

(8) 太陽・恒星フレアのHR図: EM-Tダイアグラム

太陽・恒星フレアのエミッションメジャー ($EM = n^2 L^3$) は温度 (T) とともに増大することが知られている (図1)。(ただし、 n は電子密度、 L はフレアサイズ、また、 EM 、 T は、フレア時のそれぞれのピーク値をとる。)これはマイクロフレアや、原始星フレアに対しても成り立っており、 $6 \times 10^6 < T < 10^8 \text{K}$ 、 $10^{44} < EM < 10^{56} \text{cm}^{-3}$ という広いパラメータ領域で成り立つ (統計的な) 相関関係である。一昨年、Shibata and Yokoyama (1999, ApJ 526, L49-L52) は、熱伝導と彩層蒸発を含む磁気リコネクションの数値シミュレーションと理論に基づいて、この相関関係を良く説明する次のようなスケーリング則を発見した:

$$EM \simeq (B/50\text{G})^{-5} (T/10^7\text{K})^{17/2} (n_0/10^9\text{cm}^{-3})^{3/2} \text{cm}^{-3} \quad (1)$$

ただし、 B は磁場強度、 n_0 はプリフレア電子密度である。観測から EM, T, n_0 がわかりさえすれば、フレアを分解して観測できなくても、このスケーリング則より、磁場強度 B がわかり、さらにはフレアループのサイズ L もわかる。これは星を分解して観測できなくても星の光度と表面温度だけ (HR 図上の位置) から星のサイズがわかるというのに似ている。フレアのEM-T関係は、いわば、フレアのHR図とも言えよう。このようなEM-T関係の重要性に鑑み、このダイアグラムの物理的意味と理論的予言を詳しく調べた結果、以下のことが判明した (Shibata and Yokoyama 2001, in preparation)。

1) EM-Tダイアグラムには禁止領域 (磁気ループによるプラズマの閉じ込めができない領域) が存在する。

2) フレアはピーク温度がリコネクション加熱 = 熱伝導冷却で決まる系列であり、放射冷却は効いていない。密度は圧力平衡 (磁気圧 = ガス圧) または熱伝導 = エンタルピーフラックス (彩層蒸発) から決まる。これに対して、加熱時間が長引いて定常的になると加熱 = 熱伝導 = 放射冷却が成り立ち、密度は放射冷却 = 熱伝導で決まる。これは、コロナの系列であり、

$$EM \propto T^{15/2} \text{ for } T < 10^7 \text{K} \quad (2a)$$

$$EM \propto T^{13/2} \text{ for } T > 10^7 \text{K} \quad (2b)$$

となる (図1)。太陽コロナ活動領域のEM-T関係 (Yashiro 1999, Thesis) は、この理論的予測とほぼ合っている。

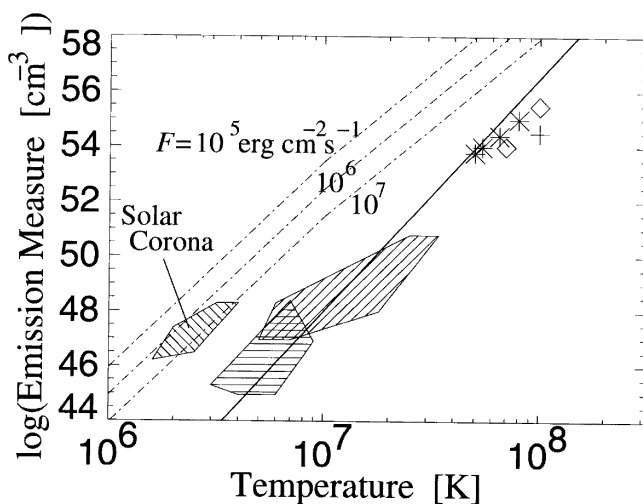


図1: 太陽フレア (右下のハッチ領域)、恒星フレア (右上の記号) および太陽コロナ (左下のハッチ領域) のエミッション・メジャー (EM) - 温度 (T) 関係。実線は理論的に予測されたフレアの系列 ((1) 式で B = 一定の線)、1点鎖線がコロナの系列 ((2) 式、加熱フラックス = 一定の線) を表す。

(柴田 一成 記)