

1. イントロダクション

6.7 GHz メタノールメーザーの VLBI 研究の現状

おもな星間メーザーの付随領域

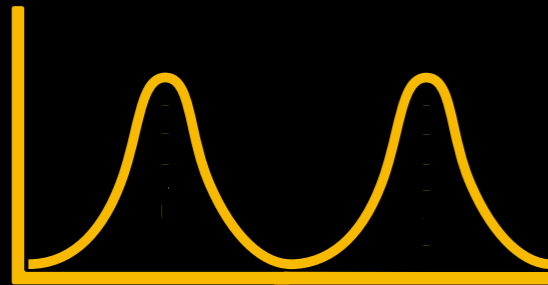
メーザー	星形成領域 SFR		活動銀河核	晩期型星
	低質量星 Low-mass	大質量星 High-mass	AGN	AGB
水	○	○	○	○
OH		○	○	○
メタノール	Class I	○	○	○
	Class II		◎	
SiO		○	○	○

6.7 GHz メタノールメーザーが大質量星形成を解き明かすプローブ
 として非常に有効であることが認知されている。(Breen et al. 2013)

6.7 GHz メタノールメーザー

単一鏡観測

スペクトル

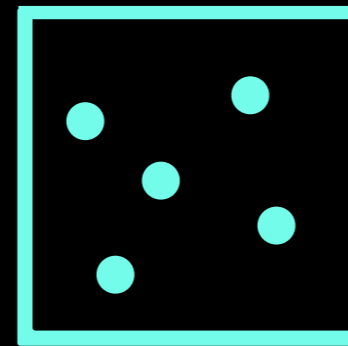


強度変動, 偏波 etc.

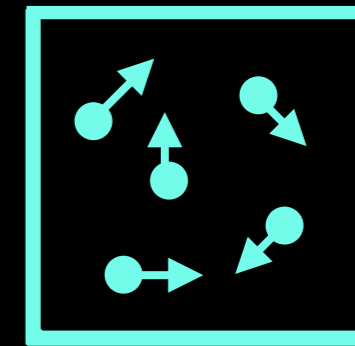
観測天体数
1000~

VLBI 観測

イメージング



空間分布



固有運動

100~

10~

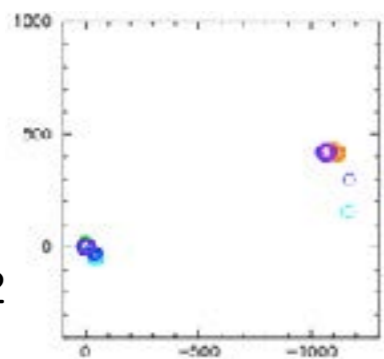
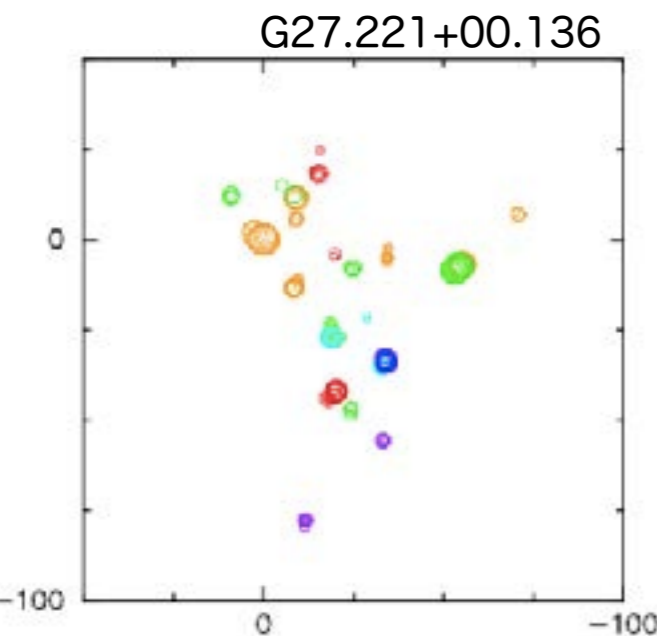
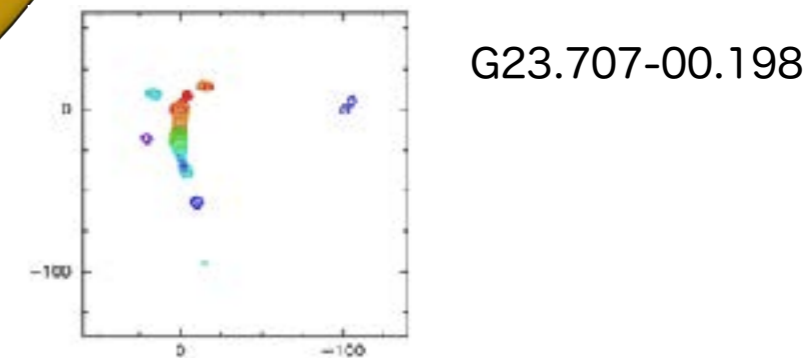
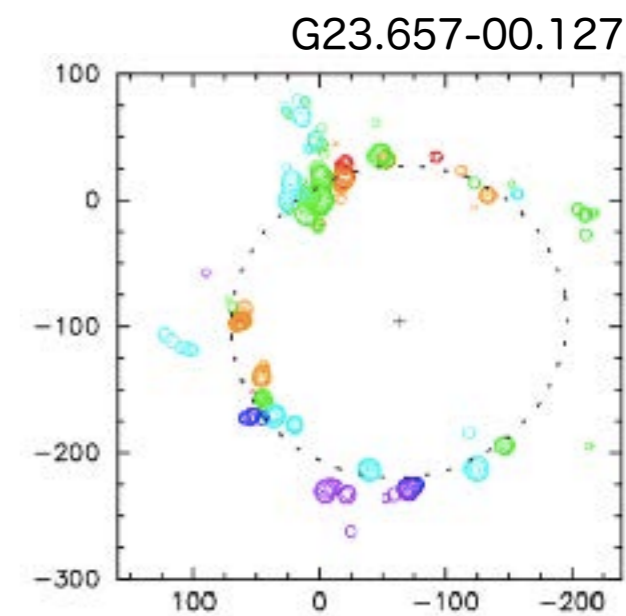
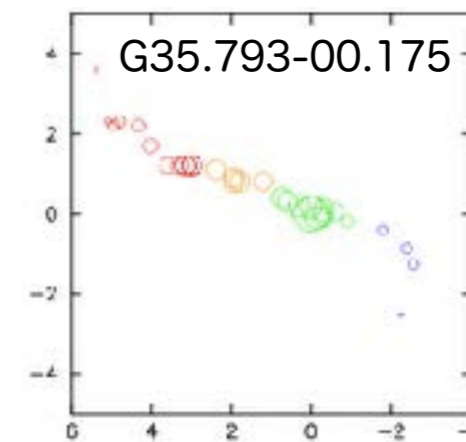
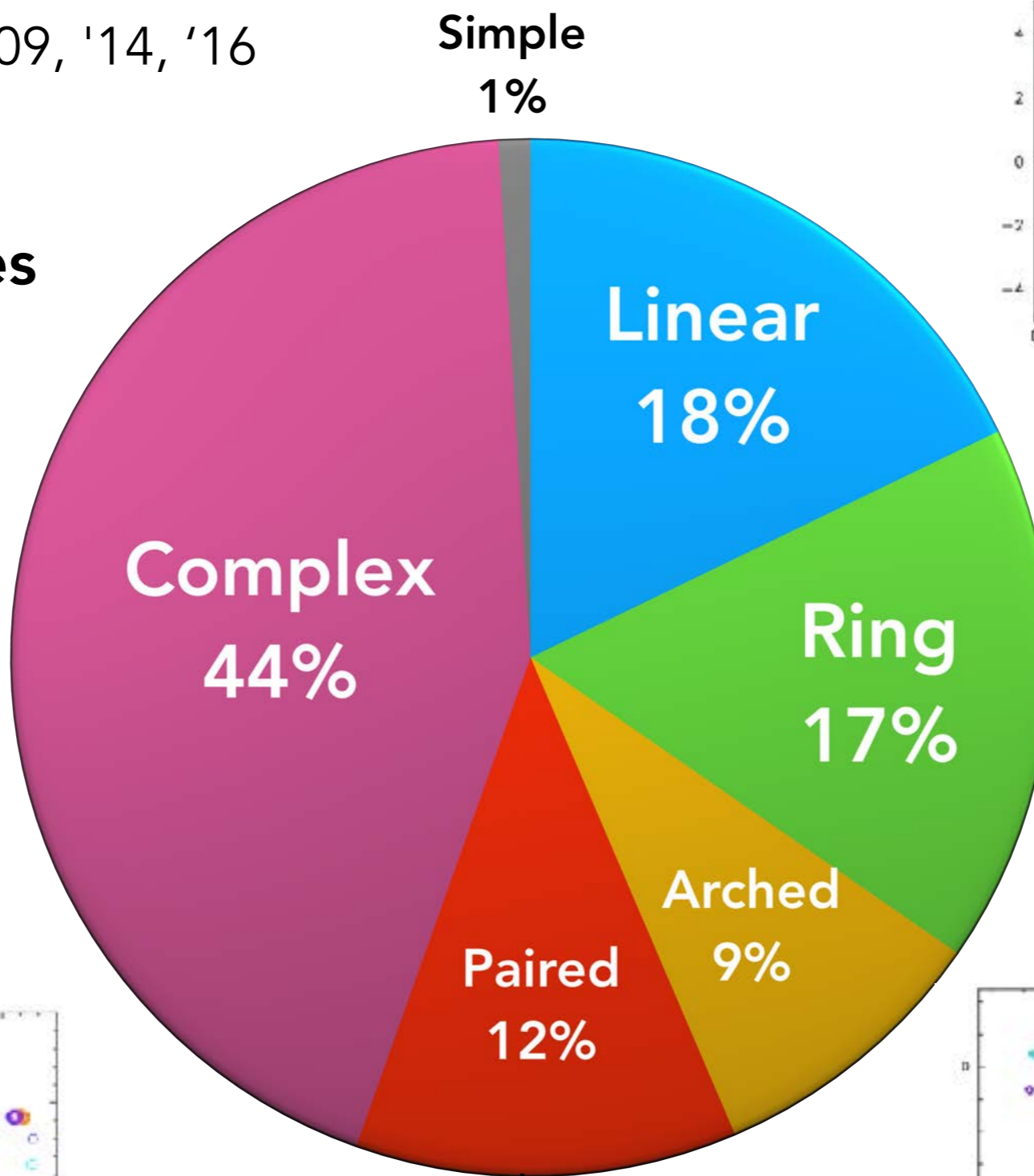
固有運動の導出例は**圧倒的に少ない**

空間分布 (形状分類)

Bartkiewicz et al. 2009, '14, '16

Fujisawa et al. 2014

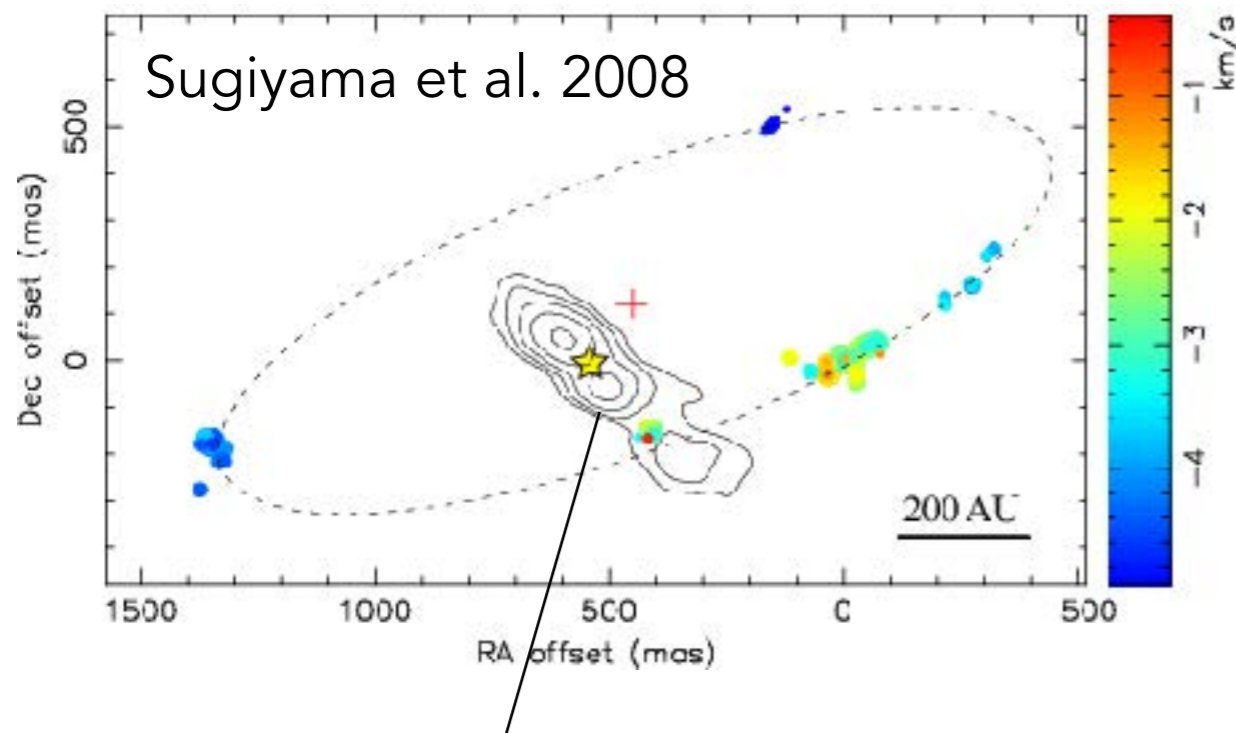
Total 101 sources



内部固有運動 (その1)

Cep A HW-2 (Arched)

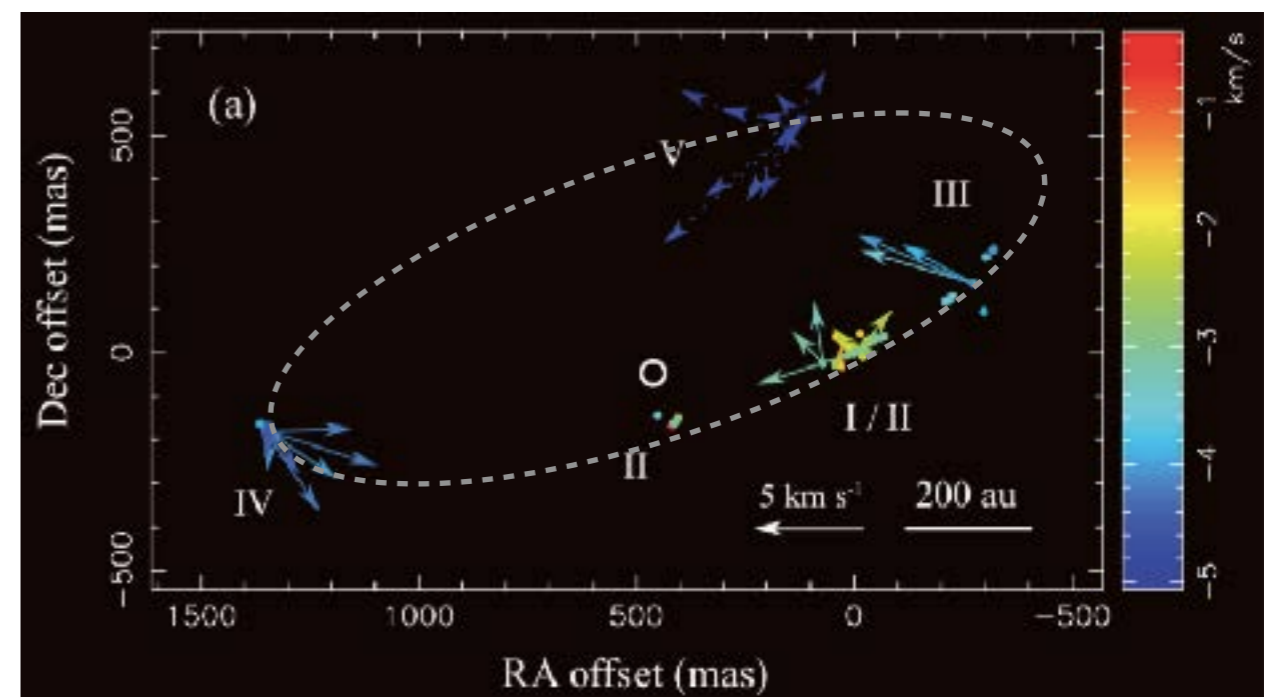
☆ : Peak of 43 GHz continuum emission



コントアー：電波ジェット
(VLA 22 GHz continuum)

ジェットに垂直な円盤状の分布

メーザーで **降着円盤** への
トレースを実証した初の例



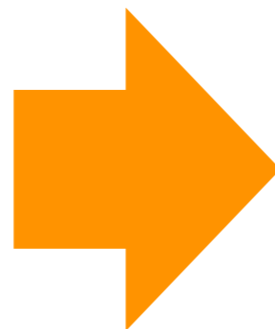
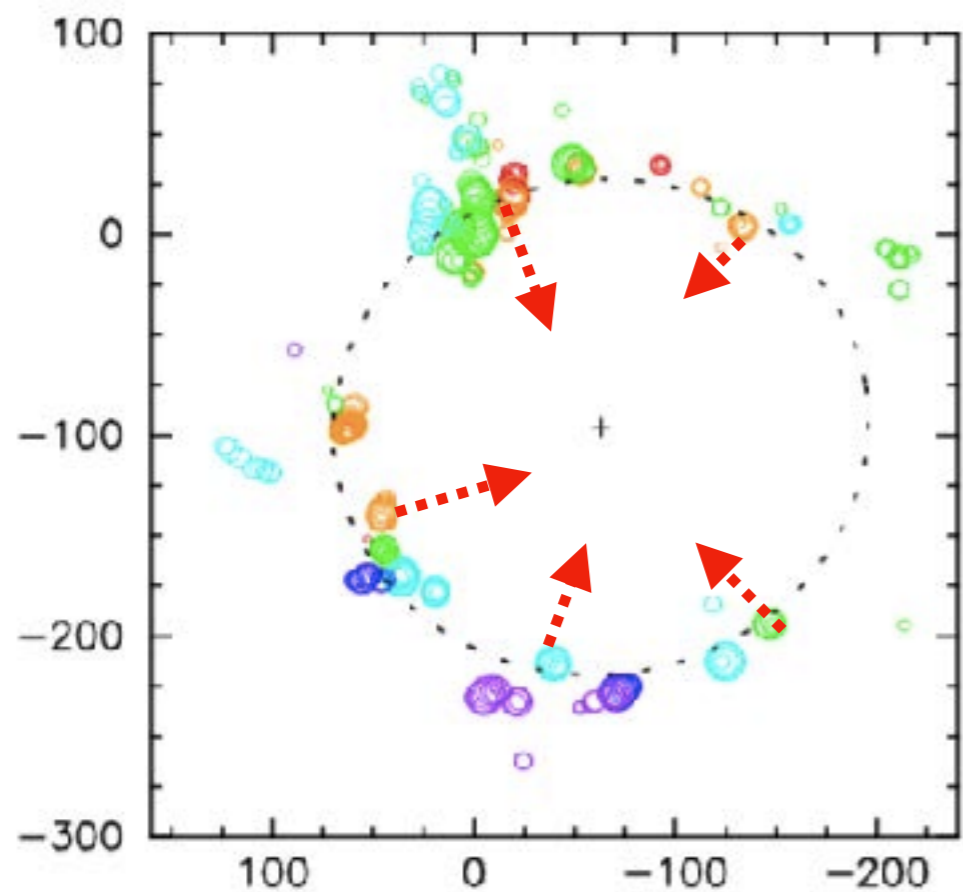
反時計回りに**回転**

+

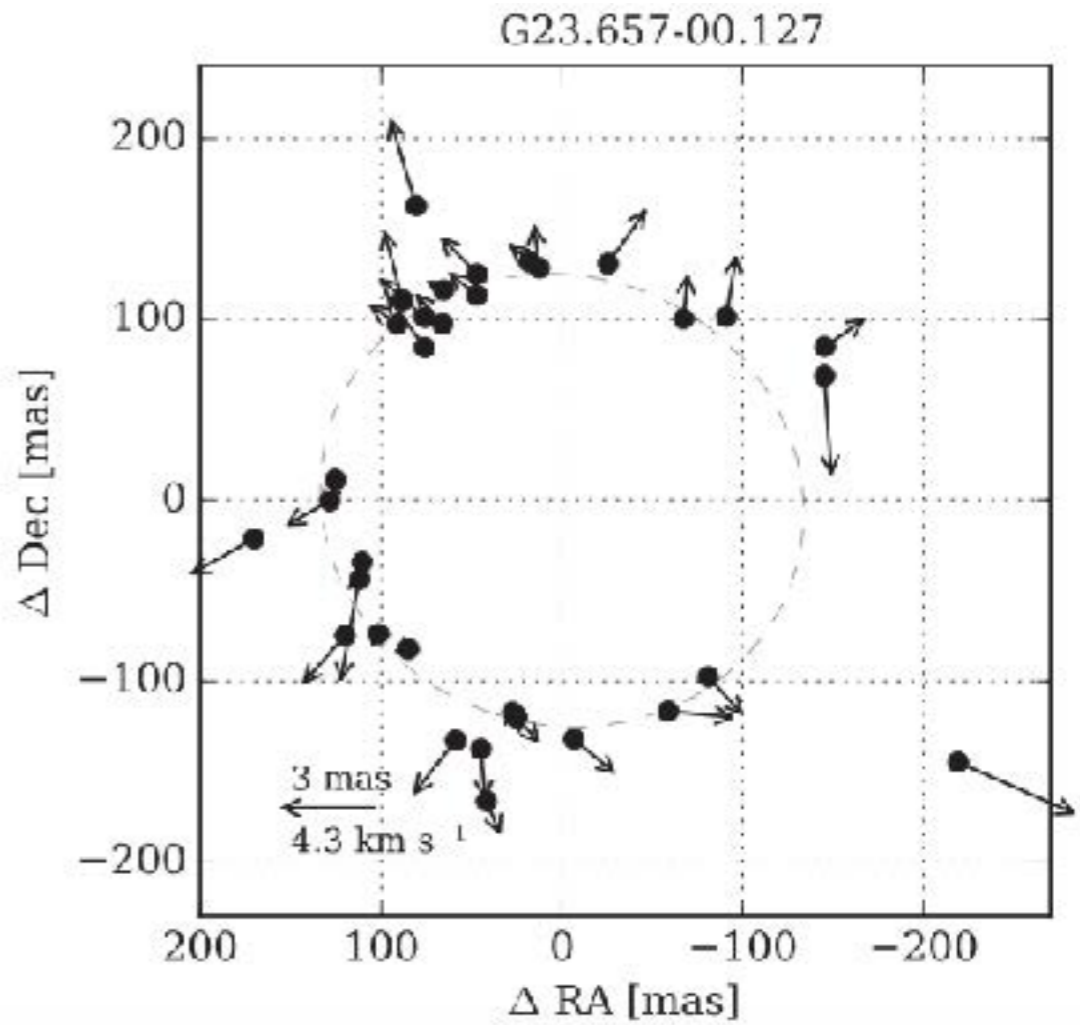
中心に向かって**インフォール**!

内部固有運動 (その2)

G23.657-00.127 (Ring)



**リングだから降着円盤 ×
形状のみでは言えない**



降着円盤をトレースするならば
中心に**インフォール**するはず...

膨張運動

予想とは反するものだった

研究目的



半数以上存在するよくわからない分布 (Paired・Complex)の
6.7 GHz メタノールメーザーが**アウトフロー**に付随するか？

▶ 内部固有運動の計測により直接検証する

アウトフロー

降着円盤

原始星

2. ターゲット天体

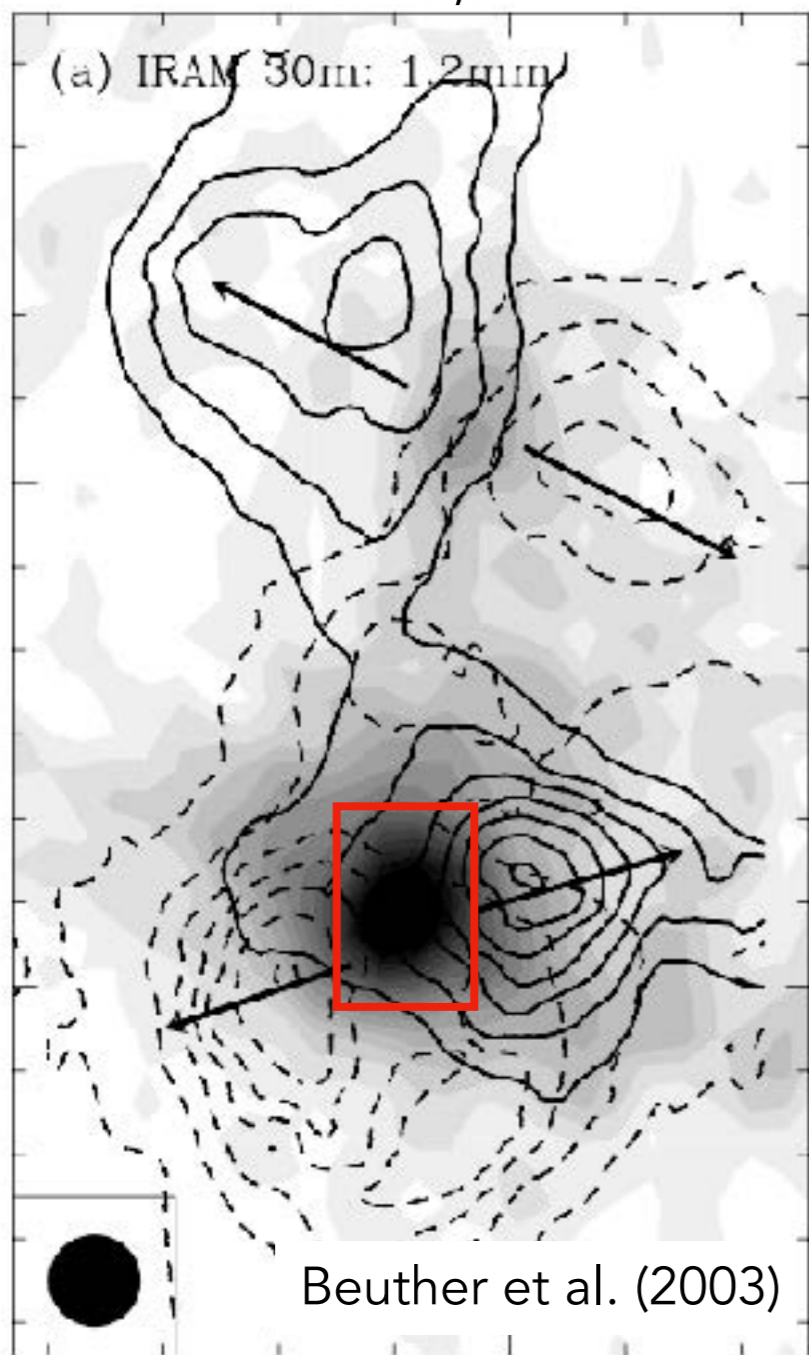
～G59.783+0.065～

2. ターゲット天体 ~ G59.783+0.065 ~

COや赤外線で見える活発なアウトフロー

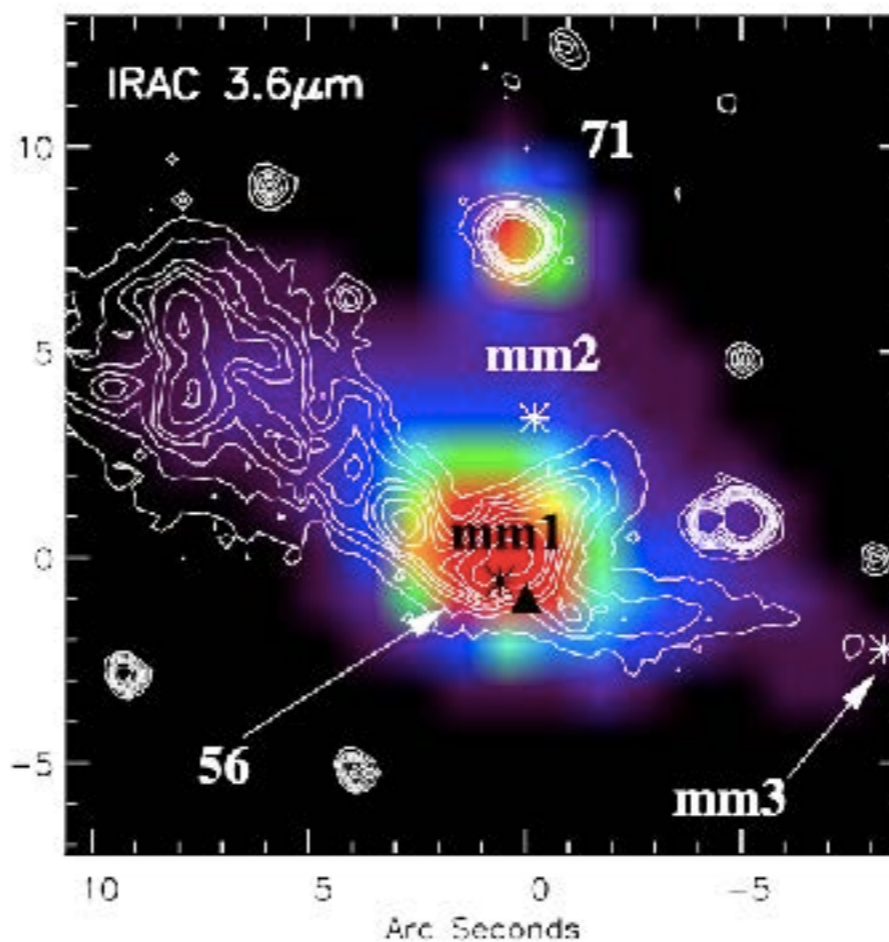
CO (2-1) emission

Red : dashed, Blue : solid



赤道座標[J2000.0]	19h 43m 11.247s, +23° 44' 03.287"
距離	2.16 kpc (~7,000光年)
光度	~ 10 ⁴ Lsun
推定星質量	10 - 20 Msun
ガス質量	840 Msun
静止視線速度	22.4 km/s

Xu et al.(2009), Beuther et al.(2002c, 2003), Rodon et al. (2012)



← 赤外線画像

◆ Color :
Spitzer IRAC 3.6 μm

◎ Contours :
Las Campanas 2.5 m
Ks-band (1.99-2.31 μm)

▲ : 3.6 cm cont.

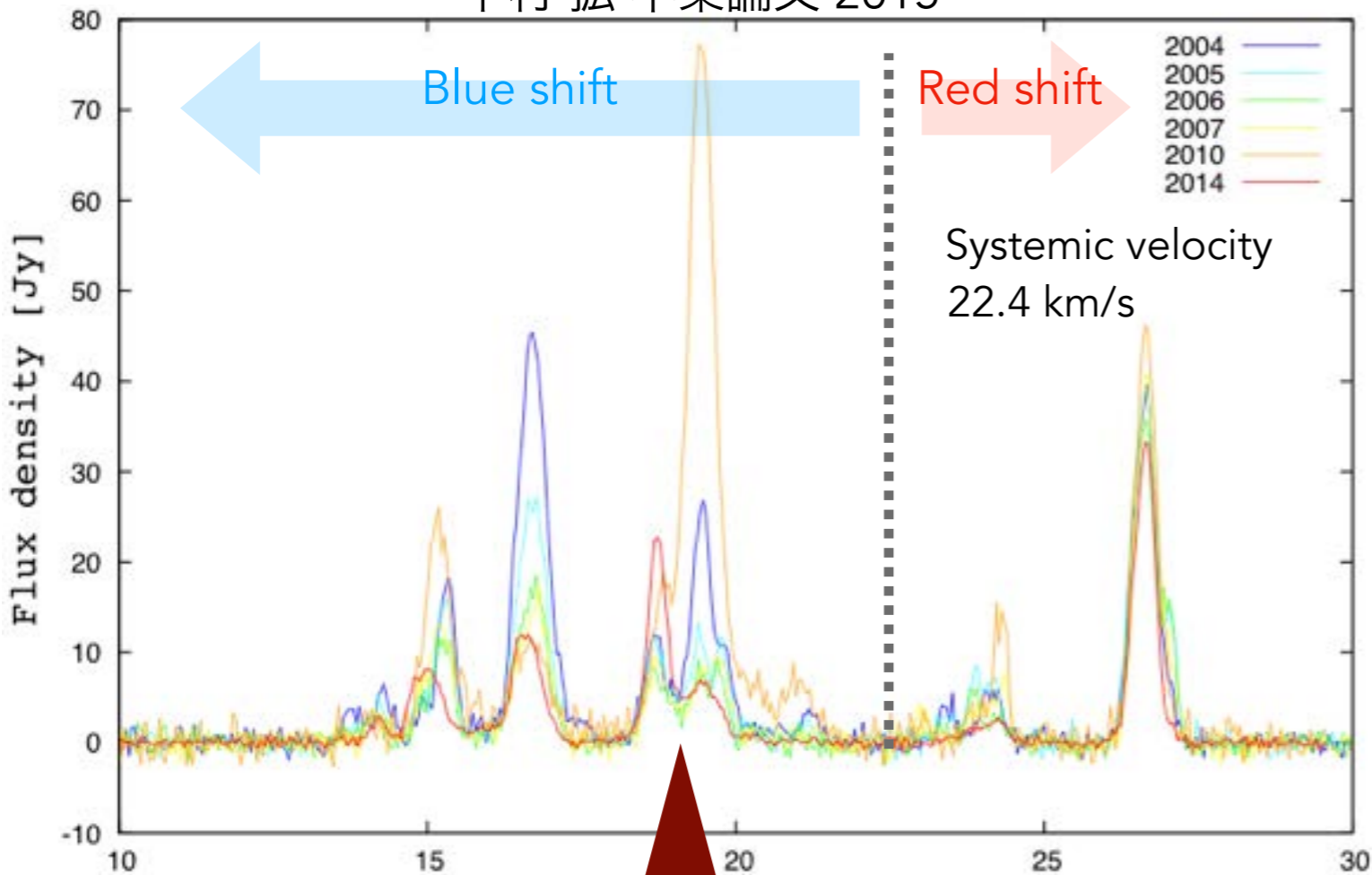
* : 1.2 mm cont.

Martín-Hernández et al. (2008)

6.7 GHz メタノールメーザー

スペクトル (2004-'07, '10, '14)

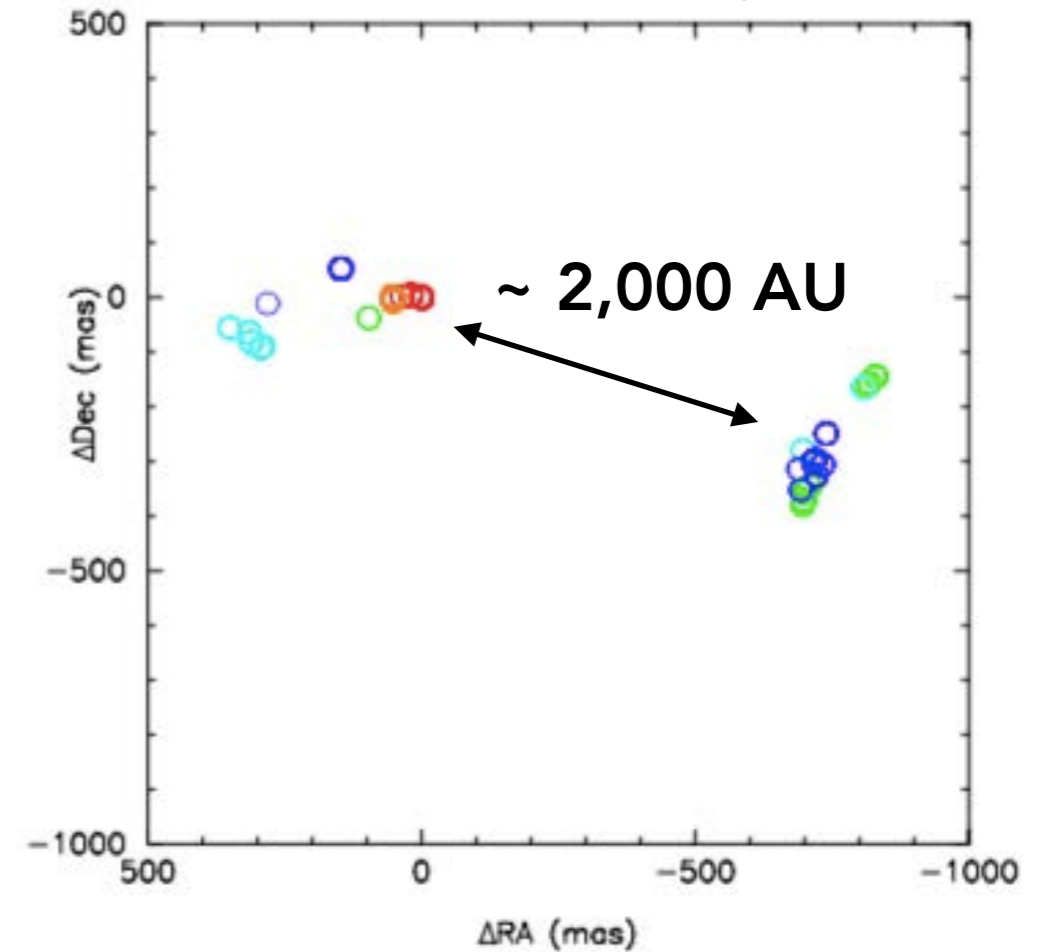
中村 拓 卒業論文 2015



- ・ 激しい強度変動
- ・ 幅の広いスペクトル

空間分布 (2010.3)

Bartkiewicz et al. 2014, EVN



Paired or Complex

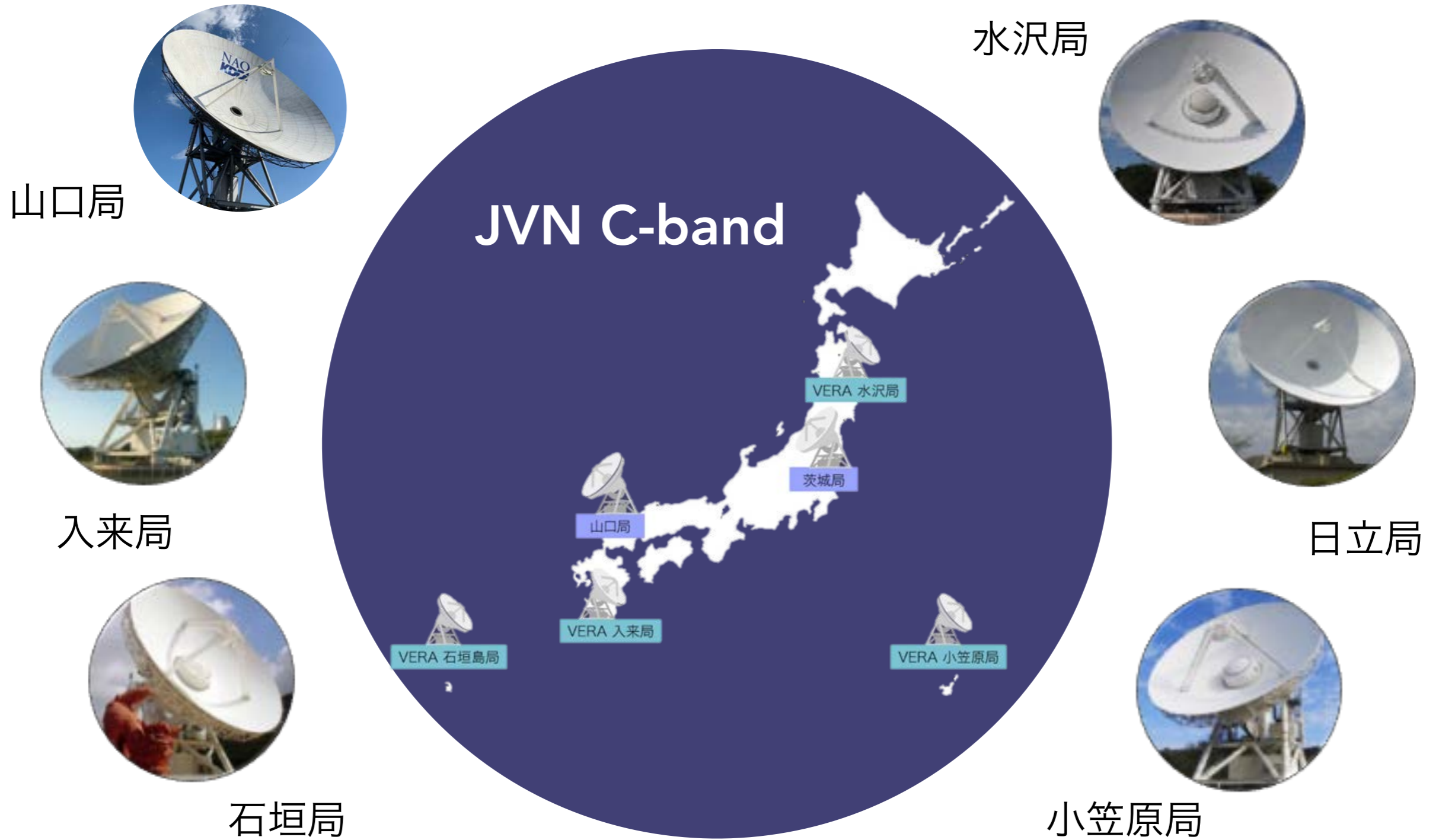
東西に2つのクラスター

活発な強度変動 & 複雑な空間分布 ▶ アウトフロー???



3. 観測

観測概要 (使用アンテナ群)



3. 観測

観測概要

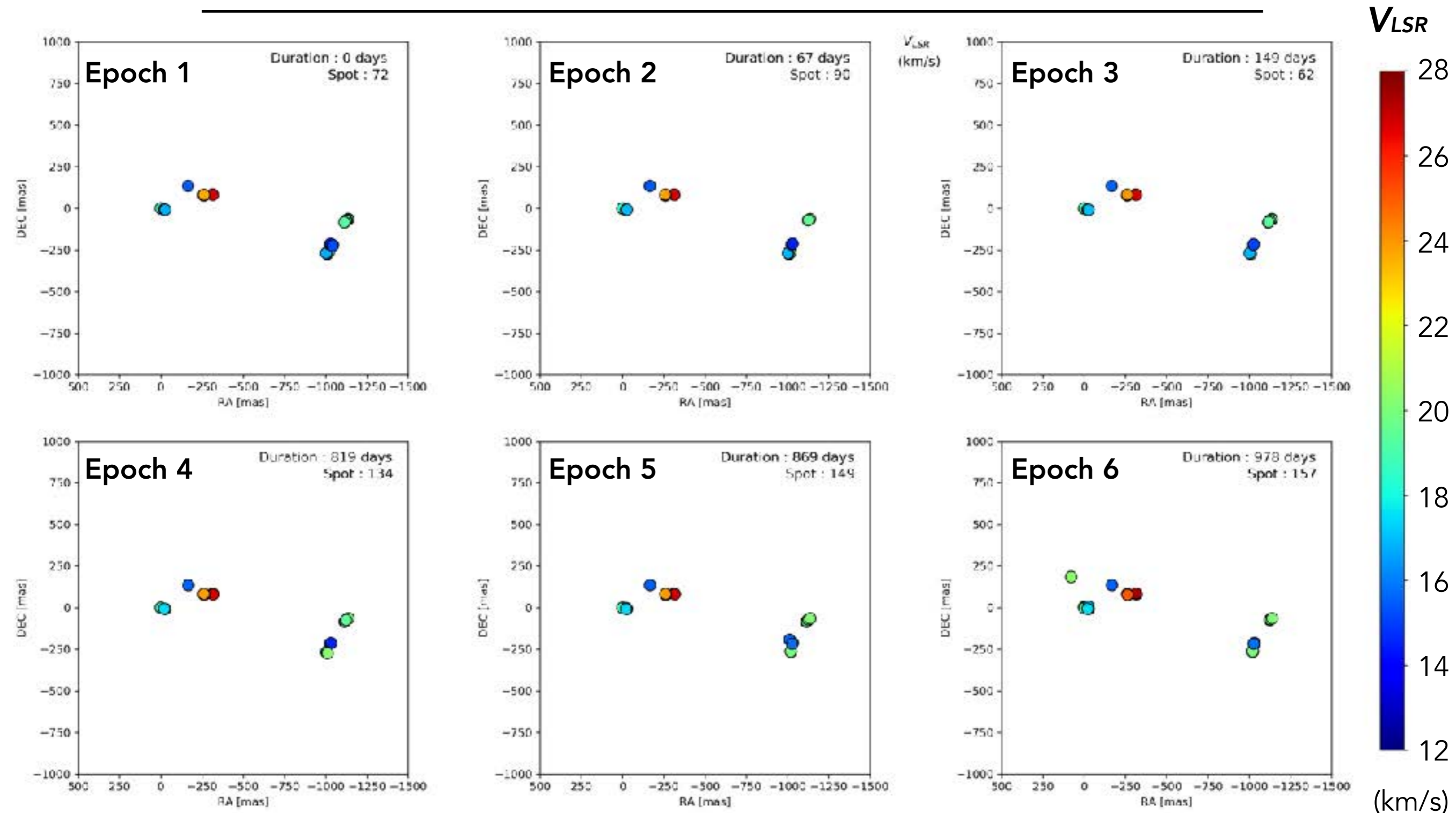
ターゲット天体名	IRAS名		赤経, 赤緯 [J2000.0]			
G59.783+0.065	IRAS 19410+2336		19 h 43 m 11.247 s , +23° 44' 03.287"			
Epoch	1	2	3	4	5	6
Date(UT)	2016.8.25	2016.10.31	2017.1.21	2018.11.22	2019.1.11	2019.4.30
Obs.code	U16238a	U16305b	U17021b	U18326a	U19011a	U19120a
経過日数	0	67	149	819	869	978
観測局	VERA 4局 + 日立 + 山口					山口以外 5局
観測周波数	6667 - 6669 MHz			6667 - 6671 MHz		
分光点数	512	1024	1024	4096 点分光		
速度分解能 (km/s)	0.176	0.088	0.088	0.044		
ビームサイズ	~ 5 mas × 3 mas					
イメージ感度 1σ [Jy/beam]	0.02	0.07	0.15	~ 0.3		
振幅較正	テンプレート法					
解析ソフト	AIPS					



4. 結果

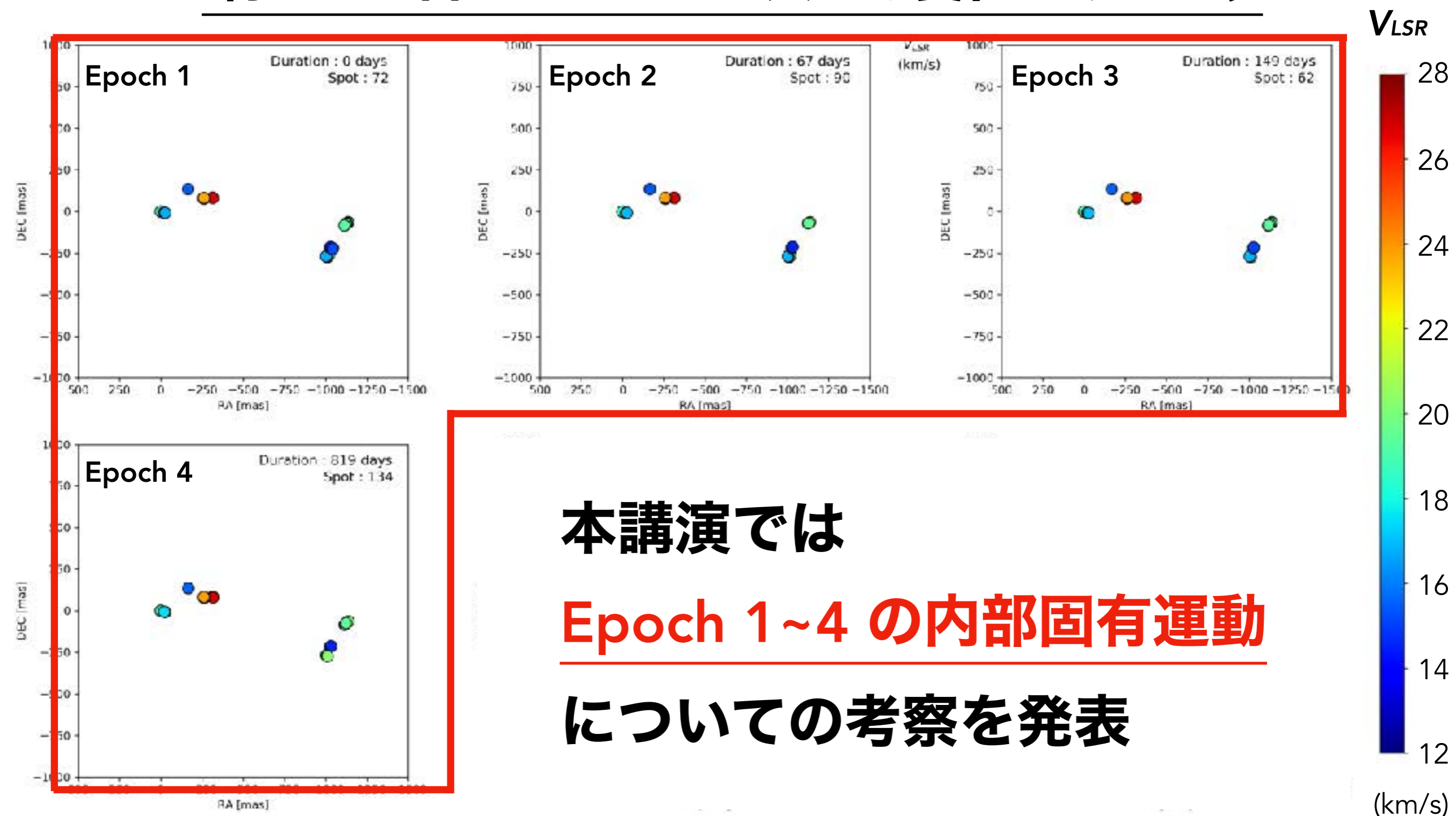
空間分布

約 1000 日スケールでも大きな変化はみられず



空間分布

約 1000 日スケールでも大きな変化はみられず



本講演では

Epoch 1~4 の内部固有運動

についての考察を発表

内部固有運動の導出

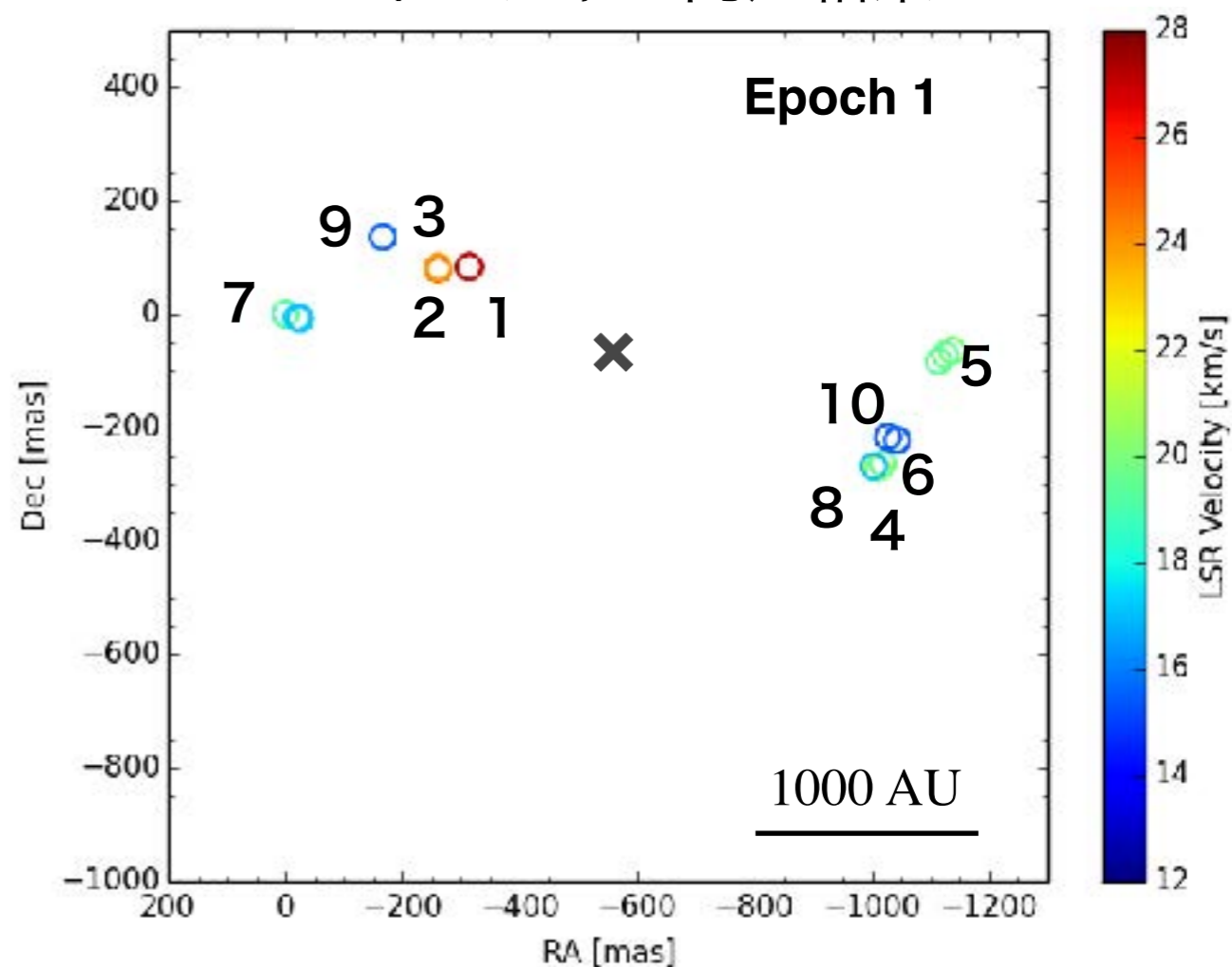
— フィーチャーへの同定条件 —

- 位置が **1 mas** 以内で一致
- 速度チャンネルが **1 km/s** 以内で一致かつ3チャンネル以上連続するもの

Epoch	1	2	3	4
スポット数	72	90	62	134
フィーチャー数	10	10	9	8

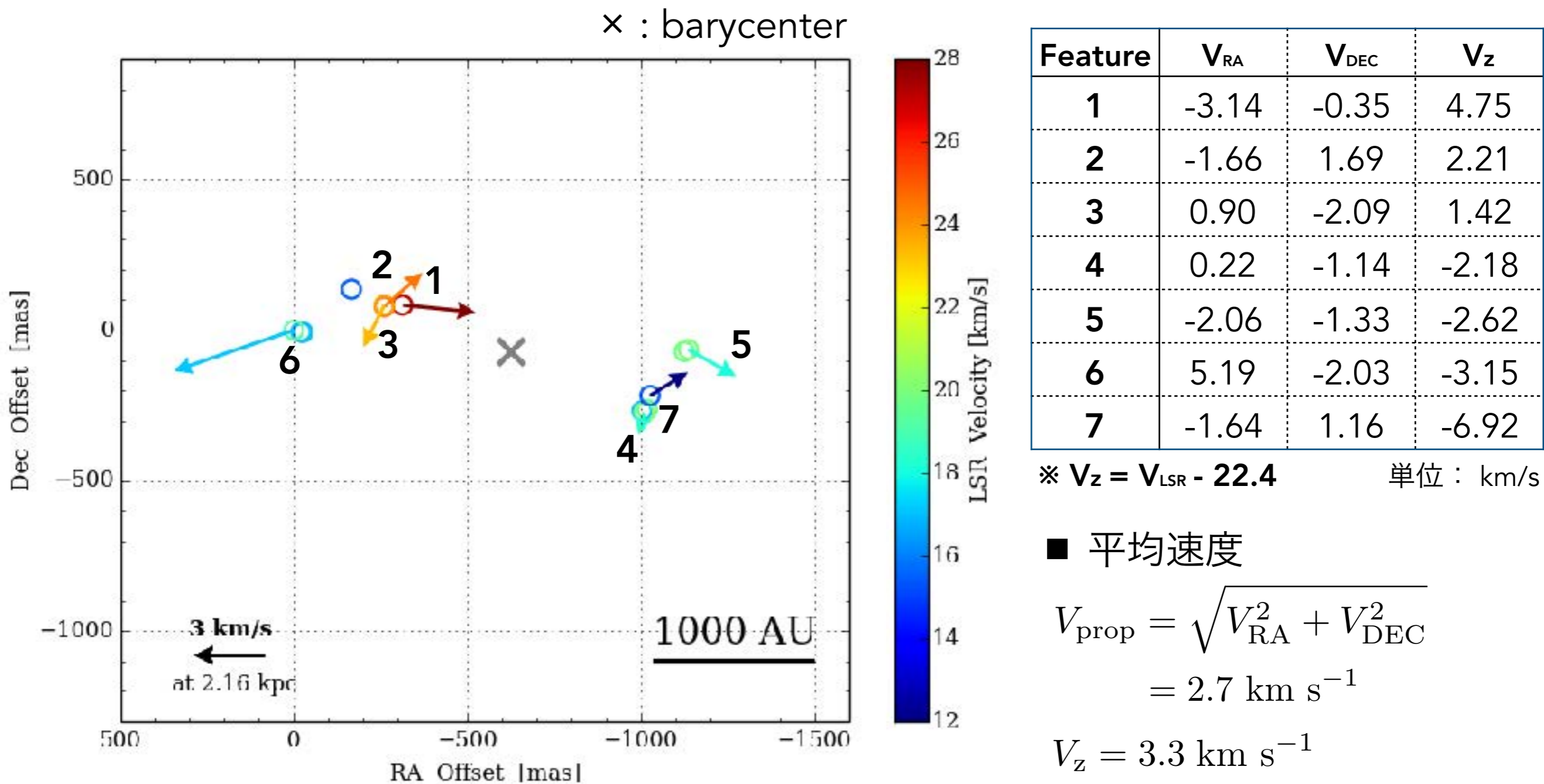
全エポックで共通するフィーチャー
→ 7 個

フィーチャー同定結果



1) フィーチャー重心位置を求める 2) 重心との相対位置の時間変化

内部固有運動



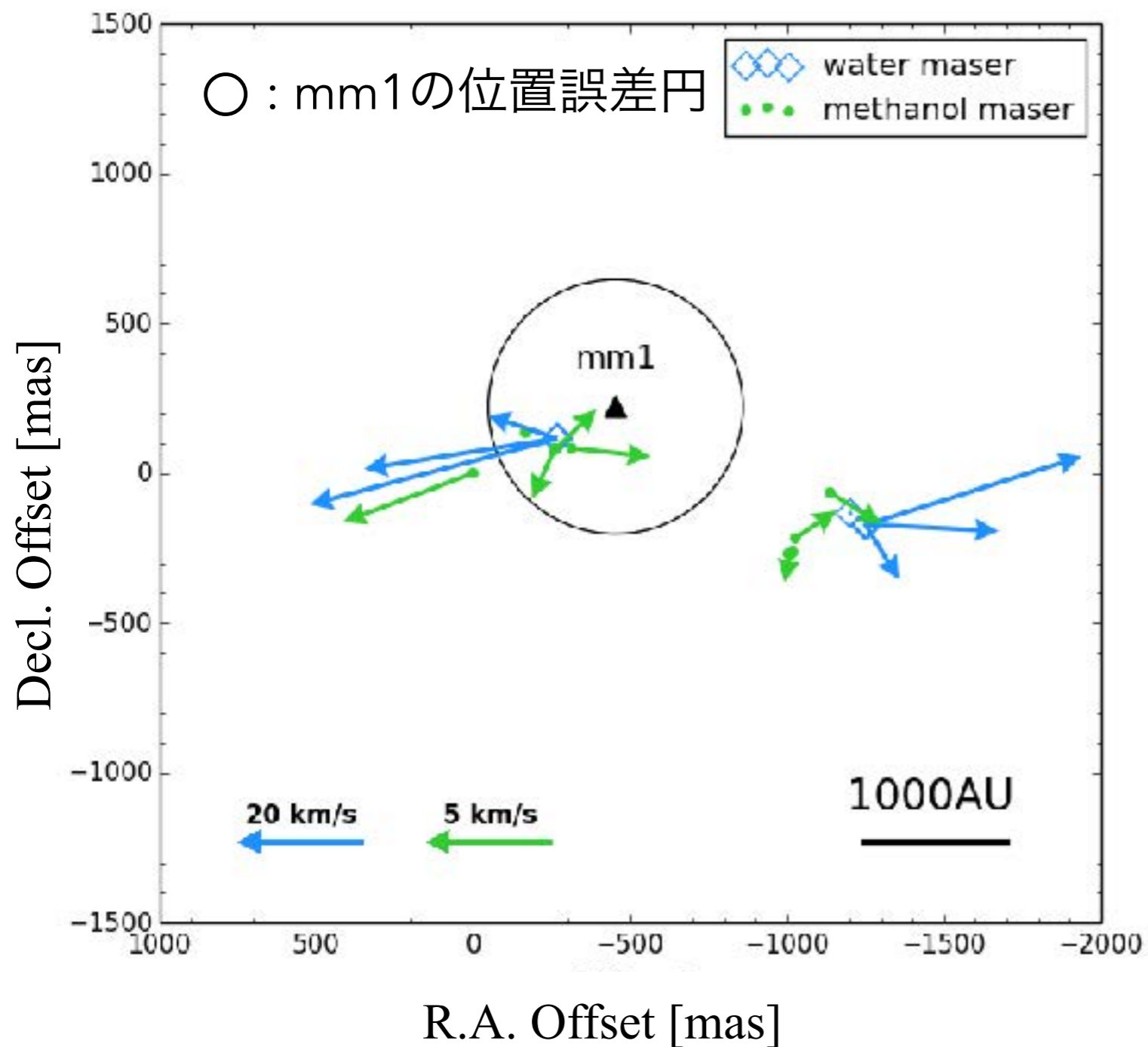
向きにばらつきあるものの **おおむね東西方向の運動** を示した



5. 考察

先行研究との比較と 3次元モデル

水メーザー・mm連続波源との比較



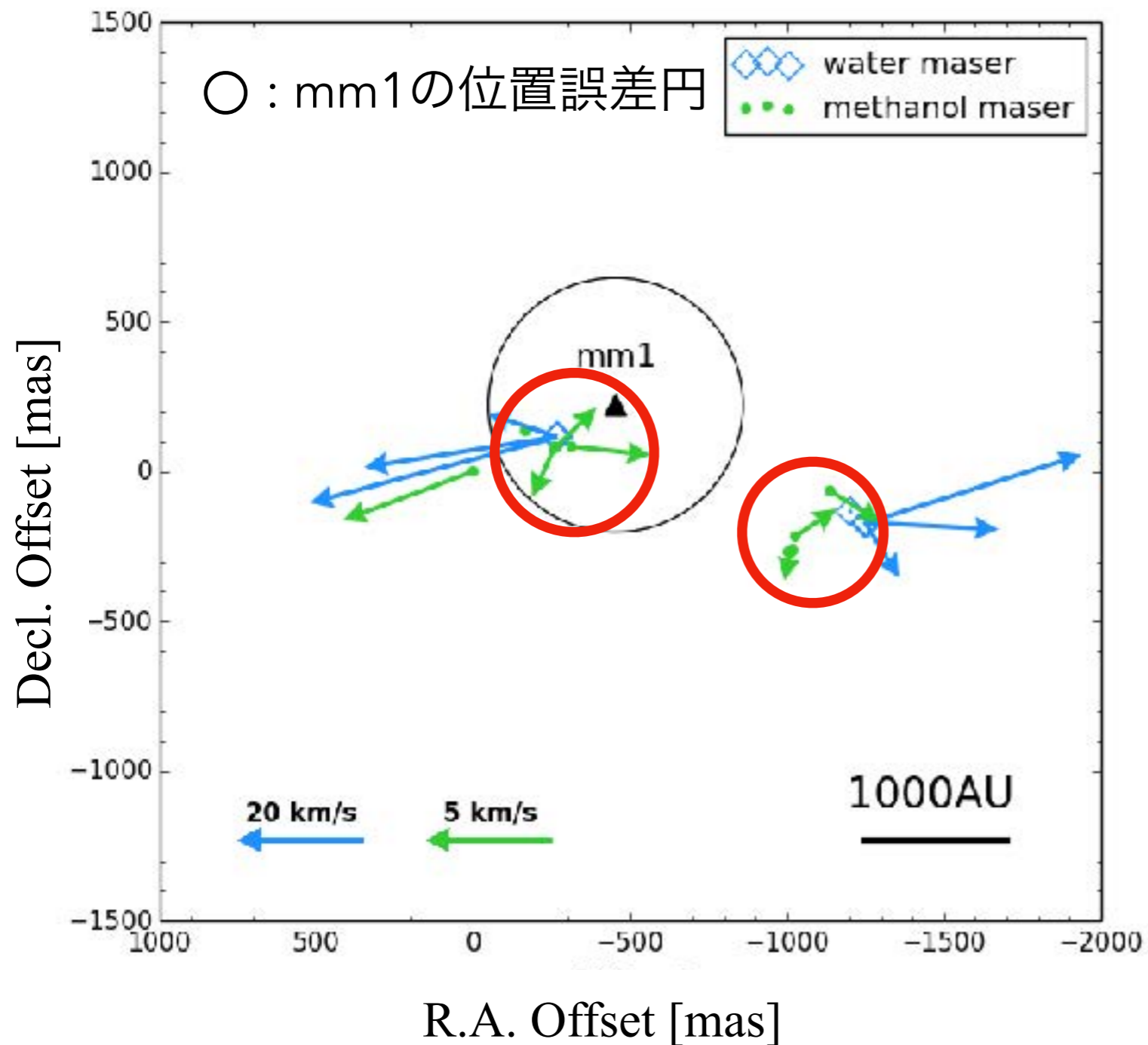
- 先行研究 (中村 拓 修士論文 2017)
22GHz 水メーザーの運動との比較

メーザー	水	メタノール
分布	ほぼ一致	
平均の速さ	~ 30 km/s	~ 3 km/s
運動の向き	東西	おおむね 東西

- CO や 近赤外線のアウトフローの放出方向とも一致。
- mm1 (1.2 mm dust emission peak)
→ 中心の原始星だと考えると運動は膨張する方向。

アウトフローに付随している可能性が高い

水メーザー・mm連続波源との比較

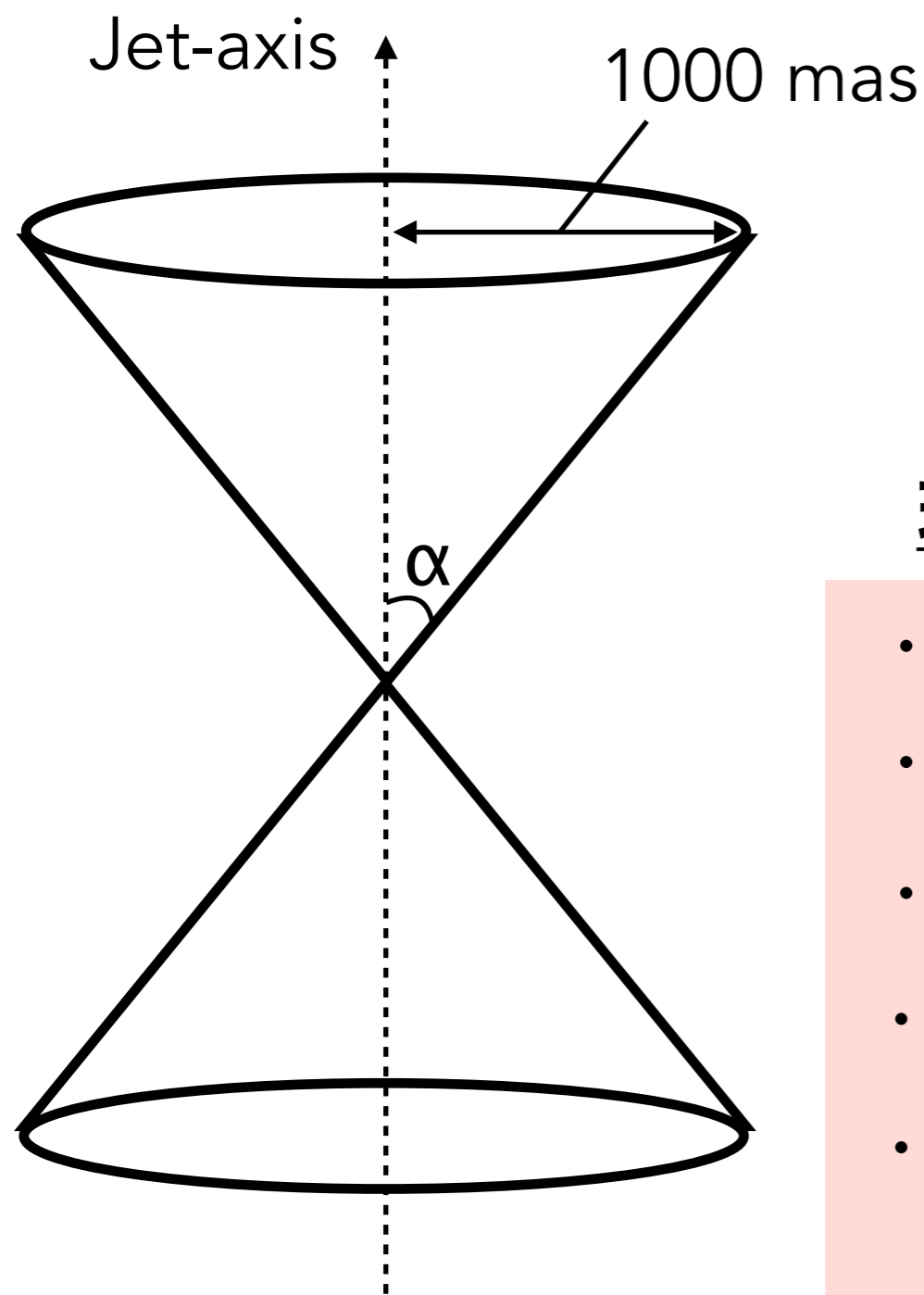


しかし、一部の運動は
単純なアウトフローの膨張運動
では説明が難しい...



3次元アウトフローモデル

トイモデルによるフィッティング



円錐モデル

$$x = r \cos \theta$$

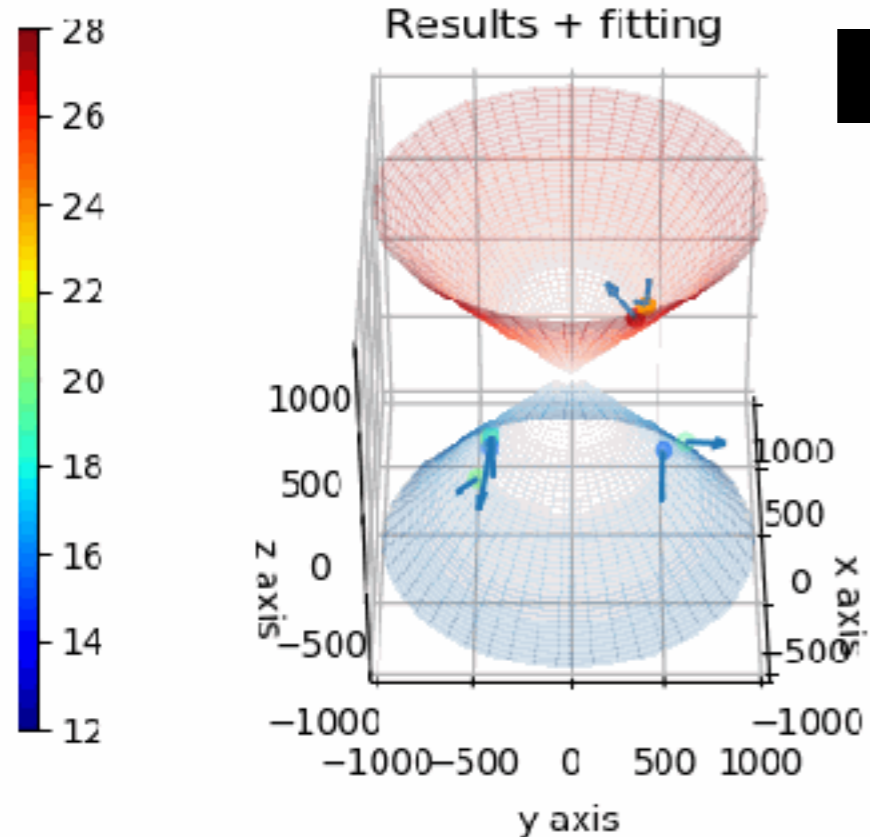
$$y = r \sin \theta$$

$$z = \pm r \cdot (\tan \alpha)^{-1}$$

現在、簡単なモデルで試計算中・・・

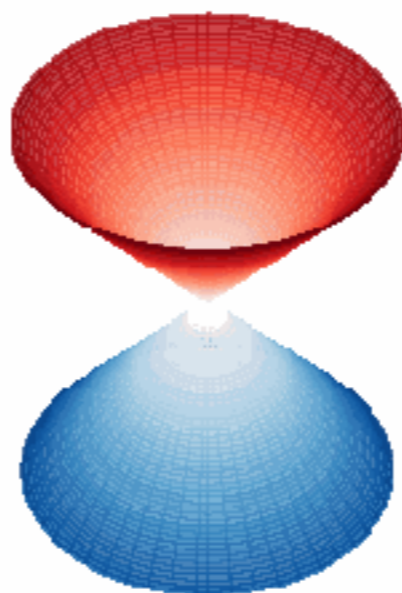
- 円錐表面を流れるガスを仮定
- Opening angle $\alpha = 45^\circ$ で固定
- PA = 73.9° で固定 (水メーザーでフィット)
- Inclination angle = $-90^\circ - 90^\circ$
- **ベクトルの向きが合うようにフィッティング**
(※ベクトルの大きさは考慮していない)

トイモデルによるフィッティング



Azimuth

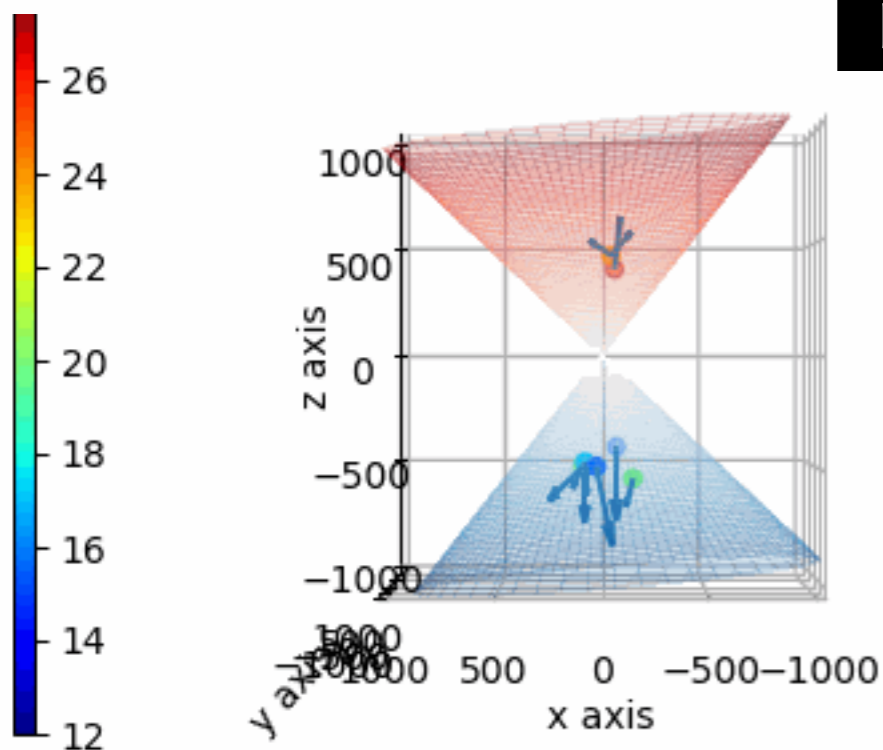
incl = -4.3 deg



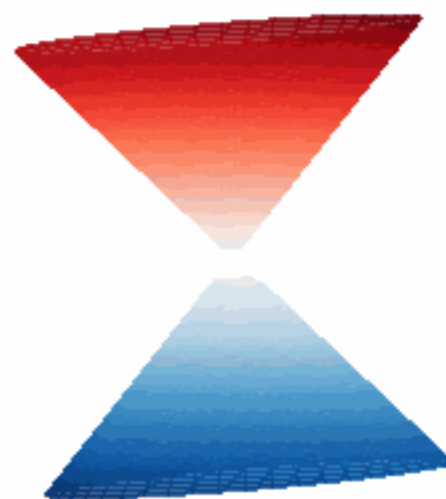
モデルフィッティングの一例

Model Parameter		
PA	Incl.	Open.
73.9°	-90~90°	45°

3Dモデルに合うように
フィーチャーの奥行きを決定



Elevation



しかし、ベクトルが
まだまだ合っていない...

より詳細なモデルフィッティング

放物面モデル

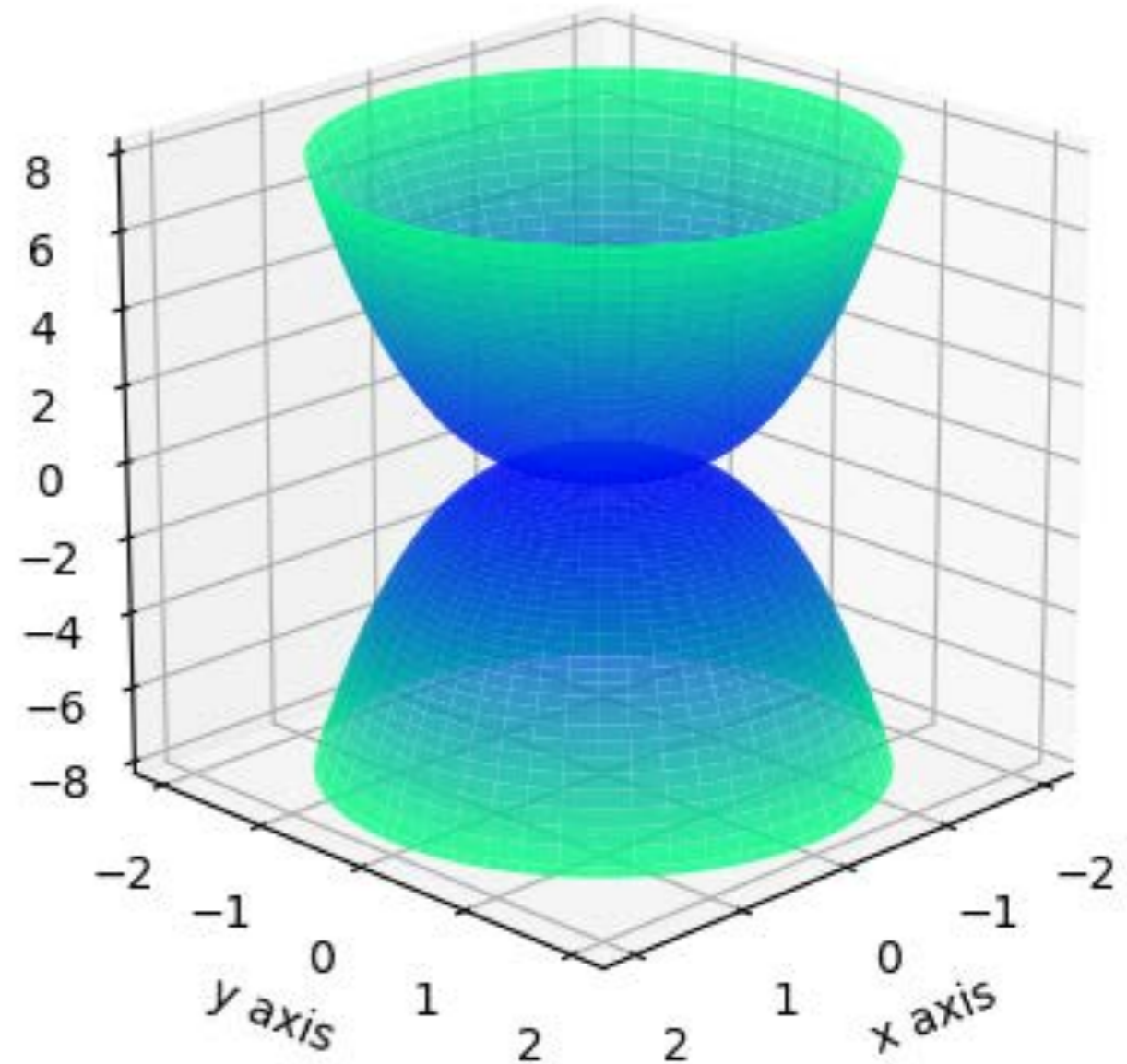
$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta$$

$$z = \pm |r|^p$$

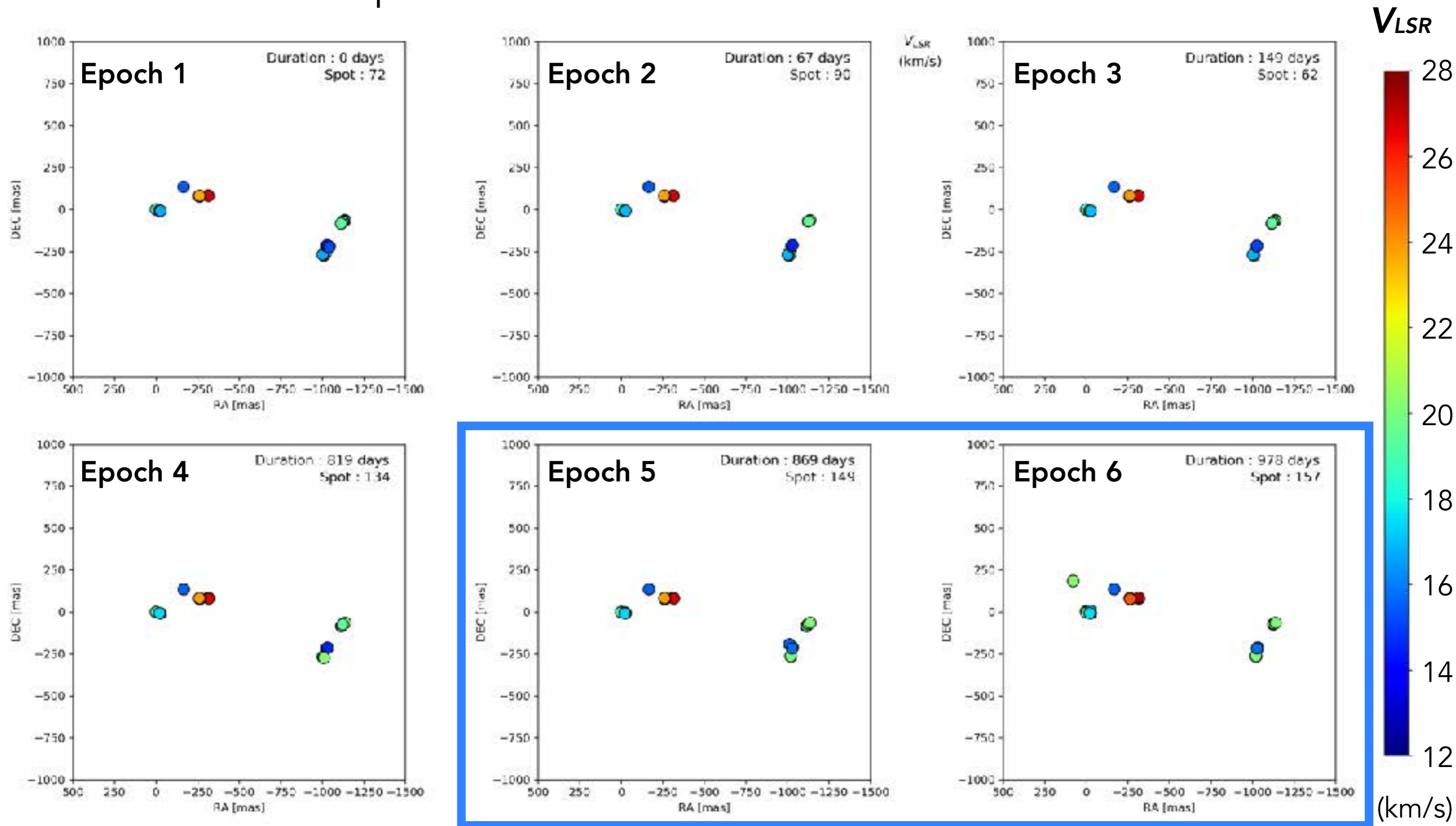
- 関数のべき p
- 速度の位置依存性： $V(r)$

なども考慮し、より詳細な条件設定でフィッティングを行う



全データに対する固有運動の導出

Epoch 5・6 も合算した運動で考察



Summary

目的



半数以上存在するよくわからない分布(Paired, Complex)の
6.7 GHz メタノールメーザーが**アウトフロー**に付随するか？

▶ 内部固有運動の計測により直接検証する

観測

2016.08 ~ 2019.05 までの約 1000 日間に計 6 回
活発なアウトフロー天体 G59.783+0.065 の VLBI 観測を実施

結果

分布：ほぼ変化なく、水メーザーと近接
運動：おおむね東西方向、水メーザーの向きとほぼ一致。

▶ **アウトフローに付随している可能性が高い**

今後

- 1) 広角なアウトフローのより具体的な関数でモデルフィット
- 2) Epoch 5・6 も合算した運動を導出