

# Tomo-e Gozen と Nayuta による 明るい金属欠乏星探査 II

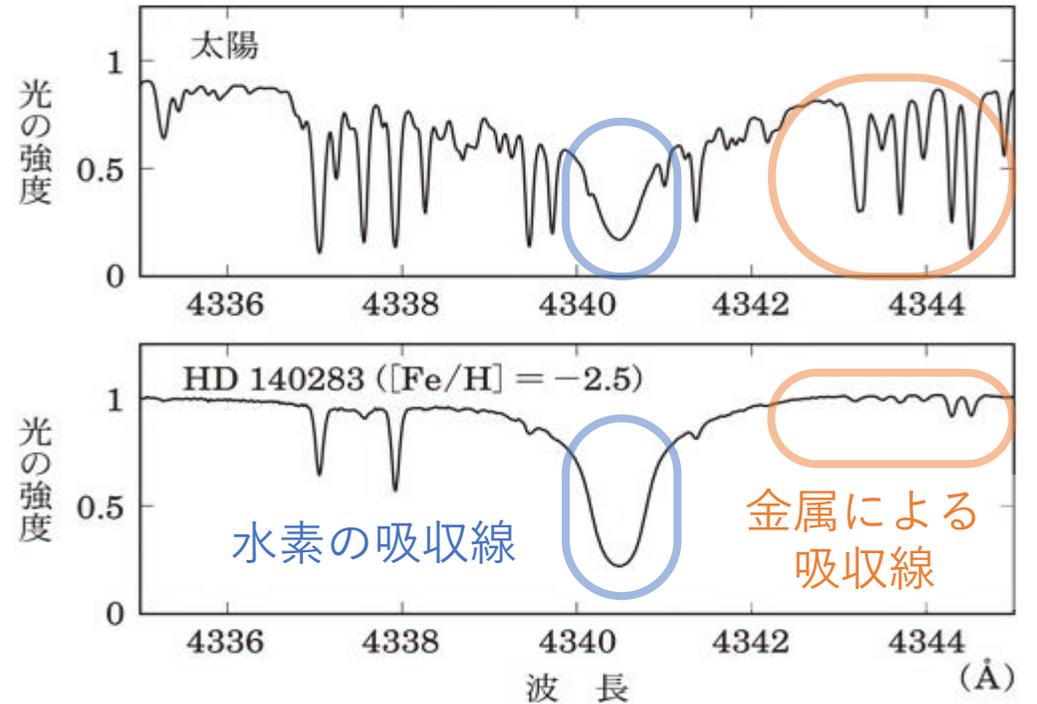
岡田 寛子（兵庫県立大学）

富永望、青木和光（NAOJ）、本田敏志、古塚来未（兵庫県立大学）、松野允郁（Universität Heidelberg）、諸隈智貴（千葉工業大学）、須田拓馬（東京工科大学）、石垣美歩（NAOJ）、高橋英則、酒向重行（東京大学）、金子慶子、岩下光、神澤富雄、福嶋美津広、三ツ井健司、福田武夫（NAOJ）、前田啓一（京都大学）、佐藤文衛（東京工業大学）、大宮正士（ABC）、田實晃人、泉浦秀行（NAOJ）

# 金属欠乏星

- 太陽と比べて重元素（金属）の含有量が少ない恒星
- 宇宙初期時代に誕生し、現在も大気中に形成当時の化学情報を保持している
- 恒星の元素組成  
...元素 Y に対する元素 X の個数比を  
太陽組成で規格化して常用対数で表した値

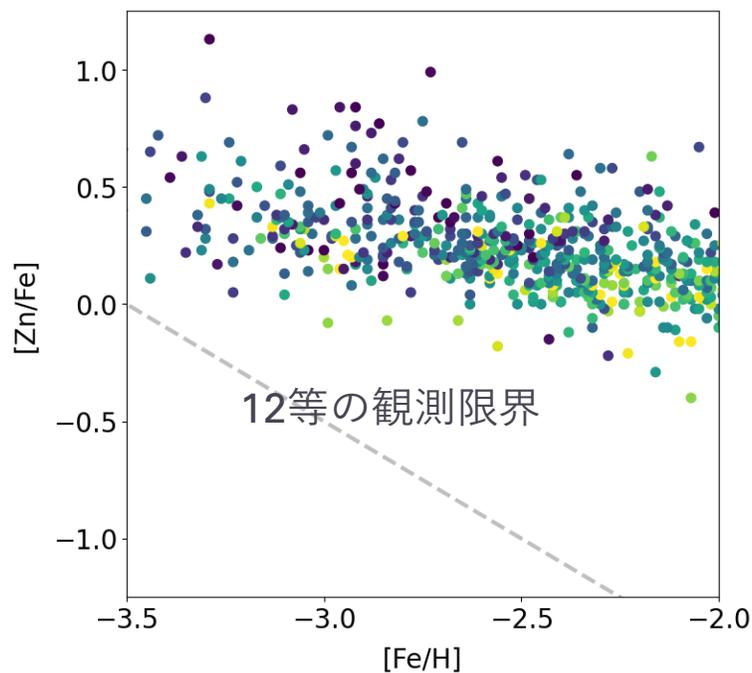
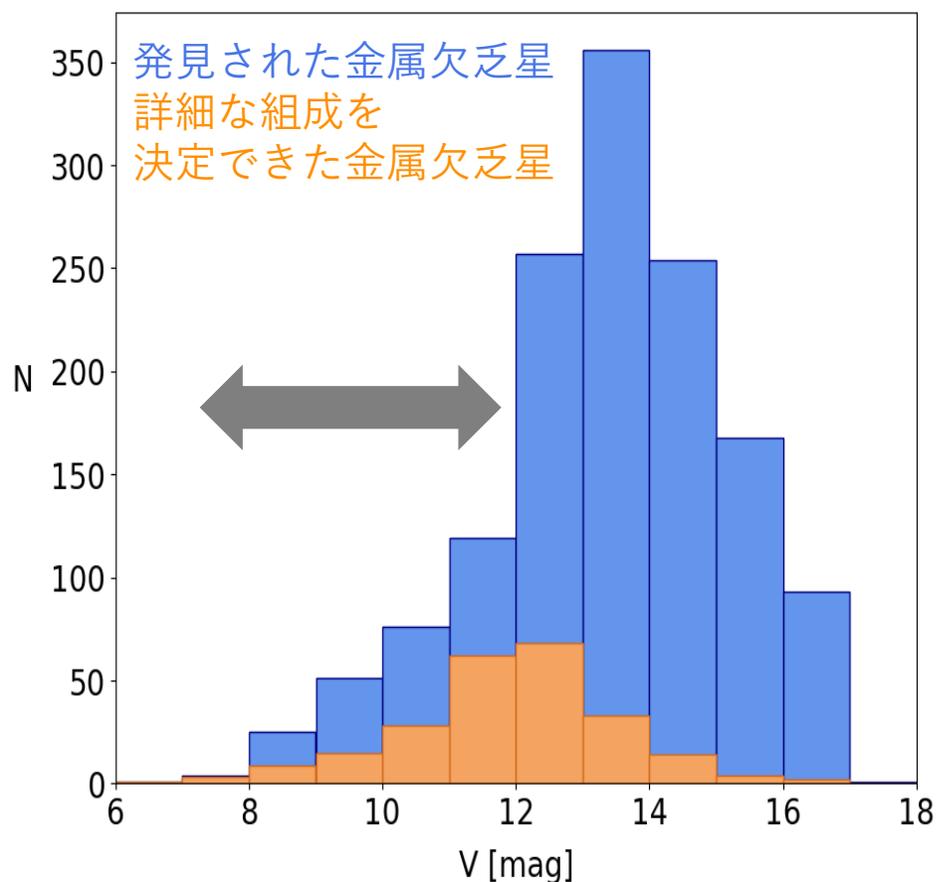
$$[X/Y] = \log \frac{(n_X/n_Y)_{\text{star}}}{(n_X/n_Y)_{\text{sun}}}$$



宇宙初期に誕生した金属欠乏星の詳細な化学組成を観測的に明らかにすることは、初代星の性質や元素合成、宇宙初期の元素の起源を理解する上で重要。

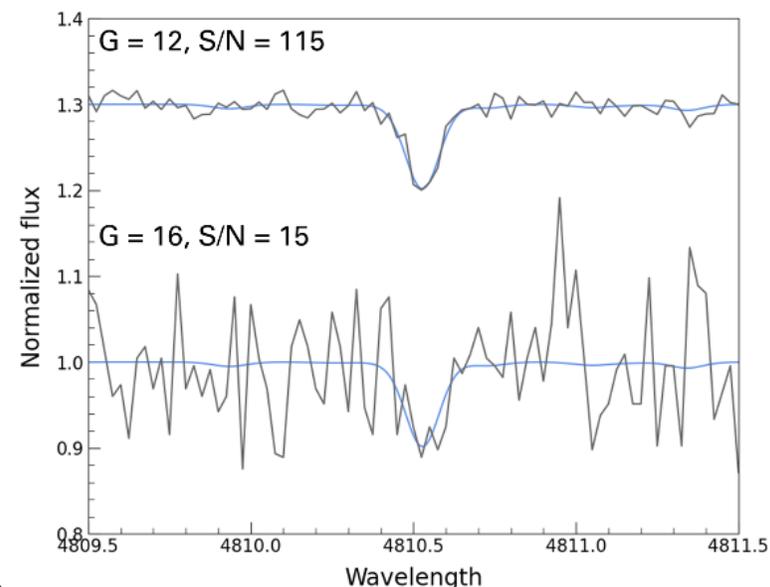
# 金属欠乏星の探査・分光観測の現状

金属欠乏星の化学組成を決定するためには、高波長分解能・高 S/N の分光観測が可能な明るい星 ( $V < \sim 12$ ) が必要。



金属欠乏星のZn組成  
(超新星の爆発エネルギーの指標)

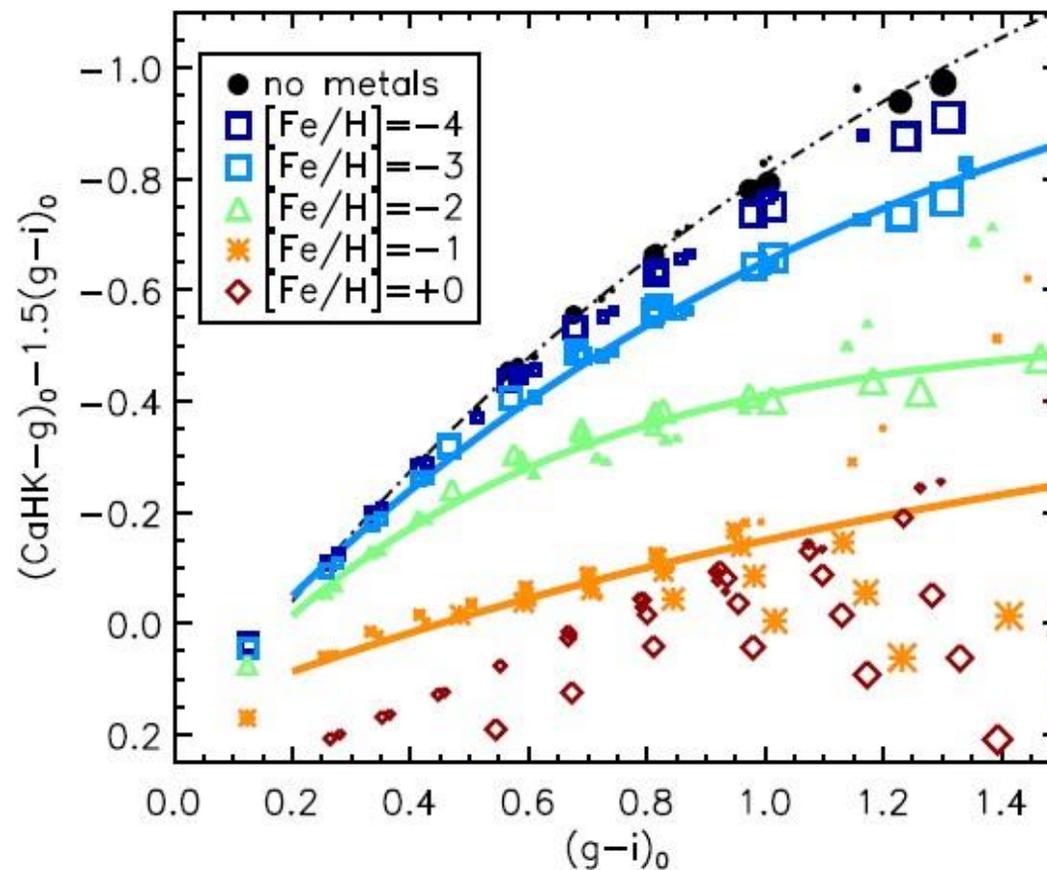
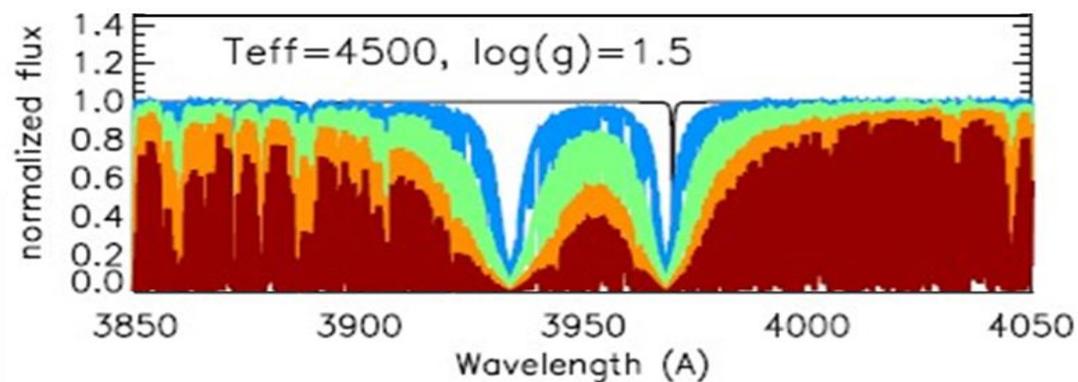
SAGA database (Suda et al. 2017)



G = 12, 16 等、 $[\text{Fe}/\text{H}] = -2.5$  の金属欠乏星を30分観測した場合の Zn の吸収線 (Subaru/HDS ETCより計算)

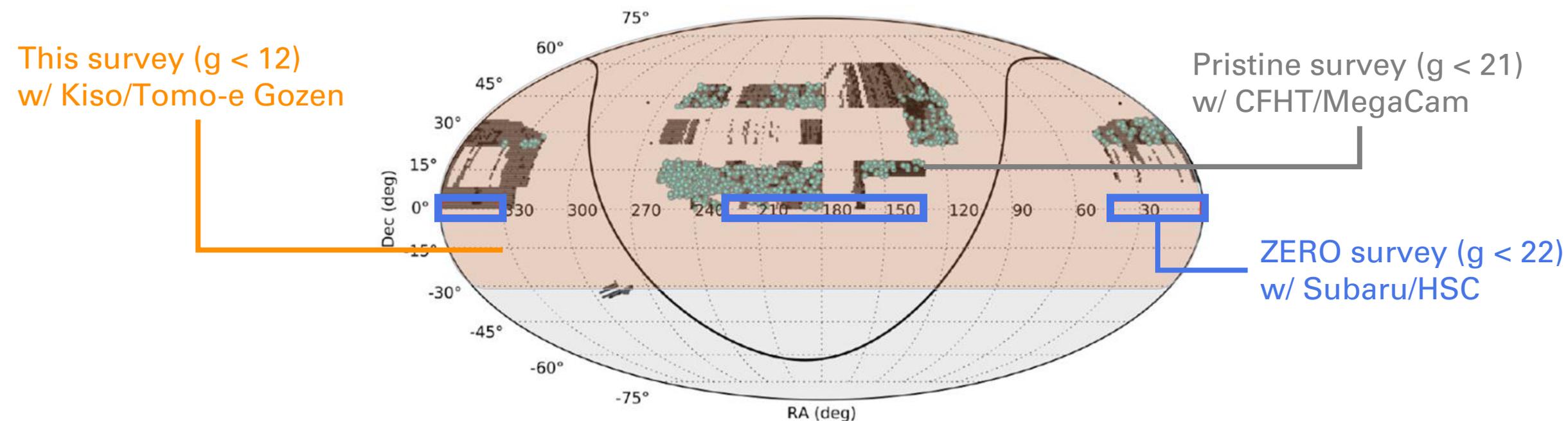
# 狭帯域フィルタを用いた金属欠乏星探査

明るい星を探査するには広いサーベイが必要  
恒星の金属量に感度のある CaHK をカバーする狭帯域フィルタを用いた  
広視野測光観測



# 明るい金属欠乏星の北天全域探査

- 詳細な化学組成測定が可能な12等より明るい金属欠乏星を網羅する探査



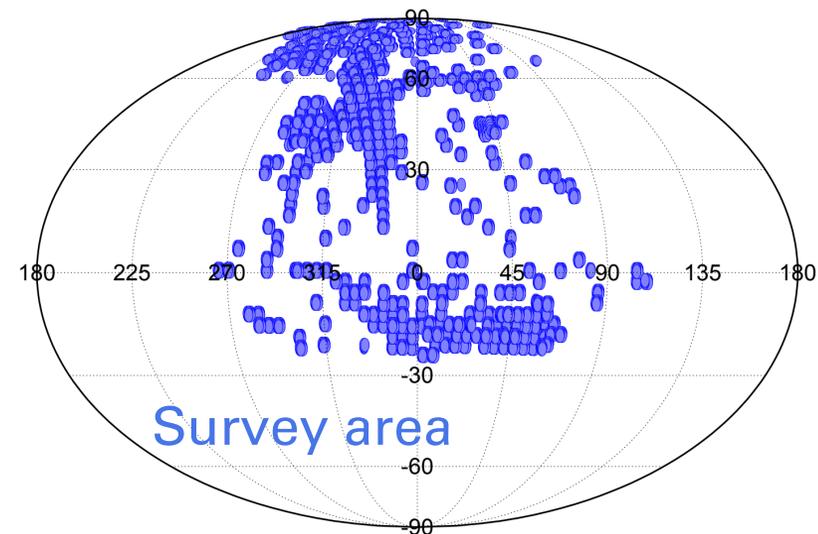
# 狭帯域フィルタを用いた金属欠乏星探査

## ■ 1.05mシュミット望遠鏡／Tomo-e Gozen

特注フィルタ（NB395, NB433）を搭載

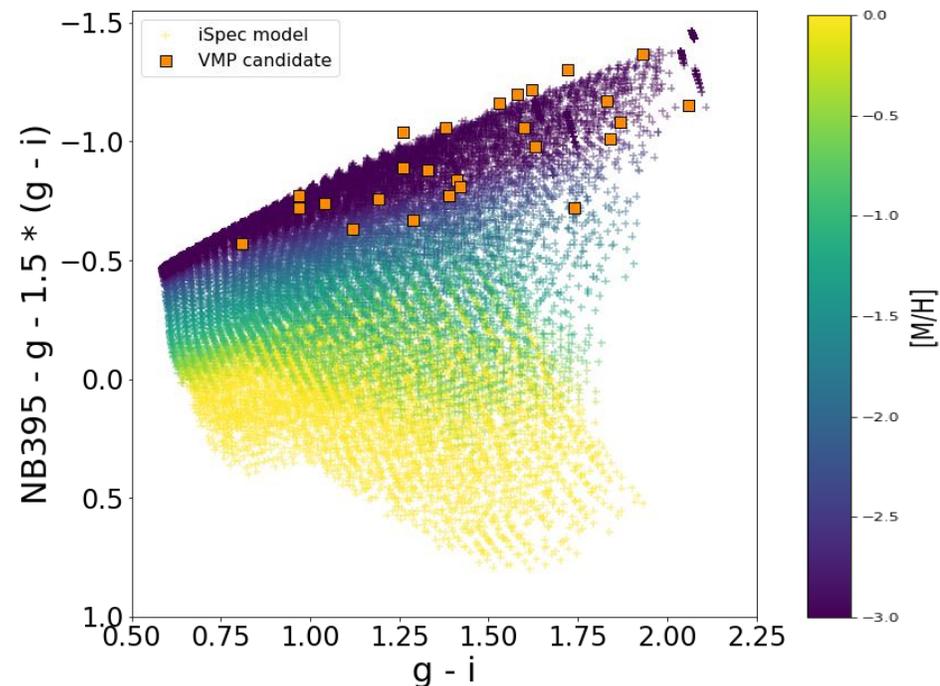
→ 2022年9月に試験観測を実施

- 探査領域：約 5300 平方度
- 観測天体数 ( $V < 12$ )：約 50 万天体



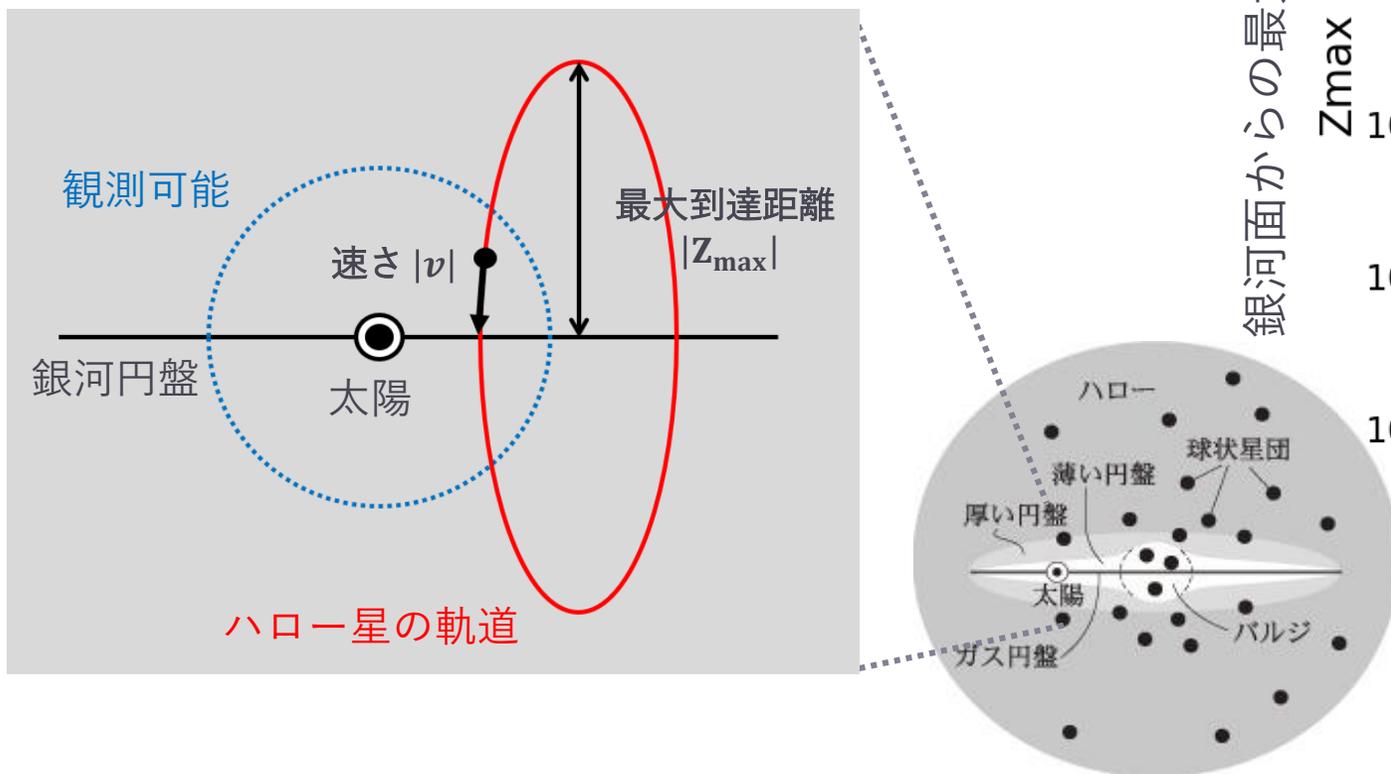
NB395 の測光情報から  
[Fe/H] < -2 の金属欠乏星候補を選択

Gaia XP/RV スペクトルから選択された  
金属欠乏星候補のカタログ (Matsuno et al. 2022;  
Andrae et al. 2023; Martin et al. 2023) と組み合わせて  
優先度を決定

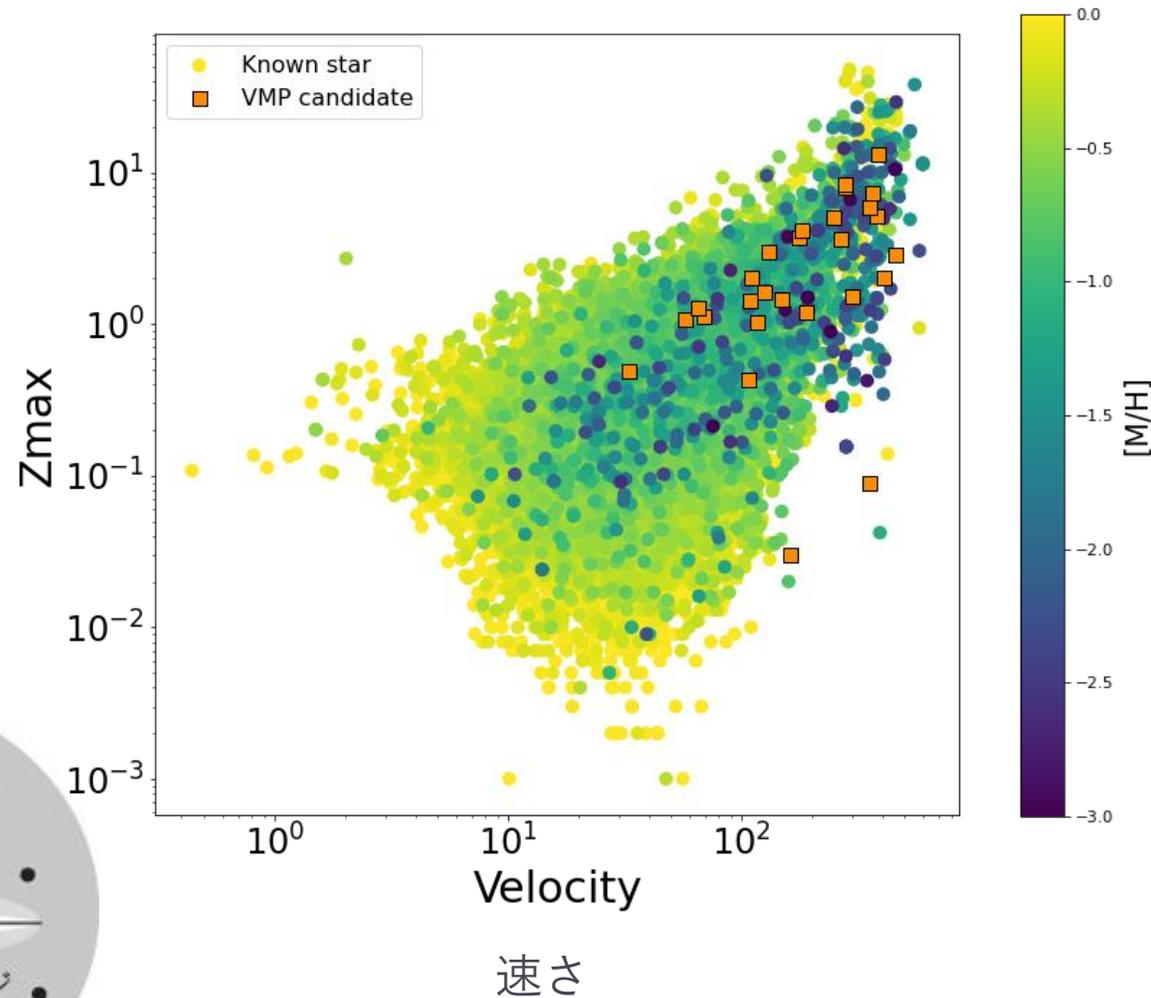


# + Gaiaの運動情報を用いた候補選択

ハローに属する星は古い星が多く、  
広がった分布をしている  
→ Gaiaの情報を用いて優先度を決定



銀河面からの最大到達距離

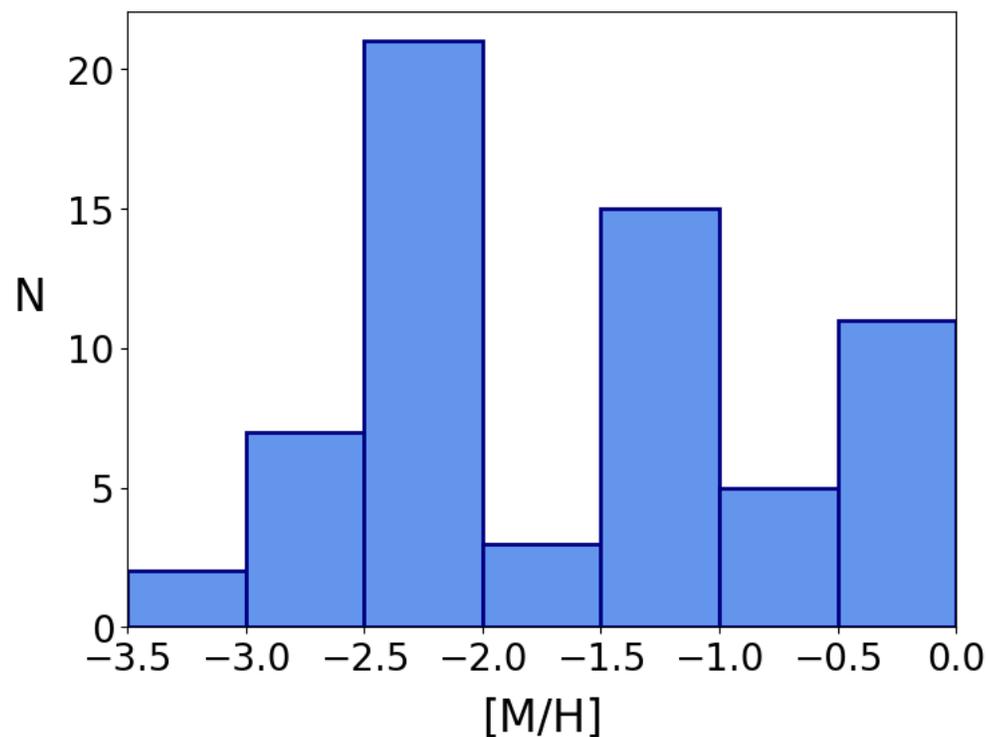


# 中分散分光による金属量測定

## ■ なゆた 2 m 望遠鏡 / 低中分散分光器 MALLS

- 波長分解能  $R = 7500$
- 観測波長域：4900 – 5300 Å

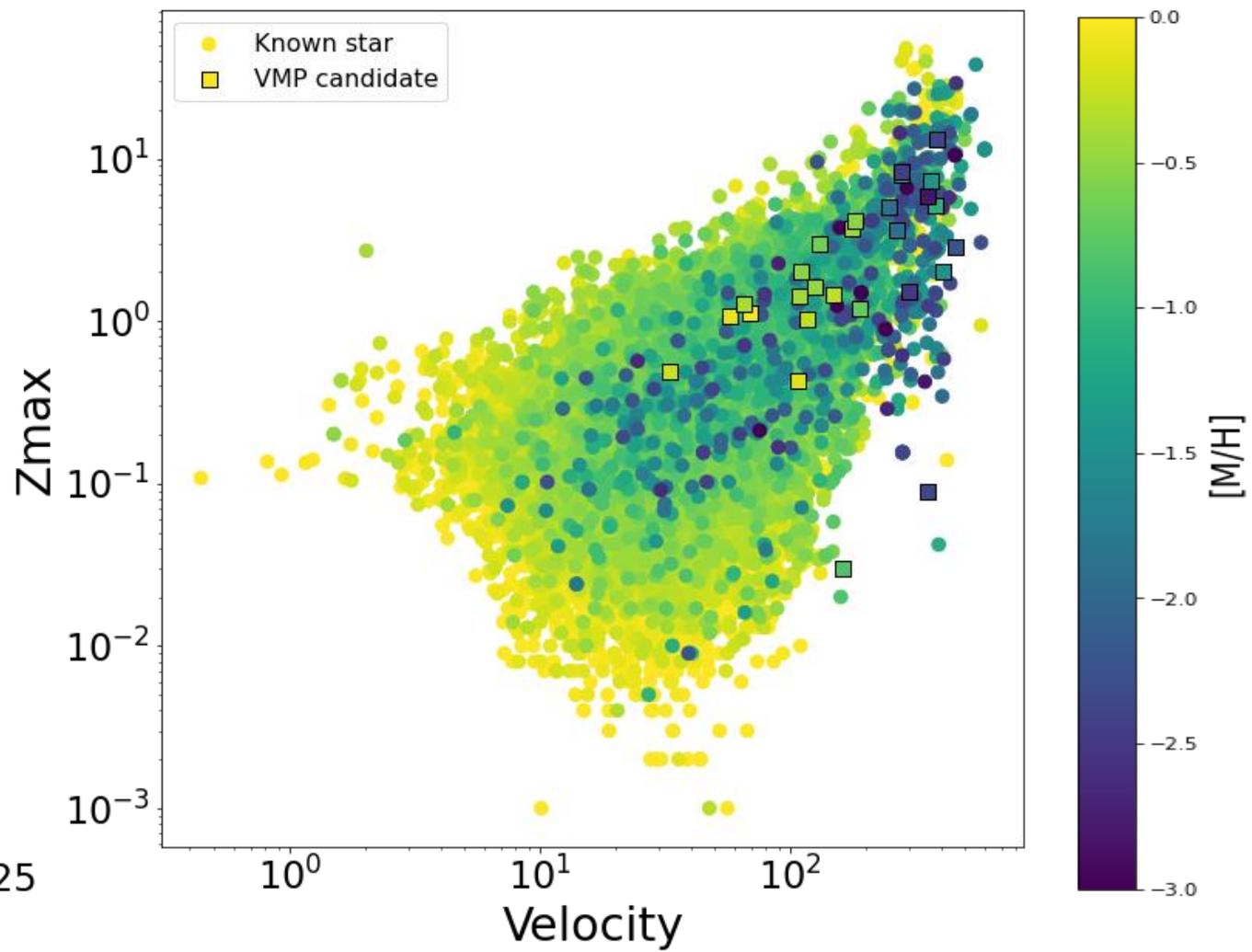
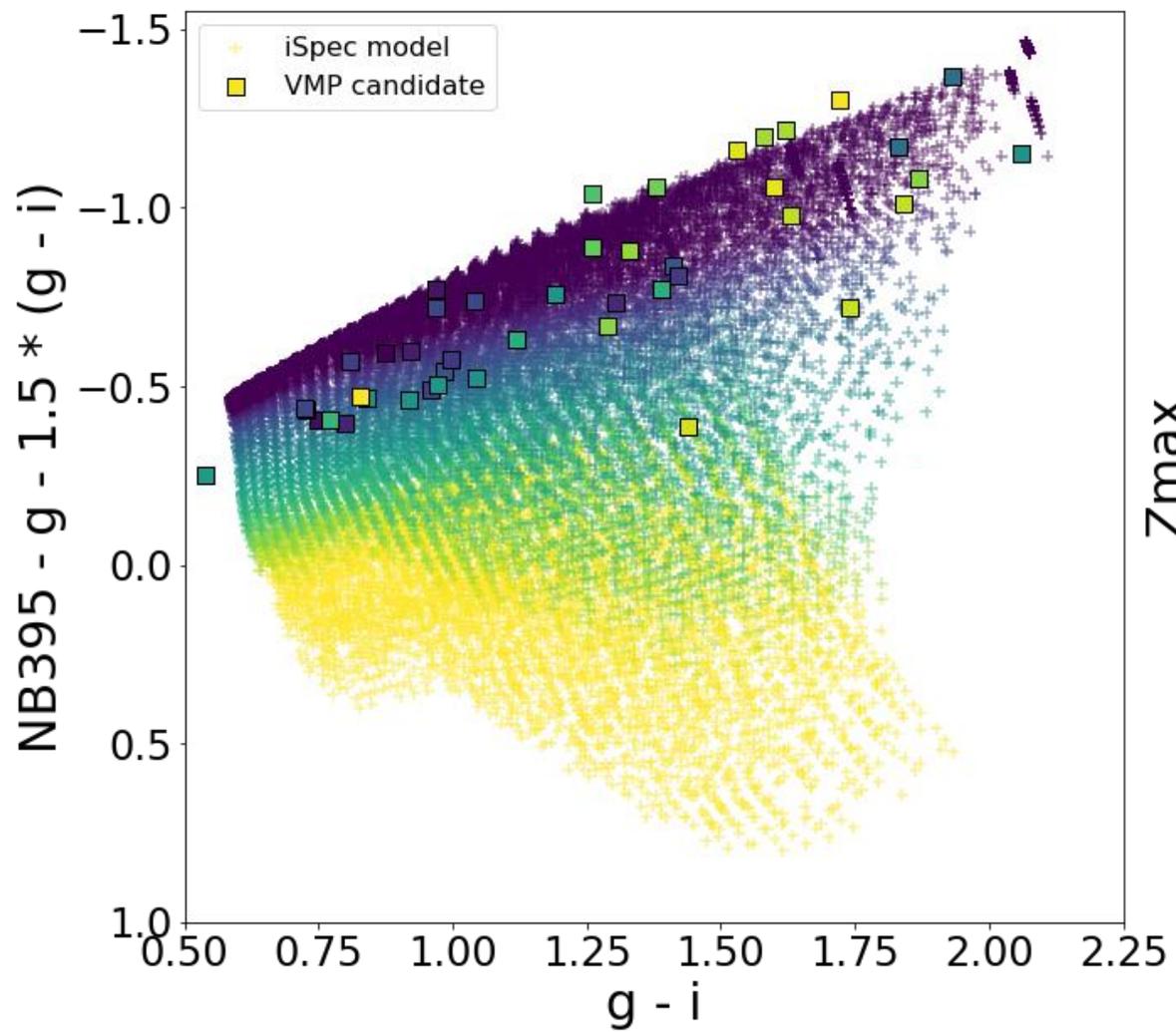
➔ 2022年冬（共利4夜）2023年度（~20夜）にフォローアップ観測を実施



65天体の解析し、金属量 [M/H] とアルファ元素組成 [ $\alpha$ /Fe]を見積もった結果、

- 新たに金属欠乏星 30 天体を同定
- Purity ~ 46 % (前回 22%)  
特注フィルタと Gaia の情報を用いたことにより、選択精度が大幅に改善した

# 選択の結果

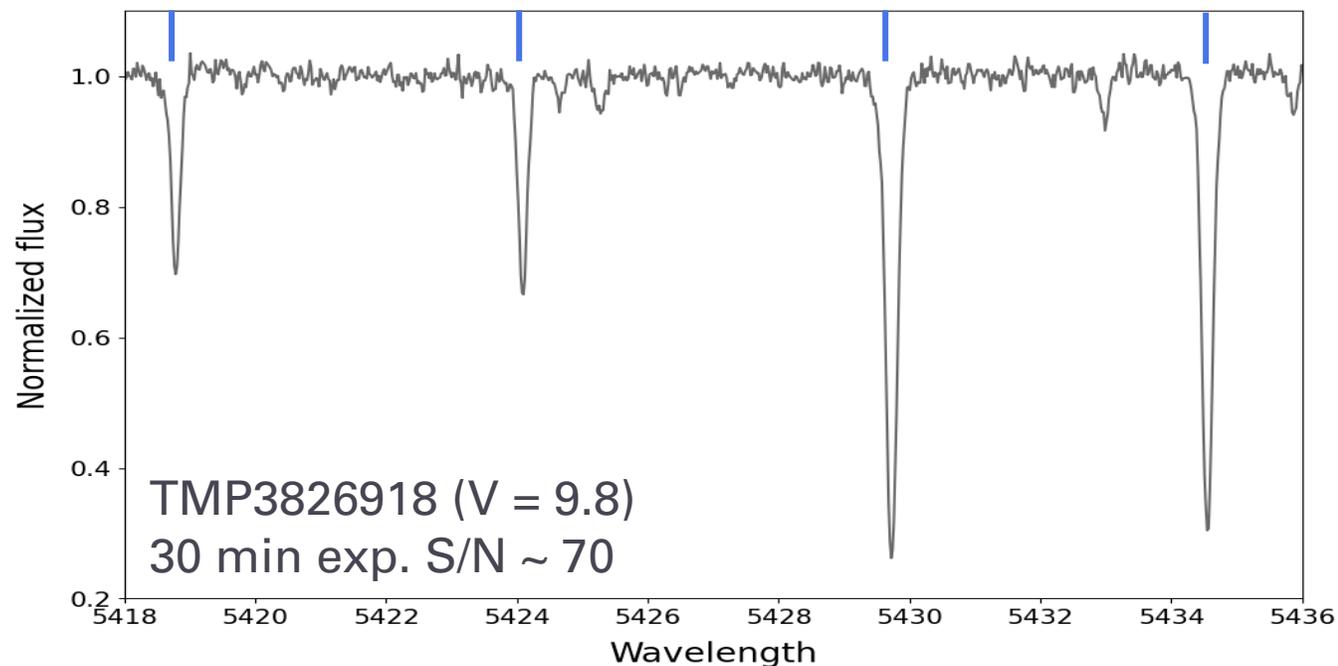


# 同定した金属欠乏星の高分散分光観測

## ■ せいめい 3.8 m 望遠鏡 / 高分散分光器 GAOES-RV

- 波長分解能  $R = 65000$
- 観測波長域：5160 – 5930 Å

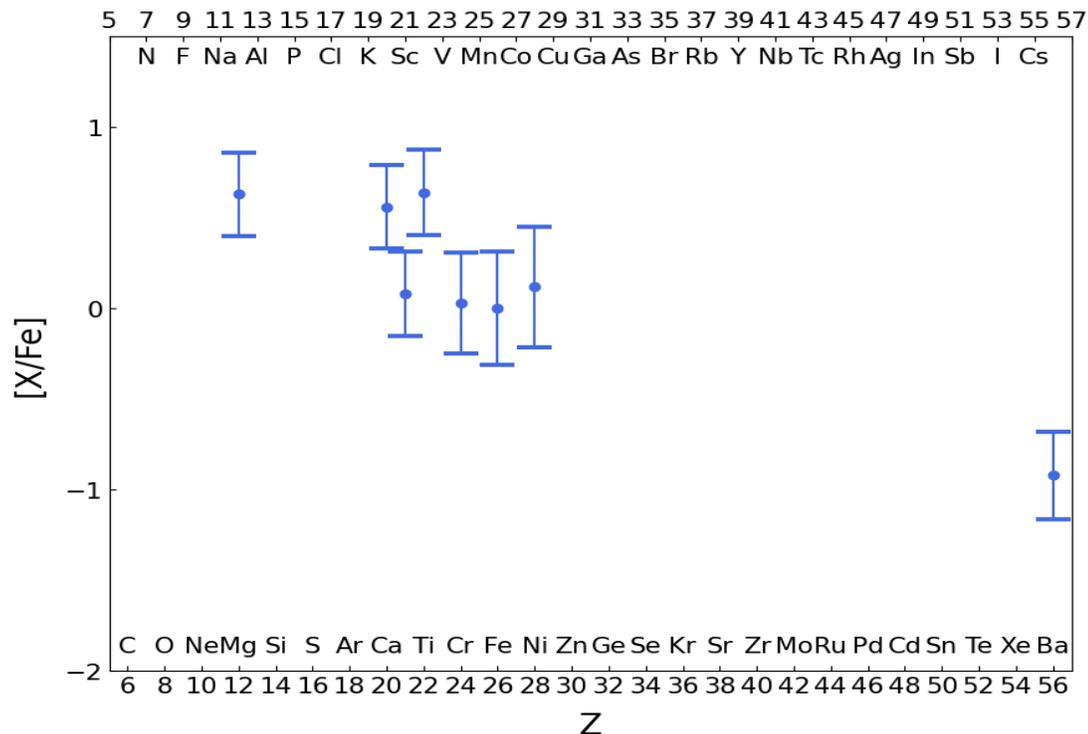
➔ 2023年10月（1.5 + 1.5夜）、2024年5月（1.5 + 6夜）観測を実施



# 高分散スペクトルの組成解析

## 恒星大気パラメータ

- 有効温度  $T_{\text{eff}}$  : 測光値 (V - Ks)
- 表面重力  $\log g$  : Gaiaの距離
- 化学組成 : 等価幅の測定 (w/ iSpec)
  - ➔ Mg, Ca, Sc, Ti, Cr, Fe, Ni, Ba の組成を測定



TMP3826918 (MRS:  $[M/H] = -2.48$ ,  $[\alpha/Fe] = +0.5$ )

- $[Fe/H] = -2.58 \pm 0.19$
- $[Mg/Fe] = 0.63 \pm 0.23$

中分散分光の見積もりが正しいことを確認

他 20+ 天体については現在解析中

# まとめ

- 金属欠乏星の化学組成は、宇宙初期の化学進化を理解する上で重要である
- 詳細な化学組成の測定が可能な明るい ( $V < 12$ ) 金属欠乏星の探査観測を実施
  - ✓ Kiso/Tomo-e Gozen の 4 分の 1 に特注フィルタを搭載した試験観測
    - ➔ CaHK の測光情報 (+ Gaia spectra) から  $[\text{Fe}/\text{H}] < -2$  の金属欠乏星候補を選択
  - ✓ Nayuta/MALLS による追観測
    - ➔ 候補星の金属量を測定し、新たに 30 天体の金属欠乏星を同定
  - ✓ Seimei/GAOES-RV による高分散分光観測
    - ➔  $[\text{Fe}/\text{H}] \sim -2.6$  の金属欠乏星の 8 元素を測定

## 今後の展望

- 2024年5月末 4種類のフィルタで探査観測を行う予定
- 候補天体の追加、Nayuta/MALLS による追観測を実施する