

# VEDA による VERA プロジェクト観測の解析結果報告

2018 年 9 月 25 日

永山匠

VEDA と AIPS の比較結果と VEDA による年周視差の解析結果について報告する。VEDA と AIPS の比較では、位相補償の位相差は  $\sigma = 2$  度、位置差は  $\sigma = 30\mu\text{as}$  で、問題なく一致することを確認した。VEDA 解析の現状把握と統一解析の課題の洗い出したため、10 天体を解析した。位相のフラグの導入で検出スポット数が 2 倍程度増える場合があることがわかった。距離 3 kpc までの視差であれば、容易に測定可能であることがわかった。

## 1 背景

VERA では、2022 年までに銀河系内メーザー源約 200 天体の年周視差と固有運動のカタログ (VERA カタログ) を作成予定である。2018 年までに 125 天体の視差が測定された。しかし、これらの視差測定には

- 統一した解析ではない。
- 2022 年時点での最新の解析手法を用いて再解析する必要がある。

の課題がある。これらの課題の解決のため、専用解析ソフト VEDA を用いた解析が必要である。VEDA による統一解析に向けて、今回は AIPS との比較による VEDA の性能評価と多数天体の解析を行った。

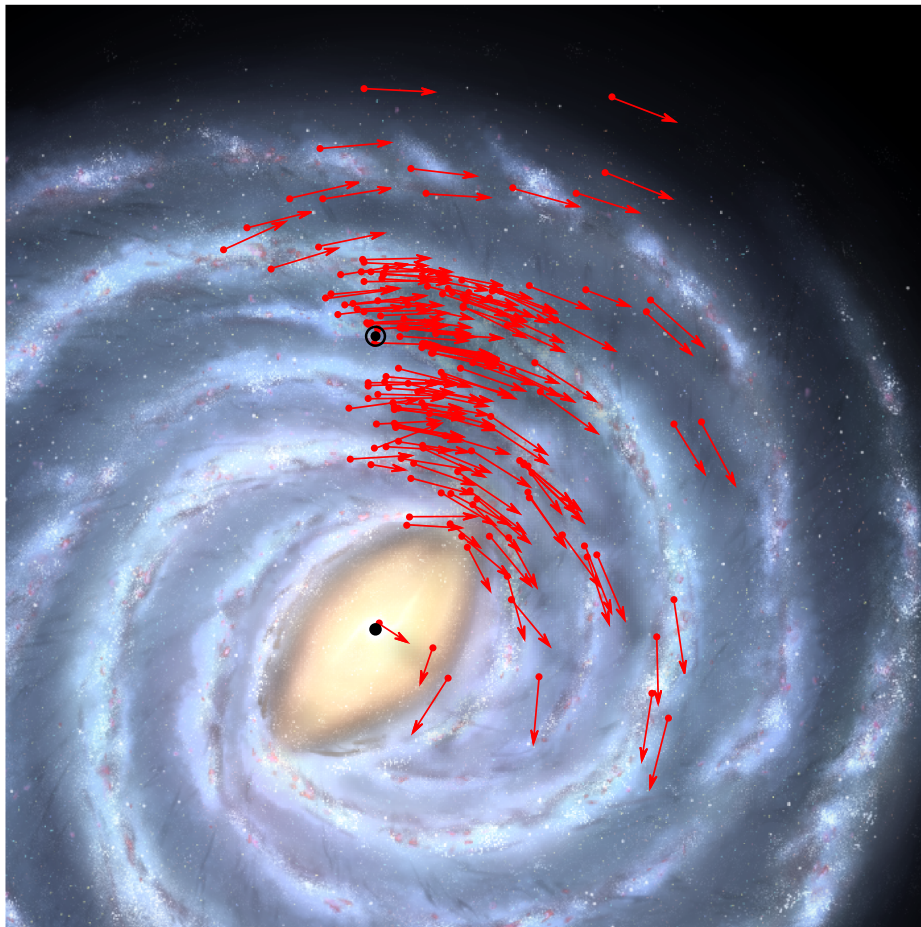


図 1: VERA/VLBA/EVN で測距された銀河系内メーザー源 196 天体の分布 (2018 年 7 月現在。VERA 単独では 125 天体)

## 2 VEDA 解析の流れ

VEDA の解析の流れは以下の通り。

- VERA\_getdata: データ取得
- VERA\_integ: 参照源の周波数・時間方向の積分
- VERA\_Ampcal: 振幅・バンドパスの補正
- VERA\_fringe: 参照源のフリンジサーチ
- VERA\_selfcal: 参照源のセルフキャリブレーション
- VERA\_Doppler: メーザーのドップラー補正
- VERA\_refringe: メーザーのフリンジサーチ
- VERA\_flagref: データのフラグ
- VERA\_mapping: メーザーのマッピング
- VERA\_Findspot: メーザーの同定
- VERA\_fin: 解析結果のプロットのまとめを作成

これらをまとめて解析する VERA\_Pipeline がある。パイプラインを用いると 3 回のコマンド入力と 1 回のパスワード入力で、最終結果の位相補償されたメーザーの位置が得られる。パイプライン化により解析手順の大幅に簡略化され、2017 年 7 月より水沢運用グループ (普段 AOC/ 関連処理を担当するグループ) が解析を担当している。1 観測当たり約 8 時間で終了する。

最新のキャリブレーションデータを用いて再解析する場合は、解析済みのデータを使用し、一部のタスク (fringe, selfcal, refringe, flagref, mapping, Findspot) を実行すれば良い。再解析は 1 観測当たり約 4 時間で終了する。

VEDA は国立天文台天文データセンター (ADC) の共同利用計算機 (多波長データ解析システム) で使用できる。複数の計算機を使用すれば、複数の観測を平行に解析可能である。

## 2.1 フラグ

VERA\_flagref では refringe の RFRG ファイルから flag ファイルに書かれた時間帯を削る。現状 flag ファイルには下記 2 つの時間帯が書かれている。

- $\Delta \text{sec } Z \geq 0.1$  の時間帯 ( $\Delta \text{sec } Z = 0.1$  は位置誤差 0.1 mas 相当、図 3 の 12-13h の位相が暴ける時間帯)
- EL Limit UP ( $\text{EL} \geq 85 \text{ deg}$ ) の時間帯

フラグの効果は以下の通り。

- 位置は  $100 \mu\text{as}$  程度変わる (改善?、VEDA と AIPS で一致するようになる)。図 1 参照。
- 位相補償マップのダイナミックレンジが上がる。
- 検出スポット数が 2 倍程度増える。図 2 参照。

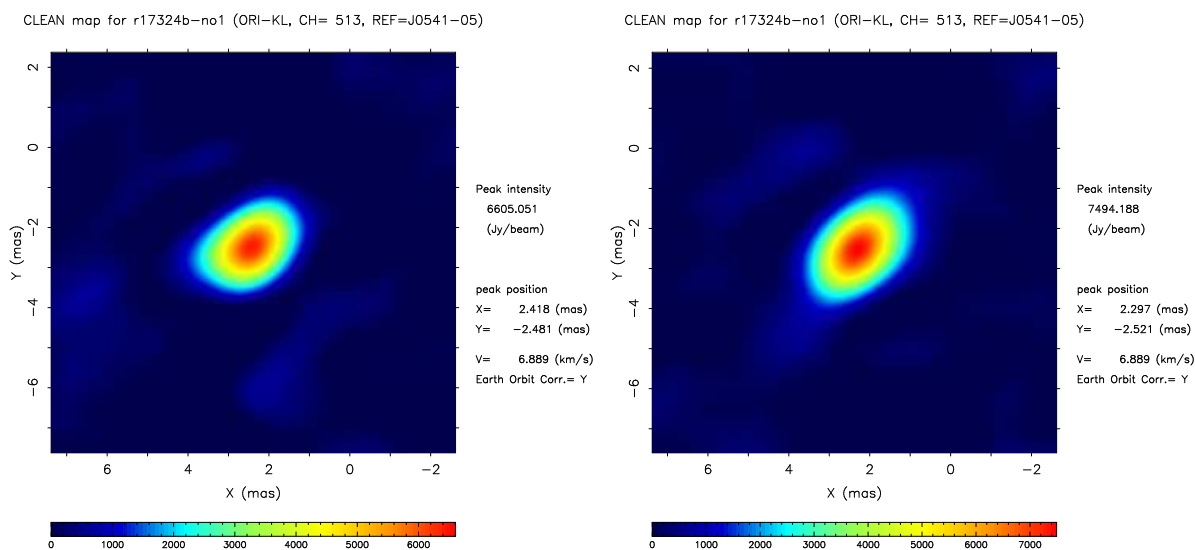


図 2: r17324b ORI-KL 513CH の位相補償マップ。左がフラグ無し。右がフラグ有り。フラグの有無で位置は (0.121, 0.040) mas 変わる。Peak intensity は 1.13 倍変わる。フラグ無しは赤経方向にやや伸びているが、フラグ有りではこれが無くなる。

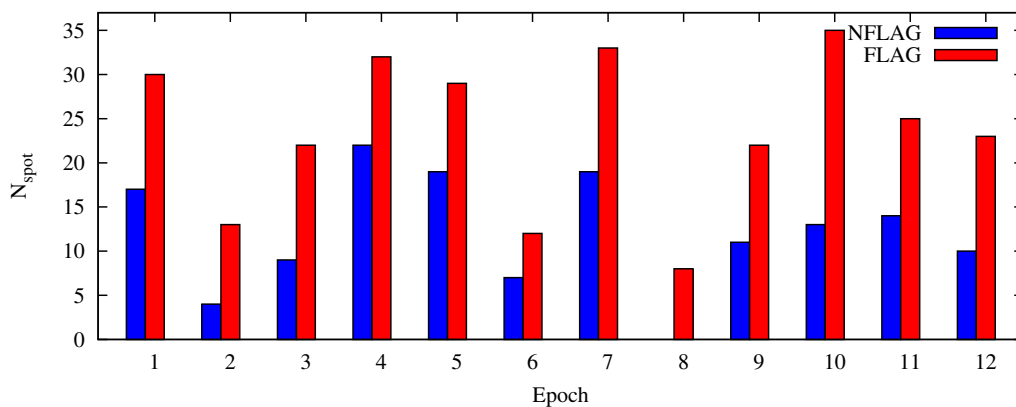


図 3: J1912159 の 12 観測のフラグ有無による検出スポット数の違い。青がフラグ無し、赤がフラグ有り。検出スポット数は VERA\_Findspot で判定された数。

### 3 VEDA と AIPS との比較

#### 3.1 位相

ORI-KL r17324b 観測の VERA\_refringe の位相 (参照源 fringe、参照源 selfcal、2 ビーム、遅延追尾の全ての補正を適用後の位相) を図 3 に示す。全ての補正が完璧に成功した場合、この位相はメーザースポットの位置と構造の情報のみを示す。VEDA と AIPS で位相の振る舞いは一致しており、系統的なオフセットは無い。位相差は平均で 2 度以内、標準偏差で約 10 度である。

同じデータで同じ熱雑音のため、本来は位相差はより良く一致すべきだろう。今回の比較は、積分時間は同じだが、ソフトの都合上、積分区間 (開始と終了) は同じではない。区間内に含まれる熱雑音が異なるため、どうしても熱雑音分のゆらぎは現れる。

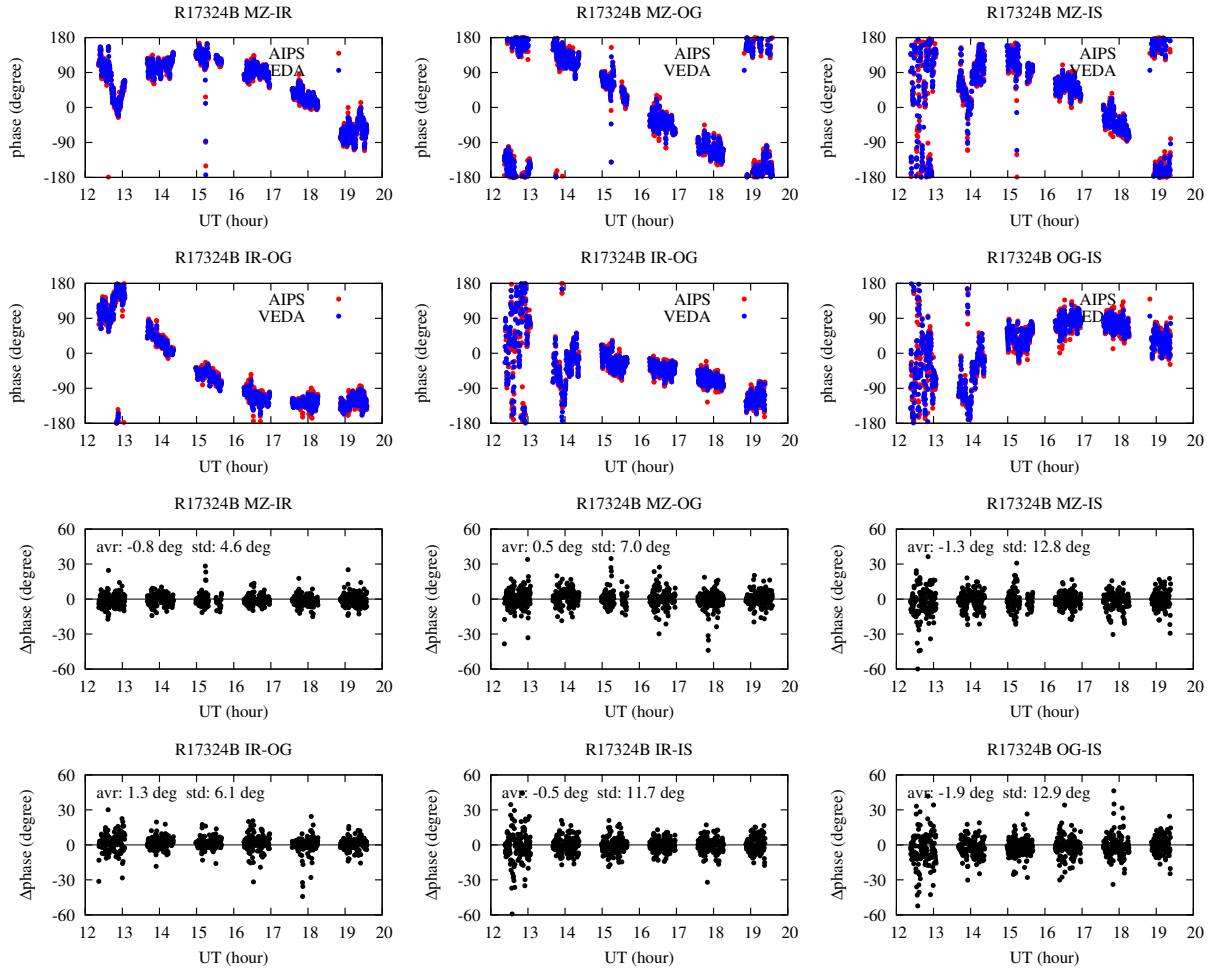


図 4: AIPS と VEDA の位相補償後の位相 (ORI-KL r17324b)。上段 6 つの赤が AIPS、青が VEDA。トラッキングセンターからのずれ  $(X, Y) = (2.3, -2.5)$  mas 分の位相変化が見える。UT12-13h は  $EL \leq 20$  度の低仰角のため位相変化が激しい。下段 6 つが AIPS - VEDA の差分。左上の数字は平均値 (avr) と標準偏差 (std)。

### 3.2 位置

VEDA と AIPS で位相のキャリブレーションは一致することを確認した。また、UV は少なくとも 7 桁は一致することも確認した。通常、同じ位相、同じ UV を使用しイメージングした場合、同じ位置になるはずである。

ORI-KL の年周視差と位置の比較結果を図 4 に示す。VEDA と AIPS で位置は  $\sigma = 30\mu\text{as}$  で一致することを確認した。この比較では、位相が暴ける  $\Delta \text{sec } Z \geq 0.1$  の低仰角のデータを省いている (前述のフラグを参照)。

赤緯方向に約  $70\mu\text{as}$  とオフセットの大きい 1 観測目は 1 チャンネルに 2 スポット、4 と 5 観測目は石垣島抜き 3 局の観測である。複雑な位相や変わった UV の場合は、オフセットが大きめに出る傾向がある。

ORI-KL

05h35m14.1278s -05d22'36.529"

AIPS

$\pi = 2.461 \pm 0.033 \text{ mas}$

$(\sigma_x, \sigma_y) = (0.069, 0.099) \text{ mas}$

VEDA

$\pi = 2.459 \pm 0.029 \text{ mas}$

$(\sigma_x, \sigma_y) = (0.060, 0.123) \text{ mas}$

AIPS-VEDA

$(\mu_x, \mu_y) = (0.011, -0.014) \text{ mas}$

$(\sigma_x, \sigma_y) = (0.023, 0.034) \text{ mas}$

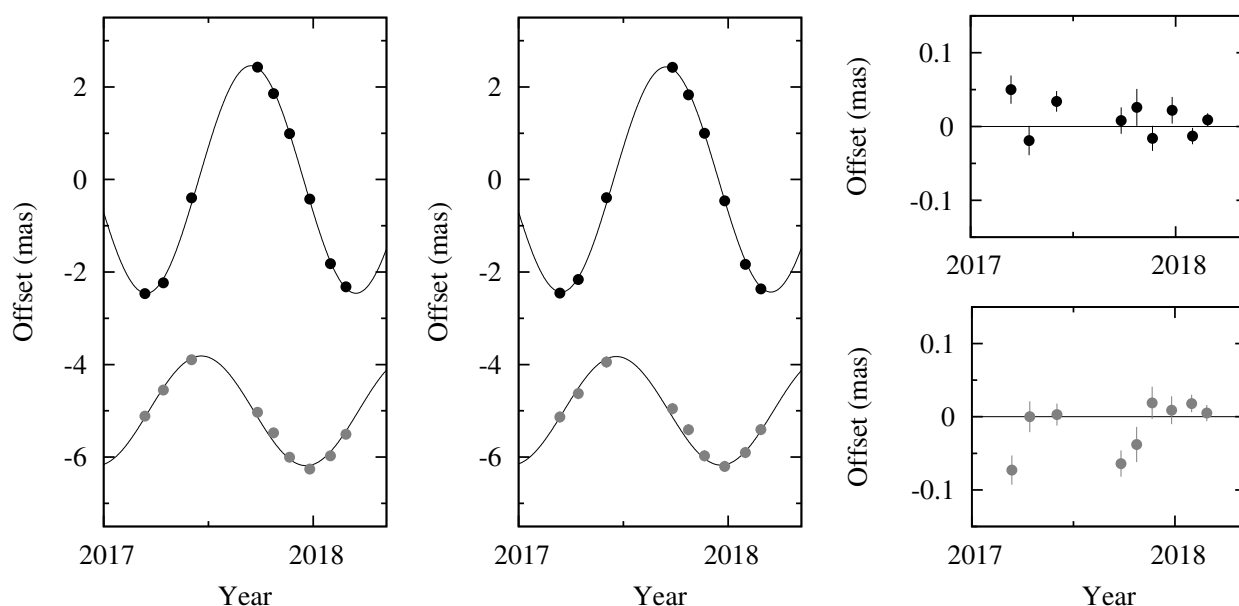


図 5: AIPS と VEDA の年周視差と位置の比較 (ORI-KL)。左が AIPS、中央が VEDA、右が AIPS-VEDA の位置の差分。黒色が赤経方向、灰色が赤緯方向。

### 3.3 VEDA-AIPS 比較時の注意点

- VEDA と AIPS で電離層補正の方法が異なる (VEDA は位相のみ、AIPS は遅延と位相の両方を補正)。今回の試験では、AIPS の補正方法に統一している。また VEDA は電離層ファイル読み取りの時間間隔が 2 時間のままである。2012 年より 1 時間なので更新する必要がある。
- VEDA と AIPS で周波数・速度の割り当てが異なり、1 チャンネルのオフセットがある。
- AIPS の位相補償イメージの原点に注意する。原点はイメージファイルのヘッダーに記載されており imh で確認できる。imsize 2048 2048 の場合、原点は  $(X_0, Y_0) = (1024, 1025) \text{ pixel}$  である。

## 4 VEDA による年周視差の解析結果

表 1 の 10 天体の視差と固有運動を測定した。図 5, 6, 7 に視差と内部運動を示す。結果は以下の通り。

- 固有運動 (内部運動) 測定と 3 kpc 以内の視差測定は、FindSpot 結果を並べるだけで良い。これで位置精度  $\sigma = 100\mu\text{as}$  と視差精度 10% が概ね達成される。
- 3 kpc より遠い視差測定は、Tsys、2 ビーム位相較正、fringe 結果、位相補償マップなどを精査し、使用データや観測を選択する必要がある。

BX-ERI は 1 スポットのみでの検出のため、内部運動の図は無し。I23385 は 1 年通して検出されたスポットが無いので、数値より精度は悪いことに注意。

表 1: 天体リスト

No	Name	$\alpha(\text{J2000})$	$\delta(\text{J2000})$	$\pi$ (mas)	$\mu_\alpha \cos \delta$ (mas yr <sup>-1</sup> )	$\mu_\delta$ (mas yr <sup>-1</sup> )	$v_{\text{LSR}}$ (km s <sup>-1</sup> )
1	V637-PER	03h54m02.2604s	+36d32'17.883"	$0.953 \pm 0.024$	$-0.17 \pm 0.29$	$-0.51 \pm 0.20$	$-97.2 \pm 1.0$
2	BX-ERI	04h40m32.7762s	-14d12'02.710"	$2.116 \pm 0.105$	$6.90 \pm 0.38$	$-10.42 \pm 0.23$	0.3
3	I06190	06h21m47.5742s	+10d39'22.811"	$0.217 \pm 0.035$	$0.27 \pm 0.07$	$-0.13 \pm 0.15$	$35.9 \pm 0.3$
4	W-LEO	10h53m37.4325s	+13d42'54.367"	$0.773 \pm 0.240$	$-8.17 \pm 0.29$	$-8.09 \pm 0.31$	$46.7 \pm 0.2$
5	HS-UMA	11h35m30.6878s	+34d52'04.006"	$2.816 \pm 0.095$	$-11.49 \pm 0.25$	$-9.97 \pm 0.43$	$1.8 \pm 0.3$
6	U-CVN	12h47m19.6100s	+38d22'30.500"	$0.911 \pm 0.031$	$-2.55 \pm 0.14$	$-3.26 \pm 0.18$	$-24.0 \pm 0.3$
7	G357.967	17h41m20.2552s	-30d45'07.354"	$0.356 \pm 0.055$	$-3.78 \pm 0.09$	$-6.91 \pm 0.13$	$21.3 \pm 4.0$
8	J1912159	19h12m15.7930s	+10d07'53.085"	$0.192 \pm 0.031$	$-3.61 \pm 0.12$	$-6.96 \pm 0.14$	$57.0 \pm 0.6$
9	J2035098	20h35m09.1650s	+41d38'20.260"	$0.258 \pm 0.022$	$-2.95 \pm 0.14$	$-4.67 \pm 0.24$	$-4.2 \pm 0.7$
10	I23385	23h40m54.5100s	+61d10'28.100"	$0.077 \pm 0.025$	$-2.70 \pm 0.14$	$-1.18 \pm 0.31$	$-52.6 \pm 1.1$

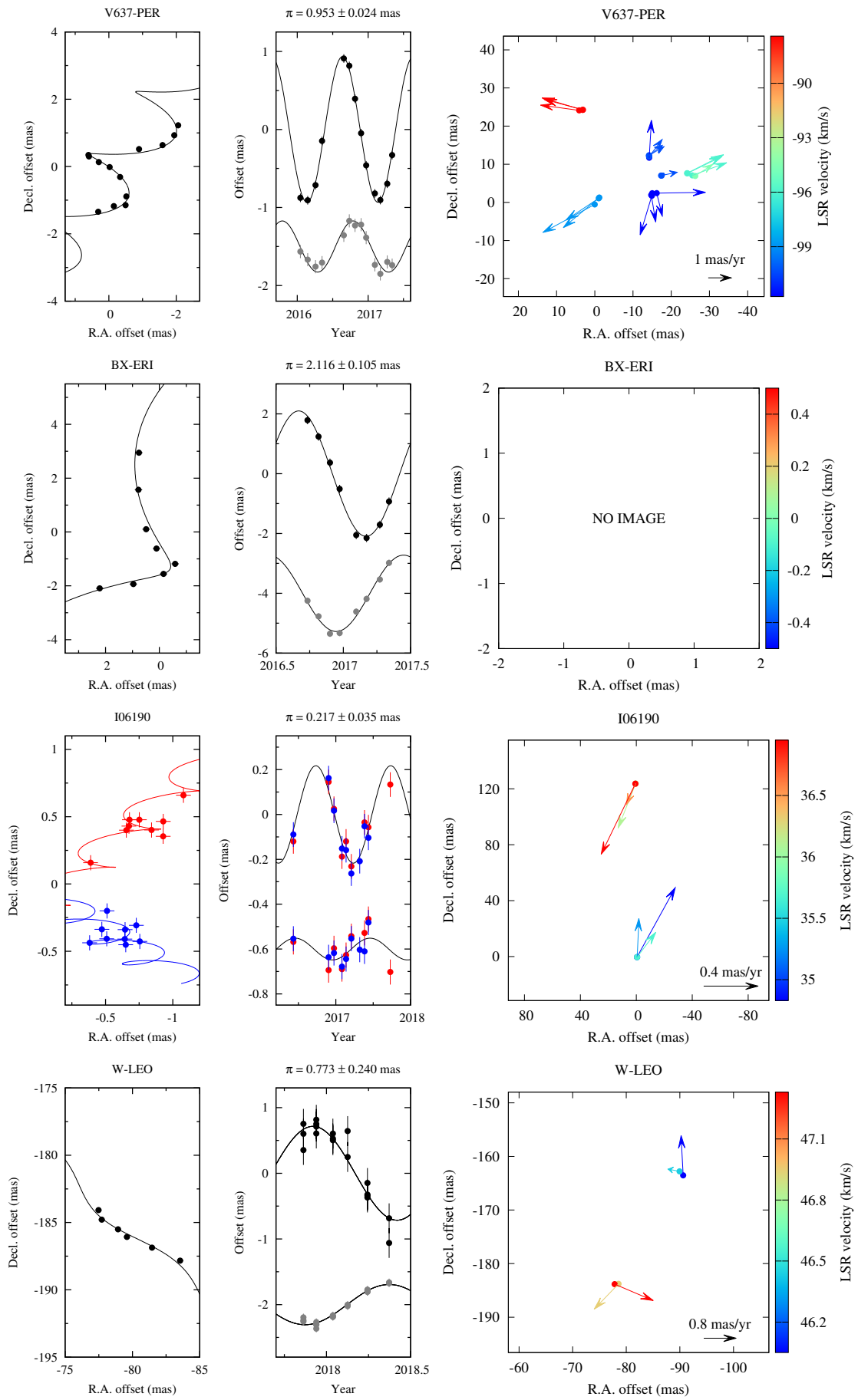


図 6: 視差と内部運動

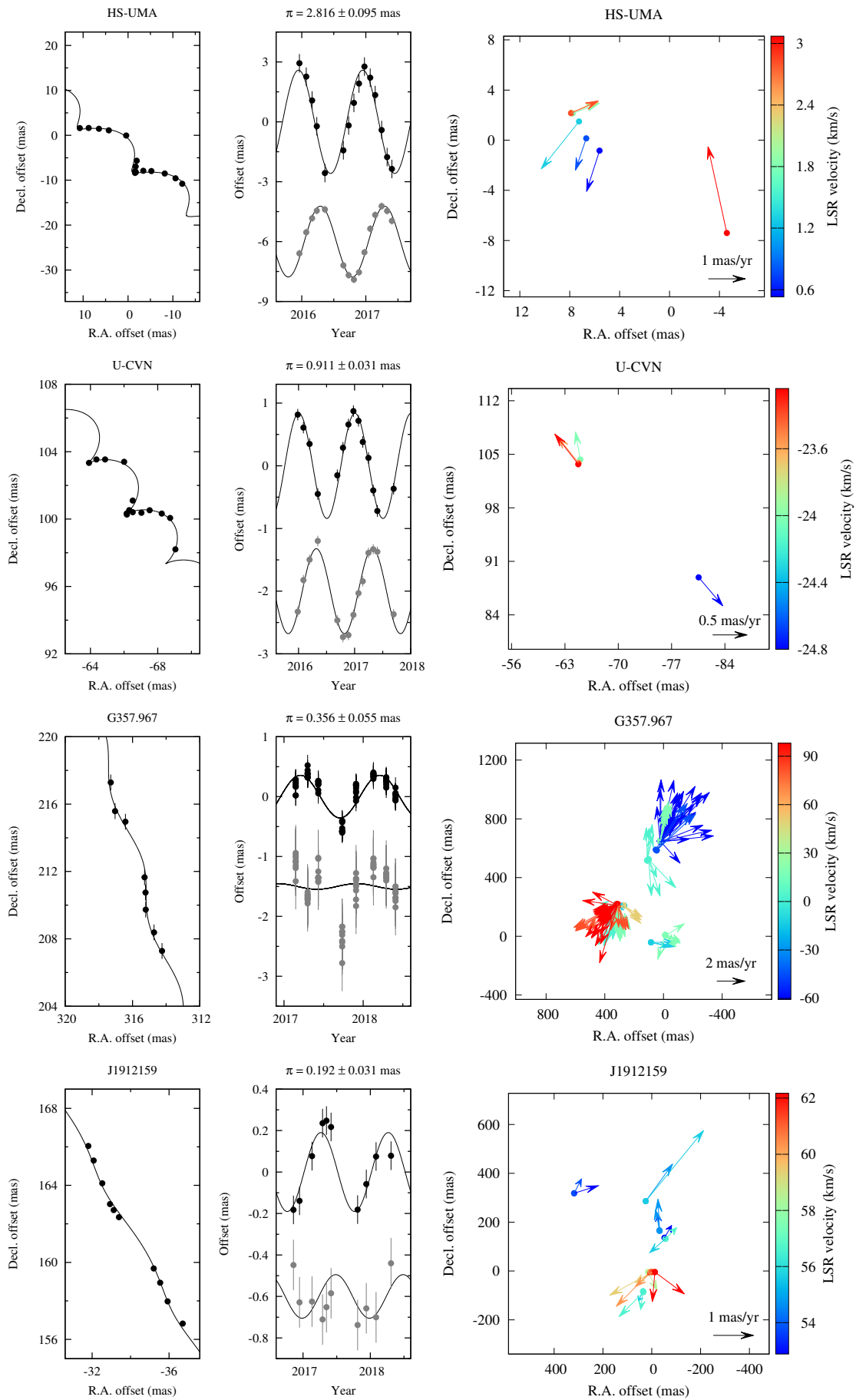


図 7: 視差と内部運動



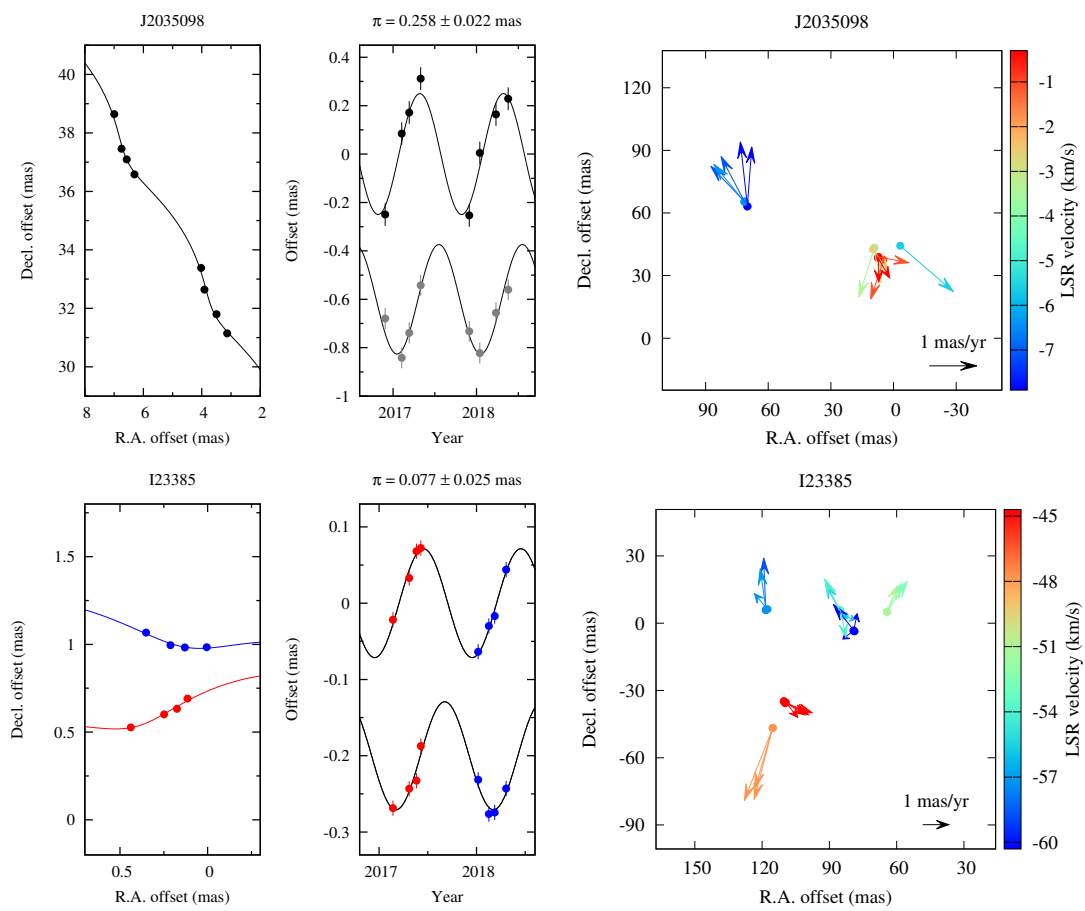


図 8: 視差と内部運動

## 5 結論

今回の AIPS との比較や多数天体の解析で、VEDA の解析に問題が無いことが確認された。2022 年の VERA カタログの作成は VEDA による統一解析で行うだろう。