

# 可視偏光サーベイSGMAPと タイムドメイン天文学

(Search for Galactic Magnetic-field by All-sky Polarimetric Survey)

川端 弘治 (広島大学)

on behalf of SGMAP team



広島大学 極限宇宙研究拠点  
**CORE<sup>+</sup>U**  
Core of Research for the Energetic Universe  
HIROSHIMA UNIVERSITY

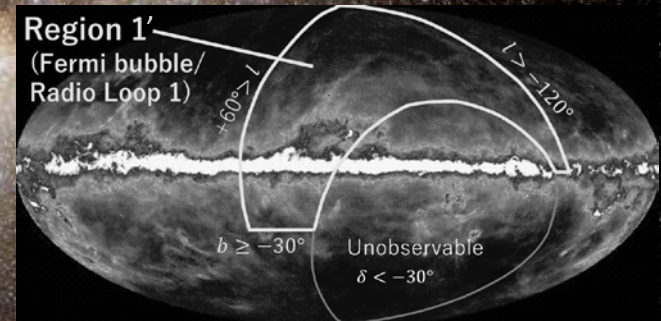
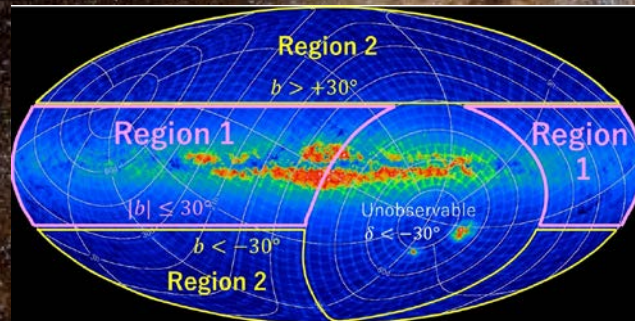
# SGMAP: Summary



1-mクラスの地上望遠鏡と、可視2バンド ( $g'$ ,  $i'$ ) 広視野偏光器  
北天を中心とした数百万個の恒星 ( $< 14$  mag,  $\delta > -20^\circ$ )を観測  
世界初の一様な北天偏光サーベイ

早くて2019年から

Development phase  
~2.5 yr  
Observation period  
~4.5 yr  
Data analyses phase  
~3 yr



90% の観測は偏光サーベイへ(各点160sec露出、全天の60%を  
4.5年でカバー;  $\Delta p < 0.15\% @ V \sim 14$ )  
残り10%は、特定領域の繰り返し観測へ(突発天体のモニター)

予算化は未定(各種競争的資金へ応募中)

# Telescope

第一候補



or

第二候補



Recently ISAS decided to call for new proposal to make full use of 1.3-m telescope. (Even relocation from Sagami-hara campus is available).

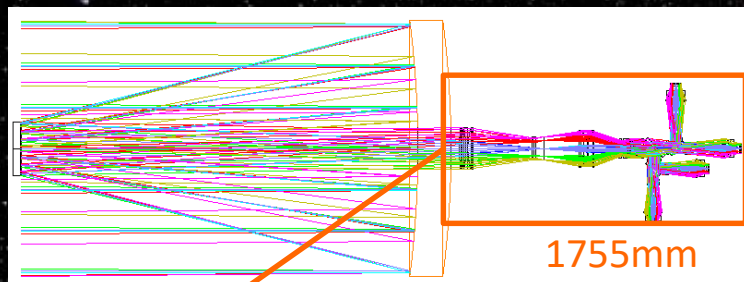
- ✓ Just remove tertiary mirror  
or
- ✓ Secondary mirror replaced  
(To enlarge the vignetting-free FoV)

- ✓ Relocate to Higashi-Hiroshima Observatory
- ✓ Remove tertiary mirror or replace secondary mirror

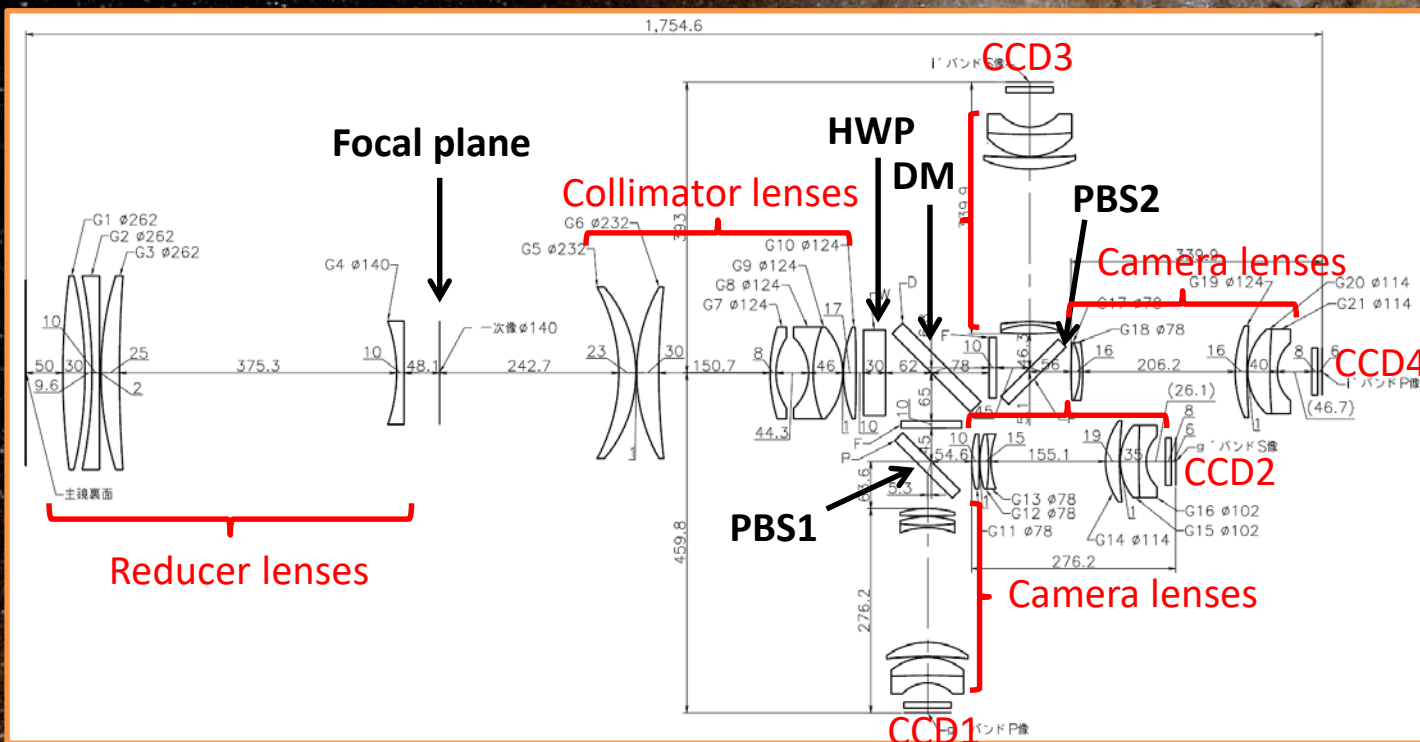
Higashi-Hiroshima  
Observatory



## Instrument design (for Kanata 1.5-m)



Main mirror:  $D = 1.50\text{m}$ ; Secondary:  $D = 0.3232\text{m}$ ;  
Composite F ratio = 6.114 (including reducer);  
Field of View 50' diameter; Final F ratio = 2.02 (at CCD)  
Four 4k4k CCDs; Pixel scale  $0.76''/\text{pixel}$  ( $15\mu\text{m}$ )

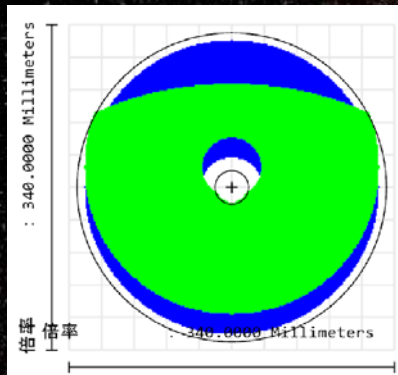


Any incident ray to HWP, DP and PBS is inclined less than  $10^\circ$  against the optical axis to keep their efficiency.

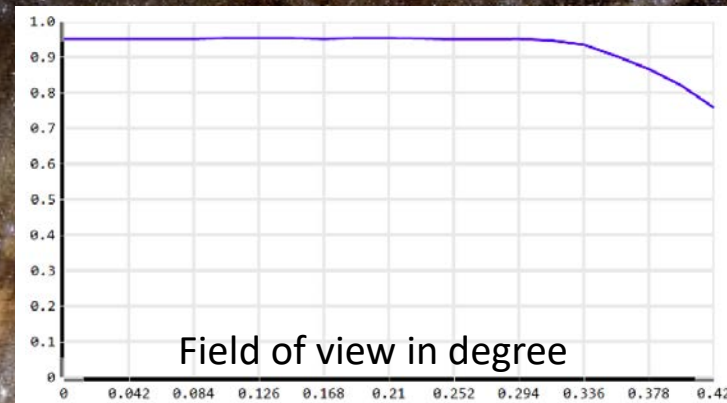
80% encircled energy  
radius  $< 0.7''$  over 50'  
FoV for g' and i' bands

# Vignetting of FoV (for Kanata 1.5-m)

Current primary-secondary mirror system produce a vignetting of incident rays in outer region of the field of view ( $>36'\Phi$ ) by the center hole of primary mirror and also secondary mirror

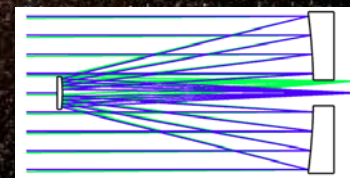
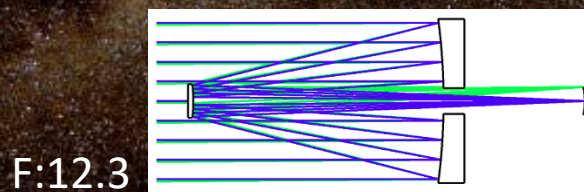


Footprint of effective rays on the secondary mirror



Efficiency of aperture versus field angle.

If we introduce a new secondary mirror ( $\Delta z = -57\text{mm}$  and composite focal length  $\Delta f = -2800\text{mm}$ ), a vignetting-free FoV  $50'$  is achieved.



F:10.5

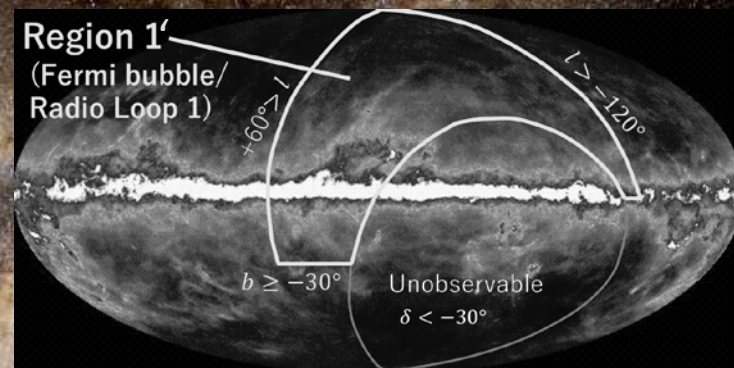
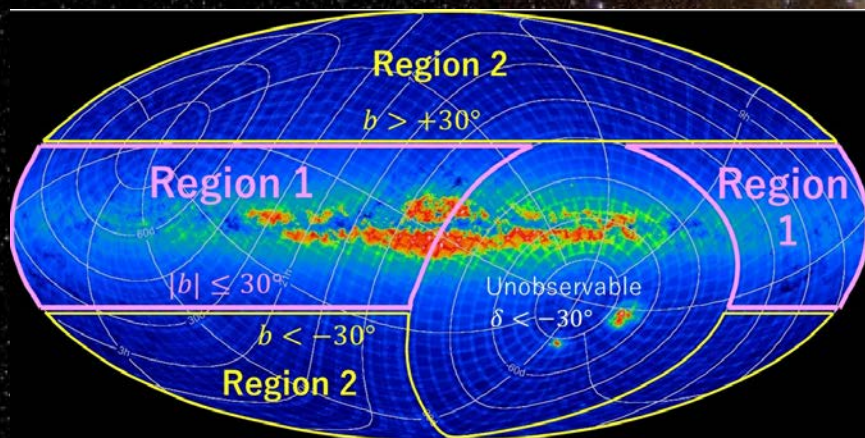
# Scientific Cases with SGMAP

- **Galactic Magnetic fields (disk, halo)**
  - Synergy with distance measurements by Gaia/JASMINE satellites
  - Supplementary for all-sky radio polarimetric survey and targeted NIR polarimetric survey
  - Process of magnetic field around circumstellar region/SNR, origin of large-scale magnetic field, etc.
- **Discovery new/new-type polarized objects (active stars, AGNs)**
- Statistical study of stellar atmosphere, activity, mass-loss
  - Synergy with SDSS spectral catalogue, etc.
- Interstellar dust
- Estimation of Fore-ground interstellar polarization (CMB, external galaxies)
- Estimation of more precise fore-ground interstellar extinction (calibrated by regional variation of  $R_v$ )

: : :

# Survey Plan

- With 40s × 4 exposures,  $\Delta p = 0.15\%$  @  $g' = 14.0\text{mag}$   
Seeing 1.8", Sky 18mag/arcsec<sup>2</sup>, total efficiency 20%
- 1 set of observation takes 4.6 minutes (with overhead), 100 sets in one night (8 hr)
- Survey speed: 46.4 deg<sup>2</sup>/day



Region 1': Higher priority for multi-wavelength study of Galactic structures including Radio loop/Fermi bubble region.

## Region 1: Galactic plane survey

- $|b| < 30^\circ, l = \sim 0 - 220^\circ$  (12000 deg<sup>2</sup>)
- 12000/46.4 → taking 0.71 yr
- Weather factor 0.33 → 2.1 yr

## Region 2: Mid-high latitude survey

- $|b| \geq 30^\circ$  available from Hiroshima (13200 deg<sup>2</sup>)
- Weather factor 0.33 → 2.4 yr

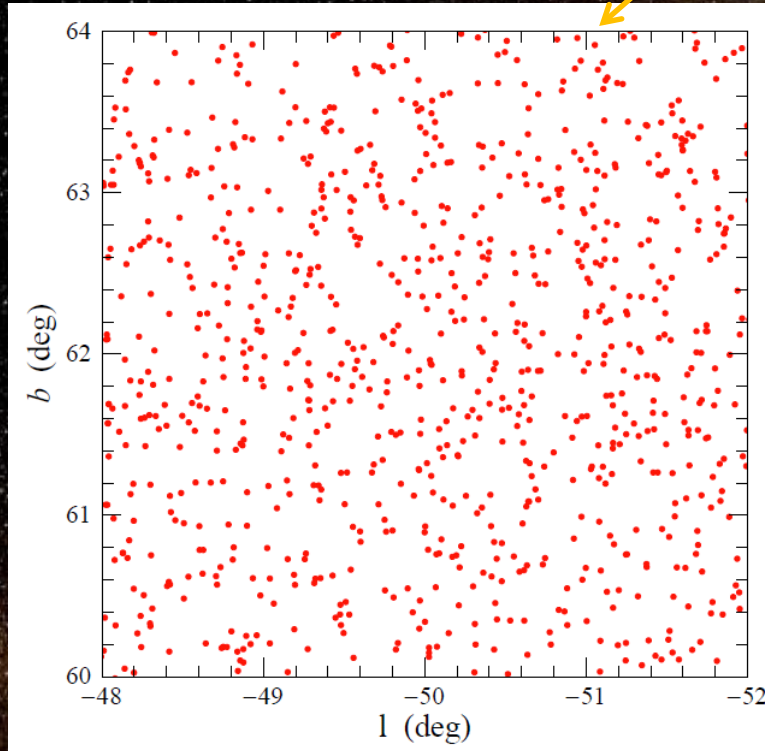
# Optimistic Schedule

| Fiscal Year   | Telesocpe/dome                         | Instrument                                           | Observation/data reduction                             |
|---------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 2017          | Final selection of candidate telescope | Design completion, fabrication of optical components |                                                        |
| 2018          | Refurbrishment, installation           | Detector unit<br>Lens unit<br>Assembling             |                                                        |
| 2019          |                                        | Mounting to telescope<br>Experimental observation    | Survey obs. starts<br>Region 1                         |
| 2020-<br>2021 |                                        |                                                      | Obs. Region 1                                          |
| 2022-<br>2023 |                                        |                                                      | Obs. Region 2<br>Data reduction                        |
| 2024-26       |                                        |                                                      | (Obs. Region 2)<br>Data reduction<br>Catalogue release |

# How improved with SGMAP?

High-latitude region

$4^\circ \times 4^\circ$



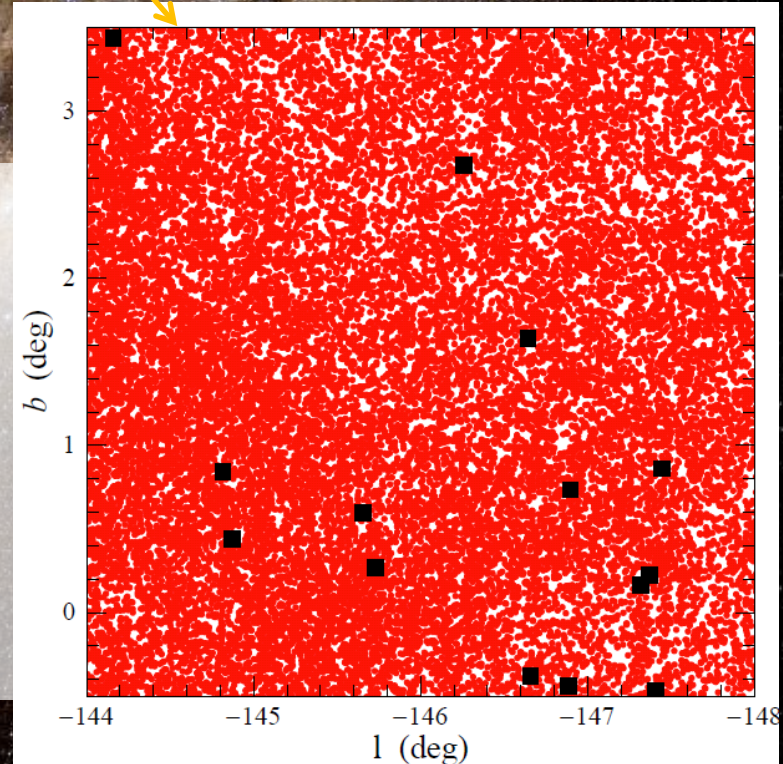
Red dots: Stars  
brighter than  
 $V=14$  (SGMAP  
will survey)

Black squares :  
Samples  
registered in  
existing catalog  
(Heiles 2000)

No star with Heiles (2000)

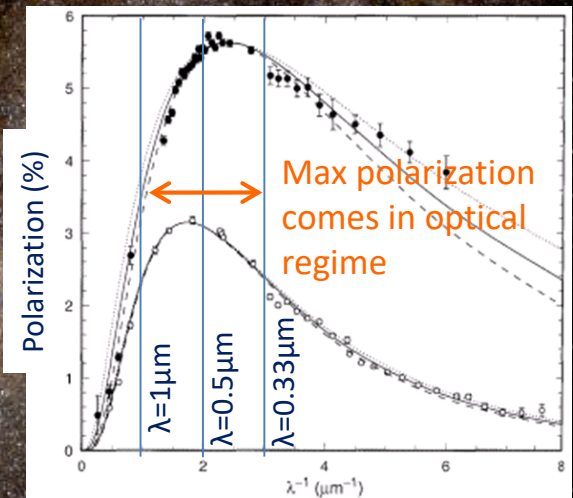
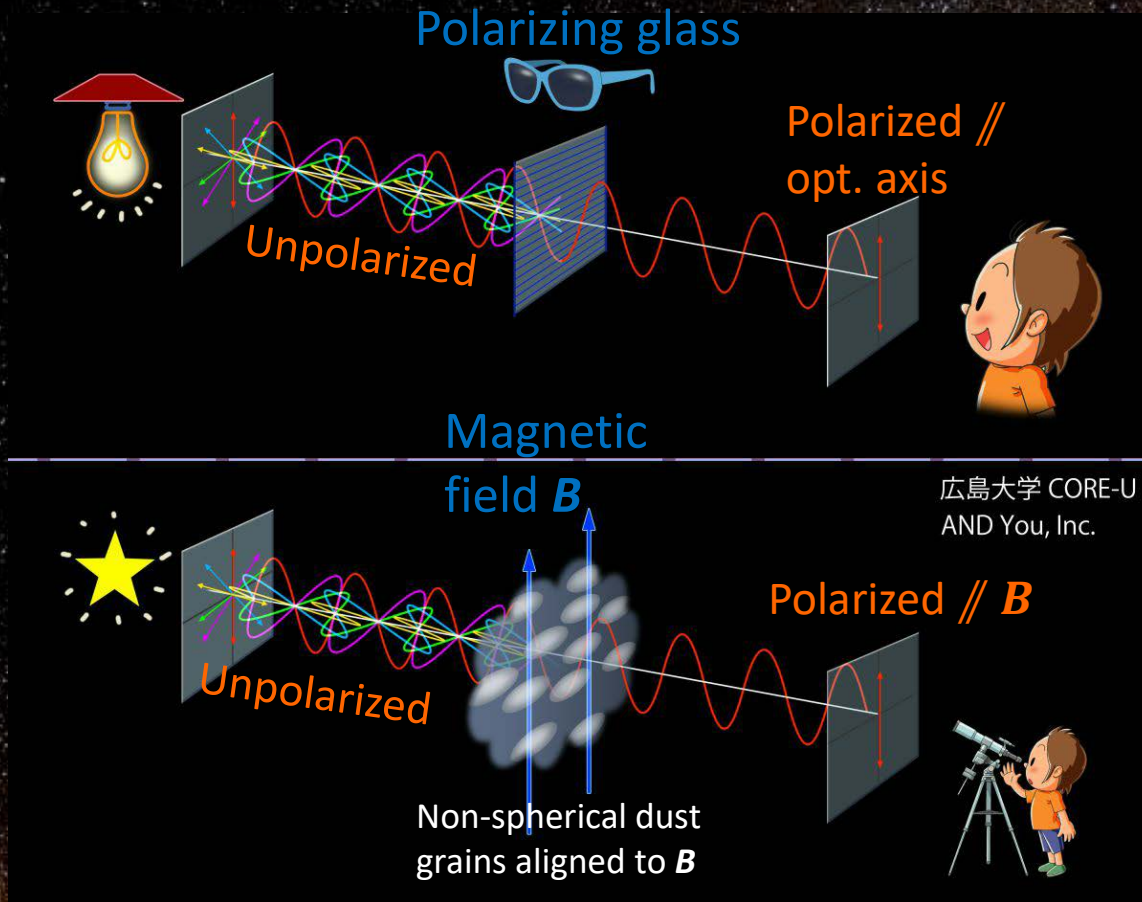
Galactic plane

$4^\circ \times 4^\circ$



14 stars in Heiles (2000)

# Science Case: Structure of Galactic Magnetic Field with Mapping Interstellar Polarization



Wavelength dependence of typical interstellar polarization (peak  $\lambda \propto$  radius of grain)

Direction of linear polarization correlates (integrated) magnetic field

Magnetic field has large-scale (coherent) component and random component (Heiles 1987, 1996)

Scale length of random component  $\sim 100\text{pc}$  (diffuse) or a few hundred pc (all) (Jones et al. 1992)

# Competition with other projects

- SOUTH POL (PI: A. M. Magalhaes@Univ de Sao Paulo)



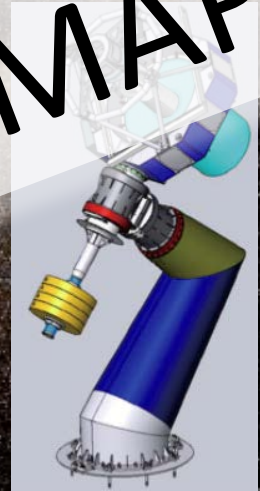
0.84m robot telescope (CTIO) + EEV 9k9kCCD

FoV 2.0 deg<sup>2</sup>

1 optical wide-band

Southern hemisphere, Dec 5 - 15

Telescope will be installed in late 2013-2014

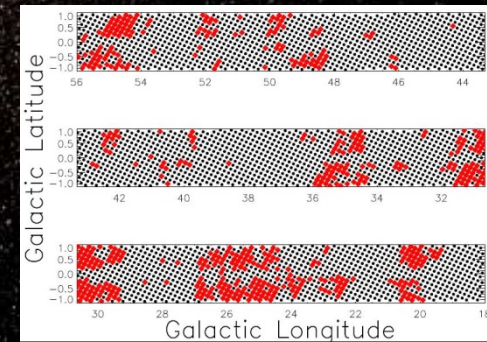


- GPIPE Galactic Plane Infrared Polarization Survey (PI: Dan Clemens@Boston Univ)

1.8m telescope (CTIO) + 10' FoV 1k1k InSb array

1 NIR(H) band

Galactic plane survey ( $|b| \leq 1^\circ$ )



GPIPE DR1 ( $l=18-56^\circ$   $-1 < b < 1^\circ$ )

# SGMAPによるタイムドメイン天文学

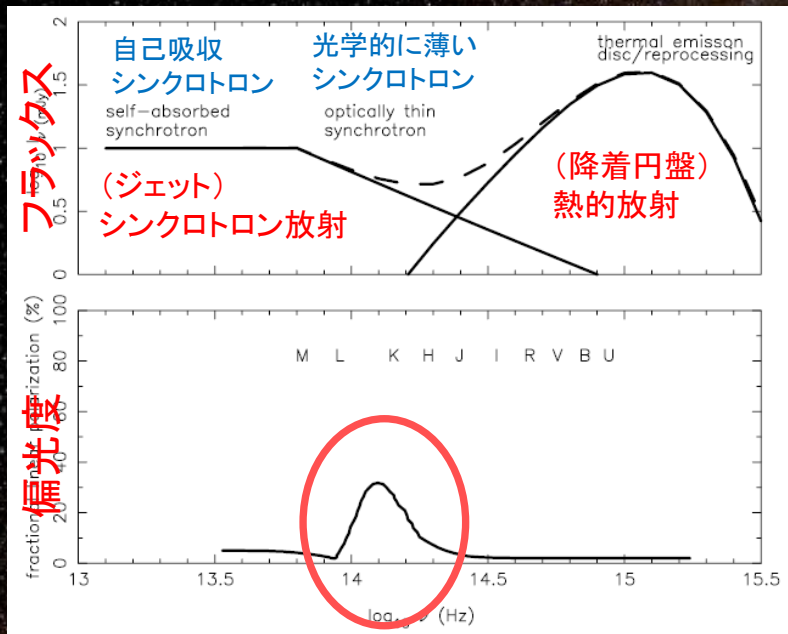
可視域の連続光が偏光を示す時間変動天体

- 太陽系始原（彗星、小惑星 ~day）
- 質量放出星（AGB, LBV, ~month-year）
- 爆発型～疑似光球（新星、超新星、キロノバ, ~day-month）
- 爆発型～ジェット・降着円盤（X線連星、マグネター、GRB残光、AGN, <sec-week）

# X線連星のジェットによるシンクロトン輻射成分

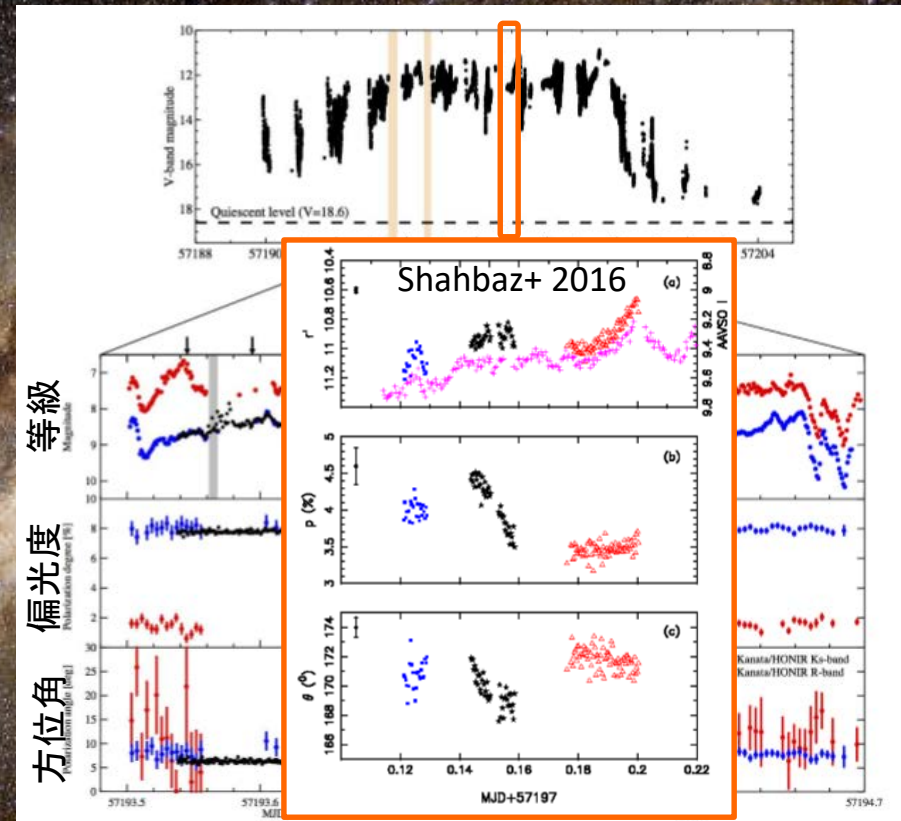
ブラックホール連星V404 Cyg爆発時の偏光  
(かなた HONIR、ピリカ; Tanaka+ 2016)

X線連星の多波長SED／偏光の模式図  
(ジェット成分が強いフェーズの予想)



Shahbaz+ (2008)

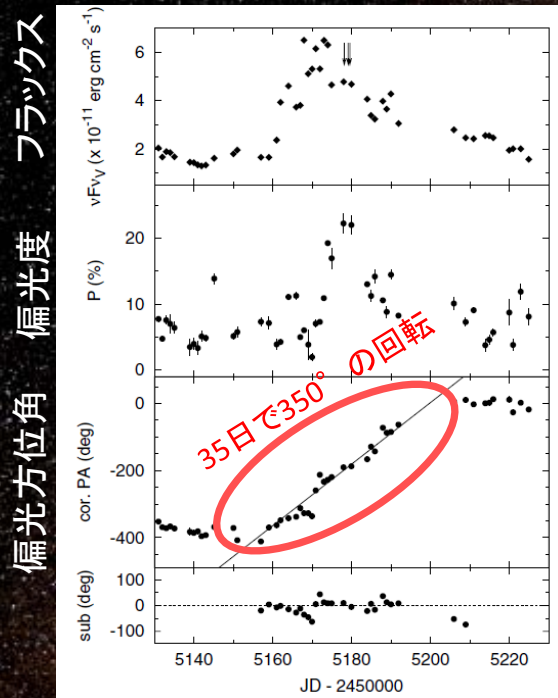
Kバンド付近で数十%もの大きな偏光  
が期待される(かも)



しばらくしてから可視シンクロトンフ  
レア活動性が現れる場合もある

# 活動銀河核ジェットによるシンクロトン輻射成分

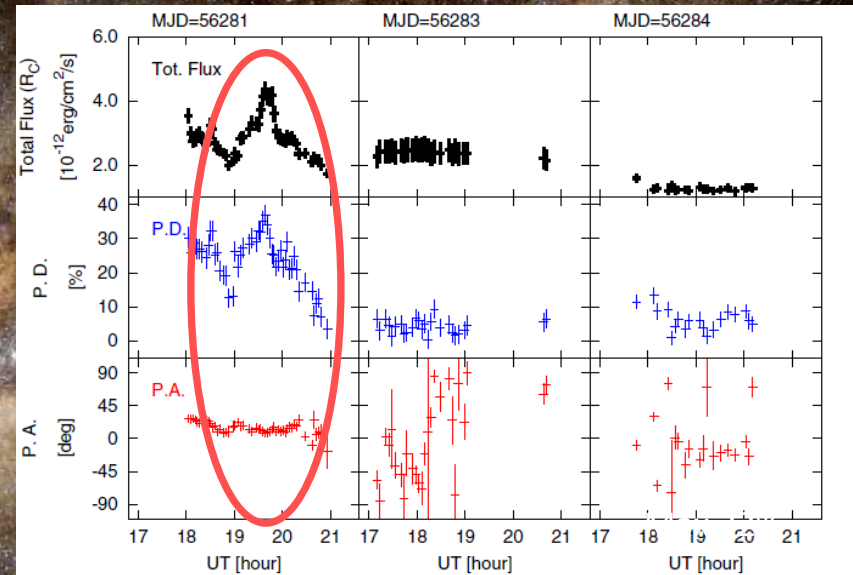
ブレーザー 3C454.3の2009年アウトバースト  
(広島大かなた1.5m/TRISPEC)



変化にタイムラグがある Sasada+ (2012)

狭輝線Seyfert1銀河PMN J0948+0022の  
Intra-night variability (かなた/HOWPol)

偏光方位角 偏光度 フラックス



Itoh+ (2014)

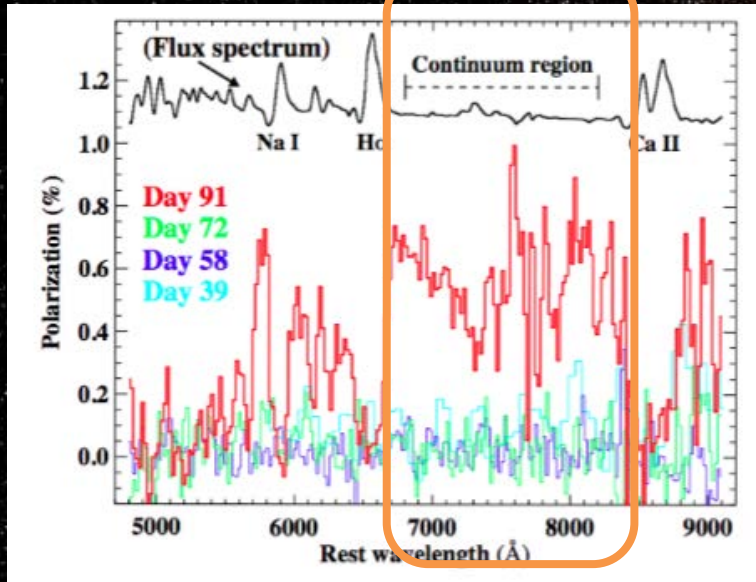
ブレーザーと同様の短時間スケールの  
激しい偏光変動

×線・ガンマ線・電波と連携した突発現象のモニター観測

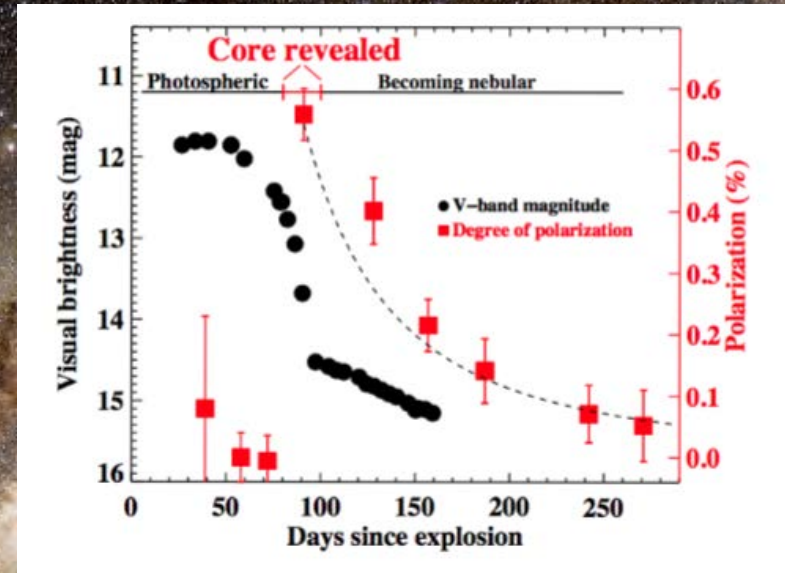
# 重力崩壊型 (IIP) の偏光と爆発機構

SN IIP 2004dj ( $\sim 3\text{Mpc}$ ) Leonard+, Nature (2006) 光度・連続光偏光の時間変化

連続光スペクトル



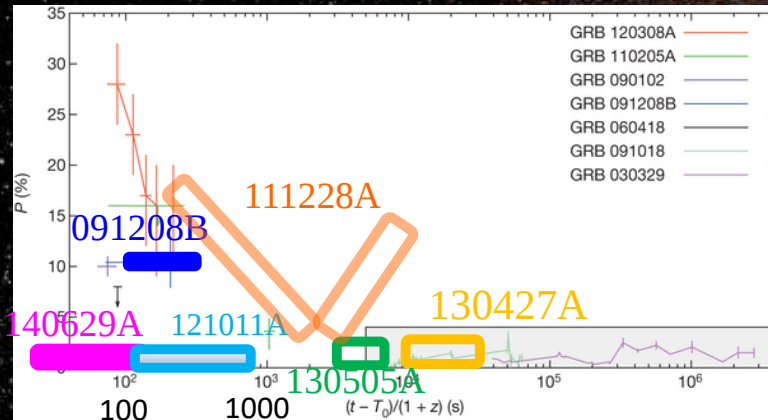
連続光領域



- 水素外層が光学的に薄くなり(～プラトーが終了し)、より内側の領域の大気分布の非球対称性が見えた。
- SDSS  $i'$  フィルターは連続光観測にちょうど良い

# ガンマ線バースト残光の輻射機構・磁場起源

これまでの早期残光の直線偏光の測定  
(Liverpool2m/RINGO、かなた/HOWPolなど)

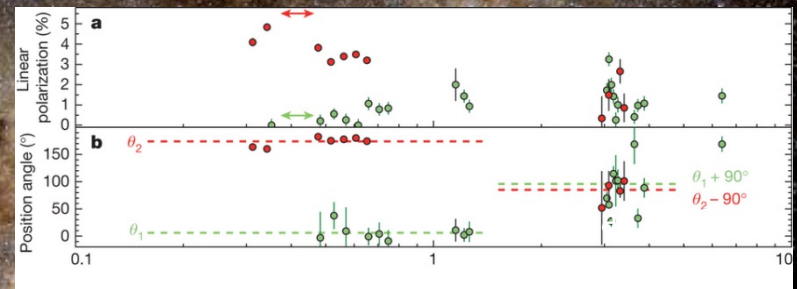


GRBからの経過時間(秒)

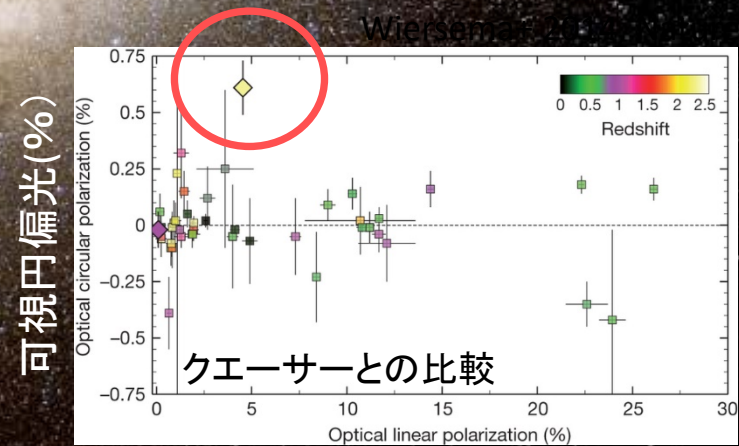
Mundell+, Nature (2013)

最早期観測 ( $<10^3$ s) および円偏光観測は依然稀少 (最近も2本のNature論文あり)  
偏光観測は残光の輻射メカニズム、磁場やジェットの構造により迫れると期待されているものの、進み方は遅い

GRB 121024Aでの爆発後数時間以降の  
可視残光に関する直線・円偏光測定  
(VLT/FORS)



(経過時間  $1 = 3.7 \times 10^4$  sec)



可視直線偏光(%)

可視円偏光(%)

## SGMAPからTomoeサーベイへの希望 (≠かなたからの希望)

- 突発天体情報を開示してもらえば十分
  - X線連星・AGN等のコンパクト天体によるシンクロトロン放射起源のイベントなら特にうれしい
  - 同じ晩のうちならなお良いが、必須ではない
- サイエンスを遂行するにあたって必要な情報・データ
  - 位置と可視バンドの等級(逐次更新)
  - ウェブorメールでの情報開示(SGMAPの自動観測に対応できるような形式で)
  - 銀緯や天の川のE(B-V)値、既存カタログでの等級などの情報も付加してもらえると嬉しい。

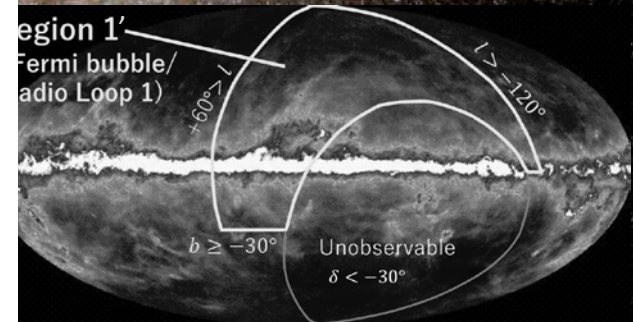
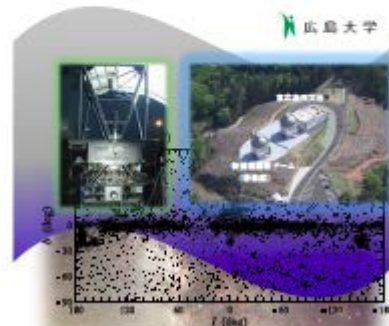
# SGMAP: Summary



1-mクラスの地上望遠鏡と、可視2バンド ( $g'$ ,  $i'$ ) 広視野偏光器  
北天を中心とした数百万個の恒星 ( $< 14 \text{ mag}$ ,  $\delta > -20^\circ$ )を観測  
世界初の一様な北天

早くて2019年から

Development phase  
~2.5 yr  
Observation period  
~4.5 yr  
Data analyses phase  
~3 yr



90%の観測は偏光サ  
4.5年でカバー;  $\Delta$   
残り10%は、特定

0sec露出、全天の60%を  
発天体のモニター)

外部寄稿者  
赤堀 卓也さん、西山 正吾さん、松村 雅文さん、  
新沼 浩太郎さん、郷田 直輝さん、羽澄 昌史さん

予算化は未定(各種競争的資金へ応募中)