

# *JVN Reports*

## 大学VLBI連携研究成果報告書

2013年1月1日 第3巻 第1号

### 目次

高萩／日立32メートル電波望遠鏡の立ち上げ状況(3) 米倉 覚則(茨城大学・宇宙科学教育研究センター)	・・・	1
JVN/EAVN を用いた 6.7GHz メタノールメーザー固有運動計測プロジェクト I ～VLBI イメージングサーベイ～ 杉山孝一郎 <sup>1</sup> , 藤沢健太 <sup>1</sup> , 蜂須賀一也 <sup>2</sup> , 米倉覚則 <sup>3</sup> , 元木業人 <sup>1</sup> , 本間希樹 <sup>4</sup> , 廣田朋也 <sup>4</sup> , 澤田-佐藤聡子 <sup>4</sup> , 村田泰宏 <sup>5</sup> , 土居明広 <sup>5</sup> , 小川英夫 <sup>6</sup> , 新沼浩太郎 <sup>1</sup> , Shen, Zhiqiang <sup>2</sup> , 他, 大学連携研究グループ 1) 山口大学, 2) 上海天文台, 3) 茨城大学, 4) 国立天文台, 5) ISAS/JAXA, 6) 大阪府立大学	・・・	7
編集担当者より	・・・	19

発行者 : 大学VLBI連携観測事業  
編集 : 山口大学



## 高萩／日立 32メートル電波望遠鏡の立ち上げ状況（3）

米倉覚則

（茨城大学・宇宙科学教育研究センター）

前回（2009年12月）は、日立アンテナの制御ソフトが導入され、常温受信機＋スペアナにて G9.62 を初めとしたいくつかの天体からのメタノールレーザー放射が初受信された所まで報告した。その後すでに3年が経過し、かなり記憶が薄れている部分もあるが、今回は主に2010年の進捗、つまり、順調に立ち上げが進み、VLBI 科学観測を定期的に行うことができるようになったところまでを報告する。

### 1. 6.7 GHz 帯冷却受信機および分光観測システムの整備

2009年12月は、水戸で研究会を開催するなど慌ただしく過ぎていった。2010年1月には、ようやく電話とインターネットが開通した。インターネットは、フレッツ光で、この時点ではプロバイダ経由のみの一般家庭と同程度のもの。後に、VPN 機器を設置し、通常のインターネット接続はプロバイダ経由、国立天文台内とのやりとりは三鷹との間で VPN 接続を行うようになった。茨城大学の水戸キャンパスからは、三鷹を経由して、茨城局にアクセスする。また、アンテナの隣にある茨城大学の宇宙電波館からは、宇宙電波館→茨城大学工学部（日立市）→国立天文台三鷹→アンテナという経路となり、数百メートルの距離にあるにも関わらず、往復300キロ程度の距離を経なければならない。

さて、大阪府立大学にて開発を行ってきた 6.7 GHz 帯冷却受信機を2010年2月末に搭載する事になった。事前に、デュワを支える治具や、電源や IF 系などを設置する棚などの設置作業を行った後、2月25日および26日に日立アンテナへの搭載作業を実施した。搭載は4人がかりで行う。まず、受信機をチェーンブロックで吊り上げながら、すこしずつアンテナの巻取室内部の設置場所に受信機を滑り込ませていく。設置場所が狭いため、水平移動するだけでは受信機と巻取室内部の構造物（給電部を支えるLアングル）とが接触してしまう。まず、受信機を吊り上げる。その状態で給電部下部に少しだけ押し込む。ただし、そのままの高さでは給電部に接触するため、Lアングルをクリアするように受信機を斜めにしながら、さらに奥に押し込む。Lアングルをクリアしたら、受信機を少し降ろし、受信機を支える治具の上に仮置きする。文字では伝わらないと思うが、非常に大変な作業である。その後、受信機上面の電波入力フランジと、給電部下部のフランジとの位置が正確に合うように、前後左右に微調整しながら、受信機を持ち上げていき、ネジ

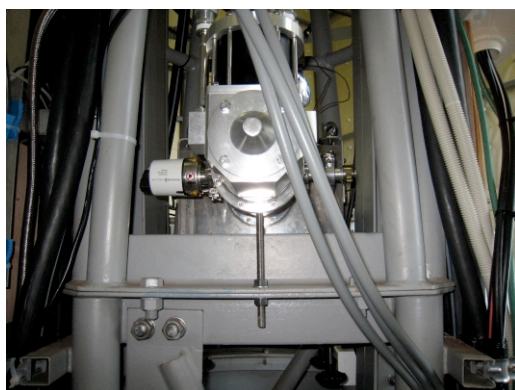


図1. 受信機搭載時に干渉するLアングル



図2. 搭載された冷却受信機

止めする。この作業には、数時間を要した（現在は慣れたため、1時間程度で搭載が可能である）。コンプレッサは巻取室ではなく、約10メートル程度下の観測室に設置した。受信機は巻取室内にて、下部の建物に繋がっておりAZ回転時にも回転しない場所に設置されるため、コンプレッサも同様な場所に設置する必要がある。しかし、巻取室は狭隘で、コンプレッサの設置場所を確保できないためである。

2月27日、真空引きの後、冷却を開始した。28日、問題無く冷却できている事が確認された。この時の真空度は $10^{-7}$  Torr、温度は12 Kであった。冷却受信機の実出力(6.7 GHz)を更に常温アンプで増幅した後、500-1000 MHzに自作ダウンコンで周波数変換した。tauとシステム雑音温度を測定した所、tauは、0.014程度(くもり)、システム雑音温度は、天頂方向(大気込み)で64 K程度であった。それまで使用していた常温受信機の約200 Kと比べると格段の性能向上である。その後、太陽電波の受信に引き続き、メタノールレーザー(W3 IRS5)の受信に成功した(図3)。なお受信機は左右両偏波の受信が可能である。さらに、VLBI sampler interfaceを用いて64-96 MHzに更に周波数変換した後、K5/VSSP32を用いてサンプリングを行った。取得データをFFTする事により、無事スペクトルを得る事ができた(図4)。

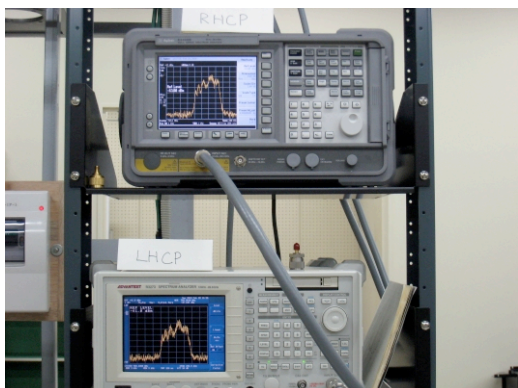


図3. 上: RHCP、下: LHCP の出力。

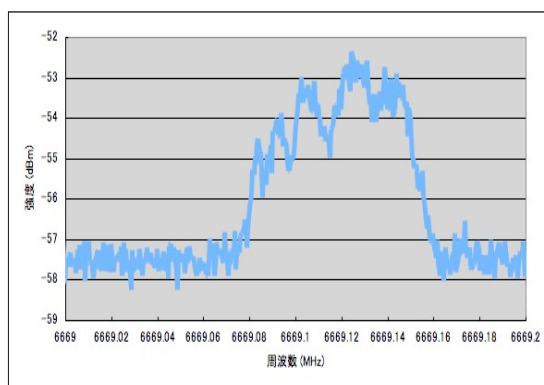


図4. K5/VSSP32にて得られたスペクトル

また、3月には茨城局の看板が設置され、ようやく観測局らしくなった。



図5. 高萩アンテナ舎に掲げられた茨城観測局の看板



図6. 水素レーザー装置と無停電電源

## 2. VSOP ターミナル、水素メーザーの設置から初FRINGEまで

2010年4月には、カセットチェンジャーを始めとした VSOP ターミナルおよび水素メーザーの設置が行われた(図6)。その後、時計装置、GPS 位相比較器などの時刻系の設置および調整を行った。当初は水素メーザーと GPS との時刻差が安定しなかった。これは、水素メーザー装置からの 10 MHz 波形が歪んでいたためであった(図7)。時計装置の 10 MHz 入力コネクタと GND 端子を直結したところ、波形が改善され(図8)、時刻差が安定するようになった。

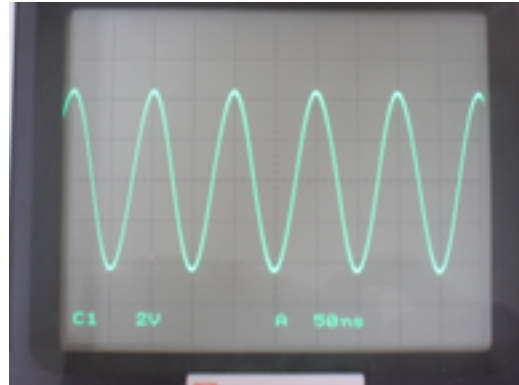
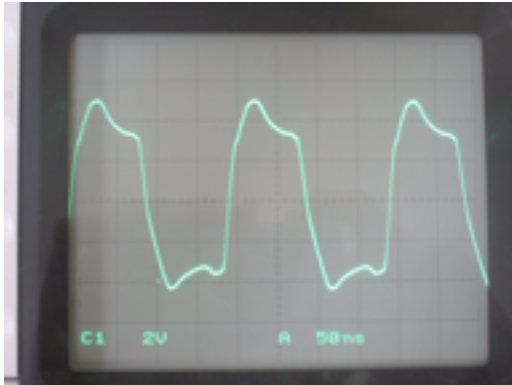


図7. 調整前の 10 MHz reference 信号波形 図8. 調整後の 10 MHz reference 信号波形

受信機の雑音温度が、冷却後1日程度で 30 K から 70 K 程度に悪化するという状況(この時点では原因不明であった)の中、初FRINGEに向けて試験を開始した。まず、5月27日に日立局単独での試験記録を行った。実は、サンプラー、レコーダーなどを制御する PC およびソフトが茨城局に存在しない事が直前に発覚したため、手動で設定および記録を行った。しかしながら相関処理結果は NG。PC が水沢から届いた後の6月2日および3日に再度試験を行い、自己相関処理結果を待つ。この時点で、初の VLBI 観測は、水沢局、入来局とともに、6月10日に行う事に決定した。8日になって、相関処理の結果が届いた。結果は再び失敗。時刻符号が入っていない、入力信号強度が非常に弱い(LPF が使用されていた可能性あり)、などの問題が考えられるとの事。8日、9日と現地に行く事ができなかったため、6月10日に現地入りし、観測開始直前まで設定を確認し、観測を行うかどうかを判断する事になった。

6月10日、茨城局現地にて調査した結果、これまでの試験では DFC の設定が間違っていた事が確認できた。そこで、観測を実行する事になった。観測コードは、U10161b。偏波の定義が間違っている可能性が考えられたため、両偏波の受信を行う事とした。13:00-13:20: メタノールメーザー源 G9.62 (LHCP)、13:30-13:50: 連続波源 OV-236 (LHCP)。その後ケーブルを繋ぎ変え、14:00-14:20: メタノールメーザー源 GG9.62 (RHCP)、14:30-14:50: 連続波源 OV-236 (RHCP) を観測(時刻は全て UT)。記録テープを相関器室に郵送し、結果がでるのを待つ。6月15日に無事データが記録されているとの連絡が入った。さらに6月26日、FRINGEが検出されたとの連絡が入った。初FRINGE達成である! 正確な局位置が未測定である、クロックオフセットおよびレート調整が不十分である、指向精度が悪い、開口能率(およびその EL 依存性)が未測定である、分光観測システムの立ち上げが必要であるなど、まだまだ行う事は山積みであるが、茨城局の本務である VLBI 観測に成功した意義は大きい。



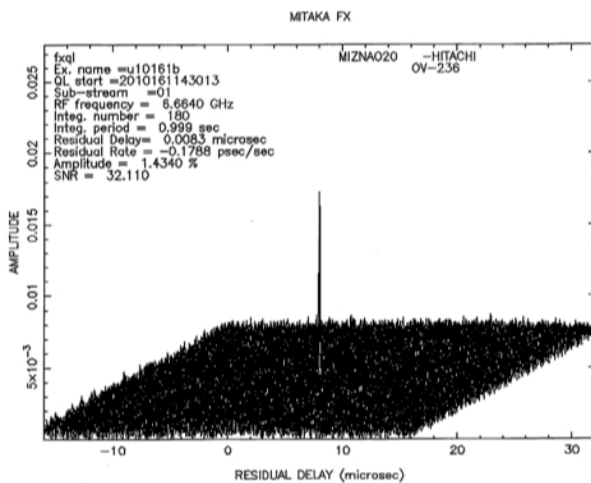


図9. 日立局ファーストFRINGE。相手局は水沢局。6.7 GHz。天体は OV-236。入来局の間でもFRINGEが検出された。

### 3. VLBI 科学観測、アンテナ性能評価など、着実に整備がすすむ

2010年6月30日から7月1日にかけて、日立アンテナ制御ソフトが改修され、scan観測ができるようになった。これで、連続波を用いた能率測定およびビームパターン測定が可能となった。暫定的な結果として、6.7 GHzにて開口能率75%という結果が得られた。また同じ日に、高萩アンテナについても、制御ソフト(初期バージョン)が導入され、太陽およびTau Aからの電波の受信に成功するとともに、単一鏡モードにて6.7 GHzメタノールレーザー源に対する試験観測に成功した(高萩アンテナ・ファーストライト)。しかしながら、1秒毎に急加速、急減速を行うような動きをするため、天体の滑らかな追尾はできなかった。この頃、高萩アンテナの制御架が突然ハングアップする現象が頻発。調査の結果、過去に使われていた監視システムとの通信ケーブルが、監視機器は撤去されたものの制御架に接続されたままになっていたため、異常な信号が入力されていた事が判明した。

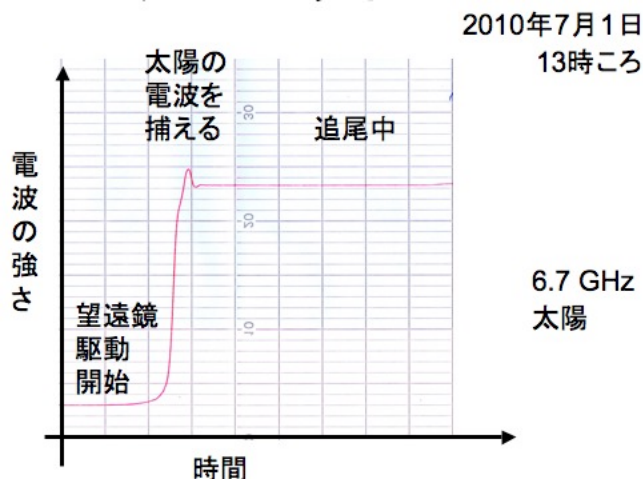


図10. 高萩アンテナファーストライト(6.7 GHz, 太陽)

8月上旬には、1台で6.7 GHz帯と8 GHz帯の両方をカバーする、6-9 GHz冷却受信機の搭載を、大阪府立大学グループの協力の元で行った。これにより、受信機を物理的に交換する事なく、6.7 GHz帯と8 GHz帯の観測を切り替える事が可能となり、観測効率が上昇した。

8月28日から30日には、メタノールメーザー大規模プロジェクト観測に参加し、初の科学観測が無事成功した。結果については、本号に掲載の杉山らによる報告を参考されたい。参加局は、日立アンテナの他に、VERA 4局と上海局である。上海局との間では両偏波でフリンジの検出に成功した (RHCP 初フリンジ)。この時に得られた各局の自己相関スペクトルを見ると、冷却受信機+32メートル鏡というシステムの感度が如何に良いかが分かる (図11)。

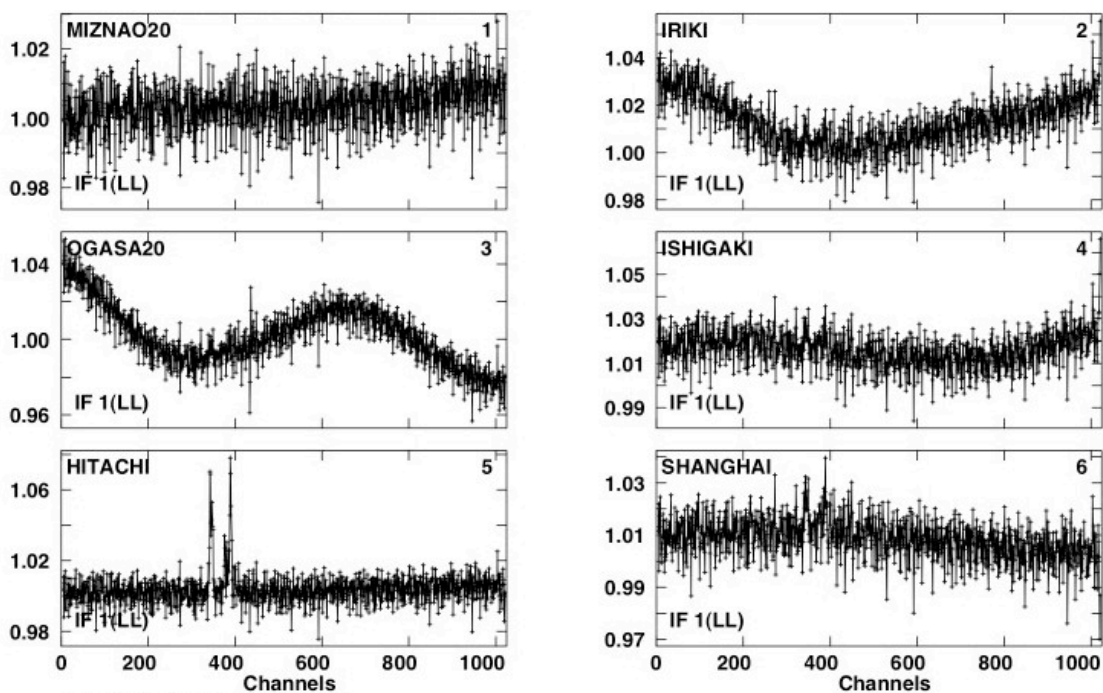


図11. 観測の際に得られた、各局の自己相関スペクトル。

(左) 上から順に、水沢、小笠原、日立、(右) 上から順に、入来、石垣、上海  
日立 (左下) の感度が最も良い事が分かる (上海天文台：蜂須賀さん作成)

9月には、8 GHz 帯の VLBI 観測を実施したが、周波数設定を間違えていたため、失敗に終わった。また、水沢の田村さんにより、高精度 GPS を用いた測定が行われ、局位置が 10 cm 程度の精度で求まった。

	日立	高萩
X (km)	-3961.880535	-3961.787684
Y (km)	+3243.373951	+3243.598963
Z (km)	+3790.687986	+3790.598229
東経	140° 41' 31" .5286	140° 41' 40" .9119
北緯	36° 41' 50" .8574	36° 41' 54" .5625
標高 (m)	80.093	77.05
楕円体高 (m)	120.313	117.27
ジオイド高 (m)	40.22	40.22
2 アンテナ間の距離 (m)	259.437	

表1. 高精度 GPS による位置測定結果 (2011年3月11日以前に適用)

11月には8GHz帯のVLBI観測を3回実施し、今回は全て成功した(8GHz帯ファーストプリンジ)。

また、22GHz常温受信機の試験搭載を、11月に高萩アンテナにて行った。単一鏡モードにて、W49N および Ori-KL の水メーザーの観測に成功した(22GHz帯ファーストライト)(図12)。

2010年12月にはVLBI懇談会シンポジウムを茨城局にて開催した(図13)。その直後の12月4日には、6-9GHz帯冷却受信機2号機を高萩アンテナに搭載した。

2011年2月から3月には、日立アンテナに22GHz帯常温受信機を搭載し、W49Nの水メーザー輝線(の積分強度をパワーメータで読む)、3C279の連続波源を用い、指向精度、開口能率などの測定を行った。

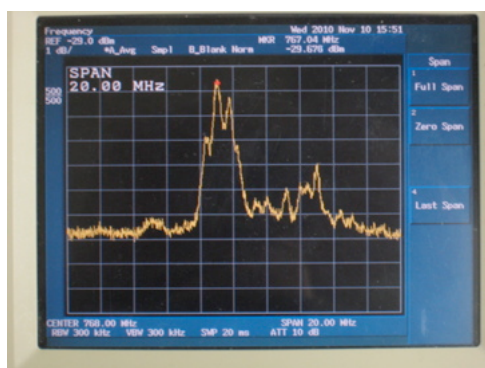


図12. 22GHzファーストライト(W49N)

図13.

VLBI懇談会シンポジウムの際の記念写真



3月に入って、グリスアップ、トルクリミッタカップリング調整などのアンテナ保守をして、いよいよ本格的な単一鏡観測に取りかかろうとした矢先に……………(つづく)。

## 謝辞

高萩/日立電波望遠鏡の整備は、国立天文台はもとより、山口大学、大阪府立大学をはじめとした大学間連携 VLBI 参加機関の協力によって実現しつつあります。これまでのご支援に対して感謝いたします。そして、今後も引き続き、ご協力お願いいたします。



# JVN/EAVN を用いた 6.7 GHz メタノールメーザー固有運動計測プロジェクト I ～ VLBI イメージングサーベイ ～

杉山 孝一郎<sup>1</sup>, 藤沢 健太<sup>1</sup>, 蜂須賀 一也<sup>2</sup>, 米倉 寛則<sup>3</sup>, 元木 業人<sup>1</sup>, 本間 希樹<sup>4</sup>, 廣田 朋也<sup>4</sup>,  
澤田-佐藤 聡子<sup>4</sup>, 村田 泰宏<sup>5</sup>, 土居 明広<sup>5</sup>, 小川 英夫<sup>6</sup>, 新沼 浩太郎<sup>1</sup>, Shen, Zhiqiang<sup>2</sup>,  
他, 大学連携研究グループ

所属: 1) 山口大学, 2) 上海天文台, 3) 茨城大学, 4) 国立天文台, 5) ISAS/JAXA, 6) 大阪府立大学  
2012 年 11 月 24 日

## 概要

我々は、2010 年 8 月から JVN/EAVN を用いた 6.7 GHz メタノールメーザーの VLBI モニタープロジェクトを開始した。本プロジェクトは、大質量原始星周囲に存在する回転円盤からの降着現象の直接検出、および円盤自身の進化を調査および解明することを最終目的としている。今回は、2010 年 8 月および 2011 年 10/11 月の VLBI 観測で得られた、36 天体のメタノールメーザースポットの空間分布を全公開する。36 天体のうち 34 天体は世界初の VLBI マップとなる。

## 1 研究背景

最近の分子輝線、および赤外線干渉計観測により、大質量星 ( $\geq 8 M_{\odot}$ ) は小質量星と同様に、形成中に周囲にガス・ダストの回転円盤を有することが分かってきた<sup>1)-3)</sup>。そこで次なるステップとして、その回転および降着運動を直接的に検出することが必要と考えられる。その唯一の方法は、放射サイズがコンパクト (数 AU) であり、原始星のごく近傍 ( $\sim 10$ -1000 AU) から検出されるメーザー源を、VLBI を用いてモニター観測することで、固有運動を検出することである。

そのためのプローブとして、我々は 6.7 GHz メタノールメーザーに注目した。このメーザーは、大質量星形成領域においてのみ検出され<sup>4),5)</sup>、少なくとも UC HII 領域形成よりも前の若い進化段階に出現していることが知られている<sup>6)-9)</sup>。また、干渉計観測および VLBI 観測で得られたメーザースポットの空間分布は、楕円状や直線状などの特徴的な形状を示しており、しばしば視線速度の速度勾配が同時に観測されている<sup>10)-12)</sup> など。このことは、メタノールメーザーが大質量原始星周囲に存在し得る回転円盤上から放射されている可能性を示唆している。最近 2 年間で、6.7 GHz メタノールメーザーの相対固有運動が検出され始め、その運動は励起星を中心とした回転 (+ 膨張 or 降着)

運動を示していた<sup>13)-17)</sup>。

その一方で、6.7 GHz メタノールメーザーがアウトフローをトレースしている可能性を示唆する観測結果も得られている。メーザー群同士が膨張に従い遠ざかる固有運動の検出がそれに当たる<sup>18),19)</sup>。また、ショックレーサーとして用いられる 2.12  $\mu\text{m}$  の H<sub>2</sub> 放射と、直線空間構造を示すメタノールメーザーが平行に分布している天体もいくつか検出されている<sup>20)</sup>。

そこで我々は、多くの 6.7 GHz メタノールメーザー天体を対象として、JVN/EAVN を用いた VLBI モニタープロジェクトを開始した。本プロジェクトにより得られる 6.7 GHz メタノールメーザーの空間分布と固有運動の系統的調査を通して、以下の事項の解明を目的としている：1) 大質量原始星周囲の回転円盤からの降着現象の系統的な直接検出；2) 6.7 GHz メタノールメーザーの発生場所の違いの理解；3) ALMA, ATCA, VLA とのコラボレーションを通じた、大質量原始星の進化と回転円盤自身の進化の理解。今回は、2010, 2011 年の 1 エポック目の VLBI 観測で得られた、36 天体の 6.7 GHz メタノールメーザー VLBI マップを全公開、空間形状の分類を報告する。36 天体は VLBI データベースとしては世界最大である。なお、今回得られた VLBI マップのうち、34 天体は世界初の VLBI マップとなる。

表 1: Summary of observing source.

G-Name	IR	RA(J2000)*	Dec(J2000)*	Vlsr	Fp (Jy)	Ref. <sup>†</sup>	Morph. <sup>‡</sup>
00.546-0.852	17470-2853	17 50 14.56	-28 54 31.4	14.0	68.0	1, 5	E, Pa
00.645-0.042	17441-2822	17 47 18.67	-28 24 24.8	49.1	69.0	1	C
02.536+0.198	17476-2638	17 50 46.47	-26 39 45.3	4.5	88.0	1	E?
06.189-0.358		18 01 02.16	-23 47 10.8	-30.2	228.6	2	C
06.795-0.257	17589-2312	18 01 57.75	-23 12 34.9	16.3	91.1	2	E
08.683-0.368	18032-2137	18 06 23.49	-21 37 10.2	43.2	102.0	2	C
08.832-0.028	18024-2119	18 05 25.67	-21 19 25.1	-3.8	159.1	2	C
09.619+0.193		18 06 14.92	-20 31 44.3	5.5	70.0	2	L
09.986-0.028	18048-2019	18 07 50.12	-20 18 56.5	42.2	67.6	2	C
10.323-0.160	18060-2005	18 09 01.46	-20 05 07.8	11.5	90.1	2	C
11.497-1.485	18134-1942	18 16 22.13	-19 41 27.1	6.6	68.4	2	C
11.904-0.141	18092-1842	18 12 11.44	-18 41 28.6	42.9	65.0	2	Pa
12.025-0.031	18090-1832	18 12 01.86	-18 31.55.7	108.3	96.3	2	A
12.681-0.182		18 13 54.75	-18 01 46.6	52.0	544.0	2	C
12.889+0.489	18089-1732	18 11 51.40	-17 31 29.6	39.3	68.9	2	A, Pa
14.101+0.087	18128-1640	18 15 45.81	-16 39 09.4	15.4	87.3	2	resolved out?
20.237+0.065	18249-1116	18 27 44.56	-11 14 54.2	71.8	77.0	3	Pa
23.43-0.18	18319-0834	18 34 39.25	-08 31 38.5	103.0	77.0	3	Pa
25.65+1.04	18316-0602	18 34 20.91	-05 59 40.5	41.9	178.0	4	L
25.70+0.04	18353-0628	18 38 03.15	-06 24 15.0	92.8	364.0	4	C
25.82-0.17		18 39 03.63	-06 24 09.5	91.2	70.0	4	E?
28.83-0.25	18421-0348	18 44 51.08	-03 45 48.5	86.0	73.0	4	C
29.86-0.04		18 45 59.53	-02 44 50.8	101.4	67.0	4, 5	A
30.70-0.07	18450-0205	18 47 36.76	-02 00 54.5	88.0	87.0	4	Pa
30.76-0.05	18450-0200	18 47 39.72	-01 57 24.9	92.0	68.0	4, 5	L
30.91+0.14		18 47 15.0	-01 44 07	104.0	95.2	4	L
31.28+0.06	18456-0129	18 48 12.39	-01 26 22.6	110.0	71.0	4	C
32.03+0.06	18470-0049	18 49 37.3	-00 45 47	92.8	93.0	4	Pa
37.40+1.52	18517+0437	18 54 10.5	+04 40 49	41.1	279.0	4	L
49.49-0.39		19 23 43.95	+14 30 34.2	59.0	850.0	3	C
232.62+0.99	07299-1651	07 32 09.79	-16 58 12.4	23.0	162.0	3	C
351.775-0.536	17233-3606	17 26 42.57	-36 09 17.6	1.3	231.0	1	E
352.630-1.067	17278-3541	17 31 13.91	-35 44 08.7	-2.9	183.0	1	L
353.410-0.360	17271-3439	17 30 26.18	-34 41 45.6	-20.3	116.0	1	C
354.615+0.472	17269-3312	17 30 17.13	-33 13 55.1	-24.4	166.0	1	E
359.436-0.104		17 44 40.60	-29 28 16.0	-47.8	73.5	1	Pa

\*: 図 1-7 の各 VLBI イメージ原点の絶対座標に相当。

†: 1) Caswell et al. (2010), 2) Green et al. (2010), 3) Caswell et al. (2009), 4) Pestalozzi et al. (2005), 5) JVN/EAVN 観測におけるフリッジレートマッピング (過去の文献と 1 秒角以上異なった天体のみ記載)。

‡: E: Ellipse, A: Arched, L: Linear, Pa: Pair, Po: Point, C: Complex.

表 2: Summary of JVN and EAVN observation.

Run	Date (y/m/d)	Time (UT)	Telescope <sup>1</sup>	Synthesized Beam		RMS image noise (mJy beam <sup>-1</sup> )
				$\theta_{\text{maj}} \times \theta_{\text{min}}$ (mas $\times$ mas)	PA ( $^{\circ}$ )	
1	2010/08/28	07:00-16:00	M, R, O, I, H, S	$\sim 20 \times 5$	7	$\sim 100$
2	2010/08/29	07:00-16:00	M, R, O, I, H, S	$\sim 20 \times 5$	7	$\sim 100$
3	2010/08/30	07:00-16:00	M, R, O, I, H	$\sim 20 \times 8$	70	$\sim 100$
4	2011/10/27	03:00-10:00	M, R, O, I, Y, H	$\sim 8 \times 3$	25	$\sim 50$
5	2011/10/28	03:00-10:00	M, R, O, I, Y, H, S	$\sim 7 \times 3$	21	$\sim 40$
6	2011/11/26	01:30-09:00	M, R, O, I, Y, U, H, S	$\sim 7 \times 3$	25	$\sim 20$

<sup>1</sup>: M: Mizusawa, R: Iriki, O: Ogasawara, I: Ishigaki, Y: Yamaguchi, U: Usuda, H: Hitachi, S: Shanghai.

## 2 観測

### 2.1 ターゲット天体

本プロジェクトのターゲット天体は、519天体をコンパイルした6.7 GHz メタノールメーザークatalog<sup>21)</sup>、および南天における Parkes 64-m 7 ビーム無バイアスサーベイカatalog<sup>22),23)</sup>を母体として、以下の条件により選出した：1)  $-40 < \text{Dec} < +30$  deg; 2) 過去に一度でも total flux density が 65 Jy 以上; 3) VLBI 未観測<sup>1</sup>。結果として、36 天体が検出され、そのうち 34 天体 (95%) が南天 (Dec < 0 deg) に位置している。これは、今後の ALMA とのコラボへ向けて、他の VLBI アレイに対するアドバンテージとなる。ここで選出された本プロジェクトのターゲット天体を表 1 にまとめる。表 1 において、天体は Galactic 名順に並んでおり、IRAS 名、赤経、赤緯、ピークフラックス密度、ピーク視線速度、座標のリファレンス、および本プロジェクト観測により得られたメタノールメーザースペース形状の分類を表している。形状分類に関しては、3 章で紹介する。

### 2.2 観測とデータ解析

JVN/EAVN を用いた VLBI 観測は、2010 年 8 月 28-30 日、2011 年 10 月 27, 28 日、および 11 月 26 日に行った。各天体ごとに、15 分 × (3-4) 回の積分時間を設けており、UV-coverage が埋まるようにスナップショット的に観測スケジュールを組んだ。それぞれの観測日における、参加局、典型的な合成ビーム、および rms ノイズレベルは表 2 を参照されたい。記録方式としては、VSOP ターミナルの DIR1000 系記録 (128 Mbps, 2 ビットサンプリング) を用いており、CH1 として記録した 16 MHz から任意の 4 MHz を切り出し 1024 点分光で相関処理を行っている (速度分解能  $\approx 0.18 \text{ km s}^{-1}$ )。データ解析は NRAO の作成した AIPS を用いて行い、 $\sim 8 \times 8 \text{ arcsec}^2$  の範囲でイメージングを行った (ただし、あらかじめFRINGEレートマッピングを行い、さらに広い範囲に放射が見つかった場合は、その場所を拡大しイメージングを実施)。最終的に、連続したチャンネルで出現し、かつ  $S/N > 5$  である放射をメーザースポットとして同定した。

<sup>1</sup>ただし、後の調査で 31.28+0.06<sup>10)</sup>, 49.49-0.39<sup>25)</sup> の 2 天体はすでに EVN で観測されていたことが判明。

## 3 結果・考察

### 3.1 空間形状

今回の 1 エポック目の観測で、36 天体中 35 天体の VLBI マップの取得に成功した。残りの 1 天体 G14.101+0.087 は特に長基線での空間分解が激しく、水沢-日立基線のみでFRINGE検出された。各天体の VLBI マップを、図 1-7 に示す。各マップにおいて、原点は一番明るい or 構造の少ないメーザースポットに相当する。

本観測で得られたメーザースポットが形成する空間分布の形状を、過去にならって以下の 5 種に分類した：

- Ellipse(楕円)
  - 楕円でフィッティング可能な形状で、我々のマップからは 6 天体が分類された。分布のサイズは 500-5000 AU と天体ごとに幅広く異なり、視線速度の勾配が見られる天体もある。Bartkiewicz et al. (2009) は、EVN を用いた VLBI 観測で同様な空間形状を 9/31 天体で検出し、分布と視線速度を併せたフィッティングにより、楕円形状のメタノールメーザースポットが回転 + 膨張、降着を行う円盤をトレースしていると考察している。
- Arched(円弧)
  - その名の通り、円弧形状を示すもので、3 天体が分類。分布のサイズは 500-3000 AU とこちらも天体ごとに幅広く異なる。
- Linear(直線)
  - 直線状に連続してスポットが分布している形状で、6 天体が分類された。なお、本形状には、楕円状に見える天体の中で楕円フィッティングに失敗 (直線上に解が発散) した天体も含まれている。分布のサイズは典型的に 500-2000 AU だが、G25.65+1.04 と G37.40+1.52 は 50 AU 程度と非常にコンパクトであった。
- Pair(ペア)
  - 各メーザースポット群が、空間的に 1000 AU 以上離れているものが該当し、

表 3: JVN/EAVN で観測された 6.7 GHz メタノールメーザーと EGO との空間関係。

メタノールメーザーの空間形状					
	Ellipse	Arched	Linear	Pair	Complex
EGO	3/6	0/3	1/6	0/8	3/14
垂直?	2/3	0/0	0/1	?	?
平行?	0/3	0/0	1/1	?	?

第 1 行目: EGO が付随している天体数; 第 2,3 行目: 楕円・円弧の長軸、もしくは直線の伸びている方向と、EGO の伸びている方向との関係性。

8 天体が分類された。ただし、G00.546−0.852 と G12.889+0.489 は、一部楕円・円弧形状にも分布されている。また、G20.237+0.065 と G23.43−0.18 は、メーザー群同士が 10000 AU 以上分離しているため、別の原始星に付随していると考えられる。

- Complex(複雑)

- 上記の 4 種の形状に分類困難だったものを総称しており、14 天体が該当している。この中には、メーザー群同士が分離はしているけれども、1000 AU 未満であるようなメーザー天体も含んでいる。

各天体ごとの空間形状分類は、表 1 を参照されたい。形状分類の結果をまとめると、

- 楕円：6 天体（16%）
- 円弧：3 天体（8%）
- 直線：6 天体（16%）
- ペア：8 天体（22%）
- 複雑：14 天体（38%）

となる。回転円盤をトレースしている可能性のある楕円、円弧、および直線形状を示しているメーザー天体が 15/36 天体で約 40% を占めており、今後これらの天体から回転 + 降着を示す固有運動の検出が期待される。

しかし一方で、今回の VLBI 観測で得られた空間分布の半分以上がペア形状、もしくは複雑なコンプレックス分布を示していた。これらの中には、空間的な分解の激しかった G12.681−0.182, G32.03+0.06, G359.436−0.104 も含まれているため、今後

結合素子型干渉計を用いた観測により、空間分解の小さいマップを取得することで、正確なメーザースポット空間形状の統計を議論する必要がある。今回のターゲット天体のうち、赤道面付近 ( $-5 < \text{Dec} < +5 \text{ deg}$ ) を除く 24 天体を対象とした、ATCA を用いたサーベイ観測を 2012 年 2 月にすでに実施しており、メーザーデータの解析はすでに終了している。その結果は別のレポートにて報告する予定である。

### 3.2 EGO との比較

本観測で得られた VLBI マップから、6.7 GHz メタノールメーザーの発生場所に対する理解を進めるために、ここでは Extended Green Object (EGO) との空間分布比較を行う。EGO とは、Spitzer 衛星の GLIMPSE/IRAC カメラで観測された 4 バンドの内、 $4.5 \mu\text{m}$  で 10-30 arc-sec 程度に広がって、かつ双極的に伸びた分布を示している放射であり、大質量原始星から噴出しているアウトフローに起因するショックレーザー、もしくは cavity 内部での反射光だと考えられている<sup>26),27)</sup>。また、EGO は赤外暗黒星雲と相関性が強いこともあり、大質量原始星の進化初期に出現していると考えられている<sup>25)</sup>。

本プロジェクト天体と EGO との付随状況を表 3 に示す。比較の際には、赤外線データカタログサイト (<http://irsa.ipac.caltech.edu/>) を用いた。我々の観測天体 36 天体の内、7 天体 (19%) に EGO が付随しており、その内 3 天体 (43%) が楕円形状および複雑形状を示すメタノールメーザー天体に付随していた。これより、まずは楕円・複雑形状を示すメタノールメーザーが、大質量原始星の進化の初期に多く出現することが伺えた。また、楕円・円弧分布の長軸、および直線の伸びている方向と、EGO

の伸びている方向とを比較した結果、楕円 2/3 天体、直線 1/1 天体で平行な空間関係にあった (図 1-7 中の破線が EGO の伸びている方向に相当)。これより、楕円の 2 天体は回転円盤、直線 1 天体はアウトフローをトレースしている可能性が考えられた。これ以降の正確な発生場所の理解には、固有運動の計測による 3 次元速度情報の取得が必要になってくるであろう。

## 4 まとめ

- JVN/EAVN を用いた 6.7 GHz メタノールメーザー 36 天体の VLBI イメージング観測を実施
- 34/36 天体で VLBI 初イメージを取得
- Ellipse, Arched, Linear, Pair, Complex の 5 種の空間形状に分類
- EGO との比較により、楕円形状を示した天体から 2 天体の回転円盤候補を選出

## 5 今後の展望

- ATCA 観測により得られた、空間分解の小さいマップとの比較により、より正確なメーザースポット空間形状の統計を議論
- 2011/2012/2013 年の 2 エポック目、3 エポック目の VLBI 観測データを用いた、固有運動計測
  - － 6.7 GHz メタノールメーザーの発生場所の系統的理解
  - － 回転円盤上での回転 + 降着運動の系統的な直接検出
- ALMA でのダスト連続波の観測によるダスト円盤の直接検出結果との空間分布比較、および物理パラメータとメーザー空間形状との関係の調査

## < 参考文献 >

- 1) Patel, N. A., et al. 2005, Nature, 437, 109
- 2) Beltran, M. T., et al. 2006, Nature, 443, 427
- 3) Kraus, S., et al. 2010, Nature, 466, 339
- 4) Minier, V., et al. 2003, A&A, 403, 1095
- 5) Xu, Y., et al. 2008, A&A, 485, 729
- 6) Goedhart, S., et al. 2004, MNRAS, 355, 553
- 7) Ellingsen, S. P. 2007, MNRAS, 377, 571
- 8) Walsh, A. J., et al. 1998, MNRAS, 301, 640
- 9) van der Walt, J. 2005, MNRAS, 360, 153
- 10) Minier, V., et al. 2000, A&A, 362, 1093
- 11) Sugiyama, K., et al. 2008, PASJ, 60, 23
- 12) Bartkiewicz, A., et al. 2009, A&A, 502, 155
- 13) Sanna, A., et al. 2010a, A&A, 517, 71
- 14) Sanna, A., et al. 2010b, A&A, 517, 78
- 15) Moscadelli, L., et al. 2011, A&A, 526, 66
- 16) Goddi, C., et al. 2011, A&A, L535, 8
- 17) Sugiyama, K., et al. in prep.
- 18) Rygl, K. L. J., et al. 2010, A&A, 511, 2
- 19) Sugiyama, K., et al. 2011, PASJ, 63, 53
- 20) De Buizer, J. M. 2003, MNRAS, 341, 277
- 21) Pestalozzi, M. R., et al. 2005, A&A, 432, 737
- 22) Caswell, J. L., et al. 2010, MNRAS, 404, 1029
- 23) Green, J. A., et al. 2010, MNRAS, 409, 913
- 24) Caswell, J. L. 2009, PASA, 26, 454
- 25) Phillips, C., & van Langevelde, H. J. 2005, ASPC, 340, 342
- 26) Cyganowski, C. J., et al. 2008, AJ, 136, 2391
- 27) Takami, M., et al. 2012, ApJ, 748, 8

## < 謝辞 >

本観測は JVN/EAVN のプロジェクト観測として行われたものであり、観測計画・立案にご協力いただきました方々、参加局、および各局の運用にご尽力いただきました方々に多大な感謝の意を表します。



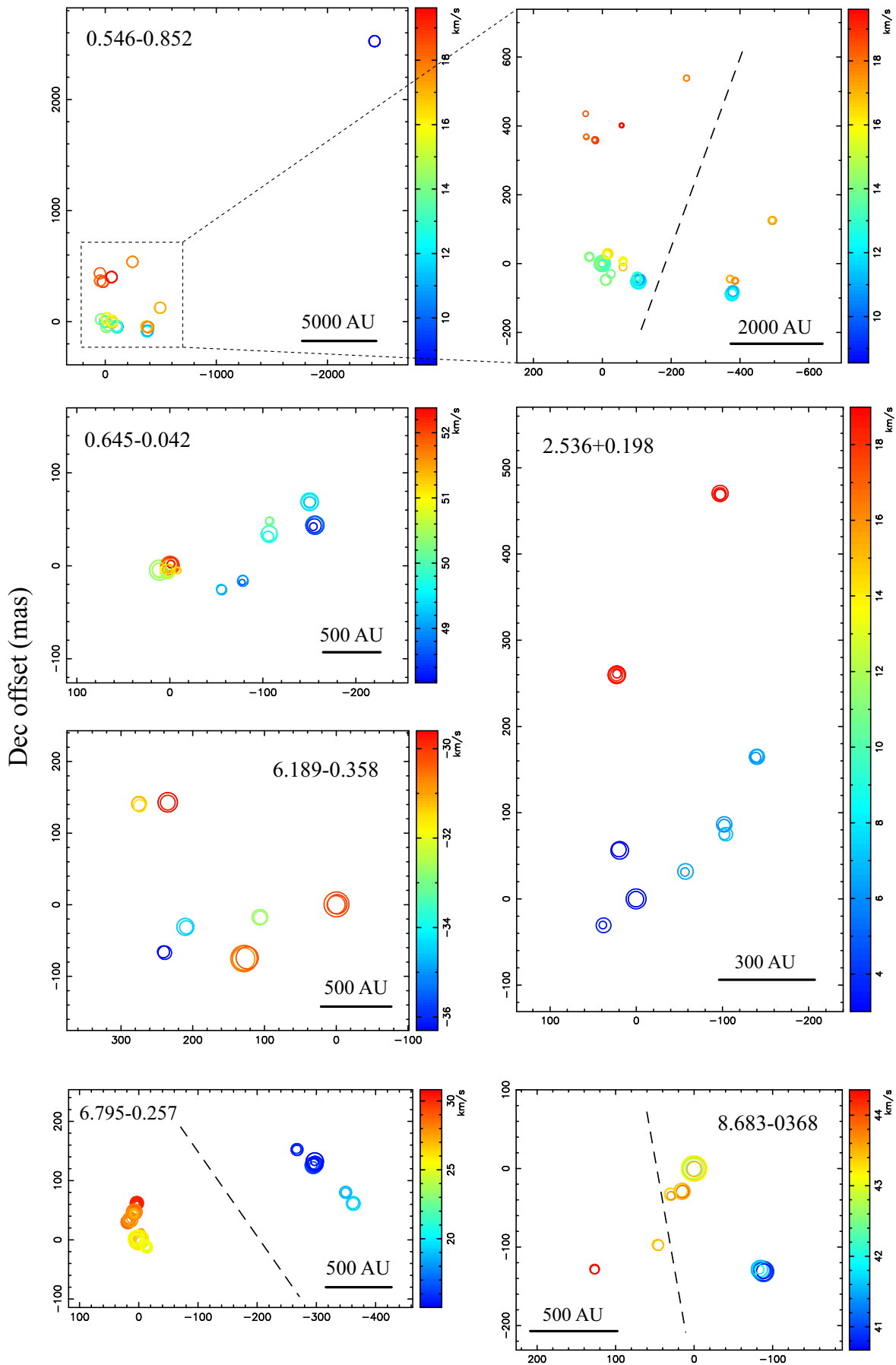


図 1: JVN/EAVN を用いて取得した、6.7 GHz メタノールメーザースポットの VLBI イメージ。天体名は各イメージの右上端、または左上端に記載。各点のサイズは各スポットの強度に対数スケールで比例しており、色は視線速度に相当する（各イメージ右のカラーバー参照）。各イメージの原点は、FRINGE フィッティングの際に用いた“一番明るい、もしくは構造のシンプルなメーザースポット”の位置に相当し、その絶対位置は表 1 に記載されている座標に相当。破線は EGO 放射の伸びている方向を表している。 12

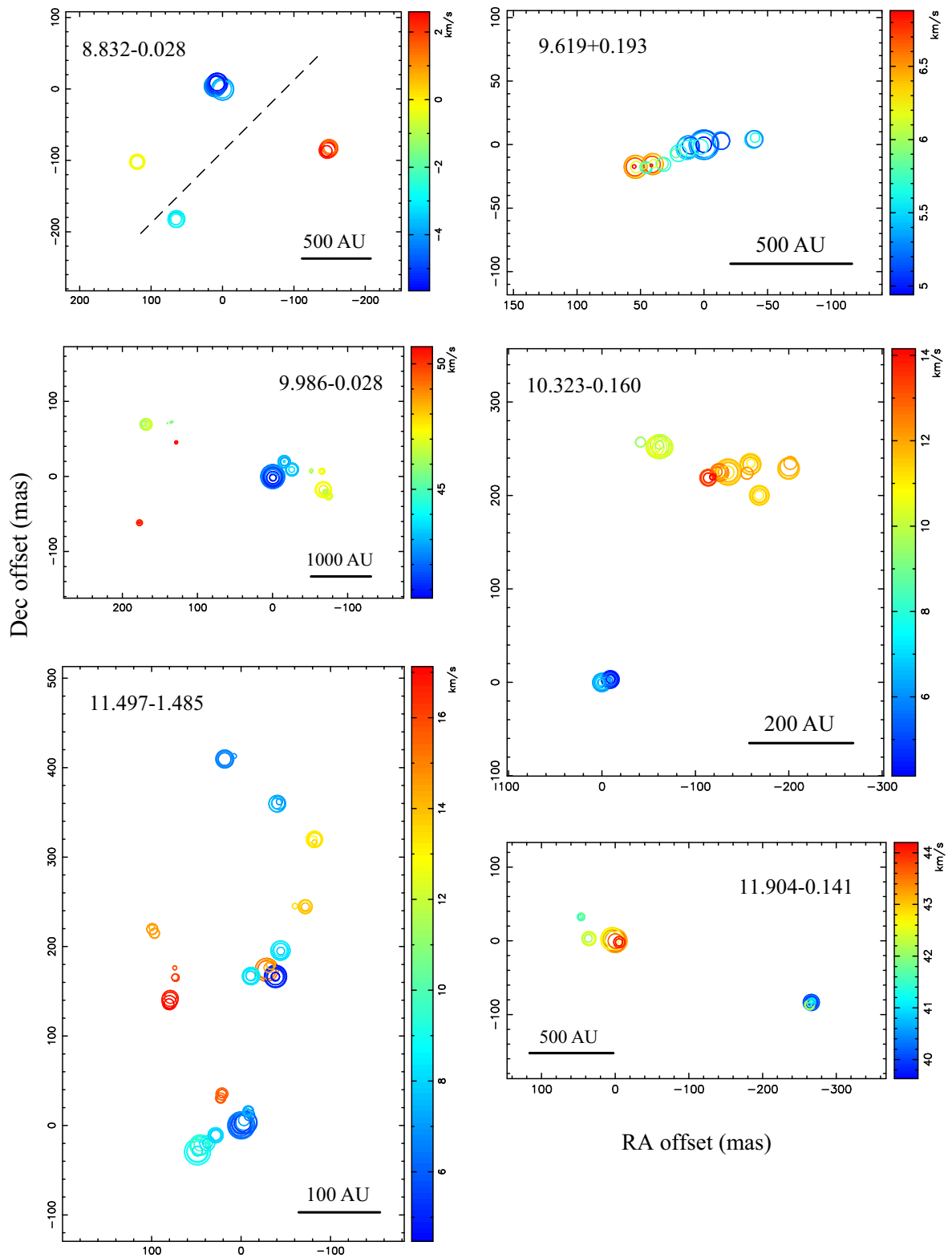


図 2: 図 1 と同じだが、異なる天体。

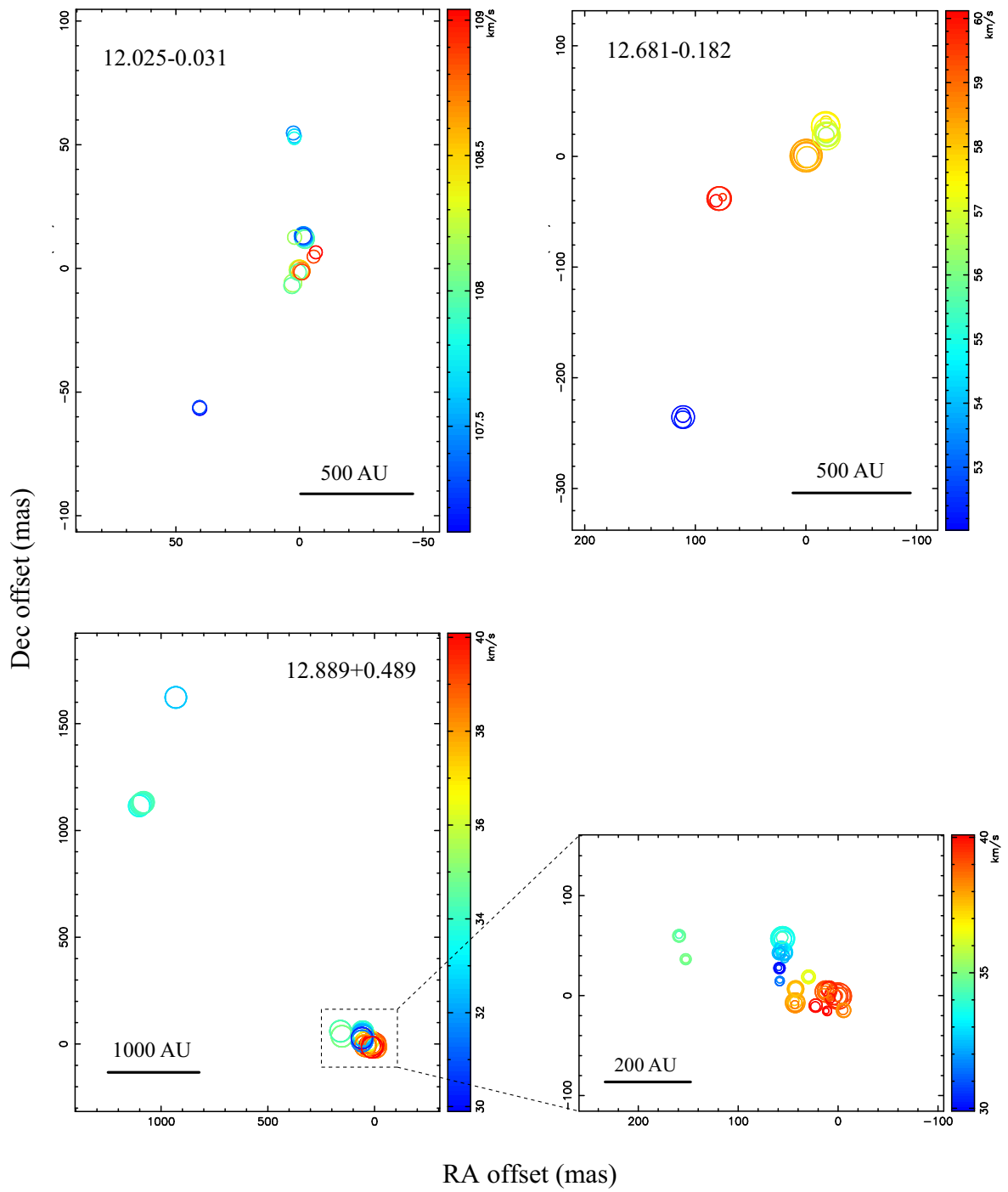


図 3: 図 1 と同じだが、異なる天体。

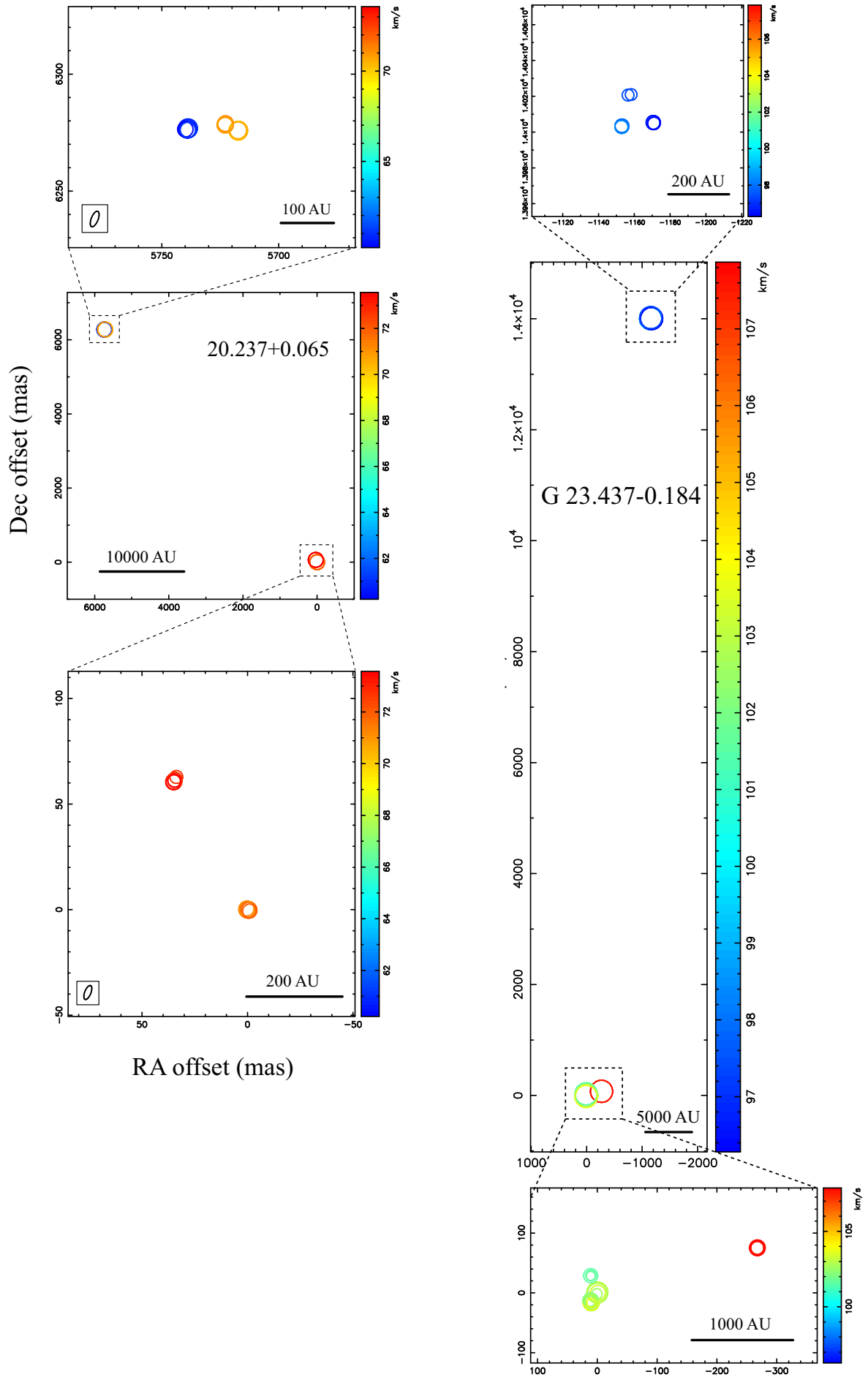


図 4: 図 1 と同じだが、異なる天体。

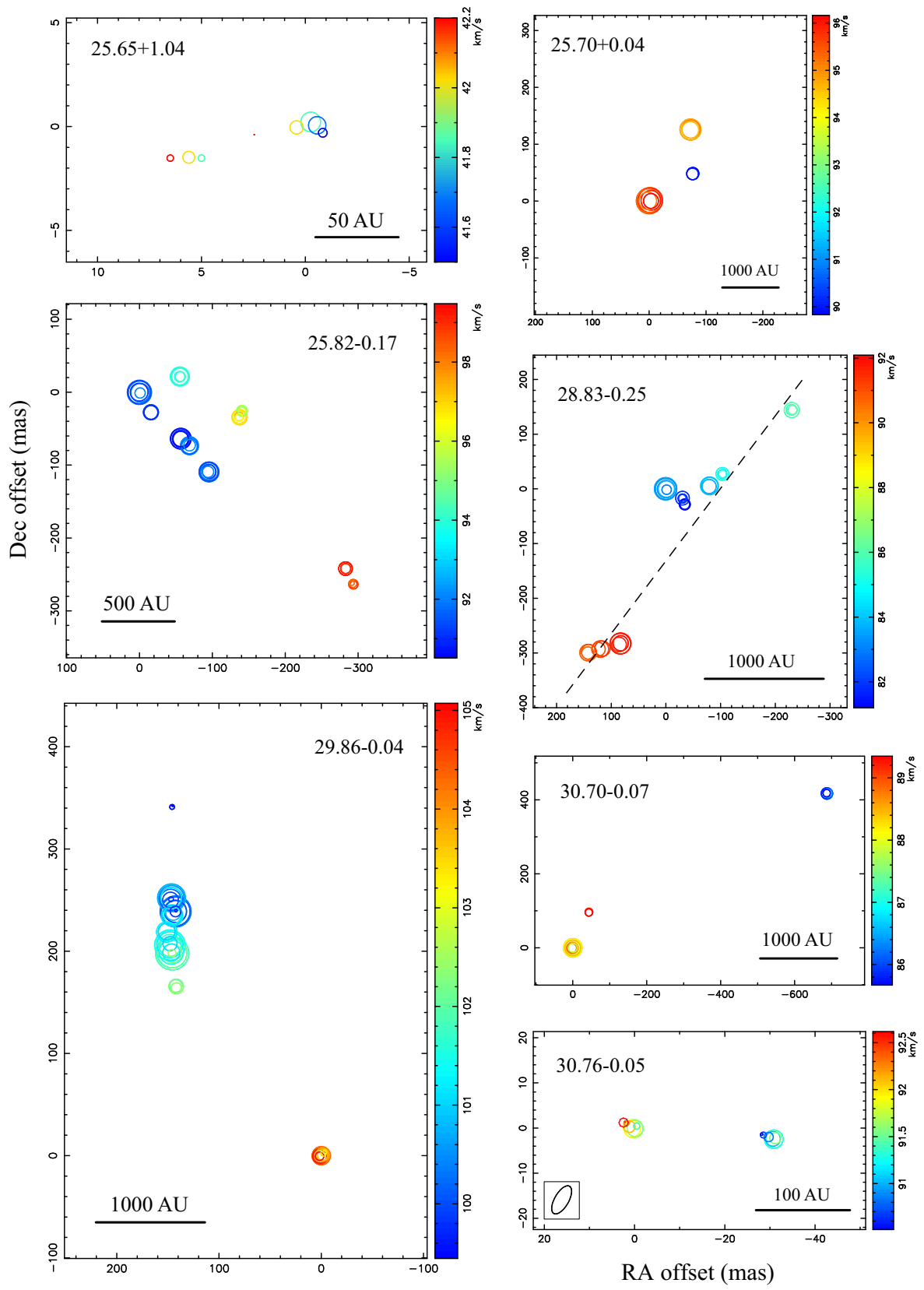


図 5: 図 1 と同じだが、異なる天体。



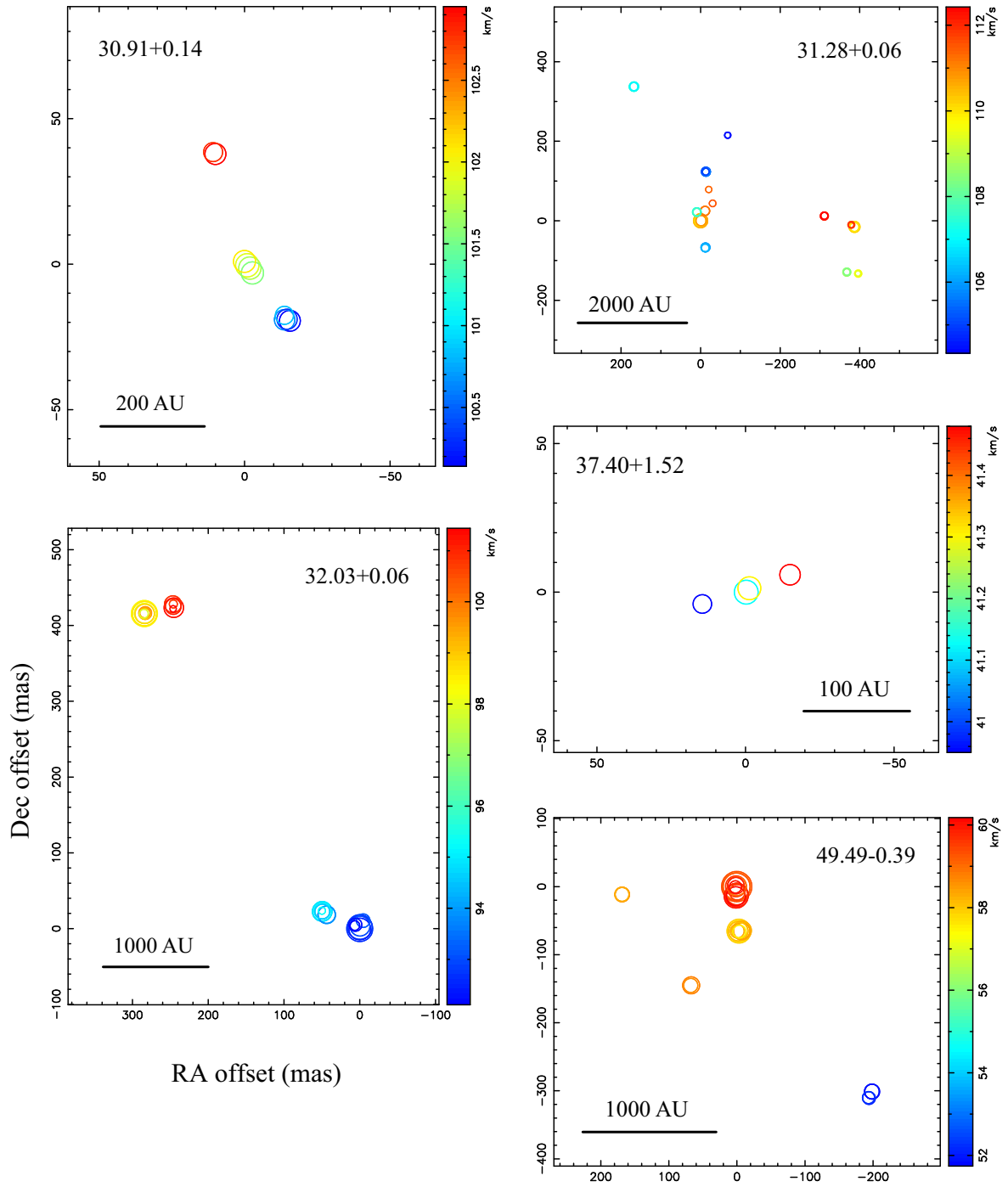


図 6: 図 1 と同じだが、異なる天体。

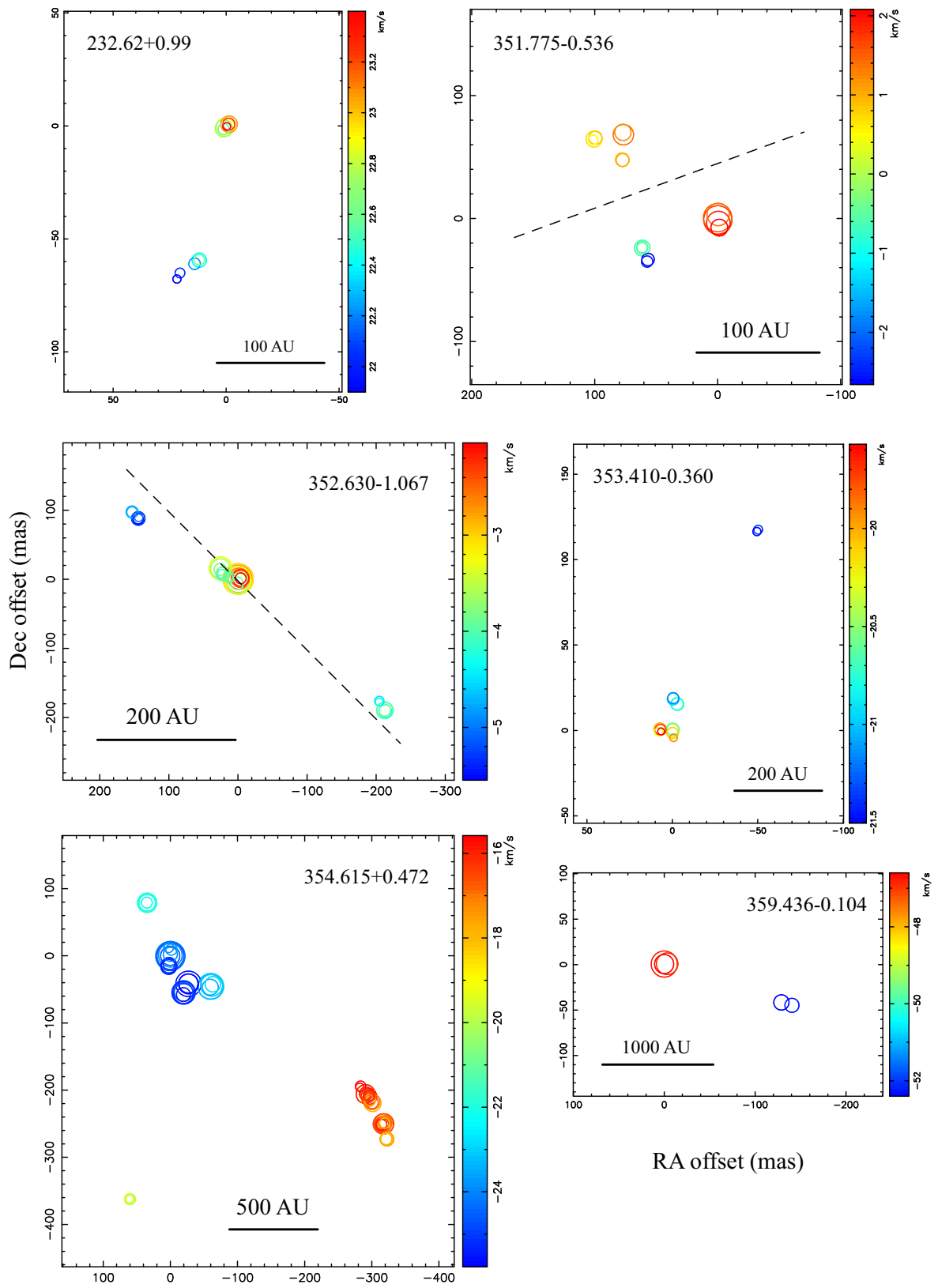


図 7: 図 1 と同じだが、異なる天体。

## JVN Reports（大学V L B I 連携研究成果報告書）原稿募集のお知らせ

### （１） JVN Reports とは

大学V L B I 連携観測事業の一環として、定期的に発行する研究成果報告書が JVN Reports です。内容は研究報告、実験のメモ、開発メモ、対外的・政治的な取り組み、各種情報などです。この報告書の目的は、連携事業の成果を公表・共有・保存すること、研究内容を文書にすることで研究を促進すること、連携事業の活力を維持・発展させること、将来の展開の素地となることです。発行は1年に4回、投稿資格者は大学V L B I 連携観測事業のメンバーです。査読は行いません。

### （２） 原稿募集

JVN Reports は、連携の研究に参加する多くの方に寄稿されることで成立します。ぜひ、多くの方に原稿を書いていただきたいと思います。内容は、連携運用会議に出される資料の程度、またはそれ以上の内容であることとします。具体的な内容の例を挙げます。

- **研究報告** 連携の観測で行った研究に加え、他のアレイで行った研究も歓迎する。V L B I でなくても良い。観測提案にかかわる研究報告でも良い。論文のドラフトでも良い。
- **実験・開発メモ・各種情報** 連携に関連した各種実験や開発の報告、もっと小さなメモなどでも良い。
- **対外的・政治的な取り組み** 国内外の情勢報告、東アジア観測網の構築などの取り組みに関する報告なども良い。

**次回の原稿締め切りは 2013 年 3 月 1 日です**

---

### JVN Report 原稿のスタイル

- 入稿：印刷可能状態の原稿、ファイル形式は基本としてPDFとする。
- 原稿サイズ：A4、横書き。上下左右には20mm以上の余白を作る。
- フォント：以下は例。およそこのようなスタイルとなっていれば良いとする。
  - タイトル=ゴシック、12ポイント
  - 著者名、所属、本文=明朝系、10ポイント
  - 章の表題=ゴシック、10ポイント
  - 段組、図=特に指定しない。カラーでも良いが、印刷は白黒。
- 章立て：以下の規則とする。
  - 先頭にタイトル、次の行に著者と所属、次に日付。それに続けて本文。
  - 本文の章立ては原則として任意。アブストラクト、謝辞などはあってもなくてもよい。

藤沢健太（編集担当）