

ICTを用いた海底光ケーブル式地震津波観測システムの開発 Development of ocean bottom cabled seismic and tsunami observation system using ICT

篠原 雅尚^{1*}, 山田 知朗¹, 酒井 慎一¹, 金沢 敏彦²

Masanao Shinohara^{1*}, Tomoaki Yamada¹, Shin'ichi Sakai¹, Toshihiko Kanazawa²

¹ 東京大学地震研究所, ² 防災科学技術研究所

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

The Pacific plate is subducting below the northeastern Japan islands arc. The 2011 Tohoku earthquake occurred at the plate boundary between the Pacific plate and the landward plate below landward slope of the Japan trench. In 1996, Earthquake Research Institute, University of Tokyo had installed seismic and tsunami observation system using seafloor optical fiber in the off-Sanriku area. The cabled system observed seismic waves and tsunamis generated by the 2011 Tohoku earthquake, and the data from the system are indispensable to estimate the source process of the 2011 event. However, the landing station of the system was damaged by huge tsunami 30 minutes after the mainshock. Therefore we decide to install newly developed Ocean Bottom Cabled Seismic and Tsunami (OBCST) observation system off Sanriku to continue the sea floor observation.

Until 2010, we had already developed and installed the new compact Ocean Bottom Cabled Seismometer system near Awashima-island in the Japan Sea. After the installation, data are being collected continuously and we have continuous seismic data for approximately 2.5 years at the present. The new system for off-Sanriku area is based on this system. The new OBCST has three accelerometers as a seismic sensor. Signals from accelerometers are 24-bit digitized with a sampling rate of 1 kHz and sent to a landing station using standard TCP/IP data transmission. A precise pressure gauge is equipped as a tsunami sensor. The tsunami data are also transmitted by TCP/IP protocol. In addition, we have a plan that an observation node has an external port for additional observation sensor which will install on seafloor using Power over Ethernet technology. The data will be stored on the landing station and sent to Earthquake Research Institute in the real-time. At the present, we are producing a proto-type of the new OBCST. In this paper, we will present a system of the new OBCST in detail, and installation plan.

隠れマルコフモデルに基づく地震波形の時系列構造のモデル化 Modeling of time series structure of seismic waveforms based on hidden Markov models

小寺 祐貴^{1*}, 酒井 慎一¹
Yuki Kodera^{1*}, Shin'ichi Sakai¹

¹ 東京大学地震研究所

¹Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

地震波形の時系列構造(どのようなフェーズがどのような順序で観測されるか)をモデル化することで、波形が持つ時系列の特徴を定量的に評価できたり、地震発生の物理過程を把握する手掛かりを得ることができると考えられる。モデル化された時系列構造を用いて、フェーズの検知、イベントの分類、周波数構造の解析、破壊過程の解析、波形の合成などが可能になると期待される。隠れマルコフモデル(hidden Markov model; HMM)は、観測データから統計的に時系列構造をモデル化する代表的な手法である。本研究ではフェーズの検知に焦点を当て、HMMによりモデル化された時系列構造を用いて、P波とS波の初動を読み取る新しい手法を開発する。ノイズからP波になりS波に至るという一連の時系列を直接自動検知システムに取り入れることで、従来の自動検知手法よりもフェーズの検知能力が上がると思われ。

時系列構造のモデル化をする対象にした地震は、足尾地域(栃木県西部)で発生する深さ0kmから15kmまでのイベントである。足尾の観測点であるE.ASOで2009年から2011年までに観測された明瞭なイベントトリガー波形約1000個に対して、パワー、極性、高次統計量を特徴量として抽出する。抽出した特徴量の時系列を学習用データとし、ノイズ、P波、S波をそれぞれ表現する3種類のHMMを構成する。それら3種類のHMMを一系列に繋げることで、イベントの時系列構造を表現するHMMを得る。与えられた地震波形に対し、イベントを表現するHMMから隠れ状態を推定し、その変化からP波とS波の初動を同定する。

E.ASOで2012年に観測された明瞭なイベントトリガー波形約1000個をテスト用データとして、HMMによる自動検知法を、振幅や周波数の変化を利用した手法(STA/LTA-AR法)と比較した。P波に対しては、HMMによる自動検知法の精度はSTA/LTA-AR法と同程度であった。S波に対しては、HMMによる自動検知法の精度がSTA/LTA-AR法の精度よりも有意に高かった。HMMはモデル化された時系列構造をもとに、P波の後続波とS波の後続波を認識した上でS波初動を検知するという物理過程を考慮した読み取り方を行っているため、S波の検知能力が向上したと考えられる。

キーワード: 隠れマルコフモデル, 時系列構造, 自動検知, 地震活動

Keywords: hidden Markov model, time series structure, automatic detection, seismicity

スロー地震の観測を目指したレーザー干渉型ひずみ偏差計の開発とその状況 Development of a laser strain gradiometer for the observation of slow earthquakes

出口 雄大^{1*}, 新谷 昌人¹

Takehiro Deguchi^{1*}, Akito Araya¹

¹ 東大地震研

¹ERI

観測の報告の少ない、継続時間がおおよそ200秒~1日の長さのスロー地震を低ノイズで観測することを目指し、観測機器・手法を開発することを考えた。スロー地震の引き起こす変位を、無限等方弾性体中の点震源の仮定で計算し、スペクトルを解析的に求めた。地面振動の背景ノイズについては、最小地面振動のモデルであるNLNMとレーザーひずみ計の観測結果から、地面振動の空間スケールと変位・傾斜・ひずみ偏差の大きさをいくつかの仮定のもと求めた。スロー地震のスペクトルと、背景地面振動のスペクトルを比較した。これによって、地震計やひずみ計・傾斜計では地面振動ノイズによって対象のスロー地震の観測が難しいこと、現状で測定されていないひずみの偏差(勾配)を測定すれば観測できる可能性があることが判明した。そこで、レーザー干渉計を用いて、ひずみの偏差を直接測定する機器を定盤上で試作した。この機器の光センサのノイズおよび温度変化による影響を実験室内で測定した。機器を静穏な環境である東京大学地震研究所鋸山観測坑に運び、そこで卓越する機器のノイズについて測定した。これは空気の対流によるノイズと $1/f^2$ のスペクトルを持つノイズからなっていた。 $1/f^2$ のノイズは干渉計の非対称性とカップリングしていた。これらのノイズをスロー地震のスペクトルや背景地面振動と比較した結果、干渉計の調整により試作機の1/10の非対称性を達成し、さらに真空装置を導入したとしても、必要な精度に達するためには、基線長が300m以上なければならないことが分かった。現実的な大きさの装置で観測を可能とするには、 $1/f^2$ のノイズについて原因を探り、除去することが必要である。ノイズの除去についての進捗状況と、ひずみ偏差を一か所の観測点で直接測定することへの見通しについて発表する。

キーワード: ひずみ計, レーザー干渉計, スロー地震

Keywords: strainmeter, laser interferometer, slow earthquake

人間以上に高精度の地震波自動読み取りシステムの開発 (その4) Automatic arrival time picking compared to manual picking (4)

堀内 茂木^{1*}, 堀内優子¹, 飯尾能久², 高田陽一郎², 澤田義博³, 関根秀太郎³, 中山貴史⁴, 平原 聡⁴, 河野俊夫⁴, 中島淳一⁴, 岡田知己⁴, 海野徳仁⁴, 長谷川昭⁴, 小原一成⁵, 加藤愛太郎⁵, 中野 優⁶, 中村武史⁶

Shigeki Horiuchi^{1*}, Yuko Horiuchi¹, Yoshihisa Iio², Youichiro Takada², Yoshihiro Sawada³, Shutaro Sekine³, Takashi Nakayama⁴, Satoshi Hirahara⁴, Toshio Kono⁴, Jyunichi Nakajima⁴, Tomomi Okada⁴, Norihito Umino⁴, Akira Hasegawa⁴, Kazushige Obara⁵, KATO Aitaro⁵, Masaru Nakano⁶, Takeshi Nakamura⁶

¹ 株式会社 ホームサイズモメータ, ² 京都大学防災研究所, ³ 地震予知総合研究振興会, ⁴ 東北大学 大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター, ⁵ 東京大学 地震研究所, ⁶ 独立行政法人 海洋研究開発機構

¹ Homeseismometer Corporation, ² Disaster Prevention Research Institute Kyoto University, ³ Association for the Development of Earthquake Prediction, ⁴ Research Center for Prediction of Earthquake and Volcanic Eruptions, ⁵ Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, ⁶ Japan Agency for Marine-Science and Technology

1. はじめに 海底地震計の整備や, 安価な地震観測装置の開発に伴い, P波, S波到着時刻の読み取り量が増え, オペレータによる読み取りは, 限界を超えつつある. 我々は, 地震の専門家のノウハウを組み込んだP波, S波自動読み取りシステムの開発を行っている. 本システムは, 東北大学に試験的にインストールされた日本の全リアルタイム地震観測データを用いた震源決定が行われるようになった. また, 福島県南部・茨城県北部等で実施された臨時地震観測データを用いた自動震源決定にも適用されている. 本発表では, これらの結果について報告する.

2. 震源決定手法の改良 自動震源決定では, 複数の地震が同時発生する等の場合に正しく計算できないことが多かった. そこで, 以下の方法で震源決定を行うようにした. 1) 全観測点でのP波, S波到着時刻の読み取り. 2) 3成分波形を用いた, 読み取った位相がP波であるか, S波であるかの判定. 3) 全ての観測点について, 理論波形に類似した関数を定義. 具体的には, P波, S波読み取り時刻の近傍での振幅が $\exp(-(t-p)/p)^2$, $\exp(-(t-ts)/s)^2$, それ以外では振幅ゼロとなる関数を定義する. ここに, t_p, t_s はP波, S波到着時刻であり, p, s は定数である. 4) 理論波形(関数)を最もよく満足する震源位置と到着時刻とをグリッドサーチで推定. 5) 求められた解と一致するP波, S波読み取りデータを用いた最小二乗法による震源決定.

グリッドサーチでは, 全ての観測点の関数の振幅の和の最大値が最大となるよう解を求めた. 発生時刻に関するグリッドサーチは最初に行うようにし, 空間に関するグリッドサーチは, 着末着法に使われている方法(Horiuchi et al., 2005)を用いた. この方法のメリットは, 1) P波, S波到着時刻以外の時刻範囲で計算を実行する必要がなく, 計算を高速に行うことができること, 2) 複数の地震が同時に発生した場合にも, 正確な震源決定が行えること, である. ディスクに保存された, 日本全体の1日間の波形データに, この方法を適用する場合の計算時間は約3時間である. グリッドサーチに振幅を用いる方法も検討したが, 走時に比べ分解能が低く, 採用しなかった.

3. 結果

1) 日本全体の連続波形データを, Hi-net からコピーし, 自動処理による結果と一元化震源によるそれとを比較した. コピーしたのは, 2011年9月3日の1日間である. この日の気象庁一元化震源による震源決定個数は588個, 自動震源決定できた地震数は1316個で, 自動震源できた地震数は一元化震源の2.4倍であった. 間違った震源決定の割合は, 1-2%であった. 一元化震源ではマグニチュードが2を超える多くの地震が, 決定できていないことが示された.

2) 2012年12月より, 本システムが東北大学にインストールされ, 日本全体のリアルタイム地震観測波形データを用いた自動震源決定が開始され, 一元化震源の2倍近い震源が決定されている. この結果については, 本大会で, 中山他により報告される.

3) 東北地方太平洋沖地震以降, 東京大学地震研究所等により, 福島県南部・茨城県北部で, 約60点の稠密臨時地震観測が行われている. このデータに, 定常観測網のデータを加えたデータセットに対して本システムによる自動震源決定が行なわれ, その結果については, 本大会で, 加藤他により報告される. 観測点補正值を用いて再決定された約14万個の地震に対して, 全観測点のP波, S波走時残差のRMSはそれぞれ0.075秒と0.098秒であった. このデータセットの一部は, オペレータによる読み取りが行われているが, そのデータを用いた場合の残差は, 0.065秒, 0.137秒であった. 両者の比較は, 自動によるS波読み取り精度が, オペレータ以上に高いことを示している. また, 2. で示した震源決定方法の改良で, 複数の地震が同時発生する場合にも正しい震源決定が可能であることが示された.

4) DONETによる1日間の連続波形を用いて自動震源決定を行った. 東南海地域では地震活動が低く, ルーチンワークでは, P波部分のS/Nが極端に低い地震の震源も決定されている. 一部のS/Nが低い地震は, 自動震源決定できなかった.

4. 結論 高精度の自動震源決定システムの開発は順調に進んでいる. 今回の改良で, 複数の地震が同時発生する場合の処理は大幅に高精度化されたが, 今後, 更に改良を行う必要がある. また, S/Nが低い地震の震源を高精度で決定する技術開発を行う必要もある.

Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



STT56-04

会場:102B

時間:5月19日 11:45-12:00

キーワード: 自動読み取り, 自動震源決定, 高精度, 人間以上, 一元化震源, 読み取り精度

Keywords: Automatic picking, automatic hypocenter location, high accuracy, compared to manual, JMA hypocenter, picking accuracy

次世代海底地震計の実海域試験 Sea trials of new generation ocean bottom seismometer

清水 賢^{1*}, 前川拓也¹, 木村忠勝¹, 佃 薫¹, 渡邊佳孝², 高橋成実², 畠山 清², 小平秀一²

Satoshi Shimizu^{1*}, Takuya Maekawa¹, Tadakatsu Kimura¹, Kaoru Tsukuda¹, Yoshitaka Watanabe², Narumi Takahashi², Kiyoshi Hatakeyama², Syuichi Kodaira²

¹ 日本海洋事業株式会社, ² 海洋研究開発機構

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

We developed a new generation of ocean bottom seismometer (OBS) for extensive seismic study, which designed to advance compactness, user-friendliness, and electrical/mechanical transmission response. The new OBS named OBS2G (2nd Generation OBS to Grid) is integrated in a 13-inch glass-sphere and its weight is just 35 kg in air including the sinker. Access to the stored data, parameter-setting, time-synchronization, and battery-charge are available without opening the glass-sphere by wireless transmission technique. The dynamic range of the seismic recorder is 135 dB at 100 Hz-sampling. OBS2G employs newly developed low-noise ($< 7\text{ng}/\text{Hz}^{1/2}$ at 10Hz) and low-power-consumption accelerometers (15mW). The simple exterior of the OBS2G improves its mechanical transmission response compared to conventional short-period OBS that has some resonances. Observation period of OBS2G is over 4 weeks with the accelerometers.

Currently we have achieved four times of sea trials with OBS2Gs. The recent two trials were conducted at deep waters on JAMSTEC research cruise KR12-12 and KR13-01. The first experiment was held in August 2012 in a water depth of 4,000 meters, the Nankai Trough off Shizuoka. Recent one was held in January 2013 with two OBS2G in water depths of 7,000 meters, the Japan Trench off Miyagi. We have successfully obtained good quality seismic data on both experiments. In this paper, we will briefly introduce characteristics of new OBS and features of acquired data.

キーワード: OBS, 地震

Keywords: OBS, seismic

超深海底地震計と日本海溝での観測 Ultra-deep ocean bottom seismographic observations just above the Japan Trench

山田 知朗^{1*}, 篠原 雅尚¹, 金沢 敏彦²
Tomoaki Yamada^{1*}, Masanao Shinohara¹, Toshihiko Kanazawa²

¹ 東大地震研, ² 防災科研
¹ERI, Univ. of Tokyo, ²NIED

Recent giant earthquakes such as the 2011 Tohoku earthquake show large slip zones that generate huge tsunami can be located adjacent to trench. Observations in the vicinity are essential to resolve details of phenomena where the noticeable regions are. However, it is a challenging issue to observe earthquakes and their related phenomena just above the large slip zones because most trenches, which include the Japan Trench, are below ultra-deep sea, whose depth is over 6,000 m. A number of ocean bottom seismometers (OBSs) have been used for marine seismic studies since last century, but most of them are available at less than 6,000 m water depth. Few seismometers equipped with special vessels have been to the deeper zones, but the specialties are barriers in order to make seismic array easily. It is one of the solutions if compact OBSs would be able to be set under ultra-deep sea. We have been developing several compact free-fall/pop-up type OBSs, which include a new type OBS, ultra-deep ocean bottom seismometer (UOBS). It is slightly improved for handling and safety, but basically designed just the same as conventional model for widespread utilization. The UOBS has already enabled to obtain seismic data from just above the Japan Trench since 2012. Each UOBS has a three-component seismometer, a data-logger with a precise clock and batteries inside a housing which is a single glass sphere (dia. 17 in.) with the transponder unit for acoustic communication to vessels, and radio beacon and flashing light for recovery. A prototype UOBS was installed to the sea bottom below more than 6,500 m from sea surface on May 2012. It was recovered after using acoustic transmission. A modified UOBS was deployed below over 7,500 m on August, and recovered on October 2012. We obtained the seismic data from both UOBSs.

キーワード: 超深海底地震計, 日本海溝
Keywords: Ultra-deep ocean bottom seismometer (UOBS), Japan Trench

STS-1 地震計のフィードバック回路の更新 Renewal of feed-back circuit in STS-1 broadband seismometer system

石原 靖^{1*}

Yasushi Ishihara^{1*}

¹ 海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

STS-1 型地震計は現在でも主要なネットワークで使用されている代表的な地震計である。それは低い機器ノイズ、高い感度そして広いダイナミックレンジと言った性能が現在に地震学においても有用なレベルであり、他の計測器ではカバーできないパフォーマンスを示していることによる。しかしながらこのセンサーは既に製造は終了され予備のパーツの入手も困難となっている。海半球ネットワークにおいても、STS-1 型地震計は主要なセンサーであるが製造後 20 年を経過している。減圧および乾燥状態で運用されるので機械駆動部は健全であるものの、フィードバック回路を含む電子機器は通常の使用寿命を超えていると推察される。事実低地動ノイズの観測点では微小な振幅レベルではあるが不安定な信号が計測されている。

最近、フィードバック部分の回路 (STS1-E300) が開発され、海外のネットワークで導入されはじめている。我々はその回路部の試験導入をおこない、それを駆動するコントロールユニットの開発と試験観測をおこなった。この新しい回路にはセンサーのメンテナンス用の特性への切り替えや重り位置の制御、キャリブレーション信号の入力などの機能も有する。これらの操作は PC からのコマンドによりおこない従来とは大きく異なる。全機能の確認をするとともに、実際の導入、調整などの手法や手順を確立することが必要であった。またこれらを駆動する超安定且つ諸ノイズ等に耐える電源を設計、製造をおこなった。

室内および観測点においてテスト試験をおこない、新フィードバック回路やコントロールユニットの性能と機能の確認をおこなった上、今年父島観測点に導入をおこなった。初期のモニターによりデータではこれまでの機器構成で計測されていた不安定な信号は消えており効果が現れている。フィードバック回路の共有化によって感度が変化する。回路係数による推定値とほぼ同様な結果であるが、精密な感度の推定が現在の課題である。

キーワード: STS-1 地震計, フィードバック回路, 広帯域地震計, 海半球ネットワーク

Keywords: STS-1 seismometer, feed-back circuit, broadband seismometer, OHP network

ナノ分解能水晶加速度計の潮汐帯域における性能評価 Performance of quartz nano-resolution accelerometer in tidal bands

今西 祐一^{1*}, テオ・シャード², 大井 拓磨³
Yuichi Imanishi^{1*}, Theo Schaad², takuma oi³

¹ 東京大学地震研究所, ² Quartz Seismic Sensors, Inc., ³ 東邦マーカンタイル株式会社
¹ ERI, The University of Tokyo, ² Quartz Seismic Sensors, Inc., ³ Toho Mercantile CO., LTD.

Quartz Seismic Sensors 社が開発したナノ分解能水晶加速度計は、テストマスの変位を水晶振動子に伝え、そのひずみを nano counting の技術で検出することで、+2g から -2g までの加速度を出力するものである。nano counting とは、Paroscientific 社のナノ分解能気圧計に使われている技術である。この加速度計の潮汐帯域での性能を評価するため、気象庁精密地震観測室（長野県松代）において超伝導重力計との比較観測を行った。

加速度計は、超伝導重力計から約 2 m 離れた所に、上下方向に向けて設置した。傾斜を変えられる簡易的な台を用意し、重力最大の方向に調整した。温度変化の影響を軽減するため、加速度計一式は発泡スチロールの箱でカバーした。加速度およびセンサー温度をサンプリングレート 20Hz で収録し、それに加えて箱の中に白金の温度センサーを挿入して温度をモニターした。室内温度の変化は 0.1 度 p-p / 日、センサー温度の変化は 0.02 度 p-p / 日程度である。

設置直後には、加速度の値に不規則なドリフトとステップが見られたが、2 週間程度経過したあとはほぼ直線的なドリフトを示すようになった。その期間のデータを BAYTAP-G によって潮汐解析を行うと、潮汐による重力変化を確かに記録していることがわかった。得られた潮汐の振幅・位相は、超伝導重力計から得られるものとほぼ一致した。その一方で、気圧変化に対する応答係数が異常に大きく、何らかの器械的な影響が現れていると考えられる。そのほかに、温度変化の影響（これは内部で補正されている）が除去しきれないこともわかった。より詳しい解析の結果については発表の際に報告する。

キーワード: ナノ分解能, 水晶加速度計, 超伝導重力計, 地球潮汐

Keywords: nano-resolution, quartz accelerometer, superconducting gravimeter, earth tides

高分解能地下構造イメージングのための可搬式マルチチャンネル反射法探査 Portable multi-channel seismic reflection system for high-resolution structural imaging

三浦 誠一^{1*}, 山下 幹也¹, 中村 恭之¹, 高橋 成実¹, 小平 秀一¹

Seiichi Miura^{1*}, Mikiya Yamashita¹, Yasuyuki Nakamura¹, Narumi Takahashi¹, Shuichi Kodaira¹

¹ 海洋研究開発機構

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

海洋研究開発機構 (JAMSTEC) では地震発生過程解明や島弧成長過程解明等をめざして、マルチチャンネル反射法探査 (MCS) システムや海底地震計 (OBS) を用いた地下構造探査を行ってきた。これまでの探査ターゲットは地殻上部から上部マントルまでの大深度域までとなっており、そのための探査システムは大規模であり、運用面でも多くの人員とコストが必要である。また従来の構造探査システムは JAMSTEC 所有の深海調査研究船「かいれい」および海洋調査船「かいよう」に固定となっているために制約が大きい。近年、極域や浅海域等特殊海域での調査要望や、深海掘削や環境変動解明などのため従来以上の高分解能データ取得要望などが増えてきたため、JAMSTEC が保有する他の船舶や他機関の船舶などにも搭載可能でさらに高分解能なシステムの導入が要望されてきた。そのため JAMSTEC では 2011 年に新たに MCS システムを導入した。このシステムは、船舶の制約を受けない可搬式であり、クレーン等によって大半の船舶への着脱が可能となった。

新しく導入した可搬式 MCS システムを用いた航海はこれまで 4 回行った。最初は「かいよう」によるシステム導入時の試験航海であり、既存測線が多く海況が安定している相模湾で実施した。ここで得られたデータと「かいれい」による大深度向け既存測線との比較から、高分解能データの取得を確認することができた (三浦ほか, 2013)。2 回目は日本海溝域海溝先端部における高密度 2 次元グリッド調査であり、東北地方太平洋沖地震に関連する海溝先端部変形様式を明らかにする (Kodaira et al., 2012) とともに、統合国際深海掘削計画 (IODP) による掘削候補点選定 (Mori et al., 2012) に寄与した。3 回目は南海トラフ軸周辺において行われ、沈み込み直前の海洋地殻上堆積層および陸側斜面の変形構造について、高分解能データを取得した。4 回目は海洋地球研究船「みらい」による総合作動確認として、南海トラフ軸周辺のデータ取得を行った。測線の一部は 3 回目の航海時と重複している。そして 2013 年は「かいれい」でのデータ取得も予定されている。本発表では新しく導入したシステムの概要と高分解能反射法探査データ例の紹介や既存データとの比較などについて報告する予定である。

キーワード: 高分解能, マルチチャンネル反射法, 構造探査

Keywords: high-resolution, multi-channel reflection seismic, seismic survey

地震波自動読み取りシステム その性能評価

Evaluating performance of automatic earthquake detection and location system developed to the nationwide seismic network

中山 貴史^{1*}, 平原 聡¹, 河野俊夫¹, 中島淳一¹, 岡田知己¹, 海野徳仁¹, 長谷川昭¹, 堀内茂木², 堀内優子²

Takashi NAKAYAMA^{1*}, HIRAHARA, Satoshi¹, KONO, Toshio¹, NAKAJIMA, Junichi¹, OKADA, Tomomi¹, UMINO, Norihito¹, HASEGAWA, Akira¹, HORIUCHI, Shigeki², HORIUCHI, Yuko²

¹ 東北大学大学院理学研究科, ²(株) ホームサイスマメータ

¹Graduate School of Science, Tohoku University, ²Home seismometer corp.

日本列島には、約 1200 点から成る基盤地震観測網に加えて、多くの地域で様々な空間スケールの稠密臨時地震観測網が展開されている。人間による P 波・S 波到達時刻の読み取りとそれに基づく震源決定などの処理能力には自ずと限界があり、今後さらに増えるであろう、これら多数の観測点から供給される膨大な地震波形データの処理には、計算機を用いた地震波自動処理システムの活用が期待される。

堀内・他(2012, 2013 本大会)は、地震の専門家のノウハウを組み込んだ P 波、S 波自動読み取りシステムの開発を行ってきた。これまで開発されてきたこの自動処理システムが、日本列島全域の地震観測網向けにチューニングされ、2012 年 12 月より試験的に東北大学にインストールされ、日本全体のリアルタイム地震観測波形データを用いた自動震源決定が開始された。その結果、このシステムでは、人間による検測では難しい多数の地震を処理できることが分かった。ただし、例えば複数の地震がほぼ同時に起きたときなど、一つ一つの地震をきちんと識別して処理できない場合もある程度生じる。従って、このような地震波自動処理システムを実際の観測網に活用することを検討するためには、どのような地域で、どのようなマグニチュード範囲なら地震を適切に検知することができ震源決定が可能か、すなわち場所ごとの検知能力はどうか、どのような場合に地震の適切な識別が不可能になり、取り逃がしや誤って架空の震源を決めるようなことが生じるか、あるいは地震を検知して震源決定ができたとしても、それはどの程度の精度で決めることができるか、さらには P 波や S 波の到達時刻の読み取り精度はどうかなど、自動処理システムの性能を知ることが重要である。

そこで、我々は、試験的に導入したこの地震波自動処理システムの性能評価を開始した。東北沖地震発生前の 2011 年 2 月 1 日から 1 週間分のデータに対して行なった予備的な結果では、自動処理、一元化で決定された震源の数はそれぞれ 4014 個、2655 個であり、自動処理では約 1.5 倍の数の地震の震源を決定できている。また、マグニチュード頻度分布によると、検知できる下限のマグニチュードも、自動処理では大分小さいところまで伸びており、陸域下でおよそ M 0.0 付近までの地震を検知できているようである。本講演では、さらにデータ期間を延ばした性能評価結果について報告する。

ZOOMA による連続地震波形画像閲覧システムの開発 Development of a system for old seismological records using ZOOMA technology

鶴岡 弘^{1*}, 小原 一成¹

Hiroshi Tsuruoka^{1*}, Kazushige Obara¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ERI, The University of Tokyo

東京大学地震研究所和歌山地震観測所には、マイクロフィルム化されていないペン書き記録約 10 万枚がマップケースに保管されている。このペン書き記録の特徴は、1 観測点 1 成分の波形データが 1 日 1 枚の記録紙に連続的に記録されており、微小地震活動等を簡単に把握可能となっていることである。ただし、記録を確認するためには物理的に記録紙が保管されている和歌山地震観測所まで足を運ぶ必要があり、ペン書きであるためインクの薄れなどにより今後閲覧不可となる危険性がある。そのため、これらの貴重な記録を保存するとともに、簡便に閲覧し研究に活用しやすくする目的で、伊勢（1968 年）、七川（1969 年）、生石山（1968 年）、和歌浦（1968 年）、熊野（1968 年）観測点のペン書き記録約 3000 枚を ZOOMA という新しい画像フォーマットを採用して電子化を行った。電子化された画像データは地震研究所地震火山情報センターの Web サーバにアップし、ネットワークに接続された PC 端末からいつでもどこからでも連続地震波形画像にアクセスできるようにした。

ZOOMA フォーマットは、高画質、高速表示、高いセキュリティと大容量の配信を意識して開発された国産の画像フォーマットであり、この画像フォーマットの採用により従来のデジタルコンテンツの配信閲覧の手法と比較して、コンテンツ配信・閲覧に対してより快適なシステムが構築可能である。たとえば、今回 ZOOMA 化された波形記録は、印刷用として TIFF フォーマットで作成も行っているが、その画像サイズは、1 枚あたり約 60M バイトとなり、快適な閲覧を実現するためには、高速 CPU や大容量メモリを搭載した PC が必要となる。一方、ZOOMA 化された画像においては、非力なノート PC 等でも画像の拡大・縮小などの操作がスムーズに行えるため、閲覧性が非常に高い。また、ZOOMA フォーマットを表示するためのアプリケーションは、Web ブラウザのプラグインが開発されており、プラットフォームを意識せずに利用できることも長所である。

今後は、このシステムを利用して 1970 年前後における和歌山周辺の微小地震活動や深部低周波微動活動の定量化を行う予定である。また、ZOOMA 化のための予算等の確保などの問題もあるが、引き続き残りのペン書き記録の ZOOMA 化を進めていく予定である。

キーワード: ペン書き記録, zooma, デジタル化

Keywords: old seismological record, zooma

機械式強震計で観測された地震波形記録について Seismograms observed by a strong-motion seismograph at Matsushiro

大塚 仁大^{1*}, 熊井富美子²

Yoshihiro Otsuka^{1*}, KUMAI, Fumiko²

¹ 気象庁精密地震観測室, ² 松代地震センター

¹Matsushiro Seismological Observatory, JMA, ²Matsushiro Earthquake Center

精密地震観測室では、機械式強震計による観測を1951年9月から開始(山崎・小林, 2006)し、現在も観測を継続している。これまでに観測された地震波形の中で記録が一番多い地震は、長野市松代町周辺において1965年8月から活動が始まった松代群発地震で、最大のマグニチュードは1966年4月5日に発生した5.4であった。松代群発地震以外では、必ずしも多くはないが平成7年(1995年)兵庫県南部地震、平成16年(2004年)新潟県中越地震、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震など甚大な被害をもたらした地震波形も記録されている。国外の地震では2004年12月26日のインドネシア、スマトラ島沖の地震、2008年5月12日の中国、四川省の地震など大きな被害をもたらした海外の地震波形も記録されている。これらのアナログ記録の活用方法を図るため、機械式強震計の波形記録について調査を行った。

(1) マグニチュード

観測された国内の地震(628イベント)の場合、マグニチュードの下限は、松代群発地震ではマグニチュード3程度(346イベント)、長野県周辺ではマグニチュード4程度(25イベント)、それより遠い地域ではマグニチュード5程度(257イベント)であった。国外の地震(52イベント)の場合、マグニチュード7を超える程度となり、最も遠い地震の記録は2001年1月26日にインド付近で発生(マグニチュード7.7)したものであった。

(2) 地域別イベント数

長野県周辺を除く国内の地震で長野県を境に東日本と西日本に分けた場合、東日本では221イベント、西日本では36イベントの記録があった。国外の地震では、千島列島周辺で16イベント、ウラジオストク周辺で3イベント、アリューシャン列島周辺で4イベント、ミクロネシア周辺で4イベント、フィリピン周辺で7イベント、インドネシア周辺で10イベント、中国で6イベント、インド周辺で2イベントの記録があり、地域に偏りがみられた。

(3) 波形の特徴

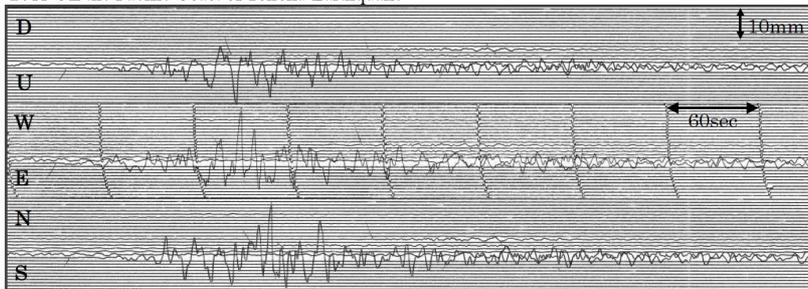
国内の地震の場合、1966年4月5日の松代群発地震は最大振幅5mm程度で周期1~2秒、1995年1月17日の兵庫県南部地震は最大振幅9mm程度で周期4~5秒、2004年10月23日の新潟県中越地震は最大振幅6mm程度で周期2~4秒、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震は最大振幅20mm程度で周期4~7秒であった。国外の地震の場合、2004年12月26日のスマトラ島沖の地震は最大振幅2mm程度で周期15~20秒、2008年5月12日の四川の地震は最大振幅1mm程度で周期10~15秒であった。波形が振切れるような観測事例は無く、マグニチュード8を超える地震になると周期が35秒より長い波形もみられた。

これらから、機械式強震計は国内外で被害をもたらした規模の大きな地震波形を記録していて、最も振幅の大きな地震は2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震であることがわかった。

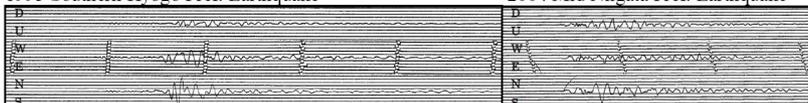
キーワード: 機械式強震計, マグニチュード, 最大振幅, 周期

Keywords: strong-motion seismograph, magnitude, maximum amplitude, period

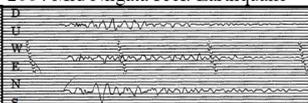
2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake



1995 Southern Hyogo Pref. Earthquake



2004 Mid Niigata Pref. Earthquake



走時変化の精密計測のためのHi-netのサンプリングクロックの精度評価とデータ補正法

The accuracy evaluation of sampling clock of Hi-net and data correction for precise measurement of travel time

國友 孝洋^{1*}

Takahiro Kunitomo^{1*}

¹ 名古屋大学

¹ Nagoya Univ.

1. はじめに

防災科学技術研究所のHi-netのデータは、通常の地震観測以外にも様々な研究目的で広く用いられるようになってきている。例えば、アクロス、地震干渉法、相似地震などを用いて地殻の微小な地震波速度変化(地震波の走時変化)を検出する試みもなされており、東北地方太平洋沖地震(2011年3月11日、M=9.0)の後には、ミリ秒から数十ミリ秒オーダーの走時遅れが生じたことが報告されている。こうした走時変化の精密計測には、人工震源-観測点間あるいは収録装置間でサンプリングクロックが同期している必要があるが、Hi-netのサンプリングクロックの信頼性については必ずしも検討されてこなかった。

2. 使用したデータと手法

Hi-netのサンプリングクロックの評価および補正には、センサーチェック信号を用いた。センサーチェック信号は、地震計のキャリブレーションコイルに5秒間の矩形波電圧を印加して得られる応答波形である。矩形波電圧は、GPS時計の1PPSによってメカニカルリレーを駆動させて直流電圧をON/OFFすることで得られる。そのタイミングは、サンプリングクロックとは独立であることから、センサーチェック信号を基準としてGPS時刻に対するサンプリングクロックの変化を検出できると考えられる。問題となるのはメカニカルリレーの安定性と地震計の位相特性の変化である。

24のHi-net観測点について、2004年から2012年まで8年間のセンサーチェック信号をクロススペクトル解析により遅延量の変化を調べた。その結果、メカニカルリレーがOFFのタイミングがいずれの観測点でも安定しており、地震計の固有周波数である1Hzから離れた高周波数帯域では位相特性の時間変化がほとんどないことが分かった。午前9時5秒から2.5秒間のセンサーチェック信号データのうち10-20Hzの周波数についてクロススペクトル解析により基準波形からの遅延量を計算した。基準は、2012年10月の一ヶ月間のスタッキング波形とした。遅延量の計算において収録装置の周波数特性は補正している。

3. 結果と議論

2004年4月から2012年10月までの遅延量の推移を調べると、タイプ1からタイプ3までの全ての収録装置で、ミリ秒オーダーのステップ状の飛びが見られた。特にタイプ3でステップ状の変化が頻発している。遅延量は階段関数状に変化しており、その上にデータのノイズレベルに応じたランダムな変化が重畳している。また、データの欠測との関係について調べたところ、ステップ状の飛びは、収録装置の再起動によると見られる欠測の後に発生していることが分かった。

これらの結果をHi-net八百津観測点(11.3km)や鳳来観測点(56.9km)で観測されたアクロス信号の走時変化に適用したところ、地震発生時以外にはステップ状の走時変化は見られなくなり、年周変化と経年変化とがより明瞭に認識できるようになった。そして、大きなステップ状の走時変化は地震時のみに発生していることが明らかとなった。

なお、収録装置が更新された場合は、メカニカルリレーのタイミングが異なると考えられるため、サンプリングクロックの厳密な補正はできない。より詳細なサンプリングクロックの精度の検討には、収録装置に直接GPS時計に同期した信号を入力して調べる必要があるだろう。時計の精度は現代科学技術の根幹の一つであり、地震計測が現代科学であるためには、最低限サンプリングクロックの精度の明示が是非とも必要である。今後、Hi-netのサンプリングクロックの精度がより詳しく検証され、補正情報の取得とユーザーへの発信が行われること、そして、補正の必要のない収録装置が開発されることを望みたい。

(謝辞) 防災科学技術研究所のHi-netのデータを使わせて頂きました。また、原子力機構東濃地科学センターの方々には、土岐送信所の稼働にご尽力を頂きました。また、株式会社計測技研にはメカニカルリレーに関する情報を頂きました。記して感謝致します。

キーワード: 地震波速度変化, センサーチェック信号, クロススペクトル, 弾性波アクロス

Keywords: seismic velocity change, sensor check signal, cross-spectrum, seismic ACROSS

計測メルカリ震度の比較 Comparison of instrumental Mercalli seismic intensities

勝間田 明男^{1*}, 上野 寛¹, 林 豊¹, 馬場 俊孝²
Akio Katsumata^{1*}, Hiroshi UENO¹, Yutaka Hayashi¹, Toshitaka Baba²

¹ 気象研究所, ² 海洋研究開発機構

¹Meteorological Research Institute, JMA, ²JAMSTEC

メルカリ震度階級は、世界で広く使われている。メルカリ震度と PGV 等の計測値との対応についてはこれまで様々な研究がなされている。ここではチリ国との共同研究の一環として、計測震度の使用の検討のためチリ国において観測されたデータを用いて計測値からの震度値推定を試みた。

改正メルカリ震度 (MMI) と計測値との対応づけとして、水平動の PGA・PGV との関係式 (Wald et al., 1999: MMI(PGA), MMI(PGV)), Shabestari and Yamazaki (2001) による気象庁震度フィルターを用いた震度算出方式 (MMI(JMA)) を比較した。MMI(PGA) の関係式は 5-8、MMI(PGV) の関係式は 5-9 の適用範囲を持つとされている。データとして、チリ大学によって取得された 2010 年チリ地震の加速度記録を用いた。観測点は震源域の北部に分布している。気象庁方式の計測震度も算出したが、気象庁計測震度にして 4.8-5.6 の範囲に分布している。使用しているデータ数は現在のところ 9 点のみである。

3 種の計測震度は最大 1.6 の差がありばらつきがあり、差は小さいとは言えない。MMI(PGA) と MMI(PGV) の差の rms は 0.5、MMI(JMA) と MMI(PGA) の差の rms は 0.7、MMI(JMA) と MMI(PGV) の差の rms は 0.4 であった。また、MMI(PGA)-MMI(PGV) は MMI(PGV) に対して明瞭な正の相関を示している。但し、MMI(PGA) の使用限界である 8 を越えているデータも含んでいる。MMI(JMA) は MMI(PGV) に比べて小さめの値となっているが、差の震度の値に対する依存性は小さく、比較的整合的な結果となっているとみられる。

今後、データの収集を行い計算事例の増加を図るとともに、体感震度データの収集を行い、計測震度と体感震度の差について調査する。

キーワード: 計測震度, 改正メルカリ震度, 2010 年チリ地震

Keywords: instrumental seismic intensity, modified Mercalli seismic intensity, the 2010 Chile earthquake

気象庁における地震津波監視システム開発のための人材育成の取り組みについて Efforts for the manpower training in JMA, for system development of earthquake and tsunami monitoring

大竹 和生¹, 平 祐太郎^{1*}, 東田 進也¹
Kazuo Ohtake¹, Yutaro Taira^{1*}, Shin'ya Tsukada¹

¹ 気象庁

¹The Japan Meteorological Agency

1. はじめに

気象庁では、緊急地震速報や津波警報等の防災情報の発表のため、地震計、及びテレメータ装置、サーバ等のハードウェア上に、観測データの送受信・解析処理、情報発表等を行うソフトウェアを載せたシステムを開発・運用している。このシステムには、情報の精度に加えて、迅速性、信頼性、24時間稼働等の厳しい要件が求められ、その開発においては、地球物理学ばかりでなく電子工学、情報工学などの広範囲の技術や知識が必要となる。しかし、一般的にこのような分野横断的な技術については系統的に学ぶ機会がまれであり、その開発・運用においては、関連業務を長期間従事してきたごく少数の職員に頼る部分が大きく、その人材の育成が課題になっている。このため、気象庁では、「地震業務処理技術研修」を企画し、東京大学地震研究所 卜部准教授、鶴岡准教授両氏の協力のもと3年間実施してきた。気象庁の地震津波監視システムの開発に係る人材育成の取り組みとして、本研修の概要などについて紹介する。

2. 研修のねらい

気象庁の地震火山業務を行なうためには観測装置やデータ伝送装置、処理システムが不可欠である。一方で、近年では、業務上、観測機器に実際に触る機会が減少している傾向があり、また、リアルタイム処理システムの機能やデータ処理ツール/アプリケーションについて具体的な仕組みを理解する機会も充分であるとは言えない状況である。

このようなことから、地震観測から震源決定までの業務処理システムを構成する主な処理や全体のフローを学び、また複数の処理を1つのシステムとして組み上げることを体験することで、システム担当者としての足掛かりとなる知識等を得ることを本研修のねらいとした。

3. 研修内容

本研修は将来システム開発に関わると想定される若手職員を全国から集めて実施している。今年度は、前期は6月25日から29日、後期は11月12日から16日までの計10日間実施した。前期の研修ではセンサの挙動やサンプリング・データ伝送などを扱った。前半の研修の詳細は大竹ら(2010)を参照されたい。

後期は、前期同様、基本的に午前中は講義を行ない、午後は実習をするというスタイルを踏襲した。講義内容は破壊過程解析や震度計算、緊急地震速報などの地震学の基礎や、フィルタ処理、ARなどの地震波形の処理手法、WINシステム(卜部・東田(1992)など)を題材とした開発プロセスや現行EPOSシステムの特徴などのシステム開発関連など多岐に及んだ。

計算機を用いた実習ではUbuntuを搭載したノートPCを一人1台貸与し、実際の地震波形を与えて実際の地震波形に対してフィルタ処理やトリガ、自動検出、震源決定等のプログラムを作成した。最終日にはこれらの個々の処理プログラム要素プログラムを組み合わせ、自動で震源を決定するシステムを組み上げ、リアルタイムで会津地方の地震波形を与えて自動処理を試みた。

4. まとめ

本研修では、これまでの業務経験で得られない知識・体験を得ることができることから、研修生の評判は良い。また、本研修は平成21年度より実施しているが、研修受講者の中にはシステム開発の担当者になる者も出ており、徐々に成果が上がりつつある。本研修を継続することでシステム担当者候補生を増すとともに、研修内容についても、最新の技術動向を取り入れつつ、10日間という限られた期間で研修効果を高めるための改善を行っていききたい。

謝辞

本研修にあたって、東京大学地震研究所の卜部卓准教授と鶴岡弘准教授には講義や機材の提供などで全面的にご協力頂きました。感謝いたします。また、ご講義頂いた他の講師の方々にも感謝いたします。

キーワード: 自動処理システム, 人材育成, 防災情報

Keywords: automatic processing system, development of human resources, disaster prevention information