

# 東京湾周辺のインターネット基準局ネットワークにおける インテグリティモニタリング手法の開発について

李健新

河口星也 (kawaguchi@gnss.co.jp)

GPS を使った単独測位、相対測位における主な誤差要因は、衛星軌道誤差、電離層および対流圏遅延誤差、サイト固有のマルチパスと受信機ノイズである。今回は、現在運用を始めている東京湾周辺のインターネット基準局ネットワークを構成する各基準局において、まずはマルチパスの影響について推定を試みた。また、今後開発を進めていくインテグリティモニタリング手法に関して、各基準局の観測データに含まれるそれぞれの誤差量を要因別に分離する手法について検討を行った。

## 1. 仮想基準局方式の概念

仮想基準局 (Virtual Reference Station: VRS) 方式は、移動局の近傍に“仮想的な”基準局を作成することにより、RTK (または DGPS) における距離的な限界を解決する手法である。この手法を用いることにより約 30 ~ 100km 程度の間隔で基準局を配置することが可能となるが、これは従来型の RTK と比較しておよそ 1.5 ~ 3 倍程度のカバレッジを実現することになる。従来の基準局 1 局を利用する RTK に対して、複数の基準局をネットワーク化することにより、少ない基準局数でより広いサービスエリアを実現するとともに、システムとしての信頼性も向上し、より高精度な測位が可能となる[1]。図 1 に本方式におけるデータの流れを示す。

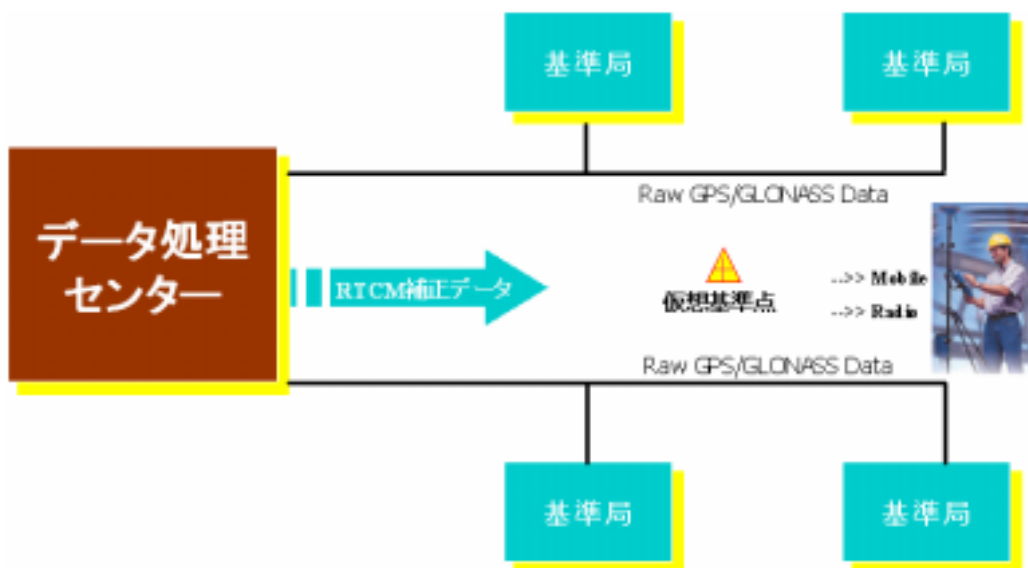


図 1. 仮想基準局 (VRS) 方式におけるデータの流れ

図 1 に示すように、複数の基準局において取得された観測データはリアルタイムでデータ処理センターに転送され、センター側でリアルタイム処理することでサービスエリア内の相対誤差をモデル化し、補正情報を生成することとなる。データ処理センターの機能は以下の 4 つにまとめられる。

1. 各基準局観測データの収集
2. サービスエリア内における相対誤差のモデル化
3. 補正情報の生成
4. 補正情報の配信

実際の流れとしては、まず各基準局間のアンビギュイティを決定、次に実際の搬送波位相観測値と、衛星軌道および観測点座標から計算された各衛星までの距離との残差を求める。この残差をもとに最小二乗コロケーション法を用いて、サービスエリア内における擬似距離および搬送波位相の相対誤差を推定し、電離層・対流圏遅延誤差および衛星軌道誤差をモデル化する。モデル化した相対誤差に基づいて、ユーザの利用形式に応じた形式で補正情報を生成し、ネットワーク経由、あるいは放送波等を使って補正情報を配信する。

## 2. GPS 測位における誤差要因とそのモデル化

GPS 測位における主な誤差要因は、衛星に起因する軌道誤差、衛星からの電波伝播経路に起因する電離層および対流圏遅延誤差、各サイトに固有のマルチパスと受信機ノイズである。この中で軌道誤差、電離層および対流圏遅延誤差に関しては、基準局側とユーザ側の物理的な距離（いわゆる基線長）がそれほど大きくない場合、ほぼ同じ大きさと方向を持っていると見なし、共通誤差として相殺できる。一方で、マルチパスはそれぞれの観測局固有の誤差であり、受信機ノイズとは受信機内回路に起因する観測データのふらつきで、これらは共通誤差として相殺することができない誤差要因である。

このような共通誤差として相殺するという手法を使わない場合、電離層遅延誤差については、複数の基準局の L1/L2 搬送波位相観測データから、シングルあるいはマルチレイヤモデルを用いて推定することも可能である。また対流圏遅延に関しては、Modified Hopfield モデル等を使うことによって補正することも可能である。水蒸気ラジオメータと呼ばれる装置を使って大気中の水蒸気量を実測する方法もあるが、装置自体が非常に高価なため現実的ではない。

これらの誤差要因については、上述のように誤差軽減手法が一般的に存在するが、マルチパスについては依然 GPS 測位における最大の誤差要因の一つとされている。マルチパスとは、衛星から受信アンテナに直接到達する信号のほかに存在する、建物等による反射で生じた別の経路から到達する同一信号のことである。このマルチパスはそれぞれの環境固有の幾何学的かつ物理的な条件に大きく依存しているため、単純かつ一般的なモデルを適用することは難しいとされて

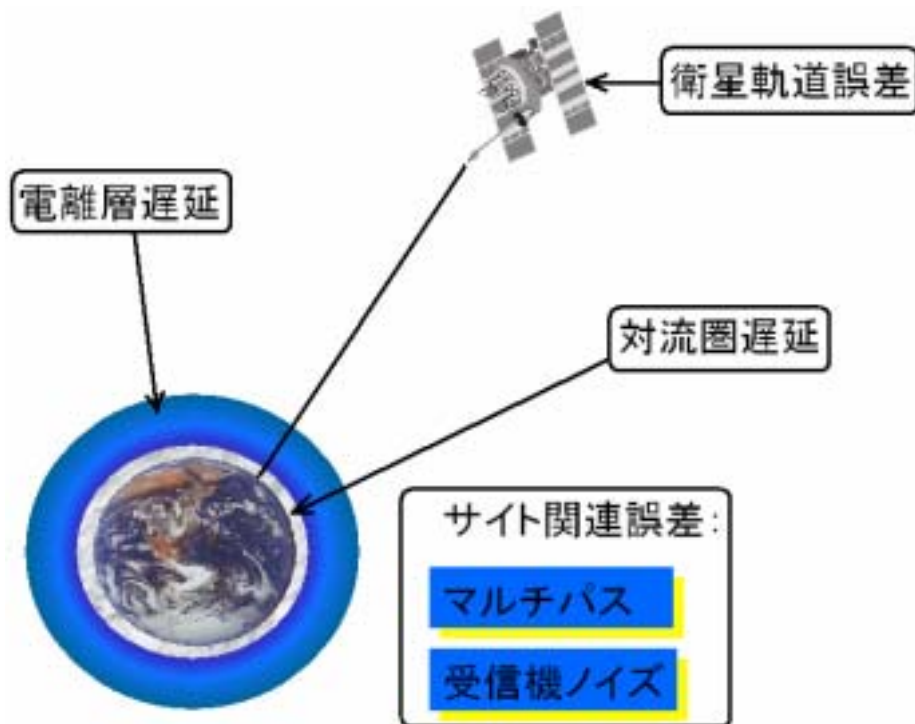


図 2. GPS 測位における主な誤差要因

いる。Farrell and Givargis および Wanninger and May らは、基準局におけるコードと搬送波位相観測値のマルチパスについて研究を行った[2][3]。今回我々は、東京海洋大学構内にある観測局において複数日の連続観測を行うことで、観測データからマルチパスの影響を検出する手法について検討した。これは、マルチパスの原因となる衛星と観測局周辺の構造物との幾何学的な関係が、恒星日ごと(23 時間 56 分 4 秒)に繰り返し再現されるため、複数日にわたる観測データを処理することで、マルチパスの影響があるパターンの繰り返しとして表れるかどうかを検証するためである。

今回我々は、東京湾インターネット基準局ネットワークから収集した観測データを用いて、擬似距離および搬送波位相の線形結合を用いる手法[4]に基づき、各観測局の擬似距離におけるマルチパス量を推定した。図 5 の結果からは、連続する 2 日間でほぼ同じパターンのマルチパスが発生していることがわかる。この特徴を利用することで、観測局毎に固有のマルチパスによる誤差を事前にモデル化し、観測データからその影響を取り除くことが可能になると考えられる。

通常の単独測位計算において基本観測量となる擬似距離の中には、これらの誤差が一体化して含まれており、それらを分離・推定できないことが単独測位精度の上限を決定していると言える。もしこれらの誤差を、基準局において測定した各衛星との擬似距離に含まれる誤差量として推定することができれば、その推定した誤差量に基づいてユーザ側の擬似距離を補正することで、単独測位精度を大きく向上させることも可能になると考えられる。

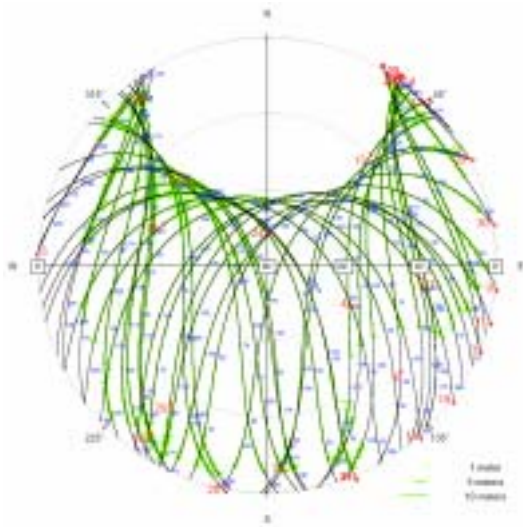
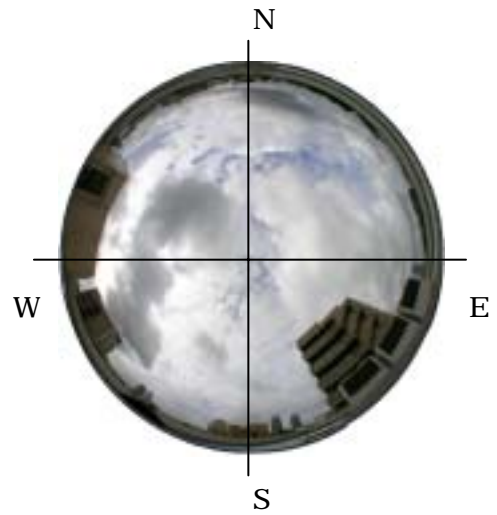


図3. a). マルチパスのスカイプロット(2004/7/11)



b). 観測局の周辺環境

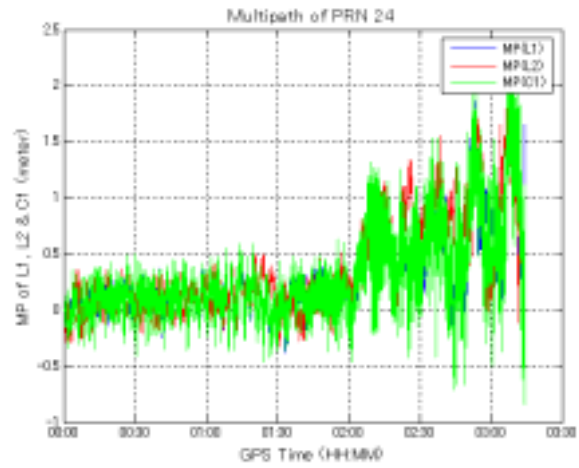
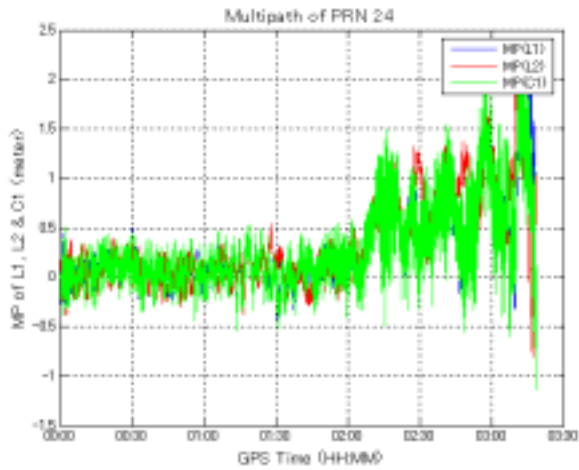


図4. a).マルチパスの日変化(2004/7/10, PRN24) b).マルチパスの日変化(2004/7/11, PRN24)

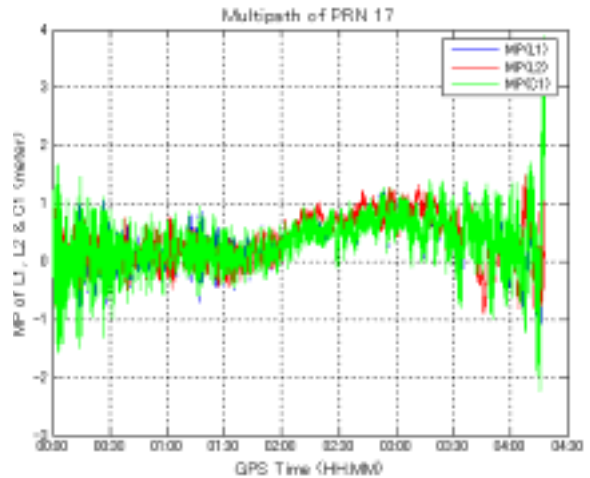
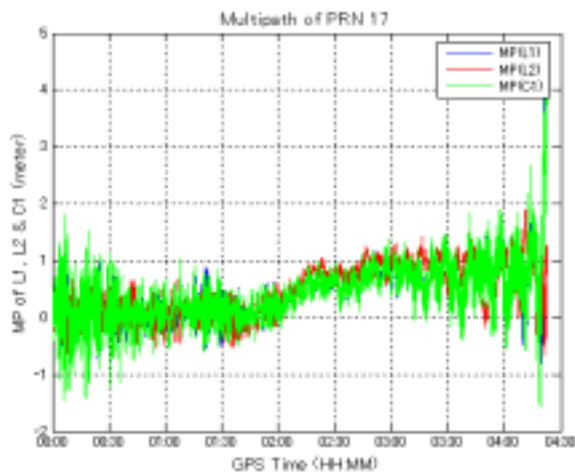


図5. a).マルチパスの日変化(2004/7/10, PRN17) b).マルチパスの日変化(2004/7/11, PRN17)

### 3. 東京湾RSネットワークにおけるインテグリティモニタリング

現在運用中の東京湾インターネット基準局ネットワークではGPS/GLONASS受信機による基準局網を構築しているが、インテグリティモニタリング機能を実現するためのソフトウェアの開発を現在進めている。各基準局の擬似距離および搬送波位相観測データを処理することにより、リアルタイムでデータの品質を管理し、統合的なインテグリティモニタリング機能を実現することを目標としている。

現時点では、UNAVCOのデータ品質検査手法で使われているアルゴリズム[4]に基づき、RINEX形式のデータを使った後処理方式での検証を行っている。この方式では、観測局におけるマルチパス誤差の推定に加え、電離層遅延に関わる情報も出力可能である。そのほかにも、受信機のクロック誤差、受信機のサイクルスリップや、衛星トラッキング状況など、有用な情報をサマリファイルとして出力することが可能である。現在開発中の手法では、観測データのゼロディファレンスレベルで以下のような内容を含む予定である。

- データのアベイラビリティ
- データギャップ
- サイクルスリップ
- 擬似距離における異常値
- 観測局におけるマルチパス
- 電離層遅延量とその変化
- 衛星側の故障
- ノイズ

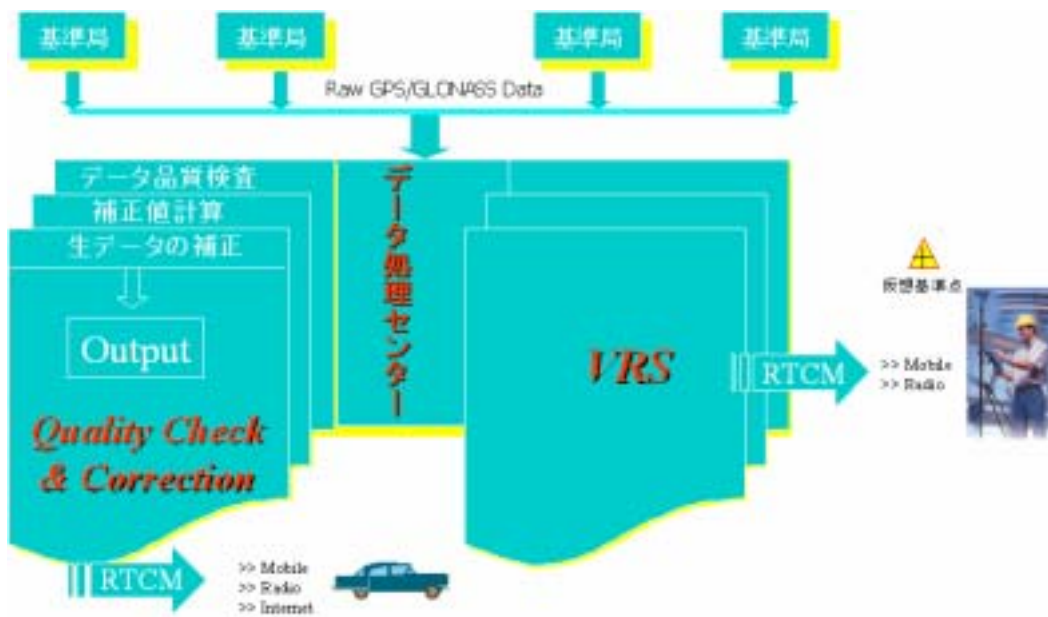


図 6. 本ネットワークにおけるインテグリティモニタリング機能を含むデータの流れ

将来的な開発目標として、モデル化できていない誤差が発生したかどうかについてもリアルタイムに検出できるようにしたいと考えており、このようなインテグリティモニタリング機能をいずれリアルタイム化して実装することを目標としている。外部から特に追加情報を必要としないため、データを利用するアプリケーション側との独立性を保つことも可能である。また、最終的に得られる誤差モデルや、対流圏、電離層遅延、マルチパス誤差に対する補正情報を生の観測データに適用することにより、単独測位ユーザに対しても大きなメリットをもたらすことが期待される。

#### 4. 今後の活動について

現在東京湾インターネット基準局ネットワーク上では、仮想基準局方式に基づき、ネットワークを構築する各基準局の観測データをもとにサービスエリア内の電離層および対流圏誤差や衛星軌道誤差をモデル化し、補正情報を生成・配信することで、基準局からの物理的な距離に依存せず、広域にわたって RTK を利用できる環境を構築しつつある。今後は RTK ユーザだけでなく、より幅広いアプリケーションが想定される DGPS ユーザに対する補正情報も生成できるよう、システムのアップグレードを行っていく予定である。

また、空間的な相関を持つ電離層、対流圏遅延誤差や衛星軌道誤差に加えて、各観測サイト固有のマルチパスの影響、あるいは受信機ノイズによる影響等を分離推定する手法を開発し、誤差を含まない観測データを生成するための手法を確立し、信頼性の高い、かつインテグリティが確保された、次世代の高精度測位を担う、新たな基準局ネットワークのあり方について検討・提言していきたいと考えている。

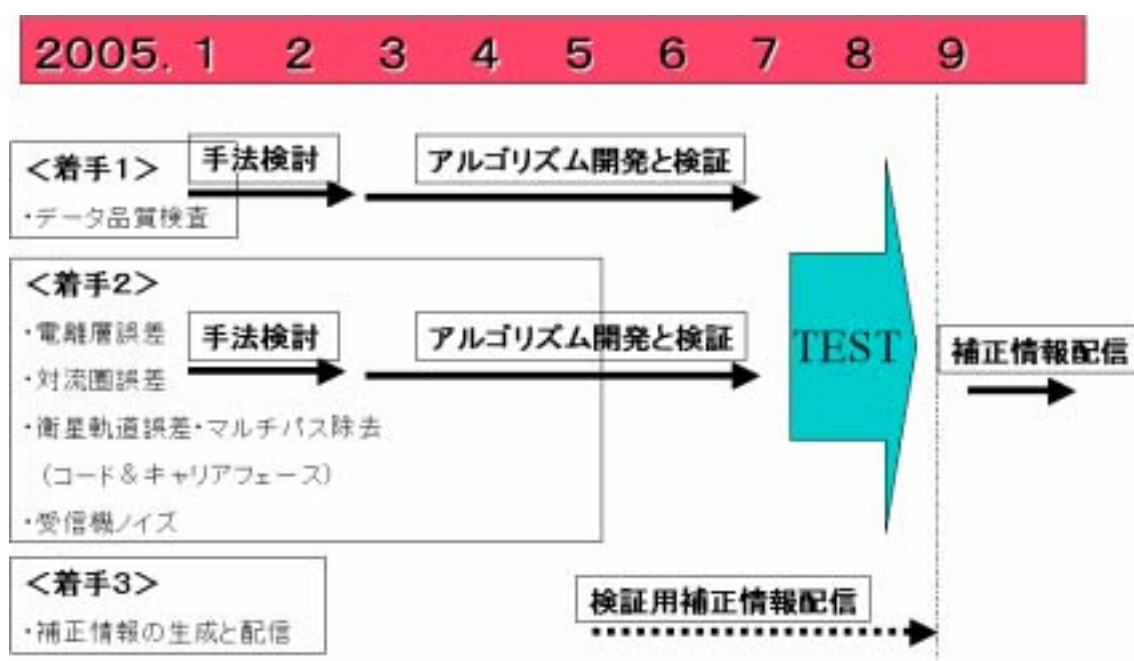


図7. 今後の活動スケジュール案

## ● 参考文献

- [1] 河口星也, 笹野耕治, 藤井健二郎, 近藤雅信, 羽田久一, 植原啓介. 仮想基準局方式を用いた高精度位置インフラへのアプローチ. 日本航海学会誌 NAVIGATION, pp.52—59, Mar 2001.
- [2] J. Farrell and T. Givargis. Differential GPS Reference Station Algorithm - Design and Analysis. IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol.8, No.3, pp.519—531. May 2000.
- [3] L. Wanninger and M. May. Carrier Phase Multipath Calibration of GPS Reference Station. Proc. ION GPS 2000, pp.132—144. Salt Lake City, Utah. Sep 2000.
- [4] L. H. Estey and C. M. Meertens. TEQC: The Multi-Purpose Toolkit for GPS/GLONASS data. GPS Solutions, Vol.3, No.1, pp.42—49. 1999.

## ● Copyright Notice

Copyright ( c) WIDE Project (2005). All Rights Reserved.