

Far Distance to G7.47+0.06 from Proper Motion Measurement of H₂O Masers

山内 彩(水沢VLBI観測所/学振特別研究員)

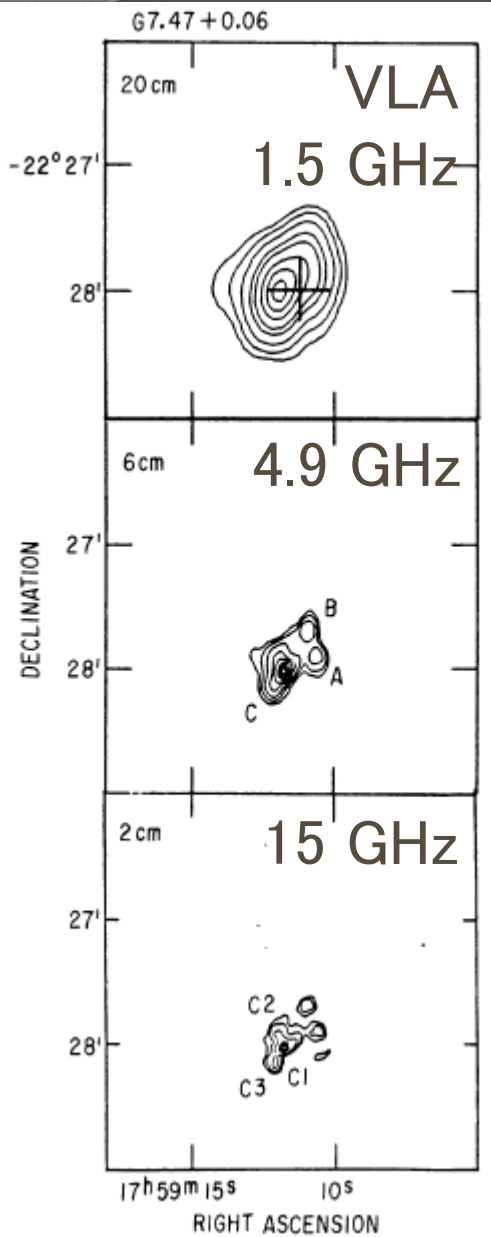
水沢VLBI観測所ユーザーズミーティング
2015年9月24日(木)-25日(金)

E-mail: a.yamauchi@nao.ac.jp

概要

- ◎ HII領域G7.47+0.06の水メーザーを、VERAで2009–2011年に11回観測したデータを使用。
- ◎ VEDAで解析。年周視差の検出は困難。固有運動 $\mu = -5.03 \pm 0.07$ mas/yrを検出。
 - ・ 銀河面にほぼ平行、銀河系中心に近づく方向。
- ◎ 固有運動と銀河回転曲線から距離計測。
⇒ $D = 20 \pm 2$ kpc。
- ◎ 先行研究で $D = 6.3$ kpcで見積もられたHII領域の物理パラメータを換算。

HII領域 G7.47+0.06



- ◎ 運動学的距離: (6.3) / 25.1 kpc (Wink+1982)
 - -13.0 km/s (H76 α), -14.5 km/s (H90 α)
 - H₂CO吸収線(Downes+1980)から25.1 kpc主張
- ◎ 若いOB型星のクラスターによって励起 (Garay+1993: 6.3 kpc採用)
 - VLA観測、最も明るい成分はC1
- ◎ IRAS 17591-2228 = C1の位置
- ◎ 水メーザー (VERA観測視野中心) はC1付近 (Sep. < 1")

Garay+1993

G7.47+0.06 H₂O ヌーザー一他

◎ H₂O ヌーザー (Comoretto+1990, Arcetri Atlas)

- $V = -16.6$ km/s

◎ CS(2-1) (Bronfman+1996)

- $-13.9, 15.4$ km/s ✖ V_{sys}

◎ OH 1665 MHz 吸収線

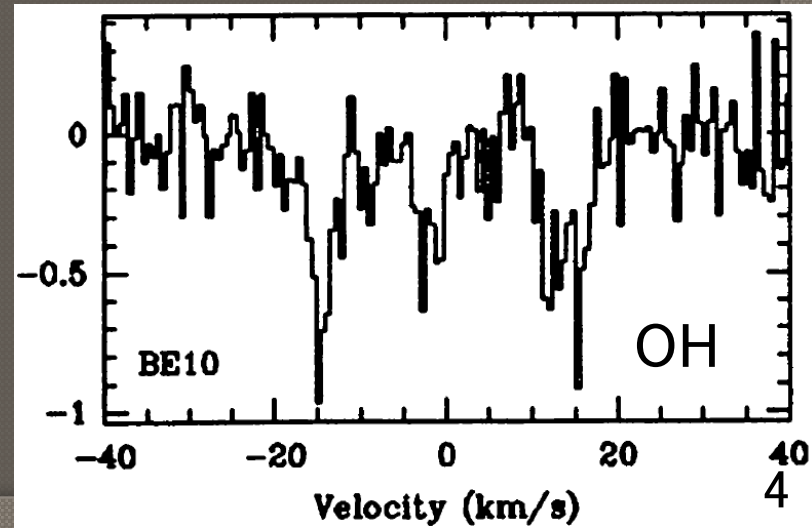
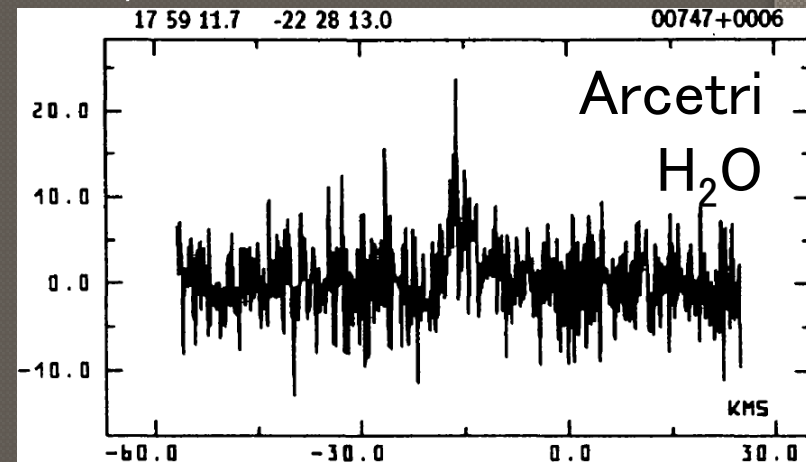
(Wouterloot+1993)

- $-14.5, -1.9, 12.4, 15.6$ km/s

◎ H₂CO 吸収線 / H110 α

(Downes+1980)

- $-14.0, -2.7, 11.5, 15.0,$
 121.0 km/s / -17.0 km/s



G7.47+0.06 運動学的距離

※1 ◎ 27 ± 5 kpc (Downes+1980)

- ・ H110 α 再結合線(-17.0 km/s) & H₂CO吸収線

※1 ◎ (6.3) / $25.1^{+10.8}_{-4.2}$ kpc (Wink+1982)

- ・ H76 α 再結合線(-13.0 km/s) & Downes+1980

※2 ◎ 29.37 kpc (Palagi+1993)

- ・ H₂Oメーザー (-16.6 km/s) & Downes+1980

※2 ◎ 3.0 / 13.8 kpc (Peeters+2002)

- ・ CS(2-1)(+15.4 km/s) (Bronfman+1996)

※2 ◎ 30.3 kpc (Balsler+2011)

- ・ H87 α - H93 α 再結合線(-16.93 km/s) & HI吸収線

観測

- ◎ 観測日: 2009～2011年 8時間×11観測
- ◎ 観測局: VERA 4局 (水沢, 入来, 小笠原, 石垣島)
 - ・ 2010年151通算日のみ水沢なしの3局
- ◎ 観測周波数: Kバンド
- ◎ レコーダ: DIR2000
- ◎ デジタルフィルタ: VERA7 (16MHz, 1+15IF)
 - ・ Aビーム - 本天体 (G7.47)
 - ・ Bビーム - 参照天体 (J1755-2232)

天体	RA (J2000)	Dec (J2000)	離角 (°)
G7.47	18h02m13.179s	-22d27'58.96"	
J1755-2232	17h55m26.284784s	-22d32'10.61651"	1.57

観測

ID	Date	DOY	$\theta_{\text{maj}} \times \theta_{\text{min}}$ (PA) [mas \times mas ($^{\circ}$)]	T_{sys} [K]				Bandpass for B
				MIZ	IRK	OGA	ISG	
1	2009 Mar 03	2009/062	3.47 \times 1.69 (162.4)	180– 730	180– 380	180– 610	220– 390	J1733-1304
2	2009 May 16	2009/136	2.78 \times 1.46 (152.3)	200–12300	180– 950	250– 2970	230– 2120	J1733-1304
3	2009 Aug 27	2009/239	3.52 \times 1.64 (159.8)	260–12650	210– 1330	220– 4370	260– 2570	J1733-1304
4	2010 Jan 09	2010/009	4.43 \times 1.75 (156.2)	120– 570	120– 340	120– 3790	180– 3930	J1733-1304
5	2010 May 09	2010/068	3.02 \times 1.52 (157.9)	170– 2940	110– 1680	230–12670	190– 1010	J1733-1304
6	2010 May 31	2010/151	4.50 \times 1.93 (171.9)	—	220– 800	210– 600	250– 1690	J1733-1304
7	2010 Oct 24	2010/297	2.83 \times 1.45 (154.1)	220– 2510	370–12670	300–12810	340– 2350	J1733-1304
8	2010 Dec 22	2010/356	3.05 \times 1.50 (152.3)	120– 950	100– 270	140– 3030	150– 450	NRAO530
9	2011 May 08	2011/128	2.92 \times 1.46 (152.3)	110– 830	310– 2500	240– 5390	300– 2620	NRAO530 & BLLAC
10	2011 Sep 12	2011/255	2.95 \times 1.54 (156.4)	230– 5880	170– 890	250–12810	330–12130	M87 & BLLAC
11	2011 Dec 21	2011/355	5.37 \times 0.69 (134.6)	110– 720	110– 710	140– 6820	220– 1070	M87 & BLLAC

観測・解析

◎レーザー速度分解能

- ・ YYDDD^{※1} = 09062, 10068, 10151, 10297, 10356, 11128, 11255, 11355: 16MHz 512点分光 (1ch 0.421 km/s)
- ・ YYDDD = 09136, 09239, 10009: 8MHz 512点分光 (1ch 0.210 km/s)

◎解析: VEDA

- ・ 検出8観測 : 09062, 09136, 09239, 10009, 10068, 10151, 11128, 11255
- ・ 非検出3観測 : 10297, 10356, 11355

※1 YY: 西暦の下2桁、DDD: 通算日

解析

◎ Aビーム (メーカー)

- ・ 遅延追尾再計算 (rundap, getapr)
- ・ データ積分 (Integ): time 4, channel 1
- ・ バンドパス・振幅較正 (AmpCal): J1733-13
- ・ ドップラー補正 (Doppler): G7.47
- ・ 位相補償 (refringe): G7.47、積分なし
- ・ マッピング (mapping): G7.47

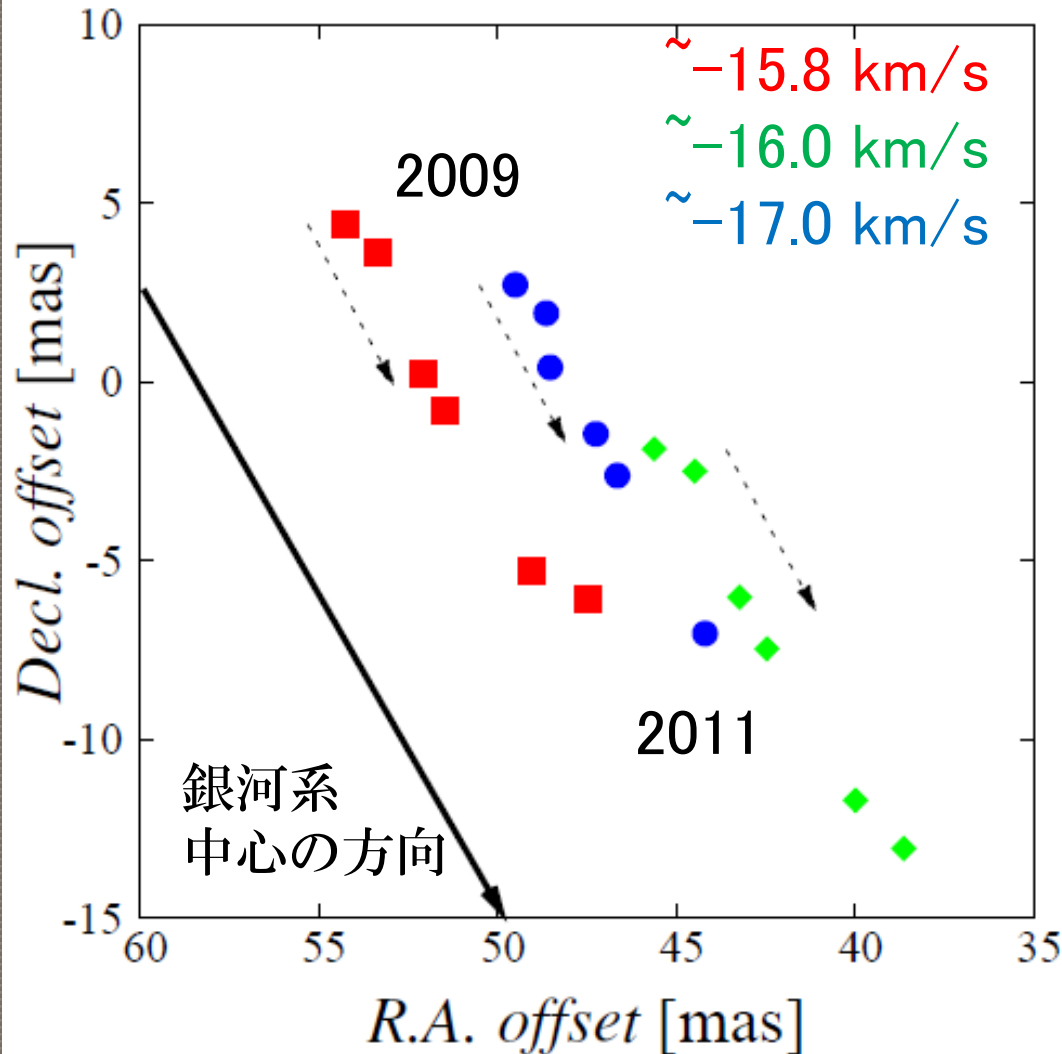
◎ Bビーム (参照天体)

- ・ 遅延追尾再計算 (rundap, getapr)
- ・ データ積分 (Integ): time 4, channel 4
- ・ バンドパス・振幅較正 (AmpCal): ※1
- ・ フリンジサーチ1 (fringe): ※2
- ・ フリンジサーチ2 (fringe): J1755-22
- ・ セルフキャリ1 (selfcal): J1755-22、位相のみ
- ・ セルフキャリ2 (selfcal): J1755-22、位相&振幅

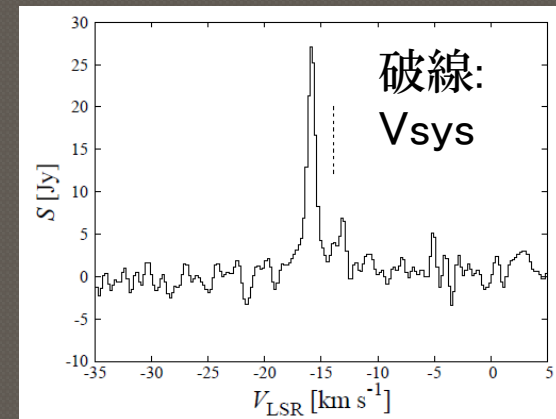
※1 J1733-13、NRAO530、M87 (観測による)

※2 J1733-13、NRAO530、M87、BLLAC (観測による)

結果

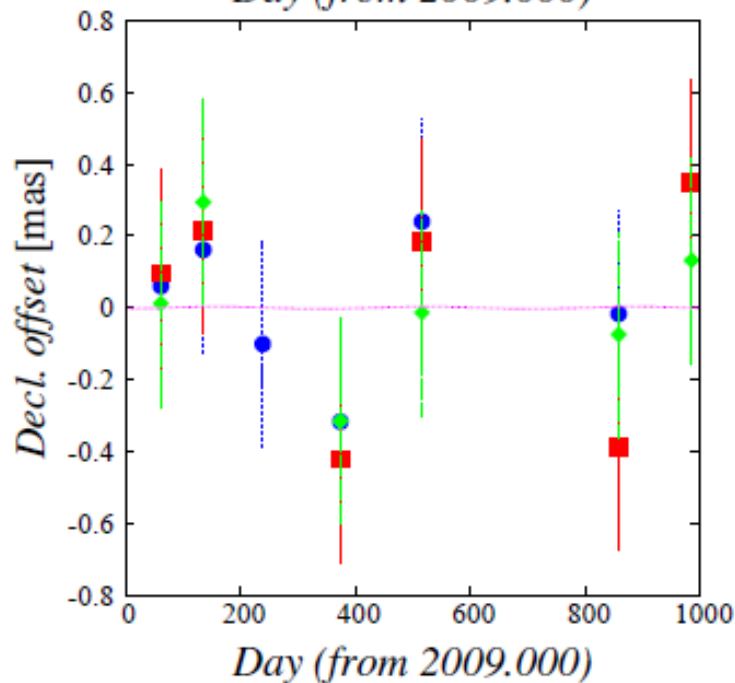
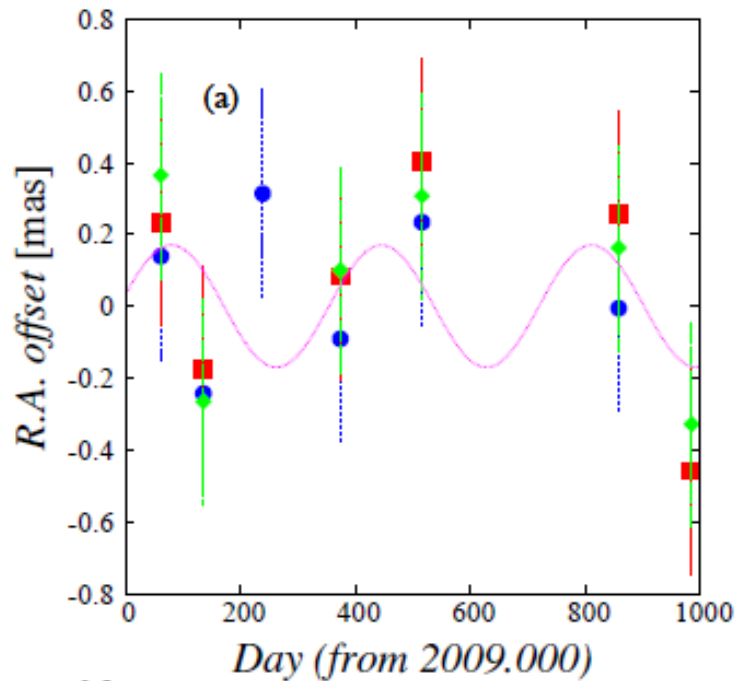


- ◎ 3成分が北東→南西へ移動
- ◎ 銀河面にほぼ平行、銀河系中心に近づく方向



水沢単一鏡2011/045

年周視差



◎ フィットティング

- 3成分で年周視差共通
- 固有運動は各々異なる
- RA・Dec両方使用

◎ $\pi = 0.170 \pm 0.135$ mas

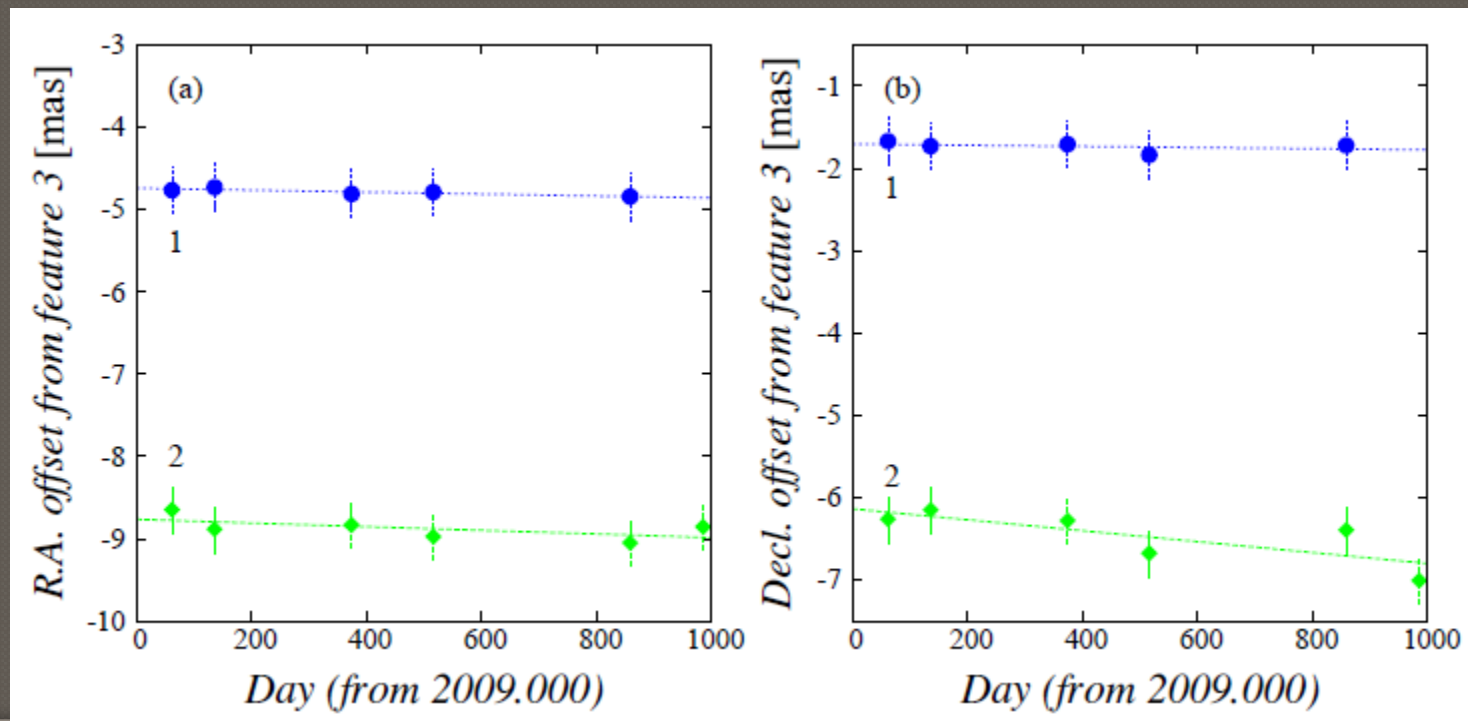
- 5.88 ± 4.66 kpcに相当。
- エラー79%

◎ 年周視差での距離測定は困難

内部固有運動

◎ ■ の成分に対する運動

- RA方向の●のみ $\approx 3\sigma$ 、他は全て $< 3\sigma$
- 有意な内部固有運動は検出されていない



l,b方向の絶対固有運動

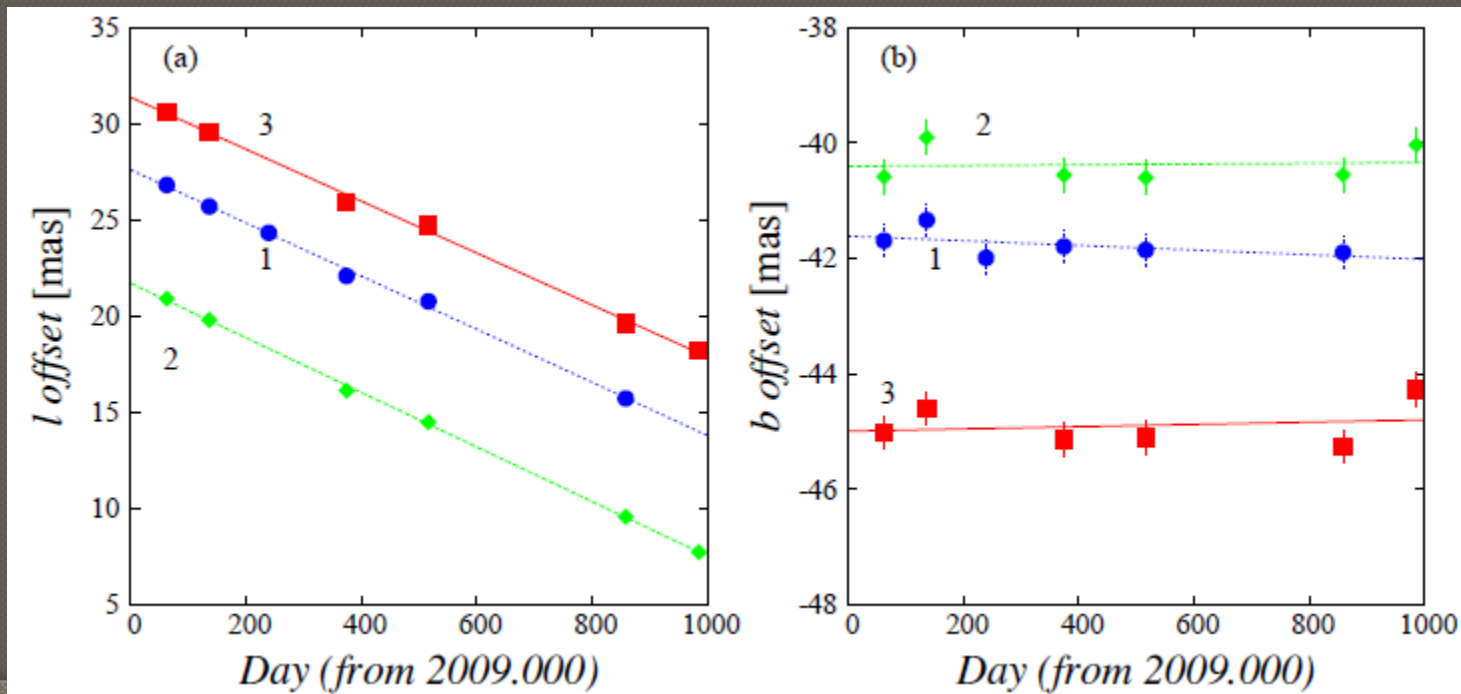
◎ 直線フィッティング

- ・ l方向 -5.03 ± 0.07 mas/yr (平均)
- ・ b方向 有意な運動は非検出

Feature ID	Proper Motion (mas yr ⁻¹)*	
	<i>l</i>	<i>b</i>
1	-5.04 ± 0.13	-0.15 ± 0.12
2	-5.18 ± 0.07	$+0.02 \pm 0.15$
3	-4.93 ± 0.12	$+0.07 \pm 0.18$
Average [†]	-5.03 ± 0.07	-0.01 ± 0.09

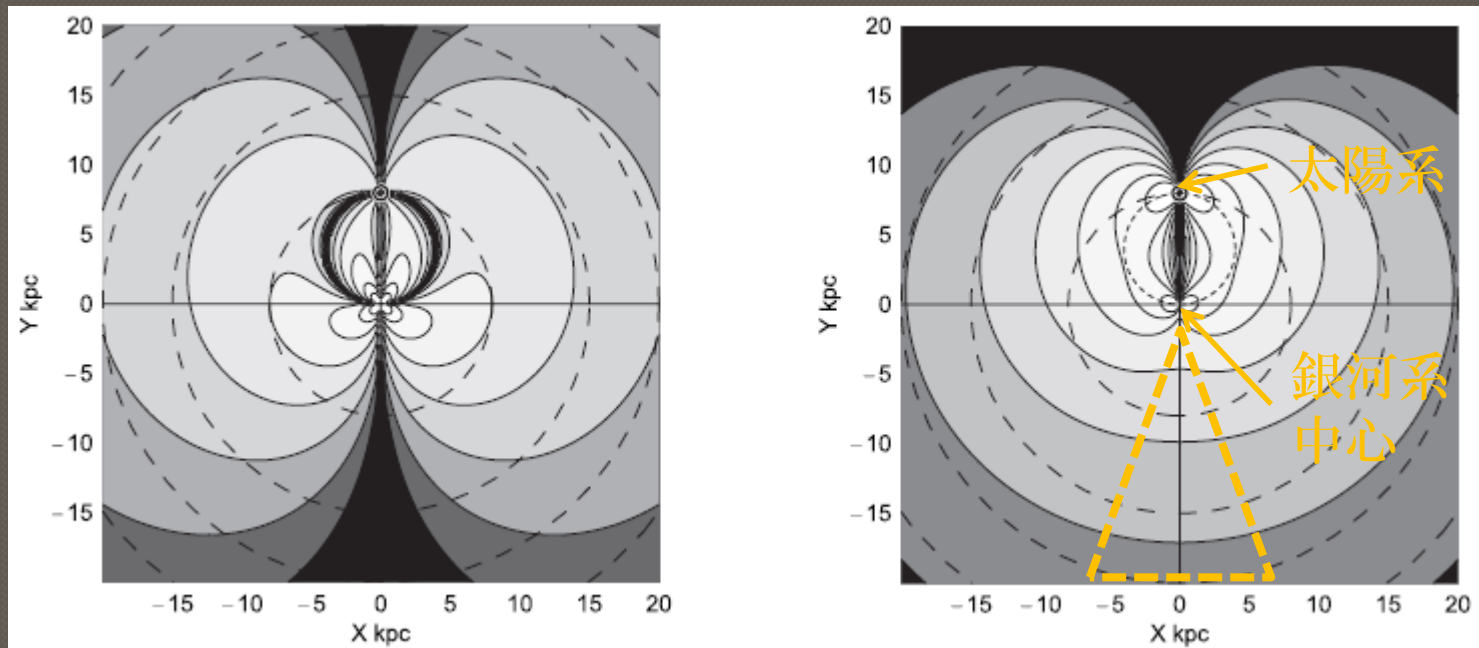
* Each error indicate 1σ .

[†] Weighted average of three features.



Sofue 2011

- ◎ 銀河回転曲線 + 視線速度 or 固有運動で距離を求めた場合の決定精度を比較
- ◎ 銀河系中心の向こう側は、固有運動が有利



左：視線速度、右：固有運動。色が薄いほど良い。

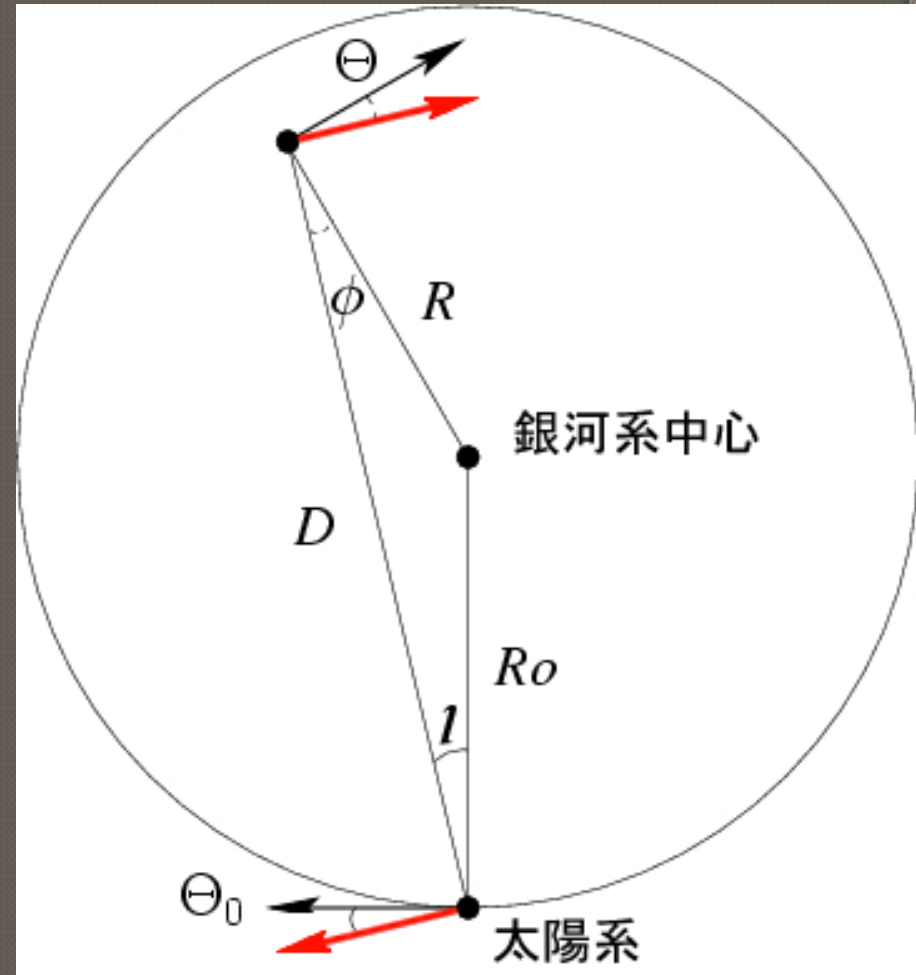
距離D vs 固有運動 μ

- 銀経 l の天体が、銀河面内で、完全に円運動すると仮定

$$V_t = \Theta \frac{R_0 \cos l - D}{\sqrt{D^2 + R_0^2 - 2DR_0 \cos l}} - \Theta_0 \cos l$$

- $\mu = V_t / D$

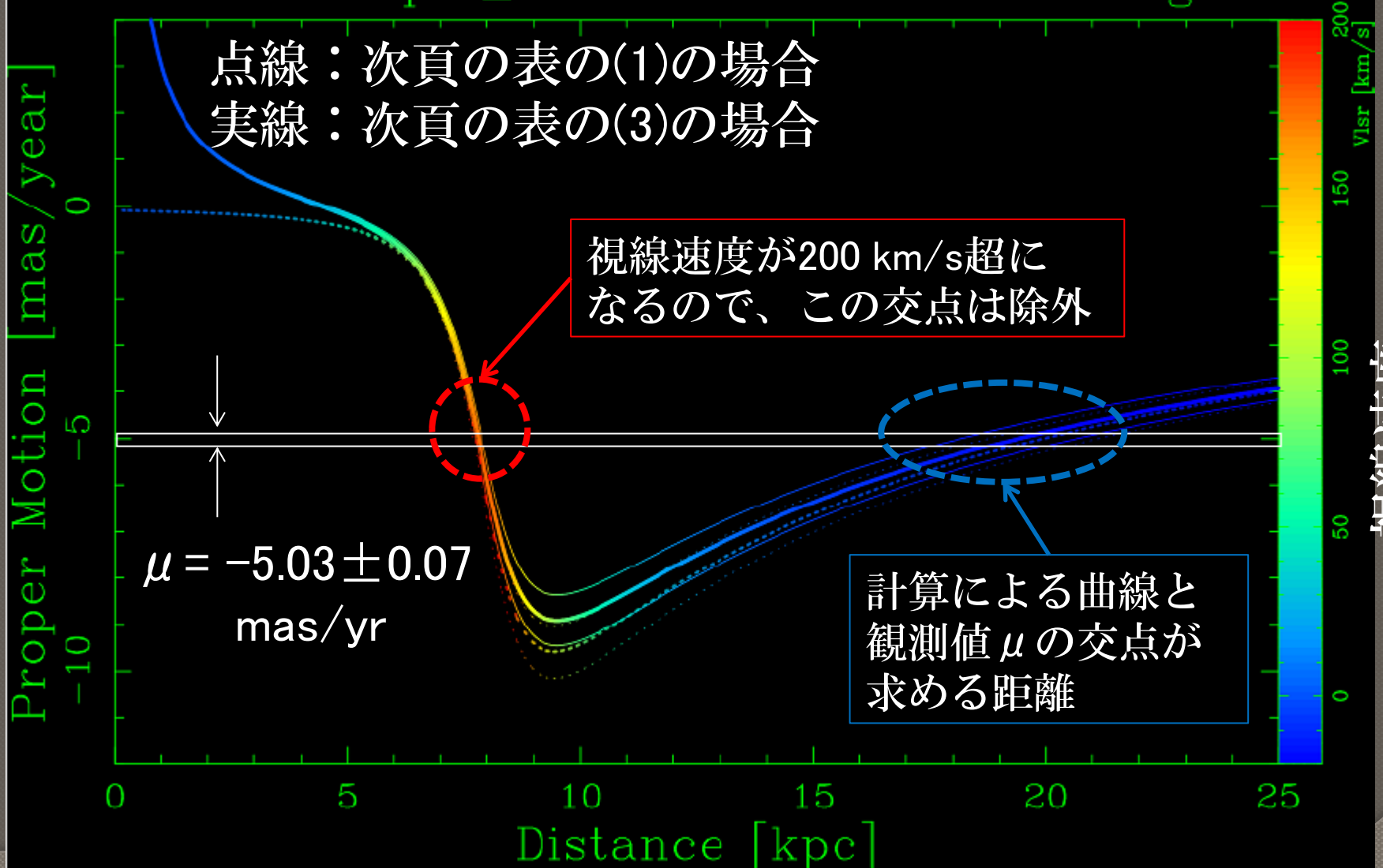
- $\Theta_0 = 238 \pm 14 \text{ km/s}$ 、
 $\Theta(R) = \Theta_0 (R/R_0)^\alpha$ 、
 $R_0 = 8.05 \pm 0.45 \text{ kpc}$ で
計算（次頁グラフ）



Θ_0 と R_0 の値: Honma+2012

距離D vs 固有運動 μ

Proper_motion at L = 7.46607 deg



距離

- ◎ $\Theta = \Theta_0, R_0, \mu$ を一つずつ振る ($\alpha=0$)
- ◎ (1) $\Theta = \Theta_0, R_0, \mu$ を同時に振る ($\alpha=0$)
- ◎ (2) flat-rotation でない場合 ($\alpha=0.05$)
- ◎ (3) (2) に太陽運動の効果を追加

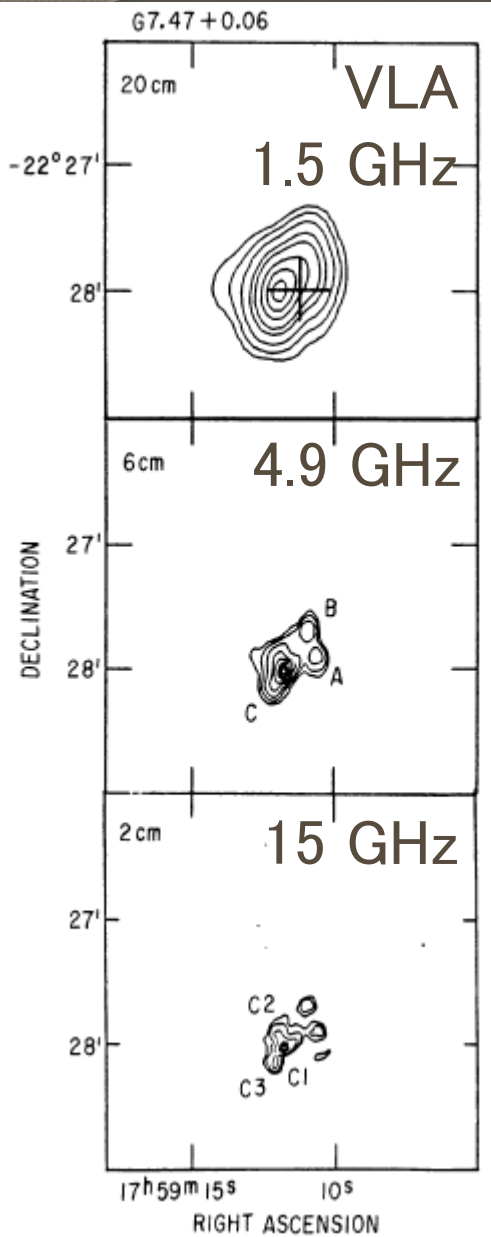
Case	α^*	$U_\odot, V_\odot, W_\odot$ (km s ⁻¹)	R_0 (kpc)	Θ_0 (km s ⁻¹)	μ (mas)	D (kpc)
	0	—	8.05 ± 0.45	238	-5.03	19.8 ± 0.1
	0	—	8.05	238 ± 14	-5.03	19.8 ± 1.2
	0	—	8.05	238	-5.03 ± 0.07	19.8 ± 0.3
(1)	0	—	8.05 ± 0.45	238 ± 14	-5.03 ± 0.07	19.8 ± 1.5
(2)	0.05	—	8.05 ± 0.45	238 ± 14	-5.03 ± 0.07	20.1 ± 1.6
(3)	0.05	(11.1, 12.2, 7.3) [†]	8.05 ± 0.45	238 ± 14	-5.03 ± 0.07	19.3 ± 1.6

* $\Theta(R) = \Theta_0(R/R_0)^\alpha$.

† Schönrich et al. (2010).

$D = 20 \pm 2$ kpc

HII領域 G7.47+0.06



◎ Garay+1993: 6.3 kpc採用

- A, B, C1, C2, C3
- 直径 $d = 0.08-0.3$ pc
- 電子密度 $N_e = 1.5 \times 10^3 - 1.8 \times 10^4$ cm⁻³
- スペクトル型 O8-O9.5

◎ 6.3 kpc \Rightarrow 20 kpc に換算

- 直径 $d = 0.25-0.89$ pc
- 電子密度 $N_e = 8.4 \times 10^2 - 1.5 \times 10^3$ cm⁻³
- スペクトル型 O5.5-O6.5

Garay+1993