



図-12 電子基準点（1,200点）配点図

## 1. 2 新GEONET

前述のように、国土地理院では日本全国に1,200点の電子基準点を整備し、データの収集及び解析処理を経て全点の位置情報を日々管理・監視している。いわゆるGEONETとは、この電子基準点網と解析処理部分を併せたシステム全体を指すものであるが、ここでは、後者の解析処理部分を中心に、最新のシステムの現状について紹介する。

国土地理院のGPS連続観測システムが初期のCOSMOS-G2, GRAPESを経てGEONETとなったのは、1995年のことである。当時610点だった電子基準点数は現在では約2倍にまで増加し、サンプリング間隔が30秒から1秒へ、データの収集方法が一日一回の一括取得から1秒ごとのリアルタイム取得へと移り変わるに従い、解析処理システム側で扱うデータ量も飛躍的に増加したが、こうした大量の

データはGEONET設立当初の機器による運用ではもはや賄いきれない状態に近づきつつある。対して、GEONETが有珠山の火山活動監視等で実績を上げるにつれ、地殻変動監視分野でのGEONETへの需要は高まりを見せ、その質についても「より高速かつより高精度な結果」が求められるようになった。また、2002年4月より改正測量法が施行されたことにより、電子基準点が公共測量に利用され、GEONETの社会的インフラとしての位置付けも重要度を増しており、システムの安定運用も必須の課題となってきた。

こうした背景を踏まえ、測地観測センターでは、平成14年度の電子基準点増設に併せて解析処理を行う機器を一新し、大容量のGPS観測データを高速に扱えるようシステム全体に大改造を施した。今回の解析処理部分のシステム（以下、「データ処理システム」という。）では、将来の電子基準点増設等も視野に入れ、機能的に最大2,500点分の電子基準点データを処理できるだけの拡張性を持たせているほか、ハード面では基幹ネットワークにGigabit Ethernetを導入し、電子基準点全点の1秒サンプリングデータをリアルタイムに処理できるだけの機動力を備えている。新たなデータ処理システムの特徴については、後に詳述することにする。

### 1. 2. 1 旧システムにおける解析結果の需要と供給－新システムの性能的目標

データ処理システムを新規に導入するに当たっては、システムがどのような性能要件を満たすべきか、明らかにしなければならない。そのためには、まず、旧システムにおいて時間的・解析精度的にどのような要求（需要）があり、それに対して、どの程度の時間・精度をもって解析結果を提供（供給）しているか、その現状を知る必要がある。

緊急時におけるGEONET解析結果への時間的・精度的需要は、当然ながら「なるべく早く、なるべく高精度」となるのは言うまでもない。ここでは、その限界値、つまり「いつまで待てるか」「どの程度の誤差なら許容できるか」を対象に議論すべきであろう。2000年3月における有珠山噴火の前兆現象（測地観測センター、2001）を例にとると、その規模は1cm程度、変動開始から噴火開始までは約2日を要している（最初の記者発表が行われた時刻を基準にすると、噴火開始まではわずか7時間）。これをもとに、解析結果の判断から避難勧告等の行政アクションに至るまでの時間を考慮すると、数時間以内には解析結果が得られなければならない。変動量が10cmを超えるような大規模地震時の変動量把握についても、話題の継続性（結果の公表が受け手に対してインパクトを持たせられる時間的限界）と

報道陣の時間的制約とを考慮に入れると、速報的であっても数時間レベルで誤差数cmの情報を提供しなければならない。

上記の需要に対して、旧GEONETはどの程度の早さと精度で解析結果を算出していたのだろうか。定量的な議論は後述するが、例えば24時間観測データとIGS精密暦を用いた精密暦解析では誤差数mm、6時間観測データと予報暦を用いた緊急解析では誤差数cmで結果が得られている。解析に要する時間（ここには、観測時間、データ取得時間及び取得までの待ち時間、解析所要時間の全てが含まれる）は、精密暦解析が最も遅く2～3週間であるのに対し、緊急解析では4時間で結果が得られる。これら需要と供給の関係を模式的に図示したものが図-13である。この図から、地殻変動監視を行う上で旧GEONETがルーチン的に実施している解析処理のみでは地殻変動という観点からはまだまだ時間的・精度的に満足できるものではなく、何とか緊急解析を導入することによって需要を満たしていたという現状が窺える。これらを踏まえると、新GEONETに導入するデータ処理システムに対する最低限の性能要件として、

- 1) 緊急解析に相当する解析を定常的に実施できること
- 2) 緊急解析を時間的・精度的に向上させること

が求められる。

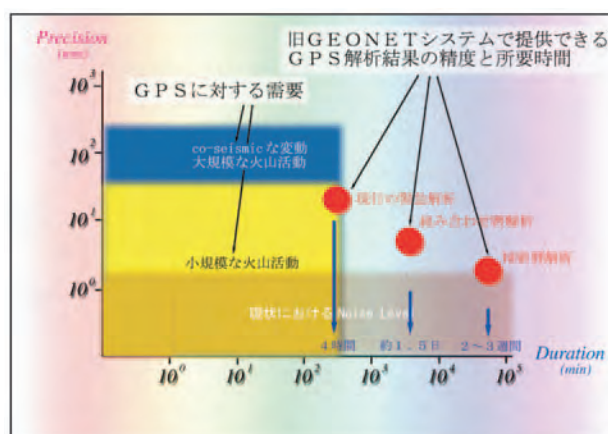


図-13 旧GEONETにおける需要と供給

### 1. 2. 2 最適な変動情報提供の条件－最も合理的な観測時間とは

上記のように、地殻変動監視分野における需要に対応するために、供給に要する時間の短縮を行うことは重要課題のひとつである。電子基準点の項で詳述したとおり、平成14年度より電子基準点の常時接続化がスタートし、大部分の電子基準点でリアルタイムに観測データの取得が行えるようになりつつある。これは、解析に要する時間のうち、データ取得

時間の大幅な短縮が可能になったことを意味する。それ以外の部分を改良してより早く解析結果を得るためには、1セッションあたりの観測時間を短縮するのが望ましいが、その場合解析精度の低下は避けられない。この観測時間と解析精度とのトレードオフの関係を示したのが図-14である（畑中ほか、2003）。この図から、観測時間と解析誤差との間に相関が存在することのみならず、6時間未満の観測データによる解析を行った場合、統計的に妥当とみなされる以上の精度劣化が生じるということがわかる。このことから、供給側の最適条件としての最低観測時間として、6時間を採用することとした。

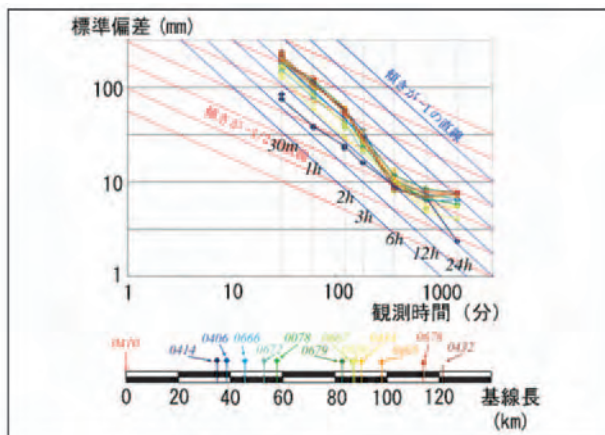


図-14 試験解析による観測時間と解析精度との関係

### 1. 2. 3 旧システムが抱える問題点-新システムの基本的要件

データ処理システムの構築は、基本的に新たなハードウェアを設置し、旧システム（以下、「中央局管理装置」という。）の機能を移行することで達成されるわけであるが、問題点を含む機能をそのまま移行するのは望ましくはない。基本的機能を円滑に移行し、かつシステムが抱えていた欠点を修正するには、移行に先立って、どこを改善すべきか、そして、移行の際に何に注意すべきかを明らかにしなければならない。

ハード的ソフト的に機能を移植するにあたっては、主に次のような点に留意し、従来のシステムが持つ問題点をなるべく解消できるよう努めた。

- 1) データ処理システムが任意の受信機・アンテナ組み合わせに柔軟に対応できるよう、データ通信部分とシステム制御部分との受信データ形式等を標準化し、インターフェイスを明確にする。
- 2) 装置と機能との対応を明らかにし、各装置間のデータのやり取りを容易に把握できるよう、機能ごとに装置を独立させる。
- 3) 膨大なデータフローの制御を容易にするため、リアルタイムデータの送受信が行われる経路を

中心にギガビットネットワークを導入し、データ処理システムの構成機器を結合するLANにVLANを導入することで、不要なデータの流れを制限する。

- 4) データベースへのアクセス負荷を軽減するため、GEONETが扱う「ファイル」と「情報」とを区別し、ファイルの保存方式を明確にするとともに、ファイルの所在情報を含めた情報管理をデータベースが行うこととする。
- 5) システムの安定運用と機能の円滑な移行とを両立させるため、旧システム（中央局管理装置）と新システム（データ処理システム）が並行運用できるよう両者に互換性を持たせ、必要なデータ等の共有化を図る。

### 1. 2. 4 データ処理システムの構成

データ処理システムの構成装置と、各装置の機能は次のとおりである。

#### (1) リアルタイムデータ通信管理装置

常時接続化済み電子基準点からのリアルタイムデータを受け取る部分である。受け取った観測データは変換を施さない生データの状態で最低7日間保存するとともに、1時間毎にRINEX形式のファイルを作成し、電子基準点管理制御装置（後述）に送られる（このとき、サンプリング間隔は1秒から30秒に間引きされる）。また、必要に応じRTCM形式のリアルタイムデータをリアルタイムデータ解析処理装置（後述）に送信する。電子基準点管理制御装置から電子基準点制御コマンドを受けた場合は、コマンドを解釈し、受信機独自のコマンドに変換して送信する。この装置は電子基準点群と組になって設置されるもので、データ処理システム構成装置への入出力部分が共通化されるほかは受信機種に依存したシステムとなる。

#### (2) データ通信管理装置

常時接続化されない電子基準点からのデータを受け取る部分である。基本的にリアルタイムデータ通信管理装置と同一の機能を備えており、リアルタイム処理に係る作業のみ行わないことになる。なお、ダウンロード上の制約から、RINEX変換を行う時間間隔は1時間ではなく3時間になっている。

#### (3) 電子基準点管理制御装置

旧システムで「統合管理装置」と呼ばれていた部分に相当する。具体的には、データ処理システムの自動運用管理、電子基準点制御、電子基準点データベースの管理が大きな機能の三本柱になる。

### (a) 自動運用管理機能

RINEXファイルの結合及び品質検査、定常解析の設定・スタート、ファイルの送信や格納等を予め定められたスケジュールに従い自動的に実行する。

### (b) 電子基準点制御機能

受信機のデータダウンロードや観測開始・終了等の制御を遠隔操作により行う。制御の様式は当然ながら受信機種に依存するが、この装置からリアルタイムデータ通信管理装置及びデータ通信管理装置への制御命令文は標準化され、その内容も開示されている。

### (c) データベース管理機能

電子基準点データを管理する上で必要となる情報を一元管理する。具体的には、電子基準点名や所在等及びその履歴、各種ファイルの格納先、解析設定と解析結果、電子基準点保守情報などが含まれる。なお、これらの情報は専用のプログラムを通じて視覚的な表示が行える。

### (4) データ格納装置

電子基準点からのRINEXデータや解析に使われるグローバルファイル、解析結果ファイル等を保存する。ここでは、観測データについては3時間分を1ファイルとするRINEXデータを保存しているが、最終的には1日1ファイルで管理し、CD-R等のメディアにバックアップを行う。

### (5) 定常解析処理装置

Bernese/BPEをコアソフトとする定常解析を行う。この装置は1式あたり10台のラックマウント型PC (OSはLinux) で構成され、基線解析部分の処理をクラスタ毎に分割処理して高速化を図っている。多様化する解析の需要に合わせ、1式当たり3プロセスの解析を独立して起動できる他、検証用としてGAMIT/GLOBKソフトウェアもインストールされている。なお、本装置については万一の故障時や再解析の必要が発生した時のためにもう1式が予備用として装備されている。解析の内容とその設定については、後で独立した項目として詳述する。

### (6) リアルタイムデータ解析処理装置

緊急解析のイメージで、最大50点の電子基準点を対象としたリアルタイム解析を行う。現在、リアルタイムデータ解析処理装置として、GPS Solutions社製RTnetが組み込まれており、定常解析装置と同様二重化が施されている。また、検証用として、Condor社製3D Trackerを別途導入しているが、この装置では最大13点を対象とする後処理リアルタイ

ム解析のみ実施できる。

### (7) 解析結果表示装置

定常解析及びリアルタイム解析結果をグラフ化し、編集する部分である。この装置は、用途に応じて更に4つの装置に細分化される。

#### (a) 定常解析結果表示装置

データ格納装置から解析結果の転送を受け、定常解析結果の情報を二次的に集約管理する他、外部情報提供装置と地殻情報管理装置にも転送する。得られた解析結果は、専用の表示プログラムを利用してグラフ化することができる。なお、この装置は国土地理院本院に4式、東海機動観測基地に3式設置されている。

#### (b) リアルタイム解析結果表示装置

リアルタイムデータ解析処理装置が行うリアルタイム解析の結果をリアルタイムに転送を受けて表示する。

#### (c) 外部情報提供装置

定常解析結果に基づく観測局の変動情報を生成し、外部ユーザがインターネットを通じて閲覧できるようWebページを構成・編集する。

#### (d) 地殻情報管理装置

各種資料作成用に解析結果またはグラフ等を編集する。装置内に導入される表示用プログラムは、国土地理院内で複製・使用可能となっており、院内からリモートで地殻情報管理装置にアクセスして情報の共有を図ることができる。

## 1. 2. 5 データの流れ

データ処理システムの概略図と従来システム（中央局管理装置）との関連、及びデータの流れを図15にまとめた。

前述のとおり、データ処理装置では、機能ごとに装置を独立させ、各装置間のデータのやり取りを容易に把握できるようにした。利用目的に応じて、電子基準点データがどのようにこれらの装置間でやり取りされるのか、主要な例を以下に示す。

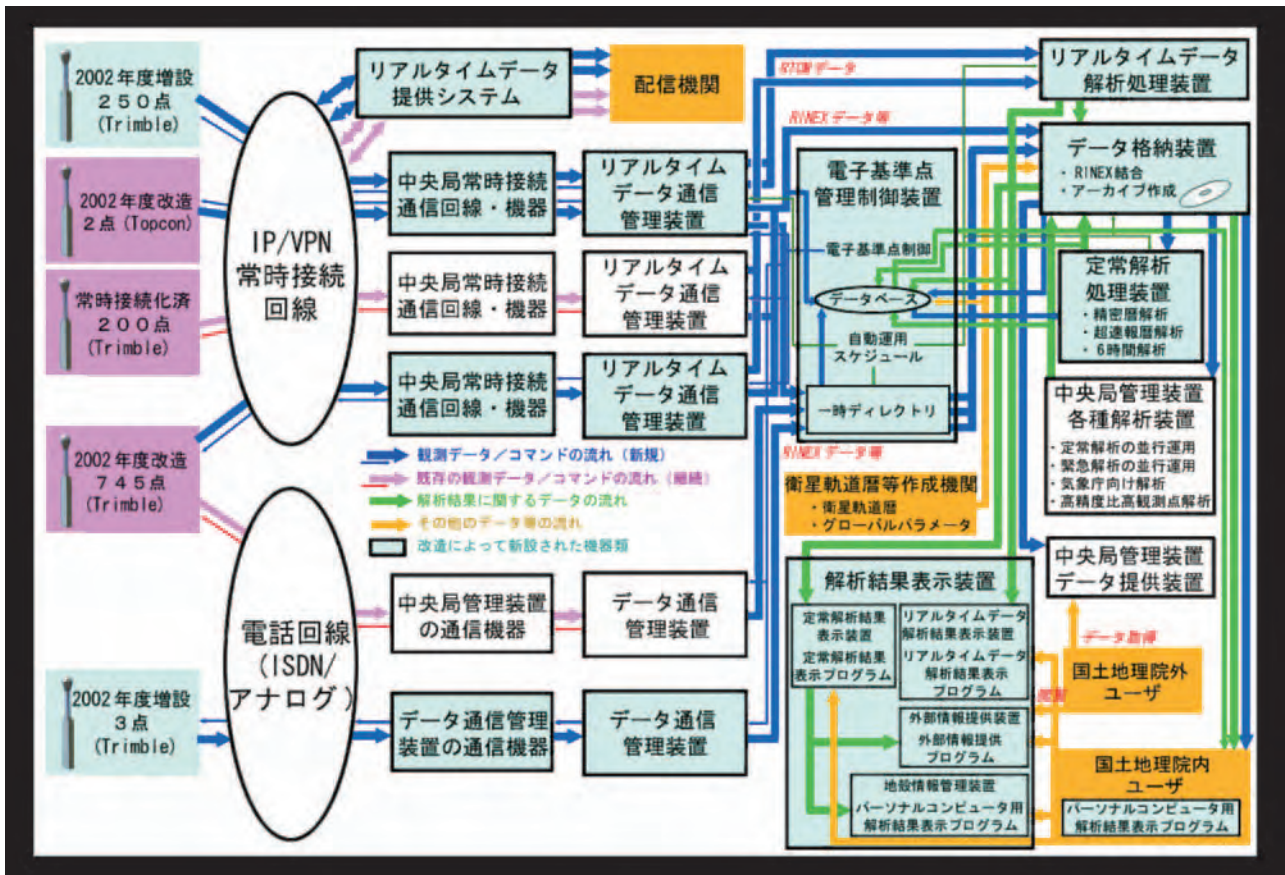


図-15 データ処理システムのシステム構成とデータの流れ

### （１）電子基準点データを取得し、**RINEX**データを格納するまで

この部分は、電子基準点が常時接続化されているか否かによって異なる。常時接続化済み電子基準点の場合、電子基準点で生成された生データは、KDDI社の敷設するIP/VPNネットワークを介しリアルタイムに国土地理院に送られる。これらのデータは、一時的にデータ配信システムを経由し、位置情報サービス事業者へのデータ提供窓口である配信機関にも分配される。リアルタイムデータは、ルータ、IP変換器等の通信機器を通じリアルタイムデータ通信管理装置に送られる。

リアルタイムデータ通信管理装置が1時間ごとに生成したRINEXデータは、一時的に電子基準点管理制御装置の作業用ディレクトリに送信され、この作業用ディレクトリ上で電子基準点管理制御装置が3時間データに結合し、データ格納装置に送信する。なお、例外として、受信機種がTrimbleでない異なる2点（日進・八日市）については、リアルタイムデータ通信管理装置が3時間ごとのデータ結合も受け持ち、結合済みデータを電子基準点管理制御装置の一時ディレクトリ（作業用ディレクトリとは異なる）に送信する。

常時接続化されていない電子基準点の場合、電子

基準点管理制御装置から定期的（3時間ごと）に一般公衆回線を介し電子基準点に接続をして受信機内のデータを取得する。この場合、電子基準点への接続及びデータ取得要求コマンドが存在するが、これについては電子基準点制御の項で述べる。取得したデータは、データ通信管理装置上でRINEX変換を経て、電子基準点管理制御装置の一時ディレクトリ上に送信される。

電子基準点管理制御装置は、一時ディレクトリに格納されているデータを定期的にチェックしており、新たに追加されたデータをデータ格納装置に送信している。

### （２）格納された**RINEX**データから定常解析を実施し、解析結果を得るまで

解析のスケジュールは、電子基準点管理制御装置に組み込まれている。定期的にこのスケジュールがデータ格納装置からデータを定常解析処理装置に送信し、解析をスタートさせている。解析のスタート要求後は、定常解析処理装置が解析処理を担い、解析終了後に結果を電子基準点データベースに登録し、結果ファイルをデータ格納装置に格納する。

電子基準点管理制御装置のスケジュールには、解析結果の送信も含まれており、定期的にデータ格納

装置から解析結果を定常解析結果表示装置に送信している。定常解析結果表示装置は、結果のコピーを外部情報提供装置及び地殻情報管理装置に送信し、ユーザがグラフィカルに結果を閲覧できる状態に編集する。

### (3) 電子基準点データを利用したリアルタイム解析を実施し、解析結果を得るまで

リアルタイム解析を実施する場合、リアルタイムデータ通信管理装置に入ってくるデータが直接使われる。解析の設定及びスタートは電子基準点管理制御装置が行うが、その後はリアルタイムデータ通信管理制御装置・リアルタイムデータ解析処理装置・リアルタイムデータ解析結果表示装置が独立した流れでこの解析処理を受け持つ。

電子基準点管理制御装置からの要求を受けたリアルタイムデータ解析処理装置は、解析に必要な観測局のデータを扱うリアルタイムデータ通信管理装置に接続を行い、接続後はリアルタイムデータ通信管理装置から該当する観測局のRTCMデータがリアルタイムデータ解析処理装置に流れることになる。解析結果はリアルタイム解析結果表示装置に転送され、ユーザはこの解析結果表示装置にアクセスすることで結果をリアルタイムに見ることができる。

### (4) 電子基準点制御の流れ

データの手動ダウンロード等の電子基準点制御コマンドは、電子基準点管理制御装置からリアルタイムデータ通信管理装置へとまず送られる。このときの電子基準点制御コマンドは、対象となる電子基準点内の受信機種に依存しない共通形式となっている。リアルタイムデータ通信管理装置では、このコマンドを読み取り、対応する受信機の制御コマンドに変換して電子基準点へと送信する。受信機側から応答文が返ってくる場合は、リアルタイムデータ通信管理装置でまず受け取り、それを受信機種に依存しない共通形式に変換して電子基準点管理制御装置に送信する。なお、電子基準点制御については、リアルタイムデータ通信管理装置と電子基準点のやり取りは直接行われ、リアルタイムデータ送信の時のようにデータ配信システムを経由することはない。

## 1. 2. 6 定常解析

新GEONETでの定常解析については、稠密な観測網に特化した従来の特長を継承しつつ、これまでの問題点の解消と、電子基準点側に施された改良に沿った解析側の対応を中心に、機能的な改造を行っている。中でも重要な点は、解析ネットワーク（クラスタ等）の再構成である。平成14年度改造により、全国の電子基準点のほぼ全点に相当する約1,190点

について、受信機とアンテナの組み合わせが同一（Trimble5700とTrimble Chokering Antenna）のものとなり、また、異なる組み合わせとなった場合でも、アンテナをDorne Margolin T型のChokering Antennaとすることで、今までに問題とされてきた異機種間によるアンテナ位相特性の問題を考慮する必要がなくなった。このことは、受信機種に依存した観測局のサブネットワーク構成を取る必要がなくなったことを意味する。

新GEONET解析では、既存のサブネットワーク構成を変更し、地域ごとにクラスタを構成させるとともに、これらのクラスタに基本クラスタまたは追加クラスタのいずれかの属性を与えた（実際の解析では、さらに94番台の電子基準点群から成るチェック用クラスタが存在する）。具体的には、定常解析用サブネットワークとして、平成14年度以前に設置済みの電子基準点を地域毎に分割した基本クラスタに対し、基線解析を実施し、正規方程式を算出する。続けて、平成14年度増設電子基準点をはじめ、機動観測点・臨時点等から成る追加クラスタに対し、基本クラスタの解析結果を拘束条件として与えて、同様に処理する。その後両者の正規方程式を結合し、網平均処理を行って全体の解を算出することになる。こうすることで、追加クラスタの観測局構成が変更されたとしても、比較的安定性の高い結果を得ることが可能となる。ただし、異機種間誤差は軽減されても、モニュメント形状によるアンテナ位相特性の違いは存在する（Hatanaka et al., 2001a, b）ため、アンテナ・受信機・モニュメントタイプの組み合わせごとにアンテナ位相特性テーブルを作成し、解析の中に用いる必要がある。

解析の種類については、前述の通り、現状のGEONETにおける需要と供給を考慮し、新たに6時間データを用いた解析を3時間毎に実施することとなっている（表-1）。これは、これまで緊急解析として数十点程度の観測局を対象に随時行われてきた解析を、全点を対象に定常的に実施することに相当するが、それに代わる新たな緊急解析として、次に述べるリアルタイム解析を利用することになる。

表－1 新旧GEONETで行われる主な解析

| 旧 GEONET                         | 新 GEONET                          |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| 24 時間全点解析 (精密暦解析)                | 24 時間全点解析 (精密暦解析)                 |
| 24 時間全点解析 (組み合わせ暦解析)             | 24 時間全点解析 (UltraRapidOrbit による解析) |
| 緊急解析 (最大 30 点, 6 時間データ+CODE 予報暦) | 6 時間全点解析 (UltraRapidOrbit による解析)  |
|                                  | リアルタイム解析 (最大 50 点)                |

### 1. 2. 7 リアルタイム解析－2003年十勝沖地震の適用例

新GEONETシステムに新規に導入された機能の一つに、リアルタイム解析がある。現在のところ、リアルタイムデータ解析処理装置として、リアルタイムデータ通信管理装置に直結したRTnetと、後処理専用の3D Trackerとがある。

両者とも、エポック毎の推定値に対してカルマンフィルタを用いた平滑化が施され、ばらつきの少ない結果を得ることができる。フィルタリングの程度についても、多様な用途に対応できるよう柔軟なパラメータ調整が行えるようになっているが、本システム上では「5 cm以上の（瞬間的または漸次的な）変動を5分以内に捉えられる」ように調整が行われている。

2003年9月26日北海道十勝沖で発生した地震に対しては、RTnet, 3D Trackerの両者による1秒サンプリングRINEXデータを用いた後処理解析を実施した。以下、事例を交えながら、リアルタイム解析装置の特徴について紹介する。

#### (1) RTnetによる解析

GPS Solutions社の開発したRTnetソフトでは、選択した点の座標値を単一基線解ではなくネットワーク解として求められるという大きな特徴を持つ。また、大気遅延パラメータについて、観測局毎に推定する／しないという選択を行うことが可能である。リアルタイムモードで行う場合、電子基準点管理制御装置上で観測局クラスタを定義し、解析をスタートさせる。この場合、解析に使用する観測量はL3 (LC) 及びL5 (ワイドレール) であり、リアルタイム解析結果表示装置ではL3解が表示される設定になっている。その他主要な解析の設定値について表－2にまとめる。なお、後処理で解析を行う場合、これらの設定は独自に編集を行うことが可能であるが、同一点の複数のRINEXファイルを連続処理することはできないため、一度に解析可能な期間が限られる。フィルタリングパラメータとして、観測局座標の予測値に対する許容誤差を与えることができる。

十勝沖地震時のデータを対象とした後処理解析では、試験的に「苦小牧」－「平取」から成る1基線のみを対象とし、48時間RINEXデータを作成して解析を実施した。L3解に基づく結果を図－18に示す。

#### (2) 3D Trackerによる解析

Condor社製3D Trackerは、三重位相差を用い、アンビギュイティを整数化せず常にフロートの状態で解を算出する。既製品であるため、解析設定上の制約が大きく、移動局の座標値と誤差以外のパラメータは得られないが、ユーザインターフェイスが確立されており、設定可能な環境設定に対しては容易な操作が可能となっている。フィルタリングは、Q値と呼ばれるパラメータを調整することで変更可能であるが、仕様上1エポック当たり10cmを超える瞬時の変動には追従できない。その他一般的な解析設定について表－2にまとめる。

十勝沖地震時データによる解析では、RTnetの場合と同様、「苦小牧」－「平取」基線に対し、48時間RINEXデータを作成し、Q値を1.0E-2及び1.0E-6の2通り設定して解析を実施した (Q=1.0E-2の場合については前半の28時間分のみ実施)。結果を図－17及び図－18に示す。

両者の結果から、地震時の大きな揺れに続いて小さな揺れが数分間継続する様子、co-seismicな変動量など地震活動に伴う多彩な情報を読み取ることができる。両者の解析結果は非常に調和的であり、相関を取ってもその値は極めて高い (図－19)。また、地震に伴う変位量 (地震の約1分前と約5分後の15秒間平均値を採用した) を旧GEONETの中央局管理装置で行われた精密暦解析結果 (地震前後の1日ずつの結果、及び5日前までと地震の5日後からの15日間平均) と比較すると (表－3)、リアルタイム解析同士の結果はどの成分も1 cm未満で良い一致を示すが、南北成分に対しては精密暦解析結果との間にやや大きな開きが見られる。精密暦解析結果を時系列で見ると (図－20)、この基線では南北成分について地震後約1ヶ月で2 cm程度の変動を見せており (恐らく余効変動によるものと思われる)、リアルタイム解析の短期的安定性も考慮すると、リアルタイム解析結果と精密解析結果との違いは地震後に生じた何らかの変動を表している可能性も考えられる。

以上から、適切な基線の選択を行ってれば、リアルタイム解析は地殻変動監視に十分通用するということが示されたといつて良い。

現状におけるリアルタイム解析の課題としては、

静穏時におけるノイズレベルの把握がまず挙げられる。図-16においても、顕著な地殻変動が確認されていない時間帯において数cm程度の解の変動が見られる。これは広域的な変動であることもあればそうでないこともあり、複数の要因が絡み合っている現象を引き起こしている可能性もある（3D Trackerに関しては、解の収束に長時間を要することが経験上知られている。グラフの前半に現れる変動は収束の過程であると考えられる）。

また、実際の地殻変動が生じたときに、変動の様子を正しく伝えていないと思われるケースが存在することも課題として挙げられる。十勝沖地震のケースにおいても、一部の基線では地震発生から変動に至るまでの時間が数十分に及ぶ結果が得られている。これは特定の観測局を基準局または移動局に指定した場合に見られるため、観測局固有の問題が生じていた可能性も否定はできないが、いずれにせよ、

変動量を目標とする時間内に把握できていないことから、原因究明と対策が求められる。

さらに、（これはリアルタイム解析上の問題ではないが）欠測防止策も緊急の課題の一つである。十勝沖地震の発生時、大多数の電子基準点では観測を継続していたが、通信障害を原因と思われるリアルタイムデータの欠け（約2～3時間）が北海道地域の電子基準点約40点で見られた。先に述べたとおり観測は継続していたため、データを受信機から手動でダウンロードすることで、定常解析に支障は出なかった（解析の遅れという影響はある）が、リアルタイム解析については、解析可能な点が非常に限られるという事態となった。これはシステムに起因する障害ではないとはいえ、緊急時にこそ真価を発揮するこのシステムにおいては致命的な問題点であり、今後解決すべき重要な課題の一つである。

表-2 「RTnet」及び「3D Tracker」における主な解析設定（通常時）

|                               | RTnet                                                | 3D Tracker                                 |
|-------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 最大観測点数                        | 50点*                                                 | 13点                                        |
| 観測量                           | LC+Widelane                                          | LC (Carrier & Code)                        |
| 仰角マスク                         | 15°                                                  | 15°                                        |
| 観測データ入力形式                     | RTCM2.2（後処理ではRINEX）                                  | RINEX                                      |
| 暦情報                           | IGS 予報暦または放送暦                                        | 放送暦                                        |
| 気象補正                          | Saastamoinen+NMF                                     | Modified Hopfield                          |
| フィルタリングパラメータ設定<br>（暫定値：現在調整中） | $\sigma=1.0E-2$ （地震動検出）<br>$\sigma=1.0E-6$ （精密変位量推定） | $Q=1.0E-2$ （地震動検出）<br>$Q=1.0E-6$ （精密変位量推定） |

注：\*大量の点を処理する場合には、約10点毎にクラスタを分割して分散処理を行う。

注：\*\*3D Tracker 自体は一度に1基線のみ解析可能であるため、ソフトを複数起動させて点数分の解析を実現する。

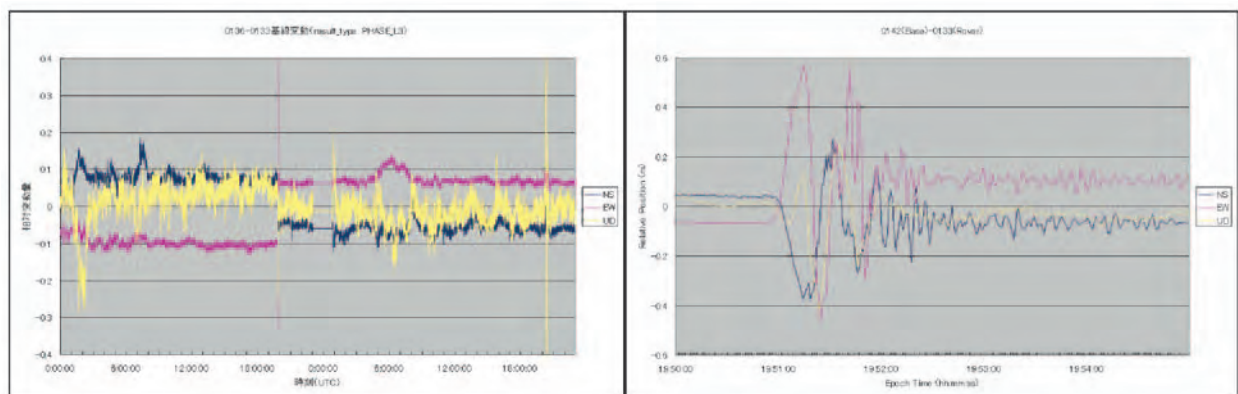


図-16 十勝沖地震前後における「苫小牧」-「平取」基線の「RTnet」による解析結果。  
左にUTC 0:00～翌24:00までの2日分を、右に19:50からの5分間を拡大表示する。  
青色が南北成分、赤色が東西成分、黄色が上下成分。

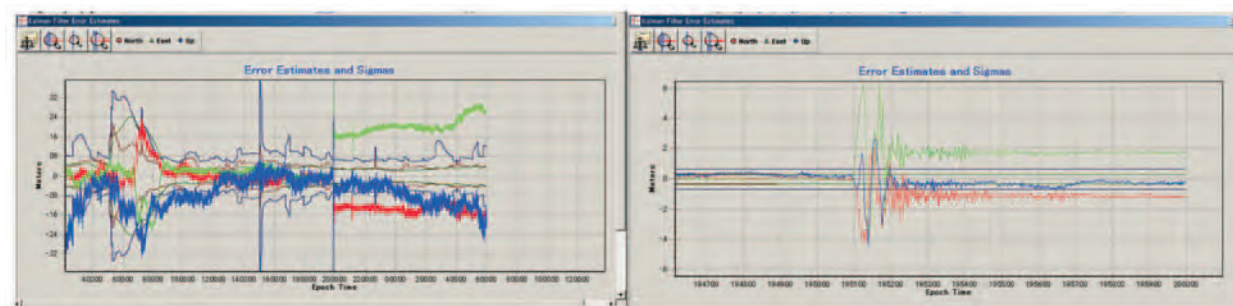


図-17  $Q=1.0E-2$ に設定した場合の、十勝沖地震前後における「苫小牧」-「平取」基線の「3D Tracker」による解析結果。

左にUTC 2:00～翌6:00までの28時間分を、右にUTC 19:50周辺を拡大したものを表示する。

赤色が南北成分、緑色が東西成分、青色が上下成分。

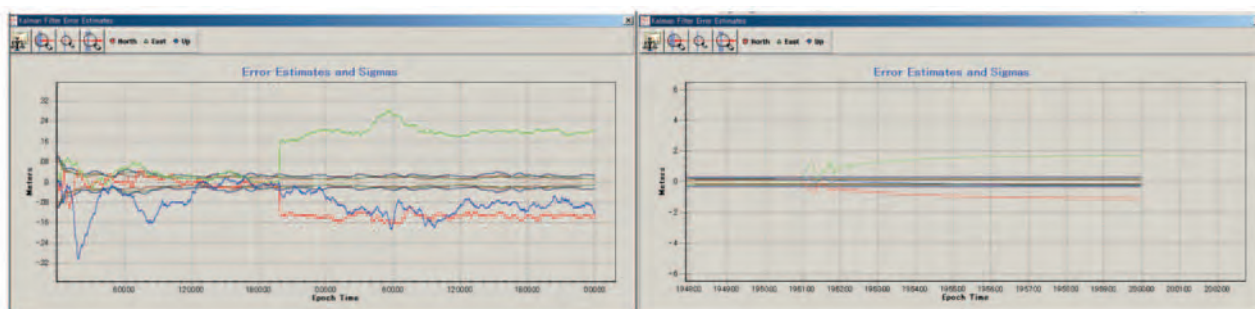


図-18 3D Trackerで $Q=1.0E-6$ に設定し同様に解いた場合の結果

表-3 2003年十勝沖地震における「苫小牧」-「平取」基線のリアルタイム解析／精密暦解析による変位量比較

|                 | 地震前後における変位量(cm) |        |       | 精密暦解析結果 (15 日間平均) との差(cm) |       |       |
|-----------------|-----------------|--------|-------|---------------------------|-------|-------|
|                 | 南北              | 東西     | 上下    | 南北                        | 東西    | 上下    |
| RTnet           | -10.54          | +16.32 | -5.55 | +4.49                     | -1.42 | +1.27 |
| 3D Tracker      | -11.11          | +16.79 | -5.11 | +3.91                     | -0.95 | +1.70 |
| 精密暦解析 (地震前後)    | -13.03          | +17.31 | -5.22 | +1.99                     | -0.43 | +1.60 |
| 精密暦解析 (15 日間平均) | -15.02          | +17.74 | -6.81 | 0                         | 0     | 0     |

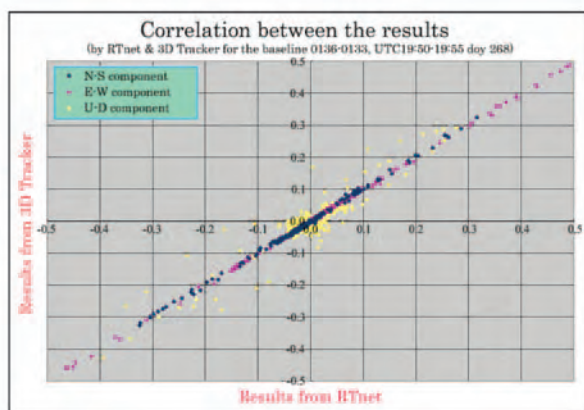


図-19 両者のリアルタイム解析結果の相関

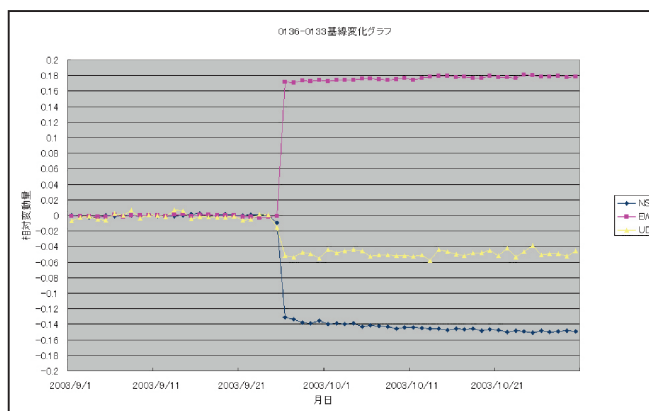


図-20 精密暦解析の時系列グラフ (苫小牧-平取)

新GEONETは、リアルタイム地殻変動監視ツールとしての新たな一歩を踏み出したところである。

これまでに述べたように、新システムでは急速に増大する需要に対応できるよう、様々な機能強化が図

られているが、その性能を最大限発揮させるには、更なる微調整と研究開発が必要である。また、運用を進めていく中で、今まで見過ごされてきたような新たな問題点などが浮かび上がってくることも予測される。そうした意味で、新GEONETはこれからも進化し続けるシステムであるといえる。今後、更なる調整と問題点の解消を進めていくことで、より高精度かつ高速な地殻変動情報の把握・提供が可能となり、ひいては防災に向けた迅速な情報提供のツールとして重要な役割を担うものと期待される。

### 1. 3 電子基準点の定常解析

#### 1. 3. 1 GEONETの定常解析戦略の変遷

GEONETの定常解析システムの解析戦略は、長年の運用の間に明らかになったシステムの欠点の改良や、最新のGPS解析モデルへの更新などのため、これまでに数度の改訂が行われてきた。特に大きな改訂は1996年3月の運用開始以来、今回を含め2回ある。ここでは、1996年3月以降現在までのGEONETの定常解析の変遷について簡単にまとめる（表－4）。なお、1996年以前に運用されていた南関東・東海地域のCOSMOS-G2網（岩田，1994；Sagiya et al., 1995）と全国100点からなるGrapes網（飯村他，1995；Miyazaki et al., 1996）のシステムは共にGEONETの前身だが、これらについては触れない。

#### （1）GEONET初期の解（F0，J0）

1996年の発足当時の解析システム（飯村他，1997；Miyazaki et al., 1997）で用いられていた解析戦略をF0およびJ0という記号で呼ぶことにする。F0とJ0の違いは解析に使用する暦である。F0は観測後2～3週間後に得られるIGS最終暦を用いて解析された最終解である。J0は速報解で、後に速報暦と予測暦を組み合わせた「組み合わせ暦」を用いて計算された。なお、表－4には挙げていないが、1996年時点では放送暦を用いた解析が試験的に行われていた。J0の解析が始まったのは1997年の途中からである。

#### （2）解析モデルの改良とデータの再解析（F1，J1）

F0，J0の解析にはアンテナ位相特性をはじめとしていくつかの問題が指摘されていた（Hatanaka et al., 2001a, b; Hatanaka, 2003a）。海洋潮汐荷重変形が考慮されていなかった他、その他の潮汐モデルや大気などのモデルにもやや古いものが使用されていた。また、運用しながらバグ修正や改良が順次加えられたが、計算機能力の不足などのために全データの再解析を行うことは現実的にできなかった。そのため、解析仕様が時期によって不均一で、長期的な地殻変動の傾向を議論する際の障害の一つとなっていた。

そこで、F0およびJ0の問題点を解決し、最新の解析モデルを適用して、定常解析戦略を更新したものがF1およびJ1である。その内容についてはHatanaka et al. (2003) に詳述されているが、主要な改良点は以下の通りである。

- 1) アンテナ架台タイプ毎の位相特性モデル（Hatanaka et al., 2001a）を適用した。
- 2) 海洋潮汐荷重変形をMatsumoto et al. (2000) のモデルのうち主要11分潮を用いて補正した。
- 3) 固体地球潮汐モデルを更新し、ITRF Conventions 1996（McCarthy, 1996）の2ステップの補正を全て行うようにした。
- 4) ITRF Conventions 1996（McCarthy, 1996）による極潮汐および潮汐による地球回転変動の補正が加わった。
- 5) 大気遅延推定手法を、F0では全遅延量を推定していたが、F1では静水圧遅延をnominalなモデルで差し引き、水蒸気遅延を推定するよう変更した。
- 6) 大気遅延量の補正／推定のモデルにNiell (1996) のマッピング関数を採用した。
- 7) 基準座標系をITRF97に統一した。

F0およびJ0の問題を解決するためには、単に解析システムを改良するだけでなく、一様な解析戦略の下に過去のデータを再解析することが必要であった。F0，J0の時代に再計算が困難だった理由の一つは計

表－4 GEONETにおけるこれまでの定常解析の一覧

|                        | 戦略ID | 暦        | セッション | 頻度           |
|------------------------|------|----------|-------|--------------|
| GEONET 発足時<br>(1996 年) | F0   | IGS 最終暦  | 24 時間 | 1 週間分を 1 週間毎 |
|                        | J0   | 組み合わせ暦   | 24 時間 | 1 日毎         |
| Hatanaka et al. (2003) | F1   | IGS 最終暦  | 24 時間 | 1 週間分を 1 週間毎 |
|                        | J1   | 組み合わせ暦   | 24 時間 | 1 日毎         |
| 新システム                  | F2   | IGS 最終暦  | 24 時間 | 1 週間分を 1 週間毎 |
|                        | R2   | IGS 超高速暦 | 24 時間 | 1 日毎         |
|                        | Q2   | IGS 超高速暦 | 6 時間  | 3 時間毎        |