Elemental Abundances in M31: Gradients in the Giant Stellar Stream, Escala et al., 2021, AJ, 162, 45

GAゼミ 2021/07/19 森 林太郎

[Abstract]
GSSにおけるchemical abundanceの測定を行うことで，形成モデルの縮退を解き，GSSのprogenitorの特性を解明できる可能性がある．Keck/DEIMOS spectroscopyを用いてGSSに存在するRGB星の[Fe/H]と[α/Fe]を測定・分析し， 高い[α/Fe]とM31の中心半径から[Fe/H]に-0.018±0.003dex kpc-1，[α/Fe]に無視できるほど小さい勾配があることを発見した．またGSSにKCC(Kinematically Cold Component)を含めても統計的に一致し，SE shelfとabundanceが一致していることから，GSSの起源がmajor merger(M_*~$10^{10} M_\odot$)である可能性を支持する結果となった．

[Goal] GSSのabundanceを測定し，progenitorに観測的制限をかける． [Originality] outer halo(r_{proj}~$58kpc$)までの遠い距離まで測定を行った．

[Logic]
Data: Keck/DEIMOS spectroscopy, RGB星(N=203), 58kpcの3個は新しく測定(Fig.1)

$$\ln \mathcal{L} = -\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{\Delta_i^2}{\Sigma_i^2} - \ln(\Sigma_i)\right)$$
$$\Delta_i = y_i \cos\phi - x_i \sin\phi - b_\perp$$
$$\Sigma_i^2 = \frac{1}{p_{i,\mathrm{sub}}}\left(\delta y_i^2 \cos^2\phi + \delta x_i^2 \sin^2\phi\right)$$

勾配のモデル化
MCMC ensemble samplerを用いて左式の対数尤度によって定義される事後確率分布から抽出した
xi:位置，yi:abundance，Φ:$\tan^{-1} k$，$b_\perp$:$b\cos\phi$(k:傾き，b:切片)

17~33kpcと17~58kpcの比較 (Fig.2･3, Table.1)
・[Fe/H]の勾配はr_{proj}とalongで僅かに一致(1.6σ)
・[α/Fe]の勾配は平坦(=0)とどちらの場合でも一致(1σ以内) → 40kpcを越えてGSSが存在

GSSとGSS+KCCの比較 (Fig.2･3, Table.1)
・17~58kpcで勾配に有意な差はない，切片も僅かに一致(1~2σ)
・acrossの[Fe/H]勾配で正規化 → outer haloのより大きなサンプルが必要

GSSとSE shelfの比較 (Fig.4, Table.2) bootstrap resamplingによって計算
・chemical propertyはKCCの有無にかかわらず1σ以内で一致
(GSSとSE shelfが同じ分布から抽出されているという帰無仮説を1σの信頼区間内で有意水準10%以下を棄却できない)
・SE shelfの方がややmetal-rich α-enhancedであるが，明言するにはより大きなサンプルが必要 → GSSとSE shelfは同じ起源

シミュレーションとの比較 (Fig.5:$M_d = 7.3\times10^8 M_\odot$，[Fe/H]=-0.5，勾配Δ[Fe/H]=-0.5/1.1kpc(disk scale)のminor merger)
・GSSの形成はmajor･minorどちらも形態･運動を再現できる
・シミュレーションの多くはprogenitorに強い勾配があると予測
・Fig.5のモデルと比較すると，33kpc以内でもbiasを考慮してもmetal-rich，[Fe/H]phot(CMD-based)にに近い値を取る．
・58kpcまでを考えると観測された勾配の方がはるかに急である．
・勾配に関わらず[α/Fe]=0.4という値はprogenitor，形成シナリオに制約を与えられる．

[Comment]
・GSSがなぜこれまで高い[α/Fe]を持っているのか(progenitorが星形成を効率的に行っていた？)
・ M31のdiskの乱れからprogenitorの質量を制限できないのか

Fig.2

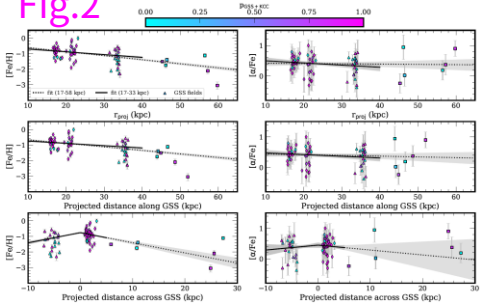


Fig.3

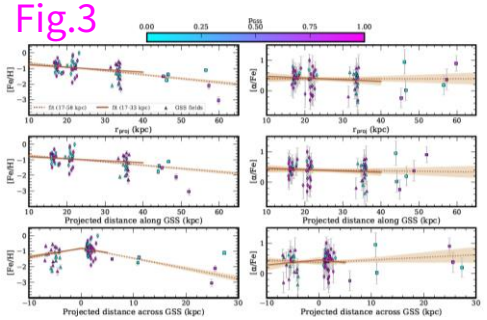


Table. 1

	r_{proj} (kpc)	m (kpc)	$\lvert n\rvert$ (kpc)	r_{proj} (kpc)	m (kpc)	$\lvert n\rvert$ (kpc)
	Slopes			Intercepts		
	GSS+KCC			GSS+KCC		
[Fe/H]	-0.018 ± 0.003	-0.015 ± 0.003	-0.065 ± 0.012	-0.52 ± 0.08	-0.59 ± 0.06	-0.76 ± 0.04
$[Fe/H]_{bias}$	-0.026 ± 0.003	-0.021 ± 0.003	-0.081 ± 0.012	-0.25 ± 0.08	-0.36 ± 0.06	-0.61 ± 0.04
[α/Fe]	-0.007 ± 0.007	-0.006 ± 0.006	-0.016 ± 0.024	$+0.57 \pm 0.17$	$+0.54 \pm 0.14$	$+0.45 \pm 0.08$
	GSS			GSS		
[Fe/H]	-0.016 ± 0.004	-0.013 ± 0.003	-0.053 ± 0.013	-0.61 ± 0.09	-0.68 ± 0.07	-0.83 ± 0.04
$[Fe/H]_{bias}$	-0.022 ± 0.003	-0.018 ± 0.003	-0.071 ± 0.012	-0.36 ± 0.08	-0.46 ± 0.07	-0.67 ± 0.04
[α/Fe]	-0.006 ± 0.007	-0.005 ± 0.006	-0.016 ± 0.026	$+0.52 \pm 0.14$	$+0.51 \pm 0.16$	$+0.44 \pm 0.10$

[Fe/H]bias:
・[Fe/H]の高いTiO星
・S/N比の制限によって測定できないmetal-poor星を含む場合

Table. 2

Comp.	⟨[Fe/H]⟩	σ([Fe/H])	⟨[α/Fe]⟩	σ([α/Fe])
GSS+KCC	-0.96 ± 0.06	0.44 ± 0.05	0.40 ± 0.05	0.31 ± 0.03
GSS	-1.03 ± 0.07	0.47 ± 0.05	0.39 ± 0.06	0.34 ± 0.04
SE Shelf	$-0.89^{+0.07}_{-0.08}$	$0.47^{+0.04}_{-0.05}$	$0.45^{+0.04}_{-0.05}$	0.29 ± 0.05

Fig.4

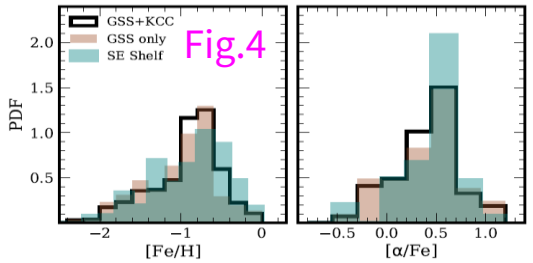


Fig.5

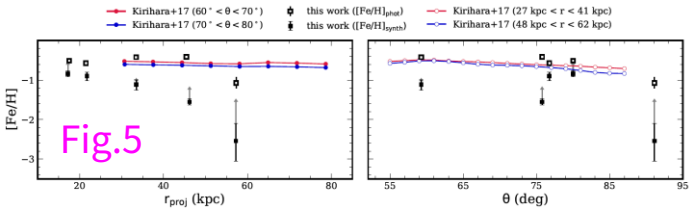
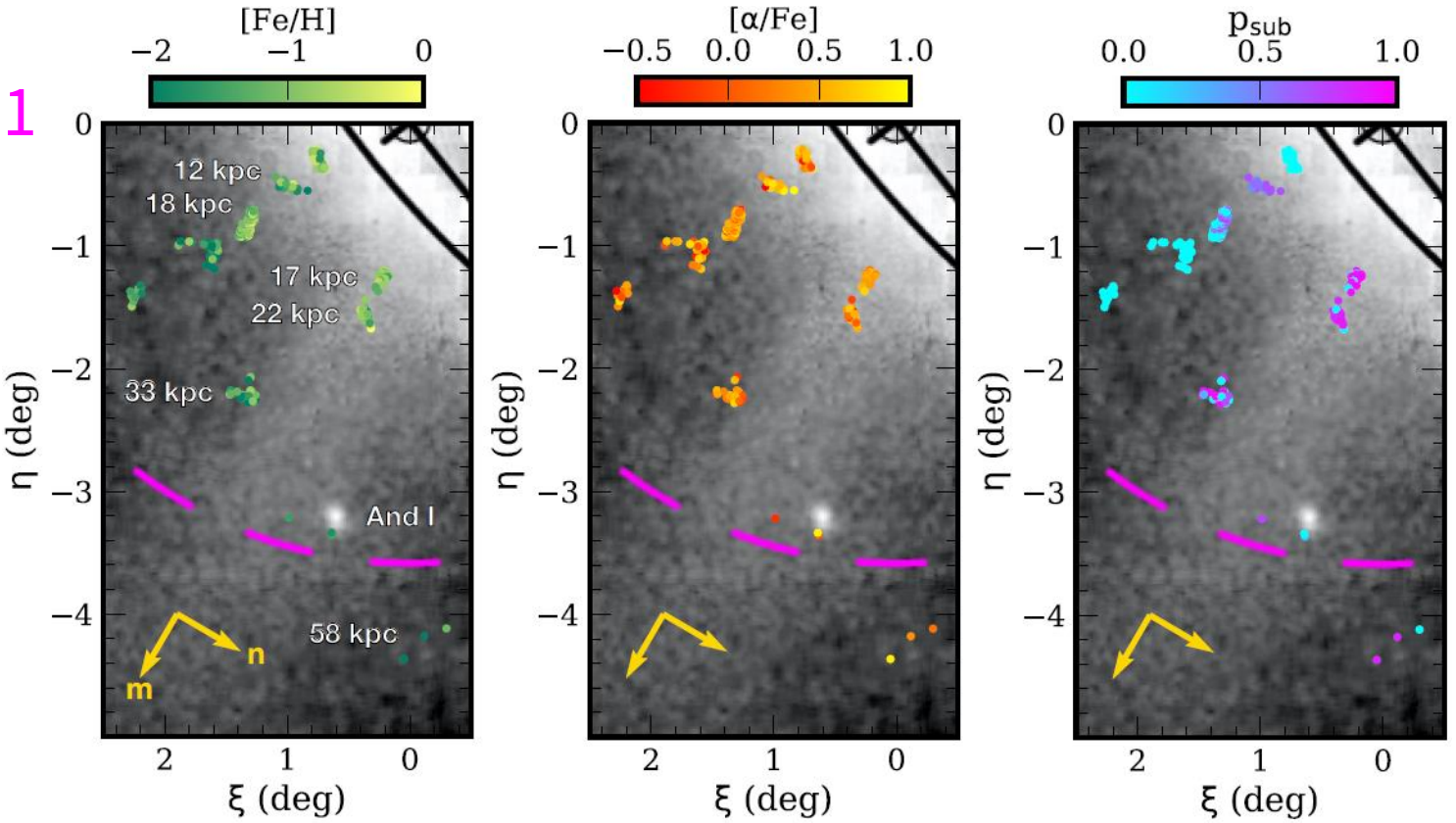


Fig.1



今回用いたデータの測定結果　58kpcの位置の3個は今回新しく測定したRGB星

左：[Fe/H]，中央:[α/Fe]，右:p_{sub}(substructureに属している確率，視線速度から導出)

m, n: GSS-aligned coordinate