

# 回転曲線から得られる系外銀河質量の推定誤差について

藤平晋二郎<sup>1</sup>，馬場淳一<sup>2</sup>，斎藤貴之<sup>2</sup>，橋詰克也<sup>3</sup>，和田桂一<sup>1</sup>

<sup>1</sup>鹿児島大学大学院理工学研究科

<sup>2</sup>国立天文台

<sup>3</sup>総合研究大学院大学物理科学研究科

(2011 August 1)

## Abstract

銀河中に存在する星間物質がディスクに沿って円運動をしていると想定した場合、回転曲線は銀河の質量分布の推定にたびたび使われる。しかしながら実際はバーの影響などによって全ての星間物質は円運動にはならない、結果として回転曲線からの質量推定においても誤差が生じる。私達はシミュレーション銀河を edge-on 観測し、そこから得られた回転曲線での質量推定を調べ、現実の edge-on 銀河の観測において回転曲線から導いた質量ではどれほどの誤差があるかを調べる。銀河内の gas の位置-速度図から最も速い速度を回転速度と仮定し、そこから作られた曲線を回転曲線と定義すると、推定される質量は本当の質量に対し最大 2 倍多く見積もった結果が得られた。

## 1 Introduction

回転曲線は渦巻銀河の質量推定の際の主要なツールである。

(回転曲線とは銀河の回転速度を銀河中心からの位置の関数で表したもの)

今、球対称の質量分布を想定する、銀河中心から半径  $R$  内の質量を  $M$ 、回転速度を  $V$ 、重力定数を  $G$ 、とした時

$$M = RV^2/G \quad (1)$$

と与えられる。

銀河ディスクの周りには大質量のダークハローが付随していると考え (Kent 1987) と、銀河の外側の領域での回転曲線は一般的には平坦になる (Rubin et al. 1980,1982,1985)。また銀河の中心領域では多くの回転曲線は中心からの半径が大きくなるにつれ急激に回転速度が大きくなる。その速度の大きさは銀河の外周部

で見られる速い速度にまで達し、中心から 100 pc 内で速さが  $100 \sim 300 \text{ km s}^{-1}$  ほどになる。これらの中心領域での速い速度は銀河中心に大質量のコアが存在することを示している (Sofue 1996; Sofue et al. 1999; Takamiya & Sofue 2000)。

しかしながら銀河ディスク中のガスは純粋な円運動をしていない、特に中心領域ではバーの影響によって非円運動を引き起こしている。つまり回転曲線から求める質量は正確ではない。

この論文では私達はバーを持ったシミュレーション渦巻銀河を無限遠方 & edge-on 観測していると想定、シミュレーションでの回転曲線から推定される質量誤差を計算し、観測によって得られる視線速度からの質量推定ではどれほど誤差が生じるかを求める。

## 2 Methods

私達は N-body/SPH 法 (code ASURA) によって得られる渦巻銀河 (Baba et al. 2009; Saitoh et al. 2008; Saitoh et al. 2009) を使用。シミュレーション銀河中の gas particles が円運動をしていると仮定し、得られた gas の位置-速度図 (以下 PV 図) の最も速い速度成分を抜き出す。円運動と仮定した場合の回転曲線は終端速度 (terminal velocity) を結んだものとなる (Fig 1)。

得られる PV 図は原点に対しほぼ対称な図が得られる、これは同じ半径では観測者に対し向かってくる方向、遠ざかる方向の 2 成分の速度が得られるからである (Fig 2.(a))。また得られる PV 図については 10 色で色分けをしている。これはシミュレーション銀河内の gas particles が全て中性水素  $\text{H}_I$  だと仮定し、中性水素の個数密度 ( $\text{cm}^{-2}\text{km}^{-1}\text{s}$ ) の対数で色分けをしている。(Fig 2.(b))

回転曲線を引く際に回転速度には観測者に対し向かってくる方向、遠ざかる方向の 2 成分の速度があるので、回転曲線となる回転速度とその回転速度から求められる内部質量を以下のように仮定した。

いま任意の半径  $r = a$  (PV 図では  $x = a, -a$ ) に対する最大速度 (2 成分) を  $v_\alpha, v_\beta$ 、半径  $r = a$  で回転曲線となる回転速度を  $v_a$ 、半径  $r = a$  内の質量を  $M(a)$  とすると

$$v_a = \frac{|v_\alpha| + |v_\beta|}{2} \quad (2)$$

$$M(a) = \frac{av_a^2}{G} \quad (3)$$

モデルとなる銀河の見方は edge-on view のみとし、バーの長軸と観測者の視線方向の角度は  $0^\circ \sim 90^\circ$  で  $10^\circ$  ずつ変化させた PV 図を使用する。なお半径-質量図のデータプロットの際に fitting 関数を使用、

ディスクの面密度  $\propto e^{-r}$  , ダークハローの密度  $\propto r^{-2}$

として fitting を行なう。fitting を行なう理由としては、半径が大きくなるにつれ半径内部の質量は単調に増加すると仮定をしているためである。

最終的に fitting した関数で与えられる質量 (obs mass) とモデルの質量 (model mass) の比を取り、横軸をバーの長軸と観測者の視線方向の角度、縦軸を model mass/obs mass として結果を図にプロットした。

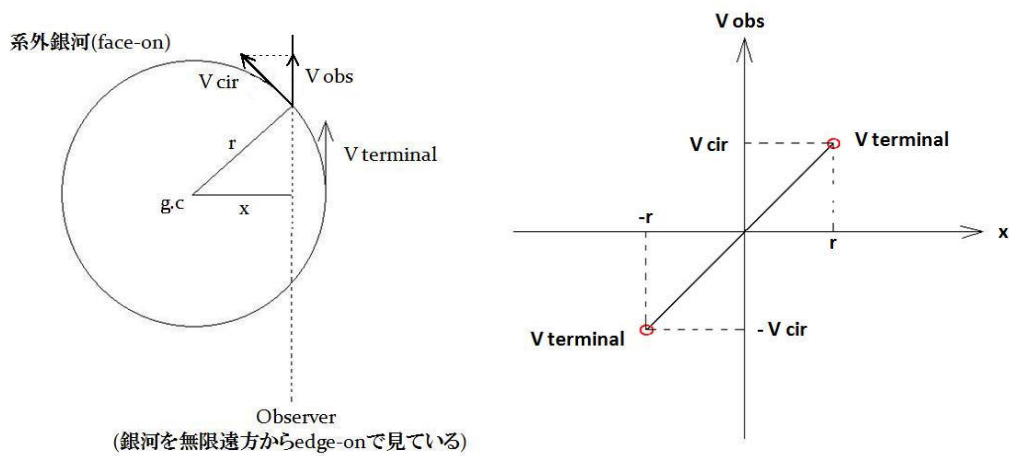


fig.1 終端速度 ( terminal velocity ) について

### 3 Results

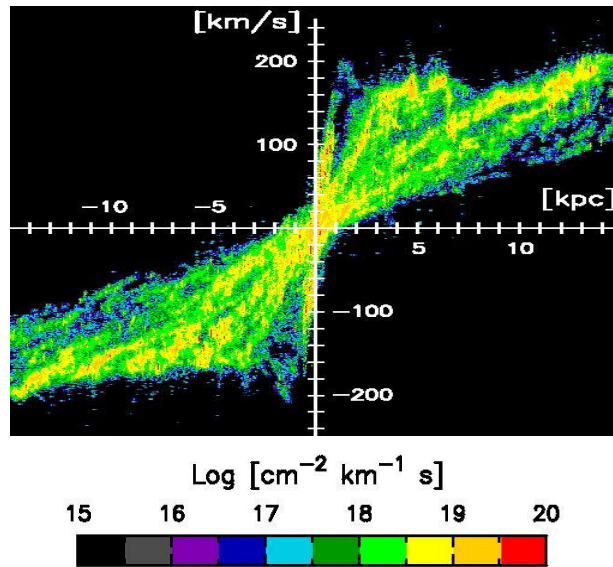


fig.2.(a) シミュレーション PV 図 (バーの長軸と観測者の視線方向の角度は平行)。  
 (b) PV 図の色分け図  $\text{Log}_{10}(\text{H}_I \text{ の個数}) [\text{cm}^{-2}\text{km}^{-1}\text{s}]$

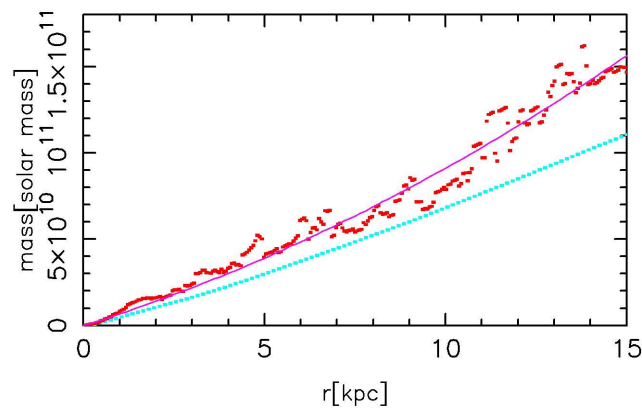


fig.3 半径-内部質量図 (バーの長軸と観測者の視線方向の角度は平行)  
 横軸：銀河中心からの半径 [kpc] 縦軸：内部質量 [ $M_{\odot}$ ]  
 赤色の点：PV 図の視線速度から求めた質量 [ $M_{\odot}$ ]  
 水色の点：モデルの質量 (model mass) [ $M_{\odot}$ ]  
 紫色の線：赤色の点を fitting した関数 (obs mass)[ $M_{\odot}$ ]

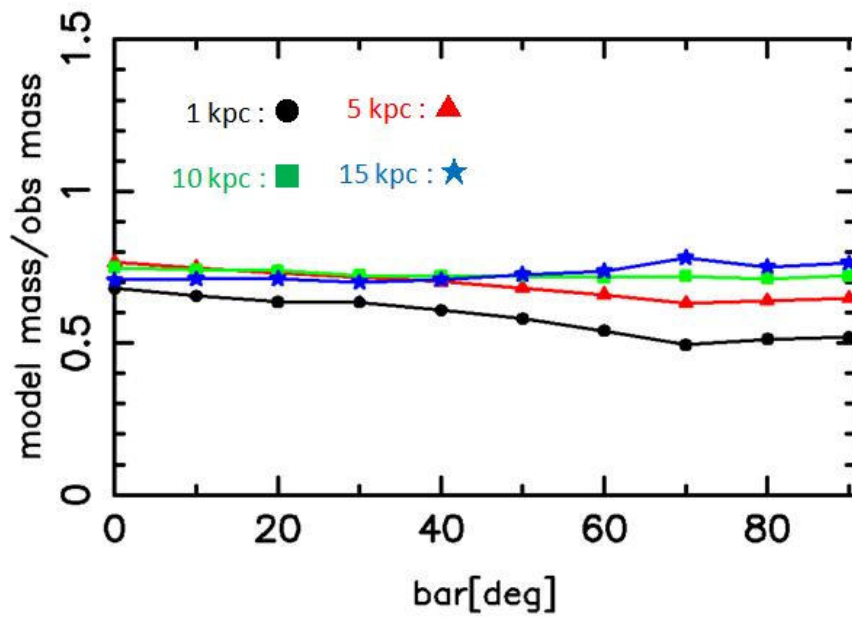


fig.5 比較図

横軸：バーの長軸と観測者の視線方向の角度 [deg]  
 縦軸：モデルの質量と fitting によって求めた質量との比  
 (銀河中心からの距離を色で区別している)

## 4 Conclusion

温度 200 K 以下の gas 粒子から得られる PV 図では、どの半径においても視線速度からの銀河質量推定は本当の質量よりも多くなる。銀河中心近傍では約 30 ~ 50 % の質量誤差があり、半径が大きくなるにつれ誤差は小さくなる。spiral arm 外周部付近では約 25 ~ 30 % の誤差が生じる。

## 5 References

- Baba, J., Saitoh, T. R., & Wada, K. 2010 PASJ, 62, 1413B  
Baba, J., Asaki, Y., Makino, J., Miyoshi, M., Saitoh, T. R., & Wada, K. 2009, ApJ, 706 471  
Kent, S. M. 1987, AJ, 93, 816  
Koda, J., & Wada, K. 2002, A & A, 396 867  
Rubin, V. C., Ford, J. W. K., & Thonnard, N. 1980, ApJ, 238, 471  
Rubin, V. C., Thonnard, N., Ford, W. K. J., et al. 1982, ApJ, 261, 439  
Rubin, V. C., Burstein, D., Ford, W. K. J., et al. 1985, ApJ, 289, 81  
Saitoh, T. R., Daisaka H. Kokubo, E., Makino, J., Okamoto, T., Tomisaka, K., & Yoshida, N. 2008, PASJ, 60, 667  
- .2009, PASJ, 61, 667  
Sofue, Y. 1996, ApJ, 458, 120  
Sofue, Y., Tutui, Y., Honma, M., et al. 1999, ApJ, 523, 136  
Takamiya, T., & Sofue, Y. 2000, ApJ, 534, 670