

# The Far Distance to G21.87+0.01 from Proper Motion Measurement of Water 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  
2017年11月3日(金)-4日(土)

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

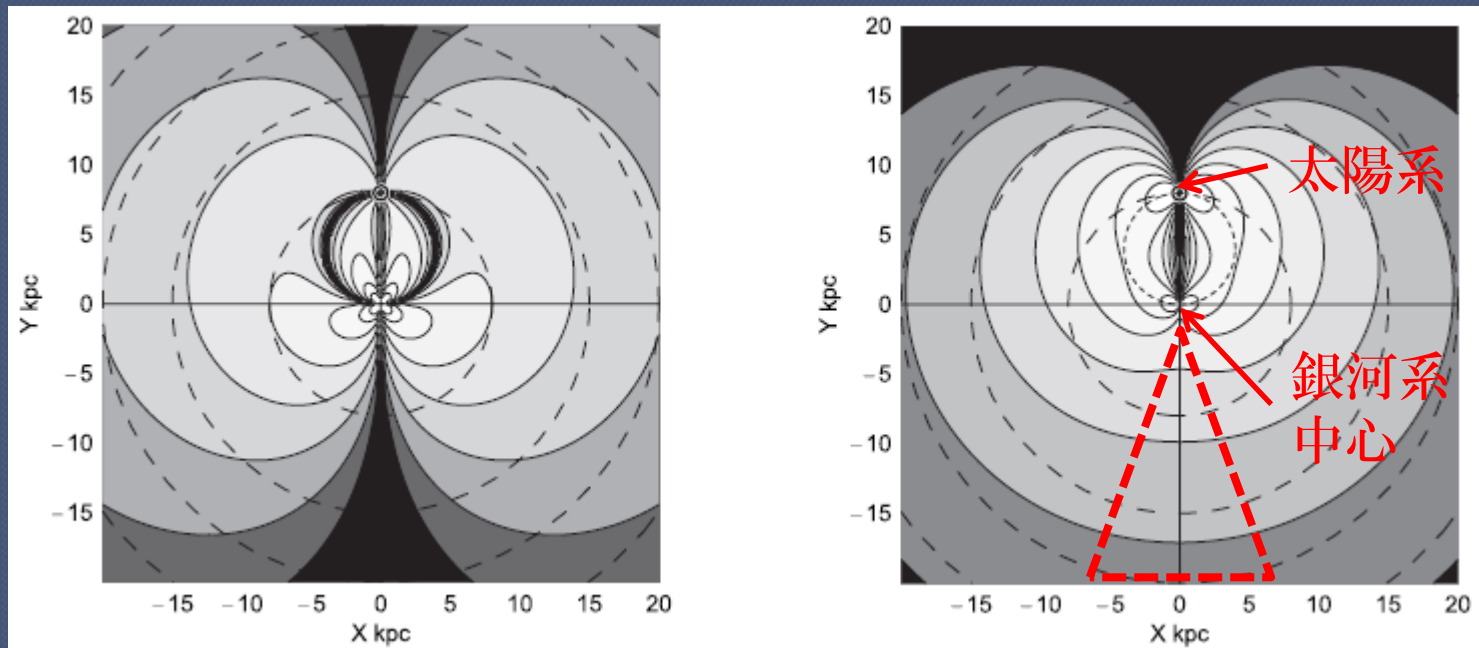
# 概要

- ◎ 超コンパクトH<sub>II</sub>領域G21.87+0.01水メーザーを、2009–11年に9回VERA観測したデータを使用。
  - ・ 運動学的距離 2 or 13 kpc、吸収線でFarとされる天体。
- ◎ AIPSで解析。年周視差の検出は困難。内部運動なしと仮定して、固有運動  $\mu = -6.88 \pm 0.04$  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。  
⇒  $D = 13^{+2}_{-5}$  kpc (preliminary)、Far。

$$\Theta_0 = 200 \text{ km/s}$$
$$R_0 = 8.0 \text{ kpc}$$

# 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

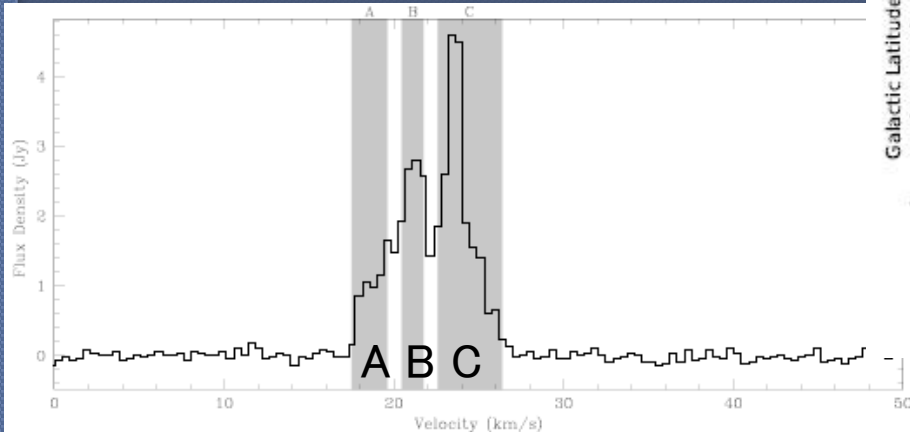
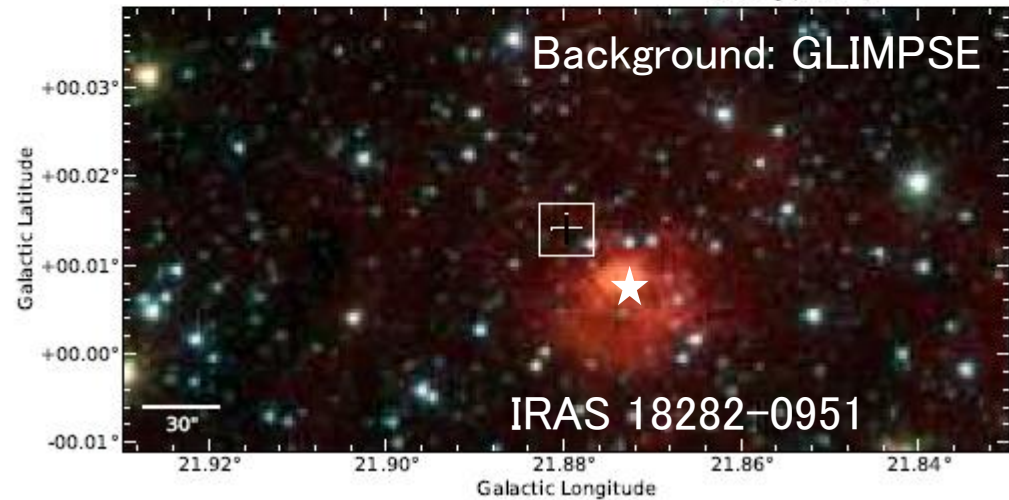
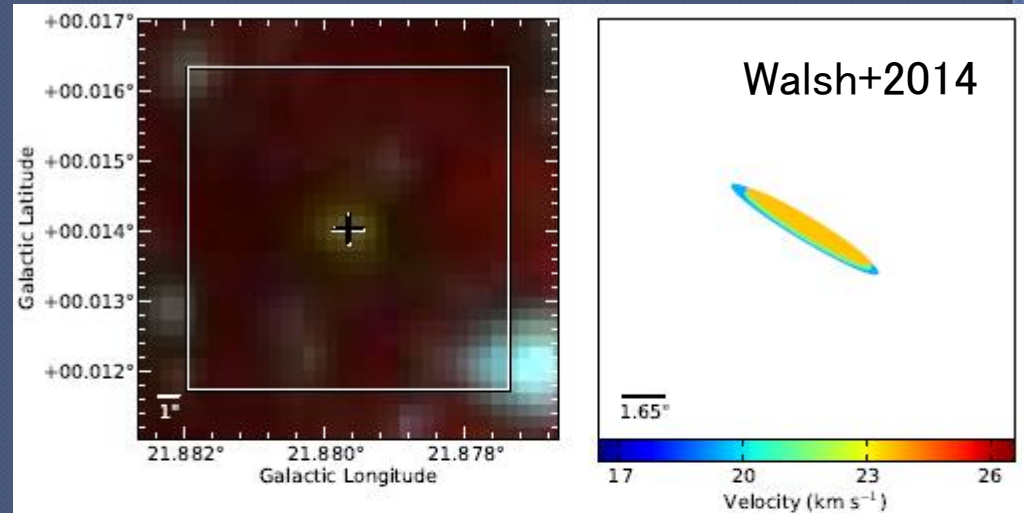


左：視線速度、右：固有運動。色が薄いほど良い。

# G21.87+0.01 水メーザー

## Walsh+2014

- ATCA (HOPS)
- 観測年: 2011 – 2012
- G021.880+0.014
- A: 19.5 km/s, B: 21.3 km/s, C: 23.6 km/s



# G21.87+0.01 他輝線

## ◎ OHメーザー (Szymczak+2004)

- 22.1 km/s 23.0 km/s (1665 MHz), 23.0 km/s (1667 MHz), 23.8 km/s (1612 MHz), 23.0 km/s (1720 MHz)

## ◎ メタノールメーザー (Pestalozzi+2005)

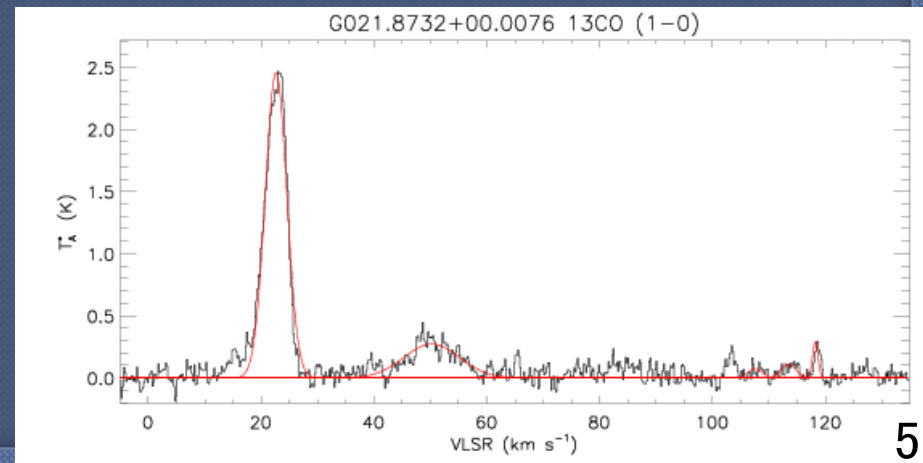
- 21.0 km/s (6.7 GHz)

## ◎ CS(2-1) (Bronfman+1996) ※ H<sub>II</sub>領域のシステム速度

- **22.4 ± 2.0 km/s** (97 GHz)

## ◎ <sup>13</sup>CO (Urquhart+2008)

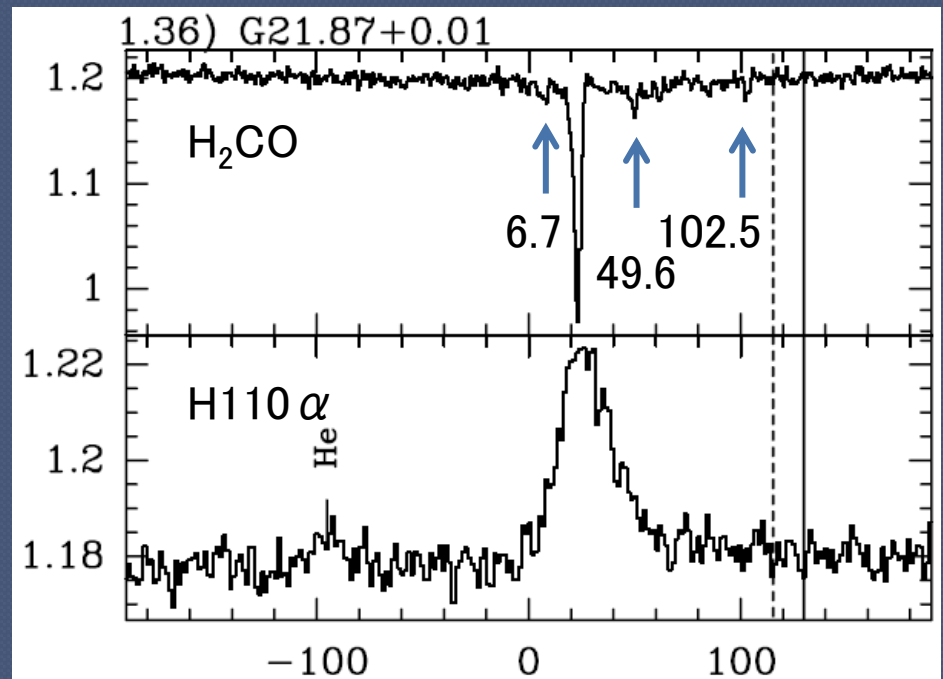
- 22.8 km/s, 50.5 km/s, 103.4 km/s, 118.7 km/s



✘  $R_0 = 8.5$  kpc使用

# G21.87+0.01 運動学的距離

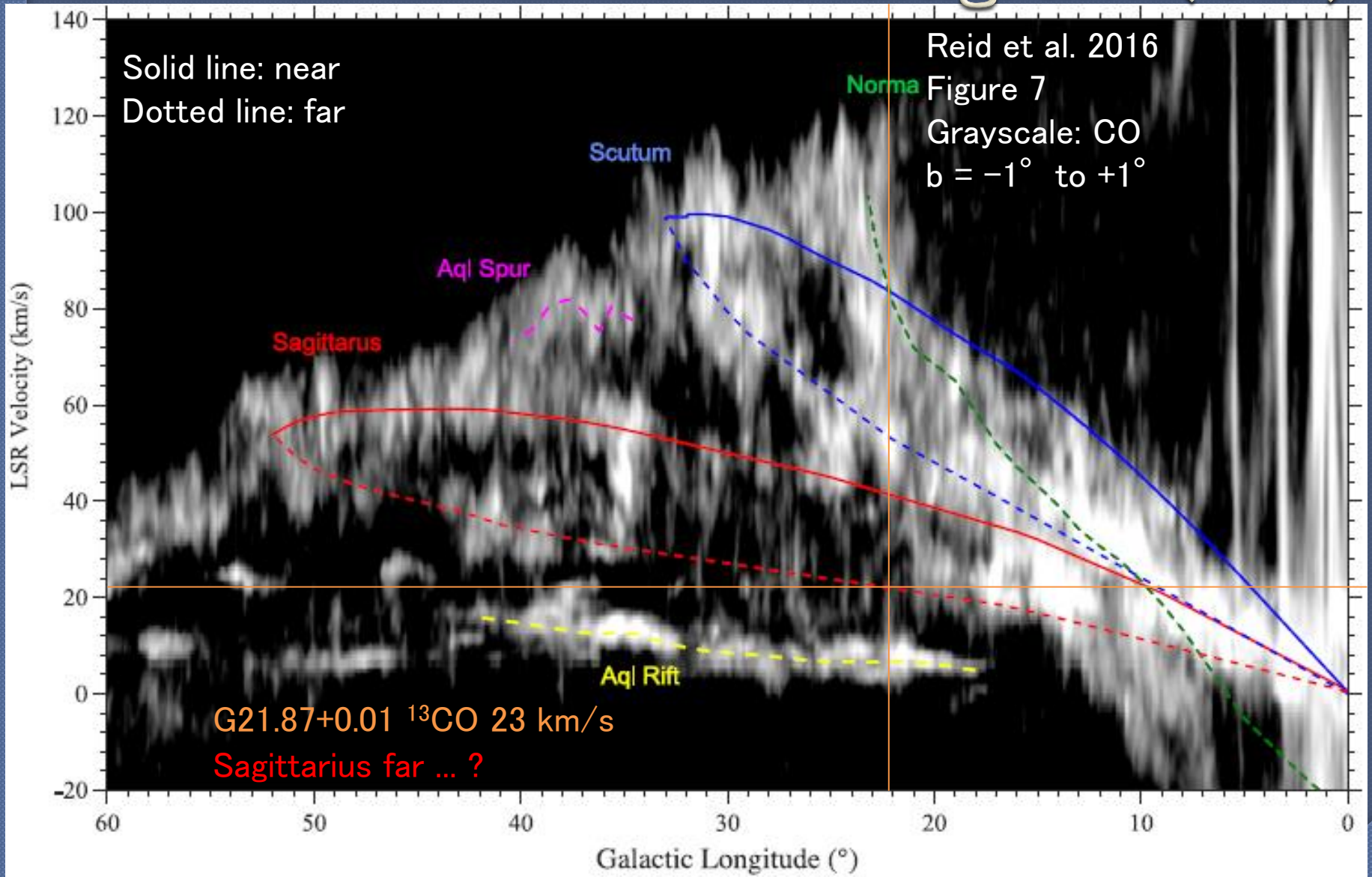
- ◎  $13.4^{+0.8}_{-0.7}$  kpc / (2.4 kpc) (Sewilo+2004) ✘
  - ・ H110  $\alpha$  再結合線 ( $26.9 \pm 0.4$  km/s) & H<sub>2</sub>CO吸収線 (23.0, 49.6, 102.5, 6.7 km/s)
- ◎ 13.7 kpc / 2.1 kpc (Anderson+2009) ✘
  - ・ HI輝線 (26.9 km/s)/  
吸収線 (far),  
自己吸収 (near)
- ◎  $13.7 \pm 0.4$  kpc (Kolpak+2003) ✘
  - ・ HI吸収線 24.4 km/s

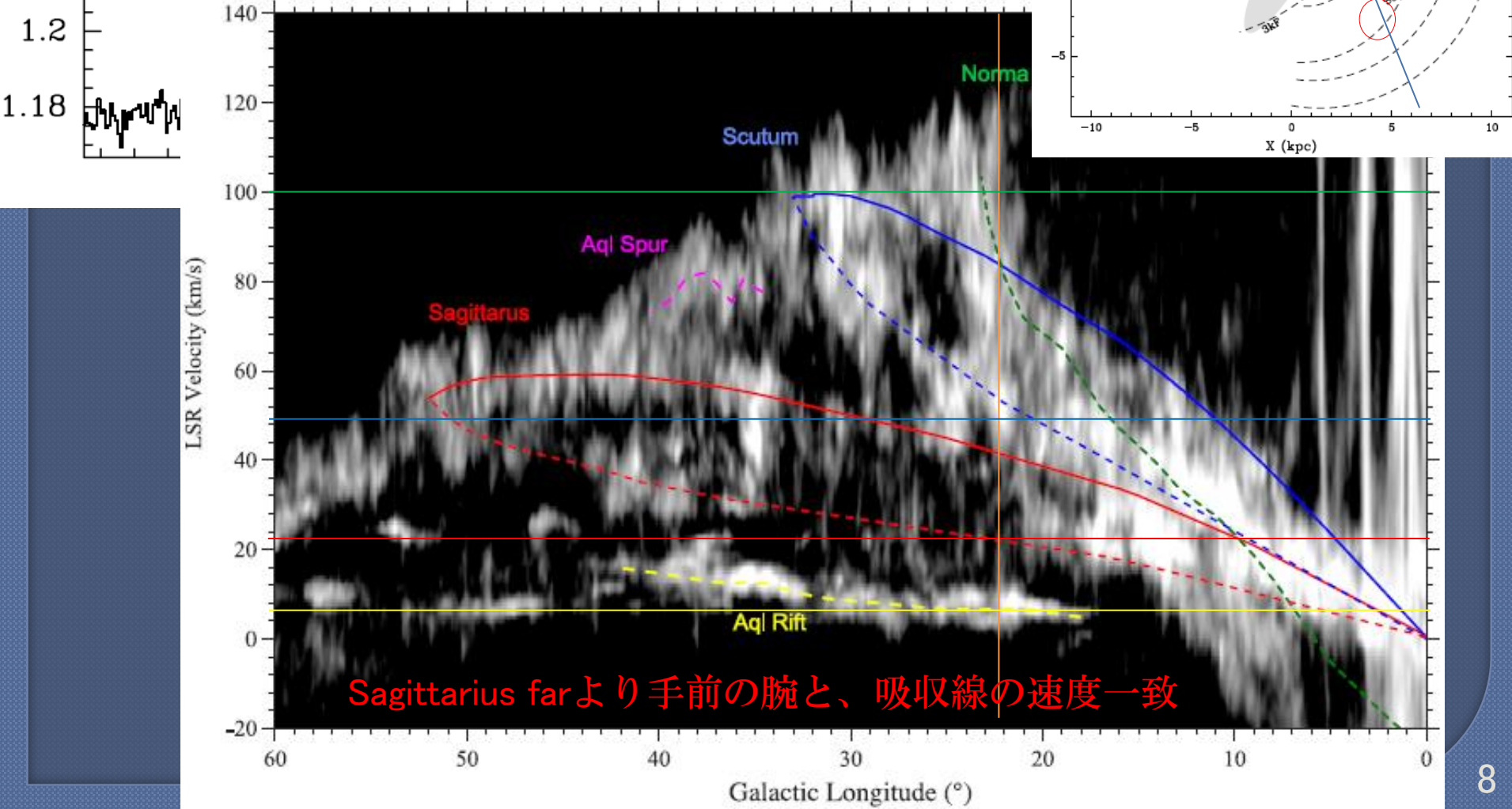
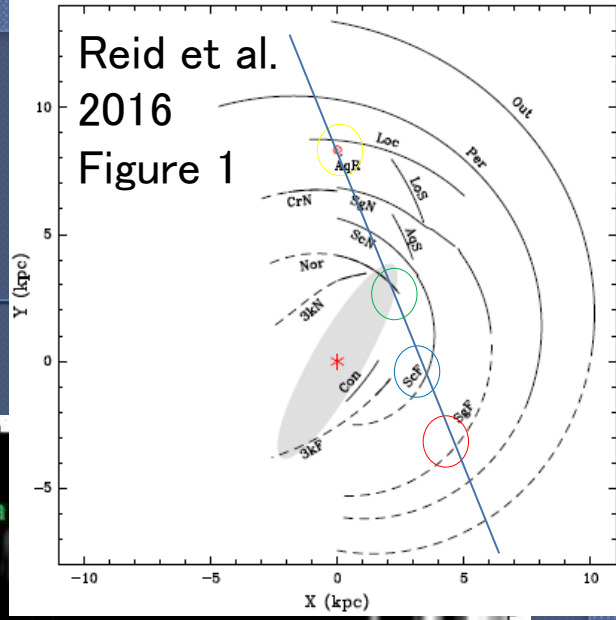
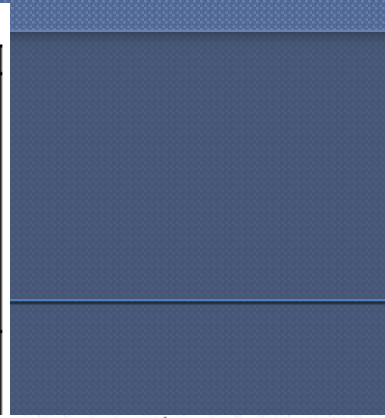
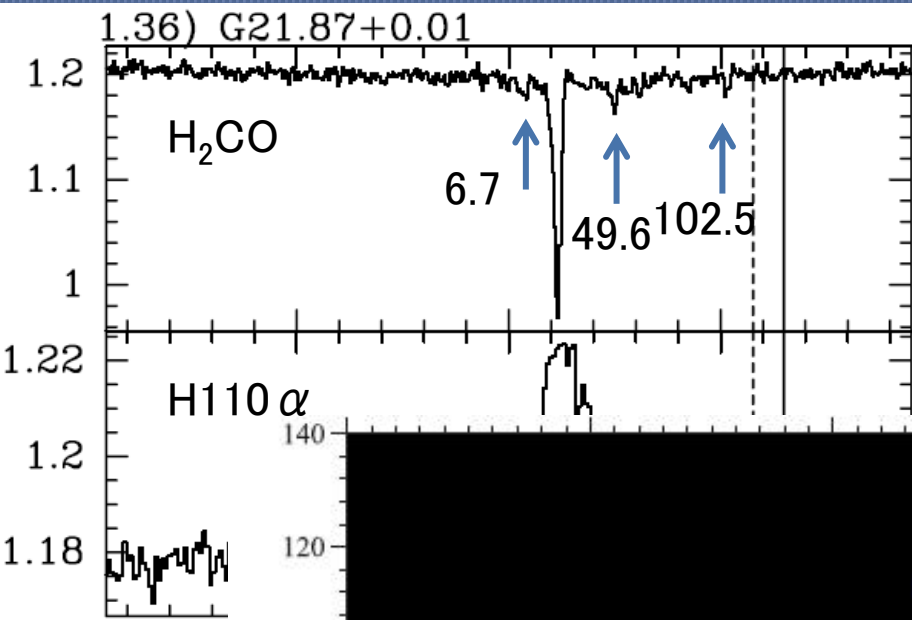


実線: 接線速度 (Brand & Blitz (1993) 銀河回転モデル)

点線: 接線速度 (Clemens (1985) 銀河回転モデル) 6

# l - v diagram (CO)







# 観測・解析

- ◎ 観測日: 2009 – 2011, 8.5時間 × 9観測 (2ペア)
- ◎ 観測局: VERA 4局 (水沢, 入来, 小笠原, 石垣島)
- ◎ レコーダ: DIR2000
- ◎ デジタルフィルタ: VERA7 (16MHz, 1+15IF)
  - ・ Aビーム – 本天体 (G21.87+0.01) & G20.08 or M17
  - ・ Bビーム – 参照源 (J1832-1035) & J1832 or J1825-1718
- ◎ K帯, **8MHz** 512点分光 (1ch 0.210 km/s)

天体	RA (J2000)	Dec (J2000)	離角 (°)
G21.87+0.0	18h31m01.7490s	-09d49'01.1300''	
J1832-10	18h32m20.836546s	-10d35'11.19999''	0.84

- ◎ 解析: VEDA, AIPS (局位置1609trf08)

# Results (VEDA)

Obs. Code	Ref. (mJy/beam)	AC	XC	Find Spot検出 (km/s)	Note
r09301a	247	○	△	2ch (20.4–20.6)	
r10024b	240	○	△	6ch (20.0–21.1)	OGA HM trouble IRK LO 1MHz offset
r10127b	270	○	△	6+2ch (20.0–21.3)	
r10263a	313	×	×	×	ISG data lack
r10318a	230	△	△	2+6+3ch (18.9–22.9)	
r10335a	241	△	×	2+4ch (20.8–23.4)	
r11057b	292	△	×	4ch (20.4–21.1)	
r11229c	213	×	×	×	IRK ANT trouble
r11345b	285	△	×	×	

# Results (AIPS)

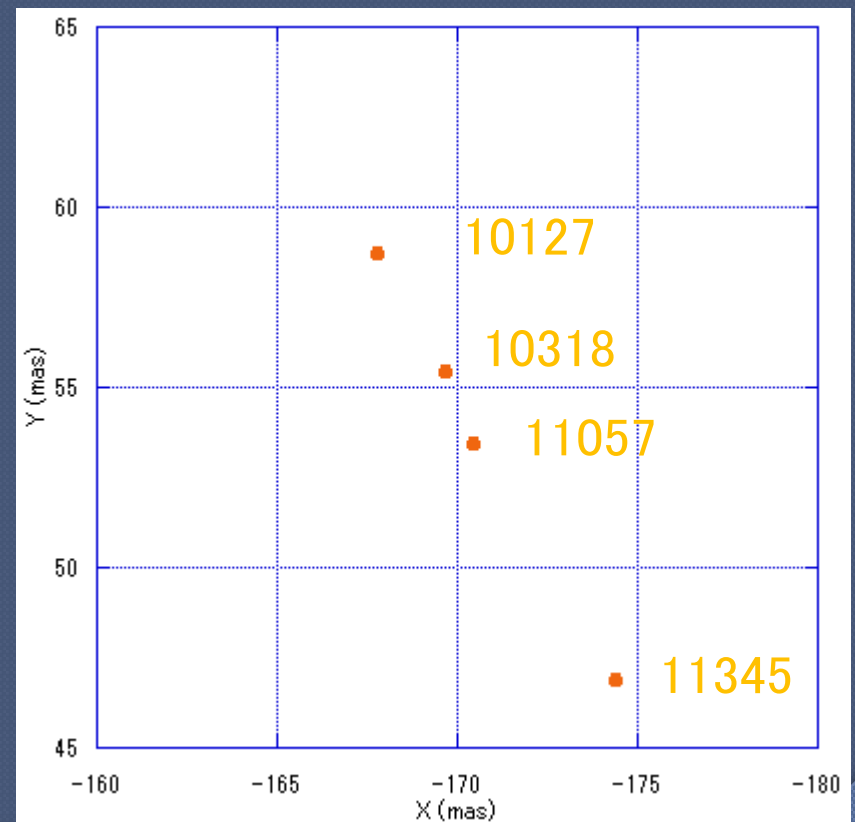
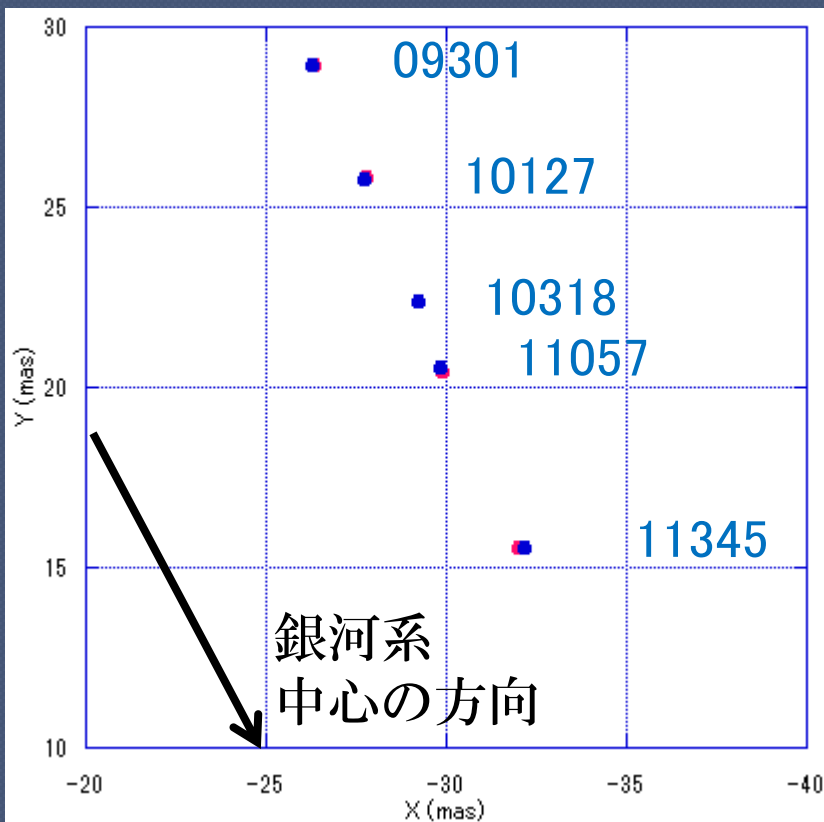
Obs. Code	Ref. (mJy/beam)	AC	XC	IMAGR検出 (km/s)	Note
r09301a	141	○	○	18ch (19.6–23.2)	
r10024b	–	○	△	–	参照源fring使用不可
r10127b	160	○	○	12ch (19.6–22.0)	
r10263a	–	△	×	–	参照源fring使用不可
r10318a	159	○	△	15ch (19.0–22.0)	
r10335a	–	○	×	–	参照源fring使用不可
r11057b	125	△	×	8ch (20.0–21.5)	
r11229c	–	×	×	–	参照源fring使用不可
r11345b	165	△	×	2ch (20.9–21.1)	

- fringのdelayで使用不可判断、解析そこで終了。
- 5エポック全検出は2ch (20.9, 21.1 km/s)のみ。
- 4エポックで23.6 km/s検出、他の成分捜索中

# Results (AIPS)

- 青 20.9 km/s,
- ピンク 21.1 km/s

- 23.6 km/s (09301のみ  
非検出)



※Parallaxに使ったchと同速度は、09301でVEDA非検出。

※11345はVEDA非検出のため比較できない。

## VEDAとAIPS比較

AIPS	09301	10127	10318	11057
ch	370	343	265	292
V (km/s)	20.6866	20.6984	20.6833	20.6976
X (mas)	-26.308	-27.743	-29.116	-29.773
Y (mas)	28.983	25.833	22.305	20.525

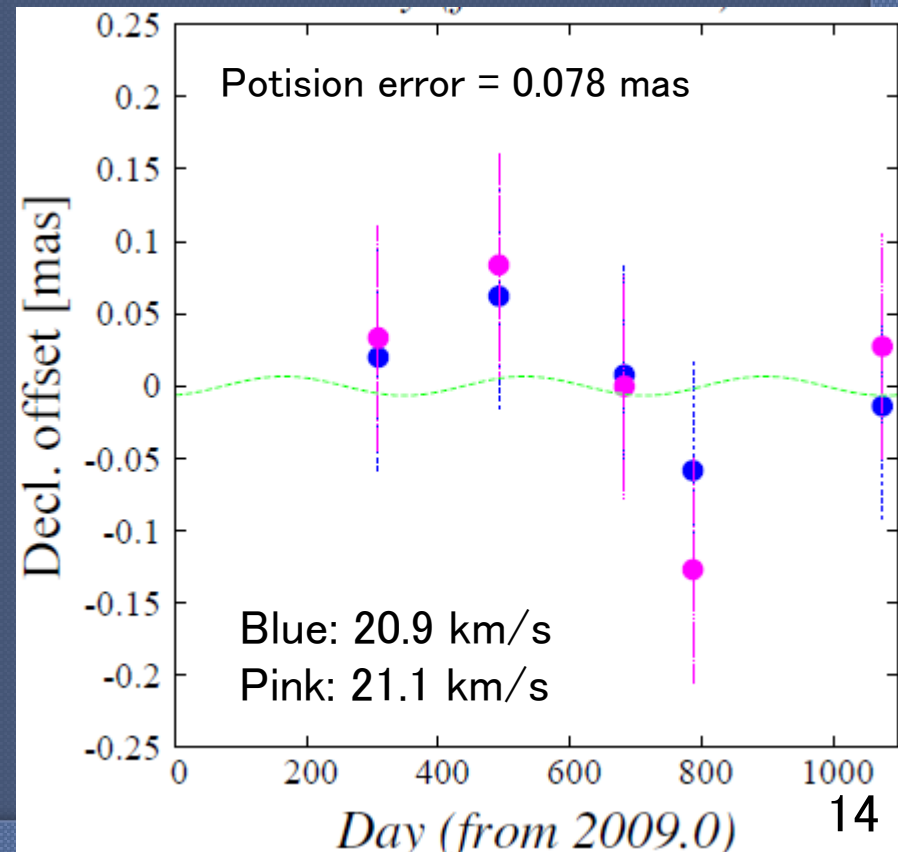
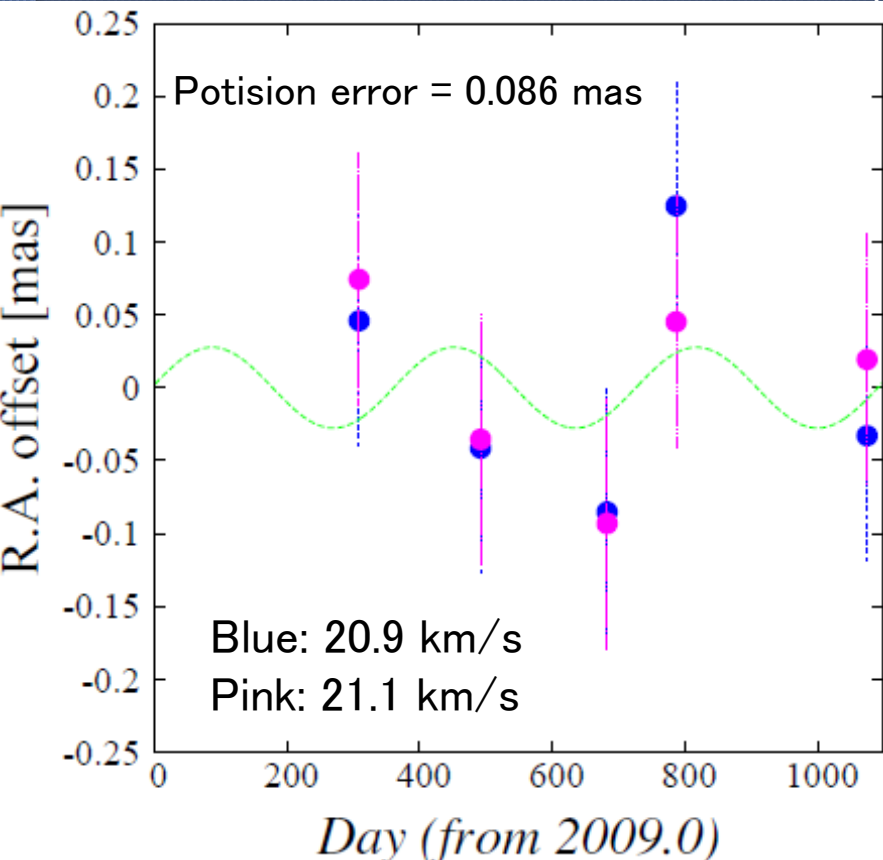
VEDA	09301	10127	10318	11057
ch	253	253	253	253
V (km/s)	20.632	20.632	20.632	20.632
X (mas)	-25.881	-27.505	-29.418	-29.761
Y (mas)	27.973	25.404	22.603	20.285
AIPS-VEDA X	-0.427	-0.238	0.303	-0.012
AIPS-VEDA Y	1.010	0.429	-0.298	0.240

- #Chi-sq = 1.0007832450
- #st-dev = 0.0823438782 mas
- #st-dev(RA) = 0.0845525137 mas
- #st-dev(DEC) = 0.0726760982 mas

# AIPS 2ch使用

RA & Decl, (09301, 10127, 10318, 11057, 11345)

Parallax  $0.028 \pm 0.038$  mas, Distance  $36.06^{+\infty}_{-20.84}$  kpc  
( $0.7 \sigma$ )



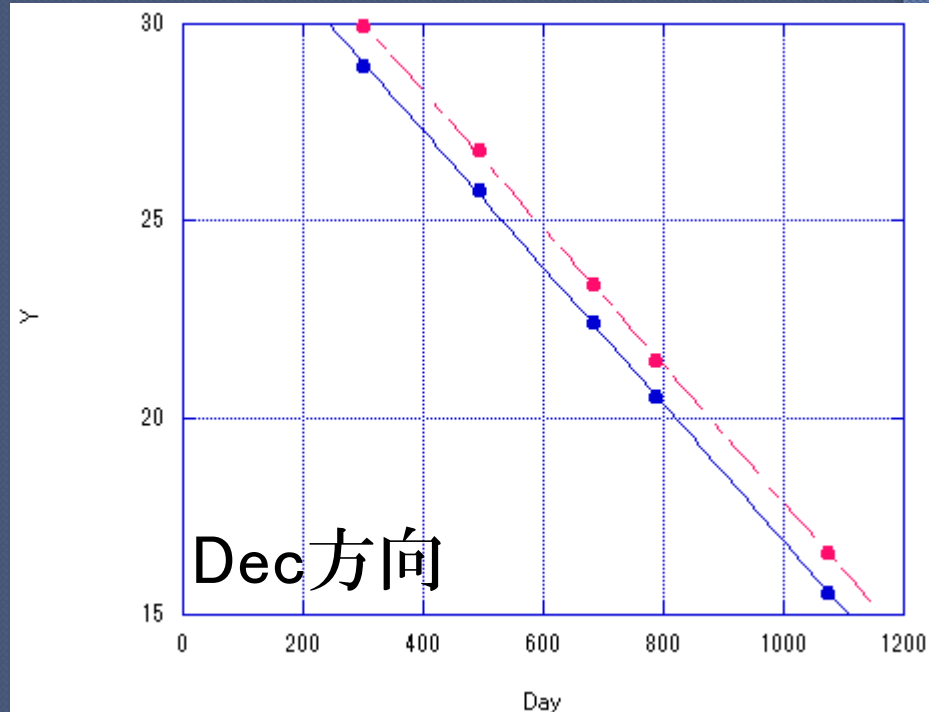
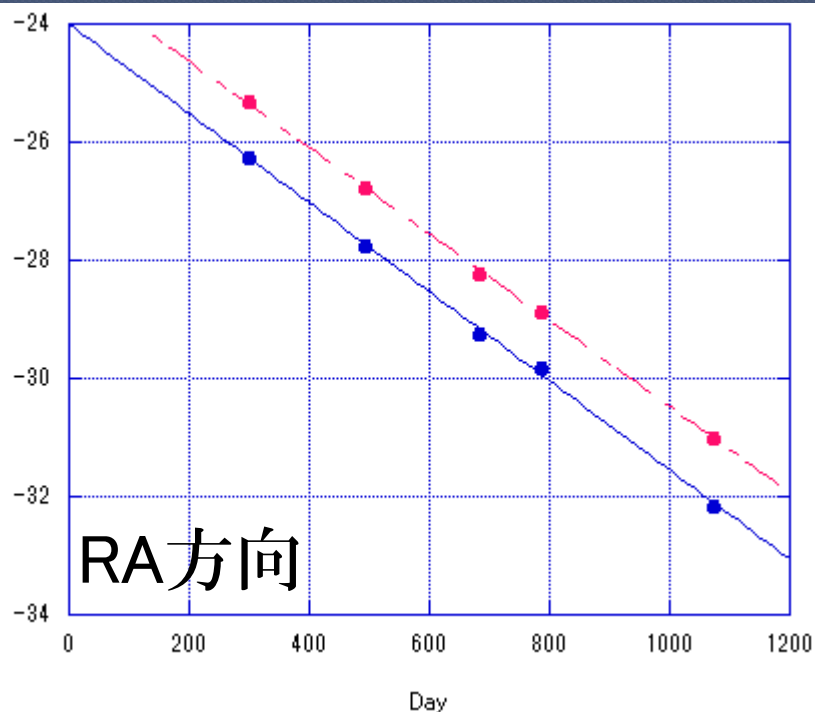
Blue: 20.9 km/s, Pink: 21.1 km/s  
PinkのX,Yは+1masしてプロット  
各点、AIPS IMFITの位置誤差は  
●の範囲内

# 絶対固有運動

## ◎ Parallaxに影響されないと判断

- ・ 内部固有運動なしと仮定 (23.6 km/s成分要検証)

## ◎ 5点を非加重直線フィッティング



# 絶対固有運動

	RA方向	Dec方向
直線fit 20.9 km/s	$-2.75 \pm 0.06$ mas/yr	$-6.34 \pm 0.05$ mas/yr
直線fit 21.1 km/s	$-2.67 \pm 0.04$ mas/yr	$-6.36 \pm 0.06$ mas/yr
VERA_Parallaxとの比較		
2ch使用 20.9 km/s	$-2.77 \pm 0.05$ mas/yr	$-6.36 \pm 0.05$ mas/yr
2ch使用 21.1 km/s	$-2.68 \pm 0.05$ mas/yr	$-6.37 \pm 0.05$ mas/yr

	l方向	b方向
直線fit 20.9 km/s	$-6.90 \pm 0.05$ mas/yr	$-0.49 \pm 0.05$ mas/yr
直線fit 21.1 km/s	$-6.87 \pm 0.06$ mas/yr	$-0.58 \pm 0.06$ mas/yr
2成分算術平均	$-6.88 \pm 0.04$ mas/yr	$-0.54 \pm 0.04$ mas/yr

◎ b方向にも運動？



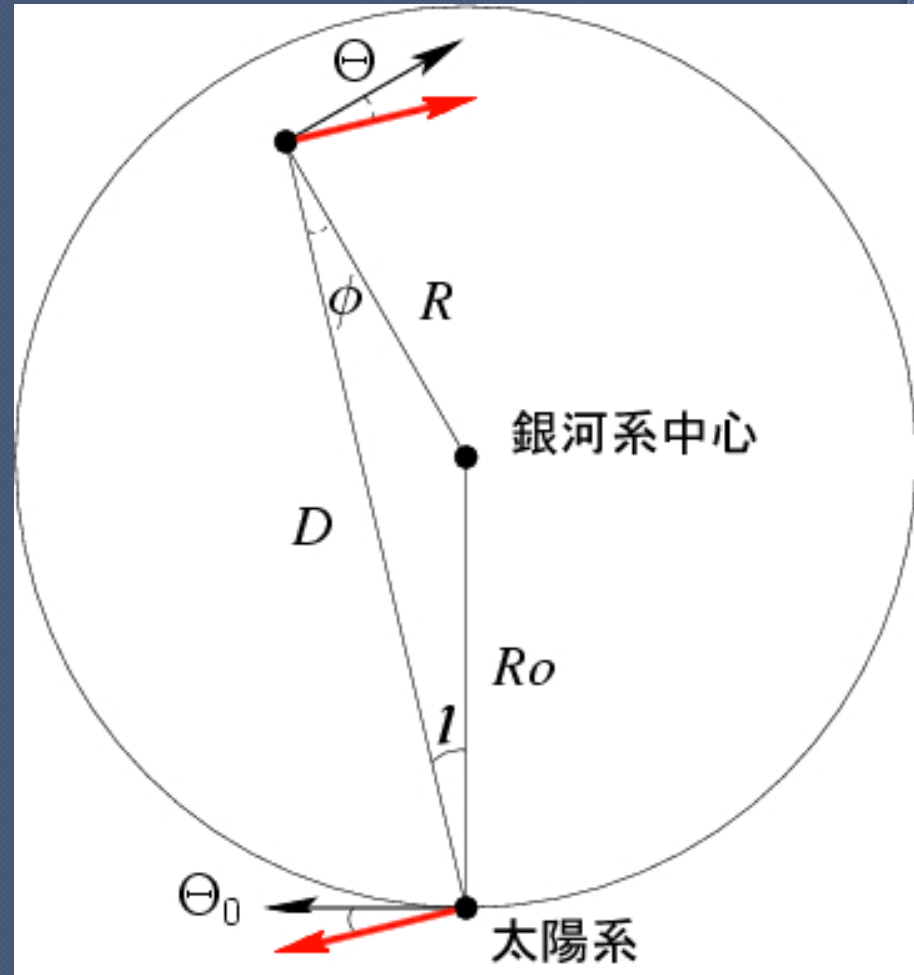
# 距離D vs 固有運動 $\mu$

- 銀経 $l$ の天体が、銀河面内で、完全に円運動すると仮定

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

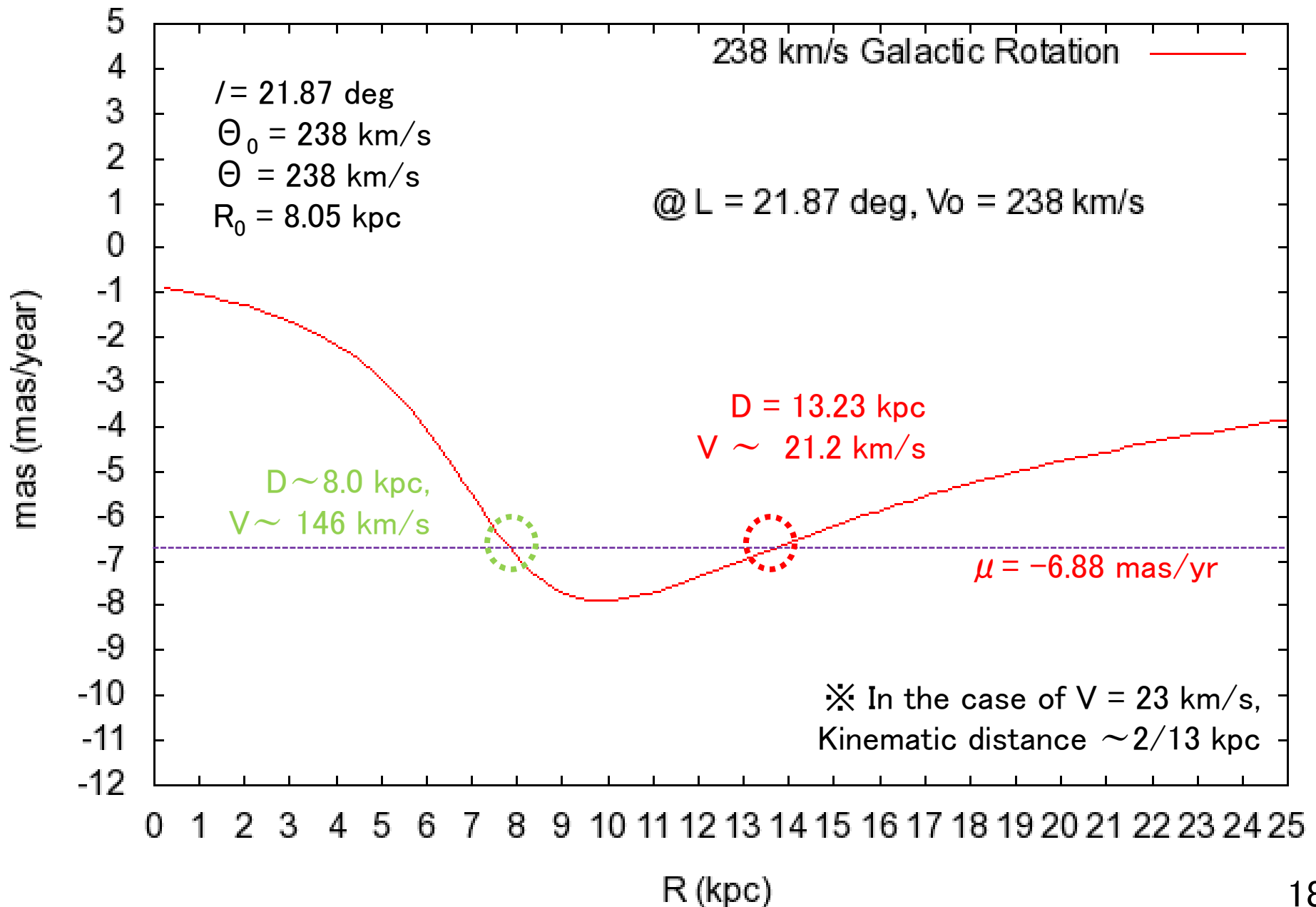
- $\mu = V_t / D$

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



$\Theta_0$ と $R_0$ の値: Honma+2012

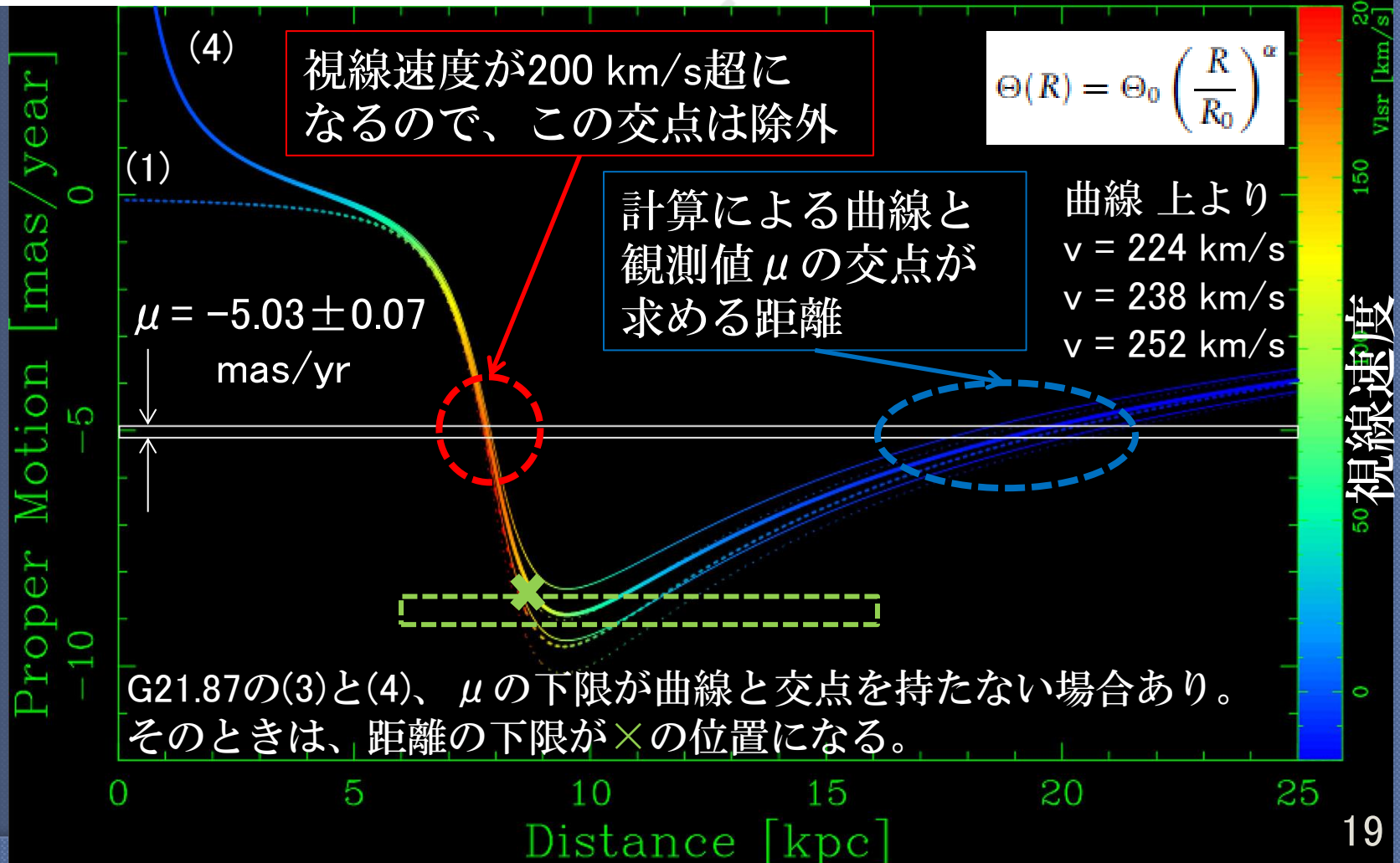
# Distance vs mas/year caused by Galactic Rotation Relation



# G7.47+0.06 の例

Case	$\alpha^*$	$U_{\odot}, V_{\odot}, W_{\odot}$ (km s <sup>-1</sup> )	$R_0$ (kpc)	$\Theta_0$ (km s <sup>-1</sup> )	$\mu$ (mas)	$D$ (kpc)
	0	-	$8.05 \pm 0.45$	238	-5.03	$19.8 \pm 0.1$
	0	-	8.05	$238 \pm 14$	-5.03	$19.8 \pm 1.2$
	0	-	8.05	238	$-5.03 \pm 0.07$	$19.8 \pm 0.3$
(1)	0	-	$8.05 \pm 0.45$	$238 \pm 14$	$-5.03 \pm 0.07$	$19.8 \pm 1.5$
(2)	0.05	-	$8.05 \pm 0.45$	$238 \pm 14$	$-5.03 \pm 0.07$	$20.1 \pm 1.6$
(3)	0	(11.1, 12.2, 7.3) <sup>†</sup>	$8.05 \pm 0.45$	$238 \pm 14$	$-5.03 \pm 0.07$	$19.3 \pm 1.5$
(4)	0.05	(11.1, 12.2, 7.3) <sup>†</sup>	$8.05 \pm 0.45$	$238 \pm 14$	$-5.03 \pm 0.07$	$19.5 \pm 1.6$

= 7.46607 deg



## G21.87+0.01 距離

$$\Theta(R) = \Theta_0 \left( \frac{R}{R_0} \right)^\alpha$$

	$\alpha$	$U_{\text{sun}}, V_{\text{sun}}, W_{\text{sun}}$	$R_0$	$\Theta_0$	$\mu$	D (kpc)
	0	–	$8.05 \pm 0.45$	238	-6.88	$13.2^{+0.2}_{-0.3}$
	0	–	8.05	$238 \pm 14$	-6.88	$13.2^{+1.0}_{-1.1}$
	0	–	8.05	238	$-6.88 \pm 0.04$	$13.2 \pm 0.1$
(1)	0	–	$8.05 \pm 0.45$	$238 \pm 14$	$-6.88 \pm 0.04$	$13.2^{+1.2}_{-1.8}$
(2)	0.05	–	$8.05 \pm 0.45$	$238 \pm 14$	$-6.88 \pm 0.04$	$13.1^{+1.2}_{-2.4}$
(3)	0	11.1, 12.2, 7.3	$8.05 \pm 0.45$	$238 \pm 14$	$-6.88 \pm 0.04$	$12.6^{+1.3}_{-5.3}$
(4)	0.05	11.1, 12.2, 7.3	$8.05 \pm 0.45$	$238 \pm 14$	$-6.88 \pm 0.04$	$12.4^{+1.5}_{-5.2}$

$$D = 13^{+2}_{-5} \text{ kpc} \quad (7.2 \sim 14.5)$$

固有運動の測定の誤差よりも、計算に用いる $\Theta_0$ の誤差のほうが影響が大きい。

$R_0 = 8.34 \pm 0.16$  kpc,  $\Theta_0 = 240 \pm 8$  km/s (Reid et al. 2014)を使用すると  $D = 13^{+1}_{-3}$  kpc (10.2 ~ 14.0)