

ひので・IRIS 共同観測による太陽黒点ライトブリッジの磁気対流・磁気リコネクションの研究 (P-018)

鳥海 森¹、勝川行雄¹、Mark C. M. Cheung² ¹: 国立天文台、²: ロッキードマーチン太陽天体物理学研究所 宇宙科学シンポジウム (2016/1/6-7)

1. イントロダクション

- 背景：
黒点を含む太陽活動領域ではフレアやジェットなど様々なスケールの活動現象が観測される。特に「ライトブリッジ」と呼ばれる黒点内部の磁場構造（図 1）では彩層増光やジェット噴出などが観測される [e.g., Asai+ 2001, Shimizu+ 2009]。
- 目的：
ライトブリッジにおける活動現象の発生メカニズムを、太陽内部から上空にわたって 3 次元的に解明する。
- 手法：
「ひので」による光球磁場観測、「IRIS」による彩層分光観測とともに、黒点形成シミュレーションの解析を組み合わせる。

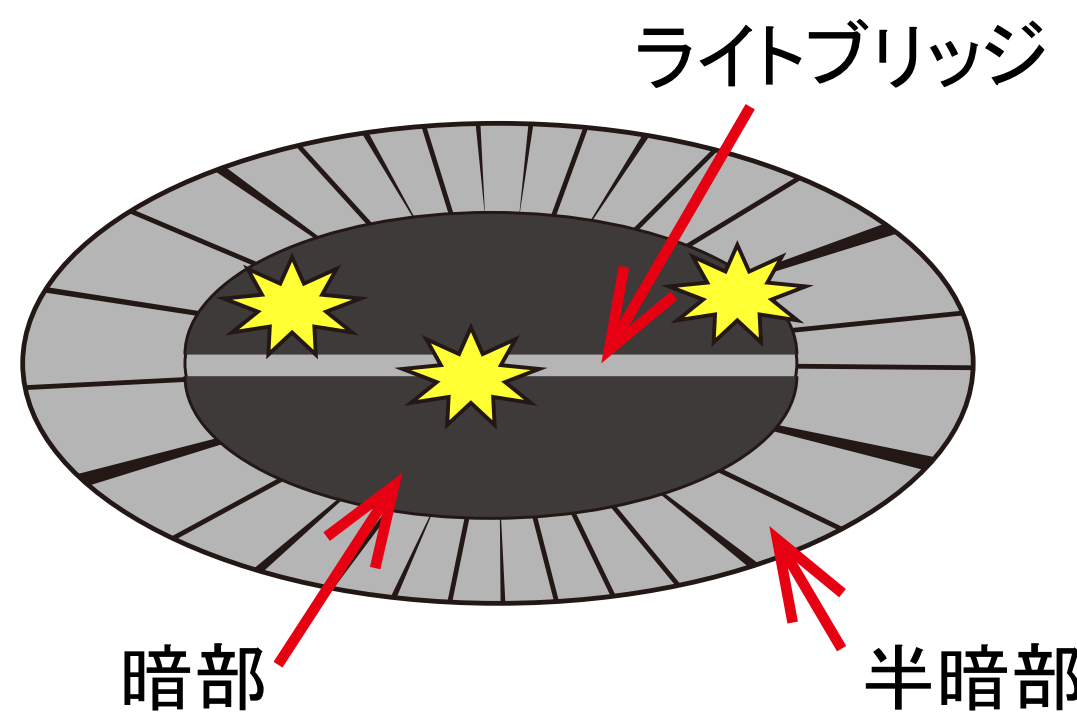


図 1) 黒点とライトブリッジ。ライトブリッジは形成中や崩壊中の黒点において、暗部に挟まれた相対的に明るい構造として観測される。

2. 観測データ解析

活動領域：NOAA 11974（2014 年 2 月 13-14 日）
データ：ひので /SOT、IRIS（位置合わせ等には SDO データを用いた）

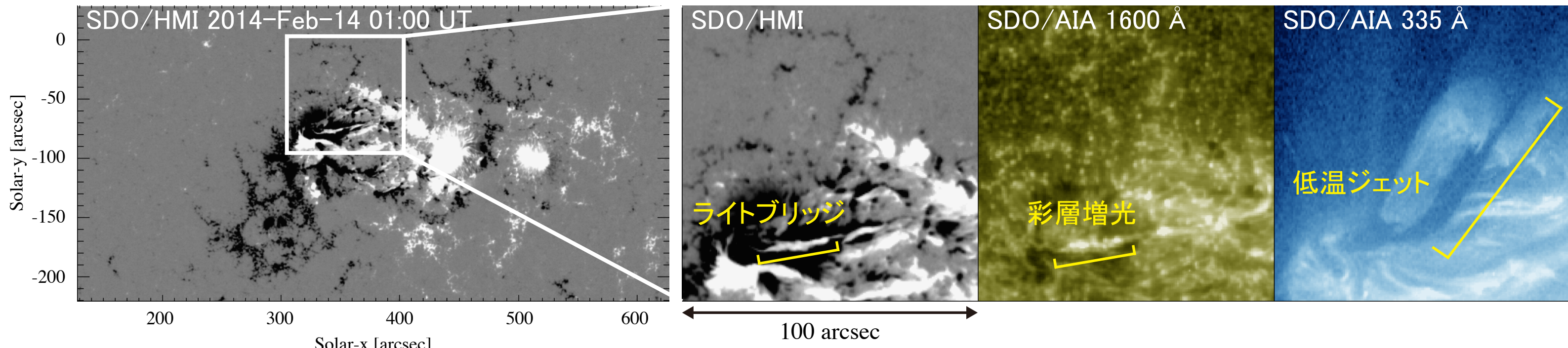


図 2) (左) 活動領域 NOAA 11974。(右) ライトブリッジ周辺のマグネットグラムと UV、EUV 画像。ライトブリッジの上空には彩層増光が見られ、低温のジェットがコロナへと繰り返し噴出している。以下では、ライトブリッジの磁場構造と増光現象について解析を行う。

2.1. 光球磁場観測（「ひので」衛星）

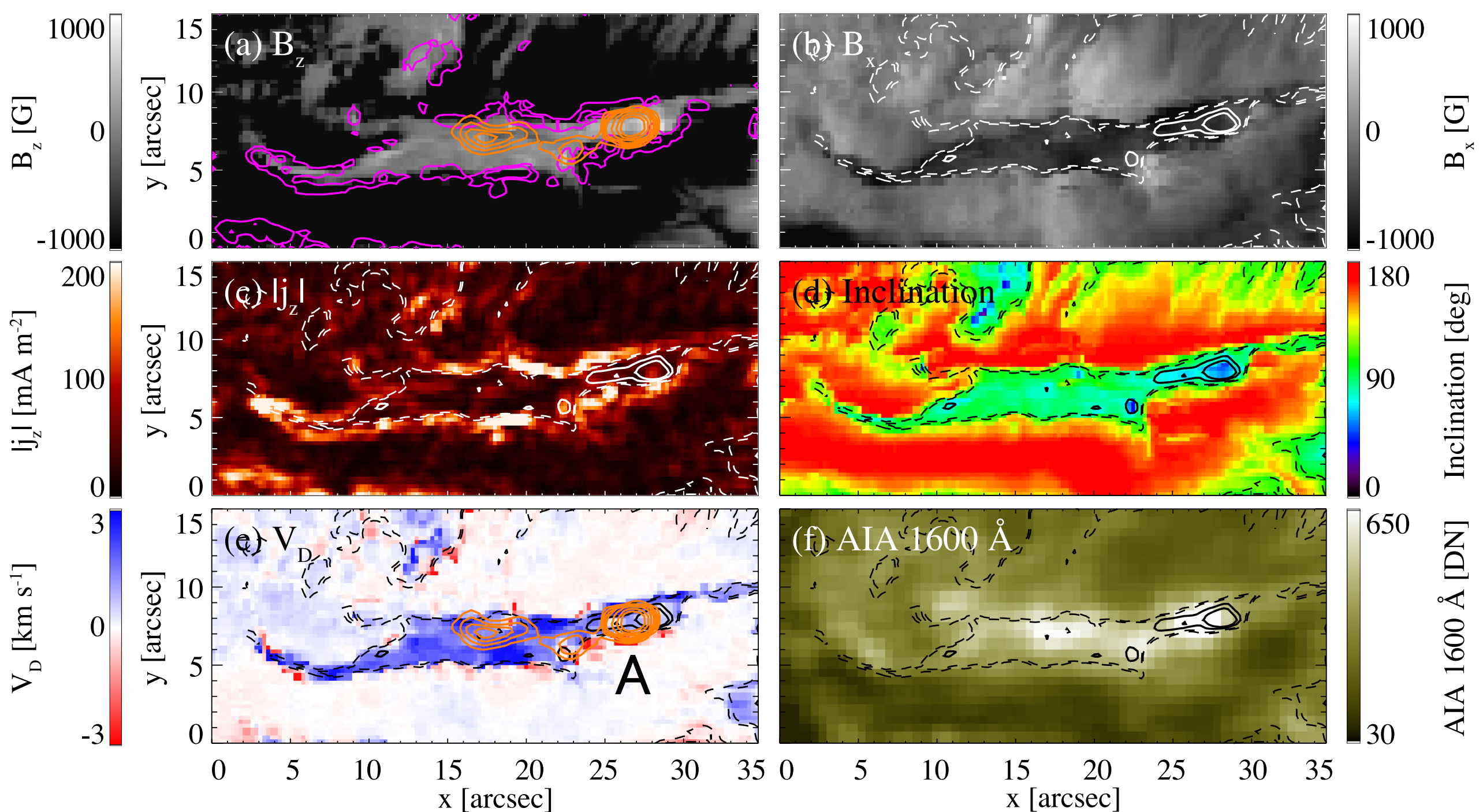


図 3) ひので /SOT によるライトブリッジのベクトル磁場観測。(a) 垂直磁場 B_z 、(b) 水平磁場 B_x 、(c) 電流強度 $|j_z|$ 、(d) 磁場傾き角、(e) ドップラー速度 V_d 、(f) 紫外線輝度。ライトブリッジ内部に存在する弱い水平磁場が、周囲の強い垂直磁場に囲まれ、境界面には磁気シアによる電流が生じている。ライトブリッジ内部には上昇流が存在する。ライトブリッジ上空には彩層増光が見られる。

2.2. 彩層分光観測（「IRIS」衛星）

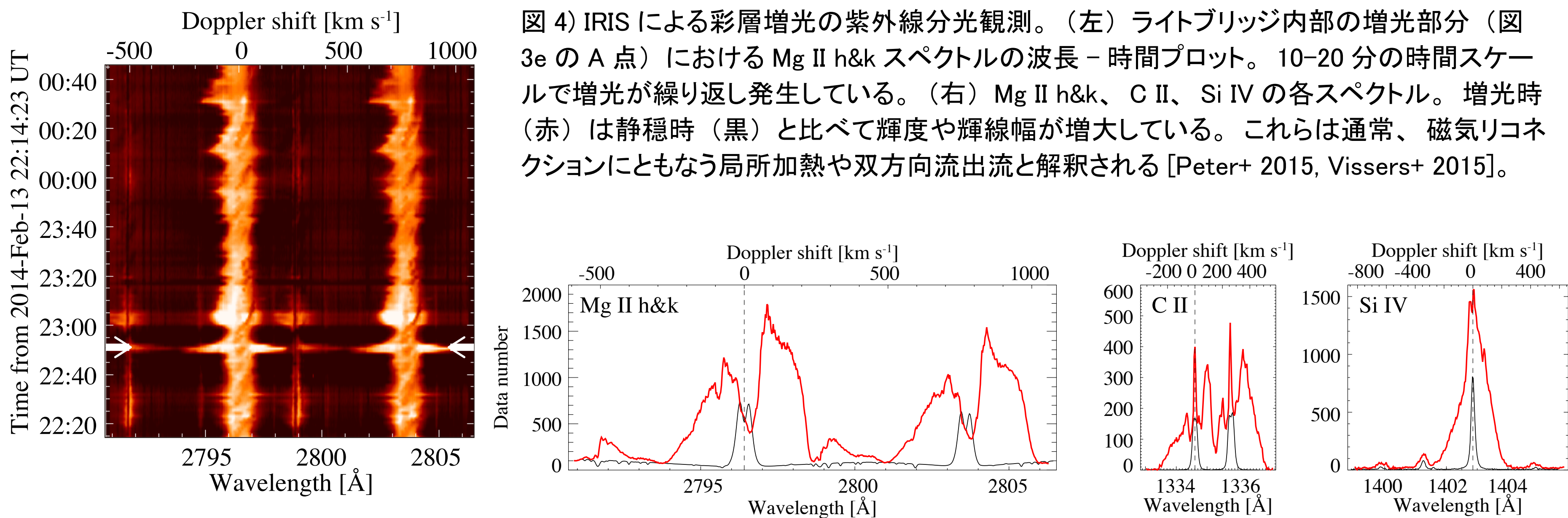


図 4) IRIS による彩層増光の紫外線分光観測。(左) ライトブリッジ内部の増光部分（図 3e の A 点）における Mg II h&k スペクトルの波長 - 時間プロット。10-20 分の時間スケールで増光が繰り返し発生している。(右) Mg II h&k、C II、Si IV の各スペクトル。増光時（赤）は静穏時（黒）と比べて輝度や輝線幅が増大している。これらは通常、磁気リコネクションにともなう局所加熱や双方向流出と解釈される [Peter+ 2015, Vissers+ 2015]。

4. 議論

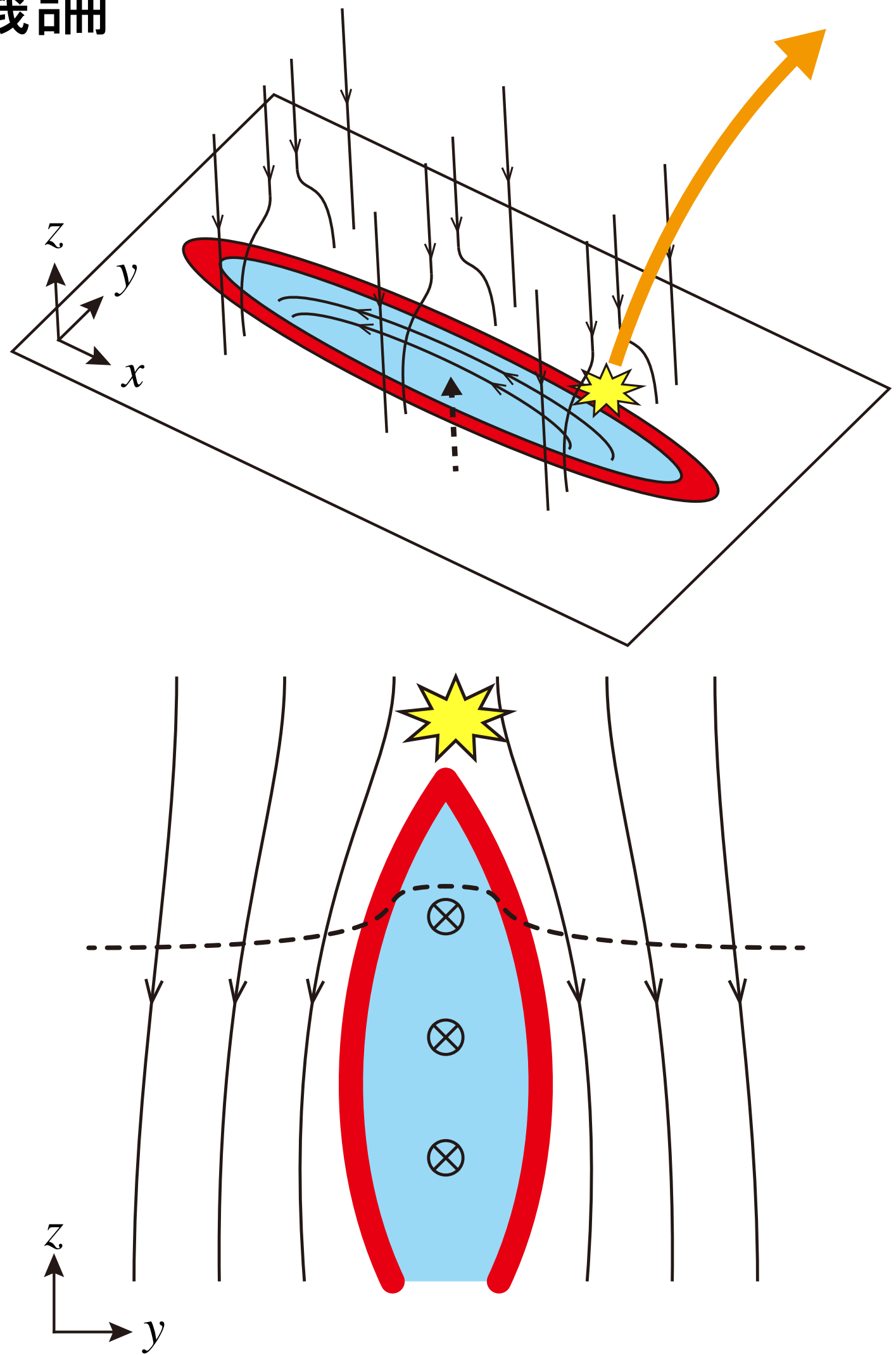


図 8) ライトブリッジの概念図。青・赤は上昇流・下降流を示し、星型は磁気リコネクション、橙矢印は低温ジェットを表す。

観測・シミュレーション結果のまとめ

- ・ライトブリッジ内部には弱い水平磁場が存在し、強い垂直な黒点磁場に囲まれている
- ・ライトブリッジ上空では磁気リコネクションが周期 10-20 分で繰り返し発生している
- ・低温ジェットがコロナへと繰り返し噴出している
- ・ライトブリッジには対流が存在し、上昇流によって水平磁場が太陽内部から表面へと、周期 10-20 分で繰り返し輸送されている

議論

ライトブリッジは細長い一つの対流セルとして捉えられる。ライトブリッジ上空に見られる周期的な増光・ジェット噴出は、ライトブリッジ内部の磁気対流によって繰り返し表面へ輸送される磁束が、彩層で黒点磁場と周期的に磁気リコネクションすることで発生した結果と考えられる。

「対流に駆動された磁気リコネクション」は成長中の活動領域や黒点半暗部でも示唆されており、磁気流体に普遍的な現象である可能性がある。「ひので」の光球磁場観測、「IRIS」の彩層分光観測や数値シミュレーションを組み合わせることで、磁場に起因する諸現象の解明に寄与することが可能となる。

3. 数値シミュレーション

データ：黒点形成 MHD シミュレーション [Chueng+ 2010]
領域 $92 \times 49 \times 8.2 \text{ Mm}^3$ 、グリッド数 $1920 \times 1024 \times 256$

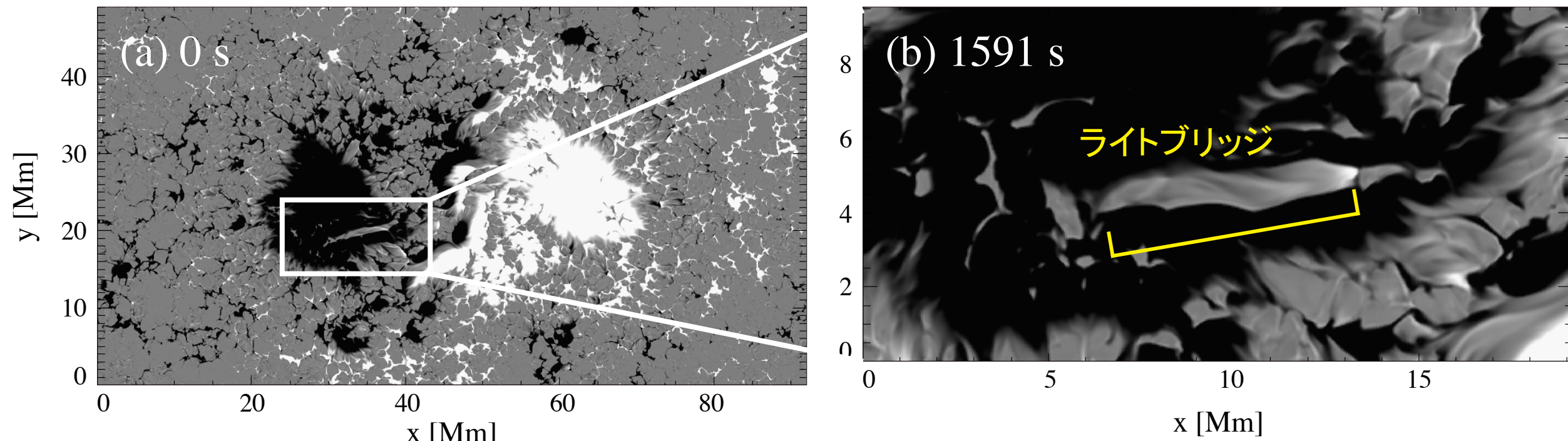


図 5) シミュレーション結果を表した光球マグネットグラム。(左) 形成中の双極型黒点。(右) 負極黒点の内部にライトブリッジが出現している。

3.1. 光球磁場構造

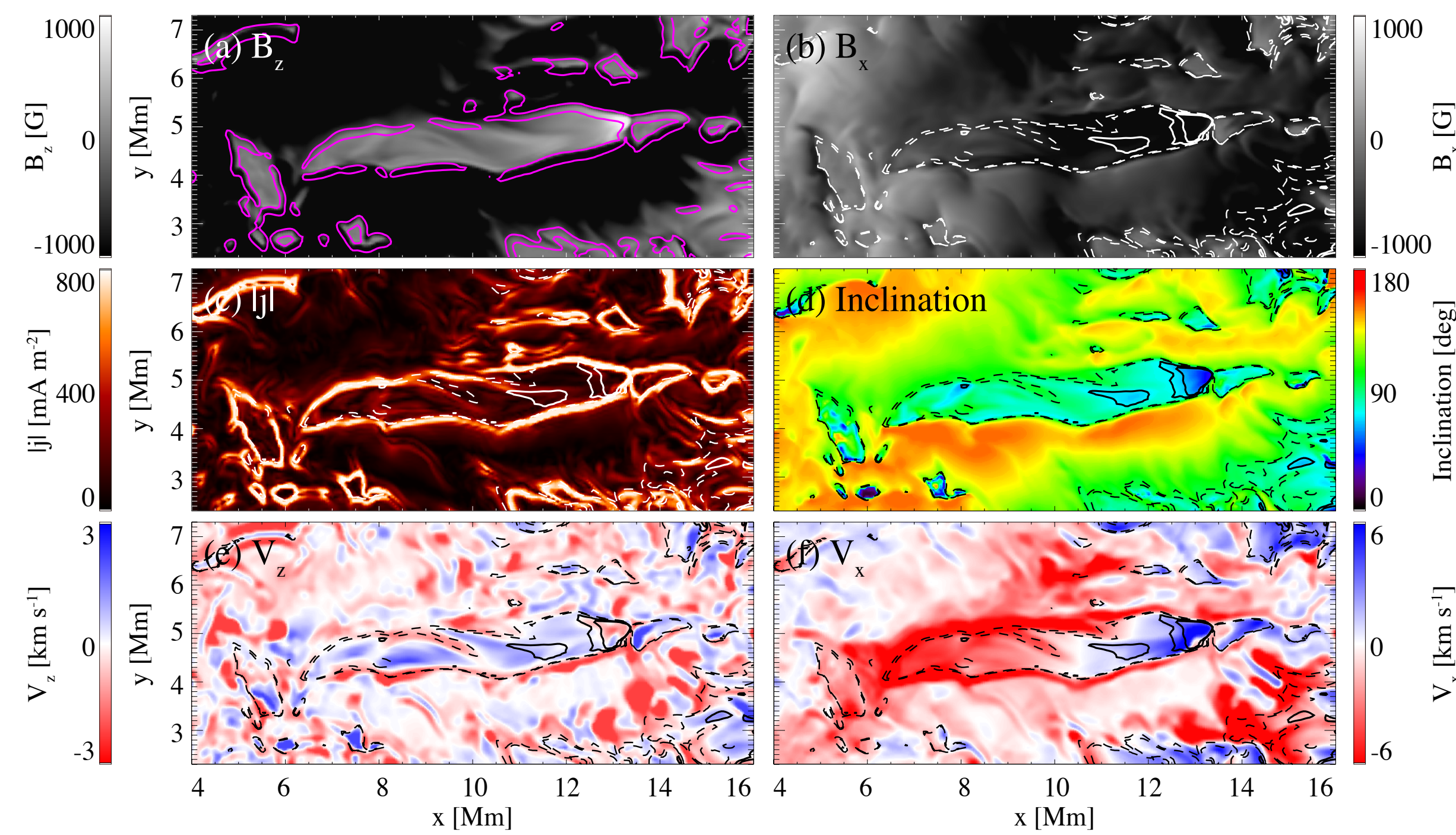


図 6) 光球におけるライトブリッジの構造。「ひので」観測と同様に、弱い水平磁場が垂直な強い黒点磁場に挟まれている。ライトブリッジ内部の上昇流は $\pm x$ 方向への発散流となる。

3.2. 磁力線 3 次元構造

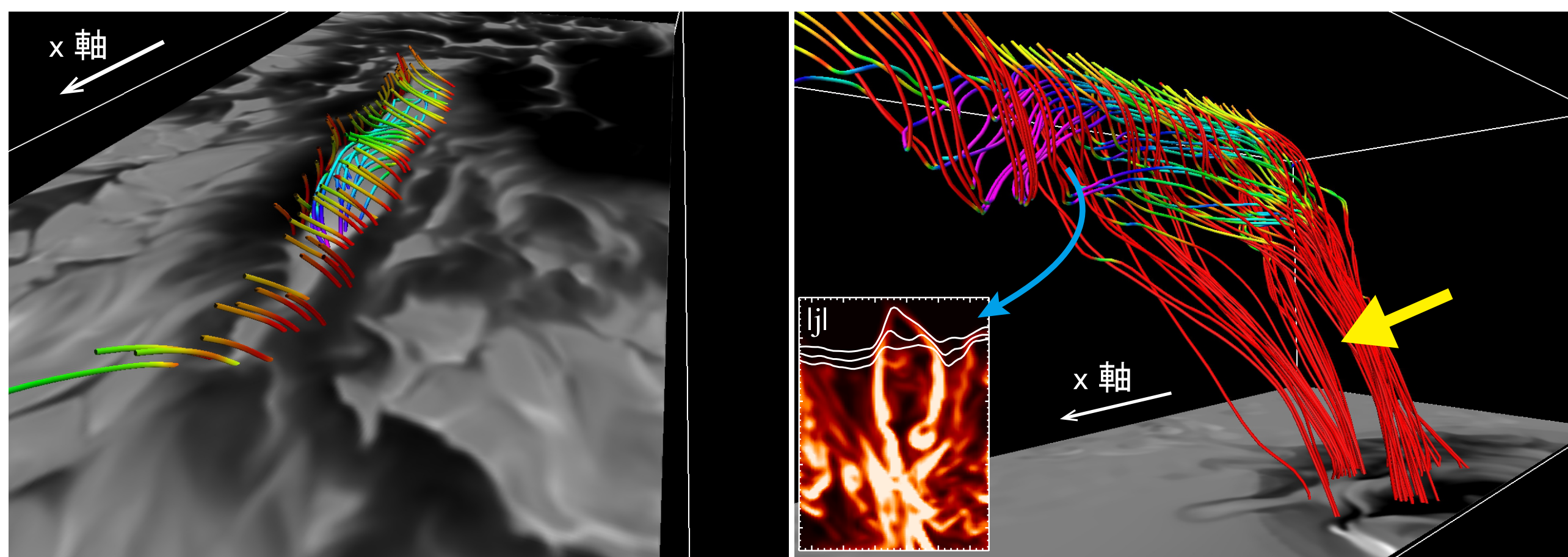


図 7) ライトブリッジ周辺の磁力線プロット。ライトブリッジの内部（黄矢印）には上昇流が存在し、水平磁場を太陽表面へ 10-20 分の周期で繰り返し輸送している。水平磁場は周囲の強力な黒点磁場との間に電流層を形成している。

5. まとめ

本研究では黒点形成時に出現するライトブリッジに着目し、磁場構造・形成過程や多様な活動現象との関連性を調べた。

「ひので」「IRIS」衛星による共同観測データを解析し、数値シミュレーションの結果と組み合わせたところ、ライトブリッジ内部では**磁気対流**によって磁束が繰り返し表面へ輸送され、周囲の黒点磁場と**磁気リコネクション**することで、周期的に彩層増光や低温ジェットなどを生じていることが明らかになった。

本研究は以下の出版論文として公表されている

- ・ Toriumi et al. 2015, ApJ, 811, 137
- ・ Toriumi et al. 2015, ApJ, 811, 138

その他の引用文献

- ・ Asai et al. 2001, ApJL, 555, L65
- ・ Shimizu et al. 2009, ApJL, 696, L66
- ・ Cheung et al. 2010, ApJ, 720, 233
- ・ Peter et al. 2014, Sci, 346, 315
- ・ Vissers et al. 2015, ApJ, 812, 11