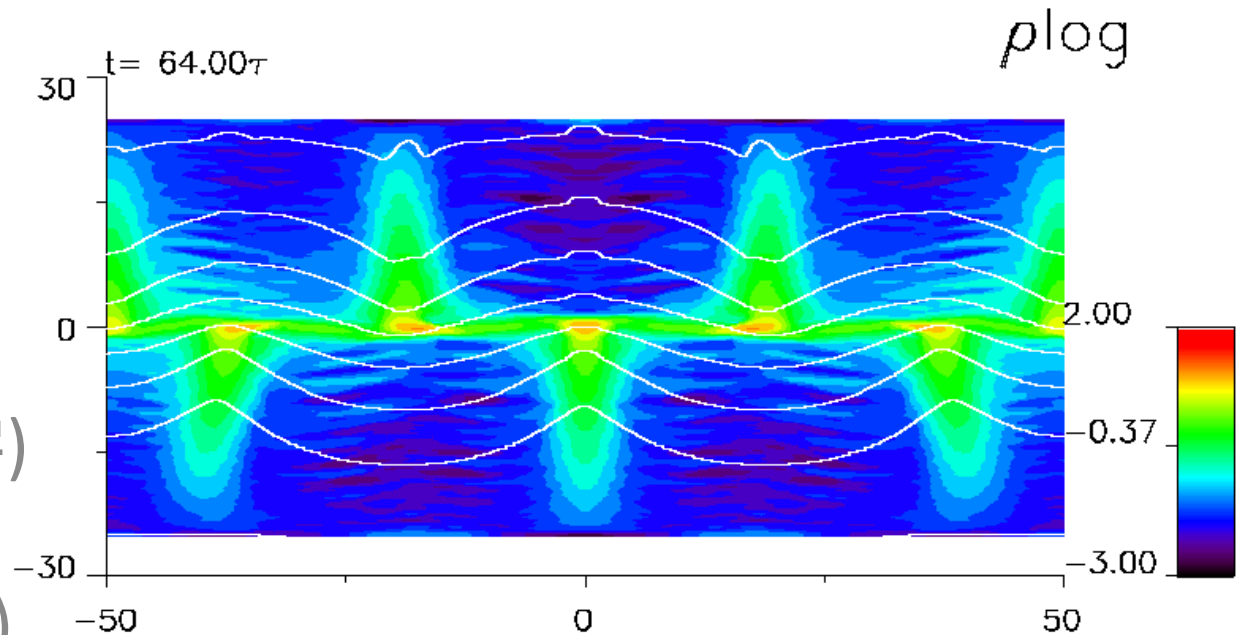


Parker 不安定性における 熱不安定性 -分子雲形成-



佐藤 裕史(東京大学)
柴田 雄(東京大学)
中村 尚樹(京都大学)
工藤 哲洋(国立天文台)

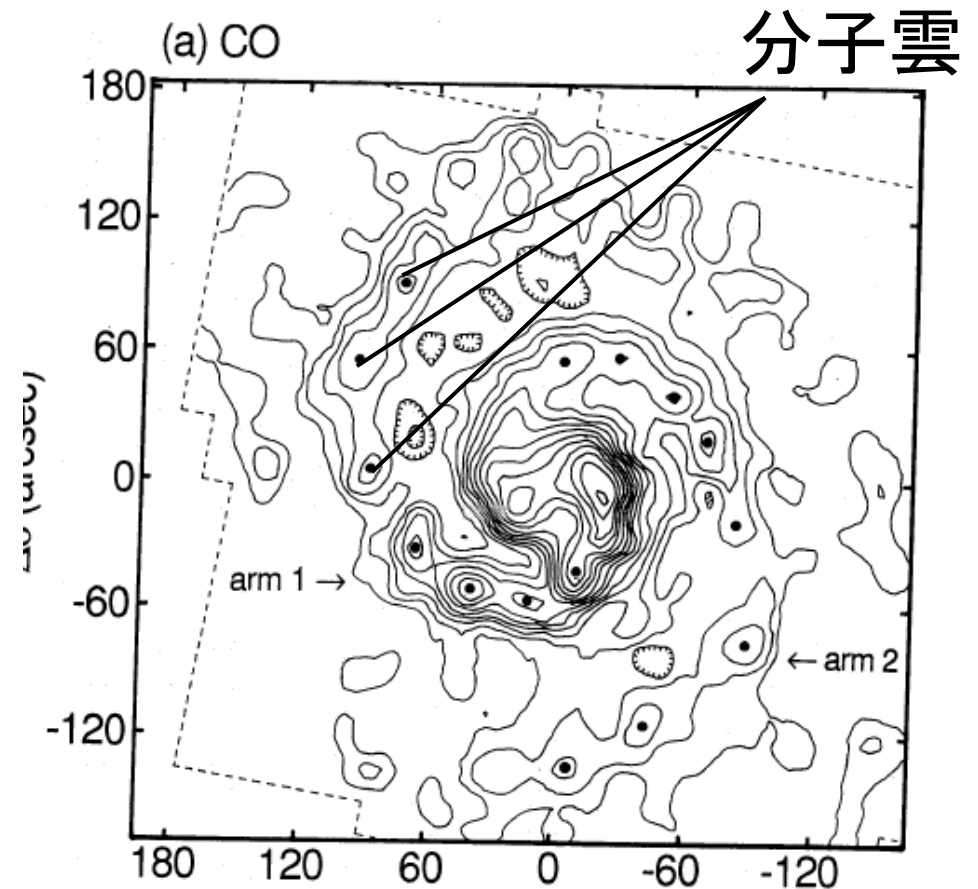
分子雲とParker 不安定性

[分子雲]

銀河面にある高密度の領域
⇒ 星形成の場所

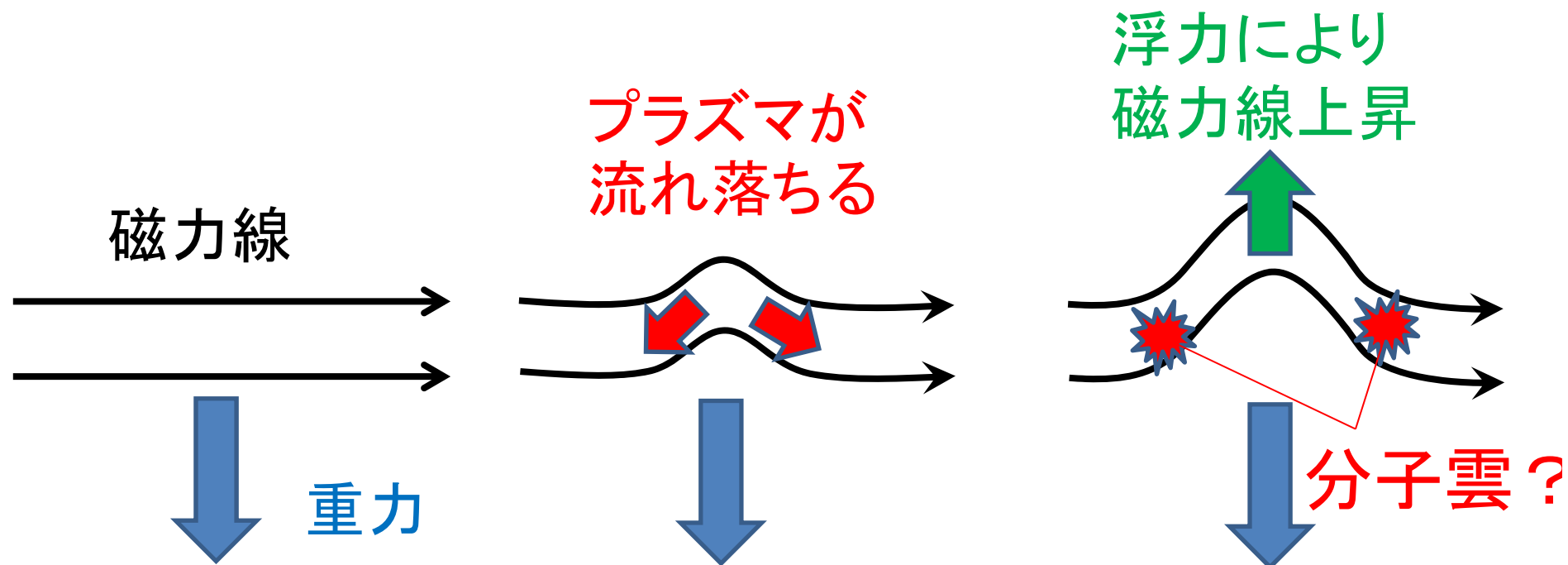
星間物質： 1cm^{-3}
から分子雲 10^3cm^{-3}
をどのように作るか？

⇒ Parker 不安定性？



Kuno + 1995
(CO強度)

Parker 不安定性と分子雲形成



最大成長波長 $\sim$ スケールハイトの10倍程度 ($\beta \sim 1$)

流れ落ちた物質の圧縮により分子雲形成？

(Parker 不安定だけでは星間物質 (1cm^{-3}) から高密度 (10^3cm^{-3}) の分子雲を作れない？)

$\Rightarrow$ 放射による熱不安定性

熱不安定性

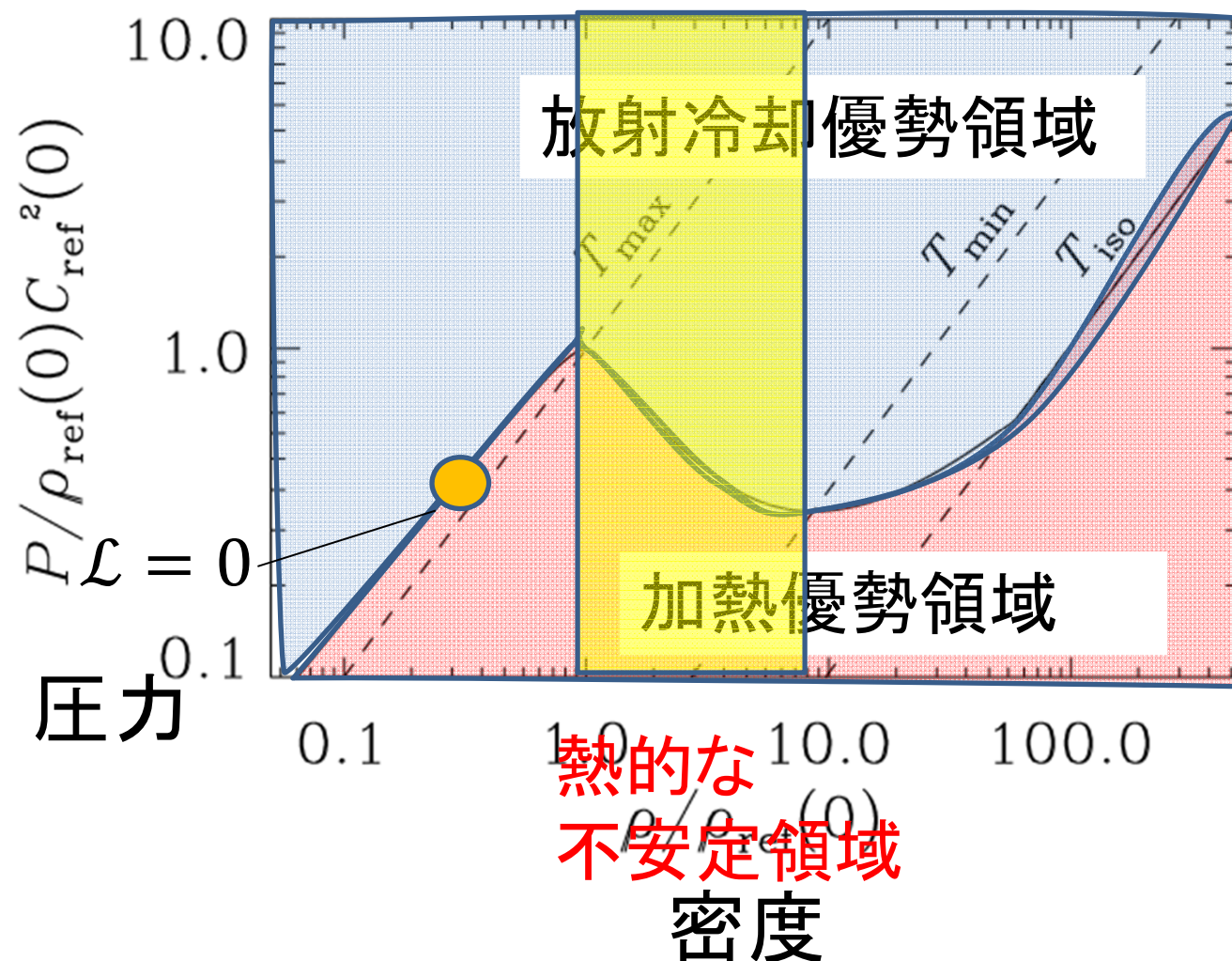
放射と過熱のつり
合いにより

プラズマの物理量
(P , ρ , T)が決まる

単位質量あたりの
エネルギー損失

$$\mathcal{L} = \underbrace{\rho \Lambda(T)}_{\text{冷却}} - \underbrace{\Gamma}_{\text{加熱}}$$

P (力学により決定)
 $\sim \rho T$ (輻射により決定)



Mouschovias et al. 2009

今回やったこと

- Parker 不安定性により高密度領域が生成されるか確認

佐藤

- 初期にランダムな摂動を与えた場合の成長過程を検証

柴田

- CANS を改造し、放射冷却項を導入し、パーカー不安定性における放射の効果を検証

中村

- 熱不安定性が実際に起こっているかの確認

シミュレーション設定

外部重力(銀河面を挟んで反転)
を考慮した2次元 MHD シミュレーション

(CANS2D “md_parkerinst” MLW scheme)

温度等温
(5000 K)

密度(銀河面で
 1 cm^{-3})、

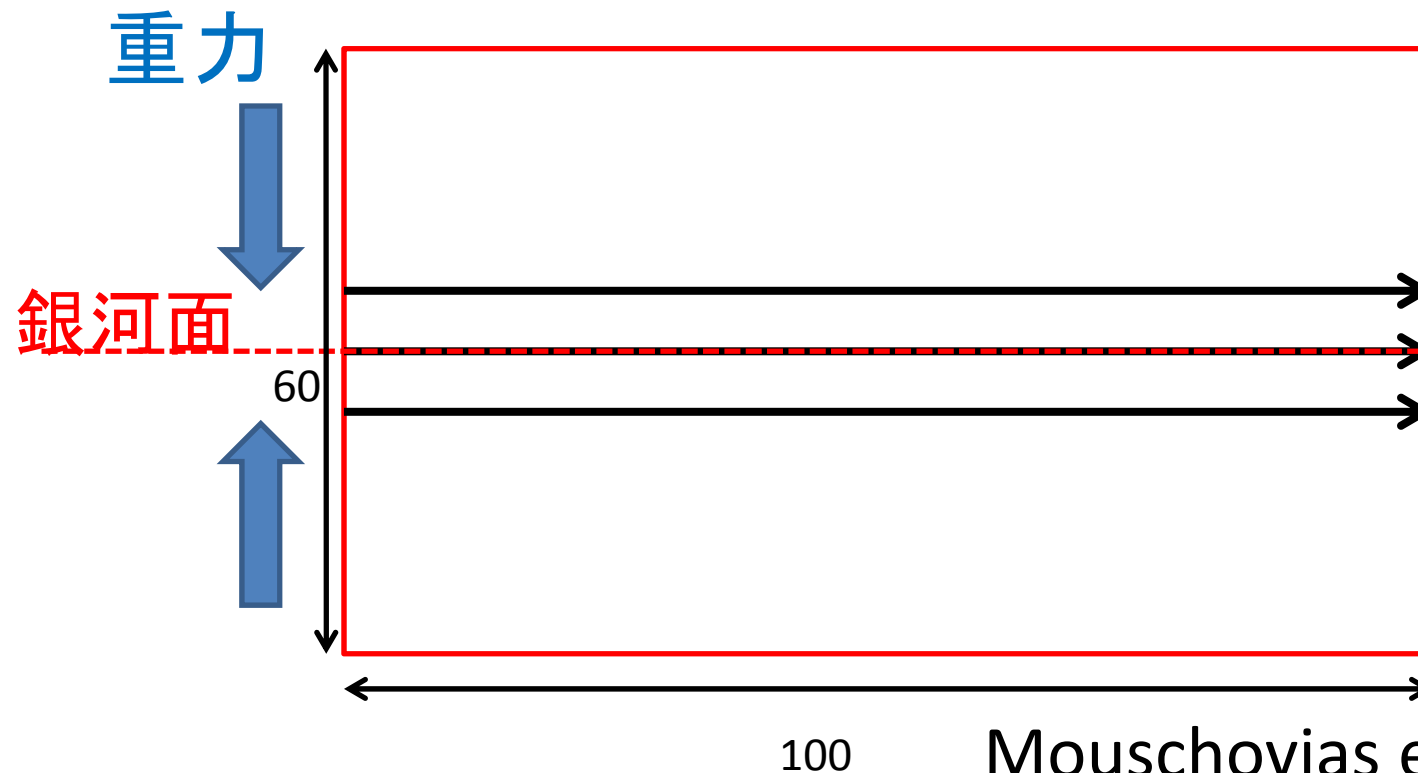
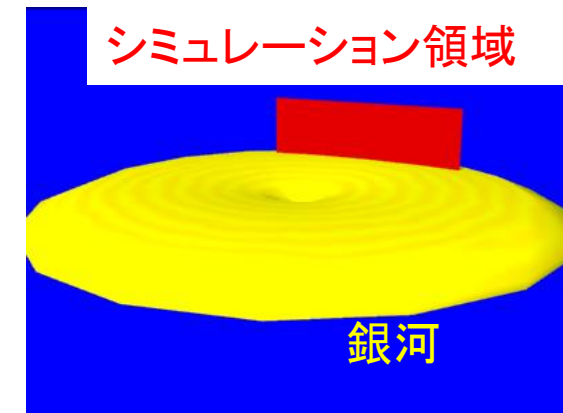
水平磁場

($\beta=0.2$)

静磁気圧平衡

(スケール

ハイト=1)

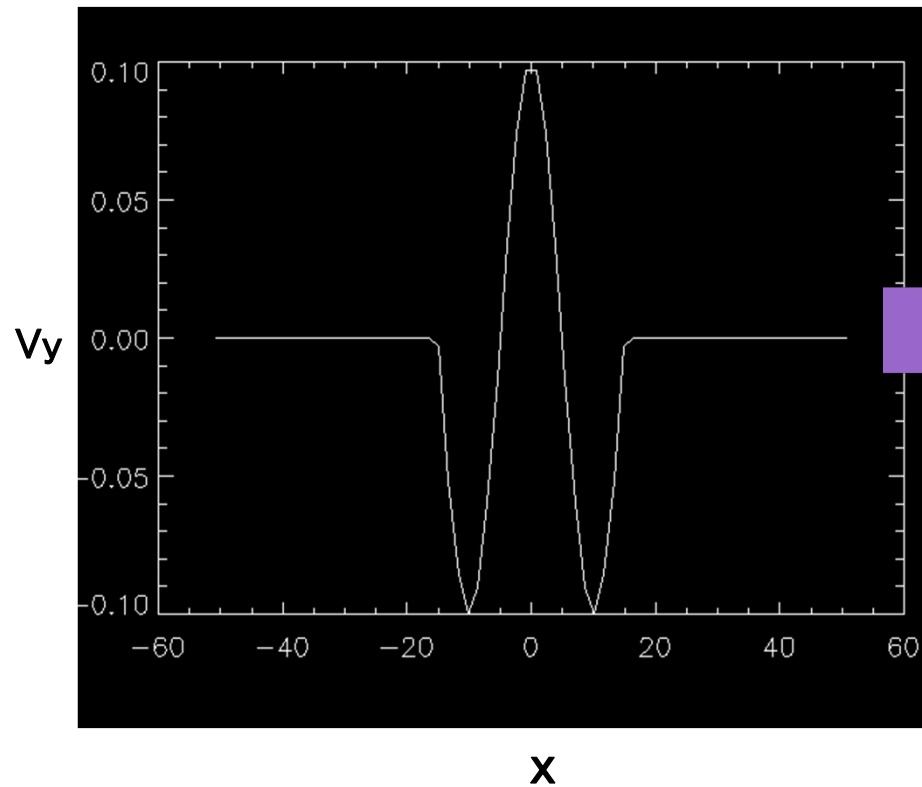


Mouschovias et al. 2009と類似

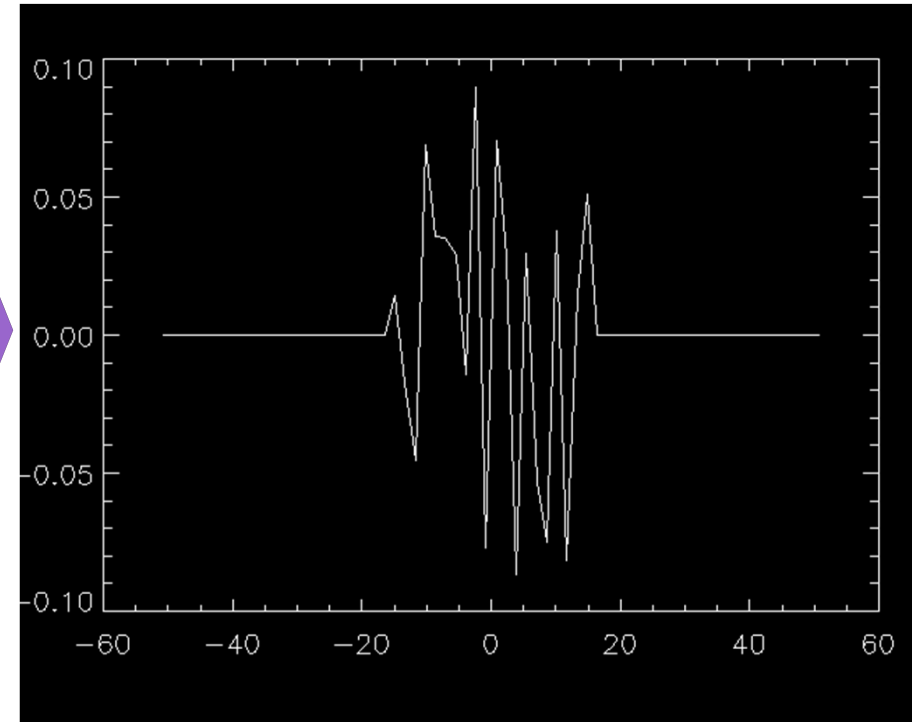
シミュレーション結果

Perturbation

cos型



random

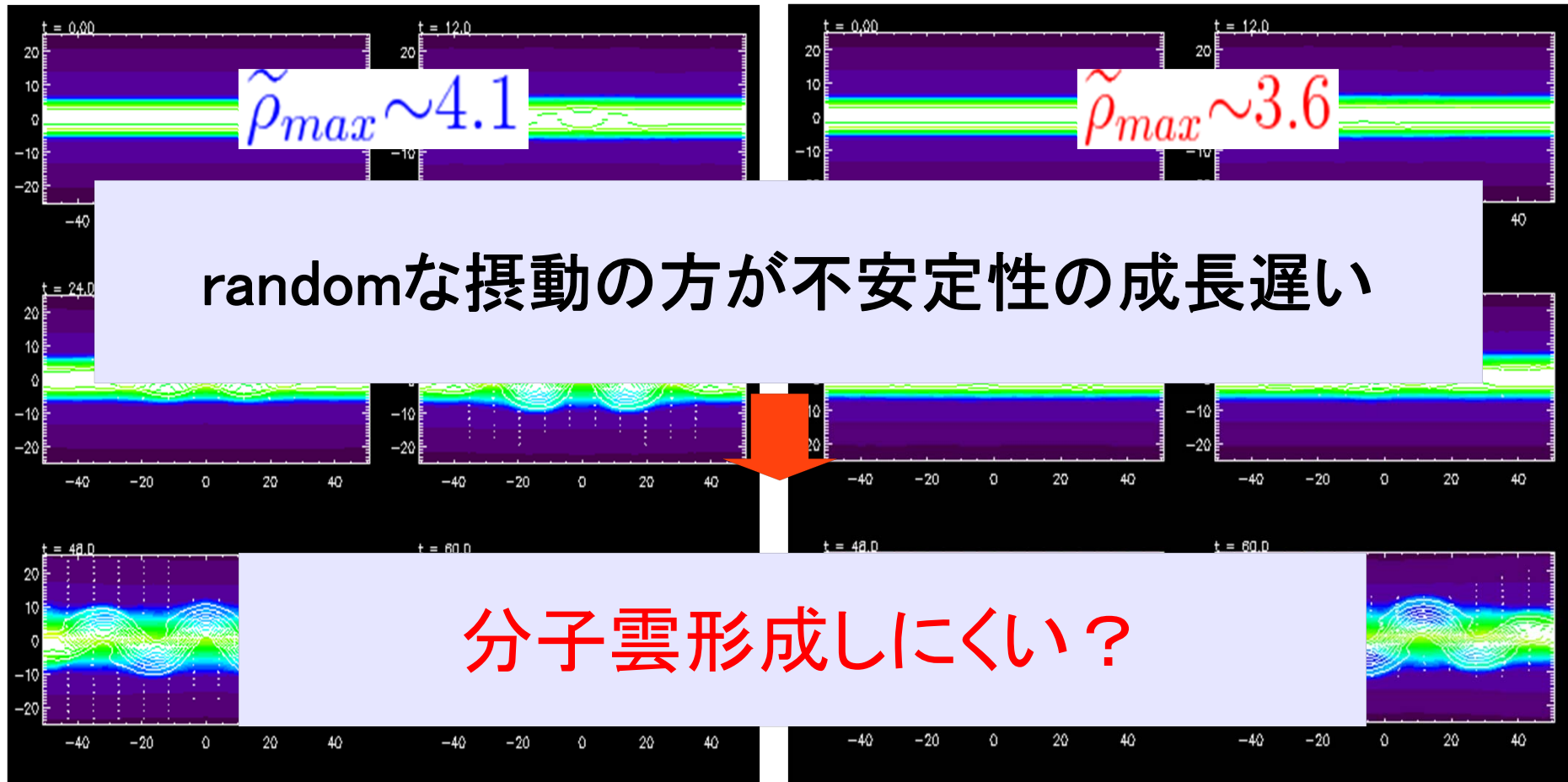


※摂動はDiskにのみ加えるよう設定

Perturbation

cos型

random



Coolingの効果を入れた 不安定性の成長

- ・パラメータ:

$\beta=0.2$

銀河面で反転する一様重力

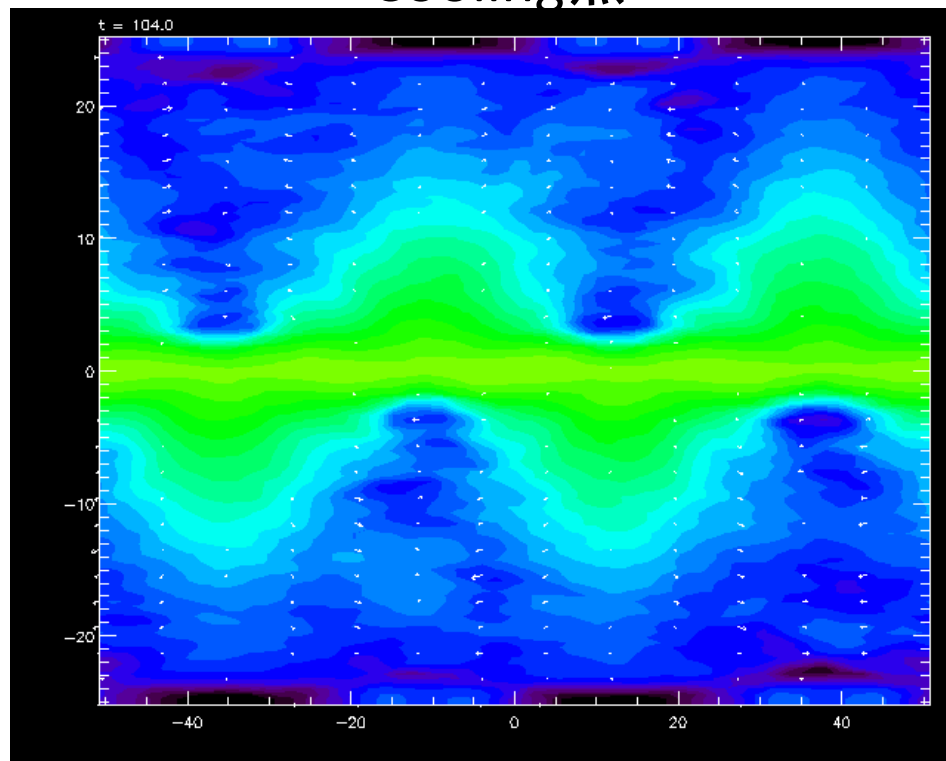
摂動は $t=0$ で V_y にランダムに与える

- ・予想:

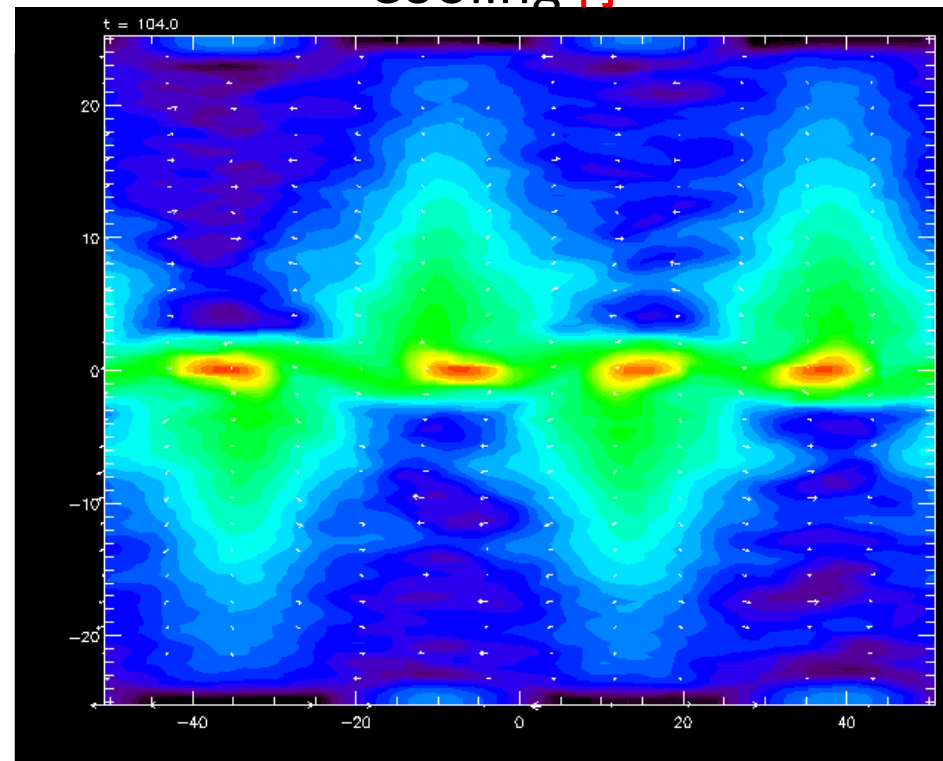
Coolingを入れることで、磁場のくぼみに集まった物質が圧縮され、分子雲の密度が上がる

結果

Cooling無



Cooling有



横軸:銀河方位角方向
縦軸:銀河面鉛直方向

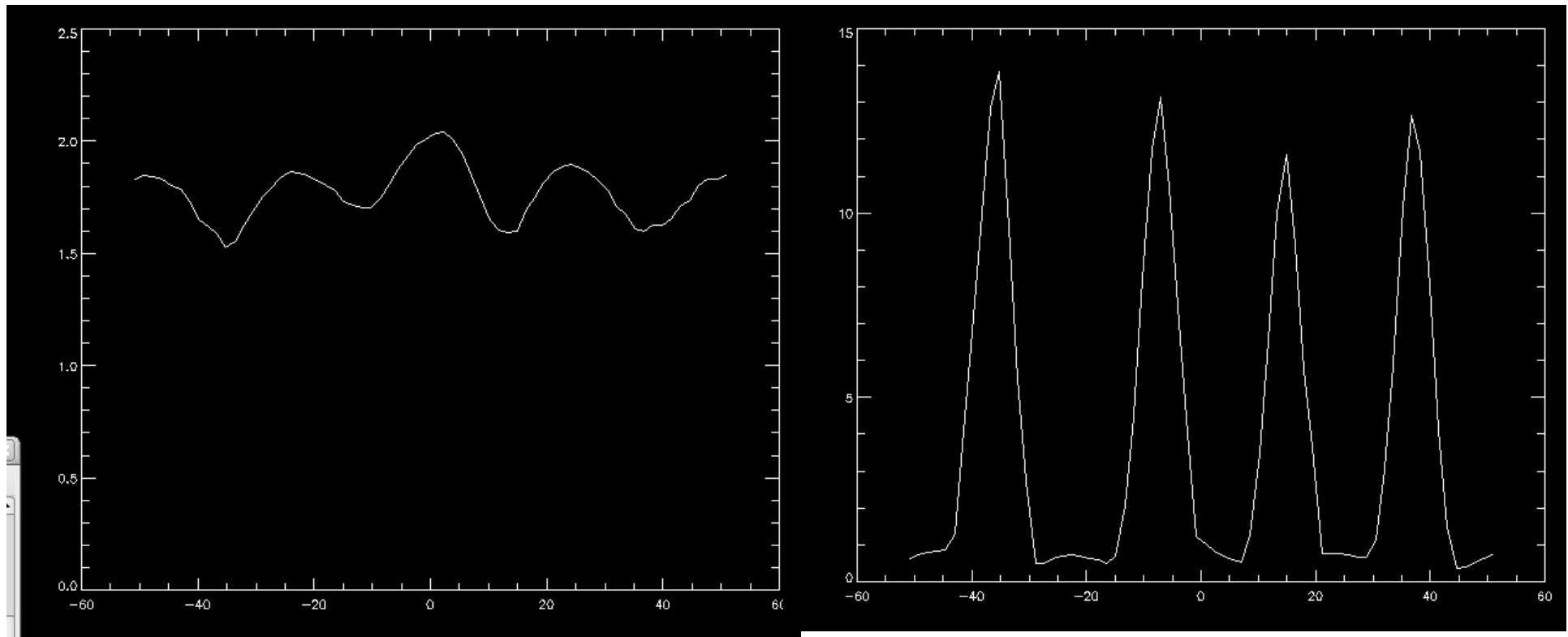
色:密度の違い 青(低)⇔赤(高)

密度分布

銀河赤道面上でプロット

Cooling無

Cooling有



縦軸:密度
横軸:方位角方向

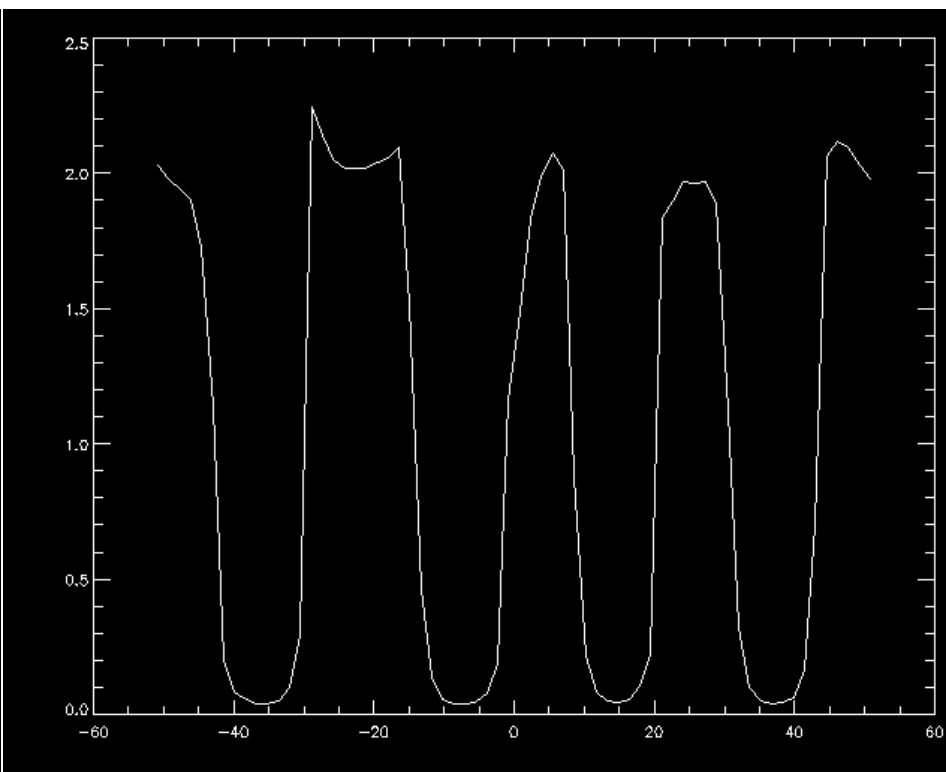
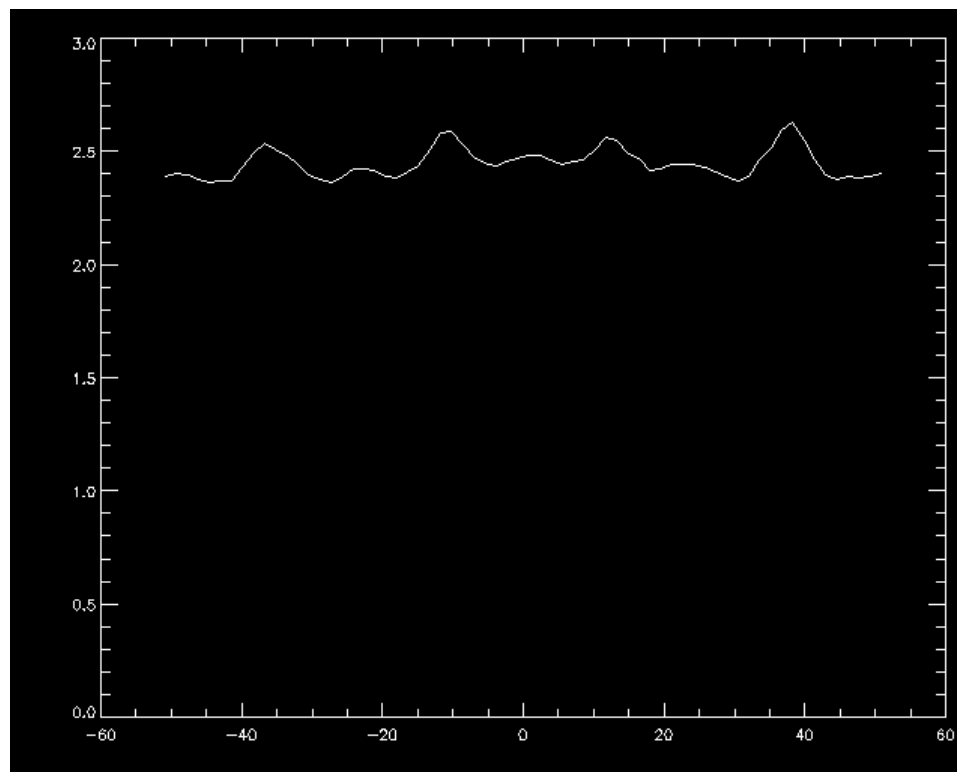
Cooling有の方が密度が大きくなる

温度分布

銀河赤道面上でプロット

Cooling無

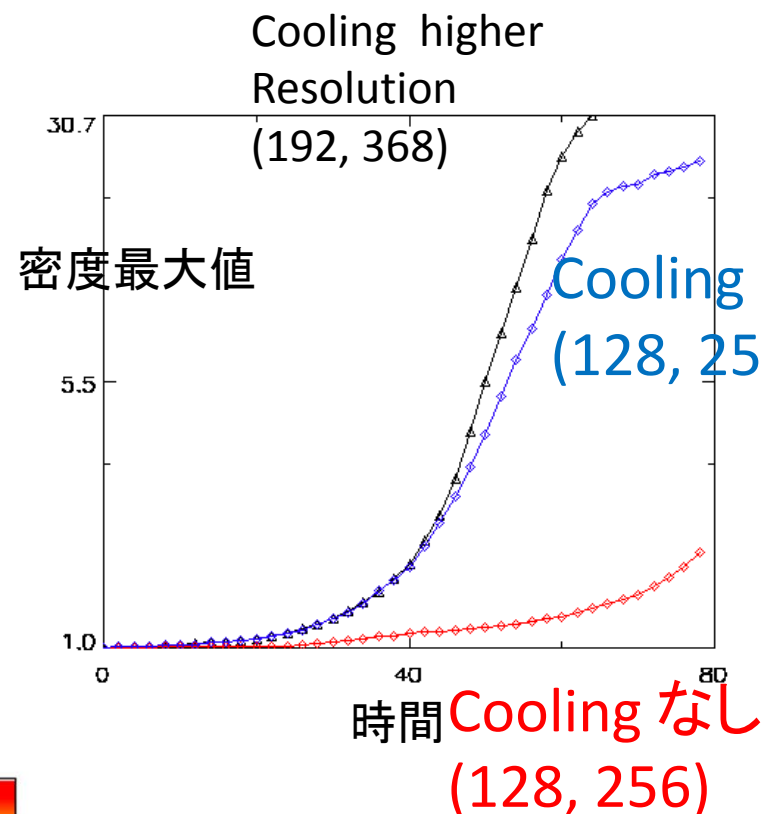
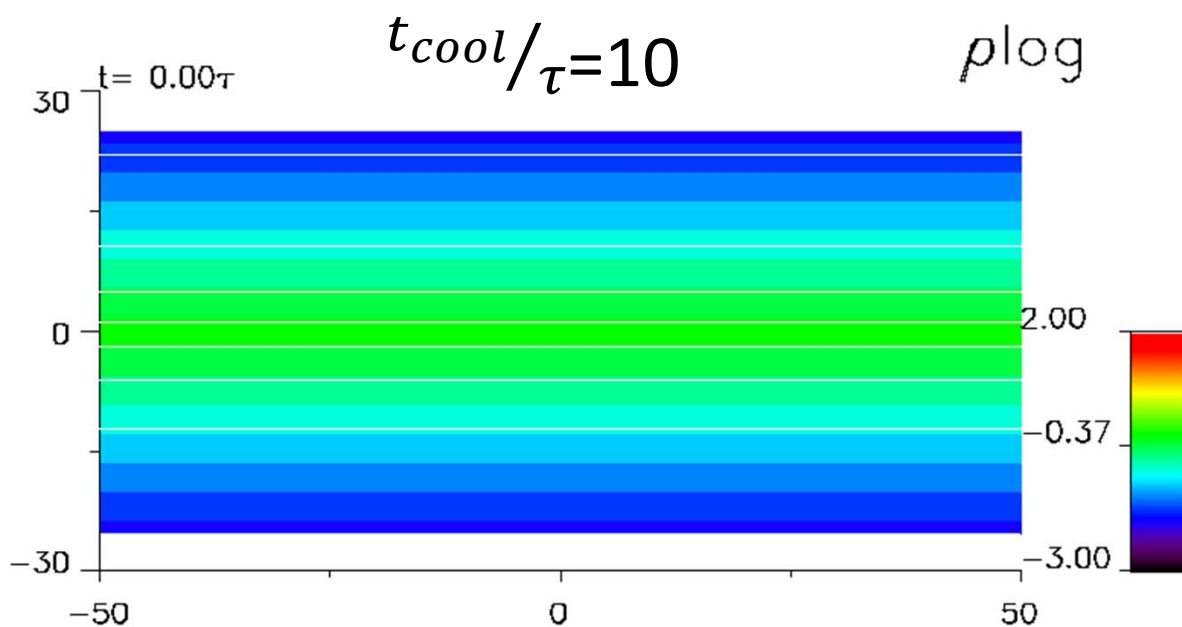
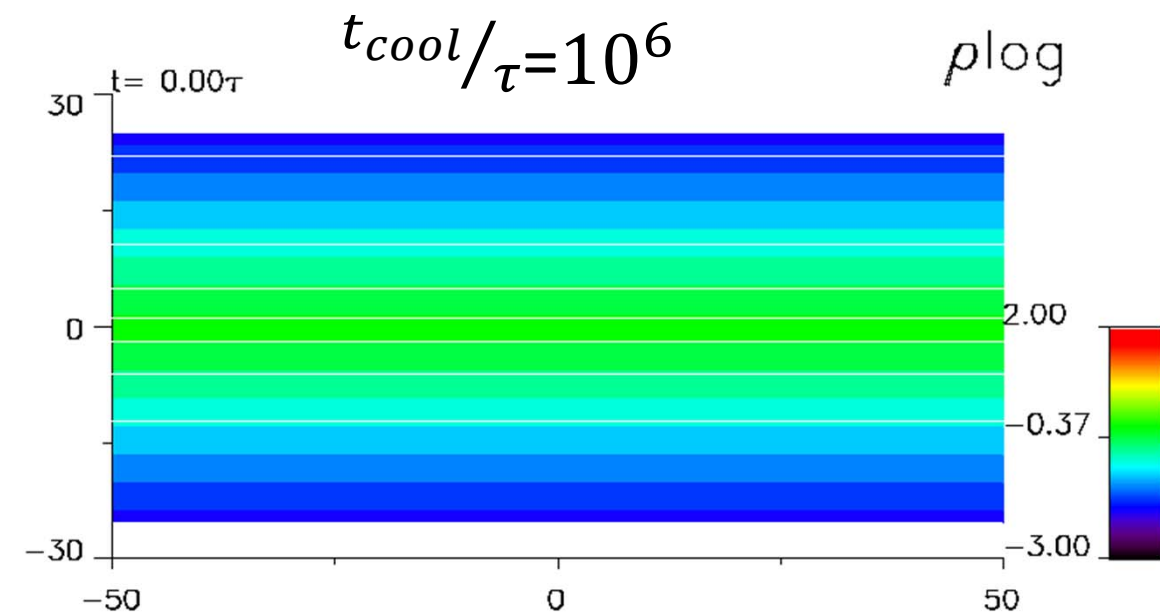
Cooling有



縦軸:密度
横軸:方位角方向

Cooling有の方が分子雲周辺で温度が低くなる

最大密度の 時間発展



最大密度

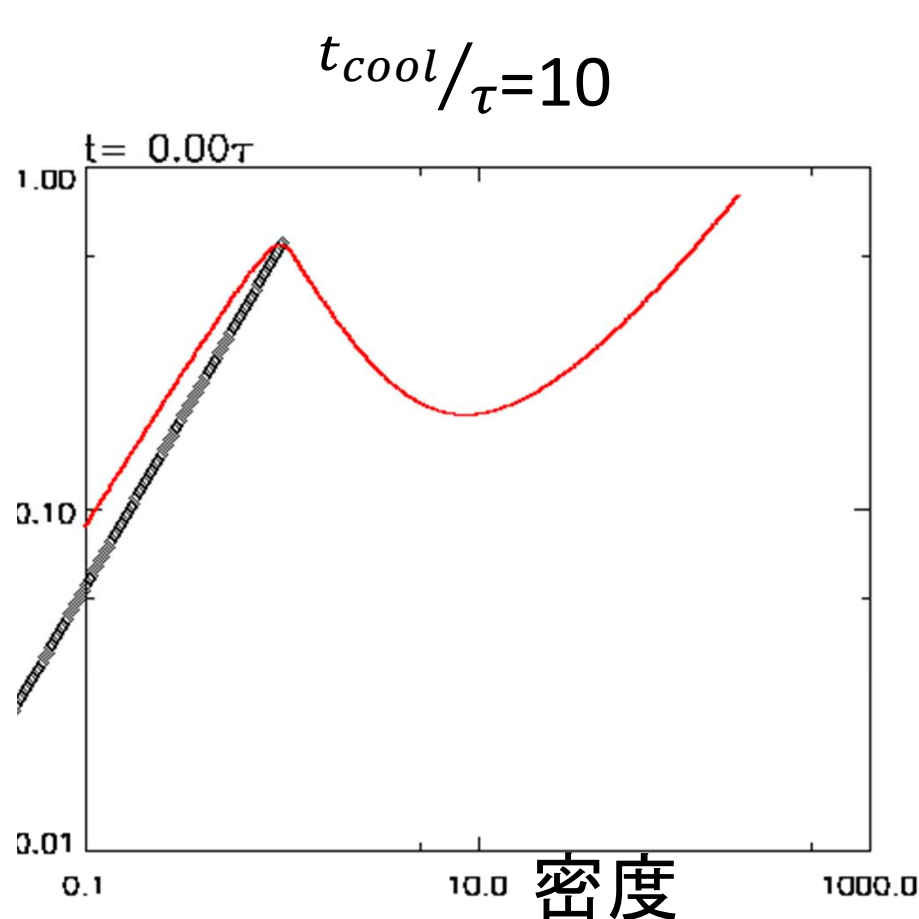
Cooling なし: ~2

Cooling あり ~25

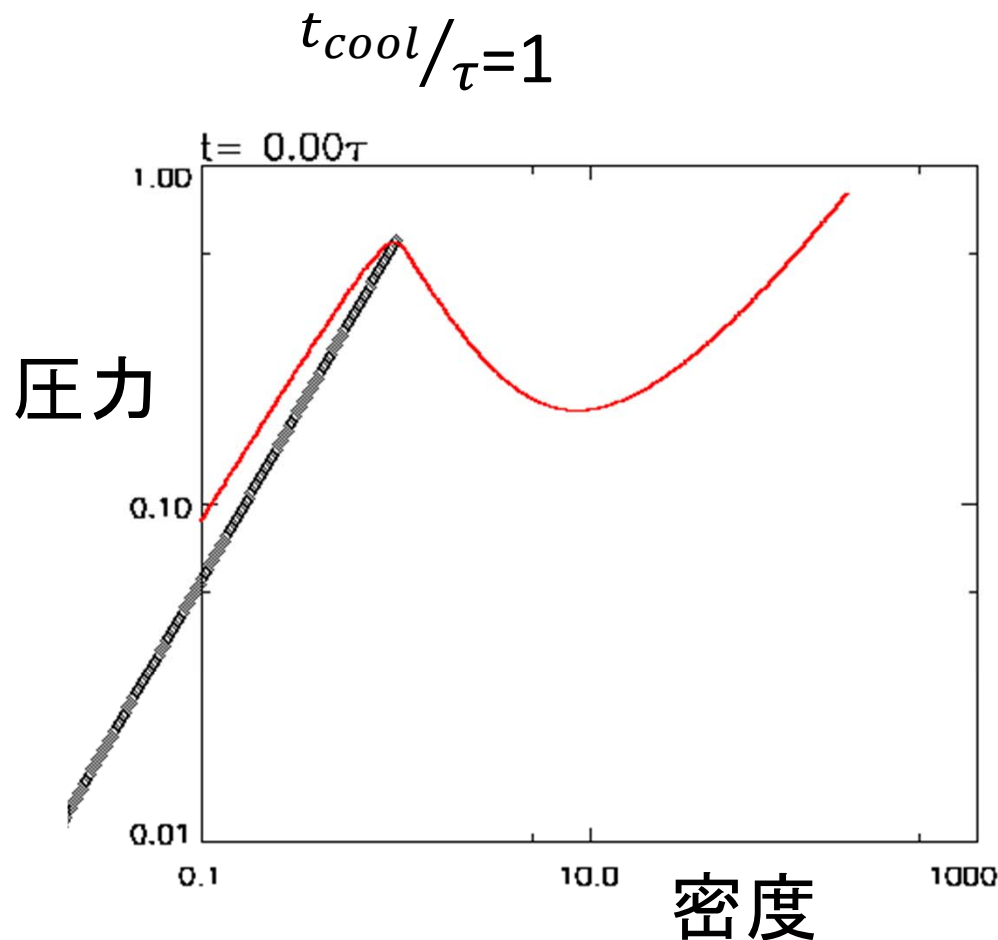
放射冷却の効果で圧縮率が上がる

熱不安定性の発展

点: グリッドごとの
密度、圧力



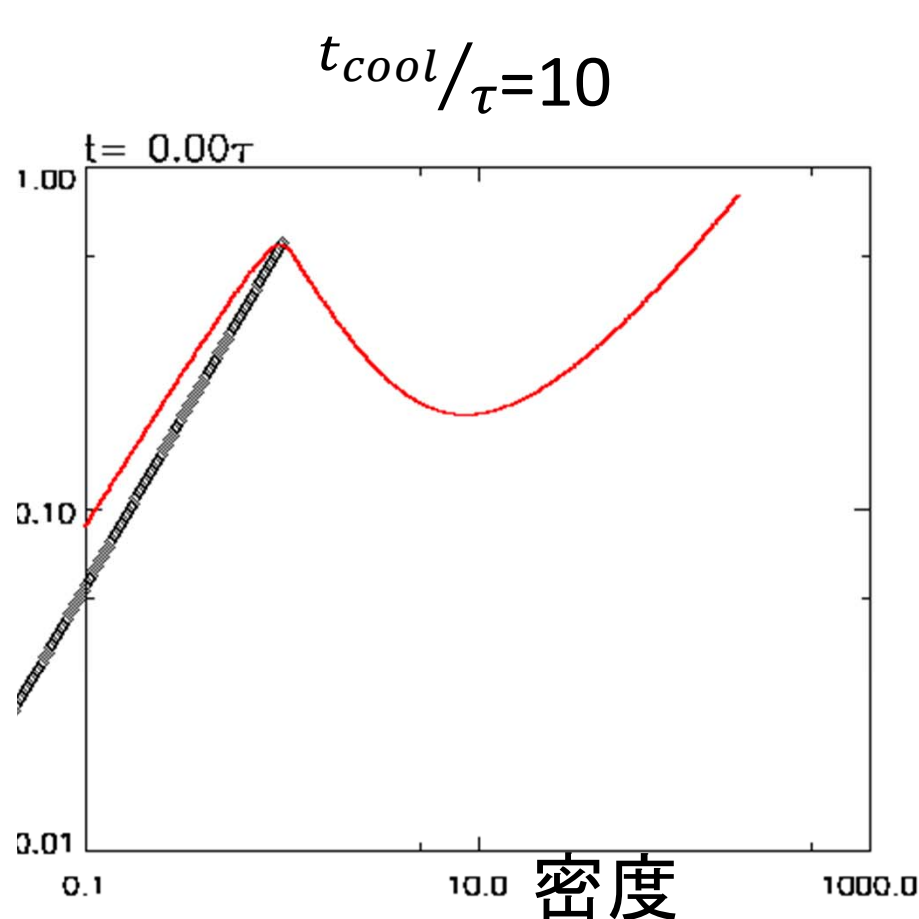
Parker 不安定性
により不安定領域
に移動



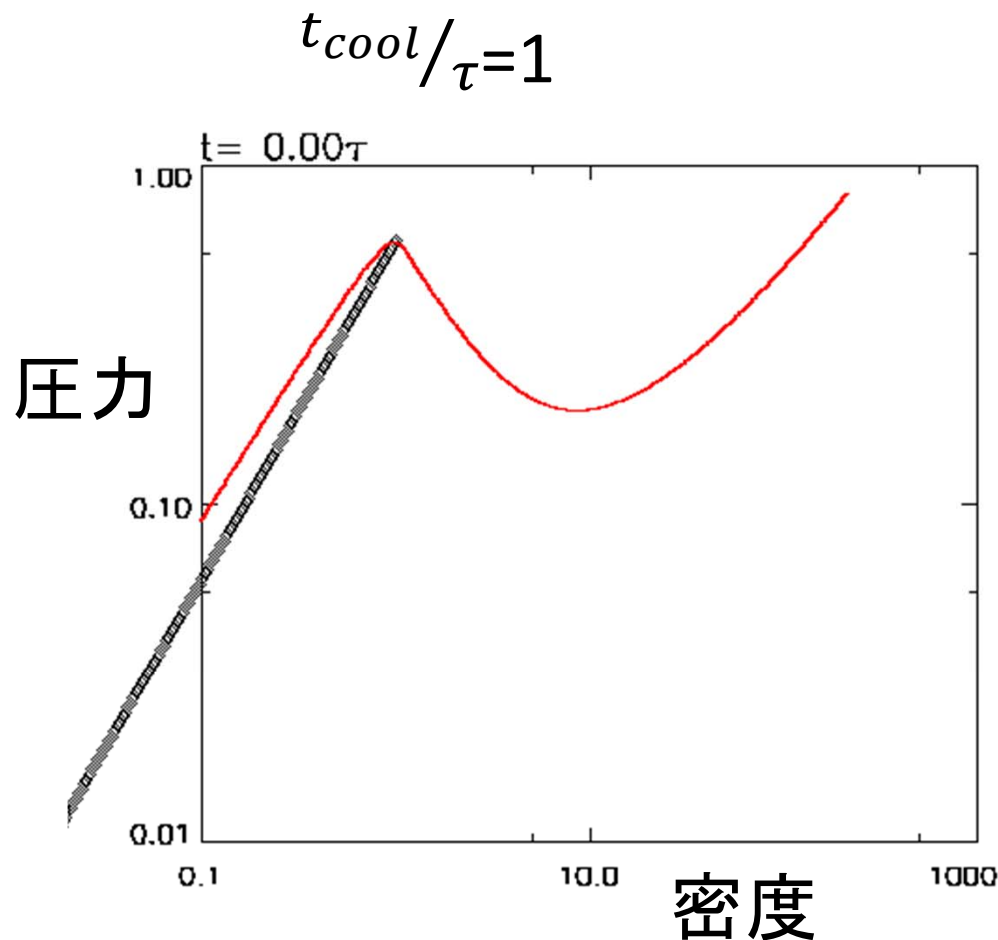
熱不安定 Cooling time が短いほど熱平衡曲線に沿うように発展

熱不安定性の発展

点: グリッドごとの
密度、圧力



Parker 不安定性
により不安定領域
に移動



熱不安定 Cooling time が短いほど熱平衡曲線に沿うように発展

まとめ

- パーカー不安定性により高密度の領域が 形成された
- 放射冷却の効果を導入することで分子雲の最大密度は上昇
- パーカー不安定性によりプラズマが熱的に不安定な領域に移動し、熱不安定を起こすことがわかった。
- 放射が効いているとプラズマは熱平衡曲線に沿って移動するが最大密度は分解能に依存している
⇒より現実近づけるためには他の物理(熱伝導など)やより高分解能の計算を行う必要がある?