

Star Formation Histories, Abundances, and Kinematics of Dwarf Galaxies in the Local Group

Eline Tolstoy, Vanessa Hill, and Monica Tosi

Tolstoy, et al., 2009, ARAA, 47, 371

2012/6/20

村山研 M2 本間英智

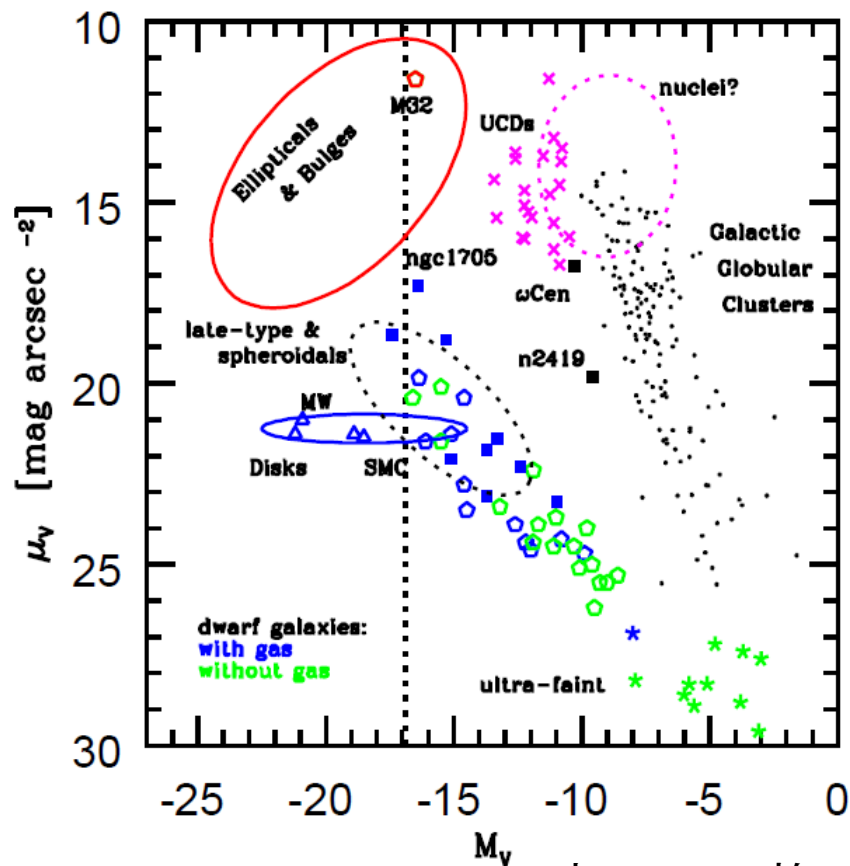
0. Motivation

- 矮小銀河は、近傍に多数分布している、比較的単純な系である、といった理由から化学進化を調べるよい実験場として期待される。
- 星に分解しての銀河化学進化研究は、今までMW以外ではできなかった。
- 複雑な構造(bulge, disk, ...)をもたないため、銀河進化モデルで記述しやすいと考えられる。
- 表題の論文をベースに矮小銀河について概観しつつ、主に化学進化に焦点を当てた発表を行う。

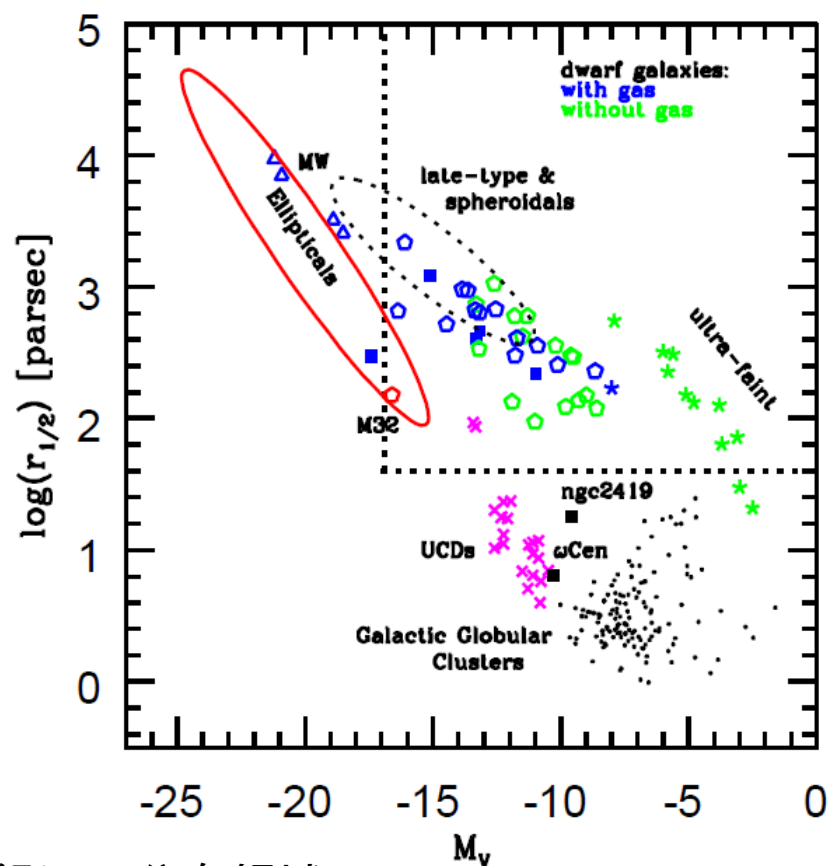
1. Introduction ; 矮小銀河とは

- 歴史的に、Bバンド絶対等級で -18 (or -16) mag より暗いものが「矮小銀河」と呼ばれる。
- 矮小銀河にも様々な種類があり、通常銀河とはやや物理的性質が異なっている。
- 大雑把に、ガスや若い星がほとんど存在しない dE/dSph と、ガスを含み星生成をしている dIrr とに分けられる。
- “dSph” と “dE” をひとくくりにして “dSph” と呼ぶことが多い。

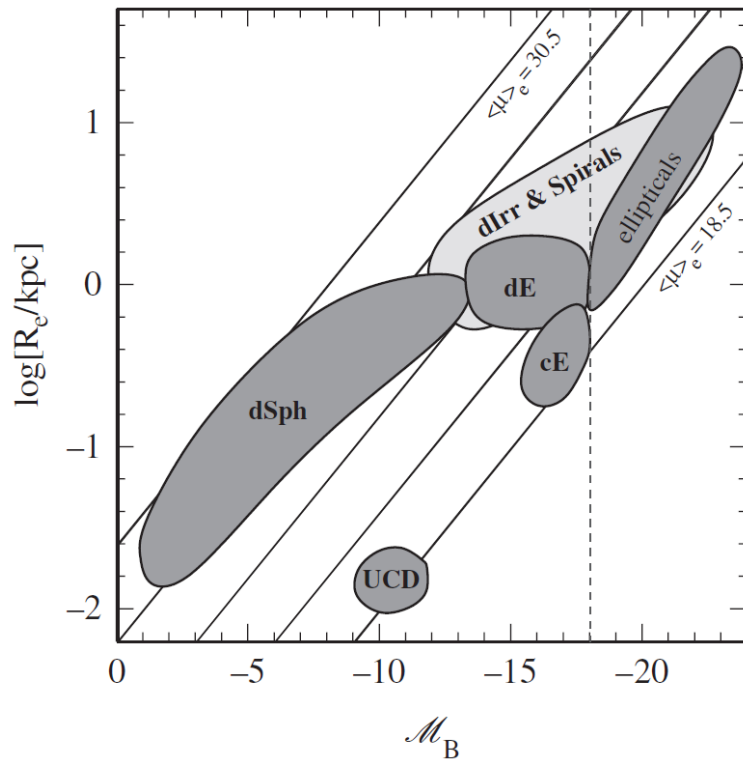
[Vバンド絶対等級 vs 中心表面輝度]



[Vバンド絶対等級 vs 半光度半径]



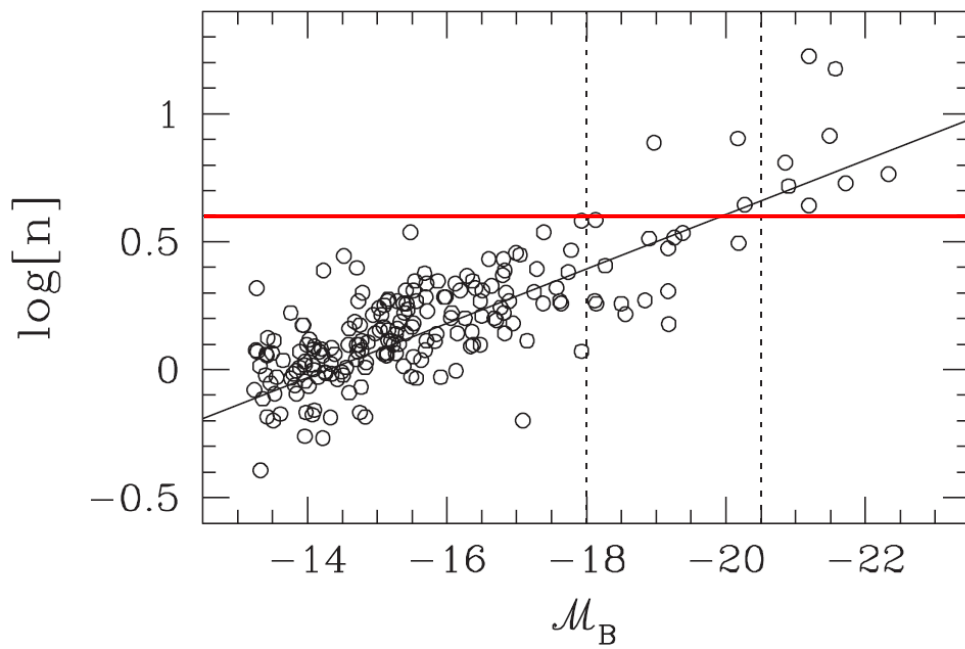
- 赤い円 : 楕円銀河の分布領域
- 青い円 : 円盤銀河の分布領域
- 紫の点円 : galactic nuclei (?)
- 黒の点円 : large early/late-type system (?)
- 青い■ : Blue Compact Dwarfs (BCD)
- 紫の× : Ultra Compact Dwarfs (UCD)
- 五角形 : Local Group に属す矮小銀河
- ★ : ultra faint dwarfs (uFd)



[Bバンド絶対等級 vs 半光度半径]

矮小楕円銀河(dE) と矮小楕円体銀河(dSph) の違いを模式的に表わした図。

(Mo, et al., 2010, “Galaxy Formation and Evolution”)



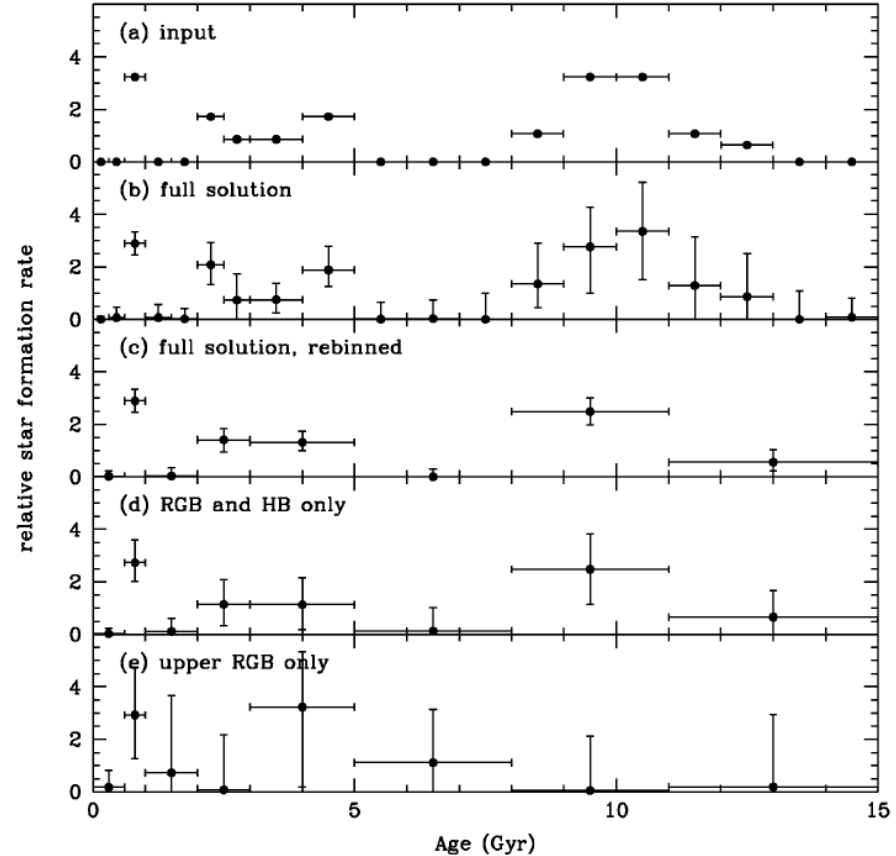
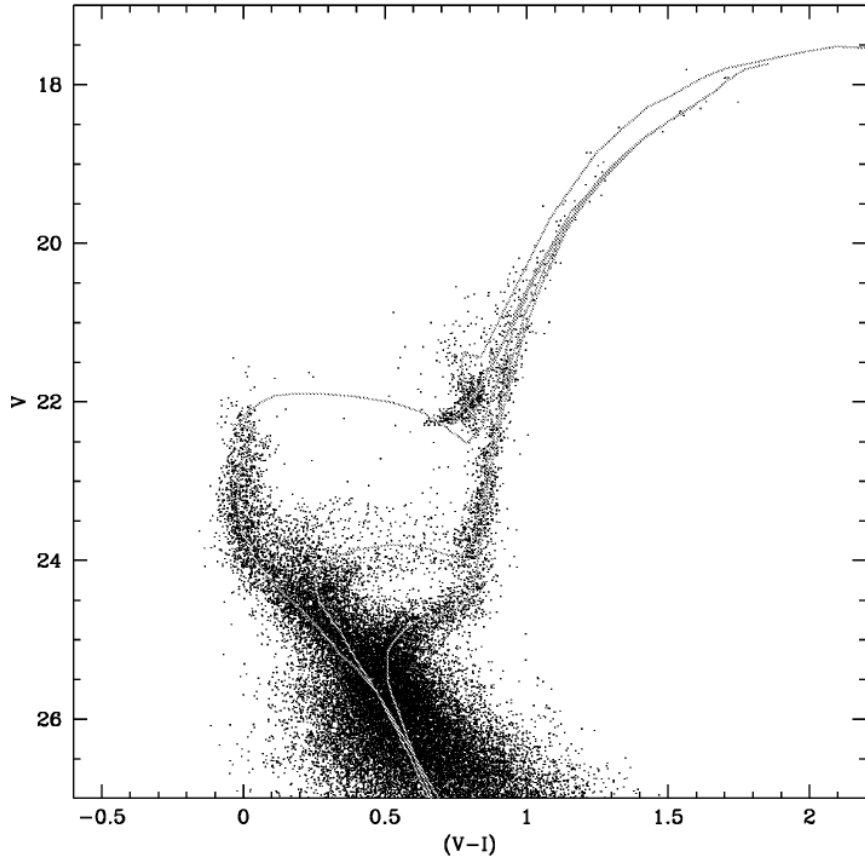
[Bバンド絶対等級 vs Sersic number]

Coma cluster における楕円銀河(色等級図でred-sequence にのる)と分類されたもの。矮小銀河の Sersic number は $n=1$ に近いことが分かる。(n=4は赤線)

(Graham, et al., 2003, AJ, 125, 2936)

2. Detailed SFH ; 星生成史の測定法

- HST や 8-10m 級大型望遠鏡の登場によって、矮小銀河の星の色等級図 (CMD) が測定できるようになってきた。
- 観測されたCMDと、理論計算された星の進化経路を比較することで、矮小銀河の星生成史 (SFH) を見積もることができる。
- 主系列転向点 (MSTO) が観測されると SFH の決定精度は上がるが、そのためには十分に深い観測が必要になる。
- HST では約4Mpc の距離にある矮小銀河の CMD を得ることができるが、地上望遠鏡では Local Group より遠い天体を捉えることは難しい。



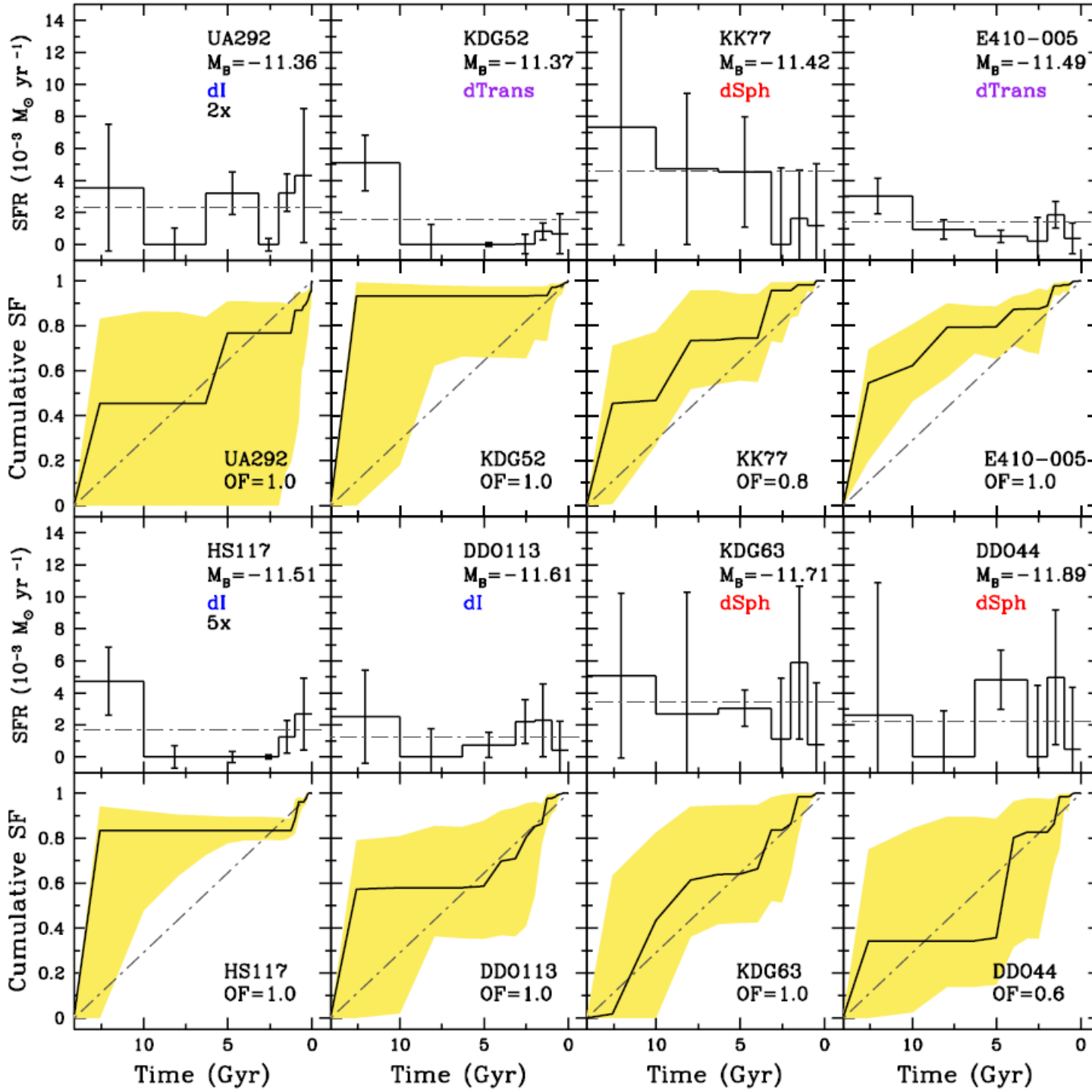
[モデル計算されたCMD (左) と解析結果 (右)]

測定誤差を含めて計算されたCMDに対してフィッティングを行い、右図のような結果を得ている。

上から、

- (a). 入力したSFH
- (b). すべての星を用いて解析したSFH
- (c). (b)のビンを広くとったもの
- (d). RGB星とHB星のみで解析したSFH
- (e). 明るいRGB星のみで解析したSFH

(Dolphin, A. E., 2002, MNRAS, 332, 91)



[見積もられたSFH]
HSTで測定された
矮小銀河のCMD
から見積もられた
SFH (上段) と、その
時までに生成され
た星の割合 (下段)。

(Weisz, et al.,
2011, ApJ, 739, 5)

3. Stellar Kinematics and Metallicities

dSph ;

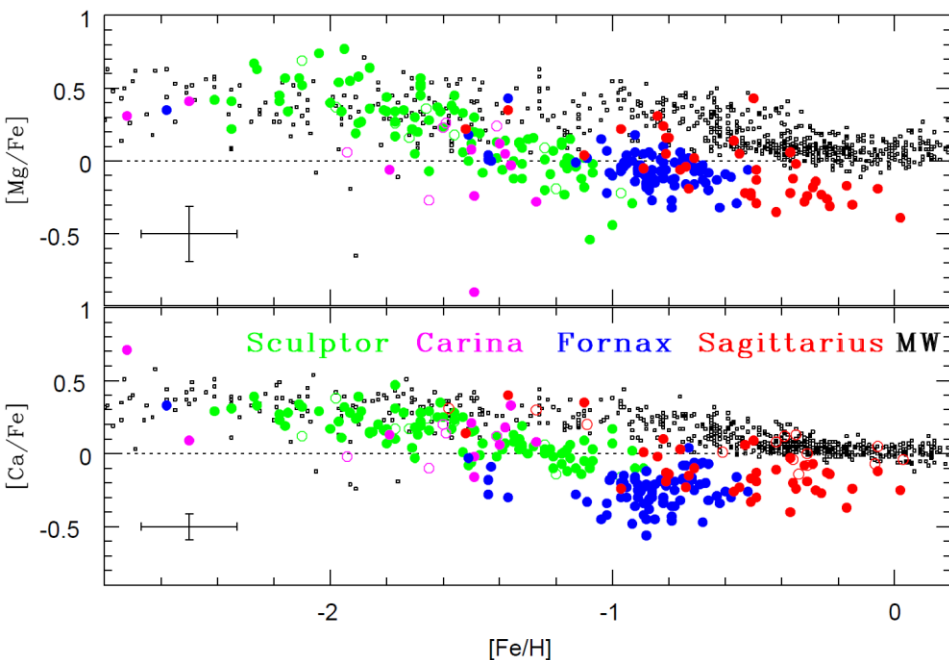
- 質量は $10^{\{6-8\}}$ Ms 程度と球状星団に近い値をもつが、サイズはずっと大きく、中心部での速度分散からは dark matter の存在が示唆される。(M/L $\sim$ 10-1000)
- RGB星などで金属量が測定される。

dlrr ;

- 質量は概ねdSphより大きい($10^{\{7-9\}}$ Ms) が、dSphのように星を観測できない (HI cloud を観測している) ため、dark matter の量を見積もることは難しい。
- H II region などで金属量が測定される。

4. Detailed Abundances of Resolved Stars

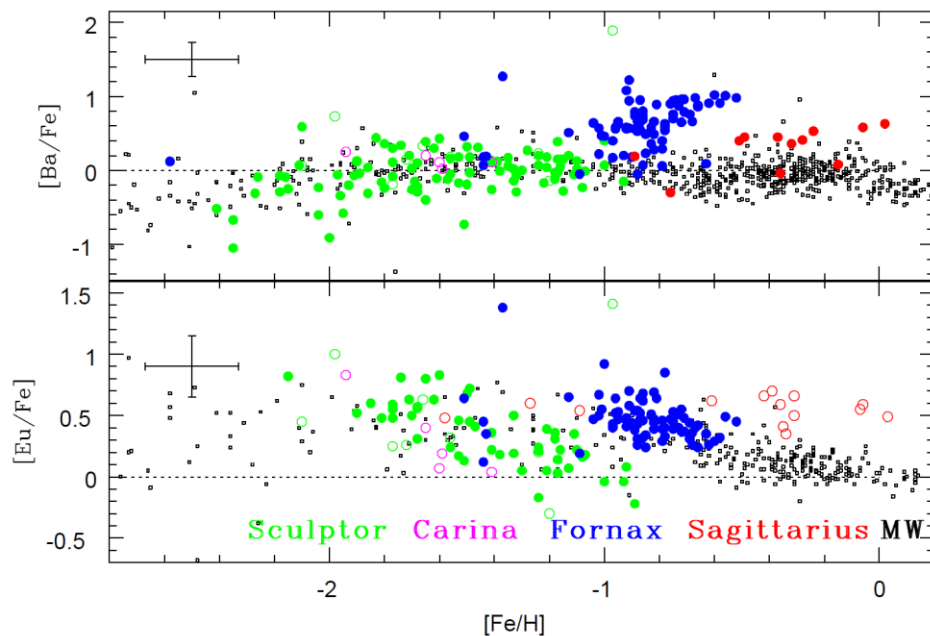
- dSphの星の金属量測定は90年代後半から行われていたが、1つの星の分光に約5時間かかったためサンプル数が少なかった。大口径望遠鏡の高分散多天体分光器が活躍するようになって、サンプル数が増え始めている。
- 重元素の組成比は、その時代の重元素汚染に最も寄与した星の組成比を反映している。
- 各重元素で振る舞いに若干の違いはあるが、大きく分けて α -元素、二次元素、中性子捕獲元素、iron-peak 元素、銅より重い元素があり、これらの組成比を総合的に判断することで、どの進化段階の星が化学進化に寄与しているか推定できる。
- 化学進化の進み具合を示す指標として、 $[\text{Fe}/\text{H}]$ がよく用いられる。



[α 元素の組成比 vs $[Fe/H]$]

dSphの星の組成比 (color dots) とMWの disk/halo 星の組成比をプロットしたもの。右に行くほど化学進化が進んだフェーズを表している。

dSphとMWで振る舞いに差がみられることから、dSphの合体によるMWの形成への反証として扱われる。



[中性子捕獲元素 vs $[Fe/H]$]

上段がs-過程(AGB星)、下段がr-過程(SN II)による元素の振る舞いを表す。

dSphごとでも振る舞いが異なることが分かる。

5. Chemical Evolution Models

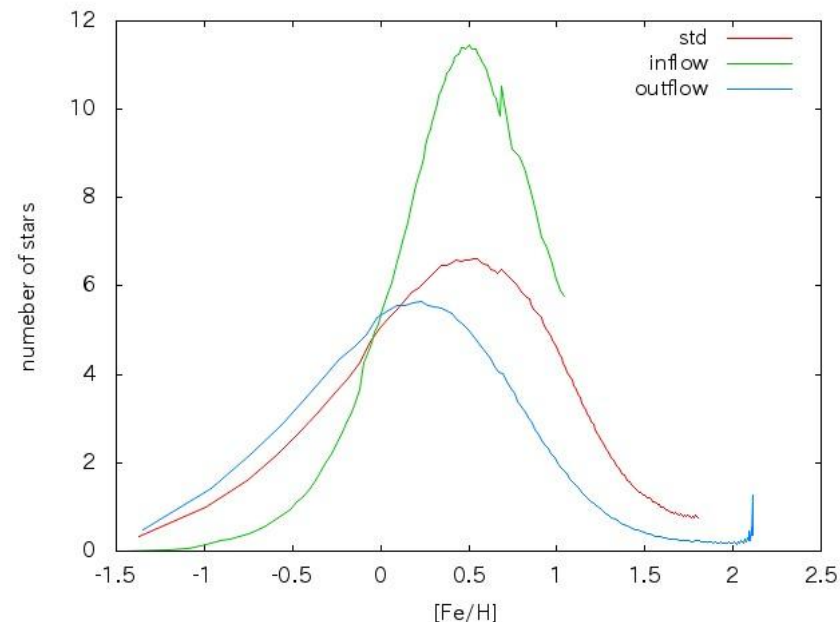
- 銀河化学進化モデルの構築は60年代から行われていた(e.g. Arimoto, N., & Yoshii, Y., 1987)が、観測データが充実し始めた近年になって、個々の銀河の性質を反映したモデル作りが可能となってきた。
- 矮小銀河の化学進化モデルには、観測されるような低金属量な系を再現することが求められる。そのため、ガスの流入出がどのようにして起こるかが重要となる。
- 化学進化モデルには以下の式に基づく標準モデルと、流体シミュレーションを取り入れた化学動力学モデルがあるが、どちらも十分な説明には至っていない。

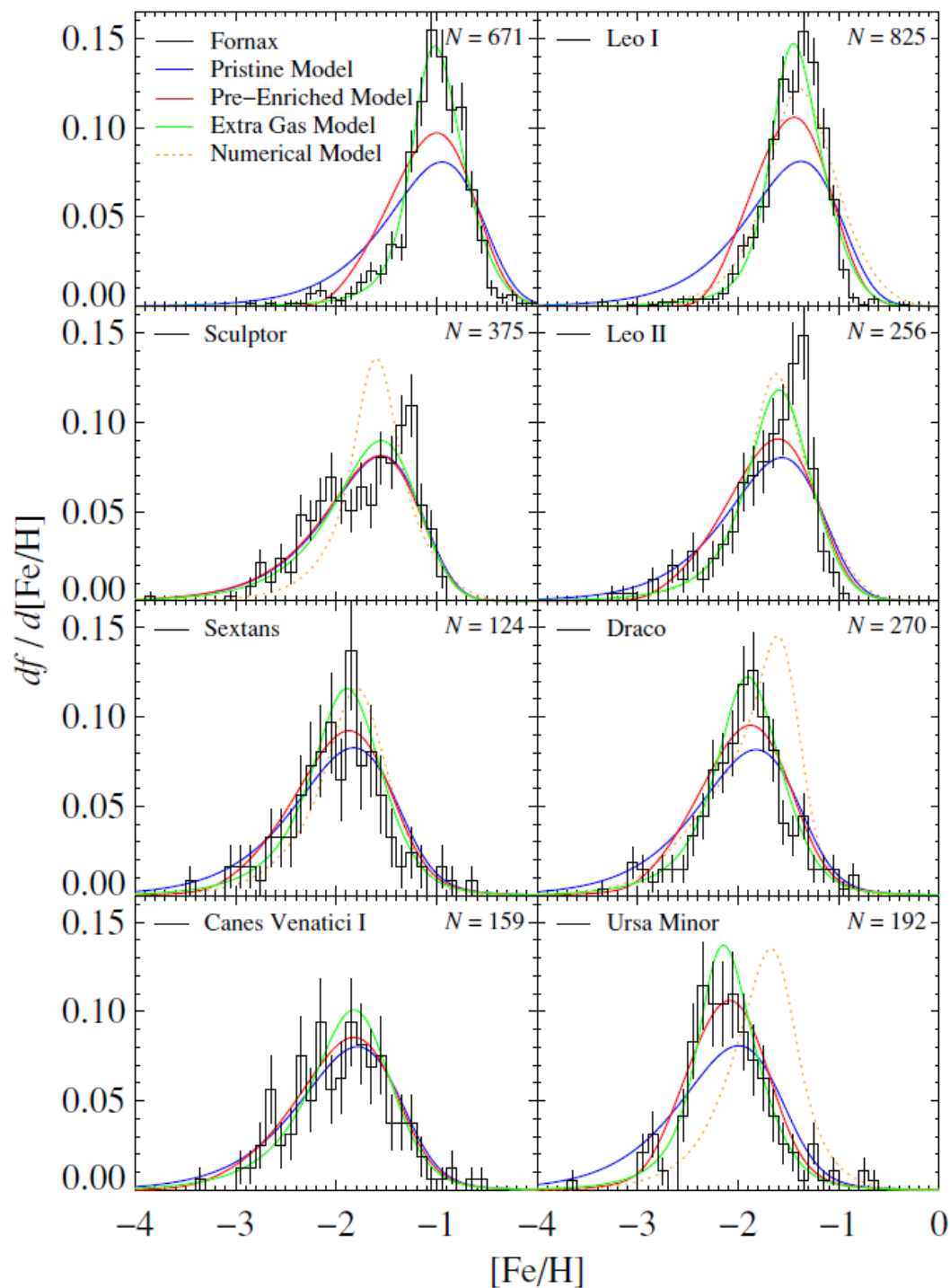
化学進化の式: $\dot{G}_i = -\psi(t)X_i(t) + R_i(t) + (\dot{G}_i)_{\text{inf}} - (\dot{G}_i)_{\text{out}}$

瞬時的混合近似の成り立つ領域における重元素量の時間変化は、星への取りこまれ、星からの放出、領域へのガス流入、領域からのガス流出に依存する。

Appendix: Metallicity Distribution

- 金属量分布関数 (MDF; Metallicity Distribution Function)
 - ある金属量の星の個数を示した関数。
 - 化学進化の進み方によって形状が異なってくる。
 - ガスの流入出量によって大まかな形状が決まるため、ガスの流出が何に起因するか、ガスの流入が何で決まるのか、がわかるかもしれない。
- [問題点]
- 仮定するIMF, SFH, stellar yield などにも依存する。
- 十分なサンプルが必要



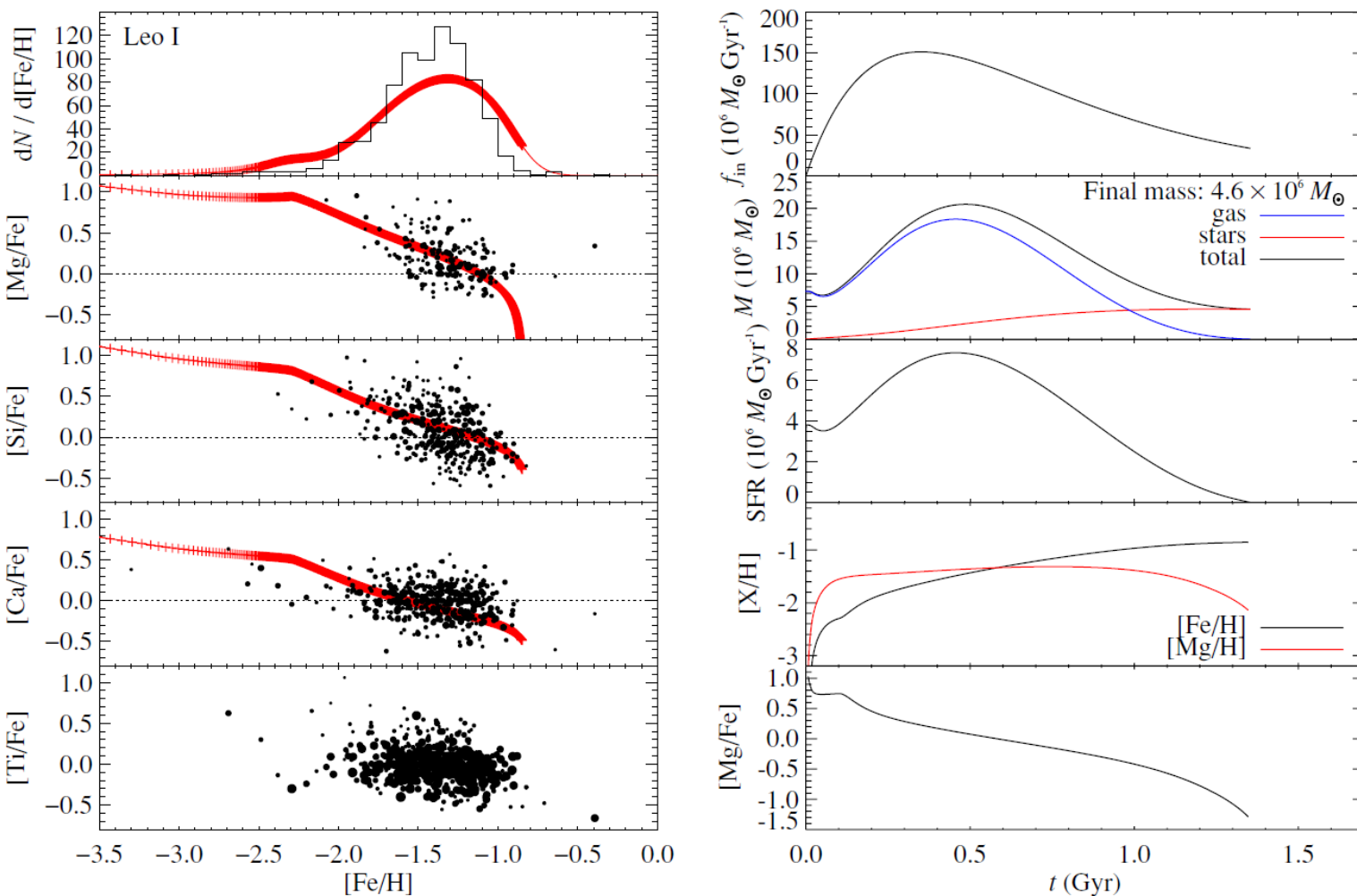


[近傍 dSph の MDF]

Keck/DEIMOSによって分光観測されたdSphのMDF。

各dSphで形状が異なっていることが分かる。

(Kirby, et al., 2011, ApJ, 727, 78)



[モデルフィット(左)と得られた物理量(右)]

Leo I dSphに対してモデルフィットした結果、右のような化学進化に関する物理量の時間変化が得られている。

上から、ガス流入量、系の星/ガス質量、SFH、元素組成比、[Mg/Fe]

(Kirby, et al., 2011, ApJ, 727, 79)

6. Concluding Remarks ; まとめ

- Fundamental plane での振る舞いからは、矮小銀河は単純な small-scale galaxies ではないことが認められる。
- 矮小銀河には非常に古い星が含まれており、最近できた系ではない。
- 金属量の観測からは、MWとdSphで異なる化学進化を経てきたことが示唆され、特にMWのhalo星がdSphの星と起源が同じであるとは言い難い。
- 現在は観測技術の向上によって、地上望遠鏡でも1Mpcの距離にある矮小銀河の分光に成功している。
- 測光観測はHSTでの観測が主流であるが、分光観測は地上望遠鏡による多天体分光器の活躍が期待される。
- 金属量分布関数を調べることで、銀河の物質循環が見えてくると期待される。