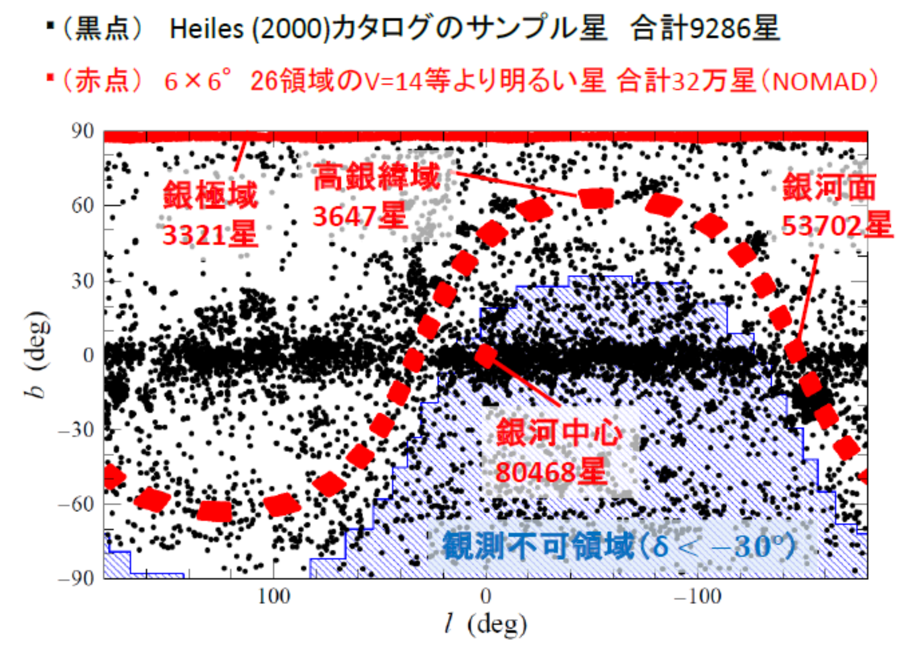
北天可視偏光サーベイ計画 SGMAPの進捗

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)

Dismantled and back to Japan In 2009

MAGNUM was operated atop Haleakara from 2000 to 2008

Move to our observatory

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

Low cost, quick construction, and quick start of observation

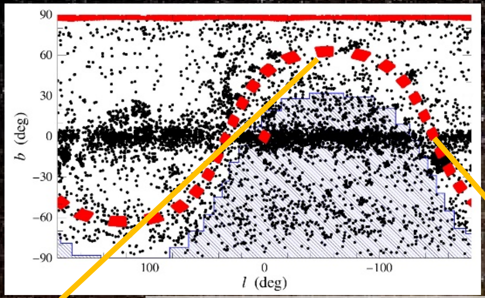
SGMAP Search for the Galactic Magnetic-field by All-sky Polarimetric Survey

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

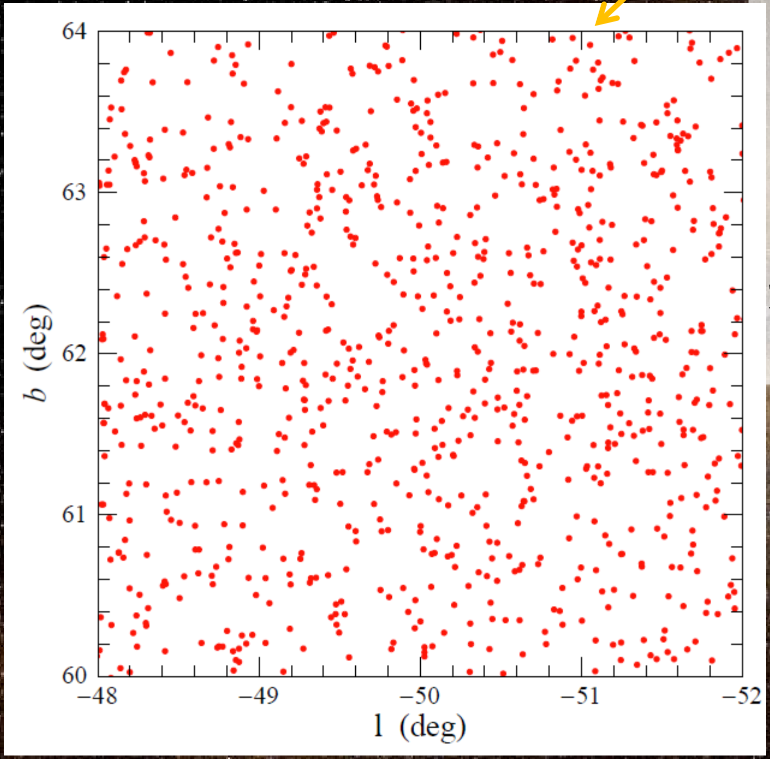
- 天の川銀河の詳細な三次元磁場構造（円盤面、ハロー）
  - Gaia, JASMINE衛星による恒星の高精度距離計測との融合
  - 低周波の全天偏波マップやALMAの超精細偏光マッピングとも相補的
  - 星周域・SNRにおける磁場の圧縮・乱れ、外縁部の磁場、磁場の起源...
- 新しい偏光天体の発見（連星系、AGN等）
- 恒星の光球形状や活動性・質量放出の統計的研究
  - SDSSのスペクトルカタログなどとの相乗効果
- 星間ダストの統計的性質
- 前景 星間偏光の高精度見積もり（CMB、系外銀河・超新星）ほか）
- 前景 星間吸収の高精度見積もり（R_Vの位置依存性）

:　　　:　　　:

SGMAPでどれだけサンプルが増えるか



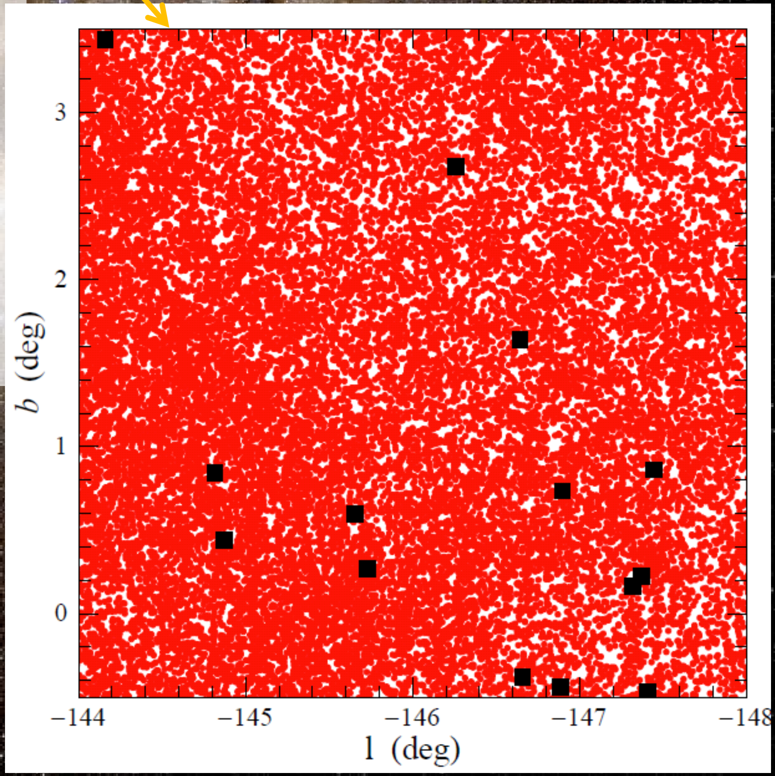
高銀緯領域
4°　×4°



赤丸:V=14等より明るい星（SGMAPで観測）10×10゜ 26領域

黒四角:既存のカタログにエントリされている星

銀河面領域
4°　×4°

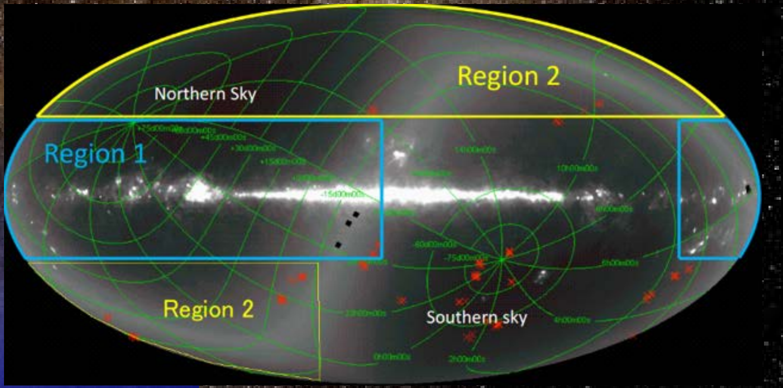


既存カタログの星はゼロ

既存カタログの星は14個のみ

Survey Plan

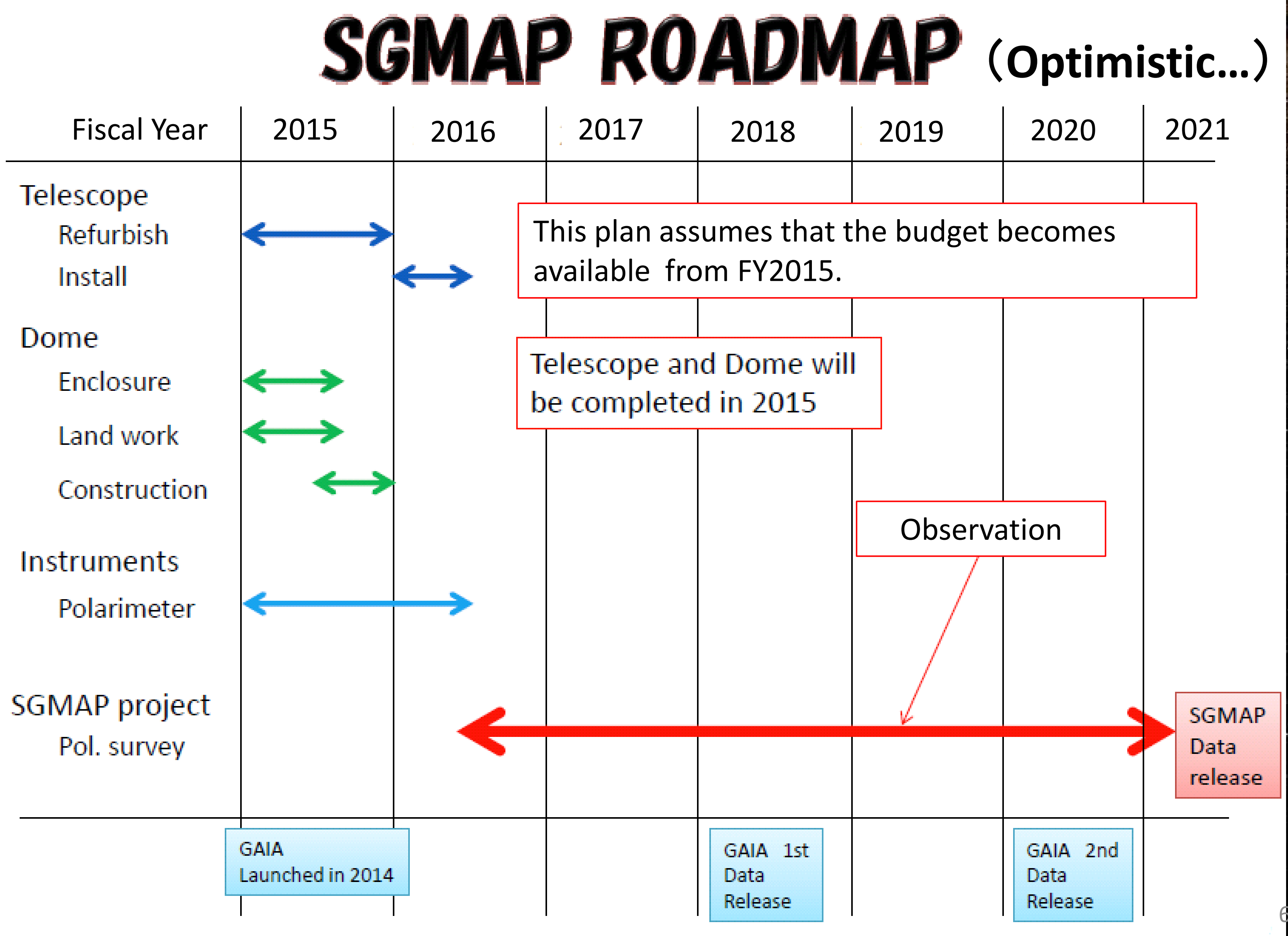
- With 40s×4 exposures, ⊿p=0.2% @V=14.0mag、⊿p=0.1% @V=13.0mag
  Seeing 1.8”, Sky 18mag/arcsec^2, total efficiency 20%
- 1 set of observation takes 4.6 minutes (with overhead), 100 sets in one night
- Survey speed: 46.4 deg^2/day



1. 銀河面領域（Region 1）
   - $|b| < 30°, l = 0 - 220°$（12000 deg^2）
   - 12000/46.4 → taking 0.71 yr
   - Weather factor 0.333 → 2.14 yr
2. 中高銀緯領域（Region 2）
   - $b = +30° - +90°\ at\ any\ l$ and $b = -90° - -30°\ at + 60° \leq\ l \leq +160°$（13200 deg^2)
   - Weather factor 0.333 → 2.36 yr

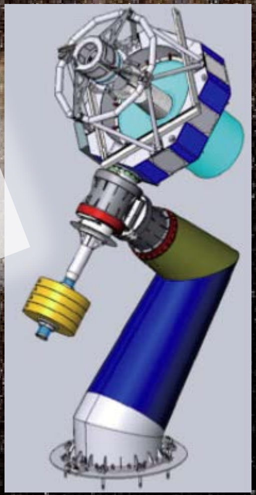
合計観測期間 ~4.5 年

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)



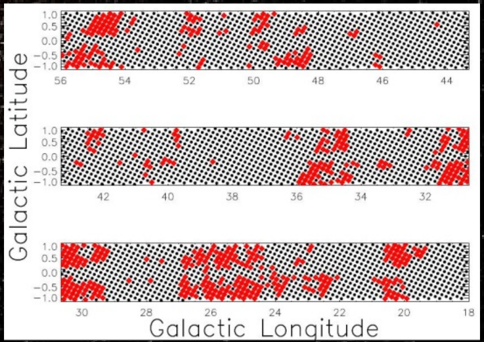
競合する海外の計画

- 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 2.0deg² 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δ ＜ -15° をサーベイ
  - 2013年に望遠鏡設置予定



SGMAPと相補的

- GPIPS: 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（|銀緯 b|≦1°）



GPIPS DR1 (*l*=18-56° -1<*b*<1°)

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（$\sigma_p < \sim 0.1\%$）

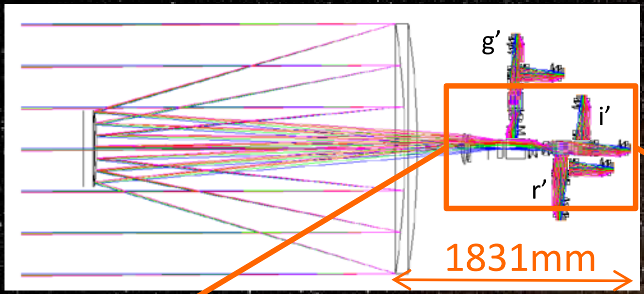
※最低3方位での直線偏光成分の光量測定が必要

→　地球大気の透過率変動の補償

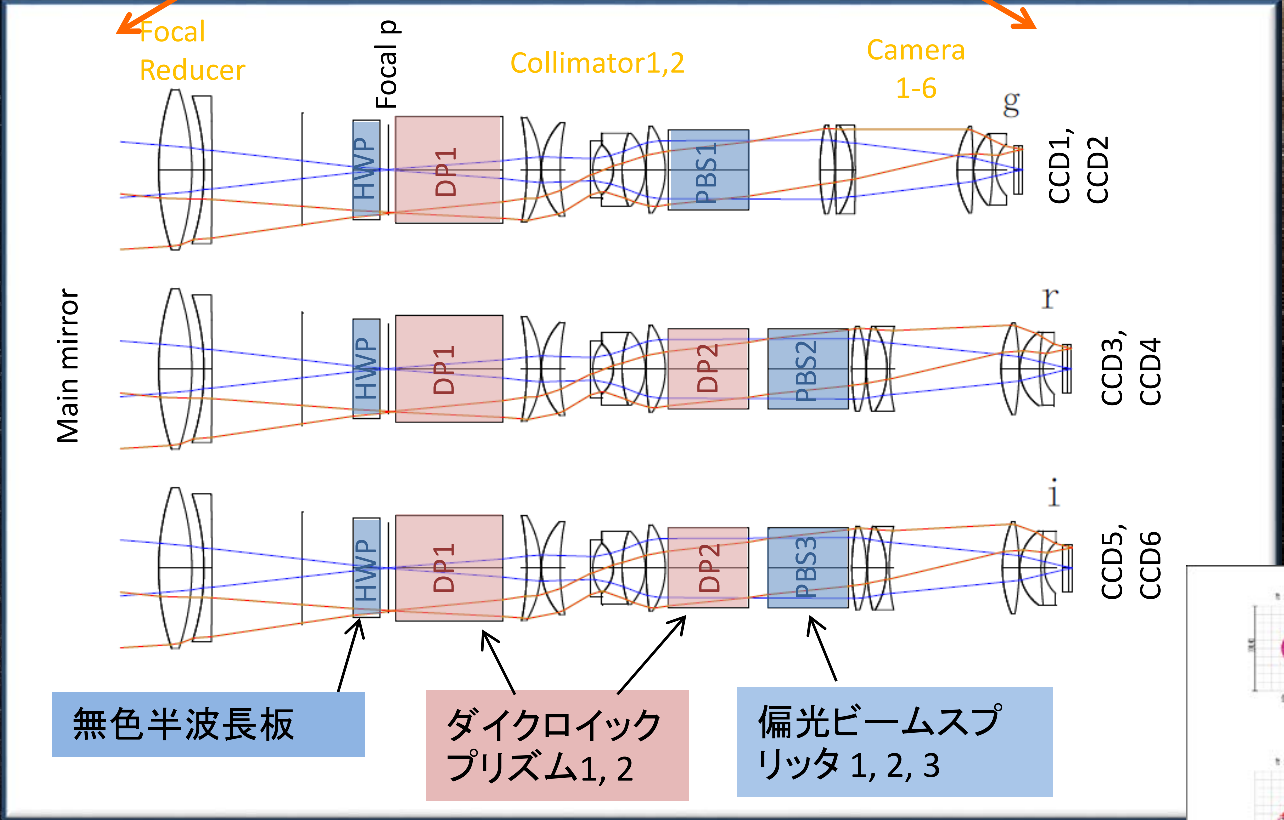
→　高速の測定（>~10Hz）、ないしは
直交偏光成分の同時測定

→　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

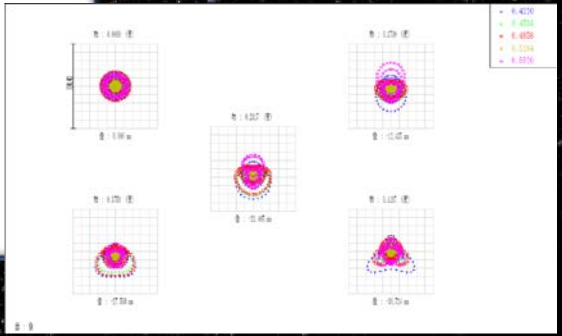


主鏡有効径: $D = 2.02\text{m}$
新副鏡径: $D = 0.61\text{m}$, Conic const.$= -3.4$
合成F値（レデューサまで）6.0
視野　直径 50’φ
最終F値 2.1
検出器 4k4k CCD 6ケ; スケール0.73”/pixel (15μm)

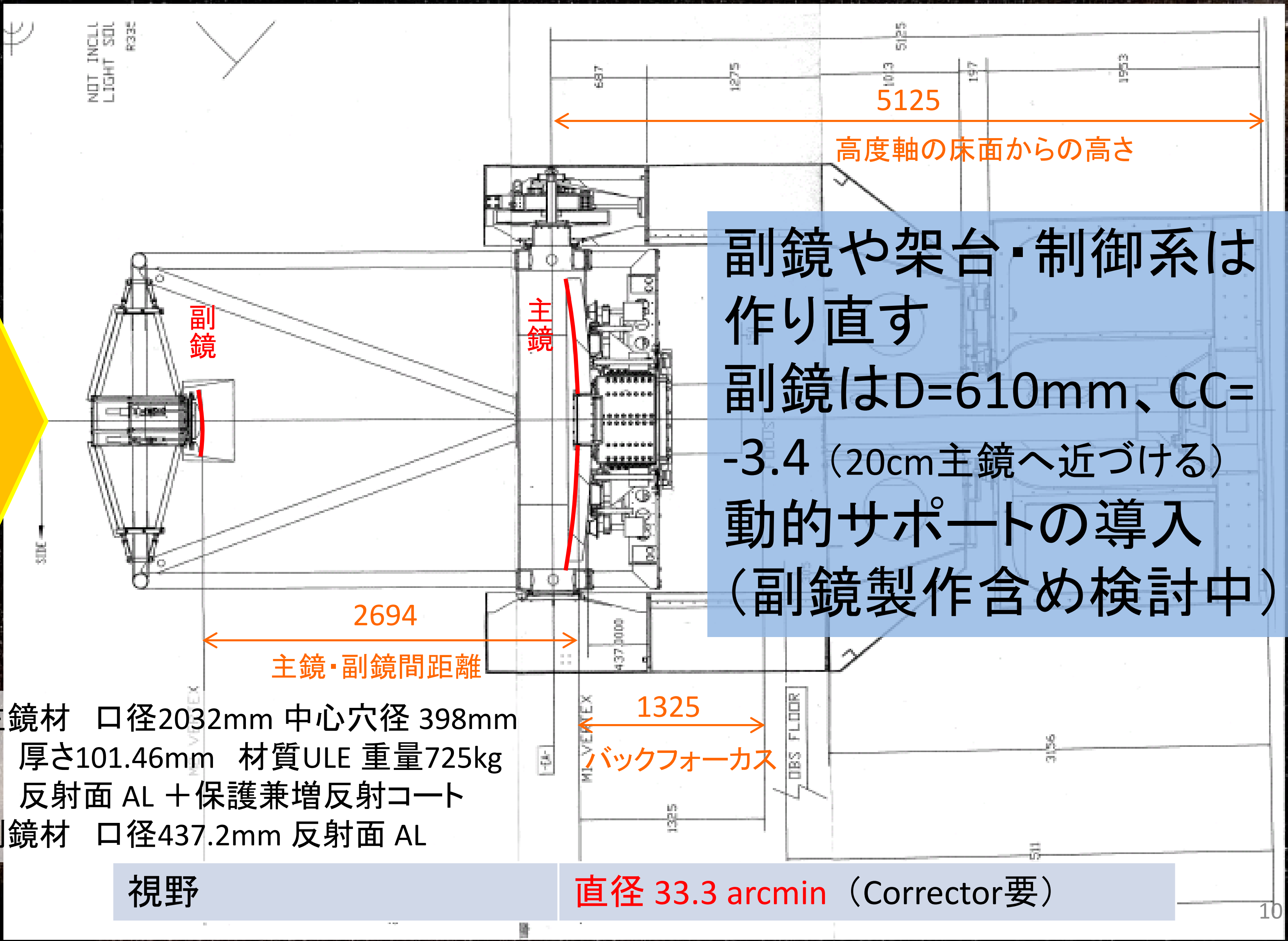


半波長板、ダイクロ、PBSのいずれへ入射する光線も、全視野 にわたり10° 以内に抑えられている。（斜め入射による悪影響を軽減させるため）

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=610mm、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）

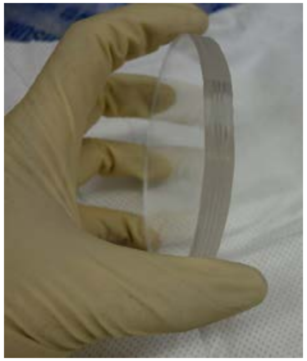
主鏡材　口径2032mm 中心穴径 398mm
　厚さ101.46mm　材質ULE 重量725kg
　反射面 AL ＋保護兼増反射コート
副鏡材　口径437.2mm 反射面 AL

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150mmφ　許容入射角 ±7°
- 分割タイプは不可、一体もの（焦点面に置くため）
- λλ 380-900nm において位相差180±3°
- 透過率 80%以上　波面精度 λ/2以下
- モノリシック（収束光中に置くため）



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　λλ450-2300nm
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

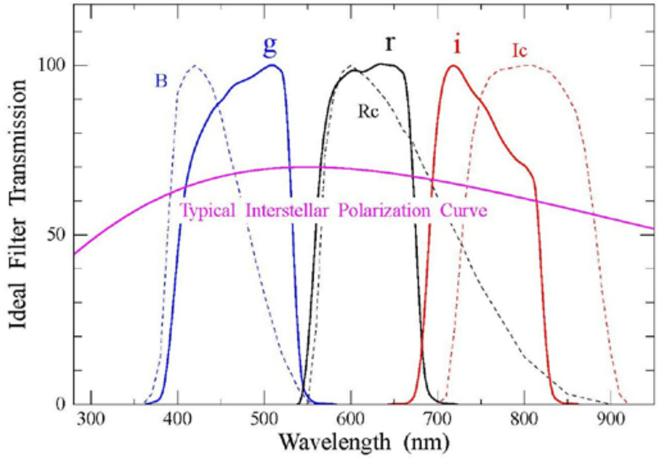
要求性能

- 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 ±10°

→（典型的に）#1で±10nm、#2で±15nm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120mmφ　　許容入射角 ±10°
- 消光比 T_{max}/T_{min} > 5 (できれば>50)

→ 複屈折結晶(グラン・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

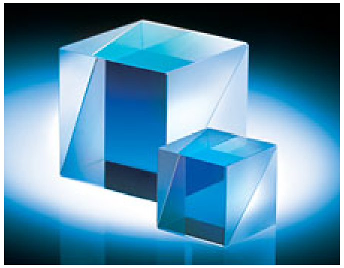
各バ　　　　　　　　　　　　　　　　　　て高
い消

現状でも偏光能率80%を許容すれば誘電体多層膜プリズムの解はあるが…

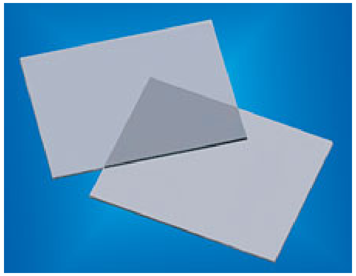
ワイヤグリッド・キューブ

使い

小サイズのも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 <50mm□
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<25mm□
MicroWire™(Edmund Optics)
>85% effic. @ 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) → 610mmφ(-3.40)	OK (Need feasibility study)
Main Lens Train	OK (Need special alignment/Abbe tolerance)
Super-achromatic HWP D=150mmφ, 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**