



Title	ロシア・カムチャツカ半島アバチンスキー火山での傾斜観測
Author(s)	高橋, 浩晃; TAKAHASHI, Hiroaki; 青山, 裕 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 82, 11-18
Issue Date	2019-03-19
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.82.11
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/73387
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/
Type	departmental bulletin paper
File Information	GBHU_82_p11-18.pdf



ロシア・カムチャツカ半島 アバチンスキー火山での傾斜観測

高橋 浩晃・青山 裕・大園 真子・田中 良・伊藤 ちひろ

北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

渡邊 早姫・松島 健

九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター

山下 裕亮

京都大学防災研究所附属地震予知研究センター

宮町 宏樹

鹿児島大学学術研究院理工学域理学系

奥山 哲

気象庁気象研究所

ゴルディエフ エフゲニー・ムラビヨフ ヤロスラフ・マグースキン キリル・マリック ナタリヤ・ミノロフ イワン

ロシア科学アカデミー極東支部火山地震研究所

チェブロフ ダニラ

ロシア科学アカデミー地球物理調査所カムチャツカ支部

(2019年2月18日受理)

Tiltmeter observation in Avachinsky volcano, Kamchatka, Russia

Hiroaki TAKAHASHI, Hiroshi AOYAMA, Mako OHZONO, Ryo TANAKA and Chihiro ITO

Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University

Saki WATANABE, Takeshi MATSUSHIMA

Institute of Seismology and Volcanology, Kyushu University

Yusuke YAMASHITA

Research Center for Earthquake Prediction, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Hiroki MIYAMACHI

Research Education Assembly, Kagoshima University

Satoshi OKUYAMA

Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency

Evgeny GORDEEV, Yaroslav MURAVYEV, Kirill MAGUSKIN, Natalia MALIK, Ivan MINOROV

Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences

Danila CHEBROV

Kamchatka Branch, Geophysical Survey, Russian Academy of Sciences

(Received February 18, 2019)



Tiltmeter observation network with 4 stations were installed on active Avachinsky volcano, Kamchatka, Russia, in 2017. Bubble tilt sensors were equipped on base of pit. Waveform of a distance earthquake recorded at AVCT and UGLT stations indicated that the sensors were normal. Observation data for 9 days suggested long term tilt change of $30 \mu\text{rad}$ at AVCT and $300 \mu\text{rad}$ at UGLT, respectively. Daily tilt fluctuation at UGLT might reflect larger daily temperature change of air due to shallow pit depth. Proper pre-processing filtering is required based on noise characteristic investigation.

I. は じ め に

火山噴火は低頻度かつ複雑な現象である。多様な火山現象を経験的・定量的に理解し、噴火予測精度の向上につなげるためには、モデル化に向けた観測データを積み重ねることが望ましい。日本国内で発生する噴火に加え、海外での観測事例を増やすことは、比較研究の上でも効果的な取り組みである。

ロシア連邦のカムチャツカ州は、北日本と同じ太平洋プレートの島弧沈み込み帯にあたり、数多くの活動的火山が存在することで知られている。州都ペトロパブロフスク・カムチャツキー市に近接するアバチンスキー火山は、20世紀以降だけでも7回の噴火活動を行った活発な活火山である。この火山において、火山性地殻変動を観測する目的で、ロシア科学アカデミーと共同で傾斜計による観測を開始したので報告する。

II. 傾斜計観測網の構築

ロシア連邦カムチャツカ州での火山観測は、ロシア科学アカデミーの極東支部火山地震研究所 (Institute of Volcanology and Seismology, 以下 IVS) と、地球物理調査所カムチャツカ支部 (Kamchatka Branch of Geophysical Survey, 以下 KBGS) により実施されている。KBGS は、カムチャツカ半島全域にテレメータによる定常地震観測網を運用し、必要に応じて地震や測地の機動観測を実施している。IVS は、地球物理関係に加え、地質学・岩石学・地球化学的手法を用いた火山研究を実施している。また、これらの観測結果と衛星観測データを用いて、航空路カラーコードを含めた火山活動情報が IVS の KVERT (Kamchatka Volcanic Eruption Response Team) により発表される。

KBGS は、活動的火山周辺には特に多くの地震計を配置し、地震活動や監視カメラを用いた常時監視を行っている。地震観測は、火山における最も一般的な観測手法であるが、火山で発生する多様な周期の振動や変形現象を捉えるためには、より広い帯域を観測可能な計器を併用することが望ましい。

地盤の傾きを高精度で連続的に計測する機器に傾斜計がある。火山では、マグマ等の火山性流体の蓄積や火口浅部への貫入により地盤の変形が生じる。地盤変形が観測出来れば、逆解析より

マグマ等の蓄積変化量や、貫入に伴う開口量など、火山活動の理解や評価に利用可能な物理パラメータの推定が可能となる。傾斜計には、振り子を使って地盤傾斜による重力加速度変化を検出する力平衡型のものと、液体中に注入された気泡が傾斜変化で移動する量を測定する気泡式などがあり、大規模な観測坑では数 m から数十 m の延長をもつ水管傾斜計が設置されることもある。

傾斜計は、設置条件がよい場合には地球潮汐による 10^{-8} rad レベルの信号を記録する感度を有している。また、永久変形を記録するように設計されているため、振り子を利用する力平衡型の場合でも、並進運動の影響が出る周期 30 秒までよりも長い周期に対しては、DC 帯域までフラットな応答特性を持つ（小久保, 2013）。一方、感度が高いために、設置場所の温度圧力変化や、降水や融雪による土壌水分量変化による地盤変動などがノイズ源となる。特に、地上に設置した場合には周辺環境の影響が大きくなる。このため、データを利用する場合には、設置場所や計器のノイズ特性に十分注意することが必要である。

アバチンスキーでは、設置が容易な地上設置型気泡式傾斜計（Jewell instruments 701-2A）を利用した。公称分解能は $0.1 \mu\text{rad}$ である。データは計測技研社製 HKS-9550 において 100 Hz サンプリングで GPS 時計で時刻校正され格納された。観測点へのアクセス時期が限られるため、太陽電池とバッテリーを併用し長期間メンテナンスフリーの電源構成としている。傾斜計の設置には、安定した器台が必要である。KBGS が運用する地震観測点では、コンクリート製の地震計台が設置されている。傾斜計はこの地震計台に併設することとした。

傾斜計は、2017 年 8 月に火山体を取り囲むように 4 か所に設置された（Fig. 1, Table 1）。このうち、AVCT, UGLT, SDLT では深さ 1 ～ 3 m 程度の浅層簡易ピットとなっており、SMAT は登山道沿いのケルン内に作られた地震計室である。温度変化による影響を軽減するため、傾斜計には発砲スチロール製の覆いを被せているが、外気温等の周辺環境の影響を強く受けることが予見される。

メンテナンスやデータ回収のためには、観測点へ定期的に赴くことが必要である。しかし、現地は山岳地帯で積雪があるため、アクセスは夏期に限られる。AVCT は、車輛で比較的容易に直接到達することが可能であるが、UGLT と SDLT は夏期でも林道状況によりアクセスが困難であり、特に山体北側の SDLT へは車輛で往復数日を要する。また、SMAT へは車輛到達限界から徒歩で 3 時間程度の登山が必要となる。このため、可能な場合にはヘリコプターをチャーターしてメンテナンスを行うことが望ましい。

Table 1. Tiltmeter station information

Station	Latitude	Longitude	Height	Tiltmeter	Data logger
AVCT	N53.26427	E158.73970	957m	S/N8943	S/N300080058
UGLT	N53.20997	E158.82880	1220m	S/N8944	S/N300080057
SMAT	N53.26618	E158.81178	1989m	S/N8942	S/N300080061
SDLT	N53.27839	E158.88683	1228m	S/N8941	S/N300080056

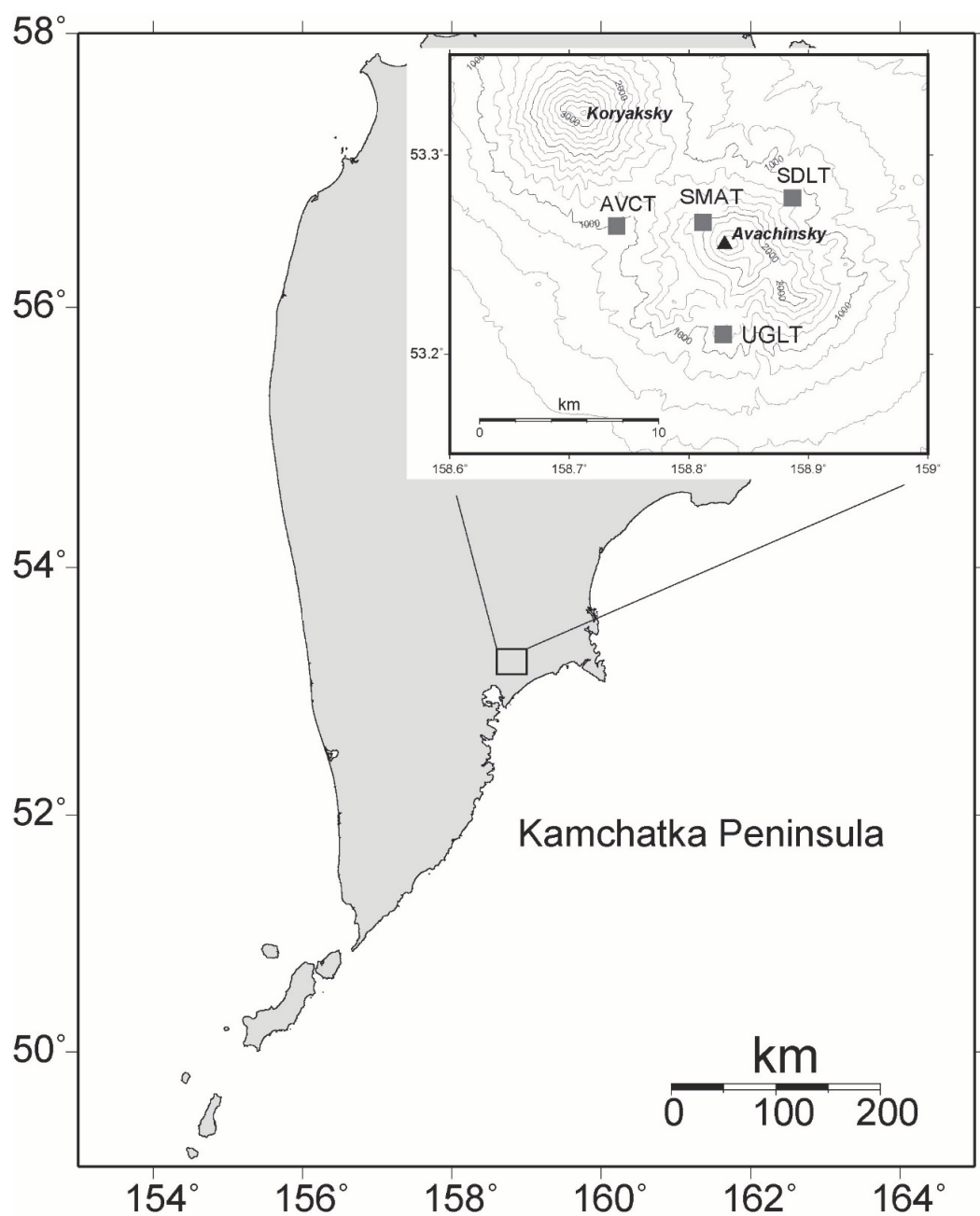


Fig. 1. Tiltmeter network in Avachinsky volcano, Kamchatka, Russia.

Ⅲ. 観測データ

遠地地震の観測波形を比較することにより、設置した傾斜計での数秒から数 10 秒程度の周期での傾斜計の応答を確認する。Fig. 2 には、2017 年 9 月 8 日にメキシコ沿岸で発生した Mw8.2 の遠地地震の波形記録を示す。なお、現時点では AVCT と UGLT のデータのみが回収できていたため、比較はこの 2 点だけとなる。表示時間は UTC の 05:00-06:00 の 1 時間であり、1 Hz にリサンプリングされたデータである。双方の観測点での波形は非常によく似ており、最大振幅や特徴的な位相などもほぼ一致することから、傾斜計センサーは正常に稼働していると考えられる。

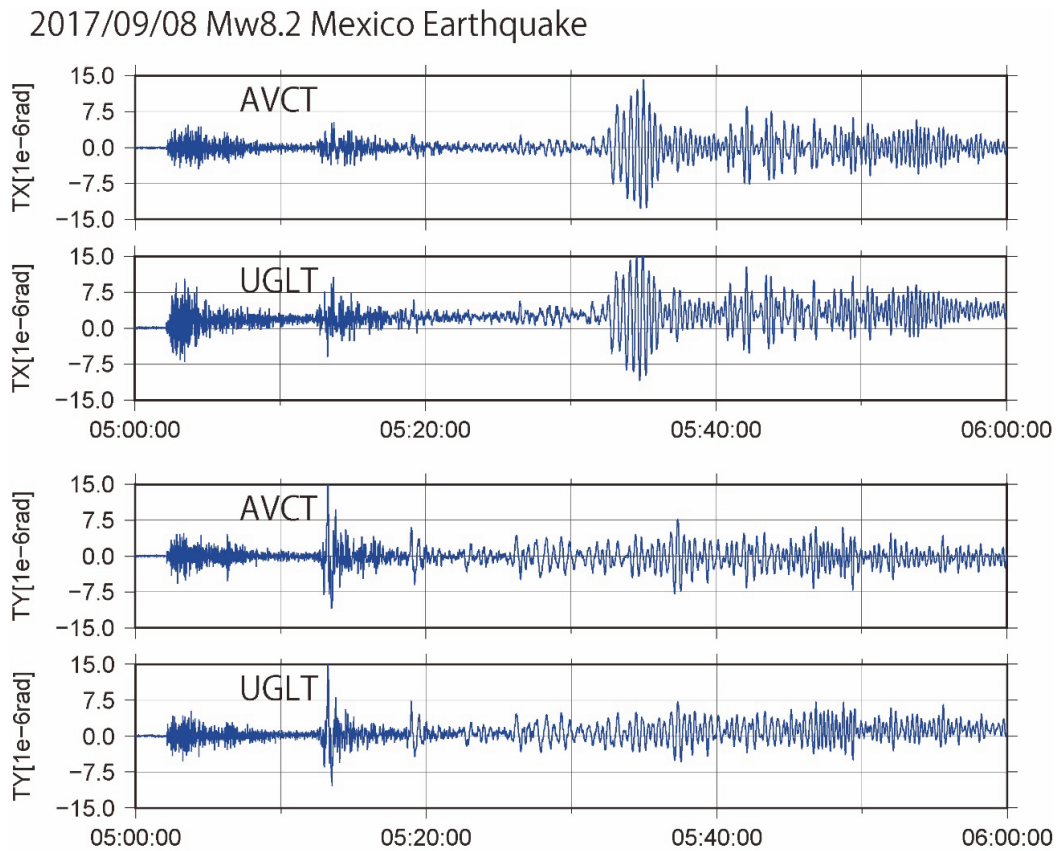


Fig. 2. Tiltmeter waveforms of the 8 September 2018 Mw8.8 Mexico distant earthquake.

より長期間の観測記録を検討するため、記録が比較的安定していた2017年9月19日から27日までの傾斜記録を1分値にリサンプリングしたもの示す (Fig. 3). AVCTでは $30\ \mu\text{Rad}$ 程度, UGLTでは $300\ \mu\text{Rad}$ に及ぶ大きな変動が観測された. 傾斜計内センサーによる温度変化は $1\ ^\circ\text{C}$ 以内となっている.

この記録に周期2日 (172,800秒) のハイパスフィルターを施したものを Fig. 4 に示す. 日周変化等が抽出されていることになるが, 2つの観測点で特徴が大きく異なることがわかる. 遠地震記録の比較では, この2つの観測点では同じ振幅であったことから, Fig. 4 で示された振幅

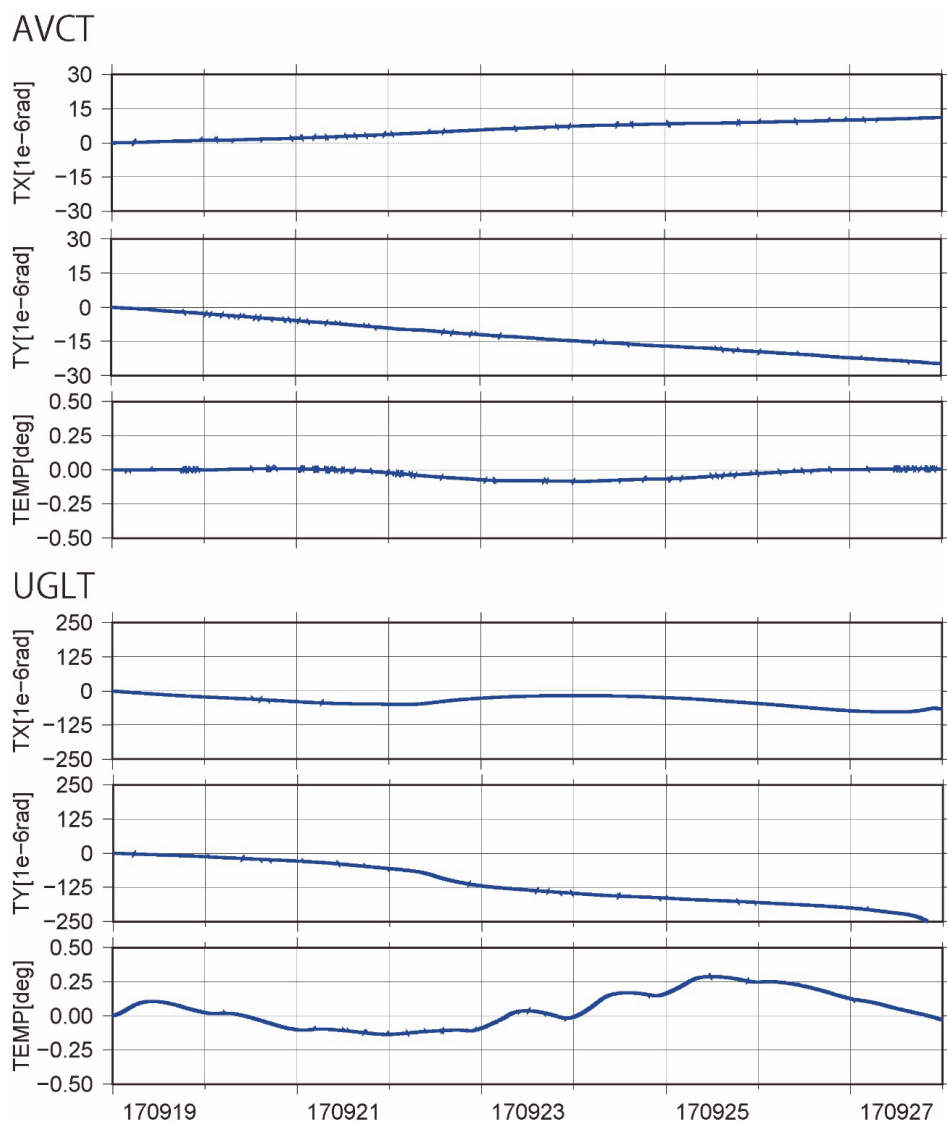


Fig. 3. Tiltmeter raw record during 19 to 27 September 2018.

差は実際の地盤傾斜の大きさの違いを表しているものと考えられる。UGLT、AVCTとも日周変化が見られるが、UGLTはAVCTに比べ一桁以上振幅が大きい。UGLTでは、温度変化の振幅も同じようにAVCTに比べ一桁以上大きい。UGLTの日周程度の周期をもつ傾斜変化は、温度変化の影響を強く受けている可能性が高い。UGLTはAVCTに比べ土被りが浅く、外気温の影響を受けやすいことが関係している可能性がある。火山性地殻変動を抽出するためには、これらの外的ノイズを考慮し火山性シグナルの時定数と振幅に合わせた適当なフィルタを用いることが望ましい。

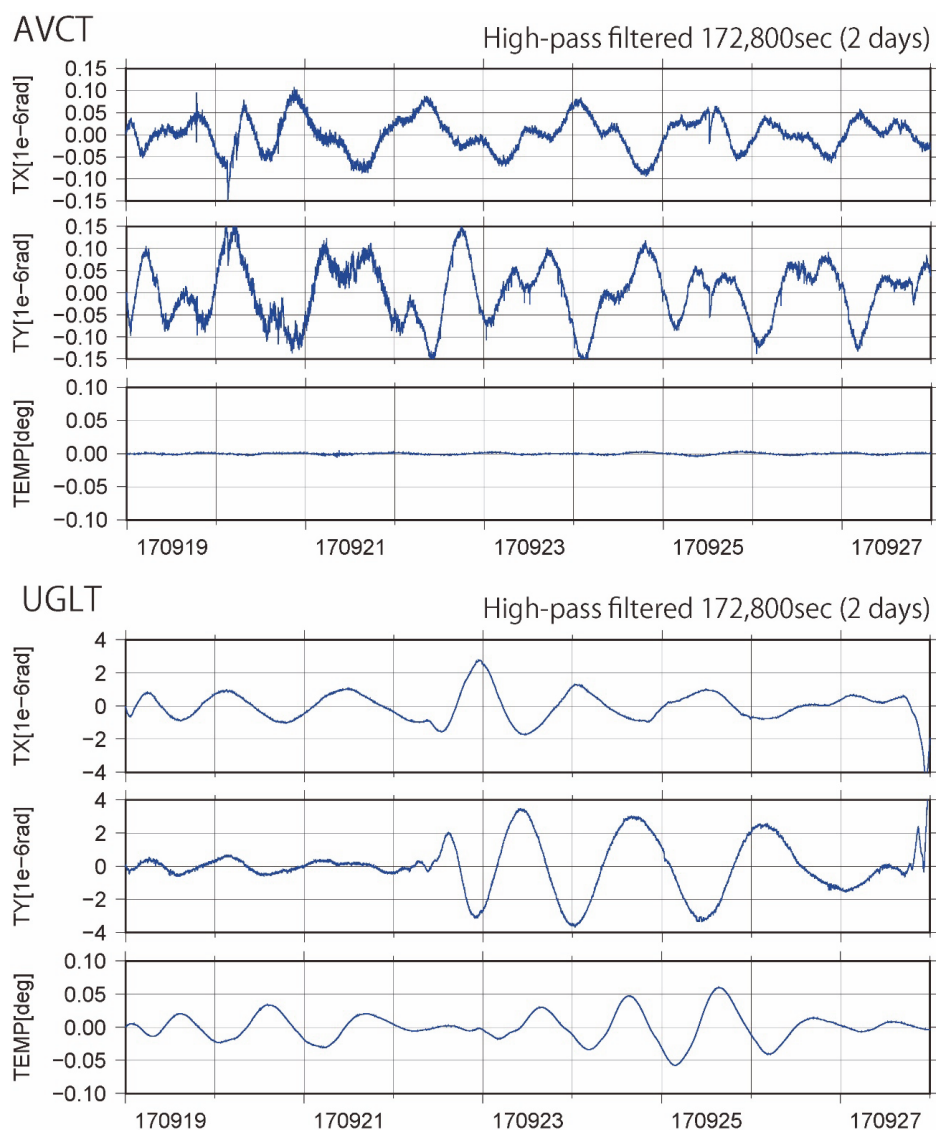


Fig. 4. Tiltmeter record for 172,800 sec high-passed. Duration is same as Fig. 3.

V. ま と め

ロシア・カムチャツカのアバチンスキー火山において、4 か所からなる傾斜計観測網を構築した。傾斜計はアバチンスキーの火口を取り囲むように設置されており、火山活動に関連する傾斜変化を観測可能な配置となっている。遠地震の傾斜波形から、2 観測点のセンサーが正常に稼働していることを確認した。長期の記録での日周変動は、AVCT に比べ UGLT 観測点の振幅が一桁以上大きかった。UGLT では土被りが浅いため温度変化が大きく、外気温変動の影響をより強く受けている可能性がある。今後、他の 2 観測点についても、データが入手でき次第ノイズ特性の評価を行う必要がある。

謝辞 この研究は、日本学術振興会二国間交流事業共同研究（ロシアとの共同研究）「アバチンスキー火山の都市型噴火災害軽減に向けた噴火様式予測の試み」によって実施された。現地観測では、北海道大学の中川光弘教授・谷内元氏・榎枝竜之介氏の協力を頂いた。データベースへの登録は山口照寛技術専門職員により行われた。

文 献

小久保一哉，火山の短周期成分を含む地殻変動モデルに対する傾斜計の応答，2013：験震時報，**77**，1-14.