

任意のGPS測位点におけるICタグ用四次元座標の管理



新出 陽平¹・伊藤 広和¹・田中 稜¹・荒木 春視¹・藤井陽一郎¹・平野 優²

1. はじめに

日本全国にある電子基準点GEONETの高精度位置情報の利活用を図るため、ここ数年来国土地理院のGRID JAPAN（位置情報基盤）構想を更に発展させる方向でITRF2000に基づく座標変動速度を使った4-D座標管理法を提案し、全国150点の電子基準点の座標を $\pm 1 \sim 2$ cm内で決定できることを示した（波田・他、2007）。また、昨年はそれらのデータをICタグに記録すると共にその具体化を進める方向を示した（新出・他、2007）。

GEONET内の任意点で三次元GPS測位を実施した時、測地成果2000値（1997年値）を有しない任意点では、1997年値を推定しながら、正確な位置を如何に確保し、如何に高精度化を図るかが問題である。

そのためには、観測した任意点の周辺にある電子基準点を使い三角網を組み基線長比を構成し、通常の網平均とは異なる三角形の内角の和180度をそれぞれ保存しながら、まず任意点の変動速度の推定値から1997年値を推算し、最後に網平均により位置の高精度化を図る必要がある。その際、周辺の電子基準点の現在位置と速度並びに測地成果2000（国の1997年値）の位置は既知であるとする。

上記の結果から三つ以上の三角網の網平均の平均値を採用すると測地成果2000にかなり近い20mm以内での値が、測地基準系が異なっても推定できることが分かった。

この理論を適用した川崎市における座標モデルの実証結果を報告する。座標に変動速度がついたものをICタグ用四次元座標として提案する。

2. GPS測位点におけるITRF基準の高精度位置座標

位置観測の精度は通常そのテーマのもつ所要精度により決められるが、位置はプレート運動等により年々変動するので、最近では有効期間を定め、許容精度を超えたら再測するというのが通例と成りつつある。その目安として変動速度の明示が品質管理上必要不可欠となりつつある。

現状では図1に示すようにある時期に観測した基準点Aから観測で求めた点と、Bから観測し求めた点の差が拡大するため、適当な重み考慮しながら最小二乗コロケーションによる網平均により新点の位置を求め誤差が決定されている。しかし、1点固定の網平均の場合には、局所的な地域の相対位置を求め

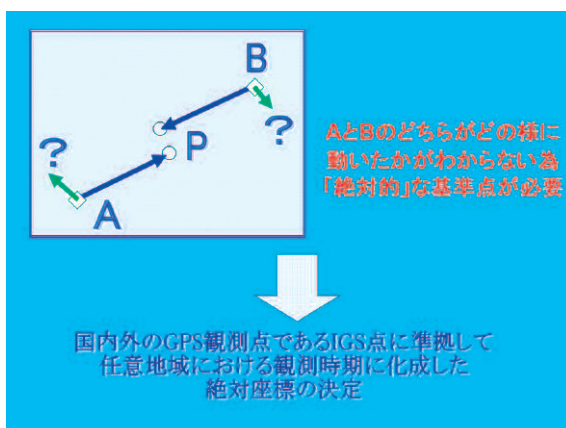


図1 任意地域における観測時期化成のITRFに準拠した絶対座標の必要性

¹ 株式会社日豊

² 川崎市環境局



図2 日本周辺における国際GPS基準局

ることはできるが、広域的な場では固定点そのものも動いている為どちらがどのように動いているのかが分かりにくくなるので、それらの整合性を保つことが必要になる。

こうした課題に対処するためには、国内外のGPS観測点であるIGS点を使用した最新のITRFに基づく地球中心座標に準拠した絶対変動の検出が必要であり、任意地域における観測時期に化成した絶対座標の決定が必要とされる。

IGS点は国際GPS事業（International GNSS Service, IGS）による学術用の全地球GPS衛星追跡システム運用を目的とした国際機関によって管理されており、全世界に300点以上が設置されている。IGS点の世界測地系の位置は誤差5mm以内の座標値と誤差0.2mm/yr以内での変動速度ベクトルも表示されており、これらはインターネットで取得でき、任意地域において観測時期に化成した地心座標からの座標が決定できる。

図2は電子基準点を監視するために既知点として使用した我が国周辺のIGS点の配点図である。今回はその点の中から筑波、臼田、デジョン、ウーハン、サハリン、グアムの6点を選点した。現在はITRF2005による座標系で位置と速度が告示されている。

図3はIGS点を基準として解析した電子基

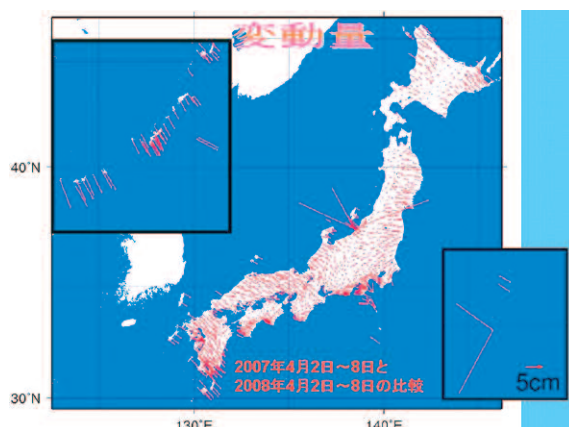


図3 最近1年間（2007～2008）のIGS点を基準とした水平変動ベクトル

準点の変動量である。今回は2007年と2008年の4月2日～8日の1週間データを使い座標を表計算ソフト使用により単純に引いたものを試験的にプロットしたものである。

図中、新潟付近の約5cmの変動は新潟県中越沖地震（2007年7月16日M6.8）の影響でかなり大きめの変動が見られるが、2007年能登半島地震（M6.9）はデータ解析前の3月25日発生のため特に大きな変動は見られない。地殻水平変動の0になる線が実際のプレート変動境界を示していると思われ興味を持たれる。

3. 任意のGPS測位点における最新のITRFによる高精度4-D座標

任意点における観測成果の補正量とその精度は、通常最小二乗コロケーションの網平均により第一近似での推定が可能であるが、ここでは更なる高精度化を目指すため、電子基準点による形の良い三つ以上の三角網による基線長比を構成し、短時間の観測をするものとする。通常の網平均とは異なり、三角形の内角の和 180° と任意点の周りでは 360° もそれぞれ保存される網平均により位置の高精度化を図ることとする。また、前提条件として周辺の電子基準点の現在位置と速度並びに測地成果2000（国の1997年値）の位置は既知であるとした。

以上の前提条件に基づき、基線長比の条件式を用いたLagrangeの式を組み立て、相関方程式を解き、高精度位置座標を求めた。周辺の電子基準点の位置と速度情報を基に、求めた座標式から任意点の座標変動速度を理論的に推定し、その推定値を使って任意点の1997年値の位置をまず推算した。次にそれらの位置情報を概算値として入力し再度基線長比網平均を実施しそれぞれの位置座標を求めた。

任意点の1997年値の位置座標は周辺の電子基準点間の距離の二乗の逆数の重みによる平均速度で化成・補正された相対的な位置となっているので、観測点の地形地質を反映した実測値と比べても三つ以上の三角網による基線長比の網平均の平均結果では所要精度内に適合し易い高精度座標値となっている。

このように推定した変動速度を用いて任意観測点の座標値を測地成果2000（1997年値）へトレースし座標決定が可能になるが、決定された任意点座標は測地成果2000と比較し所要精度の範囲内であれば、時期化成してICタグへ印字し四次元座標の管理を図るものとする。

4. 川崎市とその周辺の電子基準点の位置と変動速度

4.1 解析の手順

電子基準点における座標変動速度を求めるためには任意点周辺にある多くの電子基準点データから学術ソフトであるガミットのGLOBKという座標調整ソフトを使用して計算する。電子基準点の毎日の座標を計算し成果とすると、任意点である求める新点にも対応した位置と速度が入った成果が必要とされる。そこで周りの既知点から距離⁻²の重みによる平均速度を求めて補間法により第一近似で位置座標を推定する。

今回の実際の計算の手順について述べる。

・STEP1では上述したようにIGS点を既地点として電子基準点を毎日解析し現在の位置と速度を求める。解析ソフト：GAMIT/GLOBK, BERNESE。

・STEP2で一般的な4等三角点や1級基準点などの計算と同じように電子基準点を既知点として観測日の座標で新点を解析する。その際に電子基準点の既知座標にはSTEP1で計算したその日の座標を入力する。解析ソフト：商用ソフト（TTC等）

・STEP3で基線長比によるプログラムにより近傍の電子基準点3点の速度から新点に推定速度を与えて化成し成果とする。

・STEP4でその成果の所要精度を確認しICタグに印字書き込み利用する。

4.2 川崎市とその周辺の電子基準点の解析例

図4は川崎市周辺にある11点の電子基準点のIGS点を基準とした位置と速度である。2003年～2007年でそれぞれ一週間のデータを解析しGLOBKで調整した結果でこの元期は2005年である。国土地理院の電子基準点成果はITRF94で元期は1997年となるので今回の2005年の位置から速度に8年分を乗じて引いたものと測地成果2000との差を比較したものが図5に示す。概ね20mm以内に収まっているが



図4 川崎市周辺の電子基準点11点のIGS点に準拠した位置変動と速度



図5 変動量から求めた1997年値と国土地理院成果との差

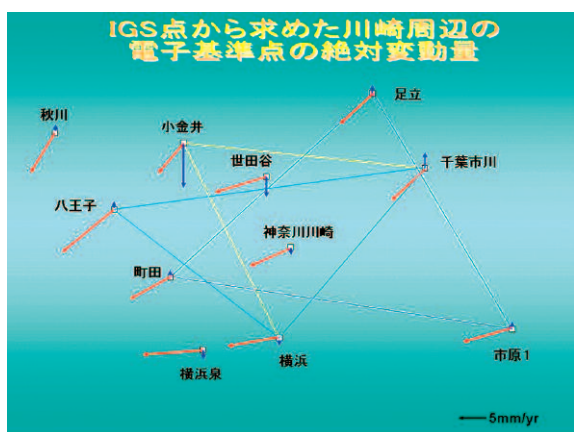


図6 IGS点から求めた川崎周辺の電子基準点の絶対変動量

小金井が8年間で6cmと少し差が大きく出ているので多くのデータから検証してみる必要がある。

次に新点に速度を与えるプログラムを検証する。基線長比法から導出した速度の式は田中・他(2006)による。

図6は神奈川川崎の電子基準点を新点扱いとして速度を計算したもので、新点に対して三角形の形の良い3つの三角形を選び試算してみた。

図7はその計算結果である。神奈川川崎の実測結果に対して(1)(2)(3)ともどれかの成分で1mmほどの差がでており、平均すると実測値との差、 V_x が0.4mm、 V_y が1mm、 V_z が0.3mmという結果になった。速度が1mm違うと

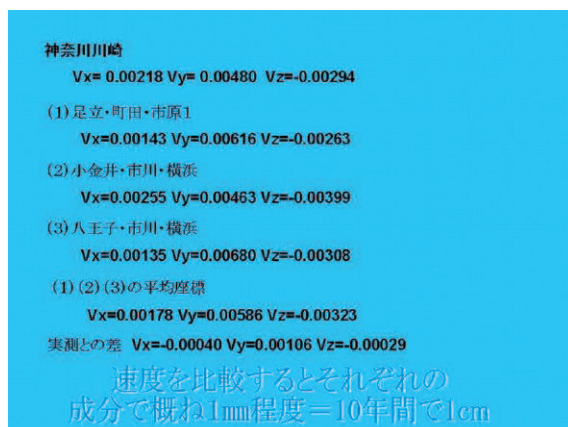


図7 神奈川川崎の推定速度と実測値との差

10年間で1cmの違いとなるので移動体ナビなどを考慮すると今後とも正確な高精度な位置推定ができるように工夫していきたいと考える。しかし、測地成果2000が当時かなり高精度で正確に位置座標が決定されていたことが逆に理解されよう。

次に今まで川崎の水準点で2003年から2008年までの5年間(1年につき12~24時間)で連続観測を行ってきた(新出・他、2008)がそのデータを使用して実際にどの様になるかをより局所的な川崎の例で示す。

水準点データは12時間データを使用した但实际上はもっと短い時間の観測でよいと考える。

電子基準点の位置と速度と元期はGAMITにより計算されている。2003年の電子基準点の座標を計算する為に2005年の座標から速度 $V_x V_y V_z$ に2年分を乗じ差し引く。それを図8に示す。

次にその座標を与点として入力し市販のソフトで水準点の位置を解析する。その後前述のソフトにより1点ずつ速度を計算する。

計算に使用した電子基準点は今のところ求める点が三角形のほぼ中央にくるよう手動で選んでいる(図9)。

水準点の2003年の位置と推定速度から2008年の座標を推定した値と実際に観測した値の



図8 時期化成による座標の計算の例

差をグラフにまとめたのが図10である。

縦軸は推定値と実測値との差で単位はmである。横軸は点名とXYZのそれぞれの成分を示している。ここでは概ね15mm以内となったが307Aが4cm以上となり大きな値となった。そこで観測点の場所の由来と現状を調べたところ5年前はプレハブ小屋がない等状況がかなり変わっていることや、水準点が欠けているなどあまり良い環境の観測点ではなかったことが分かった。

このように決められた成果はICタグに印字し、標石の横などに埋め込んでいく。

現地ではICタグに専用の装置によりノートPCやPDA等とBluetooth接続で情報の書き込み、読み込みが可能になっている。

現地で直ぐに点名や高精度成果を確認し、作業効率をあげながら作業が進められることが特色である。将来的には携帯電話でも読み込みができるようになる。

ICタグに入力する情報としては電子基準点とその点に関する情報で、作成日時、点名、緯度経度、地心直交座標、平面直交座標、計算した速度等である。現在値と97年の座標値が確認できるようになり、状況に応じて使い分けることが可能である。

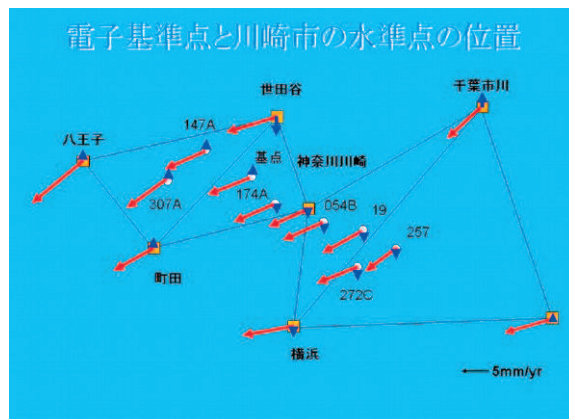


図9 電子基準点と川崎市の水準点の変動

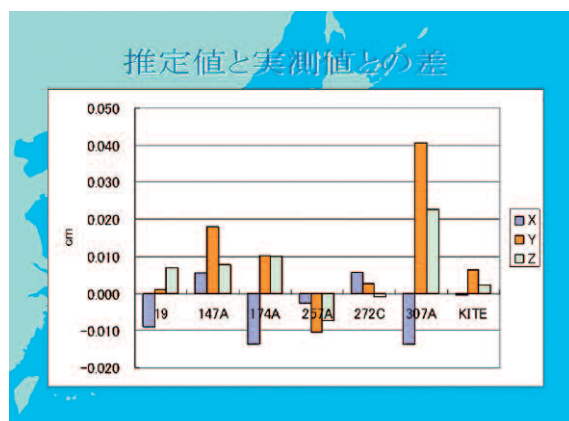


図10 川崎市水準点等の推定値と実測値との差

5. まとめ

任意のGPS測位点における高精度位置の検出に関し基線長比法を導入することにより次の結果が得られた。

- ・ IGS点を使用したITRF2005に基づく座標の高精度位置と変動速度が決定できたこと。
- ・ 電子基準点の変動速度から97年値に戻した成果の比較は概ね20mm以内に収まっていること。
- ・ 川崎市の水準点の推定速度から求めた座標と実測値との差は5年間で15mm程度であること。
- ・ 任意点の新観測値の測地成果2000（1997年値）への変換が所要精度内で決定できたこと。

これらの結果から近い将来への座標値の推定も可能となったと思われる。

6. 謝意

成果の活用に関して、国土地理院並びに川崎市に厚く感謝します。また、発表に際して測技協事務局の皆さんのご指導ご援助にたいして厚く謝意を表します。

発表日：2008年6月18日

■参考文献

- 1) 波田 太至、新出 陽平、荒木 春視、藤井 陽一郎、田中 穰、細井 幹広、曾根田 馨：インテリジェント基準点の利活用（未来型測量システム）、先端測量技術 No.93-4、pp38-48、2007.1
- 2) 新出 陽平、相京 幸一、田中 穰、藤井 陽一郎、荒木 春視：ICタグ四次元座標管理システム、第29回測量調査技術発表・
＜全国測量技術大会2007、6月22日＞
ワークショップ要旨集pp.18-19. 2007
- 3) 新出 陽平、田中 穰、相京 幸一、藤井 陽一郎、平野 優：先端測量技術 No.96「川崎市のGPS水準測量の導入効果について」 p.26-31、2008
- 4) 田中 穰・他：株式会社日豊 私信、2006

■発表者

新出 陽平（しんで ようへい）

所属：株式会社日豊

y-shinde@nippon1.co.jp

本稿は2009年6月18日 第30回測量調査技術発表会での発表をもとに執筆されたものです。