

恒星の軌道運動の観測による球状星団中心 のブラックホールの検出

牧野淳一郎

国立天文台理論研究部/天文シミュレーションプロジェクト

Holger Baumgardt

U. Bonn

普通っぽい(けれど実は理屈にあってない)球状星団の中心付近の星の速度変化を観測すれば、ブラックホールを検出できる

概要

1. 球状星団中心に IMBH はあるか？
2. シミュレーション
3. 観測
4. 観測の困難
5. 観測する方法？
6. まとめ

球状星団に IMBH はあるか？

教科書的回答: ないはず

- 球状星団の緩和時間は長い $\sim 10^9$ yrs.
- コアも多分初期に小さくない
- 多くの球状星団では中心密度は低いまま
- 高くなったものでも恒星の合体等は起きない

本当に? **M15** (Gerssen et al 2003) と **G1** は?

M15(PCC クラスタ) はないと置いていい。Core collapse で非常に良く合う。(Baumgardt et al 2003)

球状星団に IMBH はあるのか？ (続き)

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。そういうのをみてきた。

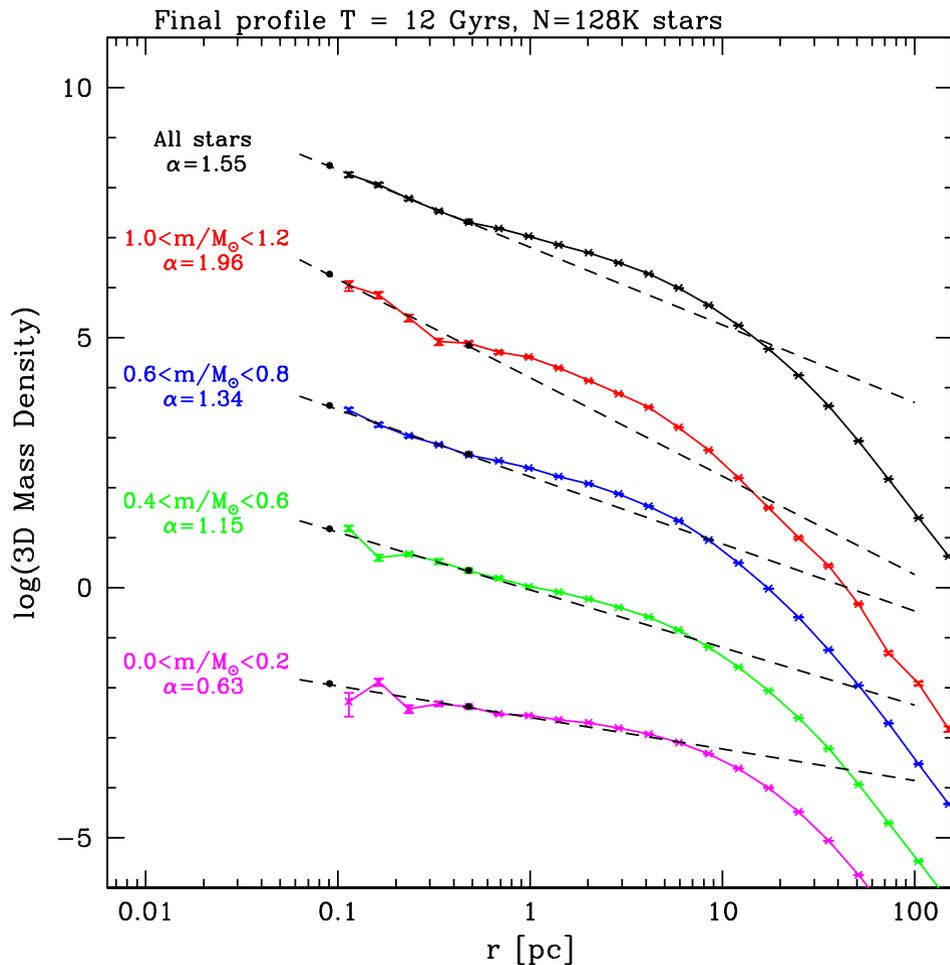
注意:

- -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。

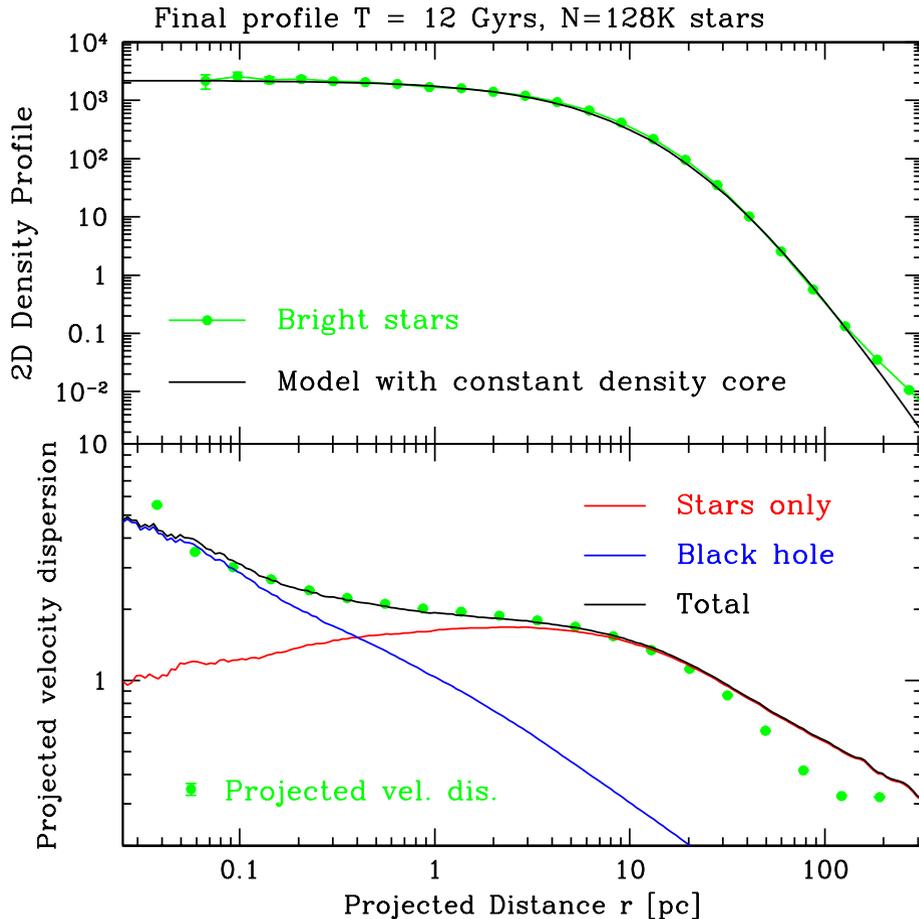
Baumgardt et al 2004 a, b, ApJ

3D 密度分布



- 軽い星はスロープ
浅い
- 最も重い星:
 ~ -2
- 密度カスプの外側
にコアがある

投影



- 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 があると一見普通にコアがある球状星団に見える

これを見つける方法はないか？

ブラックホールからでる何か

X線とか電波: 難しい。

- IMBH の周りには殆ど白色矮星か中性子星
- IMBH と周りの星の合体確率は非常に小さい

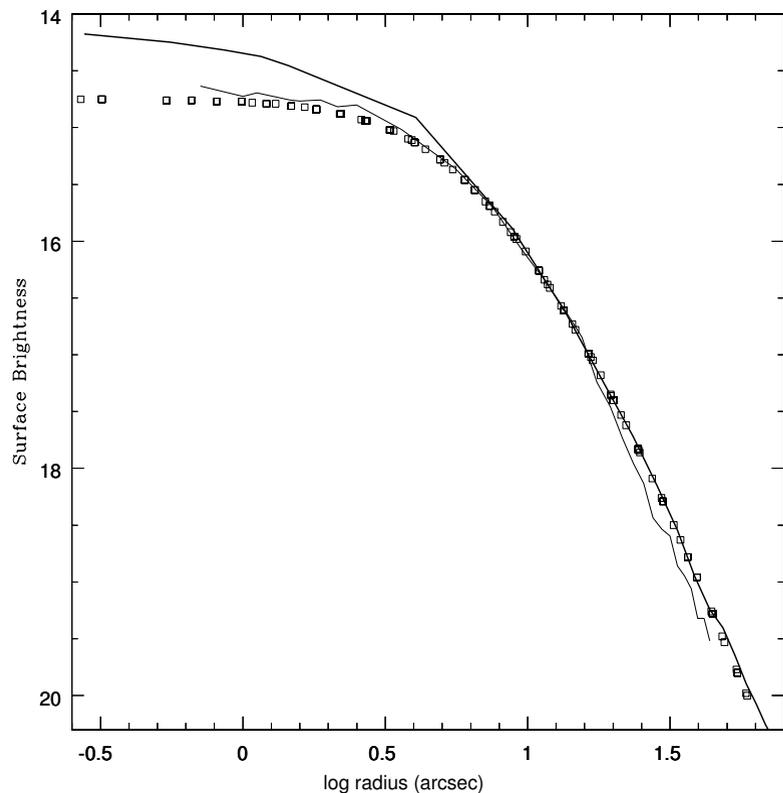
重力波はなんか分かるかも。球状星団1つで 10^7 年に一度くらい。

LISA で 10^{-20} とかの感度なら計算上は IMBH に一番近い星からの重力波が分かる。(銀河内で)

DECIGO なら 100Mpc くらいの中の球状星団が全部分かるので 1年に数十くらい以上の合体イベント

表面輝度

Noyola and Gebhardt (AJ, 2006)

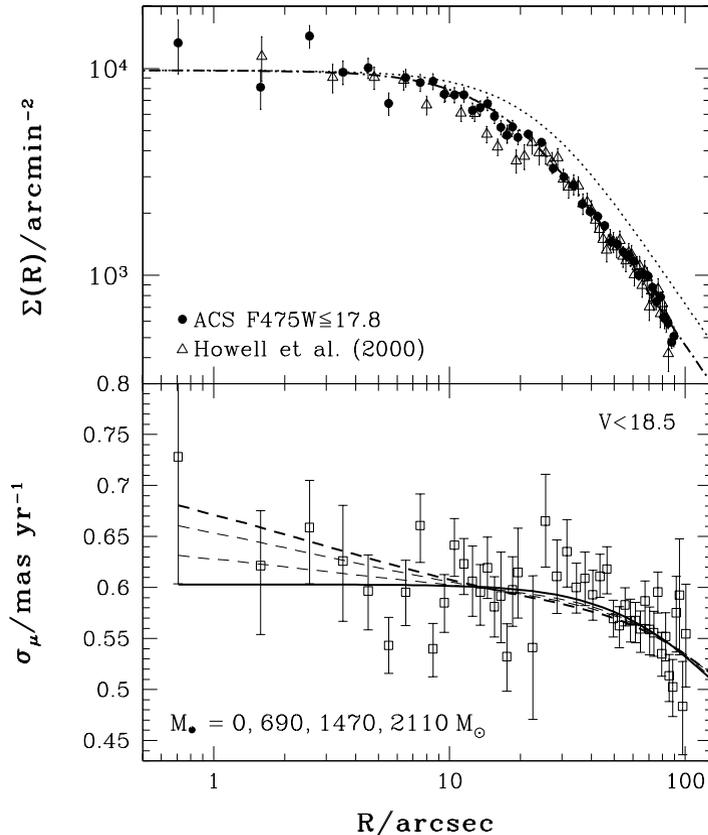


M54 の HST WFPC2 での integrated light で書いた表面輝度分布

まだ controversial な結果
(主な理由: M15 のブラックホールの発見をやった人である)

この人達が見るとみんなカスプだけど、、、

固有運動からブラックホールを見つける？



速度分散はもうちょっと確実。

McLaughlin et al ApJS
2006, 166, 249

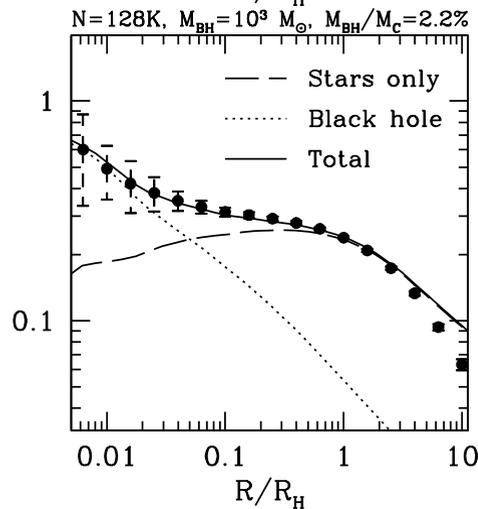
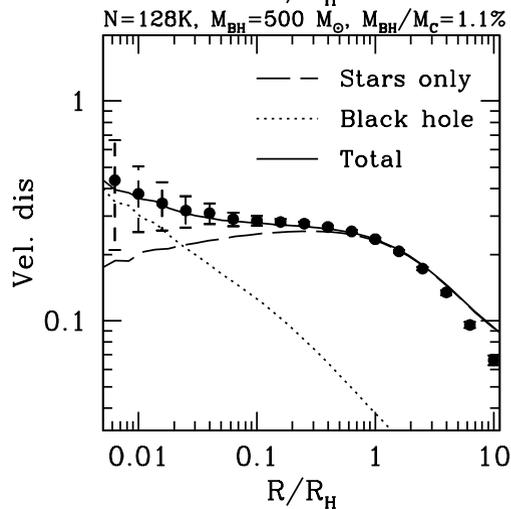
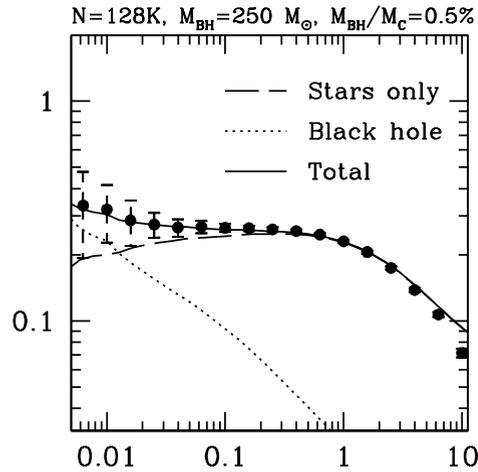
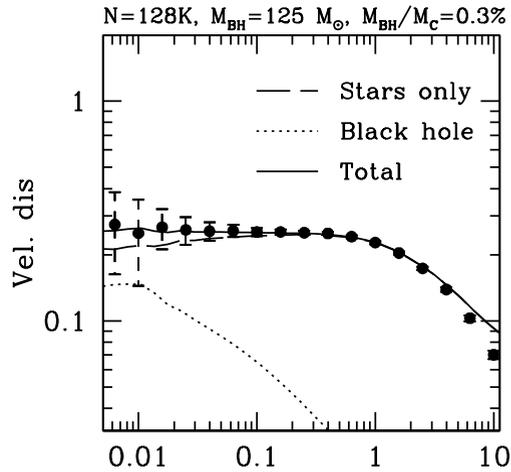
47 Tuc

HST で固有運動決定

コアの内側で速度分散は上が
っているような気もする

統計が悪くて誤差の範囲

シミュレーションでは



Baumgardt et al
2005

IMBH あり球状星
団の速度構造

元々エラーバーの内
側くらいしか速度分
散は上がらない。

観測で見るとも結構
無理

観測の問題点

表面輝度

- 信用できない
- そもそも信用できたとしても BH の証拠としては弱い

速度分散

- 星の数が足りない

他の方法は？

速度が無理なら速度変化は？

47 Tuc の距離: 5kpc

1 秒角 (5000AU) 以内に星数十個

0.3 秒角 (1500AU): 10 個くらい

この辺の星の運動。IMBH 質量 $3000M_{\odot}$ と仮定:

軌道長半径 1500 AU : 速度 45km/s、周期 1000 年

最大年に 300m/s くらい速度が変わる。分光で検出はそんなに大変ではない(?)

1 つでも見つければ、IMBH 以外の解釈は困難

47 Tuc の他は？

47 Tuc はハワイからは難しい？

どういう球状星団を考えるべきか？

候補: 他のモデルでは説明困難なもの

- コアが大きい ($r_c/r_h > 0.2$ くらい)
binary-burning phase や PCC はもっとコア小さい
- 星団の緩和時間:短くてもいい
Pre-collapse で緩和時間 $< 10^{8.5}$ 年は難しい。
(高橋、 R13c)

このような球状星団は結構な数ある (Pre-collapse の数割)

まとめ

- 理論的には、球状星団の中心に IMBH があって X 線とかではうからないのは自然。
- そういう星団は緩和時間が短くてコアが大きい。観測的には結構な数ある
- 星の速度分散とかからは IMBH 検出できない
- 軌道運動の速度変化からは検出できるはず。
300m/s/year くらいの変化

まとめ

- 理論的には、球状星団の中心に IMBH があって X 線とかではうからないのは自然。
- そういう星団は緩和時間が短くてコアが大きい。観測的には結構な数ある
- 星の速度分散とかからでは IMBH 検出できない
- 軌道運動の速度変化からは検出できるはず。
300m/s/year くらいの変化

IRCS+AO とかでみえそうですが、どんなものでしょう？

おしまい