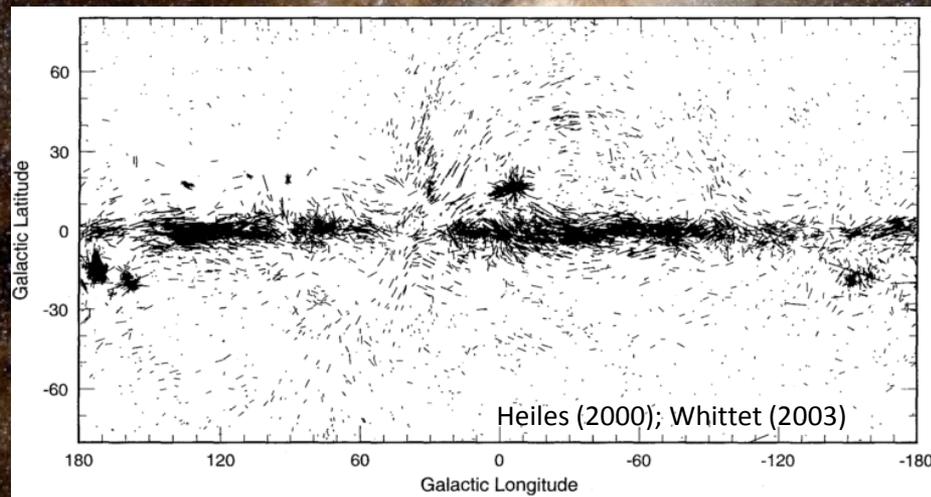


広島大偏光サーベイ計画 SGMAP

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
 - 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 ($B^2/8\pi$)

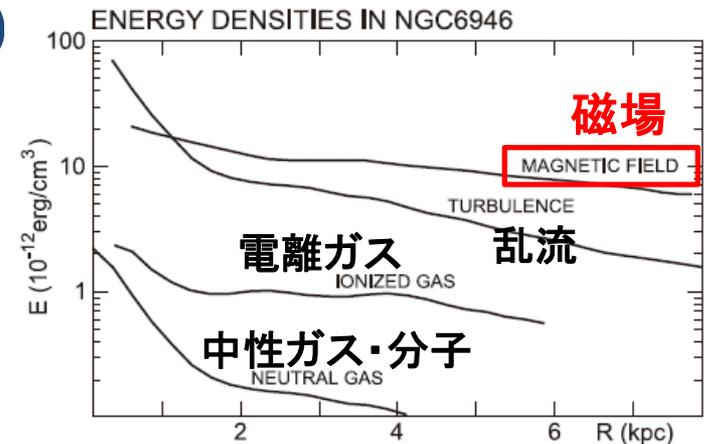
星間乱流 ($1/2\rho v^2$, $v\sim 7\text{km/s}$)

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

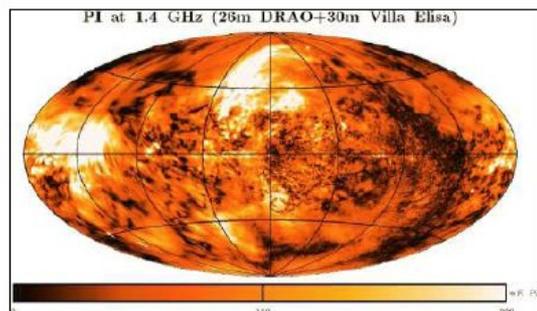
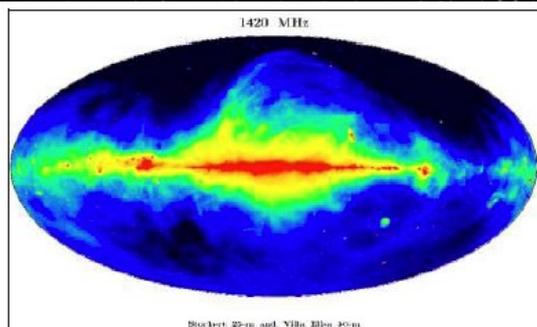
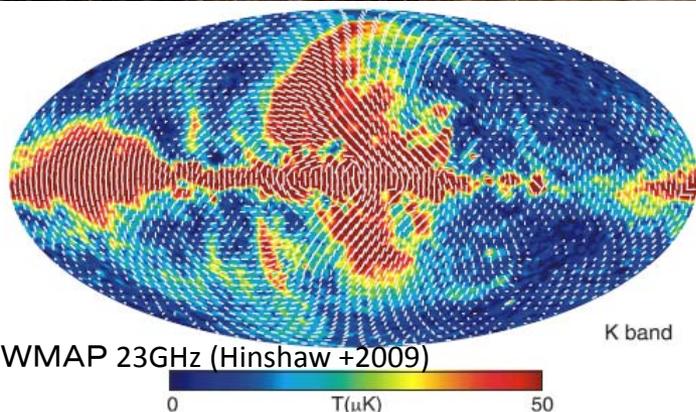


Fig. 10: All-sky surveys in total intensity (top) and polarized intensity (bottom) at 1.4 GHz (Reich 1982; Wolleben et al. 2006; Testori et al. 2008)

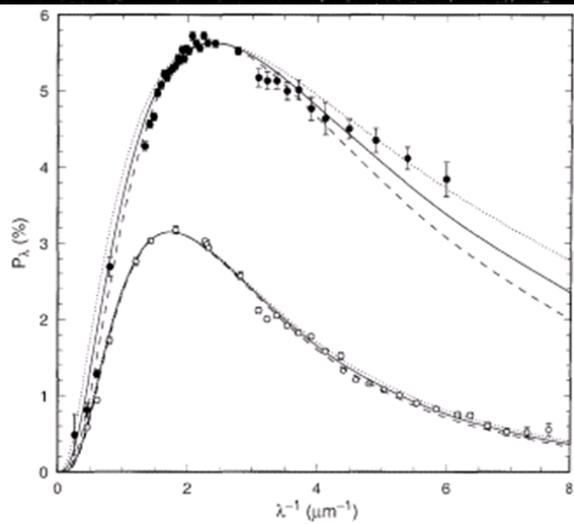


M51 4.86GHz
(VLA + Effelsberg100m)
(Fletcher+ 2011)

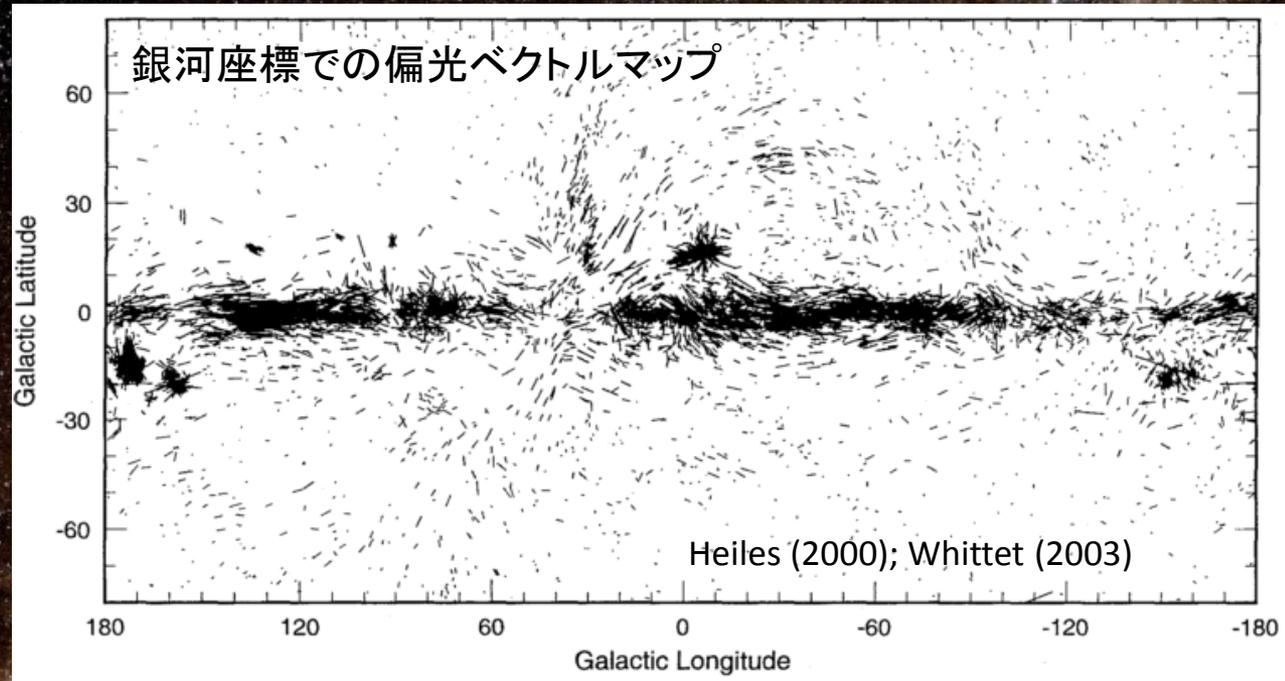


系外銀河では大局磁場はよく理解されているが、分解能が不足

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



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

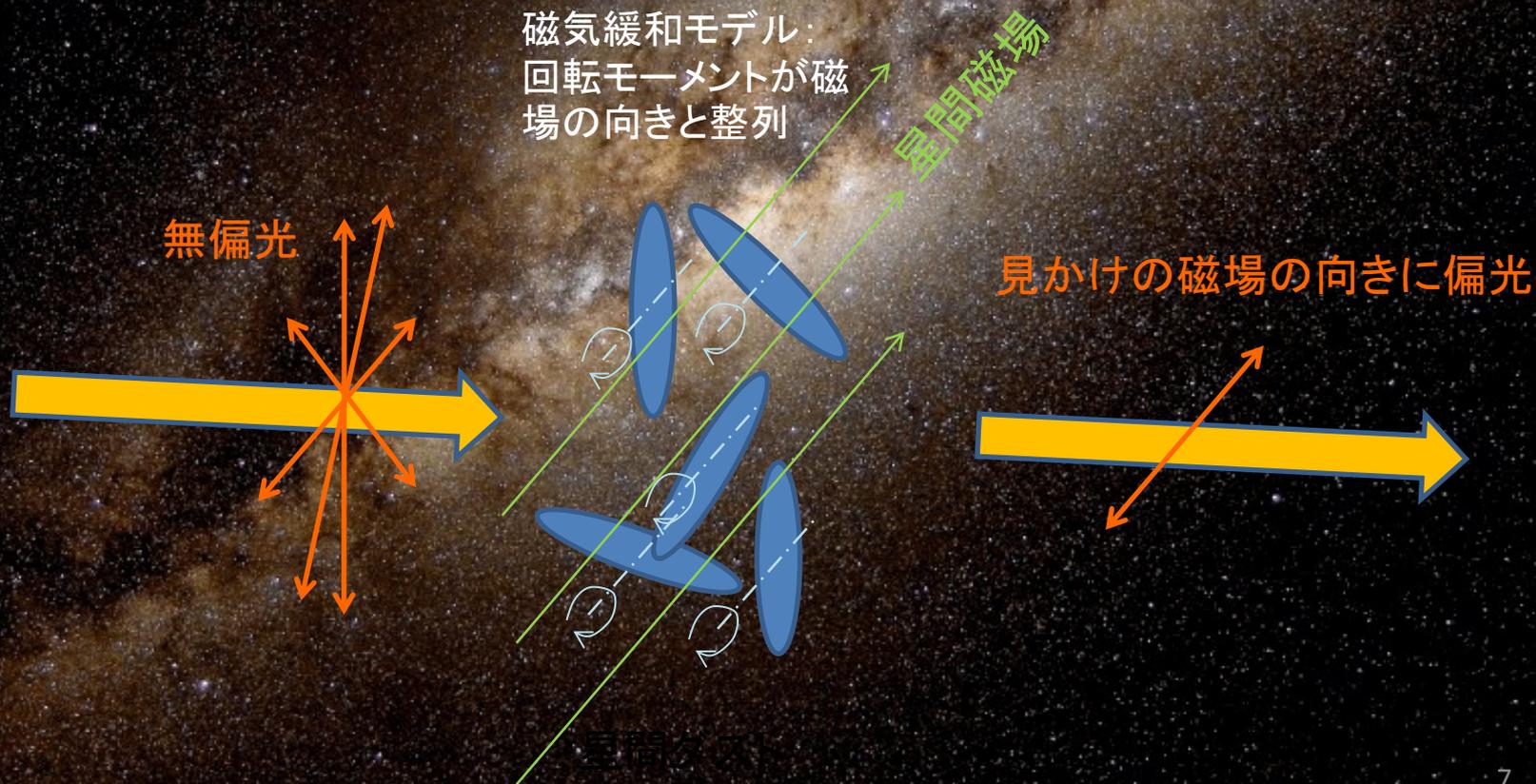
銀河磁場は一様成分とランダム成分の合成 (Heiles 1987, 1996)

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

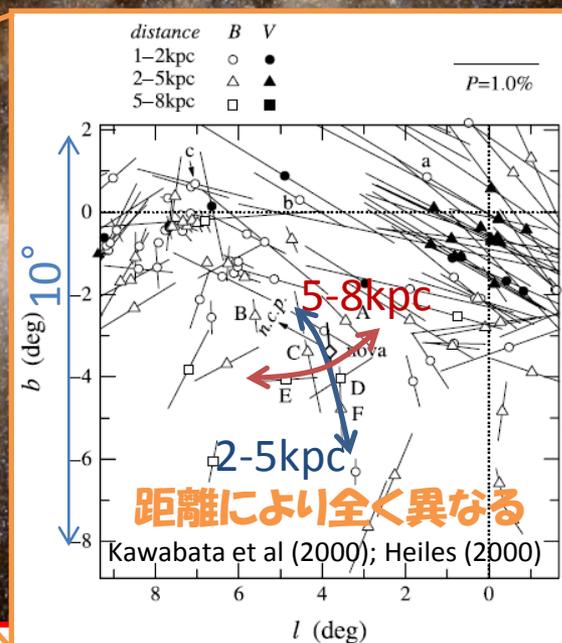
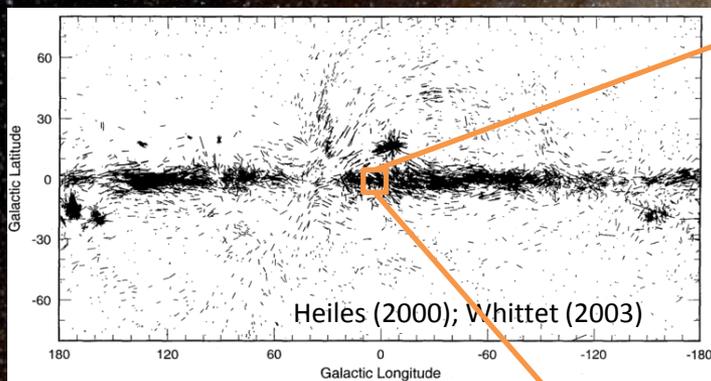
- 整列した非等方ダスト(固体微粒子)による選択吸収による偏光



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



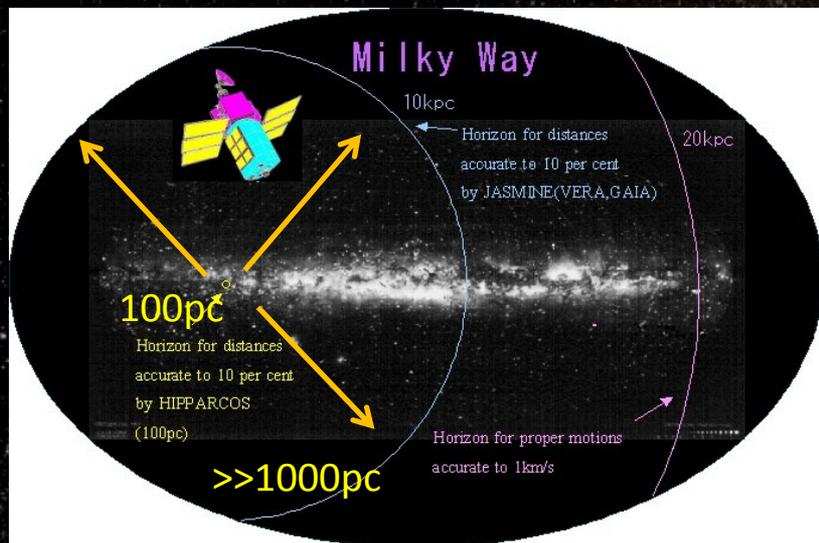
多バンドカタログ

- Serkowski+ (1975) UBVR 180星(主に南天)
- Whittet+ (1992) UBVR-I-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



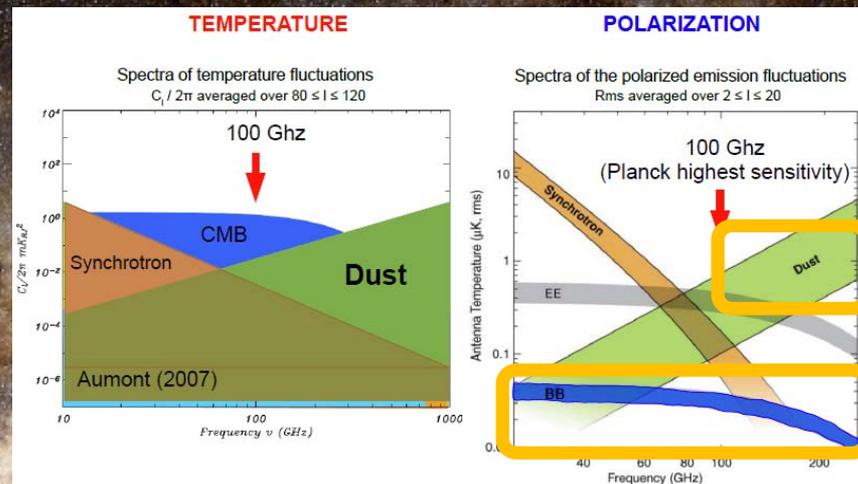
©JASMINE検討室@NAOJ

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)

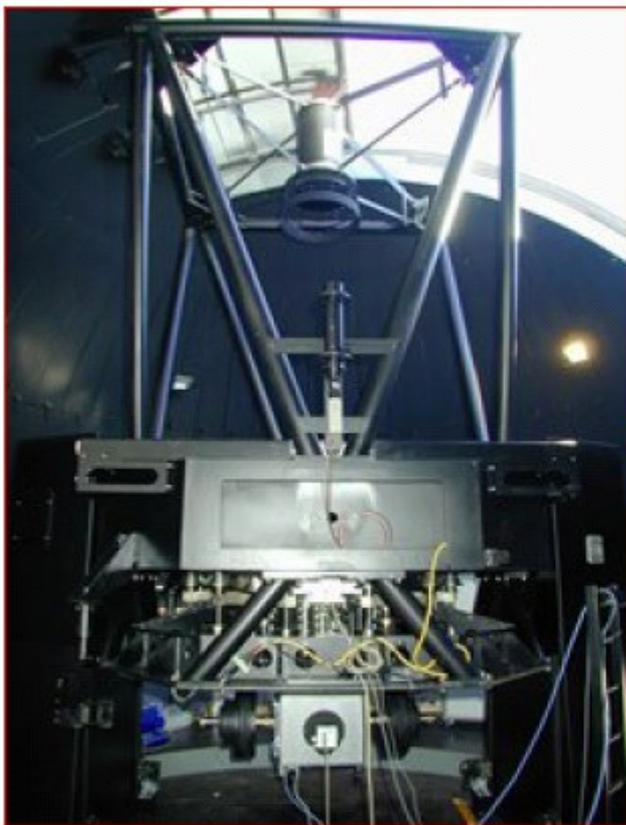


CMB (宇宙マイクロ波背景放射)の偏光の精密測定 (Planck衛星など)によるBモード偏光の検出 (原始重力波～インフレーションの証拠)には、前景の星間偏光 (ダスト+シンクロトロン)の精度良い見積もりが必須。

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



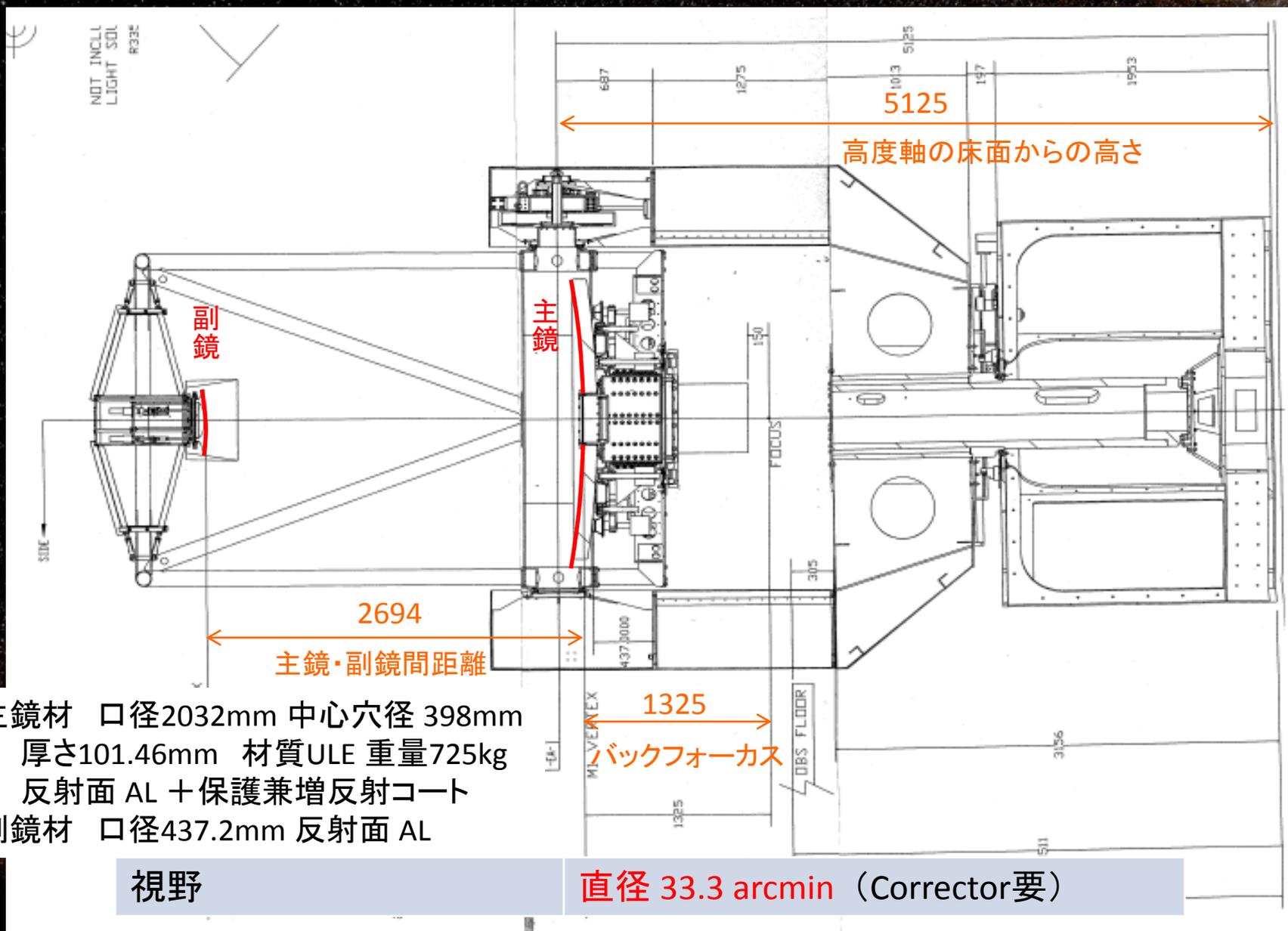
Dismantled and
back to Japan
In 2009

MAGNUM was operated atop
Haleakala from 2000 to 2008

Move to
our observatory



望遠鏡候補：MAGNUM望遠鏡



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

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)

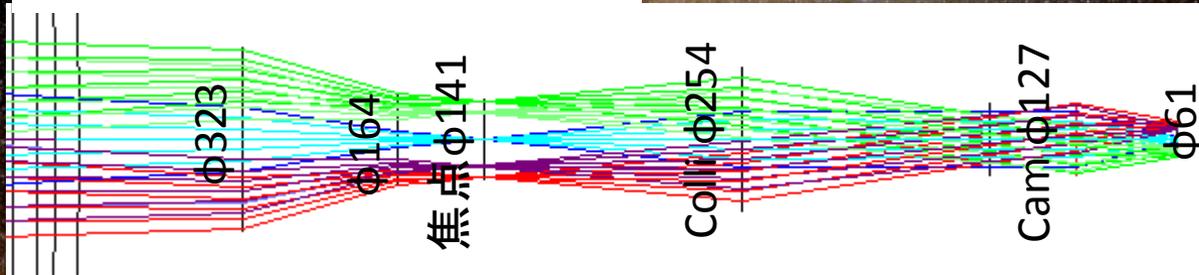
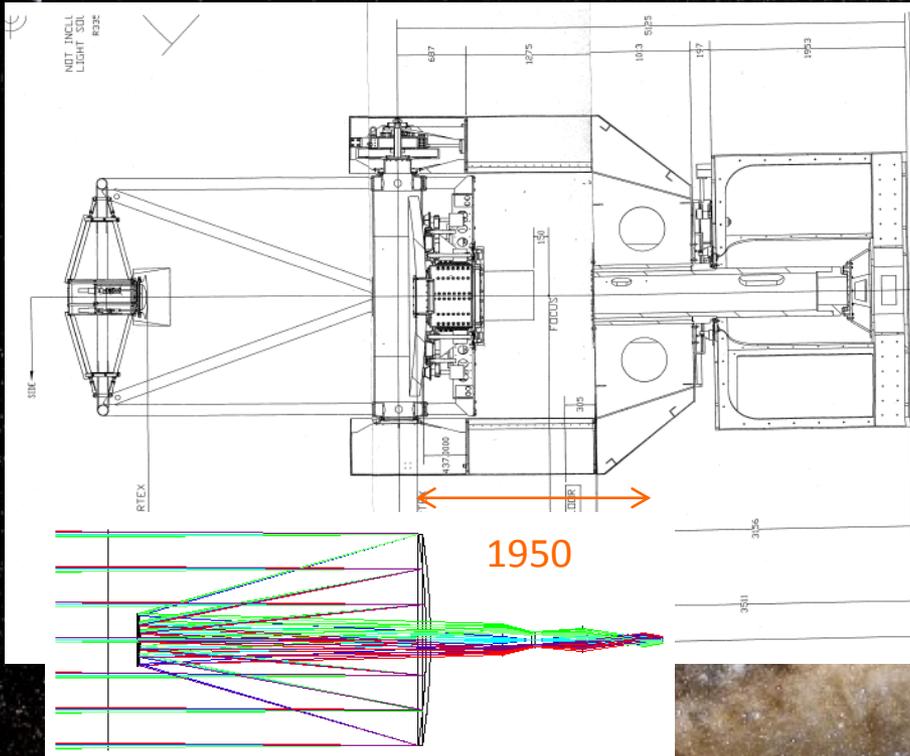
ビームサイズ

カセグレン穴	341.1mmφ
第1レンズ f=600mm	322.6mmφ
第2レンズ f=-400mm	163.9mmφ
焦点面(50分角)	140.5mmφ
瞳	~124mmφ
検出器	60.6mmφ (0.74"/pix; 4043pix × 15μm)

コリメータ: D=254mm, f=450mm

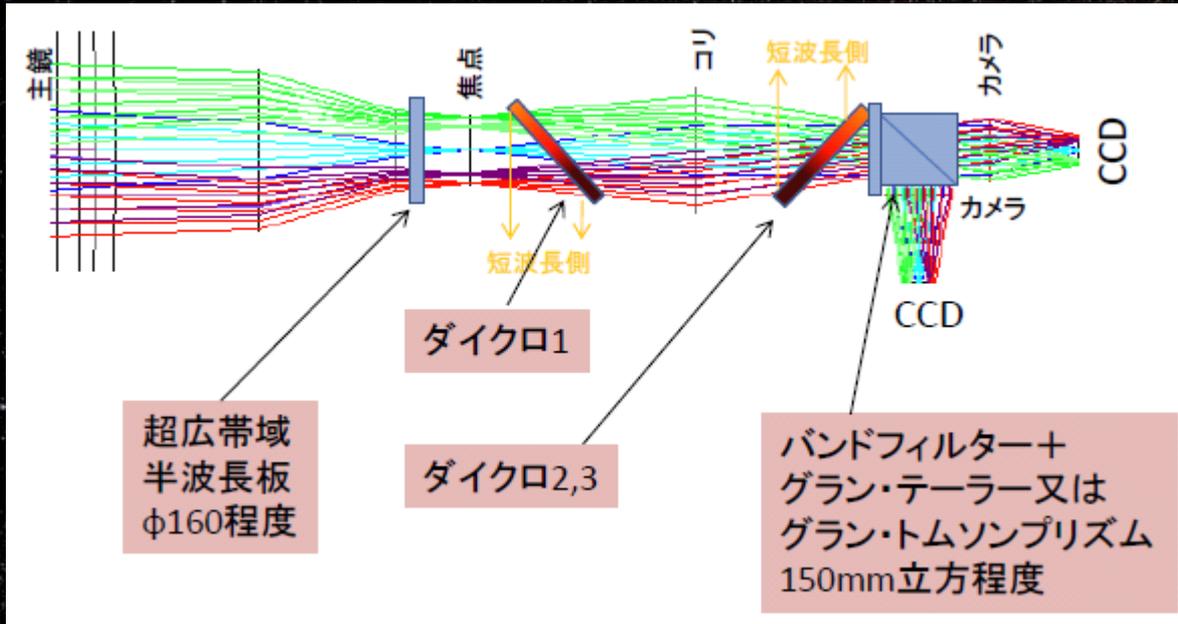
カメラ: D=127mm, f=200mm

瞳-カメラ間 150mm、f/D ~1.57



➡ バックフォーカス~2m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



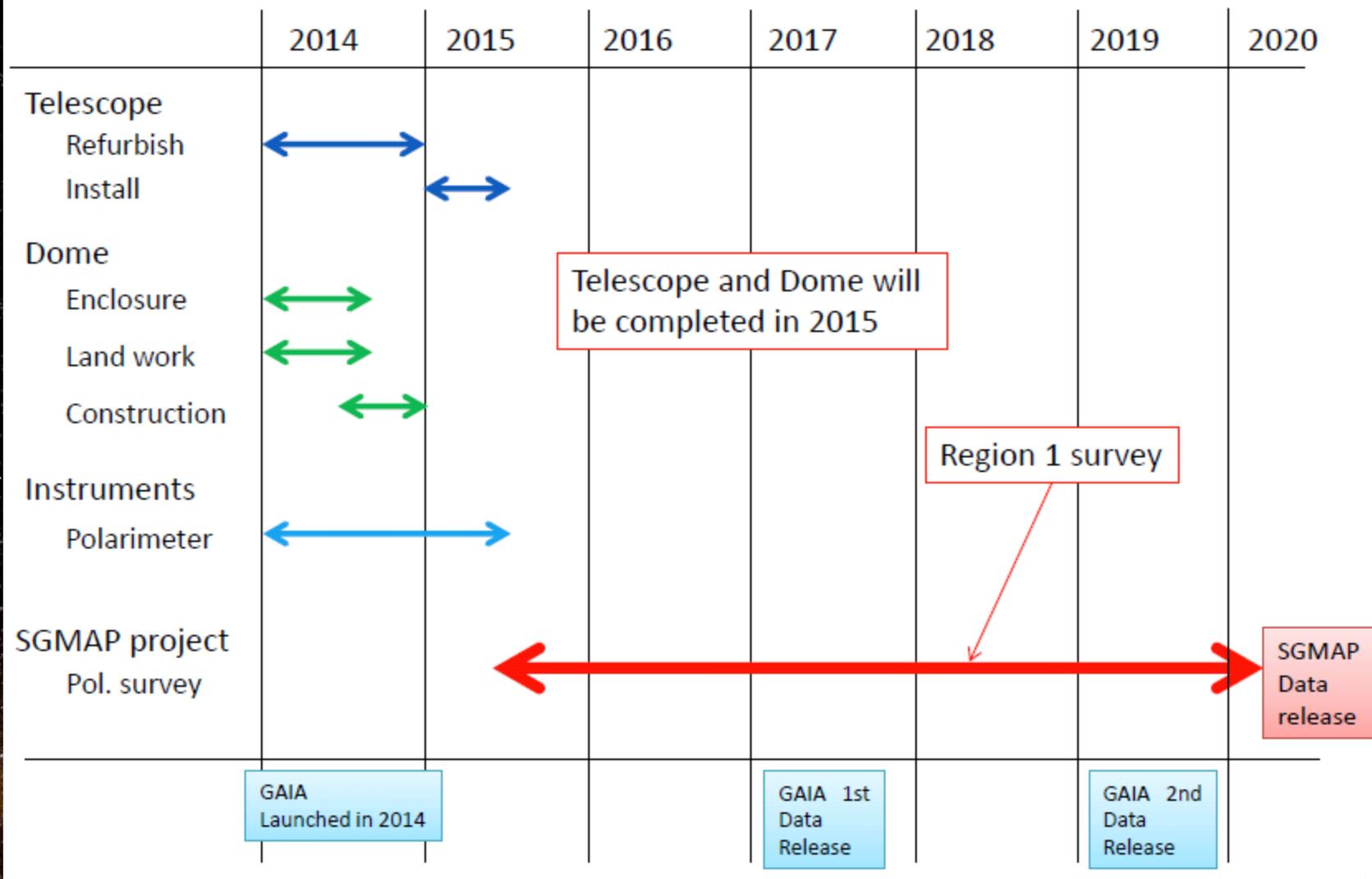
FOCASウォラストンプリズム
~12cm立方



- 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+گران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)

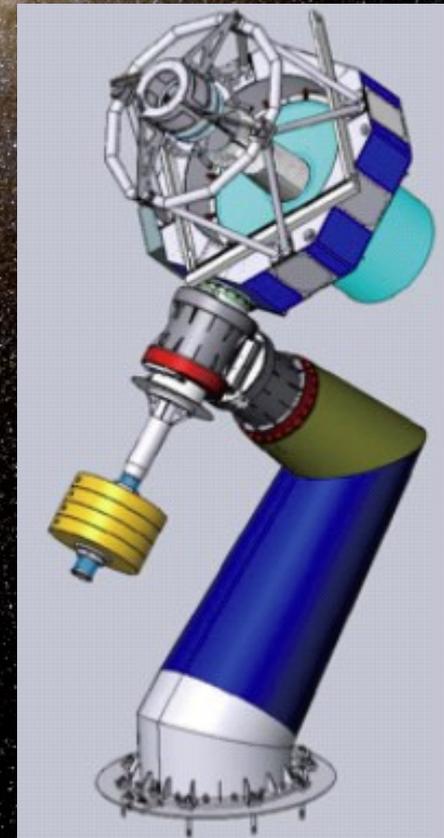
2013年に望遠鏡設置予定

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



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)