

(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 23 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

一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引き続き実施した。データの流通には、全国地震観測データ流通システム（JDX網）を利用し、それ以外は定期的に ftp, http を用いてデータ収集を行うシステムを構築しての一元化収録を行っている。これまでに試験流通に参加している北海道大学・東北大学・国立天文台水沢VERA観測所・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・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に加え、神奈川県温泉地学研究所・気象庁気象研究所のデータについても試験流通が開始された。

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・水位など多種目に及んでいるが、システム上の問題はなく流通一元化実験が進行している。この実績は、win パッケージ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ことを実証するものである。

今年度は、新たに気象庁気象研究所の敦賀・今津・天竜船明のひずみ傾斜計が追加され中日本地域の観測網が充実した。神奈川県温泉地学研究所の寄・岩倉・駒ヶ岳の傾斜計の参画により神奈川県西部域でのデータが収集可能となったことは、地殻活動が活発な伊豆や箱根地域での研究推進に大きく寄与するものである。これ以外にも、昨年1月末から活動が活発化した霧島山新燃岳周辺にも鹿児島大学・九州大学・東京大学地震研究所により傾斜計が追加されて火山活動の監視に役立てられている。これらの観測点の一部では、携帯電話を利用した機動的な地殻変動観測システムを用いてデータ伝送がなされているが、特に不具合は確認されておらず、安定的な運用が可能なが示された。このシステムには6ch入力可能なデータ変換装置が用いられているが、地震計と傾斜計のデータを同時に送信することが可能であり、多種目のデータ伝送という点でより柔軟性をもって観測システム運用を行うことができるものと期待される。

これらを含め、現在91観測点466チャンネルのデータにおいて試験流通一元化が実施されている（図1）。チャンネル数は増加の一途をたどっているが、顕著なパケット欠落などの不具合は確認されていない。3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の際にも、顕著なパケット落ちは発生せず、欠測は観測点での停電およびNTT回線網のダウンによるものであった。これらのことは、地震発生時においてもJDX網を用いて安定的なデータ流通が行えることを示す結果である。

地殻変動データベースサーバーの開発の継続

これまでに引き続き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・任意拡大軸でのデータ描画・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・フィルタ機能・任意の方向でのひずみ解析機能・ストリーミングひずみ解析機能 (大久保ほか, 2008)・積算振幅表示機能・気象庁およびGlobal-CMTの震源リスト収集機能・断層モデルによる歪場計算に加え以下の機能を追加した。1) 同じ時間ウィンドウにおいて複数の観測点の波形を表示できる機能。各観測点の任意の成分を選択して一度に表示することにより、所謂ペーストアップ描画が出来るようになった (図2)。2) 長期の地殻変動データには機械的あるいは電氣的なシステムに依存する直線的なドリフト成分が重畳することがあるが、これを直線回帰により除去する機能を付加してシグナル成分をより見やすいようにした。3) 地殻変動データにはゼロオフセット調整などの機械的電氣的調整や入坑などによりスパイクあるいはステップ状の信号が乗って連続的な描画を行う支障となることがあるが、これを自動的に除去し長期間のデータを一括して同じ感度軸で表示できる機能を追加した。

協定書の調印発効

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」の確定を行った。2月8日現在持ちまわりで各機関での調印作業を行っており、終了し次第今年度中に発効の運びとなる。これをもって、本システムは研究者に公開される。

各関連機関との意見交換

気象庁気象研究所との間で、現在進めている流通一元化事業について説明および意見交換を実施した。この結果、本事業に参画されることとなり、前述のように気象研究所のデータについても流通一元化が行われた。

流通一元化データを用いた解析

1. 東北地方太平洋沖地震発生前の地殻変動の特徴に関する調査

3月9日に発生した三陸沖地震の地震後余効変動を金華山の体積歪み計で明瞭に捉えた。時系列に対して対数関数で当てはめを行った結果、その時定数は0.2日となった。時系列の減衰は沿岸部のGPS観測点データの3時間毎解析の結果と良く一致する。また3月11日東北地方太平洋沖地震の直前に前駆的变化等は確認されなかった(図3)。

2. 東北地方太平洋沖地震津波による荷重変形に関する調査

東北地方太平洋沖地震の津波到達時に明瞭なひずみ傾斜変化が観測された。これは、津波の荷重による地殻変形として理解される(たとえば高塚, 2011)。北大えりも観測所は、港から約1kmに位置しており港では超音波センサーによる津波観測も実施している。これらのセンサーは津波の到達とともにシグナルを記録したが、津波計では3m50cmを超える波高ではセンサー自体が海水中となってしまう計測が不能であった。面積ひずみ及び傾斜波形と津波計の波形を比べてみると、0.82という非常に高い相関があることがわかり、その変換係数はひずみでマイクロストレインあたり $1.34 \times 10^3 \text{cm}$ 、傾斜でマイクロラジアンあたり $1.58 \times 10^3 \text{cm}$ であった。これを用いたひずみと傾斜データから推定された最大津波波高は3.6mであり、これは目撃証言から得られた波高(3.8m程度)とほぼ一致する。これらの結果は、沿岸部のひずみ傾斜計が津波センサーとして活用可能なことを示唆している。今回の津波では沿岸部の験潮施設が津波により破壊され計測不能となり、特に防災対応において大きな支障となったが、地殻変動観測施設は海岸よりやや離れて設置されており、津波により破壊されることはほとんどない。また、ひずみ計や傾斜計の感度は津波の周期においては 10^{-8} 以上あるため、数cm程度の津波なら充分検出可能である。これらのことは、ひずみ計や傾斜計が数cmから数10mの測定範囲をもつ津波センサーとして利用可能であることを示しており、流通一元化スキームを用いて特に巨大津波監視に活用すべきであると考えられる(図4)。

3. 水位データを用いた雌阿寒岳の群発地震活動に伴うひずみ変化の調査

雌阿寒岳ではしばしば群発地震活動が発生するが、それをトリガーするメカニズムは不明である。火山活動に関係するひずみ変化を観測するため4箇所の水位計を設置して流通一元化のスキームを使ってデータの収録解析を実施した。はじめに、理論潮汐との比較を実施して水位が体積ひずみ計として振舞っていることを確認した。2008年1月の群発地震活動において水位記録を解析したところ、活動が始まる1日前から水位の低下、つまり体積ひずみの減少が見られることが明らかとなった。ポイントソースを仮定して変動源の深さを推定したところ、深さ10km以深である可能性が示された。このデータから、地殻深部の何らかのソースが収縮するとともに、たとえば揮発性物質が浅部へ輸送され、それが海水準付近の帯水層でトラップされることで群発地震活動がトリガーされるモデルが提唱された。

- (8)平成23年度の成果に関連の深いもので、平成23年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
大久保慎人，雑賀敦，中嶋唯貴，TRIES 観測網(ひずみ地震動，地動)から見た2011年東北地方太平洋沖地震，日本地球惑星科学連合大会予稿集，MIS036-P27，2011。
大久保慎人，寺石眞弘，山崎健一，小松信太郎，加納靖之，地殻変動連続観測記録に見られる新燃岳噴火の直前挙動，日本地球惑星科学連合大会講演予稿集，SVC070-P33，2011。
大久保慎人，ひずみ地震動解析のススメ，日本測地学会講演予稿集，53，2011。
大久保慎人・寺石眞弘・山崎健一・小松信太郎・加納靖之，ひずみ記録による噴火・火道生成メカニズムの推定，日本火山学会講演予稿集，A3-02，2011。
Ohta, Y., D. Inazu, M. Ohzono, R. Hino, M. Mishina, J. Nakajima, Y. Ito, T. Inuma, T. Sato, and H. Fujimoto, K. Tachibana, T. Demachi, Y. Osada, M. Shinohara, S. Miura, Co- and post-seismic deformation of the M7.3 foreshock triggering the 2011 M9.0 Tohoku Earthquake, AGU Fall Meeting 2011, San Francisco,

Moscone Center, December 5-9, 2011 .

太田雄策・稲津大祐・大園真子・日野亮太・三品正明・中島淳一・伊藤喜宏・飯沼卓史・佐藤忠弘・田村良明，藤本博己，立花憲司，出町知嗣，長田幸仁，篠原雅尚，三浦哲，複合測地観測による M7.3 (3月9日) 地震時・地震後地殻変動，日本地震学会 2011 年秋期大会，静岡，静岡県コンベンションアーツセンター・グランシップ，2011 .

Shinjo A., and H. Takahashi, The 2011 Tohoku earthquake tsunami recorded by strain and tilt sensors at Erimo, Hokkaido, Japan, 7 th biennial workshop on Japan-Kamchatka-Alaska subduction processes: Mitigating risk through international volcano, earthquake and tsunami sciences, JKASP-2011, Petropavlovsk-Kamchatky, Russia, August 25-30, 2011.

高橋浩晃・山口照寛・柴田智郎・岡崎紀俊・宮村淳一，雌阿寒岳の浅部群発地震活動に先行した深部収縮と低周波地震活動，日本火山学会講演予稿集，A3-07，2011 .

Takahashi, H., T. Shibata, T. Yamaguchi, R. Ikeda, N. Okazaki, and F. Akita, Volcanic strain change prior to an earthquake swarm observed by groundwater level sensors in Meakan-dake, Hokkaido, Japan, J. Volcano. Geotherm. Res., doi:10.1016/j.jvolgeores2011.11.006, 2012.

寺石眞弘，山崎健一，大谷文夫，森井互，加納靖之，横坑式伸縮計記録を用いた 2011 年新燃岳噴火に伴う圧力源の位置推定，日本地球惑星科学連合大会，SVC070-P34，2011 .

山崎健一・寺石眞弘・小松信太郎・加納靖之，伸縮計記録で見る 2011 年新燃岳噴火活動時の地殻変動，日本火山学会講演予稿集，P10，2011 .

(9) 平成 24 年度実施計画の概要：

システムを公開した後の安定的な運用とそれに資する情報を収集する .

システムを周知しより多くのユーザーを獲得するための活動を展開する .

ユーザーからの要望をシステムに反映させるべくデータベースの改良を継続する .

データの科学的利用法について検討を継続する . 特に，津波警報の高度化に向け，超巨大地震や津波地震でも対応可能な即時モーメントマグニチュード推定手法の開発に着手する .

(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 太田雄策

東京大学地震研究所 三浦哲，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 鷲谷威，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 山崎健一，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

北海道立総合研究機構地質研究所 柴田智郎

神奈川県温泉地学研究所 本多亮，原田昌武

(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/

(12) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 高橋浩晃

所属: 北海道大学大学院理学研究院

観測点マップ

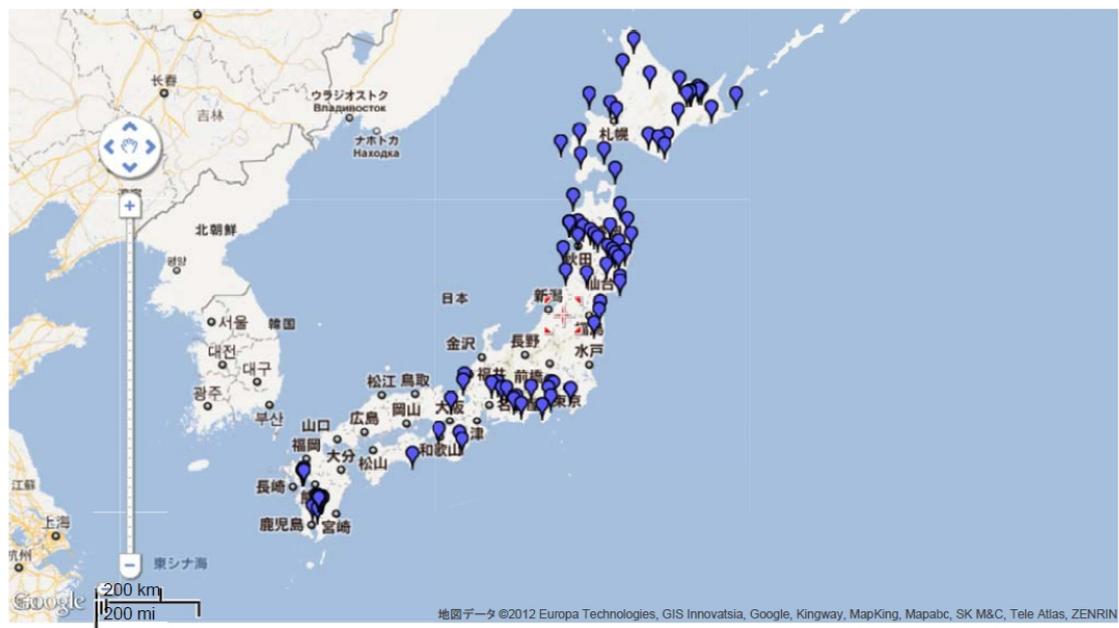


図 1

平成 24 年 2 月現在の観測点分布図 .

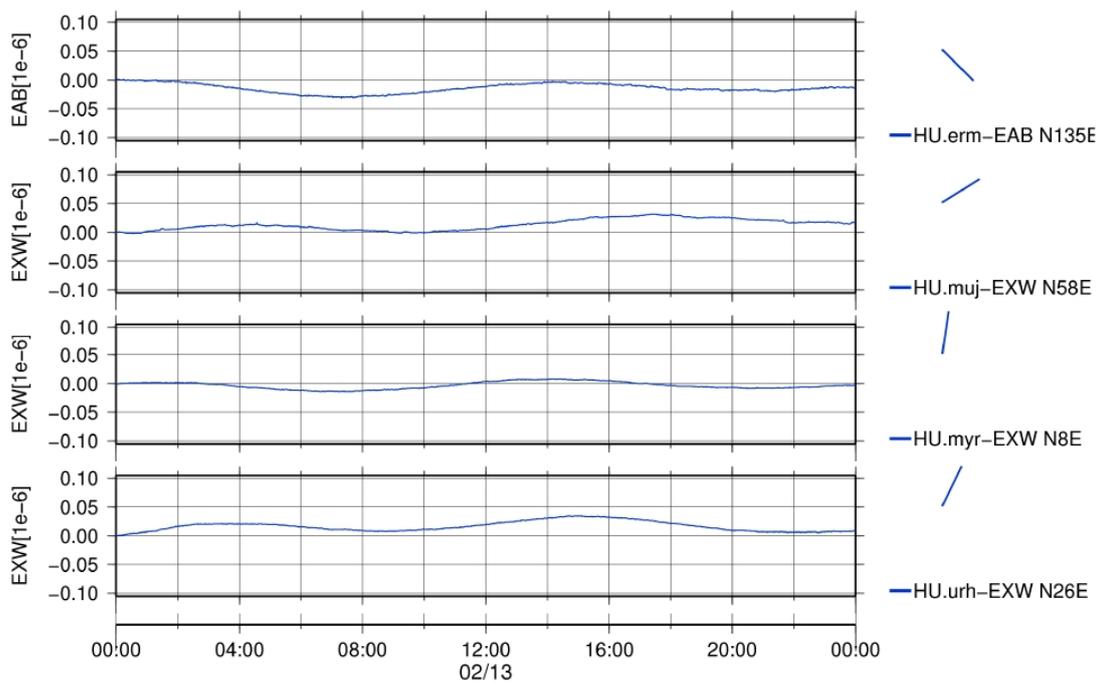


図2
データベースソフトウェアに新たに追加されたペースアップ描画機能。

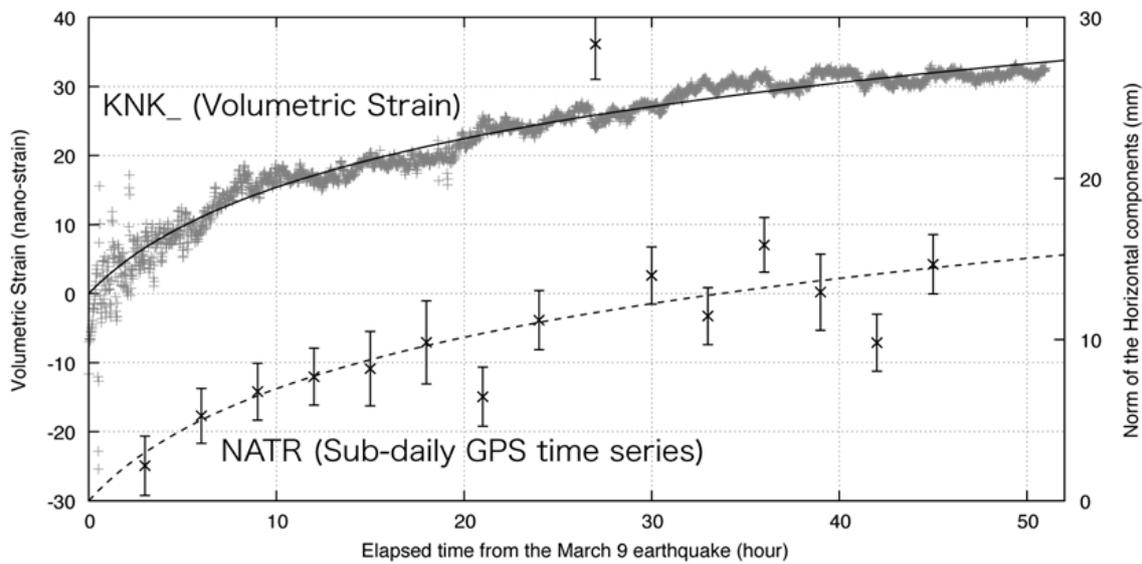


図3
東北大学金華山観測点の体積ひずみ計による2011年3月9日の前震の余効変動。

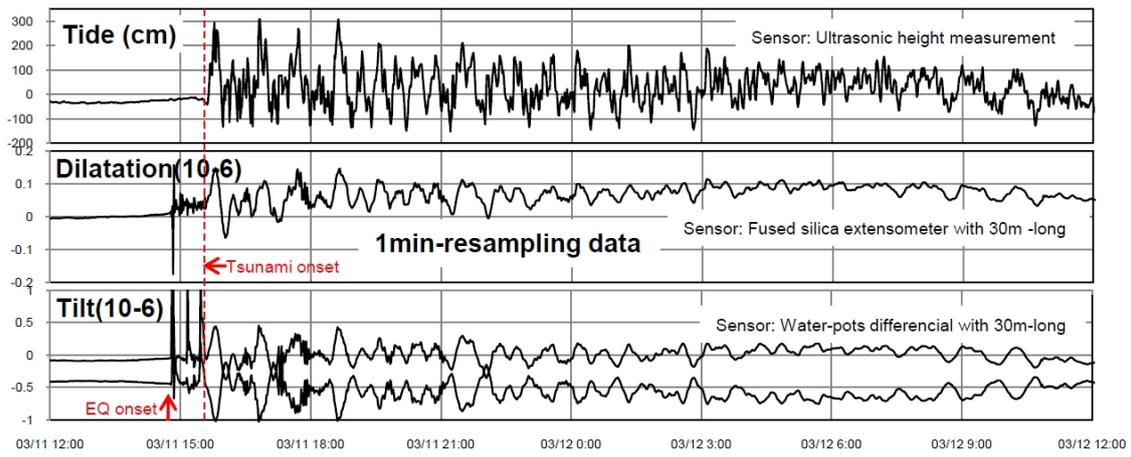


図 4

北海道大学えりも観測点で記録された 2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震による津波に伴うひずみ傾斜および潮位変化。潮位計は津波により計測不能となったものの、ひずみ傾斜計から推定された津波高は目撃証言によるものとほぼ一致した。