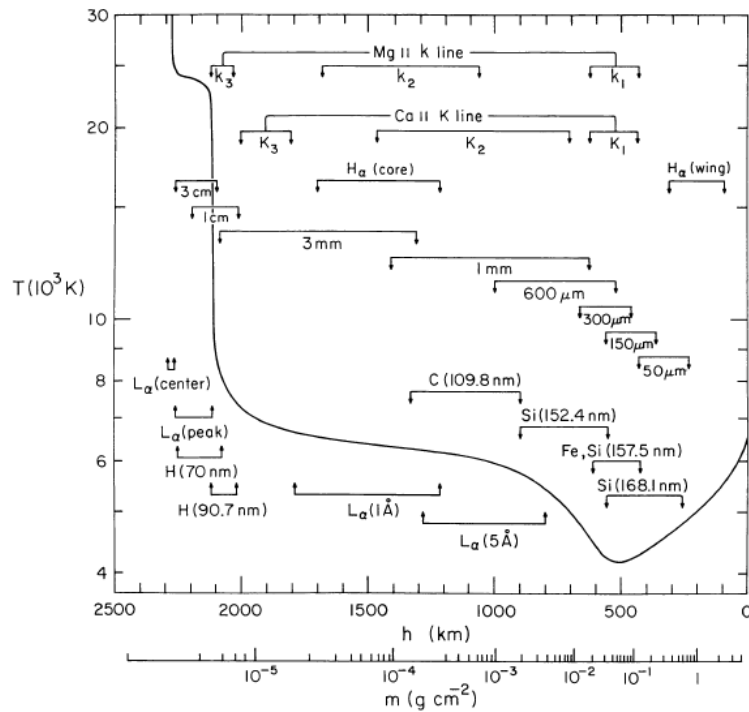


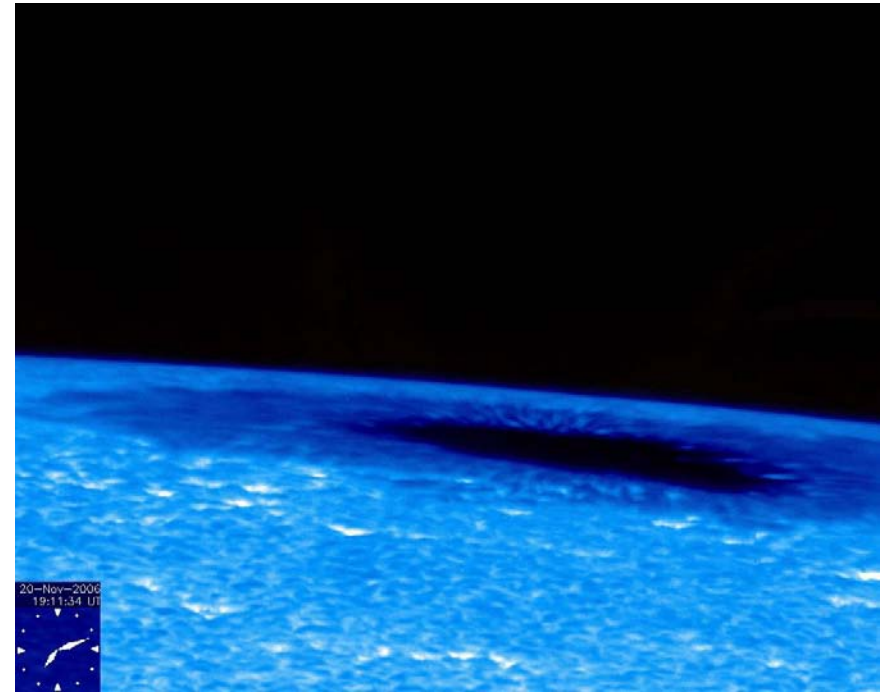
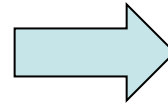
太陽の彩層 観測的研究を中心に

勝川行雄 (国立天文台)

彩層: 平行平板大気→3次元的なダイナミクス



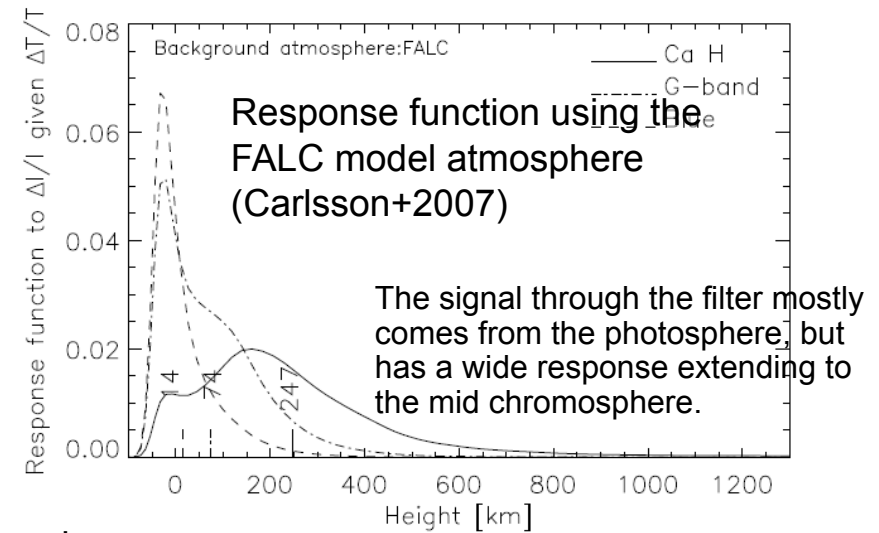
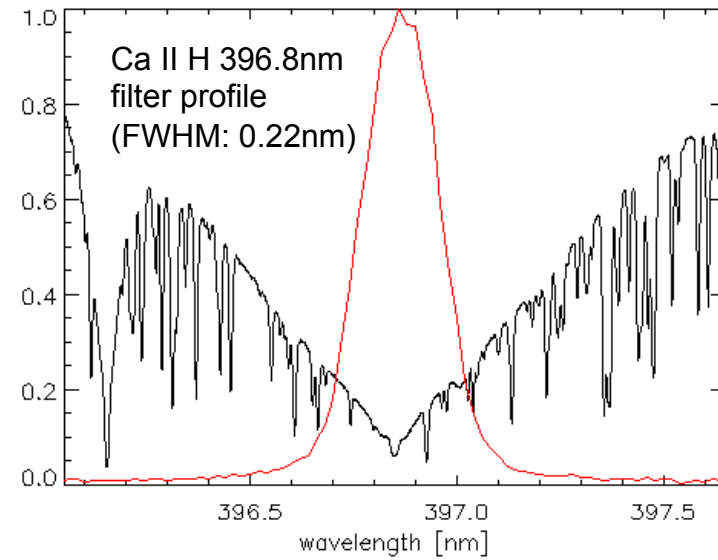
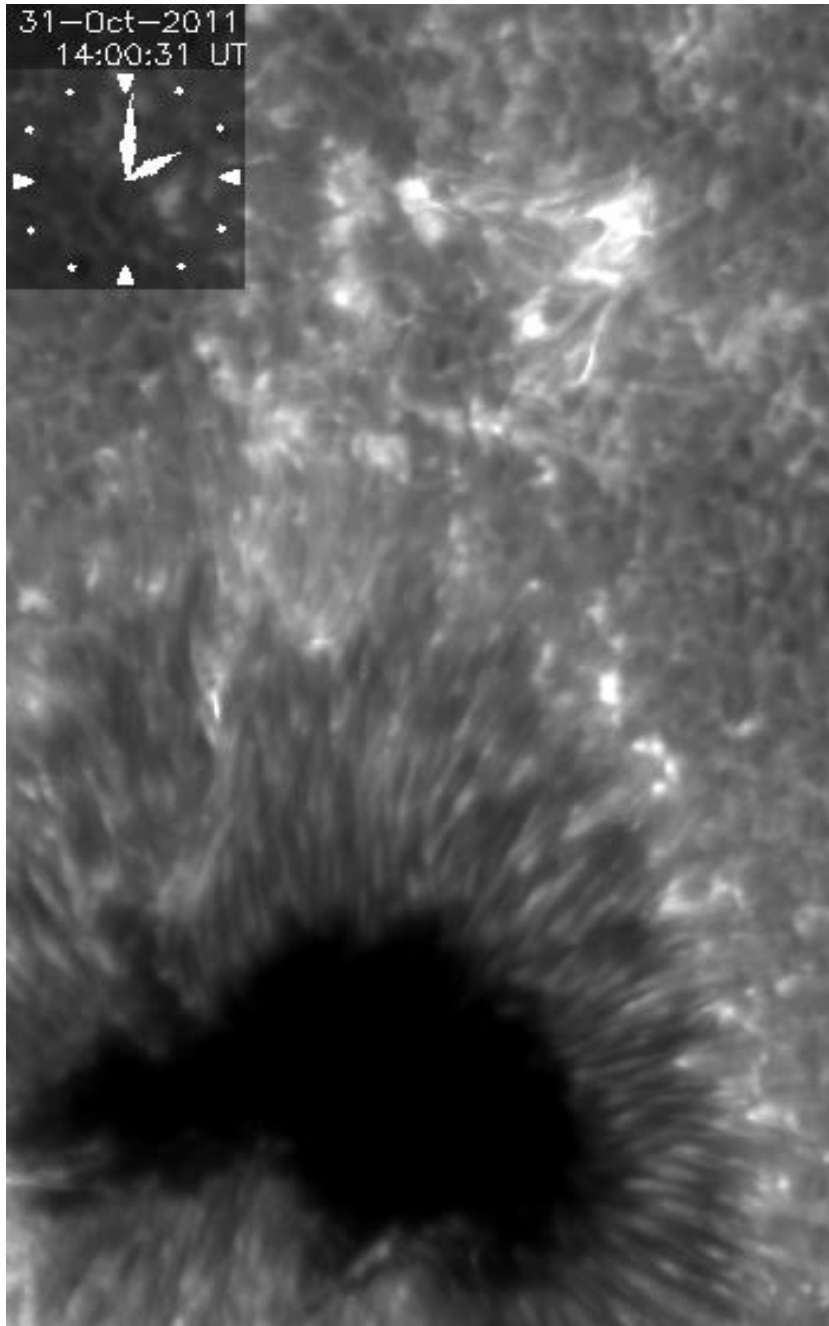
VAL (1981)



Hinode SOT G-band + Ca II H

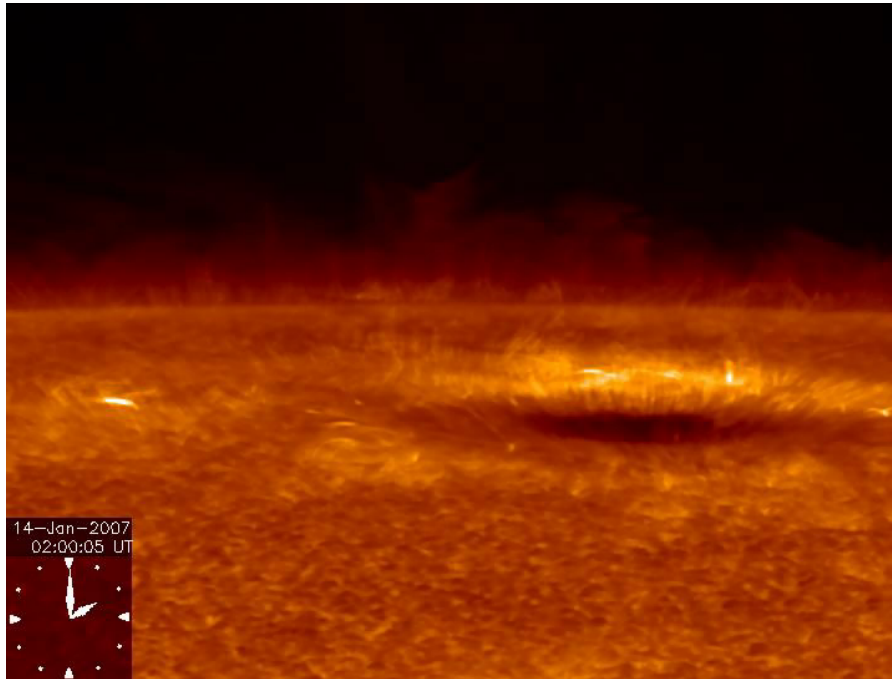
- 彩層線(Ca II H/K線やH α 線、UV輝線)の観測から経験的に大気モデル化
- 「ひので」衛星や地上望遠鏡による空間・時間分解した観測によって、太陽彩層は様々な活動に富んでいることが分かった。
- プラズマ $\beta \sim 1$ 。磁場の役割が重要になる層。

ひので SOT Ca II H observations



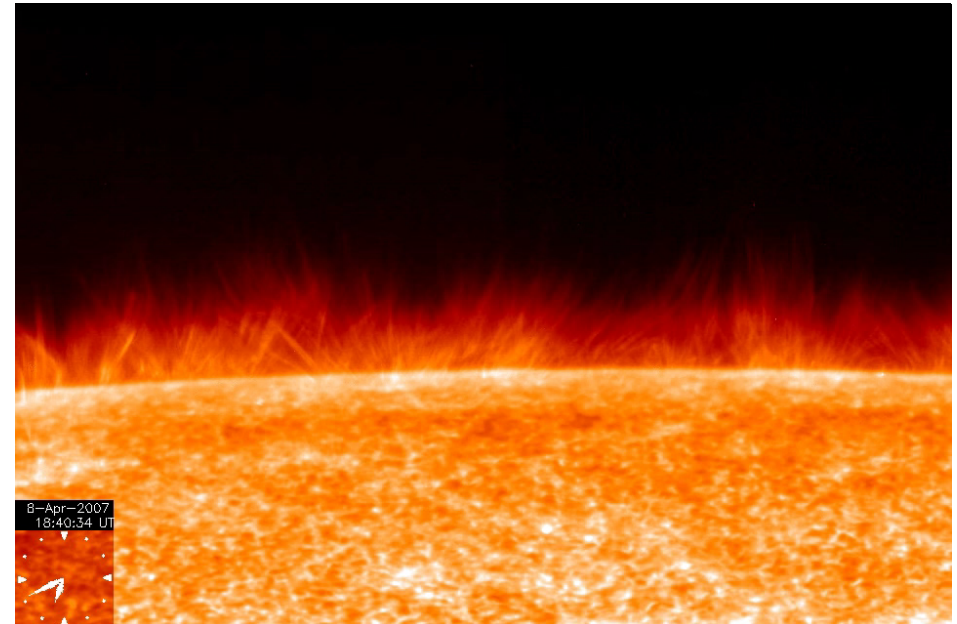
1.6 sec cadence
Ca II H movie

ひのでSOTが見た彩層活動



活動領域

- 半暗部マイクロジェット (Katsukawa+2007)
(長さ1000km~3000km, 速度 > 50km/s)
- 彩層ジェット (サージ)
(Shibata+2007, Nishizuka+2011)
(長さ1000km~4000km, 速度 5 – 20km/s)



静穏領域/コロナホールスピキュール

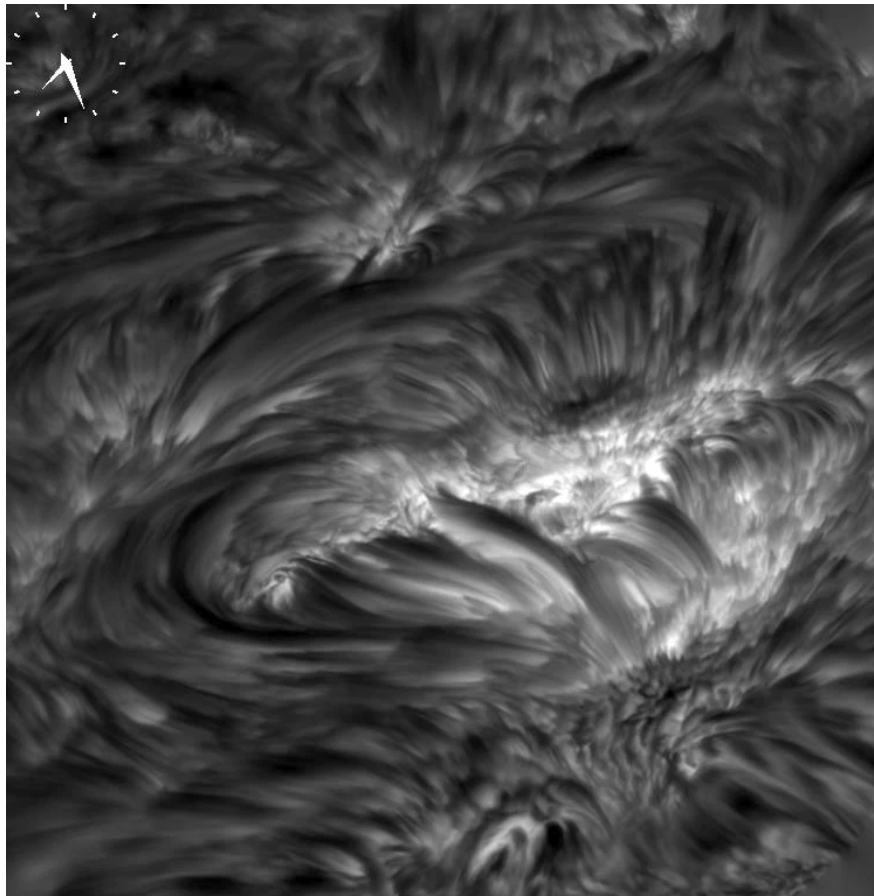
- 短寿命 (<3min)で高速(~100km/s)のものがある

横波 (Alfven波)が観測されるようになったことも大きな成果

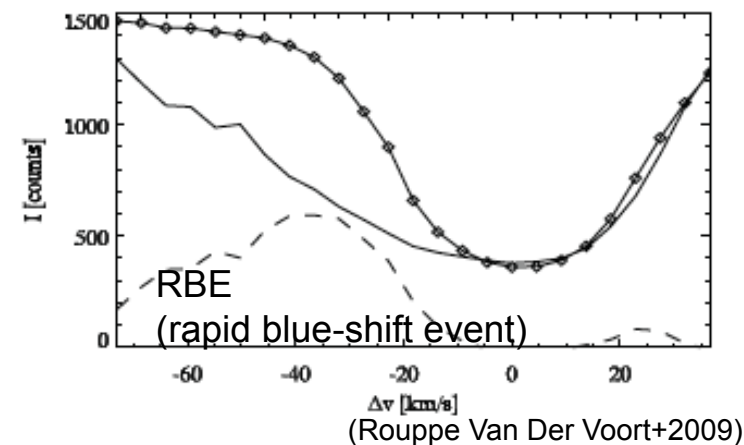
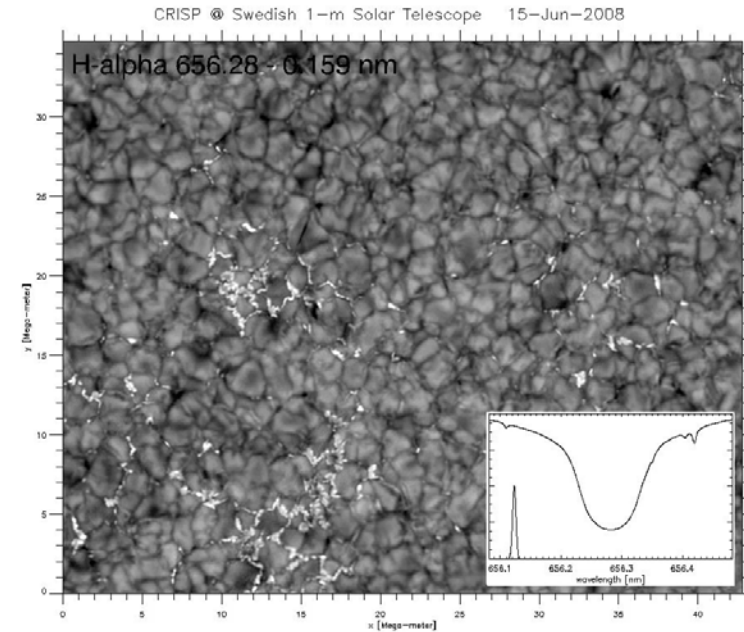
(De Pontieu+2007, Okamoto+2007, 2011)

地上望遠鏡: 撮像分光観測

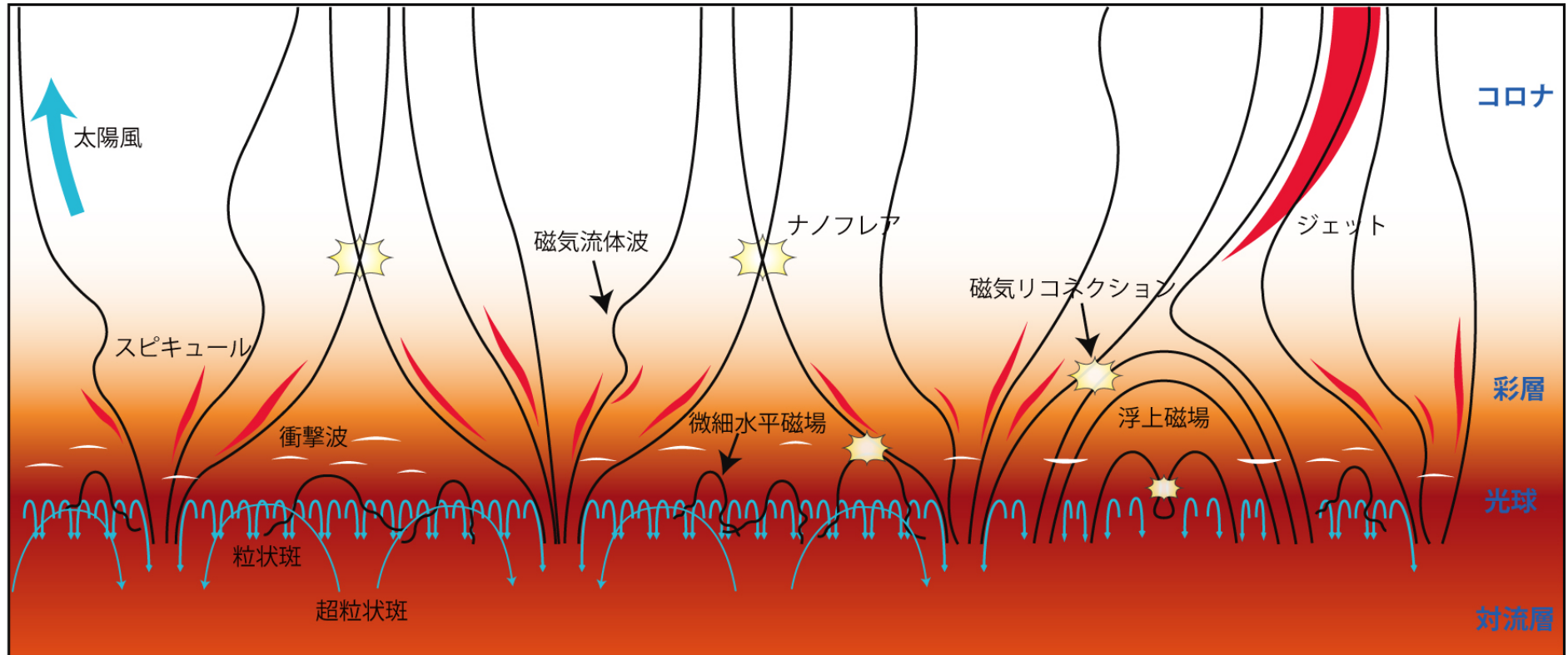
水素 Balmer lines ($H\alpha$, $H\beta$,,,)
Ca II: H/K ($\sim 390\text{nm}$), IRT ($\sim 850\text{ nm}$)



SST @ La Palma H alpha movies
Dynamic fibrils (De Pontieu+2007)



彩層における加熱とダイナミクス (プラズマの流れ)



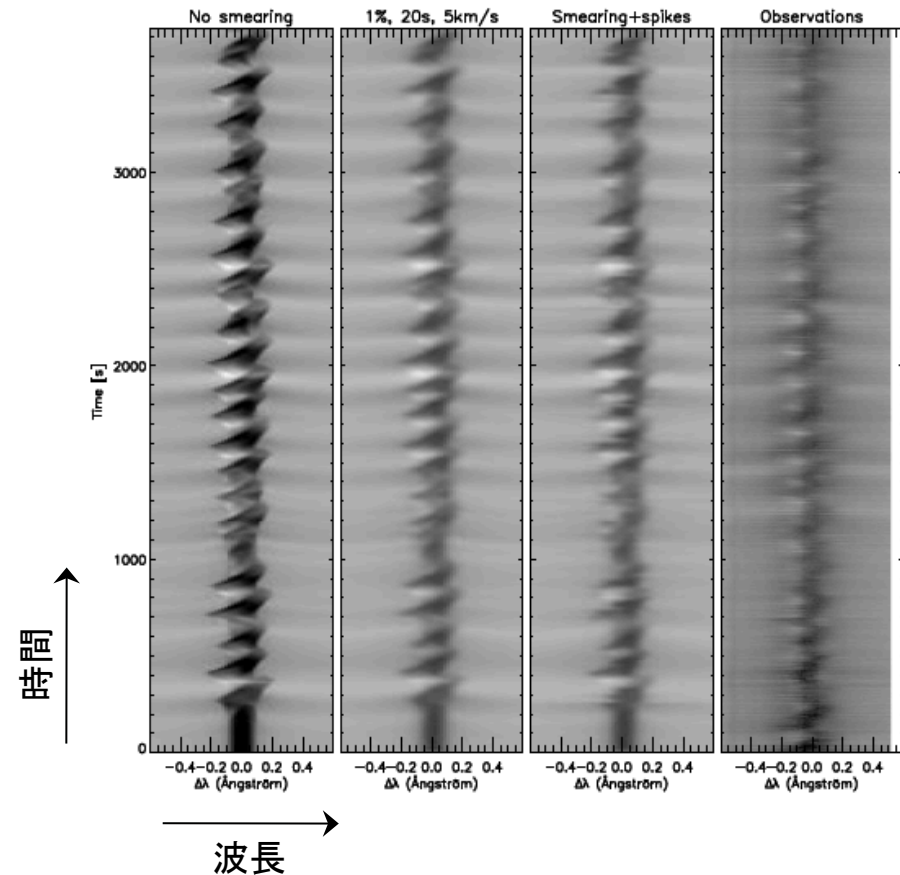
(Courtesy of SOLAR-Cパンフ製作グループ)

課題

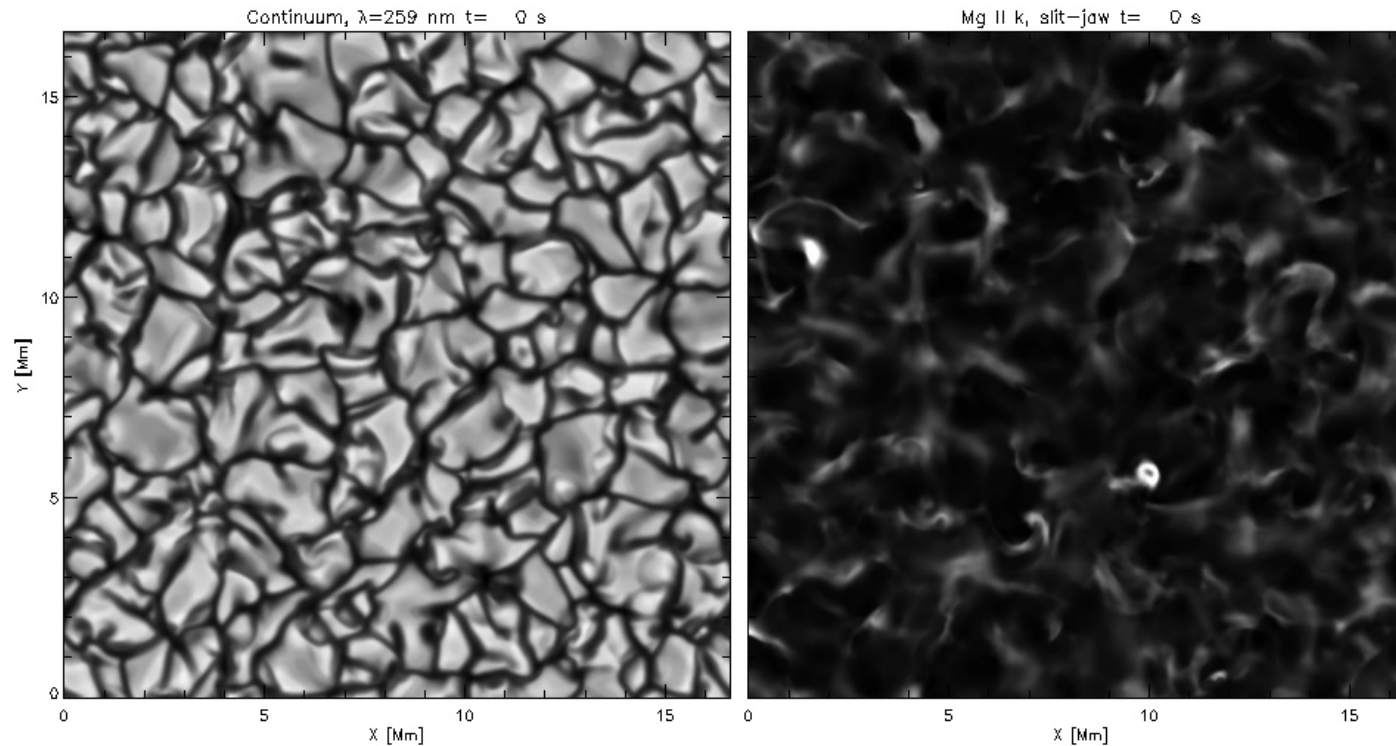
- 非磁場領域の彩層加熱
 - 光球から上空に伝わる音波が衝撃波を作って加熱する
 - 非定常なイオン化とnon-LTE輻射輸送のモデル化も含めて
- 磁場がからんだ加熱・加速
 - 磁気リコネクションによるもの、あるいは、磁気リコネクションじゃないかと推測されているもの
 - 波の伝搬が磁場の存在によって変化する(非圧縮性 \leftrightarrow 圧縮性のmode conversion)
 - 光球磁気リコネクション(あるいはキャンセレーション)や粒状斑スケールの磁場浮上との関係、光球-彩層で連続的に観測できていない
- 上空(遷移層, コロナ)加熱との関係
 - スピキュール・高温(MK)コロナとの関係はあるか?

Non-magnetic 衝撃波加熱

- Carlsson and Stein (1997)
 - 1次元の流体計算
 - 観測に基づいた光球の速度を入力
 - Ca II Hのラインプロファイルをよく再現できる。
- 磁場無しの(弱い)場所はこれで理解できる



彩層を含めた3次元数値シミュレーション



(Courtesy of M. Carlsson)

- H α など彩層ラインでのopacityが十分ではない。磁場があっても彩層の筋状構造が見えない。
- ひとつの原因は非定常なイオン化が十分取り込まれていない。
- Oslo Universityのグループが精力的に取り組んでいる (加藤講演)

非定常なイオン化

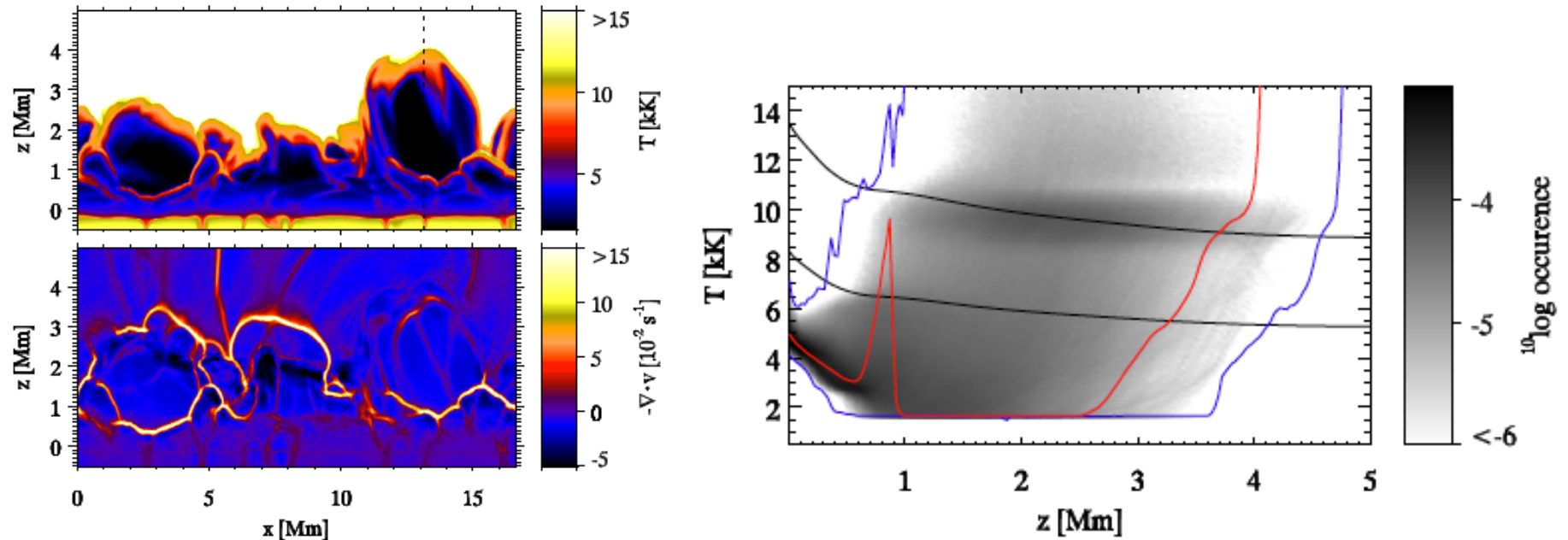
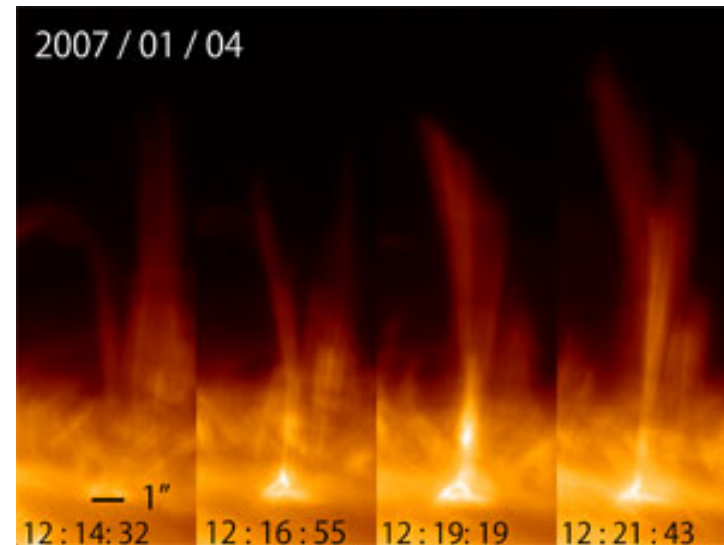
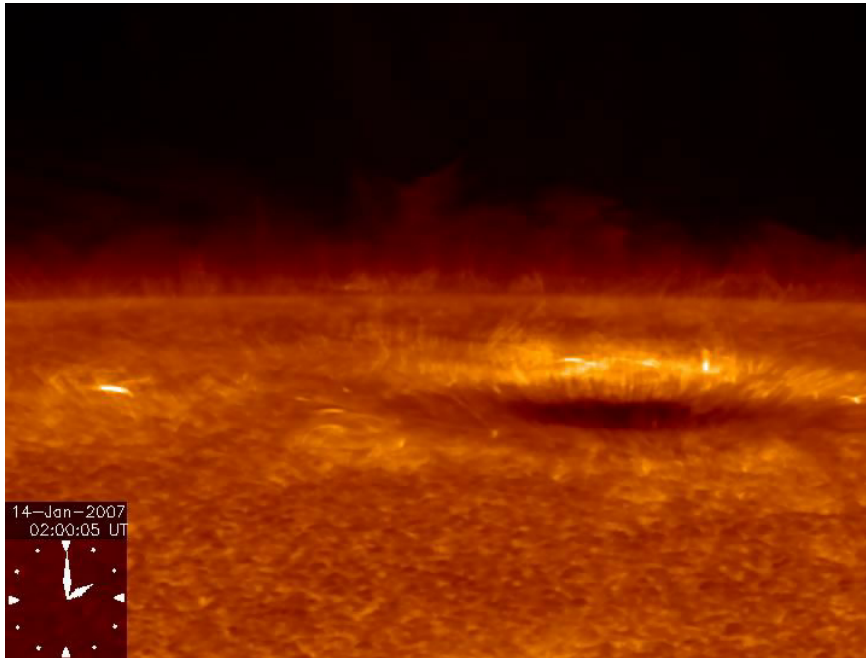


Fig. 1. Snapshot of the simulated atmosphere. *Top panel*: gas temperature, with the column shown in Figs. 2, 3 and 7–12 indicated by a dashed line. *Bottom panel*: $-\nabla \cdot u$, positive values indicate the gas is locally compressed in the co-moving frame.

(Leenaarts+2011)

- 衝撃波の部分で水素が電離。温度は大体~10000Kになる。それ以外の場所は~2000K。
- 一端電離されると、リコンビネーションに時間がかかる。結果として、電離度は電離平衡の場合より高くなる傾向。

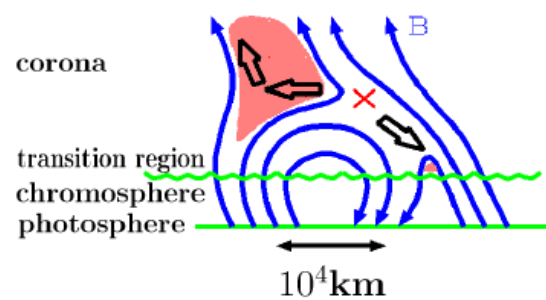
ジェット: 磁気リコネクション



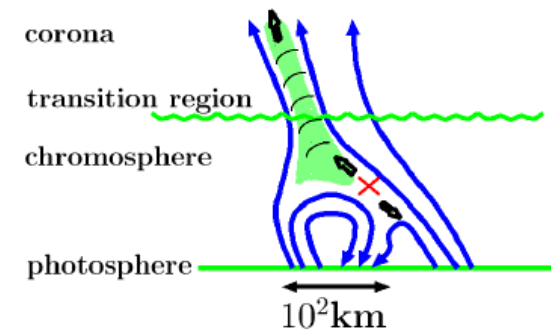
(Shibata+2007, Nishizuka+2011)

- 活動領域(特に黒点の周辺)で多数のジェットが観測された。
- ジェットの根元は逆Y字形をしたものが多い。

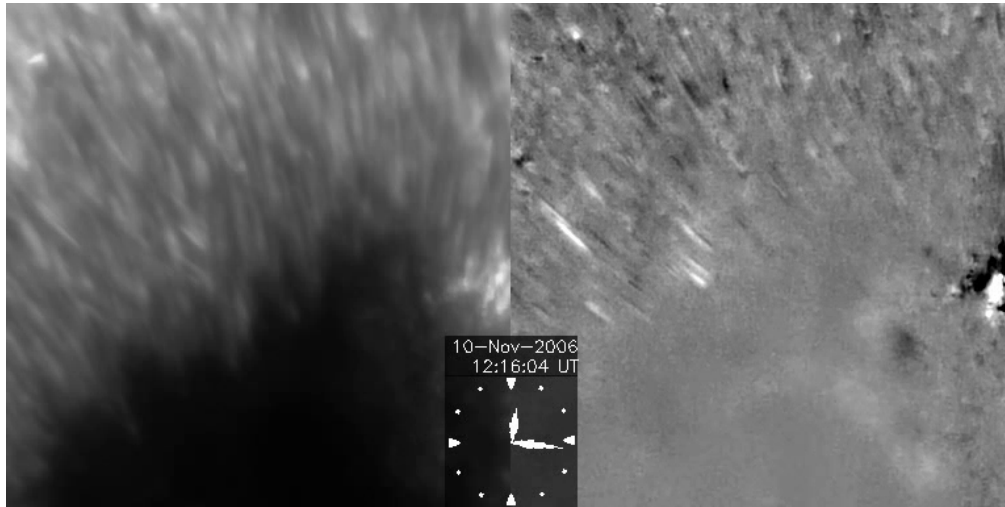
(a) X-ray Jets/SXR microflares



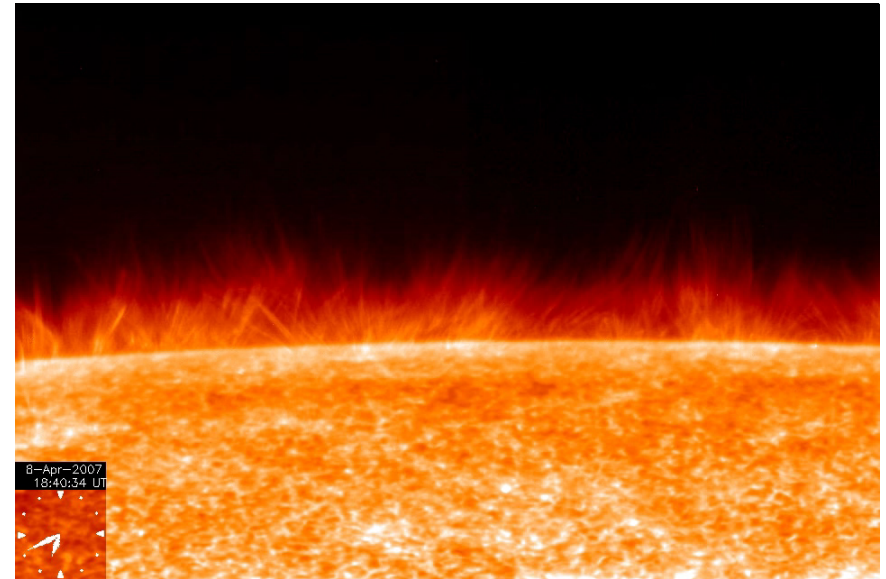
(c) Spicules Jets/Photospheric nanoflares (what?)



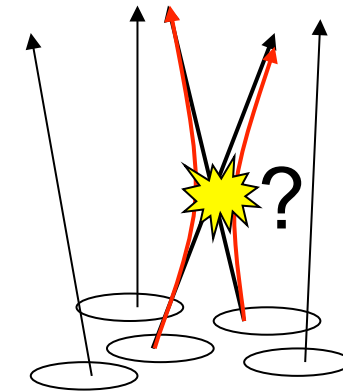
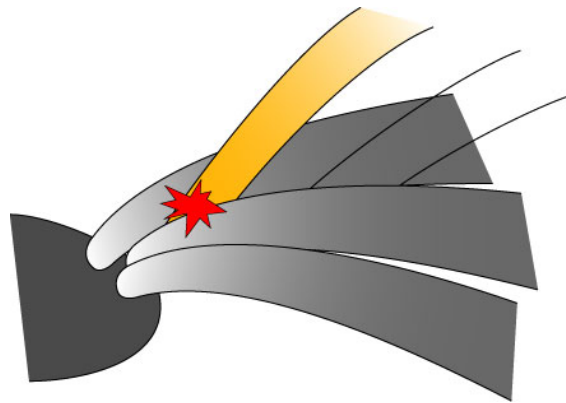
リコネクションじゃないか



半暗部マイクロジェット(Katsukawa+2007)

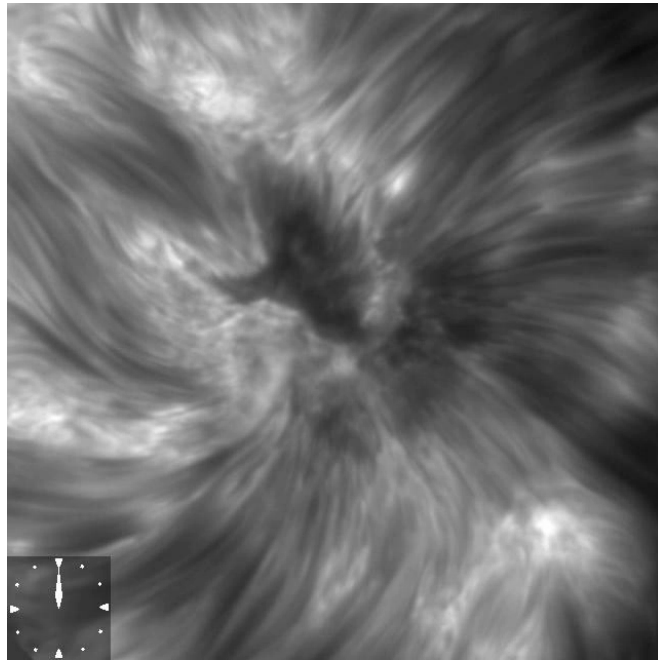


スピキュール(De Pontieu+2007)

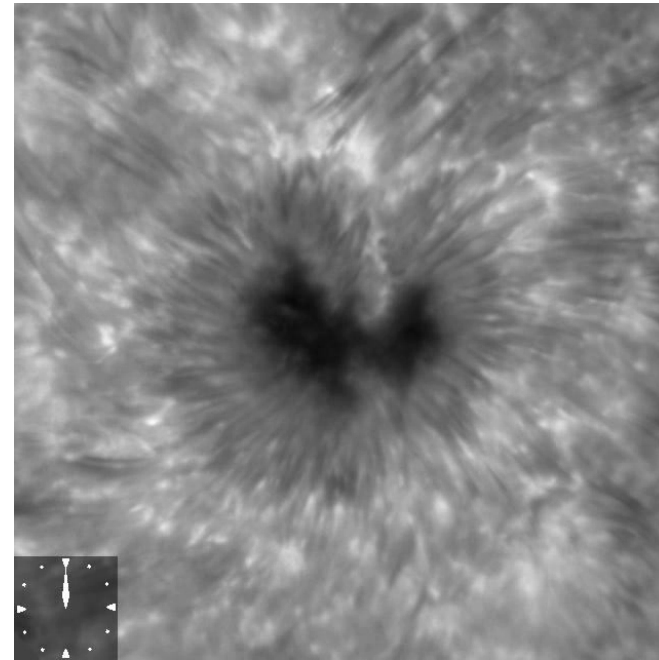


- 活動領域においては磁場による加速・加熱は必要

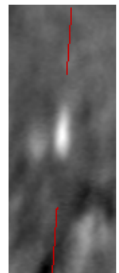
半暗部ジェット・光球での磁気リコネクションか



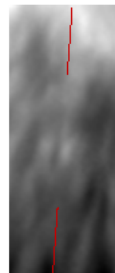
Ca II 854nm line center



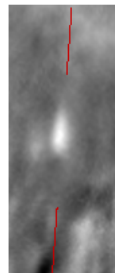
Ca II 854nm line wing



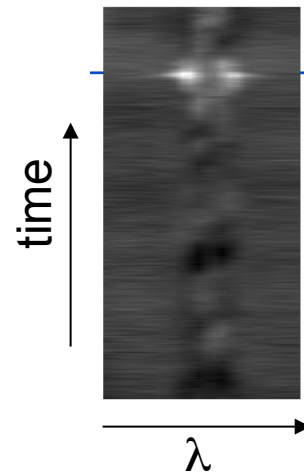
blue wing



LC



red wing

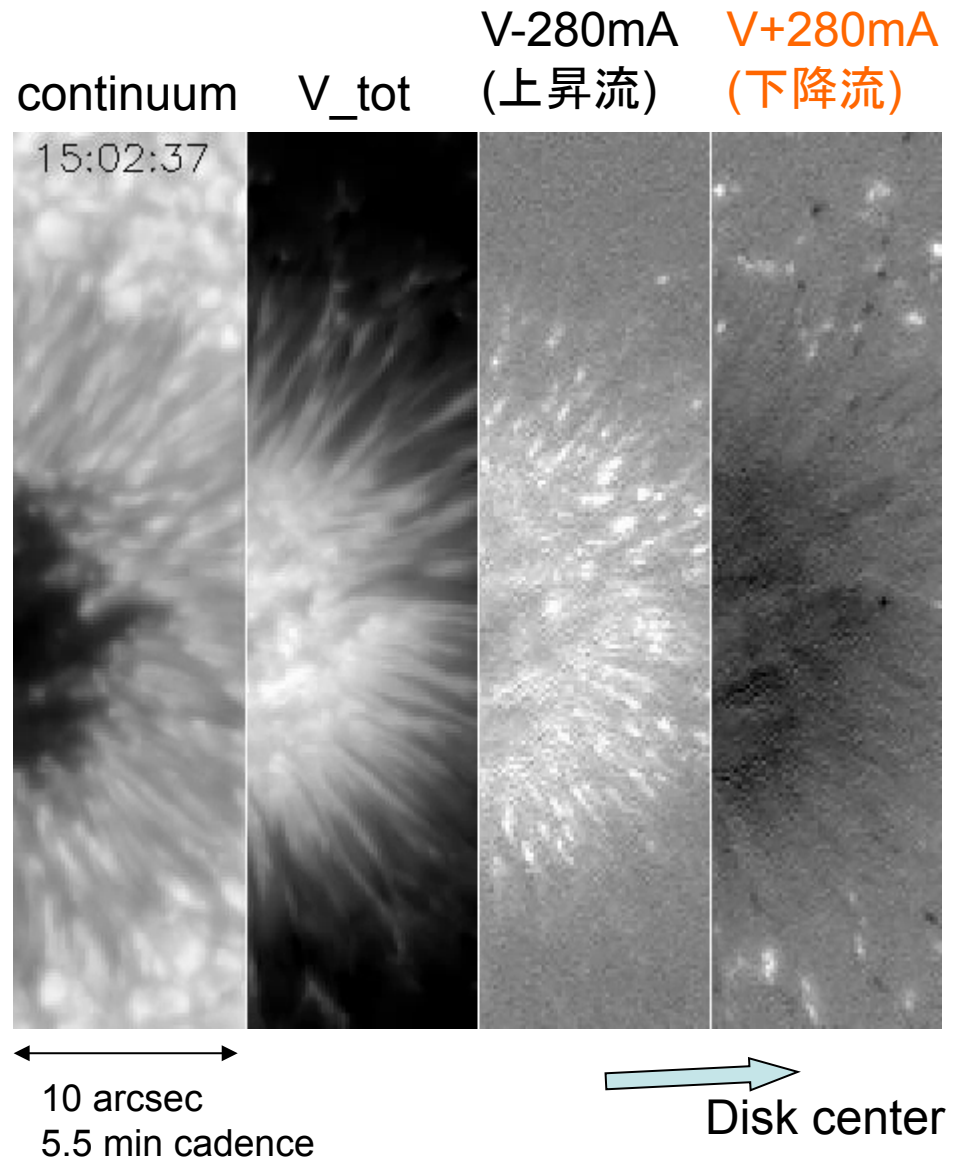


- Ca II 854nmのwingでのみ増光が観測される。(エラーマンボム)
- 彩層下部・光球上部でのリコネクション

半暗部・光球の下降流

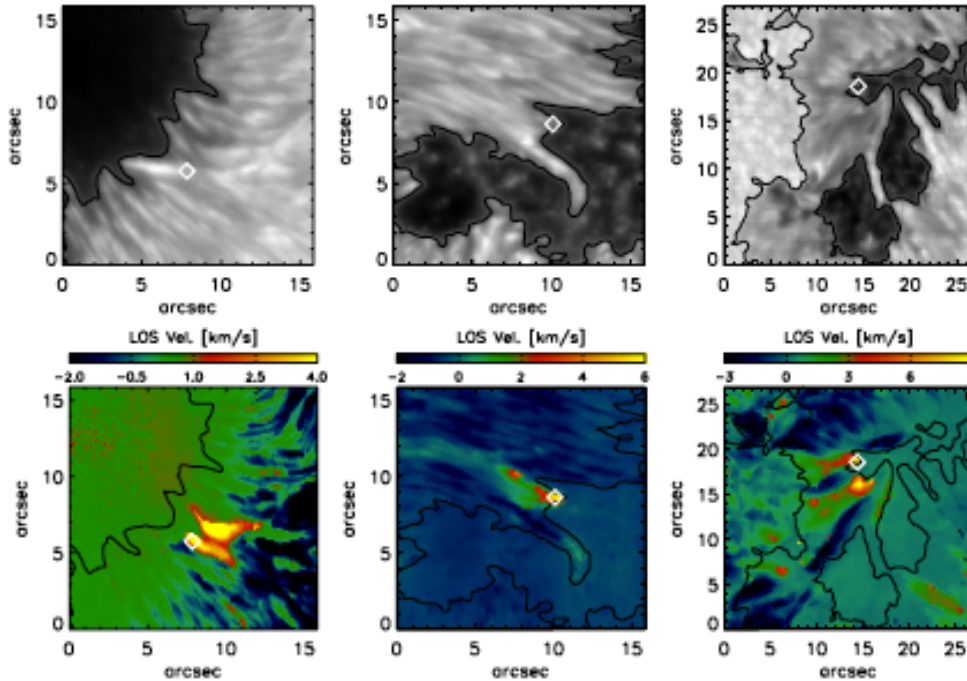
(Katsukawa+, Jurcak+ 2010)

- 半暗部内でトランジェントに下降流が発生
- (全部ではないが)彩層増光との関係性もある
- 光球でのリコネクションを示唆。



光球で発生する(超)音速流

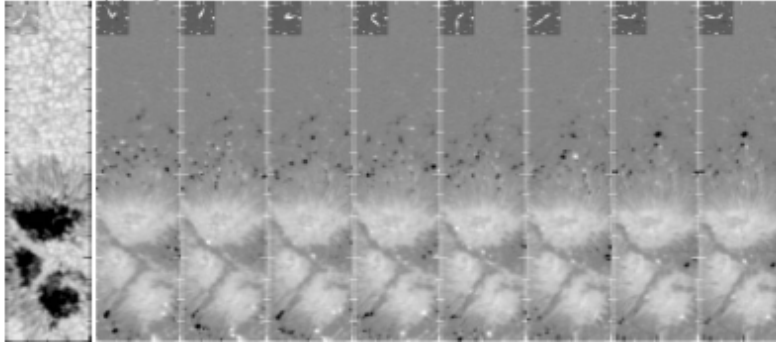
Louis et al. (2011)



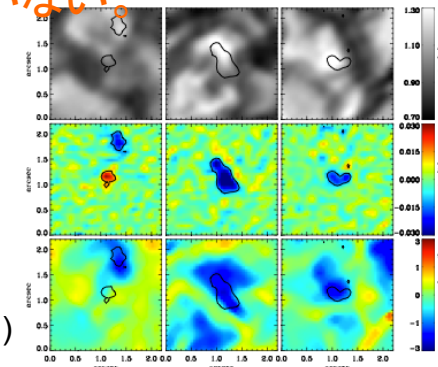
- 半暗部
ジェットなどの彩層活動が活発な場所で顕著な下降流が観測される (Shimizu+2009, Louis+2011)。
- 黒点以外の場所でも
超音速下降流・上昇流が観測される (Shimizu+2008, Borrero+2010)。

ガス(圧力勾配)が駆動しているもの、磁場が駆動しているものもあるだろう。彩層ダイナミクスとの関係はほとんど分かっていない。

Continuum (a) Signal excess at red-side wavelength



Shimizu et al. (2008)

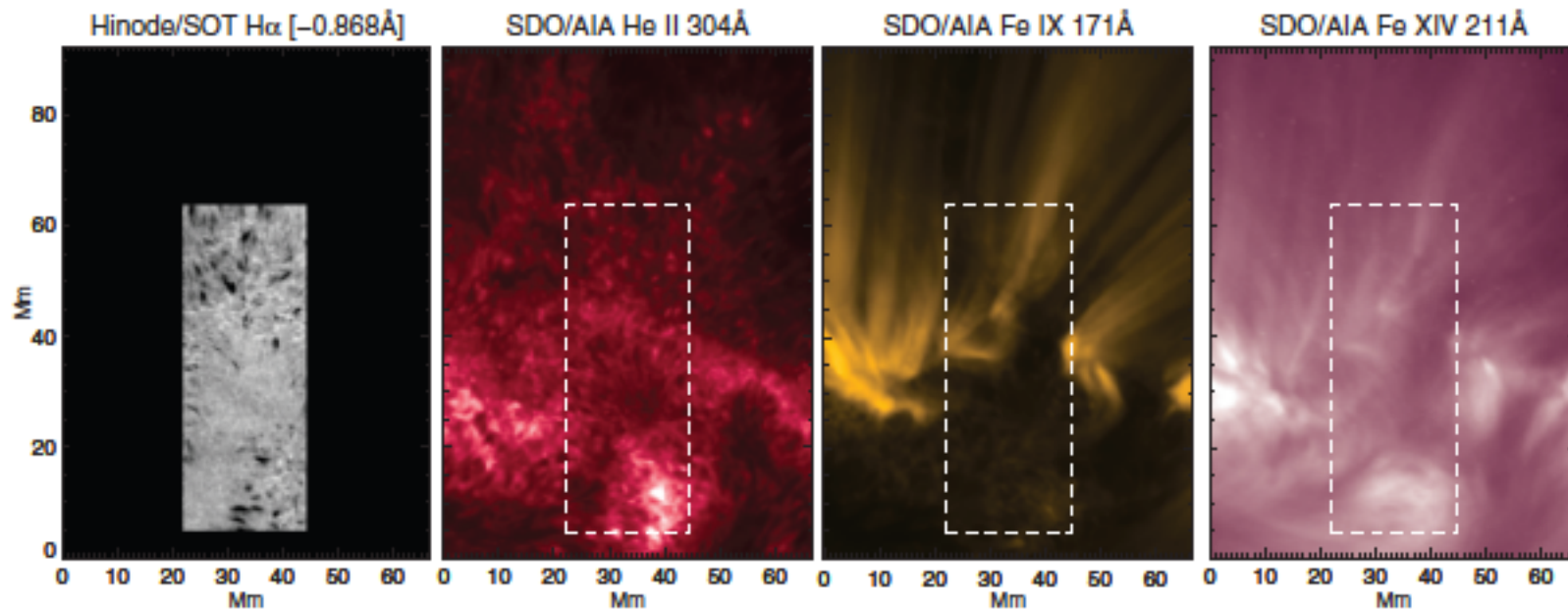
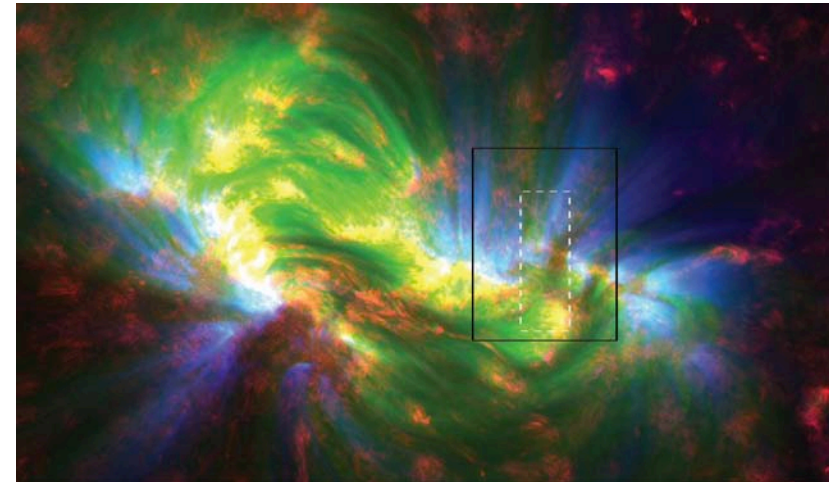


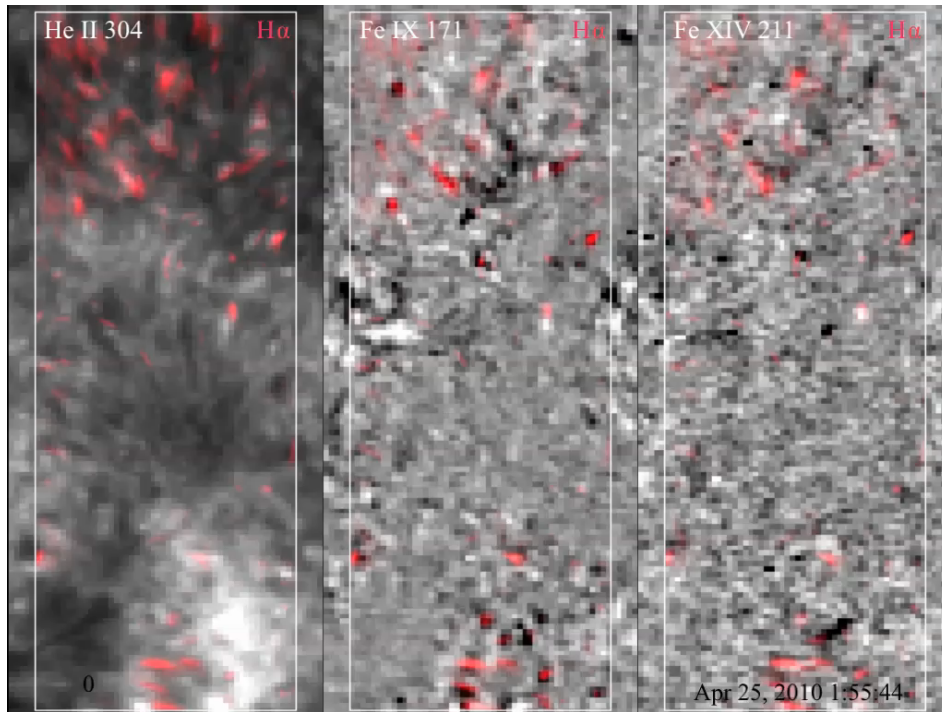
Borrero et al. (2010)

スピキュールは加熱に寄与するか

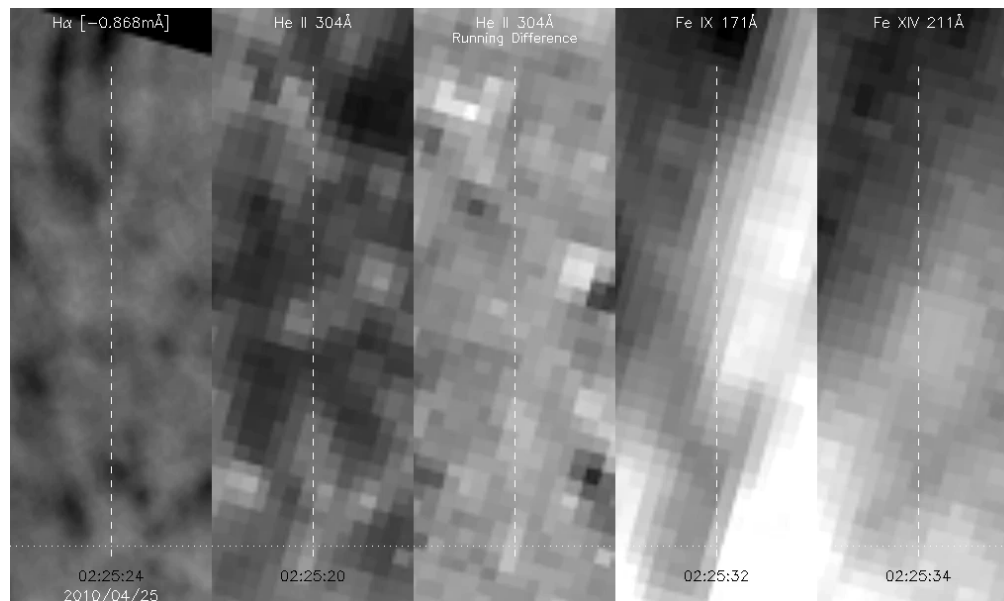
(De Pontieu+2011)

- 「ひので」SOT、SDO/AIA(コロナ輝線観測, 1秒角分解能)を組み合わせた多波長・高解像度・高時間分解能観測
- Dynamic fibril (~スピキュール)の先端に1MKコロナが付随している





(De Pontieu+2011)



RBE (rapid blueshift event)に伴い、コロナ輝線で明るい構造が観測される

ナノフレアか??

まとめ

- 彩層の加熱
 - 非磁場領域は衝撃波加熱で基本的には説明できる
対流があれば彩層はできる
- 磁場による加熱
 - それだけでは、不十分
 - 磁気リコネクションによる加速・熱化。ただし、彩層による磁場測定に基づく検証はまだこれから。
 - 電磁流体波の役割、観測的にはよくわかっていない
 - コロナ加熱と本当に関係あるか？ 彩層で磁気エネルギーを解放しても $>1\text{MK}$ に加熱することは困難。
- これから
 - 高解像度彩層分光観測による速度・磁場診断
 - 3D電磁流体シミュレーション