

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。

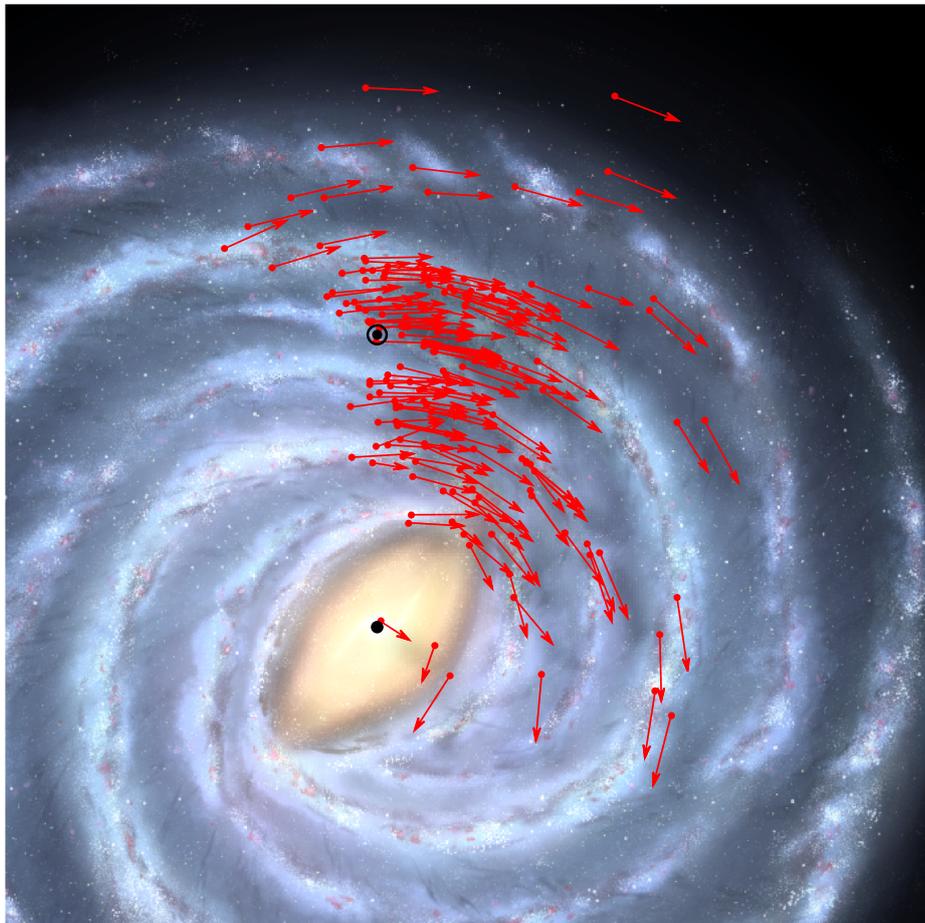


図 1: VERA/VLBA/EVN で測距された銀河系内メーザー源 196 天体の分布 (2018 年 7 月現在。VERA 単独では 125 天体)

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 の位相が暴れる時間帯)
- EL Limit UP ($EL \geq 85 \text{ deg}$) 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。

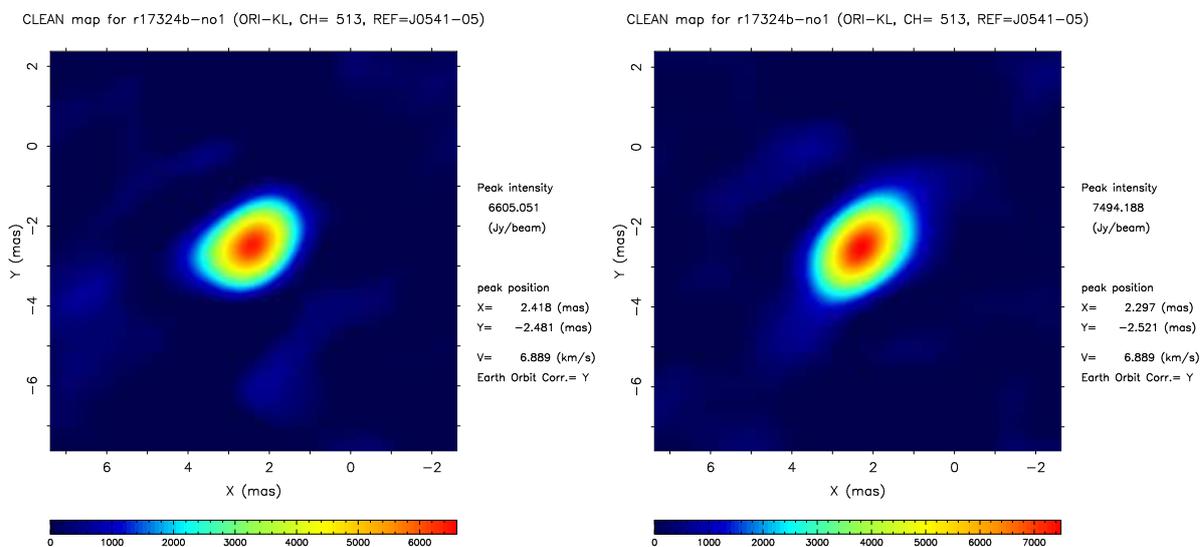


図 2: r17324b ORI-KL 513CH の位相補償マップ。左がフラグ無し。右がフラグ有り。フラグの有無で位置は (0.121, 0.040) mas 変わる。Peak intensity は 1.13 倍変わる。フラグ無しは赤経方向にやや伸びているが、フラグ有りではこれが無くなる。

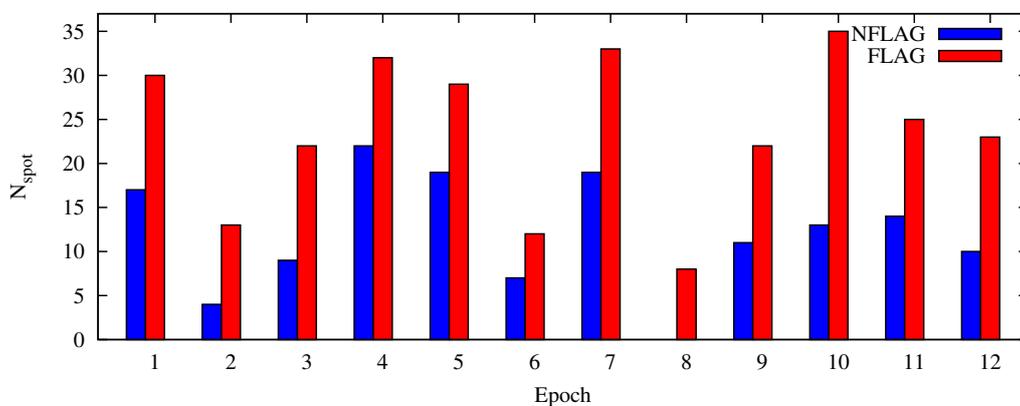


図 3: J1912159 の 12 観測のフラグ有無による検出スポット数の違い。青がフラグ無し、赤がフラグ有り。検出スポット数は VERA_Findspot で判定された数。

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。

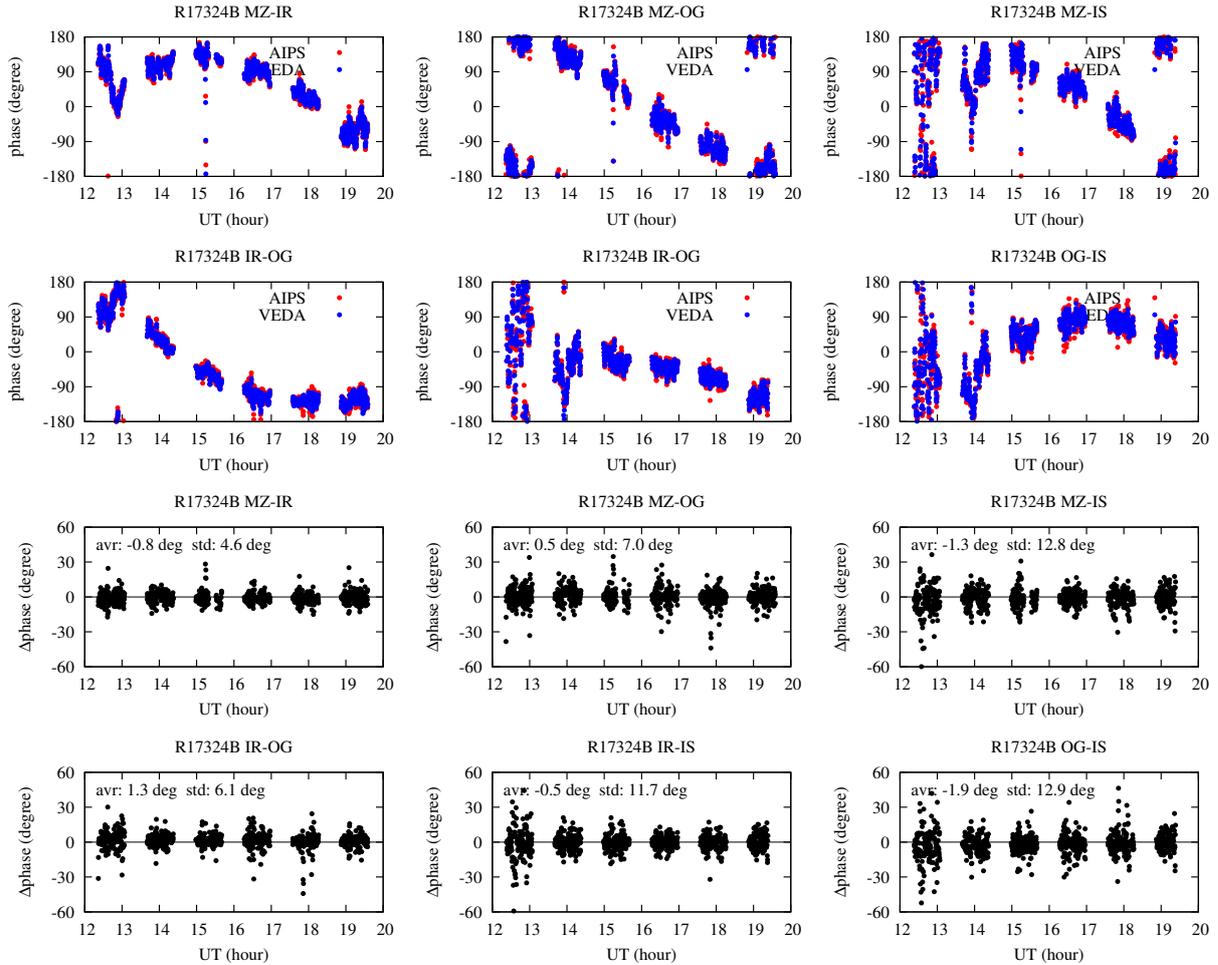


図 4: AIPS と VEDA の位相補償後の位相 (ORI-KL r17324b)。上段 6 つの赤が AIPS、青が VEDA。トラッキングセンターからのずれ $(X, Y) = (2.3, -2.5)$ mas 分の位相変化が見える。UT12-13h は $EL \leq 20$ 度の低仰角のため位相変化が激しい。下段 6 つが AIPS - VEDA の差分。左上の数字は平均値 (avr) と標準偏差 (std)。

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

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

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

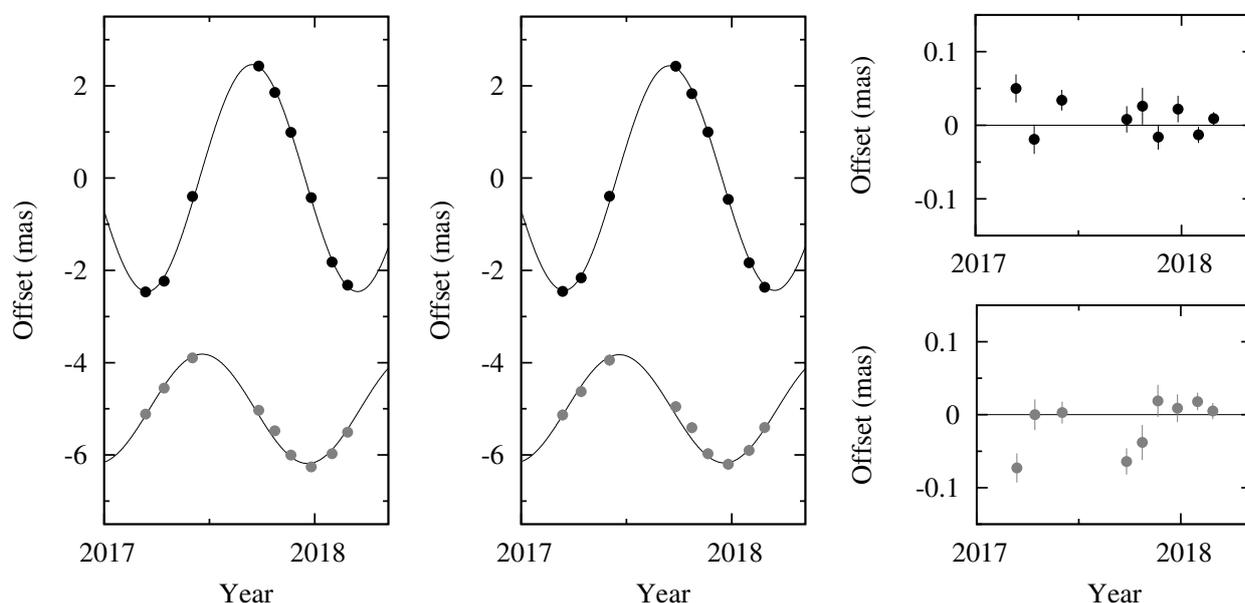


図 5: AIPS と VEDA の年周視差と位置の比較 (ORI-KL)。左が AIPS、中央が VEDA、右が AIPS-VEDA の位置の差分。黒色が赤経方向、灰色が赤緯方向。

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	$\alpha(\text{J2000})$	$\delta(\text{J2000})$	π (mas)	$\mu_\alpha \cos \delta$ (mas yr ⁻¹)	μ_δ (mas yr ⁻¹)	v_{LSR} (km s ⁻¹)
1	V637-PER	03h54m02.2604s	+36d32'17.883"	0.953 ± 0.024	-0.17 ± 0.29	-0.51 ± 0.20	-97.2 ± 1.0
2	BX-ERI	04h40m32.7762s	-14d12'02.710"	2.116 ± 0.105	6.90 ± 0.38	-10.42 ± 0.23	0.3
3	I06190	06h21m47.5742s	+10d39'22.811"	0.217 ± 0.035	0.27 ± 0.07	-0.13 ± 0.15	35.9 ± 0.3
4	W-LEO	10h53m37.4325s	+13d42'54.367"	0.773 ± 0.240	-8.17 ± 0.29	-8.09 ± 0.31	46.7 ± 0.2
5	HS-UMA	11h35m30.6878s	+34d52'04.006"	2.816 ± 0.095	-11.49 ± 0.25	-9.97 ± 0.43	1.8 ± 0.3
6	U-CVN	12h47m19.6100s	+38d22'30.500"	0.911 ± 0.031	-2.55 ± 0.14	-3.26 ± 0.18	-24.0 ± 0.3
7	G357.967	17h41m20.2552s	-30d45'07.354"	0.356 ± 0.055	-3.78 ± 0.09	-6.91 ± 0.13	21.3 ± 4.0
8	J1912159	19h12m15.7930s	+10d07'53.085"	0.192 ± 0.031	-3.61 ± 0.12	-6.96 ± 0.14	57.0 ± 0.6
9	J2035098	20h35m09.1650s	+41d38'20.260"	0.258 ± 0.022	-2.95 ± 0.14	-4.67 ± 0.24	-4.2 ± 0.7
10	I23385	23h40m54.5100s	+61d10'28.100"	0.077 ± 0.025	-2.70 ± 0.14	-1.18 ± 0.31	-52.6 ± 1.1

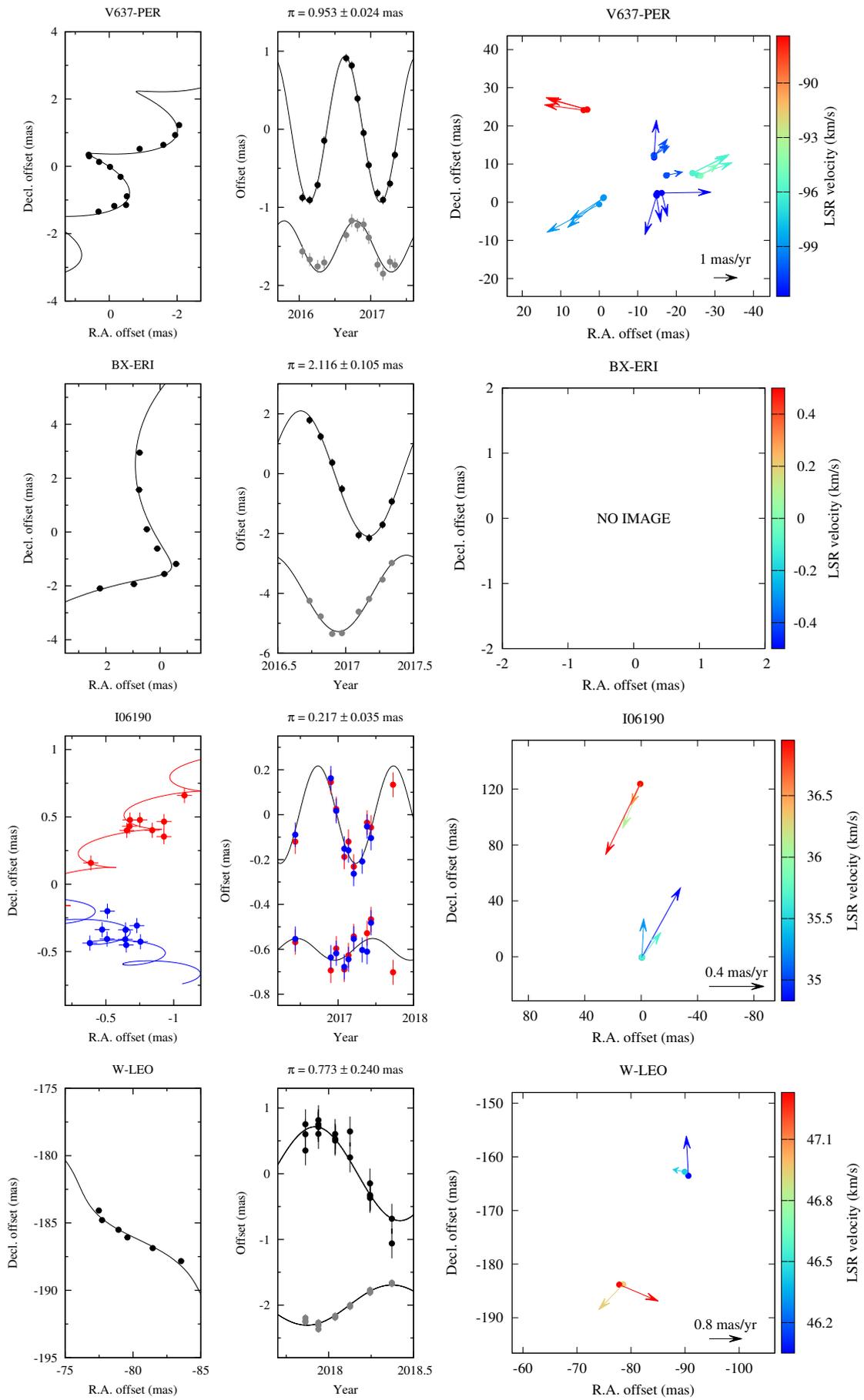


図 6: 視差と内部運動

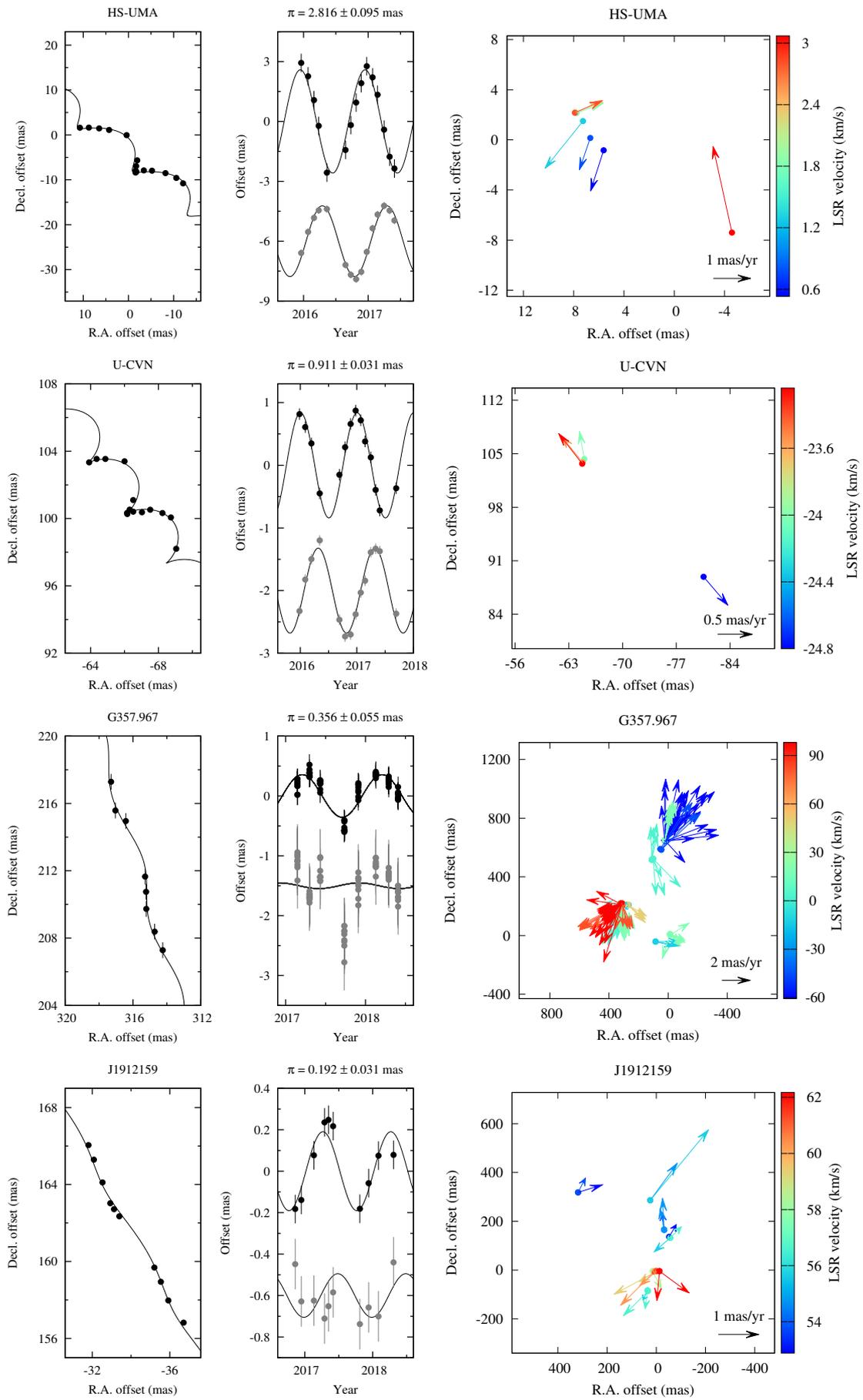


図 7: 視差と内部運動

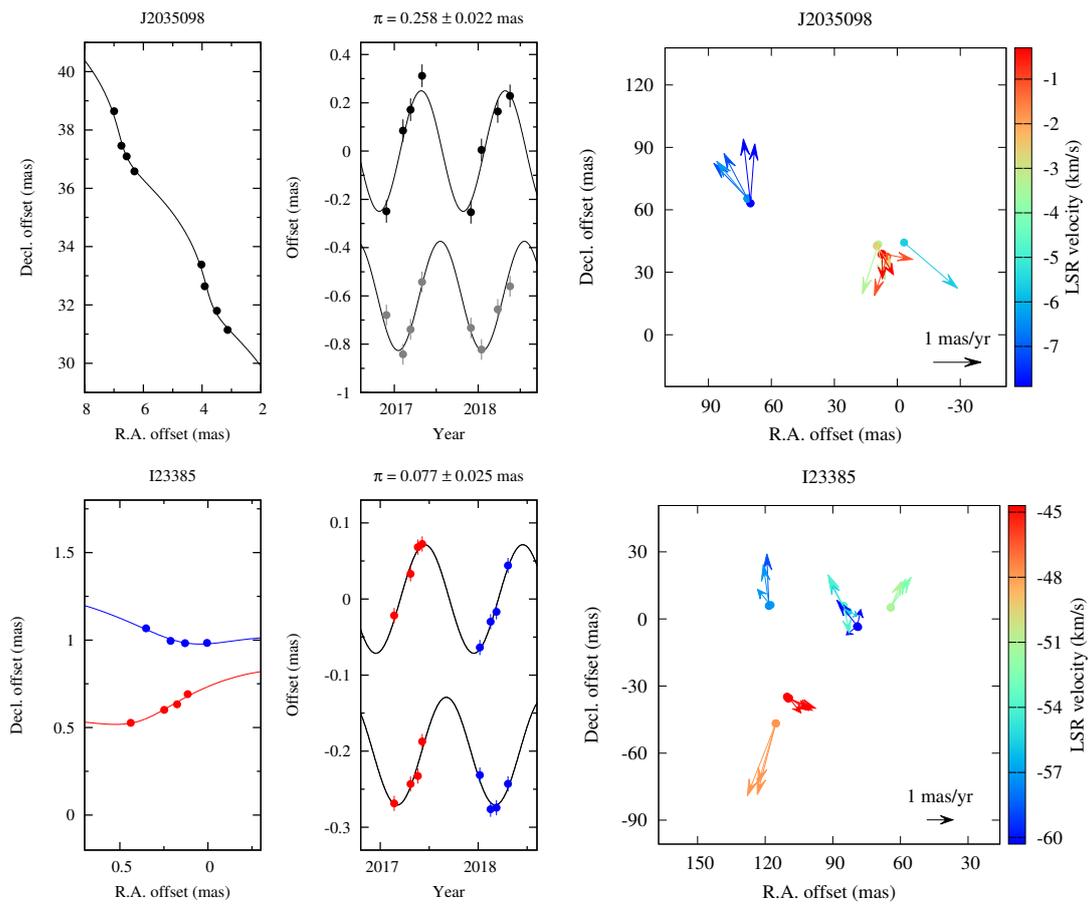


図 8: 視差と内部運動

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。