

# 太陽観測の将来計画について

2006年6月29日

一本 潔

# 偏光によるプラズマ診断の可能性

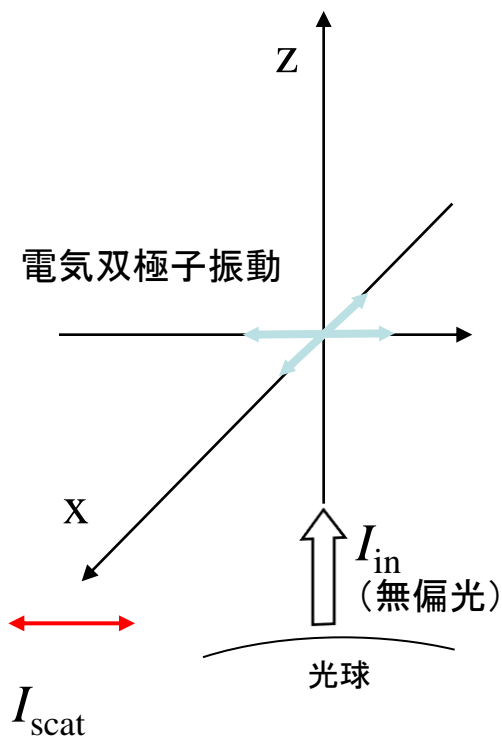
1996年12月5-6日 「偏光による太陽プラズマの診断」ワークショップ

偏光の起源 = 空間の非等方性  
偏光観測 → ベクトル物理量の診断を可能に...

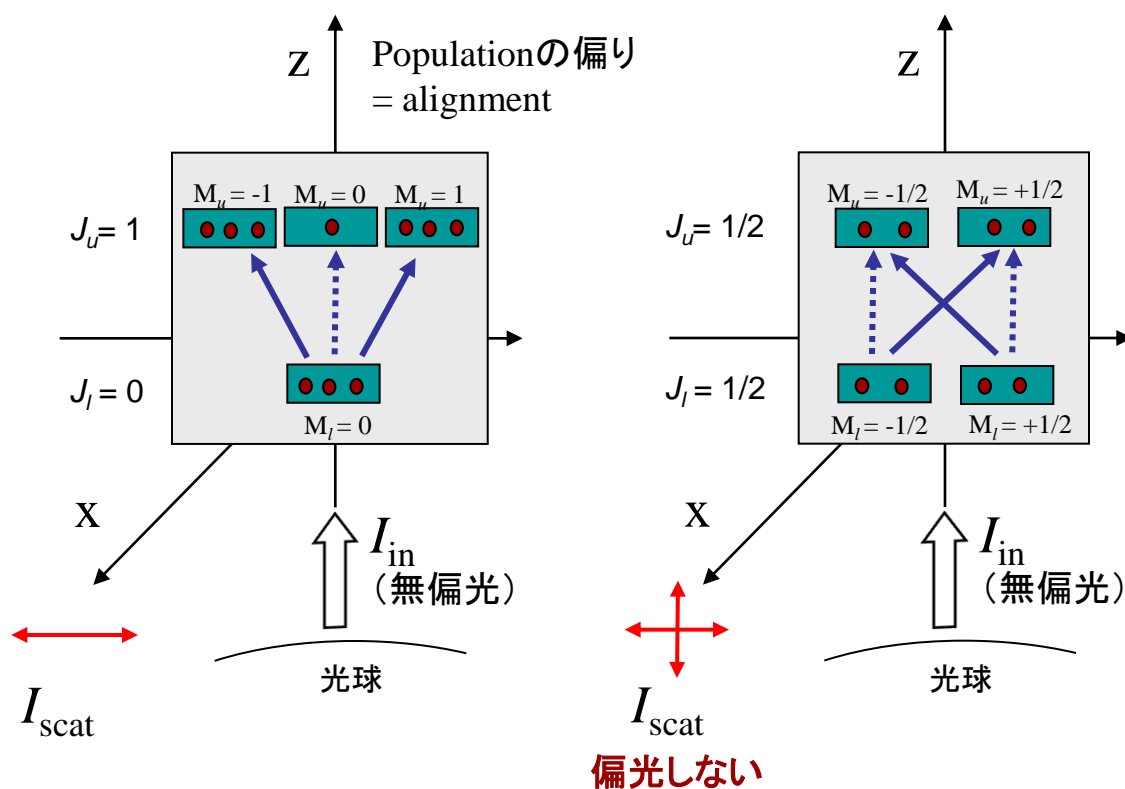
偏光メカニズム	異方性の原因	診断量
<b>Zeeman 効果</b> (含Paschen-Back)	磁場	— ベクトル磁場
<b>散乱偏光</b>	輻射場	— atomic physics
<b>Hanle 効果</b> (含禁制遷移散乱)	輻射 + 磁場	— 彩層・光球磁場 — コロナ磁場、(密度)
<b>Stark 効果</b>	電場	— 電場、電子密度
<b>衝突偏光</b>	粒子速度場	— 熱伝導、粒子ビーム

# 散乱偏光とHanle効果

## 古典的描像



## 量子論的描像



量子論によると散乱偏光はラインによって異なった様相を示す

Hanle効果は磁場による散乱偏光の変化(偏光面回転、depolarization)

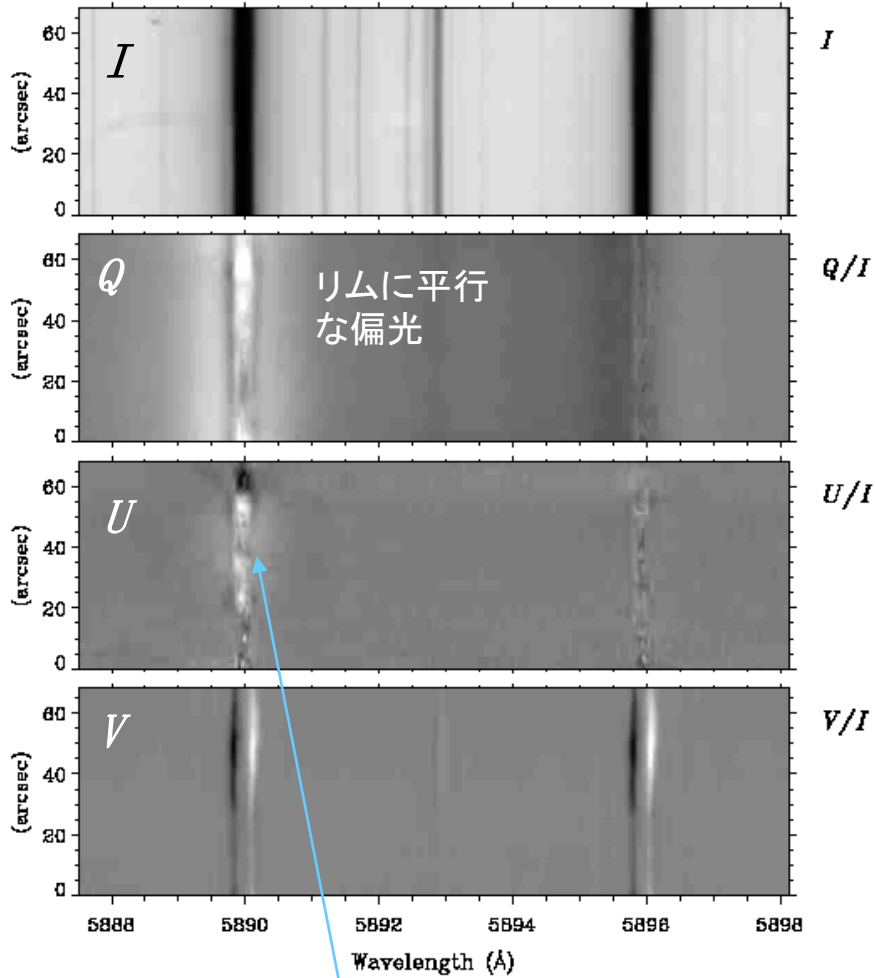
量子論によるとHanle効果の度合いもラインによって異なる(ダンピング/ランデgに依存)

→ 太陽の散乱偏光スペクトルは各ラインの個性があらわになったものとなる。

## リム観測

NaI D2

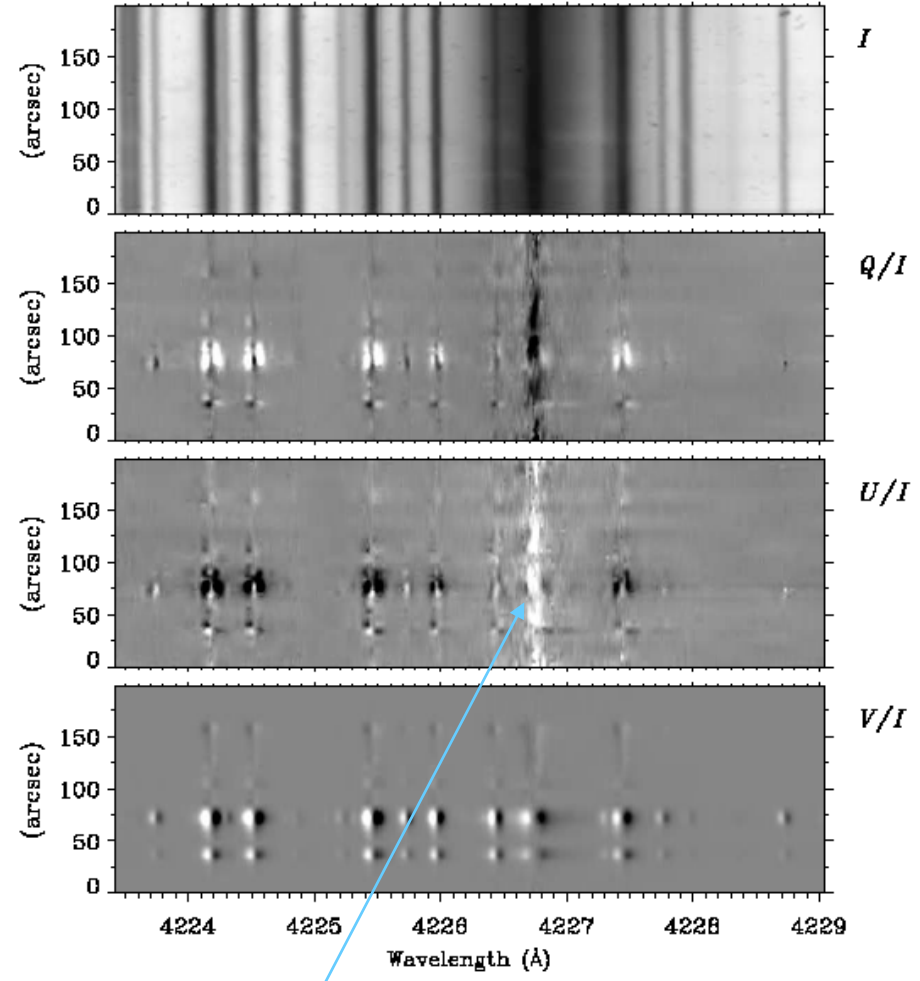
NaI D1



Hanle効果により偏光が回転

## ディスク観測

CaI 4227A



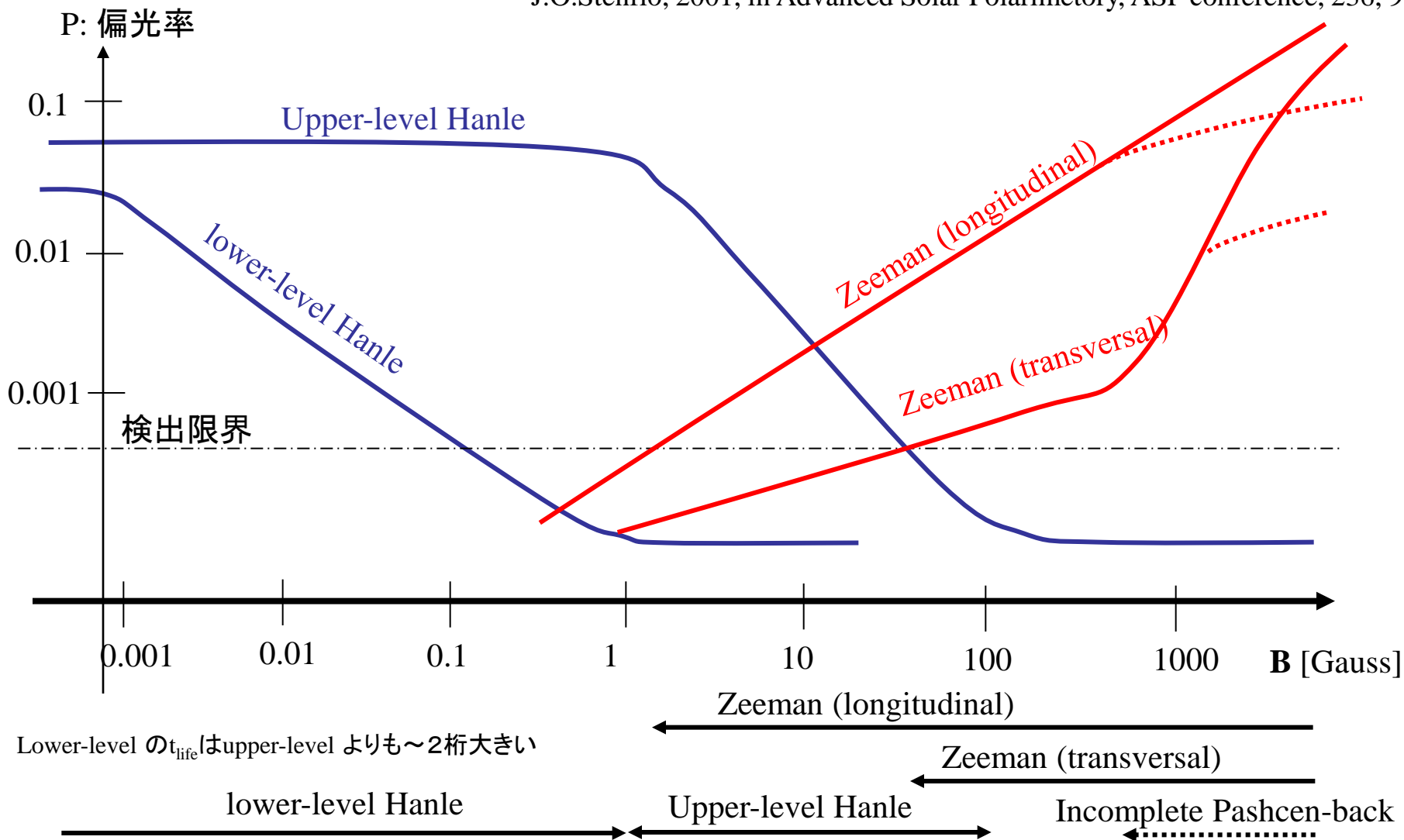
Hanle効果により偏光が発生

# The second solar spectrum

- Intensity spectrum とは全く顔つきが違う (lineの個性)
- 11年周期で変化する → Hanle効果 (磁場) が働いている
- 強度で目立たない線が Q/I で際立つことがある
- ラインの超微細構造 (核スピン) が見えてくる
- lower-state polarization を考える必要あり
  - 実験室プラズマとはかなり違う (?)
- 量子力学と整合しない点が多々ある。  
(ex. 偏光しないはずの線が偏光している)

# Zeeman効果とHanle効果の応用

J.O.Stenflo, 2001, in Advanced Solar Polarimetry, ASP conference, 236, 97.



Zeeman効果はランダム磁場で打ち消されるのに対してHanle効果(depolarization)は打ち消されない



# Stark 効果

Atomic state が電気双極子モーメントを持っていると電場によってエネルギーレベルが変化する → 1次のStark効果

波長分離

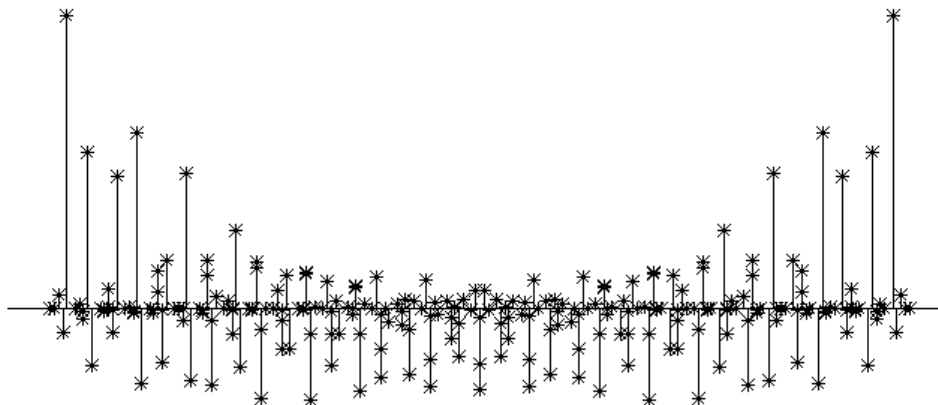
$$\Delta\lambda \propto n^2 \lambda^2 \frac{E}{Z^2}$$

n(主量子数)の大きな

$\lambda$ (波長)の長い

Z(原子数)の小さいラインが測定に有利

例: 水素のパッシェン系列  $n=18 \rightarrow 3$ ,  $\lambda=8437.96\text{\AA}$



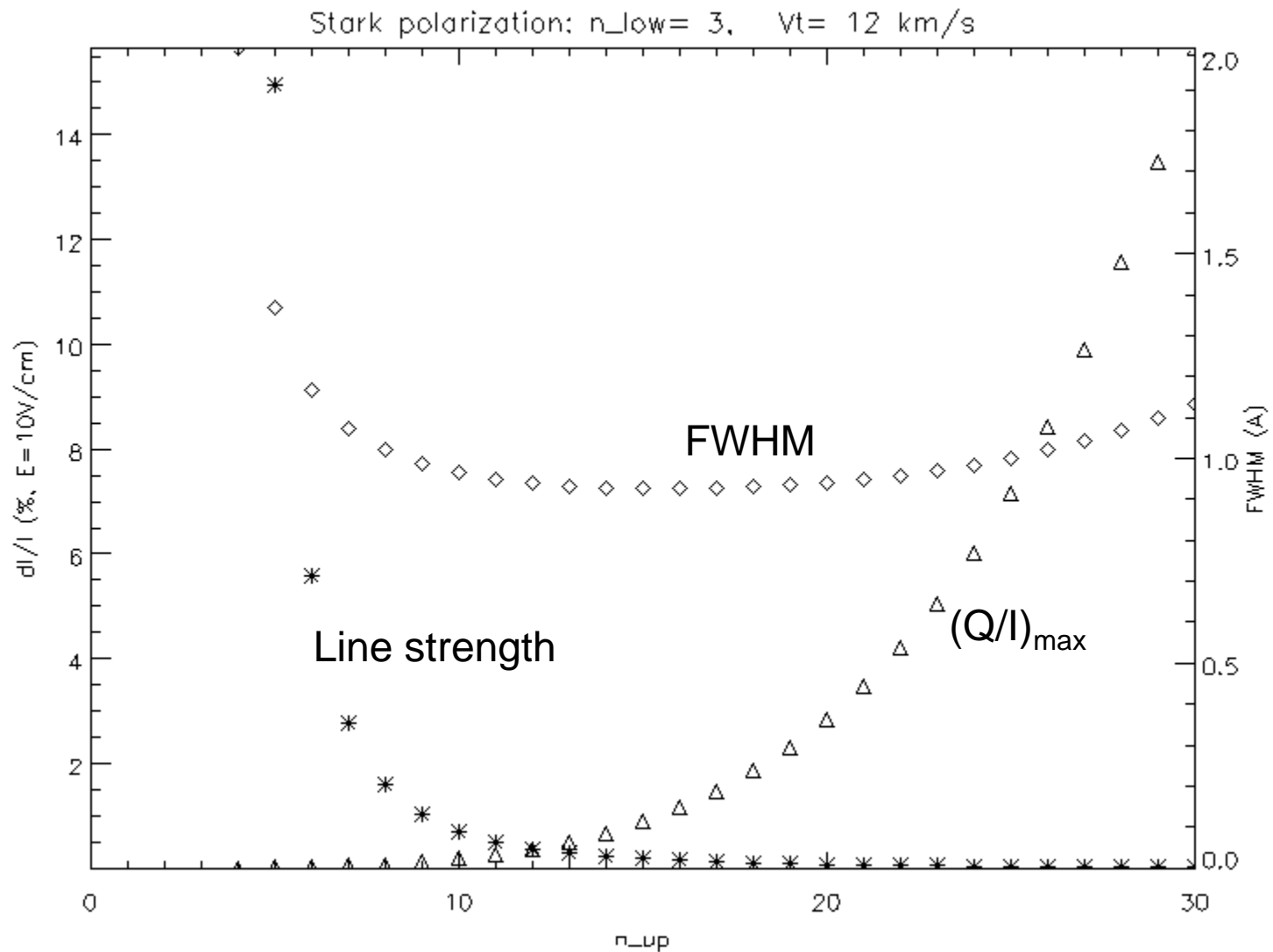
$\pi$  成分: 電場の方向に偏光

$\sigma$  成分: 電場と垂直方向に偏光

検出できるのは視線と垂直な電場成分



# Paschen 系列の Stark 効果 $E=10\text{V/cm}$ に対して



Ex. P18でQを0.1%の精度で測れば $\sim 0.5\text{V/cm}$ 程度のDC電場を検出できる

## これまでのStark効果に関する観測:

Foukal, Miller and Gilliam (1983) post flare loop  $E_{\text{stat}} \sim 170\text{V/cm}$

Foukal, Hoyt and Gilliam (1986)  $E_{\text{stat}} < 40\text{V/cm}$

Foukal, Little and Gilliam (1988) eruptive prom.  $E_{\text{stat}} < 10\text{V/cm}$

Moran and Foukal (1991) 'Electrograph'@SacPeak

その後報告は殆ど出てないようである。

そもそもDC電場の存在は太陽大気中に期待されるか？ (Foukal and Hinata 1991)

- 粒子加速 (electron  $1\text{MeV}/10\text{km} \sim 1\text{e}6\text{eV}/1\text{e}6\text{cm} = 1\text{V/cm}$ )
- motional Stark ( $E \sim v/c \times B = 1\text{km/s} / c * 10\text{G} \sim 3\text{e-}5 \text{ emu} \sim 1\text{V/cm}$ )

# 衝突偏光 (impact polarization)

最近の報告 H $\alpha$  フレアの偏光 (1~数%)

Hanaoka 2003

Henoux and Marlicky 2003

Xu et al 2005

Bianda et al 2005

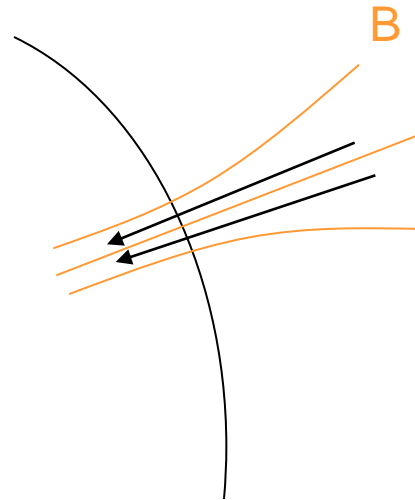
→ proton beam

→ electron flux in the return current

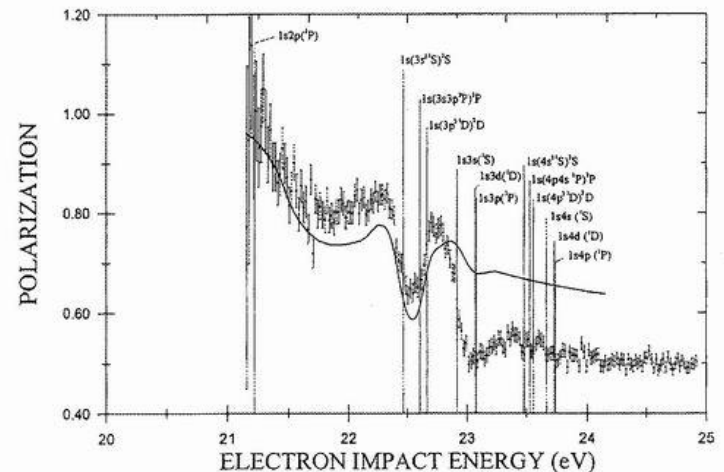
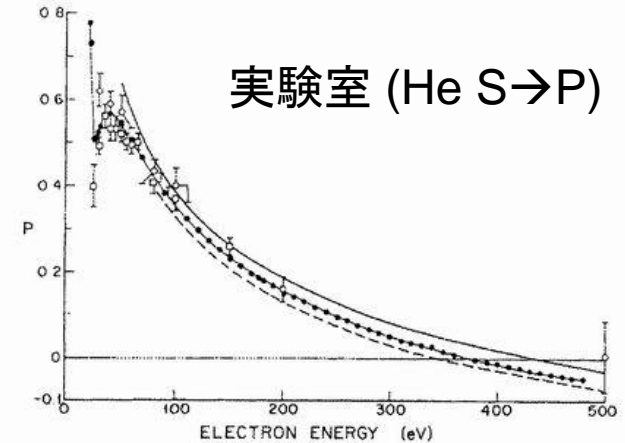
→ 両方

→  $P < 0.7\%$

衝突偏光の基礎研究は実験室プラズマ及び理論面で最近になってかなり進んだようである



粒子ビームによって輝線スペクトルはリムに平行にも垂直にも偏光しうる。  
粒子ビーム、熱流測定に適したラインの組があるのではないか。



Hanle効果, Stark効果, 衝突偏光を使った観測例は Zeeman 効果と比べて格段に少ない。

- 共同利用望遠鏡のマシントイムを使って観測する場合リスク大。
- 「定番」の波長がないため新たな観測セットアップが必要。

➔ これらの新しい研究を強力にサポートする装置。。

# 太陽観測の目指すべき方向(私案):

- 偏光による新しいプラズマ診断手法の開拓と応用
  - 実験室プラズマ(偏光分光)分野との連携
  - 原子スペクトルに関する量子力学的手法の点検
- より豊富な物理情報に基づく太陽プラズマ現象の基礎過程の研究
  - 彩層、プロミネンス、コロナ磁場
  - 電場、粒子フラックス、電流
- [太陽周期活動、ダイナモ]
  - 長期安定した太陽活動モニター(黒点、彩層+高精度磁場)
  - 恒星ダイナモへの展開

# これを推進するために必要な観測性能

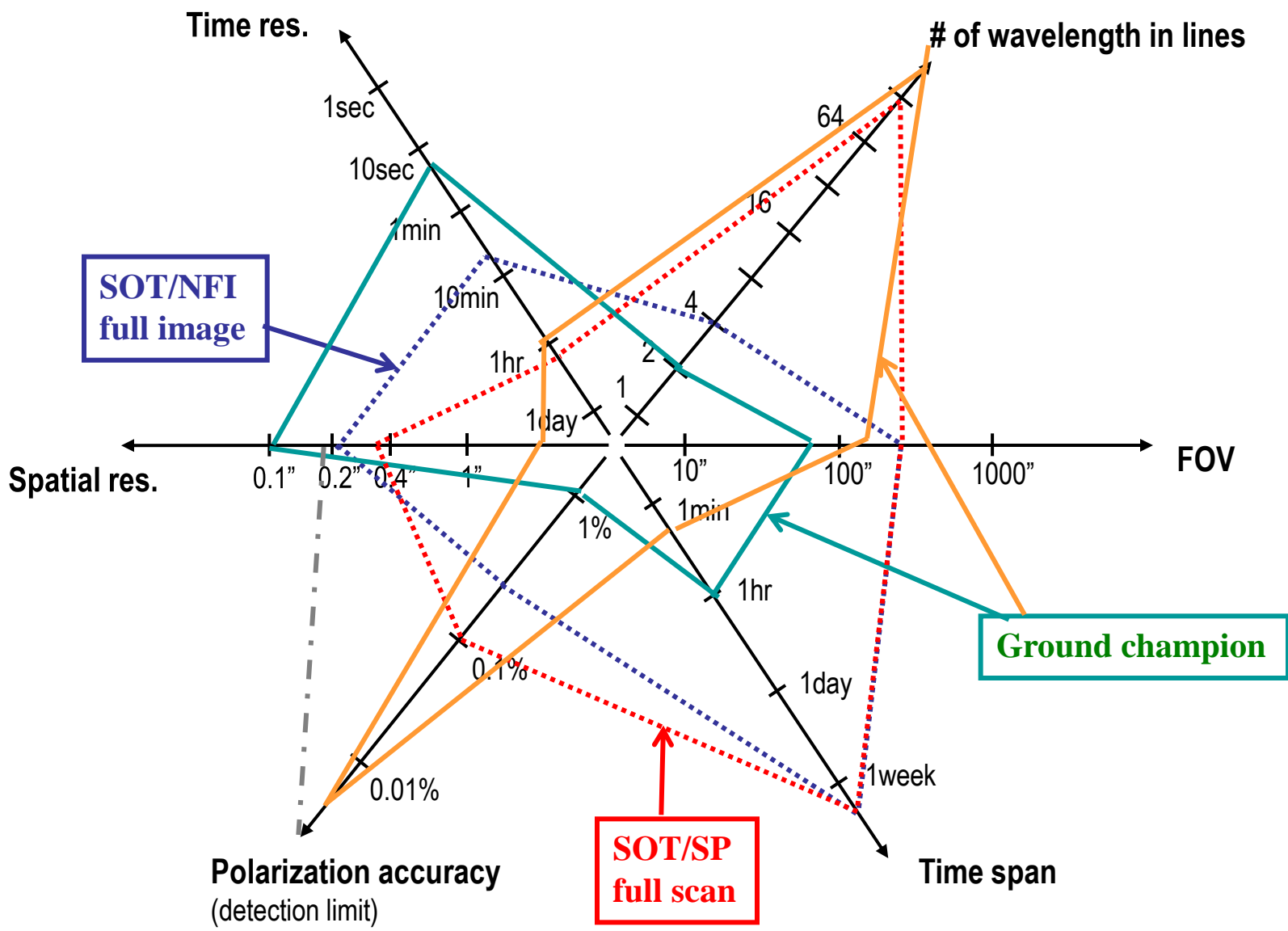
偏光精度(統計誤差)  $\sim 10^{-5}$

波長範囲 UV  $\sim$  near IR  
” 分解能  $\lambda/d\lambda \sim 3 \cdot 10^5$

空間分解能  $\sim 0.2 \text{arcsec}$   
願わくば  $< 0.1 \text{arcsec}$

低散乱  $I_{\text{scat}} < 5 \cdot 10^{-5} I_{\odot}$

視野 ...



‘エネルギー要素’の分解能  $\sim \varepsilon (\Delta x)^2$

その道具は？

## 地上望遠鏡:

2m(?)級望遠鏡(w/AO)＋大型分光器  
@ best site in the world...

現有地上施設(小型望遠鏡群)の活用  
AO, polarimeter, detector 更新による  
高分解、高精度化

ATST

## スペース:

1m級 初期SOT案

OTA(50cm)をもう一台、以下の機能を追加  
コロナグラフ  
多波長偏光分光(achromatic waveplate)



# シナリオー1： 地上大型望遠鏡による展開

2m級望遠鏡：(偏光重視＋多波長同時分光＋高空間分解能)

- 軸対称光学系

(低散乱ミラー＋オカルティングディスク＋リオストップによるコロナグラフ機能)

- 夜は明るい星の全自動偏光分光

(～数十個を長期計画的に)

CaII K, HeI10830A, FeI 1.56 $\mu$ m Stokes, g=0 line

彩層・コロナ輝度の周期変動、pole-on starの極磁場反転、convection,  
黒点のDoppler imaging,

小望遠鏡群：

- - -

## シナリオー2： SOT-2 スペースからの再挑戦 (50cm)

SOTに以下の機能を追加： (OTA設計検証済、試験設備は現有物を使用)

- コロナグラフ (OTAにリオストップ追加)
- 新FPP 2000(?)~7000A 偏光分光 (分光器 + ファブリペロ imaging)

<サイエンス>

0.1"分解能のimaging、

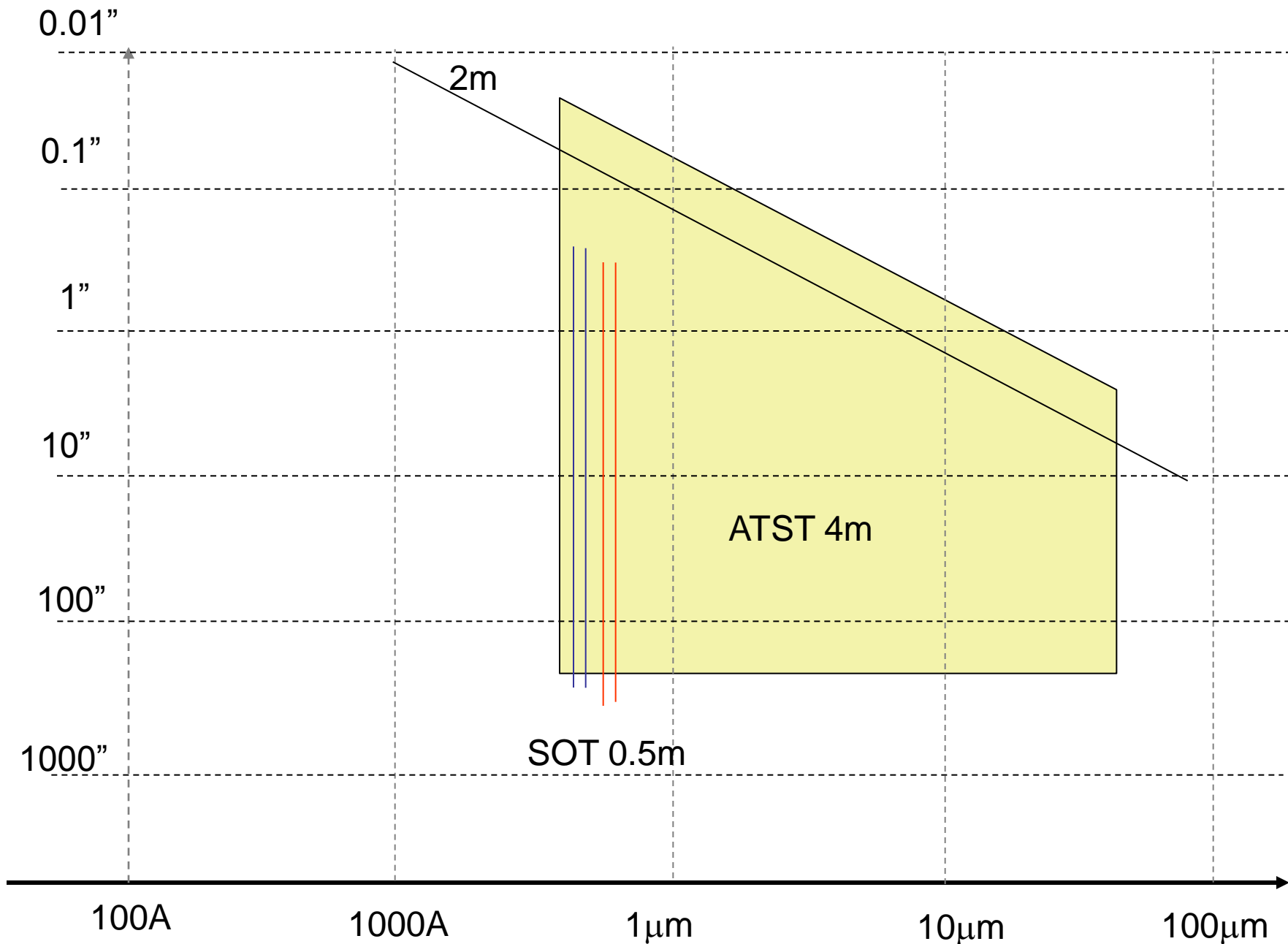
Zeeman/Hanle効果による彩層 (スピキュール、プロミネンス) 磁場

FeXIV 5303/ XI 6374A/ 他A コロナ分光撮像、偏光観測

地上望遠鏡群：

現有施設 (国内 + 海外) を最大限に生かした検出装置の開発、

→ プラズマ診断手法の開拓



## 結論：

次世代の観測にむけて魅力的なネタはある。  
実現性も踏まえてどの道がよいか今自明でない。  
ある程度まで平行して複数案の具体的な検討を  
進めてみるともう少し見えてくるのではないか。。。  
Solar-Bの結果は考え方を大きく変える可能性がある。  
ある。

# SOTのねらうサイエンス

1. 微細磁束管に関する基本物理
  - 磁気要素の進化と構造
  - 対流との相互作用
  - 黒点の成長・消滅,,,
2. コロナ加熱 / コロナへのエネルギー伝播
  - 磁気要素における波動、磁気シアー
  - 彩層微細構造のダイナミクス
3. コロナにおけるエネルギーの蓄積・解放
  - 活動領域磁場構造の発達
  - 電流分布とその時間変化
  - 微細磁束管の集団的振る舞い
4. ダイナモメカニズムと内部磁場
  - 局所サイスマロジー

# Spatial resolution and time span

