

レーザーひずみ偏差計の開発～温度依存ノイズの低減 Development of a laser strain gradiometer and reduction in its thermal noise.

出口 雄大^{1*}; 新谷 昌人¹
DEGUCHI, Takehiro^{1*}; ARAYA, Akito¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, University of Tokyo

1. スロー地震

地震は断層のせん断すべりであり、破壊伝播速度がおよそ一定なため、断層面の縦方向、横方向、およびすべり量がそれぞれ破壊の継続時間に比例し、地震モーメントが時間の3乗に比例するスケールリング則に従う。このような通常の地震の他に、近年スロー地震が見つかった。これは、長期的スロースリップや短期的スロースリップ、深部低周波微動や超低周波地震といった現象の総称であり、これらは通常の地震と同様にせん断すべりであるが、よりゆっくりとしたすべりであることがわかっている（詳しくはレビュー論文 [Beroza et al, 2011] を参照）。これらは地震モーメントが時間に比例する ($M_0=CT$) スケールリング則をもつ同一のメカニズムの現象であるという仮説が立てられている [Ide et al, 2007]。

2. スロー地震の観測における問題点

スロー地震が発見されているが、スケールリング則から予想される継続時間が200秒～1日のスロー地震は観測の報告がない。その理由を調べるため、スロー地震のシグナルと背景地面振動の理論計算を行ったところ、加速度計や、ひずみ計・傾斜計の一点の観測では、背景地面振動の影響で観測できないことが分かった。

3. スロー地震の観測の取り組み例

背景地面振動や機器のノイズの影響を減らす一つの方法として、多点での観測を組み合わせることが考えられる。この方法で継続時間が1日未満のスロースリップの観測に迫っている先行研究として、産総研歪傾斜地下水压統合解析 [Itaba et al, 2009] が挙げられる。

4. ひずみ偏差の計測

変位の空間二階微分（これをひずみ偏差と呼ぶことにする）を直接測定できれば、一点の観測でも継続時間1日未満のスロー地震の信号が検出されると計算された。観測の障害となっている背景地面振動の波長は、スロー地震の震源までの距離（例えば50km）や震源域の大きさ（数km～数10km）よりもだいぶ大きいため、空間スケールの小さい現象を強調するとスロー地震を観測しやすくなる。そして、空間微分は空間スケールの小さい現象を強調する効果があるので、変位の空間二階微分であるひずみ偏差を直接測定できればスロー地震が観測できるという計算結果が得られた。

5. レーザーひずみ偏差計の開発状況

レーザー干渉計を用いてひずみ偏差を直接測定する装置を試作した。数十メートル規模の機器を、観測所の地面に設置する前に、地震研究所鋸山観測坑内の大気圧下で機器のノイズを測定したところ、周期10秒以上では、 10^{-5} Hzでおおよそ 10^{-12} [m²s]でパワーが $1/f^2$ となるスペクトルを持つノイズが見られた。これは、気圧変化により、干渉計の非対称性によって生じる基線の光路差が変化したことが原因だと分かった。次に、実験室で干渉計の部分真空装置に入れたところ、周期10s～10000sの帯域でノイズが1/10程度に減少したが、今度は $1/f$ のスペクトルを持つノイズが卓越していた。光路差をなくす調整をすることによってこのノイズは低減され、このノイズの原因は、使用している2縦モード安定化型レーザーの周波数の揺らぎであると推定した。周期が5000秒以上では、 $1/f^0$ のスペクトルの大きなノイズが残っていて、このノイズの大きさは周期20000s以上では以前と変わらない大きさだった。このノイズは、時間領域と周波数領域で、光学定盤の温度変化と概形としては同じ波形であった。そのため、このノイズは温度変化による光学素子や光学定盤の熱膨張が原因となっていると推定した。このノイズがひずみ偏差としては基線長の二乗に反比例して減少すると仮定した場合、継続時間10000秒のスロー地震の信号をノイズに埋もれずに捉えるのに必要な基線長は300m以上と試算された。今回は、このノイズを低減するため光学定盤を支える支柱をセラミック製にし、熱伝導を抑えて温度変化を少なくした場合の、干渉計のノイズについて解析し、今後の機器開発について説明する。

キーワード: レーザー干渉計, ひずみ計, ひずみ偏差計

Keywords: laser interferometer, strainmeter, strain gradiometer

ICTを用いたケーブル式小型地震津波観測システムと設置計画 Compact Ocean Bottom Cabled Seismic and Tsunami Observation System Using ICT and Installation Plan

篠原 雅尚^{1*}; 山田 知朗¹; 酒井 慎一¹; 塩原 肇¹; 金沢 敏彦²

SHINOHARA, Masanao^{1*}; YAMADA, Tomoaki¹; SAKAI, Shin'ichi¹; SHIOBARA, Hajime¹; KANAZAWA, Toshihiko²

¹ 東京大学地震研究所, ² 防災科学技術研究所

¹Earthquake Research Institute, 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 (ERI), University of Tokyo had installed seismic and tsunami observation system using seafloor optical fiber in the off-Sanriku area. The continuous real-time observation has been carried out since the installation. The system observed seismic waves and tsunamis generated by the 2011 Tohoku earthquake, and the data from the system are indispensable to estimate accurate position of the source faults and the source process of the 2011 event. However, the landing station of the system was damaged by huge tsunami 30 minutes after the mainshock, and the observation is discontinued. Because the data from the real-time system on seafloor are important, we decide to restore the existing system and install newly developed Ocean Bottom Cabled Seismic and Tsunami (OBCST) observation system off Sanriku for additional observation and/or replacement of the existing system. In this paper, we present a system of the new OBCST in detail, and installation plan.

Until 2010, we had already developed and installed the new compact Ocean Bottom Cabled Seismometer (OBCS) system near Awashima-island in the Japan Sea. After the installation, the OBCS system is being operated continuously and we have continuous seismic data for more than 3 years at the present. The new OBCST system for off-Sanriku area is based on this system, and is characterized by system reliability using TCP/IP technology and down-sizing of an observation node using up-to-date electronics. The new OBCST has three accelerometers as seismic sensors. 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 also equipped as a tsunami sensor. The tsunami data with a sampling rate of 1ms are also transmitted by TCP/IP protocol. In addition, an observation node can be equipped with an external port for additional observation sensor instead of a pressure gauge. Additional sensors on seafloor are supplied the power using Power over Ethernet technology. Clock is delivered from the GPS receiver on a landing station using simple dedicated lines. In addition, clocks in observation nodes can be synchronized through TCP/IP protocol with an accuracy of 200 ns (IEEE 1588). The data will be stored on the landing station and sent to ERI in the real-time. A simple canister for tele-communication seafloor cable is adopted for the observation node, and has diameter of 26cm and length of about 1.3m. This small size of the canister has an advantage for burying the system below seafloor.

At the present, we are producing the observation nodes of the new OBCST. The new system has three observation nodes; two have three-component seismometer and a pressure gauge, one has seismometers and an external port by using the PoE technology. We have a plan to connect a pressure gauge and hydrophone via the PoE external port of the third observation node. Total length of the practical system is approximately 100 km and an interval of the observation node is about 30 km. We have a plan to install the practical system in 2015.

Keywords: Cabled ocean bottom seismometer and tsunami gauge, Sanriku, Japan Trench, seafloor observation

昭和基地から国際地震センターへの験震データ：1967年以降の長期変動 Long-period duration of the teleseismic events reported to ISC from Syowa Station since 1967

金尾 政紀^{1*}
KANAOKI, Masaki^{1*}

¹ 国立極地研究所
¹ National Institute of Polar Research

南極昭和基地で記録された遠地地震の空間分布と時間推移をもとに、震源パラメータの深さ依存性やマグニチュード検知レベルの推移の原因について考察した。その結果、マグニチュード下限の時間推移（特に季節変化）に対して、気象データ等の環境パラメータとの関連性が指摘できた。特に、南極大陸周辺を覆う海氷の面積・厚さの年周変化が、南大洋起源の波浪ノイズを軽減する効果の増減に寄与するため、地震検知率の年周変動に密接に関係していると推測される。さらに、国際地震センター（ISC）に集積された1967年以降の長期間データからは、過去半世紀のグローバルな地震活動や、基地の観測システム向上による影響が含まれている可能性が高い。南極大陸の他のデジタル地震観測網（FDSN）の観測点と比較しても、昭和基地における長期間の験震数の漸次的増加は有意なものと思われる。

キーワード: 昭和基地, 遠地地震, 検知率, モニタリング観測, グローバル網
Keywords: Syowa Station, teleseismic events, detection capability, monitoring observation, global network

GLISN 日本隊によるグリーンランド氷床上での地震観測 (2011-2013), および 2014 年の観測計画 Seismic observation on Greenland Ice Sheet by the Japanese GLISN team (2011-2013), and a plan for the 2014 season

豊国 源知^{1*}; 金尾 政紀²; 東野 陽子³; 姫野 哲人⁴; 坪井 誠司³
TOYOKUNI, Genti^{1*}; KANAO, Masaki²; TONO, Yoko³; HIMENO, Tetsuto⁴; TSUBOI, Seiji³

¹ 東北大学・理・予知セ, ² 国立極地研究所, ³ 海洋研究開発機構, ⁴ 成蹊大学
¹RCPEVE, Tohoku Univ., ²NIPR, ³JAMSTEC, ⁴Seikei Univ.

グリーンランド氷床は地球規模の気候変動に伴って融解が進行している。近年、氷床融解の過程で末端部の氷河が移動する際に、「氷河地震」と呼ばれる地震動が発生することが知られるようになり、地震観測による氷床モニタリングに関心が集まっている。2009年に発足した「グリーンランド氷床の地震モニタリング観測網 (Greenland Ice Sheet Monitoring Network, GLISN)」は、氷床モニタリングを目的として、11ヶ国の国際共同で広帯域地震観測網を展開するプロジェクトである。観測網は氷床上や露岩域に新設された観測点と、既存の定常観測点を合わせて成り立っており、現在33点が運営されている。

日本は GLISN 発足時からの参加国として、毎年観測隊を派遣している。2011年には、米国と共同で氷床上に観測点「ICESG」(北緯 69° 5'32.05", 西経 39° 38'50.89", 標高 2900 m) を新設した。2012年には、ICESGに加えて、氷床上の観測点1点 (DY2G) と露岩の観測点1点 (NUUK) のメンテナンスを行った。2013年には、氷床上に11泊してICESGとDY2Gのメンテナンスを行ったほか、氷床上最北端の観測点 NEEM の観測支援にも従事した。本発表では、日本隊の3年間の活動と、これらの観測点から得られた地震波形データの初期的な解析結果を報告したのち、2014年の観測計画を紹介する。

GLISN 日本隊の活動は、科研費 (課題番号 24403006) により運営されている。

キーワード: グリーンランド, 氷河地震, GLISN 観測網
Keywords: Greenland, glacial earthquake, GLISN network

広域観測網監視システムの構築と運用 Development and Operation of Wide-area Observation Monitoring (WONM) System

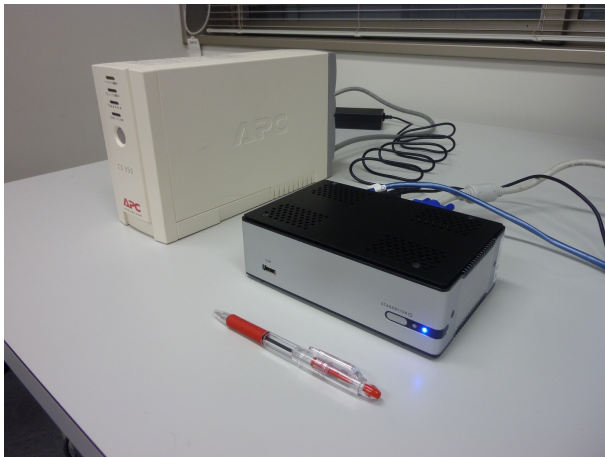
村田 健史^{1*}; 長妻 努¹; 山本 和憲¹; 渡邊 英伸¹; 鶴川 健太郎²; 村永 和哉²; 鈴木 豊²
MURATA, Ken T.^{1*}; NAGATSUMA, Tsutomu¹; YAMAMOTO, Kazunori¹; WATANABE, Hidenobu¹; UKAWA, Kentaro²;
MURANAGA, Kazuya²; YUTAKA, Suzuki²

¹ 情報通信研究機構, ² 株式会社 セック

¹National Institute of Information and Communications Technology, ²Systems Engineering Consultants Co., LTD.

NICTサイエンスクラウドは、情報通信研究機構が2010年より構築を進めている科学研究専用のクラウドシステムである。NICTサイエンスクラウドは地球規模での地球環境観測および宇宙環境観測データ収集機能およびインターネット公開データ収集機能を有している。特に、地球規模の観測拠点の一元的な監視とデータ伝送のために、広域観測網監視(WONM)システムを開発した。WONMシステムでは、北極域(アラスカ)、赤道域、南極域(昭和基地)など全17観測拠点を本システムで運用している。また、本システムをクラウド監視にも利用し、約200台のNICTサイエンスクラウド上のサーバとスイッチの等の機器の監視も行っている。したがって、世界中に設置されている100を超える観測拠点にも利用できると思われる。(筆者らは、1000を超える観測拠点でも運用が可能であると考えている。)

WONMは、利便性向上のために小型サーバ(アプライアンス)を準備している。小型サーバには必要なアプリケーションが事前に設定しており、観測拠点に設置・パラメータ設定を行った後に観測装置からデータが保存されるストレージをマウントするだけで、NICTサイエンスクラウドにより監視およびデータ伝送が始まる。この仕組みはデータの種類の依存しないため、様々な地球観測網への応用が期待できる。本発表では、WONMシステムの基本機能について紹介する。さらにこれをNICTサイエンスクラウド上で実装し、地球環境および宇宙環境観測データを収集した実績とその有効性について議論する。



エンベロープ波形を利用した火山性地震の震源決定法の開発—三宅島B型地震への適用—

Development of hypocenter location method using envelopes: Application to B-type earthquakes at Miyakejima volcano

内田 東^{1*}; 西村 太志²; 中原 恒²; 山里 平¹; 藤田 英輔³

UCHIDA, Higashi^{1*}; NISHIMURA, Takeshi²; NAKAHARA, Hisashi²; YAMASATO, Hitoshi¹; FUJITA, Eisuke³

¹ 気象庁, ² 東北大院・理・地球物理, ³ 防災科学技術研究所

¹Japan Meteorological Agency, ²Geophysics, Science, Tohoku University, ³NIED

火山では、実体波読み取りによる震源決定が困難な地震がしばしば多数観測される。2000年噴火後のガス放出期の三宅島においても、構造性地震(A型地震)やP波S波が読み取れるB型地震も少数ながら観測されるものの、およそ9割はP波S波の立ち上がりが不明瞭なB型地震に分類される。これらの実体波到達時の読み取りができない場合には、複数の観測点での地震波の相関を利用する方法や、地震波振幅の大きさの空間分布を利用する方法などがあるが、定常観測網への適用や精度に課題がある。近年、Obara(2002)は、プレート境界面付近で発生する初動の不明瞭な深部低周波微動の震源を推定するために、エンベロープ相関法を提案した。この手法では、観測点ごとに地震波形のエンベロープを合成し、それらの相互相関によって観測点間のS波到達時刻差を見積ることで震源を推定する。この手法を、三宅島の火山性地震に適用した結果、実体波到達時刻読み取りによる結果と比べると、エンベロープ相関法では震源分布が全体的に南東へ約0.5-1kmずれた(Uchida et al., 2013 IAVCEI)。これは、エンベロープ相関法では、すべての観測点でエンベロープ形状が同じだと仮定していること、散乱など地震波伝播にともなうエンベロープ拡大を考慮していないこと、さらにエンベロープ形状のサイト特性を考慮していないことに問題がある。そこで本研究では、目視によるS波到達時刻の読みとりが可能な一部の地震を利用して、この問題点を解決する改良エンベロープ相関法を開発した。この手法は、S波到達時刻の不明な地震波形のエンベロープとS波到達時刻が対応付けられた参照イベントのエンベロープの相互相関を計算することで、不明なS波到達時刻を推定し、震源を推定するものである。参照イベントは、それぞれの観測点のエンベロープ形状が、震源決定するイベントとできるだけ相似になるよう選択されることが望ましい。そこで、目視によるS波到達時刻の読みとりが可能な一部の地震(参照イベント候補)と震源決定するイベントそれぞれで連結エンベロープを作成し、その連結エンベロープの相関係数が高い順に参照イベントを選択する。ここで連結エンベロープとは、各観測点のエンベロープ波形を、開始時刻を揃えて等しい時間窓長で切り出し、それらをあらかじめ決めた観測点順で並べて時間軸方向に連結したものである。連結エンベロープ波形の相似性が高いことは、観測点間のエンベロープ波形の立ち上がり時間差や相対的な振幅比がほぼ同じで、震源決定するイベントと参照イベントで震源が近接していることを意味する。三宅島でP波、S波の読み取りが行えた114個のA型地震および31個のB型地震を参照イベントの候補とし、1049個のB型地震にこの手法を適用した。連結エンベロープの相関係数が0.9以上となる最大で8個の参照イベントを選び、それぞれの参照イベント毎に各観測点のS波到達時刻を推定しデータとした。複数の参照イベントを使うのは、多数のS波到達時刻を使うことによって震源パラメータの推定誤差を小さくするためである。その結果、三宅島で観測されたB型地震の71%の震源を推定できた。震源は、主火口の位置に近い山頂カルデラ内部南側の深さ約0-2kmに推定された。A型地震は、カルデラ南側から西側にかけて分布し、一部、B型地震の発生域と重なることが分かった。さらに、実体波読み取りによる結果と比較することでその精度を検証した結果、改良エンベロープ相関法では、従来のエンベロープ相関法(Obara, 2002)の場合に比べると水平偏差の大きさが10分の1に減少し、系統的な震源位置のずれがほぼ解消された。この改良エンベロープ相関法は、標準的な火山観測網に適用できるので、より多くのB型地震の震源の推定が可能となり、火山活動の監視や火山性地震の発生過程の解明に役立つことが期待される。

キーワード: 震源決定, エンベロープ相関, 三宅島

Keywords: hypocenter determination, envelope correlation, Miyakejima volcano

南極・昭和基地における遠地地震の検知能力の年周変化 The annual variation in the teleseismic detection capability at Syowa Station, Antarctica

岩田 貴樹^{1*}; 金尾 政紀²
IWATA, Takaki^{1*}; KANAO, Masaki²

¹ 統計数理研究所, ² 極地研究所

¹The Institute of Statistical Mathematics, ²National Institute of Polar Research

昭和基地における過去約20年間の遠地地震に対する検知能力には、年周変化がみられることが指摘されている [Kanao et al., 2012a, 2012b]。その主たる原因としては、南極大陸周辺における海水の面積・厚さが冬期に増大することが、周辺海域における海洋波浪（脈動）の発生を抑圧し、その結果として地震計のノイズレベルが季節変化すること [Grob et al., 2011; 金尾・他, 2012c] が考えられる。

これは、気象・海氷などの環境パラメータが地震検知能力に影響を与えることを意味する。但し、Kanao et al. [2012a, 2012b] は、検知した地震のマグニチュード (M) の下限に着目して、上述の年周変化を指摘しており、環境パラメータと地震検知能力との関係を詳らかにするには、まず、地震検知能力の年周変化を定量化することが必要である。以上のことを踏まえ、本研究では、以下のような解析を行った。

用いたデータは、Kanao et al. [2012a, 2012b] が扱ったものと同じ、昭和基地において検知された1987年から2007年までの遠地地震カタログである。扱った地震の数は、 M が決まっていなかったもののみを除いた19,044個である。また、検知能力の年周変化を調べることが目的であることから、データは1年ごとに分割し、重ね合わせたものを解析した。

地震検知能力の定量化には、Ogata & Katsura [1993] のモデルを改良して用いた。このモデルでは、Gutenberg-Richter (GR) 則 [Gutenberg & Richter, 1946] と、ある M における地震の検知率との積により、観測された全地震の M が従う確率分布を表現する。但し、本研究で用いたカタログの M は実体波マグニチュード (M_b) であるため、いわゆる M の飽和がみられる。このことを考慮し、通常の GR 則ではなく、最大地震の M をパラメータとして含むよう GR 則を改良したもの [Utsu, 1974] を用いた。ある M における地震検知率は、Ringdal [1975] をはじめとする過去の研究例 [e.g., Ogata & Katsura, 1993; Iwata, 2008, 2012, 2013a, 2013b] に従い、正規分布の累積密度関数で表すこととする。この定式化により、地震検知率が50%となる M に相当するパラメータ μ が導入され、このパラメータにより、地震検知能力を定量的に表すことが出来る。

そして、地震検知能力の時間（年周）変化、即ち μ の時間変化を、Iwata [2013a, 2013b] とほぼ同様の手法により推定した。これは、各地震の起きた時刻を節点とする線形スプラインで μ の時間変化を表し、その変動が滑らかなようになるような制約を課しつつ、 μ の値を最適化するいわゆるベイズ平滑化に基づく推定手法である。

解析の結果を以下に簡単にまとめる。まず ABIC [Akaike, 1980] に基づくモデル比較を行ったところ、 μ の年周変化が「ない」としたモデルの ABIC の値に比べ、「ある」としたモデルのそれは54.9小さくなった。このことから、検知能力の年周変化は非常に有意と言える。また、推定された μ の年周変化は12月下旬に最大値（最も検知能力が悪い）を、8月中旬に最小値（最も検知能力が良い）を持ち、両者の差は約0.13であった。 μ の年周変化が最大・最小となる時期は、昭和基地において観測された平均気温記録が最大・最小となる時期とほぼ一致しており、環境パラメータと地震検知能力との関係が確認された。

参考文献

- Akaike, 1980, in *Bayesian Statistics* (eds. J. M. Bernardo et al.), 143-165.
- Grob et al., 2011, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L11302, doi:10.1029/2011GL047525.
- Gutenberg & Richter, 1944, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 34, 185-188.
- Iwata, 2008, *Geophys. J. Int.*, 174, 849-856.
- Iwata, 2012, *Res. Geophys.*, 2, 24-28.
- Iwata, 2013a, 167-184, in *Earthquake Research and Analysis: New Advances in Seismology* (ed. D' Amico, S.).
- Iwata, 2013b, *Geophys. J. Int.*, 194, 1909-1919.
- Kanao et al., 2012a, 1-20, in *Seismic Waves: Research and Analysis* (ed. Kanao, M.).
- Kanao et al., 2012b, *Inter. J. Geosci.*, 3, 809-821.
- 金尾・他, 2012c, *月刊地球*, 34, 491-499.
- Ringdal, 1975, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 65, 1631-1642.
- Ogata & Katsura, *Geophys. J. Int.*, 113, 727-738.
- Utsu, 1974, *J. Phys. Earth*, 22, 71-85.

キーワード: 地震検知率, 年周変化, 南極, 昭和基地, ベイズ統計, 統計地震学

STT57-P01

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 30 日 18:15-19:30

Keywords: earthquake detection capability, annual variation, Antarctica, Syowa Station, Bayesian statistics, statistical seismology

水圧波砕による誘発地震の検出に向けた地震波形の検出 Towards Detection of Hydraulic Fracturing Induced Earthquakes Using Neural Network

金 亜伊^{1*}; 飯田 周平¹; 藤原 了²
KIM, Ahyi^{1*}; IIDA, Shuhei¹; FUJIHARA, Satoru²

¹ 横浜市立大学, ² 伊藤忠テクノソリューションズ
¹Yokohama City University, ²Itochu Techno-Solutions Corporation

資源開発において水圧波砕技術が用いられる事が多々あるが、その波砕の様子は通常ルーチン的に観測され、貯留層内の微小地震の広がりを実時間で把握する事が可能である。しかし、これらの地震が貯留層内でガスの流路となるフラクチャーの形成、成長とどのような関係があるのかは明らかになっていない。近年の研究（例えば Das and Zoback, 2011）では、通常の誘発地震とは違って、限られた周波数帯のみに顕著に現れる低周波地震に類似した波形が検出された例もある。このような低周波地震のメカニズムを解明することは上記の疑問を解決するために重要な事であると考えられるが、現時点では低周波地震の観測例は非常に少ない。本研究ではより多くの観測データから誘発地震と低周波地震のデータを得るため、ニューラルネットワークを用いた波形検出法の有効性を検証した。数値実験では入力データに地震波形、ガウシアン関数、ノイズを用い、未知データを入力した結果、ノイズの最大振幅がシグナルの最大振幅の 30% ほどになっても波形検出に問題のないことが示された。また未知データ数、SN 比に関わらず、教師データの数はある一定まで増やすと、それ以上増やしても結果はあまり変わらない事がわかった。これは膨大な観測データに対しても少ない教師データで解析が進められる可能性が示唆される。今後は低 SN 比下における連続データからターゲットとなる波形を検出するために、ウィンドウ幅の取り方などを改良して行く予定である。

キーワード: ニューラルネットワーク, 波形検出, 水圧波砕, 低周波地震, 地震波

Keywords: Neural Network, Waveform detection, Hydraulic fracturing, Low frequency earthquake, Seismic Waveform

F-net 広帯域地震計の定常ノイズ特性 Background noise characteristics of F-net broadband seismograms

木村 武志^{1*}; 村上 寛史²; YANO Tomoko Elizabeth¹; 木村 尚紀¹; 風神 朋枝¹; 松本 拓己¹
KIMURA, Takeshi^{1*}; MURAKAMI, Hiroshi²; YANO, Tomoko elizabeth¹; KIMURA, Hisanori¹; KAZAKAMI, Tomoe¹; MATSUMOTO, Takumi¹

¹ 防災科学技術研究所, ² 地震予知総合研究振興会

¹NIED, ²ADEP

防災科学技術研究所が運用する広帯域地震観測網 F-net は日本全国 73 観測点からなり、各観測点では STS-1/2 や CMG-1T/3T などの広帯域地震計が稼働している。また、2013 年末からは STS-2.5 の稼働も開始している。これらの地震計は温度や気圧変化の影響を避けるため、長さ 30-50 m の横坑内に設置されている。得られたデータはすべて Web ページで公開されているほか、AQUA システム (Matsumura et al., 2006) などの様々な即時自動解析に用いられている。この様なデータの品質を継続的に評価することは、観測網の運用・地震などの地殻活動のモニタリング・各種自動解析にとって重要となる。本研究では、F-net データの品質を評価するために、その定常ノイズ特性を推定した。

McNamara & Buland [2004] の手法に従い、F-net 連続波形データのパワースペクトル密度 (PSD) の確率密度分布 (PDF) を用いて、定常ノイズ特性を評価した。1996-2013 年の 1 秒サンプルのデータに対して、1 日長 (50 % オーバーラップ) のデータを順次取り出し、加速度の PSD を計算した。1 日長のデータは 75 % オーバーラップの 13 個のセグメント (6 時間長) に分割して計算した PSD の平均を 1 日分の PSD とした。得られた 1 日分の PSD は周期で 1/8 octave 間隔、パワーで 1 dB 間隔の bin に振り分けた。

得られた PDF から各観測点・各周期での PSD の最頻値を計算し、各周期でその最小値をとることにより F-net 全体の標準ノイズモデルを得た。USA 内の観測網に対して同様の手法により得られた標準ノイズモデル (McNamara & Buland, 2004) と比較すると、周期 4 秒と 40 秒の周辺で、F-net のモデルの方が 5 dB 程度高かった。F-net の標準モデルは基本的に STS-1 により決まっており、STS-2 では周期 200-800 秒でそれよりも 5 dB 程度高かった。また、CMG-1T/3T についてはそれぞれ周期 30-2000 秒で 15 dB、100-2000 秒で 10 dB 程度高い。

近年 F-net では地震計に対する温度変化の影響を軽減するために、発泡スチロール製のカバーを地震計に設置している。このカバーにより、多くの STS-2 の上下動成分について、周期 500 秒より長周期帯域で約 5 dB のパワーの低下が見られ、この様な長周期帯域でのノイズ低減に有効である。

キーワード: 定常ノイズ特性, 広帯域地震計, F-net

Keywords: background noise, broadband seismometer, F-net

気象研における長期型自己浮上式海底地震計の整備と不具合対策 Long-term ocean-bottom seismometers in MRI/JMA and some related problems

平田 賢治^{1*}; 対馬 弘晃¹; 山崎 明¹; 勝間田 明男¹; 前田 憲二¹; 馬場 久紀²; 松原 忠泰³; 伊藤 立也³; 杉田 智也³; 堀 克博⁴; 白子 剛史⁴

HIRATA, Kenji^{1*}; TSUSHIMA, Hiroaki¹; YAMAZAKI, Akira¹; KATSUMATA, Akio¹; MAEDA, Kenji¹; BABA, Hisatoshi²; MATSUBARA, Tadayasu³; ITOU, Tatsuya³; SUGITA, Tomoya³; HORI, Katsuhiko⁴; SHIRAKO, Takeshi⁴

¹ 気象庁気象研究所, ² 東海大学海洋学部, ³ 株式会社東京測振, ⁴ 日油技研工業株式会社

¹Meteorological Research Institute, JMA, ²School of Marine Science and Technology, Tokai University, ³Tokyo Sokushin, ⁴NiGK Corporation

気象研究所は、海上保安庁海洋情報部が我が国周辺の大陸棚調査に活用してきた(株)東京測振製の短期観測型 OBS (型式: TOBS-24N) を平成 18 年度に 30 台譲り受けた。これら TOBS-24N は、平成 23 年度および平成 24 年度各年で 4 台ずつ、2 年間で合計 8 台の、既存の OBS ガラス球内部のレコーダーを低消費電力型レコーダーに改造し、気象研究所として初めて最長 1 年間の長期観測が可能な長期型 OBS (TOBS-24NL) を整備した。低消費電力化は、これ以前に JAMSTEC により実施されたものと同様に、電源の低電圧化・AD 変換素子の低消費電力化・記録媒体の低電力化によってなされた。

平成 23 年 11 月気象庁観測船凌風丸 RF11-10 次航海においてこれらの長期型 OBS 4 台を房総半島沖に設置した。平成 24 年 9 月に同じく凌風丸 RF12-07 次航海においてこれら 4 台の回収と新たに 4 台の長期型 OBS の設置をしようとしたところ、出港前の確認では正常動作していた 4 台の設置用の長期型 OBS の音響トランスポンダが出港してまもなく、不規則な間隔で自発的に音を発振するなど動作不良に陥っていることがわかった。また、回収を試みた長期型 OBS 4 台のうち 2 台の音響トランスポンダから応答を確認することができず回収することができなかった。回収した 2 台の長期型 OBS は良好な記録が得られていることを確認した。

音響トランスポンダの動作不良については、RF12-07 次航海終了直後、動作不良のトランスポンダをメーカーに送り返し原因究明をおこなった。その結果、(1) 夏場の高温環境下と冬場の低温環境下にさらされる保管場所で OBS を保管したため、OBS 音響トランスポンダの送受波器 (逆鍋型形状のチタン製容器内にオイルで充たされた音響素子を収納) の内部にオイルの収縮による隙間が生じていた可能性があること、さらに、(2) 船のエンジン主機や発電機による振動ノイズによって、送受波器容器内部にキャピテーション現象が生じ、音響性能を劣化させた可能性があること、の 2 つが原因であろうと推測された。これに基づき次の 2 つの対策案が考えられた; (a) 音響トランスポンダ電子回路の再調整と送受波器のオーバーホールを行う。(b) 船体振動の影響を低減するため免震マットの上に OBS を搭載する。これらの有効性を検討するために室内実験が行われ、この 2 つの対策が有効であることを示唆する実験結果が得られた。その後、気象庁観測船啓風丸航海 2 航海および啓風丸 1 航海を用いた現場確認試験の結果、これらの対策が有効であることが確かめられた。

キーワード: 長期, 地震観測, 海底地震計, 不具合対策

Keywords: long-term, seismographic observation, ocean-bottom seismometer, measure for a glitch

海底圧力計 (Paroscientific depth sensor) の傾斜による測定値の変化について Value change of ocean bottom pressure gauge (Paroscientific depth sensor) by inclination of the sensor

尾形 尚樹^{1*}; 佐藤 利典¹; 山田 知朗²; 篠原 雅尚²
OGATA, Naoki^{1*}; SATO, Toshinori¹; YAMADA, Tomoaki²; SHINOHARA, Masanao²

¹ 千葉大学大学院理学研究科, ² 東京大学地震研究所
¹Graduate School of Science, Chiba Univ., ²ERI, Univ. Tokyo

はじめに

Paroscientific 社の depth sensor を用いた海底圧力計は、海底での上下変動を捉えるために最近様々な場所で使用されている (例えば、稲津 他、2012)。この圧力計の観測誤差は 0.5hPa 程度 (水圧換算で約 5mm) (例えば、河野 他、2012) であり、海底下の地震や房総沖などの大規模なスロースリップの観測に有効であると考えられている。しかし、このセンサーは、センサーの姿勢を変化させると、センサー位置変化以上の測定値の変化をしてしまうということが知られている。これは、地震時の地殻変動による海底圧力計の傾斜によって、正しい観測ができない可能性を示している。そこで本発表では、圧力計の傾斜による測定値の変化を計測し、観測誤差と傾斜範囲について議論する。

測定と結果

使用したセンサーは、Paroscientific 社の intelligent depth sensor 8CB2000-I である。測定は、空中でまずセンサーを真下に向けてセットし、次にセンサーを設定した傾斜角度にする。観測値が安定したのち、再びセンサーを真下に向けてという操作を行い、真下を向いている時と傾斜している時の値の差を取った。この測定の際、センサーを傾ける時には、ゆっくり傾けないと傾斜後測定値がばらばらということが分かった。数十秒かけて変化させることにより安定した観測値が得られた。また、得られた観測値に対して球面調和関数を用いたフィッティングを行った。

測定の結果、傾斜による測定値の変化は、10 度の傾きで約 2 hPa、20 度で約 6 hPa、30 度で約 12 hPa と傾きが増すにつれて大きくなった。また、測定値の変化は真下に対して対称ではなく、真下より 15 度ほど傾いた点を中心に変化している結果となった。また、傾斜に対する測定値の再現性は、標準偏差 0.3hPa の範囲になることもわかった。これより、観測誤差 0.5 hPa 以内になるには、海底圧力計が水平に着底した場合 (センサーが真下を向く場合)、± 5 度以内の傾斜変化となることが分かった。海底圧力計が傾いて着底した場合は、許容範囲は狭くなり、例えば 20 度傾いた場合は ± 2 度ほどになる。

キーワード: 圧力計, 傾斜補正, Paroscientific 社 depth sensor

Keywords: Pressure gauge, inclination correction, Paroscientific Depth Sensor

地震波自動処理システムの性能評価 (2) Evaluating performance of automatic earthquake detection and location system for the nationwide seismic network(2)

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
NAKAYAMA, Takashi^{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 株式会社ホームサイスマメータ

¹Graduate School of Science, Tohoku University, ²Home Seismometer Corporation

The number of seismic stations has tremendously increased by many temporary seismic networks recently deployed in various areas, in addition to dense routine seismic networks such as the nationwide Kiban seismic network. Effective automatic earthquake detection and location system is anticipated, because the ability of data processing is limited. Manually picking P- and S-wave arrival times etc. from a huge amount of seismic waveform data observed by such many seismic stations is considerably time consuming work.

Horiuchi et al. (2012, 2013) have developed such an automatic seismic waveform processing system. This system was set up at Tohoku University on December 2012, and automatic detection and location processing of the nationwide seismic network data has been operating since then. The system can detect and locate many earthquakes which are difficult to be located by the routine processing based on manual pickings. However, sometimes earthquakes cannot be correctly discriminated by the system: for example, when more than two earthquakes occur almost simultaneously. In order to consider the application of automatic earthquake detection and location system to the actual seismic network, we need to know its performance.

Nakayama et al. (2013) tried to evaluate performance of this earthquake detection and location system for the application to the nationwide seismic network. Results showed that the automatic system could detect and locate earthquakes about 1.5 times more than those in the JMA unified catalogue. The automatic system extended the lower limit of the detection capability to much smaller magnitude range than that by the JMA unified catalogue. The evaluation also showed that S-wave arrival times picked by the automatic system were systematically delayed by ~0.05-0.1 sec compared with those by the manual pickings of the unified catalogue. Based on this performance evaluation, Horiuchi et al. (2014 this meeting) have tried to improve the system by developing a new algorithm to better pick S-wave arrivals.

We have evaluated performance of this presently improved automatic processing system by using the waveform data for the same period as those in the previous evaluation. Results show that the systematic delay of S-wave arrivals by the automatic pickings is considerably improved and the difference in S-wave arrivals between the new automatic system and the unified catalogue has become nearly the same as that between the manual pickings by Tohoku University and those in the unified catalogue. This indicates that the S-wave arrival times, as well as P-wave arrival times, picked by the automatic system almost stand comparison with those by the manual picking. Moreover, the evaluation shows that the new system also improved the rate of correct discrimination of earthquakes: the percentage of events that were missed to be correctly located decreased from 19% to 14% (most of these events are those located in and around the Izu-Bonin Islands and the Ryukyu Islands), and the percentage of events that were incorrectly defined as earthquakes decreased from 3.1% to 2.5%. This is because of the improvement of algorithm to correctly discriminate more than two earthquakes that occurred nearly simultaneously.

キーワード: 地震波初動自動検測, 地震波自動処理システム, 性能評価

Keywords: automatic arrival time picking, automatic event detection and location system, performance evaluation

GNSS データを使った W-phase 解析 W-phase analysis with 1Hz GNSS data

上野 寛^{1*}; 勝間田 明男¹; 川元 智司²; 矢萩 智裕²; 宮川 康平²

UENO, Hiroshi^{1*}; KATSUMATA, Akio¹; KAWAMOTO, Satoshi²; YAHAGI, Toshihiro²; MIYAGAWA, Kohei²

¹ 気象研究所, ² 国土地理院

¹Meteorological Research Institute, ²Geospatial Information Authority of Japan

気象庁では国内外の広帯域地震波形記録を用いて、W-phase 解析を行っている。現在、地震発生後最短 6 分で W-phase 解を求めることが出来、その解及びモーメントマグニチュードは津波予報のグレード変更もしくは解除を行うための情報の一つとして利用している。しかし、W-phase 解析で積分して用いている広帯域地震記録は、特に大地震の際の発生場所近傍では不安定になることが多く、W-phase 解析に使用することが難しい場合がある。一方、直接変位を記録する GNSS データは、積分処理する必要がなく、安定した変位記録として利用できることが期待される。

今回、国土地理院が運用している 1Hz GNSS データを用いて、2011 年東北地方太平洋沖地震とその余震、2003 年十勝沖地震の M8 以上の地震について、W-phase 解析を行ってみた。より近くの安定した変位データを用いることによる、W-phase 解析の時間短縮と使用する周波数帯域毎の解の安定性について、検討を行った。

キーワード: W-phase 解析, GNSS, 東北地方太平洋沖地震

Keywords: W-phase analysis, 1Hz GNSS data, Great Tohoku earthquake

余震の自動イベント検出処理の開発(2) Automated event identification of aftershocks(2)

勝間田 明男^{1*}
KATSUMATA, Akio^{1*}

¹ 気象庁気象研究所
¹ Meteorological Research Institute, JMA

地震発生直後に余震分布の特徴を自動処理により把握することを目的として、連発する余震を自動的に震源決定する処理の開発を行っている。東北地方太平洋沖地震では、余震活動が非常に活発であり、地震波の相の明瞭な立ち上がりに基づいた手法では、規模の大きな地震であっても十分なデータの検出ができない場合があった。そのような事態にもイベントの発生のみは検出可能な手法を検討している。この発表では改良を施した震源推定法について説明する。

以下のようなエンベロープのピーク振幅と時刻のみに基づく処理方式を試みている。

- リアルタイム伝送されてくる地震波形に、高周波を強調するフィルターを施す。
- フィルター処理後の波形からエンベロープを求める。
- エンベロープのピーク時刻、最大振幅の情報を取り出す。
- エンベロープの最大振幅・その時刻について、整合的な震源を推定する。

以前には、震源を推定する上で、震源時・緯度・経度・深さ・規模の5次元空間における大域探索法(SCE-UA法)を用いた直接的探索を行っていた。しかし、制限をかけずに5次元空間を探索すると、ノイズのうち振幅・時刻について整合的なものを選び出してくることが多く、適正な解とまらない場合が大半である。また、振幅のピークに注目するという点で当方法はSSA(Source-scanning algorithm: Kao and Shan, 2004)に共通する面もあるが、SSAにおいてはかならずしも分解能の高い結果が得られない場合がある。

ここでは複数点で同時に振幅レベルが上がったグループをまず探し、更にその中で最大のS/Nを持つものを選び出す。そのデータ時刻・振幅について整合的なデータ群を探すようにした。広い範囲から最適解を直接探すのではなく、信頼できるデータを軸にして探索範囲を最初から制限している。深さについては固定とし、震央距離・方位角を変化させて、軸となるデータに整合的なデータが多くなる位置を探す方法を試みている。ここでは、震源時は震央距離を定めることにより決まり、規模は振幅と震央距離から決まってくる。

S/N比の大きさに基づいて、軸とするデータを選ぶ場合にノイズが選んでしまいう例が多い。しかし、ノイズについては整合的なデータがあまりないため、地震とはみなされない。地震として認定されたデータやノイズとみなされたデータについては、順次処理対象からはずしてゆき、残されたデータについて基準を満たすデータ群がなくなるまで処理をおこなうようにしている。

現在のところ、散発的に発生する地震的なイベントの分離とデータ数の多い震源の推定はできている。データ数の少ない場合については、適正な震源が推定できなかつたりする場合があります。検討を行なっている。

本調査には、独立行政法人防災科学技術研究所、北海道大学、弘前大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、高知大学、九州大学、鹿児島大学、気象庁、独立行政法人産業技術総合研究所、国土地理院、青森県、東京都、静岡県、神奈川県温泉地学研究所、横浜市及び独立行政法人海洋開発研究機構のデータを利用している。

キーワード: 震源の自動処理, 地震波形のエンベロープ

Keywords: automated seismic event identification, envelop of seismic wave

下北半島周辺における微小地震観測網の構築 Construction of the seismic observation network around Shimokita Peninsula

関根 秀太郎^{1*}; 澤田 義博¹; 笠原 敬司¹; 佐々木 俊二¹; 田澤 芳博¹; 矢島 浩¹
SEKINE, Shutaro^{1*}; SAWADA, Yoshihiro¹; KASAHARA, Keiji¹; SASAKI, Shunji¹; TAZAWA, Yoshihiro¹; YAJIMA, Hiroshi¹

¹(公財) 地震予知総合研究振興会

¹Association for the Development of Earthquake Prediction

はじめに

東北北部～北海道南部地域における微小地震の観測点分布は、その南部では防災科研 Hi-net や大学等の観測点が比較的密に配置されており、ある程度高い精度で微小地震活動の把握が可能と言える。しかしながら、下北半島や津軽半島を含む青森県北部地域では比較的観測点の密度が薄く観測点の間隔が広い。このため、特に、地震発生層の上限の深さや地震の活動を他地域と同様の解像度で把握するには十分ではないと考えられる。そこで、この地域における震源決定の高精度化を図るとともに、各種解析と合わせて地震活動の常時モニタリングを行うことにより、当該地域における地震活動地震発生のメカニズムの解明の為に、下北半島および津軽半島周辺に高密度の微小地震観測網を設置する事とした。ここでは、この観測網の概要について述べる。

観測網の概要

本観測網は、平成 25 年度に 20 点、平成 26 年度に 16 点の合計 36 観測点で構成されており、各観測点は既存の観測網も含めて 10km 程度になるように配置されている。各地震観測点では、極微小地震から大地震まで対応できるよう、Lennartz の 3 成分速度計（固有周期 1 秒）と日本航空電子のサーボ加速度計（最大± 2G）を組み合わせた高ダイナミック孔中地震計を深さ 20m 程度のボアホール孔底に設置する。データは白山工業社製の LS-7000XT により 100Hz サンプリングで収録され、観測点からリアルタイムで地震予知総合研究振興会の本部に送信され、東大地震研、JDX-net を介して、全国の地震観測網ネットワークに送信される。既に平成 25 年度分の観測点は 12 月末から観測を始めており、2015 年 1 月 16 日から配信を開始した。この観測網により得られたデータは、周囲の他機関の観測点を加えて、観測網周辺の詳細な速度・減衰構造および断層帯の地震活動等について有用なデータが得られるものと期待される。なお、1 月分について、震源決定を行ったところ、気象庁一元化処理震源に対して、2 倍程度の震源が決定された。

キーワード: 地震観測網, 下北半島

Keywords: seismic observation network, Shimokita Peninsula