

PFSで探る銀河系恒星成分の 年齢—金属量関係

すばるPFSによるサイエンス検討会
2015/7/10

豊内 大輔, 千葉 柁司 (東北大学)

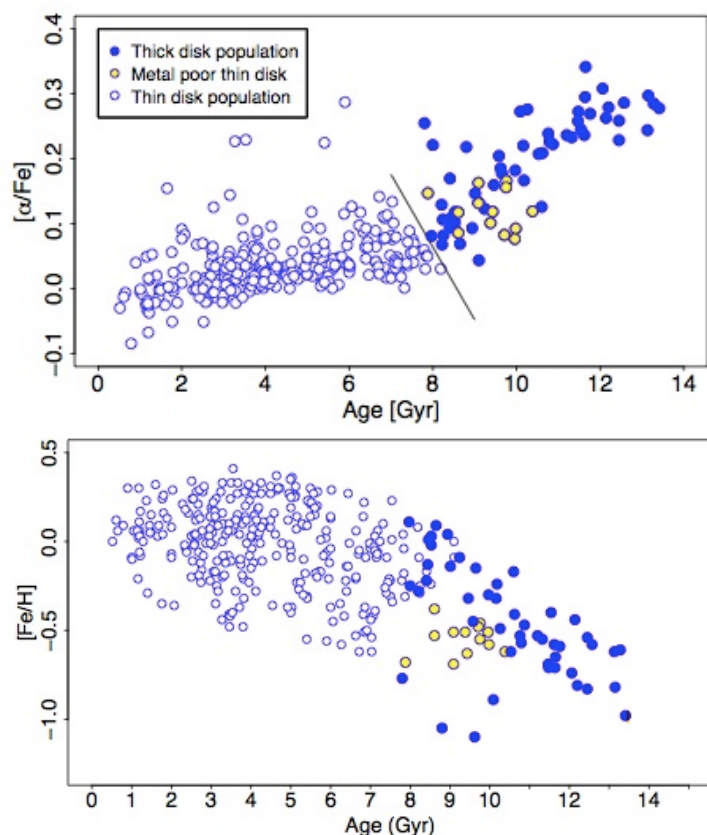


TOHOKU
UNIVERSITY

年齢-金属量関係 (AMR) と星形成史

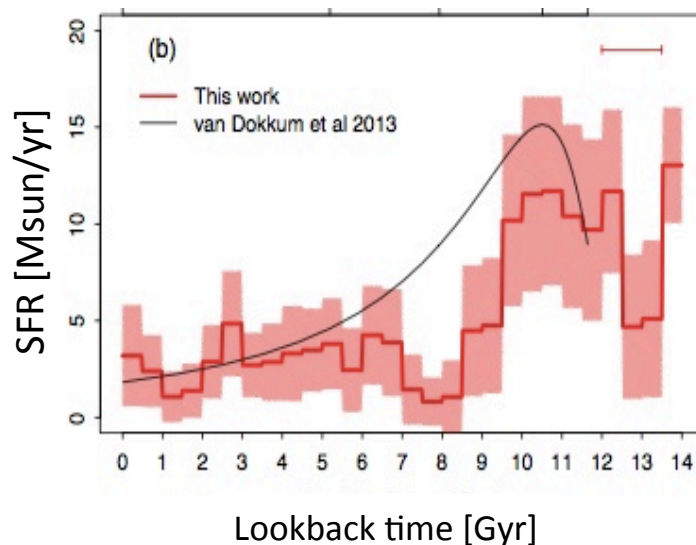
- ✓ 星は生まれたときの周囲の金属量を保存
 - AMRは星形成史(ガス降着史)の重要な手がかり

太陽近傍円盤星のAMR



Haywood et al. (2013)

銀河系円盤の星形成史

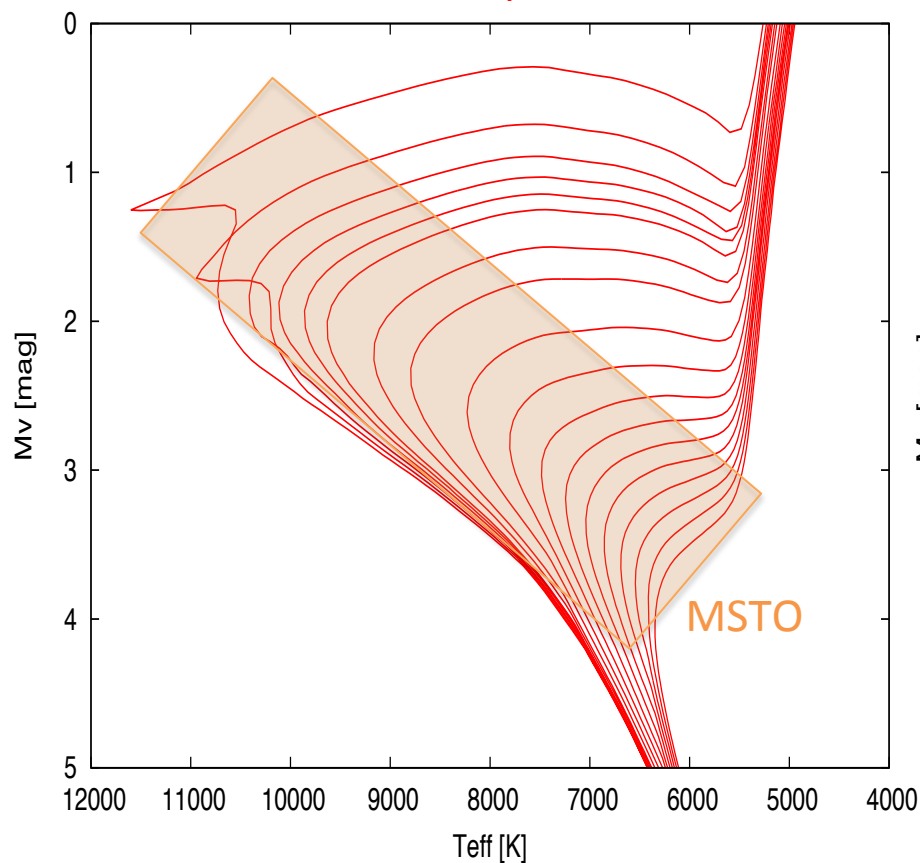


Snaith et al. (2014)

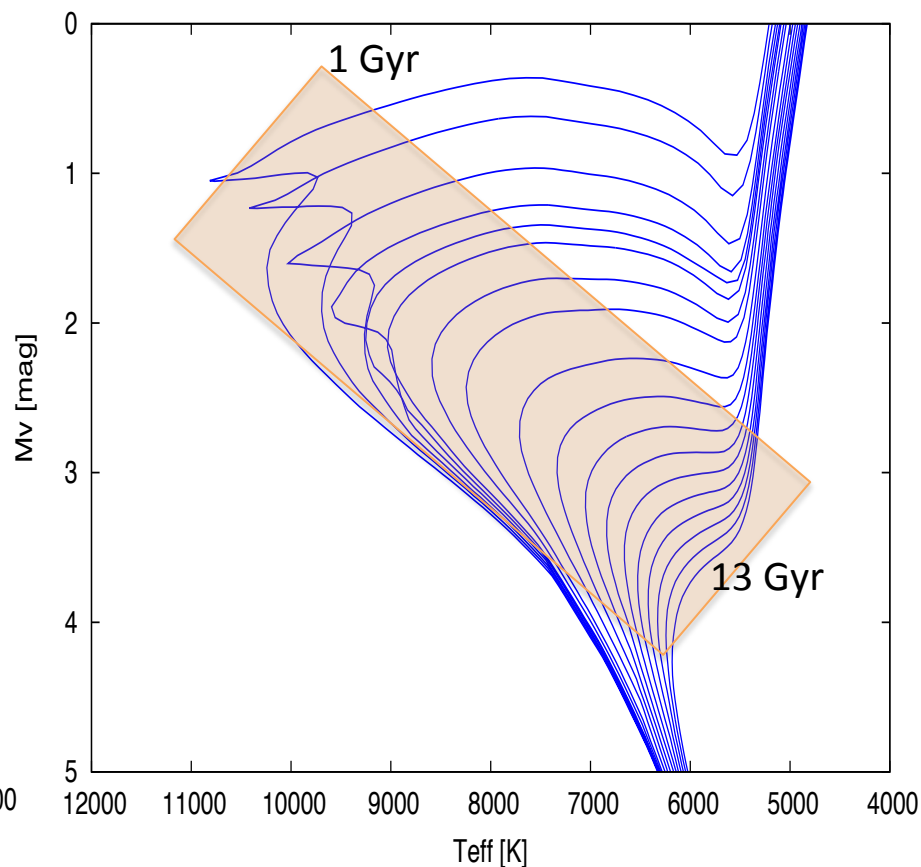
等時曲線を用いた年齢推定

- ✓ **Main Sequence Turn Off (MSTO)** 星については大気パラメータ($[\text{Fe}/\text{H}]$, $[\alpha/\text{Fe}]$, T_{eff} , $\log g$)が得られれば等時曲線との比較により年齢を推定出来る

$[\text{Fe}/\text{H}] = -2.0$, $[\alpha/\text{Fe}] = 0.3$



$[\text{Fe}/\text{H}] = -1.5$, $[\alpha/\text{Fe}] = 0.3$



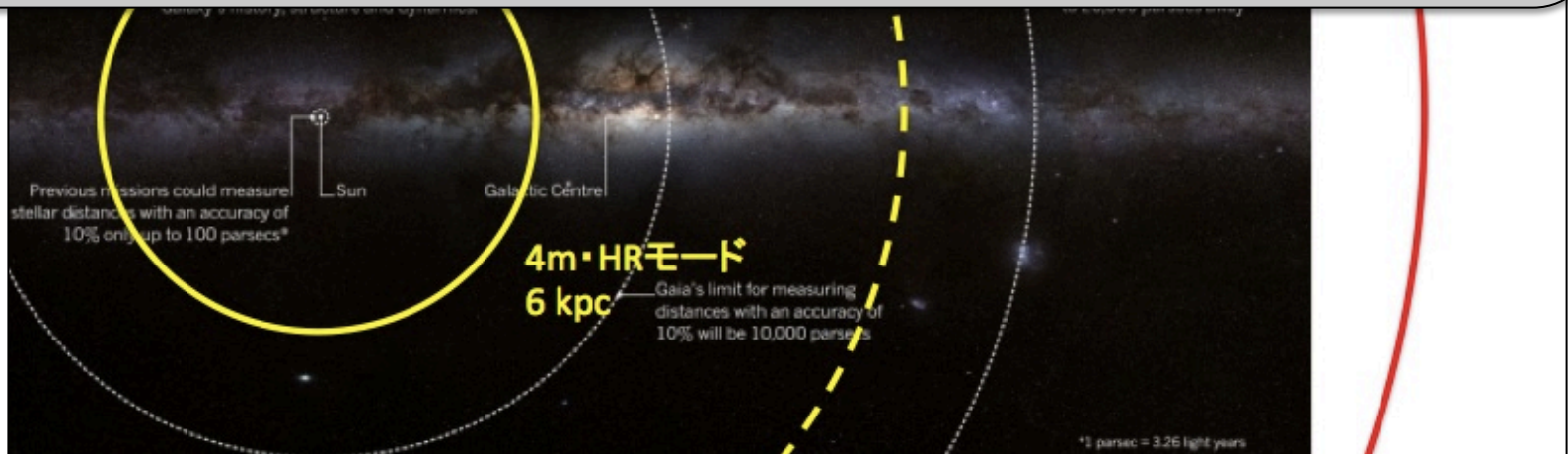
Yonsei-Yale isochrones (Demarque et al. 2004)

PFSでのMSTO星観測

- これまではMSTO星を用いたAMRの調査は太陽から数kpcの範囲に限られていた
(LAMOST : Xiang et al. 2015, それ以前は数100pc以内)
- Grey/Dark timeではLRモード($R=2000-3000$)で $V = 22$ magまで分光
 - MSTO星($M_v < 4.0$ mag)については $d_{\text{sun}} \sim 40$ kpcまで大気パラメータを測定可能

PFSでは圧倒的に深い観測領域を生かし・・・

恒星ハローや円盤外縁部を含む銀河系内の大部分で
AMRを調べることが可能



年齢の決定精度: LAMOSTの例

LAMOST Spectroscopic Survey of the Galactic Anti Center (LSS-GAT)

✓ およそ $d_{\text{sun}} \sim 4$ kpc 以内の disk 星, $R = 1800$, $3700\text{\AA} < \lambda < 9000\text{\AA}$

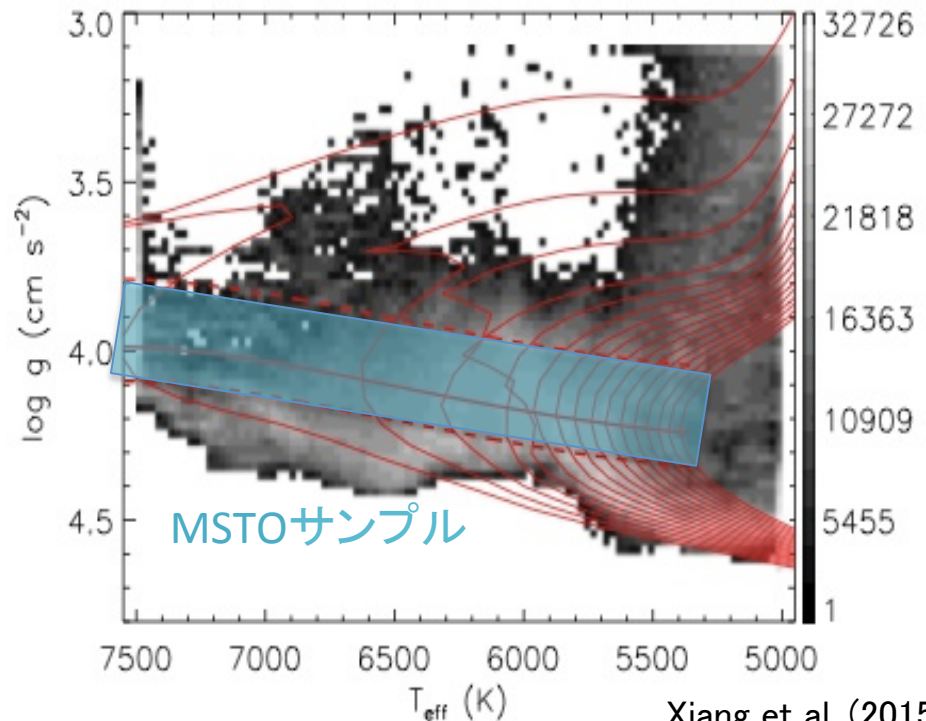
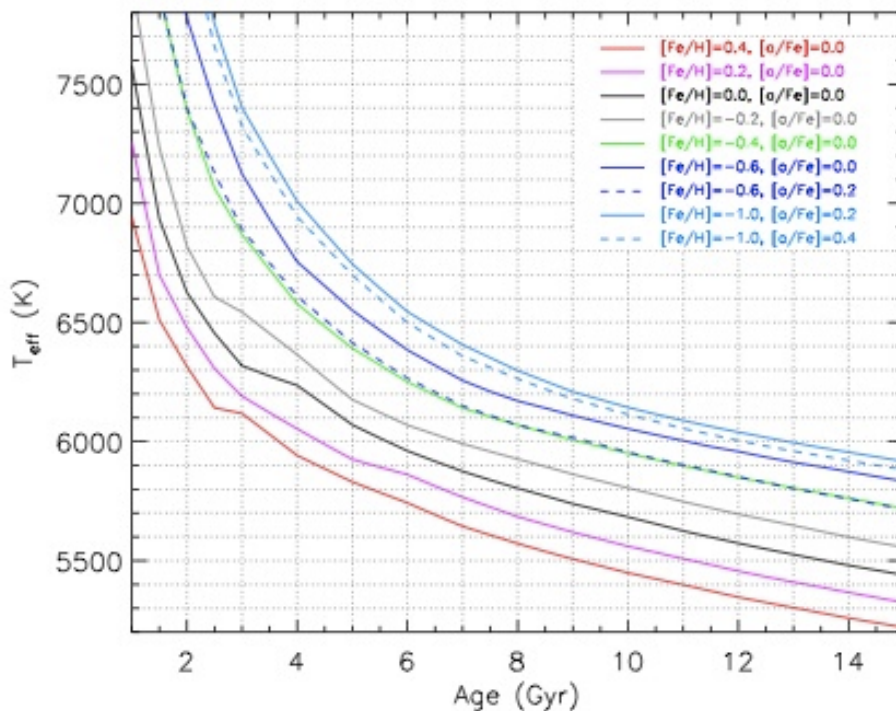
✓ MSTO サンプルの定義

↑
PFSのLRモードに相当

● $5400\text{ K} < T_{\text{eff}} < 7500\text{ K}$

● $-0.2 < \log g - \log g_{TO}([\text{Fe}/\text{H}], [\alpha/\text{Fe}], T_{\text{eff}}) < 0.1$

➤ およそ70万個の分光サンプルから30万個のMSTOサンプルを抽出 ($S/N > 10$)

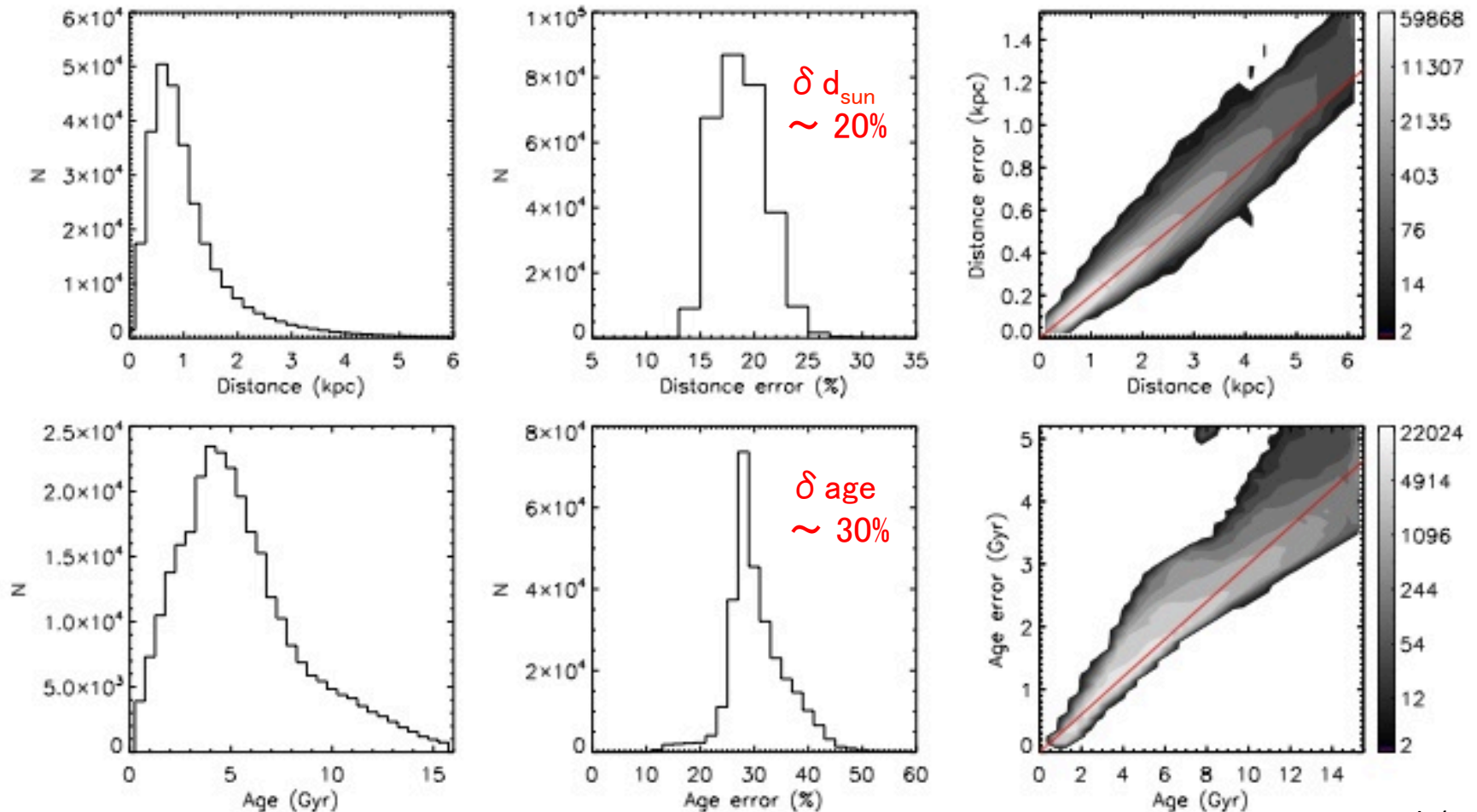


年齢の決定精度: LAMOSTの例

LAMOST Spectroscopic Survey of the Galactic Anti Center (LSS-GAT)

✓ $\delta T_{\text{eff}} \sim 150 \text{ K}$, $\delta \log g \sim 0.25 \text{ dex}$, $\delta [\text{Fe}/\text{H}] \sim 0.15 \text{ dex}$ ($\text{S/N} > 10$)

PFSでも同程度か・・・？



PFSで得られるAMRを使って何をする？

テーマ①

銀河系恒星ハローの合体形成史

テーマ②

インナー＆アウターハローの形成過程

テーマ③

銀河系恒星円盤外縁部の構造進化

PFSで得られるAMRを使って何をする？

テーマ①

銀河系恒星ハローの合体形成史

テーマ②

インナー＆アウターハローの形成過程

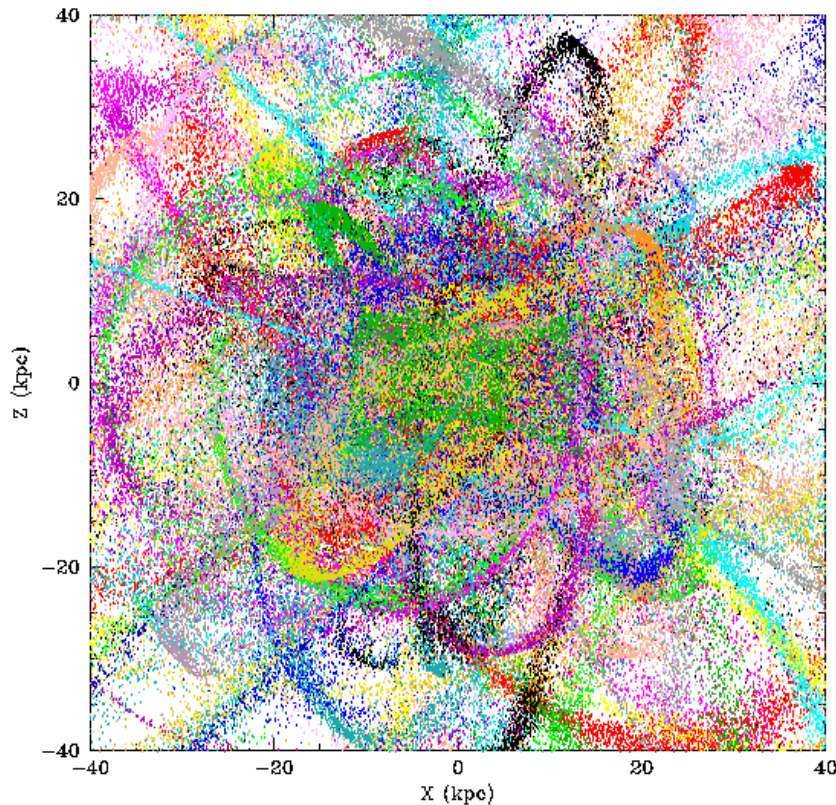
テーマ③

銀河系恒星円盤外縁部の構造進化

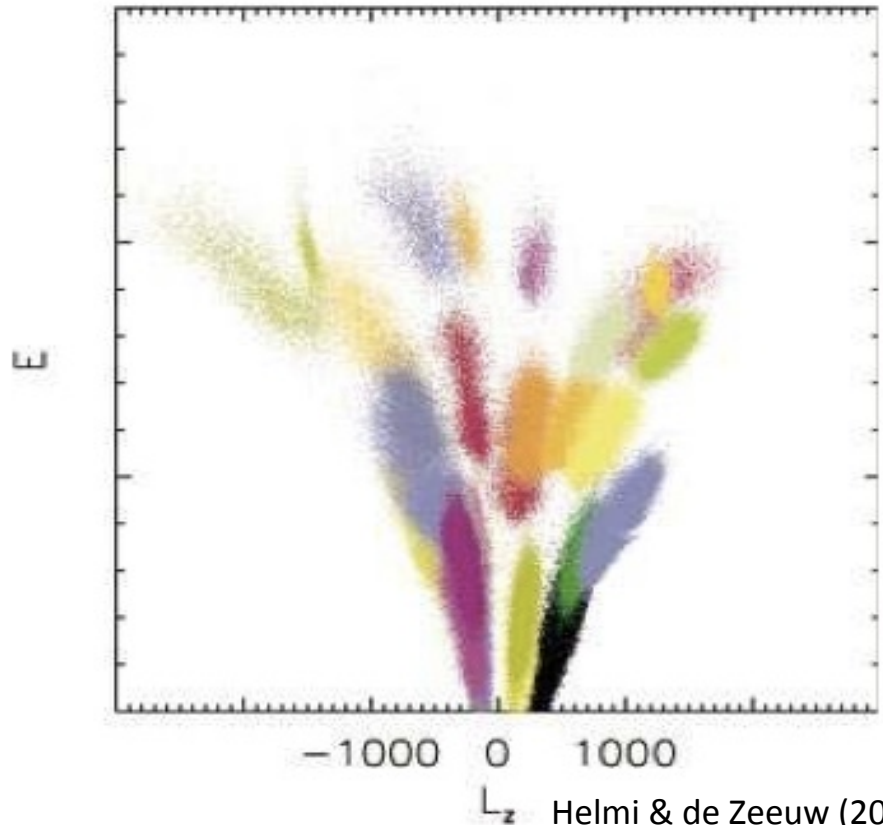
1. 銀河系恒星ハローの合体形成史

目指すのは...

AMRから銀河系恒星ハローの合体形成史の再構築



Freeman & Bland-Hawthorn(2002)

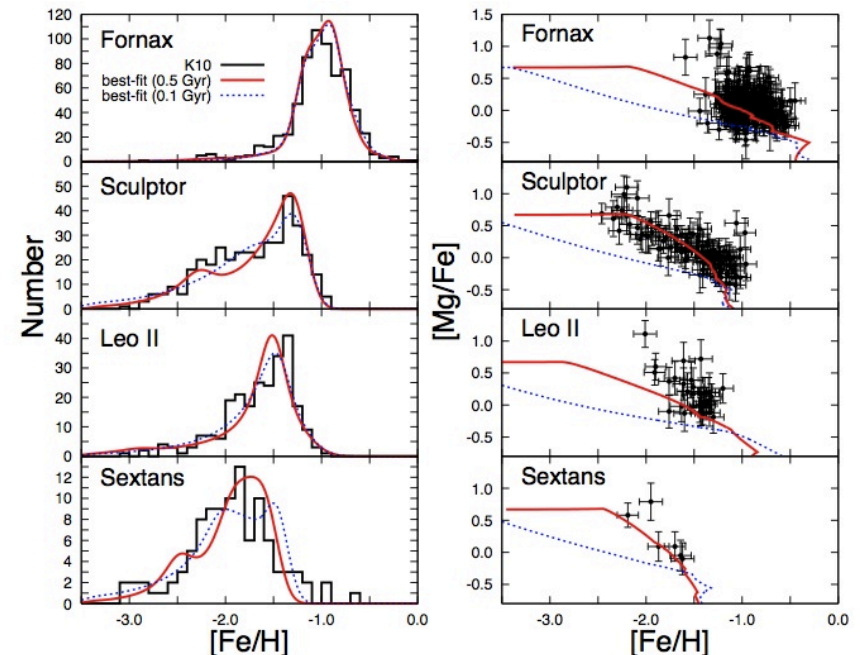
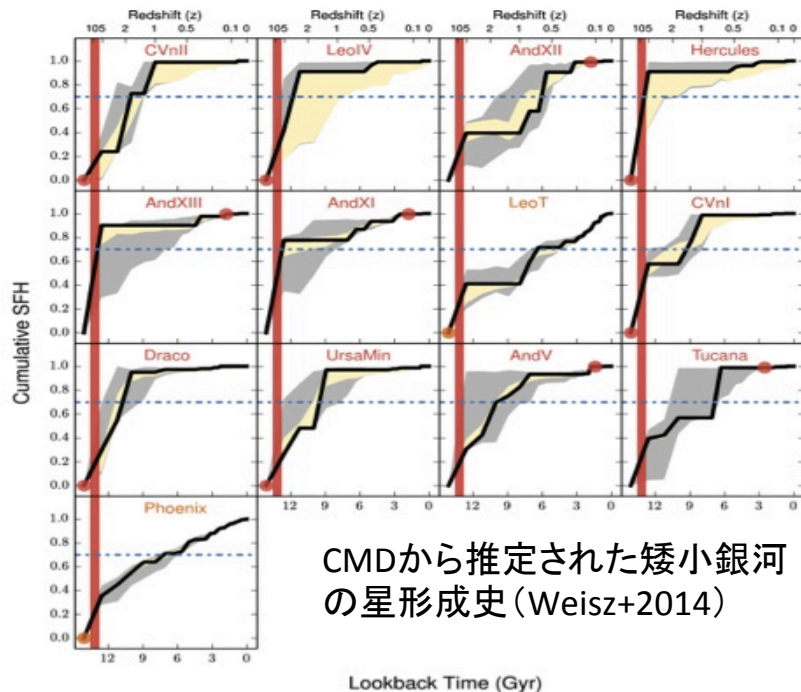


Helmi & de Zeeuw (2000)

1. 銀河系恒星ハローの合体形成史

PSFで観測されるstellar haloのAMRを再現するにはどれくらいの質量の矮小銀河をいつ、どのくらい落とせば良いか議論する

- 現在生き残っている矮小銀河のAMRsと比較 (e.g., Lee et al. 2015)
- 宇宙論シミュレーションや銀河形成セミアナモデル (e.g., Starkenburg+ 2013) と比較
 - 銀河系に降着する矮小銀河内で起きる星形成、ガス流出過程 (stellar feedback, ram pressure, tidal stripping) に制限を与える。



PFSで得られるAMRを使って何をする？

テーマ①

銀河系恒星ハローの合体形成史

テーマ②

インナー＆アウターハローの形成過程

テーマ③

銀河系恒星円盤外縁部の構造進化

2. インナー＆アウターハローの形成過程

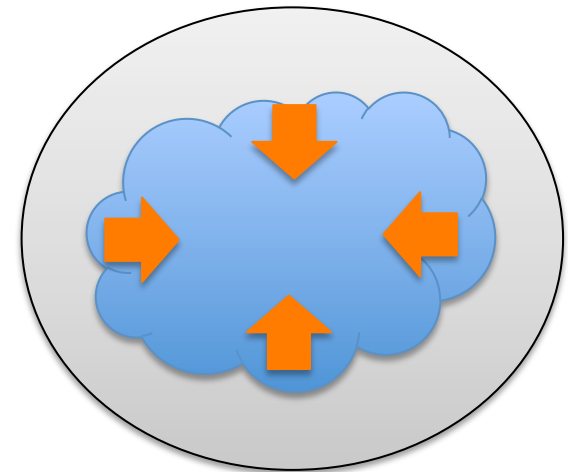
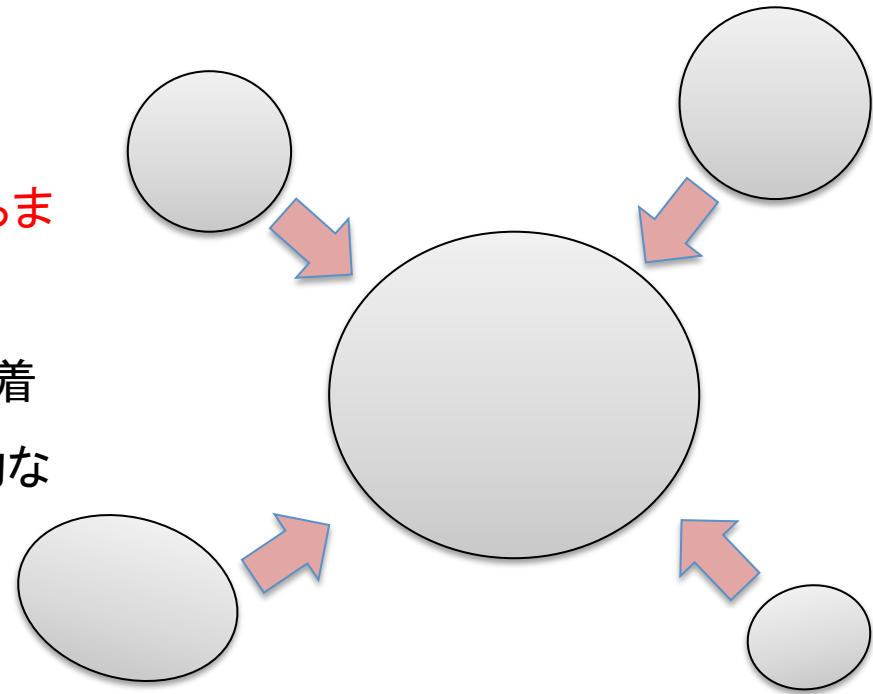
2つの代表的なstellar haloの形成シナリオ

- Minor mergerに伴う星のハロー中へのばらまき(SZ説)

- ハロー星の年齢、金属量や運動は降着した矮小銀河の性質で決まり、空間的な相関等は薄い。
- 比較的外側に広がったハロー
--> アウターハロー形成に関与？

- Major mergerに伴うガスの急速な収縮過程での星形成(ELS説)

- 短いタイムスケールで星が生まれる。
- 比較的内側にかたまった恒星ハロー
--> インナーハロー形成に関与？



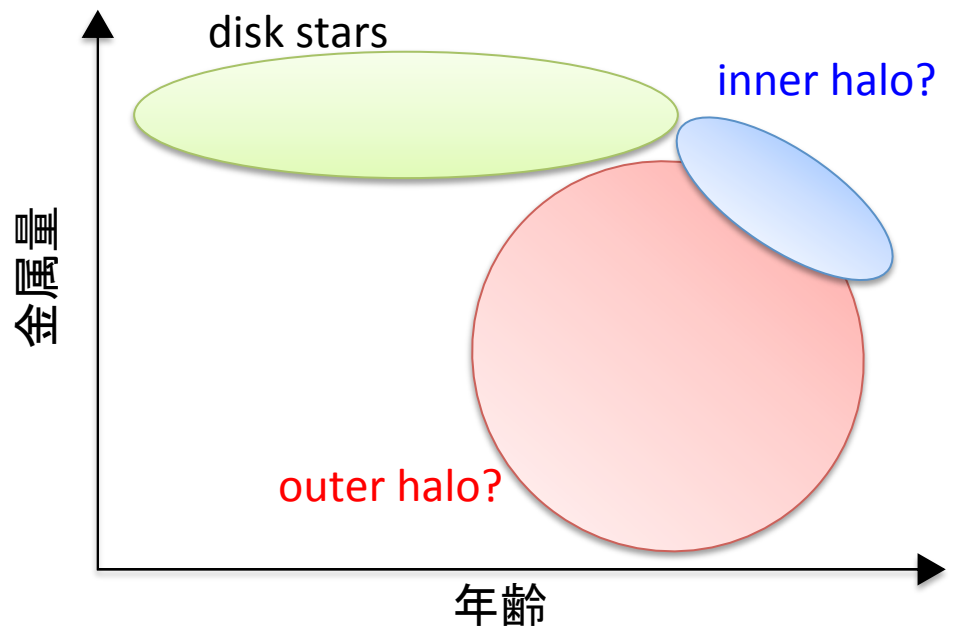
2. インナー＆アウターハローの形成過程

Inner halo --> Major merger 起源？

Outer halo --> Minor merger 起源？

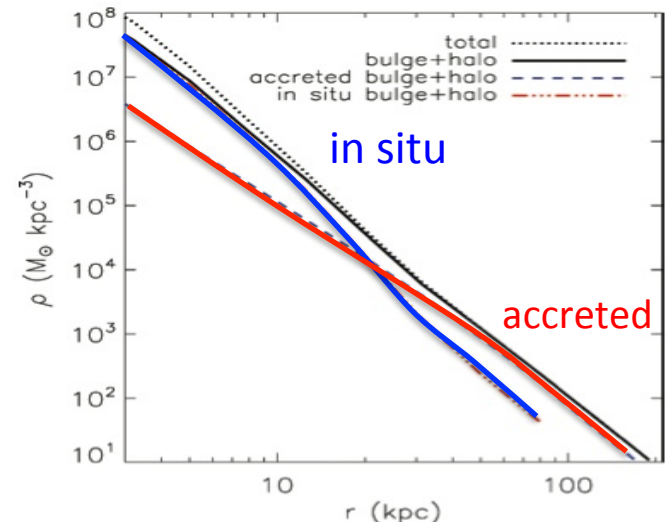


AMRから形成過程の違いを直接検証

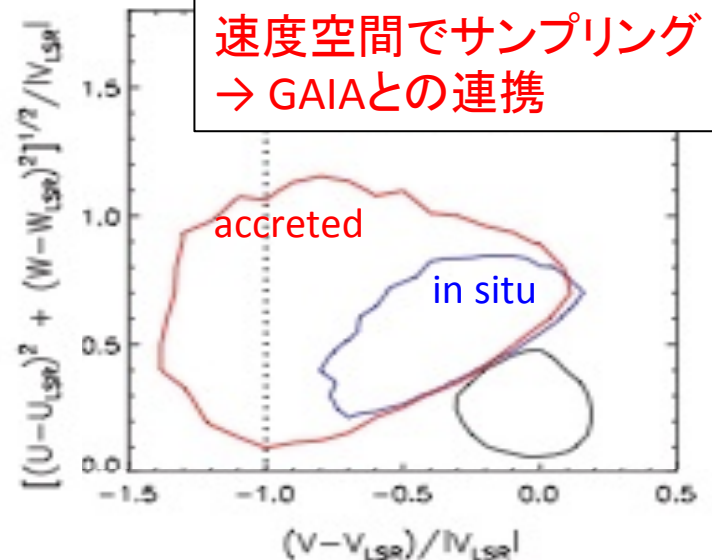


図はイメージです...

宇宙論シミュレーションの結果
Font+(2011), McCarthy+(2012)



速度空間でサンプリング
→ GAIAとの連携



PFSで得られるAMRを使って何をする？

テーマ①

銀河系恒星ハローの合体形成史

テーマ②

インナー＆アウターハローの形成過程

テーマ③

銀河系恒星円盤外縁部の構造進化

3. 銀河系恒星円盤外縁部の構造進化

まず第一に・・・

円盤外縁部は全くの未開拓領域

- ・ どこまで規則的な回転運動するdisk starsは広がっているのか？円盤の外端の性質を探る。
- ・ 各年齢・金属量の星の空間分布
 - 円盤外縁部は古い星が支配的か若い星が支配的か。
 - 高い金属量を持つ星はどれくらいいるか --> 円盤内のradial migrationの重要性

とりあえずPFSのデータを使って色々調べてみる価値がある

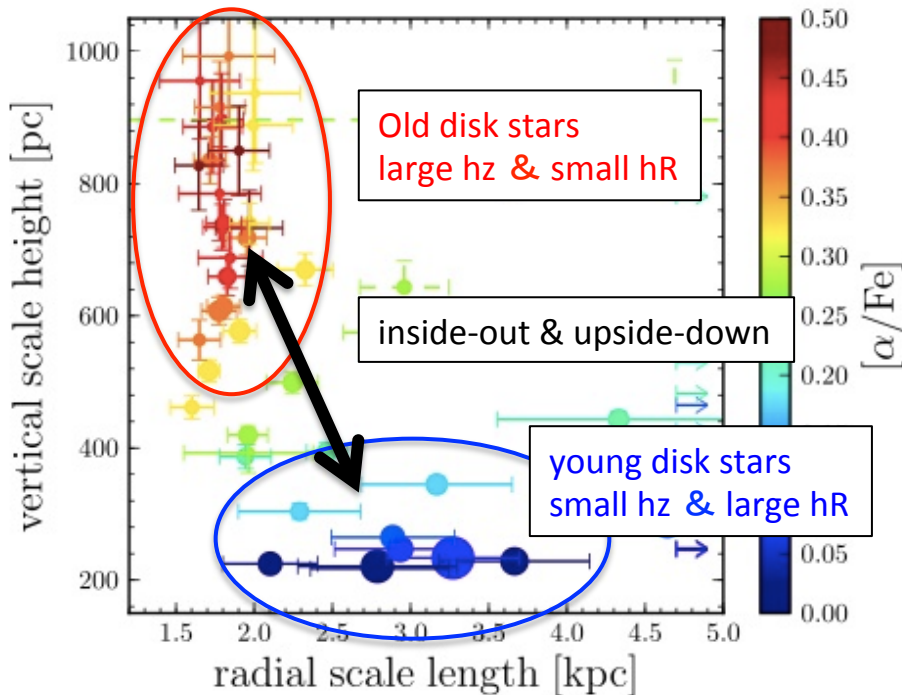
3. 銀河系恒星円盤外縁部の構造進化

銀河系円盤全体の進化について話題のトピックとからめると・・・

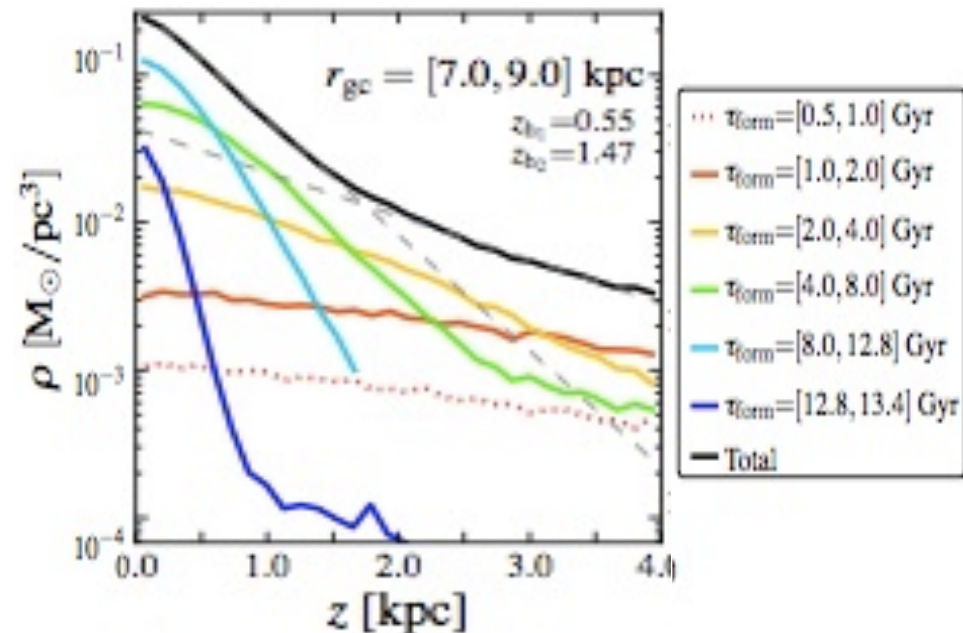
- Thin diskとThick diskの連続性 (SDSS/SEGUE 太陽近傍G型矮小星の解析からの示唆)

- ✓ 銀河系のThin diskとThick diskの明確な区別はない
- ✓ 銀河系円盤はR方向に“inside-out”、z方向に“upside-down”で連続的に進化
- ✓ Thick diskは単一世代でなく、色々な世代の重ね合わせ。

➤ 最近の宇宙論シミュレーションで形成されたThick diskの性質とも一致



SDSS/SEGUE disk starの解析 (Bovy et al. 2012)



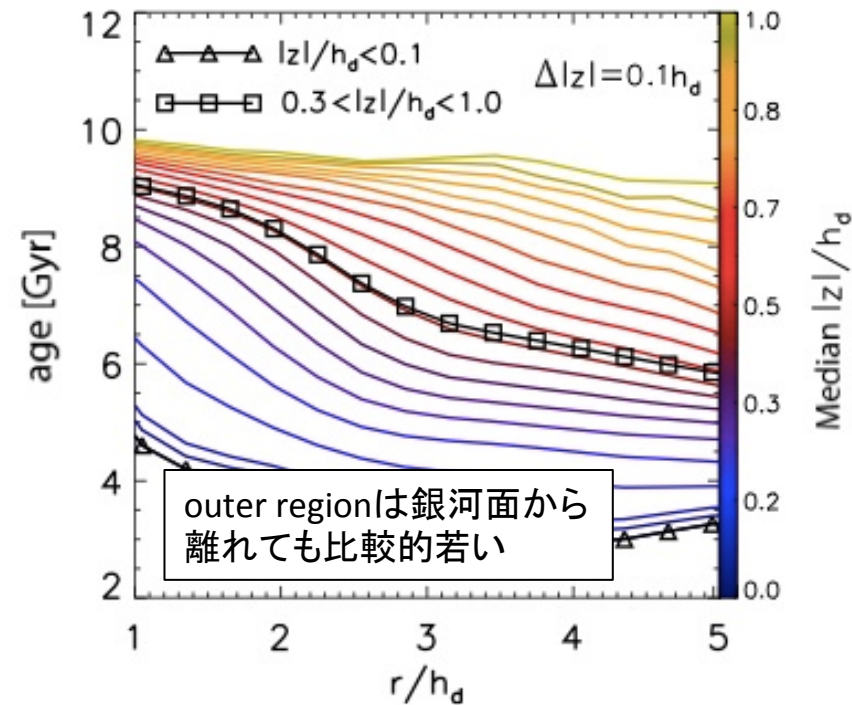
宇宙論シミュレーションで形成された円盤のz方向プロファイル (Bird et al. 2013)

3. 銀河系恒星円盤外縁部の構造進化

しかし、Bovy et al. の結果は世界中で反対意見多数...

- SDSS/SEGUEの結果は年齢は使わずサンプルも太陽近傍3kpc以内
 - ✓ 年齢と空間分布の関係をしっかり決めたい
 - ✓ もっと広い範囲でThick diskは色々な世代の重ね合わせでよいか？
- 最近の宇宙論シミュレーションの予測
 - ✓ どの半径でもやはりThick diskは色々な世代の重ね合わせ。
 - ✓ ただし円盤外縁部ではThick disk成分でもほとんど若い星からなる。

PFSなら円盤外側の広い範囲で星の年齢と空間分布を調べ、検証出来る



disk starの年齢の空間分布シミュレーション
予測(Minchev et al. 2015)

まとめと今後議論すべき点

- PFSでは太陽からおよそ40kpc離れたMSTO星の分光観測が可能(LRモード)
 - 恒星ハローや円盤外縁部を含む銀河系内の大部分でAMRを調べることが可能
- LAMOSTを参考にすると年齢の決定精度は30%程度。
 - MSTOの性質(T_{eff} , $\log g$)は金属量によって大きく変わるため注意は必要
 - サンプリングバイアスの補正はどうか？
- PFSで得られたAMRは、他のサーベイではAMRを調べることが出来ない領域(恒星ハロー、円盤外縁部)の形成過程の理解に役立つはず
 - サイエンスについてはもう少し議論が必要・・・