

狭帯域測光探査によって発見された 金属欠乏星候補の分光追観測

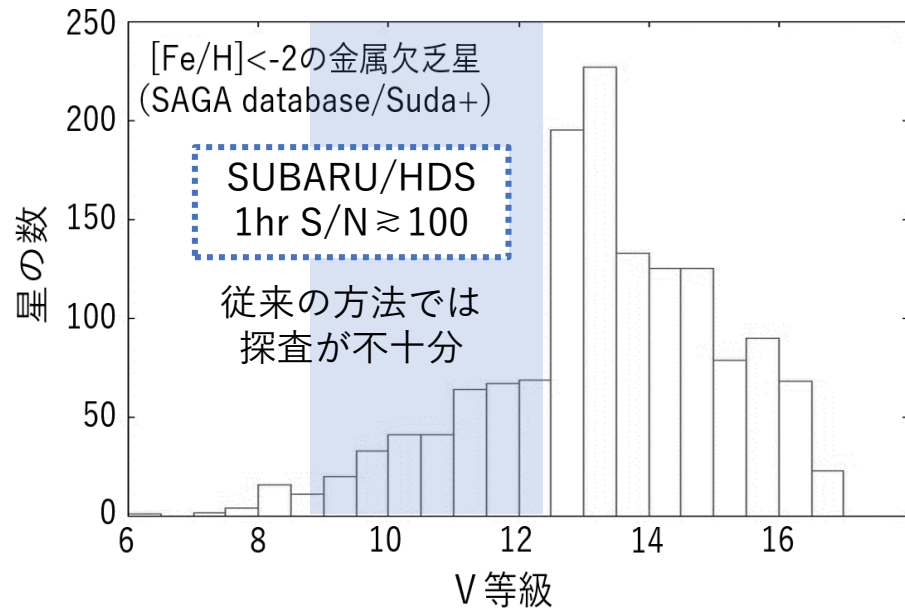
岡田 寛子（甲南大学）

富永 望（国立天文台）、諸隈 智貴（千葉工業大学）

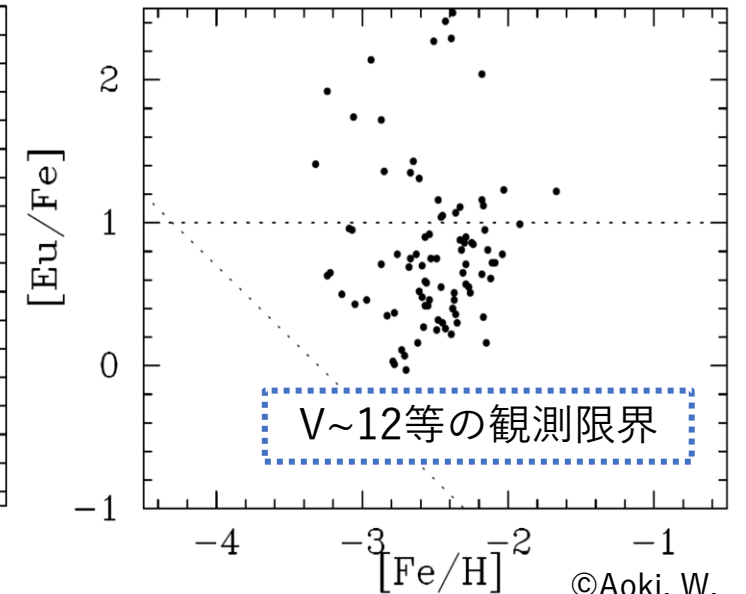
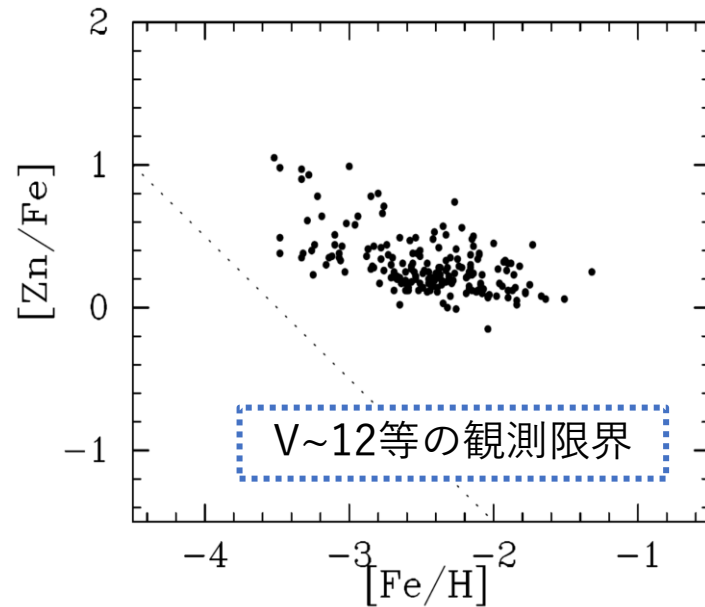
本田 敏志、古塚 来未（兵庫県立大学）

金属欠乏星探査の課題

- これまでの探査は銀河系外の天体の探査と同時に行われていたことから発見された金属欠乏星は暗い天体が多く、多数の元素を高い精度で測定するのは困難であった



発見された金属欠乏星の等級分布



©Aoki, W.

金属欠乏星の鉄組成 $[\text{Fe}/\text{H}]$ と亜鉛組成 $[\text{Zn}/\text{Fe}]$ 、ユーロピウム組成 $[\text{Eu}/\text{Fe}]$

- 明るい金属欠乏星を見つけるには広い領域を網羅的に探査する必要があり、観測領域内の全天体を一気に調べる必要がある

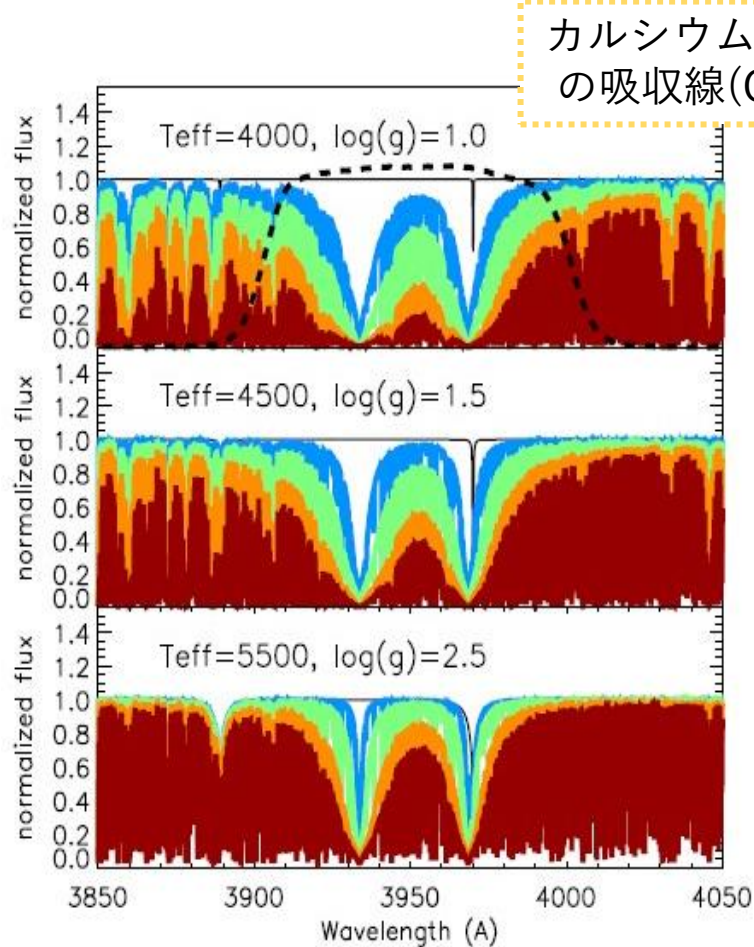
狭帯域フィルタを用いた金属欠乏星探査

狭帯域フィルタを用いた測光観測

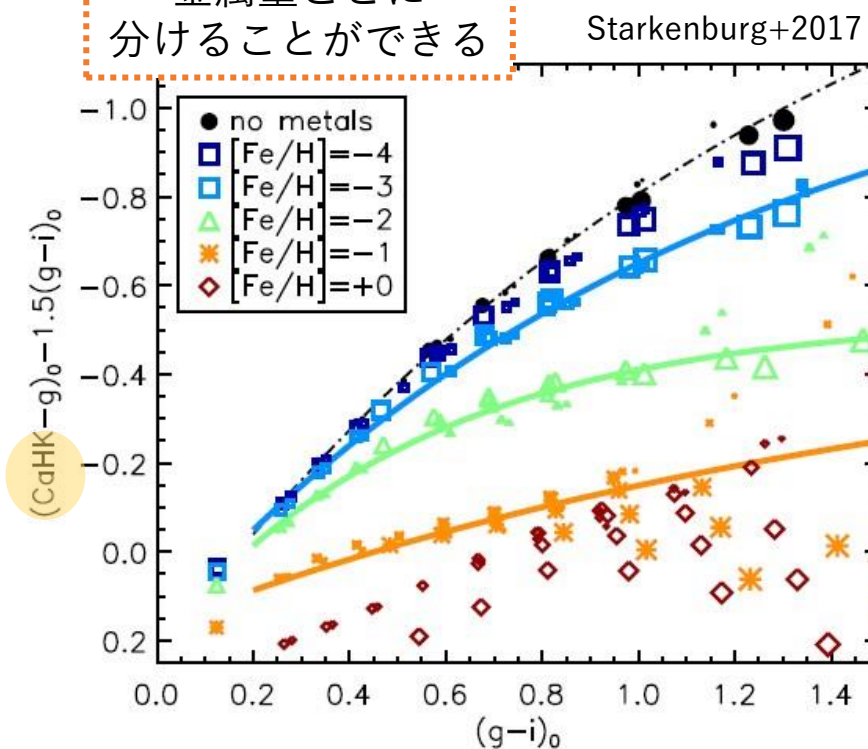


©SkyMapper

SkyMapper survey
Pristine survey



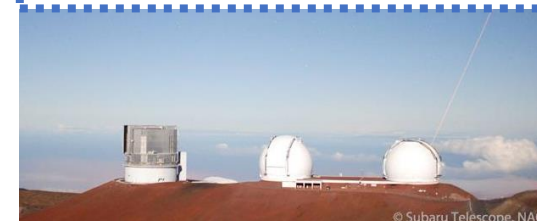
金属量ごとに
分けることができる



金属量ごとのCaHK強度の計算結果(左)と2色図(右)

2-4m級望遠鏡による
中分散分光観測で
金属量を見積もる

8-10m級望遠鏡による
高分散分光観測

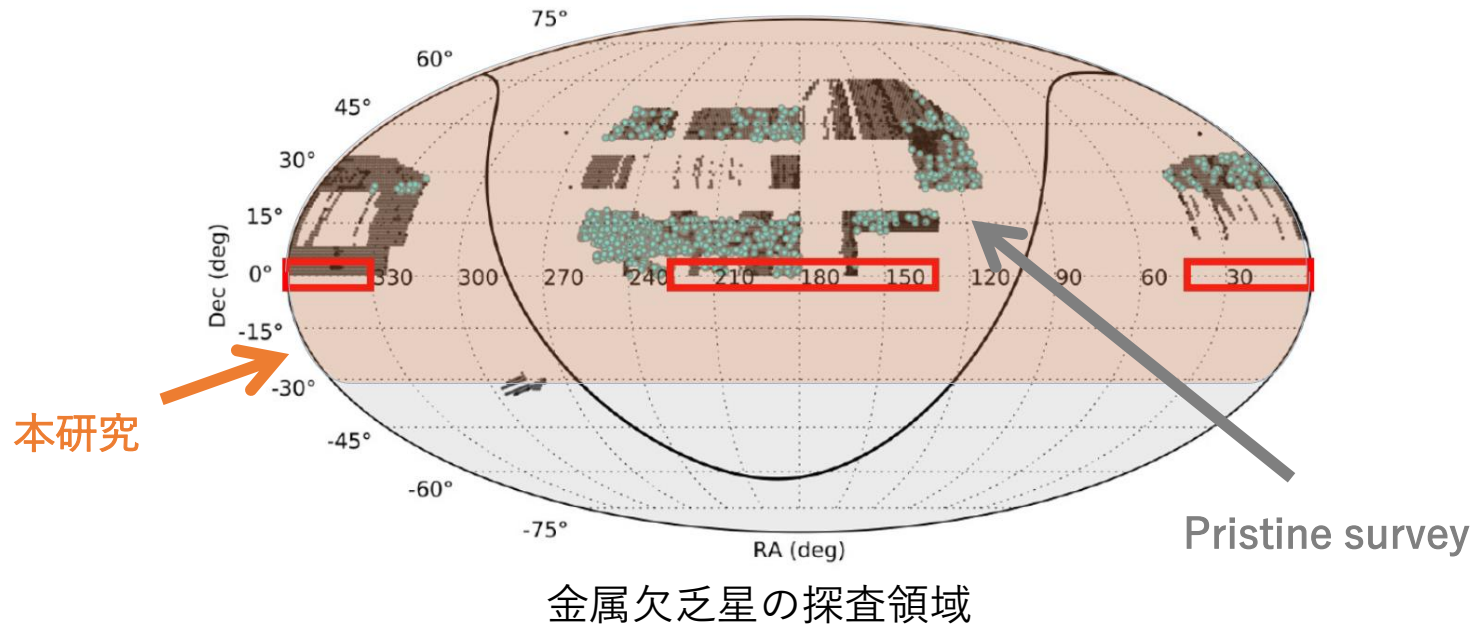


© Subaru Telescope, NAOJ

©国立天文台ハワイ観測所

研究目的

- 希少な元素の測定が可能である明るい金属欠乏星を用いて、宇宙初期の化学進化を解明する
- 北天全域(~30000平方度)の明るい金属欠乏星を対象とした探査観測を計画した

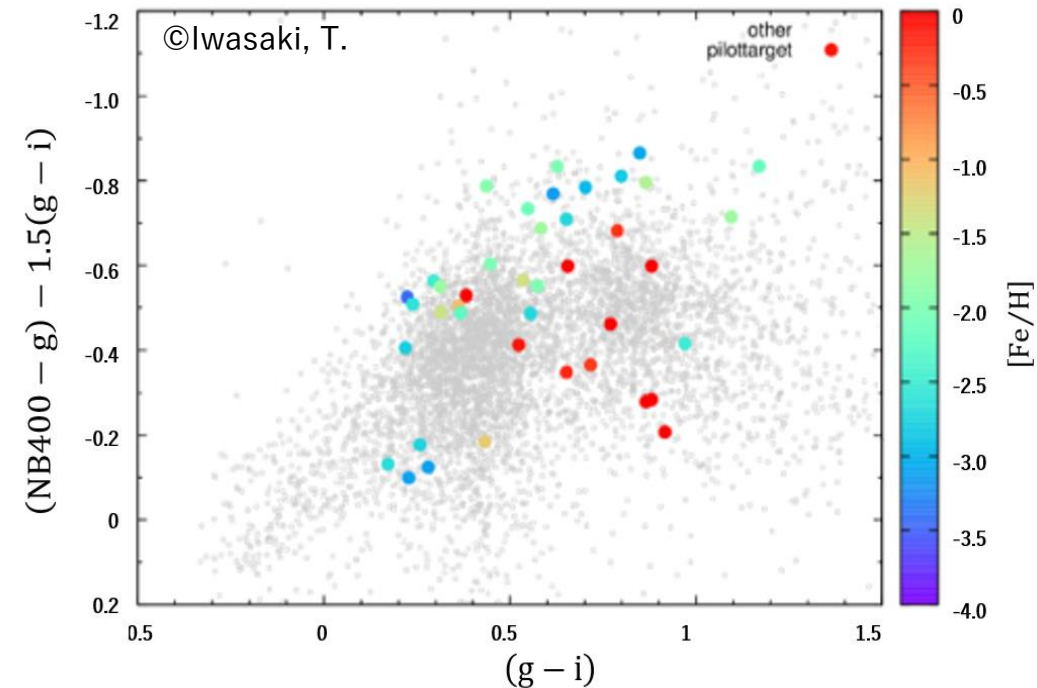
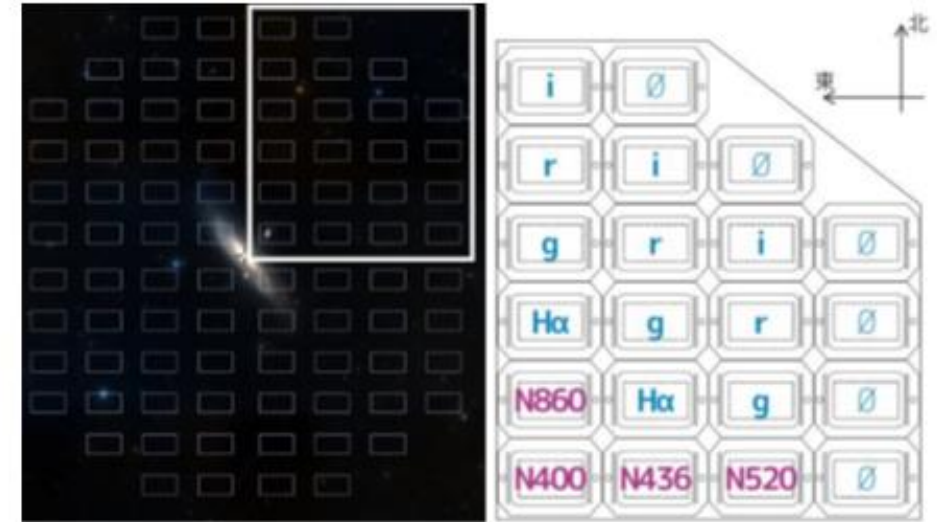


- 本研究では金属欠乏星探査の一連の研究手法を確立するため、
 - 狭帯域測光の試験観測
 - 機械学習による金属欠乏星候補の選択
 - 中分散分光による金属量の見積もり

観測：Tomo-e Gozenの狭帯域測光

● 木曾シュミット望遠鏡 / Tomo-e Gozen (Sako+2018)

- 84枚の広視野CMOSカメラ
- 2019年3月, 8月, 2020年8月, 2021年8月、
4種類の狭帯域フィルタを搭載した試験観測を実施
- 狭帯域フィルタの種類
 - NB400 : CaHK
 - NB436 : CH
 - NB520 : Mgb
 - NB860 : CaI triplet
- 観測領域：4NB…31平方度
1NB…46平方度
- $V < 12\text{mag}$ の星：4NB…1100天体
1NB…20000天体



Tomo-e Gozenの観測で得られた恒星の2色図

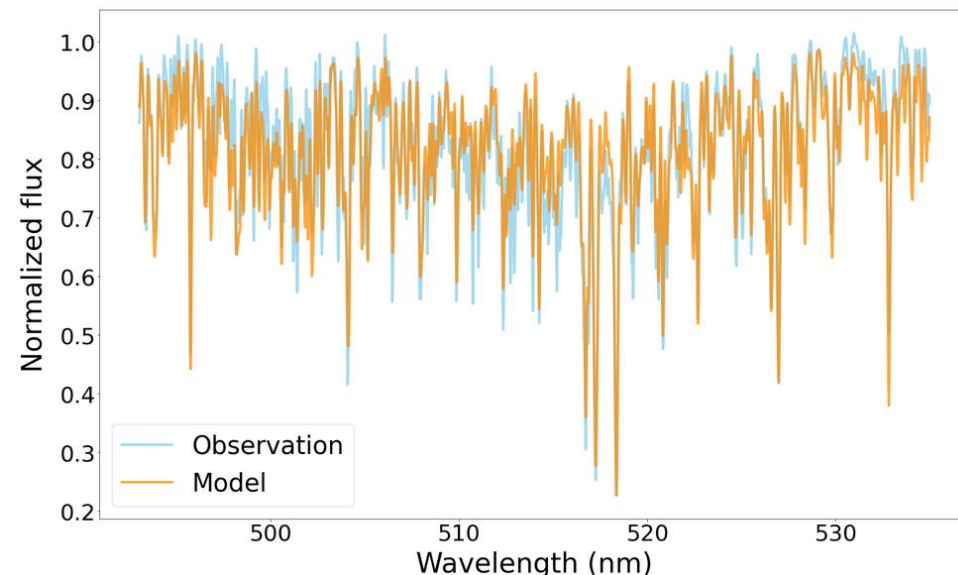
観測：MALLSによる中分散分光

● なゆた望遠鏡 / MALLS (Ozaki&Tokimasa 2005)

- 可視光中低分散分光器による中分散分光観測
- 波長分解能：7500
- 観測波長域：4900-5300 Å
- 観測対象：機械学習によって選択された $V < 12 \text{ mag}$, $[M/H] < -2$ の金属欠乏星候補

● 解析

- 大気パラメータの決定
 - 有効温度・表面重力…測光値と天体までの距離から推計
 - 微視的乱流速度…経験則
- 金属量 $[M/H]$ と α 元素組成 $[\alpha/Fe]$ の決定
大気パラメータを用いて計算したモデルスペクトルとMALLSで取得した観測スペクトルの比較によって決定



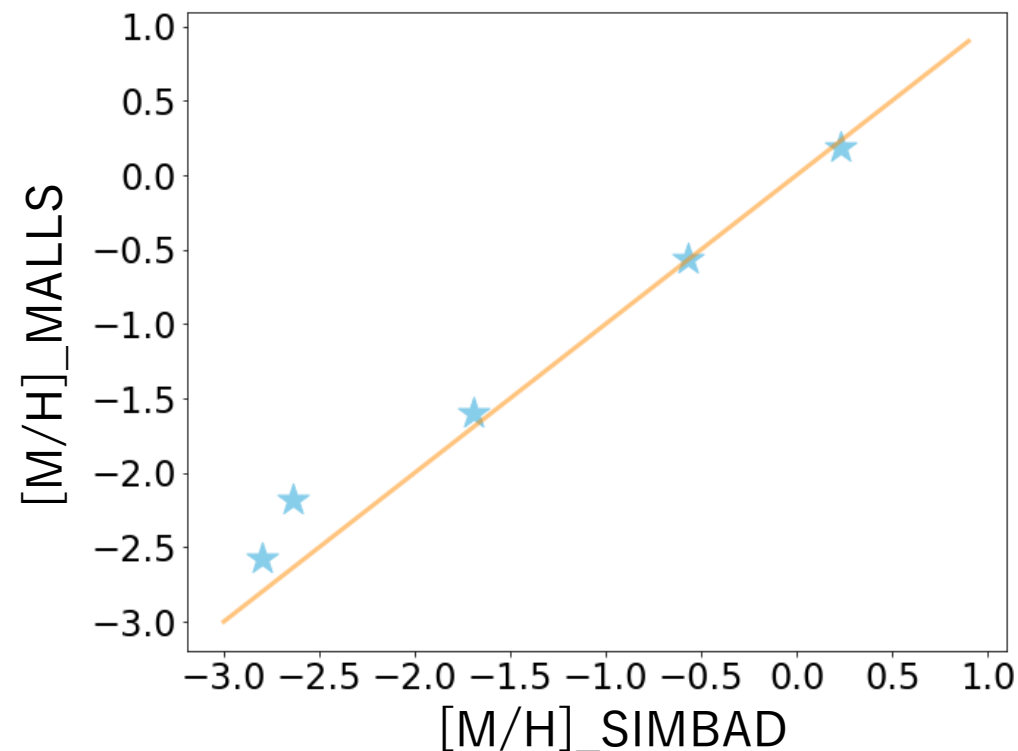
MALLSで取得した観測スペクトルと
モデルスペクトル

結果 1 : 中分散分光による金属量の見積もり

- MALLS (R~7500)を用いて恒星の金属量を見積もることができるかを調べるために、金属量が既知である星について観測・解析を行った

観測天体の金属量

天体名	高分散分光で取得された金属量	今回の結果
Mu Leo	0.23	0.19
Alp Boo	-0.57	-0.56
HD64090	-1.69	-1.60
HD122563	-2.64	-2.18
HD88609	-2.80	-2.58



- $[M/H] < -2$ では過大評価してしまっているが、 $[M/H] > -2$ ではよく一致している
- スペクトル全体をフィットすることで、R~7500でも金属量を見積もれる

結果 2 : 金属欠乏星候補の金属量

- 2020年2月
 - 測光較正 : 線形補間
 - 学習データ : Tomo-eで観測した金属量既知~50天体
- 2020年9月
 - 測光較正 : 線形補間
 - 機械学習手法の拡充
 - 学習データ : 星のモデル16万個
- 2020年12月
 - 測光較正 : 線形補間
 - 学習データ : Tomo-eで観測した金属量既知~6000天体
- 2021年9月
 - 測光較正 : 線形補間
 - UV, uバンドのデータを追加
 - 学習データ : Tomo-eで観測した金属量既知~6000天体
- 2021年12月
 - CCDに起因するノイズで解析苦戦中…

今後の観測計画

● Tomo-e Gozenの観測

- 2022年秋- Tomo-e Gozenの4分の1 (21チップ)を用いた試験観測を実施する予定
- 測光較正の改善
 - 色補正項、大気吸収補正の導入
 - Gaiaのスペクトルエネルギー分布(SED)を用いる
- モデルスペクトルを用いた機械学習による候補選択の実現
- 2023年- 北天全域を観測予定

● MALLSの観測

- 2022年9月27-30日に実施予定
 - Tomo-e Gozen 21チップの試験観測が間に合えば、そのデータも含めて候補選択
 - 測定エラーを見積もるため、金属量既知の天体も観測する予定
- 2022年後期の観測も提案予定

まとめ

- 金属欠乏星は宇宙初期の化学組成の情報を知るための重要な手掛かりである。
- 高精度かつ多数の元素の測定が可能な明るい金属欠乏星の探査手法を確立するため、
 - MALLSを用いて恒星の金属量を見積もることができるか検証した
モデルスペクトルとのフィッティングにより、中分散分光で金属量を見積もることができた
 - Tomo-e Gozenの試験観測データから選択した金属欠乏星候補について、
MALLSによる追観測を行い金属量を測定した
4天体を $[\text{Fe}/\text{H}] \sim -2$ 、そのうち2天体を特異な α 組成であると同定した
-> 2021年12月の観測データの解析方法を検討する（アイデア募集中）
-> 特異な α 組成を示す金属欠乏星については高分散分光の観測を提案する
 - 機械学習手法や用いるデータの拡充、測光較正などにより候補選択の手法を改善してきたが、金属欠乏星候補の選択手法はまだ確立されていない
-> 測光較正に色補正項、大気吸収補正、GaiaのSEDを導入することで、
モデルスペクトルを用いた機械学習による高精度の候補選択を実現する