様式 G-2

2025 年度 共同利用実施報告書（研究実績報告書）

（一般共同研究）

１．課題番号　　２０２５－G－０２

２．研究課題名（和文、英文の両方をご記載ください。）

和文：振動加速度一次標準にトレーサブルな広帯域地震計感度の校正手法の開発

英文：Development of a calibration method for broadband seismometer traceable to a primary vibration standard

３．研究代表者　所属・氏名　産業技術総合研究所　下田 智文

（地震研究所　担当教員名）　新谷 昌人

４．研究組織の詳細（研究代表者を含め、当課題に参加した全ての研究者を記載し、必要に応じ行を追加してください。）

氏名	所属・職名	担当
下田 智文	産業技術総合研究所 主任研究員	校正装置開発・観測実験準備・データ解析・議論・論文執筆
穀山 渉	産業技術総合研究所 主任研究員	議論・論文執筆
野里 英明	産業技術総合研究所 研究グループ長	観測実験準備・議論・論文執筆
新谷 昌人	地震研究所　教授	観測実験準備・観測データ提供・データ解析・議論・論文執筆

５．研究計画の概要（申請書に記載した「研究計画」を 800 字以内でご記載ください。変更がある場合、変更内容が分かるように記載してください。）

広帯域地震計は低周波地震動観測のために観測網で広く用いられている。近年では観測精度維持のため校正が求められつつあるが、観測点に設置済みの地震計感度を正確に校正する手法は確立されていない。そのため製造時の校正後、観測点に設置した後に感度特性が変化しても判別が難しい。そこで本研究では、観測点に設置された広帯域地震計を現地で校正する手法を開発する。校正は 2 段階からなり、まず①基準として用いる地震計（以下、参照地震計）の感度及び温度依存性を実験室で測定した後、②参照地震計を観測点に持ち込み、地面振動を用いた比較校正により既設地震計の感度を算出する。本年度は①および②の手順の実証実験を行う。

①は産業技術総合研究所の振動校正設備を用いて行う。一次校正では加振器で地震計に振動を加え、レーザー干渉計で測定した正確な参照振動と地震計出力を比較することで感度を算出する。さらに恒温槽を用いて地震計を−20℃から 50℃程度の様々な温度に変えて校正を行うことで、温度依存性も測定する。

②の比較校正は鋸山地殻変動観測所での実証実験を行う。①で校正した参照地震計を観測所に持ち込み、現地の STS-1 地震計の近くに設置する。STS-1 地震計は連続観測状態を保ったままとし、参照地震計は GPS 時刻同期されたデータロガーで独立にデータを集録する。両者の記録データから GPS 時刻を介して同じ時間帯のデータを選択し、オフラインで比較する。波形の振幅比から 2 台の地震計の感度比を求め、これに校正で得た参照地震計感度（校正時と観測点の温度差に基づいた感度変化を補正）を掛けることで、既設地震計の感度を算出する。実験では 2 種類の参照地震計を用意し、それぞれを参照に校正した既設地震計の感度どうしが一致するかどうかを確認し、提案手法の妥当性・不確かさを検証する。その他、信号処理手法や測定時間に関する知見も得ることを目指す。

6．研究成果の概要（図を含めて 1 頁で記載してください。）

キーワード（3〜5 語程度）：広帯域地震計, STS-1, 比較校正, 温度補正

2025 年度共同利用では、鋸山地殻変動観測所の STS-1 地震計（EW, NS, UD の 3 台）を対象に、比較校正の実証実験を行った。対象の STS-1 地震計は 1990 年代に設置されて以降、連続観測を続けている地震計である。参照地震計としては Trillium Horizon (TH360)と Trillium Compact (TC120) を用いた。それぞれ 3 軸一体型の地震計で、産総研で校正した感度は 1004 V/(m･s^{-1})と 374 V/(m･s^{-1})（軸ごとに±0.2 %程度のばらつき）、温度依存性は約 0.105 %/℃と 0.114 %/℃であった。参照地震計は STS-1 地震計の横に図 1 のように設置し、2025/12/3 から 2025/12/19 の 16 日間の地面振動を観測した。観測データには常時微動信号の他、12/7 にアラスカで発生した遠地地震および 12/8 に発生した青森県東方沖地震の信号も含まれた。

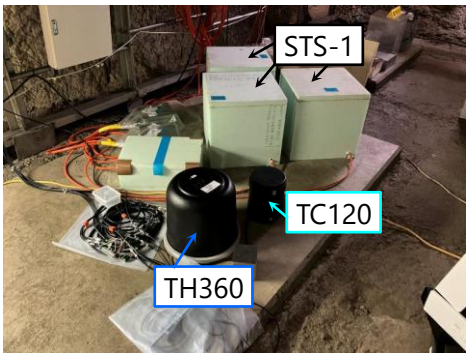


図 1. 比較校正セットアップ

まず常時微動信号については 16 日間のデータを 1 時間ごとに区切り、各区間で STS-1 地震計と参照地震計のクロススペクトル密度から感度比を計算した。特に信号間の相関が高かった 0.2 Hz – 0.5 Hz（脈動帯域）での平均を取り、これに前述の参照地震計感度を乗じたものを STS-1 地震計の中間帯域感度とした。この一連の解析を TH360 と TC120 それぞれのデータを用いて行った。16 日間のデータの各区間から算出した感度のヒストグラムが図 2 の通りである。TH360 と TC120 それぞれを参照に求めた STS-1 感度は 0.11 %程度の差で一致しており、温度依存性の補正手順と比較校正解析の妥当性を支持する結果となった。総合的な不確かさは約 0.5 %と見積もられ、観測網で要求される精度（~1 %）を満たす展望が得られた。

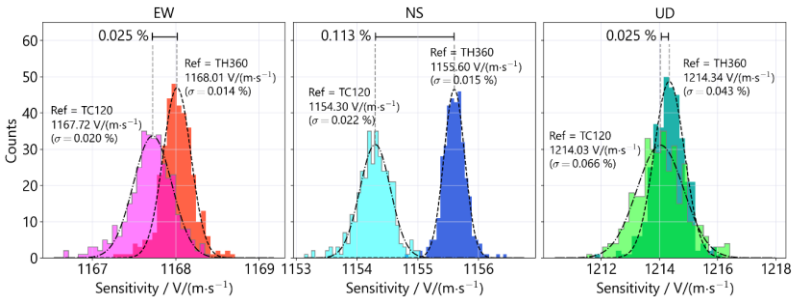


図 2. 常時微動信号を使って比較校正した STS-1 の中間帯域感度

一方で位相から算出した STS-1 地震計の遅延については、データ処理の影響を差し引くと約 48 ms であり、設計上の遅延 20 ms よりも大きい値となっていた。これが地震計の特性変化なのか、比較校正方法の問題なのかは判別できておらず、今後の課題として残った。

観測データに含まれた地震波形は個別に抽出し、フーリエスペクトルの比から広帯域の感度比を計算した。規模の大きい地震は 0.01 Hz 程度までの低周波成分を含むため、低周波数帯での STS-1 の周波数特性が得られた。5 つの地震波から得た結果を図 3 に示す。STS-1 の設計上の低周波カットオフ周波数は約 3 mHz であるが、NS 成分に関してカットオフの上昇が見られた。これは電気的な絶縁不良や回路素子の特性変化によって生じている可能性がある。このような周波数特性変化の特定についても、本比較校正法が有効であることが示された。

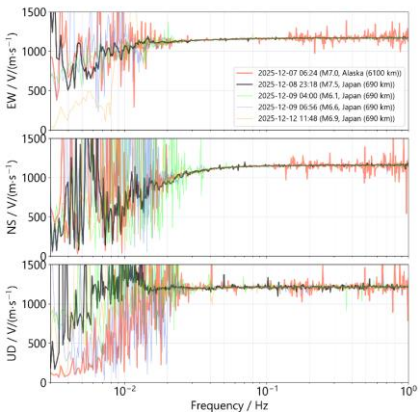


図 3. 地震波形の比較で得た周波数特性

一連の成果は論文にまとめて Seismological Research Letters 誌に投稿し、受理された。

７．研究実績

※所外の課題代表者は、所内担当教員に必ず実績について地震研業績 DB への登録依頼をしてください。

国際学会発表（招待講演）

（学会発表かつ招待講演の場合、講演者名、タイトル、学会名、開催地、発表年（西暦）、招待について記載してください。

記載例：K.Obara, Meaning and prospect for science of slow earthquakes, IAG-IASPEI, Kobe Japan, 2017 (invited)）

発表無し

国際学会発表

（学会発表の場合、講演者名、タイトル、学会名、開催地、発表年（西暦）について記載してください。

記載例：K.Obara, Meaning and prospect for science of slow earthquakes, IAG-IASPEI, Kobe Japan, 2017 ）

T. Shimoda, H. Nozato, A. Araya, “Calibration of Broadband Seismometers in Laboratory and Field Environments”, *APMP-CTBTO Video Meeting on Seismic Metrology*, Online, 2026

論文

（下記表の項目について記載してください。）

#	論文情報（著者、論文タイトル、雑誌名、巻、頁、出版年、DOI）	査読の有／無	出版年月	著者に地震研所員を含む／含まない	謝辞の有／無
記載例	Kazushige Obara, Aitaro Kato, Connecting slow earthquakes to huge earthquakes. Science 353, 253-257 (2016). DOI:10.1126/science.aaf1512	有	2016.7	含む	無
1	Tomofumi Shimoda, Akito Araya, Wataru Kokuyama, and Hideaki Nozato, “On-site comparison calibration of broadband seismometers with temperature correction”, *Seismological Research Letters* (accept 済・未出版)	有	未出版 (accept 済)	含む	有

８．外部資金の申請・採択状況（任意、本紙提出後に採択の際にはメールでお知らせください。）