

# 太陽乱流現象の多波長高解像度観測に向けたモデリング研究 Modeling for future multi-wavelength and high-resolution observations of turbulent phenomena in the solar plasma

勝川行雄<sup>1</sup>, 川畑佑典<sup>1</sup>, 松本琢磨<sup>1</sup>, C. Quintero Noda<sup>2</sup>, 飯島陽久<sup>3</sup>, SUNRISE-3 team  
KATSUKAWA Yukio<sup>1</sup>, KAWABATA Yusuke<sup>1</sup>, QUINTERO NODA Carlos<sup>2</sup>, IJIMA Haruhisa<sup>3</sup>, SUNRISE-3 team

国立天文台<sup>1</sup>, IAC (スペイン)<sup>2</sup>, 名古屋大<sup>3</sup>  
NAOJ<sup>1</sup>, IAC (Spain)<sup>2</sup>, Nagoya Univ.<sup>3</sup>

太陽光学観測はここ 1-2 年で大きく進展する可能性がある。中でも SUNRISE-3 気球望遠鏡や大型太陽望遠鏡 DKIST では、高解像度かつ多波長観測になる。高解像度になることで、太陽表面の乱対流を起源とするエネルギー輸送とプラズマ加熱のプロセス、すなわち磁気流体波動の伝播や磁気リコネクションによる加熱がとらえられる。多波長観測になることで、6000 度から数万度にわたる様々な大気層を観測することができ、太陽大気の数、温度、磁場の 3 次的な構造とその時間発展を詳細に観測することができる。しかし、リモートセンシングで要素的な物理プロセスに迫ることは容易ではない。そこで、次世代観測で重要な物理プロセスを検出できるのかを数値シミュレーションと輻射輸送によってモデリングする研究に取り組んでおり、その進展を紹介する。

太陽の光球-彩層は密度が 3-5 桁も変化し、これに伴い Alfvén 速度も大きく変化する。さらに、光球や彩層では輻射冷却が動的現象の時間発展に影響を及ぼすため、現実的なシミュレーションは容易ではない。近年、輻射輸送も考慮した 3 次元 MHD 数値シミュレーションが進展し、現実に近い(と考えられる)太陽大気の 3 次元構造が再現できるようになっている。もう一つの課題は、観測されるスペクトル線は非線形な輻射輸送(非局所熱平衡)を経て形成されるため、大気モデルを与えてもどのように観測されるかは自明ではない。非局所熱平衡をモデル化した輻射輸送計算も年々進歩しており、現実に近いスペクトル線の形状を再現できるようになりつつある。

そこで、エネルギー輸送とプラズマ加熱を理解する鍵を握ると考えている 2 つの現象に着目して、それがどのように観測されるかを調べる研究を行っている。その 1 つは、磁気キャンセレーションと呼ばれる現象で、太陽の表面で反対極性を持った磁気構造がぶつかり、時間とともに磁束が減少する現象である。磁気

キャンセレーションに伴い、光球・彩層で増光が見られる場合もあるが、磁気リコネクションが発生しているという観測的な証拠は得られていない。双極の磁気構造が光球面から浮上する、または沈降して消失する場合でも観測を説明できる可能性があり、そのときは熱化に寄与しない。よって、太陽大気の加熱を調べる上で極めて重要なターゲットである。太陽表面付近で磁気リコネクションを再現する数値シミュレーション計算を行い、輻射輸送計算で観測されるスペクトル線の形状を計算することで、磁極の境界面の狭い領域を空間分解すれば、磁気リコネクションに伴う高速のジェットがとらえられ、その周囲の磁場構造が測定できる可能性のあることがわかった。

もう 1 つの現象は MHD 波動の伝播である。太陽大気中では様々なモードの MHD 波動が存在することがわかっているが、中でも非圧縮性の Alfvén 波から圧縮性の波(slow/fast 波)へモード変換が起き、その衝撃波が彩層・コロナを加熱する可能性が提案されているが、モード変換の証拠がこれまで観測でとらえられたことはない。現実的な 3 次元数値シミュレーションにおいてモード変換が起きている場所を特定し、その検出可能性を議論する。

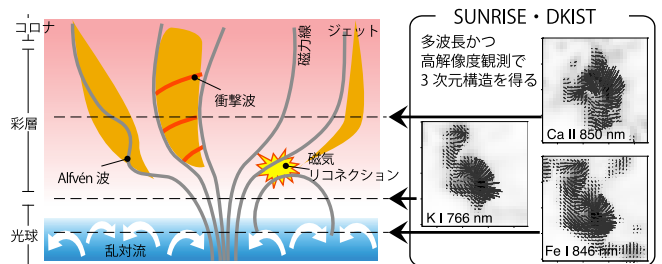


Fig. 1: 太陽大気の様式図。多波長光学観測で様々な高度(光球~彩層)を観測し、輸送と加熱のプロセスを 3 次的にとらえる。