

未だ量的なモデルや補償方法を実装するほどの段階には到達できていない。校正データの取得法としても、強いバックグラウンド光の中でのわずかな偏光成分の検出を想定した方式の検討が必要と思われる。

今後の課題と展望： これまでの実験で、時間相関イメージセンサによる太陽磁場の偏光計測において精度の限界を与える主要因として、アナログ型の時間相関イメージセンサにおいては、相関蓄積の乗算機能を担う分流トランジスタのRTN(random telegraph noise)雑音の存在、デジタル型においては、微少電荷の高速転送の際の残留電荷や逆流電荷の存在が明らかになってきた。前者は、MOSTトランジスタのチャンネルから、その電荷がゲート絶縁層にトラップされて生じるものであり、チャンネルの不純物濃度の低減や低温動作により改善されることが知られている。後者は、現代の高速イメージセンサがグローバルシャッタ化や暗電流の低減のため多段の転送構造をもつことで特に強く表れるようになった問題である。2016年より、新たに有力企業の支援を得て、改良型の時間相関イメージセンサの開発に着手することになっており、これらの問題の解決も、その主要な開発課題となっている。これらが完成した後、新たな時間相関イメージセンサを用いて、再度、太陽磁場の偏光観測実験に挑戦したいと考えている。

(安藤 繁(東京大学)、花岡 庸一郎、櫻井 隆(国立天文台) 記)

ヘリウム輝線の分光観測による彩層プラズマ診断

本研究は、可視光中性ヘリウム線のうち電子スピンの異なる2つの輝線である 6678 Å (一重項) と 5876 Å (三重項)、およびH α 輝線の同時分光観測による、彩層輝線の励起過程と彩層温度構造を調査することを目的とする。

1. 中性ヘリウムの特性

最外殻電子2つにより構成され、電子スピンの向きにより一重項と三重項として存在する。組成比は水素に次いで多いが、基底状態が閉殻構造を持つため励起エネルギーが高く、彩層における光学的厚さは水素に比べて非常に小さい。標準大気モデルにおけるHe II 304 Å, 及び He I 5876 Å, 6678 Å の contribution function を図1に示す。

可視光の 6678 Å ($1s2p\ ^1P^0 - 1s3d\ ^1D$)

および 5876 Å ($1s2p\ ^3P^0 - 1s3d\ ^3D$) は太陽大気中では彩層で光学的に薄く、He IIからの光電離-再結合過程、またはフレア大気などの高温・高密度状態で形成される。したがってこれらの輝線を用いてフレア大気中におけるEUV irradiation と衝突電子の診断が可能である。またプロミネンスなどの光学的に薄いと仮定できる構造に対して、この2つの輝線強度比は温度・密度依存性がある。これにより、プロミネンスの温度診断が可能となる。

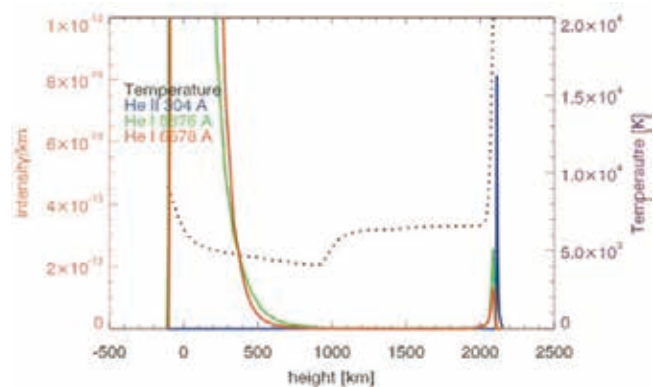


図1 He輝線の contribution function

2. 観測および結果

我々は飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡(DST)水平分光器を用いて、 $H\alpha$ 6563 Å, He I 6678 (一重項), He I 5876 (三重項) の3波長同時分光観測、およびスリットジョーによる $H\alpha$ 狭帯域撮像観測を行った。観測期間は2015年7月、10月の計2回であり、7月は主にプロミネンスとフィラメント、10月は活動領域および太陽フレアの観測を行った。

(1) プロミネンス観測

2015年7月19日JSTに観測された活動領域プロミネンスの3波長のスペクトロヘリオグラムを図2に示す。

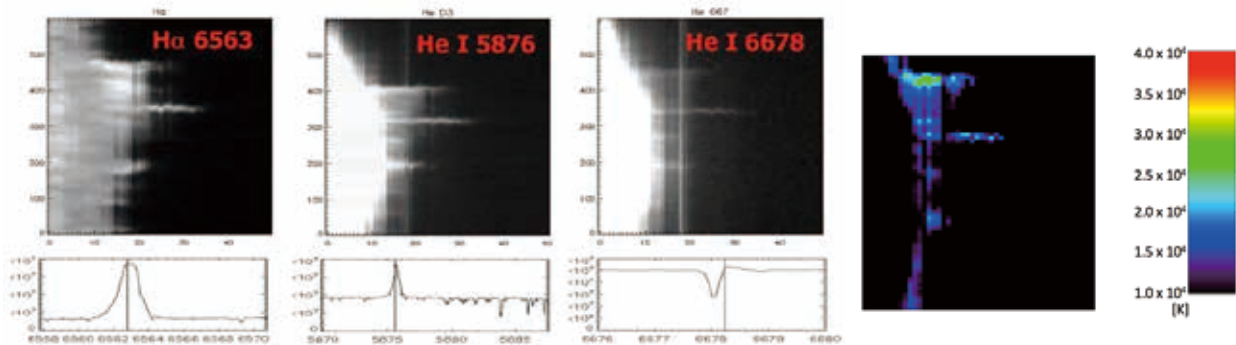


図2 プロミネンスのスペクトロヘリオグラムと平均スペクトル 図3 プロミネンスの温度構造

電子密度が 10^{12} cm^{-3} 以下において、2つの中性ヘリウム輝線の強度比は電子密度に対し10%以下の依存性であり、これは理論計算誤差以下である。したがってこれらの輝線強度比から電子温度を導出することが可能となる。電子密度 10^{12} cm^{-3} 以下を仮定し電離平衡は Bryans et al. (2009) を参照、CHIANTIを用いて温度構造を導出したものを図3に示す。典型的な温度は $1.45 \pm 1.13 \times 10^4 \text{ K}$ であり、 $H\alpha$ の形成温度とほぼ一致した。

(2) フレア観測

2015年10月15日23:31 UTに発生したGOES M1.1フレアのスペクトロヘリオグラムを図4に示す。 $He I$ 6678/5876 においては $H\alpha$ の増光場所は吸収・放射の両方の構造として現れている。 $He I$ が吸収として現れている部分におけるスペクトルプロファイルは $H\alpha$ では定常的な吸収に red wing における増光が現れている

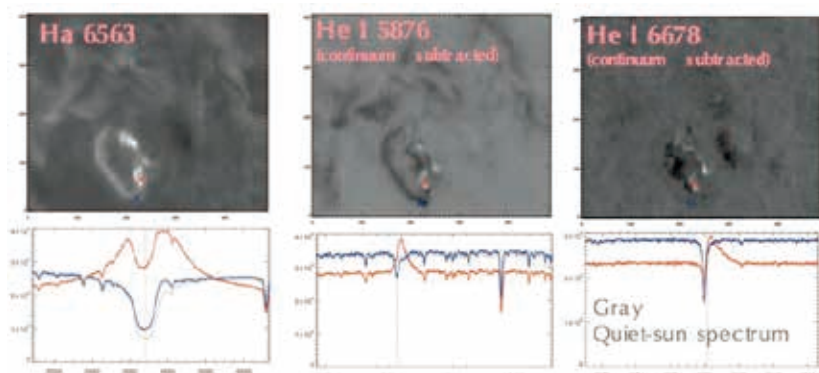


図4 $H\alpha$, He I 6678/5876 Å のスペクトロヘリオグラム。赤と青のラインプロファイルはそれぞれ赤と青で示されたスペクトロヘリオグラム上の場所におけるもので、He I で放射・吸収している箇所に対応する。

一方、 $He I$ では red wing に裾が伸びる吸収線として現れている。 $He I$ が放射として現れている部分に関しては、 $H\alpha$ は定常的な吸収に対して赤方偏移した放射、 $He I$ では red wing に裾が伸びる放射 として現れている。 $He I$ が放射として見えている点についてのスペクトルの時間変化を追ったものを図5に示す。この図より、フレアピークにおいて赤方偏移した放射・及び青方偏移した吸収が同時に現れている。またフレア後半では主に吸収として現れている。

He I が吸収線として現れている部分については、源泉関数が小さく衝突励起が不十分になっていることが考えられる。一方 He I が輝線となっている部分では衝突励起が優勢となってLTEに近いと考えられる。このことからH α フレアリボンの増光が放射による照り返しによるか、衝突によるものかの分離が可能となる。図4において He I で吸収となっている場所では密度の高い光球から彩層底部におけるプラズマの加熱・下降運動であると考えられる。また図5における青方偏移した吸収線は、フレアピークにおける密度のやや低い彩層蒸発流の上昇運動であると考えられる。

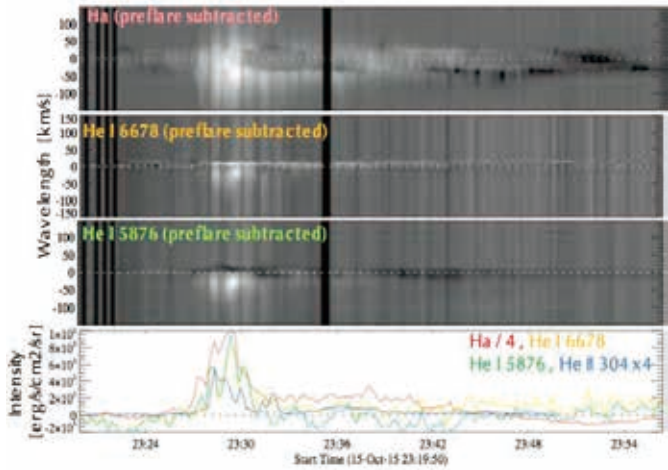


図5 H α , He I 6678/5876 Å スペクトルの時間変化と H α 、He I/II の光度曲線

同時観測されたRHESSIの硬X線スペクトルの時間変化を入力として、RADYNコードを用いて太陽大気の1次元輻射流体力学計算を行った。図6に観測から得た注入電子フラックスおよび太陽大気中の高さおよび経過時間に対する温度・密度・速度場を示す。数値計算結果よりフレア初期における彩層上部における上昇運動、及びフレアピークにおける彩層蒸発に伴う下降運動とその上部における上昇運動と同時に、彩層上部における He I の存在密度の上昇が現れ、観測と一致する結果が得られた。

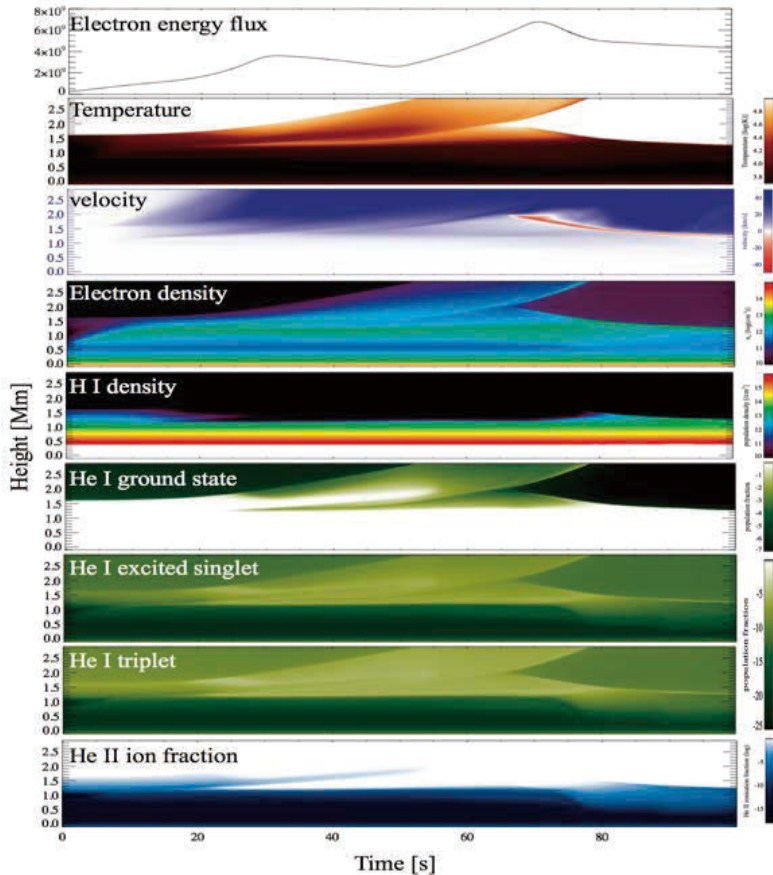


図6 硬X線観測から得られた電子フラックスとRADYNで計算した温度・速度・電子密度・中性水素密度と He I/II の存在密度

これらの研究結果は2015年度太陽研究者連絡会シンポジウム、ALMA-IRIS-DKIST Workshop、及びUK DKIST Workshopで報告を行った。

(川手 朋子(Queen's University Belfast) 記)