

The Study of Cloud-Cloud Collision (CCC) using Enzo code

Hokkaido University
M1
Ken Takahira

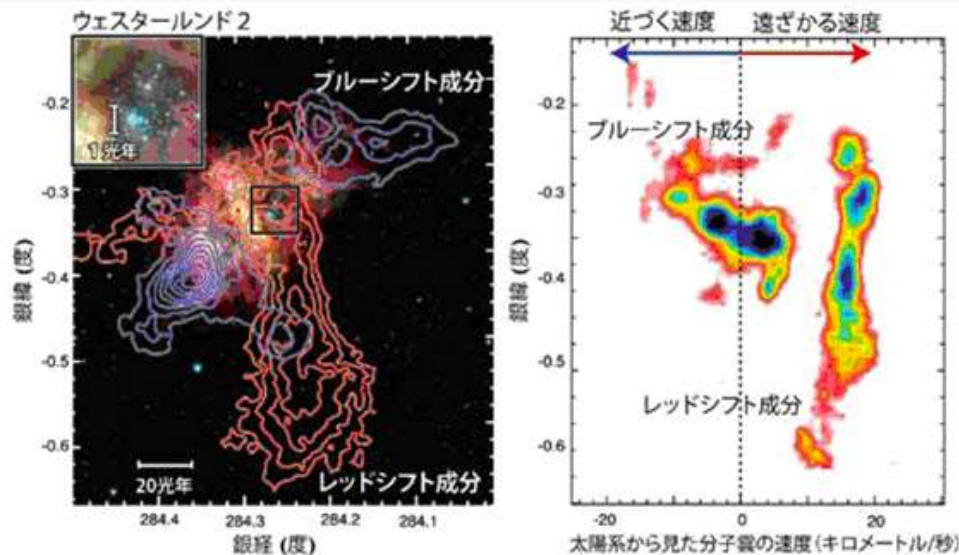
Collaboration : Elizabeth Tasker, Asao Habe (Hokkaido University)

Outline

- Introduction and Motivation
- Numerical Results and Gravitational Instability
- Summary
- Future work

Why CCC?

- The process of formation of massive stars is one of the outstanding problems in the modern theory of star formation.
- **Cloud-Cloud Collision(CCC)** must be a trigger mechanism of massive star formation (Tan 2000).
- NANTEN group recently finds the evidence of CCC which similars to Habe & Ohta model.



コメ：分子雲衝突で大質量星を作れると言われているため研究する必要がある

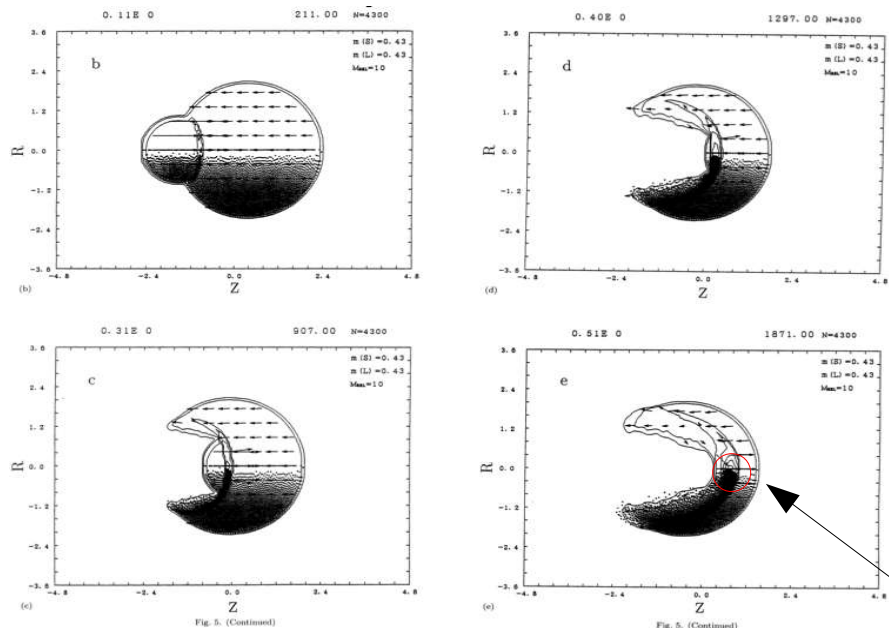
CCC and Massive Star Formation

- Massive clouds compressed by CCC and CCC can induce gravitational instability.
- Details of physical process of high mass star formation by CCC is not yet clarified.
- Our motivation is to **study CCC process** by numerical simulation with highly spatial resolution.

コメ：分子雲衝突→大質量星の過程の詳細はまだ不明のため、
高解像度シミュレーションでこれを研究する

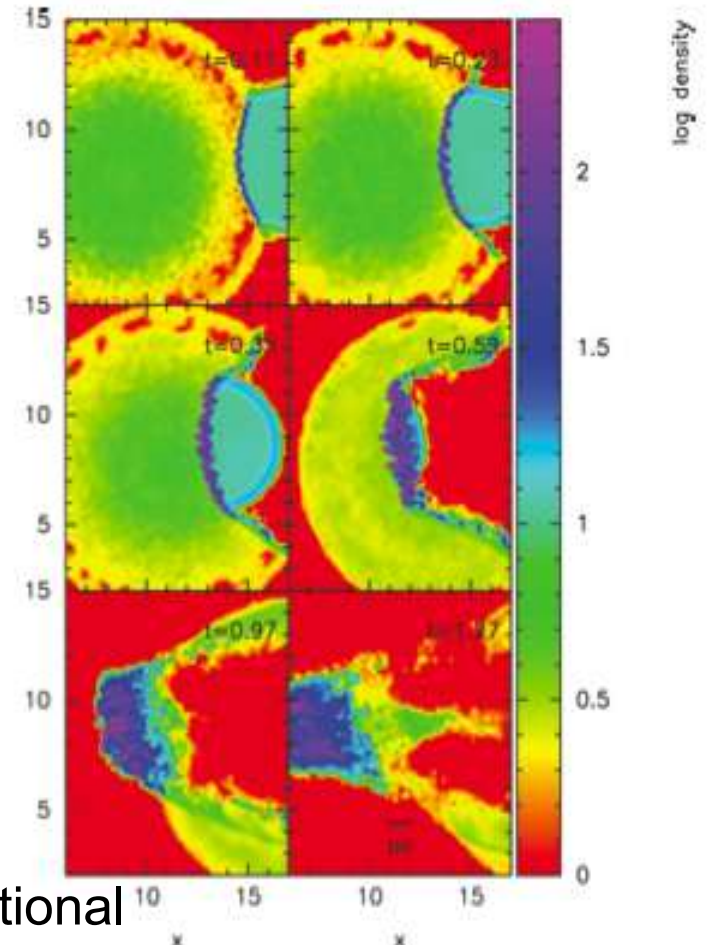
Previous Study of CCC

- Habe & Ohta (92) : SPH method
 - Study of non-identical CCC and gravitational instability condition.
- Anathpindika (09,10) : SPH method
 - Clumpy structure formation.



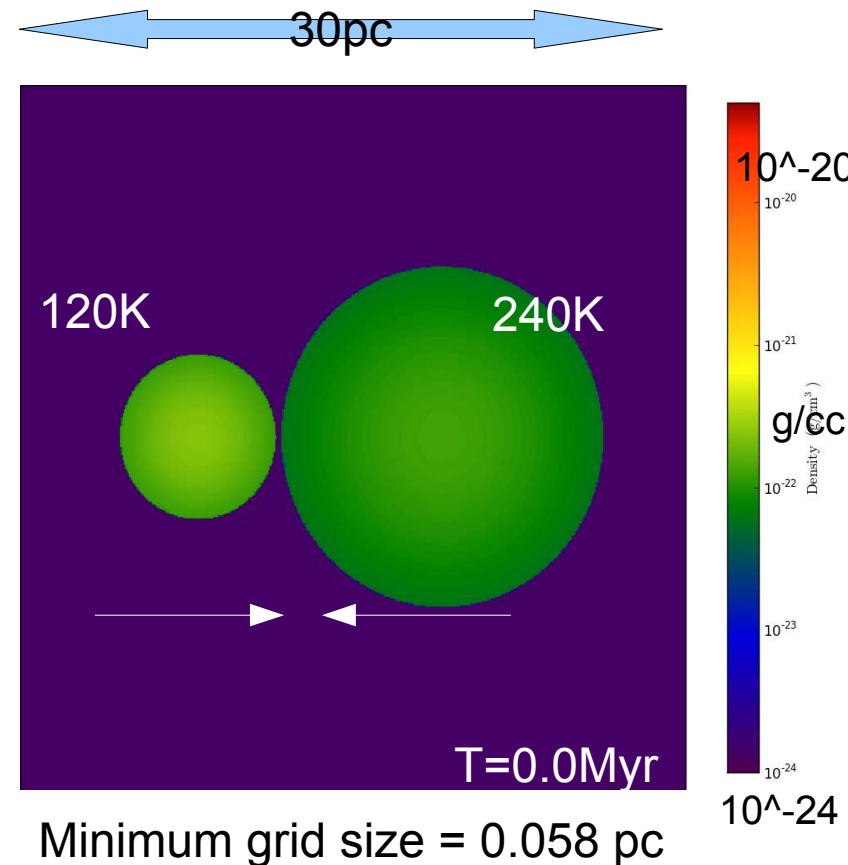
Habe & Ohta (92)

Gravitational instability

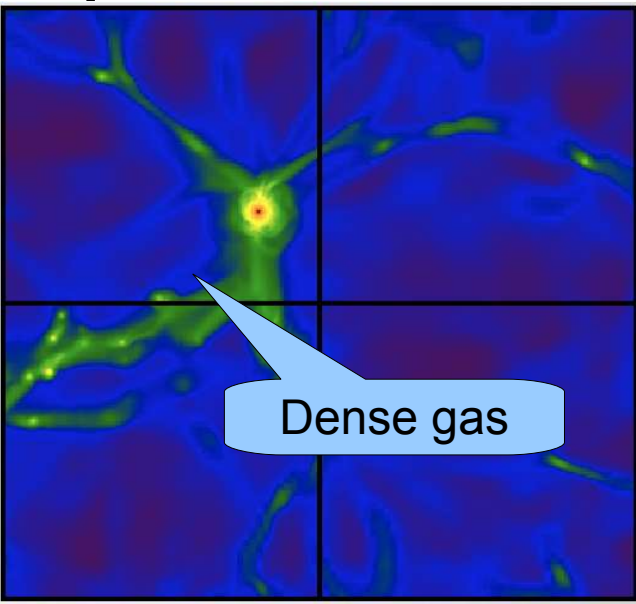


Model

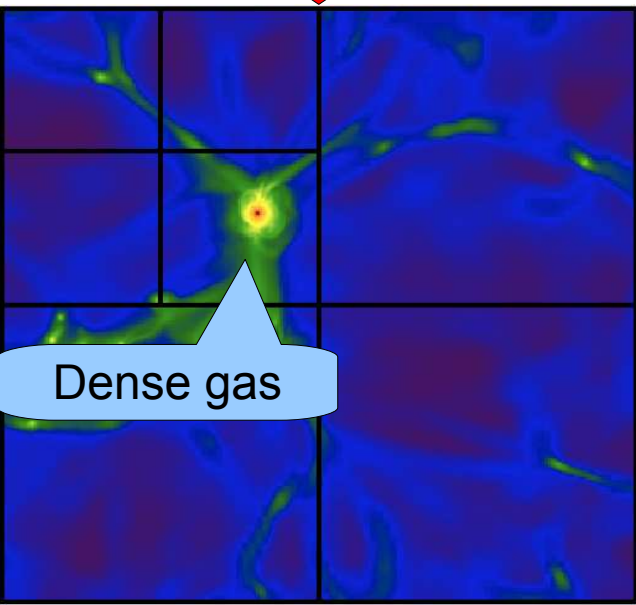
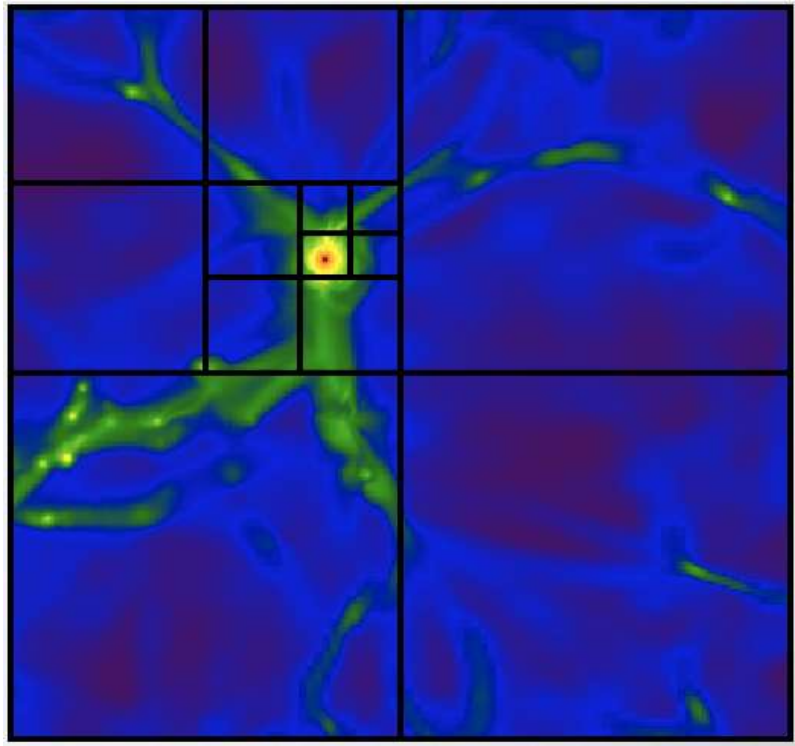
- Initial : Isothermal, hydrostatic sphere (Bonner-Ebert sphere)
- Head-on collision of non-identical clouds
- Cloud1 - 120K, $410 M_{\odot}$
- Cloud2 - 240K, $1490 M_{\odot}$
- Relative velocity (2 case)
 - Case1 : 2.6km/s ($M \sim 4$)
 - Case2 : 3.4km/s ($M \sim 6$)
- Enzo code (AMR)



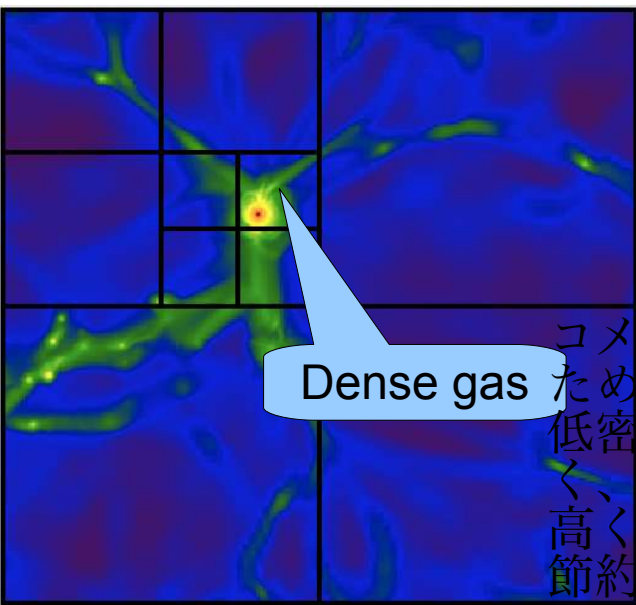
Adaptive Mesh Refinement (AMR) – Enzo Code



Refinement Lv.0 (Top grid)

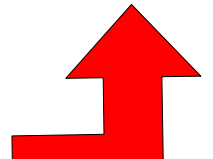
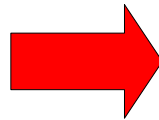
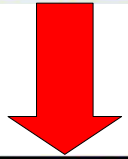


Ref. Lv.1

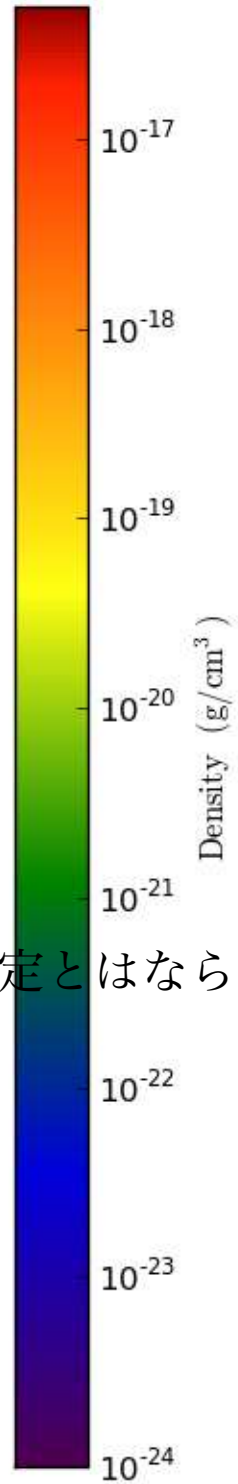
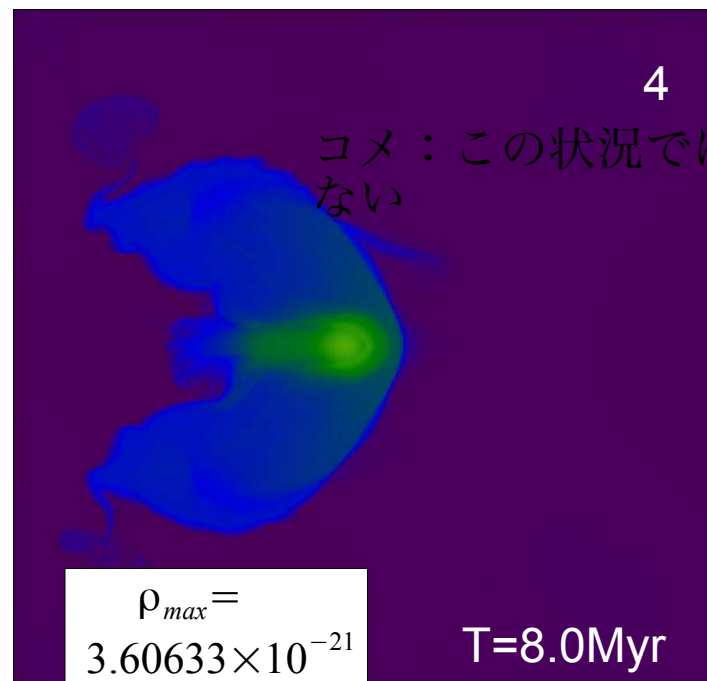
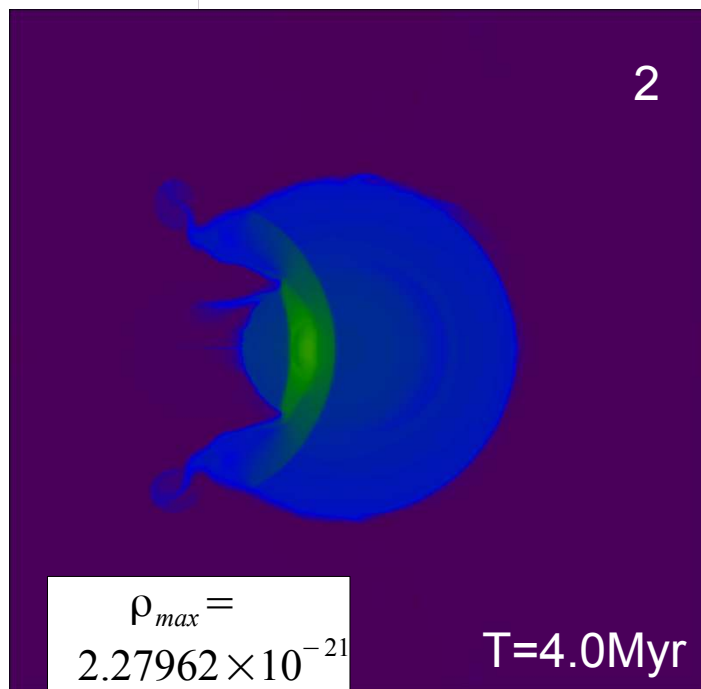
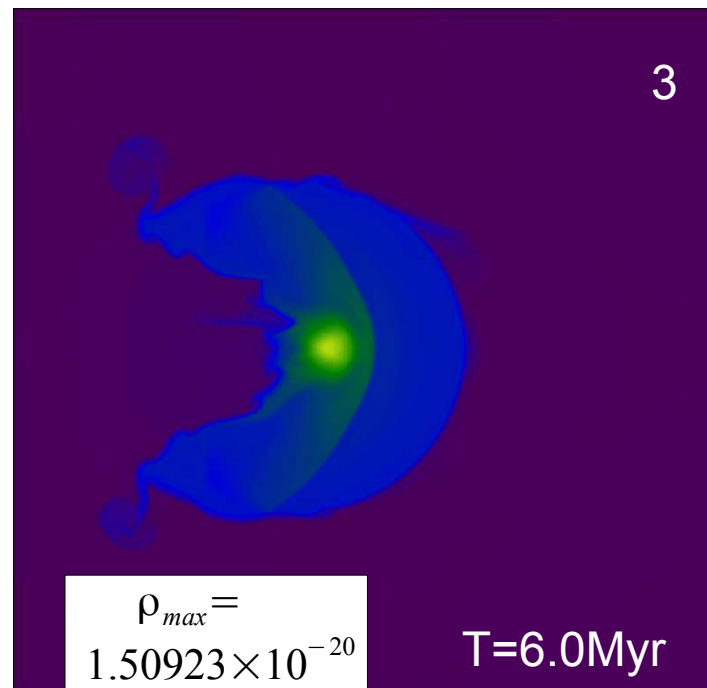
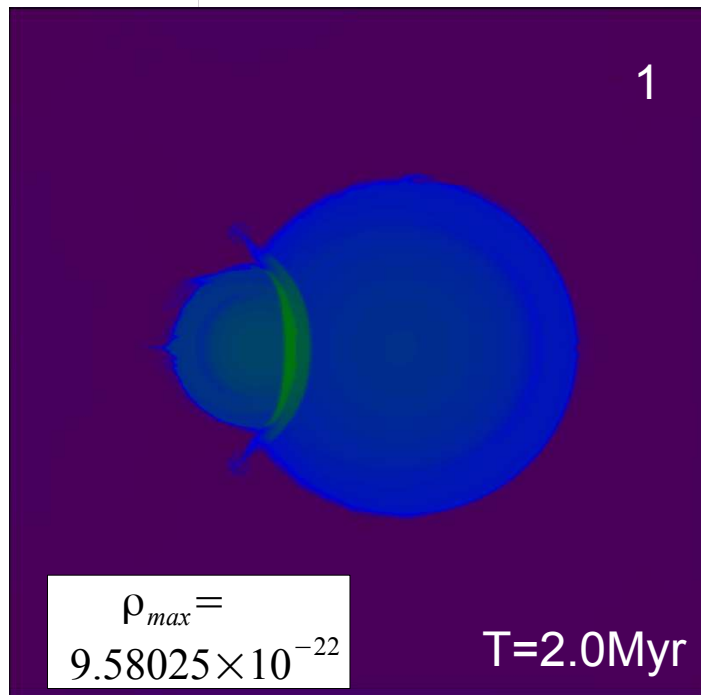


Ref. Lv.2

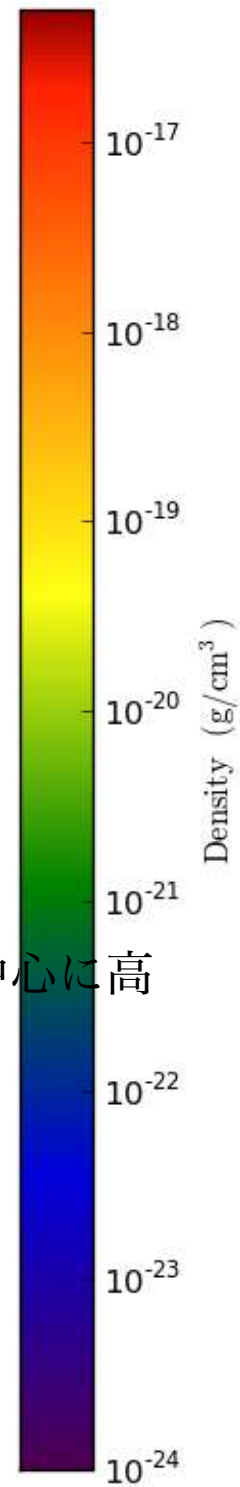
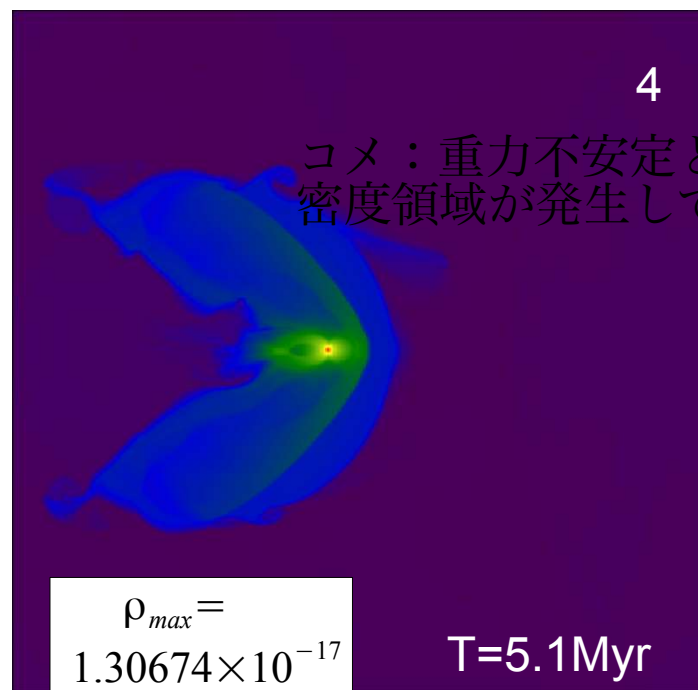
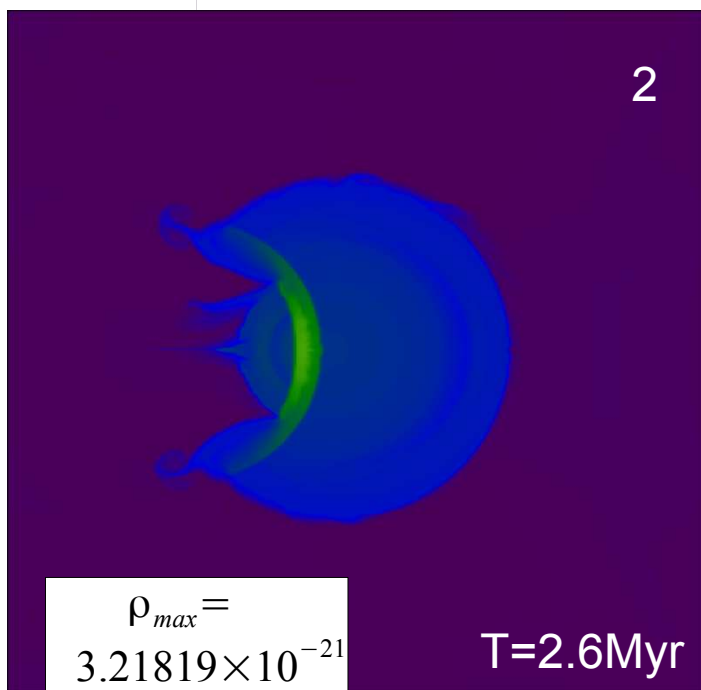
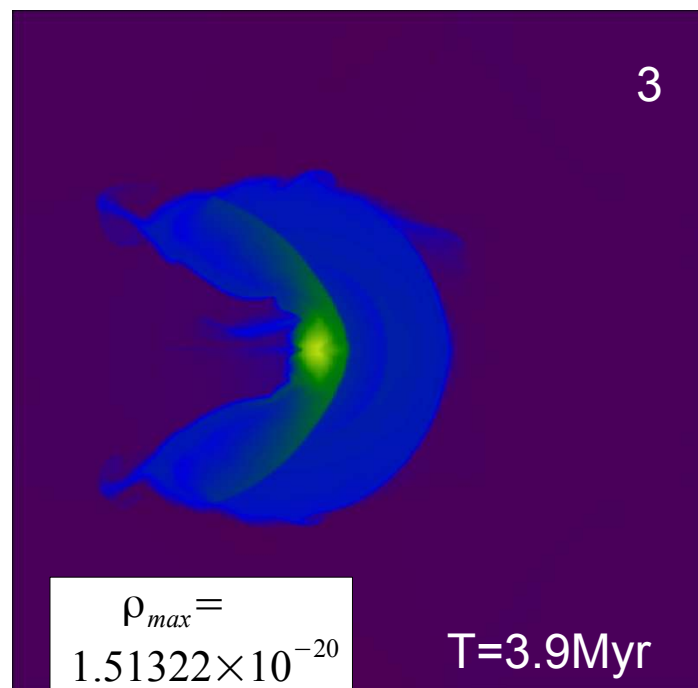
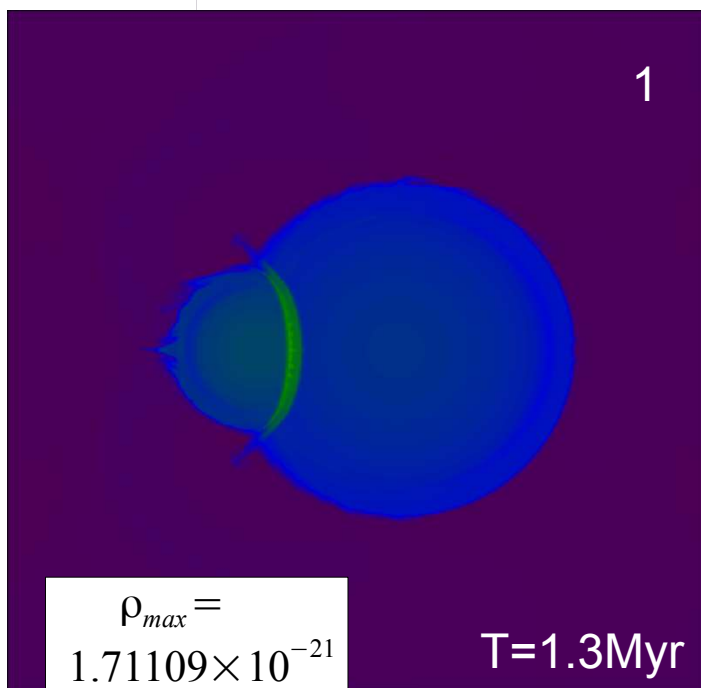
コメ：高解像度を実現するための計算方法。低密度領域の解像度を荒く、高密度領域の解像度を高くすることで計算時間を節約している



Case1 : $v=2.6\text{km/s}$ (stable case)



Case2 : $v=3.4\text{km/s}$ (unstable case)



Analysis (Unstable case)

- Core ($\rho > 1 \times 10^{-19} \text{g/cc}$)

Total Mass

- $168.1 M_{\odot}$

Jeans Mass

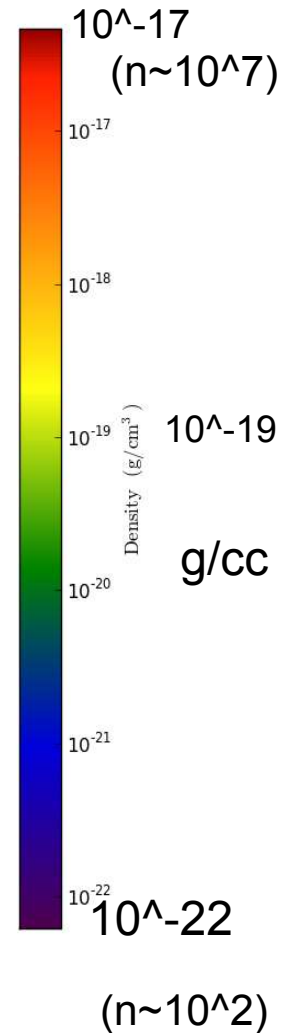
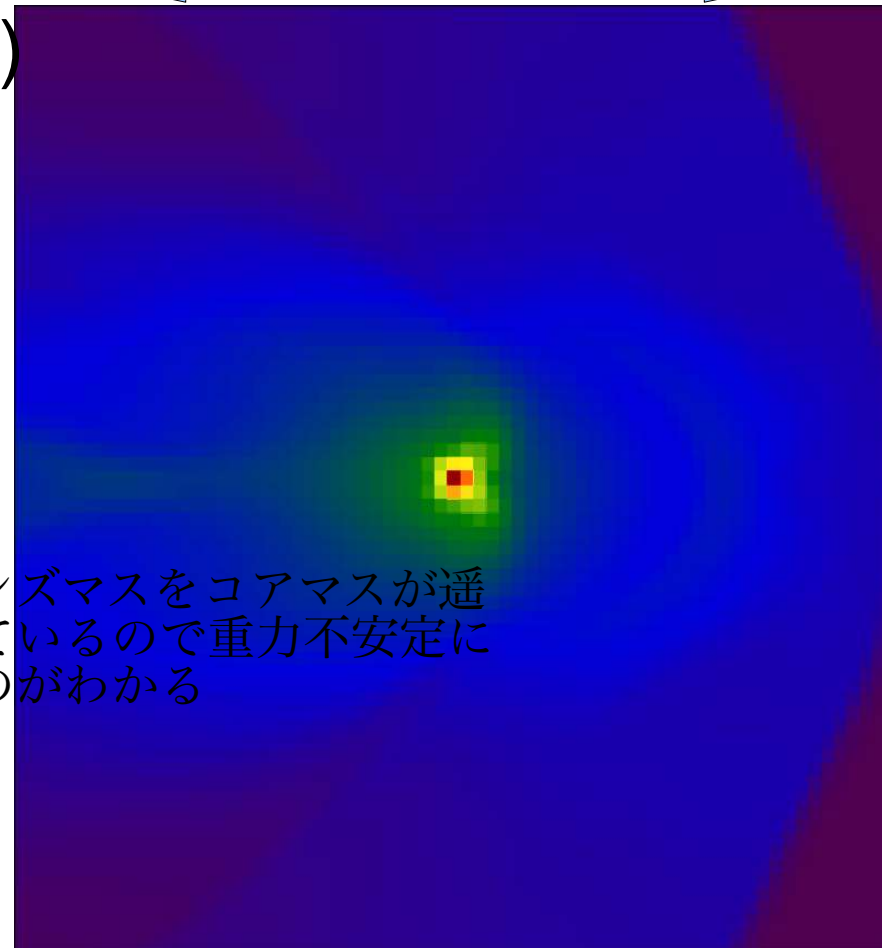
- $18.3 M_{\odot}$

Small cloud

- $410 M_{\odot}$

コメ：ジーンズマスをコアマスが遥かに上回っているのがわかるので重力不安定になっているのがわかる

4pc

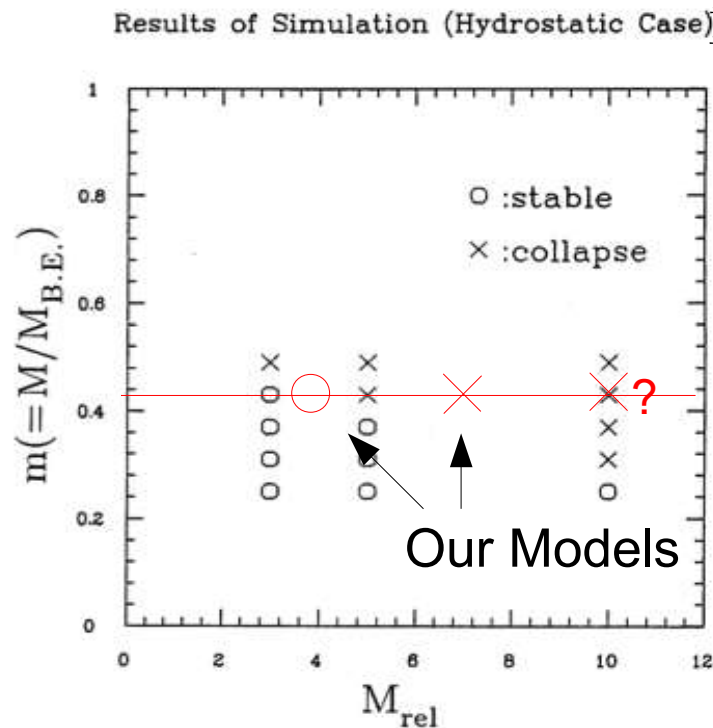


The core has 41% of small cloud mass.

Summary

- High Mach Number CCC induces gravitational instability.
- CCC can induce gravitational collapse of small cloud efficiently.
- Our results agree with Habe & Ohta(92).

コメ：以上から衝突の相対速度が早いほど重力不安定となりやすいことがいえる。



Red symbols are our models

Habe & Ohta (92)

Future Work

- Our model is too simple.
- We will consider

present



future

Isothermal

Static Clouds

Sphere

Head-on collision

One case of mass ratio

Radiative cooling

Turbulent internal motion

Various shapes

Impact parameter

Various mass ratio

発表での質問

- シミュレーションの結果が二次元に見えるのだが
 - 三次元で計算しており、細かく見ると非対称となっています。
- 観測と比較できるのか（例えば速度構造など）
 - 視線方向の特定の速度のものだけを取り出すことも出来るので比較は可能だと思っています。
- 低密度領域にいきなり高い密度のものが出来るとAMRでは埋もれてしまうのではないか
 - いきなり高密度領域ができないように時間幅を調節してくれるコードなので大丈夫です（本番では答え方を間違えました）。
- 温度が高いのではないか、また低い温度で計算はしないのか
 - 今回は乱流を考えていないのでその寄与を温度に押し付けているため高温となっています。低い温度はこのモデルではスケーリングで温度を $1/4$ にするとマスが $1/16$ になります。