

# 急傾斜地とその被災危険区域の抽出手法についての考察

—レーザープロファイラ・データとDEMの空間解析と崩壊履歴の活用可能性—

## A Consideration of Extracting Steep Slopes and Areas Prone to Slope Failure Damage

- Spatial Analysis using Laser Profiler data and a DEM,  
and Possibility of Using Public Slope Failure Records -

川崎 昭如<sup>1</sup>, 佐土原 聡<sup>1</sup>

Akiyuki KAWASAKI<sup>1</sup> and Satoru SADOHARA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 横浜国立大学 大学院環境情報研究院

Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University

Two methodologies are proposed in this paper to objectively identify steep slopes without in situ surveying: method 1 uses Laser Profiler data and a Digital Elevation Model, method 2 uses statistical analysis of slope failure attributes found in public to identify slope failure prone areas using GIS. Analyzing the vertical variation of Laser Profiler data, steep slopes are identified with a precision that is 10% higher than previous methods using just a DEM, allowed categorizing the surface into “Vegetation”, “Bare ground/Concrete”. The efficiency of the methodologies for specifying slope failure prone areas based on public records is also represented.

**Key Words:** laser profiler, digital elevation model, slope failure record, slope failure prone area

### 1. 背景と目的

「警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律（以下、「土砂災害防止法」とする）」が平成13年4月に施行された。これは毎年のように全国各地で発生する土砂災害から国民の生命・財産を守ることを目的に、土砂災害の恐れのある区域についての危険の周知、警戒避難体制の整備、住宅等の新規立地の抑制、既存住宅の移転推進等のソフト対策を推進するものである<sup>1)</sup>。

土砂災害防止に関する基礎調査の手引きとして、縮尺1/25,000レベルの『砂防基盤地図データ作成ガイドライン（案）』<sup>2)</sup>が平成11年に出された。土砂災害防止法の運用にあたっては、土砂災害警戒区域・土砂災害特別警戒区域の公示、一般への縦覧など、縮尺1/2,500以上での地形図で管理される必要がある。そのため、平成14年に『土砂災害防止法に使用する数値地図作成ガイドライン（案）』<sup>3)</sup>が作成された。土砂災害防止法に係る地形図作成業務において、近年の空間情報技術を利用した間接測量手法（現地における地上測量以外の手法）の利用可能性についての関心が高まっている。

土砂災害防止法の土砂災害警戒区域の指定における“急傾斜地の崩壊”に関する条件を以下に示す<sup>1)</sup>。

- ① 傾斜度が30度以上で高さが5m以上の区域
- ② 急傾斜地の上端から水平距離が10m以内の区域
- ③ 急傾斜地の下端から急傾斜地の高さの2倍(50mを超える場合は50m)以内の区域

本研究では、航空機搭載型レーザスキャナにより計測した三次元空間データ（レーザープロファイラ・データ、以下、LPデータとする）と既存の数値標高モデル（Digital Elevation Model, 以下、DEMデータとする）を利用することで、①の条件を満たす都市域の急傾斜地の形状を詳細に把握する手法を考案した。さらに、崩壊履歴資料（災害報告）とGISより算出した地形情報を用いて、個別の急傾斜地の被災危険区域（土砂流出区域・被害想定範囲）を算出する手法の検討を行った。

筆者らは、自治体の土砂災害対応業務の支援を目的として、日常は土砂管理業務を効率的に支援し、緊急時には崩壊危険の高い急傾斜地およびその被災危険区域と建物を予測するシステムの研究開発を行っている<sup>4) 5)</sup>。本研究開発では、急傾斜地に関する既存情報（崖台帳や崩壊、降雨履歴）のデータベース化を行い、GISの空間解析を含んだ、多角的な崩壊の要因分析を行い、崩壊危険の高い箇所を予測する一連の手法を検討している<sup>6) 7)</sup>。本報は、当システムの基礎的部分を構成する空間データベースの開発研究と位置づけられる（図1）。過去の崩壊履歴にもとづく、崩壊危険の高い急傾斜地とその被災危険区域を空間情報を用いて簡便に抽出して、最終的には建物単位での被災危険を把握することで、実践的な土砂災害対応業務に役立てることを目指している。

本システムは、“成長型データベース”を基本概念としており、急傾斜地に関するデータが入力・更新されるたびに、解析がやり直され、その結果が常に反映されるシステ

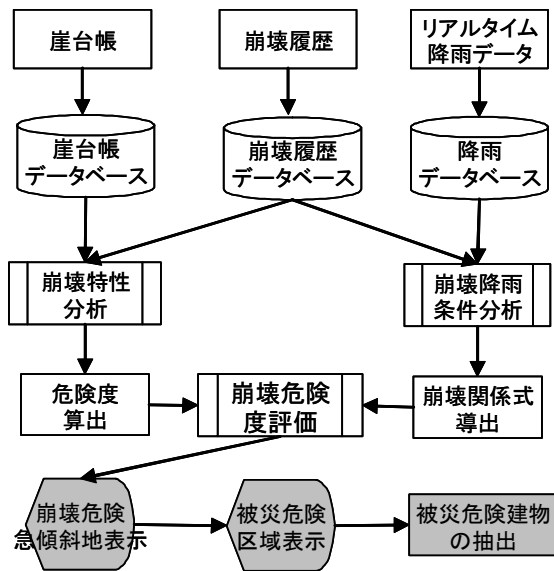


図1 システムの全体像と本報の位置付け（グレー部分）

ムを想定している。本報で提案する手法は、データ数や事例が不十分であるため今後も検討を要するが、現地での地上測量以外の手法を用いた急傾斜地およびその被災危険区域の抽出に資することを目的とする。

## 2. 既往研究における本研究の位置付け

### (1) 急傾斜地の形状の抽出

高梨ほか<sup>9)</sup>は多種多様な斜面の形状および斜面下方の傾斜地形に応じた、土砂災害特別警戒区域の設定手法を検討した。災害事例との比較より手法の妥当性が認められているが、急傾斜地の下端位置（境界線）の判定方法に委ねる部分が大きく、加えて現地での詳細なデータが必要となり、汎用性の面で課題がある。

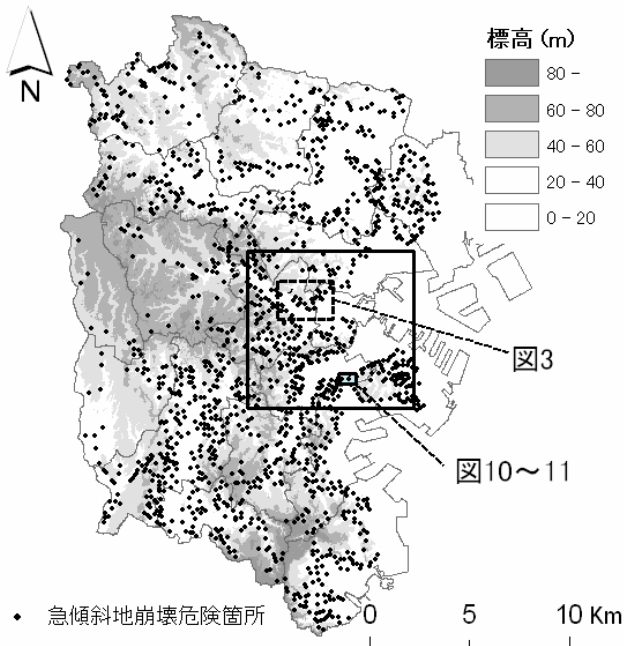


図2 精度検証区域と周辺地形形状

三浦ら<sup>9)</sup>は、解像度 1m の DEM データを用いて、急傾斜地崩壊危険箇所の条件を満たす急傾斜地を抽出する手法を考案し、現地調査を含めた詳細な検討の結果、横浜市内南区を対象として、約 90% の検出率で急傾斜地崩壊危険箇所が抽出できることを確認した。しかし、三浦ら<sup>9)</sup>も指摘するように、各都道府県が抽出する急傾斜地崩壊危険箇所や急傾斜地崩壊危険区域は、対象とする斜面を含む大まかな領域が指定され、斜面崩壊による影響を受けないと考えられる区域も危険箇所として含まれていることが多い。

土砂災害の防止には、急傾斜地の形状を正確に把握することに加えて、それが崩壊した際の被災危険区域および被災危険建物を事前に把握することが有効であると考えられる。特に、急傾斜地と住宅地が隣接する箇所が多く存在する都市域においては、小規模な急傾斜地の境界線を詳細に把握することが、被災危険建物を抽出する上で重要である。

そこで本研究では、多量な表層情報を有する DSM (Digital Surface Model) と呼ばれる LP データを用いて、急傾斜地の形状を抽出する手法を考案した。DSM 型の LP データの値をそのまま利用して都市部の急傾斜地を抽出することは困難である。都市部において、樹木や建物・橋梁などの障害物が全く存在しない急傾斜地は少ない。また、雑草や荒地など障害物が存在していない場合でも、建物等の構造物が近接しており、法肩・法尻の特定が困難なことが多い。従って、多くの LP データが地表面へ到達できないために、図化により法肩・法尻が特定できる箇所は限られていると言える。

本研究では、LP データの持つ、多量な表層情報におけるデータ散布状況の違いに着目している点が特徴である。これにより、DSM 型の LP データから斜面の境界線を抽出するとともに、既往研究では扱われてこなかった、急傾斜地の被覆状態（コンクリート等で覆われた人工斜面と樹木等で覆われた自然斜面）の判別可能性を示唆することができた。人工斜面と自然斜面という急傾斜地の表層被覆の抽出は、斜面が崩壊した際の被災危険区域を設定する上で、重要な情報になると考えられる。また本研究では、航空写真から判読した急傾斜地の境界線と本手法により抽出された急傾斜地の比較を行い、手法の精度検証を行った。

### (2) 土砂流出危険区域の設定

川崎ら<sup>7)</sup>は、DEM データと土地利用データを用いて抽出した急傾斜地から、GIS の解析機能を活用して被災危険区域を抽出する手法を考案した。しかし、抽出された急傾斜地は、人工斜面と自然斜面等の区別がついておらず、一様なものとして扱われた。また、斜面の高さのみから被災危険区域を算出するという手法が採用されていた。

本研究では、自治体が所有する崩壊履歴資料の活用可能性を検討した。データサンプル数が不十分であったため、人工斜面と自然斜面に分類した土砂流出距離の算出はできなかったが、客観的なデータにもとづき、崩壊高と傾斜の 2 つの関数から土砂流出距離を算出することを試みた。これにより、川崎ら<sup>7)</sup>の手法を用いて被災危険区域を GIS 上に展開する際に、既往の研究成果に比べて、より個別の急傾斜地の特性を反映した、被災危険区域の抽出が可能になったといえる。

### 3. LP データと DEM データによる急傾斜地の抽出

#### (1) 概要

本研究で使用する LP データは、航空機搭載型レーザスキャナにより計測した DSM と呼ばれるデータであり、建物形状や樹木などのあらゆる表層の高さが等間隔にポイントデータとして記録されている。すなわち、構造物や樹木部分を除去するためにフィルタリング処理をした DEM データ、DTM データ ( Digital Terrain Model : 数値地形モデル ) とは大きく異なる。LP データの分解能 ( データ取得間隔 ) は約 2m, 位置精度 :  $\pm 30\text{cm}$ , 高さ精度 :  $\pm 15\text{cm}$  である。

一つの斜面においても斜面形状、方向、位置、植生など様々な特徴があり、それに応じて LP データの散布状況が大きく異なる。特に植生部分においては、樹冠上部で反射されるものや樹冠のすきまを抜けて地表に達するものもあり、高度差が大きくなる傾向がある<sup>10)</sup>。

本研究では、LP データの持つ多量な表層情報におけるデータ散布状況の違いに着目した空間解析を行い、急傾斜地の形状とともに、表層被覆の判別を可能にした。具体的には、LP データ内の各ポイントにおいて近隣データとの散布度 ( 標準偏差 ) が高く、かつ建物や橋梁などの人工構造物を除いた斜面上に存在している区域は急傾斜地であると仮定した。そして、当該区域を急傾斜地ポリゴンデータとして抽出することで、これまでの研究では行われていなかった人工斜面と自然斜面の判別を可能にした。

横浜市は、市全域にわたり計 1,445 の急傾斜地崩壊危険箇所が存在する<sup>11)</sup>。図 2 で示すように、特に標高の変化が著しい中南東部の丘陵部において、多くの危険箇所が存在している。本研究では、多くの危険箇所が密集しており、横浜市の中心部を含む  $8\text{km} \times 8\text{km}$  を研究対象地としてデータ解析を行った ( 図 2 の直線で覆われた外側の領域 )。その中で、本学からのアクセスが容易な西区、神奈川区、保土ヶ谷区の  $1.5\text{km} \times 2.5\text{km}$  を抽出結果の精度検証区域とした ( 図 3 )。図 3 は、図 2 の点線で囲まれた領域を拡大したものに該当する。以下の図 5 から図 9 は、図 3 の点線で示す範囲である。図 10 と図 11 は、図 2 の直線で囲まれた内側の領域である。この領域内の南区中村町において、1999 年 2 月に高さ約 30m, 幅約 60m にわたる人工斜面の崩壊が発生し、隣接マンションが一部破損し、一人が軽い怪我を負った<sup>12)</sup>。

#### (2) 抽出手法

抽出手法の概要を図 4 に、使用したデータの一覧を表 1 に示す。

- ① LP データにおける建物部分のデータを除去するため、LP データから建物現況ポリゴン ( 建物データ ) と重

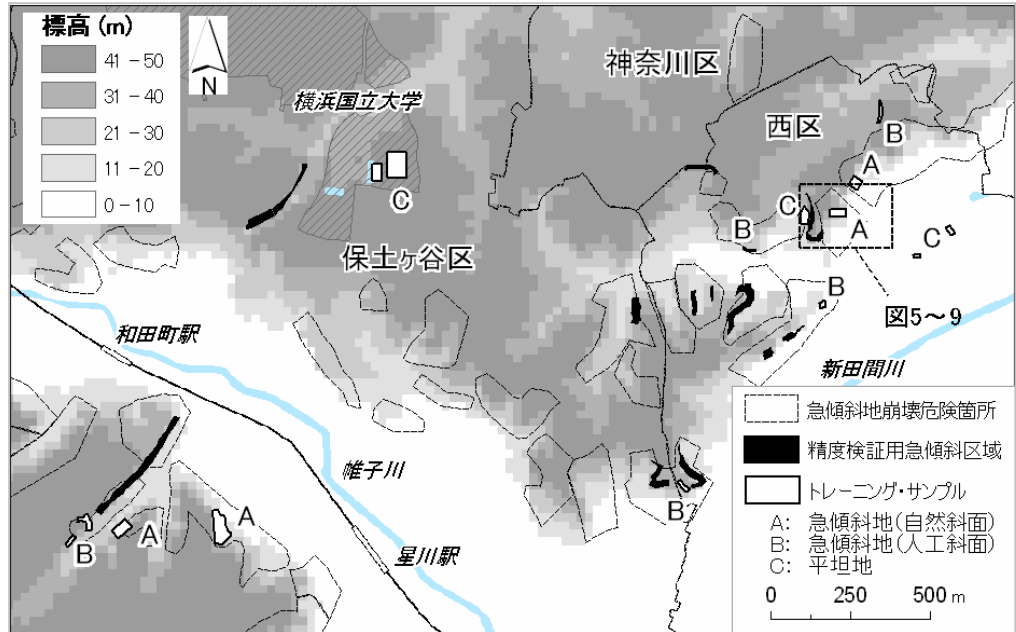


図 3 精度検証区域と周辺地形状況

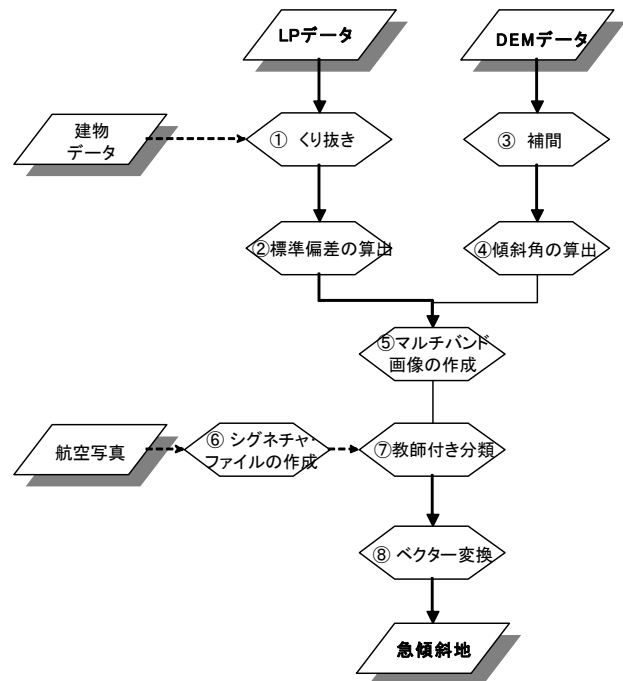


図 4 急傾斜地の抽出手法の概要

表 1 本研究で使用した空間データ

	製品名・データ提供機関	解像度(縮尺)
LPデータ	株国際航業ラムゼデータ (レベル1)	2m
DEMデータ	横浜市	25m
建物データ	横浜市	1/2500
航空写真	株パスコ2003年航空写真データ	15cm

なる部分をくり抜き (Erase) する ( 図 5 ) 。

- ② 建物部分がくり抜かれた LP データの各ポイントに対して、隣接するポイント群とのバラツキを標準偏差として計算する。ESRI 社 ArcGIS の拡張機能 Spatial Analyst の“ポイント統計”を用いて、本手法ではセルサイズを LP データの間隔と同じ 2m と設定した。

各点から半径3セル分(6m)に含まれるポイント群の標準偏差の値をラスターデータとして出力した。半径の大きさと解析結果との関係は3.(3)にて検証した。その結果、樹木や人工建造物の端部(立ち上がり部分)、急傾斜地など、表層の高さがばらついていたり、急激な立ち上がりなどが近隣に存在するセルには高い値が算出される。一方、道路や大きな建物の屋上部など、ある程度高さが一律な平坦区域に囲まれたセルは低い値が算出される(図6)。

- ③ 25m間隔の数値標高ポイントデータからDEMデータを作成する。本手法では、②データとあわせるため、セルサイズを2mとして、スプラインによる補間を行う。
- ④ 各セルの傾斜角度の計算を行う(図7)。
- ⑤ ②・④の出力結果である2つのラスター・データセットから、マルチバンド画像(2バンドを持つ1ラスター・データセット)を作成する。ここではSpatial Analystの“コンポジット・バンド”機能を用いる(図8)
- ⑥ 高解像度航空写真(解像度15cm)を用いて、急傾斜地のトレーニング・サンプル(教師データ)を作成する。ここでは、“A:急傾斜地(自然斜面)”, “B:急傾斜地(人工斜面)”, “C:平坦地”が確実に判別できる箇所を抽出し、ポリゴン形式のシグネチャ・ファイルを作成した。トレーニング・サンプルとして採用した急傾斜地の具体的な地点を図3に示し、物理的・地形的特長を以下に記す。
  - ・急傾斜地(自然斜面):1月に撮影された航空写真から判断して、比較的サイズの大きい、複数の常緑広葉樹に覆われている急傾斜地を4箇所選定した。当サンプルの斜面形状は樹木に依存するところが大きく、表層の凹凸は非常に大きいと考えられる。当該区域の合計面積は7,774㎡であり、LPデータから算出した表層勾配は10~51度であり、平均勾配は32度であった。
  - ・急傾斜地(人工斜面):部分的に低層の植物、草、土、岩、砂に覆われている箇所も存在するが、主にコンクリートなどの人工物により表層が覆われている急傾斜地を6箇所選定した。斜面は比較的なだらかな表層形状を有する。合計の面積は3,189㎡であり、LPデータから算出した表層勾配は23~53度であり、平均は37度であった。
  - ・平坦面:グラウンド、道路、建物の屋上など表層の物理的特性は多様であるが、表面形状が滑らかまたは平坦なものを5箇所選定した。合計の面積は8,399㎡であり、LPデータから算出した表層勾配は0~39度であり、平均勾配は7度であった。
- ⑦ ⑤で作成したマルチバンド画像を説明変量として、⑥の“急傾斜地(自然斜面)”, “急傾斜地(人工斜面)”, “平坦地”の3種類を分類項目とするシグネチャ・ファイルによる教師付き分類<sup>13)</sup>を行う。教師付き分類とは、解析者などにより収集された信頼性の高いトレーニング・サンプルをもとに、データ分類のための統計的な閾値を算出するものである。ここではArcGISの拡張機能であるImage Analysisの教師付き分類機能を用いて、最尤法(Maximum Likelihood)による分類を行った。
- ⑧ ⑦により出力されたラスター・データセットをベクタ形式へ変換したものを急傾斜地ポリゴンとして出力する(図9)。

### (3) 精度検証

本手法にて抽出した急傾斜地ポリゴンが、どの程度正確に現実の急傾斜地を捉えているかを検証する必要がある。しかし現状では、土砂災害防止法の「土砂災害が発生する恐れがある箇所」の抽出<sup>3)</sup>や行政の基礎調査などにおいても、どこを急傾斜地の境界線(上端線、下端線)とするのかという明確な基準は存在しないため、急傾斜地ポリゴンに対する妥当性の検証は難しい。そこで本研究では、航空写真画像から判断して、明確に急傾斜地の境界線と判断できる区域(境界線部分がコンクリートや草地、裸地などで覆われている急傾斜地)が本手法によりどの程度正確に抽出されているのかを検証した。

はじめに、図3の精度検証区域において、トレーニング・サンプルを除いた全急傾斜地を対象に、航空写真画像をもとに、当該区域内で確実に急傾斜地の境界線を判断できる箇所を選定し、その結果、14箇所を抽出した。そして、判別できた急傾斜地の境界線をGIS上で描画し、ポリゴンデータ(検証ポリゴン)を作成した。それに対して、本手法で抽出した急傾斜地ポリゴンとの重ね合わせ解析を行い、解析セル数に応じて、どの程度2つのポリゴンが一致しているのかを検証した。

具体的には、図4の「②標準偏差の算出」において、“ポイント統計”の各点からの半径セル数を2つ(4m)から4つ(8m)まで変えて比較した。いずれの場合においても、14箇所の検証ポリゴンとは大よそ一致していた。

表2は本手法で作成した急傾斜地ポリゴンが、検証ポリゴンに対して、どの程度充足、不足しているのかを、面積と百分率にて算出した結果である。ここでは検証ポリゴンの総面積(26,647㎡)に対する各面積(「充足」、「不足」)の割合を%にて示している。また、検証ポリゴンからはみ出ている区域を「過剰面積」として算出し、同じく検証ポリゴンの総面積に対する割合を示した。

半径をセルサイズ2つ分にして“ポイント統計”解析を行った場合(表2の“②(半径セル2つ)+④”)、数セルから構成される小さなポリゴンが数多く作成され、検証ポリゴンを十分に満たさない。一方、検証ポリゴンの外側に多くの過剰面積が作成された。さらに、半径をセルサイズ4つ分とした場合は、検証ポリゴンの内部は比較的十分に満たされるが、検証ポリゴン外側の過剰面積が大きくなる。半径をセルサイズ3つ分とした場合も、不足面積や過剰面積が生じるが、上述2つよりは良好な結果であるため、本手法においてはセル数3つ分が最適であると考え、ポイント統計の半径をセルサイズ3つ分とした。上述の3つの場合において、不足面積より過剰面積が多くなった理由として、以下の2点が考えられる。

- ・ 使用しているデータ間の時間的精度、位置的精度の差異から、抽出手法①において、正確に建物部分のLPデータの除去ができなかった。
- ・ 本研究の教師付き分類は、GISソフトの拡張機能を使用しているため、閾値の設定機能に制限があった。リモートセンシングの専用ソフトを使用すれば、閾値の調整ができるため、過剰面積を少なくする設定ができると考えられる。

また、図4の④にてDEMデータから作成される傾斜角データのみを使用して、⑥のシグネチャ・ファイルから、⑦の教師付き分類を行った結果もあわせて示した(表2の④のみ)。この結果から、DEMデータのみよりも、LPデータの各点から半径3セル分にて標準偏差を算出した②データを併用した方が、10%程度高い精度で急傾斜地を抽出することができ、かつ過剰な抽出も5%低くなった。

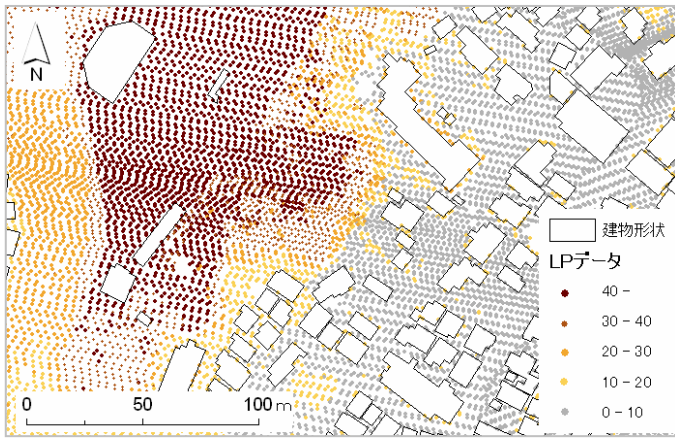


図5 建物形状部分がくり抜かれたLPデータ

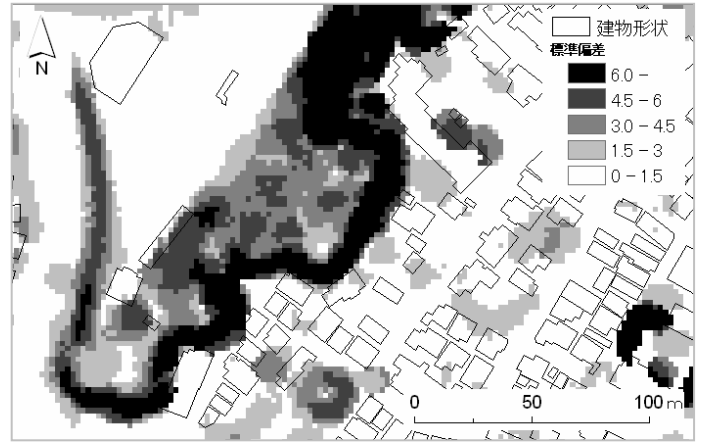


図6 標準偏差算出の結果

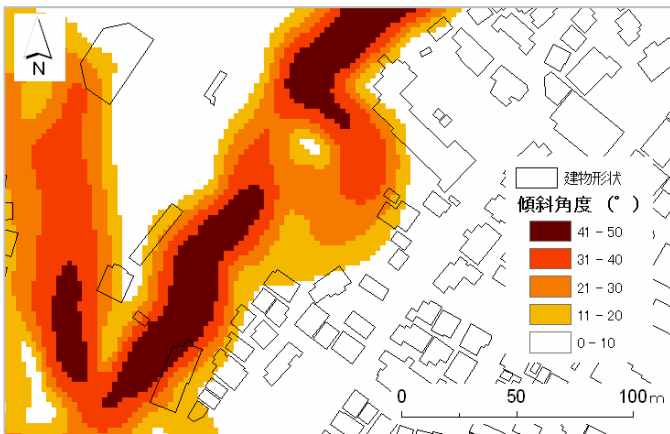


図7 傾斜角度

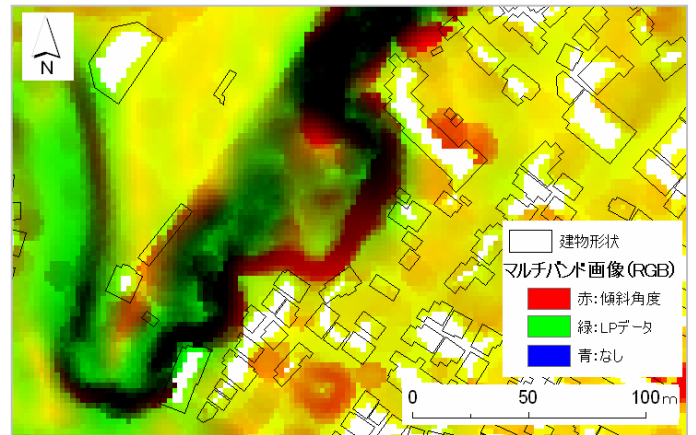


図8 ②と④によるマルチバンド画像

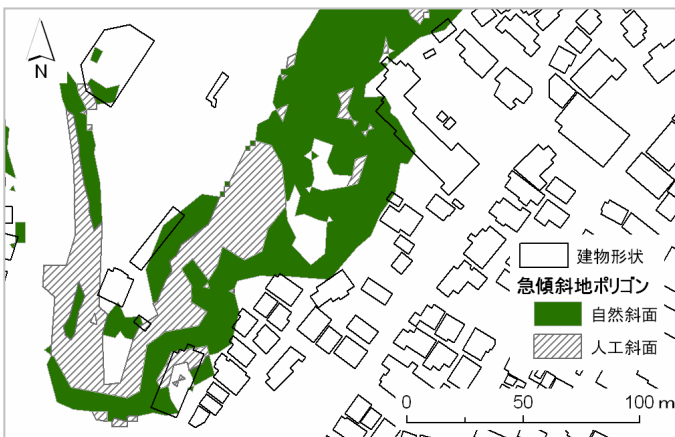


図9 抽出された急傾斜地ポリゴン

表2 精度検証の結果

	検証ポリゴン		過剰面積 (%)
	充足面積 (%)	不足面積 (%)	
②(半径セル2つ)+④	21,567m <sup>2</sup> (81%)	5,080m <sup>2</sup> (19%)	9,157m <sup>2</sup> (34%)
②(半径セル3つ)+④	23,231m <sup>2</sup> (87%)	3,416m <sup>2</sup> (13%)	6,974m <sup>2</sup> (26%)
②(半径セル4つ)+④	24,713m <sup>2</sup> (93%)	1,934m <sup>2</sup> (7%)	12,933m <sup>2</sup> (49%)
④のみ	20,434m <sup>2</sup> (77%)	6,216m <sup>2</sup> (23%)	8,317m <sup>2</sup> (31%)

面積の単位はm<sup>2</sup>。(%)は、検証ポリゴンの総面積(26,647 m<sup>2</sup>)にて各面積を除したもの

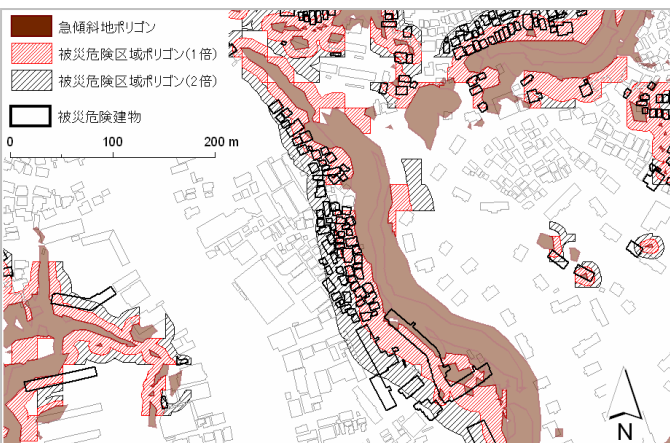


図10 被災危険区域と被災危険建物

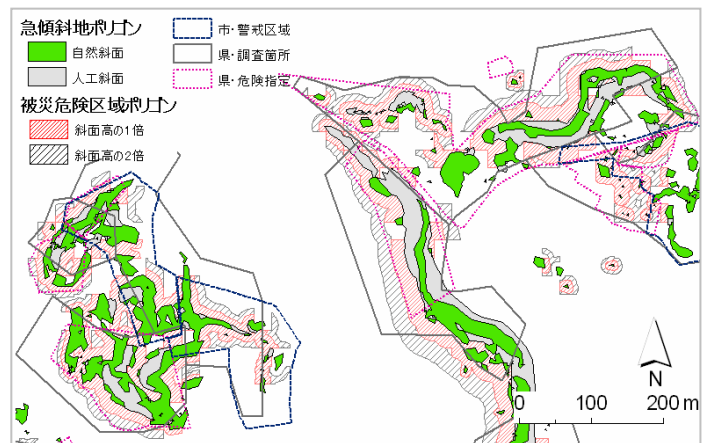


図11 県や市の警戒区域との重ね合わせ表示

(4) 考察

急傾斜地の境界線に関する明確な基準がないため十分な検証を行えないが、本手法により DEM データのみならず高精度の LP データを使用することで、樹木を含んだ急傾斜地の境界線を捉える可能性を示唆することができた。さらに、急傾斜地ポリゴンを以下の 2 種類に分類することができた。

- ・ 樹木などで覆われている自然斜面
- ・ 部分的に低層の植物、草、土、砂に覆われている箇所も存在するが、表面が主にコンクリートなどの人工物により覆われている人工斜面

表 3 13 件の崩壊履歴データ

ID	崩壊高 (m)	勾配 (°)	崩土の到達距離 (m)
1	6.0	60	5.0
2	1.5	60	0.3
3	10.0	40	5.0
4	4.0	30	2.0
5	10.5	50	6.0
6	7.0	80	2.0
7	4.0	60	2.5
8	5.0	45	1.0
9	20.0	60	10.0
10	5.4	45	6.0
11	3.6	60	2.0
12	4.0	85	0.5
13	10.0	45	5.0
平均	7.0	55	3.6
標準偏差	4.6	15	2.7

表 4 重回帰分析の結果

変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	偏相関	単相関
崩壊高	0.503	0.859	0.884	0.873
勾配	-0.033	-0.181	-0.370	-0.250
定数項	1.953	-	-	-

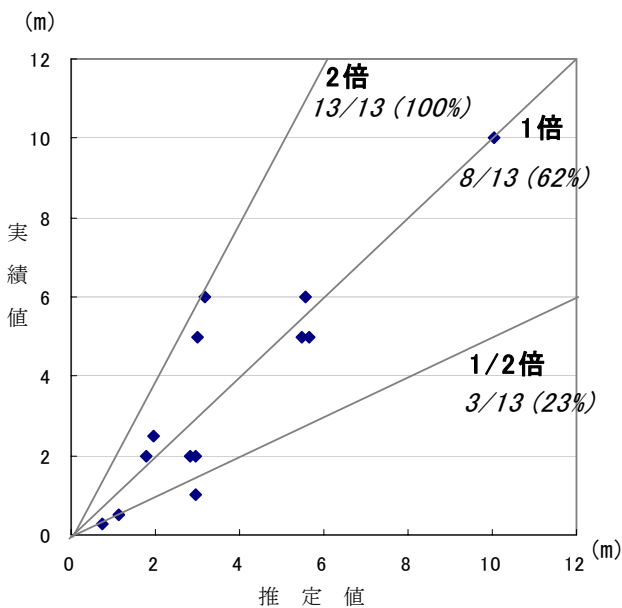


図 12 実際の崩土の到達距離と重回帰分析による推定値の関係

これらの急傾斜地ポリゴンデータに対して、DEM データから“高さ”，“傾斜角度”，“傾斜方向”の属性データを付け加えることで<sup>7)</sup>、より具体的な急傾斜地の形状情報を得ることが可能になる。

4. 被災危険区域の算出手法の検討と手法の提案

(1) 災害報告の分析

実践的な土砂災害対応業務に役立てるシステムを構築するためには、抽出した急傾斜地ポリゴンが崩壊した際の被災危険区域を考える必要がある。崩壊履歴をもとに、“高さ”や“傾斜角度”，“地質”，“斜面形状”などの急傾斜地の属性情報に応じて土砂流出距離を算出できれば、実践的な被災危険区域を設定し、具体的な被災危険建物を抽出することができると考えられる。

本研究では崩壊履歴として、『神奈川県災害報告』の活用可能性を検討した。土砂の流出に関する記載に着目をした結果、H13~16 年度の全 401 件の災害報告のうち、崩土の到達距離に関して何らかの記載があるものは 169 件であった。その中で、調査員が描画した崩壊地の横断面をもとに、崩土の流出に関する分類を行った結果は以下の通りであった。

- ・ “正確な崩土の到達距離がわかるもの”，すなわち、崩土が障害物などでせき止められていないものは 13 件
- ・ “小さな段差や電柱などが障害となり、正確な到達距離が把握できないもの”は 24 件
- ・ “急傾斜地の下部が人工の壁面などで、崩土自体の正確な流出距離の判別が難しいもの”は 30 件

また、災害報告には急傾斜崩壊の発生場所や日時、気象状況、斜面の種類(急傾斜地の高さ、勾配)、崩壊の状況(崩土の到達距離、崩壊高、面積、幅、勾配など)、被害状況、避難状況などの詳細な項目が用意されている。しかし、全項目が記載されていることは少なく、活用できる記載項目は限定的であった。

よって本研究では、災害報告を活用した被災危険区域の抽出手法の検討として、表 3 で示した 3 項目 13 件に対する重回帰分析を行った。本来であれば、斜面の種類、地質、土質、土量などの多様な要因からの検討が必要であるが、現時点ではデータ数が不十分であった。また、斜面高と崩壊高、斜面高と崩土の到達距離の関係性には十分な相関が見られなかったため、本研究では災害報告の記載から利用可能な“崩壊高さ”と“勾配”のみから、崩土の到達距離を分析した(表 4)。その結果、以下(1)式を算出した。決定係数は 0.795 であった。

$$\text{崩土の到達距離 (m)} = 0.503 \times \text{崩壊高 (m)} + (-0.033) \times \text{勾配 (度)} + 1.953 \quad (1)$$

(2) 推定値の検証と GIS 上への展開

崩土到達距離の実績値と重回帰分析による推定値の関係を図 12 に示す。崩壊履歴データ全 13 件に対して、推定値の 1/2 倍に含まれるものは 3 件 (23%)、1 倍に含まれるものは 8 件 (62%)、そして、推定値の 2 倍には全ての履歴データが含まれていた。これらの関係性から、(1) 式の結果に対して、1/2 倍~2 倍の幅を持たせて、被災危険区域を設定することが有効であると考えられる。

GIS 上への展開として、抽出した急傾斜地ポリゴンに対

して、“高さ”，“傾斜角度”，“傾斜方向”の属性データを与えることができる。これらの属性を持った急傾斜地ポリゴンに対して，(1)式を用いることで，急傾斜地の高さや崩壊高が一致するという最悪の場合の土砂流出距離が推定され，その結果をバッファとしてGIS上へ展開し，そこに含まれる建物データを抽出することが可能になる(図10)。この際，通常のバッファはポリゴンの全周に(急傾斜地の下端方向のみならず上端方向にも)発生するため，土砂流出方向にのみバッファを発生させる処理が必要である<sup>7)</sup>。

本解析はサンプル数が少なく試行的な検討であるが，災害報告資料の崩壊高と勾配から，急傾斜地の高さや崩壊高が一致するという最悪の場合の崩土の到達距離を推測する可能性を示唆できた。今後は継続的なデータ収集と解析により，斜面の形状や地質，土質など多様な要因からの検討による予測精度の向上を行う必要がある。

## 5. おわりに

### (1) まとめ

本研究では，現地での地上測量以外の手法を用いた急傾斜地の抽出手法として，LPデータとDEMデータを用いて急傾斜地を抽出する手法を提案した。また，土砂流出距離を算出するための災害報告の活用可能性の検討として，災害報告の統計解析により被災危険区域を空間的に表す手法を考察した。

その結果，データの散布度に着目したLPデータの新しい使い方による急傾斜地の抽出を可能にするとともに，急傾斜地の被覆状態の分類を可能にした。「急傾斜地の境界線」という明確な基準がないため，解析結果の評価は難しいが，空間データに基づく解析のもと，ある一定精度での抽出が可能になった。また，データ数や事例が不十分であるため今後も検討を要するが，崩壊履歴の統計解析に基づいて，急傾斜地ごとの被災危険区域を算出できることを示唆した。

3. および 4. の成果を組み合わせることで本研究開発で目指している一連のシステムを構築することで，個別の急傾斜地に応じた木目細かな対策を行うことができる。図11にて示した，現状の県や市の指定区域(横浜市崖実態調査表による警戒区域[市・警戒区域]，神奈川県急傾斜地崩壊危険指定区域[県・危険指定]，神奈川県急傾斜地崩壊危険箇所等調査区域[県・調査箇所])と比較すると，より具体的な形状で急傾斜地とその被災危険区域を抽出していることが分かる。

多数の急傾斜地がある広域エリアにおいては，本手法により短時間で急傾斜地とその被災危険区域を抽出することができる。それにより，現地調査を行う際の優先順位付けの基準となり，効率的な調査活動に寄与すると考えられる。また，危険の周知，警戒避難体制の整備，住宅等の新規立地の抑制などを行う際に，住民への情報提供を分かりやすいかたちで行える。

### (2) 課題

更なる精度の向上として以下の課題があげられる。

- ① 本研究では，精度検証区域内の境界線が明確に分かる14箇所の急傾斜地に対する限定的な検証であった。本手法を広範囲の区域に適用する際には，どの程度の急傾斜地が抽出漏れや誤検出されるかを箇所数として

検証することで，より客観性を持たせる必要がある。そのためには，急傾斜地の境界線の明確な定義が望まれる。それにより，高解像度の空間情報による急傾斜地抽出のアルゴリズムを開発し，一律の基準に基づく高精度な急傾斜地の自動抽出が可能になると考えられる。

- ② 崩壊履歴データは，解析のために作られたものではないため，質・量ともに十分なものではない。今後，精度の高いデータ収集と蓄積を行っていき，急傾斜地の表層被覆の違いを考慮した土砂流出距離の推定式を算出することで，本研究で示した手法を活かすことができる。また，本研究での推定式は崩壊高と勾配のみ関数になっているが，斜面の形状や地質，土質など多様な要因からの検討が必要である。電子政府・電子自治体の実現に向けて，行政内部の電子化が進められているが，本研究で示した既存データのデジタル化とその活用のあり方に関する検討を進める必要がある。

## 謝辞

本研究を実施するにあたり，神奈川県県土整備部砂防海岸課，横浜市総務局危機管理対策室(当時)および建築局宅地指導部(当時)から資料の提供を頂きました。本学・博士課程前期の今増圭介氏(当時)には，研究の推進にあたり多大な協力をいただきました。また，査読者には本論分を改善する上で非常に有益なご指摘をいただきました。記して，謝意を表します。

本研究の一部は，平成16年度国土交通省建設技術研究開発課題「リアルタイム崖崩壊予測システムに関する研究開発」(研究代表者：横浜国立大学 佐土原聡)の研究成果にもとづくものである。

## 参考文献

- 1) 国土交通省砂防部：土砂災害防止法，<http://www.mlit.go.jp/river/sabo/linksinpou.htm>，2006。
- 2) 建設省砂防部：『砂防基盤地図データ作成ガイドライン(案)暫定版』，1999。
- 3) 砂防フロンティア整備推進機構：『土砂災害防止法に使用する数値地図作成ガイドライン(案)』，2002。
- 4) Inagaki, K., and Sadohara, S.: Slope Management Planning for the Mitigation of Landslide Disaster in Urban Areas, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, Vol.5 No. 1, pp. 183-190, 2006。
- 5) Kawasaki, A., and Sadohara, S.: Development of Slope Failure Disaster Management System in Urban Area - The Utilization of Existing Data toward "e-municipal Government"-, *Proceedings of the Third Inter-national Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia*, pp.83-92, 2004。
- 6) 稲垣景子・佐土原聡：都市におけるかけ崩れ災害の影響要因分析，*地域安全学会論文集*, No.7, pp.247-254, 2005。
- 7) 川崎昭如・服部一樹・浦川 豪・中島徹也・佐土原聡：崖災害対策へのGISの活用－崖およびその被災危険区域の抽出と雨量による崩壊危険区域の公開，*GIS－理論と応用*, Vol.9, No.2, 25-32, pp.25-32, 2001。
- 8) 高梨和行・下尾崎泰宏・鈴木篤・水山高久：土石流の土砂災害警戒区域設定手法の紹介，平成16年度砂防学会研究発表会概要集，pp.158-159, 2004。

- 9) 三浦弘之・翠川三郎・井上聡史：高解像度数値標高モデルを用いた都市域での急傾斜崩壊危険箇所の抽出手法，地域安全学会論文集, No.7, pp.299-306, 2005.
- 10) 大橋征幹・奥田泰雄・喜々津仁密：航空機レーザー測量による都市内の緑被抽出手法に関する検討，日本建築学会 2003 年度大会学術講演梗概集, D-1, pp.589-590, 2003.
- 11) 神奈川県県土整備部砂防海岸課：神奈川県土砂災害危険箇所マップ, <http://www.pref.kanagawa.jp/osirase/sabo/bousai/dosha/dosha.html>, 2004.
- 12) 千葉達朗・屋木健司：1999 年 2 月横浜市南区の急傾斜地崩壊，日本地質学会 News, <http://www.ajiko.co.jp/bousai/yokohama/news.html>, 1999.
- 13) 日本リモートセンシング研究会編：分類クラスの母集団統計量の推定，『図解リモートセンシング』，社団法人日本測量協会, pp.206-207, 1992.

(原稿受付 2006.05.26)

(登載決定 2006.09.16)