

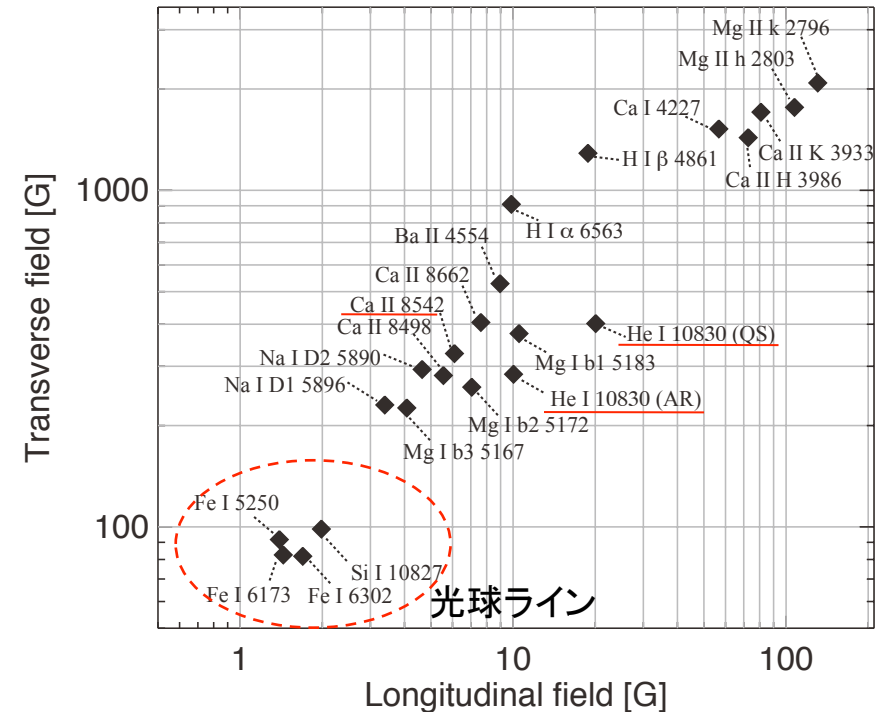
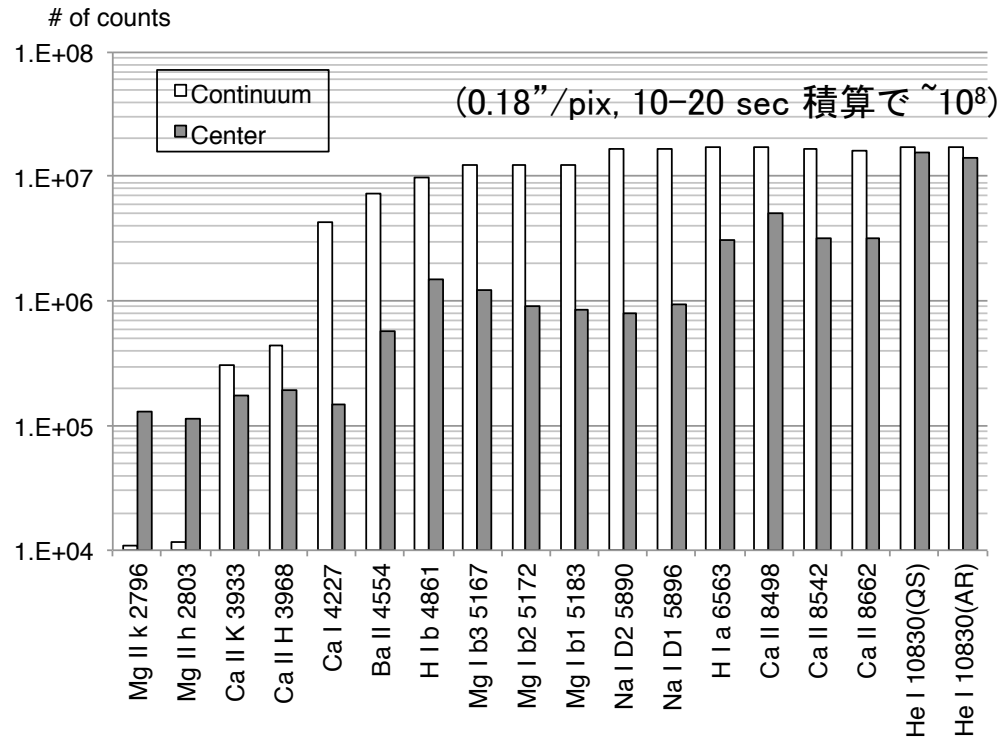
彩層磁場観測に最適なラインは？ SOLAR-Cでどうラインを選んだか

勝川 行雄 (国立天文台)

彩層診断に適したラインを選ぶ

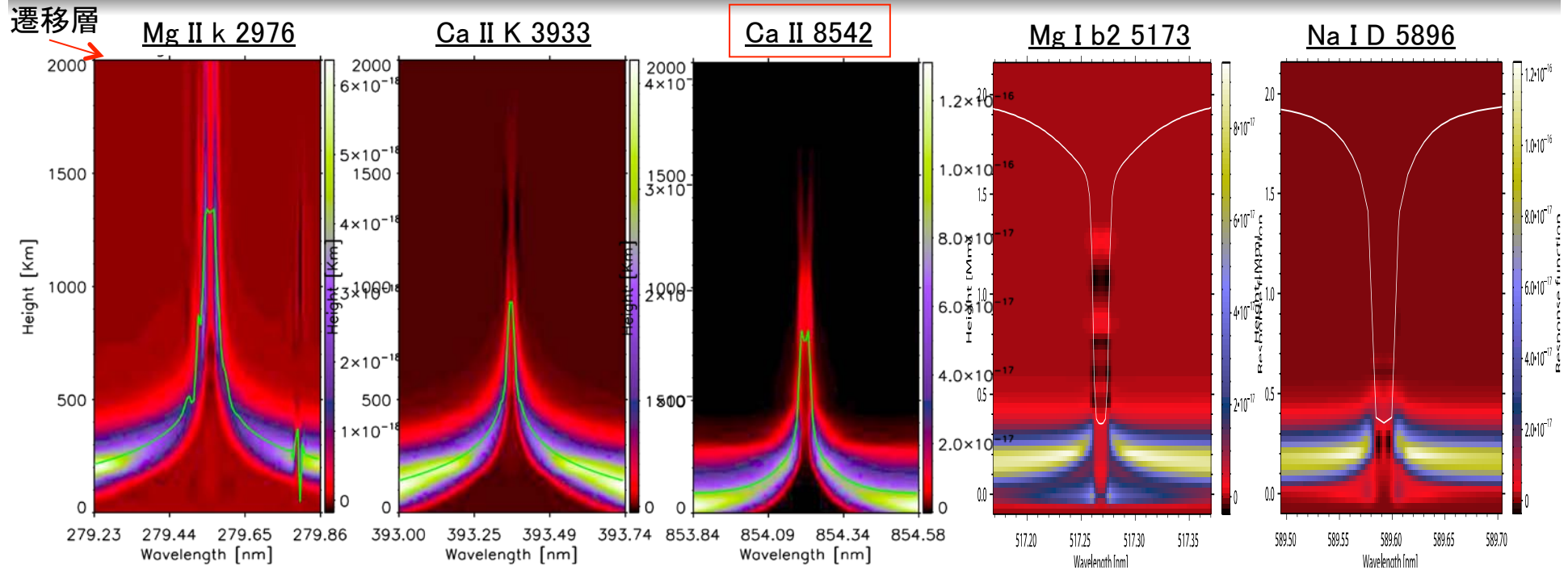
- SOLAR-C彩層磁場診断サブワーキンググループの活動(2009-2010)の中で、SOLAR-Cで観測すべき彩層ラインについて、以下の観点で優先度付けを行った。
 - (1) 彩層上部 ($\text{plasma-}\beta \leq 1$)に感度があること
 - (2) 物理量(磁場・速度・温度)に感度があること
 - + 解釈ができるかどうか、実績があるかどうか、など
- 磁場診断用のライン
 - 1. He I 1083 nm
 - 2. Ca II 854 nm
 - 3. H I α 656 nm
- ダイナミクス (T, v)診断用のライン
 - 1. Mg II k 279 nm (スペース観測でユニーク)
 - 2. Ca II 854 nm
 - 3. H I α 656 nm
- 観測への要求 → SOLAR-C SUVIT仕様の原型
 - 空間分解能: 0.05" @ 279 nm, 0.18" @ 1083 nm (Φ 1.5 mの回折限界)
 - 視野: 200" x 200"
 - 偏光感度: $2-3 \times 10^{-4}$ (要求)、 1×10^{-4} (目標)
 - 光球ラインの同時観測: Fe I 5250/5247が最適、He Iの隣にはSi I 1082.7 nm
 - 2次元分光観測: 時間変動の激しい現象に追従するため

磁場観測に適したライン



- Photon budget and sensitivity to B through the Zeeman effect (weak field approximation)
 - Φ 1.41 m telescope
 - Best-effort estimate of the throughput in the current design
 - Spatial sampling: 0.1"/pix
 - Temporal sampling: 1sec
 - Wavelength sampling: $\lambda/\Delta\lambda=2 \times 10^5$
 - 1 σ amplitude

Formation “height” of spectrum lines



- Response Functions: 物理量の変化に対してスペクトル線がどれだけ感度があるか(courtesy of H. Uitenbroek, 上の図は温度に対する感度)
 - RFsは高さと波長の関数(大気モデルに依存)、波長方向に平均化した感度の重心を高さの指標
- Na I DやMg I bは彩層下部に感度があるか、500kmより上の感度は弱い
- Ca II 854 nmなら500kmより上まで感度がある。
 - Ca II H/KやMg II h/kの方が上まで見えるが、ゼーマン効果への感度が小さい

磁場観測に適したライン: He I 1083 nm

■ He I 1083 nm

- 彩層上部のみでライン形成。光球-彩層の輻射輸送を解く必要がない。スラブモデルやMEモデルでもよくラインを再現できる（形成層の optical depth がパラメータ）。
- ゼーマン効果、ハンレ効果に対する感度。
- よく言われる誤解: コロナからのUV輻射を考えないといけない？
- **No. 磁場・速度は求められる。** UV光は optical depth, 形成される高さに影響。ハンレ効果に効く非等方輻射は連続光なので、モデル化も容易。

Population of He I triplet (FAL1993)

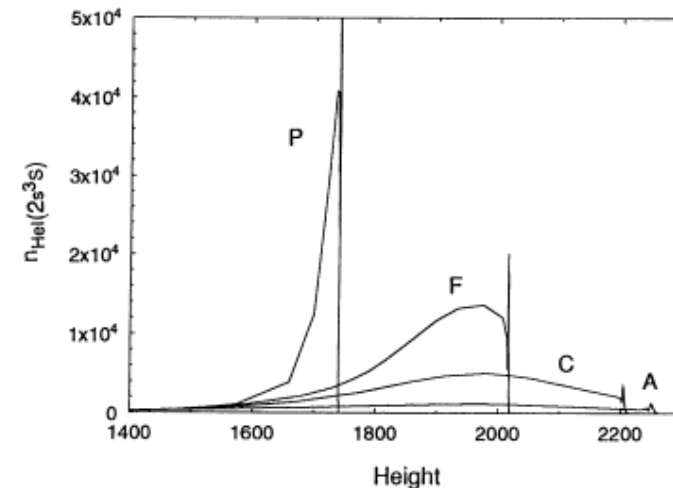
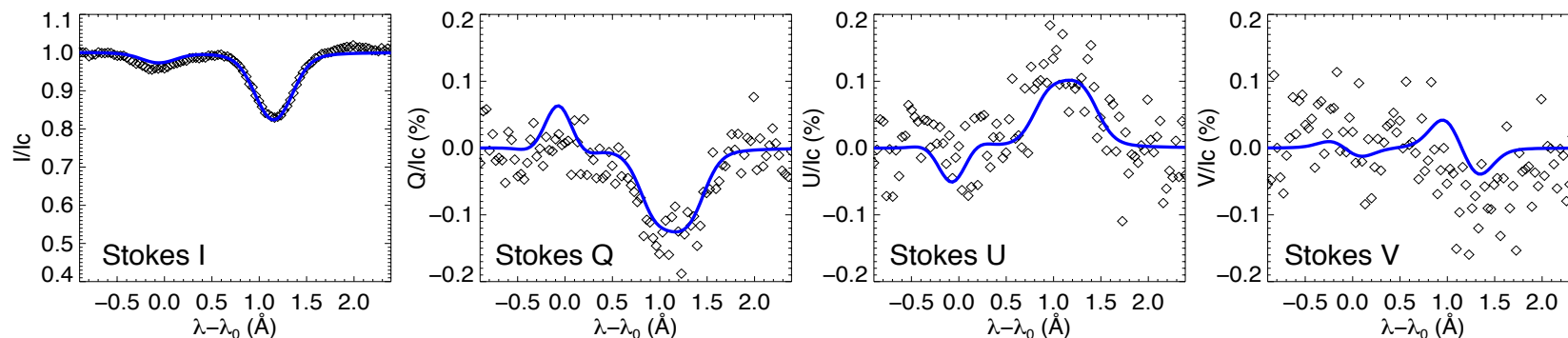
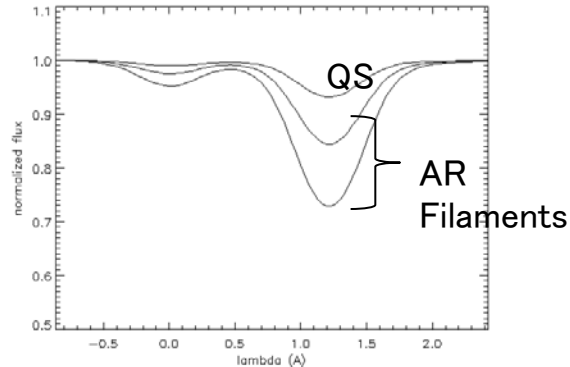


FIG. 28.—Number density (cm^{-3}) of the $2s\ ^3S$ level of He I vs. height (km) calculated for models A, C, F, and P.

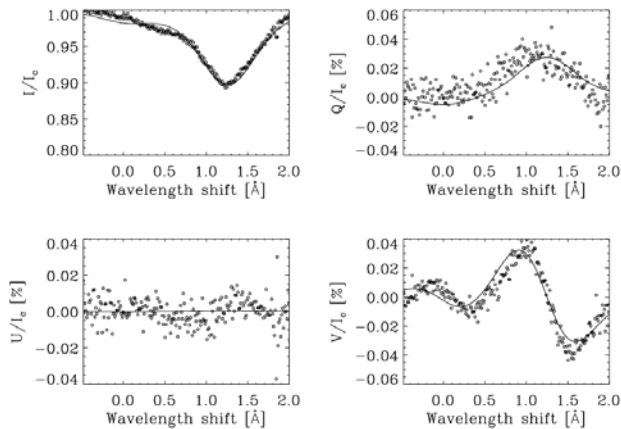


He I 1083 nmで期待される偏光信号

Spectral profiles of He I 1083 nm

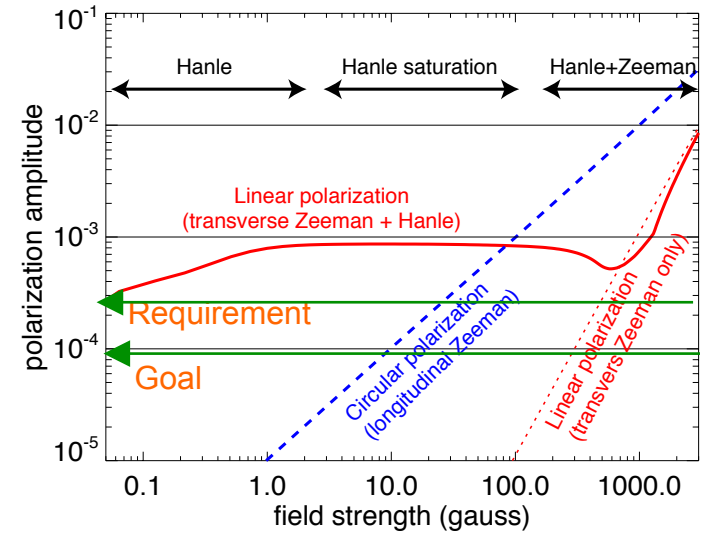
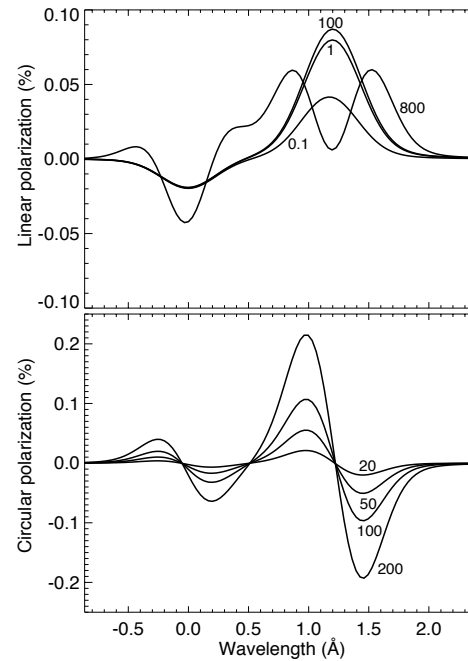


Deep integration of QS at DC



Asensio Ramos et al. (2008)

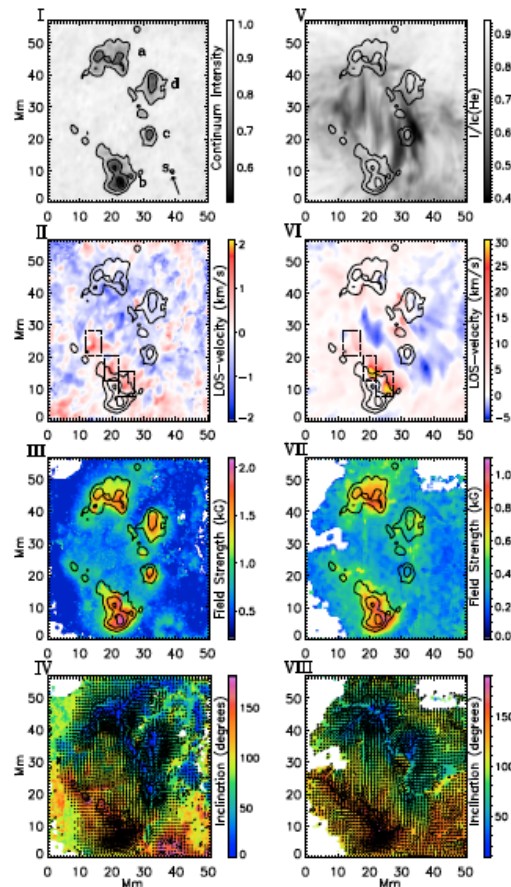
Expected pol signals in QS ($\Delta \tau = 0.12$)



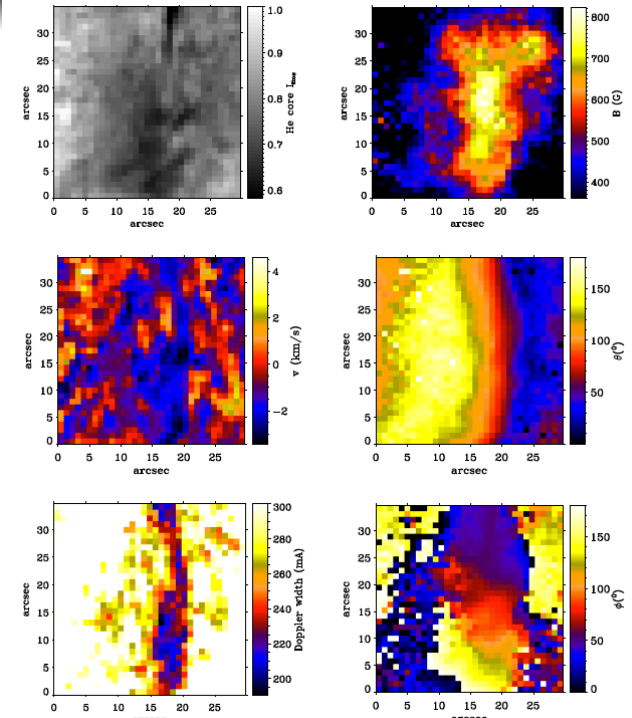
- He 1083 nm では活動領域やフィラメントの観測は得意。静穏領域では浅くなり偏光信号も弱くなるが、吸収線が完全になくなるわけではない。
- B ~ 10 Gaussをゼーマン・ハンレ効果で検出するために、要求される偏光感度 $2 - 3 \times 10^{-4}$ 。目標は 1×10^{-4} (0.14"x0.18", 10-20 secで集められる光子数で到達可能)

He I 1083 nm 地上観測の実績

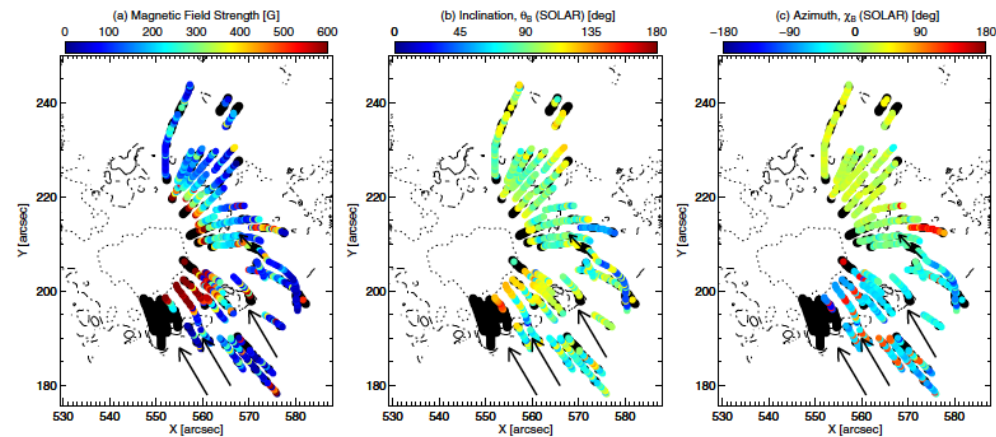
- Emerging flux region
(Solanki et al. 2003,
Lagg et al. 2004,
Xu et al. 2009)



- AR filament (Kuckein et al. 2009), QS filament (Merenda et al. 2007), Prominence (Orozco Suarez et al. 2014)

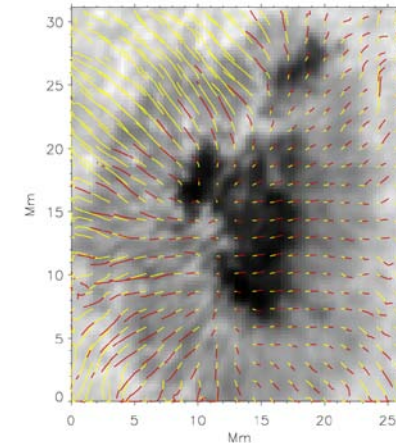
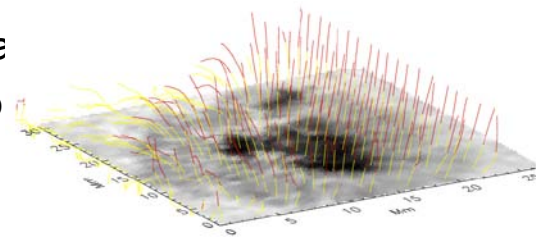


- Active region
(Schad et al. 2013)

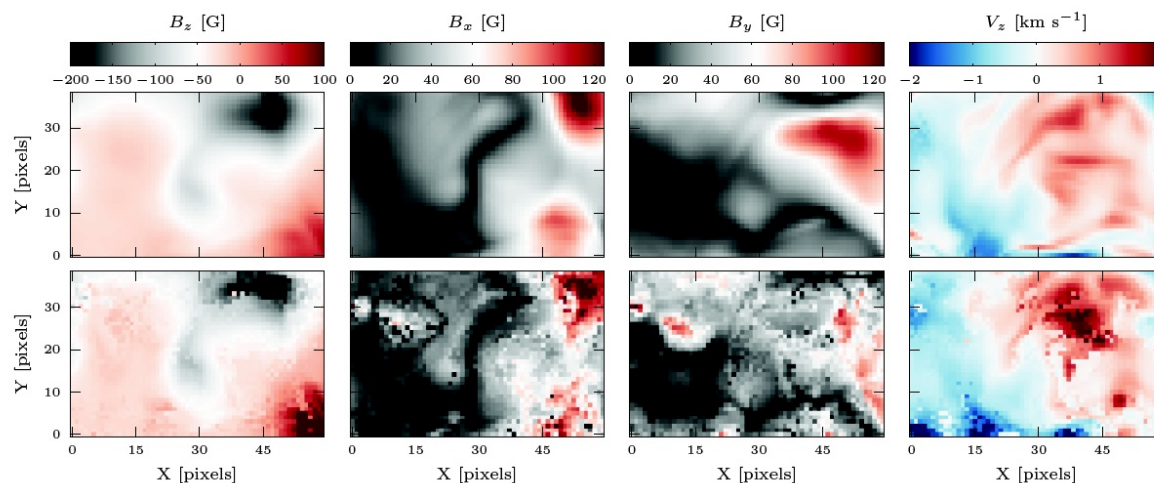


磁場観測に適したライン: Ca II 854 nm

- NLTE輻射輸送を解かなくてはならない。しかし、Ca II H/Kと違いCRDでラインプロファイルを再現できる (PRD効果は小さい)ため、計算が比較的容易。
- 実際にNLTE輻射輸送にもとづくinversionが実用化されており、活動領域に適用されている (courtesy of Socas-Navarro)



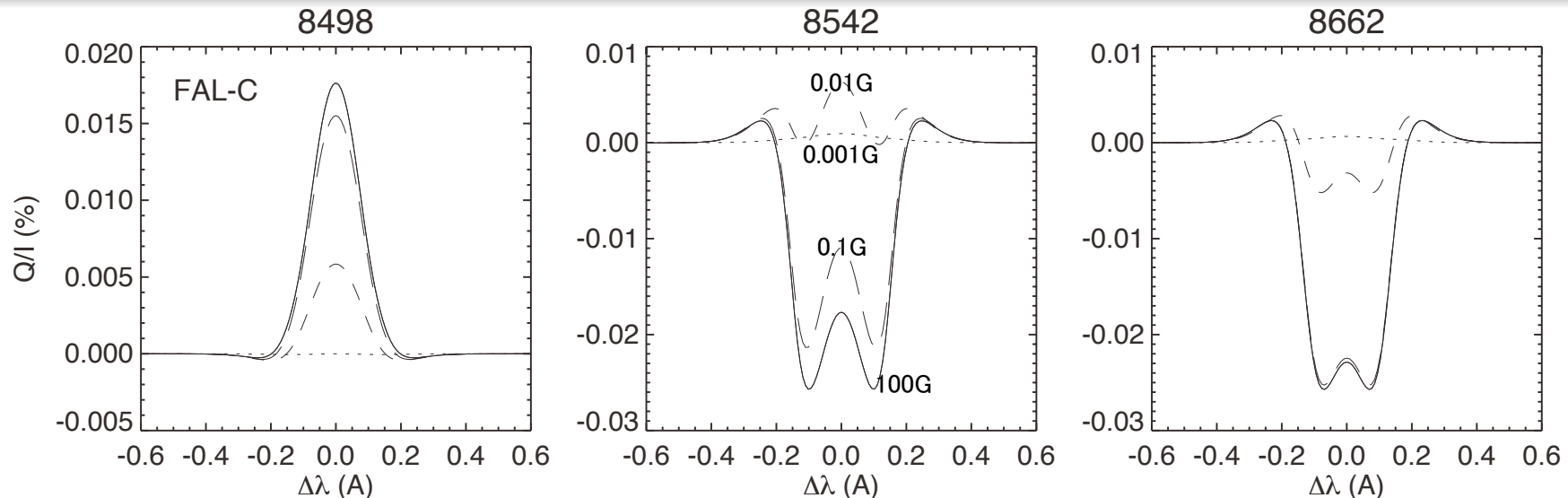
(de la Cruz Rodriguez et al. 2012)



Osloグループによる
RMHD simulation

Ca II 854nmをsimulation
から再現し、それを
inversion

Ca II 854 nmで期待される偏光信号

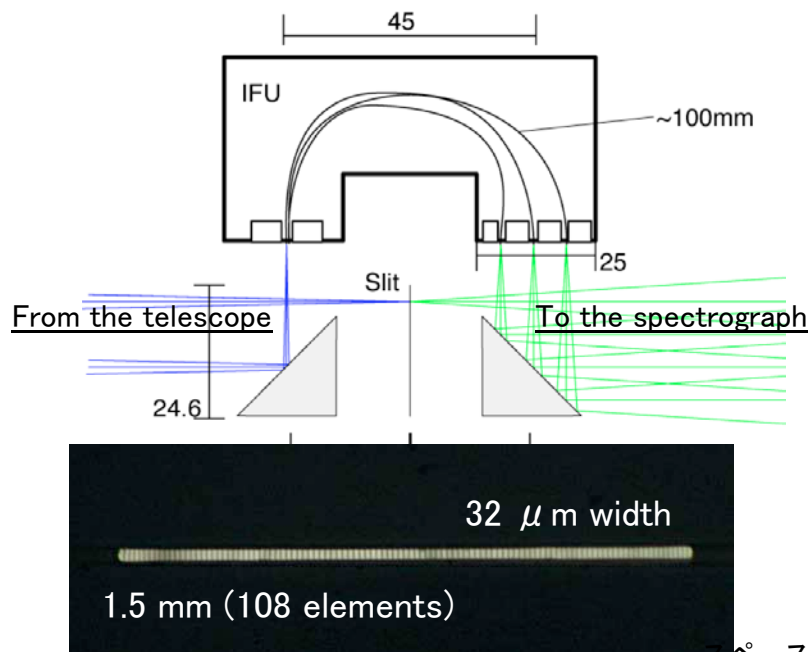
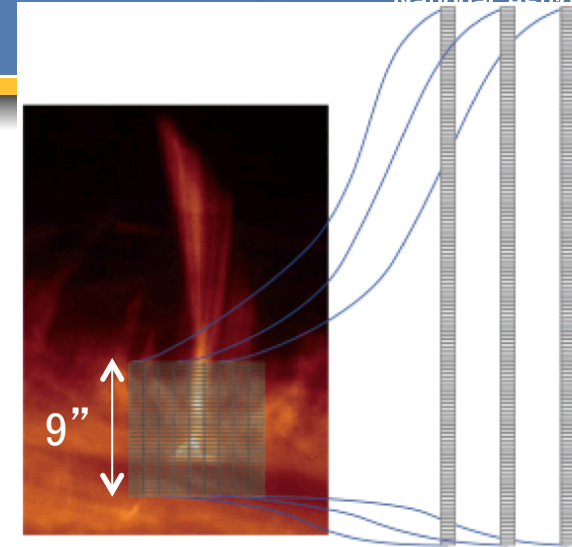


Manso Sainz and Trujillo Bueno (2010)

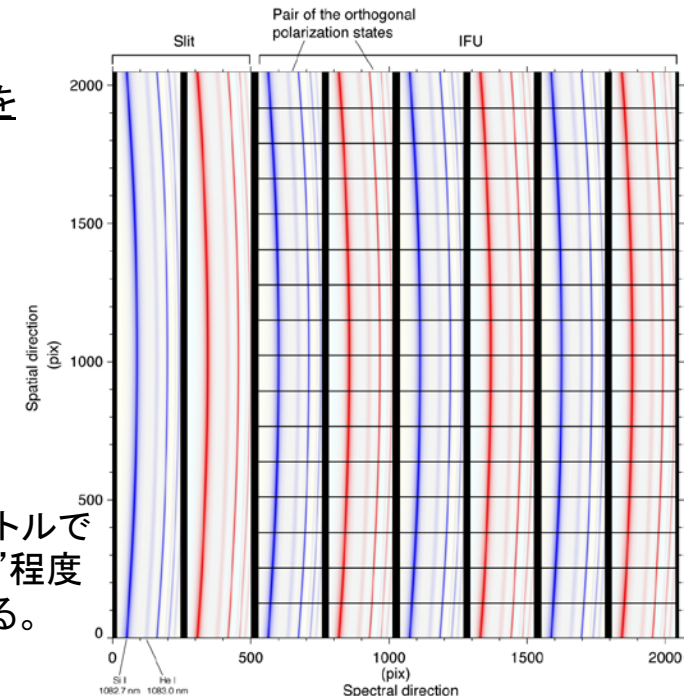
- Standard atmospheric model + Hanle effect: $\sim 0.01\%$ 直線偏光
→ 10^{-4} の測定感度があれば、ハンレ効果による直線偏光をなんとか検出でき、QSの横磁場も求められる (ただし、 10^{-4} では全ての場所で磁場診断に使うのは難しいかもしれない)
- 10^{-4} 感度があるときのゼーマン効果に対する感度
 B longitudinal: $\sim 1 - 5$ Gauss (QS fields)
 B transverse: ~ 150 Gauss (Vector fields in AR)

2次元偏光分光観測

- 彩層で起こる高速現象に追従するために2次元面偏光分光は必須
100 km /s (典型的なAlfven速度)
x 10 - 20 sec (偏光観測に必要な積算時間)
= 1000 - 2000 km
- 2次元偏光分光観測に要求される要素技術の基礎開発を実施中。



He I 1083 nmを
2Kx2Kカメラで
観測した場合



カメラ視野をスペクトルで埋めて、ようやく10"程度の視野を確保できる。

- SOLAR-C初期検討で科学要求・観測すべき波長などをサブWGで議論。ここでは、観測ラインの優先度・現状・その根拠を紹介。
- He I 1083 nmとCa II 854 nmが最も確実に彩層磁場を求められるスペクトル線であることは現段階でもゆるがない。
 - 現在、Hida-DST (JP)、NST・DST・(さらにその先のDKIST) (US)、GREGOR (EU)で地上観測が進められており、そこでどれだけの成果が得られるかも一つの目安になる。
- SOLAR-Cは10年先を見ないといけないので、地上観測やライン形成の理解の進展にあわせて、設計の最適化は必要。現段階ではまだ自由度がある