

月面/衛星電波源の相対VLBI観測における誤差要因と位相測定精度

Error estimation of phase measurements in differential VLBI between radio sources on the Moon and lunar orbiter

花田 英夫 [1], 河野 宣之 [2], 河野 裕介 [3], 荒木 博志 [1]

Hideo Hanada [1], Nobuyuki Kawano [2], Yusuke Kono [3], Hiroshi Araki [4]

[1] 天文台・水沢, [2] 国立天文台・水沢, [3] 総研大・数物・天文科学

[1] Div. Earth Rotation, Nat. Astr. Obs., [2] Div. Earth Rotation, NAO, [3] Dept. of Math. and Phys. Sci., Grad. Univ. Advanced Studies, [4] NAO, Mizusawa

<http://mc-net.jtbcom.co.jp/earth99/>

月の重力場の推定、物理ひょう動の観測等を行うために、リレー衛星と月着陸実験機にそれぞれ電波源を搭載し、両者の角距離の変化を相対VLBIで測定する。離角を相対VLBIで高精度に測定するために、それらから放射されるS帯3波とX帯1波の搬送波を狭帯域受信器で記録し、 2π の不確定を解きながら位相を10度以下の精度で測定する。ここでは、所期の精度を達成するために必要な電波源の条件と誤差要因について述べる。搬送波を同期させることによって、電離層による遅延の影響を補正しながら、4搬送波の位相の 2π の不確定を解いていくことができる。ただし、そのためには周波数と同期についてある条件を満たす必要がある。

月の重力場の推定、物理ひょう動の観測等を行うために、リレー衛星と月着陸実験機にそれぞれ電波源を搭載し、両者の角距離の変化を相対VLBIで測定する。離角を相対VLBIで高精度に測定するために、それらから放射されるS帯3波とX帯1波の搬送波を狭帯域受信器で記録し、 2π の不確定を解きながら位相を10度以下の精度で測定する。ここでは、所期の精度を達成するために必要な電波源の条件と誤差要因について述べる。

誤差要因として、電離層補正、周波数安定度、周波数差、チャンネル間位相差、衛星のスピン等が考えられる。

S帯の電波の電離層による遅延は、昼間と夜間でそれぞれ約25nsと約5nsであり、X帯については、遅延は周波数の2乗に反比例するので、昼と夜でそれぞれ約1.7nsと約0.4nsと推定される。これらは太陽活動最大での見積もりである。二つの電波源の対応する周波数の差による電離層遅延の差が、10度の位相測定精度に影響を与えないためには、X帯の周波数差は1.6MHz以下である必要がある。電離層モデル等を用いて、電離層による遅延を10%の精度で補正できれば、この10倍つまり16MHzの周波数差が許容できる。

また、搬送波を同期させることによって、電離層による遅延の影響を補正しながら、4搬送波の位相の 2π の不確定を解いていくこともできる。ただし、そのためには周波数と同期についてある条件を満たす必要がある。

電離層の空間分布の影響については、地球回転によって時間変化を空間変化に換算すると、S帯で最大6.0ps/km、X帯で0.41ps/kmの場所による変化が予想される。二つの電波源の角距離を最大1.5度と仮定し、電離層の高度を300kmで代表させると、両電波源からの電波は、電離層上を水平距離8km離れた場所を通過することになり、両者の電離層による遅延時間の差は、S帯で48ps、X帯で3.3psとなる。これらの遅延時間を位相に換算すると、S帯で38度、X帯で10度に相当する。したがって、衛星電波源の電離層による遅延を月面電波源のそれで代用しても、多くの場合は、誤差は観測制度（X帯の位相10度）以下である。しかし、まれに起こる急速な電離層の変化にも対応するために、クエイサーと月面電波源の電離層による遅延を内挿して、衛星電波源の遅延を求めたり、GPS観測網による実測値を用いたりして、10%以下の精度で電離層による遅延量を推定する必要がある。

搬送波の周波数変化の位相測定に及ぼす影響については、サンプリング周波数が無限大の場合には、どんなに大きな周波数変化があっても、相互相関をとることによって、真の遅延時間が求められるはずであるが、有限のサンプリング周波数の場合には、相互相関関数の値を最大にする遅延時間が、真の遅延時間とずれる。つまり、位相測定値に誤差を生じる可能性がある。シミュレーションによってその影響を調べた結果、位相測定誤差は1次の周波数変化率にほぼ比例して大きくなり、4kHz/sの周波数変化に対して約0.1度の位相測定誤差となる。また、2次の周波数変化に対しても周波数変化率にほぼ比例して大きくなり、4.5kHz/s²で約0.1度の位相測定誤差である。