

Barium in UFDs

Yuta Tarumi with Takuma Suda, Robert J.J. Grand,
Freeke van de Voort, Shigeki Inoue, and Naoki Yoshida



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

UFDとは？

https://en.wikipedia.org/wiki/Local_Group

- ❖ UFDは小さな ($< 10^5 L_{\text{sun}}$) 衛星銀河
- ❖ 星年齢が古い
- ❖ 高赤方偏移($z > 6$)の良いプローブ
- ❖ “0 or 1 r-process”
- ❖ **Small but important !**

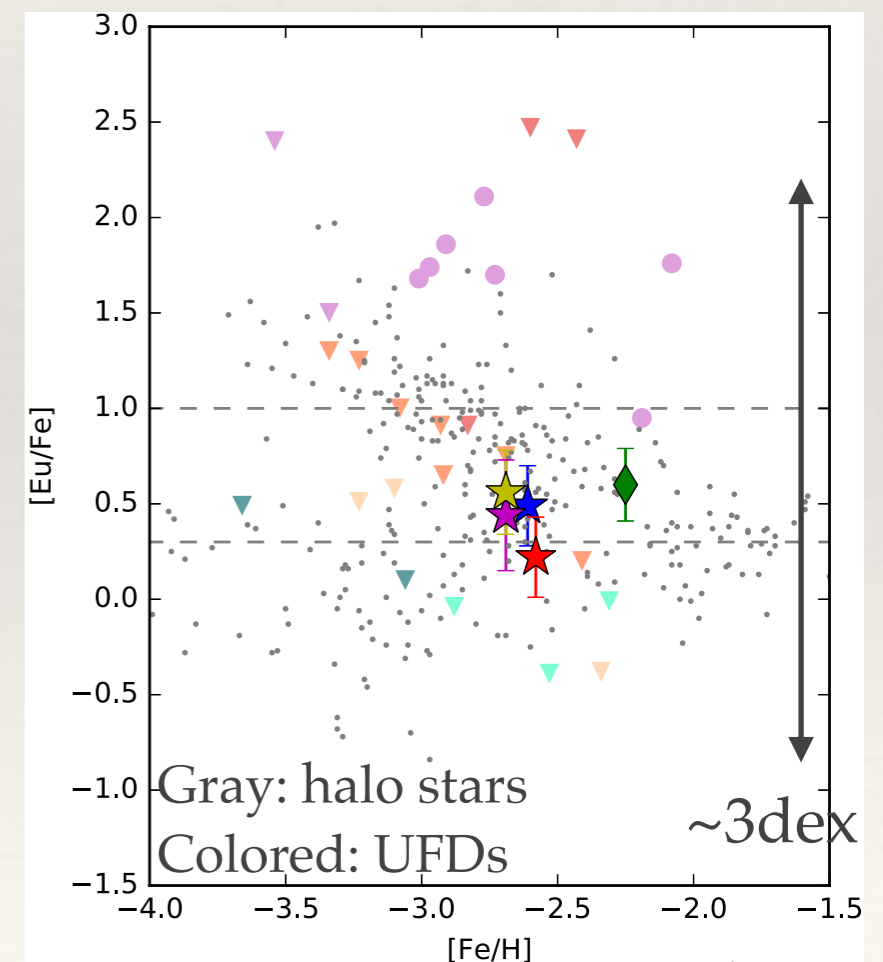
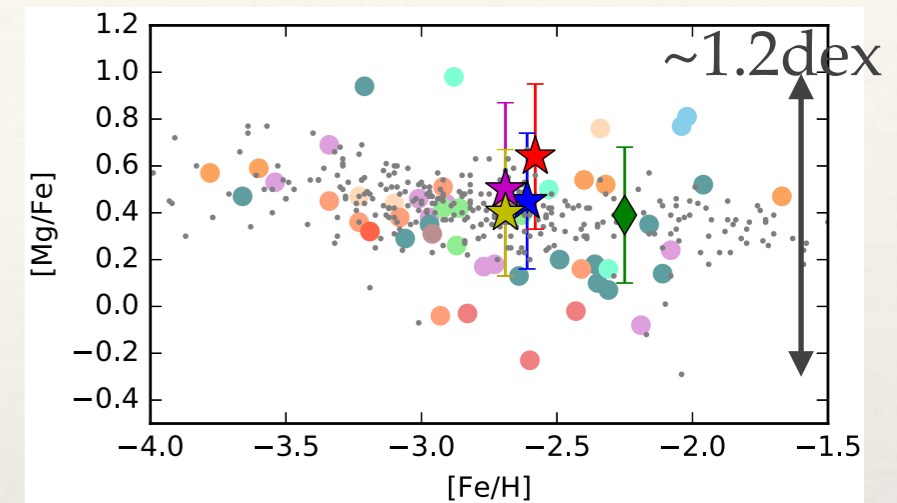


r過程

$$[X/Y] = \log_{10} \left[\frac{N_X}{N_Y} \right] + C$$

Normalized to solar

- ❖ ハロー星の[Eu/Fe]分散は他の元素よりはるかに大きい。
- ❖ 3個 / 16個のUFDでのみEuが見つかる。
- ❖ → r過程は **rare and prolific.**



Ba in UFDs

$$[X/Y] = \log_{10} \left[\frac{N_X}{N_Y} \right] + C$$

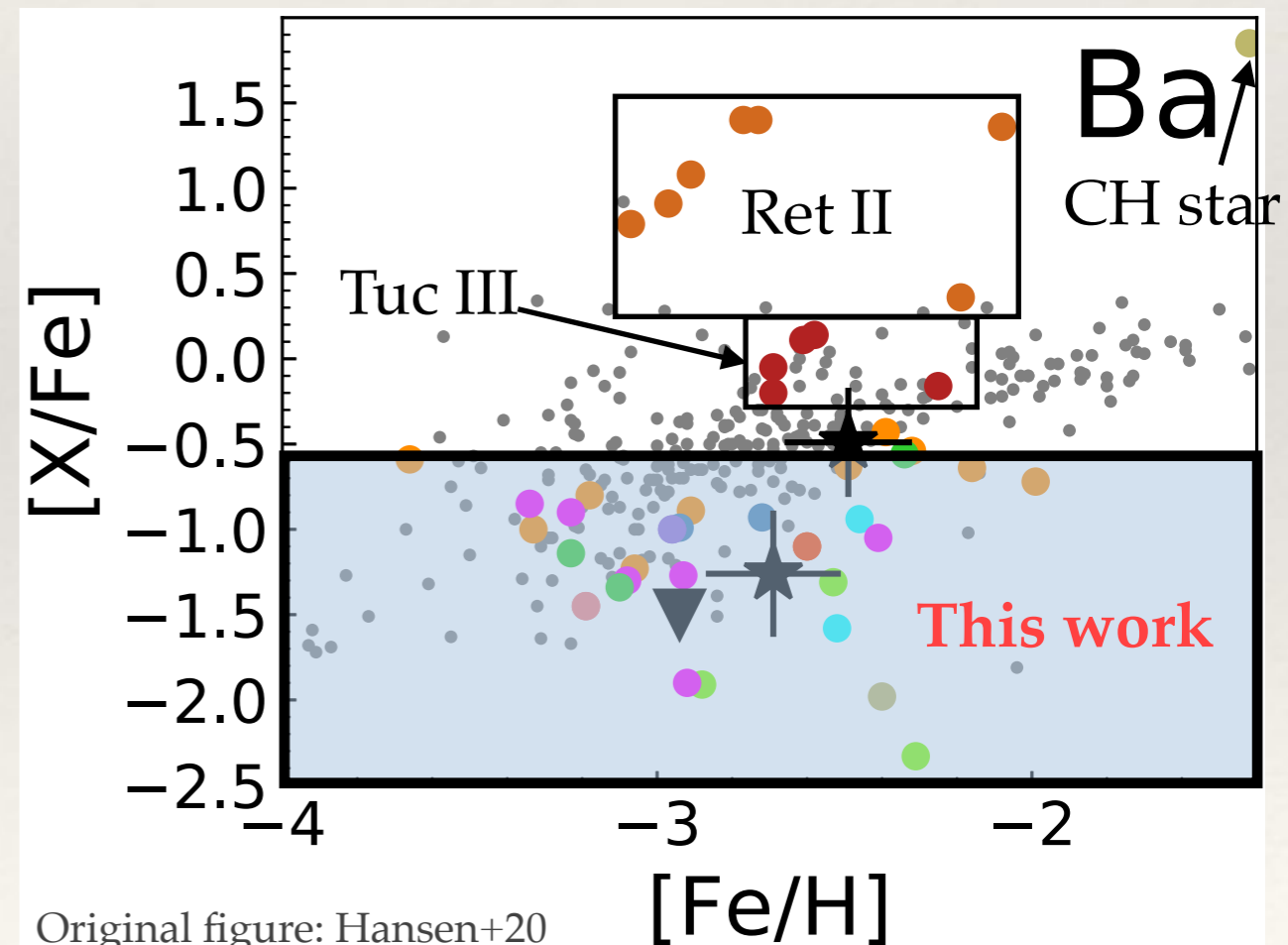
Normalized to solar

❖ Euが見つかった星はBaも多い。これは“rare, prolific r-process event”の寄与とあって良い。

❖ “no r-process” UFDでは Baはどこから来るのか？

Ret II, Tuc III, and Gru II have Eu-detected stars

❖ AGB星はBa量を説明できるのか？



Original figure: Hansen+20

- | | | | | | | | | |
|---------|-----------|----------|----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| • Halo | • Boo II | • Gru II | • Hor I | • Psc II | • Segue 1 | • Tri II | • Tuc III | ★ Gru II |
| • Boo I | • Com Ber | • Her | • Leo IV | • Ret II | • Segue 2 | • Tuc II | • UMa II | |

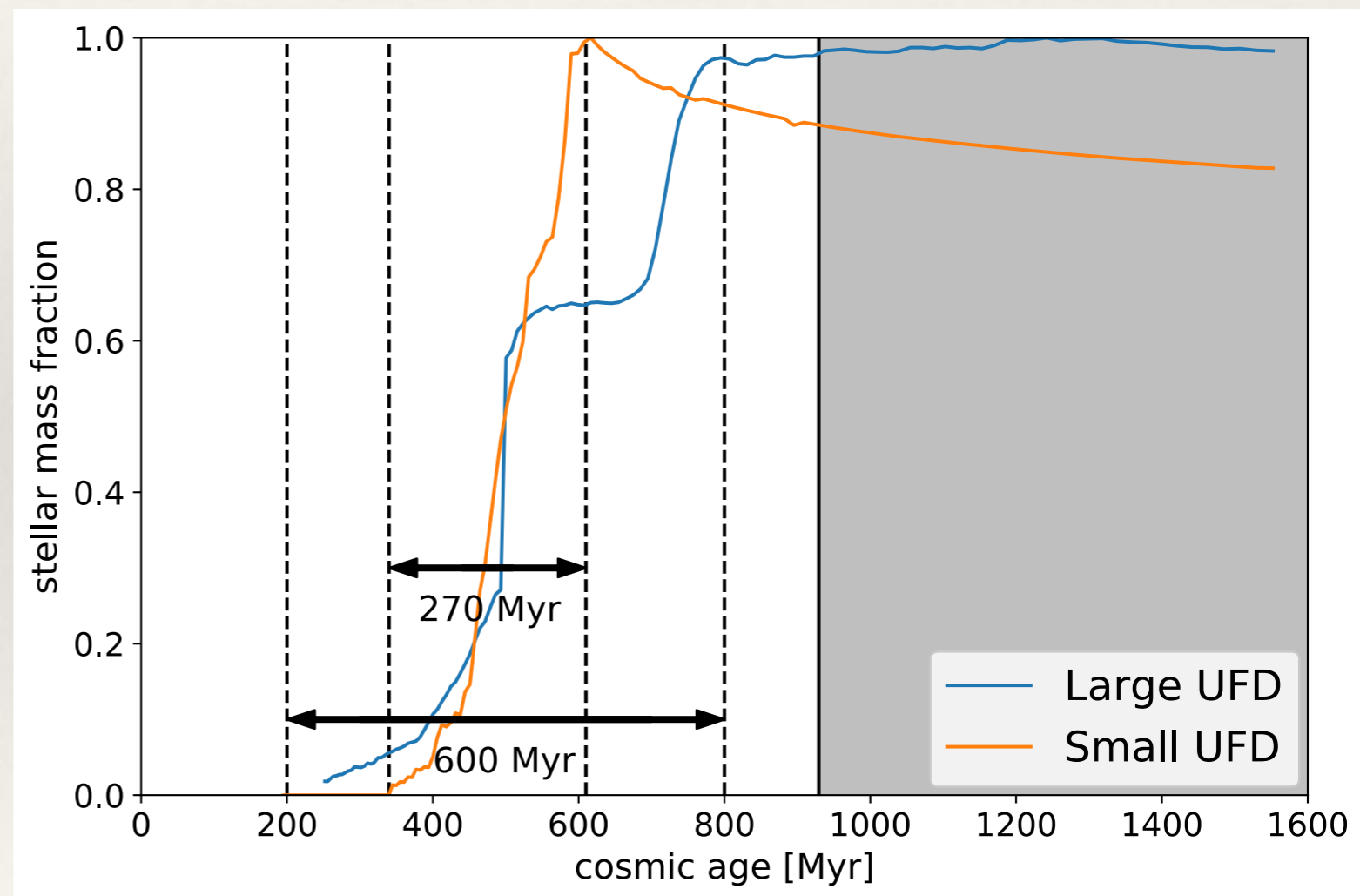
方法: simulation

$$[X/Y] = \log_{10} \left[\frac{N_X}{N_Y} \right] + C$$

Normalized to solar

- ❖ コード: AREPO
- ❖ Auriga銀河形成モデル
- ❖ Ba はAGBからのみ。
- ❖ “Large UFD” (2×10^4 Msun) と “Small UFD” (3×10^3 Msun)でシミュレート。

Time evolution of stellar mass

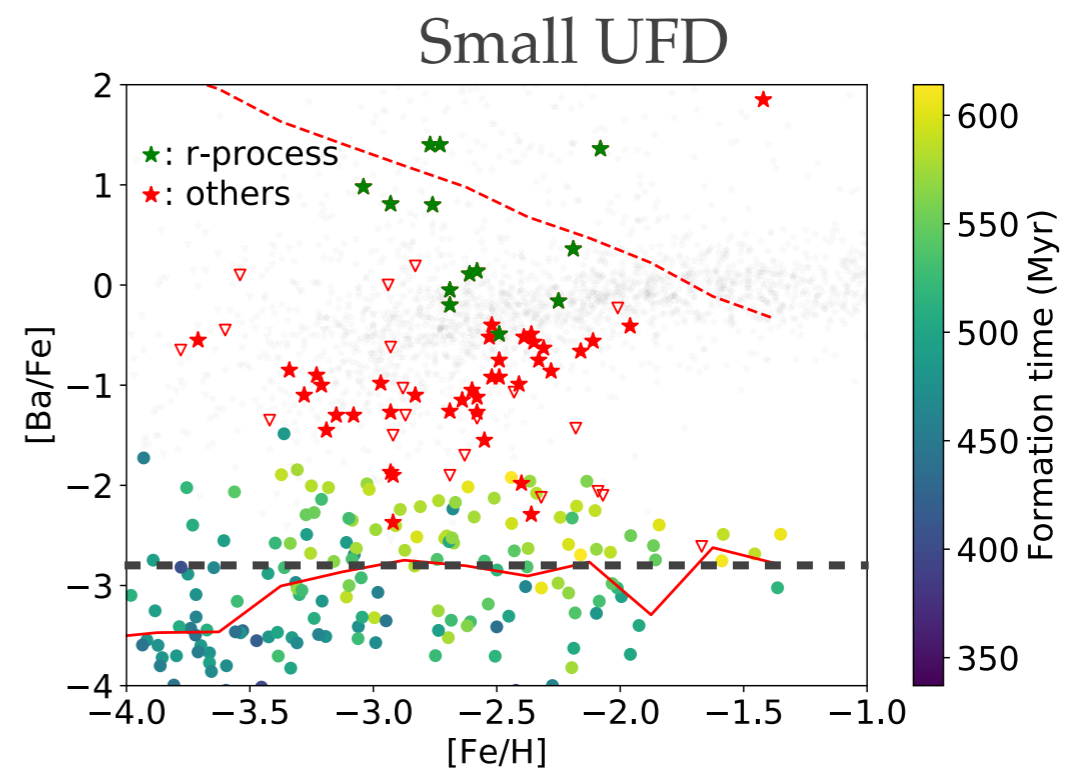
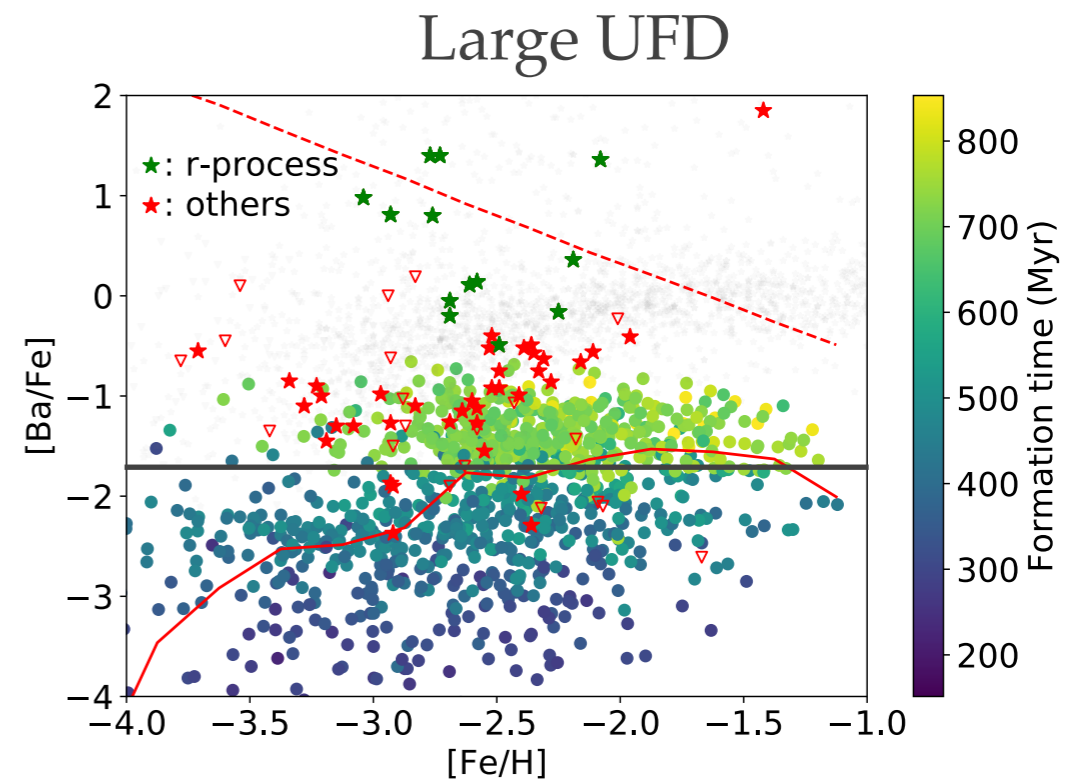


結果: [Ba/Fe]

$$[X/Y] = \log_{10} \left[\frac{N_X}{N_Y} \right] + C$$

Normalized to solar

- ❖ [Ba/Fe]が低い。
- ❖ より長く星を作る？
- ❖ しかし”Large UFD”はUFDとしては星形成が長く続いたサンプル。

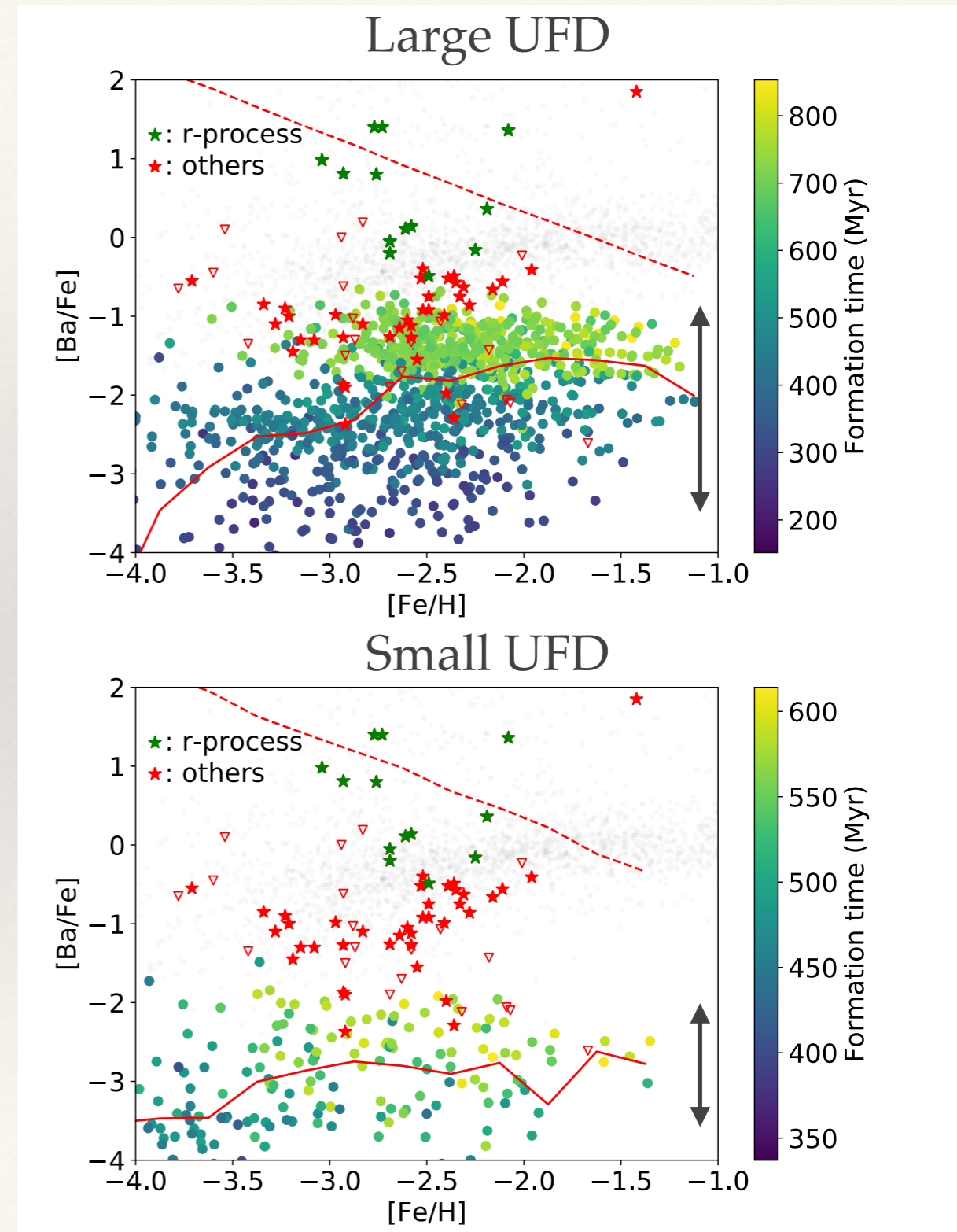


結果: [Ba/Fe]の分散

$$[X/Y] = \log_{10} \left[\frac{N_X}{N_Y} \right] + C$$

Normalized to solar

- ❖ 星形成が長く続くと (> ~500Myr)、[Ba/Fe]の分散が大きすぎる。
- ❖ AGBだけではUFDのBaが説明できない。
- ❖ 解決策
 - ❖ IMFを変える (skipped)。
 - ❖ 短いdelay-timeでBaを入れ、低金属量での[Ba/Fe]を上げる。

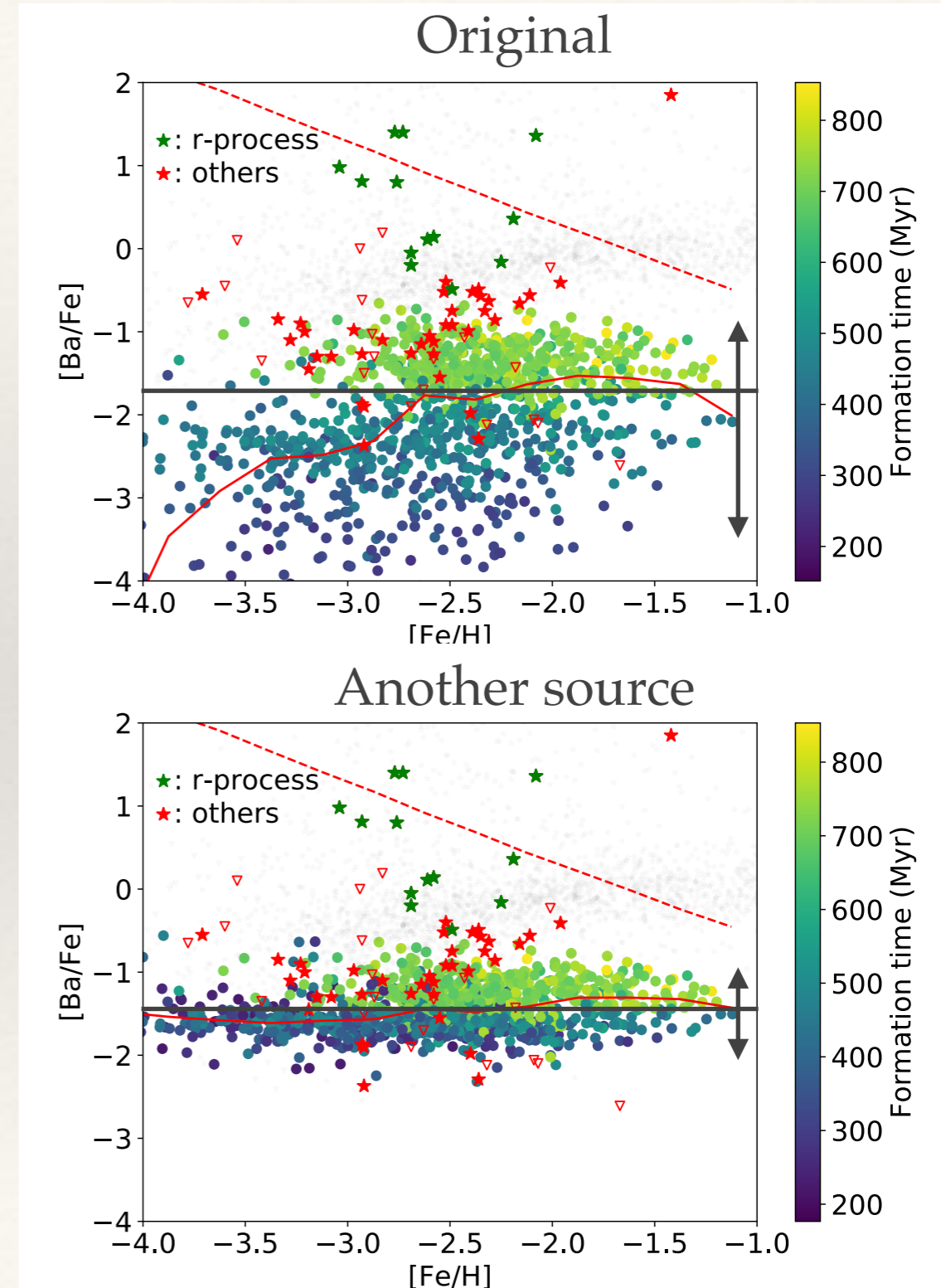


結果: 他のBa源

$$[X/Y] = \log_{10} \left[\frac{N_X}{N_Y} \right] + C$$

Normalized to solar

- ❖ delay-time無しで、1 Msunの星あたり 3×10^{-10} MsunのBaを注入した。
- ❖ $[Ba/Fe]$ の値はおおよそ合っており、一つの系内の $[Ba/Fe]$ 分散も大きすぎない。



議論1: UFDのBaの起源は？

$$[X/Y] = \log_{10} \left[\frac{N_X}{N_Y} \right] + C$$

Normalized to solar

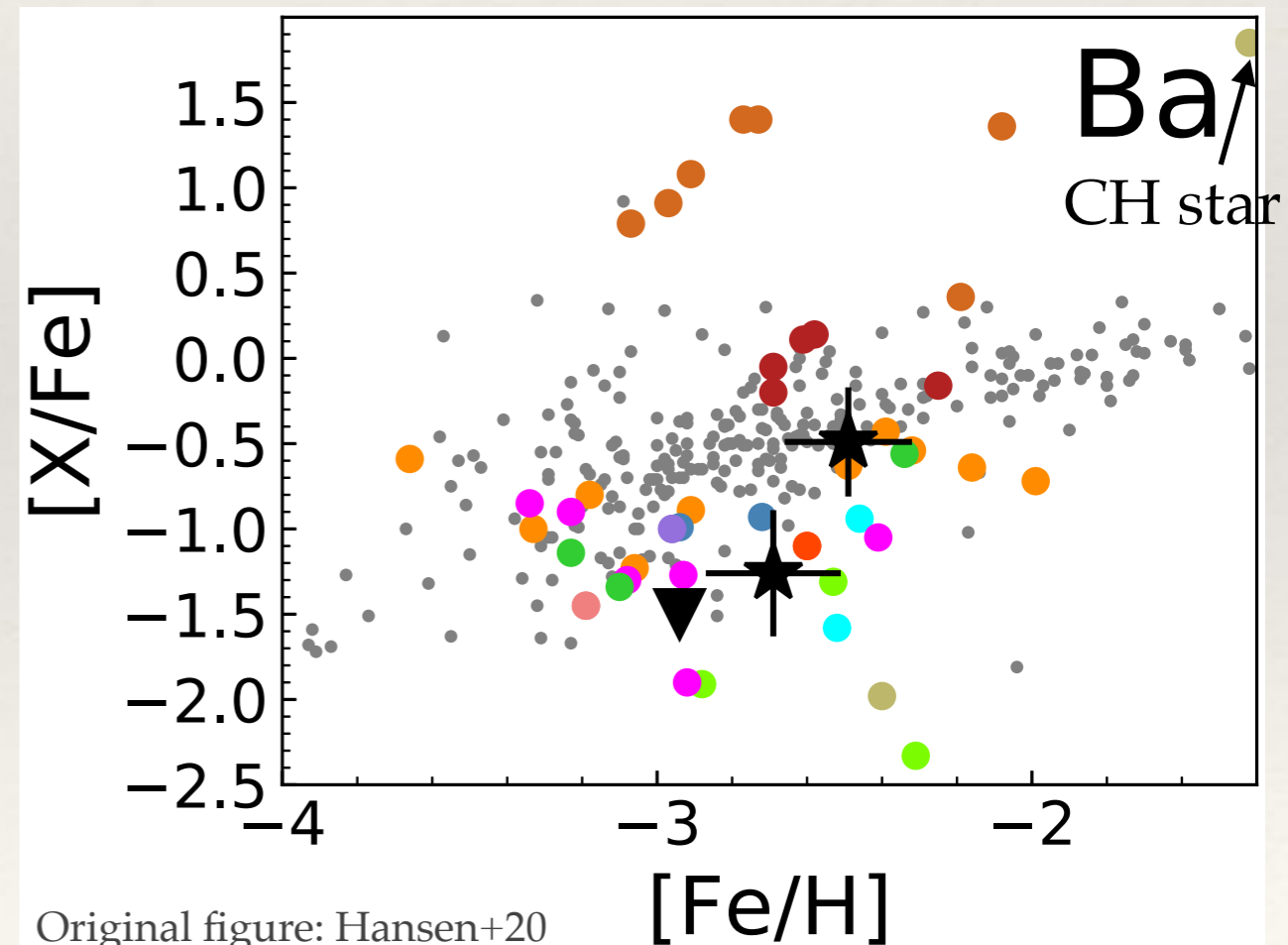
- ❖ super-AGB かどうか？
 - ❖ 質量範囲が狭く、十分には寄与しなかった。
- ❖ 回転星はどうか？
 - ❖ モデルの不定性が大きく、観測は再現しうる。星の回転の観測等でより強くモデルを制限したい。
- ❖ ハローの低金属量星はr過程>s過程。しかし回転星はs過程。
- ❖ r過程かs過程か？: 観測による制限が重要

議論2: UFDの多様性

$$[X/Y] = \log_{10} \left[\frac{N_X}{N_Y} \right] + C$$

Normalized to solar

- ❖ [Ba/Fe]がUFD間で異なるのは何故か？
- ❖ IMF averagingがちゃんと効いているとすると、違いを生む候補は 1. yield, 2. IMF, 3. SFH
- ❖ 金属量は同程度なので、1. and 2. は(だいたい)同じ。
- ❖ 星形成史は「delay-timeのある」寄与が重要ならば重要。しかしAGBが否定されると、特にそんな寄与はない。
- ❖ IMF averagingが効いていない: rare event?



• Halo	• Boo II	• Gru II	• Hor I	• Psc II	• Segue 1	• Tri II	• Tuc III	★ Gru II
• Boo I	• Com Ber	• Her	• Leo IV	• Ret II	• Segue 2	• Tuc II	• UMa II	

結論: We need something.

$$[X/Y] = \log_{10} \left[\frac{N_X}{N_Y} \right] + C$$

Normalized to solar

- ❖ AGBだけではBa量を説明できない。
- ❖ 解決策
 - ❖ IMFを(大幅に)変更する。
 - ❖ 他のBa源を考慮する。
1Msunの星あたり 3×10^{-10} MsunのBaを作るくらい。

