

6.7 GHz メタノールメーザー源 G014.23-00.50 の VLBI観測による周期的な増光メカニズムの研究

會川航平 (M1) 米倉覚則 百瀬宗武 (茨城大学) 杉山孝一郎 (国立天文台)

1. 研究背景

宇宙の成り立ち、銀河の生成について知る際には星の誕生過程の理解が重要である。中小質量星の形成過程はよく知られている一方で、大質量原始星の形成過程は遠方にあること、その周囲を高密度な星間物質が覆われていることなどから、その形成過程を可視光で観測するのは困難である。

大質量星形成領域からは原始星近傍から様々なメーザー現象が確認されている。メタノールメーザーは減光の影響を受けない電波帯の放射であり、かつ明るい(典型的な輝度温度: $10^7 \sim 10^{10}$ K) ため、大質量原始星を探る重要な手段である。中でも6.7 GHz帯のメタノールメーザーは大質量星形成領域にのみ付随することから、大質量星形成過程の解明に重要な役割を果たすと考えられている。

メタノールメーザーの中には特徴的な周期的強度変動を示す天体がある。これまでに検出された変動周期は30-670日(例 Goedhart et al. 2004, 2009)であり、かつ複数成分に同期した変動が見られる天体も存在する。これらのタイムスケールや特徴から、大質量星形成近傍の変動現象を観測可能な唯一の観測プローブとして期待出来る。

2. ターゲット天体: G014.23-00.50

暗黒星雲G14.225-0.506の近傍に存在する周期変動天体
変動するメタノールメーザーの視線速度成分: $V_{lsr} = 25.3$ km/s
座標: R.A. = $18^h 18^m 12.59^s$, Dec. = $-16^\circ 49' 22.8''$
距離: 2 kpc

暗黒星雲G14.225-0.506が含まれるM17星雲の年周視差計測結果1.98 kpc(Xu et al. 2011, ApJ, 733, 25)より仮定
質量: 分子雲コア: $M \sim 13 M_\odot$ (ALMA観測より)
付随原始星: $M \sim 3.3 M_\odot$ (赤外線観測より)

(i) 「Green et al. (2010)」

- 2007年~2009年にかけてG 014.23-00.50を5回観測
- 2007年8月, 2009年1月の2回でメタノールメーザーの有意な放射が検出

(ii) 先行研究「G014.23-00.50に付随する

6.7 GHz メタノールメーザーの高頻度モニター観測」

(2015年度永瀬桂氏 茨城大学理工学研究科修士論文)

- 2014年5月7日より日立32 m 電波望遠鏡を使用し1日に1回の頻度で観測
- 25.3 km/s成分のバースト周期が ~ 24 日と導出
- バースト成分の他、 $V_{lsr} = 21 \sim 25$ km/sの範囲に新成分を検出。

しかし特定の期間のみしか検出されず

G014.23-05の新検出成分とは断定できなかった。(Sugiyama et al. 2017)

(iii) 先行研究での課題点

- 他波長による観測を行い、周期的バーストを引き起こすメカニズムを究明
- VLBI観測によるバースト時の空間分布の取得
- バースト以外の成分について真にG014.23の放射であるか決定(近傍天体との切り分け)

強度変動のメカニズムとしてCWBモデル、もしくはParfenov & Sobolev, 2014で考案されたspiral shockモデルを考慮したCWBモデルが適当な可能性が高いと考えられている。(Sugiyama et al. 2017)

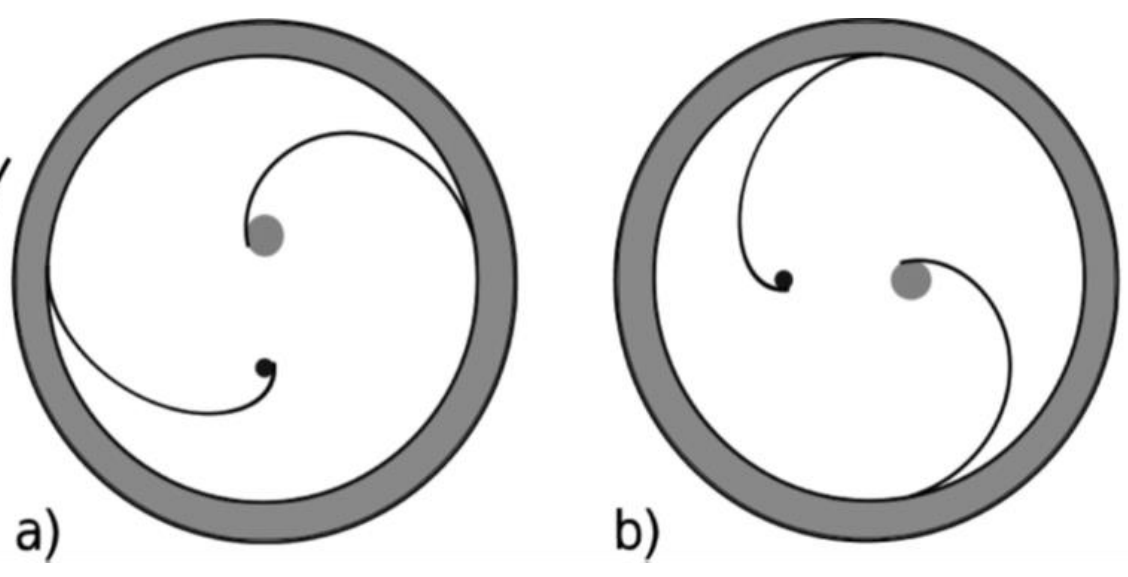
3. spiral shock モデル

仮定1: 中心星が連星系を形成
連星系の周囲に回転円盤が存在
回転円盤は視線方向に対し横向き
円盤からのガスの巻き込みでspiral shock形成
連星、円盤の回転に従いspiral shockも回転
(回転は周期性を持つ)

仮定2: メタノールメーザーは円環上に分布
連星の主星から周囲のダストが暖められ、そこからの再放射で励起される
(メタノールメーザーの励起に適当なダスト温度: 100K \sim 300K程度 Cragg et al. 2005)

spiral shockがメーザーと主星の間にあるとき
熱源: shock、主星 (熱源が増える)

メーザーの励起に適当な
ダスト温度範囲のガスの柱密度が増加
メタノールメーザーの
フラックス密度が上昇
(同一視線速度のメタノールガスの
柱密度の増加に伴うため)



図(a): spiral shockが円環と主星の間になく、主星のみがメタノールメーザー励起の熱源となる時、横から円盤を見ているもの
観測者 図(b): spiral shockが円環と主星の間にあり、主星とspiral shockもメタノールメーザー励起の熱源となりうる時、横から円盤を見ているもの

G014.23-00.50のバースト成分の周期的かつ突発的な強度変動はこのモデルで説明できる。このモデルはedge-onな回転円盤上にメタノールメーザーが分布すると仮定するため、天球面上では直線的な空間分析が観測されると期待される。(円盤を横から見ているため)

4. 研究目的

VLBI (超長基線干渉計)観測によるバースト時の空間分布、絶対位置の取得
具体的には強度変動の要因について、spiral shockモデルが適用出来るかどうか、特に

- $V_{lsr} = 25.3$ km/s成分が、他成分($V_{lsr} = 21.0 \sim 24.6$ km/sの6成分)と同様な励起源に付随しているか
- Parfenov & Sobolev (2014)のspiral shockモデルで仮定されているedge-onを想起させる空間分布を示しているか

5. 観測概要

2016年4月12日~4月14日、大学連携VLBI観測(JVN)により3日間複数回のスキャンを行った。(1スキャン当たりの積分時間と、合計の積分時間などは以下の表を参照)
観測日は先行研究により推定したバースト周期(~ 24 日)からバースト期に行った。
6.7GHz帯で観測を行い、連続波源の解析用に512MHzを128点分光した広帯域データとメーザー源の解析用に2MHzを1024点分光した狭帯域データを取得した。

観測パラメータなど

観測帯域に相当する周波数	6602.0MHz~7114.0MHz (連続波用512MHz 128点分光)
観測天体	G14.23-00.50, G9.62+02, NRAO530, 3C454.3, J1832-20, J1825-17, 12.90-02 (較正天体、位相補償のための参照電波連続波源を含む7天体)

観測局・光学的厚み・システム雑音

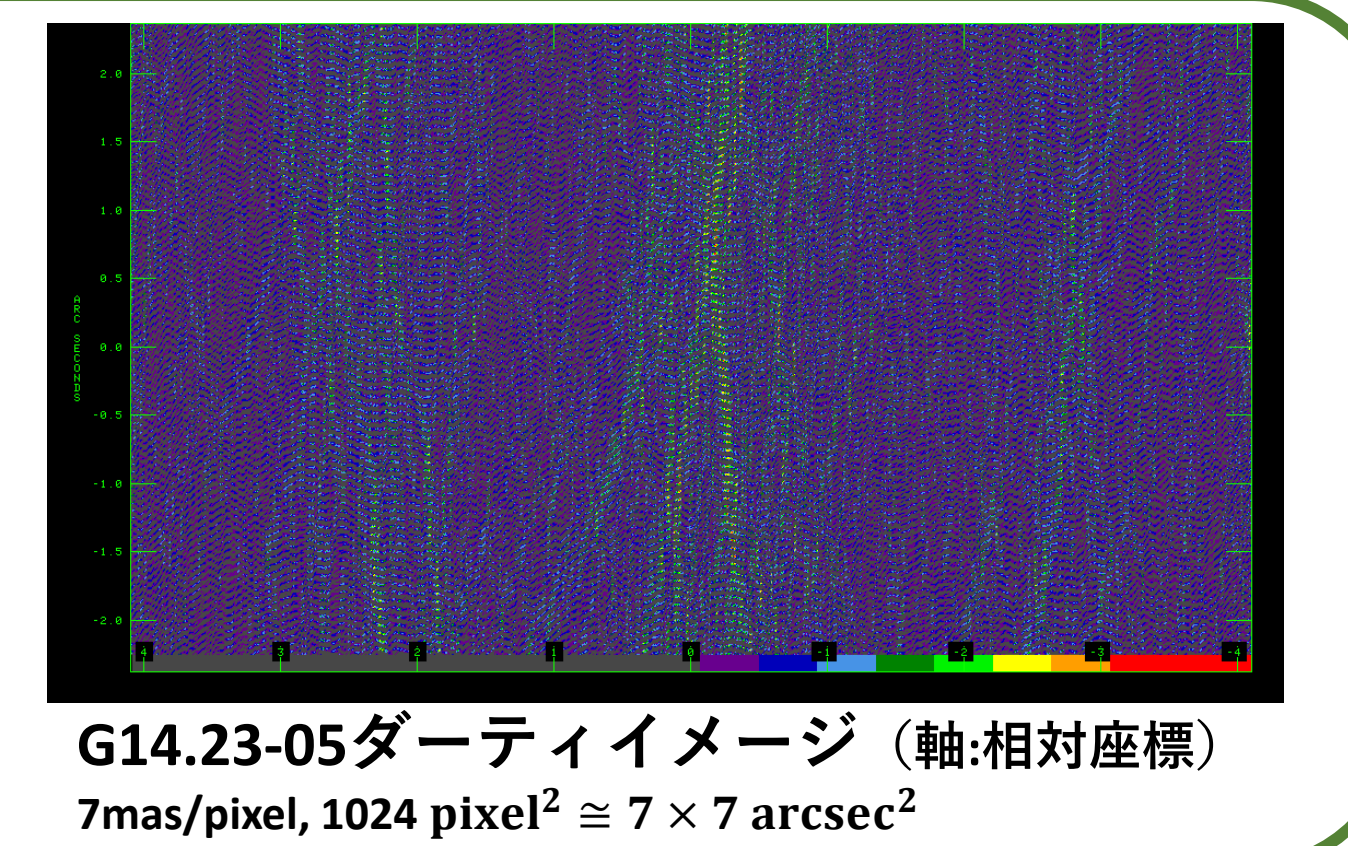
	水沢局		入来局		小笠原局		石垣局		日立局		
	τ_0	T_{sys}	τ_0	T_{sys}	τ_0	T_{sys}	τ_0	T_{sys}	τ_0	T_{sys}	
1 エポック目	開始前	0.02	99	0.03	118	開始前	雨	0.01	159	0.011	29.01
	終了後	0.03	101	0.03	121	0.04	105	0.03	105	0.013	30.05
2 エポック目	開始前	0.02	197	-0.01	247	0.03	149	観測データ	なし	0.019	30.1
	終了後	0.03	104	0.03	122	0.04	104	不明	不明	不明	不明
3 エポック目	開始前	0.02	155	0.03	117	-0.03	511	0.03	130	0.011	29.3
	終了後	0.03	100	0.03	120	0.04	104	0.04	106	0.01	28.5

6. 1 エポック目解析結果

観測コード: U16103B (観測日: 2016年4月12日)

- 中心位置から(RA, Dec) = $(-0.25, 0.68)$ ずれた位置に成分がみられる

- RA = $18^h 18^m 12.57^s$ Dec = $-16^\circ 49' 22.1''$ を中心として導出



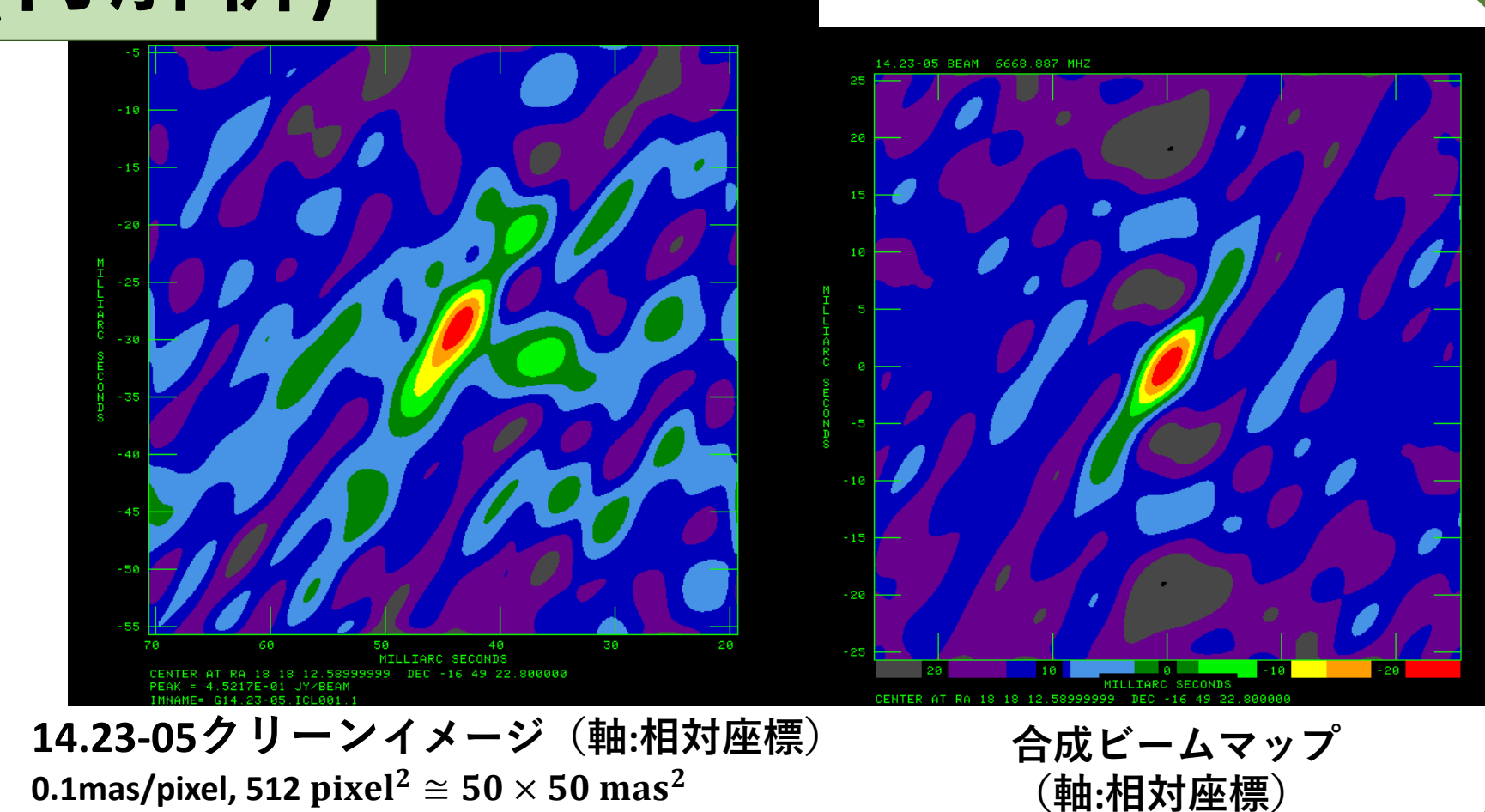
G14.23-05データイメージ (軸: 相対座標)
7mas/pixel, 1024 pixel² $\approx 7 \times 7$ arcsec²

7. 1 エポック目解析結果(再解析)

- §6の位相補償解析で導出した絶対座標を用いてUVW再計算を再度行い、再解析

- クリーンイメージ作成
- 成分の座標を以下のように取得
R.A. = $18^h 18^m 12.573^s \pm 0.345$ mas
Dec = $-16^\circ 49' 22.129'' \pm 0.495$ mas

- 他の視線速度では成分未検出



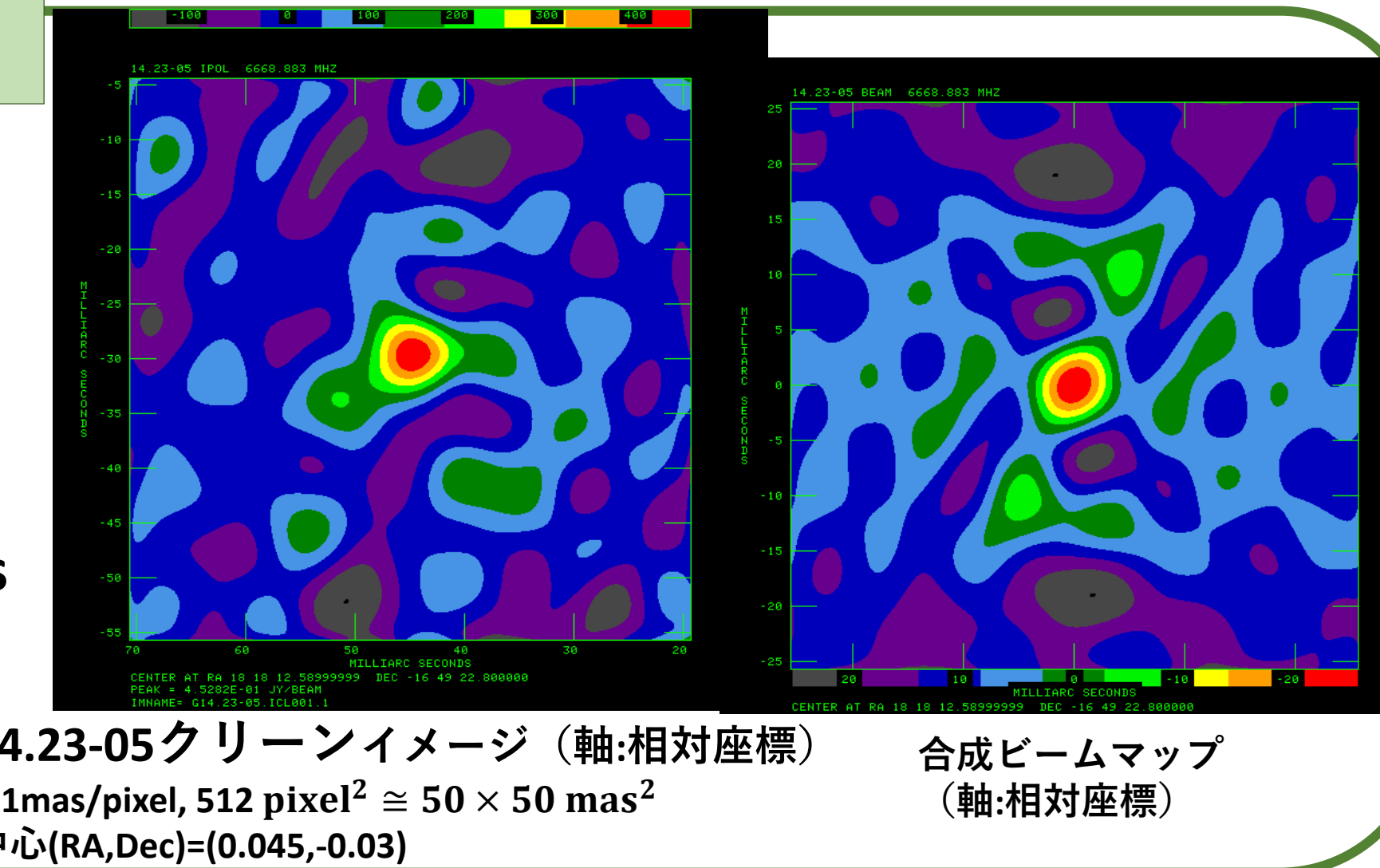
14.23-05クリーンイメージ (軸: 相対座標)
0.1mas/pixel, 512 pixel² $\approx 50 \times 50$ mas²
中心(RA, Dec) = (0.045, -0.03)

8. 2 エポック目解析結果

観測コード: U16104B (観測日: 2016年4月13日)

- クリーンイメージ作成
- 座標の成分を以下のように取得
R.A. = $18^h 18^m 12.573^s \pm 0.339$ mas
Dec = $-16^\circ 49' 22.129'' \pm 0.303$ mas

- 他の視線速度で成分未検出



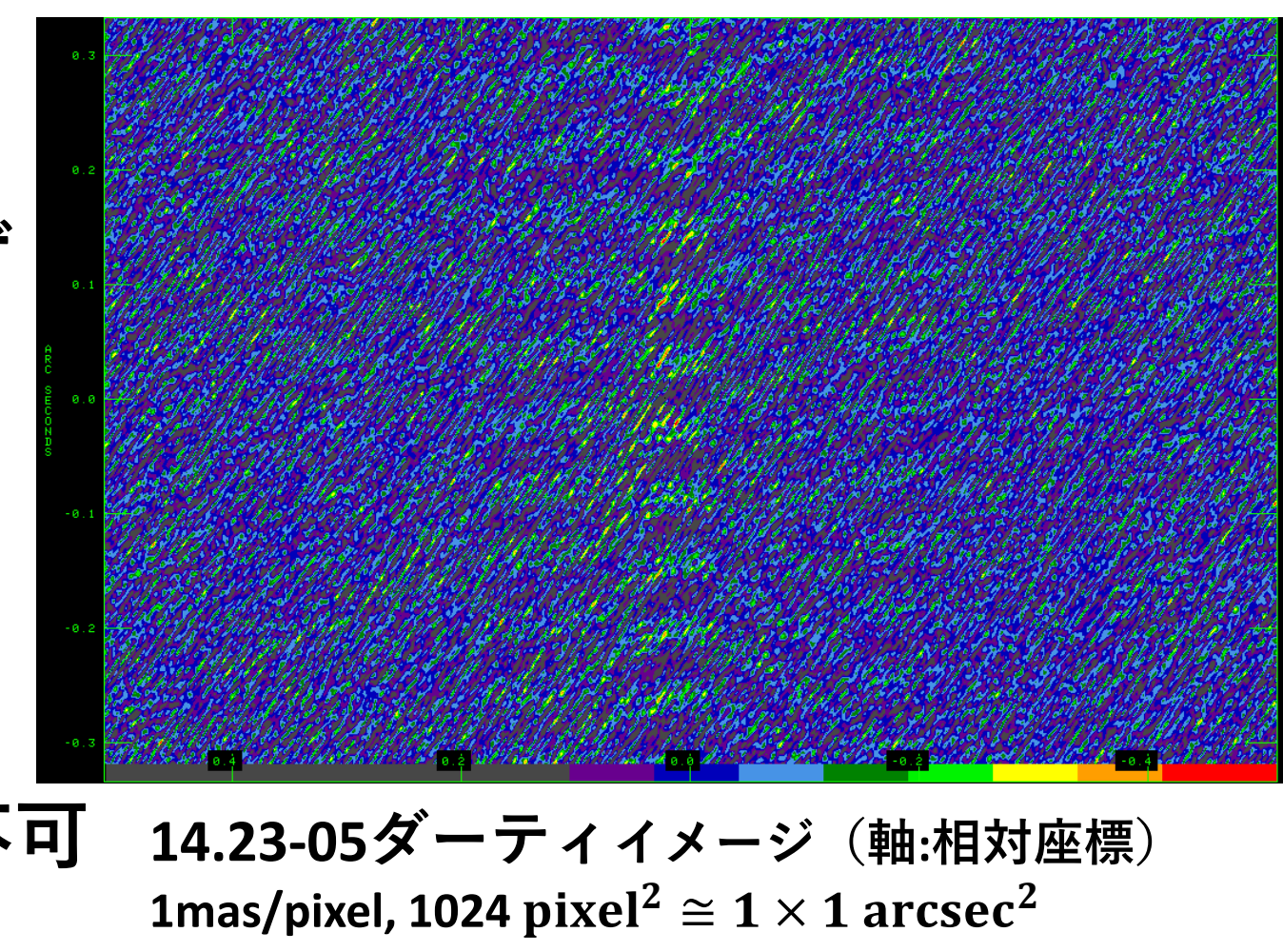
14.23-05クリーンイメージ (軸: 相対座標)
0.1mas/pixel, 512 pixel² $\approx 50 \times 50$ mas²
中心(RA, Dec) = (0.045, -0.03)

9. 3 エポック目解析結果

観測コード: U16105B (観測日: 2016年4月14日)

成分は中心付近に確認できるが1つに収束せず

データの質が悪いと思われる
小笠原局を除いたイメージング、
クロスパワースペクトルで成分が
見えている基線のみでイメージング、
(基線は目視で選択)
などを試したが画像は収束せずイメージング不可
はっきりとした原因は不明



14.23-05データイメージ (軸: 相対座標)
1mas/pixel, 1024 pixel² $\approx 1 \times 1$ arcsec²

10. まとめ

- エポック1, 2の解析から絶対位置を以下のように導出
R.A. = $18^h 18^m 12.573^s \pm 0.345$ mas
Dec = $-16^\circ 49' 22.129'' \pm 0.498$ mas (1エポック目より)
今後のALMAなどを用いた高分解能の観測と比較しうるデータを取得
- spiral shockモデルが適用できるか、他の視線速度成分については確認できず

- 3エポック目について
画像が収束せず、イメージング不可

11. 今後の予定

- 東アジアVLBI観測網 (EAVN) で観測された周期性を持つ以下3天体を解析予定
- G006.18-0035 周期179日 周期は日立モニター観測 (2012/12/30-2014/01/10)
- G025.82-00.17 周期76日 2014/05/07-2015/08/24, 2015/09/18-2017/03/07) で導出
- G032.04+00.05 周期58日