

D会場 | 一般セッション：S02. 地震計測・処理システム

2019年9月16日(月) 14:45 ~ 15:45 | D会場 時計台国際交流ホール

[S02]PM-2

座長:篠原 雅尚(東京大学地震研究所)、田中 昌之(気象庁気象研究所)

14:45 ~ 15:00

[S02-01] 南鳥島広帯域地震計の観測環境

*田中 昌之¹ (1. 気象庁気象研究所)

15:00 ~ 15:15

[S02-02] 次世代観測へ向けた自律動作方式の高性能広帯域海底地震計：NX-2G

*塩原 肇¹、伊藤 亜妃²、杉岡 裕子³、篠原 雅尚¹ (1. 東京大学 地震研究所、2. 海洋研究開発機構 海域地震火山部門、3. 神戸大学 大学院理学研究科 惑星学専攻)

15:15 ~ 15:30

[S02-03] DAS計測技術による三陸沖光ケーブル観測システムにおける海底地震観測

*篠原 雅尚¹、山田 知朗¹、悪原 岳¹、望月 公広¹、酒井 慎一¹、笠嶋 丈夫²、有岡 孝祐²、濱川 雅之³、久保田 俊輔⁴ (1. 東京大学地震研究所、2. 富士通研究所、3. 富士通、4. ワイケー技研)

15:30 ~ 15:45

[S02-04] 吾妻山における光ファイバーとDASによる地震観測

*西村 太志¹、江本 賢太郎¹、中原 恒¹、三浦 哲¹、山本 希¹、杉村 俊輔¹、植田 尚大¹、石川 歩¹、木村 恒久² (1. 東北大学大学院理学研究科、2. シュルンベルジェ)

南鳥島広帯域地震計の観測環境

The Observation Environments of Broadband Seismograph in Minami-Tori-shima (Marcus Island)

*田中 昌之¹

*Masayuki Tanaka¹

1. 気象庁気象研究所

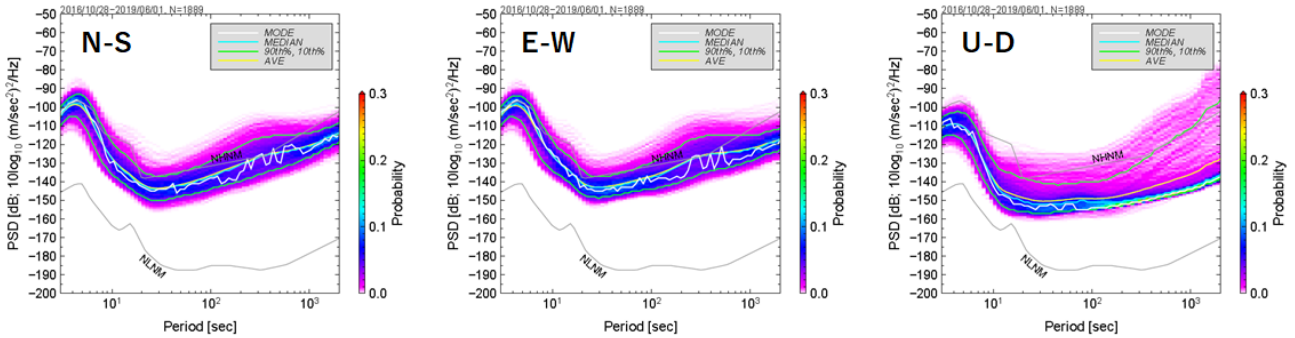
1. Meteorological Research Institute

南鳥島は、本州や小笠原諸島から1,000 km以上離れた日本最東端の島で、太平洋プレート上に存在する唯一の領土である。太平洋プレートは年間約10 cmの速さで概ね西進し、日本海溝及び伊豆・小笠原海溝などから沈み込んでいる。安定した長期観測が困難な海域をカバーする地球物理観測の拠点としての役割が期待されている。東京大学地震研究所と気象研究所は共同で、1996年にSTS-2広帯域地震計(以下、STS-2)とLS-8000WDデータロガーからなる観測システムを現地に整備し、観測を開始した。2014年10月以降はTrillium Compact All-Terrain広帯域地震計(以下、TCAT)とLS8800データロガーからなる観測システムに変更し、JAMSTEC・地震研・気象研の三者共同で運用している。SDカードの交換及び送付は気象庁南鳥島気象観測所の支援を得て行われている。観測によって概ねM4.5以上の太平洋プレート周辺域の地震のT相やM5を超える地震の実体波が捉えられている[石原・他(The 2015 fall meeting)、田中・他(The 2016 fall meeting)]。しかし、現在のTCATは固有周期120秒の仕様ではあるが、簡易観測型の機器のため、周期10秒までの帯域が実用的と言われている。そこで、2016年10月より、STS-2とLS8800データロガーからなる臨時観測システムを設置して比較観測を行っている。TCATは屋外の深さ約1 mの所に置かれた800 mm×400 mm×200 mmのコンクリート土台の上にプラスチックバケツを被せて埋設されている。また、臨時のSTS-2は潮位計機器が置かれている温度22~24°Cで空調管理されている室内の厚さ約1 mのコンクリート基礎床の上に設置し、空調の風が直接当たらないようにウレタン材で覆われている。2016年10月下旬から2019年6月初旬までの周期3秒~2000秒の24時間平均パワースペクトル密度(PSD)を比較した(図1)。短周期側では海洋起源のmicroseismsの変動が共に見られる。周期10秒から600秒では、屋外埋設のTCATよりも室内設置のSTS-2の方が上下動成分で10PSD[10log₁₀m²/sec⁴/Hz dB]程度ノイズレベルが低い。時間変化で見ると、共に季節による変化が確認できる。なお、2018年11月頃から、TCATによる観測システムにおいて、上下動成分の波形記録に異常が見られる。現在、原因を調査中である。また、広帯域地震計は温度に敏感で、温度ドリフトが生じると記録は非線形になる。そこで、温度環境についても併せて調査した。STS-2の置かれた室内2か所(データロガー付近とウレタン材で覆ったSTS-2の脇)に温度ロガーを設置し、屋外埋設のTCAT内部の温度や南鳥島アメダスの気温等と併せて、TCATとSTS-2の出力電圧とデータのある2016年10月下旬から2018年10月中旬までについて比較した(図2)。屋外埋設のTCAT内部の温度は、南鳥島アメダスの気温の日最高気温とほぼ同じ値で変化している。一方、室内設置のSTS-2はウレタン材で覆ったことによる効果と思われるが、空調管理された室内よりもウレタン材で覆った内部の方が温度変化は小さい。ただし、期間中に数回空調が停止しており、停止したときは室内の温度は一気に上昇する。STS-2を覆っているウレタン内部の温度も室内ほどではないが上昇する。STS-2は、長周期の変動に対して±10°C以内、短周期は2~22°Cにおいて、センサーの中心位置を調整せずに測定することができ、15~35°Cの範囲ではドリフトはごく僅かであることが仕様に記されている。比較期間において、平時のSTS-2は24±3°Cの温度環境にあり、ドリフトはほとんどなく、地球潮汐による変動が見られる。TCATには温度ドリフトの調整機能はなく、全観測期間において季節によって変動する気温と対応するドリフトが見られる。加えて、季節変動よりも短い周期のドリフトも見られる。そのため、地球潮汐がSTS-2によるにははっきりとは確認できない。質の良いデータを得るにはひとつには温度対策は必須である。

謝辞

本調査は、東京大学地震研究所の一般共同研究等の支援を受けています。
 国立研究開発法人防災科学技術研究所のパワースペクトル密度計算と作図ツールを使用させて頂きました。資料作成にGeneric Mapping Tools (GMT, Wessel & Smith, 1991) とSeismic Analysis Code (SAC) を使用しました。

Trillium Compact All-Terrain (通常観測システム)



STS-2 (臨時観測システム)

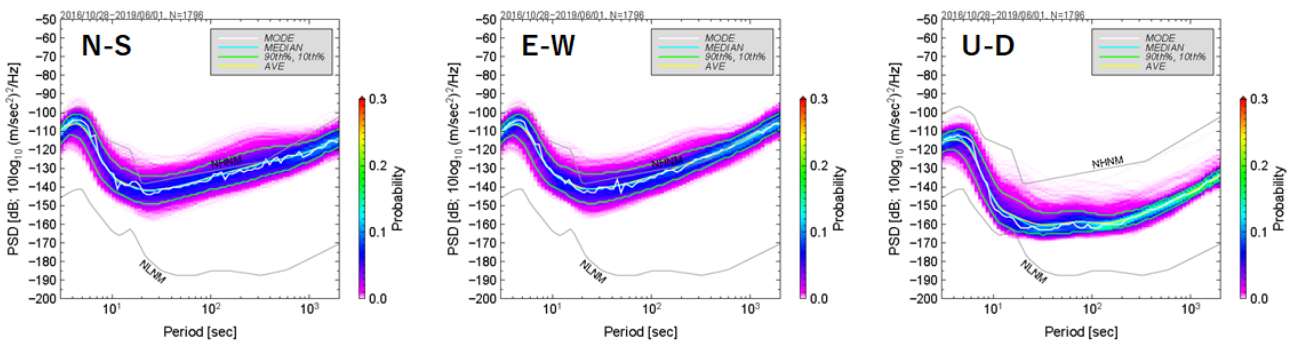


図1. 24時間平均パワースペクトル密度 [表示期間：2016/10/28~2019/6/1]

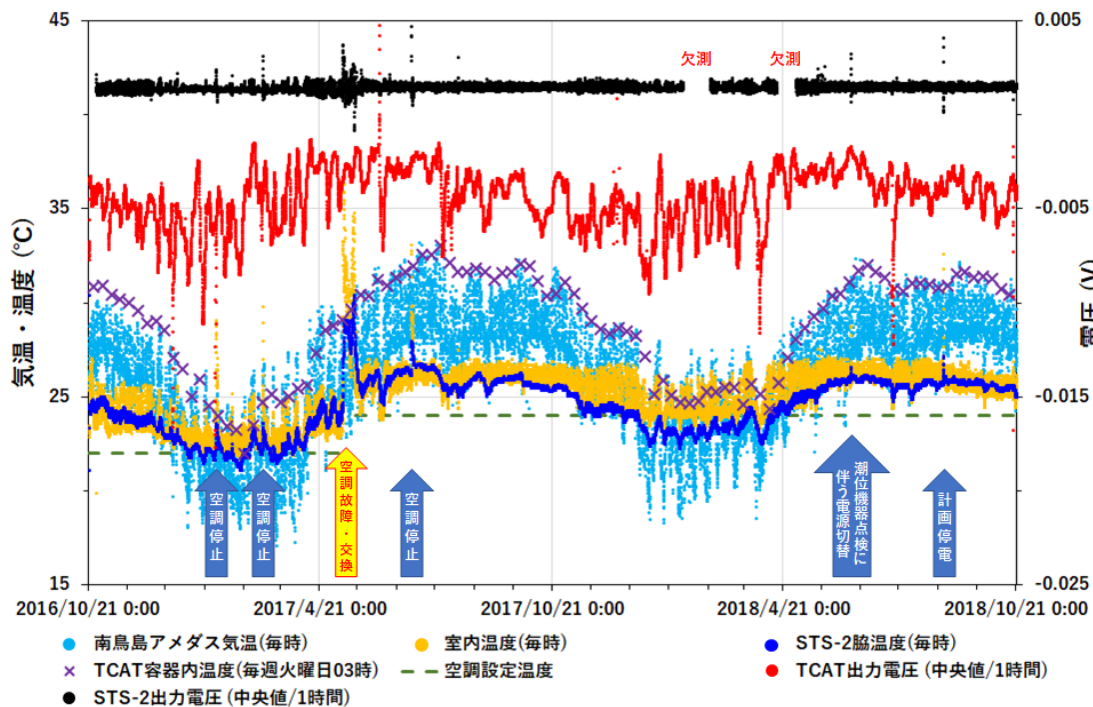


図2. 南鳥島気温、室内温度、地震計出力電圧 [表示期間：2016/10/21~2018/10/21]

次世代観測へ向けた自律動作方式の高性能広帯域海底地震計：NX-2G

New Era of Ocean Bottom Broadband Seismology with the Autonomous BBOBS-NX : NX-2G

*塩原 肇¹、伊藤 亜妃²、杉岡 裕子³、篠原 雅尚¹

*Hajime Shiobara¹, Aki Ito², Hiroko Sugioka³, Masanao Shinohara¹

1. 東京大学 地震研究所、2. 海洋研究開発機構 海域地震火山部門、3. 神戸大学 大学院理学研究科 惑星学専攻

1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. Research Institute for Marine Geodynamics, JAMSTEC, 3. Department of Planetology, Graduate School of Science, Kobe University

1.はじめに

著者らは自己浮上型の広帯域海底地震計(BBOBS)を開発し大規模観測に適用しつつ、海底での広帯域海底地震観測を陸上観測と同等な質で行える新型の広帯域海底地震計(BBOBS-NX)を近年に開発・実用化してきた[1]。また、その応用版である広帯域海底地震・傾斜計(BBOBST-NX)の開発により、海底面での機動的傾斜観測が可能であることを実証しつつある[2]。しかしながら、これらの新型観測機器は潜水艇利用を前提としたものであるため、その利用機会と観測実施可能な海域に大きな制約がある。多数の観測研究成果を挙げてきた、機動性の高いBBOBSと同様な設置・回収方法を、この新型観測機器でも可能とすることが本研究の目的である。これの実現により、海底地震・測地分野での観測研究の大幅な観測機会・対象領域の拡大につながり、国内だけではなく、国際的にも多大な研究の進展と波及効果が期待される。

2.自律動作実現における既知の問題点と課題

BBOBS-NXは広帯域センサー部を記録部から独立させ、各成分毎に分離・小型化することで海底面へ容易に貫入可能な構造としている。これを海面から自由落下させ重力により海底面へ貫入・自己埋設させ、底層流の影響を受け難い状態を得ている。但し、2015年7月まで計16回の設置で約半数が、センサーに許容される傾斜($\pm 8^\circ$)を越えて着底した。また、海底と良い結合状態のセンサー部を、回収時には浮力で引き抜く必要がある。更に、設置時の機器展開と同等な動作も含め、自律動作を確実に実行できる全体構造が必須で、かつBBOBS-NXで改善された観測記録の質は維持しなければいけない。

3. NX-2Gの構造と問題点への対応

2016年にひとまず完成したNX-2Gの全体構造・動作概念を左図に示す。着底時の過大な傾斜の問題に対しては、海中を降下中に起きる大きな周期的傾斜変化が原因であったので、センサー部を引き抜くのに必要な浮力体と記録部を繋ぐ際に複数のロープを耐圧球の赤道部からとることで、傾斜変化の発生を効果的に抑制できることが実証できている。また、回収時にセンサー部を海底から引き抜くのに要する力を複数回実測し(65-80kgf)、必要な浮力を追加した。機器の展開方法については、センサー部との結合が弱ければ、大きな物体が近く在っても記録への影響がないことも実地試験で確認し、決定した。観測中はセンサー部の中央に置かれる錘の直上に記録部が配置され、センサー部と記録部を繋ぐものは水中ケーブルのみとなる。錘も堆積物中には深く入らないように、その底面の高さや形状を設定した。

4.試験観測

2016年に試作機の実海域での動作試験を実施し、2017年4月に実用機の長期試験を福島県沖の日本海溝陸側斜面(水深4500m)で開始、2018年10月に回収した。設置時は自由落下で投入後、船上から観測状態へ移行し観測開始させた。回収時は観測状態(右写真)、および回収状態への移行動作の確認のため、ROVで観察後に吊り下げて揚収した。投入～着底～観測開始までの様子を映像記録するためNX-2Gに取り付けた深海ビデオカメラも無事回収し、観測状態への移行動作が正常であったことも確認できた。

NX-2Gの機械的動作については想定通りであったが、隣接して設置していたBBOBSと比較して、埋設セン

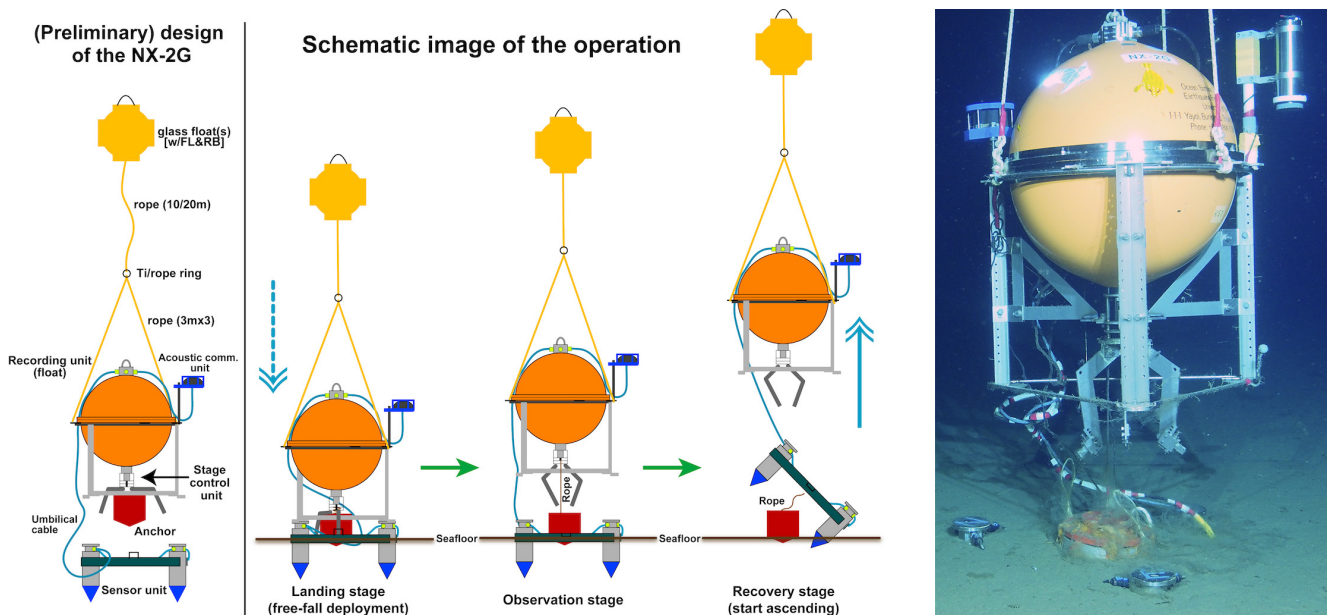
サーとしてのノイズ低減効果が見られなかった。これは、非常に柔らかい底質および余長が不足した水中ケーブルの取り回しに起因するものと思われる。センサーの1成分に故障もあったので、再度の長期比較評価試験を今年8月に開始する予定である。

謝辞

多数の試験観測では、海洋研究開発機構・日本海洋事業の関係者にお世話になっていることを感謝する。本研究は科研費(基盤A,15H02122)の補助を受けている。

参考文献

- [1] H. Shiobara, T. Kanazawa and T. Isse, IEEE-JOE, 38, 396-405, 2013.
- [2] 塩原・他, 日本地震学会秋季大会, S02-07, 10月26日, 2017.
- [3] H. Shiobara et al., AGU-FM, S43E-0654, 13 Dec., 2018.



DAS計測技術による三陸沖光ケーブル観測システムにおける海底地震観測 Distributed Acoustic Sensing measurement by using seafloor optical fiber cable system off Sanriku

*篠原 雅尚¹、山田 知朗¹、悪原 岳¹、望月 公広¹、酒井 慎一¹、笠嶋 丈夫²、有岡 孝祐²、濱川 雅之³
、久保田 俊輔⁴

*Masanao Shinohara¹, Tomoaki Yamada¹, Takeshi Akuhara¹, Kimihiro Mochizuki¹, Shin'ichi Sakai¹,
Takeo Ksajima², Takahiro Arioka², Masayuki Hamakawa³, Shunsuke Kubota⁴

1. 東京大学地震研究所、2. 富士通研究所、3. 富士通、4. ワイケー技研

1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. Fujitsu Laboratories Ltd., 3. Fujitsu Limited, 4. YK Giken Co. Ltd.

近年、光ファイバをセンサとして用いるDistributed Acoustic Sensing(DAS)計測が、パイプラインや送電線などのセキュリティ監視や設備管理に用いられている。さらに、DAS計測は、資源探査のためにVertical Seismic Profilingなどの地震探査にも使われ始めてきている。DAS計測は自然地震観測にも有効であると考えられることから、これまでに陸上または海底に設置された光ファイバケーブルを用いた地震観測の試みが行われている。しかし、現在までに、海底におけるDAS計測技術を用いた地震観測については十分には行われていない。DAS計測は光ファイバセンシング技術の一つで、コヒーレントな光の短いパルス、シングルモードファイバに連続して入射して、後方散乱を観測する。ファイバ近傍で発生した振動により発生したファイバの微小な変形が、後方散乱波のパターンを変化させることから、振動を検出する。パルスを送出してからの時間が計測を行っている位置に対応し、パルス幅が空間分解能に対応する。現在は、空間分解能は短い場合では数mである。すなわち、地震計を数m間隔で設置した、長さが敷設されているファイバに対応する直線アレイ観測を実施することが可能である。現状では、70km以遠まで散乱波を観測することが可能である。一方、得られるデータのうち振幅情報などについては、これまでの振り子型地震計によるデータとは性質が異なり、データ処理手法についても、検討・開発が必要である。

東京大学地震研究所は、平成8年に三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システムを設置した。このシステムは3つの地震計と2つの津波計が接続されており、ケーブルの全長は約120kmである。2011年東北地方太平洋沖地震の被災による中断を経て、現在も観測を行っている。このシステムは将来の拡張用として、海底ケーブルに6本(3組)の予備ファイバが用意されている。予備ファイバには中継器などは接続されていないので、この予備ファイバを用いて、陸上局からケーブル先端までのDAS計測が適用可能である。また、予備ファイバはDAS計測に適した分散シフト・シングルモードファイバである。そこで、我々は、次期海底ケーブル式観測システムの新技术として、DAS技術を用いた海底地震観測システムの開発を、三陸沖光ケーブル観測システムを用いて開始した。DAS技術による海底観測は、海底ケーブル上に短い間隔でセンサを取り付けた状態と同じであり、これまで「点」であった観測を、「線」での観測に変化させるものである。

平成8年に設置した三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システムの予備ファイバを用いて、2019年2月13日から15日の間に、初めてのDAS計測を実施した。DAS計測に先立ち、光パルス試験器(OTDR)により、DAS計測を実施す予備ファイバの状態が良好であることを確認した。DAS計測の送受信機を陸上局に設置し、陸上局から100kmの地点まで、サンプリング周波数500Hz、観測チャンネル間隔を5mと設定して計測を実施した。計測の空間分解能を示すゲージ長は、10mまたは40mである。計測の結果、約46時間の連続したデータを収録することができた。収録されたデータには、観測システム近傍で発生した比較的規模の小さな地震や、深発地震を含めて多数の地震が観測された。これらの記録は、三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システムの地震計の記録と比較することが可能である。今後、得られたデータを用いて、解析手法の検討・開発を行う。

吾妻山における光ファイバーとDASによる地震観測

Seismic observation at Azuma volcano using fiber optics and DAS system

*西村 太志¹、江本 賢太郎¹、中原 恒¹、三浦 哲¹、山本 希¹、杉村 俊輔¹、植田 尚大¹、石川 歩¹、木村 恒久²

*Takeshi Nishimura¹, Kentaro Emoto¹, Hisashi Nakahara¹, Satoshi Miura¹, Mare Yamamoto¹, Shunsuke Sugimura¹, Takahiro Ueda¹, Ayumu Ishikawa¹, Tsunehisa Kimura²

1. 東北大学大学院理学研究科、2. シュルンベルジェ

1. Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Schlumberger

通信用に開発された光ファイバー内を伝播する光の散乱波を利用したDistributed Acoustic Sensing(DAS)systemを用いることで、ファイバーに生じた歪みの時間変化を数メートルから数十メートル間隔で測定することができる。この光ファイバーを利用した震動計測が物理探査や地熱開発で利用され、浅部構造や亀裂状況等が高精度で測定できるだけでなく、自然地震の観測例も国内外で報告されるようになってきた。光ファイバーによる観測は、数mから数十m間隔で測定点を設置可能であるだけでなく、ファイバーの端点のみに計測器を設置することにより最大40kmの測線長のデータが得られるメリットがある。一方、光ファイバーと地面とのカップリング状況が不明であったり、3成分方向の観測は難しくケーブル敷設方向の震動(歪み)成分のみ計測できるという難点もある。今回、吾妻山地域で光ファイバーを利用した地震観測を開始した。上記の長所短所に関連付けながら観測の概要と得られた地震波データについて紹介するとともに、今後の発展性について議論する。

磐梯吾妻スカイラインの道路沿いに敷設されている、国土交通省所有のシングルモード光ファイバーケーブルを借用して、使用した。土湯温泉ゲートから浄土平までほぼ南北方向に伸びる総長14.2kmの測線である。山道であるため、測線上の中央および南側でつづら折りとなっている箇所がある。光ファイバーは、深さ50cmほどに埋設された管内に敷設されている。南端の土湯温泉ゲートにシュルンベルジェ社のheterodyne Distributed Vibration Sensing (hDVS)を設置し、サンプリング周波数1000Hz、サンプル箇所の間隔10mで、7月4日より連続観測を開始した。観測終了は8月末を予定している。1 Hzのハイパスフィルターがかけられ、SEGY形式で記録される。また、光ファイバーケーブルが敷設されている道路沿い4カ所に広帯域地震計1台と周期地震計3台を設置し、並行観測を行った。

7月4日の開始直後から、吾妻山で発生する低周波地震、周辺で発生する構造性地震、遠地地震などが記録された。福島県と岩手県沖で発生したマグニチュード4クラスの地震について、地震計の速度波形と光ファイバーによる歪み波形を比べたところ、1Hz以下の低周波成分から10Hz程度までのスペクトル構造は類似していることがわかった。吾妻山の微小な火山性地震も記録されていることから、道路沿いに敷設した光ファイバーとDASを用いた計測により、火山性地震や微動、自然地震を十分記録することができるといえる。このシステムでは、ケーブル敷設方向の1成分のみしか震動を記録できないものの、コーダ波を利用した解析や、先行研究では報告されているように地震波干渉法が適用できると考えられる。火山地域だけに限らず、屈折・反射法や地盤特性の把握など、幅広い分野の解析に利用できると考えられる。

謝辞

国土交通省の光ファイバーを借用した。観測に当たって、国土交通省東北地方整備局福島河川国道事務所の方々に便宜を図っていただいた。

