

# 球状星団のひみつ

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

# 球状星団とは



- 100万個程度の恒星の集まり
- 銀河系内に 150 個くらい
- 生まれたのは100億年以上前
- 半径は数十光年程度
- 基本的に「丸い」

球状星団 M4

# フォトギャラリー



M4



Omega Cen



G1



47 Tuc

M15 (ペガサス座にある球状星団)

Dec 22, 1995, 18h57m~19h28m (JST)



口径50cmカセグレン式反射望遠鏡 (F12), 液体窒素式冷却CCDカメラ (Astromed 3200シリーズ)  
露出時間: 2分×4フレーム, フィルタ: Rバンド, 擬似カラー処理

H. Fukushima 国立天文台 広報普及室

M3 (りょうけん座にある球状星団)

1995年 5月27日 22時03分 (JST)

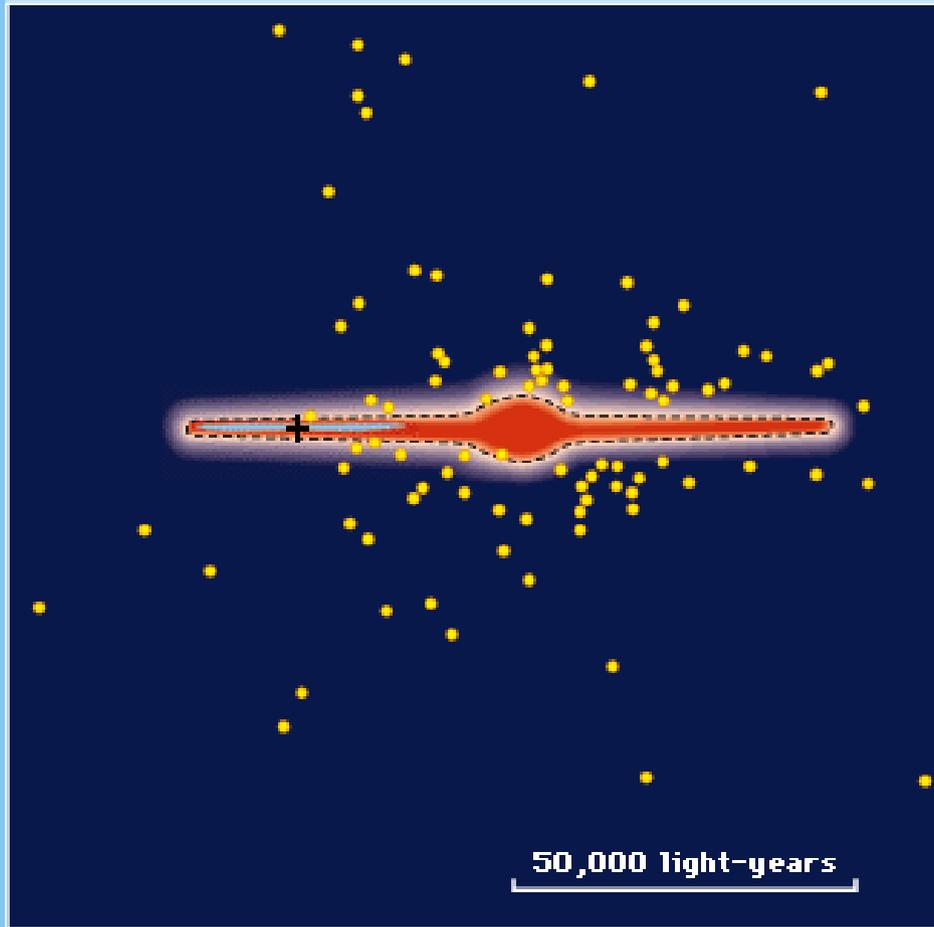


社会教育用公開望遠鏡で撮像

国立天文台 広報普及室

口径50cmカセグレン式反射望遠鏡 (F12), 冷却CCDカメラ (Astromed 3200シリーズ)  
露出時間: 2分, フィルタ: Rバンド, 擬似カラー処理

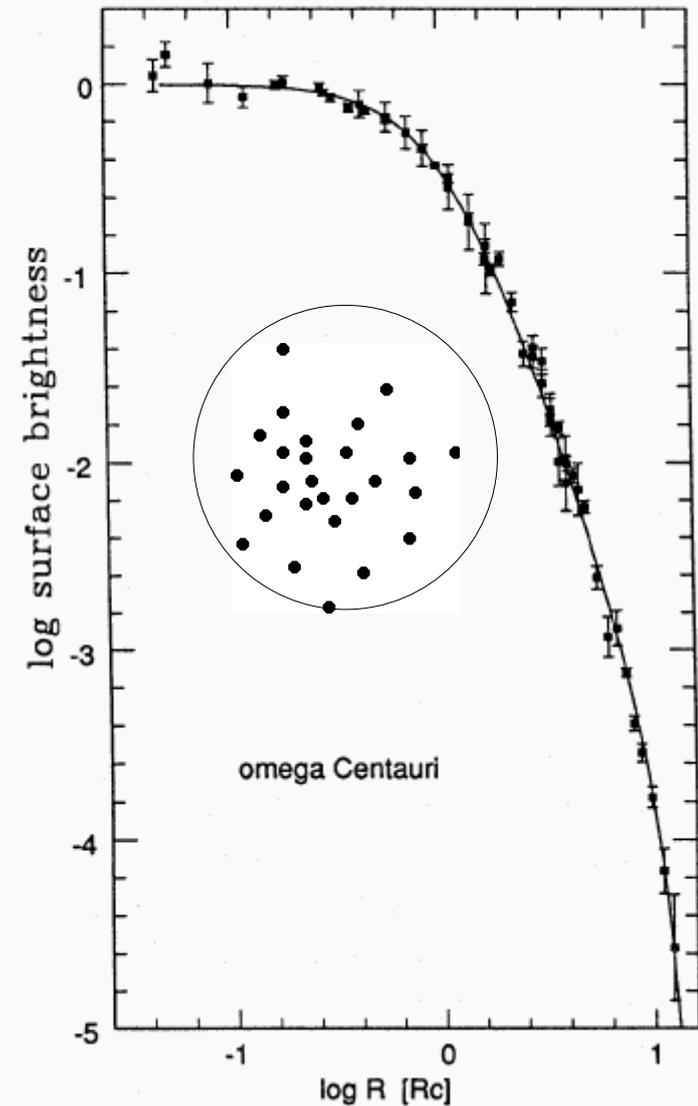
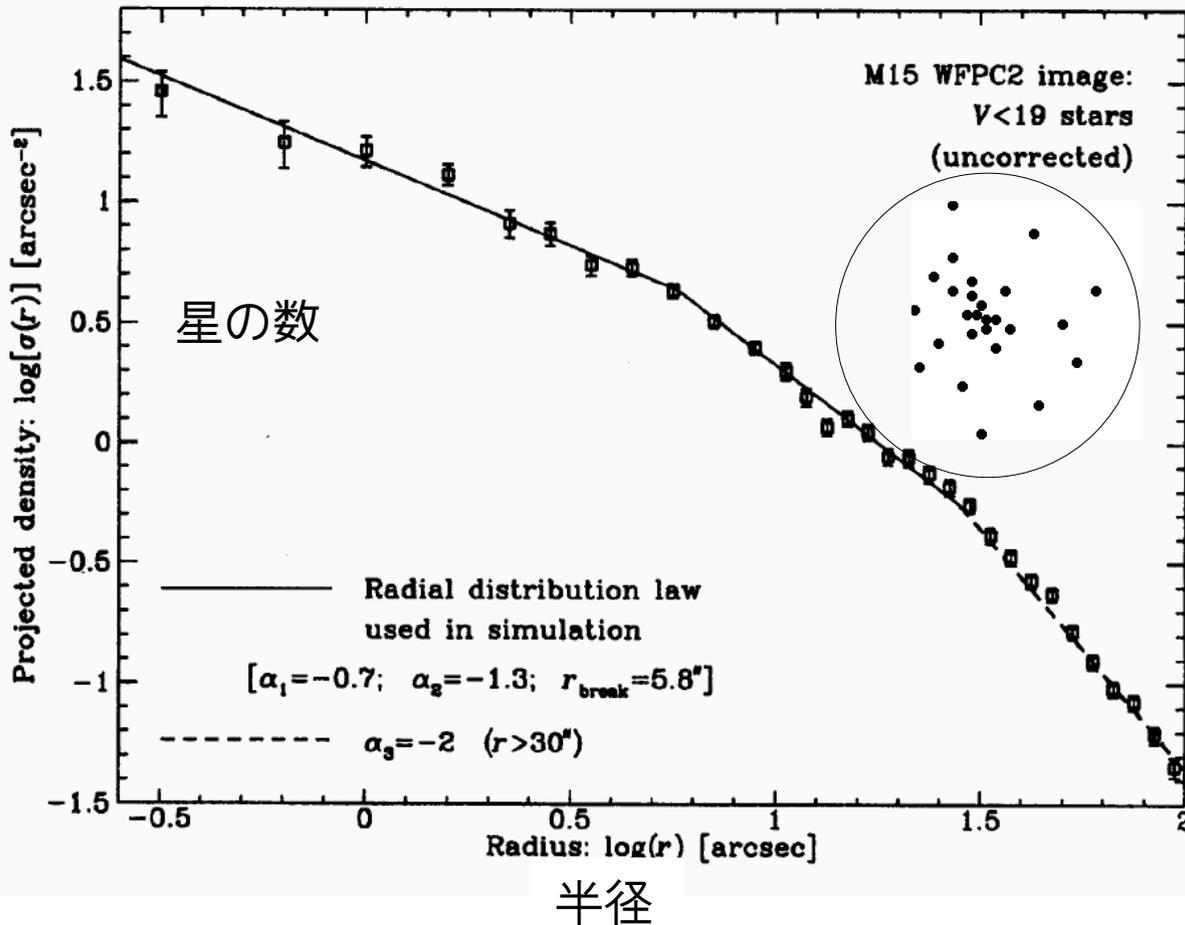
# 銀河系内での球状星団の分布



- 銀河内の分布も球状
- 銀河中心付近に多い
- シャプレーが銀河系の大きさを決めるのに使った。
- 球状星団内のケフェウス型変光星の明るさから距離を推定した

# 球状星団のふしぎ

- 中心では何が起きているか？

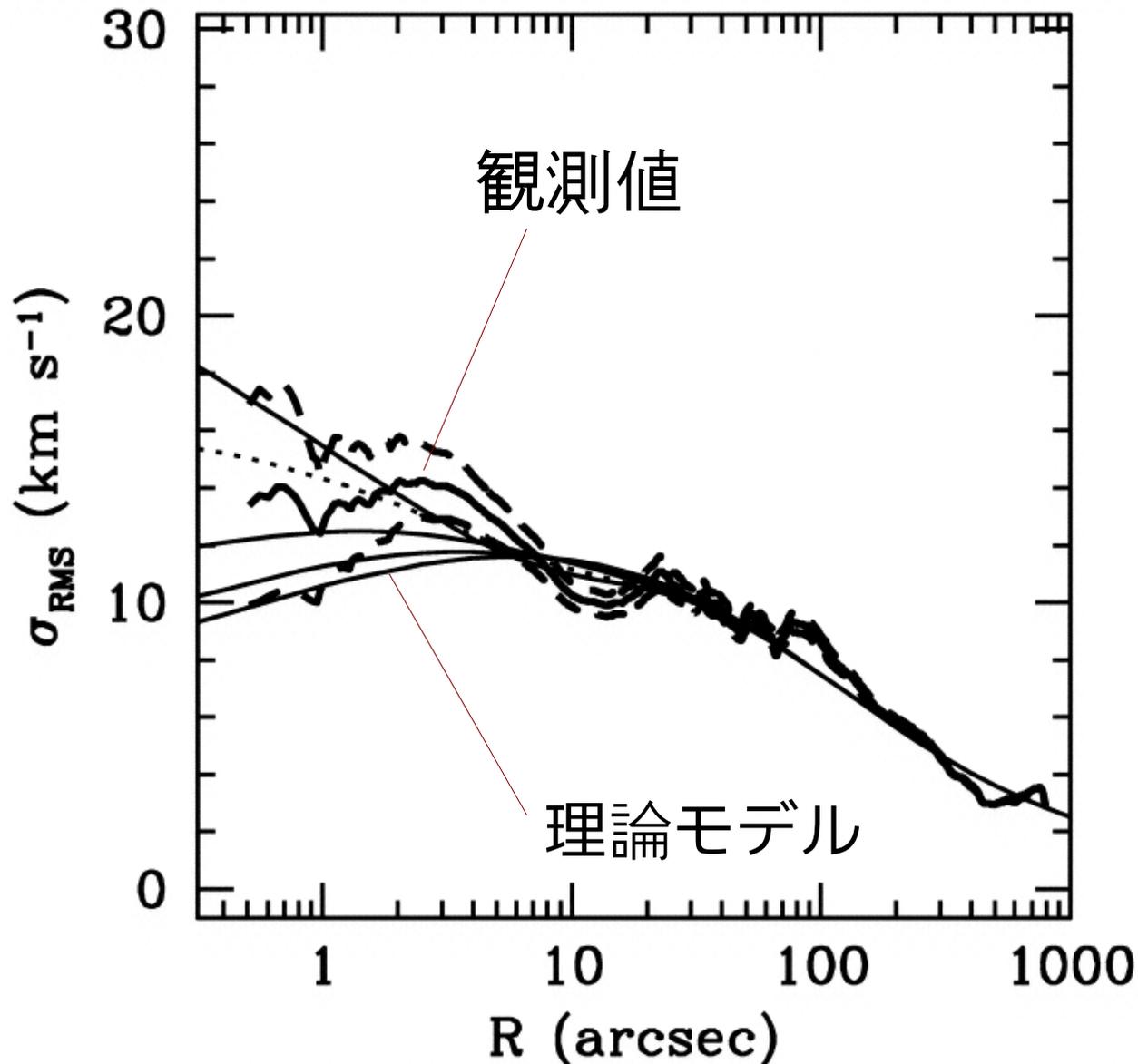


- 極端に中心に星が集まっているものがある
- 半径0.3光年以内に星が数十個
- 星の動いている速度と星の数の間の関係が計算があわない

# 星の速度と数の関係

- 球状星団の中の星は動いている
  - 太陽のまわりを地球が回るのと同じ
  - 重力と遠心力（等）がつりあう
  - 星団が重いと星の運動も速い
- 「ジーンズ方程式」という数式で表現できる

# 球状星団 M15 での星の速度 (平均値)



- 星団の中心近くで星の質量が足りない
- 中心に、「見えないもの」がある

# 見えないものはいったい何か？

- 2つの解釈
  - 見えないものは、巨大ブラックホール
  - 見えないものは、中性子星や白色矮星の集まり

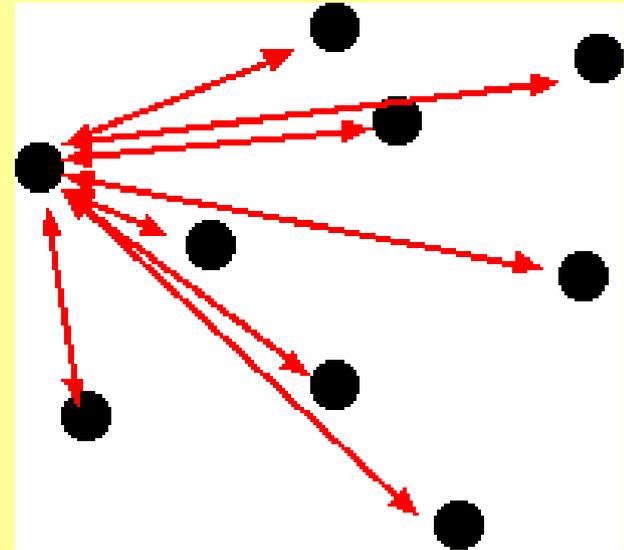
どちらが本当？  
どうすればわかる？

# 計算機シミュレーション

- 見えないので、何があるのかわからない
- 星団を100億年間シミュレーションしてみて、どんなものができるか調べる
- ブラックホールがある・ない星団はそれぞれどんなふうに見えるか？

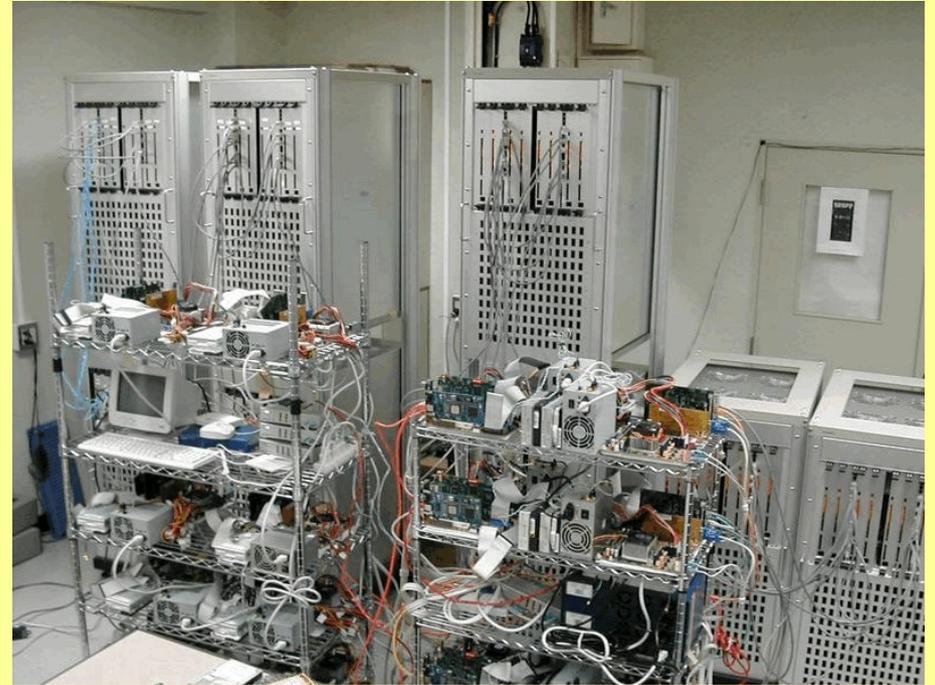
# 計算機シミュレーションの方法

- ひとつひとつの星の運動を追いかける
- ひとつの星は他の全部の星からの重力を感じる：全部計算する
- 星は寿命がきて赤色巨星や白色矮星に変わる

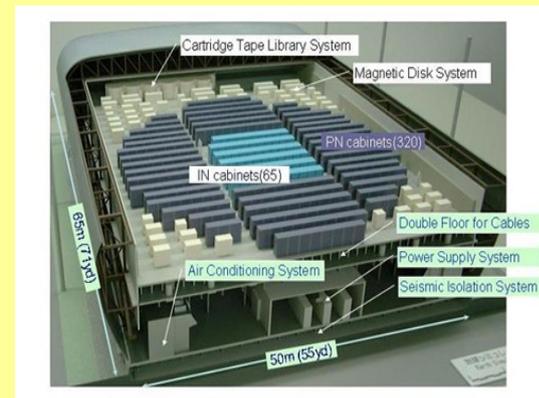


# 星同士の重力の計算

- とても大変な計算
- 星の数の2乗に比例
  - 星100個なら10000
  - 星1,000,000こなら1,000,000,000,000
- この計算だけをする専用の計算機を開発した (GRAPE-6)
- この計算だけなら地球シミュレータより速い



GRAPE-6

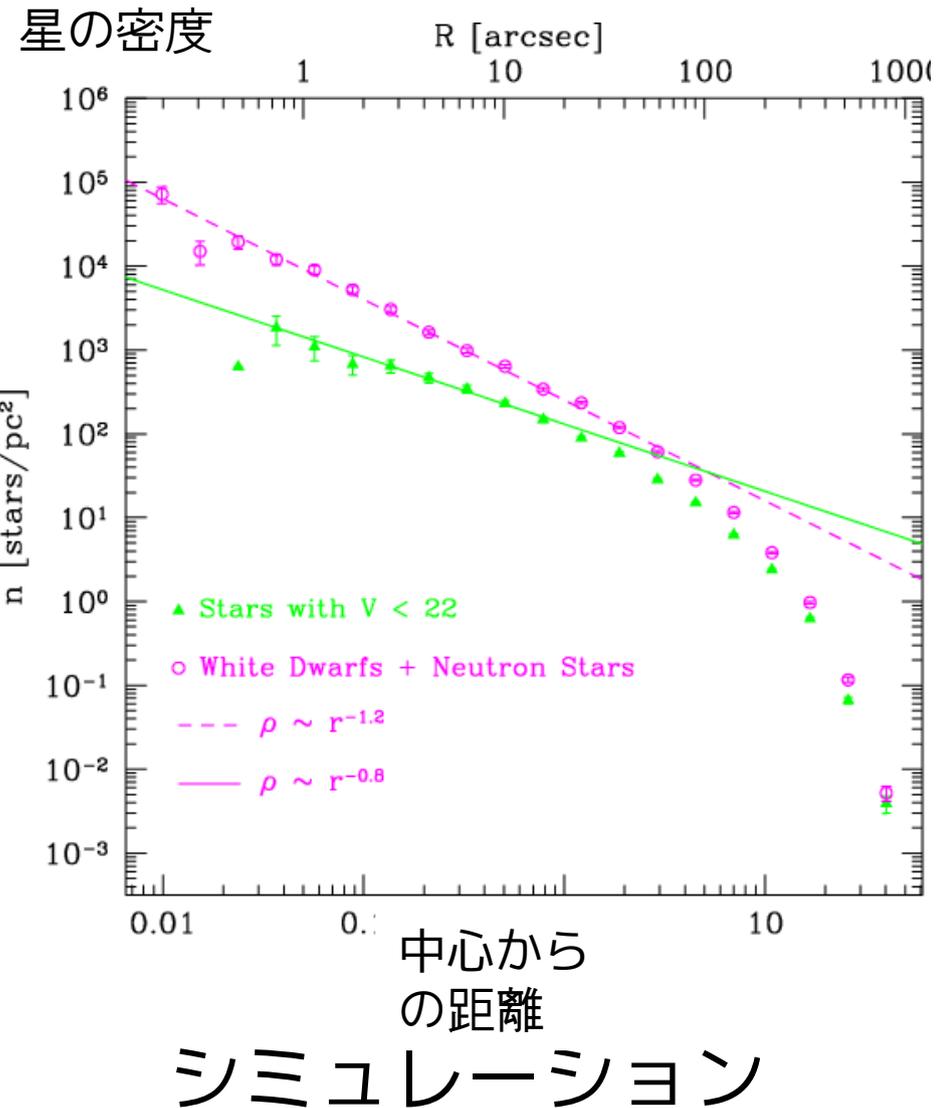
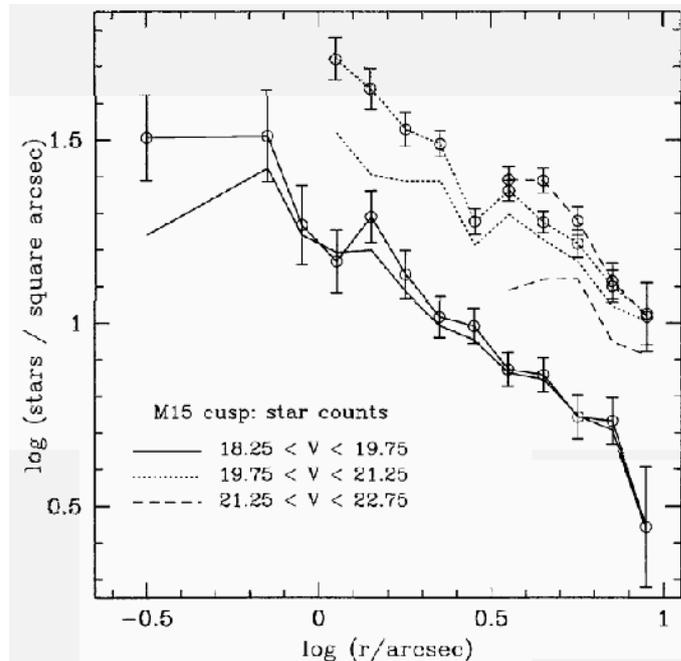


地球シミュレータ

# 計算結果(ブラックホール無し)

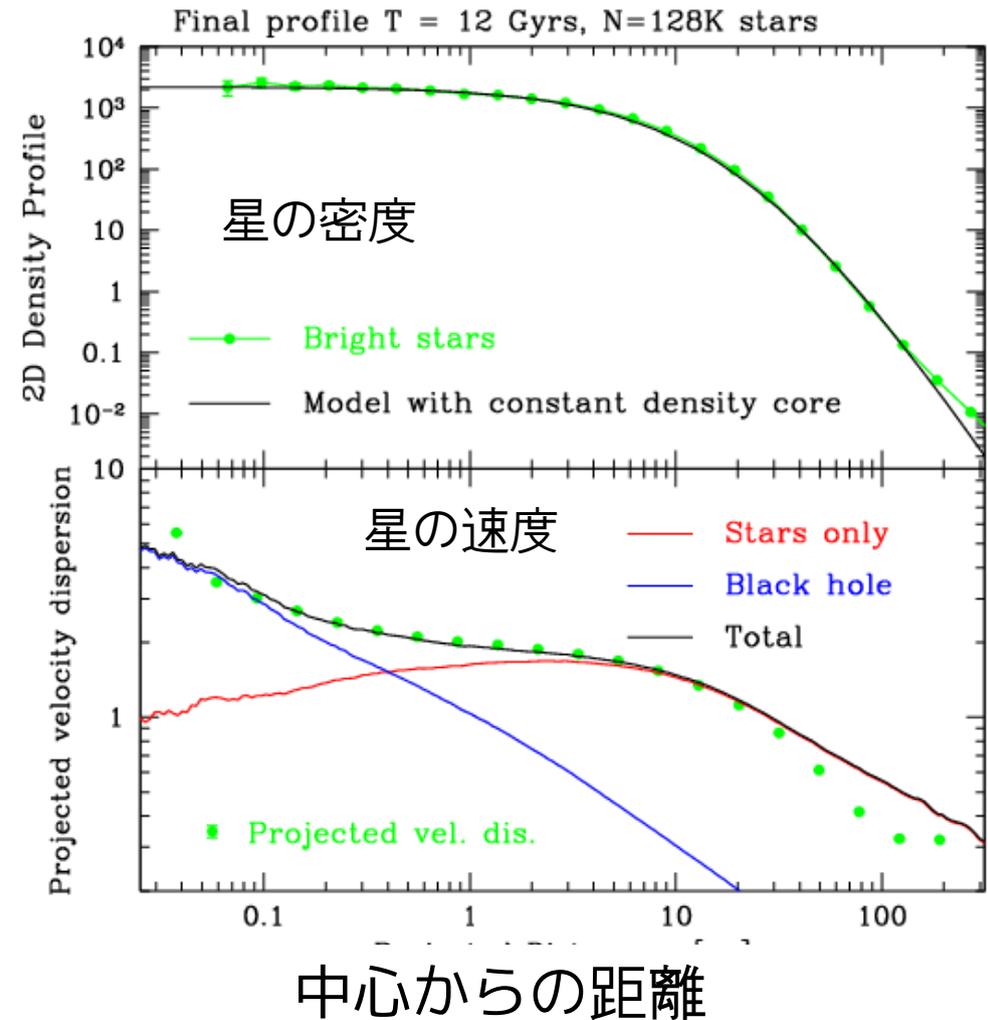
- 白色矮星、中性子星は中心に集まる
- 普通の星もある程度集まる
- 観測結果と非常に良く一致する (傾きが同じ)

観測



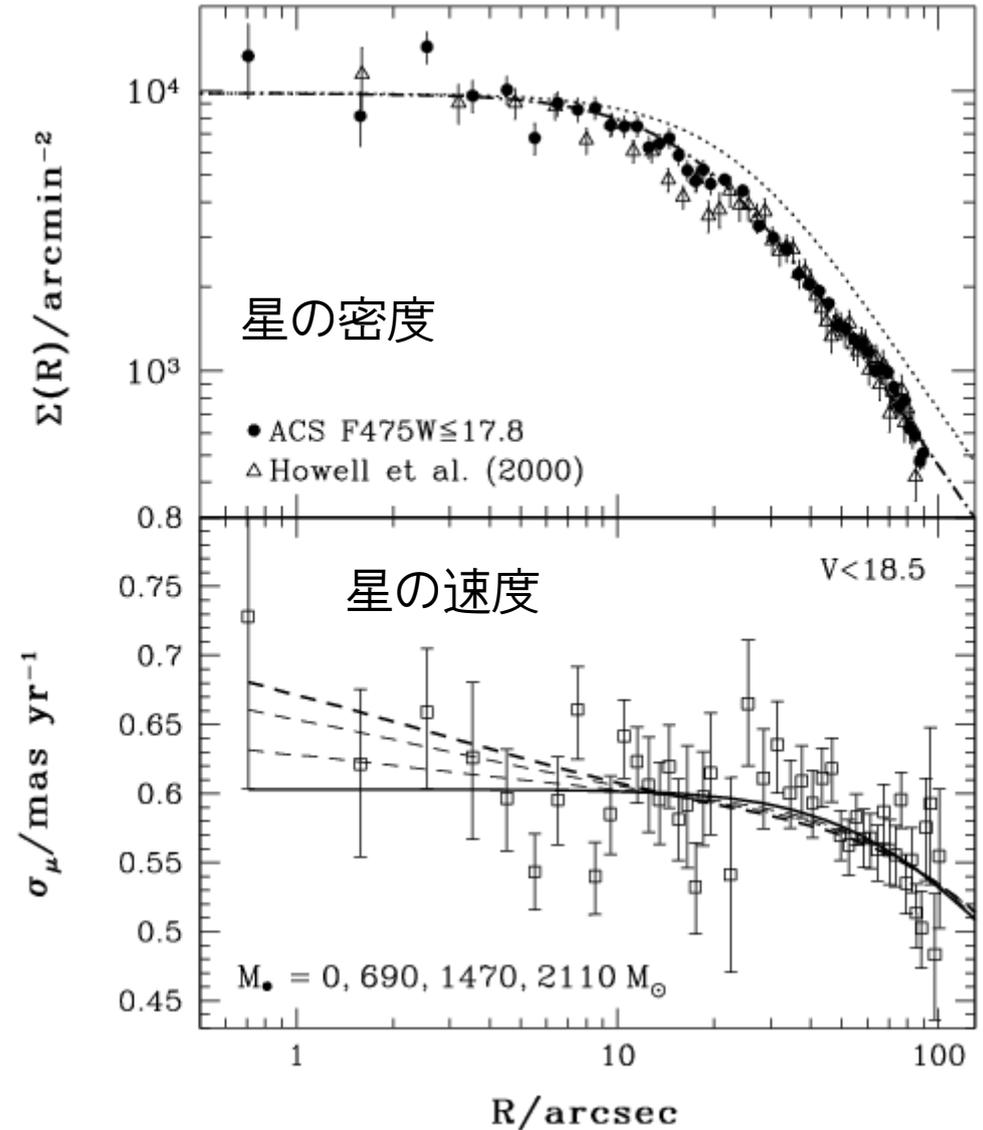
# 計算結果(ブラックホールあり)

- 普通の星はあまり中心に集まって見えない
- ブラックホールがあることで、あまり中心に星が集まっていない、普通のタイプの球状星団のように見える
- 「普通の」球状星団にブラックホールがある？



# 観測でブラックホールを見付ける

- ブラックホールがあると、星の速度があがるはず
- スペクトル観測から速度を求める
- いまのところ、あるかもしれない、という結果



中心からの距離

# まとめ

- 球状星団の中心で何が起きているかは、最新のシミュレーションでわかりはじめてきた
- 中心に星が集まっている星団では、集まっている星よりさらにたくさんの中性子星や白色矮星が集まっている
- それほど集まっていない星団では、中心に大きなブラックホールがあるのかもしれない
- これからの観測技術の発展で、見えるようになってると期待