

近赤外イメージングポラリメータ計画

○萩野正興、末松芳法、篠田一也（国立天文台） 一本潔、木村剛一（京都大学）

概要(Abstract)

太陽彩層上部のスペクトル線 He 1083nm はコロナ加熱やフレア発生の機構などを解明する手掛かりとなる情報を含んでいる。国立天文台太陽フレア望遠鏡ではこのスペクトル線の分光偏光観測を行っているが、スリットスキャンでは刻々と変化する彩層の偏光状態を短時間で取得はできない。そこで我々はエタロン・フィルターと液晶遅延素子を用いた像偏光解析装置の開発を進めている。この観測装置の構成、仕様を紹介する。

1. はじめに

太陽観測衛星「ひので」や 1m を超える大口径の地上太陽望遠鏡で太陽彩層はダイナミックなプラズマの運動で埋め尽くされていることが分かってきた。本研究で焦点を当てるのは太陽のコロナ加熱問題と太陽フレアやフィラメント消失といった彩層で急激に変化する現象である。彩層上部からコロナにおいて、これらの現象と関係する速度場や磁場の短時間変化が見たいというのが本研究の最終的な目的である。まさにこの現場で生成されるスペクトル線 He 1083nm はランデ因子が大きく、磁場に感度がある。国立天文台太陽フレア望遠鏡赤外スペクトロポラリメータでは 2011 年から本研究と同じ波長での定常観測を行っている。しかし、この観測は分光器を用いたものでスリットスキャンによる観測のため、時間・空間分解能が低い。このため急激に変化する現象を捉えるには不向きである。そこでエタロン・フィルターを用いたイメージングによる偏光観測の計画を進めている。本研究で開発される観測システムは将来の地上太陽大型望遠鏡での使用を考えている。

2. 近赤外イメージングポラリメータ

ここで開発する観測システムは、エタロン・フィルターを含む波長選択部分と液晶遅延素子を含む偏光解析部分、そして赤外カメラの主に 3 つのパーツで構成される（図 1）。これを 1 つのパソコンから

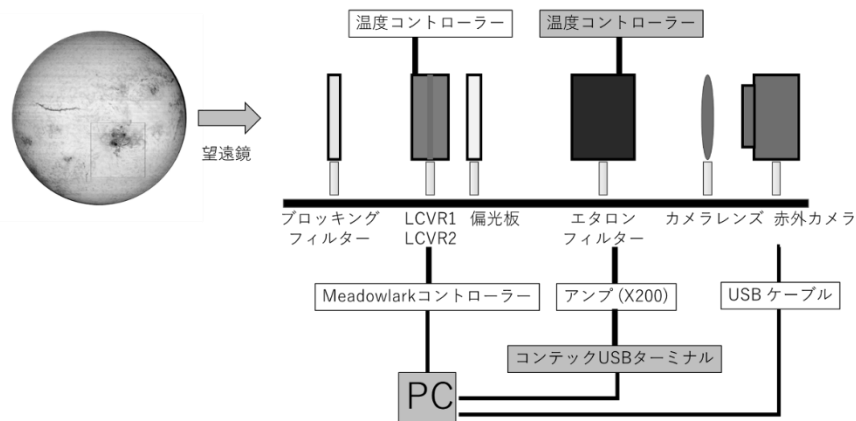


図 1 近赤外イメージングポラリメータの構成

コントロールし、高速での波長切り替え、高速偏光変調、高速撮像を行うことで、ターゲットの波長の全ストークスデータを取得する。

3. 液晶遅延素子 (LCVR)

この近赤外イメージングポラリメータでは変調偏光を Meadowlark 社製の2つの液晶遅延素子 (LCVR) を用いて行う。これらの LCVR には Meadowlark 社のコントローラーから 0-10V の印加電圧を与えて制御する。図2に本開発に用いる LCVR と遅延量の特性を示す。この図の左の LCVR が上流に、右の LCVR が下流に設置される。それぞれの右側に示す LCVR の遅延特性は国立天文台真空紫外棟光学実験室内に設置された MMSP(Mueller Matrix Spectro - Polarimeter)と呼ばれる光学素子のミラー行列を測定できるシステム(Ichimoto et al., 2006)を用いて行った。測定時の温度は 20 度である。このグラフは波長 1083nm における印加電圧に対する LCVR の遅延量を示している。

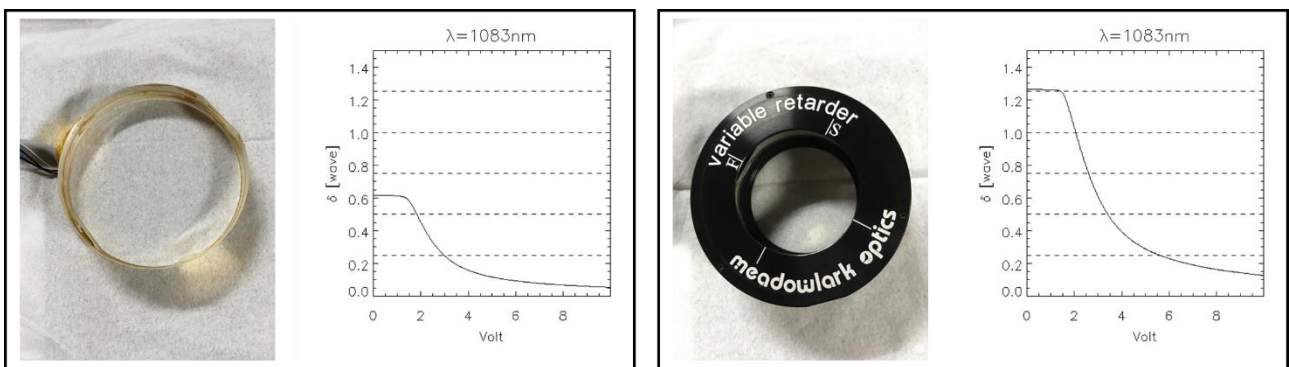


図 2 本研究で用いる2つの液晶遅延素子 (LCVR) と 1083nm における遅延特性。

図 2 内の破線は、表 1 で示す LCVR の遅延量とこの組み合わせで得られる偏光成分の関係で用いる遅延量を示す。この表 1 は乗鞍コロナ観測所 25cm コロナグラフで開発された汎用偏光解析装置で示されたものである(篠田他 2001)。今回の開発も同じ構成であるため、この表を用いて印加電圧を制御し、偏光変調を行う。この技術は京都大学理学研究科附属天文台での狭帯域チューナブル・フィルターの開発時の波長チューニングを応用して行う(Hagino et al., 2016)。

表 1 液晶遅延素子の遅延量と得られる偏光成分の関係

LCVR 遅延量 (度)		偏光成分
LCVR1	LCVR2	
0	90	$I \pm V$
0	-90	$I \mp V$
90	0	$I \pm Q$
90	180	$I \mp Q$
90	-90	$I \pm U$
90	90	$I \mp U$

4. 近赤外用偏光板

液晶遅延素子と組み合わせて偏光解析装置を構成する偏光板は、シグマ光機製の近赤外偏光フィルター (65φ) を用いることを予定している。この偏光板も MMSP を用いて遅延特性と波長特性を測定した。

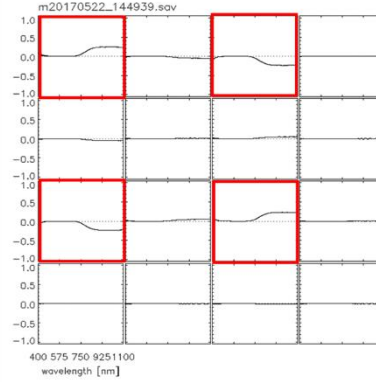
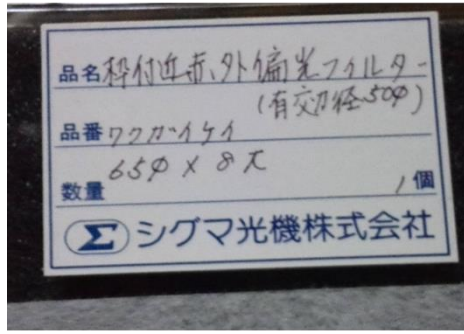


図 3 (左) シグマ光機社製近赤外偏光フィルター、(右) MMSP による偏光波長特性。

図 3 はそのミュラー行列を示す。この配列は 4×4 の偏光状態を表現する行列でそれぞれストークスペクトル [I, Q, U, V] の各成分を表している。また、横軸は波長を示す。MMSP で使用する小型分光器は Ocean Optics 社製の Maya 2000 pro+ であり、200nm-1100nm までの分光が可能である。この結果では赤い枠の成分の長波長領域に信号が出ている。左上の信号は I 成分でありこのフィルターの透過を示す。そのほかの成分は直線偏光の U 成分である。この結果から、このフィルターは近赤外波長域において直線偏光板となっていることが確認できた。

5. エタロン・フィルター

国立天文台太陽観測科学プロジェクトで既存のニオブ酸リチウム結晶エタロン CSIRO (オーストラリア) Y-cut 結晶 (複屈折) 厚さ 225 μm 、有効径 50mm、自由スペクトル領域約 1.2nm のエタロン・フィルターを用いて行う。このエタロン・フィルターのメーカーによるスペックを表 2 にまとめる。ニオブ酸リチウムは印加電圧を加えると、電場に比例して誘電率に異方性を示すポッケルス効果の性質をもっている。この屈折率は常光線・異常光線ともに 2.2 と大きいため、エタロンのスペーサーとして用いた場合に安定した透過波長を広い視野が確保できる利点がある。また、印加電圧により波長チューニングが容易であるため、高速で波長の切り替えができる。

表 2 エタロン・フィルターのスペック

仕様波長	1083nm
結晶直径	75mm
有効口径	65mm
結晶厚さ	200 μm
結晶方向	Y-cut
スペーサー	LiNbO ₃
屈折率(常光線)	2.236
屈折率(異常光線)	2.159
FSR(常光線)	1.19nm
FSR(異常光線)	1.24nm
透過半値幅(常光線)	0.044nm
透過半値幅(異常光線)	0.044nm
印加電圧	$\pm 4000\text{V}$
最大稼働温度	45°C

京都大学理学研究科飛騨天文台でこのエタロン・フィルターの透過波長テストを行った。このテストはドームレス望遠鏡の水平分光器を用いて行い、エタロン・フィルターは分光器のスリット前に図 4 のように設置した。この試験中の室内温度は 17 度で安定していた。エタロン・フィルターへの印加電圧は 200 倍に増幅するアンプに接続した安定化電源を用いてマニュアルで操作した。試験の印加電圧は 200V 刻み(安定化電源の出力は 1V 刻み)で片側 1500V まで変化させて本研究でのターゲットの波長である 1083nm 付近の透過波長を測定した。この試験の結果を図 5 に示す。図 5 の左上に太陽の 1083nm 付近のスペクトル線を示す。その下にエタロン・フィルターに印加電圧の 800V をかけた場合の透過波

長を示す。この透過した光のうち、強い透過光が異常光線であり、弱い透過光が常光線である。この電圧を印加した状態ではほぼ異常光線の透過ピークが 1083nm にある。図 5 の右 2 つのプロットは印加電圧を変化させたときの異常光線と常光線の透過波長を示している。この試験により異常光線(常光線)を波長中心にチューニングするためには 965.6V(6399.7V)を印加させる必要がある。また、異常光線の透過幅は $0.035 \pm 0.001 \text{nm}$ であり、隣のピークまでの波長(FSR: Free Spectral Range)は 1.13nm であり、フィネスは 32.3 となる。また、エタロンの厚みにより、カタログのスペックよりも半値幅は狭くなっている。しかし、本研究ではより狭い半値幅のフィルターが必要であり、このフィルターでは要求を

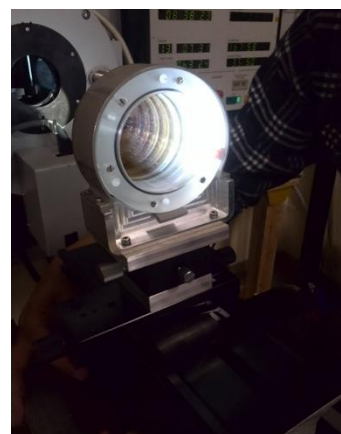


図 4 ドームレス望遠鏡でのエタロン・フィルターの設置の様子。

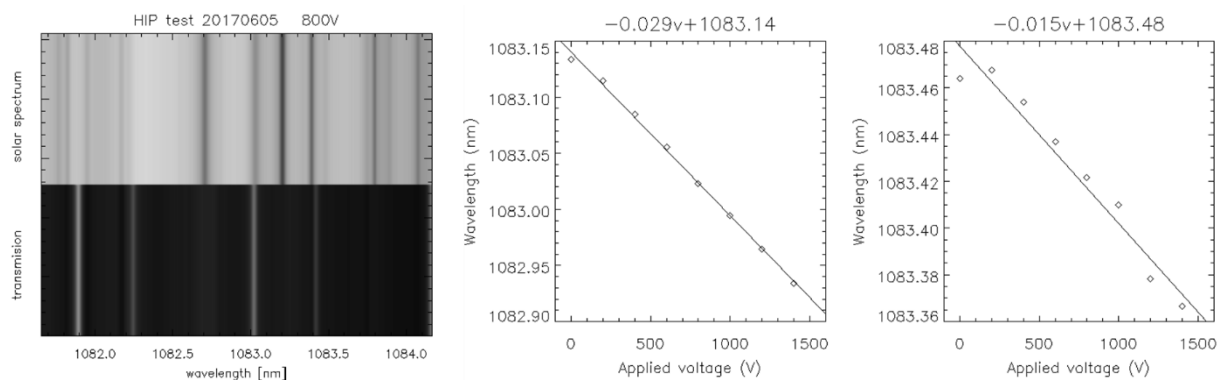


図 5 ドームレス望遠鏡におけるエタロン・フィルターの透過試験結果。(左) 上半分が太陽光のスペクトル、下半分がエタロン・フィルターの透過光。(中) 印加電圧と異常光線の透過波長中心の関係。(左) 印加電圧と常光線の透過波長の関係。

満たしていない。

6. まとめ

近赤外イメージングポラリメータの開発において基礎試験を行っている。今後は偏光変調部分の試験を終了し、実際の観測に使える制御ソフトの開発段階に進める。エタロン・フィルターは新たに光学技研と共同制作している。エタロンの透過光は温度にも依存するので恒温槽の作成も必要である。カメラは京都大学飛騨天文台既存の Xenix 社製赤外カメラを用いて行う。

参考文献

- Ichimoto, K. et al., Publications of the National Astronomical Observatory of Japan 9, 11, 19, 2006
 Hagino, M. et al., SPIE, 9151, 91515V, 2014
 篠田一也、一本潔、福田武夫、辛準鎬 国立天文台報、第 5 巻 2001
 末松芳法、宮下正邦、北井礼三郎、船越康宏 日本天文学会秋季年会、V16b, 1996 年 10 月 (水沢)