

鹿島34m鏡によるOHメーザーの観測

1612 MHz OH maser observations at kashima 34m telescope

中川亜紀治(鹿児島大学)、倉山智春(帝京科学大学)

関戸衛、岳藤一宏、川合 栄治(NICT)

背景 VERAで進めてきた周期光度関係の確立について、
より長い周期を持つ天体へ研究を展開
→ 数億年の年齢を持つ星の位置天文観測

目的 周期が長い($P > 1000$ 日)OH/IR星の、
(1) OHメーザー探査
(2) 変光周期の決定

観測

- ✓ 2016年11月4日(金) 鹿島にて観測を実施
- ✓ 周波数 1612 MHz
- ✓ 明るいOHメーザーを選出して試験的に観測を行った

結果

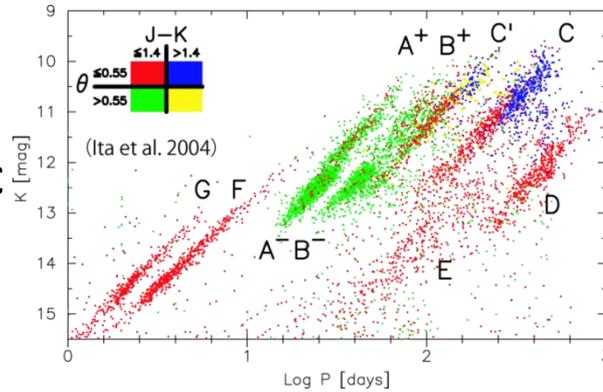
- ✓ 鹿島34m鏡で1612MHzのOHメーザーを検出した
- ✓ 探査を行った3天体ではOHメーザーは非検出



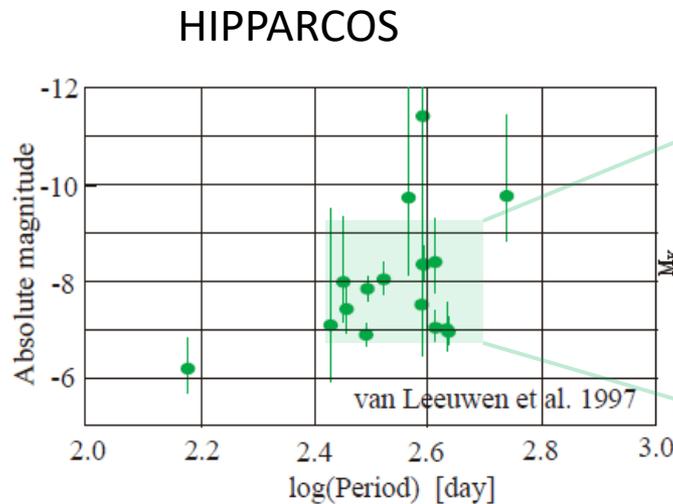
Aim : Determination of Period-luminosity relation of the Galactic Mira variables

- Mass 1~8 M_⊙ (Mira:1~2.5 M_⊙?)
- C/O-core, He-shell, H-rich envelope
- Period 100~1000d, P>1000 d
- Chemical enrichment of the universe

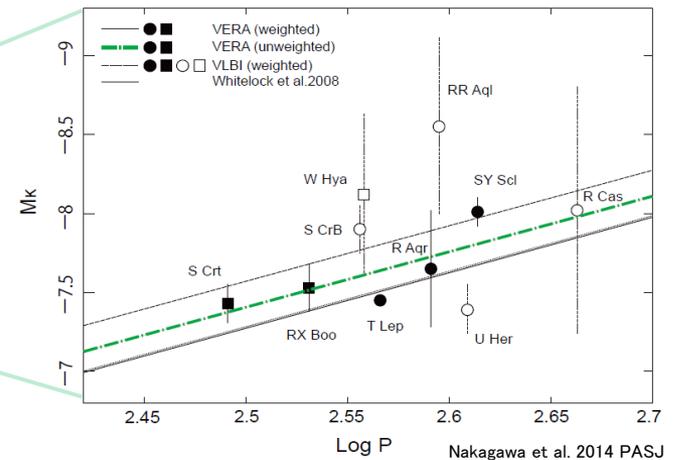
Large
Magellanic
Cloud



Milky
Way
Galaxy



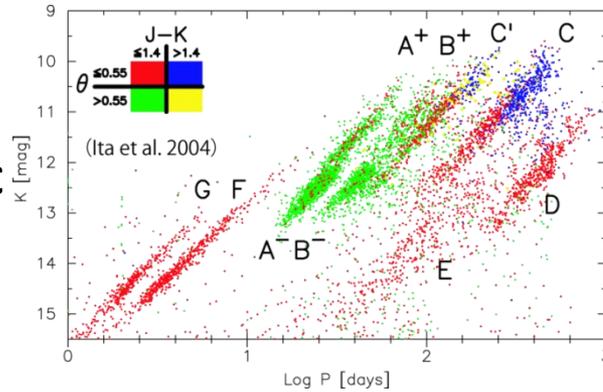
VLBI (VERA + VLBA)



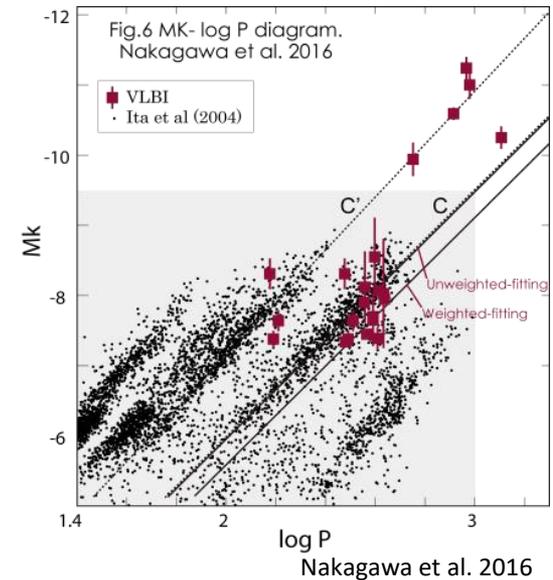
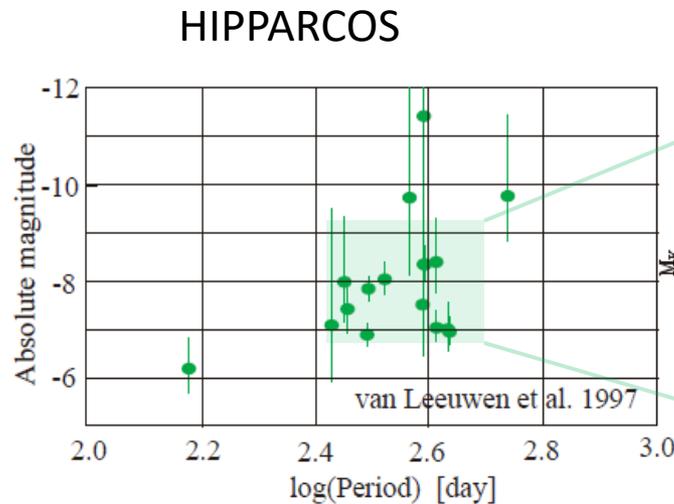
Aim : Determination of Period-luminosity relation of the Galactic Mira variables

- Mass 1~8 M_⊙ (Mira:1~2.5 M_⊙?)
- C/O-core, He-shell, H-rich envelope
- Period 100~1000d, P>1000 d
- Chemical enrichment of the universe

Large
Magellanic
Cloud



Milky
Way
Galaxy

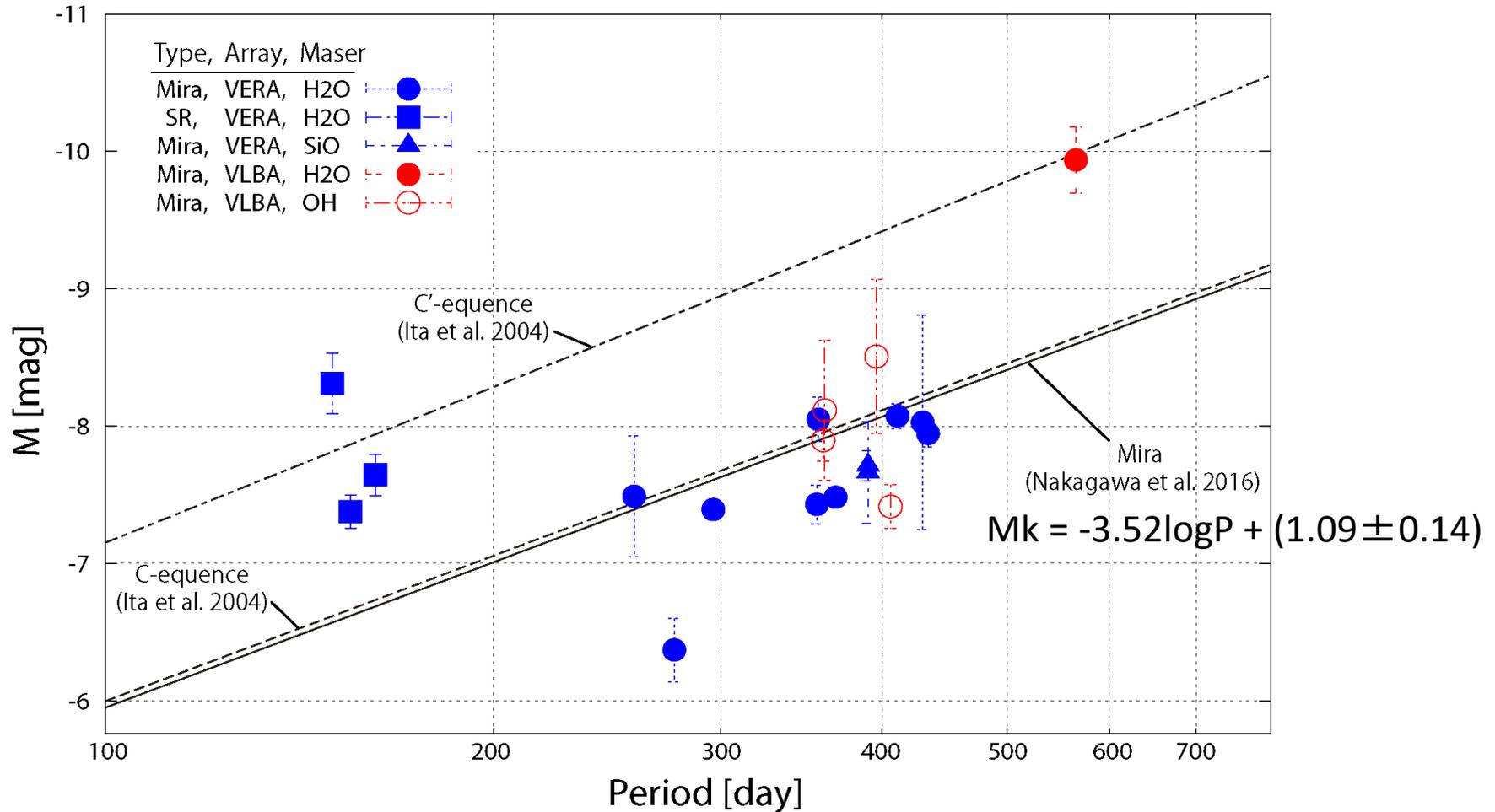


長周期変光星のVLBIによる年周視差計測

24 sources

| Source | Type | Parallax [mas] | P [day] | LogP | mK [mag] | MK [mag] | Maser | Reference (Parallax,mK) |
|-------------|-------|-------------------|------------|-------|-------------|-------------|-------|----------------------------|
| RW Lep | sra | 1.62±0.16 | 150 | 2.176 | 0.639 | -8.31±0.22 | H2O | kam14, a |
| S Crt | srb | 2.33±0.13 | 155 | 2.190 | 0.786 | -7.38±0.12 | H2O | nak08, a |
| RX Boo | srb | 7.31±0.5 | 162 | 2.210 | -1.96 | -7.64±0.15 | H2O | kam12, b |
| T UMa | Mi | 0.96±0.15 | 257 | 2.410 | 2.60 | -7.49±0.44 | H2O | in prep., a |
| Y Lib | Mi | 1.24±0.13 | 276 | 2.441 | 3.16 | -6.37±0.23 | H2O | in prep., a |
| R UMa | Mi | 1.92±0.05 | 302 | 2.480 | 1.19 | -7.39±0.06 | H2O | nak16, d |
| FV Boo | Mi | 0.97±0.06 | 340 | 2.531 | 3.836 | -6.23±0.13 | H2O | kam16, a |
| SY Aql | Mi | 1.10±0.07 | 356 | 2.551 | 2.36 | -7.43±0.14 | H2O | in prep., a |
| R Cnc | Mi | 3.84±0.29 | 357 | 2.553 | -0.97 | -8.05±0.16 | H2O | in prep., a |
| W Hya | sra | 10.18±2.36 | 361 | 2.558 | -3.16 | -8.12±0.51 | OH | vle03, c |
| S CrB | Mi | 2.39±0.17 | 360 | 2.556 | 0.21 | -7.90±0.15 | OH | vle07, c |
| T Lep | Mi | 3.06±0.04 | 368 | 2.566 | 0.12 | -7.45±0.03 | H2O | nak14, c |
| R Aqr | Mi | 4.7±0.8 | 390 | 2.591 | -1.01 | -7.65±0.37 | SiO | kam10, c |
| R Aqr | Mi | 4.59±0.24 | 390 | 2.591 | -1.01 | -7.70±0.11 | SiO | min14, c |
| RR Aql | Mi | 1.58±0.40 | 396 | 2.598 | 0.46 | -8.55±0.56 | OH | vle07, c |
| U Her | Mi | 3.76±0.27 | 406 | 2.609 | -0.27 | -7.39±0.16 | OH | vle07, c |
| SY Scl | Mi | 0.75±0.03 | 411 | 2.614 | 2.55 | -8.07±0.09 | H2O | nyu11, b |
| R Cas | Mi | 5.67±1.95 | 430 | 2.633 | -1.80 | -8.03±0.78 | OH | vle03, c |
| U Lyn | Mi | 1.27±0.06 | 434 | 2.637 | 1.533 | -7.95±0.10 | H2O | kam15, a |
| OH231.8+4.2 | OH/IR | 0.55±0.05 | 551 | 2.741 | --- | --- | H2O | in prep. |
| UX Cyg | Mi | 0.54±0.06 | 565 | 2.752 | 1.40 | -9.94±0.24 | H2O | kur05, a |
| S Per | src | 0.413±0.017 | 822 | 2.915 | 1.33 | -10.59±0.09 | H2O | asa10, b |
| PZ Cas | src | 0.356±0.026 | 925 | 2.966 | 1.00 | -11.24±0.16 | H2O | kus13, b |
| VY CMa | src | 0.88±0.08 | 956 | 2.980 | -0.72 | -11.00±0.20 | H2O | cho08, b |
| NML Cyg | --- | 0.62±0.047 | 1280 | 3.107 | 0.791 | -10.25±0.16 | H2O | zha12, a |

Miraとセミレギュラーの周期光度 (Mk) 関係



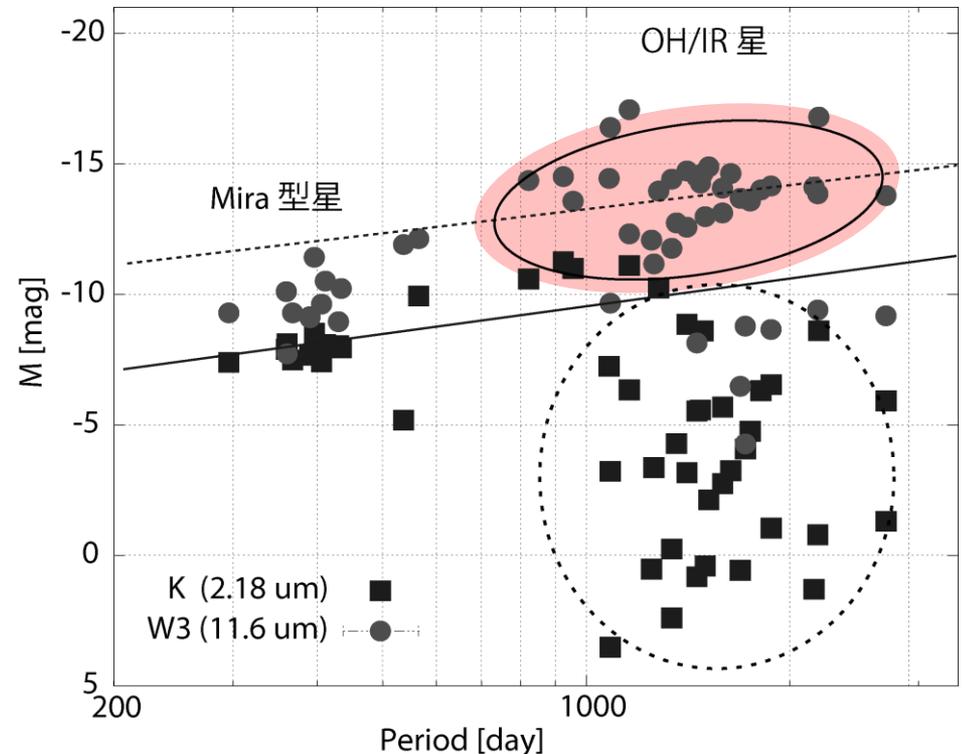
More sources are needed to solve a zero-point with better accuracy.

さらに長い周期を持つ変光星の観測的研究

- 周期 $P > 1000$ 日 を示す星への展開
 - 距離が推定できる十数天体で近/中間赤外線での絶対等級を調査
 - Distances from — (1) Phase-lag method (Engels et al. 2015)
 - (2) Kinematic distance
 - $P > 1000$ 日の領域でも周期光度関係が存在する可能性？

- 科学的な意義
 - 恒星物理的な側面
 - 銀河系動力学との関連付け

右図: 変光周期と近/中間赤外線の絶対等級
OH/IR星について、中間赤外線(11.6 μ m)で絶対等級の-13等あたりに集中するように見える

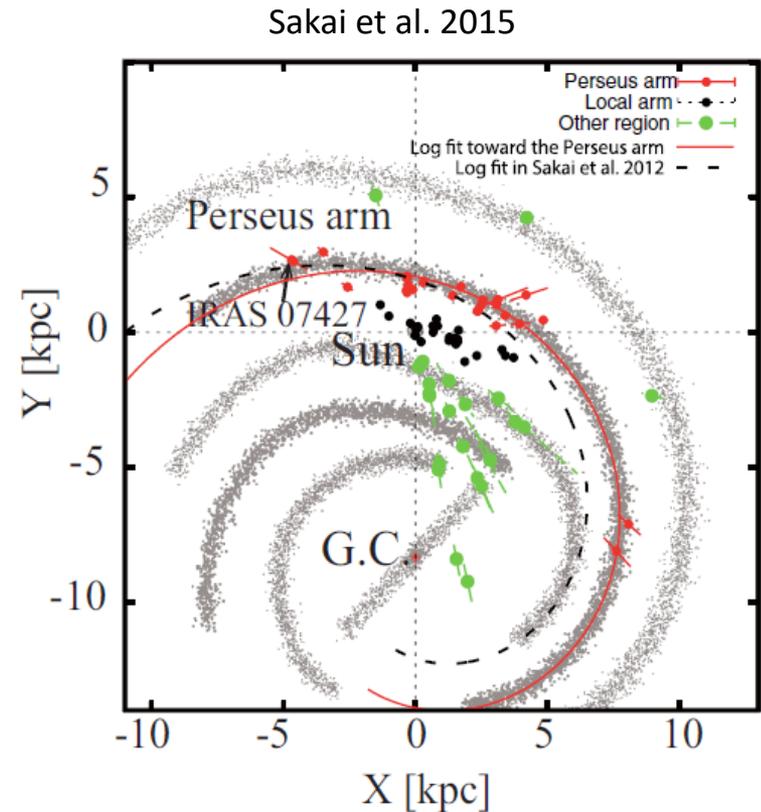


VLBI位置天文と銀河系動力学

SFRs and RSG are used as probes to study the Galactic kinematics.

- They are very young, $\sim 10^6$ yeas.
Sample property is uniform.

周期 $P > 1000d$ のOH/IR星だからこそ
できる科学的なテーマの模索



OH/IR stars as a new probe of the study of the Galactic kinematics

- 新旧の銀河動力学モデル
 - > 定常波理論
 - > 大規模計算によるシミュレーション
- Simulation study with supercomputer gives new picture of the Galactic arm.
- Probes with various ages are needed.
- Period=1000 days \rightarrow $M \sim 4M_{\odot}$ (Feast 2008)
- Age : $10^8 - 10^9$ yr
- Calibration of mid-infrared PLR of OH/IR stars.
- Astrometry: VLBI (OH/SiO/H₂O masers)

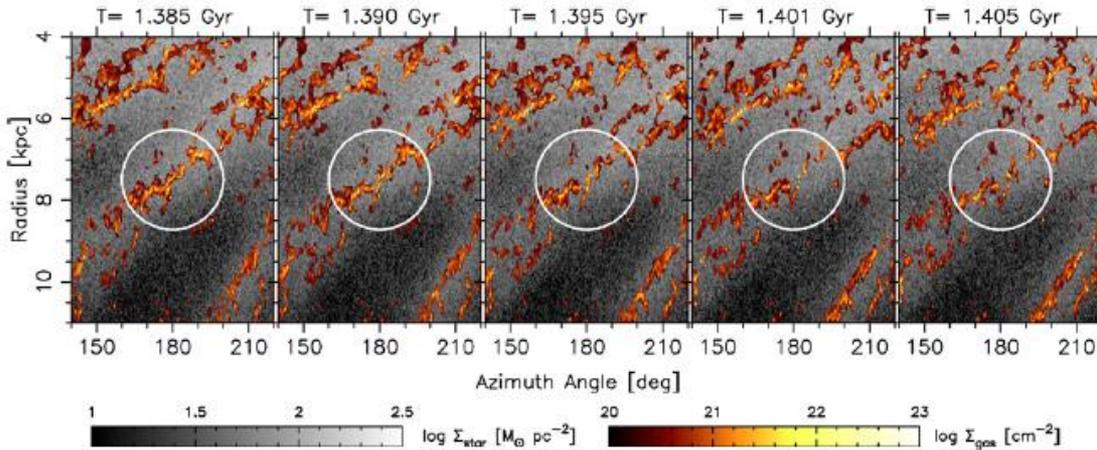


Figure 10. Same as Figure 8, but for snapshots every 5 Myr after $t = 1.385$ Gyr.
(An animation of this figure is available in the online journal.)

Wada et al. 2011

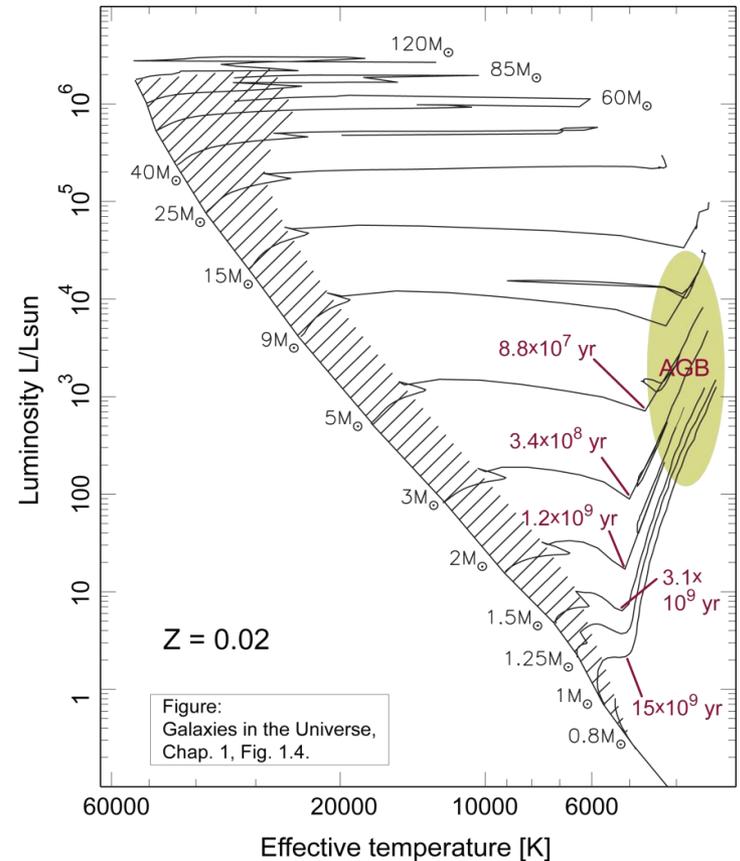


Figure:
Galaxies in the Universe,
Chap. 1, Fig. 1.4.

OH/IR stars as a new probe of the study of the Galactic kinematics

- ・ 新旧の銀河動力学モデル
 - > 定常波理論
 - > 大規模計算によるシミュレーション
- ・ Simulation study with supercomputer gives new picture of the Galactic arm.
- ・ Probes with various ages are needed.
- ・ Period=1000 days \rightarrow $M \sim 4M_{\odot}$ (Feast 2008)
- ・ Age : $10^8 - 10^9$ yr
- ・ Calibration of mid-infrared PLR of OH/IR stars.
- ・ Astrometry: VLBI (OH/SiO/H₂O masers)

| | Age | Physics | Target |
|---|----------------|------------------------------|-----------------------|
| New | $\sim 10^6$ yr | Spiral arm | SRF, Giants |
|  | $\sim 10^8$ yr | Bifurcating/ merging arms | Heavy OH/IR star ? |
| Old | $\sim 10^9$ yr | Relaxed system | Mira |

| Model | | Obs. |
|-------|-------------------|------|
| ✓ | \Leftrightarrow | ✓ |
| ✓ | \Leftrightarrow | No |
| ✓ | \Leftrightarrow | ✓ |

OH/IR星 (P>1000d) の分布と運動が必要

・知りたい物理量

X, Y, Z, Vx, Vy, Vz

・距離が必要

> VLBIによる年周視差計測が有利

> OH, H₂O, SiO masers の利用

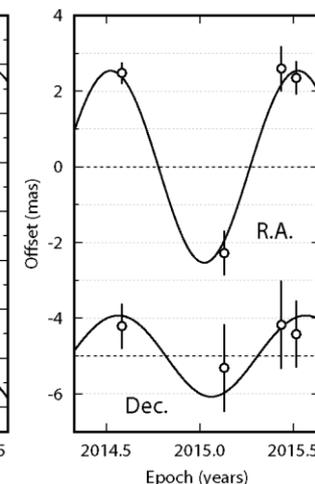
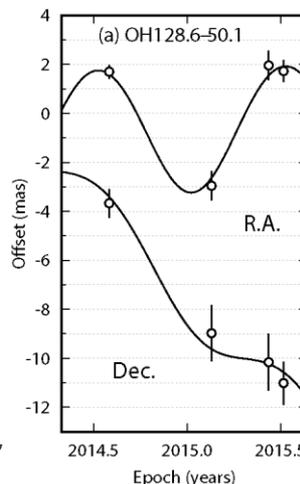
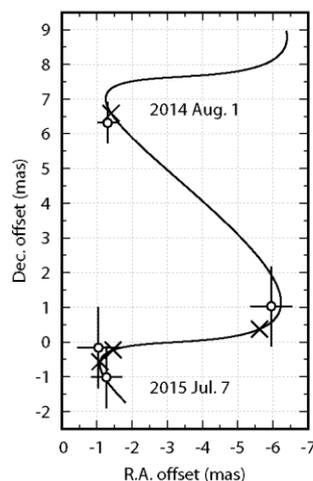
・Gaia では見えない

> 銀河面に集中

> 可視光で暗い(赤外線で明るい)

・JASMINEには期待が持てる

Gabor et al. submitted.



必要な作業

(1) P>1000日の変光星を探すこと

> 周期の決定

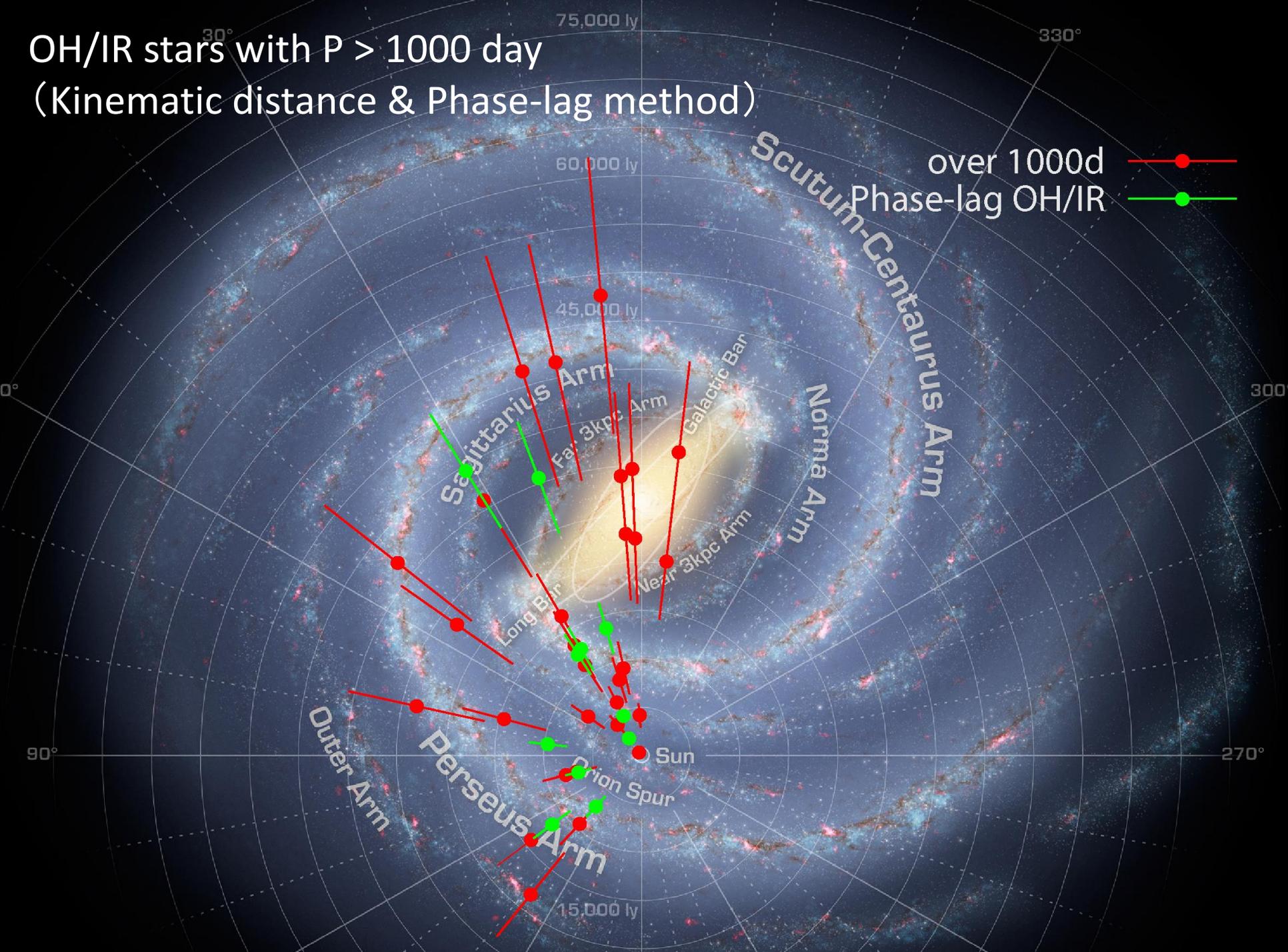
(2) 年周視差を計測すること

> メーザーの探査



鹿島34m鏡の活用

OH/IR stars with $P > 1000$ day (Kinematic distance & Phase-lag method)



鹿島34m鏡での単一鏡観測

11月4日滞在の短期的な目的

- ・国内システムを利用したOHメーザー観測の実施
(国内L-band: 鹿島34m, 臼田64m)

今後の長期的な目的

- ・OHメーザー探査
- ・変光周期の決定

今回の観測の詳細

- ・時間帯 2016年11月4日(金)
JST 14:00 - 19:00
- ・NICT鹿島 34m望遠鏡 L-bandシステム
- ・OHメーザー (1612 MHz)
- ・スペアナによる積分とデータ取得
- ・FS9操作系

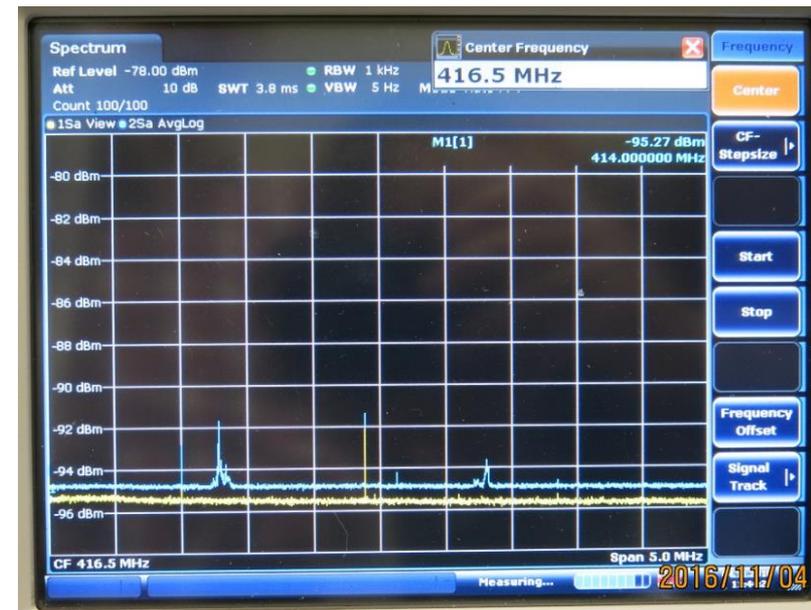
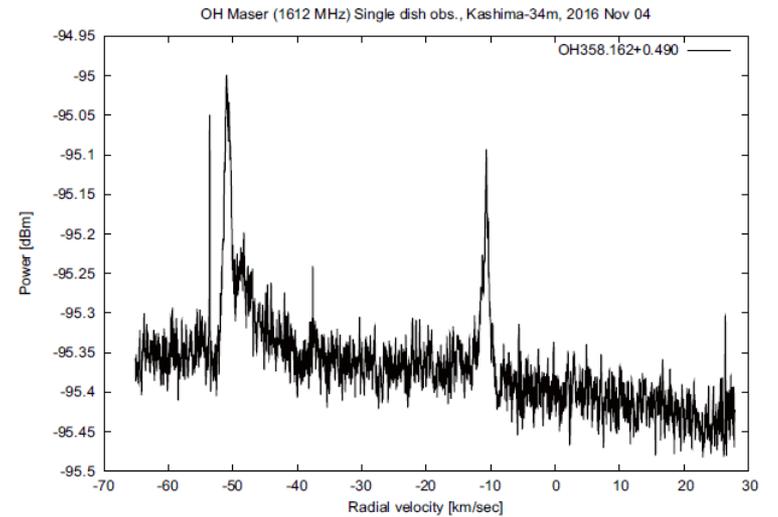
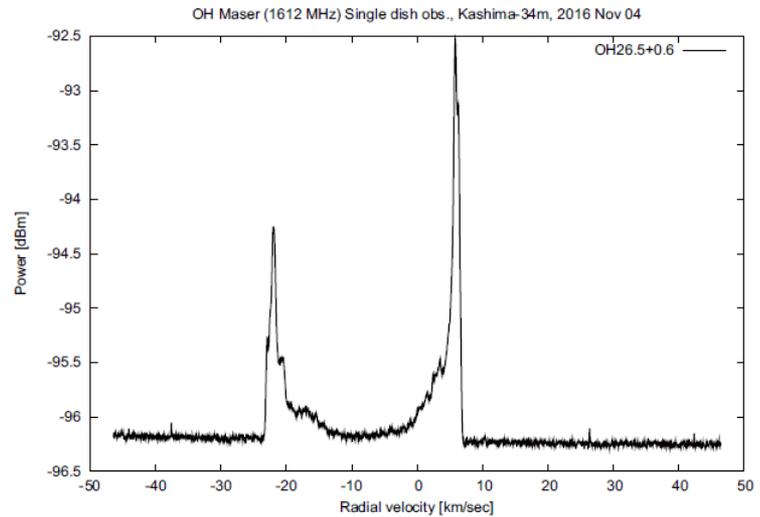
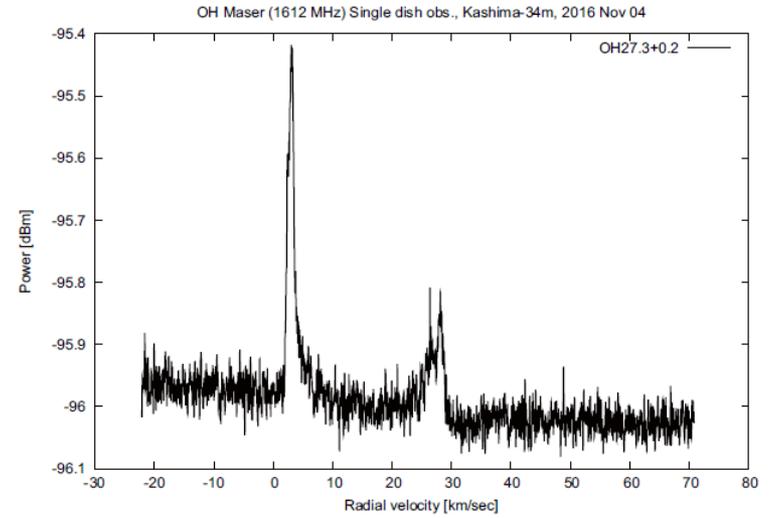
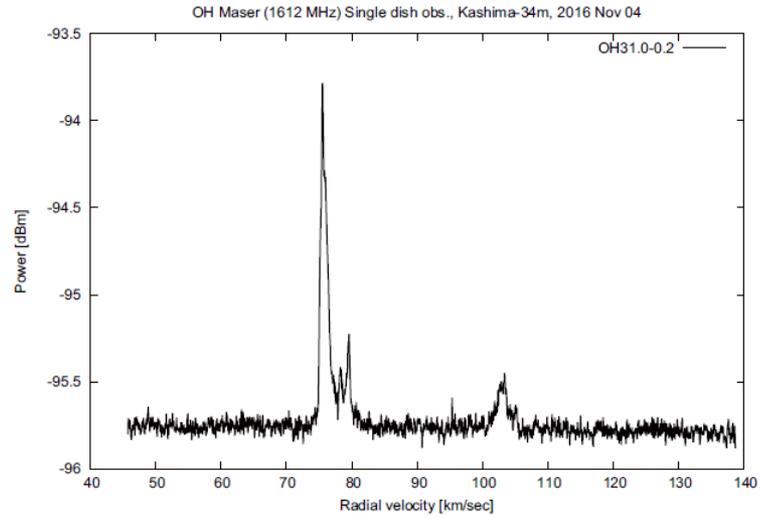
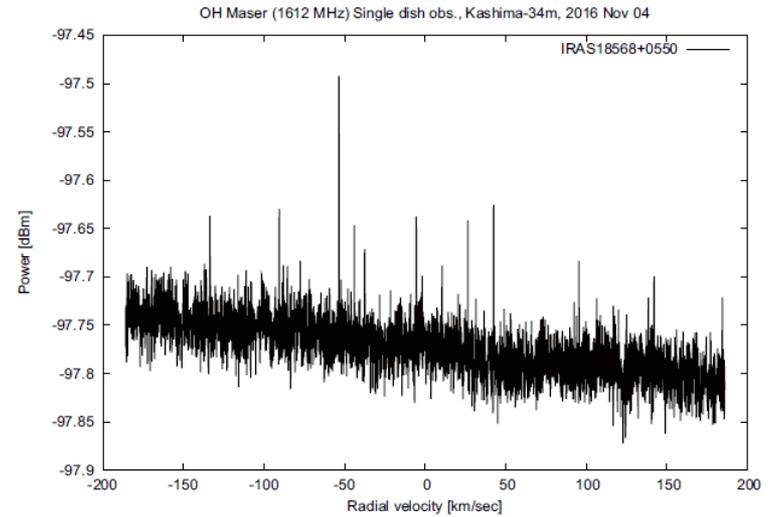
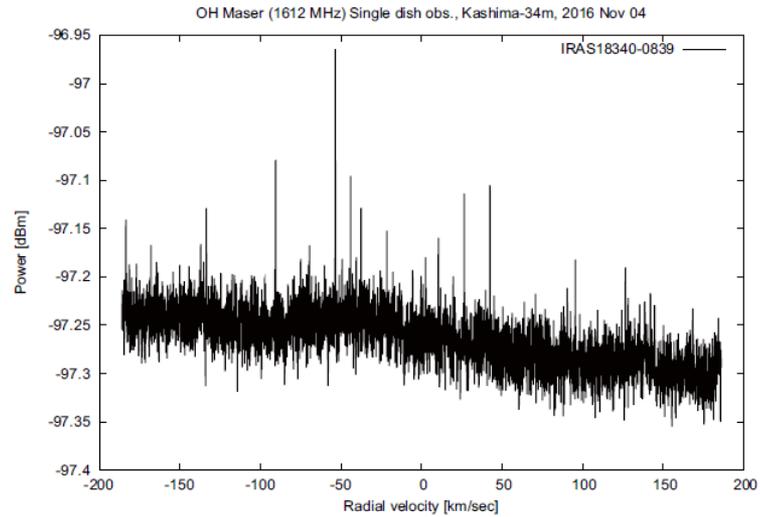
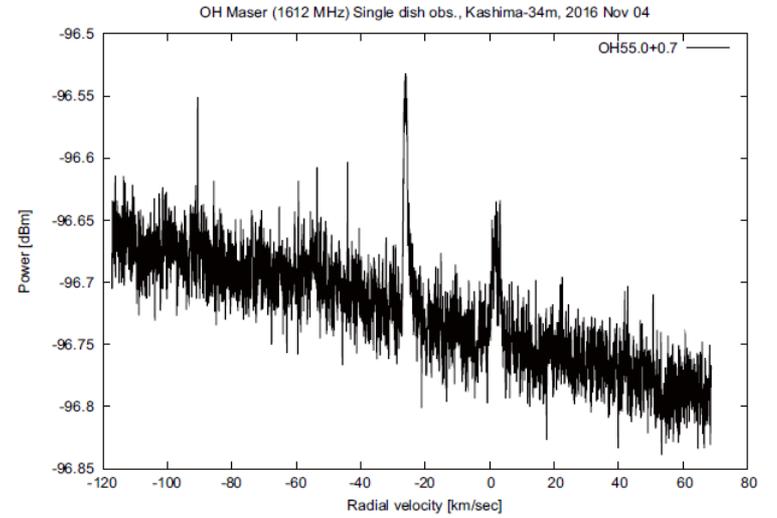
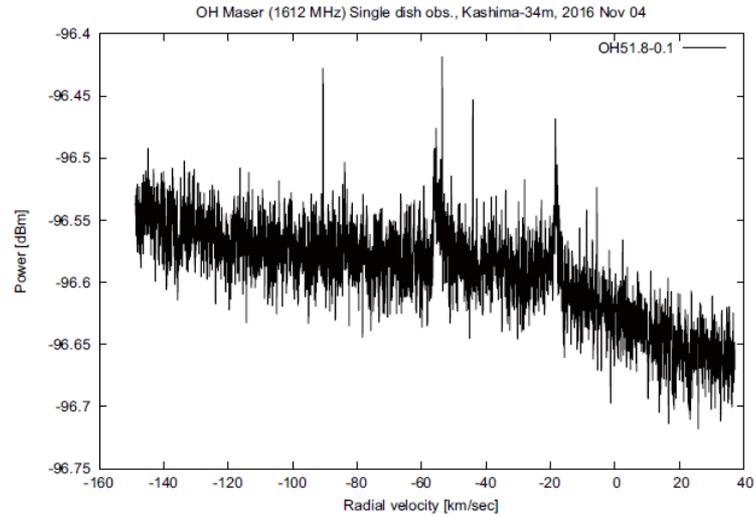


図: W49N 試験データ

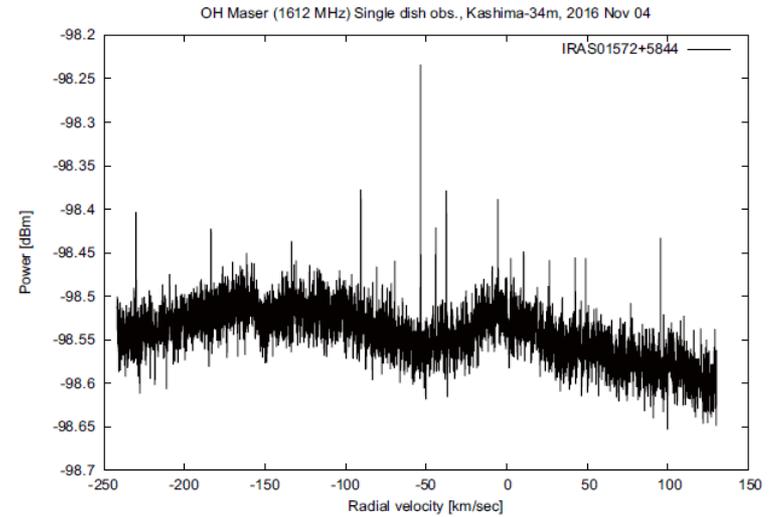
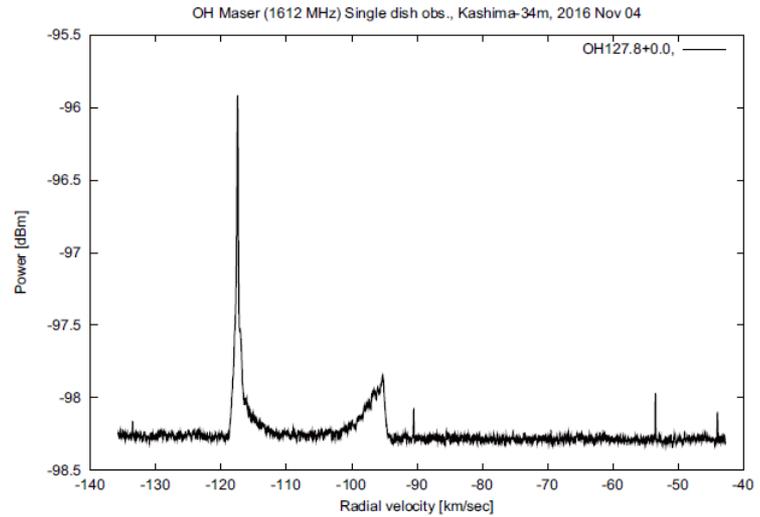
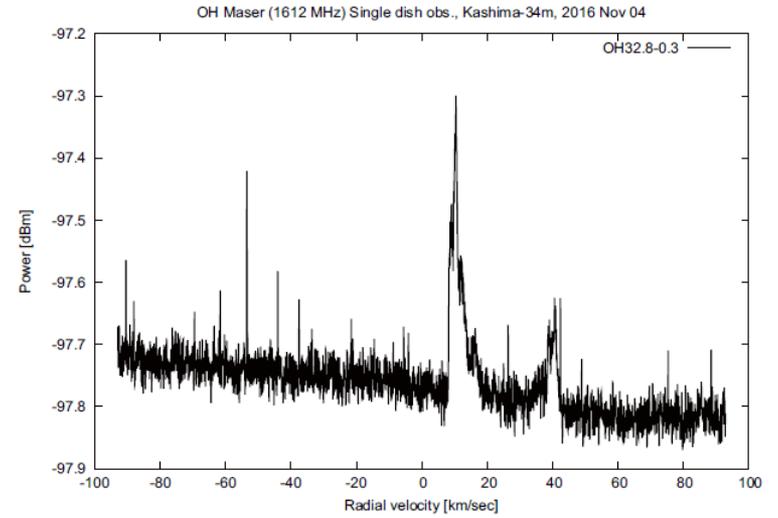
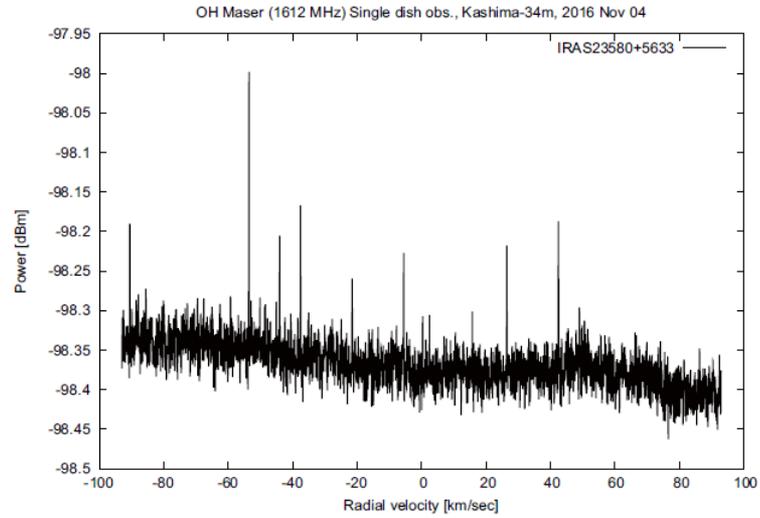
OHメーザー単一鏡観測の結果



OHメーザー単一鏡観測の結果



OHメーザー単一鏡観測の結果



OHメーザー単一鏡観測の結果

- 既知の天体では1天体を除き検出
- 3天体の探査では非検出

| | Name | RA | DEC | OH maser Detection | 備考 |
|----|-------------------|--------------|--------------|-----------------------|----|
| 1 | IRAS23580+5633 | 00 00 34.5 | +56 50 15 | × | 探査 |
| 2 | OH127.8+0.0 | 01 33 51.21 | +62 26 53.2 | ○ | |
| 3 | IRAS 01572+5844 | 02 00 45.558 | +58 59 11.62 | × | |
| 4 | OH 358.162 +0.490 | 17 39 14.906 | -30 14 24.45 | ○ | |
| 5 | IRAS18340-0839 | 18 36 47.59 | -08 36 45.1 | × | 探査 |
| 6 | OH 26.5 +0.6 | 18 37 32.51 | -05 23 59.2 | ○ | |
| 7 | OH 27.3 +0.2 | 18 40 21.91 | -04 57 10.7 | ○ | |
| 8 | OH 31.0 +0.0 | 18 47 40.97 | -01 44 55.4 | ○ | |
| 9 | OH 32.8-0.3 | 18 52 22.255 | -00 14 11.84 | ○ | |
| 10 | IRAS18568+0550 | 18 59 20.74 | +05 54 41.1 | × | 探査 |
| 11 | OH 51.8 -0.1 | 19 27 42.04 | +16 37 24.0 | ○ | |
| 12 | OH 55.0 +0.7 | 19 30 29.48 | +19 50 41.0 | ○ | |

まとめと今後の検討

背景 VERAで進めてきた周期光度関係の確立について、より長い周期を持つ天体への展開を検討

目的 周期が長い(P>1000日)OH/IR星の、
 (1) OHメーザー探査
 (2) 変光周期の決定

観測

- ・2016年11月4日(金) 鹿島にて観測を実施
- ・周波数 1612 MHz
- ・明るいOHメーザーを選出して試験的に観測を行った
- ・3天体の探査も実施

結果

- ・鹿島34m鏡で1612MHzのOHメーザーを検出した
- ・探査を行った3天体ではOHメーザーは非検出

課題

- ・Flux Density の較正をどの程度正確にできるか
- ・周期決定に必要な強度較正の精度と観測頻度

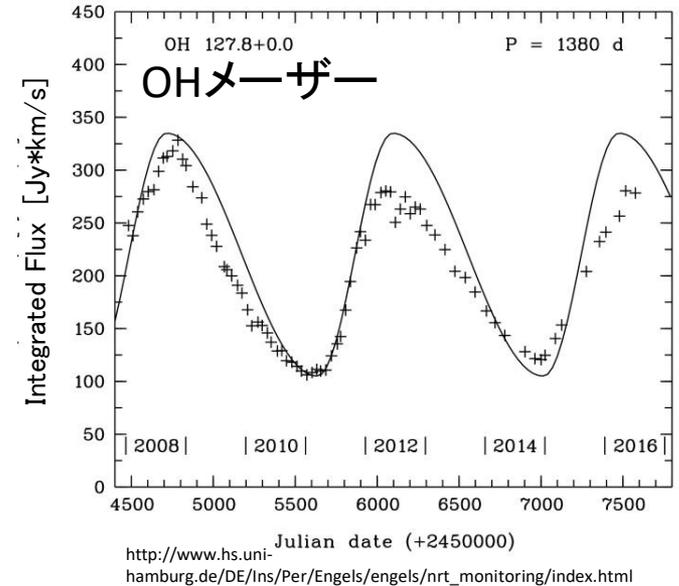
Nançay 1612 MHz データベース

- ・周期500－2200日のOH/IR星
- ・振幅は20－300 Jy

$$\frac{\text{振幅(p-p)}}{\text{平均 Flux density}} \cong 90\%$$

これらの星ではSiOメーザーも高頻度で検出されている(入来での単一鏡)
 → VERAのQバンド位置天文観測のため、Fringe Check観測を準備中

Nançay 1612 MHz monitoring of OH/IR stars



OH Maser (1612 MHz) Period vs Amplitude ratio

