

(5) 太陽フレアと恒星フレアの統一モデル

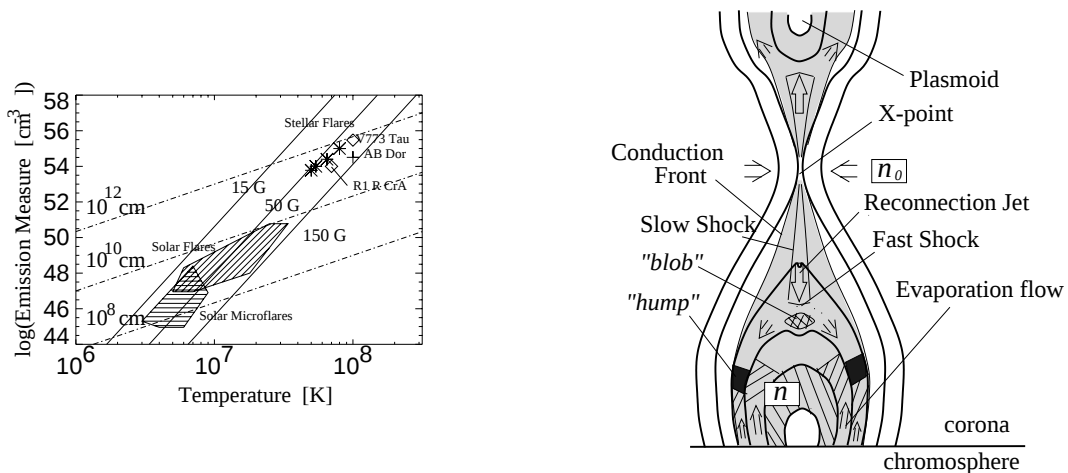
太陽フレアの最高電子温度 (T) とエミッション・メジャー ($EM = n^2V$) の間には相関がある (T は EM とともに増大する) ことが知られています (e.g., Feldman et al. 1995, Yuda et al. 1997)。ただし、 n は電子密度、 V は体積。この関係は、通常のフレアよりエネルギーの小さなマイクロフレアでも成立しており (Shimizu 1995)、一方、太陽フレアより何 100 倍 – 何千倍もエネルギーの大きな恒星フレア (Algol, UX Ari など) も同じ相関の延長上にくることが知られています (Feldman et al. 1995)。さらに興味深いことには、最近あすかで発見された原始星フレア (Koyama et al. 1996, Tsuboi 1996) の温度と EM も同じ相関にのることがわかってきました (下左図参照)。この相関が成立する温度と EM の範囲は、 $T = 4 \times 10^6 - 10^8 \text{ K}$, $EM = 10^{44} - 10^{55} \text{ cm}^{-3}$ もの広い範囲に及び、共通の普遍的な物理機構が働いていることを予感させます。

われわれ (Shibata and Yokoyama 1999) は、Yokoyama and Shibata (1998) が見出したフレア温度のスケーリング則 (磁気リコネクション加熱 (下右図) と熱伝導冷却のバランス) と圧力平衡 (フレアループの磁気圧 = ガス圧) を用いると、エミッション・メジャーが

$$EM \propto T^{17/2} B^{-5}$$

と書ける、ということを見出しました。(ただし、 B はコロナ磁場強度。) 太陽黒点 (または活動領域) と原始星の平均磁場強度は同程度と考えられているので、この関係式は上の経験的な相関関係を良く説明します (下左図参照)。以上のことから、共通の普遍的物理機構とは「フレアの最高温度は、リコネクション加熱と熱伝導冷却のバランスで決まる」ということであり、観測された EM - T 関係は、原始星フレアにおいても太陽フレアと同様に磁気リコネクションによるエネルギー解放が重要な役割を果たしていることを強く示唆していると言えるでしょう。

[参考文献] Shibata, K. and Yokoyama, T. (1999) ApJ 526, L49-L52 (他の引用文献については、この論文の参考文献を参照のこと)



左: 太陽フレアと恒星フレアのエミッション・メジャー (EM)–温度 (T) 関係。右: 太陽・恒星フレアの磁気リコネクションモデル (Yokoyama and Shibata 1998)。

(柴田 一成 記)

(6) 浮上磁場によってトリガーされたフィラメント噴出とコロナ質量放出

Feynman と Martin (1995) の観測によれば、浮上磁場の磁場の向きが周囲のコロナの磁場の向きと逆の場合、すなわち、磁気リコネクションが起きやすい場合、コロナ質量放出 (またはフィラメント噴出) が起きやすい、と報告されています。この観測の説明を目的として、2次元磁気流体数値シミュレーションがなされ、その結果、以下のことが明らかになりました。

浮上磁場がフィラメント・チャンネルに出現し、かつ、磁場の向きが周りの磁場の向きと逆向きの場合 (下図 (a))、浮上磁場とフィラメント真下のコロナ磁場との間で磁気リコネクションが起こり、フィラメント下部で平衡状態が消失します。その結果、フィラメント下部の磁気中性点 (線) に向かう流れが発生し、それとともに大規模な磁気リコネクションが始まります。リコネクションによって解放されたエネルギーは、フィラメントおよびそれを包むプラズモイド (ヘリカルにねじれた磁力線を含むフラックスロープ) を加速し、プラズモイドの速度が上昇すると磁気中性点に向かう流れの速度が増加する…、というぐあいに、プラズモイドの加速とリコネクションがお互い助けあって次第に激しさを増していき、ついには、プラズモイド (フィラメント) 全体が惑星間空間に噴出していきます。これが観測されたフィラメント噴出 (またはコロナ質量放出) だと考えられます。浮上磁場がフィラメント・チャンネルの端の境界あたりに出現しても、磁場の向きがリコネクションに都合の良い向きであれば、類似の過程が起こることがわかりました (下図 (b))。

以上の結果は、Feynman and Martin (1995) の観測を良く説明すると同時に、宇宙天気予報の定量化に大変役立つのではないかと考えられます。

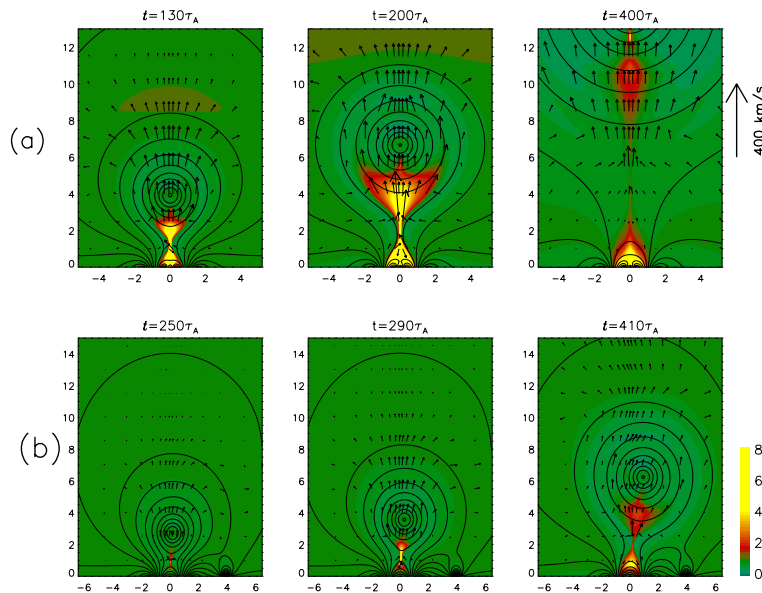


図: 浮上磁場によってトリガーされたコロナ質量放出 (またはフィラメント噴出) の2次元MHD数値シミュレーション (Chen and Shibata, 2000, ApJ in press)。

(柴田 一成 記)