

銀河中心の恒星系力学

牧野淳一郎 (東大理)

概要

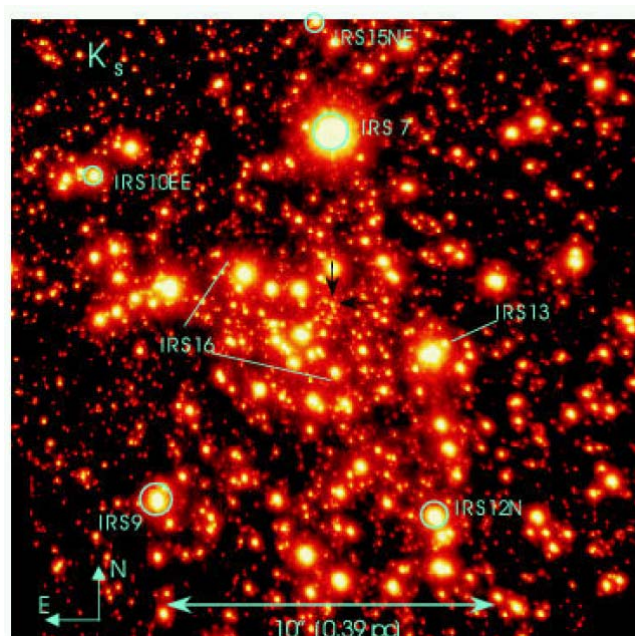
1. 観測でわかっている (らしい) こと
 - Central Cluster
 - Stellar Disk(s)
 - Star Cluster(s)
2. 理論モデルについて少し
3. まとめ — 今後の研究の方向

観測でわかっている(らしい)こと

- Central Cluster
- Stellar Disk(s)
- Star Cluster(s)

Central Cluster

Genzel et al 2003
K-band
shift-and-add image
中心付近の黒い矢印
の先が SgrA*



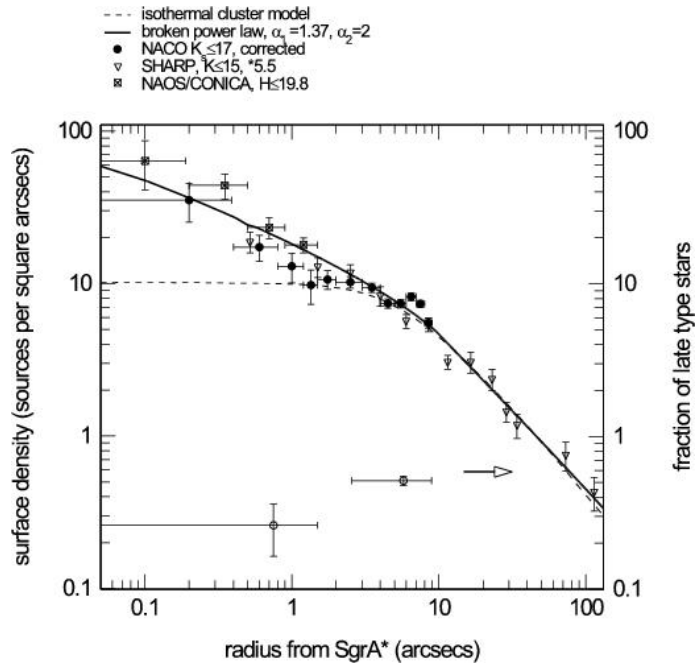
Surface density

Genzel et al 2003

10" 以内の恒星の質量 $\sim 10^6 M_{\odot}$ (あんまり信用はできない)

若い星が結構多い。

0.5" 以内でも若い星がある。(S1, S2, S0-16 ...)



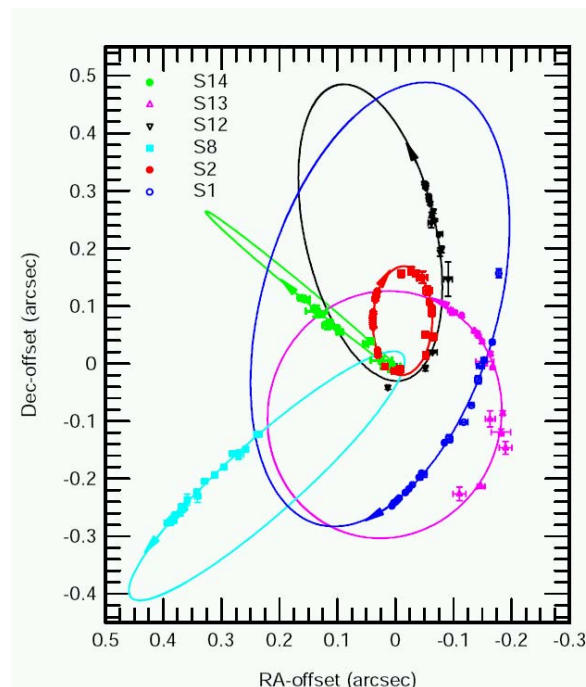
いくつかの中心付近の星の軌道

Eisenhauer et al 2005

星の分布は「等方的」
少なくとも円盤的とはいえない

これらの星は結構若い ($10 M_{\odot}$ 以上)

もっと暗い星は普通の赤色巨星

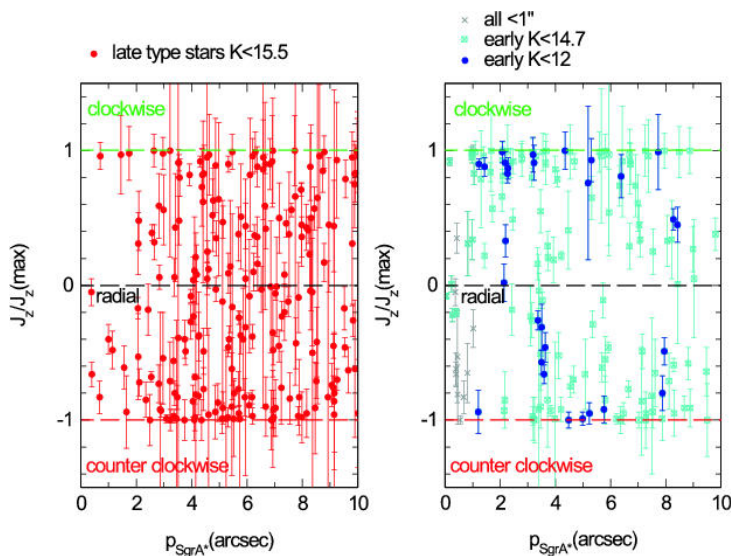


理論屋から見た課題

- 何故若い星がそこにあるのか
 - その場で作る？
 - 少し近くから緩和で運ぶ
 - 遠くからなんとかして運ぶ
- まだ見えない星はどんなふうか
- 中心ブラックホールの形成・成長との関係は？

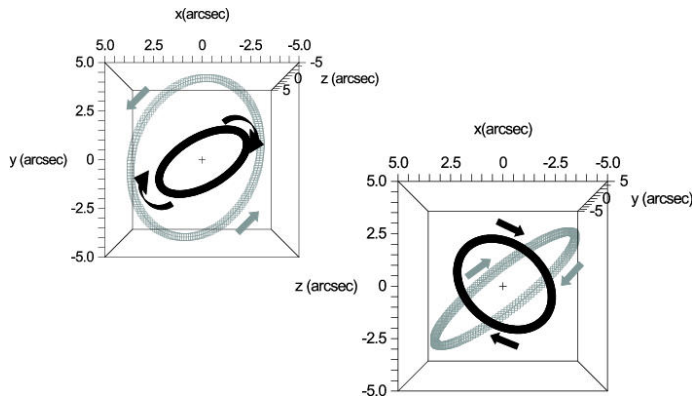
Stellar Disk(s)

また Genzel et al 2003。中心からの距離と角運動量



特に明るい星は 等方的ではない。時計回りと半時計回りの2つのリング。

空間構造



Paumard et al
2006 (図は Genzel
et al 2003 から)
傾いている。

どちらも星の年齢
 $6 \pm 2 Myrs$

そんなに薄いわけ
ではない ($e \sim 0.3$)

なぜそんなものがそこにあるのか良くわからない。

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)
- 中心部の星との関係
- Minispiral との関係(?)

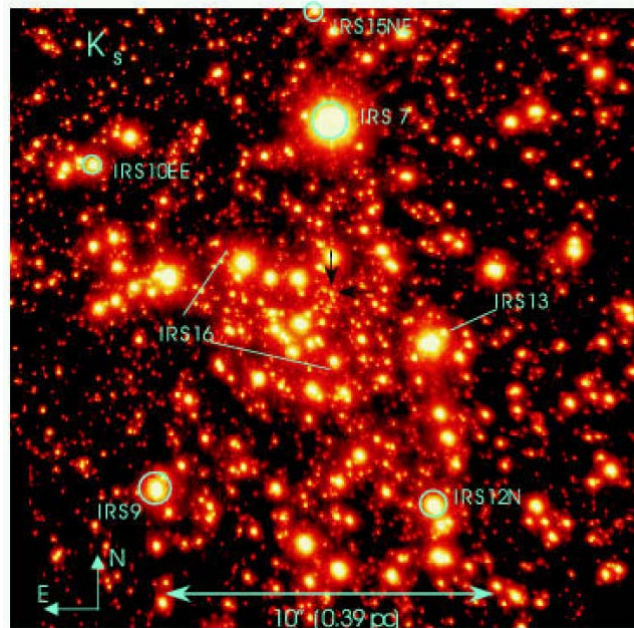
Star Cluster(s)

IRS13E, 16SW は
それぞれ星団らしい
(?)

IRS13E: 反時計回り
ディスク

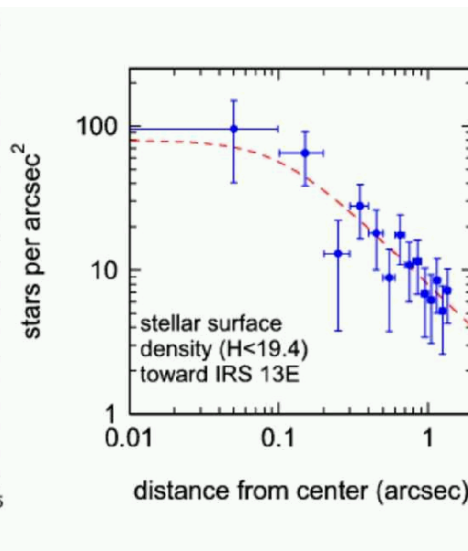
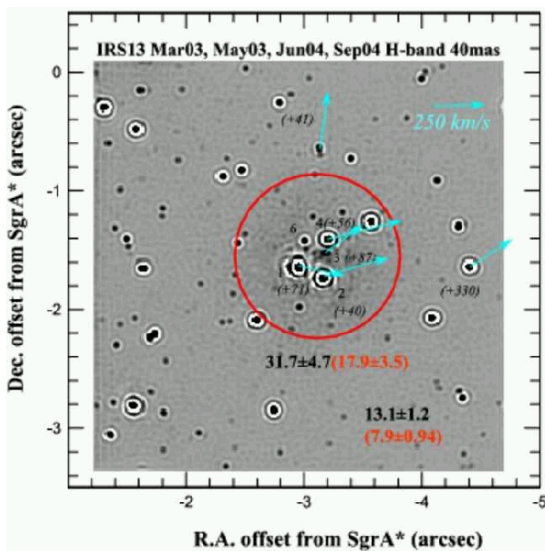
IRS16SW: 時計回
りディスク

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。

観測のまとめ

- 妙に若い星がある
- 0.3pc くらいより内側ではカスプのスロープ浅い
- 0.1pc くらいより外側では若い星はディスク状。ディスクは2つある。
- それぞれのディスクの中に星団のようなものもある。
- ディスクの星は結構年齢がそろっている

銀河中心の理論モデル

いろんなことを統一的に説明できるような理論モデルはあるか？

とはいえ、一度に全部、は無理なので、まずディスクを考える

提案されているモデル

- ガスディスクから作る
- 星団を落とす

ガスディスクから作る

Milosavljević & Loeb 2004

Nayakshin and Sunyaev 2005

個人的にはあんまり本当とは思えない

- ほぼ同じ時期、ほぼ同じ場所に逆回転するガスディスクが2つというのはあまりに無理
- 星の「ディスク」がガス起源にしては速度分散が大きすぎる
- 星が重力相互作用でディスクを加熱する時間スケールは結構短い。速度で 6km/s までに 10^4 年くらい。自己重力的になるほどディスクが薄くならない

星団を落とす

Hansen & Milosavljević 2003

Portegies Zwart et al. 2005

これも色々無理が、、、

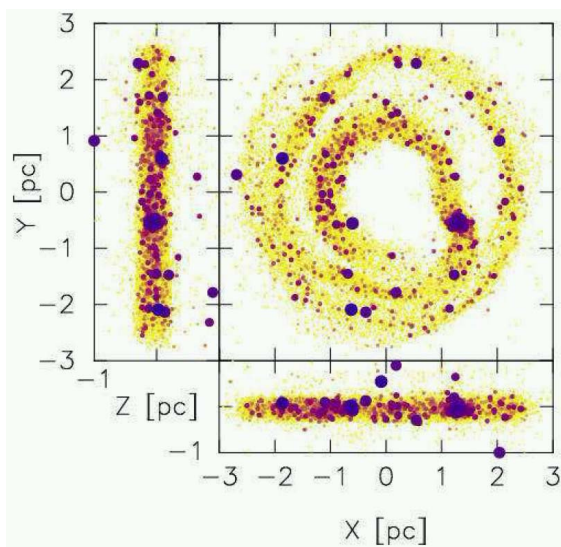
- よほど近くに星団があるか、ありえないほど重いかでないと力学的摩擦では落ちてこない

とはいえ利点もある。

- 若い星団はある。 Arches, Quintuplet
- IMBH があるとすると、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ーラス
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。

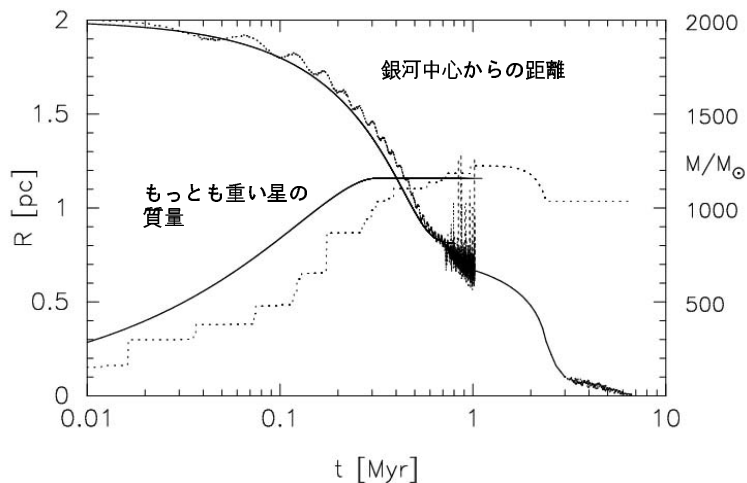
N-body simulation の例

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らう、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？

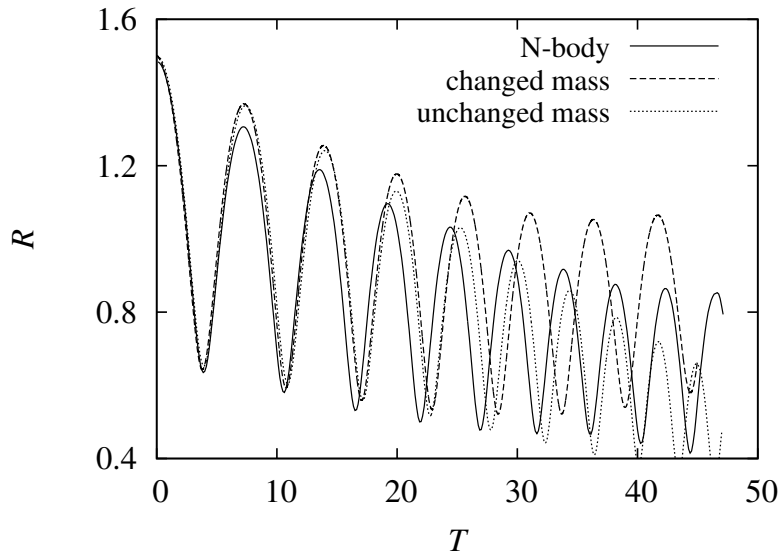
N体計算は信用できるか？

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かどうかわからない。

星団の軌道進化

藤井他 2006: 衛星銀河の N 体計算では、実は力学的摩擦を手でいれたのより速く落ちる。



速く落ちる理由

- 衛星銀河から逃げた星に角運動量を渡す
- 逃げた星もまだ衛星銀河本体近くにいると、その重力で力学的摩擦を大きくする

どちらも微妙な効果だが結構大きい。

円軌道？

若い星団がどうやってできたかは不明。

従って、どういう軌道を考えるべきかもあんまり根拠はない。

できた時にあまり軌道角運動量もってなければ速く落ちる。

星団のできかたと、ガスの運動との関係の理解が必要？

まとめ

- 最近の観測の進歩により、銀河中心の恒星系がどうやってできたかは良くわからなくなった。
- 特に若い星の起源、ディスクになっている理由についてはあまりよい理論モデルがない。
- ある程度遠くでできた星団が力学的摩擦で落ちてきた、というモデルは色々良い性質を持つが、軌道進化のタイムスケール等問題もある。
- でも、若い星がその場でガス円盤からできた、というのよりは問題が少なそうな気がする。

おまけ

シミュレーションはどんなことができるか？

GRAPE-6 での直接計算

SMBH-IMBH-回りの星、という系を完全に star-by-star
でシミュレーションする (松林他 2006)

GRAPE-DR and/or direct+tree ハイブリッド

銀河中心 10pc くらいなら star-by-star ベースでできる。

2体緩和による進化をちゃんといれて今見えてない暗い星の
分布を理論的に予言できる？

おまけ 2

銀河中心:理論屋には夢のような領域

- 星の軌道が見える
- 軌道の変化もみえそう。緩和過程

どんなものを観測して欲しいか？

- とにかく暗い星まで見る
- 3次元的な速度

おまけ 2

銀河中心:理論屋には夢のような領域

- 星の軌道が見える
- 軌道の変化もみえそう。緩和過程

どんなものを観測して欲しいか？

- とにかく暗い星まで見る
- 3次元的な速度

21世紀は精密アストロメトリの時代