

VERAを用いたSgrB2領域に付随する 水メーザー源モニター観測

酒井大裕 (水沢VLBI観測所・特任研究員),
小山友明, 永山匠, 本間希樹, 小林秀行(国立天文台)

VLBI懇談会シンポジウム@熊本

Contents

✓ Introduction

- 銀河系中心領域の位置天文観測を行う目的・意義
- Sgr B2領域について

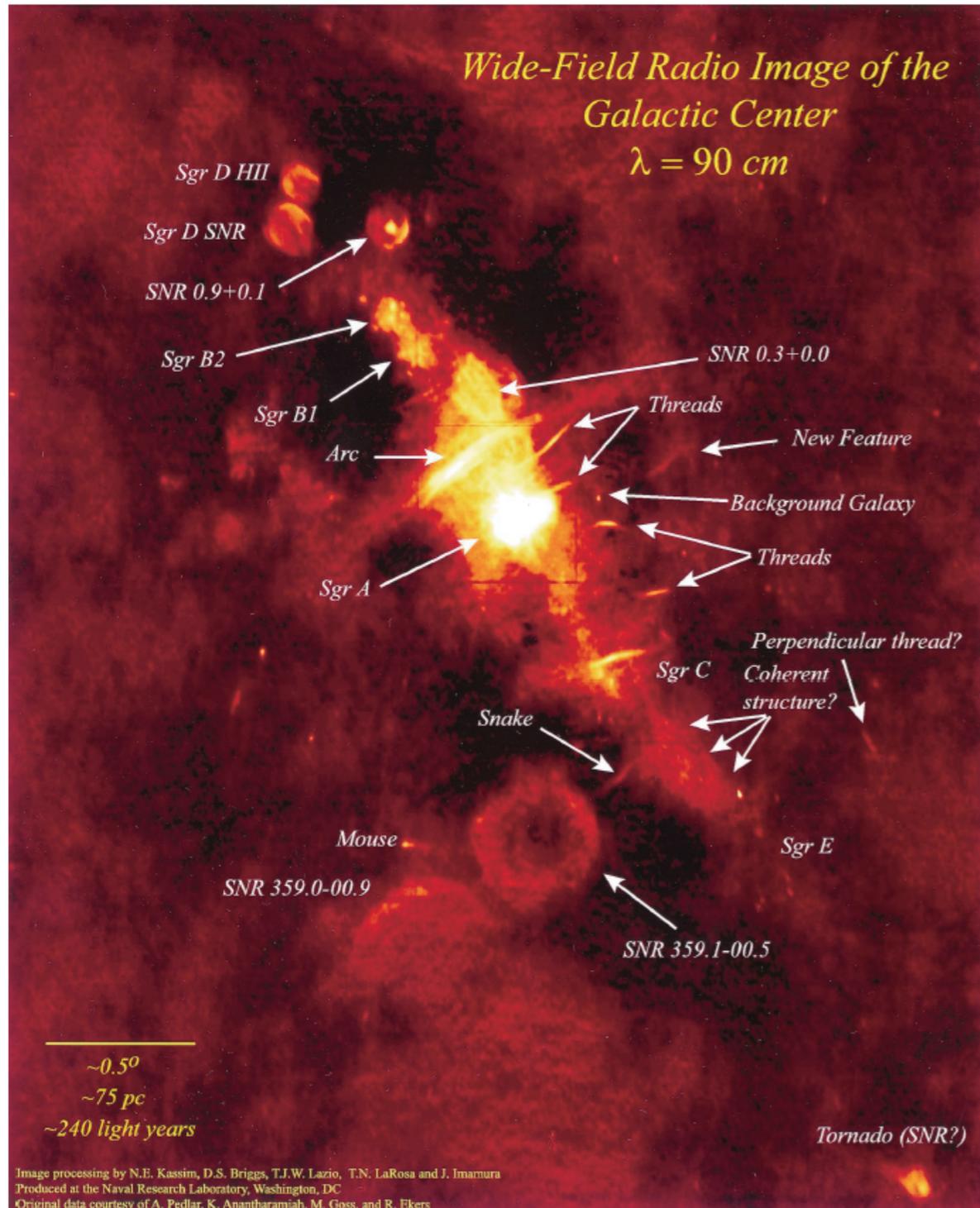
✓ Result & Discussion

- Sgr B2領域に対する結果
年周視差測定・メーザー分布・内部運動
- 中心部の運動測定の計画について

✓ Future prospect

- 広帯域化
- KaVAなどの国際連携

The Galactic center



CMZ(Central molecular zone)

銀河経度： $l < \pm 2 \text{ degree}$

ガス密度： $n=10^3-10^5 \text{ cm}^{-3}$

分子輝線の速度幅：20-50 km/s

我々が住む天の川銀河の中心領域

SMBH： $M_{\text{BH}} \sim 4 \times 10^6 M_{\odot}$

銀河系中心への質量供給源として
期待されている

銀河中心部への質量供給過程・銀河の進化過程
を理解する上で重要な観測対象

CMZの三次元的な力学モデルの解明が必要

VLA 90cm radio continuum image (Larosa 2000)

銀河系中心方向の位置天文観測における問題点

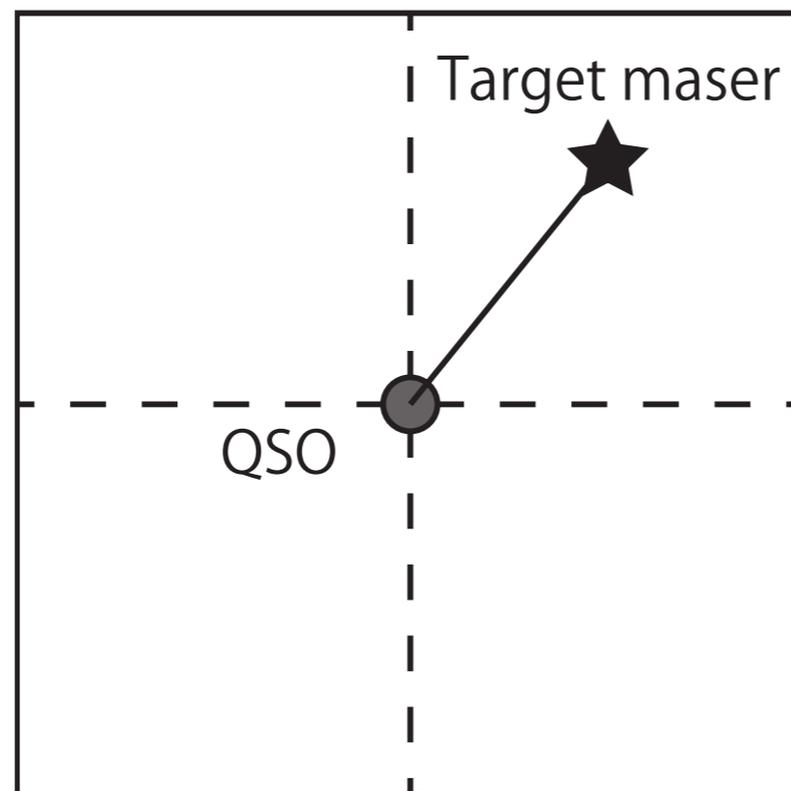
問題点

✓ 位置天文観測には位置参照天体となる背景QSOが必要

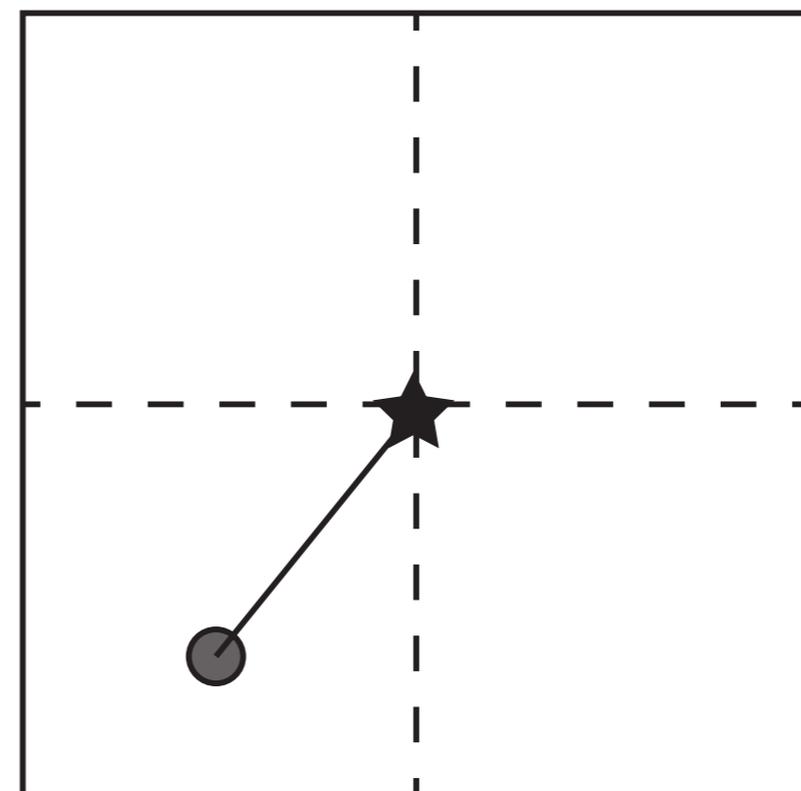
銀河系中心方向($-1^\circ < l < 1^\circ$)はFRINGEを検出可能な強い背景QSOがない

→ **逆位相補償**：明るいメーザー源に対してFringe searchを行い、
暗いQSOの相対位置を得る **メーザー源が明るい時 (>10 Jy) に可能**

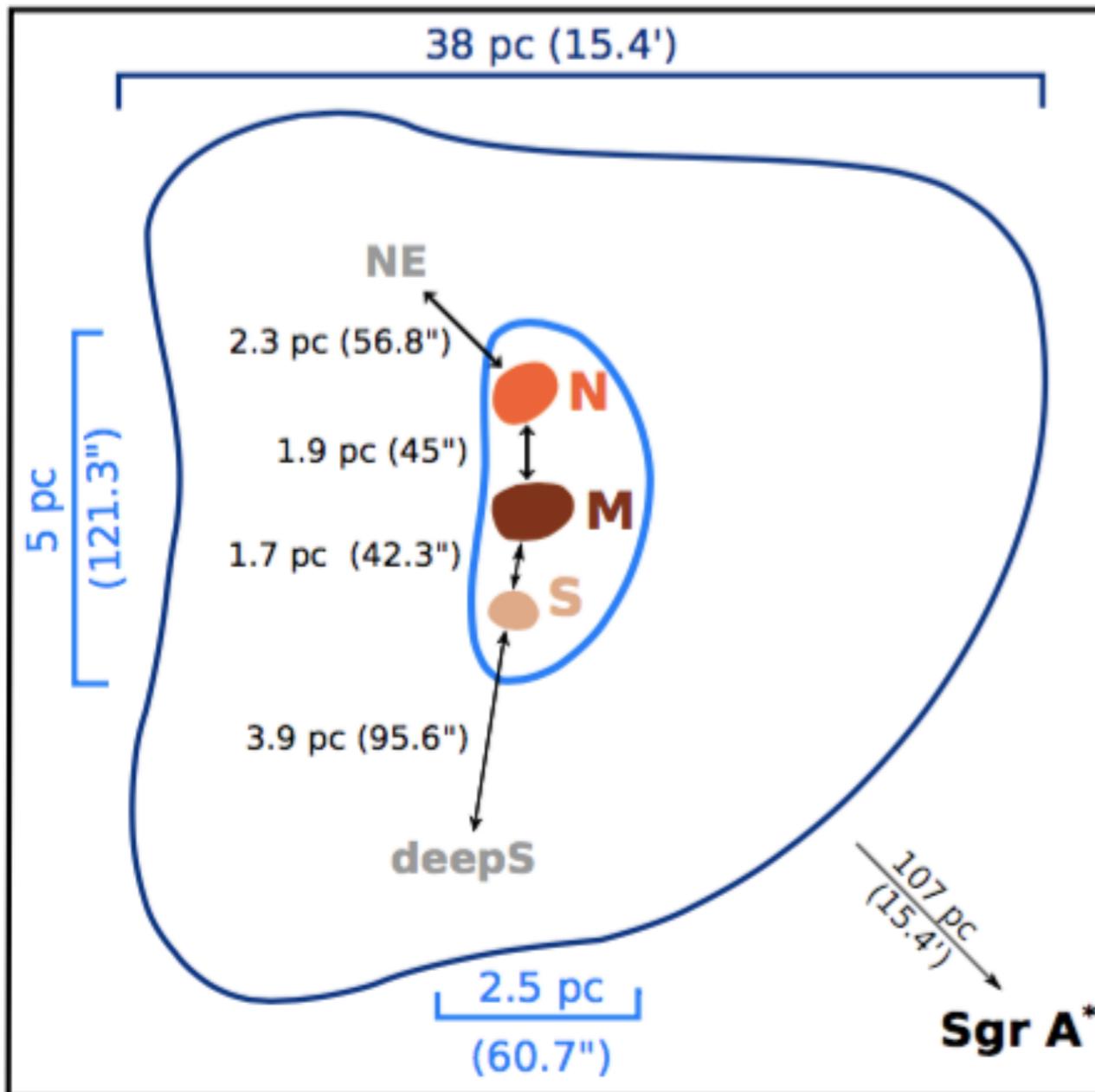
Normal phase reference



Inverse phase reference



Sgr B2領域



- 非常に活発な星形成領域
- 3つの星形成コア

Sgr B2N

若い星形成領域・様々な分子種

Sgr B2M

多くのHII領域, 水メーザーが多く検出

年周視差測定

Reid et al. (2009) at 61 km/s spot

Parallax : 0.130 ± 0.012 mas

$(\mu r.a., \mu dec.) = (-1.23, -3.84)$ mas/yr

内部運動を考慮していないため、

系の固有運動の誤差は1 mas/yr程度ある

low density envelope		moderate density region		cores	
19 pc	R^2	2.5 x 5.0 pc		Sgr B2(N)	Sgr B2(M)
$7 \times 10^6 M_{\odot}$	M^1	--		0.4 pc	0.5 pc
$\sim 10^3 \text{ cm}^{-3}$	$n(\text{H}_2)^2$	$\sim 10^5 \text{ cm}^{-3}$		$6 \times 10^4 M_{\odot}$	$3 \times 10^4 M_{\odot}$
				$2 \times 10^6 L_{\odot}$	$10^7 L_{\odot}$
				$2 \times 10^7 \text{ cm}^{-3}$	$4 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$
				$n(\text{H}_2)^1$	

¹Goldsmith et al. 1990

²Hüttemeister et al. 1995

観測

Array : VERA

Epochs : 14 epochs (2014 — 2016)

Line : 22 GHz water maser

Mode : VERA Dual-beam observation

Correlation : Mitaka FX (~ 2014)

Mizusawa software (2015 ~)

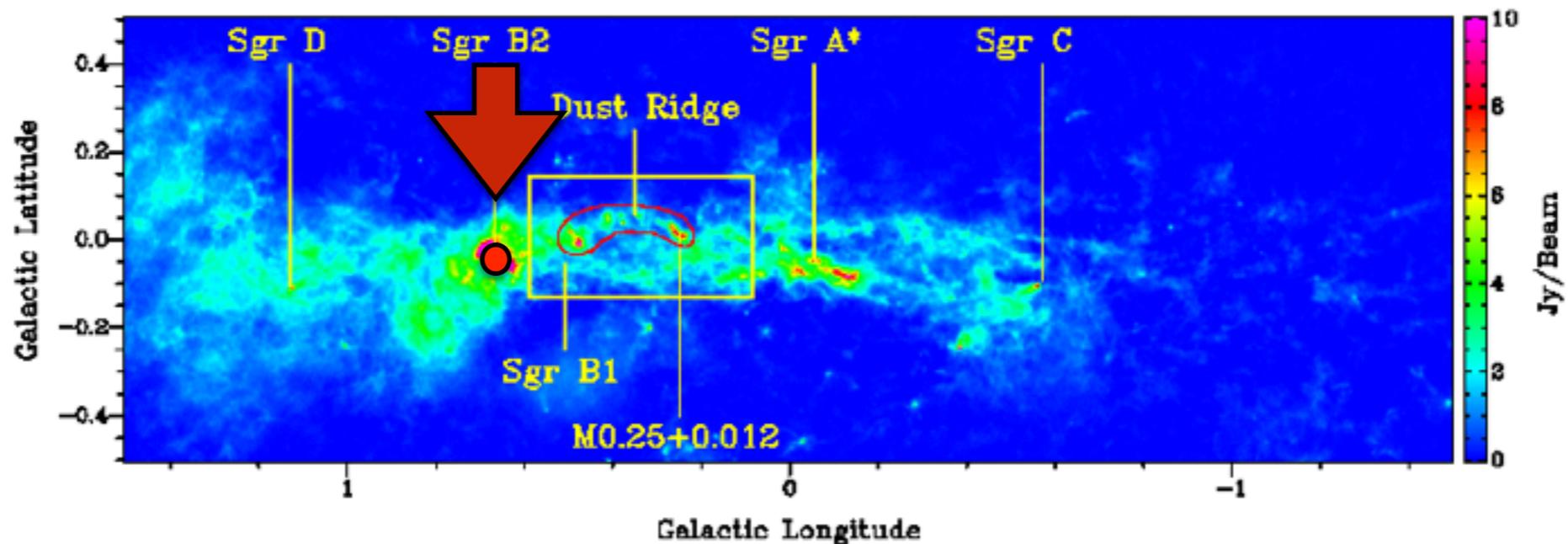
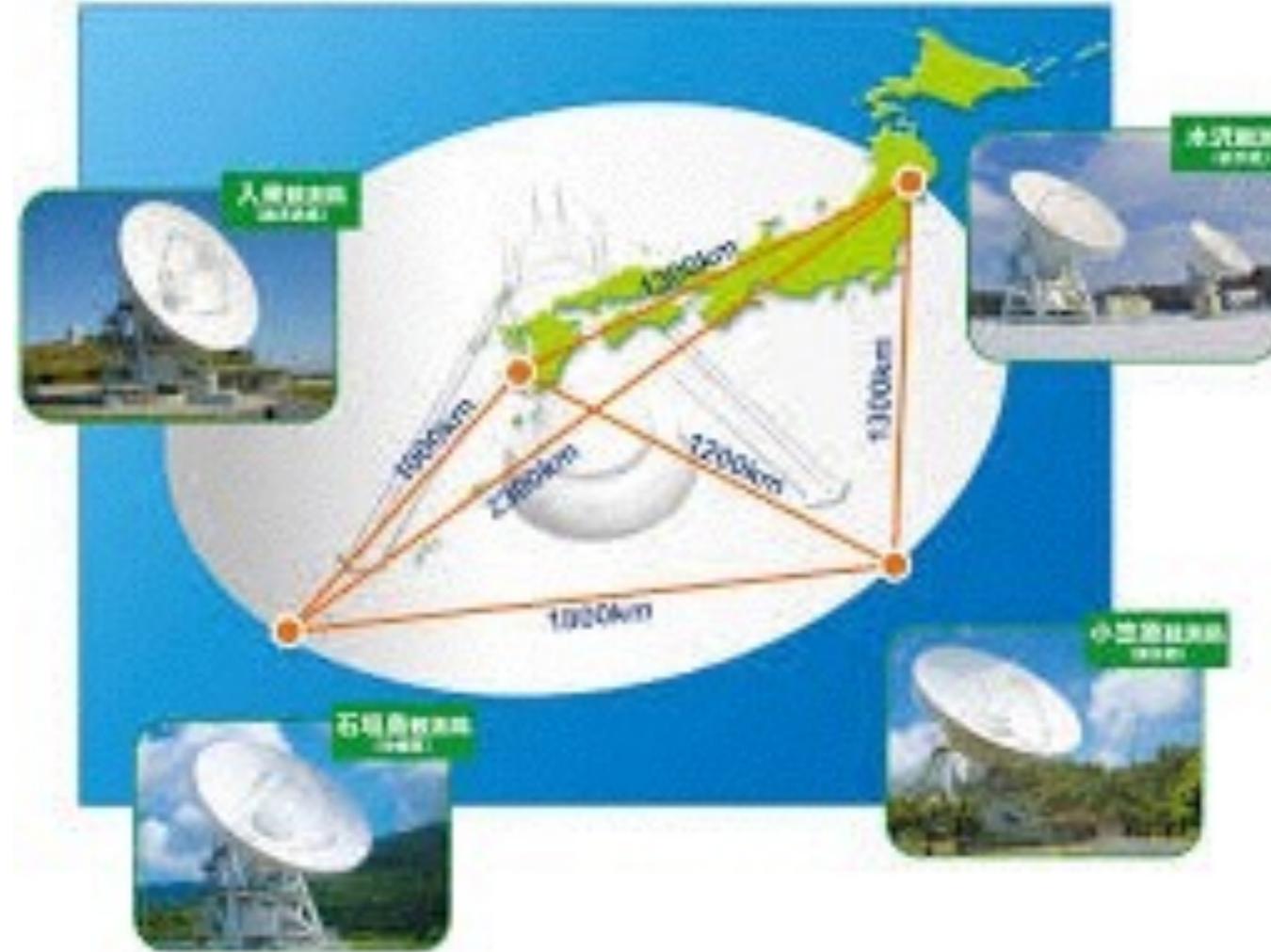
Velocity resolution : 0.42 km/s (~ 2015)

0.21 km/s (2016 ~)

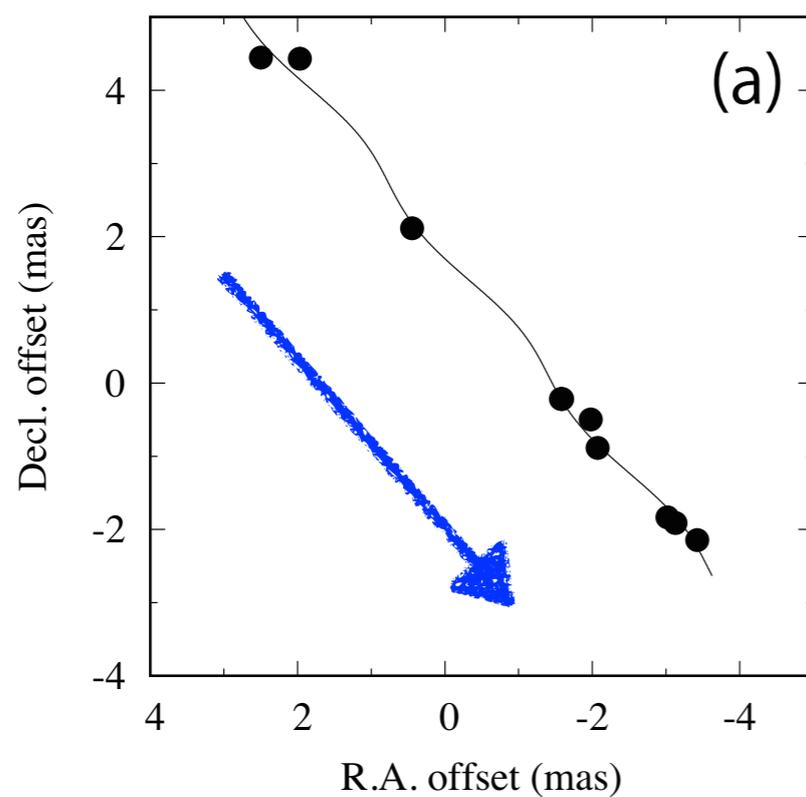
Target source : Sgr B2M

Position reference source : J1745-2820

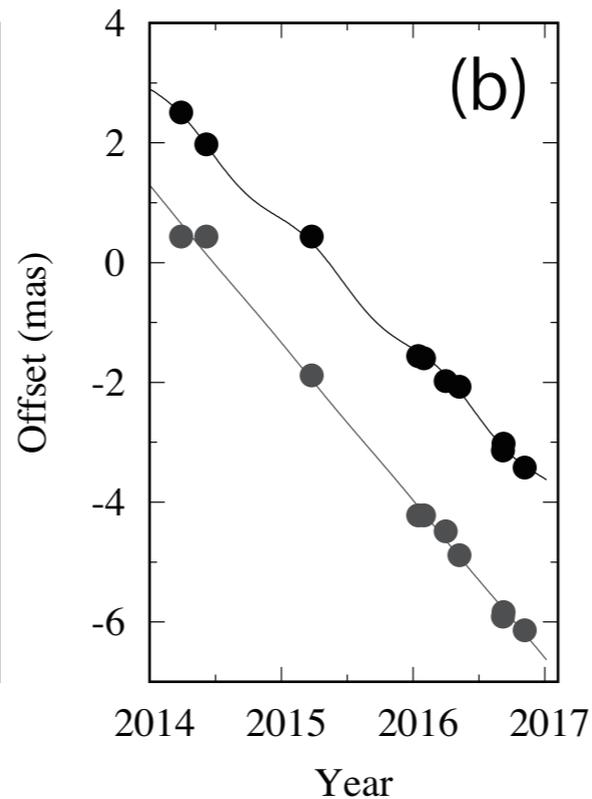
Separation angle : 0.33 deg.



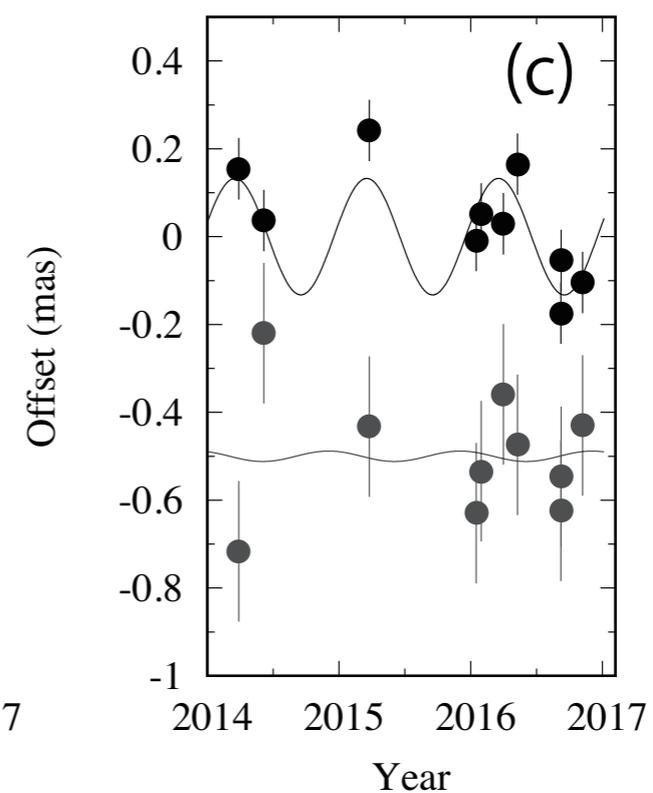
位置天文観測結果(SgrB2M)



天球面上の運動



時間vs赤経,赤緯



時間vs赤経,赤緯
- 直線運動

Parallax Fitting for 59.58 km/s spot

Parallax : $\pi = 0.133 \pm 0.038$ mas

Distance : $D = 7.52(-1.67/+3.01)$ kpc

固有運動

R.A.方向 : -2.17 ± 0.03 mas/yr

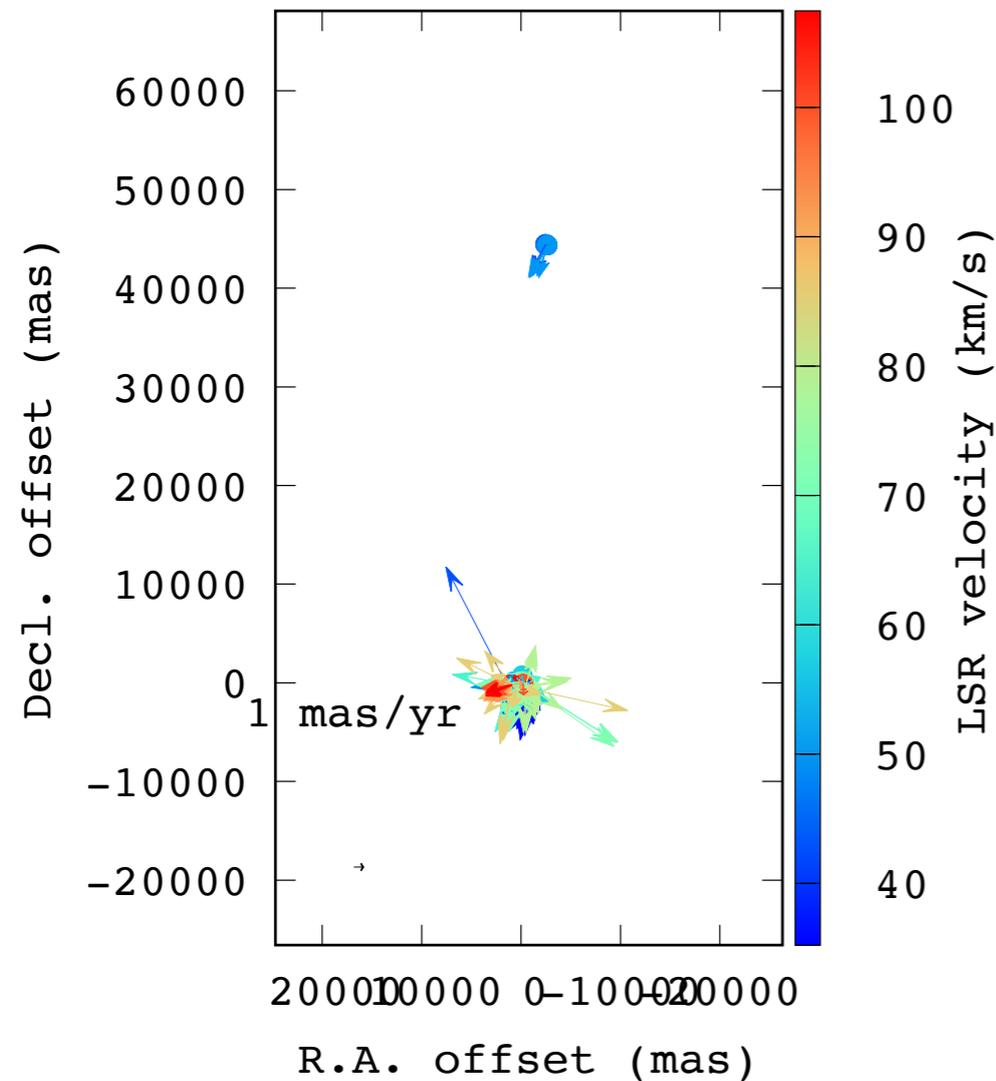
Dec.方向 : -2.63 ± 0.06 mas/yr

Reid et al. (2009) at 61 km/s spot

Parallax : 0.130 ± 0.012 mas (μ r.a., μ dec.) = $(-1.23, -3.84)$ mas/yr

結果 SgrB2 maser map

VERA water maser

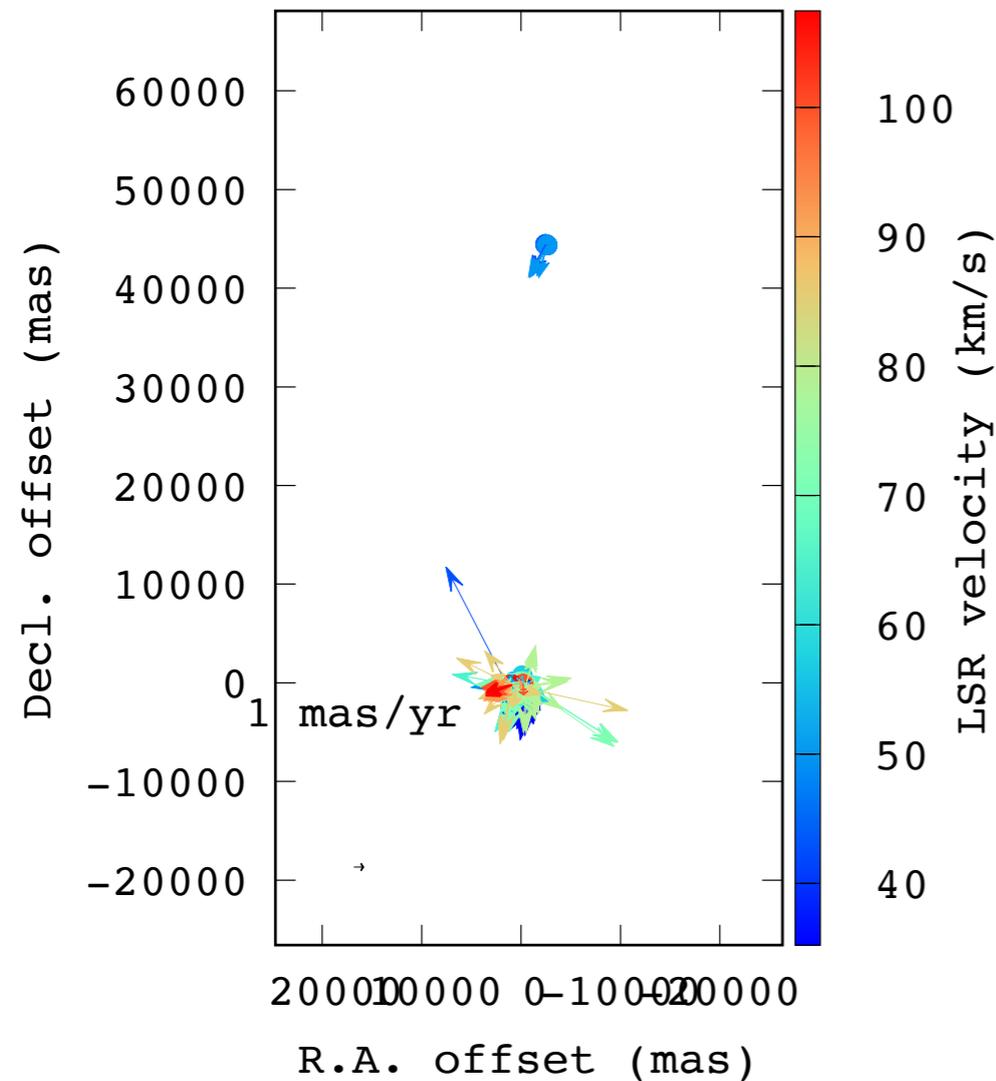


- 4 epochs以上同じ速度chで検出を条件
- 約40 arcsecにわたって分布
- Sgr B2Sではメーザーが検出されているが内部運動は測定できず
- 1- 3 mas/yrの内部運動

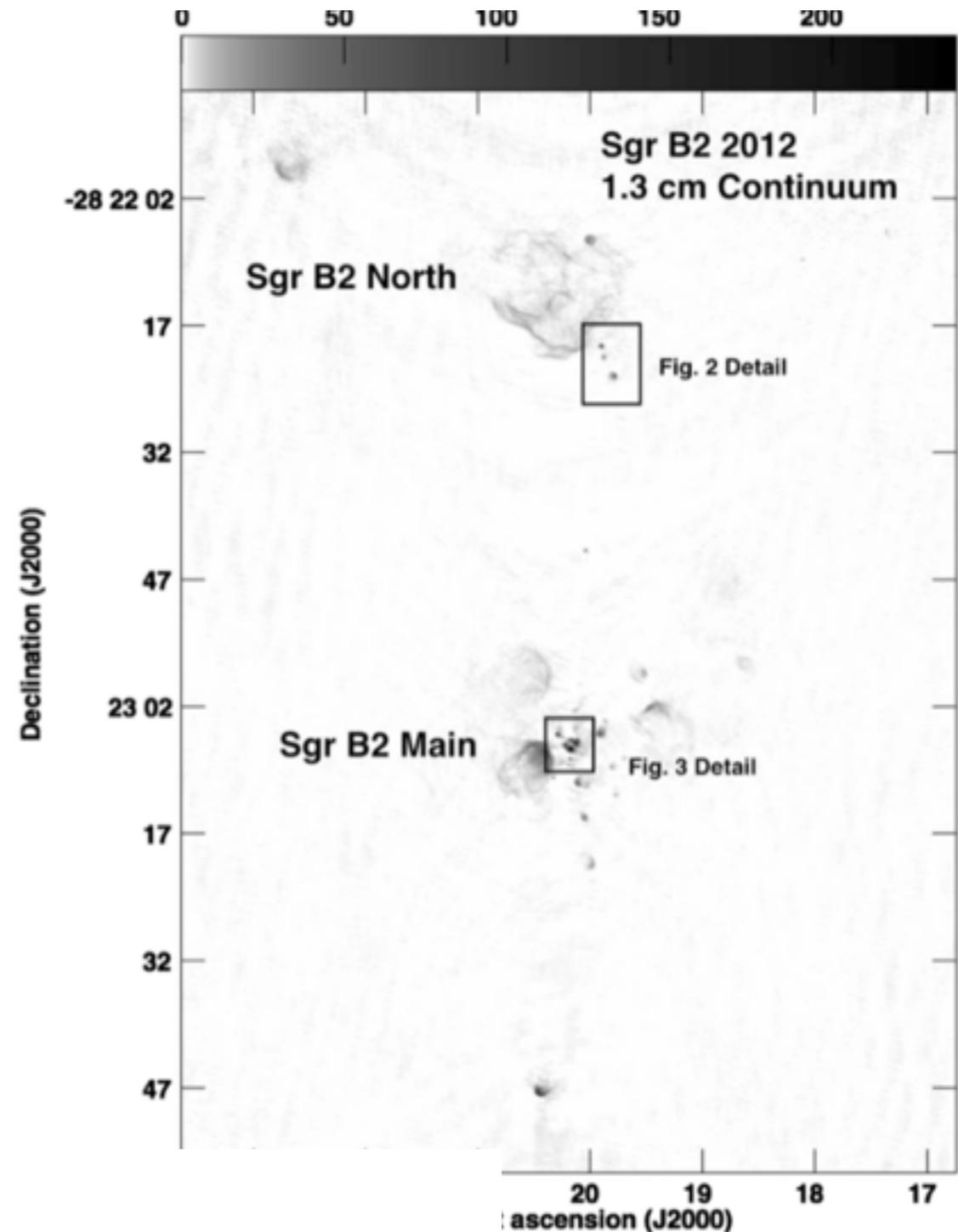
B2NについてはTracking centerから
離れすぎているため位置・運動の信頼度は低い

結果 SgrB2 maser map

VERA water maser



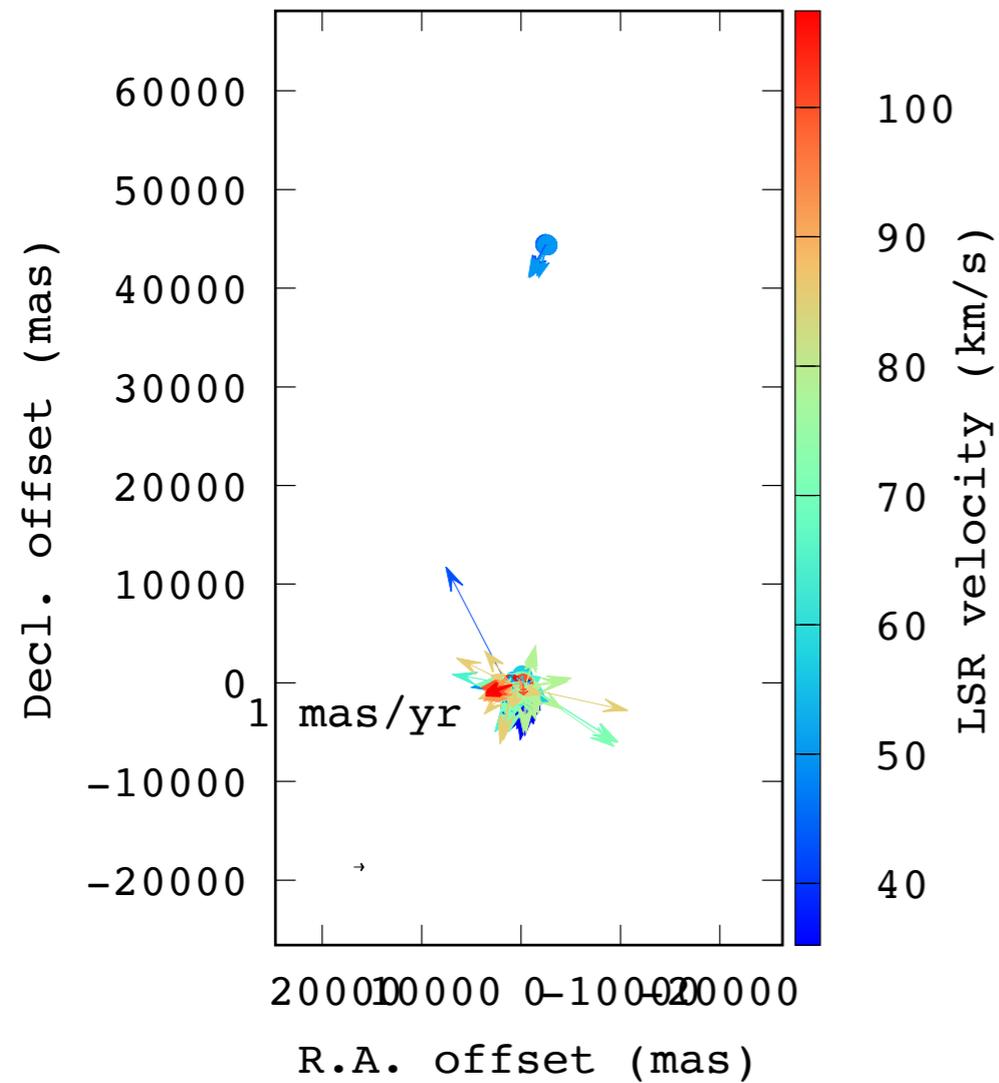
VLA radio continuum



B2NについてはTracking centerから
離れすぎているため位置・運動の信頼度は低い

結果 SgrB2 maser map

VERA water maser



VLA radio continuum

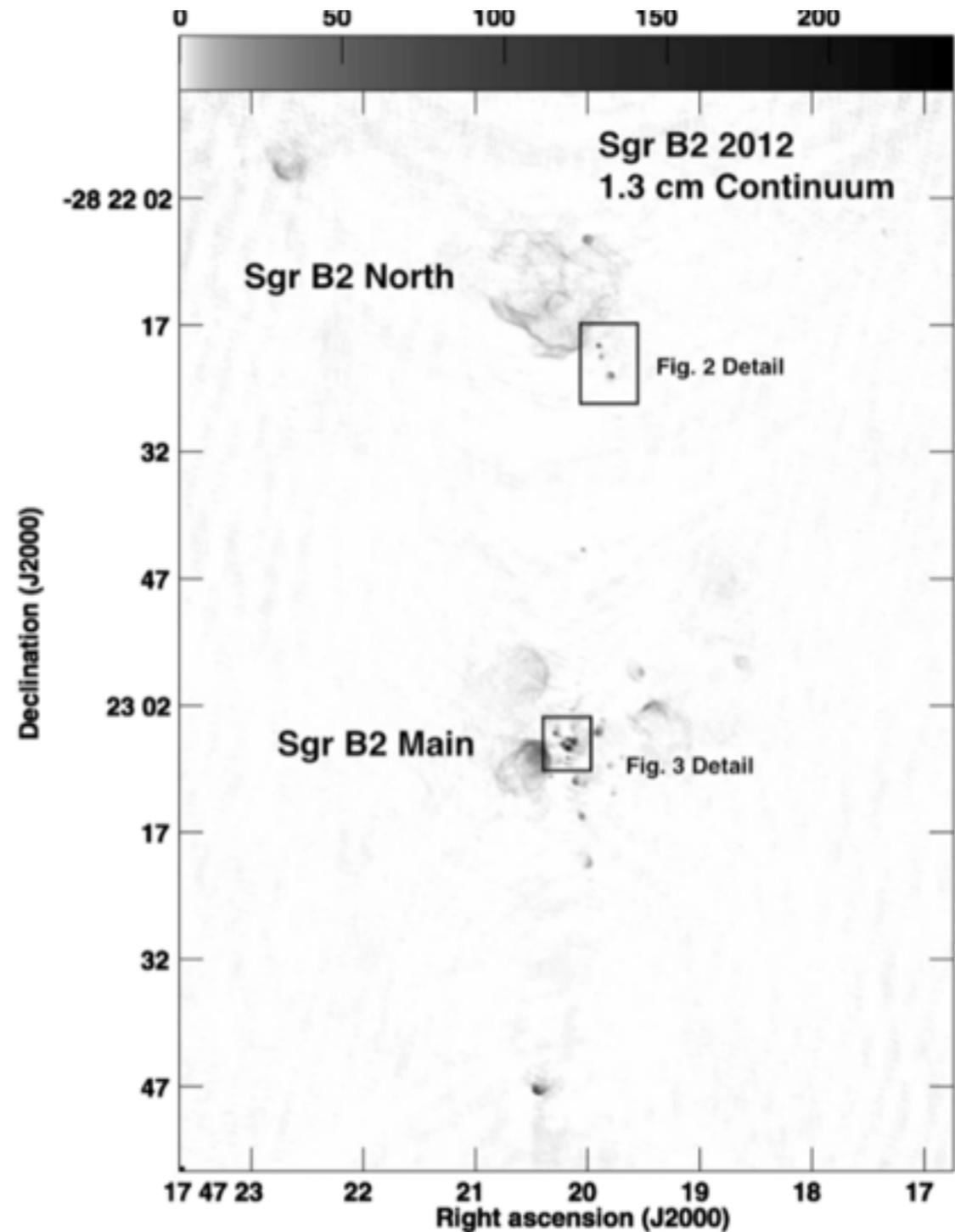
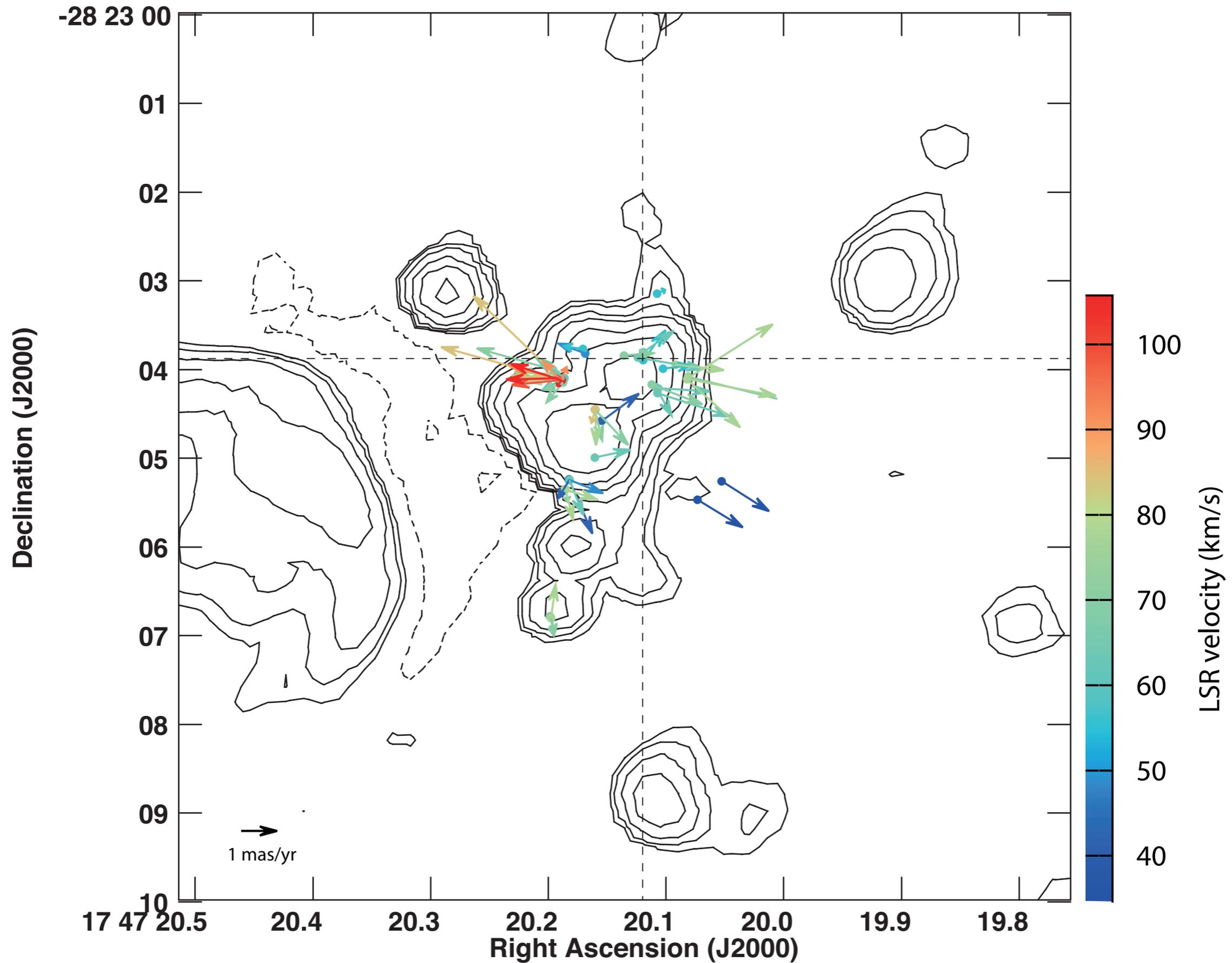
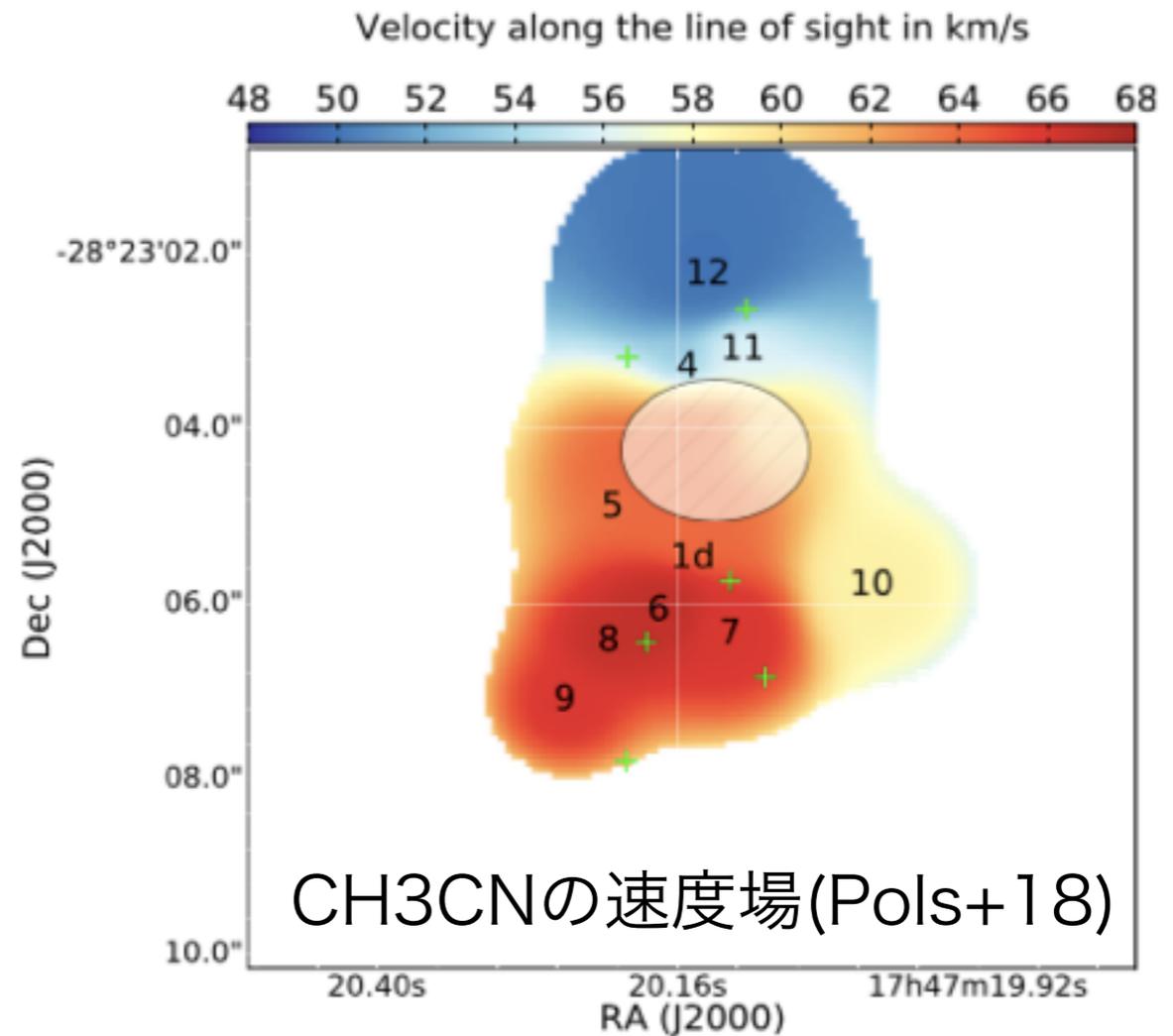
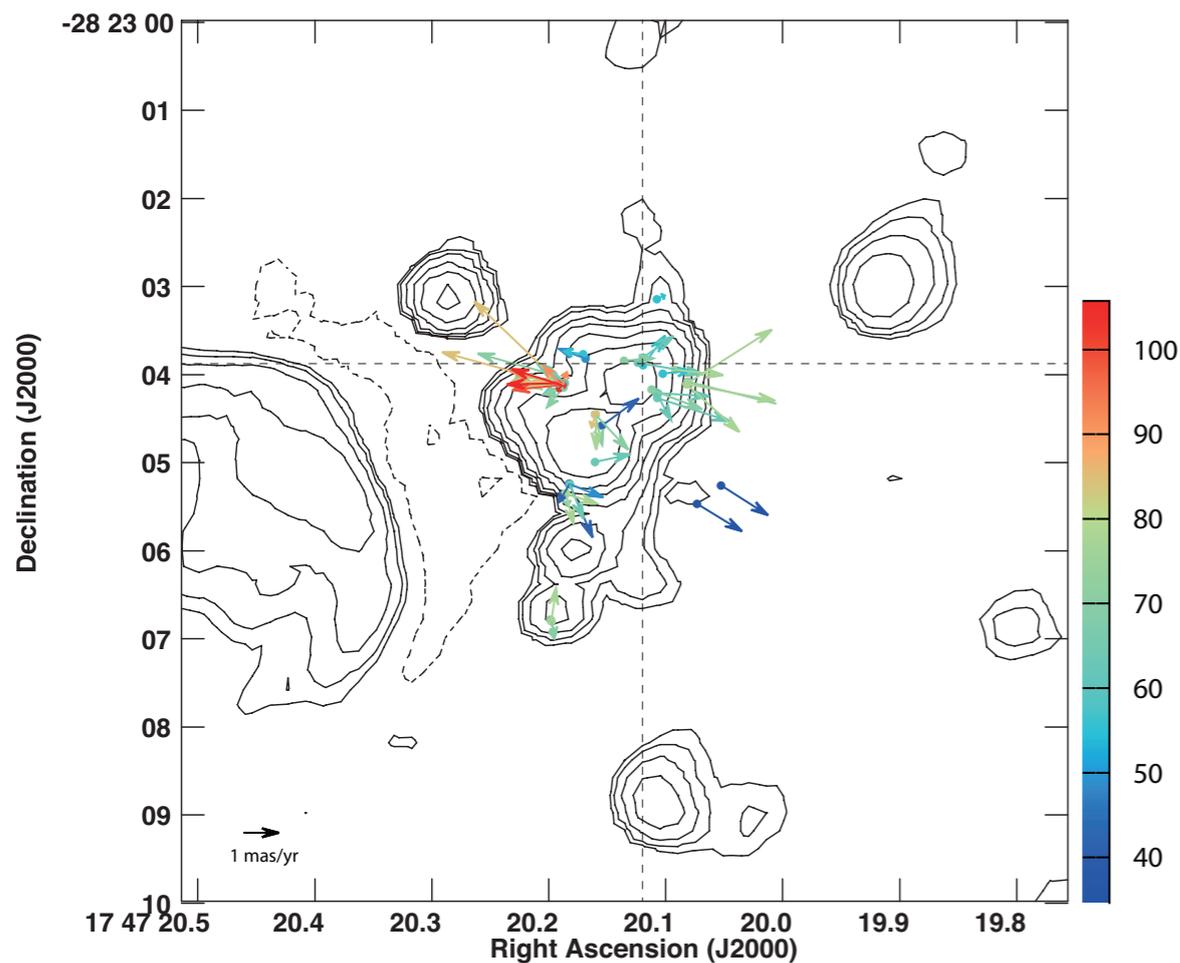


Figure 1. 1.3 cm (22.4 GHz) 2012 VLA continuum image for the Sgr B2

結果 SgrB2M maser map



SgrB2M maser map



- ALMA Band 3(90 GHz帯)の連続波の周囲に分布している
- 連続波の外側方向に広がる運動 → **初検出!**
1 mas/yr - 3mas/yr (40 - 120 km/s @8 kpc)
→ Stellar windによる巻き込みによる水メーザーの放射を示唆?

(McGrath+04)

- 連続波放射の東側にレッドシフトした成分
- CH3CN(J=12-11)の観測から得られているガスの速度分布は北から南にかけてレッドシフトするグラディエントが見られていた。

議論 SgrB2の運動

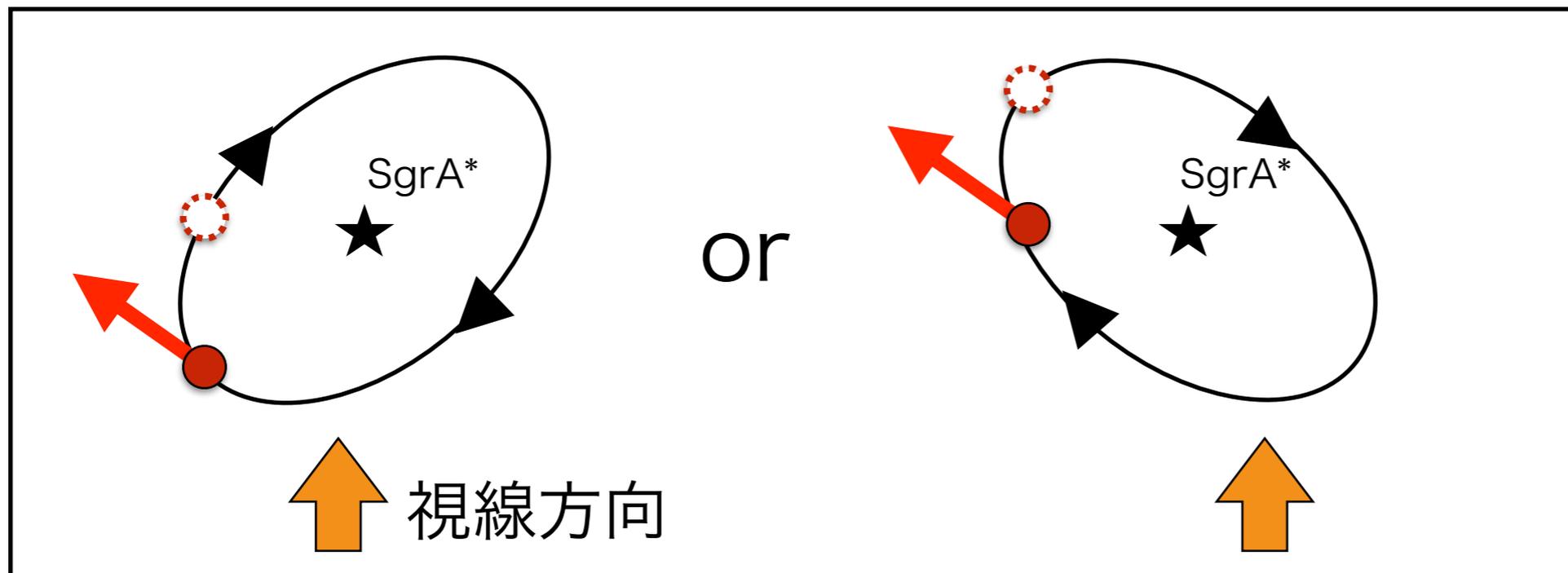
- ✓ 位置天文観測で得られた絶対固有運動
= (太陽系の運動) + (**SgrB2の運動**) + (59.58 km/s spotの内部運動)
↑ SgrA*の運動(Reid and Brunthaler 2004)

(**SgrB2の運動**)を計算しSgrA*固定座標系に変換：

$(\mu_l, \mu_b) = (2.56, -0.33) \text{ mas/yr}$ (98 km/s @ 8 kpc)

正の銀経方向への運動

※詳細な位置の導出にはモデルを用いた議論が必要



銀河系中心方向の位置天文観測における問題点

問題点

1. 銀河系中心方向は位置参照となる背景QSOが弱い

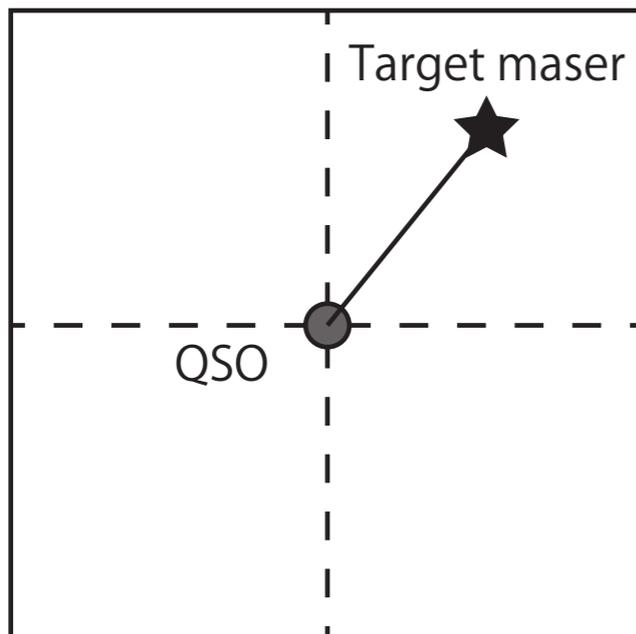
→ 逆位相補償による解析 (Sgr B2, Sgr D)

2. 明るいメーザー源のみでは銀河系中心のダイナミクスを把握するには足りない

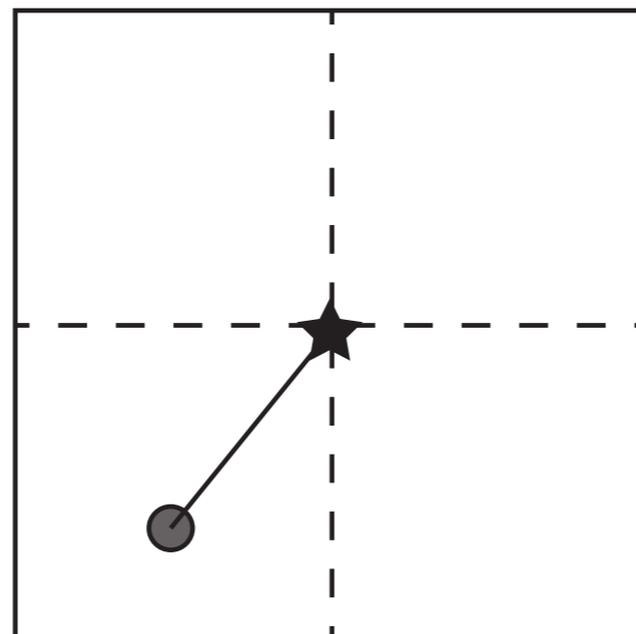
→ Sgr B2をreferenceとした間接的な位相補償 (G359.93, J17445)

暗いメーザー、暗いQSOのペアに対してアストロトリが可能

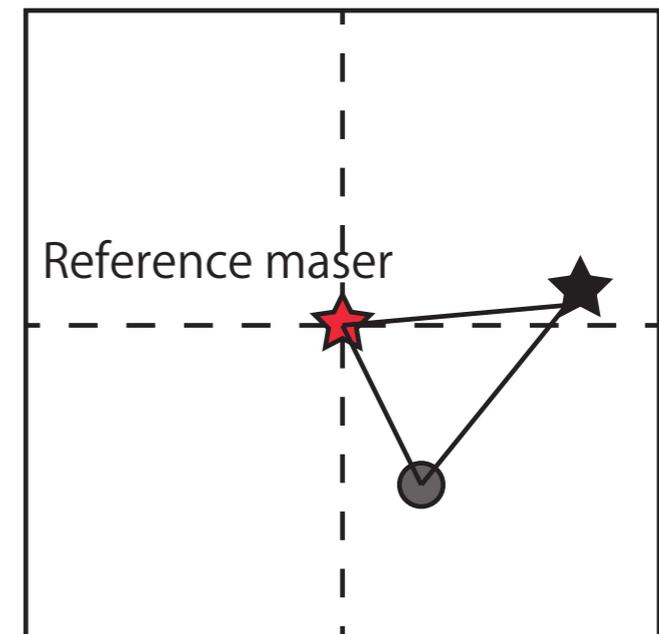
Normal phase reference



Inverse phase reference



Triangle phase reference



銀河系中心方向の位置天文観測における問題点

問題点

1. 銀河系中心方向は位置参照となる背景QSOが弱い

→ 逆位相補償による解析 (Sgr B2, Sgr D)

2. 明るいメーザー源のみでは銀河系中心のダイナミクスを把握するには足りない

→ Sgr B2をreferenceとした間接的な位相補償 (G359.93, J17445)

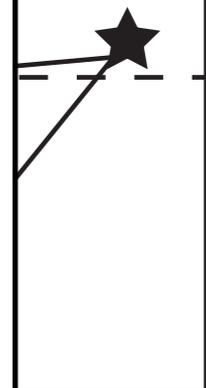
あるレベルでは成果が出せるものの、

安定して精度を保つのが難しい

①2つの位相補償の結果をもとに位置を出すため、
精度の劣化が避けられない

②referenceメーザーの構造や強度変動の影響を
受けやすい

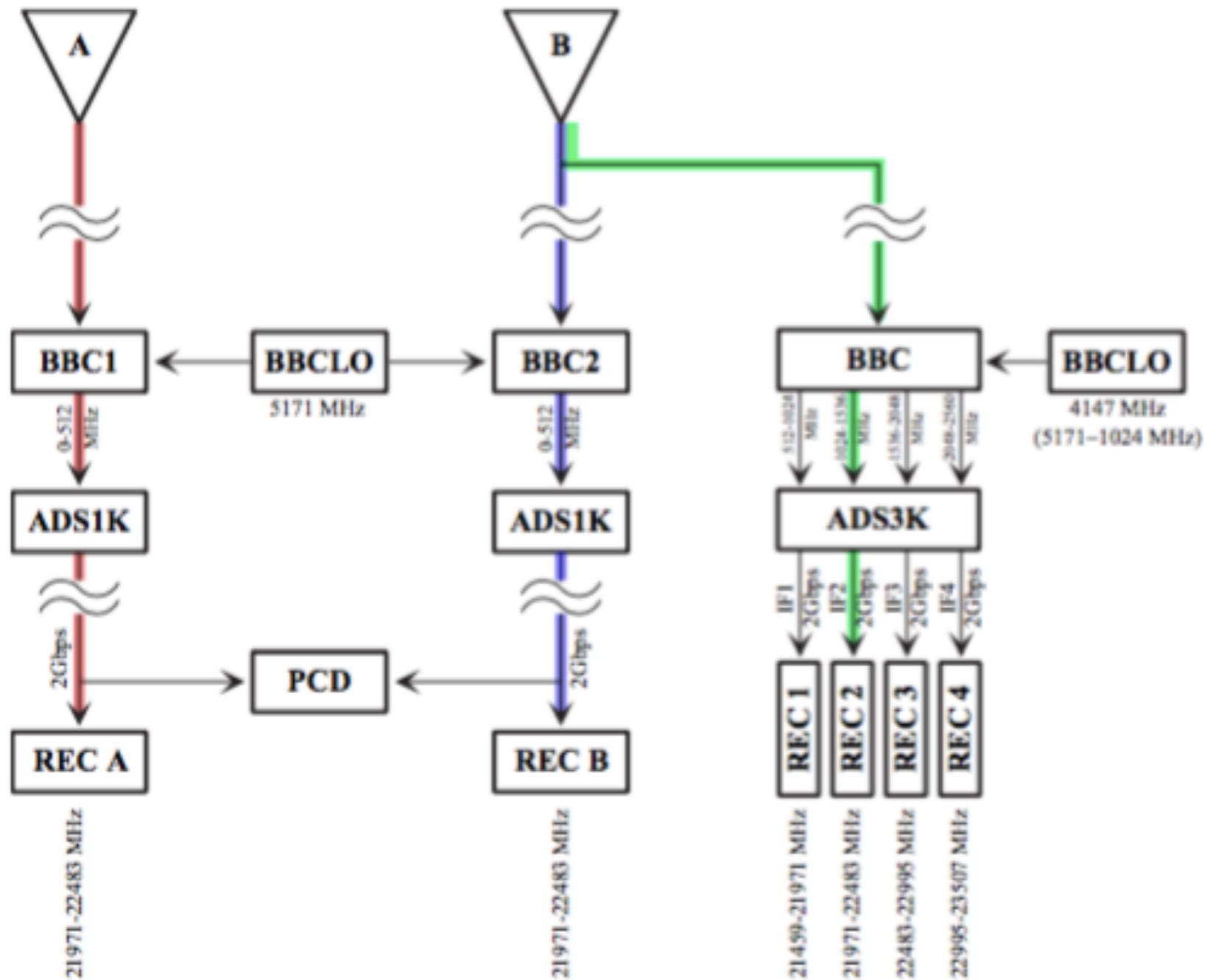
→方法としては良いが銀河系中心(8kpc)では厳しい



銀河系中心方向の位置天文観測における問題点

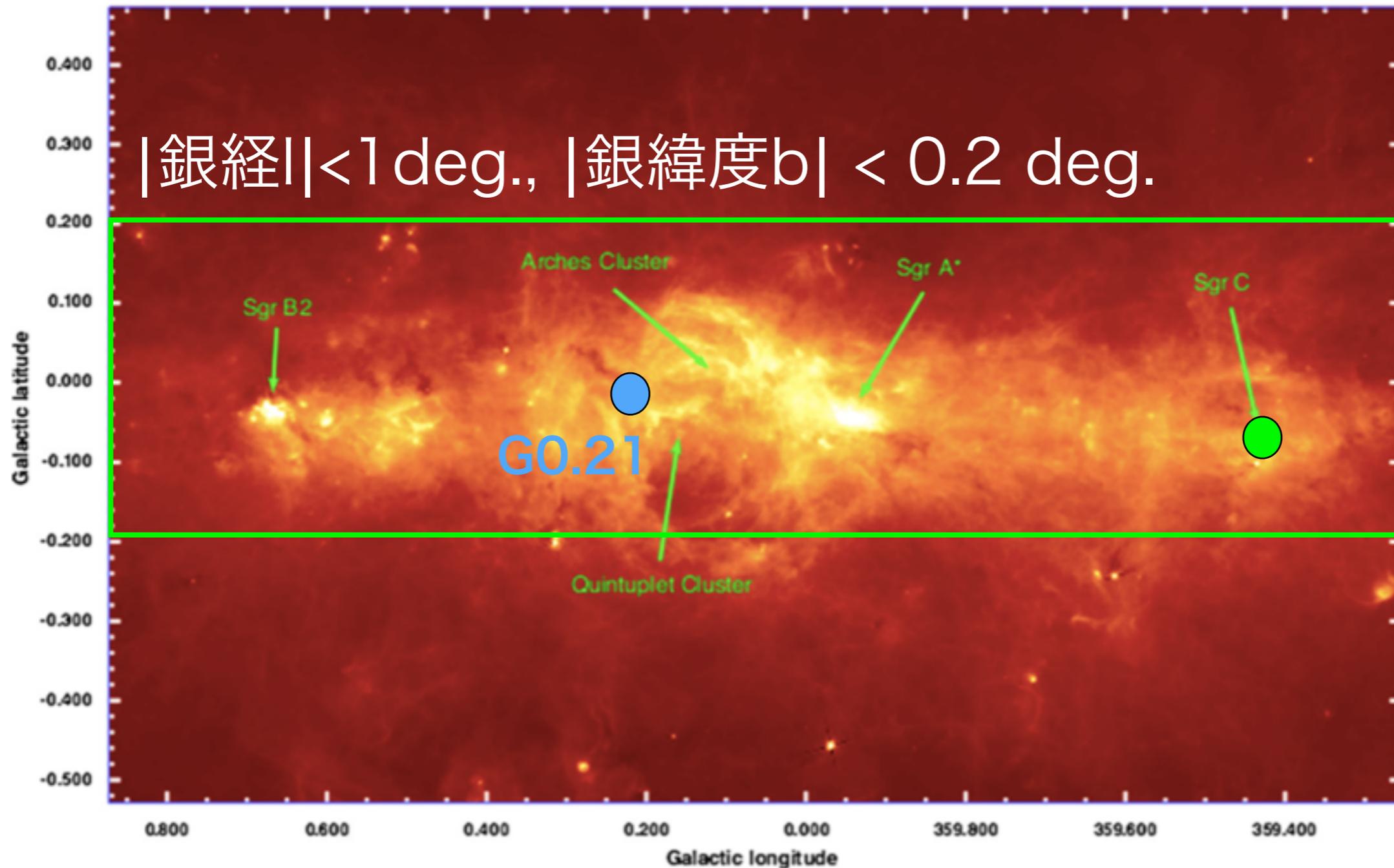
根本的な解決

システムの広帯域化 (12 Gbps)



12Gbpsの概略(永山匠さん作成)

銀河系中心方向の水メーザー源



約20個の水メーザー源が存在する

- 銀河系中心部に付随するものかどうかを含めて調査を行う必要がある。

まとめ・将来計画

- ・ 銀河系中心方向には強い位置参照QSOがない
- ・ 強いメーザーを用いた逆位相補償による位置天文観測が必要
- ・ SgrB2Mの年周視差の計測に成功
- ・ SgrB2Mの水メーザー分布を始めて描いた
- ・ 絶対固有運動から銀河系中心領域におけるSgrB2Mの位置が手前側であることを示唆

Future

- ・ VERA観測装置の**広帯域化**に伴い、今までFringeを検出できなかった背景QSOが検出可能になる
 - 比較的**暗いメーザー源**についても位置天文観測が可能になる
 - ・ KaVAなどの国際連携により、メーザーの検出感度上昇
 - 参照源検出の点でも、基線数が増えることにより歩止まりがよくなる
- KaVA astrometry mode