

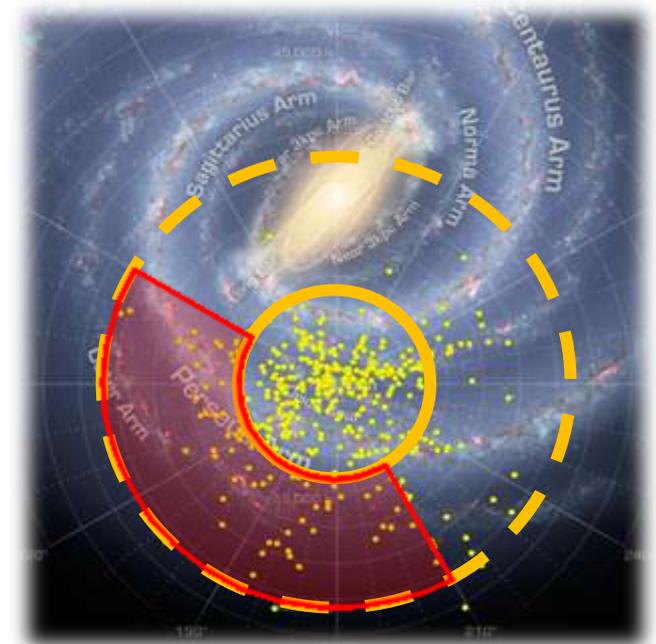
変光星研究(KWFC銀河面探査など)と WISH銀河面探査への期待



松永典之 (東大・木曾観測所)

概要

- 変光星による銀河系研究の背景
- KISOGPの紹介
- WISH銀河面サーベイとの関連



科学的な動機・背景

- 銀河系の構造・運動・進化を探る。
- 理論：
 - 新たな数値計算からの示唆(馬場さん講演)
- 観測：
 - 広い範囲で構造がわかっていたのはガスだけ。
 - 距離、年齢のわかる星をトレーサとする。
 - 赤外では、特に円盤・バルジの埋もれた領域に注目。

銀河系構造を探るトレーサ

トレーサ	年齢	距離の決定	観測手段
星間ガス	—	運動学的距離	電波
星形成領域	0	年周視差計測	電波(VLBI)
		運動学的距離	光赤外(分光)
散開星団	0.1~5 Gyr	色等級図	光赤外
球状星団	10 Gyr	色等級図	光赤外
セファイド	10-100 Myr	周期光度関係	光赤外(反復)
ミラ	1~10 Gyr	周期光度関係	光赤外(反復)
		年周視差計測	電波(VLBI)
RRライリ	10 Gyr	周期光度関係	光赤外(反復)
フィールドの 通常の星	0~10 Gyr	年周視差計測	光赤外(位置衛星)

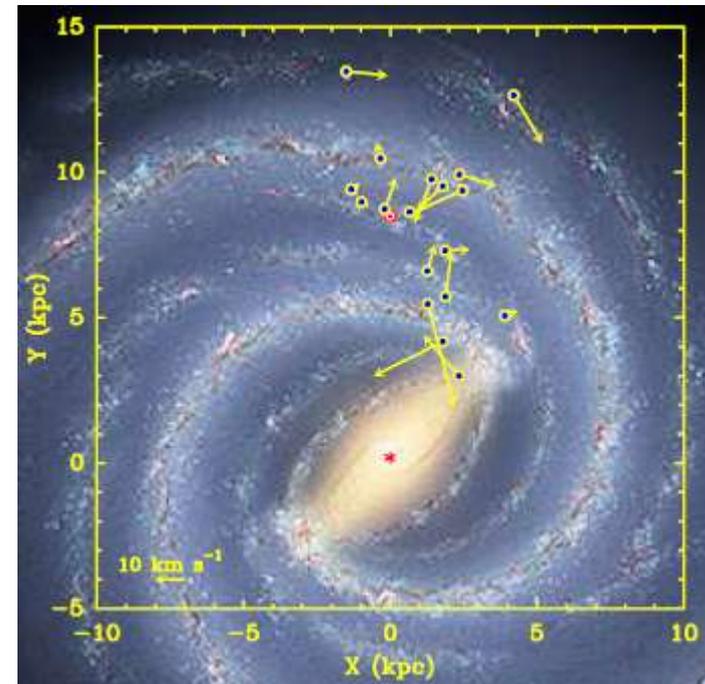
銀河系構造を探るトレーサ

トレーサ	年齢	距離の決定	観測手段
星間ガス	—	運動学的距離	電波
星形成領域	VERA、BeSSeL	年周視差計測	電波(VLBI)
	0	運動学的距離	光赤外(分光)
散開星団	GLIMPSE UKIDSS	色等級図	光赤外
球状星団	10 Gyr	色等級図	光赤外
セファイド	10-100 Myr	周期光度関係	光赤外(反復)
ミラ	VVV	周期光度関係	光赤外(反復)
	OGLE	年周視差計測	電波(VLBI)
	KISOGP	周期光度関係	光赤外(反復)
RRライリ	10 Gyr	周期光度関係	光赤外(反復)
フィールドの 通常の星	Gaia、JASMINE	年周視差計測	光赤外(位置衛星)

星形成領域の年周視差測定

- VLBI法によってさかんに行われている。
 - VERA
 - BeSSeL (VLA)
- 星が生まれている場所の位置とガスの運動
- 星間減光の影響なし

Reid et al. (2009)

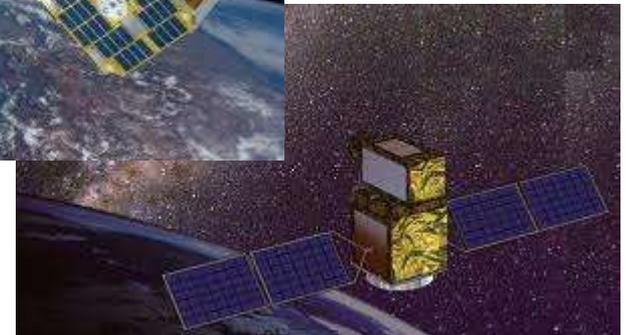


位置天文衛星による年周視差測定

- Gaia – 可視光
- JASMINE – 近赤外
- 普通の星の位置と運動が測れる。
 - 星の数は非常に多い。年齢は求めにくい。



Gaia

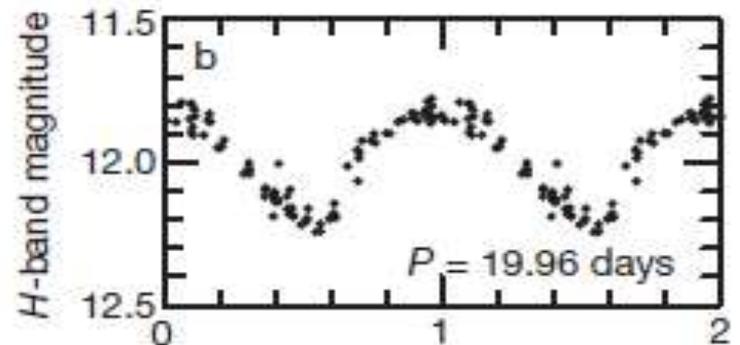


JASMINE

変光星の場合

- 星団を除けば、銀河系全体での星の分布を探り得る最もよいトレーサ
- 周期光度関係で距離決定
- 年齢の推定が容易
- 個数は普通の星よりも3～5桁少ない
- Gaia、JASMINEに先行して研究を進められる。
- いくつかの利点を活かして、Gaia、JASMINEを相補的な役割を果たすことになる。

銀河中心に見つかったセファイド
Matsunaga et al. (2011)

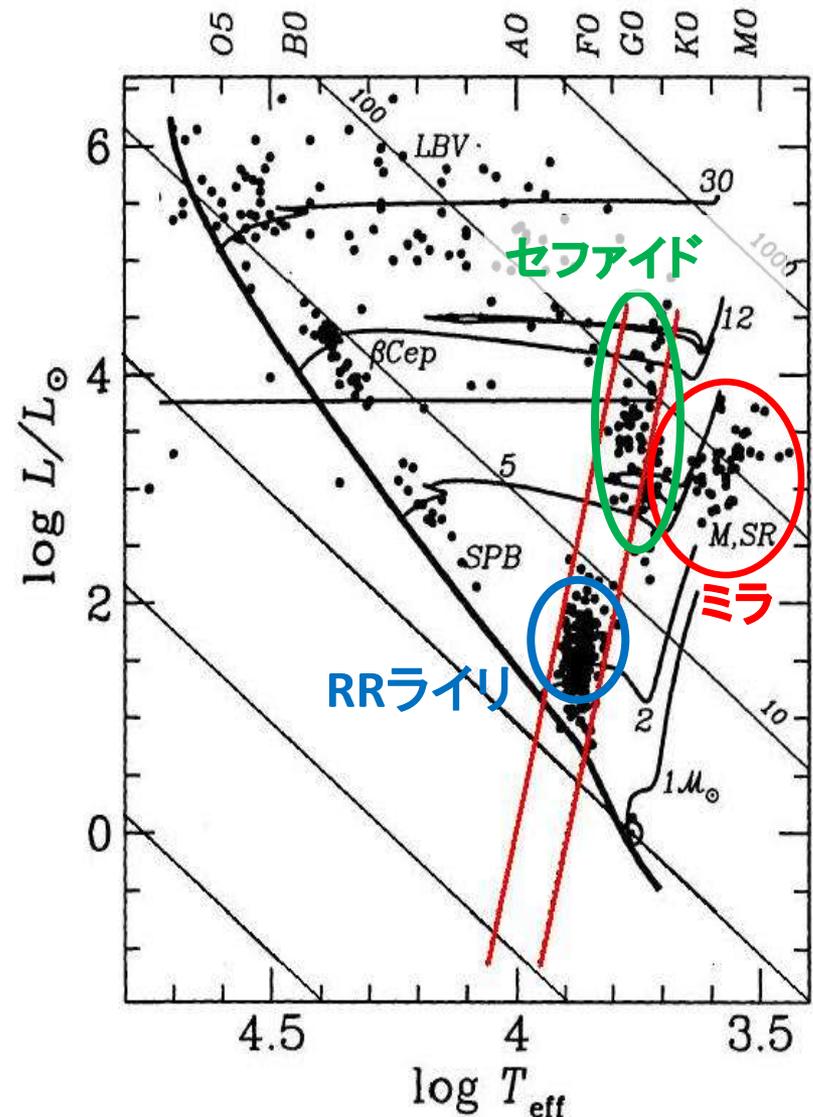


WISHによる(銀河系)変光星観測

- 固有運動の測定
- 星間減光の大きい銀河円盤でも、銀河系の広い範囲(~ 10 kpc)の変光星が見える。
- 高い位置精度と広視野によって、円盤に埋もれた変光星の固有運動を初めて調べられる。
- 銀河系の骨格部分をなす星の3次元速度を初めて決められる。
 - 星間減光のためGaiaで見られない星が多い。
 - 分光観測はそれまでに行っておきたい。

セファイド・ミラ・RRライリ

- 古典的セファイド
 - Blue loop (4~10 M_{sun})
 - 周期 3~50日程度
- ミラ型変光星
 - AGB (1~6 M_{sun})
 - 周期 100~1000日程度
- RRライリ変光星
 - HB (~1 M_{sun})
 - 周期 0.5~1日程度
- II型セファイド
 - post-HB (~1 M_{sun})
 - 周期 1~40日程度



銀河系研究への応用

- 脈動変光星の4つの役割

- 銀河系構造のトレーサ

- 位置が分かる: 周期光度関係による距離測定。

- 恒星種族のトレーサ

- 年齢がわかる: 特定の進化段階で変光星になる。

- 化学進化のトレーサ

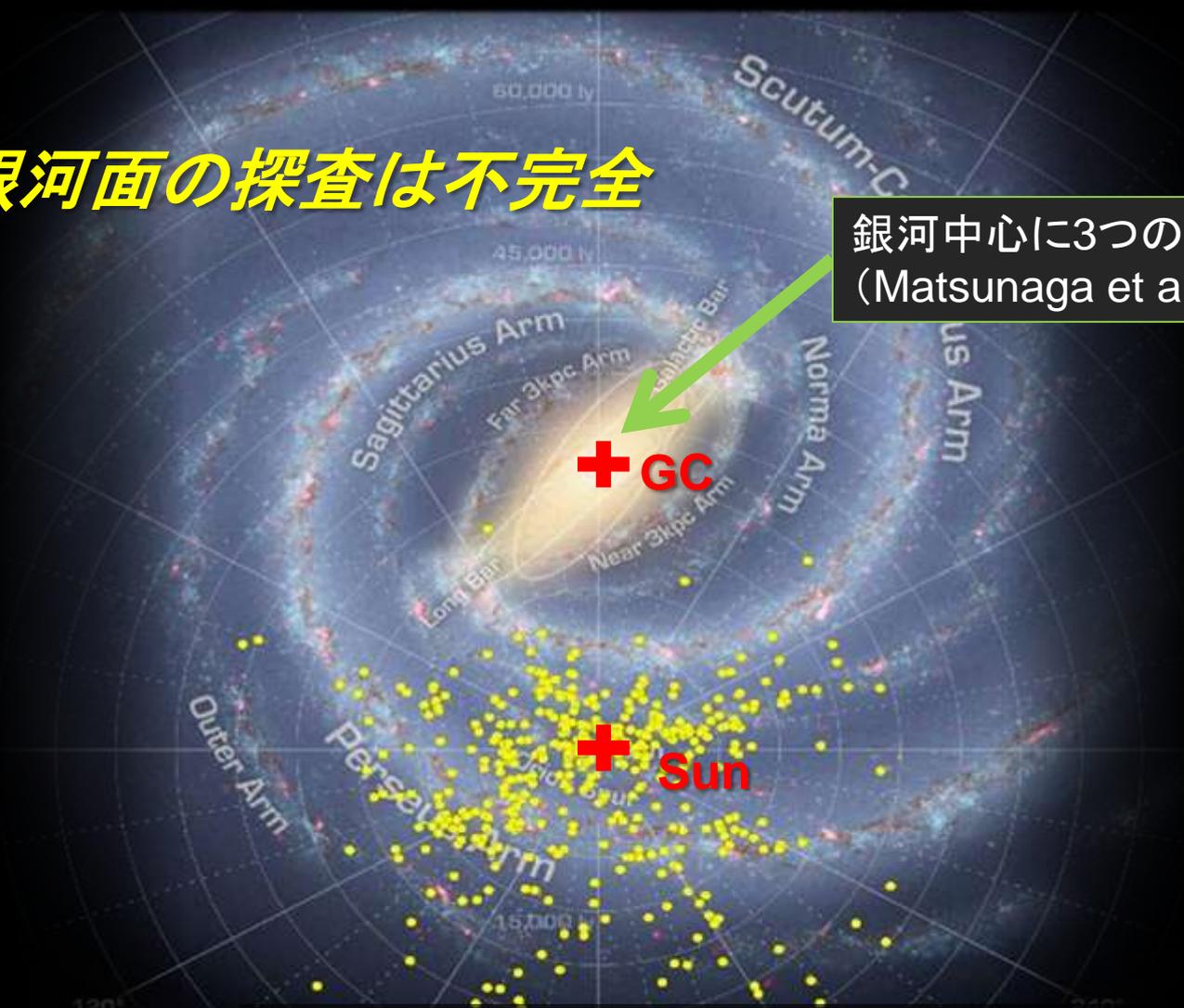
- 星の運動のトレーサ

- 分光観測で、化学組成と視線速度もわかる。

変光星探査の現状

銀河面の探査は不完全

銀河中心に3つのセファイド
(Matsunaga et al. 2011)



既知の古典的セファイド約500個の分布 (DDOデータベース)

<http://www.astro.utoronto.ca/DDO/research/cepheids/>

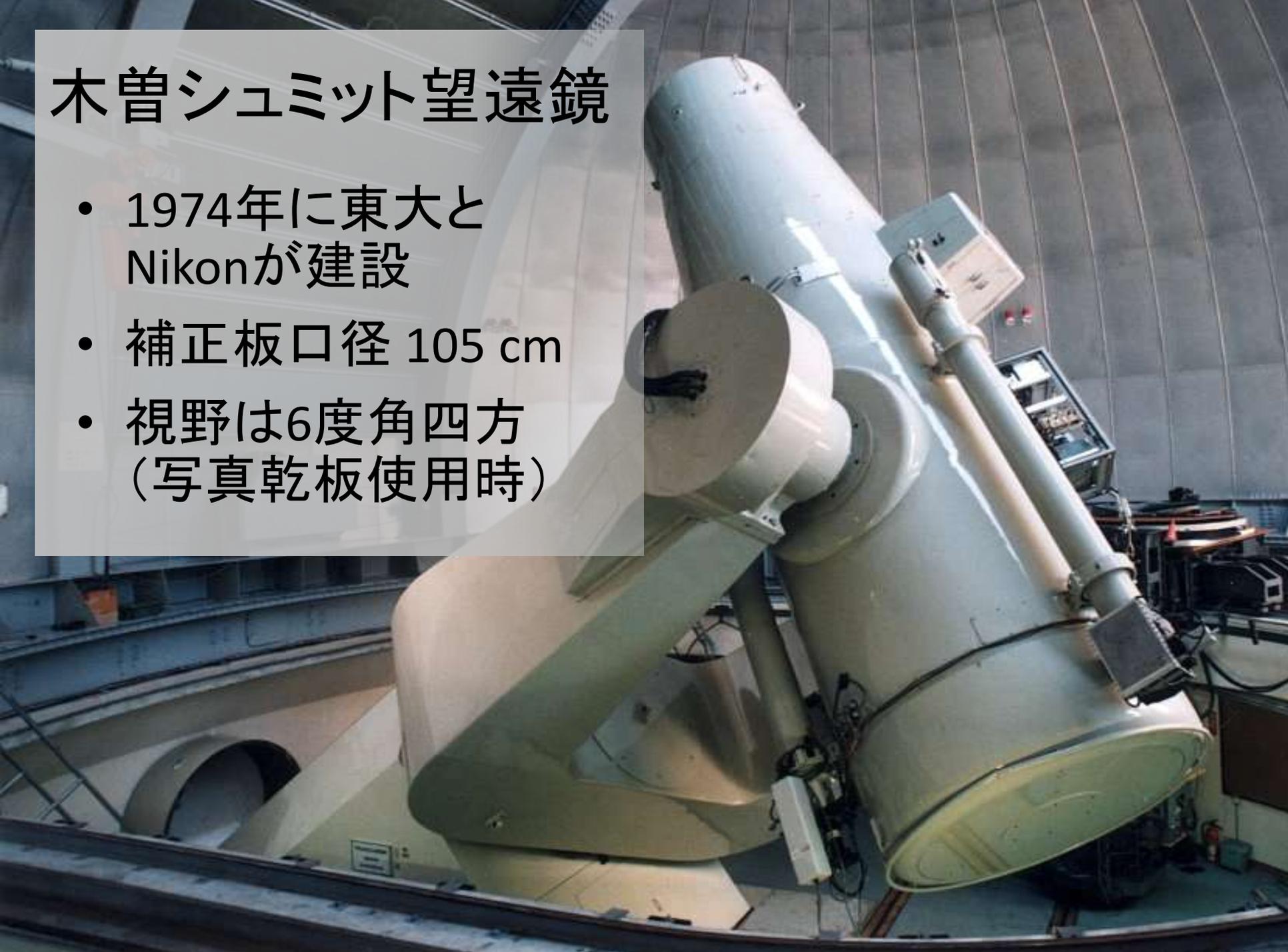
背景: (c) GLIMPSE project (2008)

KISOGP

- KWFC Intensive Survey Of the Galactic Plane
- KWFC大規模観測プログラムのひとつ
 - もうひとつは超新星探査 (KISS、諸隈さんがPI)
- 銀河面に埋もれた変光星および新星・矮新星などを探査して、銀河系の構造を調べる。
- 銀河面に沿って銀経60～210度を観測

木曾シュミット望遠鏡

- 1974年に東大とNikonが建設
- 補正板口径 105 cm
- 視野は6度角四方
(写真乾板使用時)

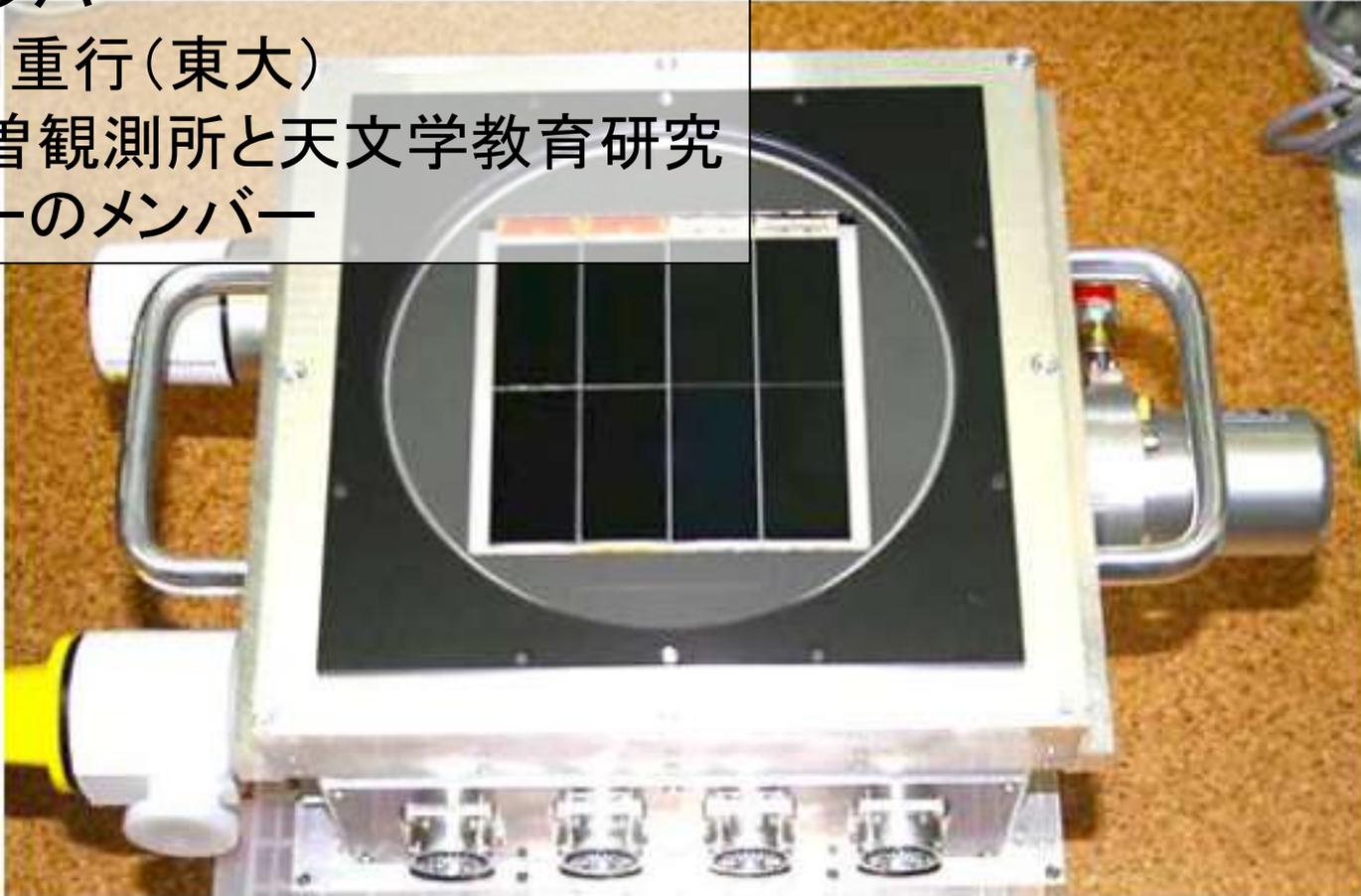


視野 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ の超広視野カメラ KWFC (Kiso Wide Field Camera)

開発メンバー

PI 酒向重行(東大)

他、木曾観測所と天文学教育研究
センターのメンバー



KWFCの現状

105cm Schmitt Telescope

KWFC

- 2012年4月から共同利用、大規模観測を開始
- ハードウェアとしては完成。
- ソフトウェアの開発を進めている。

– 安定、効率的な観測

– リアルタイムのデータ処理



Remote observations



Data server & processor



Weather station

KISOGPの探査領域

2度ごとのグリッド状に
KWFC **75視野**

3年間に約40回観測

$\alpha \sim 21.2^{\text{h}}$
 $\delta \sim +24^{\text{deg}}$

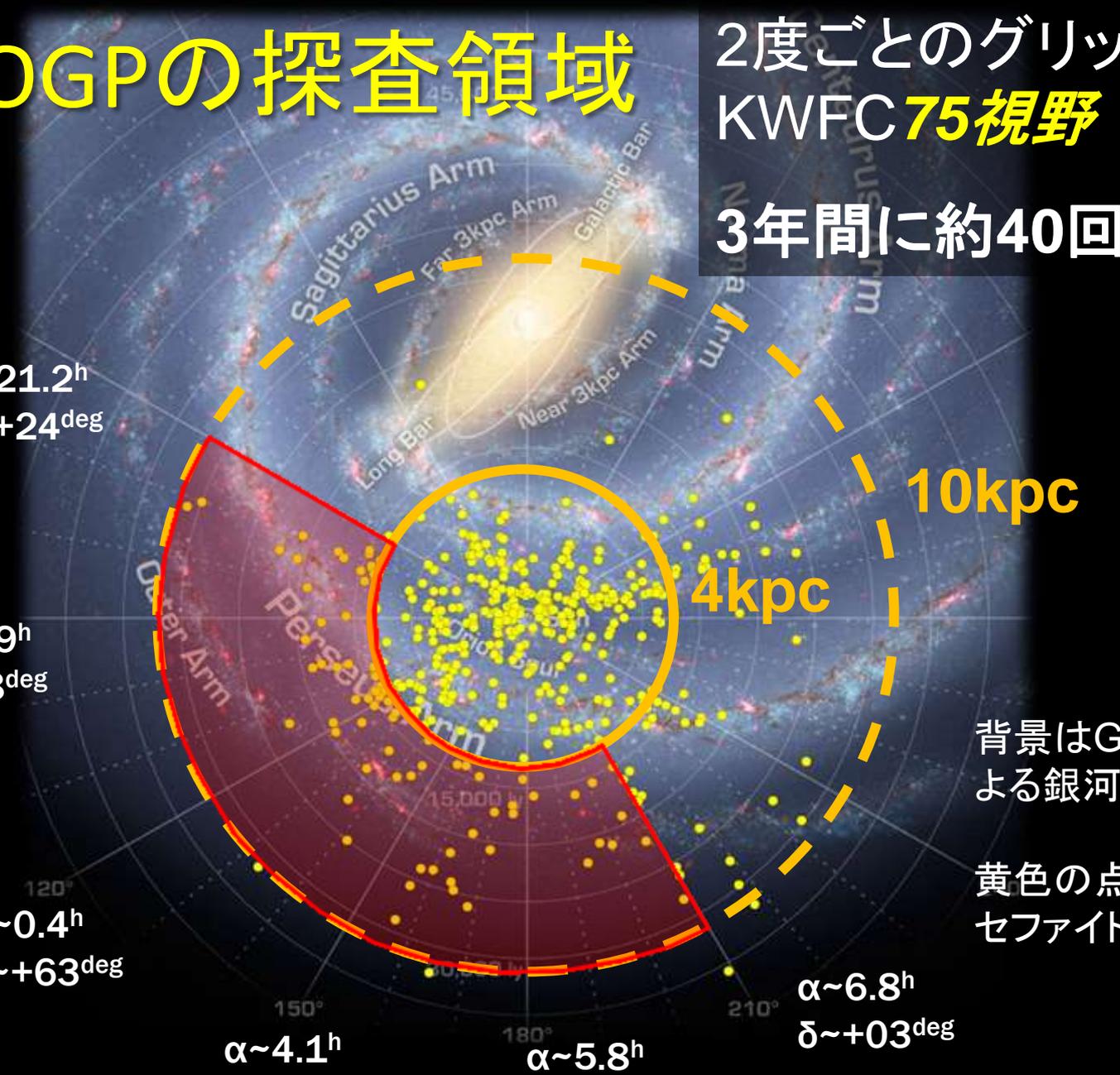
$\alpha \sim 23.9^{\text{h}}$
 $\delta \sim +48^{\text{deg}}$

$\alpha \sim 0.4^{\text{h}}$
 $\delta \sim +63^{\text{deg}}$

$\alpha \sim 4.1^{\text{h}}$
 $\delta \sim +52^{\text{deg}}$

$\alpha \sim 5.8^{\text{h}}$
 $\delta \sim +29^{\text{deg}}$

$\alpha \sim 6.8^{\text{h}}$
 $\delta \sim +03^{\text{deg}}$



10kpc

4kpc

背景はGLIMPSEによる銀河系の想像図

黄色の点が既知のセファイドの分布

観測領域が銀河面をカバーする様子



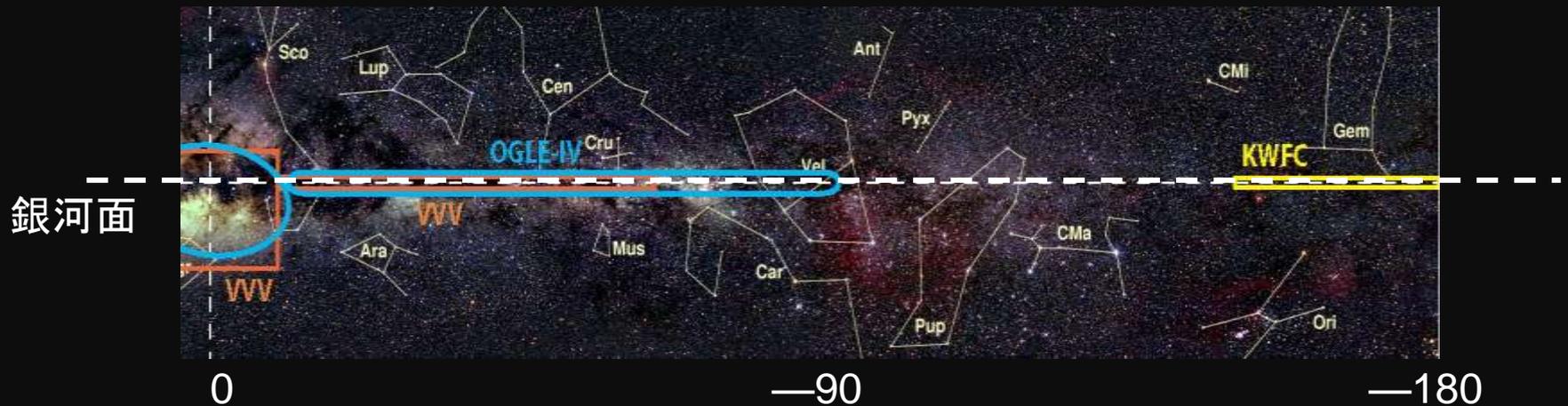
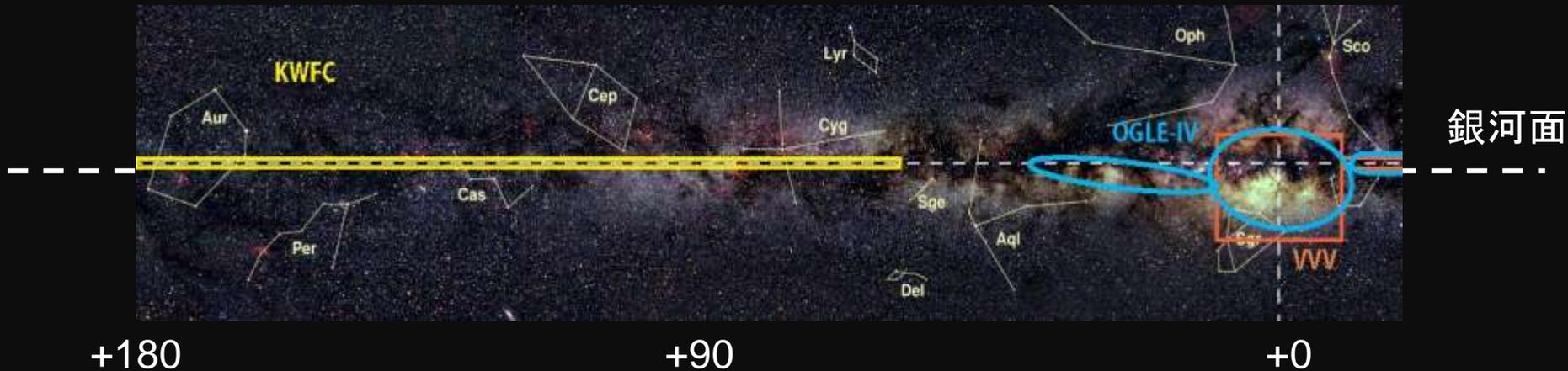
銀経80度付近

30度×30度

チャート:前原さん(京大)作成

KWFCの狙う領域

- 北半球の銀河面はライバルが少ない。



限界等級と変光星の等級

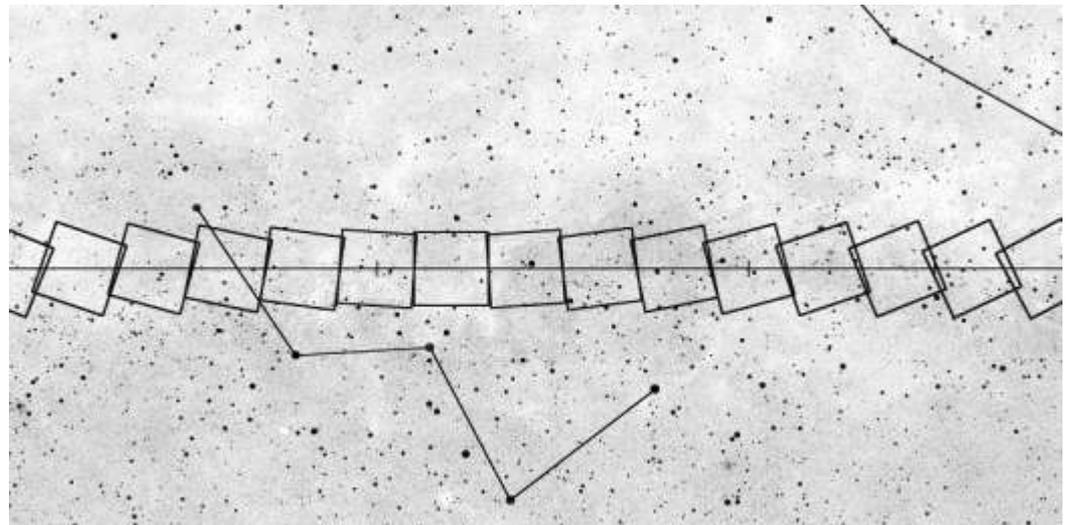
1バンド 17 等 (@S/N=30) \Leftrightarrow 19等 (@S/N=5)

KWFCでは1バンドにして発見に専念する。

変光星 の種類	絶対 等級	絶対等級		
		1kpc $A(l)=1^{\text{mag}}$	5kpc $A(l)=2^{\text{mag}}$	20kpc $A(l)=3^{\text{mag}}$
ミラ	$l \sim -4^{\text{mag}}$	7	11.5	15.5
セファイド (周期5日)	$l \sim -3.5^{\text{mag}}$	7	12	16
RRライリ	$l \sim 0^{\text{mag}}$	11	15.5	19.5

現状

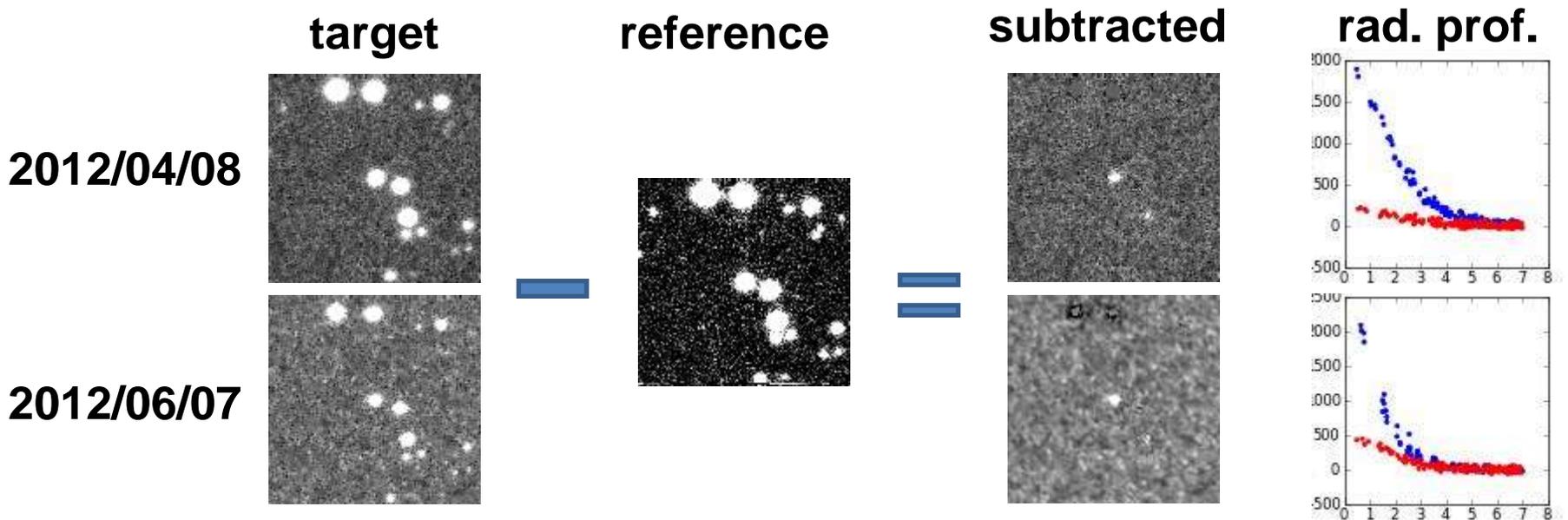
- 2012年4月から観測を開始
 - 4～6月は銀河面が沈んでしまう時期
 - 限界等級は予定通り。
 - データの収集量はいまいち。効率を上げて行きたい。
 - 8月下旬から本格的に観測開始。
- 少し解析すると、変光星はどんどん見つかりそう。



銀経120度あたり
(前原さん作成)

初期成果

- まだ、観測回数、解析を行える領域数も少ないが、いくつかの領域を見たところ、それぞれに数個から十数個の変光天体が出てくる。



銀経+80度の方向

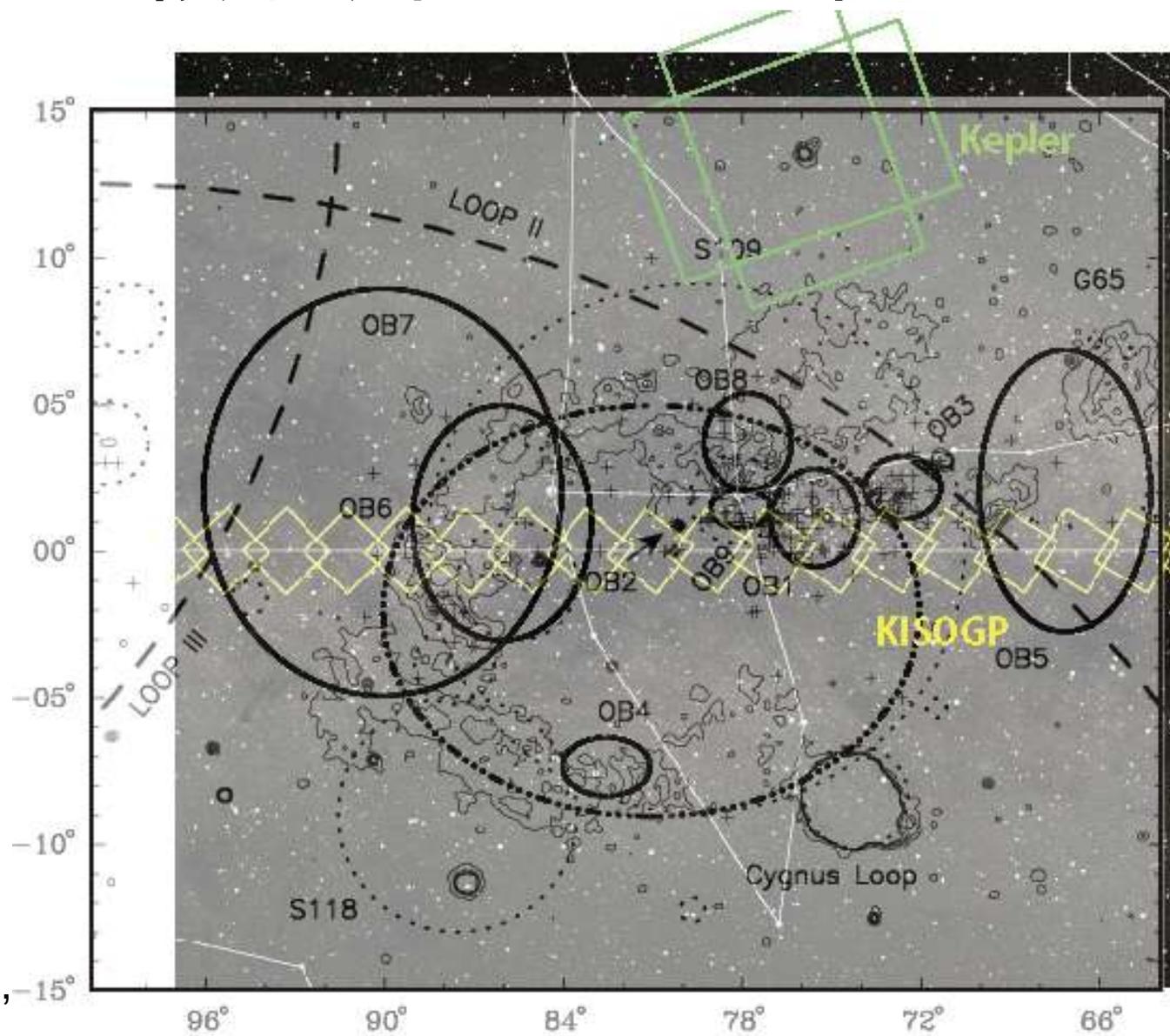
YSOの変光天体候補

Cyg OB2領域

V=14.47、R=14.38、J=12.77、H=12.01、Ks=11.82

X線での検出あり(ROSAT, XMM-Newton)

星形成領域、若い星との関連



Uyaniker et al. 2001,
A&A, 371, 675

Black curves (Cygnus OB associations)

プロジェクトの目標とタイムスケール

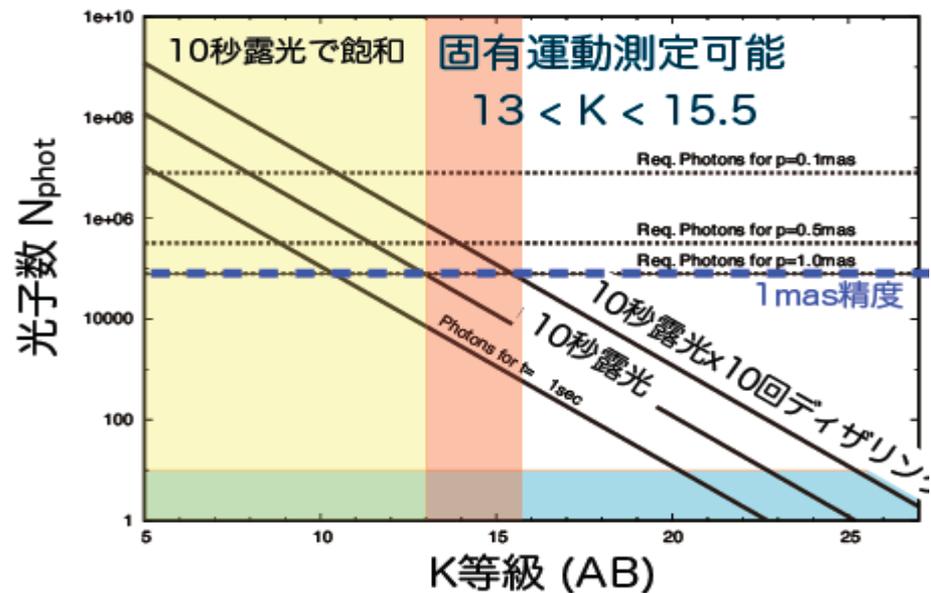
- 3年間の観測を行う。
 - 銀河面にある脈動変光星
 - VISTA/VVVサーベイなどが結果を出す2015年頃に目標を置く。
 - 突発天体(新星・矮新星)
 - 2012年度のシーズンで発見のシステムを確立させる
 - 追観測できるコミュニティと連携(突発天体の観測者、大学間連携ネットワーク)
 - その他にも多様な天体(YSO、小惑星、トランジット)
- ひとつのサーベイのデータから、いろいろな人がいろいろなテーマで論文を書く。
 - 大量なデータの有効利用、なるべく早期の公開

WISHとの関連

- 木曾のKISOGPなどから出てくる情報
 - 銀河面の広い領域に分布する変光星のカタログ
 - 変光星の位置は、周期光度関係で求める。
- 分光追観測
 - 多くのセファイドが、Kバンドで13等よりも明るい。
 - すばるでの分光観測、APOGEE他
- WISH！
 - 固有運動の測定を行いたい。
 - 広範囲の変光星の固有運動を測れるのは初めて。
 - 希望の精度は0.4 mas/yr (馬場さんの講演と同様)

WISH銀河面サーベイ

- 馬場さんの講演参照
 - 銀河円盤領域の数百平方度をJHKで探査
 - K=13~25等級 (AB) の観測
 - 5~10年後に再度観測して、固有運動計測
 - 固有運動が測れるのは16等より明るい星



バルジの距離にある天体の予想等級

天体の種類	A(K)=0 A(V)=0	A(K)=1 A(V)=10	A(K)=3 A(V)=26	
RGBチップ	K=10	K=11	K=13	
セファイド(P=20d)	K=10	K=11	K=13	飽和限界 (13等)
セファイド(P=5d)	K=13	K=14	K=16	
レッドクランプ	K=15	K=16	K=18	固有運動の 限界 (16等)
RRライリ	K=16.3	K=17.3	K=19.3	
主系列転向点	K=19.0	K=20.0	K=22.0	検出限界 (25等)

VEGA等級に2等加えて、AB等級に変換した

セファイド以外の数値はMinniti et al. (2010)より

WISH探査での等級
(馬場さんの講演)

WISH探査の等級と変光星の明るさ

- 短周期セファイド(~ 200 Myr)や、RRライリ(10Gyr)、さらに主系列転向点(< 10 Gyr)を10kpcより遠くまで見られる。
- 短周期セファイドについては、固有運動を測定できる。
- 明るい(銀河系)変光星はサチってしまう。
- 可能であれば、もう少し明るい天体を観測できるモードが欲しい。
 - 明るい天体でも、WISHの位置決定精度は貴重

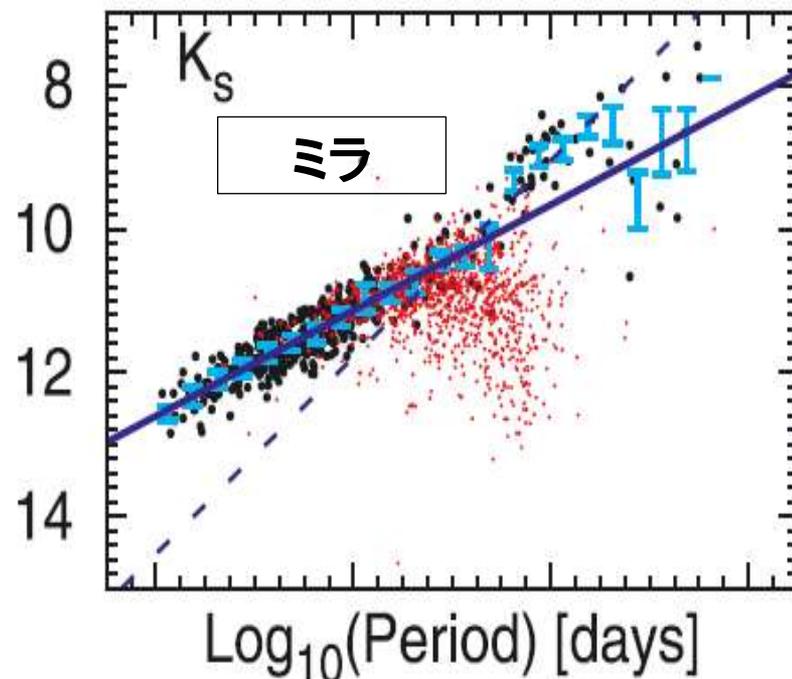
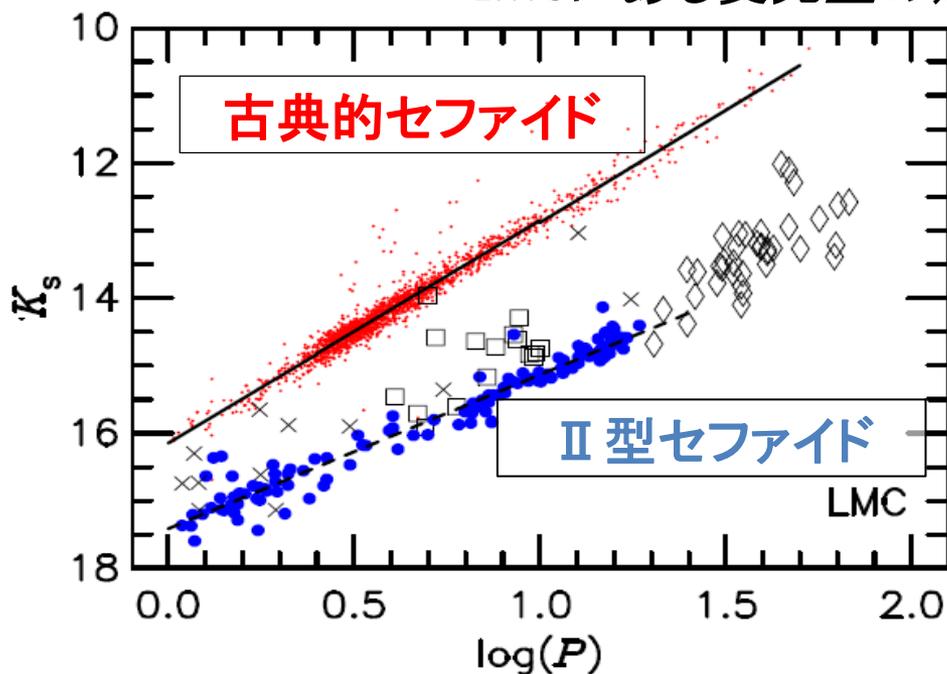
まとめ

- 変光星による銀河系研究
 - 変光星は重要なトレーサ (Gaia、JASMINE後も)
- 現在進めている研究とWISHへの期待
 - 変光星を探しています (KISOGP他)。
 - 分光追観測も行う予定です。
 - WISHで固有運動を測りましょう。
 - 変光星の位置と3次元速度⇒銀河系の進化

銀河系構造のトレーサ

- 周期光度関係を距離指標として利用できる。
 - ひとつひとつの変光星の距離を求められる。
 - 変光星のカラーから、赤化・減光の量も評価可能。

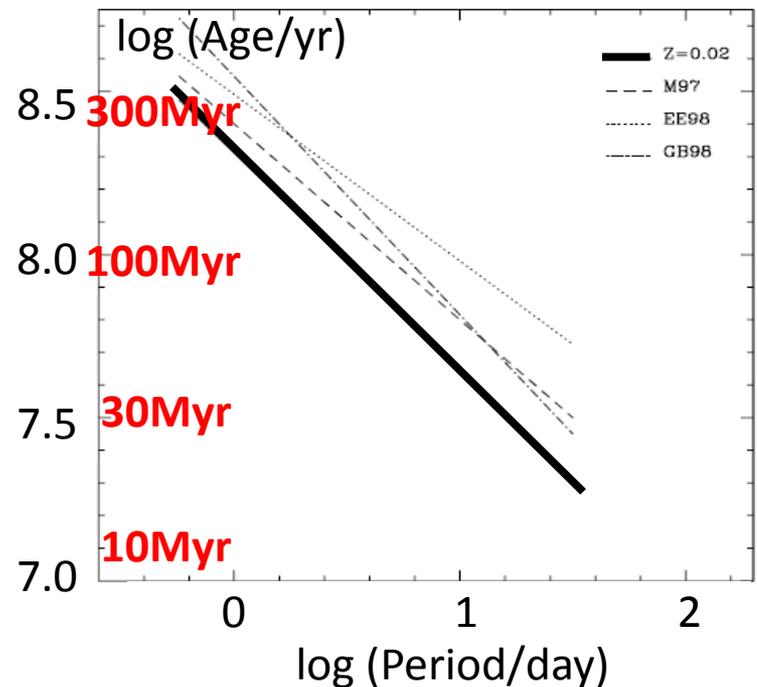
LMCにある変光星の周期光度関係



恒星種族のトレーサ

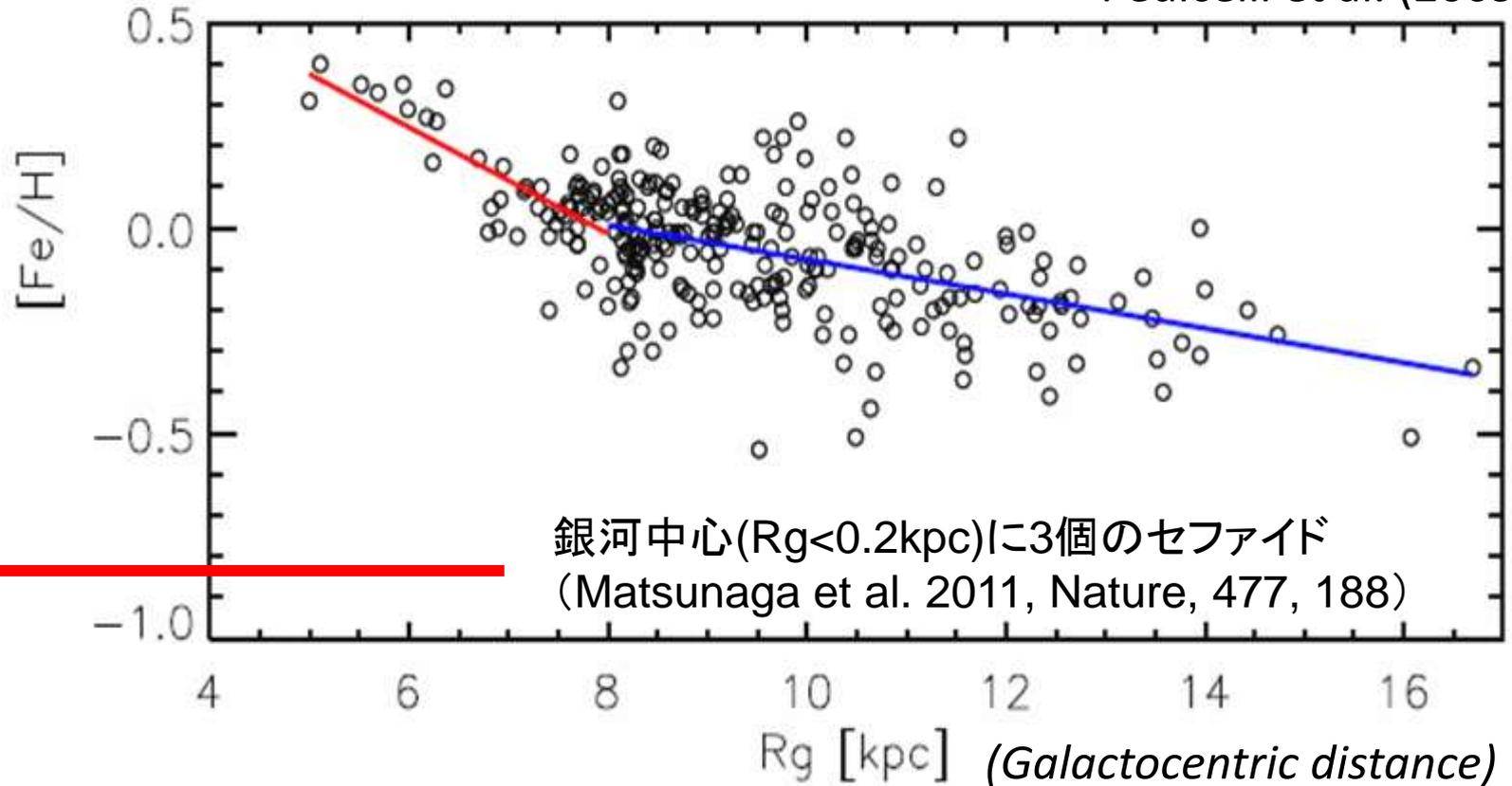
Type	Initial Mass	Age
古典的セファイド	4–10 M_{sun}	20–300 Myr
ミラ	1–6 M_{sun}	100 Myr –10 Gyr
II型セファイド RRライリ	$\sim 1 M_{\text{sun}}$	~ 10 Gyr

古典的セファイドの
周期と年齢の関係
(Bono et al. 2005)



化学進化のトレーサ

Pedicelli et al. (2009)



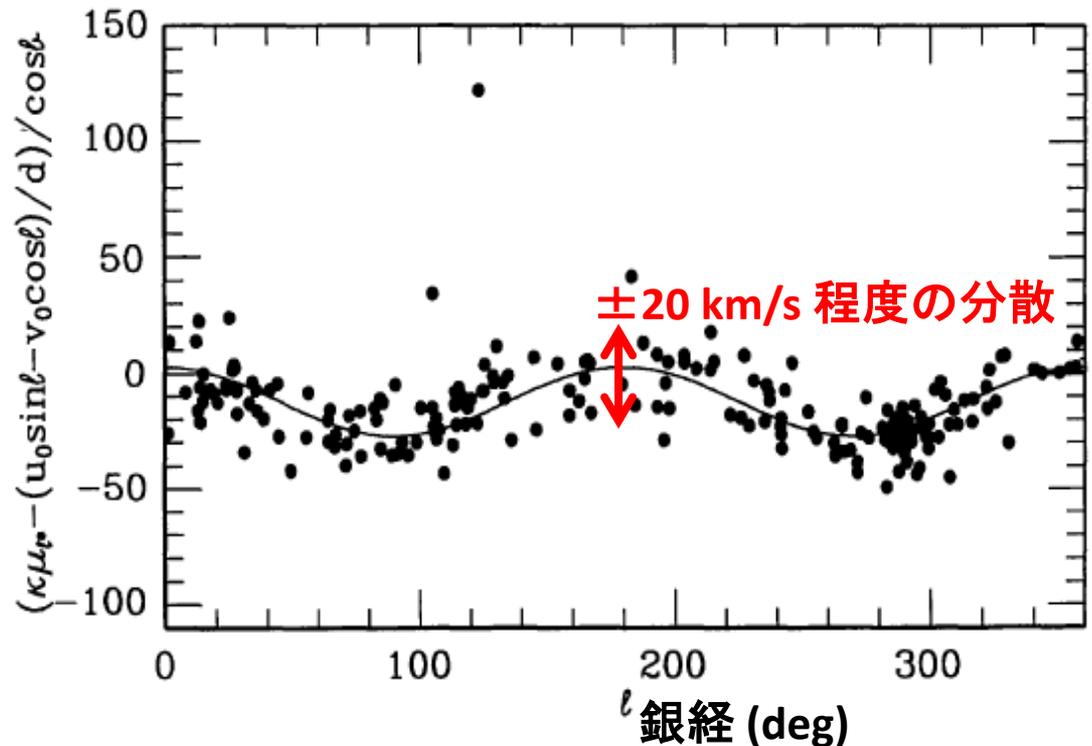
- ディスク内側のサンプルが不十分
- ディスク外側はセファイドでどこまでトレースできる？

運動のトレーサ

- 距離（銀河系中での位置）と年齢のわかる星の運動を調べられる。

Hipparcosの固有運動によるセファイドの運動の研究。
→おおよそ銀河回転に従う。

太陽の運動を補正した後の銀経方向への速度 (km/s)



Feast & Whitelock (1997)