

論文内容の要旨

論文題目 Photospheric Magnetic Fields and the Coronal Heating
 (光球磁場とコロナ加熱の関係)

氏名 勝川 行雄

「ようこう」衛星搭載の軟 X 線望遠鏡(SXT、200 万度以上のプラズマを観測)、SOHO 衛星搭載の極紫外撮像望遠鏡(EIT)や TRACE 衛星(100 万度から 200 万度のプラズマを観測)によって、太陽コロナは多温度、つまり個々の磁気ループが 100 万度から 500 万度に渡って異なる温度を持っていることが明らかとなってきた。「ようこう」軟 X 線望遠鏡で観測される 200 万度を超えるような「高温ループ」(図 1[a])はループ上空が明るく、ぼやけた構造を持つものに対して、TRACE 衛星で観測される 100-200 万度程度の「低温ループ」(図 1[b])はくっきりとした構造を持ち、足下ほど明るい。このような異なる温度のループを作るには、コロナ加熱率が 1 桁以上も異なっていないといけない。

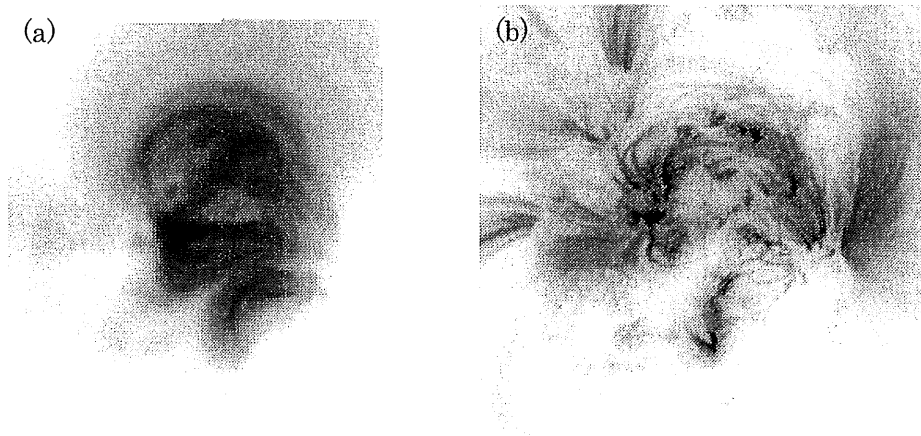


図 1: (a) 「ようこう」軟 X 線望遠鏡で観測した活動領域コロナ、(b) 同時刻に同領域を TRACE 衛星で観測。

加熱エネルギーはループの足下からコロナへ供給されるはずであり、その足下の磁場を調べることが加熱メカニズム解明への近道であると考えられる。そこで、本研究では、コロナ観測データからループとその足下を抜き出し、足下の磁場の特徴を調べることで、コロナと光球磁場のつながりを直接的に調べた。光球磁場測定にはアメリカ国立太陽観測所の Advanced Stokes Polarimeter (ASP)を用いる。Zeeman 効果によって生じる偏光吸収線輪郭を測定することで、太陽光球面における精度の高い磁場ベクトルを得ることが可能である。2000年から2003年にかけて3度に渡り「ようこう」軟X線望遠鏡、TRACE衛星、ASPによる共同観測を行った。

第2章では、高温ループと低温ループの足下それぞれについて、磁場の特徴をASPで調べた。「ようこう」軟X線望遠鏡で観測すると、高温ループは足下へ行くほど暗くなってしまうため、足下の位置の同定が困難であったが、TRACE衛星で観測される Moss 構造を用いることでこれを克服した。Moss 構造は高温ループの足下に存在することが知られており、本論文でもこれを確認している。Moss 領域(つまり高温ループの足下)と低温ループの足下において磁場の特徴をASPで調べた。いずれの足下に対しても、磁場強度は1.2–1.3kGであり、磁場の向きは光球に対してほぼ垂直である。Moss 領域と低温ループ足下の最も顕著な違いは磁気 filling factor(1ピクセル内で磁気大気の占める割合)であり、Moss 領域、すなわち高温ループの方が filling factor が小さいことが明らかとなった(図2)。光球における磁場を磁気要素(微細磁束管)の集まりであると考え、磁気 filling factor は磁気要素の数密度に対応している。Moss 領域(高温ループの足下)では磁気要素の数密度が小さく、磁場が比較的自由に運動することが可能である。これによってコロナへのエネルギー入力効率が起き、高温ループになると考えられる。一方、低温ループの足下では磁気要素の運動が抑制され、加熱率は小さくなる。この最たる例が黒点上空であると考えられる。

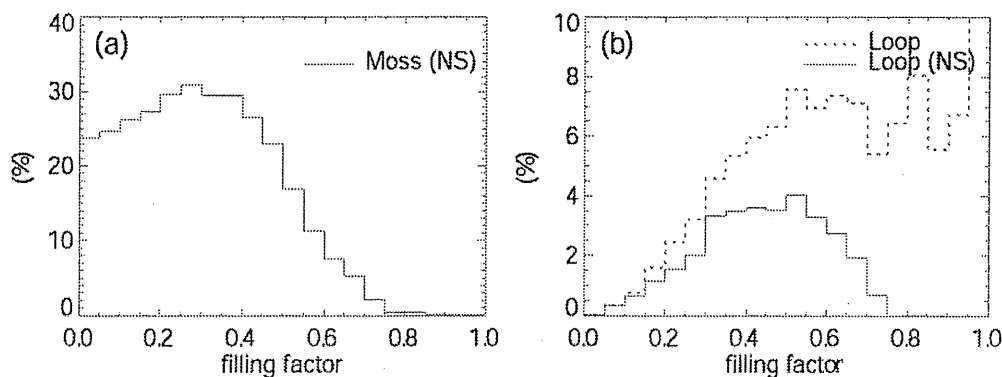


図2: (a) Moss 領域(高温ループの足下)と(b)低温ループの足下における磁気 filling factor の分布。高温ループの足下では filling factor が小さく、低温ループの足下では大きい。

低温なループの中には黒点暗部付近に足下をもつものが存在することが分かっている。第3章ではそのような黒点から伸びるループの足下の磁場構造を詳細に調べた。低温ループの足下は黒点の暗部と半暗部の境界に主に存在する(図3[a])。この領域は、暗部の強く太陽面に対して立った磁場と半暗部の比較的弱く寝た磁場が交互に入り組んだ構造を持っており、明るい低温ループはこの入り組み構造が顕著な場所に存在する傾向があることが明らかとなった(図3[b])。この観測結果から、暗部と半暗部の境界に存在する入り組み構造が磁場の不連続面(電流層)を形成し、磁気リコネクションによってループの足下を加熱するというモデルを提案する。ループに沿った温度分布から、低温ループの加熱源は足下近傍に存在することが示唆されているが、これは本論文のモデルとは矛盾しない。

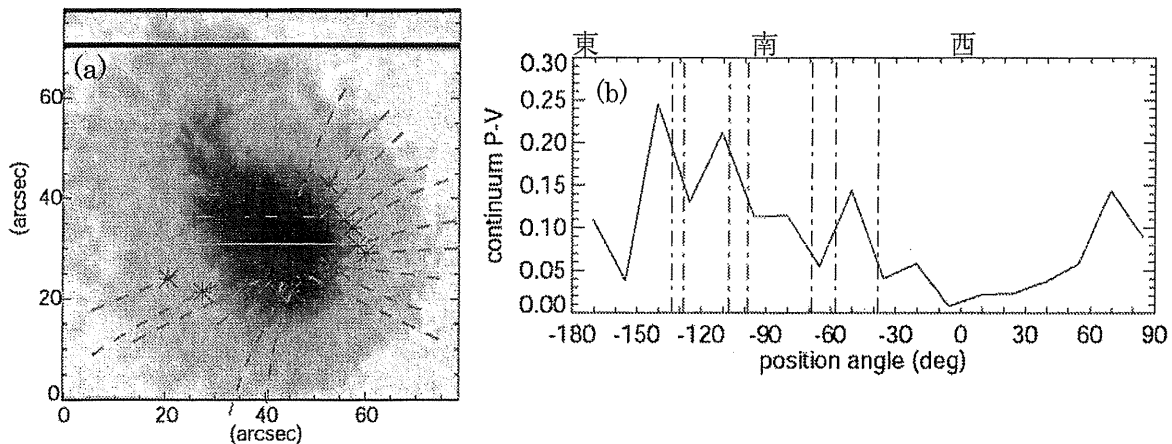


図3: (a)ASPで観測された黒点の連続光像。破線がTRACE衛星で観測されたループを、アスタリスクが足下の位置を示す。(b)暗部/半暗部境界における連続光変動の分布。値の大きな場所では連続光の変動が大きいことを示す。一点鎖線がループ足下の位置を表す。

第4章ではTRACE衛星で観測されたループ一本一本について、一方の足下からもう一方の足下までを抜き出すことで、光球のどの磁極とどの磁極がコロナループを介して結合されているかを観測的に調べた。ループ両端の足下の間で、磁場に関する量について相関を調べたところ、磁束密度については相関が観測されなかった(つまり、ループの太さがループに沿って変化している)が、電流については負の相関が存在することが分かった(図4[a])。

コロナループを介してつながっている 2 つの足下では、電流の太陽面に垂直な成分 J_z が逆符号をとる傾向にある。これは一方の足下からもう一方の足下へコロナループに沿って電流が流れていることを示している。フォースフリーパラメータ α については弱いながら正の相関が存在する(図 4 [b])。2 つの足下がフォースフリー磁場($J \times B = 0$ 、電流が磁場に平行)で結合されているとき、この α は 2 つの足下で同じ値になるべき量である。また、フレアやマイクロフレアに付随したループの足下では電流 J_z の値が大きいことも明らかとなった。

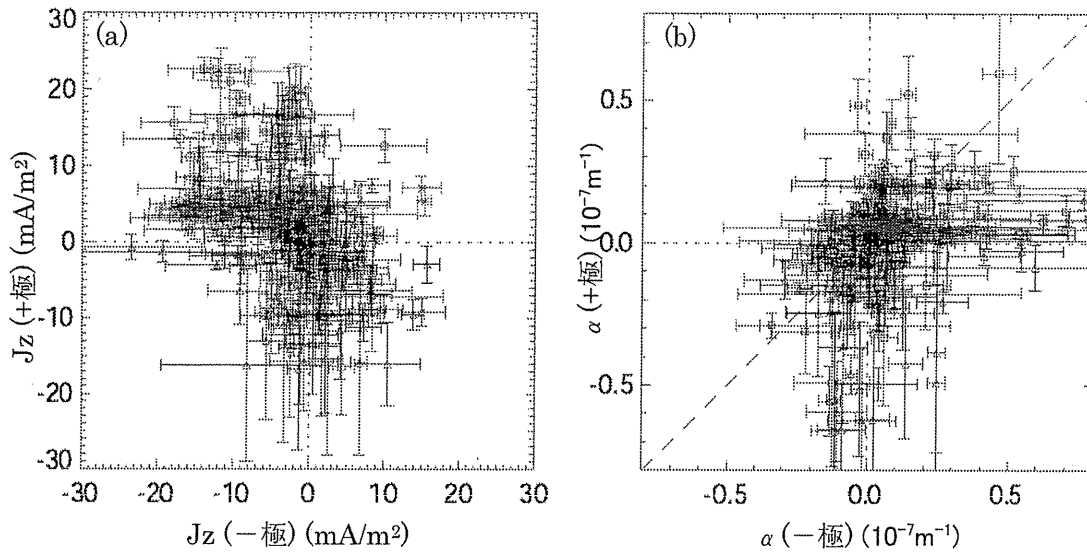


図 4: 各ループ両端における (a) 電流 J_z と (b) フォースフリーパラメータ α の相関。