

湿潤遅延量の方位異方性と測位誤差の評価

市川隆一(richi@crl.go.jp)

通信総合研究所鹿島宇宙通信センター

1. はじめに

GPSやVLBIを用いて、鉛直成分1cmの壁突破の鍵を握る一つの要素は、大気の一様性をいかに正確に推定・補正できるかである。MacMillan(1995)による異方性マッピング関数をVLBI観測に適用した研究、またWare et al.(1997)によるマイクロ波放射計(WVR)で推定した視線方向の湿潤遅延量をGPS解析に適用した研究では、いずれも基線長や3次元位置の再現性が確かめられている。しかしながら、MacMillan(1995)の研究で鉛直成分での再現性向上が見られた観測点が、Kokee Park(ハワイ諸島カウアイ島)、Onsala(スウェーデン)、及びLos Alamos(米国本土)の3点であること、そしてWare et al.(1997)の研究が冬季のコロラドで行われた事を考慮すると、比較的振幅が小さく、空間的にはメソスケールよりも大きい水蒸気変動の除去に成功した可能性がある。

一方、わが国のようなモンスーン地域で、かつ地形の起伏に富んだ地域では、水蒸気の時間的・空間的変動のスケールは様々である。中でもメソスケール・ローカルスケール現象の影響は、従来の異方性マッピング関数やWVR推定が適用された米国内西部などと比べるとはるかに大きいと容易に想像できる。一方、わが国周辺で大気の一様性による影響がGPSやVLBI観測に対してどの程度あるかを定量的に評価した例はまだ少ない。わずかに、Ichikawa et al. (1996)による数値予報データを用いたシミュレーション、木股他(1996)による爆弾低気圧や海陸風の影響の存在、あるいはMousa(1997)によるWVRを用いた湿潤遅延量異方性の検証等の研究があるのみである。そこで、遅延量の時間・空間スケールを網羅するデータベースを構築し、わが国独自の異方性マッピング関数の開発等に役立てるために、狭領域格子点気象データを用いた湿潤遅延量のシミュレーションとWVRによる実証観測を今年度よりスタートさせる。

2. メソスケールでの湿潤遅延量の異方性と測位誤差評価

図1は、湿潤遅延量の異方性の一例として、気象庁10km格子・地域モデルデータ、及び同データの気圧・温度・露点温度の鉛直プロファイルから構築した球対称大気モデルから、それぞれ波線追跡法を用いて計算した湿潤遅延量の差を3時間毎にプロットしたものである。これらは、仙台近傍の格子点において、仰角30度、20度、15度、10度及び5度の場合について方位1度毎に計算し、これらを10度毎の値で移動平均した結果である。Gardner et al.(1978)やDavis et al.(1993)の指摘と同様に、これらのプロットはほぼサイン関数的なカーブを示す。その一方で、より短い波長の水蒸気分布の影響を示唆する変化が見られる。こうした変化は5~10度程度の低仰角でのみ見られる場合と、5~20度までの範囲で見られる2つのケースがある。水蒸気のスケールハイト(約3km)とモデルの最小格子間隔(約10km)を考慮すると、前者は少なくとも仙台から30km以上離れた地点での、後者は仙台近傍でのメソスケール規模の影響と想像される。

こうしたシミュレーションを様々な気象条件下で数値予報データを用いて行い、わが国周辺での湿潤遅延量の時間・空間変動の詳細な把握を目指す。さらに格子点気象データを用いた測位誤差のシミュレーション結果も併せてデータベースとし、実際の観測結果を評価する際のreferenceとする。これは、わが国に適合した湿潤遅延量除去法が実施段階になるにはまだ時間を要すると考えられることから、測位結果と湿潤遅延量のシミュレーション結果を並べて表示し、測位誤差の評価に役立てようというものである。従来のGPSやVLBIの観測では、測位結果に大気遅延の影響と思われるドリフトやばらつきが見られたとしても、明確に「大気遅延に起因する」

と断言できるだけのreferenceが存在しなかった。そのため、測位結果の解釈やノイズ源の究明という点で大きな障害だった。もし、格子点気象データが十分に現実大気を再現するならば、測位誤差のシミュレーションが任意の時刻・場所で可能となる。しかも、数値予報モデルの向上にしたがって、過去に戻っての測位誤差評価も期待できる。

3. WVRによる実証観測

実際の湿潤遅延量やそれによる測位誤差を評価するためには、現実の大気変動を観測しシミュレーションの妥当性を確認する必要がある。また、開発予定の異方性マッピング関数を評価するために、実測した湿潤遅延量の空間変動と比較しなくてはならない。そこで、WVRを用いた湿潤遅延量観測を気象研究所などと協力してGPS観測と同時に基線の両端で行う。具体的には、天頂方向の湿潤遅延量観測と並行して、(1)複数の仰角での全方位スキャン、あるいは(2)GPS衛星追跡装置を利用した個々の衛星に対する湿潤遅延量観測を行う。こうした観測を、数km～数100kmの基線長で行い、それぞれのケースについてデータを取得する。これらの観測により、基線の両端でのそれぞれの湿潤遅延量の変動がどのような相関を持つかを調べる。以上の結果はマッピング関数の評価だけでなく、数値予報データを直接用いて湿潤遅延量の異方性を求める計算手法構築にも役立てられる。

今年度は、図2に示すように筑波、及び通信総合研究所の首都圏広域地殻変動観測施設(KSP)周辺において、関東地方でのメソスケール現象を対象としたWVR観測を低仰角衛星も含めたGPS観測と並行して実施する。この観測の際には、KSP各局のVLBI集中観測を並行して行い、GPSとの相互比較を通してマイクロ波を利用した宇宙測地技術に対する湿潤遅延量変動の影響を調べる予定である。

参考文献

- Davis, J. L., G. Elgered, A. E. Niell, and C. E. Kuehn (1993): Ground-based measurement of gradients in the "wet" radio refractivity of air, *Radio Sci.*, 28, 1003-1018.
- Gardner, C. S., J. R. Rowlett, and B. E. Hendrickson (1978): Ray tracing evaluation of a technique for correcting the refraction errors in satellite tracking data, *Appl. Opt.*, 16, 3143-3145.
- Ichikawa, R., M. Kasahara, N. Mannoji, and I. Naito (1996): Estimations of atmospheric excess path delay based on three-dimensional, numerical prediction model Data, *J. Geod. Soc. Japan*, 41, 379-408.
- 木股文昭, 加藤伯彦, 杉山武 (1996): 1995年11月7日寒冷前線通過時におけるGPS基線解誤差, *日本測地学会誌*, 42, 119-122.
- MacMillan, D.S., (1995) : Atmospheric gradients from very long baseline interferometry observations, *Geophys.Res. Let.*, 22, 1041-1044.
- Mousa, Ashraf (1997): Characteristics of wet tropospheric delay deduced from water vapor radiometer data and their implications for GPS baseline solution accuracy, Ph.D. Thesis, Graduate school of science, Kyoto University.
- Ware, R., C. Alber, C. Rocken, F. Solheim (1997): GPS surveying with 1 mm precision using corrections for atmospheric slant path delay, *Geophys.Res. Let.*, 印刷中.

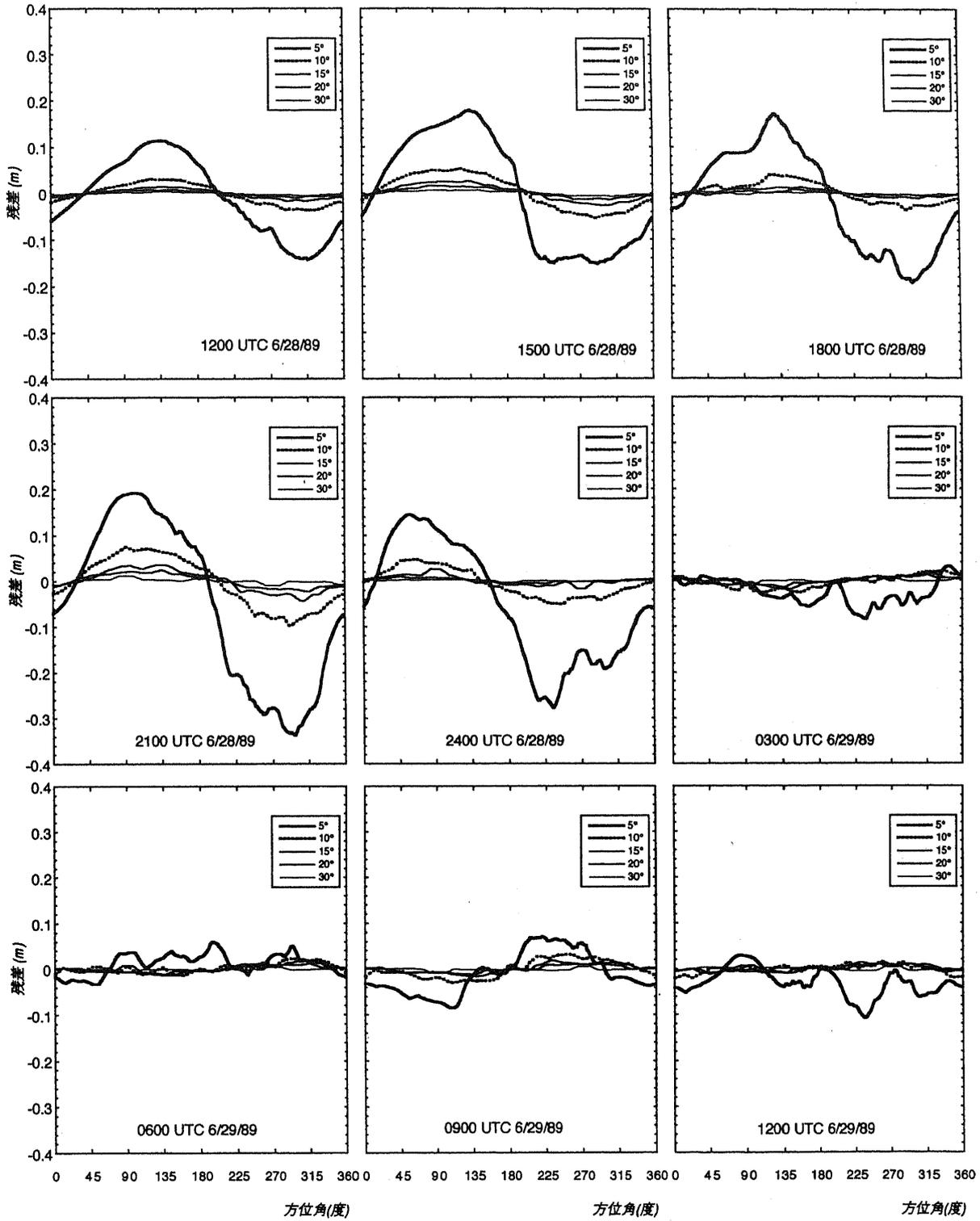


図1 湿潤遅延量の方位異方性. 10km格子・地域モデルデータを用い波線追跡法で推定した遅延量と球対称大気モデルによる遅延量との差. ただし, 方位角10度毎に移動平均した結果がプロットされている.

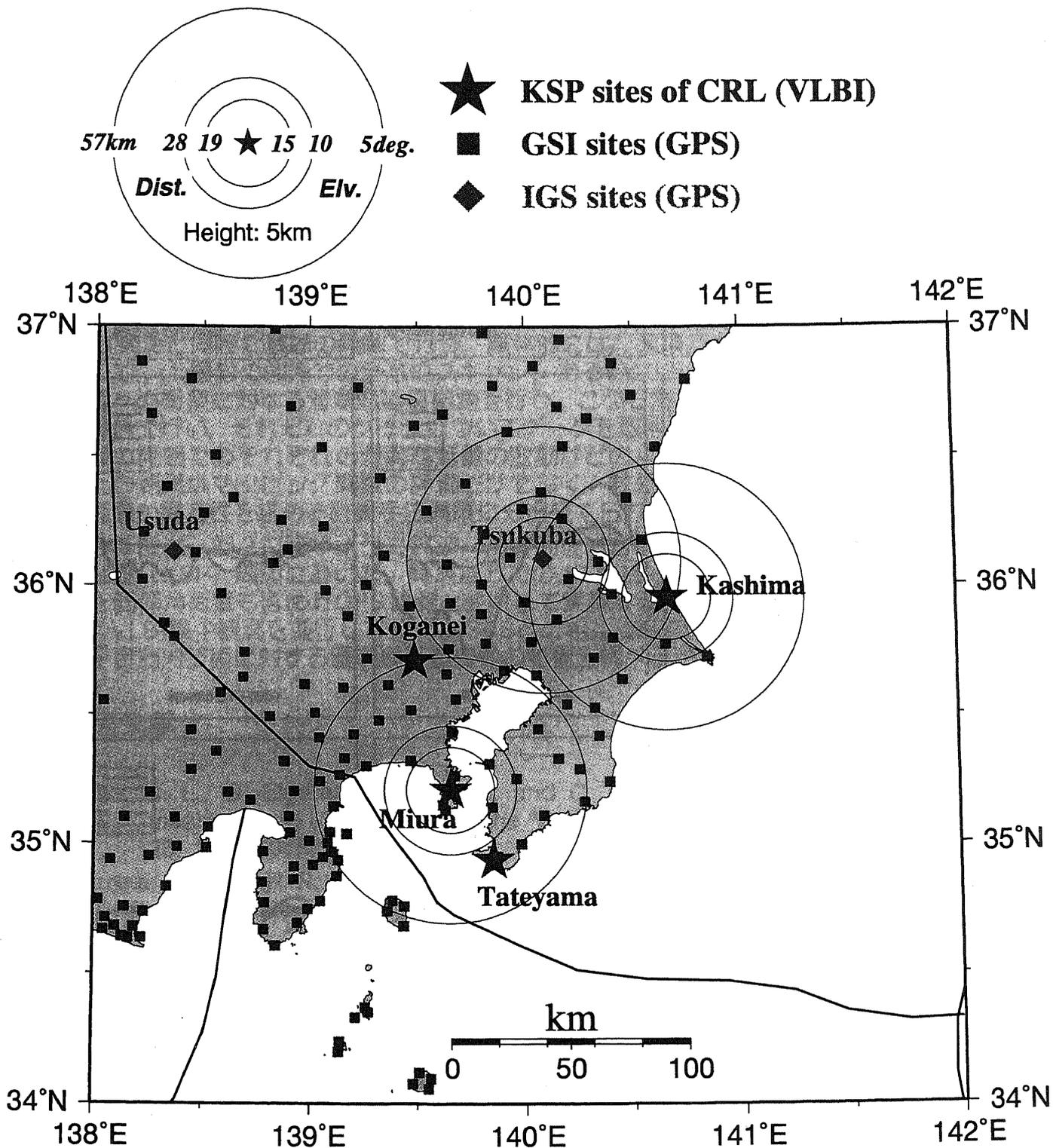


図2 WVR観測を予定している観測点. 通信総合研究所のKSP 4局(小金井, 鹿嶋, 三浦, 館山), 及び筑波. 左上の同心円は, 高度5kmを上限とした場合にWVRが走査できる範囲である. それぞれ, 円の中心に位置する観測点に対して, 仰角5, 10, 及び15度でマイクロ波が入射した場合の伝搬経路長を示す.