

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：53401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01269

研究課題名(和文) 住民の迅速な避難行動に資する土砂災害避難警報装置の開発

研究課題名(英文) Development of sediment disasters evacuation warning device that contributes to the rapid evacuation behavior of residents

研究代表者

辻野 和彦 (TSUJINO, Kazuhiko)

福井工業高等専門学校・環境都市工学科・准教授

研究者番号：10321431

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：我が国は、急峻な山地が多く脆弱な地質で構成されている。近年、日本では集中豪雨や地震によって土砂災害が数多く発生している。本研究では、土砂災害のソフト対策の一環としてウェブカメラを用いた表層崩壊検知システムの開発を試みた。本システムは、OpenCVの環境下でリアルタイム処理を行うプログラムの作成を行った。その結果、ウェブカメラと斜面との距離が11m以内であれば、ターゲットの移動や落石を検知できることが判った。

研究成果の概要(英文)：In Japan many steep mountainous districts and weak geological features are distributed, a lot of sediment disasters have been occurring every year because of the earthquake and heavy rainfall. In this research, we tried to develop a detection system of sediment disasters by using web-cameras. This system created a program that performs real time processing under the OpenCV environment. As a result, if the distance between the web camera and the slope is within 11 m, we could detect the movement of the target and falling rock.

研究分野：空間情報工学

キーワード：表層崩壊 ウェブカメラ 検知システム OpenCV リアルタイム処理 UAV 三次元点群測量

### 1. 研究開始当初の背景

我が国は、急峻な地形をなし脆弱な地質で構成されている。また、地震が多く、台風や集中豪雨に見舞われ易いという気象条件を持つ。このような背景から、毎年のように土砂災害が多発しており、その対策に多くの力が注がれている。しかし、未だ効果的な対策がなされていないのが現状であり、平成 25 年度(2013 年)には 941 件(土石流:262 件、地すべり:89 件、がけ崩れ:590 件)の土砂災害が発生している。福井県においても同年の台風 18 号に際し、小浜市、敦賀市、美浜町に土砂災害が発生し、甚大な被害をもたらしている。

2000 年より、我が国では土砂災害から国民の生命を守るため、土砂災害のおそれのある区域について危険の周知、警戒避難態勢の整備、住宅などの新規立地の抑制、既存住宅の移転促進などのソフト対策を推進する土砂災害防止法が施行された。これにより、土砂災害警戒区域(イエローゾーン)と土砂災害特別警戒区域(レッドゾーン)が指定されている。平成 29 年 9 月 30 日現在、全国で、土砂災害警戒区域が 499,298 件、その内、土砂災害特別警戒区域が 342,870 件指定されており、福井県では、土砂災害警戒区域が 11,705 件、その内、土砂災害特別警戒区域が 10,457 件指定されている。

これらの区域の土砂災害による被害を減少させるためにはハード対策が重要となる。ハード対策は、構造物などによって被害軽減を図るものである。砂防堰堤や擁壁などがあり、直接的に被害を軽減することが可能である。しかし、土砂災害危険箇所は非常に多く、ハード対策は多額の費用を必要とするため、ハード対策のみで土砂災害の被害を減少させるには限界がある。また、土砂災害危険箇所の整備状況の整備率は 20%程度と低い状況である。したがって、ハード対策と併せてソフト対策に取り組むことが重要となる。

### 2. 研究の目的

斜面崩壊には前兆があると言われ、これらを把握することで避難行動を起こすことができる。もし、人間がその場にいたら、嗅覚(岩同士のぶつかり合いによる異臭や、崩れた土砂からの土や木の臭いなど)、視覚(表層崩壊による斜面のずれや崩れる土砂、落石など)、聴覚(木の根が切れる音や岩が転がる音など)などから危険を察知することができる。土砂災害発生前にその前兆を検知し、避難警報を発信できれば、被害を最小限に抑えることが可能である。

現在、斜面崩壊や地すべりのシステム(伸縮計など)が市販されているものの、高価であり特殊な機械を使用するため、多くの土砂災害危険箇所へ設置することは難しい。そこで、ウェブカメラを用いることにより、特殊な機械を必要としない安価な表層崩壊検知システムの開発を行った。なお、申請者のこ

れまでの研究では、Visual C++の開発環境において、動画のリアルタイム処理を行うプログラムを作成し、表層崩壊検知システムの開発を試みている。本研究では、開発環境を OpenCV に移行し、表層崩壊検知のためのプログラム作成、及び機能・動作確認、プログラムを用いた実験を目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1)検知システムの概要

ウェブカメラを用いることで、斜面崩壊の前兆である表層崩壊による斜面のずれや崩れる土砂、落石などを視覚的に検知し、避難情報を発信する警報システムを構築することを検討した。

土砂災害が発生する危険性が高い場所にウェブカメラ、樹木などの不動点にターゲットを設置する。ウェブカメラにてターゲットを撮影し、得られた動画をリアルタイムで処理することで、視覚的に表層崩壊によるターゲットの移動を検知する。ターゲットの移動を検知した場合を「表層崩壊発生」と想定し、避難情報などを発信する。避難情報はタブレット端末や防災無線へ伝達する(図 1)。

土砂災害の発生の危険性が高い場所は、各都道府県が公開している土砂災害危険箇所と土砂災害警戒区域を確認することで把握できる。また、人工衛星の画像解析により斜面崩壊などの履歴を調査し、検出した斜面崩壊箇所の特性について地理空間データを用いて分析することが可能である。

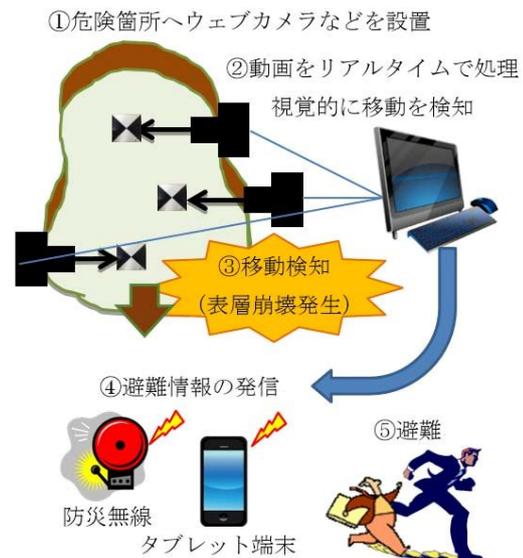


図 1 検知システムの概要

#### (2)開発環境と使用したウェブカメラ

本研究では OpenCV の開発環境の下でプログラムの作成を行った。OpenCV は、オープンソースのコンピューター・ビジョン・ライブラリ画像や動画を処理するのに必要な様々な機能が実装されている。Intel で開発された後、Willow Garage に開発が引き継がれ、

現在は Itseez によって開発が進められている。

ウェブカメラは、以下に示す3種類のウェブカメラを使用した。プログラムの作成時は、Picmo社製の Minoru 3D Webcam (図2(a))、プログラムの機能・動作確認、及び実験を行う際には、Logicool社製の HD Pro Webcam C920 (図2(b))を用いた。また、ターゲットの移動を検知した際に静止画を含めてメールで知らせる機能を有したウェブカメラもある。本研究では 10 データ社製 Qwatch TS-WRLP も用いた。いずれも市販されており、PCのUSBポートに接続することで使用することができる。



(a) Minoru 3D Webcam (b) HD Pro Webcam C920 (c) Qwatch TS-WRLP

図2 本研究で使用したウェブカメラ

### (3)リアルタイム差分

リアルタイム処理とは動画の処理方法の1つであり、時間差分を実時間で求める手法である。処理要求のあるデータを即座に処理し、結果を出力または応答する。今回は、動画撮影時の現在のフレーム、1つ前のフレーム、そして差を計算したリアルタイム差分の1フレームの3つのフレームを用い、リアルタイム処理による移動検知プログラムを作成した。本研究では 10cm×10cm の白黒のターゲットを用いて移動検知の実験を試みた。なお、初期設定において検知範囲を設定した際、その範囲が動画内に赤枠で表示される。赤枠の範囲内でしきい値を超えた移動があった場合、差分部分の重心座標が検出され、フレームが記録される。範囲外での移動は、フレーム差分の映像には表示されるものの重心座標の検出や記録は行われなかった。

### (4) UAV による危険斜面の空撮

本研究では危険斜面の形状を正確に把握するために、UAV を用いて斜面の土砂災害が発生した箇所の空中写真を撮影しオルソモザイク画像や DSM を生成した。災害箇所の被害状況を確認することを念頭において、小型の UAV とコンパクトデジタルカメラの活用を試みた。

本研究で使用した UAV は、ジーウィング社製の GrassHopper(図3)である。Grass HOPPER は、簡便さと低価格を実現した簡易リモートセンシング計測用の UAV であり、自分の手で自由に運用できる操作性・機動性を備えている。機体サイズは 80cm×80cm で機体重量は 2.0kg と小型かつ軽量であり可搬性にも優れている。



図3 使用した UAV の外観

## 4. 研究成果

### (1)危険斜面の3次元点群測量

3D モデルの生成は Agisoft 社製の PhotoScan を用いて行った。PhotoScan は UAV などから撮影した重複する写真を用いて、高精度な DSM やオルソモザイク画像、鳥瞰図を生成するソフトウェアである。PhotoScan に取り込んだ画像から三次元点群を求めた。この点の集合体はポイントクラウドとも呼ばれ、最終的に 3D モデルを生成した。3D モデルは、2次元の写真からではわかりにくい高さの情報などが一目で判る。また、生成の過程でオルソモザイク画像や DSM を作成した。生成したオルソモザイク画像を図4に、DSM を図5に、また、3D モデルを図6に示す。図4や図5の画像は、地理情報システムのレイヤー(地理空間情報)としても利用でき、斜面崩壊箇所の特性分析にも有用である。



図5 斜面崩壊箇所のオルソモザイク画像



図6 斜面崩壊箇所の数値表面モデル

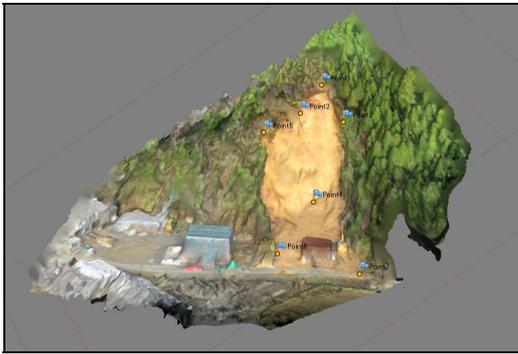


図7 斜面崩壊箇所の3Dモデル

(2)リアルタイム差分によるターゲット移動の検知結果

ターゲットが移動した際、設定したしきい値を超え、重心座標の検出が行われた場合を○、しきい値未満の場合を●、検知不可の場合を×として分類した。表1は、しきい値を1500として設定して得られた結果の一例である。

傾斜角25度では、移動検知はしているものの、しきい値に満たないポイントが多く見られた。また、ウェブカメラとターゲットの間隔は5.0mが限界であり、7.5m以上では検知不可能であった。

傾斜角40度では、検知可能なポイントが増加した。ターゲットの移動距離が10.0cm以上あれば、全ての間隔で検知は可能であった。傾斜角、およびターゲットの移動距離により、加速度が変化するため、ターゲットの移動速度が速くなり、フレーム差分が大きくなったことで検知範囲が広がったと考えられる。

しきい値については、小さくするほど重心座標の推定を行いやすくなることが判った。しかし、ウェブカメラとターゲットの間隔が大きくなると検出が行われないポイントが多く見られた。ただし、しきい値を小さくしすぎると、ターゲットが移動していない場合でも誤検知を起こしてしまう現象が見られた。ウェブカメラの固定について工夫を要することが判った。

表1 ターゲットの移動検知結果の一例

40度		ウェブカメラとターゲットの間隔 (m)							
		0.3	0.5	1.0	1.5	3.0	5.0	7.5	10.0
ターゲットの移動距離 (cm)	0.5	○	○	×	×	×	×	×	×
	1.0	○	○	×	×	×	×	×	×
	2.0	○	○	○	×	×	×	×	×
	5.0	○	○	○	○	○	○	○	×
	10.0	○	○	○	○	○	○	○	○
	15.0	○	○	○	○	○	○	○	○

(3)落石の検知結果

落石の検知実験結果を表2に示す。結果は(2)の実験結果と同様、しきい値(500)を超え、重心座標の検出が行われた場合を○、しきい値未満の場合を●、検知不可の場合を×とした。また、斜面とウェブカメラとの距離

は5mと設定した。直径約1cmの石は検知不可能であったが、直径約3cm以上の石では移動を検知することができた(図8)。

この実験結果から、ウェブカメラを用いることで落石の移動検知にも応用できることが確認できた。しかし、直径約15cmの石においても、しきい値を超えなかった(重心座標を求めることができなかった)ため、しきい値の設定を見直す必要がある。改善策としては、前述と同様、ウェブカメラの固定をしっかりと行う必要があると考えている。

表2 落石検知実験の結果の一例

落石の直径 (cm)	移動検知の結果
1	×
3	○
5	○
10	○
15	○



図8 落石のリアルタイム差分(直径約3cm)

(4)移動検知におけるメール転送実験

本実験では、周囲の明るさ、ターゲットまでの距離、ターゲットに取り付けたLEDライトの有無の3つの条件を変更させ、10データ社製のウェブカメラ(Qwatch)を用いて移動検知実験を行った。また、ターゲットの移動を検知した場合は、画像と共に移動を検知した旨のメール転送を行った。図9に暗視時のメール転送実験結果の一例を示す。同図中、白く映っているのは、ターゲットに取り付けたLED電球の光である。



図9 暗視時のメール転送実験結果の一例

その結果、ターゲットの移動を検知した際にウェブカメラで撮影した画像は、約10秒

で HP にアップされ、さらにメールで知らせるシステムを構築することができた。なお、携帯端末に移動の検知メールが届くまでの時間は、約 1 分であることが判った。

#### (5)まとめ

本研究では、UAV を用いた空撮画像から斜面崩壊の形状を正確に計測する実験、ウェブカメラを用いたターゲットの移動を検知する実験を行った。その結果、

UAV を用いることで斜面崩壊形状を精度良く推定できることが判った。

OpenCV の開発環境で作成したプログラムは正常に機能し、リアルタイム処理により移動検知を行えることが確認できた。本プログラムが移動検知可能な距離は、最長 11m であることが判った。

落石検知実験において、ウェブカメラと対象斜面の距離が 5m の場合、約 3cm 以上の石であれば移動検知可能であることが判った。

悪天候時、本プログラムは雨粒や雪による影響を受けず、リアルタイム処理が行えることが判った。

移動検知のメール転送については、携帯端末に約 1 分で移動検知の結果が届くことが確認できた。

移動検知システムの応用性は非常に高いと考えている。斜面防災の実務の分野では伸縮計に対して野生動物が触れるなどで誤検知することもあるようである。従来システムの監視システムとしての活用も期待できる。また、斜面防災以外の分野（獣害対策、防犯対策など）にも応用できると考えている。

#### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

##### 〔雑誌論文〕(計 3 件)

Makoto KAWAMURA, Yuji TSUJIKO and Kazuhiko TSUJINO: Development of the heavy rainfall induced slope failure hazard maps for the villages located in the mountainous area close to Median Tectonic Line, The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 査読有, 2015.

辻野和彦: UAV を用いた掘削工事における土量の推定, 福井工業高等専門学校研究紀要 自然科学・工学, Vol. 50, pp. 51-58, 査読有, 2016.

辻野和彦, 松原一樹: UAV を用いた斜面・橋梁の点検について, 北陸路, Vol. 64, pp. 8-13, 査読無, 2017.

##### 〔学会発表〕(計 2 件)

辻野和彦, 見寺勇人: ウェブカメラを用いた斜面崩壊検知システムの開発, 第 34

回日本自然災害学会学術講演会講演概要集, pp. 35-36, 2015.

辻野和彦, 岡田拓樹, 吉村紗愛: ウェブカメラを用いた表層崩壊検知システムの開発, 平成 28 年度土木学会中部支部講演概要集, CD-ROM, pp. 291-292, 2017.

##### 〔図書〕(計 0 件)

##### 〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

##### 〔その他〕

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

辻野 和彦 (TSUJINO, Kazuhiko)  
福井工業高等専門学校・環境都市工学科・  
准教授

研究者番号: 10321431