

氏 名 川 口 則 幸

学位（専攻分野） 博士(学術)

学 位 記 番 号 総研大乙第50号

学位授与の日付 平成10年3月24日

学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当

学 位 論 文 題 目 New VLBI Observing Techniques under Strong
Atmospheric Fluctuations

論 文 審 査 委 員 主 査 教 授 家 正 則
教 授 鯉 目 信 三
教 授 藤 本 眞 克
教 授 小 島 正 宜 (名 古 屋 大 学)
教 授 芳 野 赳 夫 (福 井 工 業 大 学)
教 授 井 上 允 (国 立 天 文 台)

論文内容の要旨

一般に電波天文における干渉計の観測では大気の揺らぎによって発生する位相変動は大きな問題となる。特にVLBI(超長基線干渉計)の場合には、位相合成する干渉計の素子アンテナが遠く離れており、全く独立な大気を通過してきた電波を受信するためにConnected Elementの干渉計に比べてはるかに大きな位相変動が発生する。このため、大気の揺らぎの影響は大きく、今後VLBI観測の高感度化、天体位置決定の高精度化を図るためには観測上の工夫が必要になる。本論文は大気の揺らぎを克服することのできる著者独自の観測上のアイデアをいくつか示すとともに、そのうち、疑似巡回振幅法によって実際に得られた観測例を示してその有効性を示したものである。

VLBI観測における大気の揺らぎの研究は1973年にヘイスタック観測所においてなされ、観測周波数帯が8GHzでも20—30%の干渉ロスが発生することが報告されている。現在、世界のVLBI観測はセンチ波帯から短センチ・ミリ波帯へとより高い周波数帯に移行しておりより大きな干渉損失が発生すると予想されている。しかしVLBIによる大気の位相揺らぎの検出には大きな困難が伴い、これまでの著者の観測例を含めても数例しかない。Connected Elementによる観測例、人工衛星のビーコン波を用いた観測例は数が多いが全て短基線での結果にとどまっている。短基線では素子アンテナが長くても20km程度しか離れていないので、大気の揺らぎには共通の変動成分を多く含んでおり、VLBIの場合のように独立な大気の揺らぎによる大きな干渉損失の発生や揺らぎの統計的な性質を正しく評価することはできない。変動量や揺らぎの統計的な性質が明らかでないと、その変動を克服する観測法を真に有効なものとするとはできない。そこで、本論文は宇宙電波望遠鏡「はるか」の位相伝送回線で計測される変動を解析し、独立大気の統計的な振る舞いを明らかにした。

「はるか」の位相伝送系では、地上衛星追跡局に配備された超高安定度の水素メーザ原子周波数標準器からの信号を衛星に送信しスペースVLBI観測の位相基準信号として供給している。この位相基準信号は衛星から地上に再送信されており、地上と宇宙を結ぶ位相伝送系を構成している。この位相伝送系の揺らぎを計測すれば衛星追跡局上空のみの独立な大気の揺らぎを計測できる。「はるか」の追跡は、1年365日、種々の仰角、様々な気象条件下においてなされるので、独立な大気の位相変動の統計的な振る舞いを詳細にStudyする事が可能である。宇宙電波望遠鏡の位相伝送系を利用したこのような大気揺らぎの計測例はこれまでになく、本論文の主旨である大気揺らぎを克服する新しい観測法を検討する際に重要なだけでなく大気科学においても貴重なデータとなる。

本論文では、大気の揺らぎを克服する全く新しいVLBI観測法として

- 1)バースト観測法
- 2)疑似巡回振幅法

の2つの観測法を提案している。

1)のバースト観測法は超高速のサンプリングを用いて瞬時に大量の観測データを取得し、いったん大容量メモリに蓄積した後VLBIレコーダに低速で記録する。この観測法による効果は大気の揺らぎの統計的な性質が明らかでないと正しい評価は行えない。そこで、実際の「はるか」のデータを用いてこの観測方法での感度改善効果について正確で定量的な検証を行った。バースト観測法は今後のミリ波帯におけるVLBI観測において大きな効果が期待される。

2)の疑似巡回振幅法は3基線での観測結果をこれまでの「トリプルプロダクト法」のように直積するの

ではなく、積と除算を組み合わせることで大気の揺らぎの影響を受けることなしに電波源の構造を知ろうとするものである。この観測法は著者の独自のアイデアによるものであるが、除算における発散の問題と全く新しい観測量から果たして本当に電波源の構造が求められるのか、といった疑問があった。そこで、前者については計算機シミュレーションにより、後者については実際の天体観測を行って活動的な銀河中心核のサイズ決定に応用した。シミュレーションの結果、非常に小さな S/N ($S/N \sim 2$)でも安定な観測量が得られることが分かった。また、後者では、赤方変位 $z \sim 1$ の領域において予測される天体のサイズと観測結果が良く一致することが分かった。

また、サイズの周波数依存性についても妥当な結果が得られ、今後の銀河の形成過程を研究する上で非常に有効な観測法であることを立証することができた。

電波干渉計では、大気の揺らぎによる自然現象で発生する位相変動以外に、観測装置内で発生する人工的な位相変動も重要である。本論文では、VLBI観測装置においてもいくつかの新しいアイデアを提案しており、それらがVSOP型観測装置として整備された。この観測装置は現在、野辺山宇宙電波観測所をはじめとする日本国内の観測所に配備され、VSOP観測、国内VLBI観測に活躍している。

論文の審査結果の要旨

本論文はVLBI（超長基線干渉法）に関連して申請者の開発してきた独創的装置、新しい解析手法、およびこれらを用いて得た観測結果とその意義についてまとめたものである。論文では、まず装置開発の歴史をその序章で述べ、次に、長時間にわたる電波の干渉性（Coherency）確保の障害となる大気の揺らぎ（それは主として光路上の水蒸気量の時間的な変動に起因するものであるが）の統計的性質（フリッカー雑音）について、新しい解析的表現を提案した。更に、最新の電波天文衛星VSOP/HALCAと地上リンク局との通信データを用いて、大気揺らぎの強いときは短時間のフリッカー雑音を伴い、揺らぎが弱いときには長時間のフリッカー雑音を伴うが、大気の白色位相雑音は常に一定のスペクトルを持つことを新しく発見した。

申請者はこれらの大気揺らぎの性質を踏まえて、高次モードサンプリング法、バーストサンプリング法等の新しい測定技術を考案し、VSOPターミナル等の装置を開発して、その測定法の有効性を実証した。

また、大気の揺らぎの影響を受けにくい新しい観測法として疑似巡回振幅法を提案し、高赤方偏移クエーサーに対してこの手法を適用し、観測精度を向上させることができることを示した。そして、この手法の精度をさらにあげることにより、宇宙論モデルの最重要パラメーターである Ω_0 の値を求めることが可能であることを示した。

このように、川口則幸氏の研究は電波干渉計観測における大気の時空間二軸上の変動を統一的に取り扱うことに依って、VLBIの技術的な新しい展開を強力に押し進め、天文学的にも新たな成果を生み出したものであることを、博士論文審査委員全員が認めた。また、論文の質、体裁、英文等々は水準をはるかに凌駕していることも委員が一致して確認した。

以上の判断に基づき、博士論文審査委員会は全員一致で、川口則幸氏の論文は学位（学術）を受けるとふさわしいものであると判定した。