

Sgr A* 近傍の恒星系力学

牧野淳一郎

国立天文台天文シミュレーションプロジェクト

Sgr A* 近傍の恒星系力学

牧野淳一郎

国立天文台天文シミュレーションプロジェクト (3/31 まで)

Sgr A^* 近傍の恒星系力学

牧野淳一郎

国立天文台天文シミュレーションプロジェクト (3/31 まで)

東工大理工研究科理学研究流動機構 (4/1 から)

概要

1. 観測でわかっている (らしい) こと

- Central Cluster
- Stellar Disk(s)
- Stellar Disk の輝度関数

2. 理論モデルについて少し

- その場形成モデル
- 星団落下モデル

3. まとめ

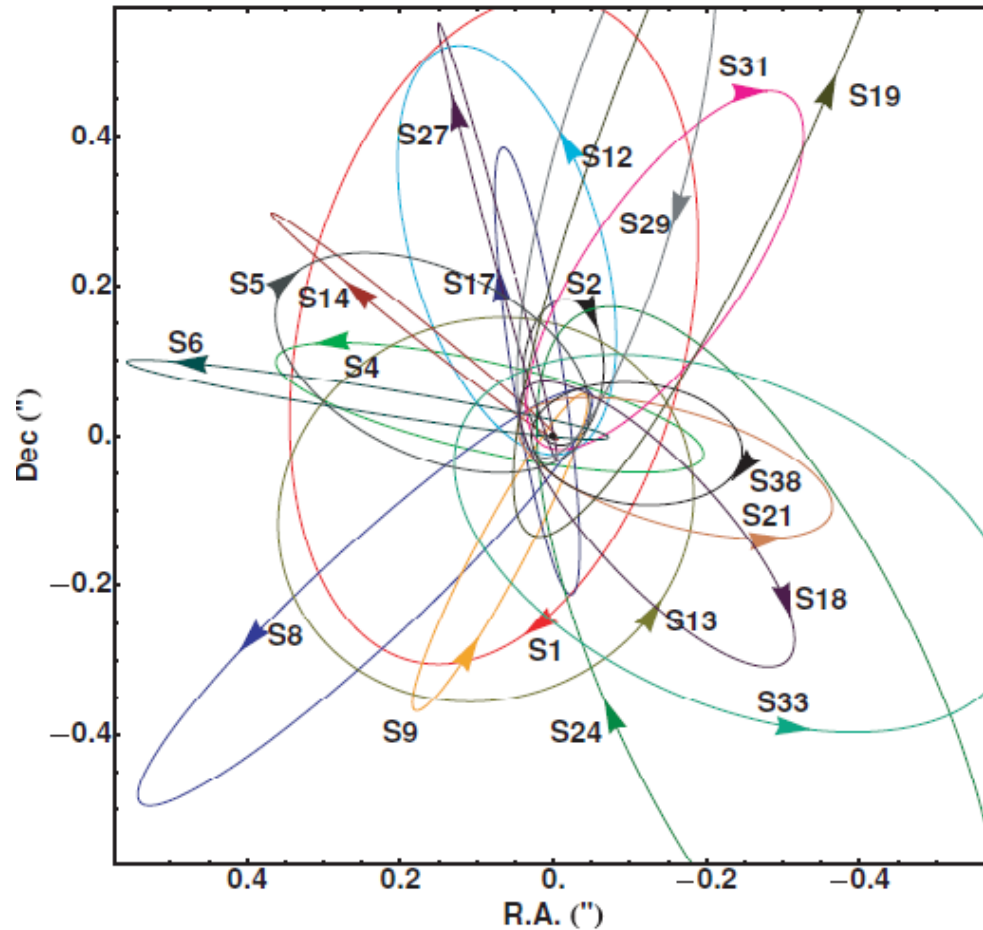
観測でわかっている(らしい)こと

- Central Cluster
- Stellar Disk(s)
- Stellar Disk **の輝度関数**

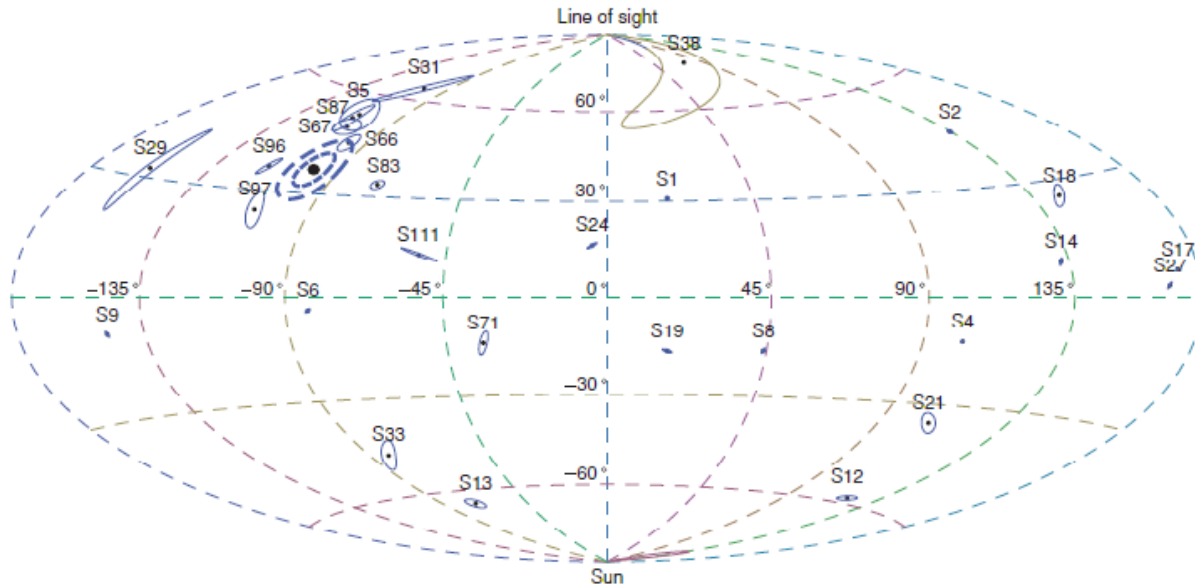
Central Stars

Gillessen et al.
2009

26 個の星について軌
道決定できた。



軌道面 (というか軸) の分布



66, 67 83, 87, 96, 97 は前から時計回りディスクの一部と
言われていたもの。(5, 31は?)

軌道要素

	a(″)	e
(5	0.25	0.85)
66	1.21	0.18
67	1.1	0.37
83	2.79	0.66
87	1.26	0.42
96	1.55	0.13
97	2.19	0.30

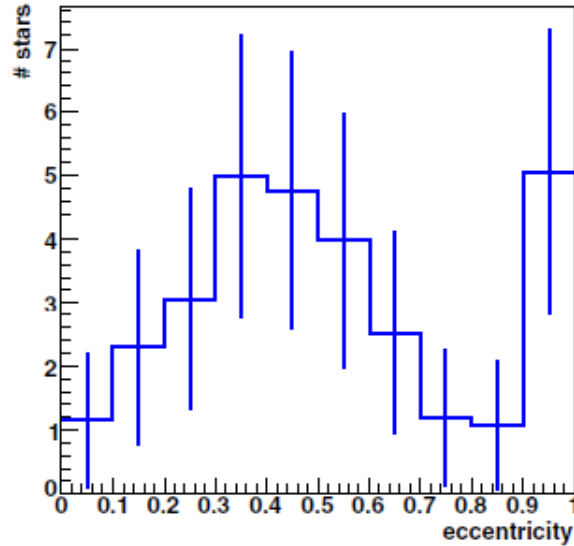
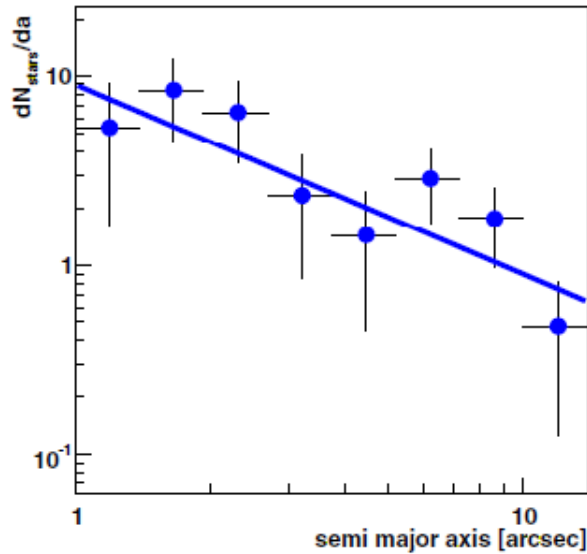
確かに円盤っぽい。

離心率小さい

他のサンプルの分布: $n(e) \sim e^{2.6}$,
 $n(a) \sim a^{0.9}$

半径 0.1pc (1-3″) くらい

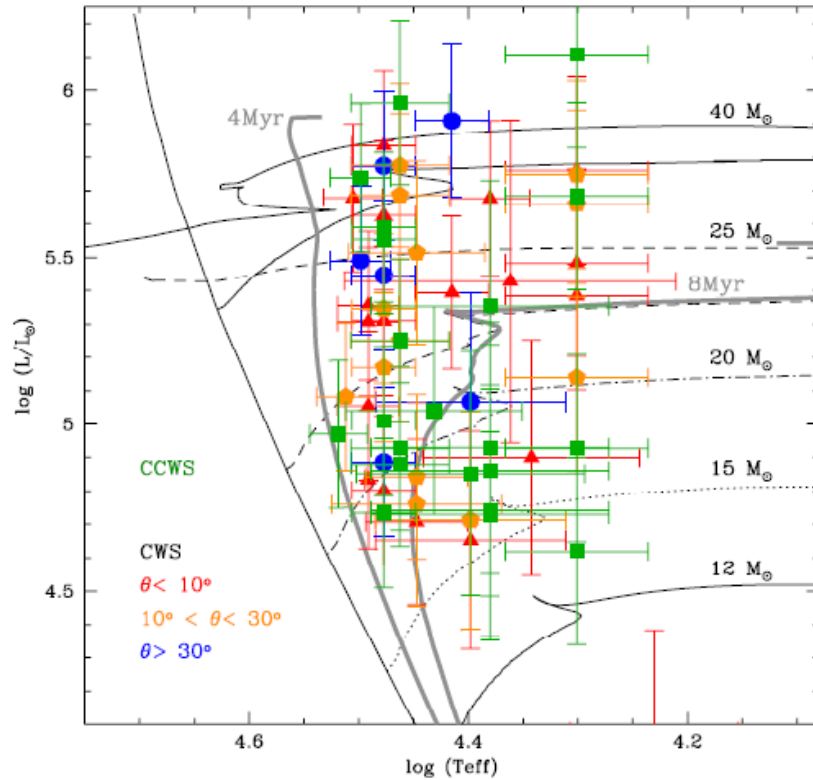
もうちょっと外側まで見ると



Bartko et al 2009

少なくとも 10 arcsec くらいまではある。

年齢



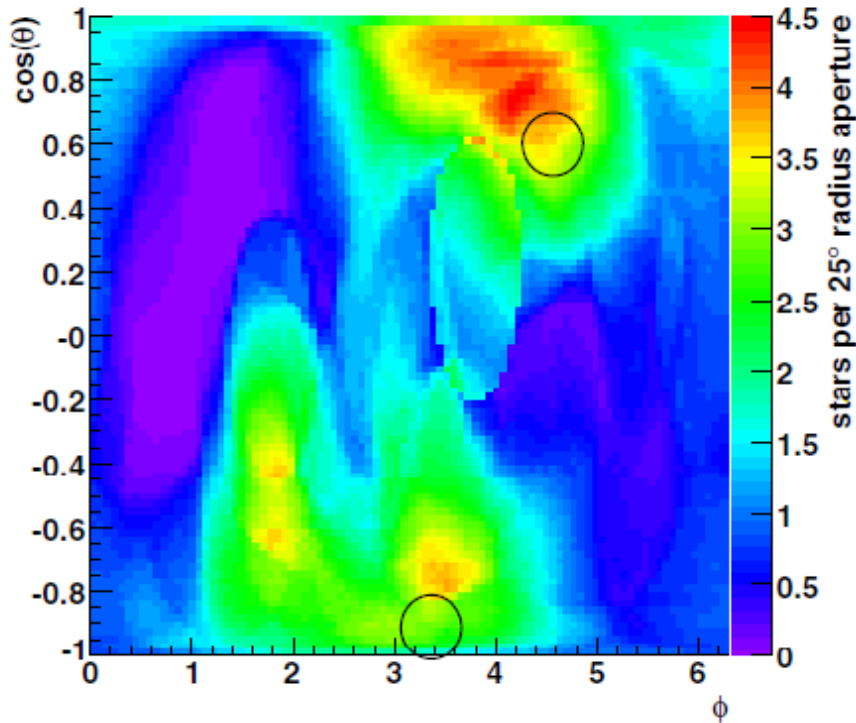
Bartko et al 2009

どれもこれも 4-8Myrs、
というのと「矛盾はしない」

緑:逆回転。

赤:順回転、回転軸が近い

逆回転ディスク？



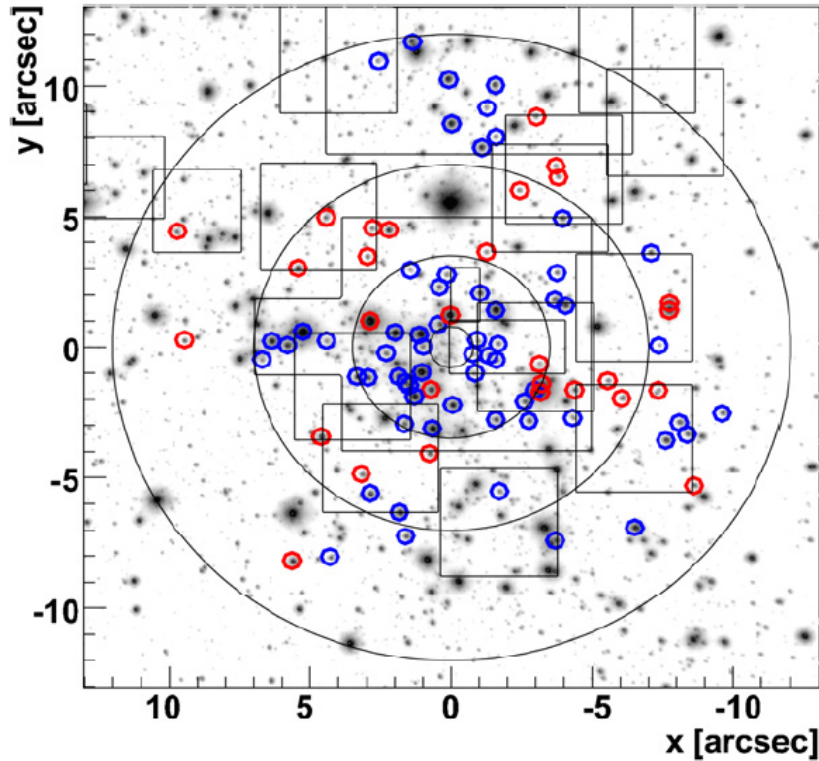
Bartko et al 2009

角運動量の2次元分布

上のが順回転

下にもなんかある？

星自体の分布



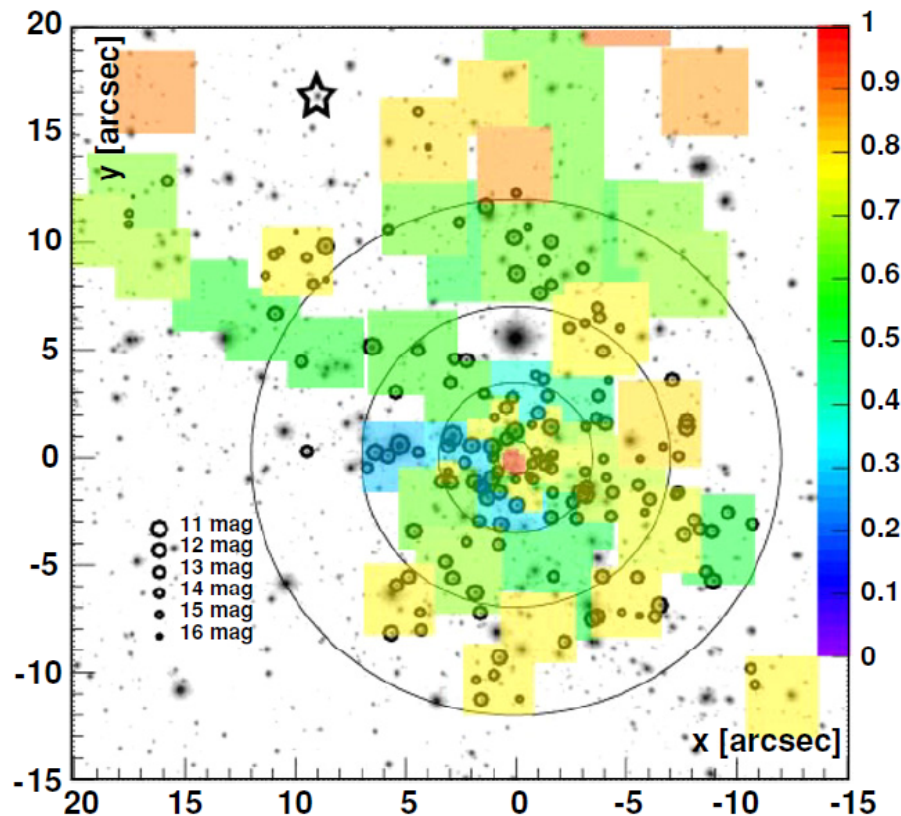
Bartko et al 2009

青:順回転

赤:逆回転

青はまあディスクと言われたらそう思わないこともないけど、、、

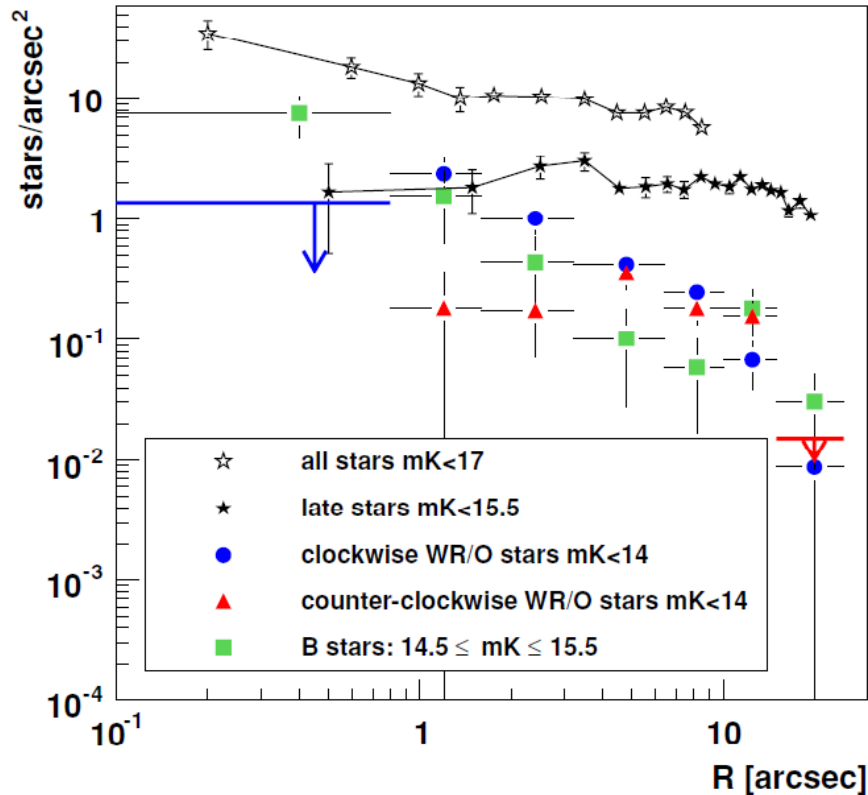
もうちょっと外側まで頑張ってみる



色付き四角が観測したところ (色は completeness)

これから謎な補正をして
質量分布を求める。
(角度方向で分布一様と仮定して補正してはいかんと思うけど、、、)

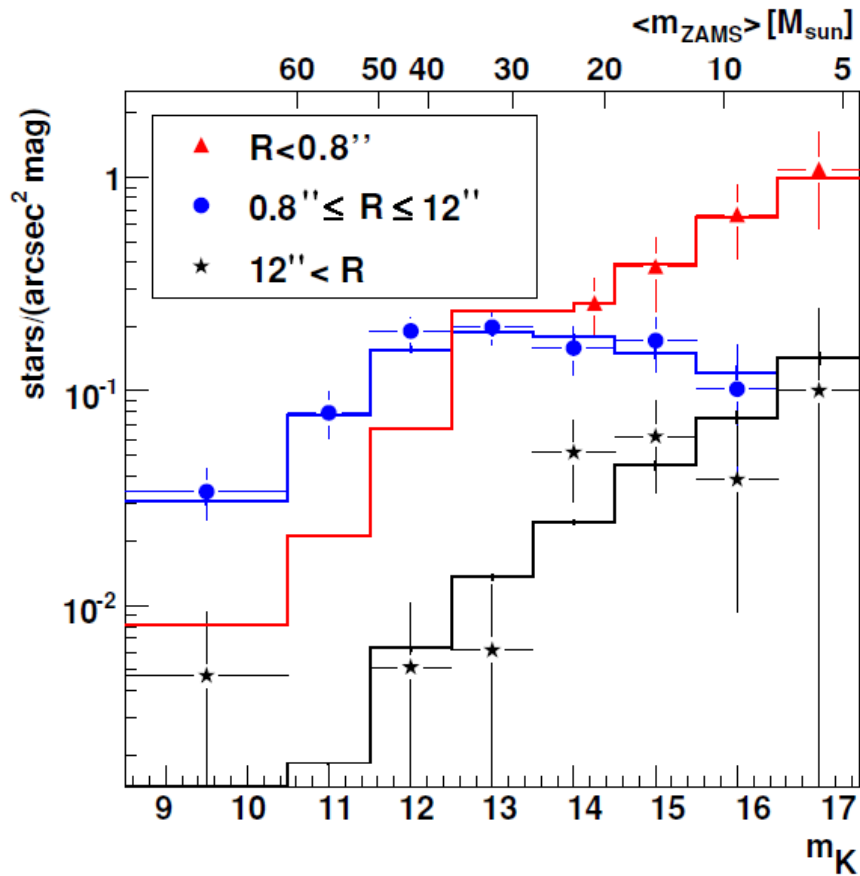
星のタイプ毎に半径方向分布を見ると



Bartko et al 2010

明るい星は中心に集まっているように見える。

半径毎の輝度分布にする



(シンボルだけが観測、ヒストグラムはモデル)

1-10'' あたりは異様にフラットな輝度分布

もっと内側 (S-stars の領域) はそうでもない

外側も普通

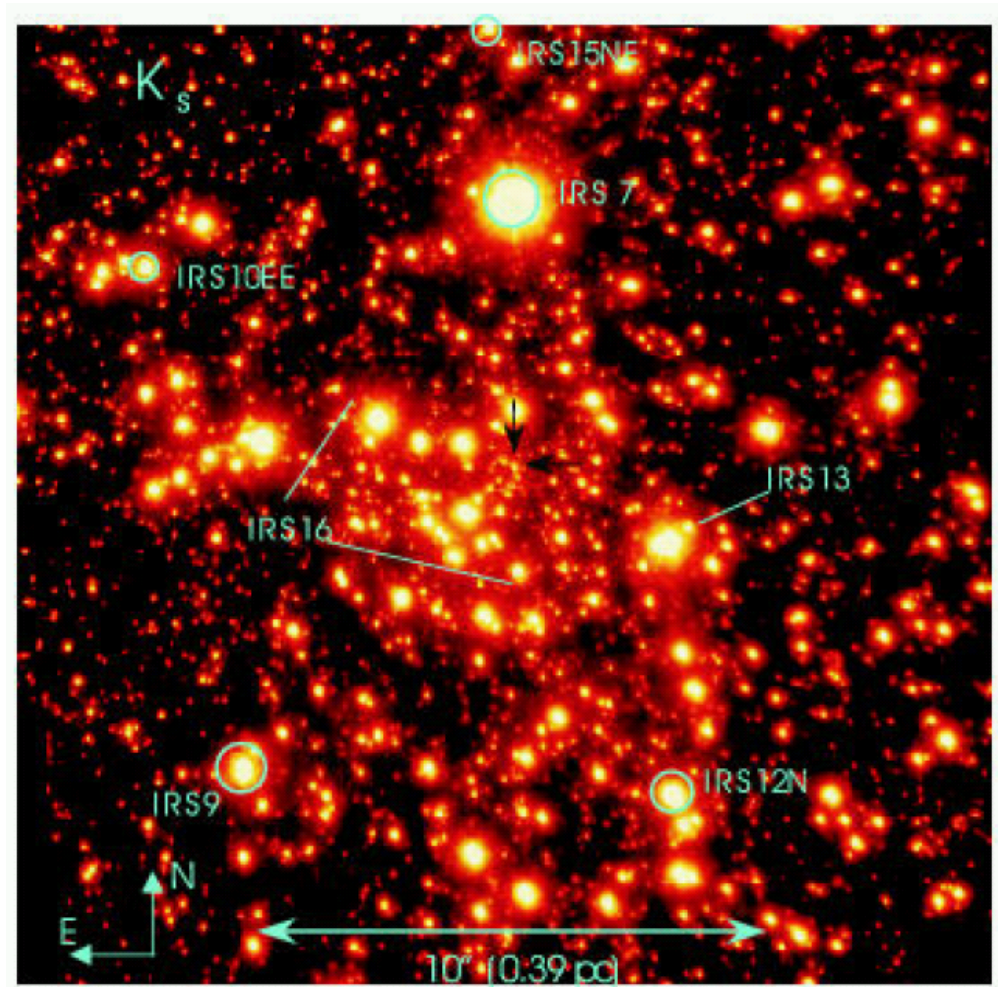
Star Cluster(s)

IRS13E, 16SW は
それぞれ星団らしい
(?)

IRS13E: 反時計回り
ディスク

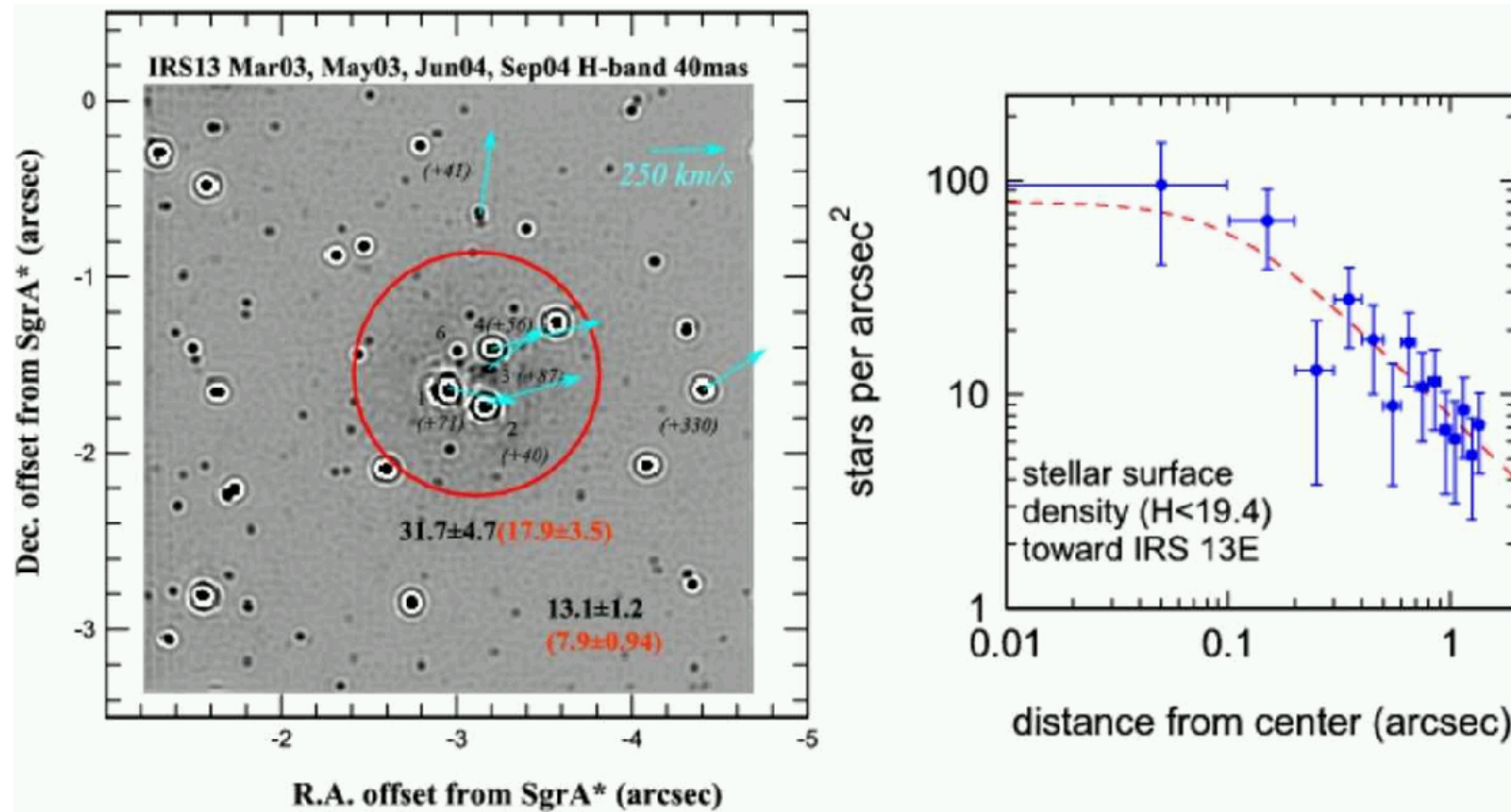
IRS16SW: 時計回
りディスク

bound だとすると結
構質量が必要
→ IMBH???



IRS13E は本当に星団か？

Paumard et al 2006 H-band 観測



見た目星団っぽい。

星団だとすると

コア半径 0.17''

潮汐半径 1'' 以上？

銀河中心までの距離 4'' くらい。

潮汐半径が 1'' とすると $4 \times 10^4 M_{\odot}$ くらい必要。

これは Sgr A* の速度と矛盾するかも。 Paumard et al ではこの問題は無視されている。

まとめると

- 1-10” くらいの星は主にディスク成分
- これらは年齢 4-8 Myrs
- 極端に top-heavy な質量関数を持つ
- B型星 は S-stars から 15” くらいまで等方分布？

理論屋から見た課題

- どうやってディスクを作るか？
 - その場で作る (Nayakshin et al 2005)
 - 遠くから星団で運ぶ (Hansen & Milosavljević 2003)
- 質量関数をどう説明するか？
- S-stars との関係？
- 等方な B 型星？
- ブラックホール成長・ガス供給と関係あるか？

ガスディスクから作る

Milosavljević & Loeb 2004

Nayakshin and Sunyaev 2005

Hobbs and Nayakshin 2009

色々アクロバティックな仮定をすればなんでも説明できる

- IMF: こういうところではそういうのができる (仮定)
- 離心率結構大きい: クラウド同士の衝突でそういうディスクが一気にできた
- クラウド同士の衝突だとディスク2つとかも説明できるらしい

でも、、、

個人的にはあんまり本当とは思えない

- 複数の「ガスクラウド」が同時にそんな銀河中心近くを通るような軌道に入るのはありそうにない
- Hobbs and Nayakshin (2009) が根拠にしているのは Arches cluster の運動。これは、Arches 自体がガス雲同士の衝突でできたと思うほうが普通では？

星団を落とす

Hansen & Milosavljević 2003

Portegies Zwart et al. 2005

これも色々無理が、、、

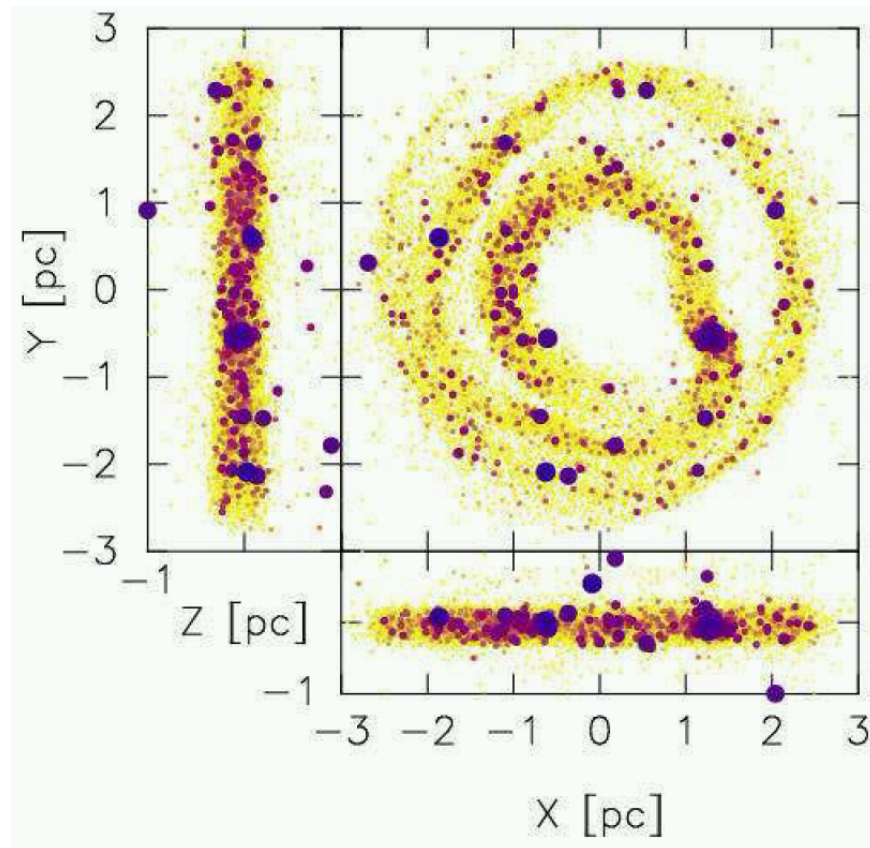
- よほど近くに星団があるか、ありえないほど重いかでないと力学的摩擦では落ちてこない

とはいえ利点もある。

- 若い星団はある。 Arches, Quintuplet
- IMBH があるとする、銀河中心近くまで若い星をもつてくのは可能
- 複数ディスクも問題ない。星団とディスクも同時に説明

星団を落としてできるもの

もちろんかなり厚いトラス
観測とは矛盾しない



Portegies Zwart et al 2005 これはちょっと外側すぎる例。

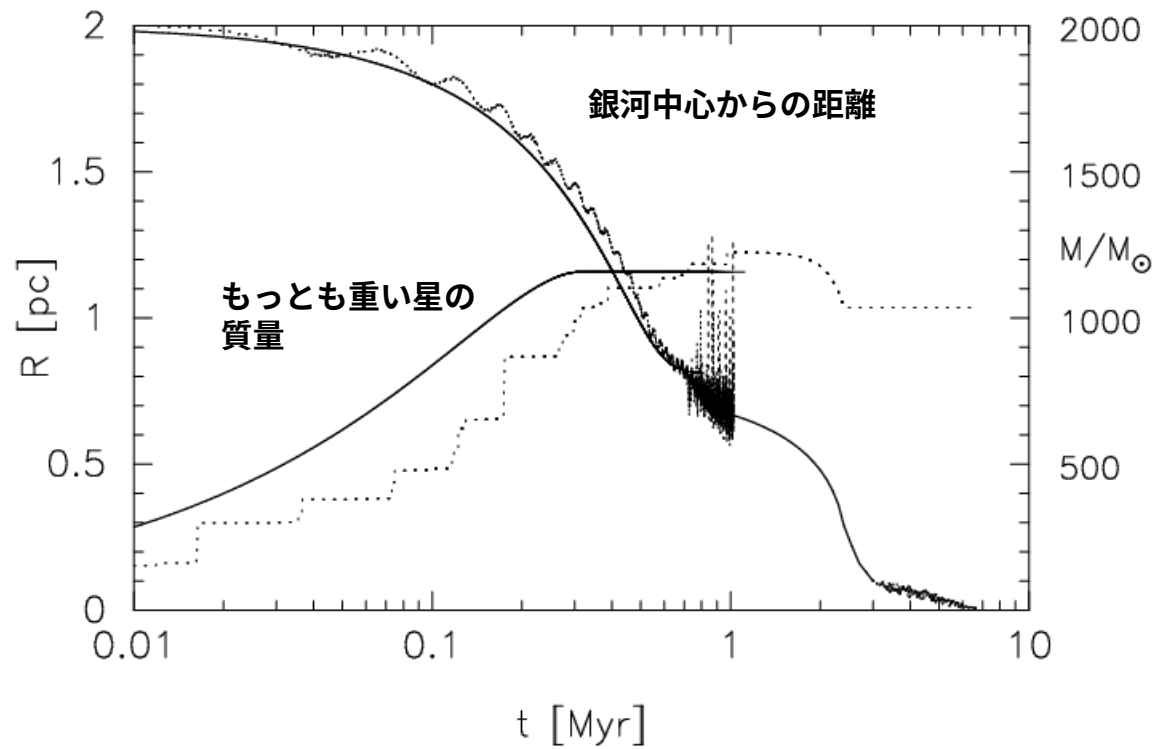
N-body simulation の例

Portegies Zwart et al 2005

- 64K stars, Salpeter IMF (lower cutoff: $0.2M_{\odot}$)
- 2pc from GC, circular orbit
- Roche-lobe filling King model ($W_c = 9$)

これは、 IRS13E みたいなものをつくろう、という話。

結果



破線: シミュレーション、実線: 解析的モデル

つまり

- 2pc くらいに $10^4 M_{\odot}$ くらいの星団ができれば数 Myrs で落とせる
- 5pc とか 10pc だとはるかに重い必要がある。

つまり: IRS13E みたいなものを作れなくはないが、結構不自然な初期条件が必要？

N体計算は信用できるか？

実は色々疑問。

- 星団の軌道進化は力学的摩擦を手でいれている。
- 初期の軌道が円軌道というのは本当じゃない (Arches の観測)

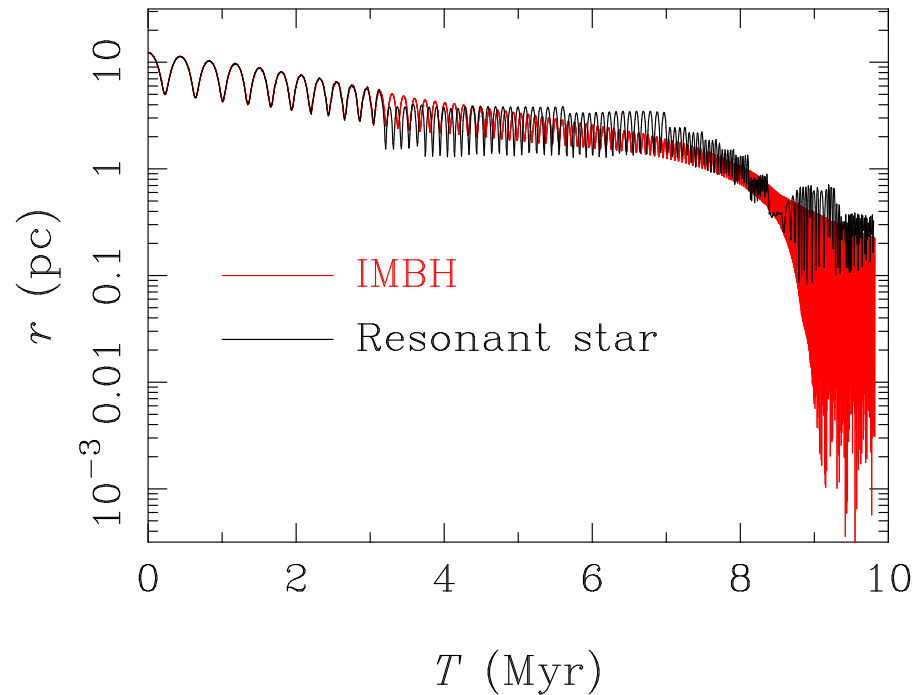
「まるごと」の星団進化計算

- 中心ブラックホールと親銀河の星分布
- 星団の個々の星の軌道、星同士の合体、質量放出、IMBH への進化

をフルに N 体で表現して計算した (Fujii et al 2010)

- ツリー法と直接計算のハイブリッドの新しい計算方法を開発
- 国立天文台の Cray XT4 上で並列化

星団と IMBH の軌道進化



3Myrs くらいで星団は
殆ど潮汐破壊

それでも 8Myrs くらい
で 1 pc 以内まで落ちて
くる

潮汐破壊で星団から「逃
げた」星が、BH と 1:1
共鳴にはいって近くまで
運ばれるのが結構ある。

ちなみに

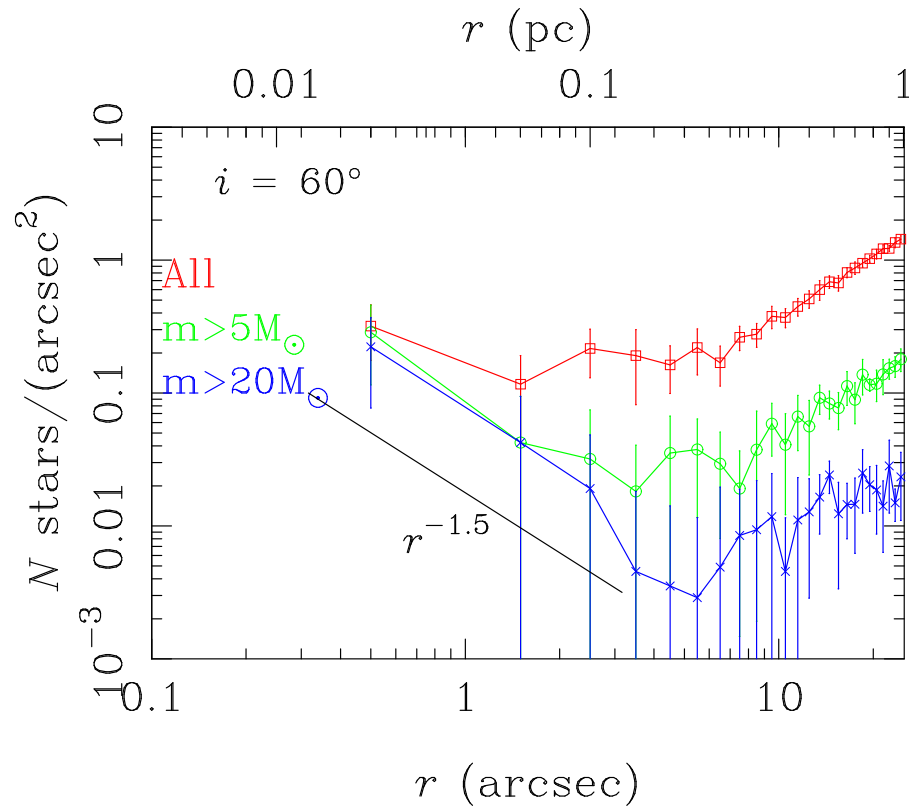
最終段階で IMBH の離心率が非常に大きくなるのは計算間違いではなくて正しい結果。

メカニズムは Iwasawa et al. (2010) が解明

古在機構と IMBH-SMBH バイナリと他の星の近接相互作用の組合せ

大質量連星ブラックホールは合体できる

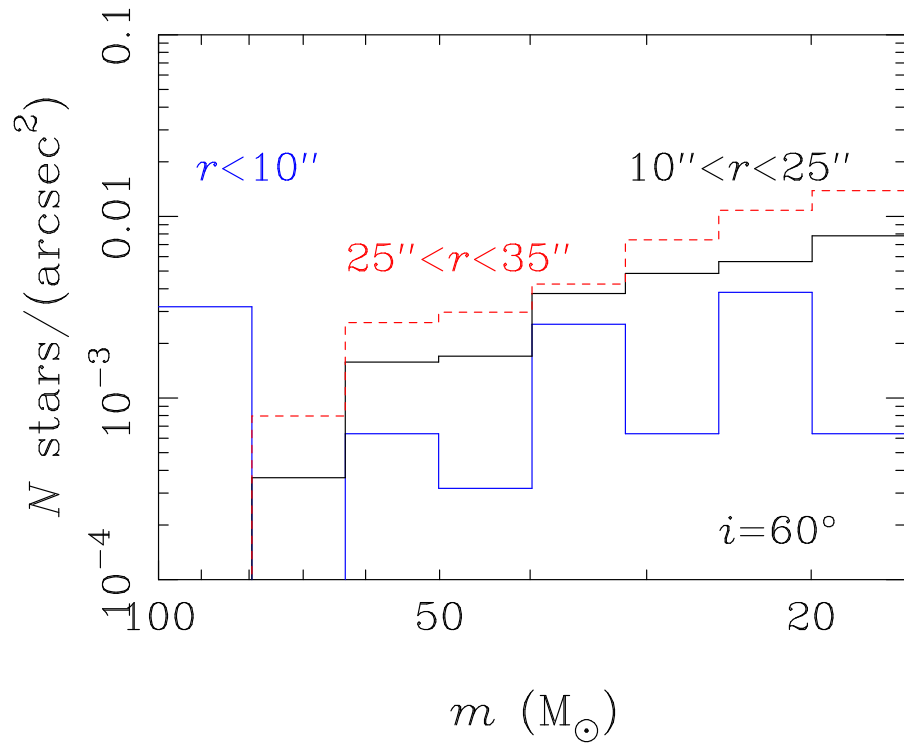
半径方向分布



ディスクを見込む角度は一応観測されている順回転ディスクと合わせた。

5'' くらいから内側に重い星集中

質量関数



10'' から内側はフラット
一応観測を再現している
ような気もする

IMBH なんかあるのか？

- IRS13E の3つの massive stars が重力的にバウンドしているのはリアルっぽい (Fritz et al. 2010)
- IMBH があるとする $2 \times 10^4 M_{\odot}$
(この質量推定は間違ってる気がする。多分過大。)
- 本当かどうかは？
- X 線光度は 10^{33}erg/s

まとめ

- 銀河中心から 1-10" あたりのディスク構造は本当にあるっぽい
- 年齢は coeval, 4-8Myrs。極端に top-heavy な質量関数
- IRS13E の IMBH は消えたわけでもなさそうである
- S-stars はそんなに top-heavy ではない。別起源が必要
- あんまり色々なことを整合的に説明できるモデルはない
- IMBH 入りの星団を落とすのは、ディスク構造についてはかなり上手くいく