

高速データ回線による大型アンテナ結合実験について

郵政省省通信総合研究所 高橋幸雄 木内等 金子明弘 中島潤一、近藤哲朗 小山泰弘
栗原則幸 関戸衛 川合栄治 吉野泰造、雨谷純 瀬端好一
文部省国立天文台 川口則幸 井口聖 宮地竹史、徂徠和男
文部省宇宙科学研究所 小林秀行、藤沢健太
NTT 魚瀬尚郎 岩村相哲
NTTアドバン 星野隆資

1. 実験目的

高速データ回線による世界最高感度での巨大仮想望遠鏡の構築

日本には、この関東エリアの200km範囲に、臼田64m、野辺山45m、鹿島34m&26m、つくば32mと宇宙からの電波を受信できる巨大アンテナが存在する世界的にもまれな地域である。これらのアンテナを、高速データ回線で結合し、仮想的な大型望遠鏡を作り、世界最高の感度を達成し、宇宙のまだ見ぬ現象を解明していこうという計画である(図1参照)。また、将来の日本列島高感度望遠鏡計画にも繋がるものである。さらに、この技術は、高速データ通信網の実証実験にも繋がるもので、日本の情報通信技術の発展にも役立つものと思われる。

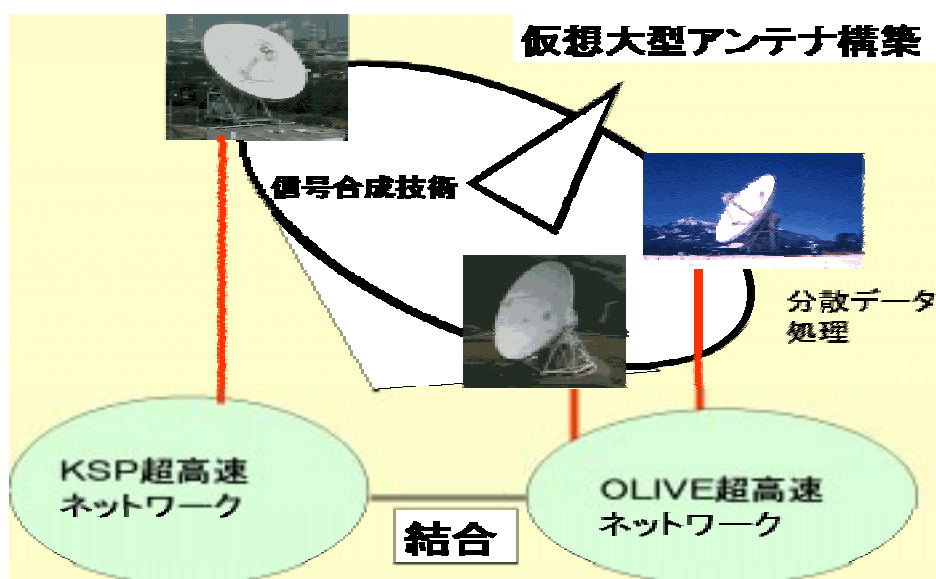


図1 結合実験概念図

2. 期待される成果

人類の宇宙観は時代と共に移り変わり、現在では我々のいる銀河系より、さらに外へと広がっている。ハッブルによる宇宙膨張の発見(1929)は、我々の宇宙観をさらに広げると共に、新しい動的な宇宙観を生んだ。この計画は、最先端の高速データ通信技術を融合して、さらに新しい宇宙に関する情報を提供したり地球計測の精度の極限を目指す未来に向けた観測計画である。

2.1 微弱電波観測

・恒星の世界初の電波源観測

地球に近い恒星の世界で初めての電波観測を実施する。

全天でも明るく輝く Arcturus (アルクトゥーラス: 0等級)、Capella (カペラ: 0等級)、Sirius (シリウス: -1.5等級) 等の40光年以下の恒星を電波で観測する。恒星の周囲の高温なコロ

ナの温度や恒星の表面温度の測定、恒星の大きさに関する情報を得ることで、恒星の進化過程の研究に役立つものと思われる。

・宇宙遠方の微弱電波源観測

1964年の3K宇宙黒体放射の発見により定常宇宙論と、進化宇宙論の決着がついた。これは電波天文学の最初の大成果で、宇宙論そのものに観測的な裏付けを与えることができた。その後の電波天文学の発展により、多くの宇宙に関する発見が行われてきたが、この進化する宇宙が今後膨張し続けるのか？、それとも、途中で膨張が縮小に転じるのか？は、現在の宇宙の最大のテーマとして残っている。VLBI（超長基線電波干渉計）観測を用いて、この研究は行われているが決定的な証拠は得られていない。この研究の最大の課題は、統計的研究から「宇宙の進化」を解明するため観測可能天体数を増やすことで、特に遠方銀河の数を増やすことは重要である。しかし、 $Z > 4$ 以上（150億光年以上の巨大銀河）の宇宙の果てにある電波源は、あまりにも電波強度が微弱なため、現在の観測技術では観測は非常に難しい。

この「超高速実験」により、従来観測できなかった遠方銀河（150億光年以上の巨大銀河）を新たに検出できるようになるだけでなく、観測できる天体数も増やすことができ、宇宙が膨張するのか、縮小するのかを判断する制動定数を決定する上で最も重要な観測技術開発である。

また、 $Z > 4$ 以上の銀河は、宇宙誕生から十数億年しか経っていない銀河であり、宇宙における「銀河の進化」の研究に大きな影響を与える。さらに、宇宙初期における巨大銀河に含まれる成分に関する観測（分子線観測）を実現できれば「銀河の誕生メカニズム」を解明できるかもしれない。

・その他

銀河中心はどうなっているのかに関して、幾つかの銀河を選びその中心核の観測を実施したり、宇宙の時計台であるパルサーで非常に弱いものの観測など、従来の方法では観測できていない天体の観測を実施する（図2参照）。

2.2 高感度・高精度観測

・電波源マッピングの鮮明化・微小構造の解明

大型アンテナと高データ伝送で得られる高SNRにより、電波源のマッピング（電波源の形）をより鮮明に、また小さな構造による影響などを見ることができるようになる。このためには、従来の測地用相関データファイルまたはデータベースから、一般的な電波源イメージソフトウェア（AIPS）に対応したファイル（AIPS FITS IEI (interferometry Exchange input format) または Caltech Difmap FITS ファイル）に変換するソフトウェアの整備が必要である。今後、この変換を整備していく予定であるが、この整備により多くの測地用DBを用いた電波源イメージ解析が可能となり、重要なテーマであると考えている。

観測対象・目的	観測性能																						
<p>微弱電波源観測への挑戦</p> <p>恒星（コロナ）の世界初の電波源観測 Arcturus（アルクトゥーラス：0等級） Capella（カペラ：0等級） Sirius（シリウス：-1.5等級）等のコロナ観測</p> <p>宇宙遠方の微弱電波源観測 $Z > 4$（150億光年以上の巨大銀河）の電波源観測 $Z > 4$でのメガメーザ観測（宇宙初期の分子線観測）</p> <p>その他 銀河中心、ガンマ線天体、銀河内電波源、パルサー等</p>	<p>1. シングル基線の場合</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>観測周波数</th> <th>感度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>日田64m-11mアンテナ Xノード(2ビット)</td> <td>$0.56/\sqrt{T}$ Jy</td> </tr> <tr> <td>Sノード(2ビット)</td> <td>$0.72/\sqrt{T}$ Jy</td> </tr> <tr> <td>日田64m-34mアンテナ L,S,Xノード</td> <td>$0.10/\sqrt{T}$ Jy</td> </tr> <tr> <td>KSP11m-11mアンテナ Xノード</td> <td>$6.3/\sqrt{T}$ Jy</td> </tr> <tr> <td>Sノード</td> <td>$6.5/\sqrt{T}$ Jy</td> </tr> </tbody> </table> <p>2. 干渉型信号合成(大気・局雑音軽減、コンパクト電波源)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>観測周波数</th> <th>感度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>KSP11mアンテナ4基</td> <td>約$2.5/\sqrt{T}$ Jy</td> </tr> <tr> <td>日田64m-11m3基</td> <td>約$0.3/\sqrt{T}$ Jy</td> </tr> <tr> <td>日田64m-鹿島34m-11m2基</td> <td>約$0.1/\sqrt{T}$ Jy</td> </tr> <tr> <td>日田64m-鹿島34m-野辺山45m</td> <td>約$0.3/\sqrt{T}$ Jy</td> </tr> </tbody> </table> <p>Tは観測時間(秒)、256Mbps記録、各種設定</p>	観測周波数	感度	日田64m-11mアンテナ Xノード(2ビット)	$0.56/\sqrt{T}$ Jy	Sノード(2ビット)	$0.72/\sqrt{T}$ Jy	日田64m-34mアンテナ L,S,Xノード	$0.10/\sqrt{T}$ Jy	KSP11m-11mアンテナ Xノード	$6.3/\sqrt{T}$ Jy	Sノード	$6.5/\sqrt{T}$ Jy	観測周波数	感度	KSP11mアンテナ4基	約 $2.5/\sqrt{T}$ Jy	日田64m-11m3基	約 $0.3/\sqrt{T}$ Jy	日田64m-鹿島34m-11m2基	約 $0.1/\sqrt{T}$ Jy	日田64m-鹿島34m-野辺山45m	約 $0.3/\sqrt{T}$ Jy
観測周波数	感度																						
日田64m-11mアンテナ Xノード(2ビット)	$0.56/\sqrt{T}$ Jy																						
Sノード(2ビット)	$0.72/\sqrt{T}$ Jy																						
日田64m-34mアンテナ L,S,Xノード	$0.10/\sqrt{T}$ Jy																						
KSP11m-11mアンテナ Xノード	$6.3/\sqrt{T}$ Jy																						
Sノード	$6.5/\sqrt{T}$ Jy																						
観測周波数	感度																						
KSP11mアンテナ4基	約 $2.5/\sqrt{T}$ Jy																						
日田64m-11m3基	約 $0.3/\sqrt{T}$ Jy																						
日田64m-鹿島34m-11m2基	約 $0.1/\sqrt{T}$ Jy																						
日田64m-鹿島34m-野辺山45m	約 $0.3/\sqrt{T}$ Jy																						

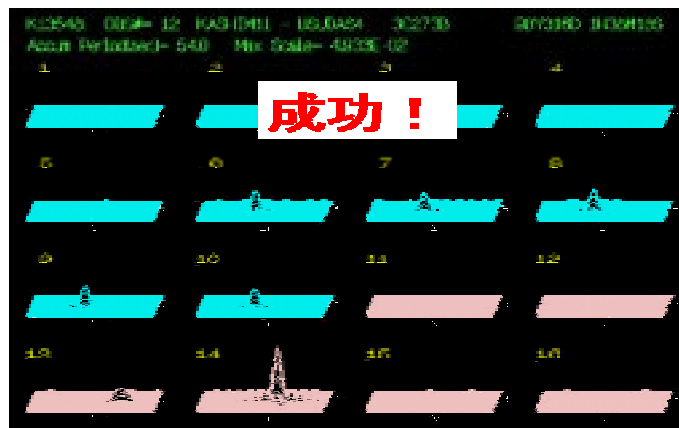
2.3 何故干渉計 (VLBI) 技術を用いるか?

電波領域の単体望遠鏡観測では大気の輻射揺らぎが邪魔になり、十分な検出は難しい。そこで、VLBIと呼ばれる離れた場所にあるアンテナを組み合わせた干渉計型電波望遠鏡の合成という新しい手法で、微弱電波源の観測を実施していく。さらに、サイズに関する情報を得るには、この手法はもっとも優れているものである。

3. 実験実施

最初の256 Mbpsでの試験観測を11月12日に行い、以下の図のように3C273Bで観測可能なチャンネルで相関の山が検出された。その他の強い電波源でも検出され、結合実験が成功した。さらに、鹿島34mアンテナとKSPを光で結合し、IFをおくることで、鹿島34mとKSP観測網を結んだ。そして12月9日には、鹿島34mと臼田64m、KSP小金井・三浦局によるXバンドでの観測を行い、鹿島34mが本格的にKSP観測網と結合し、結合実験に参加できることが判明した。この実験では、銀河内の恒星や近傍銀河中心、遠方電波源の観測にも挑戦している。これらの実験は、郵政省通信総合研究所、文部省天文台及び宇宙科学研究所、NTTの三者が参加したもので、1999年1月からの本格的な実験を予定している。参加アンテナとしては、臼田64m、鹿島34mアンテナ、KSP11mアンテナ(4個所)及び野辺山45mアンテナである。また、これに伴い、回線接続変更を自動化するソフトウェアの整備を行い、良好に運用できている。

KSP&OLIVEネットワーク結合試験観測(11月12日)



4. アンテナ合成シミュレーション

アンテナ信号合成に関する計算機シミュレーションを行った。各局の雑音は、期待値1の各局独立な時間に対してランダムな雑音を考慮する。さらに、電波源からの信号は、時間に対してはランダムであるが、各局共通の信号とする。但し、期待値はアンテナ性能に応じて、雑音の20%、20%、50%(0.2、0.2、0.5)とする(1局だけ大型アンテナとする)。

アンテナ信号合成方法として、 $S_{12} S_{13}^* S_{23}$ 、 $S_{13} S_{23}^*$ 、 S_{12} のSNRを比較した(図3)。ここで、 S は信号と雑音を足したもので、添付の数字123は、観測局を示す。は観測時間・チャンネルに対する和(パラメータ補正後)を示す。SNRは、このうち、信号からの部分と、それ以外の部分(信号と雑音の掛け算したのもも雑音とみなす)の比を示す。この場合は、各基線毎に局独立にパラメータを推定することに相当する。そのため、サーチのための計算量は膨大になる。この場合、SNRは改善する場合もあるが、改善しない場合もある。これは、雑音と信号の積の効果が大きくなるためである。

次に、合成方法として $S_{13} S_{23}^*$ と S_{12} を考える(図4)。これはサーチパラメータは1基線分に相当し、 S_{121} に対応する。この方法では、改善効果は見られない。最後に、 S_{12} 、 $(S_{13} + S_{23})$ 、 $(S_{12} + S_{13} + S_{23})$ を考える(図5)。この場合、この数値を最大にするパラメータを基線毎に推定する。すると、SNRの改善効果が見られた。したがって、この方法による信号合成を行う必

要がある。これについては、まだソフトウェアの整備はされていないため、今後整備していく予定である。

マッピングへの影響 (KSP観測網だけ可能)

KSPの1局の代わりに白田を用いると電波源マップはどのくらい改善するか？
 測地DB (mark-III DB) → AIPSへ
 世界のmark-III DBで電波源マッピングが可能に！
 Mark-III DB → AIPS FITS IEI
 (interferometry Exchange input format)
 Mark-III DB → Caltec Difmap FITS

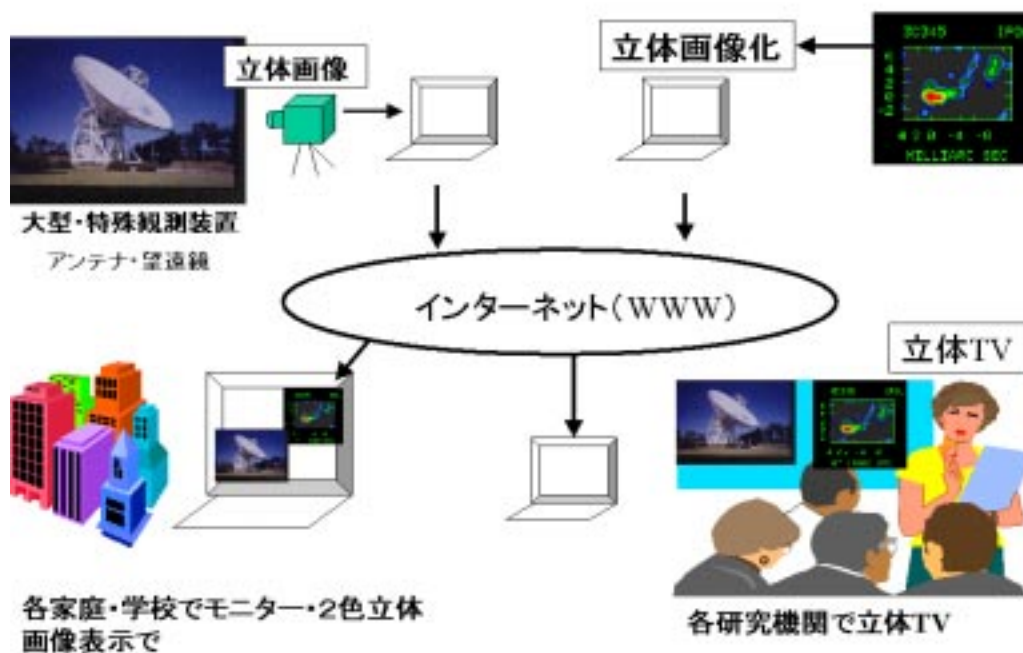
信号合成(KSP観測でも可能)

$S = A + N$ (A: 星からの信号、N: 雑音)
 アンテナ信号合成方法 (SNR、位相決定)
 $\Sigma S_{12} \Sigma S_{13} + \Sigma S_{23}$ 改善少ない
 $\Sigma S_{13} \Sigma S_{23} +$ 改善ない
 $\Sigma (S_{13} + S_{23})$ 改善
 $\Sigma (S_{12} + S_{13} + S_{23})$ 改善

5. MVL 整備

本年度に、このアンテナ合成以外の整備として、遠隔地観測装置モニターシステム(添付図1)、電波源画像管理システム(添付図2)、立体画像データ解析システム(添付図3)を整備している。これらは、WWWを用いて、誰でも何処でも情報を得られるとともに、どこからでも情報の配信も行え、全国床からでも関連する研究者がデータ・情報を共有できるシステムであり、研究成果の公開、教育・実習などに役立つものの第一歩として考えている。また、電波源解析ソフトウェア AIPS と結び付けることで、幅広く3次元イメージ図を用いた電波源解析が実施できることにつなげていきたい。

誰でも何処でも容易に立体画像提供・表示。教育・成果公表に利用



添付図1 遠隔地観測装置モニターシステム

添付図2 電波源のイメージ図情報表示

星名	星の素性	特性	電波源図データ
1639+xx	3Cxxx	Quasar	
1639+xx			
1639+xx			

添付図3 3次元画像解析ソフトウェア

