

VLBA 問題

今井 裕 (日本 VLBI 懇談会, VLBA 問題検討ワーキンググループ)

〈鹿児島大学理学部物理科学科 〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-35〉

e-mail: hiroimai@sci.kagoshima-u.ac.jp



VLBI (超長基線電波干渉計) は、天文学史上最高の角分解能を実現する。その手法によって天文学をリードしてきた観測装置として、VLBA は 15 年以上活躍してきたが、今試験の時を迎えている。そのユーザーの一大グループである日本の天文学コミュニティは、VLBA の消滅/存命についてどう考えるのか？ 筆者らは、VLBA が天文学、とくに日本の天文学者のために果たしてきた/これから期待される役割について、情報を収集し多角的に考察してきた。観測開始時期が間近に迫る VSOP-2、日本や東アジアにおける VLBI 観測網の整備と密接に関係するこの問題に対してどう対処するのか、今年その結論を出さなければならない。

1. なぜ VLBA 問題？

観測装置には必ず寿命がある。たとえ正常に稼働できるとしても、期待された役目を果たし終わると、運用予算を打ち切られる運命が待っている。米国電波天文観測所 (NRAO) が所有する口径 25 m の電波望遠鏡 10 台から構成される VLBI 専用望遠鏡群 VLBA (Very Long Baseline Array)¹⁾ は、人類史上最高の角分解能 (100 マイクロ秒角台) による電波源撮像の機会を世界中の天文学者に常時提供し続けてきた。ところが、1994 年の定常運用開始から 13 年余りしか経過していないのに、早くも閉鎖の話が浮上してきた。事態が顕在化したのは、全米科学財団 (NSF) による現有観測装置に対する審査と運用に関する勧告 (senior review)²⁾ が公表された 2006 年夏のことである。NSF 勧告では、アレシボ 300 m 鏡や VLBA などが大幅予算削減の対象となったのである。それに従うならば、VLBA は 2011 年の運用をもって閉鎖しなければならない。運用し続けるためには、直接運用経費の半分について NSF 以外からのユーザー/研究機関から補助を受ける必要があ

る³⁾。NSF に指摘された分だけでも、その金額は年間約 4 億円程度になる。注意すべきは、2011 年から実際に予算措置がなされるように NRAO が 2009 年から予算要求案作成に取りかからなければならないので、もし支援するならばその表明を 2008 年、つまり今年中にしなければならないということである。

ある 1 国のある 1 研究機関の天文観測装置である。しかし、全機能を引き継ぐ次世代 VLBI 観測網がまだ誕生しえない 2011 年時点で VLBA が閉鎖されれば、関連分野の研究衰退は免れない。VLBA はこれから 10 年間の自分たちの研究計画の中で利用することを期待し、またはライバル的存在として、多くの研究者の視野中にその存在が織り込まれていることだろう。それにもかかわらず現時点では、VLBA およびそのユーザーらと深い関係をもつ日本の VLBI 関係者の中でさえ、まだ対策案を示すことができていない。VLBA を資金的に支援する/しないと単純に結論を導き出すのは、実際のところ難しい。研究資金やマンパワーが限られているのだから、それらをこれからどこに振り向けるべきかという問題に踏み込んだ

厳しい議論を避けては通れないからである。

日本 VLBI 懇談会⁴⁾は、2007 年 10 月に筆者らによる VLBI 問題検討ワーキンググループ (WG) を発足させ、情報収集と問題提起を行ってきた。WG のブログ⁵⁾を立ち上げたので、詳細についてはそちらも参照にされたい。WG としては、これから支援 (=投資) するのに VLBA は実際どれだけ価値があるのか、そもそもこういう状況の中で日本での VLBI 天文学の将来はどんな方向へ進むべきなのか、これらをまず整理する必要があると考えている。本稿では、VLBA とわれわれ日本人研究者との関連について分析したことについて述べる。そのうえで、読者の皆さんと議論を深め、速やかに VLBA 問題を克服して明るい将来へ向けて具体的な行動に移る道筋を明らかにしたい。

2. VLBA と日本 VLBI コミュニティとのかかわり

VLBI は、輝度温度の極めて高い (100 万 K 以上) 特殊な天体にしか感度がない代わりに、驚異的に高い角分解能によってコンパクトな天体の姿を次々と鮮明に描き出してきた。そして、性能が改善されるたびに観測対象天体種が増加した。今日、恒星の形成/進化や銀河/ブラックホールの形成、宇宙論、星間現象など、VLBI で研究できるテーマは天文学の中でメジャーなものとなっている。

その中には、人々に長く記憶に残るような VLBI 観測の成果もあるが、それらの出典をたどるとほとんどが VLBA を使って先駆けて観測し得られた成果なのである。VLBA 観測時間は、保守や試験以外はすべて世界中の研究者に公開されている。その “open sky policy”²⁾ は、多くの天文学者に活躍の場を与え、VLBI に基づく観測天文学 = VLBI 天文学の研究者集団を育ててきた。その中には日本の天文学者も含まれる。他国の観測装置であるにもかかわらず、VLBA の日本における VLBI 天文学の成長への貢献の軌跡は、特筆に値

する。

VLBI の歴史は 1960 年代にまでさかのぼる。しかし、VLBI による天体像が “常時” 得られるようになったのは、VLBA が登場して 1994 年に常時運用へ移ってからである。その直前日本では、国立天文台野辺山 45 m 電波望遠鏡-通信総合研究所鹿島 34 m 電波望遠鏡による 1 基線干渉計 (KNIFE) をもって世界と成果争いをしてきた⁶⁾⁻⁹⁾。メーザー源を観測して、銀河 NGC4258 の中心核に巨大ブラックホール存在がある証拠を直接つかんだ頃の話である。

その後、日米間で明暗がはっきりと分かれる。十分な観測時間を生み出せなかった当時の国内 VLBI 網 (J ネット) とは対照的に、VLBA は年間 4,000 時間以上の観測時間を世界中の天文学者に提供し、広い分野で成果を挙げる道を突き進んだ。1990 年代に大学院生だった若き筆者らは、学位論文の完成を J ネット観測でやり遂げる道を諦める代わりに、分野の転向ではなくモチベーション高揚の手段として VLBA で研究を進めるというスタイルを生み出した。またその頃、VSOP (スペース VLBI 計画) の観測対象天体を絞り込むために、VLBA を使った事前準備観測も行われ、そのデータで学位論文を完成させた人もいた。

ようやく 1997 年後半に、日本独自の VLBI 装置として電波天文衛星「はるか」を主役とした VSOP が定常観測を開始したが、ここでも VLBA なしでは語れない。その観測に最大 1,000 時間 VLBA が動員されている (総運用時間の 30%)。VSOP のものと等しい解像度が得られるより短波長の VLBA 単独観測データも大いに利用され、活動銀河中心核のエネルギースペクトルの測定も盛んになされた。

こうした中で、日本の天文学者は VSOP や VLBA を使ってさまざまな研究アイデアを実現させ成果を挙げてきた。原始星からのジェット出現の瞬間をとらえた「マイクロジェット」¹⁰⁾、脈動変光する AGB 星からのジェット (宇宙の噴水)

出現の確認^{11), 12)}, 相対論的ジェットを取り囲むように存在する「ヘリカル磁場」の検出¹³⁾, 巨大ブラックホールを形成する仕組みの解明へとつながる「対をなすブラックホール」の発見¹⁴⁾などが挙げられる。宇宙メーザーを位置指標として銀河系の形と運動をとらえるために建設された VERA (天文広域精測望遠鏡)¹⁵⁾ も、その科学的・技術的可能性が VLBA を使った観測によってまず先に実証されている^{16), 17)}。こうして、VLBA を使って研究を進め経験と実績を積んできた世代が、厳しい研究職への就職状況¹⁸⁾の中でも生き残り、VERA や JVN (2006 年に発足した新国内 VLBI 観測網) での成果創出に貢献し、VSOP-2 (次期 VLBI 計画)¹⁹⁾ の推進において主要な役割を果たしつつある。その間に培われてきた VLBA ユーザーである世界中の研究者との交流も忘れてはならない。

3. 多面的に見る VLBA の存在意義

2 章では、VLBA の天文学における貢献についてまとめた。ここでは VLBA の存在 (～投資) 意義について考える。比較の対象、あるいはわれわれの研究に組み込める別の対象として、世界のユーザーがアクセスできる欧州 VLBI 観測網 (EVN) や豪州の LBA, そして日本の VERA/JVN についても併せて話を進める。

3.1 日本人研究者による VLBA の利用

図 1 に、日本人の VLBA の利用状況の推移を示す。VSOP・個人の観測提案・公開 (アーカイブ) データ利用の 3 種でまとめている。VSOP は、国際公募観測を 1997 年後半から 2001 年前半に行っている。日本のプロジェクトとして立ち上げ運用した電波天文衛星「はるか」と共同観測する時間を地上望遠鏡群が提供しなければ、VSOP は成立しない。ゆえに、実際のデータ利用者は必ずしも日本人とは限らないが、VSOP 観測時間は日本人が利用した時間としてカウントに含めるべきである。また同時期に VLBA 単独利用の時間も

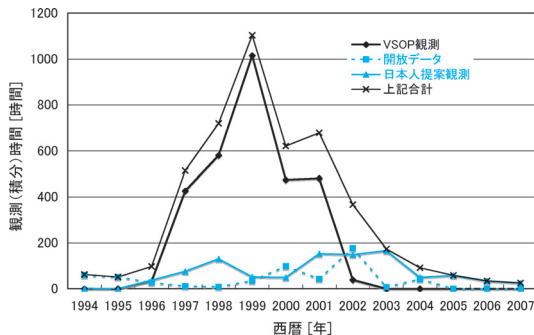


図 1 日本人研究者による VLBA 望遠鏡利用時間の推移。VSOP: スペース VLBI (VSOP) のための全観測、公開データ: 公開データの利用、日本人提案観測: 日本人提案の VLBI 単体での観測、上記合計: 3 者の合計。データの出典は VLBA HP(1) 中に掲示された観測済み天体リストの 2007 年末版である。

増加し、年間 180 時間にまで達する。公開データ元の観測が占める時間もそれに匹敵する。これらの合計は 1,100 時間/年に達することもあった。2012 年に VSOP-2 が観測を始めれば、同程度の需要が見込まれるし、それ以前でも準備観測のために需要が増える。VLBA の総開放時間は約 4,000 時間だから、最大でその 25% を占めることになる。

ちなみにここ最近 3 年間は、米国ユーザーに次いで欧州ユーザーが多く、少なく見積もっても約 40% を占めているはずである。一方、現在 VERA が世界中のユーザーに開放している時間が約 400 時間 (総運用時間の約 10%) であり¹⁵⁾, VLBI 専用望遠鏡群ではない EVN や LBA の開放時間と同程度である。現状運用方針のままでは、次期の VSOP-2 観測は別として、VERA と共同観測する JVN や EAVN (東アジア VLBI 観測網) としての公開時間はこれよりさらに少ないはずである。

3.2 抜群の観測効率・汎用性

表 1 に、世界に望遠鏡時間が公開されている VLBI 網である VLBA・EVN・LBA・VERA/JVN の諸元をまとめた^{1), 15), 20), 21)}。JVN については、VERA に加えて望遠鏡時間が公開されている野

表1 2008年初頭における VLBA, EVN, LBA, VERA/JVN の諸元. 公開分のみであることを注意.

	VLBA	EVN	LBA	VERA (JVN)
望遠鏡群構成	25 m 鏡 10 台 VLA や GBT 100 m 鏡と共同観測あり	14 m-300 m 鏡 19 台*1 VLBA との 共同観測あり	22 m-70 m 鏡 8 台*2	20 m 鏡 4 台 (45 m 鏡 + 34 m 鏡) *3
公開される 年間望遠鏡時間	約 4,000 時間	約 500 時間	約 300 時間	約 400 時間 (約 100 時間)
観測時期	通年	年 3 回	年 3 回	通年 (冬-春)
1 年間の観測 提案公募回数	3 回	3 回	2 回	1 回
周波数帯	0.31-90 GHz	0.32-43 GHz	1.4-22 GHz	22-43 GHz*4
周波数バンド数	11	11*6	9	2*4
直線/円偏波計測*5	可能	可能 (一部不可)	可能?	不可能
標準記録帯域幅	128-256 M ビット/秒	256-512 M ビット/秒	128 M ビット/秒	1,024 M ビット/秒*7

*1 Westerbork 25 m 鏡×14 台は 1 台と数える. DSN 70 m 鏡や Arecibo 300 鏡も含む.

*2 Australia Telescope Compact Array 22 m 鏡×6 台は 1 台と数える. Hartebeesthoek 26 鏡 (南アフリカ) を含む.

*3 望遠鏡時間が公開されていない望遠鏡を掲載していない.

*4 2008 年度共同利用観測より. それ以前は 22 GHz 帯 1 バンドのみ.

*5 信頼できるデータ校正を行うためには, 右旋・左旋回転偏波成分を同時に取得できる受信システムが必要.

*6 1 帯域バンドの観測に同時に参加できる望遠鏡数は 5-13 台.

*7 2 天体を同時に観測した場合の合計である.

辺山 45 m 鏡+鹿島 34 m 鏡のみを含めた仕様である.

こうして見ると, どの帯域バンドでも数台以上の望遠鏡を同時に動員できること, 公開されている観測時間, 成熟したデータ校正, ミリ波 (周波数 30 GHz 以上) で観測できること, さらに天体磁場構造の解明に欠かせない偏波観測において信頼できるデータが得られるという点で, VLBA が他の追随を許さない. VERA/JVN は, これらの上にさらに EAVN 望遠鏡群をほぼ総動員しなければ, EVN や LBA にも諸仕様において性能が届かない. さらに VLBA は, VLA (25 m 鏡 27 台) と Green Bank Telescope (GBT) 100 m 鏡と組み合わせた HSA (high sensitivity array) としての観測を年間 300 時間程度こなしており, 性能や効率の面で差が埋まることはない.

3.3 出版論文数の効能

VLBA の “open sky policy” (2 章) によって, VLBI 天文学の多様性が生み出されてきた. それ

は, 出版論文数で他の VLBI 装置を圧倒することからわかる (図 2). この中には, 前述のとおり日本人研究者も含まれる. また, ユーザーが多ければ人的交流も生まれる. 自分が書いた論文を引用してくれる同業者も多くなり, 自分の業績評価に数値として返ってくる. これらのことは, 各種の人事や研究費の公募における明暗につながることもある. ここで, 応募数の多い分野により多くの資金が回る日本における科研費分配方針が思い出される. VLBI 業界では, 知らず知らずに業績評価にも VLBA の影響が及んでいる.

3.4 基本データ・知識の提供

どんな観測でも, 目標天体を観測する合間に「校正天体」と呼ばれる天体を観測し, 生観測データを校正して目標天体固有の情報を得ることができる. VLBI の校正天体とは, 天球面上にてその座標が正確に測定されており (100 マイクロ秒角レベル), コンパクトで安定した輝度分布と不動点をもつ QSO (クェーサー) を指す. VLBA に

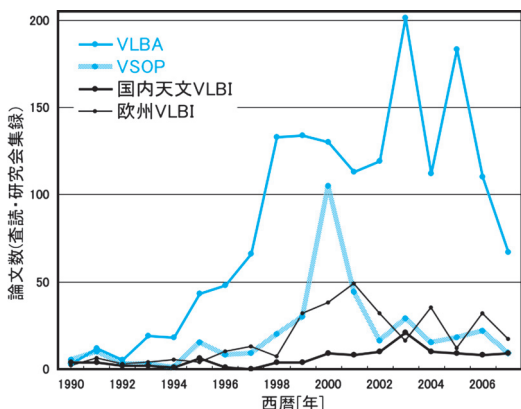


図2 各VLBI装置の名前が要約に記されている査読論文・研究会集録の1990年以降の年間総数。ADS Abstract Serviceを用いて調べた。装置名が出ていれば、その装置を使って得られた成果だと仮定してカウントしている。ただし、測地・地球物理学的観測の論文はここでは数に入れていない。

よって大規模なQSOの観測が進められ、3,000個にのぼる較正天体のリストが公開されている。VERAも含めて、VLBI観測では必ずこのリストからの恩恵を受けずにはいられないが、今後もVLBAによる効率的な較正天体探査が期待される。

また、VLBIで研究を始めようとする学生が参考に読む論文の大部分がVLBAから得られた成果に基づく。VLBIで天文学の主要テーマにアプローチできる、それを教え続けてきたのがVLBAの存在なのである。

4. VLBAはまだ期待されている

VLBAに対する今後の需要は、下記にまとめられる。

VSOP-2¹⁹⁾では、VSOPと同規模の観測(全体のほぼ1/3)をVLBAと共同で行うことが期待されている。電波天文衛星ASTRO-Gはほぼ何時でも特定電波源を観測できても、地上望遠鏡ではそうはいかない。そもそも、VSOP-2で検出できるような超高輝度天体やメーザー源を探さなければなら

ず、最も角分解能が高いVLBAでの事前準備観測は必須である。VERAでは検出できない微弱なメーザー源の高精度位置計測は、VLBAを使って実施するケースもある。また昨今では、各大学において国際的な規模での研究活動の重要性が持ち上げられつつあるが、VLBI天文学の分野でそれを行うならば、VLBAユーザーと連携する確率がずっと高くなる。

2011年時点で、VLBAが成してきたことを引き継ぐことができるVLBI観測網はほかにないのは、ほぼ間違いない。VLBA閉鎖を勧告したNSF Senior Review²⁾でさえも、「VLBAがなくなれば、高角分解能を実現するユニークなVLBI観測網は当面現れないだろう」と述べているが、単に望遠鏡の性能が過去のものに後戻りする、われわれが模索している将来計画が破綻するという問題では済まない。VLBAユーザーを吸収できる他の観測網はなく、「VLBI天文学離れ」が加速するだろう。天文学をしっかりと支えてきた観測装置の引き継ぎなき消滅は、天文学の多様性を大きく損なわれるきっかけになることを、筆者は危惧する。

5. 2008年：もう座視できない

VLBI天文学の明るい将来を紡ぎ出すとしたら、単純に考えると、VLBAと同レベルかそれ以上の機能をもつ別のVLBI観測網の構築をVLBA閉鎖までにやり遂げなければならないことになる。VLBA閉鎖をできるだけ長期間引き延ばし、その間に日本を含めて世界各国で観測網を整備できれば良い。それでは、その前者のためには何が必要で、その後者のためにはあと何を補わなければならないのだろうか？

2011年以降のVLBA運用継続のためには、年間4億円程度の直接運用経費をNRAO/NFS以外の研究機関から調達しなければならない。NRAOからは、年間1億円以上を支援する「主要パートナー」、あるいは年間1,000-3,000万円以上を支援する「小パートナー」のどちらかに、より多くの

研究機関から名乗りを挙げることが期待されている。直接運用資金を回すことができなければ、観測装置（受信器等）を更新する際に新たな装置を持ち込むこともできるだろう。一連の情報から判断すると、日本人ユーザーの VLBA に対する直接的な需要は、VSOP-2 運用開始までは「小パートナー」、VSOP-2 運用時は「主要パートナー」になることを見返りに要求されることに相当する。小パートナーならば、研究チームを組織して、天文学コミュニティの応援の元で競争的資金を獲得することで、現実になりうるのではないだろうか？そしてその実績をもとに、VSOP-2 運用時までには主要パートナーになる道も開けるかもしれない。

一方、VLBA と同様な装置を構築するとひとこと言っても、これからさまざまな（主要パートナーになる以上に）投資が必要であることに気づかされる。EVN や JVN/EAVN に属する電波望遠鏡はそれぞれで 20 台近くに達する。ところが、ある波長バンドで VLBI 観測を実施する際に動員できる望遠鏡数は、実はほとんどのバンドで 10 台に満たない。また、電波望遠鏡を所有する大学では（講義や委員会活動などが免除される）望遠鏡専属職員が必要だ。それなしで年間 1,300 時間（これでも VSOP-2 観測への参加が期待される時間のみである）運用したら、教育的効果以上に教員にも学生にも負担が重くのしかかり研究活動が破綻してしまう。自分たちで整備できるのは何処まで、必要だが足りないものをどう補うのか？

ここで、研究計画/装置整備計画の立案が必要となる。しかし、VLBI 天文学のコミュニティの中で閉じて話をまとめるのは難しい。VLBI 観測が成立するためには、参加するどの望遠鏡も同じバンドの受信器や同じ信号記録システム（少なくともフォーマットや記録速度）を導入しなければならない。より多くの望遠鏡で汎用性を備えることにより、どんな研究テーマについても高感度/高解像度観測を実現するという一つの流れが

ここにある。しかし、研究に特徴を出すために、例えば VERA のように、他の望遠鏡が持たない機能を持たせるという流れも一方である。この 2 者は相反するもので、画一的で巨大な観測網を構築するのを妨げるものである。それでもやはり、各々の研究機関が努力して重要研究テーマ群を明確にし、同じ目的の VLBI 観測ができる望遠鏡群を効率よく編成して運用していくことが求められる。

21 世紀の天文学においては、一人の天文学者がさまざまな観測装置から得られる情報を総合分析して天文・天体物理学上の諸現象の解明を目指すスタイルが出現している。それに伴い、自身の研究機関が得意とする分野に人材と資金を投入しつつ、その分野と関連する研究機関にも協力/互助するケースが増えている。遠く離れた複数の電波望遠鏡/研究機関が連携しないとそもそも観測が成立しない VLBI では、他の研究手法よりも先んじて研究機関間の連携体制が進んでいたはずである。その好例が VSOP であった。しかし最近では、日本をはじめ韓国や中国など、自国に閉じて VLBI 網を構築するブロック化も進んできた。全時間全天監視が現代観測天文学における究極の目標となるだろうが、その目標とは逆行していないだろうか？研究機関同士の情報と人と資金の還流が必要ではないかと強く感じる。

VLBA への対応は、VLBI 分野における研究の多様性への挑戦と今後の国際連携のスタイルを象徴するものになるかもしれない。しかし、そのように悠長に構えてもいられない。もし今後も VLBA との連携を必須と考えるならば、今年 2008 年中には、VLBI 天文学における重要研究テーマの定義づけから始まり、それを探求するのに相応しい体制を計画し、実際にそれらを実行に移さなければならない。

6. ご意見を求めます！

1 章で紹介したとおり、われわれ VLBA 問題検

討 WG では、VLBA 閉鎖という衝撃的な問題を前に、われわれ日本の天文学者がなすべきことを検討し意見を集約するために、この問題に関する情報を収集し公表してきた⁹⁾。今後 WG メンバーら自身も、限られた時間の中で立場を越えて意見を集約させていかなければならない。この月報記事も含めたこれらの情報を、各研究者・読者の中には各種研究計画の立案や審査の際に判断材料として参考にされることだろう。その結果、VLBA 支援の賛否どころか、日本国内 VLBI 研究に対する評価にも目を向けることになるだろう。今後の意見集約のためにも、読者のみなさまからのご意見を是非伺いたい。

聞くとところによると、学問の世界にまで深く波及してきた現在の厳しい競争原理によって、観測装置や研究計画の厳選と淘汰が最近あちこちで起こっているらしい。学問の発展には生命同様多様性が必須である。自分たちの研究活動の盛衰は、海を越えた研究室/観測所の盛衰とつながりがある(=正の相関がある)ことを、VLBA 問題を通して読者の皆様との間に共通認識をもつことができれば幸いである。

謝 辞

この記事を投稿するに当たって、利害関係を越えて率直な意見をくださった皆様方に、心からお礼申し上げます。また、VLBA 問題検討 WG においてメンバーに加わっていただき情報収集と分析に協力してくださった皆様(三好 真・村田泰宏・輪島清昭各氏)にも深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) <http://www.vlba.nrao.edu>
- 2) <http://www.nsf.gov/mps/ast/seniorreview/sr-report.pdf>

- 3) <http://www.nrao.edu/pr/2006/seniorreview/>
- 4) <http://www2.nict.go.jp/w/w114/stsi/vcon/>
- 5) <http://vlba.blogspot.com/2007/11/vlbavibi.html>
- 6) Nakai N., Inoue M., Miyoshi M., 1993, Nature 361, 45
- 7) Miyoshi M., et al., 1994, Nature 371, 395
- 8) Miyoshi M., et al., 1995, Nature 373, 6510
- 9) 三好 真, 1996, 天文月報 89, 11
- 10) Furuya R., et al., 2000, ApJ 542, L135
- 11) Imai H., et al., 2002, Nature 417, 829
- 12) 今井 裕, 2002, 天文月報 95, 589
- 13) Asada K., et al., 2002, PASJ 54, L39
- 14) Sudou H., et al., 2003, Science 300, 1263
- 15) <http://veraserver.mtk.nao.ac.jp/>
- 16) Kurayama T., Sasao T., Kobayashi H., 2005, ApJ 627, L49
- 17) Hachisuka K., et al., 2006, ApJ 645, 337
- 18) 新田伸也, 荒木田英禎, 2007, 天文月報 100, 592
- 19) <http://www.vj.vso.jaxa.jp/>
- 20) <http://www.evlbi.org/>
- 21) <http://www.atnf.csiro.au/vlbi/>

The VLBA Problem

Hiroshi IMAI

(Working Group on the VLBA Problem, Japan VLBI Consortium)

Kagoshima University

Abstract: The Very Long Baseline Array (VLBA) is a flagship in high-resolution radio astronomy achieved by very long baseline interferometry (VLBI) in the world. The VLBA is now recommended to be either closed or supported by international/inter-institutional partners. We have discussed achievements and roles of the VLBA and its desirable future for VLBI astronomy and Japanese astronomers. In this year, we are strongly requested to manifest the relationship between the VLBA and our Japan/East Asian VLBI Networks.