

# 水蒸気勾配評価を目的とした WVR 観測実験

通信総合研究所鹿島宇宙通信センター市川隆一、小山泰弘、近藤哲朗、大久保 寛  
通信総合研究所 花土 弘  
気象研究所 青梨和正、小司禎教  
国土地理院 畑中雄樹  
千葉大学リモートセンシング 山本尉太、高村民雄  
環境研究センター  
環境研究所臨湖実験施設 松重一夫

## 1 はじめに

VLBI や GPS での大気遅延除去には、球対称の多層構造を仮定した大気モデルが主に従来使用されてきたが、最近は大気の水蒸気変動をモデル化したマッピング関数（これを方位依存マッピング関数、あるいは異方性マッピング関数と呼ぶ）が実用に供されている（例えば、MacMillan, 1995, Chen and Herring, 1997 など）。これらの異方性マッピング関数は、特に測位解の水平成分の精度向上に効果的とされている（MacMillan, 1995; Chen and Herring, 1997）。

異方性マッピング関数では、大気勾配を単純な一次平面で仮定する。しかしながら、この仮定が我が国でしばしば生じるメソスケール、およびローカスケールのように数 10km 以下の水平スケールでの水蒸気変動の影響を取り除くために有効か否かはまだよくわかっていない。そこで、これらのスケールの水蒸気変動の動態を把握し、GPS・VLBI 測位誤差との関係を調べるために、1998 年 5 月より我々は筑波・鹿嶋地域において水蒸気ラジオメータ(WVR)観測を実施してきた。この観測では、特に鹿嶋周辺での海陸風などの日変化、千葉県から茨城県の沿岸にかけて発生する積雲対流現象などのもとでの水蒸気変動を捉えることを主目的としている。今回は、GPS から推定された大気勾配の比較、および WVR によって得られた 2 地点間での水蒸気勾配の相違について述べる。

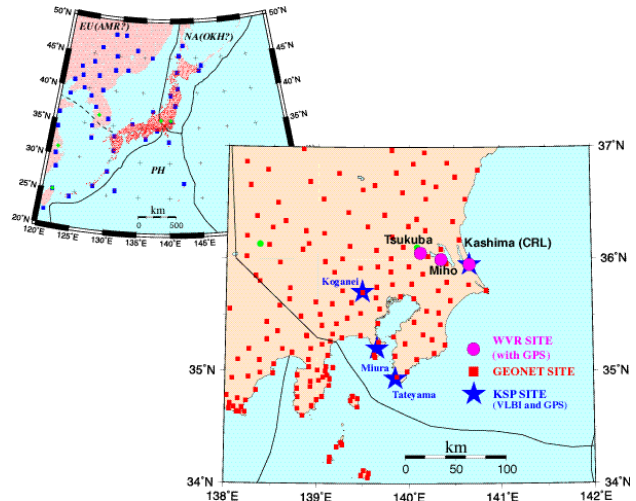


図1 観測点の配置

## 2 観測の概要と解析

筑波の気象研究所構内と鹿嶋の鹿島宇宙通信センターの 2 カ所では、1998 年 6 月から 2000 年 2 月現在に至るまでほぼ連続で WVR 観測を継続している。1998 年 6 月～8 月は、GPS 衛星の配置にしたがって約 1 分毎に方位・仰角を切り替えるモードで観測を行い、9 月以降は仰角 20 度一定で方位 30 度毎に走査するモードと天頂方向の観測を組み合わせている。その他、国土地理院、千葉大学においても 1998 年夏期

に臨時観測を行った。また、1999 年 6 月からは筑波 - 鹿嶋間の水蒸気変動をより詳細に調べるため、霞ヶ浦湖畔の美浦村にある環境庁環境研究所臨湖実験施設にも WVR を設置し計 3 カ所（筑波、美浦、鹿嶋）でのアレイ観測を実施している。各観測点の間隔は約 25km である。これらの観測点の配置を図 1 に示す。

今回の解析では、まず取得した WVR データを 1998 年初夏に気象研構内で実施した WVR とラジオゾンデとの比較観測の結果に基づいて校正した。図 2 に示すように、この校正により WVR、ラジオゾンデ、さらに GPS から得られた天頂遅延量はお互いに RMS5mm 以下で良く一致している。次に、3 時間毎の視線方向の WVR データから異方性マッピング関数による大気勾配推定と同様の方法で水蒸気勾配ベクトルを推定した。さらに得られた水蒸気勾配ベクトル変動の傾向を掴むため 24 時間窓での移動平均を取った。さらに、KSP/GPS 解析からも大気勾配を推定し、これを WVR から得られた水蒸気勾配変動と比較することで評価を試みた。

## 3 結果

図 3 は鹿嶋における WVR 観測より推定した水蒸気勾配ベクトルの方位と大きさを時系列で示した図である。これによれば、夏期にベクトルの大きさが大きく水蒸気不均質が顕著であり、鹿嶋の南西方向に水蒸気が多い分布が卓越することがわかる。一方、KSP 観測網において GPS と VLBI とともに鹿嶋 - 小金井基線の基線長が季節変化し、冬期にくらべて夏期に基線長が最大 15mm ほど伸びる傾向があることがわかっている。Kondo et al.(2000)による波線追跡法を用いた水蒸気勾配のシミュレーションによれば、

鹿嶋の南西側に広がる水田の効果により春から夏にかけて水蒸気勾配が生じ、これが基線長の季節変化に影響することが示唆されている。ここでの WVR 観測の結果からは夏期の基線長の伸びが期待され、Kondo et al.のシミュレーション結果を指示する。

最近 GPS 解析ソフト (Bernese Ver.4.2) にも大気勾配を推定するためのモデルが組み込まれたことを受けて、1998 年 6 月 19 日～8 月 30 日の期間の GPS データの再解析を行い、水蒸気分布の不均質性について評価を試みた。図 4 は GPS 鹿嶋局における東西位置変化であり、大気勾配の推定を行わない場合と行った場合の結果を並べている。図 5 は鹿嶋における大気勾配ベクトルの東西成分の時系列であり、実線が WVR による観測、点線が GPS 解析から得られた結果である。

図 4 より大気勾配推定により解析結果の再現性が向上することは明らかであるが、これらの結果が果たして実際の水蒸気分布の不均質性の影響を取り除いた効果か否かを検証する必要がある。図 5 によれば、各図中に矢印で示した期間の大気勾配の変化が GPS による推定と WVR による結果で位相・振幅が類似しており、モデルによる大気勾配推定が効果的に行われたことを示唆する。しかしながら、その一方で双方の大気勾配変化の位相がまったく異なる場合や、位相は似るもののオフセットが生じて振幅が異なる場合もある。こうした事例では、水蒸気分布の不均質性以外の要因を大気モデルに押しつけている可能性があるため、より詳細な検証が必要である。

さらに、水蒸気勾配の空間スケールについて把握することも重要である。図 6 に鹿嶋から約 54km 離れた筑波で実施した WVR 観測で得られた水蒸気勾配と鹿嶋での勾配を並べて示した。これによると、双方の変動は 7 月下旬まで水蒸気勾配ベクトルがほぼ同じ方向を向くが、8 月に入ると鹿嶋ではほぼ南よりの方位が卓越するのに対して、筑波では方位が大きく変動する。一方、ベクトルの大きさは図に示した 2 ヶ月間を通して双方で大きく異なる。このように比較的短距離の基線でも顕著に大気勾配の様相が異なっており、水平スケールで数 10km 以下のメソスケール現象が影響していることが示唆される。したがって、GPS や VLBI の高精度化のためには個々の観測点に特化した大気遅延除去が必要と考えられる。今後格子間隔 1km 程度の非静力学数値予報データを用いてより詳細な評価を行う予定である。

### 参考文献

- Chen, G. and T. A. Herring, 1997: Effects of atmospheric azimuthal asymmetry on the analysis on space geodetic data, J. Geophys. Res., 102, 20489-20502.
- Kondo et al., 2000: A paddy field effect seen on the KSP VLBI measurements, in preparation.
- MacMillan, D.S., 1995: Atmospheric gradients from very long baseline interferometry observations, Geophys.Res. Let., 22, 1041-1044.

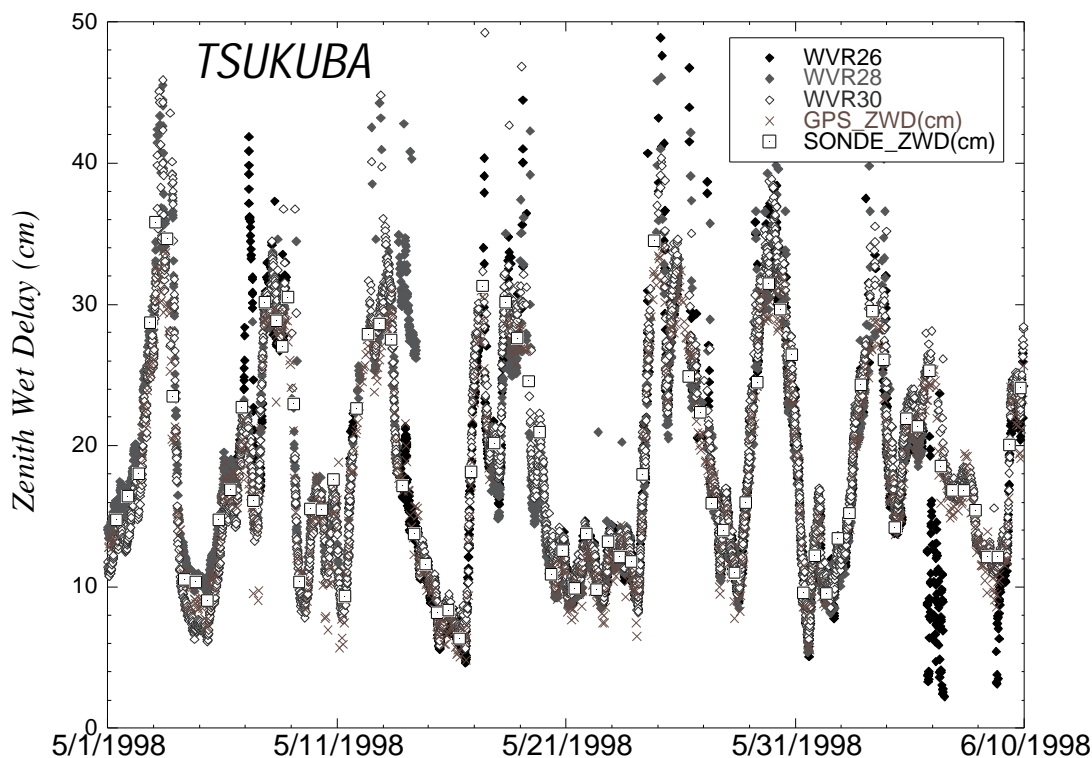


図 2 天頂遅延量の比較。WVRのプロットは校正後の結果である。この観測では3台のWVRを用いた。なお、×印はGPSによる値、および白抜き四角は気象研構内におけるラジオゾンデ観測から得られた結果である。

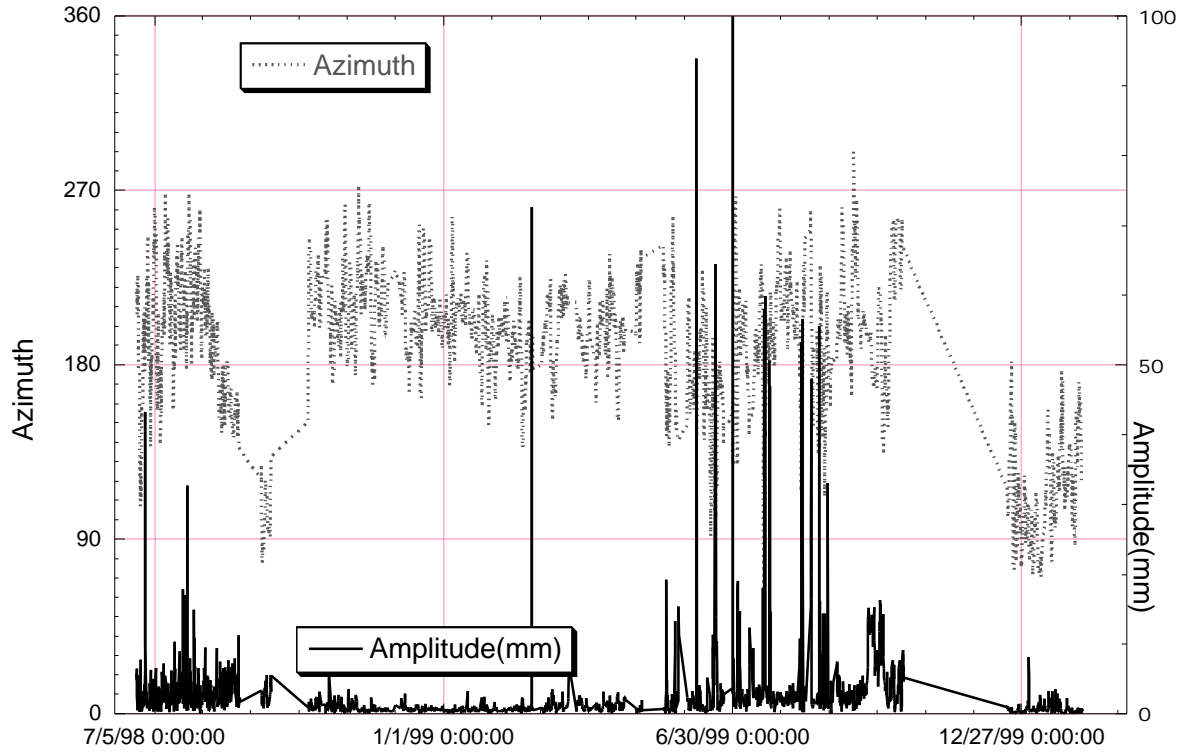


図3 WVR観測から求めた鹿嶋における水蒸気勾配ベクトルの方位と大きさ

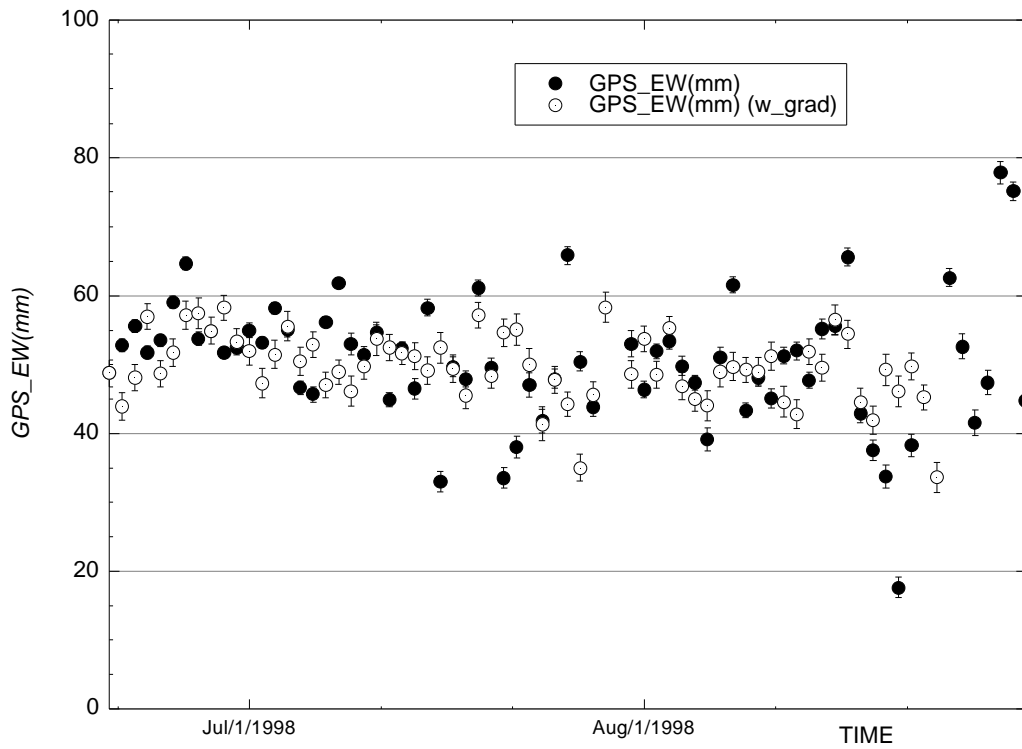


図4 KSP/GPS 鹿嶋局の東西変化。黒丸は勾配推定なしで解析し、白丸は勾配推定ありで解析した結果。

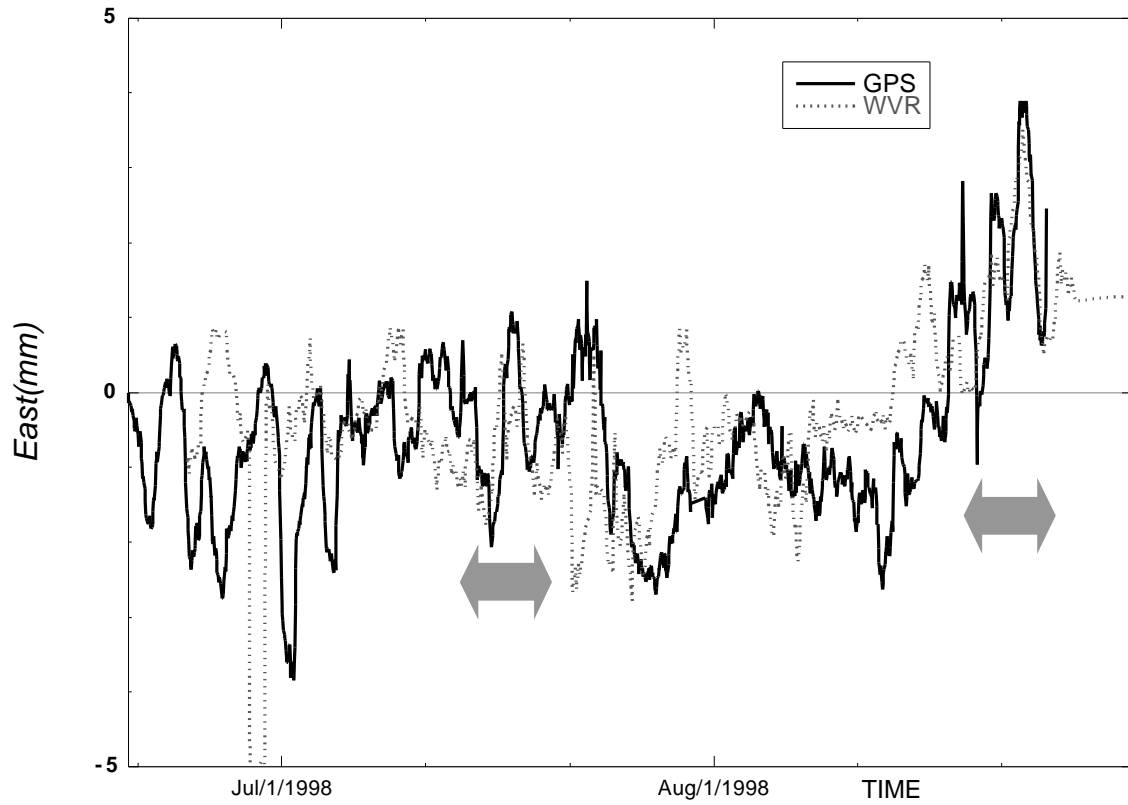


図5 WVRより得られた大気勾配ベクトルとGPS大気勾配との比較。矢印で示したのは双方の変動が似ている期間。

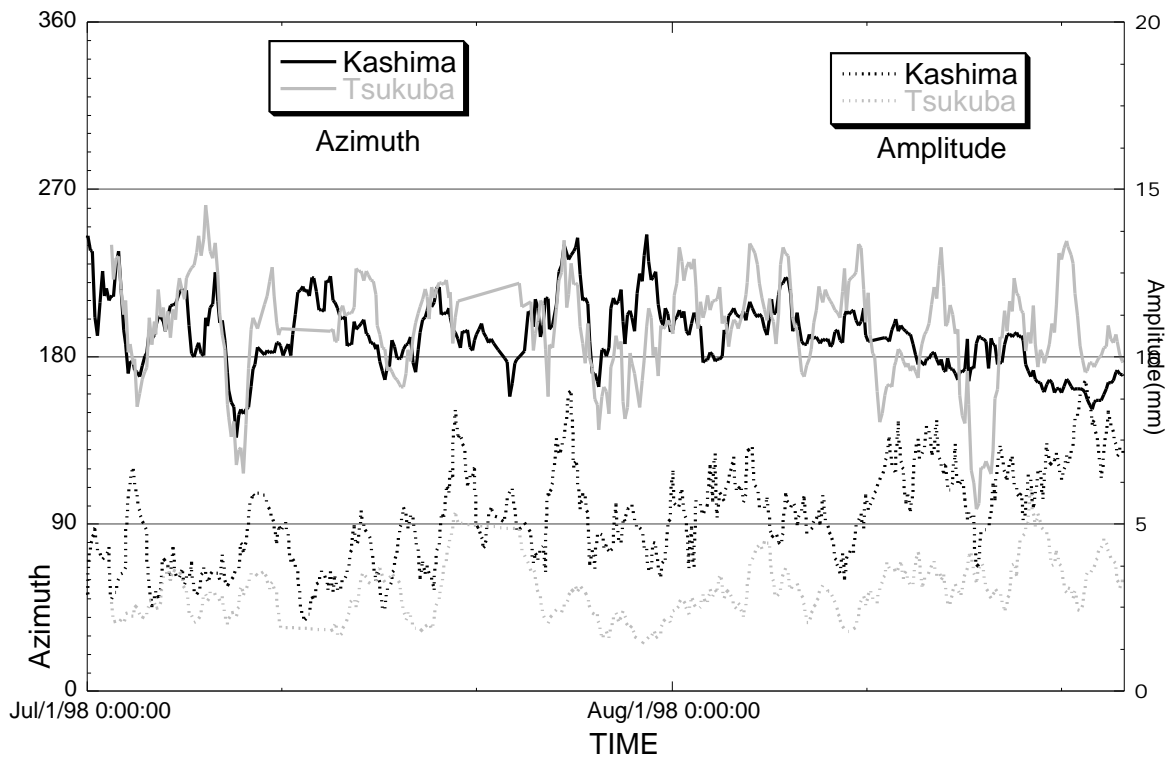


図6 鹿嶋と筑波での大気勾配ベクトルの比較