

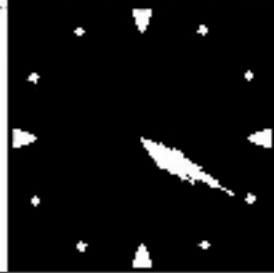
動画と精密磁場観測で探る

太陽のナゾ

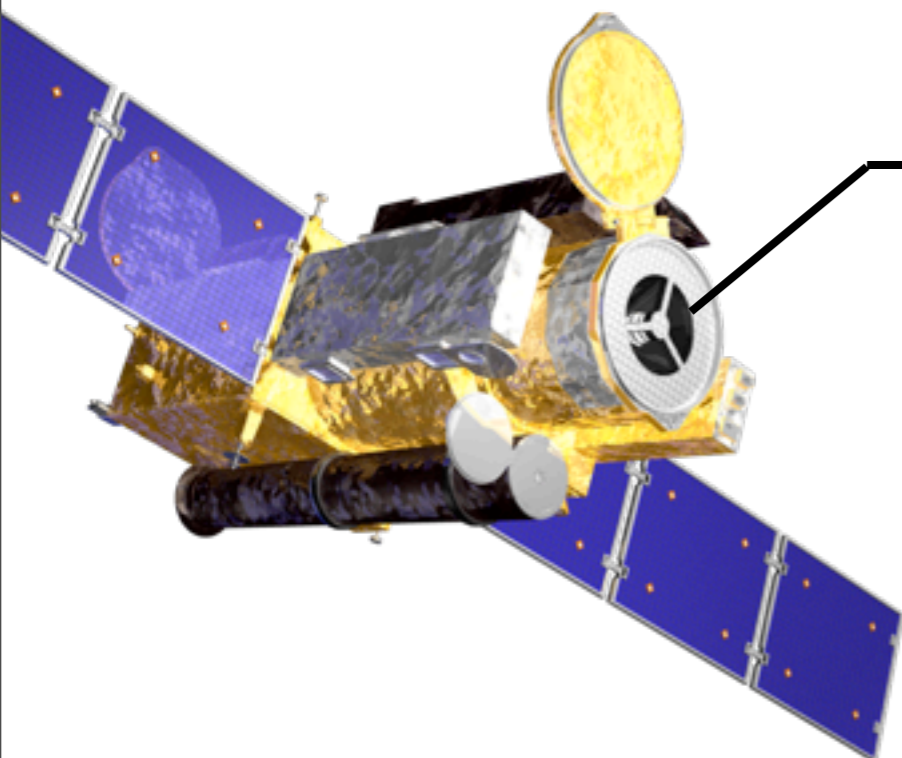
じょびてん

岡本文典

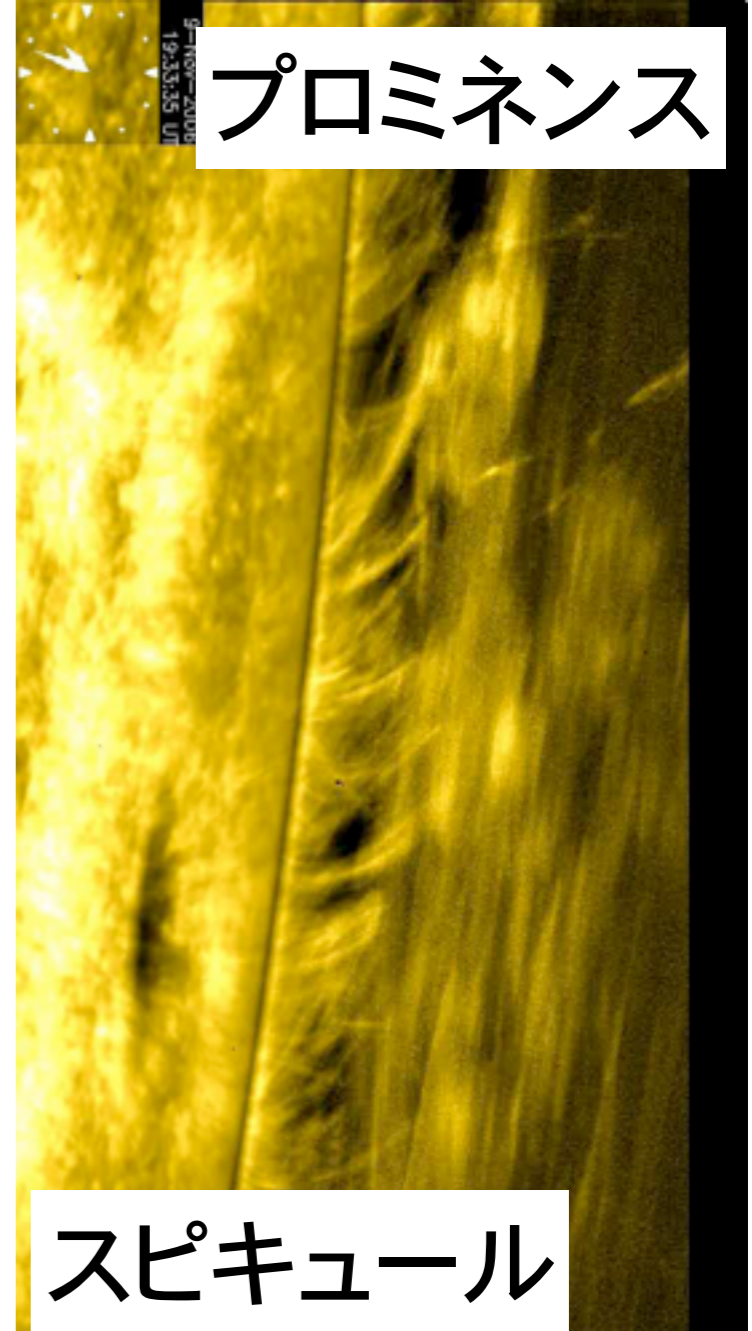
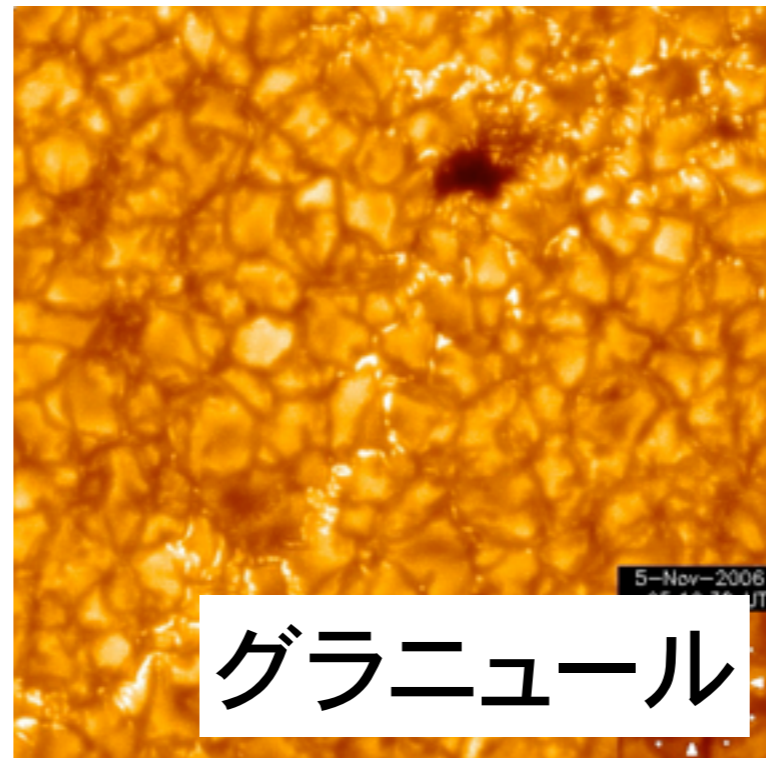
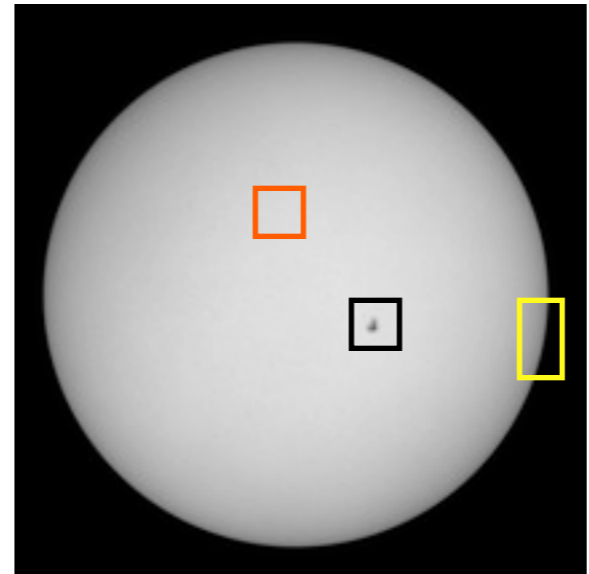
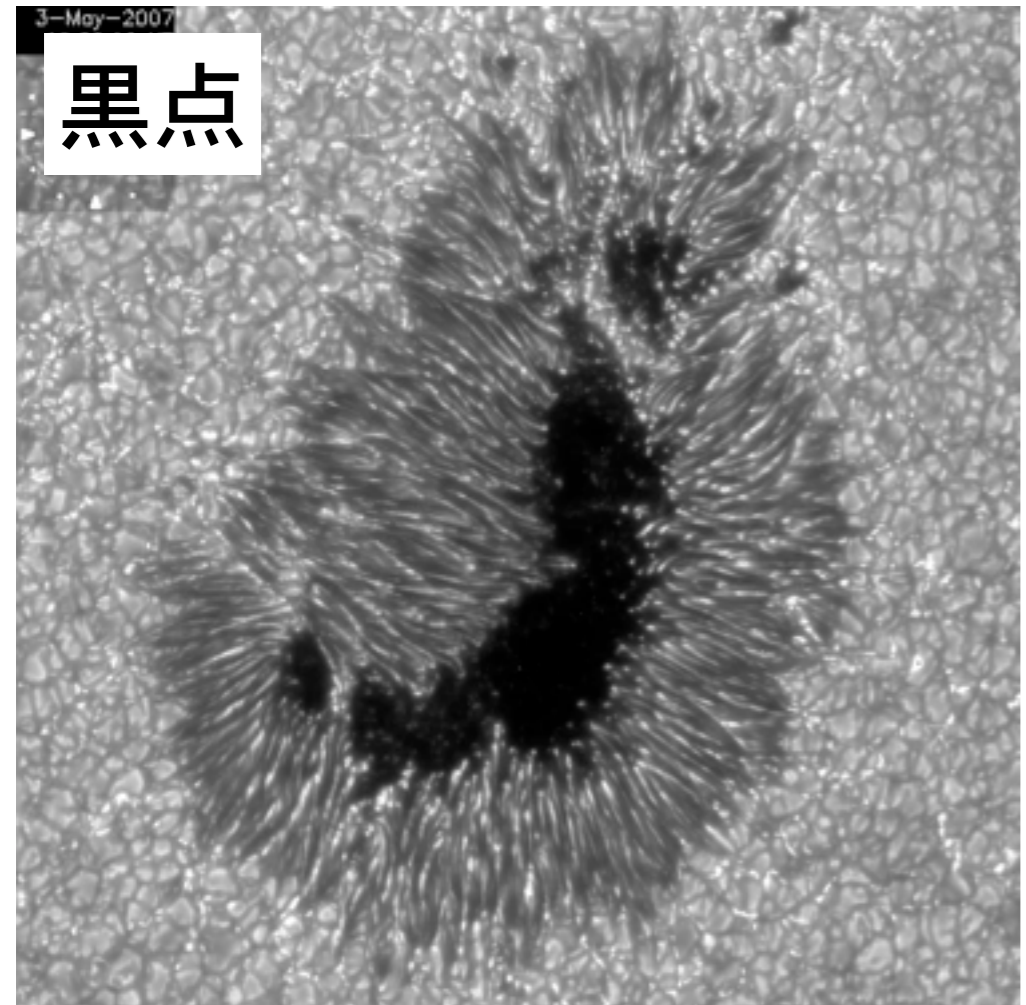
16-Apr-2012
16:20:11 UT



太陽観測衛星 ひので

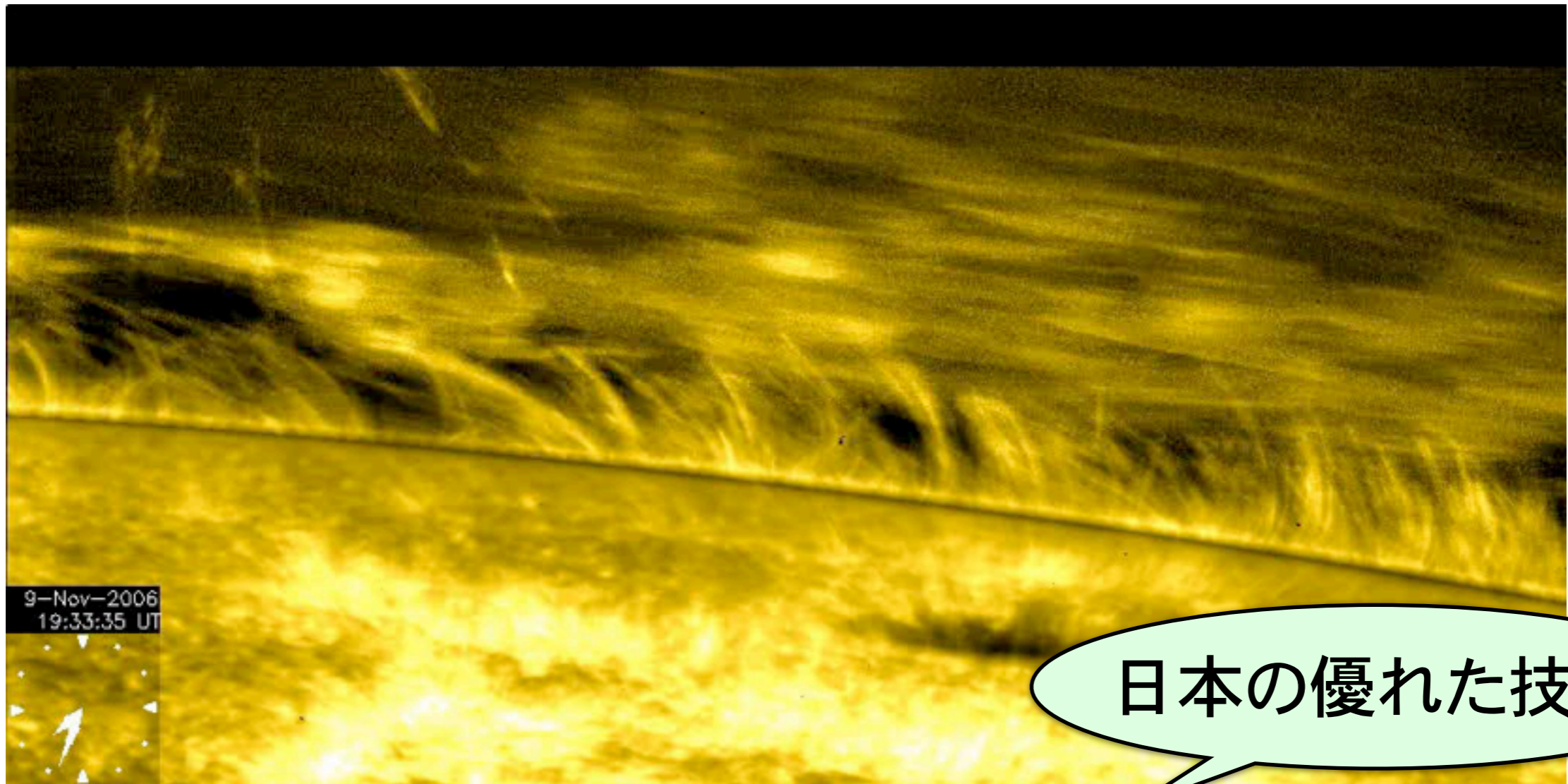


口径 50 cm の可視光望遠鏡
空間分解能: 0.2秒角 (太陽面で 160 km)



プロミネンス

ひのでが見たプロミネンス



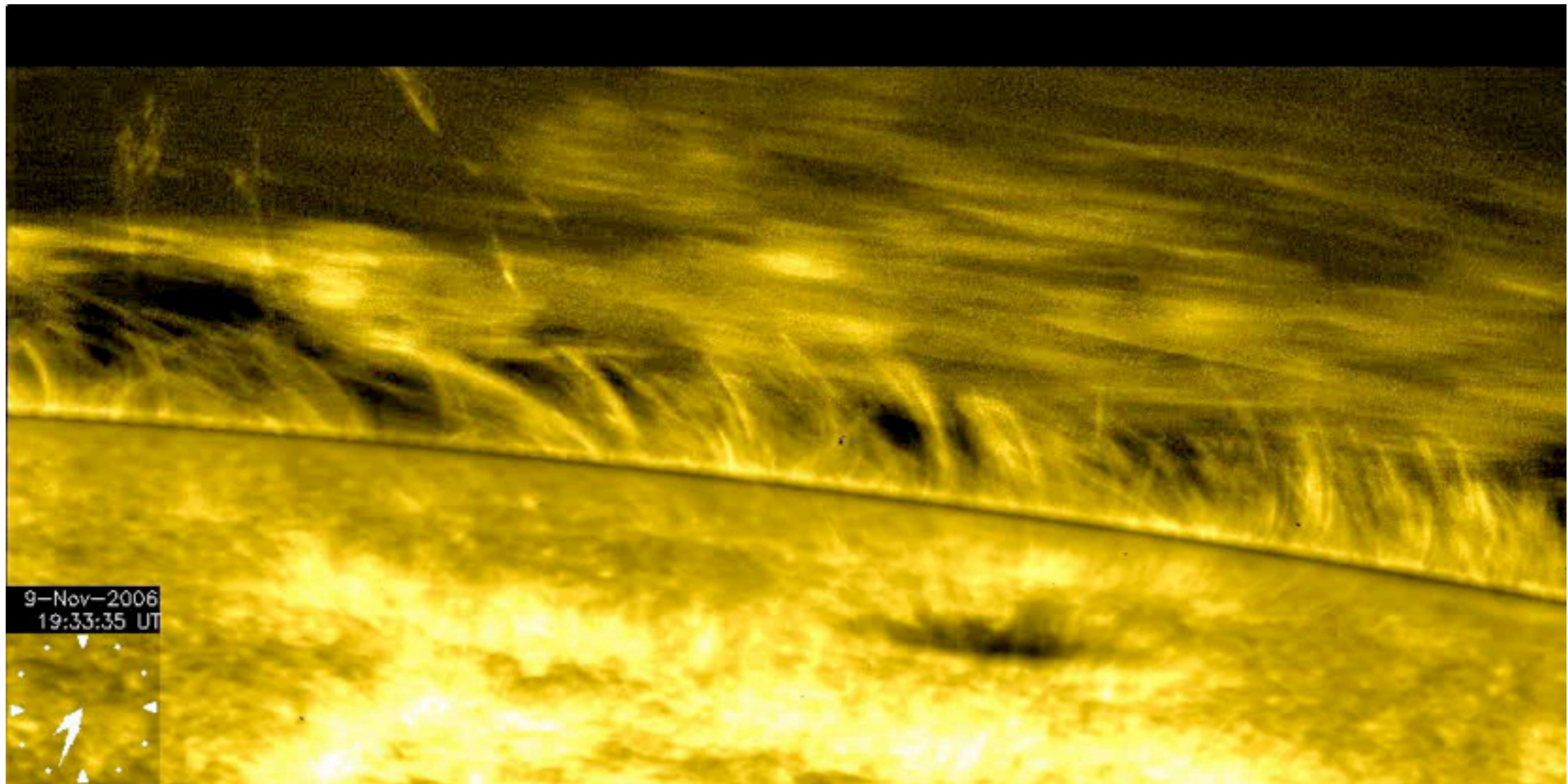
日本の優れた技術

ひので・可視光望遠鏡：低散乱光学系

太陽面より 100倍暗いプロミネンスもはっきり見える
さらに、微細構造とその動きも判別可能

動画のメリットを生かすべき！

ひのでが見たプロミネンス

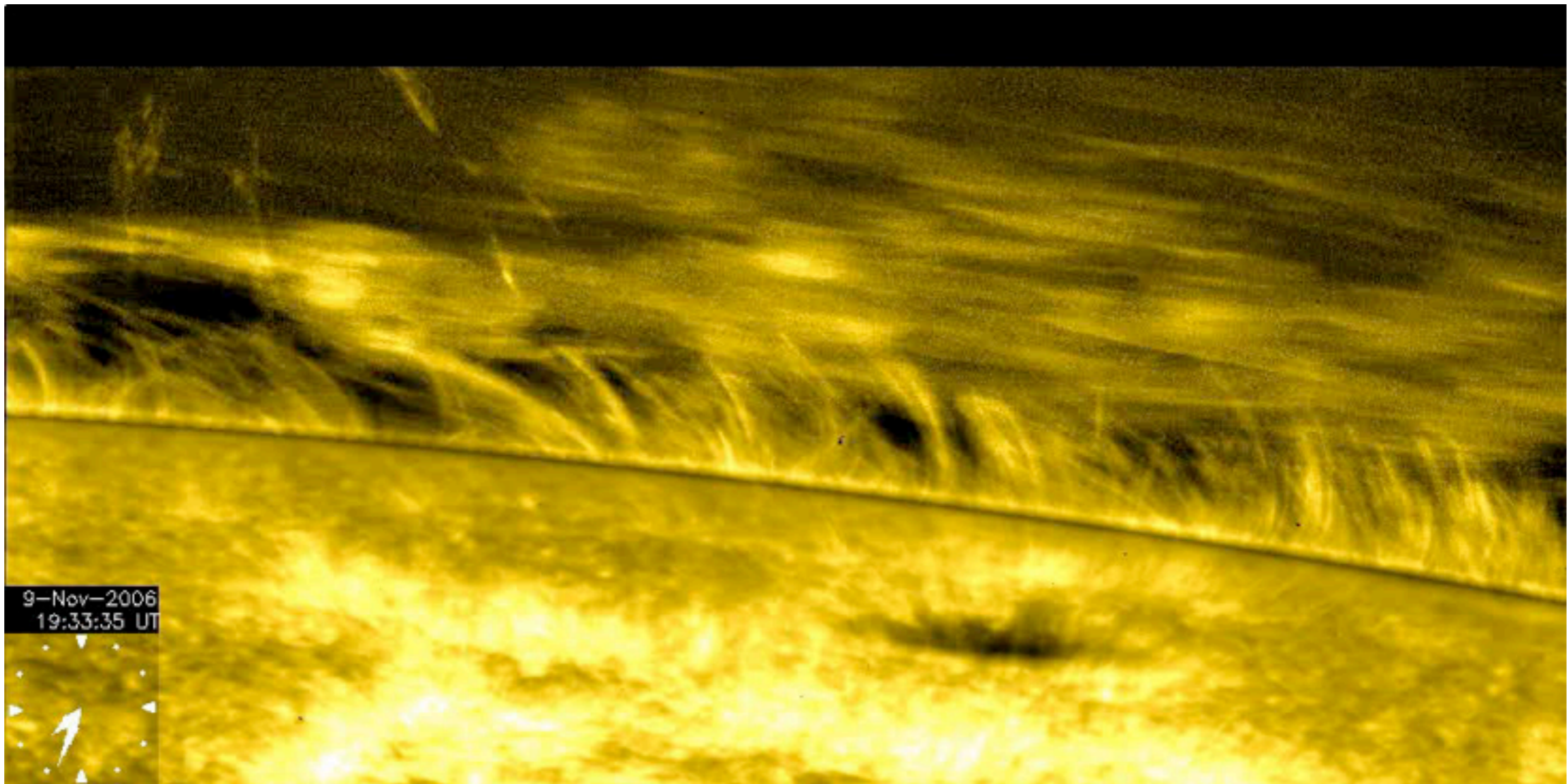


しかしながら・・・

ただの撮像 → 物理量の情報が無い

通常、視線方向速度(ドップラー速度)、
密度、磁場強度などを測る

ひのでが見たプロミネンス

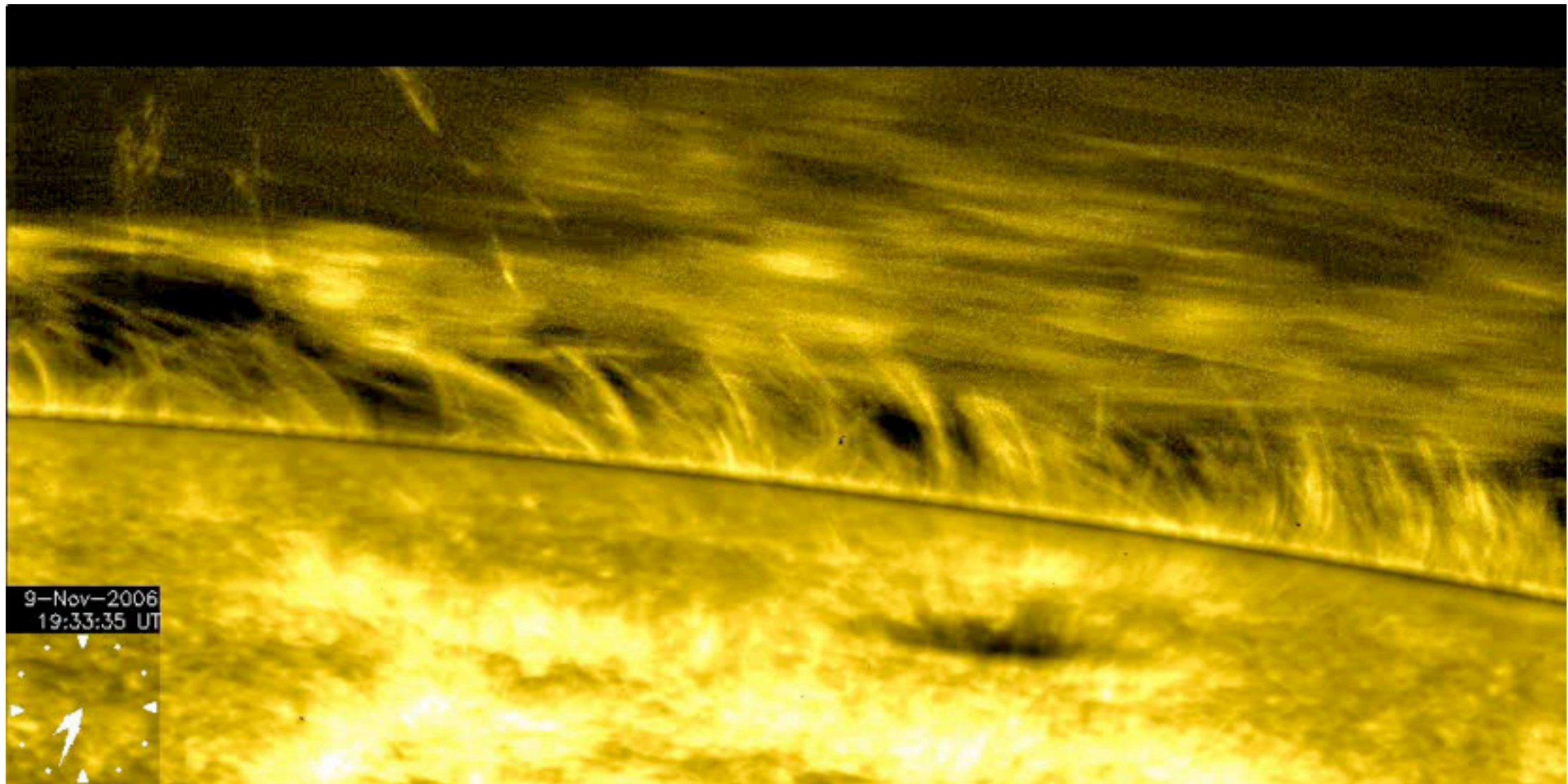


*「このかゝるものをあきらめますか？」

はい
▶ いいえ

(研究者) 人生の分かれ道

ひのぞが見たプロミネンス

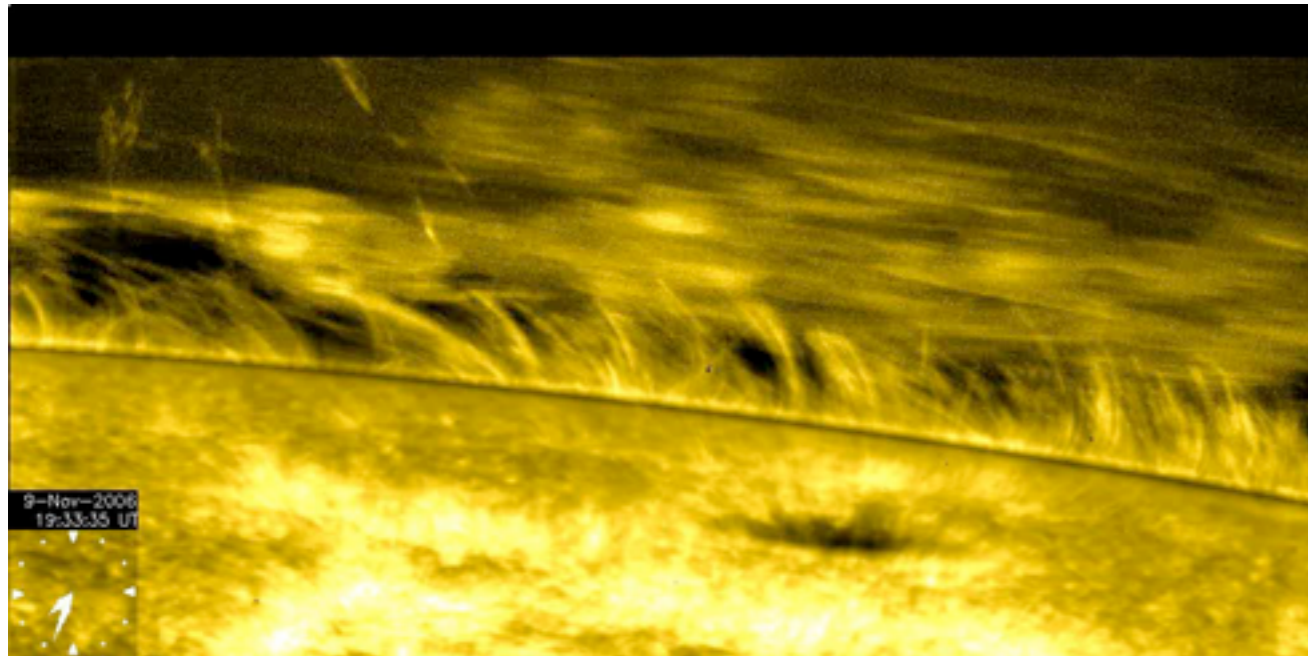


根気よく見てみると・・・

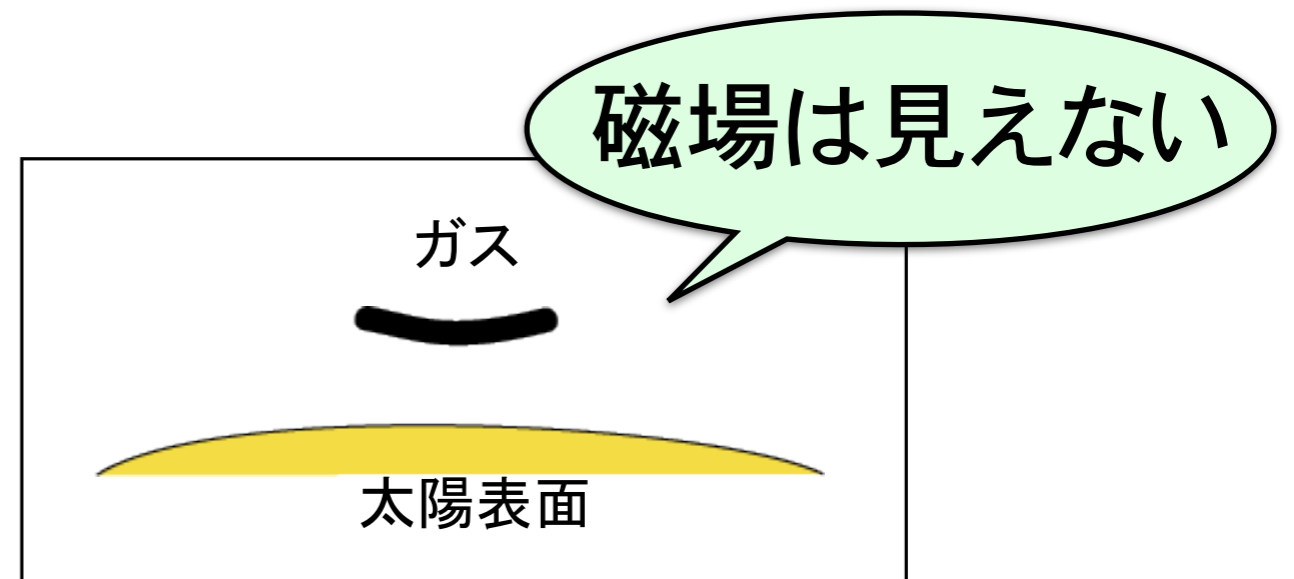
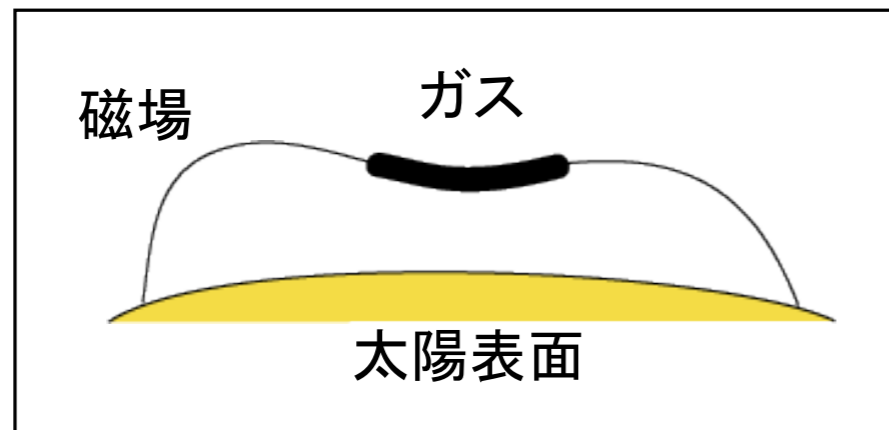
水平に飛び回る + 鉛直に振動



微細構造の動きから



微細構造 = 磁力線



すじすじの縦方向の動き = 磁場の振動

→ 磁場を伝える波

なぜ波が重要か？

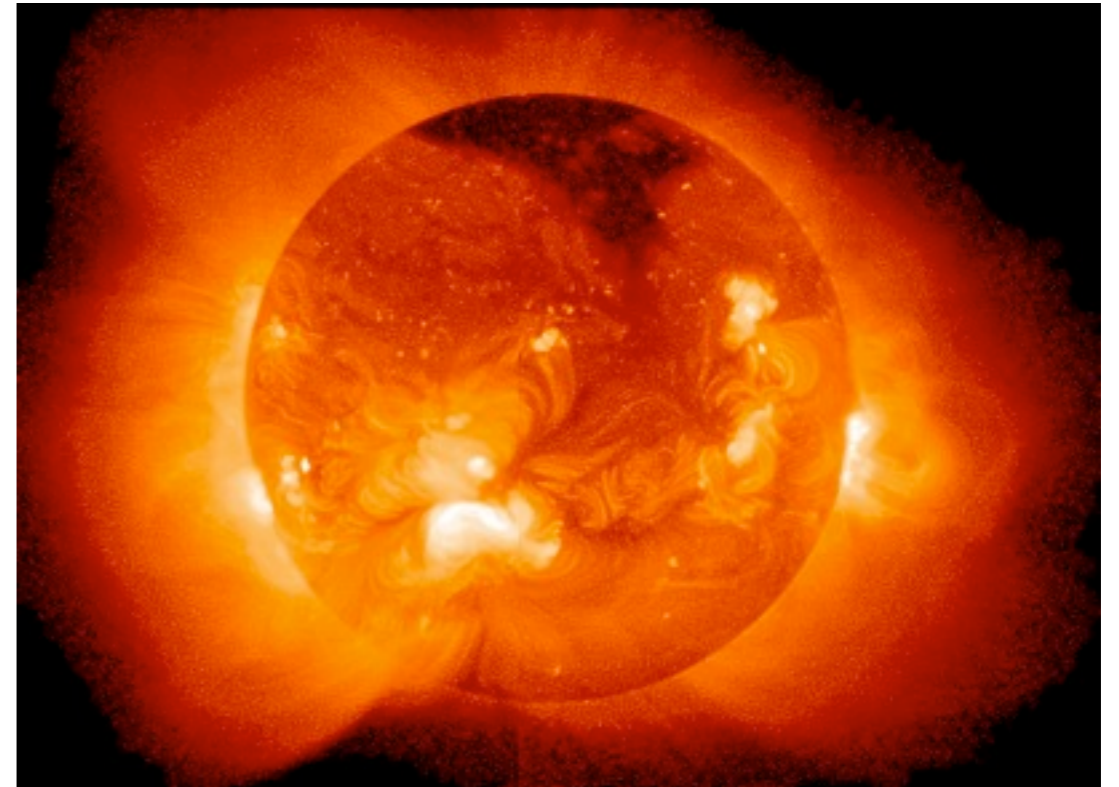
太陽大気コロナ

100万度もある

(1940年台からわかっている)

なぜ熱いかわからない

(磁場が絡んでいるのはわかる)



波動エネルギー → 熱エネルギー？

(Alfven波なら高い所までエネルギーを運べて都合が良い)

でも、波動なんて見えなかった

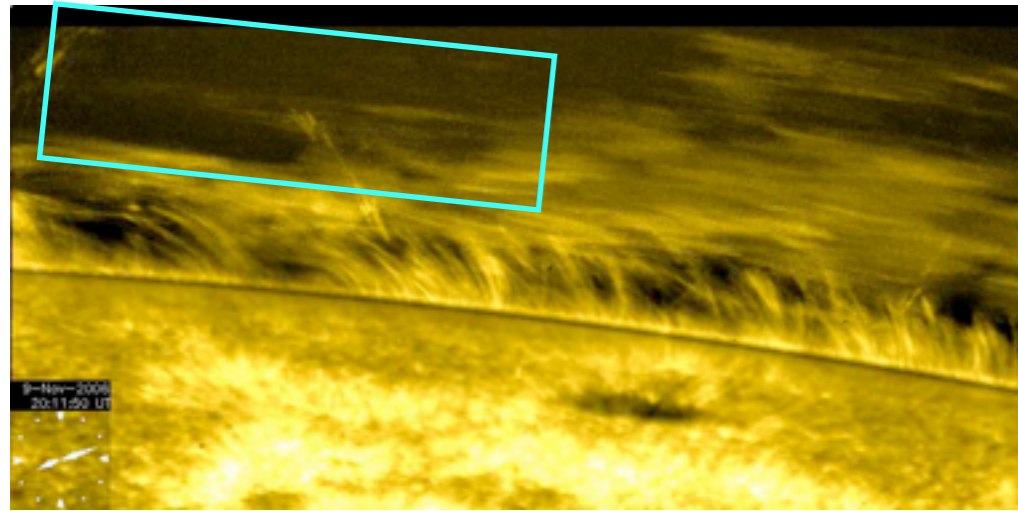
(だからきっとナノフレアが重要)

これちゃう？

(大発見?)



波動の性質



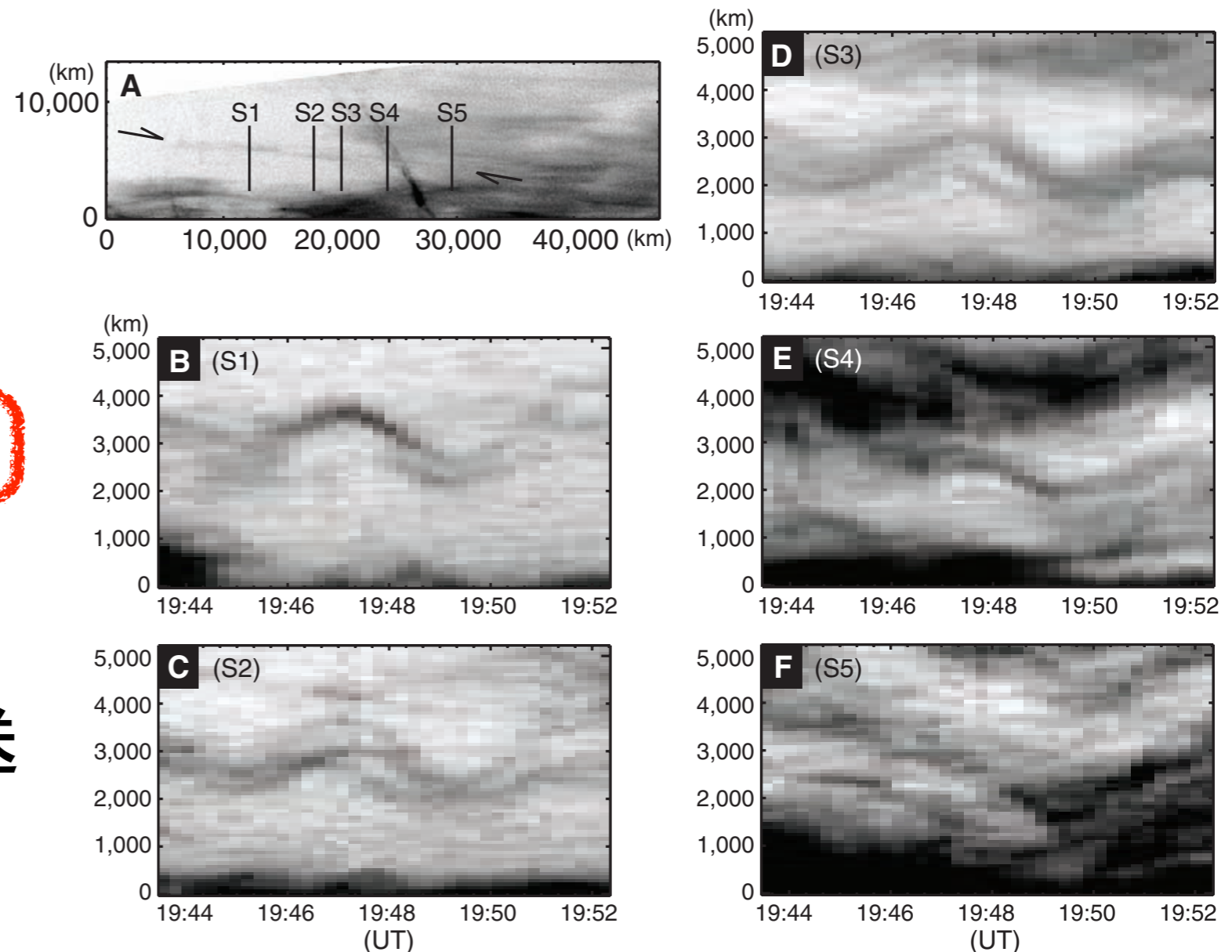
進行波だとすると、速度は
1,000 km/s 以上

磁場強度 > 50 G と算出
(密度仮定 10^{10} cm^{-3})

この場合、エネルギー輸送
量は $2 \times 10^6 \text{ erg/cm}^2/\text{s}$

少し長めの微細構造

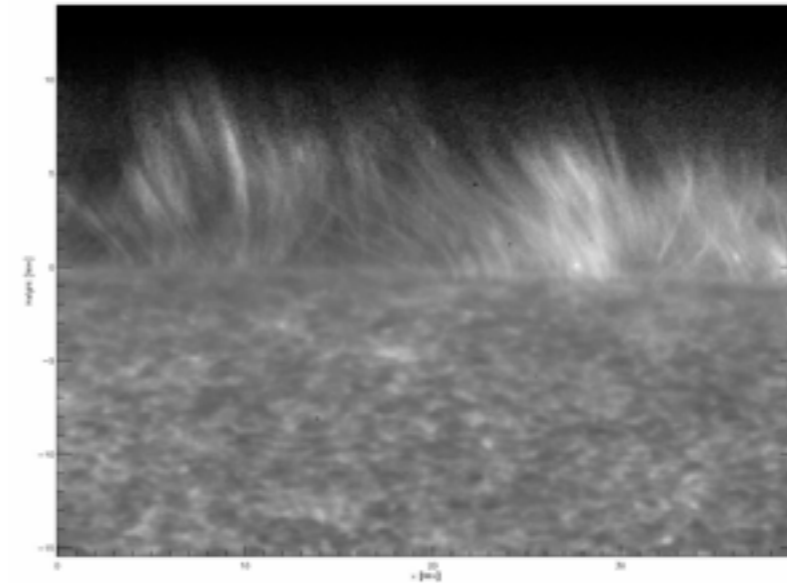
全ての位置で振動が同期
位相速度抽出できず



(Okamoto et al. 2007)

進行波か定在波か？

スピキュールにも波



(De Pontieu et al. 2007)

ところが...

進行波ではなく、定在波の可能性は捨て切れない

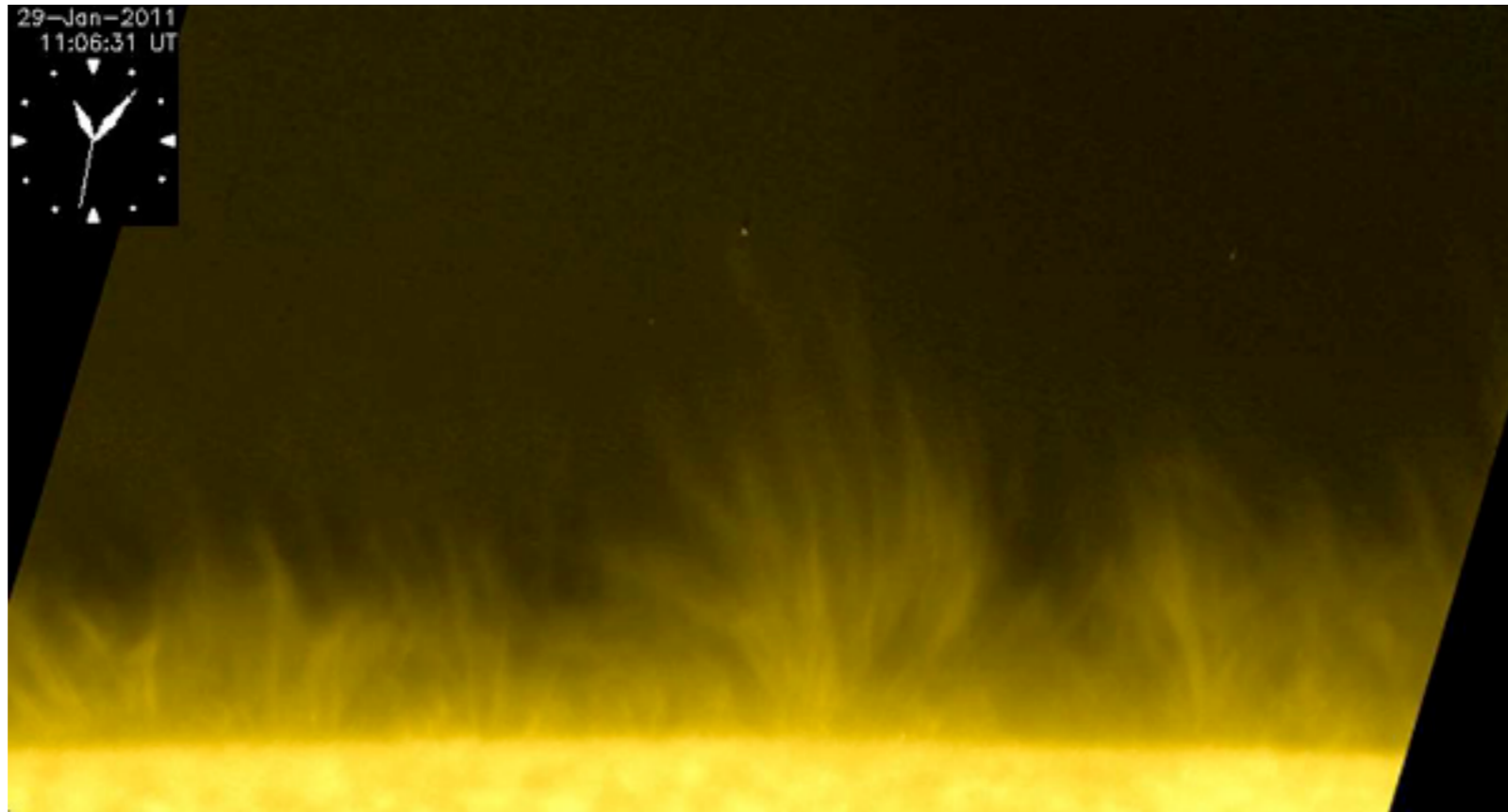
(磁力線に沿った振動の位相差が検出できていない)

波がホントに下から上へエネルギーを運んでいるのか？

進行波の検出

新規ミッション

動画から進行波を検出せよ



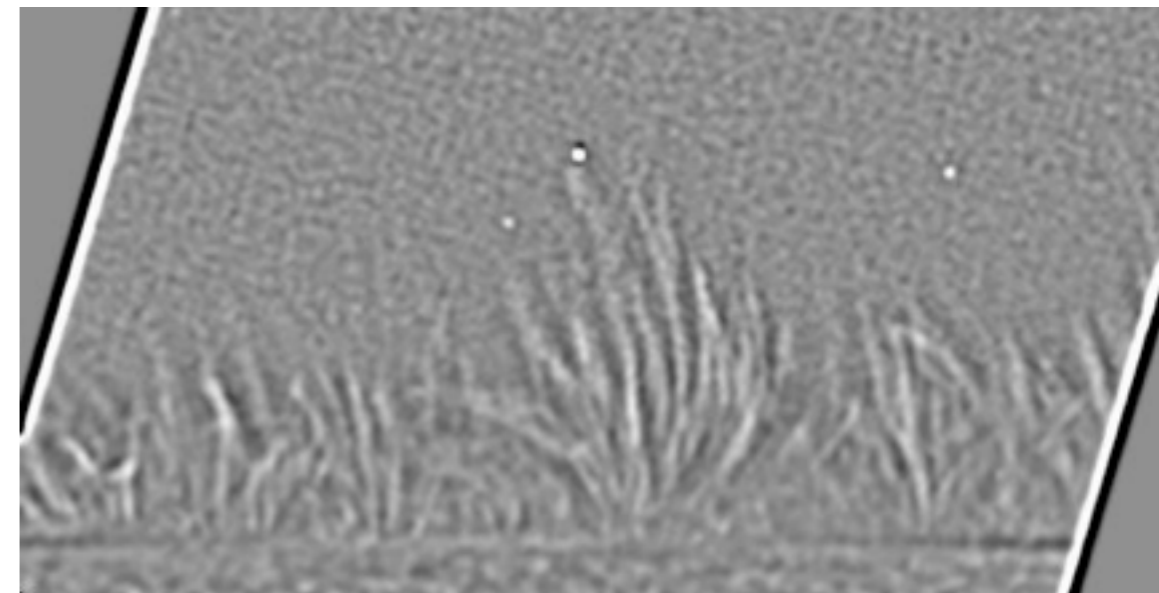
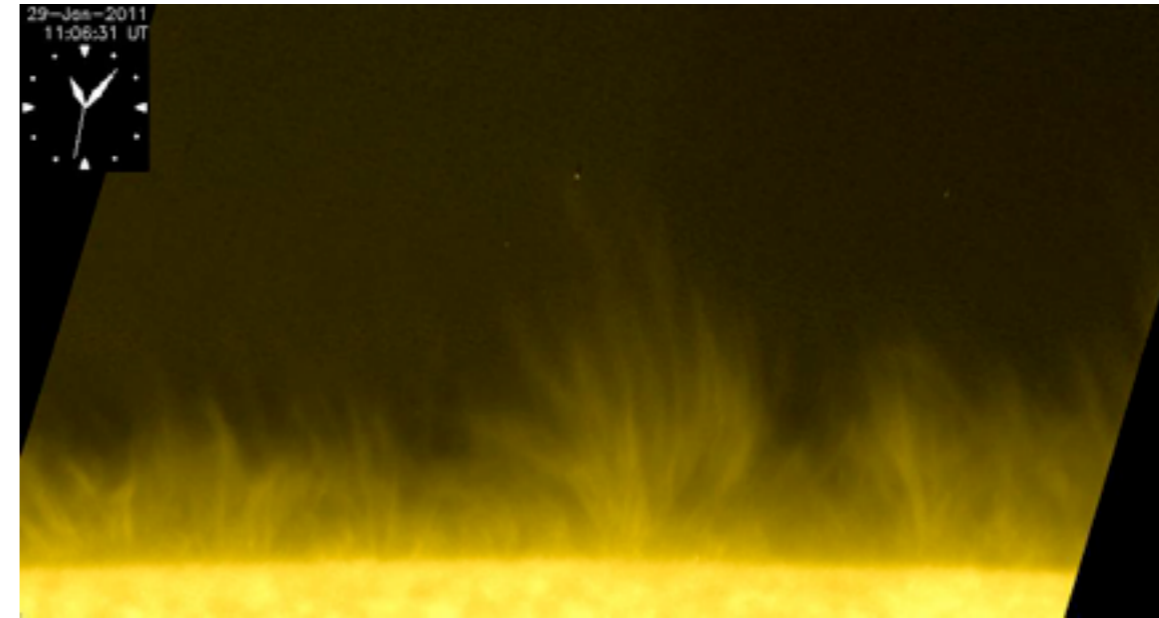
今度はスピキュールを使って挑戦

ルール

スピキュールを100例程度検出すること
手動ではなく自動検出すること

進行波の検出・・・の前にスピキュールの自動検出

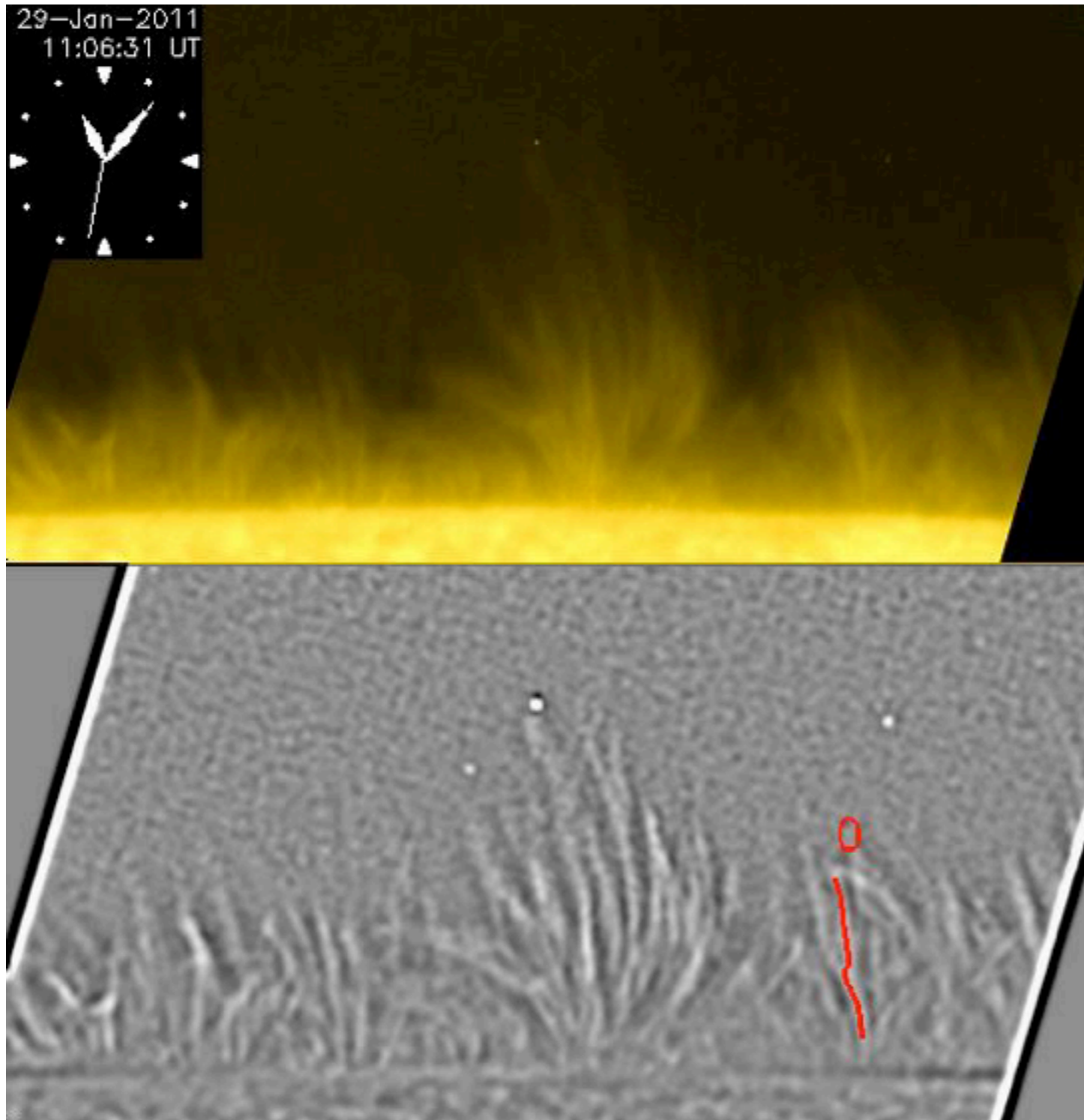
- Radial density filter
- 時間方向の移動平均 (9枚積算)
- À trous algorithm (微細構造強調)
- “thin.pro” (芯の座標抽出)
- 直線構造のみ抽出 (4秒角 \sim 3,000 km 以上、かつ 4秒角毎に 5度以下の曲がり)
- 時間ごとの位置ずれが 1 pix 以下
- 最大長が 8秒角以上で、寿命が 40 秒以上
- 芯の座標をガウシアンフィットで算出



(1 pix は 0.1秒角 \sim 72 km)

(Okamoto & De Pontieu 2011)

進行波の検出・・・の前にスピキュールの自動検出



89個を確保

良い画像に見えるが、
ノイズとの戦いが一進一退

重なりあって分離しきれず、
検出されたのは見えている
スピキュールの 5%

→ どうすれば改善できるか？

時間と共に変化する構造をプログラム
で追いかけるのは想像よりも難しい

(Virtual Reality などでは固形物の角
といった特徴点を追跡するのでこれより
容易らしい)

このプログラム作るのに 6ヶ月かかった。2010年度のアメリカ滞在期間の半分以上

進行波・定在波の検出と分離

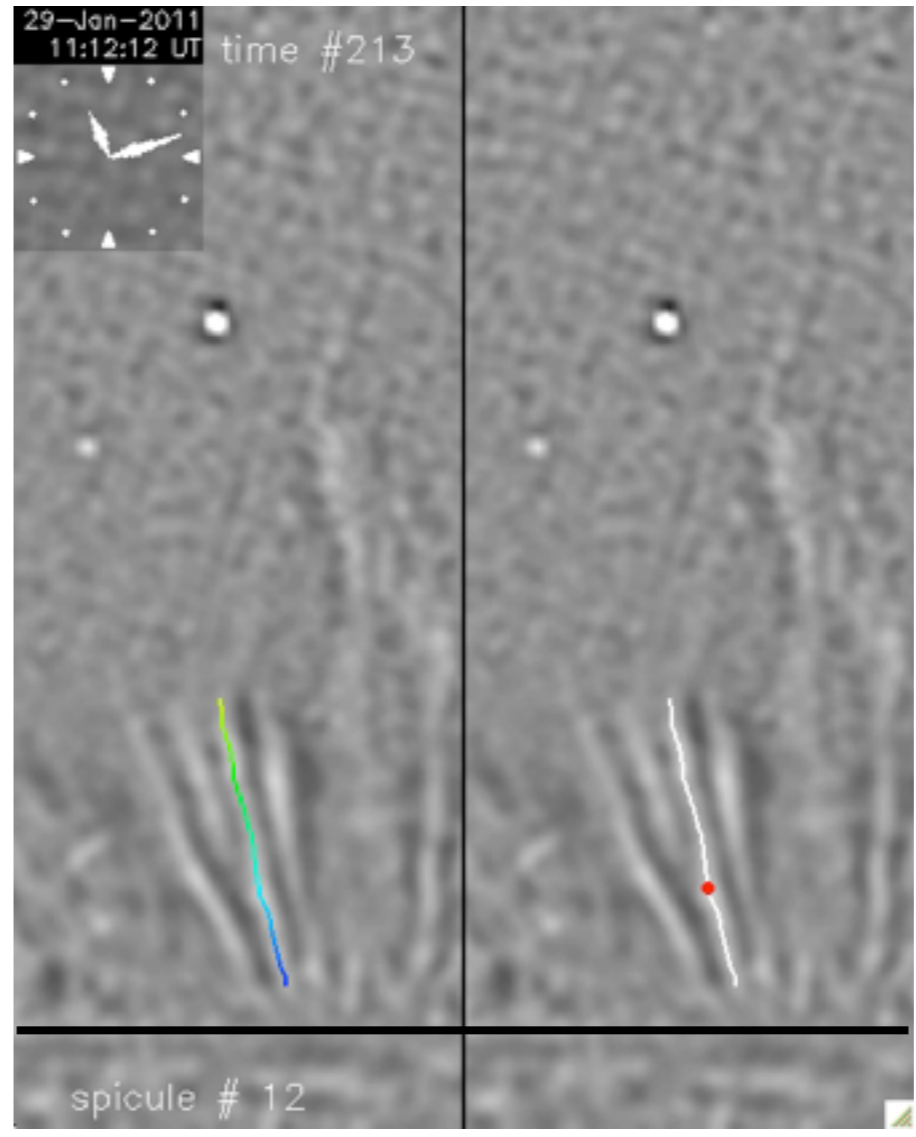
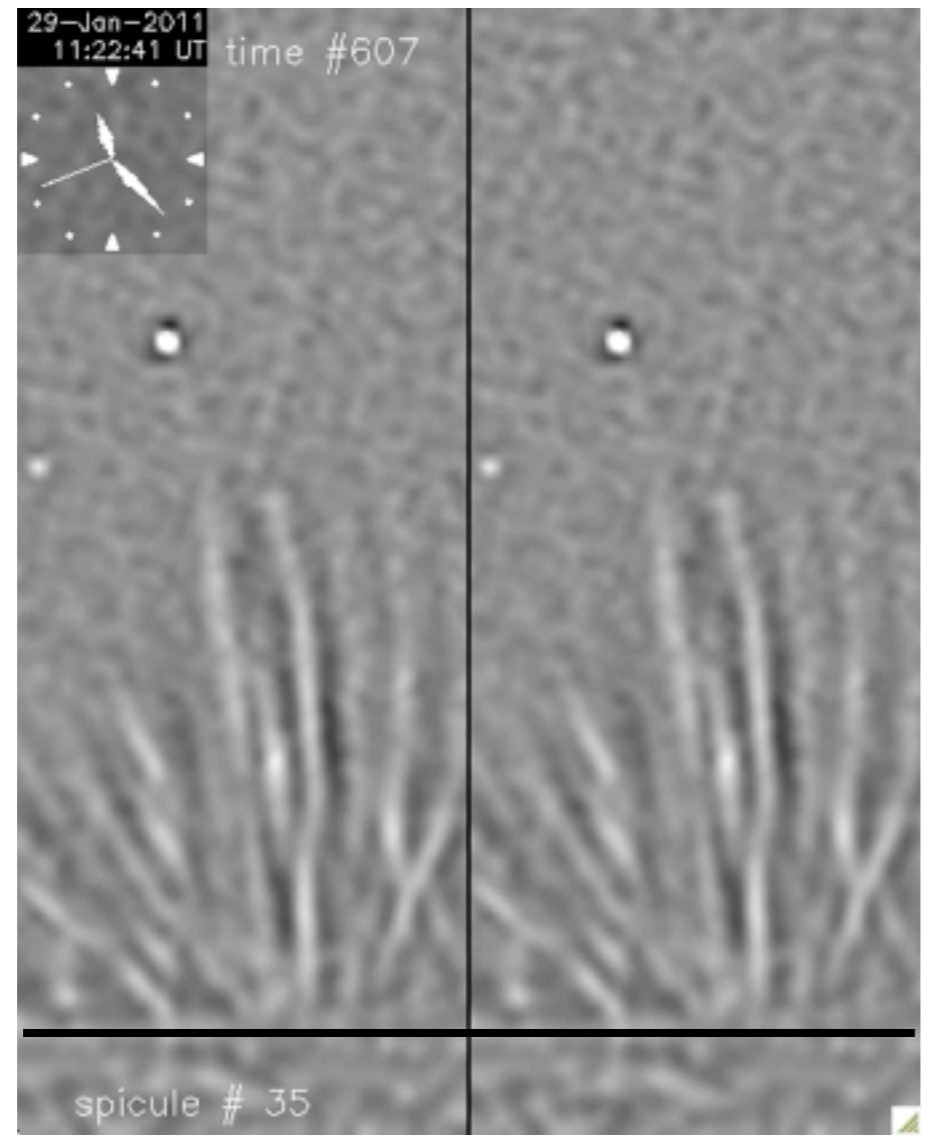
動画から進行波を検出せよ

→ 成功

個別例1

個別例2

太陽面



赤点: 上向き進行波
青点: 下向き進行波

黄点: 定在波

進行波・定在波の検出と分離

動画から進行波を検出せよ

→ 成功

統計的性質

上向き	下向き	定在波
59%	21%	20%

(エネルギーは上方へ)

周期	振幅	速度振幅
45 s	55 km	7.4 km/s

(高周波の波)

- 位相速度 ~ 270 km/s
- 高度とともに上昇
- 時間依存性(定在→進行→定在)
- 上向き、下向きの進行波がその中間で定在波を形成
- 高周波波動の輸送エネルギーは小

動画からわかること

微細構造の動きから、磁場の性質を導き出す

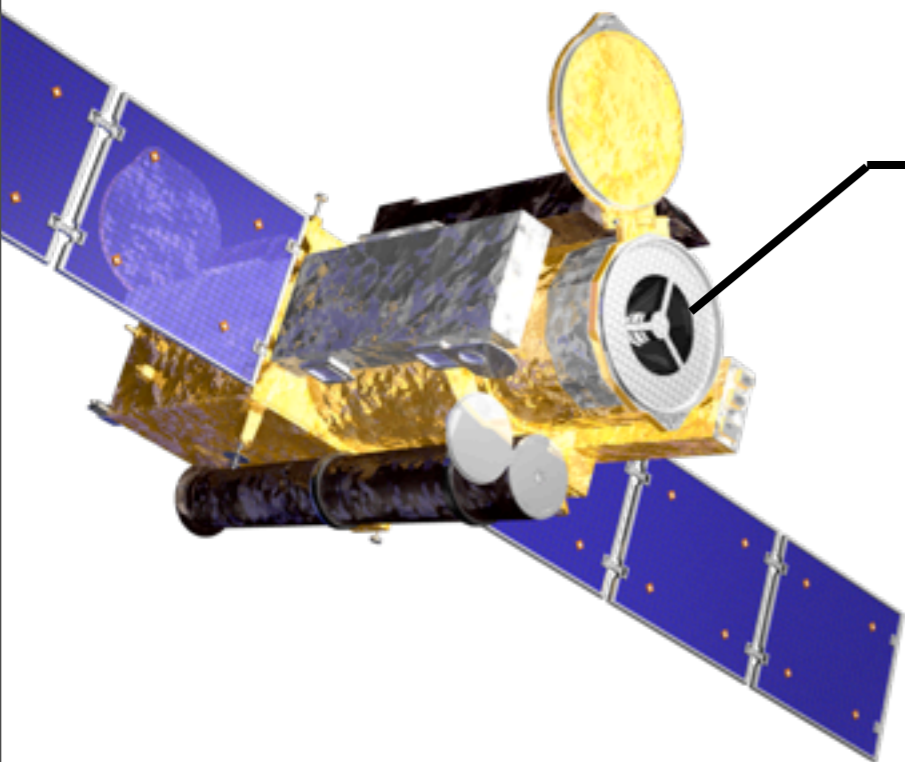
たとえば、そのままでは物理情報をもたなくても、適切に解析すれば引き出すことができる

特に磁場強度を算出できればすばらしい

ただし、解析方法も含めて、未知の世界に足を踏み入れることになり、かなり大変

→ そこに発見あり

再び、太陽観測衛星 ひので



口径 50 cm の可視光望遠鏡

空間分解能: 0.2秒角 (太陽面で 160 km)

偏光精度: 10^{-3}

すばらしい動画が撮れる

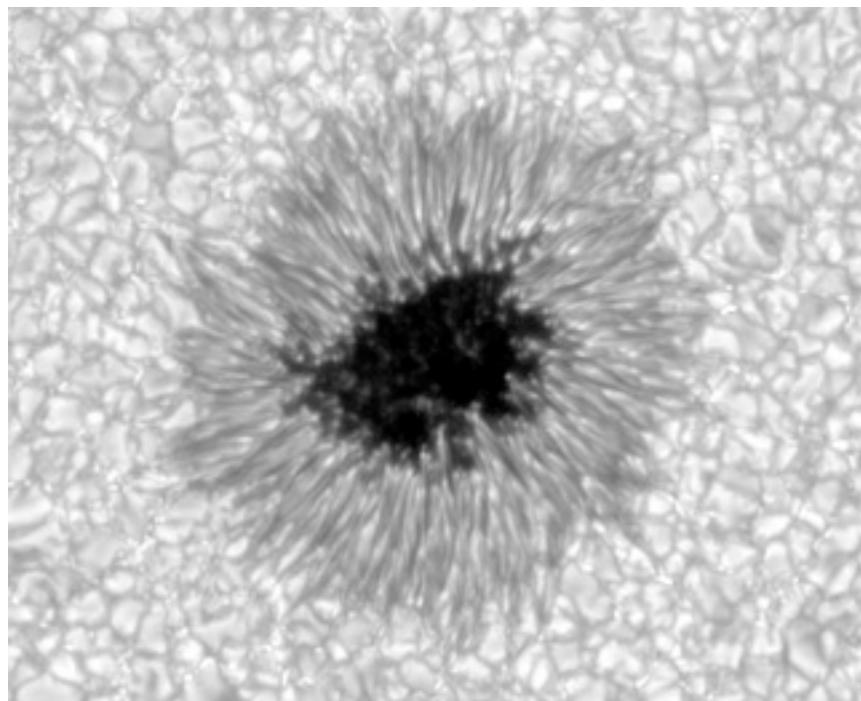
実はこれはオマケ

世界最高精度の磁場測定

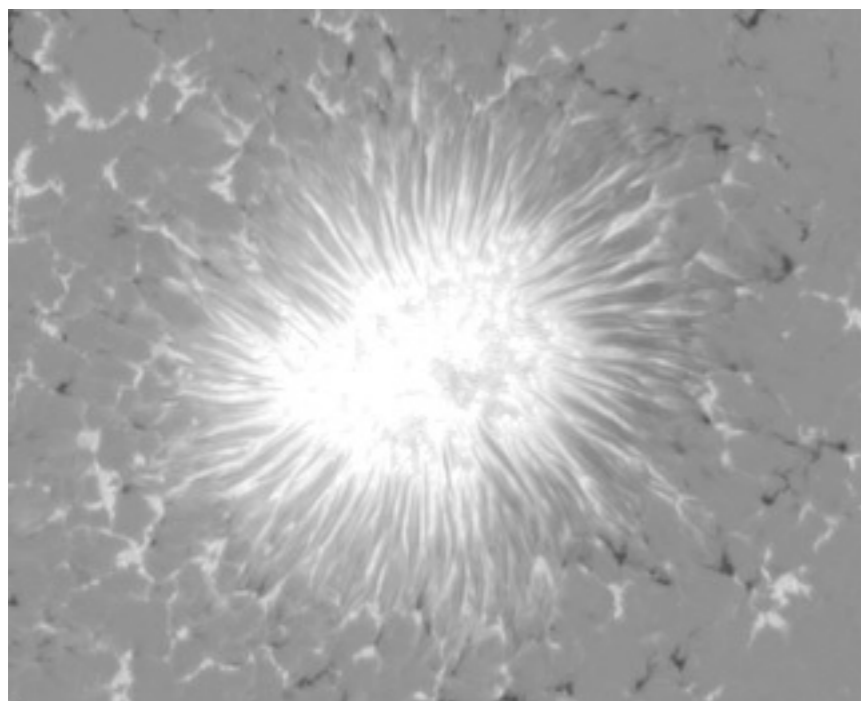
こっちがメイン

視線方向磁場
水平磁場

磁場を測る — 視線方向磁場



黒点
(Stokes I)



視線方向磁場
(Stokes V)

白: 正極
黒: 負極

偏光精度の式

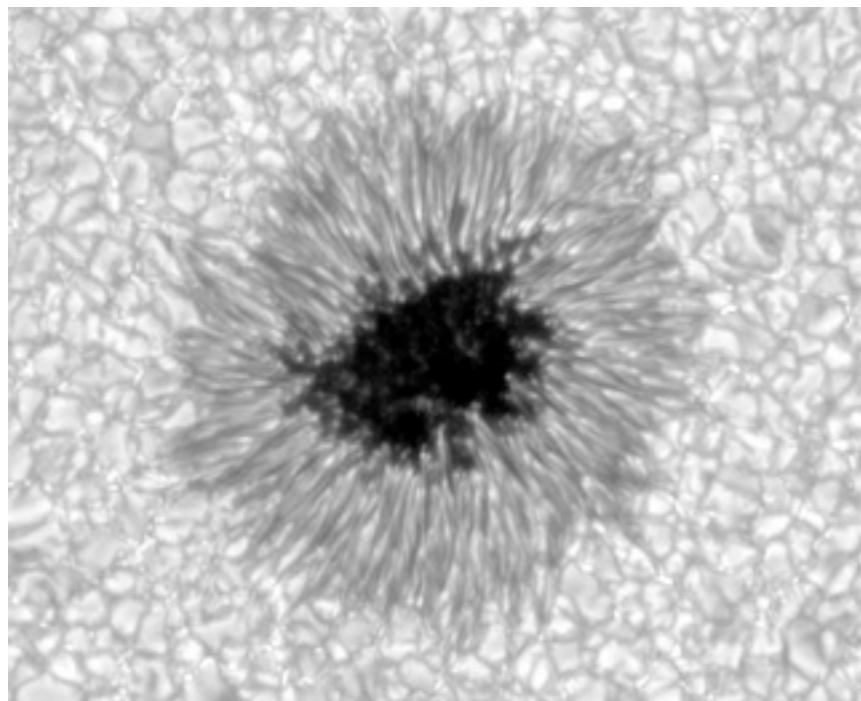
$$\frac{V}{I} \sim 10^{-3} B$$

1 G を測るには 10^{-3}
の偏光精度が必要

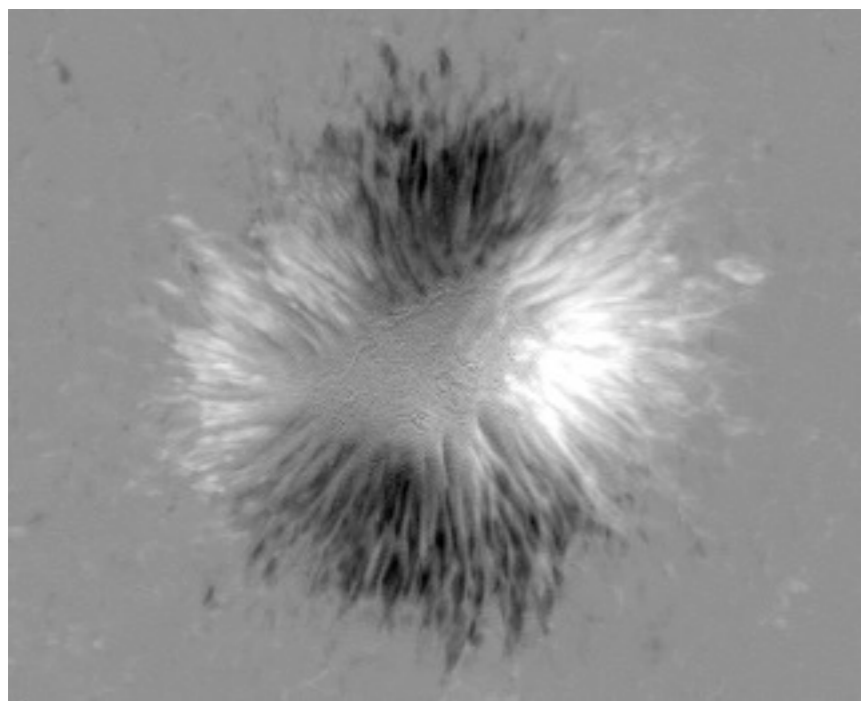
10^{-3} の偏光精度
→ 1 G まで測定可

(弱い所でも数 G あるので余裕)

磁場を測る - 水平方向磁場



黒点
(Stokes I)



水平方向磁場
(Stokes Q)

白: X軸方向
黒: Y軸方向

偏光精度の式

$$\frac{Q}{I} \sim 10^{-6} B^2$$

1 G を測るには 10^{-6}
の偏光精度が必要

10^{-3} の偏光精度
→ 30 G まで測定可

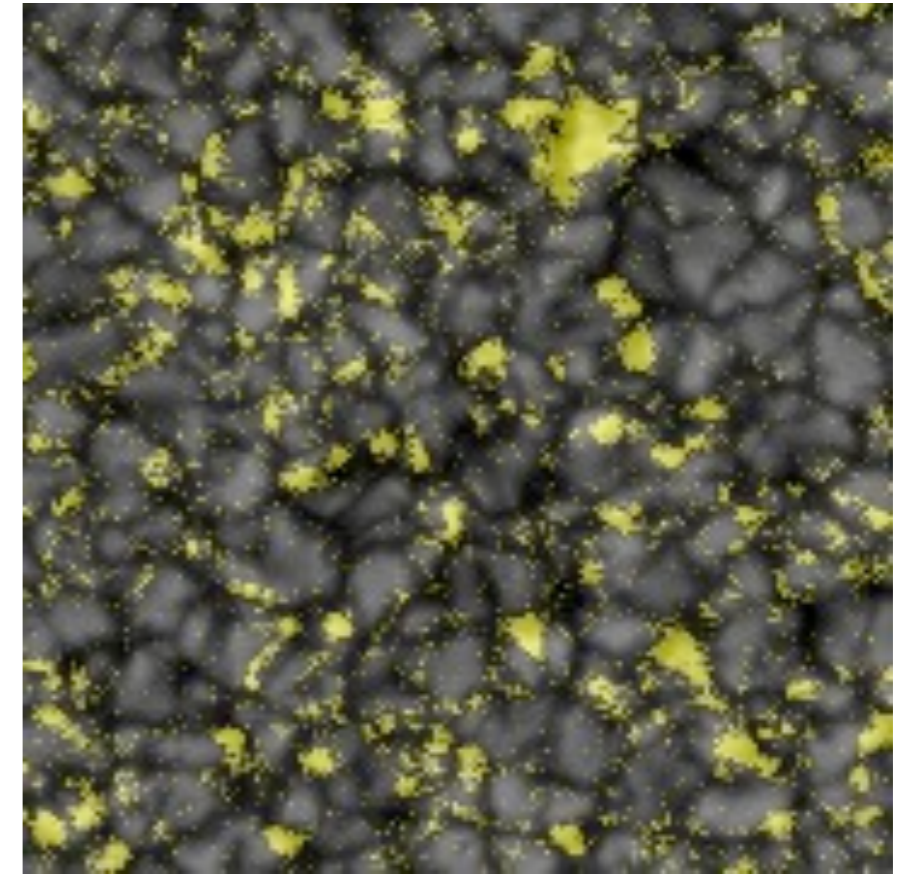
(弱い所はかなりキビシイ)

磁場を測る

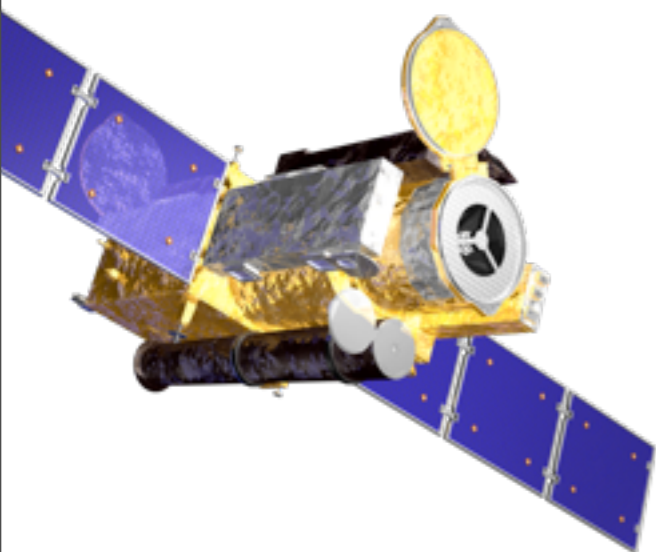
偏光精度を上げるには・・・

- 時間積分(長時間露光)
- 空間積分(低解像度)
- 有効面積増大(seeing との戦い)

変化の早い太陽面微細構造の磁場
測定はままならない



(水平磁場の分布)



短時間露光 ----- **時間変化**

高空間分解能を維持 ----- **高精度**

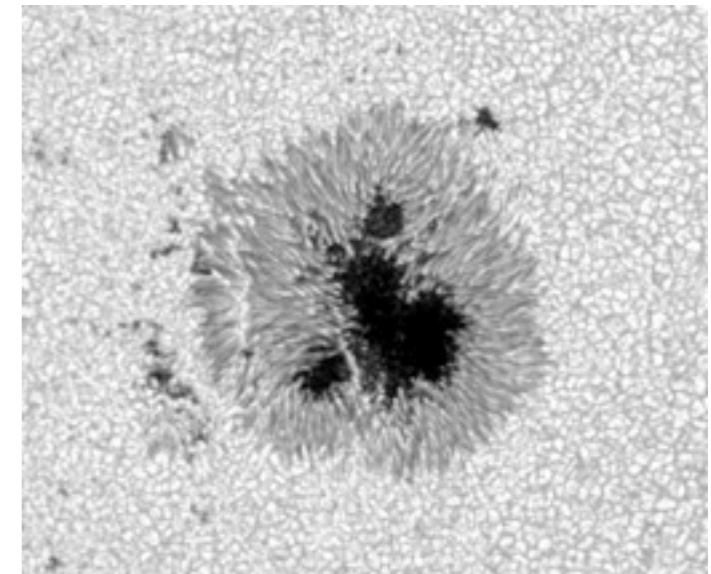
低散乱(Stokes I, Q, U, V の正確な分離)

水平磁場成分を含むベクトル 3成分

プロミネンスと光球磁場

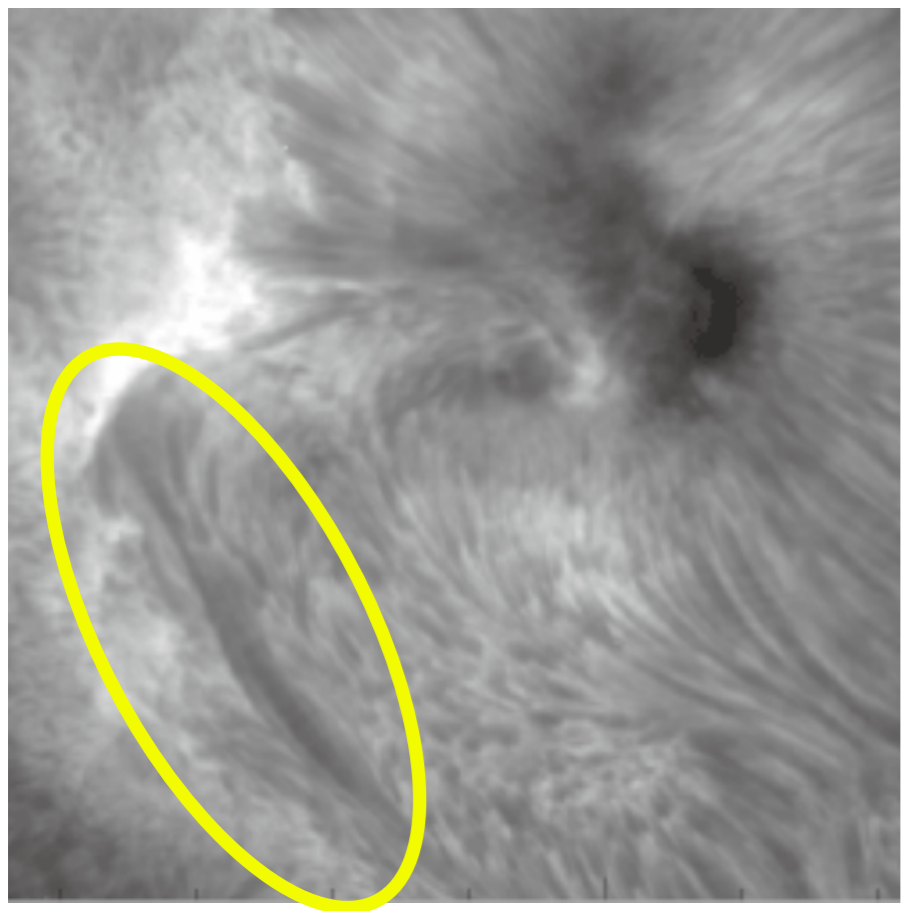
ひのでは長時間に渡り、高いクオリティの磁場データを撮り続けることができる

プロミネンスの形成・進化と光球磁場の時間発展を調べるとおもしろそう

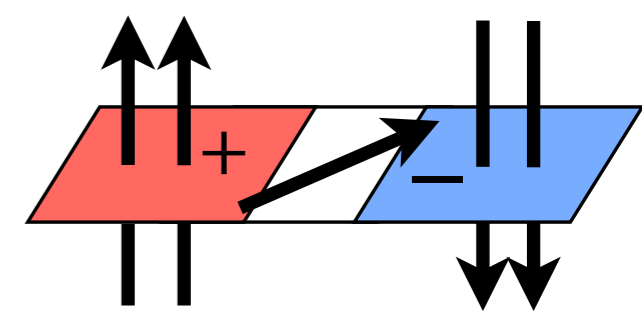
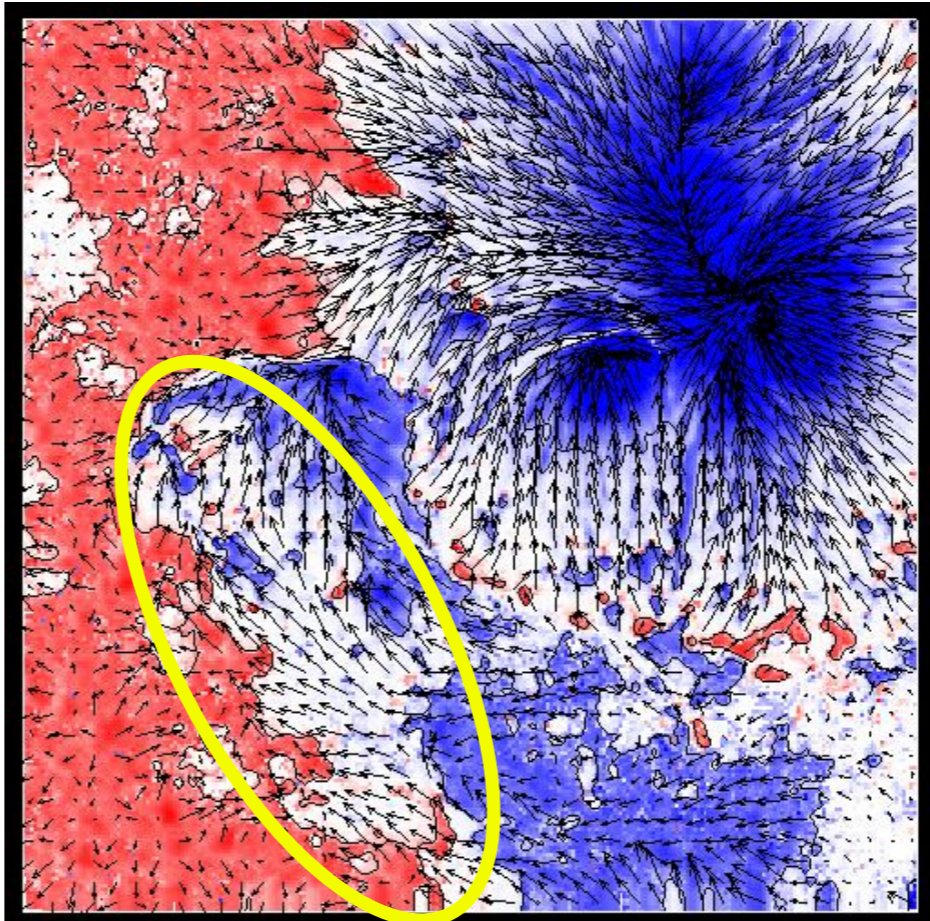


(対象の黒点)

H α 線画像

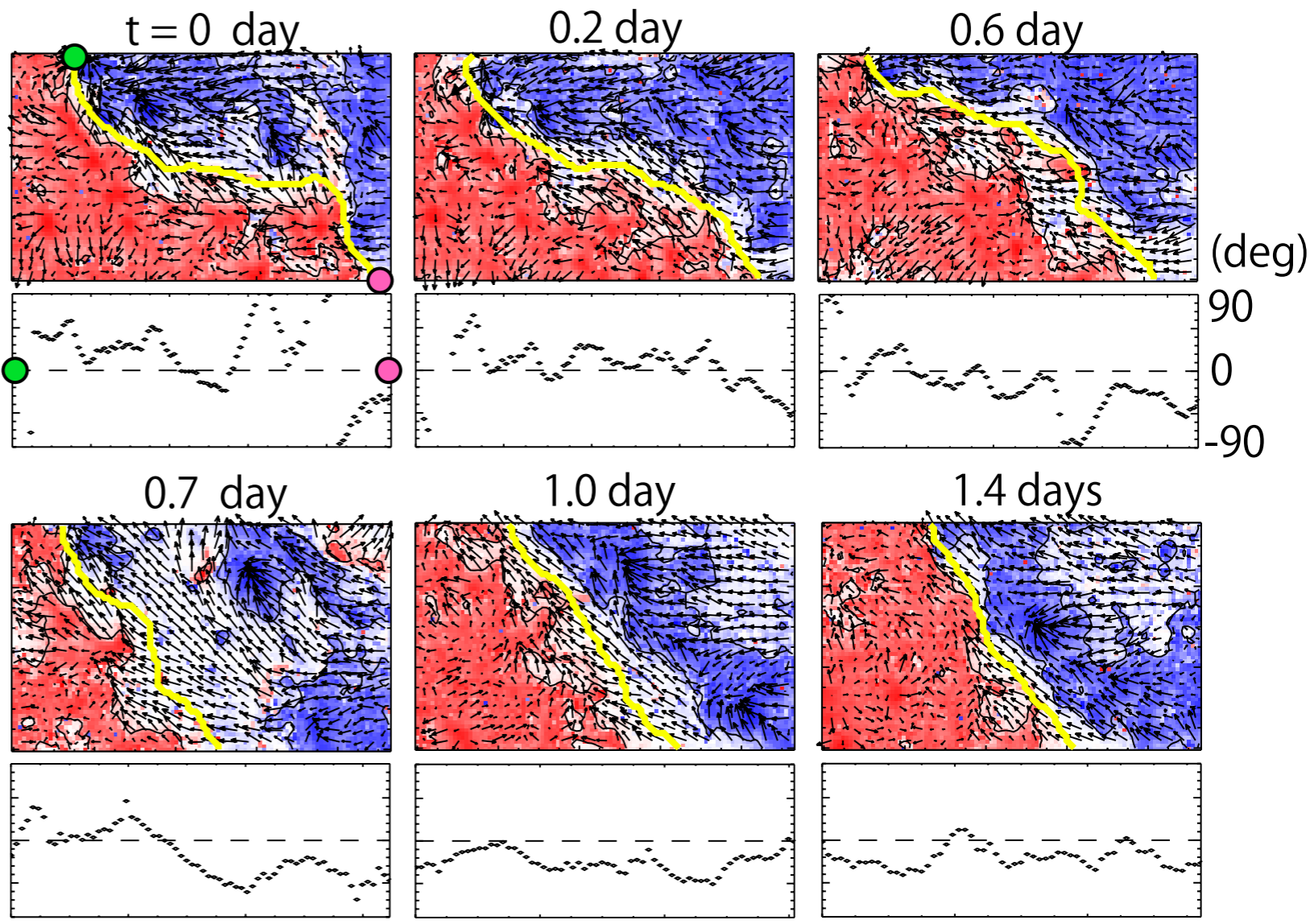
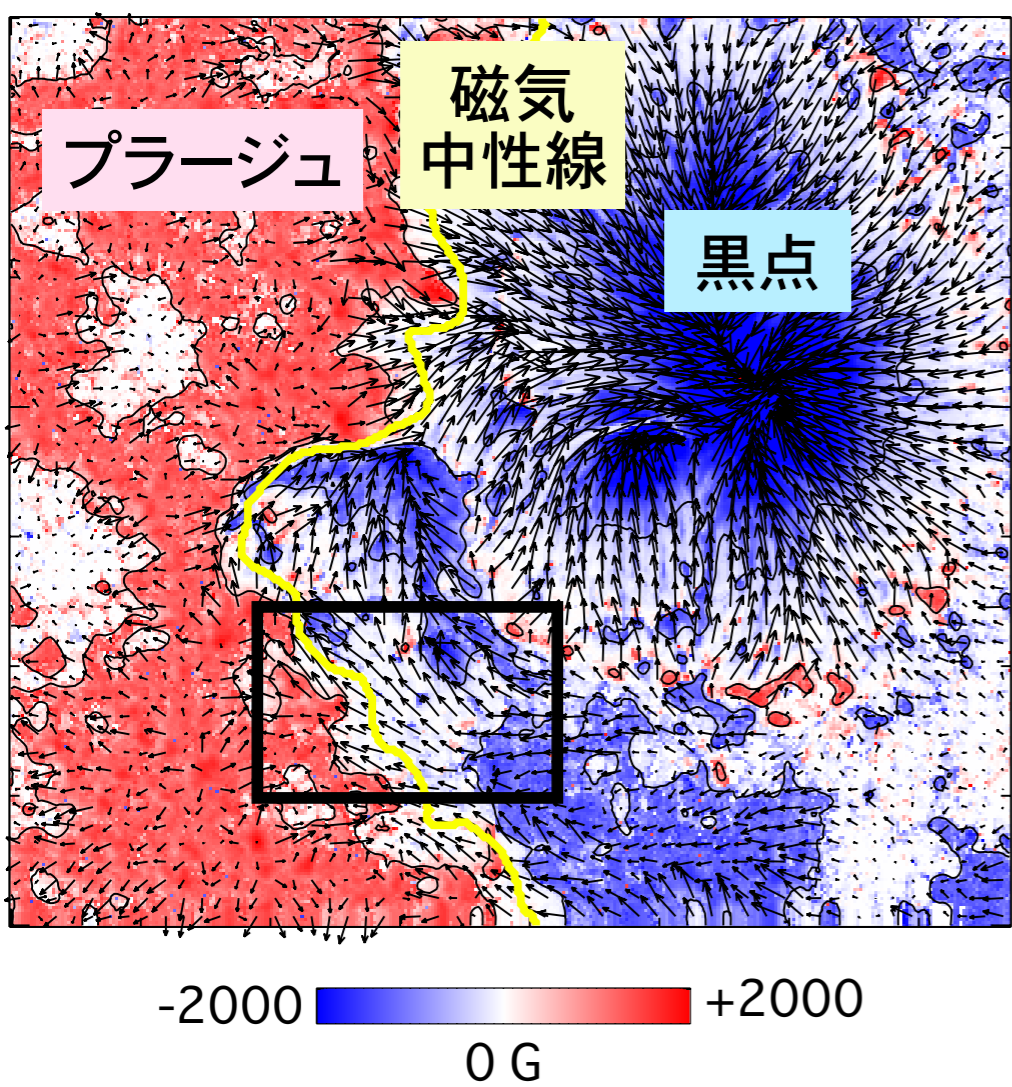


ベクトル磁場

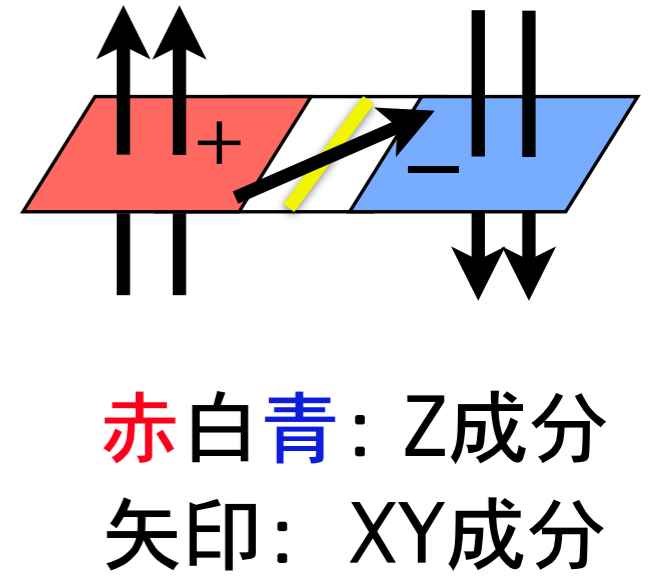


赤 白 青 : Z成分
矢印 : XY成分

プロミネンスと光球磁場



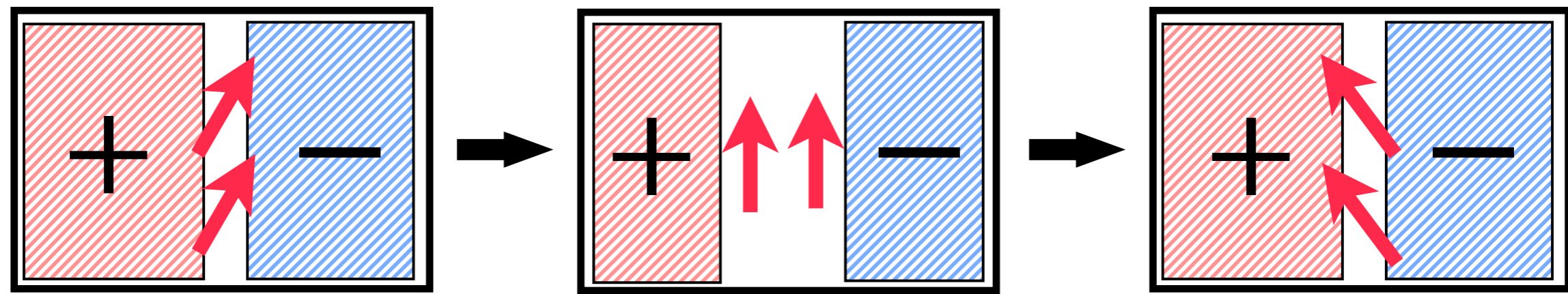
- 白い領域が開いて閉じる
- それに伴い、水平磁場の向きが回る
- 同じ領域で上昇流 (ここには不掲載)



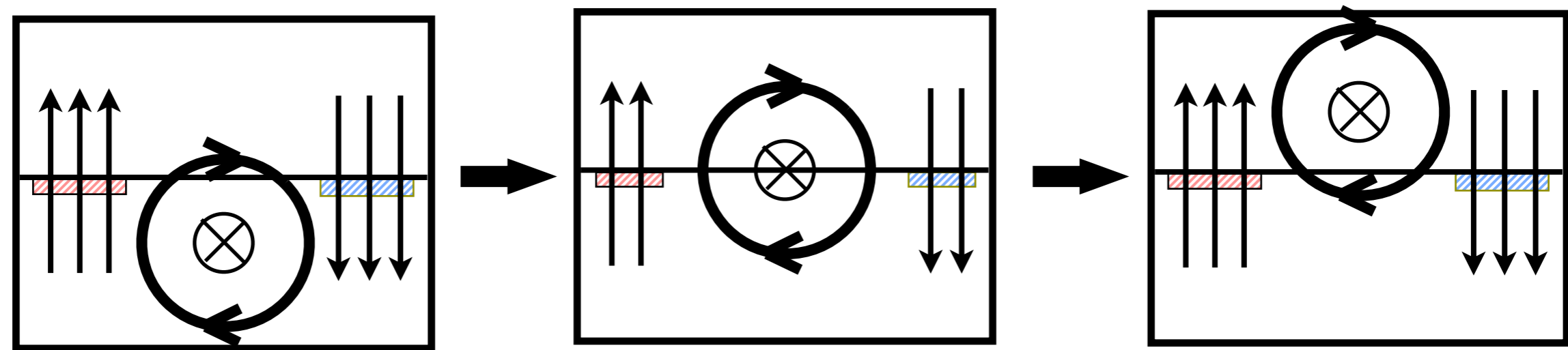
(Okamoto et al. 2008, 2009)

プロミネンスと螺旋浮上磁場

観測
事実
(光球面)



解釈
(光球面の断面)



螺旋磁場が浮上していると解釈できる

→ 画期的

ほとんど全てのプロミネンス研究者が、プロミネンス形成・進化過程での螺旋浮上磁場の関与を否定していたから

(Okamoto et al. 2008, 2009)

プロミネンスと螺旋浮上磁場

水平磁場の時間変化がキーポイント

地上では偏光精度が足りず測れない



視線方向磁場だけで研究が成される

(他に手段がない以上、これは悪いことではない)



重要な情報が得られない、あるいは見落とす



別のモデルで解釈し、螺旋浮上磁場の存在を否定

(観測的証拠を示しても否定してくるのは研究者としていかなものか)

スペースからの「連続的」「高空間分解能」
「高偏光精度」での観測が必須

まとめて要る?

動画は潜在的に情報を含んでいる

いかにしてそれを取り出すかを一生懸命考えよう

今後、高分解能の画像はわんさか出てくる

(ひので、SDO → IRIS、ALMA、Solar-C、ATST…)

ベクトル磁場の時間変化はとても重要

視線方向磁場だけで議論した研究内容や成果は
一度検証し直してみるのが良い

(主流の SOHO/MDI, SDO/HMI だけで書かれた論文にだまされてはいけない)
(ただし、もちろん正しいものもたくさんある)