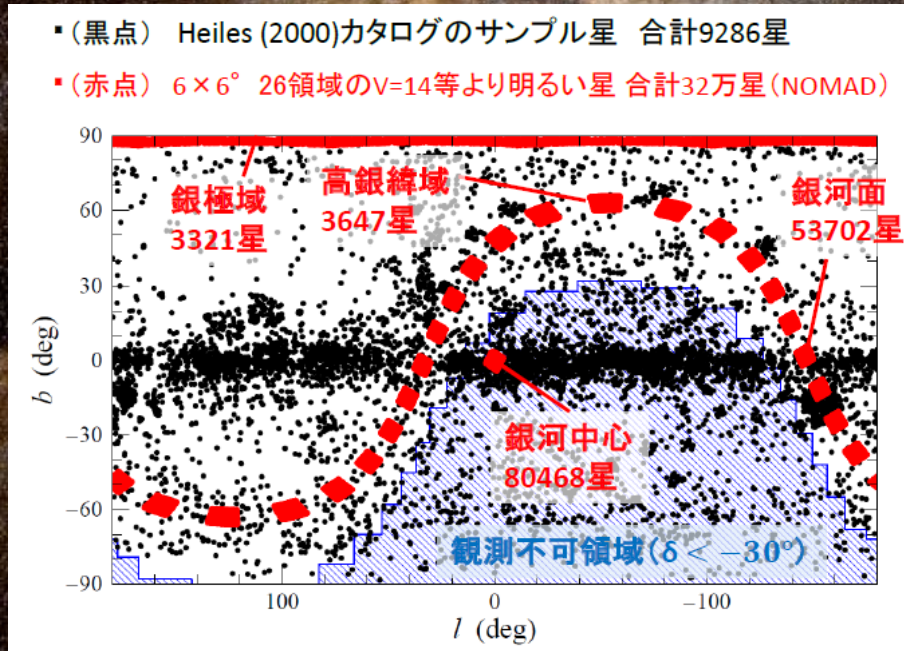


北天可視偏光サーベイ計画 SGMAPの進捗

広島大学宇宙科学センター 川端弘治
および SGMAPグループ



Construction Plan (optimistically 2015-)

MAGNUM 2m telescope
(Univ. of Tokyo)



Low cost, quick construction,
and quick start of observation

←
Dismantled and
back to Japan
In 2009



MAGNUM was operated atop
Haleakala from 2000 to 2008

Move to
our observatory

- ✓ Mount and Control System replaced
- ✓ Secondary mirror refabricated
- ✓ Polarimeter will be attached at the Cassegrain focus

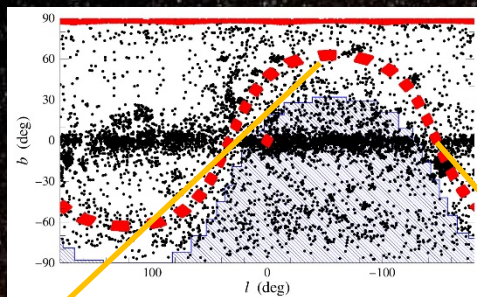


2m望遠鏡＋広視野光学系＋偏光解析撮像系・・・専用化
～14等より明るい恒星 数百万個の可視3バンド偏光サーベイ
初の全(半)天偏光サーベイ → カタログ化

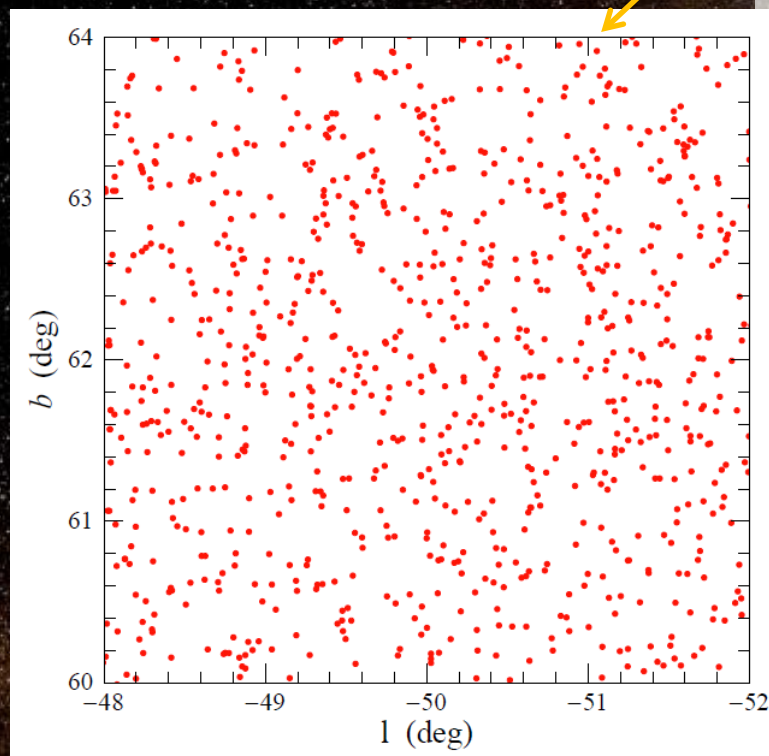
- 天の川銀河の詳細な三次元磁場構造(円盘面、ハロー)
 - Gaia, JASMINE衛星による恒星の高精度距離計測との融合
 - 低周波の全天偏波マップやALMAの超精細偏光マッピングとも相補的
 - 星周域・SNRにおける磁場の圧縮・乱れ、外縁部の磁場、磁場の起源...
- 新しい偏光天体の発見(連星系、AGN等)
- 恒星の光球形状や活動性・質量放出の統計的研究
 - SDSSのスペクトルカタログなどとの相乗効果
- 星間ダストの統計的性質
- 前景 星間偏光の高精度見積もり(CMB、系外銀河・超新星)ほか
- 前景 星間吸収の高精度見積もり(R_V の位置依存性)

⋮

SGMAPでどれだけサンプルが増えるか



高銀緯領域
 $4^\circ \times 4^\circ$

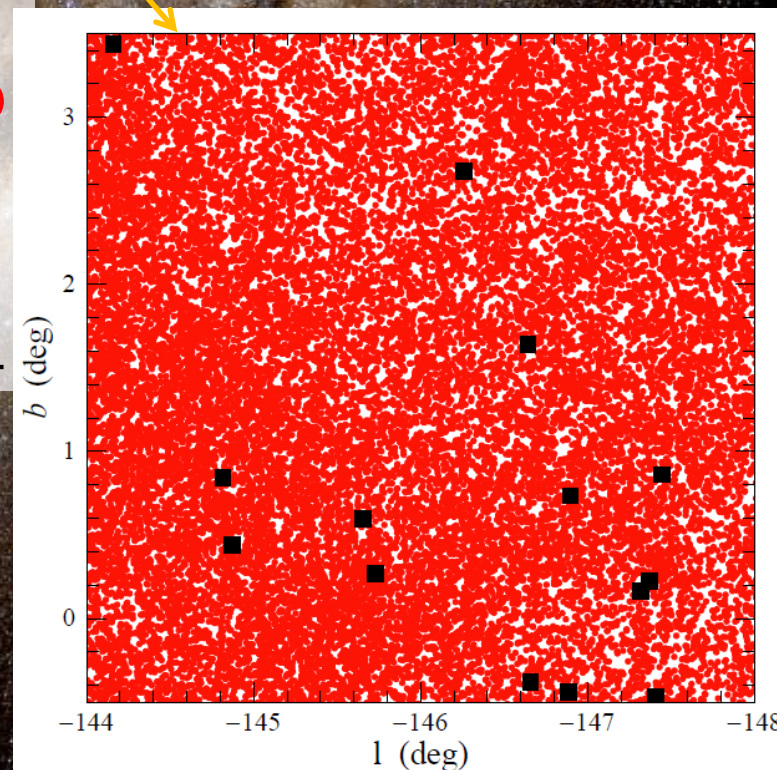


赤丸: V=14等
より明るい星
(SGMAPで観測)
 $10^\circ \times 10^\circ$ 26領域

黒四角: 既存の
カタログにエン
トリされている星

既存カタログの星はゼロ

銀河面領域
 $4^\circ \times 4^\circ$



既存カタログの星は14個のみ

Survey Plan

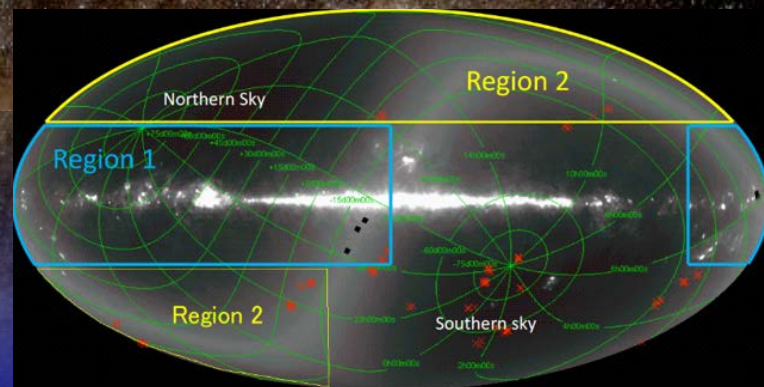
- With 40s $\times$ 4 exposures, $\Delta p = 0.2\%$ @ $V = 14.0\text{mag}$ 、 $\Delta p = 0.1\%$ @ $V = 13.0\text{mag}$
Seeing 1.8", Sky 18mag/arcsec², total efficiency 20%
- 1 set of observation takes 4.6 minutes (with overhead), 100 sets in one night
- Survey speed: 46.4 deg²/day

1. 銀河面領域 (Region 1)

- $|b| < 30^\circ, l = 0 - 220^\circ$ (12000 deg²)
- $12000/46.4 \rightarrow$ taking 0.71 yr
- Weather factor 0.333 $\rightarrow$ 2.14 yr

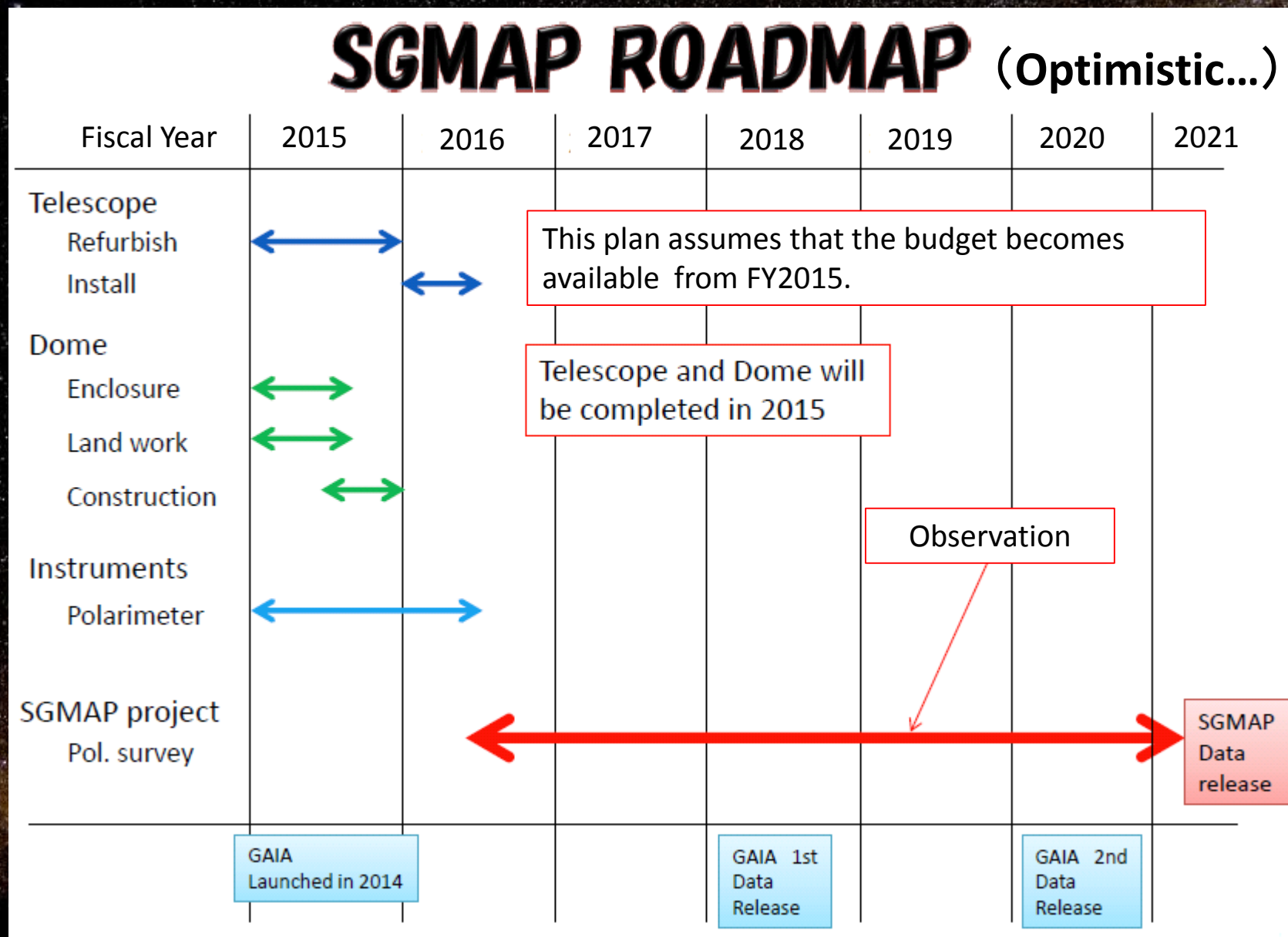
2. 中高銀緯領域 (Region 2)

- $b = +30^\circ - +90^\circ$ at any l and $b = -90^\circ - -30^\circ$ at $+60^\circ \leq l \leq +160^\circ$ (13200 deg²)
- Weather factor 0.333 $\rightarrow$ 2.36 yr



合計観測期間 ~4.5 年

昨年に続き、今年も広島大学から文科省へ概算要求書提出(済み)



競合する海外の計画

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



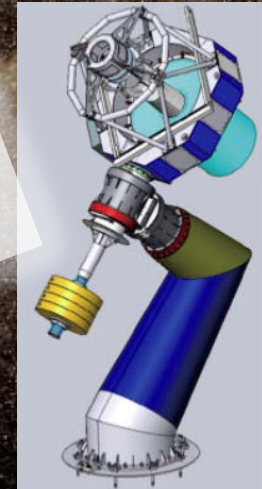
広視野0.84mロボット望遠鏡 (CTIO) + EEV 9k9kCCD

視野 2.0deg^2 を一度にカバー

可視1バンド(広帯域)のみの観測

南天 赤緯 $\delta < -15^\circ$ をサーベイ

2013年に望遠鏡設置予定

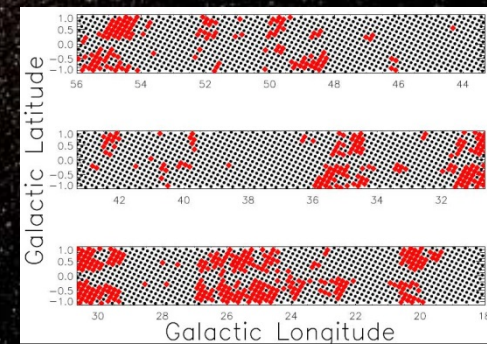


- GIPS: Galactic Plane Infrared Polarization Survey (PI: Dan Clemens@Boston Univ)

1.8m望遠鏡 (CTIO) + 10分角視野 1k1k InSb array

近赤Hバンドのみ (より遠くまで見通す)

銀河面のみのサーベイ ($|b| \leq 1^\circ$)



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

なぜ可視偏光サーベイは進んでいないのか

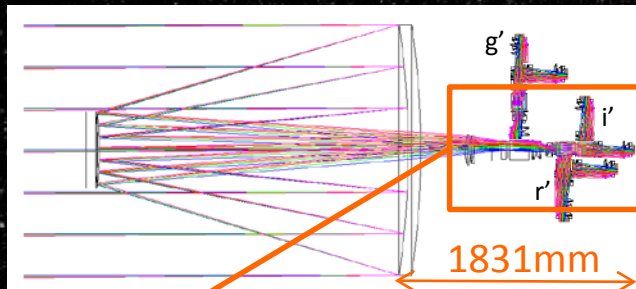
広視野 → F比小・入射角大・ビーム径大

高精度偏光測定 ($\sigma_p < \sim 0.1\%$)

※最低3方位での直線偏光成分の光量測定が必要

- 地球大気の透過率変動の補償
- 高速の測定 ($> \sim 10\text{Hz}$)、ないしは直交偏光成分の同時測定
- 複屈折性素子(光学結晶)が必要だが、許容角が限られ、且つ大型結晶材の手配や加工の問題があり、困難

光学系設計



主鏡有効径: $D = 2.02\text{m}$

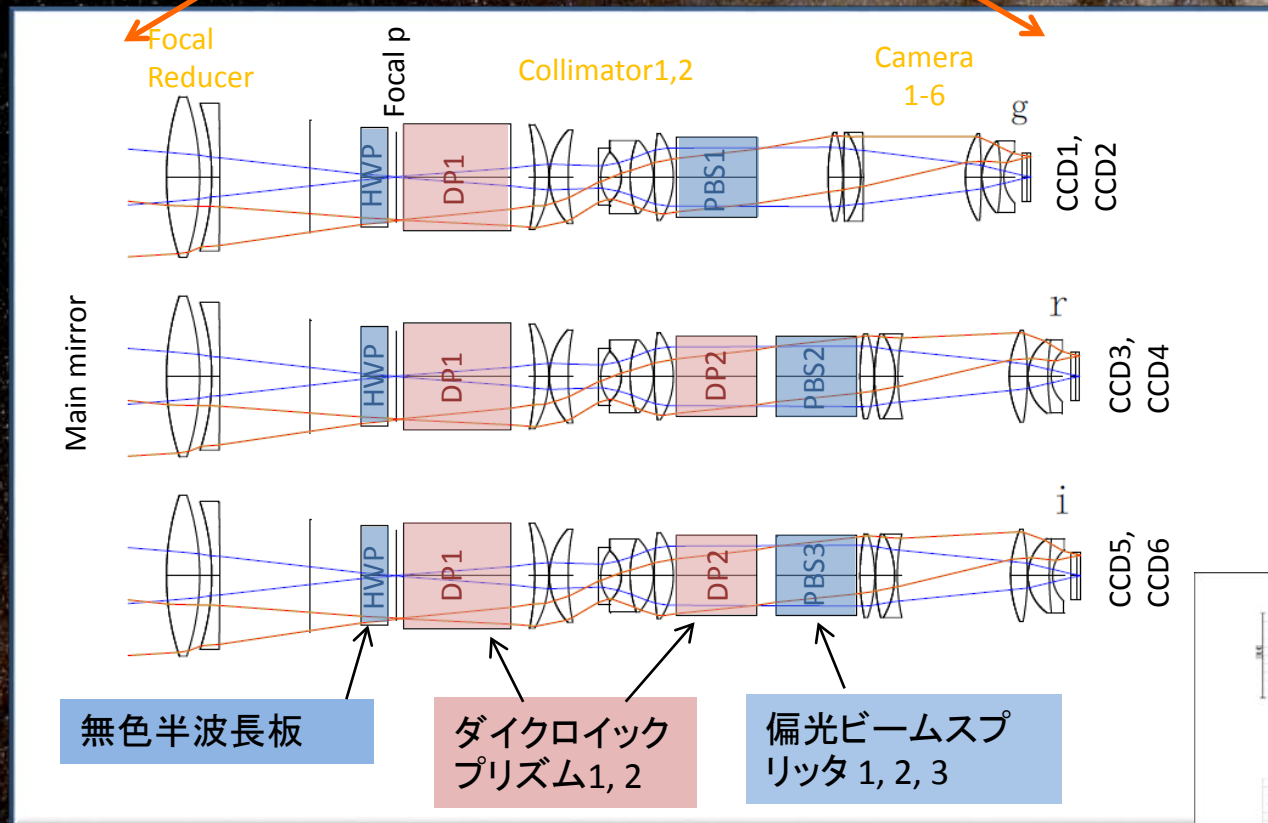
新副鏡径: $D = 0.61\text{m}$, Conic const. = -3.4

合成F値 (レデューサまで) 6.0

視野 直径 $50'\varphi$

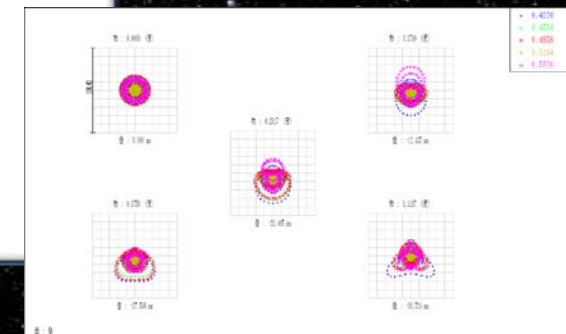
最終F値 2.1

検出器 4k4k CCD 6ヶ; スケール $0.73''/\text{pixel}$ ($15\mu\text{m}$)

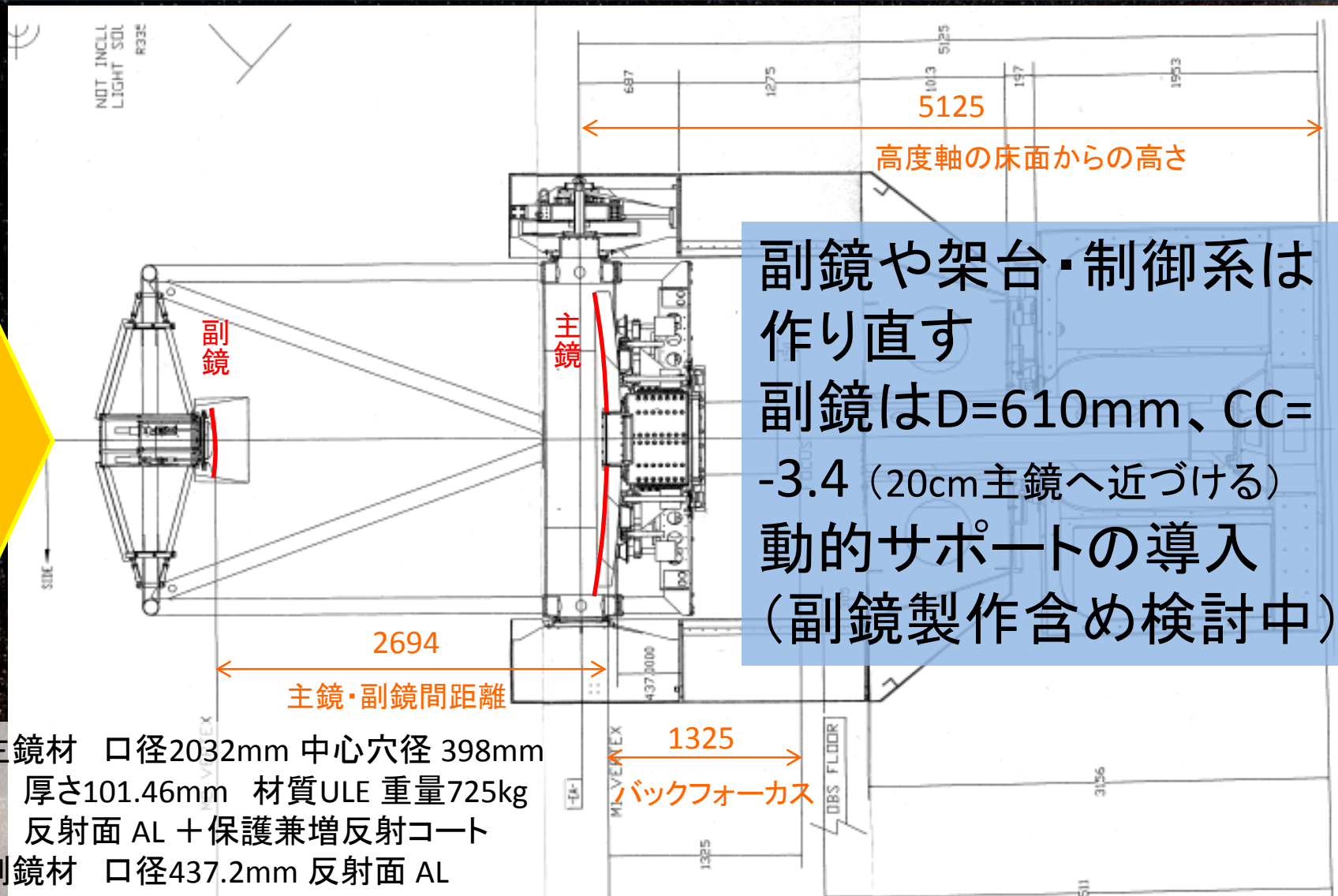


半波長板、ダイクロ、PBSのいずれへ入射する光線も、全視野にわたり 10° 以内に抑えられている。(斜め入射による悪影響を軽減させるため)

80% encircled energy 半径は $50'$ 視野、全バンドに亘り $<0.66''$



現MAGNUM望遠鏡(東京大所有)



副鏡や架台・制御系は
作り直す
副鏡は $D=610\text{mm}$ 、 $CC=-3.4$ (20cm主鏡へ近づける)
動的サポートの導入
(副鏡製作含め検討中)

主鏡材 口径2032mm 中心穴径 398mm
厚さ101.46mm 材質ULE 重量725kg
反射面 AL + 保護兼増反射コート
副鏡材 口径437.2mm 反射面 AL

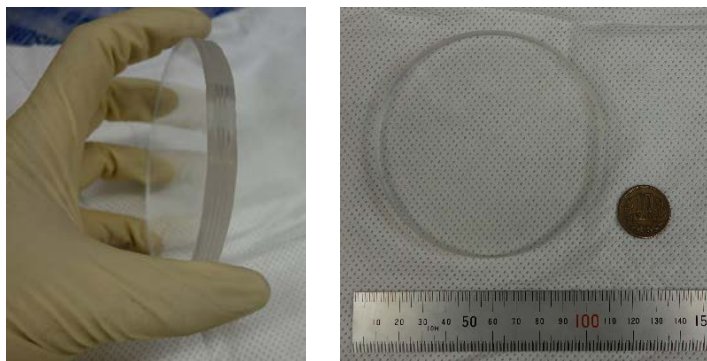
視野

直径 33.3 arcmin (Corrector要)

大型広帯域半波長板 1/2

要求性能

- 有効径150mm ϕ 許容入射角 $\pm 7^\circ$
- 分割タイプは不可、**一体もの**（焦点面に置いたため）
- λ 380-900nm において位相差 $180 \pm 3^\circ$
- 透過率 80%以上 波面精度 $\lambda/2$ 以下
- モノリシック（収束光中に置いたため）



広島大1.5m望遠鏡 可視赤外線同時カメラHONIR用
Pancharatnum型 半波長板 直径~10cm λ 450-2300nm
水晶+MgF2 計6層 モノリシック（光学技研社製）

これだけ大きい有効径で、果たして実現可能か？

大型広帯域半波長板 2/2

- ・モノリシックでの大版化に伴い強度保持のため、2倍の12層に
- ・明るい広視野光学系のため、入射角依存性補償板が必須

	水晶＋MgF2	水晶＋サファイア
仕様達成のメド(計算値)	○	◎
大型結晶の手配のメド	△	○
温度公差	△	○
補償板を含めた厚み	△(～45mm)	○(20-30mm)

水晶＋サファイアが第一候補

大型キューブ型ダイクロイックミラー #1, 2

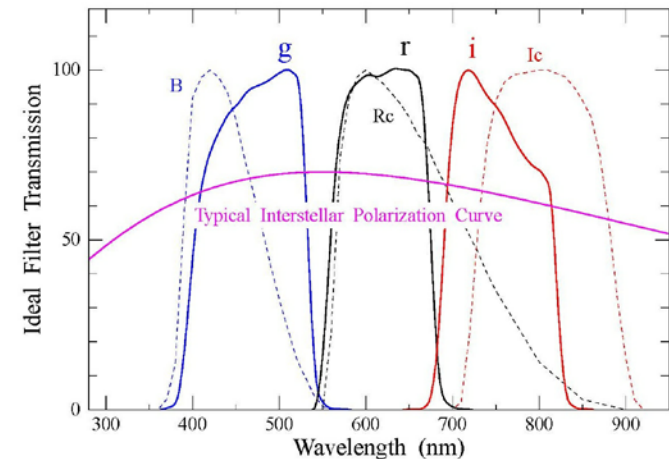
要求性能

- 分離波長 #1: 545nm #2: 685nm
- 有効径160, 120mmφ キューブタイプ(#1は拡散光中)
- 45° 入射で許容入射角 $\pm 10^\circ$

→ (典型的に) #1で $\pm 10\text{nm}$ 、#2で $\pm 15\text{nm}$ ほど
分離波長がシフトしてしまう。

→ 視野位置によりバンドの有効
波長域が変わってしまう

→ これを避けるには、バンドフィル
ターで波長帯を狭く絞るか、
あるいはバンドをずらすか...



大型偏光ビームスプリッタ #1-3

要求性能

- S偏光とp偏光の分離角 90°
- 有効径 $120\text{mm}\phi$ 許容入射角 $\pm 10^\circ$
- 消光比 $T_{\max}/T_{\min} > 5$ (できれば >50)

→ 複屈折結晶(گران・プリズム)

~~高複屈折性結晶(方解石、ルチル等)で均質な大型の材料は入手困難~~

誘電体多層膜プリズム

各バ 現状でも偏光能率80%を許容すれば高
い消 誘電体多層膜プリズムの解はあるが...

ワイヤグリッド・キューブ

使い 小サイズのを試験作成して評価する



マルチコートによるキューブ型
偏光ビームスプリッタ $<50\text{mm}\square$
TEXHSPEC(Edmund Optics)
420-680nm/700-1100nm
500:1の消光比 許容入射角??



ワイヤグリッドを用いたシート型
偏光ビームスプリッタ $<25\text{mm}\square$
MicroWire™(Edmund Optics)
 $>85\%$ eff. @ 450-700nm
許容入射角が広い

まとめ：光学素子設計の完成度

Item	Design Completeness
New Secondary Mirror D=437.2(CC=-2.35) → 610mm ϕ (-3.40)	OK (Need feasibility study)
Main Lens Train	OK (Need special alignment/Abbe tolerance)
Super-achromatic HWP D=150mm ϕ , Pancharatnum-type with oblique-ray compensator	OK
Dichroic Prism 1, 2 160/120mm cube type; multi-coating	Possibly OK, but unstable effic. at band edges
Beam Splitter 1, 2, 3 120mm cube type; multi-coating (or wire-grid)	Possibly OK, but low effic.; further study required

- ダイクロと偏光ビームスプリッターの検討が進行中
- 間もなくSGMAP計画検討書を刊行
- 2回目のワークショップを今年度か来年度開きたい