

VERAの現状と今後の計画

2007年11月12日

小林秀行

(国立天文台、水沢VERA観測所)

水沢VERA観測所の目標

- VERAを実現し、成果を生み出す
 - VLBIアストロメトリによる銀河系の構造と運動の解明
 - 高精度測地による地球物理学研究
- 天文学研究と地球物理学研究を融合し、独自の研究成果を生み出す
 - 世界に先駆けた 10μ 秒角のアストロメトリの実現
 - 世界に先駆けた1mmの局位置変動計測の実現
- 東アジアにおけるVLBI観測研究の拠点形成

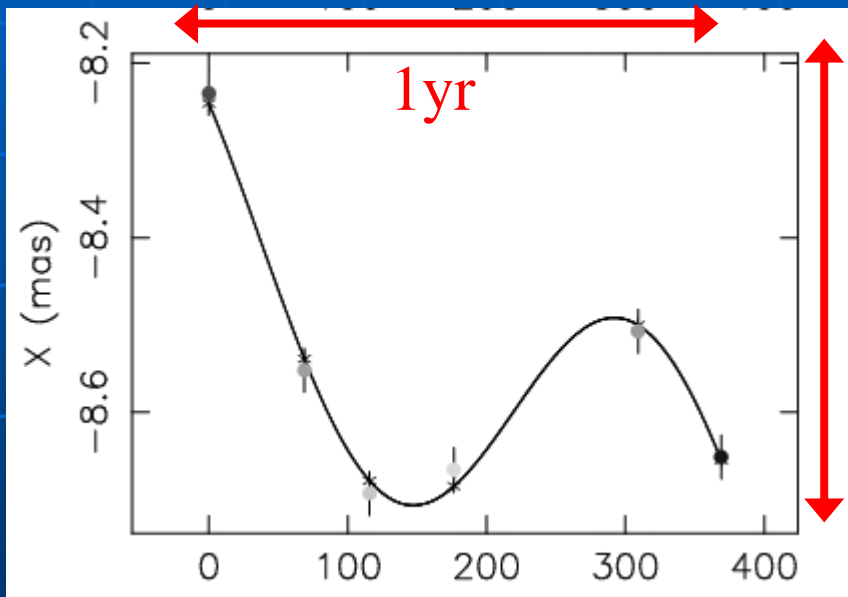
最近のVERAの成果

- 年周視差の検出 : S269・Orion-KL・NGC1333・ ρ —Oph(論文化)
S—Crt, など
- 絶対固有運動の観測: NGC281
- 位相補償観測
 - 位相追尾モデルの高精度化
 - 精度の評価・観測法の検討

これまでの主な成果(1)

5kpc超の年周視差検出と銀河回転への制限

S269の東西方向動き

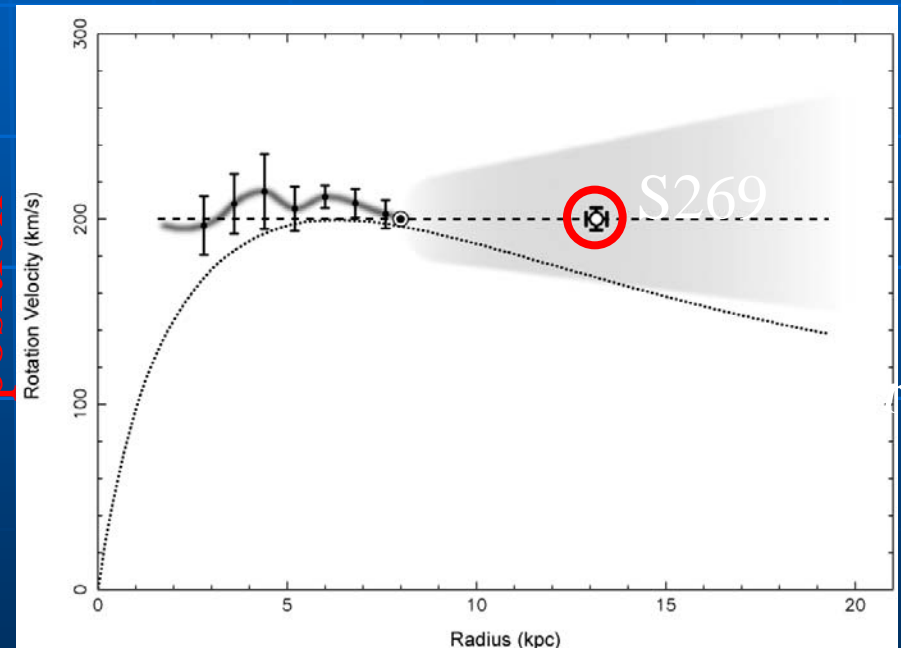


$$\pi : 189 \pm 8 \mu \text{ as}$$

$$D : 5.28 \pm 0.24 \text{ kpc}$$

年周視差計測の世界記録!

1天体の計測ながら、回転曲線に強い制限が付く

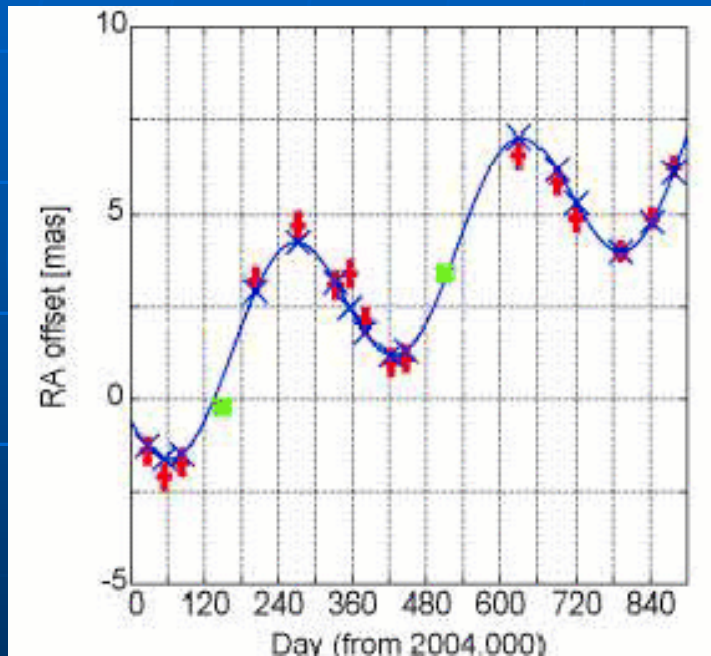


13 kpc までフラットな
回転曲線を強く支持

これまでの主な成果(2)

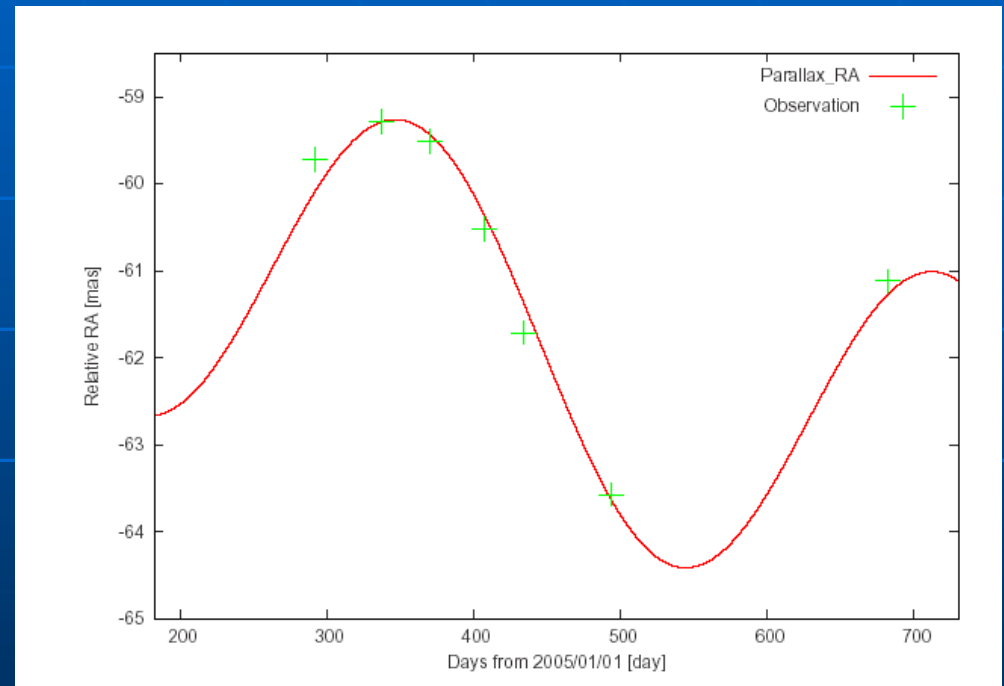
近傍有名天体の距離決定

オリオンKL天体(SFR)



$\pi : 2.1 \pm 0.1 \text{ mas}$
 $D : 440 \pm 20 \text{ pc}$

S Crt (半規則型変光星)



$\pi : 2.3 \pm 0.2 \text{ mas}$
 $D : 430 \pm 40 \text{ pc}$

これらの計測は、天体の物理量較正に重要な役割を果たす。

記者発表の実施

■ 2007年7月10日

- S269, Orion-KLの初期成果とVERAの完成
- 朝日・読売・毎日・日経・産経・NHK・南日本新聞・岩手日報・八重山毎日などで取り上げてもらう

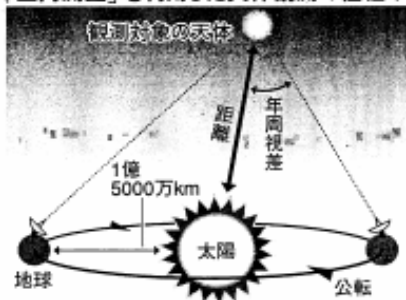
■ 感謝状の贈呈

- 三菱電機・日本通信機・エレックス・SONY・富士通・アンリツ

1万7000光年 精密に測定

国立天文台など
研究チーム

「三角測量」を利用した天体観測の仕組み



目発表した。地球—太陽間
(1億5000万km)の約
10億倍に相当する距離で、

従来は米国のチームが同様の手法で測定した、さそり座の天体の99050光年が最長距離だったが、今回はそれを約2倍に伸ばした。我々の太陽系を含む銀河系の正確な地図づくりとその成り立ちの解明に役立つだろう。

三角測量は、三角形の1辺の長さとその両端の角度が分かれば、もう二つの辺の長さが決まるというのが原理。研究チームは、地球が太陽を中心に公転する間に、遠方の天体の見える方向の角度が1年周期でわずかに変わる「年周視差」を利用し、オリオン座の近くにある「S269」という天体までの距離を、この原理を用いて測定した。

その結果、従来は光の見かけの強度や色から約1万2000光年と推定されていたが、今回の測定で1万7000光年と判明した。

研究チームは、東京や岩手など1都3県に設置した口径20センチの電波望遠鏡4台をつなぎ、実質的に口径2300センチ(岩手—沖縄の距離)に相当する超遠鏡の性能を実現した。

「三角測量」利用し 過去最長

地図作りで山の高さや距離などを測るのに用いられている「三角測量」の原理を利用して、太陽から約1万7000光年離れた天体までの距離を精密に測ること、国立天文台や鹿児島大の研究チームが成功、10

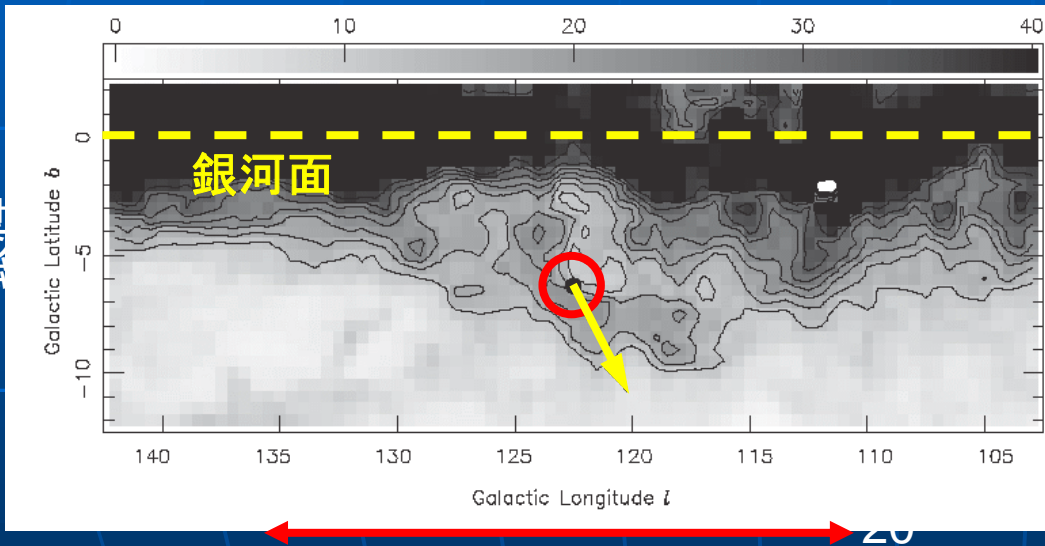
OrionKL 距離計測

- H₂Oメーザー(Hirota et.al, 2007) VERA
 - 437 ± 19 pc
- SiOメーザー(Kim et.al, 2007) VERA
 - 402 ± 10 pc
- Nonthermal star GMR A (Sandstrom et.al, 2007) VLBA
 - 389 ± 22 pc
- Nonthermal star GMR A (Menten et.al, 2007) VLBA
 - 414 ± 7 pc

これまでの主な成果(3)

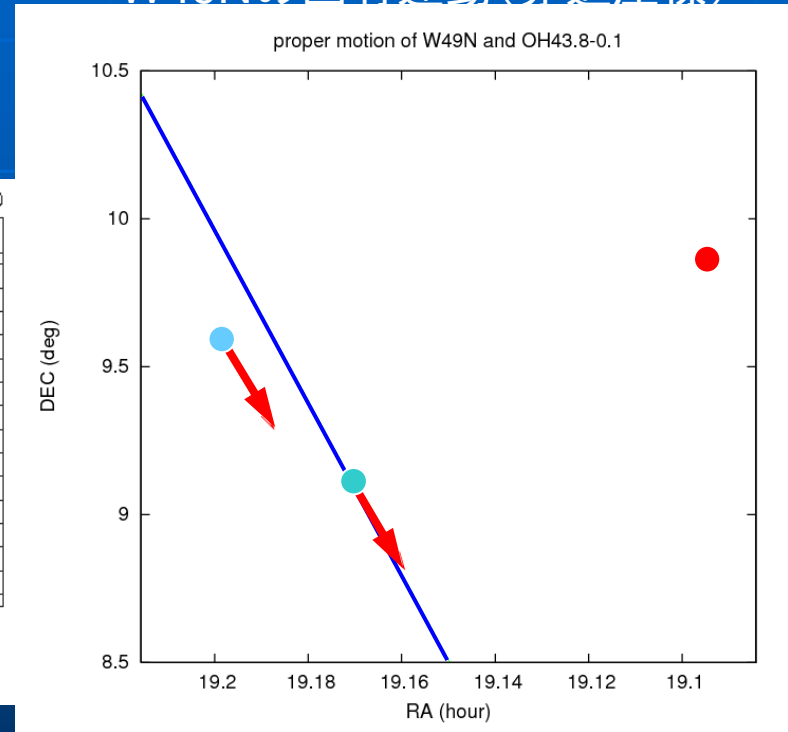
銀河系スケールの運動計測

NGC281の銀河面に対する運動(銀河座標)



HIスーパーバブル上に位置するNGC 281の銀河面から遠ざかる固有運動を検出。

W49Nの固有運動(赤道座標)



2 deg

約11 kpc離れたW49Nの銀河回転運動を検出 (~6.3 mas/yr)

今後のアストロメトリ研究計画

- プロジェクト研究の推進
今シーズン(2006年秋~)は、4つのプロジェクトを推進
特に、本格的な銀河系計測を目指した「中距離銀河系円盤プロジェクト」をスタート
- 精度の向上
現在の精度は、観測条件により $20\ \mu\text{as} \sim 100\ \mu\text{as}$
天頂大気遅延の補正により、 $10\ \mu\text{as}$ 達成を目指す
- 銀河系地図作製へ向けた足場固め
約1000個のメーザー源を15年で観測 > ~ 70 個/年
このためには観測および解析の効率化が必要
例: ダイナミックスケジューリング、自動解析ソフトなど

2006/07年VERAプロジェクト観測

- 銀河系中心（3天体）
- 近傍ミラ型変光星の周期光度関係（5天体）
- 近距離分子雲（3～4天体）
- 中距離銀河円盤計測（～15天体）

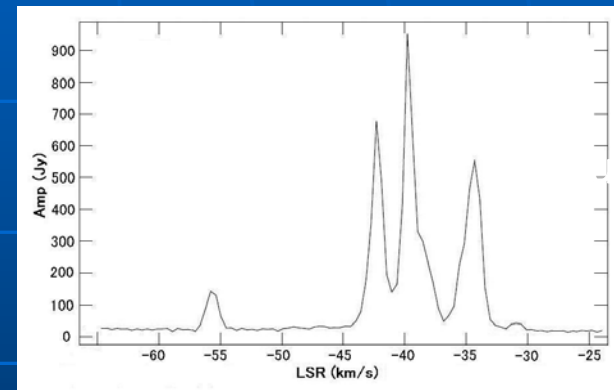
1. 水メーザー源サーベイの結果

メーザー源と参照電波源158組観測

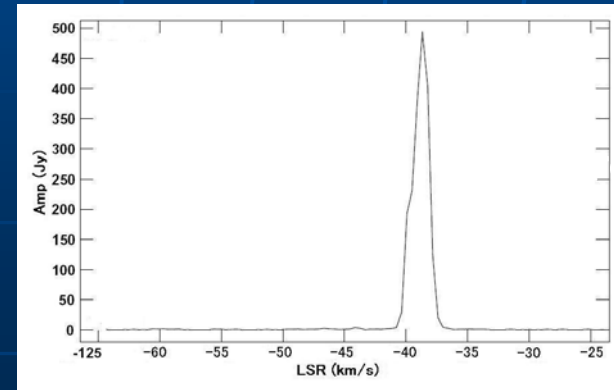
- メーザー50、参照電波源53天体検出、両方は19ペア

VERAの基線長によって近距離のメーザー源はresolved-out

Schedule	Maser sources	Class	AC	XC (peak,Jy)	Reference sources	XC
	HH_4	SFR	○	20.1	J0538+2559	x
	HH_4		○	20.1	J0540+2507	x
	IC1396N	SFR	○	43.5	J2146+5703	x
	IRAS06117 (S269)	SFR	○	36.4	0611+131(J0613+1306)	0.283
	IRAS22142	SFR	○	7	J2209+5158	x
	ON1	SFR	○	285.2	J2010+3322	0.222
	R_CAS	STAR	x	x	J2355+4950	x
	R-CRT	STAR	○	25.9	J1105-1813	x
R04263B	R-CRT		○	25.9	PKS1050-184	x
9/19	R-CRT		○	25.9	J1108-1804	x
	RS_VIR	STAR	○	x	J1424+0434	x
	RX_BOO	STAR	○	x	J1419+2706	0.199
	S252_A	SFR	x	x	J0603+2159	x
	S255_7	SFR	○	11.9	J0613+1708	x
	S269B	SFR	x	x	0611+131(J0613+1306)	0.283
	SY_AQL	STAR	○	x	J2003+1332	x
	UX_CYG	STAR	x	x	J2050+3127	0.141
	W_HYA	STAR	○	x	J1342-2900	0.313
	WB755	SFR	○	55.5	J0603+2159	x
	AFGL2136	SFR	○	106.9	J1822-1309	x
	FS_LIB	STAR	○	x	J1558-1409	x
	GL2789	SFR	○	6.3	J2137+5101	0.214
	IRAS18144	SFR	○	8.9	J1825-1718	x
	IRAS21144=WB60	SFR	○(edge)	○(edge)	J2123+5500	0.131
	IRAS21306	SFR	○(edge)	○(edge)	J2123+5500	0.131
R04265A	IRC-10414	STAR	○	20.7	J1822-1309	x
9/21	R_AQL	STAR	○	42.5	1859+0623	x
	RT_AQL	STAR	○	x	J1938+0942	x
	RT_AQL		○	x	J1937+1228	x
	S_CRB	STAR	○	x	J1522+3144	△
	S_CRB		○	x	J1527+3115	x
	S_CRB		○	x	J1528+3157	x



to-C>



ss-C>

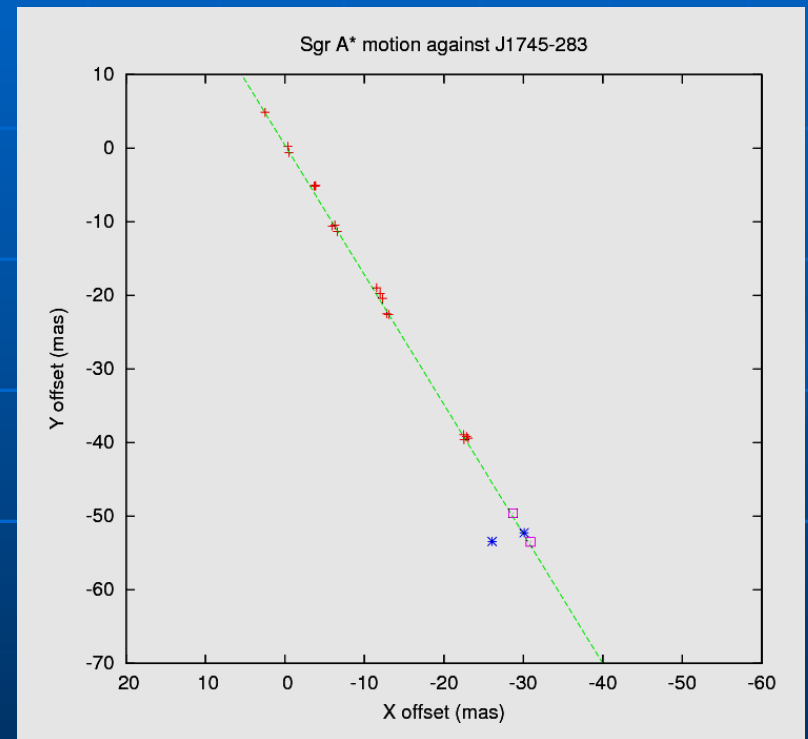
銀河中心プロジェクト

■ 観測天体

- SgrA *
- SgrB2
- RCW142

■ VLBAから予想される固有運動に対して3mas程度のずれ

→ 大気誤差等



中距離円盤プロジェクト

- 太陽から5kpc程度以内のメーザーを観測し、距離と運動を計測
- 太陽近傍の銀河系ディスクの基本構造を探る

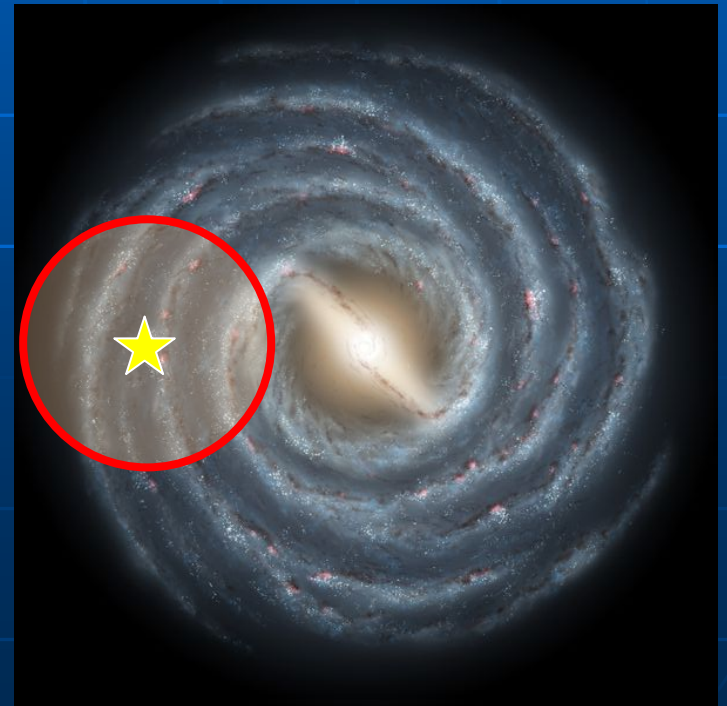
銀河系定数 R_0, Θ_0

銀河回転曲線

渦巻き構造, 密度波の検証

各星形成領域の研究

HR図O型星の較正



観測戦略

観測天体

推定距離5kpc

Population I 起源の水メーザー
(SFR, 超巨星)

強度10Jy以上、連続波があるもの
なるべく銀経分布が偏らないように

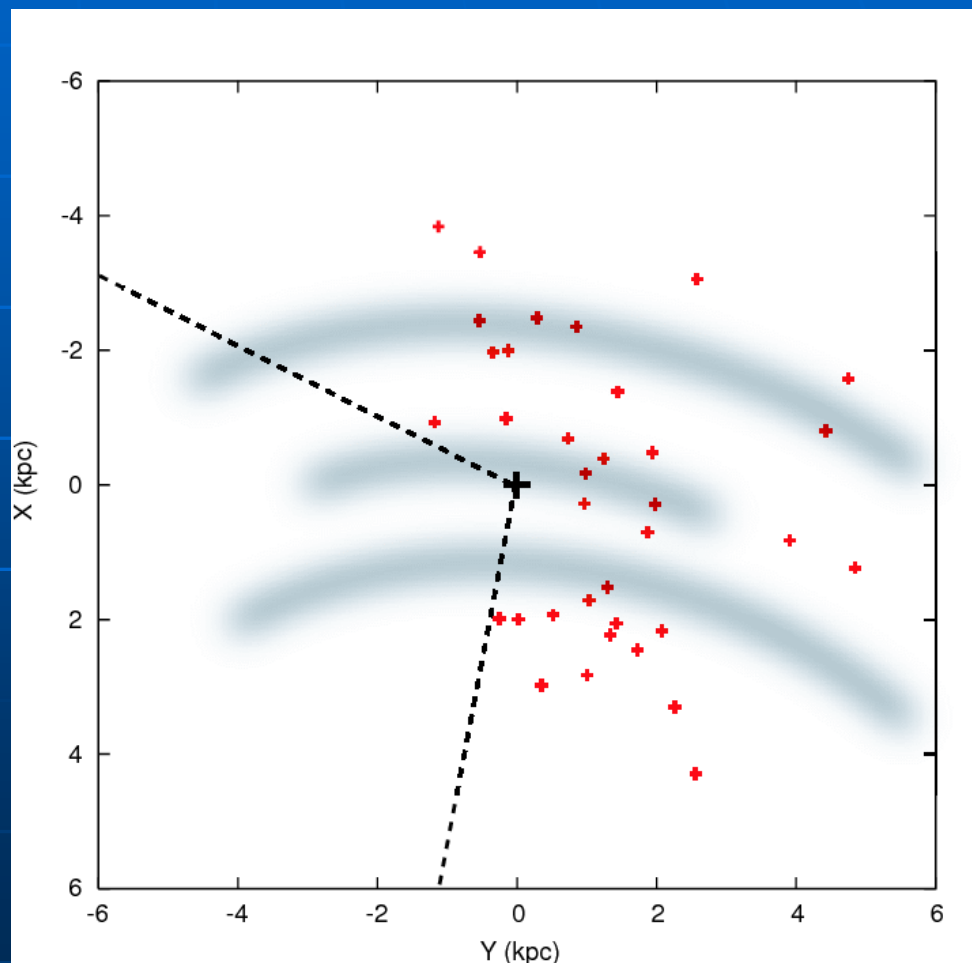
天体数

～50個を3年で

候補天体の分布図

- 観測候補天体の銀河面分布

ローカル、いて、
ペルセウス腕が
見えると期待される。



2006/07シーズン 天体リスト

2006年～2007年用（～16天体）

WB724	05:58:13.53000	+16:31:58.9000
W44	18:53:18.76000	+01:14:59.5000
NGC 281	00:52:25.10000	+56:33:54.0000
CPM 37	22:16:10.4	+52:21:25
G14.33-0	18:16:0.80000	-16:49:6.0000
ON1	20:10:09.20000	+31:31:37.0000
ON2	20:21:00	+37:25:29
G34.3+0.2	18:53:18.67000	+01:14:58.5000
VY CMa	07:22:58.33150	-25:46:03.1740
PZ Cas	23:44:03.28190	+61:47:22.1820
Cep A	22:56:17.80000	+62:01:46.0000
NGC 7538	23:11:36.70000	+61:11:49.0000
RCW 142	17:50:14.45494	-28:54:29.1104
IRAS 06058	06:08:54.10000	+21:38:25.0000
IRAS 20231	20:25:07.00000	+34:50:06.0000
IRAS 00420	00:42:19.45173	+57:08:36.5860

黒：SFR
赤：超巨星

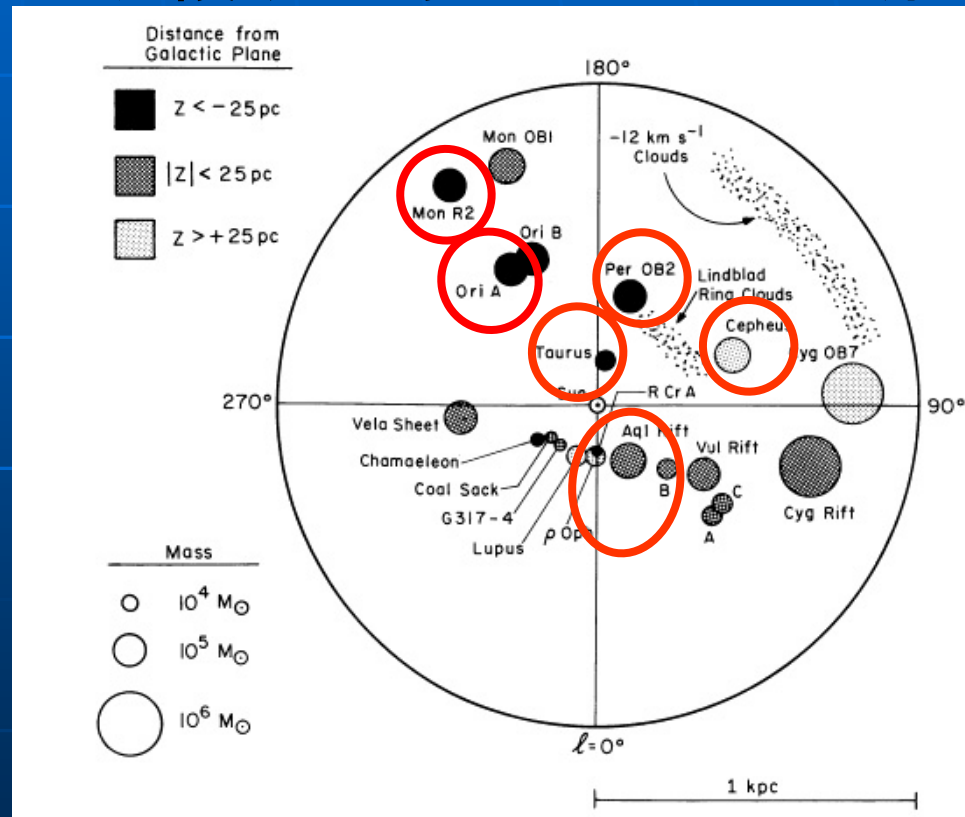
近傍星形成領域プロジェクト概要

■ 太陽系から1 kpc以内の星形成領域にある水メーザー源

- オリオン座いっかくじゅう座
- おうし座
- ペルセウス座
- へびつかい座
- へび座
- ケフェウス座カシオペア座

■ 目的

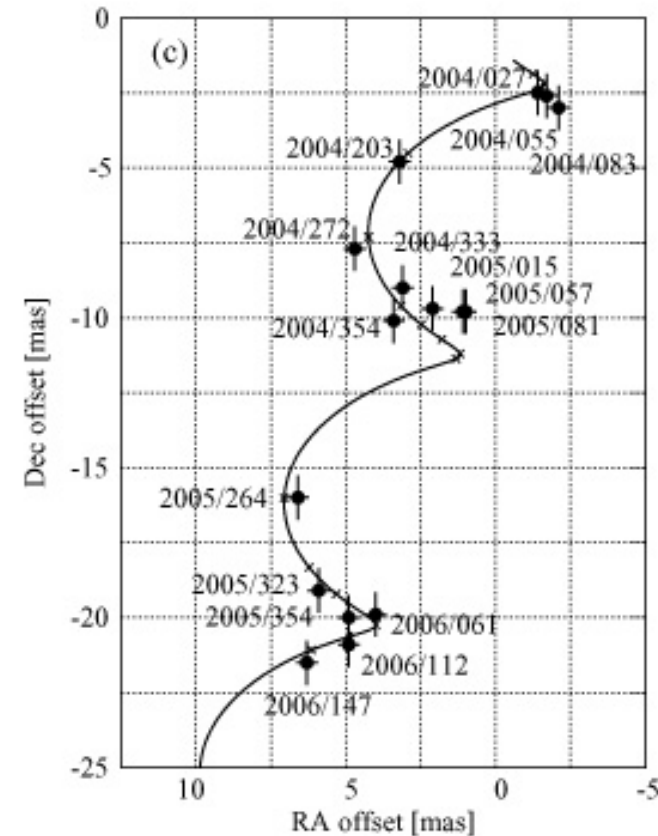
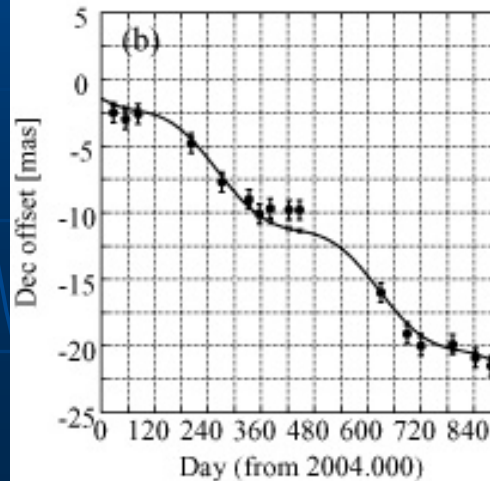
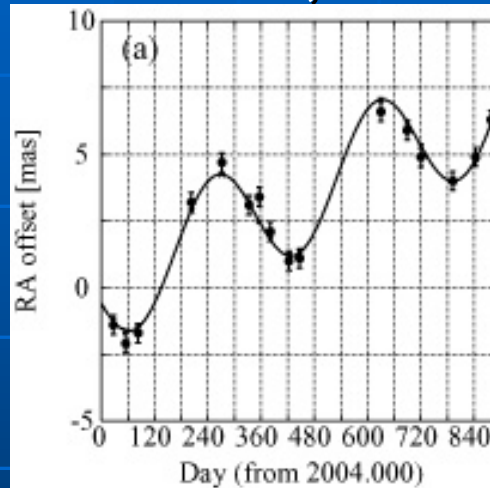
- 距離計測
---性能評価とアピール
- 星形成の物理、ローカルアームの構造



Distribution of molecular clouds (Dame et al. 1987)

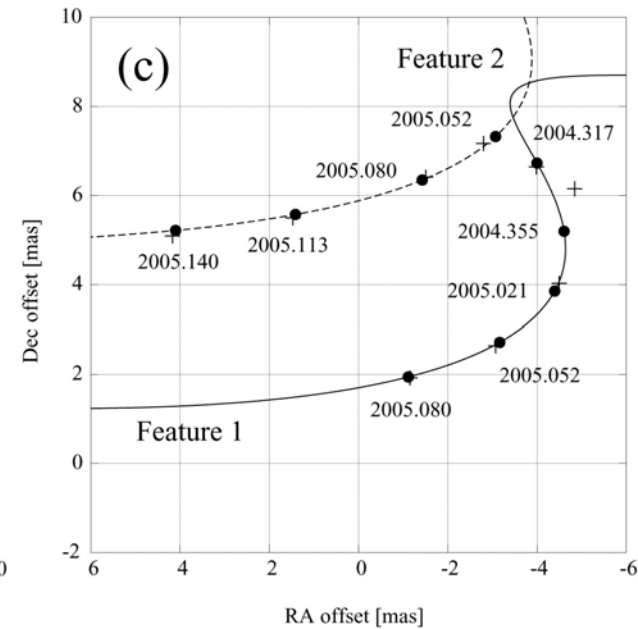
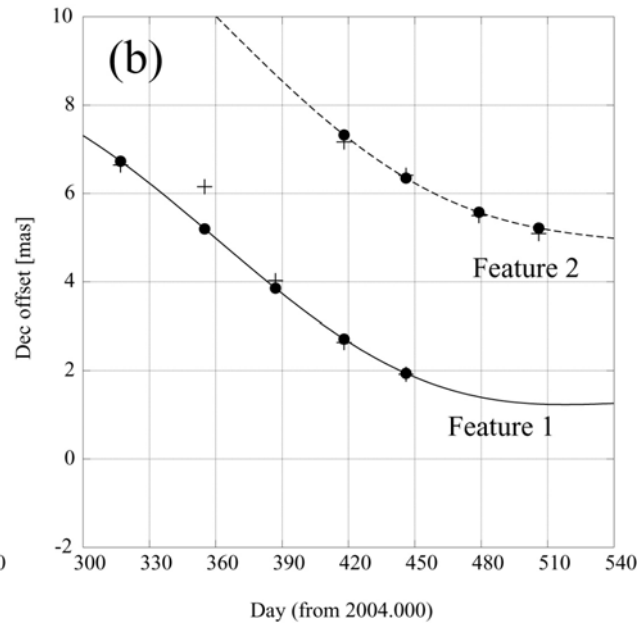
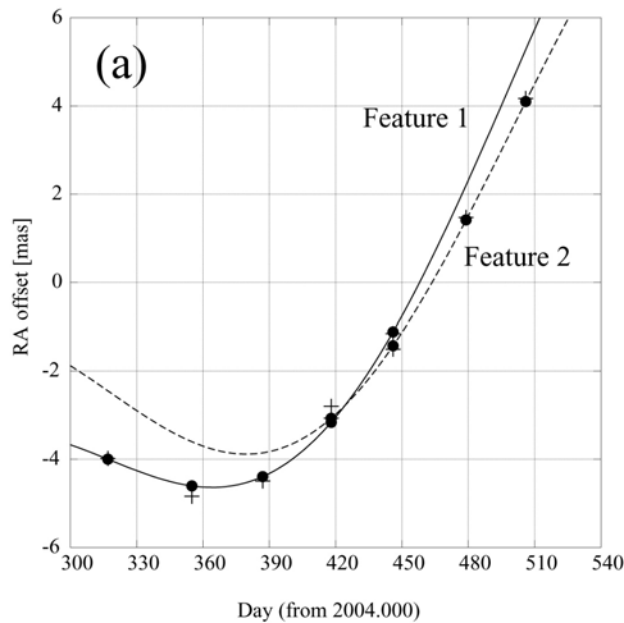
結果の例

- Orion KL (Hirota et al. 2007, accepted to PASJ)
 - 2.29 ± 0.10 mas
 - 437 ± 19 pc



結果の例

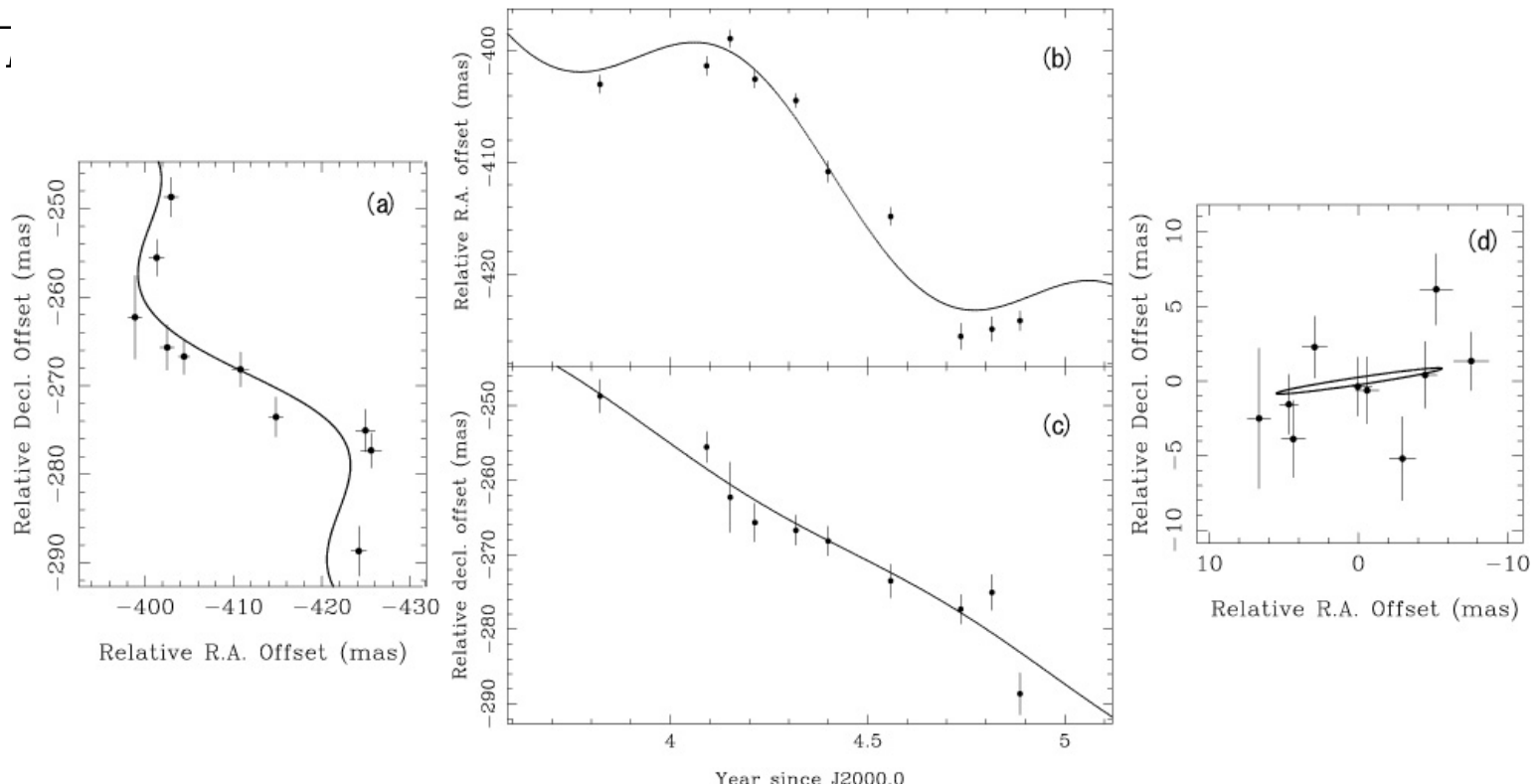
- NGC1333 (Hirota et al. 2007, submitted to PASJ)
 - 4.10 ± 0.17 mas
 - 244 ± 10 pc



結果の例

- IRAS16293-2422 (Imai et al. 2007, submitted to PASJ)
 - $5.6 / +1.5 / -0.5$ mas

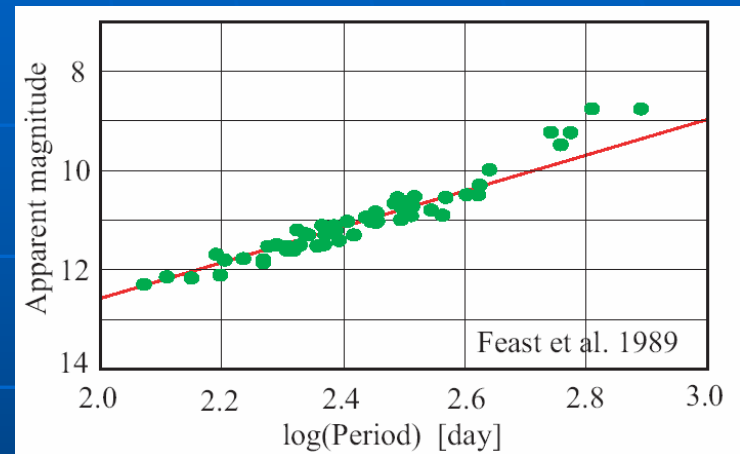
• 11



ミラ型変光星の周期光度関係

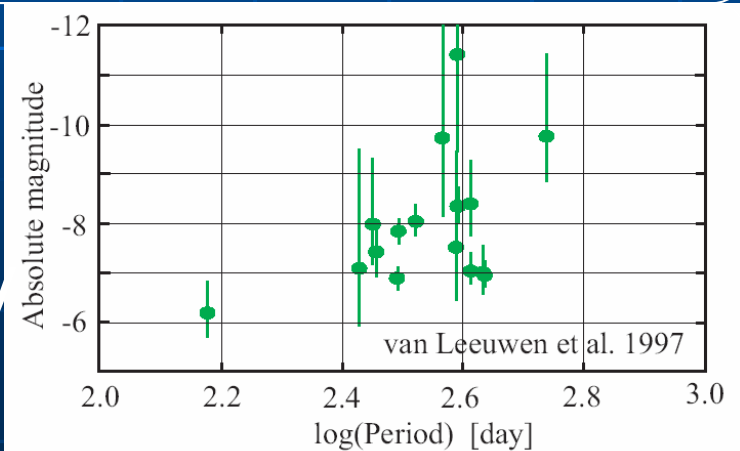
大マゼラン雲のミラ型変光星についての周期光度関係

LMC



銀河系内ミラ型の周期光度関係
Hipparcosによる年周視差計測結果を利用

The
Galaxy



- ・VERAを用いて高精度の距離計測
- ・距離指標としての利用

S Crt の観測結果

Parallax
 2.3 ± 0.2 mas \rightarrow 435^{+41}_{-35} pc

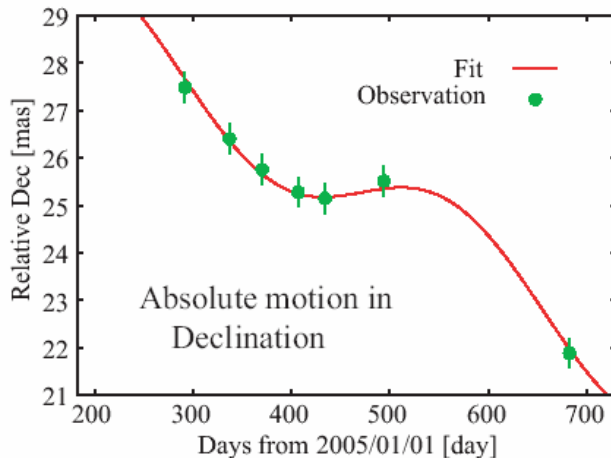
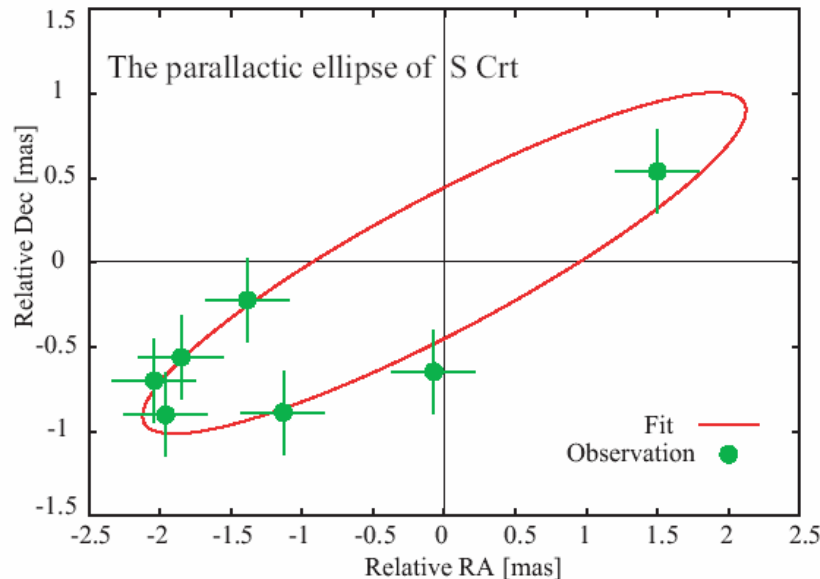
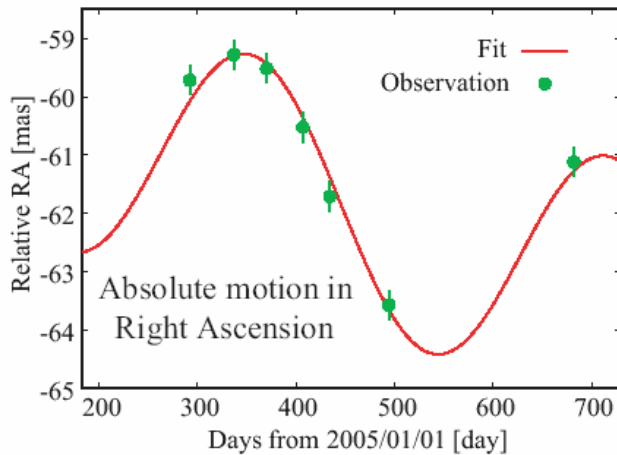


Figure 7. Annual parallax measured with VERA. Left top and bottom figures show absolute motion of a maser spot in S Crt in right ascension and declination, respectively. Solid lines show a fit to the mixture of parallactic and linear motion. Right figure shows the parallactic ellipse.

No.	Date
1.	2005 Oct 19
2.	2005 Dec 03
3.	2006 Jan 05
4.	2006 Feb 11
5.	2006 Mar 10
6.	2006 May 09
7.	2006 Nov 13

Table 1. Date of VLBI observations.

距離の報告例

500pc(Hipparcos)

可視光による年周視差

420pc (Bowers. 1994)

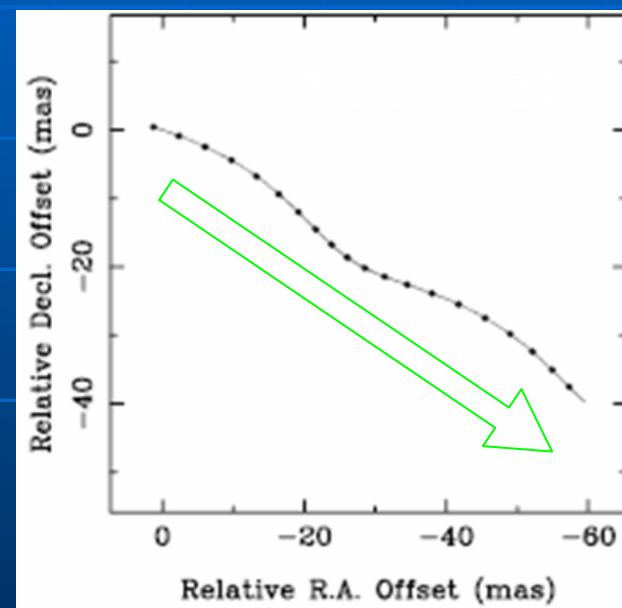
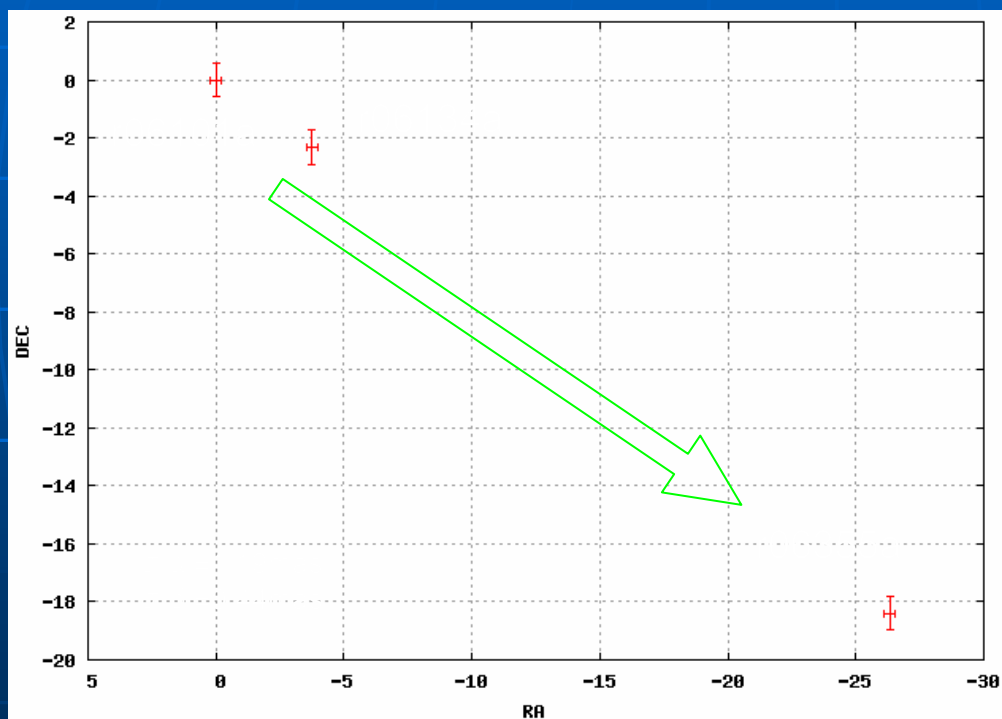
285pc (Nimesh. 1992)

赤外線周期光度関係

R UMa の観測結果

- ・9観測中、3観測の結果を示す。他観測については現在解析の最中です。
- ・まだ南西方向への大きな運動が見えているだけ。

ペアDec: 約70度
離角: 1.8度

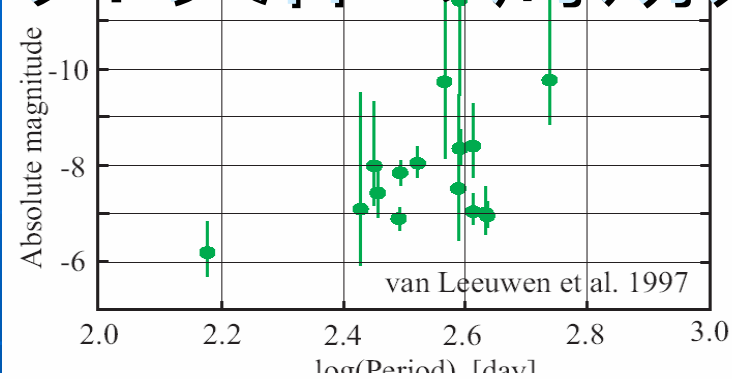


2006年4月～2007年12月

$v=39\text{km/s}$ の成分を示したが、観測の時間間隔が大きく、スポットの同定が難しく、運動をつなげてよいかまだ判断できない

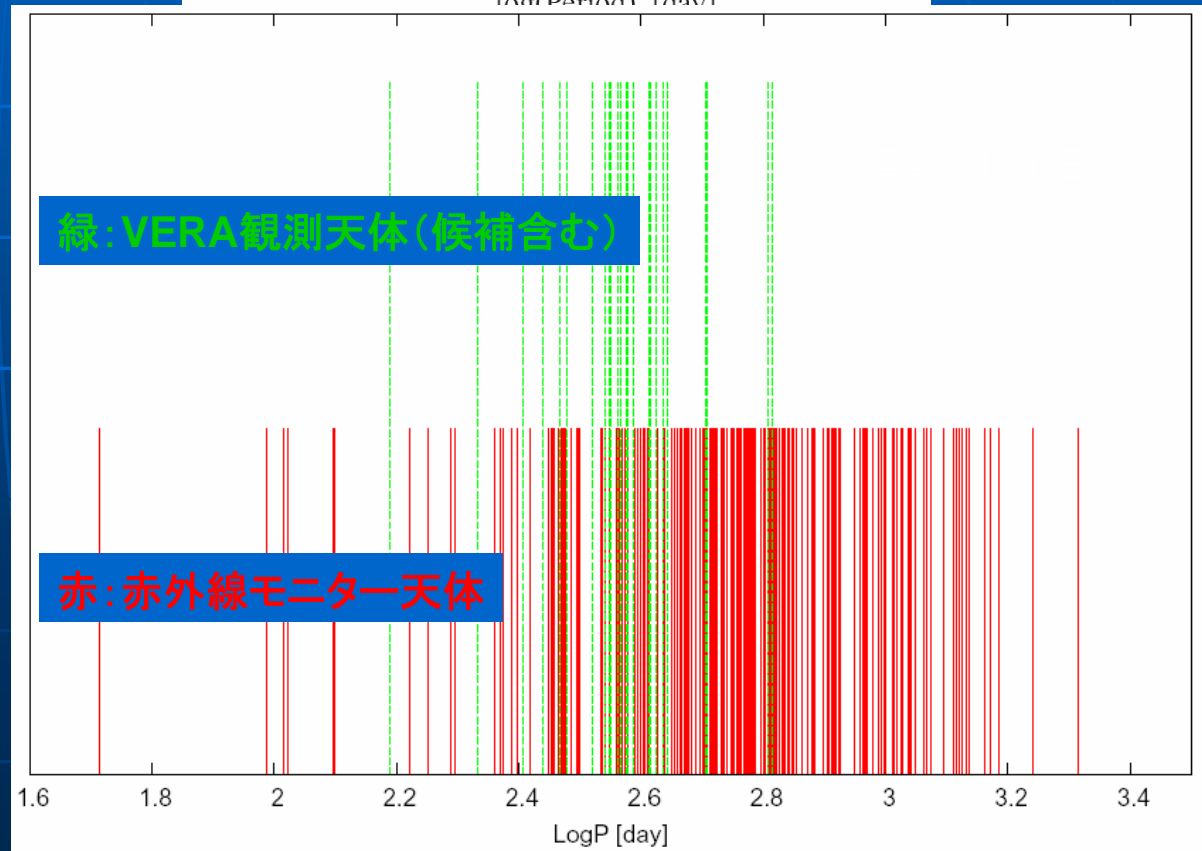
晩期型プロジェクト天体の周期分布

Van Leeuwenによる
銀河系内ミラ型星の周期分布



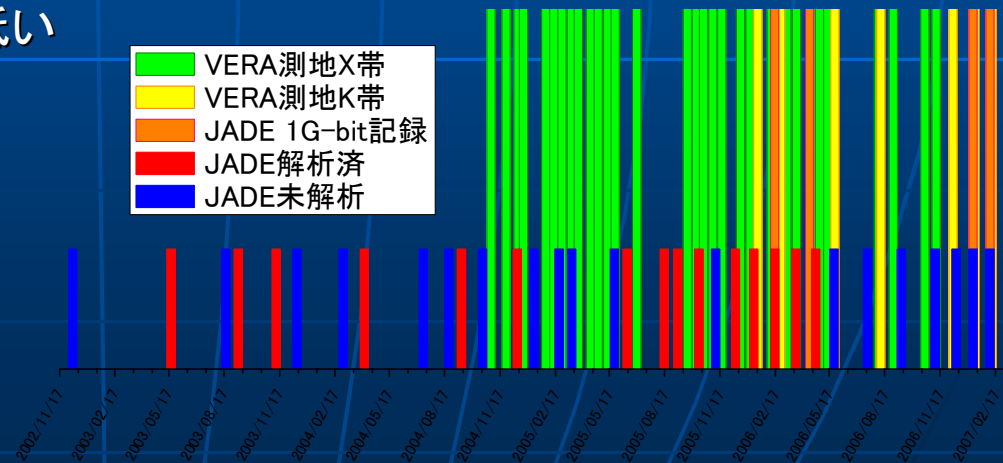
- VERA観測天体の周期分布
- 赤外線モニター天体の周期分布

→ 分布が密な部分は
重ならない

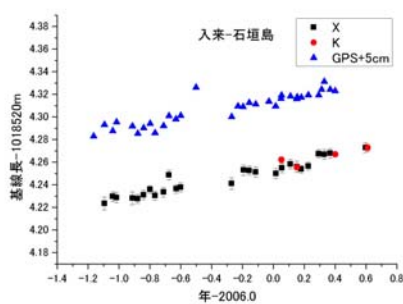
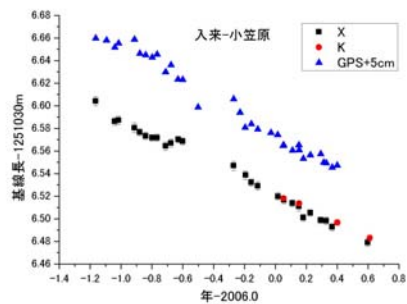
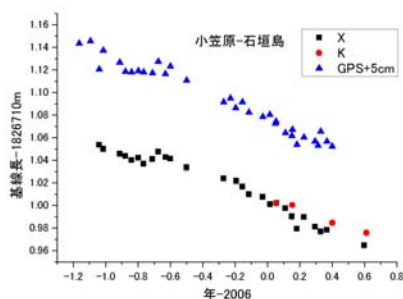
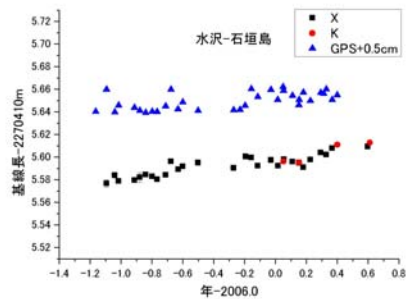
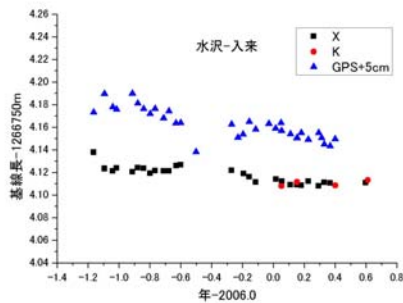
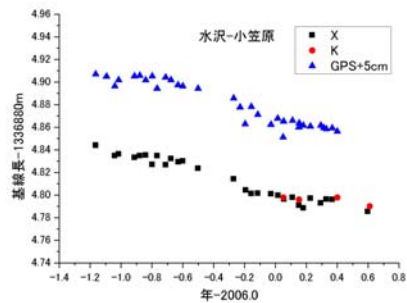


測地観測

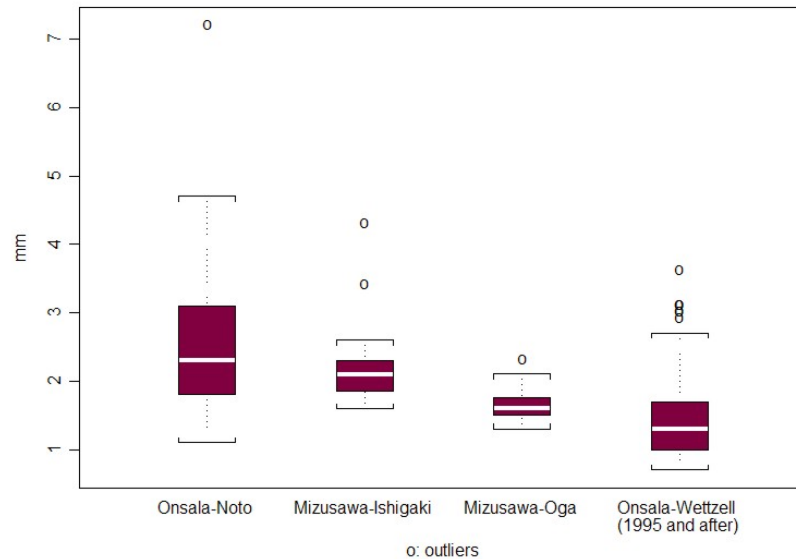
- VERA内部
 - S/X定常観測の継続(1/月)
 - 水平1-2mm, 鉛直7-9mm
 - K帯観測の定常化(1/月)
 - 水平1mm, 鉛直5mm
 - 観測ごとの変動は内部精度の半分程度
 - GSIの5局目化
- 国土地理院ネットワーク(JADE)(1/月)
 - 国際座標系とつなげる
 - VERA内部観測よりも精度は低い
- H19の計画
 - 定常観測の継続と高精度化
 - 岐阜をK帯5局目とする
 - GSIをS/X帯5局目観測局
 - IVS観測参加の検討



基線長変化



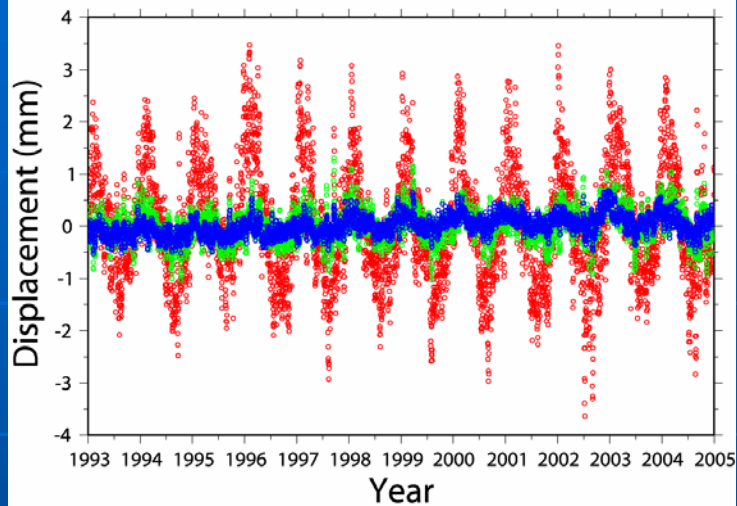
Comparison of Baseline Standard Deviations



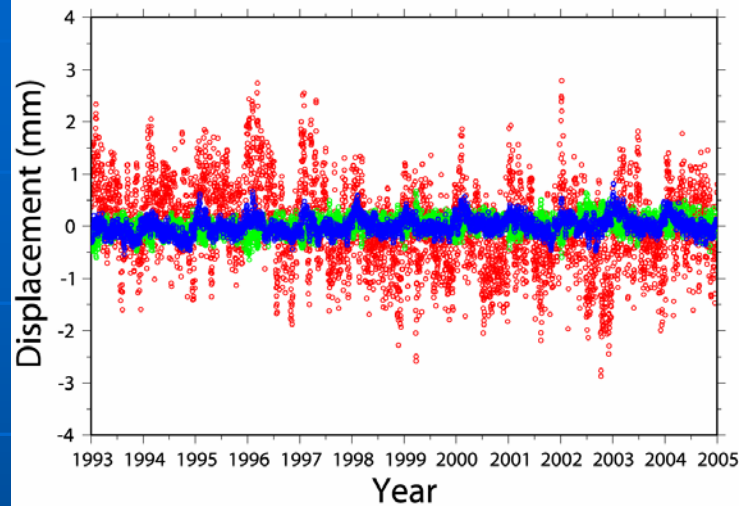
精度の国際比較

ECCOデータから予測されるVERA局の荷重変形

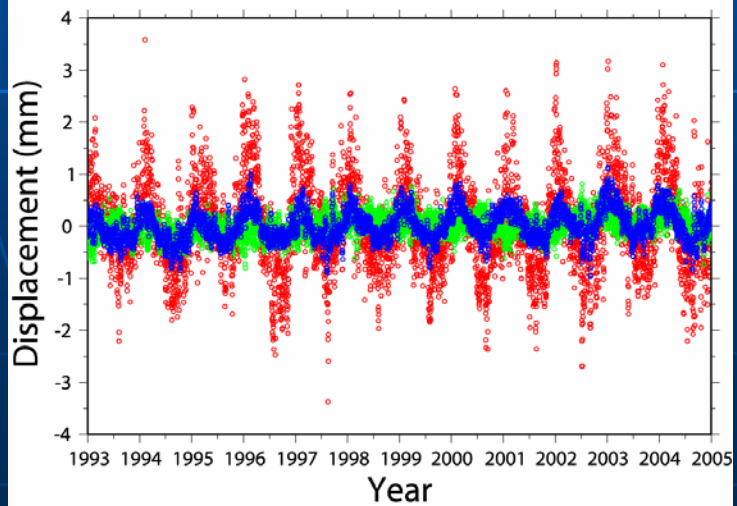
MIZUSAWA



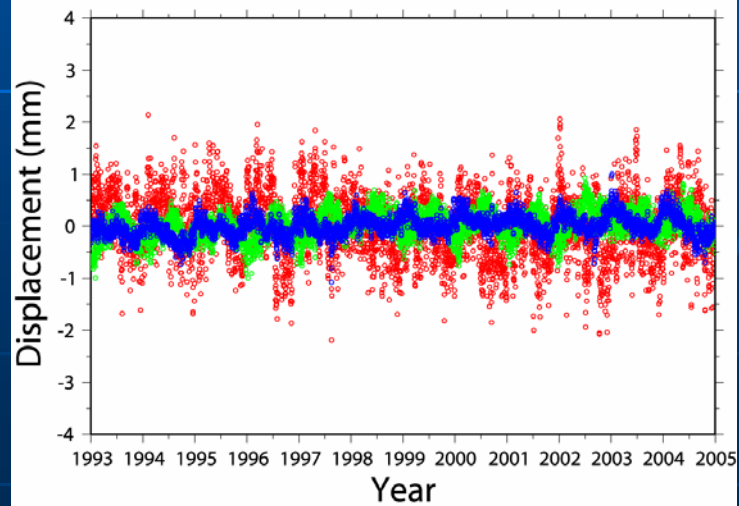
OGASAWARA



IRIKI

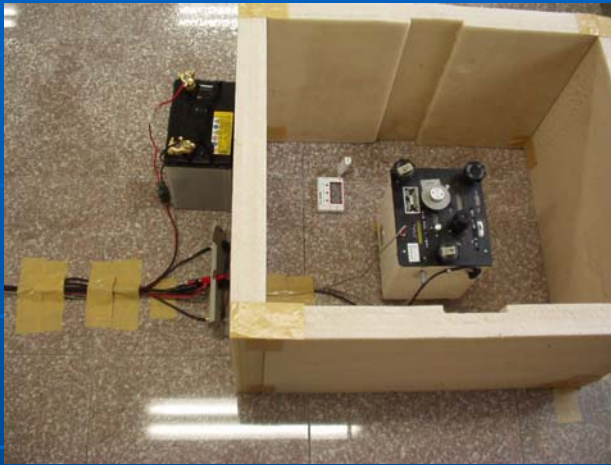


ISHIGAKI

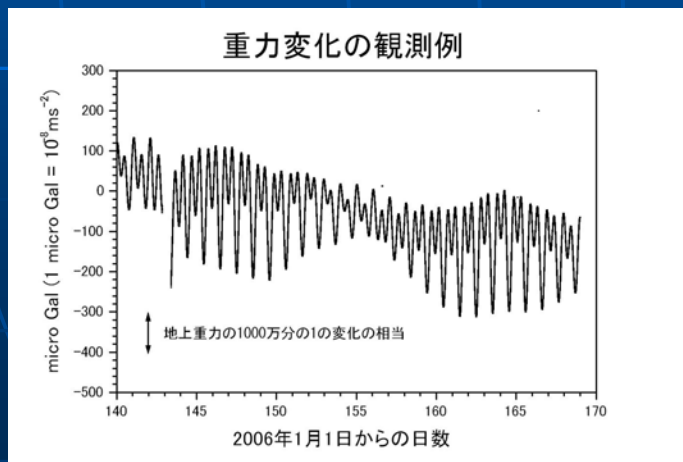


● : UD、● : EW、● : NS

VERA局における潮汐観測



- 潮汐による変移
最大300mm(半～日周)
- スプリング型重力計による潮汐観測
- 地球潮汐＋海洋潮汐
荷重による変移モデルの検証
- モデルの改良
- スプリング型 → SGへ



保守の実施

- 6-7月 2ヶ月間のシステム保守
 - アンテナ・受信機・水素メーザーなど
 - 入来局 Azレール 耳おとし
 - 石垣島局 さび補修
 - 小笠原局 Hメーザーのオーバホール
- Hメーザーの保守機の購入

入来局のレール補修



災害復旧

- 2006年10月台風13号による石垣島フィドーム予備膜の損傷
- 災害復旧経費(補正予算・国立天文台予備費)が認められる
- 石垣島局のフィドーム予備膜については、製作開始。6-7月保守時に搬入テスト。



VERA 観測運用方針 2007

- **月 500 時間観測を目標**

 - 観測の効率と質の向上を目指す

 - 観測条件の良い時に 43 GHz や弱い天体を観測

- **ダイナミックスケジューリングへ移行**

 - 観測条件によって柔軟に観測スケジュールを変更し実施していく

 - 支援ソフトウェアの開発**

 - AOC で容易に実施観測を選択できることが重要

 - 天体情報、観測履歴などの DB 化

 - GUI による優先度表示と選択

 - 観測計画表の自動更新

 - 観測指示書 (VEX ファイル) の自動作成

SELENE/RISE対応

- RISE観測開始後1カ年
- 週24時間(8時間x3回)の運用割合
- 集中観測期間あり
- RISEおよびChung' Eの追跡

VERAの課題

- 精度出し・アストロメトリ観測
 - データ解析ソフトウェアの整備
 - 体制の強化(研究員2, 特定契約1の新規採用)
 - 精密予測値による補正システムはほぼ完
 - 大気遅延残差の推定、補正の必要性
 - 観測の安定化のために観測手法の検討が必要
- 運用 ; ダイナミックスケジューリングが必要
- 保守
 - 小笠原局・石垣島局の錆対策
 - レコーダのヘッド摩耗と調整・対策

VERA中期目標の見直し

VERA 中期計画	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年
年次	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年
○主な科学目標						
a、近傍天体 (<1kpc)の年周視差の計測						
近傍分子雲の3次元構造	→	→	→	→	→	→
晩期型星の高度一周期関係	→	→	→	→	→	→
b、年周視差および固有運動の計測 (<5kpc)						
近傍アーム構造の解明	→	→	→	→	→	→
outer rotation curveの計測	→	→	→	→	→	→
c、年周視差および固有運動の計測 (10kpc)						
銀河系中心の距離・固有運動の計測	→	→	→	→	→	→
銀河系アームの立体構造			→	→	→	→
○観測精度達成目標						
天体位置計測精度						
30 μ 秒角	▲					
10 μ 秒角		▲				
○開発項目						
a.東アジア相関局の開発						
ハードウェア開発	→	→	→			
ソフトウェア開発	→	→	→			
システムインテグレーション		→	→			
b.VERA2偏波化 (VSOP-2対応)						
22GHz受信機開発				→	→	→
43GHz受信機開発	→	→	→	→		
デジタル系改修					→	→