

銀河系ハローと矮小銀河の 超金属欠乏星

青木和光
国立天文台

銀河系ハローと矮小銀河の 超金属欠乏星

-矮小銀河の星の金属量分布

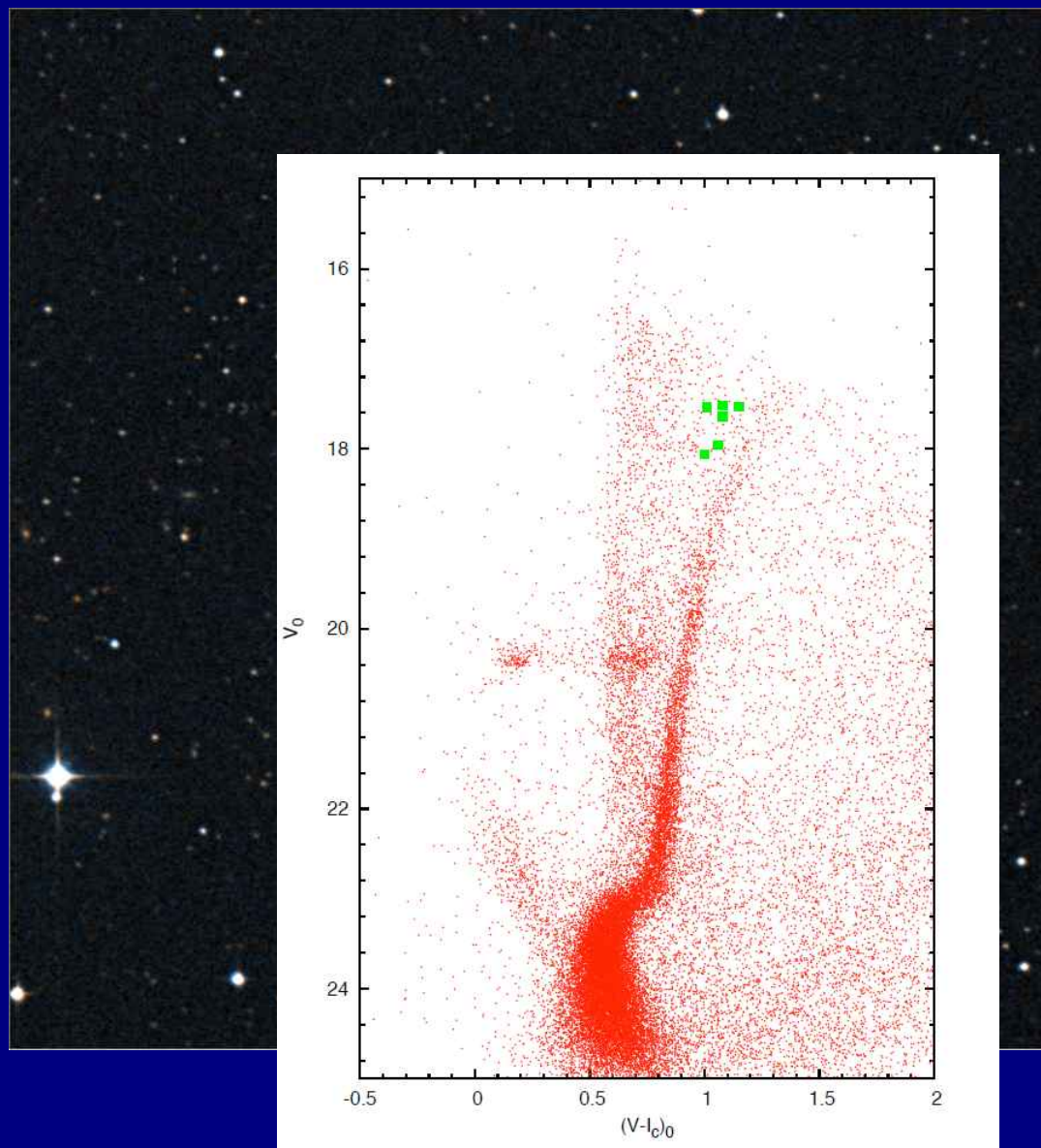
-矮小銀河の超金属欠乏星の化学組成比

銀河系ハローの星との類似／相違は？

-銀河系ハローの超金属欠乏星の統計にむけて

銀河系周辺の矮小銀河の星

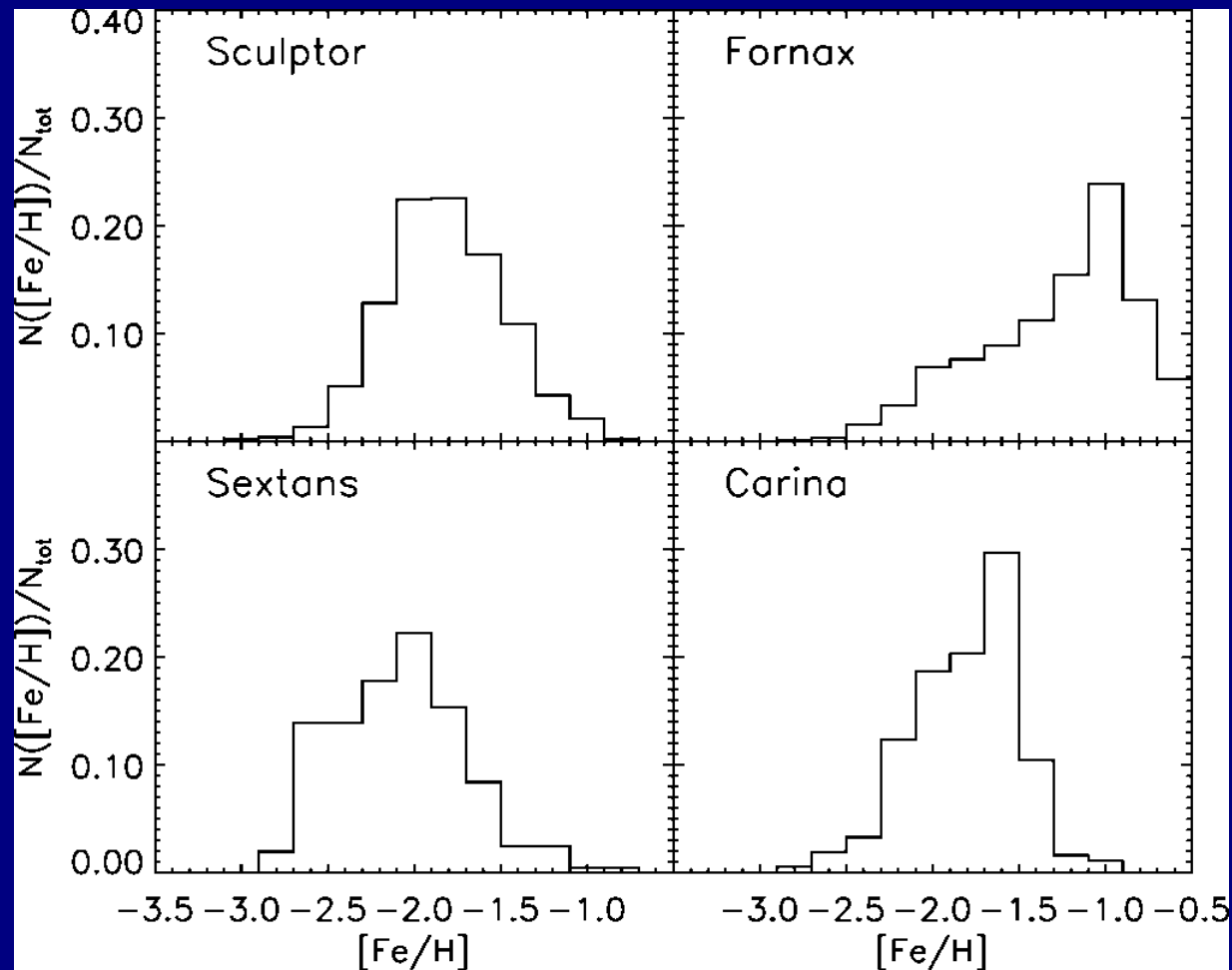
- 個々の星に分解して観測可能
→ 銀河進化モデルのテスト
- 銀河系ハローの材料か？
→ 銀河系の星との類似or相違
- 初代星（の痕跡）が存在するか？



矮小銀河の星の金属量分布

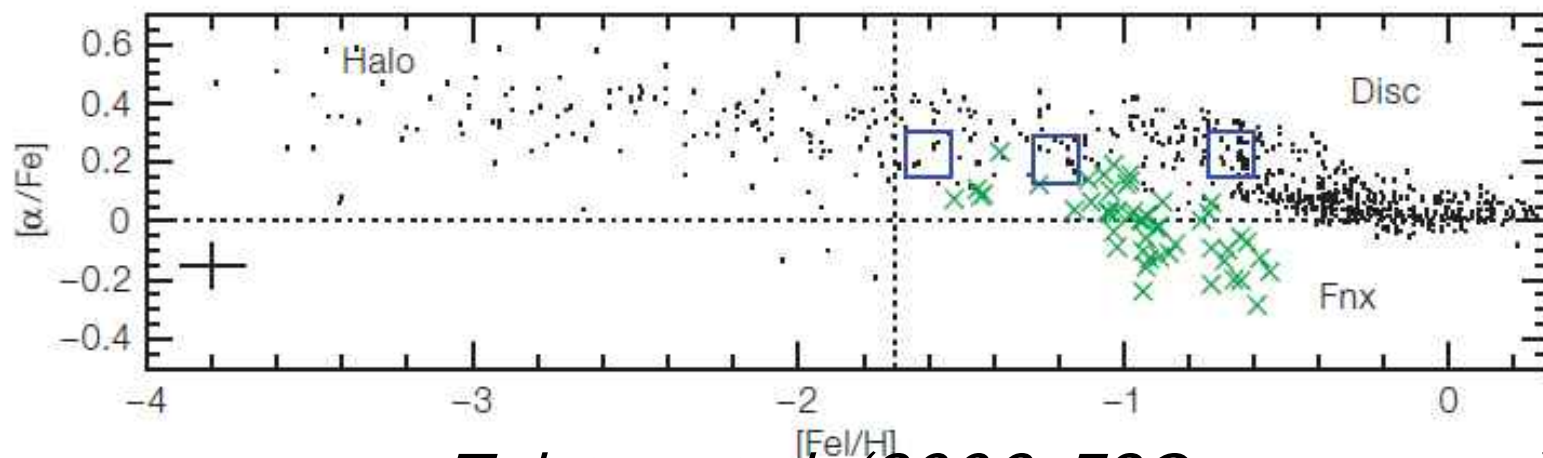
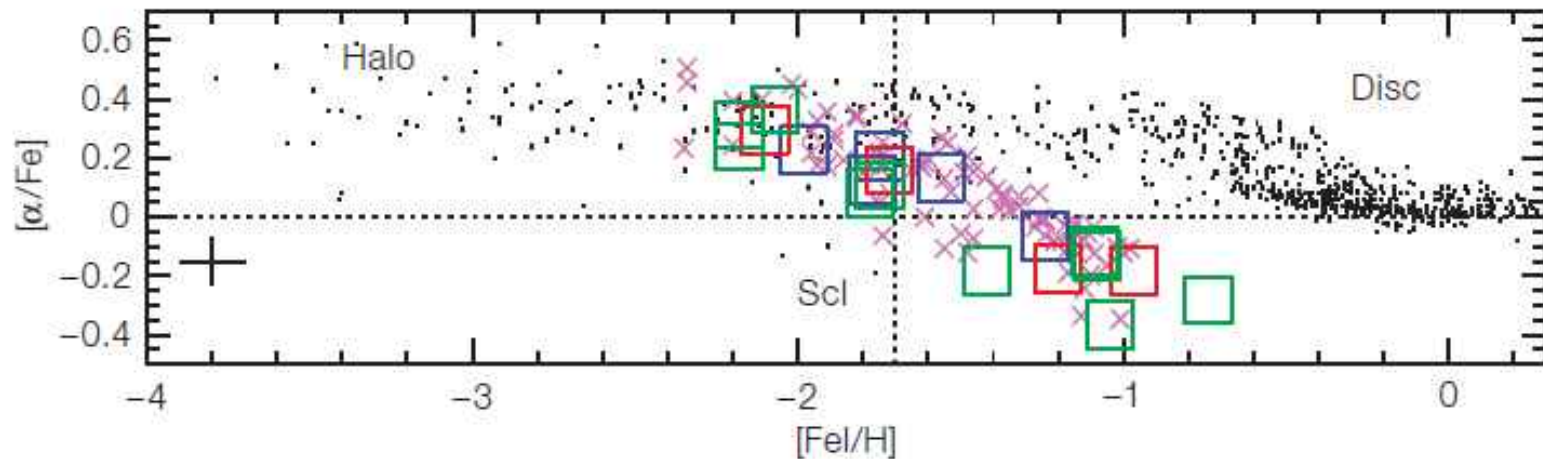
- Ca II triplet による金属量測定
→ low metallicity tail で不定性がやや大
- $[Fe/H] < -3$ の星が存在しない？
→ 銀河系ハローと不一致？

Helmi et al. (2006)



矮小銀河の星の化学組成

[α /Fe]にみられる銀河系ハロー星との不一致



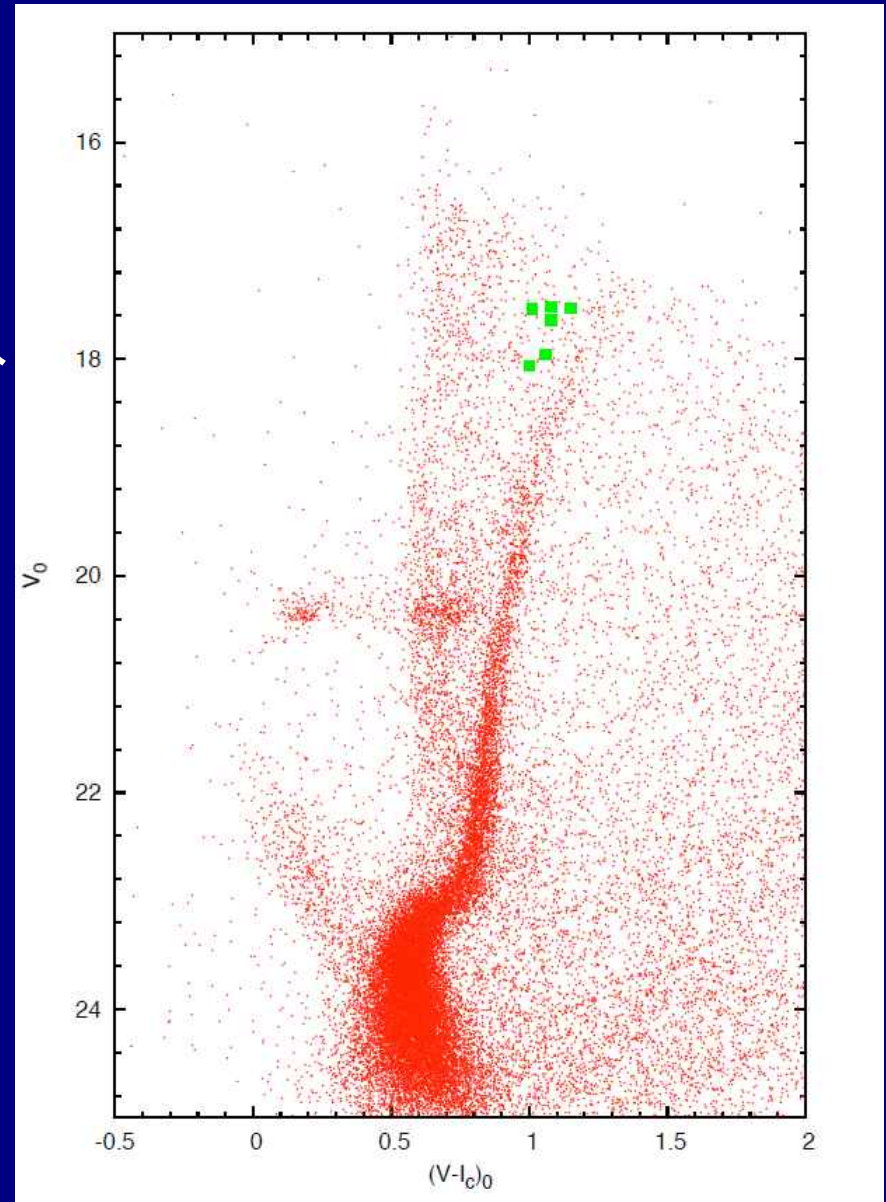
Tolstoy et al. (2006, ESO messenger)

ろくぶんぎ座矮小銀河 (Sextans dSph) の超金属欠乏星

- VLT/FLAMESでの観測
(金属量、視線速度測定)
- 超金属欠乏星 ($[\text{Fe}/\text{H}] < -2.5$) 候補のすばるでの高分散分光
(P. I. Arimoto)
2005.5, 2007.1に観測

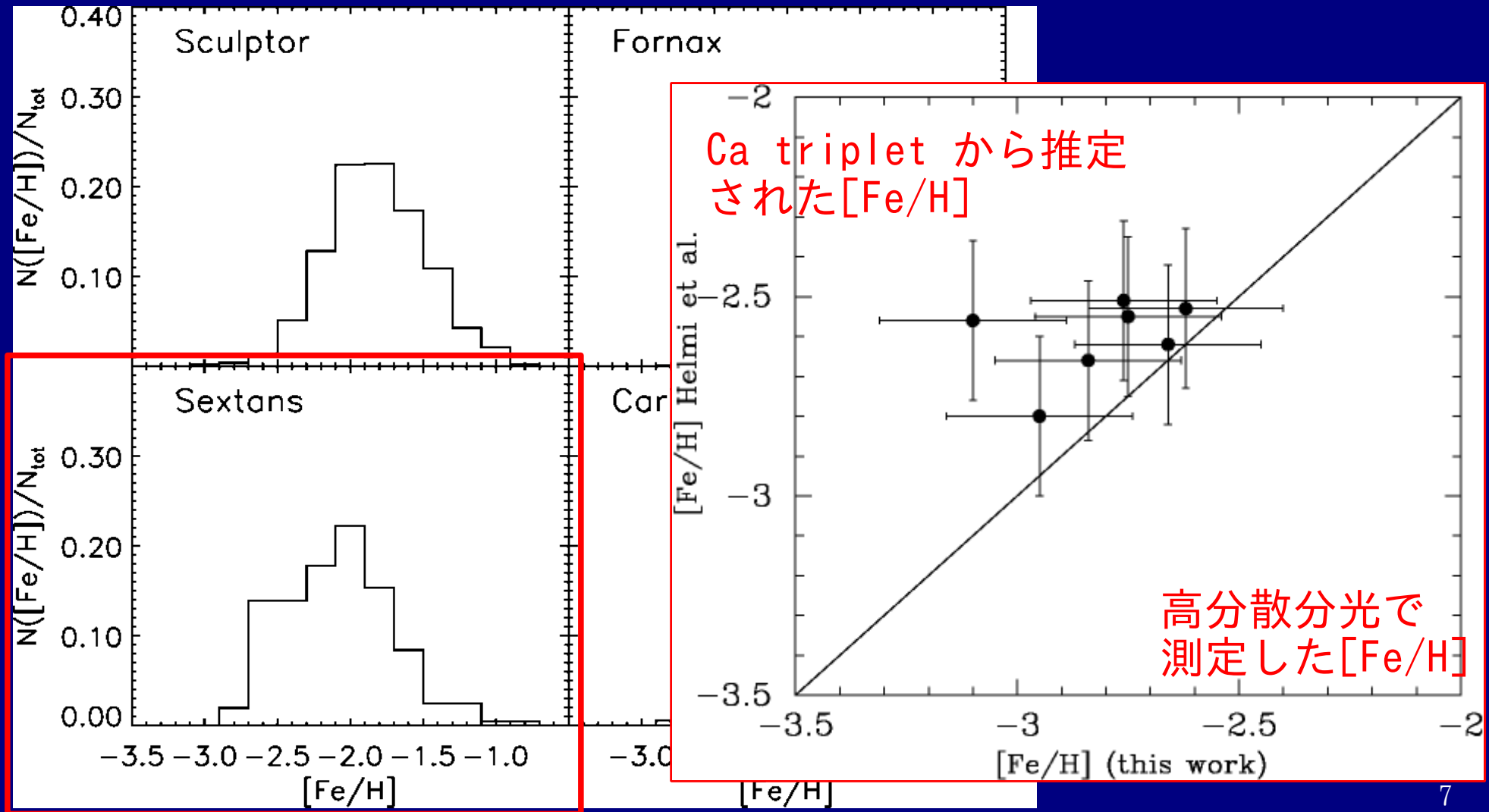
※矮小銀河での超金属欠乏星の
観測例は過去にほとんどない。

Okamoto et al.
(in prep.)



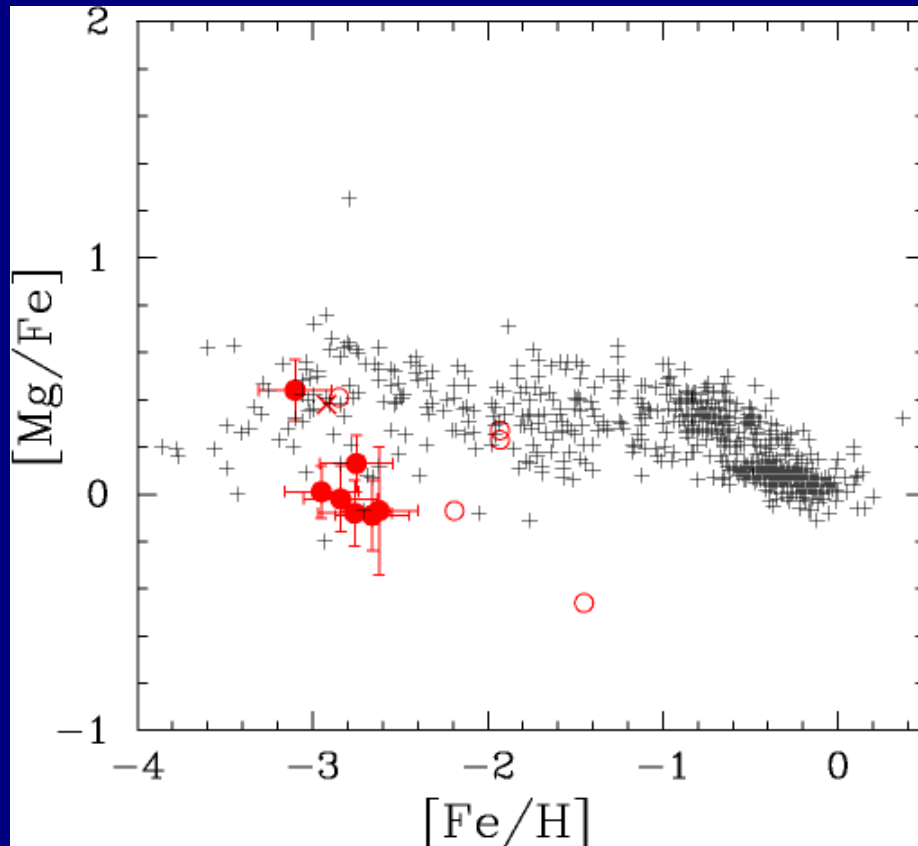
ろくぶんぎ座矮小銀河の金属量分布

Low metallicity tail は少し延びていそうだが、
[Fe/H] < -3 の星はやはり少ない

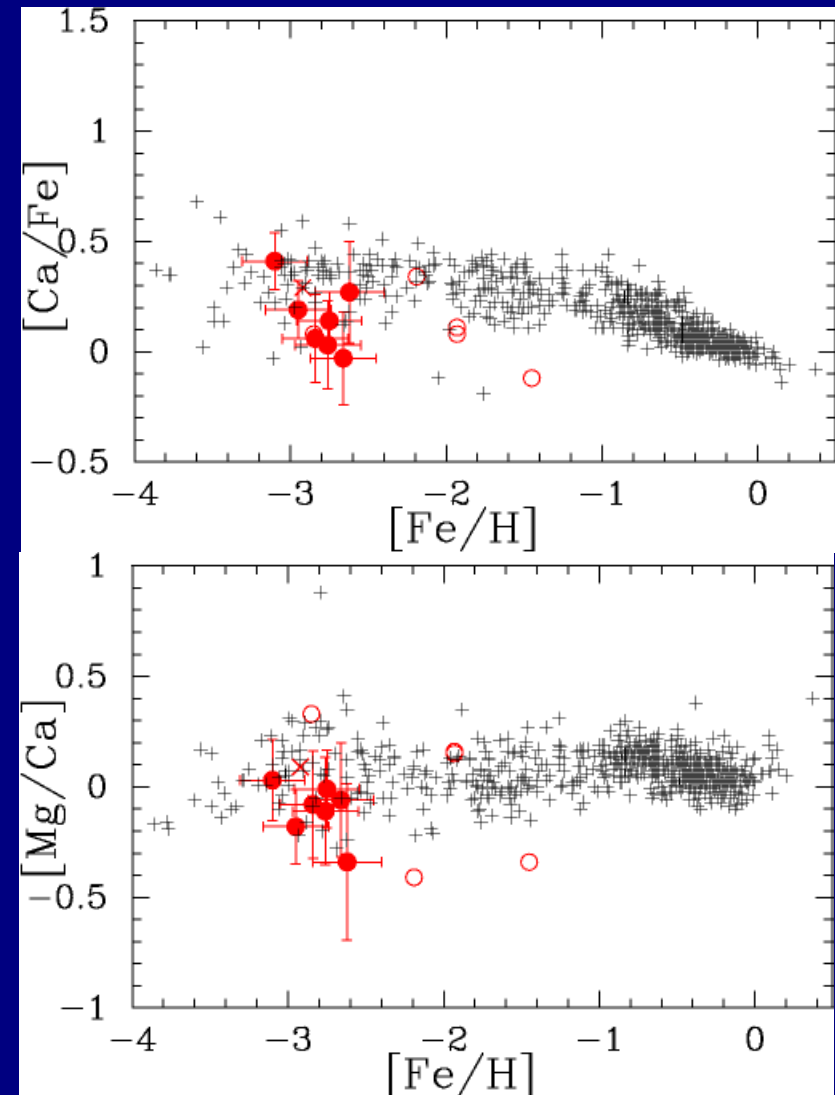


ろくぶんぎ座矮小銀河の星の化学組成(1)

超金属欠乏星 ($[\text{Fe}/\text{H}] < -2.5$) でも α/Fe が低い
(銀河系ハローと不一致)

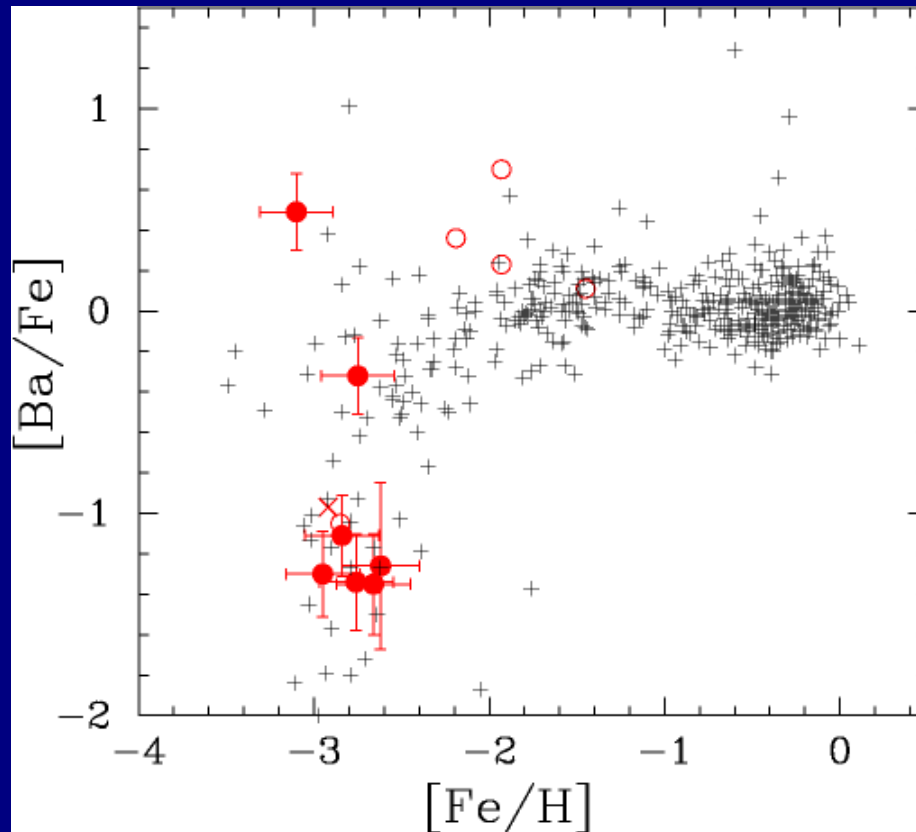


Aoki et al. (in prep)



ろくぶんぎ座矮小銀河の星の化学組成(2)

Ba (中性子捕獲元素) は $[\text{Fe}/\text{H}] \sim -3$ 付近で立ち上がる
(銀河系ハローと一致)



- Baの起源は不明
←Euは未検出 ($[\text{Ba}/\text{Eu}] > -1.1$)
- s-process 起源とする根拠はない
←extremely C-rich ではない
- r-process 起源とすると、
 $[\text{Fe}/\text{H}] \sim -3$ で急激にr-process の影響がみられる (銀河系ハローと同じ特徴)
→ r-process サイトの特定に役立つ (か?)

ろくぶんぎ座矮小銀河 (Sextans) の超金属欠乏星 (まとめ)

- 矮小銀河の超金属欠乏星の初めての系統的観測
- $[\text{Fe}/\text{H}] < -2.5$ での金属量分布は、中分散スペクトルからの推定より、やや低いほうにのびている可能性がある。しかし、 $[\text{Fe}/\text{H}] < -3$ がない (少ない) という結論は変わらなそう。
- $[\text{Fe}/\text{H}] = -3$ 付近でも、 α/Fe が(銀河系ハローに比べて) 低い。Ia 型超新星による鉄の供給がその原因とは考えにくい。II型超新星の個性を反映？
- Ba/Feの立ち上がりがハローに一致する。Baが r-プロセス起源とすると、r-プロセスが起こるのに必要な金属量が存在するのか??

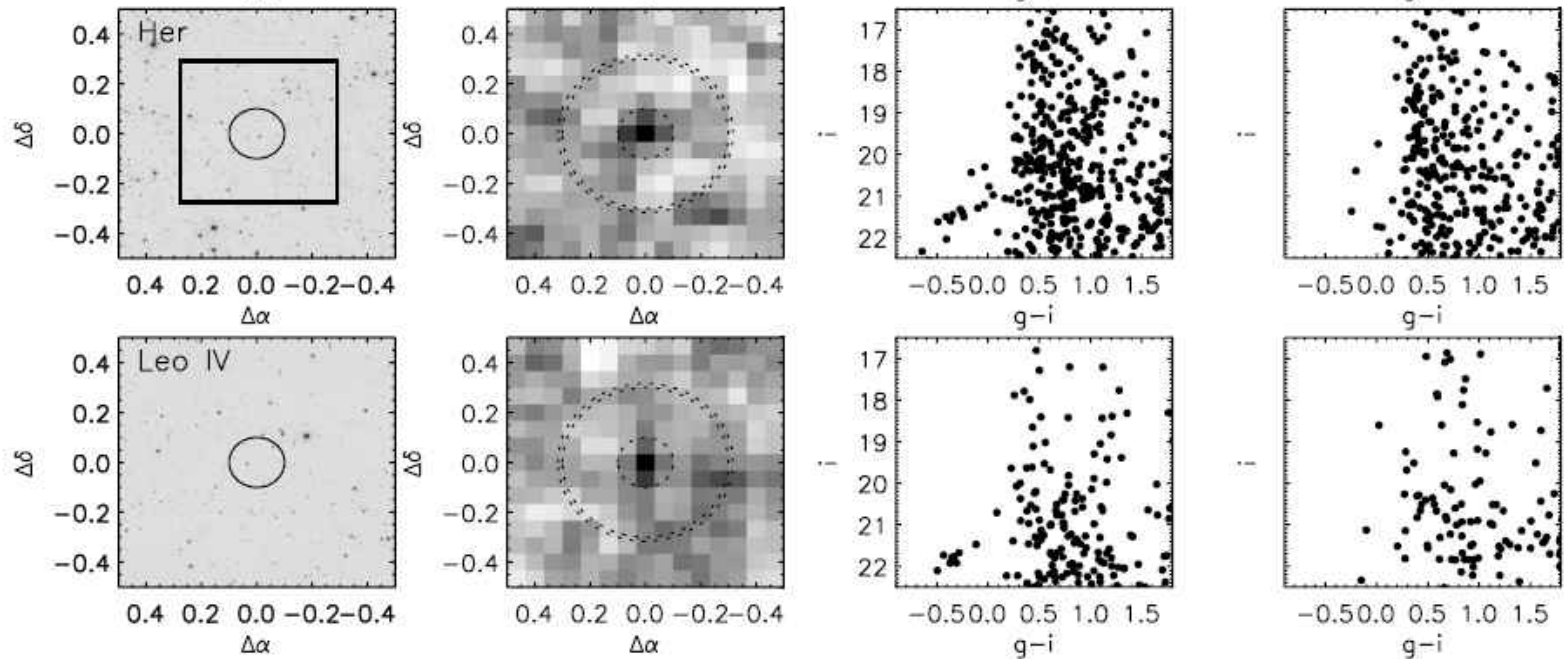


FIG. 1.—Discovery panels for the five new satellites. The first column is a cutout of the SDSS, with a box showing the location of the Subaru field ($34' \times 27'$) or INT field ($34' \times 34'$) and a circle marking the central part of the object. The second column shows the pixelated stellar density. The pixels are $4'$ on each side. For each object, three circles are shown of radii r_1 , r_2 , and r_3 . The CMD of stars lying within the circle of radius r_1 is given in the third column. The CMD of stars lying in the annulus defined by the outer radii (r_2 and r_3) is given in the fourth column. [For Coma, r_1, r_2, r_3 are ($0.15^\circ, 0.4^\circ, 0.43^\circ$), for CVn II ($0.12^\circ, 0.3^\circ, 0.32^\circ$), for Segue 1 ($0.12^\circ, 0.5^\circ, 0.51^\circ$), for Her ($0.1^\circ, 0.3^\circ, 0.32^\circ$), and for Leo IV ($0.1^\circ, 0.3^\circ, 0.32^\circ$).]

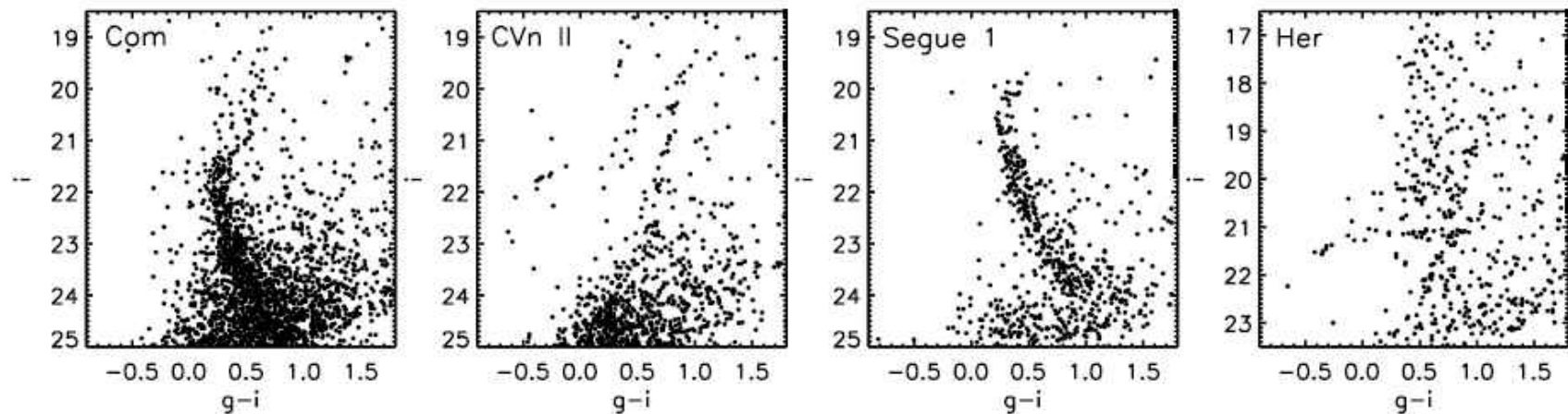


FIG. 2.—CMDs of the central parts of Coma, CVn II, Segue 1, and Her (from left to right) from the Subaru/INT follow-up data.

新たに見つかってきた暗い矮小銀河 (ultra-faint dSph)の星の金属量分布

銀河系ハローの金属量分布と一致 (?)
→ultra-faint dSph がハローの材料??

Kirby et al. (2008)

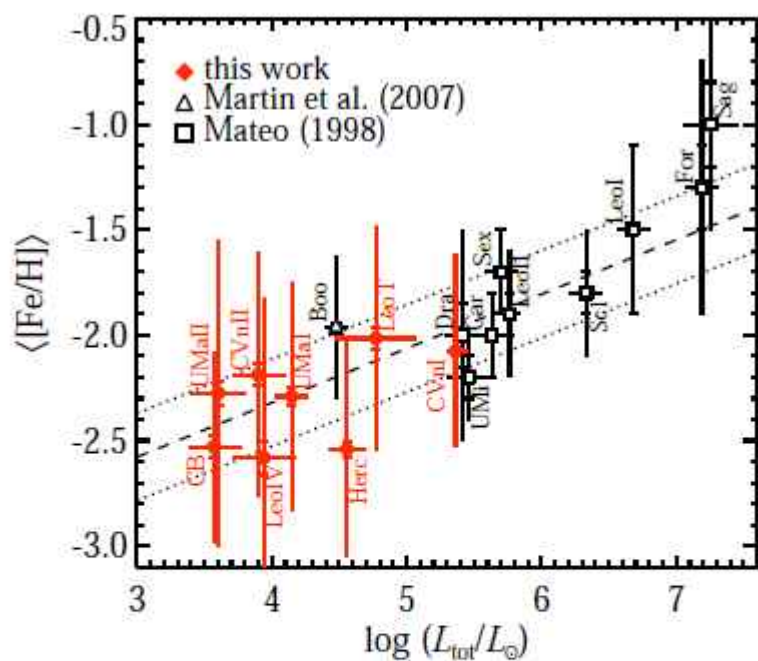


FIG. 5.— The mean $[Fe/H]$ of MW dSphs vs. total luminosity. The dashed line is the weighted, least-squares straight line fit in $\log(L)$ - $[Fe/H]$ space, accounting for the errors in both L and $[Fe/H]$ (Akritas & Bershadsky 1996). The dotted lines are the rms dispersion of the residuals. The full vertical error bars are the rms dispersions of $[Fe/H]$ within a single galaxy, and the hash marks are the errors on $\langle [Fe/H] \rangle$. The MW satellite luminosity-metallicity relation is well-defined for 4 dex in luminosity.

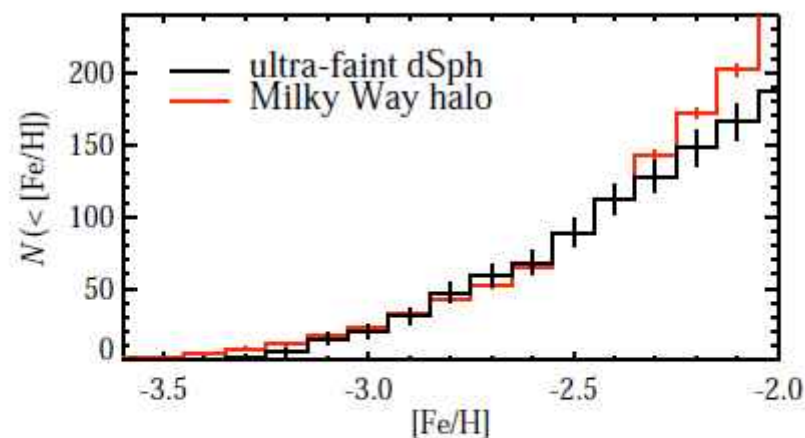
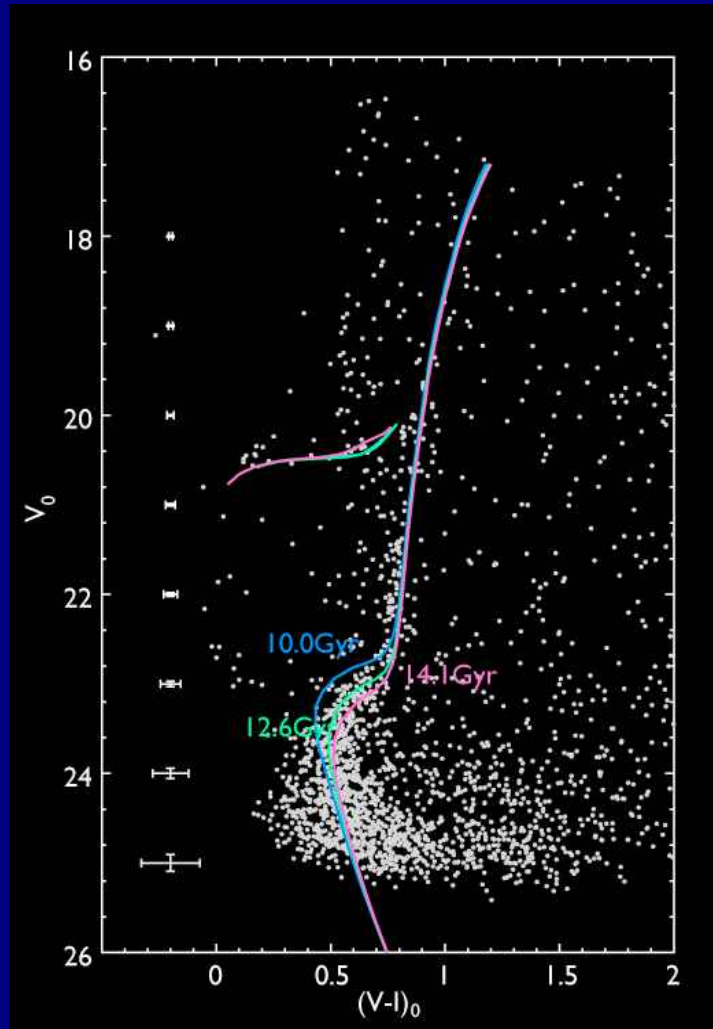


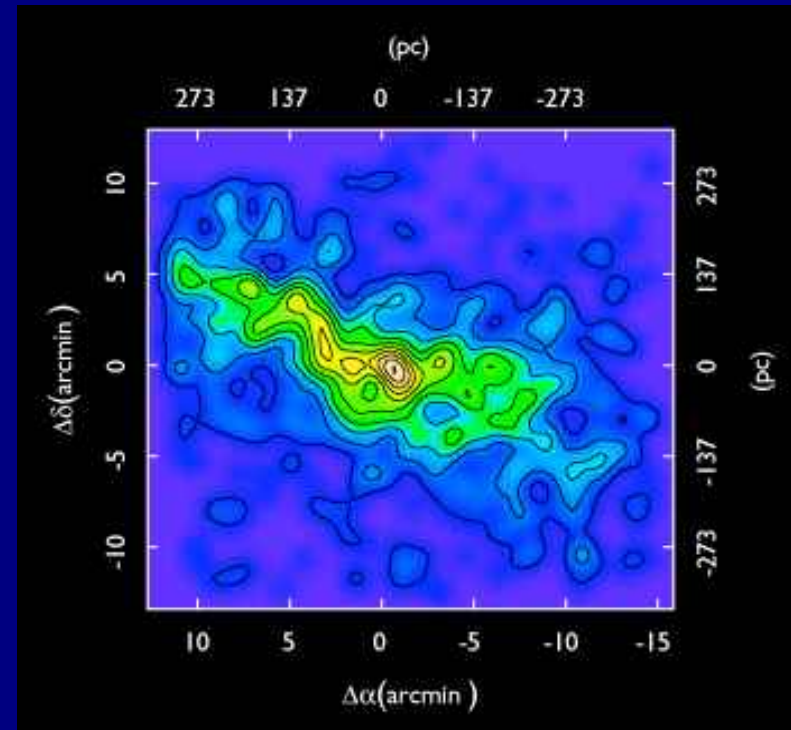
FIG. 3.— Cumulative MDFs for the metal-poor tails of the eight ultra-faint dSphs (black) and the MW halo (red, Beers et al. 2005). The red histogram is normalized to contain the same number of stars with $[Fe/H] < -2.45$ as the black histogram. The error bars are Poissonian.

暗い矮小銀河 (例) Ursa Major I

- 明るい ($V < 18$) 赤色巨星はごく少数 → TMTで $V \sim 20$ まで拡張
- 見かけのサイズは約20分角 → TMTの視野には適切な大きさ



Distance: ~ 96.8 kpc
metallicity: $\langle [Fe/H] \rangle \sim -2.0$
age: ~ 13 Gyr
size: $rh \sim 300$ pc

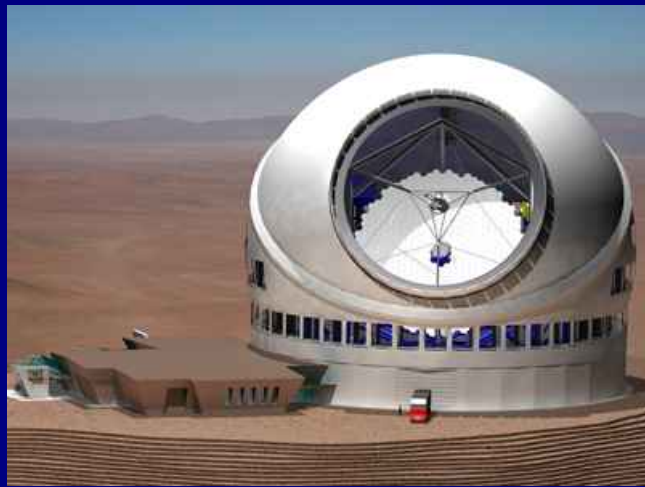


Okamoto et al. (2008)

すばる / WFMOSとTMTへの展望

WFMOSによる低分散分光で
個々の銀河の多数の赤色巨
星を調査 ($V < 22$)
(高分散モードができればそ
れも有効: $V < 19$)

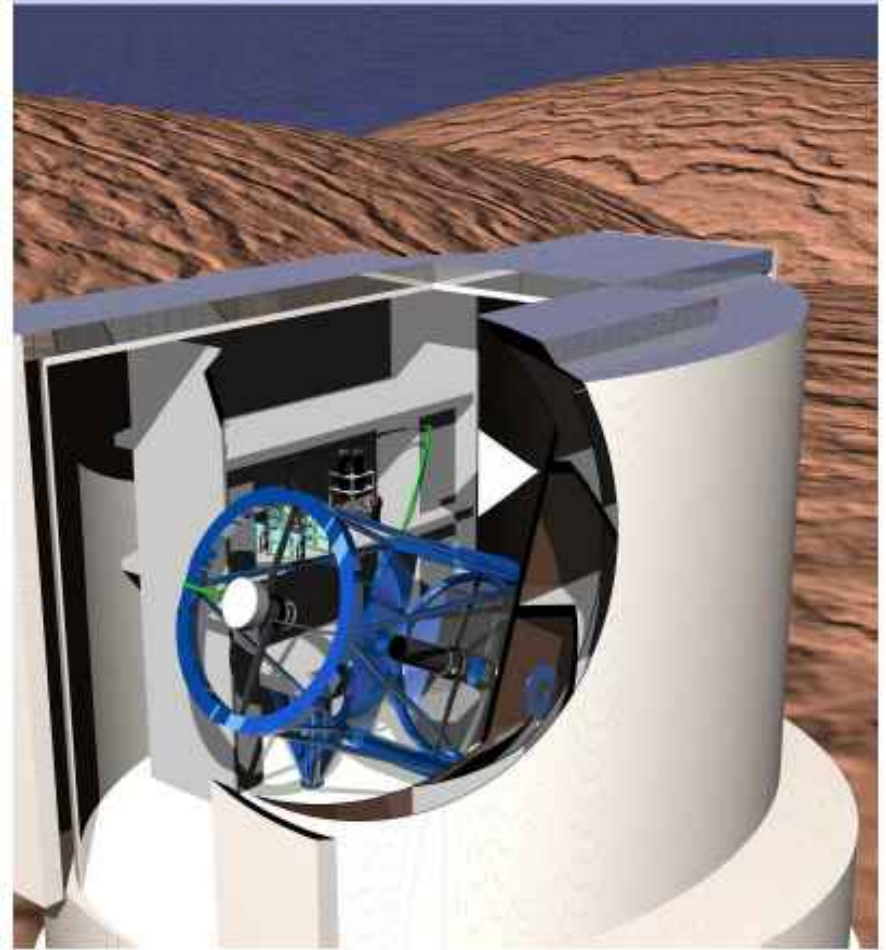
→ 選択したサンプルをTMTで
詳細分光



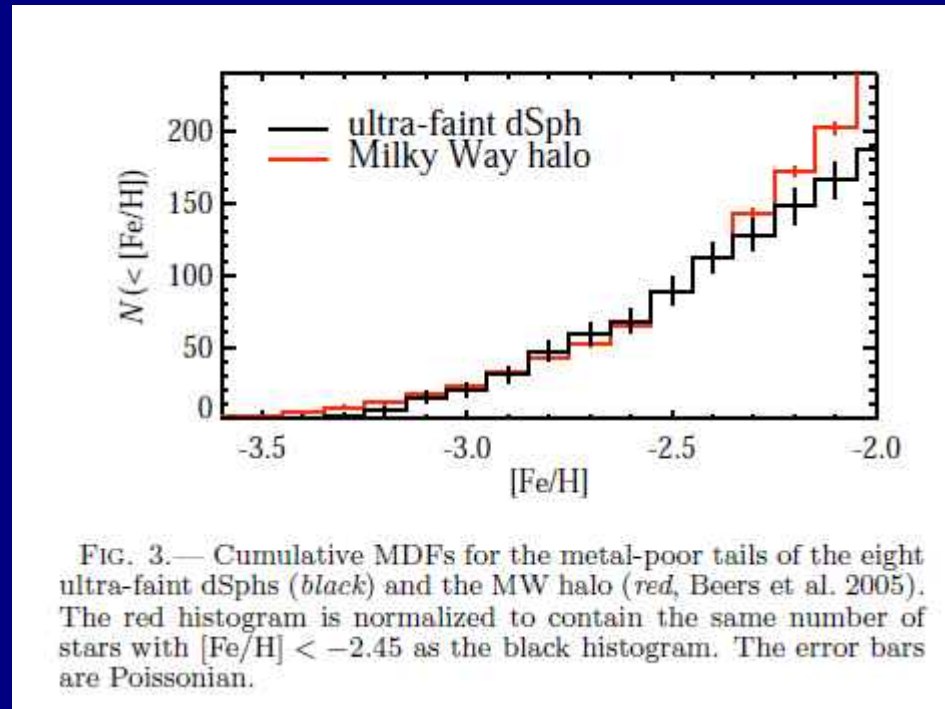
Gemini Wide-Field Fiber-Fed Optical
Multi-Object Spectrograph (WFMOS)

Feasibility Study Report

(AURA Contract No. 0084699-GEM00385)



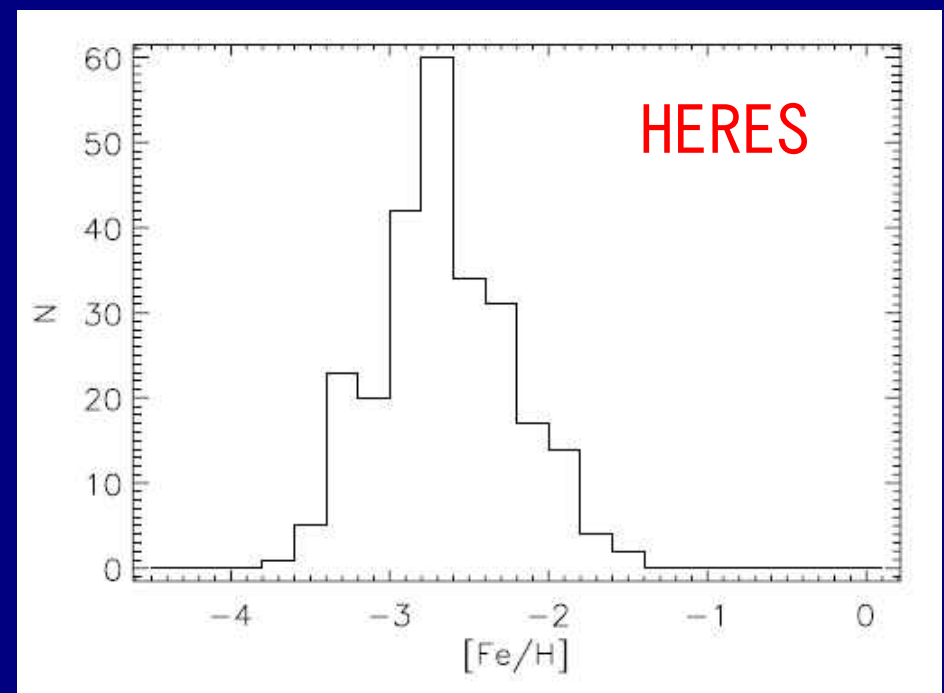
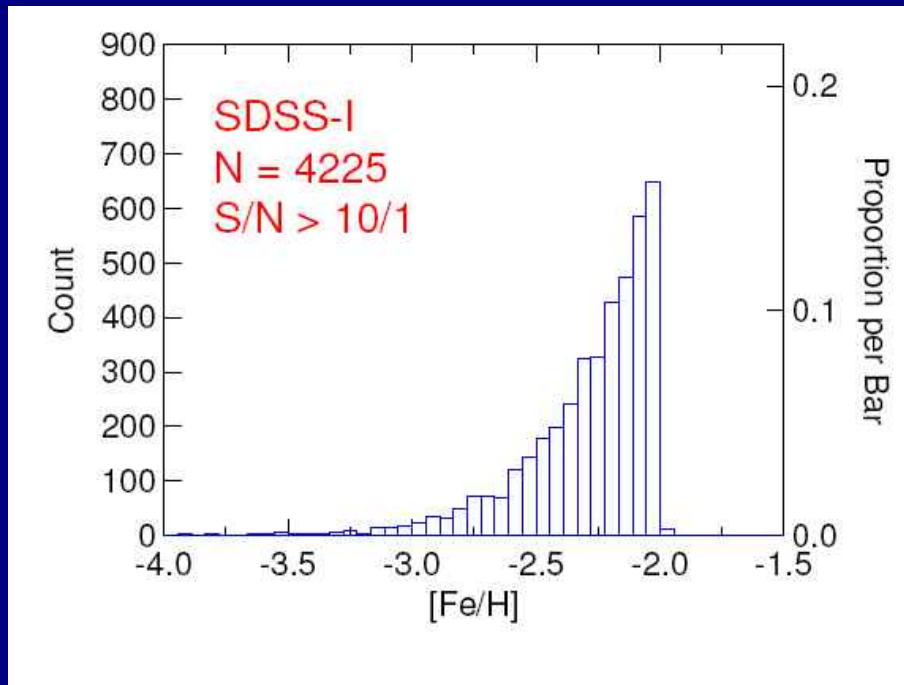
銀河系ハローの金属量分布 ...実はあまりよく決まっていない



銀河系ハローの金属量分布：HK & Hamburg/ESO surveys
(中分散スペクトルの Ca II HK線による測定)

銀河系ハローの金属量分布の測定

- 中分散スペクトルの Ca II Hk線からの測定
→ SDSS/SEGUE で大サンプルの均質なスペクトルから得られる
- 高分散スペクトルからの測定例としては、HERES プロジェクトがある：Hamburg/ESO survey で見つかった253天体について

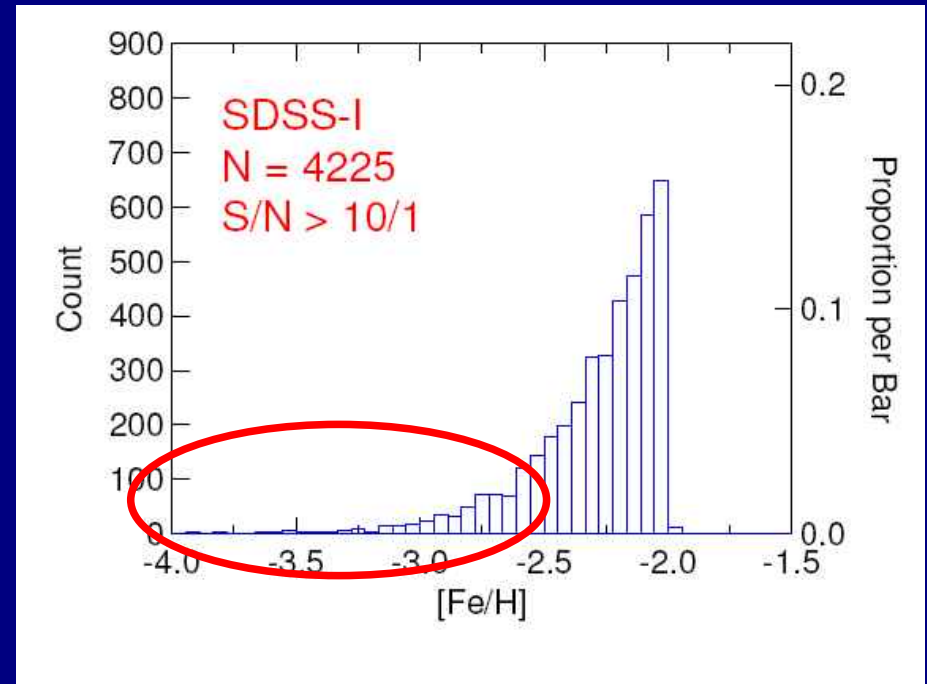


すばる/HDSによるSDSS天体の フォローアップ（高分散分光）観測

- 超金属欠乏星 ($[\text{Fe}/\text{H}] < -2.5$)
の金属量測定
 - 金属量分布の決定、較正
 - $[\text{Fe}/\text{H}] < -4$ の星の探査
- $[\text{Fe}/\text{H}] < -3$ の星の化学組成
Li, C/Fe, α /Fe, ...

観測プログラム

- 2008-2009で20夜
- 前半で「サーベイ」、
後半で詳細観測
- 現在、7夜終了、約100天
体を「サーベイ」

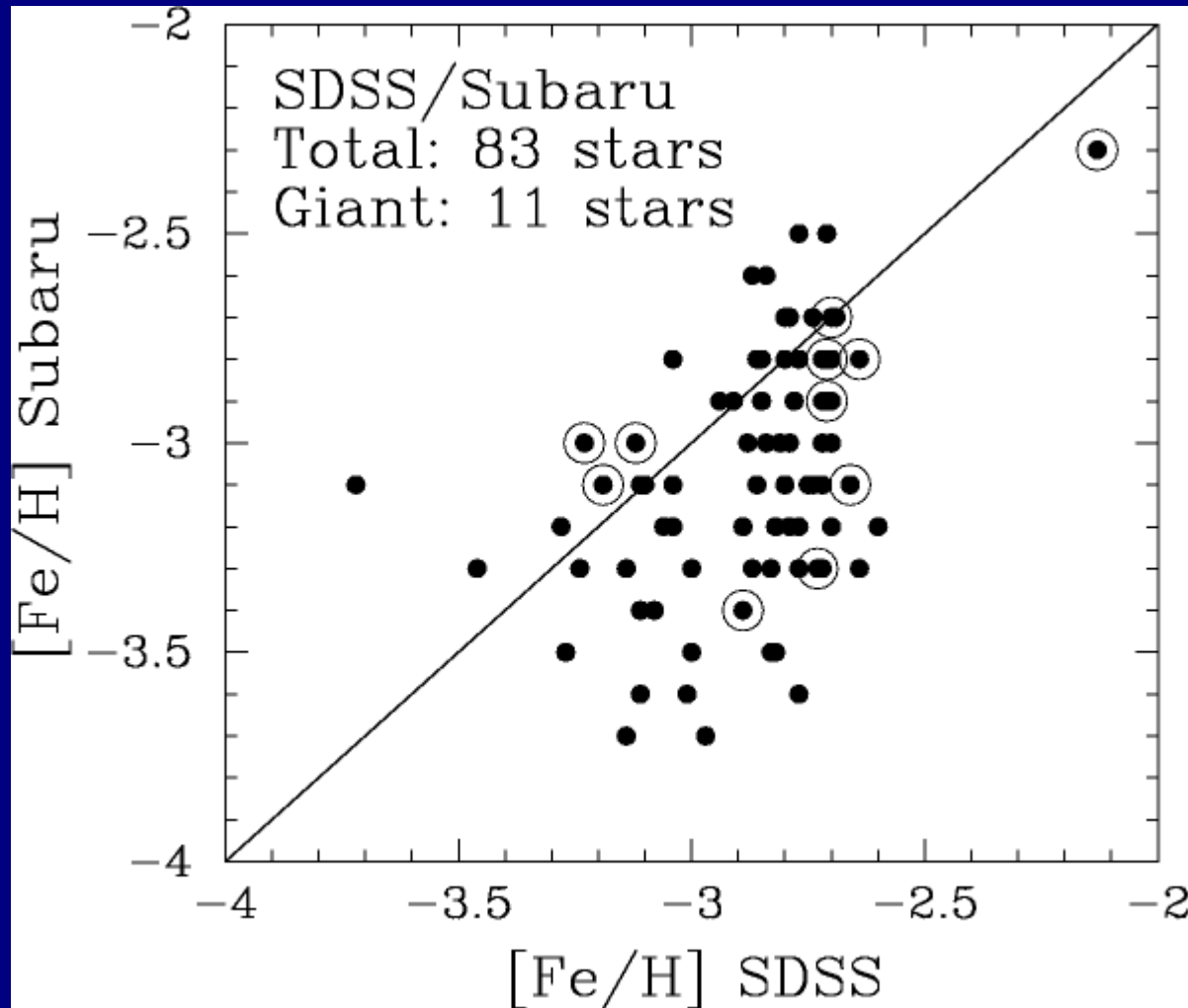


すばる/HDSによるSDSS天体の高分散分光

金属量($[Fe/H]$)の測定: SDSS(中分散)の測定との比較

→ $[Fe/H] < -2.6$ の星を効率よくサンプル

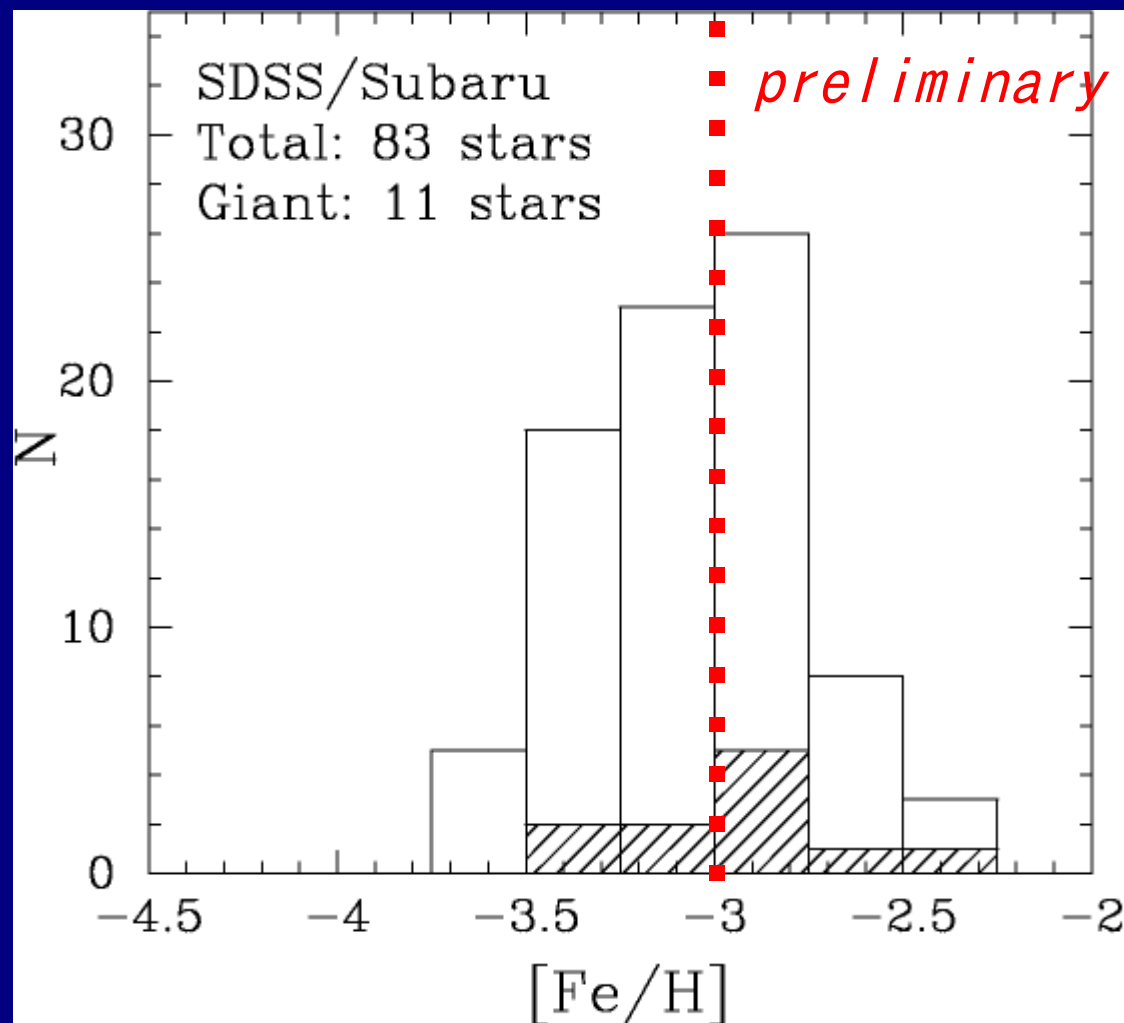
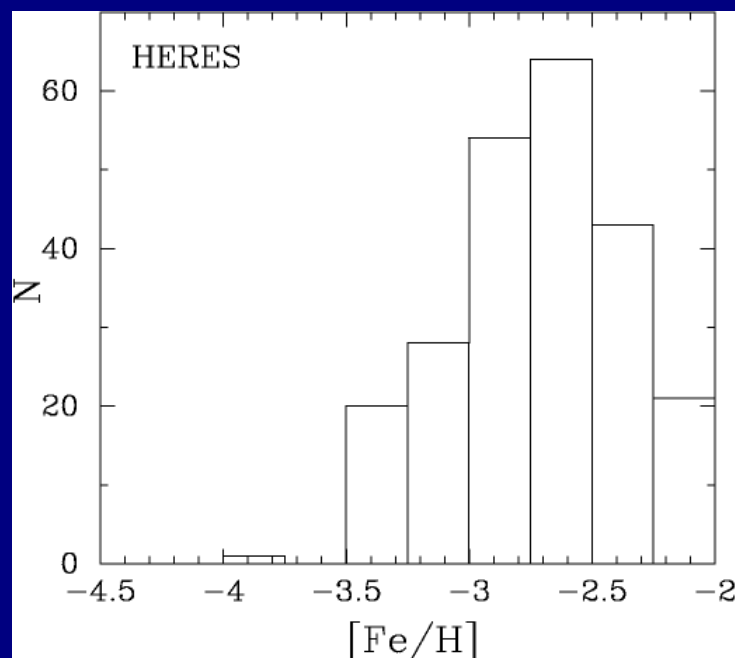
SDSSでは金属量を過大評価している星もある



すばる/SDSSによる銀河系ハローの金属量分布

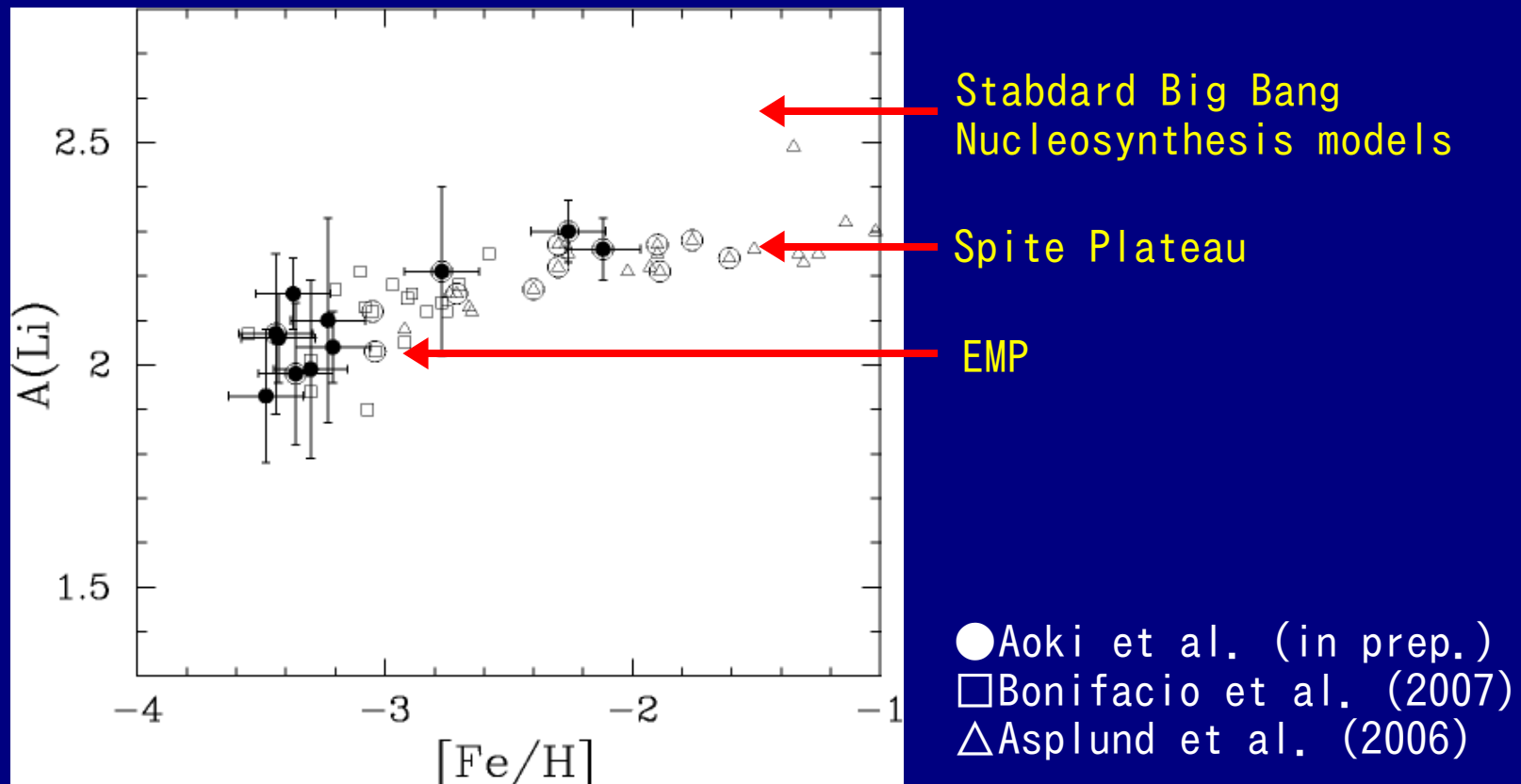
[Fe/H]=-3.5付近での急激な減少がやはりみられる

- SDSSサンプルの金属量分布。[Fe/H]<-3がある程度コンプリート→
- HERESの結果↓



すばる/SDSSによる銀河系ハロー星の化学組成 (後半期の課題)

- 超金属欠乏星(ターンオフ星)のLi組成
[Fe/H]<-3の星はLi組成が低い
[Fe/H]<-3の範囲内での傾向/分散については不明



SDSS/SEGUEサンプルによる 銀河系ハローの超金属欠乏星

- SDSS/SEGUEで見つかった超金属欠乏星の候補天体を
すばるにより高分散分光観測（~2009）
- 約100天体をこれまでに観測。[Fe/H]<-4はない。
→ 150天体まで拡張(~2008)
- [Fe/H]<-3の金属量分布を決定
→SDSS/SEGUEによる測定を較正
- 観測プログラム後半で高S/N観測
→Li, C/Fe, Mg/Fe の決定