

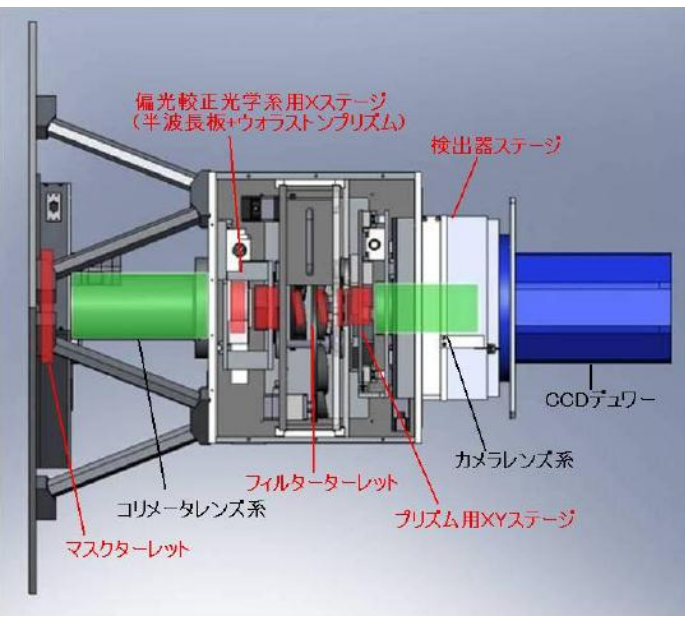
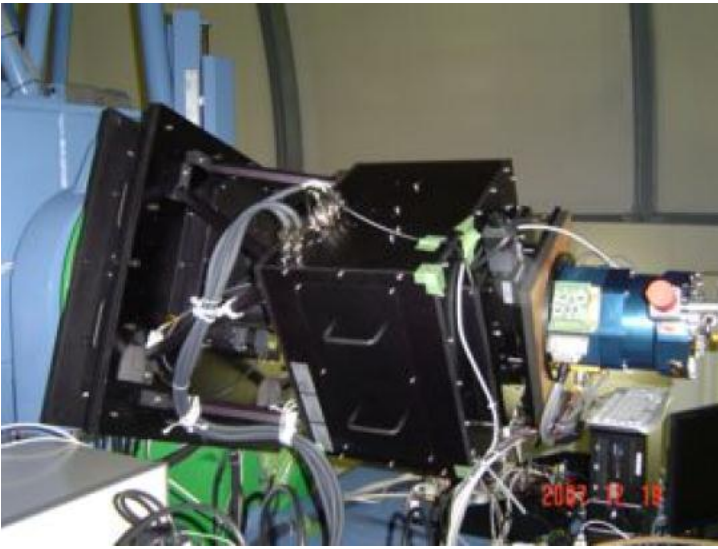
可視1露出型偏光撮像器HOWPolの開発

○小松智之、田中祐行、千代延真吾、永江修、川端弘治(広島大学)、中屋秀彦、鎌田有紀子(国立天文台)、大杉節、吉田道利、植村誠、山中雅之、上原岳士、宮本久嗣、 笹田真人、先本清志、伊藤亮介、奥嶋貴子、原尾達也(広島大学)

★かなた と HOWPol



★国立天文台の「赤外シュミレータ」を広島大学が譲り受け、東広島天文台に設置されたもの。
口径1.5mクラスの望遠鏡としては世界最高水準の駆動性能。
カセグレン焦点：TRISPEC、HONIR(開発中)
ナスミス焦点：HOWPol(第1焦点)、高速分光器(第2焦点)



★ガンマ線バーストの初期残光等の時間変化が激しく且つ位置誤差の大きい天体を観測するために、開発されている装置。

このHOWPolは広視野で、ウェッジ付きダブル・ウォラストン・プリズムをつかうことで1回の露出で4方位の直線偏光像を取り出すことができる。

光学系	リッチー・クレチアン光学系
主鏡	有効径1540mm/主鏡のF比=2.0
焦点モード	カセグレン焦点(F/12.0)・ナスミス焦点(F/12.0)
焦点面スケール	カセグレン11.15"/mm・ナスミス11.15"/mm
焦点距離	18,300mm
分解能	1" FWHM
視野	15' φ
最大駆動速度	5° /sec以上(方位角)・3° /sec以上(高度軸)

波長域	450nm - 1100nm
観測モードと視野	撮像: 15 分φ (広視野偏光撮像: 7 分× 7 分) 狭視野偏光撮像: 15 分× 1 分 分光: 2.3 秒× 15 分
フィルター	B,V,R,I,z '+Y, 偏光フィルター(青/赤), 減光フィルター
グリズム	低分散(420/mm,R=400)

ウォラストン・プリズム	広視野用ウェッジ付きダブルウォラストンプリズム 狭視野用ウェッジ付きダブルウォラストンプリズム シングルウォラストンプリズム
CCD	完全空乏型CCD 2k-4k × 2ヶ(浜松ホトニクス、国立天文台), 空乏層の厚さ200 μ m
限界等級	撮像: R=19.2mag(10 分露出, 測光精度0.02mag) 偏光撮像: R=16.0mag(10 分露出)

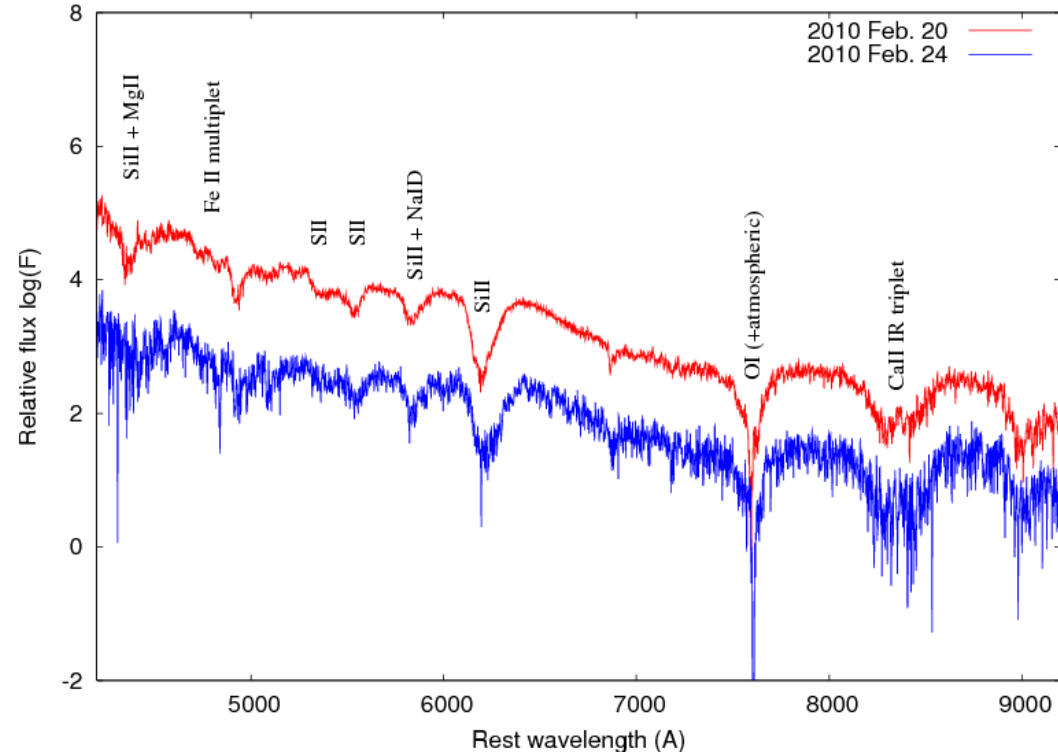
★GRBモード・広視野ウォラストンプリズム

★HOWPolの駆動系を制御しているWindowsPCを観測室のLinuxPCからソケット通信を使って制御できるように整備した。これによって制御室PC1台から望遠鏡への命令、検出器系の制御、駆動系の制御が行えるようになり、観測効率も向上した。
そして、GCNのGRBアラートを受け取ると自動でその時行われている観測を中止し、アラートのあった方向を偏光観測するモードを実装した。
これまで8回実行され、アラートを受けてから約1分間で観測が開始されている。
★2010年5月より広視野偏光モード用のウォラストンプリズムを実装し試験観測を行っている。それに伴ってGRBモードはこの広視野モードで行っている。

★分光モード

★2010年1月より低分散用のグリズムによる分光観測がスタートした。
主な仕様と観測から得られたスペクトルの例(SN10Y)を示す。

素材	BK7 頂角25.67°	分散	分散:平均2.45 Å/pix
格子数	420/mm 620mmプレーズ	分解能	18.8 Å R~300
波長域	450-1050nm(中心620mm)		



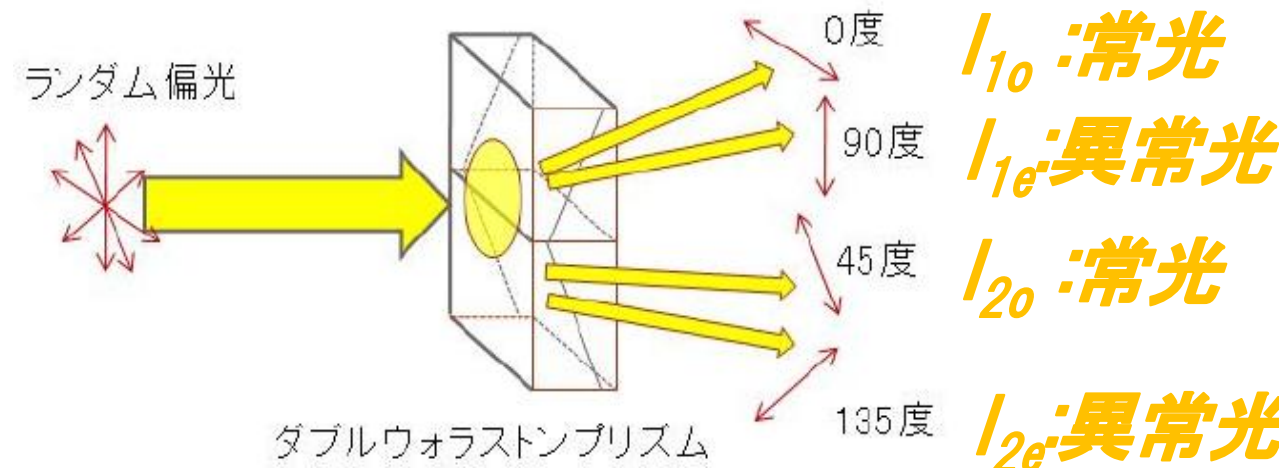
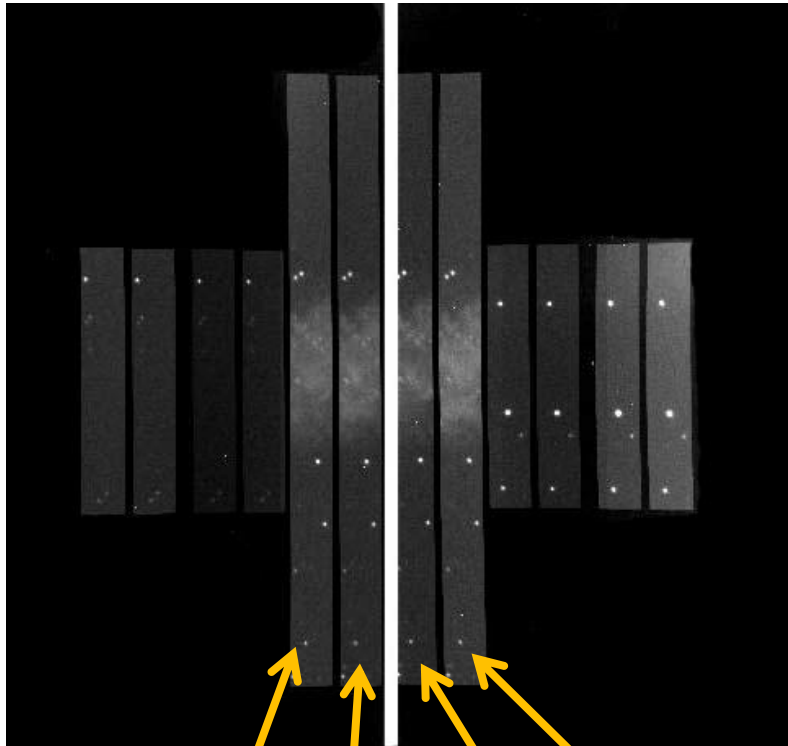
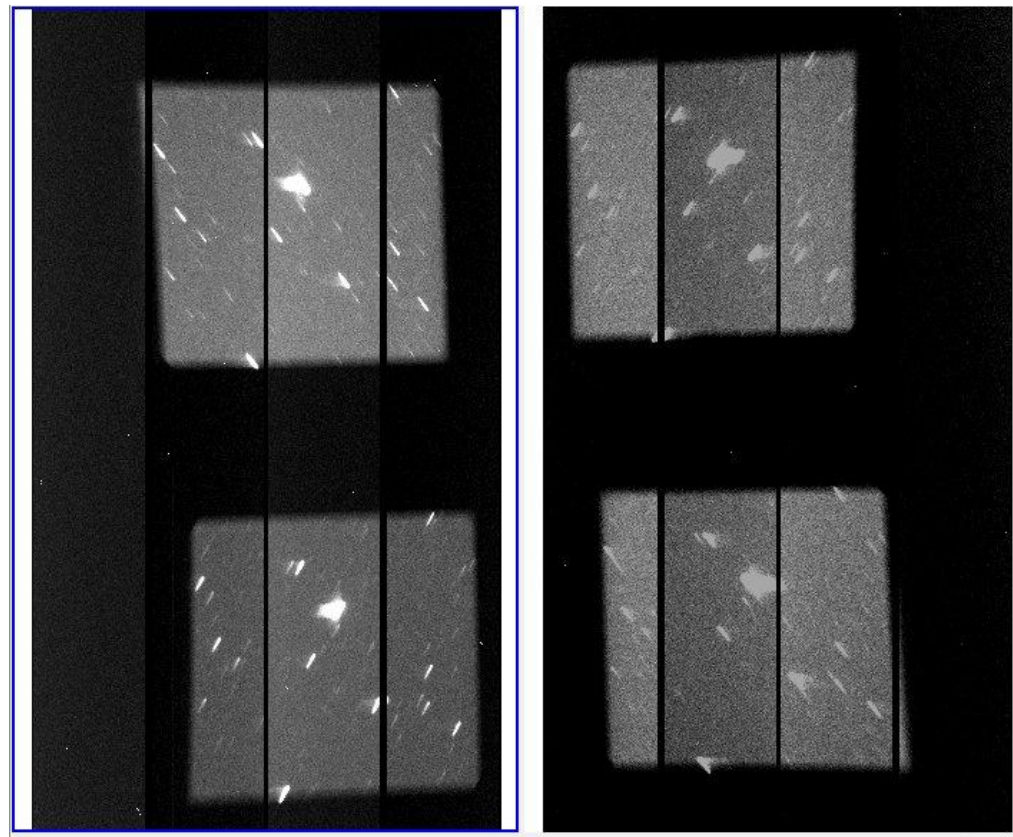
★器械偏光

★無偏光の光でも観測装置を通ると光学系の不完全性より器械偏光が起こる。
カセグレン焦点では光軸に対称に光を集めるので通常0.1%以下であるが、ナスミス焦点では第3鏡での90°反射によって数%の器械偏光が起こる。
よって0.1%オーダーでの偏光度を求めるために器械偏光を補正する必要がある。
今後の大口径望遠鏡においてはナスミス焦点のみ実装される例も多いと予想されることから、どの程度の偏光測定精度が達成できるか、どういった補正方法が可能かをテーマに研究を行っている。

★器械偏光の導出

①半波長板(θ=0,22.5,45,67.5)を使用した場合
ひとつのウォラストンプリズムから得られた光の強度 $I_{10}(\theta)$ 、 $I_{1e}(\theta)$ からQ/I,U/Iそれぞれが求まる
得られた光の強度には、通常プリズムの効率 k_0 、 k_e と天候による係数 ξ がかかっているの
それを打ち消すように計算しQ/I,U/Iを求める
$$\begin{aligned} a_1^2 &= \{ I_{1e}(0) / I_{10}(0) \} / \{ I_{1e}(45) / I_{10}(45) \} \\ b_1^2 &= \{ I_{1e}(22.5) / I_{10}(22.5) \} / \{ I_{1e}(67.5) / I_{10}(67.5) \} \end{aligned} \quad \text{とすると} \quad \begin{aligned} Q/I &= (1 - a_1) / (1 + a_1) \\ U/I &= (1 - b_1) / (1 + b_1) \end{aligned}$$

同様に I_{20} 、 I_{2e} からも求まるので4枚の画像から2組のQ/I,U/Iが求まる
さらに、 k_{10} と k_{1e} 、 k_{20} と k_{2e} の比も以下のようにしてそれぞれ求めることができる
$$\begin{aligned} k_{1e}/k_{10} &= \{ I_{1e}(0) \cdot I_{1e}(22.5) \cdot I_{1e}(45) \cdot I_{1e}(67.5) \} / \{ I_{10}(0) \cdot I_{10}(22.5) \cdot I_{10}(45) \cdot I_{10}(67.5) \} \\ k_{2e}/k_{20} &= \{ I_{2e}(0) \cdot I_{2e}(22.5) \cdot I_{2e}(45) \cdot I_{2e}(67.5) \} / \{ I_{20}(0) \cdot I_{20}(22.5) \cdot I_{20}(45) \cdot I_{20}(67.5) \} \end{aligned}$$

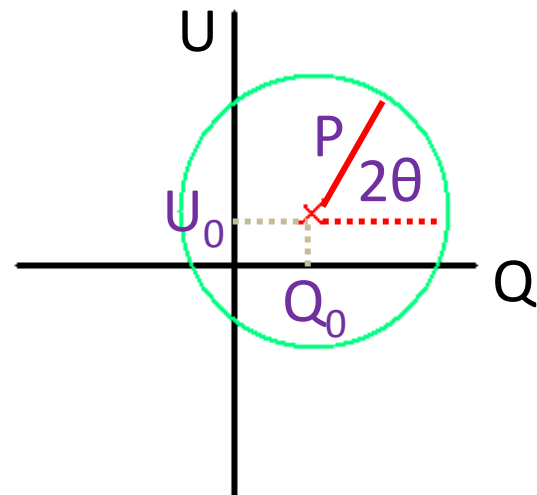


②1露出モードを使用した場合
①で求めた k_{1e}/k_{10} と k_{2e}/k_{20} を使って、一枚の画像からQ/I,U/Iそれぞれを求めることができる
$$\begin{aligned} Q/I &= (I_{10} \times K_{1e}/k_{10} - I_{1e}) / (I_{10} \times K_{1e}/k_{10} + I_{1e}) \\ U/I &= (I_{20} \times K_{2e}/k_{20} - I_{2e}) / (I_{20} \times K_{2e}/k_{20} + I_{2e}) \end{aligned}$$

★器械偏光の補正

★2009年秋までに第3鏡による偏光がQ-Uプレーン上でほぼ原点を中心に円を描くことが分かっており、円フィットの結果から約3.8%の器械偏光(σは半波長板使用で0.17%、1露出モードで0.59%)を見積っていた。それ以降データを増やして、以下のモデル曲線を使った方法で1露出モードでもQ,Uともに0.2%(1σ)以下で補正ができるようにした。
観測した無偏光標準星については以下の通り。

名前	赤経	赤緯	V等級	観測期間	フィルタ
HD125184	14 18 00.7	-07 32 32.6	6.5等	2009.727~8/31	R
HD154892	17 07 41.3	+15 12 37.6	7.8等	2009.727~8/31	B,V,R,I,z
HD212311	22 21 58.6	+56 31 53.0	8.1等	2009.727~8/31	R



★無偏光標準星を観測した結果から得られる偏光パラメータQ,UをQ-U平面上にプロットすると上図緑線のように円を描く。よって、QとUはそれぞれ

$$\begin{aligned} Q &= P \cos \{ 2(\theta - \theta_0) \} + Q_0 \\ U &= P \sin \{ 2(\theta - \theta_0) \} + U_0 \end{aligned} \quad \begin{aligned} P, \theta &\text{はそれぞれ第3鏡由来の偏光度、偏光方位角とみなす} \\ \theta_0 &\text{は偏光方位角の初期値。} Q_0, U_0 \text{はほぼ0なので0とした。} \end{aligned}$$

ここで偏光方位角は望遠鏡の高度hのみに依存しhが0~90° でθは90° 変わるので

$$\theta = h \quad (h=0 \text{ で } \theta=0 \text{ とする})$$

実際は北の方向を視野内で常に同じにするためにローテタが付いているので、そのナスミスローテタによる写野回転角θ_nasを考慮して

$$\theta = h - \theta_{nas}$$

さらに、hもθも時角HAであらわすことができ、最終的に

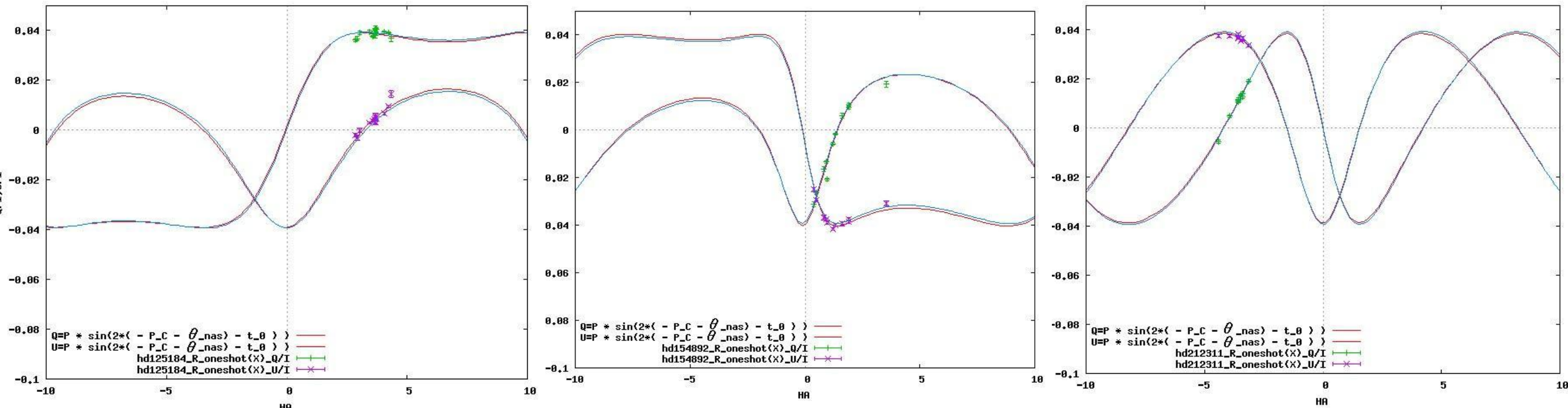
$$\theta(HA) = -\pi/2 - \text{atan2} \{ \sin HA, (\tan \phi \cos \delta - \sin \delta \cos HA) \}$$

φ:観測地の緯度
δ:天体の赤緯(Dec)

★各天体oneshot、チップ1(I_{10} 、 I_{1e} 側)、チップ0(I_{20} 、 I_{2e} 側)ごとに縦軸にQ/I,U/I、横軸に時角(HA)のグラフ上にデータをプロットし、上の式でフィッティングを行うことで、Pとθ₀を求めた。
またそれらの平均値からoneshot、チップ1、チップ0それぞれでのモデル曲線を求めた。

名前		HD125184	HD154892	HD212311	平均
Oneshot	P	0.391 +- 0.000176	0.04027 +- 0.000196	0.03863 +- 0.000173	0.03933 +- 0.000487
	θ ₀ (度)	1.129 +- 0.129	139 +- 0.1394	-0.0461 +- 0.1281	
チップ1	P	0.0394 +- 0.000126	0.03549 +- 0.000140	0.0372 +- 0.000133	0.03736 +- 0.001131
	θ ₀ (度)	79.3 +- 0.08918	39.34 +- 0.1121	79.06 +- 0.1026	
チップ0	P	0.03724 +- 0.000121	0.03971 +- 0.000145	0.03788 +- 0.000124	0.03828 +- 0.000740
	θ ₀ (度)	-52.96 +- 0.09562	84.49 +- 0.1049	-53.29 +- 0.09424	

(写野角等については「山下泰正 国立天文台報 1993」参考にした)



★それぞれの天体データに左の式でフィットした様子(oneshot)。
青い線は3つフィット結果から求めたパラメータの平均値から導いたモデル曲線。実際の器械偏光の補正はこのモデル曲線を用いて行う予定。

★このモデル曲線を使って0.2%以下の精度で器械偏光補正ができるが、今後器械偏光の波長依存性や視野内依存性の考察が必要である。
また、今回は狭視野モードでの補正でありGRBモードである広視野モードでの補正のモデル曲線を考える必要がある。現在、広視野モードのデータを取得中&解析中である。