

3.1.3 彩層 — ガス優勢から磁場優勢へ

一本 潔 (京都大学)

(2020年2月23日受付、2021年5月31日公開)

彩層は高さとともに密度が減少することに伴い、ガス圧優勢から磁気圧優勢に転じる領域であり、彩層を構成する密度構造の形状は磁場の構造に支配されている。中でも最も普遍的に存在する彩層構造は、表面から突出したスピキュール（針状体）である。太陽縁において $H\alpha$ 線やカルシウム HK 線等でよく観測され（図 1）、ガスの上昇に始まり下降またはそのまま消滅することで数分の寿命を終える。典型的な大きさは長さ約 1 万 km、幅 100~300km である。その横揺れからは、アルフベン波的な波が上方に通過していることが捉えられている（Okamoto and de Pontieu., 2011）。スピキュールは超粒状斑の境界領域に密集していると考えられ、それらによって打ち上げられるガスの総流束は、コロナから太陽風として流れ出す質量の 100 倍とも見積もられている。その成因については、足下における圧力増加によって圧縮波が発生し、上空に伝搬する過程の中で非線形化して衝撃波となり、それが遷移層を通過すると同時に彩層ガスを放出する、という描像が作られているが（Suematsu et al. 1982, Shibata and Suematsu. 1982）、足下の圧力増加の起源についてはまだ解明されていない。

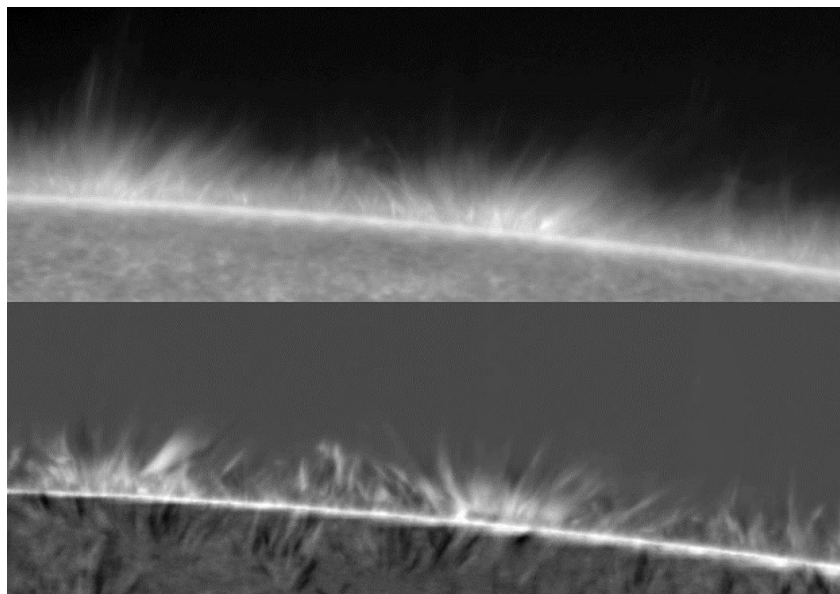


図 1. 太陽縁で見られるスピキュール。ひので CaH 画像（上） $H\alpha$ ドップラーマップ（下）。

図 2 は連続光および $H\alpha$ 線による活動領域の画像である。この領域は東西の極性の異なる黒点群から構成されている。 $H\alpha$ 線による画像から、彩層が筋状の密度構造で構成されていることが分かる。極性の異なる黒点群をつなぐ筋、また黒点から外に向かって放射状に広がる筋構造が特徴的である。

また両黒点群の間には小さな黒点が存在し、短いアーチ状の筋が複数並んで存在している。これは光球下より新しく磁束が浮上している領域である。磁気浮上は黒点群の成長期によく見られる現象であり、大規模な磁場構造の不安定化を誘発することもあるため、フレアの発生予測においては重要な要素である。このような彩層を構成する無数の微細筋構造には絶えずガスの流れが伴っている。

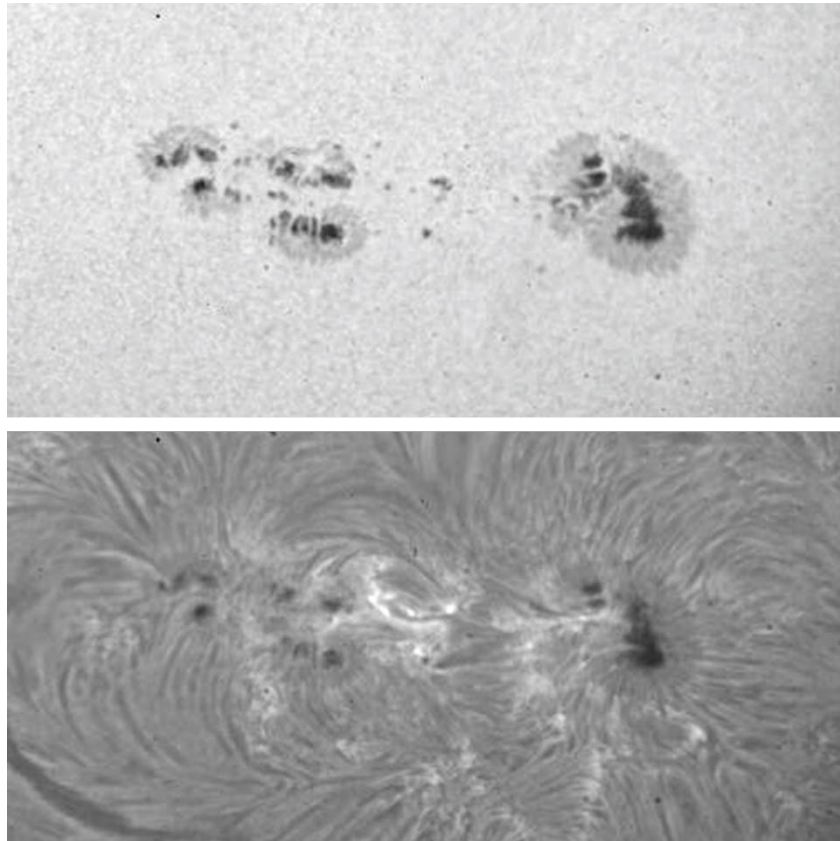


図2. 連続光 (上)、H α (下)。飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡。

プロミネンス (太陽面上ではダークフィラメント) は100万度の高温コロナに浮かぶ約1万度のプラズマである。サイズは大小様々であるが、比較的大きいものだと長さ数十万 km、高さは数万 km に達し、数日以上にわたって安定して存在する。圧力バランスよりプロミネンスの密度は周囲のコロナよりも2桁高く、支える力が無ければ太陽の強い重力によって10分程度で表面に落下することになる。プロミネンスを支えている力は磁場と電流によるローレンツ力であると考えられる。プロミネンスが磁場と深く関わる現象であることは、それらが常に光球の大局的な磁気中性線の上に出現することからも示唆される (図3)。

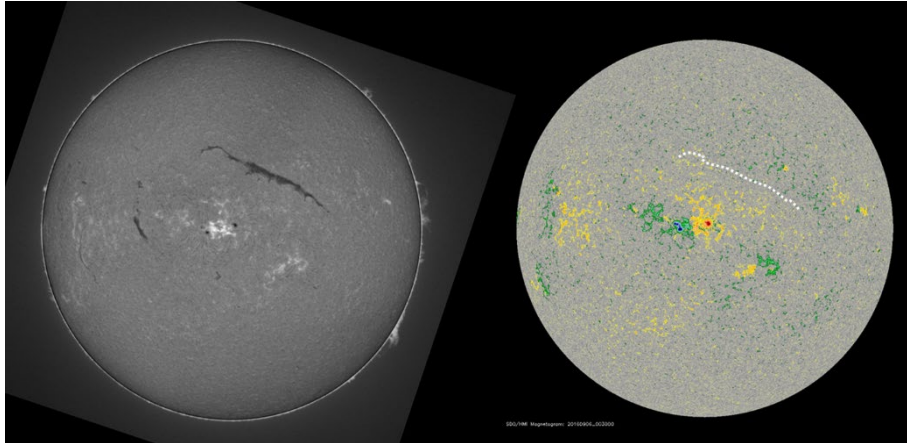


図3. H α 像（飛騨天文台 SMART）と視線方向磁場（MDI）。(Ichimoto 2019)

プロミネンスは大別して静穏領域型プロミネンスと活動領域型プロミネンスに分類される（図4）。前者は背が高く、垂直方向に伸びた多数の筋構造からなり、大局的な安定性とは裏腹に、小スケールのプラズマ塊が対流のごとく堪えず上下に運動している（Berger et al. 2008）。一方後者は主として水平方向に伸びた筋構造からなり、ここにはしばしばアルフベン波的な横波が励起されていることが知られている（Okamoto et al. 2008）。

プロミネンスを支える磁場の構造は、光球の正極と負極を繋ぐコロナ中の磁力線が下に凸になったところにコロナのプラズマが冷えて溜まっている、という描像が描かれているが（Hillier et al. 2012）、磁場の計測は偏光シグナルが弱いために難しく、その磁場構造の詳細はまだわかっていない。プロミネンスは突如不安定化して上昇し、そのまま太陽の重力を振り切って飛んでいくことがあり、多くの場合 CME を伴うことが知られている。従ってプロミネンスの磁場を精度良く計測し、その安定性を解析することが、宇宙天気研究において1つの重要な課題となっている。

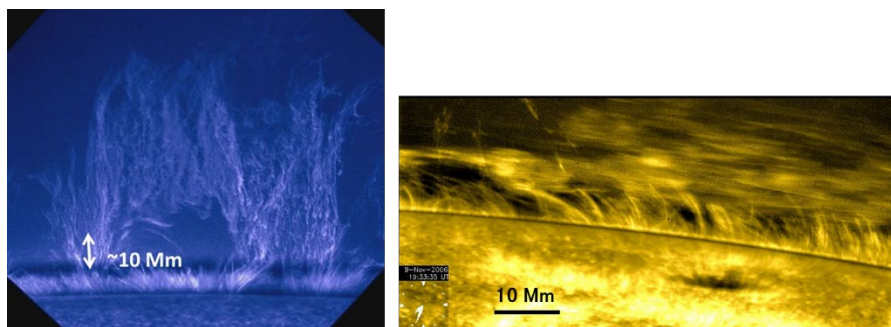


図4. 静穏領域型プロミネンス（左）と活動領域型プロミネンス（右）。ひので可視光望遠鏡。(Ichimoto 2019)

参考文献

- Berger, T.E., Shine, R.A., Slater, G.L., Tarbell, T.D., Title, A.M., Okamoto, T., Ichimoto, K., Katsukawa, Y., Suematsu, Y., Tsuneta, S., Lites, B.W., Shimizu, T., "Hinode SOT Observations of Solar Quiescent Prominence Dynamics", *ApJ*, 676L, 89B (2008)
- Frohlich, C., and Lean, J., "Solar radiative output and its variability: evidence and mechanisms", *Astronomy and Astrophysics Review*, 12, 273-320 (2004)
- Evershed, J., "Radial movement in sun-spots", *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 69, 454-457 (1909)
- Hillier, A., Berger, T., Isobe, H., Shibata, K., "Numerical Simulations of the Magnetic Rayleigh-Taylor Instability in the Kippenhahn-Schluter Prominence Model. I. Formation of Upflows", *ApJ*, 746, 120-132 (2012).
- Ichimoto, K., Shine, R.A., Lites, B., et al., "Fine Scale Structures of the Evershed Effect Observed by the Solar Optical Telescope aboard Hinode," *PASJ*, 59, 593-599 (2007)
- Ichimoto, K., "Spectropolarimetry and Magnetic Structures", in "The Sun as a Guide to Stellar Physics", ed. Engvold, O., Vial, J.C., & Skumanich, A., p.185-205 (2019)
- Ishikawa, R. and Tsuneta, S., "Comparison of transient horizontal magnetic fields in a plage region and in the quiet Sun", *A&A*, 495, 607-612 (2009)
- Okamoto, T., Tsuneta, S., Berger, T.E., et al., "Coronal transverse magnetohydrodynamic waves in a solar prominence", *Science*, 318, 1577-1580 (2007)
- Okamoto, T., and de Pontieu, B., "Propagating Waves Along Spicules", *ApJL*, 736, L24-29 (2011)
- Okamoto, T., and Sakurai, T., "Super-strong Magnetic Field in Sunspots", *ApJL*, 852, L16-21 (2018)
- Shibata, K., Suematsu, Y., "Why are spicules absent over plages and long under coronal holes?", *SolPhys*, 73, 33 (1982)
- Suematsu, Y., Shibata, K., Neshikawa, T., Kitai, R., "Numerical Hydrodynamics of the Jet Phenomena in the Solar Atmosphere - Part One - Spicules", *SolPhys*. 75, 99, (1982)
- Vernazza, J. E., Avrett, E. H., Loeser, R., "Structure of the solar chromosphere. III. Models of the EUV brightness components of the quiet sun", *ApJ, Suppl.* 45, 635-725 (1981)