

飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡 偏光観測



第40回天文・天体物理若手夏の学校

2010年8月4日 in 豊橋

京都大学 阿南 徹

偏光

- 電場(磁場)の振動方向に偏りのある光
無偏光、楕円(円)偏光、直線偏光
- 光源や媒質内の物理的異方性によって生じる
 - ゼーマン効果 : 磁場
 - ハンレ効果(散乱偏光) : 磁場
 - スタルク効果 : 電場
 - 衝突偏光 : 非熱的粒子

- Stokesベクトル(I,Q,U,V)で強度として記述可能

I = intensity


Q = \longleftrightarrow - \updownarrow

U = \swarrow - \searrow

V = \circlearrowleft - \circlearrowright

view towards the sun

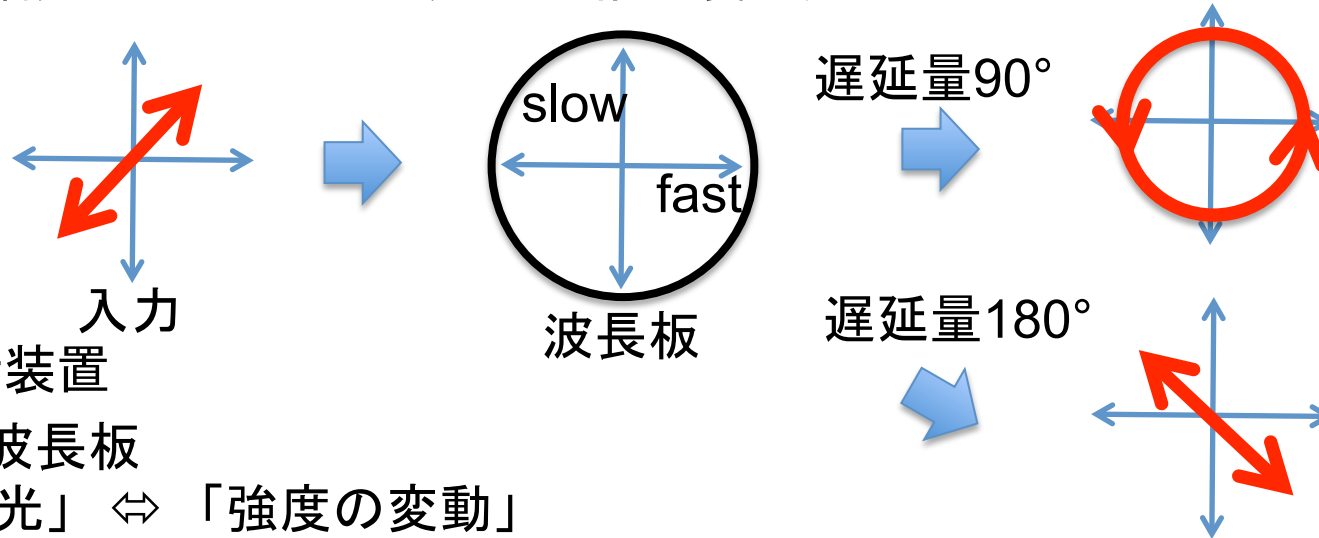
偏光観測システム

- 望遠鏡
 - 口径 \Rightarrow 空間分解能、光子
 - 光学系 \Rightarrow 装置偏光 
 - 偏光解析装置
 - 回転波長板
 - 可変遅延素子
 - 分光器 or フィルター \Rightarrow 波長帯、波長分解能
 - 検出器(カメラ)
 - データ処理装置
- 偏光精度

偏光解析装置

- 直線遅延素子(波長板)

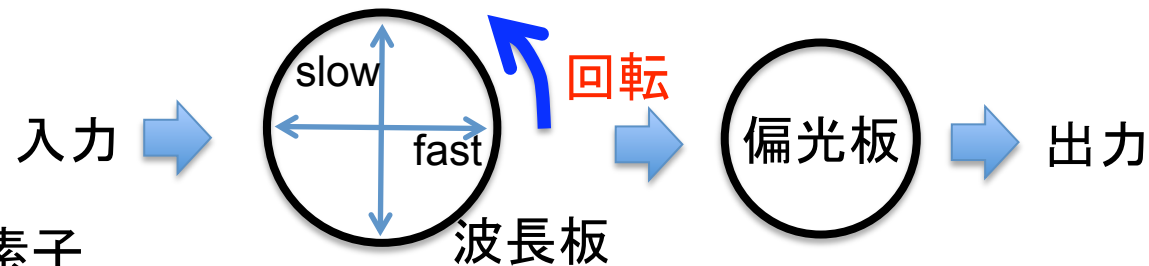
- 直線偏光の向きによって光の位相速度が異なる



- 偏光解析装置

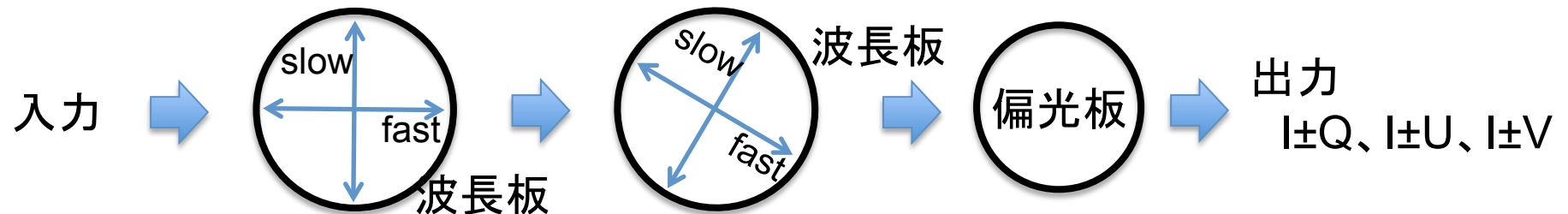
- 回転波長板

「偏光」 ↔ 「強度の変動」



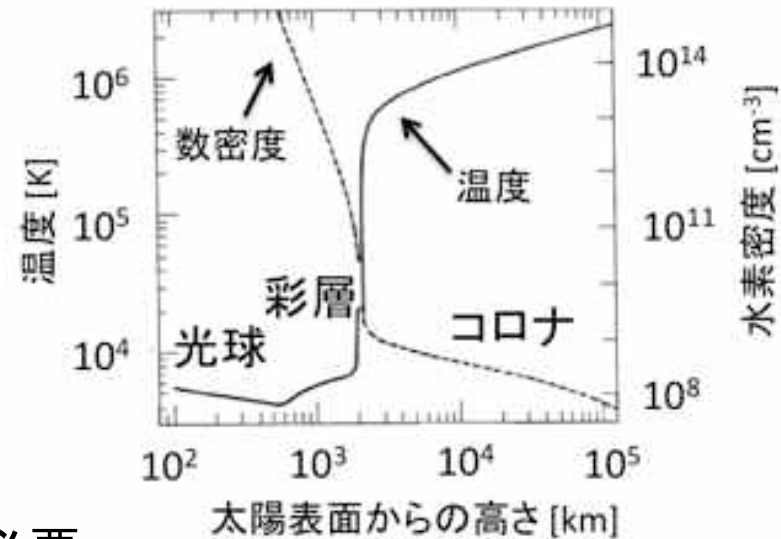
- 液晶可変遅延素子

遅延量を電圧で調節できる



太陽偏光観測これまで

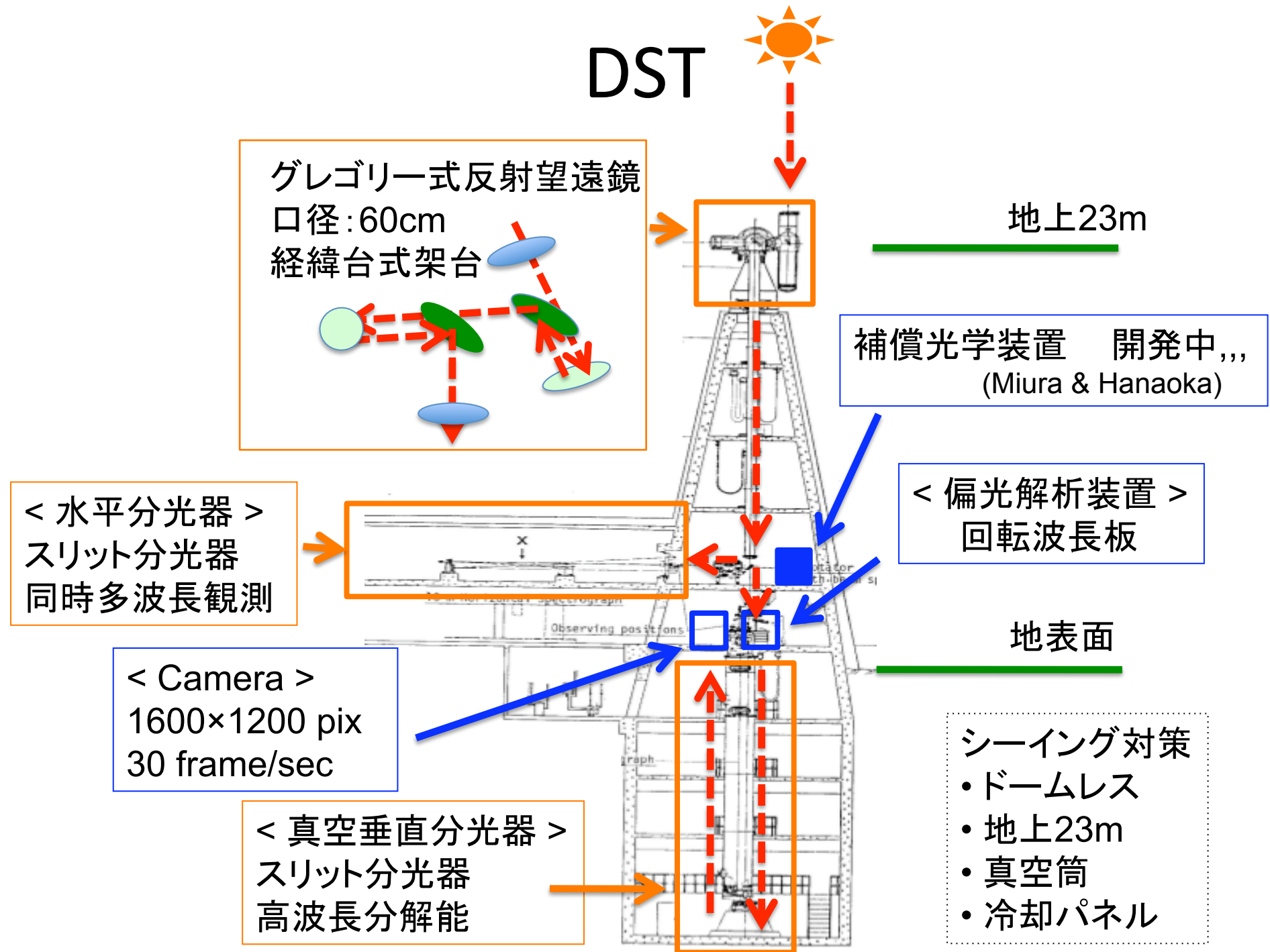
- 偏光度 (偏光強度/I)
 - 光球 $\sim 10\text{--}1\%$
 - 彩層・コロナ $< 0.1\%$
- 偏光プラズマ診断
 - ゼーマン効果 (磁場)
 - 光球 : 詳細に研究されている
 - 彩層 : 偏光解釈にはハンレ効果が必要
 - コロナ : Lin et al. 2000など数例しか行われていない
 - ハンレ効果 (彩層磁場)
 - 偏光物理の理論的解釈や装置性能の進歩によって彩層磁場測定が近年可能になり始めた (Bueno et al. 2002; Ramos et al. 2008)
 - スタルク効果 (電場)
 - 衝突偏光 (比熱的粒子)
- 飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡 (DST)
 - 既設の偏光解析装置 (Kiyohara et al. 2004)
 - 光球スペクトル線 (630nm) 偏光精度: 0.17%



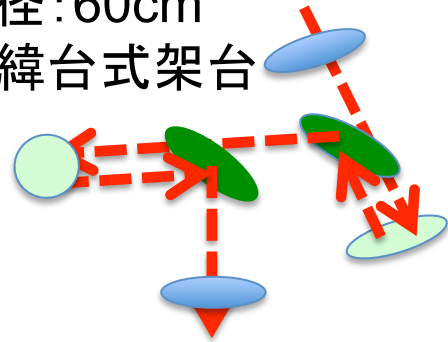
DST偏光観測

- [目的]
 - スタルク効果や衝突偏光も含めた
新しいプラズマ診断手法の開発
 - 太陽プラズマ現象のメカニズム解明
- [開発目標]
 - 広波長域 : 可視～近赤外(380～1100nm)
 - 多波長同時 : 光球・彩層スペクトル線
 - 高偏光精度 : 10^{-4}
- [方法]
 - 偏光精度の向上 <= 既設の偏光解析装置の改良
 - 多波長観測 <= 装置偏光特性の調査

DST



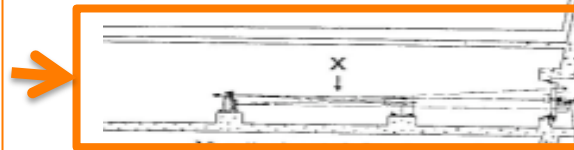
グレゴリー式反射望遠鏡
口径: 60cm
経緯台式架台



地上23m

補償光学装置 開発中,,,
(Miura & Hanaoka)

< 水平分光器 >
スリット分光器
同時多波長観測



< 偏光解析装置 >
回転波長板

地表面

< Camera >
1600×1200 pix
30 frame/sec

< 真空垂直分光器 >
スリット分光器
高波長分解能

シーイング対策
・ドームレス
・地上23m
・真空筒
・冷却パネル

偏光精度の向上

<< 観測システムの開発 >>

CCDカメラ 連続撮影

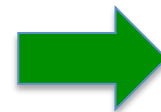
回転波長板 回転角を2000Hzで取得



CCDカメラ



従来のシステム
波長板固定撮像
30秒で16枚 (SN 0.17%)
(Kiyohara et al. 2004; Makita et al. 1991)



現在のシステム
回転波長板連続回転
CCDカメラ連続撮像
10秒で100枚 (SN 0.07%)

偏光精度 $< 10^{-3}$ を達成

DSTの偏光キャリブレーション

- 斜鏡が2枚 (Newton鏡、Coude鏡)
- 望遠鏡の後ろに偏光解析装置

➡ DSTの偏光特性(波長、姿勢依存性)を調べる必要がある

- DST偏光モデル

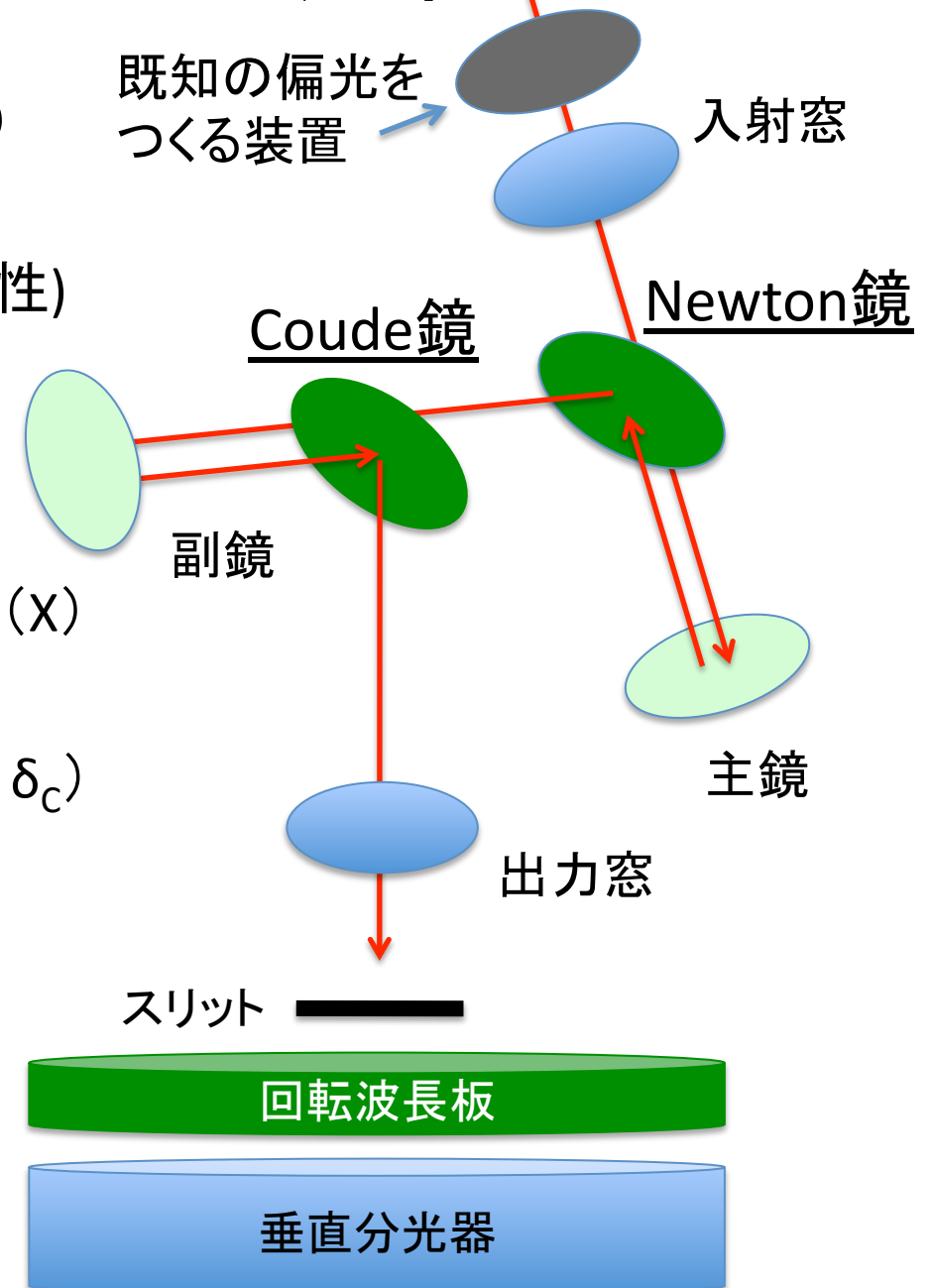
- 斜鏡の偏光特性

- 直交2偏光での反射率の違い(X)
- 遅延量(δ)

- 未知のパラメーター ($X_N, \delta_N, X_C, \delta_C$)
斜鏡が2枚 ➡ $2 \times 2 = 4$ つ

- 方法

1. 既知の偏光光を入射
2. 観測された偏光を再現できるモデルの構築
(4つのパラメーターを決める)



偏光板自動回転装置

- 望遠鏡に $(I,Q,U,V)=(1,0,0,0)$ 、 $(1,\pm 1,0,0)$ 、 $(1,0,\pm 1,0)$ を入射させる装置



仲谷、他 製作

観測

彩層上部で形成される
↓
スペクトル線

- 2010年5月3日

- 波長: 連続光 (He I 10830Å付近)

- ターゲット: 太陽中心の静穏領域



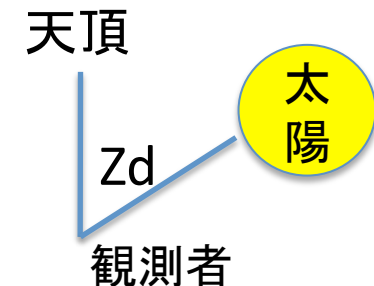
理想的な無偏光光源

- 露出時間: 20、25、30 msec

- 100枚連続撮影

- 波長分解能: $0.12\text{\AA}/\text{pix}$

- 空間分解能: $0.6\text{ arcsec}/\text{pix}$ ($420\text{km}/\text{pix}$)



- 10分おきに撮影 (太陽の位置を記録 Zdなど)

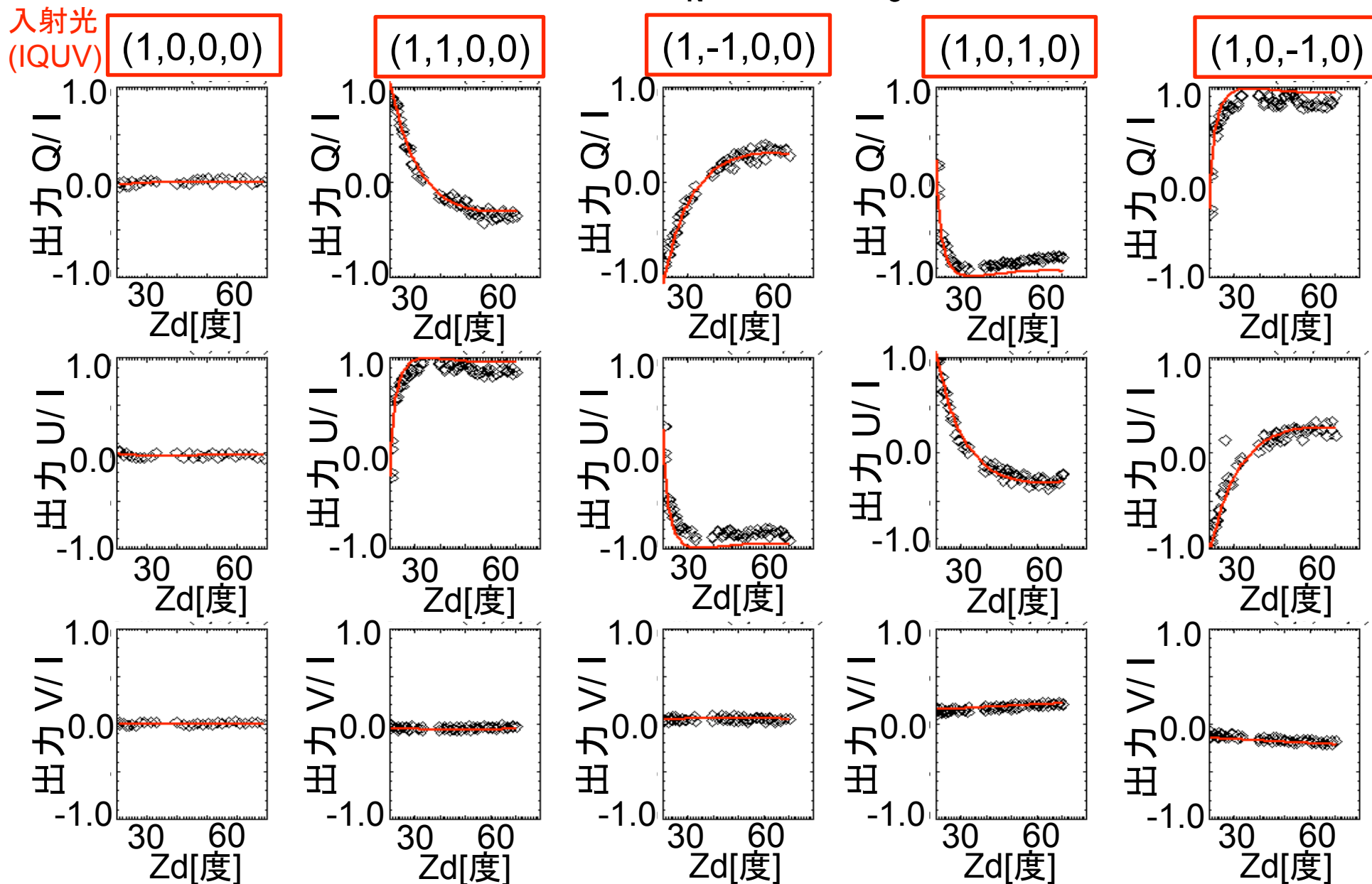
結果

黒: 観測
赤: フィッティング

DSTモデル(4つの未知数)でフィッティング

$$X_N = 0.976 \quad X_C = 0.997$$

$$\delta_N = 10.83^\circ \quad \delta_C = 357.53^\circ$$



まとめ

- 偏光分光データを用いた新しいプラズマ診断手法の開拓のために高精度な偏光観測システムが必要
- DST偏光観測システムの開発
 - 偏光精度の向上
 - 波長板連続回転、連続撮像
従来のものに比べ
SNの高い偏光観測が可能となった
 - 幅広い波長に対応 3800~11000Å
 - He 1083nmでのDST偏光特性を調べた
 - $X_N=0.976$ $X_C=0.997$ $\delta_N=10.83^\circ$ $\delta_C=357.53^\circ$
 - フィッティング精度が不十分なので、
斜鏡以外のパラメーターを検討する必要がある
 - 今後、DSTモデルの精度を高めると同時に
3800~11000Åの範囲でDSTの偏光特性の調査