

高密度電子基準点網の構築

Establishment of New Dense GSI's Nationwide GPS Array

測地観測センター 飯村友三郎・宮崎真一・佐々木正博

Geodetic Observation Center

Yuzaburo IIMURA, Shinichi MIYAZAKI, Masahiro SASAKI

要旨

国土地理院が本格的なGPS連続観測を開始してから3年が過ぎようとしている。国土地理院のGPS連続観測は、当初、地域別に運営されていたが、平成8年度からGPS観測点を高密度に配置するとともにシステムの自動化・高精度化等の機能を向上させて全国を統一するGPS連続観測システムとして運営を開始している。平成9年4月からは、さらにシステムを向上させた約900点の世界最大級のシステムとして運用することになる。

これにより、測量の基準点として電子基準点が使いやすくなったばかりでなく地殻変動の検出率も高くなり、その信頼性が向上してきた。また、全国における地殻変動のデータが着実に蓄積され、日本列島の地殻変動の様相が詳細に解明されるようになってきた。

本稿では、新しいGPS連続観測システムの概要と得られた成果について報告する。

1. はじめに

国土地理院では、高密度で高精度な測量網の構築と全国の広域的な地殻変動の検出を目的としてGPS連続観測システムを運営している。このシステムは、これまで国土地理院で地域別に運営されていたGPS連続観測システムを統合運営するとともに新たに全国にGPS観測局を増設して総数約900箇所のGPS観測局を管理する世界最大規模の新しいGPS連続観測システムとして生まれ変わった。国土地理院では、このGPS観測局を三角点に代わる新しい基準点としても活用することから電子基準点と呼んでいる。

新しいGPS連続観測システムでは、これまでの測量では困難であった 10^{-8} オーダーの測量精度を達成し、長距離でも数ミリメートルの精度での基線解析が可能となり、まだ短期間の運用ではあるが高精度な地殻変動の検出に成功している。

また、同システムでは、地震に伴う地殻変動結果の迅速な提供、地震調査研究あるいは電子基準点として活用するための観測データの提供、さらなる基線解析の精度向上の研究のための気象情報の収集等新しい機能を追加して運用を開始している。

2. 概要

日本列島は、複雑なプレート境界に位置し、地震や火山活動による変動を繰り返している。国土地理院はこれまで、大きな地震活動や火山活動による地殻変動の検出や地殻変動による基準点成果の不整合をなくすために高精度な測量を繰り返し行うことにより、地殻変動の様相を明らかにしてきた。しかし、複雑なプレート境界にある日本列島では、広域的に地殻の変形の力が大きく加わるために、局所的な地殻変動を検出して測量成果の不整合をなくしても、広域的に比較した場合には基準点成果の不整合が現れてくるのは避けることができなかった。また、従来の光波測距儀による測量で全国の基準点網を改測するには、何十年もかかり全国を統一する測地成果の確立には難しいものがあった。

そのような中、国土地理院ではGPSを測地測量に利用することを目的として1987年にGPS測量機を導入して精度の評価と作業手法の確立のための研究作業を開始した。1991年には精密測地網でGPS受信機を用いた測量作業を開始し、1993年には公共測量作業規程にGPS測量を追加して公共測量で利用されるまでになった。また、駿河湾周辺等におけるGPSの連続観測を通じて観測の自動化の実績を積んできた。

1994年には、国際協力による国際GPS地球力学事業(IGS: International GPS Service for Geodynamics)が組織され全世界を覆うGPSグローバル観測網が運営され、GPS衛星の精密軌道情報や地球回転パラメータがIGSの観測センターで定常的に作成されるようになった。さらにこれらのデータがインターネットを通じて全世界に配信されるようになってきた。また、この頃計画通りの24個のGPS衛星が配備され観測状況が改善されてきた。

GPS連続観測システムは、これらの新技術を積極的に導入して全国の広域的な地殻変動の検出と三角点に代わる新しい基準点網としてGPSを利用した高精度の測地網を構築することを目的として運営している。

ここでは、新しく運用を開始したGPS連続観測システムの概要と連続観測によって得られた結果について報告する。



図-1 電子基準点配置図

3. 新しいGPS連続観測システム

国土地理院のGPS連続観測システムは、これまでに地震予知連絡会が選定した観測強化地域である南関東・東海地方を対象として1994年4月に運用を開始した「GPS地殻歪連続観測施設」と南関東・東海地方を除く全国を対象として1994年10月に運用を開始した「全国GPS連続観測システム」が運用されてきた。新しいGPS連続観測システムでは、1996年4月にこれらのシステムを統一するとともに、全国に電子基準点を増設した。また、1997年4月には、さらに電子基準点を増設して全国で約900点（図-1）の電子基準点を持つ新観測システムとして運用を開始する。

GPS連続観測システムは、GPS衛星からの電波を受信し、観測データを記録する電子基準点と得られたデータを解析処理する中央局および東海基地局で構成される。システムは、「自動化」「高精度化」「高速化」「信頼性」「省力化」「情報の迅速な提供」「将来の拡張性」等を念頭に構築されている。

3.1 電子基準点（GPS観測局）

電子基準点（図-2）は、無人の観測施設で三角点に代わる新しい基準点として高精度の基準点網を構築している。電子基準点の設置間隔は、山岳地帯を除き平均距離が25kmで約900点設置されている。このように密度



図-2 収納箱を開いた電子基準点

の高い観測網を整備することにより電子基準点としてばかりでなく地殻変動の検出率も高くなり、その信頼性も向上する。

電子基準点は、観測機器を収納するアンテナ架台と観測機器および観測データを転送する通信装置で構成される。

この電子基準点は、平成8年度に測量法施行規則に測量標として追加された。電子基準点には、図-3の名板が刻字されている。

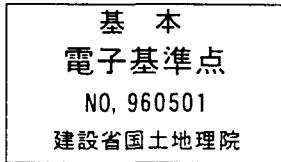


図-3 電子基準点名板

1) アンテナ架台

アンテナ架台は、周囲の地物、地形および植生による電波障害を避けるために5mの高さの柱状の構造物である。架台は、1.75m×1.75m×1.5mの基礎コンクリートで固定されている（軟弱な地盤ではコンクリートパイプを打設している。）ため風速90m/sでも安心して観測できる設計である。架台内部には、機器収納箱が設置され観測機器や温度の環境変化を一定にする機器等が収納されている。

アンテナ架台は、メンテナンスの容易さと錆等による腐食から保護するために研磨されたステンレス製で美観的にも優れておりモニュメントとしての風格を備えている。

アンテナ架台の頂部には、GPSアンテナを設置し、アンテナを積雪や雨水の進入から保護するために「電波の透過性」「耐衝撃性」「耐環境性」に優れたポリエチレン製のアンテナレドームを取りつけている。

アンテナ架台は、5mの高さを持ち頂部にアンテナが取り付けられ、アンテナの位相中心が電子基準点の成果値となることから架台の垂直度が重要な要素となる。このため建柱工事では、架台のポンチマークをトランシットで覗きながら、基礎部の調整ネジで垂直に建柱している。その鉛直度は1分以内（架台の上下で約1mm以内の傾斜量）である。

また、基礎部には、電子基準点の付属標となる金属標（図-4）が埋設されており、トータルステーション等を利用した測量も可能となっている。

2) 観測機器

観測機器は、GPS衛星からの電波を受信するGPS受信機、観測データの転送を行う通信装置、不慮の停電でも観測が続けられる無停電電源装置、アンテナ架台の傾斜量を測定する傾斜測定装置及び気温・湿度・気圧を測定する気象測定装置で構成されている。

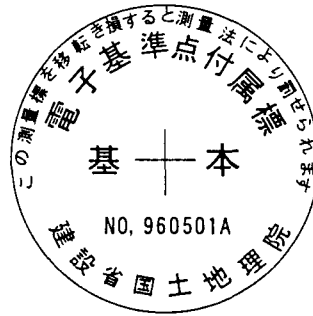


図-4 金属標

GPS受信機は、2周波の搬送波位相とPコードが受信でき、A-S（Anti-Spoofing）対応の一級GPS測量機である。A-S対応のGPS受信機は、コードが暗号化された場合でもPコードが再生できるために長距離でも基線解析時のサイクルスリップ編集の自動化が可能となる。使用している機種は、導入された時期により異なるが、トリンプル4000SSE、トリンプル4000SSI、トプコンGP-R1DY、ライカSR-9600の4機種である。「つくば」のIGS観測点には、アレンオズボーンTurbo-Rogueが導入されており、これを含めると対象となる一級GPS測量機の機器は全機種導入されていることになる。

通常の電子基準点に導入している機器は、一時的な通信回線の不通を考慮して、データ取得間隔が30秒で24時間の連続観測データを10日以上格納するために10MBのリングメモリーを装備して、常時最新のデータを保持している。

全国120箇所（トリンプル4000SSI）の電子基準点では、地震発生前後の詳細な地殻変動の様相を把握し、地震調査研究の資料とするために1秒間隔でデータを取得する高速サンプリング機能が付加されている。この観測点では、常時1秒毎にデータを記録し、4日間の観測データを格納するために80MBの大容量リングメモリーを装備して最新の情報を保持している。通常時には、30秒毎のデータを抜き取って中央局に転送しているが、地震が発生した場合には、気象庁が地震発生後に発表する地震の規模や位置情報等を気象衛星「ひまわり」経由で中央局の管理装置が受信し、管理装置からの自動的なコントロールにより地震発生地域周辺の観測点の1秒サンプリングデータを転送する。

通信機器は、国土地理院「つくば」の中央局からのコントロールにより必要な観測データの転送等を行っている。通信回線はNTTのISDN（Integrated Services Digital Network:INS64）回線と公衆回線（加入電話）を利用している。

無停電電源装置は、電気の停電や瞬断による観測データの欠測を防ぐために設置しているもので5時間程度の停電に対応できる。

傾斜測定装置は、平成8年度に設置したアンテナ架台に組み込んでいるもので、アンテナ架台の傾斜量を監視

することを目的として設置している。この装置は、X軸、Y軸の2軸成分の傾斜を設定された時間毎に測定してGPSの観測データと共に転送している。

気象測定装置は、平成8年度に設置した電子基準点のうち10箇所に組み込んだもので大気遅延誤差を正確に求めて基線解析の高精度化を目指すために設置している。気温・気圧等の測定データは設定された時間毎に記録されてGPSの観測データと共に転送されている。同装置は、気象庁のラジオゾンデ観測所を考慮して全国に等密度で配置してある。

また、近傍地における雷の電磁誘導による障害や電磁気擾乱等による干渉妨害による信号電送の損失を防ぐために高周波同軸用保安器をアンテナコネクタに接続するとともに通信ケーブルおよび電源部には避雷器を設置している。

3.2 中央局

中央局は、大別すると通信関連装置、データ管理装置、解析装置、表示装置、GPS情報提供装置、端末装置、及び無停電電源装置に分類(図-5)される。これらの機器のうち通信関連装置、解析装置及びデータ管理装置は光LAN(Local Area Network)で接続され、155 Mbps(Bit per Second)のデータ転送能力を持っている。その他の機器は、ATMスイッチングハブを介したLANにより10Mbpsの転送能力を持っている。また、

地方測量部等の端末装置はISDNによるWAN(Wide Area Network)で接続されている。

1) 通信関連装置

通信関連装置は、電子基準点で観測したデータを毎日定められた時刻にダウンロードを行うとともに電子基準点の観測スケジュールの設定やファームウェアの入力や変更を行う装置である。

電子基準点では、データ取得間隔30秒で24時間の連続観測を行うことを原則としているために、GPS受信機の種類にもよるが1点あたり約1MBの観測データを転送している。データ量が多いことからデータ通信には、NTTのデジタル回線であるISDNを積極的に活用してデータ通信の高速化を実現している。

通信関連装置には、電話回線を接続して電子基準点との通信を行う通信装置とそれを制御する通信制御装置で構成される。

通信装置には、ISDN回線と公衆回線をそれぞれ16回線接続している。このときISDN回線では1回線で2チャンネルの同時利用ができるので合計で48箇所の電子基準点の観測データを同時にダウンロードできることになる。

ダウンロードは、ISDN回線を利用して非同期通信方式で通信を行った場合には3分程度で、公衆回線を利用して通常の通信が行われた場合は10分程度で終了する。ISDN回線を利用した場合であっても非同期通信方式

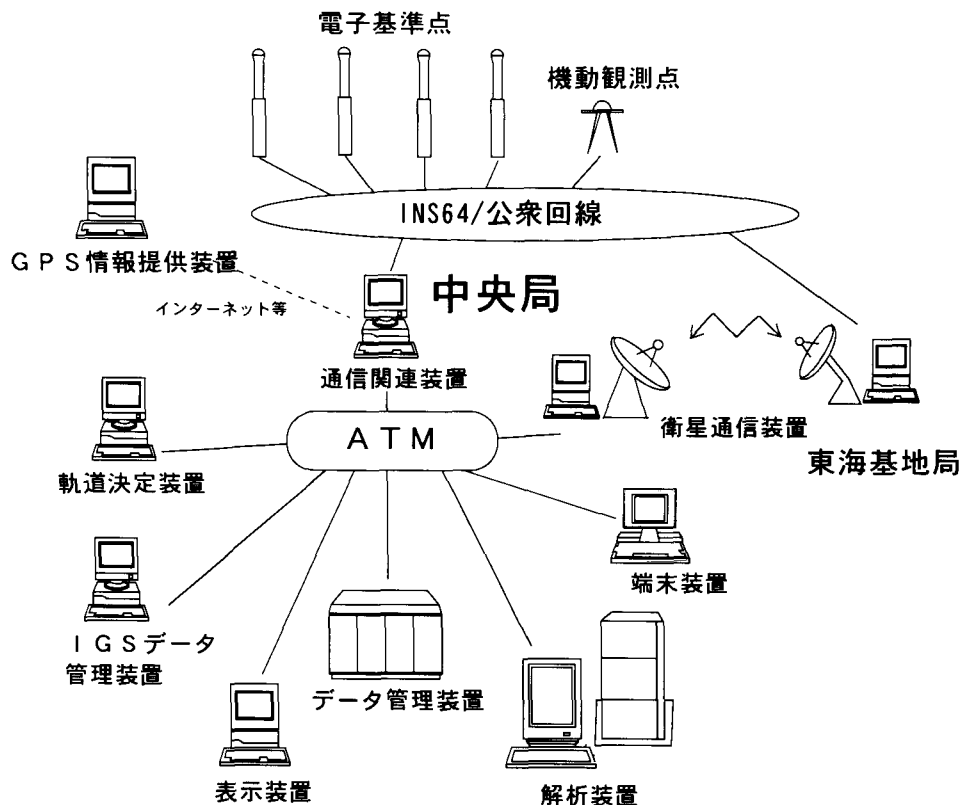


図-5 GPS連続観測システム構成概念図

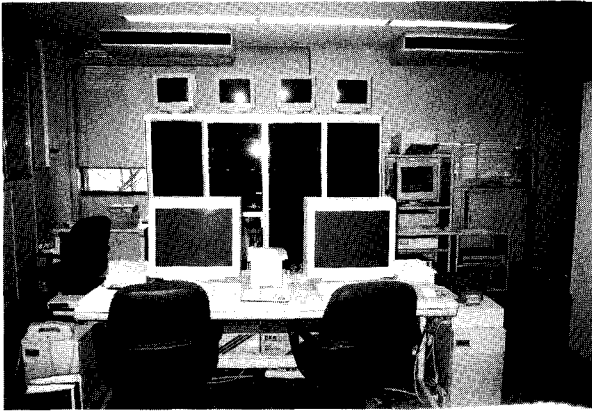


図-6 通信関連装置

は、同期通信方式に比べ通信効率が悪いために平成8年度設置の電子基準点からは、同期通信方式を採用している。同期通信方式を採用することでデータの転送時間は、2分以内となった。今後は、公衆回線を利用している電子基準点でISDN回線の接続が可能になれば切り替えてデータ通信の高速化を推進して行く予定である。

通信制御装置は、通信装置の管理を行い各電話回線の通信状況を監視して通信スケジュールに従った割り振りを行うとともにデータ管理装置にダウンロードした観測データの転送を行っている。

2) データ管理装置

データ管理装置は、約900箇所の電子基準点の観測データや解析結果等を管理保管する装置である。

データ管理装置(図-7左方)は、300GBのディスク容量のディスクアレイ及び120GBのディスク容量の光磁気ディスク装置の合計420GBの主データ格納装置とデータのバックアップ装置として280GBと210GBの8mmテープオートチェンジャー装置で構成される。



図-7 データ管理装置と解析装置

通信制御装置から転送された圧縮された観測データ(以下「RAWデータ」という。)は、解凍後に共通のフォーマットであるRINEX(Receiver Independent EX-

change)フォーマット(以下「RINEXデータ」という。)に変換される。変換された観測データは解析装置に転送され解析処理を行うが、データ管理装置では圧縮したRAWデータ及びRINEXデータをバックアップデータとして8mmテープカートリッジに格納する。また、RINEXデータは主データ格納装置のデータベースにも格納され、いつでも検索・利用が可能となる。

3) 解析装置

解析装置(図-7右方)は、RINEXデータを用いて基線解析を行う装置である。基線解析では、電子基準点約900点の膨大な観測データを解析処理するためにCPUクロック周波数160MHzの4CPU高速ワークステーションを7台用いて並列で自動運用している。

解析装置では、数種類の基線解析ソフトウェアによる解析処理が可能であり、定常的な解析のほかに研究的な処理も可能である。解析結果は、データ管理装置に転送されてデータベースに格納される。

4) 表示装置

表示装置(図-8)は、解析結果等を図化して表示する装置であり、電子基準点の位置変化、電子基準点の時系列変化、変動ベクトル、3箇所の電子基準点で構成される三角形の歪み等が表示できる。

この表示は、端末装置を通じて院内の各部署、各地方測量部等及び地図と測量の科学館でも見ることができ

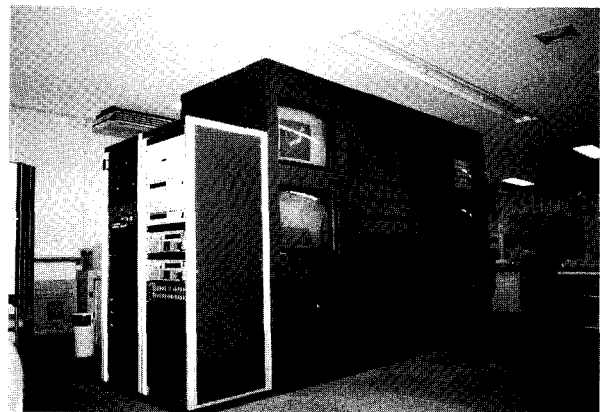


図-8 監視室の表示装置

5) GPS情報提供装置

GPS情報提供装置は、電子基準点の観測データ、解析結果、IGSのグローバルデータ等を利用者に提供する装置である。データは、インターネット等を通じて利用者に提供できるよう準備を進めている。

6) 無停電電源装置

無停電電源装置は、不慮の停電や瞬断あるいは定期的な電気システムのメンテナンスの場合の停電から機器、データ、ソフトウェア等の損傷と観測システムの停止を防ぎ安定して運用するために装備してある。

無停電電源装置には、容量が100kVAのUPS (Uninterruptible Power System) 装置と3日間連続運転可能な燃料タンクを備えた130kVAの容量を持つ非常用発電装置で構成され、中央局の各装置に電源を供給している。

この無停電電源装置は、停電等で商用電源の供給が停止した場合でも、連続的にUPSから電源を供給できるとともに数秒で非常用発電装置が自動的に運用を開始して安定した電源を供給する。また、商用電源が復電した場合には、自動的に発電機からの電源供給を停止する。

3.3 東海基地局

東海基地局は、東海地方の地殻変動を調査するための施設として静岡県掛川市に建設した東海機動観測基地内に設置してある。

東海基地局では、東海地方の前進基地としてGPS観測データの収集、基線解析、解析結果表示ができる装置が設置され、中央局に準じた機能を持っていてISDNによるWANで中央局と接続されている。

また、東海基地局と中央局間は、衛星通信回線でも結ばれ、緊急時における交信やデータ転送が可能である。

4. 基線解析

GPS観測はVLBI (Very Long Baseline Interferometry) やSLR (Satellite Laser Ranging) 観測に比べて、長距離の基線での1日毎の観測では精度はやや劣るものの観測点の設置費や維持経費が低価格であるために全国に展開して連続観測を行うことが可能である。このため、広域で連続的に観測を行い毎日の解析結果が蓄積されて観測数が増加するため精度は向上してくる。結果として、長期的な時系列変化により広域的な地殻変動の特質を把握することができることになる。

GPS連続観測システムでは、世界の最先端技術によって開発された学術用ソフトウェアを用いて毎日の基線解析を行って基線ベクトルを算出している。

採用している基線解析ソフトウェアは、バルン大学(スイス国)で開発されたBERNESE、マサチューセツ工科大学(米国)とスクリプス海洋研究所(米国)で開発されたGAMIT/GLOBK及びカリフォルニア工科大学(米国)とNASAのジェット推進研究所(米国)で開発されたGIPSYの3種類を採用している。これらのソフトウェアでは、長距離や高低差のある基線解析で大きな障害となっていた大気中の水蒸気による電波遅延の問題を推定パラメータで補正することで高精度な解析結果を得ることができる。

基線解析ソフトウェアとともに精度の良い解析結果を得るために必要なものは、精度の良い地球回転パラメータとGPS衛星の精密な軌道情報である。そのため、IGSでは国際協力によって全世界のGPSグローバルネットワークを構築してGPSの連続観測を行い、観測

データをインターネットによってIGSの解析センターに集め、各種の軌道情報や地球回転パラメータを作成して結果を公開している。

GPS連続観測システムでは、主に次のような軌道情報を選択して利用できる。

- 1) GPS衛星から提供される予報軌道情報(以下「放送暦」という。)
- 2) IGSやIGS関連機関によって作成提供される予報軌道情報(以下「予報暦」という。)
- 3) IGSやIGS関連機関によって作成提供される速報の精密軌道情報(以下「速報暦」という。)
- 4) 国土地理院が予報暦と速報暦を連結して作成した連結軌道情報(以下「連結暦」という。)
- 5) 国土地理院が作成提供する精密軌道情報(以下「GSI暦」という。)
- 6) IGSが最終的に決定した精密軌道情報(以下「IGS暦」という。)

また、これらの軌道情報の精度と特徴は、次のとおりである。

表-1 軌道情報の精度と特徴

軌道情報	軌道の精度	軌道情報の特徴
放送暦	20~30m	観測終了と同時に基線解析が可能であるが精度が低い しかし、他の機関に頼らずに解析が可能である
予報暦	1m程度	観測終了と同時に基線解析が可能である 放送暦に比べて精度が高い
速報暦	20~30cm	観測終了後1~2日で利用可能である IGS最終暦と比べるとやや精度が劣る
連結暦	50cm程度	観測終了と同時に利用可能である 速報暦に準じた精度が得られる
GSI暦	20~30cm	観測終了後2~3日で利用可能である IGS暦に比べて使用観測点数が少ないのでやや精度が低い
IGS暦	10cm程度	観測終了後2週間程度で利用可能である 公表までに時間がかかるが精度が高く安定している

通常行われる基線解析は、現状では放送暦とIGS暦による解析を毎日行っている。

放送暦による基線解析は、表-1の軌道情報の精度と特徴からも分かるようにGPSが運用されている限り安定して放送暦が取得できて観測終了後ただちに基線解析を行うことができるが、軌道の精度が悪いために基線解析結果も 5×10^{-7} の精度を越えることは難しく、mmオーダーでの地殻変動の議論は厳しい。この問題を解決

するためには予報暦または連結暦を利用する必要がある。これにより 1×10^{-7} 以上の解析結果が期待できるが、現在のところ暦の精度確認のために試験運用を実施している。今後に期待するところである。

IGS暦は、IGS関連機関で作成している精密暦を統合して作成しているもので利用するためには2週間程度のタイムラグがあるが高精度の解析結果を得ることができる。

期待される精度は、

水平で $3 \text{ mm} + 0.005 \text{ ppm} \times D$

垂直で $10 \text{ mm} + 0.01 \text{ ppm} \times D$ D: 基線長

であり、長距離の基線ではppb (10^{-9}) のオーダーの議論も可能になってきた。

この新しいGPS連続観測システムでは、3種類のGPS受信機と3種類の解析ソフトウェアを採用している。異なる機種であっても観測データの共通フォーマットであるRINEXデータを用いることにより基線解析は可能である。しかし、異機種のGPSアンテナは位相特性が異なるために、mmオーダーで地殻変動を議論をする場合には種類毎のアンテナの位相特性を明らかにして補正をしなければならない。この問題は、精度の低い放送暦による基線解析では考慮する必要はないが精密暦では大きな課題となる。

基線解析ソフトウェアは、BERNESE, GAMIT/GLOBK及びGIPSYを使用することが可能である。

BERNESEによる精密暦の基線解析では、アンテナ位相の問題を回避するために同一機種によるグループを作り機種毎に別々に基線解析を行っている。精密暦で用いるネットは、同一受信機毎に図-9に示すような骨格

となる電子基準点とそれに付属する電子基準点のグループで構成される。ネットは、まず最初に第1段階として「つくば」(茨城県つくば市)を固定して日本列島を縦断する形で100~300km間隔でバックボーンサイトを置き、骨格となる基線解析を行っている。その後第2段階として地域毎のブロックで処理を行って各観測点の座標値を決定している。「つくば」の固定点は、国際観測網によって維持されてるITRF (International earth-rotation service Terrestrial Reference Frame) 座標系で決定されているので各観測点は毎日ITRF座標系に準拠して決定されることになる。

図-10に「つくば」を固定して別々のネットて計算された観測点間の時系列を示す。「稚内」(北海道稚内市)はトプコン社の受信機で「猿払」(北海道猿払村)はトリプル社の受信機である。固定点から1000km以上離れた所での比較でも水平位置の時系列のばらつきは5mm程度であり高精度の結果が得られていることが分かる。また、この方法では、全観測点を同時に処理した場合と比較すると2/3程度の処理時間で基線解析を終了することができる。これらの解析結果は、解析結果の共通フォーマットであるSINEX (Solution/Softwar Independent EXchange) フォーマットに統一され保存されるとともに表示に必要な座標値や標準偏差がデータベースに保存されている。SINEXファイルには、各観測点の決定された位置座標、標準偏差、観測点間の共分散が記載されているために電子基準点網とは別に解析された観測網であっても観測網間の結合が可能となる。

GAMIT/GLOBKは、GAMITで基線解析計算を行いGLOBKで調整計算を行う2つのソフトウェアで構成

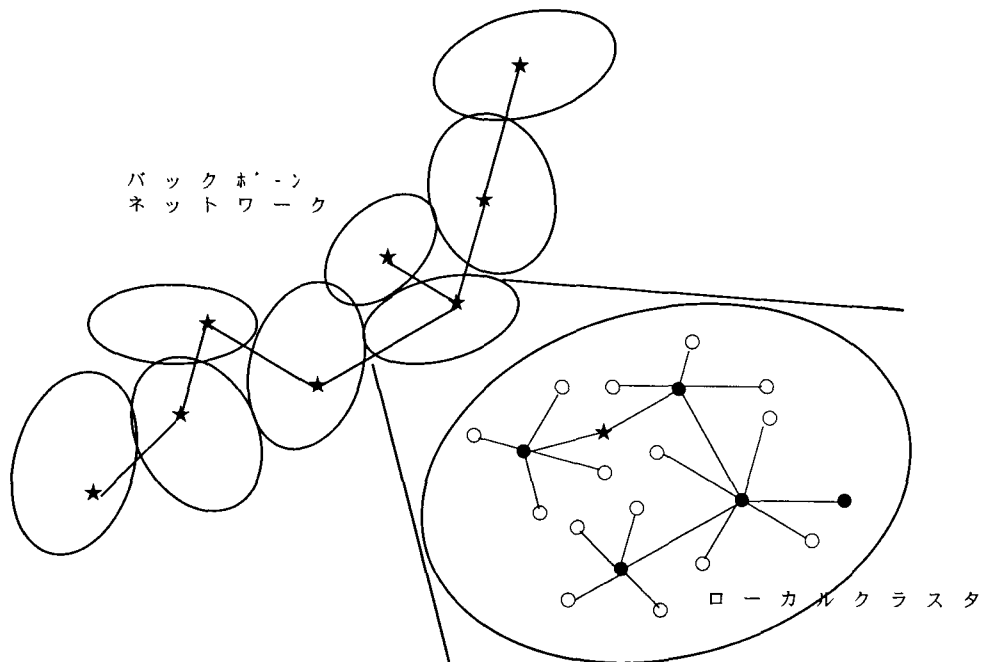


図-9 BERNESEによる基線解析ネットワーク

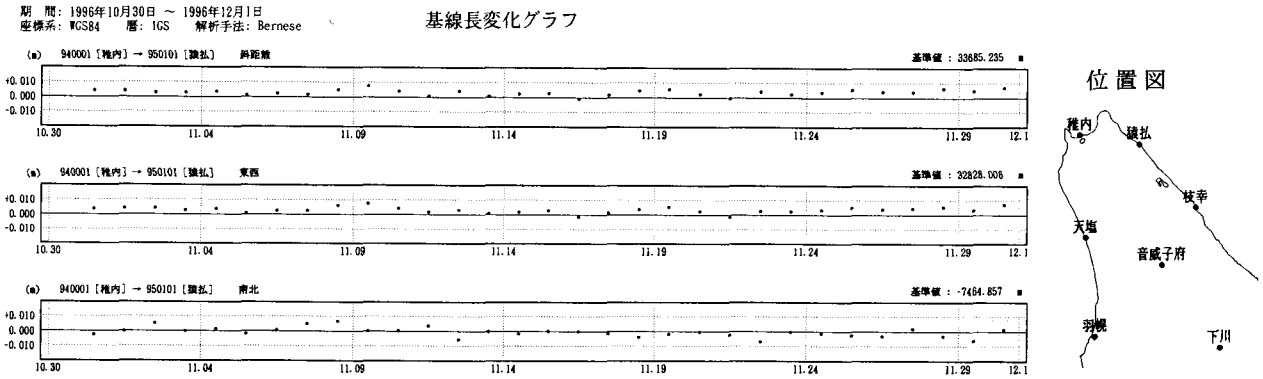


図-10 異機種受信機間の時系列

されている。GAMITでは、アンテナ位相の問題を避けるために機種毎、地域毎のブロックに分けて基線解析処理を行っている。この時、同機種毎のブロック間では2点の観測点を重複させてブロック間で整合性を持たせている。GLOBKでは、GAMITの出力ファイルであるブロック毎のSINEXファイルをカルマンフィルタアルゴリズムを用いた統合処理により結合して全体的な解を算出している。

GIPSYによる基線解析では、精密な衛星軌道と時刻を用いることで精密な1点測位を可能にしている。GIPSYでは、衛星軌道や時刻が精度良く固定されたときに観測点の個々の位置、対流圏遅延量の補正等が他の観測点と無関係になり1点だけの小規模な線形系を解いている。このために、受信機の種類に束縛されることがなくなる。解析結果は、SINEXファイルで格納されている。

GAMIT, GIPSYは、現在試験運用中である。

5. 得られた結果

GPS連続観測システムは、運用を開始してから、1994年北海道東方沖地震 (M8.1), 1994年三陸はるか沖地震 (M7.5), 1995年兵庫県南部地震 (M7.2) 等の大地震に伴う広域的な地殻変動の様相を明らかにしてきた。

図-11 (1996: 宮崎) は、新しいGPS連続観測システムが運用を開始した1996年4月から1996年11月までの8ヶ月間の観測データから「つくば」を固定して求めた日本列島の地殻変動の速度場を1年あたりの速度ベクトルとして表示している。図から、日本列島の中央部のフォッサマグナを境として東北日本と西南日本の速度ベクトルの向きが異なるのが特徴的であり、プレート境界がこの付近に位置していることが推測できる。

東北日本では、太平洋沿岸部の北海道東部地方、三陸地方で内陸に向かった北西向きベクトルが目立っている。この付近では、過去に大きな地震が発生しているところでプレートの沈み込みによる影響が表れているものと推測される。図-12は、「大田原」(栃木県大田原市)

を固定した時の1996年4月から1997年1月の変動ベクトルと「大田原」と「種市」(岩手県種市町)間の時系列変動を示している。三陸地方では1994年三陸はるか沖地震のあと地震で変動しきれなかった地殻が地震のあとでじわりじわりと変動を起こす余効変動が2年を過ぎても続いている。この地域では、地震後の1年間で東側に約10cm程度の変動が見られた。

図-11から西南日本では、太平洋側と日本海側で変動ベクトルが異なっている。中国地方、九州地方では相対的な変動がない。日本海側の「仁多」(島根県仁多町)を仮に固定した変動ベクトルと「仁多」と「室戸」(高知県室戸市)間の時系列変動が図-13である。変動ベクトルから固定点を日本海側にするにより太平洋沿岸部が北西に移動している様子がわかる。四国の太平洋沿岸部では、これまでも、東南海地震 (1944年) や南海道地震 (1946年) 等の大地震が起こっている。これは、フィリピン海プレートが沈み込んでいるのが原因とされている。時系列変動から「室戸」が8ヶ月間で約4cm北西に移動していることが分かる。九州地方の太平洋沿岸部に見られるベクトルは1996年10月から12月にかけて発生した日向灘沖の地震の影響である。

図-14は、1996年5月中旬に房総半島で観測された「ぬるぬる地震」による地殻変動の様相である。「ぬるぬる地震」とは、通常の地震が急激な地殻変動を短時間で引き起こされるのに対して、数日間かけて局所的にじわり、じわりと体を感じない地殻変動が引き起こされる現象であり、「サイレントアースクェイク」とか「ゆっくり地震」等とも呼ばれている。この現象が日本で確認されたのは始めてで、5日間ほどかけて房総半島東岸部が南東方向に1cm程度移動している。

図-15は、1996年10月の伊豆半島群発地震に伴う地殻変動の様相を示している。図は、群発地震が発生してから2日間の変動ベクトルを示している。日毎の微細な地殻の変動の様子を的確に捉えていることがわかる。

6. おわりに

GPS連続観測システムにおける高密度電子基準点は、

BiGG VELOCITY 1996/4/1 - 1996/10/31

(with respect to Tsukuba)

Scale: 100 mm/year



250 Kilometers

125° 130° 135° 140° 145°

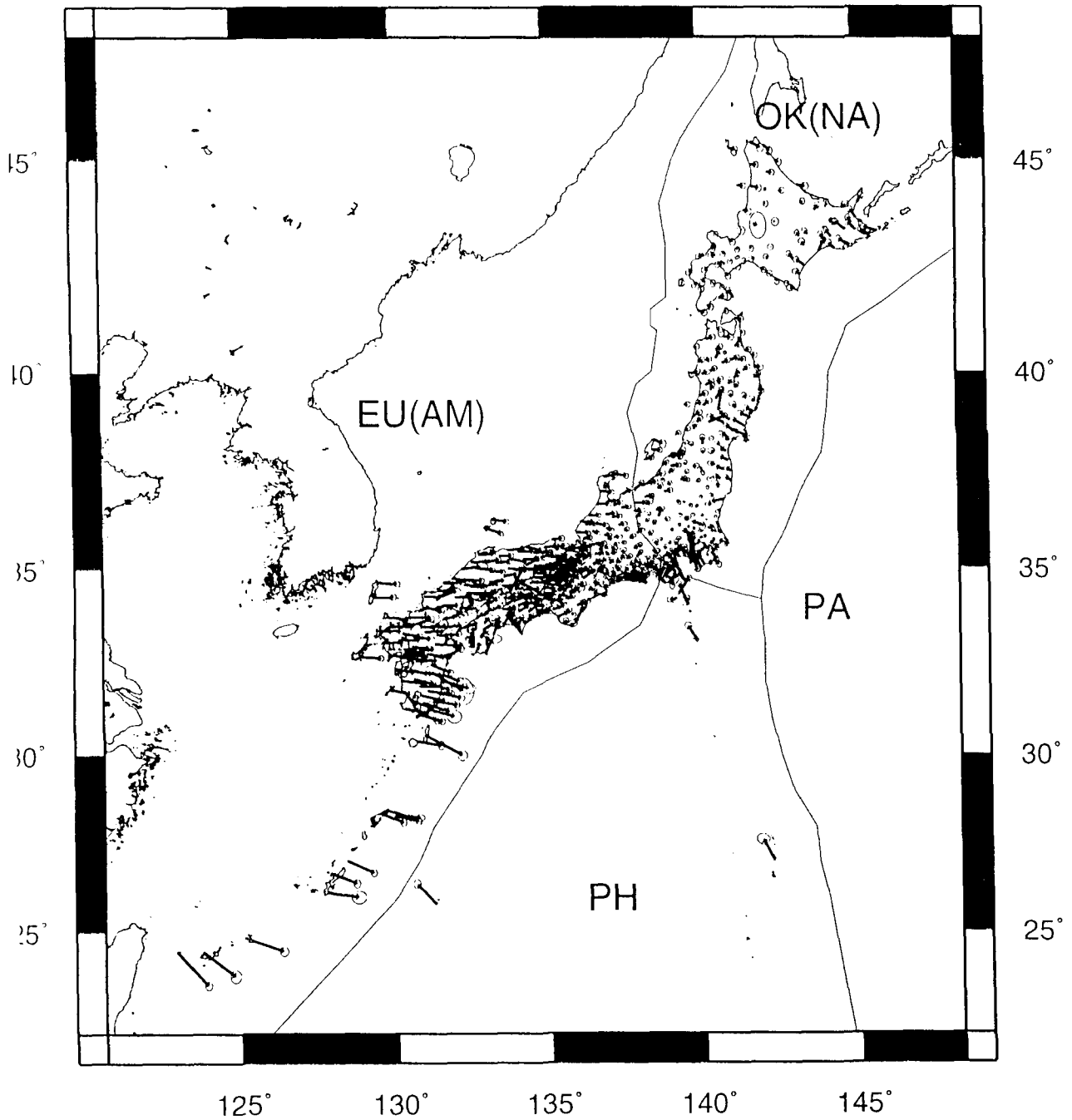


図-11 日本列島の地殻変動速度場

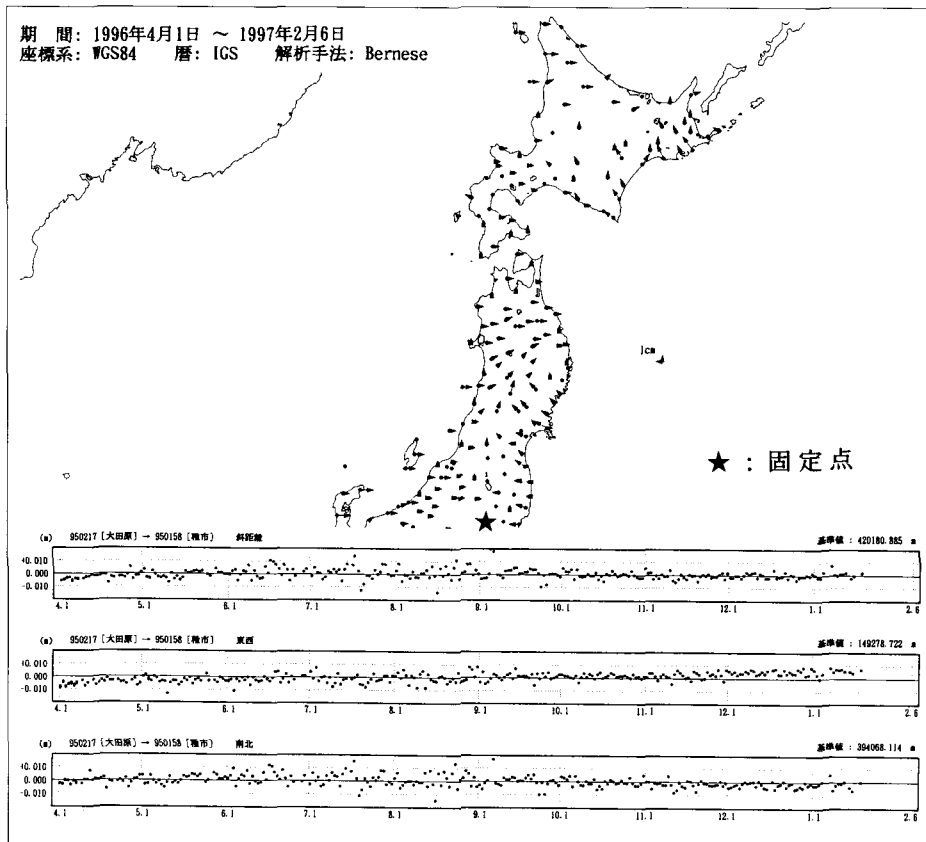


図-12 東北日本の地殻変動

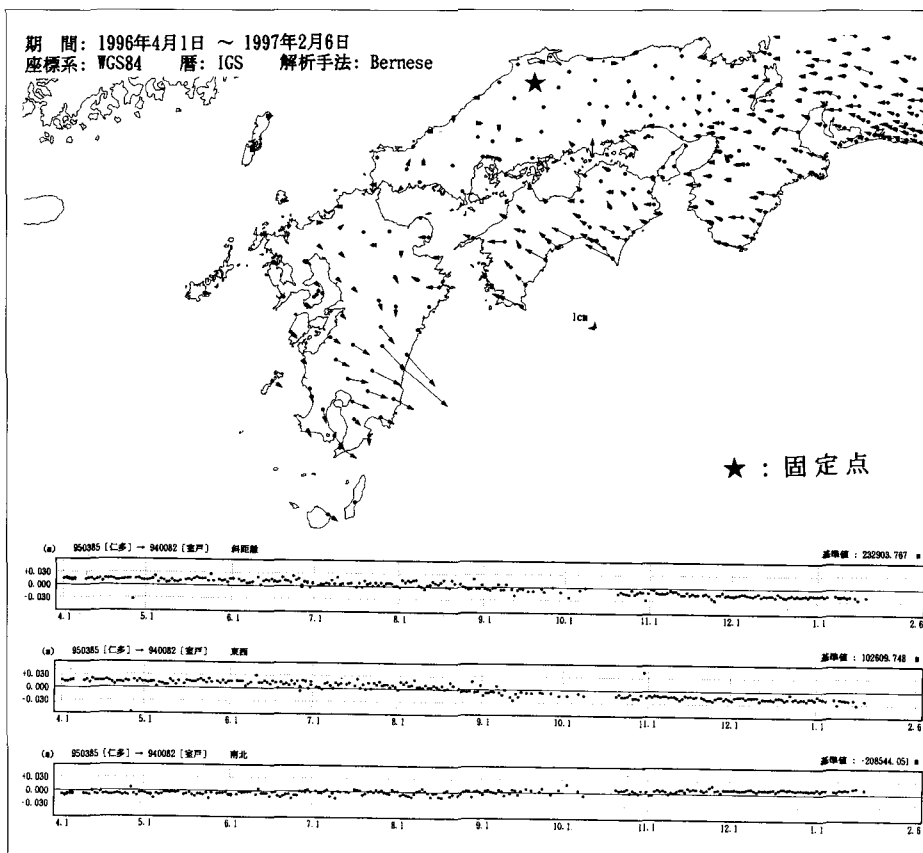
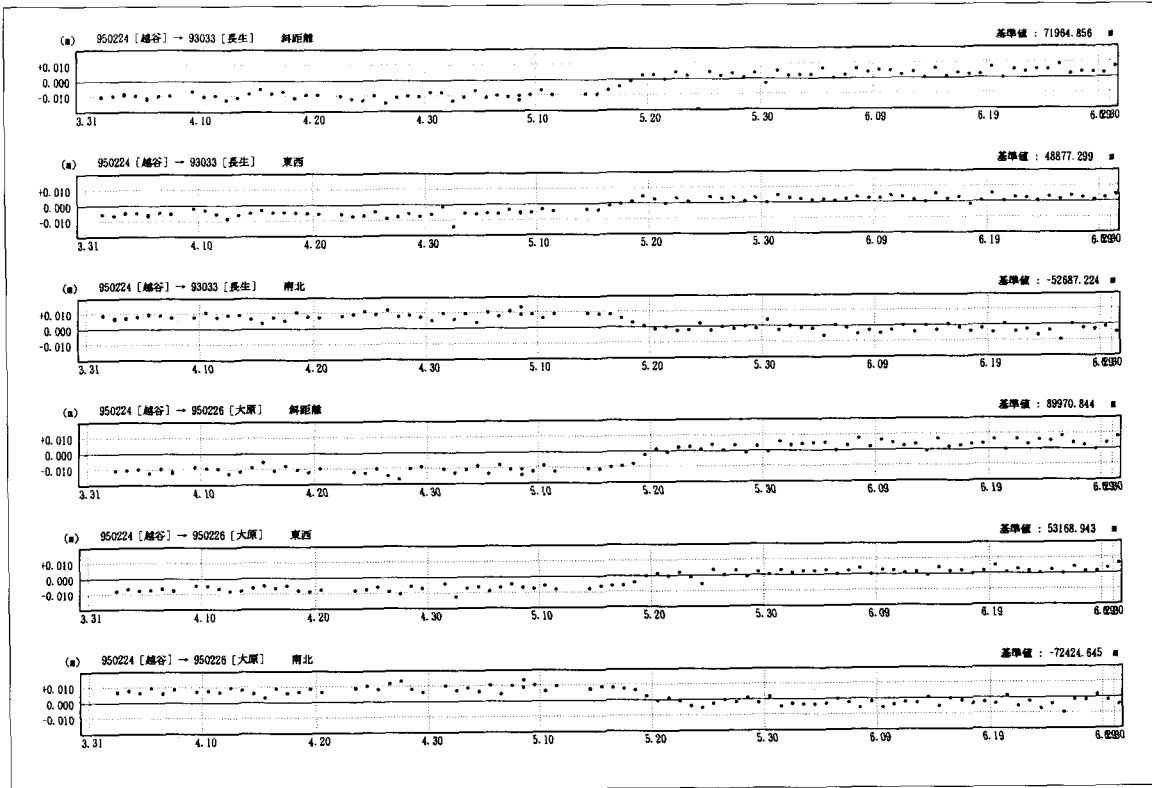


図-13 西南日本の地殻変動

基線長変化グラフ

期間: 1996年3月31日 ~ 1996年6月30日
座標系: WGS84 暦: IGS 解析手法: Bernese



ベクトル図

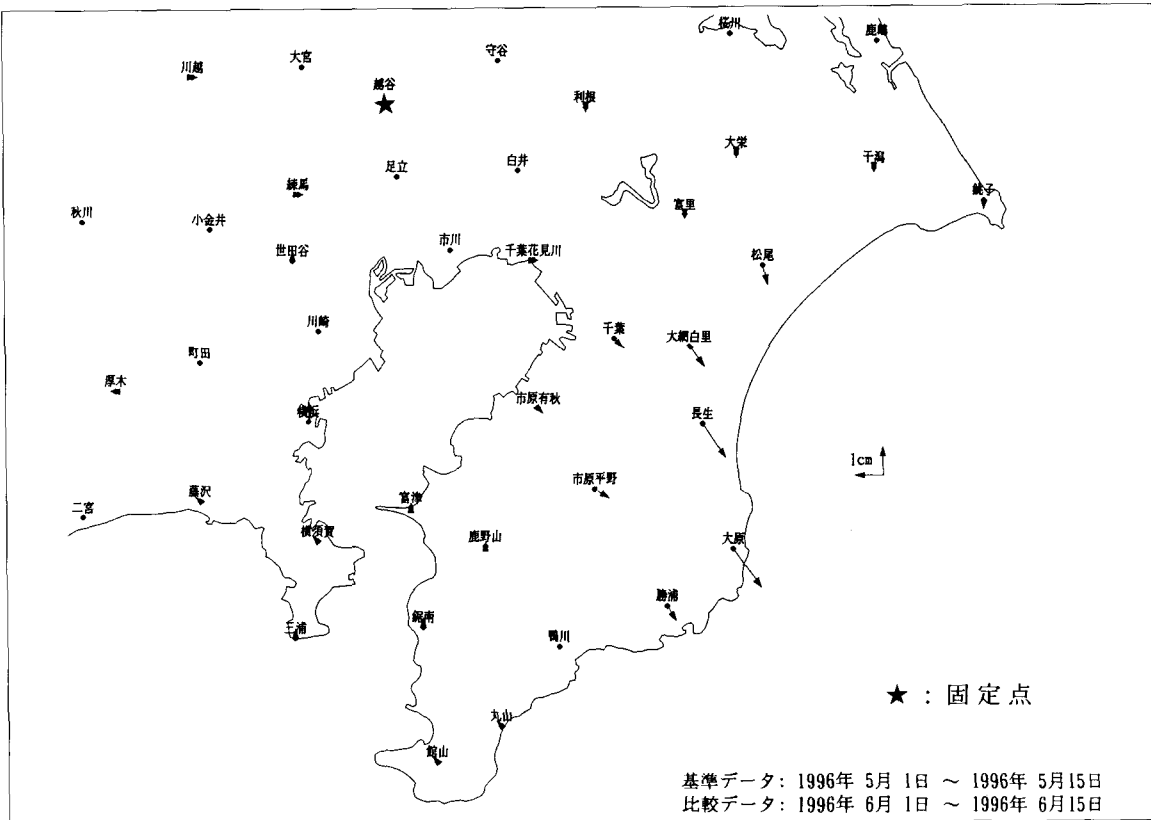
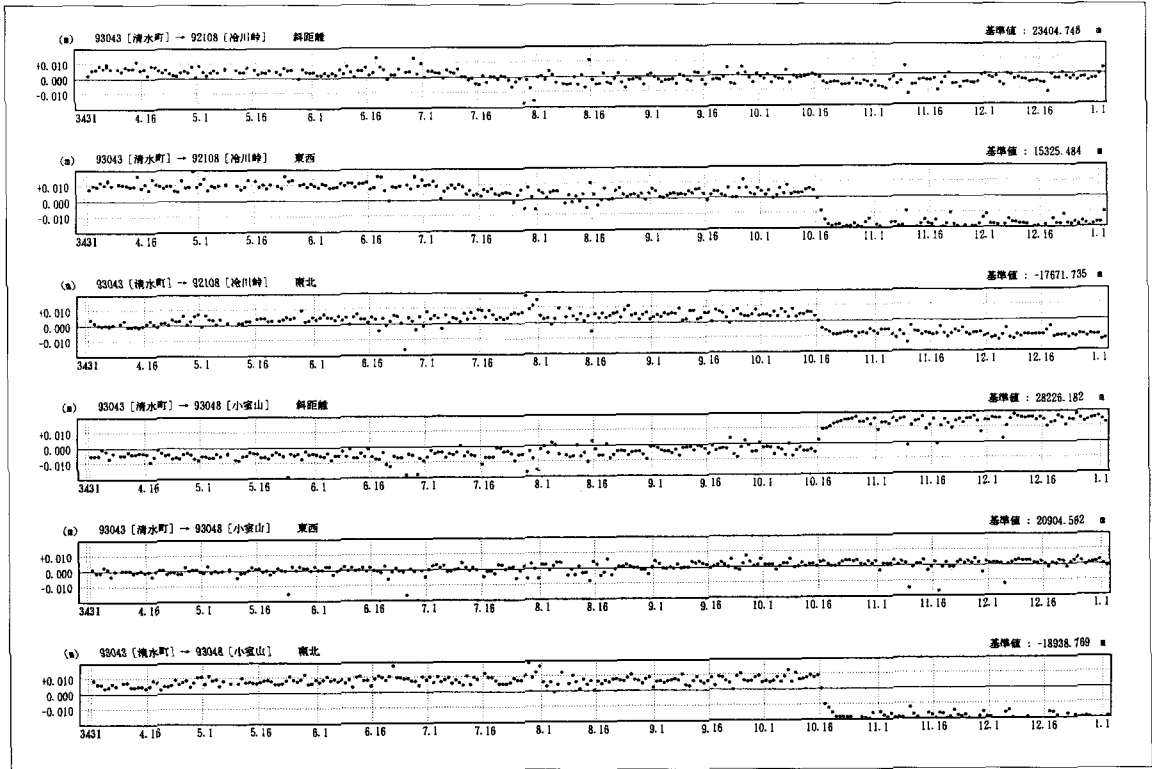


図-14 「ぬるぬる地震」による地殻変動

基線長変化グラフ

期 間: 1996年4月1日 ~ 1997年1月1日
座標系: WGS84 曆: IGS 解析手法: Bernese



ベクトル図

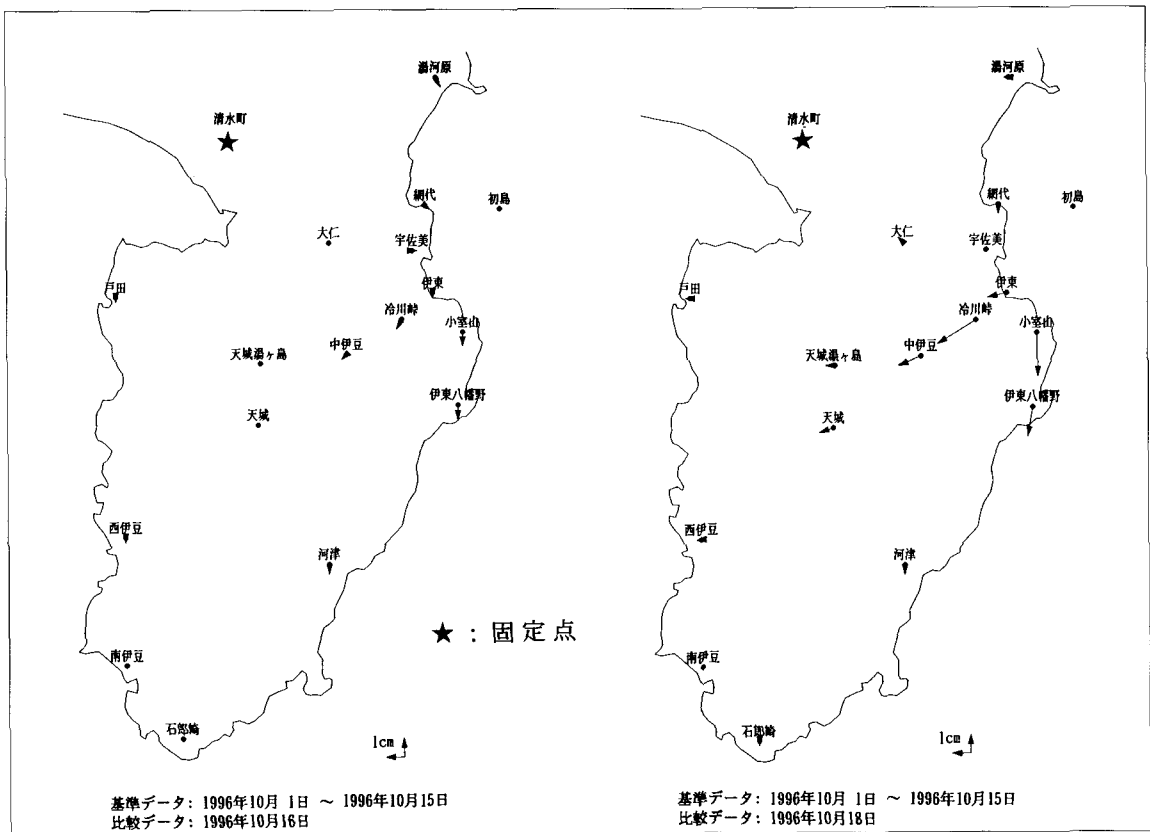


図-15 1996年伊豆半島群発地震の地殻変動

これまでの測量方式では困難であった全国を統一した測地網の構築と測量成果作成の即時性を可能にした。また、連続的に日本列島の変形の様相を詳細に調査することで変動をモデル化することも夢ではなくなると思われる。これにより地震調査研究および地球物理学研究にさらなる貢献ができることになろう。そのためには、高密度電子基準点による連続観測を数十年単位で実施していくことが重要となってくる。

国土地理院では電子基準点で取得した観測データ等を広く公開していく予定である。電子基準点を利用した測量を行うためには、手法等について研究を進めていくことが必要である。今後の測量の発展のためにも重要な事項であり積極的に推進する必要がある。

また、これから電子基準点データが地殻変動や測量ばかりではなく、幅広い分野で活用されることも期待している。

参 考 文 献

- 国土地理院，宇宙開発事業団：GPS受信機の位相特性及び射場各点位置精度向上に関する共同研究報告書（1994）
 飯村友三郎ほか：GPSアンテナの位相特性の測定（1994），国土地理院時報No.81，pp 8 -pp16
 岩田悦郎：GPS連続観測網による南関東・東海地域の地殻変動監視（1994），国土地理院時報No.81，pp51-pp60
 飯村友三郎ほか：全国GPS連続観測システムの運用（1995），国土地理院時報No.82，pp 1 -pp 5
 宮崎真一ほか：GPSで観測された日本の地殻変動速度場その3（1997），1997年地球惑星科学関連合同学会春季大会
 予稿集