

# ガスによる力学的摩擦を考慮した原始銀河 ブラックホールの合体過程の研究

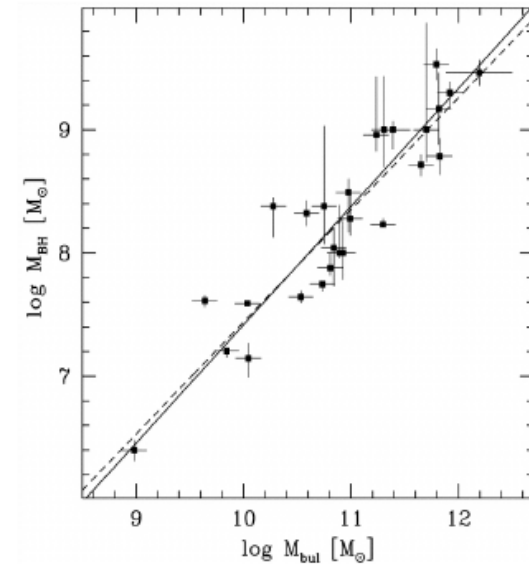
D1 田川寛通(東京大学)

共同研究者

梅村雅之(筑波大学)、郷田直輝(NAOJ)、矢野太平(NAOJ)

# 研究背景

- 銀河の多くは中心に超大質量ブラックホール (SMBH)を含む
- $z > 6$ で、 $M_{\text{bh}} > 10^9 M_{\text{sun}}$ のQSOsの観測  
→SMBHの形成過程は不明 合体 or ガス降着
- (仮定)初代星残余物としての種BH  
→ガス降着のみで観測規模まで成長することは難しい  
→合体を考える
- マゴリアン関係 $M_{\text{bh}}/M_{\text{bulge}} \sim 0.001$   
→銀河とBHは共進化したことを示唆  
→BHも合体進化したのでは



Marconi & Hunt (2003)

# 合体過程の物理と本研究の着目点

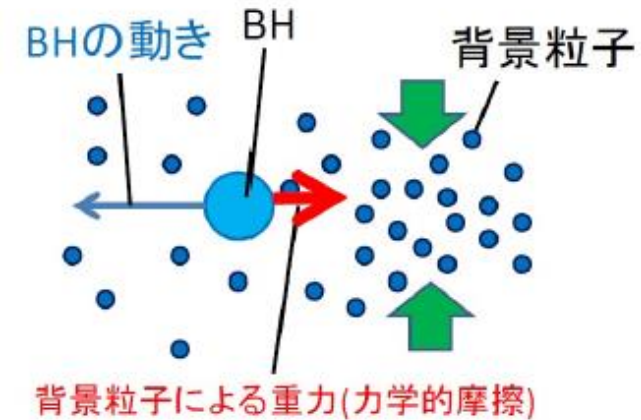
○Tanikawa & Umemura(2011)の合体へのシナリオ

- ①星の力学的摩擦で系の中心にBHが落ち込む
- ②BH連星が形成され、BHの3体相互作用により角運動量の損失
- ③重力波放出による合体

→ガスの効果は入っていない

ガスの効果が合体に効くことが先行研究で示唆されている

↓本研究では



①について、第一世代天体における豊富なガスによる力学的摩擦の効果(原始銀河を想定)によるBHの落ち込みを考える

+ ガス降着が働く場合と働かない場合を調べた

→ガスDFを考慮したBH3体以上の系における合体過程の軌道計算シミュレーションは本研究が初めて

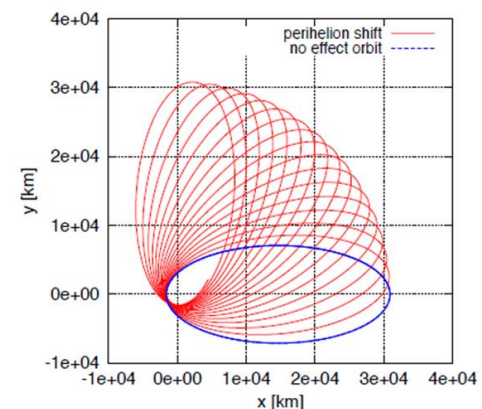
→BH合体を司る物理として何が支配的であるか議論する

# 計算手法

- 4次のエルミート積分法(Makino & Aarseth 1992)( $\eta=0.003$ )

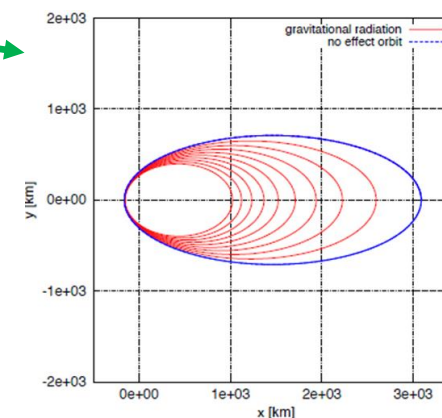
$$\Delta t = \sqrt{\eta \frac{|a_1| |a_1^{(2)}| + |\dot{a}_1|^2}{|\dot{a}_1| |a_1^{(3)}| + |a_1^{(2)}|^2}}$$

- 相対論効果として、近日点移動の1次、2次の効果、重力波放射の効果を取り入れた(Kupi 2006)



- 合体条件として、シュバルツシルト半径の100倍を設定

(重力波による合体のタイムスケール $\ll 1\text{yr}$ )



- 100Myr経過、または全BHが合体したら計算を終了

# ガスの取り扱い

○ガスによる力学的摩擦(Tanaka & Haiman 2009)と

○ガスの重力ポテンシャルポテンシャルを解析解で与える

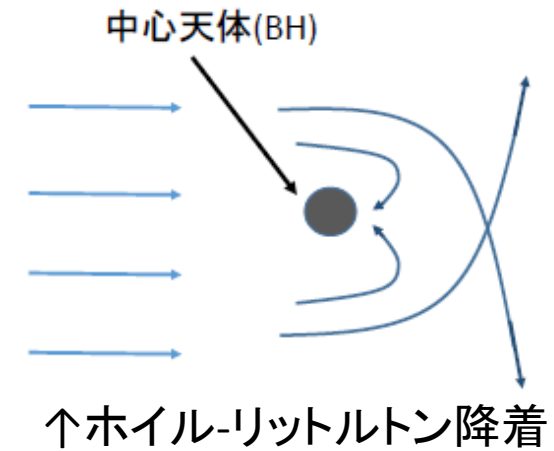
○ガス密度は一様とした

○ガス降着ありの場合は、

ホイル-リットルトン降着で降着率を与える

→ガスの分布は初期の典型的BH距離内に制限した

○ガス降着なしの場合は、ガスは無限一様に分布させた



# パラメーター領域

○ガス密度  $10^4 \sim 10^{12}$  個/cm<sup>3</sup>

○初期BH密度 (初期の典型的距離 10pc  $\sim$  0.01pc)

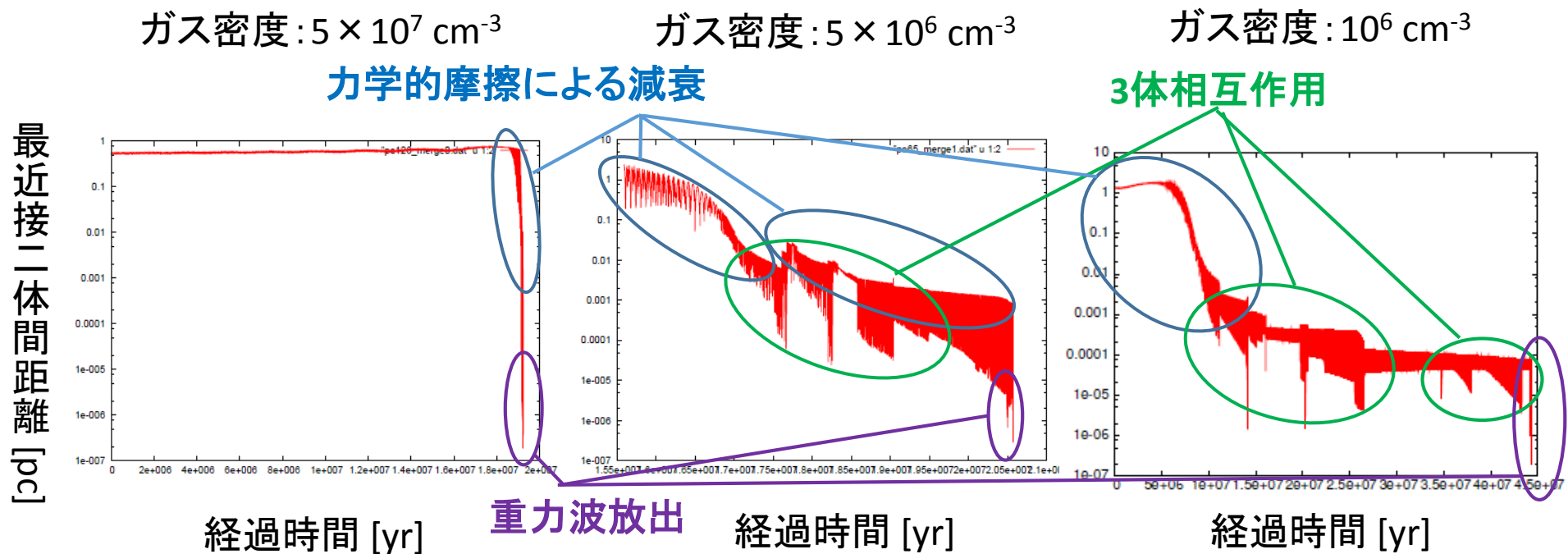
○BH質量 30, 10000  $M_{\text{sun}}$

○BH数 2, 3, 10体

○ガス降着あり、なし

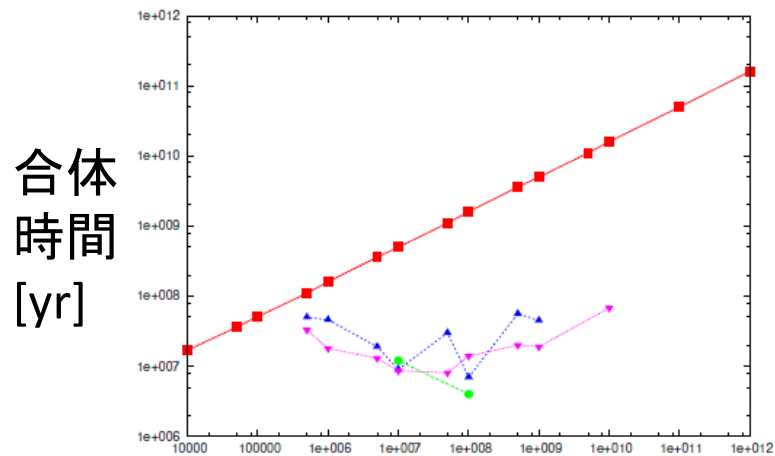
# 合体メカニズムの検証(ガス降着なし)

OBH密度  $10^2 M_{\text{sun}}/\text{cm}^{-3}$  (10pc),  $M_{\text{bh}}=10^4 M_{\text{sun}}$ ,  $N=10$  の場合



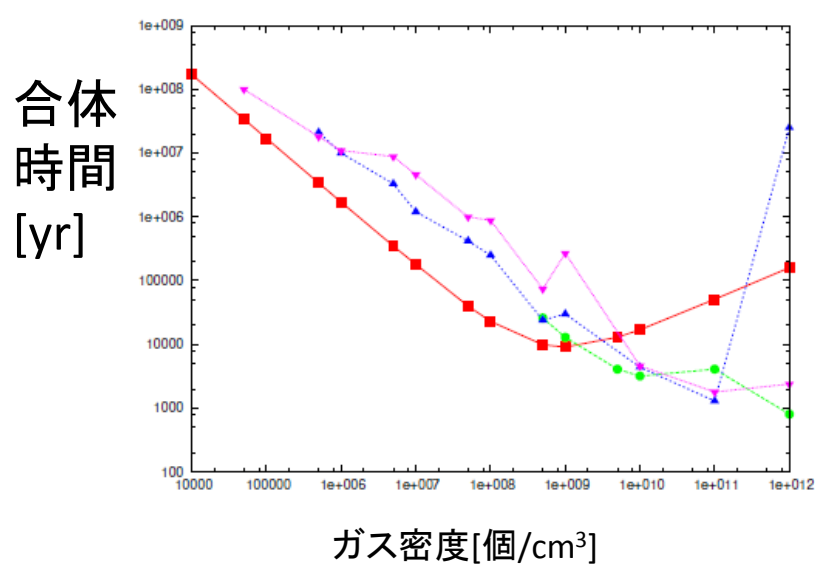
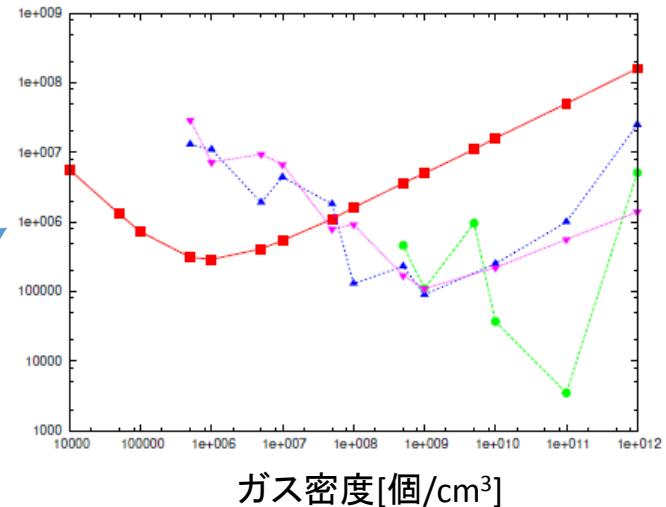
- ・力学的摩擦、力学的摩擦＋三体反応、力学的摩擦→三体反応と、ガス密度により合体に効くメカニズムが異なっている

# タイムスケールの比較 (ガス降着なし、 $M_{bh}=10^4 M_{sun}$ )



合体時間 [yr]

$r_{typ}=1\text{pc}$



赤: 力学的摩擦により二体間距離が縮まる解析的タイムスケール

緑: 2体系の合体時間

青: 3体系の合体時間

ピンク: 10体系の合体時間



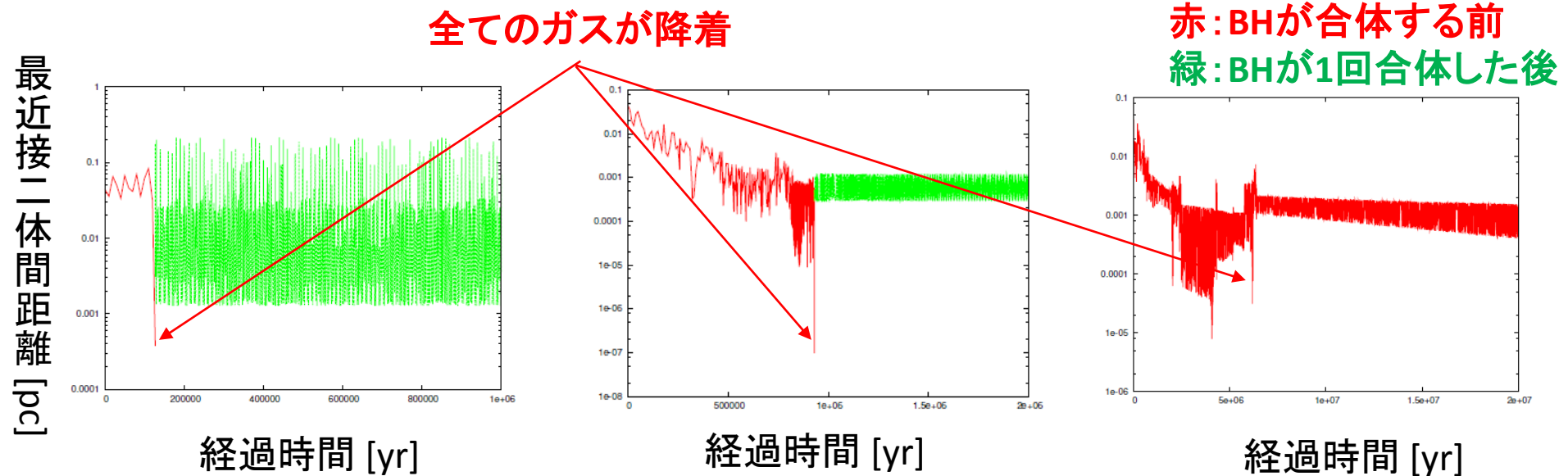
# 合体メカニズムの検証(ガス降着あり)

○BH密度 $3000 M_{\text{sun}}/\text{cm}^3$ ( $0.4\text{pc}$ ),  $M_{\text{bh}}=30M_{\text{sun}}$ ,  $N=10$ の場合

ガス密度: $10^8 \text{ cm}^{-3}$   
(ガス質量: $4 \times 10^7 M_{\text{sun}}$ )

ガス密度: $10^6 \text{ cm}^{-3}$   
(ガス質量: $4 \times 10^5 M_{\text{sun}}$ )

ガス密度: $10^5 \text{ cm}^{-3}$   
(ガス質量: $4 \times 10^4 M_{\text{sun}}$ )



- ・高い初期ガス密度では、ガスの降着が力学的摩擦が効くより速い

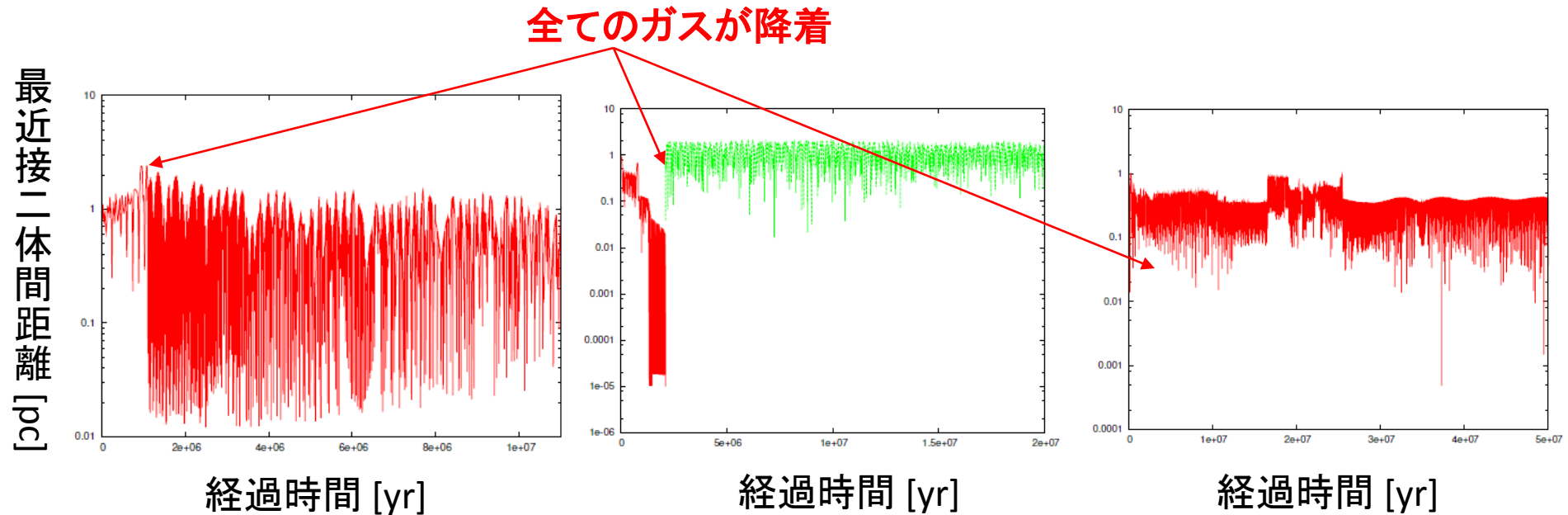
# 合体メカニズムの検証(ガス降着あり)

○BH密度  $10^2 M_{\text{sun}}/\text{cm}^{-3}$  (10pc),  $M_{\text{bh}}=10^4 M_{\text{sun}}$ ,  $N=10$  の場合

ガス密度:  $10^6 \text{ cm}^{-3}$   
(ガス質量:  $4 \times 10^9 M_{\text{sun}}$ )

ガス密度:  $10^4 \text{ cm}^{-3}$   
(ガス質量:  $4 \times 10^7 M_{\text{sun}}$ )

ガス密度:  $10^3 \text{ cm}^{-3}$   
(ガス質量:  $4 \times 10^6 M_{\text{sun}}$ )



- 初期距離が遠いと、ガス密度が高くても合体できない
- すべてのパラメータ領域において、力学的摩擦で合体するより、ガスの降着が早い結果

# 結論

- パラメーターによって、合体に効くメカニズムが異なる
- ガス降着がホイル-リットルトン降着の降着率で働くと、力学的摩擦の効果が効きづらくなる

# 今後の課題

- ホイル-リットルトン降着で見積もった量のガスが、全てBHに降着できるわけではない

→ホイル-リットルトン降着より降着率が低い場合の合体過程を調べる