



成長過程にある太陽黒点における磁場・速度場について

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2013-12-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 川上, 新吾, 當村, 一郎 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24729/00007571

表1 観測データ

Observation time	Heliocentric distance	Scan steps	Exp.time [ms]
Oct.16 2002 06:42-07:29UT	0.73	51	15
Oct.16 2002 23:29-23:54UT	0.66	61	10

分)を考慮すると, 各フィラメントの性質というよりも, AFS 領域を平均化した特性を観測していることになる。

観測した活動領域は NOAA10160 である。この領域は 2002 年 10 月 14 日に太陽東縁に現れたが, この日には黒点はまだはっきりとは認められなかった。翌 15 日には小さい黒点が出現, 16 日から 17 日にかけて成長したものの, あまり活動は示さず 23 日にはほとんど痕跡のような形で西縁に没した。今回観測した際の H α 線中心像を図 1 に示す。

観測した吸収線に関する諸量を表 2 にまとめた。FeI λ 543.4523nm はランデ因子が 0 の磁場に反応しない吸収線で, 形成される高さは 500~700km(典型的には 600km)である^[5]。また, 今回の磁場と低層での速度場の診断には, NiI λ 543.5855nm と FeI λ 543.6596nm を用いた。これらの吸収線は lower excitation potential (χ_0) 及び log gf の値が近いこと, 形成される高さはほぼ同じ(120~370km, 典型的には 230km)と見なしてよい。等値幅(EW)の値も近いこと, この 2 本の吸収線の線幅の違いは, 主に磁場に対する感度の差を表していることになる。撮像されたスペクトルの例を図 2 に示す。

3. 解析

撮像したスペクトルに対して最初にダークフレームの差し引き・フラットフィールドの補正を通常の方法で行った。ついで, それぞれの吸収線をガウシアンでフィッティングし, 吸収線の深さ・線幅・線中心位置を求めた。

今回は活動領域を観測しているので, ランデ因子の大きい吸収線は, ゼーマン効果によって線幅が広がったり分離したりする。磁場が強く吸収線が分離している場合は, ゼーマン 3 成分を考慮したフィッティングを行うべきであるが, ここでは一律にガウシアンひとつでフィッティングを行った。得られた線幅からの磁場導出方法は以下のものである。

フィッティングから得られた Ni と Fe の線幅($\Delta\lambda$)を比べると, 黒点などがない静穏な場所でおおよそ $\Delta\lambda(\text{Ni}) = 1.1 \Delta\lambda(\text{Fe})$ となる。したがって観測された線幅は, 磁場の影響がない Fe の線幅($\Delta\lambda(\text{non-B})$)に, 磁場による線幅の増分($\Delta\lambda(\text{B})$)にランデ因子がかかったものが加わったものと見なすことによって,

$$\Delta\lambda(\text{Fe}) = \Delta\lambda(\text{non-B}) + 1.82 \Delta\lambda(\text{B})$$

$$\Delta\lambda(\text{Ni}) = 1.1 \Delta\lambda(\text{non-B}) + 0.5 \Delta\lambda(\text{B})$$

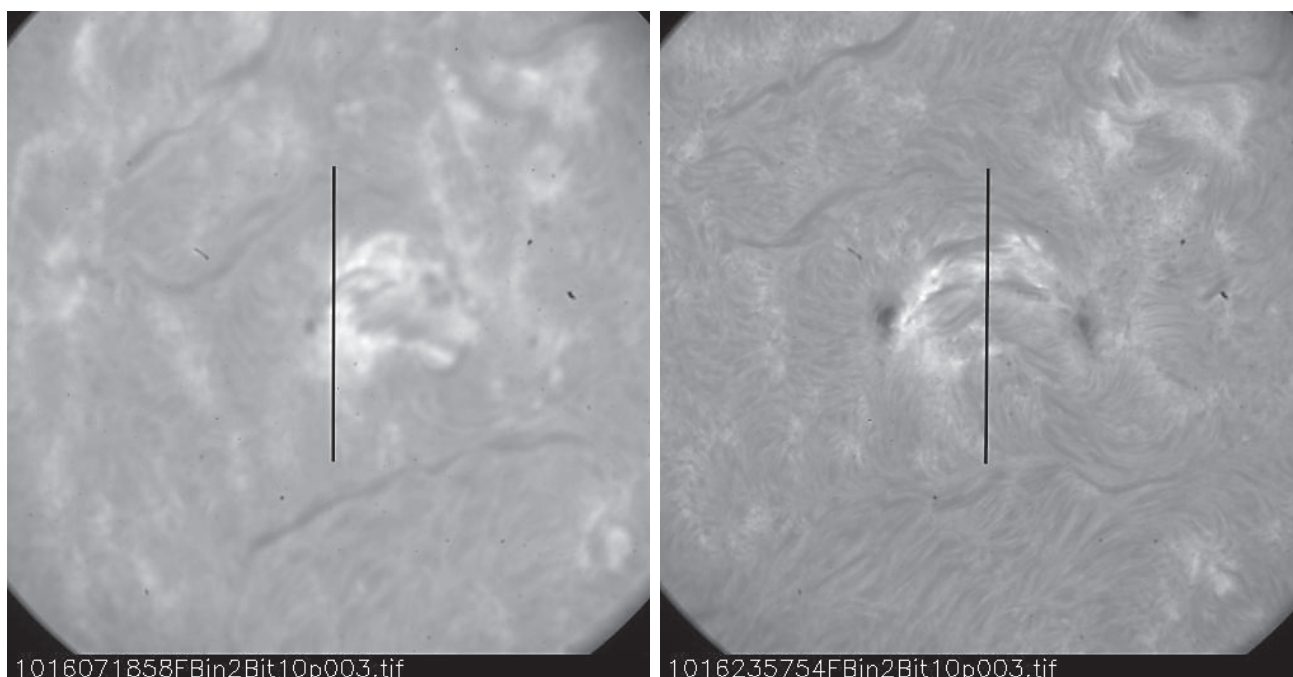


図1 NOAA10160のH α 線中心像 左:2002年10月16日 右:10月17日
(それぞれ中央の縦線は分光器スリット)

表2 観測した吸収線の諸量

Element	Wavelength[nm]	EW[pm]	X ₀ [eV]	Log gf	Lande factor
Fe I	543.4523	18.4	1.011	-2.122	0
Ni I	543.5855	4.6	1.980	-2.590	0.5
Fe I	543.6297	3.6	4.387	-1.540	1.28
Fe I	543.6596	3.7	2.279	-2.964	1.82

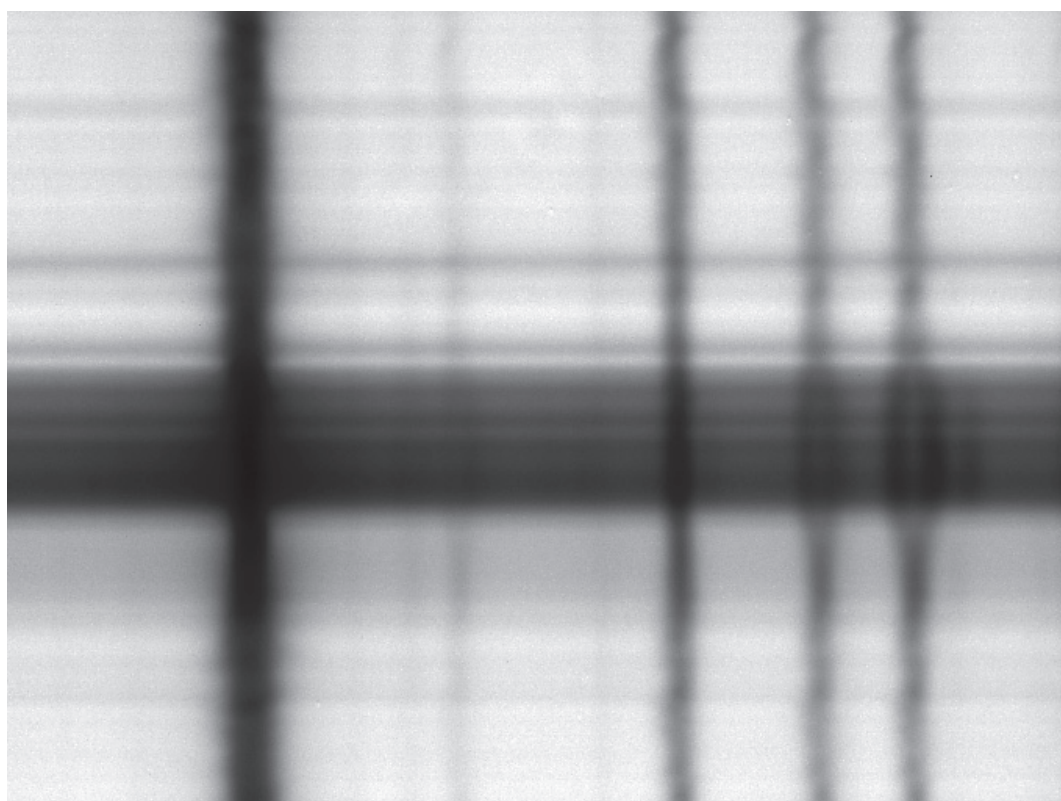


図2 観測から得られたスペクトル 目立つ縦すじは左より Fe I (543.45nm), Ni I (543.59nm), Fe I (543.63nm), Fe I (543.66nm), 中央太い横すじは黒点

と書ける。これより $\Delta \lambda(B)$ を求めれば、

$$\Delta \lambda(B) = 4.67 \times 10^{-13} \cdot \lambda_0^2 B$$

によって磁場の強さ B の値を得ることができる。 λ_0 は吸収線の波長である。この方法でも黒点の中心部など特に磁場が強い場所以外では、他の望遠鏡による磁場観測データと比較して、ほぼ適切な値が出ているようである。

速度場については線中心位置のずれをドップラー効果によるものとして求めるが、波長の絶対測定は行っていないので、観測された全点での平均値をゼロ点として採用した^[6]。

4. 磁場と明るさとの関係

太陽表面で起きる現象は、連続光の明るさや水素 $H\alpha$

など吸収線の深さの違いとして観測されるので、磁場なり速度場が関与しているなら、明るさと磁場・速度場との間になんらかの相関が見られるはずである。今回の観測では、速度は視線方向しか求まらないので、磁場のみを取りあげることにした。

連続光の明るさと磁場の強さとの相関を見たのが図3である。いずれの場合もほぼ直線となっている。これは連続光で観測したときに、静穏な領域、黒点の半暗部・暗部と暗くなるにつれて磁場も増大することを反映している。10月16日と17日を比較すると、17日の方が黒点が発達したために、明るさが暗い方に、磁場が強い方に伸びていることがわかる。

図4では、FeI λ 543.4523の吸収線中心の連続光に対する相対的な深さを横軸にとっている。比較的深い吸収線

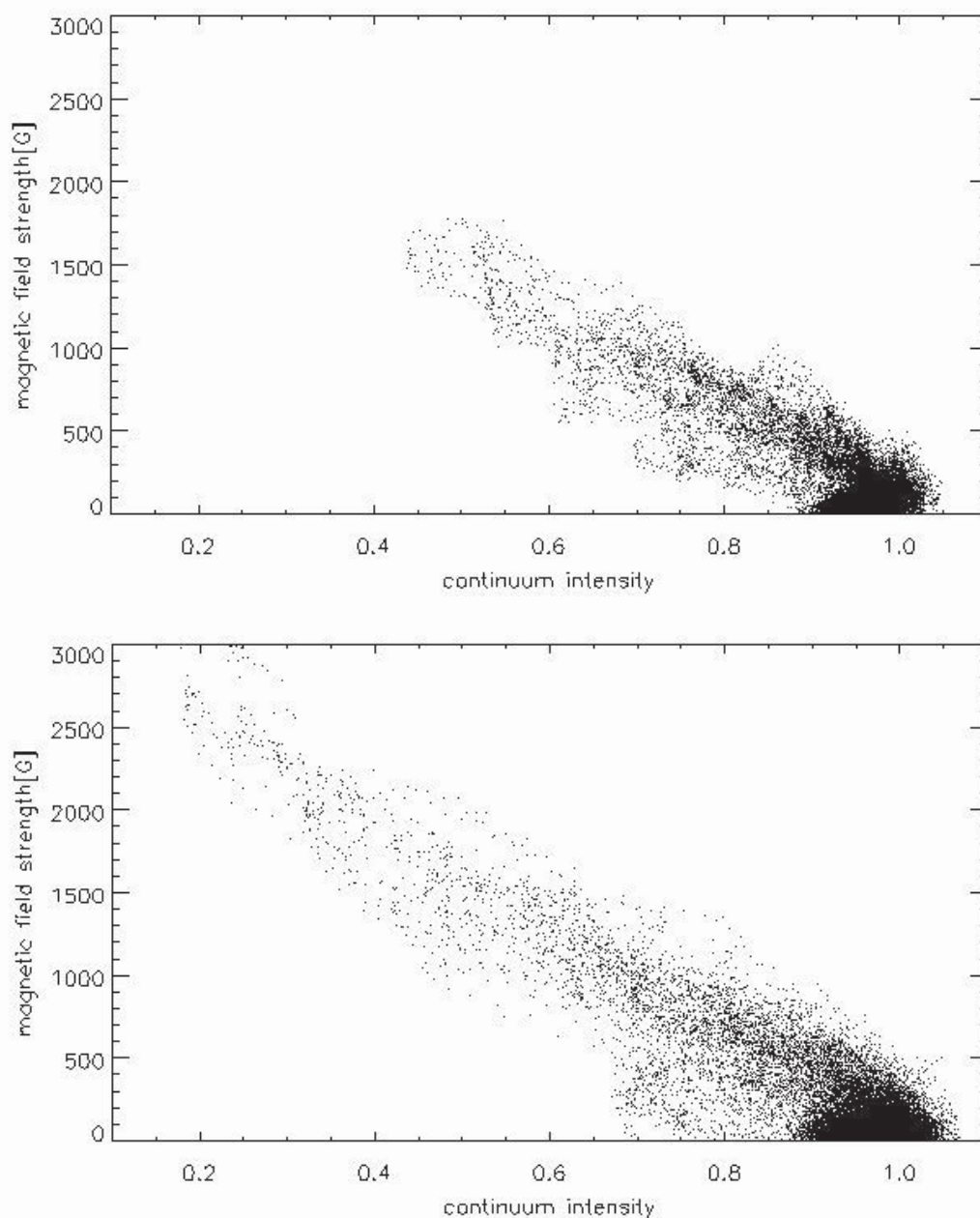


図3 連続光の明るさと磁場の強さとの相関(静穏領域の明るさを1としてある)

上: 10月16日 下: 10月17日

の中心は、特に磁場による上層大気の加熱に対して敏感であるため、磁場があっても黒点として観測されない領域($H\alpha$ でプラージュと呼ばれるところ)を区別することができる。黒点では吸収線は相対的に深くなり、プラージュでは浅くなるのである。図4で吸収線の相対深さが0より小さい部分に磁場の強い成分がはっきりと見られる。一方で相対深さが0以上のところに磁場の強い方に向かって伸びている成分は黒点によるものである。ただし、連続光に対する相関に比べてこちらは非常にばらつきが大きい。また17日の図では、磁場が強く(1000~1500G)

なると相対深さが頭打ちになる様子が見られるが、これが吸収線形成の過程に関わっている本質的なものなのか、周囲からの散乱光が効いて暗くなりきれないだけなのかは検討の余地があると考えられる。

5. AFSにおける速度場

次に浮上磁場に伴って見られる AFS 領域における速度場について調べる。図5に観測から得られた速度場のマップを示す。いずれも白色像には NiI543.5855nm から、

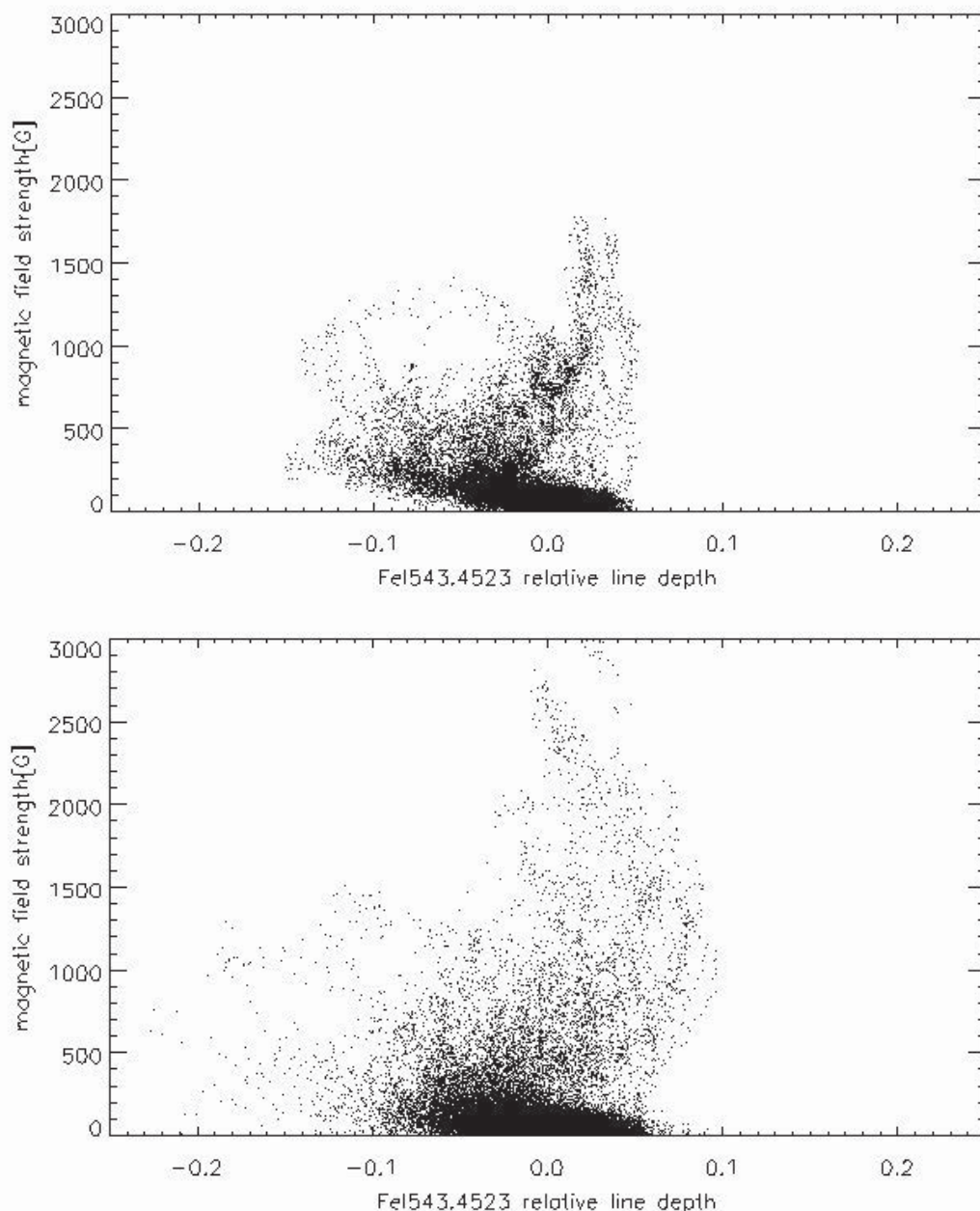


図4 Fe I 543.4523nm 相対深さと磁場との相関(静穏領域を0としてある)
上: 10月16日 下: 10月17日

H α 像には Fe I λ 543.4523nm から得られた速度場をコントアで表している。四角枠で示しているのが AFS の足下に相当する場所であり、そこでは比較的大きい速度が検出されていることがわかる。四角枠内で平均した速度の値を表3にまとめた。添え字の p は先行側・f は後続側を示す。ここでは先行する側(右側)よりも後続する側(左側)の方が速度が大きく出ているのがわかる。また、Ni I 543.5855nm よりも Fe I λ 543.4523nm の方が速度が大きいこともわかり、このことは AFS 領域では大気の高い

層の方で流れが速いことを示している。

ここで得られた速度は、活動領域の先行側・後続側それぞれにおける視線成分であるが、これを太陽面上の速度ベクトルに置き換えることを考える。この活動領域は先行と後続はほぼ太陽面上でラディアル方向に並んでいて、さらに太陽面上に垂直に立てた面内で対称なループを成していると仮定する(図6)。この領域の太陽面中心からの離角を θ 、ループが太陽面と成す角を ϕ とすると、太陽面に平行な速度成分 v_x と垂直な成分 v_y は、

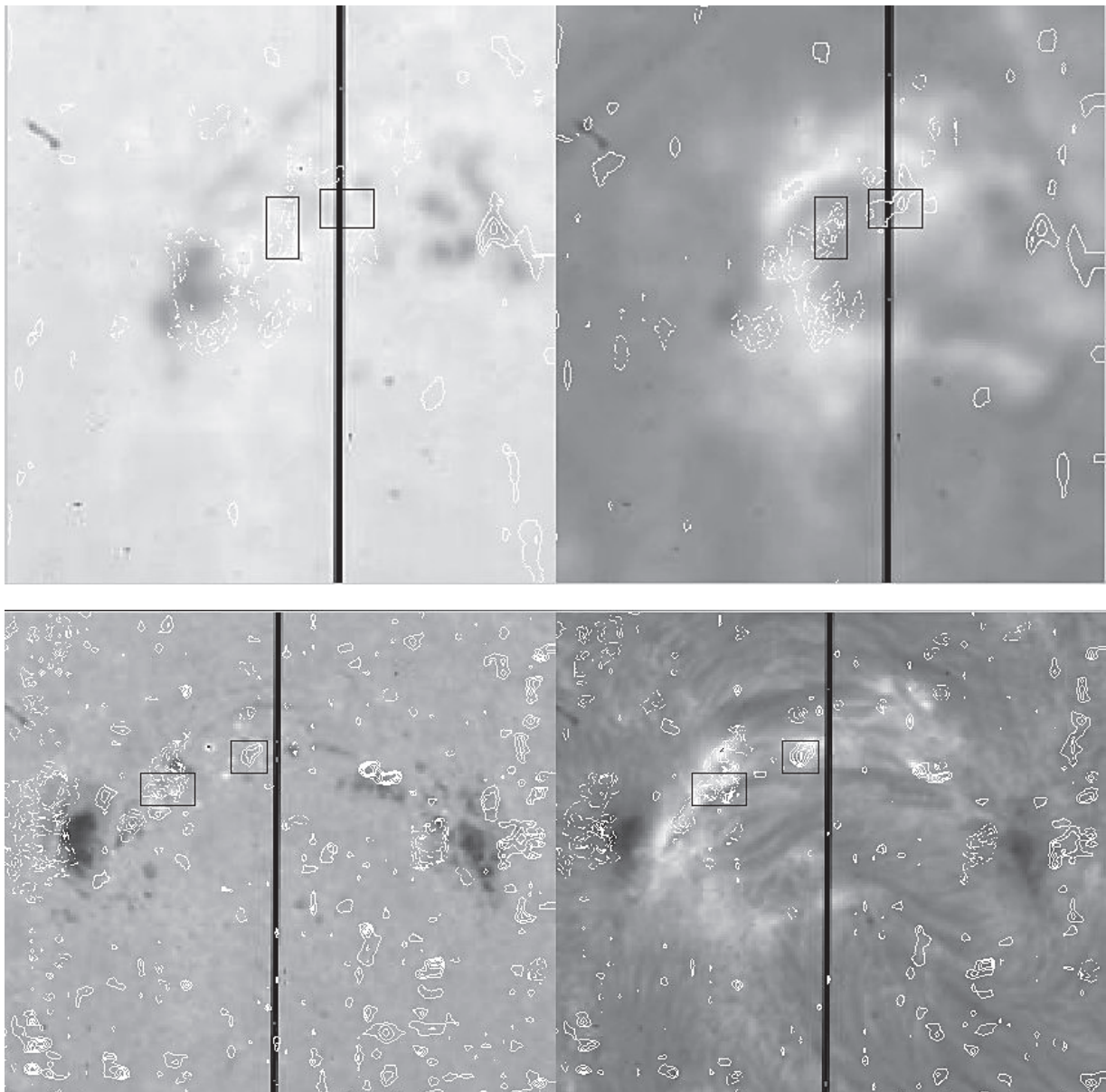


図5 速度場のマップ(等高線が速度, 低い方から 0.5, 0.75, 1.0, 1.25km/s, 実線がこちら向き速度) 四角枠が速度場を解析した AFS の足元) 上: 10月16日 下: 10月17日

$$v_x = (v_p - v_f) / 2 \sin \theta \cos \phi$$

$$v_y = (v_p + v_f) / 2 \cos \theta$$

となる. 表3の値を用いると, 更に流れの速度と速度ベクトルが太陽面となす角(elevation angle)を求めることができる(表4). 太陽面に水平な速度には, 見かけ上領域が広がっていく速さ($\sim 0.2 \text{ km/s}$)を加えている.

Ni I $\lambda 543.5855 \text{ nm}$ と Fe I $\lambda 543.4523 \text{ nm}$ が形成される典型的な高さにおける速度ベクトル(流れは磁場に沿っていると考えて良いので磁場ベクトル)の立ち上がり角(elevation angle) ϕ を, 16日・17日それぞれで示したものが図7である. ここから高さを y として,

$$\phi = ay + b$$

と書くことができるので,

$$dy/dx = \tan \phi = \tan (ay + b)$$

この微分方程式を解くと,

$$x = 1/a \cdot \ln(\sin(ay + b) / \sin(b))$$

となるので, 磁気ループの形を求めることができる. 結果を図8に示す. 16日の方が立ち上がり急であり, 成長後の17日はなだらかになっていることが分かった. なお, ループ足下間の距離は16日には約 13000 km ・17日には約 25000 km であった.

したがって成長期における AFS は, 最初太陽面から比較的立ち上がったループとして浮上し, それをさらに浮上するにしたがって次第に引き伸ばされ足下の間隔が広

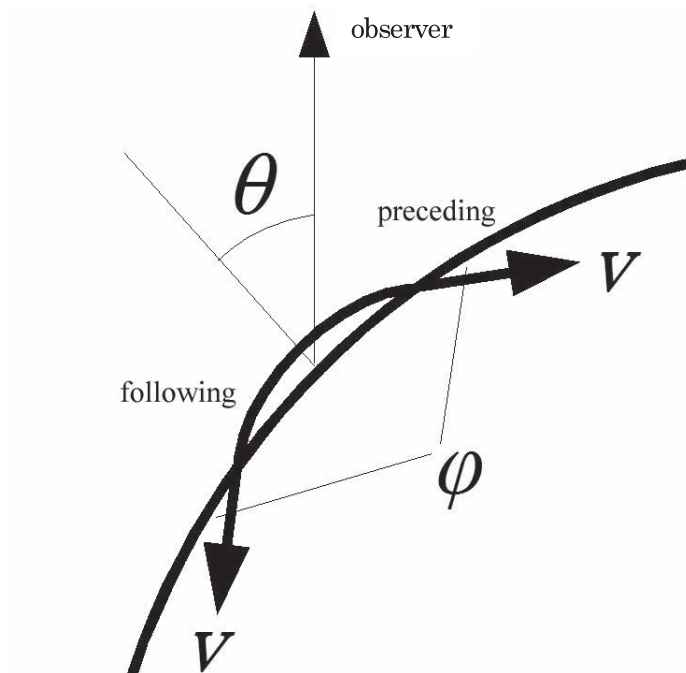


図6 磁気ループの仮想的な形 θ : AFS の太陽面中心方向からの傾き, ϕ : AFS 足元で速度ベクトルが光球面となす角度

表3 AFS 先行側と後続側の平均的速度 (v_p : 先行側の速度, v_f : 後続側の速度)

		FeI543.4nmNiI543.5nm	
Oct.16 obs.	V_p	-0.60	-0.26
	V_f	1.04	0.71
Oct.17 obs.	V_p	-0.94	-0.58
	V_f	1.12	0.75

表4 太陽表面に対する速度ベクトル (v_x : 太陽面に沿う成分, v_y : 太陽面と垂直な成分, v_{flow} : 速度の大きさ, E. A. : 速度ベクトルの立ち上がり角)

		FeI543.4nmNiI543.5nm	
Oct.16 obs.	V_x	1.09	0.61
	V_y	0.32	0.33
	V_{flow}	1.14	0.69
	E.A.	16.4	28.4
Oct.17 obs.	V_x	1.52	0.95
	V_y	0.12	0.11
	V_{flow}	1.52	0.96
	E.A.	4.5	6.6

がると同時に、ループ全体としては太陽面に対して水平に近づいていくことが推定される。

6. まとめ

形成される高さや、磁場に対する感度の異なる吸収線を用いて、成長期にある太陽活動領域の分光観測を行った。結果をまとめると以下のようになる。

1. 連続光の明るさと磁場の強さには直線的な関係がある。一方、連続光では明確には検出できないプラージュ

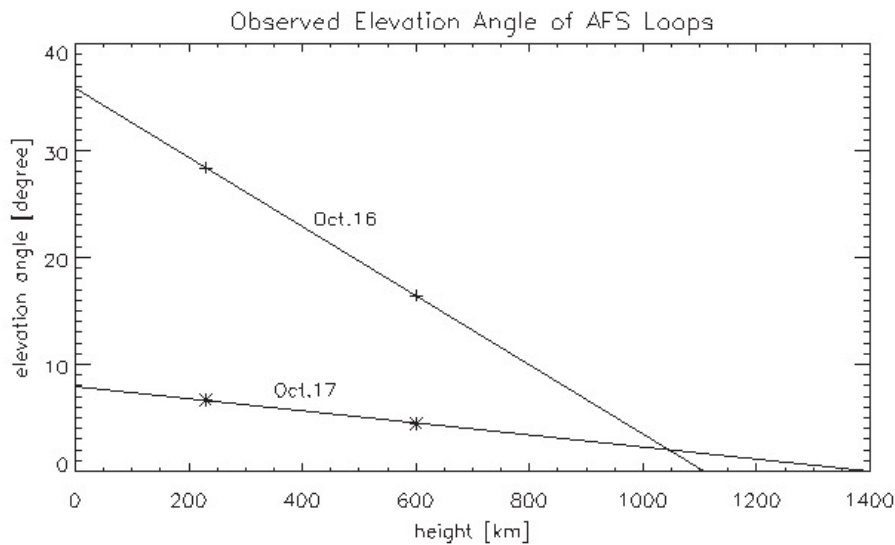


図7 光球面からの高さとの関係

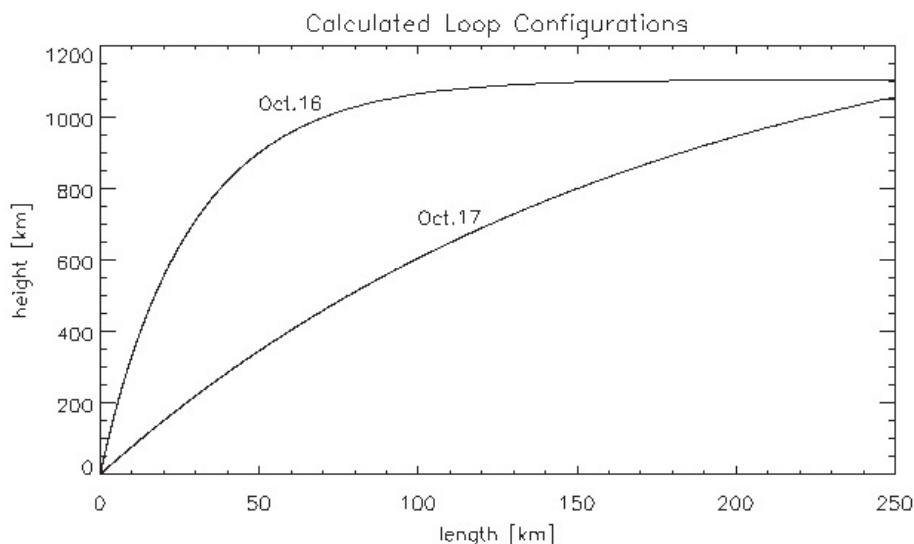


図8 ループの幾何学的形状

領域についても、深い吸収線中心の連続光に対する相対深さを用いれば、明るさと磁場の関係を明瞭に見いだせることがわかった。

2. AFS の足下で観測される速度は、高い層 (~600km) の方が、低い層 (~230km) よりも大きい。また、速度ベクトルは高い層よりも低い層の方が立っている。これらから、成長過程にある活動領域の AFS の特徴は、広がりつつある比較的背の低い磁気ループで説明できることがわかった。また、成長過程を経るにしたがって、流れ(磁力線)は太陽面に対して、より水平へと近づくことも分かった。

観測に際しては、京都大学理学部附属天文台の上野悟氏のサポートを得ました。また、北井礼三郎氏には本研

究の立案の段階からご指導をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] Shibata, K., Tajima, T., Steinolfson, R. S. & Matsumoto, R. ApJ 345, 584, (1989)
- [2] Degenhardt, D. & Wiehr, E. A&A 287, 620, (1994)
- [3] Balthasar, H., Schmidt, W. & Wiehr, E. SP 171, 331, (1997)
- [4] Cabrera Solana, D., Bellot Rubio, L. R. & del Toro Iniesta, J. C. A&A 439, 687, (2005)
- [5] Altlock, R. C., November, L. J., Simon, G. W., Milkey, R. W. & Wordon, S. P. SP 43, 33, (1975)
- [6] Strous, L. H. & Zwaan, C. ApJ 527, 435, (1999)