

ぐんま天文台150cm望遠鏡高分散分光器の制御系改良と試験観測

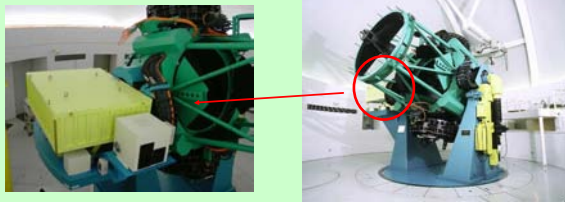
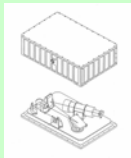
本田敏志、橋本修、高橋英則、田口光、衣笠健三（ぐんま天文台）

Gunma Astronomical Observatory, 6860-86 Nakayama, Takayama, Agatsuma, Gunma 377-0702 Japan

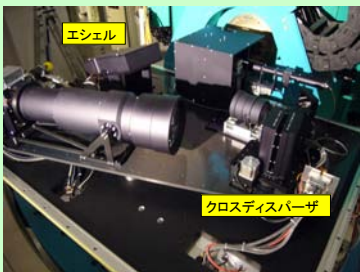
<http://www.astron.pref.gunma.jp/>

ぐんま天文台の150cm望遠鏡ナスマス焦点に設置された、可視高分散分光器GAOES (Gunma Astronomical Observatory Echelle Spectrograph)は波長3600 Åから10000 Åの波長域で高い波長分解能を実現するエシェル分光器である。2003年度より観測に用いられてきたが、初期のシステムは不安定な部分も少なくなかった。そこで、2005年度より検出器の改修を始め、読み出し部にMfront2、MessiaVを用いること等で、大幅にノイズを減らすことに成功した。今年度にはCCDをサイエンスグレードへ載せ替えもを行っている (V27b)。一方、分光器本体については、光学系が不安定なため、長時間露光を行うと波長分解能が十分に得られない場合があった。この問題を解消するために、クロスディスペルザ制御部の駆動精度の調査を行い、制御系の改修を行うとともに、望遠鏡も含めた分光器の効率や、スペクトルフォーマットの安定性などの測定を行った。さらに、実際にいくつかの標準的な星のスペクトルを取得し、他の研究で得られたものと比較を行った。その結果、装置の安定性は以前より向上し、ほぼ設計通りの性能を示すスペクトルが得られることが確認された。今後、さらに安定性を高める改良を行うとともに、装置の特徴を生かした観測を開始する。

GAOES



GAOESは150cm望遠鏡のナスマス台に設置されており、内部を真空にできるようにチャンパーで完全に密封されている。



Wavelengths	: 360 - 1000 nm
	(~190 nm / one exposure)
Resolution	: 75,000 (slit 1.0", 3.2 pixels)
(R = Δ/Δλ)	: 100,000 (slit 0.6", 2.0 pixels, max)
Slit length	: 8 arcsec (720 μm)
Detector	: EEV CCD14-82BI
	: 15 μm × 15 μm per pixel
	: 2048 × 4096 pixels
	: cooled by a closed cycle cooler
Type	: Semi-Littrow
Collimator	: lens system
Camera	: lens system
Echelle grating	: R = 2.8, 31.6 gr/mm
	(blaze angle 71 deg)
Cross disperser	: (red) 250 gr/mm (blaze 600 nm)
	: (blue) 400 gr/mm (blaze 415 nm)
Limit mag.	: 10 mag, S/N = 50, 2 hours
Size	: 1.37 m(D) × 1.71 m(W) × 0.9 m(H)
Weight	: ~ 900 kg
Manufacturer	: Genesis Corporation, Tokyo, Japan

GAOESの内部

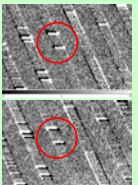
Basic parameter

分光器の安定性とエシェルフォーマットの再現性

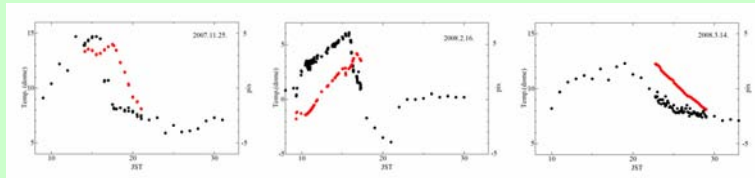
安定性

これまでに、観測中大きく不規則にラインが移動する様子が見られることがあったので、クロスディスペルザ制御部を改修し、制御ソフトについても見直しを行った。

分光器が長時間の露出に耐えられるかどうかの安定性について、Th-Arのスペクトルデータを取得し、その移動量を測定した。測定は2007年11月25日、2008年2月16日、2008年3月14日の3回行い、アーチャーを10本に分けた中の1本について、IRAFを使ってある1点からの移動量(波長方向)を時間と共に測定した。Th-ArのラインをCCD全面の波長域で用いたので、CCDの傾きなどは考慮していない。基本的には温度と相関があるが、分光器内部の測定ができないので観測ドーム内部の気温との相関を以下に示す。



Th-Arのデータ1枚を元にしたものをかき足して別のものを、ラインの位置が移動していることがわかる。



●がドーム内の気温、●がある1点からのTh-Arの移動を示している。ほぼドーム内部の気温の変化と同じ傾向でTh-Arのラインの位置も変化しているが、ドーム内の変動から2.3時間程度のずれがある。おおよそドーム内気温1度の変化で1pix動くことがわかる。以前に見られた、不規則な大きな移動は見られない。今後、分光器内部の温度を安定させるため、内部を真空にして温度制御を行う予定である。

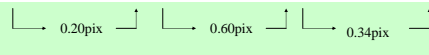
再現性

クロスディスペルザの設定を赤と青に切り替えながら、元の設定に戻したときのラインの位置(波長方向)を測定した。

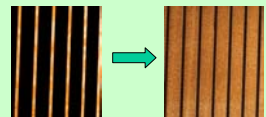
フリッジパターン

7000 Åより長い波長域では強いフリッジパターンが見られるが、同じ設定で別の日に取ったフラット同志で割り算するとほぼ消える。

Red 565 → Blue 450 → Red 565 → Blue 450 → Red 565 → Blue 450 → Red 565



複数回行った結果、多少ばらつきはあるものの平均値は0.6pixの移動となり、最大では1.7ピクセルの移動も見られたが、概ね1ピクセル以下で収まっている。しかしながら、一度初期化を行って再設定した場合にも1pix以上の移動も見られた。



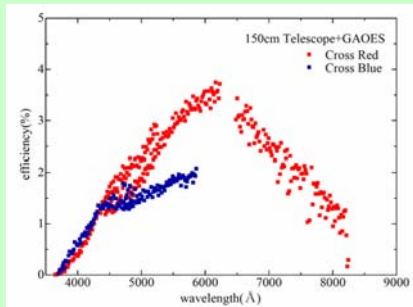
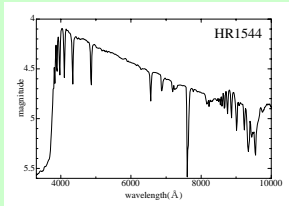
効率の測定

分光標準星を、星の光がほぼすべてスリットに入るように、スリットの幅を一番広い4"にしてデータを取得した。光量の計算にはMassey et al. 1988を用いて、標準星のデータはHamuy et al. 1992からHR1544 (Spectral Type A1, B = 4.37, V = 4.35)を用いた。観測は2007年12月2日に行われ、観測中の大気の変動はほとんどなく、南中前後の短い時間で行ったので、大気の減光率等も無視した。ここで得られた結果は、スリットからあふれた光や大気の吸収などを考慮すると下限値である。

$$m = -2.5 \log f_{\lambda} - 48.59$$

$$N_{\lambda} = \frac{4.5E10}{\lambda} \times 10^{-[m + A_{\lambda} \times 2.5]}$$

Massey et al. 1988



青のクロスディスペルザでは3500 Åから6000 Åまで、赤のクロスディスペルザでは3500 Åから8300 Åまで測定した。ピークは6000 Å付近で約4%となり、大気の吸収、望遠鏡の効率、分光器の効率、CCDの効率などを考えると概ね予想された値である。

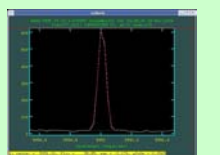
青のクロスディスペルザでは、<4500 Åで赤のクロスディスペルザより10%程度効率が上がるが、4500 Å付近からは赤のクロスの方が良くなることから、青のクロスディスペルザはあまり効率が良くないことがわかる。ぐんま天文台においてGAOESでは4000-8500 Åが有効な観測波長域である。

波長分解能の測定

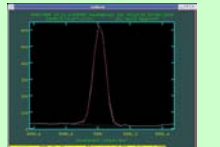
各スリット幅(0.6" 1.0" 2.0")について、いくつかの波長域でどの程度波長分解能が得られるか測定した。各スリット幅について3つの波長域でのTh-Arライン複数本測定したのから得られた波長分解能は以下のとおり、

0.6" スリット幅		1.0" スリット幅		2.0" スリット幅	
90000	71000	40000	4000	4000	4000 Å
100000	70000	42000	6500	6500	6500 Å
85000	67000	39000	8000	8000	8000 Å

0.6" スリットでR-85000は容易に得られるが、それ以上は分光器のフォーカス精度が効いてくる。1.0" 2.0" スリットではそれぞれ、70,000、40,000程度の波長分解能が得られる。CCD面上の位置による依存性を今後調査する必要がある。



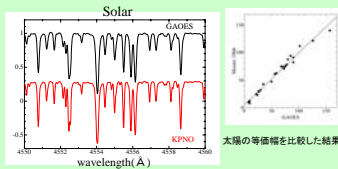
スリット0.6" R-106000



スリット1.0" R-70000

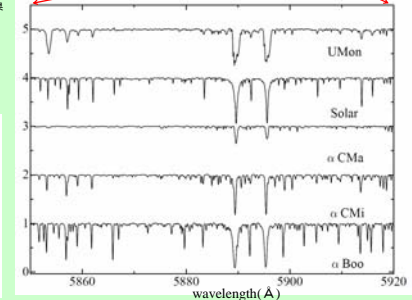
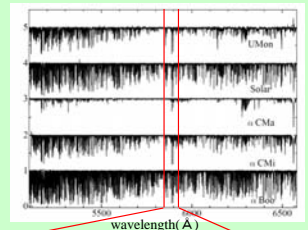
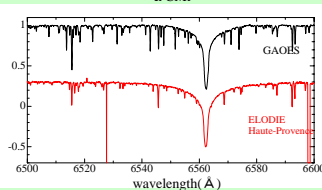
スペクトル

実際にいくつか標準的な星のスペクトルを取得し、過去の研究で得られたスペクトルとの比較を行った。



太陽の等価幅を比較した結果

他の装置で得られたスペクトルと非常に良く一致していることが分かる。



reference

- 高橋、他 2008 日本天文学会春季年会V27b
- 橋本、他 2007 日本天文学会春季年会V21a
- HDS性能試験観測の報告
- Massey et al. 1988 ApJ 328 315
- Hamuy et al. 1992 PASP 104 533
- Moore et al. 1966 Rowland's Table
- KPNO Solar Flux Atlas from 296 to 1300 nm
- The ELODIE archive <http://atlas.obs-hp.fr/elodie/>