



銀河面に隠された セファイド変光星の探査

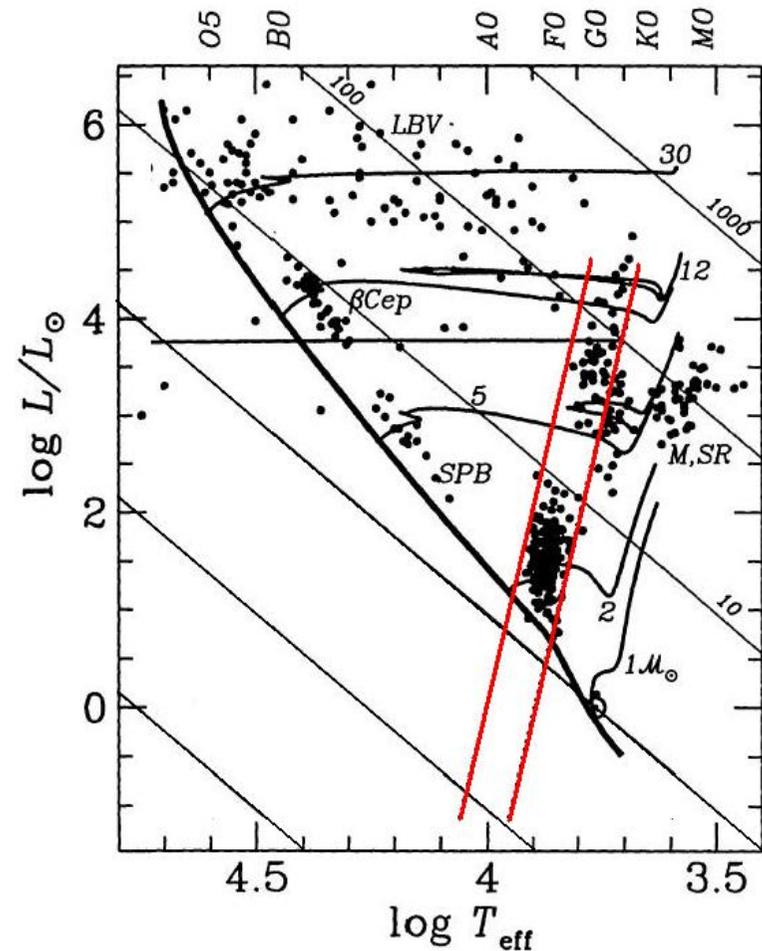
松永典之

(東大天文センター・学振特別研究員)

三戸洋之、板由房、松井真、
坂本強、中田好一

セファイド変光星

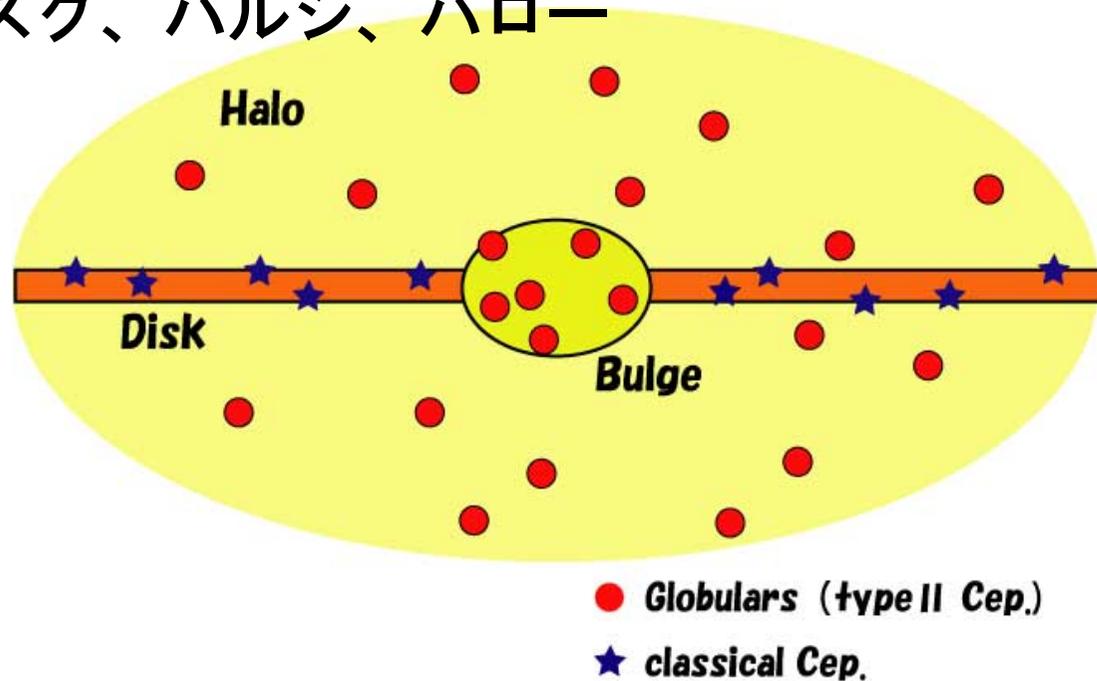
- 周期1-100日程度の脈動変光星
- セファイド不安定帯
- 周期光度関係を距離指標として利用。



Gautchy & Saio (1995)

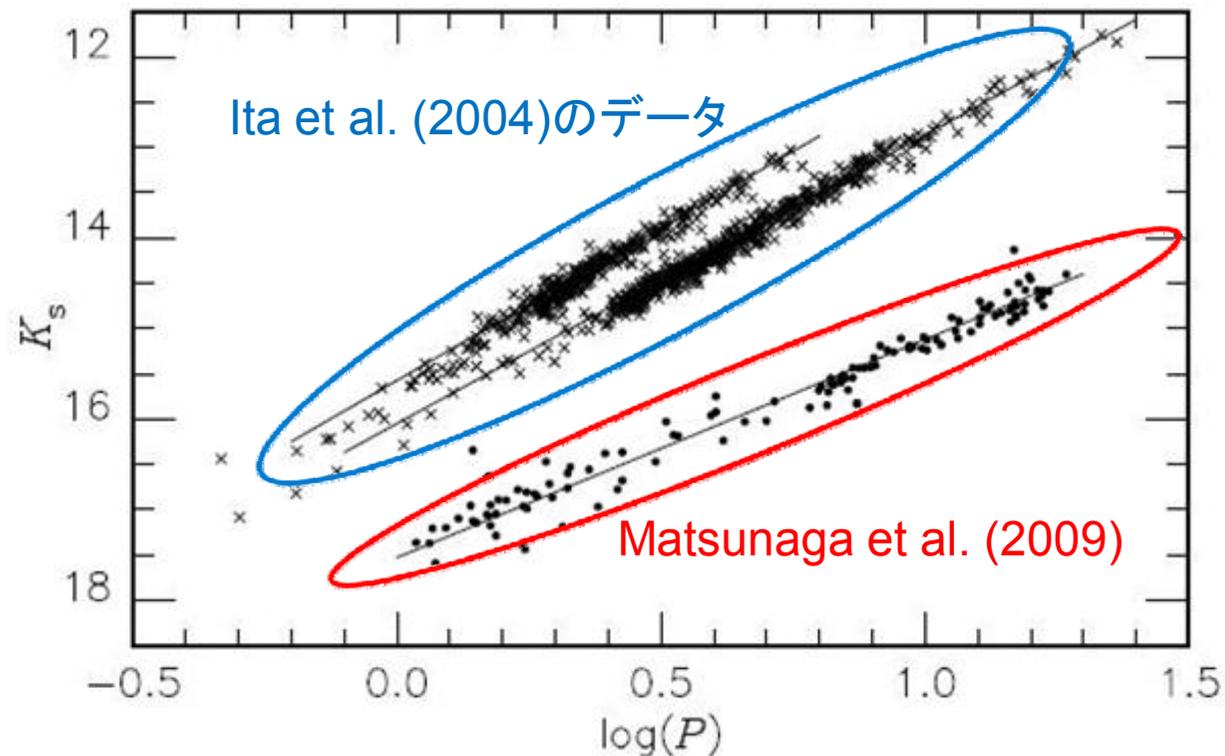
種族の異なる2つのセファイド

- 古典的セファイド
 - 若い・中小質量星(3-10 M_{sun} 、10~300Myr)
 - 薄いディスク、渦巻腕に分布
- II型セファイド
 - 古い・小質量星(約1 M_{sun} 、~10Gyr)
 - 厚いディスク、バルジ、ハロー



2種類のセファイドの周期光度関係

- ゼロ点・傾きとも異なる。
- LMCにあるⅡ型セファイドの周期光度関係は、最近ようやく確認された。
 - Matsunaga et al. (2009, MNRAS, in press; arXiv:0904.4701)

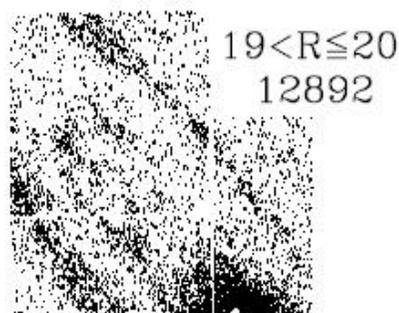


銀河の構造への応用

- Cepheidの分布は渦巻き腕・超巨星といった若い天体をトレースする。



color map



supergiants

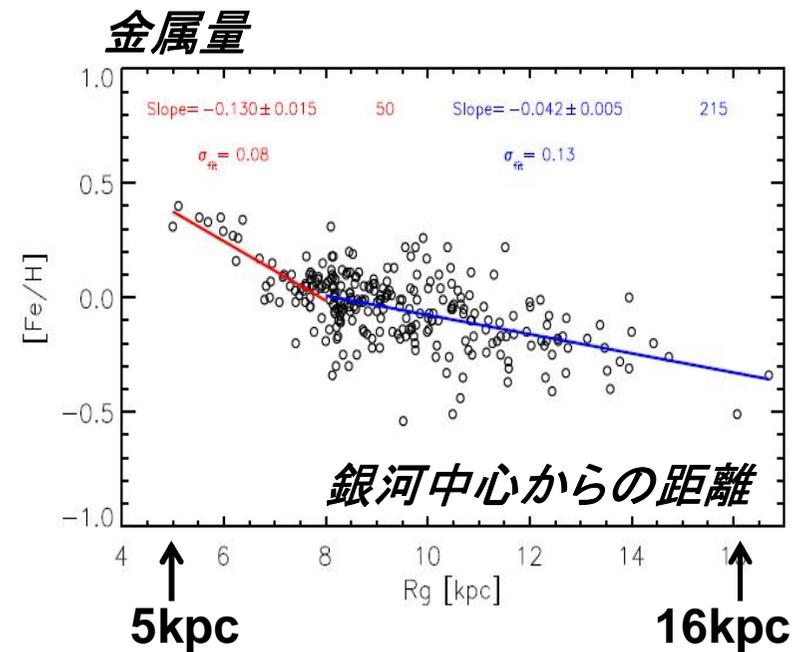
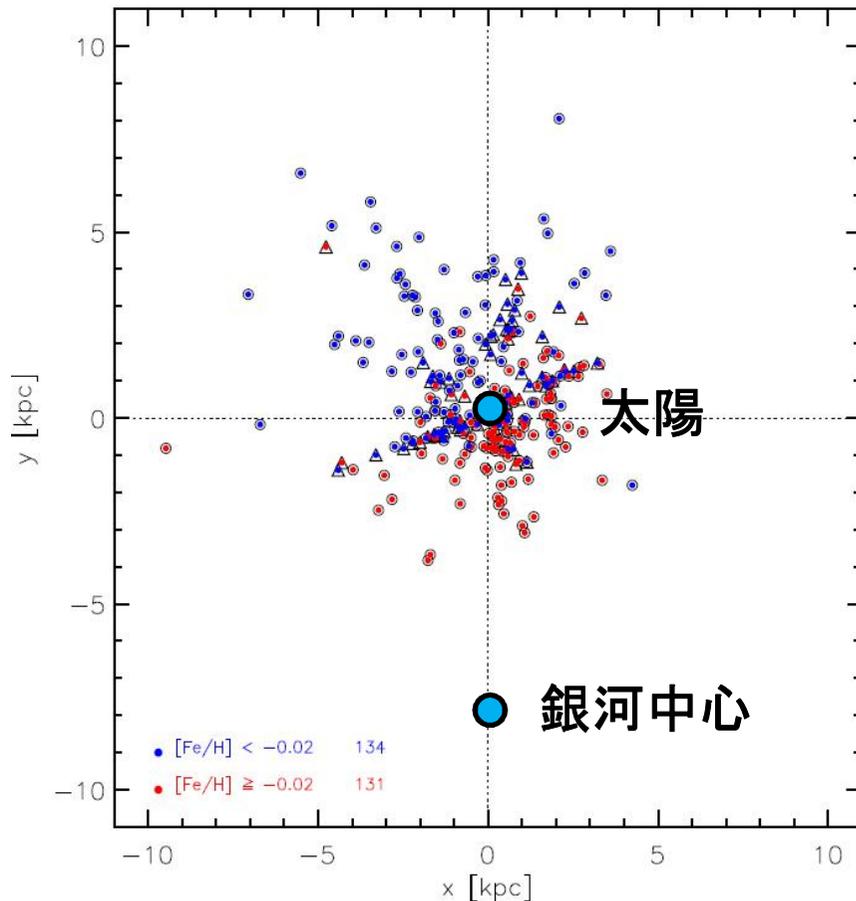


Cepheid

An et al. (2004)

銀河系のセファイド探査の現状

- 銀河中心の側は近傍のセファイドだけ。
 - 約400個。可視光探査しか行われていない。
 - 銀河系よりも系外銀河のセファイドがよく観測されている。←銀河系のものは広視野でないが無理。



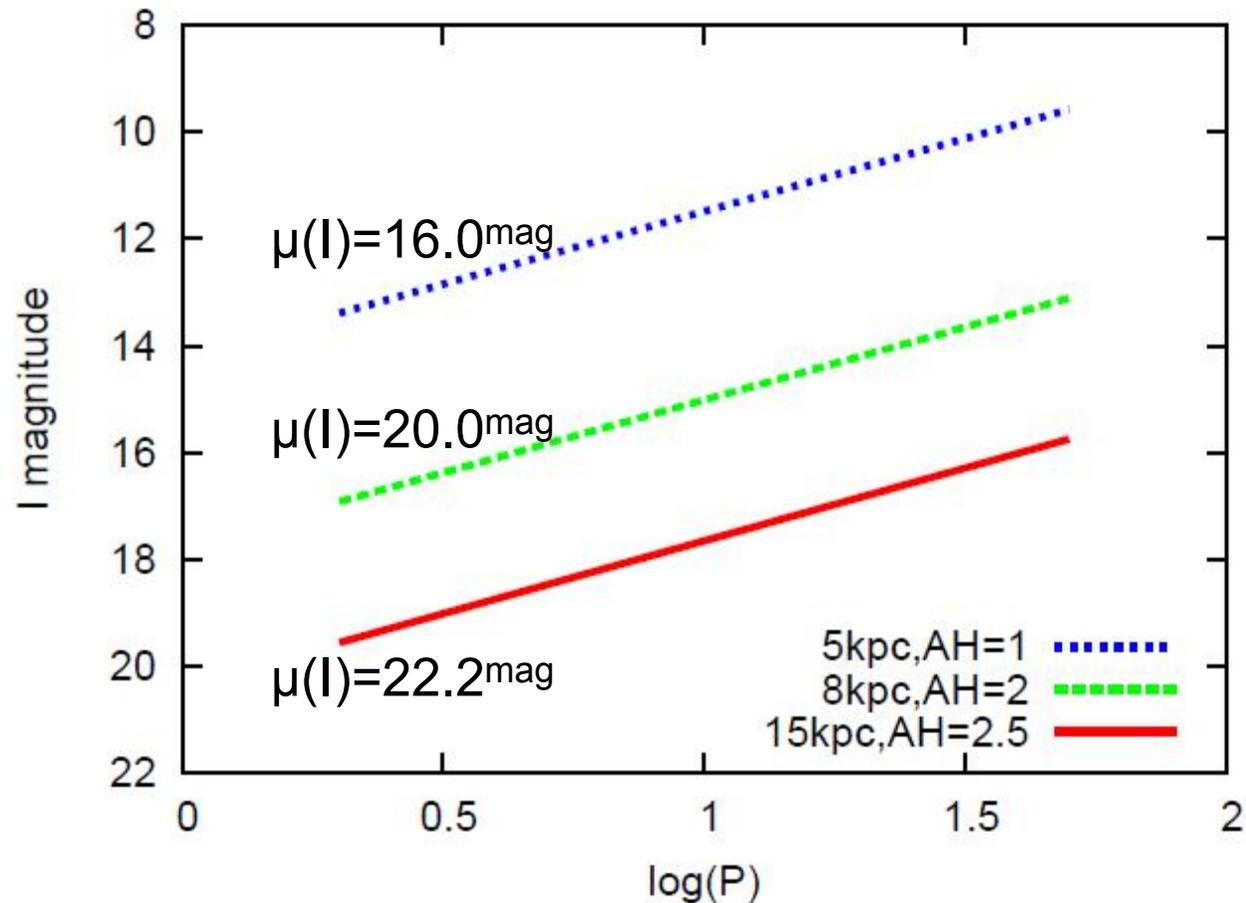
Pedicelli et al. (2009)

本研究の目的

- 銀河面に隠されたセファイドの探査
 - 必要な等級、角分解能はそれほど厳しい条件ではない。
 - $A(V) > 20\text{mag}$ の極端な星間吸収を受けない限り、太陽から10kpc以内のセファイドは18等よりも明るい。
 - ただし、広い視野が必要。
- 木曾シュミットの視野の広さを活用

目標とする等級

- 広いダイナミック・レンジが必要
 - 距離と星間減光がいろいろな天体を探査
 - 25秒積分(5秒×5枚)と300秒積分(60秒×5枚)のセット

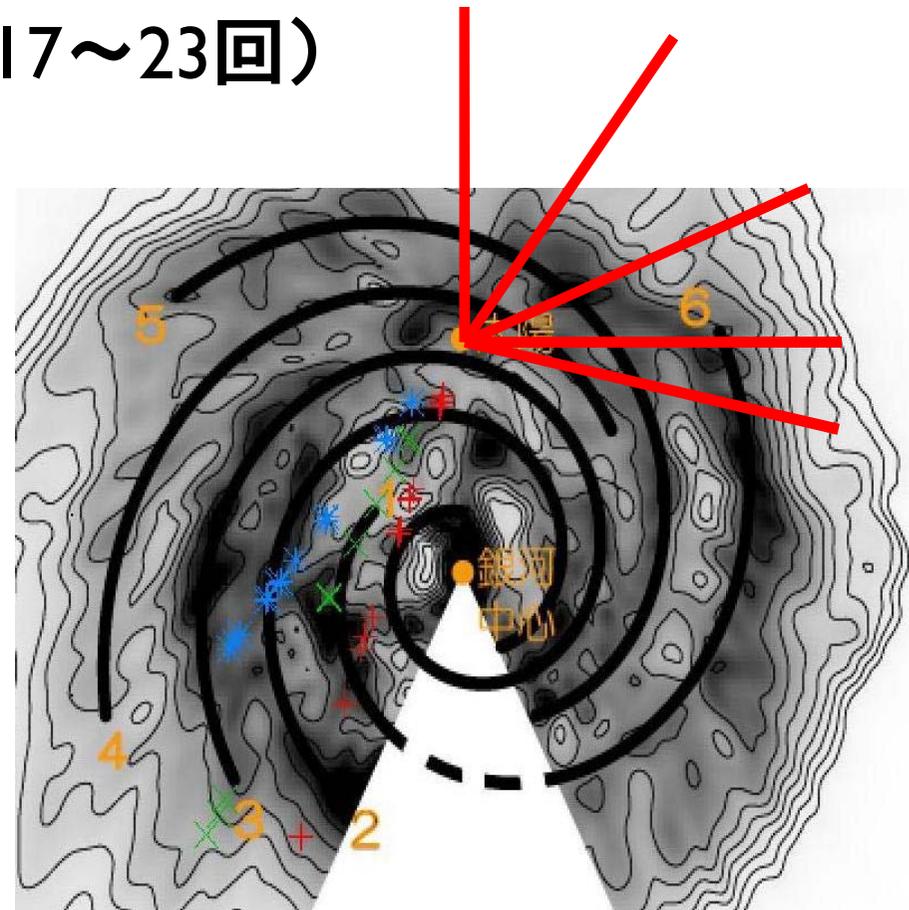


木曾シュミットによる観測

- 2kCCD(→KWFC) 主に Iバンドで反復
 - セファイドの振幅がJHKsよりも大きいので、変光星を検出するのに有利。
- 追加的にRバンド
 - 星間吸収を調べるために2バンド必要
 - セファイドのカラー変化はだいたいわかっているなので、数回観測すれば十分。
- 2008年・2009年は少数の視野で試験的観測。実際にセファイドが検出できるか。どのような観測がどれだけ必要か。

2008年の観測

- 10～12月に合計17夜の割り当て（約60%晴れ）
- 5視野を反復観測（全て銀緯 0° ）
 - 銀経 $+75^\circ$ $+90^\circ$ $+120^\circ$ $+150^\circ$ $+180^\circ$
 - 各視野20回前後（17～23回）

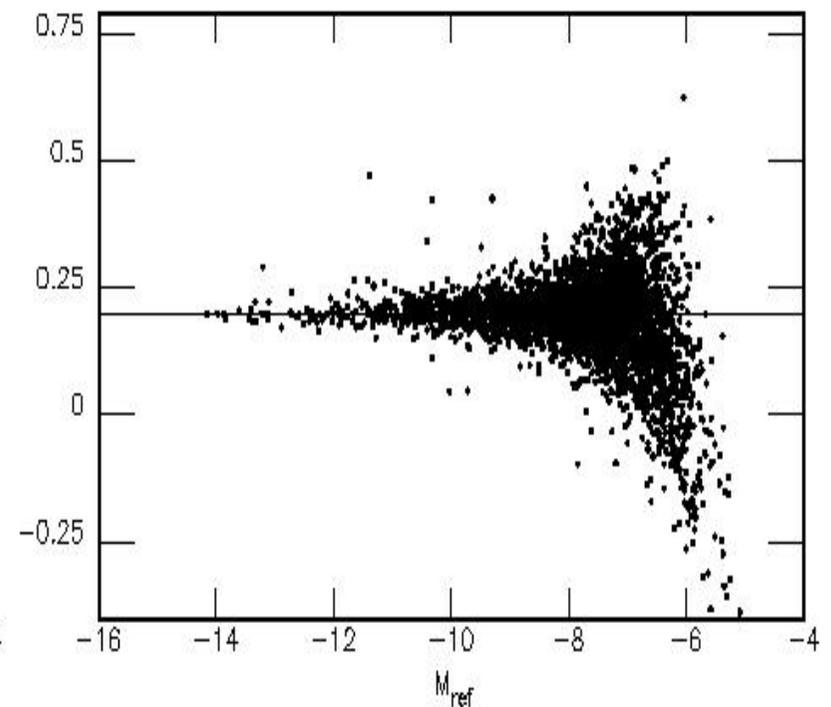
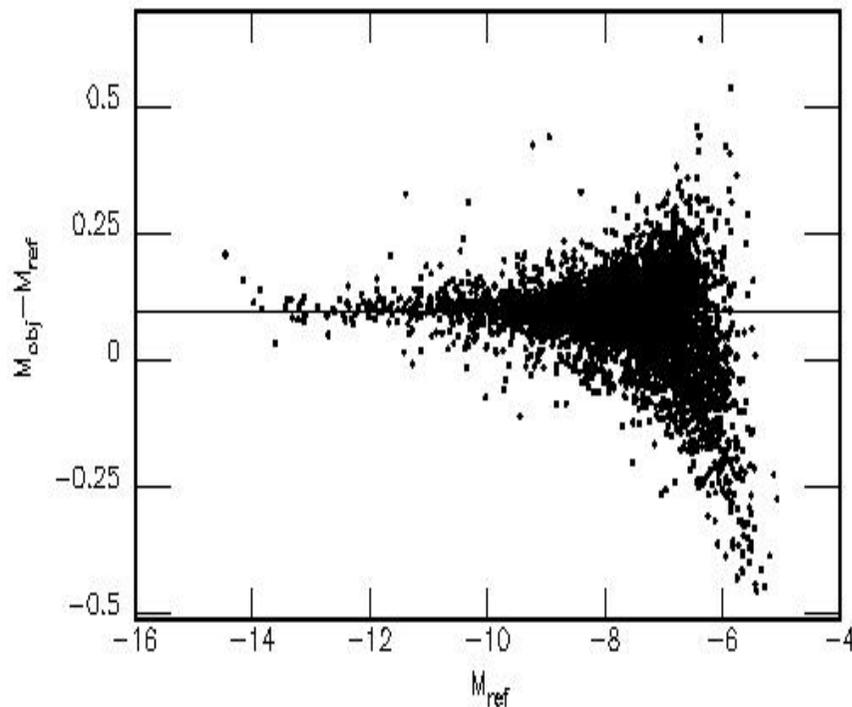


解析（１）

- 一次処理
 - ダーク引き
 - フラット化
 - ディザリング画像(5枚)の合成
- 測光
 - DAOPHOTでPSF測光
 - 1視野あたりに1万～5万天体を検出

解析（２）

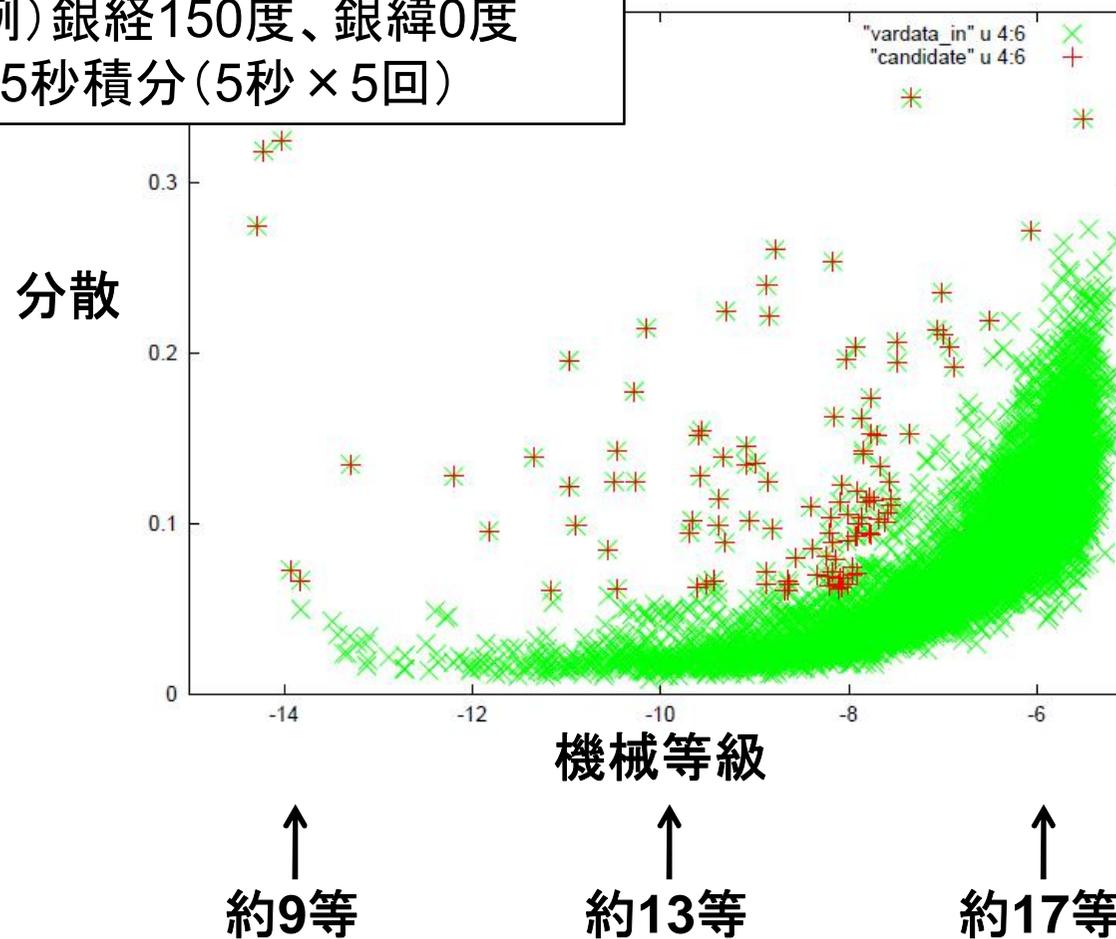
- 画像間での同定と等級のゼロ点
 - OPMアルゴリズムを使う自作ソフト
 - 等級のゼロ点は機械等級のまま相対的に合わせるだけで、標準星などを用いた補正はまだ行っていない。



変光星候補の選定

- 反復観測で得られた等級の分散が大きいものを、変光星の候補とする。

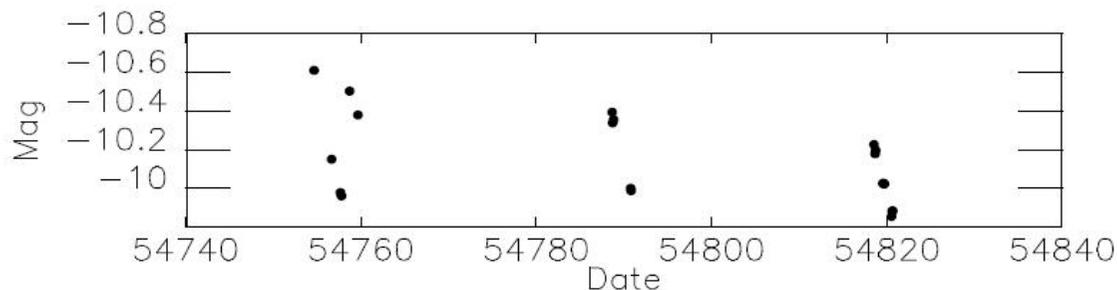
例) 銀経150度、銀緯0度
25秒積分(5秒×5回)



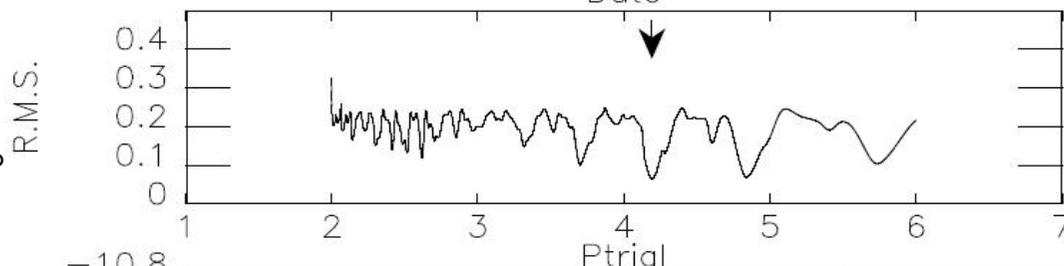
周期の決定

- 2つの方法でためしに周期を探してみた。
 - フーリエ級数のフィット
 - Analysis of Variance (Schwarzenberg-Czerny, 1989)
- **ただし、完全に周期を確認するにはデータが不十分。（データ数、観測のタイミング）**

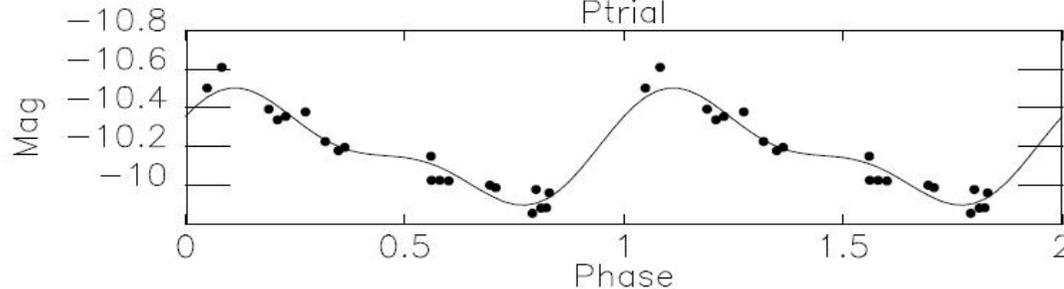
観測日vs等級。10～12月の3つのグループ。



トライアル周期vsフィットしたフーリエ級数のまわりの分散。



分散が最小になる周期で折りたたんだライトカーブ。



解析ソフトの紹介

- <http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/~nmatsuna/japanese/software/soft.html>
- C言語で作成、UNIX系で簡単にインストールできて、チュートリアル等も完備。

ソフトウェアの公開

解析のために開発したソフトのうち、一般的な目的に使えるものを公開しています。

1. [OPM\(天体カタログ同定ソフト\)](#)
位置座標と等級が求められている2つの天体カタログどうしを同定するソフト (C言語)
2. [autodao \(IRAF/daophotによる自動測光パッケージ\)](#)
IRAF/daophotによる測光を補助するためのパッケージ (IRAFのc1スクリプト、C言語)
3. [seqxym \(変光データ合成ソフト\)](#)
時系列になっている複数の測光結果から各天体の変光情報をまとめるソフト (C言語)
4. [cmdxym \(色等級図・二色図作成ソフト\)](#)
2つ(または3つ)のフィルターによる画像の測光結果から色等級図・二色図を作るソフト (C言語)

たとえば、以下のような作業を行ないたいという場合におすすめです。

- **3つのフィルターでとった画像があるのでRGBカラー合成をしたい。**
→ [autodao](#)で各画像の測光を行ない、[OPM](#)を使って適当なカタログと同定して座標系を各FITS画像に入力しましょう。
- **ある領域を2つ(または3つ)のフィルターで観測したので色等級図・二色図を作りたい。**
→ [autodao](#)で各画像の測光を行ない、[cmdxym](#)を使って各フィルターに対する測光結果をまとめましょう。
- **ある領域を何回も観測したので、変光星を探したい。**
→ [autodao](#)で各画像の測光を行ない、[seqxym](#)を使って各天体の時系列データをまとめ直して調べましょう。

質問・ご要望はお気軽に松永まで。

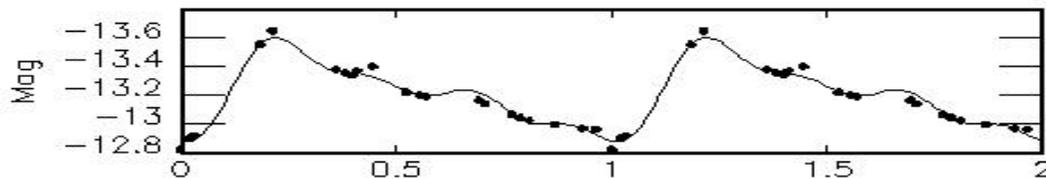
これまでの予備解析

- 2kCCDで銀河面のセファイドを検出できることがわかった。
- いまのところ、2個のセファイドを検出。
 - 1個は既知：NP Cas (P=6.17日)
 - 1個は新発見 (P=4.17日)
- 解析はまだまだこれから。
 - まだ、一部の領域。
 - 解析した領域についても、きれいなライトカーブをおおまかに探しただけ。
 - 周期10日以上は探していない。

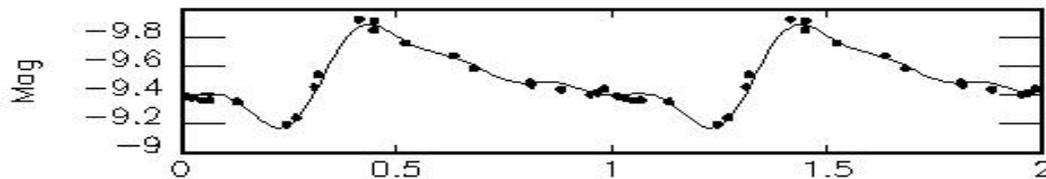
	GP75	GP90	GP120	GP150	GP180
25秒積分	○	○	○	○	○
300秒積分	×	×	×	○	○

検出した変光星の例

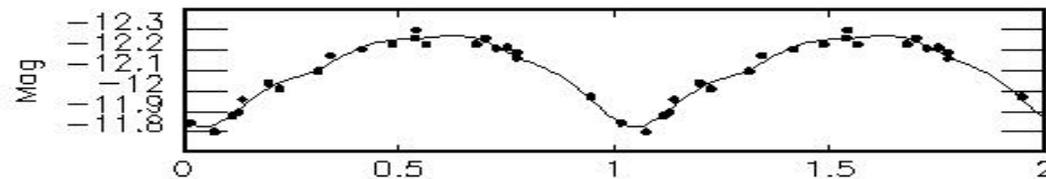
- 銀経150度、銀緯0度の視野を300秒積分したデータで確認できた5個の変光星候補
 - 探査できる1等級の範囲はおおよそ12~18等



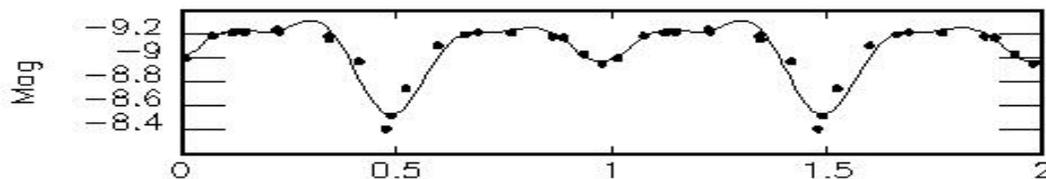
周期4.17日のセファイド
(だいたい1~13等)



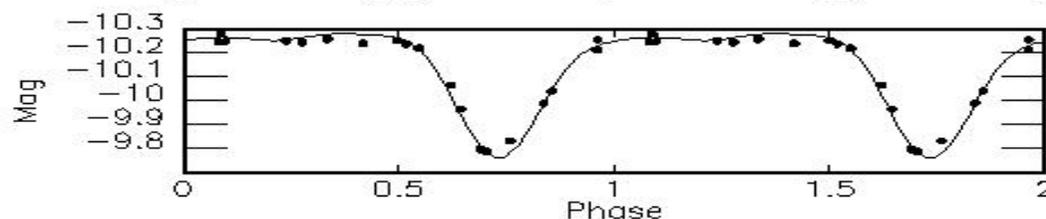
周期0.43日のRRライリ
(だいたい1~17等)



周期0.19日のRRライリ
(だいたい1~14等)



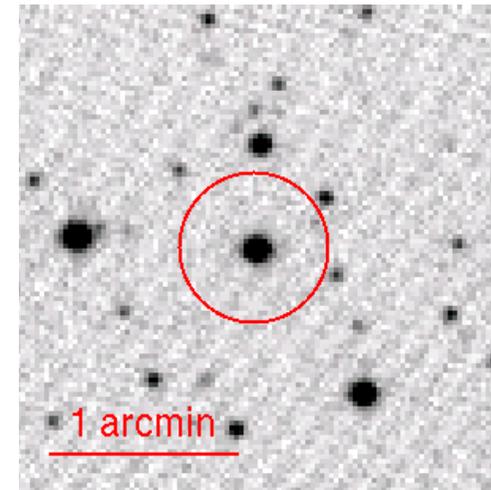
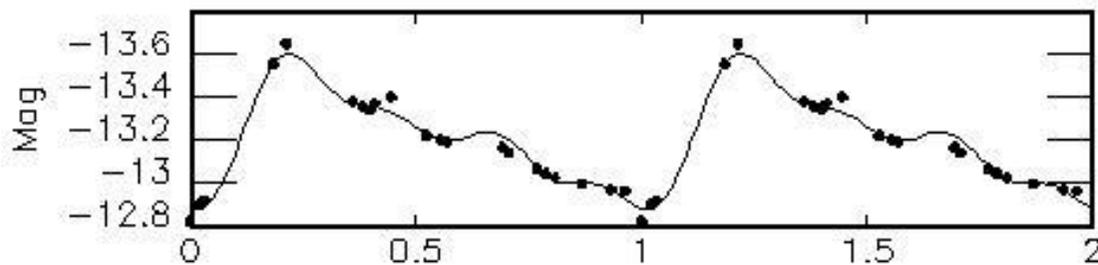
周期0.75日の食連星
(だいたい1~17等)



周期0.58日の食連星
(だいたい1~16等)

セファイドの候補天体について

- 2MASS全天カタログの等級を利用
 - $J=11.05, H=10.33, K_s=10.07$
- $D \sim 6 \text{ kpc}, A(K_s) \sim 0.3 \text{ mag} \Leftrightarrow A(V) \sim 3 \text{ mag}$
- $R(\text{GC}) \sim 13.5 \text{ kpc}$
 - 今までに見つかっている銀河中心から一番遠いセファイドは $\sim 16 \text{ kpc}$ 。14kpcを超えるセファイドは数個しか見つかっていない。



ここまでの話とこれからの話

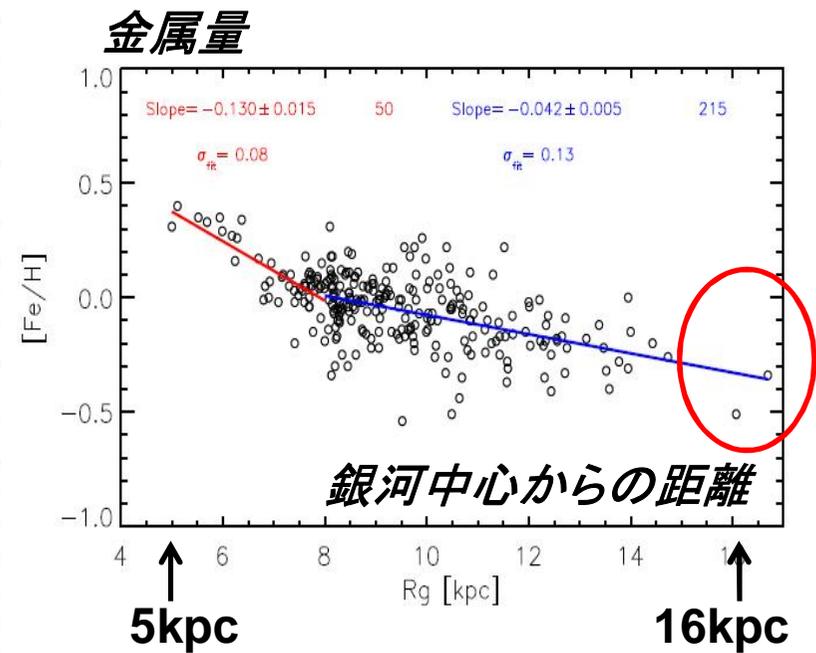
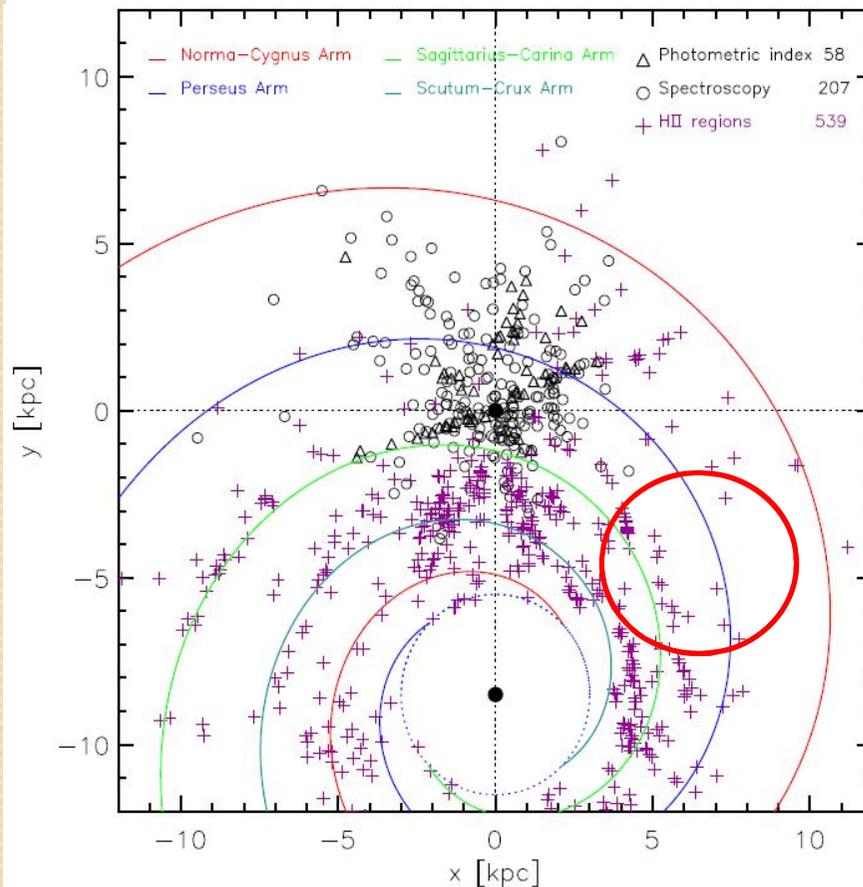
- 2008年の観測により、セファイドが検出できることを確認。
 - ただし、周期決定のためにデータが不十分なので、2009年も同じ領域の観測を継続。
- 長期プロジェクト
 - なるべく広い領域を探索したい。
 - 観測回数は減らせない。30回以上必要。

本格的な探査！？

- 北半球の銀河面（銀経 $45 \sim 180^\circ$ ）を連続的に覆うには、約170視野。
- 各視野30セット（各セット15分）。
 - 中間的な積分時間(15秒×5枚)の1種類でよさそう。
- $170 * 30 * (15 / 60) \sim 1300$ 時間
- 晴天率を30%として、540夜！
 - 1夜8時間

面白そうな領域に限定して...

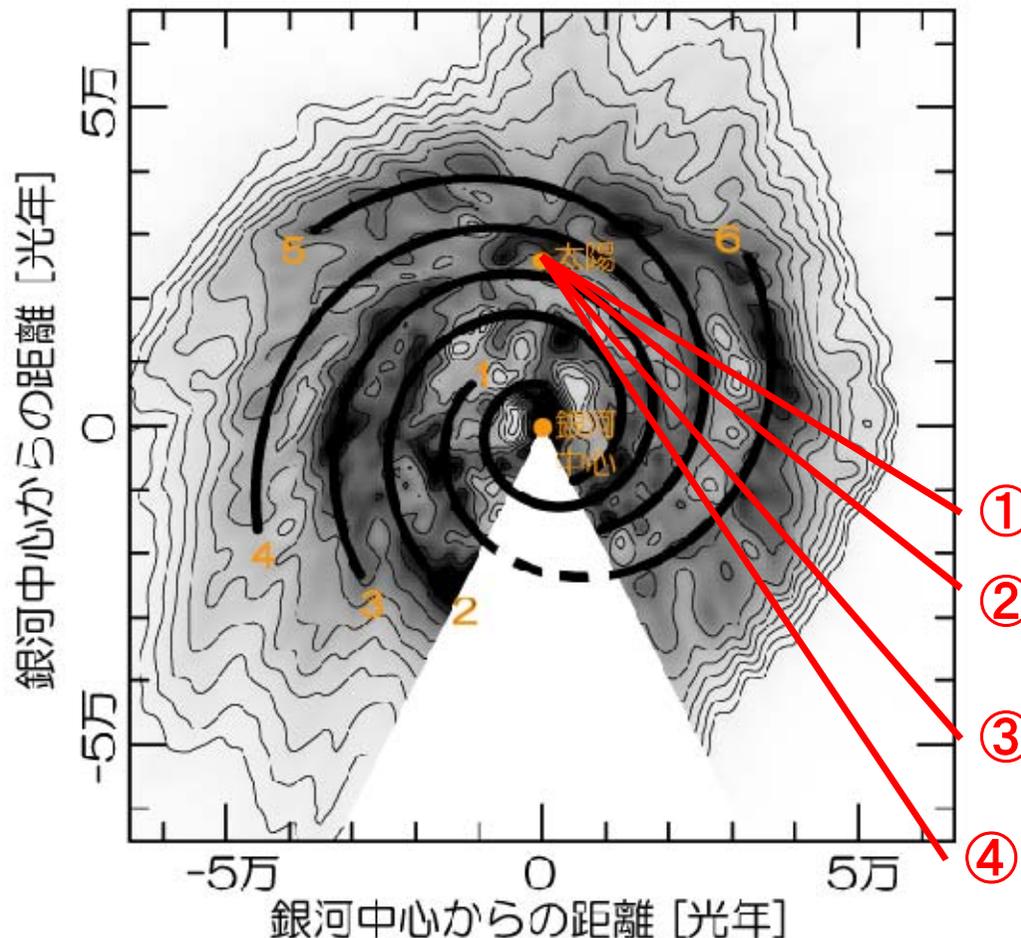
- 渦巻腕をセファイドで描き出す。
- 銀河系外縁部のセファイドを探す。



Pedicelli et al. (2009)

渦巻腕に付随するセファイドの探査

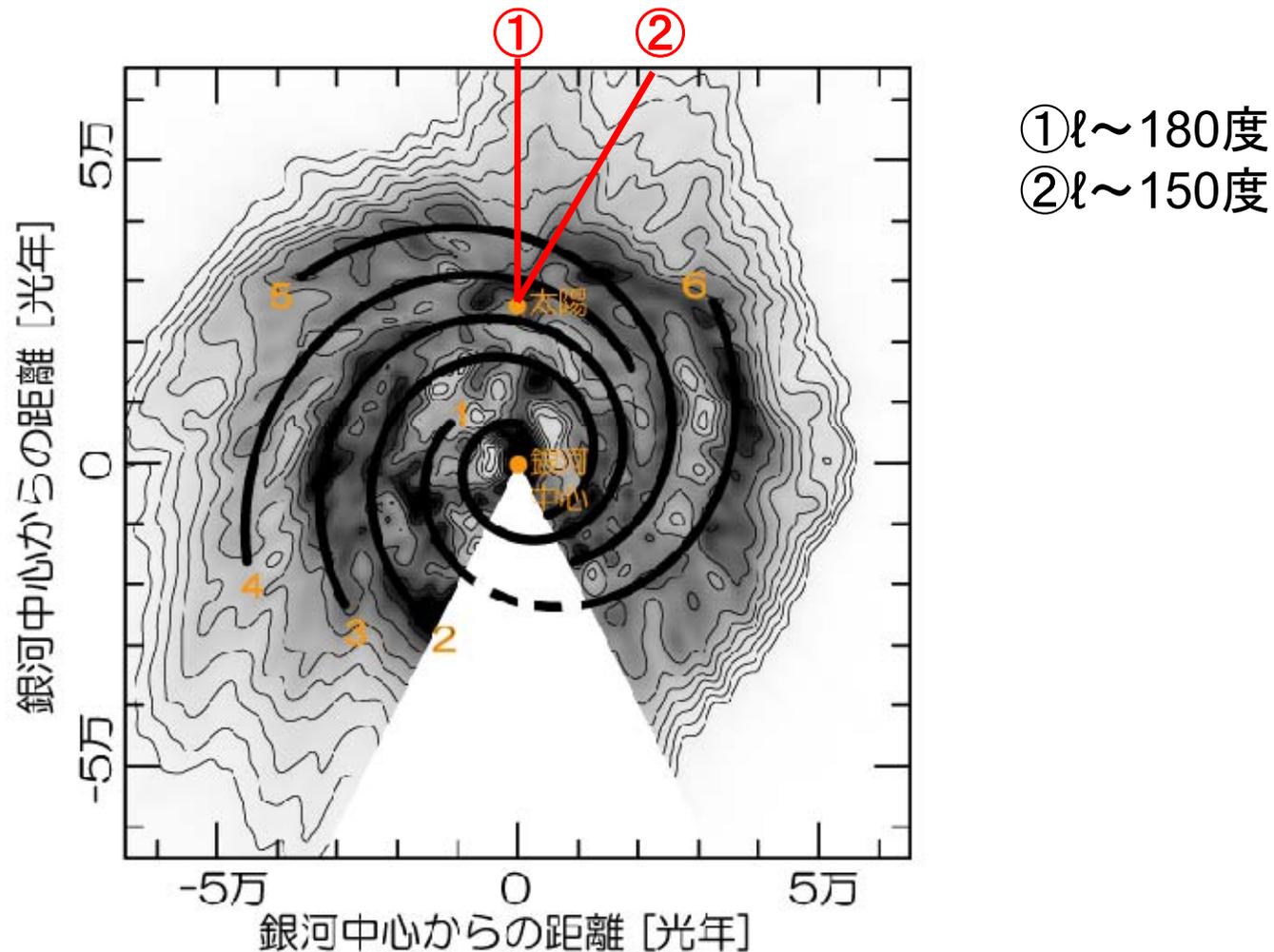
- 渦巻腕に沿う方向と、間を通り抜ける方向
- 17平方度(25視野)ならば、100夜
- ただし、秋シーズンに集中 (1夜6時間)



- ① Sgr腕とPer腕の間
($l \sim 55$ 度)
- ② Sgr腕の接線方向
($l \sim 50$ 度)
- ③ Sct腕とSgr腕の間
($l \sim 40$ 度)
- ④ Sct座腕の接線方向
($l \sim 35$ 度)

銀河外縁部のセファイド探査

- 25平方度(40視野)ならば、125夜
- 秋～冬の長い時間観測ができる。(1夜8時間)



まとめ

- 2008年の観測により、セファイドが検出できることを確認。
- 2つの長期プロジェクト（合計約225夜）
 - 渦巻腕に付随するセファイドー100夜
 - 銀河外縁部のセファイドー125夜
 - 2011年までに32週間（2009年に開始するとすれば、1年あたり約10週）
- 科学的目的は
 - 恒星でトレースする銀河系の渦巻構造
 - 銀河系最外縁部の構造と化学組成