

3.14.6.17 時系

高橋幸雄

VLBI では、観測局ごとに信号のサンプル時刻が観測された信号とともに記録される。この時の時刻は、VLBI 局の時計（時系）が用いられる。この時系の差が、各観測の中で 2 局の遅延残差やその変化の中に含まれる。これら時計の同期差（時系の差、クロック差）を、観測遅延時間から推定する。時系の差は、電波源に寄らずに共通である。そのため、ある時間間隔に分けて時系の差の変化やオフセットをパラメータとして推定値する。この時系の推定に含まれるものとしては、アンテナ構造による一定の伝達時間やサンプルまでのケーブル伝搬の時刻等の局内遅延差も含まれるため、本当の時系の差は、これら局内遅延差を正確に求めないと求まらない。そのため時刻同期実験では、局内遅延を変化だけでなく絶対値として正確に測定する苦労が必要となり、特殊な時刻同期用の装置が必要となる。

観測値をいくつか集めて、その共通性から時系の差を推定するためには、ある程度の観測の間で時系は安定あるいはシンプルな変動（例えば時間の 1 次変化程度）であることが必要である。そのためには数時間（観測数で言う 10 個から 100 個）の間安定な時計が必要で、原子時計が不可欠となった。もし、数分で 0.1ns 変化する時計では時系の変化か他の物理効果や観測天体の違いによるものかが分離できない。もちろん、1 観測内でも安定しないと、観測自体ができなくなる。そこで、100 秒から 10000 秒の間で安定度がいい原子時計として、水素メーザの時系を用いられることになった。10000 秒以上の時間間隔での安定度に関しては、推定で求めることができるので、上にあげた時間間隔での安定度が最も重要なものである。その時間間隔で 10ps~100ps の安定度が理想的で約 10^{-15} の安定度が望ましいものであった。当時、原子時計で、標準時を決定するのに使われていた Cs 原子時計は、この時間間隔での安定度が十分でなかったため、その時間間隔での安定度を示す新しい原子時計として、水素メーザが開発され、用いるようになった。Cs 原子時計は 1 日以上以上の長期安定度が良いため、1 日以上長期時系は Cs 原子時計で、1 日以内の実験での時系は水素メーザの併用・組み合わせで運用していた。また、Cs 原子時計に関しては、衛星などを用いた時刻同期などを行って、大きな時系の差がないように管理されていた。

また、水素メーザも 2 台併用するなどして、相互の時系の安定を測定するようにして運用を行うなど、時系管理を厳密に行った。VLBI 実験ができるようになったのは、この水素メーザ時計などを初めとした時系管理が正確にできるようになったことが、技術的に大きな成功要因でもあった。

時系に関しては、2 局の時系の変化が遅延時間として見ることもできる。どの観測局の時計が変化したかは、複数の局で、複数の基線（観測局のペア）で見ると、変化の共通性（同じ時刻で同じような変化が共通した観測局がある基線で見られる）から、どの観測局の変化を解析者が推定する。変化としては、大きく分けて、1 次変化の変化率が変わる折れ曲がり現象と、時系が飛ぶジャンプの現象が見られる。その他、時刻管理が不十分な場合は

2次変化やさらに高次項の変化が発生する。

最後に、解析において、当初は、解析者が時系の変化を判断しながら解析していたが、時系においても、1-2時間に1回自動的に時刻の変化を推定する方式がとられ始め、水素メーザの性能も上がってきたことも含めて、この方法で精度が高くなり、時系の変化が解析結果にはあまり影響することはなくなった。