

## 太陽フレアにおける熱的・非熱的エネルギーの割合 Ratio of thermal to non-thermal energy in solar flares

川手 朋子<sup>1\*</sup>, 浅井 歩<sup>1</sup>, 一本 潔<sup>1</sup>

Tomoko Kawate<sup>1\*</sup>, Ayumi Asai<sup>1</sup>, Kiyoshi Ichimoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学

<sup>1</sup> Kyoto University

太陽フレアの粒子加速問題の一つに、熱的エネルギーと非熱的エネルギーの比がどのくらいかという謎がある。非熱的エネルギーの高いフレアにおいては硬 X 線強度が高くなるほか、陽子やアルファ粒子などの高エネルギー粒子が発生しやすくなる。このため、どのような条件の場合にどのくらい非熱的エネルギーの解放が大きくなるのか、という条件を理解し定量化することは宇宙天気研究の観点からも重要である。

我々は熱的エネルギーと非熱的エネルギーの比を見積もるために、太陽フレアにおける熱的な条件から発生する輻射と非熱的な条件から発生する輻射に着目し、フレア継続時間などの他の条件を加味することで、輻射のフラックス比がフレアの熱的エネルギーと非熱的エネルギーの比に近づくと考えた。

非熱的輻射と熱的輻射をつなぐものに Neupert 効果というものがある。これは非熱的輻射(硬 X 線・電波)のフラックスの時間積分と熱的輻射(軟 X 線)の最大フラックスが一致するという経験則である。ただし観測結果によると、基本的に非熱的輻射強度は熱的輻射強度に比例するが、軟 X 線強度の基準で 10 倍程度の誤差がある。またこの議論が正しければ、非熱的輻射のフラックスの時間微分と熱的輻射のフラックスが一致するはずであるが、常に一致しているとは限らない。これは太陽フレア中の全エネルギーに対して、非熱的エネルギーに変換される割合に広がりがあるためと考えられている。

Neupert 効果の始まりは電波観測であったが、最近硬 X 線が主となっている。その理由の一つとして、電波放射の複雑性がある。電波フラックスは磁場強度や電子のエネルギー、視線方向、電子のピッチ角など様々な条件で決定される。また電波はフレアループにトラップされている電子からのジャイロシンクロトロン放射をを観測しているが、トラップされている間同じ電子が電波放射し続けている可能性があり、フラックスが直接電子の個数に比例するとは限らないからである。硬 X 線との違いとして、硬 X 線で観測している電子のエネルギーが数 keV から数百 keV なのに対し、電波で観測しているエネルギーが数百 keV から数 MeV であり、どのエネルギー帯で Neupert 効果、あるいは彩層蒸発が最も効果的に働くかは未だ分かっていない。

そこで我々はどのくらいフレアの非熱的エネルギーの割合に揺らぎがあるのか、どの程度 Neupert 効果は成立するのだろうかという観点に立って軟 X 線、電波、硬 X 線の比較研究を行った。我々は GOES 衛星と RHESSI 衛星の軟 X 線、および RHESSI 衛星の硬 X 線と野辺山電波ヘリオグラフ (NoRH) の電波のデータを用いて、非熱的輻射のフラックスの時間積分と軟 X 線の最大フラックスを統計的に比較した。それにより、どのエネルギー帯で、また硬 X 線と電波でどの程度差が生じるのかを議論し、どのような場合に Neupert 効果が成り立つのか、成り立たないのかを NoRH、RHESSI、SOHO MDI/EIT、TRACE などを用いてフレアの形状、エネルギー解放の条件を確認した。

簡易的に解析を行った結果、「構造が小さく継続時間は短い硬 X 線の放射が強いもの」、「構造が大きく継続時間は長い硬 X 線の放射があまり大きくないもの」が Neupert 効果の成り立つ範囲からそれぞれ軟 X 線基準で 10 倍程度の両極端の量として取り上げられた(天文学会 2010 秋 川手ら発表)。

本講演では NoRH、RHESSI、GOES の同時観測データ全てを用いて、Neupert 効果の成り立たない範囲を評価し、その条件を議論する。それにより、全フレアから非熱的輻射の強いフレアが全体から見てどの程度あるのかを定量的に評価する。

キーワード: 太陽フレア, 電波, 高エネルギー, X 線

Keywords: solar flare, microwave, high energy, X-ray