

銀河系と近傍矮小銀河の ミラ型変光星探査

鹿児島大学

D2 松井 真

中西裕之、祖父江義明、面高俊宏(鹿児島大学)、
福士比奈子、松永典之、三戸洋之、中田好一(東京大学)

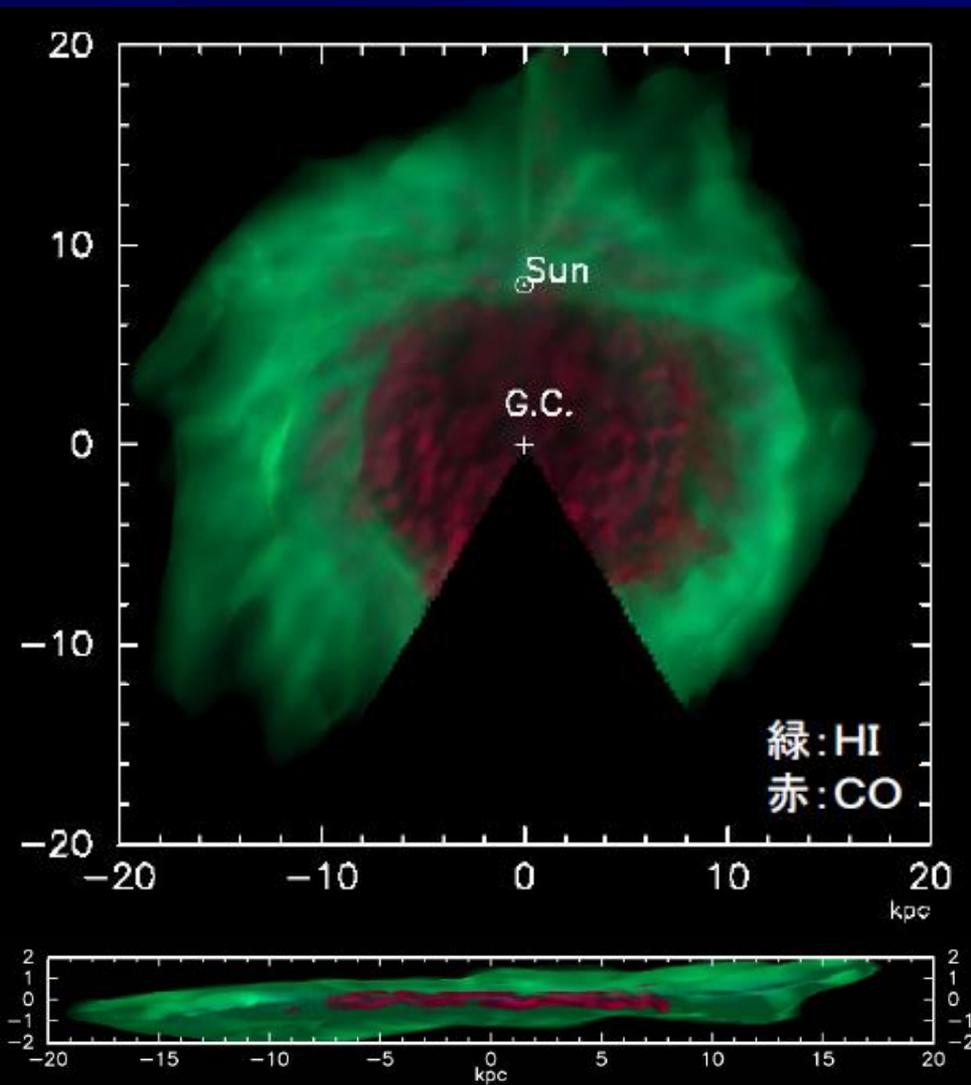
目的

星から見る銀河系の 構造とダイナミクス



- バルジの薄く長い棒状構造の探査
- 幾何学的銀河中心距離の決定
- 銀河系外縁部の回転曲線の導出

導入



<http://veraserver.mtk.nao.ac.jp/restricted/gingakei2006/nakanisi.pdf>



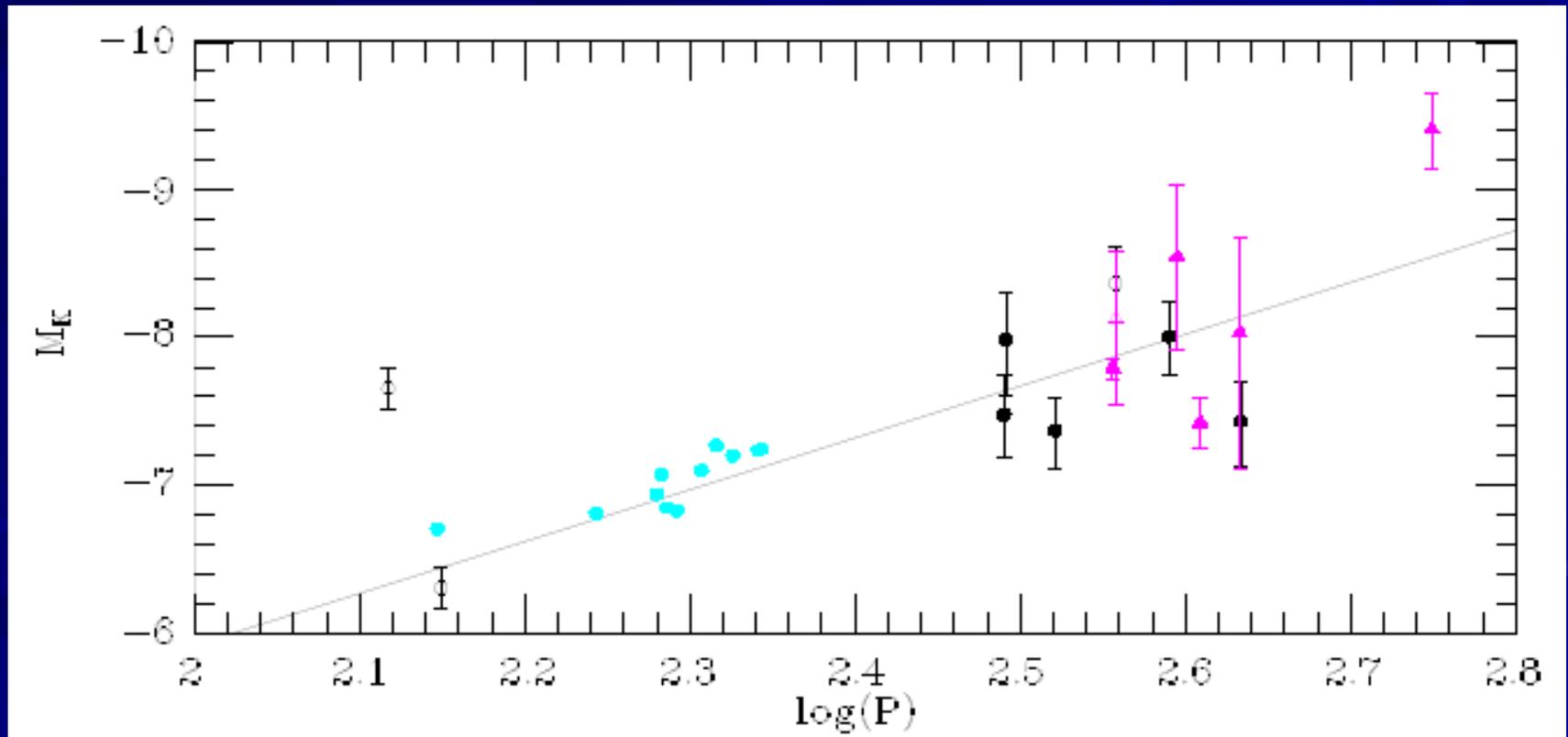
http://www.nasa.gov/mission_pages/spitzer/multimedia/20080603a.html

http://4d2u.nao.ac.jp/html/program/mitaka/mtk_3d_mode.htm

導入

距離決定方法

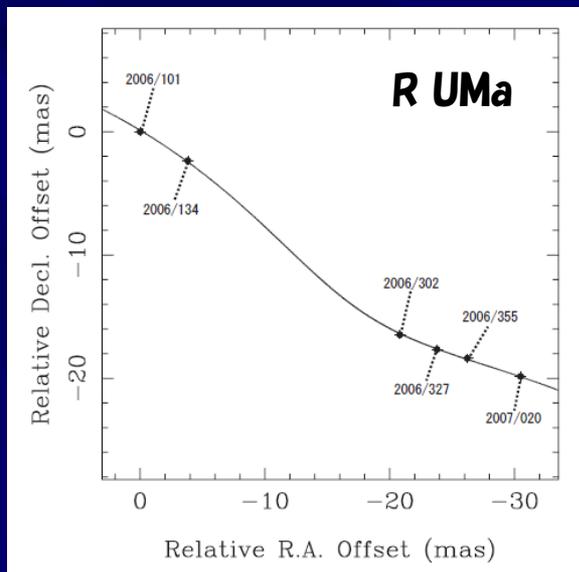
■ ミラ型変光星の周期光度関係



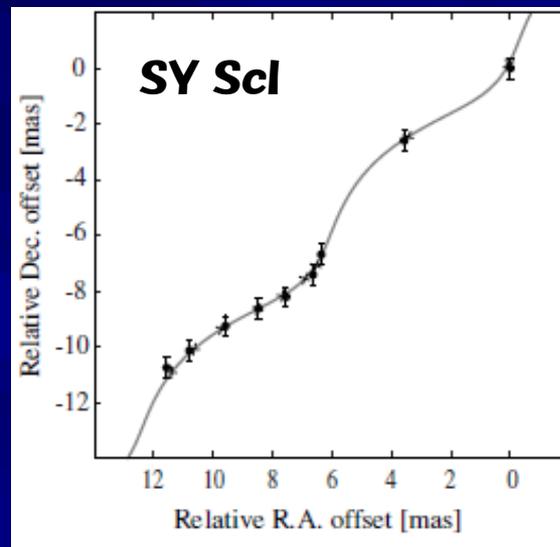
Whitelock et al. 2008

導入

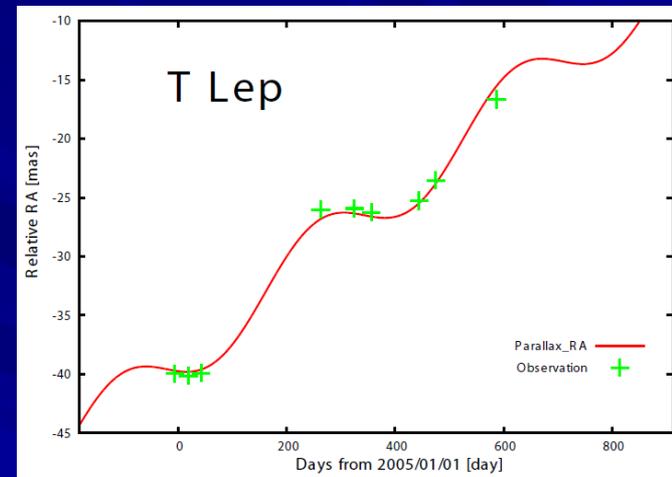
VERAによるミラ型変光星の周期光度関係の較正



年周視差 = 1.81 ± 0.28 mas
距離 = 552^{+101}_{-74} pc
Matsui et al. 2009 in prep



年周視差 = 0.75 ± 0.09 mas
距離 = $1.33^{+0.05}_{-0.05}$ Kpc
Nyu et al. 2009 submitted to PASJ

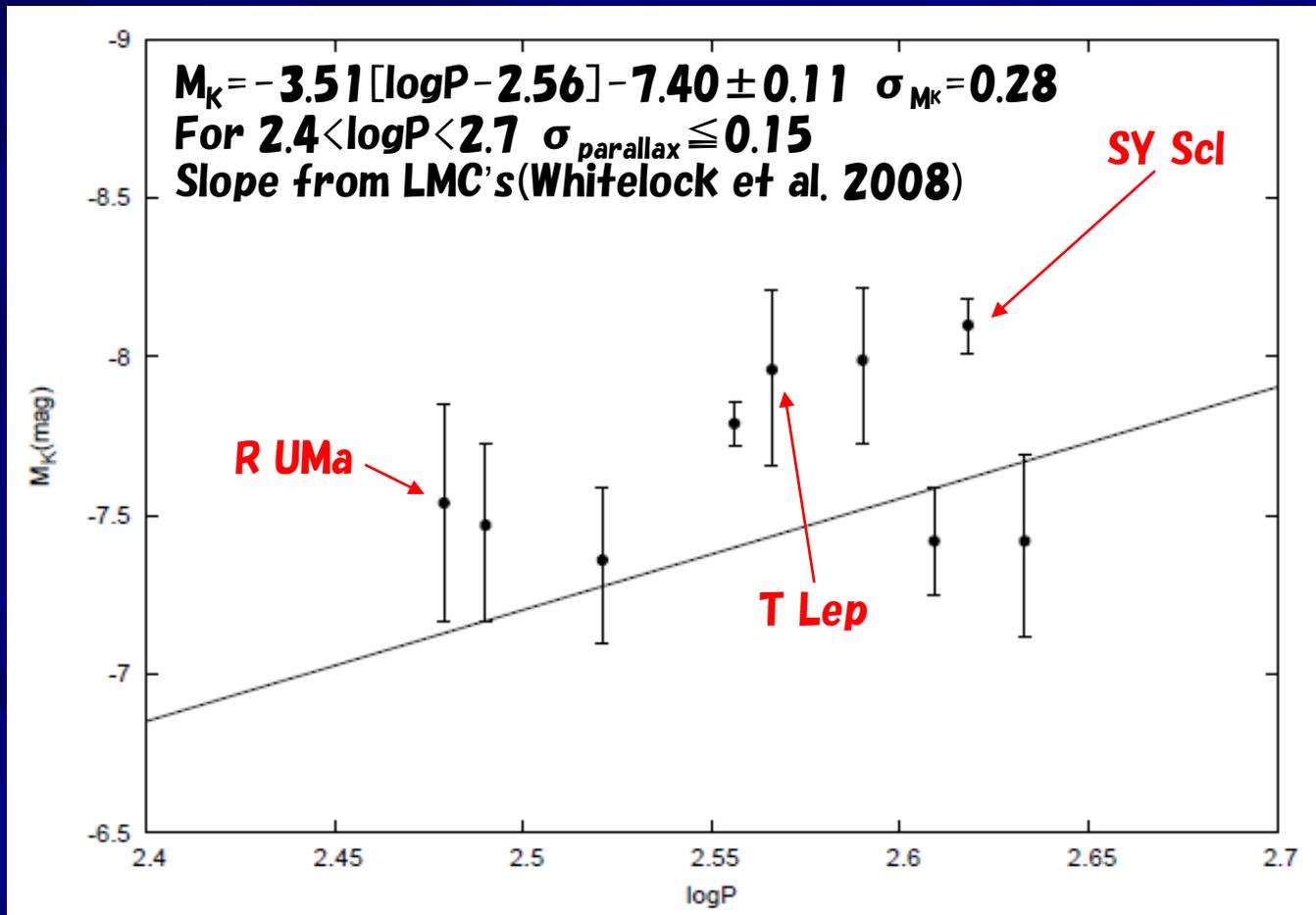


年周視差 = 2.62 ± 0.33 mas
距離 = 382^{+55}_{-43} pc
Nakagawa et al. 2009 in prep

導入

距離決定方法

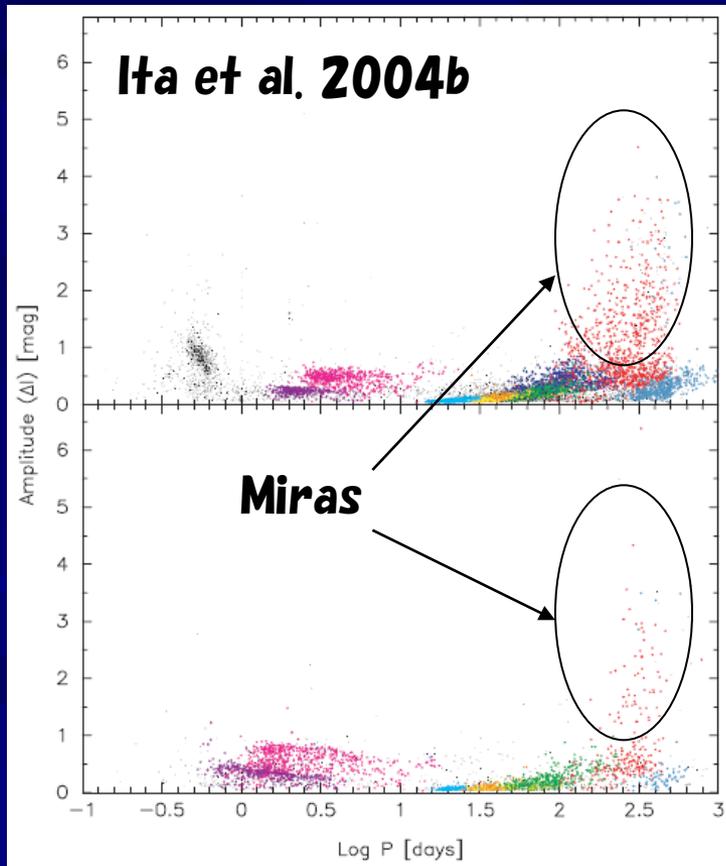
■ ミラ型変光星の周期光度関係



導入

ミラの同定方法

■ バンドの振幅



Label	Colour	Population
A^-	Cyan	RGB variables and metal-poor and old AGB variables
A^+	Yellow	Less regularly pulsating AGB variables
B^-	Orange	RGB variables and metal-poor and old AGB variables
B^+	Green	Less regularly pulsating AGB variables
C'	Blue	Mira variables pulsating in the first-overtone mode
C	Red	Mira variables pulsating in the fundamental mode
D	Steel-blue	Some obscured variables and unknown variables
F	Magenta	Cepheid variables pulsating in the fundamental mode
G	Purple	Cepheid variables pulsating in the first-overtone mode

$P \geq 100(\text{days})$

$\Delta I(I_{\max} - I_{\min}) \geq 1(\text{mag})$



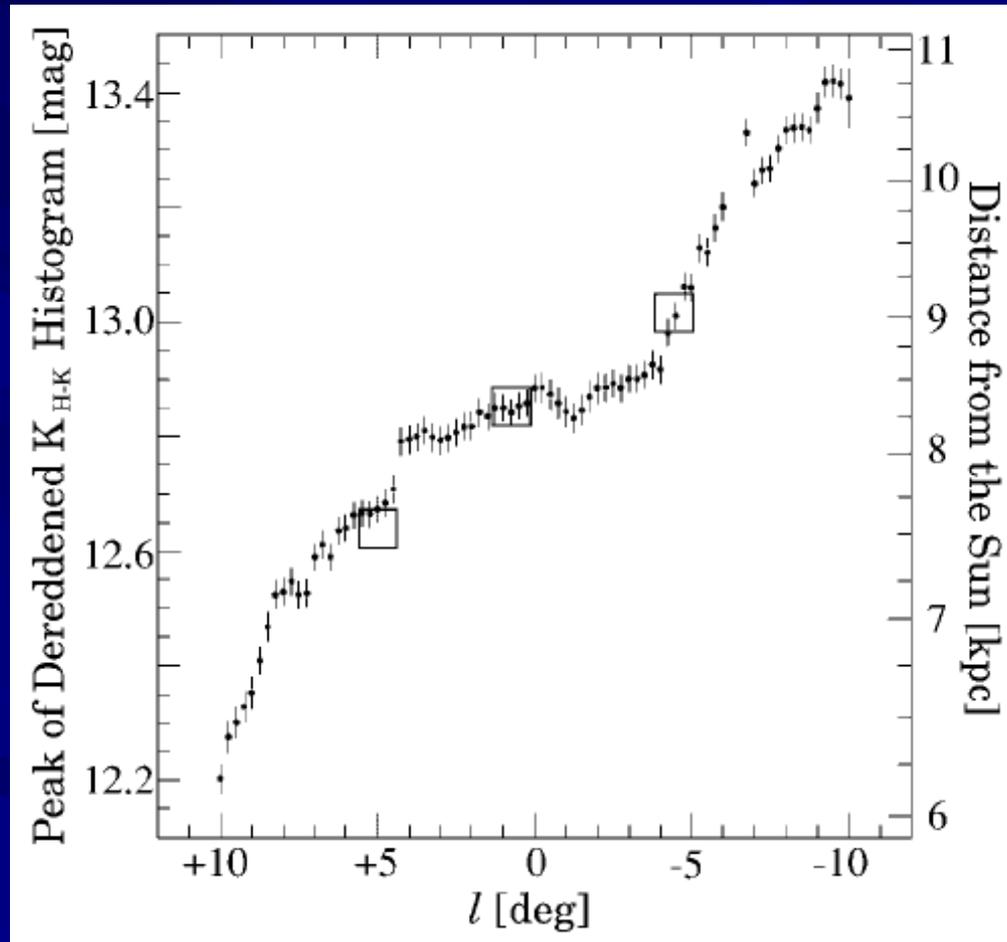
ミラ型変光星

目的

- **バルジの薄く長い棒状構造の探査**
- **幾何学的銀河中心距離の決定**
- **銀河系外縁部の回転曲線の導出**

バルジの薄く長い棒状構造

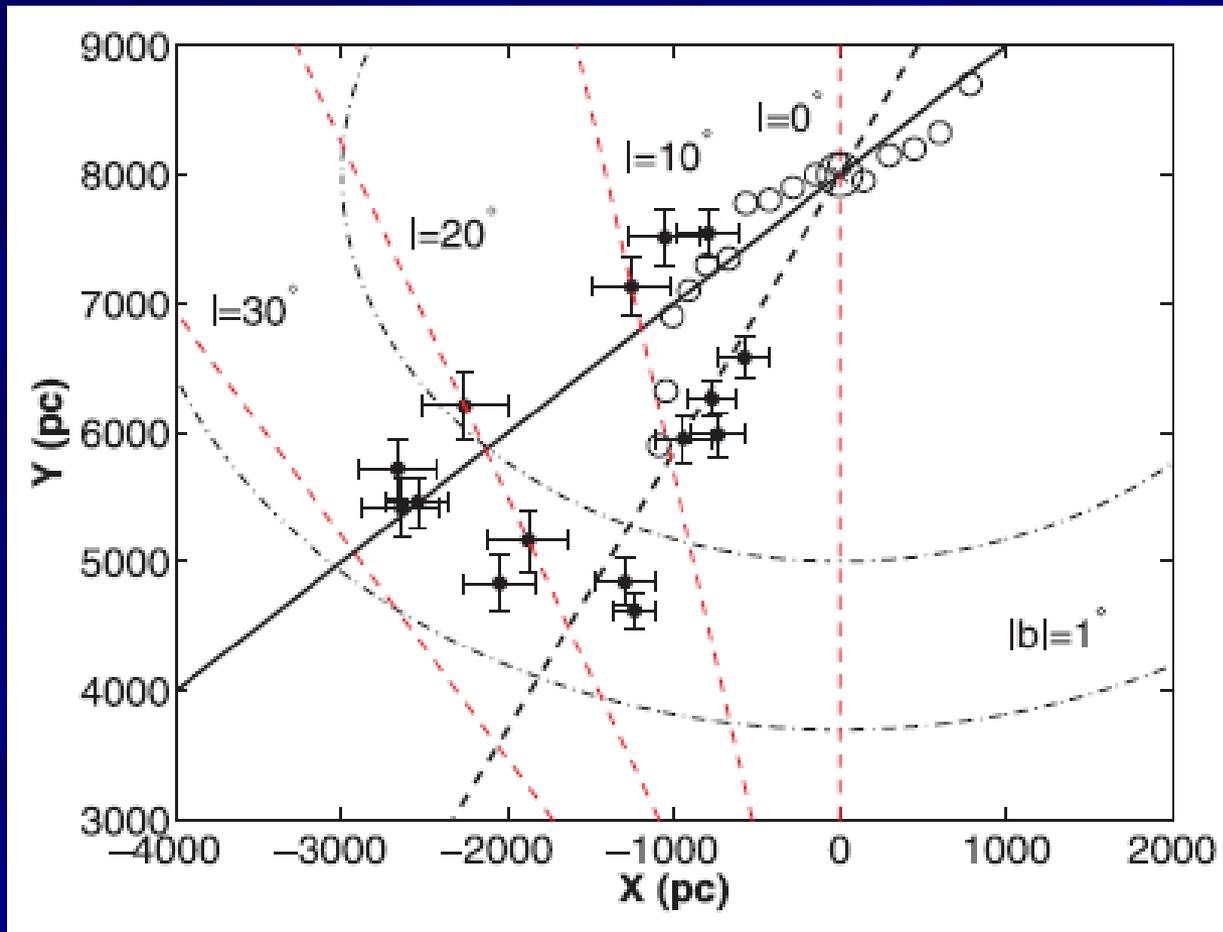
- レッドクランフ星によるバルジの厚く短い棒状構造



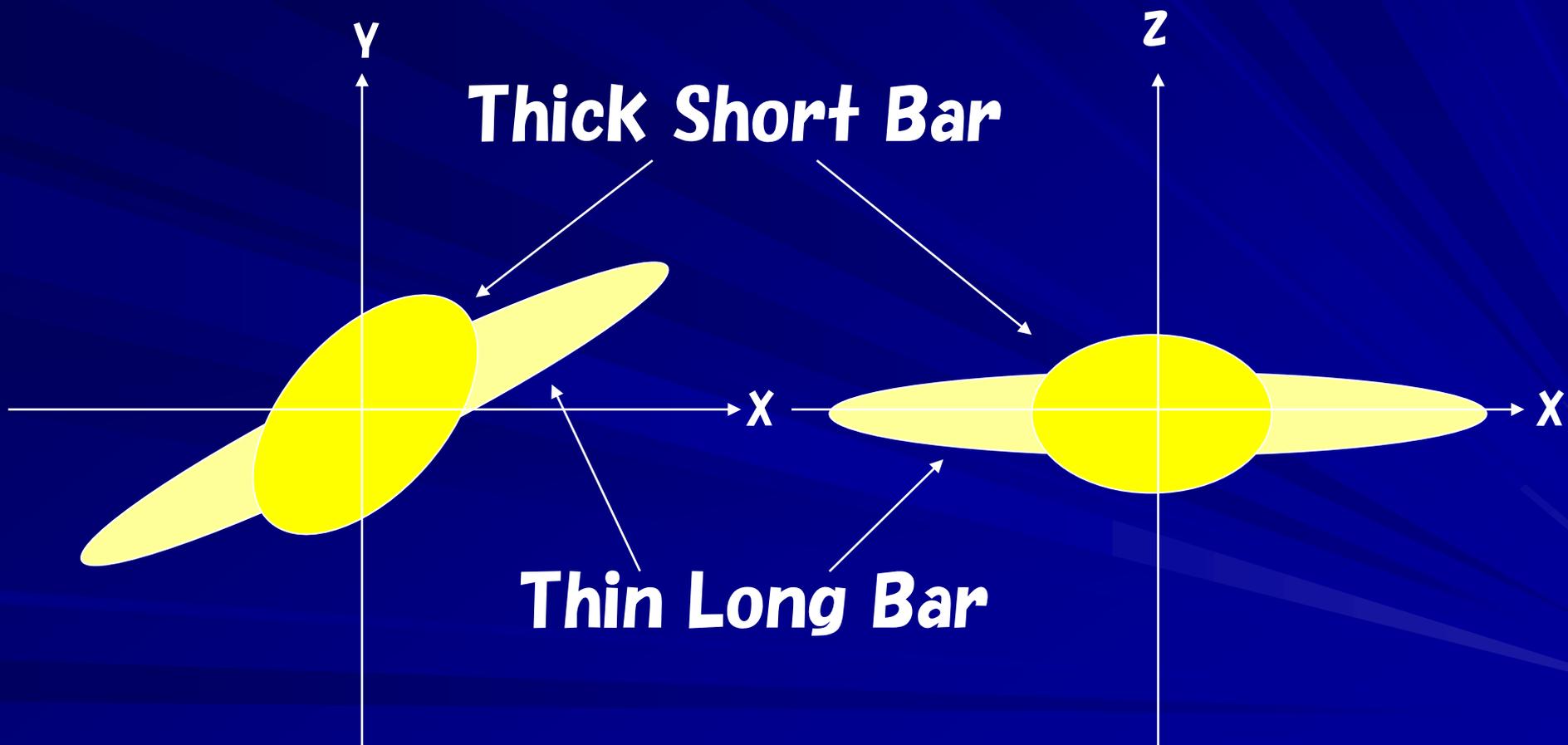
Nishiyama et al. 2005

バルジの薄く長い棒状構造

■ レッドクランフ星の観測



バルジの薄く長い棒状構造



真上から見たイメージ

横から見たイメージ

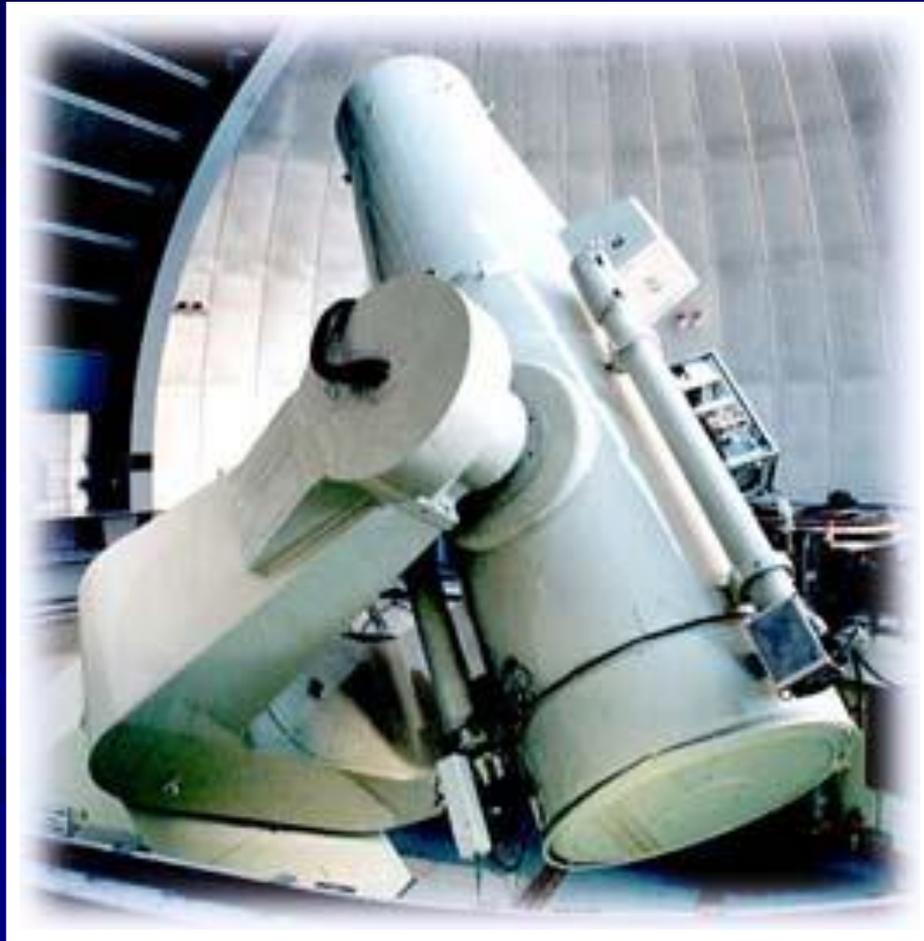
バルジの薄く長い棒状構造

- 薄く長い棒状構造はどんな構造をしているのか？
- たて-ケンタウルスアームとのつながりは？
- 銀河回転との運動の関係は？

ミラ型変光星を用いて
これらの問題へアプローチする!!

観測

■ 木曾105cmシュミット望遠鏡



望遠鏡の性能

・限界等級

21等@SN=10、

15分積分、

シーイング3”、バンド

・視野

50'×50'

・分解能

1.46”

観測

観測期間

2008/8/18~23(18,19,20,21)

2008/9/14~17(14,16)

2008/10/7~13(9,11,13)

観測フィルター

バンド

観測領域

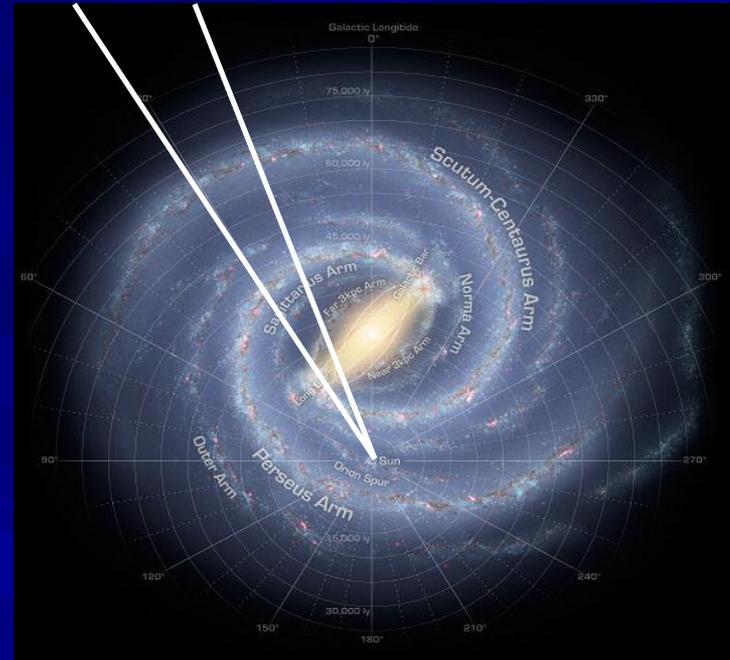
$20^\circ < l < 30^\circ$ 、

$-2^\circ < b < 2^\circ$

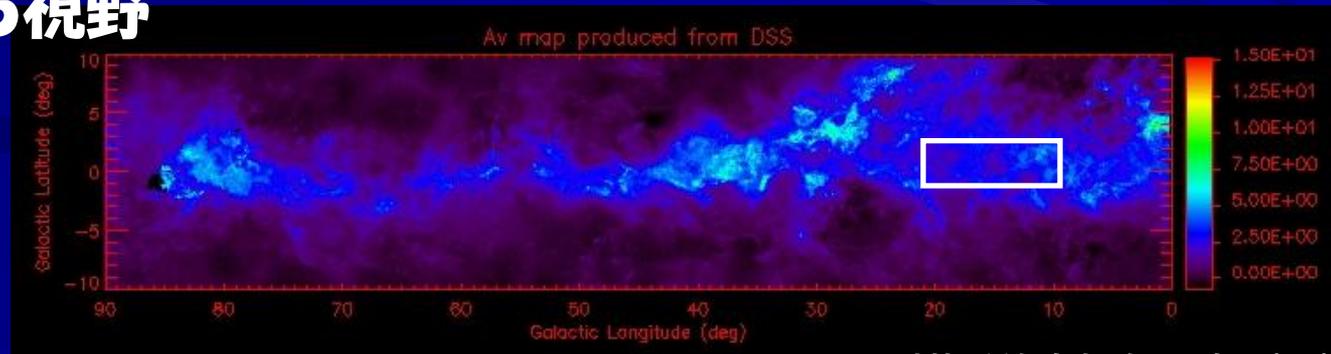
合計20視野 / 125視野

露出時間

1分×3回



http://www.nasa.gov/images/content/236084main_MilkyWay-full-annotated.jpg



<http://darkclouds.u-gakugei.ac.jp/>

解析

■ 測光方法

IRAFのdaophotを使ってPSFによる測光

■ 同定方法

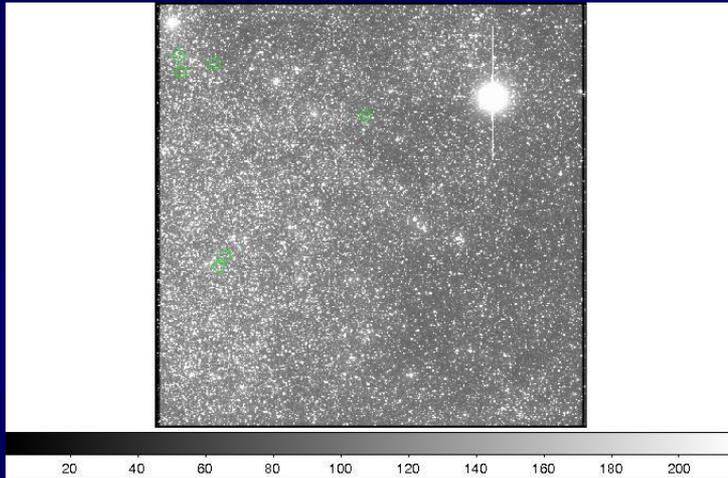
Tabur et al. 2007によって提案された
Optimistic Pattern Matching (OPM)

■ 変光検出方法

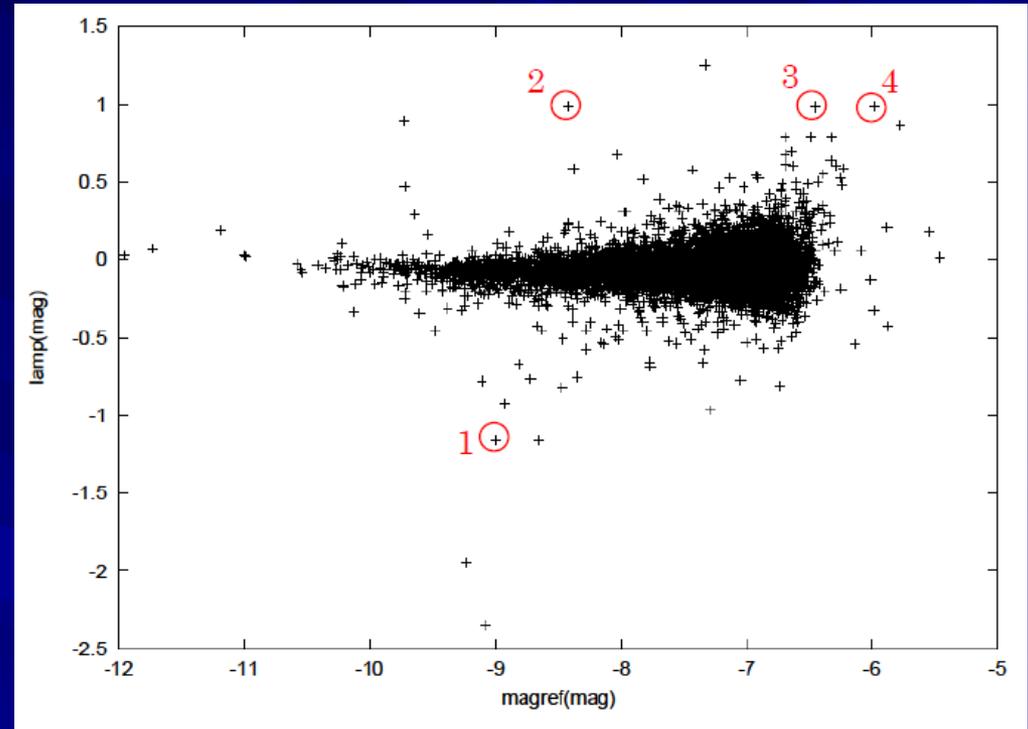
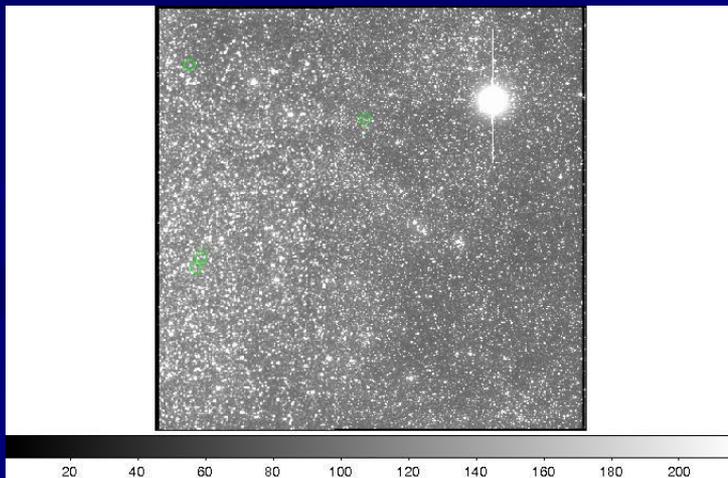
OPMによって同定された天体の等級の差

結果

20080820



20081011



合計20視野で42個の
ミラ型候補星を発見!!

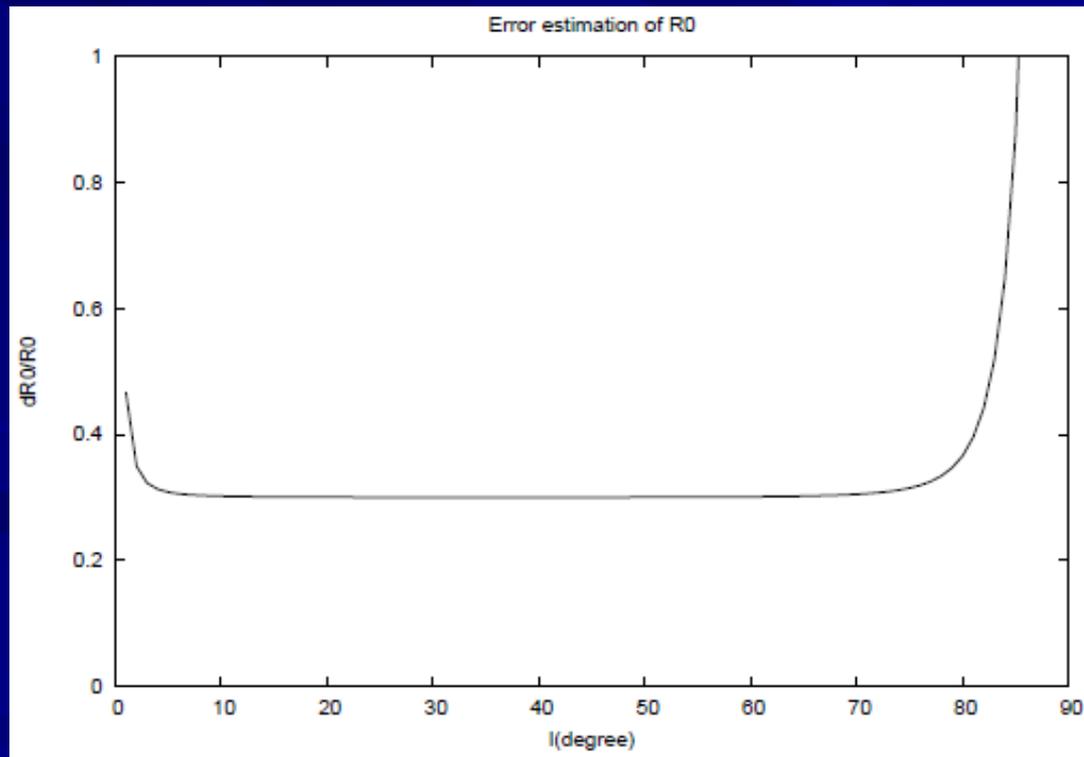
目的

- **バルジの薄く長い棒状構造の探査**
- **幾何学的銀河中心距離の決定**
- **銀河系外縁部の回転曲線の導出**

幾何学的銀河中心距離の決定

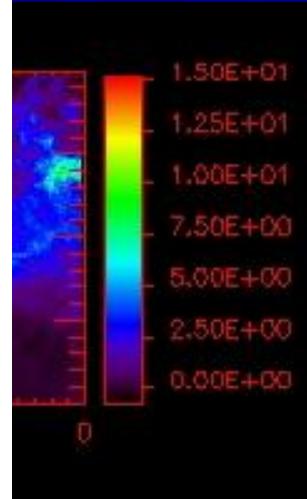
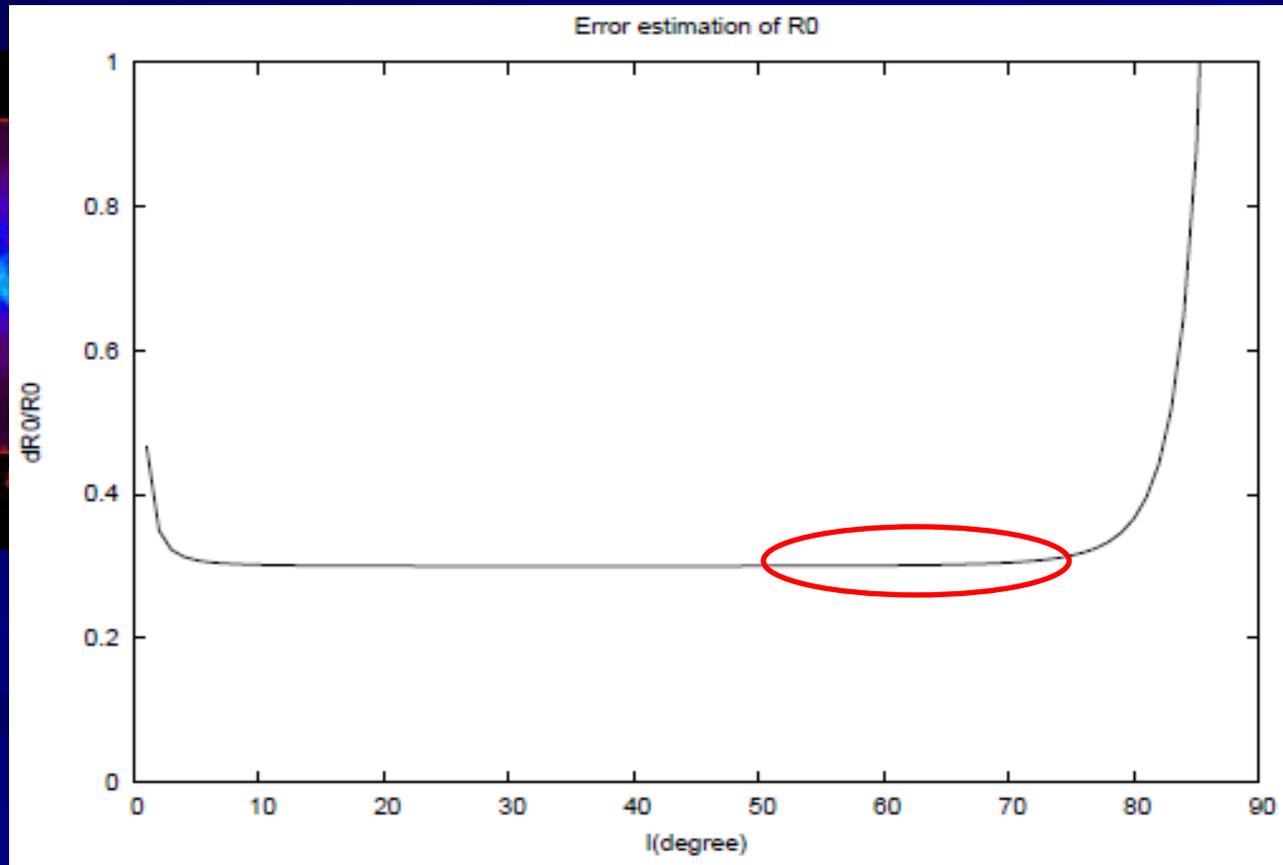
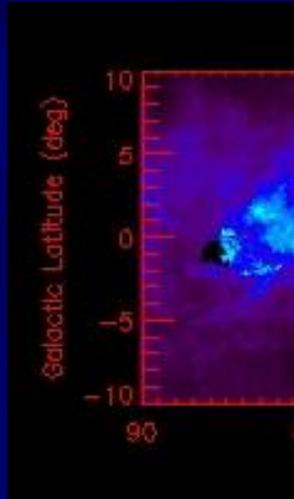
$$R_0 = \frac{r}{2 \cos l} \left(1 + \frac{v_r}{Ar \sin 2l} \right)$$

$$\delta R_0 = \frac{1}{2 \cos l} \left[\delta r^2 + \left(\frac{\delta v_r}{A \sin 2l} \right)^2 \right]^{1/2}$$



幾何学的銀河中心距離の決定

■ 星間減光



gakugei.ac.jp/

観測

観測期間

2008/10/7~13(11)

2008/12/7~11(14,16)

観測フィルター

バンド

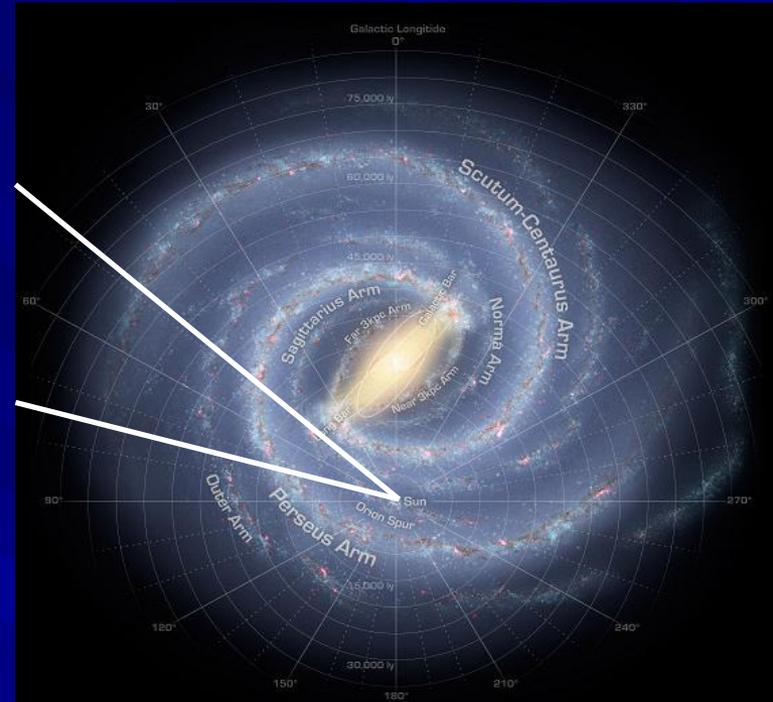
観測領域

$50^\circ < l < 75^\circ$, $b=0^\circ$

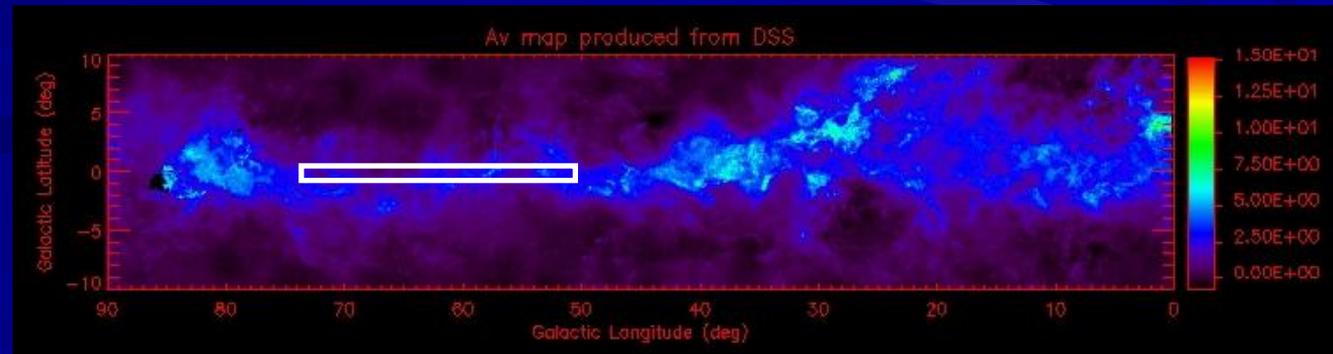
合計11視野 / 34視野

露出時間

20秒×3回



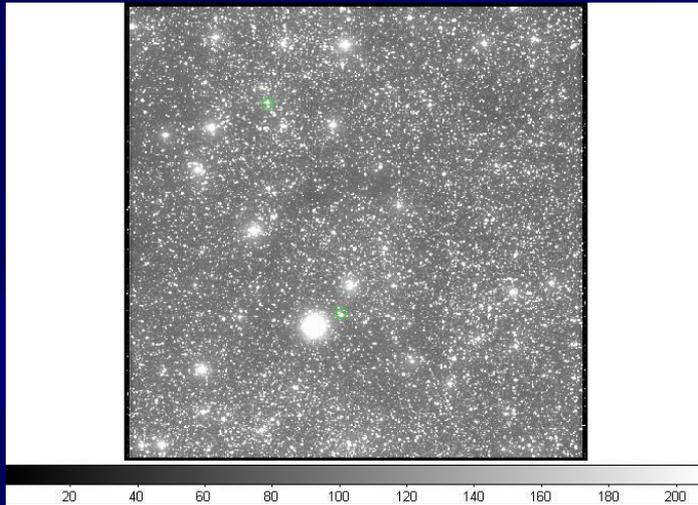
http://www.nasa.gov/images/content/236084main_MilkyWay-full-annotated.jpg



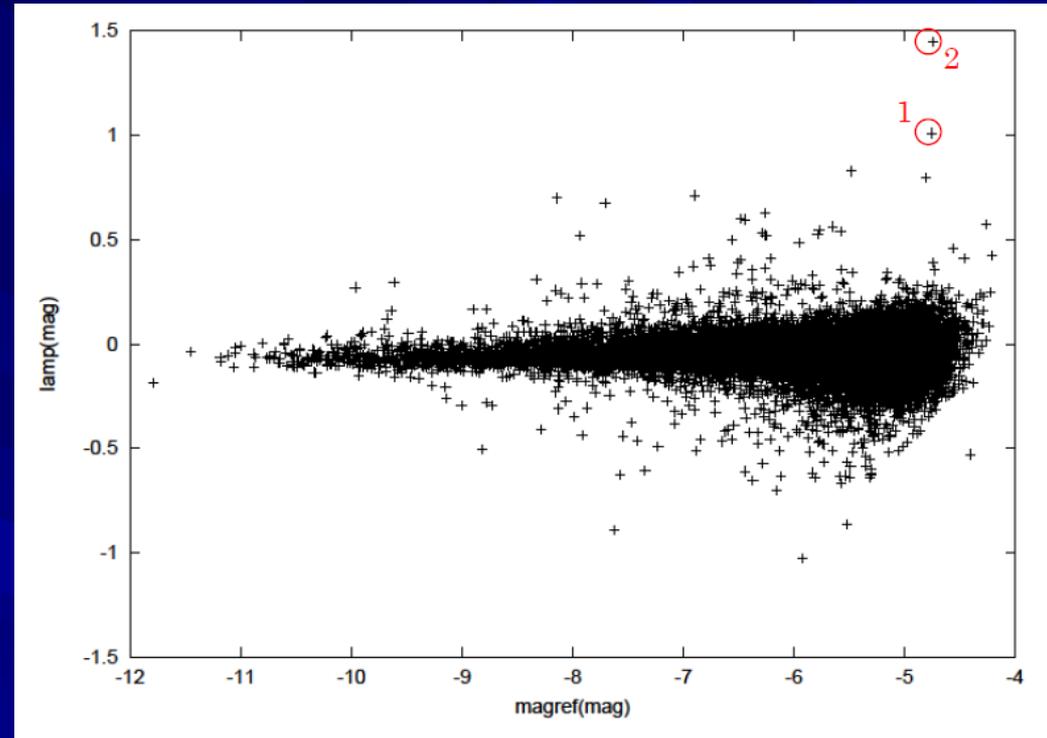
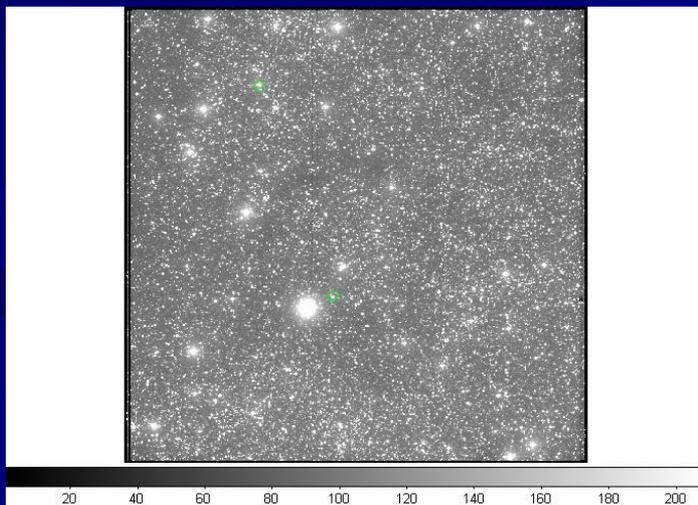
<http://darkclouds.u-gakugei.ac.jp/>

結果

20081011



20081210

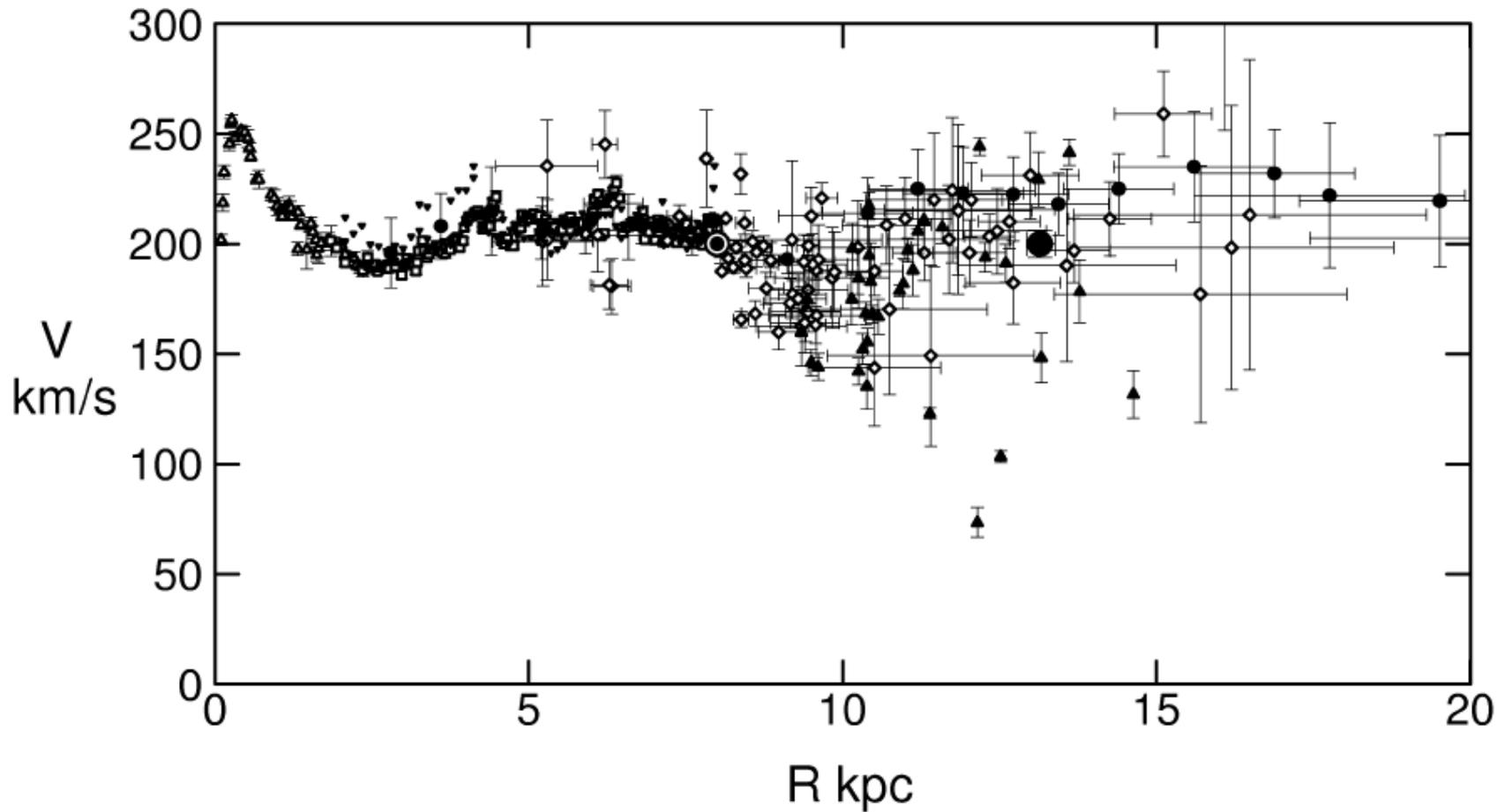


合計11視野で12個の
ミラ型候補星を発見!!

目的

- バルジの薄く長い棒状構造の探査
- 幾何学的銀河中心距離の決定
- 銀河系外縁部の回転曲線の導出

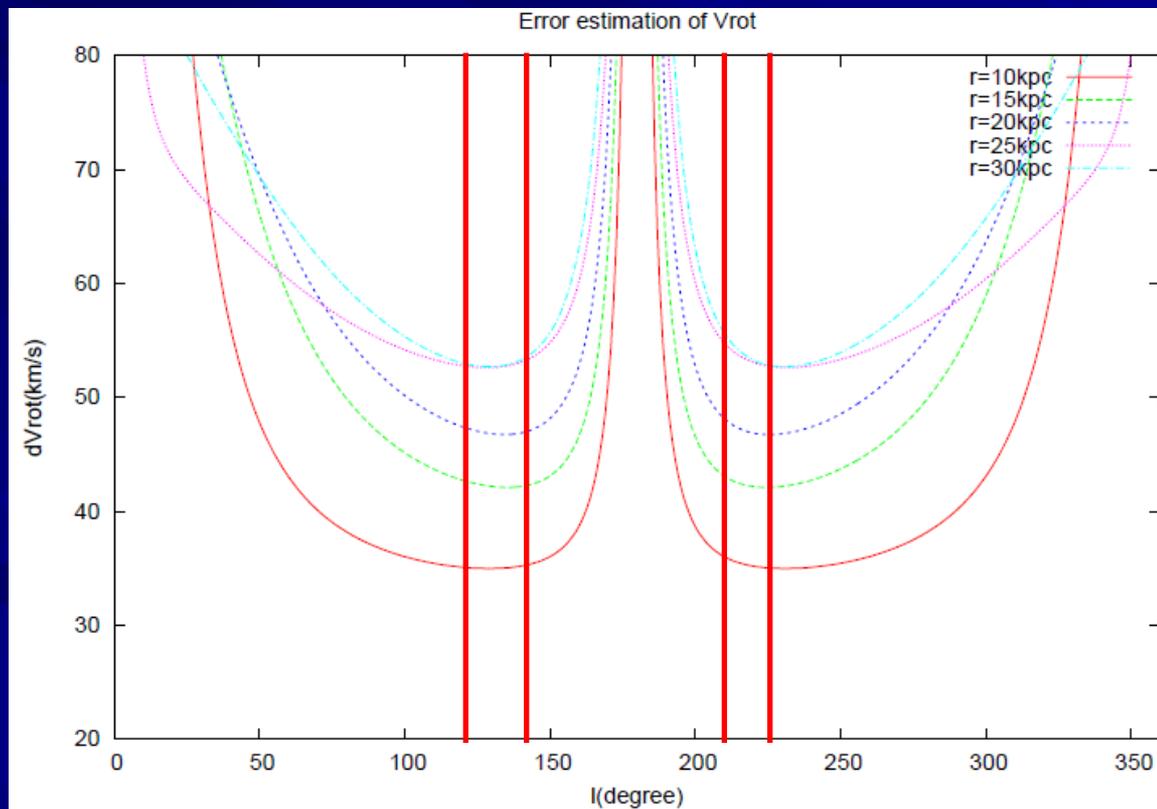
銀河系外縁部の回転曲線の導出



銀河系外縁部の回転曲線の導出

$$V = \frac{R}{R_0} \left(\frac{v}{\sin l} + V_0 \right)$$

$$\delta V = \sqrt{\left(\frac{R}{R_0 \sin l} \right)^2 \delta v^2 + \left(\frac{r(r - R_0 \cos l) V}{R^2} \right)^2 \left(\frac{\delta r}{r} \right)^2}$$



観測

観測期間

2008/10/7~13(11)

2008/12/7~11(14,16)

2009/2/1~6(1,2)

観測フィルター

バンド

観測領域

$120^\circ < l < 140^\circ, b=0^\circ$

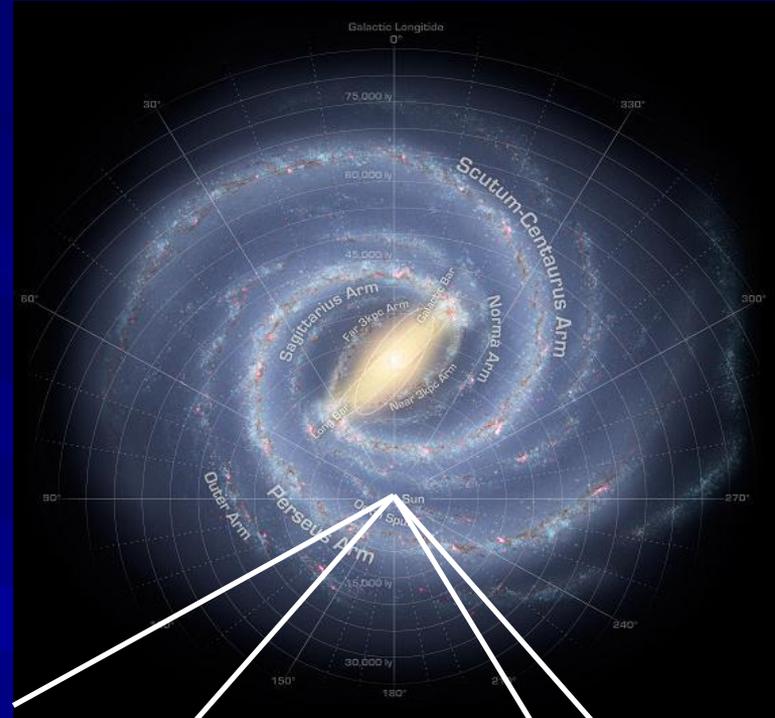
$220^\circ < l < 230^\circ, b=0^\circ$

合計27視野 / 30視野

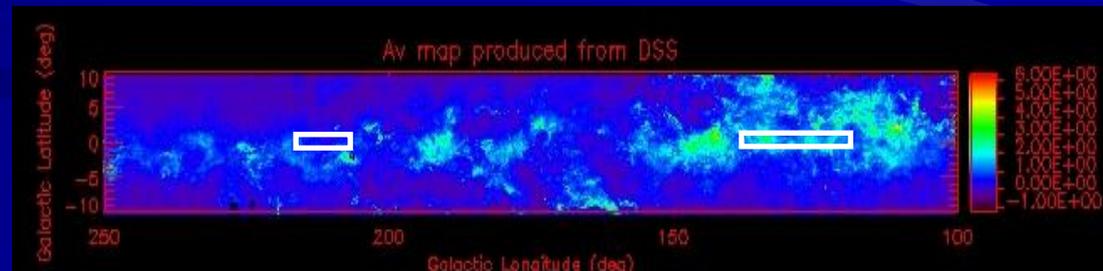
+ 15視野 / 15視野

露出時間

20秒×3回



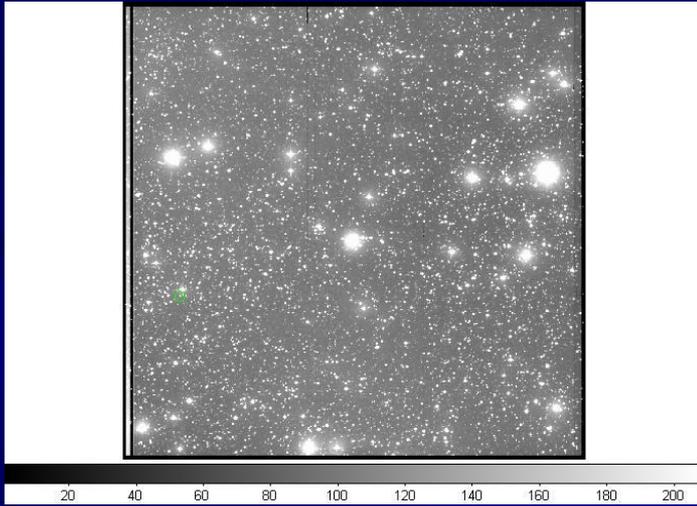
http://www.nasa.gov/images/content/236084main_MilkyWay-full-annotated.jpg



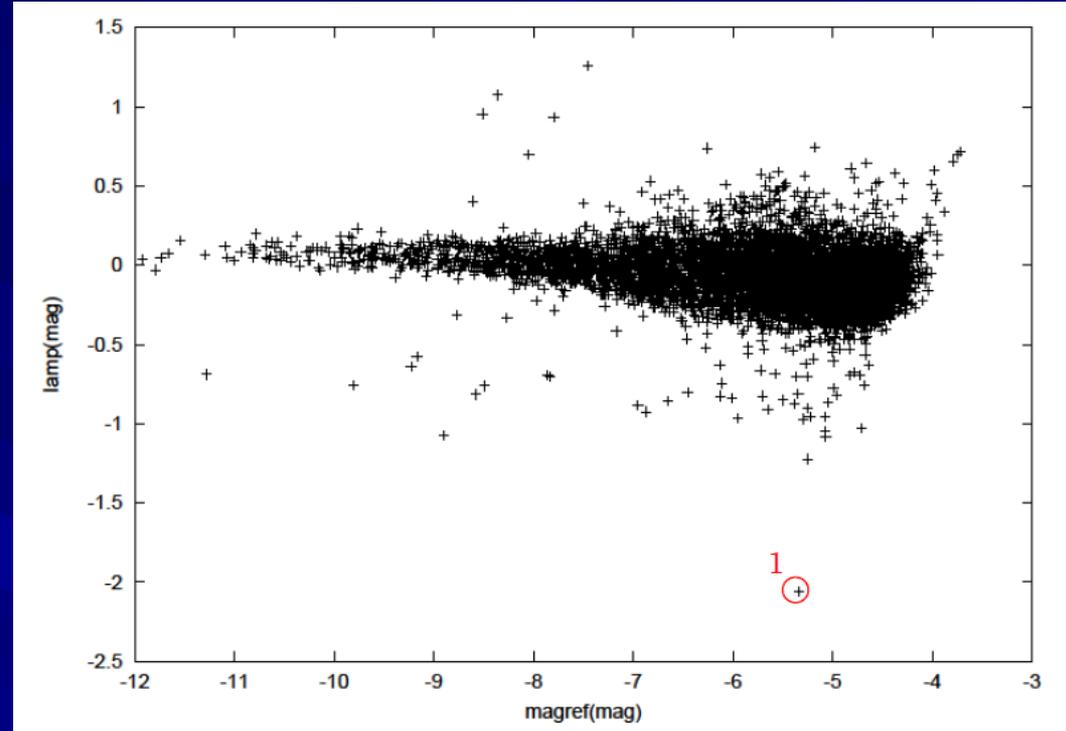
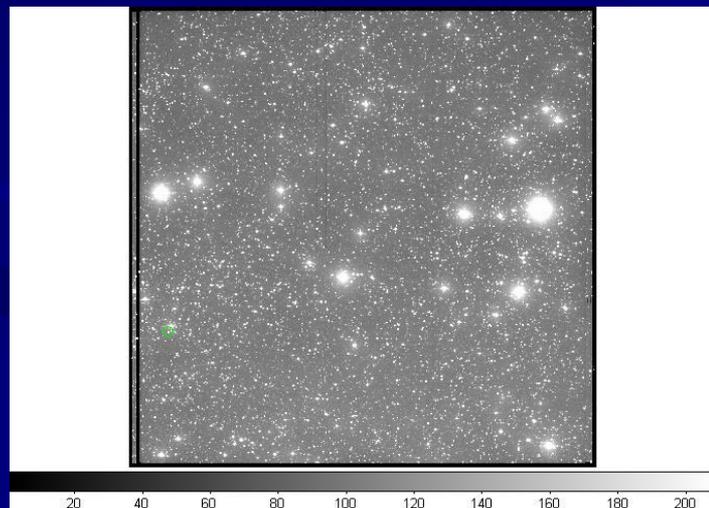
<http://darkclouds.u-gakugei.ac.jp/>

結果

20081011



20090202



合計42視野で35個の
ミラ型候補星を発見!!

まとめ

	バルジの薄く 長い棒状構造	幾何学的銀河 中心距離	銀河系外縁部 の回転曲線
観測領域 (視野数)	$20^\circ < l < 30^\circ$ $-2^\circ < b < 2^\circ$ 20視野	$50^\circ < l < 75^\circ$ $b=0^\circ$ 11視野	$120^\circ < l < 140^\circ$ $220^\circ < l < 230^\circ$ $b=0^\circ$ 42視野
ミラの発見 個数	42個	12個	35個
今期の観測 予定	×	○	○

目的

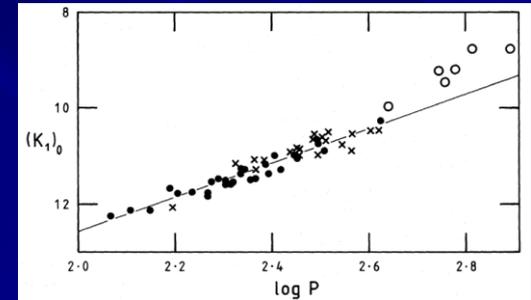
近傍矮小銀河のミラ型変光星探査

- 周期光度関係の傾きは宇宙共通なのか？

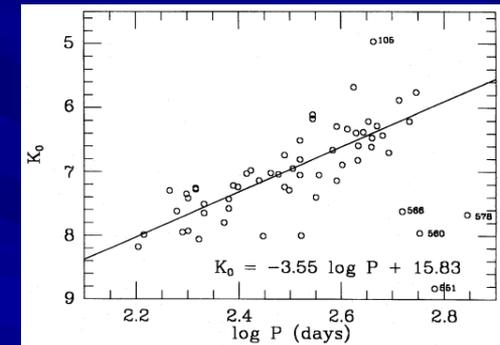
導入

■ ミラ型変光星の周期光度関係の傾き

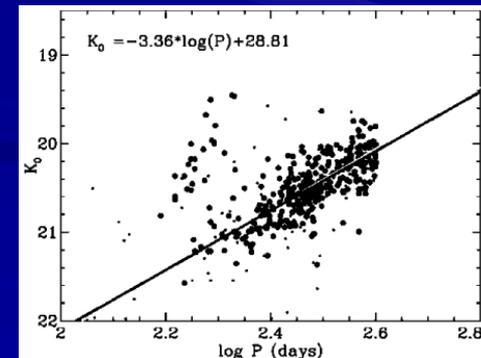
LMC: -3.47 ± 0.19 (Feast et al. 1989)



Sgr I: -3.55 ± 0.35 (Glass et al. 1995)



Cen A: -3.36 ± 0.11 (Rejkuba 2003)



観測

観測天体

UMi Dwarf Galaxy

座標

RA: 15h9m8.5s

DEC: +67d13m21s

観測期間

2008/10/11

2009/2/3

観測フィルター

バンド

露出時間

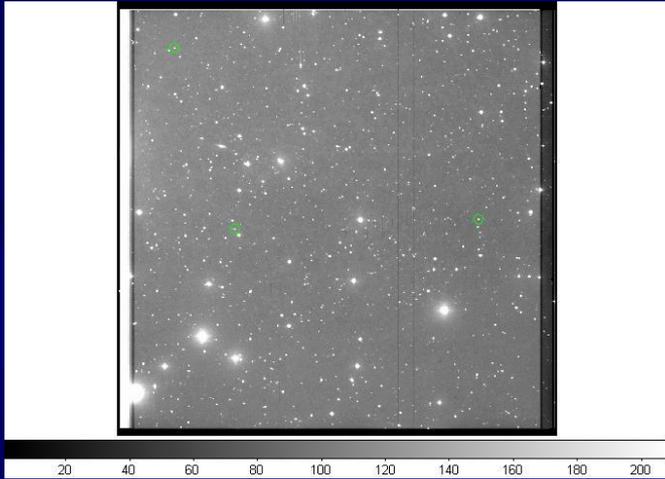
72秒×5回



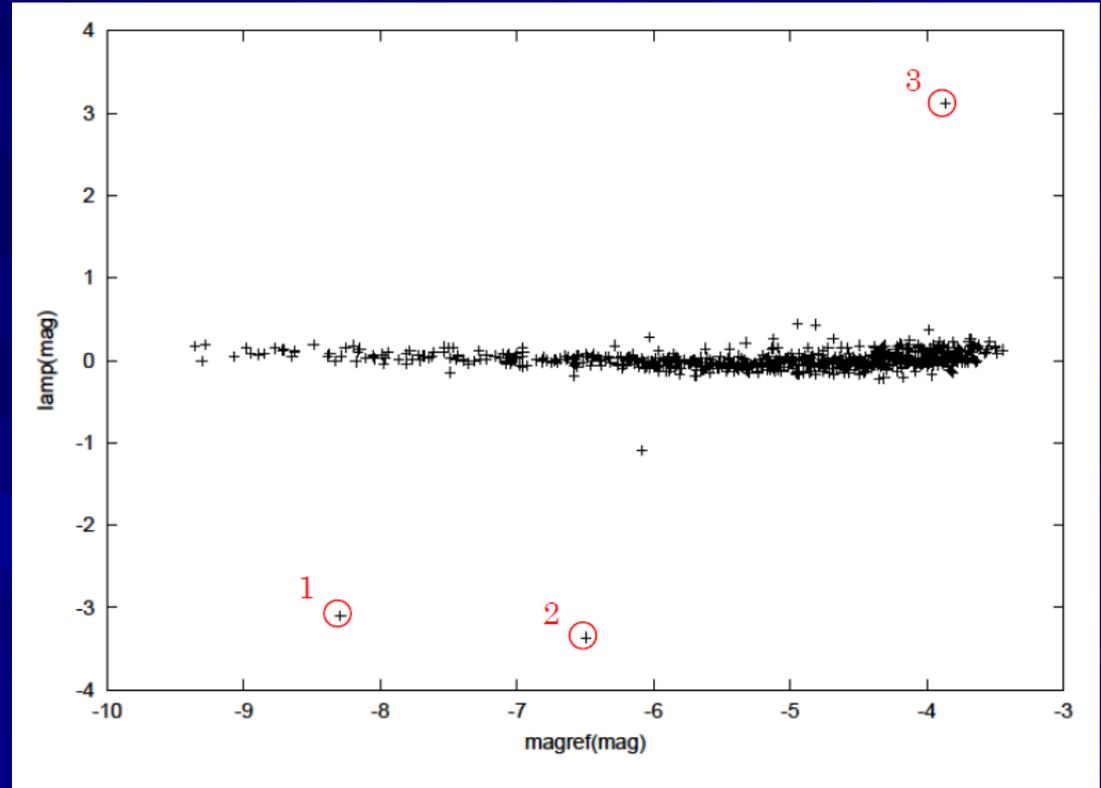
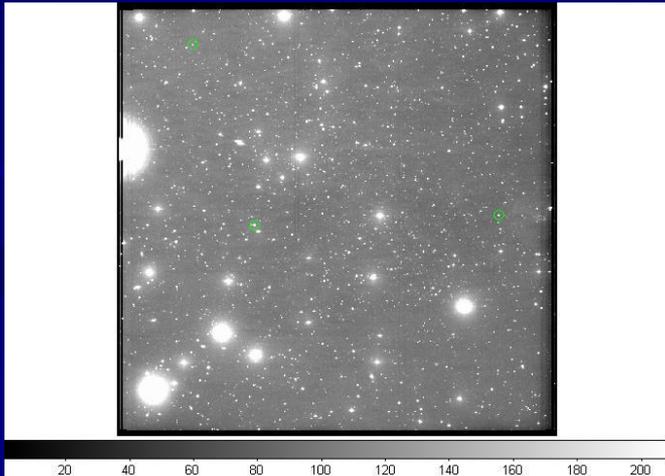
<http://www.capella-observatory.com/ImageHTMLs/Galaxies/UMiDwarf.htm>

結果

20081210



20090203



3個のミラ型候補星を発見!!

観測

観測天体

Draco Dwarf Galaxy

座標

RA:17h20m12.4s

DEC:+57d54m55s

観測期間

2008/12/10

2009/2/3

観測フィルター

バンド

露出時間

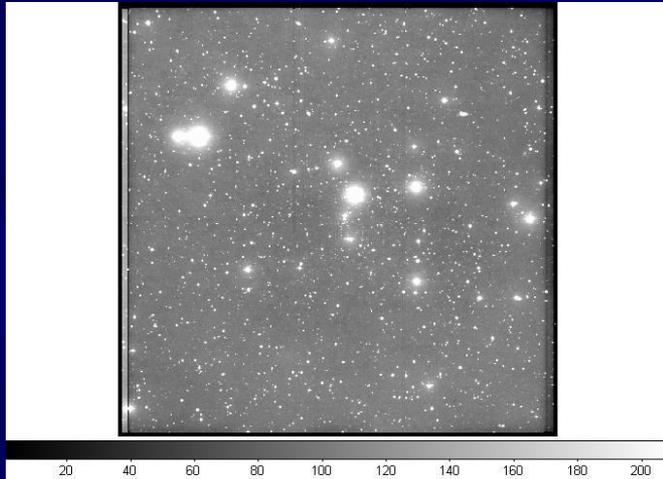
72秒×5回



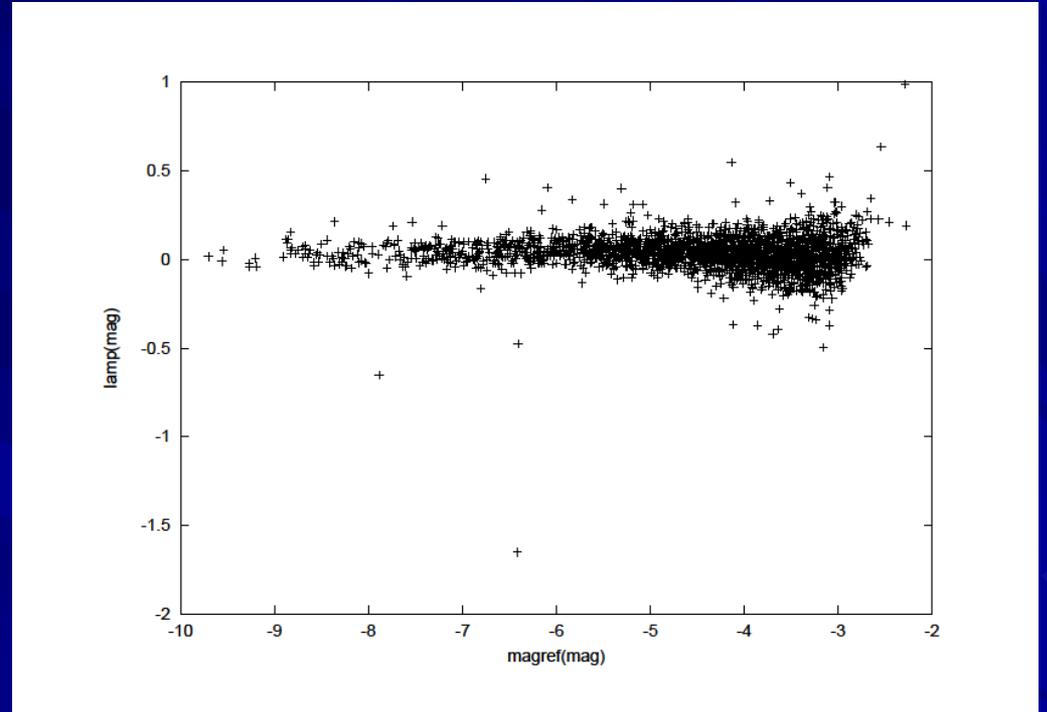
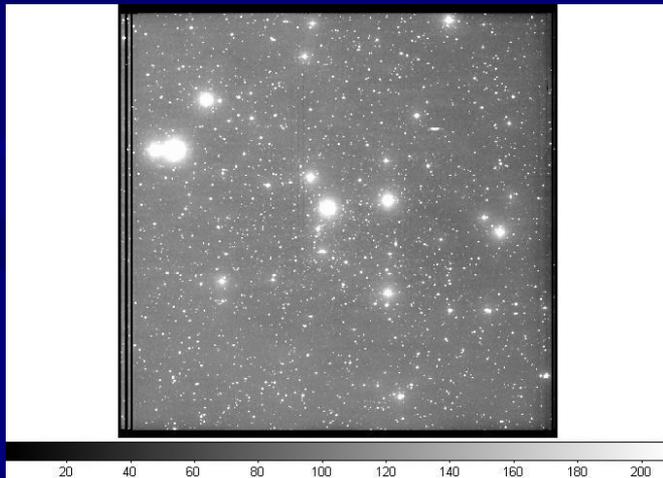
http://www.astro.uni-bonn.de/~mischa/mbo/gallery_ccd/draco.html

結果

20081011



20090203

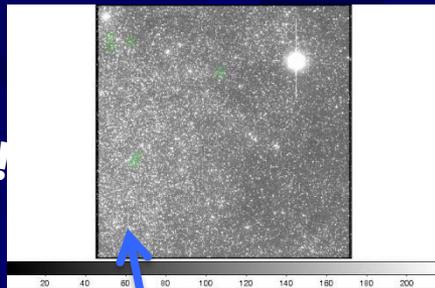


ミラ型候補星発見できず...

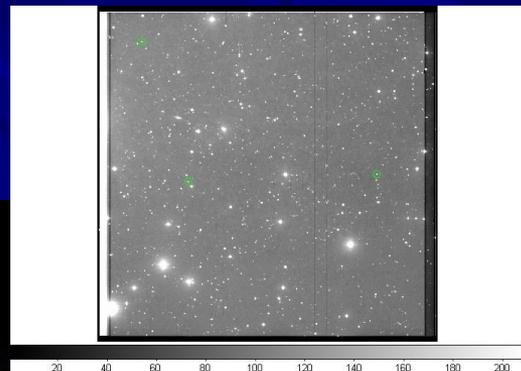
まとめ

	UMi Dwarf	Draco Dwarf
ミラ型候補星の 発見個数	3個	0個
今期の観測予定	?	?

**TLBプロジェクトの20視野で
42個のミラ型候補星を発見!!**

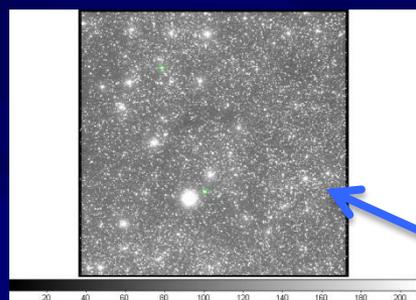


いっとう座矮小銀河

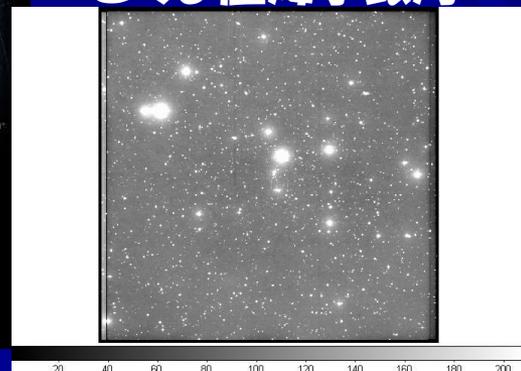


3個のミラ型候補星を発見!!

**GGCプロジェクトの11視野で
12個のミラ型候補星を発見!!**

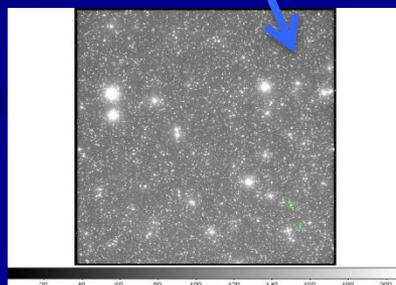
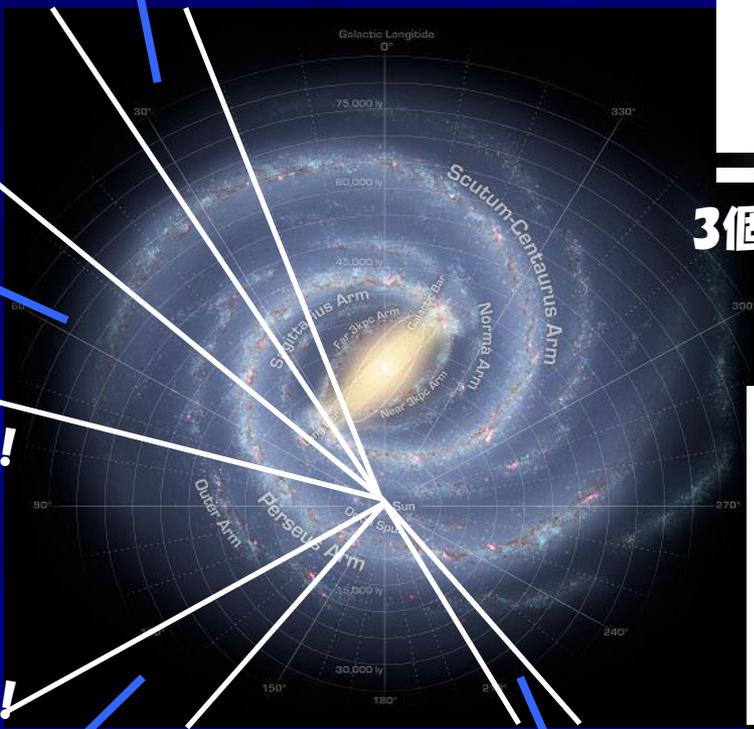
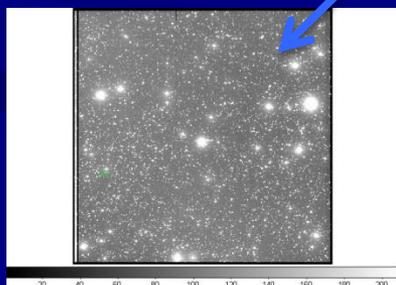


こぐま座矮小銀河



ミラ型候補星発見できず...

**ORCプロジェクトの27視野で
28個のミラ型候補星を発見!!**



**ORCプロジェクトの15視野で
7個のミラ型候補星を発見!!**

今後の計画

ロミラ型変光星サーベイで重要なのは観測間隔!!

2009年	R0	RC1120-140	RC1220-230	UMi	Draco
1月1日	×	7~9h	5~6h	△	○
2月1日	×	5~7h	5~6h	○	○
3月1日	×	2~4h	5h	○	○
4月1日	3h	×	3h	○	○
5月1日	5h	×	×	○	○
6月1日	6h	×	×	○	○
7月1日	8h	2~5h	×	○	○
8月1日	8~10h	5~8h	×	○	○
9月1日	7~9h	7~10h	×	○	○
10月1日	5~7h	10~12h	2~3h	○	△
11月1日	4~6h	10~12h	2~3h	△	×
12月1日	2~4h	9~11h	5~6h	×	△

1月6日間(RC1120-140、RC1220-230、Draco)
3月6日間(RC1120-140、RC1220-230、UMi、Draco)
5月6日間(R0、UMi、Draco)
7月10日間(R0、RC1120-140、UMi、Draco)
9月10日間(R0、RC1120-140、UMi、Draco)
11月12日間(R0、RC1120-140、RC1220-230)
合計 50夜

ロ鹿児島1m光・赤外線望遠鏡による赤外モニター観測

ロ野辺山45m or VERA単一鏡によるSiOメーザーサーベイ観測

ロVERAによる固有運動計測

最後にコメント

□観測時間のシェア

例えば一晩中は観測しないような観測の場合、 リモート化!!
他の観測者と観測時間を共有する!!

□ポインティング

ポインティングが悪いとせっかくの視野もだいなし

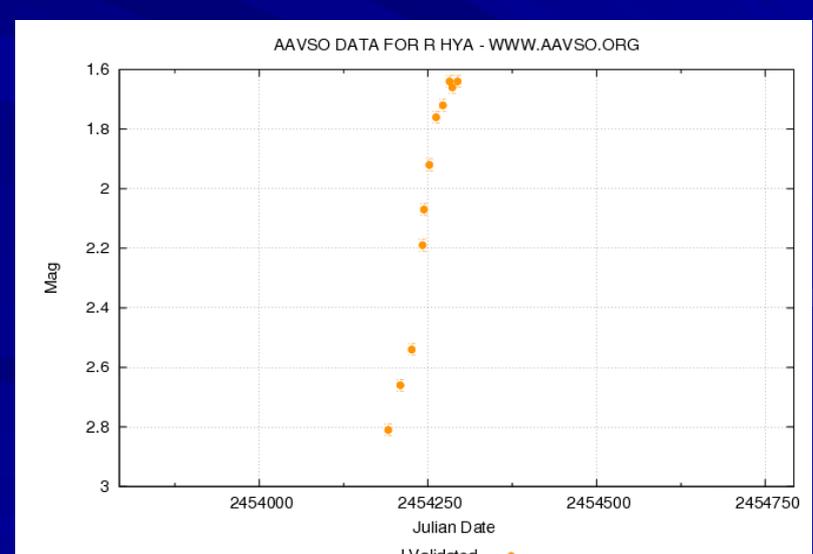
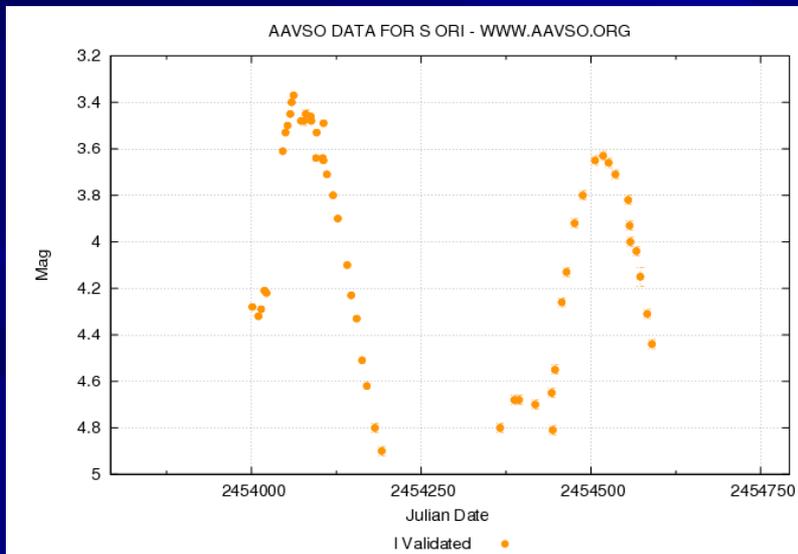
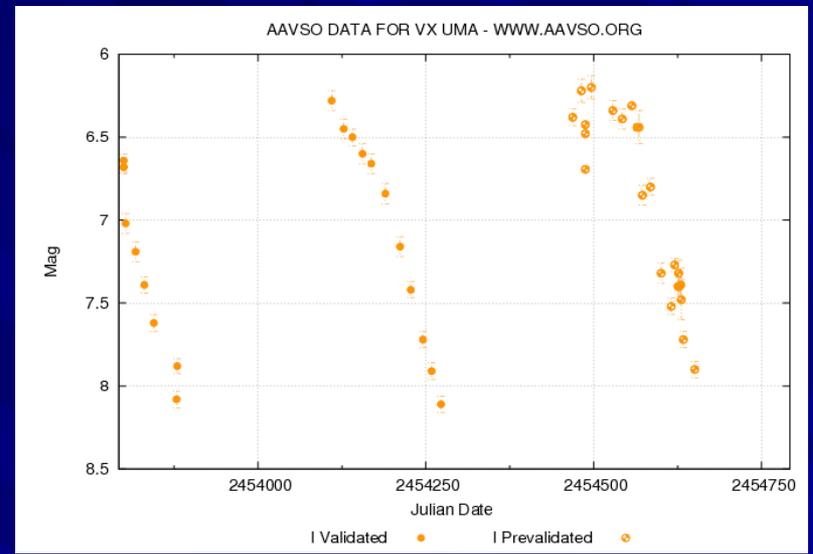
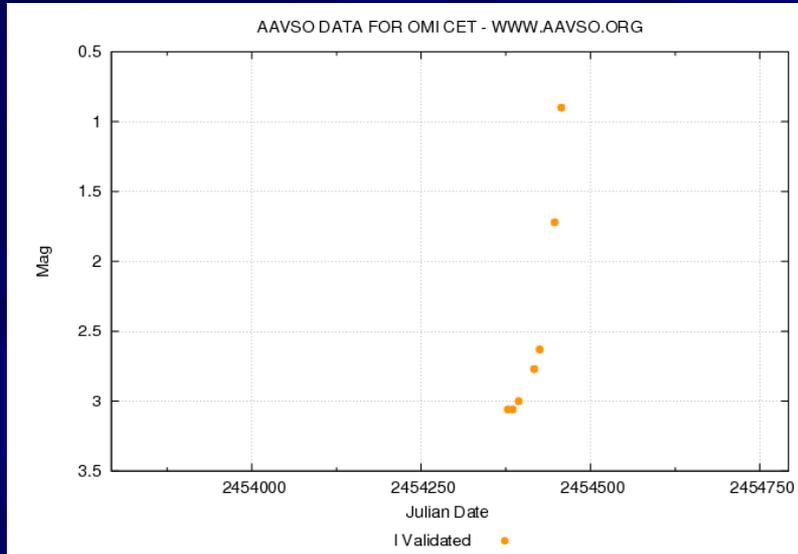
□読み出し時間

読み出し時間が長い

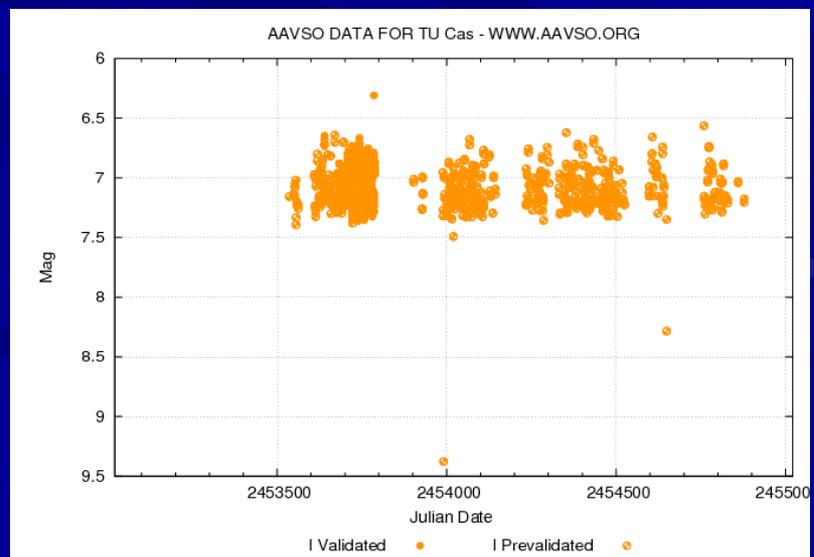
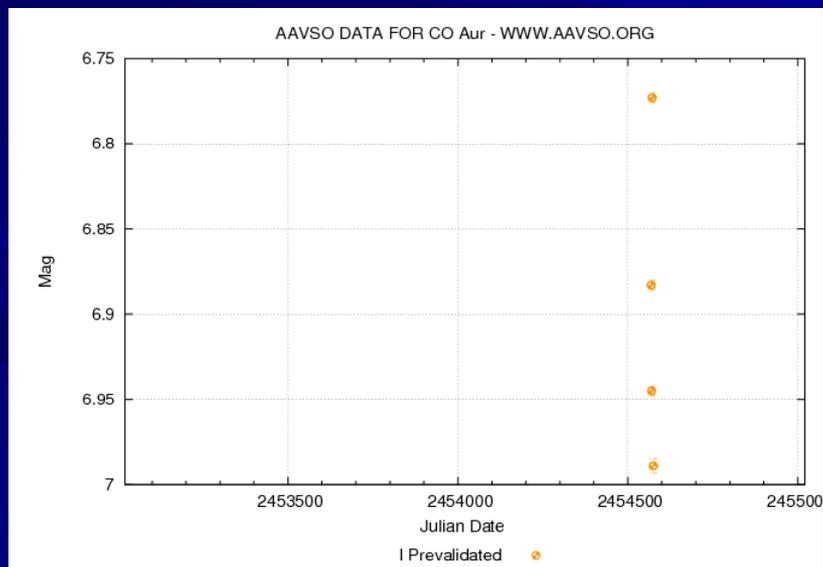
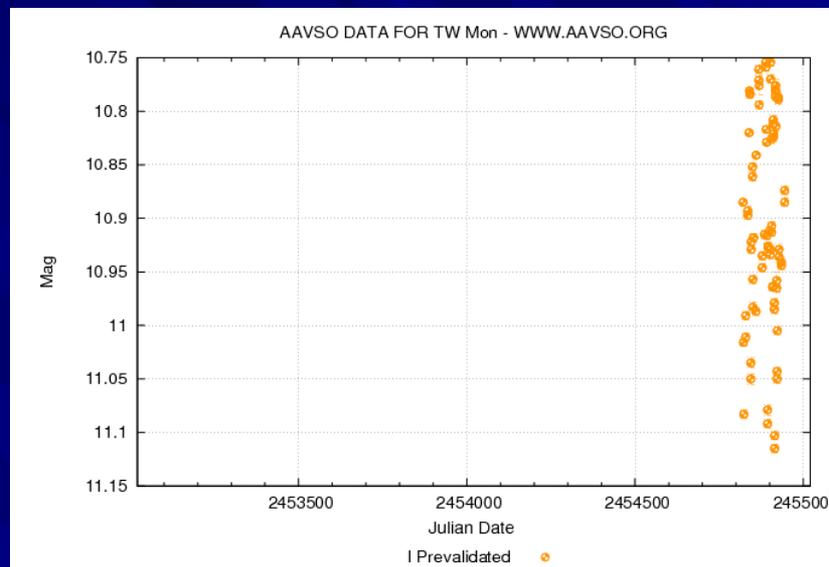
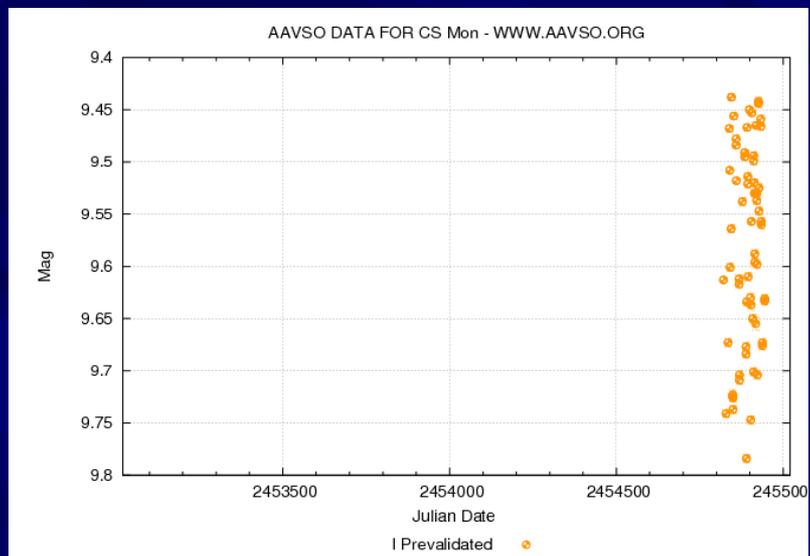
□感謝

いつも温かく迎えてくれる木曽観測所の皆様、
いつもアドバイスをくださる共同研究者の皆様、
本当にありがとうございます!!

銀河系内ミラのバンドの振幅



銀河系内セファイドのバンドの振幅



Optimistic Pattern Matching

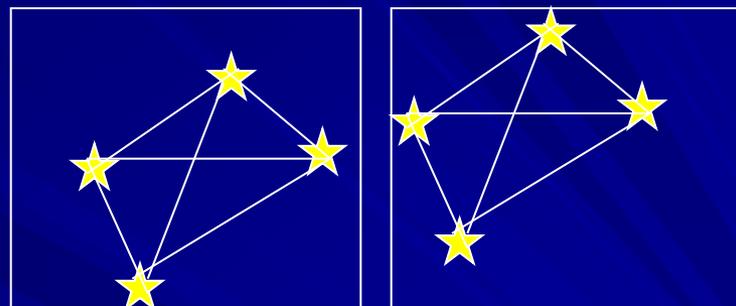
2つの画像から同じ星を同定する方法

■ 三角形群の構築

nC_3 の組み合わせの三角形の作成

最長辺と最短辺の比(ratio)の計算

一番小さい角をはさむ二辺の内積(metric)の計算



■ 三角形マッチ

作成した三角形に対して、お互いのグループから

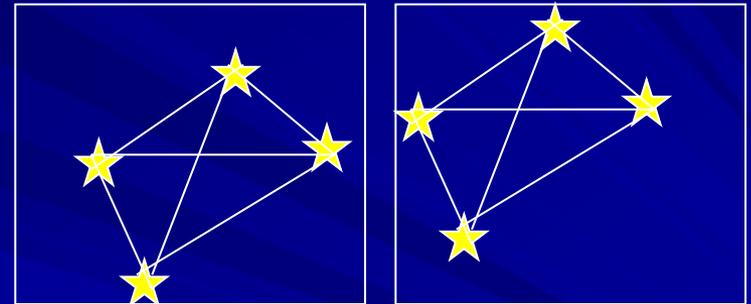
1つずつ三角形を出しあって、ratioとmetricが

一致するペアを選び出す

Optimistic Pattern Matching

■ Preliminary Verification

ratioとmetricの一致する三角形のペアが見つかったら、そのペアが同じ3つの星からできていると仮定して、互いの座標系の変換式を計算。



■ Final Verification

PVで求めた変換式が適当な1次式だったら、全ての星同士を使って、その変換式に基づいた同定を行う。

