

画像解析技術を用いた可搬型相対重力計の器械傾斜量の把握
 Determination of Instrumental Tilts of Portable Relative Gravimeters Using Image Analyses

○風間卓仁・岡田有生
 ○Takahito KAZAMA, Yusei OKADA

In monitoring volcanic mass variations based on continuous gravimetry, quasi gravity variations due to instrumental tilt should be corrected from acquired gravity data precisely. However, commonly used portable relative gravimeters such as LaCoste & Romberg gravimeters cannot record their own instrumental tilt electronically. We therefore tested to quantify instrumental tilt values of a D58 feedback-type gravimeter, using photograph data of pointer/bubble tiltmeters on the gravimeter as follows. We first tilted the D58 gravimeter on a tilt table, and took the photographs of the pointer/bubble tiltmeters continuously. We then quantified the tilt values by analyzing the photograph data using original Python codes. The tilt values determined from the image analyses was found to be consistent with those collected by an electronic tiltmeter with the correlation coefficient of ~ 0.99 . This result indicates that the tilt data determined from the image analyses can be utilized for correcting the tilt-derived quasi gravity variations.

1. はじめに

重力観測は火山内部の質量移動プロセスを理解するのに有効な手法の1つであり、特に重力データを高頻度取得することで質量移動を連続的に把握することができる。例えば、2015年8月15日の桜島急膨張イベント時には、有村観測坑道局舎（火口の南約2 km）においてバネ式相対重力計CG-3Mによる1分間隔の相対重力連続観測がなされ、約6 micro-Galという微小な重力変化が検出された（風間ほか, 2016）。この重力変化量を地殻変動の観測値やモデル予測値と比較すると、この急膨張イベントには密度約1.0 g/ccの火山性流体の貫入が関係していると示唆されている。

一方、重力連続観測では重力計自身の器械傾斜が見かけの重力変化をもたらす、実際の重力シグナルのノイズ源となる。例えば、重力計の器械垂直方向が鉛直方向と θ だけずれた場合、見かけ重力変化は $-g\theta^2/2$ となる。これは器械が30 arc-sec (= 145 micro-rad) 傾斜すると見かけ重力変化が-10.6 micro-Galとなり、バネ式相対重力計の観測誤差（ ~ 10 micro-Gal）に匹敵することを意味している。実際、2015年桜島急膨張イベント時には有村地域で60 micro-rad前後の傾斜変化が観測されたが（e.g., Hotta et al., 2016）、有村に設置していたCG-3M型重力計が電子傾斜計を内蔵していたため器械傾斜に伴う重力変化は精度良く補正されている（風間ほか, 2016）。

このように、重力時間変化を正確に把握するには器械傾斜量も同時に監視すべきであるが、そもそも重力値と傾斜値を同時測定できる重力計（例えば桜島有村のCG-3M型重力計など）は少ない。日本の火山地域で一般的に使用されているのはラコスト型相対重力計であり、この重力計には気泡型ないし指針型の傾斜計が付属しているのみである。そこで我々は、火山地域で一般的なラコスト重力計でも重力・傾斜の並行連続観測を実現できるよう、傾斜計の写真画像から器械傾斜量を定量的に把握する技術を考案した。本稿では、重力計の傾斜実験の詳細と、この実験データから得られた傾斜変化の解析結果を示す。

2. 相対重力計 D58 の傾斜実験

我々はラコスト型相対重力計をフィードバック式に改造したD58重力計を用いて、2019年7月に京都大学理学研究科1号館地下の重力計室で傾斜実験を行った。D58はその上面に指針型傾斜計および気泡型傾斜計を有しており、器械傾斜量を目視で確認できる。また、D58は電子型傾斜計も内蔵しており、重力値や傾斜値を無線規格Bluetoothによって任意のデバイスに2 Hz間隔で連続的に送信できる。

傾斜実験においては、まずD58を重力計検定用の傾斜台に置き、指針型・気泡型傾斜計の写真撮影できるようD58の直上にUSBカメラを設置し

た。その後、傾斜台を $-100 \sim +100$ arc-sec の間で段階的に傾け、電子型傾斜計の傾斜値と重力値を収録した他、指針型・気泡型傾斜計の写真を10秒ごとに撮影した。

3. 指針型・気泡型傾斜計の画像データ解析

我々は指針型・気泡型傾斜計の画像データを以下のような手法で解析し、画像データから器械傾斜量を数値化した。なお、画像解析プログラムはPython言語によって独自に作成し、その中では画像処理ライブラリ OpenCV-Python を活用した。

まず、指針型傾斜計の写真では、画像回転・トリミング・明暗調整・エッジ抽出などの画像処理によって針や目盛の位置を判読した。その後、針や目盛の位置をピクセル座標に変換し、針と目盛の相対的な位置関係から針の位置を目盛単位 [div] で数値化した (図1)。

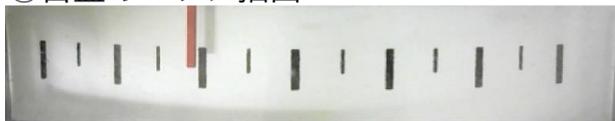
一方、気泡型傾斜計の写真では、まずエッジ抽出などの事前処理によって目盛位置を特定した。次に、1枚の気泡写真のエッジ画像に楕円回帰を行い、気泡のエッジのみを抽出した。この気泡エッジの形状や位置を基準として全ての気泡写真に相互相関解析を実施し、各写真の気泡と基準気泡の間のピクセル距離を算出した。最後に、このピクセル距離の値を目盛間距離で割ることにより、気泡位置を目盛単位 [div] で数値化した (図2)。

4. 解析結果および今後の予定

以上の解析で得られた指針および気泡傾斜値を電子傾斜値 [arc-sec] に対して XY プロットすると、各傾斜値の間に明瞭な線形関係が確認された。そこで各散布図に対して線形回帰を施した結果、相関係数は指針傾斜値で $+0.9999$ 、気泡傾斜値で $+0.995$ となった。これは、傾斜計の写真を本手法によって画像解析すれば相対重力計の器械傾斜量を高精度に数値化できることを意味している。

今後は本手法で得られた傾斜値を用いて傾斜に伴う見かけ重力変化を補正し、本手法が重力変化の補正に適用可能かどうかを検証する。本手法の有用性が確認されれば、独自作成した Python コードをインターネット上で公開し、本手法を誰でも利用可能な状態にする。なお、本手法は「安価で簡便なシステムによって相対重力計を可搬型傾斜計として利用できる」ことを意味しているので、今後は本手法を用いた火山地域での傾斜モニタリングについても実現可能性を検討する。

①目盛のエッジ抽出



②針のエッジ抽出



③目盛・針の位置の数値化

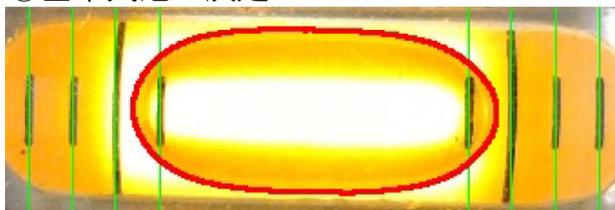


図1：指針型傾斜計の画像データ解析。

①目盛位置の決定



②基準気泡の決定



③相互相関処理による気泡位置の決定



図2：気泡型傾斜計の画像データ解析。