

航空レーザ計測による差分解析の問題点と対策に関する一考察

A Study of Problems and Countermeasures about DEM Differential Analysis
by Using Airborne Laser

前田 昭浩¹・杉山 光徳²・柴田 俊彦³・大石 忠³・本田 健³・武田 大典³
Akihiro MAEDA, Mitsunori SUGIYAMA, Toshihiko SHIBATA,
Tadashi OOISHI, Takeshi HONDA, Daisuke TAKEDA

¹国土交通省 九州地方整備局 河川計画課（〒812-0013 福岡市博多区博多駅東 2-10-7）

²国土交通省 九州地方整備局 雲仙復興事務所（〒855-0866 長崎県島原市南下川尻町 7番地 4）

³株式会社パスク（〒153-0043 東京都目黒区東山 1-1-2）

Key Words: Airborne Laser, DEM Differential Analysis, Mt.Unzen-Fugendake, Mt.Shinmoedake

1. はじめに

航空レーザ計測は非接触で地盤高モデルを詳細にかつ効率的に把握する手法として知られている。このような特性を活かして、近年は幅広い用途で航空レーザ計測が活用されている^{1),2)}。その中でも同一箇所において複数時期の航空レーザ計測結果を比較する差分解析は、地形変化の位置だけでなく、変化量を求めることができることから、土砂災害対策に有用である。

本研究では、雲仙普賢岳と霧島新燃岳の2地区で実施した差分解析の結果を紹介すると共に、差分解析の問題点と解決手法の一つを紹介する。

2. 航空レーザ計測手法と差分解析の方法

(1) 計測手法

航空レーザ計測は、固定翼または回転翼の航空機を使用し、空中からレーザ光を地盤面に向かって照射することで、レーザ光の反射時間から距離を測る技術である。計測したレーザ光の反射地点の情報は、航空機に搭載したGPSとIMU(慣性計測装置)の情報によって補正され絶対位置と標高を有した点データに変換される。ただしGPSは高さ精度が一般的に良くないため、計測範囲の四隅に調整用基準点を配置し、調整用基準点

の実測値と計測値の標高差を求め、必要に応じて計測値の高さを全体的にシフト調整する。また、コース間にについても極端な段差が生じないように明瞭な地物等を使って検証し、必要に応じて高さをシフトさせる。航空レーザ計測の位置精度はGPS/IMUに依存する部分が大きいため、GPS/IMUの調整のために、事前に空港等でキャリブレーションを行ったり、8の字旋回にてGPS/IMUのリフレッシュを行うなどの手法がとられている。高さを調整した計測値に対して、建物や樹木をフィルタリングしたデータをグランドデータという。グランドデータはランダムなポイントデータであり、これを格子データに変換したデータがグリッドデータである。通常、DEM(数値標高モデル)とよばれるデータはグリッドデータをさしている。対してDSM(数値表層モデル)とはフィルタリング処理前のデータを格子データに変換したものである。

(2) 差分解析手法

差分解析は同一グリッドの複数時期の標高値の差によって求められる。

$$\text{差分値} = \text{新しい標高値} - \text{既往の標高値} \quad (1)$$

式(1)の場合、差分値が正の場合は、地盤高の上昇・隆起、土砂の堆積が発生したと考えられ、負の場合は地盤高の沈降、土砂の流出が発生したと判断できる。また

解析に用いたグリッドサイズに差分値を乗算することで、差分量が求められる。

$$\text{差分量} = \text{差分値} \times \text{グリッドサイズ} \quad (2)$$

3. 雲仙普賢岳の事例

(1) 計測

雲仙普賢岳は島原半島のほぼ中央部に位置し、平成3年の噴火による火碎流にて甚大な被害が生じたことで知られている。雲仙普賢岳では山体観測のため国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所により平成15年からほぼ毎年、航空レーザ計測が行われている。対象範囲は様々であるが、水無川上流赤松谷から溶岩ロープまでの区間は、常に計測が行われている。

航空レーザ計測の実績が多い赤松谷の支川で、平成23年6月に土石流が発生した。この土石流により流出した土砂量を求めるため、平成24年2月に航空レーザ計測を実施し、差分解析を行った。差分解析に用いた既往の計測結果は平成22年8月のデータであり、何れも1mグリッドである。両データの計測コース、対地高度、FOV(センサーの振角度)、パルス数などの諸元は同一である。

また、本地区の堆積場では平成23年11月に地上型レーザを用いた計測を行い、同様に差分解析を行った。

(2) 解析結果

当該地区では赤松谷支川内の土砂移動の把握を目的とするため、差分解析は溪流内の範囲のみに限定した。また集計範囲を図-1に示すとおり炭酸水谷と極楽谷のそれぞれ源頭部、中流部、2溪流の合流点以下の計5ブロックに分けた。差分解析対象範囲は、植生が未だ回復していないことからフィルタリング処理を行わないDSM(数値表層モデル)のグリッドデータを作成して差分解析を行った。

差分解析結果から、確認できた事項は以下のとおりである。また、流域毎の解析結果を表-1に示す。

- ・土砂の発生源は赤松谷支川炭酸水谷 中流域(N2)であり、溪岸侵食による斜面崩壊が原因である。
- ・流出土砂量は約13万m³で、そのうち約10万m³が溪流内で再堆積している。
- ・炭酸水谷、極楽谷の合流点より下流域(C)で約4.6万m³が堆砂する。

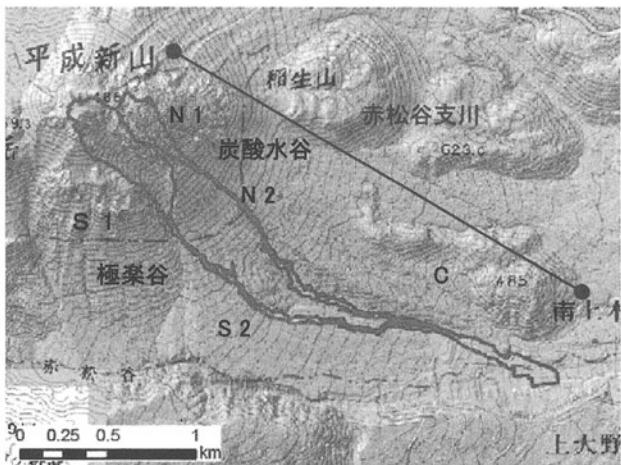


図-1 解析範囲

表-1 流域毎の差分量(単位: 1,000m³)

流域名	面積(km ²)	流出	堆積	流域計
N1	0.058	11.7	9.8	21.5
N2	0.047	50.6	17.5	68.1
S1	0.167	37.7	16.0	53.7
S2	0.043	19.4	13.0	32.4
C	0.051	10.5	45.6	56.1
計	0.366	129.9	101.9	231.8

また、C地区にて実施した地上型レーザの差分量と航空レーザにて求めた差分量は、やや航空レーザの方が少ない傾向を示すが、概ね調和的である(表-2参照)。

表-2 計測手法毎のC地区の差分量比較(単位: 1,000m³)

計測手法	流出	堆積	計
地上型レーザ	8.0	53.0	61.0
航空レーザ	10.5	45.6	56.0
差	-2.5	7.4	-5.0

(3) 問題点

解析を実施するに際し、以下の問題点を確認した。なお前述の解析結果は後述する対策を実施した後の結果である。

a) 水平変位の発生

雲仙普賢岳の山体の周辺には火碎流堆積物の巨石が数多く分布する。これらは構造物と同様に容易に動かすことはできない。当初、計測結果を用いて差分解析を行ったところ、巨石の周囲で差分値が一定方向に増減していることが明らかとなった(図-2に例を示す)。増

減の方向はコース毎に異なっていることから、コース毎に水平方向にずれが発生していると判断した。変位量は最大約 0.6m である。

b) 垂直変位の発生

差分量を求めた結果、源頭部の N1 および S1 にて流出量を上回る堆積量が確認された。源頭部では土砂が上流から供給されることはなく、また火山活動が活性化していない現在、山体の膨張等も考えにくい。さらに先に示した水平変位も明確な指標となる地物がないことから推し量れない。これらのことから、垂直方向にも変位が生じていると推察した。



図-2 水平変位

これらの問題の発見から平成 24 年 2 月に計測した航空レーザー計測 GPS 衛星および空港キャリブレーションの状態、POS 解析の見直しを行ったが、明確な問題点は見いだせなかった。このことから問題発生の原因の一つは、既存の航空レーザー計測結果であると推測した。

(4) 対策

それぞれの問題と各コースに一定の相関は見いだせなかつたため、当該区ではコース毎にそれぞれ差分解析を実施した上で水平変位、垂直変位を求め、シフト調整を行つた。前述したように下流部では変位の指標となる巨石が多数存在するため、シフト調整は比較的容易であったが、源頭部では指標が存在しないことから、シフト調整と差分量の算出を繰り返し、流出量と堆積量が逆転する様ないようにシフト量を求める方法を採用した。

4. 新燃岳の事例

(1) 計測

新燃岳は鹿児島県と宮崎県の県境に位置する霧島山のうちの一つである。平成 23 年 1 月に 52 年ぶりに爆発的噴火を起こし、平成 24 年 5 月現在も活動中の火山である。新燃岳を含む霧島山は新燃岳が爆発的噴火を

起こす以前に、土砂災害対策のため国土交通省 九州地方整備局 宮崎河川国道事務所ならびに同 大隅河川国道事務所により数年をかけて航空レーザー計測が行われている。

平成 23 年 1 月以降の火山噴火により、新燃岳周辺の市町には多量の火山灰が降下したが、爆発的噴火後、火口から一定範囲は立ち入り規制が行われたため、火口周辺における火山噴出物の堆積状況や地形変化の確認が困難となった。そこで、平成 23 年 11 月に新燃岳の火口周辺地形を把握するため、立ち入り規制区域（火口より 3km の範囲）の外縁に沿って高度約 6,000m より高振り角にて航空レーザー計測を行い、その計測結果を用いて差分解析を実施し、火山噴出物の堆積量の算定を行つた。

(2) 解析結果

新燃岳では雲仙普賢岳と異なり、広範囲の面積に対して差分解析を行う必要があった。その範囲内には噴火後も樹林帯が広く分布するため、樹木のフィルタリング処理を施す必要があることから、差分解析は DEM を使用した。既存の航空レーザー計測結果のグリッドサイズは 1m × 1m であつたが、噴火後に取得した航空レーザー計測のグリッドサイズは 2m × 2m のため、既存航空レーザー計測結果のグリッドサイズを 2m × 2m に変換して解析に使用した。

差分解析の結果から以下の事象が確認できた。また、火口周辺の解析結果を図-3 に、火口からの距離と堆積量、平均堆積深を表-3、図-4 に示す。

- ・3km 圏内(火口内除く)には約 1,500 万 m³ の火山噴出物が堆積している。
- ・火口の周囲概ね 1km 内に約 600 万 m³ の火山噴出物が堆積している。
- ・火口の南西斜面に最大堆積深約 13m に達する厚い堆積場がある。

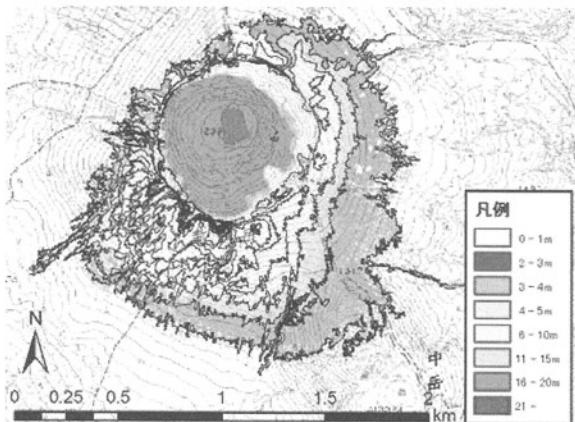


図-3 差分解析図

表-3 火口からの距離別の堆積量と平均堆積深

火口からの距離(km)	堆積量(1,000m ³)	平均堆積深(m)
2.5 — 3.0	2,626.8	0.30
2.0 — 2.5	2,056.2	0.29
1.5 — 2.0	2,301.3	0.42
1.0 — 1.5	1,903.4	0.48
0.5 — 1.0	4,207.4	1.79
0 — 0.5	1,686.0	3.76
火口内	18,368.8	54.58
火口内を除く計	14,781.1	—

※0 - 0.5km 区間は火口内の溶岩部分を控除した値

(3) 問題点

新燃岳は面積が広く、作業工程の手戻りを避ける必要があった。そこで航空レーザ計測結果の点検のため、事前に既存の航空レーザの DEM(数値標高モデル)と新たに計測した DSM(数値表層モデル)にて差分解析を実施した結果、次の問題を確認した。

a) 水平変位の発生

新燃岳の周囲には韓国岳、大浪池、御鉢などのカルデラが存在する。これらの火口丘は裸地であるとともに、円形を成している。また植生が薄く急峻な山稜地形も散在する。差分解析を行った結果、これらの火口丘や山稜に対して一定方向の差分値の増減が認められた。一事例としてコース 9 に発生した現象を示す(図-5 参照)。図の中心に韓国岳が位置する。韓国岳の南西斜面は差分値が負であるのに対し、北東斜面は一律に正の値となる。すなわちこのコースでは北東方向に変位している。

平成 23 年 11 月の計測は、高高度、高振り角と計測手法が特殊であったため、これらの要素が本問題の原因と予想したが、コース毎に方向、移動量は異なり、傾向は見いだせなかった。変位量は最大約 2m であった。

(4) 対策

計測コースと水平変位に相関が見いだせなかつたため、結果としてコース毎に差分解析を実施し、水平変位量と方向を確認した。ただしグリッドサイズが 2m × 2m と大きいと、変位量を詳細に求めることができないため、計測結果のグリッドサイズを 1m × 1m にリサイズした上で、差分解析を実施し、変位量を確認した。得られた変位量を元に、計測結果に対して水平方向のシフト調整を行った。

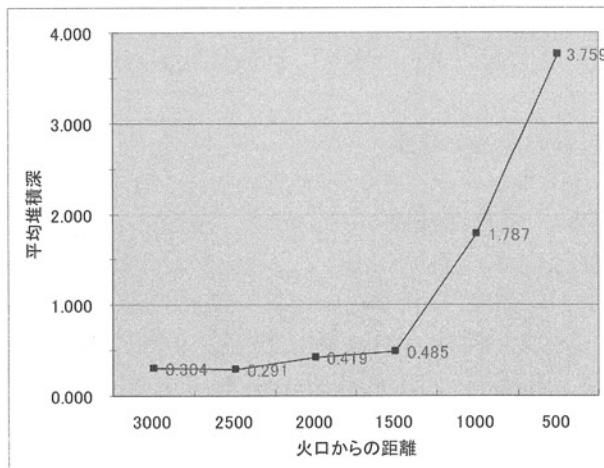


図-4 火口からの距離と平均堆積深(単位 : m)

5. 結論

2 つの事例のとおり、差分解析では航空レーザ計測結果に水平方向、垂直方向の変位が発生していることが判明した。このため、差分解析を行うにあたっては航空レーザ計測結果を十分に検証する必要がある。

これらの問題に対する対策の一つとして、既存航空レーザ計測結果が有る場合、コース毎に差分解析を行い変位量を求め、シフト調整を行う方法がある。しかし、この手法では、①作業にかなりの時間を要すること、②基準となる航空レーザ成果を取り決めておく必要があること、③差分を求めるために航空レーザ計測結果を作為的に修正するため、精度を失う恐れがあることなどの幾つかの問題を有している。

今後は、より差分解析の精度向上を計るために効率的な対策手法として差分を求めながらリニアにコースをシフト調整する方法などを検討すると共に、水平変位等の発生の解消について検討を行う。

謝辞：航空レーザ計測結果を提供いただいた、国土交通省 九州地方整備局 雲仙復興事務所 ならびに 宮崎河川国道事務所、大隅河川国道事務所に謝意を表す。

参考文献

- 1) 斎藤和也・中根達英・中島保・畠周平・岡崎克俊・織茂郁・丸山智康・村手直明・配島秀行・宮作尚宏・中尾元彦、〈図解〉航空レーザ測量ハンドブック, 82-93, 2004
- 2) 鈴木清隆・鵜殿俊昭・江坂文寿: 航空レーザデータを用いた荒廃地形判読手法, 先端測量技術, 103, 54-63, 2012.

(2012.5.9 受付)