

太陽大気の高解像度観測で狙う磁気流体波動とエネルギー輸送 Revealing Propagation of MHD Waves in the Solar Atmosphere Aimed by High-Resolution Spectro-Polarimetric Observations

勝川行雄¹KATSUKAWA Yukio¹国立天文台¹NAOJ¹

太陽プラズマの中の磁気流体波動はエネルギー輸送を担う素過程として重要視されており、ひので等の高解像度観測によってその存在が検出されている。一方、それが定在波か進行波かをこれまでの観測では区別できず、また、密度や磁場振動を定量化することが困難であった。そのため、例えば、Alfvén速度を仮定したり、密度を仮定したりして、磁気流体波動によって輸送されるエネルギーフラックスを見積もることが行われ、輸送エネルギーの推定に大きな不定性があった。そのような状況において、2020年代前半に実現するSUNRISE-3気球望遠鏡や大型太陽望遠鏡DKISTでは、超高解像かつ高精度な偏光分光観測によって、磁気流体波動を定量化することが期待されている。その進展を紹介する。

コロナへのエネルギー輸送を観測的に研究する上で重要なのは、ポインティングフラックス $\frac{c}{4\pi} \mathbf{E} \times \mathbf{B} = \frac{1}{4\pi} \mathbf{B} \times (\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ を偏光分光観測から定量的に測定することである。例えば、Alfvén波の場合にこれを達成するためには、太陽大気の筋状の構造に沿った磁場 B_0 に加えて、その磁場に垂直に振動する速度 v_1 と磁場 B_1 を同時に測定する必要がある。通常 v_1 は高解像度分光観測から測定でき、 B_0 も高精度な偏光観測や光球から上空に磁場外挿を行う手法により推測・測定することが可能である。一方、 B_1 は B_0 よりも小さく測定することが困難である。特に大事なものは v_1 と B_1 の時間変動の位相差であり、 v_1 と B_1 の位相差が0度または180度ならその波動は進行波となりエネルギーを輸送するが、90度または270度なら定在波となるためエネルギーを輸送しない。そのため鍵となるのは B_1 の時間変動を偏光分光観測でとらえることである。

太陽彩層の観測で用いられる He I 1083 nm 線を高精度偏光分光観測した場合を想定して、試算した結果を図1に示す。He I 1083 nm は Zeeman 効果と Hanle 効果の両者に感度があるスペクトル線である。Zeeman 効果は視線方向の磁場成分に対して円偏

光 (Stokes V) を生じ、Hanle 効果は視線方向に鉛直な磁場成分に対して直線偏光 (Stokes Q と U) を生じる。図1で試算したケースは、 B_0 の10%が B_1 として現れることを想定したものである。進行 Alfvén 波によって磁場の傾きが変化すると、Hanle 効果によって直線偏光 (Stokes Q) の信号が変化する。また、速度の振動 v_1 によって、スペクトル線が Doppler 変位して波長が変化する。すなわち、0.01%の感度の偏光分光観測が実現できれば、速度 v_1 と B_1 を定量化しそれらの位相差を測定でき、ポインティングフラックスを見積もることができる。もちろん、太陽大気の構造やその振動を分解するためには0.5秒角を切る解像度も必要となる。このような高解像度かつ高い偏光精度の観測がSUNRISE-3気球望遠鏡や大型太陽望遠鏡DKISTで実現できるはずである。

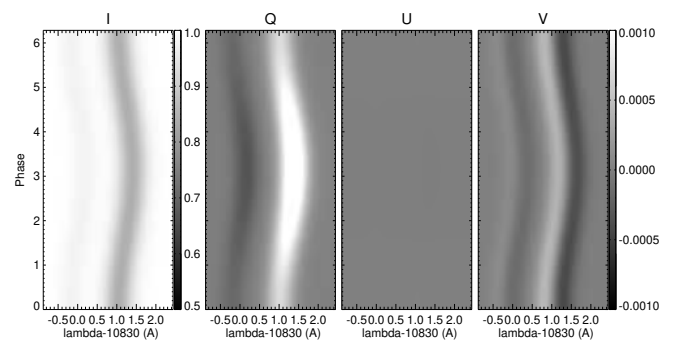


Fig. 1: 進行 Alfvén 波があるときに He I 1083 nm 線で観測される偏光スペクトルの計算例 (横軸: 波長, 縦軸: 時間)。 10^{-4} の偏光測定感度が達成されると、Hanle 効果によって発生する直線偏光 (Stokes Q) の時間変化をとらえられる。