

黒点ライトブリッジのダイナミクス

加納 龍一 (東京大学大学院 理学系研究科)

Abstract

太陽黒点の特徴的な構造のひとつとして、黒点暗部を裂くようにして現れるライトブリッジという構造がある。このライトブリッジの領域において光球で超音速 ($>6\text{km/s}$) の下降流の存在が報告されているが、その原因はまだ解明されていない。[1] によれば、その下降流の原因は黒点暗部の垂直磁場とライトブリッジの水平磁場との磁気リコネクションであるとされているが、今まで時間発展を追った研究はされていなかったため、その磁気リコネクション説に確証を得ることができていなかった。そこで、JAXA の衛星「ひので」と NASA の衛星「IRIS」の同時観測でライトブリッジの下降流発生領域の光球と彩層の磁場と速度場の時間発展を追ったところ、下降流の原因は磁気リコネクションではなく、磁束管の浮上によるサイフォン流ではないかと思われる特徴を発見した。

1 Introduction

太陽の活動性は磁場によるものがほとんどである。フレアトリガー、コロナ加熱、ダイナモなどの未解決問題も、磁場が重要な役割を果たしていると考えられている。太陽における磁場の影響の典型例として、黒点の存在が挙げられる。黒点ひとつをとっても、その活動性は多岐にわたる。今回は黒点の「ライトブリッジ」という構造に着目した。黒点のライトブリッジとは、黒点を裂くようにして現れる構造のことであり、特徴としては以下のようなものが挙げられる。

- 黒点暗部の太陽表面に垂直な磁場に対して、太陽表面に水平な磁場がよく観測される。
- 光球の水平磁場と垂直磁場の境界で、超音速 ($>6\text{km/s}$) の下降流が観測される。

この下降流の起源については現在も議論が繰り広げられている。一般的には黒点暗部の垂直磁場とライトブリッジの水平磁場との磁気リコネクションが起源になっていると考えられているが、磁場と速度場の時間発展を追って研究がされた例が今まで存在しないので、決め手に欠けている。また、もし磁気リコネクションが原因であるなら下降流の発生に伴い上空で上昇流が観測されるはずであるが、その上昇流の存在も今まで観測されていない。これらより、

高時間分解能で下降流発生に伴う磁場構造と上空の速度場を同時観測することで、下降流の発生原因を突き止めることを目的として研究を行った。

2 Observations

2013 年 9 月 1 日の NOAA Active Region 11836 の黒点 (図 1) を、16:00 から 18:00 まで「ひので」と「IRIS」で共同観測を行ったデータを用いた。注目する黒点は太陽表面の $(-112'', 39'')$ の位置にあり、ほぼディスクセンターにある。

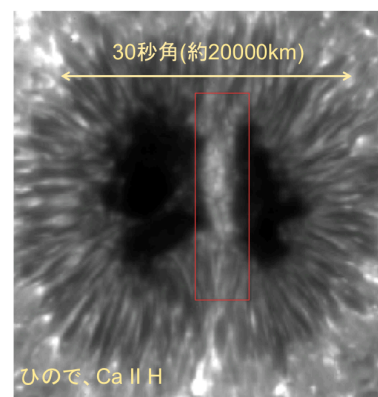


図 1: 今回解析した黒点。赤の四角で囲まれた領域がライトブリッジ

「ひので」では、SP(Spectropolarimeter) のデータを利用した。ひのでの SP は鉄の 630nm における吸収線を利用してストークスプロファイルを求めており、光球における磁場と速度場を求めることができる。1 ピクセルのサイズは $0''.32$ で、今回のデータは Sparse Raster モードで横に 30 スリットの範囲を観測したものである。このデータの時間分解能は 1 分である。

「IRIS」では、Si IV の分光スペクトルデータを利用した。1 ピクセルのサイズは $0''.17$ で、データは Sit and Stare モードで観測されたものである。このデータの時間分解能は 4 秒である。

3 Results

3.1 ひので

Milne Eddington Inversion を「ひので」の SP のプロファイルに作用させて磁場を導出したところ、観測期間内に、ライトブリッジに沿った水平磁場が伸びてくる様子をとらえることができた (図 2)。また、水平磁場の成長に伴い、水平磁場の上側の端で周囲の磁場と同じ極性の下降流、下側の端で周囲の磁場と逆の極性の上昇流の存在を示すプロファイルが見られた (図 3)。また、下降流と上昇流は一瞬ではなく、水平磁場が成長しだしてから断続的に観測することができた。この下降流と上昇流の存在を示すプロファイルは複雑な構造をしているため簡単にフィッティングをして速度を求めることはできないが、ピークの山の位置から大雑把に見積もっても音速程度 ($>6\text{km/s}$) の速度を持っていることがわかる。

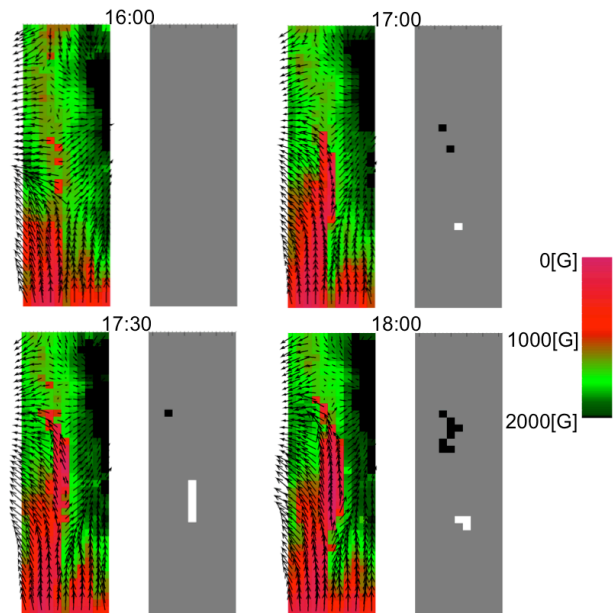


図 2: 時間ごとに発展していく磁場 (左) と速度場 (右)。磁場は矢印が水平磁場の強さと向きを表し、色は垂直磁場の大きさを表す。また、速度場は白色が上昇流を表し、黒色が下降流を表す。

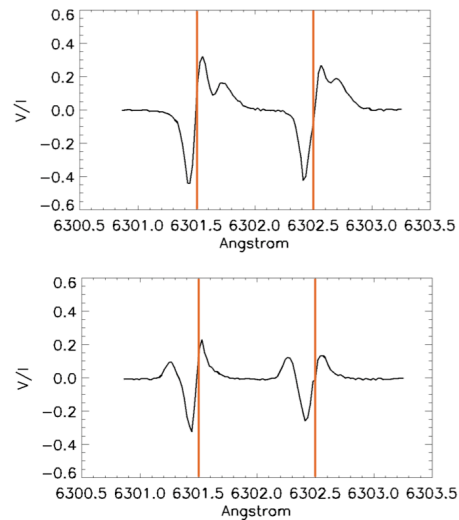


図 3: 水平磁場の上側の端で観測された周囲の磁場と同じ極性の下降流のプロファイル (上) と、水平磁場の下側の端で観測された周囲の磁場と逆の極性の上昇流のプロファイル (下)。オレンジ色の線はラインセンター

3.2 IRIS

「ひので」で下降流が観測された点に着目して、分光された Si IV 1394 (~80000K)、C II 1336 (~25000K)、Mg II k 2796 (~10000K) の輝線にガウシアンフィッティングをすることで上空の速度場と明るさを求めたところ、速度場は約 3 分の周期で音速以下のスピードで振動している様子がみられた。明るさは全体的に暗く、下降流の発生に伴って速度や温度に特徴的な反応は見られなかった。(図 6、7)

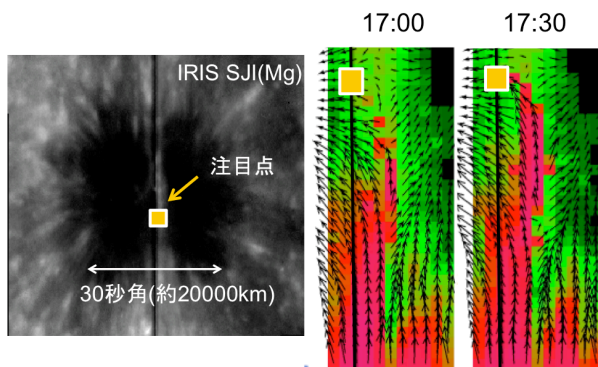


図 4: IRIS のスリット位置 (左) と、ひのでのデータのスリットに対応する位置 (右)

Si IV 1394 と C II 1336 のラインは光量が少ないためにデータが乱れてしまっているところもあるが、Mg II k 2796 のラインは光量も十分で、データの乱れは少ない。Mg II k 2796 のラインは一般的にはプロファイルがシンプルなガウシアンではなく中央がへこんだ形をしていることが多いが、今回の場合は黒点暗部領域なのでプロファイルはシンプルなガウシアンに近いものになるため、ガウシアンフィッティングで速度を求めることができた。(図 5)

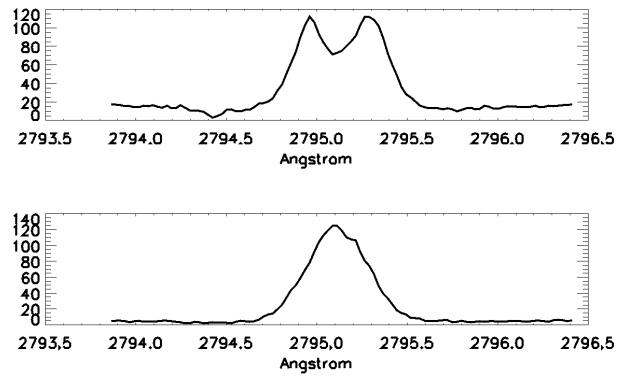


図 5: k3 の山のあるプロファイル (上) と k3 の山のないプロファイル (下)。温度が低い領域では k3 の山がなくなることが多い。

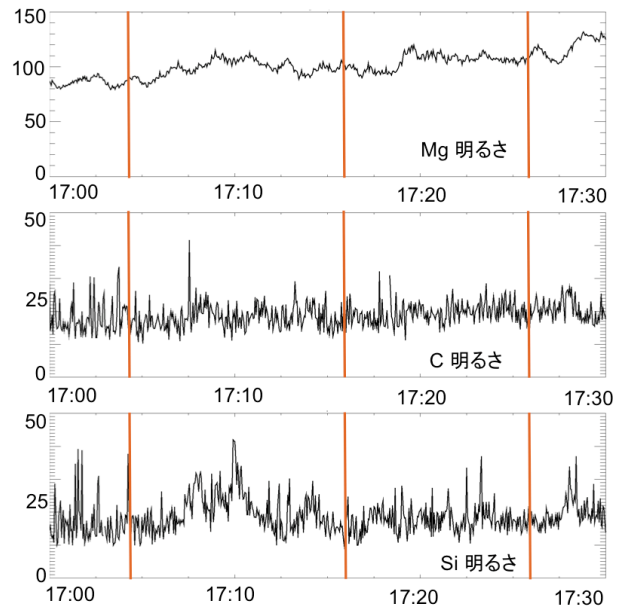


図 6: ガウシアンフィッティングをして得られた明るさのプロット。オレンジ色の線は光球の下降流とスリットが重なった時間

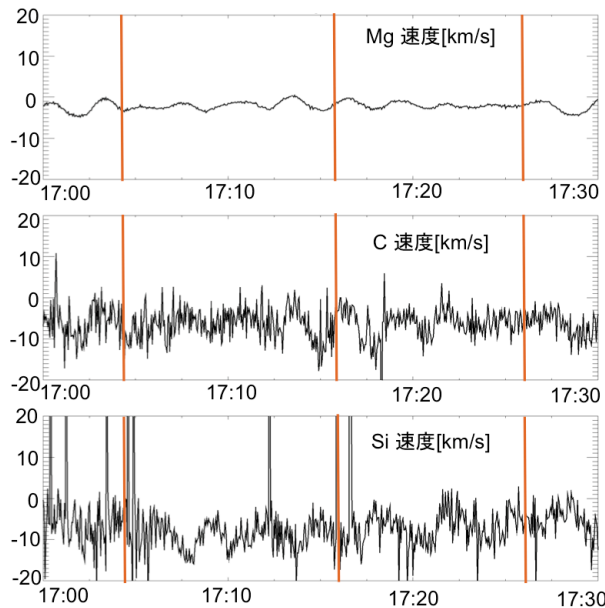


図 7: ガウシアンフィッティングをして得られた速度のプロット。オレンジ色の線は光球の下降流とスリットが重なった時間

4 Discussion

「IRIS」のデータの示す速度の周期的な変化は、周期や速度といった特徴が [2] の黒点上空における黒点の振動の観測結果と似ているため、太陽の固有振動によって励起された黒点の振動によるものであると考えられる。さらに、Si IV の音速は 34km/s であるため、観測された速度はリコネクション由来であるとするあまりにも遅い。以上の結果に加えて下降流発生に伴い特徴的なシグナルが見られなかったことから、下降流の発生原因は磁気リコネクションではないと考えられる。さらに、「ひので」から得られた下降流と上昇流の長期間の存在や、上昇流と下降流で極性が違うことから、この流れはライトブリッジの領域に新しく磁束管が浮上してきて、その磁束管に沿って生じた流れだと考えられる (図 8)。ライトブリッジにおける浮上した磁束管の存在は他にも報告例 [3] はあり、磁束管に沿った音速に近い流れはサイフォン流 [4] として知られている。磁束管に沿った流れの例としては半暗部のエバーシェッド流 [5] などが挙げられ、太陽の他の領域でも存在は示唆され

ている。

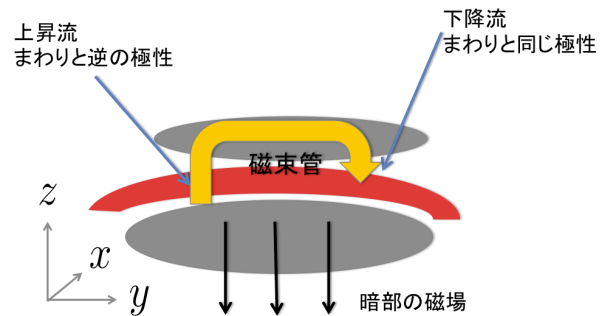


図 8: 磁束管の浮上による流れの模式図

5 Conclusions

「ひので」と「IRIS」で共同観測することによりライトブリッジ領域の下降流発生に伴う速度場と磁場を求めたところ、光球での下降流発生に伴い上空では顕著な変化は見られなかった。これは、下降流の原因が磁気リコネクションではないことを示している。さらに、下降流発生とともに別の領域で逆極性の上昇流が観測され、上昇流と下降流が長時間継続したことより、ライトブリッジ領域での下降流の原因は、磁束管の浮上に伴うサイフォン流である可能性が見いだせた。サイフォン流であることを結論づけるためには、今回求めた物理量の他にも、速度の具体的な値、磁束管の両端の磁場の強さ、磁束管の太さを求める必要がある。

6 Reference

- [1] Louis, R. E et al., 2009, ApJ, 704, 29
- [2] H. Tian et al., 2014, ApJ, 786, 137
- [3] Shimizu, 2011, ApJ, 738, 83
- [4] Thomas, John H, 1988, ApJ, 333, 407
- [5] Schlichenmaier, R, 1998, A & A, 337, 897