

氏 名 朝 木 義 晴

学位（専攻分野） 博士(学術)

学 位 記 番 号 総研大甲第262号

学位授与の日付 平成9年3月24日

学位授与の要件 数物科学研究科 天文科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学 位 論 文 題 目 Compensation of Atmospheric Phase Fluctuations

in Radio Interferometry

論 文 審 査 委 員 主 査 教 授 鷺 目 信 三

教 授 笹 尾 哲 夫

助 教 授 川 邊 良 平

教 授 面 高 俊 宏 (鹿 児 島 大 学)

教 授 唐 牛 宏 (国 立 天 文 台)

## 論文内容の要旨

Compensation of interferometer phase fluctuations due mainly to the atmospheric water vapor is one of the most important subjects for future millimeter- and submillimeter-wave radio synthesis arrays and future millimeter-wave very long baseline arrays because the fluctuations are the most serious limiting factor for their spatial resolutions and sensitivities.

In the present thesis, a method for the atmospheric phase compensation called 'Paired Antennas Method (PAM)' is examined in detail. The PAM uses pairs of closely located antennas in order to simultaneously observe a target radio source and an adjacent reference calibrator with nearly parallel baselines and correct the interferometer phase of the target source using that of the reference source.

The effectiveness of the PAM was studied by means of interferometer phase compensation experiments using the Nobeyama Millimeter Array and the Nobeyama Radio Seeing Monitor at Nobeyama Radio Observatory of National Astronomical Observatory, Japan. In the experiments, a celestial radio source 3C 279 and a geostationary satellite (Japanese Communication Satellite called 'CS') were simultaneously observed and the angular-separation dependence of the effectiveness of the phase compensation was investigated.

It was always clearly seen in the experiments that the phase compensation with the PAM was very successful when the separation angle was smaller than a few degrees, even in the case that the millimeter-wave interferometer phase of the target source was compensated using the centimeter-wave phase of the reference source. The degree of phase compensation already achieved the level of less than 0.1 mm rms in excess path length, which is the goal of the planned new arrays for the future submillimeter-wave radio interferometry, when the atmospheric condition at Nobeyama was good enough. This demonstrates that the high resolution and high quality radio images are readily obtainable in the future large submillimeter-wave arrays at least if one uses the PAM or similar method of equivalent performance in order to eliminate the atmospheric phase fluctuations.

A model of the atmospheric structure was constructed to account for the experimental results on the basis of the Kolmogorov turbulence, frozen flow, and phase screen. A statistical calculation of the residual rms phase of the corrected phase in the PAM, based on the above atmospheric structure model, led to the numerical results in excellent agreement with a number of features of the experimental results. This implies that the underlying model, though simple, is a fairly good approximation of the reality. The computer simulations for the phase compensation in terms of the PAM at the potential sites of the future submillimeter-wave arrays revealed impressive results promising that the necessary level of the phase compensation for the future arrays is achieved, provided that suitable reference sources are available within a few degrees around a target source.

The antenna-switching method is also a promising phase compensation technique similar to the PAM. Although the switching observation itself was not carried out in the phase

compensation experiments with the Nobeyama Millimeter Array and Nobeyama Radio Seeing Monitor, I studied this method using the demonstrated data series produced from the PAM-experimental data and investigated the separation-angle dependence. Using the statistical model developed in the present thesis, the feasibility of the antenna-switching method was compared with that of the PAM and investigated in terms of the specific parameters such as the switching cycle time or the ON source time to a target source within one switching cycle. The computer simulations based on the model showed the potential of the antenna-switching method, which is equally effective in the phase compensation ability as the PAM if radio telescope antennas are able to slew fast enough. It was thus confirmed that the fast antenna-switching method is an effective way to realize the precise phase compensation with the simpler system than the PAM's. It is also noted that the PAM has an important merit in the long time integration to obtain the higher signal-to-noise ratio while observing weak radio sources.

## 論文の審査結果の要旨

大気中の水蒸気密度は一様ではないことが気象観測等から知られている。電波干渉計観測においても高空間分解能あるいは高周波数の領域で測定が実施されるようになり、この非一様性がこうした観測領域では最も深刻な影響を持つことが次第に明らかになって来ている。センチ波帯、ミリ波帯のVLBI観測、ミリ波帯大規模干渉計観測においては、それらの空間分解能の限界を決定する要因の内最も重要なものは大気中の水蒸気量の非一様性に起因すると考えられる電波波面の乱れである。非一様な水蒸気密度分布をもつ大気に流れがあれば、つまり、風に流されていれば、時間的な位相の乱れとして、観測にかかる。

水蒸気密度の乱れ、あるいは位相の乱れを推定する方法としては、1) 差動ラジオメータ法、2) ペア・アンテナ法、3) 高速アンテナスイッチング法等がこれまでに知られている。しかし、いずれの方法も開発段階でその実用性については不明な部分が多くセンチ・ミリ波帯高空間分解能観測装置開発の大きな障害となっており、最大の解決要因の一つである。

本申請者は2) のペア・アンテナ法について、国立天文台野辺山宇宙電波観測所のミリ波干渉計を用いて、観測的にその有効性を実証した。具体的には、参照電波源として通信衛星信号を用い、観測天体との離角の関数として推定位相精度を求め光路長誤差0.1mm以下に押さえることが可能であることを示した。また、大気モデルとしてコルモゴロフ乱流、凍結流、位相スクリーン等を仮定すると観測と良く適合することを示した。また、通信衛星信号を空間的に離れた二地点で観測したデータを模擬的に様々の周期で高速アンテナスイッチング観測を行ったように加工して、推定位相精度を切り替え周期の関数として求めた。

結合型干渉計を用いて行われたこれらの観測的な研究により、ペア・アンテナ法の離角依存性と大気モデルとの関係が初めて局所的に実証された。また、高速アンテナスイッチング法の局所的な有効性も明らかにされた。従って、本申請者の研究により、センチ・ミリ・サブミリ波帯高空間分解能観測装置の開発に当たって、アンテナ・サイトでどのような予備実験を行えば良いかが極めて明確になった。また、装置性能をどこまで実現可能であるかを高い精度で予測できるようになった。

以上を勘案して、本審査委員会は、本論文は博士（学術）の学位を授与するに相当すると判断した。