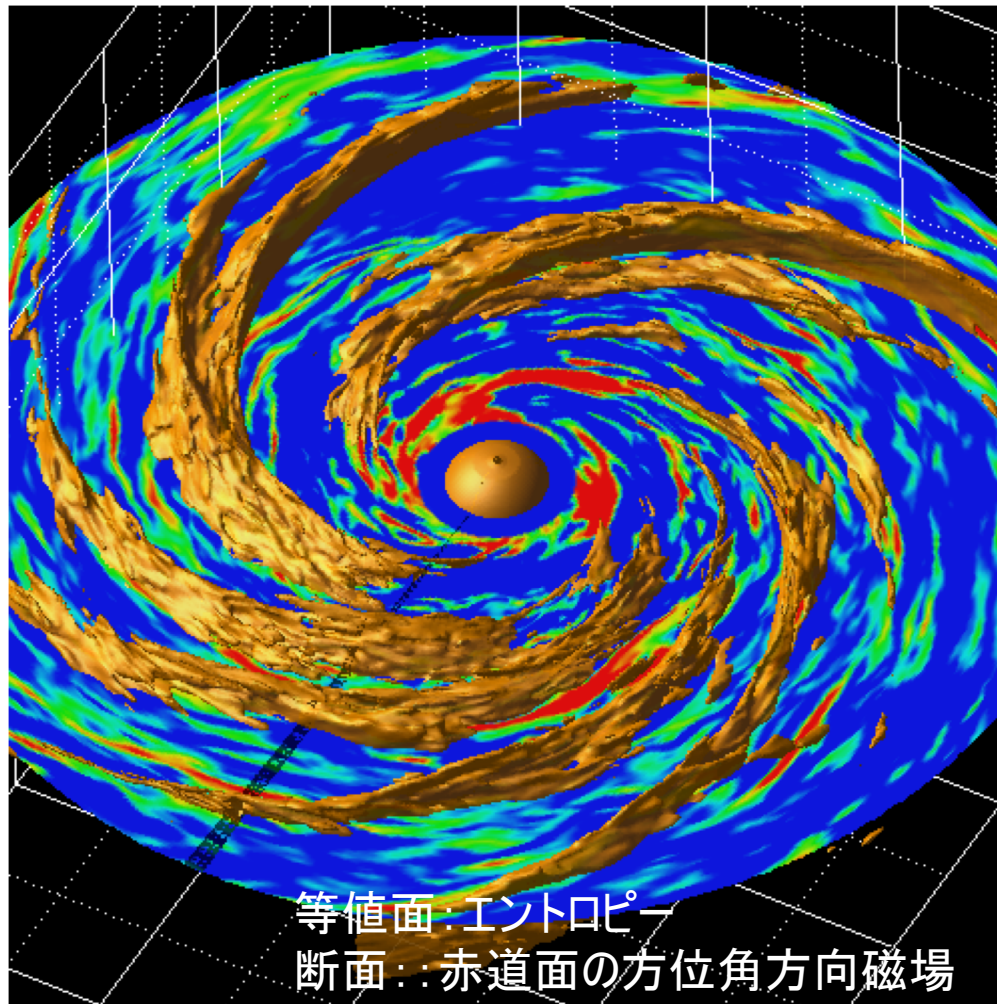
圧力断面で見ても不連続を形成

⇒ MRIによる乱流が卓越した円盤でも衝撃波が生じる？



MRIによる乱流が卓越した円盤でも衝撃波が生じる？
 Model LM 64 比較的にスムーズな分布

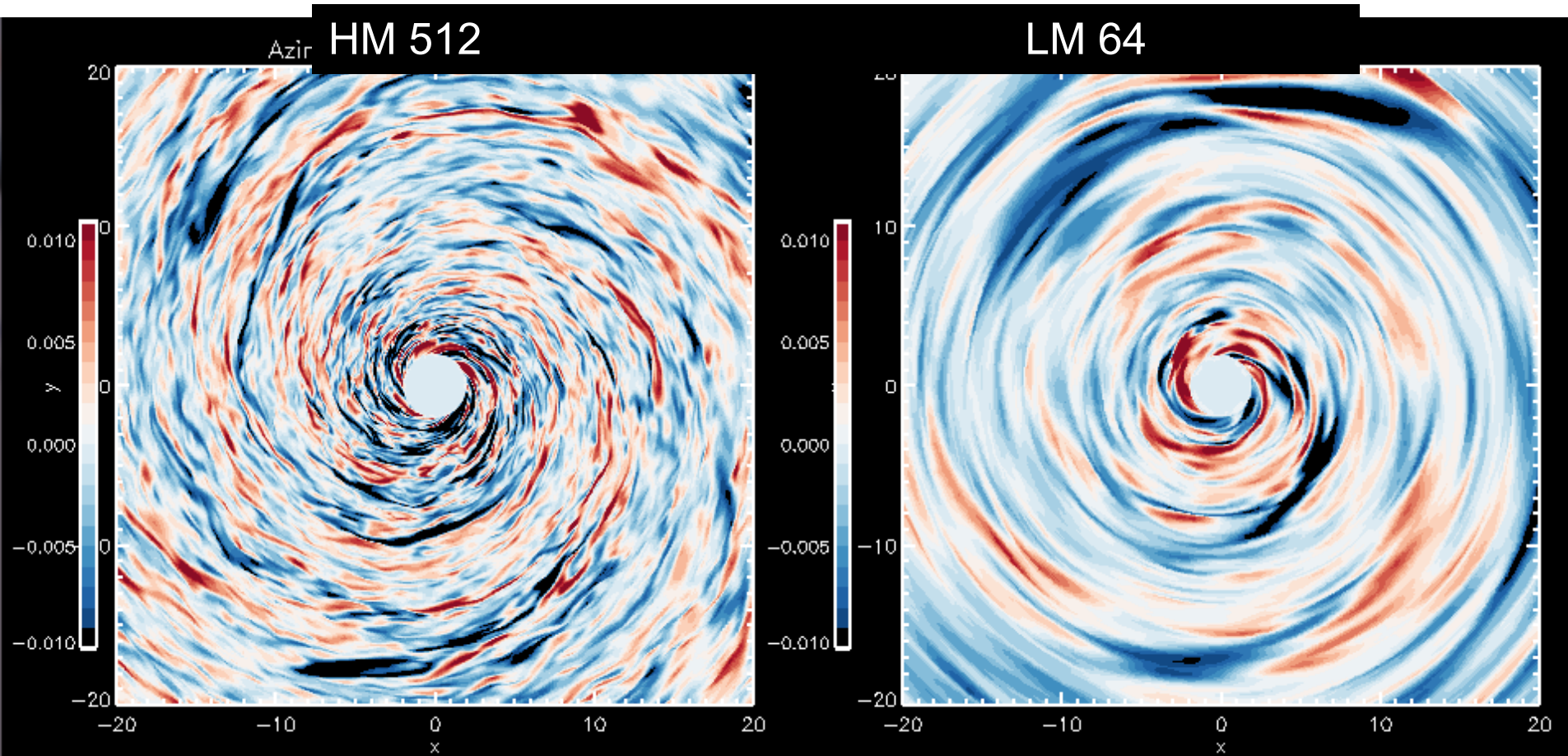
エントロピー分布と方位角方向磁場分布



渦状構造(密度・磁場など)に沿ってエントロピーの不連続面



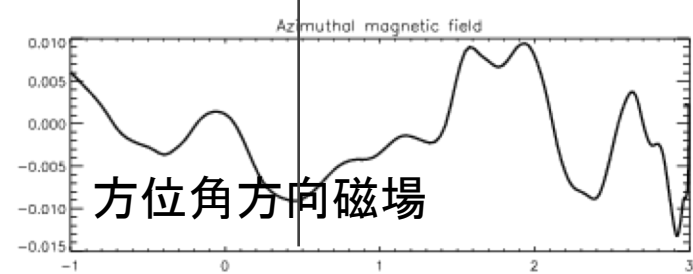
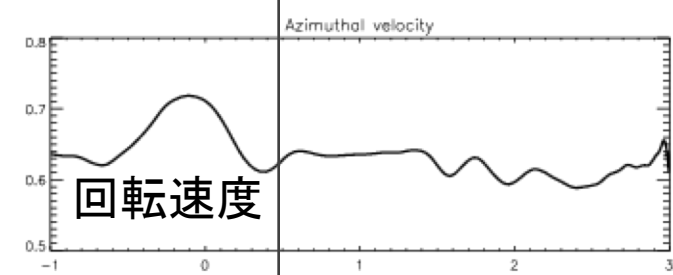
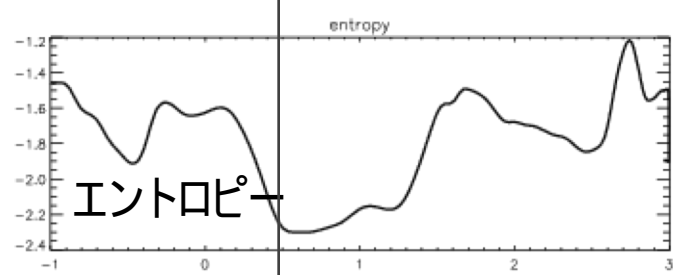
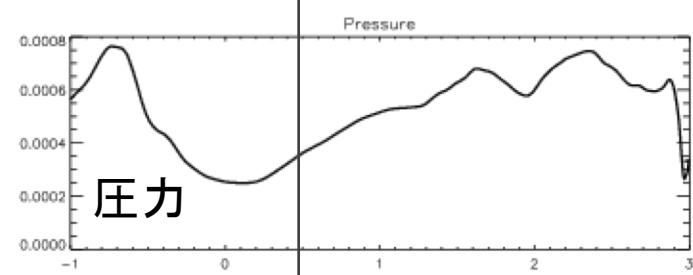
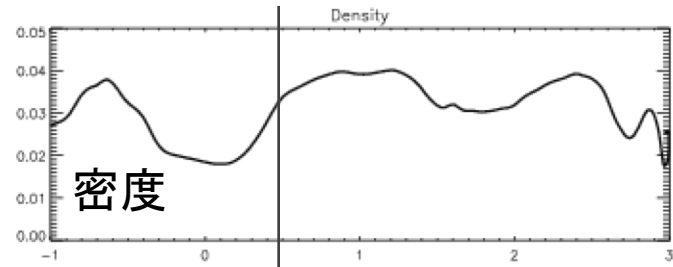
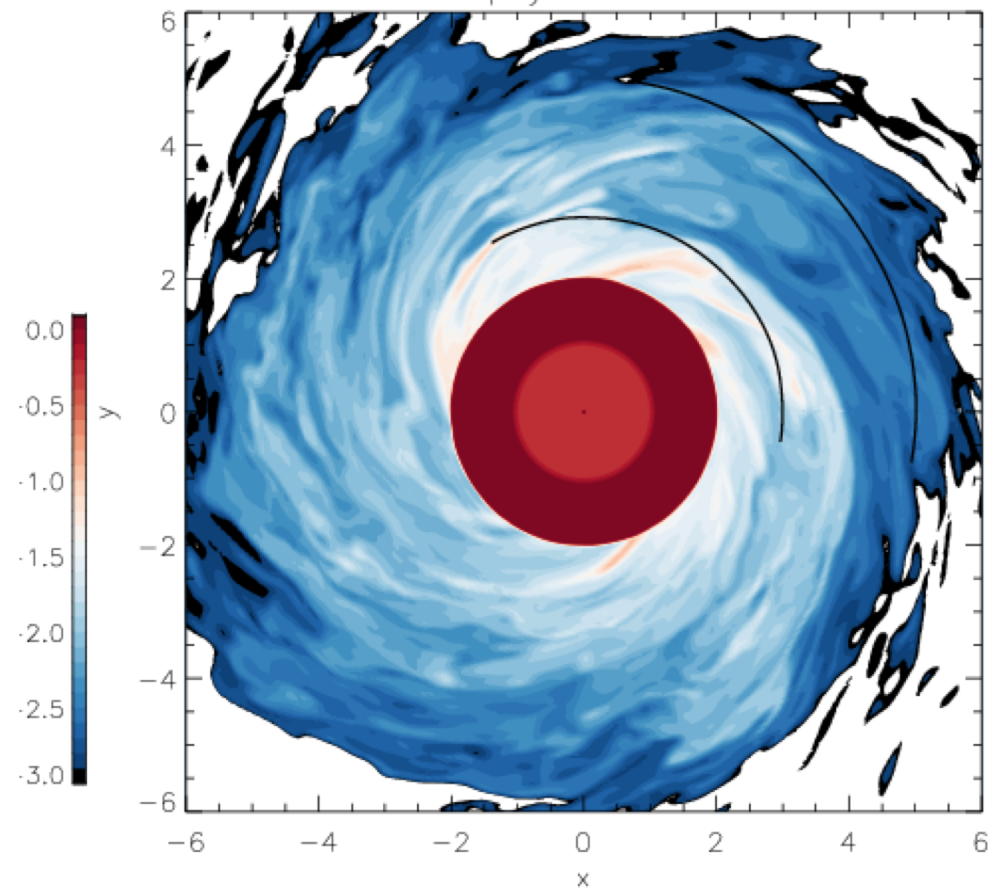
赤道面状の方位角方向磁場分布



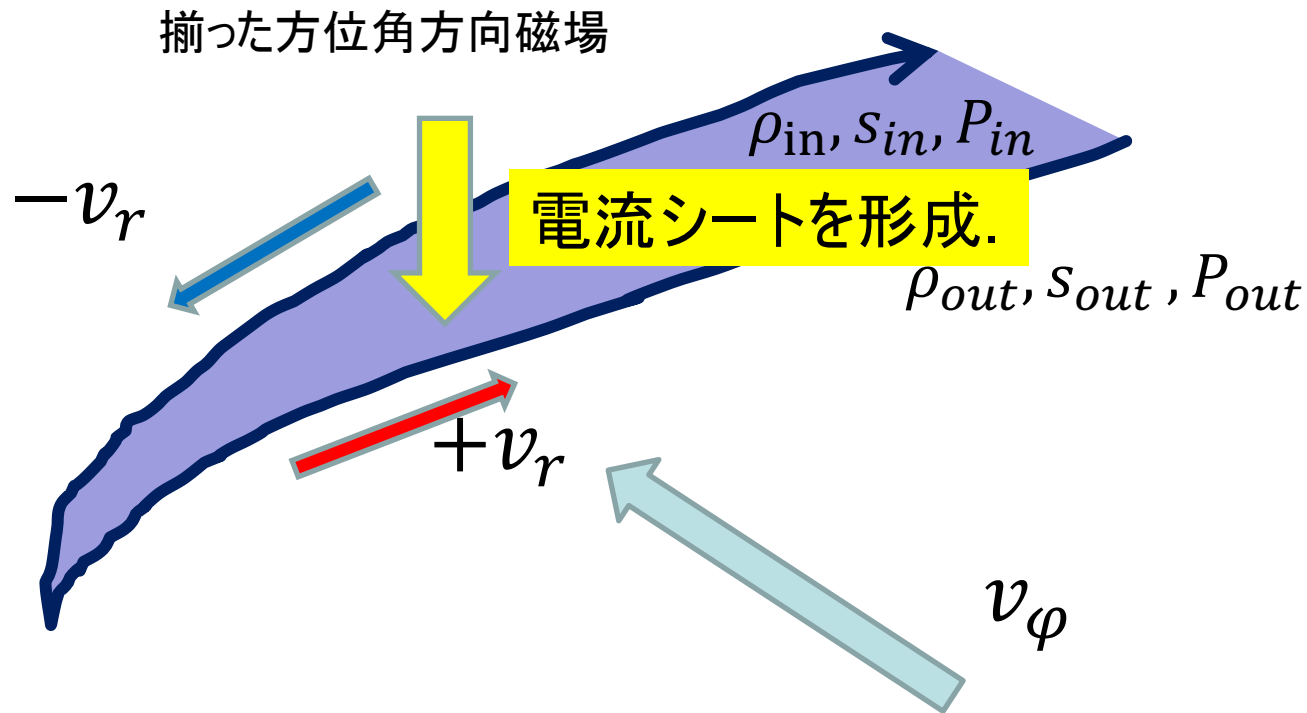
小スケールの乱流渦＋大局的な渦状構造
⇒ 方位角方向にChannel flows を形成.

流線状の分布

Entropy 512 at z=0



渦状腕の模式図



小スケールの乱流渦を形成

→ 乱流エネルギー > 磁気張力 ⇒ 散逸

乱流エネルギー < 磁気張力

⇒ 回転による磁場の引き伸ば ⇒ 渦状腕の形成

まとめ

- 磁気回転不安定性の方位角方向解像度依存性を調べた。
- MRIの線形成長段階においては、高解像度の計算ほど、小スケールの乱流の生成により早い質量降着が生じた。
- 高解像度になるほど、赤道面内によりはっきりした磁気渦状腕(渦状腕衝撃波)が形成される。この渦状構造に沿って、動径方向速度の反転が生じる。

