

## GPS 搬送波位相のマルチパス位相シフトの動態評価

## Behavior of multipath in GPS carrier phase residuals

# 岩淵 哲也[1], 中村 一[2], 三島 研二[3]

# Tetsuya Iwabuchi[1], Hajime Nakamura[2], Kenji Mishima[3]

[1] 学振(気象研), [2] 気象研・予報, [3] 測技協

[1] JSPS (MRI), [2] MRI, [3] APA

地震・火山に伴う地殻変動のリアルタイム監視目的などで、数分から数時間スケールで GPS により高精度で座標を決定するには、この時間スケールで生じる地殻変動(例えば、海洋潮汐荷重に起因する変動)の高精度モデルを用いる必要があるのと同時に、1 日ごとに座標を決定する解析では平均化され顕著でなかった、マルチパスに起因する誤差を低減する必要がある。前回の講演会(第 96 回)で、岩淵他[講演番号 21]は 2000 年秋に行われたつくば GPS 稠密観測データを用い、観測点の観測視野内にポールが存在する場合、視線遅延残差にポールを中心とした両側に数度の波長をもつ方位角依存の振動パターンが存在することを示した。また、アンテナが建物屋上のごく近傍に設置された観測点では、仰角依存の振動パターンが確認された。田部井・小林[1998, 測地学会誌]は、電波吸収体を用いた実験により、マルチパスの起因する誤差が低減され、アンテナ直下の反射面が主要なマルチパスの要因となることを示しているが、つくば GPS 稠密観測の解析結果に見られた仰角依存の振動パターンもマルチパスの影響であることが示唆される。そこで、観測点の周囲の反射面を仮定し、Elosegui et al. [1995, JGR]を参照し、直接波と反射波の合成による位相シフト量を計算することでマルチパスの特性とメカニズムについて調査した。

解析に用いたデータは、2000 年秋のつくば GPS 稠密観測データで、約 20km 四方の領域内に設置されたチョークリングアンテナを用いた Ashtech 点 19 点、マイクロストリップアンテナを用いた Trimble 点 60 点かななる。解析の詳細は、96 回講演会講演番号 21 参照されたい。位相残差は、仰角および方位角について、1 度×1 度ごとにスタッキングされスカイマップが作成された。

仰角依存の振動が確認された観測点は 9 点あり、そのパターンは仰角 30 度まで達していた。これらの観測点は、アンテナが建物屋上のごく近傍に設置された観測点の他に、建物屋上が防水加工シートで保護されている観測点にも見られた。また方位角依存の振動が確認された観測点全観測点の 25%の約 20 点あり、そのパターンはアンテナ面から見てポール上端の仰角まで達していた。これらの位相残差の振幅は 20mm に達する。また、チョークリングアンテナおよびマイクロストリップグランドプレーンアンテナの違いにかかわらず、これらのパターンが確認されている。

このうち、仰角依存の振動パターンが最も卓越している観測点 GM68 について、Elosegui et al. [1995]に基づき、GPS アンテナと建物屋上からの高さ  $H$  と反射波の減衰係数 (反射波の反射強度と反射回数を 1 回と仮定したときのアンテナの逆旋偏波の利得に依存する係数) を未知数とし、衛星の仰角の関数で表される直接波に対する合成波の位相シフト量を求めたところ、 $\alpha$  が 0.12 のとき位相シフトの大きさが、 $H$  が 80cm のとき空間波長が説明可能であることが示された。 $H$  は写真からブロックの高さを基準として確認されるアンテナ位相中心と屋上との距離とほぼ等しかった。このことから、視線遅延残差に見られる仰角依存の振動パターンはマルチパスに起因することが裏付けられた。このような建物屋上の反射波の影響を受けるのは、アンテナの側面からの誘電により反射波が位相中心に達したことに起因すると推測される(寺田, 私信)。

一方、ポール面の反射によるマルチパスを説明するために、方位角依存の振動パターンが顕著に見られた観測点 GM33 について、アンテナから見たポール反射面の高さ  $H$  とポールからアンテナ面までの水平距離を  $R$  とし、衛星の仰角および方位角の関数で表される位相シフト量を求めた。その結果、 $\alpha$  が 0.2 のとき位相シフトの大きさが、 $R$  が 5m のとき空間周波数が説明できた。減衰係数が仰角依存振動が再現された観測点 GM68 より大きくなるのは、ポールの誘電率が大きいことに加え、反射波が直接アンテナ位相中心に到達することに起因すると推定される。

このように、観測された視線遅延残差の振動パターンがマルチパスモデルで再現された。マルチパスの大きさは反射面の誘電率にも依存するので、雨天時など反射面が湿っている場合は振幅が異なる可能性がある。これは現在調査中である。方位角依存マルチパスは、観測点選点時に観測視野内にポールなどの反射物が無いことを確認することにより容易に避けることが可能である。一方、仰角依存マルチパスを避けるためには、短いポールによるアンテナの直づけを避け、なるべく建物屋上や地面から遠ざける必要がある。また、特に防水加工シート上での観測の場合、可能であれば事前にテスト観測を行い、残差の仰角依存性に異常な振動パターンが存在しないか確認する必要がある。

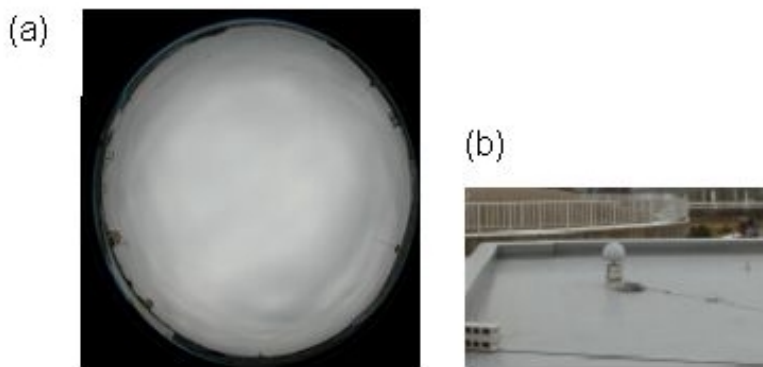


Fig. 1 (a) Landscape and (b) sky images showing the environment around the site GM68. The antenna is set near rooftop.

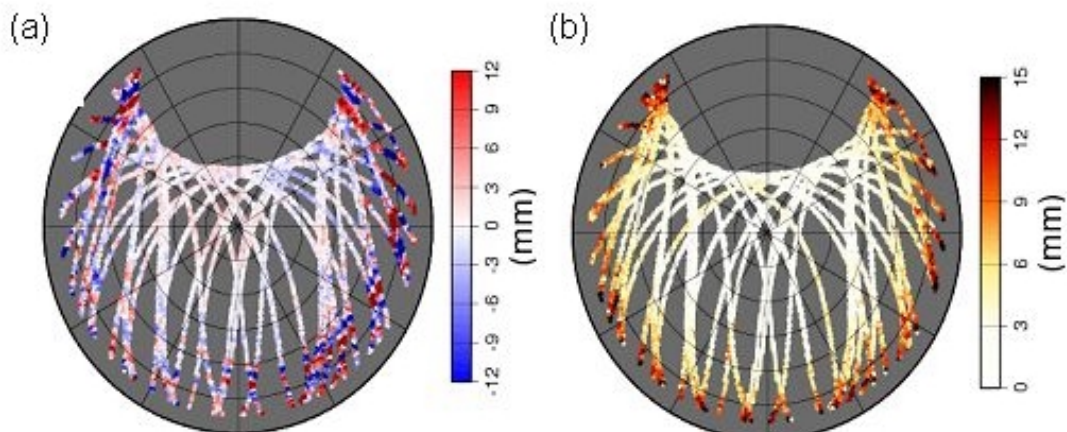


Fig. 2 (a) Stacking map of LC carrier phase residuals and (b) standard deviation of (a).

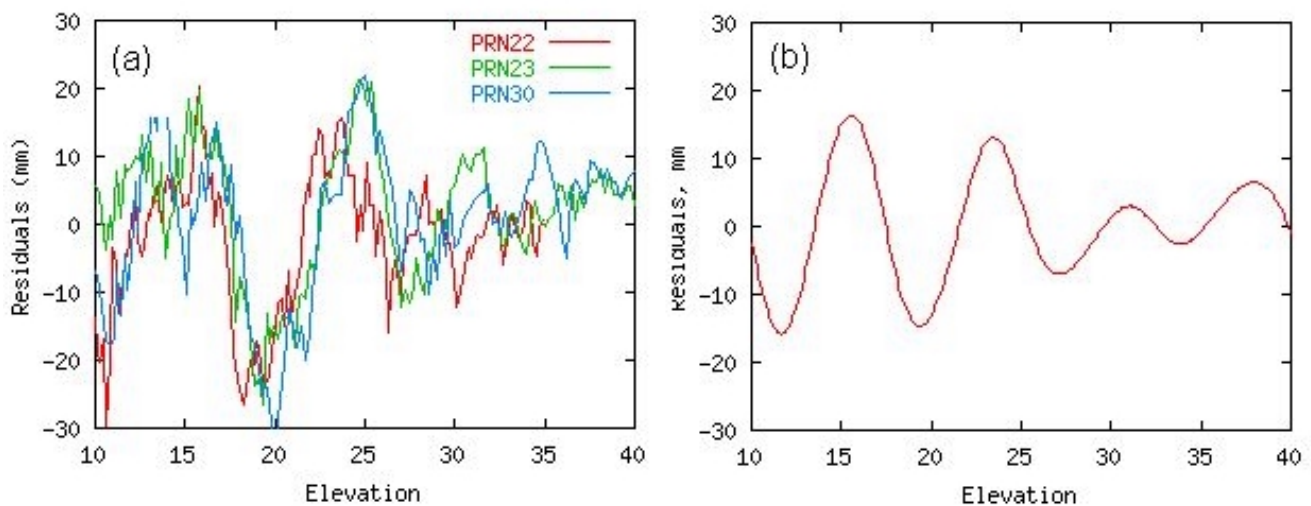


Fig. 3 (a) Time-series of carrier phase residuals in satellite 22, 23, and 30 (site GM68, OCT 18, 2000) and (b) Elevation dependency reproduced by multipath model.