

位置情報インフラストラクチャー「電子基準点」

今給黎 哲郎

1. はじめに

国土地理院では、全国に1,000点近いGPS連続観測点（「電子基準点」）を設置して継続的な観測を行っている。1993年に展開を開始したこの観測網は、初期の目的が地殻変動の連続監視であったが、その観測から日本列島の定常的な地殻変動や地震等に伴う変動について、多くのことを短い期間で明らかにしてきた。

これらの観測点は地殻変動の監視だけでなく、位置決定のための基準点や大気中の水蒸気量を推定するための観測点として用いることができる。今後は電子基準点から送信されるデータを利用したナビゲーション等、広範な利活用が期待されている。本稿では、位置情報のインフラストラクチャーとしての電子基準点と、その情報をオンライン、特にリアルタイムに利用する手法について、現況と今後の展開について述べたいと思う。

2. 電子基準点とは

国土地理院では全国にGPS連続観測点を設置し、観測を行っているが、この各地に設置した観測点を「電子基準点」と呼んでいる。つくばの国土地理院本院にあってデータの収集、管理、解析を行っている監視局をあわせて「GPS連続観測システム/GEONET」（GPS Earth Observation NETWORK）とよんでいる。

国土地理院の電子基準点は、地殻変動を監視するために設置されたものであったこともあり、かなり堅牢な構造をしている。深さ2mのコンクリート基礎に高さ5mのステンレススチール製ピラーを立て、頂部にアンテナ、ピラー内部に受信機と通信用機器を組み込んでいる。また、GPS以外の測量の際にも基準点として使うことができるように、基礎部分に金属標

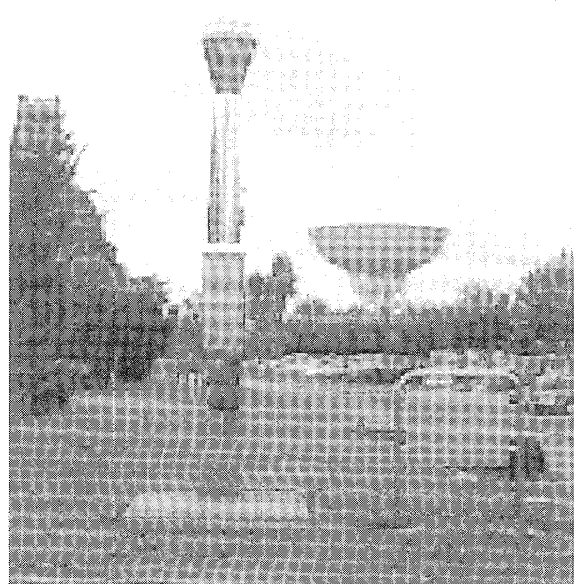


図1 国土地理院構内（つくば市）にある電子基準点

が設置されている（図1参照）。

現在全国に展開されている電子基準点は947点で、地域ごとに多少のばらつきはあるものの、約25-30km間隔で配置されている。将来的には全国に1,200点程度の電子基準点を設置し、点の配置間隔を平均20km程度とし、日本国中の大部分の地域で最寄りの電子基準点までの距離が10km以内という状態とすることを目指している。現在の配置状況は図2に示すようなものである。

3. 電子基準点の機能

GPSを利用した位置決定においては、大きく分けて2つの手法がある。一つは衛星から送信される電波に載せられているコードを解読し、衛星と受信点との距離を計算し位置決定する単独測位の手法である。これは最近カーナビのツールとして定着したGPSの最も基本的な利用形態である。最近までは、故意に信号の精度を劣化させるSA（SELECTIVE AVAILA-

いまきいれ てつろう

建設省 国土地理院

〒305-0811 茨城県つくば市北郷1番

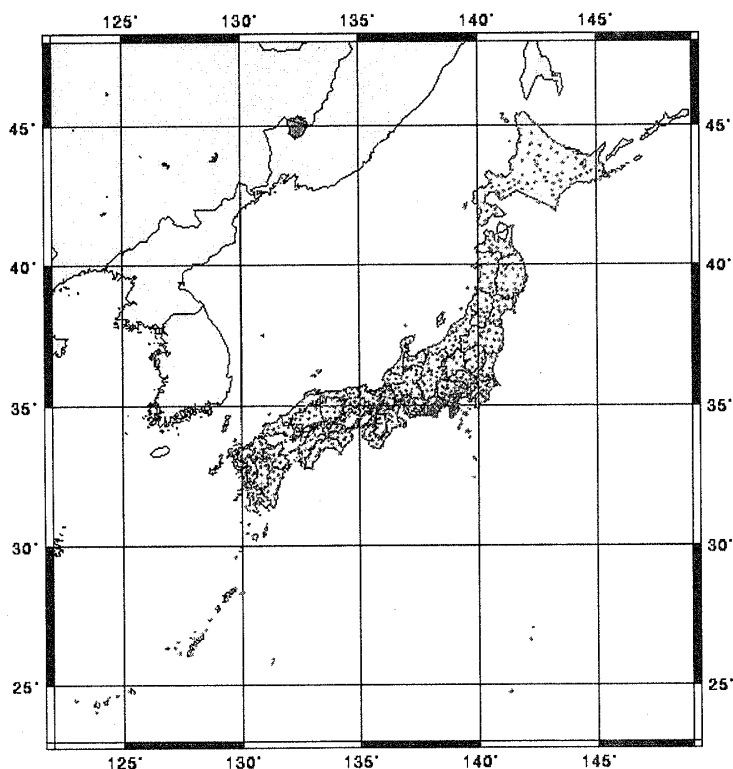


図2 全国の電子基準点配置図 (2000年3月現在)
GPS連続観測システム GEONET

BILITY) というジャミングが施されていたが、2000年の5月2日に解除された。SA解除後では上空視界が確保されている一般的な状態で、5-10 mの精度で位置決定が可能である。

cmレベルの精度が必要な測量などの場合は、受信機はコードが乗っている搬送波自体の位相を読みとって受信点と衛星との間の距離を測定する。これは物差しの目盛りが細くなることに相当する。また、受信機と衛星の時計の誤差が問題となるので、位置の分かっている基準局のデータと同時に計算を行う干渉測位方式が用いられる。ただし、搬送波(L1)の波長は19 cmと短いので、波長の整数倍の不確定(「アンビグイティ」)が生じるため、これを固定するためのさまざまな計算テクニックが必要となる。

電子基準点ではmm精度で地殻の変動を監視することを目的としているため、通常の測位計算は干渉測位方式に基づいた観測によっている。

電子基準点に設置されたGPS受信機は、L1、L2の二波長で搬送波位相を取得するほか、L1のC/AコードおよびL2のPコードに関する情報を取得している。これらのデータは一旦受信機に付属するメモリに保存される。

一方、データ管理のためにつくば市の国土地理院に

中央局が設けられている。ここには各電子基準点データの動作制御、データダウンロード、解析、解析結果表示、データの保管と提供などの機能が備わっている。

現在の運用では、地殻変動監視のために24時間データによる解析を行うことを基本として、データ取得間隔を30秒毎、中央局からのアクセスによるデータダウンロードを日本時間の0時から24時までを単位として、1日1回行うことを標準としている。ただし、地震活動、火山活動が活発な地域等においては、データのダウンロードを3時間間隔としたり、解析を12時間データで行ったりするような対応も行っている。本年3月末から始まった有珠山の活動の際や6月末から始まった三宅島・神津島周辺の火山・地震活動の際には、3時間毎のデータダウンロードと6時間データによる解析を行って火山噴火予知連絡会や地震調査委員会、災害対策本部などに結果を提供した。

1日分のデータは1局につき約800 KBで、データ転送はISDN(デジタル電話回線)を用い(約1割のアナログ回線・モデム仕様局を除く)、深夜から早朝にかけて行っている。回線数は、デジタル、アナログとも20本である。デジタル回線による1局あたりのデータ転送は3-4分、アナログ回線による転送は十数分であるが、全国1,000点近くの観測点のデータでは、

全データの転送に約2時間を必要とする。転送されたデータはデータ管理装置に保管される。データのアーカイブは受信機からダウンロードした生データをRINEX (Receiver INdependent EXchange) フォーマットに変換して行われる。次項で説明するデータ提供の際にも、この形式でデータを取り扱っている。

収集されたデータは解析装置に送られて、毎日1回、全国の基準点の座標値が計算される。解析のためには、電子基準点で取得されたデータにあわせて、GPS衛星の軌道情報を用いるが、これには一般的な測量等で用いられる広報暦ではなく、より精度の高い速報暦(国際的な衛星追跡網データにより決定された精密な衛星位置であるIGS暦の速報版)および予報暦(同じくIGSの観測・解析に基づく短期的な衛星位置の予報値)を組み合わせた「組合せ暦」を用いている。観測点からのデータと衛星軌道情報をそろえて解析を行い、前日24時までのデータに基づく毎日の解析結果は、12時頃までには全点について完了する。

このような解析により、各電子基準点の座標値が1日1個ずつ定められる。このデータは、地殻変動の監視のために見やすい形でモニタ上に表示あるいはプリンタから出力することができる。例えば、地震活動が起きている地域周辺における基準点間の距離を時系列表示したり、全国の電子基準点の1年間における水平変動の様子を表示することもできる。これらの概略は、国土地理院のウェブサイトで見ることが可能である(→ <http://mekira.gsi-mc.go.jp/>)。

4. ウェブサイトからの電子基準点データ提供

インターネットを通じて電子基準点のデータをオンラインで利用することができる。データをダウンロードすれば、電子基準点を基準局として、利用者が自身で設置した観測点との位置関係を出すための計算が通常のGPS測量用のプログラムで行える。

電子基準点でのGPS観測データは、後処理によるスタティック測位等のために利用できる。インターネットのホームページからFTPによってデータをダウンロードするサービスは1999年8月から開始された。

国土地理院のHPのURLは、<http://www.gsi-mc.go.jp>で、トップページにある「閲覧サービス」のメニューから、「電子基準点データ提供サービス」を選択することで、データの閲覧・取得が可能となっている。

提供している情報は以下のようなものである

- (1) 観測点諸元：観測点名、座標値、受信器機種
- (2) 稼働状況：データの有無
- (3) 観測データ：位相データ、広報暦
- (4) 精密暦：GPS衛星の精密な軌道情報

このうち、観測点の諸元は通常は変化がない情報で、変更があったときにのみ更新される。稼働状況は、観測点の保守や通信のトラブル等でのデータ欠測があるかどうかを示される。

このサービスで最も中心的な情報である観測データは、電子基準点で観測された30秒ごとのデータをRINEXフォーマット化したものである。なお、このファイルにはC/AおよびPコードの観測値は含まれているがドップラーのデータは含まれていないため、ある種の後処理DGPS (Differential GPS) には使えない場合もあるが、通常のスタティック測位や後処理用キネマティック測位には用いることができる。

観測点名で選択して、データをダウンロードしたい観測日を指定することでデータファイルがFTPによって取得できる。提供される観測データは、前々日から約3ヶ月前までの期間のもので、これ以外の期間については別途申請が必要となる。

また、現在は多数のユーザーや大量のデータダウンロードを想定したサーバーや通信経路となっていないため、ユーザーには自動巡回ソフトなどの利用等、サービスの混雑を招来する可能性がある利用方法は控えるよう呼びかけている。詳しくはHP上の「電子基準点データの利用にあたっての注意」を参照されたい。

電子基準点で取得された広報暦のファイルも、観測データとしてダウンロードが可能であるが、改めて国土地理院のサイトからデータをダウンロードするユーザーなら、精密暦のファイルを利用することもできる。精密暦のファイルは、IGS (International GPS Service) が作成した最も精度の高いGPS衛星の位置情報で、例えば高精度の地殻変動監視などに国土地理院や研究機関が利用しているものである。約20日前から3ヶ月前までのものが用意されている。

これらのインターネット経由の情報提供は、現在無料で行っている。もともと、研究目的を主として始めたサービスであるため、これまでも大量のデータが必要な場合でも記憶媒体のための実費だけで提供を行って来たという経緯もあるからである。

現時点ではこれらのデータを用いた測量を実際に行うには、やはり電子基準点の座標が測量法上の座標値

ではないという理由があり、業務用ユーザーが定期的にダウンロードすることがないことから、これまでのサービスの延長として無料で行われている。しかし、来年度に予定されている測地成果 2000（世界測地系に準拠した新しい測地系とそれに基づく基準点成果）の導入により、電子基準点データは公共測量等に自由に利用できることになる。その場合、利用者の数が大幅に増えることが予想されるため、提供のためのサーバーの拡充等が必要となるであろう。また、実用の測量に用いる場合には、当日中のデータ提供（数時間遅れによる準リアルタイムデータ提供）、機器の不調による欠測に対するバックアップ体制、データの品質のチェック体制など、さまざまなサービスのための体制整備が必要となると考えられる。今後のサービス体制については、後に述べるデータサービスセンターの機能と併せて現在検討中である。

5. リアルタイムデータ提供

GPS 測量において現在最も注目されているのが、リアルタイムに cm 精度で位置を決定する RTK-GPS（リアルタイムキネマティック）測位である。この手法は、基準局からの観測データを無線通信などによってリアルタイムに受信機を持った観測者のところに転送し、その場で干渉測位の計算を行って位置を出すというものである。干渉測位の宿命としてアンビギュイティを決定するために「初期化」とよばれる動作が必要であるが、通常は 2 分程度で完了し、それ以降は衛星からの信号受信が続いていれば連続的に位置が決定できる。

電子基準点のデータを RTK-GPS のために提供する実験は、1997 年 11 月から開始された。データの伝送手段としては MCA 無線が用いられた。MCA 無線とは（Multi Channel Access）の略で、全国に 8 つある（財）移動無線センターが運営する無線システムである。制御局に対して多数のユーザーが同時に通信を行えるシステムであり、タクシー、トラック運送、警備保障等のサービスに利用されている。MCA 無線では、RTK-GPS データのように不特定多数のユーザーが同時に同じデータを受信したい場合にその長所が発揮される。

RTK-GPS のためには、電子基準点も通常の 30 秒ごとのデータ取得ではなく 1 秒ごとのデータを取得する。このデータを RTK 用のコンパクトなデータ送信フォーマットに変換し、MCA 無線の制御局から流す。

RTK-GPS ユーザーは MCA 無線機でこのデータの流されている制御局にアクセスしてデータを受信し、自分の移動局 GPS 受信機の位置をリアルタイムに決定するのである。

約 2 年間の実験期間を経て、現在この方式で全国 4 地区（関東・関西・東海・北海道）において電子基準点データが受信できるようになっている。データの利用方法については、サービスを行っている（財）日本測量協会のウェブサイトが詳しい（→ <http://www1e.mesh.ne.jp/J-Survey/rtk-menu.html>）。

6. VRS (Virtual Reference Station)

電子基準点データの利用方法としては、今後リアルタイムの需要が増えていくことが予想される。リアルタイム利用の場合、RTK-GPS 測位用のデータサービスについては、現在行っている方式は電子基準点で得られた生データを通信用にフォーマットしたものが送信されている。しかし、現在の電子基準点配置で RTK-GPS を行おうとした場合、観測点と電子基準点間の距離が 10 km を超えるようなことがしばしば起きるであろう。

通常、RTK-GPS 対応の受信機では、L1、L2 の二周波の搬送波位相を観測しているが、L2 のデータについてはアンビギュイティ決定に用いるだけで、実際の測位計算は L1 の搬送波位相に基づいた計算がされる。そのため、10 km を越えるような長距離となると電離層遅延が無視できない要因となり、測位誤差が大きくなる。さらに、そのような電波遅延が原因で、アンビギュイティの確定も困難となり、初期化に時間がかかる、あるいはアンビギュイティが整数値に確定した解が求められない、といった問題が生じる。測量を行う利用者自身が、測量作業を行う地域に置いて自分で基準局を設置するのなら、基準局からの距離を数 km にするよう設定もできる。また、通信手段もそのような短距離に適用できる特定小電力無線を用いた作業が可能である。しかし、20~30 km 間隔で設置されている電子基準点を基準局とする場合は、どうしても観測点と基準局の距離が大きくなってしまいうことが避けられない場合が多々ある。しかし、基準局を増設することは容易ではない。現存の電子基準点網を利用してリアルタイム高精度測位を実現するためには、なんらかの補助的な手段が必要である。

VRS (Virtual Reference Station) のコンセプトは、複数の基準点からリアルタイムでデータセンターまで

GPS データを連続的に取得し、それらの基準点で得られたデータを統合処理して移動局（ローバー）で RTK 観測をしているユーザーに、あたかも移動局観測点の近くに基準点があるかのような信号を作成し送信するというテクニックである。ドイツで開発されて同国では現在既に試験的にいくつかのシステムが運用されている。これは、具体的には次のような方法で広域に RTK-GPS 測位用データ配信を実現する。

- ① 電子基準点からの連続観測データを中央局において、リアルタイムに収集する。
- ② 移動局から携帯電話等で中央局にアクセスし、移動局の概略位置情報を伝送する。

③ 中央局は、移動局の測位に利用可能な 3 点以上の電子基準点を決定する。

④ 中央局で決定した電子基準点の観測値や位置情報などから、移動局の近くに仮想の基準点を仮定し、その位置情報とそこで得られるであろう観測データを生成する。

⑤ 移動局に仮想基準点の位置情報、生成した観測データを携帯電話で伝送する。

⑥ 移動局は、中央局から伝送された情報と GPS 衛星から受信した情報で、自らの位置を決定する（図 3・VRS 方式の概念図参照）。

さらに細かく言うと、仮想基準点での仮想的な

VRS方式によるリアルタイム測位 (Virtual Reference Station)

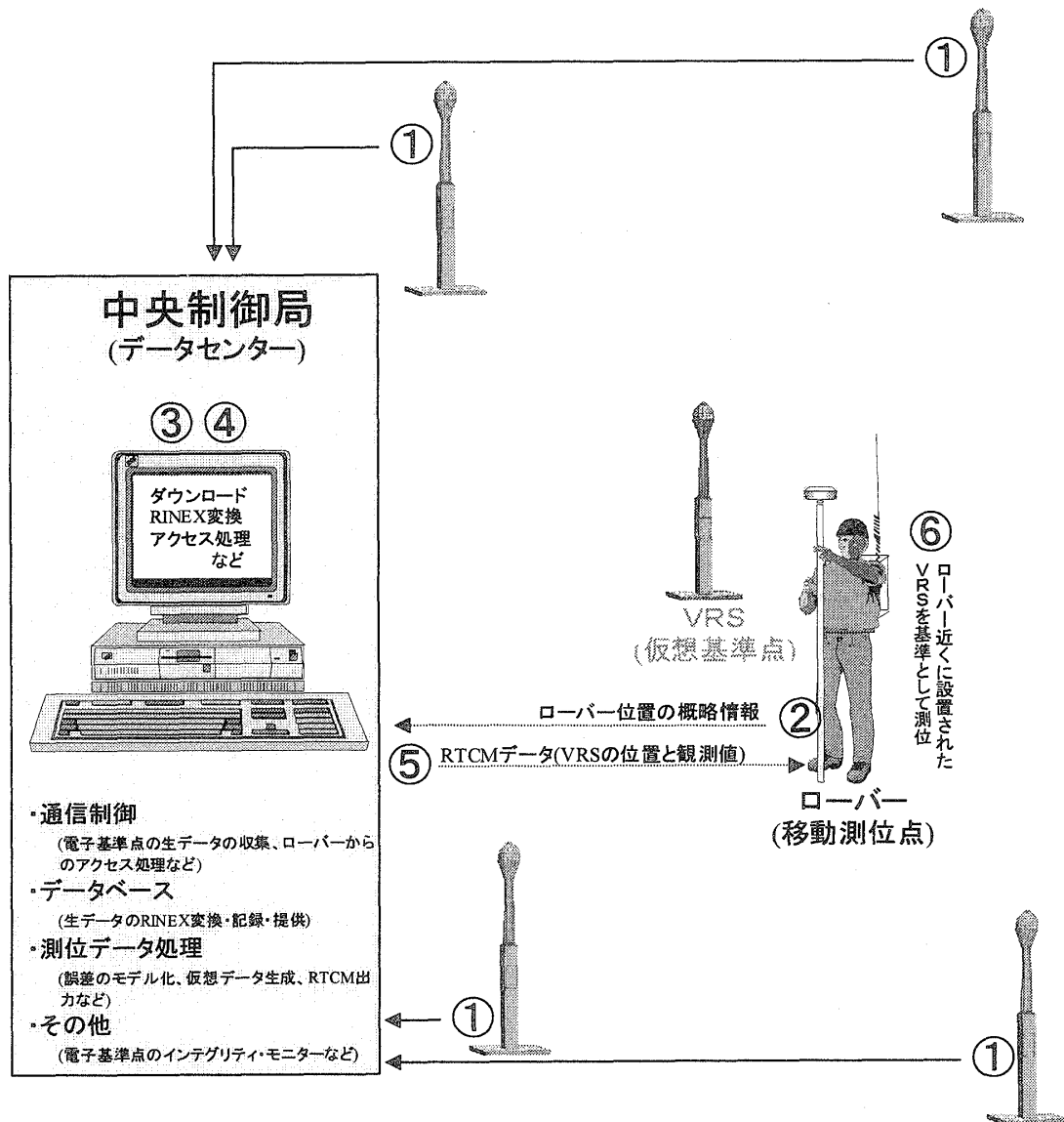


図3 VRS方式の概念図

GPS データを陽に作成して RTCM (Radio Technical Commission for Maritime service) などの標準的なデータ転送形式で送るか、それらの仮想信号を作るための電離層、対流圏の遅延を表すパラメーターを送信して必要ならローバー側で仮想基準点信号を作成するか、といった方式の違いが存在する。

国土地理院では、VRS 方式が現在の電子基準点配置密度でも、高精度のリアルタイム測位を実現させるための有力な手段と考えて、この方式の実験を行うこととしている。この有効性が実証されれば、今後の電子基準点データ利用において様々な分野での応用が期待できそうである。

7. 今後の展開

ウェブを通じたデータ提供の項でも述べたとおり、国土地理院では、これまで行われてきた電子基準点データの各種提供サービスから発展させて、将来的にはさらに応用範囲の広いデータ提供のためのシステム整備が必要と考えている。それらのサービスのためには、例えば既存の電子基準点に設置された受信機をリアルタイムデータ出力に対応させる、電子基準点と中央局の間の通信回線を常時接続にするといった、関連のインフラの整備を行っていくことが必要である。また、データのサービスを統括する機能的なデータセンターを整備することはさらに重要であろう。

そのような将来構想に向けて、現在着々と準備が行われている。例えば、昨年度の補正予算では、100 点の電子基準点についてリアルタイムデータの出力が可能となるように改造することが認められた。前項で述べた VRS の実験もこれによって改造された電子基準点を基準局として行う予定である。また、来年度の前算要求では、全電子基準点データのリアルタイム取得・伝送のために受信機と通信設備を改造する経費を IT 特別枠によって要求中である。これが認められれば、電子基準点データの利用範囲はさらに大きく広が

り、リアルタイム高精度位置決定による GIS などへ応用分野での活用が期待できよう。

データセンターについては、VRS を含めたりリアルタイムのデータサービス機能についての実験検討が行われているところであるが、さらにインターネットを通じた現在の後処理用データサービスも統合して、総合的な電子基準点データサービスセンターを構築していくことが望ましいと考えられる。特に、測地成果 2000 の導入により GPS を用いた測量がより容易に行えるようになることから、電子基準点データに対する需要はますます高まって行くことが予想される中、通信形式、通信速度、データフォーマットといった個々の要素の技術的検討も具体化していく必要がある。通信設備・回線、データリクエストに対するサービス機能、といったシステムの検討も始められているが、さらにこのサービスが業務、事業としてどのように展開可能であるかと言ったフィージビリティスタディをより深く行う時期に来ていると考えられる。

8. おわりに

国土地理院が展開している電子基準点網は、世界的にも類を見ない密度・数の GPS 連続観測点のインフラストラクチャである。この電子基準点を基準局とした高精度測位がリアルタイムで実現できるようになれば、ナビゲーション、測量、GIS 等の分野においてさまざまな応用が広がることになろう。

これからはさらに、ユーザーからのさまざまな形式、内容のデータ要求に対応するためのハード、ソフトの整備、ユーザーの便を考えた地域ごとのデータセンター開設など、ニーズに応じたより具体的な展開のための検討がより重要な時期になったといえよう。また、測地成果 2000 の実施に伴い、有効な利用範囲が明らかに広がることが予想される今、国土地理院では電子基準点システムのますますの充実を図りたいと考えている。