

CDM構造形成と銀河系の化学組成進化

長島雅裕(京大理)

ref) Nagashima & Okamoto, 2006, ApJ in press

Nagashima & Yoshii, 2004, ApJ, 610, 23

1. Introduction – CDM構造形成過程
2. 銀河系形成への準解析的アプローチ
3. 銀河系の化学組成
4. 超新星フィードバックの役割
5. Summary

参考(関連)ポスター

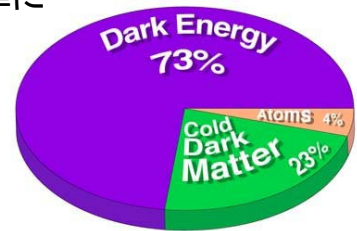
P11 長島雅裕 微小HI雲の進化から銀河ディスクガスを探る

P17 小山博子 Tully-Fisher関係における超新星フィードバックに伴う力学応答の重要性

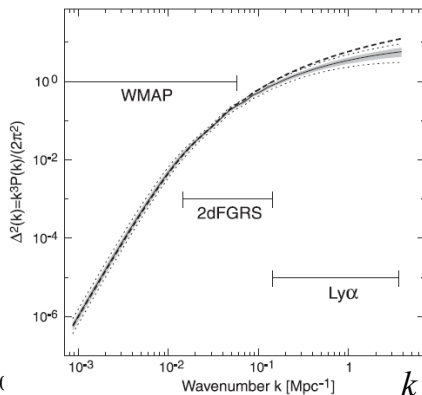
Introduction - CDM構造形成過程

近年、多くの観測により、 Λ CDMモデルが標準に

バリオン密度 \ll CDM密度
→構造形成はCDMの性質で決まる



$$k^3 P(k) \approx \sigma^2 = \langle \delta^2 \rangle$$



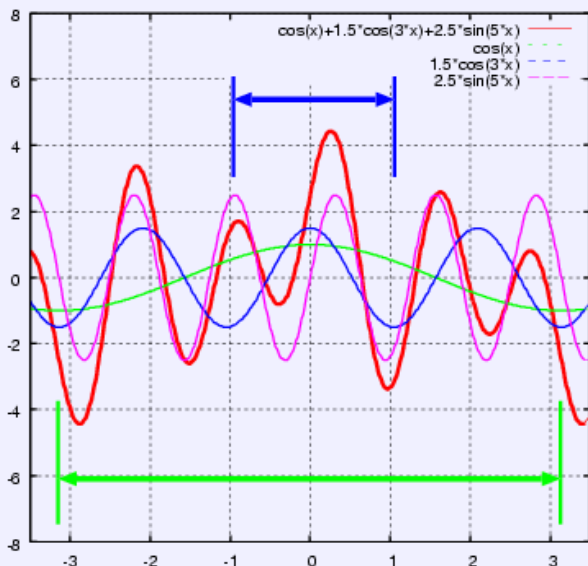
CDM: small scale の密度揺らぎの振幅大
大きい天体は小さい天体の合体で作られる

Spergel et al.(2003)

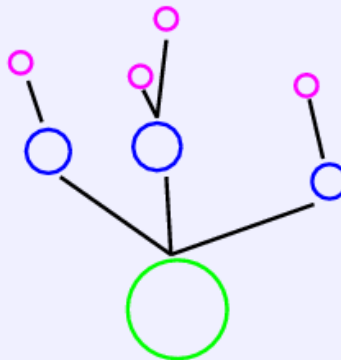
大質量 ← → 小質量

Hierarchical Clustering

密度揺らぎ場のモデル
Fourier mode の重ね合わせ



高密度領域からハローになる



バリオンガスは、基本的にダークハロー内部で進化
→ 2006/02/22 銀河形成過程も階層的に考えなければならない

3

銀河形成へのアプローチ

どうやって理論的に銀河をつくるか？

複雑な物理過程を解かねばならない

- ダークハローの形成
- ガスの冷却 (密度分布など)
- 星形成 (タイムスケール、効率など)
- 超新星爆発の効果 (加熱効率など)
- 銀河の合体 (タイムスケールなど)

等々。しかし、ただでさえ、よくわかっていないプロセス(星形成など)があるのにどうするか？ → パラメータを導入してモデル化する

・シミュレーション

ダークマターのダイナミクスは(ちゃんとやれば)大体マジメに解ける
ガスはまだまだ(resolution はせいぜい分子雲スケール)
実行時間がかかるのでごく少数のモデルのみ計算可能

・準解析的モデル

銀河スケールで物理過程をモデル化(イメージしやすい)
実行時間短い → 広いパラメータ空間を調べられる

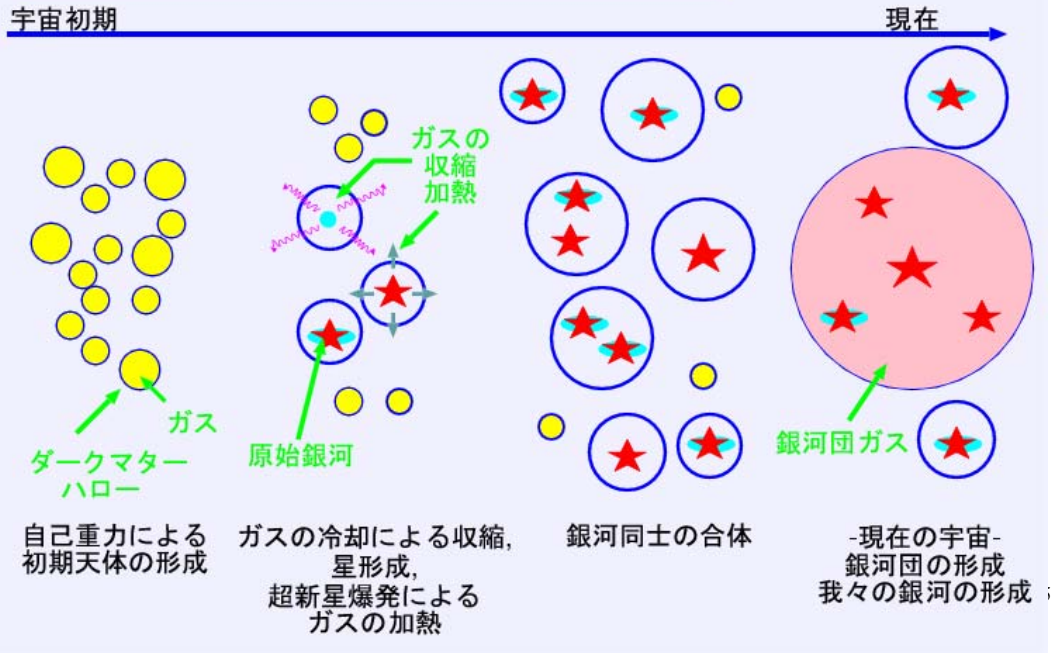
お互い相補的(得手不得手がある; どちらも追求する必要がある)

2006/02/22

4

準解析的モデル: 下図をモデル化する(詳細は略)

階層的構造形成説に基づく銀河形成シナリオ



準解析的モデルの流れ

1. ダークハローの形成史の構築
 拡張Press-Schechterを使う
 質量関数は Yahagi et al.(2004) のN体計算へのフィットを使う
2. 個々のハローでのガスの冷却
 ホットガスはvirial温度、コア入りisothermal分布
3. 冷えたガスからの星形成

$$\psi(SFR) = M_{\text{cold}} / \tau_*(V_c)$$
4. 超新星爆発による冷えたガスの加熱(フィードバック)

$$\dot{M}_{\text{hot}} = \beta(V_c) \psi$$
5. 銀河同士が合体するかどうかの判定
 - dynamical friction による central-satellite merger
 - random collision による satellite-satellite merger
 合体するなら major/minor merger の判定(質量比による)
 major ならバルジ形成、minor ならディスクに吸収

光度などを計算しつつ、2以降をz=0まで繰り返す

パラメータの決定

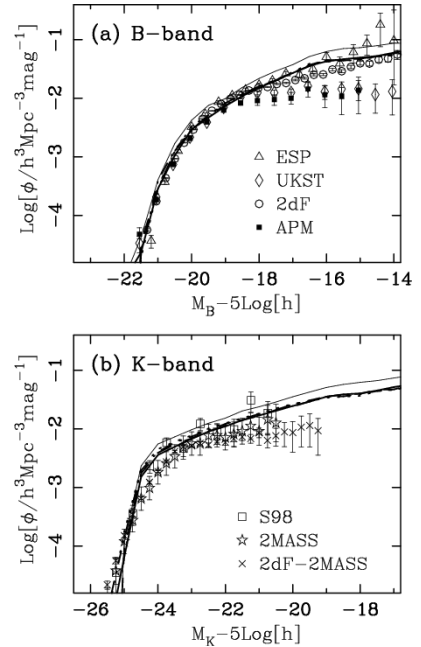
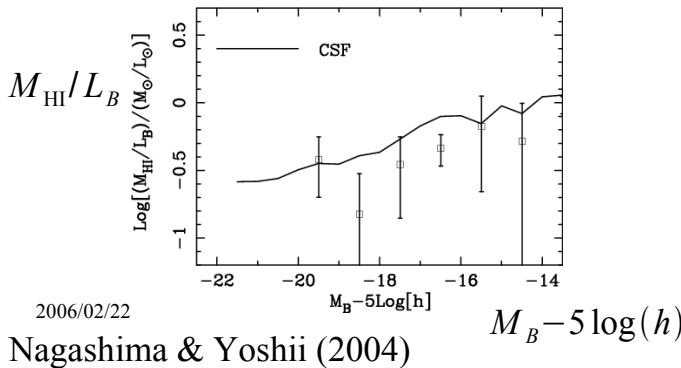
モデルパラメータを近傍銀河の統計を使って決める

重要なフリーパラメータ

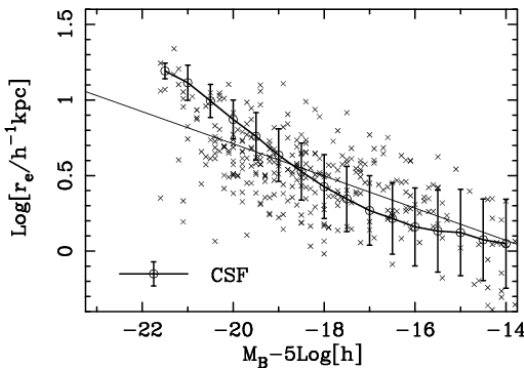
- ・超新星フィードバックの効率→光度関数
- ・星形成タイムスケール→ガスの割合など。

物理的に示唆のあるパラメータ

- ・銀河の合体のタイムスケール
- ・ハローの角運動量(ディスクサイズ)など。

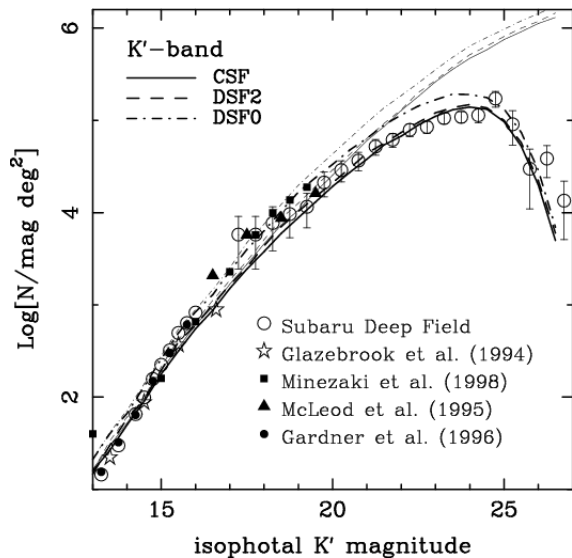


モデルの特徴(1)

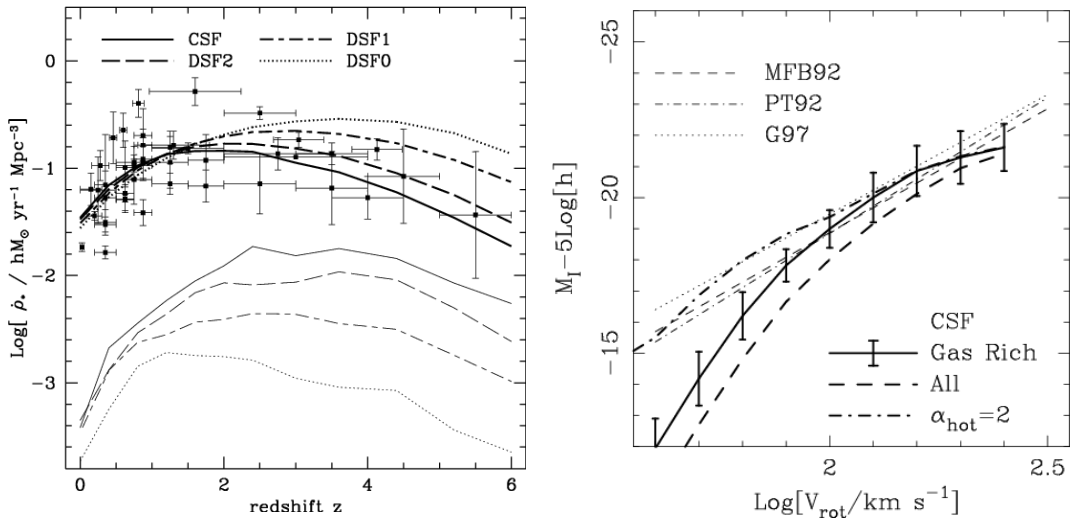


disk size-mag. relation
 標準的なスピンパラメータ分布
 +ガスの角運動量保存で
 再現可能

K-band galaxy counts



モデルの特徴(2)



● Tully-Fisher についてはP17小山ポスターも参照

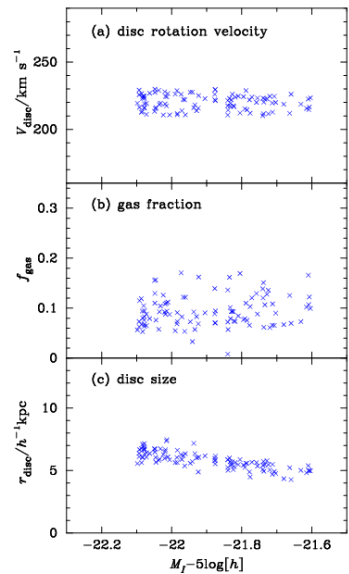
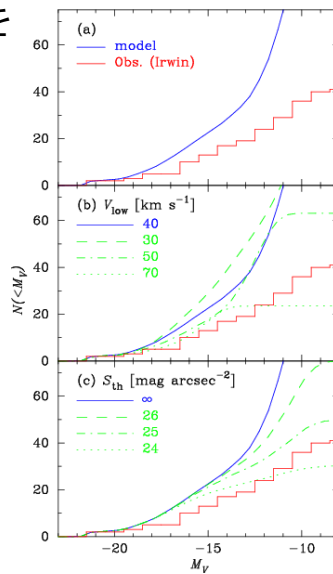
2006/02/22

9

銀河系の化学組成進化

- このモデルに、Ia型超新星による重元素生成過程を加える
- 寿命は(とりあえず簡単のため) 1.5Gyr に固定(多少ふる)
- $V_c=220\text{km/s}$ のハロー内で、

銀河系に似た銀河を
ピックアップ
(MW-like銀河)

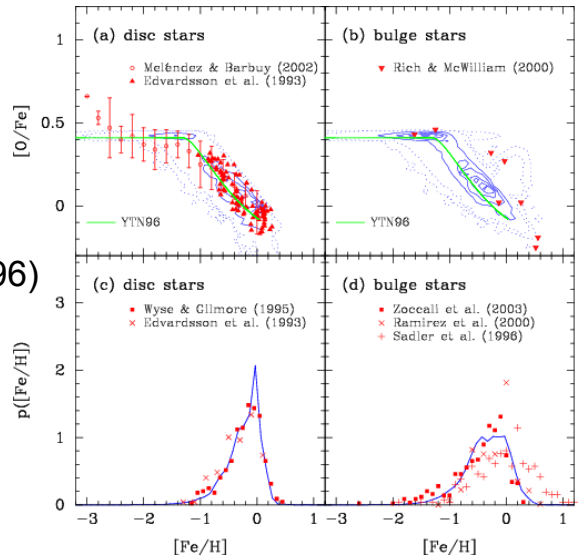
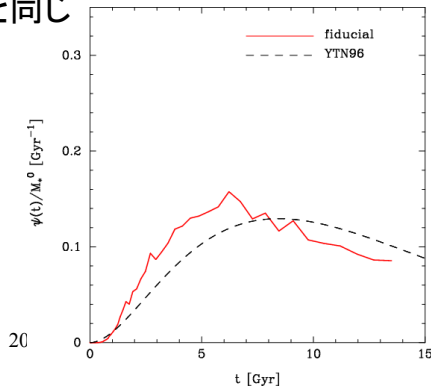


2006/02/22

星の[O/Fe], [Fe/H]

- MW-like銀河100個の平均
- 良く観測を再現している
- G-dwarf問題現れない
- CDM宇宙でも、銀河系は作れる

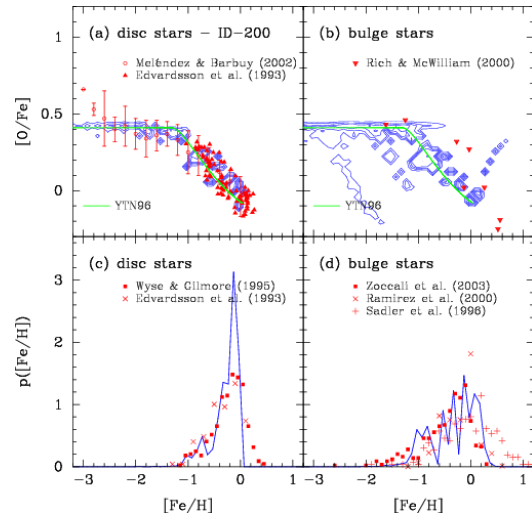
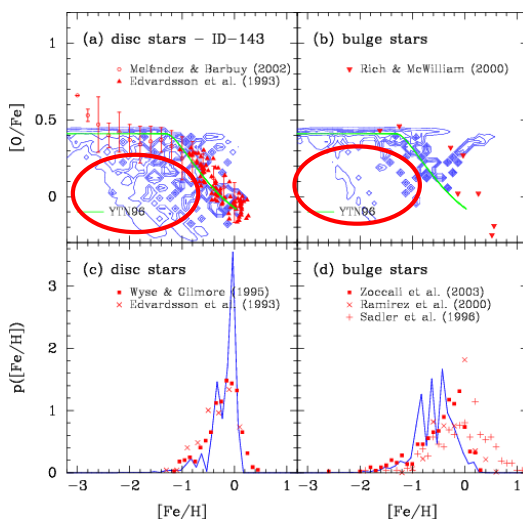
星形成史： 大体one-zone model (Yoshii, Tsujimoto & Notmoto 1996) と同じ



11

個性はどれぐらいあるか？

- 大きなトレンドは同じ
- satellite銀河の合体史に依存して、low-[Fe/H], low-[O/Fe]の星がわずかに存在しているかもしれない (satelliteの痕跡？→後述)



G-dwarf problemとの関係

traditional (infall) model では、infall term を付けることで G-dwarf problem を回避した。

モデルにはそのような「手で加えた」項はない。
→何が効いているのか？

free-fall も cooling も timescale は宇宙年齢より十分短い

$$\tau_{\text{ff}} \sim 1/\sqrt{G\rho} \sim 1.5 \text{ Gyr} (1+z)^{-3/2} \ll \tau_H$$

$$\tau_{\text{cool}} \simeq kT/n\Lambda \sim 0.5 \text{ Gyr} (T/10^6 \text{ K})(\Lambda/10^{-23})^{-1} (1+z)^{-3} \ll \tau_H$$

ほっとけば、10Gyr程度の infall などあり得ない。

→一旦冷えて銀河に降ってきたガスを、超新星フィードバックにより再びあたため、ハローにかえしてやるプロセスが重要

このサイクルで、少しずつ enrichしながら、平均するとゆっくりディスクにガスを供給する

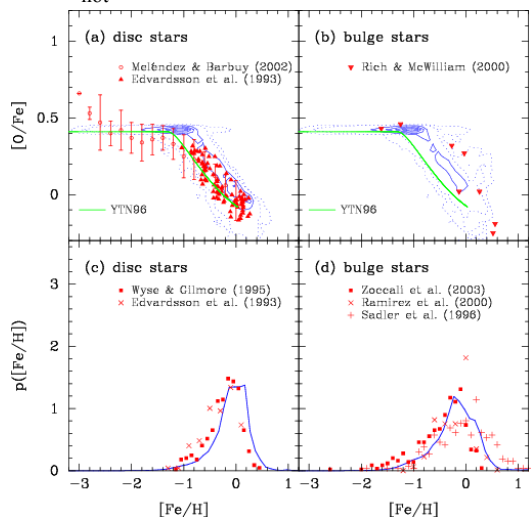
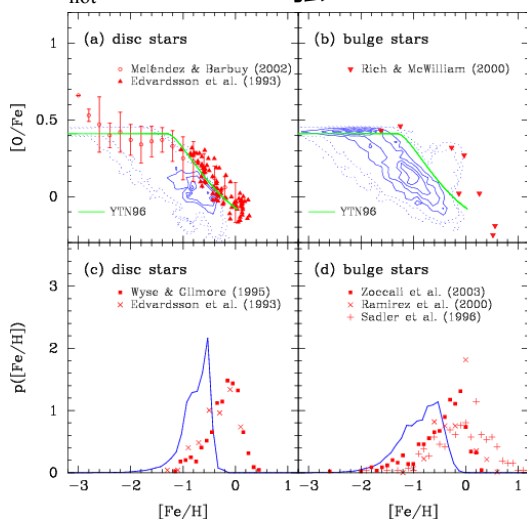
超新星フィードバック

$$\dot{M}_{\text{hot}} = \beta (V_c) \psi, \quad \beta = \left(\frac{V_c}{V_{\text{hot}}} \right)^{-4}$$

フィードバックは重元素量を減らす

$V_{\text{hot}} = 280 \text{ km/s}$ 強いSN feedback

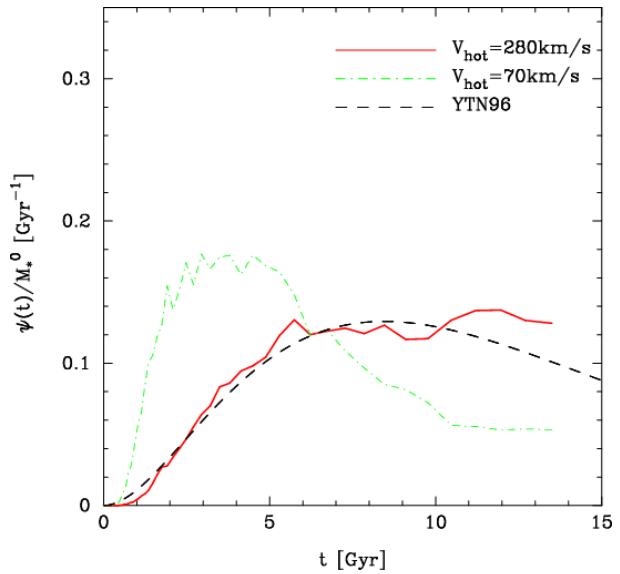
$V_{\text{hot}} = 70 \text{ km/s}$ 弱いSN feedback



超新星フィードバック

星形成史には
それほど大きな違いはない

→ 重元素量の進化にとって、
星形成史は本質ではない！

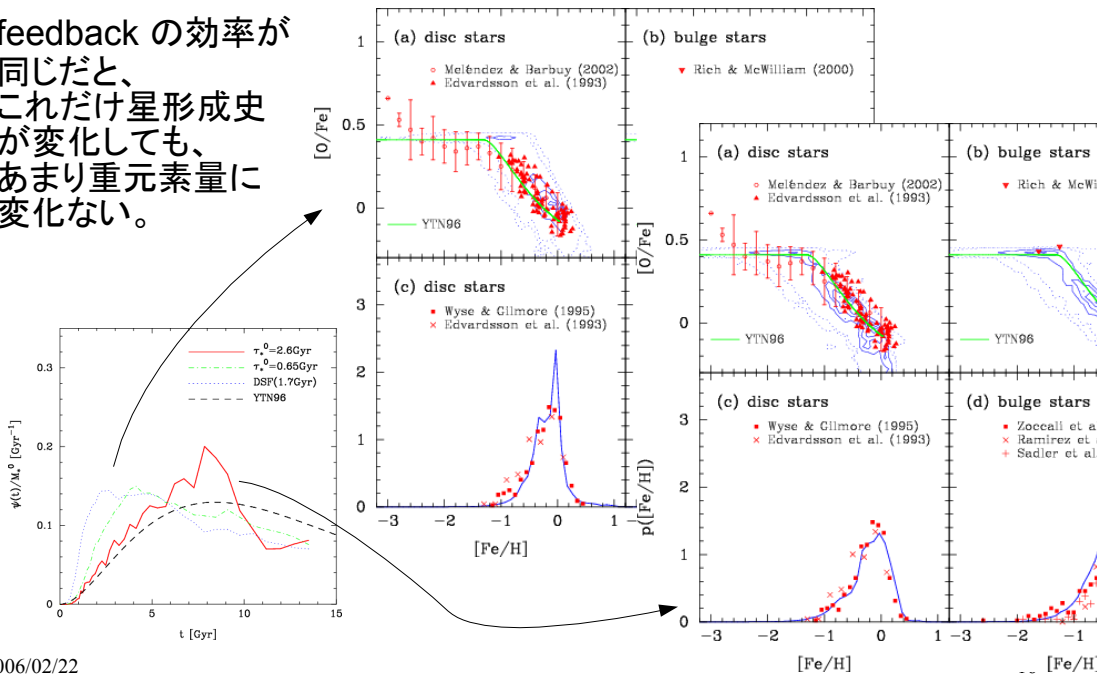


2006/02/22

15

星形成タイムスケールの効果

feedback の効率が
同じだと、
これだけ星形成史
が変化しても、
あまり重元素量に
変化ない。



2006/02/22

超新星フィードバックと重元素量の進化

星の重元素量の平均(mass-weighted)は、 $x \equiv (\alpha + \beta)t / \tau_*$

$$\langle Z_*(t) \rangle = Z_c^0 + \frac{\alpha y}{\alpha + \beta} \frac{1 - e^{-x} - x e^{-x}}{1 - e^{-x}} \rightarrow Z_c^0 + \frac{\alpha y}{\alpha + \beta} \quad (x \rightarrow \infty)$$

α : locked-up mass fraction, ~ 0.8

β : feedbackの強さ

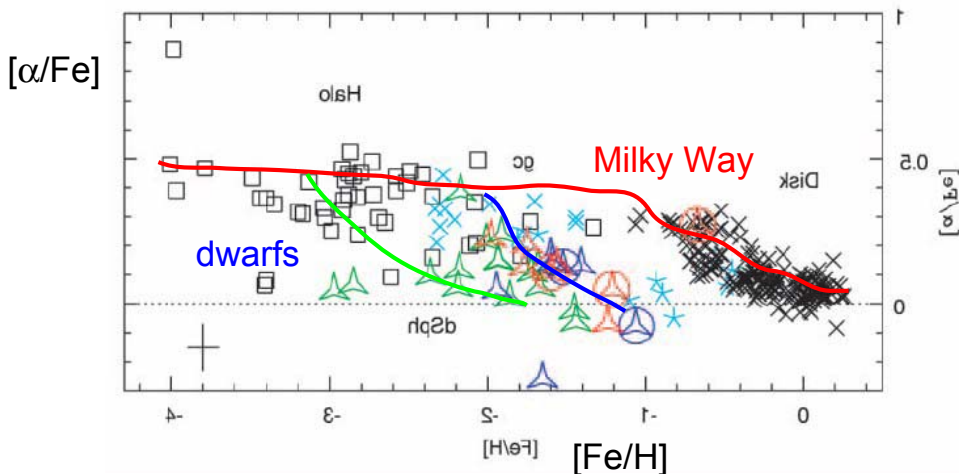
$\therefore \beta$ 大きいと、yield y は、あたかも $y/(\beta/\alpha)$ と補正されたかのように振舞う
 → SN feedback は重元素量を減らす

少し重元素を含んだガスをハローに放出
 → 次のガス冷却で、重元素を少し含んだガスが降着
 → 銀河は少し成長して feedback 少し弱くなる
 → また少し星を作り、少し重元素を増やす

この繰り返しで metal-poor star をあまり作らずに、enrich をすすめる

dwarf は feedback の情報を含む？

近傍矮小銀河の観測(Tolstoy et al. 2003)



矮小銀河にフィードバックの痕跡を見つけられるか？

→ 折れ曲がり、重力ポテンシャルの深さ／初期のガスの割合
 などに関係づけられるかも？

Summary

- ・準解析的モデルで銀河系サイズの銀河について、重元素量の進化と銀河形成の物理過程との関係について調べた。
 - ・超新星フィードバックは本質的に重要である。
→dwarf galaxies から情報を得られるかも
 - ・small scale の物理過程が重要
 - ←数値シミュレーションでは分解するのが大変な領域
 - ”sub-grid physics” についての理解を進める必要がある
 - 特に、
 - 分子雲形成
 - 分子雲内での星形成効率
 - 超新星フィードバックの色々なスケールでの効き方
 - さらに関連して、ディスクの構造の理解(厚み方向)も重要である
 - ガスの圧力構造と関係、磁場？宇宙線？……
- 😊 私のポスター (P11「微小HI雲の進化から銀河ディスクガスを探る」)
も見てください

2006/02/22

19