

# 学位論文の要旨

氏名	中川 亜紀治
学位論文題目	VERAを用いた位相補償観測の準備的研究としての 活動銀河中心核の位置不動性と構造の検証

本論文は、国立天文台VERA電波望遠鏡を用いた位相補償VLBI観測による $10\mu$ 秒角の位置決定精度を、宇宙論的遠方に存在するクエーサーと呼ばれる一群の天体を観測することにより検証することを目的としている。また、クエーサーの活動性や構造の変化はVERAによる天体の位置決定にも大きく影響するため、こうした天体を従来のVLBIイメージング手法で観測することも非常に重要な課題となる。これについては、VSOPによるクエーサーの観測結果を併せて報告することで本研究に取り入れている。

第1章では、超長基線電波干渉計（VLBI）について紹介し、VERAが切り開く高精度位置天文学による天体の絶対位置決定がこの分野に対してもたらすインパクトおよび科学的意義を説明する。また、この研究を行うにあたって関連する研究をレビューする。

第2章は、VLBIの観測技術についてまとめたものである。VLBIは現代の天文学が用いる観測手段の中で最も高い1ミリ秒角を切る空間分解能を誇る。この観測の原理や、天体の位置決定に伴う困難、また位置決定の精密化に必要な測地学との関連などを簡単にまとめて、VERAの特徴である天体の絶対位置決定の理解へとつなげる。

VLBIの中でもVERAが行う位相補償という手法は微弱な天体の検出に有利であり、また天体の絶対位置を得ることが出来る特長ある観測手法である。VERAの観測システムについては第3章で詳しくまとめる。この中では、2つの天体を同時に観測するVERAのユニークなシステム（デュアルビーム機構）についても詳しく説明する。

第4章では、この研究を行うのに適した観測天体の選択についてまとめた。過去の文献資料から、VERAの観測対照に課される条件を満たす候補天体の組み合わせを選択し、これらの検出の可否を判断するFRINGEチェックと呼ばれる観測を11組の天体に対して行っている。この観測の結果も併せて示し、これらの天体を持つ構造や座標などの条件から、最適な観測天体を更に絞り込んだ。

第5章では、選択した天体ペアの観測およびその結果について詳しく紹介する。まず、従来からのイメージング方法である単一ビームVLBIによる天体の描画を行い、過去の観測との整合性を確認した。次の第6章では、位相補償VLBIの結果を報告する。データ処理の初期段階（相関処理）でデータに加わる障害を補正する前後で、位相補償イメージの質は大きく変わり、補正後は改善が見られた。この補正適用後の位相補償データである天体については100 $\mu$ 秒角の再現性を確認した。また、今後のVERAによる位置天文成功のために克服されるべき課題についても分析した。

第7章は、これまでとはやや独立した章となる。VERA位相補償観測で参照電波源として観測されるクエーサーをVSOP（宇宙空間VLBIプロジェクト）により観測した結果を紹介する。VSOPで観測したのはクエーサーの中でもガンマ線を放出する特徴的な天体（EGRET天体）であり、VERAの潜在的な参照電波源候補でもある。これらの天体が主に持つ電波コアとプラズマジェット的位置や運動について論じている。

第8章も同じく個別のクエーサーに焦点を当てた研究内容となっており、ここでは観測周波数による天体の構造の違いも明らかにされている。また、天体を持つ偏波特性にも焦点をあて、偏波特性と天体の活動性を考察している。この研究により同天体で低周波のジェットが初めて検出されたのでその起源についても考察している。

第9章では、本研究について概観する。また、今後のVERAによる観測で達成される絶対位置決定を活動銀河中心核の活動性の研究とも関連付ける。

## 論文審査の要旨

報告番号	理工研 第235号	氏名	中川亜紀治
審査委員	主査	面高俊宏	
	副査	河南勝	鍵山茂徳
		郷田直輝	

## 学位論文題目

Study of positional stability and spatial structures of Active Galactic Nuclei as the preliminary work of the phase referencing observation with VERA  
(VERAを用いた位相補償観測の準備的研究としての活動銀河中心核の位置不動性と構造の検証)

## 審査要旨

提出された学位論文及び論文目録等をもとに学位論文審査を実施した。本論文ははるか衛星による活動銀河核の研究とVERAによる相対VLBIの手法を用いた活動銀河核(AGN)ペアの観測をその提案段階からまとめたもので、全9章より構成されている。

第1章ではこれまでのAGNに見られるジェットの運動に関する研究や天体の絶対位置に関する研究等を概観し、VLBIの手法に伴う天体位置決定の不定性を、解決すべき重要課題として定義付けている。

第2章ではVLBI観測を行い天体の電波強度イメージを得るまでの基本的な原理について説明し、更に本研究で取り入れている位相補償と呼ばれる観測技術についても説明している。

第3章及び第4章では、はるか衛星によるAGNの研究を紹介する。申請者は、ガンマ線放射を持つ特異なAGNを宇宙空間VLBIで観測した結果を解析している。これらの天体はVERAで位相補償観測を行う際の参照電波源でもある。研究を通し、電波強度の急激な変動(1年で50%の強度減)や高速のジェット運動などを確認した。また従来のVLBIデータ解析による絶対位置の不定性から、同じ天体のジェット運動に対し、申請者も含めた各解析者が異なった運動状態を提唱する例が示される。

次章以降はVERAによる観測の記述となり、第5章では2天体を同時観測するVERAの特徴的な観測システムなどについて説明している。

第6章は、絶対位置の確認に用いる観測天体の選出過程を記したものである。申請者は文献資料を基に天体候補リストを作成し、更に2004年末のVERAによる検出確認観測を経て11組(22天体)の観測対象を選ぶに至った。本論文で主に議論するのはこの中の天体ペア(OU+401とJ1753+4409)である。

第7章では観測データを従来の単一ビームVLBIデータ解析の手法を用いて解析した結果を示した。得られた電波強度等は他の研究者による結果と矛盾せず、VERAが単一ビームVLBIイメージングの装置として正常に動作していることが客観的に示されている。

第8章は位相補償を用いた観測結果に関して記したものである。既存の遅延追尾モデルを用いた位相補償では天体の絶対位置が定まらないことが明らかになった。申請者は遅延追尾モデル障害の補正後のデータに対し、湿潤天頂大気遅延誤差の推定や局位置誤差の考慮などを行うことで、赤経方向で約50マイクロ秒角、赤緯方向で約800マイクロ秒角の位置決定精度を達成している。初めて取り入れられた2ビーム機構を用いた観測での確認は画期的なことで、AGN研究やVERA計画推進に大きく寄与する。

第9章は本研究のまとめである。

以上、本論文は天球面での天体の絶対位置決定に関する研究であり、AGN研究を通して絶対位置決定に関する問題を提起し、VERAの2ビーム機構による天体ペアの位相補償観測を通して検討を行い、赤経方向で約50マイクロ秒角の精度で活動銀河核の位置を明らかにした。これは活動銀河核の研究及びVERAを用いた銀河系内天体の距離決定にも大きく寄与する。以上より、審査委員会は博士(理学)の学位論文として合格と判定する。

## 最終試験結果の要旨

報告番号	理工研 第 <b>235</b> 号	氏名	中川亜紀治
審査委員	主査	面高俊宏	
	副査	河南勝	鍵山茂徳
		郷田直輝	

2006年2月13日（月）に行われた博士論文発表会において審査委員を含む約25名の教員および学生の前で学位申請者 中川亜紀治氏 による発表が行われた。その内容及び関連事項について質問が行われた。その一部を以下に示す。申請者はどの質問に対しても適切に対応し、満足すべき回答をすることが出来た。

Q：AGN（活動銀河核）とは何か。

A：活動銀河中心核の略称である。赤方偏移 $Z=2\sim 3$ に分布密度のピークを持つ遠方の古い天体であり、その正体は銀河中心の大質量ブラックホールを含むその近傍領域（数十光年程度）と考えられている。

Q：天頂大気遅延の誤差推定を行うことで赤経軸方向の天体位置の収束は良くなったが、赤緯方向のばらつきが大きい。これは同様の補正で改善するのか。それとも観測そのものの限界に来ているのか。またそうであれば機械的に改良できるのか。

A：補正できると考える。大気の補正はまだ1観測局でしか行っていないので全4局で行うことにより赤緯方向も収束してくと考える。また、800マイクロ秒角の位置ずれを生む大気誤差も定量的にはあり得る。今の段階では大気が一番効いているのではないかと考えているが、より精度が向上したらもっと細かい位置の誤差が見え始め、機械的な要因（たとえば視野回転台上の受信機位置関係による誤差、局位置の鉛直方向の誤差が水平面に比べて大きい効果など）を考慮すべき時期が来ると考えている。

Q：位相補償のマップとセルフキャリブレーションのマップの比較はおこなったのか。

A：比較を行っている。観測している天体のセルフキャリブレーションマップの積分強度は400～450mJyの強度だが、位相補償だとその60%程度の強度になってしまう。

Q：位相補償マップに見られるコヒーレンスロスと天体位置のずれはコンシステントか。

A：別物かと考えている。位置ずれとコヒーレンスロスの間に明らかな関係が見られなかった。ロスが劇的に少なくなるような位置は特に見られない。

Q：遅延追尾に用いるさまざまな予測モデルを訂正しているが、訂正前はどのモデルのエラーによる寄与が一番大きかったのか？

A：観測毎に異なることが分かっている。何が引き金となって予測値計算の間違いに繋がるのかはソフトの構成による。また全観測で全モデル予測値の定量的評価は不要と考え行っていない。例えば相対論的効果の補正ミスによる100ミリ秒角の位置ずれが確認された観測があるが、常にこのミスが効いているのであれば、全観測データにそのような大きな位置ずれが見られるはずだが、結果はそうではなかった。

Q：遅延追尾モデルの補正は相対VLBIをする時のみ必要なのか。単一ビームVLBIには必要ないのか。

A：単一ビームによりセルフキャリブレーションを行うデータ解析では必要ないと考える。セルフキャリブレーションによって位置の情報は失われ、また目的の違いからもそこまでの精度を必要としない。

以上のような質疑応答の結果から、4名の審査委員は申請者が大学院博士課程修了者としての学力と見識を備えていると判断し、博士（理学）の学位を与えるに足る資格を持つものと判断した。