

超精密分光観測による天文学

佐藤文衛 (東京科学大学)

共同研究者（順不同）

- A. Tajitsu, H. Izumiura, W. Aoki, A. Arai, Y. Moritani, J. Nishikawa, E. Kambe, Y. Minowa, Y. Ono, Y. Takagi (NAOJ)
- M. Omiya, T. Hirano, T. Kotani, T. Takarada (ABC)
- H. Harakawa (NMNS)
- N. Ebizuka (RIKEN)
- S. Honda (Hyogo U.)
- H. Inaba, S. Okubo (AIST)
- H. Kawahara, S. Miyazaki (JAXA)
- K. Masuda (Osaka U.)
- T. Misawa (Shinshu U.)
- M. Otsuka (Kyoto U.)
- T. Suda (TUT)
- M. Takada-Hidai (Tokai U.)
- M. Yamashita (Shimane U.)
- H. Hotta (Nagoya U.)
- R. Ishikawa (NIFS)

研究目的

超高波長分解能 ($R > 30$ 万)、超広波長域 (紫外～近赤外)、超高精度 (視線速度測定精度 < 10 cm/s)、超高時間分解能 ($< \sim 10$ 秒) を兼ね備えた高分散分光器を実現し、主に以下の天文学研究を展開する。

A) 宇宙における惑星の多様性とその起源・進化

太陽近傍の様々な恒星を周回する地球型惑星以上の惑星分布を明らかにする。また、惑星大気の特徴 (化学組成、分子空間分布、運動等) を明らかにする。

B) 宇宙における元素の起源・進化

恒星、新星、星間物質、銀河周辺・銀河間物質等の元素・同位体組成を明らかにし、宇宙における元素合成プロセスと宇宙の化学進化史に強い制限を与える。

C) 宇宙の基本構成要素としての恒星に対する理解の深化

恒星の様々な時間尺度の変動現象の特性をスペクトル線輪郭を通して明らかにし、恒星大気の動的な描像を確立する。

実施する研究

岡山188cm鏡・せいめい望遠鏡用の新型分光器の開発と、すばるHDSのアップグレード（可視ナスミス焦点AO化含む）により、以下の研究を実施する。

研究目的 A

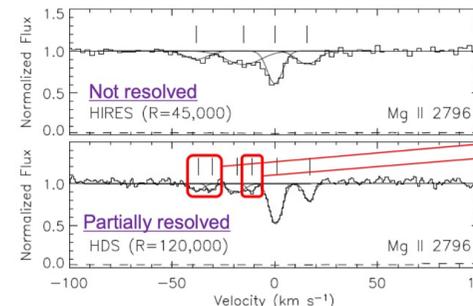
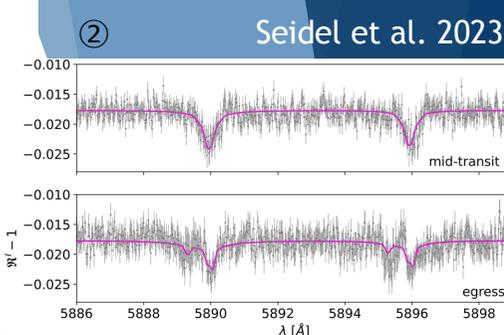
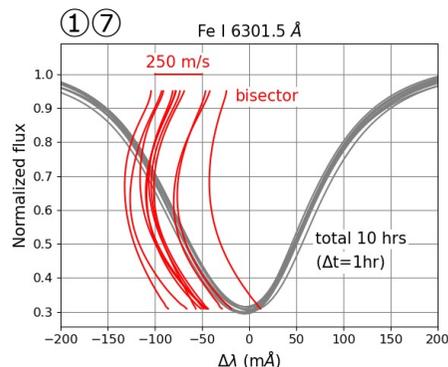
- ① 太陽近傍の恒星の視線速度変化およびスペクトル線輪郭変化を短期～長期間に渡ってモニター観測し、恒星活動の影響を検出・補正しつつ周回する惑星の有無を調べる。
- ② 主に短周期惑星大気中の様々な原子・分子・イオンを検出し、それらの惑星大気中における空間・速度分布を推定する。

研究目的 B

- ③ クエーサー吸収線系を観測し、銀河間極低温ガス・同位体、および銀河周辺物質を検出する。
- ④ 紫外域のベリリウム同位体吸収線を測定し、新星の爆発現象で合成され電子捕獲によって短期間にリチウムに変化する元素量を正確に把握する。
- ⑤ 近紫外域に存在するrプロセス元素組成を多数の金属欠乏星で測定し、その組成パターンを調査する。

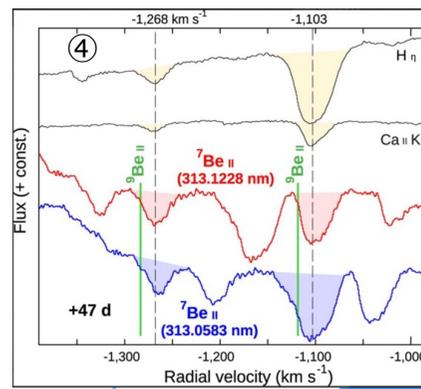
研究目的 C

- ⑥ 原子スペクトル線に現れる同位体によるわずかな線の分裂を利用し、恒星および星間物質のリチウムや重元素の同位体組成比を測定する。
- ⑦ 様々な恒星のスペクトル線輪郭形状およびその変動を精密に測定し、恒星活動との関連を調査する。さらに、動的な恒星大気モデルを検証する。

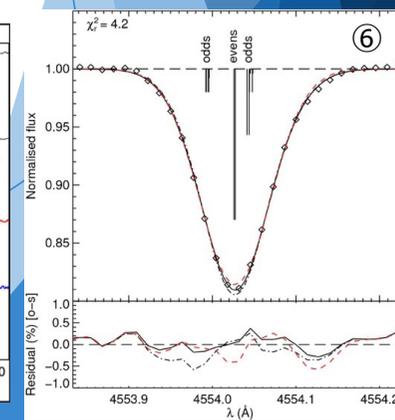


極低温ガスの存在
b ~ 1 km/s
(T ~ 1500 K)

Narayanan et al. (2006)



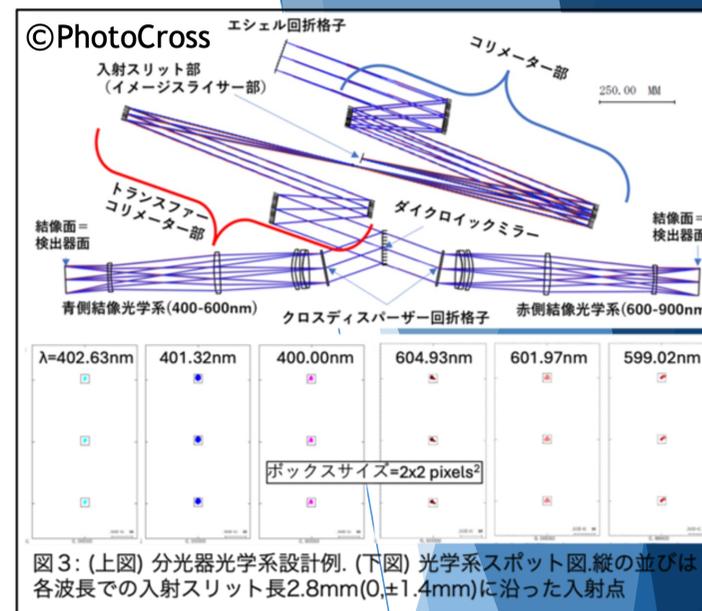
Tajitsu et al. 2015



Gallagher et al. 2015

岡山188cm望遠鏡 & せいめい望遠鏡 超高波長分解能分光器の開発

科研費・特別推進研究 (FY2025-2030 ; 代表・佐藤文衛)



新分光器の5つの「超」

- 超高波長分解能: $R \sim 300,000$
 - ・ イメージライザー
- 超高精度波長較正: $\sigma_{RV} < \sim 10 \text{ cm/s}$
 - ・ 天文コム
- 超広波長域: $\Delta\lambda = 400\text{-}900 \text{ nm}$
- 超高時間分解能: $t < \sim 10 \text{ sec}$
 - ・ CMOSカメラ
- 超大量長期観測: $\sim \text{年以上}$

先行して188cm/HIDES-Fに超高波長分解能機能を追加して実験中 (2024年度TMT戦略基礎開発研究経費)

2024年度TMT戦略基礎開発研究経費で導入

HIDES-F/R300k

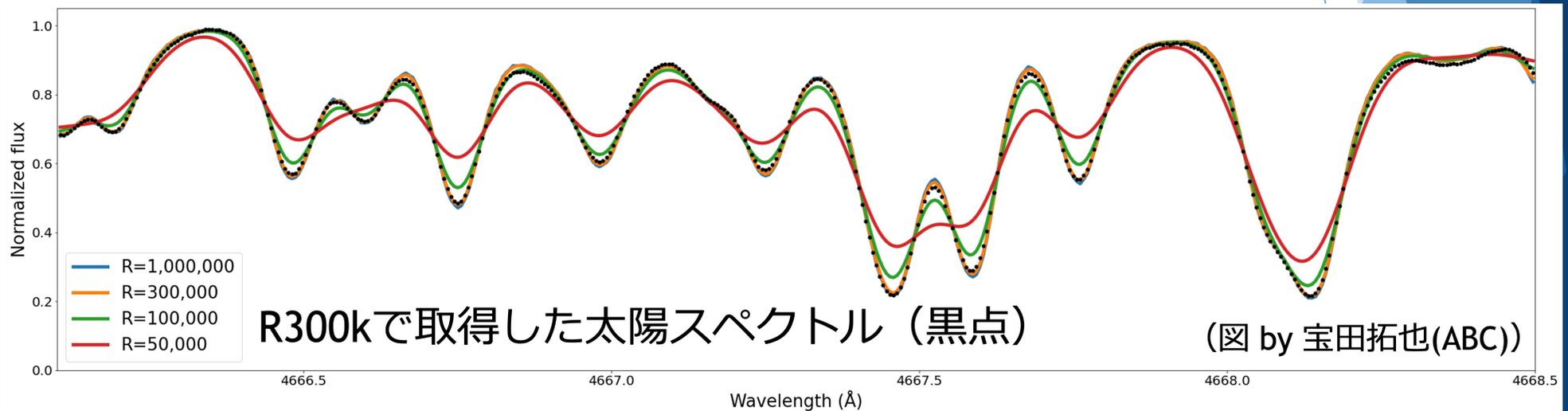
- 旧HRモードファイバー（マイクロレンズ+イメージスライサー込み、スライス幅100 μm ）+焦点引き出し光学系+40 μm スリット
- CMOSカメラ（ZWO ASI 6200MM Pro; 3.76 μm pixel, 36mmx24mm）



(左)
R300k入射部

(右)
CMOSカメラ
(赤色の筒)

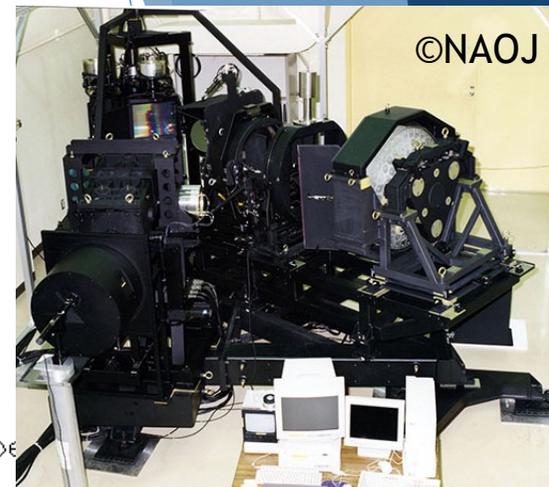
※銀の箱はCCD
のデューア



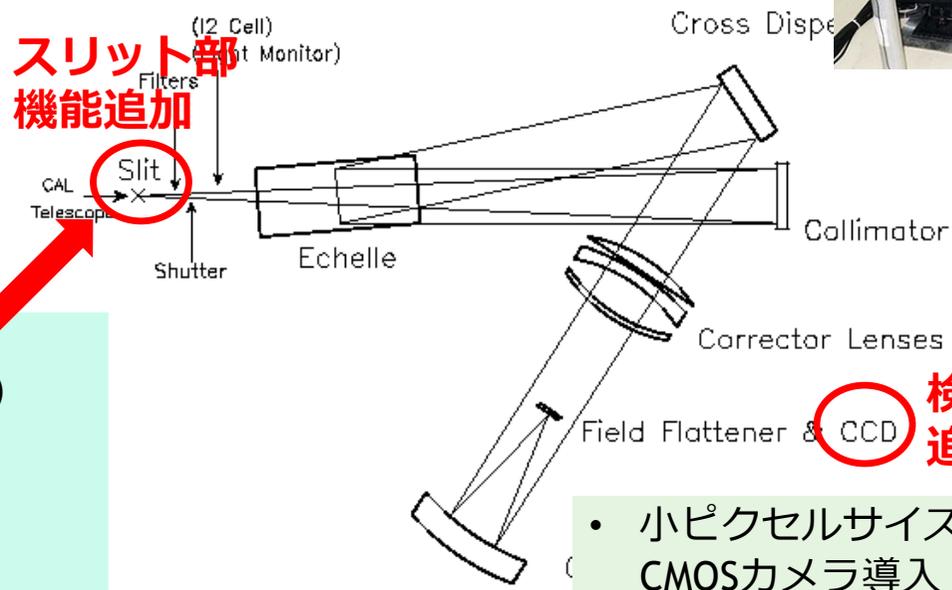
R=30万で見えてくる諸問題、解析方法等を先行して研究

すばる望遠鏡 高分散分光器HDSのアップグレード

- 超高波長分解能
 - $R < 165,000 \rightarrow R > 300,000$
- 超高精度波長較正
 - $\sigma_{RV} < \sim 10 \text{ cm/s}$
- 超高時間分解能
 - $t < \sim 10 \text{ sec}$
- 超高UV効率
- 近赤外への拡張



HDS光学系レイアウト



スリット部
機能追加

検出器
追加・更新

- 天文コム (開発中)
- 光ファイバー導入系 (開発中)
- UV用ADC (資金獲得努力中)
- イメージスライサー
 - UV用 (資金獲得努力中)
 - 超高波長分解能用
- 可視ナスマスAO

- 小ピクセルサイズ・大フォーマット CMOSカメラ導入
- UV・近赤外用検出器導入

新UV用ADC+イメージスライサー

資金獲得努力中 (PI 新井彰)

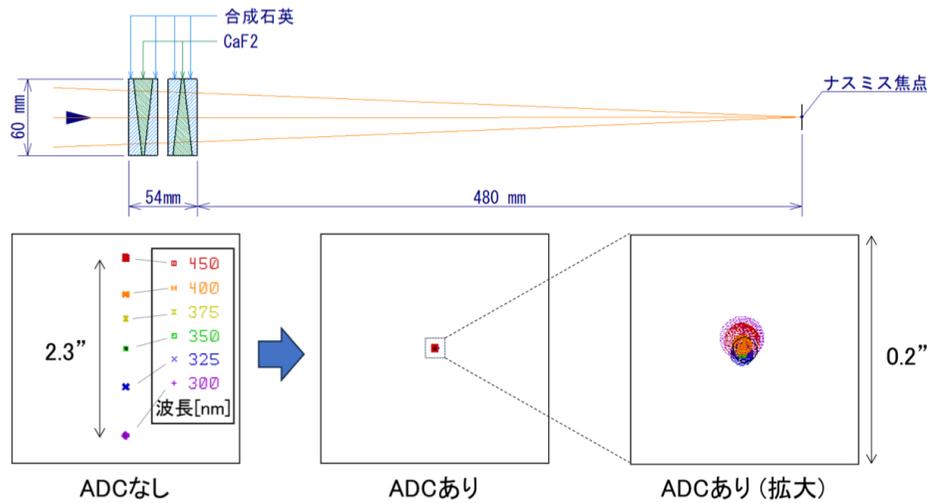


図4. 新UV用ADCと天頂角60°でのスポット図

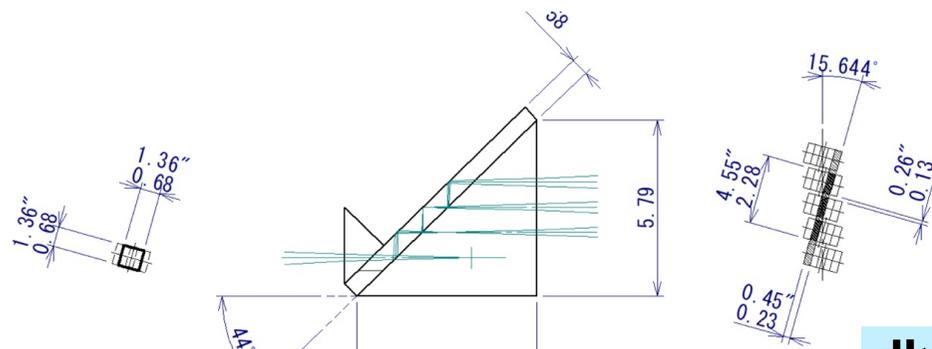
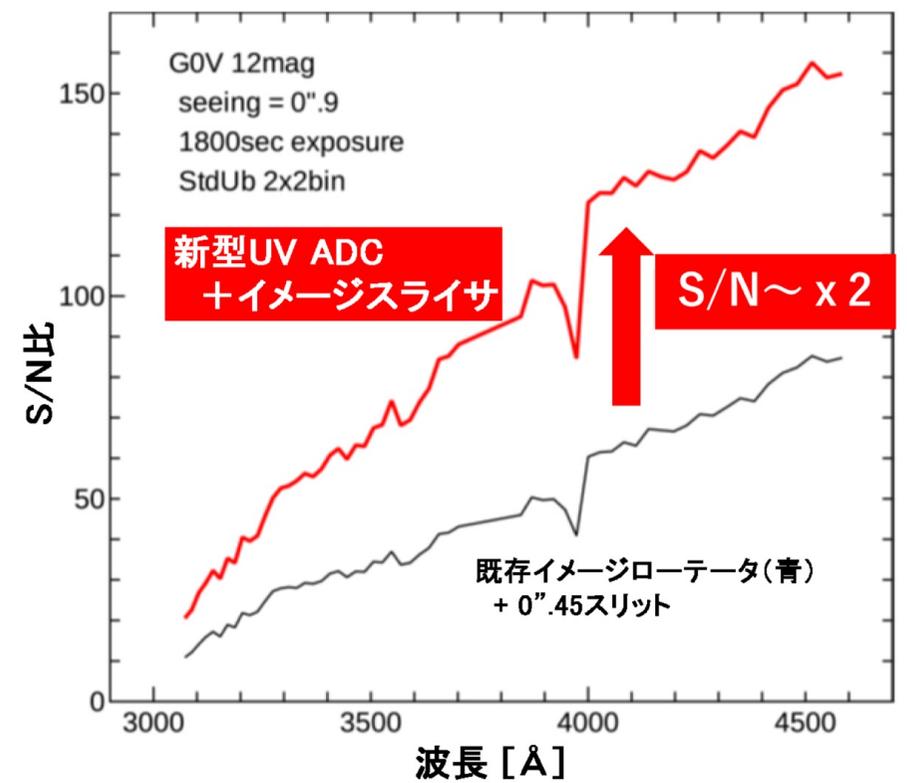


図5. 新UV用イメージスライサー

北天唯一のUV高分散分光機能を大幅に強化

HDSコム

岡山コム装置本体



岡山コム (2号機) の設計を
もとに改良 => 産総研コム3号機

Fiber Feed Module

FFMの全体像

可視ナスミス焦点



入射部

光ファイバー
(3本)

スクラン
ブラー

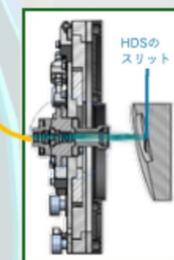
HDS室



HDS室の屋根

HDS室との隙間

出射部



HDSの
スリット

スリット部

可視ナスミス焦点のAG/SHフランジ

(図 by 大宮正士(ABC)) (基盤A: 代表・稲場肇 (産総研))

- * 分解能 ($R = \Delta \lambda / \lambda$): **>36,000 (変更可能)**
- * 同時に取得可能、かつ、輝線を多数含む、波長域の例
 - * **青緑**バンド: 335 - 500 nm, 390 - 555 nm, 439 - 606 nm
 - * **赤**バンド: 650 - 900 nm (フリッジと大気吸収に注意が必要)
- * 視線速度測定の精度 (不確かさ): **-0.8 m/s = 80 cm/s (目標)**

年次計画

| Yealy Plan | 2025(R7) | 2026(R8) | 2027(R9) | 2028(R10) | 2029(R11) | 2030(R12) | 2031(R13) | 2032(R14) | 2033(R15) | 2034(R16) |
|---------------|---|----------|--------------------------------|---------------------------------|-----------|-----------|--|-----------|-----------|-----------|
| 188cm・せいめい望遠鏡 | 高分散分光器HIDES-Fを用いた観測 進行中 | | | | | | | | | |
| | 高分散分光器HIDES-Fへの超高波長分解能・超高時間分解能観測モードの導入 進行中 (2024年度TMT戦略基礎開発研究経費) | | | | | | | | | |
| すばる望遠鏡 | 超高波長分解能分光器の開発 | | | 超高波長分解能分光器を用いた集中的な観測 | | | 超高波長分解能分光器の超高安定化, 大望遠鏡への技術移転, 次世代装置の検討 | | | |
| | 進行中 (特別推進研究: 代表・佐藤文衛 (東京科学大)、基盤B: 代表・田實晃人 (国立天文台)) | | | | | | | | | |
| すばる望遠鏡 | 高分散分光器HDSへの天文コマの導入 | | 進行中 (基盤A: 代表・稲場肇 (産総研)) | | | | | | | |
| | 高分散分光器HDSのUV効率向上 (ADC、イメージライザー導入) | | | 資金獲得努力中 (代表・新井彰 (国立天文台)) | | | | | | |
| | 高分散分光器HDSへの超高波長分解能・超高時間分解能観測モードの導入 | | | | | | | | | |
| | 高分散分光器HDSの広波長域化 (検出器更新) と高安定化 | | | | | | | | | |
| | 可視ナスマスAO化 | | | | | | | | | |
| | 現行 (+一部アップグレード) の高分散分光器HDSを用いた観測と次世代装置の検討 | | | | | | アップグレードした高分散分光器HDSによる観測と次世代装置の検討、開発 | | | |
| | | | | | | | | | | |