

# 鹿児島大学におけるVLBI および光赤外線 大学間連携事業による変光星の観測的研究

中川亜紀治、面高俊宏、半田利弘、永山貴宏、亀崎達也、山下智志（鹿児島大学）、VERAグループ

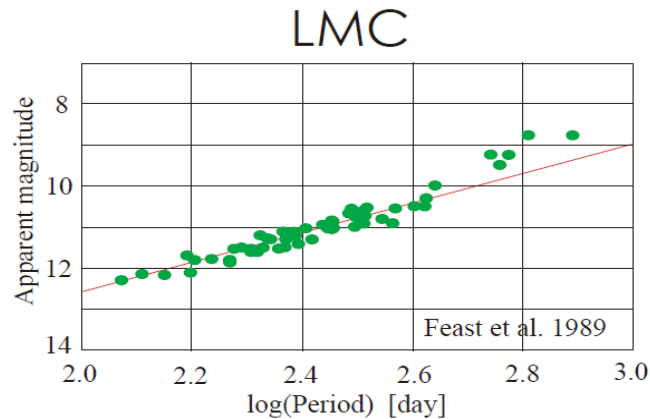


Fig.1. PLR of Miras in LMC, Feast et al. 1989.

目的  
銀河系内のミラ型変光星  
の周期光度関係の確立  
↓  
変光星の銀河内分布

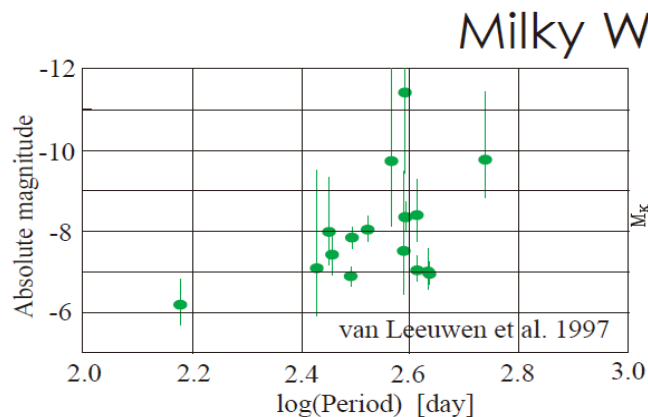


Fig.2. PLR of Galactic Miras, van Leeuwen et al. 1997.

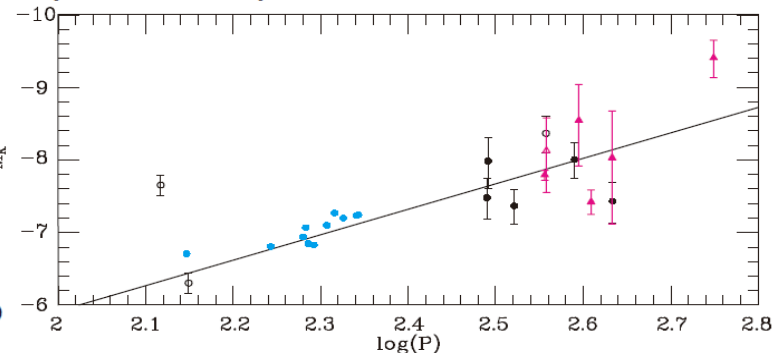
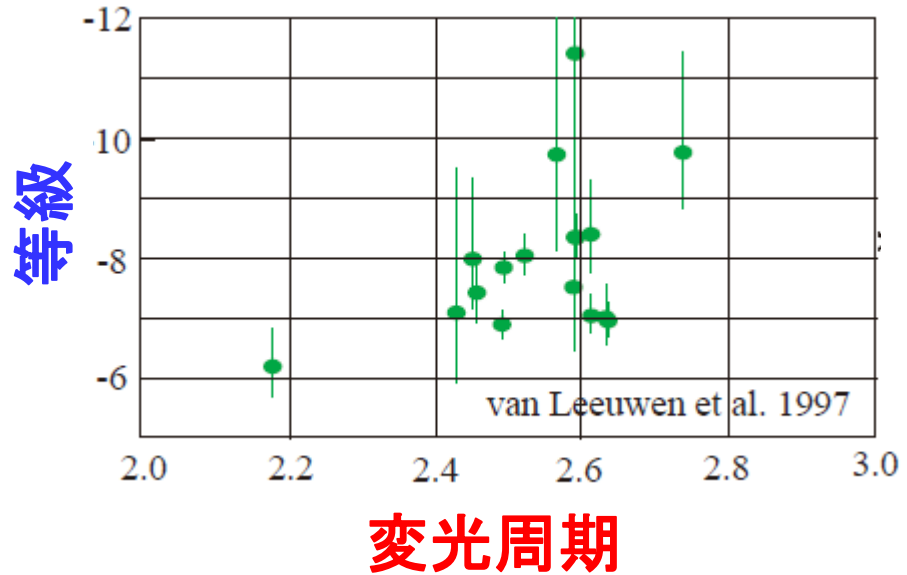


Fig.3. PLR of Galactic Miras, Whitelock et al. 2008.

# 鹿児島大学におけるVLBI および光赤外線 大学間連携事業による変光星の観測的研究

中川亜紀治、面高俊宏、半田利弘、永山貴宏、亀崎達也、山下智志（鹿児島大学）、VERAグループ



天体の距離  $D$

見かけ等級  $m_k$

絶対等級  $M_k$

変光周期  $\text{Log}P$

PLR ( $M_k - \text{Log}P$ ) の確立

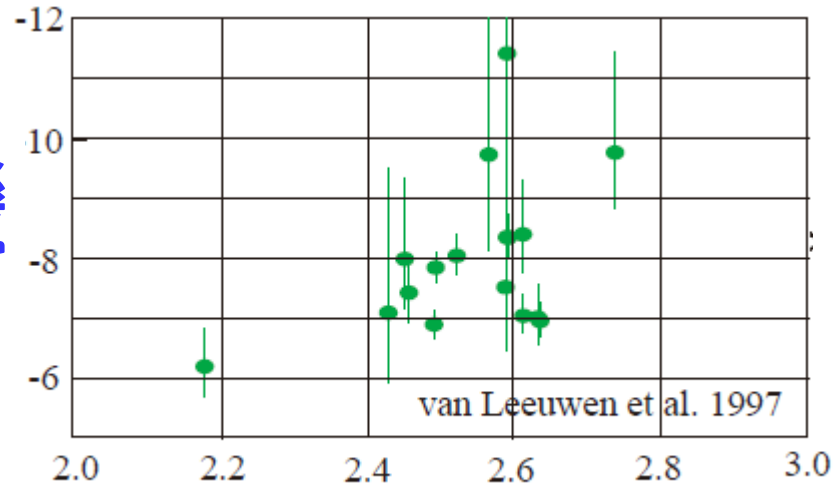
# 鹿児島大学におけるVLBI および光赤外線 大学間連携事業による変光星の観測的研究

中川亜紀治、面高俊宏、半田利弘、永山貴宏、亀崎達也、山下智志（鹿児島大学）、VERAグループ



VLBI  
位置天文

等級



変光周期

天体の距離  $D$

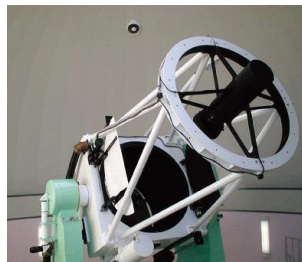
見かけ等級  $m_k$

絶対等級  $M_k$

変光周期  $\text{Log}P$

PLR ( $M_k - \text{Log}P$ ) の確立

赤外線  
光学観測

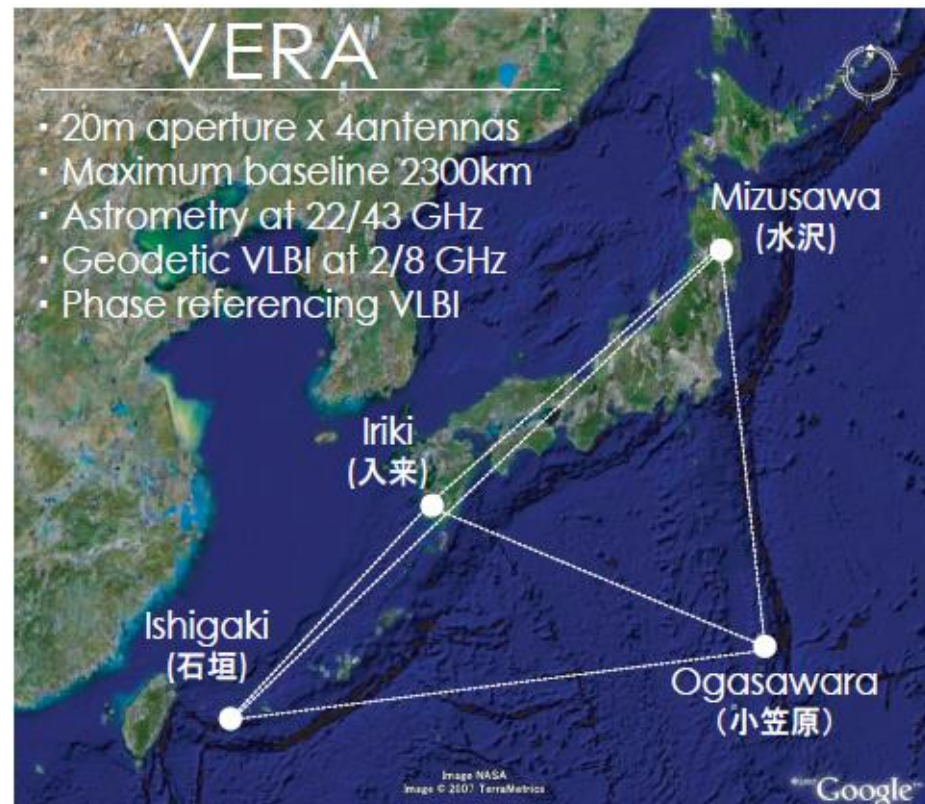
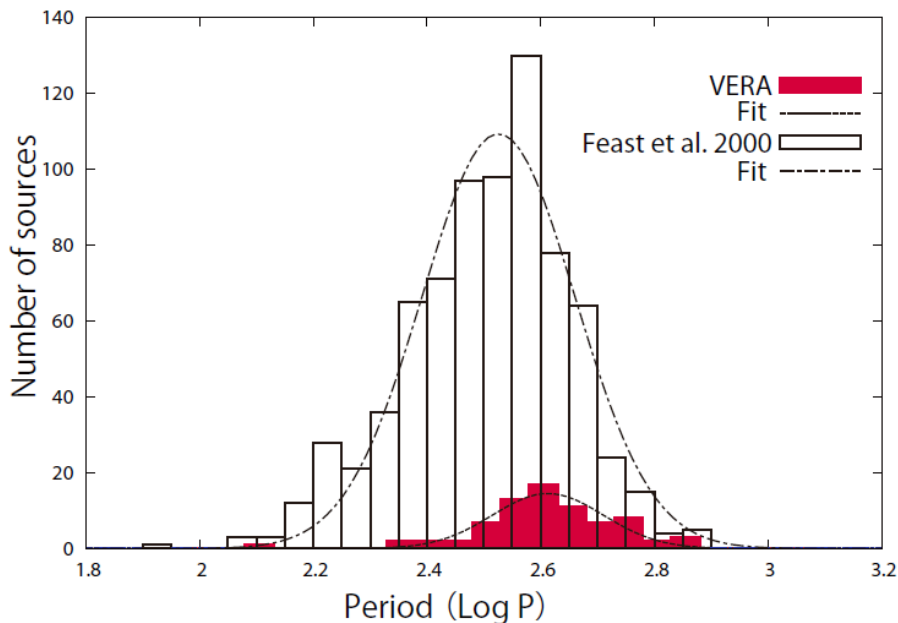


# VERAによるVLBI位置天文観測

## 水メーザーを利用した年周視差計測

- ・水メーザーの単一鏡モニター観測@入来
- ・水メーザーのVLBIモニター観測 using VERA

観測対象ミラ型変光星の周期分布

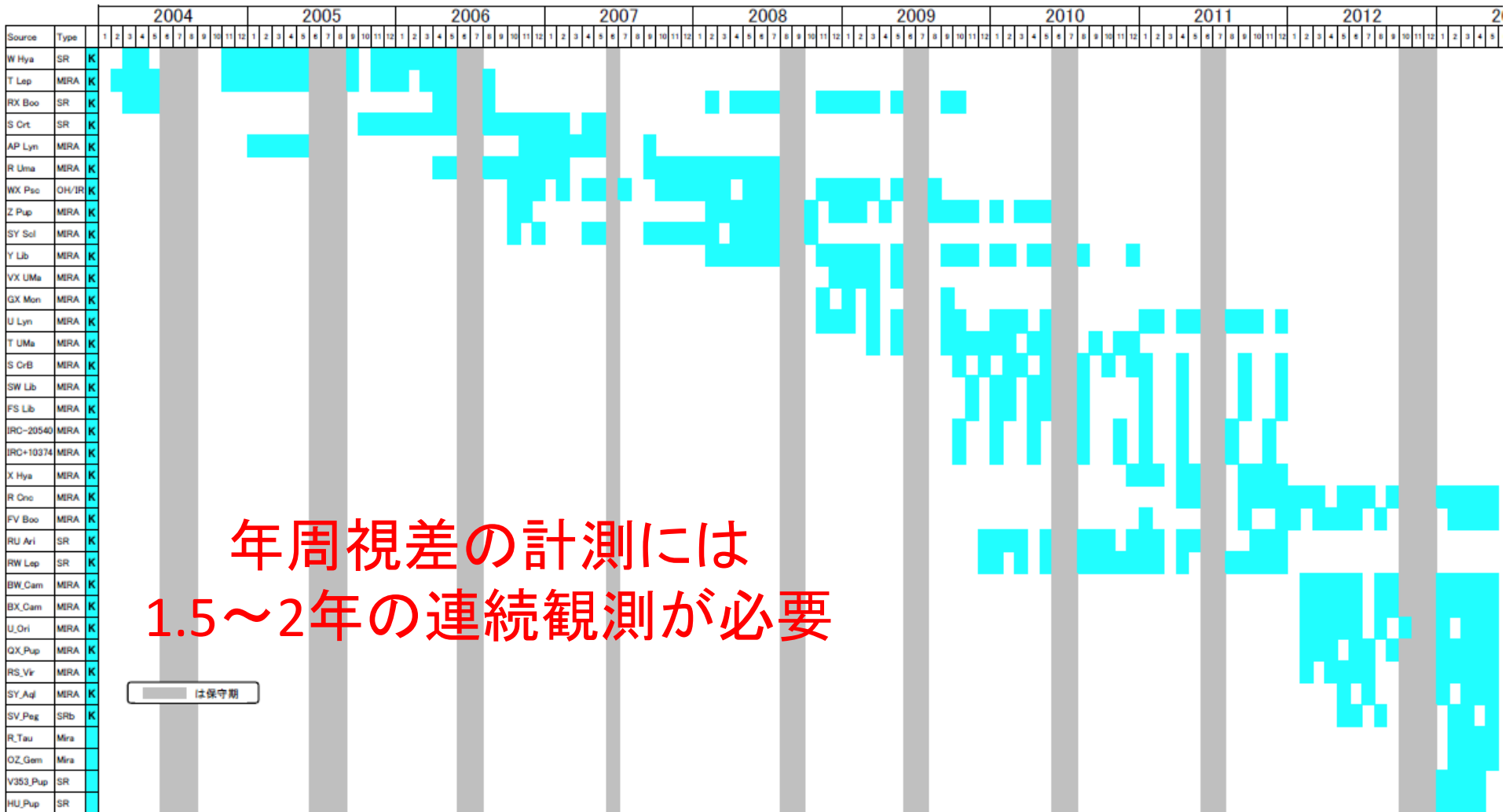


### VERAの配置

- ・水沢、小笠原、入来、石垣島の4局から構成される国内VLBIアレイ
- ・周波数: 43GHz(SiOメーザー), 22GHz(水メーザー), 8/2GHz(測地ほか), 6.7GHz(メタノールメーザー)
- ・最大基線長: 2300 km (水沢-石垣島基線)

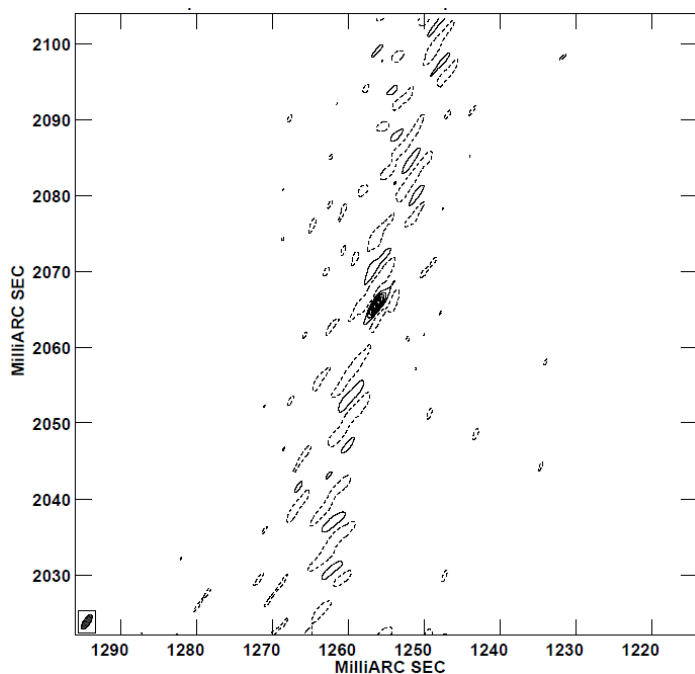
# ミラ型変光星の位置天文VLBI

- Phase referencing observation of H<sub>2</sub>O and SiO maser
- Typical monitoring duration 1.5~2yr

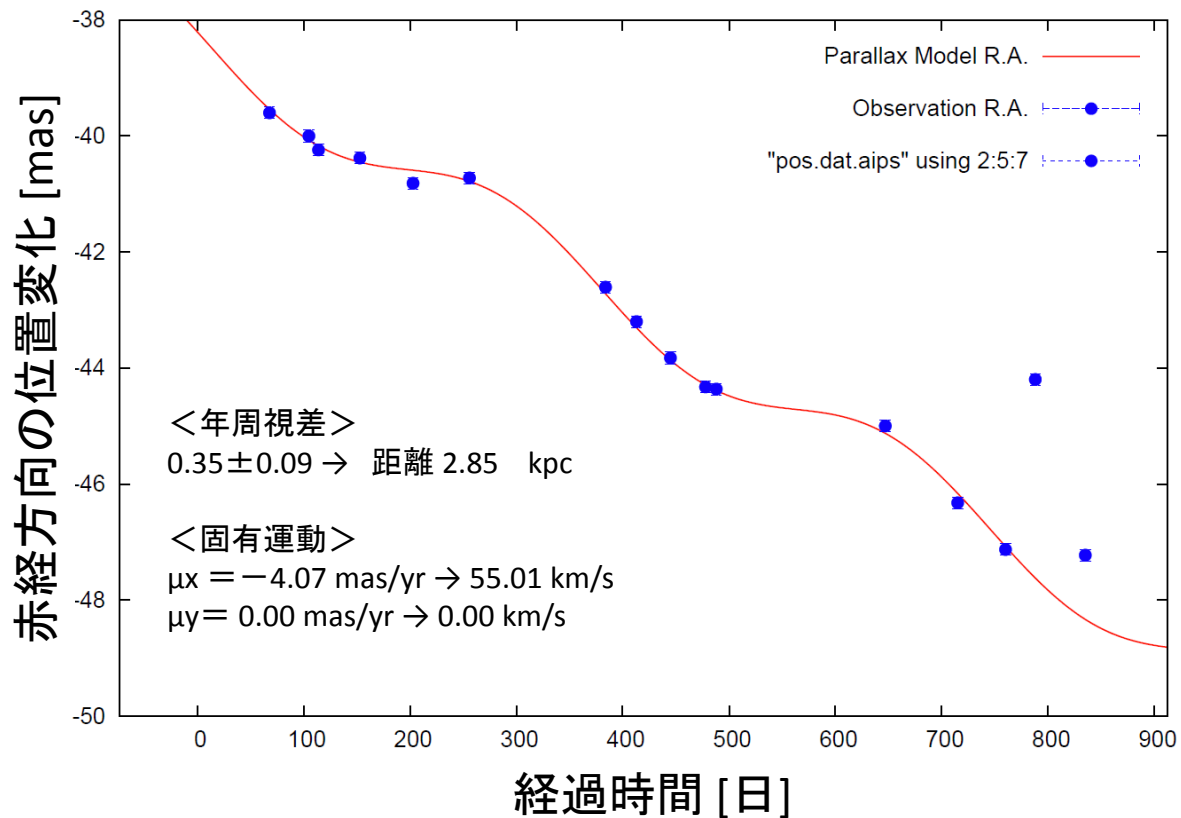


# 位置天文VLBIによる年周視差計測の例

## QX Pup 赤経方向のデータを利用した年周視差フィット



位相補償により描かれたQX Pupの水メーザー  
Peak Flux = 9.5 Jy/beam  
Vlsr=25.39 km/s



# VLBIによるこれまでの成果

## 位置天文VLBIによる年周視差計測

ポスター  
掲示中

Table2: Results from VLBI astrometry

	Source	Type	Parallax <sup>†</sup> [mas]	P [day]	LogP	m <sub>K</sub> <sup>‡</sup> [mag]	M <sub>K</sub> [mag]
VERA	T Lep	Mira	3.06±0.04(a)	368	2.566	0.12 (h)	-7.45±0.03
	S Crt	SR	2.33±0.13(b)	310*	2.190	0.73 (i)	-7.43±0.12
	R Aqr	Mira	4.7 ±0.8 (c)	390	2.591	-1.01(h)	-7.65±0.37
	SY Scl	Mira	0.75±0.03(d)	411	2.614	2.61 (j)	-8.01±0.09
	RX Boo	SR	7.31±0.5 (e)	340	2.531	-1.85(k)	-7.53±0.15
VLBA	S CrB	Mira	2.39±0.17(f)	360	2.556	0.21(h)	-7.90±0.15
	U Her	Mira	3.76±0.27(f)	406	2.609	-0.27(h)	-7.39±0.16
	RR Aql	Mira	1.58±0.40(f)	394	2.595	0.46(h)	-8.55±0.56
	W Hya	SR	10.18±2.36(g)	361	2.558	-3.16(h)	-8.12±0.51
	R Cas	Mira	5.67±1.95(g)	460	2.663	-1.79 (l)	-8.02±0.78

[†] Reference of the parallax; (a)Nakagawa et al 2014, (b)Nakagawa et al 2008, (c)Kamohara et al 2010, (d)Nyu et al 2011, (e)Kamezaki et al 2012, (f)Vlemmings & van Langevelde 2007, and (g)Vlemmings et al. 2003.

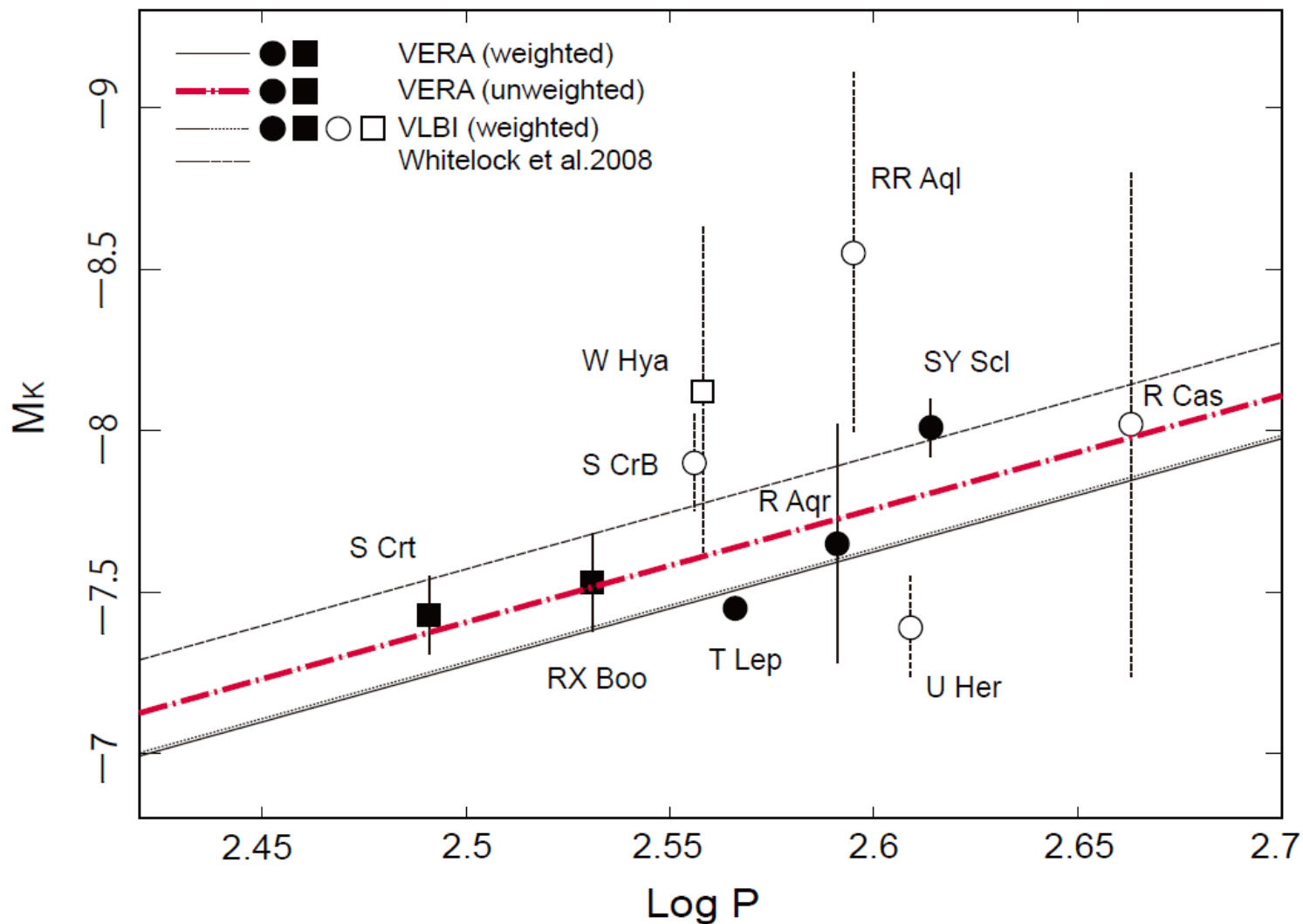
[‡] Reference of the m<sub>K</sub>; (h)Whitelock et al. 2000 (Fourier mean magnitude), (i)Jura & Kleinmann 1992, (j)Whitelock et al. 1994, (k)Glass & van Leeuwen 2007, and (l)Feast & Whitelock 2000.

[\*] For the period of S~Crt, we use 310~days, which is the double of its first overtone period of 155~day.

# VLBIによるこれまでの成果

## 天の川銀河ミラ型変光星の周期光度関係

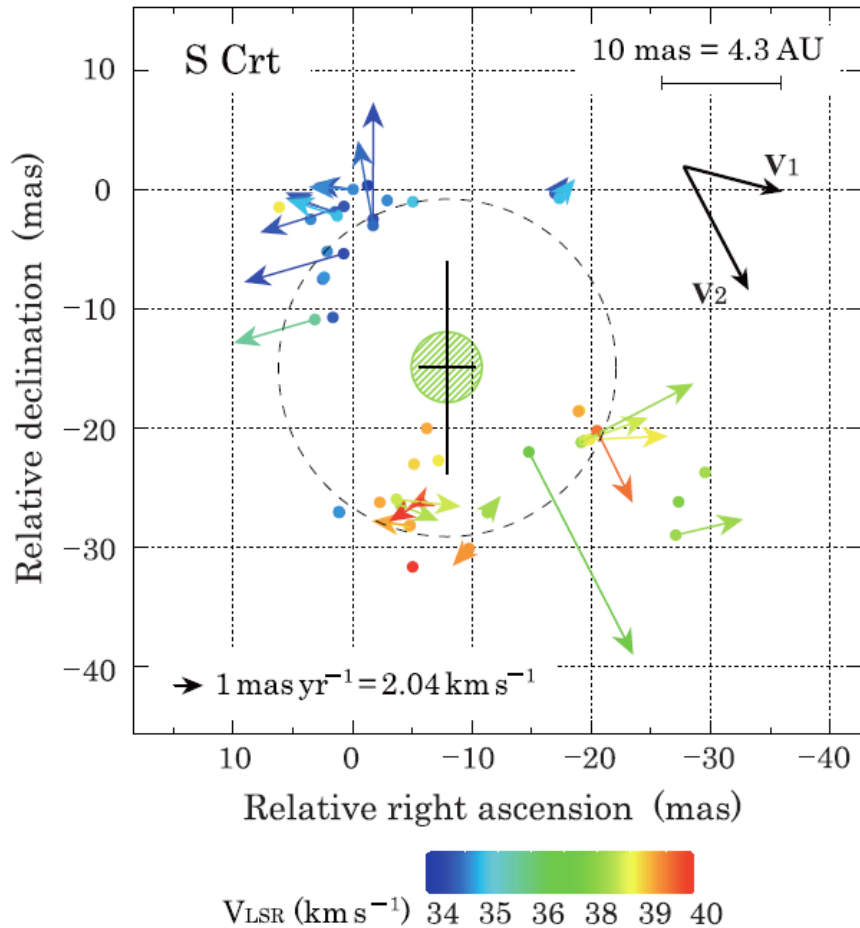
ポスター  
掲示中



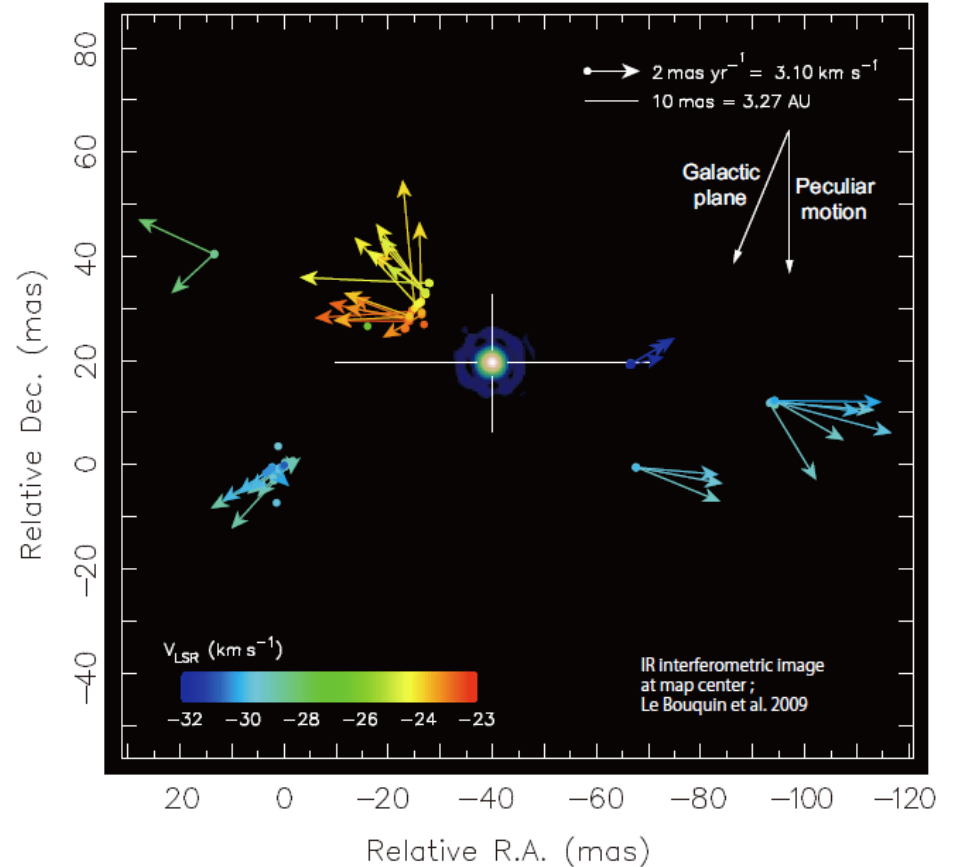


# 星周の水メーザー分布

S Crt (SR)



T Lep (Mira)



中央は赤外線干渉計(VLTI)によるイメージ

# 光赤外線望遠鏡による観測

大学所有の小口径望遠鏡の強み

- ・占有できる → 長期のモニター
  - ・機動性の高さ → 突発天体
- 
- ・IRAS PSCより  $\delta > 25^\circ$  で観測が可能 → ~800天体を選出
  - ・およそ10年にわたる測光モニターデータが得られている。  
→ 現在は~400天体のK'バンドモニター観測
  - ・データ解析の自動化とデータ整理に注力



入来 望遠鏡ドーム

<1m望遠鏡>

光学系:リッチークレチアン  
主鏡口径:1m  
焦点:カセグレン焦点  
架台:経緯台



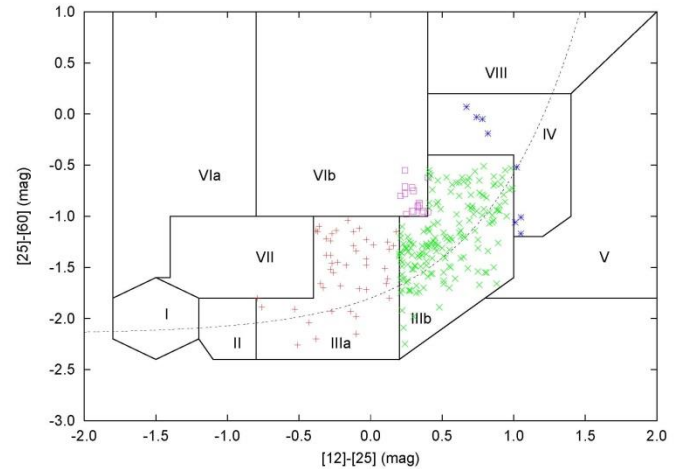
近赤外線カメラ IR Lab.

<近赤外線カメラ>

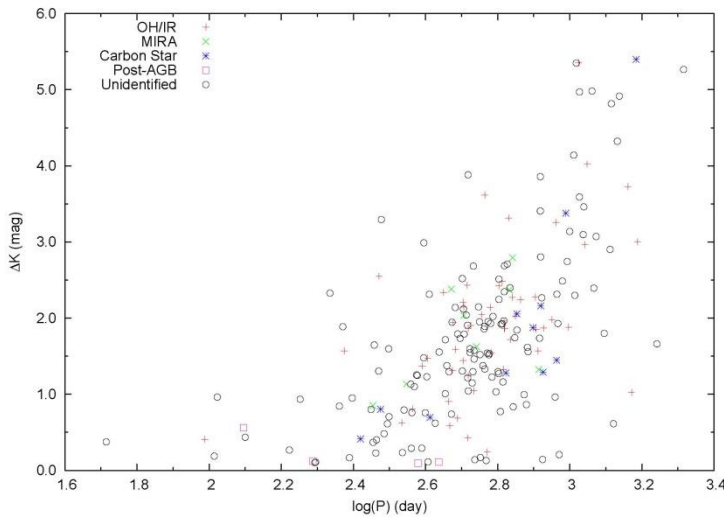
検出器:HAWAIIアレイ  
視野:5.5' × 5.5'  
フィルター:J,H,K'  
シーイングサイズ:1.3"

# 光赤外線望遠鏡による観測

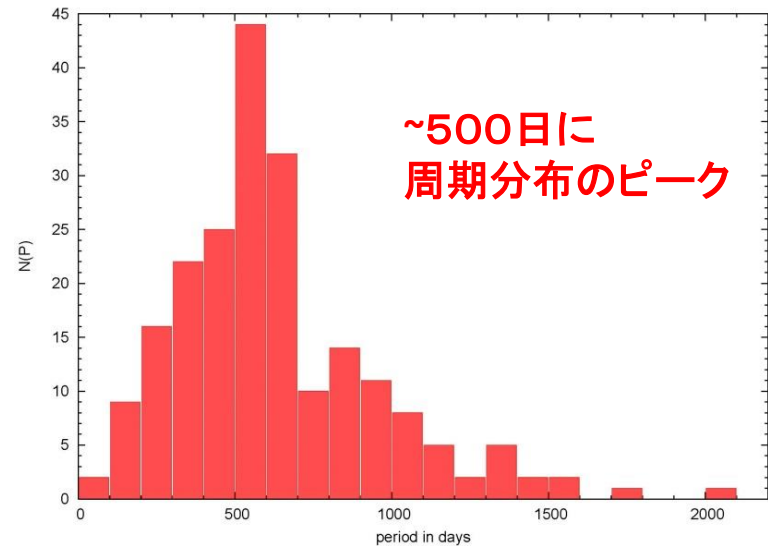
- 2007年時点の中間データ
- ~200天体の周期解析
- 周期、振幅、色などの情報整理
- 500日にピークを持つような変光周期の分布



IRAS 2色図上のモニター天体分布



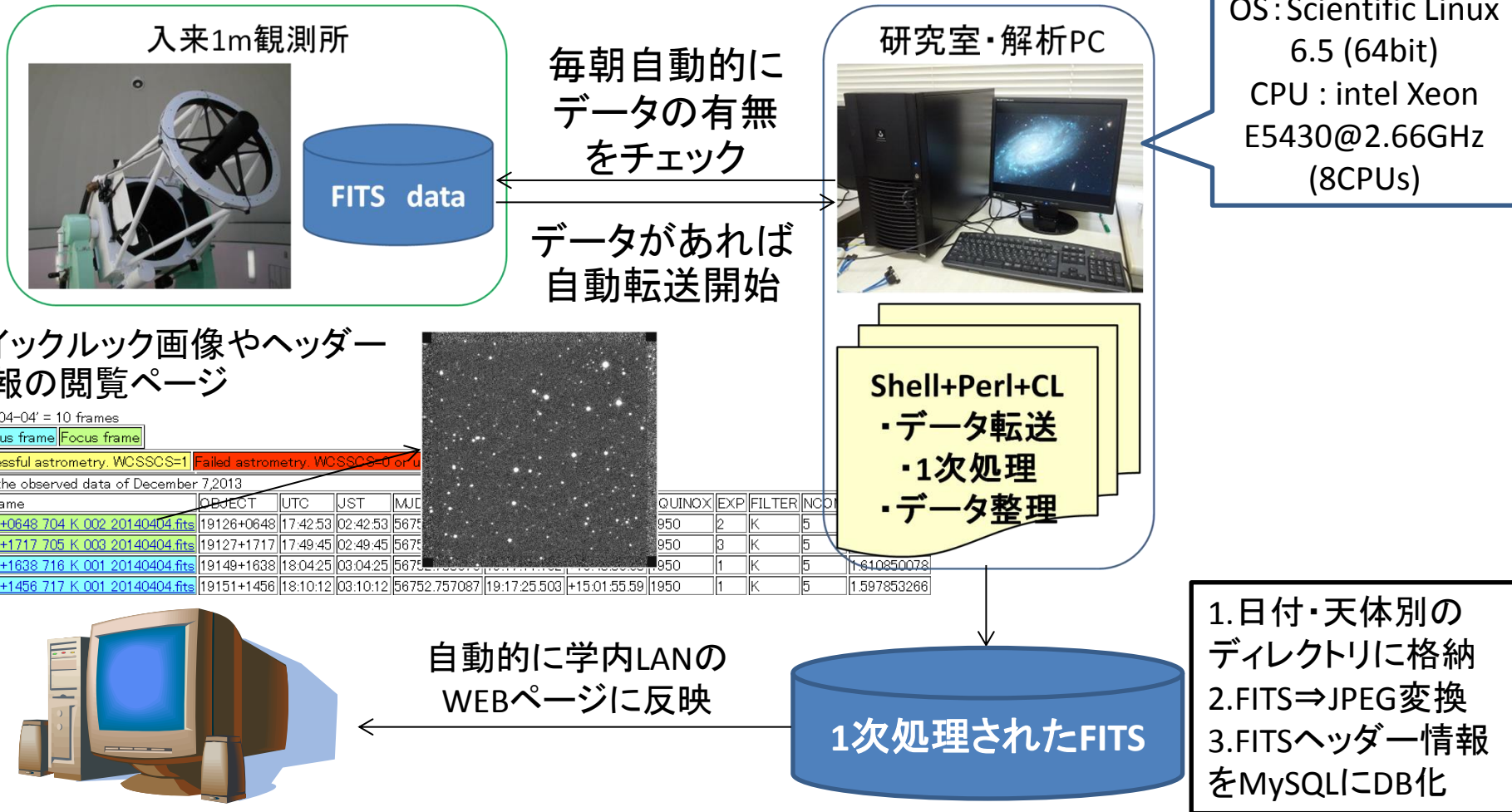
変光周期—変光振幅の関係



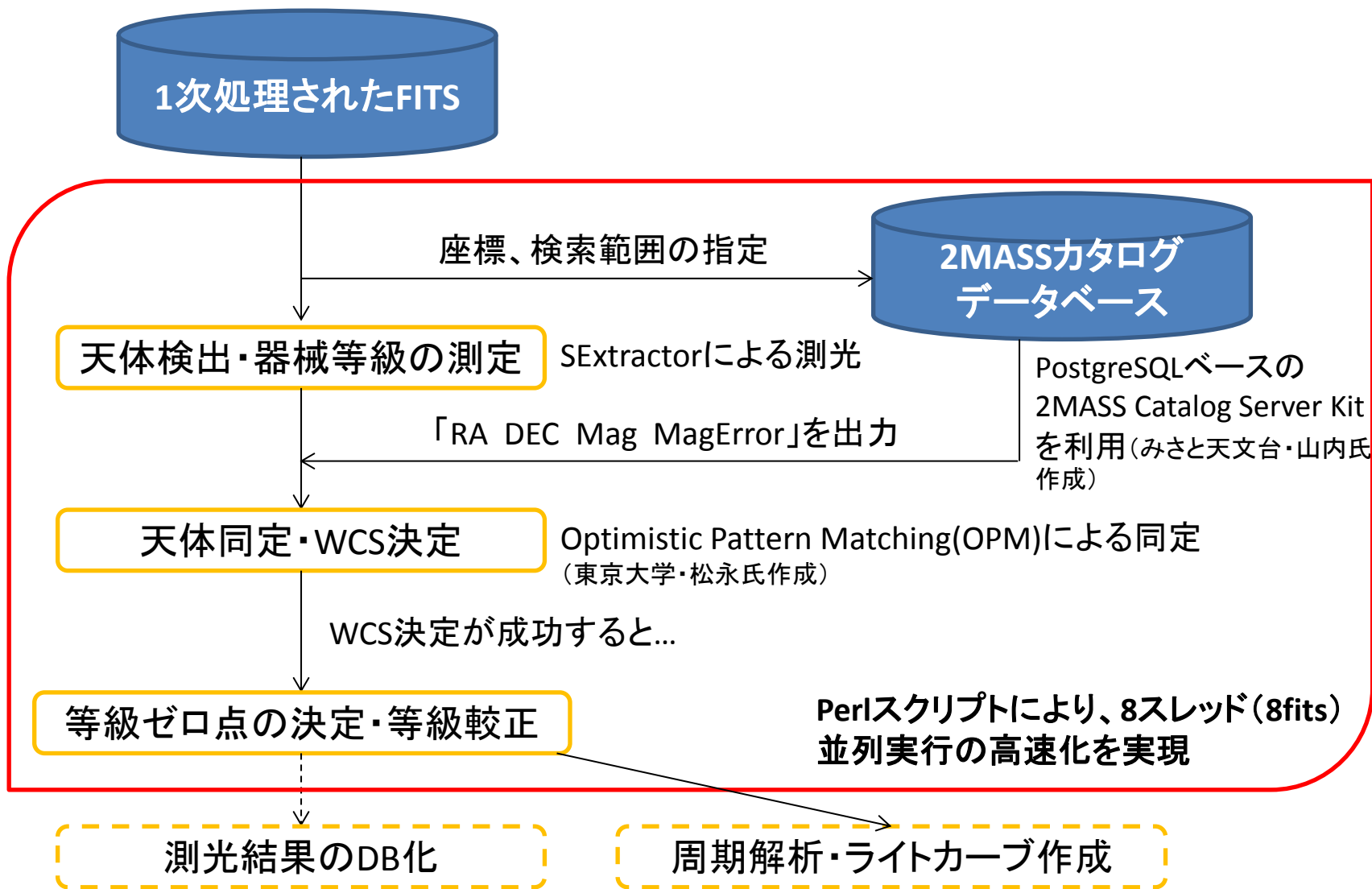
変光周期の分布

# 自動解析パイプラインの構築

## 1次処理の自動化パイプライン

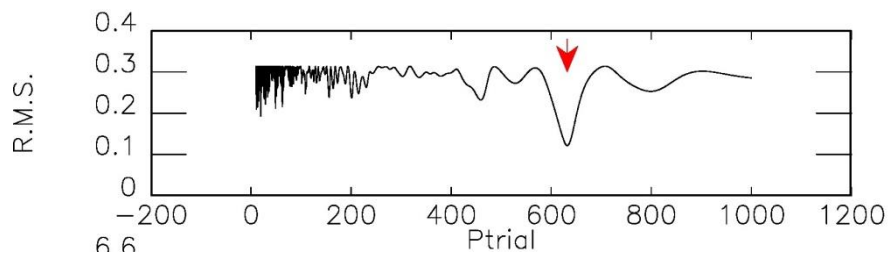


# 測光解析の自動化パイプライン

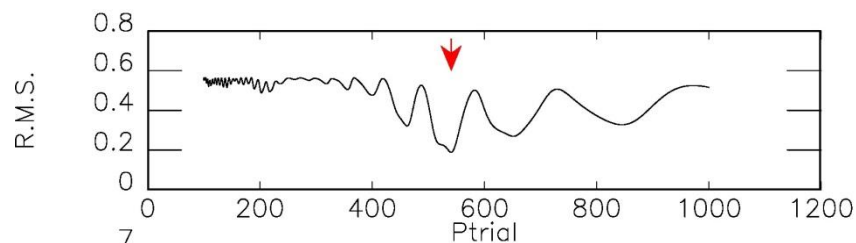


# 最近の周期解析結果の例

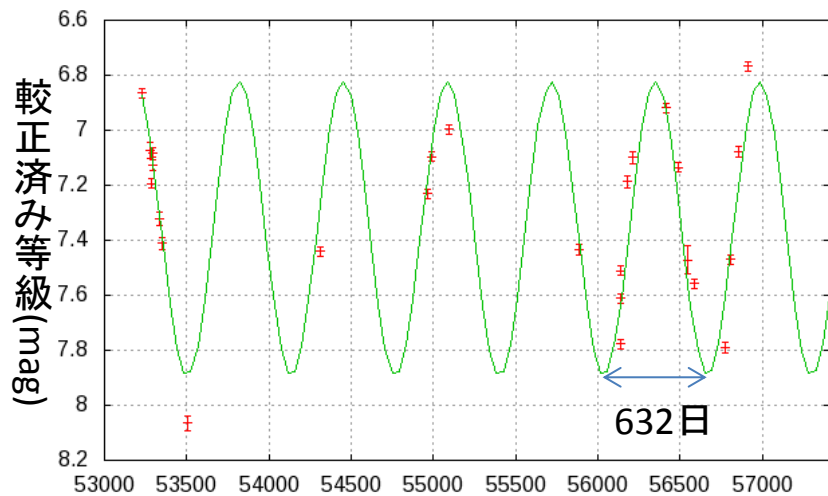
- ・周期解析手法の改善
- ・フーリエ級数展開を用いた周期解析とsin関数によるフィッティング
- ・フィッティングから変光を予想 → 観測の効率化



19303+1553\_K.dat  
Period = 632.85 day  
RMS = 0.127182  
Mean mag = 7.35731 mag

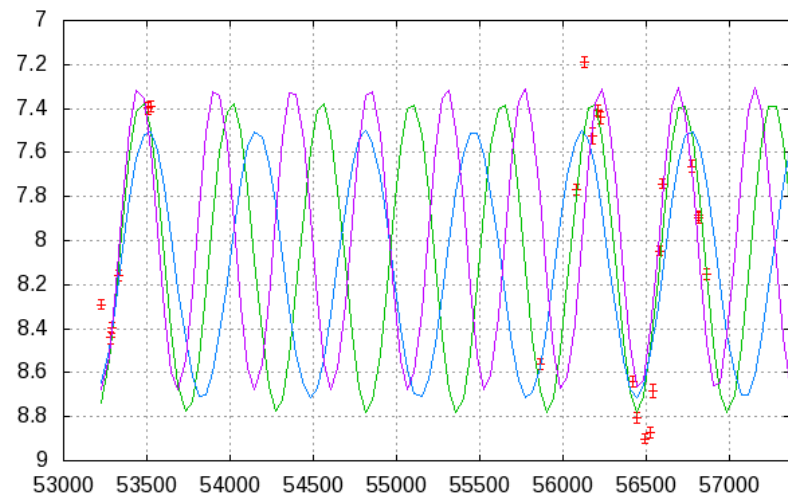


19235+1034\_K.dat  
Period = 540.95, 651.66, 462.3 day  
RMS = 0.188412, 0.269204, 0.321513  
Mean mag = 8.07561, 8.10754, 7.99176 mag



修正ユリウス日(day)

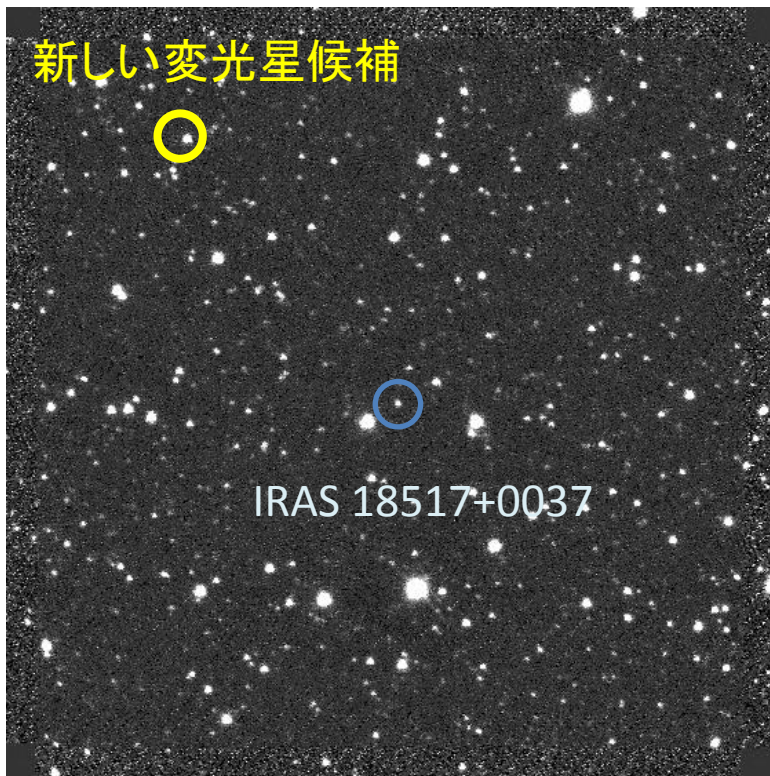
IRAS 19303+1553のフィッティング結果とライトカーブ



IRAS 19235+1034のフィッティング結果とライトカーブ

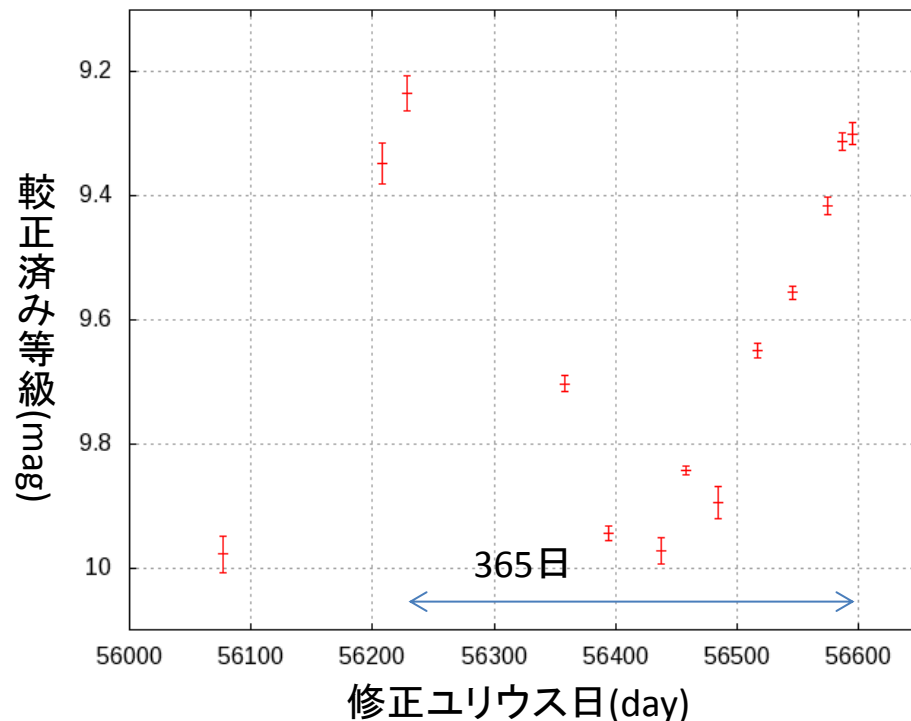
# 新しい変光星候補

- ・天体の自動検出・自動解析 → 赤外線でしか見えない変光星の探査  
(大きい振幅を持つ変光星はSExtractorのaperture測光で十分)
- ・自動化のご利益 → 新しい変光星の発見



IRAS 18517+0037の観測画像

IRAS 18517+0037近くの変光星候補



2MASS、WISE、AKARI、DENISにデータはあるが、simbad等に変光星としては未報告。

赤外

電波

# 観測データベースによる可視化

## 内部閲覧用 データベースの作成

- 赤外線観画像やfits情報の掲載、ダウンロード
- 過去の観測データの検索システム
- 日々の運用報告メールの蓄積
- 20m電波望遠鏡によるメーザー観測の結果
- 水メーザーの時間変動の描画

関係者からは、  
好評を得ている  
と思っております...

/media/HD-WSU1/IRobs/IR140908\_1stend

'2014-09-08' = 16 frames

Defocus frame
  Focus frame

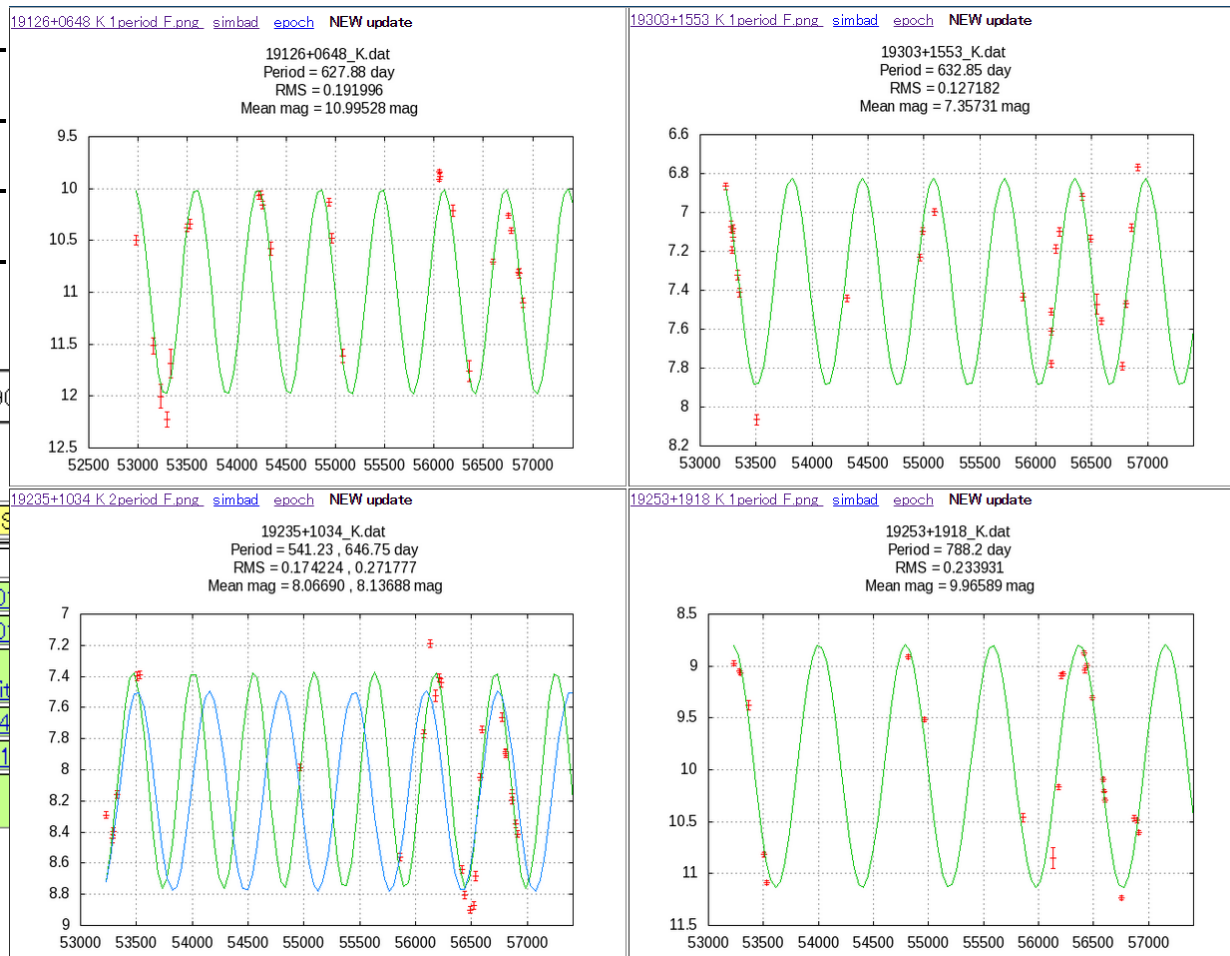
Successful astrometry, WCSSCS=1
  Failed astrometry, WCSSCS=0 or undef

Fits name	OBJECT	UTC	JUST	MJD	RA	DEC	FWHM	ZMAG+-ZERR	MATCH	MAGplot	DIFFplot	Simbad	Download
<a href="#">ND5000_HR6378_D_842_K_004_20140908.fits</a>	ND5000_HR6378_D	10:49:55	19:49:55	56908.451336	17:10:29.125	-15:41:53.84	5.88	20.893+-0.0571	12	<a href="#">plot</a>	<a href="#">plot</a>	<a href="#">query</a>	<a href="#">DLfits</a>
<a href="#">ND5000_HR6698_D_842_K_004_20140908.fits</a>	ND5000_HR6698_D	11:11:20	20:11:20	56908.466204	17:59:08.262	-09:44:39.00	5.25	21.101+-0.0377	58	<a href="#">plot</a>	<a href="#">plot</a>	<a href="#">query</a>	<a href="#">DLfits</a>
<a href="#">ND5000_IRC+10374_D_019_K_005_20140908.fits</a>	ND5000_IRC+10374_D	11:28:05	20:28:05	56908.477838	18:43:43.566	+13:59:02.81	4.495	21.254+-0.027	37	<a href="#">plot</a>	<a href="#">plot</a>	<a href="#">query</a>	<a href="#">DLfits</a>
<a href="#">ND5000_R-AqI_D_039_K_003_20140908.fits</a>	ND5000_R-AqI_D	11:42:18	20:42:18	56908.487708	19:06:28.943	+08:15:28.05	4.16	20.746+-0.0188	119	<a href="#">plot</a>	<a href="#">plot</a>	<a href="#">query</a>	<a href="#">DLfits</a>
<a href="#">ND5000_RT-AqI_D_040_K_003_20140908.fits</a>	ND5000_RT-AqI_D	11:52:01	20:52:01	56908.494463	19:38:08.405	+11:44:58.32	3.73	20.799+-0.0329	55	<a href="#">plot</a>	<a href="#">plot</a>	<a href="#">query</a>	<a href="#">DLfits</a>
<a href="#">ND5000_V3880-Sgr_D_018_K_003_20140908.fits</a>	ND5000_V3880-Sgr_D	12:05:57	21:05:57	56908.504137	19:09:03.202	-22:12:39.29	3.78	20.641+-0.0474	16	<a href="#">plot</a>	<a href="#">plot</a>	<a href="#">query</a>	<a href="#">DLfits</a>



## 内部閲覧用 データベースの作成

- 赤外線観画像やfits情報の掲載、ダウンロード



らは、  
ている  
す...

lot	DIFFplot	Simbad	Download
	<a href="#">plot</a>	<a href="#">query</a>	<a href="#">DLfits</a>
	<a href="#">plot</a>	<a href="#">query</a>	<a href="#">DLfits</a>
	<a href="#">plot</a>	<a href="#">query</a>	<a href="#">DLfits</a>
	<a href="#">plot</a>	<a href="#">query</a>	<a href="#">DLfits</a>
	<a href="#">plot</a>	<a href="#">query</a>	<a href="#">DLfits</a>
	<a href="#">plot</a>	<a href="#">query</a>	<a href="#">DLfits</a>

/media/HD-WSU1/IRobs/IR14090

'2014-09-08' = 16 frames

[Defocus frame](#) [Focus frame](#)

Successful astrometry. WCSSCS

Fits name

[ND5000 HR6378 D 842 K 004 20140908.fits](#)

[ND5000 HR6698 D 842 K 004 20140908.fits](#)

[ND5000 IRC +10374 D 019 K 005 20140908.fits](#)

[ND5000 R-Agl D 039 K 003 20140908.fits](#)

[ND5000 RT-Agl D 040 K 003 20140908.fits](#)

[ND5000 V3880- Sgr D 018 K 003 20140908.fits](#)

# まとめ、今後

長周期変光星を対象として…

- 位置天文VLBI観測による正確な距離決定
  - ユニークな観測装置(位相補償VLBI)による貴重な観測データ
  - 電波単一鏡観測による新たなメーザー源探査
  - 天の川銀河ミラ型星の周期光度関係の精度向上(中川N15c)
- 赤外線観測による周期、平均等級の決定
  - 大学所有望遠鏡の強みを生かした長期測光モニター観測を継続
  - 自動化パイプラインの活用と更なる機能向上
  - 新たな測光技術(部分減光)の導入(永山V224a)

電波

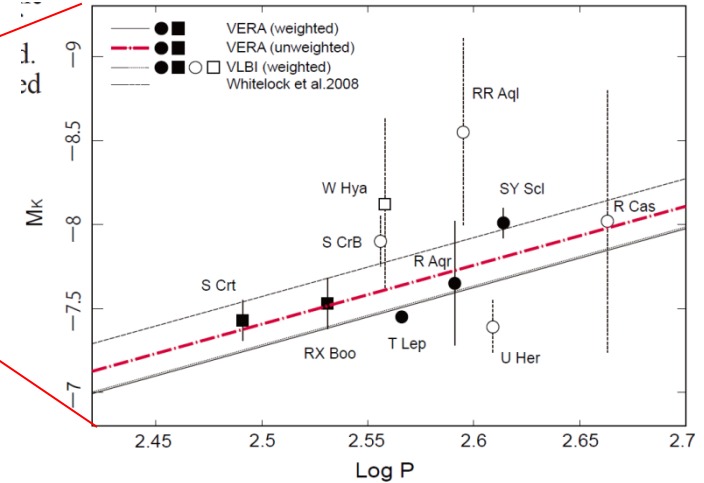
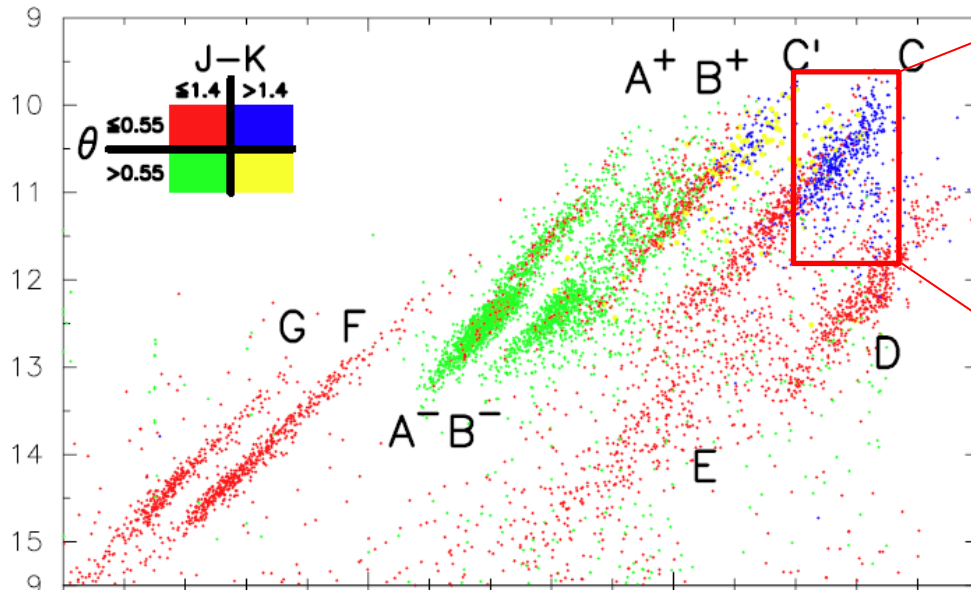
赤外

- より長い周期(400~1500日)の変光星の観測的研究なども検討中
  - この程度の周期の星の観測データは不足している(電波、光ともに)
  - 大質量の変光星の質量放出や変光メカニズム
  - Long Secondary Period(LSP)など

ほかにも、新星、超新星爆発など突発天体などにも対応中

# まとめ、今後

長周期変光星を対象として...



Ita et al. 200

- より長い周期(400~1500日)の変光星の観測的研究なども検討中
  - この程度の周期の星の観測データは不足している(電波、光ともに)
  - 大質量の変光星の質量放出や変光メカニズム
  - Long Secondary Period(LSP)など

ほかにも、新星、超新星爆発など突発天体などにも対応中