

測の再検討 (Hayakawa et al., 2020a)、国友黒点観測の改訂 (Fujiyama et al., 2019)、ダルトン極小期のDerfflingerの長期観測の分析 (Hayakawa et al., 2020b) などを行い、その成果は関連のISSI WSでも報告された。

参考文献

- Fujiyama, M., et al.: 2019, Solar Physics, 294, 43.
Hattori, K., et al.: 2019, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 487, 3, 3550-3559.
Hayakawa, H., et al.: 2019a, Solar Physics, 294, 42.
Hayakawa, H., et al.: 2019b, Solar Physics, 294, 95.
Hayakawa, H., et al.: 2019c, Solar Physics, 294, 119.
Hayakawa, H., et al.: 2019d, Space Weather, 17, 1553-1569.
Hayakawa, H., et al.: 2019e, The Astrophysical Journal Letters, 884, L18.
Hayakawa, H., et al.: 2020a, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 492, 3, 4513-4527.
Hayakawa, H., et al.: 2020b, The Astrophysical Journal, 890, 98.
Isobe, H., et al.: 2019, The Astrophysical Journal, 887, 7.
Love, J. J., et al.: 2019, Space Weather, 17, 1281-1292.
Stephenson, F. R., et al.: 2019, Solar Physics, 294, 36

(早川尚志(名古屋大学高等研究院・宇宙地球環境研究所特任助教) 記)

太陽彩層のダイナミクスについての分光的研究:スピキュールとフレア(博士論文)

太陽の表面である光球(温度6000K)と高温な外層大気であるコロナ(10^6 K)の間には彩層(温度 10^4 K)と呼ばれる大気層がある。彩層は磁場に関連した大気加熱や活動現象において重要な役割を果たすが、その詳細に迫るには彩層の微細で動的な現象を細かく分解して観測する必要がある。また、恒星大気や恒星フレアを理解するには、分光観測を通して太陽における物理的理解を応用することが期待される。2013年に太陽撮像分光観測衛星であるInterface Region Imaging Spectrograph (IRIS)が打ち上げられたことで、衛星による太陽彩層の高分解分光観測が実現した。本研究(研究1と研究2)では、IRIS分光観測で得られた彩層スペクトル線データを用いることで、静穏領域の彩層(スピキュール)の物理状態と、活動現象(太陽フレア)に見られる彩層の振る舞いに迫った。

光球では上空に向かって温度が減少するのに対し、彩層では温度が増加し、彩層からコロナにかけては温度が 10^4 K から 10^6 K へと急激に増加する。彩層とコロナの加熱機構は太陽物理学における最大の謎の一つであり、彩層・コロナ加熱問題という。静穏領域の彩層を太陽縁付近で観測すると、光球とコロナをつなぐ細長い構造(スピキュール)が彩層を構成していることが分かる。彩層の加熱量はコロナの10倍であることが分かっており、彩層・コロナ加熱問題を解決するには、スピキュールの形成や性質を理解することが不可欠である。彩層スペクトル線の形成においては局所熱力学平衡(LTE)がいい近似にならない(non-LTE)ため、non-LTEを考慮した輻射輸送モデリングを用いて温度や密度、速度といった物理状態に制限を与える必要がある。研究1では、non-LTE 輻射輸送計算を用いることでスピキュールの分光観測(図1左)で得られたMg II線の形成を理解することを試みた。

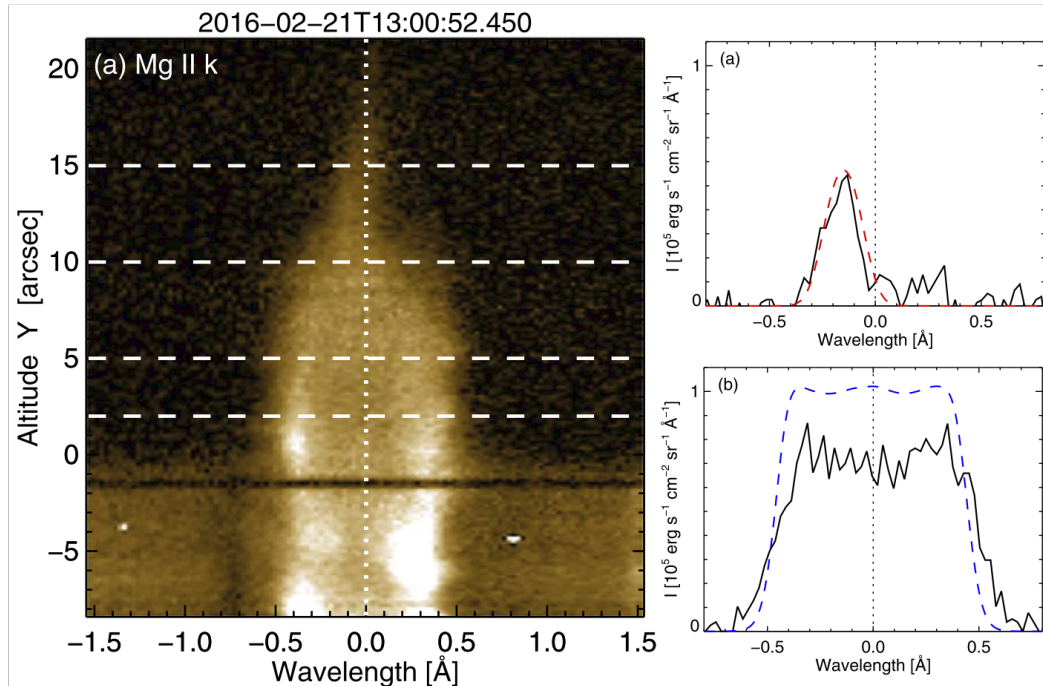


図1: 左: IRISが観測した太陽極域コロナホールのリム周辺のMg II k線プロファイル。右上: Y=15.0''における観測プロファイル(黒実線)と視線方向に1本のスピキュールがあると仮定した場合のモデリング結果(赤破線)の比較。右下: Y=5.0''における観測プロファイル(黒実線)と視線方向に10本のスピキュールが重なっていると仮定した場合のモデリング結果(青破線)の比較。(左図、右上図、右下図の時刻は異なる。)

その際、視線方向に多数のスピキュールが重なっていることを初めて考慮し、Mg II線のプロファイルが視線方向の重なりが大きく影響を受けていることを示した。中高度で観測された線プロファイルは、スピキュールが最大 25 km s^{-1} の視線方向の速さをもつと仮定すると再現できた(図1右下)。この結果は、撮像観測で得られるスピキュールの見かけの横揺れ運動 (25 km s^{-1}) が実際の視線速度と同程度であることを分光観測から支持している。また、高高度で観測された線プロファイルは、視線方向の重なりがないと仮定して再現できた(図1右上)。これは高い高度では、スピキュール同士の視線方向の重なりが少ないという描像と合う。また視線速度の大きさは高高度では最大で 20 km s^{-1} となるような分布をしており、これもまたスピキュールの見かけの運動と同程度である。また、Mg II線プロファイルが輻射輸送モデリングのパラメタに対してどのような依存性を持つかについても調査し、今後の物理状態特定への道筋をつけた。さらに、スピキュールに見られるMg II線プロファイルの明るさや幅などの特徴量を高さ毎に定量化することで、スピキュールの理論モデルが再現すべき観測側からの条件を提示した。

太陽大気中での爆発現象を太陽フレアという。フレア領域の彩層では上空からのエネルギー注入による急激な加熱が起き、高温($10^6\text{--}7 \text{ K}$)な上昇流とその底部での低温(10^4 K)な下降流が発生すると考えられている。その結果、彩層スペクトル線は低温な下降流に起因してRed asymmetryと呼ばれる長波長側の増光を見せることが典型である。しかし、短波長側が増光するBlue asymmetryの観測例も

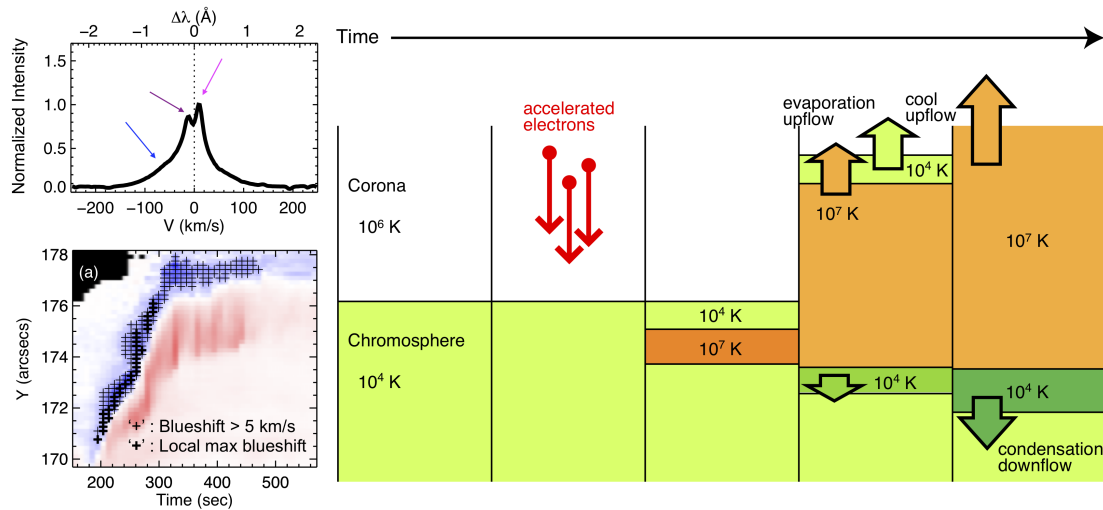


図2: 左上: 今回フレア領域に見られた典型的なMg II h 線のBlue asymmetry。右上: フレア領域で観測された視線速度の時間-空間変化マップ。右: 提案した低温上昇シナリオの描像。非熱的な高エネルギー電子が彩層深部に侵入し、膨張する高温プラズマによって低温な彩層プラズマが持ち上げられる。その後、彩層凝縮領域が下方運動することで彩層ラインの強い放射が観測される。

少なからずあり、これも含めた太陽フレアのモデルは確立していなかった。研究2では、IRISと飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡によるフレア領域の分光観測データを用いて彩層スペクトル線の時空間発展を調査した。その結果、Red asymmetryは使用した全ての彩層スペクトル線に共通して見られ、Mg II線ではその直前にBlue asymmetryが見られた(図2左)。また、クラウドモデリングという手法を用いることで、観測されたMg II線のBlue asymmetryプロファイルは低温(10⁴ K)な上昇流の存在によって説明できることを示した。さらに、上空から非熱的な加速電子が彩層深部を急激に加熱し、高温プラズマがその上部の低温プラズマを持ち上げることでそのような低温上昇流が発生したという描像を新しく提案した(図2右)。

参考文献:

- 研究1: Tei, A. et al. 2020, ApJ, 888, 42.
- 研究2: Tei, A. et al. 2018, PASJ, 70, 100.

(鄭祥子(宇宙科学研究所) 記)