

硬 X 線で見える太陽フレア

太陽観測衛星「ようこう」に搭載された硬 X 線望遠鏡 (HXT) は昨年 9 月に観測を始めてから、これまでに 350 個以上の太陽フレアを観測してきた。HXT でフレアはどのように見えているのだろうか？ またどんなことが分かかってきたのだろうか？ 初期観測の中から紹介する。

1. 太陽フレアの硬 X 線とは？

約 10 keV よりエネルギーの高い X 線は硬 X 線と呼ばれている。太陽フレアで観測される硬 X 線は、加速された電子が、太陽大気中のプラズマに衝突して出す制動放射である。従ってフレアの硬 X 線像は、電子の加速が磁気ループのどこで、どのように起きているのか、さらに加速された電子は磁気ループをどのように進んで硬 X 線を放射するのか、という疑問に答える上で、大きな手がか

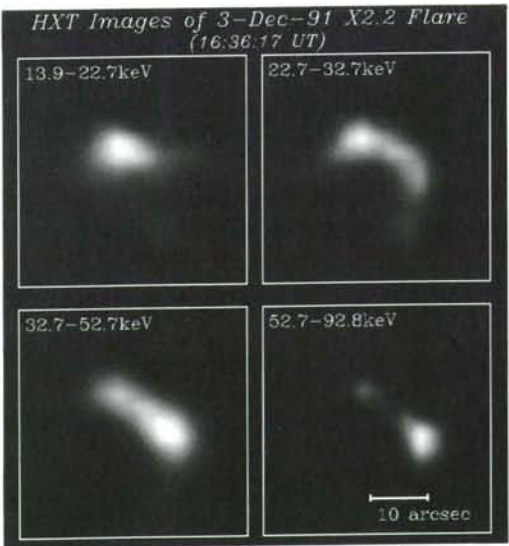


図1 HXT による、91年12月3日のフレアの4エネルギー帯での硬 X 線像、各画像の1辺は約40秒角、X 線データの積分時間（露光時間に対応）は2 sec である。

りを与えてくれる。

図1はHXTで観測されたフレアの硬X線像の例である¹⁾。おそらく磁気ループだと思われるループ状の構造、エネルギー帯による硬X線源の分布の違いなどがはっきりと見て取れる。HXTで明らかになってきた硬X線フレアの姿を次に見てみよう。

2. 硬 X 線源の高さ

コロナ中の硬 X 線源の、エネルギーに応じた高さの分布は、硬 X 線放射のモデルが予想する値と直接の比較が出来るという点で大事な情報となる。これまでも、太陽の縁の近くで起こったごく少数のフレアについて硬 X 線源の高さが求められていたが、高さ分布の統計や、エネルギー帯による高さの違いはよく調べられていなかった。HXT はフレアを4つのエネルギー帯で同時に観測し、かつ過去の硬 X 線望遠鏡に比べて1桁高い感度を持っているため、線源の高さ分布を初めて組織的に調べることが出来るようになった。HXT で観測した約 100 個のフレアについて、硬 X 線源の太陽面上での位置 X に対する、線源と H α フレアの位置の「ずれ」dX の相関を調べた²⁾のが図2である(硬 X 線のエネルギー帯は 14-23 keV、太陽の東西方向の成分のみを表示してある)。分布は有意な正の相関を示しており、硬 X 線の方が H α よりも上空から出ていることを意味している。この解析によると、14-23 keV の硬 X 線源は平均して光球から 9700 \pm 2000 km の上空にあり、さらに、エネルギーの高い硬 X 線ほど、より光球に近いところから出ている(例えば 53-93 keV の X 線源は 14-23 keV の X 線源よりも約 3000 km 低い)ことも明らかとなった。

この結果は、加速された電子は磁力線に沿って磁気ループの根元へと進むが、高いエネルギーを持った電子ほど光球に近いところまで到達して、そこでエネルギーの高い硬 X 線を放射するという描像を支持する。しかしながら硬 X 線源は理論的

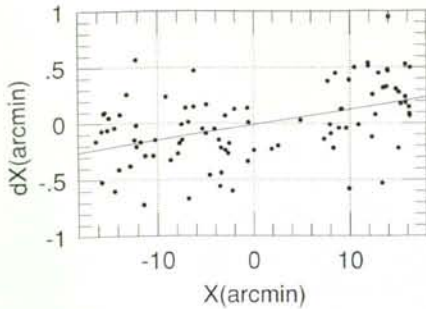


図2 14-23keVの硬X線源の太陽面上の位置Xに対する、線源とH α フレアとの位置の太陽面上での「ずれ」dXの分布図。太陽面上の東西方向の成分についてのプロットである。X軸は太陽の東（太陽に向かって左手の方向）を正とし、X=0は自転軸上の点を表わす。詳しくは文献2)を参照。

な予想³⁾よりも高いところにあり活動領域での太陽大気の密度分布のモデルあるいは硬X線放射のモデルなどが今後再考を迫られるかもしれない。

3. 白色光フレアとの関係

HXTはまた、個々のフレアについても、いくつかの興味深い結果を出している。ここではほんの一例として、昨年11月15日のフレアで観測された硬X線源と白色光フレアの間係を紹介しよう。

大きなフレアでは、可視光でも増光が認められる（白色光フレア）ことが稀にあるが、この白色光フレアがどのようにして起こるのかは、まだよく分かっていない。昨年11月15日のフレアでは、「ようこう」に搭載された軟X線望遠鏡の持つ可視光の光学系によって、白色光フレアが観測された。図3は33-53 keVの硬X線像と白色光フレアを重ね合わせたものである⁴⁾。両者はよく対応しており、この白色光フレアが光球面にまで到達した加速電子によって引き起こされたことを強く示唆している。このように硬X線像と白色光フレアが直接に比較されるのは初めてのことで白色光フレアの成因を研究する上で重要な観測事実となろう。

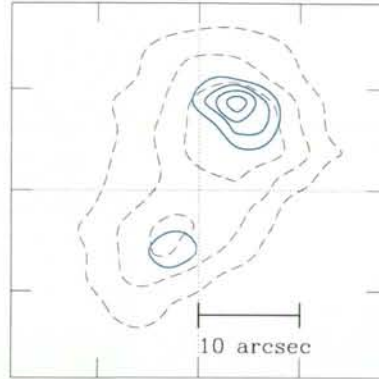


図3 91年11月15日のフレアで観測された白色光フレア（点線）と、同時刻の硬X線源（33-53keV；実線）。白色光、硬X線とも「2つ目玉」であるが、この「2つ目玉」は磁気ループの根元に対応すると考えられる。

なお、11月15日のフレアではこれ以外にも、
・インパルス＝フェーズでの電子の加速は1本の磁気ループで繰り返し起きたのではなく、上空にある磁気ループで順々に（連鎖的に）起きたい
・インパルス＝フェーズが始まる前に20,000 km程度のスケールで硬X線源に大規模な構造の変化が見られる、など新しい観測結果が得られている。

このようにHXTは、我々の知らなかったフレアの姿を次々と見せてくれている。今後、エネルギースペクトルの情報や、他波長での観測結果と組み合わせることで、フレアによって電子がいかに加速されるか、その核心に迫ることができると期待している。

坂尾太郎（国立天文台）

参考文献

- 1) Kosugi, T. et al. 1992 *Publ. Astron. Soc. Japan* in press
- 2) Matsushita, K. et al. 1992 submitted to *Publ. Astron. Soc. Japan*.
- 3) Brown, J., C. and McClymont, A., N. 1975 *Solar Phys.*, **41**, 135.
- 4) Sakao, T. et al. 1992 submitted to *Publ. Astron. Soc. Japan*.