

高密度星団の力学進化と 中間質量ブラックホール形成

牧野淳一郎 (東大理)

共同研究者:

松林達史 (NTT)、 戎崎俊一、 (理研)

H. Baumgardt (U. Bonn)

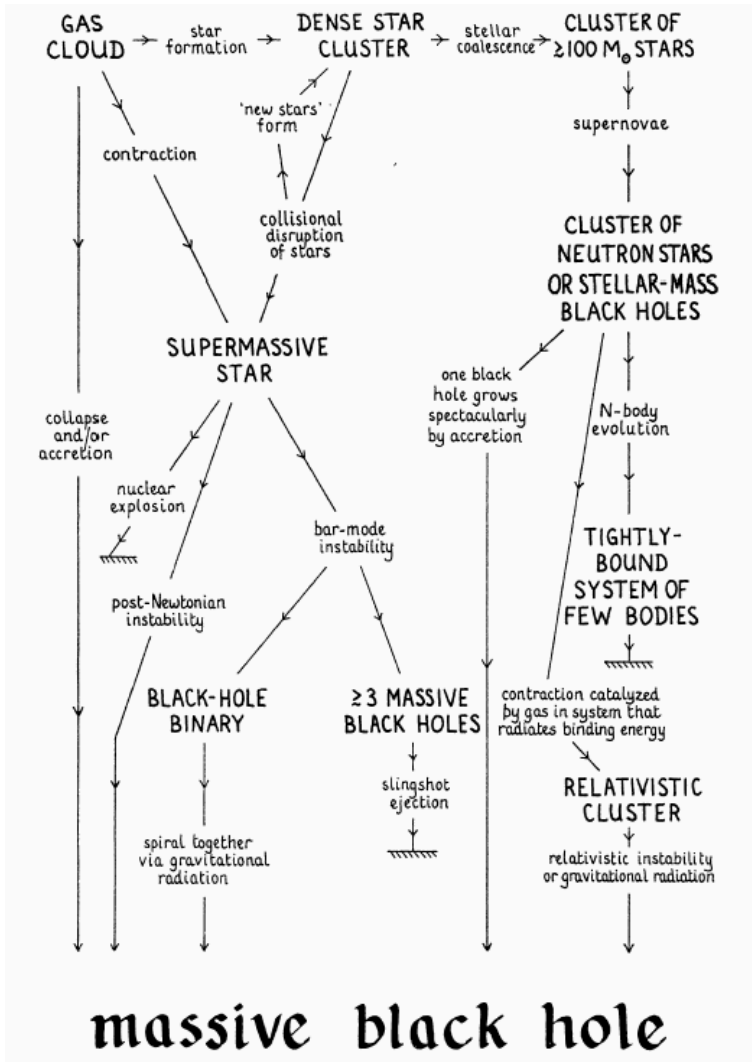
S. Portegies Zwart (U. Amsterdam)

S. McMillan (Drexel), P. Hut (IAS)

概要

1. 中間質量ブラックホールの形成シナリオ
2. 球状星団に中間質量ブラックホールはないか？
3. Andromeda G1 再び
4. まとめ

はじめに:大質量ブラックホールの作り方



Classic View (Rees 1984)

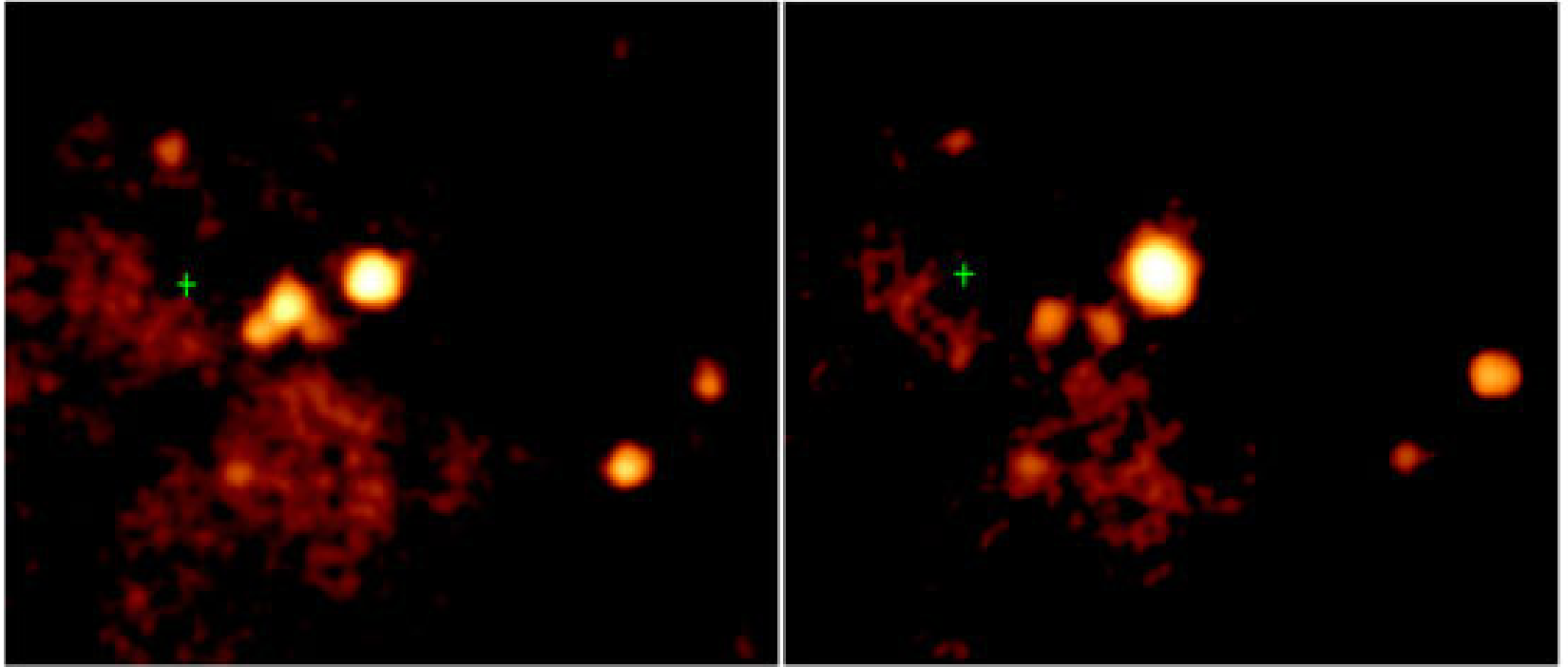
本質的には 2通り

- 単一の超大質量星
- コンパクト星の高密度クラスターの熱的な進化

どちらも簡単ではない...

M82 の中間質量 BH 候補

Matsumoto *et al.* ApJL 547, L25

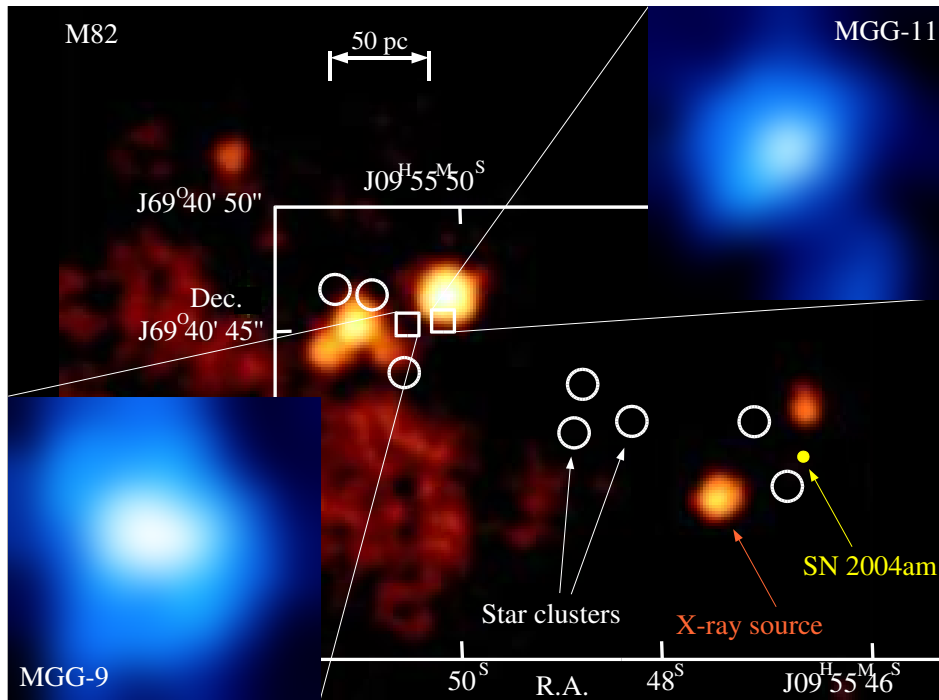


大きな時間変動を示す複数のソース

エディントン質量 $\sim 700M_{\odot}$ = 最初の IMBH

赤外 カウンターパート

スターバーストで最近出来た非常に若い星団。 McCrady et al. (astro-ph/0306373)



位置の比較 - まあ重なっている。

一つの可能な形成シナリオ

1. 星団の中心で星の暴走的な合体で大質量星ができる
2. この星のコラプスで IMBH (の種) ができる
3. この IMBH (の種) がさらに他の星と合体して成長

シミュレーション

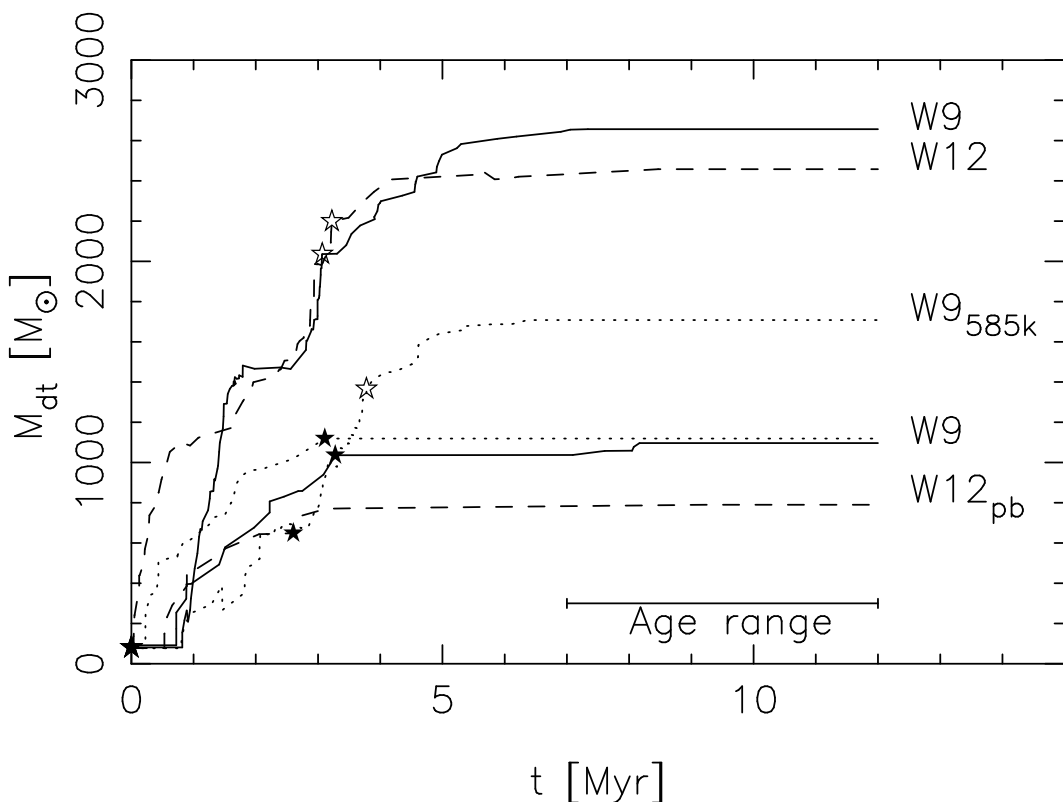
Portegies Zwart et al., Nature, 2004/4/15

初期条件

- King model with $W_0 = 7-12$
- Salpeter IMF (as suggested by McCrady et al)
- Star-by-star simulation for MGG-11 (MGG-9 is scaled)

結果

最も重い星の質量 (沢山線があるのは違うモデル)



$W_0 \geq 8$ なら暴走的合体 (MGG-11では) \rightarrow BH 形成
MGG-9 (緩和時間長い) では暴走的合体はおきない

IMBH と SMBH の関係

1. 無関係？

2. 同じようにできた？

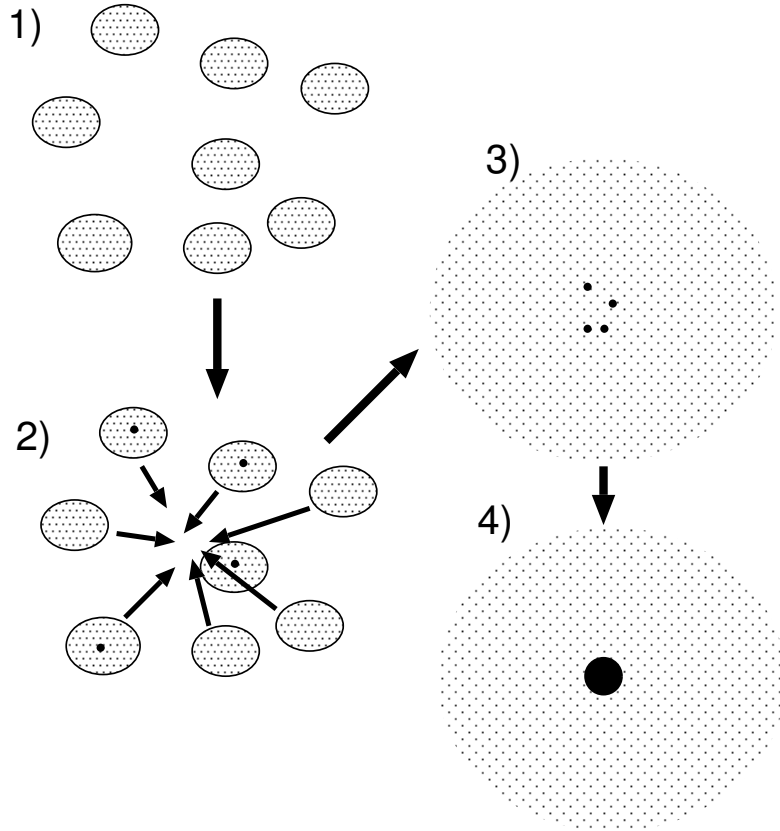
- SMBH の成長時間長すぎる

3. SMBH を IMBH から作る？

- タイムスケールの問題を解決できる (かも)

Merger シナリオ

Ebisuzaki et al. 2001 ApJ 562, 19L



1. スターバーストで大量に星団を作る
2. いくつかの星団では IMBH ができる。多くの星団はダイナミカルフリクションで中心に沈む。
3. 星団は潮汐破壊。IMBH は中心に残る。
4. 複数の IMBH は星や他の IMBH との相互作用で連星になり、重力波で合体するところまでハードになる。

シナリオのポイント

- IMBH はできる？ — (大久保 A9、中里 A10)
- IMBH は本当にある？ — X 線以外で見えないか？
- 球状星団に IMBH がないのは何故？ (本当にない?)
— Baumgardt et al.
- 親星団は IMBH を銀河中心に持ち込めるか？ IMBH は SMBH と合体するか？ (松林 A16b)
- そういうものは見えるか？ IRS13E (牧野、春期年会)
- S2 等の SMBH 近くの若い星との関係は？

シナリオのポイント

- IMBH はできる？ — (大久保 A9、中里 A10)
- IMBH は本当にある？ — X 線以外で見えないか？
- 球状星団に IMBH がないのは何故？ (本当にない?)
— Baumgardt et al.
- 親星団は IMBH を銀河中心に持ち込めるか？ IMBH は SMBH と合体するか？ (松林 A16b)
- そういうものは見えるか？ IRS13E (牧野、春期年会)
- S2 等の SMBH 近くの若い星との関係は？

球状星団に IMBH がないのは何故？

教科書的回答:

1. 球状星団の緩和時間は長い $\sim 10^9$ yrs.
2. コアも多分初期に小さくない

本当に？ M15 と G1 は？

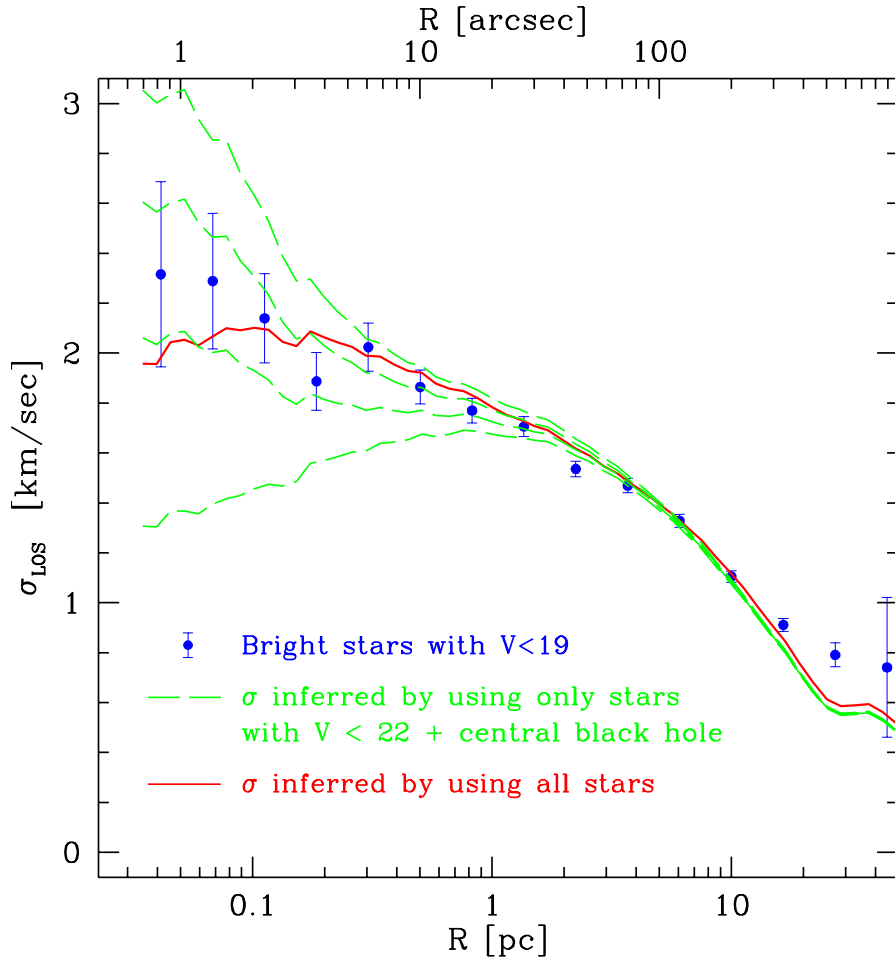
M15: 2002 年に Gerssen et al. が「BH 発見」

Baumgardt et al.: N 体での進化計算では BH なしで

OK

(G1 については後で)

BH がなくても観測すると BH があるように見える



標準的なシミュレーション結果を「観測」

球状星団が普通に進化すると中心に中性子星、重い白色矮星がたまる。それをちゃんと考慮しないと BH があるように見える。

球状星団に IMBH はあるのか？

M15 には「極めてありそうにない」。

探していた場所は間違っていないか？

そもそも BH のある球状星団はどんなふうに見えるのか？

理論 (Bahcall and Wolf 1976): $\rho \propto r^{-7/4}$.

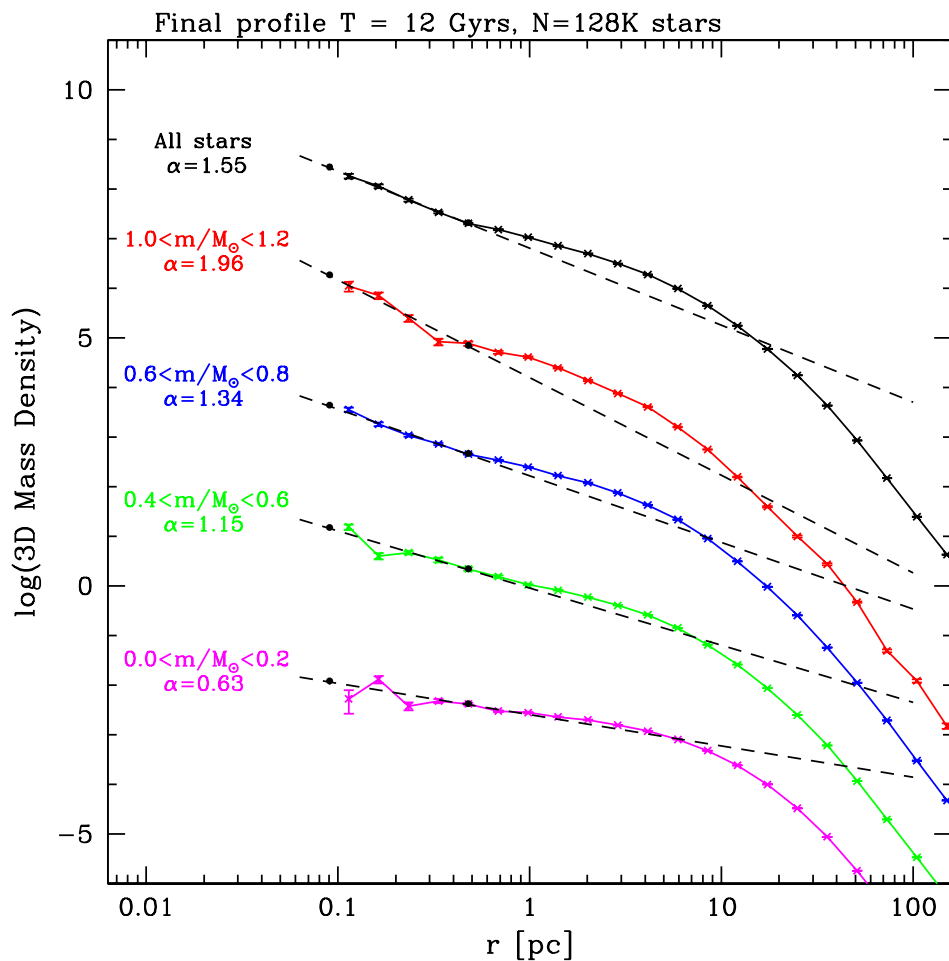
表面輝度のカスプの傾きは -0.75 のはず。

- -0.75 はあくまでも漸近的な傾き
- 全ての星が同じ質量と仮定

もっともらしい IMF と恒星進化モデルを入れて、IMBH がある球状星団を進化させてみた。

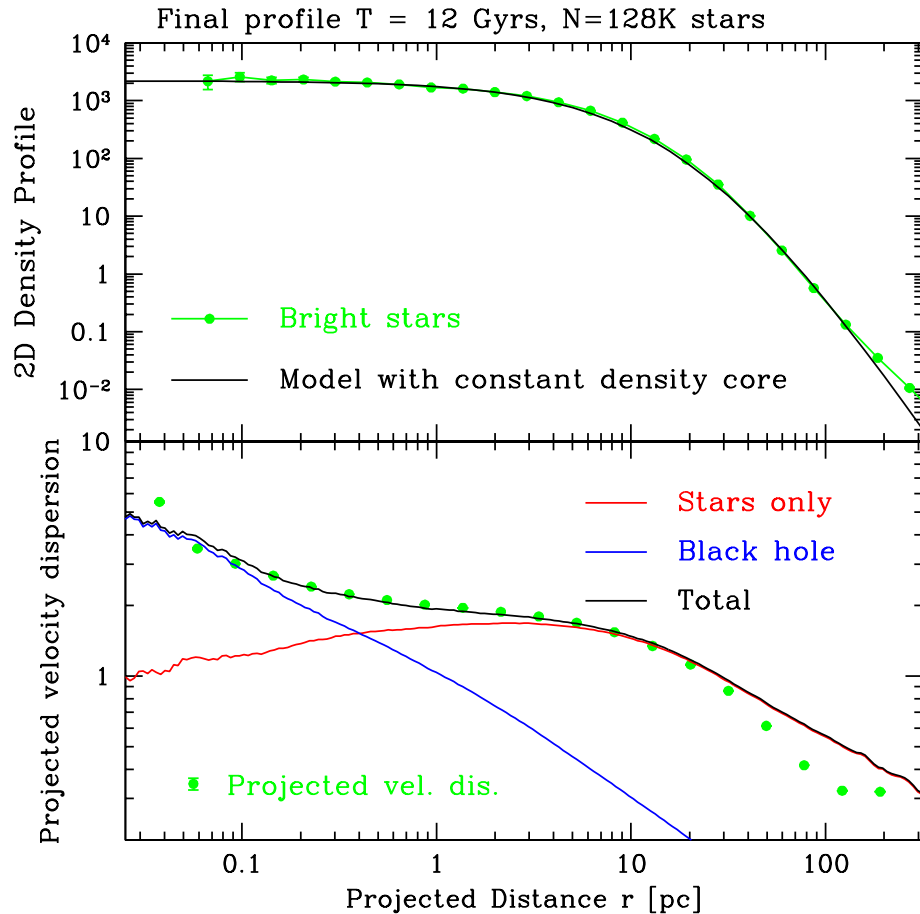
Baumgardt et al 2004a, b, 2005 ApJ

3D 密度分布



- 軽い星はスロープ
浅い
- 最も重い星:
 ~ -2 ($-7/4$ じゃない!)
- 見える星:
 ~ -1.3

投影して見ると



- どう見てもフラットなコアがある
- 速度分散は「コア」の中心近くで微妙に増加

IMBH があるのは一見普通にコアがある球状星団のほうと思われる

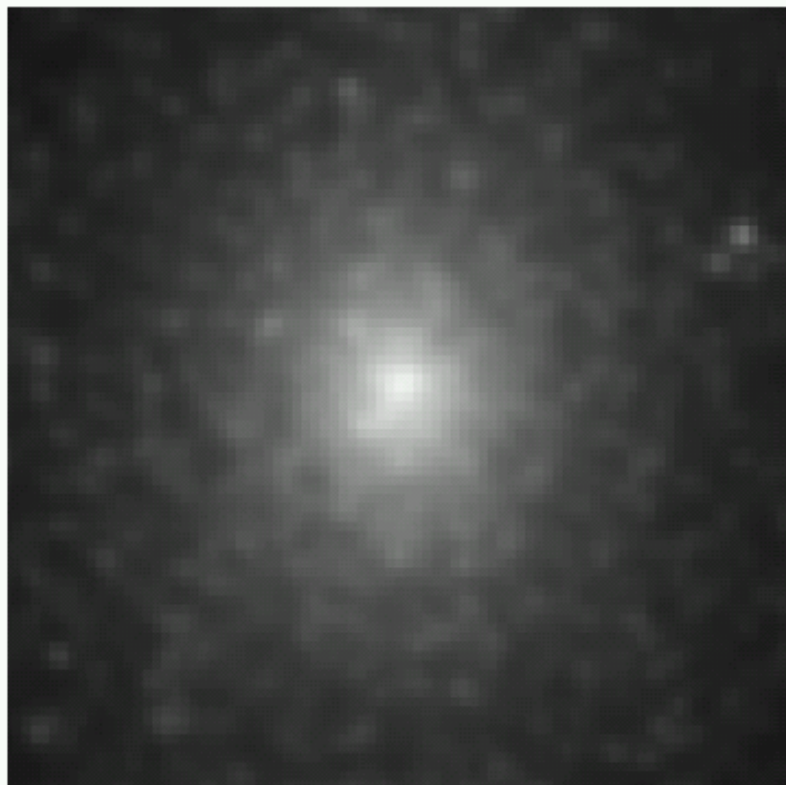
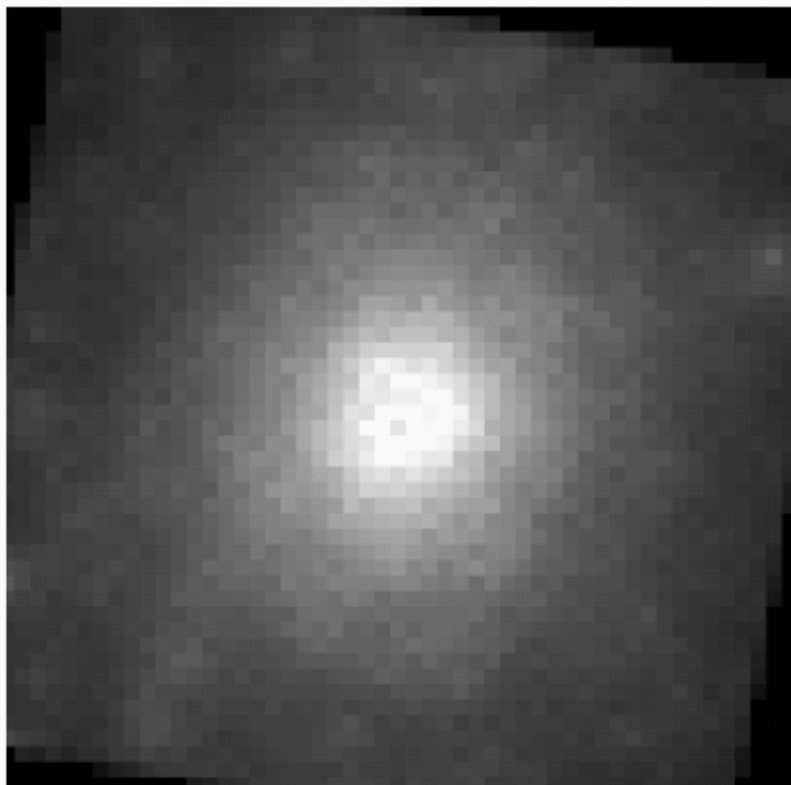
Andromeda G1

- 2002年に Gebhardt et al. HST STIS+WFPC2 **速度プロファイルからブラックホールある**
- そのあと我々: **速度分散は BH なくても合う。** プロファイルは論文にないから不明。
- 2005 Gebhardt et al データ再解析 + ACS+ Keck **コアの中で速度分散上昇**

G1 にはブラックホールあるかも。

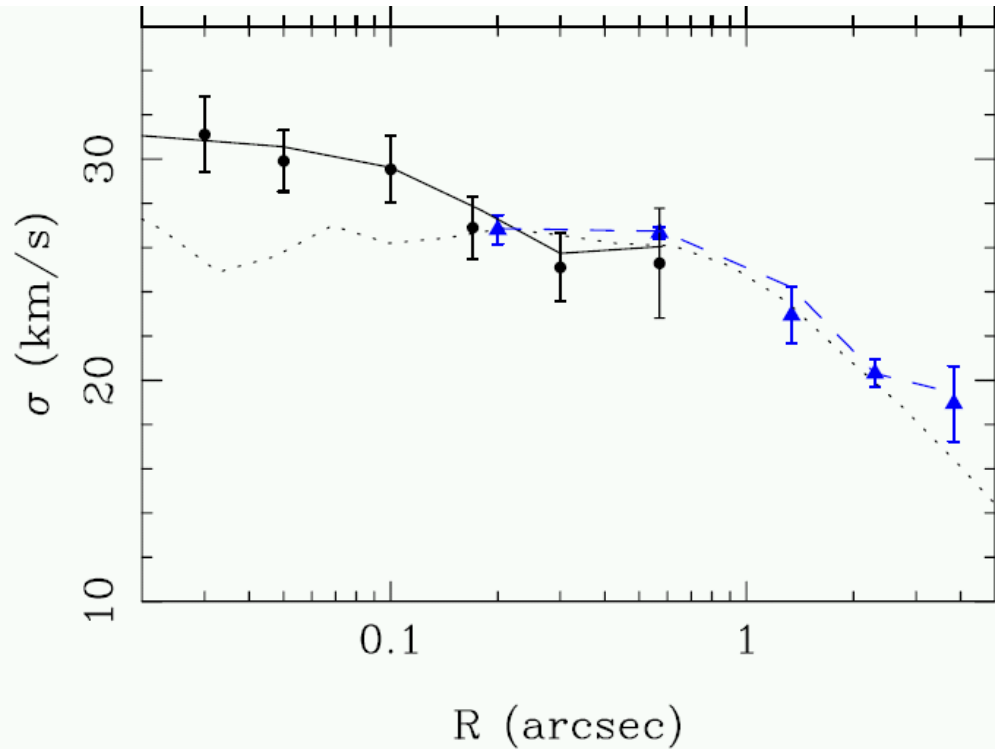
G1 は遠い、、、検証には「普通の」球状星団の高精度の分光またはアストロメトリが重要。

Andromeda G1 — WFPC と ACS



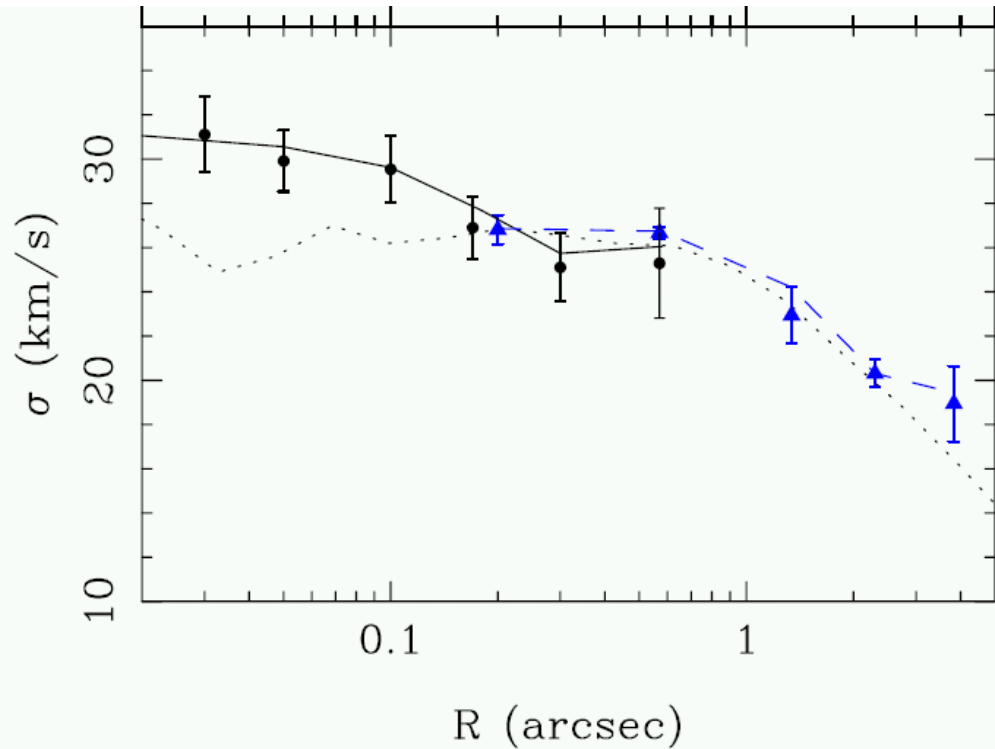
「ACS だと巨星の影響を除ける」が主張
しかし、コアが分解できてないような気がする

Andromeda G1 — 速度分散



速度分散はコアの中
まで上がっている。
BH なしのシミュ
レーションモデル
(Baumgardt et al
2003) だとそこまで
上がらない

Andromeda G1 — 速度分散



速度分散はコアの中
まで上がっている。
BH なしのシミュ
レーションモデル
(Baumgardt et al
2003) だとそこまで
上がらない

でも、シミュレーションモデルは WFPC2 で測ったコアに
合わせたのでちょっとこの比較はインチキ

まとめ

- M82 に発見された IMBH 候補は、恒星質量ブラックホールと大質量ブラックホールをつなぐ「ミッシング・リンク」である (可能性が高い)。
- 我々は、星団内での大質量星の合体で IMBH を形成し、銀河中心での IMBH の合体で SMBH を形成する 2 段階シナリオを提案する。
- 数値シミュレーションでは IMBH が形成するかどうかは星団の初期の構造にもよるが、観測と合う自然なパラメータで IMBH ができる。
- 球状星団 M15 の観測結果は BH なしの進化モデルで良く説明できる。
- 球状星団に BH があるとすれば、M15 のような中心密度の高いクラスタではなく一見普通に見えるものの中心に隠れている。精密な分光観測で発見できる可能性がある。
- Andromeda G1 は IMBH を持つ**かもしれない**。