



# 飛騨天文台DSTを活用した 研究紹介 -太陽プロミネンスの研究-

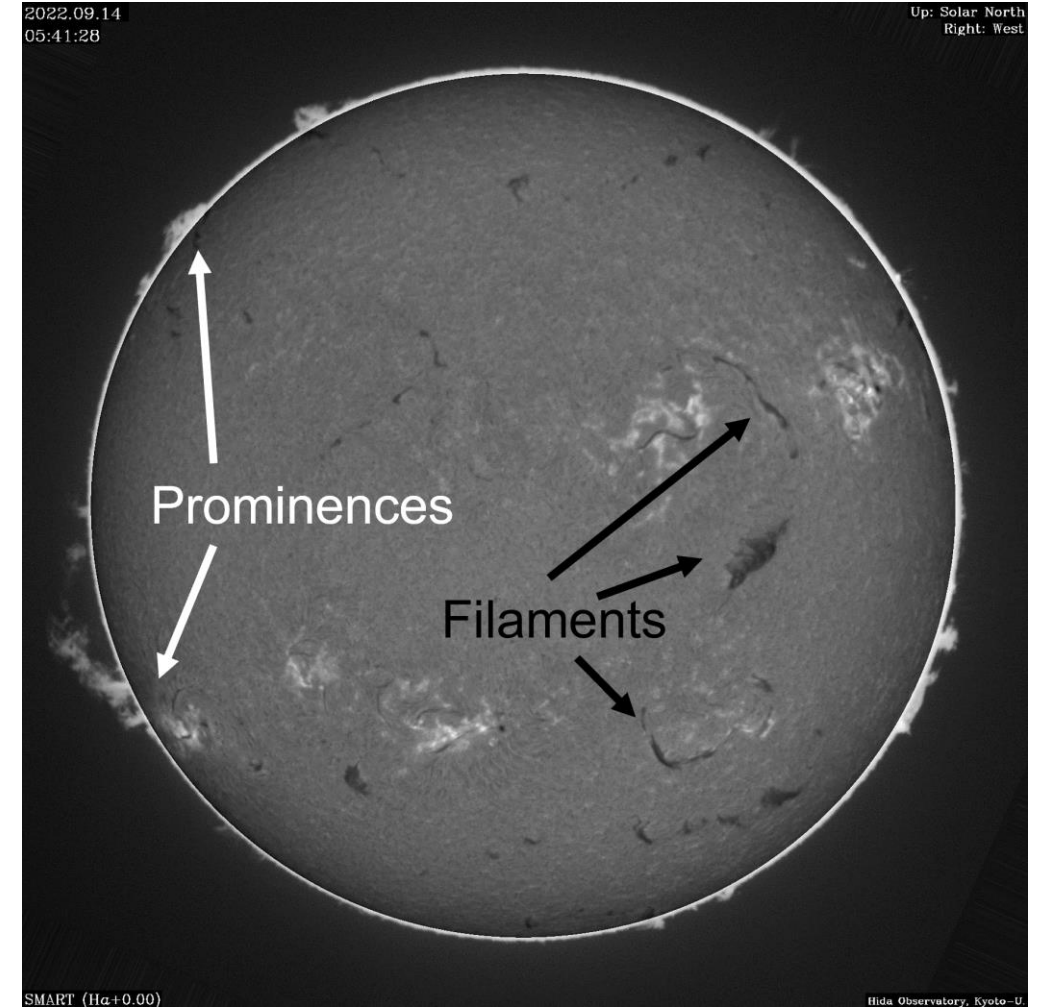
---

京都大学理学研究科 修士 橋本裕希

# 太陽プロミネンス / フィラメント

## 太陽プロミネンス

- 太陽大気上空に浮かぶ雲状の構造
- 太陽面上に見えるものをフィラメント (物理的にはプロミネンスと同じ)
- 低温高密なプラズマの塊  
温度  $\sim 10^4$  K (e.g. Okada+2020)  
数密度  $\sim 10^{10}$  cm $^{-3}$  (e.g. Heinzel+1996)
- 磁気中性線の上に存在  
⇒ 磁力線がプラズマを支えている  
(Kippenhahn&Schlüter1957,  
Kuperus&Raadu1974)

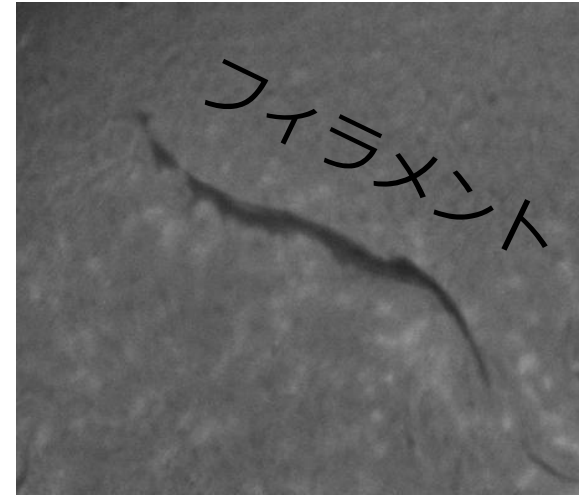


H $\alpha$ で見た太陽全面像 (SMART/SDDI)

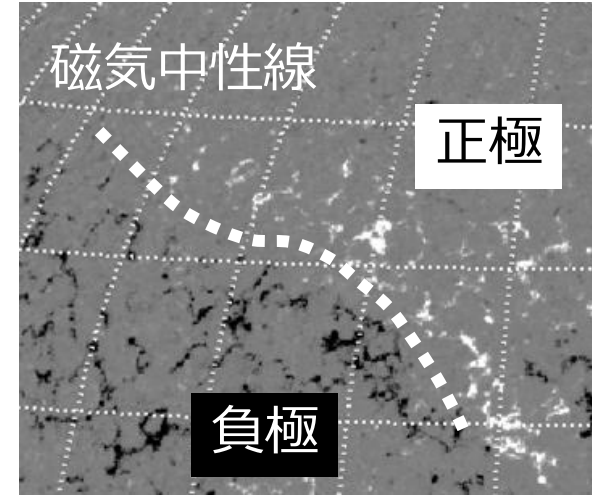
# 太陽プロミネンス / フィラメント

## 太陽プロミネンス

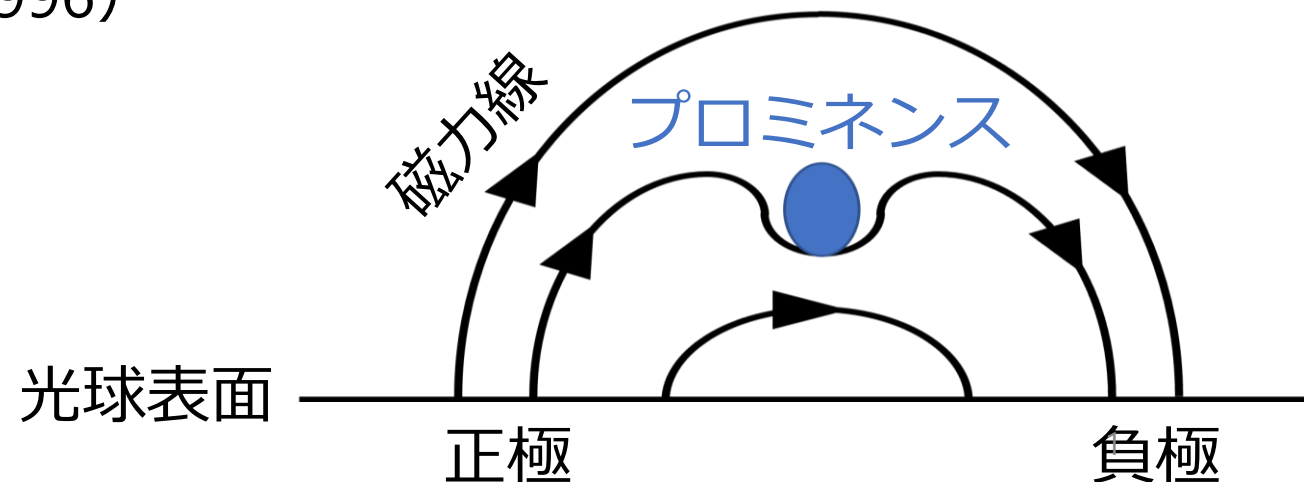
- 太陽大気上空に浮かぶ雲状の構造
- 太陽面上に見えるものをフィラメント (物理的にはプロミネンスと同じ)
- 低温高密なプラズマの塊  
温度  $\sim 10^4$  K (e.g. Okada+2020)  
数密度  $\sim 10^{10}$  cm $^{-3}$  (e.g. Heinzel+1996)
- 磁気中性線の上に存在  
⇒ 磁力線がプラズマを支えている  
(Kippenhahn&Schlüter1957,  
Kuperus&Raadu1974)



H $\alpha$ 像



光球視線方向磁場  
(SDO/HMI)

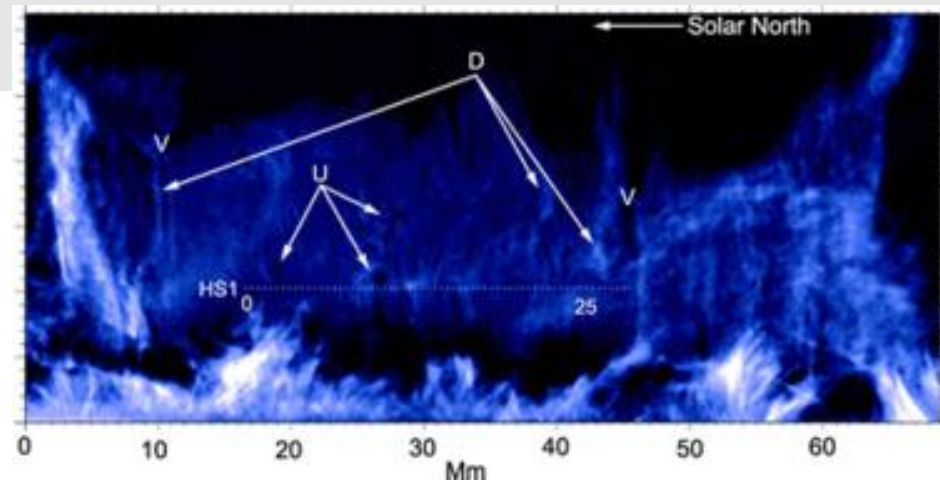


# 静穏型と活動領域型

## 静穏型プロミネンス

- 静穏領域上空に存在
- 比較的背が高い（高さ 10-100Mm）
- 寿命：数週間以上

30 Mm

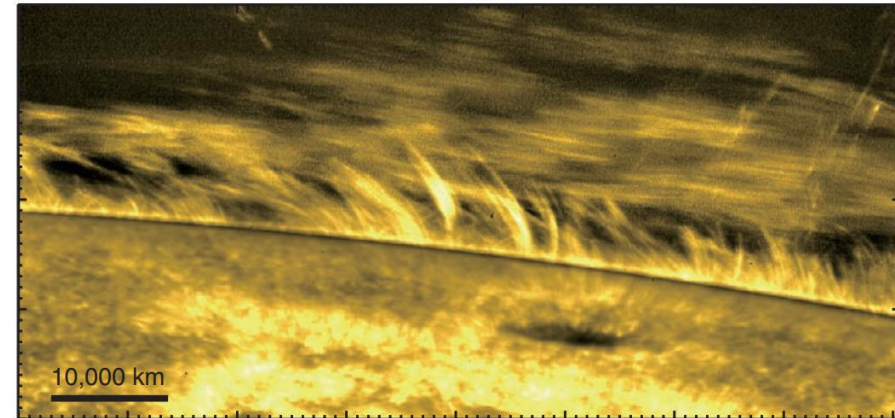


Ca II H (Berger+2008)

## 活動領域型プロミネンス

- 活動領域（黒点）上空に存在
- 比較的背が低い（高さ < 数10 Mm）

10 Mm



Ca II H (Okamoto+2007)

どちらも、細長い微細構造（threads）からなる。  
threadsは磁力線に対応か。



# 課題

本研究に関わる、プロミネンスについての課題（謎）

## ➤ プロミネンスのエネルギーバランス

特に静穏型プロミネンスは安定で長寿命

⇒冷却と加熱のバランス

しかし、加熱メカニズムは未解明（詳細後述）

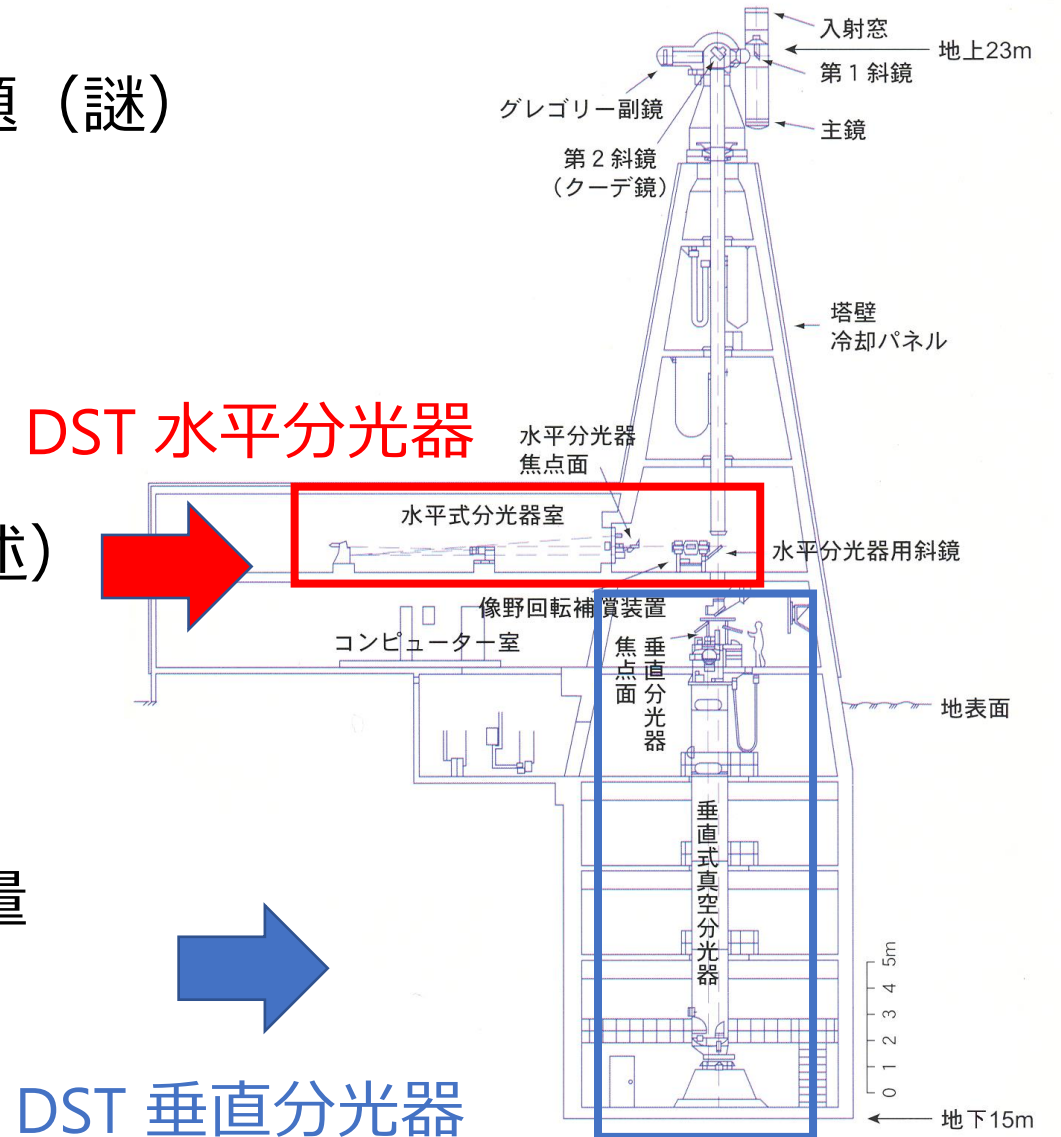
コロナ（ $\sim 10^6$  K）の加熱との関連

## ➤ プロミネンスの磁場

磁場はプロミネンスの構造を決める重要な量

噴出メカニズムにも大きく影響

直接観測の例はそれほど多くない



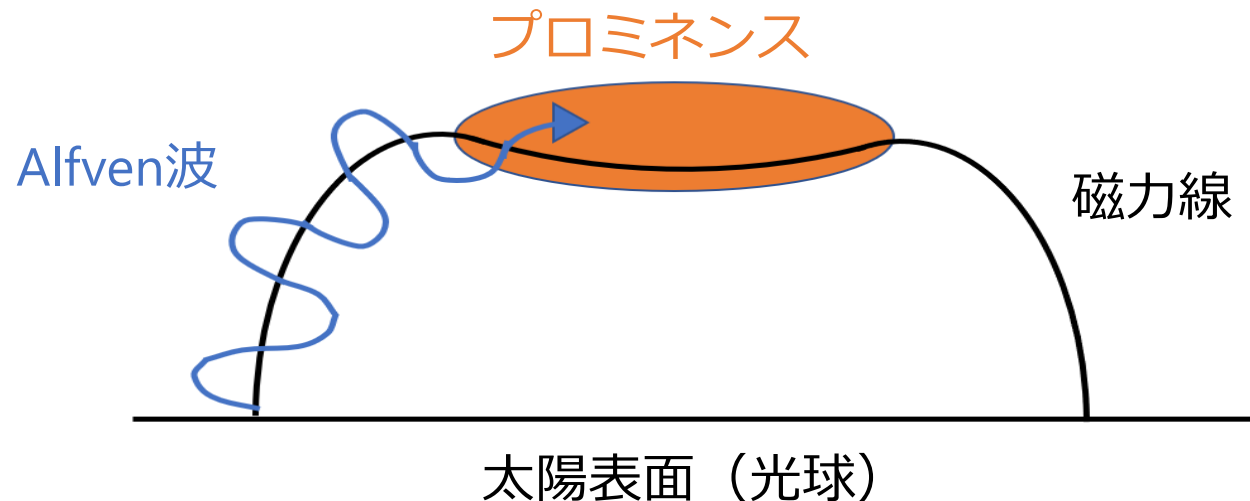
DST水平分光器を用いた  
プロミネンスのエネルギーバランスについての研究

# プロミネンスのエネルギーバランス

静穏型プロミネンスは安定で長寿命 ⇒ 冷却と加熱がバランス

- 冷却のメカニズムは「輻射冷却」（光を放射することによる冷却）
- 加熱のメカニズムはよくわかっていない

加熱メカニズムの有力なものとして、  
**Alfvén波**（磁力線に沿って伝わる横波）が運ぶエネルギーによる加熱



# 観測

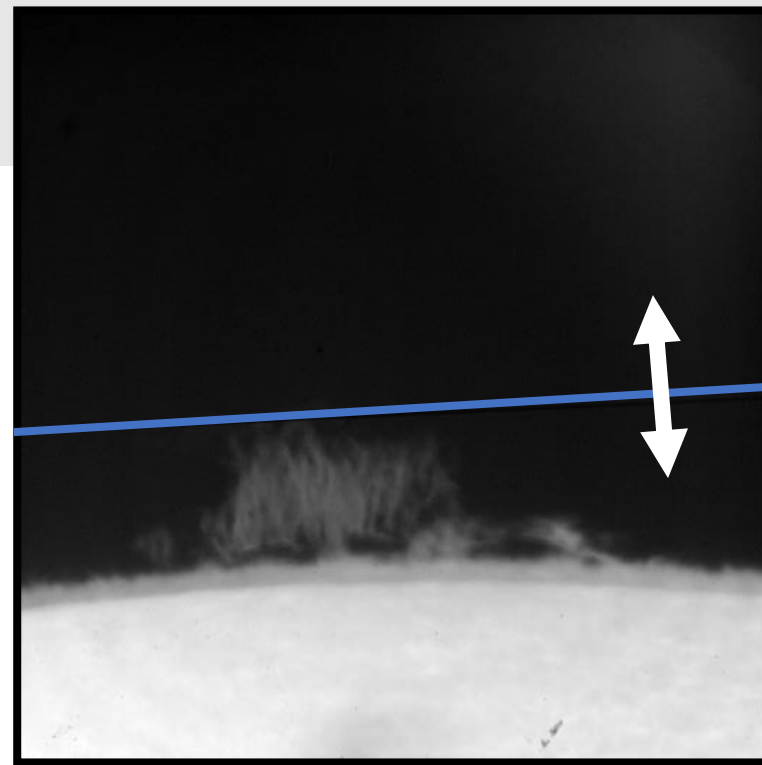
DST水平分光器で静穏型プロミネンスを分光観測

3波長同時分光観測

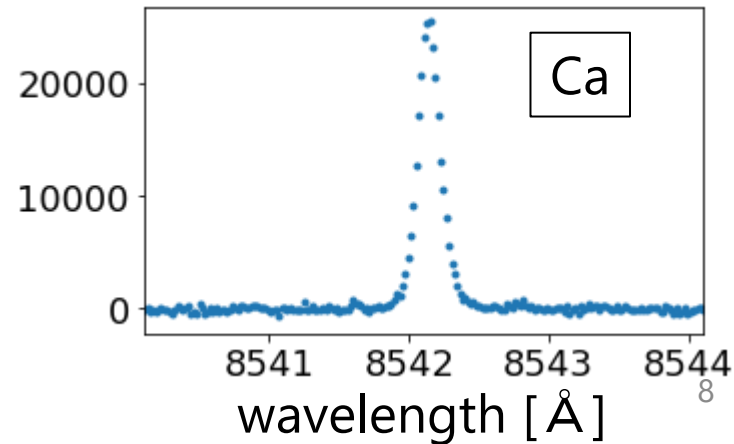
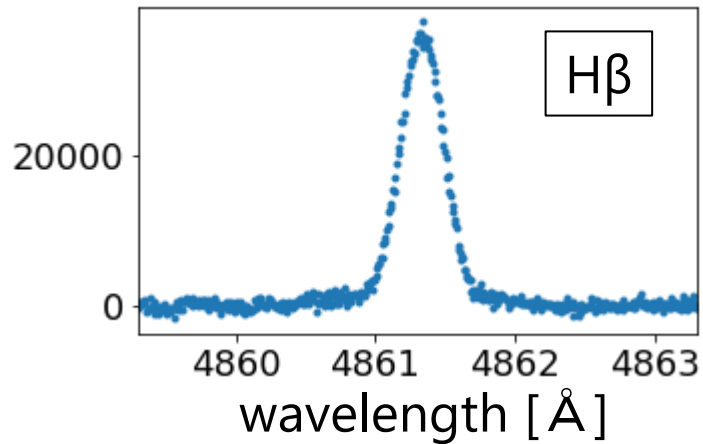
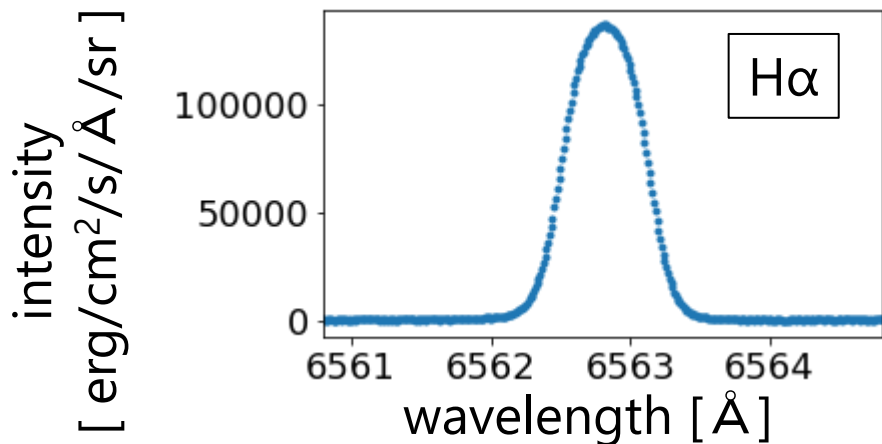
H $\alpha$  (6563 Å), H $\beta$  (4861 Å), Ca II IR (8542 Å)

スリットスキャン観測

得られるスペクトルの例



H $\alpha$  slit-jaw image @UTF



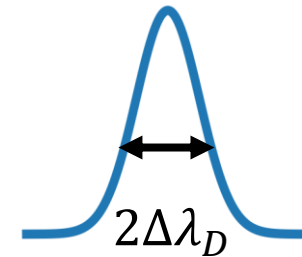


# 物理量診断の手法

## ➤ 温度・非熱速度

輝線の幅 ( $=2\Delta\lambda_D$ ) は温度  $T$  と非熱速度  $\xi$  に依存

$$\frac{\Delta\lambda_D}{\lambda_0} = \frac{1}{c} \left( \frac{2kT}{m} + \xi^2 \right)^{1/2} \quad m: \text{原子質量}$$



## ➤ 電子密度・厚み・フィリングファクター

non-LTEモデル (Huang+2023, in prep.) を用い、  
H $\alpha$ , H $\beta$ , Ca II IR の輝線強度に対しインバージョンを実施

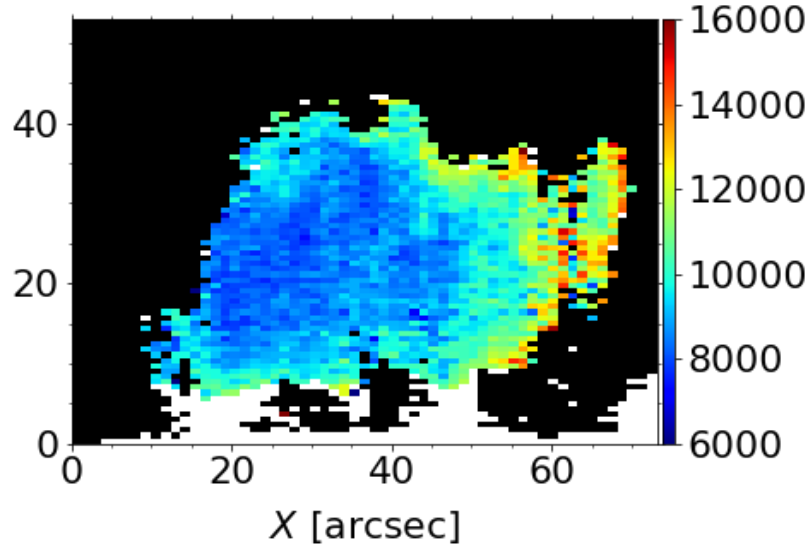
観測された  
輝線強度

←→  
差を最小に

non-LTEモデルで  
計算された輝線強度

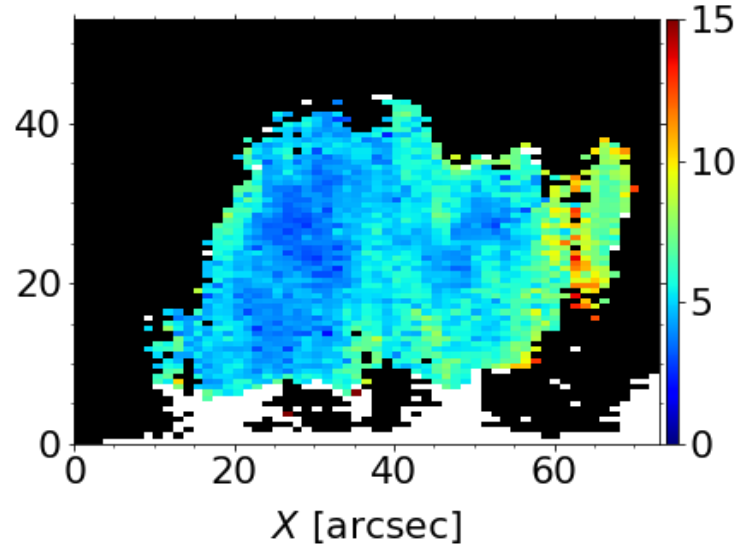
# 物理量診断の結果：温度・非熱速度・電子密度

温度 [K]



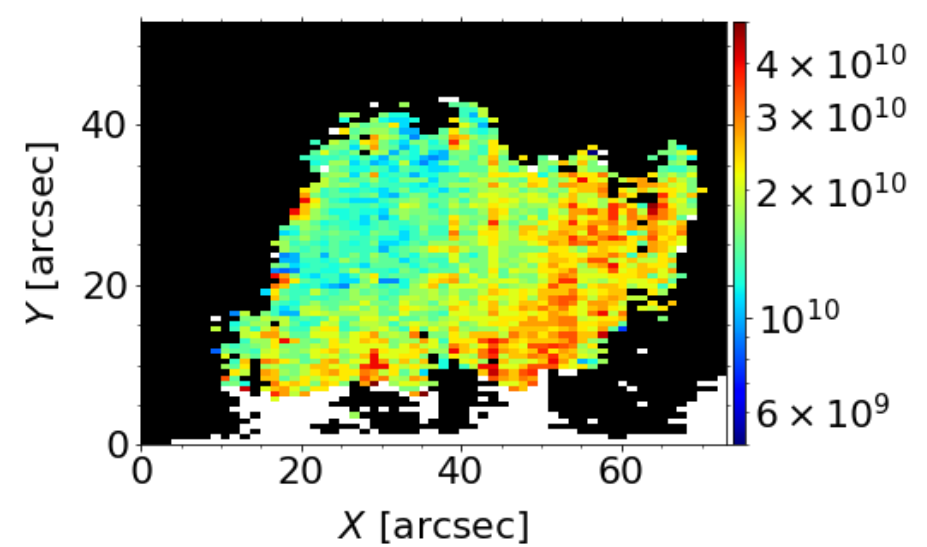
7700 – 14100 K

非熱速度 [ $\text{km s}^{-1}$ ]



3.0 – 11.6  $\text{km s}^{-1}$

電子密度 [ $\text{cm}^{-3}$ ]

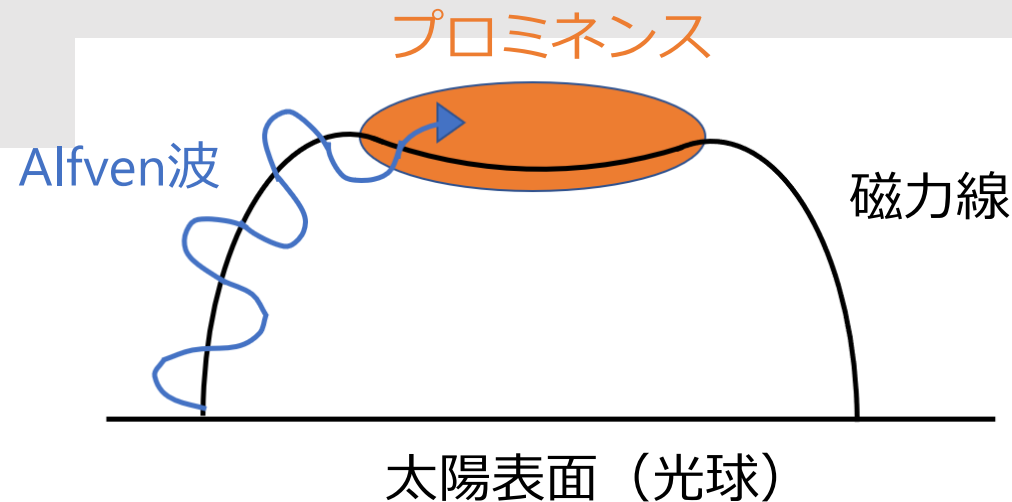


$1.0 \times 10^{10} - 4.0 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$

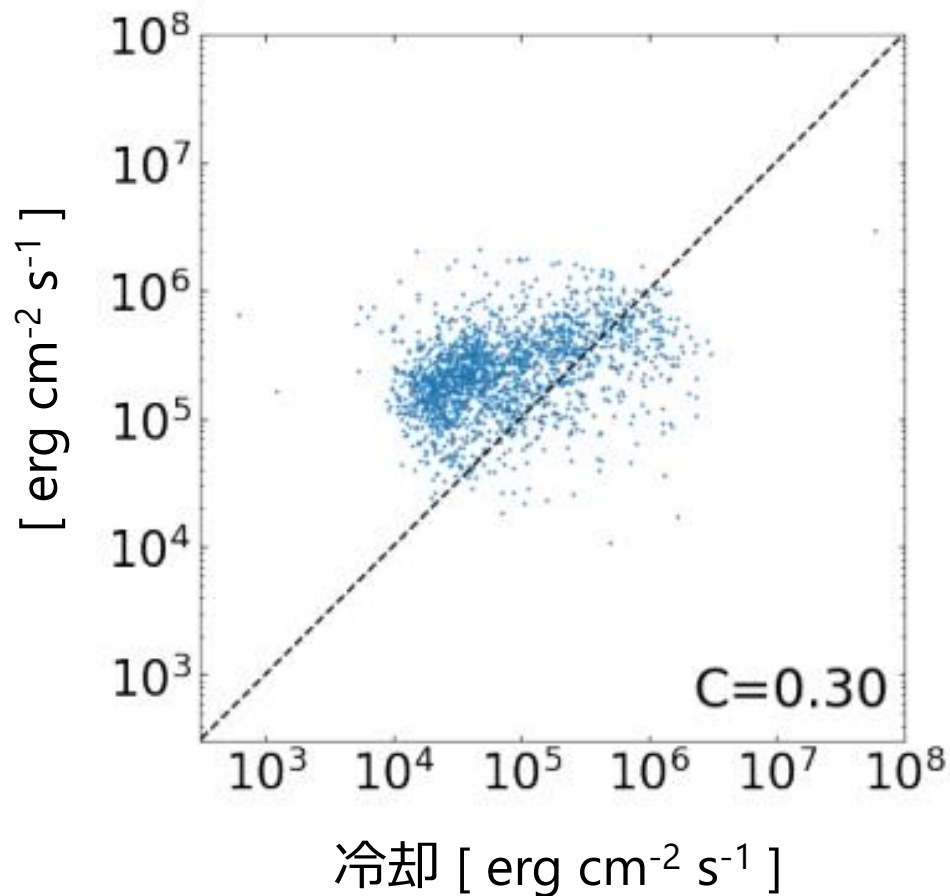
先行研究 (Okada+2020, Heintzel+1996, Peat+2021) とconsistent

# エネルギーバランスの調査

プロミネンスの物理量がわかれば、  
(いくつかの仮定の下) 冷却や  
Alfven波が運ぶエネルギーを計算できる



Alfven波が運んでくるエネルギー



➤ プロミネンスの大部分で  
**Alfven波のエネルギー > 冷却** が成立

➡ Alfven波のエネルギーフラックスは  
冷却を賄えるほど大きい

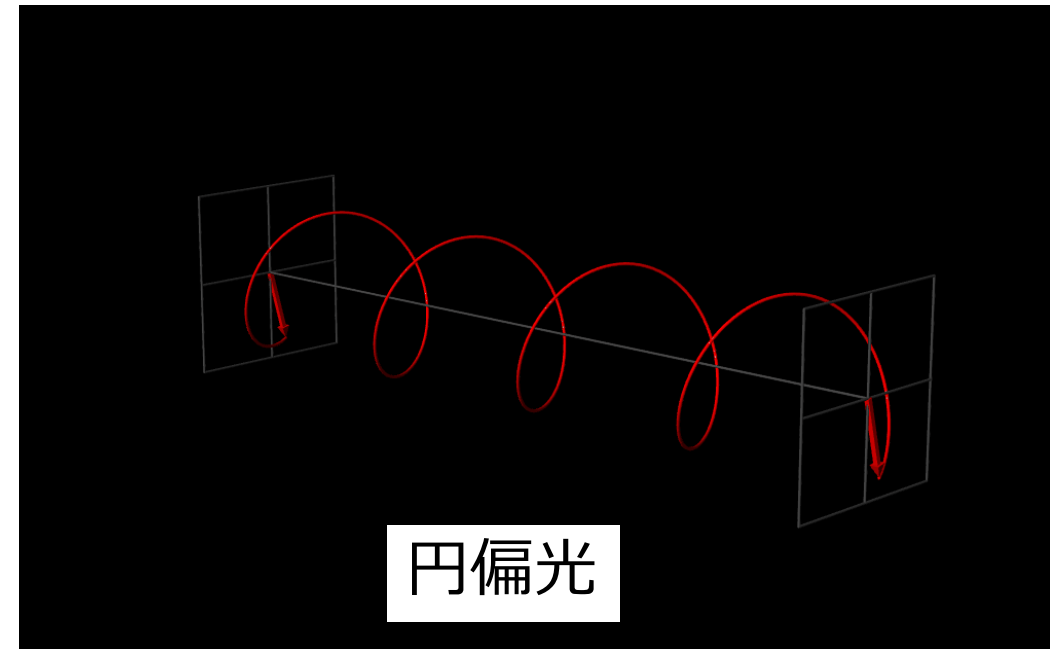
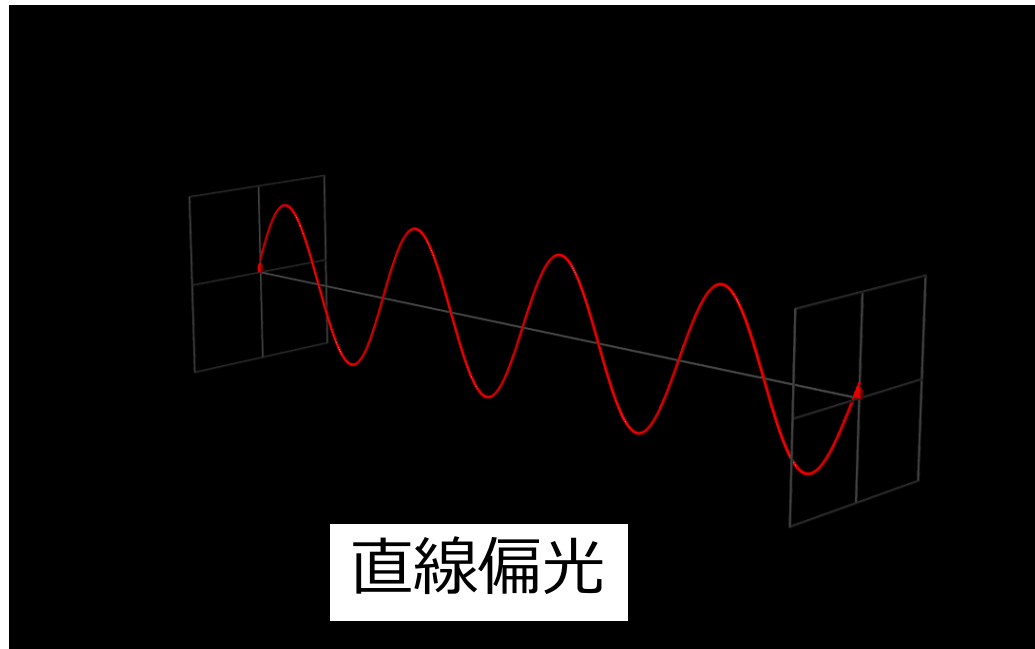
➡ Alfven波加熱の可能性が示唆される

DST垂直分光器を用いた  
プロミネンスの磁場についての研究

# 偏光

光は電場と磁場の振動

電場の振動方向が時間的・空間的に規則的になっているとき、偏光しているという



磁場が存在すると、偏光の状態が変化する

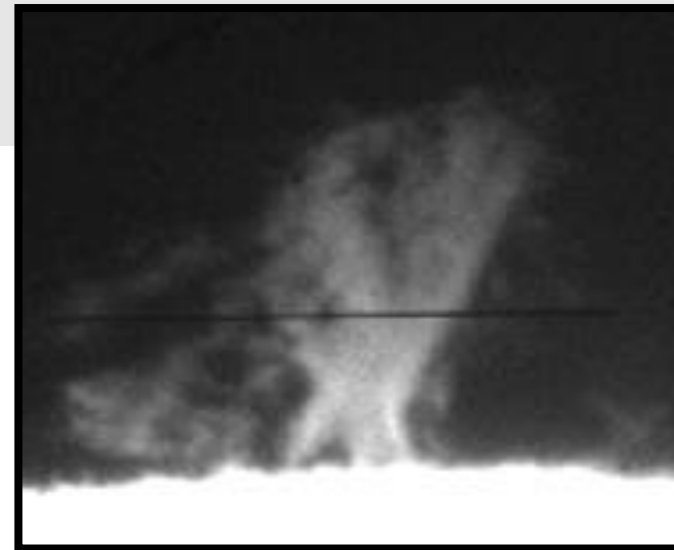
➡ 偏光を観測することで、磁場が推測できる

※赤矢印は電場を表す

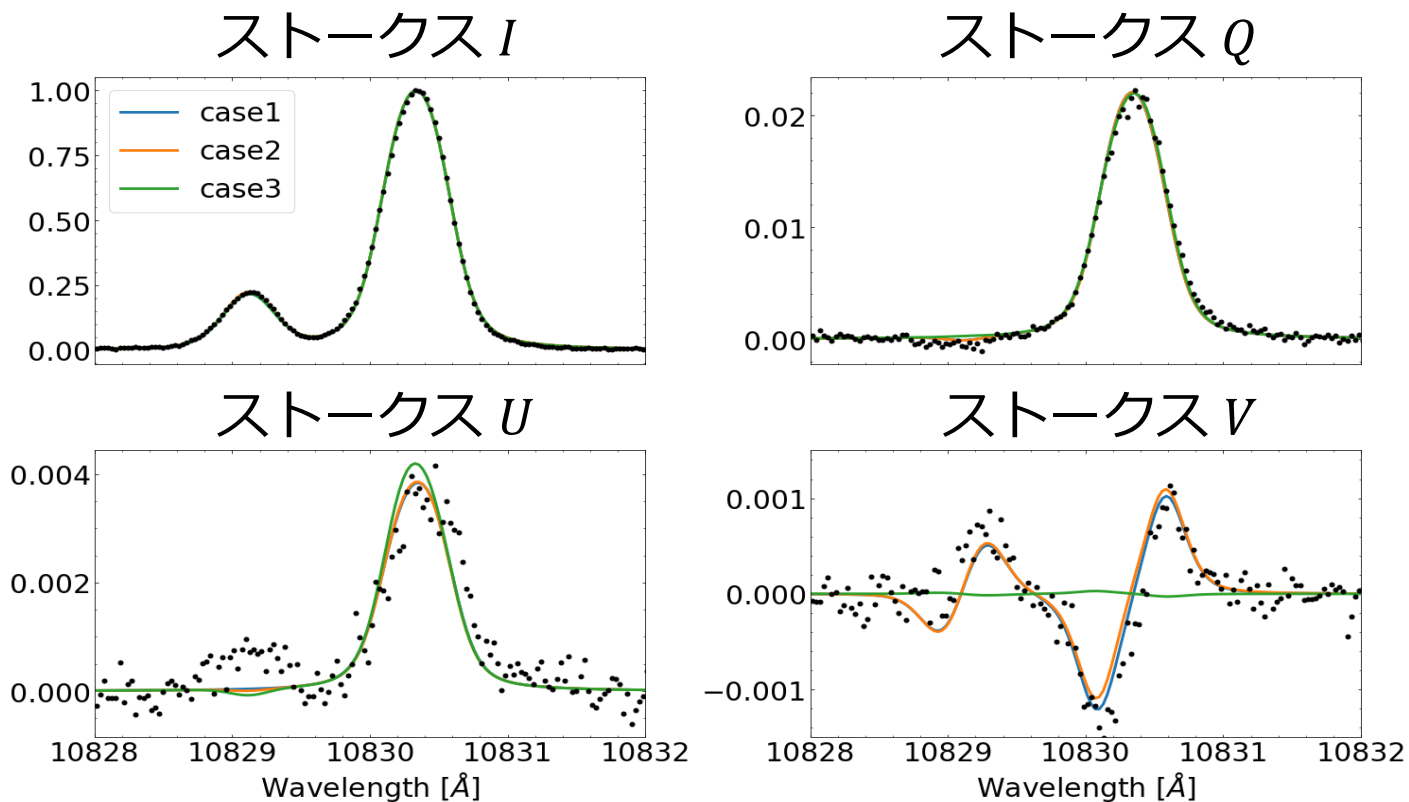
[https://emanim.szilab.org/index\\_ja.html](https://emanim.szilab.org/index_ja.html)

# 観測

- DST偏光分光観測装置@垂直分光器  
(Ichimoto+2022附属天文台技報)
- He I 10830 Å (サンプリング~ 0.03 Å)
- 波長板を回転させ80-100フレーム取得



H $\alpha$  slit-jaw

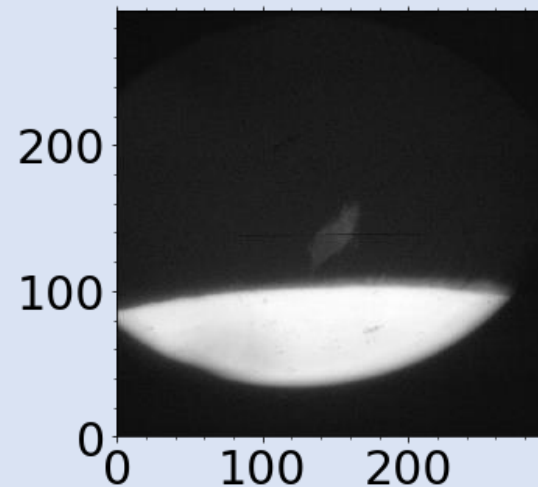
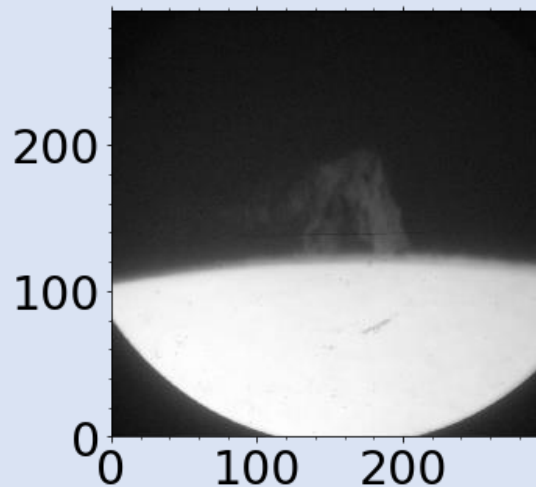
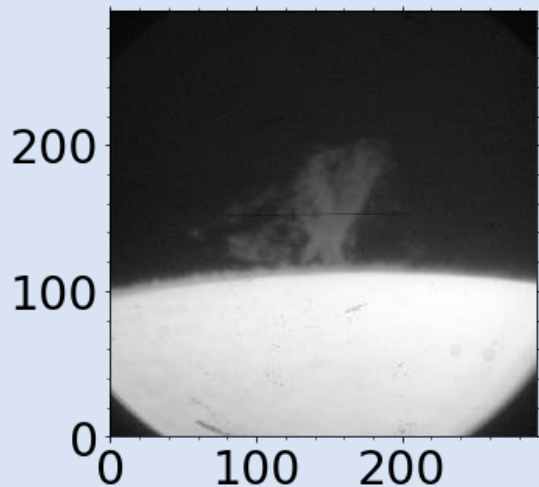
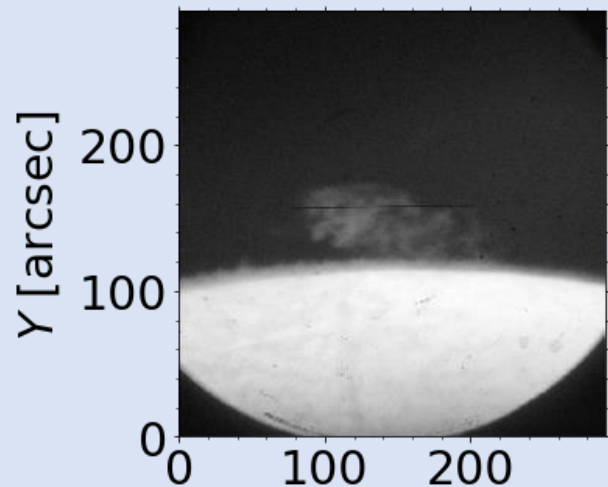


ストークスプロファイル：  
その光がどれくらい直線偏光or円偏光  
しているかを表す

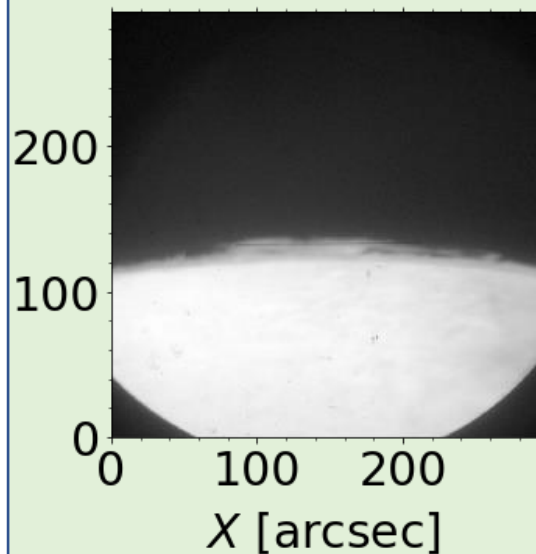
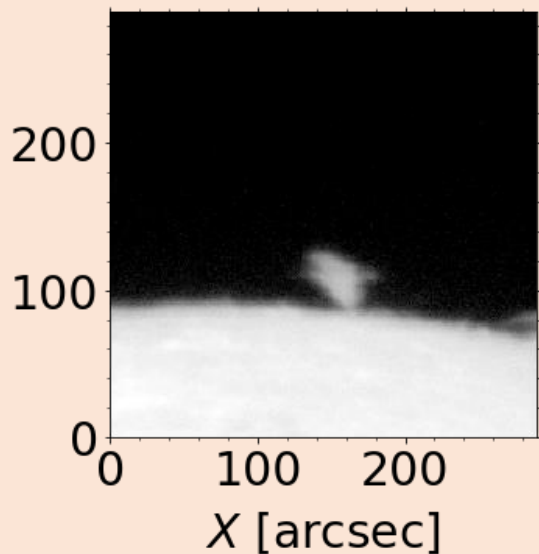
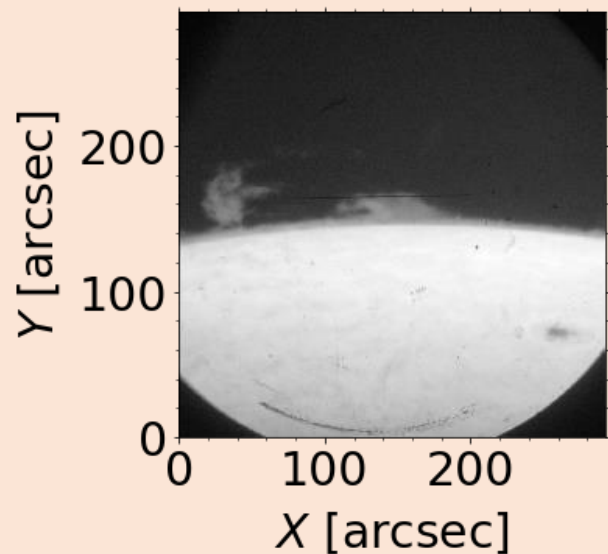


# 観測ターゲット (H $\alpha$ 像)

静穏型



活動領域型



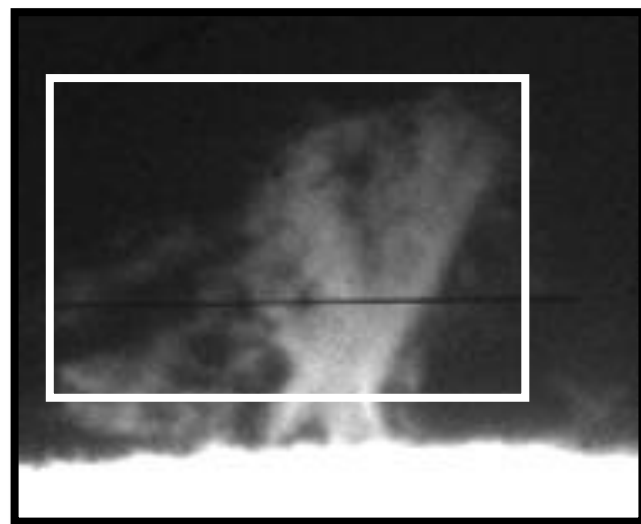
プラージュ上



Yamasaki+2023  
submitted to PASJ  
によりフィラメント  
として偏光観測

# 磁場の結果

観測したストークスプロファイルをもとに、磁場ベクトルを推定

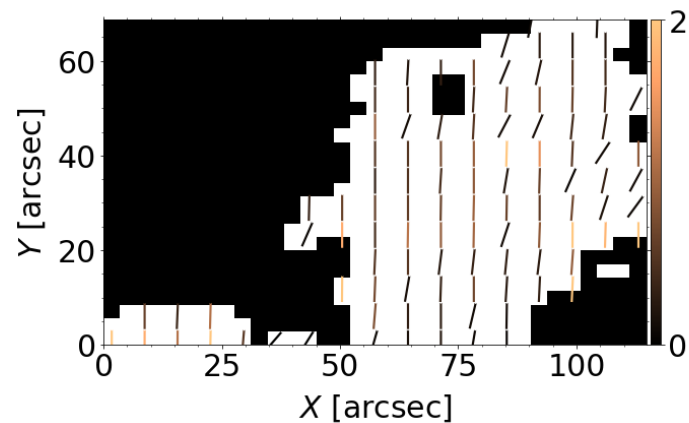
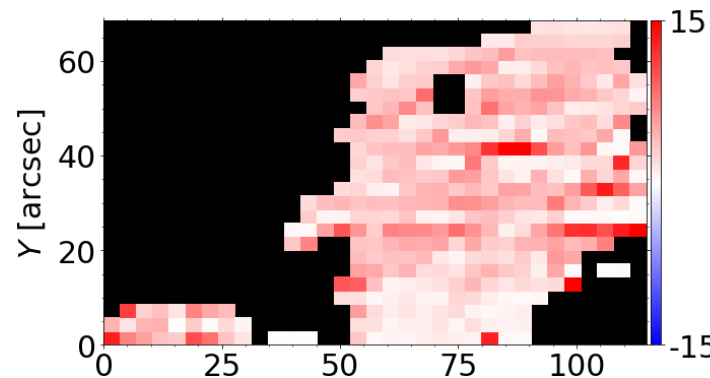


H $\alpha$  slit-jaw

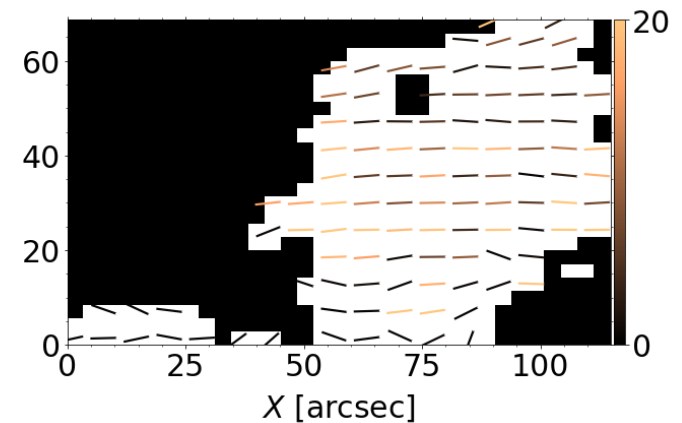
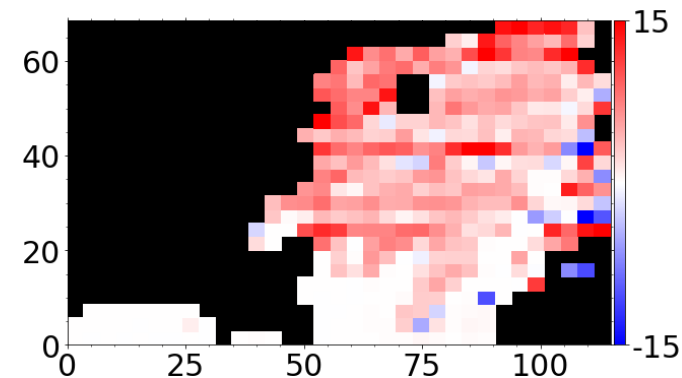
視線方向  
磁場 [G]

横方向  
磁場 [G]

Case 1



Case 2



※ 「ストークスプロファイル」と「磁場」が一対一対応しないため、  
磁場が一意に定まらない

# まとめ

飛騨天文台DSTを用いてプロミネンスを観測的に研究

➤ DST水平分光器で多波長分光観測

➡ プロミネンスのエネルギーバランス、  
特にAlfven波加熱を調査

➤ DST垂直分光器で偏光分光観測

➡ プロミネンスの磁場を調査

