

三次元地図データを用いた地形判読の自動化に関する研究 —扇状地・地すべり・斜面崩壊—

蔵田有希 鶴田直之 廣重法道^{†1}

概要：土石流に代表される突発的な地形変動（地形の集団移動）は、長い歴史の中で繰り返し発生し、災害の原因となり得る。本研究では、3次元地図データに画像処理技術を適用して地形の自動判読を行う手法のフレームワークを提案し、その実現性を検討した。具体的には、DEMデータを濃淡画像と見立ててLoGフィルタを適用し、地形を凸領域と凹領域に分類した2値画像を得る。このとき、ガウスフィルタのスケール変化に伴う集団移動地形領域の形状変化は、緩やかに浸食を受けた通常の地形のそれと違いがあることに着目した。これを基に、地形判読に効果的な形状特徴量について考察した。

キーワード：地形判読、集団移動地形、スケールスペース、DEMデータ、地域情報システム

A Study on Automatic Interpretation of Terrain by using 3D map data —Debris Flow, Landslide, Rapid Landslide—

YUKI KURATA NAOYUKI TURUTA
NORIMICHI HIROSHIGE^{†1}

Abstract: Terrain changes, called mass movements, occur repeatedly in history and can cause disasters. In this study, we proposed a framework for automatic interpretation of terrain by applying an image processing to 3D map data, and examined its feasibility. In our method, DEM data is regarded as a grayscale image, and a LoG filter is applied to obtain a binary image including convex regions and concave regions on the terrain. At this time, the shape change of the mass movement terrain due to the scale change of the Gaussian filter differs from that of the normal terrain. Based on this idea, we considered the effective shape features for terrain interpretation.

Keywords: Terrain interpretation, mass movement terrain, Scale space, DEM data, Regional information systems

1. 研究の背景と目的

地形は、地殻変動によってできた起伏に対し、風雨による長年の浸食に加え、地震や豪雨による土砂崩れや地滑り、崩落、または人工的な開発によって形成されたものである。このうち、突発的な自然現象（土石流や地すべり、崩落、落石）は地形の集団移動と呼ばれ、人の居住区で起こると災害になる。この地形の集団移動は性質上一度起きた場所で再び発生する傾向があることが、地質学的にも指摘されているが、土地不足や知識、記録不足が原因で過去に地形の集団移動が発生した場所に家を建て、再び発生した集団移動に巻き込まれて災害が発生する。

災害が起こらないようにするためには、かつて地形の集団移動が発生した地域を抽出し、記録していく必要がある。この作業は地形判読と呼ばれるが、現状では地形の集団移動の危険地域予測は専門家が地図を目視で行っている。

そこで本研究では、デジタル化された地形データをコンピュータ処理して地形判読を自動化し、過去に集団移動が発生した地域を特定する技術確立することで、危険地域を抽出できるようにすることを目的としている。

本稿では、集団移動地形の分類ごとに形跡の特徴があるかを調べ、画像処理技術を応用した地形判読手法のフレームワークを提案し、その実現性を検討した。

2. 数値標高モデルデータについて

地理情報システム（GIS）は、地理的位置を手掛かりに、地理空間情報を総合的に管理・加工して視覚的に表示し、高度な分析や迅速な判断を可能にする技術である[1]。

GISで表示される地図のデータをGISデータと呼ぶ。本研究で用いるGISデータは、国土地理院が公開している基盤地図情報である[2]。基盤地図情報は3種類のデータ（基本項目、ジオイド・モデル、数値標高モデル）からなり、全てISOの国際標準に基づいてXMLベースで記述されたGML形式で統一的に記録されている。

上記の3種類のデータのうち、本研究で使用するのは、数値標高モデル（DEM: Digital Elevation Model）データは、5mメッシュと10mメッシュの標高データがある。末端の緯度経度情報（図1）とメッシュごとの標高データの羅列（図2）で構成されている。図3は阿蘇山周辺の数値標高モデルを国土地理院の基盤地図情報ビューアで表示した結果である。

1. 福岡大学
Fukuoka University

集団移動地形の痕跡を知る手掛かりとして、航空写真があり、表面の樹木が倒れて地表面があらわになった様子が見て取れる。しかしながら、一旦、表面の植生が戻ってしまうと痕跡の判読が困難になるため、比較的新しい痕跡しかわからない。本研究で提案する手法は、DEM データを用い、相対的に大規模で古い事象までを対象とする。

```
<gml:Envelope srsName="fguid:jgd2011.bl">
  <gml:lowerCorner>33.5 130.25</gml:lowerCorner>
  <gml:upperCorner>33.508333333 130.2625</gml:upperCorner>
</gml:Envelope>
```

図 1 数値標高モデルの末端の緯度経度情報

```
<gml:tupleList>
  地表面,226.23
  地表面,228.08
  地表面,229.22
  地表面,230.28
  地表面,232.06
  地表面,234.49
  地表面,237.89
  地表面,241.48
  地表面,244.75
  地表面,247.79
  地表面,250.78
  地表面,253.53
  地表面,256.15
```

図 2 数値標高モデルのメッシュごとの標高データの羅列

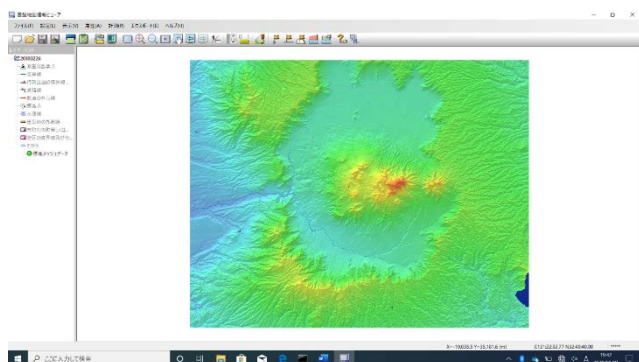


図 3 国土地理院の基盤地図情報ビューアでの表示結果

3. 集団移動地形について

集団移動とは、斜面を構成する物質が斜面下方へ塊の状態で運動する現象である[3]。

集団移動地形には様々な形態があり、多くの分類方法が提唱されているが現在日本では一般的に、地すべり、土石流、崩落、落石の4種類に分類されている(図 4)。

本研究では、地すべり、土石流、崩落の中でも斜面深層部から崩れる斜面崩壊の3種類に着目する。なお、実験に使用した地図は、文献に挙げられている次の箇所である。

3.1.1 地すべり

地すべり地形は、移動前の地形がほぼ維持されたままずり落ちたもので、周辺斜面より上部では標高が低く、下部では高い。周辺より勾配が緩くなる傾向にある。また、地すべりは周辺よりも地盤が脆弱な場所で発生するため、風

化等の影響を受けやすく、地すべり地形としての特徴が消失しやすいため地形判読が困難な場合が多い。

3.1.2 土石流

土石流は『山腹が崩壊して生じた土石等又は溪流の土石等が水と一体となって流下する自然現象』と定義されている。一度土石流が起きた地形は沖積錐と呼ばれる土石流堆積物が谷口に堆積してできる扇状の緩傾斜地ができる。一般的に扇状地と呼ばれる地形である。

3.1.3 斜面崩壊（崩落）

地すべりとの違いは、元の地形が維持されないことである。斜面崩壊は、表層崩壊と深層崩壊に分類される。

表層崩壊は降雨の際に地表水や浅層地下水が集中する谷部で発生することが多い。表層崩壊は地形図や航空写真では地形判読が困難である。一方、深層崩壊は「山崩れ・崖崩れなどの斜面崩壊のうち、すべり面が表層崩壊より深部で発生し、表層だけでなく深部の基盤までもが崩壊土塊となる比較的規模の大きな崩壊現象」のことである。

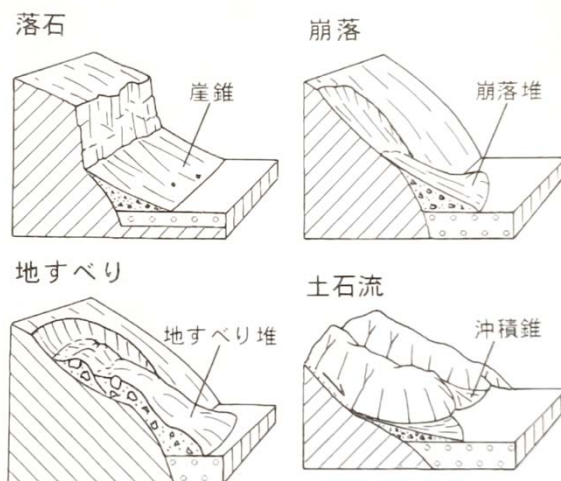


図 4 集団移動地形の分類（文献[3] 33 ページより引用、出典は、鈴木隆介、建設技術者のための地形図読図入門、第3巻、2000 年）

4. 提案手法

4.1 提案手法の概要

提案手法における処理の流れを図 5 に示す。まず、DEM データから位置と大きさを変化させながら矩形領域を切り出す。各点における標高を濃淡画像の画素値ととられ矩形領域の DEM データを画像 $f(x,y)$ として扱う。画像に LoG (Laplacian of Gaussian) フィルタを適応して地形の凸領域を画像の白領域、凹領域を黒領域として大別する。これに、スケールスペース（後述 4.1.2 節）を適用しながら、得られた二値（白黒）画像の各画像領域には個別の領域番号（ラベル）を付記す。地形判読処理では、領域ごとに二値画像処理を施し、各種の領域特徴量を算出して、地形モデル（後述 5 章）と比較し、判読を行う。2 値画像上では、各種特

微量の算出が容易になる利点がある。以下、主要な処理部分について具体的に述べる。

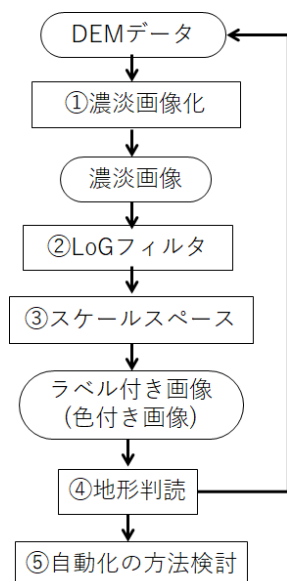


図 5 提案手法の流れ

4.1.1 LoG フィルタ処理

LoG フィルタとはガウシアンフィルタとラプラシアンフィルタを組み合わせたフィルタである。

ガウシアンフィルタでは画像の平滑化を行い、ノイズを低減する。地図においてガウシアンフィルタを使用する利点は、地形には風化等の原因で細かな凹凸が存在するが、その凹凸を消去して大まかな凹凸情報のみをとらえることができる。

画像にラプラシアンフィルタを掛けると、内部処理的には画像の濃淡値を2回微分処理する。つまり、濃淡変化の変化量が抽出されるため、画像の輪郭部分では絶対値が大きな値となる一方、輪郭ではない部分では絶対値が0に近くなるという性質をもつ。よって、ラプラシアンフィルタ処理を行うことは、画像の輪郭部分を明確化することになる。なお、ラプラシアンフィルタは2回微分処理を行うので、ノイズに弱い。そこで、事前にガウシアンフィルタ処理で平滑化を行う。ガウシアンフィルタで平滑化された画像の輪郭をとらえることで、大まかな地形の凹凸の情報のみを得られる。

LoG フィルタの出力結果を図 6 に示す。ここでは白い箇所が山(凸)、黒い箇所(凹)が谷で表示される。

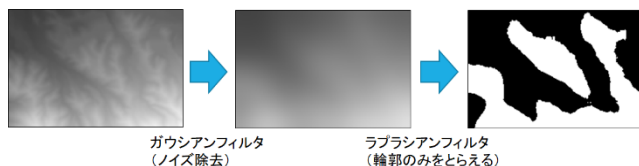


図 6 LoG フィルタの出力結果

ガウシアンフィルタの強度を下げることによって、風化等の細かな凹凸情報が追加される。ガウシアンフィルタの強度を変化させることで地形の抽象度に変化をつけられる。(図 7)

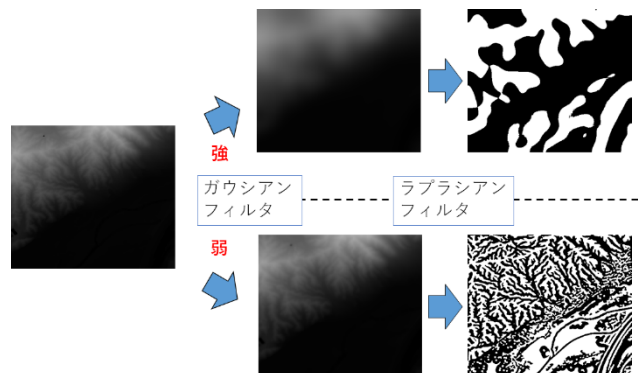


図 7 ガウシアンフィルタの強度によるラプラシアンフィルタの結果の違い

4.1.2 スケールスペース処理

スケールスペースとは、2 枚の画像を比較し、1 枚目の画像をもとに地形の変化をとらえていく処理である。LoG フィルタの画像を2つ入力し、ラベル付き色付き画像を出力する。

図 8 を例とする。最初に LoG1 画像と LoG2 画像を比較し、生成される画像が SC1-2 画像である。LoG1 画像の白と黒のそれぞれの領域を初期領域としてラベルを振る。LoG2 には存在するが初期領域のラベルに存在しない領域には新たにラベルを振らず、SC1-2 にも表示させない。例として、LoG2 画像の黄色で囲まれた発生領域は LoG1 画像では存在しないため、SC1-2 画像には表示させない。次に SC1-2 画像と LoG3 画像の比較を行い、生成される画像が SC1-3 画像である。SC1-2 画像にラベルを振り、先ほどと同様の処理をする。この時、ラベルの振られている領域の変化は SC1-3 に反映する。例として、青色で囲まれた黒の分裂は SC1-3 画像では同様の形になるように表示させる。このような、ラベル振りと領域変化を繰り返し行っていく。

スケールスペースの色は凹を寒色、谷を暖色とする。また、初期画像の領域ごとに暖色と寒色の色をそれぞれ変化させている。

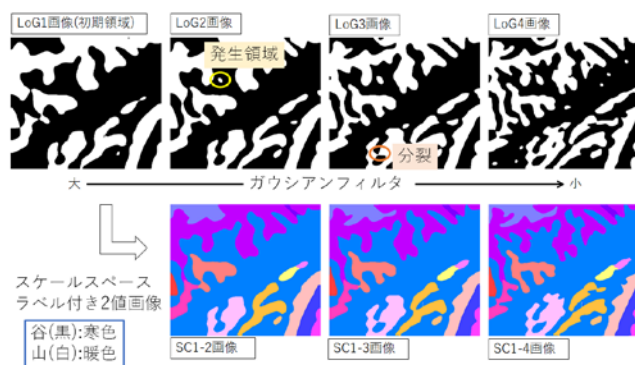


図 8 LoG フィルタにスケールスペースを実行した結果
スケールスペースのこの特徴を利用することで、ガウシアンフィルタの強度を弱めた LoG フィルタの地形の細かい凹凸情報は除去され、本研究で確認したいガウシアンフィルタの強度が大きい状態の凹凸情報を基本とした大きな地形全体の変化のみをとらえることができると考えられる。

5. 評価

本研究の使用環境を以下に示す。

- Windows10
- Visual Studio 2017
- PCL1.8.1
- Python3
- OpenCV2

入力データ：国土地理院数値標高モデル

5.1 基本地形

提案手法のスケールスペースで使用するガウシアンフィルタの強度を下げていくと、様々な地形で共通して図 9 のような魚の骨が連なったような凸の地形が検出された。この地形を基本地形と考える。以降の地すべり、土石流、崩壊が起きた箇所の結果と、この基本地形との結果の比較を行う。

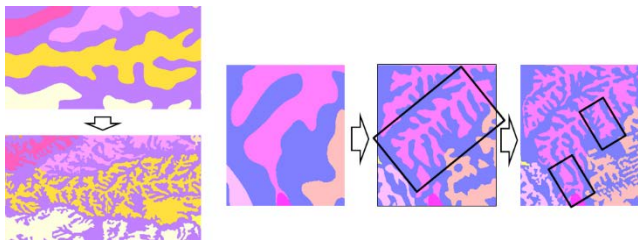


図 9 基本地形

5.2 地すべり

本研究の地すべりが起きた地域では、宮城県栗原市の地すべりに注目した。発生は 2008 年の岩手・宮城内陸地震等が原因である。

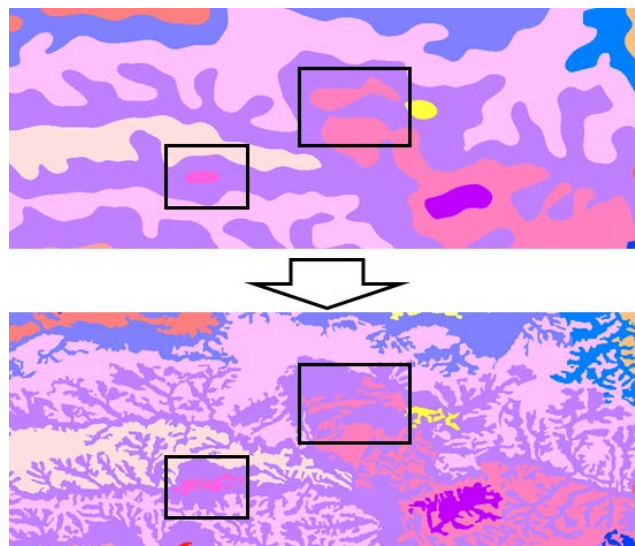


図 10 地すべり地形の提案手法実行結果

図 10 の黒枠で囲まれた箇所が地すべりの起きた地形である。黒枠の箇所以外では、先ほどの基本地形が連なっているが、地すべりの起きた黒枠の地域では他の地域のように凸が連なっておらず、孤立した凸が検出された。この孤立が起きている地域で地すべりが起きたと考えられる。

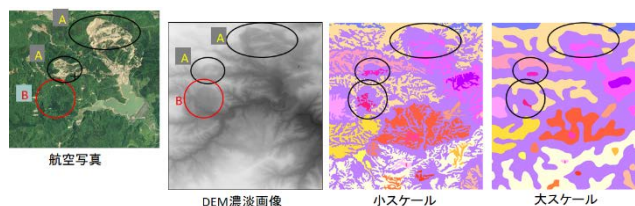


図 11 航空写真と提案手法の比較（地すべり）

図 11 の航空写真で確認すると A 地点では実際に地すべりが起きていることが確認できる。

しかし、提案手法の小スケールの結果を同様の見方で確認すると B 地点でも地すべりが起きたように考えられるが、航空写真では地すべりは確認されない。この地点で実際に過去に地すべりが発生しているかの確認ができておらず、この結果は誤検出の可能性も考えられる。しかし、遠い過去に地すべりが一度発生し、時間の経過で木が生えたことで上空からは確認できなくなったとも考えられる。実際に地すべりが発生していた場合、B 地点のような箇所の検出が将来的に最も必要になると考えられる。

5.3 土石流

土石流が起きた地域では、広島県広島市安佐南区緑井の扇状地に注目した。発生したのは平成 26 年 8 月豪雨が原因である。土石流が実際に起きた扇状地と、周辺で似た形の地形を選出し比較する。抽出箇所は図 12 の 2 箇所を抽出する。

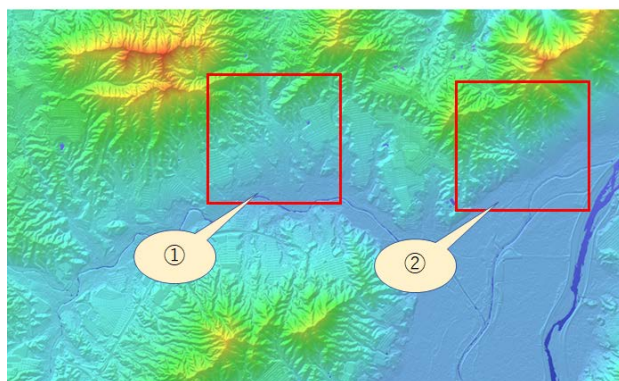
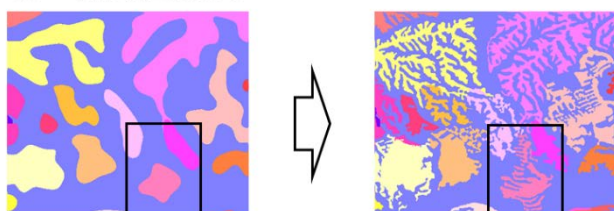


図 12 土石流比較箇所

図 12 の①の箇所が土石流の発生したことのある地域であるが、②は土石流の発生が確認されていない地域である。

①土石流確認あり



②土石流確認なし

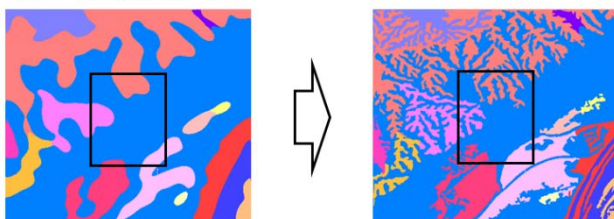


図 13 提案手法の実行結果（土石流）

提案手法の結果として、図 13 のような結果を得られた。①の土石流が起きた地形では黒枠の箇所では基本地形とは違う、谷から流れ出たような特徴的な凸が確認された。これは沖積堆といわれる土石流が起きた後の堆積物と考えられる。

一方②の土石流が確認されていない地域ではそのような凸は確認されていない。

5.4 斜面崩壊

斜面崩壊が起きた地域では奈良県野迫川村の北股地区に注目した。

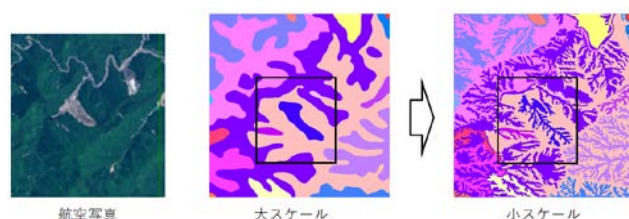


図 14 航空写真と提案手法の実行結果（崩壊）

図 14 の黒枠で囲まれた地域が斜面崩壊の発生した地域である。基本地形は凹の中に魚の骨のような凸が存在するが、斜面崩壊の発生地域では凸の中に魚の骨のような特徴的な凹が存在した。

5.5 自動抽出方法検討

将来的に集団移動地形を自動検出するために自動抽出の方法として周辺長と面積の比を比較することを提案する。Python と OpenCV を使用する。

本研究では基本地形か集団移動地形かのみを比較し、集団移動地形を検出することを目標とし、そのための数値に違いが出るかの確認を行った。本研究では領域ごとに式 (1) を使用し、値を比較した。

$$\frac{\text{周辺長}}{\sqrt{\text{面積}}} \quad (1)$$

この式は、領域の先端が細長いほど大きな値になる。例として、図 15 の 10 や 14 のような先が細長い領域は値が大きくなり、4 や 7 のような丸い領域は値が小さくなると考えられる。そのため、基本地形は大きな値、集団移動地形では小さな値になると考えた。

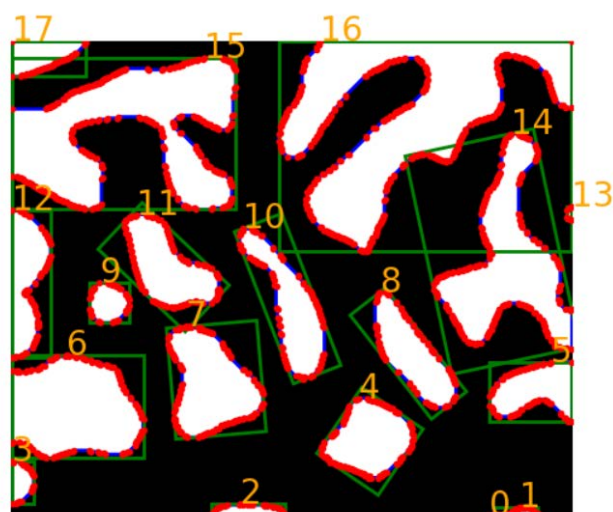


図 15 自動化のための地形比較例

今回、斜面崩壊以外の基本地形、地すべり、土石流の 3 種類の地形とガウシアンフィルタの強度を 3 段階で比較した。結果は表 1 のようになった。

表 1 自動化方法検討の数値例

地形	特徴	ガウシアンフィルタの強度		
		大(16)	中(7)	小(4)
基本地形	魚の骨の形	8.47	19.10	24.02
地すべり	孤立型	6.12	8.28	7.95

土石流	扇状型	4.05	6.92	12.73
-----	-----	------	------	-------

予測通り、基本地形では大きな値、集団移動地形では小さな値になった。また、ガウシアンフィルタの強度が弱くなるほど全ての地形で値が大きくなった。地すべりに関しては、地形が分裂してしまい、数値が小さく変化している。基本地形と集団移動地形の値の差が最も大きくでたのはガウシアンフィルタの強度が中の箇所となった。

この関係は図 16 のような結果になると推察される。そのため最も差が大きく出るガウシアンフィルタの強度を決め、基本地形と集団移動地形の値を比較することで、集団移動地形の検出が可能と考えられる。

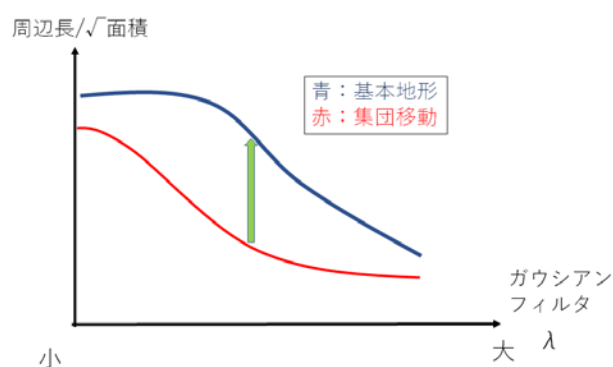


図 16 自動化方法検討案の数値変異予測

6. まとめ

本研究では画像処理の観点から集団移動地形の特徴が確認されるかを調べ、特徴的な結果を得られた。3 種類の地形の集団移動について表 2 のような結果になった。

表 2 集団移動地形の特徴

地形名	特徴
基本地形	魚の骨のような特徴的な凸が連なって表れる
地すべり	基本地形の中に孤立した凸の地域が検出 また、航空写真では確認できない地すべり地域を確認できた可能性がある
土石流	谷から流れ出た扇状の凸が検出
斜面崩壊	凸の中に魚の骨のような孤立した凹が検出

またこの結果を踏まえ、集団移動地形の自動抽出は領域ごとの周辺長と面積の関係を使用し、値の差が最も大きく出るガウシアンフィルタの強度を使用することで、集団移動地形の検出が可能と結論付けた。

今後の課題としては、以下の 2 点があげられる。一つは、提案した地形判読のための特徴量を利用してアルゴリズムを完成させ、DEM データの取得から判読結果を地図化するところまでを自動化することである。もう一つは、提案

アルゴリズムで集団移動と判別された地域のうち、航空写真では判断がつかない箇所について、地質学的な調査を行い、検証することである。

参考文献

- [1]国土地理院基盤地図情報ビューア
https://fgd.gsi.go.jp/otherdata/tool/fgdv_manual.pdf
- [2]国土地理院基盤地図情報 データについて
<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>
- [3]“月刊『測量』別冊 いまさら聞けない地形判読”，公益社団法人日本測量協会，2019 年