

火山噴火・地震などの発生予測のための準リアルタイム地殻変動状況把握技術の開発  
 ー災害情報を活用した迅速な防災・減災対策に関する技術開発及び推進方策の検討ー  
**A Development of the Semi-Realtime Monitoring Technique of Crustal Deformation  
 for the Prediction of Volcanic Eruption and Earthquake Occurrence  
 - A Study on Technical Development and Promotion of the Rapid Action  
 for Disaster Prevention and Hazard Mitigation Utilizing the Disaster Information -**

地理地殻活動研究センター 今給黎哲郎<sup>1</sup>

Geography and Crustal Dynamics Research Center Tetsuro Imakiire

## 要 旨

平成 15 年度～平成 17 年度の 3 箇年で実施された「災害情報を活用した迅速な防災・減災対策に関する技術開発及び推進方策の検討」（平成 15 年度当時は「リアルタイム災害情報システムの開発」として開始、平成 16 年度に改題）の中で、主に火山地域の噴火前の地殻変動を想定して、電子基準点リアルタイムデータにより 10 分以内の短時間で 1 cm 程度の変動を検出する手法の開発を行い、1 時間以内にその地殻変動モデルを作成するシステムの試作を行った。

### 1. 開発目標

火山災害については、2000 年の有珠山噴火及び三宅島噴火の例に見るように、マグマの動きが地震や地殻変動などの地殻活動からある程度推測できる可能性がある。そのような場合には、噴火様式を予測し、適切な避難行動をとることで人的被害を避けることができるケースがあると考えられる。今回の研究開発では、リアルタイムに収集される GPS 連続観測点のデータを 1 秒ごとに解析し、速やかに力源モデルを推定することで、準リアルタイムで生起している現象を理解し、電子国土を利用した情報共有システムを通じて関係者に周知するための手法を開発することを目標とした。

### 2. 開発項目

前項の目標を実現するため、国土地理院が全国に展開している GPS 連続観測網(GEONET)の 1 秒ごとの観測データをリアルタイムに解析処理し、観測点(電子基準点)の位置の変化を追跡することと、変動が検知された場合には、その変動量から地殻変動の原因となった地下の現象を推定することが必要である。そのような機能を実現するために、以下の項目についての開発を行った。

#### 1) 複数観測点の同時リアルタイム解析処理手法の開発

電子基準点から得られるリアルタイム GPS データから、監視対象地域にある複数の点について、リア

ルタイムに座標値およびその変化を把握する解析処理手法を開発する。目標として 10 分以内に 1 cm レベルの変動があった場合、検出が可能となる処理手法を開発する。

#### 2) リアルタイムデータ監視システム構築

リアルタイム解析処理で得られた地殻変動を引き起こしている要因について、準リアルタイムにモデル化することで半自動的に力源モデルを推定し、危険の予測に資するリアルタイムデータ監視システムを構築する。1) のリアルタイム解析処理手法を取り入れたリアルタイム解析処理システムと、2) のリアルタイムデータ監視システムからなるとした地殻変動監視システムを開発する。これにより観測された変動に基づいて、1 時間以内(準リアルタイム)に半自動的に逆解析でモデルを作成することのできる監視システムを開発した。

### 3. リアルタイム解析システムの構築

1 秒サンプリングの GPS データを解析処理するソフトウェアとしては、従前から RTK (リアルタイムキネマティック) 処理を行うソフトウェアがあり、国土地理院でも用いられていた。しかし、従来の RTK 手法では、整数値バイアスの決定のために「初期化」という操作が必要であり、一瞬でもデータが中断すると、短距離の基線でも 1～2 分の測位の空白が生じる欠点があった。火山噴火などが切迫した状況では、監視のために可能な限り途切れることなく測位結果が得られるロバストなシステムが望ましい。このような要求にこたえるため、データの解析には 1 エポックで整数値バイアスを決定できる RTD (Real Time Dynamics) と呼ばれる新たな基線解析アルゴリズムを用いたリアルタイム GPS 解析処理システムの試作機開発を実施した。また、この試験機の導入が定常運用されている GEONET のデータ管理・解析システムに影響を及ぼさないよう、データは分岐して PROXY サーバ (リアルタイム情報通信制御装置) 経由で試験機の解析処理サーバに送られ、独立した処理を行おうに設定して試験運用を行った。図-1 にシステム構成を示す。

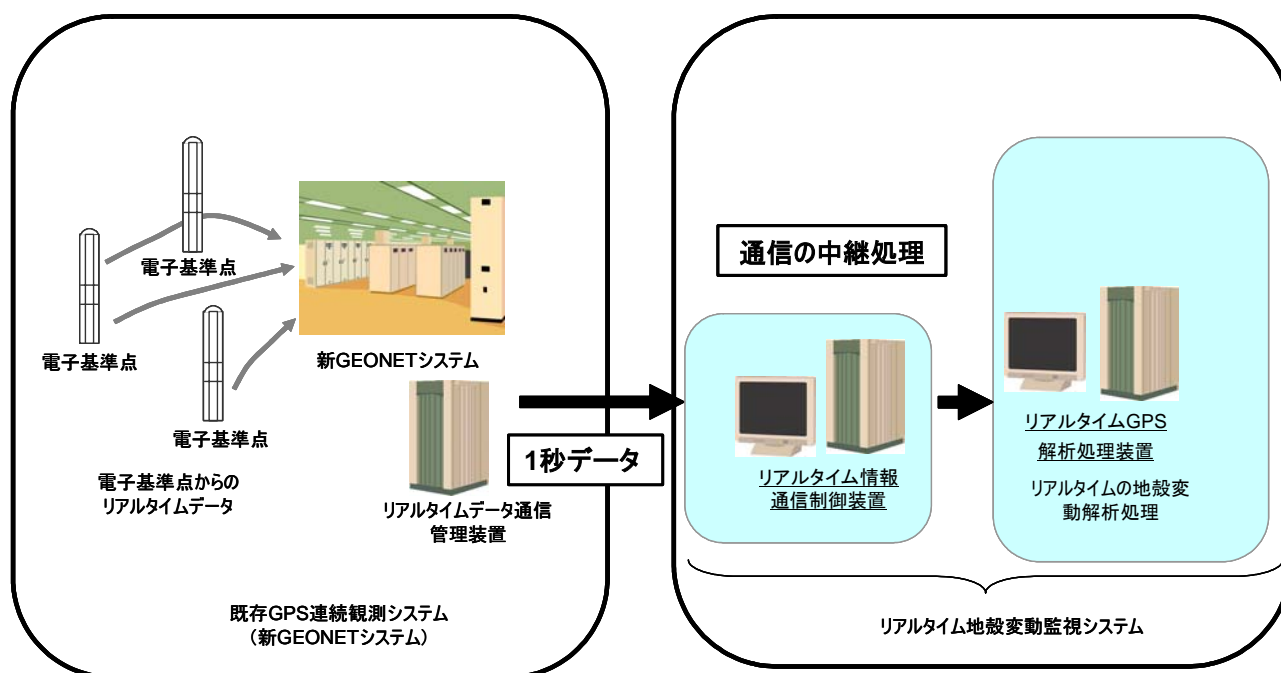


図-1 リアルタイム解析処理システムの構成

#### 4. 試験運用と解析機能の確認

平成15年度にリアルタイムGPS解析処理システムの試作機を導入し、平成16年度には試験的運用を行うこと、それによる解析機能の確認及び試験運用で確認された課題に関する機能の改良・改造を行った。1秒データを用いたリアルタイム解析の運用では、伊豆半島東部において、固定点1点から他の29点の1秒ごとの座標値を解析計算することを試みた。その結果、長期連続運用を実施した際、画面への表示データ量が増加する事から処理速度等が低下すること、解析結果のばらつきが数cmになることもあるため、信頼度も併せて評価する必要などが確認された。前者についてはグラフの描画方法を変更して対応するとともに、GEONETの時系列解析結果出力について、国土地理院において標準的に利用している基線長変化グラフへの対応を行った。後者については、リアルタイム基線解析において解析精度に影響を与える様々な要素を画面表示する対応を行った。例えば、DOP値については、解析結果のグラフ上に表示するドットの色を変更して示す画面設定を可能とする改造を行った。

#### 5. 高速地殻変動検知

試験運用では、対象とする地域が限定されているため、実際の地殻変動が検出されるような場所での観測はできなかった。しかし、2004年10月23日に発生した新潟県中越地震発生時のGEONET1秒サンプリングデータの後処理解析により、地震時の地盤変動の検出と地震計観測データの比較を行い、1Hz変位計としての機能を十分果たすことを検証することができた（図-2）。また、30秒サンプリングデータの後処理解析により、本震後に連続して起こった余震群による地殻変動の進行を捉えられることを確認した（図-3）。後処理の場合もリアルタイム処理と同じアルゴリズムによるRTD解析が行われている。これによって、本システムで進行する地殻変動を短時間で検知できる可能性が示されたと言える。

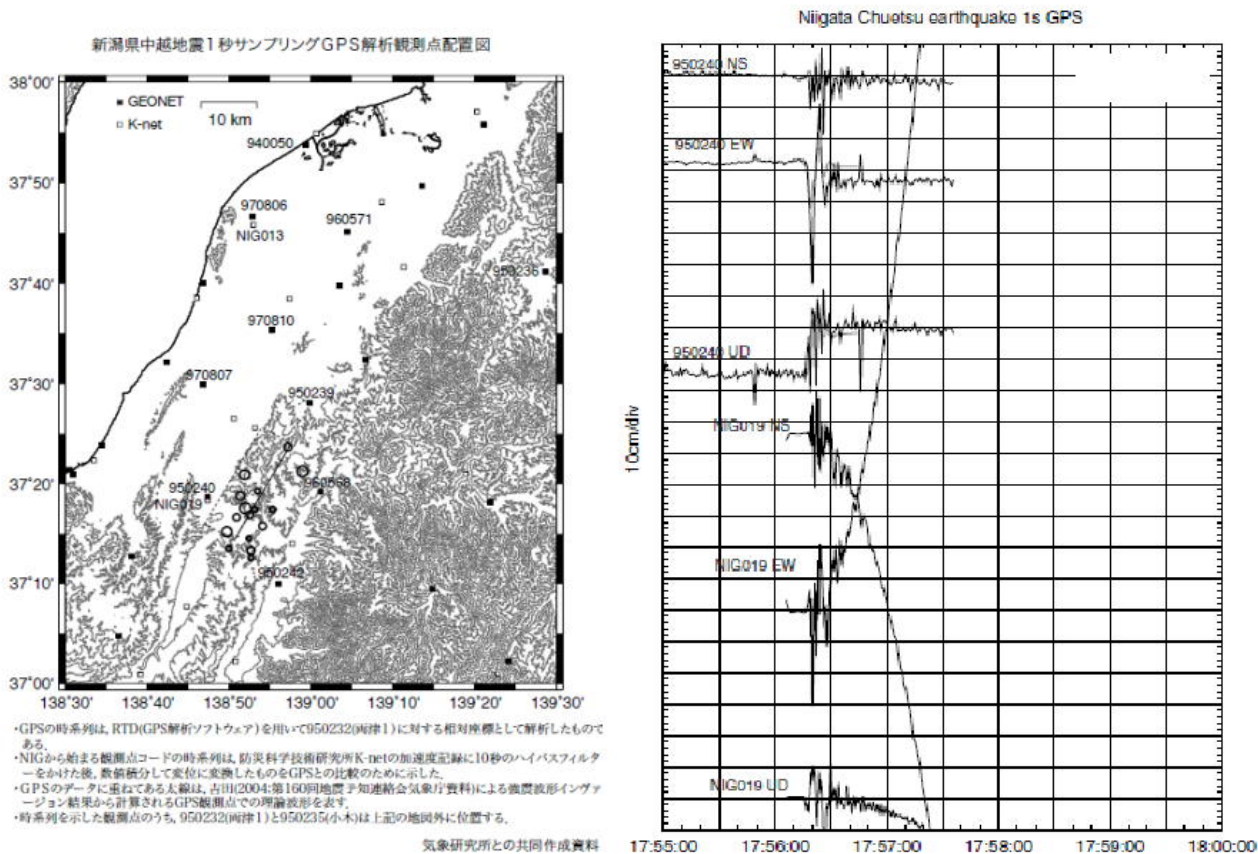


図-2 1秒サンプリングデータによる小千谷観測点の変位と近傍の加速度計記録の積分による変位の比較

## 試験観測データによる検討

### —新潟県中越地震の例—

Baseline: 新潟下田020961-守門960568 (日周補正後) 基線長 約25.8km

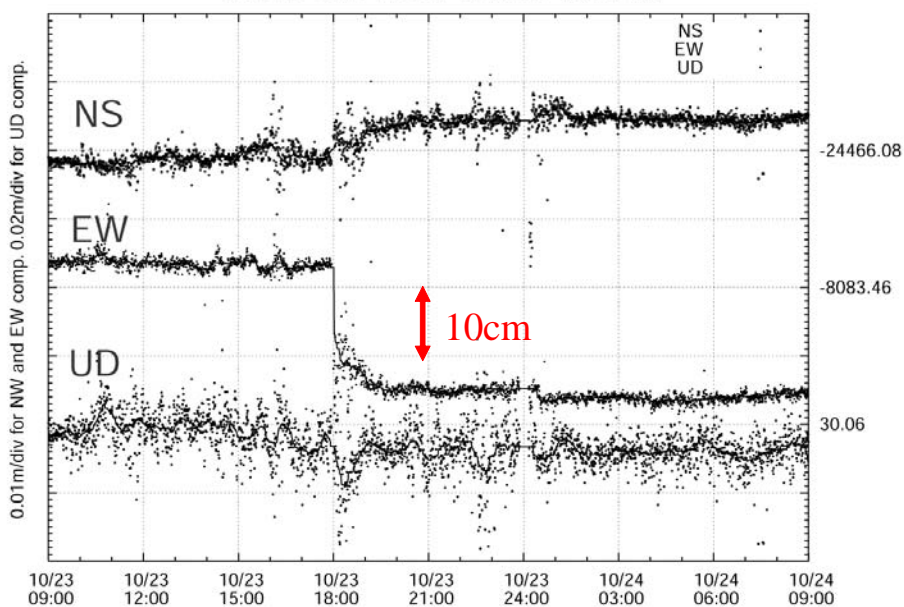


図-3 30秒サンプリングデータによる本震を含む1日の地殻変動。本震後2時間程度の間に変動が進行している様子が確認できる。

## 6. リアルタイムデータ監視システム

エポックごとに処理されたデータは電子基準点間を結ぶ基線ベクトル（相対的な位置関係）の各成分の時系列である。その中に地殻変動の情報が含まれているが、このままでは、防災関係者が直感的に地下で起こっていることを理解するのは容易でない。そこで、より人間にとって認識しやすい形に表現する必要がある。それには、まず地面の動きを矢印等でわかりやすく表示するとともに、そのような変動をもたらしている地下の原因（力源）のモデルをグラフィックに表現して地図に示すことが有効である。しかも、それは危険の予測を行うのに間に合うタイミングで、速やかに行われねばならない。本プロジェクトでは、地殻変動を引き起こしている原因を、1時間以内（準リアルタイムに）モデルとして推定することを目標とした。

観測結果の表示、およびモデル作成とその結果の表示については、国土地理院で運用の実績のあるデータ解析・表示システムである GPS Viewer と、電子国土 Web の活用を想定して開発を行った。

### 6. 1 データ出力形式の調整

解析結果の変動ベクトル図、地殻変動力源モデル図を共通のプラットフォーム上に表示するために、結果の出力形式についての調整を行った。測位計算を行うリアルタイム GPS 解析処理装置に組み込まれた RTD からの連続的出力形式として、既存のモデル作成用解析システム (GPS Viewer) に入力する標準形式であり GEONET の標準的な出力形式との互換性を持つ POS 形式を選択可能とした。また、解析された基線ベクトルの時系列変化グラフの配布・Web 掲載を容易にするため、定期的に PDF ファイルとして出力することにも対応した。

さらに、解析処理サーバから出力されたデータからの基線長ベクトル時系列グラフを定期的に PDF 形式でアーカイブする機能、GPS Viewer によるベクトル図を電子国土表示用の JSIGI 形式に変換する操作を行うデータマネージャを装備した解析結果管理サーバを開発した(図-4)。このサーバを通じて、観測点選択、固定局選択等の観測のための設定と解析結果の閲覧を Web 上で行うための設定、データ変換の操作等が簡便に行えるようになった。

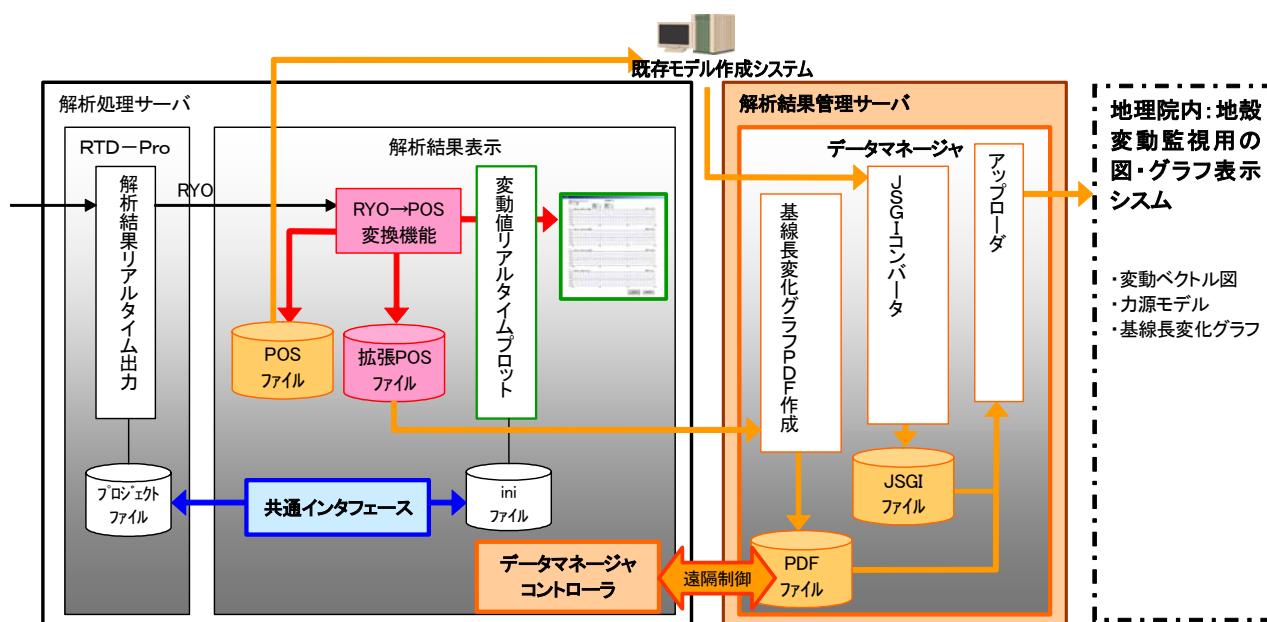


図-4 解析結果管理サーバの機能とデータの流れ

### 6. 2 電子国土 web システムとの連携

試験運用では、解析結果管理サーバでデータを JSGI 形式に変換し、アップローダにより地理院内の表示システムにデータをアップロードすることとしているが、JSGI 形式のデータであれば、そのまま電子国土 WEB システムで重ね合わせて表示することも可能である。本総合技術開発プロジェクトの他機関担当分で開発された災害情報共有システムのサーバ

などへも重畳できる。公開用のサーバにアップロードすれば、現在進行中の地殻変動とその原因として推定される力源モデルを関係者が速やかに地図上で確認できることになる。情報共有システムへのデータの流れは図-5に示した。これにより、情報の受け手は、電子国土の基図の上で地殻変動の様相やその原因となっている力源モデルを表示させ、位置関係を把握しながら生じている現象を理解できる。

## 情報提供プラットフォームへのデータ重畳

・個別の災害情報を電子国土WEBシステムで用いられる形式の位置情報(JSGI形式)と関連づけて作成,JSGIデータを読み込むと基図上への表示、及び基図からの呼び出しによる詳細情報が表示される。

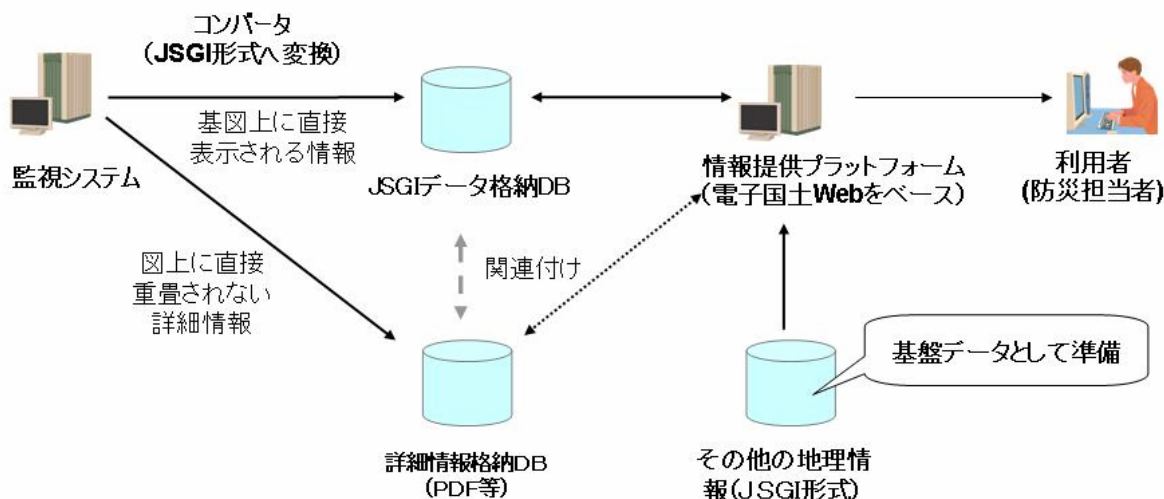


図-5 情報共有のためのデータの流れ

### 7. 課題と今後に向けて

試験運用を行った結果、地震の発生のような場合、1 cm レベルの地殻変動があれば検出は可能であることが確認できた。しかし、数時間をかけて1~2 cm 変動するような場合には、他の誤差要因との分離が短時間では必ずしも行えない。誤差による変動幅が地殻変動量と同程度 (S/N が1に近い) になるため、自動的に変動量を決定することは難しい。

誤差要因によっては、測位計算時のアンビギュエティのミスフィックスのように、グラフ表示上から読み取れるものもあるが、短時間で自動判別するアルゴリズムを用意することが困難であり、人間が判断する必要がある。また、モデルの作成については、推定を行う際の初期値に依存する要素が大きく、変動が進行していく場合には、自動的に計算を反復した際に最適解から外れると、現実と乖離してしまう恐れがある。

結果として、短時間での解析処理、モデル作成を行うことは可能であるが、自動的に全ての動作を行うおうとすると、それによって得られた情報の信頼度

は低く、防災情報として直接用いることにはまだ適さないと判断された。しかし、処理自体の速度はこれまでと比較して大きく向上しているため、監視や地殻変動評価を行う担当者がこのシステムを用いれば、目標とした1時間以内に適切なモデルを作成し、それらを防災担当部局に発信することは十分可能である。火山の災害が発生する場合には、全くの突然に噴火や爆発が起きるものではなく、火山性の地震や噴煙・熱的現象等が活発化して噴火に至る。監視を強化する段階でこのシステムによるリアルタイム地殻変動監視を導入すれば、変動源の推定を速やかに行うことが可能であるため、十分防災目的には活用可能であると考えられる。

噴火前の局所的かつ微小な変動を捉えることを目標とし開発を進めたが、その過程で、津波地震のような現象を捉えるために広域かつ大規模な変動を短時間で検出するニーズがあることが提示された。RTD手法は遠距離の測位精度に原理的な困難があるため、新たな開発が今後必要であると考えられる。

### 参考文献

国土交通省(2006):災害情報を活用した迅速な防災・減災対策に関する技術開発及び推進方策の検討総合報告書。