2016 年度 VLBI 懇談会シンポジウム

集録

主催: VLBI 懇談会/山口大学

日時: 2016年12月26日-28日

場所: 山口大学 吉田キャンパス 大学会館

2016 年度 VLBI 懇談会シンポジウム 2016 年 12 月 26 日 – 28 日 山口大学 吉田キャンパス 大学会館

プログラム

セッション 1: メーザー

杉山	孝一郎	茨城大学	日立 32-m 電波望遠鏡を用いた長期的かつ高頻度な 6.7GHz メタノールメーザ
			ーモニター観測
青木	健悟	茨城大学	日立 32m 電波望遠鏡による 6.7 GHz メタノールメーザーの高頻度モニター観
			測データを用いた突発変動天体のサーベイ
中村	拡	山口大学	高変動を示す 6.7GHz メタノールメーザーは大質量星からのアウトフローに付
			随するのか?
大橋	拓人	茨城大学	BGPS ダストコアを対象とした 6.7GHz メタノールメーザー探査に基づく大質
			量星形成過程の研究
中川	亜紀治	鹿児島大学	鹿島 34m 鏡による OH メーザーの観測
小島	佑太	山口大学	大質量星形成領域 G33.641-0.228 のバースト的強度変動の偏波に関する研究
宮本	祐輔	茨城大学	星形成領域 IRAS 22198+6336 に付随する 6.7GHz メタノールメーザーの強
			度変動の研究
佐藤	宏樹	茨城大学	大質量星形成領域 G9.62+0.20 からの 6.7 GHz メタノールメーザー放射に見ら
			れる周期強度変動要因の観測研究
元木	業人	山口大学	KaVA による水メーザージェット天体 G357.967 の長期モニター観測

セッション 2: 周波数保護

亀谷 收	国立天文台	電波天文業務を取り巻く世界と日本の状態

セッション 3: 位置天文

酒井	大裕	東京大学	VERA を用いた銀河系中心方向の位置天文観測
大山	まど薫	鹿児島大学	VERA によるミラ型変光星 T UMa の位置天文観測
水窪	耕兵	鹿児島大学	逆位相補償を用いた IRAS05358+3542 の年周視差による距離決定及び
			内部運動

セッション 4: 測地

関戸 衛	NICT	広帯域 VLBI システムによる測地・周波数比較実験報告
川畑 亮二	国土地理院	つくば VLBI アンテナの測地学への功績について

セッション 5: AGN

木村 靖伊奈	山口大学	銀河中心方向天体の固有運動測定と大規模探査
塩谷 康允	山口大学	モニタリング観測からわかった電波銀河 3C 111 の γ 線活動期と電波ノ
		ットの噴出時期との関係
永井 洋	国立天文台	ファラデー回転で探る NGC 1275 中心核領域の質量降着流

学生セッション報告

	酒井 大裕	東京大学	学生セッ	ショ	ン報信
--	-------	------	------	----	-----

セッション 6: 技術開発

高橋 諒	大阪府立大学	3.8 m 電波望遠鏡を用いた VLBI 観測
金澤 翔	山口大学	山口第二電波望遠鏡に搭載する 6-9 GHz 帯受信機システムの開発
足立 弘	茨城大学	茨城 32m 電波望遠鏡受信機切り替え用導波管の開発
岡田 望	大阪府立大学	野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載 20/40 GHz 帯同時観測用周波数分離フィルタの
		開発
加屋野 博幸	(株)東芝	東芝の超伝導フィルタ技術
氏原 秀樹	NICT	広帯域アンテナの開発
川口 則幸	国立天文台	位相補償と大気損失補正のための水蒸気ラジオメータ
秦 和弘	国立天文台	EAVN ステータス(と 2017 年春キャンペーン観測)
土居 明広	JAXA	気球 VLBI
萩原 喜昭	東洋大学	43GHz 帯 VERA 両偏波化の現状

招待講演

松尾	宏	国立天文台	電波光子の統計的振る舞いと強度干渉計による画像合成について
宮原	伐折羅	国土地理院	地球規模の測地基準座標系(GGRF)に関する国連総会決議

セッション 7: 将来計画

藤沢	健太	山口大学	時間天文学のための広視野電波望遠鏡構想
亀谷	收	国立天文台	SKA に向けての国内のパルサー観測について
廣田	朋也	国立天文台	水沢 VLBI 観測所 SKA サイエンス WG での検討状況
小山	友明	国立天文台	VLBI 将来計画~中型計画としての SKA
本間	希樹	国立天文台	日本の VLBI 天文の将来について

ポスター

山口 貴大	茨城大学	日立 32m 電波望遠鏡を用いた 6.7GHz メタノールメーザー源の高頻度モニタ
		ー観測による 100 日未満の短周期強度変動天体の探査
柴田 裕輝	茨城大学	CORNISH HII 領域を対象としたメタノールメーザー探査に基づく大質量星形
		成過程の研究
倉山 智春	帝京科学大学	帝京科学大学卒業研究による VERA 観測局での単一鏡観測
中川 亜紀治	鹿児島大学	鹿島 34m 鏡による OH メーザーの観測
杉谷 菜々子	山口大学	大質量星形成領域 MonR2 におけるメタノールメーザ放射の周期的強度変動
宮地 優輔	山口大学	VLBI 観測による G352.63-1.02 の絶対固有運動計測
森 あかり	山口大学	高感度 VLBI 観測による銀河中心領域のブラックホールの探査
Gabor Orosz	鹿児島大学	VLBI Astrometry of Water Fountain Jets
Gabor Orosz	鹿児島大学	VLBI Astrometry at Low Frequencies
寺家 孝明	国立天文台	広帯域記録装置を用いた VERA-K 帯測地試験
田村 良明	国立天文台	山口局アンテナの GPS による座標測定
古谷 庸介	山口大学	VLBI 観測による High-z クェーサーの構造研究
藤田 和弘	山口大学	広帯域 JVN 観測による未同定ガンマ線天体の対応候補電波源の探査及び WISE
		天体を用いた統計的な種族特定
澤田-佐藤 聡子	鹿児島大学	Spatially Resolved Molecular Absorption Lines on a Nuclear Jet of NGC 1052
永山 匠	国立天文台	VERA 広帯域電波源サーベイ
青木 貴弘	山口大学	山口干渉計の構築状況
上野 祐治	国立天文台	水沢 VLBI 観測所のアンテナ保守 現状と将来計画
今井 裕	鹿児島大学	KaVA ESTEMA Project Status Report
今井 裕	鹿児島大学	HINOTORI (Hybrid Installation Project in Nobeyama, Triple-band Oriented)
河野 裕介	国立天文台	SKA デジタル系
小山 友明	国立天文台	VERA upgrade(uVERA)計画
藤沢 健太	山口大学	大学 VLBI 連携の現状と将来
米倉 覚則	茨城大学	茨城局機関報告
永井 誠	筑波大学	筑波大学機関報告
高羽 浩	岐阜大学	機関報告:岐阜大学
木村 公洋	大阪府立大学	機関報告 (大阪府立大学)
関戸 衛	NICT	NICT 機関報告
村田 泰宏	JAXA	JAXA VLBI 関係 機関報告
藤沢 健太	山口大学	VLBI 運営小委員会報告

集録

杉山孝一郎, 日立 32-m 電波望遠鏡を用いた長期的かつ高頻度な 6.7GHz メタノールメーザーモニター観測	1
青木健悟, 日立 32m 電波望遠鏡による 6.7 GHz メタノールメーザーの高頻度モニター観測データを用いた突発変	動天体
のサーベイ	4
中村拡, 高変動を示す 6.7GHz メタノールメーザーは大質量星からのアウトフローに付随するのか?	7
大橋拓人, BGPS ダストコアを対象とした 6.7GHz メタノールメーザー探査に基づく大質量星形成過程の研究	10
中川亜紀治, 鹿島 34m 鏡による OH メーザーの観測	11
小島佑太, 大質量星形成領域 G33.641-0.228 のバースト的強度変動の偏波に関する研究	14
宮本祐輔, 星形成領域 IRAS 22198+6336 に付随する 6.7GHz メタノールメーザーの強度変動の研究	17
元木業人, KaVA による水メーザージェット天体 G357.967 の長期モニター観測	20
亀谷收, 電波天文業務を取り巻く世界と日本の状態	23
酒井大裕, VERA を用いた銀河系中心方向の位置天文観測	26
大山まど薫, VERA によるミラ型変光星 T UMa の位置天文観測	29
関戸衛, 広帯域 VLBI システムによる測地・周波数比較実験報告	32
川畑亮二, つくば VLBI アンテナの測地学への功績について	
木村靖伊奈, 銀河中心方向天体の固有運動測定と大規模探査	
塩谷康允, モニタリング観測からわかった電波銀河 3C 111 の γ 線活動期と電波ノットの噴出時期との関係	42
高橋諒, 3.8 m 電波望遠鏡を用いた VLBI 観測	45
金澤翔, 山口第二電波望遠鏡に搭載する 6-9GHz 帯受信機システムの開発	
足立弘, 茨城 32m 電波望遠鏡受信機切り替え用導波管の開発	51
岡田望, 野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載 20/40 GHz 帯同時観測用周波数分離フィルタの開発	54
氏原秀樹, 広帯域アンテナの開発	57
川口則幸, 位相補償と大気損失補正のための水蒸気ラジオメータ	59
秦和弘, EAVN ステータス(と 2017 年春キャンペーン観測)	62
萩原喜昭, 43GHz 帯 VERA 両偏波化の現状	65
宮原伐折羅, 地球規模の測地基準座標系(GGRF)に関する国連総会決議	67
亀谷收, SKA に向けての国内のパルサー観測について	70
青木貴弘, SKA-JP Engineering Working Group 活動報告	72
廣田朋也, 水沢 VLBI 観測所 SKA サイエンス WG での検討状況	76
本間希樹, 日本の VLBI 天文の将来について	
山口貴大, 日立 32m 電波望遠鏡を用いた 6.7GHz メタノールメーザー源の高頻度モニター観測による 100 日未満	jの短周
期強度変動天体の探査	81
柴田裕輝, CORNISH HII 領域を対象としたメタノールメーザー探査に基づく大質量星形成過程の研究	84
杉谷菜々子, 大質量星形成領域 MonR2 におけるメタノールメーザ放射の周期的強度変動	87
宮地優輔, VLBI 観測による G352.63-1.02 の絶対固有運動計測	90
森あかり, 高感度 VLBI 観測による銀河中心領域のブラックホールの探査の探査	93
寺家孝明, 広帯域記録装置を用いた VERA-K 帯測地試験	96
田村良明, 山口局アンテナの GPS による座標測定	99

古谷庸介, VLBI 観測による High-z クェーサーの構造研究	
藤田和弘, 広帯域 JVN 観測による未同定ガンマ線天体の対応候補電波源の探査及び WISE 天体を用いた統	計的な種族特定
	105
青木貴弘, 山口干渉計の構築状況	
上野祐治, 水沢 VLBI 観測所のアンテナ保守 現状と将来計画	111
今井裕, KaVA ESTEMA Project Status Report	114
今井裕, HINOTORI (Hybrid Installation Project in Nobeyama, Triple-band Oriented)	116
藤沢健太, 大学 VLBI 連携の現状と将来	119
米倉覚則, 茨城局機関報告	120
木村公洋, 機関報告(大阪府立大学)	123
藤沢健太,山口大学機関報告	124
関戸衛, NICT 機関報告	125
藤沢健太, VLBI 運営小委員会報告	127

日立32-m電波望遠鏡を用いた

長期的かつ高頻度な 6.7 GHz メタノール・メーザーモニター観測

<u>杉山 孝一郎</u>¹、米倉 覚則¹、齋藤 悠¹、佐藤 宏樹¹、宮本 祐輔¹、青木 健悟¹、山口 貴大¹、 会川 航平¹、大島 理穂¹、齋藤 偉¹、水野 友雄¹、百瀬宗武¹、元木 業人²、 藤沢 健太²、本間 希樹³、内山 瑞穂³、松本 尚子³、蜂須賀 一也³

所属機関: 1. 茨城大学、2. 山口大学、3. 国立天文台.

概要

我々は、2012 年 12 月 30 日から北半球で観測可能な 442 天体 (Dec > -30°) を対象として、日立 32-m 電波望遠鏡を用いた 6.7 GHz メタノールメーザーの長期・高頻度モニタープロジェクトを開始している。本 プロジェクトは、特に大質量 (原始) 星周囲で希有な "周期的"強度変動現象を示すメタノールメーザー天体 の、完全なリストの構築及び統計的な研究を目指している。各天体あたりの観測頻度としては、2015 年 8 月 24 日までは数ヶ月-数年程度の中・長周期な強度変動天体の検出を狙い、9-10 日に 1 度を設定した。一 方、2015 年 9 月 18 日以降は、より短い 1ヶ月程度の周期変動天体の検出を狙い、強度変動が顕著だと判定 された 143 天体に厳選し、4-5 日に 1 度のより高頻度なモニター観測を達成した。今回は、2016 年 12 月 07 日までのモニター経過の報告を行う。Lomb-Scargle 法を用いた周期解析により、計 42 天体から周期強度変 動の検出に成功し (既知: 11, 新検出: 31)、その周期は 22-409 日であった。本紙では、周期変動を解釈す るモデルの一つとして着目している、大質量原始星の脈動不安定モデルから予言される周期-光度関係 (P-L relation)の観測的検証へ向けた経過も併せて紹介する。

1 研究背景

種々の干渉計観測により、大質量星 (> 8 M_☉) も小質量星と同様に、周囲の回転円盤を通じた質 量降着により形成が進むことが明らかになってき た^{1)-5) など} 昨今、次なる研究課題として大質量原 始星の進化過程の解明が挙げられる。Hosokawa & Omukai (2009)⁶⁾の理論計算によると、進化の経路 は原始星表面に降り積もるガスの質量降着率 \dot{M}_* に よって決定付けられると提唱されている。従って、大 質量星の進化を理解するには、 M_{*}を何らかの方法 で観測的に計測する必要がある。しかし、原始星表 面のサイズは高々0.1 au であり、大質量星の典型的 な距離1 kpc 以遠においては、0.1 mas 未満に相当し てしまう。それ故、ALMA を含む現存の観測装置で は2桁以上空間分解能が不足し、将来のextended-ALMA をもってしても1桁以上分解能が足りず、直 接撮像による物理量の導出は不可能である。

そこで、我々は理論研究により提唱された"大質量 星が原始星時代に生じる脈動不安定モデル"⁷⁾に着 目した。この研究により、大質量原始星が主系列星 に到達する直前1000年程度の間に不安定な脈動変 動を生じ、*M*_{*}に依存して成長することで、10-100 日オーダーの周期的な光度変動を生じる可能性が示 された。κ機構に従い脈動が成長していくため、光 度変動は連続的なパターンを示すことが特徴として 挙げられる。同時に、本脈動は質量降着と内部構造 の進化タイムスケールの釣り合う時期 ($t_{\rm ff} \simeq t_{\rm KH}$) に生じるため、脈動周期 P と天体光度 L との間に 一定の相関関係 "P-L relation"が予言されている。 即ち、この理論予言されている P-L relation を観測 面から検証・確立することが出来れば、脈動周期の 観測を通じて、原始星光度を導出することが可能と なり、結果として天体光度の決定に寄与している原 始星表面の (\dot{M}_* を含む)物理パラメータを間接的に 導出可能となることが期待される。

現在のところ、大質量(原始)星周囲で観測的に 周期的な強度変動を検出出来ているプローブはメー ザー源のみであり、特に 6.7/12.2 GHz メタノール メーザーに対する探査が積極的に実施されている。 これまでに20天体から検出されており、その周期は 29.5-668日と非常に幅広く、またその変動傾向も"連 続的","間欠的"の2タイプに大別される^{8)-10)など}。 しかし、母数1000天体以上に対し、幅広い周期を カバー出来るほどの頻度・期間に亘って、無バイア スにモニターされた天体は20%程度であり、周期天 体の正確な存在数や統計は明らかになっていない。 また、P-L relationの観測的確立という観点からも、 周期天体のサンプル不足が懸念される。 そこで我々は、北半球から観測可能な Dec > -30° に位置する 442 天体を、フラックス密度などに制限 は設けず無バイアスに、高頻度で、かつ長期に亘る 単一鏡モニターサーベイプロジェクトを、2012 年 12月 30 日から開始した。本紙では、日立 32-m 電波 望遠鏡を用いた約4年に亘るモニターの結果、新検 出された 31 天体の周期変動を報告すると共に、P-L relation の観測的検証へ向けた経過も紹介する。

2 観測

日立 32-m 電波望遠鏡を用いたメタノールメー ザーモニターは、2012/12/30-2014/01/10 (MJD 56291–56667), 2014/05/07–2015/08/24 (MJD 56784-57258), 2015/09/18- (MJD 57283-), Ø 3 期に分けて実施した。第1期のモニター結果から、 変動の比較的小さいものを較正天体として選出し、 第2期以降、毎日のモニターに組み込んでいる。観 測頻度としては、1,2期で各天体辺り9-10日に1 度の頻度を達成する一方、3期は観測天体を強度変 動の顕著な143天体に厳選し、4-5日に1度の頻度 を達成している。バックエンドとしては、観測帯 域 6664-6672 MHz を 8192 点分光することにより、 速度分解能 0.044 km s⁻¹ を達成している。また、 各天体辺り5分積分により、検出感度3σ~0.9 Jy を達成している。データ解析は茨城大学の独自開 発ソフトウェアを使用して行った。

3 結果: 変動成分と周期解析

本紙では、2016年12月07日までのモニターデー タを元に、以降の評価を展開する。観測された天体 の中で、例えば図1(上)に示したG036.70+00.09 のように、一定の間隔で強度変動を生じている天体 が複数同定された。そこで、観測した全442天体に 対し、Lomb-Scargle法^{11),12)}を適用する事で周期 性の有無を判定した。この手法は、不等間隔な離散 データに対する周期解析法として代表的な手法であ り、日立データに対しては、茨城大学博士前期課程 を2015年度に修了した安井靖尭氏によりチューニ ングされたC言語プログラムを使用した¹³⁾。

今回は、本モニターでの周期変動天体の同定を行 うため、周期解析の結果に、以下の条件を設けた:

- 周期解析パワースペクトルの信頼度を表す(雑 音による見かけの周期排除可能な)閾値 < 10⁻⁴
- 導出された周期が、モニター期間~1,440日の 3分の1以下(3周期以上を検出可能)
- 期間中のフラックス密度の最大値 S_{max} ≥ 7 σ



図 1: (上)新検出された周期変動天体の例:G 036.70+00.09 (周期:53日)のダイナミックスペクトル。横軸:視線速度,縦軸:観測日時(MJD)で、グレースケールはフラックス密度に相当(右パネルは対数)。(中)本モニターの検出42天体における、周期に対するヒストグラム(100日刻み)。既知と新検出2種の計3種に分類。(下)周期変動パターン3種に分類した同ヒストグラム。

その結果、計42天体から周期変動の検出に成功した。内訳は、既知:11,新検出:31天体で、新検出天体の周期は22-409日となった。それらを、既知・第 1-3期を通じた新検出・第3期での新検出の3種に分類し、周期に対するヒストグラムとして図1(中)に掲載する。また、その周期変動パターンを、"連続的","間欠的","一部の成分のみ連続的"の3種に分類した同ヒストグラムを図1(下)に掲載する。これより、^κ機構による脈動変動起因と考えられる連続的な変動パターンを示す天体は、20天体となった。最後に、本モニターにおける31天体からの周期変動新検出により、周期変動天体のサンプルを、既知20天体から2倍以上へ増加させることに成功したことを、成果として強調しておきたい。

4 P-L relation (暫定版)

周期方向に幅広いサンプルがそろってきたため、 本紙にて観測データを用いた P-L relation を検討す る。まず、母体として、以下の条件を満たす計 23天 体を挙げる:

- 連続的な変動パターンを示す 20 天体
- 一部のみ連続的な変動パターンを示す天体の内、 空間分布上での位置比較を行い、数1000 au に 分離した"ペア形状"^{14) など}に分類され、励起 星を切り分け可能な3天体

次に、それらに付随する励起星の光度を導出する ため、高空間分解能な遠赤外線データを含む、Herschel 衛星の Hi-GAL データを用いた。観測波長は 70, 160, 250, 350, 500 μ m の 5 波長であり、分解能 は 6–35 arcsec である。本紙では、 $-70^{\circ} \le l \le +68^{\circ}$ の範囲における測光カタログ¹⁵⁾を活用し、我々の 周期変動連続パターンの母体 23 天体に対して、11 天体で 3 波長以上の同定を達成した。これらを用い、 単一の黒体放射による SED フィットを実施し、そ の範囲を積分することで、励起星からの赤外線総フ ラックス (と仮定される) 値を導出した。

最後に、上記で導出した赤外線総フラックスを総 光度へ変換するために必須となる天体距離の同定を 行った。3 波長以上の Hi-GAL データを有する 11 天 体の内、これまでに年周視差計測の実施、もしくは 銀河中心付近に位置することにより、高精度に距離 が導出されているのは、わずか 2 天体であった¹⁶⁾。 また、運動学的距離でありながら、HI 自己吸収法 により near/far の区別が実施された天体は 7 天体 であった¹⁷⁾。

これら9天体を、理論予言されているP-L relation と重ね合わせた暫定版 P-L relation を図2に掲載 する。現時点では、理論予言における誤差込みの不 安定帯(灰色のボックス)を考慮しても、観測点は 全体的に光度の低い側へシフトしている様子が伺え る。しかしながら、高精度な距離を同定済みのもの はわずか2天体であり、理論予言のP-L relation と の正確な比較は困難であるため、今後少なくとも上 記7天体に対する年周視差計測の実施により、P-L relationの正確な観測的検証を目指したい。

5 今後の展望

- 10日程度の超短周期 & 1年以上の長周期変動
 天体に対する周期リストをコンプリート化
- 運動学的距離の7天体に対する、年周視差計測
 による高精度な距離計測



図 2: 暫定版 P-L relation。各観測点の塗りつぶし/抜きは天体距離 の計測法の違いに相当(年周視差/運動学的)。理論予言線を点線で掲載 (灰色のボックスは誤差込みの不安定帯)。

- VERAへ2天体を観測提案(* 2017/02/08
 付けで VERA17A-124 として採択)
- Herschel データの、他銀経エリア天体への適用
 - co-PI である内山瑞穂氏と連携して Herschel データ解析を実施
- VLBIマップの静穏時・増光時比較による、スポットベースでの周期変動成分の同定、及び空間スケールの決定
 - 先行研究として、佐藤宏樹氏 (茨城大学),
 口頭発表 O1-8 における G 9.62+0.20 の
 結果を参照
 - JVN へ大規模観測提案中 (PI: 米倉覚則氏)

< 参考文献 >

- 1) Patel, N. A., et al. 2005, Nature, 437, 109
- 2) Kraus, S., et al. 2010, Nature, 466, 339
- 3) Sanna, A., et al. 2010a, A&A, 517, 71
- 4) Goddi, C., et al. 2011, A&A, L535, 8
- 5) Sugiyama, K., et al. 2014, A&A, 562, 82
- 6) Hosokawa, T., & Omukai, K. 2009, ApJ, 691, 823
- 7) Inayoshi, K., et al. 2013, ApJL, 769, L20
- 8) Goedhart, S., et al. 2004, MNRAS, 355, 553
- 9) Goedhart, S., et al. 2009, MNRAS, 398, 995
- 10) Fujisawa, K., et al. 2014, PASJ, 66, 78
- 11) Lomb, N. R. 1976, Ap&SS, 39, 447
- 12) Scargle, J. D. 1982, ApJ, 263, 835
- 13) 安井 靖尭, 他, 2015, VLBI 懇談会シンポジウム
- 14) Fujisawa, K., et al. 2014, PASJ, 66, 31
- 15) Molinari, S., et al. 2016, A&A, 591, 149
- 16) Reid, M. J., et al. 2014, ApJ, 783, 130
- 17) Green, J. A., & McClure-Griffiths, N. M.

2011, MNRAS, 417, 2500

日立 32m 電波望遠鏡を用いた 6.7GHz メタノールメーザーの高 頻度観測による突発変動天体の探査

青木 健悟

茨城大学大学院 修士課程1年次

概要

6.7GHz メタノールメーザーは大質量星形成領域のみから検出されるため、選択的に大質量星形成の研 究ができる。これまでの研究によって、6.7GHz メタノールメーザーが周期的な強度変動を示すことが分 かってきた。ところが近年、ごく短期間のうちに急激な強度変動を示す天体が観測された。Fujisawa et al. (2012) によると、G 033.64-00.21 から放射されるメタノールメーザーのうち V_{lsr} = 59.64km/s のフラック ス密度のみが 1-3 日以内に静穏時の約 7 倍以上に上昇したことが分かった。現在のところ、このような突 発現象を示す天体の個数・物理的特徴の統計調査は行われておらず、その発生メカニズムに関してはまだ議 論の余地が多い。したがって、突発現象の発生メカニズムを調べることは大質量星の形成過程を解明する際 のひとつの手がかりになると考えられる。そこで本研究では、茨城県日立市に位置する電波望遠鏡で定期的 に観測している天体に対し、突発現象を独自に定義し突発天体の個数を統計的に調査した。解析の結果、突 発現象を示す天体数は 17 であった。

1 導入

6.7GHzメタノールメーザーは大質量星形成領域の みから放射されるため、選択的に大質量星の研究が できる。Fujisawa et al. (2012)によると、G 033.64-00.21から放射される6.7GHzメタノールメーザーの うち V_{1sr} = 59.64km/sのフラックス密度が1-3日以 内に静穏時の約7倍以上に上昇したことが報告され ている。現在のところ、このような突発現象を示す 天体の個数・物理的特徴の統計調査は行われておら ず、その発生メカニズムに関してはまだ議論の余地 が多い。したがって、突発現象の発生メカニズムを 調べることは大質量星の形成過程を解明する際のひ とつの手がかりになると考えられる。そこでまず本 研究では、茨城県日立市に位置する電波望遠鏡で定 期的に観測している天体に対し、突発現象を独自に 定義し突発天体の個数を統計的に調査した。



図 1: G 033.64-00.21 が放射する 6.7GHz メタノールメーザーの強 度変動の様子。実線で繋いでいるのが V_{lsr} = 59.64km/s 成分。図 は Fujisawa et al. (2012) より引用。

2 観測

2012年12月から現在にかけて、茨城県日立市に位置する電波望遠鏡を用いて6.7GHzメタノールメー ザーを放射する天体のモニター観測を実施している。 観測している天体は赤緯-30度以北に位置し、天体 数は合計 442 である。観測は 3 つの期間に分けて 実施しており、期間はそれぞれ第 1 期 (2012/12/30 -2014/01/10), 第 2 期 (2014/05/07 - 2015/08/24), 第 3 期 (2015/09/18 -) である。観測頻度は、第 1, 2 期が 10 日に 1 回程度、第 3 期が 5 日に 1 回程度である。 なお一部の天体についてはほぼ毎日観測を行ってい る。アンテナの観測パラメータを表 1 に示す。

望遠鏡	日立 32m 電波望遠鏡
アンテナ口径	32m
ビームサイズ	4.6 arcmin
観測周波数帯域	6664 - 6672MHz
分光点数	8192
速度分解能	0.044km/s
積分時間	300sec/source
検出感度 (3σ)	$\sim 0.9 { m Jy}$

表 1: 観測パラメータ



図 2: 日立 32m 電波望遠鏡。

3 結果

先行研究 Fujisawa et al. (2012) で取り上げられて いる天体 G 033.64-00.21 の突発的な強度変動を参 考にして突発現象を自分で定義し解析を行った。本 研究では、モニター観測を行っている天体のフラッ クス密度の時間的変動を調査した。二つの隣り合っ た観測点において天体から放射されるフラックス密 度をそれぞれ F_1 , F_2 、rms ノイズレベル (1 σ) を σ_1 , σ_2 とし、以下の式を満たすものを突発現象と定義し た。なお、この解析作業は観測を行う毎に縦軸を強 度 [Jy], 横軸を修正ユリウス暦 [day] として、「検出 限界 (3**o**)」,「天体から放射されるフラックス密度」 をプロットした図を用いて目視で行った。

強度上昇率
$$\equiv \frac{F_2 - \sigma_2}{F_1 + \sigma_1} \ge 2.0$$
 (1)

rms ノイズレベルは、装置的な要因として天体のフ ラックス密度に ±1σ の誤差が生じるのを考慮し、強 度上昇率がより信頼性の高い値となるように用いた。

解析した結果、モニター観測天体数 442 のうち、 突発天体数は 17 であった。図 3 に突発現象を示し た天体と強度変動の特徴をまとめた。

4 考察

今回選出した突発天体に関して、いくつか図を作 成した。極大時のフラックス密度に対する直前の観 測点のフラックス密度のプロットを図4に示す。極 大時のフラックス密度に対する天体数の度数分布を 図5に示す。突発天体のほとんどは強度上昇率が 2.0~3.0で、先行研究のG033.64のように大きな強 度変動を示す天体は少なかった。図5に示した通り、 極大時のフラックス密度が0~25Jyの天体数は13 であり、放射強度が弱い天体が多かった。



図 4: 極大時のフラックス密度に対する直前の観測点のフラックス 密度のプロット。

~ 尖 金 :	大仏())一首え	7		10dayに1回程度	
		▶ ※2016/07/15以降ほ	ぼ毎日観測	ほぼ毎日	
天体名	突発現象を示した速度成分 [km/s]	期間中における 突発現象の回数	強度	その上昇率	
G 005.88-00.39	0.64	1		2.1	
<u>G</u> 005.90-00.42	0.68	1		2.0	
G 012.88+00.48	29.21	1		2.0	
G 014.23-00.50	25.30	複数回		7.5	
₩ <mark>G</mark> 014.33-00.63	21.55	2		3.2	
G 022.36+00.06	80.87	1		2.1	
G 031.04+00.36	82.77	1		2.2	
G 033.64-00.21	59.62	複数回		8.7	
G 033.74-00.15	58.96, 59.66	2, 7		2.1, 9.2	
G 035.20-00.74	36.67	2		2.6	
G 035.79-00.17	58.84	2		2.4	
G 036.70+00.09	53.65, 55.08, 62.07	2, 1, 1	2.3	7, 2.6, 2.5	
G 045.47+00.13	59.66	1		2.4	
G 045.49+00.12	59.66	2		2.6	
G 078.10+03.63	-6.64	1		2.8	
G 189.78+00.34	3.86, 4.25, 5.46, 5.63	1	2.5,	3.8, 2.1, 2.2	
IRAS22198+6336	-16.89, -10.89, -9.19, -8.49, -7.31	複数回	8.1, 5.8	, 6.5, 9.5, 28.3	

図 3: 突発現象を示した天体と強度変動の特徴。G 014.23-00.50, G 033.64-00.21, IRAS22198+6336 はほぼ毎日、それ以外は 10 日に 1 回 程度の観測頻度。



5 結論

突発現象を示した天体数は 17 であった。突発天体 のほとんどは強度上昇率が 2.0~3.0 で、G 033.64 の ように大きな強度変動を示す天体は少なかった。極 大時のフラックス密度が 0~25Jy の天体数は 13 で あり、放射強度が弱い天体が多かった。

本研究の課題は以下の2点である。解析は目視で 行ったため、突発現象を見落としている可能性があ る。また、天体によって観測頻度が異なるために現 時点の強度上昇率を利用した突発現象の定義(式(1) 参照)では強度変動に要した日数に差が生じてしま う。一つ目の課題の解決策として、突発現象を定量 的に選出するプログラムを作成することが挙げられ る。二つ目の課題の解決策として、定義を静穏時か ら極大時までに要した日数を考慮した強度の変化率 にする等、今後見直していく必要がある。今後は、赤 外線データ等を用いて突発現象を示す天体とそうで ない天体の物理的特徴を比較していく予定である。

謝辞

米倉覚則先生、杉山孝一郎さま、齋藤悠さまには 本研究を進めるにあたり、様々な助言を頂きました。 心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Fujisawa, K. et al, 2012, PASJ, 64, 16
- [2] Fujisawa, K. et al, 2014, PASJ, 66, 109

高変動を示す 6.7 GHz メタノールメーザは 大質量星からのアウトフローに付随するのか

中村 拡、藤沢 健太、新沼 浩太郎、元木 業人 (山口大学) 松本 尚子、蜂須賀 一也 (NAOJ)

1 研究背景

大質量星 (太陽の 8 倍以上重い恒星) は周囲に濃い星間物質が存在するなどの理由からその形成過程は未解 明である。しかし、近年の分子線を用いた電波観測や星周ダストの赤外線観測から大質量星周囲にもガス/ダ スト円盤の存在が明らかになってきたことから、大質量星も小質量星と同様に円盤からのガス降着によって形 成されることが示唆されている。この降着円盤の構造及び運動を調査することは大質量星形成過程を理解する 上で不可欠である。さらに、アウトフローによる質量放出現象も大質量星の形成過程の解明に欠かせない要素 である。

降着円盤やアウトフローの運動を高分解能 (数ミリ秒角) で捉えることが出来るツールとして期待できる のが、大質量星形成領域のみに付随する 6.7 GHz メタノールメーザの VLBI 観測である。6.7 GHz メタノー ルメーザはすでに、降着円盤のトレーサーとして研究が行われている (e.g., Bartkiewicz et al. 2005 : Sanna et al. 2010)。しかし、アウトフローのトレーサーになる可能性も近年の研究から示唆されている。例えば、 Moscadelli et al. (2011) で報告されている IRAS 20126+4104 に付随する 6.7 GHz メタノールメーザである。 この天体では、アウトフロートレーサーである水メーザと 6.7 GHz メタノールメーザの運動の比較から 6.7 GHz メタノールメーザがアウトフローに付随するとされている。しかし、これまでに 6.7 GHz メタノール メーザと水メーザの運動を比較した研究例は少ないため、6.7 GHz メタノールメーザがアウトフローに付随す る条件や頻度は分かっていない。

我々は、6.7 GHz メタノールメーザがアウトフローに付随することが確かな天体を探索するために 6.7 GHz メタノールメーザと水メーザの VLBI 観測を実施した。観測天体は G59.78+00.06 で、この天体に付随する 6.7 GHz メタノールメーザはアウトフロートレーサーである水メーザと同様に非常に激しい強度変動 (速度構 造の変動)を示す。本発表では、VLBI 観測から明らかとなった G59.78+00.06 に付随する 6.7 GHz メタノー ルメーザの特徴及び今後の研究計画について紹介する。

2 観測/観測結果

6.7 GHz メタノールメーザの VLBI 観測は、2016 年 8 月 25 日と 2016 年 10 月 31 日の 2 度に渡って JVN(Japanese VLBI Network) を用いて行った (図 2 左図)。水メーザの VLBI 観測は 2016 年 2 月 10 日から 1 か月間隔で 4 度に渡って VERA(VLBI Exploration of Radio Astrometry) を用いて行った (図 2 中央図)。

VLBI 観測の結果、6.7 GHz メタノールメーザと水メーザの空間分布はメーザの集団が東側と西側に1つず つ存在し、両メーザの空間位置及び視線速度が一致した。しかし、水メーザの固有運動はアウトフロー付随を 示唆する双極に離れ合うような運動を示したのに対し、6.7 GHz メタノールメーザの固有運動は明瞭な運動傾 向を示さなかった (図 2 右図)。この結果は、6.7 GHz メタノールメーザと水メーザが同じ領域で異なった運動 をしている、もしくは両メーザが別の領域に付随していることを示唆している。



図1 G59.78+00.06の(左)メタノールメーザの固有運動,(中央)水メーザの固有運動,(右)両メーザの重ね 合わせ。縦軸、横軸は赤経、赤緯の相対位置を示している。色は横のカラーバーに対応した視線速度を示 している。また矢印の向きがメーザの運動の向き、長さが運動の大きさを示している。

3 6.7 GHz メタノールメーザの付随領域の推定

6.7 GHz メタノールメーザの付随領域を推定するために、従来考えられてきた edge-on 星周円盤やアウトフ ローモデル,連星モデルを適用したがどのモデルも観測結果に適合しなかった。そこで我々は、アウトフロー の2 層構造モデル及び間欠的なアウトフローモデルの2つのモデルを提案する。

1. アウトフローの2層構造モデル

アウトフローの2層構造モデルは小質量星の数値シミュレーション及び観測で示されており、原始星近傍か らは高速で放出角の狭いジェット、このジェットを取り囲むように星周円盤から低速で放出角の広いアウトフ ローが放出されるモデルである (Machida et al. 2004: Santiago-Garcia et al. 2009)。G59.78+00.06 の水メーザ の固有運動平均速度は 25.6 km s⁻¹ に対して、6.7 GHz メタノールメーザの固有運動平均速度は 18.2 km s⁻¹ と低速である。さらに両メーザの見込み角 (視線方向に対するメーザの3次元運動の傾き)及び位置角 (天球面 上でのメーザの運動方向の傾き)を比較した時、見込み角はおよそ 80°で一致する。しかし、水メーザの位置 角は 90°で東西方向を向いているのに対し、6.7 GHz メタノールメーザの位置角は-150°~170°と幅広く南 北方向にも拡がっている。この結果から水メーザは高速で放出角の狭いジェット、6.7 GHz メタノールメーザ は低速で放出角の広いアウトフローに付随している可能性がある。さらにこれまでの観測結果から低速アウト フローが回転を伴って放出されることが明らかとなった (Per Bjerkeli et al. 2016)。G59.78+00.06 に付随する 6.7 GHz メタノールメーザの複雑な固有運動はこの回転運動を伴った低速アウトフローに起因している可能性 がある。しかし、6.7 GHz メタノールメーザが低速アウトフローを捉えた例は少なく今後多天体での検証が必 要であると考えられる。

2. 間欠的なアウトフローモデル

間欠的なアウトフローモデルはアウトフローが間欠的に吹き出すことによって、6.7 GHz メタノールメーザ の付随領域が変化するモデルである。間欠的なアウトフローは理論的にも観測的にも証明されており、その 変動間隔は 1~10 年であると言われている (Machida et al. 2014: Marti et al. 1995)。Bartkiewicz et al. (2014) で報告されている 2010 年の EVN(European VLBI Network) 観測と本研究の JVN 観測の結果からメタノール メーザの長期的固有運動 (約 6 年)を導出すると運動は互いに近づきあう運動になる (図 1 左図)。JVN 観測結 果で得られた短期的固有運動 (2 か月)と比較すると、運動の傾向が変化している。G59.78+00.06 のアウトフ ローの変動間隔が 1~10 年であると仮定すると、メタノールメーザはアウトフローの静穏期は降着するガス (JVN-EVN 間)、アウトフローの活動期 (JVN 間) は降着するガスとアウトフローに引きづられるガスの両方に 付随する可能性がある (図 1 右図)。今後このモデルを検証するためには長期的かつ高頻度の固有運動観測が必 要である。このモデルが正しければアウトフローの変動に伴った固有運動の変化が検出できる可能性がある。



図1 (左)EVN-JVN間(6年)で導出した 6.7 GHz メタノールメーザの固有運動。(右)間欠的なアウトフローモデル

まとめ

高変動天体 G59.78+00.06 の 6.7 GHz メタノールメーザがアウトフローに付随するのか検証するために、 6.7 GHz メタノールメーザと水メーザの空間位置及び固有運動の比較を行った。6.7 GHz メタノールメーザ の VLBI 観測は、2016 年 8 月 25 日と 2016 年 10 月 31 日の 2 度に渡って JVN を用いて行った。水メーザの VLBI 観測は 2016 年 2 月 10 日から 1 か月間隔で 4 度に渡って VERA を用いて行った。VLBI 観測の結果、 6.7 GHz メタノールメーザと水メーザの空間位置及び視線速度が一致した。しかし、水メーザの固有運動はア ウトフロー付随を示唆する双極に離れ合うような運動を示したのに対し、6.7 GHz メタノールメーザの固有運 動は明瞭な運動傾向を示さなかった。

6.7 GHz メタノールメーザの付随領域を推定するために、従来考えられてきた edge-on 星周円盤やアウトフ ローモデル,連星モデルを適用したがどのモデルも観測結果に適合しなかった。我々は、アウトフローの2層 構造モデル及び間欠的なアウトフローモデルの2つのモデルを提案し、観測結果に矛盾しないことを明らかに した。今後は 6.7 GHz メタノールメーザの長期的かつ高頻度の固有運動観測及びサンプル天体を増やすこと がひつようであると考えられる。

参考文献

- 1) Patel, N. A., Curiel, S., Sridharan, T. K., et al. 2005, nature, 437, 109
- 2) Bartkiewicz, A., Szymczak, M., van Langevelde, H. J. 2005, A&A, 442, L61
- 3) Bartkiewicz, A., Szymczak, M., & van Langevelde, H. J. 2014, A&A, 564, A110
- 4) Machida, M. N. 2014, ApJ, 796, L17
- 5) Marti, J., Rodriguez, L. F., & Reipurth, B. 1995, Apj, 449, 184
- 6) Moscadelli, L., Cesaroni, R., Rioja, M. J., Dodson, R., & Reid, M. J. 2011, A&A, 526, A66
- 7) Bjerkeli, P., van der Wiel, M. H. D., Harsono, D., Ramsey, J. P., & Jørgensen, J. K. 2016, Natur, 540, 406
- 8) Sanna, A., Moscadelli, L., Cesaroni, R., et al. 2010, A&A, 517, A71
- 9) Santiago-García, J., Tafalla, M., Johnstone, D., & Bachiller, R. 2009, A&A, 495, 169

BGPS ダストコアを対象とした 6.7GHz メタノールメーザー 探査に基づく大質量星形成過程の研究

茨城大学 M2

大橋拓人

共同研究者

杉山孝一郎、米倉覚則、百瀬宗武 (茨城大学)、砂田和良、坂井伸行 (国立天文台)

概要

星形成領域で観測されてきた代表的なメーザーには、OH、水、メタノールの3種が存在 する。しかし、星形成の過程で3種のメーザーの出現時期の関連性を述べた研究例は少なく、 個別の天体を基に比較が行われているだけにすぎない。そのため、OH メーザーは HII 領域 が形成されるような後期に発生していることは知られていても、水メーザーとメタノールメー ザーの出現時期に関する過去の議論では、研究者間で解釈が大きく分かれている。そこで、本 研究では BGPS(Bolocam Galactic Plane Survey) データベースとしてまとめられているダ ストコアを観測対象として、統一的カタログからメタノールメーザー、および水メーザーの出 現時期を確立することを目的とした。その中で私は 6.7GHz クラス II メタノールメーザーの 探査を担当した。

観測は日立 32m 電波望遠鏡を用いて、2014 年 11 月 3 日から 2015 年 5 月 27 日 にかけ ての計 8 回実施した。Shirley et al. (2013) により、BGPS データベースに対して分子コア トレーサーである $N_2H^+(3-2)(280GHz)$ と HCO⁺(3-2)(268GHz) の観測が行われた天体に ついて、強度と強度比の点から 4 つのカテゴリーに分類し、そこから 296 天体を観測対象と して選出した。その内訳は(1) N_2H^+ のみ検出した天体:強度順に 36 天体、(2) N_2H^+ の強 度が HCO⁺ よりも強い天体:強度比が高い順に 55 天体、(3)HCO⁺ の強度が N_2H^+ よりも 強い天体:強度比が高い順に 151 天体、(4) N_2H^+ のみ検出した天体:強度順に 54 天体、となっ ている。観測時間は 1 天体あたり 300 秒で、rms ノイズレベルは 1 σ あたり 0.3Jy となって おり、スペクトルのピークが 5 σ を超えたものを検出とみなした。

その結果 296 天体中 53 天体から 6.7GHz メタノールメーザーの放射が確認され、検出率 は 17.9% となった。そのうちメタノールメーザーが新検出されたと思われる天体は 3 天体で あった。放射が確認された BGPS 天体のうち新検出の 3 天体を除いた 50 天体については、 BGPS 天体にメタノールメーザー源が付随しているかをより精度よく求めるため、既に位置 が 1 秒角より良い精度で求まっている既知のメーザー源 (Methanol Multibeam Survey) と の位置比較を行った。離角が 0.5 分角以内にあれば BGPS 天体にメーザー源が付随している とみなした。その結果、BGPS50 天体中 27 天体にメタノールメーザー源が付随しているこ とがわかった。

今回の観測結果から付随率を算出したところ、 N_2H^+/HCO^+ の強度比が大きくなると 6.7GHz メタノールメーザーの付随率も上がる傾向が明らかになった。星形成の初期段階は 低温で CO が凍りついてダスト表面に付着しているため N_2H^+ が卓越しているが、進化の 後期段階で温度が上がると CO が昇華してガスとなる。その際に N_2H^+ と CO が反応して HCO⁺ が生まれるということが知られている (Jørgensen et al. 2004)。今回の観測をふまえ ると、6.7GHz メタノールメーザーは N_2H^+ が卓越しているような低温で高密度の星形成初 期段階に出現すると考えられる。今後は、BGPS の進化段階にさらなる制限をかけるために、 複数の中赤外線波長のマッピングデータと比較を行っていく予定であり、現在は MIPSGAL という 24 マイクロメートル波長での銀河面サーベイとのデータ比較を進めている。

2016.12.26-28 VLBI懇談会シンポジウム 2016, 山口大学

鹿島34m鏡によるOHメーザーの観測 1612 MHz OH maser observations at kashima 34m telescope

中川亜紀治(鹿児島大学)、倉山智春(帝京科学大学) 関戸衛、岳藤一宏、川合 栄治(NICT)

- <u>背景</u> VERAで進めてきた周期光度関係の確立について、 より長い周期を持つ天体へ研究を展開 → 数億年の年齢を持つ星の位置天文観測
- <u>目的</u>周期が長い(P>1000日)OH/IR星の、 (1) OHメーザー探査 (2) 変光周期の決定
- <u>観測</u>
 ✓ 2016年11月4日(金) 鹿島にて観測を実施
 ✓ 周波数 1612 MHz
 ✓ 明るいOHメーザーを選出して試験的に観測を行った
- 結果 ✓ 鹿島34m鏡で1612HMzのOHメーザーを検出した
 ✓ 探査を行った3天体ではOHメーザーは非検出



Aim :

Determination of Period-luminosity relation of the Galactic Mira variables

•Mass 1~8 M₀ (Mira:1~2.5 M₀?) •C/O-core, He-shell, H-rich envelope •Period 100~1000d, P>1000 d •Chemical enrichment of the universe



長周期変光星のVLBIによる年周視差計測

Source	Туре	Parallax [mas]	P [dav]	LogP	mK [mag]	MK [mag]	Maser	Reference (Parallax,mK)
RW Lep	sra	1.62±0.16	150	2.176	0.639	-8.31±0.22	H2O	kam14, a
S Crt	srb	2.33±0.13	155	2.190	0.786	-7.38 ± 0.12	H2O	nak08, a
RX Boo	srb	7.31±0.5	162	2.210	-1.96	-7.64 ± 0.15	H2O	kam12, b
T UMa	Mi	0.96±0.15	257	2.410	2.60	-7.49 ± 0.44	H2O	in prep., a
Y Lib	Mi	1.24±0.13	276	2.441	3.16	-6.37±0.23	H2O	in prep., a
R UMa	Mi	1.92 ± 0.05	302	2.480	1.19	-7.39 ± 0.06	H2O	nak16, d
FV Boo	Mi	0.97±0.06	340	2.531	3.836	-6.23 ± 0.13	H2O	kam16, a
SY Aul	Mi	1.10 ± 0.07	356	2.551	2.36	-7.43 ± 0.14	H2O	in prep., a
R Cnc	Mi	3.84±0.29	357	2.553	-0.97	-8.05±0.16	H2O	in prep., a
W Hya	sra	10.18 ± 2.36	361	2.558	-3.16	-8.12 ± 0.51	OH	vle03, c
S CrB	Mi	2.39±0.17	360	2.556	0.21	-7.90 ± 0.15	OH	vlc07, c
T Lep	Mi	3.06±0.04	368	2.566	0.12	-7.45 ± 0.03	H2O	nak14. c
R Aar	Mi	4.7 ± 0.8	390	2.591	-1.01	-7.65 ± 0.37	SiO	kam10, c
R Aar	Mi	4.59±0.24	390	2.591	-1.01	-7.70 ± 0.11	SiO	min14, c
RR Aal	Mi	1.58 ± 0.40	396	2.598	0.46	-8.55±0.56	OH	vlc07, c
U Her	Mi	3.76±0.27	406	2.609	-0.27	-7.39 ± 0.16	OH	vlc07, c
SY Scl	Mi	0.75 ± 0.03	411	2.614	2.55	-8.07±0.09	H2O	nyull, b
R Cas	Mi	5.67±1.95	430	2.633	-1.80	-8.03±0.78	OH	vle03, c
ULvn	Mi	1.27±0.06	434	2.637	1.533	-7.95 ± 0.10	H2O	kam15, a
OH231.8+4.2	OH/IR	0.55±0.05	551	2.741			H2O	in prep.
UX Cvg	Mi	0.54±0.06	565	2.752	1.40	-9.94±0.24	H2O	kur05, a
S Per	src	0.413 ± 0.017	822	2.915	1.33	-10.59±0.09	H2O	asa10, b
PZ Cas	src	0.356±0.026	925	2.966	1.00	-11.24 ± 0.16	H2O	kus13, b
VY CMa	src	0.88 ± 0.08	956	2.980	-0.72	-11.00 ± 0.20	H2O	cho08, b
NML Cvg		0.62 ± 0.047	1280	3.107	0.791	-10.25±0.16	H2O	zhal2, a

Miraとセミレギュラーの周期光度(Mk)関係



More sources are needed to solve a zero-point with better accuracy.

さらに長い周期を持つ変光星の観測的研究

- 周期 P>1000日 を示す星への展開
 - 距離が推定できる十数天体で近/中間赤外線の絶対等級を調査 Distances from (1) Phase-lag method (Engels et al. 2015) (2) Kinematic distance
 - P>1000日の領域でも周期光度関係が存在する可能性?
- 科学的な意義

24 sources

- 恒星物理的な側面
- 銀河系動力学との関連付け

右図:変光周期と近/中間赤外線の絶対等級 OH/IR星について、中間赤外線(11.6um)で絶 対等級の-13等あたりに集中するように見える



VLBI位置天文と銀河系動力学



OH/IR stars as a new probe of the study of the Galactic kinematics

- ・新旧の銀河動力学モデル >定常波理論
- >大規模計算によるシミュレーション
- Simulation study with supercomputer gives new picture of the Galactic arm.
- Probes with various ages are needed. Period=1000 days \rightarrow M=~4M $_{\odot}$ (Feast 2008) Age : 10⁸ 10⁹ yr

- Calibration of mid-infrared PLR of OH/IR stars.
 Astrometry: VLBI (OH/SiO/H2O masers)
- Z = 0.02 Figure: Galaxies in the Chao. 1. Fig. 1 2.5 Π kog Σ_{stor} (M₆ po⁻²) 22 Wada et al. 2011

OH/IR stars as a new probe of the study of the Galactic kinematics

・新旧の銀河動力学モデル >定常波理論

- >大規模計算によるシミュレーション
- · Simulation study with supercomputer gives new picture of the Galactic arm.
- Probes with various ages are needed. Period=1000 days → M=~4M_☉ (Feast 2008) Age : $10^8 10^9$ yr

Calibration of mid-infrared PLR of OH/IR stars.
 Astrometry: VLBI (OH/SiO/H2O masers)

		Age	Physics	Target	Model		Obs.
ſ	New	~10 ⁶ yr	Spiral arm	SRF, Giants	V	⇔	V
	\bigcirc	~10 ⁸ yr	Bifurcating/ merging arms	Heavy OH/IR star ?	~	⇔	No
	Old	~10 ⁹ yr	Relaxed system	Mira	V	⇔	V

OH/IR星(P>1000d)の分布と運動が必要

・知りたい物理量 X, Y, Z, Vx, Vy, Vz

・Gaia では見えない

・距離が必要 > VLBIによる年周視差計測が有利 > OH, H2O, SiO masers の利用

> 銀河面に集中> 可視光で暗い(赤外線で明るい)

・JASMINEには期待が持てる

Gabor et al. submitted.



襄







OHメーザー単ー鏡観測の結果

- ・ 既知の天体では1天体を除き検出
 ・ 3天体の探査では非検出

0,000,000,000	

	Name	RA	DEC	OH maser Detection	備考
1	IRAS23580+5633	00 00 34.5	+56 50 15	×	探査
2	OH127.8+0.0	01 33 51.21	+62 26 53.2	0	
3	IRAS 01572+5844	02 00 45.558	+58 59 11.62	×	
4	OH 358.162 +0.490	17 39 14.906	-30 14 24.45	0	
5	IRAS18340-0839	18 36 47.59	-08 36 45.1	×	探査
6	OH 26.5 +0.6	18 37 32.51	-05 23 59.2	0	
7	OH 27.3 +0.2	18 40 21.91	-04 57 10.7	0	
8	OH 31.0 +0.0	18 47 40.97	-01 44 55.4	0	
9	OH 32.8-0.3	18 52 22.255	-00 14 11.84	0	
10	IRAS18568+0550	18 59 20.74	+05 54 41.1	×	探査
11	OH 51.8 -0.1	19 27 42.04	+16 37 24.0	0	
12	OH 55.0 +0.7	19 30 29.48	+19 50 41.0	0	

まとめと今後の検討

- <u>
 非書</u>
 VERAで進めてきた周期光度関係の確立について、 より長い周期を持つ天体への展開を検討
- 周期が長い(P>1000日)OH/IR星の、 (1) OHメーザー探査 (2) 変光周期の決定 目的
- 観測
- *2016年11月4日(金) 底島にて観測を実施 ・周波数 1612 MHz ・明るいOHメーザーを選出して試験的に観測を行った ・3天体の探査も実施
- 結果 ・鹿島34m鏡で1612HMzのOHメーザーを検出した ・探査を行った3天体ではOHメーザーは非検出
- ・Flux Densityの較正をどの程度正確にできるか ・周期決定に必要な強度較正の精度と観測頻度 課題 <u>Nançay 1612 MHz データベース</u> ・周期500-2200日のOH/IR星 ・振幅は20-300 Jy

 $\frac{振幅_{(p-p)}}{$ 平均 Flux density \cong 90%

これらの星ではSiOメーザーも高頻度で検出されている(入来での単一鏡) → VERAのQパンド位置天文観測のため、Fringe Check観測を準備中





大質量星形成領域 G33.641-0.228 における 6.7GHz メタノールメーザのバースト的強度変動の偏波に関する研究 小島佑太、藤沢健太

1 概要

大質量星形成領域 G33.641-0.228 における 6.7GHz メタノールメーザの観測結果を報告する。 本研究以前の観測で、この天体に付随する 6.7GHz メタノールメーザにおいて 1 つの成分のみが バースト的強度変動を起こすことが報告されている。しかし、このバースト的強度変動を説明でき るモデルは確立されておらず、バーストの起源は未解明である。本研究では、この天体のバースト 的強度変動が磁場に関係した現象であると考え、この天体の放射の偏波率を調べることでこの強度 変動の発生機構を解明することが目的である。観測の結果、強度変動を示す成分の偏波率は、強度 変動を起こさない成分とは異なった挙動を示していることがわかった。

2 研究背景

6.7GHz メタノールメーザは大質量星形成領域で観測されており、その観測は大質量星形成過 程の解明につながると考えられている。[1]Fujisawa et al.(2012)[2] で G33.641-0.228 に付随する 6.7GHz メタノールメーザのある成分がタイムスケール一日以内でバースト的強度変動を起こすこ とが報告された。また、杉浦結 (2014) 卒業論文 [3]、福井紀子 (2015) 卒業論文 [4] ではそれぞれ強 度変動の下降期、上昇期の細かな挙動をとらえたことが報告されている。その中で、この天体の強 度変動は、連星系の磁場の圧縮によるシンクロトロン放射の増大によって背景放射が増幅されるこ とで起こると示唆されている。

3 観測

山口 32m 電波望遠鏡を用いて、DOY223-227、 DOY239-241、DOY339-341 の 11 日間観測を行 った。通常時もバースト時も1スキャンのあたり の積分時間は 595 秒間であり、一日のうちに最大 で 60 回の観測を行った。本研究における観測パ ラメータを表 3.1 に示す。観測期間中は平穏時、 バースト時に関わらずポインティング観測は行わ なかった。

表 3.1 山口 (2016) の観測パラメータ

	山口 (2016)
ビームサイズ [arcmin]	5
受信電波	両偏波
帯域幅 [MHz]	8
分光点数	8192
速度分解能 $[\text{km s}^{-1}]$	0.044
システム雑音温度 [K]	40-600
積分時間 (通常観測)[min]	10

4 結果

2016 年の観測は、DOY223-227、DOY239 -241、DOY339 - DOY341 の 11 日間で行った。 DOY239 - 241、DOY341 で強度変動が確認で きた。観測はすべて 1 スキャン 595 秒とし、ポイ ンティング観測は行わなかった。強度変動が確認 されたときのスペクトルを図 4.1 に示す。このス ペクトルの点線は DOY223、実線は DOY240 を 示している。図 4.1 から、成分 II (59.6km s⁻¹) のフラックス密度だけが、静穏期 (DOY223) のお よそ 10 倍 (30Jy から 298Jy) に上昇した。また、 観測期間中の光度曲線を図 4.2、図 4.3 に示す。



図 4.1 DOY223、240 のスペクトル



図 4.2 観測期間中の光度曲線 (LHCP)



図 4.2、4.3 より、DOY239-241、DOY341 でフラックス密度が上昇していることがわかる。図 4.5、図 4.6 は DOY240 の光度曲線であり、縦軸がフラックス密度 [Jy]、横軸は観測開始からの経 過時間を表している。ここから、G33.641-0.228 の強度変動が成分 II のみに起こり、タイムスケー ルが一日以内であることを確認できた。図 4.4 に、成分 I、成分 IV と成分 II の平穏期とバースト 期の偏波率と観測スキャン回数を示す。横軸の偏波率は、ポインティングや大気の影響などを取り 除くために各成分を成分 III のフラックス密度で規格化してから計算を行った。縦軸はその偏波率 を観測した回数を表している。図 4.6 から、成分 II は、平穏期には負の偏波率を多く示すのに対し て、バースト期には偏波率はほぼ 0 となっていることがわかる。また、図 4.7~図 4.9 に見られる ように、すべての成分についてフラックス密度が上昇すると偏波率が 0 に近づくような傾向もみら れた。ここまでの結果から、G33.641-0.228 に付随する 6.7GHz メタノールメーザは、1. フラック ス密度と偏波率に逆の相関がある、2. 成分 II のみ平穏時には負の偏波率を示す、3. 成分 II が強 度変動を示すとき、成分 II の偏波率のみ大きく変化する、という特徴があることがわかった。



図 4.4 DOY240 の光度曲線 (LHCP)



図 4.6 各成分のスキャン数と偏波率



図 4.8 成分 Ⅱ のフラックス密度と偏波率



図 4.5 DOY240 の光度曲線 (RHCP)



図 4.7 成分 I のフラックス密度と偏波率



図 4.9 成分 Ⅲ のフラックス密度と偏波率

5 今後の展望

・現象を説明することのできるモデルを考察する。

参考文献

- [1] Miner, V., Ellingsen, S.P., Norris, R.P, & Booth, R.S. 2003, A&A, 403, 1095
- [2] Fujisawa,K.,Sugiyama,K.,Aoki,N.,et al.2012,PASJ,64,17
- [3] 杉浦結 2014, 平成 26 年度卒業論文
- [4] 福井紀子 2015, 平成 27 年度卒業論文

星形成領域 IRAS 22198+6336 に付随する 6.7 GHz メタノールメーザーの強度変動の研究

宮本 祐輔¹, 齋藤 悠¹, 杉山 孝一郎¹, 米倉 覚則¹, and 百瀬 宗武¹

¹茨城大学

概要

大質量星形成領域には、大質量星にのみ付随する 6.7 GHz メタノールメーザーが観測されており、半数以上が強度 変動する。その中でも周期的に強度変動を示す天体は 20 あるが、その周期変動メーザー源の一つであり、中質量星 ながら 6.7 GHz メタノールメーザーを放射する唯一の天体でもある IRAS 22198+6336 に着目した。先行研究により 周期が 34.6 日と判明しており、変動プロファイル等の議論がされていた (Fujisawa et al. 2014)。しかしフレアの立ち 上がり時のデータに欠けが生じていたり、感度が不十分だったために変動プロファイルの議論ができなかった成分も 存在していた。そこで本研究ではより日立局を用いて高感度かつ高頻度な観測を行った。

観測は 2014 年 7 月 12 日 - 7 月 26 日 に行い、検出感度以上の放射を確認できた日は 7 月 13 日 - 7 月 23 日 の 11 日間だった。6 つの速度成分を検出することに成功し、全成分が同時に変動していることも確認された。強度変動プ ロットを作成したところ、その変動プロファイルは前後非対称に見られた。そこで非対称な変動を示す成分に対して もフィッティング可能な関数を用い、関数フィッティングを行った。その結果成分ごとにフレアの形状が異なってお り、それによりピーク時刻差を位相差とするのではなくフレア開始時刻差を位相差と用いるべきだということが明ら かになった。さらに励起源から同心円上にメーザースポットが分布しており、励起源からの変動が同時にスポットに 伝わるという仮定を置き、メーザースポットの奥行き方向の広がりを求めた。それを干渉計観測から得られていた 2 次元のマップと組み合わせて (Szymczak et al. 2016)、3 次元マッピングも行った。

1 導入

IRAS 22198+6336(以下 IRAS 22198) は、L1204G 中に 位置している。水メーザーの年周視差の観測により、距 離が 764 ± 27 pc と求まっており、そこから光度と質量 はそれぞれ 450 L_☉,7 M_☉ と求められている (Hirota et al. 2008)。その後 Sánchez-Monge et al. (2010) で、SED に よるフィッティングにより 370 L_☉, 5 M_☉ に改訂された。 それにより IRAS 22198 は中質量星の Class 0 天体である ことが判明した (Hirota et al. 2008; Sánchez-Monge et al. 2008)。

これまで大質量星形成領域のみに付随すると考えられ ていた 6.7 GHz メタノールメーザーだが、Fujisawa et al. (2014)で中質量星の天体である IRAS 22198 から初めて 検出され、さらに周期変動 (34.6 日) も確認された。しか し Fujisawa et al. (2014)で取得されたデータでは、フレ ア開始時のデータの欠けが存在していたり、全ての速度 成分について変動プロファイルを議論できているわけで はなく、完全というわけではなかった。そこで本研究で は日立局を用いて追観測を行った。

2 観測

§1 で述べた通り、本研究では日立局を用いて高頻度観 測を実施した。表1 にパラメータを掲載する。

表1 日立局観測パラメータ

日立 32 m 電波望遠鏡
2014/07/12 07/26
2014/0//12 - 0//26
300 sec
500 300
0.9 Jy

本観測は、観測天体の仰角 (以降 EL) > 15° を満たすと きに観測を行い、その結果 1 日に 29 - 38 回の独立した データ点が取得された。それにより、1 日の連続スキャ ンを全積分することで、3 $\sigma \approx 0.15$ Jy という高感度も達 成可能になっており、実際の変動期間を把握することが 可能になる。

3 結果

観測の結果 IRAS 22198 からの放射を 2014/07/13 - 07/23 (MJD 56851 - 56861) までの 11 日間 で検出した。それ以外では検出感度 3 σ (後述 参照) 以下だった。6 つの速度成分が検出さ れ、順にA(V_{LSR} = -16.9 km s⁻¹), B(-16.06 km s⁻¹), C(-10.91 km s⁻¹), D(-9.15 km s⁻¹),

 $E(-8.52 \text{ km s}^{-1}), F(-7.35 \text{ km s}^{-1})$ とした。また検出 されたフラックス密度は最大で 21 Jy だった。図 1 はス ペクトルの検出例である。



図 1 IRAS 22198 の MJD 56854 におけるスペクトル 図。ここでは成分 A, B, E を検出した。

さらに強度変動プロファイルを得るために、強度変動 プロットも作成した。しかし本観測でも、5分積分を1ス キャンとするデータでは微弱な成分の変動(成分 A - D) の議論が難しいので、1日のスキャンを全積分したデー タを用いて、強度変動プロットを作成しなおした(図 2)。



図 2 成分 E((-8.52 km s⁻¹)) の 1 日積分で 1 スキャ ンとするデータの強度変動プロット。

4 考察

IRAS 22198 の フレアの位相差や、フラックス密度の 上昇・下降に費やした日数の導出など、定量的な評価を 行う。しかし図 2 中で、成分 E の強度変動がピークに 対して明らかに左右対称ではない。つまりガウシアンで フィッティングを行うのは適切ではないと考えられる。 そこで本研究では次に示すような関数を用いた。それは

$$S(t) = A^{s(t)} + C \tag{1}$$

で表される関数であり、A,Cは定数である。さらに s(t) は

$$s(t) = \frac{b\cos(\omega t + \phi)}{1 - f\sin(\omega t + \phi)} + a \tag{2}$$

この *s*(*t*) の中のパラメータは *a*: フラックス密度の平 均値、*b*: 平均値 *a* からの増幅率、 ω : 振動数 (ただし *P*を周期として $\omega = \pi/P$)、 ϕ : 位相、そして *f*: 非対称 パラメータ となっており、*f* は $-1 \le f \le 1$ を取る。 *S*(*t*) でも同じパラメータが用いられているが、 ω のみが Szymczak et al. (2011) では $\omega = 2\pi/P$ として用いてい た。そして非対称パラメータ f が *S*(*t*) の中で一番大切 なパラメータであり、これによって変動のピークに対し て強度変動がどれだけ非対称であるかが決まる。*f* = -0.75 の場合はピークが早い側に、*f* = 0.75 の場合はピー クを遅い側にそれぞれ偏る (図 3)。



図 3 Szymczak et al. (2011) で用いられた関数 *S*(*t*) の うち、*f* の値のみ変えてプロットした。*s*(*t*) を乗数とし て扱うことで間欠的な変動に対しても対応できるよう になっている。

そしてフィッティングの結果、非対称パラメータ f は -0.78 $\leq f \leq 0.65$ まで幅があり、誤差を考慮しても成 分間で有意な違いがあると明らかになった。つまり、成 分ごとに強度変動プロファイルが異なっていることを示 している。成分ごとに強度変動プロファイルが異なって いることを示した。これにより、メーザースポットの奥 行き方向の広がりを求める際には、ピークの時刻差を採 用して光路差を求めるのは適切ではなく、フレアの開始 時刻差から光路差を求めるべきであると言える。そのた めには静穏時の IRAS 22198 のスペクトルを取得しフレ アの開始時刻を取得する必要がある。しかし IRAS 22198 の先行研究である Fujisawa et al. (2014) や Szymczak et al. (2016) でも同様に、検出感度以下だったために、フ レアの開始時刻差を厳密には求められないことになる。 そのため今回はフラックス密度が検出感度 3σ を超えた 時刻をフレアの開始時刻として定義した。その結果、成 分 A が一番早く変動することが分かった。また各メー ザースポットが励起源から同一距離に分布しており、各 スポットの強度変動は励起源と本質的に同期していると いう仮定のもと、成分 A のスポットからの各スポットの 奥行き方向の位置もそれぞれ求めた。表 2 に成分ごとの フレア開始時刻と成分 A とのフレア開始時刻差、スポッ トの奥行き方向の位置を記載する。

表 2 検出感度 3σ を超えた時刻をフレア開始時刻とし た場合の成分 A とのフレアの開始時刻差と、そこから 求められるスポットの奥行き方向の位置

油 由 式 厶	成分 A と比較した	スポット A
还反队刀	フレア開始時刻差	から見た
$[\mathrm{km} \ \mathrm{s}^{-1}]$	[MJD – 56851 day]	奥行き [AU]
A (-16.90)	-	-
B (-16.06)	0.36	60
C (-10.91)	3.18	550
D (-9.15)	1.05	180
E (-8.52)	0.51	90
F (-7.35)	1.57	270

メーザースポットの奥行き方向の位置と干渉計観測の 結果 (Szymczak et al. 2016)を用いて、メーザースポット の3次元マッピングを行う。図4左図がその干渉計観測 の結果であるが、ここからは観測者から見て天球面に射 影したスポット同士の距離の情報しか得られない。そこ で本観測から得られた奥行き方向の距離の情報を追加す ると、3次元のマップが得られる。

図4は干渉計の結果(左図)と本観測から求めた奥行き 方向の距離(右表)を矢印で繋いだ図になっており、これ を元に図5を作成した。Szymczak et al. (2016)では成分 A, Bがクラスターに、また成分D, E, Fがまた別なクラス ターを形成しているとある。そこで図5ではクラスター 同士の奥行きの位置の平均を表した。すると3つのクラ スターが含まれる面が決まり、同時にその3点を同心円 上に含む円も一意に定まるので、その円の中心を励起源 の位置とした。星の位置の推定に関しては、メーザーの 強度変動と中心の励起源の変動が同期しているという仮 定に基づいている。図5は図4左図に奥行き方向の距離 を追加した図になっており、右向きの矢印方向に観測者 がいる。



図4 左図: IRAS 22198 の干渉計観測による2次元マッ プ (Szymczak et al. 2016)。小さな塗りつぶされた点が それぞれメーザースポットを表しており、丸で囲われた 箇所がクラスターとして存在している。推定される中 心星の位置をスターで表している。各クラスターどう しの距離とスケールバー、また2本のアウトフローを 記載してある。Szymczak et al. (2016)を一部改変。 右図:本観測から求めた奥行き方向の距離を、クラス ターごとに色付けをして矢印とともに指し示している。 速度が近い成分どうしがクラスターを形成している。



図5 図4 左図に奥行き方向の距離を追加した図。右の 矢印方向に観測者がいる。色付きの丸は各メーザーの クラスターを表している。クラスターまでの距離は、そ の中に含まれているスポットまでの距離の平均として 算出している。中心の励起源は星の位置に存在してい ると考えられる。また3点のクラスターと交差してい る平行四辺形は、各メーザークラスターが含まれる平面 を表し、励起源はこれらを含む円の中心に位置すると考 えられる。クラスターの丸の下にもうひとつのぼやけ た丸があるが、これはクラスター間の奥行きの距離をわ かりやすくするために補助として導入している。

参考文献

- [1] David, P. et al. 1996, A&AS, 115, 387
- [2] Fujisawa, K. et al. 2014, PASJ, 66, 78
- [3] Hirota, T. et al. 2008, PASJ, 60, 961
- [4] Sánchez-Monge, Á. et al. 2008, A&A, 485, 497
- [5] Szymczak, M. et al. 2011, A&A, 531, L3
- [6] Szymczak, M. et al. 2016, MNRAS, 459, L56

KaVA による水メーザージェット天体 G357.967 の長期モニター観測

山口大学大学院創成科学研究科

元木業人

Co-I: 松本尚子(NAOJ/山口大学)、廣田朋也(NAOJ)、杉山孝一郎(茨城大学)、蜂 須賀一也(NAOJ)、Chibueze, O. James (University of Nigeria)

1. 背景

○大質量星形成における Face-on 天体の重要性

近年大質量星形成の初期条件として分子雲衝突や乱流衝突など、動的なガス圧 縮が不可欠であることが指摘されている。一方そうして作られたジーンズ質量 の1000倍を超えるようなガスからどのように大質量星が形成されるかについ ては諸説ある(e.g., Turbulent core collapse, Competitive accretion)。詳細な形 成モードを明らかにするためには星団形成クランプから星周円盤まで、非常に 広い空間ダイナミックレンジで降着流の性質を観測する必要がある。

特に100 AU以下の星周円盤スケールでは柱密度が極めて大きくなることから、 ダストによる光学的厚みが無視できなくなってくる。そのため円盤を真横から 見込む edge-on 天体では円盤内部の物理情報を観測的に調べることが非常に難 しい。こうした自己遮蔽効果は研究の主力となる ALMA の観測波長帯(ミリ – サブミリ波)で特に顕著であり、ALMA 時代の大質量星形成研究にとって深刻な 障壁になると考えられる。そこで我々は上記のような自己遮蔽効果が最小にで きる Face-on 天体に注目した研究を進めている。Face-on 天体では降着するガ スの物理的状態を視覚的に捉えることができるという利点もある。

○高速水メーザーを利用した Face-on 天体探し

これまで見つかっている大質量原始星候補天体はほぼ edge-on 天体である。こ れは分子輝線の速度勾配を利用した回転円盤探査が比較的容易であったという 歴史的背景に依存する。したがってまずは Face-on 天体の探査から研究を始め る必要がある。過去の研究から高速の水メーザー源が Face-on 天体の良い候補 であることが示唆されており、実際に雛形天体である G353 では水メーザーで 捉えられた Face-on ジェットの根元に単縦なケプラー円盤ではなく、放物軌道 に沿って大質量原始星に流れ込む降着流が付随している可能性が示唆された。

2. 研究目的と観測諸元

上記の結果を受けて、我々は現在 G353 と同様の高速水メーザー源に対して Face-on ジェット/円盤の探査を行っている。本発表では極めて高速な水メーザ ー源 G357.967-0.163(以下 G357)に対して行った KaVA 共同利用による VLBI モニター観測について報告する。

○ ターゲット天体 G357

G357 (17h41m20.25s, -30d45m06.8s, J2000.0)は±100 km/s におよぶ極めて 広い速度範囲を持った水メーザー源であり、(1) SED 形状(2) 高温の降着エン ベロープ(3) 6.7 GHz メタノール maser の複雑な構造などいくつかの特徴が G353 とよく似ていることが示唆されている。また南天の天体であることから ALMA による将来的なフォローアップ観測にも適した天体である。

○ 具体的目標

今回の KaVA 観測の具体的観測目標は以下の2つである

- (1) 水メーザーの固有運動からジェットの見込み角を推定する
- (2) メーザー分布の変動から再帰的な衝撃波伝搬の有無を調査する

またこれらの結果をG353の場合と比較し、見込み角の違いがメーザー構造や 変動時間スケールに及ぼす影響について調査する予定である。

○ KaVA 観測

KaVA7局を用いて22 GHz 水メーザーのモニター観測を行った。観測は2016 年2月から1年間で8回を予定しており、観測間隔は1-2ヶ月である。全速度 成分をカバーするために32 MHz x 8 IF の新しい観測モードを採用した。各エ ポックの観測時間は3.5時間である。最終的な速度分解能は0.21 km/s、ビーム サイズは2.7 mas x 0.9 mas であった。本発表では最初の4エポックについて報 告を行う。

3. 観測結果

〇空間分布と内部固有運動

得られた水メーザーの空間分布を図1に示す。メーザーは中心星のシステム速度である-5 km/s に対して青方偏移したクラスターN、赤方偏移したクラスター

C、弱く青方偏移したクラスターSの3つのクラスター分けて付随していた。それぞれの固有運動(図2)は概ね南北方向の双極流を示唆する結果となった。3次元速度から予想されたジェットの見込み角は平均で30°程度であり、G353の場合(8-16°: Motogi et al. 2016)に比べてやや傾いていることが明らかになった。現状ではG353のような間欠的な衝撃はを示唆するような空間分布の変動は見られていない。

○赤方偏移シェル

クラスターCのメーザー源は 100 km/s を超える視線速度範囲にも関わらず、 20 AU サイズのコンパクトなシェル状に分布していた(図 3)。ATCA で得られた 6.7 GHz メタノールメーザーや ALMA アーカイブデータから示唆されたダスト 連続波の位置はシェルの位置から明らかにズレており、固有運動も単純な膨張 を示していないことから中心星回りの HII 領域の膨張のような単純な現象では 説明できないことは明らかである。今後のモニターで構造の変動を追跡し、詳 細を明らかにする予定である。



電波天文業務を取り巻く世界と日本の状況

亀谷 收、齋藤正雄、竹林康雄、常山順子(国立天文台 電波天文周波数小委員会)

要約

電波天文周波数小委員会は、電波観測環境を守るために、人工電波からの混信から磨持つための 様々な活動を行っている。これまで、さまざまな周波数帯の電波干渉になる候補と共用検討等の 実施をしてきている。ここでは、具体的な内容について述べる。また、電波天文業務保護指定の 申請と認可は、非常に重要であるが、その最近の進捗についても述べる。

1. 電波天文業務の混信状況と国際的および 国内の検討体制

昨今の電波天文観測は、広がった周波数幅 に渡る大型の観測装置の完成運用が世界的に 進んでいる事によって、多くの画期的な成果 をあげている。もちろん、VLBIの観測もそ の例にもれず、VERA や KAVA、東アジア VLBI などによって、星形成領域や晩期型星 周囲領域、活動銀河核とその中のブラックホ ール・ジェットに迫る研究や天の川銀河の構 造と運動等についての研究が進んでいる。



図1:国際電気通信連合本部

電波天文学は、他の電磁波の波長の天文学 と異なり、スイス国のジュネーブに本部を持 つ国際電気通信連合(ITU: International Telecommunication Union)が電波の周波数

ごとの使用について取りまとめを行っている 中で電波を受動的な観測研究に使用している。 電波天文学(電波を使用する業務名としては、 電波天文業務と呼ぶ)は、電波を放射しない 限り、どの周波数を観測しても構わないが、 特に重要な周波数については、電波天文業務 用に周波数割当がされ、他の電波を発生して 使用する業務(能動業務と呼ぶ)から保護さ れている。具体的には、国際電気通信連合の 勧告(ITU-R RA.769-2)により、どの周波数 帯がどの電波干渉レベルにしなければならな いかが、具体的に決められている。中性水素 原子や水分子、アンモニア分子、一酸化ケイ 素などをはじめとするスペクトル線、連続波、 VLBI についてそれぞれ規定があるが、この 中で、連続波の許容レベルが一番厳しく規定 されている。

国際電気通信連合は、数年に一度総会 (WRC)を開催し、様々な勧告の制定や改訂 を行っている。次回は、2019年に開催予定で、 それに向けて、各分科会で毎年個別案件につ いて検討がされている。電波天文業務に関連 する分科会は、SG1の中のWP1A(周波数分 配や技術的検討)とSG7の中のWP7D(電波 天文)である。これらの会議に電波天文から 参加している。

日本国は国際電気通信連合に加盟していて、 総務省が窓口省庁として国内での電波天文業 務に配慮している。同時に、国内の各種の電 波業務の調整等も行っている。国際電気通信 連合の会合に対応する為、国内に対応する作 業班などの委員会を組織していて、電波天文 業務側も必要に応じて会合に参加している。 我々が、電波天文業務について、国内外で発 生する諸問題を相談する場合は、まずは総務 省と主に行う事になる。

2. 電波天文周波数小委員会の組織と活動

現在、国内の電波天文業務に関わる諸問題 に対応しているのは、国立天文台の電波専門 委員会の下に作られている電波天文周波数小 委員会である。(以下、小委員会と呼ぶことに する。)小委員会のホームページは、下記の URLをご覧いただきたい。

(http://radio.mtk.nao.ac.jp/fregras

<u>/index.html</u>) 昨年は、国立天文台電波部のホ ームページがリニューアルされているが、こ こからも入れる。

(http://radio.mtk.nao.ac.jp/)



図2 小委員会 HP にある国内の関連局

小委員会は、野辺山宇宙電波観測所所長で

もある齋藤正雄委員長の下、副委員長 亀谷 收、事務局長 竹林康雄、事務局員 常山順 子が事務局として緊密に連携しながら、総務 省や能動業務の業者等との対応を行っている。 更に全国の電波天文観測局等と国立天文台と から約 20 名の小委員会の委員が選出されて いる。小委員会の定例会合は、およそ 3 か月 に1回程度 skype 等を使って開催されている。 昨年度から、小委員会の中に観測周波数によ って分けた 3 つのリード体制による迅速で詳 しい検討ができるようにしたが、その後の議 論から、周波数によるリードを更に一つ加え、 低周波リード (1GHz 以下対象):土屋史紀氏 (東北大学)とりまとめ、低中周波リード

(1GHz~15GHz 対象):村田泰宏氏(JAXA) とりまとめ、中高周波リード(15GHz~ 50GHz 対象):亀谷收とりまとめ、高周波リ ード(50GHz 以上対象):齋藤正雄とりまと めと変更し、それらのリードのまとめ役の下、 複数のメンバーによる検討する体制を作った。 WRC 議題と総務省活動計画に則って優先事 項を検討し、また、電波天文業務に影響を与 える可能性がある新技術の検討を行う事が期 待されている。既に、関連する能動業務との 共用条件の検討や総務省が HP で募集するパ ブリックコメントへの対応などで既に活動を 始めている。

昨年度まで事務局として活躍した立澤加一 氏と齋藤泰文氏は、退職のため事務局の業務 から離れたのは残念なところであるが、2015 年度の国立天文台台長賞を小委員会事務局メ ンバーとして立澤、齋藤、岡保各氏が受賞し たことは、長年の電波天文に向けての保護活 動が国立天文台内でも認められた事を示すも のと考えられ、喜ばしい。

小委員会事務局は、国内各観測局が電波天

文業務受信設備指定を申請する事をサポート している。最近の事例では、3年越しで筑波 大が行っていた総務省への申請作業が漸く認 められ、国土地理院 32m局(筑波大 22GHz 受信機運用)が電波天文業務受信設備指定を 受ける事ができた。これまでも機会があるご とに述べてきたが、電波天文業務受信設備の 申請は重要である。総務省側の電波干渉から の保護への対応(業者への指導などを含む) が、申請が認められた局か否かで異なる場合 もあるからである。今後、臼田局(JAXA)、 茨城局(国立天文台所有、茨城大運用)、岐阜 局(岐阜大)、東北大電波局などが申請の対象 になりうると考えている。

残念なことに、今回指定された国土地理院 32m局が諸事情から2016年12月一杯で運用 を中止する事になった。また、北大所有・運 用していた苫小牧局も2016年3月一杯で運 用を中止し、総務省の電波天文業務受信設備 指定が解除された。各観測局の研究計画等に よって、指定を申請するだけでなく解除する ことも、有機的な観測局運用の為には致し方 ない事かもしれない。

3. 最近の電波天文を取り巻く状況

能動業務が電波天文保護周波数帯のすぐ近 くで使用する計画が多数立案されている。 総務省作業班で判明する場合や、能動業務業 者から小委員会事務局に問い合わせが出され、 電波天文側では、それらとの共存できるかど うかの検討が必要になる例が多い。

以下に、その中で、特にここ数年検討が必 要になった項目を述べる。PLC (2-30MHz)、 衛星携帯電話システム (1.6GHz)、準天頂衛 星システム (2.2GHz)、UWB (3-10GHz)、 次期放送衛星 (21GHz)、CATV, wireless transmission (23GHz)、車載レーダ (76GHz)、 車載レーダ (79GHz)、125GHz 以上の今後の 使用検討、その他、ドローン、電力送信等。 詳しくは、VLBI 懇談会シンポジウム 2015 年 集録の私の記事をご覧いただきたい。

電波天文業務の重要性と能動業務からの電 波干渉の懸念を訴える機会を少しずつ増やし ていければと考えている。2015年の日本天文 学会の天文月報に「電波天文学を守るために」 が載った[1]。また小委員会のホームページな どで情報を発信している。素材の提供をさせ て頂くので、電波天文関係者が市民向けの講 演をされる機会には、できれば、電波天文の 保護の重要性にも触れて頂けると有難い。な お周波数割当てはウェブで検索できる[2]。



図3 天文月報に載った記事

参考文献

- 齋藤正雄、亀谷收、立澤加一、岡保利佳
 子、齋藤泰文、天文月報 第 108 巻、第 9
 号、599-608、2015.
- 2. 総務省周波数割当計画の検索、 http://www.tele.soumu.go.jp/search/wari/i ndex_w.htm

VERA を用いた銀河系中心方向の位置天文観測

酒井 大裕^{1,2}, 永山 匠², 小山 友明², 本間 希樹²

¹東京大学 ²国立天文台

概要

銀河系方向は、銀河系の回転方向と直交しているため視線速度はゼロ付近に縮退し、分子輝線の視線速度 情報を基にした運動学的距離の測定は困難である。また、銀河系中心領域は円運動から大きく外れた複雑な 運動を有していることが知られており、年周視差や固有運動の測定によって天体の距離や運動を測定するこ とが非常に重要である。我々は、VERA を用いて銀河系中心方向の水メーザー源の位置天文観測を実行し た。結果として、Sgr D と Sgr B2 に付随するメーザー源について年周視差を測定することに成功した。ま た、比較的暗いメーザー源について絶対位置測定を可能にするために新たに考案した観測手法についても報 告し、その解析状況や暫定的な結果について発表した。

1 イントロダクション

銀河系中心方向は視線速度が縮退しているため、視線速度を用いた運動学的距離の測定は困難である。また、Central Molecular Zone(CMZ) をと呼ばれる銀河系中心から数百 pc の分子雲領域は非常に複雑な運動を 有していることが知られており、様々な運動シナリオが考えられている。しかしながら、提案されている運動 シナリオは基本的に分子輝線の視線速度情報に基づいたものである。そのため、VLBI を用いた固有運動の測 定によってメーザー源の三次元的な速度情報を得ることができ、CMZ の運動シナリオの解明に向けて大きく 貢献することが期待される。

銀河系中心方向のメーザー源について位置天文観測を行う上での問題点として、銀河系中心方向は位置参 照天体となる明るいクエーサーがない事が挙げられる。通常そのような場合、明るいメーザー源 (>10 Jy) に 対して Fringe search を行い、クエーサーに適用する事でメーザー源とクエーサーの相対位置を得る"逆位相補 償"と呼ばれる手法が用いられる。一方で、逆位相補償を行うのに十分な明るさのメーザー源の数は限られて おり、銀河系中心領域の多くのメーザー源に対して位置天文観測を行うためには異なる手法が必要となる。

その手法として、我々は銀河系中心領域において屈指の明るさを持つ Sgr B2 に付随する水メーザー源を参 照天体として用いる方法を考案した。図1 はその手法の概念図を示している。Reference maser として Sgr B2 に付随するメーザー源を用いて Fringe search を行い、これを実際に絶対位置を求めたい Target maser と、位 置参照となる QSO に適用する。これにより Sgr B2 に対する Target maser と QSO の相対位置を得ることがで き、この 2 つの相対位置の差分を取ることにより QSO に対する Target maser の相対位置を測定することがで



図1 Sgr B2 を参照天体とした位相補償の概念図

2 観測

観測は VERA を用いて、22 GHz 帯で行われた。Sgr D については 2010 年から 2011 年にかけて計 5 観 測、Sgr B2 については 2014 年から 2016 年にかけて計 9 epoch 行われている。また、Sgr B2 を参照天体とし て用いる観測として G359.93 を Target maser とした観測が Sgr B2 の観測のうち 5 観測行われている。メー ザーの分光点数は 2014 年までの観測は 512 点分光、2015 年以降は 1024 点分光で、速度分解能はそれぞれ 0.42 km s⁻¹, 0.21 km s⁻¹ である。

3 結果・考察

図 2 はそれぞれ Sgr D, Sgr B2, G359.93 に対する位置天文観測の結果を示している。Sgr D に対しては、 $\pi = 0.423 \pm 0.083$ mas, $\mu_{R.A.} = -1.32 \pm 0.15$ mas/yr, $\mu_{Dec.} = -2.86 \pm 0.34$ mas/yr が得られた。年周視差測定 によって得られた距離は $D = 2.36^{+0.58}_{-0.39}$ kpc であり、今回得られた結果は Sgr D が銀河系中心領域の天体では なく銀河系円盤部の Scutum arm に付随する天体であることを示唆している。

Sgr B2 については $\pi = 0.105 \pm 0.035$ mas, $\mu_{R.A.} = -2.23 \pm 0.03$ mas/yr, $\mu_{Dec.} = -2.57 \pm 0.16$ mas/yr が得 られた。年周視差の結果は VLBA による観測で得られた $\pi = 0.130 \pm 0.012$ mas と誤差の範囲内で一致して いる。

Sgr B2 を参照天体として用いる新しい観測方法を用いて観測した G359.93 については $\pi = 1.11 \pm 0.44$ mas, $\mu_{\text{R.A.}} = -1.66 \pm 0.20 \text{ mas/yr}, \mu_{\text{Dec.}} = -0.43 \pm 0.31 \text{ mas/yr}$ が得られた。しかしながら、年周視差のピークを追 いきれておらず正確な結果を得るにはさらに観測が必要である。

4 今後の展望

幾つかの天体についてはまだ観測が終了しておらず、今後データを得ることで年周視差等の結果が得られる。また、広帯域観測によりクエーサー自身の Fringe が得られるようになればより多くのメーザー源について位置天文観測が行えるようになることが期待される。



図 2 銀河系中心方向天体の位置天文観測結果 (左) 天球面上の運動、(中央) 時間に対する赤経、赤緯方向 の運動、(右)(中央) から直線運動を差し引いたもの

参考文献

[1] Reid, M. J., Menten, K. M., Zheng, X. W., Brunthaler, A., & Xu, Y. 2009, ApJ, 705, 1548

VERA によるミラ型変光星 T UMa の位置天文観測

大山まど薫、中川亜紀治、半田利弘、面高俊宏 (鹿児島大学大学院理工学研究科) 国立天文台 VERA プロジェクト

Abstract

ミラ型変光星を含む長周期変光星には変光周期と明るさの間に周期光度関係 (Period-Luminosity Relation; 以下 PLR) と呼 ばれる量的な関係があり、距離尺度として用いられる。鹿児島大学では、国立天文台 VERA による高精度な年周視差の測定 と、鹿児島大学 1m 光赤外線望遠鏡による見かけの等級と変光周期の測定を組み合わせて、天の川銀河内のミラ型変光星に対 する PLR の確立を目標に研究を行っている。現状では国内外の VLBI 観測による年周視差、光学望遠鏡による見かけの等級 と変光周期がいずれも揃ったミラ型変光星は十数個ほどしかなく、その変光周期も 300 日 ~450 日の間の天体に集中してい る。そのため、それ以外の周期をもつ天の川銀河内のミラ型変光星により精度よく適用できる PLR を求めるには、より多く より多様な周期を持つミラ型変光星について幅広く観測を進めることが必要である。今回、私たちはミラ型変光星 T UMa の 水メーザーを VERA によって観測し、その年周視差が $\pi = 0.96 \pm 0.19$ リ秒角、距離は $D = 1.05^{+0.25}_{-0.17}$ kpc であることを 求めた。また、鹿児島大学 1 m 光赤外線望遠鏡より、この天体の変光周期は 257 日で、近赤外線 K バンド見かけ等級は 2.79 等が得られた。ここから、絶対等級は $-7.31^{+0.39}_{-0.47}$ 等と求められた。今回の結果から、T UMa は Nakagawa et al.(2016) の PLR の外挿と誤差範囲内で一致し、周期 250 日 ~450 日の範囲が同一の関係で表わせることがわかった。

1 Introduction

ミラ型変光星は $1-8M_{\odot}$ の AGB 星で、100 日-1000 日の変 光周期を持つ。 $10^{-7} - 10^{-6}M_{\odot}$ yr⁻¹ という大きな質量放出 率を持ち、光球は厚いダストや星周ガスで覆われている。こ の星周ガスはメーザー源として知られていて、一般的に光球 半径の 2-3 倍以内に SiO メーザーが分布し、光球半径の約 20 倍-50 倍の領域に水メーザーが、光球半径の約 200-500 倍の領 域に OH メーザーが分布している (Wittkowski et al.2005)。

ミラ型変光星は周期光度関係 (Period-Luminosity Relation;PLR) と呼ばれる、変光周期の対数と絶対等級の間に線 形な関係を持つ。この関係は、大マゼラン銀河 (LMC) に存 在するミラ型変光星の変光周期と見かけ等級の観測から発見 され (Glass et al.1981)、現在に至るまで位置天文学では重 要な関係となっている。PLR を用いると、年周視差による 観測が困難なほど遠距離にあるミラ型変光星も変光周期と見 かけ等級のみの情報から距離を見積もることができる。しか し、天の川銀河と LMC での金属量の違いという問題から、 LMC の PLR を天の川銀河内のミラ型変光星への適用する 場合は慎重になる必要がある。そのため、私たちは天の川銀 河独自の PLR を確立させるべく研究を行っている。

そのためには、変光周期と見かけ等級、距離の3要素について観測を行う必要がある。現段階では変光周期と見かけ等級、VLBI 観測による高精度な距離が揃った天体は十数個ほどで、その変光周期も300日-450日の間に集中している。そのため、私たちは変光周期と見かけ等級、VLBI 観測による距離を求めるための観測をより多くの天体に、さらには、変光周期300日-450日以外の天体について進める必要がある。

T UMa はおおぐま座に位置するミラ型変光星で、VERA によって水メーザーが検出されている。

その変光周期は 256 日 (GCVS) で、Gaia により年周視

差と固有運動がそれぞれ $\pi = 1.07\pm0.94$ mas, $(\mu_x, \mu_y) = (-15.13\pm0.06, -7.25\pm0.07)$ mas yr⁻¹ と求められている。しかし、年周視差の誤差が 88%と大きく、年周視差から得られる距離の信頼度は低い。また、現在国内外の VLBI 観測網で観測されたミラ型変光星のなかでもっとも変光周期が短い天体は R UMa(P=297d) であるが (Nakagawa et al.2016)、T UMa はそれより変光周期が約 40 日短く、天の川銀河のミラ型変光星に対する PLR の短周期側をカバーすることができる。

今回、私たちはミラ型変光星 T UMa の年周視差を VERA によって観測し、近赤外線 K バンドの変光周期と見かけ等 級を鹿児島大学 1m 望遠鏡を用いて観測した。

2 Observations

2.1 VLBI 観測

VLBI 観測は 2009 年 3 月から 2010 年 12 月の期間で、 VERA4局 (水沢、入来、小笠原、石垣島)を用いて合計 14 回行われた。周波数は 22GHz(Kバンド)で T UMa に付随 する水メーザーを観測した。また、VERA の 2 ビームシス テムを用いて参照電波源 J1230+5830 を T UMa と同時に観 測した。観測した天体の座標は表 1 に示した。(2009 年 3 月 8 日、2009 年 5 月 13 日、2009 年 9 月 6 日、2009 年 9 月 30 日、2009 年 10 月 31 日、2009 年 11 月 14 日、2009 年 12 月 14 日に行われた 7 観測は J1248+5820 と J1230+5830 を交 互に観測した。) J1230+5830 と J1248+5820 の離角はそれ ぞれ 1.27°と 1.92°で、Position Angle はそれぞれ 220°と 36°である。観測は 1 回あたり約 8 時間行われ、約 1ヶ月お きに行われた。この観測の帯域幅は 16MHz で、512 点分光 で観測した。観測後のデータは AIPS を用いて T UMa と J1230+5830 の位相補償解析を行った。

表 1: 観測天体の座標

Source	RA(J2000)	Dec(J2000)
T UMa	12:36:23.466	+59:29:12.982
J1230 + 5830	$12:\!30:\!07.057293$	+58:30:07.76354
J1248 + 5820	$12:\!48:\!18.784658$	+58:20:28.71707

2.2 単一鏡観測

VLBI 観測に並行して、水メーザーの強度変動を VERA 入 来局で約 1ヶ月間隔で観測した。積分時間は 10 分-20 分であ る。このアンテナの 1K あたりの flux density は約 20Jy で ある。1 σ ノイズレベルは 0.05K であるため、約 1Jy に相当 する。

2.3 近赤外線観測

変光周期と見かけ等級を求めるため、2004 年 11 月から 2014 年 4 月の期間で、鹿児島大学 1m 光赤外線望遠鏡を用 いて近赤外線 K バンド (2.2µm) の観測を行った。観測は合 計で 32 回行った。

3 Results

3.1 単一鏡観測の結果

入来局での単一鏡観測の結果、V_{LSR}=-88.53kms⁻¹ 付近に ピークが見られた。2009 年 1 月から 2011 年 2 月にかけての ピーク強度の時間変動は図 1 の通りである。



図 1: V_{LSR}=-88.53kms⁻¹ 付近の成分の強度変化。

3.2 近赤外線観測の結果

2004 年 11 月から 2014 年 4 月の期間に行われた近赤外線 Kバンドによって、見かけ等級と変光周期を求めた (図 2)。



図 2: 近赤外線 K バンドの観測による光度曲線。赤点は実測 値で、緑曲線は Fitting 曲線

ここから、K バンド平均見かけ等級 2.79mag と変光周期 P=257 日が得られた。

3.3 VLBI 観測の結果と年周視差

VLBI 観測全 14 観測中、9 観測でメーザースポットを検出 した。2009 年 9 月 6 日、2009 年 9 月 30 日、2009 年 10 月 31 日、2009 年 11 月 14 日、2010 年 5 月 18 日に行われた 5 観測 では、メーザーを検出することができなかった。2009 年 9 月 6 日、2009 年 9 月 30 日、2009 年 10 月 31 日、2009 年 11 月 14 日の 4 観測は、メーザーが暗かったためで、2010 年 5 月 18 日の観測はシステム雑音温度が高かったためである。検 出されたメーザースポットの速度は、 $V_{LSR} = -88.53 \text{kms}^{-1}$ 付近と $V_{LSR} = -88.12 \text{kms}^{-1}$ 付近である。図 3 に 2010 年 11 月 4 日の観測の位相補償マップの一例を示した。



図 3: 2010 年 11 月 4 日の観測の V_{LSR} = -88.53kms⁻¹ 付近 の成分の位相補償マップの一例。

メーザースポットの検出できた 9 観測分を用いて、年周 視差フィッティングを行った。年周視差を決定するために、 メーザー天体は加速しておらず、参照電波源は動かないとい う仮定を用いた。フィッティングに用いたスポットは 9 観測 中の S/N=5 以上の 16 スポットを用いた。得られた年周視差 による運動は図 4 のようになった。以上より、年周視差 $\pi =$ 0.96 ± 0.19mas が得られ、ここから距離 $D = 1.05^{+0.25}_{-0.17} kpc$
が得られた。得られた年周視差について、赤緯方向の誤差は 赤経方向の誤差より4.2倍大きい。一般に干渉計観測で得ら れる観測対象の像はビジビリティの(u,v)coverageの広がり が u 方向より v 方向に対して十分な広がりを持たない。そ のため、赤緯方向に高いサイドローブが現れるため、年周視 差の赤緯方向の不定性は大きくなる傾向がある。しかし、今 回の場合干渉計の特性による誤差に加えて、図3のように南 北に構造を持つスポットを年周視差フィッティングに用いた ため、誤差が大きくなったと考えられる。



図 4: RA 方向 (上) と Dec 方向 (下) の運動。赤点が-88.53kms⁻¹の成分で、緑点が-88.12kms⁻¹の成分。実線は 最も適当なモデルを示す。

また、固有運動は V_{LSR} =-88.53kms⁻¹の速度成 分と V_{LSR} =-88.12kms⁻¹の速度成分で、それぞれ $(\mu_{-88.53kms^{-1}}) = (-15.44\pm0.09, -7.72\pm0.39)$ mas yr⁻¹、 $(\mu_{-88.12kms^{-1}}) = (-15.14\pm0.10, -7.29\pm0.44)$ mas yr⁻¹ が得られた。また、T UMa の銀経・銀緯は (l,b) =(126.4900, +57.5372)であるため、銀河面上からの 垂直距離は 871.31pcと求められた。また、VERA で得られた年周視差と固有運動の値を用いると、2 つの成分の固有運動は次のように速度換算でき、 $(\mu'_{-88.53kms^{-1}}) = (-72.94^{+5.81}_{-6.82}, -36.48^{+4.40}_{-5.16})$ kms⁻¹、 $(\mu'_{-88.12kms^{-1}}) = (-71.55^{+5.75}_{-6.75}, -34.45^{+4.46}_{-5.23})$ kms⁻¹が得ら れた。これらの結果の中央値を用いると、T UMa の太陽に 対する三次元速度は V = 119.49kms⁻¹が得られた。

4 Discussion

4.1 周期光度関係の検証

鹿児島大学 1m 望遠鏡で得られた近赤外線 K バンドの平 均等級と変光周期はそれぞれ m_k = 2.79mag、P=257 日と なった。VERA で得られた距離は $D = 1.05^{+0.25}_{-0.17}$ kpc である ため、ここから絶対等級 $M_k = -7.31^{+0.39}_{-0.47}$ が得られた。 現在、私たちは天の川銀河内のミラ型変光星に対する PLR を $M_k = -3.52 log P + \delta$ と定義している。傾きの-3.52 は LMC の PLR のものを用いた (Whitelock et al.2008)。現 段階で国内外の VLBI 観測網で観測された T UMa を含 むミラ型変光星 13 天体のうち、Hot Bottom Burning の ため大幅に増光している UX Cyg を除いた 12 天体を用い て最小二乗法によるフィッティングを行い、切片 δ を求め た (Whitelock et al.2008,Nakagawa et al.2016)。その結果、 $M_k = -3.52\log P + 1.29 \pm 0.09$ が得られた (図 5)。



図 5: VLBI 観測から定義された PLR。A が今回新たに定義 した $M_k = -3.52logP + 1.29\pm0.09$ 、B が Nakagawa et al. 2016

今回新たに定義した PLR は、Nakagawa et al.(2016) や Whitelock et al.(2008) よりも絶対等級が暗いほうに位置し ている。これは、Nakagawa et al.(2016) で定義された PLR には半規則型変光星 (Semi Regular) と呼ばれる天体が含ま れているためであると考えられ、Whitelock et al.(2008) で 定義された PLR は年周視差の測定誤差が多い天体の割合が 多いためであると考えられる。年周視差は一般的に誤差が大 きいほど実際の距離より遠めに出る傾向があるためである。 今後、半規則型変光星のデータや精度の低い天体のデータが どのくらい PLR の見積もりに影響するかを検証する必要が ある。

References

Glass et al. 1981 Nature 291, 303 - 304 Nakagawa.A., Kurayama, T., Matsui, M., al. et 2016, PASJ, tmp, 79N Ita,Y.,Tanabe,T.,Matsunaga,N., 2004a, MN- \mathbf{et} al. RAS.347,720 Nakagawa, A., Omodaka, T., Handa, T., et al. 2014,PASJ,66,101 van Leeuwen, F.2007, Hipparcos, the New Reduction of the Raw Data. Whitelock, P.A., Feast, M.W., & van Leeuwen, F. 2008, MNRAS, 386, 313

Wittkowski, M. et al. 2005 ASPC..340..626W

広帯域VLBIシステムによる測地・周波数比較実験報告

関戸 衛 ⁽¹⁾, 岳藤 一宏 ⁽¹⁾, 氏原 秀樹 ⁽¹⁾, 近藤 哲朗 ⁽¹⁾, 堤 正則 ⁽¹⁾, 宮内 結花 ⁽¹⁾, 川合 栄治 ⁽¹⁾, 瀧口博士 ⁽²⁾, 長谷川 新吾 ⁽¹⁾, 市川 隆一 ⁽²⁾, 小山 泰弘 ⁽²⁾, 花土 ゆう子 ⁽²⁾, 渡部 謙一 ⁽³⁾, 鈴山 智也 ⁽³⁾, 川畑 亮二 ⁽⁴⁾, 福崎 順洋 ⁽⁴⁾, 石本 正芳 ⁽⁴⁾, 若杉 貴浩 ⁽⁴⁾, 梅井 迪子 ⁽⁴⁾, 豊田 友夫 ⁽⁴⁾, 小室 純一 ⁽²⁾, 寺田 健次郎 ⁽²⁾, 難波 邦孝 ⁽²⁾, 高橋 留美 ⁽²⁾, 岡本 慶大 ⁽²⁾, 青木 哲郎 ⁽²⁾, 池田 貴俊 ⁽²⁾ (1):情報通信研究機構 鹿島宇宙技術センター

(2):情報通信研究機構 小金井本部

(3):産業技術総合研究所 計量標準総合センター

(4):国土地理院

2016年2月10日

1 はじめに

NICT は、原子時計間の周波数比較を目的とした 小型広帯域 VLBI システムの開発を進めている [1, 2]。この広帯域システム GALA-V は国際 VLBI 事業 (IVS)が推進している次世代の広帯域 VLBI システ ム VGOS(VLBI Global Observing System)[3] と同 様に 3-14GHz の周波数帯域から 4 つの 1GHz 幅の信 号を受信・記録する。周波数比較局には、移設可能 な小型アンテナを使用し、大型アンテナと共同観測 することによって小型アンテナの弱点である受信感 度を補って高精度の遅延計測を実現する。

これまでに、細いビーム幅 (HPFW~ 34 deg.)を 持つ広周波数帯域フィードを独自開発し [4]、カセグ レン光学系の電波望遠鏡である 34m アンテナに搭載 して広帯域化を実現した。また高速サンプラ [5] を 使った RF ダイレクトサンプリング方式 [6] により、 安定した高精度の観測が可能となり、この相関処理 結果から高精度に遅延を決定する広帯域バンド幅合 成ソフトウェアを開発して、1秒間の観測でサプピコ 秒精度の遅延計測ができるシステムを構築した [7]。

システムの実証実験のため、小型アンテナ 2 基 MARBLE1, MARBLE2 をそれぞれ NICT 小金井 本部 2 号館屋上と産業技術総合研究所 (つくば) の計 量標準センターに設置し、この基線をテストベッドと して UTC(NMIJ)-UTC(NICT) の周波数比較ができ る試験環境を準備してきた。NICT 小金井の MAR-



図 1: 2016 年末現在、広帯域観測可能な日本国内の VLBI アンテナは、国土地理院の石岡 13m アンテナ、 鹿島 34m アンテナと小型アンテナの MARBLE1(つ くば)、MARBLE2(小金井)の4 基である。

BLE2 については、2016 年 3 月に直径 1.5m のプラ イムフォーカス光学系を直径 2.4m のカセグレン光学 系に改修した。これにより、4 倍以上感度が改善され たことをその後の実験で確認している。

VGOS システムの仕様に対応する広帯域の受信が可 能な VLBI アンテナは、国内では 2014 年に国土地理 院が整備した石岡測地観測局の 13 mアンテナ、NICT の鹿島 34m アンテナ、及び小型 VLBI 局である MAR-BLE1(1.6m) アンテナ及び MARBLE2(2.4m) アンテ ナである (図 1)。それぞれのアンテナの搭載フィー ドと受信周波数範囲及び性能を表 1 に示す。

2016年は、広帯域の観測が可能な国内のアンテナ を使ってシステムの安定と計測精度の評価のため24 時間以上のVLBI観測を複数回実施してきた。以下 で、この実験で得られた結果等について報告する。

2 広帯域 VLBI 観測の結果

2.1 測地観測結果

GALA-V プロジェクトでは、2016年内に10回の 測地・周波数比較の実験を実施した (表 2)。周波数 比較を目的とする VLBI 観測の場合も、測地 VLBI 観測と同様に方角の異なる多くの天体を切り替えて 遅延量を計測する。得られた計測結果は測地 VLBI の標準データベースである Mark3DB 形式で保存し、 NASA/GSFC が開発した VLBI 解析ソフトウェア Calc Ver.11/Solve Ver.2014.2.21 を使って解析を行っ た。通常の測地 VLBI 実験が 24 時間であるのに対し て、我々の目的は原子時計の比較であるため、観測 時間が30時間以上の長時間の観測を行っている。通 常の VLBI 観測と異なり、GALA-V プロジェクトで は大型-小型基線のデータから併合遅延関係を利用 して小型-小型アンテナ間の遅延量を求め、これを解 析に使用する。基準局 R と小型アンテナ A、B 局と の遅延時間 $\tau_{RA}(t_R)$ 、 $\tau_{RB}(t_R)$ を使って、基準エポッ ク $t_{\rm R}$ における AB基線の遅延時間 $au_{\rm AB}(t_{\rm R})$ を表す式 は、1次近似式として次式で与えられる。

$$\tau_{\rm AB}(t_{\rm R}) = \tau_{\rm RB}(t_{\rm R}) - \tau_{\rm RA}(t_{\rm A}) - \dot{\tau}_{\rm RA}(t_{\rm R}) \times \tau_{\rm RA}(t_{\rm R}).$$
(1)

観測局 Kashima 34(O) MARBLE1(A)、MARBLE2(B)の参加する観測では、OA、OB基線で遅延量を計測し、(1)式により AB基線の遅延データを算出して解析する。AB間の基線解析残差の例(11月25-28日の観測データ)の時系列プロットと、そのヒストグラムを図2に示す。誤差伝搬則に従えばOA、OB基線のそれぞれの遅延誤差の二乗和が AB基線のデータの 誤差に伝搬する。しかし我々の広帯域 VLBI 実験の実際の解析残差の Root-Mean-Square(RMS) は OA、OB、AB基線それぞれ、15.6ps、14.2ps、14.2ps であり、(1)式によりそれぞれの線形和で算出された遅延量の解析残差は増加していない。このことは 図2のヒストグラムの分布幅が広がっていないこと



図 2: 2016 年 11 月 25-28 日の観測結果において、(a) 式 (1) により得られた遅延量の AB 基線の解析残差 プロットと、(b) 残差のヒストグラムを OA,OB,AB 基線で比較した。

からも確認できる。今回の広帯域観測の場合、SNR から推定される OA、OB 基線の遅延の計測精度は 約1ps以下であり解析残差の広がりより十分小さい。 さらに、重力変形や長い信号伝送系などによる大型 アンテナ特有の遅延誤差が相殺されることで、OA・ OB 基線よりもむしろ AB 基線のほうが解析残差の 改善が期待できる。このように広帯域観測 VLBI で は、口径 1.6m の超小型 VLBI アンテナであっても、 大型アンテナと組み合わせた観測により、遅延計測 精度は十分小さな値となり、純粋に大気の不定性誤 差が測地解析の精度を支配するまで、精度向上が実 現できる。

併合遅延により得られた AB 基線のデータを解析

アンテナ名称	フィード (製作)	受信周波数域	搭載時期	LNA	SEFD	$Tsys^*$
鹿島 34m	IGUANA-H (NICT)	6.5-15GHz	2014-2015	常温 LNA	1000-1500 Jy	150-200 K
	NINJA (NICT)	3.2-14GHz	2015-	常温 LNA	2000 Jy	$100-200 {\rm K}$
石岡 13m ELEVEN		2-14GHz	2015	冷却 LNA	1200-8000 Jy	
	(Chalmers Univ. of Tech.)					
	QRFH (Caltech)	2-14GHz	2016	冷却 LNA	1500-3000 Jy	
MARBLE1	FHA(Rindgren Co.Ltd)	1-14GHz	2013-	常温 LNA	1-3 MJy	$200\text{-}400~\mathrm{K}$
MARBLE2	FHA(Rindgren Co.Ltd)	1-14GHz	2013-2016	常温 LNA	1-3 MJy	$250-400 { m K}$
	NINJA(NICT)	3-14GHz	2016-	常温 LNA	0.2-0.3 MJy	100-200 K

表 1: 国内の広帯域 VLBI 局のアンテナ性能

表 2: 2016 年に実施した小型アンテナ間の VLBI 実験

2016 年 観測日	観測局	Scan 数 (Used/Total)	観測時間	Scan 当たりの平均時間
1月26-27日	鹿島 34-小金井-産総研	1330/1500	46 時間	110 秒
2月12-13日	鹿島 34-小金井-産総研	1250/1600	47 時間	106 秒
2月28-29日	鹿島 34-小金井-産総研	1050/1450	49 時間	122 秒
5月16-17日	鹿島 34-小金井-産総研	1220/1410	31 時間	79 秒
6月24-25日	鹿島 34-小金井-産総研	1800/1850	49 時間	95 秒
7月10-11日	鹿島 34-小金井-産総研	1960/2003	48 時間	86 秒
8月23-24日	石岡13-小金井	1372/1385	43 時間	112 秒
9月12-13日	石岡13-小金井-産総研	1600/1640	35 時間	77 秒
11月25-28日	鹿島 34-小金井-産総研	2193/2237	62 時間	86 秒
12月9-12日	鹿島 34-小金井-産総研	2022/2063	62 時間	109 秒

して得られた基線長データの時系列を図3(a)に示 す。2月12日の観測及び、7月10日の観測の結果は、 ほかの観測結果と、それぞれ、5mm、10mm ほどず れた結果となっているが、現在のところこの原因は 不明である。全体のトレンドとして年間 4.4mm の短 縮が見られるが、A 局、B 局とも建物の屋上に設置 しており、A 局(つくば)の場合アンテナを建物に アンカー固定していないため、地殻変動としての議 論はここでは困難であるが、この系統的なトレンド を差し引くと、2月12日および、7月10日のデータ を除いて、基線長の再現性は±2mm 程度あると考え られる。基線長結果のばらつきの原因としては、一 連の実験が受信帯域を拡大するための受信機開発と 並行して観測を行っているため、必ずしも一様な条 件で実施したものではないことが挙げられる。周波 数配列やアンテナ焦点調整が進むにつれ、年の後半 にはより高い受信感度と遅延計測精度にシステム全 体が改善しており、今後安定した状態で測地観測精 度の評価により再現性の確認を行いたい。



図 3: 2016 年の GALA-V 実験の AB 基線のデータを 解析して得られた AB 基線長の時系列。

2.2 周波数比較結果と今後の課題

測地 VLBIの解析ソフトウェア SOLVE では、2次 多項式と一定インターバルの折れ線関数の和をモデ ルとして、基準局に対する他の局のクロックが推定 される。我々は推定されたクロックに Post-fit 残差を



図 4: (a)GPS と VLBI で比較した UTC(NMIJ)-UTC(NICT)のクロック差の変化と、(b)GPS、VLBI それぞれの時系列及びその差の時系列から計算した アラン標準偏差。

加えて VLBI 計測による 2 局のクロック差の測定値 とする。解析対象のデータは上に述べたように OA・ OB 基線から併合遅延関係により算出された AB 基線 のデータである。測定結果の例として 2016 年 11 月 25-28 日の UTC(NMIJ)-UTC(NICT) のクロックの 比較を、AB 基線の VLBI の結果と、GPS-ppp によ る比較結果 (BPIM からの公表値)、及びそれぞれの データ列のアラン標準偏差のプロットを図 4 に示す。

VLBIは電波源の位置が基本的に不変であり、GPS の軌道推定に見られる衛星位置不連続などの問題が ない点でGPSより有利である。一方、記録容量の限 界からVLBIの連続観測は長くても3日程度に制限 されるという欠点がある。この点については、サン プラのクロックを比較対象の原子時計にロックした まま連続運転すれば、実験の間が数週間空いても間 欠的なVLBI観測により原子時計の位相の動きを長 期にモニタすることが可能である。今後、1ヶ月以上 のインターバルでのこのような原子時計間の比較実 証実験を行っていく計画である。 プロジェクトではこれまで国内の NICT-NMIJ 間 のクロックの比較を行ってきた。最終的なプロジェ クトの目標である大陸間基線での周波数比較のため、 今後海外の周波数標準器を持つ機関に小型アンテナ を設置し、クロック比較を行うことを検討している。 国際長基線の場合には (a) 受信機の直線偏波の位置角 が並行しておらず時間的に変化するため、VV、HH、 VH、HV の従来の4倍の相関処理を行い、異なる偏 波の遅延量の合成を行う必要がある。(b) 天体の構造 の影響について注意と研究が必要である。

参考文献

- 関戸衛、他、"広帯域 VLBI システムの開発"、 2015 年度 VLBI 懇談会シンポジウム、2016.
- [2] Mamoru SEIDO, et al., "An Overview of the Japanese GALA-V Wideband VLBI System", IVS 2016 General Meeting Proceedings, NASA/CP-2016-219016, pp.25-33, 2016.
- [3] Petrachenko, B., et al., "Design Aspects of the VLBI2010 System", NASA Technical Memorandum NASA/TM-2009-214180,2009, ftp://ivscc.gsfc.nasa.gov/pub/misc/ V2C/PR-V2C_090417.pdf.
- [4] Ujihara, H., "Development of Wideband Feed for Kashima 34mAntenna", Radio Science, submitted, 2016.
- [5] Oyama.T, et al., "The first simultaneous mapping of four 7 mm SiO maser lines using the OCTAVE system", Publ., Astr. Soc. Japan, 68 (6), p.105, doi: 10.1093/pasj/psw099, 2016.
- [6] Takefuji,K., et al., "High-order Sampling Techniques of Aliased Signals for Very Long Baseline Interferometry", Publ. Astron.Soc. Pacific, 124, pp.1105-1112, 2012.
- [7] Kondo, T. and K. Takefuji, "An algorithm of wideband bandwidth synthesis for geodetic VLBI", Radio Sci., 51, doi:10.1002/2016RS006070, 2016.

つくば VLBI アンテナの測地学への功績について

川畑 亮二・梅井 迪子・豊田 友夫・若杉 貴浩・石本 正芳・宮原 伐折羅 国土地理院

1. 概 要

これまで18年間,国際的なVLBI 観測に参加してきたつくばVLBI アンテナは,2016年末に運用を終了し2017年3月まで に撤去される.その役割は,新たなVLBI 観測仕様に対応した石岡測地観測局に引き継がれる.そこでつくばVLBI アンテナの これまでの実績を総括し,測地学への功績について報告する.

2. つくば VLBI アンテナ

2.1 観測実績

つくば VLBI アンテナは、直径が 32m と大型で、冷却受信器との組み合わることにより非常に高い感度を達成している. さらに、30メートル級と大型口径のアンテナにも関わらず、駆動速度が毎秒 3度と高速駆動が可能になっている.これにより、 単位時間に多くのクエーサーを観測し、高精度な測地成果を得ることが可能である.

っくば VLBI アンテナは,1998年6月から VLBI 観測に参加し,2002年5月からはドイツ Wettzzel 局との地球回転を測定 するための UT1 観測を開始した.つくば VLBI アンテナの運用開始から2016年末までに,IVS が実施する24時間観測に延べ 1,007回参加している.この観測数は IVS 全体の観測局の中でも6番目に多く,同期間の観測数全体の31%を占める(Table 1). 特に IVS の主力観測である IVS-R1、IVS-R4 のうち,IVS-R1 に週1回の頻度で参加し,グローバルな観測網を構築する上でア ジア地域をカバーする観測局として機能した.

Table 1. 各 VLBI アンテナの仕様,24 時間の観測数は1998 年 6 月から,1 時間の観測数は2002 年 5 月から 2016 年末までで 計上.

	つくば	Wettzzel	Kokee	Ny-Alesund	Fortaleza	TIGO
口径(m)	32	20	20	20	14	6
X帯SEDF(Jy)	320	750	2,000	2,000	5,000	20,000
駆動速度(°/s)	3	3	2	2	0.67	6
24 時間観測数	1,007	2,225	1,885	1,657	1,370	1,293
1時間観測数	1,655	4,911	3,440	532	0	0

また UT1 観測に定常的に参加し, IVS による日々の UT1 成果提供に大きく貢献した. UT1 観測は週 8 回(UT で月曜日に 2 回)実施されているが、つくば VLBI アンテナは土、日、月を担当した. 特に土日については原則職員が不在であることから、システムの自動化を進めることで結果的に運用の安定化とオペレータの負担軽減につながった. IVS の UT1 観測について、2002 年から 2016 年までにつくば VLBI アンテナが参加した数は 1,655 回と、全体の 32%を占める.

2.2 成果

つくば VLBI アンテナの国内における成果としては,2011 年東北地方太平洋沖地震後の成果改定の際に,計算上の原点として使われた.地震後に実施した IVS-R1 の観測結果を国土地理院において解析し,ITRF に準拠した地震後の水平位置を決定し

た(檜山ほか, 2011). その値は, IVS が ITRF2014 構築のために公表した最終解と比較して水平方向で 1 mm 程度で一致して いる (Table 2).

Table 2. 2011 年 5 月 10 日におけるつくば VLBI アンテナの局位置及び IVS Combination Center (IVS CC) の最終解と ITRF2014 との差

	X(m)	Y(m)	Z(m)	N(m)	E(m)	U(m)
GSI solution	-3,957,409.226	3,310,228.897	3,737,494.719	-	-	-
- IVS CC	-0.005	0.005	0.004	-0.001	-0.001	0.008
- ITRF2014	-0.012	0.012	0.014	0.002	-0.002	0.022

また国際的には、地球自転を計測する UT1 観測に参加し、IVS による日々の UT1 値算出を支えた. Figure 2 は NASA ゴダ ード宇宙飛行センターが解析・公表した UT1 値について、IERS 最終値 (EOP 08 C04 (IAU2000A)) からのずれを示している. 得られた UT1 値の Formal Error の平均値は、つくばが含まれる基線では 20.8 マイクロ秒、それ以外の基線では 31.6 マイク ロ秒である (Table 3). また、IERS 最終値からのずれが 100 マイクロ秒を越える割合は、つくばが含まれる基線では 1.8%で あるのに対し、それ以外の基線では 4.2%であることから、つくばが参加する観測では、信頼性の高い UT1 値が得られているこ とが分かる.



Figure 2. EOP 08 C04 (IAU2000A)に対する IVS の UT1 観測値 (NASA/GSFC 公表値を使用).

Table 3. Figure 2 のデータの統計量	最後の列は,	ずれが 100 マイク	ロ秒以上の割合を示す.
----------------------------	--------	-------------	-------------

	Mean Formal	Weighted	Offact WDMS	Fraction of
	Error	Mean Offset	Oliset wrms	offset >100us
With Tsukuba	20.8 us	-2.7 us	$25.4~\mathrm{us}$	1.8%
Without Tsukuba	31.6 us	-8.0 us	24.0 us	4.2%

さらに, ITRF の構築について, つくば VLBI 観測の結果は ITRF2000, ITRF2005, ITRF2008, ITRF2014 に貢献した. ITRF2014 に使われた 34 年間の VLBI 観測全 5780 セッションのうち, つくば VLBI アンテナは 17 年間 824 セッション (全体 の14%)に参加している.さらに、ITRFの構築においては、つくば VLBI アンテナと併設された GNSS 観測点(TSKB)間 のローカルタイも使用された.国土地理院において測定したローカルタイは、ITRF2005、ITRF2008、ITRF2014 に使われて いる.ITRF2014において、VLBI、GNSS で測定した値とローカルタイの値のずれは 5 mm 以内に収まっている(Table 4).こ の VLBI と GNSS のローカルタイの残差が 5 mm 以内になっている VLBI 観測局は、全体の 42% しかない(Altamimi et al. 2016).このため、つくば VLBI アンテナは、東北地方太平洋沖地震による大きな局位置変化を経験しているのにもかかわらず、 ITRF 構築において信頼性の高い成果を提供したといえる.

Table 4. つくばにおける VLBI-GNSS コロケーション結果と ITRF2014 との差(ITRF2014-Tie-Residual より)

Epoch	East (mm)	North (mm)	Up (mm)
2008:16	-3.0	0.9	1.6
2011:192	-3.0	3.1	-4.5

このつくば VLBI アンテナは、その巨大な構造から地元住民のランドマーク的な存在にもなり、つくば VLBI アンテナを通じ て測地学を一般へ広報する役割も担った.

3.3 運用終了へ

1998年からこれまで、アジア地域の主要観測局として国際観測に参加してきたつくば VLBI アンテナであるが、IVS が立ち 上げた新たな VLBI 観測システム(VGOS)には対応できない.そこで、国土地理院では茨城県石岡市に VGOS に対応した新 型アンテナを建設し、2016年5月から本格運用を開始した.役割を終えたつくば VLBI アンテナは、2016年12月で運用を終 了し、2017年3月までに解体される.今後、国土地理院の VLBI は石岡測地観測局に集中し、国際的な主要観測局としてつく ばの役割を引き継ぎ、VGOS によるさらに高精度な観測を実施していくこととなる.

4.まとめ

可搬型 VLBI から始まった国土地理院の VLBI 事業は、つくば 32m アンテナという高性能アンテナを手に入れたことで国際的に も第一級の成果を提供することができた.これは IVS における国土地理院ひいては日本のプレゼンスを大いに高める結果となっ た.それは同時に、つくば 32m アンテナを引き継ぐ石岡測地観測局への期待へと変わっており、その要請に応えるためにも石岡 における高精度な VLBI 観測を継続し測地学へ貢献していく必要がある.

謝 辞

国土地理院における VLBI 観測の成果は、NICT、国立天文台、JAXA 宇宙科学研究所、筑波大学、大阪府立大学の共同研究機関による技術協力によって得られたものであり、この場を借りて感謝の意を表す.

銀河中心方向天体の固有運動測定と大規模探査

木村靖伊奈、藤澤健太、新沼浩太郎、森あかり(山口大学)、米倉覚則(茨城大学)

序論

多くの銀河の中心部には超大質量ブラックホールが存在し、活動銀河核として数多く観測されている。し かしながら、これらのブラックホールの形成過程は未だ解明されていない。現在、超大質量ブラックホール の形成について主に3つのメカニズムが議論されている。第1のメカニズムは通常の質量降着率の限界で あるエディントン降着率を超えるスーパーエディントン降着による質量降着、第2のメカニズムは超大質 量星の重力崩壊による質量の大きい種ブラックホール形成、第3のメカニズムは銀河合体に伴う中心核の 合体成長である。本研究では、第3のメカニズムであるブラックホール同士の合体について注目する。こ のメカニズムは銀河の衝突合体に伴い引き起こされると考えられており、この過程では母銀河の中に吸収さ れた銀河の中心核が浮遊しているはずである。他の銀河においては既にそのような浮遊ブラックホール候 補が発見されている。ブラックホールの合体成長により超大質量ブラックホールが形成されるのであれば、 我々の銀河の中心核である Sgr A* の近傍にも過去に合体吸収された銀河の中心核が浮遊している可能性が ある。銀河中心方向のコンパクト天体から、合体成長の証拠となるようなブラックホールを発見することが 本研究の目的である。

観測/結果

以上の研究目的に対して4つの観測を行った。

OBSERVATION(1)

銀河中心のコンパクト天体を探査したカタログから5天体を選定し探査を行った。観測周波数は8.4 GHz で、つくば、山口、日立の3局で観測を行った結果、Table1に示す4天体を検出した。ただしJ1748-29は 既知の系外天体であったため、浮遊ブラックホール候補天体としては3天体を検出したこととなる。

	J1742-2A[mJy]	J1742-2B[mJy]	J1748-29[mJy]	J1749-28[mJy]
つくばー日立	39.1	32.8	133	32.8
つくばー山口	••••		57.1	41.5
山口ー日立			42.9	27.5

Table. 1: OBSERVATION(1) 検出天体のフラックス密度

OBSERVATION(2)

OBSERVATION(1) での検出天体3天体の固有運動を測定するために、スイッチング位相補償観測を行った。観測周波数は8.4 GHz で、つくば、山口、日立の3局で観測を行った。固有運動の測定を目的としているため、1ヶ月間隔で4回観測を実施した。3天体とも位相補償で検出することができなかったため、固有運動を測定することができなかった。しかしながら、3天体とも天体自身のフリンジ解は得ることができた。

OBSERVATION(3)



Fig. 1: 1epoch 目の J1744-31 のビジビリティ(左) とマップ(右)

OBSERVATION(1) での検出天体 3 天体のうち J1742-2B の固有運動を 測定するために、VERA による 2 ビーム位相補償観測を行った。観測周 波数は 23 GHz で、水沢、入来、小笠原、石垣の 4 局で観測を行った。 固有運動を測定を目的としているため、1.5ヶ月間隔で 4 回観測を実施し た。ターゲット天体を位相補償で検出することができなかったため、固 有運動を測定することができなかった。参照天体 J1744-31 のビジビリ ティとマップを Fig 1 に示す。参照天体は赤経方向にやや広がりを持つ が大きな構造のない天体である。また、参照天体とターゲットの離角は 2.11° である。天体自体のフリンジ解は得ることができたため J1742-2B のマップと各 epoch のフラックス密度を Fig 2 に示す。平均 89.9 mJy と いう非常に高い強度で検出され同天体の 8.4 GHz でのフラックス密度と 比較すると約 10 倍程度の強度である。またマップ上から分かるように コンパクトな天体として検出されている。

OBSERVATION(4)

浮遊ブラックホール候補天体数の増加を目的とし、OBSERVATION(1) より探査範囲をバルジまで広げ、5 つのカタログから 61 天体選定し探 査を行った。観測周波数は 8.4 GHz で、つくば、山口、日立の 3 局で観 測を行った結果、27 天体を検出した。これらの検出天体はコンパクト かつ高輝度で非熱的放射をする天体であることから浮遊ブラックホール 候補天体とし て考えることができる。OBSERVATION(1) と比較すると 9 倍の天体を検出することができ、浮遊ブラックホール候補天体の増加 という目的を果たすことができた。



Fig. 2: J1742-2B の 1epoch 目のマ ップ(上)と全 epoch の積分フラッ クス密度(下)

	観測天体数	全検出	一部検出	非検出	検出率
1 epoch	13	1	3	9	0.31
2 epoch	16	3	6	7	0.56
3 epoch	16	2	7	7	0.56
4 epoch	16	1	4	11	0.31
total	61	7	20	34	0.44

Table. 2: OBSERVATION(4) 天体検出率

考察

今回の観測において固有運動を検出することはできなかったが、2 つの周波数で観測した J1742-2B については興味深い結果を得ることができた。この天体は OBSERVATION(1)(2) において短基線でしか検出できず、さらにその強度が微弱なことからも、非常に強度の弱い広がった天体であると考えられる。しかしながら、OBSERVATION(3) の結果は強度が強くコンパクトな天体であることを示している。今回の結果と過去の他の周波数での観測結果を Table 3 に示す。観測周波数の近い点での比較を行う。ATCA の 4.8 GHz と VLA の 5 GHz 観測においては天体のフラックス密度は大きく変化していない。一方で、VLA の 1.3 GHz と 1.7 GHz での観測では同じアンテナの配列を用いて同時観測しているにも関わらず 1.3 GHz のフラックス密度は 1.7 GHz の 2 倍以上のフラックス密度となっている。ただし、これがわずかなビームサイズの変化のみによる天体のフラックス密度の変化とは考えにくい。しかしながら、1.3 GHz から 1.7 GHz の 4 点を比較するとフラックス密度は大きく変化しており最大で 7 倍の変化がみられる。以上の結果よりこの天体は広がった成分とコンパクトな成分を持ち、広がった成分が数年のタイムスケールで大きく変動しているため、この天体は近傍、すなわち銀河系内に存在する可能性がある。

周波数 [GHz}	flux [mJy]	観測網	観測日
23	76.7	VERA	2015/11/23-2016/4/2
8.4	9.6	JVN	2015/6/17-2015/8/20
5	37.2	VLA(A)	1999/8/22
4.8	41.0	ATCA(6B)	2000/2/6
1.7	60.6	VLA(BnA)	1994/5/16, 17
1.4	94.3	VLA(A)	1996/10/8,11/8
1.4	21	VLA(B)	1989/3
1.3	155.8	VLA(BnA)	1994/5/16, 17
0.33	77.4	VLA(A)	1996-1998

Table. 3: J1742-2B の様々な周波数のフラックス密度



Fig. 3: J1742-2B スペクトル

Fig. 4: J1742-2B の 4.8GHz マップ

今後の展望

今後の展望として、まず今回の観測で固有運動が測定できなかった3天体に対しての固有運動の再観測 および、OBSERVATION(4)で新たに検出した天体についての固有運動測定が挙げられる。今回の観測結果 よりスイッチング位相補償ではスイッチングのサイクル時間を短くする、2ビーム位相補償では離角の近い 参照天体を探すなど、観測手法の見直しを行うことで固有運動の検出を目指す。さらに、今回 JVN の 8.4 GHz の観測と VERA の 23 GHz の両方の観測で検出した J1742-2B については、多周波数でのモニタリング 観測を行うことでスペクトルの形状や強度変動について、より深い議論を行うことができると考えられる。

参考文献

Becker, R. H., White, R. L., Helfand, D. J., & Zoonematkermani, S. 1994, ApJS, 91, 347
Lazio, T. J. W., & Cordes, J. M. 1998, ApJS, 118, 201
Lazio & Codes ,2008, ApJS, 174 , 481
Nord, M. E., Lazio, T. J. W., Kassim, N. E., et al. 2004, AJ, 128, 1646
Roy, S., Rao, A. P., & Subrahmanyan, R. 2005, MNRAS, 360, 1305
White, R. L., Becker, R. H., & Helfand, D. J. 2005, aj, 130, 586
Zoonematkermani, S., Helfand, D. J., Becker, R. H., White, R. L., & Perley, R. A. 1990, apjs, 74, 181

モニタリング観測からわかった電波銀河 3C 111 の γ 線 活動期と電波ノットの噴出時期との関係

塩谷 康允,新沼 浩太郎, and 藤澤健太 (山口大学)

概要

Fermi 衛星の4年間の観測により1500 天体の活動銀河核 (AGN) からガンマ線が検出された [1] が、そのほとんどがブレーザーであった。そんな中13 天体の電波銀河からガンマ線が検出された。 AGN の統一モデル [2] に従えば電波銀河もブレーザーと同じ描像 ($\Gamma \sim 10$)を示すはずである。そ れを確認するため、ガンマ線が検出された電波銀河 3C 111 に対して、2009 年 12 月から 2016 年 9 月まで 15 GHz の VLBI 観測データを利用した、ジェットの構造・運動の観測的研究を行った。 さらに、ジェット成分の噴出時期とミリ波・ガンマ線の活動性について研究を行った。その結果、 ローレンツ因子はブレーザーの様な描像は得られなかった ($\Gamma = 3 - 7$)。これは、多層構造等が原因 の一つだと考えられる。またミリ波やガンマ線の活動時期とジェットの噴出時期とが近く、ジェッ トの噴出時期と他波長の活動期に相関があることを示唆した。

1 導入

活動銀河核 (AGN) は非常にコンパクトな 領域から単一の天体としては宇宙で最も大規 模なパワー (10³²⁻⁴⁰W)を放射する銀河中心 の総称である。AGN から放出されるエネル ギーの一部は、ジェットと呼ばれる相対論的 な高エネルギープラズマの流れとなって放出 される。活動銀河核ジェットは光速近くまで 加速され、かつ母銀河を超えるスケールまで 方向性を維持したまま細く収束された構造を 保っている。

また、AGN の多様性は本質的な違い (電波 の強弱、光度など) にはあまり依存せず、観測 者の観測方向に強く依存しているという「統 ーモデル [2]」が有力視されている。観測者が ジェットを真正面から見るとブレーザー、あ る程度角度をもって見ると電波銀河として観 測されると考えられている。 AGN の特徴としては、電波からガンマ線 までの広波長域での放射が挙げられる。2008 年に打ち上げられた Fermi ガンマ線衛星によ る4年間の観測により、約1500 天体の AGN からガンマ線が検出された [1] ものの、その ほとんどがブレーザーであった。ブレーザー の理論・観測的研究により、ガンマ線放射は、 ジェットの根元部分 (0.1 – 1pc) で Γ ~ 10 程 度に加速された相対論的電子による逆コンプ トン散乱モデルで自然に説明できる。また、 電波銀河からもガンマ線が検出された。電波 銀河からのガンマ線放射をブレーザーのモデ ルで説明することは難しく、電波銀河からの ガンマ線放射過程・領域は詳細に理解されて いない。

2 研究目的・観測

本研究では、Fermi 衛星によりガンマ線が 検出された電波銀河 3C 111 の pc スケール のジェットの物理パラメータを詳細に見積も り、(1) ブレーザーのガンマ線放射モデルでガ ンマ線放射が達成可能かどうか、(2) ジェット の噴出時期とガンマ線活動期に相関がないか、 を検証することを目的とする。そのために米 国の Very Long Baseline Array (VLBA) に よって、2009 年 12 月から 2016 年 9 月までの 間、周波数 15 GHz で観測された VLBI デー タ (MOJAVE [6]) を利用した、ジェットの構 造・運動の観測的研究を行った。

3 結果

解析の結果、Map 中心から北東方向に輝度 分布の広がった構造を確認できた (図1参照)。 3C 111 は、pc スケールでは Core 成分と非対 称なジェット成分という構造をしており、こ れは形状・分布ともに過去の結果と矛盾しな いものである。



図 1 3C 111 の 2009 年 12 月 10 日の輝度 分布。「K+ 数字」で表されたラベルは、モ デルフィッティングにより同定された成分の 位置を表している。

28 エポック分の VLBI 観測結果を利用し て、各ジェット成分の固有運動を計測した (図 2 参照)。ジェット成分の見かけの速さは $\beta_{app} = 3 - 5$ 程度であり、超光速現象を捉え ることができた。さらに放出角を先行研究で 見積もられている値 ($\theta \sim 18^{\circ}$ [3])と仮定し て、ジェットの詳細な物理パラメータの推定を 行った。その結果ドップラー係数 $\delta = 2 - 3$ 、 ローレンツ因子 $\Gamma = 3 - 7$ と見積もること ができた。得られた物理パラメータはブレー ザーの典型値 ($\Gamma \sim 10$)に達成しなかった。こ れは多層構造 (Spine-Sheath 構造 [4])等が原 因ではないかと推測される。

また、3C 111 の SMA [7] でのミリ波 (230GHz) の観測、Fermi ガンマ線衛星の観 測において強度変動が捉えられている。本研 究で同定したジェット成分は、ミリ波・ガン マ線の活動期によく噴出していることを示唆 する結果を得た (図 3・図 4 参照)。

4 まとめ・今後の展望

本研究では、2009 年 12 月から 2016 年 9 月までの間、VLBA 15 GHz で観測された VLBI データ利用した、ジェットの構造・運動 の観測的研究を行った。その結果 3C 111 の ジェットの物理パラメータを推定したが、ブ レーザーのガンマ線放射モデルで提唱されて いるような相対論的速度 (Γ~10)には達して いなかった。また、ミリ波・ガンマ線の活動 期にジェット成分の噴出が集中していること が示唆される結果を得ることができた。

今後は、引き続き 3C 111 の VLBI 観測の データを利用して、ジェット成分の構造・運 動の議論をさらに深めていく。それと並行し て、KaVA 等で多周波の観測を行い、活動期 のコアシフトの議論、スペクトルと光学的厚 みの変化等の研究を行っていく。



図2 3C 111 のジェット成分の固有運動。横軸は修正ユリウス、縦軸はコアからの角距離 (mas) である。



図 3 3C 111 の SMA (230 GHz) のライト カーブ。横軸は修正ユリウス、縦軸はフラッ クス密度 (Jy) である。矢印は各ジェット成 分の噴出時期を示している。

図 4 3C 111 の Fermi ガンマ線衛星で観 測されたライトカーブ [8]。横軸は修正ユリ ウス、縦軸は強度 (ph cm⁻² s⁻¹) である。 矢印は各ジェット成分の噴出時期を示して いる。

参考文献

- [1] Ackermann et al. 2015, ApJ, 810, 14
- [2] Urry & Padovani, 1995, PASP, 107, 803
- [3] Jorstad et al, 2005, ApJ, 130,1418
- [4] Ghisellini et al. 2005, A & A, 432 401
- [5] 田中 真人, 2011 修士論文「ガンマ線放射 を伴う電波銀河 3C 111 の観測的研究」

[6] MOJAVE Homepage

http://www.physics.purdue.edu/MOJAVE/

- [7] SMA Homepage https://www.cfa.harvard.edu/sma/
- [8] Fermi Homepage https://fermi.gsfc.nasa.gov/ssc/data/access/

3.8 m 電波望遠鏡を用いた VLBI 観測

高橋諒1

上田翔汰¹,井上将徳¹,岡田望¹,長谷川豊¹,木村公洋¹,大西利和¹,小川英夫¹, 米倉覚則²,藤澤健太³,徂徠和夫⁴,川畑亮二⁵,石本正芳⁵,福崎順洋⁵,近藤哲朗⁶, ほか大学 VLBI 連携グループ

1 大阪府立大学 2 茨城大学 3 山口大学 4 北海道大学 5 国土地理院 6 情報通信研究機構

1. 概要

3.8 m 電波望遠鏡は、2014 年 11 月に北海道 新十津川から大阪府立大学研究棟屋上に移設 された。現在、研究棟屋上には 1.8 m 電波望 遠鏡も設置されており、それらの観測機器を 5つの観測機器建屋に置いている。



図 1 3.8 m 電波望遠鏡

3.8 m 電波望遠鏡の観測周波数は S バンド (2210-2450 MHz)、X バンド(8180-8980 MHz) の 2 バンドある。しかし、S バンドは周囲の 人工電波による雑音の影響をもろに受けてい るため、現在は X バンドでのみの観測を行っ ている。

本望遠鏡に対する大阪府大の目標・目的は「広 帯域 VLBI 観測にむけた開発」である。現在 は、VGOS で提唱されている 2-14 GHz 帯の VLBI 観測を視野に入れており、将来的には本 望遠鏡を将来開発用のテストベンチとして運 用していくことを検討している。

そこで、私はこの目標を達成するために、大き く二つの課題を挙げ、本研究を進めてきた。一 つ目に現在の受信システムでの VLBI 観測の 実現、二つ目に受信システムの広帯域化であ る。これらのうち、私はこれまで、現在の受信 システムでの VLBI 観測の実現を進めてきた。

2. VLBI 観測実験

まず、我々は日立 32m 望遠鏡及び高萩 32m 望遠鏡(国立天文台/茨城大学)と、フリンジ初 検出を目指し VLBI 観測実験を行ってきた。 本観測実験は、2015年9月・2016年7月・ 2016年10月の計3回行った。観測周波数は、 8672-8704 MHz で、帯域幅を 32 MHz と設定 し、これを 1ch 分取得した。観測天体には 3C273b で、サンプラーは K5 を用いて、2bit sampling を行い、フリンジ検出を目指した。 基準信号系については、1回目のみ OCXO を 使い、その後 2016 年 4 月に水素メーザーを 北海道大学から移設したため、2回目からは 水素メーザーを用いた。結果は、1回目・2回 目とも Pointing 精度や GPS 機器の問題で失 敗に終わったが、3回目に SNR が 30 程度の フリンジを検出することが出来た(図2)。また、 図3に本観測実験3回目の観測模式図を示す。



図 2 大学 VLBI 連携 ML に流したフリンジ初検



図3 VLBI 観測実験模式図

3. 測地観測用フリンジテスト

続いて、我々はつくば 32 m 電波望遠鏡との 測地 VLBI 観測を行うことを視野に入れ、ま ず実際にフリンジが検出されるかのチェック のためフリンジテストを行った。

観測日は 2016 年 11 月 18 日で、周波数は 8204-8654 MHz で、帯域幅 4 MHz を 8 ch 取



得した(図 4)。測地観測においてはバンド幅を 稼ぐため4 MHz の信号を8 ch 取得し、その 後バンド幅合成することでこの周波数帯域の 観測につなげている。また、観測天体は4 天 体で、合計で約1時間観測した。

本観測で検出されたフリンジ(ch1-4)を図 5 に 示す。



図 5 検出されたフリンジ(ch1-4)

フリンジ自体は検出されたが、SNR の値が非 常に低く、本来なら数倍良いと国土地理院の 方からご指摘を受けた。その原因の一つとし て P-CAL 信号の位相が回転していると報告 された。これの要因については、K5 につなが っている前の観測機器が建屋に入っており、 建屋の扉を長時間開けていたためだと考えら れた。これらは温度変化に敏感なため、その影 響で位相が変化していたと考えた。

そこで、再観測をお願いし、扉を閉めたまま観 測に挑んだ。再観測で得られたフリンジを図



再観測で得られたフリンジの SNR も、すべて の CH で、前回の観測より 4 倍ほど良くなっ た。また、P-CAL 信号についても比較的安定 するようになった。これで妥当なフリンジを つくば 32 m 電波望遠鏡との間で検出できた ため、測地 VLBI 観測に移った。

4. 測地 VLBI 観測

観測は 2016 年 12 月に、24 時間観測を計三 回行った。周波数は 1 回目のみフリンジテス トと同じもので行い、2,3 回目はより広帯域な 周波数での観測を行いたいということで取得 する周波数を 8214-8938 MHz と前回より 1.7 倍広く設定した。2,3 回目の観測模式図を図 7 に示す。取得周波数を広帯域化したことで、1 回目に使用していた VIDEO CONVERTER では周波数帯域を越えてしまうため、VLBI Sampler Interface を追加した構成をとった。



図 7 測地 VLBI 観測 2.3 回目模式図

結果は、1回目の観測でのみ全 CH でフリン ジを検出することが出来た。2,3回目の観測で は VLBI Sampler Interface の周波数設定を 間違っていたため、半分の CH でフリンジを 検出することが出来なかった。非常に悔やま れる結果となってしまったが、全観測でつく ば 32 m 電波望遠鏡との基線長を求めること が出来た(表 1)。表 1 の±以降の値は 1 σ の値 である。

表 1 求められたつくば 32 m との基線長

観測	基線長
1回目	450,746,049.38 ± 3.87 mm
2回目	450,746,049.38 ± 9.96 mm
3回目	450,746,067.76 ± 6.15 mm

2,3 回目の観測では全 CH でフリンジを検出 することが出来なかったが、全観測で基線長 を求めることが出来た。

5. まとめ・今後

我々は、高萩 32 m 電波望遠鏡との VLBI 観 測で、大阪で初のフリンジ検出に成功した。ま た、測地観測を目指しつくば 32 m とのフリ ンジテストを行い、無事にフリンジが検出で きたため24時間の測地観測を3日間行った。 2.3 日目の観測において半分の CH でしかフ リンジを検出することが出来なかったが、全 観測でつくばアンテナとの基線長を求めるこ とが出来た。これらより、現在の受信器系での VLBI 観測システムの立ち上げが完了した。 今後については、やはり本来の目的である広 帯域 VLBI 観測に向けた開発を念頭に、バッ クエンドシステムの広帯域化や Amp.等の受 信機機器の広帯域化を進めていく予定である。 そこで、大きな課題となるのは鏡面精度や、広 帯域フィードの開発であると想定している。

最後になりましたが、本研究を進めるにあた り国土地理院・NICT・茨城大学・山口大学・ 北海道大学・国立天文台の皆様には大変お世 話になりました。また、これらの機関の皆様だ けでなく、VLBI関係者の皆様方にもお世話に なりました。重ねてお礼申し上げます。また、 今後とも 3.8m 電波望遠鏡を含め大阪府立大 学の VLBI に対する技術開発にご協力のほど よろしくお願い致します。

山口第二電波望遠鏡に搭載する 6-9 GHz 帯受信機システムの開発

金澤翔,藤澤健太,新沼浩太郎,元木業人,青木貴弘(山口大学) 小川英夫,阿部安宏,木村公洋(大阪府立大学),松本尚子(国立天文台/山口大学)

1 概要

山口大学では 2002 年から 32m 電波望遠鏡(山口第一電波望遠鏡, Y1)の運用を国立天文 台から委託されて行っており、JVN の局のひとつとなっている。観測周波数帯は 6-9 GHz 帯で、6.7 GHz メタノールメーザや 8 GHz 帯の連続波の観測を行っている。そこに 2016 年 1 月から KDDI の敷地内にある 34m 電波望遠鏡(山口第二電波望遠鏡, Y2)の運用もはじ まった。仮にすべての設備が Y1 と同等のスペックを備え二つのアンテナを干渉計にする と、帯域幅を 1 GHz 、積分時間 1000 秒としたときに期待される検出感度は 3 σ で 1 mJy 程度となる。Y2 はもともと 4 GHz 帯と 6 GHz 帯で衛星通信用に使われていたため我々が 必要としている 6-9 GHz 帯のダウンコンバータや 8 GHz 帯のポーラライザ等は設置され ていない。そのため、今回我々は Y2 に搭載することを目的として 6-9 GHz 冷却受信機及 び 6-9 GHz 2 偏波/2 周波数帯同時受信のダウンコンバータの開発を行った。冷却受信機は 設計が終わりメーカーに発注が終わっており、今後性能評価等を行う予定である。ダウンコ ンバータについては完成しており、試験的に運用を開始しているところである。これらの製 作は全て大阪府立大学で行った。

Fig.1.1 Y1 \succeq Y2 (Google map $\ddagger b$)

	Y1	Y2
直径	32m	34m
受信機	冷却型	常温 (仮設)
ポーラライザ	6 - 9 GHz 帯 L/R	4GHz 帯と 6GHz 帯 L/R
IF 系	C -X Band 同時 L/R	C-X Band 同時 L/R (今回完成)

表 1.1 Y1 と Y2 の比較

6 - 9 GHz 帯ダウンコンバータの 開発

2.1 全体像

ダウンコンバータは高い周波数の信号を中間周波数に 変換する装置である。今回開発したダウンコンバータは 6 GHz 帯では 6.7 GHz メタノールメーザを通すことを目 的とし、8 GHz 帯では連続波を受信することを想定して いる。図 2.1 が今回開発した 6 - 9 GHz 帯のダウンコン バータであり、図 2.2 がそのブロックダイアグラムであ る。左右両円偏波を同時受信するために 2 台製作した。 今回製作したダウンコンバータは従来の IF フィルタよ りも、より ADS 3000+ に適応したものを搭載し、既存 のダウンコンバータにも同様のものを搭載した。また、 出力されたデータをスペアナで見たところ高周波数から 低周波数にかけて傾斜が見られたため、これを除去する ために今回はイコライザを導入した。



Fig.2.1 ダウンコンバータ全体の画像。



Fig.2.2 今回製作した 6 - 9 GHz 帯ダウンコンバータ のブロックダイアグラム。2 周波数帯同時受信が可能 となっている。

2.2 新 IF フィルタの開発

従来のダウンコンバータは ADS 3000+ を使用するこ とを想定しておらず 512 - 1024 MHz の帯域よりも広 がったところにカットオフ周波数が来ていた。しかし、 今後干渉計観測を行う上で上記性能ではエイリアシン グによる折り返し雑音によって感度が低下する恐れがあ ることがわかった。そのため今回は 512 MHz 及び 1024 MHz で 3 dB 減衰するようなフィルタを設計し直して 搭載した。以下に製作した IF フィルタのバンドパス特 性と既存の Y1 のダウンコンバータを用いて搭載試験を 行った時の比較画像を示す。



Fig.2.3 新 IF フィルタの周波数特性 LPF (9 素子) + HPF (7 素子) + BSF (2 素子) で構成している。



Fig.2.4 旧ダウンコンバータに搭載しての性能比較。 512 MHz と 1024 MHz で 3dB 減衰させることにより 従来よりも ADS3000+ に適した周波数特性になって いる。

2.3 イコライザの開発

通常、パッシブな素子は低周波数から高周波数にかけ て強度が下がる特性を持っている。そのため、一つの素 子では無視できるような傾斜であっても複数の素子の特 性が重なり合わさることによって無視できないような傾 斜を生じることがある。傾斜があると高周波数側の感度 を低下させるため、帯域ではなるべくフラットな方が良 いとされる。イコライザは低周波数側のゲインを下げる ことによって通常の素子とは逆の傾斜の周波数特性とな る。Fig.2.6 にイコライザの回路及び実際に製作したイ コライザの周波数特性を示す。今回は1段で2dBのイ コライザを2段(4dB)で作成した。



Fig.2.5 イコライザの回路図。1 段 で 2 dB の傾斜を 持つ回路を 2 段組で作成



Fig.2.6 作成したイコライザの周波数特性。横軸 周波 数 MHz / 縦軸 強度 dB 。512 - 1024 MHz でおよそ 4 dB の傾斜を持つことがわかる。また、全体のゲインと しては 7 dB 下がっているので、ゲイン調整を行う必要 がある。

また、ダウンコンバータ全体の総合特性と実際に Y1 にて試験的に搭載した時の例を Fig.2.8 に示す。これに より、512 - 1024 MHz 約 10 dB あった傾斜がイコライ ザによって軽減されているのがわかる。



Fig.2.7 ダウンコンバータ全体の総合特性 (6 GHz 帯)



Fig.2.8 Y1 にて搭載試験を行った際の新旧ダウンコ ンバータでの比較 (6 GHz 帯)。

3 冷却型受信機の開発

複数の増幅回路では初段の雑音によってシステム雑音 温度が決まってくる。そのため、初段に当たるポーララ イザ, HEMT Amp. を一体として冷却することで、円偏 波分離に起因する初段の雑音を抑えることで感度を高め ることができる。今回は野辺山 45 m 電波望遠鏡で使用 されていたものを再利用する形で追加工等の設計を行っ た。Fig.3.1、Fig.3.2 に設計した受信機を示す。今回受 信機の上面パネルに全ての入出力を持ってくることで、 取り外しが比較的容易となる設計を行った。この中に HEMT Amp.、ポーラライザ、温度計、真空計等を内蔵 する。また、ポーラライザは大阪府立大学で開発された 6-9 GHz 広帯域セプタム型ポーラライザを使用してい る。現在受信機は設計が終わりメーカーに発注をかけて いる段階であり、納品後に冷却テスト等の性能評価を行 なっていく予定である。Y2 への搭載は 2016 年度末から 2017 年度始めを予定している。



Fig.3.1 デュワー本体の外観。上面パネルに入出力を 集めることで組み立て作業等が簡単になるような設計 を行なった。



Fig.3.2 デュワー本体の内観。中には HEMT Amp.、 ポーラライザ、温度計、真空計等を内蔵する。ポーラ ライザには大阪府立大学が開発した 6 - 9 GHz 帯広帯 域セプタム型ポーラライザを使用している。

4 まとめと今後

Y2の運用が 2016 年より開始されたが、研究対象に見 合った観測システムが整備されていない。高感度干渉計 を目指す YI を構築するために必要な装置は Y1 と同等 のダウンコンバータ及び冷却型受信機である。そのため 我々はこれらの装置の開発を行った。ダウンコンバータ については完成し、Y1 を用いて試験観測を行い装置の 性能評価を行う。冷却受信機は設計が終了しメーカーに 発注をかけている段階で今後性能評価等を行う。また、 受信機設置場所には現在衛星通信用に用いられていた ポーラライザが設置されており、そのままでは受信機を 設置できないため、今後解体作業等も行なっていく予定 である。2016 年度末から 2017 年度始めまでに受信機を 設置し、以降干渉計の定常観測ができるよう引き続き整 備を続けていく予定である。

茨城 32m 電波望遠鏡受信機切り替え用導波管の開発

足立弘、米倉覚則、百瀬宗武 (茨城大学)、長谷川豊、木村公洋、小川英夫 (大阪府立大学)

1 イントロダクション

1.1 茨城 32m 電波望遠鏡

茨城 32m 電波望遠鏡とは、茨城県日立市と高萩市にまたがり位置する2基の電波望遠鏡の総称 である。メタノールメーザーを含む 6-9GHz 帯、および水メーザー・アンモニア分子輝線を含む 22GHz 帯の受信を行うことができる。これらの観測・解析は星形成メカニズム解明のために大変 重要である。しかし現在この2つの帯域の切り替えには受信機の載せ換え作業が必要である。さら に受信機は載せ換え後冷却させなければならない。このように受信機の載せ換えには多くの時間が とられるためその間の観測時間を失うことになる。

1.2 受信機設置状況と改善案

現在、受信機は巻取室のフィードホーン真下に設置されている。その状況を模式的に表したのが 図1である。このスペースは受信機を2台設置するには狭く困難である。そのため受信機を巻取 室真下の観測室に設置することで受信機の切り替えが容易に行えるようにしたい。そのためには フィードホーンから受信機まで伸びる長さ約10mの長い導波管が必要である(図2)。





図 1 茨城局における受信機の設置状況の模式図。 フィードホーン真下に設置されている 図 2 切り替え用導波管導入後の受信機設置状況 (構 想図)。観測室に受信機を設置する。

1.3 研究目的

本研究は2つの受信機の切り替えを容易に行うための導波管の開発が目的である。この導波管に 要求される仕様を確認する。導入されている受信機の電波入力部は円形のため、導波管形状は円形 とする。巻取室のフィードホーンから観測室までは約10m なので、長さは10m とする。また入 力損失の目標を -0.45dB 以上とし、反射損失の目標は -30dB 以下とする。

2 解析

2.1 円形コルゲート導波管

今回円形コルゲート導波管の解析を行った。円形コルゲート導波管とは円形導波管の円周方向 に周期的な溝が掘られた導波管のことで、その特性として長距離でも低損失が期待できる。[1] を 参考に 3 次元電磁界解析ソフト HFSS を用いて円形コルゲート導波管の解析を行った。図 4 は コルゲート導波管の断面図である。パラメータはそれぞれ a:ガイド半径、d:溝の深さ、p:溝の間 隔、w:溝の幅、t:歯の厚さ、r:動径座標、z:軸座標、 ξ :溝の座標。低損失には次の条件、a >> (波 長)、 $d \approx \lambda/4$ 、 $p \approx \lambda/3$ 、w < p/2、t = p - w を満たす必要がある。今回パラメータは入力波長 $\lambda = 7.14$ mm(42GHz)、a = 31.75mm、d = 1.785mm、p = 2.37mm、w = 1mm、t = 1.37mm、 長さ 22.7mm、素材をアルミニウムとした。我々が運用したい導波管は 6-9GHz 帯、22GHz 帯用 であるが、パラメータは 42GHz 用に設定したものである。そのため解析結果は 42GHz 帯のもの である。これは [1] で低損失の条件として主張される上記条件が妥当であるかを確かめるために設 定した。[1] の結果は 42GHz で入力損失が -0.015dB、反射損失が -25.53dB である。



図 3 解析モデル



図 4 コルゲート導波管断面図とパラメータ

2.2 解析結果

解析結果を図 5-図 6 に示す。42GHz での入力損失は -0.045dB、反射損失は -32.65dB となり 文献値の再現はできなかった。



2.3 考察

今回文献値の再現はできなかった。円形コルゲート導波管の基本モードは HE₁₁ である。しかし 今回の解析で生成されたモードを確認してみると円形導波管の TE₁₁ に酷似している。HE₁₁ モー ドを挿入することで結果が改善されると思われる。

3 まとめ

茨城 32m 電波望遠鏡では 2 つの帯域の受信が可能だが、その切り替えには受信機の載せ換え作 業が必要である。そこでその解決策として切り替え用の導波管の導入を考えている。その導波管の 候補として円形コルゲート導波管を検討している。コルゲート導波管の解析に [1] を参考にした。 解析の結果は文献値と異なったが、挿入されたモードが不適切であったためと考えられる。今後は この生成モードの検証を行い、我々が要求する 6-9GHz 帯、22GHz 帯用の円形コルゲート導波管 の解析を行う。

参考文献

 Jinal A. Mistry et al, "DESIGN & SIMULATION OF LOW LOSS CIRCULAR CORRU-GATED WAVEGUIDE FOR 42 GHZ, 200KW GYROTRON ",2014, International Journal of Research in Engineering and Technology, Vol-03, Iss-05, p.220-224.

野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載 20/40 GHz 帯同時観測用周波数分離フィルタの開発

○岡田 望, 橋本 育実, 高田 勝太, 本間 愛彩, 髙橋 諒, 木村 公洋, 千葉 正克, 真鍋 武嗣, 小川 英夫, 大西 利和(大阪府大), 南谷 哲宏, 宮本 祐介, 宮澤 和彦, 齋藤 正雄(国立天文台), 岸本 直子 (摂南大), 水窪 耕兵, 今井 裕(鹿児島大)

1. Introduction

1-1. 概要

我々は現在、野辺山 45 m 望遠鏡搭載用周波数分離準光学フィルタの開発を進めております。本フィル タを 45 m 鏡内ビーム伝送系ミラーと交換し、搭載することで 22,43,86 GHz の三周波同時観測可能化を 目指します。この三周波同時観測を実現することによって KVN 網と合同の観測が期待されており、本開 発は HINOTORI(Hybrid Installation Project in Nobeyama, Triple-band Oriented)プロジェクトの一 環として行っております。

1-2. 野辺山 45 m 望遠鏡ビーム伝送系

野辺山 45 m 鏡光学系は主鏡・副鏡およびミラー切り替えが可能なビーム伝送路で構成されます。主鏡・ 副鏡へと導かれたビームは平面鏡(M1 鏡)で反射され、2 枚の楕円鏡(M2・M3 鏡)へ導かれた後、M4 鏡で 反射する際に三つある伝送路(旧ビーム伝送系、新ビーム伝送系等)を切り替えることができます。また M4 鏡以外にも図 1 内ピンク色部のミラーは稼働可能であり、M4 鏡以外は OPEN(ミラーを抜 く)/MIRROR(反射鏡として挿入)を切り替えることで 10 個ある受信機ポートから一受信機を選択します。



図 1. 野辺山 45 m 電波望遠鏡ビーム伝送系概略図(M3 鏡以降)

45 m 鏡は複数のミラーを切り替えることで 10 個ある受信機(図内、緑色部)から一つの受信機(つまり一つの伝送経路)を採択します。図のピンク色で表示されている部分が稼働するミラーで、#4 以外のミラーは OPEN/MIRROR でビームを切り替えます。

1-3. フィルタの周波数設定

今回、図2の#8 ~ 86 GHz を透過し43 GHz 以下を反射するフィルタを、#9 ~ 43 GHz を透過し22 GHz 以下を反射するフィルタをそれぞれ搭載する予定です。それにより図2のような受信機配置および 三周波同時観測を可能とします。



図 2. 三周波同時観測を行う場合の野辺山 45 m 鏡内フィルタ・受信機配置

2. 周波数フィルタについて

2-1. 22/43 GHz 帯用フィルタ設計

今回、我々はまず 22/43 GHz 帯周波数分離フィルタの開発を進めています。開発を行うにあたり、カ ットオフ周波数を利用したフィルタと共振周波数を利用したフィルタの二方式を検討したが、開発の容 易性から今回はカットオフ周波数を利用したフィルタを採択しました。共振周波数を利用したフィルタ の困難性としては、3 mm 四方の細かな周期パターンを厚みが<1 mm の薄膜に平面度を保った状態で刻 印することなどが挙げられます。

周波数フィルタの設計には FEKO と呼ばれる計算電磁気学(CEM)ソフトウェアを用いて行いました。 本 22/43 GHz 帯周波数分離フィルタの構造は t=6 mm のアルミ板に φ 4.7 mm の円形穴を周期的に開け たものと決定し、そのシミュレーションより 43 GHz でのその電特透過率は> 95 %という結果を得まし た。また 22 GHz 帯ではビームが全反射される為、電力損失はほとんどないと考えられます。(図 3 参照)



図 3. フィルタパターン(CAD モデル)(左)およびシミュレーション結果(右)

2-2. 45 m 鏡試驗観測

我々は設計したフィルタの試作品を製作し、実際 に野辺山 45 m 鏡へ搭載・試験観測を行いました (2016/11/28-30)。本試作品は大阪府大学 生産技術 センターで製作しました。(図4参照)

45 m 鏡で行った観測はポインティング観測(五点法)@H22,H40 で、フィルタの有無によるポインティングのずれやT_{sys}およびビームサイズの変化を確認しました。また今回はH22とH40のポインティング観測を個別で行いました。



図 4. 府大生産技術センターで製作したフィルタ試作品

その結果、ビームサイズおよびポインティングに関

する大きな変化は 22,43 GHz ともに見受けられなかったが、43 GHz 帯のみ T_{sys}~16 K 程度の上昇が確認されました。この原因としては、H40 に導かれるビームは通常運用時は#9 に光学素子がない状態であるのに対し、フィルタ搭載時は光学素子が一枚追加された状態となることに起因しています。ただし、H40 の単一鏡観測時は従来通りフィルタを抜いた状態で観測を行い、VLBI の同時観測時のみフィルタを挿入すれば問題がないと現段階では考えています。



図 5. 測定した T_{sys}のプロット(左: H22、右: H40)

22 GHz 帯では T_{sys} ヘフィルタの影響が見受けられないが、43 GHz はフィルタの挿入により T_{sys} が~16 K 程度増加していることが確認できます。

3. まとめと今後

我々は野辺山-KVN 三周波(22/43/86 GHz)同時観測を目指す為 45 m 鏡へ周波数フィルタ搭載を検討し ており、22/43 GHz 帯周波数分離フィルタ設計・試作を行いました。そして、45 m で試験観測としてポ インティング観測を行い、搭載可能な見込みを得ました。

今後は22/43 GHz帯フィルタの性能向上および43/86 GHz帯フィルタの設計へ着手します。

広帯域アンテナの開発

氏原秀樹、岳藤一宏、関戸衛(NICT時空標準研究室・鹿島)

0.はじめに

原子時計を遠隔地間で比較するには衛星双方向通信、光ファイバやVLBIなど種々の方法があり、 それぞれでコストやメリットデメリットが異なる。VLBIでは衛星通信の回線使用量がかからず、 ファイバで結べない遠距離でも相互比較可能であり、原理的には惑星間でも比較可能である。

それはさておき比較精度は感度に依存し、感度はアンテナ(実効)口径と受信帯域幅、積分時間、 システム雑音に依存するので、精度向上のためにまずは帯域幅を広げようということでGala-Vプ ロジェクトは始まった。

1.鹿島34mアンテナ

2013年末にカセグレンアンテナでは世界初となる広帯域フィードを搭載し、6.5-15GHzにおい て開口能率30-50%で使用可能となった。続いて2015年夏にはNINJAフィードと名付けられた 3.2-14.4GHzで受信可能な広帯域フィードを搭載したが、これに使用している市販の同軸導波管 変換器(WRD350D36)の仕様により受信帯域は13GHz程度までである。この問題を解消し、かつ、 直線2偏波受信とするためにOMTを開発し2016年春に搭載したが、将来的な低周波数側への拡 張を目論んだ設計だったため2GHz帯のRFIを十分に抑圧しきれていなかった。2017年度は新た なNINJAフィードとともに改良型OMTの搭載を予定している。

2.MARBLE2号機(NICT小金井)

NICT小金井本部2号館屋上に設置されたMARBLEの改修を行った。旧光学系は1.5mのパラボ ラ直焦点であり、フィードには市販のQRFAを使用している。これを2.4mのカセグレン光学系に 変更し、NINJAフィードを搭載して性能向上を図った。改良型OMTと同じ内径の導波管変換器を 試作室で製作してWRD350同軸導波管変換器につけたところ雑音の低下が確認できた。この結果 を踏まえて現在は試作室で製作した改良型OMTの試作機を装着している。

旧光学系に対して感度は4倍以上改善したが、そのうちの口径の拡大の寄与分が2倍、残りは大 雑把に10GHz以下は主に前述の雑音低下、10GHz以上は主にフィードの能率向上と見られる。

3.MARBLE1号機(産総研つくば)

こちらは口径が1.6mであることを除いて基本的に小金井と同様の設計である。2017年3月に小 金井と同様の改修を予定しており、結果は次号で報告したい…早く知りたい方は6月に鹿島で開催 予定のTDCシンポジウムへお越しください。

4.まとめと今後

大きなトラブルもなく3局ともに広帯域化され、広帯域VLBI観測を開始できた。今後は2偏波 化や受信機の冷却、フィードの開口能率の向上などの高感度化に向けて整備を行っていきたい。

受信帯域幅が広いため帯域内の様々なRFIによる混変調が雑音温度を押し上げているのではない かとの懸念があり、低損失なフィルタが開発できれば検証したいと考えている。

アンテナの性能データは紙面の都合もあり割愛するが、少しづつ改善されているので最新の状 況は直接、問い合わせて頂きたい。





改修後のMARBLE2号機(小金井)↑

改修後のMARBLE1号機(つくば)→

小金井局ではミスミの40mm角アルミフレームで副鏡を釣っているが、つくば局ではCFRPパイ プとし、次回の改修時に小金井も同様の構造になる。フィードが副鏡に近いため、シミュレーショ ンや京大METLABでのシールドルームでの近傍界測定から得た遠方界パターンと実際の副鏡への 照射パターンにはズレがあるが、これによる性能劣化を副鏡やフィードの距離を変えることで低減 することを狙い最初の改修では調整代を大きく取れる構造としたためである。その反面CFRPパイ

プより重量が増しているが、交換により軽量化され たうちの数kgは副鏡とフィードの微調整機構に回 される予定である。架台との結合部から上のアンテ ナの総重量は60kg程度であり、旧光学系から倍増 している。平置きで運搬すると大きなトラックが必 要になるので、右図のように斜め45度で固定でき る台座を作り荷台に搭載した。エレベータを通れな いので小金井、つくばともに屋上へは台座ごとクレー ンで吊り上げている。



位相補償と大気損失補正のための水蒸気ラジオメータ

川口則幸¹,河野裕介¹,小山友明¹,長崎岳人², and 前田 崇³

¹自然科学研究機構国立天文台 ²高エネルギー加速器研究機構

3 宇宙航空研究開発機構

概要

大気中の水蒸気は天体からの信号を減衰させるだけでなく伝搬速度を遅らせる。酸素や窒素が大気中 に一様に分布しているのに対し、水蒸気は局所的に分布している。そのため、アンテナビーム中の水蒸気量 が時間的に変化することで水蒸気吸収量(減衰)や大気伝搬遅延が大きく変動する。吸収変動は観測天体の 強度変動をもたらし、遅延変動は干渉計の位相を大きく変化させる。ここでは、これらの変動を補償するた めの水蒸気ラジオメータの開発について述べる。

1 大気中水蒸気の影響

大気中の水蒸気は天体からの信号を減衰させる だけでなく伝搬時間を遅延させる。大気中の酸素や 窒素が大気中に一様に分布しているのに対し水蒸気 は局所的に分布し、密度の濃淡が風に流されアンテ ナビームをよぎると、水蒸気吸収量(減衰)や大気 伝搬遅延が時間的に大きく変動する。吸収変動は観 測天体の強度変動をもたらし、電波干渉計の位相を 大きく変動させる。図1は、オンサラ水蒸気ラジオ メータで計測された大気吸収量の変動を示す。2週 間の間に大気の光学的厚さは 0.1 から 0.3 に大きく 変化している。特にアンテナビーム内に雲が入ると 水滴による大きな吸収を受ける。雲は電波天文観測 中に日常的に発生する。特に VLBI 観測では、すべ ての観測局で雲がまったくない状況は考えにくい。 高度 2.4km から 2.9km にしばしば発生する高層雲 (水滴密度 0.41g/m³) でも 43GHz 帯の観測では 20 Kのシステム雑音温度の上昇が生じる。濃密な雲で は90Kに達する。図2に濃密な雲の場合の吸収に よる雑音スペクトルを示す。この雑音温度上昇は3

mm/hour の降雨時とほぼ同じである。



図1 オンサラで計測された大気吸収変動[1]



図2 濃密な雲による吸収雑音スペクトル

大気伝搬時間の変動は、VLBI 観測の重要な計測 量である *τ*_g (幾何学的遅延時間)に大きな変動をも たらす。その変動は測地観測における大きな誤差要 因になるばかりでなく、干渉位相の変動による大き なコヒーレンスロスを発生する。図3は、43GHz帯 で仰角30度における損失係数を積分時間に対してプ ロットしている。積分時間60秒で50%の信号強度 が失われる。



図 3 大気の揺らぎによるコヒーレンスロス ($\sigma_y = 1.2x10^{-13}@1sec$)



図 4 経路積分法で得られた大気遅延の方位角依存 (2016 年 5 月 31 日@上海天文台)

測地 VLBI や位置天文 VLBI 観測における水蒸気 遅延の補正は、現在広く GPS 天頂大気遅延計測デー タによって行われている。測地/位置天文観測では 様々な仰角・方位角で観測を行うので、仰角に対し ては「Mapping Function」を導入して補正を行ってい る。しかし方位角の補正は全くなされていない。図 4に電波経路積分法によって明らかにされた大気遅 延の方位角依存性を示す。この図から、この日の上 海では南方向の大気遅延が約1 c m大きいことが分 かる。水平成分で 2-3mm の精度を達成している測 地 VLBI 計測において 8mm に及ぶ鉛直成分の誤差 改善のためには、この差は無視できない。次節で述 べる水蒸気ラジオメータは、任意の方位角・仰角に おける水蒸気量と水滴による吸収量が計測できるた め、その開発と望遠鏡への搭載が強く望まれる。

2 水蒸気ラジオメータ

水蒸気ラジオメータは電波天文観測だけでなく、 電波位置天文観測、測地 VLBI 観測や GPS 測位に とっても重要な役割を果たす。日本ではこれまで情 報通信研究機構鹿島宇宙センタで開発したことがあ る [2] ほか、宇宙科学研究所の朝木氏が 22GHz 帯の 水蒸気放射スペクトルの計測に挑戦している [3]。国 立天文台では、アルマ計画で183 GHz のラジオ メータを開発し干渉計の位相揺らぎの補正を行って いる [4][5]。183 GHz 帯のラジオメータは水蒸気 に対する感度が高く、アルマサイトのような高地で は有用であるが、標高の低い観測局(VERA 観測局 など)では計測値が飽和して使用できない。世界の 電波観測関連機関では、米国立電波天文観測所 [6]、 オンサラ電波観測所 [1] や NASA/JPL が積極的に開 発を進めている [7]。独ボンの100m望遠鏡では副 鏡背面に水蒸気ラジオメータを設置して大気補正に 使用している [8]。スイスのベルン大学 [9] やオース トラリアでも開発している [10]。ベルン大学で開発 した狭帯域・高感度ラジオメータでは高度20 km を越える成層圏中の水蒸気検出に成功している。ま た、オーストラリア CSIRO で開発したラジオメータ は 4x10⁻¹³ という高い計測精度を達成している。

我が国では高エネルギー加速器研究機構(KEK)の 研究者がLiteBirdの地上試験装置として水蒸気ラジ オメータを開発した[11]。このラジオメータ(KU-MODES)は18-32GHzという広帯域の水蒸気 放射スペクトルを検出し、集中豪雨の早期予報を目指 している。水蒸気ラジオメータは気象分野にも多く 導入されており、日本の気象研究所では米国 Radio-Metric 社製を、防災科学研究所では独 RadioPysics 社製を購入している。気象研究者は水蒸気の高度分 布(距離情報)を必要としているが、ビーム内の積 分量だけが計測可能な水蒸気ラジオメータでも火山 噴煙中の2次元水蒸気濃度分布の計測は可能で、新 たな応用分野が開かれつつある。

3 KEK 共同実験

KEK の KUMODES では、広帯域スペクトルの計 測に市販のアナログスペクトルアナライザを使用し ている。そこで、国立天文台が開発した広帯域デジ タル観測装置を KUMODES の受信部出力に接続し てスペクトルを計測したところ、20-24 GHz の 周波数でシャープな水蒸気の吸収ラインの計測に成 功した(図5)。計測精度は 1.7x10⁻¹³ で世界最高の 精度を達成した。VERA 電波望遠鏡などに搭載可能 な実用機の開発が強く望まれる。



図 5 KUMODES+OCTAD で検出した水蒸気スペ クトル(2016 年 12 月 1 日@KEK)

謝辞

KEK 実験では、エレックス工業株式会社が高速A D変換装置や信号入力を適正にするために必要な増 幅装置や帯域制限フィルタを提供し、計測データの 取得も行っていただきました。深く感謝いたします。

参考文献

- Peter Forkman, Patrick Eriksson, Anders Winnberg, The 22 GHz radio-aeronomy receiver at Onsala Space Observatory, Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, Vol. 77, PP. 23-42, 2003
- [2] N. Kawaguchi, Water Vapor Radiometer: Challenge Again, TDC News No. 36, PP. 4-8, 2016

- [3] 朝木 義晴,小林 秀行,石黒 正人 他,22GHz 水蒸 気ラインによる大気位相遅延の測定-水蒸気輝 度温度と「はるか」ラウンド・トリップ位相との 比較実験、電子情報通信学会技術研究報告:信 学技報、Vol.100m PP. 1-6,2000 年11 月 24 日
- [4] Satoki Matsushitaa, Koh-Ichiro Moritac, Denis Barkats, Richard E. Hills, Ed Fomalont, and Bojan Nikolic, ALMA Temporal Phase Stability and the Effectiveness of Water Vapor Radiometer, Proc. SPIE 8444-125, 2012 DOI: 10.1117/12.925872
- [5] Yoshiharu Asaki, Satoki Matsushita, Edward B. Fomalont, Stuartt A. Corder, Lars-ke Nyman, et al., ALMA long baseline phase calibration using phase referencing, Proc. SPIE 9906, August 8, 2016; doi:10.1117/12.2232301
- [6] C.L. Carilli and M.A. Holdaway, Tropospheric Phase Calibration in Millimeter Interferometry, Radio Science, Volume: 34, Issue: 4, PP. 817-840, July-Aug. 1999
- [7] Alan B. Tanner and A. Lance Riley, Design and performance of a high-stability water vapor radiometer, RADIO SCIENCE, VOL. 38, NO. 3, 8050, doi:10.1029/2002RS002673, 2003
- [8] A. L. Roy, U. Teuber and R. Keller, The Water Vapour Radiometer at Effelsberg, Proceedings of the 7th European VLBI Network Symposium, October 12th-15 2004, Toledo, Spain
- [9] R. Bleisch, N. Kämpfer, and A. Haefele, Retrieval of tropospheric water vapour by using spectra of a 22 GHz radiometer, Atmos. Meas. Tech., 4, 18911903, 2011, DOI:10.5194
- [10] Balthasar T. Indermuehle, Michael G. Burton, and Jonathan Crofts, Water Vapour Radiometers for the Australia Telescope Compact Array, www.publish.csiro.au/journals/pasa
- [11] 長崎岳人,田島治,荒木健太郎,石元裕史,小南欽 一郎、電波観測技術を応用した雲発生予測シス テムの開発-18-32GHz 帯試作機による大気水 蒸気量観測試験、2015 年秋季天文学会、V112a

EAVN ステータスおよび 2017 年春観測について

秦 和弘(国立天文台 水沢 VLBI 観測所)

■ 東アジア VLBI ネットワーク

東アジア地域における VLBI 協力は現在急速に進展している。日本の VERA, JVN や韓国 KVN それぞれの運用に加え、VERA と KVN を統合した KaVA の定常運用も軌道に乗りつ つある。一方で中国では Tianma 65m 鏡や FAST 500m 鏡のといった次世代の電波望遠鏡 が登場し、さらにはタイを始めとする東南アジア地域にも電波望遠鏡建設の機運が広がりつ つある。東アジア VLBI ネットワーク(East Asian VLBI Network; EAVN)はこうした東 アジア・東南アジア地域に分布する電波望遠鏡群を合成し、この地域で1つの巨大な VLBI ネットワークを形成する国際共同事業である(図1)。電波望遠鏡の数は計 20 台前後にの ぼり、受信バンドも 1GHz 帯から 100GHz 帯と広く、完成すれば EVN や VLBA といった 既存の VLBI ネットワークを凌駕する高性能アレイがアジア地域に誕生することになり、 AGN や星形成、アストロメトリに至る幅広いサイエンスが自前の装置で強力に推進できる ことになる。EAVN は現在主に日韓中のメンバーからなる Tiger Team を中心に、共同利 用観測の早期オープンに向けてコミッショニングを行っている。



図1:東アジア VLBI ネットワーク。

■ 2016 年の Tiger Team 活動実績

定例会議については、本年はスカイプによるインターネット会議を9回、EAVN ワークシ ョップ(貴陽)における F2F ミーティングを1回行った。本年度の最も大きな活動実績と しては、フリンジ観測、イメージング観測を含む EAVN 試験観測を計6回実施したことで ある(3回@Q バンド、2回@K バンド、1回@C バンド)。前年まで年1~2回程度のフ リンジ試験のみだったことを考えると格段の進歩である。これら試験観測により EAVN(KaVA+Tianma 43GHz)ファーストイメージ(図2)を取得することに成功した(た だし Tianma はトラブルが多発しフルスペックをまだ発揮していない)。また、22GHz 帯 では5500km 基線を構成する Urumqi 局を含めた初の EAVN 観測が実現した。まだ解決す べき課題を多く抱えているものの、上記以外にも様々な面で進展(特に中国との連携強化) があり、総じて定常運用早期実現に向け大きく前進した1年だったと言える。そこでコミッ ショニングを引き続き進めつつ、ここらでサイエンスのデモンストレーション的なイベント も行えないか、と考え以下のキャンペーン観測の提案をするに至った。



図2:EAVN 1st(0th?)イメージ(2016 年 3 月 M87 の KaVA+Tianma 43GHz)。

■ 2017 年春の EAVN キャンペーン観測について

2017年4月にALMAを含めた初めての1.3ミリ波グローバルVLBI観測(Event Horizon Telescope; EHT) が行われる。本観測では銀河中心 SgrA と近傍電波銀河 M87 が主要タ ーゲットであり、ブラックホールシャドーが史上初めて撮像されると期待されており、天文 学のみならず、メディアや一般社会からの注目度も非常に高まっている。そこでこのような 大きな科学的インパクトと高い関心を寄せる EHT+ALMA のタイミングに合わせ、EAVN でも合同キャンペーン観測を行うことは EAVN の活動やアレイパフォーマンスを広い天文 コミュニティにアピールする上で絶好のチャンスである。実際この観測のサイエンスメリットも非常に大きい。というのも、EHT でシャドーを確証するためには周辺の明るいガス(降着円盤、ジェット)の詳細な性質を知っておく必要があり、高品質なイメージを取得可能なEAVNの方が周辺ガスの物理状態を決定するのに向いているからである。また SgrA については同時期の星間散乱の効果を知る必要があり、低周波 22/43GHz で行われる EAVN 観測はその影響を詳しく制限するのに理想的である。従って本 EAVN キャンペーンは単なる試験観測・宣伝活動にとどまらず、科学的にも十分な価値があり、EHT と非常に相補的な役割を担うことができるのである。観測スケジュールについては現在調整中である。KaVA7局に加え、中国から Tinama 局、Urumqi 局、日本から高萩局、日立局、野辺山局、韓国からさらにセジョン局が参加を検討している。実現すれば最大 13 局参加(22GHz 12 局、43GHz 10 局)という EAVN 史上最大規模の観測が実現し、EAVN の強力な撮像性能(図3)を確かめる重要なデータが得られるだろう。



図3:EAVN が完成した場合のイメージングシミュレーション(M87@22GHz 想定)。EAVN では解像度、感度、撮像品質の全てが VERA/KaVA に比べて格段に改善すると期待される。

43GHz帯 VERA両偏波化 の現状

萩原喜昭 (東洋大)、鈴木駿策、小山友明、河野 裕介、秦和弘 (国立天文台)、他研究チームメン バー

VERA水沢・入来2局を22GHz帯に続いて、43GHz 帯で左右両偏波同時受信化をし、韓国VLBIネット ワーク(KVN)と組み、日韓5局の偏波VLBIネッ トワークを構築することを目指している。上記計 画は科研費の研究課題としてすでに採択され進め ており、2016年度は4年計画の2年度目になる。 その進捗状況と今後の予定をまとめた。

概要

 ○ VERA(水沢・入来局)を43G帯で両偏波同時受 信化し、KVN3局と組み、日韓5局の偏波VLBIネッ トワークを構築する。

○ 予算・研究目的は、科研費 (基盤B:ミリ波帯 偏波 VLBI 観測によるブラックホールジェットの 収束機構の解明)とその内容に基づく。また、国立 天文台からの人的・その他予算的サポートの協力 関係を基に進めている。

○ H27年度からの4年計画:前半の2年度で開発
 と試験測定を実施し、後半の2年度でAGNジェット収束機構解明をテーマとして研究を進める。

開発・試験項目

○ 水沢・入来2局の43GHz帯受信機を、左右両偏 波同時受信できるようにする。 ◦国立天文台が開発し、現在運用している(水沢)ソ フトウエア相関器(Softcos)へ、偏波データ処理機 能を付加する。

。KVNとの偏波VLBI性能試験 (D-term測定等)

本計画での開発項目として、1) VERA2局の望遠 鏡の左右両偏波同時受信を可能にして、天体の磁 場計測を可能にすること、2) 天文台のソフトウェ ア相関器に偏波処理機能を付加し、偏波観測デー タの処理を出来るようにすること、3) KVNとの偏 波VLBI性能試験を経て日韓VLBIネットワークを構 築すること、である。その実現のために、今年度 は上記1)と2)に主に着手した。2)に関しては、今 年度にSoftcosで試験を実施し、偏波相関処理が 可能であることを実証した(小山ら)。今後は、 22GHz帯等の試験観測による実データを取得して、 同相関処理性能を検証していく。

受信機の現状

本計画では水沢・入来2局の43GHz (Q-band)帯 受信機の左右両円偏波同時受信化を進めていく。 これを実現することにより、VLBI偏波観測が可能 になる。



図1: VERA水沢・入来局受信機ブロック図。2-beam 受信機のA-beamだけを両偏波受信化する。両局とも、 右円偏波用のQ帯LNAがデュワー内部に設置されてい るので、右偏波用の43G帯周波数コンバーターを新た に両局用に製作して設置すれば、左右同時偏波受信が 可能になる。 現況ではQ-band LNAは両偏波分設置されてい るが、IF帯への周波数変換器がないため、43G 帯の同時受信観測が出来ない。よってVERA20m 鏡のフロントエンド部に43G帯で右円偏波受信 用の周波数コンバーターを新たに設置すること が必要である (図1,2)。本年度から、天文台の開 発グループにより(河野, 鈴木ら担当)、水沢・入 来2局分の合計2台の周波数コンバーターの製作 が開始され、同2局に搭載される予定である。 製作後は、実験室での測定を経て、偏波試験観 測データを利用しながら、通常運用できるよう に必要なシステムを順次整備していく。

H28年度は、OCTAD(超高速A/Dサンプラー)を 入来局に導入する作業を進めてきた(図2)。 OCTADの導入により、22GHz帯以下の周波数 帯では、現状よりさらに広帯域での受信が可能に なる。(43G帯でのOCTADによる高速サンプリン グは、H27年度の実験を経て、断念することになっ た。)

年次計画

本計画は4年度計画で進める。前半2年間で開発・ 改修、後半の2年間で試験観測を経た後、科学観 測及び理論考察を実行して、AGNジェットの収束 機構の解明に向けた研究を進める予定である。

H28年度の進行状況のまとめ

o OCTADの導入 (入来局)

22G帯までOCTADでdirect samplingが可能になっ た。43G帯では、direct samplingは現状では出 来ないが、(共通IF帯での) 広帯域受信は可能にな る。

H27度に、43G帯周波数ダウンコンバータ(DC)の 製作へ方針転換したのに伴い、DCの部品を揃え、 組立てを天文台にて開始した。



図2: 受信機フロントエンドの改修概略図。43G 帯は既存のアナログ系を利用する。22G帯は OCTADを利用した広帯域の受信が可能になる。

o水沢ソフトウェア相関器:両偏波処理の試験が進み、試験データによる両偏波相関処理が成功した。 今後は、実観測データを基に(長時間)相関処理を 試みていく予定。

H29年度以降

H29年度は、VERA2局での試験観測等を終えた後、 VERA2局+KVN3局の計5局でのVLBI偏波試験観 測を実施する。水沢、入来局のD-term測定などの 性能測定試験を経て、科学試験観測に移行してい く。H30年度は、M87をはじめとして、AGNジェッ トの偏波モニターを開始して、フレア直後のジェッ トの構造の変化の様子を、時間分解能も上げたモ ニターでイメージングしていくことを目標にする。 M87以外の天体も絞り込んで観測していく。

H30年度後半には、本科研費研究課題の成果の報告を兼ね、特にAGN偏波観測をテーマにした国内研究会の開催を検討していく。
地球規模の測地基準座標系(GGRF)に関する国連総会決議

宮原 伐折羅 国土地理院

1. はじめに

地球規模の測地基準座標系(GGRF: Global Geodetic Reference Frame)は、地球の形状、回転及び重力場とその時間変化 を記述するもので、全ての科学において地球上で同じ基準のもとに位置を記述するための基盤を与える.地球は、潮汐、地球回 転、プレート運動、地球内部での質量の移動などによって、絶えず変形を続けているため、正確な GGRF を実現し、維持する ためには、地球全体で測地観測を継続することが必須である. GGRF で表現されるのは、地球の幾何的な三次元の形状、重力 場に支配される高さ、地球の回転、重力で、このうち地球の三次元の形状については、現在、国際地球基準座標系(ITRF: International Terrestrial Reference Frame) が実質の標準として広く用いられている. 全球統合測地観測システム (GGOS: Global Geodetic Observing System, 図-1) は、VLBI, GNSS (Global Navigation Satellite System), SLR (Satellite Laser Ranging), DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite) といった GGRF の実現に必要と なる様々な測地観測を地球規模で統合する観測システムで、現在の実質の標準である ITRF の実現を可能とする国際共同測地観 測の基盤となっている.しかしながら、GGOSのもとで行われる測地観測も、観測に基づいて実現される ITRFも、各国の自発 的な努力によって達成されているため、その継続性には保障がなく、各国の都合で予算の削減や担当者の異動・退職が生じた場 合, 容易に品質が低下してしまう危険性があることが指摘されている. そこで, 国際連合は, 2015 年 2 月の総会において, GGRF の社会・科学における意義を認めて、加盟国に対して GGRF を連携して維持・更新することを推奨する決議を採択した.(United Nations General Assembly, 2015). これは、測地学の分野で初となる国連総会決議で、この中では、GGRF を持続可能とする ために、国際的な基準や合意に基づき、各国が測地観測の維持・更新を行うことや測地に携わる人材・能力の開発を強化するこ とが推奨された.本稿では、GGRF を維持・更新に向けた国連の取組みを紹介する.

2. 地球規模の測地基準座標系(GGRF)に関する国連総会決議

2.1 決議の採択と要点

国際連合は、2015年2月26日、第69回総会第80回本会議において、GGRFが社会・経済的に重要な基盤インフラである ことを認めて加盟国全体で連携してGGRFを維持することを推奨する決議を採択した.決議案は、国連の専門家委員会である、 国連地球規模の地理空間情報管理に関する専門家委員会(UN-GGIM: United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management)のもとに設置された、測地学の専門家からなる作業部会によって作成された.作業部会 は、オーストラリア、ノルウェーを共同議長に20カ国を超える参加国をメンバーとして2014年に活動を開始し、日本からは、 国土地理院がメンバーとして決議案の作成に貢献した(宮原,2015).決議案は、UN-GGIMで承認された後、フィジーを提案 国として日本を含む52か国の共同提案で国連総会に提出され、全会一致で承認された.決議では、GGRFが世界全体の協力が あってはじめて実現しうるもので、どのような実力のある国であっても一か国では構築と維持を成しえないことを踏まえて、加 盟国全体で連携して GGRFを維持するための協力を強化することが明記された.決議は、6 つの決議文で構成され、それぞれ のポイントは以下である.1)GGRFを開発・維持するためのロードマップ(行動計画)を作成すること.2)途上国に対して GGRFの開発・維持に必要となる能力開発のための技術的な支援を強化すること.3)GGRFの開発・維持に必要なデータや基 準を自由に共有すること.4)GGRFの開発・維持に必要となる測地観測を行う施設を各国が責任を持って適切に改良・維持す ること.5) 観測施設が不足・重複しないよう多国間で協力すること.6) GGRF の重要性に対する社会の理解が深まるよう広報・普及活動をすること.決議の実施に向けて,まず決議文1が示すロードマップを作成が進められた.ロードマップは,決議案の作成を行った作業部会が引き続き作成し,日本からは,国土地理院が引き続きメンバーに参加して活動に貢献した.

2.2 決議を受けた活動と今後の展望

決議の実現に向けたロードマップでは、決議で推奨された5つの項目、1)測地インフラ(観測施設、ソフトウェア、組織等)、 2)データ共有・方針・基準、3)教育・訓練・能力開発、4)広報・アウトリーチ、5)ガバナンスに関して、加盟国が重点的 に取り組むべき分野として位置づけたうえで、それぞれに対して、GGRFを取り巻く現在の状況を分析し、持続可能な GGRF を達成するにあたっての課題を整理するとともに、課題解決に向けた対応策を検討することによって、今後の活動の方針を示し、 GGRF の重要性に対して政策決定者をはじめ、広く社会の認識を向上することとした(UN-GGIM Working Group on the Global Geodetic Reference Frame, 2016). ロードマップでは、例えば、測地インフラの項目に関しては、測地観測施設、特に VLBI・SLR の老朽化が激しいこと、地球上での観測局の空間的な配置が均等でなく特に途上国で観測局が不足していることなどを課題と認 識して、この状況を踏まえて、各国が十分な測地観測施設を設置すること、IAG の策定した計画に従って現在運用されている観 測局への投資を継続すること、測地観測システムの更新、特に次世代 VLBI・次世代 SLR へ更新を行うこと、根幹観測局(複 数の宇宙測地技術を併設した局)の不足を特に開発途上地域(アフリカ東南アジア、南米、カリブ海)において解消することが 推奨されている.他の項目に関しても同様に課題の分析と解決策の提案が行われた.ガバナンスの項目では、決議の実施に向け て適切な連携を行うために国家間で適切な調整を行う組織が必要であることに留意して、測地に関する国際的な調整を行うガバ ナンス機構の提案が盛り込まれた.

ロードマップは、2016年8月にUN-GGIMの第6回会合に提出され、作業部会の活動に対する評価とともに承認された.こ の会合では、ロードマップの承認に加えて、ロードマップを作成した作業部会を国連の恒久組織に昇格させ、専門家委員会の下 に準委員会として位置づけることで、決議の実現に向けた活動を強化し、ロードマップを具体に実施するための実施計画の作成 を継続することが決定された.これによって、さらに具体的な活動が推進されるとともに、GGRFの維持に向けた活動への途 上国からの参加の促進が期待される.国土地理院は、日本から引き続き準委員会のメンバーに加わり、具体的な活動を推進する 実施計画の作成に貢献していく.

4.まとめ

GGRF は、地球上で正確な位置を記述するための世界共通の基盤で、GGOS をはじめとした、国際的に共同した測地観測を 継続することによってはじめて正確に実現され、維持することが出来る.国連総会は、2015 年に GGRF の社会・科学における 意義を認めて、加盟国が連携して GGRF を維持することを決議した.決議の実施に向けて、ロードマップの作成、実施計画の 作成が進められ、日本からも活動に参加して貢献を行っている.今後も GGRF の維持に貢献するためには、日本も引き続き活 動に参加して世界の動向を把握するとともに、国際的な連携を継続していく必要がある.高い品質の GGRF を実現・維持する ためには、地球上に出来る限り多くの観測局を均等に配置して測地観測を継続することが必要で、そのためには、測地観測にお ける国際連携の継続が不可欠である.日本は地殻変動の激しいプレート境界に位置するため、絶えず活発な変動にさらされてお り、測地観測の密度が低下すると測地基準座標系は容易に現実の地球の形状と乖離して品質が低下してしまう.社会・科学に広 く裨益する正確な測地基準座標系を維持していくためには、測地観測を実施する各機関が GGRF の意義について発信を継続す ることで政策決定者から一般まで広くその重要性に対する理解を促進するとともに、VLBI をはじめとする測地観測を継続し、 技術の高度化に勤めていくことが必要である.



図-1. 全球統合測地観測システム(GGOS: Global Geodetic Observing System)の概要

謝辞

本稿執筆にあたっては, Gary Johnston 共同議長, Anne Jørgensen 共同議長をはじめ, 国連 GGRF 作業部会のメンバーから提供頂いた情報に依るところが大きい. この場を借りて感謝の意を表す.

参考文献

- United Nations General Assembly (2015): A global geodetic reference frame for sustainable development, http://ggim.un.org/docs/A_69_L53_E.pdf (accessed 31 December 2016)
- UN-GGIM Working Group on the Global Geodetic Reference Frame (2016): Road Map for the Global Geodetic Reference Frame for Sustainable Development, http://ggim.un.org/docs/meetings/GGIM6/E-C20-2016-4 20Global 20Geodetic 20Reference 20Frame 20Report.pdf (accessed 31 December 2016)

宮原伐折羅(2015):地球規模の測地基準座標系に関する国連総会決議と国土地理院の貢献,国土地理院時報,No.127, pp.75

SKA に向けての国内のパルサー観測について

亀谷 收、高橋慶太郎、今井裕、青木貴弘、SKA-JP・パルサーScience Working Group

要約

SKA においては、パルサー研究は非常に重要な観測対象であり、重力波天文学の一旦を担うという方向性もある。一方、日本国内では、SKA-JP 内のパルサーSWG において、パルサー研究について様々な検討が行われている。国内のパルサー電波観測について、現状と将来についてまとめた。

1. パルサーについて

パルサーB1919+21 が偶然に Bell と
 Hewish (Hewish, Bell et al.1968)によって
 1967年に発見されてから49年が経過した。
 これまで数千個のパルサーが発見された。10⁸
 ~10¹⁴Gaussの磁場、10⁹Gの表面重力、10¹²
 V の磁気圏中の電圧差など、パルサーは通常
 の天体と全く異なる物理状態にある(ex.
 Lyne and Graham-Smith,1998)。

これまでパルサーについては、Dispersion Measure、Rotation Measure, Pulse 周期、 Pulse 周期の減少率等の物理量によって、パ ルサー自体の研究がなされてきている。国内 では理論やX線観測等が進んでいる。近年、 電波位置天文学的な観測によって、パルサー の距離が直接求められようとしている。 Gwinn et al. (1986)の相対 VLBI 観測によ り、パルサーの視差が初めて三角測量で求め られてから、2016 年までに 86 個のパルサー で視差が同様の手法で求められている。最近 は、パルサータイミング観測のデータの蓄積 から、多くのパルサーで視差が求められてい る。

パルサーは非常に重要な観測対象であり、 パルサータイミング観測を行う事で、最近脚 光を浴びている重力波天文学の一旦を電波観 測により担うという方向性もある。

2. SKA-JP パルサーSWG の活動

Square Kilometre Array (SKA) 計画は、最 終的に 1 平方キロメートルの集光面積を持つ、 世界最大の電波望遠鏡を建設する国際的試み である。(SKA ホームページ:

http://japan.skatelescope.org/ska-project/)



図1 SKA のホームページ(日本用)

低周波数での究極の電波観測装置の位置づけ で、低周波数でなければできない研究を推進 する事を目指している。日本国としてこの計 画に参加するかどうか、現在議論が巻き起こ っている。 一方、SKA-JPは、国内のSKAに興味を持 つ研究者が自主的に集まり、SKA でできるサ イエンスを進める検討や日本としてどの様に 関わっていけるのか、検討している(ホーム ページ:<u>http://ska-jp.org/</u>)。

この下で幾つかある SWG の一つが、パルサ -SWG である。代表は熊本大の高橋慶太郎氏 が務め、メンバーはパルサーに関心を持つ理 論家、観測家など約 20 名が参加している。可 能であれば毎月 1 回程度のペースで行ってい る。パルサーに関連する論文紹介、実施され たパルサー観測報告と今後観測予定確認、研 究会の実施等の検討、等を行っている。

3. 最近の国内のパルサー電波観測と将来

現在、パルサータイミングや VLBI による 観測が国際的に進められているが、日本では 現在、理研の寺澤敏夫氏を中心とした Giant Pulse の観測に限定されている。今後、パル サータイミングや VLBI 観測の経験を国内で 積み重ねていく必要があろう。パルサーSWG の取りまとめでもある熊本大の高橋氏は、大 学院生も含めてオーストラリアでパルサータ イミングアレーの勉強を実施予定である。国 内では、次に挙げる電波望遠鏡がパルサー観 測できる能力を持っていると考えられる。(情 報は、暫定的なので、注意が必要。)

- 山口局 6GHz L/RHCP, 8GHz L/RHCP の4 系統の内、2 系統を同時に観測可能。バッ クエンドは、ADS3000+、2bit、帯域幅 512MHz、OCTADISK 記録
- 鹿嶋局 1.4GHz, 1.6GHz ADS3000+, 64MHz, 4bit 8ch 記録
- 茨城局 8GHz K5/VSSP32 64MHz 2bit sampling

- VERA 局 2GHz (、6GHz 、8GHz) ADS1000++ OCTADISK記録、K5/VSSP32 記録
- 飯館局 20-790MHz
- 臼田局 1.4GHz、2GHz (,5GHz、6GHz、 8GHz)

今後の要検討事項は、VLBI 観測実現のために ADS1000 系から ADS3000+系に将来統 ーするかどうかである。

パルサーの解析ソフトは、個別に作成してい る。将来共通化できると良いかもしれない。 パルサーについての様々な観測計画が進むこ とで、将来日本の研究者が本格的に SKA に参 加する足掛かりになる事を期待している。

4. まとめ

- ・SKA-JP パルサーSWG の活動が定期的に行われている。
- ・パルサーの研究については、国内では理論
 やX線観測等が進んでいる。
- ・電波は、以前にはパルサータイミング観測
 や国際的なパルサーの VLBI 観測が行われ
 ていたが、最近では、Giant Pulse の研究が
 進んでいる。
- ・今後、パルサー VLBI 観測等の国内の観測 の進展と海外との協力が重要である。
- ・SKAに向けての準備活動が重要である。

参考文献

- Hewish, A, Bell, S.J., et al., Nature, 217, 709, 1968
- Gwinn, C.R., Taylor, J.H., Weisberg, J.M., and Rawley, LA., Astron.J., 91, 338, 1986
- Lyne and Graham-Smith, 1998, Pulsar Astronomy

SKA-JP Engineering Working Group 活動報告

青木 貴弘

山口大学

1 概要

次世代電波望遠鏡計画 Squre Kilometre Array (SKA) への技術貢献を目指す SKA-Japan Engineering Working Group (EWG) の活動について報告する。SKA-JP EWG は 2009 年に始動したものの活動はやや下火だった が、2015 年に再始動させ、以降月一度のスカイプ会議を主として活動してきている。EWG の目標と活動内容 は下記の通りである。

目標: SKA に対する日本の技術的貢献を明確化し提案する

- 活動: SKA および SKA パスファインダーのシステム勉強
 - SKA に貢献できる技術の模索
 - 産業界との連携体制構築(東陽テクニカ熊澤氏の協力に基づく)
 - EWG メンバーからの報告

EWG の目標は日本としての技術貢献の提案であり、その提案は SKA 機構内で組織されている Work Package Consortia (WPC) に参加した上で行うことができる。その目標を達するため、上記の活動を通じて SKA Phase 1 での課題、Phase 2 での課題それぞれについて調査してきた。「日本として達成すべきサイエンスを定め、それを実現するために必要な技術を開発する」ことが流れとして理想的かもしれないが、それに固執することなく、SKA の抱える問題を解決する技術、あるいは SKA のみならず日本の将来の電波天文装置に寄与するような技術開発を目指している。定期的な会議参加や資料作成に携わってきた主たるメンバーは、青木貴弘(代表、山口大学)、熊澤寿樹(東陽テクニカ)、川口則幸(国立天文台名誉教授,上海天文台)、河野裕介、小山友明(国立天文台 水沢 VLBI 観測所)、氏原秀樹(NICT 時空標準研究室)、今井裕、中西裕之、赤堀卓也(鹿児島大学)である。

2 活動

これまでの活動のいくつかを以下に報告する。

2.1 SKA 機構における情報収集

国立天文台大学支援経費等の助成をもとに、鹿児島大学のメンバーが Jodrell Bank 観測所にある SKA 機構本部へ長期出向し、SKA について多くの情報を得ることができた。その情報は SKA-JP はもちろんのこと国

立天文台内でも共有され、日本のSKA参加検討の基礎となっている。EWGとしても多くの技術情報を得る ことができ、それに基づいて「高信頼」「省電力」「低価格」といった3つの視点から、様々な技術検討を行っ てきており、その成果は本会の別の講演でも報告された。

2.2 産業界との F2F 会議

(株) 東陽テクニカ・熊澤氏の協力により、NEDO や数社の企業と対面による会議を行ってきている。目的 は、日本国内では認知度が低い SKA の広報と、各企業のもつ技術情報の交換であり、数度の会議によって国 内企業のもつ潜在技術の把握と、継続した連携の重要性を確認した。特に NEDO/PETRA の開発した省電力 光 IO コア技術や、本会でも講演した (株) 東芝・加屋野氏の、省電力冷却受信機に着目し、その電波天文応用 について検討を進めている。

2.3 『SKA-JP「技術開発」地域会議 in 鹿児島』の開催

国内での SKA 計画に関連する技術開発を促進することを目的として、鹿児島大学の主催により研究会を開催した*1。SKA 関連技術の開発者を招待講師として技術を紹介してもらい、口頭発表とポスター発表のダブル講演、そして長めの休憩時間を確保することで、意見交換の機会を多く設けた。当日は研究機関や大学・高専など学術界から 32 名、民間企業など産業界から 16 名が参加し、活発な議論を行うことができた。今後も同様の研究会を日本各地で開催したいと考えている。



図1 SKA-JP「技術開発」地域会議 in 鹿児島

^{*1} http://milkyway.sci.kagoshima-u.ac.jp/skajp-ewg2016/

2.4 SKA パンフレットおよびエンジニアリングレポートの作成

(株)東陽テクニカ熊澤氏の協力により、図2のような産業界への広報用パンフレット*2を作成し、企業展示 会などで頒布した。またこれまでの調査に基づき、SKAの設計とWPCの担当技術について簡単にまとめ、 SKAが抱える課題とその解決のためにSKA-JPがどのように寄与しうるか検討したレポートを作成中である。 このレポートはSKA-JP EWGの活動報告を兼ねており、読者には学術界および産業界の研究開発者を想定 している。レポートは前述の鹿児島会議にて既に回覧し、ウェブ上に公開している*3。現在はまだ第1版で SKAの設計をまとめたものでしかないが、今後、SKAの抱える問題やその解決策の提案などについて加筆す る。それを基にしてさらに具体的な技術検討を行い、WPCへの参加を目指す。



図 2 SKA パンフレット (左) と SKA エンジニアリングレポート (右)。

2.5 具体的な開発に向けた研究費申請

SKAへの技術参入に向け、中西、半田、今井(鹿児島大学)や河野(国立天文台)を研究代表者として、科研 費を含むいくつかの研究助成に応募し、開発準備を勧めている。例えば、省電力冷却受信機の臼田 64 m 鏡へ の搭載、超広帯域フィード及び超伝導フィルタの NICT 鹿島 34m 鏡及び VERA 入来 20m 鏡の搭載、また相 関器やビーム形成器の役割を担う中央処理施設(Central Signal Processor; CSP)に応用できる技術開発を目指 し、NEDOと PETRA で開発した省電力光 IO コアの FPGA ボード実装と、NIIの提案する水没冷却を FPGA ボードに応用する実証実験を行う予定である。後者の開発は CSP に使われる FPGA の省電力化などを目的と しており、CSP WPC に参加し SKA の根幹をなすシステムの開発を目指す。またそれとは別に、CSP 装置の VLBI モジュール開発などについても応募を検討し、将来の技術開発の準備を進めている。

^{*&}lt;sup>2</sup> http://milkyway.sci.kagoshima-u.ac.jp/skajp-ewg2016/contents/SKAJP_Booklet_2016.pdf

^{*3} http://milkyway.sci.kagoshima-u.ac.jp/skajp-ewg2016/contents/SKAJP_Engineering_Report_2016.pdf

3 今後

これまでの活動により、SKA がどのような課題に直面し、それをどのように解決しようとしているのか、あ るいは議論を棚上げにしているのかなどについて把握できつつある。それを前述のエンジニアリングレポート として記録し、今後の活動の基礎資料とする。それらの情報は、日本学術振興会や国立天文台などからの各種 研究助成にもとづいて得られたものであり、これまでの検討活動の基礎となっている。しかしながら、非参加 国で WPC へも参加していない現状では収集できる情報には限りもあり、必ずしも詳細を把握するには至って いない。SKA に参加するには、WPC への参加がその第一歩であり、ほぼ必須である。そこで今後の活動とし て、これまでの調査をもとに具体的に何の技術で寄与するかを検討、決断し、WPC への参加を目指す。

水沢 VLBI 観測所 SKA サイエンス WG での検討状況

廣田朋也¹ and MIZ-SKA-SWG メンバー^{1,2}

¹国立天文台水沢 VLBI 観測所 ²山口大学

概要

国立天文台水沢 VLBI 観測所では、2015 年度に立ち上げられた「水沢 VLBI 観測所 SKA サイエンスワー キンググループ (MIZ-SKA-SWG)」において、将来計画の1つの選択肢として SKA におけるサイエンス の検討を始めている。最終報告は 2016 年度末から 2017 年度半ばに発表される予定である。本発表では、 MIZ-SKA-SWG での活動内容について報告する。

1 はじめに

2014 年度、水沢 VLBI 観測所では将来計画のための所内シンポジウムを3回開催した。そこでは、最初 に現在進行中または計画中のプロジェクト全般 (VERA, EAVN, global VLBI, ミリ波 VLBI, スペース・気球、 ALMA、SKA)を検討し、2回目以降は SKA を選択肢の1つとして重点的に議論を進めた。現時点では、水沢 VLBI 観測所は将来計画として SKA が確定しているわけではないが、SKA1 として建設が始まろうとしてい る現在、方向性について早急に決めることが求められている。また、SKA コンソーシアムからも計画推進に 向けた協力要請が 2015 年度初頭に提出されている。そこで、2015 年度から、観測所内のメンバーを中心に、 Mizusawa-VLBI observatory SKA Science WG を組織し、科学的な面を中心に議論を開始した。ただし、水沢 VLBI 観測所が将来計画を SKA に絞ったわけではなく、また、MIZ-SKA-SWG が将来計画として SKA を推 進するか他を選ぶかを決定するわけでもない、ということを明記しておく。

2 目標

MIZ-SKA-SWGの目標は、科学的な観点、特にこれまでに進めてきた VLBI、銀河系天文学、恒星物理学、 星形成、活動銀河核などの科学的研究をどのように発展させることができるか、という点を考慮して、水 沢 VLBI 観測所の将来計画として SKA にどのような貢献ができるかを議論することにある。以下の3点が MIZ-SKA-SWG でのチャージとなっている。

- これまでのサイエンスをどう発展させることができるか
 (銀河系位置天文、メーザー、星形成、晩期型星、AGN)
- 科学的手法をどう展開することができるか
 (高分解能イメージング、マルチビーム観測、位相補償など)
- 将来的な科学的動向を踏まえた上で、観測所の大きなリソースを将来配置するのにふさわしいか

3 メンバー

メンバーは、水沢 VLBI 観測所関係者 (出身者も含む) から、各専門分野で活発に研究を推進しているメン バーを推薦して組織した (表 1)。ただし、議論はオープンになっており、SKA 関係の情報が直接必要な場合は SKA コンソーシアム関係者にも参加を依頼している。

氏名	所属	担当分野
廣田朋也*	国立天文台	恒星、SETI、etc
秦和弘	国立天文台	AGN
本間希樹	国立天文台	FRB
元木業人	国立天文台/山口大学	星形成
新沼浩太郎	山口大学	トランジェント
坂井伸行	国立天文台	銀河系
(高橋慶太郎)	熊本大学	SKA コンソーシアム
(今井裕)	国立天文台	SKA コンソーシアム
/h #		

表1 MIZ-SKA-SWG メンバー

*; 代表

4 検討内容

WG は1ヶ月に 1,2 回の頻度でスカイプにより行なわれ、VLBI 懇談会シンポジウム時点では 28 回の会合 が開催されている。上記のチャージに従い、各分野担当者が SKA サイエンスブックの関連文書の紹介と自身 のアイデアなどを提案し、それについて詳細な議論を行う、というスタイルで進められている。現在は報告書 案の作成を進めており、2016 年度内、または 2017 年度半ばまでに最終報告書を発表する。この報告書をもと に、水沢 VLBI 観測所、および日本の電波天文学の具体的な将来計画検討が深められることを目指す。

日本の VLBI 天文学の将来について ~SKA 時代を見据えての私見~

国立天文台 水沢 VLBI 観測所 本間 希樹

1. イントロダクション

2016年末現在、国立天文台水沢 VLBI 観測所の主力装置である VERA は建設から 15年 を経ており、装置寿命を 30年として運用の中間地点に差し掛かっている。また、VERA の プロジェクト観測については 100 個規模のアストロメトリ成果がまとまりつつあり、現在 の中期計画中(2021年度末まで)の観測で一定の成果が挙がると期待される。また、水沢 VLBI 観測所の協力のもと進めている大学 VLBI 連携においては、望遠鏡が建設から 30年 程度が経過しており、2020年代の運用については今後検討が必要なフェーズにきている。 このような状況のもと、VLBI を基軸とする天文学の 10年後およびその先を見据え、将来 計画の方向性を考えるべき重要なフェーズに現在我々はいる。将来計画については、日本独 自のものを個別にやるという可能性ももちろんある一方で、天文学全体がビッグプロジェ クト化されている現代においては、グローバルな協力による大型装置についてもしっかり と検討していく必要がある。特に、VLBI 分野に絡む大型計画として SKA (Square Kilometer Array)が世界規模で進められており、日本の VLBI の将来を占う意味でも、今 後 SKA にどのように関わるか/ 関わらないのかの検討は必須である。

2. SKA と VLBI

SKA (Square Kilometer Array) は低周波電波天文学の次世代大型国際プロジェクトで あり、50 MHz から最大 22GHz 帯の周波数帯で1平方キロの開口面積を目指している(近 年の予算状況を見ると今後 re-baselining によりこれよりも小さな数字に再定義されること も有りうる)。初期運用フェーズであるである SKA-1 では、3 万平方メートル程度の開口面 積で運用を始めることが想定され、運用開始は 2022 年頃と考えられている。サイエンスに ついての詳細は別の文献などに譲るが、パルサーやトランジェントから重力波や宇宙論、さ らには SETI に至るまで、広い分野でリッチなサイエンス展開があると期待される。

その中でも、VLBI と SKA の共通項を考えると、観測技術的には観測周波数帯および観 測分解能が VLBI と非常に似通っている。例えば SKA-1 は 100km レベルの基線長から観 測を開始することになるが、SKA-2 では最大基線 3000 km 程度を目指しており、基本的に VLBI がこれまで観測してきた基線長・分解能のパラメータースペースと共通である。また、 SKA には phase-up による VLBI 局としての機能が定義されており、それが実現されれば 国際的な VLBI 観測網に SKA 局が参加して観測するモードが提供されることになる。その 場合、メートル波帯からセンチ波帯の VLBI 観測網の感度が劇的に向上するので、VLBI の 将来の発展形としても SKA は大変魅力的な装置である。図1には参考までに SKA とヨー ロッパおよび豪州の観測局、それにアジアに位置する KaVA を結んだ UV カバレッジを示 してある。図の実線で示したように最長基線はアジアと SKA 間の基線が提供することにな

り、このような国際アレイに日本やアジアが コミットすることも重要である。

サイエンス面では、国際 SKA の VLBI WG での議論で、南天のメーザーアストロメトリ が主要なサイエンスターゲットとして検討 されており、これは日本の VLBI コミュニテ ィーが VERA を用いて長年進めてきたサイ エンスの延長として大いに活躍できるテー マである。また、パルサーなどの低周波観測 については、これまで日本のコミュニティー が手薄な分野であったことは否めないが、例 えばパルサータイミングによる重力波観測 では、VLBI アストロメトリによるパルサー の距離決定の重要性が最近認識されており、 今後この分野でも我々が培ってきた経験が 役立つ可能性が高い。

もちろん、SKA を加えた国際 VLBI の観測



においては、アストロメトリ以外でも、高い感度を活かしてこれまでのAGN やメーザー等 の研究を飛躍的に発展させることも期待できる。また、新しいサイエンステーマとして今後 注目を浴びるであろう SETI についても、地上の混信を避けて信号の検出を確実なものに するためには VLBI モードの観測が必須であり、さらに、SETI の信号が検出された際には アストロメトリによる対象惑星の公転の確認が必須の観測となることから、これまでの 我々の技術と経験を活かして SKA 時代の新たなサイエンスをリードできる可能性は十二分 にある。

3. 日本の VLBI コミュニティーと SKA の関わり方(私見)

このような状況を踏まえ、SKA 時代の VLBI の有り方をしっかりと検討し、その時代に 備えて準備をする必要がある。具体的には国内で進めてきた VERA や大学 VLBI 連携の活 動を KaVA や EAVN などアジア地域の VLBI に拡張している現在の流れを継承し、その最 終形に SKA を含めたグローバル VLBI を位置付けるとともに、VLBI に関連した切り口で より直接的に SKA にコミットしていく方向性が考えられる。例えば、技術的には VLBI 用 の phase-up 機能追加や、高速なキャリブレーションのための解析パイプライン整備、ある いは現在予定のない高周波バンド(22GHz 帯)の受信機の整備などを通じて、SKA に貢献 する可能性について具体的に検討してみることは有用であろう。もちろん、VLBI コミュニ ティーだけに閉じることなく、例えば SKA-JP やより広範な波長のコミュニティーとも緊 密に連携しながら将来の検討を進めて行く必要がある。さらに、SKA 以外にも高周波帯で は ng VLA などの計画も検討されてきており、どの計画を将来の方向性として位置付ける かも検討を進めていく必要がある。

いずれにしても、今後コミュニティーの各自がしっかりと将来の方向性について考え、それを束ねて行くことで将来に向けた大きな流れを作っていくことが重要である。



図 2. 国内 VLBI からアジアでの地域連携を経てグローバルな VLBI を目指す方向性を表 した模式図。ミリ波の VLBI 分野では国際的アレイとしてはすでに EHT が実現しようと している。一方でメートル波からセンチ波帯では、SKA を含んだ VLBI を意識しつつ、 我々が SKA にコミットする可能性について、今後コミュニティーで検討すべきであると 考えられる。

日立 32m 電波望遠鏡を用いた 6.7GHz メタノールメーザー源の 高頻度モニター観測による 100 日未満の短周期強度変動天体の探査

山口貴大、米倉覚則、杉山孝一郎、齋藤悠、百瀬宗武(茨城大学)

概要

茨城大学では、周期変動天体のサンプル数を増やすため、日立 32m 電波望遠鏡を用いて 6.7GHz メタノールメーザー源の大規模なモニター観測を行っている。特に、2015/09/18 から現 在にかけては、143 天体に対し、各天体 4-5 日に 1 回という高い頻度でモニター観測を行ってい る。本研究では、この高頻度な観測データのうち、2016/11/23 までのデータに対して周期解析を 行い、100 日未満の短周期的な強度変動を示すメタノールメーザー源の検出を目指した。周期解 析には、Lomb-Scargle 法という不等間隔な離散的データにも適用可能な周期解析方法を用い たプログラム(茨城大学 安井氏 2015 年度修士論文 [1])を使用した。

解析の結果、周期性が検出されたのは 143 天体中 17 天体であり、そのうち初検出は 7 天体 であった。初検出の 7 天体の導出周期は 22.0±0.1-75.1±1.7 日であり、いずれも 100 日未満 の周期が検出された。よって、高頻度なモニター観測によって、短周期的な強度変動を示すメタ ノールメーザー源を検出することができた。

1. 研究背景·目的

6.7GHz メタノールメーザーは、大質量星 (≧8M_☉)の形成領域にのみ付随しており、その 多くが進化初期の原始星段階で検出されてい る。そのため、いまだ謎の多い大質量星の形成 過程を選択的に観測するプローブとして役立つ。

観測された 6.7GHz メタノールメーザーのう ちいくつかは、周期的な強度変動を示すものが 見つかっており、今までに 20 天体検出されて いる [3]-[8]。しかし、周期性を検出し得るほど の十分な期間と頻度で観測が行われた天体は これまでに 6.7GHz メタノールメーザー放射が 検出されている天体の数約 1000 天体に対し て 20%にも満たない程度と非常に少なく、統計 的な調査を行うにはサンプル数が不足している。 そこで茨城大学では、周期変動天体のサンプ ル数を増やすことを目的として、茨城県日立市 にある 32m 電波望遠鏡を用いて大規模なモ ニター観測を実施している。モニター観測は 2012/12/30-2014/01/10(第1期)、 2014/05/07-2015/08/24(第2期)の期 間、442 天体に対し、各天体 9-10 日に1回の 頻度で実施された。さらに、より短周期的な強 度変動を示すメタノールメーザー源の検出を目 指して、2015/09/18から現在(第3期)にか けては、観測天体数を143 天体に絞り、観測頻 度を上げて(各天体 4-5 日に1回)モニター観 測を行っている。

本研究では、日立 32m 電波望遠鏡を用いて 行われているモニター観測のうち、第 3 期の観 測データを用いて周期解析を行い、短周期的 な強度変動を示すメタノールメーザー源の検出 を目指した。

2. 観測

2.1. 観測概要

日立 32m 電波望遠鏡を用いたモニター観 測は、2012/12/30-2014/01/10(第1期)

2015/09/18-現在(第3期)の3期間にわ たって実施されている。このうち、本研究で対象 となる第3期は、143天体に対し、各天体4-5 日に1回の頻度で観測が実施されている。た だし、一部の天体は観測頻度が異なる。また、 検出感度は3σ~0.9 [Jy] を達成している。

2.2. 観測天体の選出条件

第3期の観測対象天体は、第1期と第2期 の観測対象天体 442 天体(赤緯≧-30 [deg]) から、以下の2つの条件を満たす143天体を 選出した。

- (1) 変動指数 (modulation index) = 標準偏 差 / 平均值 ≥ 0.30
- (2) 信号雑音比 (signal-to-noise ratio) = 信号の最大値 / 雑音 ≧ 7

3. 解析方法

本研究では、第3期の観測データに対して、 Lomb-Scargle 法という不等間隔な離散的 データにも適用可能な周期解析方法を用いた プログラムによって周期解析を行った。解析は、 2016/06/07-2016/11/23 にかけて、約8 日に1回(1つの天体につき観測データが2 回分たまる度に)行い、計17回行った。

また、以下の条件を満たすものを、周期変動 天体と同定した。

- (1) fap(false-alarm probability;誤警報確 率)<0.001
- (2) 観測期間に3周期以上捉えられること
- (3) 17回の周期解析全てで上記2つの条件 を満たすこと

4. 結果

周期解析の結果、条件を満たし、周期変動天 体と同定されたのは、143 天体中 17 天体で あった。そのうち、初検出は7天体(G0.167-0.44 、G 12.90-0.26 、G 19.75-0.12 、 G 25.82-0.17 、 G 32.03+0.06 、 G

2014/05/07-2015/08/24(第2期)、33.86+0.01、G35.79-0.17)で、初検出天体 の導出周期は、22.0±0.1-75.1±1.7日で あった。初検出天体の例として、周期が 47.2±0.6 日と導出された G 0.167-0.44 の スペクトルと強度変動プロット、周期解析結果 を以下に示す。



図1:G0.167-0.44のスペクトル。縦軸はフ ラックス密度、横軸は視線速度を表す。また、赤 線(濃線)は強度変動プロットで極大となる観測 日のスペクトル、青線(薄線)はその極大の直 前または直後の極小となる観測日のスペクト ルを表し、縦線は周期変動成分を表す。



図2:G0.167-0.44の強度変動プロット。縦 軸はフラックス密度、横軸は観測日を表す。



図3:G0.167-0.44の周期解析結果。左の縦 軸は正規化されたパワー、右の縦軸は誤警報 確率、横軸は周波数を表す。

5. 考察

今回、周期性が検出された17天体のうち、 初検出の7天体以外は、既知の周期とほぼ同 等の周期が導出された。よって、今回用いた周 期解析プログラムの妥当性が確かめられた。

また、周期が既知の天体と、第1期・第2期 の観測データの解析で周期性が検出された天 体、今回の第3期の観測データの解析で周期 性が初検出された天体について、周期のヒスト グラムを描くと以下のようになる。



図4:周期のヒストグラム

この図から明らかに、第3期の観測データの 解析により、短周期サイド(約100日未満)の 天体数が増加していることがわかる。よって、第 3期の高頻度なモニター観測により、短周期的 な強度変動天体を検出できるようになったと言 える。

また、長周期サイド(約100日以上)は、第3 期の観測データの解析では検出されていない ことがわかる。これは、今回用いた観測データで、 観測期間は最大で432日であるため、周期変 動天体の同定条件(2)を満たすには、導出周期 が144日未満でなければならないからである。

6. 今後の展望

モニター観測を継続し、今度はモニター観測 開始当初2012/12/30からのデータに対して 周期解析を行うことで、500日以上の長周期 変動天体の初検出、そして統計調査を狙いた い。

また、今回は周期変動天体の同定条件(3)を 課したが、17回の解析全てではなくとも1回 以上、条件(1)と(2)を満たす天体がいくつか あった。そのような天体を周期変動天体の候補 とし、なぜ条件を満たした時と満たさなかった 時があったのか、考察を進めたい。

さらに、今回は約8日に1回周期解析を 行ったが、より詳細に周期性を調べるために、 データを1日分ずつ増やして周期解析を行い たい。

参考文献

- [1] 安井靖尭, 2015 年度, 茨城大学大学院理工学 研究科 修士論文
- [2] 杉山孝一郎 他, 2015,『天文学会 2015 年秋季 年会』, P135a
- [3] Goedhart, S., et al. 2004, MNRAS, 335, 553
- [4] Fujisawa,K., et al. 2014, PASJ, 66, 78
- [5] Szymczak, M., et al. 2014, MNRAS, 439, 407
- [6] Szymczak, M., et al. 2015, MNRAS, 448, 2284
- [7] Maswanganye, et al. 2015, MNRAS, 446, 2730
- [8] Maswanganye, et al. 2016, MNRAS, 456, 4335

CORNISH H_{II} 領域を対象とした 6.7GHz メタノールメーザー 探査に基づく大質量星形成過程の研究

柴田 裕輝, 杉山 孝一郎, 米倉 覚則, 百瀬 宗武 (茨城大学)

概要

無バイアス観測に基づく UCHII 領域 240 天体をサンプルに、日立 32m 電波望遠鏡による 6.7GHz メタ ノールメーザーの探査を実施した。観測の結果、UCHII 領域の 12% から 6.7GHz メタノールメーザーが検 出され、共存期間は 5×10³ 年と判明した。メタノールメーザーが消失する前後の相関を (1) H_{II} 領域のサイ ズと (2) UCH_{II} 領域を取り巻くダストによる赤化の度合いから考察した。その結果、メタノールメーザーの 付随有無により、UCH_{II} 領域のサイズに差異は見られなかった。また、赤外線での 2 色図からも有意な差は 確認できなかった。これらは、メタノールメーザーが UCH_{II} 領域の進化段階と相関がなく、局所的な物理 状態に依存する可能性を示唆している。

1 研究背景・目的

6.7GHz メタノールメーザーは主に原始星の段階 から放射が見られ、星形成初期に出現するとされる。 一方で、H_{II} 領域は主系列に達した恒星が周囲の中性 水素を電離することで生じる領域のため、星形成後 期の指標として捉えることができる。しかし、星形 成後期の H_{II} 領域からメタノールメーザーが検出さ れる例もあり、両者の共存期間や詳しい共存の様子 はまだよくわかっていない。両者の共存期間を定量 的に導出することができれば、メーザーや各種分子 輝線の付随有無で明確に進化段階を切り分けられる 可能性がある。また複数の指標を組み合わせること で、星形成全体の時間を解明できると考えられる。

UCH_{II} 領域と 6.7GHz メタノールメーザーの関連 性を調べた先行研究に Walsh et al. (1997, 1998) が挙 げられる。この先行研究では、IRAS の中間赤外線 3 波長 (12, 25, 60 μ m) のフラックス比で選出した原 始星候補天体に対し、Parkes 64m 鏡による 6.7GHz メタノールメーザーの観測を実施した [1]。さらに、 メタノールメーザーが検出された領域に対しては、 Australia Telescope Compact Array (ATCA) を用いて UCH_{II} 領域の付随有無を調査した。その結果、233 の メーザー領域のうち、8% に UCH_{II} 領域が付随してい ることが明らかになった [2]。しかし、この先行研究 ではメタノールメーザーの寿命が未解明であるため、 付随率から共存期間の長さの特定ができなかった。

そこで本研究は、発現期間が既に解明されている

UCH_{II} 領域を対象に 6.7GHz メタノールメーザーの 付随率の導出、及び両者の共存期間の特定を試みた。

2 観測

2.1 観測の実施

観測には日立 32m 電波望遠鏡 (日立局)を使用し、 231/240 天体を 6 日間に分けて実施した (観測期間: 2014/8/19 ~ 2016/2/10)。1 天体につき 300 秒の積分 を実施し、最終検出感度 (5*σ*) ~ 1.5 Jy を達成した。

2.2 観測対象の選出

観測対象は CORNISH (Co-Ordinated Radio' N' Infrared Survey for High-mass star formation) データ ベースに記載された UCH_{II} 領域 240 天体である。 CORNISH survey は銀河面高分解能探査プロジェク トの一環で、Spitzer 宇宙望遠鏡による中間赤外線探 査領域 northern GLIMPSE I region (10° < *l* < 65°) を 対象に、Very Large Array (VLA) を用いた 5GHz 電 波連続波の観測を実施した [4][5]。

本研究では観測効率を向上させるため、次の 条件を課して観測対象数に制限をかけた。銀経 $10^{\circ} < l < 20^{\circ}$ の範囲は、既に Methanol Multi-Beam (MMB) survey [5] による 6.7GHz メタノールメー ザーの無バイアス観測が実施されている。このプロ ジェクトでは Parkes 64m 鏡及び ATCA を用いて、 高感度 $(1\sigma \sim 0.17 \text{ Jy})$ かつ高い位置精度 $(\sim 0.4")$ で 119 のメーザーを同定した。そのため、 5GHz 電波 連続波で 7σ 以上の強度を示す UCH_{II} 領域上に、既 知のメタノールメーザー源が存在する場合を「UCH_{II} 領域に付随する」と判断し、9天体は観測しなかった。

3 結果

231 の観測対象のうち、106 の UCHII 領域からメ タノールメーザーを検出した。また同時期に、本観 測と並行して実施された銀経 20° < l < 60°の範囲 における MMB survey のカタログ [6] が公表された。 したがって、UCH_{II}領域のマッピングデータに対し、 カタログに記載された精度の高い MMB survey の位 置座標を用いてメーザーの付随有無を判断した (§2.2 の選出方法に同じ)。その結果、MMB survey でも発 見されなかったメーザーを持つ UCH_{II} 領域が2天 体、メーザーが付随する UCH_{II} 領域が 28 天体、メー ザーが付随しない UCHII 領域が 210 天体であること がわかった。新検出のメーザー源については、単一 鏡観測ではどちらの UCHII 領域に付随するかを分離 することができないため、今後の統計から除外した。 よって、UCH_{II}に対する 6.7GHz メタノールメーザー の付随率は12%(28/238)と求まった。

4 考察

4.1 6.7GHz メタノールメーザーと UCH_{II} 領域の共存期間の導出

Strömgren 球モデルに従って形成された初期 H_{II} 領 域が、圧力平衡に達するまでの過程を理論的に計算 することで、UCH_{II} 領域の寿命は 4×10^4 年と求めら れている [8]。本観測により、UCH_{II} 領域に対するメ タノールメーザーの付随率は 12% と判明したため、 共存期間は 5×10^3 年と算出できた。

4.2 UCH_{II} 領域のサイズと 6.7GHz メタ ノールメーザーの付随有無の相関

 H_{II} 領域は電離領域を広げながら成長する。よって 進化早期段階を特徴付ける 6.7GHz メタノールメー ザーが付随する UCH_{II} 領域は、メーザーが付随しな い UCH_{II} 領域よりもサイズが小さい傾向にあると仮 説を立てた。UCH_{II} 領域のサイズの導出に先立ち、 UCH_{II} 領域までの距離を以下の方法で推定した。

- 電波によるアストロメトリ観測
- フォトメトリ観測

 kinematic distance 法 & H_I Self-Absorption の 原理

距離の決定精度の関係上、優先的にアストロメトリ 観測及びフォトメトリ観測の結果を使用した。これ により 183/238 天体 (付随あり: 27 天体,付随なし: 156 天体)の距離及びサイズが求められた。

ここでメタノールメーザーの付随有無ごとに、 UCH_{II} 領域のサイズに対する天体数の累積頻度分 布を作成した(図1)。一見すると、メーザーが付随す る UCH_{II} 領域(赤線)の方が左へ寄っており、サイズ が小さいように見受けられる。しかし Kolomogorov-Smirnov 検定により有意水準 5% で検定を行なった ところ、メーザーの付随有無により UCH_{II} 領域のサ イズに相関はないと結果が得られた。



図1 メーザー付随有無ごとの UCH_{II} 領域のサイズ に対する天体数の累積頻度分布. kinematic distance 法により距離の不定性が残るものは除外した.

4.3 UCH_{II} 領域を取り巻くダストによる赤 化と 6.7GHz メタノールメーザーの付 随有無の相関

H_{II} 領域は主に制動放射による電波連続波とダス トからの熱放射が支配的である。6.7GHz メタノール メーザーは、ダストの赤外線再放射により励起され ると考えられている。したがって、メーザーの消失 に、UCH_{II} 領域を取り巻くダストの量が影響する可 能性がある。

メタノールメーザーが UCH_{II} 領域の成長に伴う 時間経過により消失する場合、メーザーが付随する UCH_{II} 領域は初期段階、付随しない UCH_{II} 領域は後 期段階に相当すると考えることができる。H_{II} 領域 は成長するにつれ、紫外線放射や恒星風により周囲 のダストを吹き飛ばし、晴れ上がっていく。よって、 メーザーの付随する UCH_{II} 領域はダストによる赤化 (吸収)が大きく、2 色図上で赤い(若い)ほうへ偏っ た分布を示すと仮説を立てた(図 2)。



図2 付随有無ごとの2色図上での分布予想図

中間赤外線の Spitzer IRAC(3.6, 5.8, 8.0µm), MSX(8, 12, 21µm)のフラックス情報を絶対等級に換 算し、2 色図を作成した。なお付随する赤外線源の検 索には観測機器の分解能を考慮し、UCH_{II} 領域から の離角による条件を課した (Spitzer IRAC : 2"以内、 MSX : 18"以内)。



図 3 MSX による 2 色図



分解能の高い (~2") Spitzer IRAC の 2 色図は、原

始星近傍の情報を精度良く反映すると考えたが、サ ンプル数が少なく、有意な差があるかを結論づける ことは難しい。一方で MSX による2 色図はサンプ ルを多く得ることができた。しかし、MSX の分解能 は18"以下であるため、集団で生まれた大質量原始星 の個々の情報を反映できない問題がある。仮に1個 または数個の大質量星原始星が支配的であった場合 を考えると、この2 色図からメタノールメーザーの 付随有無とダストの量に目立った相関はないと思わ れる。

5 結論

本研究の観測を通じて、UCH_{II} 領域の 12% から 6.7GHz メタノールメーザーが検出され、 5×10^3 年 の共存期間があることが明らかになった。

UCH_{II} 領域のサイズとダスト由来の赤化による 6.7GHz メタノールメーザーの消失仮説を立てたが、 どちらの仮説も真であるとは言い難い。先行研究で はメタノールメーザーは UCH_{II} 領域が成長すると消 失するとされていた。しかし、UCH_{II} 領域に限定し て消失の要因を考えた場合、メタノールメーザーは UCH_{II} 領域内部の局所的な物理条件を反映している 可能性がある。6.7GHz メタノールメーザーの励起環 境の典型値として、ダスト温度 T_{dust} : 100-300K, 水 素個数密度 $n_{\rm H}$: $10^4 \le n_{\rm H} \le 10^9$ [cm⁻³] が提唱され ている [8]。したがって、UCH_{II} 領域内部に上記の条 件を満たせなくなった際にメーザーが消失する可能 性がある。

今回の解析では、電離星の成長速度を考慮できて いない。成長速度は質量に依存するため、スペクト ルタイプが良い指標と考えられる。今後はメーザー の付随有無とスペクトルタイプの相関調査を通じて、 メタノールメーザーの消失要因の解明を目指す。

参考文献

- [1] Walsh, A. J., et al., 1997, MNRAS, 291, 261
- [2] Walsh, A. J., et al., 1998, MNRAS, 301, 640
- [3] Hoare, M. G., et al., 2012, PASP, 124, 939
- [4] Purcell, C. R., et al., 2013, ApJS, 205, 1
- [5] Green, J. A., et al., 2010, MNRAS, 409, 913
- [6] Breen, S. L., et al., 2015, MNRAS, 450, 4109
- [7] Wood, D. O. S., & Churchwell, E., 1989, ApJS, 69, 831
- [8] Cragg, D. M., et al., 2005, MNRAS, 360, 533

大質量星形成領域 MonR2 におけるメタノールメーザ放射の周期的強度変動 杉谷菜々子, 堀内ひかり, 藤沢健太, 新沼浩太郎

山口大学

概要

この研究では、大質量星形成領域である MonR2 に付随する 6.7GHz メタノールメーザ 対し高頻度・高精度観測を行い、そのフラックス密度の強度変動の周期性を求めることを 目的とする。8月17日から12月21日まで毎日2時間 MonR2の観測を観測した結果3 つのスペクトル成分を解析することができた。フラックス強度は周期的な変動を示し、そ の変動は正弦波的であった。正弦波を当てはめた結果得られた周期は成分1については 20.86±0.59day、成分2は20.72±0.83day, 成分3は22.42±1.6day であった。

1. 序論

星形成領域のうち、質量が太陽の8倍以上のものを大質量星といい、MonR2は太陽か ら約830pcの距離にある大質量星形成領域である[1]。大質量星は星間空間や星団形成の過 程に大きな影響を与えることから、大質量星の形成過程を解明することは銀河規模で起こ る現象の理解にとって重要な役割を持つ[2]。しかしながら、大質量星形成領域は寿命が短 く星団に埋もれていることなどから観測は容易ではない。比較的観測が容易で大質量星形 成領域からのみの検出が報告されている6.7GHzメタノールメーザを用いた観測が多数行 われている[3]。この6.7GHzメタノールメーザは周期的な強度変動を起こすものがあるこ とが分かっており、本観測対象であるMonR2に付随するメタノールメーザも短い周期で 強度返送を起こすことが山口大学2009年の観測で示され[4]、その周期の有無を正確に捉 えるために、2014年度の堀内ひかり卒業論文によりMonR2に対する高頻度・高精度な観 測が行われた[5]。2014年の208日間にわたる高頻度モニタリング観測により、以下の図 1のようにMonR2には4つの成分が観測され、成分1は23.8±0.5日、成分3は24.4±0.3 日の周期で強度変動に周期性が見られ、位相差は0.6日であることが分かった。



図 1. 2014 年観測での MonR2 のスペクトル 図 2. 同観測でのフラックス密度の日数変化 2014 年観測における MonR2 のピークフラックス密度の日数変化は図 2 のようであった。 ただし、先行研究の観測精度は良いとはいえずこの結果から本当に上記の 3.8±0.5 日、 24.4±0.3 日の周期があったという結論を下すことに関しては疑問が残った。よって本研究 における観測では 2014 年より精度の高い観測の実施を目指し、その周期を求め先行研究

と比較することを目的とする。

2. 観測

本観測では、較正天体 S252, G232 で研究天体 MonR2 を挟んだ観測スケジュールとし、5 点法により指向誤差を推定した。観測天体である MonR2 は1日のうち3回観測を実施 し、8月17日から12月21日までの間毎日2時間観測を行った。ただし、9月20日から 10月18日の29日間はアンテナのダウンコンバータの故障のため観測を中止していた。 天体情報は以下の表1のとおりである。

	表 1. 観測天体情	報
天体名	赤経(J2000)	赤緯(J2000)
MonR2	06h 07m 47.86s	-06h 22m 56.54s
S252	$06h\ 08m\ 53.53s$	+21h 38m 28.70s
G232	07h 32m 09.79s	$16h\;58m\;12.40s$

3. 結果

観測期間 98 日間のうち、解析できたデータは 64 日であった。MonR2 には以下の図 3 よう に 4 つの成分が得られた。そのうち視線速度が 2 つ目に速い成分は解析がうまくいかなか ったため、視線速度約 10.58km/s のものを成分 1、約 12.81km/s のものを成分 2、約 13.23km/s のものを成分 3 として解析を行った。



図 3. 本観測での MonR2 のスペクトル 図 4. 本観測でのフラックス密度の日数変化 この成分 1~3 についてフラックス密度の日数変化を求めた結果図 4 のようになった。観測 を行った際、観測をストップする前のデータは Tsys の状態が悪くフラックス密度のばら つきも大きかった。解析を進めていく際に精度の良いデータとして用いることができない と判断したため、これ以降の解析には DOY292 からのデータのみを用いた。2 つの較正天 体のフラックス密度と MonR2 の各成分の比を取った結果を以下に示す。



図 5. MonR2 を S252 で較正した結果 図 6. MonR2 を G232 で較正した結果 これらの結果から、周期の谷の部分を見るとわかるように S252 で較正した結果については 成分 1 と成分 2 の強度はある程度同じ周期性で変動していることが分かった。G232 で較正 した際は S252 で較正した結果と異なる傾向を示し、成分 2 の DOY345 付近からの変動が 成分 1 と同期しているようには見えなかった。これはどちらかの較正天体の成分が乗って しまっていることが考えられる。どちらで較正した結果も第一成分は激しい変動を示した が、それに比べると第 3 成分はほとんど変動しておらず、DOY305 付近からフラックス強 度が上昇してはいるが成分 1 や成分 2 とは変動が同期しておらず、それ以降ははっきりと した周期性も示されなかった。

4. 結論・考察

本研究における MonR2 の高頻度観測により、先行研究で示されていたように強度に周 期性と思われる変動が見られることが確認できた。本観測では、高頻度・高精度な観測を 実現するため、先行研究と比較し較正天体を増やし(G232)、MonR2 の観測回数を1回増 やし、またポインティング補正を行わずに観測を行った。その結果、先行研究の約 2.4 倍 高い精度でピークフラックス密度の強度変動の様子を確認することができた。また、各天 体で較正した成分と、2014 年の先行研究で示されていた周期を以下に示す。

		周期[day]	
	S252 で較正	G232 で較正	2014 年度観測
成分1	20.83±0.59	20.89 ± 0.59	23.8 ± 0.5
成分 2	20.76 ± 0.77	20.68 ± 0.89	24.4 ± 0.3
成分3	22.51 ± 1.3	22.32 ± 1.9	

参考文献

[1] Nakajima, Hiroshi; Imanishi, Kensuke; Takagi, Shin-Ichiro; Koyama, Katsuji; Tsujimoto, Masahiro, 2003, PASJ, 55, 635

[2] 福井康雄, 犬塚修一郎, 大西利和, 中井直正, 舞原俊憲, 水野亮, 2008, 星間物質と星形成, 日本評論社

[3] Goedhart, S.; Gaylard, M. J.; van der Walt, D. J., 2004, MNRAS, 355, 553 など

[4]青木望, 2009, 平成 21 年度卒業論文,

[5] 堀内ひかり, 2014, 平成 26 年度卒業論文

VLBI 観測による G352.63-1.06 の絶対固有運動計測

山口大学理学部物理・情報科学科4年 宮地優輔

共同研究者 松本尚子 藤澤健太 元木業人

○研究目的

銀河系内の動力学的な構造を研究するために、6.7 GHz メタノール・メーザ天体 G352.63 -1.06 を約4年の期間で10回 VLBI 観測を行い、銀河系内における絶対固有運動を得るこ とで、G352.63-1.06 までの運動学的距離を求める。

○6.7GHz メタノール・メーザの特徴

以下に、6.7 GHz メタノール・メーザの年周視差を測定する位置天文に有効な特徴を示す。 ①銀河系内に広く分布している

Fig1は519個数の6.7GHzメタノール・メーザの銀河系内での分布及び、銀径・銀緯に対するメタノール・メーザの分布数を示しており、銀河系内に広く分布していることが確認できる。



Booth, R.S., 2005)

②全メーザ中、22 GHz 水メーザに次ぐ大きさのフラックス密度をもつ

③内部固有運動が数 10 km s⁻¹

1 年間の移動距離が 0.1 mas yr⁻¹に相当するが、後述の考察で推定される絶対固有運動よりも 10⁻³ as yr⁻¹ 小さい(Sugiyama, K., Fujisawa, K., Hachisuka, K., et al. 2016)。
 ④スペクトルの変動期間が長い(石川(修士論文), 2007)

6.7 GHz メタノール・メーザはスペクトルの変動期間が長いため、VLBI 観測をする際に 22 GHz 水メーザと比較して同一のスポットの位置変化を長期間観測できる。

○4th epoch 観測概要

項目	パラメータ	
観測 曰	$2014/01/23\ 21:25\ \sim 03:20\ (UT)$	
観測コード	r14023b (4 epoch)	
観測局	VERA 20 [m] (水沢・入来・小笠原・石垣)	
ビームサイズ	8.5 ×3 [mas]	
連続波用		
観測周波数	6.408~6.904 [GHz]	
観測帯域幅	16 [MHz]	
メーザ用		
観測周波数	6.668~6.669 [GHz]	
観測帯域幅	1000 [KHz]	
位置参照電波源	J1733-3722 離角 1.7°	
較正天体	NRAO530 · 3C345 · G9.62	
分光点 キャリブレータ/メーザ	64 点 / 1024点	

Table 1 4th epoch 観測概要

○観測途中結果

Table 2 にピークチャンネル時の視線速度及び、視線速度から求めた運動学的距離(near / far)を示す。銀河定数は(R_0, Θ_0) = (8 kpc, 200 km s⁻¹)であるとする。

1		
	項目	値
	視線速度 [km/s]	-2.98
	視線速度による運動学的距離 (near/far) [kpc]	1/15

Table 2 相線速度及7%運動受的距離

次に、メーザ・スポットの座標(+熱雑音による誤差)を AIPS の task Jmfit を用いてガウシ アンフィッティングにより求める。Fig 2.はメーザのピークチャンネルにおける Clean map であり、画面中央右下にメーザ・スポットを確認できる



Fig 2. CLEAN map for G352.63-1.06

得られた G352.63-1.06 の座標は($17^{h}31^{m}13^{s}$.876 ± 0.00007^s, $-35^{\circ}44^{m}08^{s}$.665 ± 0.0004^s)

○考察

6.7 GHz メタノール・メーザの熱雑音による誤差以外の系統誤差の見積もり

局位置、電離層、天頂大気オフセットによる誤差 $\sigma \epsilon \sqrt{2}$ 乗和により算出し、10 epoch の データから得られる系統誤差 $\sigma' \epsilon$ 求める。典型値として大気の平均的厚み $l_0=3\times10^{-2}$ m、 アンテナの局位置誤差 $|\Delta D|=3\times10^{-3}$ m、電離層誤差:TEC 値 = 1×10¹⁶ m⁻²(磯野(修士論 文),2007)を用いると、 $\sigma = 0.7$ mas $\cdot \sigma' = 0.23$ mas が得られた。15 kpc 先のメーザの位置 における絶対固有運動は 6 mas yr⁻¹(> σ')と予測されるので、絶対固有運動の測定は可能で あるので、本研究の第一目標は達成可能である。しかし、15 kpc 先のメーザの位置におけ る年周視差はおよそ 0.07 mas であるので、誤差に埋もれてしまうと予測されるため、年周 視差測定は困難である。以上のことから、年周視差の測定は系統誤差に大きく影響される ため、典型値を用いずさらに厳密に系統誤差を見積もる必要がある。

4 epoch 目の残りのスポットのイメージングを実施する。考察より、解析中のメーザの 絶対固有運動の測定は可能であると推定されるので、10 epoch のデーの解析を随時行い、 固有運動からメーザまでの距離を求める。(Sofue et al. 2009)

また年周視差を測定するにあたり、系統誤差をさらに厳密に見積もる必要がある

REFERENCES

Pestalozzi, M.R., Minier, V., & Booth, R.S., 2005 石川(修士論文), 2007 磯野(修士論文), 2007 Sofue et al. 2009

高感度 VLBI 観測による

銀河中心領域のブラックホールの探査

森あかり、木村靖伊奈、藤沢健太、新沼浩太郎(山口大学)、米倉覚則(茨城大学)

概要

現在、多くの銀河の中心領域に超大質量ブラックホールがあることが知られている。成長過程は未解明 であるが、考えられる成長過程の一つにブラックホール同士の合体がある。本研究では、Sgr A*の合体 成長の痕跡として存在する可能性がある銀河系内ブラックホールを探すため、バルジ内のコンパクト電 波源に対し高感度 VLBI 観測を行った。ターゲット 61 天体を JVN の山口、つくば、日立の 3 基線で光 結合 VLBI を行った結果、つくば-日立の短基線のみで 14 天体、全基線で検出されたのは 9 天体、合計 23 天体を検出した。また、NRAO530 のフラックス密度から相対的に検出天体のフラックス密度を求め た。これらの天体の輝度温度は 10⁶ K を超えるため、放射機構はシンクロトロン放射であると考えられ る。シンクロトロン放射をする天体は、背景の活動銀河核または、銀河系内ブラックホール等の、高エ ネルギー電子を発生する天体であると考えられる。

1. 導入

超大質量ブラックホール(Supermassive Black Hole:以降 SMBH)は 10⁶-10¹⁰ M_☉の質量 を持つブラックホールである。これは多くの銀河 の中心に存在しており、活動銀河核として観測さ れている。その SMBH はガス降着により質量の 大部分を得ると考えられているが、その成長過程 は未解明である。考えられる成長過程の一つにブ ラックホール同士の合体がある。我々の銀河中心 にある SMBH の Sgr A*もブラックホールの合体 で成長したとすれば、その周辺に合体成長の痕跡 としてブラックホールが浮遊している可能性が ある。また、銀河中心ブラックホールとバルジに は $M_{BH} / M_{bul} \approx 10^{-3}$ という関係がある^[1]ことから、 SMBH とバルジは共進化すると考えられている。 浮遊ブラックホールが Sgr A*に似たスペクトル を持つのであれば、以下のような特徴を持つと考 えられる。

 コンパクトである。地球から観測される サイズは 1mas 以下(シンチレーション効果を 無視)

- (2) フラットなスペクトルである。スペクトル 指数は0に近い
- (3) 短期の強度変動を示す
- (4) 赤外線対応天体は観測されないか、ごく 弱い
- (5) 銀河系の中心に存在するため、背景 AGN とは異なる固有運動を示す

このうち、上記の(1)(2)の条件を満たす天体を探査したのが本観測である。SMBHとバルジは共進化すると考えられているので、浮遊ブラックホールはバルジ内に存在する可能性がある。そこで、山口大学の木村が2014年に行った観測^[2]の範囲を大幅に広げ、バルジ内のコンパクト天体に対し高感度VLBI観測を行い、ブラックホールの可能性のある天体を探査した。

2. 観測

本研究では、ブラックホール候補天体であるコ ンパクトで高輝度な電波源の検出を目的として いるので、分解能がよく高輝度な天体を選択的に 検出できる超長基線干渉計(Very Long Baseline Interferometry)観測を行った。観測対象天体は Becker (1994) の銀河面サーベイカタログ^[3]を主 に、Lazio & Codes (1998) のカタログ^[4]、Lazio & Codes (2008) のカタログ^[5]、Roy (2005) の カタログ^[6]より以下の条件を満たす天体を選定 した。

- -5° < *l* < 5°、-6° < b < 6°の範囲に位置 する
- (2) 天体直径または長径が5 arcsec 以下
- (3) 各カタログ内において赤外線及び X 線天体 に同定されない
- (4) 分解されておらず複数のコンポーネントが ない
- (5) 8.4 GHz 予想フラックス密度が 10 mJy 以上、予想フラックスが算出できない場合は5 GHz のフラックス密度が 10 mJy 以上

また、フラックスキャリブレータとして NRAO530を用いた。これらの天体をJVNの 山口、つくば、日立を用いた3基線で光結合 VLBI を行った。2016/7/20,7/31,8/3,8/4の 4 epoch、観測周波数8 GHz、帯域幅512 MHz、 それぞれ約6時間の観測に分けて行った。アンテ ナのアレイ性能をTable1に、観測パラメータを Table2に示す。

観測は較正天体 (NRAO530, 300 s 最初のみ 600 s)、ターゲット天体 (13-16 天体, 360 s) を 3 セット行い、最後に較正天体 (NRAO530, 600 s) を観測した。

3. 結果

解析には AIPS を使用した。積分時間 6 min で 3 scan 中 2 scan 以上、信号対雑音比 > 3 を満 たしている天体を検出とした。全 61 天体中、短 基線のみで検出された天体は 14 天体、長基線で も検出された天体は 9 天体であった。また、検出・ 非検出天体の空間分布図を Fig. 1 に示す。

本観測ではシステム雑音温度を測定しておら ず、得られる振幅は相対的な振幅である。そこで、 NRAO530のフラックス密度より相対的に検出天 体のフラックス密度を求めた。2016/8/6に日立 局で単一鏡観測した結果、8 GHz で 5.5 Jy とい う値を採用した。NRAO530 は点源とし、フラッ クス密度は基線長によらず一定であると仮定し た。検出天体のビジビリティデータの振幅と フラックス密度を Table 3 に示す。

4. 今後の解析

基線長と相関フラックスの関係を調べること で、天体の構造の有無、サイズおよび輝度温度に 関する情報を得る。山口局を含む基線で検出され た9天体は輝度温度が10⁶Kを超える。これは明 らかにシンクロトロン放射であり、電波源は背景 の活動銀河核の可能性もあるが、銀河系内のブラ ックホールである可能性もある。

5. 今後の展望

本観測で検出された天体が高輝度でコンパク トな天体であれば、それらの天体が銀河中心の Sgr A*の近傍にあるかどうかを確かめるために 固有運動の測定をする必要がある。その観測で背 景 AGN とは異なる運動をしていれば、系内のブ ラックホールである可能性が高まり、ブラックホ ールの合体成長の証拠を発見できるかもしれな い。

● 参考文献

[1] Magorrian, J., et al., 1998, aj, 115, 2285
 [2] 木村靖伊奈、2014 年度卒業論文

[3] Becker, R. H., White, R. L., Helfand, D.

J., & Zoonematkermani, S. 1994, ApJS, 91, 347

[4] Lazio, T. J.W., & Cordes, J. M.1998,ApJS, 118, 201

[5] Lazio, T. J.W., & Cordes, J. M.2008, ApJS, 174, 481

[6] Roy, S., Rao, A. P., & Subrahmanyan, R.2005, MNRAS, 360, 1305

Table 1 ノレイ 性能					
基線	基線長 [km]	角分解能 [mas]			
つくば-日立	85.3	86.3			
つくば-山口	804	9.16			
山口-日立	873	8.44			

Table 1 アレイ性能

```
Table 2 観測パラメータ
```

epoch	観測日	観測時間 (UT)	観測周波数[GHz]	帯域幅[MHz]	記録系
1	2016 / 7 / 20	9:30-15:00	8.192-8.704	512	OCTADISK
2	2016 / 7 / 31	9:00-15:10	8.192-8.704	512	OCTADISK
3	2016 / 8 / 3	9:00-15:13	8.192-8.704	512	OCTADISK
4	2016 / 8 / 4	9:00-15:10	8.192-8.704	512	OCTADISK



Fig.1 検出・非検出天体の空間分布図

Table 3 ビジビリティデータの振幅とフラックス密度

	つくば-日立	つくば-山口	山口-日立		つくば-日立	つくば-山口	山口-日立
天体名	フラックス密度	フラックス密度	フラックス密度	天体名	フラックス密度	フラックス密度	フラックス密度
	[mJy]	[mJy]	[mJy]		[mJy]	[mJy]	[mJy]
J1731-3C	6.8			J1743-27	7.1		
J1741-3A	11.2			J1756-28	18.1	6.3	6.6
J1743-30	168	53.7	63.0	J1757-27	26.5		
J1741-3C	13.0			J1753-25	103	105	106
J1742-3B	7.1			J1756-2A	29.7	25.8	25.2
J1741-2A	22.1			J1756-2B	20.7		
J1741-2B	19.3			J1751-24	17.4		
J1740-29	35.7	23.2	32.6	J1741-3E	21.4	15.2	18.0
J1740-2A	10.7			J1740-3A	9.3		
J1740-2B	44.2			J1745-2A	119		
J1752-30	101	96.2	134	J1754-2A	12.2	6.5	15.4
J1752-29	104	89.5	152				

広帯域記録装置を用いた VERA K 帯測地実験

寺家孝明,小山友明

国立天文台水沢 VLBI 観測所

1,はじめに

VERA は K 帯を用いた測地実験を実施しており、その記録レートは 1024-Mbps で、観 測帯域幅 512MHz の中から総計で 256MHz の帯域を用いて遅延時間を推定している. その 推定遅延時間の誤差は 30~40pico 秒であり、これらの遅延時間を用いて求められる測地パ ラメータの誤差は、アンテナの座標では水平で 1mm、垂直で 3~4mm である. しかし、こ の推定パラメータの安定性は、パラメータ推定誤差の数倍あり、この理由は遅延予測の誤差 が大きい事、並びに遅延観測値誤差が卓越しているために測地パラメータ推定性能を落と している事が挙げられる.

VERAは2~3mmの確からしさをもってアンテナの座標値を推定する事が求められているが、それらを実現するためのアプローチとしては、

1, 遅延時間推定値取得の時間密度を上げること.

2,高性能な天文・地球科学モデル,高精度な規準系と、シンプルな構造の天体を使用.

3, VLBI 観測システムの安定性を向上させる.

4, 遅延時間推定値を高精度(平均で 10pico 秒以下)で取得.

がある.しかし,現在のVERAの観測システムでは,構造効果指数の小さい天体 (Charlot, et.al, 2010)[1] を用いた場合に 10pico 秒未満の誤差で遅延を得るために必要な信号雑音比の下限値は 280,天体の FLUX 密度の下限値は 4.54Jy になり,測地観測に使える天体が無くなる(表 1).そこで,より広帯域且つ記録レートを高めて遅延時間推定感度を向上させた測地 VLBI 実験を実施した.

サンプリングモード	SNR	FLUX (Jy)	フリンジ検出
記録速度	下限值	下限值	可能天体数
512MHz-2bit/1-Gbps	280	4.54	0
1024MHz-2bit/2-Gbps	170	2.02	8
2048MHz-2bit/4-Gbps	65	0.80	44
4096MHz-2bit/8-Gbps	45	0.28	170

表1,記録の高速化とフリンジ検出能力の予測

2, 観測·記録仕様

観測は 2016 年 1 月 27 日の VERA 内部測地観測 r16027k に相乗りして実施された. 基線は OCTAD を配備していた水沢・石垣島基線,総観測時間は HDD の容量の制限により 06:00~19:00(UT)の 13 時間, scan 回数は 255 回である. サンプリング・記録モードは 3

種類(表 2)であり、VERAで定常的に使用されている 1G-bps 記録の他に 2G-bps, 8G-bps 記録が並行して行われた. 観測当時の天候は水沢が晴れであるが,石垣島は降雨であった.

X =) 1020	. –					
記録		フィルタ	最小	レコーダー	記録	σ f
モード	サンプラ	モード	周波数		レート	(MHz)
		[MHz-bit-ch]	(MHz)		(Mbps)	
1-Gbps	ADS1000	16-2-16	22700	OCTADISK	1024	147.51
2-Gbps	ADS3000+	512 - 2 - 1	21971	VSREC	2048	147.80
8-Gbps	OCTAD	512 - 2 - 4	21459	OCTADISK2	8196	591.21

表 2, 記録モード

3, 遅延観測値の特性

同じ scan から得られた遅延観測値の白色雑音誤差と信号雑音比(SNR)を表 3 に表す. こ の scan の観測天体は 0016+731,積分時間は 40 秒,天体のピーク FLUX 密度は 1.98Jy で ある. 8-Gbps の記録から得られた白色雑音誤差は 1.2pico 秒まで縮小され,このような遅 延観測値を得る事で,推定パラメータの高精度化が期待される.また,総 scan から得られ た SNR の比の分布を表 4 に記す. SNR の比は理論的予測値よりも推定値が大きくなって おり,この理由としては 1-Gbps の観測・記録系でコヒーレンス減衰率が 2-Gbps や 8-Gbps の系よりも大きい事が推測される.

表 3,同一 scan の遅延時間推定結果

記録モード	遅延残差(pico 秒)	白色雑温誤差(pico 秒)	SNR
1-Gbps	-3789.488	18.8	57.1
2-Gbps	1394.079	10.7	100.2
8-Gbps	-1116.322	1.2	219.3

表 4, 1-, 2-, 8-Gbps モード間の SNR の比

	2-Gbps/1-Gbps	8-Gbps/1-Gbps
SNR 比の理論的予測値	1.64	3.27
SNR 推定値の平均の比	1.77	3.72

4, 測地解析結果

測地解析は CALC/MSOLV を用いて行われ た. 推定パラメータ設定は3モードの観測全て 同じ条件にした. 表5に石垣島局の推定位置に ついて予測値からの差を記す. また,図1は石 垣島局の座標推定で得られた誤差楕円体を石垣 島局ローカルの水平座標で表したものである. 誤差楕円体の軸長比は8-Gbps/1-Gbps が0.47,

表 5. 石垣島局の座標推定補正値

入 0, 石垣面向 · / 主际 IE / 一 而 正 恒			
Unit=mm	U-D	E-W	N-S
1-Gbps	2.1	1.5	1.0
2-Gbps	-5.3	1.4	-0.4
8-Gbps	2.6	-2.3	-0.8

8-Gbps/2-Gbps が 0.68 となり,遅延観測 値の誤差の縮小率に対して誤差楕円の縮 小率が小さく, 8-Gbps 記録の効果が十分 には得られていない.

8-Gbps 記録の誤差楕円体の大きさが 1-Gbps 記録の凡そ半分になった原因につい て,表6に測地パラメータ推定後の遅延残 差など統計的量を表す. post-fit delay residual の二乗和平均の平方根(PF_RMS) と遅延推定から得られた observed delay error の二乗和平均の平方根(DE_RMS)を



図1,石垣島局の座標推定値誤差楕円体

比較すると、1-Gbps と 2-Gbps では PF_RMS と DE_RMS は 2~3pico 秒以内で一致して いるが、8-Gbps では PF_RMS/DE_RMS が 4.24 と大きく異なる. PF_RMS の 8-Gbps/1-Gbps は 0.42 となり、誤差楕円体の軸長比に近い値となっている. この 8-Gbps の PF_RMS は、DE_RMS の 3.3pico 秒より 4.4 倍大きく、従って、8-Gbps の PF_RMS の大きさは遅 延予測値やパラメータ推定性能から発生する誤差の寄与が大きいと考えられる.

表 6, 測地パラメータ推定後の遅延残差の比較

	1-Gbps	2-Gbps	8-Gbps	2G/1G	8G/1G
RMS of post-fit delay residual (ps)	32.2	23.0	14.0	0.71	0.43
Standard Error (ps)	2.4	1.7	1.0	0.70	0.42
RMS of observed delay Error (ps)	34.7	21.0	3.3	0.61	0.10

ps: pico 秒, 2G/1G: 2-Gbps と 1-Gbps との比, 8G/1G: 8-Gbps と 1-Gbps との比

大気遅延推定値への効果を確認するために,図2に天頂大気遅延推定値(dZAD)の時間 変化を表す. dZADは30分に1回推定されている.1-Gbpsと比較して8-GbpsはdZADの 時間的揺らぎが小さく,解が安定している事が確認され,測地パラメータの解の安定性の向 上に対して期待が持てる結果となった.

 P. Charlot, et.al: The celestial reference frame at 24 and 43GHz. II. Imaging, Astronomical Journal, 139:1713-1770, 2010 May, doi:10.1088/0004-6256/139/5/1713



図2,石垣島局の天頂大気遅延推定値

山口局アンテナの GPS による座標測定

田村良明 国立天文台 水沢 VLBI 観測所 藤沢健太 山口大学 時間学研究所

1. はじめに

山口局のアンテナ座標を、GPS とトータルステーションを用いて測定を行った。山口局には、 KDDI より 2001 年に国立天文台に移管されたアンテナ(第一アンテナ)と、山口大学が整備を 進めているアンテナ(第二アンテナ)がある。これらのうち、第一アンテナは 2003 年に NICT により VLBI 観測が実施され座標が求められている。しかしながら、アンテナの駆動速度が遅く 測地観測としては必ずしも最適な観測が行われていないこと、また年数が経て座標が変動してい ることが推測されること、さらに今後第二アンテナの座標も必要になるので、今回両アンテナの 座標を改めて測定することになった。

2. 観測機器

座標決定のための観測	では、以下の機器を	と用いて観	測を実施した。	
GPS 受信機	ジャバッド GN	NSS社 J	AVAD 受信機:	2台
GPS 解析ソフト	GIPSY-OASIS	II ver.	6.4	
トータルステーション	ライカ TDA5	5005		
公称測角精度	s.d. 0.5"	分解能	0.1"	
公称測距精度	1mm + 2ppm	分解能	0.1mm	

なお使用した JAVAD 受信機は、東京大学地震研究所の共同利用(2016-F2-03)により借用し た観測機材である。



図1.山口局のアンテナ配置と GPS 観測点 の配置(写真は Google map より)。



図2. EL 軸の延長上と思われる位置に貼り付けたトータルステーション用の標的。

3. 観測

GPS の観測は図1の観測点1と2の2箇所で行った。観測点1では、2016年5月18日から5 月24日の7日間、観測点2では5月18日と19日の2日間観測を行った。座標決定のための主 観測は観測点1の結果から、観測点2は方位を決定するための補助的な観測点の位置づけである。 トータルステーションでの観測は、5月18日に観測点1から行っている。観測点1からは、1) EL 軸中心と思われるところに取り付けた標的(図2)の測角・測距、2) Az を変化させ、同点の位置 を4~5箇所で測定、3) Az 軸受け中心までの(基台中心部分への)測角・測距(図3、4)、この1) ~3)の測定をアンテナ1、2の両者に対して行った。

GPSの観測データは、衛星の精密軌道暦が公表されるのを待って、後日解析ソフト GIPSY-OASIS IIの ppp 法により行った。この解析では、座標の既知点との相対位置を求めるのではなく、 直接世界座標 ITRF 系の座標値が求められる。

4. アンテナ基準点への引き直し

アンテナの位置基準点は、Az 軸と EL 軸の交点である。トータルステーションの標的は、EL 軸上に合わせて取り付けているが、Az 軸中心から離れた場所に取り付けられている。そのため、 Az 軸中心の位置を次の2つの方法で推定している。

- 1) Az 角を変更して複数点の標的の位置を計測し、円弧から中心位置を推定する。
- 2) 基台 Az 軸受け部に取り付けた標的(図3)までの距離を測る。基台部の周囲長を測り、 基台部の半径を求める(図4)。それより、Az 軸中心までの距離を求める。

5. 観測結果と推定精度

ITRF2008 系での座標値の値を表1、表2にまとめておく。座標決定の推定精度であるが、観 測点1における GPS の観測精度は、経験的に水平位置で 5mm、上下位置で 10mm はあるものと 推定される。アンテナの座標が GPS と VLBI 観測の両者で求められている水沢 VERA 局で同様 な測定を行った結果から判断すると、表2の測定値の誤差は 20mm~50mm 程度に収まっている と推測される。表1、2は、将来の比較観測のため、mm の桁まで表示しておく。



図3. 基台部に取り付けた標的。(写真は茨城局アンテナのもの。)



図4.円周を測り、Az 軸中心から標的まで の半径を求める。

6. 結果の比較

表2のJADE0306は、これまで採用していた座標値である。今回測定した山口第一アンテナの 座標値をJADE0306と比べると、13年間に東へ0.35m、南へ0.03m、上へ0.10mの変位となる。 この動きを比較検証するために、国土地理院の近隣のGPS観測点(GEONET 点、観測点番号 950409、950411、950412、021037、図5参照)について、2010年~2016年の6年間の動きを 調べてみた。その動きが13年間続いていたとすると、各点は東へ0.37~0.38m、南へ0.03~0.05m の動きとなり、今回の測定結果は水平成分については調和する。一方、上下変位は調和せず、 GEONET 点では逆に沈降(0.01~0.08m)を示している。JADE0306の観測では、山口局のア ンテナスリュー速度が遅く、観測で多くのscan数を得ることができず、大気遅延やクロックパラ メータ推定と強い相関を持つ上下成分の座標決定精度が悪かったことが疑われる。そのため、こ れまで採用していた座標値の高さ成分については、0.10m程度の誤差があったものと推測される。

表1. 今回測定を行った GPS 観測点の杭の座標。ITRF2008 系での値。

	X (m)	Y (m)	Z (m)
観測点1	-3502584.162	3950907.450	3566368.820
観測点2	-3502544.901	3950935.367	3566376.446

表2. アンテナの座標値。今回の結果は ITRF2008 系での値。

	X (m)	Y (m)	Z (m)
JADE0306(アンテナ1)	-3502544.2583	3950966.3969	3566381.1649
第一アンテナ(今回)	-3502544.587	3950966.235	3566381.192
第二アンテナ(今回)	-3502567.576	3950885.734	3566449.115



図 5. 座標変動量の比較を行った国土地理院の GEONET 点。 ● の4点について、6年間の変位量を求めた。

VLBI 観測による High-z クェーサーの構造研究

古谷庸介,新沼浩太郎,藤沢健太(山口大学),Z.Q.Shen(上海天文台)

概要

近年の観測により, z > 7の初期の宇宙に ~ $10^9 M_{\odot}$ もの質量を持つクェーサーが発見されている.このような 初期宇宙に存在するクェーサー観測することにより,これまで未解明であったActive Galactic Nuclei (AGN)の 宇宙論的進化や, Super Massive Black Hole (SMBH)の成長などのモデルに制限を与えることができる可能性が ある.しかし,現状では VLBI 観測された High-z (z > 4) クェーサーの VLBI イメージの数が少ないため,本研 究ではまず,Japanese VLBI Network (JVN)の7局による位相補償観測をターゲット3天体に対して実施し, High-z クェーサーの VLBI イメージのサンプル増加を目的にしている.観測の結果,3天体ともJVN で十分な感 度を得ることができ,位相補償天体による解析をすることなく VLBI イメージを得ることができた.これら3天体 はどれもビームサイズに対して十分に点源であった.

この後の観測ではより高感度なアレイを使ってより詳細な電波構造を得たい.

1 背景

最近の観測によると,最も遠方のクェーサーの赤方偏移は z > 7 であり [1],ビッグバンから 10 億年後の宇宙に はすでに ~ $10^9 M_{\odot}$ を持った AGN が存在していたことを示唆している.しかし,AGN はその形成過程は未解明 であり,どのようにして生成されるのか,また,我々の近傍に存在する AGN へとどのようにして進化したのか,確 立した理論は現状で存在ない.

そこで,宇宙初期に存在する High-z クェーサーの観測はクェーサーの発生と宇宙論的進化,活動銀河核中心の SMBH の成長,電波活動期間について制限を与えることができる可能性がある.しかし,現状では,VLBI 観測に よって得られた High-z クェーサーの VLBI イメージの数は ~ 20 天体ほどしか無く (e.g, [4], [5], [7]),決定的な 結論を下すことはできない.そこで,我々はより多くの High-z クェーサーに対して VLBI 観測を行うことでサン プル数を増やし,その構造が Blazar 的構造か, Compact Symmetric Object (CSO) 的構造であるかを明らかに することを目的としている.

2 天体選出&観測

天体選択は FIRST カタログ (1.4 GHz) からフラックス密度が 30 mJy 以上で赤方偏移が z > 4 の天体を SDSS DR7, DR10 を用いて,13 天体選出した (Figure 2(左)).フラックス密度は JVN での検出感度を考慮し,また High-z クェーサーで平均的に観測されるスペ クトル指数 $\alpha = -0.5$ を仮定して決定した.これらの候補天体は 8.4



Figure 1 Blazar 的天体と CSO 的天体の VLBI イメージの例.(左): Blazar 的天体 [7].(右): CSO 的天体 [2].


Figure 2 (左):選出した 13 天体の天体情報. 左から天体名,赤方偏移,1.4 GHz FIRST でのフラックス密度,8.4 GHz で予想されるフラックス密度. (中),(右):先行研究の再解析により得られたターゲット天体(左から J1430+4204, J1510+5702)の VLBI イメージ.

GHz での予想フラックス密度が十分小さいことが予想されており,スイッチングによる位相補償観測を行った.

これまでの観測では,選出された13天体中,6天体(J0835+1825, J0839+5112, J0940+0526, J1430+4204, J1510+5702, J1548+3335)の観測が終了している.また,そのうち2天体(J1430+4204, J1510+5702)のVLBI イメージを得ることができ(Figure 2(右)),1天体(J1548+3335)に関しては最短基線でのみの検出となったた め,VLBIイメージを得ることはできていない.その他,4天体に関しては全基線で検出することができなかった. 本観測はターゲット3天体(J1325+1123, J1348+1935, J1412+0624)に対してJVNの7局のアンテナを用い たVLBI位相補償観測を11時間行った.参加局は山口,つくば,日立,鹿島,水沢,石垣,小笠原で,観測周波数 は8.4 GHz で帯域幅 512 MHz であった.前回までの観測ではVERA3局と32 m級大型鏡が2局の計5局で, さらに観測帯域幅が32 MHzと,今回の観測よりも帯域幅が16倍小さかった.したがって今回の観測はこれまで の観測に比べ,4倍感度が良く,これまでは検出することができなかった大きさのフラックスを検出することがで

3 結果

きる可能性がある.

今回の観測では, VERA 3 局が受信機トラブルによりデータを得ることができなかった.そこで大型鏡のみから 成る6基線でのデータ解析となった.そのため各局のアンテナの配置が東西方向にしか分布しておらず,作成した VLBI イメージのビームパターンは東西に極端に伸びた歪な形であることが予想された.

検出感度に関しては、当初予想していたフラックスに対し、十分な感度を持っていたので、位相補償をせずにター ゲット天体のフリンジを検出することができた、データ解析は NRAO の AIPS を用いて行った、また、今回の解 析で得られた結果から、ピーク輝度が ~ 9 mJy と検出できたものの中では最も暗かった J1412+0624 も検出でき ているのがわかる (Figure 3). 作成された VLBI イメージ (Figure 3) はどれもビームサイズに対して十分点源で あることがわかる.

得られた VLBI イメージ (Figure 3) は左から J1325+1123, J1348+1935, J1412+0624 であり, グレーカ ラーは輝度を表している.それぞれの天体のピーク輝度は左から, 3.9×10^{-2} Jy/beam, 2.4×10^{-2} Jy/beam, 9.3×10^{-3} Jy/beam であった.また,等高線レベルは,それぞれ 6σ - 20σ まで 2σ 刻みで表している.ビームサ イズが天体により大きく異なるのは天体の赤緯が原因だと考えられる.

4 今後の展望

今後は,まだ未観測のターゲット4天体についてJVNを用いて観測をし,VLBIイメージの作成を行う.また,より詳細な電波構造を得るために,ターゲット13天体全てに対してJVNよりも感度の良いEast Asian VLBI



Figure 3 得られたターゲット 3 天体の VLBI イメージ. 左から J1325+1123, J1348+1935, J1412+0624

Network (EAVN) などの高感度アレイによる VLBI イメージの作成を行いたい. EAVN は JVN よりも角度分解 能がこれまでの2倍以上良く,これにより JVN では点源として見えていた天体の電波構造をより詳細に得ること ができる可能性があり,Blazar 的構造か CSO 的構造かを判断することができると思われる.

謝辞

今回, VLBI 観測をするにあたりご協力いただいた国立天文台, NICT 鹿島, 国土地理院, 筑波大学, 茨城大学 様とそれに関わる先生方には心から感謝申し上げます.

参考文献

- [1] Mortlock D.J., Venemans B.P., et al. 2011, Nature, 474, 616
- [2] P.N. Wilkinson, A.G. Polatidis, 1994, TAJ 432 L87-L90
- $[3]\,$ S. Frey, L. Mosoni, et al. 2003, Not. R. Soc., 343, L20-L24
- [4] S. Frey, Gurvits, et al. 2004, AJ, 128, 515
- [5] S. Frey, Z. Paragi, et al. 2010, A&A,524, A83
- [6] S. Frey, Z. Paragi, et al. 2011, A&A, 531, L5
- [7] S. Frey, J.O. Fogays, et al. 2013, MNRAS 431, 1314-1319

広帯域 JVN 観測による

高銀緯未同定 線天体の対応候補電波源探査

藤田 和弘、新沼浩太郎(山口大学)

Abstruct

Fermi-LAT Second Source Catalog (2FGL)内の未同定天体の中から Blazar 以外の AGN を探すことを目的に、 高銀緯未同定天体 32 天体の位置誤差内に存在する全ての NVSS/FIRST 電波源計 98 天体に対して大学 VLBI 連携 (JVN)の山口-日立1基線 VLBI を用いてサーベイを行なった。その結果優位に検出されたのは 18 天体で、そのう ち8 天体が4年間の γ 線天体サーベイの結果である Fermi-LAT Third Source Catalog (3FGL)内でも未同定のま まであることが分かった。これら8天体中1天体に対して Massaro F., et al. (2012)の WISE 赤外線天体を用いた 推定方法を行うと、この天体に対応すると仮定した WISE 天体は既知の γ 線放射 Blazar に対応する WISE 天体と同 じ傾向を示すことが分かり、この天体は γ 線 Blazar である可能性が高いという推定を行うことができた。

1 Introduction

活動銀河核 (AGN) は銀河全体よりも明るく、電波から γ 線までの広い帯域で放射を行なっている銀河中心核であ る。その構成要素の一つに銀河核から双方向に伸びる AGN ジェットがある。AGN はいくつかの種族に分類され、 AGN の統一理論の観点から、ほとんど視線方向に向いているジェットを持つ天体は Blazar と呼ばれ、また Blazar よりも視線角が大きい方向に吹き出すジェットを持つ AGN の一つとして電波銀河が挙げられる。AGN ジェットは まだ未解明な点が多くあり、その一つとして、 γ 線放射のメカニズム、その放射領域が完全に明らかにされていない ことが挙げられる。現在、Fermi Large Area Telescope の γ 線天体サーベイ [?] によって γ 線放射が確認され、他波 長天体との位置、変動の相関などの観点から同定作業が進められている。完全に対応が認められた天体を同定された 天体、 γ 線天体の近くに対応する可能性がある天体を対応付けされた天体とし、それらのうちの AGN のほとんどは 電波で明るい Blazar であるが、少数だが電波銀河からも γ 線が検出されている。

	同定済み	対応付け済み
AGN	28	1064
Blazar	24	782
Radio Galaxy	2	10

表 1: 2FGL 内で同定・対応付けされた AGN, そのうちの Blazar, 電波銀河の天体数

2 Motivation

AGN からの γ 線放射はその放射領域と電波の放射領域の位置の相関は完全には解明されておらず、観測事実に基 づく様々なモデルが考えられている。([?][?]) 全ての種族の AGN の γ 線放射に対して説明できる汎用性の高いモデ ルを考えるためには γ 線放射電波銀河のようなジェットを横から見ている天体が重要になるが、先に述べたように 天体数が少ない。そこで今回は Fermi-LAT Second Source Catalog (2FGL) に収録されている未同定 γ 線天体の種 族推定を行い、Blazar 以外の AGN のサンプル数を増やすことを目的に、未同定天体の持つ位置誤差 (平均半径 7.9 arcmin) に存在する対応候補電波源の探査を行った。

3 Observation · Result

2FGL の未同定 γ 線天体に対し、(1) 銀緯 $|b| > 40^\circ$, (2) 位置誤差内に含まれる電波源数が 10 天体以下である。という条件を満たす 2FGL 天体 32 天体の位置誤差内の対応候補電波源 98 天体を VLBI 観測した。これらの電波源は

NVSS カタログ [?]、FIRST カタログ [?] から選出している。VLBI 観測を行うことで、AGN のようなコンパクトで 明るい天体を選択的に検出することが可能になる。(1)の理由としては銀河面付近の天体を観測すると他の電波天体 の強い放射が混在してしまう可能性があるためである。(2)に関しては、限られた観測時間でできる限り全ての位置 誤差内の電波天体を観測するためである。

観測は大学 VLBI 連携に所属する山口局 - 日立局の1基線 VLBI 観測を用いて 98 天体の VLBI 観測の検出性を確 かめた。観測パラメータを表1に示す。信号対雑音比 (σ) が5 を超えたものを検出天体とみなした。今回の観測では 検出感度 (5σ) は 1.96 mJy が期待できる。

観測周波数 [GHz]	波数 [GHz] 常域幅 [MHz]		分解能 [mas]	積分時間 [sec]	雑音レベル (5 <i>o</i>) [mJy]	
8.4	512	873	8.4	600	1.96	

表 2: 山口-日立基線を用いた 1 基線 VLBI の本観測の観測パラメータ

解析の結果、観測した 98 天体のうち、18 天体を検出することに成功した。今回の観測ではイメージングができな いため、正確な天体サイズを測定できない。そのため、今回の観測のフリンジ間隔 8.4 mas を天体サイズであると仮 定して輝度温度の下限値を計算すると、全ての天体は 10⁶ [K] 以上の高い輝度温度を持つことがわかった。コンパク トで輝度温度の高い天体であることがわかったため、これらの天体は AGN 候補であると考えられる。

このうち、2015 年 6 月に報告された Femi-LAT による 4 年間のサーベイ結果である 3FGL カタログ [?] 内ですでに 対応付けされてしまっている天体、 線源が 4 年間の積分時間で非検出であると判断された天体を除くと、7 天体が 未だに未同定であることがわかった。表 3 に今回検出した VLBI 天体とその 2FGL 未同定天体、3FGL 未同定天体、 今回の観測によって得られた 8 GHz でのフラックス密度を示している。

表 3: 3FGL 内で未同定である天体の天体名と、その対応候補である VLBI 検出天体

検出天体	2FGL Name	3FGL Name	フラックス密度 (8GHz) [mJy]
NVSS J023927+132738	J0239.5+1324	J0239.4+1326	21.8
NVSS J111511-070238	J1115.0-0701	J1115.0-0701	50.0
NVSS J112903+375655	J1129.5+3758	J1129.0+3758	28.6
NVSS J131552-073301	J1315.6-0730	J1315.7-0732	90.7
NVSS J213430-213032	J2134.6-2130	J2134.5-2131	53.0
NVSS J222830-163643	J2228.6-1633	J2228.5-1636	23.4
NVSS J235836-180718	J2358.4-1811	J2358.6-1809	18.9

4 WISE Gamma-ray Strip を用いた種族推定方法

今回の観測は1基線しか使用しておらず、また単一周波数でしか観測していないために天体の8.4 mas以下の詳細な構造やスペクトル指数の詳細な推定を行うことができない。しかし、VLBI観測で検出された天体の位置精度は他の波長と比べて高いため、検出天体の座標を元に他波長天体を様々な波長の観測天体のデータベースを用いて探した。特に、赤外線天体を探す際には2MASS, WISE カタログを用いた。

D'Abrusco (2011)[?] は Blazar が収録されている天体カタログ ROMA-BZCAT の中から、 γ 放射が確認されている Blazar のうち、赤外線天体探査衛星 WISE で観測された対応天体 の 4 つの観測波長 (3.4, 4.6, 12, 22 [μ m])の等級データ用いて color-color diagram を描い たところ、WISE Gamma-ray Strip (WGS) と呼ばれる帯状にデータ点が集中する領域が 存在することを確かめた。そして Massaro, et al. (2012)[?] では、284 天体の γ 線 Blazar の WISE 対応天体を用いて描いた WGS 領域を定義した。そして未同定 2FGL 天体に対応 すると思われる WISE 天体がこの領域内に存在するかどうかを確かめるパラメータ s を導 出し、これを求めることで γ 線放射 Blazar か否かを推定している。この推定方法は WISE



図 1: 3D color-color diagram 内に示され た WISE Gammaray Strip (紫) と WISE Blazar Strip (黒).

天体が4波長帯の観測データおよびその誤差がある天体に限って行える。この推定方法を

表 3 の 7 天体の電波源に対応すると思われる WISE 天体のうち 4 波長全てのデータが揃っている 1 天体 (NVSS J235836-180718 (WISE J235836.83-180717.4)) に対して計算を行うと、Blazar の一種である BL Lacs であると推 測されることがわかった。

5 Future Work

今後の展望としては NVSS J112914-052856 と NVSS J213430-213032 の 2 天体に対して KaVA22GHz の多基線 観測を 2017 年に 3 ヶ月間隔で 2 epoch 行う予定である。これらの天体は高周波では暗いことが予想され、43 GHz よりも感度の良い 22GHz での観測から行うのが適切であると考えている。この観測によって弱い構造までイメージ ングすることができれば AGN ジェット構造を持つかどうかを確認することができ、高周波側での強度を求めること でスペクトル指数を決定し、この観点から種族の推定が行うことができると期待される。また 2 epoch 観測をするこ とで超光速現象を捉え、AGN ジェットの見かけの速度などの物理パラメータの測定を行えると考えている。

参考文献

- [1] Ghisellini, G., et al., 2015, A&A, 432, 401
- [2] Marscher, A. P., et al., 2008, Nature, 452, 966
- [3] Nolan, P. L., et al. 2012, ApJS, 199, 31
- [4] Becker, R.H., White, R.L. Helfand, D.J. 1995, ApJ, 450, 559
- [5] Condon, J.J., Cotton, W.D., Greisen, E.W., et al., 1998, AJ, 115, 1693
- [6] Acero F., et al., 2015, ApJS, 218, 23A
- [7] D'Abrusco R., et al., 2011, ApJ, 740, L48
- [8] Massaro F., et al., 2012, ApJ, 750, 138

山口干渉計の構築状況

青木 貴弘

山口大学

概要

山口干渉計の構築状況について報告する.山口干渉計は KDDI 山口衛星通信所内にある山口 32 m 電波 望遠鏡,および 34 m 電波望遠鏡を用いた 2 素子干渉計であり,基線長は 108 m である.これまでの開発 によって天体追尾系や信号伝送系は完成しているが,現状はデータ記録に OCTADISK を使用するため, Linux コンピュータを用いた定常的なデータ解析は難しい.今後は VSREC を導入しデータ記録の簡便化を 図るとともに,データ記録を行わない即時的な相関処理を行えるようシステム開発を行う.

1 山口干渉計

図1に示す山口干渉計 (Yamaguchi Interferometer; YI)は, KDDI山口衛星通信所内にある山口 32 m 電 波望遠鏡 (Y1) および 34 m 電波望遠鏡 (Y2) を用い た基線長 108 m の2素子干渉計である.



図 1 YI 全景.

■受信系 Y1 は従来より単一鏡として,および Japanese VLBI Network (JVN)の一局として使用 されてきた電波望遠鏡であり,観測周波数は C 帯 (6600–7112 MHz) および X 帯 (8192–8704 MHz) で ある.一方 Y2 は 2016 年より電波望遠鏡として利 用され始め,現在 Y1 と同等の受信機を開発してお り (金澤の講演),近い将来,Y1 と全く同じ観測周波 数の望遠鏡となる.Y1 と Y2 の局位置は ITRF 2008 直交座標系 (*X*,*Y*,*Z*) で

Y1 (-3502544.587, 3950966.235, 3566381.192)

Y2 (-3502567.576, 3950885.734, 3566449.115)

と測定され (単位 m), 誤差は 50 mm 程度である (詳細 は田村氏の講演を参照). Y1, Y2 それぞれの性能を 表1に示す. Y2 での未測定項目は, X 帯受信機を搭 載した後に測定する.システム雑音温度 T_{sys} は精密 には測定することができず,空を温度3K,山を温度 300 K とみなして,通常は科学観測の前後に測定し ている. 局部発振 (LO) 周波数は C 帯で 6088 MHz, X 帯で 7680 MHz に設定しており, どちらの RF 帯も 512-1024 MHz という周波数までダウンコン バートされ, それをベースバンドとしている*1. こ の信号を標本化周波数 1024×10⁶ Sample/s, 量子化 ビット数 2 bit で AD 変換し, 2048 Mbps*2のディジ タルデータとして記録する*3. 従来の記録系では, AD 変換器として ADS1000, そこからの VSI 出力を VDIF データとして記録する装置として OCTAVIA、 **OCTADISK** を使用している. 将来的には AD 変換

^{*1} ダウンコンバート後の帯域 512-1024 MHz をベースバンド とするのは広帯域観測系での設定であり、その帯域を IF 帯 としてさらにダウンコンバートする狭帯域観測系もある.

^{*&}lt;sup>2</sup> ここでいう接頭辞記号 M は 10⁶ を表し、ディジタル系で用 いる 1024 × 1024 のことではない.

^{*3} 周波数 0-1024 MHz の信号を 1024 MS/s で標本化すること で積極的にエイリアシングを利用し,最終的に記録される ディジタルデータは RF 帯域情報が折り返されたものにな る.

器に ADS3000+ を使用した記録系に更新し, C/X 帯 L/RHCP という両帯域両円偏波観測する体制を目指 す. これら 2 つの望遠鏡を用いた YI の予定性能を 表 2 に示す.

	Y1	Y2
開口直径	32 m	34 m
開口能率	65% (X 帯)	未測定
駆動速度	0.25 deg/s	-
追尾誤差	< 0.8'	未測定
観測周波数	C 帯 6600–7112 MHz	-
	X 帯 8192–8704 MHz	-
帯域幅	C/X 帯 512 MHz	-
LO 周波数	C 帯 6088 MHz	-
	X 帯 7680 MHz	-
偏波	L/RHCP	
T _{sys}	50 K	-

表1 Y1, Y2の性能.

(注) - は,現在または将来,Y1と同値なことを示す.

表2 Y	【の予定性能.
基線長	107.81 m
フリンジ間隔	C 帯 1.4′
	X帯1.1′
基線感度 σ	1 mJy (1 min 積分)

■観測対象 フリンジ間隔が1'と大きいため空間分 解能は期待できないが,高い感度と柔軟な運用体制 を活かし,変動天体のモニターや突発天体の追観測 に注力する.変動天体としては例えば Cyg X-1 のよ うな X 線連星や活動銀河核をモニターし,突発天体 としてはガンマ線バーストや重力波の追観測を迅速 に行うことで,その光度曲線や偏波情報について明 らかにできるだろう.電波帯域における突発現象で は,X 線などの増光開始から電波での増光開始まで 数時間以上のタイムラグが期待できるため,当面は 人力で追観測を行う予定だが,将来的には,発見速 報の受信から観測スケジューリングまでを自動で行 うシステム開発が必要である.

2 構築状況

現在 Y2 を電波望遠鏡として立ち上げ,干渉計と してのシステム開発と試験観測を重ねている.その 状況を作業別に以下に示す.

■Y2 天体追尾システムの完成 VLBI 技術開発およ び森野テクニカルサービスの協力により,Y2の天体 追尾システムが完成した.平均の駆動速度はY1の それと同値で,方位角方向に0.25 deg/s,仰角方向 に0. deg/s である.詳細なポインティング誤差は近 いうちに測定する予定だが,およそ0.8' 未満である.



図 2 Y2 天体追尾システム.

■信号伝送系の完成 周波数標準である水素メー ザー,ダウンコンバーター,AD 変換器など,大部 分の受信系はY1局内に設置されており,Y2局内に は RF 受信機のみを搭載予定である.そのためY2 からの RF 信号は,図3のEO/OE 変換器(Optilab LTA-20-M, PR-12-M)と光ファイバーを用いてY1 局内へ Radio Frequency over Fibre (RFoF)伝送する. Y1とY2を結ぶ光ファイバーは長さ300mで,図1 に示したような経路で敷設されており,Y2からY1 へ伝送された RF 信号はY1局内のダウンコンバー ターを通りAD 変換される.EO/OE 変換器によって RF 電力が30dB近く落ちてしまうため,後述の増幅 器を新たに設置した.



図5 YI 観測システム.



図3 Y2 天体追尾システム.

■増幅器の設置 Y2 からの信号を AD 変換器に入 力するにあたり入力レベルが足りなかったため,増 幅器パッケージを自作した.増幅器は周波数 1 GHz, ゲイン +36 dB のもので (MITEQ AM-1412/1475), DC 15 V を給電するため,スイッチング電源アダプ タおよび直流安定化電源キットを用いた自作電源で パッケージした.これによって適正な AD 変換を行 える環境が完成した. 計観測を定常化するため、VSREC の導入を進めてい る.しかし VSREC によって W3OH や G9.62+0.20E といったメタノールメーザーを試験観測し,記録し たデータを解析したところ,エイリアシングらしき 現象が現れることがわかった.VSREC のログから は大きな問題は見受けられなかったが、VSREC に使 用したコンピュータの性能不足を疑い,今後別のコ ンピュータを用いて再度試験観測を行う予定である. また将来的には,生データを記録せず即時的に相関 処理を行い,フリンジのモニターのみを行えるよう なシステムを開発する.

謝辞

本研究は国立天文台共同開発研究,三菱財団,山 口大学戦略的研究推進プログラムの支援を受けたも のである.



図4 増幅器.

■記録系の整備 図5にYI観測システムを示す.現 状はデータ記録にOCTADISKを使用しており,それ からのデータ吸い出しが煩雑なため定常観測化はで きていない.今後 Linux コンピュータを使って干渉

水沢 VLBI 観測所のアンテナ保守 現状と将来計画

上野 祐治(国立天文台 水沢 VLBI 観測所)

要旨

水沢 VLBI 観測所におけるアンテナ保守作業の現状と今後の計画について紹介する。また、インハウス化によるコスト削減効果についても紹介する。

1.アンテナ保守の現状

水沢 VLBI 観測所の保守グループでは、VERA20mアンテナの他に大学連携観測用アンテナも含め、 安定して観測運用できるよう性能の維持確認及び障害対応を行っている。建設期以降、保守作業は主に アンテナメーカーによって行われてきたが、昨今の予算削減局面では高額となるメーカー任せだけとは できず、インハウス (内製) 化により作業の質と量を維持しつつ、経費削減して保守作業を進めている。 ここではインハウス化の後、定常的な保守作業として実施されている作業をいくつか紹介する。

1.1 アンテナ機械計測

アンテナ機械計測は、アンテナ構造物の据付精度や摩耗量の経年変化を、精密測量機器などの測定 器を用いて直接測定する作業である。測定結果は保守計画策定の基礎データとするほか、ポインティ ング測定などの間接的な精度測定の検証にも用いている。

測定例として、AZ レール水平度測定を紹介する。これは AZ レールの走行面高さを精密レベルで 測定することにより、傾き量やその方向、局所的な凹凸を知ることができる。図1は AZ レール水平 度測定作業の様子である。また、AZ レール水平度測定の結果を図2に示す。



図1 AZ レール水平度測定の様子



図2 AZ レール水平度測定の結果

1.2 補修塗装

建設後、相当年経過したアンテナは塗膜が劣化しており、特にも離島にある VERA 小笠原局や石垣 島局においては、塩害による錆が深刻な問題となっている。図3は、主鏡部支持構造部材に発生した 錆の状況である。これらに対処するため補修塗装作業をインハウス化し、定期的な補修を行っている。 図4は実際の補修塗装作業の様子である。足場を用いる工法では費用が高額となるため、高所作業車 を複数台用いる方法で塗替え作業を行っている。また、インハウス化前後の業務分担を図5、費用比 較を図6に示す。作業内容を同一と仮定した場合、アンテナメーカー作業に比して費用を55%削減で きた。これら VERA アンテナで得たノウハウを展開し、2016年度には野辺山 45m の補修塗装も実施 された。



図3 主鏡部支持構造部材に発生した錆



図4 補修塗装作業の様子



図5 インハウス化前後の業務分担



2.保守作業の将来計画

今後の保守計画であるが、予算漸減局面に対応して更なるインハウス化を推進する必要があると考え ている。以下にインハウス化を検討している具体的な項目を紹介する。一方、インハウス化の推進には マンパワーが必要で、人員確保、技術継承が課題になると考えている。

2.1 大型機械構造物の保守

これまで大型機械構造物については、資機材や作業ノウハウが無いことから、アンテナメーカーに よる作業が中心となっていた。また、作業工数が多く重機なども必要となるため、費用が高額であっ た。そこで補修塗装作業などインハウス化した作業により蓄積した工程管理といったノウハウを活か し、今後は大型機械構造物の保守にもインハウス化を推進していく。メーカー作業で高額となるのは、 作業設計や現場管理などであるため、仕様策定、作業方法検討、工程作成、現場管理を天文台で行い、 実作業を同様作業経験のある業者に依頼することで、大幅な費用削減が期待できる。

具体的には、駆動用モーターや減速機の交換を含む修理を検討している。モーターに関しては、既 に大学連携アンテナでの交換・修理実績があり、VERA20m アンテナへも展開したいと考えている。

また、一部のアンテナでは腐食により部材が破断している箇所があり、補修塗装では修復できない ため、交換部材を製作し交換することを検討している。

2.2 アンテナ駆動特性の測定

アンテナの駆動特性を測定することで、アンテナの健全性、特にも駆動用モーターやその制御部の 劣化や不具合を確認することができる。これまでアンテナメーカーの技術者が行ってきた測定作業を、 天文台で実施していくことを検討している。図7はアンテナ駆動制御架にデータロガーを接続した測 定作業の様子、図8は得られた駆動特性電流の測定値である。



図7 アンテナ駆動特性測定の様子



図8 駆動特性電流測定値

3.まとめ

水沢 VLBI 観測所のアンテナ保守の現状と将来計画を紹介した。将来的に予算削減となる状況が明白 であるため、インハウス化によって作業の質・量を維持したまま経費削減することが、今後の大型装置 運用に必須であると考えている。一方、インハウス化推進にはマンパワー強化が必要である。しかし、 予算削減局面においては人件費も削減対象であり、人員増は難しい。この解決策として、天文台内のみ ならず VLBI 関連組織間でも情報共有及び人的交流することでマンパワー不足を補いつつ、技術力向上 と経費削減を実現することが以前にも増して重要になると考えている。

KaVA ESTEMA (Expanded Study on Stellar Masers) Status Report

<u>Hiroshi Imai¹</u>*, Se-Hyung Cho²*, Yoshiharu Asaki³, Ross A. Burns¹⁰, Yoon Kyung Choi², Jaeheon Kim¹¹, Youngjoo Yun², Richard Dodson⁴, Maria Rioja⁴, Cheulhong Min⁵, Tomoaki Oyama⁵, Sung-Chul Yoon⁶, Dong-Whan Yoon⁶, Dong-Jin Kim^{2,7}, Miyako Oyadomari¹, Gabor Orosz¹, Bo Zhang¹¹, Akiharu Nakagawa¹, James Chibueze O.⁸, Andrey M. Sobolev⁹, Jun-ichi Nakashima⁹

> **co-PI^{; 1}Kagoshima U.; ²KASI; ³NAOJ/ALMA; ⁴ICRAR/UWA; ⁵NAOJ/VERA; ⁶SNU; ⁷Yonsei U.; ⁸U. Nigeria/SKA SA; ⁹Ural Fed. U.; ¹⁰JIVE; ¹¹SHAO

About ESTEMA

- The first stage of the KaVA Large Programs (LPs) on circumstellar H₂O and SiO masers
- Aiming snapshot imaging of 80 stars in H₂O and SiO masers
- Spending about 230 hours during 2015 October—2017 February
- Yielding maps of ~40 stars in H₂O and/or SiO masers
- Statistical view of circumstellar maser on microscopic (maser spots) to macroscopic (circumstellar envelopes) scale
- Finally selecting about 20 stars for the one-decade intensive monitoring project in the KaVA second stage LP
- Current status on observations and data handling
 - About 90% of observations complete (10% from recovery in 2017)
 - About 90% of correlation complete
 - ~80% of inspection complete, following ingest processing
 - Calibration pipeline in development/tested

ESTEMA fringe inspection (integration < 3 min) (as to 2017 Jan.)

- H₂O masers: 33/74 fringe detections
- ²⁸SiO J =1→0 v=1&2 masers: 40/72 fringe detections
 21 stars simultaneously detectable in H₂O and ²⁸SiO J =1→0 v =1&2 masers
- 29 SiO J = 1 \rightarrow 0 v=0 masers: not yet inspected (KVN or VERA/OCTAVE wide only)
- 28 SiO J = 2 \rightarrow 1 v = 1 masers (KVN only): 18/70 fringe detections
- 28 SiO J = 3 \rightarrow 2 v = 1 masers (KVN only): 1/69 fringe detections
- 28 SiO J = 1 \rightarrow 0 v=3 masers: not yet inspected (VERA/OCTAVE wide only)

Fringe detection rates slightly lower than planned in proposal submission in K/Q-band masers

Future perspectives: Proposing one of KaVA "legacy" projects

- Targeting >10 stars for one decade monitoring
- biweelky—quarter monthly maser mapping in light curve phase spacing: Δφ~1/20
- Observations for > 250 hours/year
- Proposing by the middle of 2017
 - Detecting pulsation-driven shock waves and/or periodic behaviors in circumstellar envelopes
 - Finding evolution of inhomogeneity in CSEs
- Synergies with ALMA (thermal/sub-mm masers), VLTI (star images), JASMINE (stellar astrometry), and SKA-VLBI (OH masers)



ESTEMA source list (2nd semester, Priority B)

	No.	Maser source (Type)	Priority	R.A. (J2000)	Dec. (J2000)	Vsta
						(km/s
	41	RS Vir (Mi*)	А	14 27 16.39	+04 40 41.1	-1
	46	U Her (Mi*)	А	16 25 47.47	+18 53 32.9	-1
	51	AH Sco (SG)	А	17 11 17.02	-32 19 30.7	-1
	53	RW Sco (Mi*)	А	17 14 51.68	-33 25 54.6	-7
	86	V1111 Oph (Mi*)	А	18 37 19.26	+10 25 42.2	-3
	99	RT Aql (Mi*)	А	19 38 01.60	+11 43 18.2	-3
	111	OH83.42-0.89 (OH*)	A	20 50 58.60	+42 48 11.0	-3
	116	IRC+60370 (Mi*)	А	22 49 59.20	+60 17 55.0	-5
FSTEMA	118	MY Cep (SG)	А	22 54 31.71	+60 49 38.9	-5
	119	V627 Cas (Sy*)	A	22 57 40.99	+58 49 12.5	-5
	1	Y Cas (Mi*)	A	00 03 21.47	+55 40 51.8	-1
target	34	R UMa (Mi*)	A	10 44 38.47	+68 46 32.7	3
unger	122	R Cas (Mi*)	A	23 58 24.87	+51 23 19.7	2
	32	R Leo (Mi*)	A	09 47 33.49	+11 25 43.7	-
stars	57	OH358.23+0.11 (OH*)	A	17 40 53.40	-30 23 09.0	-1
stars	70	V4201 Sgr (sr*)	A	17 53 18.80	-26 56 37.0	-
	103	IRAS 19422+3506 (OH*)	A	19 44 07.00	+35 14 08.2	-4
	79	V5102 Sgr (sr*)	A	18 16 26.03	-16 39 56.4	4
	88	IRC+00363 (Mi*)	A	18 41 25.00	-04 20 36.0	5
1000	93	OH38.10-0.13 (pA*)	A	19 01 20.05	+04 32 31.6	5
(see	100	IRAS 19371+2855 (OH*)	A	19 39 07.77	+29 02 38.6	2
	52	V2108 Oph (Mi*)	A	17 14 19.39	+08 56 02.6	1
каvа	56	IRC=30308 (OH*)	A	1/ 38 40.49	-31 5/ 18.2	
	/1	V4120 Sgr (Mi*)	A	18 03 56.54	-20 19 00.4	1
Homepage)	80	OH16.1=0.3 (pA*)	A	18 21 06.44	-15 03 29.8	2
	10		A	05 55 49.17	+20 10 30.7	-4
	22	2 Pup (Mi*)	A	07 32 38.06	-20 39 29.1	
	27	R Unc (MI*)	A	15 01 00 00	+11 43 34.0	
	42	3 Orb (WI+)	A .	02 10 20 70	100 50 07.4	_
	4	Col (Mi*)	~	05 46 56 21	-02 30 37.4	4
	24		<u>^</u>	07 42 17 16	-14 42 49.9	2
	120		<u>^</u>	22 06 20 17	+10 22 26 1	2
	25	V253 Pup (ersk)	Δ	07 46 34 15	-32 18 16 3	2
	20	VIJI Pup (orth)	<u>,</u>	07 55 40 16	_20 20 54 0	2
	30	TW Hvg (Mix)	2	09 45 15 24	-22 01 45 3	4
	20	IRC-10151 (OH*)	A	07 07 49 38	-10 44 05 9	4
	36	R Crt (crst)	4	11 00 32 95	-18 10 20 6	1
	37	RT Vir (erst)	A	13 02 37 98	+05 11 08 4	1
	40	RX Boo (sr*)	A	14 24 11 84	+25 42 21 1	
			~	. + 2 + 11.04	20 72 21.1	

Group	No.	Maser source (Type)	Priority	R.A. (J2000)	Dec. (J2000)	Vstar
						(km/s)
B1	6	RR Per (Mi*)	В	02 28 29.40	+51 16 17.3	9
B1	11	BW Cam (Mi*)	В	05 19 52.56	+63 15 55.8	50
B1	19	GX Mon (Mi*)	В	06 52 47.04	+08 25 19.2	-8
B1	23	OZ Gem(Mi*)	В	07 33 57.75	+30 30 37.8	7
B2	2	V524 Cas (Mi*)	В	00 46 00.12	+69 10 53.4	-27
B2	109	IRAS 20381+5001 (Mi*)	В	20 39 39.60	+50 12 15.0	-38
B2	115	AM Cep (Mi*)	В	21 41 27.08	+76 23 11.3	-50
B2	117	V386 Cep (sr*)	В	22 53 12.33	+61 17 00.4	-49
B3	17	AP Lyn (Mi*)	В	06 34 33.92	+60 56 26.2	-23
B3	18	U Lyn (Mi*)	В	06 40 46.49	+59 52 01.6	-16
B3	29	X Hya (Mi*)	В	09 35 30.27	-14 41 28.6	27
B3	33	V Ant (Mi*)	В	10 21 09.11	-34 47 18.7	-18
B4	35	VX UMa (Mi*)	В	10 55 39.88	+71 52 09.8	-50
B4	40	RX Boo (sr*)	В	14 24 11.84	+25 42 21.1	1
B4	44	WX Ser (Mi*)	В	15 27 47.38	+19 33 42.9	7
B4	47	T Oph (Mi∗)	В	16 33 43.54	-16 07 54.3	-33
B5	66	MHSOM100	В	17 48 18.11	-28 07 38.9	111
B5	76	OH10.1-0.1 (pA*)	В	18 08 16.38	-20 16 11.6	52
B5	87	V438 Sct (Mi*)	В	18 41 14.33	-06 15 00.7	71
B5	89	IRC+00364 (IR)	В	18 42 08.43	-02 45 15.4	50
B6	49	V446 Oph (sr*)	В	16 46 39.11	-11 38 53.1	10
B6	54	IRAS 17187-3750 (IR)	В	17 22 11.20	-37 53 13.0	-26
B6	82	UY Sct (sr*)	В	18 27 36.53	-12 27 58.9	26
B6	102	V1415 Aql (Mi*)	В	19 43 45.29	+03 44 30.4	-31
B7	55	IRAS17313-1531	В	17 34 10.80	-15 33 02.0	-49
B7	62	MHSOM75	В	17 46 12.46	-28 07 05.3	-39
B7	68	V2211 Oph (Mi*)	В	17 51 09.95	-08 01 21.3	-20
B7	90	V837 Her (Mi*)	В	18 43 36.47	+13 57 22.8	-9
B8	72	IRC-20427 (Mas)	В	18 05 35.49	-21 13 42.2	17
B8	73	IRC-10395 (IR)	В	18 06 42.88	-08 13 12.0	20
B8	77	V2302 Oph (Mi*)	В	18 09 18.55	+09 12 15.6	-13
B8	84	OH24.7+0.2 (OH*)	В	18 35 29.20	-07 13 08.0	42
B9	92	V1366 Aql (Mi*)	В	18 58 30.09	+06 42 57.8	20
B9	98	UV Cyg (sr*)	В	19 31 13.28	+43 38 13.6	33
B9	105	OH65.4+1.3 (OH*)	В	19 51 21.20	+29 13 01.3	-21
B9	108	V1828 Cyg (Mi*)	В	20 36 57.04	+37 52 33.9	-2
B10	101	V391 Cyg (Mi*)	В	19 40 52.39	+48 47 41.5	-20
B10	106	V468 Cyg (Mi*)	В	19 55 38.15	+32 45 33.8	-45
B10	112	UX Cyg (Mi*)	В	20 55 05.52	+30 24 52.1	2
B10	121	R Aqr (Sy*)	В	23 43 49.46	-15 17 04.1	-21

Scan pattern in KaVA/ESTEMA observations



⁶⁻⁹ hours per session for 4-6 sources

20 pairs of K/Q-band sessions with VERA

HINOTORI (Hybrid Installation project in Nobeyama, Triple-band Oriented)

H. Imai, H. Shinnaga, S. Sawada-Satoh, A. Nakagawa, K. Mizukubo, T. Handa (Kagoshima University); H. Ogawa, K. Kimura, T. Manabe, M. Chiba, N. Okada, I. Hashimoto, R. Takahashi, S. Takada, A. Honma, T. Ohnishi (Osaka Prefecture University); T. Oyama, Y. Kono, N. Sakai, T. Hirota, Y. Tamura, K.M. Shibata, M. Honma (Mizusawa VLBI, NAOJ); T. Minamidani, M. Saito, Y. Miyamoto, K. Miyazawa (NRO, NAOJ); Y. Asaki, S. Kameno (NAOJ Chile); K. Fujisawa, K. Niinuma, N. Matsumoto (Yamaguchi University)

Main concepts:

- Upgrading Nobeyama Radio Observatory (NRO) 45 m telescope in a unique technical approach
 - Developing large dichroic mirrors (high-path filter plates, see Okada-san's proceedings paper) for simultaneous observations in triple bands (K/Q/W) (see Fig. 1)
 - Upgrading VLBI signal transmission and backend systems for the new triple-band observations (including polarization conversion) (see Fig. 2)
- Developing band-to-band (low to high) calibration schemes for millimeter observations (in single dish and VLBI)

Main science cases in triple-bands

- Technical advantages
 - More efficient observations
 - More reliable calibration in antenna pointing, flux scales, and interferometric fringe phases at higher frequency bands
 - High sensitivity millimeter VLBI
- Single-dish observations
 - Physical diagnostics with multiple line transitions (CCS, CH₃OH, SiO, with magnetism)
 - Redshift measurement for distant galaxies and quasars
- VLBI with NRO 45 m telescope
 - Continuous tracking of mass loss from dying stars from stellar surface (SiO masers) to outer expanding envelope (H₂O masers) affected by stellar pulsation and inhomogeneity with outburst
 - Dynamical diagnostics with absorption systems of millimeter lines in front of background quasars
 - Circumnuclear tori and disks as gas supplier around active galactic nuclei
 - Spatially resolving tiny structures in diffuse interstellar medium in the Milky Way

System development outline

- Quasi-optics
 - Using existing receivers and optics, guiding thick (50 cm) beams
 - Developing new high-pass dichroic filter plates, still steerable for exchange
- Signal transmission
 - Introducing co-axis IF switch, but still possible to simultaneously obtain data for both single-dish and VLBI observations
 - High speed signal A/D conversion and recording (24 Gbps = 12 ch x 512 MHz)
 - Real-time polarization conversion for VLBI
- Operation issues
 - Data acquisition and handling (single-dish, VLBI) for triple band observations
 - Additional development for remote control and operation
 - Station coordinates affected by homologous reflector deformation

NAOJ Collaborative Development Program (P.I. T. Manabe, FY2016)



Fig. 1. Quasi-optics in the lower cabin of the NRO 45 telescope and a newly developed dichroic filter plate

		Status		Selection (order of priority))							
		in 2016 May	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	с
1100	LCP	Available	0					0	0	0		0	0	0	0	0		
ΠΖΖ	RCP	Available	0					0				0	0			0		
1140	LCP	Available		0				0	0		0	0		0	0			
Π40	RCP	N/A																а
	VLP	Available					0								0		0	
т7	HLP	Available					0								0		0	
12	LCP	N/A			0				0	0	0	0	0	0				
	RCP	N/A			0					0	0		0	0				
745	VLP	Available				0										0	0	Ŀ
Z45	HLP	Available				0										0	0	n
Note					d	b	е	f	g	d	d						i	
			FY20	016														
	Tim	eline						FY20	017									
												FY20	018?			FY20)20?	
Note	а	Out of scope in	n HIN	ото	RI													-
${f b}$ Only Z45 for polarimetric VLBI and single dish (mirror exchange is out of scope in HINOTORI mode)									mode)									
C Assuming only 3 IFs at first, and 4 IFs after funded, can be processed in OCTAD																		
	d	Before wide Po	olariS	gets	avail	able,	with	circu	lar po	olariz	ers a	re ins	stalle	d	Т	able	1. P	ossible
	е	After wide Pola	ariS g	ets a	vailal	ble fo	r VLI	P/HL	P>	LCP/	/RCF	, con	versio	on	c	omb	inat	ion

combination of receiving bands and polarizations

g After both Q-/W-HPF are set

f After Q-HPF is set

h Z45 will be replaced with H40 after NRO permits it (but it will be in open discussion after FY2019).

i After two set of wide PolariS are installed, but useless without 6 IFs



Fig. 2. Possible configuration of HINOTORI signal transmission and recording system in 2019. All the IF signals will be finally transferred from the co-axis IF switch modules and IF selector. The paths of signal inputs to OCTADISK2 are under discussion, dependent on the possibility of the interface between the new OCTAD and Wide Polaris. Polarizations used in TZ (86 GHz band receiver), either vertical and horizontal linear polarizations or left and circular polarizations, are still in discussion.

Calender year		2016			20	17			20	18			20	019			2020	
quarter year	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
Quasi-optics																		
Q-band HPF designing																		
Q-band HPF commisioning										Regu	lar opera	tion						
W-band HPF designing																		
W-band HPFcommisioning														Regu	lar opera	ation I		
TZ (W-band) reborn																		
Performance inspection																		
Relocation and rebuilding																		
Commissioning											Regu	lar opera	ation					
Digital signal conversion																		
Wide PolariS coding																		
Testing (polarimetry, VLBI)							Regula	r operat	ion									
Single-dish observations											_							
KQ-band observations				Operation	commissi	oning	Scient	ific com	misioning		Regu	lar opera	ation					
KQW-band observations				6			Operation	commis	sioning	Scier	ntific con	nmisionir I	ng I	Regu	lar opera	ation		
Z45 Polarimetry					Scientific	commisior	ning Regula	r operat	ion									
TZ Polarimetry										Scier	ntific con	nmisionir	ng I	Regu	lar opera	ation		
VLBI signal transmission																		
New IF output switch			Opera	tion comm	issioning		Regular o	peration	(from Ka	VA 2017	7B)							
ADS3000+			Opera	tion comm	issioning		Regular o	peration	(from Ka	VA 2017	7B)							Reuse
new OCTAD				Op	eration co	mmissionir	ng Regula	r operat	ion (from	n KaVA 2	017B)							
OCTADISK2	Operat	ion commi	ssioning	Regular o	peration (f	rom KaVA	2017A)											
VLBI observations																		
Operation scheme update			Operation	commissi	oning		Re	gular ope	eration (f	rom KaV	A2017B)						
Single-band KaVA (K & Q)			Op	eration co	mmissionir	' 1g	Re	gular ope	eration (f	rom KaV	A2017B)						
K/Q-band KaVA				Op	eration co	mmissionir	ng Scient	ific com	misioning	Regu	lar opera	toin (fro	m KaVA	2018B)				
Polarimetry with Z45							Scient	ific com	misioning	Regu	lar opera	toin (fro	m KaVA	2018B)				
Single-band KaVA (W)								Operatio	on comm	issioning	Scier	ntific con	nmisionir	ng Regu	lar opera	atoin (fro	m KaVA	2019B)
Polarimetry with TZ								Operatio	on comm	issioning	Scier	ntific con	nmisionir	ng Regu	lar opera	atoin (fro	m KaVA	2019B)
K/Q/W-band KaVA								Operatio	on comm	issioning	Scier	ntific con	nmisionir	ng Regu	lar opera	atoin (fro	m KaVA	2019B)
Station geodesy			GPS	$\sigma \sim 5$ cm					GF	PS+VLBI	(measu	rement o	f homolo	i ogous ant	tenna de	i formatio	n) σ	~2cm

HINOTORI timeline (Plan on 2016 December 7)

大学 VLBI 連携の現状と将来計画

藤沢健太(山口大学)

1. 2015 年の成果

大学連携 JVN は 2015/10/01 から 2016/09/30 の 1 年間に計 31 回の観測を行った。内訳は 6.7 GHz=13 回 (101.5 時間)、8 GHz=14 回 (96.5 時間)、22 GHz=4 回 (82 時間)、合計観測時間は 280 時間である。主 な観測対象は、S255 のバーストした 6.7 GHz メタノール・メーザ、周期的変動を示すメタノール・メーザ、 メタノール・メーザのアストロメトリ、アウトフローに乗ったメタノール・メーザ、銀河系内コンパクト天体、 WR Star、High-z AGN、EAVN 試験観測、Evolved Star、吸収線 AGN の VLBI 観測などである。

2016 年 10 月発行の PASJ で大学連携の特集号を組んでいただいた。これは Vol 68 (Oct 2016), "Special Feature: University Collaboration in Optical/Infrared and VLBI Observations"として出版され、VLBI の 大学連携として 8 編、光赤外の連携から1 編、計9 編の論文が一挙に掲載された。JVN・大学連携は、研究成 果が出る研究組織となっていることを示している。著者も、茨城大、筑波大、山口大、鹿児島大、天文台、宇 宙研と広く分布している。

大学連携の著しい特色として、大学間の交流を通じて学生を教育する効果が挙げられる。今年度も、大阪府 大小川研で他大学学生が観測システム製作の指導を受け、また学生が独自に行う学生V懇が実施されている。 これらも大学連携の成果といえる。

2. 望遠鏡の停止と組織改編

望遠鏡の老朽化および運用体制の維持の困難などが要因となって、2015年度末で苫小牧11mは運用停止し、 大学連携から北大が離脱した。大学連携としては大変残念であるが、徂徠氏を中心とする北大グループが新た な研究計画で大いに発展することを期待したい。15年間の北大・苫小牧の成果の一部を以下に紹介する。苫 小牧局を利用して書かれた論文は、Sorai et al. (2008)、Motogi et al. (2008)、Nagayama et al. (2008)、Motogi et al. (2016)などがある。このほかにも銀河・星形成研究の拠点として多くの成果があり、また多数のPhD を輩出している。そのうちの一人、元木業人氏は2016年10月から山口大学の助教となり、大学連携の新た な推進役となっている。

2016 年 12 月末に国土地理院つくば 32m が運用を停止し、1 月から解体作業が行われている。今後 VLBI 観測は石岡局に特化となる。有力な 8 GHz 観測局であったつくば局の停止は、やはり大学連携・JVN には大 きな痛手である。この運用停止に伴って、30m を超える観測局は、茨城、山口、鹿島、臼田の4 局となった。 長期間にわたってつくば局を利用してきた筑波大学グループは、今後は NICT 鹿島の 34m との連携を深める ことを計画している。JVN の観測は、長時間の利用が可能な茨城・山口を中心とし、また NICT 鹿島の運用 に積極的に関与して、高感度・少数基線の研究を組織的展開する予定である。

3. 展望

2016年度から第3期中期計画が始まり、これに合わせて大学連携も研究計画を新たにしている。この議論のために2016年7月に茨城局において大学連携ワークショップを開催して、多くの参加者による議論が行われた。この議論を踏まえた white paper は現在取りまとめている最中であるが、「センチ波帯における高空間分解・時間領域天文学の開拓」を基盤とした計画となっており、特に少数基線の観測、時間変動の観測、茨城2素子干渉計、山口干渉計の研究などが大きな役割を果たす予定である。

茨城局機関報告

米倉覚則(茨城大学)

(1) はじめに

我々は、国立天文台および大学 VLBI 連携参加大学、協力研究機関とともに、日立 32メートルアンテナおよび高萩32メートルアンテナの立ち上げおよび運用を行っ ている。2016年12月の時点では、宇宙科学教育研究センターには、センター長(百瀬、 兼任)、専任教員1名(米倉)、技術補佐員1名、産学官連携研究員3名(杉山、斎藤、 作間 [KDDIOB])が所属している。理学部物理学領域には、電波天文観測研究室に百 瀬、塚越、高エネルギー宇宙物理研究室に吉田、片桐、天体形成理論研究室に釣部が所 属している。このうち、アンテナの立ち上げおよび運用を中心に行っているのは、米倉、 産学官連携研究員、および観測研究室の大学院生(M2[5名]、M1[2名])、学部4年生 (4名)である。

(2) 2016 年の運用

日立アンテナは、1年を通じて 6-9 GHz 帯受信機を搭載し、単一鏡観測、2素子干 渉計の立ち上げ、VLBI 観測を実施した。高萩アンテナは、1月から3月までおよび、 10月以降は、6-9 GHz 帯受信機を搭載し、単一鏡観測、2素子干渉計の立ち上げを 行った。4月から9月までは、22 GHz 帯受信機を搭載し、VLBI 観測、EAVN 試験 観測、気球 VLBI 観測実験などを行った。

単一鏡観測では、6.7 GHz メタノールメーザーの強度モニター観測をほぼ毎日実施 した(杉山他、青木他、山口他 [本集録])。また、新しい 6.7 GHz メタノールメーザ 一源の探査も実施した(大橋他、柴田他 [本シンポジウム集録])。個別天体に対する研 究(佐藤、宮本 [本シンポジウム集録])や、6-9 GHz / 21-25 GHz 受信機の切り替え システムの開発(足立他[本シンポジウム集録])も行った。

(2-1) メタノールメーザー単一鏡モニター観測

日立アンテナには 6-9 GHz 冷却受信機を搭載しており、VLBI 観測などが行われて いない時間帯においては、メタノールメーザー源の単一鏡モニター観測を行っている。 2012 年 12 月末より、アンテナ設置位置から観測可能な全てのメタノールメーザー源 (約 400 天体)に対する強度モニター観測を開始した。第1期として、2012 年 12 月 末から 2014 年 1 月中旬までの約1 年間、また、第2期として、2014 年 5 月から 2015 年 8 月までの期間、ほぼ毎日観測を行った。第3期として、2015 年 9 月からは、第1 期および第2期の観測によって強度変動の兆候がみられた 150 天体程度に絞り込み、 1-5 日に1回の高頻度観測を実施した。現在も観測を継続中である。これまでに、い くつかの周期変動天体を新検出するとともに、突発的な強度上昇を示す天体も検出した。

(2-2) 新メーザー源探査

6.7 GHz メタノールメーザー源の探査を行った。これまでに数個の新メーザー源(候補)を検出している。

(2-3)府大一高萩干渉実験

2016年10月14日に8GHz帯において、K5/VSSP32を用いた実験を行い、府大3.8m

望遠鏡においてフリンジを初めて検出した。

(2-4) パルサー観測

東大宇宙線研(現在理化学研究所)の寺澤さんが PI となり、かにパルサーのジャイア ントパルスの観測を、2016年11月28日,29日,30日,12月05日,06日,07日の6日間、 それぞれ5時間ずつ行った。高萩局は8GHz帯で観測を行い、LHCPはK5/VSSP32 で記録、RHCPはK5/VSSP32とOCTADISKの同時記録を行った。現在解析中であ る。

(2-5)機器の故障

(1) SG (Keysight E8257D): 5 台中4 台が故障した。電源が入らなくなった。修理が完 了した。筐体内部でサビが出ているとの報告があった。塩分を含んだ湿気が原因の可能 性があるが、現時点では原因不明である。

(2) O/E-RX (ORTEL WiBA 10481): 5台中2台が故障した。修理が完了した。雷サージ等の電気的ストレスが故障要因として考えられるとの事であった。なお、この製品は、近日中に製造中止になるとの事。

(3) アッテネータ・スイッチ ドライバー (キーサイト 11713B) 2台。修理完了。

(4) OCTADISK (エレックス):右側 module 認識されなくなった。修理完了。内部のメイン基盤の IC と電源の故障。

(5) NTP 用 GPS アンテナ:別の GPS アンテナを設置し、復旧した。

(6) ビデオコンバーター用ローカル(日本通信機 7632 相当品)(岐阜大から借りているもの): 8CH のうち、3CH が出力低下。全チャンネルとも前面パネルの周波数変更 スイッチが動作しなくなった。出力については修理完了。前面パネルスイッチは修理不 能のため GP-IB 制御のみになった。

(7) ビデオコンバーター用ローカル (日本通信機 7632 相当品) (北大から借りている もの): いくつかの CH で local が出力されなかった。修理完了

(8)2素子干渉計相関器 OCTAD-C:サンプラ部の FAN の断線が頻発。交換した。機器 内部のサビがひどい。

(9) 高萩アンテナ制御 PC、日立アンテナ制御 PC: 数回ハングアップ。電源ユニットを 交換した。

(2-6)保守履歴

以下の保守を実施した(特記無いものは年1回の実施)。電気系保守。機械系保守。デ ハイド保守(2年に1回)。モーター保守。カップリングトルク測定・調整、ブレーキ トルク測定。グリス剥離。グリス塗布(年2回)。冷凍機メンテ(2年の運転につき1 回×4台なので、平均すると毎年1台。今年は2台実施)。

(2-7) 地震

震度4以上の地震が4回発生した。 02/07 10:09 震度4 (高萩市) 07/27 23:47 震度5弱(日立市)、震度4 (高萩市)(震度5弱は、2013/12/31以来?) 11/22 05:59 震度5弱(高萩市)、震度4 (日立市)(福島県沖 M7.4) 11/24 06:23 震度4 (高萩市)(福島県沖 M6.1) (3) 新たな観測モードの立ち上げ

(3-1) 高萩一日立2素子干渉計(専用相関器)

連続波源の強度モニターを目的として、立ち上げを行っている。

(3-2)山口一茨城広帯域 VLBI (ADS1000+,OCTADISK,PC)

連続波源のコンパクト領域の強度モニターを目的として、立ち上げを行っている。

(3-3) 少数基線 VLBI 観測 (K5/VSSP32)

6.7 GHz メタノールメーザー源の放射サイズおよびその時間変動の測定を目的として、

立ち上げを行っている。

サンプラーとしては、K5/VSSP32を用いる。

(4)研究成果報告

(a)主な査読論文

(1) Yonekura et al. 2016 PASJ 68, 74

The Hitachi and Takahagi 32 m radio telescopes: Upgrade of the antennas from satellite communication to radio astronomy

(2) Sugiyama et al. 2016 PASJ 68, 72

Observations of 6.7 GHz methanol masers with East-Asian VLBI Network. II. Internal proper motion measurement in G 006.79–00.25

(3) Sawada-Satoh et al. 2016 ApJL 830, L3

Spatially Resolved HCN Absorption Features in the Circumnuclear Region of NGC 1052

(4) Mikami (東大宇宙線研) et al. 2016 ApJ 832, 212

Wide-Band Spectra of Giant Radio Pulses from the Crab Pulsar

(5) Motogi et al. 2016 PASJ 68, 69

Accelerating a water maser face-on jet from a high mass young stellar object $% \left({{{\left[{{{\rm{s}}} \right]}_{{\rm{s}}}}_{{\rm{s}}}} \right)$

(6) Fujinaga et al. 2016 PASJ 68, 70

The discovery of new AGN candidates within the field of Fermi unassociated $\gamma\text{-}\mathrm{ray}$ sources

(b)2015 年度修士論文

(1)沖本有「銀河系遠方腕における水及びメタノールメーザーの探査」

(2)加古琳一「日立局・高萩局を結合した二素子干渉計の立ち上げ」

(3)永瀬桂「G014.23-00.50 に付随する 6.7GHz メタノールメーザーの高頻度モニター観測」

(4)安井靖尭「Lomb-Scargle 法を用いた 6.7GHz メタノールメーザ強度変動周期の導出」

以上

木村 公洋(大阪府立大学)

○府大屋上 3.8m 電波望遠鏡

2014 年度に国土地理院新十津川から借用した 3.8m 電波望遠鏡について、本年度にようやく VLBI 観測準備が整った。試験観測として、茨城大学の協力のもと、茨城局との間で 3C273b のフリンジ観測に成功した(高橋他本集録参照)。



左図)府大屋上に設置された 3.8m 電波望遠鏡 右図)茨城局との間で観測さ れた 3C273b のフリンジ

○府大屋上 1.8m 電波望遠鏡

○多周波分離フィルタの開発

1.8m 鏡は、3.8m 鏡と同様に、2014 年度に NICT 小金井から府大に移設を行った。この望遠鏡 は、小型衛星の追尾や広帯域フィード等のテストベンチとして使用している。今年度は、気球 VLBI グループから 20GHz 帯の受信機を借り受け、IPSTAR の観測に成功した。



左図)府大屋上に設置された 1.8m 電波望遠鏡 右図) IPSTAR のスペクトル

カットオフを用いた周波数分離フィルタ (22/43GHz)の開発を行い、野辺山 45m 鏡のビーム 伝送系に搭載する事を目指している。この開発により、22,43GHz 帯の同時観測が可能となる (HINOTORI プロジェクト(PI:鹿大:今井さん)の一環として活動)(岡田他本集録参照)。



○気球 VLBI ミッションへの参加

土居さん(ISAS)達が中心となって進めている気球 VLBI ミッショ ンにも協力を行っている。22GHz 帯の初号機は 2016 年夏に北 海道大樹町にある大樹航空宇宙実験場から打ち上げを試みたが、 天候不良等の為に断念し、2017 年打ち上げを目指している。

た図)



CH4 (6-mm) Aluminum (2.65x10⁻⁸ Ωm)

左図) 試作した 22/43 分離フィルタ 右図) フィルタの透過 反射特性計算



山口大学機関報告

藤沢健太(山口大学)

(1)概要

山口大学の研究グループは 2002 年の発足から約 15 年が経過した。現在の研究スタッフは5 名、大学院生6名、学部4年生6名、秘書1名の体制となっている。研究分野は星形成、AGN、 銀河系力学、トランジェント、電波望遠鏡の研究と、VLBIに関連する広い範囲をカバーして いる。これまでのJVNの中核局・研究機関としての役割に加え、東アジアVLBI観測網の主 要局として研究を発展させることを計画している。2016 年から山口第2アンテナを電波望遠鏡 として本格的に利用開始した。現在は干渉計としての基本性能試験、また受信機の開発中である。

(2)研究室 ~発足から15年目~

研究室のメンバーは、研究スタッフ5名(藤沢健太(教授)、新沼浩太郎(准教授)、元木業人(助教)、青木貴弘(学術研究員)、松本尚子(助教(特命))、事務補佐員1名(國弘規代)、大学院生修士課程6名、および学部生6名の総勢18名である。主な研究テーマはAGN、メーザ・ 星形成、銀河系動力学、パルサーとトランジェント、観測システム開発である。山口32m(第1) 電波望遠鏡、山口第2(34m)電波望遠鏡、Japanese VLBI Network (JVN), East-Asian VLBI Network (EAVN)が主な研究装置であり、単一鏡、VLBIを用いた観測を行っている。

(3) 電波望遠鏡

山口 32m 電波望遠鏡(第1電波望遠鏡)には 6-9 GHz 左右両円偏波同時受信可能な冷却低雑音受信機(Tsys = 45 K)が搭載され、バックエンドには K5/VSSP32 (4台)、OCTAVE システム (ADS-1000, ADS-3000+、 OCTAVIA、OCTADISK)が用いられている。

2014年度から研究を開始した山口第2アンテナ (第2電波望遠鏡)は、2016年に本格的な利用を開始 した。追尾システムは2016年3月に完成し、順調に運



山口第1(右)、と第2(左)電波望遠鏡

転中である。大学内からの遠隔操作も可能である。山口第1電波望遠鏡と同等の冷却低雑音受信 機を、大阪府立大学小川教授の指導を受けつつ製作している(金澤)。観測信号はRFを光信号 に変換して第1の観測棟へ送信し、干渉計とする。すでに試験的にフリンジは検出された(青木)。

(4)研究トピックス

- ・ メタノール・メーザと星形成では、Mon R2 の周期的強度変動(杉谷)、G33.641-0.228 の バースト現象(小島)、メタノール・メーザの発生領域(中村)、DBSM 天体 G353.273+0.641 水メーザのジェット(元木)などの研究が行われている。
- AGN は、3C111 のジェット(塩谷)、high-z AGN の形状(古谷)、γ線放射天体の VLBI
 同定(藤田)の研究を行っている。
- このほか、銀河系内コンパクト天体の探査・固有運動測定(森、木村)、6.7 GHzメタノー ル・メーザを用いた銀河系動力学(宮地)、SKA、パルサー、トランジェント(青木)など の研究を行っている。

NICT VLBI グループ機関報告

関戸衛、川合栄治、岳藤一宏、氏原秀樹、近藤哲朗、 宮内結花、堤正則、長谷川新吾、篠塚久美子 情報通信研究機構 鹿島宇宙技術センター時空標準研究室

2016年2月10日

1 活動報告

NICT の VLBI グループは、鹿島宇宙技術センター を拠点として、広帯域 VLBI システムの開発と、この システムを長距離の周波数精密比較に応用すること をプロジェクトの中心課題としている。研究施設とし ては、3つの大型観測施設(鹿島34mアンテナ、鹿島 11m アンテナ、小金井 11m アンテナ)を維持運用し、 NICT 小金井本部と産業技術総合研究所の計量標準 センター (以下 NMIJ) に設置した小型 VLBI 局をあ わせて、広帯域 VLBI システム開発のための VLBI 実験を実施している。広帯域 VLBI プロジェクトの主 な進捗としては、2016 年 3 月に小金井の小型 VLBI 局の主鏡を 2.4m に交換し、受信系をカセグレン型に 変更して4倍以上の感度改善を実現した。NMIJと NICT 小金井本部に設置した2つの小型アンテナと鹿 島 34m アンテナまたは国土地理院の石岡 13m アンテ ナとの VLBI 実験を繰り返し実施し、小型アンテナ間 でも広帯域観測により高い遅延計測精度(約1 psec) の計測が可能であることを実証し、さらなる感度・精 度の改善を目指して、UTC(NMIJ)-UTC(NICT)の 比較性能評価実験を続けている。

また、鹿島 34m アンテナ、鹿島 11m アンテナ、小 金井 11m アンテナの S/X 受信機を使って、IVS や AOV といった国際測地 VLBI 観測に定常的に参加し、 地上と天球の国際基準座標系である ITRF、ICRF の 維持と、"うるう秒"の基礎となる UT1 の計測に貢 献している。

NICT のプロジェクトミッション以外にも、国立 天文台の VERA 共同利用観測、大学 VLBI 連携、理 化学研究所・東大宇宙線研究所などと協力したカニ パルサーの GRP 観測、東北大学による木星観測な どを行っている。

表1に鹿島と小金井の11mアンテナの受信機性能

を、表2に鹿島34m アンテナの受信機性能を示す。 人員9名の構成(人数)はパーマネント職員(2)、有 期研究員(2)、有期技術員(2)、派遣職員(3)である。 1年間の主な活動を以下に示す。

- 6月30日:第15回IVS 技術開発センターシン ポジウム開催
- 11月下旬: IVS NICT-TDC News No.36 発行。
 2017 年初に国内外の研究者・機関に発送。
- 主なアウトリーチ活動
 - 7月30日: 鹿島宇宙技術センター 一般 公開
 - - 鹿嶋市の小中学校にて理科特別授業3件、

 中学校職場体験受け入れ2件
 - 青少年のための科学の祭典 (11 月 20 日)
 参加出展

研究成果は、IVS 総会、測地学会、天文学会など で発表しているほか、2016年の主著査読論文数4編 [1, 2, 3, 4]、共著査読論文数5編 [5, 6, 7, 8, 9]、主著 集録論文数4編 [10, 11, 12, 13] である。

参考文献

- Kondo, T. and K. Takefuji, "An algorithm of wideband bandwidth synthesis for geodetic VLBI", Radio Sci., 51,doi:10.1002/2016RS006070, 2016.
- [2] K. Takefuji, et al., "Very Long Baseline Interferometry Experimenton Giant Radio Pulses of Crab Pulsartoward Fast Radio Burst Detection, PASP, Vol.128, No. 966, p. 084502, 2016.
- [3] Takefuji,K., H. Imai, and M. Sekido, "Development of cross-correlation spectrometry and the

局名	Band	周波数 (MHz)	Tsys(K)	$\eta(\%)$	SEFD(Jy)	
	S	2212-2360	60	46	5000	
鹿島 11m	X-Low	7700-8200	110	62	5000	
	X-High	8180-8680	110	05	5000	
	S	2212-2360	80	58	4000	
小金井 11m	X-Low	7700-8200	110	63	5000	
	X-High	8100-8600	110	00	0000	

表 1: 鹿島 11m、小金井 11m アンテナ受信機性能。

表 2: 鹿島 34m アンテナ受信機性能。*印は大気の減衰効果を含む修正システム雑音温度である。

Band	周波数 (MHz)	Tsys(K)	$\eta(\%)$	SEFD(Jy)
Т	1.405-1.440	80.100	65 70	400.800
	1.600 - 1.720	80-100	05-70	400-800
S	2.21 - 2.35	60-90	58-60	300-500
Broadband	3.2-12	100-300*	30-40	1500-4000
X	7.86-9.08	40-80	45-60	200-500
K	22.0-24.0	140*	18-28	2000
Q	42.3-44.9	350*	25	4200

coherent structures of maser sources", Publ. Astron. Soc. Japan, Vol.68,No.5, pp.86(1-9), doi: 10.1093/pasj/psw077, 2016.

- [4] Ujihara, H., "Development of Wideband Feed for Kashima 34mAntenna", Radio Science, submitted, 2016.
- [5] Yonekura,Y., et al., "The Hitachi and Takahagi 32 m radio telescopes: Upgrade of the antennas from satellite communication to radio astronomy", PASJ, 68(5):74, doi: 10.1093/pasj/psw045, 2016.
- [6] Otsubo,T., et a.,, "Effective expansion of satellite laser ranging network to improve global geodetic parameters", EPS, 68:65, DOI: 10.1186/s40623-016-0447-8, 2016.
- [7] Mikami,R., et al., "WIDE-BAND SPECTRA OF GIANT RADIO PULSES FROM THE CRAB PULSAR", ApJ, 832(2) 25pp, doi:10.3847/0004-637X/832/2/212, 2016.
- [8] Miyoshi,M., et al., "Caravan-Submm, Black Hole Imager in the Andes", Advances in Astronomy, 2016, Article ID 8306494, 12pp http://dx.doi.org/10.1155/2016/8306494, 2016.
- [9] Moin,A., et al., "e-VLBI observations of GRB 080409 afterglow with an Australasian radio telescope network", Research on Astronomy and Astrophysics , 16(11), 164 (6pp) doi: 10.1088/1674.4527/16/11/164, 2016.

- [10] Sekido,M. et al., "An Overview of the Japanese GALA-V Wideband VLBI System", Proc. of IVS 2016 General Meeting, NASA/CP-2016-219016, pp.25-33, 2016.
- [11] Sekido, M., et al., "Development Status of GALA-V Broadband VLBI — Geodetic Solution and Clock Comparison –", IVS NICT-TDC News 36, pp.14-19, 2016.
- [12] Takefuji,K. "Performance of Direct Sampler K6/GALAS" IVS NICT-TDC News 36, pp.20-22, 2016.
- [13] Ujihara, H., "Development of Broadband Antenna", IVS NICT-TDC News 36, pp.13, 2016.

VLBI運営小委員会報告

藤沢健太 (委員長)

(1) VLBI 運営小委員会

VLBI 運営小委員会とは国立天文台が設置する委員会の1つであり、電波専門委員会の下部に位置している。任期は2年で、今期は2016年から2018年である。構成員は下記の通りで、天文台内が6名、天文台外が9名の計15名である。

天文台内:郷田、小林、齋藤、立松、廣田、本間(副委員長)+柴田(オブザーバー) 天文台外:今井、川畑、関戸、高橋、中井、藤沢(委員長)、嶺重、村田、米倉

(2) 今期の委員会の議論の方針

- 1. 水沢 VLBI 観測所が所有する各望遠鏡・アレイの運用方針やそれを用いた研究活動等について、科学的成果を最大化する観点から議論と提言を行う。
- 2. 水沢 VLBI 観測所を中心とする VLBI に関連する研究活動の将来的な方向性・計画について、議論と提言を行う。
- 3. その他水沢 VLBI 観測所および VLBI に関連する事項につい検討する。

(3) 今期の議論の進め方

今期2年間6回の委員会で、次の予定で将来計画の議論を行う。

毎1回 2010 牛 11 月 刀町仄/	第1回	2016 年 11 月	方針決定
--------------------------	-----	-------------	------

- 第2回 2017年2月 国内アレイ: VERA, JVN について報告
- 第3回 2017年6月 KaVA、EAVN、NRO45mの多周波・ミリ波 VLBI 計画について
- 第4回 2017年10月 SKA、ngVLA について報告
- 第5回 2018年2月 ミリ波、気球、ミリ波・サブミリ波大型アンテナについて
- 第6回 2018年6月 議論のまとめ

(4) ユーザーとの関係

国立天文台は共同利用研究機関であり、大学等の研究機関に所属するユーザーの意見に基づいて、 共同利用の研究機会を提供することが運営における基本的な方針である。VLBI に関連する研究に ついて、国立天文台の方針を議論する場の一つが VLBI 運営小委員会であるといえる。

本小委員会の主な議題は、共同利用のあり方と、将来計画である。国立天文台の VLBI 研究の方 針に意見や提案がある場合は、上記の委員を通じて本小委員会で議論を行うことが可能である。