

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

全国ひずみ・傾斜データの流通と一元化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

(3) 地震・火山現象に関するデータベースの構築

ア．地震・火山現象の基礎データベース

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

(1) 地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化

ア．日本列島域

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

ひずみ計や傾斜計などは、数週間以内の周期帯においては GPS よりも高感度なセンサーであり、地震発生に至るプレスリップやスロースリップの検出において大きな役割を果たすものである。また、そのセンサーの特性は、津波地震や連動型地震など広帯域地震計でも計測が困難ながら、甚大な被害を及ぼすような地震の観測を直接行える唯一の機器である。このような特徴をもつひずみ・傾斜計のデータを統一フォーマットで全国流通・一元化・公開して日本列島全域にわたるアレー観測網を構築し、データ同化や地震発生先行過程などの研究を推進するのに利用しやすいようなデータベースを構築する。また、一元化されたデータを用いて、連動型地震や津波地震にも対応したリアルタイム量的津波予測システムの開発を目指すとともに、ひずみ地震動の超広帯域性を生かして特異な地震の震源特性解明についても試行する。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度においては、関連研究機関によるデータ流通の基本となる統一フォーマット策定を行う。また、データ利用規約の策定とその発効作業を行う。

平成 22 年度においては、データの試験流通実験およびデータベースの試験運用を開始する。データ収録用 PC を北日本地域・中日本地域・南日本地域に設置する。

平成 23 年度においては、試験運用で明らかになった問題点の改良を行うとともに、過去のデータのアーカイブ方法について検討を開始する。

平成 24 年度においては、本格運用に移行する。このネットワークを用いたモニタリングシステム(主に連動型地震即時パラメータ決定による津波予測)の設計概念について検討する。

平成 25 年度においては、本格運用における問題点を改良してシステムの安定運用をはかるとともに、上記モニタリングシステムのプロトタイプの開発を目指す。

(7) 平成 22 年度成果の概要：

地殻変動連続観測等データの試験流通の継続

昨年度開始した地殻変動連続観測等データの試験流通試験を本年度も継続して実施した。データの流通には、リアルタイムパケットデータ流通には全国地震観測データ流通システム（JDX網）を利用し、それ以外のデータはftpプロトコルを利用したデータ流通方式を採用している。昨年度から試験流通を行っている北海道大学・東北大学・国立天文台水沢VERA観測所江刺地球潮汐観測施設・東京大学地震研究所・名古屋大学・財団法人地震予知総合研究振興会東濃地震科学研究所・九州大学に加え、京都大学防災研究所・鹿児島大学・北海道立総合研究機構地質研究所のデータについても試験流通が開始された。なお、神奈川県温泉地学研究所のデータは協定書の発効と同時に接続される予定である。データの種類は、ひずみ・傾斜に加え、短周期地震計・長周期地震計・重力・気圧・気温・水位など、winパケット方式となっていればいかなるデータでも取り込み可能である。特に西日本において接続観測点の増強が行われたことにより、日本列島全域でのアレーとしての機能をさらに強化することができた。現在、74観測点506チャンネルのデータが試験流通中であるが、顕著なパケットの欠落などの不具合は確認されておらず、JDX網を用いて安定的なデータ流通が行えることが実証されつつある。なお、データのサンプリング周波数は1 Hz以上であり、多くの観測点では地震観測と同じく100Hzでのデータが流通している。このため、いわゆるひずみ地震動帯域から直流帯域までのあらゆる周波数帯域での解析が可能となっている。

突発的な大地震・火山噴火時に威力を発揮することが期待される機動的な地殻変動観測システムの試験運用も行った。このシステムは、大地震や火山噴火などの突発的な事案が発生したときに、地表設置型気泡式傾斜計や浅層観測井型傾斜計など比較的容易に設置が可能な地殻変動観測機器のデータを携帯電話用ルーターとデータ通信携帯電話端末を介してIPパケット公衆網通信を行うことで、臨時観測点データのリアルタイム伝送を迅速に可能にするものである。特に火山噴火では、地殻変動の観測データがそのメカニズムの解明や活動推移の予測に大きな役割を果たす。2011年1月26日から霧島新燃岳の本格的な噴火活動が始まったが、噴火活動に伴う詳細な傾斜変化を観測するために、九州大学は新燃岳より約4kmの地点に気泡式傾斜計を緊急に設置し、そのデータのNTT Docomoの公衆パケット通信網を用いたテレメータによりリアルタイム伝送を1月31日より開始した。このパケットデータは、現地（鹿児島県霧島市）の携帯電話端末（Docomo L-05A）より札幌の北海道大学の受信ポートに直接送られ、そこからJDX網を用いて九州大学へリアルタイムに転送されるとともに、データベースサーバーにおいて一元化データの一部として収録され、火山活動のモニタリングに利用されている。従来のように地上電話回線を用いる場合に比べ設置場所を選ばず設置時間も非常に短縮できること、JDX網を用いることにより多くの機関へのリアルタイム配信が可能となることから今後より広く活用すべき手法であり、今回の実証試験ではその有効性と実用性を同時に示すことができた。

地殻変動データベースサーバーの開発の継続

昨年度に引き続きJDX網等を用いて試験流通している地殻変動連続観測等データの一元的集約を担うデータベースサーバーの開発を継続した。以前からあった任意時間軸でのデータ描画・フィルタリング・データダウンロード・Baytap-G (Tamura et al., 1992) による潮汐解析機能に付け加え、以下のような新たな機能を追加した。1) 任意のパラメータによるフィルタ機能 (fc, fl と fh の任意入力による低域通過・高域通過・帯域通過の選択が可能)、2) 任意の方向でのひずみ解析機能、3) ストリーミングひずみ解析機能 (大久保ほか, 2008) で解析ウィンドを600サンプリングで設定できるようにした。これにより、たとえば1時間サンプリングなどのデータに対して長期間での解析を行うことを可能とした。4) 積算振幅表示機能。通常の高感度地震計や広帯域地震計などの自乗振幅時間変化・振幅積算を表示可能とし火山性微動の時間変化などを追跡できるようにした。5) 気象庁およびGlobal-CMTの震源リストに基づき自動的にひずみ地震動波形のサムネイルを作成するとともにGlobal-CMTとNIED-CMT解を自動的にダウンロードして震源情報として一元的なアーカイブを作成する機能を追加した。6) 上記メカニズム情報から断層を設定し各観測点での理論主歪をOkada(1992)により計算する機能を追加した。7) 任意の断層モデルを入力することにより各観測点での理論主歪をOkada(1992)により計算する機能を追加した。

データベースサーバーの公開運用に備えユーザー数の増加に対応するためのシステム設計を行った。具体的には、サーバーを正副2台体制としてバックアップ機能を持たせた。また、同時に多数のユーザーがアクセスして負荷が集中するのを防ぐため、ログインポイントにロードバランサーを装備し、正副2つのサーバーに自動的に負荷分散を行うような構成とした。これにより、大地震や火山噴火などのイベントが発生しユーザーアクセスが増加した場合にもある程度対応可能なシステムとなったが、今後、負荷実験などを行ってより安定的な運用が出来るようなシステムに向けた改良を行う予定である。昨年度設置した南日本地区サーバー（鹿児島大学）においてもデータの一元的受信実験を継続してシステムの分散管理試験を継続している。今年度設置予定であった中日本地域サーバーは、運用上の問題から来年度以降の設置とした。

協定書の策定

データの流通・一元化を行うにあたり、昨年度策定した「関係機関より提供を受けた地殻変動連続観測等データの流通及び利用に関するガイドラインについて」を発効させるための「地殻変動連続観測等データの流通及び利用に関する協定書」の策定を行った。この協定書の最終的な文書は3月末に行われる打ち合わせ会で確定予定であり、持ち回りによる各機関長による調印の後、ガイドラインとともに発効の運びとなる予定である。

各機関へのシステムの紹介・説明および意見交換

来年度以降のシステム公開に向けて、現在進めている流通・一元化のコンセプトとプロセスについて関係機関への紹介・説明、および地殻変動連続観測等に関する意見交換を行った。具体的には以下の機関に出向いた。気象庁地震火山部地震予知情報課、気象庁地震火山部精密地震観測室、国土地理院測地観測センター、防災科学技術研究所。これらの機関とは、今後も意見交換を継続するとともに、将来のデータ流通の可能性について引き続き協力をお願いして行きたいと考えている。

霧島新燃岳噴火に伴う流通一元化データの迅速な公開体制の整備

2011年1月26日より霧島新燃岳での本格的な噴火活動が始まった。この火山周辺には、鹿児島大学と東京大学地震研究所が共同で運用している霧島火山観測所に傾斜計が、京都大学防災研究所宮崎観測所伊佐観測室に3成分ひずみ計が設置してあったほか、九州大学は噴火を受けて1月31日より大浪池において傾斜計の観測を開始した。これらのデータは、JDX網およびftpプロトコルを通じてリアルタイム、あるいは準リアルタイムにデータベースサーバーにデータが収録されており、火山活動に伴うひずみ・傾斜変化を高精度で記録されている。これらのデータは、霧島新燃岳の活動監視・活動推移予測に重要であるため、急遽メーリングリストによって緊急的にデータの限定公開を行うことに対する審議を行い、その結果を受けて2月3日に開催された火山噴火予知連絡会拡大幹事会において監視学術機関での監視目的に限りデータベースサーバーおよびデータを臨時的に公開とする文書を資料として提出した。

霧島新燃岳噴火総合観測班へのデータベースソフトウェアの提供および運用

霧島新燃岳噴火総合観測班（班長：森田裕一東京大学地震研究所教授）の依頼を受け、気象庁・防災科学技術研究所・大学のひずみ・傾斜等地殻変動連続観測等のデータを一元的に閲覧可能なシステムの提供および運用を実施した。具体的には、我々が開発したデータベースサーバーを総合観測班用のマシンに移植するとともに、モニタリングに特化した機能を特に重視した仕様にカスタマイズした。これにより、上記機関のデータが一元化されて情報共有が可能となり、異なる機関の観測データの相互比較が飛躍的に容易に行えるようになった。アカウントは気象庁・防災科学技術研究所・大学等に配布されており、霧島火山のモニタリングの向上に大きく貢献している。

メーリングリストの整備

本課題を推進するにあたり、より良いシステムを構築するためにデータ提供機関以外で、永年地殻変動連続観測およびそのデータ解析を実施してきた機関にも広く参加を要請し、情報交換のためのメーリングリストを拡充した。このリストには、研究者に限らず、観測の実務を担っておられる技術職員の方々にも広く参加いただいております。より実務的な作業を迅速に行えるような体制の整備を行うことができた。

流通一元化データを用いた解析

@ 2010 年 2 月 27 日チリ地震のひずみ地震動および津波による荷重変形の観測

2010 年 2 月 27 日に発生したチリ地震により、全国の観測点でひずみ・傾斜地震動および、翌日日本列島に到来した津波による荷重変形によるひずみ変化が観測された。東北大学の宮古観測点では、10-9 オーダーの P 波初動部分が高い S/N で観測されたが、1960 年チリ地震の際に見られたような、P 波より前の部分のゆっくりとしたシグナルは見出せなかった。また、海岸に近い観測点においては、翌 28 日に到達した津波の荷重変形によるシグナルが検出された。潮位計との比較では、数 cm 程度の津波でも充分識別可能なひずみ変化が記録されておりその感度はたとえば北海道大学のえりも観測点では潮位 10cm あたり 4 ナノストレインに相当であった。また位相もほぼ同位相であった。これらの事実は、ひずみ・傾斜計が津波センサーとしても十分に利用できることを示している。特に、潮位計で計測不能な巨大津波が発生した場合には、それをリアルタイムに計測できるセンサーとして大きな役割を果たすことが期待できる。

@ 2009 年のトンガサモア地震のひずみ地震動に関する検討

2009 年にトンガサモアで発生した地震は、アウターライズ型地震とプレート境界浅部での低角逆断層地震がほぼ同時に発生したことが指摘され、いずれの地震が先行したか議論がされている。この地震のひずみ地震動は全国のひずみ計で記録されておりそのデータはデータベースサーバーにアーカイブされている。はじめに P 波到着時のひずみ地震動を精査した。全国のひずみ観測点での記録をすべて確認し、もっとも S/N 比がよく記録されていた東北大学の村山観測点では 10-10strain レベルで波形の確認を行ったが、プレート境界浅部のすべりに対応するようなゆっくりとした変化は認められなかった。次に、S 波到着部の精査を行った。ひずみ計の記録には、直達 S 波到着の 90 秒程まえから、非常にゆっくりとした変化が認められた。その振幅レベルは 3×10^{-9} strain という非常に微小なひずみ変化である。このゆっくりとした変化は複数の観測点で認められセンサーの個体に起因するものではないことが確認された。隣接する F-net の STS-1 や STS-2 の速度波形との比較を行ったところ、STS-1 では確認できるもののその S/N はひずみ計のほうが一桁以上優れていることがわかった。STS-2 ではほとんど視認できない。このゆっくりとした変化は W-phase と考えられるが、高いサンプリングのひずみ地震動波形は STS-1 以上の S/N 比をもっていることが示され、広帯域地震計としても充分利用できること実際のデータの比較から示された。

@ 2011 年 1 月末から始まった霧島新燃岳の火山活動に関する地殻変動

霧島新燃岳では 1 月 26 日より本格的な噴火活動が始まった。噴火は 3 回の準プリニー式噴火から始まり、それに続いて新燃岳のクレーター内に溶岩の噴出が発生した。新燃岳から約 5km 離れた東京大学地震研究所霧島火山観測所では、鹿児島大学と東京大学地震研究所が共同で気泡式傾斜計による観測を実施していたが、一連の噴火活動にともなう傾斜変化を明瞭に記録していた。また、約 20km 離れた京都大学防災研究所地震予知研究センター宮崎観測所伊佐観測室ではスーパーインバー式 3 成分ひずみ観測を実施しているが、ここでも噴火活動に伴うひずみ変化を明瞭に記録している。霧島火山観測所では、一連の活動中全体にわたるゆっくりとした傾斜変化が記録されたほか、3 回の準プリニー式噴火に伴う短時間の傾斜変化も明瞭に同定される。伊佐観測室のひずみ計でも同様な傾向がみられ、活動全体におけるゆっくりとしたひずみ変化のほか、3 回の準プリニー式噴火にともなうステップ状のひずみ変化も記録されている。これらのひずみ変化は、地下にあるマグマ溜まりの収縮過程を表しているものと考えられる。現在はこれに加え九州大学が臨時に設置した傾斜計 2 箇所が加わっており、空間的に異なった距離に複数の観測点が配置されることで深部と浅部のマグマ活動の分離を行うことが可能となっている。現在、一元化収録されたデータを用いて、マグマ溜まりの位置の推定、収縮体積の推定、マグマ移動の追跡などの解析が行われているほかリアルタイム監視も実施されており、今後の活動予測を行うにあたり重要なデータを提供しつつある。

追加共同研究機関：神奈川県温泉地学研究所、地方独立法人北海道総合研究機構地質研究所。

鹿児島大学大学院理学研究科・東京大学地震研究所・北海道大学大学院理学研究院，霧島火山観測所での傾斜観測，火山噴火予知連絡会拡大幹事会資料，2011．

京都大学防災研究所・北海道大学大学院理学研究院，伊佐地殻変動観測室での主歪方向の変化について，火山噴火予知連絡会拡大幹事会資料，2011．

高橋浩晃・田村良明・三浦哲・加藤照之・原田昌武・本多亮・浅井康広・大久保慎人・伊藤武男・鷺谷威・加納靖之・松島健・中尾茂，全国のひずみ・傾斜計で記録されたチリ地震の地震波と津波，日本地球惑星科学連合 2010 合同大会予稿集，MIS050-P14，2010．

高橋浩晃・山口照寛・三浦哲・立花憲司・出町知嗣，ひずみ計で観測された 2009 年サモア・トンガ地震の S 波到着前に見られるゆっくりとした変動，日本地震学会秋季大会予稿集，P3-54．

原田昌武・板寺一洋，神奈川県西部地域における 2010（平成 22）年の地殻変動観測結果、神奈川県温泉地学研究所観測日より、第 61 号、43-50、2011．

山口照寛・笠原稔・高橋浩晃・岡山宗夫・高田真秀・一柳昌義，地殻変動データベース - 2007 年からの改良，日本測地学会講演予稿集，2010．

山口照寛・笠原 稔・高橋浩晃・岡山宗夫・高田真秀・一柳昌義，地殻変動データベースシステムの開発，測地学会誌，56，47-58，2010．

(9) 平成 23 年度実施計画の概要：

システムの公開を 23 年度中に実施する．このため，以下の作業を実施する．

- 1) システム公開に関する協定書を機関長の調印をもって発効させる．
- 2) システムを公開するとともに多方面に周知活動を展開する．
- 3) 公開を実施しつつシステムの更なる安定運用をはかるべく問題点の洗い出しを引き続き実施する．
- 4) 公開により多様なユーザーの利用が見込まれており，ユーザーからシステム・データベースサーバーへの要望を広く受け入れることのできるようなシステムを実装する．
- 5) より多くの機関に参加頂けるよう引き続き関係機関との意見交換を進める．
- 6) 流通データの科学的利用法について更に検討を進める．特に，津波警報・火山活動推移予測の分野への応用について検討する．
- 7) 中日本地域にデータベースサーバを設置し 3 拠点体制での運用試験を実施する．

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター 高橋浩晃

他機関との共同研究の有無：有

国立天文台水沢 VERA 観測所 田村良明

東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知観測研究センター 三浦哲

東京大学地震研究所 佐野修，新谷昌人，加藤照之

名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山・防災研究センター 鷺谷威，伊藤武男

京都大学防災研究所附属地震予知研究センター 大谷文夫，森井互，加納靖之

九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター 松島健

鹿児島大学大学院理工学研究科地球環境科学専攻 中尾茂

財団法人地震予知総合研究振興会東濃地震科学研究所 浅井康広

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

電話：011-706-3212

e-mail：isv-web@mail.sci.hokudai.ac.jp

URL：http://www.sci.hokudai.ac.jp/grp/isv/isv-web/

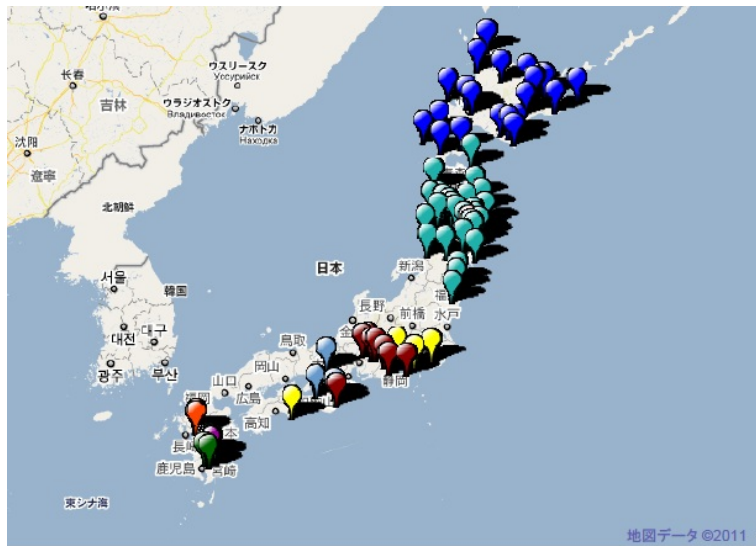


図 1 . 流通一元化されている観測点分布図 . 74 観測点のデータが試験流通している .

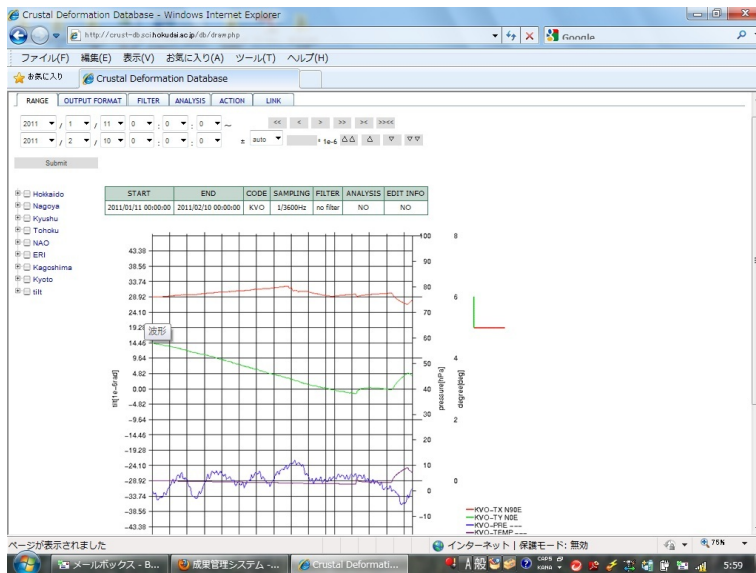


図 2 . 改良が行われたデータベースソフトウェア . 多彩な解析機能が付加された .