

氏 名 蜂須賀 一 也

学位（専攻分野） 博士(理学)

学 位 記 番 号 総研大甲第519号

学位授与の日付 平成13年3月23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 High precision astrometry through phase-referencing

VLBI at 22 GHz

論 文 審 査 委 員 主 査 教授 郷田 直輝
教授 川邊 良平
教授 笹尾 哲夫
助教授 千葉 柁司
教授 祖父江 義明（東京大学）

論文内容の要旨

Feasibility of the high-precision astrometry of Galactic water maser sources was studied on the basis of fast-switching phase-referencing VLBI observations at 22GHz held with VLBA (Very Long Baseline Array) of NRAO (National Radio Astronomy Observatory) as the first step towards investigation of the structure and dynamics of the Galaxy.

Phase-referencing VLBI is a technique of observation which provides us relative position of two closely spaced astronomical radio sources with high accuracy. The technique can be applied to high-precision astrometry of Galactic maser sources using extragalactic continuum sources as reference points, yielding trigonometric parallax distances and proper motions of the maser sources throughout the Galaxy. The information obtained will be widely used in many fields of modern astronomy including, in particular, the study of the dynamics and structure of the Galaxy.

In the present observations, all ten antennas of VLBA were switched between a Galactic water maser source and an adjacent extragalactic source with a duty cycle of 40 seconds for efficient compensation of degrading effects of the atmospheric phase fluctuations. The observations of the same pair of sources were repeated twice with a month interval for detection of proper motions of the maser sources with respect to the extragalactic reference sources. Two pairs of maser and extragalactic sources were observed in this way. The observed data were reduced using the NRAO AIPS (Astronomical Image Processing System) package.

Results of observations of strong maser sources in the Galactic star forming region W3(OH) and an adjacent fairly strong extragalactic continuum source, ICRF0241+622, clearly showed that the atmospheric phase fluctuation is really well compensated though the two sources are separated by a finite angular distance of 2.17 degree. In fact, the large atmospheric phase fluctuations of several hundreds degrees observed in the fringe phases of the two sources were mostly compensated in the phase-referencing calibration with the AIPS. After the calibration, residual error due to the atmospheric fluctuation in the resultant difference of the fringe phases averaged for a switching cycle (40 second) was about 10 degrees. The 10 degrees phase error corresponds to the positional accuracy of about 30 micro-arcseconds for a projected baseline of 2000 km, which is much better than HIPPARCOS' s accuracy.

On the other hand, results of observations of another pair of Galactic and extragalactic sources : masers in Galactic star forming region IRAS21008+4700 and an adjacent extragalactic continuum source, ICRF2100+468, with angular separation of only 0.18 degree, showed about 400 micro-arcsecond displacement of the masers relative to ICRF2100+468 during a month. The displacement was almost parallel to the Galactic plane. The distance

of IRAS21008+4700 is estimated to be 7.3 kpc based on the simple flat rotation model of the Galaxy. The amount and direction of the observed displacement is just consistent with the predicted proper motion of the object due mainly to the Galactic rotation and, to much lesser extent, to the Solar motion and annual parallax. Thus we conclude that we detected for the first time the proper motion due to the Galactic rotation of a distant object of several kilo-parsecs apart during only a month interval.

The proper motion was detected also for the W3(OH) and ICRF0241+622 pair. In this case, the direction of the proper motion was not parallel to the Galactic plane as expected from the proximity of W3(OH) to the Sun compared with IRAS21008+4700. In fact, at the estimated distance of W3(OH), 2.3 -- 3.3 kpc, the most dominating systematic displacement comes from the annual trigonometric parallax. The predicted proper motion due to the combined effects of the annual parallax, Solar motion and Galactic rotation is fairly consistent with the observed motion. In other words, the phase-referencing VLBI observations are well capable of detecting the annual trigonometric parallaxes of Galactic sources a few kpc away.

The above results firmly show a feasibility of the phase-referencing VLBI in astrometry with high accuracy of the order of 10 micro-arcseconds. This implies that directly measured distances and proper motions of the maser sources will be available throughout the Galaxy with the phase-referencing VLBI.

論文の審査結果の要旨

天体の位置の正確な測定を通じてそれらの距離、運動、基本物理量を把握し、動力学や物理過程の解明を進める天体位置計測 (astrometry) は、1990年代はじめの位置計測衛星 HIPPARCOS の大成功を経て、銀河系全域での距離と運動の実測をめざす新しい発展段階を迎えている。この中で注目されている新しい観測手法のひとつが、電波による相対VLBI法である。これは、天文学で最高の角度分解能を達成したVLBI (超長基線電波干渉法) 技術と最大の障害要因である大気揺らぎの影響の除去技術を結合して、10万分の1秒角台の高精度位置計測を達成しようとするものである。このために、天球上で近接するふたつの電波天体を同時もしくはほぼ同時に観測して観測量の差を取り、両者に共通に含まれる大気等の誤差要因を消去して、両天体の相対位置を高精度で測ることをめざしている。相対VLBI法の観測自体は既にさまざまな目的で行われているが、銀河系規模での距離と運動測定の試みはまだほとんどなされておらず、それを可能にする精度も達成されていなかった。

蜂須賀一也氏の学位論文は、実際の相対VLBI観測によって、10万分の数秒角の測定統計誤差で、約8000光年及び2万4000光年の彼方にあると考えられるふたつの銀河系内電波天体の位置を測り、1ヶ月を隔てた2回の観測から、天球上におけるそれらの変位を検出した研究をまとめたものである。

論文は8章から成り、序章で相対VLBIの高精度を実証する研究目的とその背景を成す高精度天体位置計測及びVLBI研究の現状が述べられ、第2章で相対VLBIの原理と観測方程式が示され、第3章及び第4章で、米国国立電波天文台の観測網VLBAを用いて行った高速スイッチング相対VLBI観測 (銀河系内天体とその近傍に見える銀河系外天体を40秒周期で交互に観測) の概要と解析方法が紹介されている。第5章では、観測値の検討から、大気揺らぎの除去が高い精度で実現したと考えられることと、ふたつの銀河系内電波源の1ヶ月間における300及び400マイクロ秒角の変位が検出され、測定の統計誤差は20から70マイクロ秒角であることが報告されている。また、対象天体の内部運動を利用して、間接的ながら距離を推定した結果も示されている。第6章では、誤差の検討が行われ、熱雑音誤差の見積もり等から、測定の統計誤差の値は妥当であること、一方、観測局位置の誤差、観測天体の構造等による系統誤差は、なお1万分の1秒角程度の大きさを持つと予想されることが述べられている。第7章では、今回の結果と、銀河回転のモデルの予想との比較が行われ、両者が比較的良く一致していること、この種の観測を継続して行うことによって、銀河回転モデルの改良や、地球の公転による天体の見かけの位置のずれ (年周視差) を利用した距離測定が可能になると判断されることが述べられている。第9章では、以上の結果をまとめて、結論としている。何千光年もの彼方の天体のわずか1ヶ月間の変位を検出するという、申請者によって得られた成果は、世界ではじめてのものであり、高精度天体位置計測の展開にインパクトを持つものと評価できる。論文の構成、考察も、学位論文に要求される水準を満たすものと判断される。