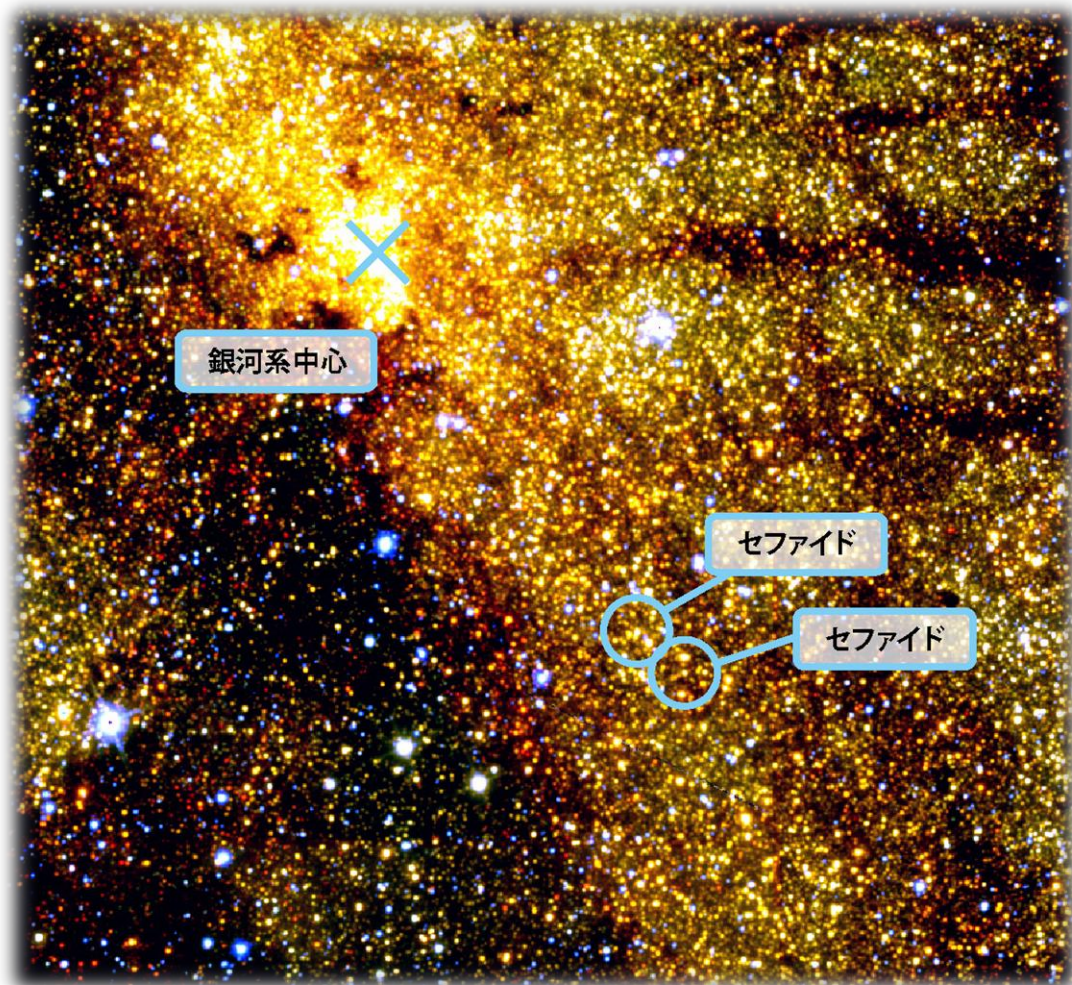


脈動変光星の銀河系研究への応用

松永典之
(東京大学 木曾観測所)

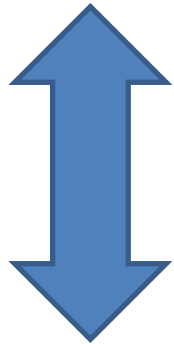


概要

- イン트로—脈動変光星がなぜ重要か
- 研究紹介—銀河系中心のセファイド
- 今後の展望—木曾変光星探査の紹介

「古典的」な脈動変光星

- Kepler衛星は、普通の星の振動をとらえることに成功した。(星震学)



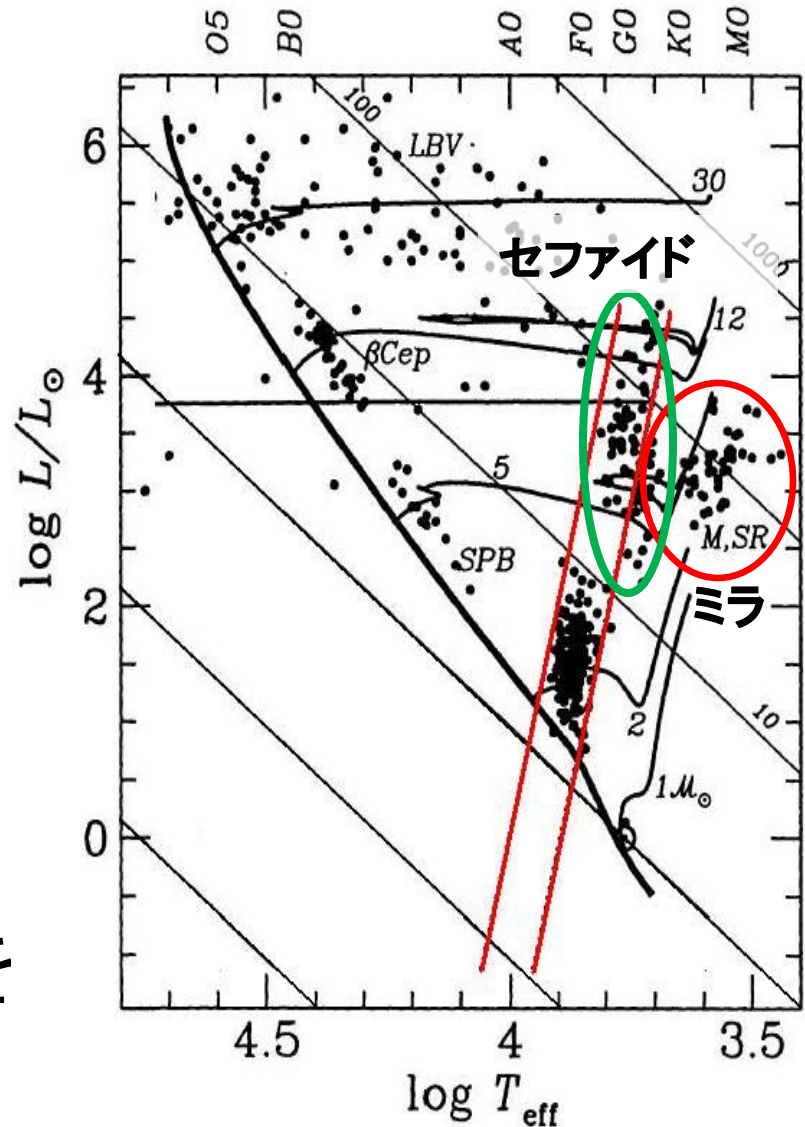
- 対象となる星が非常に多い。
- 超高精度の観測を何度も繰り返す必要がある。

- セファイドなどに代表される振幅の大きな脈動を持つ星。(古典的な脈動星)

- 明るい星が多く、遠くの天体が見られる。
- 観測が比較的容易。

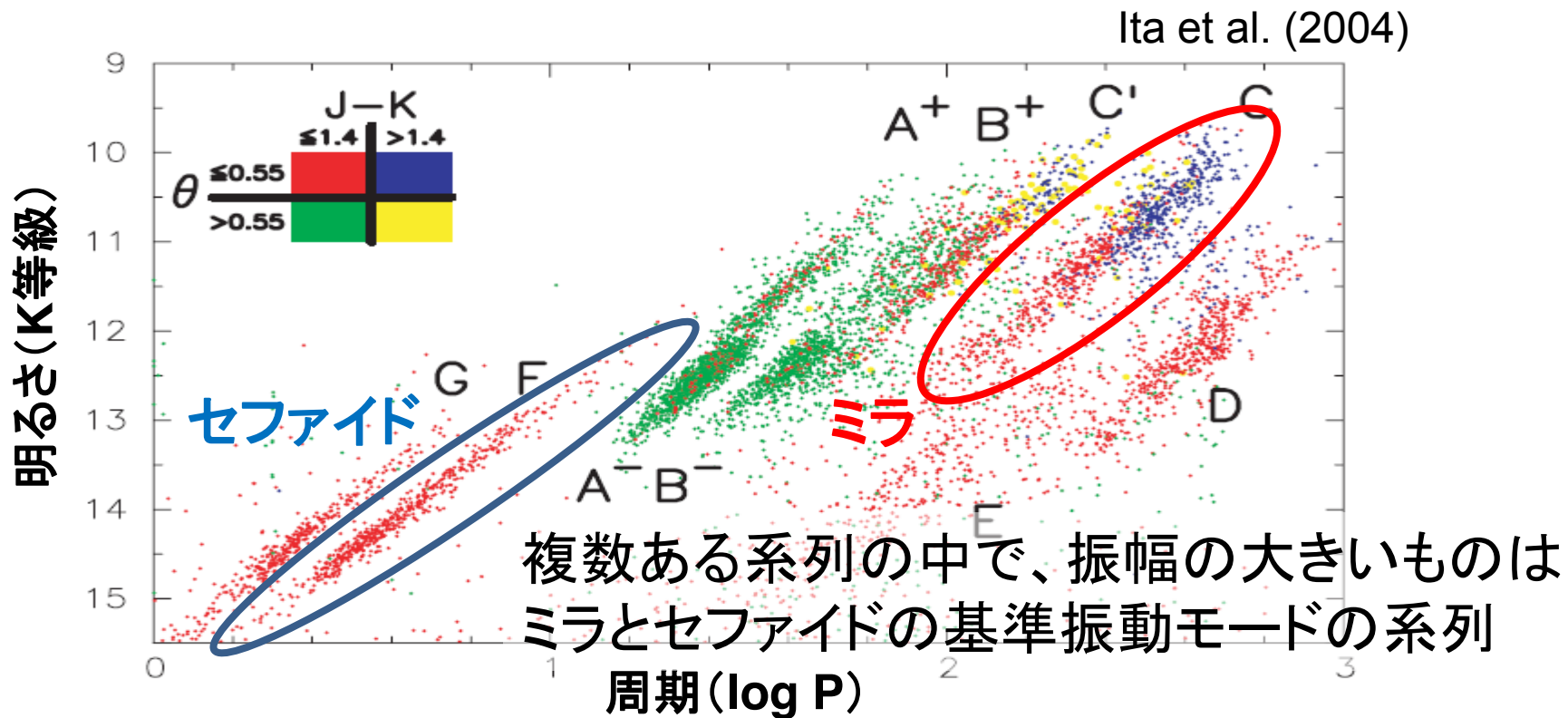
セファイド・ミラ

- セファイド
 - セファイド不安定帯
 - 周期1~100日程度
 - Blue loop (4~10 M_{sun})
- ミラ型変光星
 - 低温度領域
 - 周期100~1000日程度
 - AGB (1~8 M_{sun})
- どちらも周期光度関係を持つ。

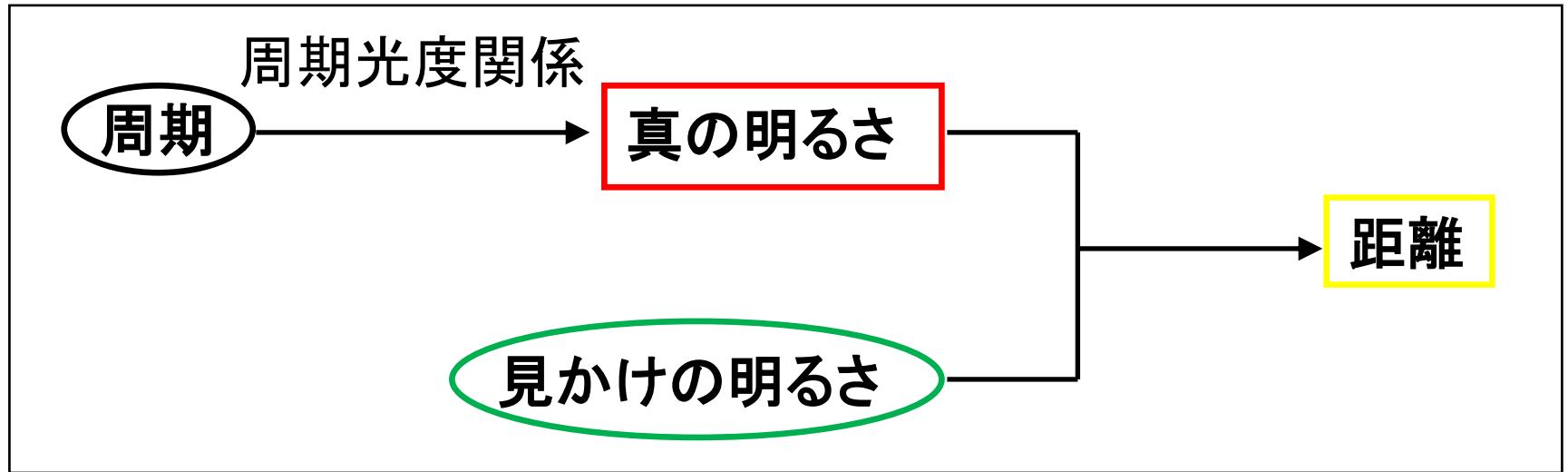


周期光度関係

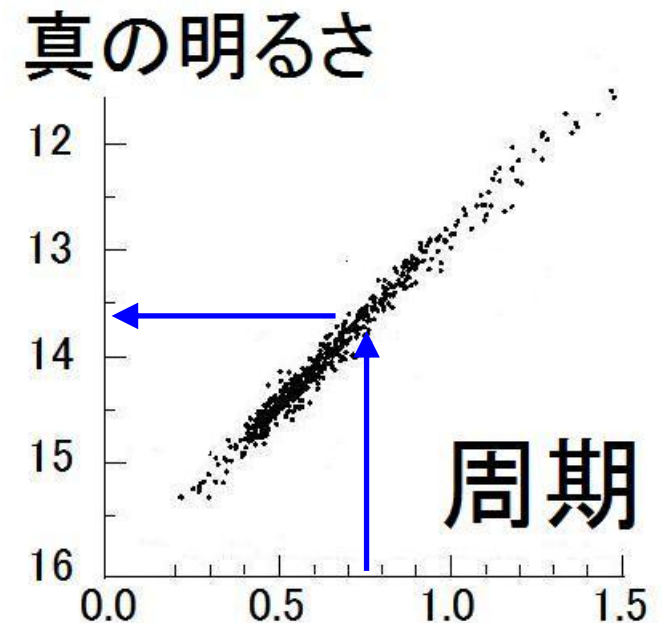
- リーヴィットが1908年にセファイドの関係を発見。
- エドウィン・ハッブルが宇宙膨張を発見するのにも利用された(1929年)。



周期光度関係による距離の測定法



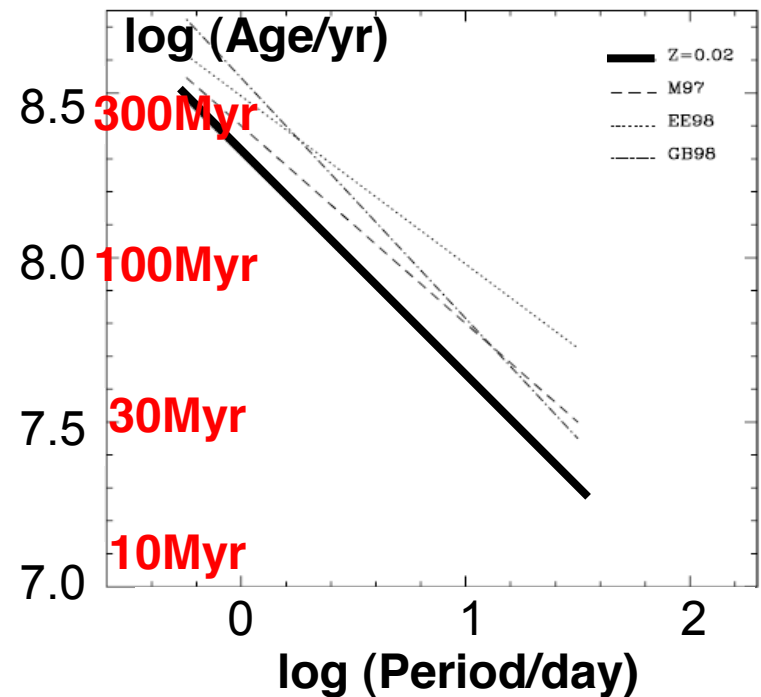
$$m - M(P) = 5 \log D - 5$$



脈動変光星の年齢

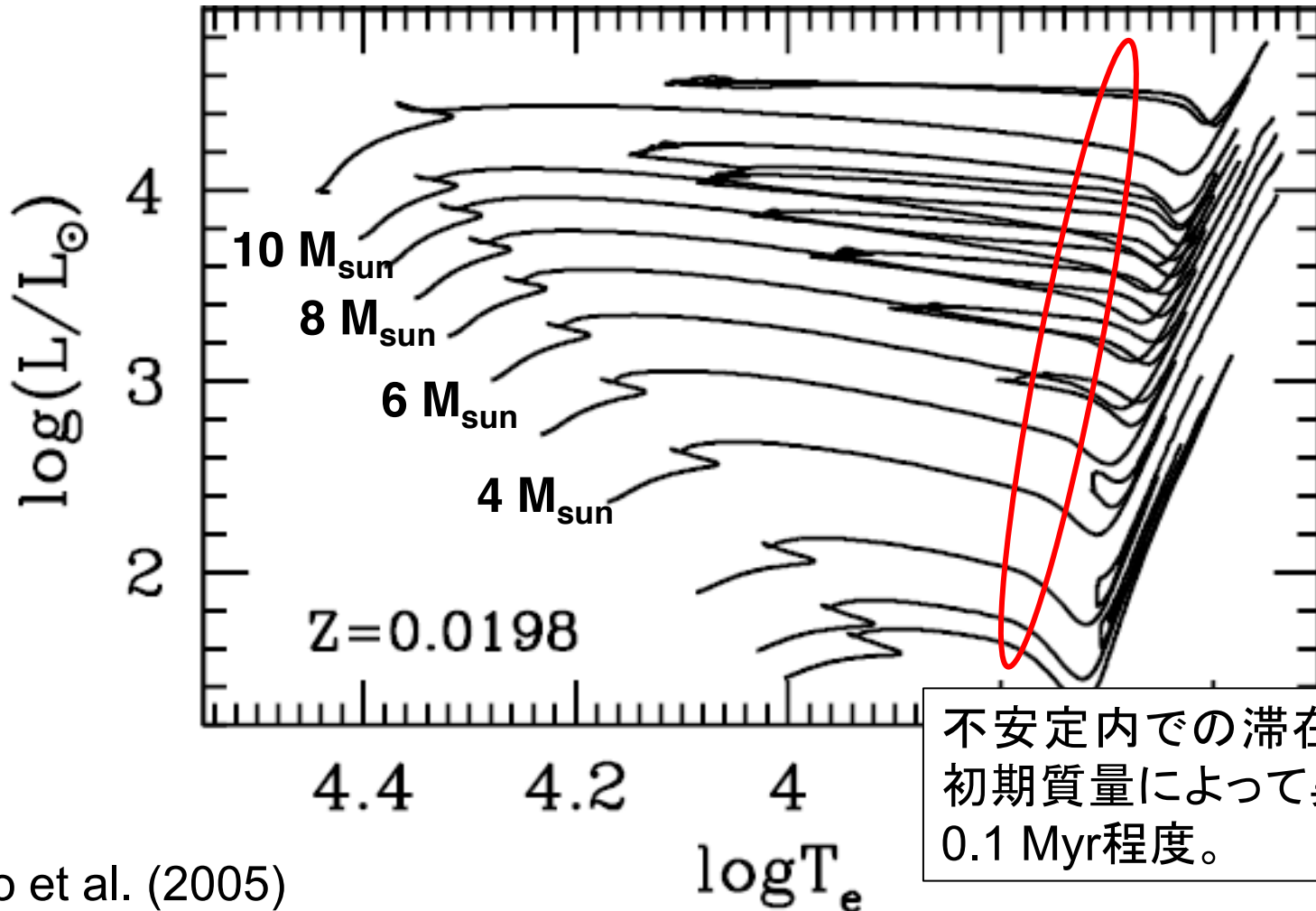
種類	初期質量	年齢
古典的セファイド	4–10 M_{sun}	20–300 Myr
ミラ	1–6 M_{sun}	100 Myr –10 Gyr
II型セファイド RRライリ	$\sim 1 M_{\text{sun}}$	~ 10 Gyr

古典的セファイドの
周期と年齢の関係
(Bono et al. 2005)



セファイドの進化経路

- 重い星ほど高光度でセファイド不安定帯を横切る。

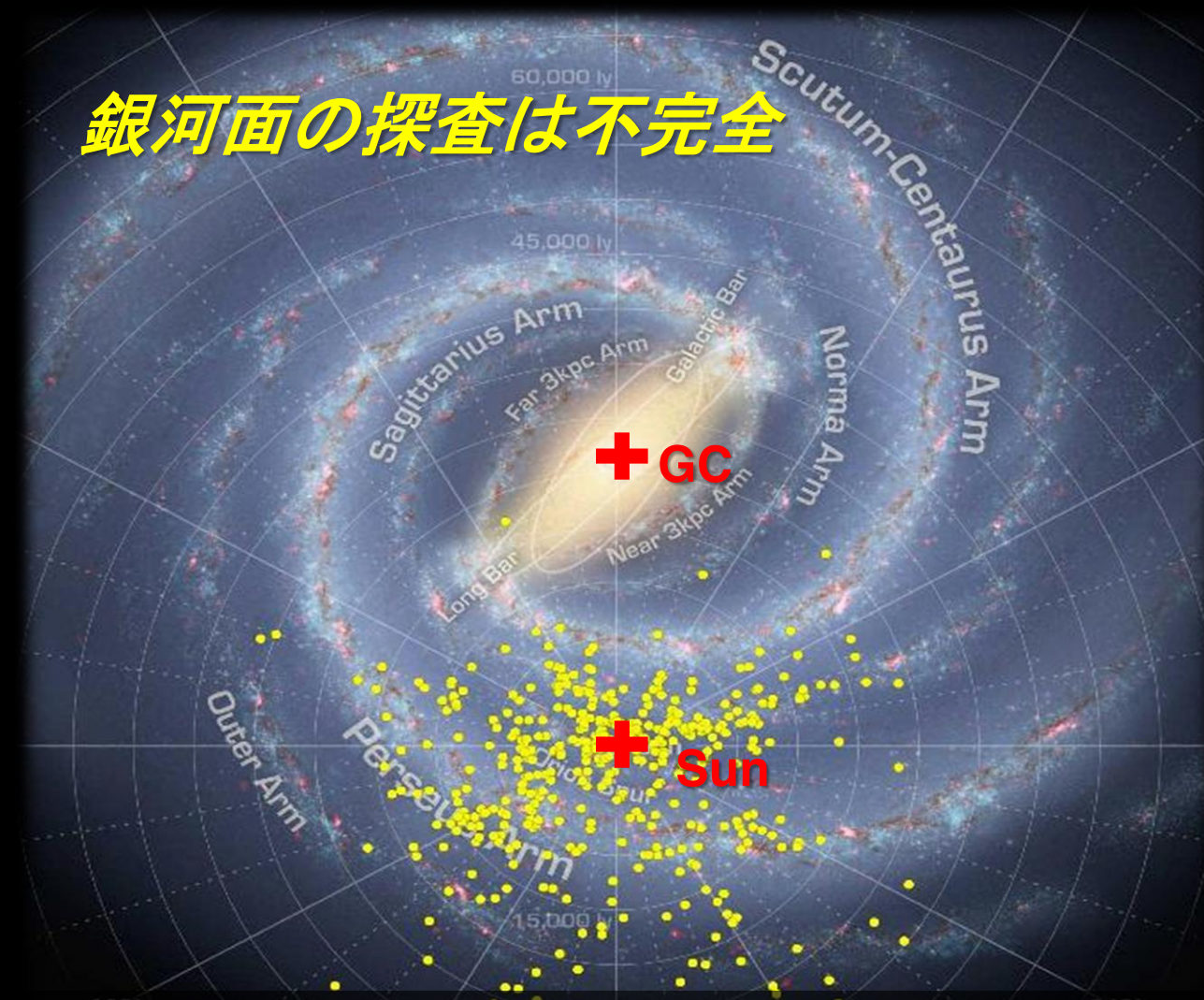


不安定内での滞在時間は初期質量によって異なるが0.1 Myr程度。

銀河系のトレーサとしての変光星

- 距離、年齢がわかる天体の利用価値。
- 銀河系研究への4つの役割
 - 銀河系構造のトレーサ
 - 恒星種族のトレーサ
 - 化学進化のトレーサ
 - 星の運動のトレーサ

セファイド変光星探査の現状



既知の古典的セファイド約500個の分布 (DDOデータベース)

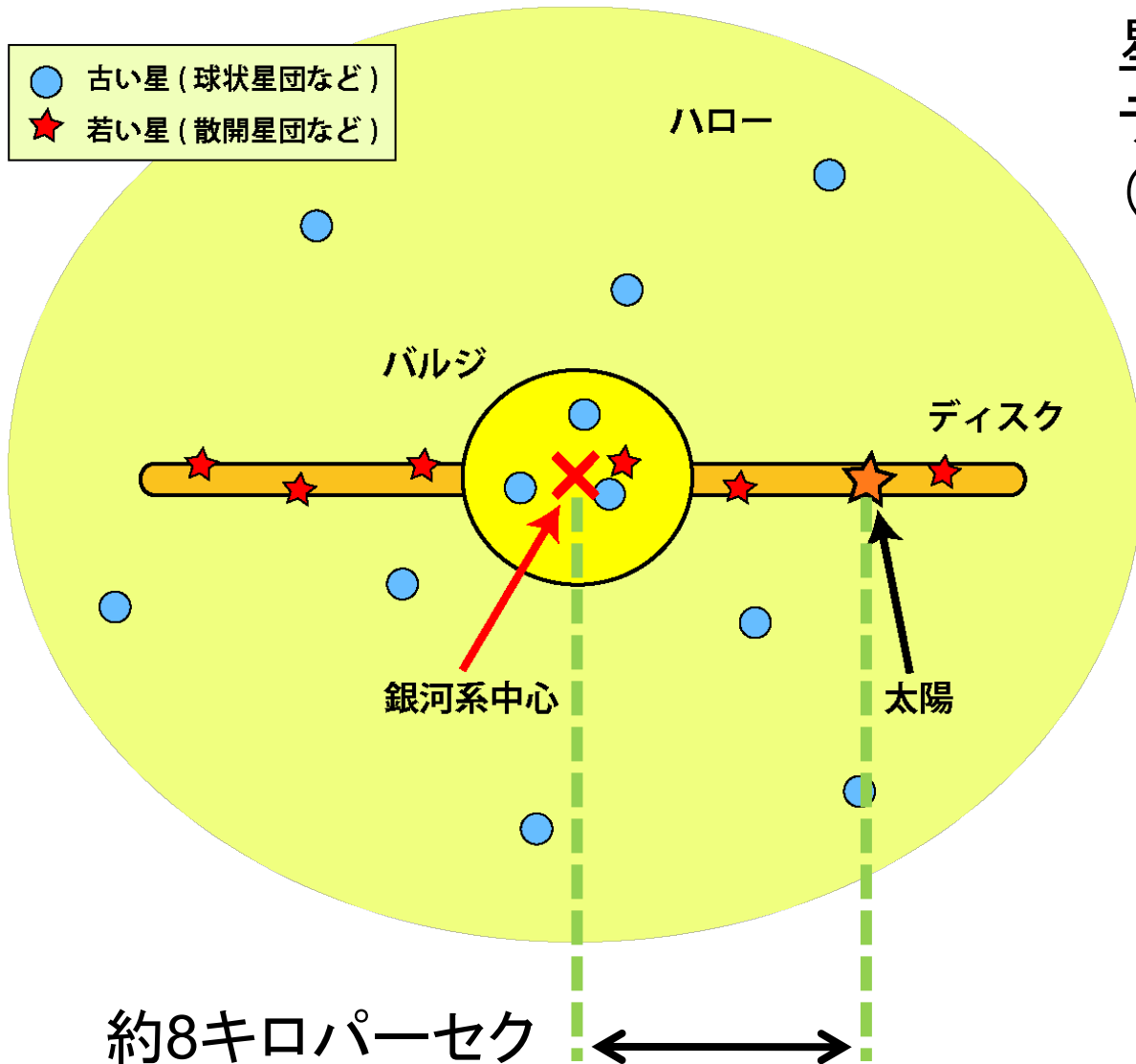
<http://www.astro.utoronto.ca/DDO/research/cepheids/>

背景: (c) GLIMPSE project (2008)

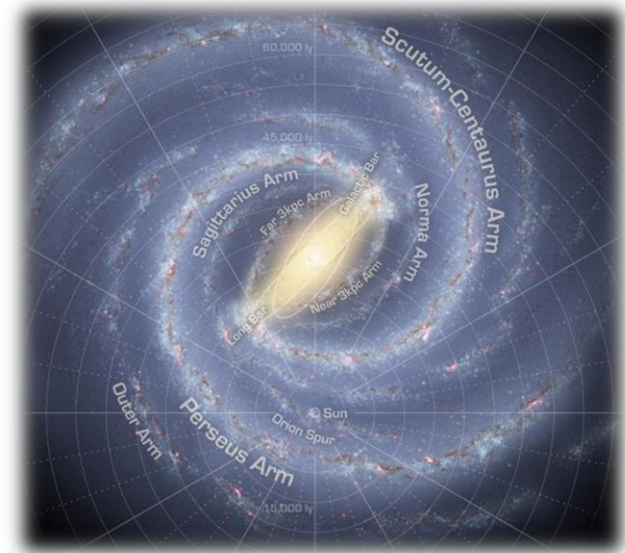
研究紹介：銀河系中心の変光星

- Matsunaga et al. 2009, MNRAS, 399, 1709
- Matsunaga et al. 2011, Nature, 470, 188
- IRSF/SIRIUSを使った観測で、銀河系中心の変光星を探查。セファイドやミラを発見し、銀河系中心までの距離やそこにある星の性質などを調べた。

銀河系のおおまかな形



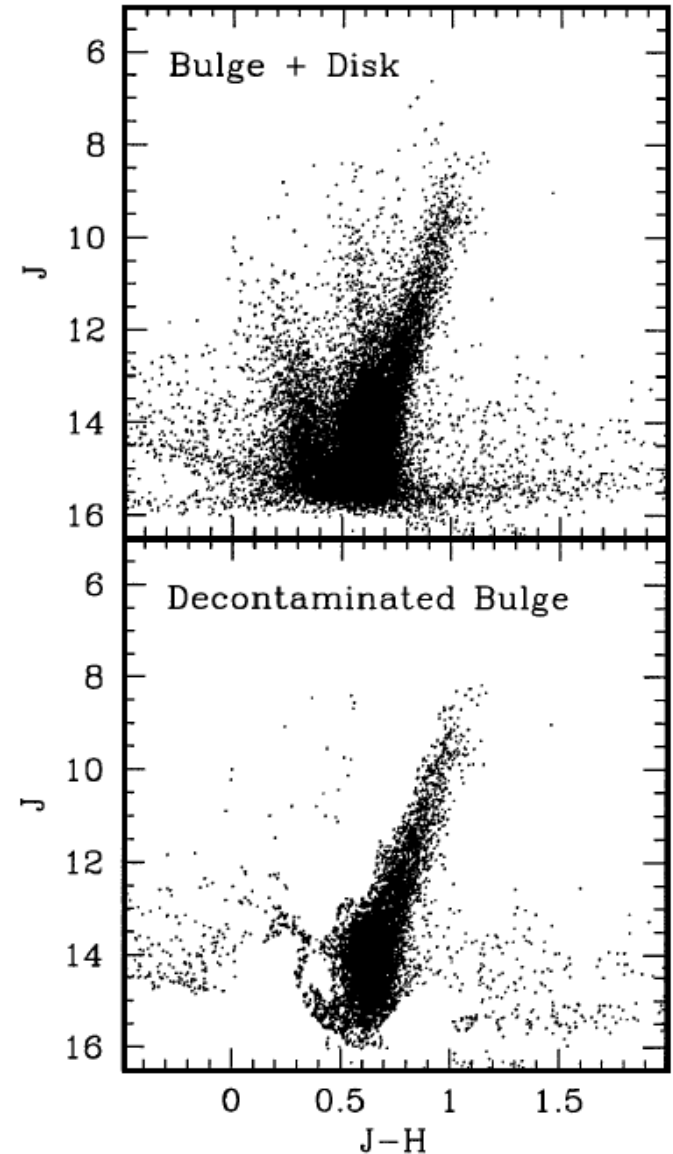
星が特に集まるのは
ディスクと呼ばれる領域
(=天の川)



ディスクを上から
見た想像図

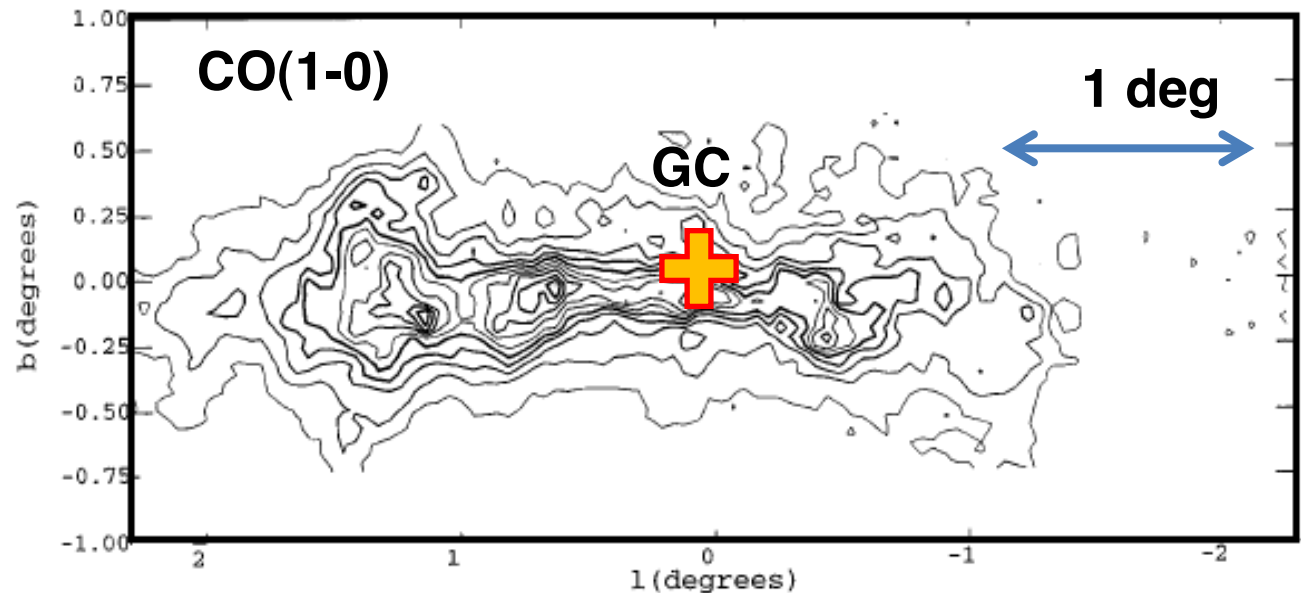
バルジは古い星だけ？

- 銀河系中心から少し離れた低減光領域（バーデの窓など）の研究では、バルジの星のほとんどが古い星であることがわかってきた。
 - 例) Zoccali et al. (2003, A&A, 399, 931)



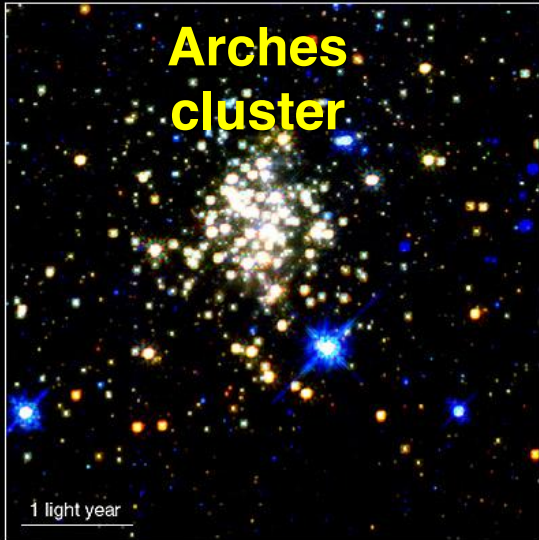
中心部には若い星がいる！

- 90年代半ばからの赤外線観測で年齢数Myrの大質量星が見つかった。
 - Serabyn & Morris (1996, Nature, 382, 602)
- Central Molecular Zone中での星形成



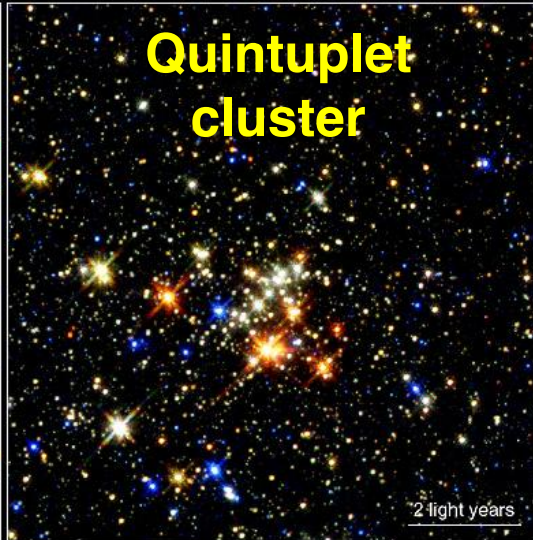
Nuclear Bulge中の代表的な若い星

Arches Cluster



Arches cluster

Quintuplet Cluster



Quintuplet cluster

Star Clusters Near the Center of the Galaxy

PRC99-30 • STScI OPO • D. Figer (STScI) and NASA

HST • NICMOS



Keck/UCLA Galactic Center Group

- 数Myr以内に生まれた大質量星、星団
 - Serabyn & Morris (1996)
 - Figer et al. (1999, 2002)
- 数十Myr前に生まれた星は同定されてなかった。

IRSF/SIRIUS

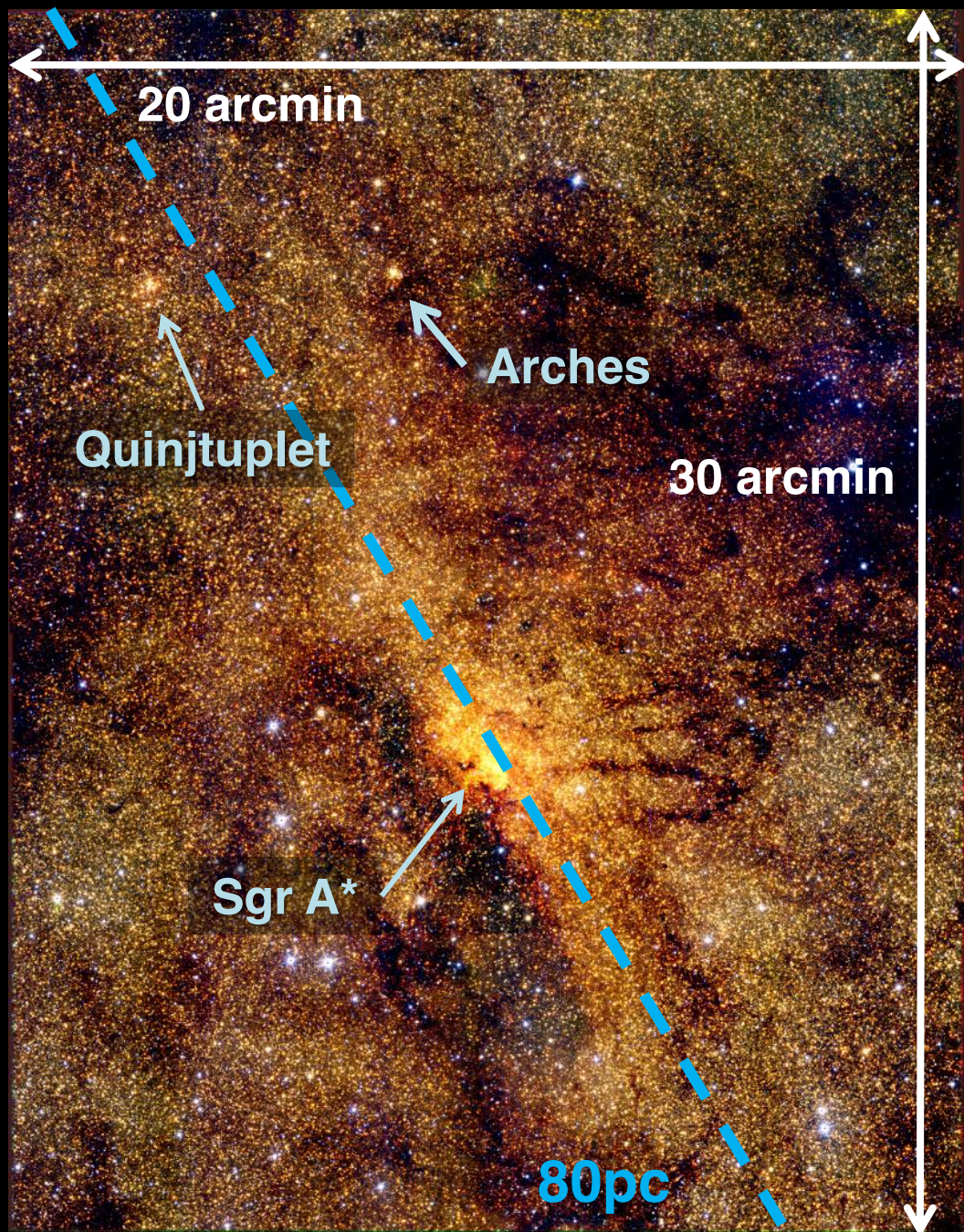


- 南アフリカ天文台
- 名古屋大・国立天文台のグループ(佐藤修二教授ら)が建設
- 主鏡口径 1.4mの望遠鏡
- 近赤外線カメラ SIRIUS
- 3つのHAWAIIアレイで、近赤外3波長を同時観測
 - 1.25 μm (Jバンド)
 - 1.63 μm (Hバンド)
 - 2.14 μm (Ksバンド)

実施した観測

- 中心部80pcの範囲。
 - $A(K_s) \sim 3^{\text{mag}}$, $A(V) > 30^{\text{mag}}$
- 2001～2008年に約90回繰り返し観測した。
- ミラの探査はあったが、詳しい調査はまだだった (Glass et al. 2001)。
- セファイドは全く見つけていなかった。

満月1個分くらいの観測範囲
10 arcminが8kpcで約25pcに相当



ミラ型変光星の発見

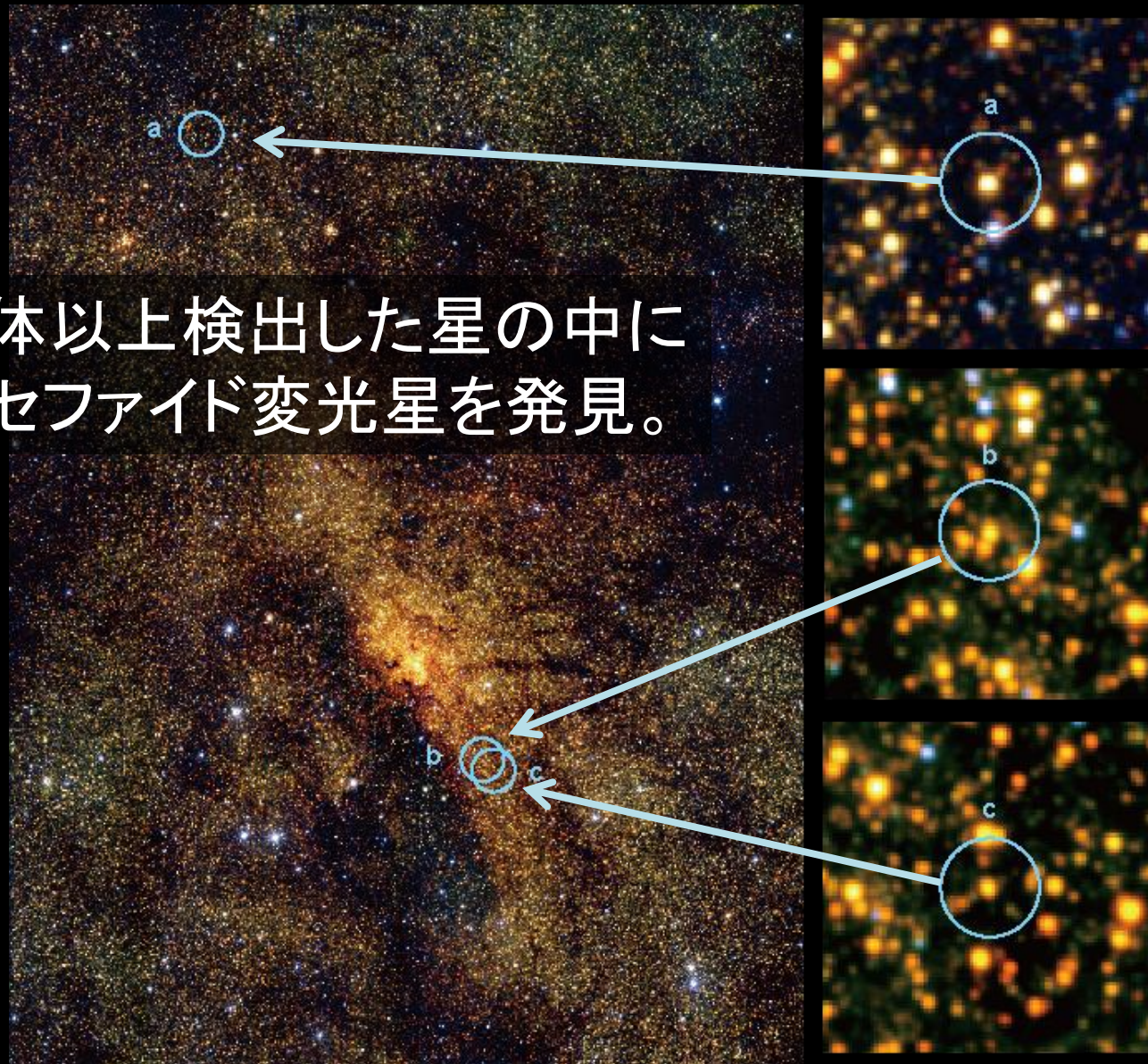
Matsunaga et al. 2009,
MNRAS, 399, 1709

- 1364個の長周期変光星を検出。
 - ミラ、セミレギュラ、イレギュラ
 - 全天体のカタログ、変光データを電子公開。
 - 約500個が周期の決まるミラ
- 146個のミラの距離を計測
 - 距離測定の障害になっていた星間減光の効果も補正した。
 - JHK 3色のデータを得たのが重要



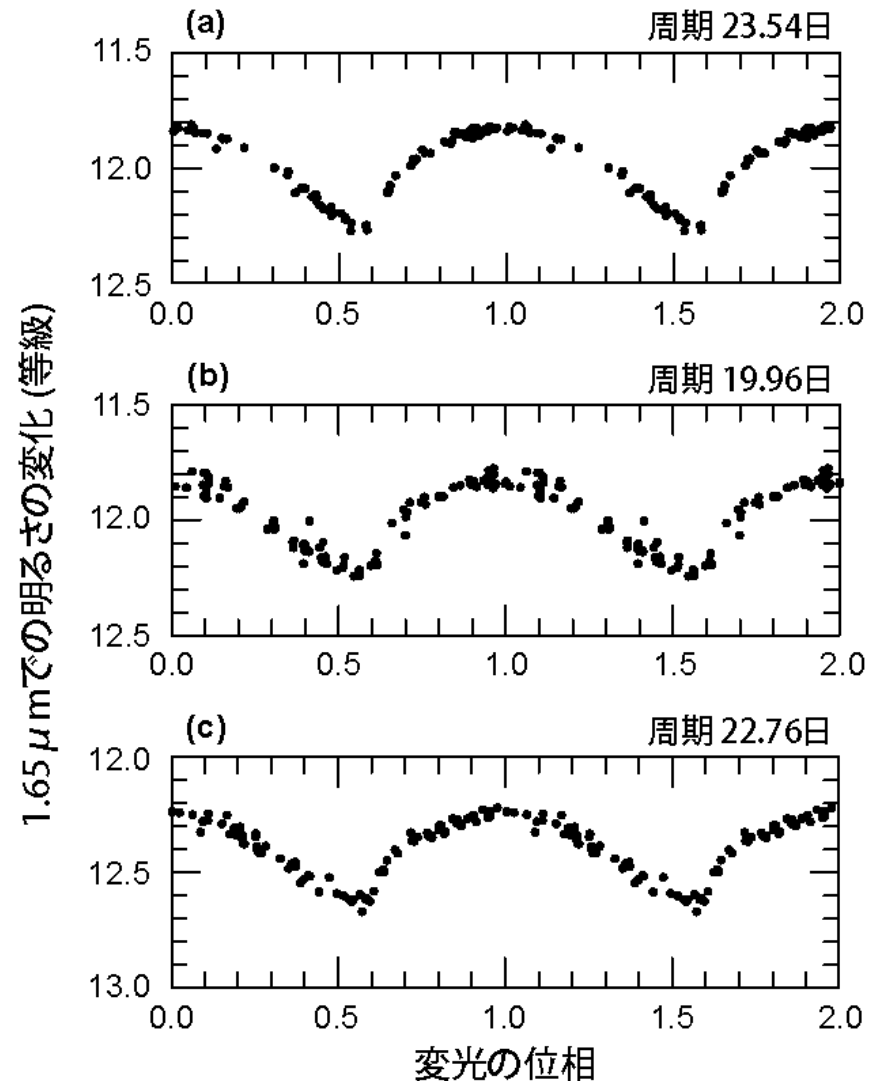
セファイド変光星の発見

8万天体以上検出した星の中に
3個のセファイド変光星を発見。

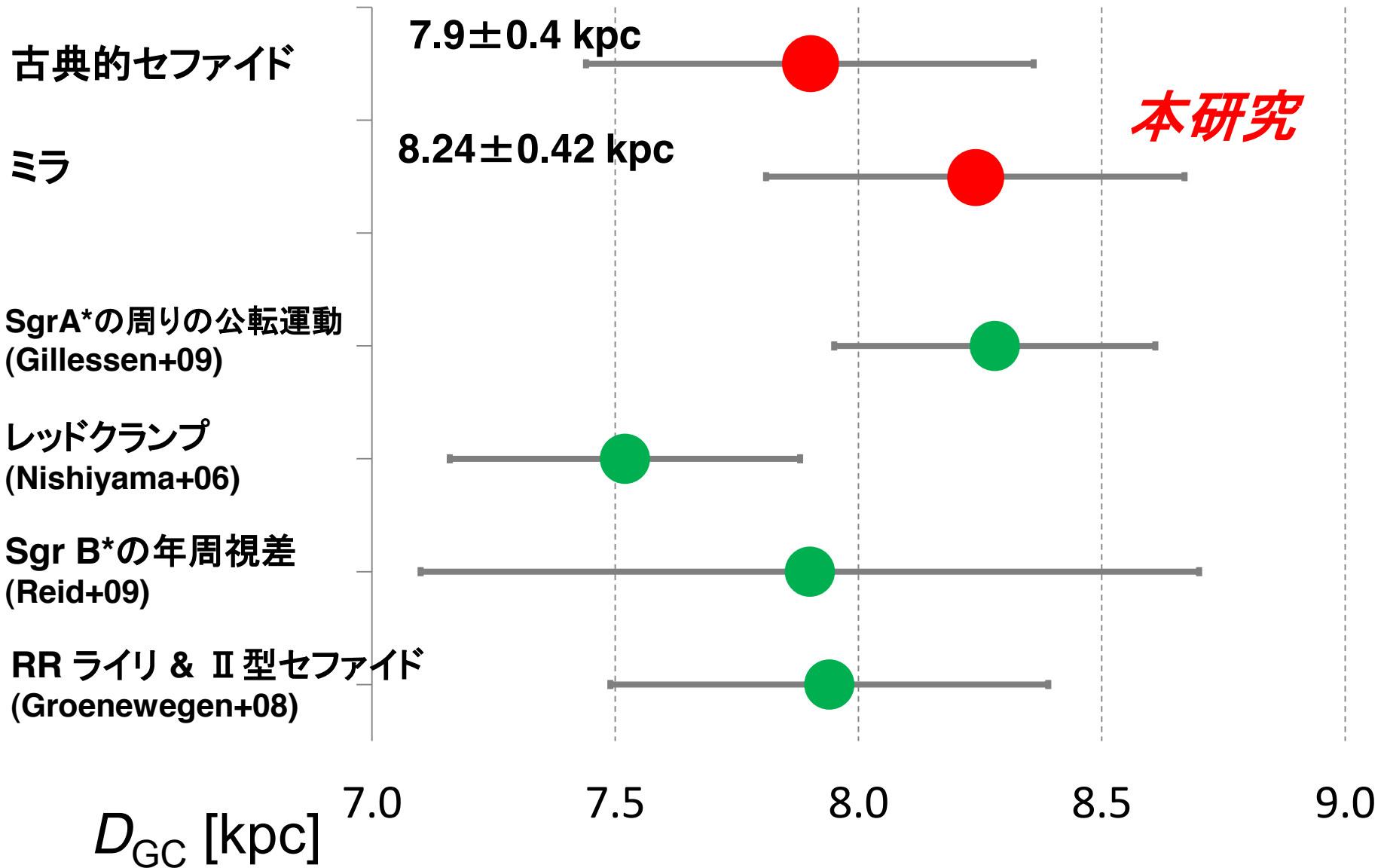


発見したセファイド変光星の性質

- いずれも約8 kpcの距離にあり、銀河系中心付近に存在する。
- 変光の様子も互いに似ている。
 - 典型的なセファイドの変光曲線
- どれも周期は約20日。

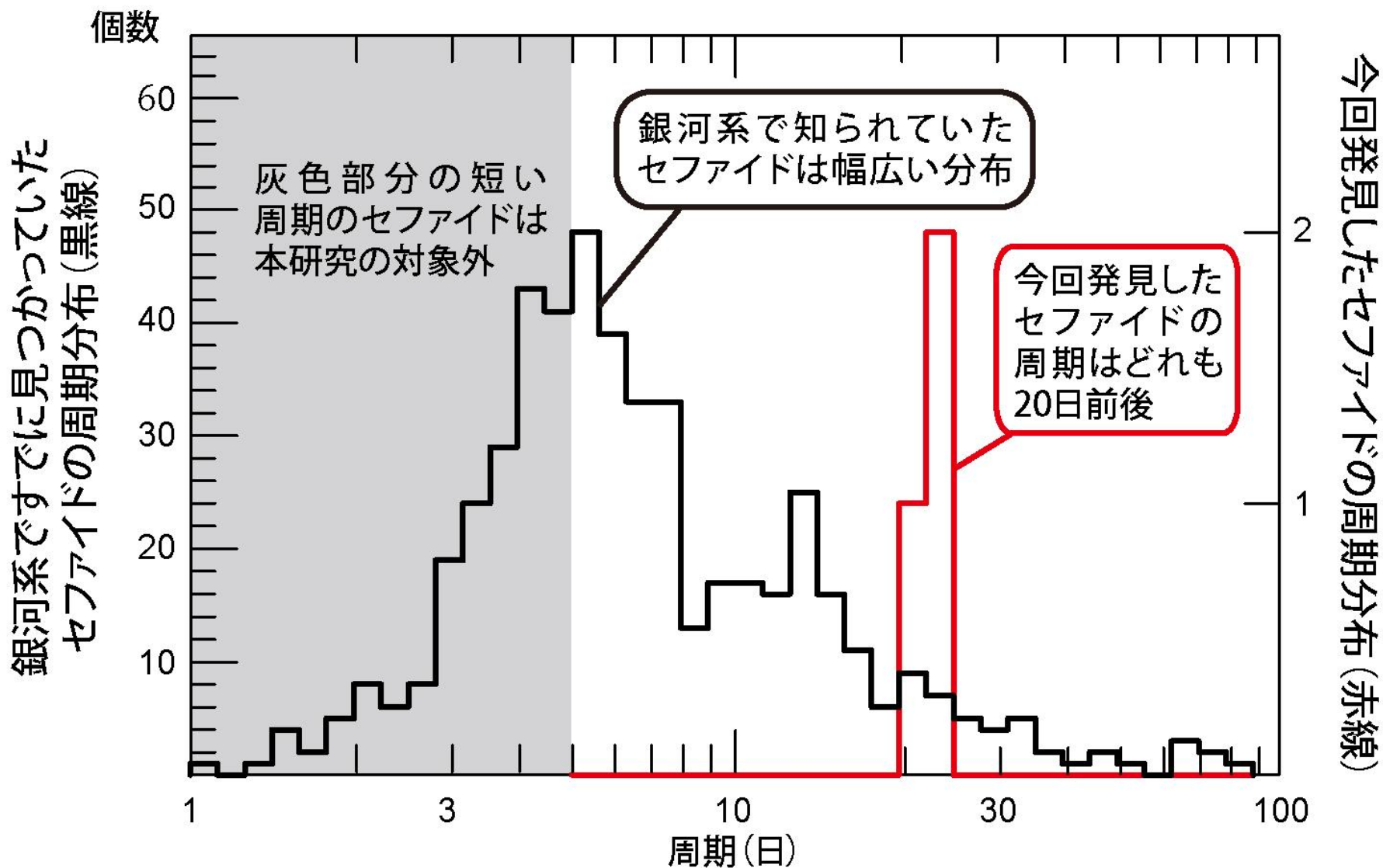


銀河系中心までの距離



誤差棒はそれぞれの距離決定方法の系統誤差を含む。

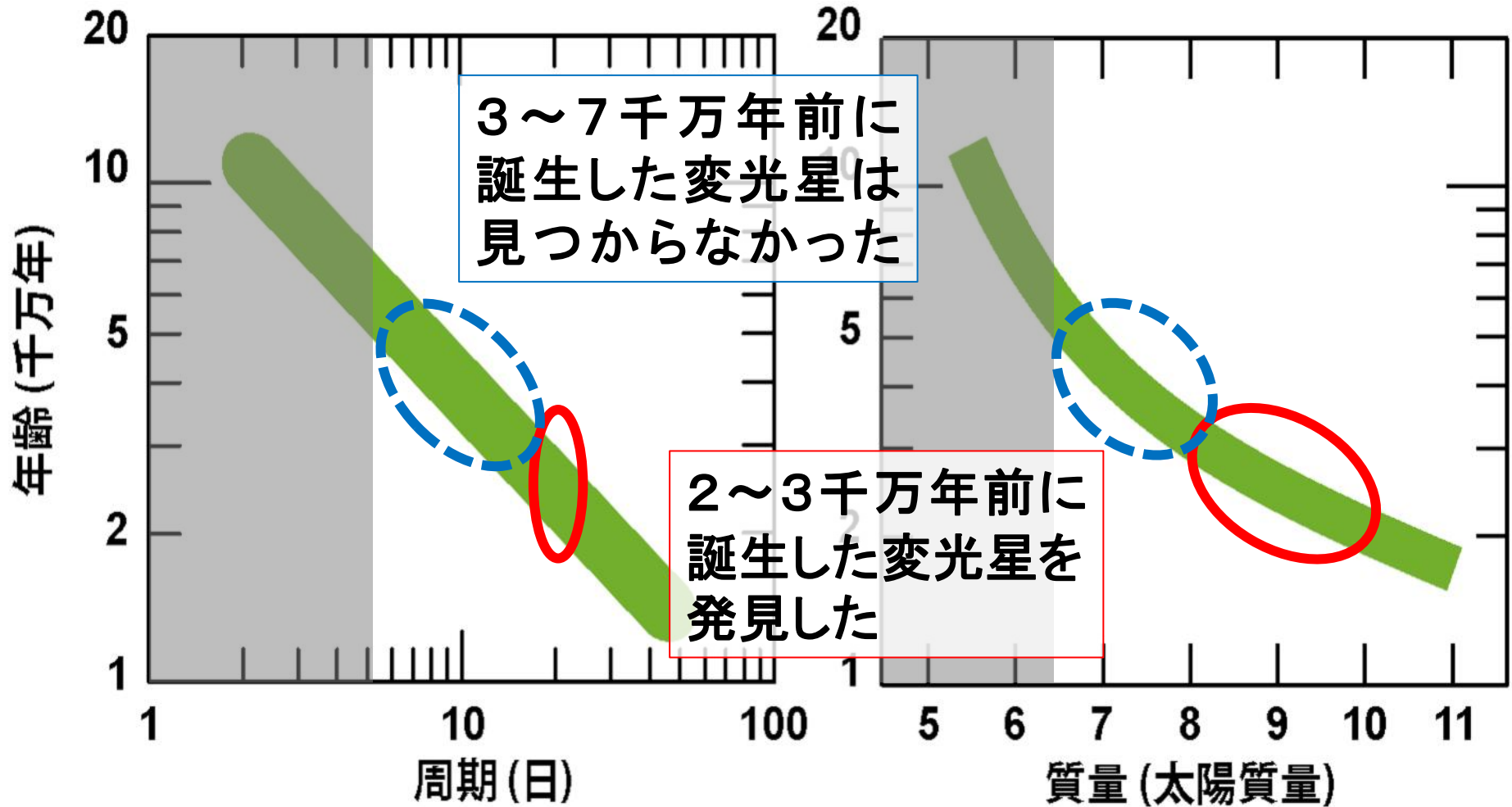
発見したセファイドの周期



セファイドの周期→年齢

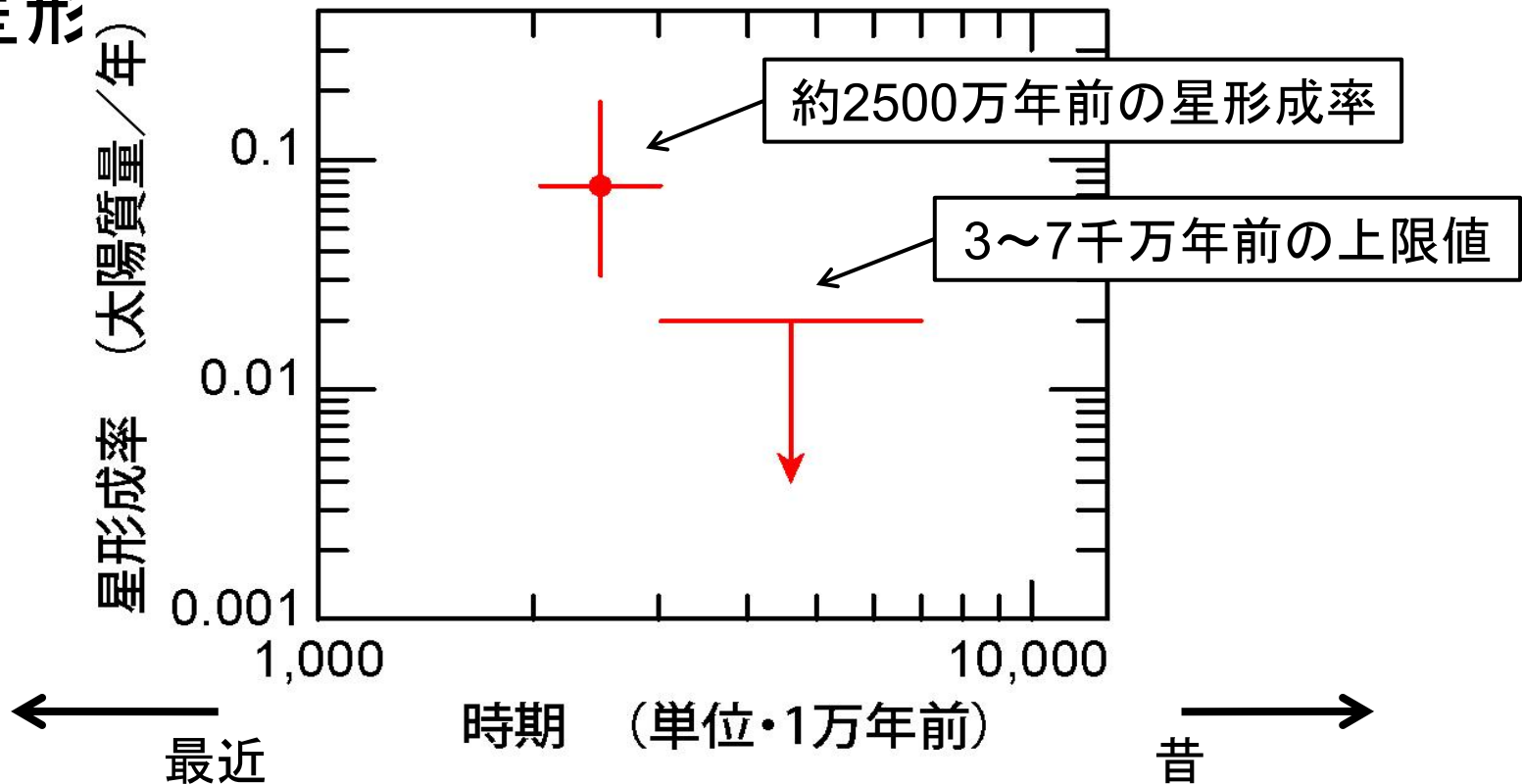
周期-年齢関係

質量-年齢関係



星形成史に関して得られた情報

- 約2500万年前にたくさんの星が誕生した。
- 3～7千万年前はあまり星が生まれなかった。
- 星形成率は、約2500万年前に急激に増加した。



銀河系中心の研究成果まとめ

- IRSF/SIRIUSによる探査。
 - 赤外線で見なければ見えない領域の反復観測。
- 銀河系中心までの距離。
 - ミラ、セファイドによる見積もり。約 8 kpc。
- 銀河系中心にセファイドを初めて発見。
 - 数十Myr前に生まれた星を初めて特定した。
 - 星形成率の変化を議論することができた。

今後の展望

- 変光星の探査が進められ、銀河系の大局的な構造や進化が実際に探られるようになる。
- ハローのRR Lyrなどはすでに進みつつある。
- 銀河面でもいくつかの探査が進行中。
 - OGLE、VISTA/VVVなど
 - KISOGP (KWFC銀河面探査)の紹介
- Gaia: 普通の星(非変光星)による銀河系マップ
 - ただし、星間減光の大きい銀河面は除く。
- 分光観測による運動・化学組成の調査も進行。

KISOGPの紹介

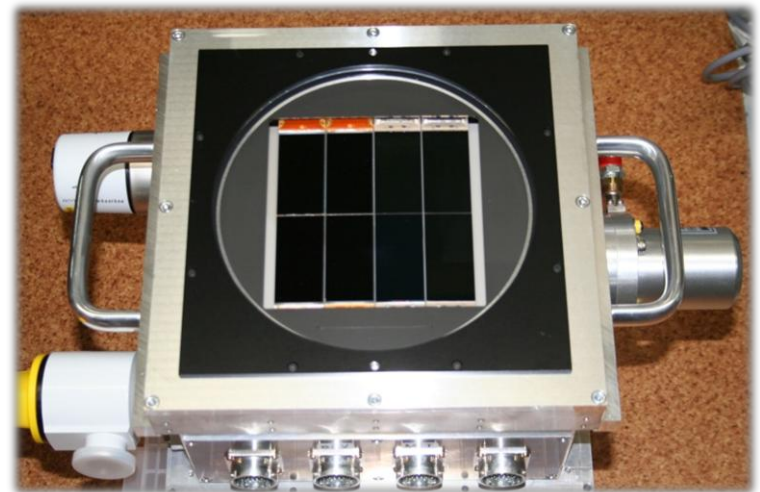
- KWFC銀河面変光星探査
- 東大・木曾観測所がKWFCカメラを用いて行う大規模観測課題の一つ



KWFC

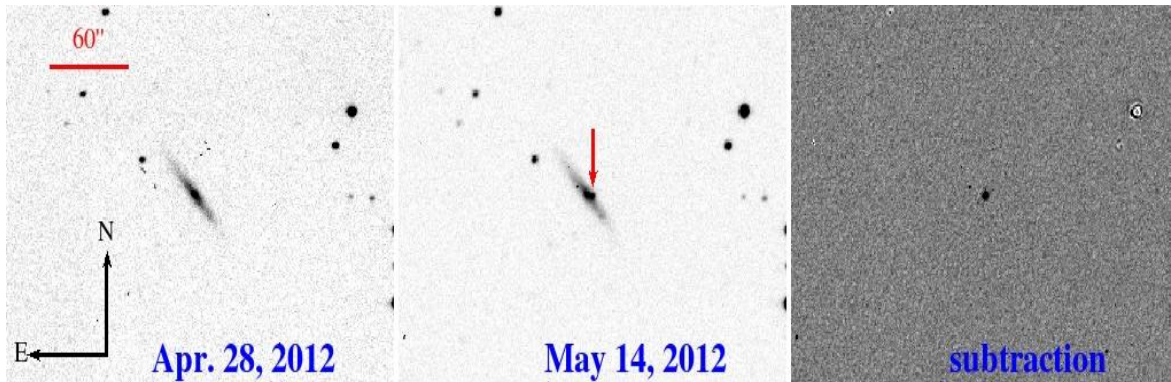
- Kiso Wide Field Camera=木曾広視野カメラ
- 木曾シュミット望遠鏡(口径1.5m)の新しい装置
- 2度角四方の視野を持つモザイクCCDカメラ
- 即時データ解析などソフトウェアも充実
- 2012年4月に共同利用と大規模観測課題を開始

KWFC:
8個のCCDが並ぶ
モザイクCCDカメラ



木曾観測所 大規模観測課題

- KISS
 - 超新星探査
 - PI: 諸隈智貴



- KISOGP
 - 銀河面変光星探査
 - PI: 松永典之

KISSはこれまでに
3つの超新星を発見

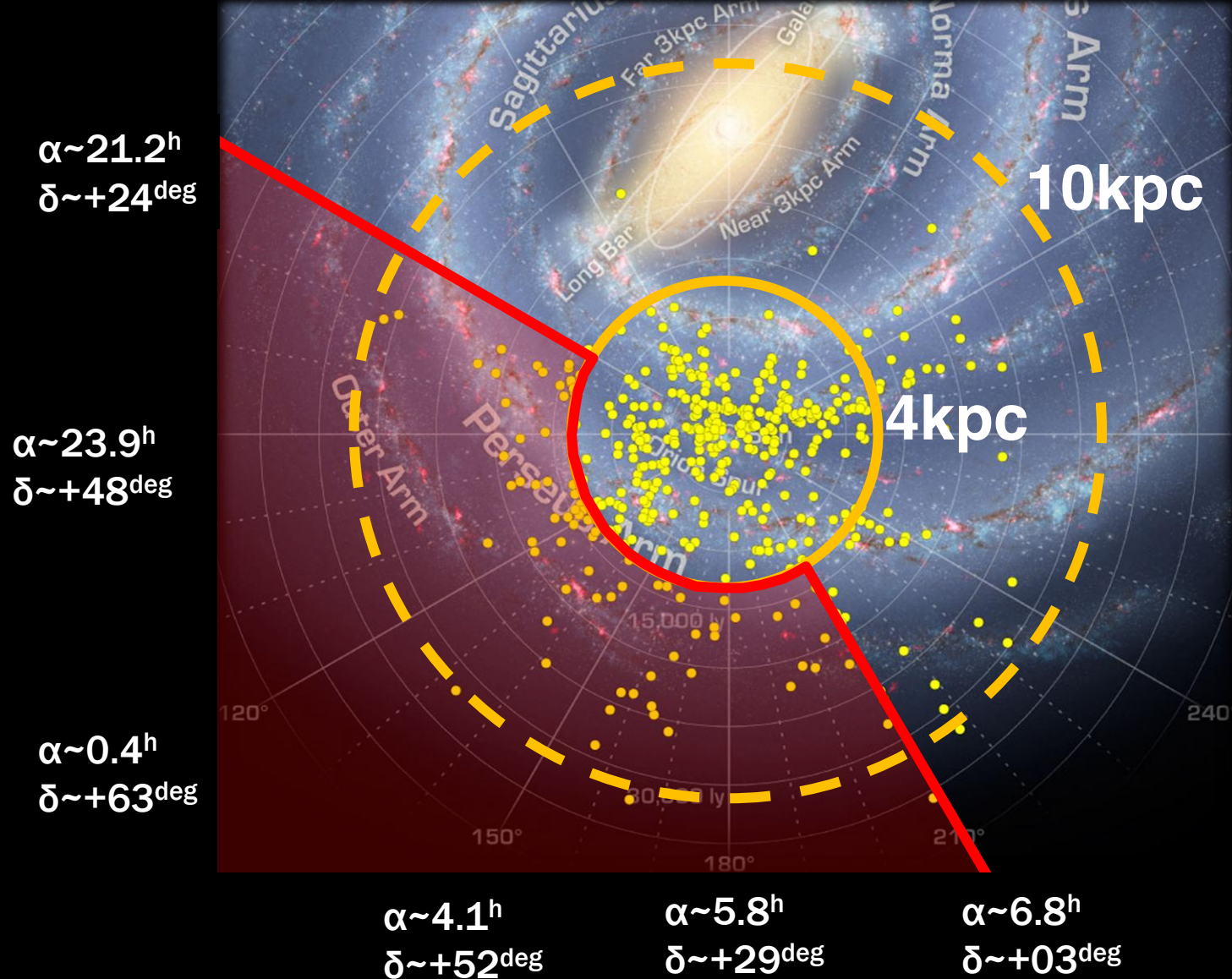
- それぞれ、観測時間の約25～30%ずつを使う。

KISOGP

- KWFC Intensive Survey Of the Galactic Plane
- 木曾観測所の大規模観測課題のひとつ。
 - 木曾シュミット望遠鏡とKWFC(新モザイクCCDカメラ)
 - 銀河面領域の300平方度を3年間くり返し観測。
- 目的: 銀河面の変光星・新星・矮新星を探查。
 - 観測波長は星間減光の影響が比較的小さいIバンド
 - 変光星で探る銀河系の構造と進化
 - これまでよりも暗いand/or遠い新星・矮新星の発見
 - その他の種類の天体も多く観測
 - LBV (Luminous Blue Variable)、YSO (T Tauriなど)、小惑星・・・

KISOGPの観測領域

2度ごとのグリッドに並べて75視野分(300平方度)



限界等級と変光星の等級

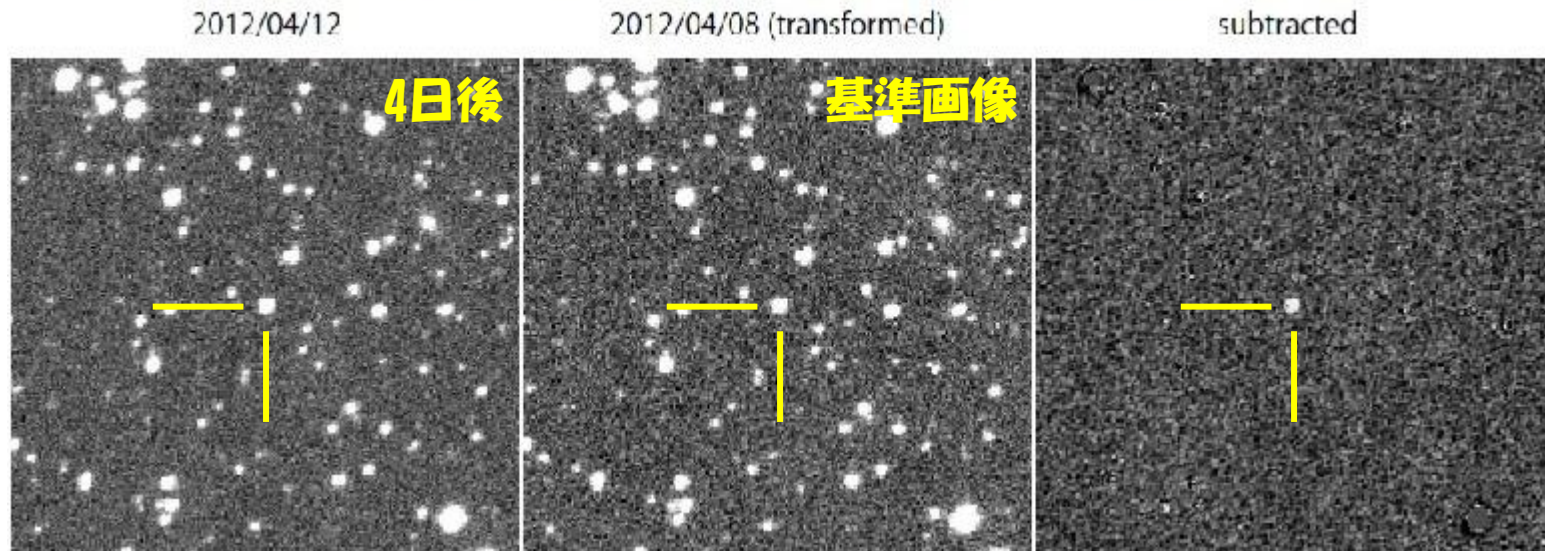
Iバンド 17等 (@S/N=30) \Leftrightarrow 19等 (@S/N=5)

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

KISOGPの近況

- 2012年4月から観測を開始。
- 4～6月はあまりよい観測時期ではないが、少しずつ観測データを増やしている。
- 8月から本格的な観測を開始

The first variable star candidate identified by the KISOGP



1つ目の変光星候補天体を初期解析で検出

まとめ

- 脈動変光星は距離や年齢がわかるので、銀河系研究を行うための重要なトレーサである。
- **IRSF/SIRIUS**で行った探査では、銀河系中心領域で3個のセファイドと多くのミラを発見した。
 - 銀河系中心までの距離は約8キロパーセク
 - セファイド(数十Myr)の観測結果⇒星形成率の変化。
- **KISOGP** = KWFC Intensive Survey Of the Galactic Plane
 - 東大・木曾観測所での大規模観測課題
 - 観測領域：銀河面300平方度(75視野)
 - フィルター：Iバンド、検出限界： $I = 17 \text{ mag}$ (@S/N=30)
 - 3年間で約40回の反復

宣伝

- **KISOGP (KWFC銀河面探査)**
 - いろいろな天体に関するデータが得られるので利用して下さい。
 - 観測・データ解析への参加者も募集中！
- **木曾観測所共同利用観測**
 - KWFC(4平方度の広視野カメラ)で観測しませんか。
 - 3か月に一度の公募をしています。
- **連星系変光星低温度星研究会@木曾**
 - 今年の秋～冬に開催します。