

ディスク銀河の力学応答とTully-Fisher関係

小山 博子 (名古屋大)

長島 雅裕 (長崎大) 吉井 讓 (東京大)

- § 準解析的モデルにおけるTully-Fisher関係
- § 超新星フィードバックにともなう力学応答
- § 力学応答がTully-Fisher関係に及ぼす影響
- § まとめ

§ 渦巻き銀河とTully-Fisher関係

Tully & Fisher 1977

Tully-Fisher関係 (TF関係)

回転する銀河の
絶対光度と回転速度に成り立つ
経験則

$$L \propto v_{rot}^4$$

(TF関係が成り立っていると仮定して)
距離の測定にも利用される

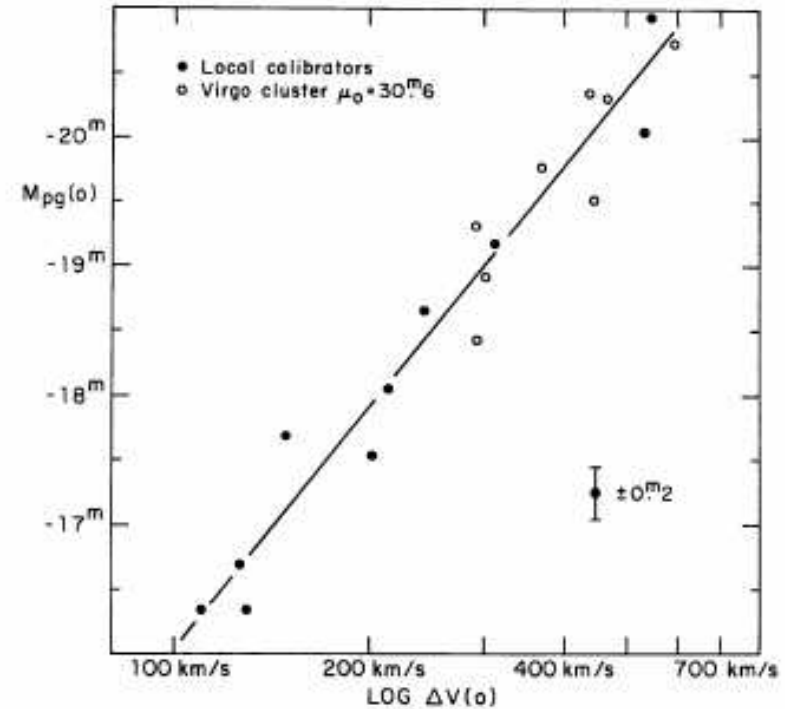


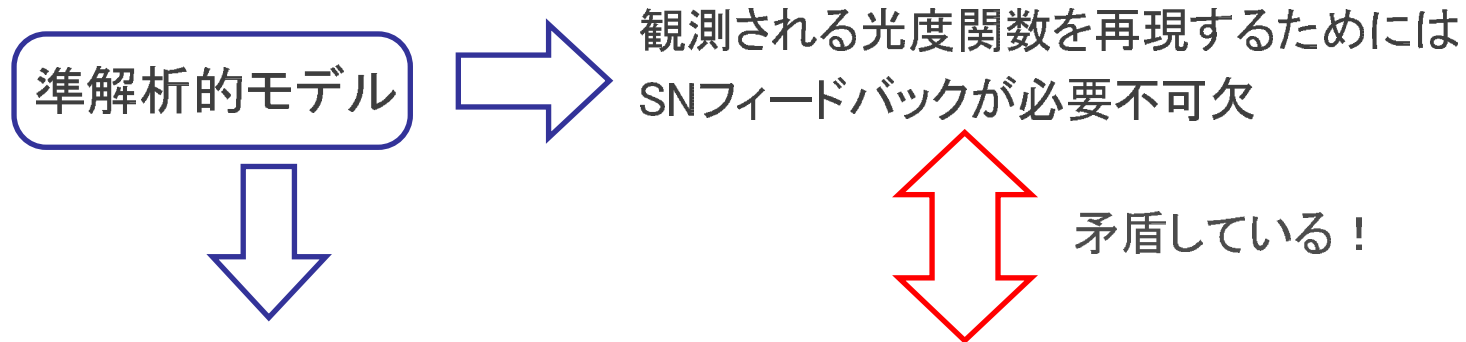
Fig. 5 (a) Absolute magnitude – global profile width relation produced by overlaying Figure 3 on Figure 1, adjusting Figure 3 vertically to arrive at a best visual fit with a distance modulus of $\mu_0 = 30^m6 \pm 0^m2$

TFRの物理的起源は？

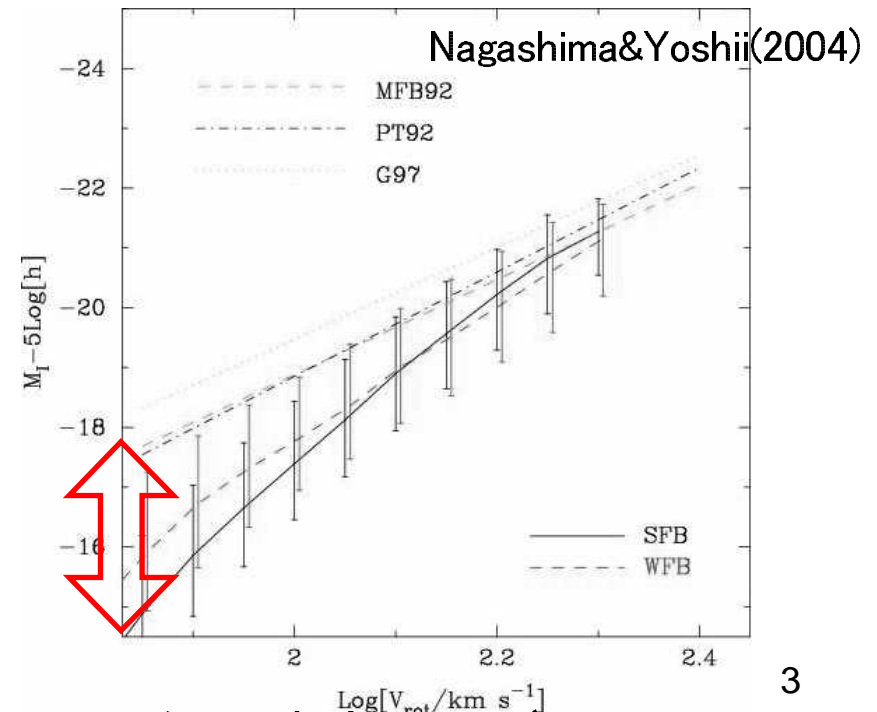
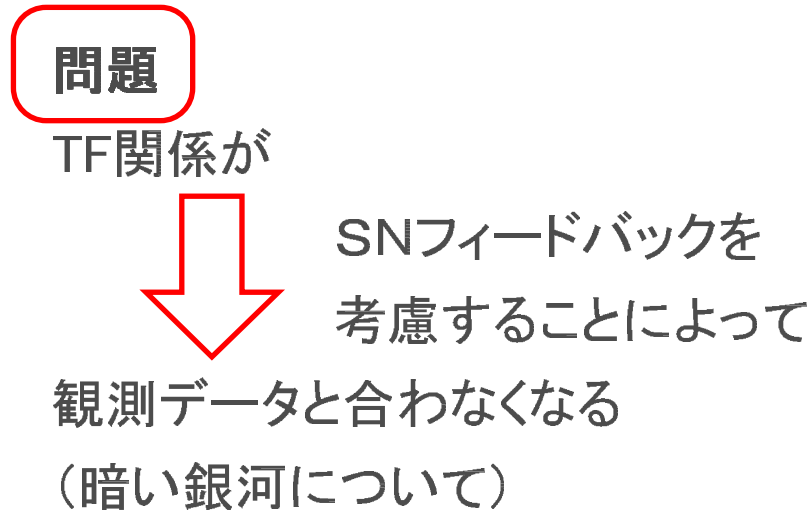
どういうしくみで成立するのか？

→ 銀河形成、進化シナリオにおいて検証することが重要

準解析的モデルで Tully-Fisher関係を再現できない問題



TF関係の傾きはSNフィードバックの強さで決まる
暗い銀河では傾きがきつくなり、観測データと合わない



暗い銀河のTF関係を再現できない問題は、ほとんどの準解析的モデルで共通

Tully-Fisher関係を再現できない問題の原因を考察

星形成にひきつづき、超新星爆発が起きる

フィードバックによってあたためられた銀河ガスが銀河外へ掃きだされると銀河の質量は減る (massloss)

従来の準解析的モデルでは、ここまでしか考慮されておらず 不十分

しかし

力学平衡に達した ディスク銀河のサイズや回転速度は

masslossが無い場合とは異なる数値になる

“力学応答”を考慮したモデルづくりが必要

masslossを考慮したうえで きちんと評価しなおす必要がある (モデルの改良)

フィードバックは、重力ポテンシャルが浅い(小さい銀河)ほどよく効くことにも注意

超新星フィードバックに伴う力学応答を きちんと考慮したモデルによって TF関係の問題(暗い銀河で観測値からずれる)は解決すると期待できる

そこで、本研究では

- ◆まず 超新星フィードバックにともなう力学応答を
解析的に解けるモデルを使って調べる
- ◆次に その結果を 簡単な宇宙モデルに適用して
観測から得られる Tully-Fisher関係, サイズ-等級関係と
比較する
- ◆力学応答を考慮することによって
観測データを再現できるか
どのようなモデル(パラメータ)で再現できるか
検証する

§ 超新星フィードバックにともなう力学応答

状況設定

星形成にひきつづいて 超新星爆発がおきる

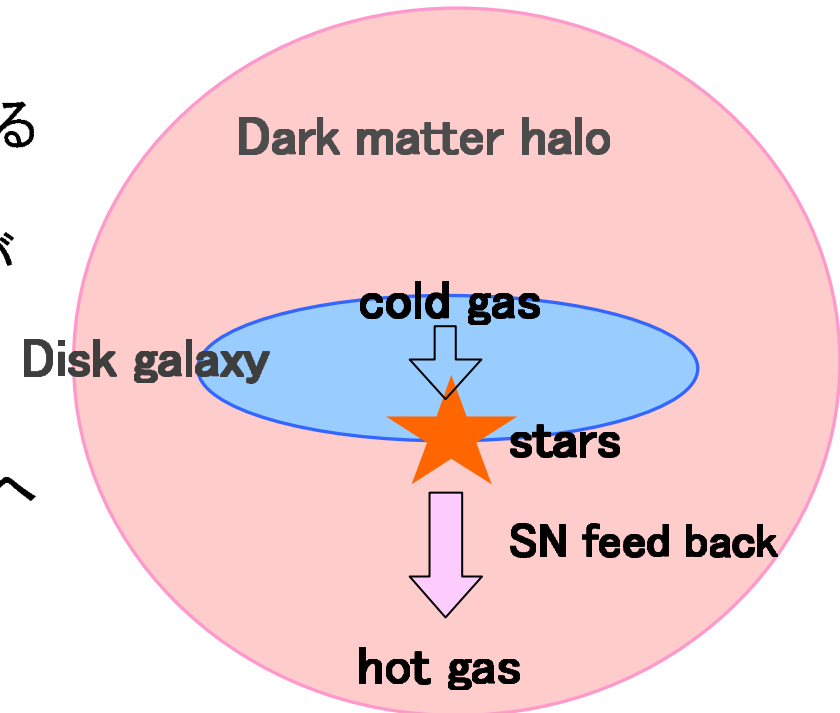


暖められた銀河ガスの 運動エネルギーが
銀河の束縛エネルギーを超えると

銀河ガスは 銀河円盤からダークハロー中へ
放出される (massloss)



masslossによる 力学応答を経て
銀河円盤は 最終的な力学平衡に達する



方法

SNフィードバックによる



銀河の質量の変化量と
(massloss)

masslossにともなう力学応答による



銀河のサイズの変化量
銀河の回転速度の変化量

との関係を導出

仮定

① 密度分布

バリオン Kuzmin-disk 表面密度
(軸対称で厚みのないディスク 指数分布に近い)
ダークハロー NFW 密度

$$\Sigma(r) = \frac{r_b M_b}{2\pi(r^2 + r_b^2)^{3/2}}$$

$$\rho(r) = \rho_d c^3 \left[\frac{cr}{r_d} \left(1 + \frac{cr}{r_d} \right)^2 \right]^{-1}$$

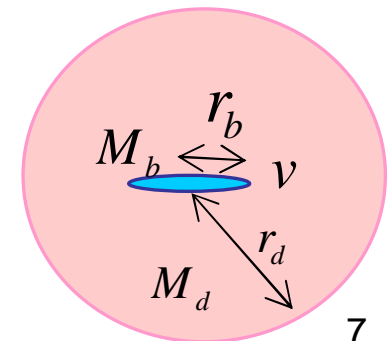
c: concentrate parameter

② masslossのしかたは2通りの場合(極限)を考慮

(1)adiabatic (2) impulsive

③ 速度分散は無視できる(ディスク銀河のみに注目するので)

④ ダークハローは バリオンの変化に影響を受けない

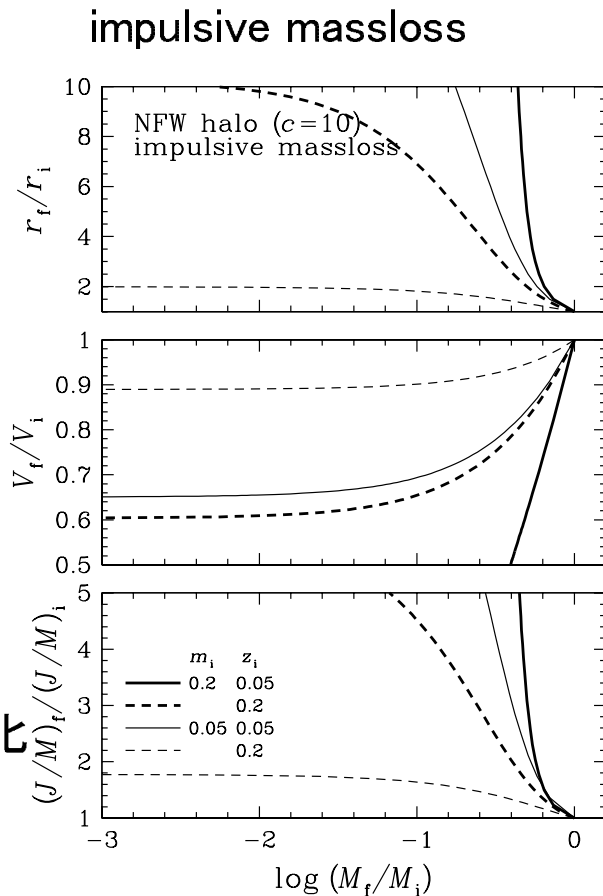


銀河の質量変化と、銀河サイズ、回転速度の変化量との関係(1)

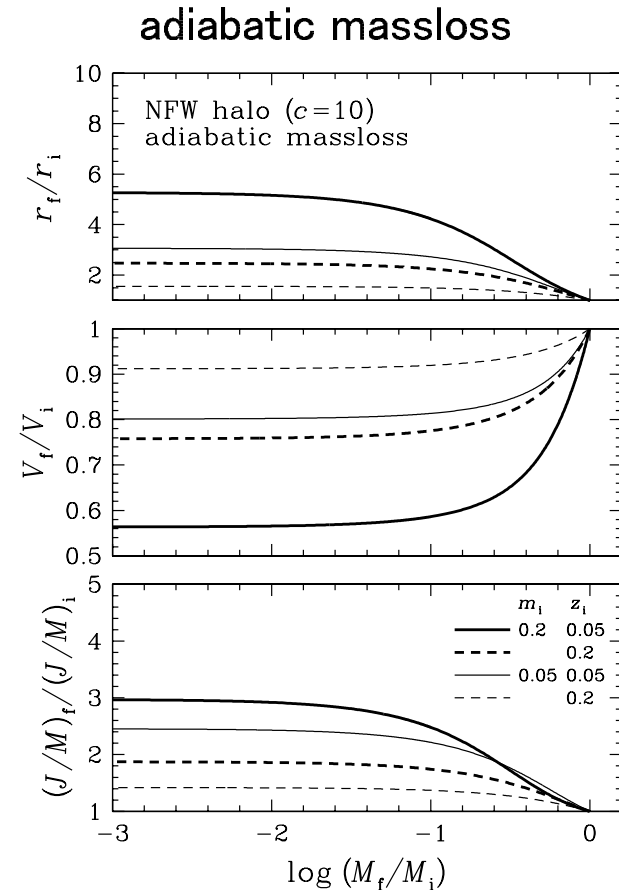
バリオンとDMの質量比
の初期値 $m_i \equiv \frac{M_{bi}}{M_d} = 0.2, 0.05$

サイズ比
の初期値 $z_i \equiv \frac{r_{bi}}{r_d} = 0.2, 0.05$

massloss前後の
銀河サイズの変化



massloss前後の
回転速度の変化

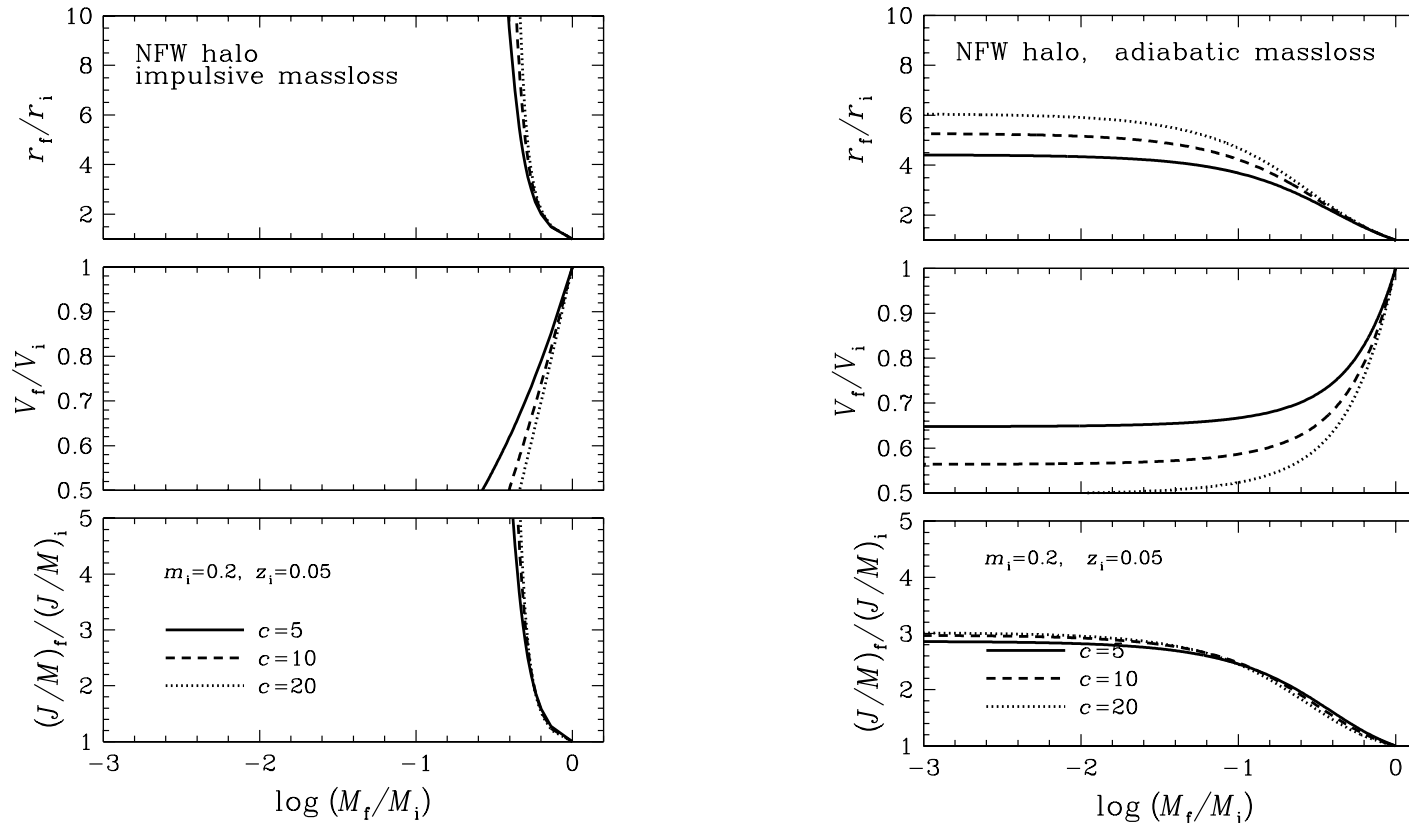


massloss前後の
specific 角運動量の変化

massloss前後の
銀河の質量変化

銀河の質量変化と、銀河サイズ、回転速度の変化量との関係(2)

力学応答における concentrate parameter の依存性



ダークハローに対する、バリオンの質量比が大きく
サイズ比が小さいほど 力学応答は大きい

masslossの仕方が adiabaticな場合よりもimpulsiveな場合のほうが
力学応答は大きい

§ 力学応答がTully-Fisher関係に及ぼす影響

力学応答の結果を簡単な宇宙モデルに適用して

(massloss後の)銀河の質量と回転速度の関係をプロットし 観測データと比べる

① 力学応答の結果

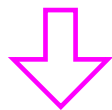
変化量どうしの関係

$$\frac{M_f}{M_i} \xleftrightarrow{\text{relation}} \frac{v_f}{v_i}, \frac{r_f}{r_i}$$

② CDMシナリオ

ダークハローのスケーリング則

$$M_d \propto V_{\text{circ}}^\gamma \propto r_d^\epsilon$$



massloss前の銀河

$$M_i \propto v_i^\gamma \propto r_i^\epsilon$$

③ 銀河の進化はmonolithic

(mergerなし 渦巻き銀河では良い近似)

はじめ、バリオンはぜんぶガス $M_i = M_g$

星形成 & フィードバック
↓
ガスを使い果たす

$$M_{\text{rem}} = \left(\frac{V_{\text{circ}}}{V_{\text{hot}}} \right)^{-\alpha} \Delta M_*$$

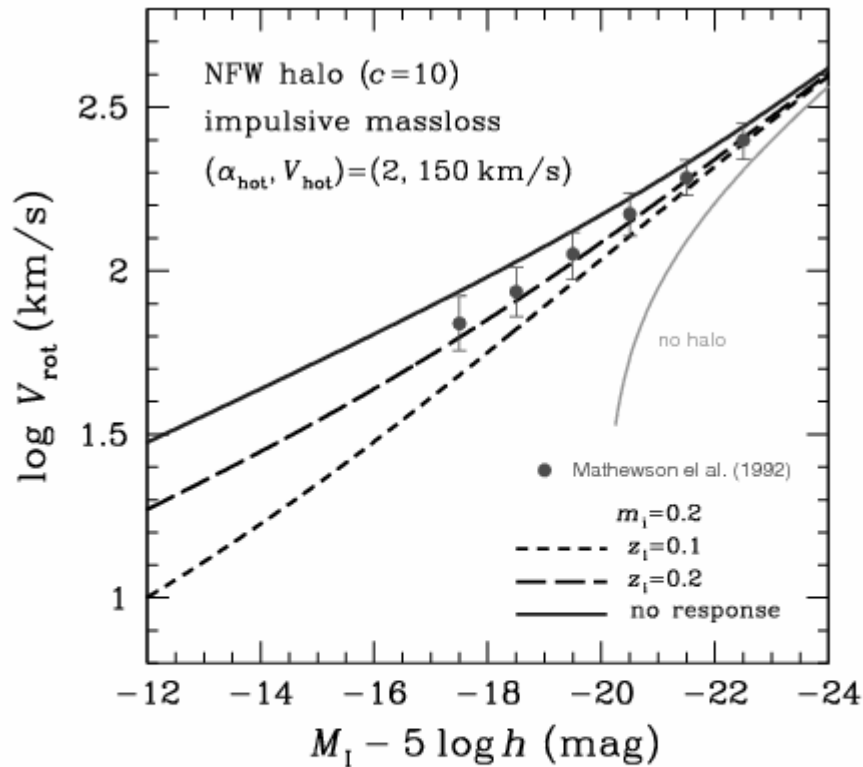
銀河の最終質量

$$M_f = M_i \left[1 + \left(\frac{V_{\text{rot}}}{V_{\text{hot}}} \right)^{-\alpha} \right]^{-1}$$

④ mass-to-light-ratioは一定とする

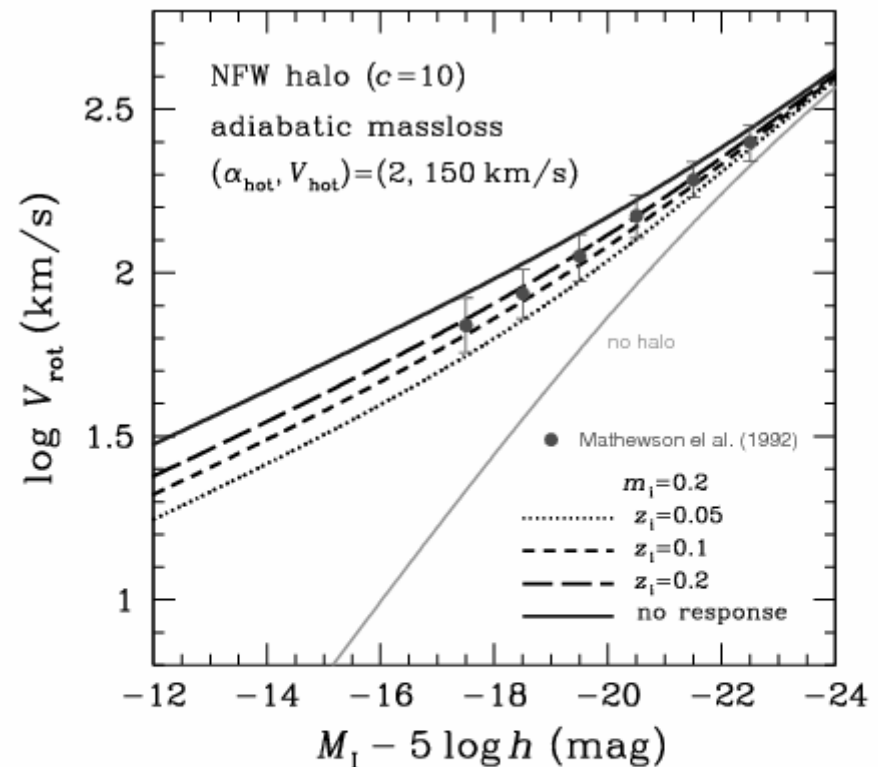
結果: Tully-Fisher関係 (1)

観測データ(Mathewson et al. 1992)と比較



impulsive massloss

バリオンとDMの質量比
の初期値 $m_i \equiv \frac{M_{bi}}{M_d} = 0.2$



adiabatic massloss

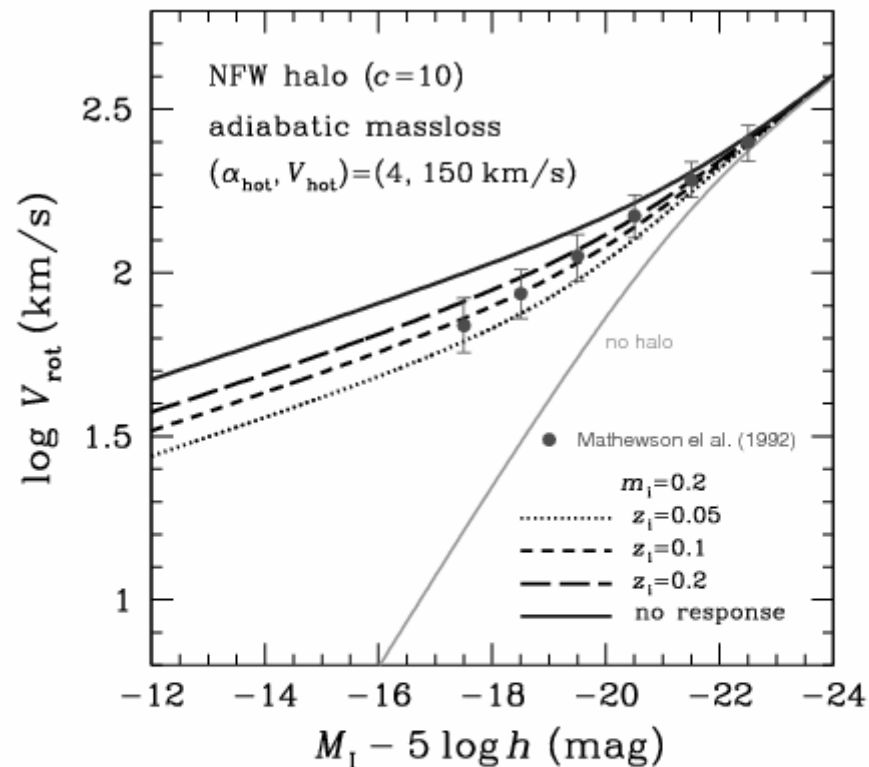
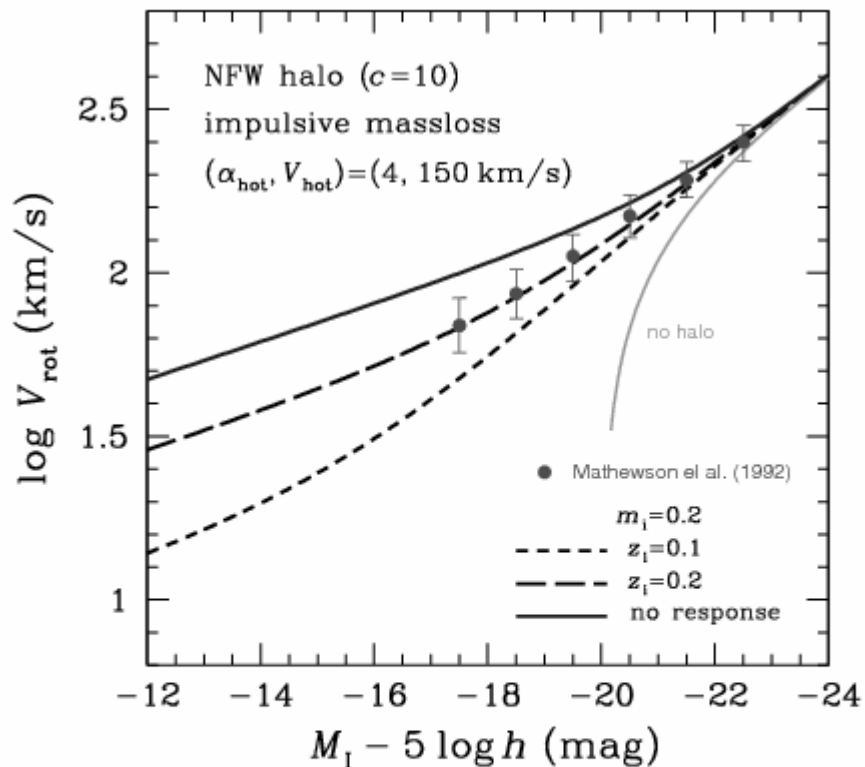
サイズ比
の初期値 $z_i \equiv \frac{r_{bi}}{r_d} = 0.05, 0.1, 0.2$

力学応答を考慮することにより

観測データから得られるTully-Fisher関係とフィットさせることができる

結果: Tully-Fisher関係 (2) 観測データ(Mathewson et al. 1992)と比較

SNフィードバックが強い場合

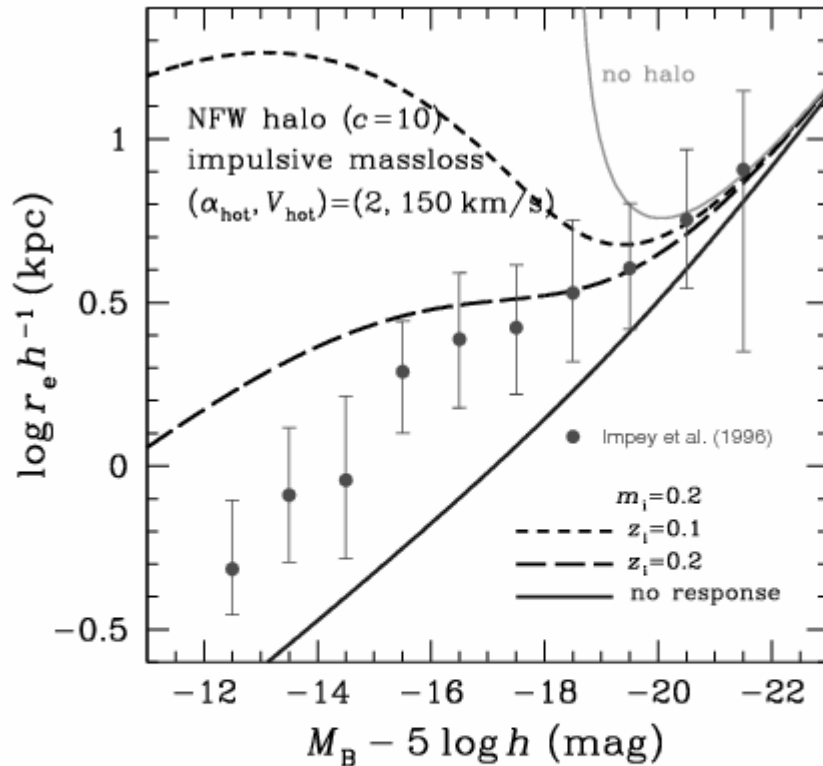


傾きは バリオンとDMの比、フィードバックの強さ、masslossの仕方に依存する
 バリオンの密度が濃い場合
 masslossがimpulsiveな場合

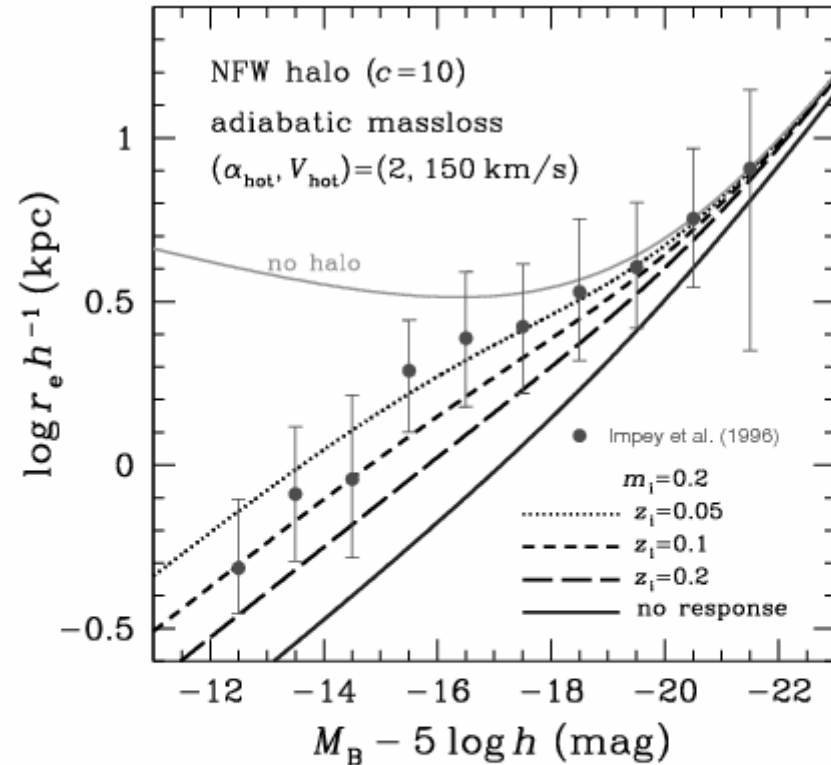
→ 傾きがより緩やかになる(力学応答が大きい)

結果： 銀河サイズ-等級の関係 (1)

観測データ(Impey et al. 1996)と比較



impulsive massloss



adiabatic massloss

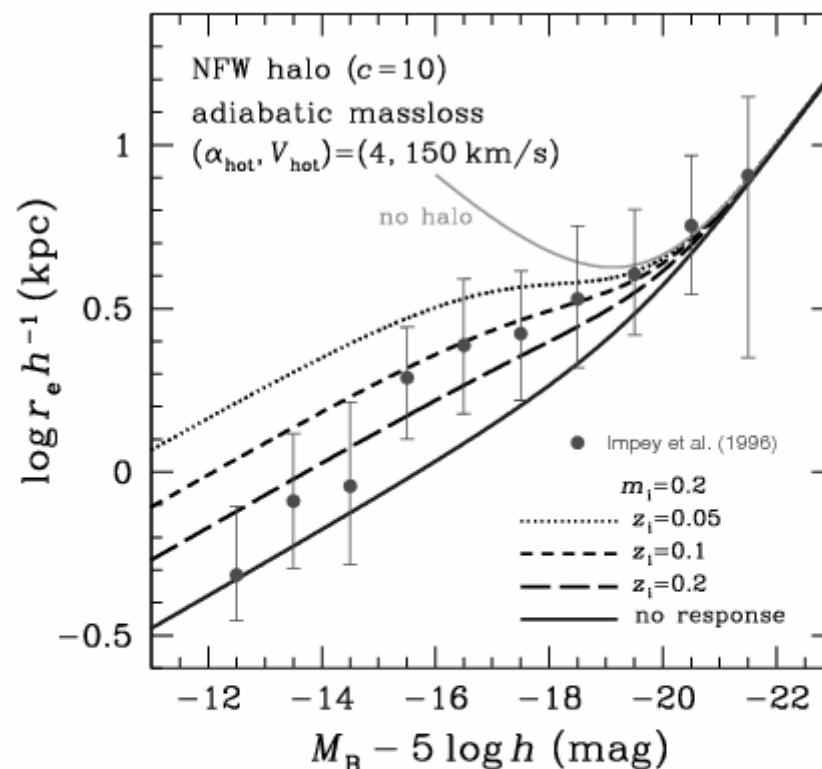
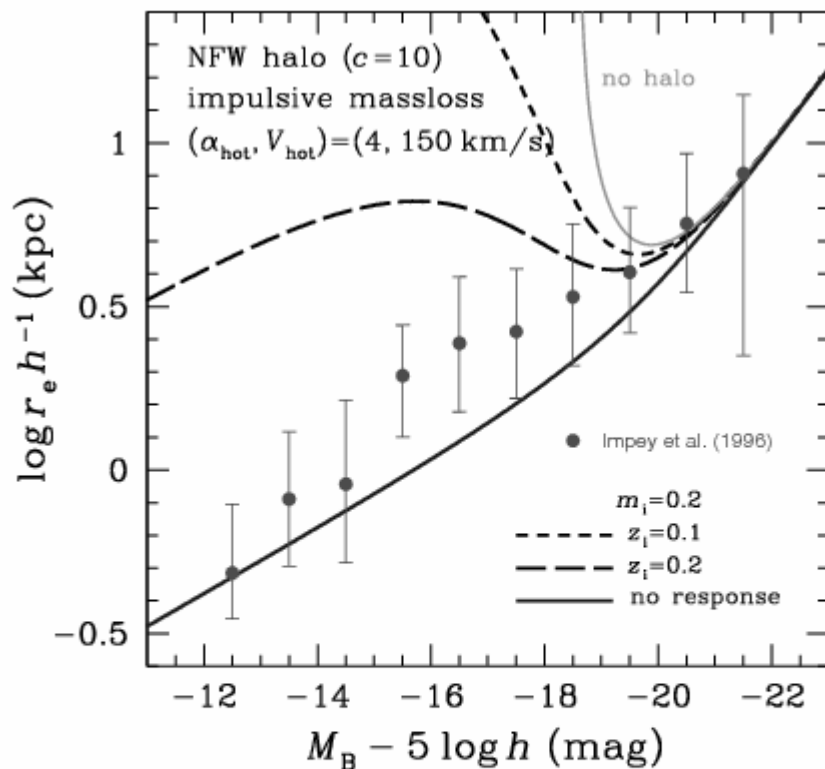
masslossがimpulsiveな場合

力学応答が大きすぎて 観測データと合わないことが分かる

結果： 銀河サイズ-等級の関係 (2)

観測データ (Impey et al. 1996) と比較

フィードバックが強い場合



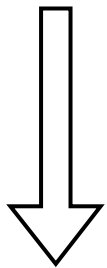
観測データに最もフィットするのは

massloss のしかたが adiabatic な場合で
フィードバックのパラメータ(強さ)が $\alpha_{\text{hot}} = 2$

§ まとめ

- ◆ ダークハロー内にあるディスク銀河の フィードバックにともなう力学応答を調べた
超新星フィードバックにより 銀河外へ掃きだされたガスの質量と
銀河サイズおよび回転速度の変化量との関係を導出した
ダークハローに対するバリオンの密度が濃いほど 力学応答が大きくなる

- ◆ 力学応答が Tully-Fisher関係 と 銀河サイズ-等級の関係 に及ぼす効果を調べた
力学応答の結果と、簡単な宇宙モデルを使って
Tully-Fisher関係 と 銀河サイズ-等級の関係 をプロット



グラフの傾きは ①ダークマターに対するバリオンの密度
②masslossの仕方 ③フィードバックの強さ に依存

力学応答を考慮することによって 観測データにフィットさせることができる

Tully-Fisher関係および銀河サイズ-等級の関係ともに
観測データに最もフィットするのは

massloss のしかたが adiabaticな場合で

フィードバックのパラメータ(強さ)が $\alpha_{hot} = 2$ のときである