

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

¹ Earthquake 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

STT56-03

会場:102B

時間:5月19日 11:30-11:45

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

¹ ERI

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 $\exp(-(t-p)/\Delta \tau_p)^2$, $\exp(-(t-ts)/\Delta \tau_s)^2$, 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、 τ_p, τ_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。

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