

## GPS観測からの可降水量の推定

### - 国土地理院GPS観測網データの解析とその評価 -

大谷 竜 (東大・理) ・内藤勲夫 (国立天文台)

近年、GPSを用いて大気中の可降水量を精度よく測定する技術が確立されつつあり、水蒸気の有効な観測手段として注目されている (Businger et al., 1996)。GPSにより可降水量を精度よく推定することは、気象学的な目的にとどまらず、GPS測位の最大の誤差源である水蒸気の動態を解明し、測位精度を向上させるためにも大変重要である。

わが国においてはこれまで、大谷他 [1997] により、全国 8 点一週間分の国土地理院のGPS観測網のデータから推定された可降水量とラジオゾンデ観測による可降水量との比較が行われた結果、約3mmの精度での測定が可能であることが示されている。更に大谷他 [1997b]は、比較の期間を一年にのぼし、特に気象条件の違いによってどの程度GPSによる可降水量の推定精度に変動が生じるのかを調べるため、筑波での1995年一年分のGPSデータを解析して天頂大気遅延量を求め、その精度を評価した。その結果を以下に示す。

GPSによる天頂大気遅延量の推定にはGIPSY softwareを用い、館野の高層気象台での一日二回 (0000UT、1200UT) のラジオゾンデ観測から計算された天頂大気遅延量との比較を行った。高層気象台までの距離は8kmである。標高差はほとんどない。マッピング関数としてはLanyi(1984)のものを用いた。

図1に、GPSから推定された天頂大気遅延量とラジオゾンデ観測から計算された天頂大気遅延量の時系列を、図2には両者の差を示す。但し、図1では求められたそれぞれのトータルの天頂大気遅延量から、気圧を一定と仮定して計算された天頂静水圧遅延量を差し引いたものを示している。この結果から、年間で見ると、残差のRMSは約15mmであり、可降水量に換算して約2.3mmの精度で推定できていることが分かる。季節毎に調べると残差のRMSは夏には大きく、冬には小さい。またこの残差には年間変動するようなバイアスが存在しており、GPSによる天頂大気遅延量はラジオゾンデ観測から得られたものに対して系統的に夏には小さく、冬には大きくなっているのが見られる (表1)。

これは、ラジオゾンデ観測、GPS解析両者に起因する。この比較において、ラジオゾンデ観測から天頂大気遅延量を計算する際、ラジオゾンデで鉛直方向に数分毎に観測された生データから、数値予報用に指定気圧面だけの値を選んで作成されたデータセットを用いた。そのために、特に夏季のような水蒸気の空間的変動が大きい季節では、指定気圧面のみを用いたデータセットでは鉛直方向の複雑な水蒸気の分布を十分捉えることができず、計算された大気遅延量に誤差が生じ、系統的なバイアスの一原因となる。一方、GPS解析に起因する誤差としては、一つには解析に用いたマッピング関数を年間を通じて一定に固定したことがあげられる。大気の厚さが十分薄ければマッピング関数は無限平面でのマッピング関数である仰角の $\text{cosec}$ により近づく。しかし大気厚が厚くなるにしたがい、大気を持つ曲率の効果が無視できなくなるため、マッピング関数は $\text{cosec}$ の仰角よりも大きくなる。大気遅延の75%は対流圏の大気に起因するので、圏界面高を大気厚として考えると、夏季には圏界面高は高く冬季には低いいため、年間を通じて一定のマッピング関数を用いた場合にはこうした大気厚の変化に伴う実際のマッピング関数の変化を反映できないために、推定される値に系統的なバイアスが生じたものだと考えられる。

上記二つの誤差要因を考慮に入れて再解析した結果を図3に示す。ここでは特に8月の結果のみを示してある。図でラジオゾンデ観測データセットとして、+は実際に観測されたままの高分解能データである「気温湿度観測資料」を用いた。◇は指定気圧面だけのデータセットを用いて計算されたものである。またGPS解析に使用したマッピング関数においては、0000UTにおける高層観測から得られた圏界面高と温度減率を考慮に入れたモデリングをし、一日の解析セッション中ではこの値に固定した。こうして得られた結果では、最初の解析に見られたバイアスは大きく減少している。特に8月前半に見られる

大気遅延の顕著な日周変化時における改善は大きい。

しかしながらこのような要因では、冬季に見られるGPS大気遅延量とラジオゾンデ観測から求められたものとの系統的なずれは説明できない。図4には1995年1月における図3と同様にして求められた結果を示す。圏界面高の変化ではGPS大気遅延量が系統的に大きく推定される傾向は説明できない。また、冬季においては水蒸気の空間的な分布も夏ほどには大きく変動せず、分解能の高いラジオゾンデデータを用いてもほとんど改善されない。こうしたバイアスが前線通過時にははっきりしなくなり、むしろ晴天時に顕著に見られることから、この原因として例えば気温の逆転層の存在など乾燥大気の大気構造に起因するものである可能性が考えられる。

以上の結果から、今後GPSから大気遅延量を精度よく推定するためには、まず現在使用されているマッピング関数がどの程度実際の大気構造と差があり、それがどのように解析に影響をおよぼしているのかを調べる必要がある。特に、南北に細長く様々な気候区分を有する日本列島においては、一律なマッピング関数を全ての観測局で使用するのは系統的な誤差が生じる可能性がある。そこで、今後は筑波で行われたのと同様の解析を代表的な気候区分におけるGPS観測局でも行い、大気構造の変化が推定量にどのように影響を及ぼしているのかを調べる予定である。こうして、マッピング関数の大気構造に対するsensitivity等を調べ、その地域や季節における最適値をみつけることにより、大気遅延量の推定精度の向上を目指すものである。更には、低気圧の通過などで大気遅延の勾配が存在しうる時などでの、マッピング関数の等方性の仮定に起因する解析誤差も、数値予報データなどを用いて評価していく予定である。

#### 参考文献

Businger, S., S.R.Chiswell, M.Bevis, J.Duan, R.Anthes, C.Rocken, R.Ware, T.M.Exner, T.VanHove, and F.Solheim, 1996: The promise of GPS in atmospheric monitoring. Bull. Amer.Meteor.Soc., 77, 5-18.

大谷竜、辻宏道、萬納寺信崇、瀬川爾朗、内藤勲夫、1997:国土地理院GPS観測網から推定された可降水量、天気（印刷中）。

大谷竜、内藤勲夫、畑中雄樹、萬納寺信崇、1997b:様々な気象条件におけるGPSによる大気遅延量の推定精度の評価、日本気象学会1997年春季大会予稿集、E202.

期間	サンプル数	平均 (mm)	RMS (mm)
通年	698	0.303	15.4
Jan~Mar	171	-7.86	11.2
Apr~Jun	167	-0.387	12.1
Jul~Sep	182	11.5	21.9
Oct~Dec	178	-2.66	13.7

表1 天頂大気遅延量の差（ラジオゾンデーGPS）の平均値とRMS（1995年、筑波）

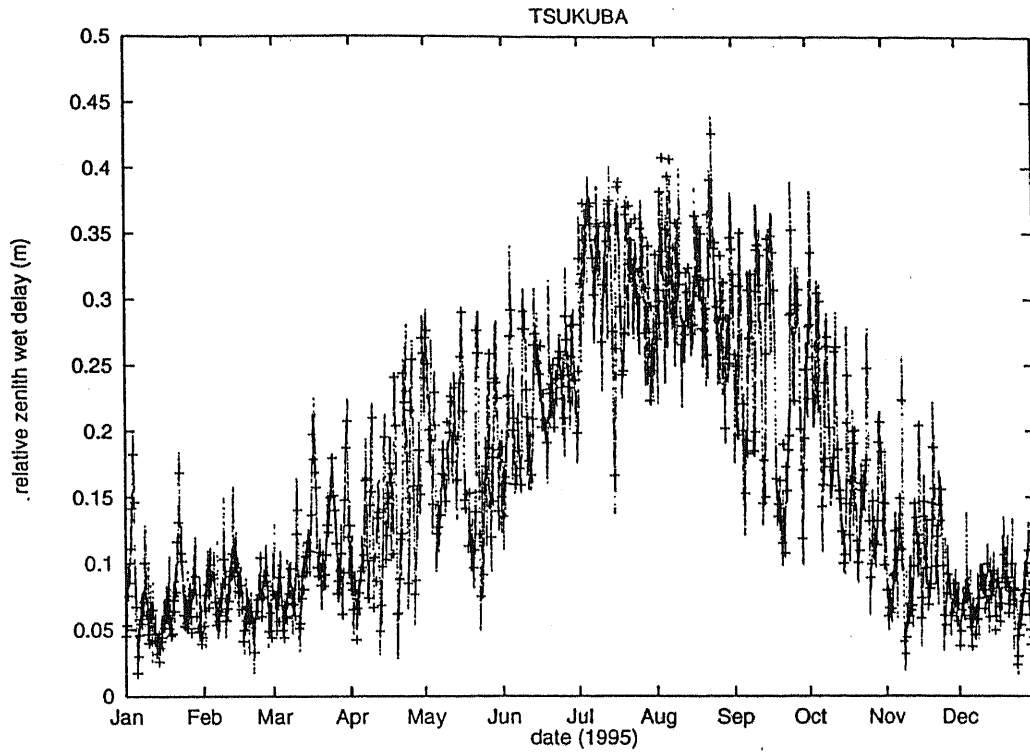


図1 GPSより推定された天頂大気遅延量 (・) とラジオゾンデ観測から推定された天頂大気遅延量 (×) の1995年の時系列。但し、それぞれ求められたトータルの天頂大気遅延量から一定の気圧を仮定して計算された天頂静水圧遅延量を差し引いてある。

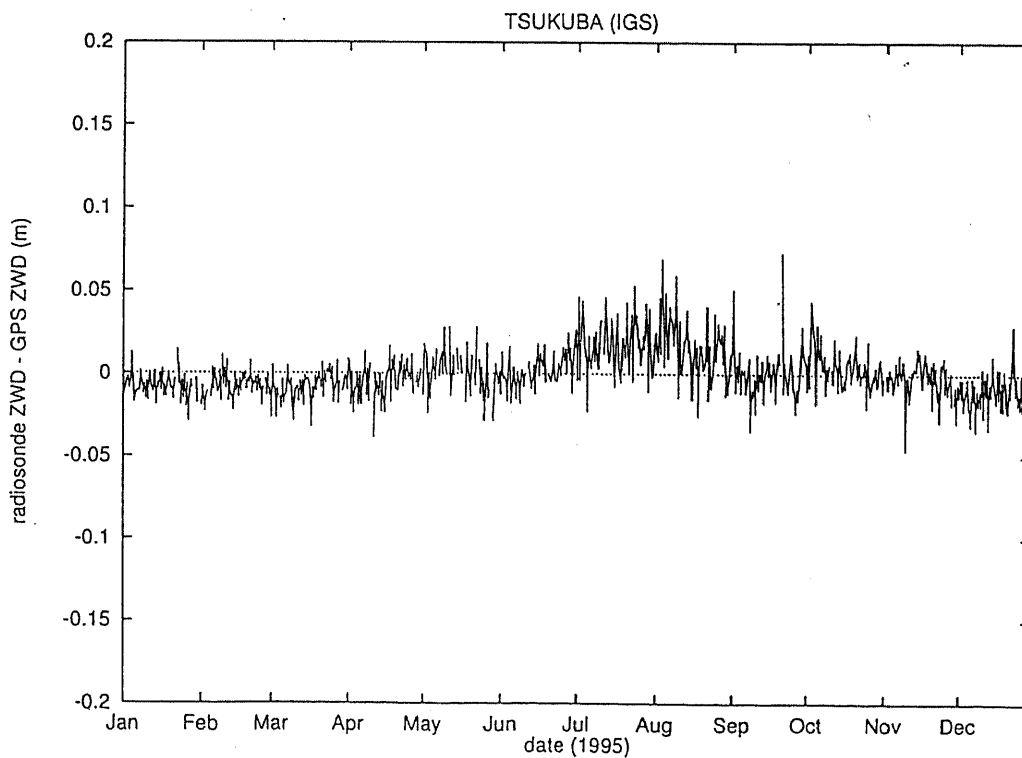


図2 ラジオゾンデ観測による天頂大気遅延量からGPSから推定された天頂大気遅延量を差し引いた残差。一日二回のラジオゾンデ観測 (0000UT、1200UT) での比較。

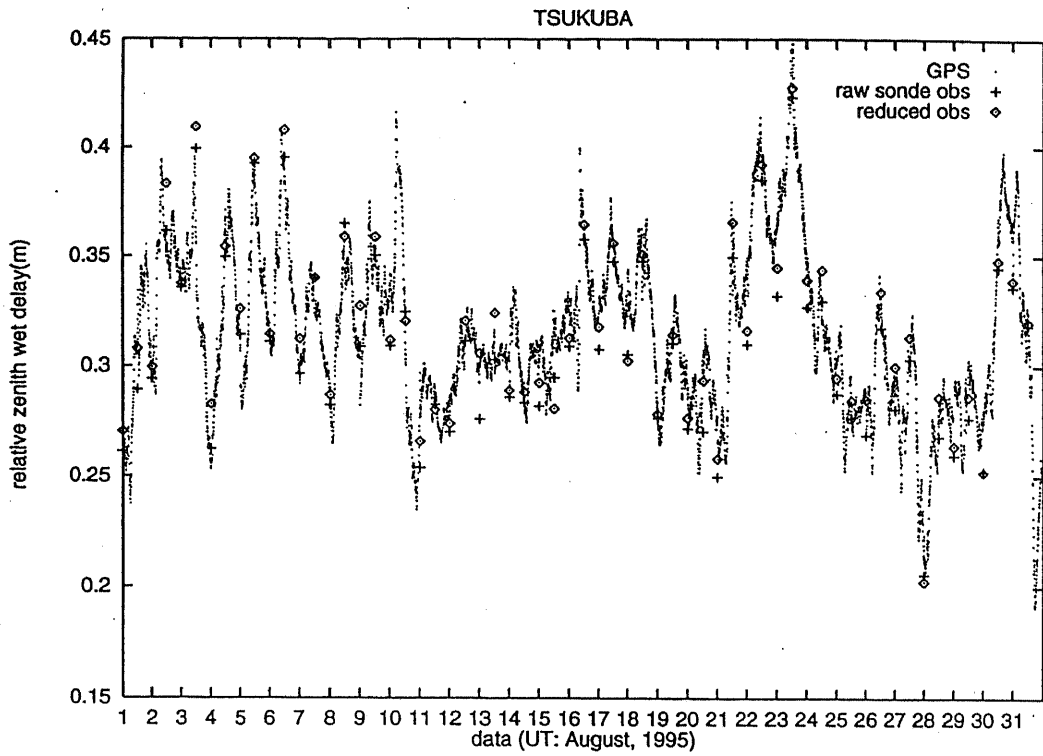


図3 1995年8月における相対的な天頂大気遅延量の比較。・は圏界面高、気温減率の変動を考慮にいれたマッピング関数を用いて推定されたGPSによる相対的な天頂大気遅延量。◇はラジオゾンデ観測の内、指定気圧面高度のみのデータセットを用いて計算された相対天頂大気遅延量、+は気温湿度観測資料のデータセットを用いて計算されたもの。

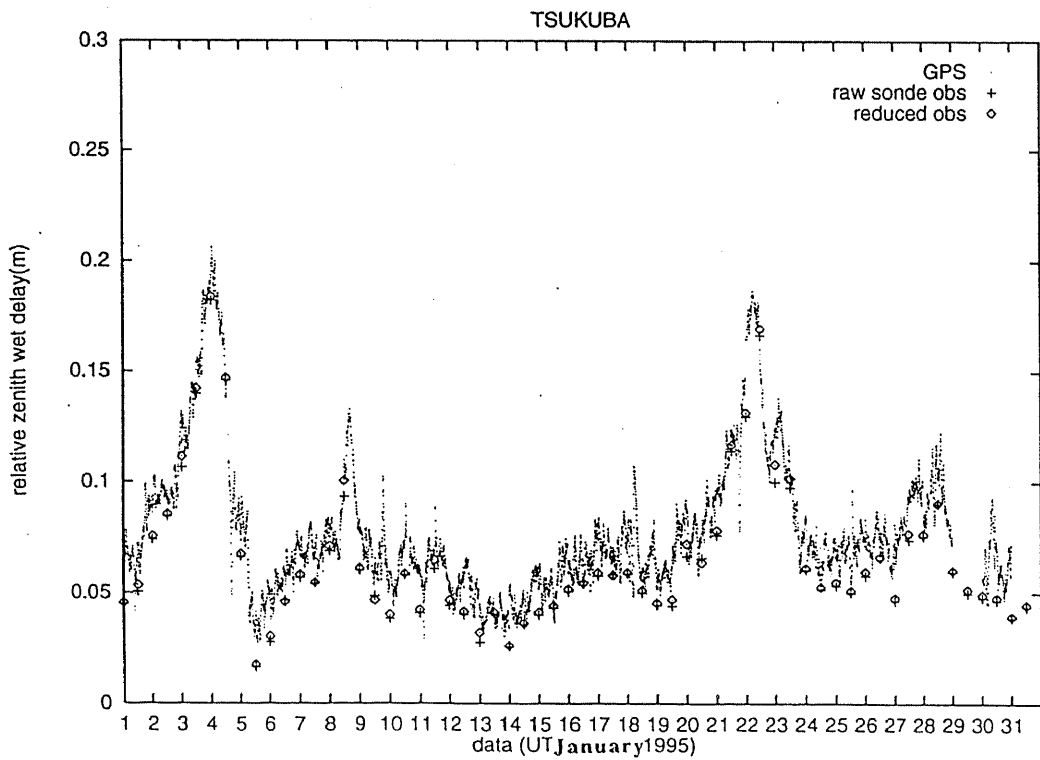


図4 1995年1月における相対的な天頂大気遅延量の比較。説明は図3と同じ。