

光ファイバーを用いるDASテクノロジーを使った地震波観測システム
Seismic Monitoring System using Optical Fiber and DAS (Distributed Acoustic Sensing)
Technology

*木村 恒久¹、リーズ ガレス¹、ハートグ アーサー¹

*Tsunehisa KIMURA¹, Gareth LEES¹, Arthur HARTOG¹

1.シュルンベルジェ ファイバーオプティック テクノロジー センター

1.Schlumberger Fiber-Optic Technology Center

DASテクノロジーは、パイプラインのモニタリングや侵入者を感知するために、5年以上前から石油・ガス産業で使われている。位相データを用いる最新の光ファイバーセンシング技術によって、近年、DASシステムを使って、VSPを含むサイズミックデータを記録することができるようになった。我々はこのシステムのことを、パイプラインモニタリング装置と区別するため、'hDVS'と呼んでいる。

hDVSは、通常用いられるジオフォン等の電気・磁気的なセンサーでなく、光ファイバーを振動計測のセンサーとして使う。実際には、光ファイバーの振動に対するダイナミックストレインを計測しており、シングルモードファイバー、マルチモードファイバーの両者に使うことができ、つなげたファイバーの全長、もしくはパラメータで決めた長さだけをセンサーとして使うことができる。光ファイバー内での光の減衰や、光データのサンプリング周波数にも依るが、シングルモードファイバーの場合、現状のシステムでは、最大50km程度の長さまで対応することができ、マルチモードファイバーの場合、その長さが10km程度までとなる。我々は現在、新しいシステムを開発中であるが、その新しいシステムを使えば、50kmの長さを超えるシングルモードファイバーにも対応することができると期待している（hDVS/DASを使うことのできる理論的な光ファイバーの最大長は100km）。

hDVS/DASを用いたシステムは、現状の地震波観測システムと比較して、次のような特長がある。

- a) 既に設置してある光ファイバーを、瞬時に、地震波観測のセンサーとして用いることができる。
- b) 一つのシステムで、点ではなく、最大50kmの長さの線状のセンサーとして観測することができる。
- c) 既に張り巡らされている光ファイバー網を利用することによって、観測装置を容易に観測ネットワークとして構築できる。
- d) 空間分解能やゲージ長をパラメータとして設定できる。
- e) 光ファイバーのコア部は、石英ガラスでできており、通常のセンサーを設置できない200℃以上の環境下でも、問題なく使える。
- f) 光ファイバーセンサーは、受動センサーなので、故障を起こしにくい。

その他にも特長として認識される性質が見つけれられるだろう。

発表の際、hDVS/DASのしくみの説明に加え、過去数年の間にフィールド試験として記録したサイズミックデータの一部を公表します。

キーワード：DAS、hDVS、光ファイバー、レーザー、地震活動観測

Keywords: DAS, hDVS, Optical Fiber, Laser, Seismic Monitoring

森町アクロスを用いた東海地方下における地震波速度変動の観測

Seismic velocity change in Tokai region detected by Morimachi ACROSS

*辻 修平¹、山岡 耕春²、生田 領野¹、渡辺 俊樹³、勝間田 明男⁴、國友 孝洋²*Shuheji Tsuji¹, Koshun Yamaoka², Ryoya Ikuta¹, Toshiki Watanabe³, Akio Katsumata⁴, Takahiro Kunitomo²

1.静岡大学理学部、2.名古屋大学大学院環境学研究科、3.東京大学地震研究所、4.気象庁気象研究所

1.Faculty of Science, Sizuoka University, 2.Graduate school of Environmental Studies, Nagoya University, 3.ERI, University of Tokyo, 4.Meteorological Research Institute, JMA

本研究では、静岡県周智郡森町に設置されている弾性波アクロスという人工震源装置を用いて、東海地方下の地震波速度の経年変化と東北地方太平洋沖地震に伴う変化を検出した。さらに、この変化を説明するクラックの開閉方向を考え、GNSSによるひずみ場と比較して解釈を与えた。

弾性波アクロスとは、鉛直に設置されたモーターの回転軸に対して偏心した錘を精密制御して回転させることで、弾性波を精密かつ定期的送信するシステムのことである。東海地方はユーラシアプレートの下に北西方向に向かってフィリピン海プレートが沈み込んでいる。本研究は沈み込みに伴う圧縮場による地震波速度の変化を検出することを目的としている。

本研究では、2007年から2014年までの期間で、静岡県中部に設置されているアクロス送信所の信号を東海地方に配置されている名古屋大学観測点、及びHi-net観測点で受信して東海地方下の直達S波の到達時刻を観測した。この際、S波到達時刻の変化を正確に検出できるよう、S/N比が十分に高く、時刻が正確な観測点のみを用いた。また、本研究では、求めた到達時刻の中で、Radial方向に揺らし、Radial方向で観測された成分(Rr成分)及び、Transverse方向に揺らし、Transverse方向で観測された成分(Tt成分)の2つの成分に注目した。

得られた到達時刻の時間変化にはRr,Tt成分共に、時間の経過と共に到達時刻が早まる傾向や、東北地方太平洋沖地震に伴って遅まる傾向が見られたため、直線的な変化(経年変化)と年周・半年周変動、及び東北地方太平洋沖地震に伴うステップ(地震に伴うステップ)を仮定してフィッティングを行った。

その結果、経年変化としては、使用した観測点の全てにおいて、到達時刻が早まっていく傾向が見られた。また、地震に伴うステップは全観測点で到達時刻の遅れが検出できた。Hi-net掛川観測点での結果を例として示す(図1)。

また、経年変化・地震に伴うステップの両者でRr成分とTt成分の間に違い(偏向異方性)がみられた(図2)。経年変化・地震に伴うステップのそれぞれについて、その異方性を説明するクラックの方向・開閉を推定し、GNSS観測によって得られた歪み場と比較した。

経年変化には北西-南東方向がより早まる傾向があり、北東方向に走向を持つクラックの選択的な閉塞として説明できる。これはGNSSによる歪み場が北西-南東方向に圧縮であることと調和的である。

一方、地震に伴うステップは、経年変化と同じ方向で遅まる傾向があった。これは経年変化で閉じたクラックの開口と解釈されるが、GNSSによる歪み場は北東-南西方向に伸張場を示しているため、調和的ではない。このことは地震に伴うステップが準静的な歪み場によるものではないことを示唆している。

そこで、地震に伴うステップの解釈として、地震時の揺れにより何らかの原因で間隙圧が上昇しともとも北東方向に選択配向していたクラックが開いたという解釈を考えた。東海地方の地質は伊豆弧の衝突に依って北東方向の走向を持っていることから、この地域に存在しているクラックは北東方向を向いているものが多い可能性があり、これはこの解釈と調和的であろう。

謝辞

本研究では、防災科学技術研究所の運用しているHi-netの連続波形記録を利用させていただきました。

引用文献

生田領野 ほか, 2014, ACROSS による東海地方下の地震波速度変動の観測, 日本地震学会秋季大会, S19-P07

國友孝洋, 2014, Hi-netデータによる走時変化計測の高精度化, 地震, 第2輯, 第66巻, 第4号, 97-112頁

吉田康宏, 2011, 精密制御震源(アクロス)を用いた地殻活動モニタリング, 気象研究所技術報告, 第63号, 88-114頁

図の説明

図1：Hi-net掛川観測点における、2007年2月28日に対する地震波到達時刻の早まり

青丸は観測値。上下方向にエラーバーを描いている。赤丸はフィッティングした点。縦の赤い直線は地震に伴うステップ状の変化の大きさを表している。

図2：地震に伴うステップ(左)と経年変化(右)それぞれのTt,Rr成分の地震波速度変化の大きさと異方性

星は震源の位置。十字は中心が観測点の位置にあり、Rr成分の地震波速度の変化を震源と観測点を結ぶ向きの直線で、Tt成分をRrと直交する直線で表した。長さは地震に伴うステップ状の変化の場合は変化量を、経年変化では年間の変化量をそれぞれ表す。色は、青色が遅れ、赤色が早まりを示している。十字を囲む楕円形のグラデーションは誤差範囲を表す。

キーワード：弾性波アクロス、地震波速度変化、走時変化、Hi-net、東海地方

Keywords: seismic ACROSS, seismic velocity change, travel time change, Hi-net, Tokai region

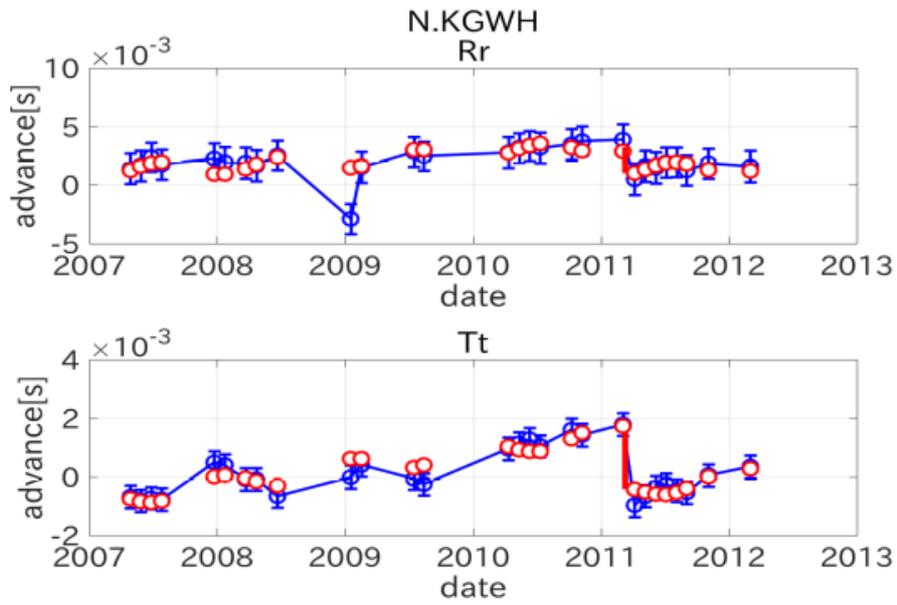


Fig.1 Travel time advances at Kakegawa Hi-net station

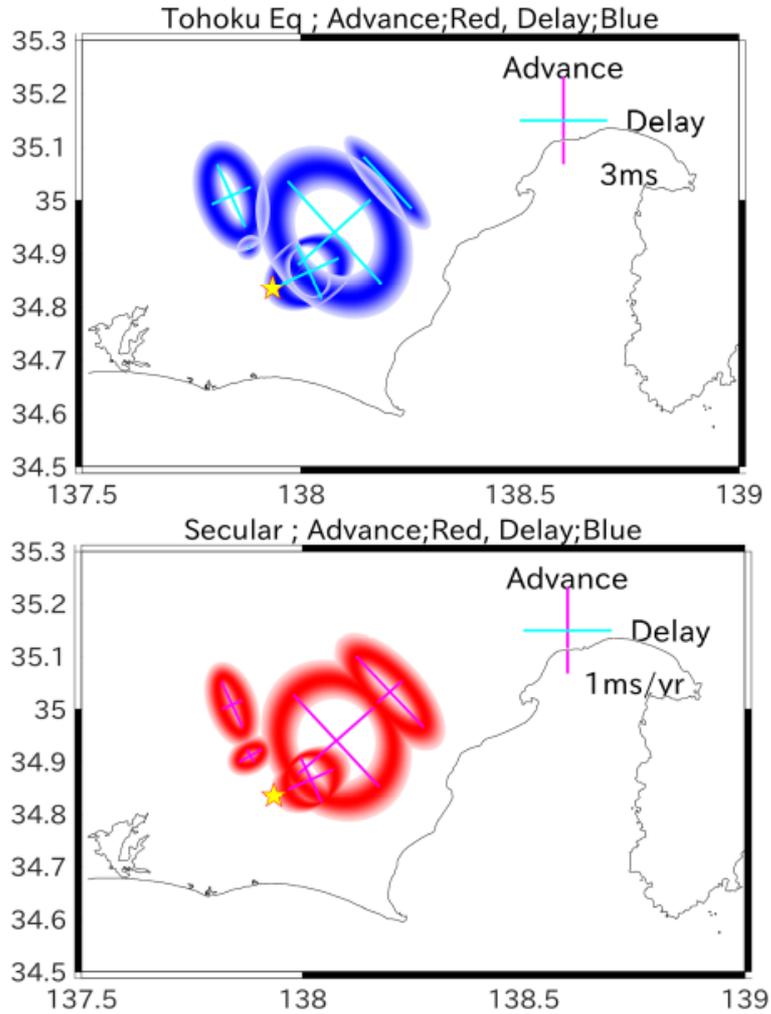


Fig.2 Co-seismic (top) and Secular (bottom) travel time changes

日本海溝海底地震津波観測網 (S-net) - 海洋部工事の進捗 -

Seafloor Observation Network for Earthquakes and Tsunamis along the Japan Trench (S-net) -
Construction of subsea part of the S-net -

*望月 将志¹、金沢 敏彦¹、植平 賢司¹、藤本 博己¹、野口 伸一¹、眞保 敬¹、汐見 勝彦¹、功刀 卓¹、青井 真¹、
松本 拓己¹、関口 涉次¹、岡田 義光¹、篠原 雅尚²、山田 知朗²

*Masashi Mochizuki¹, Toshihiko Kanazawa¹, Kenji Uehira¹, Hiromi Fujimoto¹, Shin-ichi Noguchi¹,
Takashi Shimbo¹, Katsuhiko Shiomi¹, Takashi Kunugi¹, Shin Aoi¹, Takumi Matsumoto¹, Shoji Sekiguchi¹,
Yoshimitsu Okada¹, Masanao Shinohara², Tomoaki Yamada²

1.国立研究開発法人防災科学技術研究所、2.東京大学地震研究所

1.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 2.Earthquake Research
Institute, University of Tokyo

NIED (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention) has launched the project of constructing an observatory network for tsunami and earthquake on the seafloor, after the occurrence of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake by the reflection that we could not monitor the expanse of the earthquake and the tsunami outbreak on site and in real time due to poor coverage of observation in ocean area. The project has been financially supported by MEXT (Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology - Japan).

The observatory network was named "S-net". S-net consists of 150 seafloor observatories which are connected in line with optical cables. The total length of submarine optical cable is about 5,700km. S-net system extends along Kuril and Japan trenches around Japan islands from north to south covering the area between southeast off island of Hokkaido and off the Boso Peninsula, Chiba Prefecture. Each observatory equips two sets of quartz type pressure gauge and four sets of three-component seismometers. Digitized data from those sensors are transmitted to land and used for early warning and precise measurement for earthquakes and tsunamis.

Two Japanese cable layer ships, which are specially designed for installation and repairing of submarine telecommunication cables, have been used for installation of the S-net submarine cable system. The S-net submarine cable system including the observatories is buried 1m beneath the seafloor to prevent from interference with fishing industry in the area shallower than 1,500m water depth. Those cable layer ships have capabilities of burying submarine cables. The S-net submarine cable system was originally designed to be deployed with the cable layer ships.

Three of authors are now board on C/S SUBARU, which is one of two cable layer ships described above, and in charge of installation of a subset of the S-net submarine observatory network which covers the area between east off Aomori Prefecture and south off island of Hokkaido. Installations of 23 observatories and about 800km length optical cable on the seafloor will be completed shortly after.

We will report the progress of the construction of S-net submarine cable system in this presentation.

キーワード：海底観測網、津波、海底地震

Keywords: Seafloor Observatory Network, Tsunami, Submarine Earthquake

日本海溝海底地震津波観測網 (S-net) ～陸上局システムについて～

Seafloor Observation Network for Earthquakes and Tsunamis along the Japan Trench (S-net) - System of landing station part -

*植平 賢司¹、金沢 敏彦¹、望月 将志¹、藤本 博己¹、野口 伸一¹、眞保 敬¹、汐見 勝彦¹、功刀 卓¹、青井 真¹、松本 拓己¹、関口 涉次¹、篠原 雅尚²、山田 知朗²

*Kenji Uehira¹, Toshihiko Kanazawa¹, Masashi Mochizuki¹, Hiromi Fujimoto¹, Shin-ichi Noguchi¹, Takashi Shimbo¹, Katsuhiko Shiomi¹, Takashi Kunugi¹, Shin Aoi¹, Takumi Matsumoto¹, Shoji Sekiguchi¹, Masanao Shinohara², Tomoaki Yamada²

1.防災科学技術研究所、2.東京大学地震研究所

1.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 2.Earthquake Research Institute, University of Tokyo

Seafloor Observation Network for Earthquakes and Tsunamis along the Japan Trench (S-net) project to construct a large-scale seafloor network of cable-linked observatories is in progress around Japan Trench and Kuril Trench in Japan. The S-net consists of 150 ocean bottom earthquake and tsunami observation stations, ocean bottom fiber optic cables which are about 5,700 km in total length, landing stations, IP-VPN network which delivers data to data centers, and data centers. The ocean bottom fiber optic cables connect the observation stations to land, and they are drawn inside landing stations.

We have constructed five landing stations; Minamiboso station in Minamiboso City, Chiba Pref., Kashima station in Kashima City, Ibaraki Pref., Watari station in Watari Town, Miyagi Pref., Miyako station in Miyako City, Iwate Pref., and Hachinohe station in Hachinohe City, Aomori Pref.. The Watari station is located on the third floor of reinforced concrete building, and other stations are container-type data centers.

In the landing station, there are a high voltage receiving transformer equipment, an emergency diesel generator with a tank which can store fuel for one week, uninterruptible power supplies (UPSs), a power feed equipment (PFE) that supplies constant DC current (1.1 A) to a submarine cable and observation units, optical receiver transmission equipment, optical wavelength division multiplexing equipment (WDM), GPS clocks, data conversion servers, data transmission servers, supervisory equipment, and so on.

In each earthquake and tsunami observatory under sea water, there installed two sets of three component servo accelerometers, a set of three component velocity seismometers (analog outputs), and two quartz type depth sensors and a set of three-component quartz type accelerometers (frequency outputs). These data are transmitted to the landing stations as the digital data which synchronized to a GPS clock signal supplied from the landing station. The data of frequency outputs are frequency count values at sampling frequency of 8 kHz, and these of analog outputs are digitized values by 24 bits AD converter at sampling frequency of 1 kHz. Data conversion servers at the landing station receive these data. The 8 kHz frequency count data are converted into physical value data of 100 Hz (acceleration) or 10 Hz (water pressure and temperature), and these physical data are delivered to data transmission servers. The 1 kHz digitized analog data are converted into 100 Hz data by decimation filter, and delivered to data transmission servers.

The data received by data transmission servers will be transmit to Tsukuba data center, Tokyo backup data center, Japan Metrological Agency (JMA), and related institutions via two control

center using an IP-VPN network.

キーワード：日本海溝海底地震津波観測網 (S-net)

Keywords: Seafloor Observation Network for Earthquakes and Tsunamis along the Japan Trench (S-net)

新規開発したICT光海底ケーブル式地震津波観測システムの設置

Installation of compact seafloor cabled seismic and tsunami observation system using ICT

*篠原 雅尚¹、山田 知朗¹、酒井 慎一¹、塩原 肇¹、金沢 敏彦²*Masanao Shinohara¹, Tomoaki Yamada¹, Shin'ichi Sakai¹, Hajime Shiobara¹, Toshihiko Kanazawa²

1.東京大学地震研究所、2.防災科学技術研究所

1.Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 2.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

岩手県釜石市沖の光ケーブル式海底地震・津波観測システムは、1996年に設置され、連続したリアルタイム観測が実施されてきた（以下、既設システム）。既設システムは、従来の海底通信電話技術を利用している。2011年東北地方太平洋沖地震の地震動および津波を観測し、東北沖地震の正確な震源域の位置および震源過程の推定に寄与した。しかし、本震の約30分後に海岸に到達した津波により、陸上局が流失し、観測が中断した。この観測システムから得られるデータは貴重であり、東京大学地震研究所では、システムの復旧として、既設システムでの観測を再開すると共に、既設システムへの追加/更新として、新規に開発したケーブル観測システムを設置することとした。

地震研究所は、ICTを用いた小型の海底ケーブル式地震観測システムの開発を継続して行ってきた。我々のシステムは、インターネット技術を用いた通信回線の冗長化による観測の信頼性の向上、最新半導体技術を用いたソフトウェアベースの小型化などが特徴である。2010年には日本海に一号機を設置した。今回開発したケーブル式海底地震・津波観測システムは、2号機にあたり、ギガビットのイーサネット技術をデータ伝送、制御・監視に用いている。また、海底ケーブルのファイバー数を減らすために、WDM（波長分割多重）を用いた。観測装置は、2種類を製作した。3成分加速度計の搭載は共通であるが、1つは、津波計として、高精度水圧計を組み込んでおり、もう一つは、外部センサーのための、PoEi/Fを搭載した。通信バックアップ回線を兼ねたクロックラインにより、正確な時刻情報を配送するが、EEE1588によるイーサネット時刻同期技術により、各観測装置の時計を約300nsの精度で同期させることも可能である。耐压容器には、通信ケーブルで用いられている中継器の最小サイズ（直径約26cm、長さ約1.3m）を用いた。

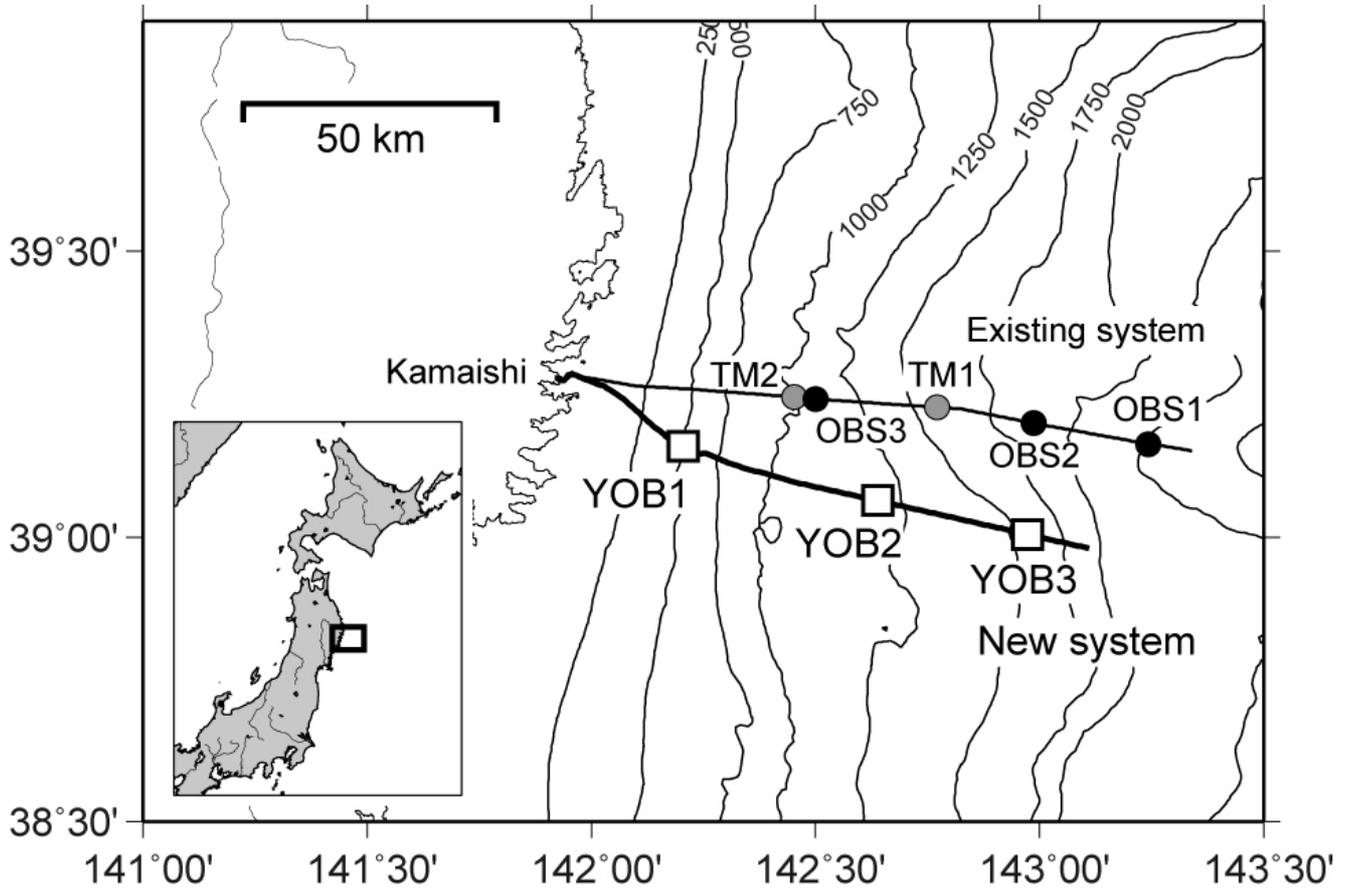
システムの設置位置は、2013年に行ったルート調査結果に加えて、既設システムおよびS-netの位置を考慮して、決定した。設置計画案に従い、海底ケーブルの全長は105kmとなり、観測装置は0 kmまたは40kmの間隔で3台となった。2台の観測装置は津波計内蔵型であり、最も沖合の1台は、外部ポート搭載型とした。設置時には、外部ポートには、デジタル出力型高精度水圧計を接続した。

設置は、通信用海底ケーブル設置に用いられている海底ケーブル敷設船を利用して、2015年9月に行った。ケーブル敷設船は、まず、設置ルート上の障害物を除去するために、ケーブルルートの掃海を行い、その後、釜石市の陸上局に、海底ケーブルの一端を直接陸揚げした。その後、沖に向かって、ケーブルを敷設した。水深1,000m以浅では、埋設機による敷設同時埋設を実施した。水深1,000mより深いところでは、海底に直接設置した。その後、埋設機で埋設できなかった陸揚げ地点付近をROVにより後埋設し、設置を完了した（図2）。設置完了直後から、観測を開始した。

設置した観測システムで取得された地震データからは、更新システムのノイズレベルは、既設システムとほぼ同等であることが確認された。さらに、埋設した観測装置については、ノイズレベルが他の観測装置に比べて低く、地震計の埋設が観測に有効であることが改めて確認された。水圧データについても、1hPa以下の分解能で観測されていることが確認され、埋設された水圧計を含めて、既設システム、今回設置したシステムのすべての水圧計について、整合的な記録が得られている。

キーワード：ケーブル式海底観測システム、海底地震計・津波計、リアルタイム観測

Keywords: Cabled seafloor observation system, Ocean bottom seismometer and tsunami meter, Real-time observation



微動アレイによるS波速度構造探査システムの構築

CONSTRUCTING A SYSTEM TO EXPLORE VELOCITY STRUCTURES USING A MICROTREMOR OBSERVATION

*先名 重樹¹、東 宏樹¹、浅香 雄太²、藤原 広行¹

*Shigeki Senna¹, Hiroki Azuma¹, Yuta Asaka², Hiroyuki Fujiwara¹

1.防災科学技術研究所、2.三菱スペース・ソフトウェア（株）

1.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 2.MSS Corp

1. はじめに

我々は、これまでに扱いやすい微動探査機の開発や、微動観測結果を閲覧し機材をコントロールおよびデータ送信するためのスマートフォン用「i微動」、微動データベース等を構築してきた。本研究では、さらに開発をすすめて、微動観測から解析結果を得るまでの一連の流れを短時間かつ現場で実施可能な新システムの構築を検討した。なお、ここでは特に100m未満の浅部構造探査を対象とした比較的小さい半径の微動アレイについて、観測・解析を徹底的に簡易化した探査システム（以下新システム）を構築している。

2. 新システムの構成

新システムでは、半径10m程度以下のアレイを用いる。このアレイで15分間程度微動を観測することで深さ数mから数十mまでの浅部地盤S波速度構造を推定することが可能である。また、観測者として地下構造探査の専門家ではない一般のユーザーを想定し、ワンタッチで使える観測機材を用いる。観測後は、得られた微動データは無線でサーバー計算機に転送され、位相速度とS波速度構造が自動解析される。ユーザーの手元には、「i微動」に解析結果が配信され、サーバー側では、観測データおよび解析結果がデータベース化される。この一連の流れを包括的に提供することが、現時点でほぼ可能となった。なお、新システムで用いるアレイは、2点アレイや不規則アレイ(20m程度以下)と極小アレイ(60cmの三角形のアレイ)を主としている。

3. 今後の目標と展開

我々の目標は、地震防災をはじめとする地質・地盤に関連するさまざまな社会的ニーズに対応して、できる限り高密度・高分解能で定量的な地下S波速度構造の情報を提供することである。そのためには膨大な量の微動データを取得・解析・蓄積する必要があるため、本研究で作成しているような新システムの構築を実施した。ここで展開する極小アレイ等の観測は非常に簡易なので、観測点位置を変えながら多数の観測を繰り返すことにより、S波速度構造の空間変化を容易にイメージングできる。現状では分解能の観点から、ボーリングデータや微地形区分等から推定せざるを得ない表層地盤の揺れやすさを、S波速度構造や地盤振動特性の実データから評価できるようになるため、構築される地盤モデルの精度が良くなり、地震の揺れに関する予測精度が飛躍的に向上する。また、液状化等の地盤災害の評価や、建築・土木建造物の立地条件の検討にも寄与でき、幅広い社会的な価値と波及効果が期待される。

<謝辞>

本研究は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「レジリエントな防災・減災機能の強化」（管理人：JST）によって実施されました。また、産総研の長郁夫氏よりBIDOプログラムの提供を受けた。ここに謝意を表します。

キーワード：微動観測システム、地下構造モデル、極小アレイ

Keywords: microtremor observation system, underground structure models, miniature array

機動観測とHi-net記録のオンライン統合処理による即時自動震源決定システムの構築

Automated hypocenter detection system using both Hi-net and online temporal observation data

*齊藤 竜彦¹、上野 友岳¹、行竹 洋平²、針生 義勝³、浅野 陽一¹、汐見 勝彦¹

*Tatsuhiko Saito¹, Tomotake Ueno¹, Yohei Yukutake², Yoshikatsu Haryu³, Youichi Asano¹, Katsuhiko Shiomi¹

1.独立行政法人 防災科学技術研究所、2.神奈川県温泉地学研究所、3.財団法人 地震予知総合研究振興会
1.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 2.Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture, 3.Association for The Development of Earthquake Prediction

日本列島を覆う基盤的地震観測網（基盤観測網）の構築によって陸域部の地震活動を網羅的かつ連続的に監視することが可能となった。大地震が発生した場合には、即座にその震源位置・規模・メカニズム解が推定され、解析結果や地震波形記録はインターネットを通じて公開されている。大地震発生後においては、引き続き発生する可能性のある地震に対する準備のために、進行している余震活動の推移を正確に把握することが重要である。しかし、微小地震を含めた余震活動や群発地震活動状況を詳細かつ正確に把握するためには、観測点数及び設置密度ともに、必ずしも十分でない。本研究では、余震活動など限られた領域で発生する活発な地震活動の詳細把握を目的とし、オンライン機動地震観測データを活用した基盤観測網自動震源決定システムの構築を行うとともに、その有効性を調査した。機動観測によって得られる連続地震波形データは、安価な携帯電話回線を用いて、防災科学技術研究所（つくば市）へと準リアルタイムで転送し（遅延時間数分程度）、Hi-net基盤地震観測網データ等と統合処理を行うシステムを作成した。2015年春の箱根周辺の群発地震活動を例として、同システムによる自動震源決定のパフォーマンスを調査した。Hi-net基盤地震観測網データに、群発地震活動域付近に設置した機動観測点データを加えた処理を実施することで、震源域直上の読み取りデータが増え、震源決定数が増加した。さらに、群発地震活動の震源位置がより正確に拘束され、地震活動の深さが数km程度浅く決定されることを確認した。

キーワード：基盤地震観測網、機動観測、自動震源決定

Keywords: fundamental seismic observation network, mobile observation, automated hypocenter detection

S-net観測点を用いた仮想震源の震源決定シミュレーション

Simulation of hypocenter determination of assumed hypocenters by using S-net stations

*眞保 敬¹、植平 賢司¹、金沢 敏彦¹、望月 将志¹、藤本 博己¹、野口 伸一¹、功刀 卓¹、汐見 勝彦¹、青井 真¹、関口 渉次¹、松本 拓己¹、岡田 義光¹、篠原 雅尚²、山田 知朗²

*Takashi Shimbo¹, Kenji Uehira¹, Toshihiko Kanazawa¹, Masashi Mochizuki¹, Hiromi Fujimoto¹, Shin-ichi Noguchi¹, Takashi Kunugi¹, Katsuhiko Shiomi¹, Shin Aoi¹, Shoji Sekiguchi¹, Takumi Matsumoto¹, Yoshimitsu Okada¹, Masanao Shinohara², Tomoaki Yamada²

1.防災科学技術研究所、2.東大地震研

1.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 2.ERI

海底下で発生する地震や津波を観測するために、日本海溝海底地震津波観測網（S-net）の整備事業を2011年から開始した。S-netは房総沖から北海道沖まで150の観測点を設置し、その設置間隔は東西方向（海溝軸に直交方向）約30km、南北方向（海溝軸に平行方向）約50-60kmである。S-netの整備により、津波警報や緊急地震速報をこれまでよりも早く発表することが可能になる。海底下で発生する地震を解明するためには、海底下における震源分布、発震機構解、地震波速度構造や応力場等を高精度で求め、沈み込むプレートと地震発生域との関係や、プレート間におけるひずみの蓄積過程等を調べる必要がある。これらを詳細に調べるためには、海底下で発生する地震を精度よく決定することが必須である。我々は、これまで自己浮上式海底地震計で決定された2011年太平洋沖地震の余震[Shinohara et al. (2011, 2012)]からS-net観測点までの走時を計算することで震源決定を行い、S-netの震源決定精度を調べてきた。S-net観測点の震源決定精度の見積もりには、2011年太平洋沖地震の震源域よりも広範囲で同様の解析を行うことも重要である。

本研究では、S-netによる震源決定精度を理解するために、仮想的に配置した震源（仮想震源）からS-net観測点までの理論走時を用いることにより、震源決定のシミュレーションを行った。その震源は、北緯35.5°から北緯40.0°まで0.25°間隔、経度140.5°から経度143.0°の範囲に0.25°間隔、深さ5-50kmの範囲に2.5km間隔で仮定した。その地震数は3971個である。仮想震源から各観測点までの理論走時を計算した。その理論走時から各観測点のP波とS波の到達時刻データを作成した。そして、その到達時刻からhypomh [Hirata and Matu'ura (1987)]を用いて震源決定した。この時、S-net観測点の速度構造は、S-net敷設ルート上で行われた地下構造調査、および過去の構造調査の結果を参考に、観測点毎に仮定した。その結果、決定された震源は3914個であった。決定された震源と仮想震源を比較すると、196個の震源は仮想震源に対し震央もしくは震源深さの差異が3km以上であった。特に、海岸線から100km以上内陸に仮定した震源を精度良く決めることができなかった。観測網から距離が離れると震源決定精度が悪くなるため、S-netで精度良く決定できる範囲を調べることは重要である。

下北半島周辺における微小地震観測網の構築（その4）

Construction of the seismic observation network around Shimokita Peninsula (4)

*野口 科子¹、澤田 義博¹、笠原 敬司¹、関根 秀太郎¹、田澤 芳博¹、矢島 浩¹、佐々木 俊二¹

*Shinako Noguchi¹, Yoshihiro Sawada¹, Keiji Kasahara¹, Shutaro Sekine¹, Yoshihiro Tazawa¹, Hiroshi Yajima¹, Shunji Sasaki¹

1.公益財団法人 地震予知総合研究振興会

1.Association for the Development of Earthquake Prediction

日本国内では、防災科学技術研究所による高感度地震観測網Hi-netをはじめとする稠密な微小地震観測網が整備されている。しかしながら、東北北部から北海道南西部にかけての地域では、他地域に比べて観測点密度が低く、地震活動などを他地域と同様の精度で捉えることは難しい状態であった。そこで、下北半島、津軽半島、北海道南西部に高密度の微小地震観測網（AS-net）を整備し、地震活動の常時モニタリングを開始した（関根・他（2014）など）。本発表では、AS-netの観測データを用いた手動震源決定結果と、観測データを用いた解析の結果について報告する。

震源決定は青森県から北海道南西部にかけての領域に限って行う。震源決定にはAS-netの36観測点の他、気象庁、防災科学技術研究所、弘前大学、東北大学、北海道大学、青森県による観測点を含め、周辺の134観測点のデータを使用する。AS-netが全点運用開始した後の2014年9月から2015年12月末までの16ヶ月間について、新堀内システムを用いた自動震源決定を行ったところ、領域内で5726イベントが決定された。これら自動震源について、手動による精査と震源再決定を行ったところ、2880個の自然地震が決定された。自動震源については、4割強が自然地震、約4割が発破等の人工地震、残りは誤検知であった。また、自然地震2880個のうち1割弱は自動震源で検知されず、気象庁の一元化震源に基づいて手動で決定した。なお、同期間、同領域の一元化震源カタログには1404イベントが記載されており、イベント数で見るとAS-netによって検知能力が2倍以上に向上したといえる。特に、AS-net整備領域の中心にあたる下北半島南部の脇野沢周辺では、手動で決定されたイベント数は一元化カタログの約5倍となった。

震源決定のための観測点補正值を得るため、領域内のプレート間・プレート内で起こった深い地震（ $H > 60$ km）のうち、規模の比較的大きなものについて、PおよびS相の手動検出値と理論走時の差（ $O-C$ ）の平均値を計算した。観測点ごとの $O-C$ 平均値は地域的に偏って分布しており、P相とS相で同様の傾向を示した。また、各観測点のバックグラウンドノイズ記録から計算したノイズレベルの低い点ほど $O-C$ 平均値が小さく、負になる場合が多い、という関係がみられた。ノイズレベルの低い点は基盤が浅く、サイト特性による増幅が小さいことを示していると考えられる。また、サイト特性による地震波の到達の遅延幅が小さい観測点では、 $O-C$ 平均値が小さくなることが予想される。以上より、 $O-C$ 平均値は各観測点のサイト特性を反映していることが裏付けられる。これにより、得られた $O-C$ 平均値に基づいて観測点補正值を決定することの妥当性が示される。

参考

関根 秀太郎・澤田 義博・笠原 敬司・佐々木 俊二・田澤 芳博・矢島 浩、下北半島周辺における微小地震観測網の構築、日本地球惑星科学連合2014年大会、横浜、STT57-P09、2014年4月。

謝辞

本研究では、気象庁、防災科研、北海道大学、東北大学、弘前大学、青森県により観測・提供された地震観測データを使用しています。また、気象庁による一元化地震カタログのデータを使用しています。記して感謝いたします。

キーワード：地震観測網、下北半島、地震検知

Keywords: Seismic observation network, Shimokita peninsula, Earthquake detection

ニューラルネットワークを用いた低SN比条件下における地震波検出手法の開発

Development of the seismic signal detection method under low SNR condition using an artificial neural network

*高橋 馨子¹、松本 裕也¹、孫 哲¹、小泉 和之¹、竹内 達哉²、上松 大輝³、金 亜伊¹

*Kahoko Takahashi¹, Yuya Matsumoto¹, Zhe Sun¹, Kazuyuki Koizumi¹, Tatsuya Takeuchi², Hiroki Uematsu³, Ahyi KIM¹

1.横浜市立大学、2.横浜国立大学、3.専修大学

1.Yokohama City University, 2.Yokohama National University, 3.Senshu University

We have developed a community based MEMS sensor network, Citizen Seismic Network (CSN) to obtain the detailed strong motion data which closely linked to community's life. In this project, we developed a sensor unit which detects strong motion and process the data. The unit is composed of 12 bit MEMS sensor and Raspberry pi. Since we expect the unit is set under the high noise environment (e.g. inside of house), it is important to discriminate between the earthquake signal and the others. However, under the such environment, the conventional method, ratio of short time average and long time average (STA/LTA) which depends on the amplitude of the signal often mislead to pick noise as the signal. To overcome this problem, we developed a method to detect and identify a seismic signal using an artificial neural network (ANN) which utilize a pattern recognition. In the initial test, we used waveform data recorded at our sensor network as the training data to detect the other observed data. We found the discrimination was successful. However, at the moment, since we only have five earthquakes detected in our network, the amount of training data is not enough. So as the next step, we use the seismic data obtained at the Yokohama strong motion network and loaded noise obtained by our sensor to the seismic waves. Using the waveforms as training data we will show the synthetic test to check the ability of our ANN detection algorithm.

キーワード：地震波検出、ニューラルネットワーク、ANN、MEMS

Keywords: Seismic signal detection, Neural network, ANN, MEMS

超磁歪素子による精密弾性波計測システムの抜本的改良

Fundamental improvement of precise and longterm monitoring system of seismic wave with giant magnetostrictive seismic source

*國友 孝洋¹、石井 紘¹、浅井 康広¹、佐野 修¹、大久保 慎人²

*Takahiro Kunitomo¹, Hiroshi Ishii¹, Yasuhiro Asai¹, Osam Sano¹, Makoto OKUBO²

1. (公財) 地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所、2. 高知大学 教育研究部自然科学系理学部門

1.Tono Research Institute of Earthquake Science, ADEP, 2.Natural Science Cluster, Kochi University

超磁歪素子を利用したアクチュエータは、動電加振機などと比べて、変位は小さいが発生応力が大きく、扱いが簡便なため、高周波用の人工震源装置への応用が期待される。東濃地震科学研究所（以下TRIES）では、2011年から超磁歪素子を用いた震源装置（以下、超磁歪震源）の開発がすすめられてきた [石井・他（2011）、佐野・他（2011）、大久保・佐野（2011）]。2014年度には、GPS同期型の矩形波信号源（500Hz）が開発され、超磁歪震源の設置場所である瑞浪観測壕内のみならず、遠方にあるTRIESのボアホール観測網での検出も視野に入れた実験が行われてきた [公益財団法人 地震予知総合研究振興会(2015)]。しかし、今年度になって、観測データや機器構成を精査したところ、記録計や震源装置に種々の問題があることが判明したため、実用化を目指して抜本的な改良を進めている。

10kHz連続サンプリング用記録計のデータには、1Hz毎（特に1000Hz毎および10Hz毎）にサンプリングクロックに由来するラインスペクトルノイズが含まれている。これらはスタッキングしても消えないため、500Hzの基本波とその奇数次高調波から構成される矩形波による発震信号を遠方で観測するのは非常に困難である。このクロック由来のノイズは多くの地震観測装置に共通にみられる問題であるため、送信信号の周波数が整数を含まないようにするために、GPS時計、信号発生器、電力増幅器、信号設計法を刷新して、実験を行った。超磁歪震源は、装置やその固定、超磁歪素子の固有振動が原因で、800Hzと2500Hzで強く共振する。500.5Hzの矩形波信号で発震し、2.5日間のスタッキングを行ったところ、震源のほぼ直下にある戸狩350mボアホール地震計（以下、TGR350）の3成分すべてで5倍高調波（2502.5Hz）が明瞭に観測された。振幅は上下動成分が最も大きく、3倍高調波（1501.5Hz）も見えている。なお、これまで瑞浪観測壕内で観測された加速度波形では、500Hz～25kHzまでこのような共振はみられず、矩形加速度波形を観測したとされてきた。数十～数百波長分もの距離を伝播したはずにもかかわらず位相の乱れがなく、全周波数の位相が滑らかに繋がることから、これまでの観測波形は、トリガー信号として用いられてきた500Hz矩形波の電氣的な混入である可能性が疑われる。

100.5～200.5Hz（1Hz間隔）の101個の等振幅の正弦波を合成した波形を送信信号として発震し、TGR350の約10日間のスタッキングしたところ、100～130Hzで明瞭な信号が観測された。超磁歪震源の駆動電流を震源スペクトルとしたグリーン関数に相当する時間波形を計算すると、走時0.1sから始まる明瞭なP波波形が得られた。このようにオフラインによるGPS同期弾性波の観測は可能になったが、遠方での観測には長いスタッキング期間が必要であり、短時間の地震波速度変化は観測できない。現状の超磁歪震源の設置は、地盤を超磁歪アクチュエータが押すときに、その周辺では固定フレームによって引きの力が加わるようになっており、放射効率が極めて悪いと考えられる。今後、震源装置の設置治具を改良し、シングルフォースで発震する実験を行う予定である。

キーワード：超磁歪素子、GPS同期、シングルフォース

Keywords: giant magnetostrictive actuator, GPS time synchronization, single force

地震研究情報データ提供システム(J-SEIS)の開発

Development of JAMSTEC Ocean-bottom Seismology Database (J-SEIS) to download DONET Event Data and Borehole Continuous Data

*堀川 博紀¹、高江洲 盛史²、末木 健太郎¹、荒木 英一郎¹、園田 朗¹、高橋 成実¹、坪井 誠司¹

*HIROKI HORIKAWA¹, Morifumi Takaesu², Kentaro Sueki¹, Eiichiro Araki¹, Akira Sonoda¹, Narumi Takahashi¹, Seiji Tsuboi¹

1.国立研究開発法人海洋研究開発機構、2.日本海洋事業株式会社

1.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2.Nippon Marine Enterprises, Ltd.

国立研究開発法人海洋研究開発機構 地球情報基盤センター(CEIST)では、今後、大地震の発生が予想されている東南海地震震源域の各種地震活動データを収集・統合した、地震研究情報データベースを構築した。地震・地殻変動現象の速やかな解析を促進するため、CEISTでは、海底地震観測データを広く一般に公開する、DONETイベントデータ提供システムと長期孔内観測データ提供システムの運用を行ってきた。

DONETイベントデータ提供システムは、紀伊半島熊野灘沖に設置された、地震・津波観測監視システム(DONET1)の観測データの提供システムとして、2014年11月から運用を開始した。DONETイベントデータ提供システムでは、DONET1の20観測点における強震計と広帯域地震計観測データの内、USGSカタログのマグニチュード6以上、気象庁カタログのマグニチュード4以上を対象として、地震イベント毎に切り出したデータ(イベントデータ)を提供してきた。

また、長期孔内観測データ提供システムは、長期孔内観測システムの観測データ提供システムとして、2015年7月から運用を開始した。長期孔内観測システムは、2010年に国際深海科学掘削計画(IODP)により、地球深部探査船「ちきゅう」によって、紀伊半島熊野灘沖に設置された。長期孔内観測システムには複数のセンサー(広帯域地震計、傾斜計、間隙水圧計、歪計、温度計など)を備えており、DONET観測網を通してリアルタイムでデータが横浜研究所へ送信される。長期孔内観測データ提供システムでは、システム利用者が任意の時間長で切り出した、長期孔内観測システムの観測データ(連続データ)を準リアルタイムで提供してきた。

DONETイベントデータ提供システムと長期孔内観測データ提供システムには、共にmini-seed形式の観測データを取り扱うなど、システムの仕様に共通性があり、システム統合の可能性について検討を行った。システムを統合することにより、同一のWebアプリケーションから、連続データとイベントデータのダウンロードが容易となる。さらに、Webインターフェース一元化によるユーザビリティの向上や、システム運用管理の効率化が期待される。これらのシステム統合によるメリットを踏まえ、2015年度より、長期孔内観測データ提供システムをベースシステムとして両システムを統合し、地震研究情報データ提供システム(J-SEIS: JAMSTEC Ocean-bottom Seismology Database)を構築した。

また、システムの統合と併せて、IRISが提供する「Web Services」を参考にしたデータダウンロード機能の新規実装や、ユーザ認証環境の整備、技術情報などの掲載コンテンツの拡充も実施している。

地震研究情報データ提供システムは、2016年度に運用を開始し、今後、潮岬沖から室戸岬沖の南海地震震源域に設置されたDONET2や、長期孔内観測システムの新規観測点における、観測データの追加も予定している。

キーワード：地震波形データ、長期孔内観測システム、DONET、ちきゅう

Keywords: Seismic Waveform Data, Long-Term Borehole Monitoring System, DONET, D/V Chikyu