

# 星形成領域G192.16-3.84の距離とH<sub>2</sub>Oメーザーの運動の測定

塩崎 智史、今井 裕、面高 俊宏 (鹿児島大学 理工学研究所 物理・宇宙専攻)

VERAプロジェクトチーム

## Abstract

我々は、星形成領域G192.16-3.82(G192)の年周視差と固有運動を計測するためにVERAを用いたH<sub>2</sub>Oメーザー源に対するVLB観測を行った。前観測において報告されたように、H<sub>2</sub>Oメーザーは南北方向におよそ1200AU離れた2つの生まれたての天体(YSO)に付随しているが、北部領域にあるメーザースポット群に対して、 $0.66 \pm 0.03 \text{ mas}$ の年周視差の検出に成功した。これは、距離にして $1.51 \pm 0.07 \text{ kpc}$ に相当する。この距離は推定された運動学的距離の3/4しかない結果となった。年周視差で得られた距離とミリメートル連続波放射によって得られた物理的パラメータを用いて、我々は南部にあるYSOのディスク+星周雲の質量を $9.9^{+3.0}_{-2.0} M_{\odot}$ と推定した。北部のYSOにおけるメーザーの分布と3次元速度場は、北東から南西方向に沿う双極流を示した。H<sub>2</sub>Oメーザーの空間運動パラメーターから得られる銀河に対するG192の位置と銀河回転からの系統的なずれは $R_0 = 10.0 \pm 0.1 \text{ kpc}$ 、 $Z = -0.1 \pm 0.005 \text{ kpc}$ 、 $(U, V, W) = (-3.2 \pm 1.0, -12.5 \pm 22.1, 3.9 \pm 29.7) \text{ (km/s)}$ となった。これは最近の他のVLB観測結果で得られたような、典型的な銀河回転からのずれの範囲内である。

## Introduction

### G192.16-3.84

- 大質量のYSO候補を示唆 (B2型星) \*運動学的距離 $\sim 2 \text{ kpc}$
- 南西方向に巨大な双極流が発達 図1
- 2つのYSOは、 $\sim 0.6$  離れた位置にいる Shepherd, Kurtz 1999
- H<sub>2</sub>Oメーザーの分布、相対固有運動 図2
- 1000AU程度のガストラス(星周円盤?)が存在

\*他の初期のB型(の原始)星のまわりで検出されるガストラス(或ディスク)のサイズに比べて小さい。  
例 IRAS 20126+4104 (1700AU) Cesaroni et al. 1999  
AFGL 5142 (1800AU) Zhang et al. 2002

## Observation & Reduction

表1. VLB観測データと解析データ

Epoch	Date (yy.mm.dd)	VERA Telescopes	Reference velocity (km/s)	RMS noise (Jy/beam)	$N_{\nu}$
	2006.10.21	MZ FK OGA ISH			
	2006.11.16	MZ FK OGA ISH			
1	2006.12.12	MZ FK OGA ISH	11.8	0.1	5
2	2007.2.10	MZ FK OGA ISH	11.8	0.7	5
3	2007.3.23	MZ FK OGA ISH	11.8	0.4	9
4	2007.4.26	MZ FK OGA ISH	11.8	1	7
5	2007.5.22	MZ FK OGA ISH	11.8	0.5	8
6	2007.9.15	MZ FK OGA ISH	11.8	1.4	6
7	2007.12.23	MZ FK OGA ISH	11.8	0.2	5
8	2008.3.31	MZ FK OGA ISH	-1.7	0.1	11
	2008.6.14	IRK OGA ISH			
	2008.6.21	MZ OGA ISH	-1.7	0.1	
9	2008.7.7	MZ FK OGA ISH	-1.7	0.1	7

- ターゲットメーザー源: G192.16-3.84  
R.A. (J2000) 05h58m13s.53 Decl. (J2000) 16° 31'58".9  
強度:  $3 \sim 35 \text{ Jy/beam}$
- 参照電波源: J060309.1+174216  
強度:  $30 \sim 100 \text{ mJy/beam}$   
メーザー源からの離隔:  $1'' .66$
- 解析手法: 基本的な観正は解析ソフトウェアを用いたpipelineで行い、位相補償等はaipsのみで行った。

## Results

表2. 年周視差と絶対固有運動

Spot ID	$V_{LSR}$ (km/s)	9エポック間での検出、非検出	年周視差 (mas)	絶対固有運動 (mas/yr)
		1 2 3 4 5 6 7 8 9	$\mu_{\alpha}$	$\mu_{\delta}$
12a	12.6	○ ○ ○ ○ ○ × ○ ○ ○ ×	$0.754 \pm 0.136$	$1.04 \pm 0.13$
12b	12.2	○ ○ ○ ○ ○ × ○ ○ ○ ×	$0.609 \pm 0.102$	$1.02 \pm 0.13$
12c	11.8	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	$0.713 \pm 0.073$	$1.18 \pm 0.10$
12d	11.4	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	$0.694 \pm 0.094$	$1.08 \pm 0.10$
12e	11.0	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	$0.709 \pm 0.153$	$1.01 \pm 0.10$
メーザーフィーチャー12の平均絶対固有運動 [標準偏差]				
			$1.06 \pm 0.25$	$[-0.06] \pm 0.54$
10a	10.1	× × × × × ○ ○ ○ ○ ×	$0.582 \pm 0.073$	$0.46 \pm 0.17$
10b	9.7	× × × × × ○ ○ ○ ○ ×	$0.690 \pm 0.095$	$0.44 \pm 0.16$
10c	9.3	× × × × × ○ ○ ○ ○ ×	$0.711 \pm 0.088$	$0.46 \pm 0.15$
メーザーフィーチャー10の平均絶対固有運動 [標準偏差]				
			$0.45 \pm 0.28$	$[0.01] \pm 0.74$
3a	-1.7	○ × ○ × ○ × ○ × ○ × ○ ×	$0.577 \pm 0.065$	$1.00 \pm 0.11$
共通の年周視差				
			$0.660 \pm 0.032$	

\*G192.16-3.84の全てのメーザーフィーチャー、もしくはスポットが共通の年周視差をもち、異なる固有運動をもつと仮定した。

### 銀河の中でのG192.16-3.84の位置や運動

- 採用値
  - IAU推奨値
    - $R_0 = 8.5 \text{ kpc}$
    - $V = 220 \text{ km/s}$
  - G192.16-3.84の運動
    - $V_{LSR} = 0.74 \pm 2.0 \text{ mas/year}$
    - $V_{LSR} = -1.91 \pm 4.3 \text{ mas/year}$
  - 太陽運動の値(ヒッパルコス衛星のデータ)
    - $U = 10.00 \pm 0.36 \text{ km/s}$
    - $V = 5.25 \pm 0.62 \text{ km/s}$
    - $W = 7.17 \pm 0.38 \text{ km/s}$  Dehnen & Binney 1998
  - 視線速度(COの観測)
    - $V_{LSR} = 5.7 \text{ km/s}$
- 銀河中心からの距離:  $10.1 \pm 0.1 \text{ kpc}$  → ベルセウスアームの銀河中心側にある銀河面からの距離:  $-0.1 \pm 0.005 \text{ kpc}$  → "thin disk"の厚みに下限を与える
- $U = 3.2 \pm 1.0 \text{ km/s}$
- $V = -12.5 \pm 22.1 \text{ km/s}$  → 同じような銀経でベルセウスアームに位置している天体S252(Reid et al. 2009)とRAS 06058+2138(Oh et al. 2010)と同じ程度の特異運動。螺旋密度波の結果から、期待されるモーションと一致。

## Discussion

### 南部YSOの質量の再見積り

南部YSOに関連したガスと塵のおよその質量を見積るため、Shepherd & Kurtz et al(1999)と同じ質量の導出式(1)とミリ波観測で得たそれぞれのパラメータを用いた。

$$M_{\text{gas+dust}} = \frac{F_{\nu} D^2}{B_{\nu}(T_{\text{dust}}) K_{\nu}} \dots (1)$$

$F_{\nu}$ : 周波数 $\nu$ のときの熱放射による連続波のフラックス密度  
 $D$ : 天体までの距離、 $B_{\nu}$ : 温度 $T_{\text{dust}}$ におけるプランク関数  
 $K_{\nu}$ : 不透明度 \*  $\kappa_{\nu} = 0.1 [(\nu/1200 \text{ GHz})^{\beta}]$  (Hildebrand 1983)

2.6mm連続波(デコンボリュートされたソースサイズ:  $3900 \times 1700 \text{ AU}$ )  
採用値:  $F_{\nu} = 3.7 \times 10^{-2} \text{ Jy}$ ,  $\beta = 1.5$  ( $F_{\nu} \propto \nu^{-\beta}$ ),  $T_{\text{dust}} = 40 \text{ (K)}$ ,  $D = \sim 2 \text{ (kpc)}$  →  $1.51 \text{ (kpc)}$   
天体周りの質量:  $M_{\text{gas+dust}} \sim 17.3 \pm 5 M_{\odot} \rightarrow \sim 9.9^{+4.5}_{-3.0} M_{\odot}$

採用値:  $F_{\nu} = 3.7 \times 10^{-2} \text{ Jy}$ ,  $\beta = 1-2$  ( $F_{\nu} \propto \nu^{-\beta}$ ),  $T_{\text{dust}} = 25-60 \text{ (K)}$ ,  $D = \sim 2 \text{ (kpc)}$  →  $1.51 \text{ (kpc)}$   
より現実的なりミット:  $7 M_{\odot} \leq M_{\text{gas+dust}} \leq 32 M_{\odot} \rightarrow 4 M_{\odot} \leq M_{\text{gas+dust}} \leq 18 M_{\odot}$

7 mm連続波(デコンボリュートされたソースサイズ:  $\sim 600 \text{ AU}$ )  
採用値:  $F_{\nu} = 0.56 \times 10^{-3} \text{ Jy}$ ,  $\beta = 1.5$  ( $F_{\nu} \propto \nu^{-\beta}$ ),  $T_{\text{dust}} = 40 \text{ (K)}$ ,  $D = \sim 2 \text{ (kpc)}$  →  $1.51 \text{ (kpc)}$   
天体周りの質量:  $M_{\text{gas+dust}} = 6.7 \pm 1 M_{\odot} \rightarrow \sim 3.8^{+1.0}_{-0.9} M_{\odot}$

G192のHII天体として見られるアウトフローが中間質量のYSOによって引き起こされている!!

### 研究の目的

- 年周視差距離を得る。
- メーザーフィーチャーの二次元分布と三次元運動を解析し、南北のH<sub>2</sub>Oメーザークラスターの内部運動を求める。
- 銀河回転に対するG192.16-3.82の非円運動成分を調査する。(銀河系パターによる摂動のために生じた運動なのか、大質量星形成時に生じた特異運動によるものかを見分けるため)

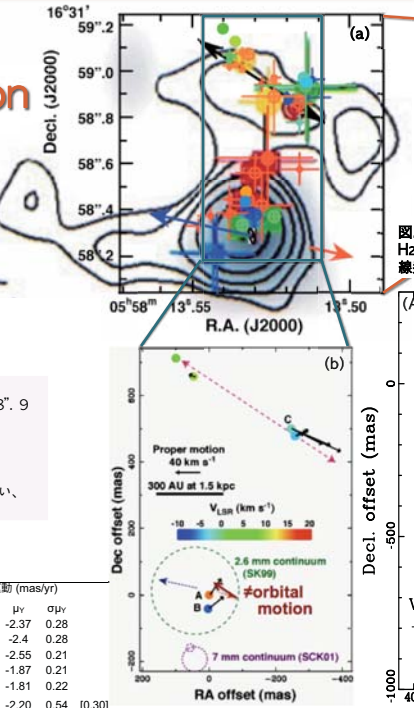


図1. OVRO観測で見えるCO(1-0)の双極流、及び、2.7ミリ連続波 (Shepherd et al. 1998)

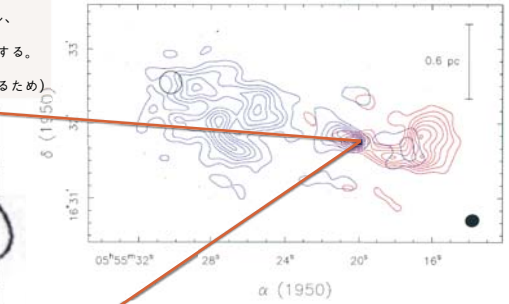


図2. (a): 3.6mm連続波(等高線), 7mm連続波 (Shepherd et al. 1998), 及び H<sub>2</sub>Oメーザースポット群分布 (Shepherd et al. 2004, Imai et al. 2006) (b): 視線速度分布と相対固有運動 (Imai et al. 2006)

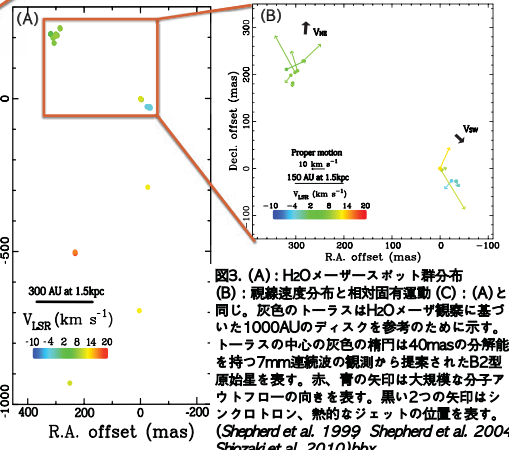


図3. (A): H<sub>2</sub>Oメーザースポット群分布 (B): 視線速度分布と相対固有運動 (C): (A)と同じ1000AUのディスクを参考のために示す。トラスの中心の灰色の楕円は40masの分解能を持つ7mm連続波の観測から提案されたB2型原始星を表す。赤、青の矢印は大型分子アウトフローの向きを表す。黒い2つの矢印はシンクロトロン、熱的ジェット的位置を表す。(Shepherd et al. 1999, Shepherd et al. 2004, Shizaki et al. 2010)bbx

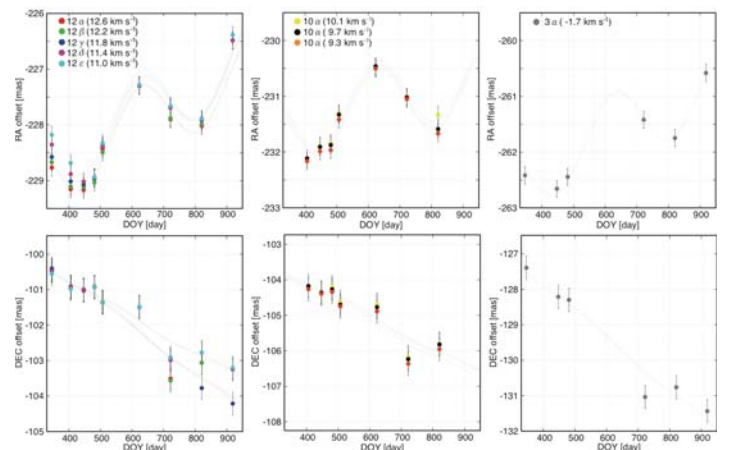


図5. 年周視差が検出されたH<sub>2</sub>Oメーザースポットの動き

### アウトフローの力学的年齢

- 仮定
  - G192にある2つのアウトフローが同じ力学的年齢と、ほぼ同じアウトフロー速度を持つと予想される (Shepherd et al. 2004)
  - 採用値
    - 北部アウトフローの長さの上限:  $\sim 5.7 \text{ pc}$
    - 北部アウトフローの速度:  $40 \text{ km/s}$
    - アウトフローの中心付近から最も速く動いている

アウトフローの力学的年齢:  $1.4 \times 10^5 \text{ year}$   
 $< 2 \times 10^5 \text{ year}$ : アウトフローの3次元速度なしで見積もられた年齢 (Snell et al. 1990; Shepherd et al. 1998; Devine et al. 1999)  
 $> 10^4 \text{ year}$ : 他の大質量星形成領域においてH<sub>2</sub>Oメーザーによってたどられるアウトフローの年齢 (Genzel & Downes 1977)

大質量星形成の進化段階の後期(MYSOsが存在する場合) or 発達した平行なアウトフローを伴うより小質量YSOの主質量降着期