

VERAを使ったRX-Booの 位相補償解析による年周視差測定

亀崎達也、中川亜紀治、倉山智春、面高俊宏、今井裕、松井真、
西田芳郎、(鹿児島大学)、柴田克典(国立天文台)、VERAグループ

ミラ型変光星は質量が1~8太陽質量で、300~1000日の周期で変光する進化段階末期の星で、スペクトル型はM,N,R,Sなどと低い表面温度を反映している。またしばしば水レーザーやSiOレーザーを伴う。

大マゼラン雲に属するミラ型変光星の研究から変光周期と光度の間には比例関係(周期光度関係)があることが知られている(Feast et al 1989, van Leeuwen et al. 1997,)が、銀河系内のミラ型変光星については距離の不定性が大きいため明瞭な関係が得られていなかった。そこで我々はVERAを用いて年周視差計測による幾何学的な測距を行い、高精度な距離計測に基づいた銀河系内ミラ型変光星の周期光度関係の精密な把握を目指している。

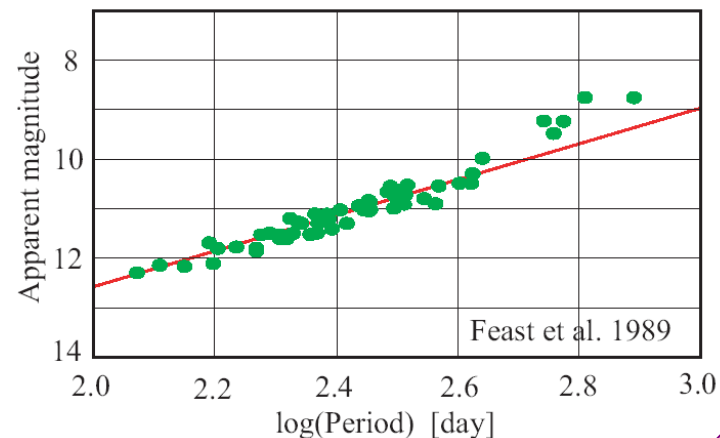
鹿児島大学及びVERAグループでは2003年から現在までに10天体強のミラ型変光星をVLBIでモニターしており、既にいくつかの天体で年周視差が得られている。変光星RX Booを約1年間継続して観測した結果、年周視差の予備的な結果が得られ始めたので、その状況を報告する。

Introduction

大マゼラン雲と銀河系での周期光度関係

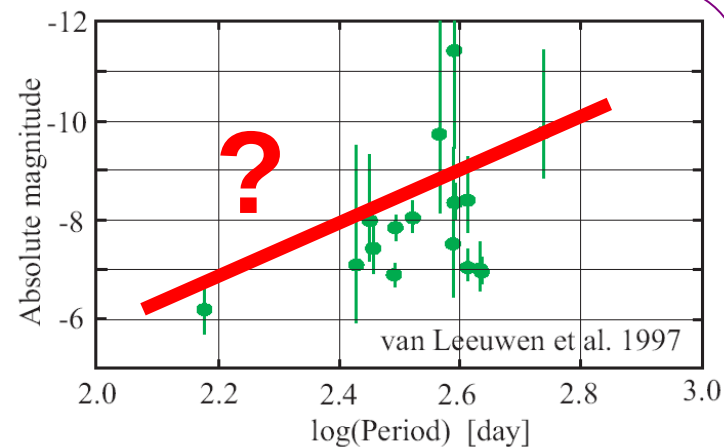
大マゼラン雲(LMC)のミラ型変光星周期光度関係

- ・実視等級を元に得られた関係
- ・距離に対してLMCの厚みは小さくすべて同じ距離にあるとみなせるため実視等級を利用できる
- ・精度よくPL関係が得られている



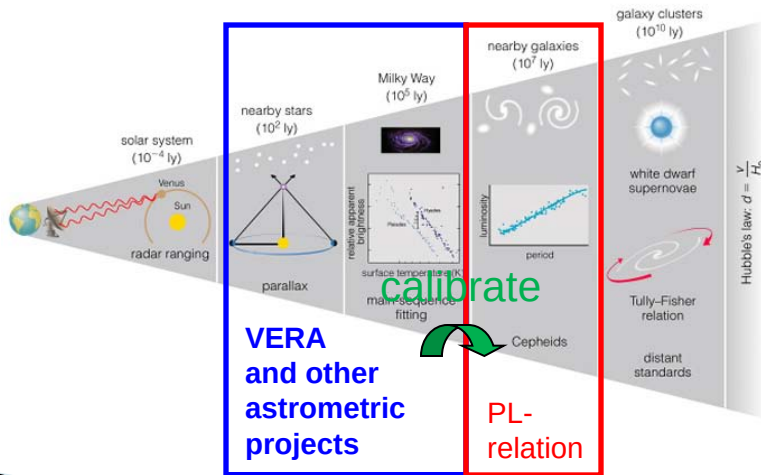
銀河系のミラ型変光星周期光度関係

- ・HIPPARCOS衛星による年周視差計測を元に実視等級を見積もっている。
- ・距離の誤差が大きいため、絶対等級誤差が大きい。
- ・結果として精密な周期光度関係が得られない。



Introduction

- ▶ VERAを用いてミラ型変光星を観測することのメリット
- ▶ 年周視差を用いた先駆的研究はHIPPARCOSによる観測データを利用してvan Leeuwen et al (1997) により行われている。しかしVERAを用いることで、距離を誤差10%以下で計測できる領域は飛躍的に広がり、より遠くのミラ型変光星を利用することができる。
- 計測可能なそれぞれ距離は以下の通り
 - VERA : 10000 pc
 - HIPPARCOS : 100 pc
- HIPPARCOSではわずかに11個のミラ型変光星を観測するにとどまったが、HIPPARCOSに比べて 100^3 倍の領域を観測対象とするVERAはより多くのサンプルを用いることができる。



- 銀河系内PL関係を年周視差計測により校正し距離指標として利用でき

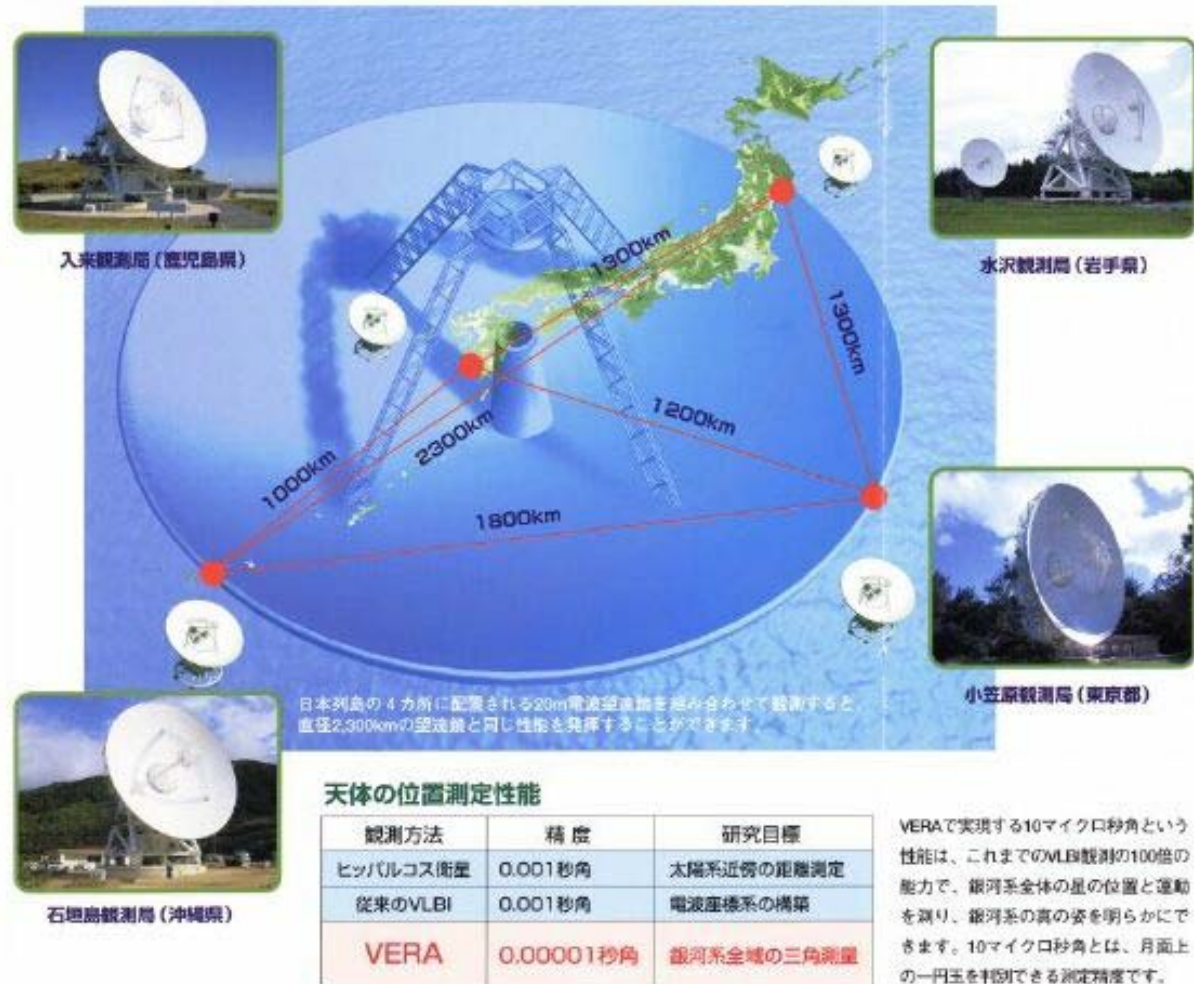
Observation

ミラ型変光星の星周に分布する水メーザーをVERAを用いて観測し、その点球面上での動きを追跡することで年周視差を計測する。

- ・VERAを用いてVLBI観測を実施
- ・周波数: 22GHz (水メーザー)
- ・位相補償観測
- ・1回/月の頻度

VERA

- ・4 antennas
- ・20m diameter
- ・Dedicated to phase-referencing observation



Observation (RX Boo)

- ▶ 観測天体と観測実施状況。青色は観測が行われた月を示す。
- ▶ RX Boo は2008年4月よりモニター開始。
 - ▶ 2004年、2006年にも観測しているが、レーザーの減光により連続したイメージ検出ができなかった。

VLBI Observations of AGB stars with VERA (2004~)

	2004												2005												2006												2007												2008												2009																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
W Hya																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								

Observation (RX Boo)

▶ 2008年4月より10観測を実施

・メーザー源: RX-Boo

ra = 14h24m11.6206s;

dec = +25d42'12.909";

・参照電波源: J1419+2706

ra = 14h19m59.297092s;

dec = +27d06'25.55295";

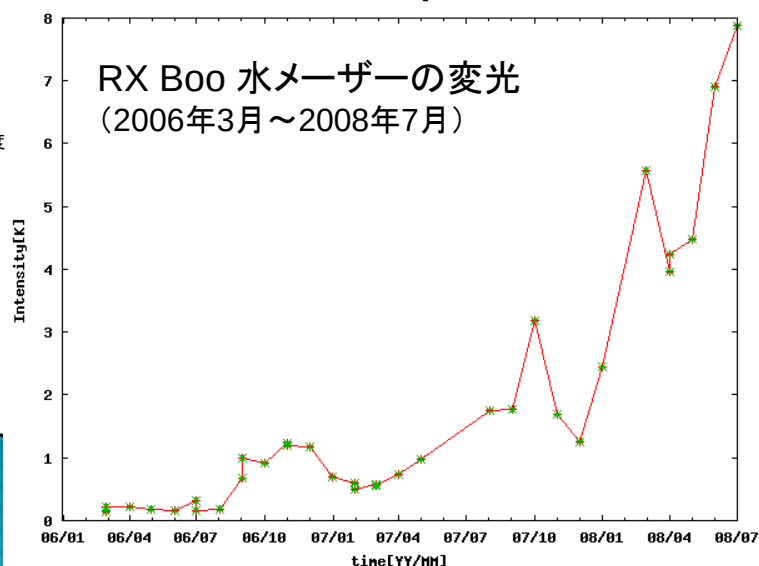
・離角 1.69度

#	code	yr	Mon	Day
01	r08121a	2008	Apr	30
02	r08149a	2008	May	28
03	r08162a	2008	Jun	10
04	r08197a	2008	Jul	15
05	r08315b	2008	Nov	10
06	r08342b	2008	Dec	7
07	r09010b	2009	Jan	10
08	r09035a	2009	Feb	4
09	r09071c	2009	Mar	12
10	r09125a	2009	May	5

H2O maser's Light Curve

RX Boo 水メーザーの変光
(2006年3月～2008年7月)

アンテナ温度
1K→19Jy

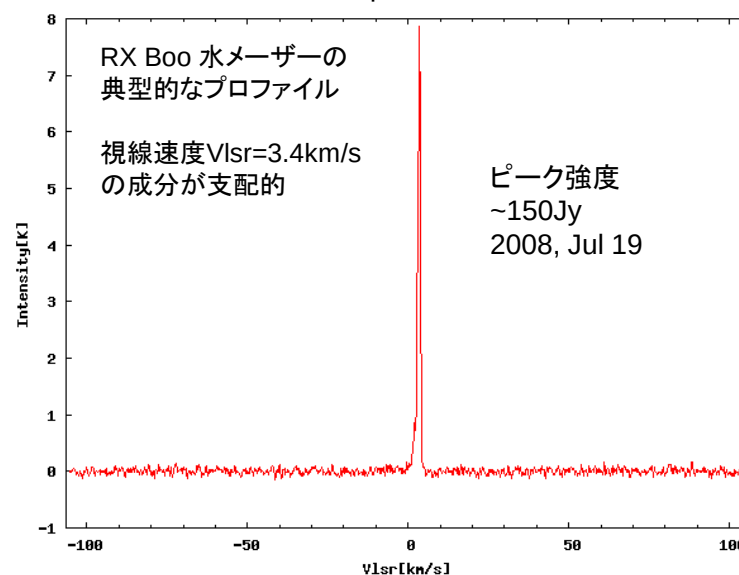


H2O Maser's Spectrum of 2008/07/19

RX Boo 水メーザーの
典型的なプロファイル

視線速度 $V_{lsr}=3.4\text{km/s}$
の成分が支配的

ピーク強度
~150Jy
2008, Jul 19



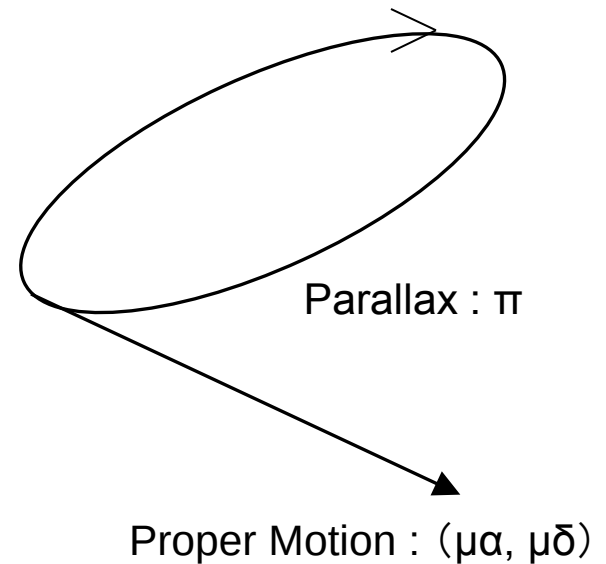
Data Reduction

- ▶ Phase Referencing VLBI observation
- ▶ Software : AIPS
- ▶ Maser position (α , δ)
 - Parallax(π) and proper motions ($\mu\alpha$, $\mu\delta$)
- ▶ Assumption : Maser spots has NO acceleration.

We extract parallax and two dimensional motions from multi-epoch data.

$$\begin{aligned}\Delta \alpha \cos \delta &= \pi r (\sin l \cos \alpha \cos \epsilon - \cos l \sin \alpha) \\ \Delta \delta &= \pi r (\cos \delta \sin \epsilon - \sin \delta \cos \epsilon \sin \alpha) \times \sin l - \pi r \sin \delta \cos \alpha \cos l\end{aligned}$$

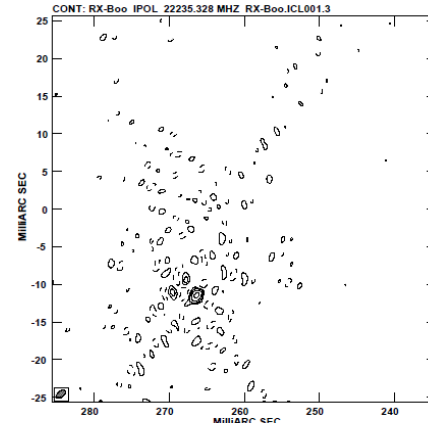
α : Right Ascension of the source
 δ : Declination of the source
 r : Radius vector of the sun
 l : Celestial longitude of the sun
 ϵ : Obliquity of the ecliptic
 g : Mean anomaly of the sun



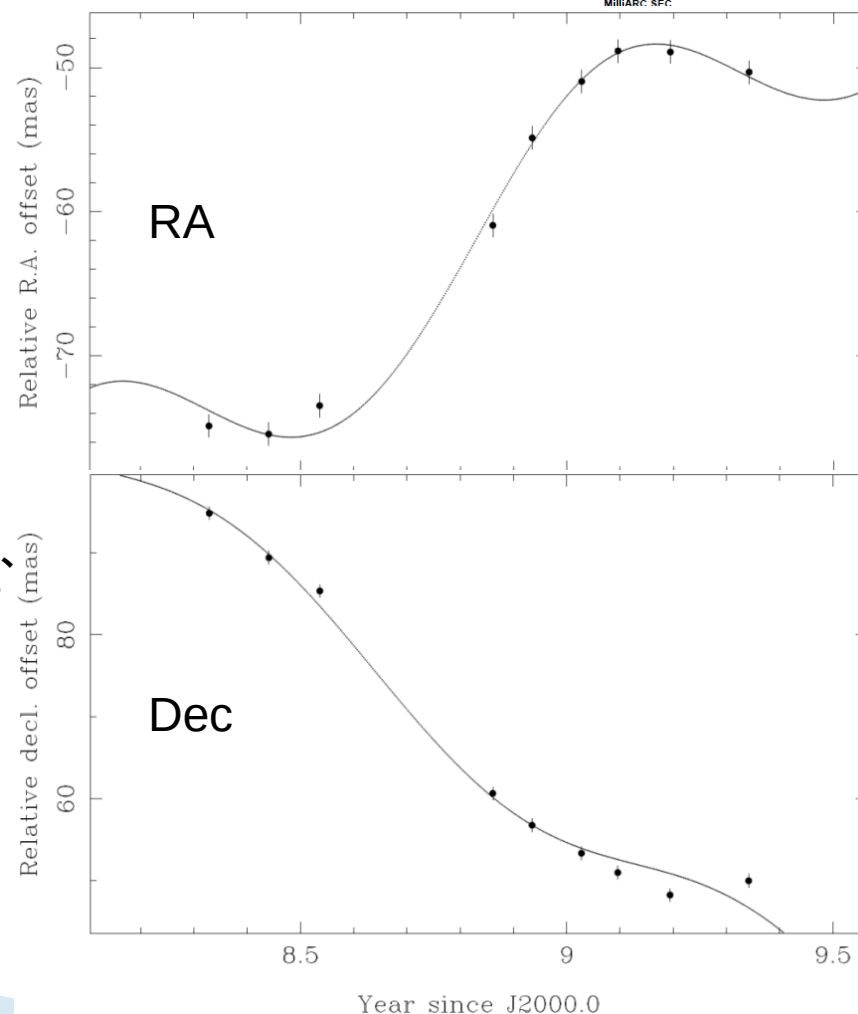
年周視差 の計測結果

位相補償イメージの一例

- ▶ Peak = 7Jy/beam
- ▶ Noise rms ~ 200 mJy

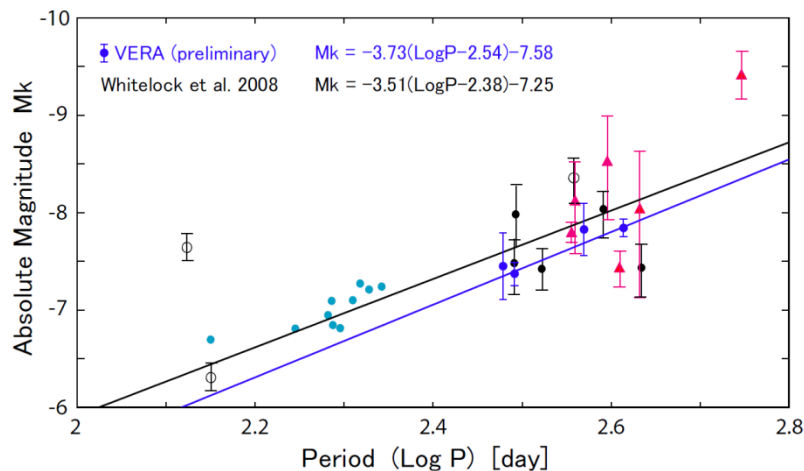


- ▶ Parallax = 7.14 ± 0.38 mas
- ▶ Distance = 140.0 ± 7.4 pc
- ▶ 固有運動 (μ_x, μ_y)
= $(23.4 \pm 0.9, -48.0 \pm 0.8)$ mas/yr
- ▶ Hipparcosカタロの固有運動 (μ'_x, μ'_y)
= $(21.7 \pm 0.9, -49.7 \pm 0.5)$ mas/yr
- ▶ メーザーの内部固有運動はまだ評価していないが、
誤差の範囲内でVERAとHipparcosの固有運動計
測結果は一致している。



PL-relation of the Galactic Mira variables (preliminary, Weighted least-squares fit)

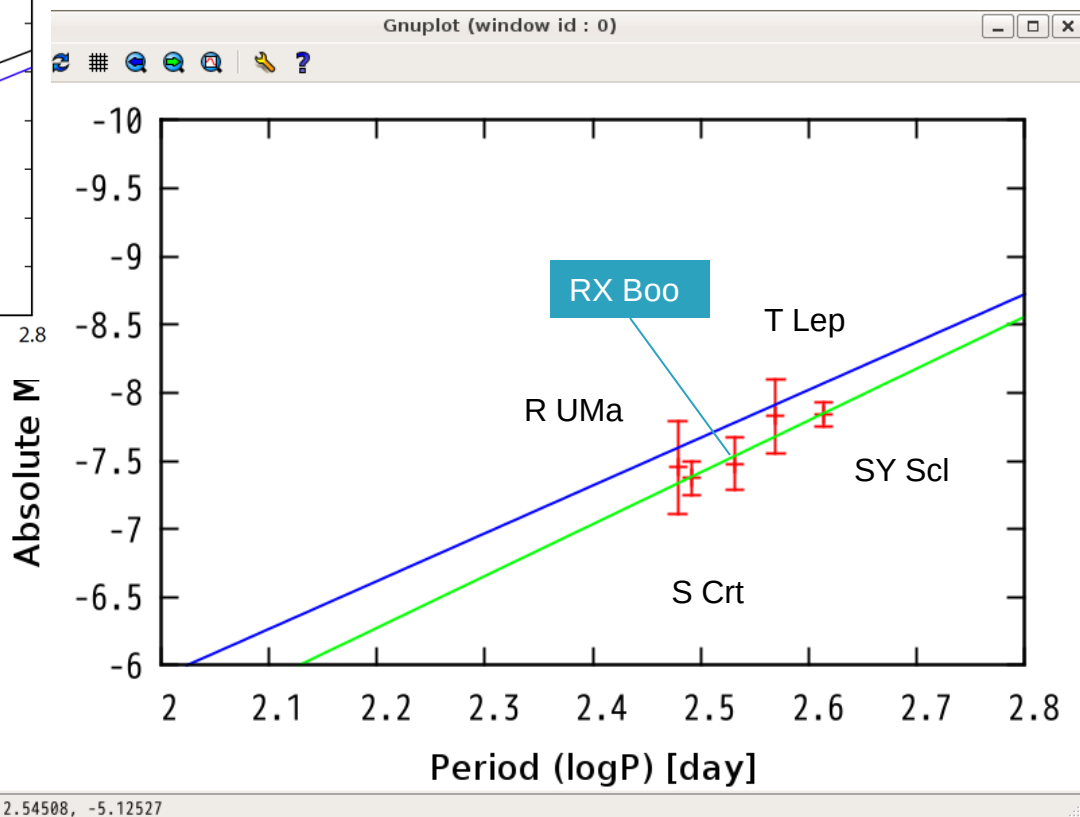
- Source : **RX Boo**, SY Scl, T Lep, R UMa, S Crt



上図: Whitlock et al. (2008)の結果を我々の予備的結果と比較。Whitlock et al. は最近のVERA以外のVLBI観測結果を集めて銀河系のPL関係を得ている。VERAで得られたものは少し暗いほうにシフトして見える。

LMC: $a = -3.520 \pm 0.034$ (Ita et al. 2004)

右図: PL関係の中で、現在VERAでVLBI観測中の天体の周期を赤い線で示した。青い点はすでに観測された天体。



Miras in VERA Catalog

▶ VERA catalog (~300 Galactic sources)

- 昨年の秋、VERAでは今後年周視差計測を行ってゆく天体をVERAカタログとして定義した。()これには40天体のミラ型変光星を含んでおり、すでにうち4天体は2008年待つから2009年初めにかけてVLBIモニター観測を開始した。
- 観測周波数は22GHzであり、水メーザーを観測している。
- サンプル中の変更周期は 215 日(LogP=) ~ 654 日(LogP=) をカバーしている。

< VERAカタログ中の40個のMira型変光星>

Y Cas, V524 Cas, omi Cet, IK Tau, R Tau, U Ori,
GX Mon, S Gem, X Hya, VX UMa, T UMa,
V2108 Oph, AH Oph, RW Lyr, R Aql, YZ Dra, RT Aql,
BR Del, UU Peg, KZ Peg, R Cas, V Cam, U Lyn,
R Cnc, IW Hya, R Leo, U Cvn, T Com, RU Hya,
RS Vir, S Crb, S Ser, WX Ser, SW Lib, FS Lib,
R Dra, IRC+10374, IRC-20540, R Peg, RY And

(赤字は08年から09年にかけて新規に観測を開始した天体)

Discussion、Future Work

< Difficulties in parallax determination >

- ▶ Parallax measurement
 - Lifetime of maser emission : ~ 1 month
 - Structure changes
 - Acceleration of maser emission
- ▶ Apparent magnitude
 - Calibration for an extinction effect
 - Calibration of m_K obtained with different optical system

< Scientific application >

- Calibration of the distance ladder
- Distance estimator using SR & OH/IR star masers
 - PL sequence of SR or OH/IR stars available ?
- Stellar evolution : SR $\rightarrow$ Mira ???
 - Kinematics from revised HIPPARCOS catalog
 - Semiregular variables have masers

