

3.14.6.8 大気遅延

高橋幸雄

我々が日常時に吸って暮らしている空気、これは地上付近では、約 8 割の窒素と約 2 割の酸素からなり、その割合は高さによっても変わってくるが、モデル化しやすく、標準大気モデルが示されている。非常に高高度まで存在し、約 30km の成層圏が目安である。一方、水蒸気は、不規則に、高さや場所、環境によっても変化する。大体の目安は、地表表面 2-3km あたりまでである。この水蒸気は、雨等の気象に大きくかかわってくる。水蒸気成分に対して、窒素や酸素などを乾燥大気と呼ぶ。

これらの大気を電波が通過すると、誘電率が真空のときと違ってくるため、電波の遅れや曲りが発生する。それは高さによっても違い、電波が通過するすべての大気の影響の総和が大気遅延である。

①乾燥大気遅延

窒素や酸素による大気は、非常に安定し、モデル化しやすく、これらによる乾燥大気遅延は、地上の気圧、気温、標高で計算される。VLBI における遅延は、伝搬してくる間のすべての大気による影響の総和であるため、高さ方向の大気密度の分布や、球面に分布したところに来る曲がり効果などをレイトレーシングで計算していく。高さ方向の大気密度の分布や温度が、高気圧や低気圧など気象条件や地域や、海や山などの環境によって違って来るように考えられるが、実際上は地上の気圧、気温、地表の標高でほぼ表せられるほど、安定してモデル化しやすいものである。

この乾燥大気の遅延は、天頂方向で約 30km 位の層を伝搬して約 7ns (2m) の遅延となり、大きな数値となる。また仰角 30 度では 2 倍、仰角 10 度では 5 倍くらいになり、非常に大きな遅延となる。

気象条件や周りの環境によって違って来る部分に関しては、局所性による不規則変化は少なく、大気推定の中に含まれる形で、推定されることになる。

②水蒸気遅延

乾燥大気に比べて、水蒸気は、海や山などの周りの環境や、昼夜、既設、場所、標高、気象状況、地域性によって大きく変化する、不規則で、しかも局所的な変化も大きい。特に海沿いの観測局（例えば鹿島局）では、方角で遅延が異なったり、朝夕の水蒸気の変化が大きい時間での揺らぎが局所性が大きくなる。また、季節変化も大きく、冬は水蒸気が少ないが、夏は 1 桁くらい水蒸気が多くなる。高さ分布に関しても、条件、場所、時間によって大きく変化する。モデル化も難しく、最も大きな誤差要因になっている。

モデル化しにくいので、水蒸気を観測するために、水分子線の周波数付近の複数の周波数で放射強度を観測し水蒸気量を測定する水蒸気ラジオメータと呼ばれる装置の開発を行

った。一部利用したこともあるが、安定した信頼性のある運用が難しいこともあり、モデル化の向上もあって、乾燥大気+水蒸気による遅延を推定する方法だけで精度を向上することができるようになった。

水蒸気遅延の天頂での量は、夏 30cm 以上で、冬 5cm 以下となる。低仰角の観測では、その5倍にもなり、それが不規則に変化するので、取り扱いが難しい。

水蒸気遅延の単独モデルが提案されていたが、乾燥大気と水蒸気成分を合わせた統一モデルが、数多く提案されてきて、それを利用することが多くなった。

③総合モデル

最初使われたのが 1970 年代に提案された Marini のモデルがあるが、その後、季節変動や、アンテナの方位角を考慮したモデル式が提案されるようになり、推定後の残差が飛躍的に改善してきた。

大気の推定方法は、地上の気温、気圧、水蒸気圧による総合大気モデルでほぼ推定し、残りにモデルからのずれを、仰角依存性の違いから天頂方向で換算した遅延時間をパラメータとして推定する。特に海に近い局など方位角依存性も含めて推定することもある。推定で 1-2 時間毎に大気遅延パラメータ（天頂方向での遅延時間に換算した値）の変化率を機械的に推定する方法が用いられ、飛躍的にばらつきが小さくなり、精度が上がった。この推定値は、その 1-2 時間における近傍の水蒸気による遅延と、乾燥大気のモデルからのずれの平均的な数値となっている。