

## 日本海溝海底地震津波観測網 (S-net) の整備について (3) Seafloor Observation Network for Earthquakes and Tsunamis along the Japan Trench (S-net) (3)

植平 賢司<sup>1\*</sup>; 金沢 敏彦<sup>1</sup>; 望月 将志<sup>1</sup>; 藤本 博己<sup>1</sup>; 野口 伸一<sup>1</sup>; 眞保 敬<sup>1</sup>; 汐見 勝彦<sup>1</sup>; 功刀 卓<sup>1</sup>;  
青井 真<sup>1</sup>; 松本 拓己<sup>1</sup>; 関口 涉次<sup>1</sup>; 岡田 義光<sup>1</sup>; 篠原 雅尚<sup>2</sup>; 山田 知朗<sup>2</sup>  
UEHIRA, Kenji<sup>1\*</sup>; KANAZAWA, Toshihiko<sup>1</sup>; MOCHIZUKI, Masashi<sup>1</sup>; FUJIMOTO, Hiromi<sup>1</sup>;  
NOGUCHI, Shin-ichi<sup>1</sup>; SHIMBO, Takashi<sup>1</sup>; SHIOMI, Katsuhiko<sup>1</sup>; KUNUGI, Takashi<sup>1</sup>; AOI, Shin<sup>1</sup>;  
MATSUMOTO, Takumi<sup>1</sup>; SEKIGUCHI, Shoji<sup>1</sup>; OKADA, Yoshimitsu<sup>1</sup>; SHINOHARA, Masanao<sup>2</sup>; YAMADA, Tomoaki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所

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

Huge tsunami, which was generated by the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (Mw9.0), attacked the coastal areas in the north-eastern Japan and gave severe casualties and property damages. Before this disaster, there were poor on-line read-time seismic and tsunami observation networks in sea area around Japan, and information of ground motion and tsunami heights were very limited. To break this serious situation, the project to construct a large-scale seafloor network of cable-linked observatories around Japan Trench and Kuril Trench, named Seafloor Observation Network for Earthquakes and Tsunamis along the Japan Trench (S-net), started in 2011. This network is for earthquakes, tsunamis and vertical crustal deformations. Such real-time data from the seafloor observatories make it possible to forecast the next-generation early tsunami warning which could precisely predict coastal tsunami height. Also the data may make it possible to forecast an earthquake warning much earlier than the present system.

The network consists of about 150 ocean bottom observation stations. Ocean bottom fiber optic cables, about 5,700 km in total length, connect the stations to land. Observation stations with tsunami meters and seismometers will be placed on the seafloor off Hokkaido, off Tohoku and off Kanto, in a spacing of about 30 km almost in the direction of East-West (perpendicular to the trench axis) and in a spacing of about 50 - 60 km almost in the direction of North-South (parallel to the trench axis). Two or more sets of tsunami meters and seismometers will be installed in one station for redundancy. The digitized data will be transmitted to the data centers, JMA (Japan Meteorological Agency), and so on, using IP network.

This cable system is divided into 6 subsystems. The sea floor part of the coast off Boso subsystem was deployed by C/S Subaru from 9 July, 2013 to 24 October, 2013. The northern part of the coast off Sanriku subsystem was deployed by C/S KDDI Pacific Link from 4 April, 2014 to 13 August, 2014. The coast off Iwate and Miyagi subsystem is now under construction and the deployment will be finished by April 2015. Another subsystems and entire land part systems estimate completion in FY 2015.

## F-net 広帯域地震計・速度型強震計の網羅的正常性確認 Systematic monitoring of broadband seismometer and strong-motion velocitymeter conditions in F-net

木村 武志<sup>1\*</sup>; 村上 寛史<sup>2</sup>; 松本 拓己<sup>1</sup>  
KIMURA, Takeshi<sup>1\*</sup>; MURAKAMI, Hiroshi<sup>2</sup>; MATSUMOTO, Takumi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所, <sup>2</sup>(財)地震予知総合研究振興会

<sup>1</sup>National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, <sup>2</sup>Association for the Development of Earthquake Prediction

地震の震源や地球内部構造の研究にとって、広帯域地震計のデータは非常に重要である。一方で、広帯域地震計は地動に対する応答特性に異常をきたしうることが近年報告されており、これらの異常はデータそのものの目視によるチェックだけでは識別が困難である。木村・他 [2014] は観測点間隔が 200 km 程度の観測網を対象に、周期 50-200 秒の地動が正常に観測できているか網羅的に確認するシステムを開発した。このシステムでは、遠地地震の表面波について、評価対象の観測点における記録と周辺の複数観測点の記録との比較を行い、地震計の振幅・位相特性を含めた機器の状態をチェックする。木村・他 [2014] では F-net 広帯域地震計にこの手法を適用し、正常性を確認したが、周辺に十分な観測点が無い離島や観測網の端に位置する観測点については、評価が出来なかった。

本研究では、この問題を解決するために、広帯域地震計に加えて F-net の全観測点に設置されている速度型強震計も合わせて解析した。VSE-355G3 タイプの速度型強震計については 2.0E+4 nm (周期 50-100 秒), 1.0E+5 nm (周期 100-200 秒) 以上, TSM-1 タイプについては 2.0E+5 nm (周期 50-100 秒), 5.0E+5 nm (周期 100-200 秒) 以上の振幅をもつ表面波記録を用いた。これにより、観測点密度は木村・他 [2014] と変わらないが地震計の密度は 2 倍になり、比較する周辺の地震計の数を増やすことが出来るため、離島などの観測点に設置されている広帯域地震計でも評価することが出来る。また、速度型強震計そのものも評価可能である。

キーワード: 広帯域地震計, 速度型強震計, 応答特性

Keywords: broadband seismometer, strong-motion velocitymeter, seismometer response

## MeSO-net データの自動処理 (2): 見かけ速度適合法による地震検出と相関法による到着時測定 Automatic Event Detection by AVM method and Measurement of P- and S- arrival times for MeSO-net data

平田直<sup>1\*</sup>; 中川茂樹<sup>1</sup>; 酒井慎一<sup>1</sup>; 卜部卓<sup>1</sup>; 岩崎貴哉<sup>1</sup>; 横井康孝<sup>2</sup>  
HIRATA, Naoshi<sup>1\*</sup>; NAKAGAWA, Shigeki<sup>1</sup>; SAKAI, Shin'ichi<sup>1</sup>; URABE, Taku<sup>1</sup>; IWASAKI, Takaya<sup>1</sup>;  
YOKOI, Yasutaka<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> (株) 海洋先端研究所  
<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, <sup>2</sup>OHTI

### § 1. はじめに

我々は首都圏に 296 箇所の中感度地震観測点からなる首都圏地震観測網 (Metropolitan Seismic Observation network: MeSO-net) を整備し維持・管理している。この観測網の特徴は、多点の広帯域加速度計からの信号を連続で収録していることにある。そのために、自律協調型のデータ転送手順 (ACT; 森田他, 2010) を開発して、比較的低コストの通信回線で確実に高品質のデータを取得できるようにした。MeSO-net の連続記録から自動的に地震を検出する手法 (見かけ速度適合法) と、多次元 (2次元または3次元) 局所定常 AR モデル Multi-variate locally-stationary autoregressive (MLSAR) model (Takanami and Kitagawa, 1991) を用いた地震波到着時刻の自動検出システムを開発した。本講演では、さらに波形相関法を用いて、地震誤検出の低減を測り、実用的な自動処理システムの開発手法を提案する。

### § 2. 見かけ速度適合法による地震検出 (AVM 法)

走査型地震検出法 (中川・平田, 2000) を応用し、地震とノイズの判定および暫定震源の推定を行う方法「見かけ速度適合法 (Apparent velocity matching method: AVM)」(平田他, 2014 年度日本地震学会秋季大会 C32-03) を開発した。この方法では、まず、win システム (Urabe 他, 1992) の pmon によって、連続波形の振幅の短時間平均 (STA) と長時間平均 (LTA) の比 (STA/LTA) によって地震候補の事象を検出したあと、観測点毎の波形を正規化・単純化して、多点観測点データ間の見かけ速度の適合度を評価し、地震波相 (P または S 相) の判定と暫定震源の推定を行う。

### § 3. ノイズ混入率の低減

2011 年 9 月 4 日から 9 月 16 日の 13 日間の連続記録に本 AVM 法を適用したところ、地震検出率は 94 %、正解率 98 % を実現できた。検出された地震の内、約 24 % は気象庁一元化震源に無い地震であった。一方、目視ではノイズと判定されたが、AVM 法では地震と判定された事象の割合 (ノイズ混入率) は 12 % に上った。そこで、標準波形との波形相関を計測する手法を適応してノイズ混入率を低減させることを試みた。

### § 4. 絶対到着時刻と相対到着時刻の計測

P、S 波の到着時刻は、観測データに局所定常多成分 AR モデル (MLSAR モデル; Takanami, 1991) をあてはめて、P、S 波の到着時刻を 0.01 秒の分解能で自動的に測定する。さらに、標準波形との波形相関を取り、相対到着時刻を計測する。

### 謝辞

本研究では気象庁一元化震源、一元化処理による読み取り値、文部科省受託研究「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト・サブプロジェクト①」および「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト・サブプロジェクト①」による MeSO-net データを用いた。

キーワード: 地震検出, 自動処理, 局所定常 AR モデル, 波形相関法, MeSO-net  
Keywords: event detection, automatic processing, Locally stationary AR model, waveform correlation

## 気象庁の震源決定プログラムの改良 Improvement of the JMA's hypocenter determination program

松岡 英俊<sup>1\*</sup>; 上田 満治<sup>1</sup>; 森脇 健<sup>1</sup>  
MATSUOKA, Hidetoshi<sup>1\*</sup>; UEDA, Mitsuharu<sup>1</sup>; MORIWAKI, Ken<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象庁地震火山部

<sup>1</sup> Japan Meteorological Agency

気象庁の一元化処理で用いている地震観測点は-4000~2000mの高度に存在する。しかし、現在気象庁で用いている震源決定プログラムでは走時計算や微分係数の計算に観測点の高度が考慮されておらず、観測点の高度を0 mに固定して計算をしている。さらに、海底の観測点で震源位置に大きな影響を与える地震波速度が低速度である未固結堆積層の影響を考慮していない。そのため一元化震源は潜在的に観測点の高度と堆積層に起因する絶対的誤差を内包している。

そこで、震源決定の際に、走時表を用いて震源を計算するという従来から気象庁で用いている手法を大幅に変更することなく観測点高度と堆積層補正値を考慮できるプログラムの開発を行った。新しいプログラムでは、観測点の高度に応じた走時表を用いて震源計算を行う。これらの走時表はJMA2001[上野ほか(2002)]の速度構造にPseud-bending法[Um and Thurber(1987)]を適用して計算した。堆積層補正値は、一次元速度構造モデルとP波とPS変換波の走時差から推定された値を用いた。さらに高度毎の走時表、堆積層補正値をサーバのメモリ上に保持することにより従来の震源決定プログラムとほぼ同じ計算速度を維持している。

開発した震源決定プログラムを用いて震源計算を行い、一元化震源と比較した結果、陸域の地震について、観測点の高度が高い長野県・岐阜県境付近の地震は震源が浅くなり、観測点の高度が低い関東平野の地震は震源が深くなる傾向が見られた。海域の地震では、三陸沖OBSに補正値を適用した場合、OBS付近の地震については震源が浅くなる傾向がみられた。

今後、本手法を震源計算プログラムに導入することで、観測点高度と未固結堆積層による絶対的誤差を小さくすることが出来ることはもちろんのこと、防災科研の日本海溝海底地震津波観測網(S-net)やJAMSTECの地震・津波監視システム(Do-net1, Do-net2)の海底地震観測点が設置されている海域の震源精度の向上が大いに期待できる。



## レーザひずみ偏差計の開発—温度変化によるノイズの除去 Development of a laser strain gradiometer: reduction in thermal noise

出口 雄大<sup>1\*</sup>; 新谷 昌人<sup>1</sup>  
DEGUCHI, Takehiro<sup>1\*</sup>; ARAYA, Akito<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup> Earthquake Research Institute, University of Tokyo

観測の報告の無い継続時間 200 秒～1 日のスロー地震を検知することを目指し、機器を開発している。観測の障害となるのは機器のノイズだけではなく、背景地面振動の影響もあると知られている。背景地面振動について、愛知県の犬山観測点と岐阜県の神岡観測点のレーザひずみ計のデータを比較し、また地震計とひずみ計のデータを比較すると、励起源は数百 km 以上の大きな空間スケールを持つと推測された。一方、スロー地震は数 km～数十 km 程度の震源域のものを、震源距離数十 km 程度で観測することを想定している。そこで空間スケールの短い現象を強調するとスロー地震が観測できるようになると考えられる。

地面の変位の空間二階微分を直接測定できる機器を開発している。これをひずみ偏差計と呼んでいる。空間微分は空間スケールの小さい現象を強調するので、ひずみ偏差計によってスロー地震が観測できるようになると見積もっている。この機器は対称型レーザ干渉計を用いる。対称型レーザ干渉計のメリットとして、ひずみ偏差の測定に必要な長さの差を直接測定できること、およびレーザ光の波長不安定性によるノイズなどの同相ノイズが除去されることが挙げられる。

対称型干渉計のノイズについて実験室で測定した。真空中に入れ光路差が 0.5mm 以下になるようにして行った。このノイズは温度変化によって光学素子等が熱膨張・熱収縮することによって生じていることが判明した。対称型干渉計の温度係数は  $4.1 \times 10^{-7}$  [m/K] であった。次に、観測所の気温変化のスペクトルを推定した。犬山観測坑の石英管ひずみ計の伸縮は全て観測坑の気温変化によって生じていると仮定した場合、気温変化のスペクトルが  $f=3.2 \times 10^{-5}$  [Hz] で  $4.5 \times 10^{-4}$  [K<sup>2</sup>/Hz] と得られた。測定値には地面の伸縮やセンサのノイズが加わるため実際の気温変化はこの値以下であろう。継続時間 1 万秒のスロー地震 ( $f_c=3.2 \times 10^{-5}$  [Hz]) を震源距離 50km の所に置いたひずみ偏差計で検知するには、ノイズレベルを、 $1.4 \times 10^{-25}$  [m<sup>2</sup>/Hz] まで減らさなければならない。ひずみ偏差計の基線長を 15m として、実験室で計測された温度係数を持つ対称型干渉計を用いたとすると、光学定盤・光学素子の温度変化を気温変化の 1/90 以下に抑えなければならない。これは真空容器を地面と熱結合し、全体を断熱材で覆うことにより達成できると見積もっている。以前の研究では高真空・放射遮蔽・熱伝導率の低い支柱により真空容器から光学定盤への伝熱を低減することを考えていたが、これは必要ではなく、定盤の熱容量を大きくすることに困難もあった。

温度変化によるノイズの他に、レーザ光強度の揺らぎのノイズ、光センサ回路中の半固定抵抗の電流雑音と温度係数によるノイズ、ADC 内部ノイズ、光軸ずれノイズが問題となった。ADC ノイズ以外については、光強度をモニタするセンサを導入し、半固定抵抗を固定抵抗に置き換え、レーザのビームをレンズで絞ることにより解決した。

今後の計画として、断熱材で空気から真空容器への伝熱をどの程度減らせるのかを、実験室および鋸山観測坑で実験を行う。また、鋸山観測坑ではひずみ偏差計の形にしたときにどのようなノイズが生じるのかを測定する。また、犬山観測坑に基線長 15m 程度のひずみ偏差計を建設して、局所的な不均質性の影響の程度を測定する予定である。

キーワード: ひずみ計, レーザ干渉計

Keywords: strain meter, laser interferometer

## より優れた災害警告システムと測地学的観測のための新しいセンサー New sensors for improved disaster warning systems and geodetic measurements

小林 太郎<sup>1\*</sup>; Paros Jerome M.<sup>2</sup>; 大井 拓磨<sup>3</sup>  
KOBAYASHI, Taro<sup>1\*</sup>; PAROS, Jerome M.<sup>2</sup>; OI, Takuma<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Paroscientific, Inc., <sup>2</sup>Quartz Seismic Sensors, Inc., <sup>3</sup>東邦マーカンタイル株式会社

<sup>1</sup>Paroscientific, Inc., <sup>2</sup>Quartz Seismic Sensors, Inc., <sup>3</sup>Toho Mercantile Co., Ltd.

この度、災害警告システムと測地学的な観測のための新たな水晶振動式圧力計、加速度計、傾斜計が開発された。地震、津波、そして極端気象といった災害警報のシステムにおいて、わずか一秒にも満たない現象から数時間にかけて起こりうる現象を捉えるためには、高分解能、高いデータ取得スピード、そして高出力レンジを備えたセンサーが必要不可欠である。ナノレゾリューション技術により、絶対圧水位計でのマイクロ単位の水位変化の測定、加速度計でのナノ単位の地球の重力測定、傾斜計でのナノラジアン単位の傾斜の測定、そしてナノバール単位の絶対大気圧の微圧変動を捉えることで可能な超低周波音波（インフラサウンド）の測定が実現された。また、地震や津波、そして火山噴火の予兆となる地殻変動や地盤沈下、さらに地盤の歪みの蓄積を長期的に観測するには、少なくとも一年の間に1cm以下の地殻変動を感知する感度が必要である。このような精密で長期的な観測も、新たに考案された大気圧をリファレンスとした圧力計の現場校正と、地球の1Gの重力加速度ベクトルをリファレンスにした加速度計の現場校正を用いることで実現可能である。

キーワード: 極端気象, 津波, 地震, 噴火, 測地学

Keywords: extreme events, tsunami, earthquake, eruption, geodesy