

超長距離基線干渉計による木星デカメータ電波 VLBI 観測における地球電離層の影響の除去

Elimination of terrestrial ionospheric effect on VLBI observation for Jovian decametric radiation

中城 智之 [1]; 大家 寛 [2]; 小野 高幸 [3]; 飯島 雅英 [4]

Tomoyuki Nakajo[1]; Hiroshi Oya[2]; Takayuki Ono[3]; Masahide Iizima[4]

[1] 福井工大・宇宙通信; [2] 福井工大・宇宙通信; [3] 東北大・理; [4] 東北大・理・地物

[1] Space Commu. Fukui Univ.; [2] Space Commu. Fukui Univ. Tech.; [3] Department of Astronomy and Geophysics, Tohoku Univ.; [4] Geophysical Inst., Tohoku Univ.

1. はじめに

長距離基線干渉計観測は、電波源の位置を詳細に決定するために1960年代から確立されてきた観測技術である。しかし、電波天文学において最も周波数の低いデカメータ帯においては、十分な分解能を得るには100km以上の基線長が必要であり、このような空間スケールでは地球電離層の影響のために電波源位置の決定は困難であるとされてきた。しかし、木星デカメータ電波については、1980年代に東北大学のグループが電波源の移動に着目したVLBI観測を行い、電波源が南北の両極域に存在することを示唆する興味深い結果を報告している。1994年からは電離層の影響の除去を目的とした2周波数観測で同様の結果を得ており、現在、福井工業大学と東北大学の共同研究により、より長い400km級の基線を用いて観測が継続されている。その一方、近年、月面に観測局を展開して構成される月-地球間VLBI計画が提案されている。月-地球間VLBIでは、木星表面上で最高で20kmという高空間分解能観測が可能であり、電波源の詳細な放射特性の解明が期待されている。今回、このような長基線観測と2周波数観測法を併用した地球電離層の影響の除去の可能性について、過去のVLBIデータの解析とともに検討を行った。

2. 超長距離基線干渉計による地球電離層の影響の除去

2-1. 原理

観測周波数20MHzの干渉計では、フリンジ位相は地球電離層の影響によって約4000ラジアンも回転するため、これまでの干渉計観測では絶対位置の決定は困難であるとされてきた。しかし、基線長が長くなると空間分解能が小さくなるため、フリンジ位相の回転分に相当する天球上の角度範囲は小さくなる。特に、地上局と宇宙空間に存在する観測局(宇宙局)で構成される干渉計では、基線長を拡大しても地球電離層起源のフリンジ位相の回転量は変化しないため、その影響は基線長の拡大に従って純粋に小さくなることが期待される。

2-2. 検討および結果

地上局と宇宙局による長距離基線干渉計を想定し、基線長の拡大によって地球電離層の影響がどの程度小さくなるかを計算により検討した。電波源は点源とし、宇宙局に至る伝播経路上は電子密度を0とし、地上局上空には厚さ100km、密度 $5.0 \times 10^5/cc$ の単層電離層を配置した。観測周波数は25MHzに設定し、地上局から見た電波源の高度を30度から70度まで5度刻みで変化させて電離層で生じる余分の遅延時間を計算し、到来方向の決定に及ぼす影響を調べた。

その結果、基線長38万km(月-地球間VLBIの基線長)では、全ての高度において電波源の南北位置の判別が可能となったが、基線長10万kmでは高度40度以下では判別不可能となった。そこで、さらに手法の適用範囲を拡大するために、2周波数観測法の併用について検討した。観測周波数を25MHzと25.5MHzに設定し、同様の状況で計算を行った結果、基線長5万km以上において、全ての高度で電波源の南北位置の判別が可能となった。したがって、超長距離基線干渉計と2周波数観測法を併用することにより、より効果的に地球電離層の影響を除去できる可能性が示された。

2-3. 偶然誤差の影響

木星デカメータ電波は狭帯域な出現特性を持つため、2周波数観測法においては近接した周波数を選択しなければならない。そのため、主に銀河背景放射雑音に起因する遅延時間の偶然誤差の影響が約20倍に拡大される。この影響を見積もるために、2002年4月16日に東北大学の飯館-米山基線(基線長111km)で観測されたデータを用いて遅延時間の標準偏差を求めた結果、周波数帯域幅10kHz、積分時間3秒の設定で0.15 μ 秒となった。この結果と理論式を基に、超長距離基線干渉計と2周波数観測法の併用における偶然誤差の影響を予測した結果、基線長5万kmで標準偏差5秒角、基線長38万kmでは0.6秒角という十分な結果を得た。

3. 結論と今後の展望

木星デカメータ電波の長距離基線干渉計における地球電離層の影響を除去するための方法について検討した結果、基線長が5万km以上の超長距離基線干渉計と2周波数観測を組み合わせた手法により、絶対位置決定における地球電離層の影響を数秒角程度にまで抑えることが可能であることが示された。したがって、現在検討されている月-地球間VLBIだけでなく、人工衛星を用いる干渉計観測も有用である。今後、福井工業大学と東北大学で構成される400km級干渉計を用いた観測により、今回予測した遅延時間が現実に達成可能かどうかの検討が必要である。また、究極的な目的である電波源の絶対位置計測のためには、観測システムの特性差に起因する遅延時間を求めることが必要になるが、人工衛星にキャリブレーション信号を搭載する方法等について今後検討したい。