

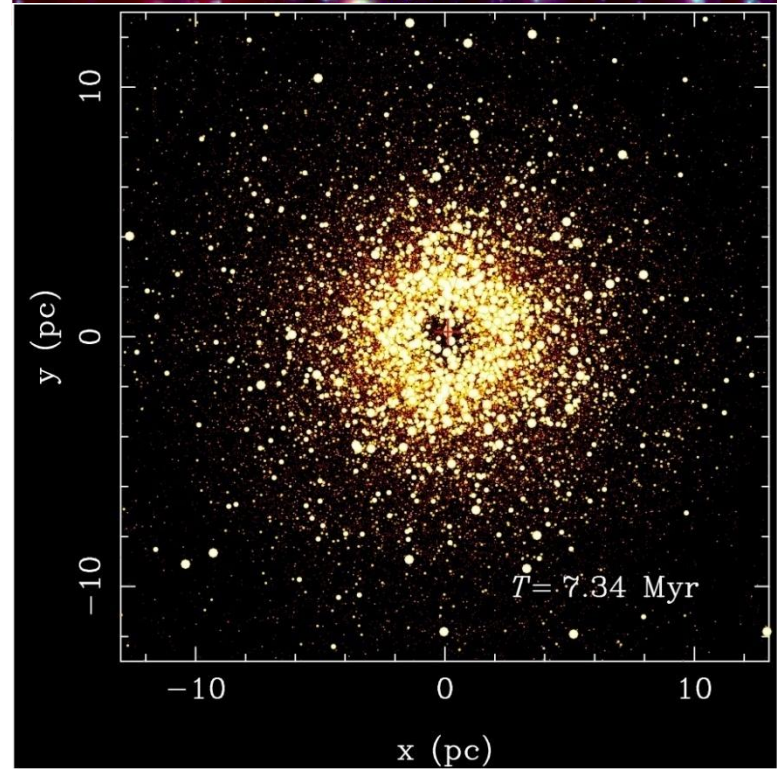
# 銀河系中心部の若い星の起源

東京大学 / 国立天文台  
藤井通子

共同研究：岩澤全規、船渡陽子（東京大学）  
牧野淳一郎（国立天文台）

# 概要

- 銀河系中心部の若くて重い星  
→ 星団起源？
- 銀河 + 星団のN体シミュレーション
  - 親銀河も星団もN体
  - かつ、星団の内部進化も計算
  - 新規開発のコード：BRIDGE
- 銀河系中心のさまざまな構造は  
星団によって説明できるかも
  - IRS13E
  - S-stars



# 構成

- 背景
  - 銀河系中心部の若くて重い星
  - 星団説・円盤説
  - これまでのN体シミュレーションとその問題点
- 目的
- N体シミュレーション
- 結果
  - 星団の軌道進化・内部進化
  - 高い軌道傾斜角を持つ星
- まとめ

# 銀河系中心部の若くて重い星

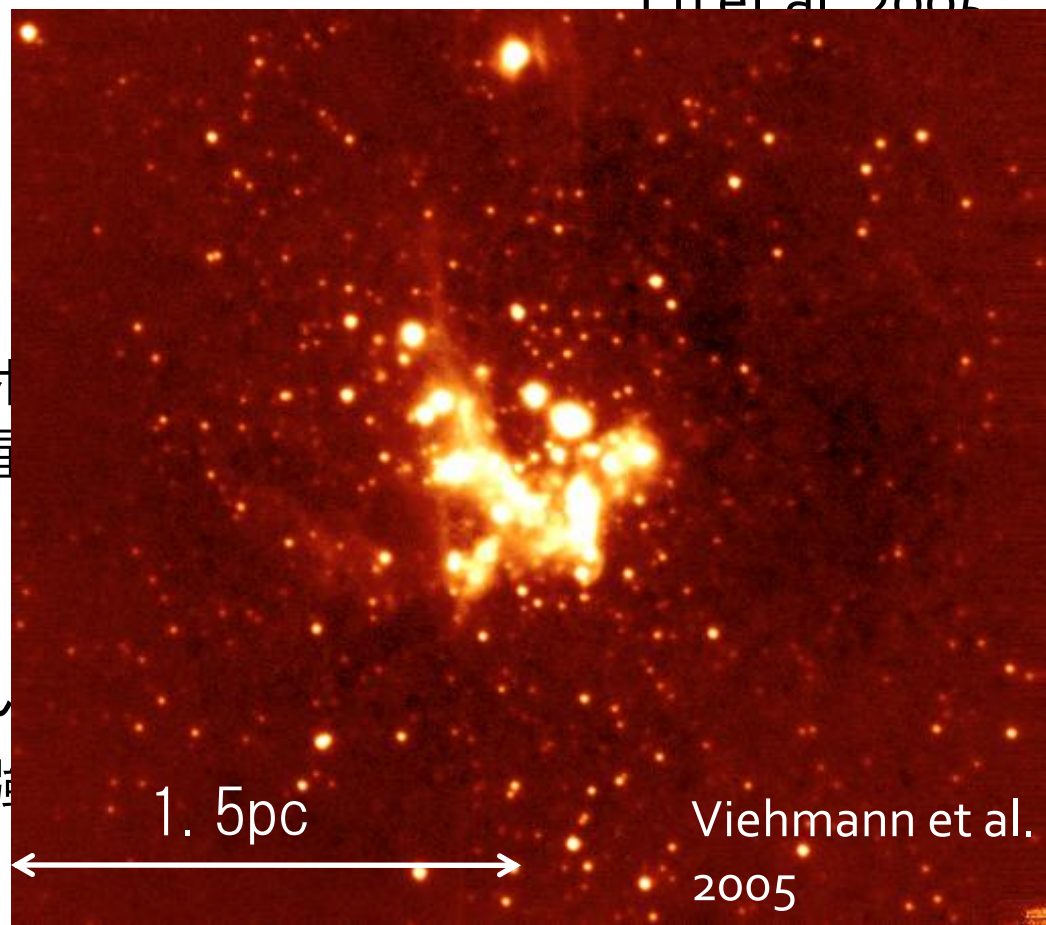
- 銀河系中心部 (<1pc) で、若くて重い星が見つかっている。

- 年齢：数Myr
- 2つのディスク上に分布(?)
- 高い離心率
- IRS13E: 中間質量ブラックホールによってバウンドしている星
- S-stars: さまざまな軌道

- その場での星形成は難しい
  - ブラックホールの潮汐力が強い

- どうやってできた？

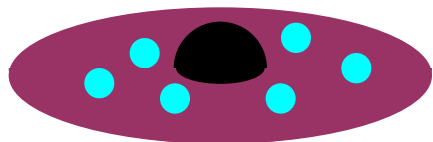
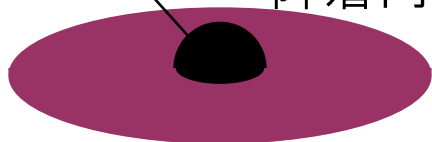
Lu et al. 2005



Projected distance from Sgr A\* (pc)

# 円盤説

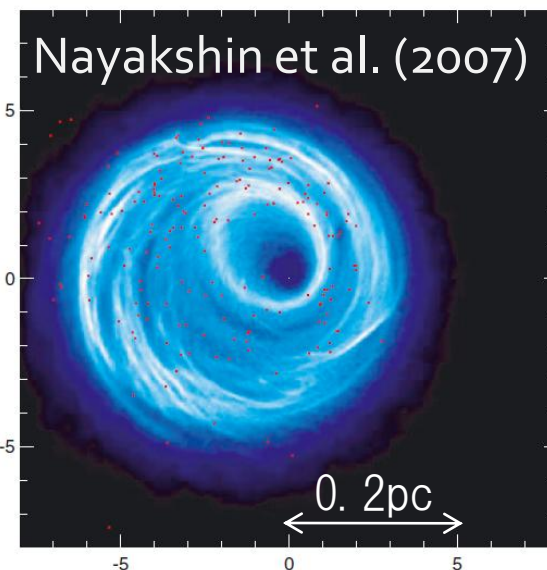
ブラックホール  
降着円盤



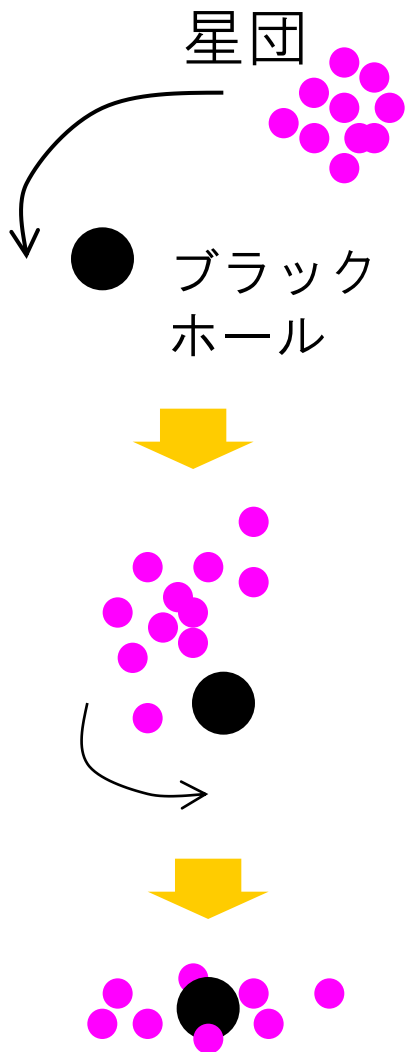
- 円盤説 (Levin & Beloborodov 2003)
  - ブラックホールの周りに降着円盤ができる。
  - 円盤の重力と潮汐力が相殺。
  - ガスが収縮して星ができる。

## ■ 問題点

- 2つのディスクが同時期にあった？
- 離心率の高い星を作るのは難しい。
- IRS13Eのようなコンパクトなものを作るのは難しい。



# 星団説



## ■ 星団説 (Gerhard 2001)

- 銀河中心から離れたところで星団が生まれる。(Arches, quintuplet)
- 力学的摩擦で落ちてくる。
- ブラックホールの潮汐力で壊される。

## ■ 観測を説明できそう

- IRS13E：星団コアの残骸
- 高い離心率の星：星団が楕円軌道

## ■ 問題点

- 星団が落ちるのに時間がかかりすぎる。
  - Portegies Zwart et al. (2003), Gürkan & Rasio (2005)

# IRS13E

- 数個の星が同じような運動をしている。

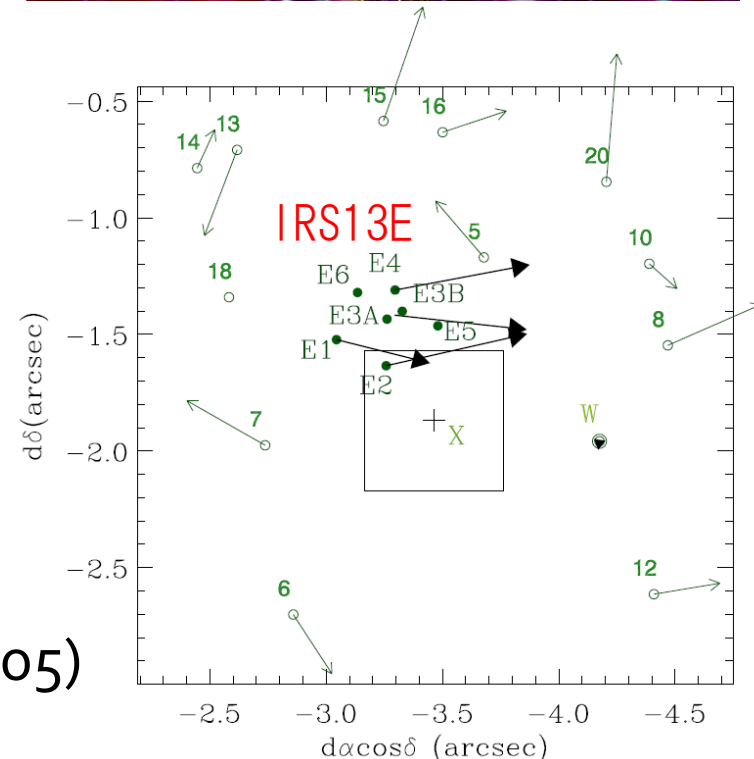
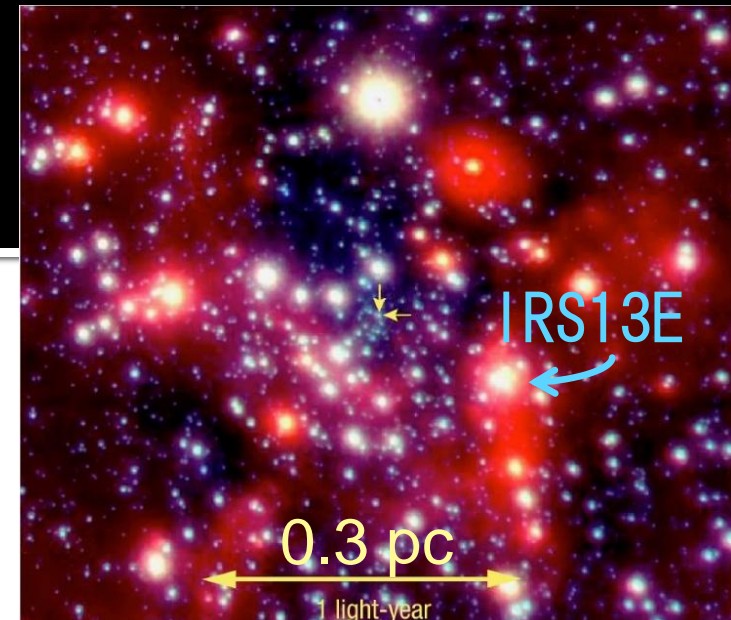
- 銀河中心から $\sim 0.12\text{pc}$
- 直径 $\sim 0.02\text{pc}$
- 高い離心率 $\sim 0.7$
- バウンドしているなら $10^3 M_{\odot} - 10^4 M_{\odot}$ が必要

→IMBH?

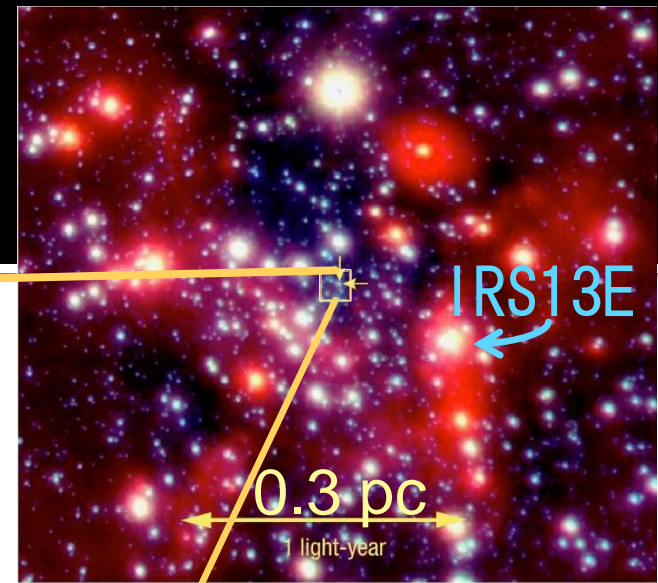
- 星団のコアの残骸?

- 星団内で星の暴走合体・IMBH形成  
→潮汐破壊→IRS13E

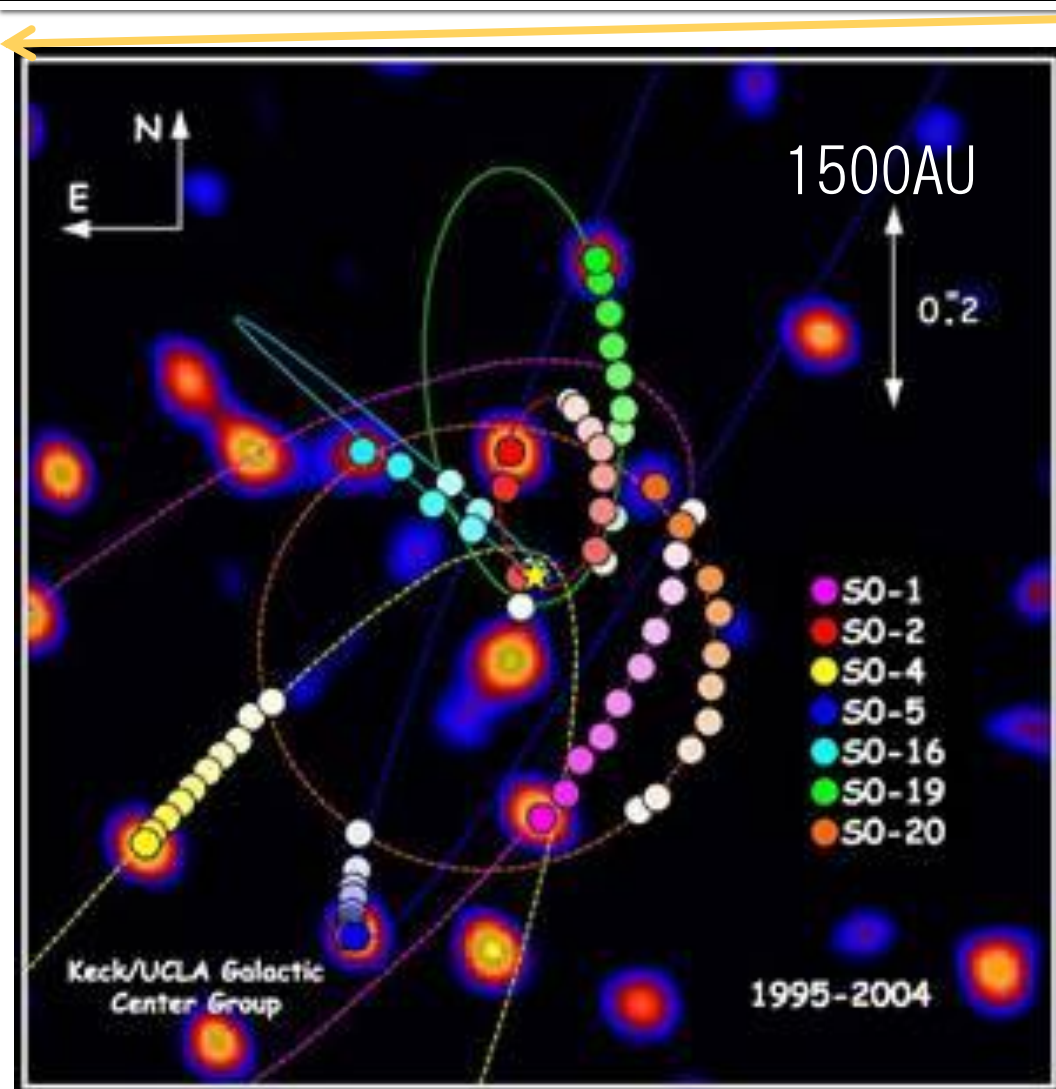
Maillard et al. (2004), Schödel et al. (2005)



# S-stars



The Centre of the Milky Way  
(VLT YEPUN + NACO)  
ESO PR Photo 23a/02 (9 October 2002) © European Southern Observatory



- 銀河中心に非常に近い
- さまざまな軌道傾斜角・離心率
- ディスクで作るのは難しい
- 中間質量ブラックホールによって運ばれた？

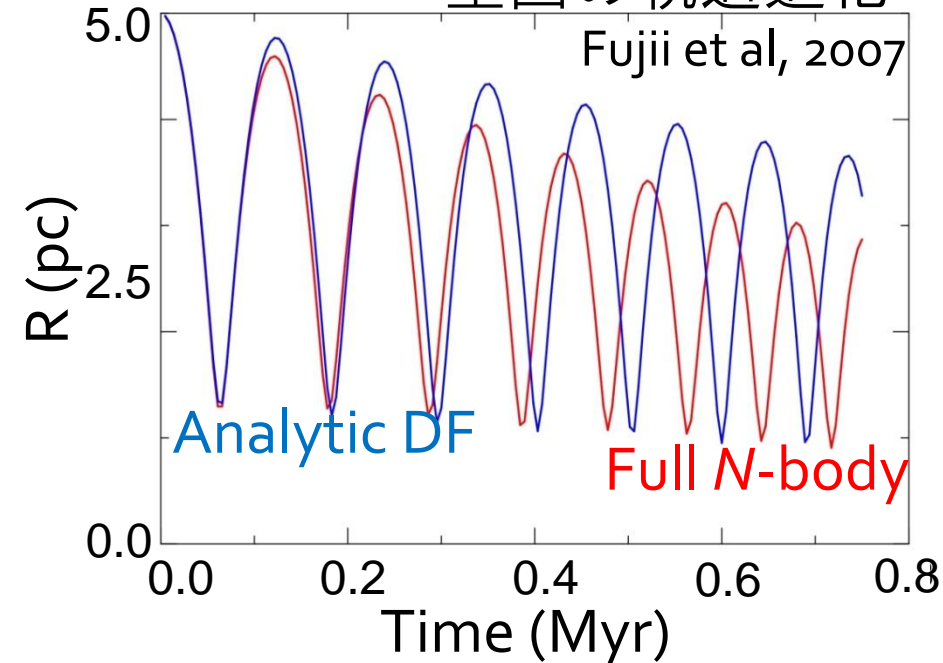


# 円盤説と星団説

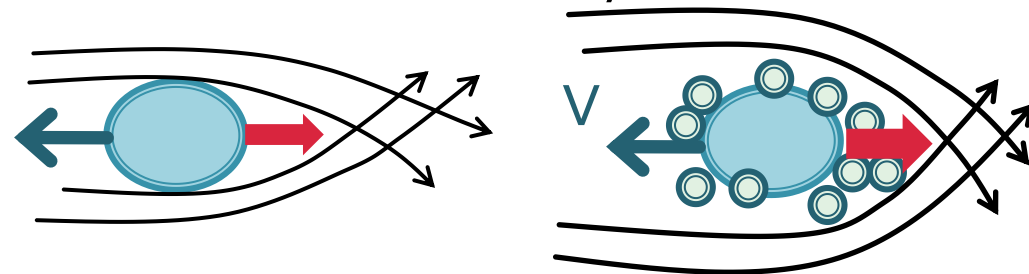
	星団	円盤
中心からの距離	△	○
2つのディスク	○	×
離心率の高い星	○	△
IRS13E	○	×
S-stars	?	?

# 星団説：これまでの研究の問題点

星団の軌道進化



- これまでのシミュレーション
  - 力学的摩擦を解析的に計算。
  - はがれた星の寄与が考慮されていない。
  - タイムスケールを過大評価。
- 正しい軌道進化を得るには
  - **全てN体で計算**
    - 従来の計算方法では難しい。
    - 新しいコードを開発。
      - BRIDGE (Fujii et al. 2007, PASJ)
      - 従来の方法を組み合わせたハイブリッド法



はがれた星が力学的摩擦を強める

# 目的

- 星団も銀河もN体のシミュレーションで、
  1. 星団の軌道進化を調べる。
    - 数Myrで1pc以内に星を運べるか？
  2. 星団の内部進化を調べる。
    - 星団内での星の合体 → IMBH+星 → IRS13E
  3. 運ばれた星の軌道を調べる。
    - 軌道長半径、軌道傾斜角、離心率
- 観測を統一的に説明したい。

# モデル

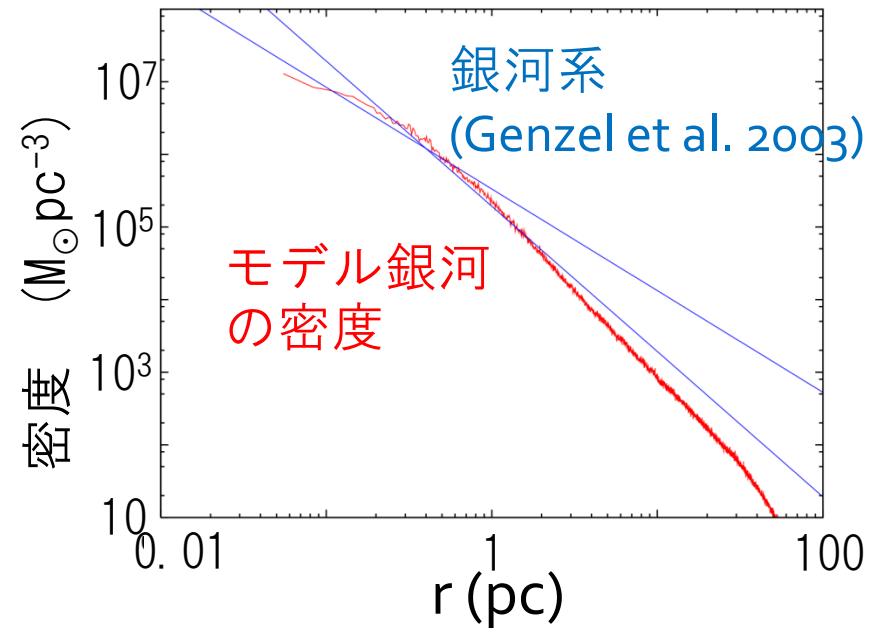
- 銀河中心BHあり
- 星団内の星の合体あり
- 大質量星の mass loss あり

## ■ 銀河

- King model  $W_0 = 10$  (+ BH)
  - $M_{\text{BH}} = 3.6 \times 10^6 M_{\odot}$
- $N = 2 \times 10^6$
- $M_{\text{Galaxy}} = 5.8 \times 10^7 M_{\odot}$
- Softening =  $4.9 \times 10^{-2}$  pc

## ■ 星団

- King model  $W_0 = 6, r_{\text{core}} = 0.04$  pc
- $N = 65536$
- $M_{\text{cluster}} = 2.1 \times 10^5 M_{\odot}$
- IMF: Salpeter 1 - 100  $M_{\odot}$
- Softening = 0



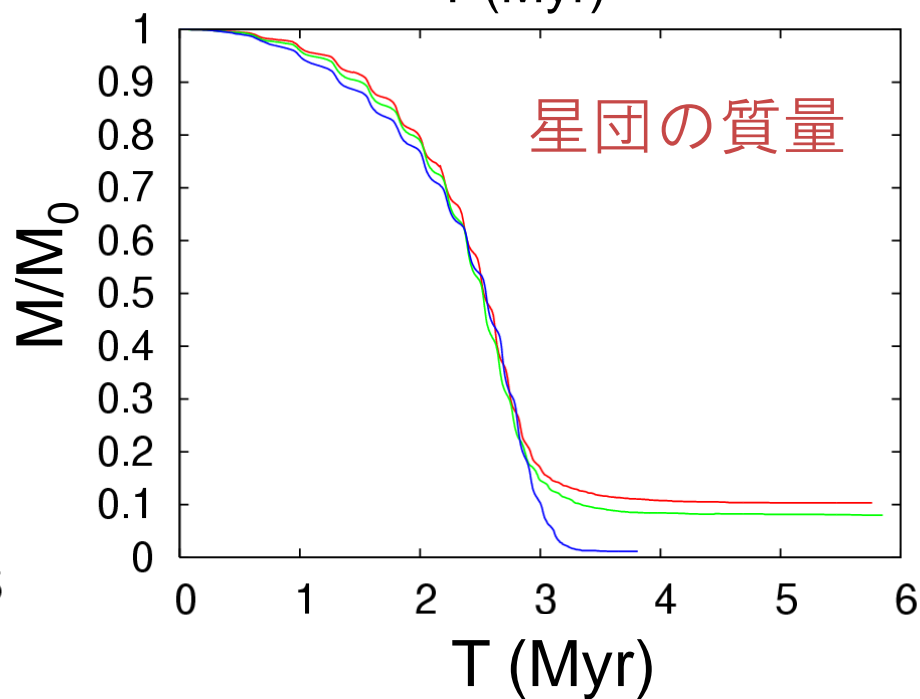
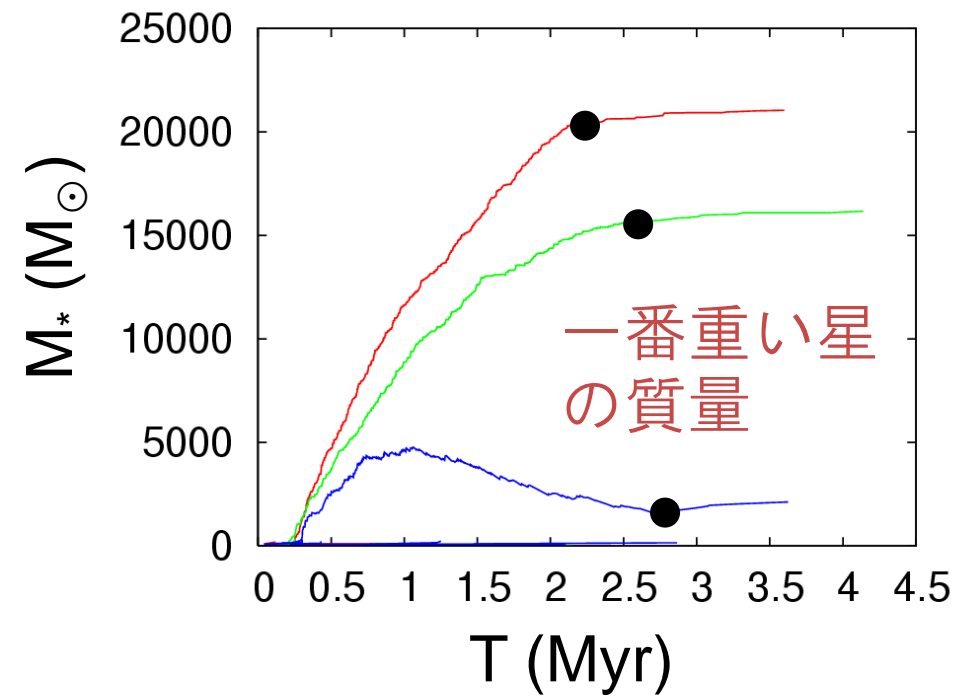
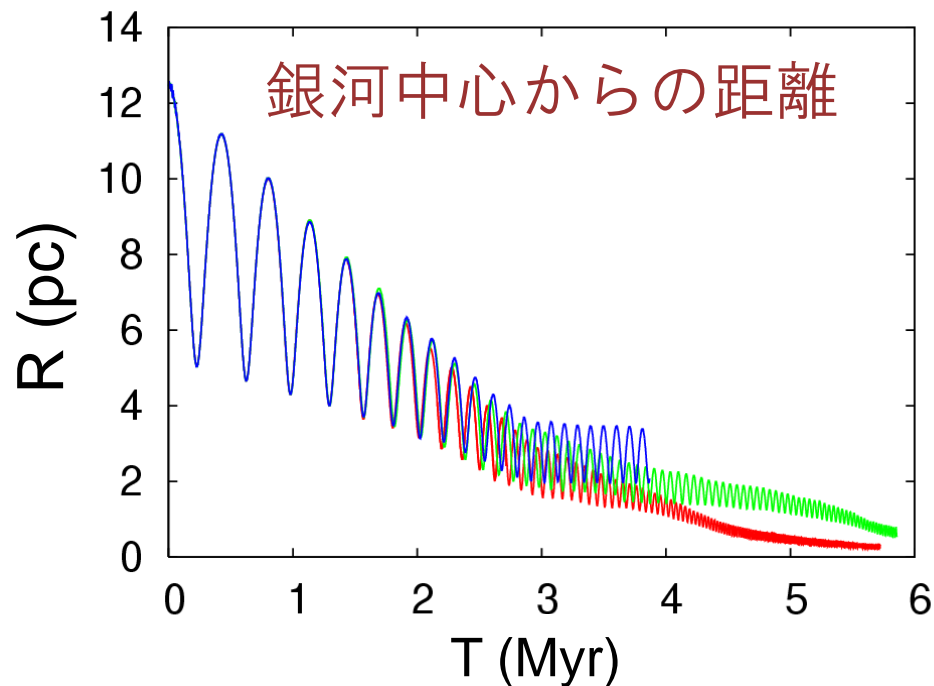
- Mass loss (Castor et al. 1975)
  - $L_* \propto M_*$  を仮定
  - $dM/dt = c \times M_*$
  - $300 M_{\odot}$  以上
- Radius (Herley et al. 2000)

# アニメーション

- 親銀河・星団共に $N$ 体
  - 星団のみをプロット
- +印：一番重い星
- 計算：GRAPE 6（一週間くらい）

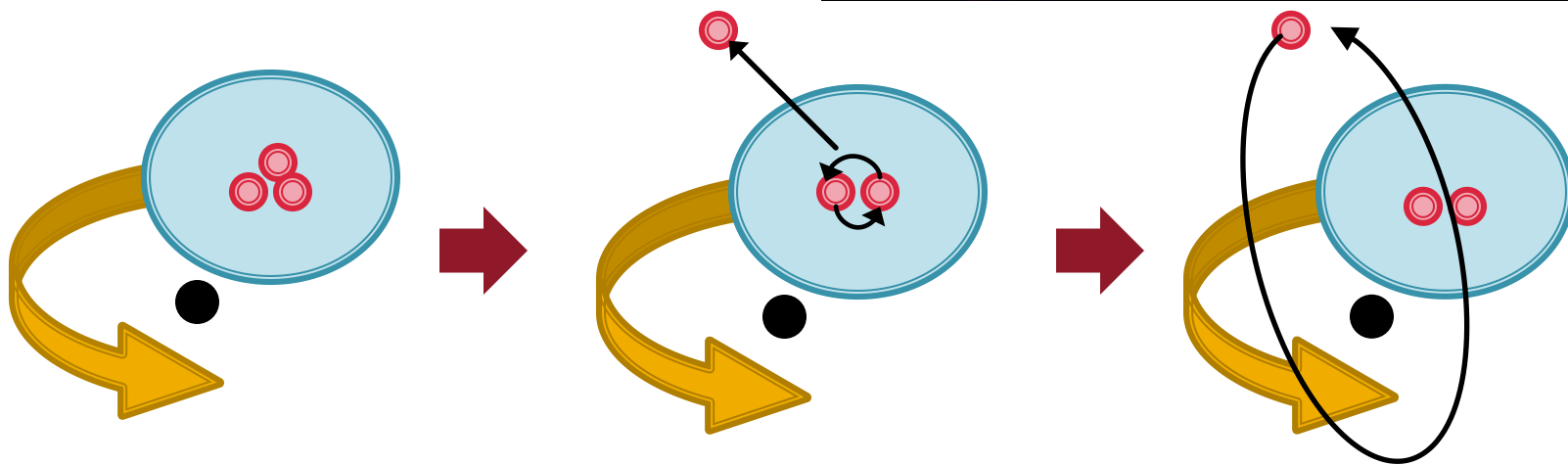
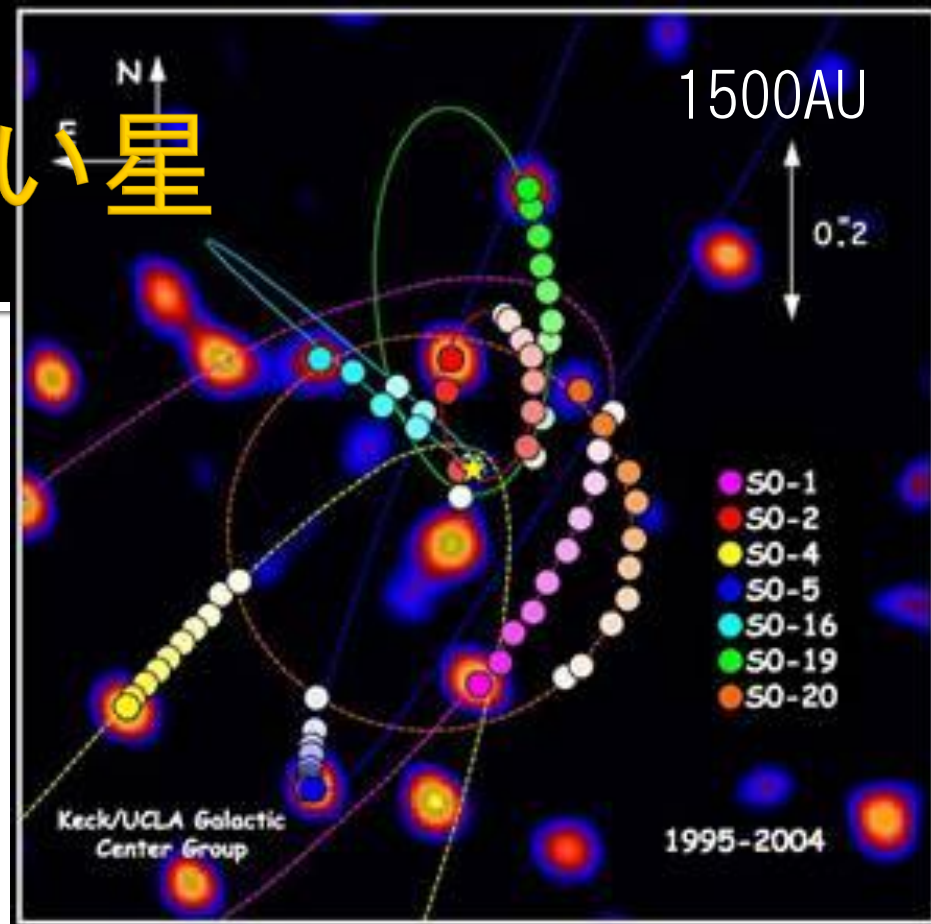
# 結果

- Mass loss なし
- Mass loss あり
  - $9.66 \times 10^{-8} (M/M_{\odot}) (M_{\odot}/\text{yr})$
  - $1.6 \times 10^{-6} (M/M_{\odot}) (M_{\odot}/\text{yr})$



# 軌道傾斜角の高い星

- 星団内で3体相互作用。
- 潮汐破壊では作れない。
- 銀河中心から5000AUくらいまで近づく星も。  
→S-starsの起源？



# まとめ

- 星団も銀河もN体のシミュレーションを行い、星団の進化を調べた。
  - 星団の中で星の暴走合体が起こり、中間質量ブラックホール程度の質量 ( $10^3$ - $10^4 M_{\odot}$ ) の星ができる。
  - 条件によっては、IRS13E のようなものができそう。
  - 星団によって軌道傾斜角の高い星が作られる。  
→S star
- 今後：条件を変えて計算してみる必要がある。
  - 初期条件：星団のモデル・軌道
  - 星の進化：mass loss