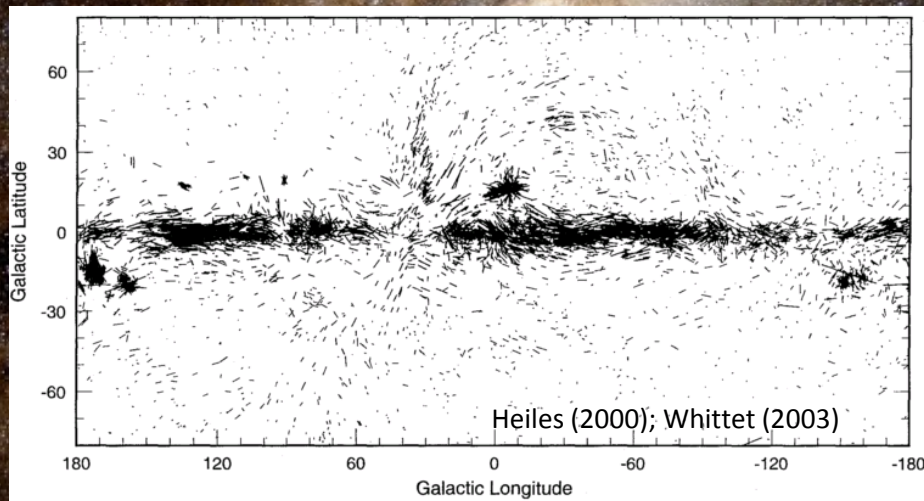


広島大偏光サーベイ計画 SGMAP

広島大学宇宙科学センター 川端弘治
およびSGMAPグループ



2013年度岡山ユーズミーティング 2013年8月1-3日

SGMAP

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

2m広視野タイプ専用望遠鏡

~14等より明るい恒星の可視3-4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
 - ALMAの超精細偏光マッピングとも相補的
- 新種の偏光天体の発見
- 恒星の光球形状や表面活動の統計的研究
 - SDSSのスペクトルカタログとの相乗効果
- 星間ダストの統計的性質
 - 現状では全天1万個程度の非一様で単一バンドのカタログ
- 前景 星間偏光の高精度見積もり(CMB、遠方銀河・超新星)
- 前景 星間吸収の高精度見積もり(R_V の位置依存性)

:

銀河磁場について

渦巻き銀河では普遍的に存在 数 $\sim 10\mu\text{G}$

星間物質のエネルギー密度

天の川銀河の太陽系近傍 (Boulares & Cox 1990)

磁場、星間乱流、宇宙線 がそれぞれ同程度

銀河全体 (NGC 6946; Beck 2004)

磁場 ($B^2/8\pi$)

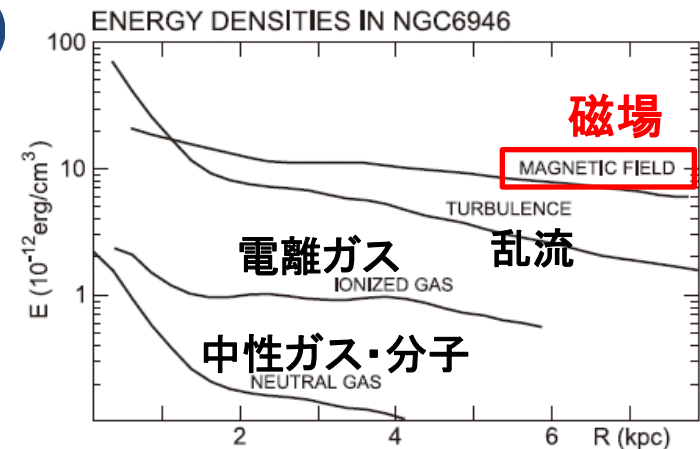
星間乱流 ($1/2\rho v^2$, $v\sim 7\text{km/s}$)

電離ガス ($3/2n_e kT$, $T\sim 10^4\text{K}$)

中性ガス・分子 ($3/2n_H kT$, $T\sim 50\text{K}$)

宇宙線 ($C\int E^{-2\alpha} dE$) $\sim$ 磁場と同程度

参考: 銀河回転 ($1/2\rho V_{\text{rot}}^2$, $v\sim 170\text{km/s}$) $\sim$ 乱流の500倍 (だが外縁部では磁場エネルギーが匹敵している)



中心付近を除き、磁場のエネルギーが卓越

広域銀河磁場の観測方法(視線に垂直)

広がった電波(cm連続波)のシンクロトン放射

星間磁場と宇宙線電子との相互作用

全放射強度から $B_{\text{total}, \perp}$ 、偏波成分強度から $B_{\text{reg}, \perp}$ 、偏波の向きから磁場の向き

ビームサイズに応じた大局的な磁場の強度と向きの測定

但し、距離情報は縮退し、分離は困難(系外銀河では有効)

低周波数帯／銀河面ではファラデー回転による影響を受ける

やや赤化を受けた背景星の星間偏光(可視・近赤外)

及び星間ダストの熱放射の偏光(遠赤外)

非等方な星間ダストが星間磁場との相互作用で整列。選択吸収ないし放射。

偏光方向が磁場と並行(可視～近赤外)ないし垂直(遠赤外)

高い空間分解能での磁場の向きの情報

個々の星の星間吸収ないし距離との相関で距離情報を分離可

観測限界等級を下げるとサンプル数は飛躍的に増大

様々なスケールの磁場をプローブ

Cf. 視線に平行な磁場: 系外電波源やパルサーのファラデー回転

広域銀河磁場の観測例

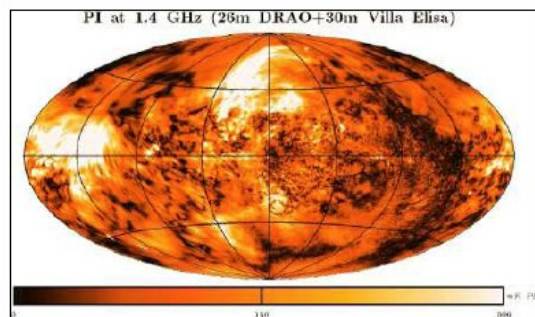
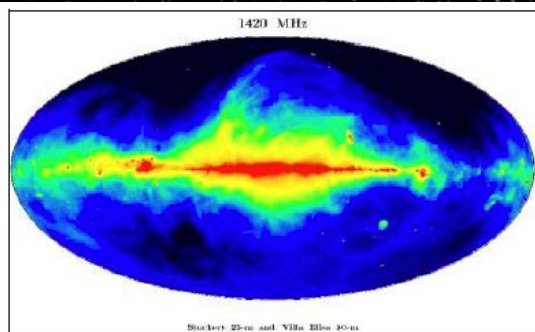
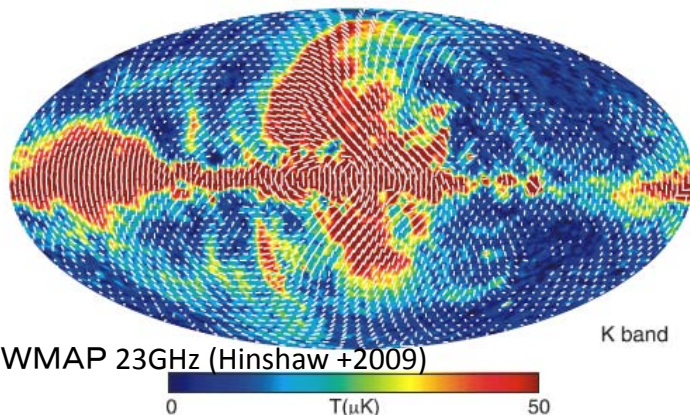


Fig. 10: All-sky surveys in total intensity (top) and polarized intensity (bottom) at 1.4 GHz (Reich 1982; Wolleben et al. 2006; Testori et al. 2008)

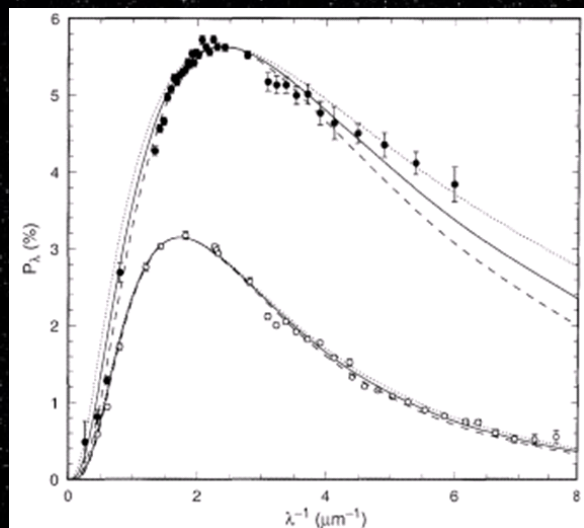


M51 4.86GHz
(VLA + Effelsberg100m)
(Fletcher+ 2011)

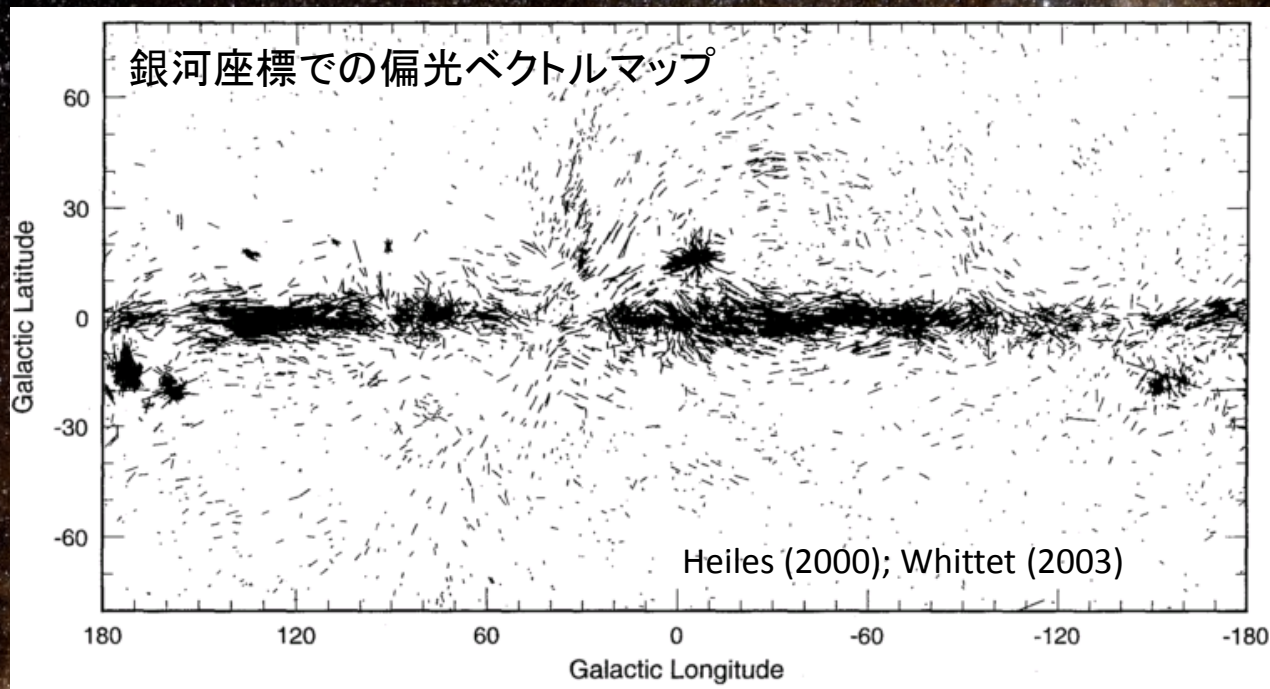


系外銀河では大局磁場はよく理解
されているが、分解能が不足

星間偏光 ～ 天の川銀河の磁場



2つの恒星の偏光度の
波長依存性



Heiles (2000); Whittet (2003)

全天の星の偏光観測 → 遠くの星は「星間吸収」・「星間偏光」

星間偏光の向きは、銀河磁場の向きを表す

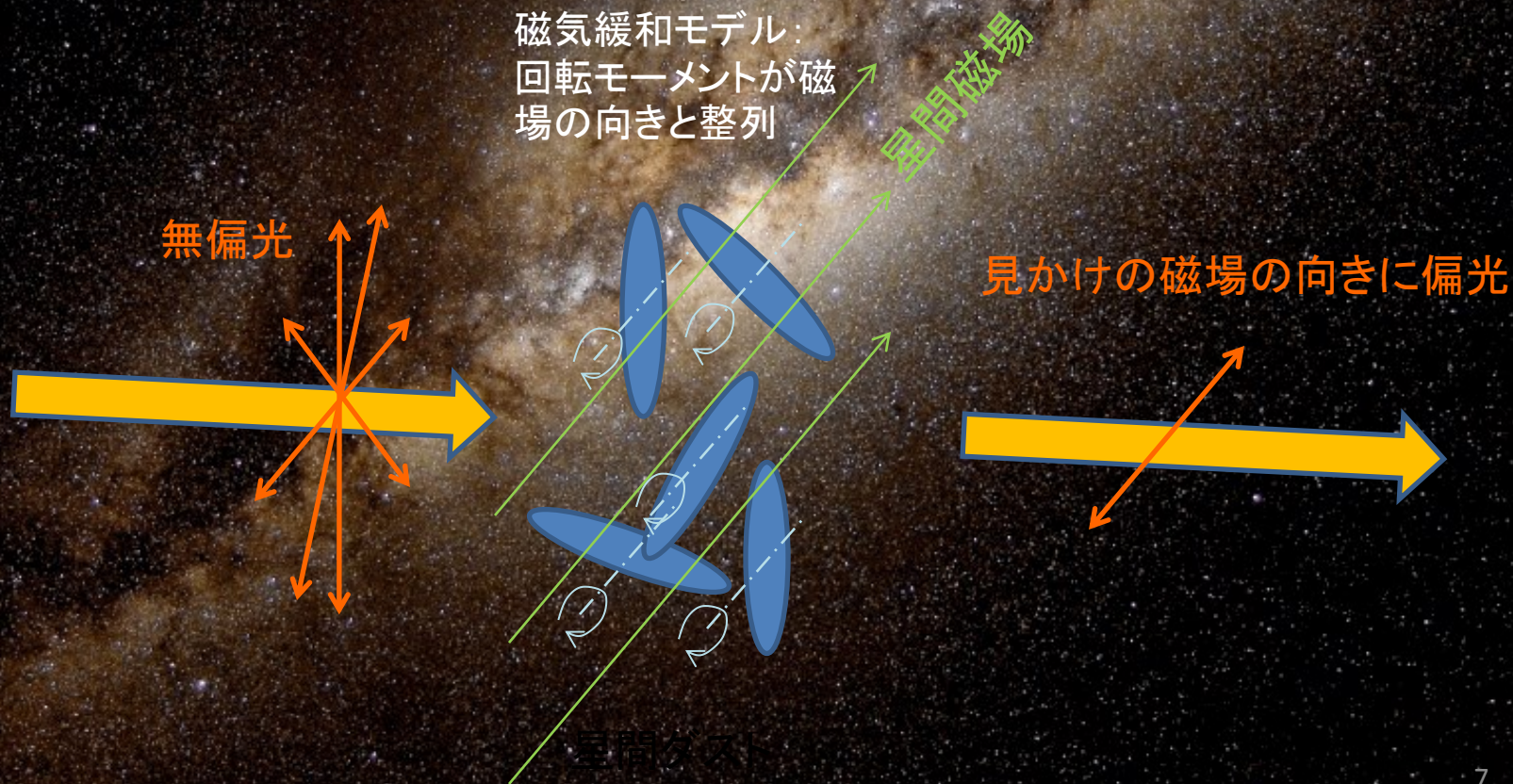
銀河磁場は一様成分とランダム成分の合成 (Heiles 1987, 1996)

ランダム成分のスケール長 ～100pc (diffuse) or 数百pc (all)

(Jones et al. 1992)

星間偏光

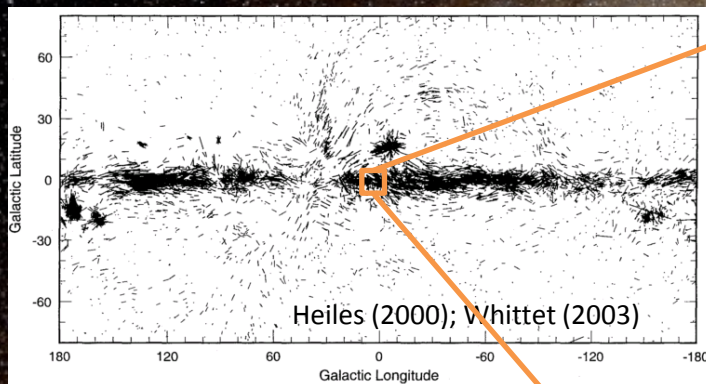
- 整列した非等方ダスト(固体微粒子)による選択吸収による偏光



可視偏光サーベイの現状

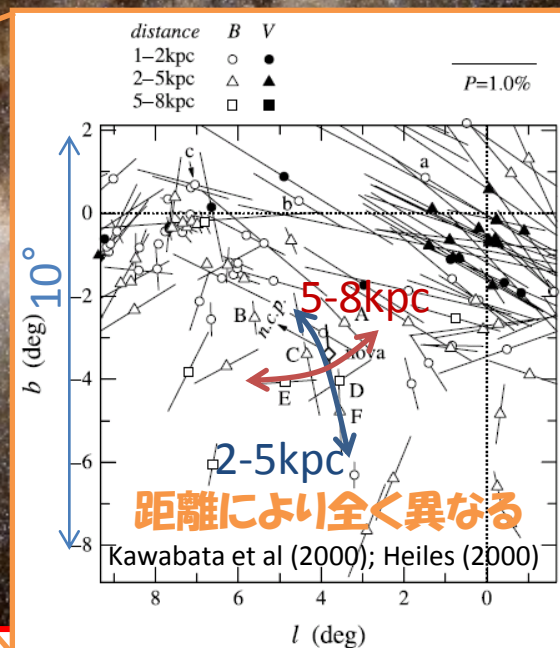
9286星 単バンド(Heiles 2000) 過去のカatalogのコンパイル(多くは'50-70年台)
個数では、全天の6等より明るい星(8600個)と同じ位しか無い!
(例えばヒッパルコスカタログは9等まで12万個、500光年より近い星を高精度で距離測定)

半天球のV=14等より明るい星は>500万個



多バンドカタログ

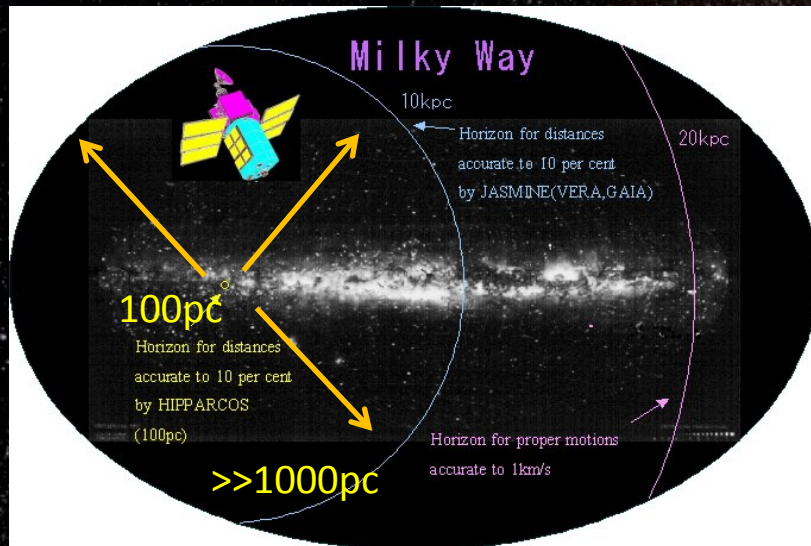
- Serkowski+ (1975) UBVR 180星(主に南天)
- Whittet+ (1992) UBVRI-JHK 105星



偏光方向=磁場 は局所的に変化

→ 銀河全体の磁場構造の理解には、より遠くまで、
空間分解能と距離分解能を上げた観測が必須

偏光サーベイのインパクトの例



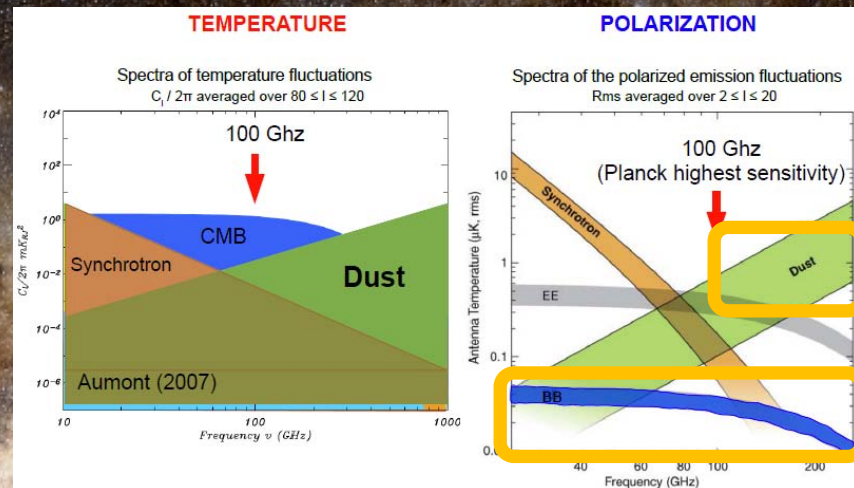
©JASMINE検討室@NAOJ

Gaia, JASMINEにより恒星の距離が決まれば、SGMAPと付き合わせて天の川銀河全体の磁場構造も精密に判る

銀河の構造進化の謎の解明へ

- 銀河面付近は可視では厳しいがその上下は遠くまで見通せる

Aumont (2007); Guillet+(2011)

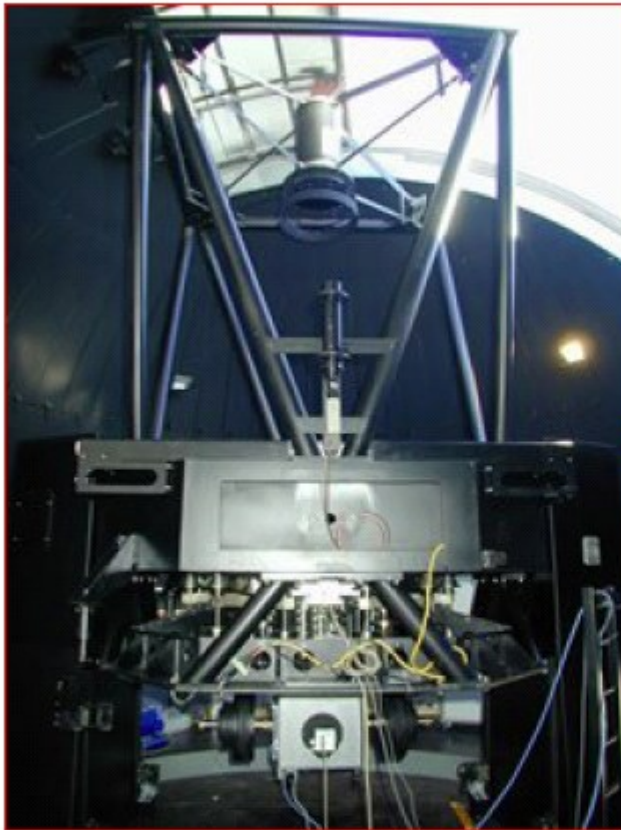


CMB(宇宙マイクロ波背景放射)の偏光の精密測定(Planck衛星など)によるBモード偏光の検出(原始重力波～インフレーションの証拠)には、前景の星間偏光(ダスト+シンクロトロン)の精度良い見積もりが必須。

建設計画(MAGNUM望遠鏡+東広島天文台)

吉田(2013)

MAGNUM 2m telescope
(Univ. of Tokyo)



Low cost, quick construction,
and quick start of observation



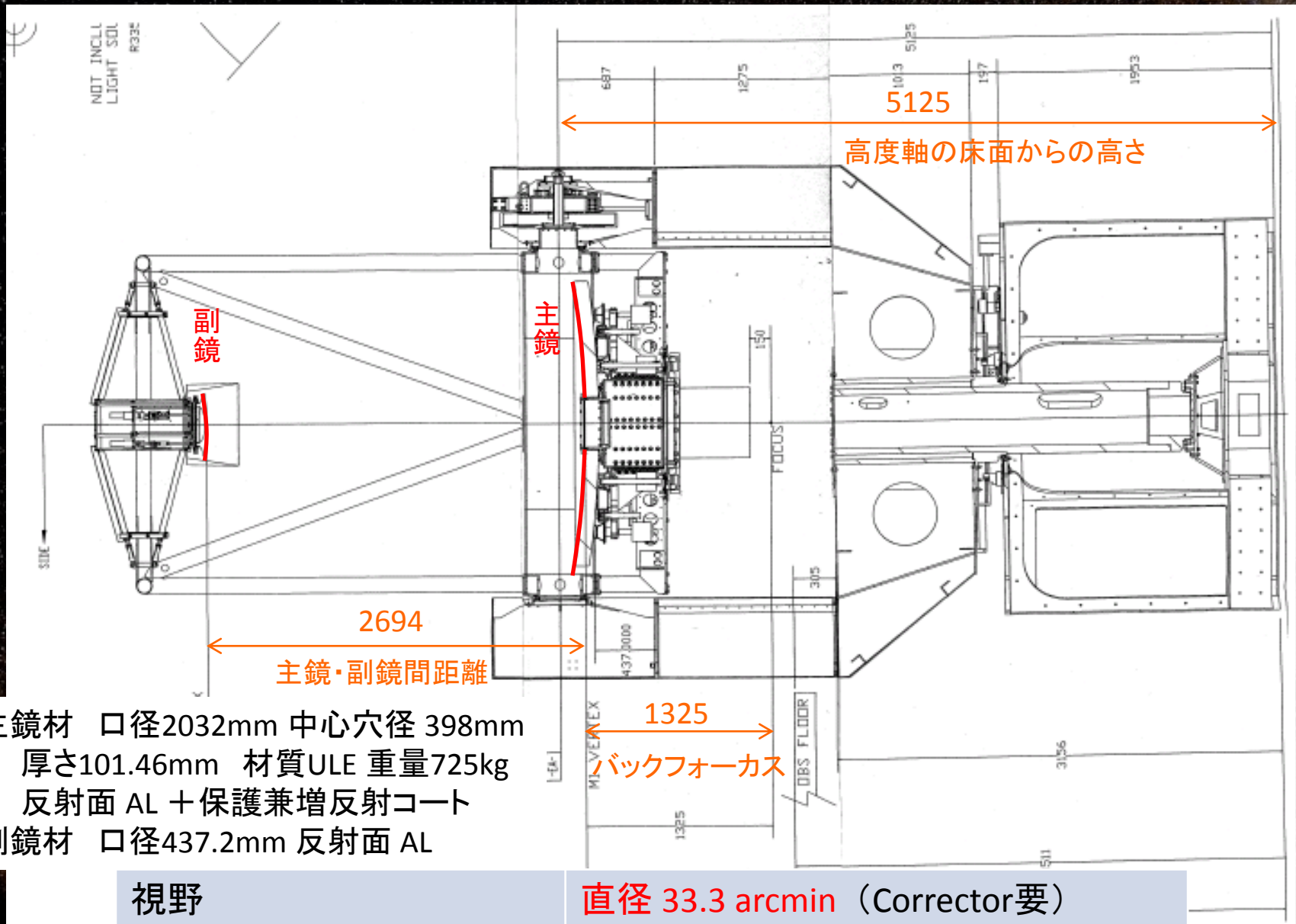
←
Dismantled and
back to Japan
In 2009

MAGNUM was operated atop
Haleakala from 2000 to 2008

Move to
our observatory



望遠鏡候補：MAGNUM望遠鏡



サーベイ計画(33' ϕ の場合)

- V=14.0等G5型星を3分間(40秒×4露出+オーバーヘッド)で $\Delta p=0.2\%$ を達成
シーイング1.8秒角、スカイ18等/平方秒角、総合効率20%という余裕をみた見積もり
- V=13.0等G5型星を3分間(40秒×4露出+オーバーヘッド)で $\Delta p=0.1\%$ を達成
- 実効視野 0.20平方度
- 銀河面サーベイ
 - $|b| < 30^\circ$, $l=0-220^\circ$ (12605平方度)
 - $12605/0.2056=61308$ 露出でカバー、595晩で完了
 - 晴天率0.333なら1786晩=4.9年で完了
- 中高銀緯サーベイ
 - $b=+30 - +90^\circ$, $l=0-360^\circ$ (10313平方度)
 - $10313/0.2056=50161$ 露出でカバー、487晩で完了
 - 晴天率0.333なら1461晩=4.0年で完了

5年 + 4年で完了(もっと早くならないか)

50'広視野化の検討(未完)

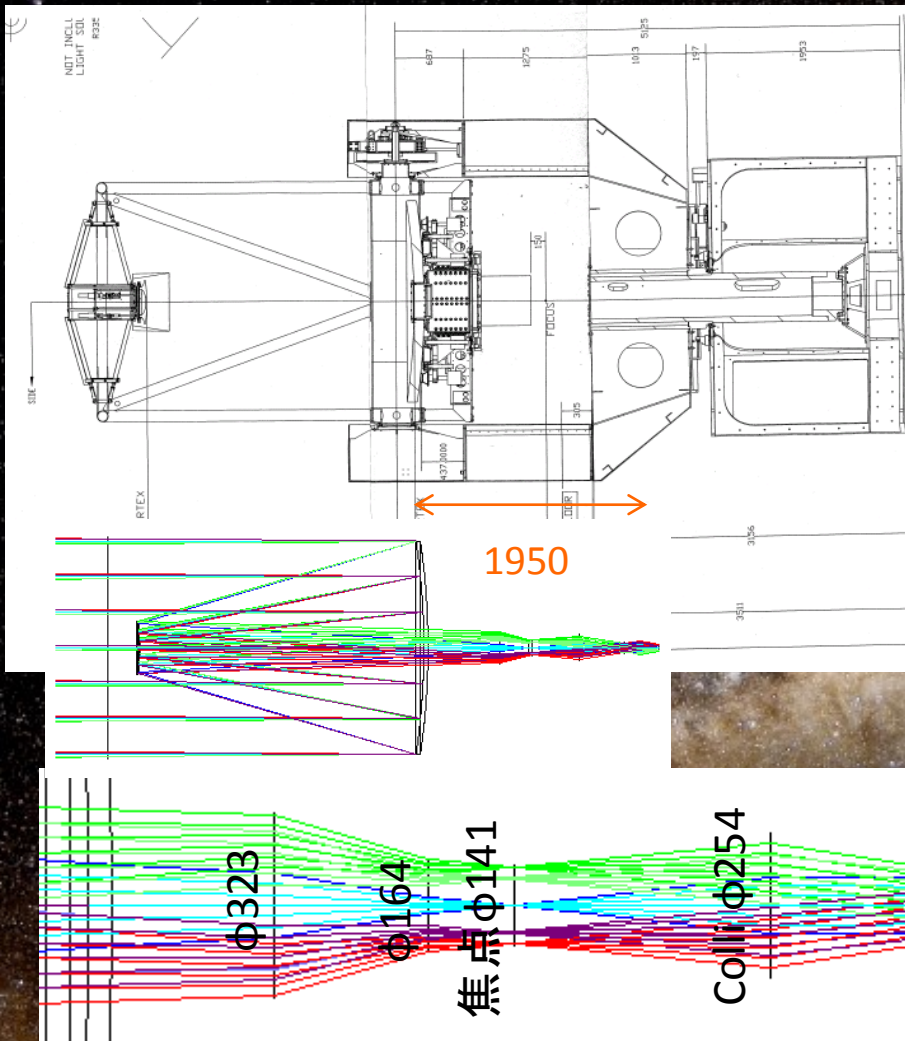
ビームサイズ

カセグレン穴 341.1mmφ
第1レンズ $f=600\text{mm}$ 322.6mmφ
第2レンズ $f=-400\text{mm}$ 163.9mmφ
焦点面(50分角) 140.5mmφ
瞳 $\sim 124\text{mm}\phi$
検出器 60.6mmφ
(0.74"/pix ; 4043pix $\times$ 15 μm)

コリメータ: $D=254\text{mm}$, $f=450\text{mm}$

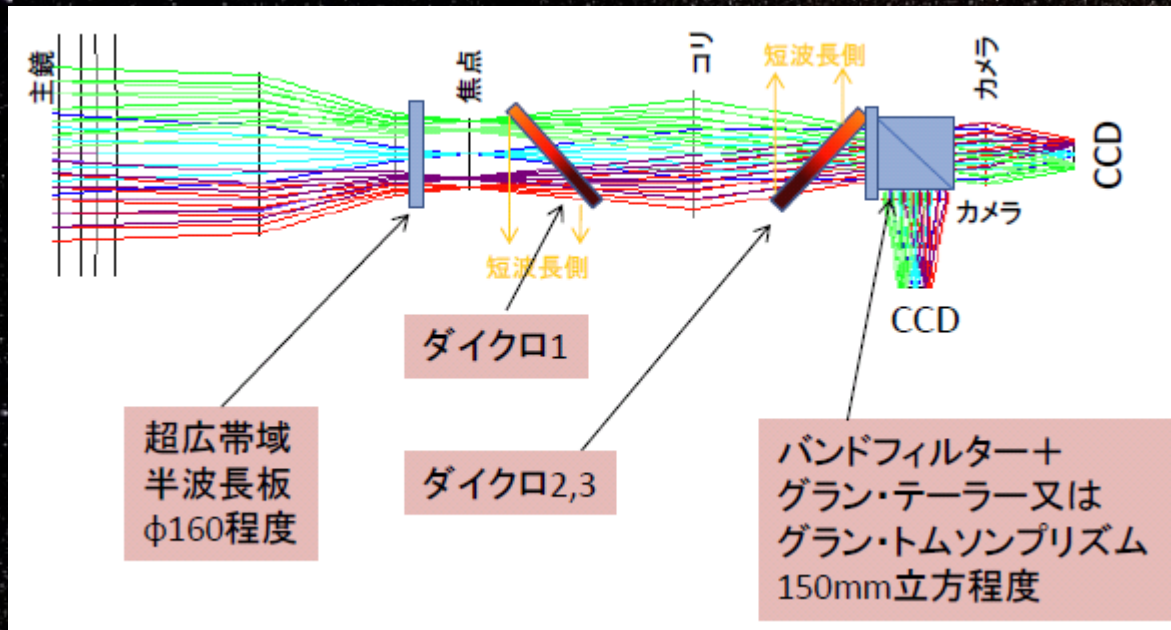
カメラ: $D=127\text{mm}$, $f=200\text{mm}$

瞳-カメラ間 150mm、 $f/D \sim 1.57$



➡ バックフォーカス $\sim 2\text{m}$ で現実的な解が
引き続き検討

観測装置概念



カメラ

FOCAS波長板
直径~12cm



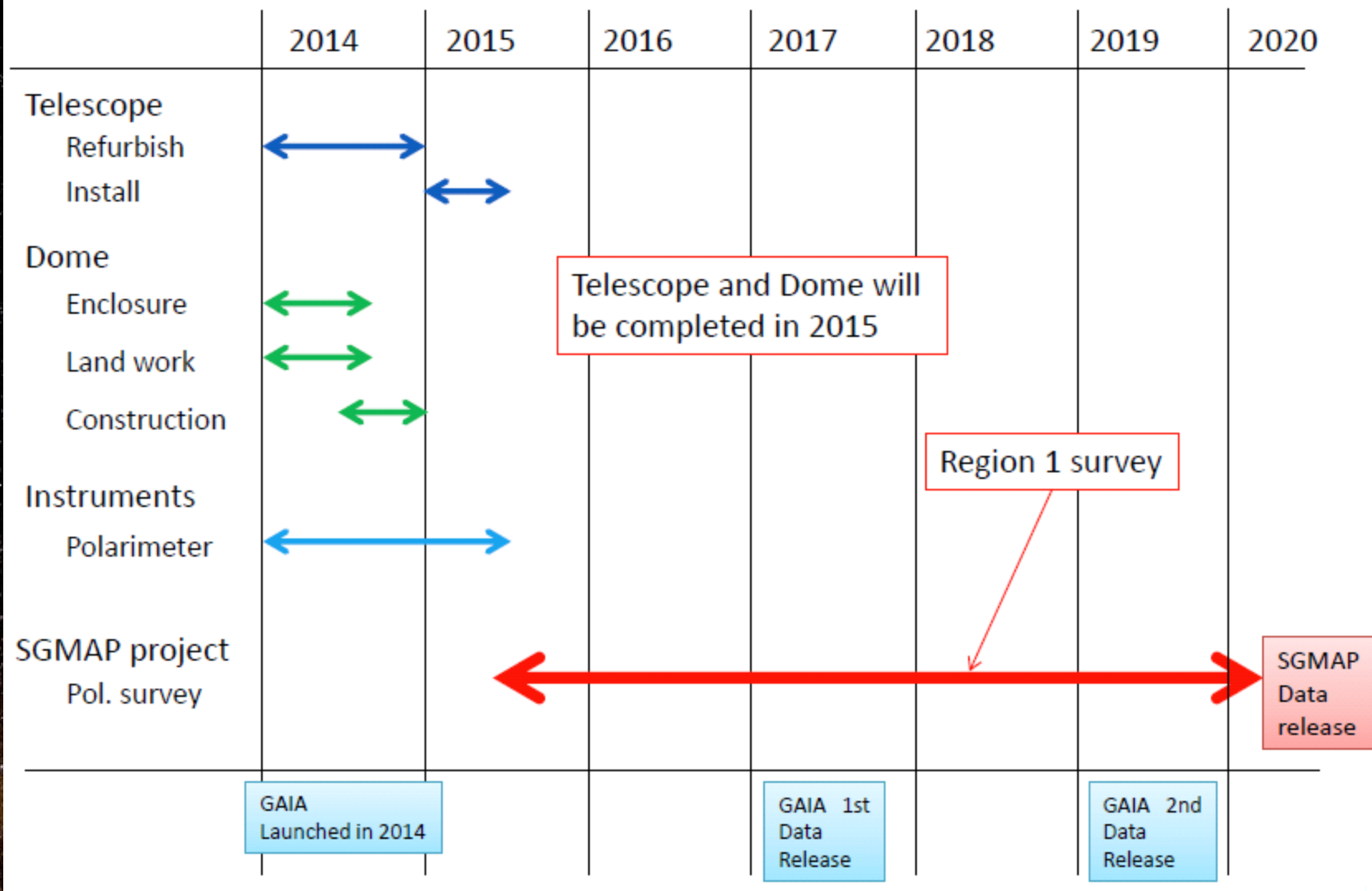
FOCASウォラストンプリズム
~12cm立方



- 焦点面の前に、全バンド共通の大型半波長板
- 焦点面の後に、ダイクロイックミラー1(2バンドへ分離)
- コリメータ(1,2)の後に、ダイクロイックミラー2,3(計4バンドへ分離)
- 各バンドの瞳位置付近に、バンドフィルター+グランプリズム1,2,3,4(互いに直交する2つの偏光成分に分離)
- カメラ+CCD (1,2,3,4,5,6,7,8)

引き続き検討

SGMAP ROADMAP



進行中の半天偏光サーベイプロジェクト(南天)

- SOUTH POL(ブラジルのグループ PI: A. M. Magalhaes)

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(但し、1 broad band)

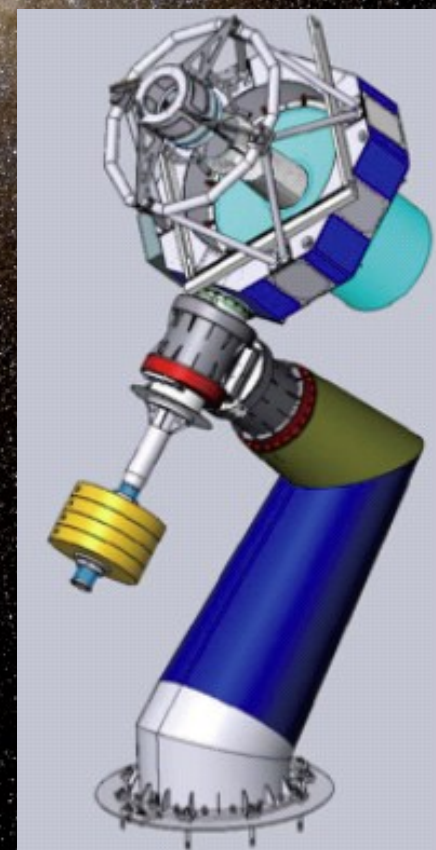
2013年に望遠鏡設置予定

偏光ユニット: 半波長板+方解石プリズム

南天 $\delta < -15^\circ$ を1バンド $\Delta p \sim 0.1\%$ でサーベイ



Table 1: Summary of the performance of the T80 design	
Performances of design	
Aperture	0.840 m diameter
Plate scale	55.56 arcsec/mm = 0.83arcsec/15 μ m
Focal length	3712 mm
Field of view	110 mm (1.7 $^\circ$) with optimized image quality 155 mm (2.4 $^\circ$) with limited performances
Image Quality	50% EE = 5 μ m / 0.28 arcsec (diameter) 80% EE = 13 μ m / 0.72 arcsec (diameter)
Distortion	0.6%



SGMAPサイエンスミニWSを開催しました

2013年7月17-18日 (広島大)

長波長電波観測で探る天の川銀河の電離物質

--- 赤堀 卓也 (シドニー大)

大学VLBI連携及び日韓VLBI観測網の偏波観測モードの現状について

--- 新沼 浩太郎 (山口大)

CMB偏光観測

--- 羽澄 昌史 (KEK)

可視域での星間偏光データからの星間構造

--- 松村 雅文 (香川大)

偏光/多色掃天についての考察

--- 佐藤 修二 (名古屋大)

位置天文観測衛星計画について ~GaiaとJASMINE~

--- 郷田 直輝 (国立天文台)

Synergy with SGMAP and current and future high-energy missions

--- 田中 康之 (広島大)

<http://1601-031.a.hiroshima-u.ac.jp/sgmap/workshop/201307/miniws.html>

SGMAP まとめ

広島大可視多バンド偏光サーベイ計画

現カタログの100倍以上の個数

バンド数も複数に

銀河磁場の構造、他多彩なサイエンス

MAGNUM望遠鏡+東広島天文台

(望遠鏡改修)