

土砂移動に伴う輝度変化を活用した画像検知手法の取組み

木下篤彦・北本 楽・中谷洋明・金澤 瑛

1. はじめに

2011年台風第12号による紀伊半島の大規模な土砂災害発生箇所では、天然ダム(河道閉塞)発生箇所をはじめとして、監視体制強化の目的で多数のCCTVカメラが設置され、災害から約10年経った現在でも監視を続けている。一方で、監視を担当する行政職員が、24時間多数のカメラを見張るのは現実的ではなく、夜間などに発生した場合には誰も気づかないおそれもある。

これまで、土砂移動を検知する方法として、五十嵐ら¹⁾のRGBを用いる手法や柴田ら²⁾の輝度の変化を用いる手法が提案されている。RGBによる手法は水が濁るとR(赤色)成分が大きくなることを利用して、土砂移動の前兆現象を早めに捉えられるメリットがある。一方で、計算負荷が大きいのがデメリットであった。また輝度の変化に基づく柴田らの手法は、計算負荷が小さいというメリットがある一方で、虫の飛来やワイ

パー、降雨などによる輝度の変化に伴う誤検知が課題であった。

本稿では、計算負荷が小さい輝度の変化による手法を基本とし、誤検知の削減を目指した取り組みにより、改良された最新の土砂移動検知手法について紹介する。

2. 従来の輝度差分による崩壊・土石流検知方法

輝度差分による崩壊・土石流検知は図-1のようなフローで行われる。CCTVの画像は1秒で約30枚撮影されるが、全ての画像を使わず、0.5秒間で1枚の画像を取得し、その輝度を算出し、0.5秒前の画像の輝度との差分を取る。土砂移動が発生すると、差分値が大き

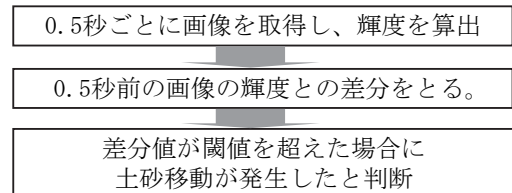


図-1 輝度の差分による崩壊・土石流の検知方法

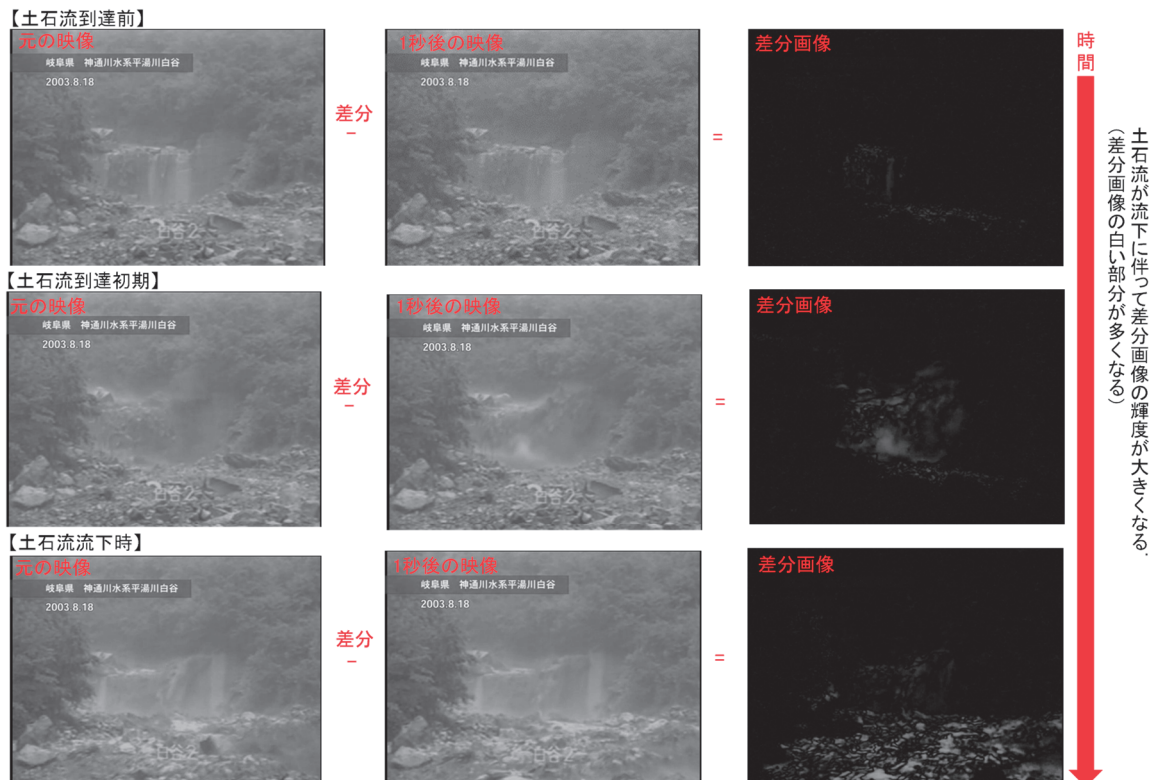


図-2 土石流到達前後の輝度の差分例

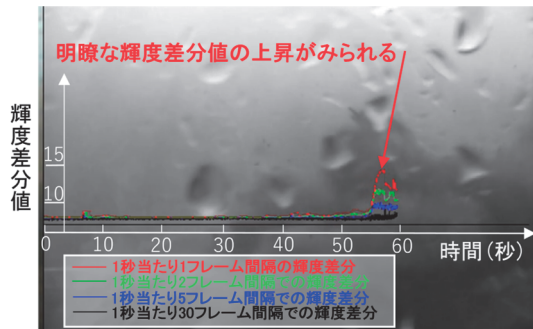


図-3 2014年台風第11号の赤谷地区(奈良県五條市)における崩壊における映像の解析例(解像度1/2、モノクロ映

くなることを利用して、検知する仕組みである。図-2に土石流到達前後の輝度差分画像を示す。土石流到達前には輝度差分を取ってもほとんど差が無いが、土石流到達初期、土石流流下時となるにつれて輝度に差が生じる範囲が広がっているのがわかる。

図-3に2014年台風第11号による赤谷地区(奈良県五條市)で発生した崩壊の映像の解析例を示す。輝度の変化の差分をとる映像の時間間隔を変更した4種類(1秒間隔・0.5秒間隔・0.2秒間隔・0.033秒間隔)について示す。これらの中で、1秒間隔や0.5秒間隔の輝度差分値が大きくなっており、土砂移動の検知に適していることが分かった。

写真-1に、紀伊山系砂防事務所に2021年2月より設置されている土砂移動検知装置とその周辺機器の配置状況を示す。災害現場や工事現場に設置されたCCTVのデータは、NTSC(アナログ信号)で土砂移動検知装置に送られ、そこでNTSCの映像出力(720×480pixel)を縦横1/4のサイズ(180×120 pixel)に平均してダウンサイズし、2枚/秒(2fps=0.5秒間隔)2枚の差分画像を連続的に生成し、その輝度差分値を求め、閾値以上となった場合に崩壊・土石流の発生を判定する。図-4に、赤谷地区におけるカメラ画像と土砂移動検知のための輝度差分の時間変化を監視しているシステムの画面を示す。崩壊・土石流発生と判定された場合(過去の土砂災害の発生事例の画像を用いた検証結果から、閾値を100に設定している。)には、メールサーバーに信号を送り、そこから職員に検知メールが送信される仕組みになっている。

3. 現在の輝度差分の手法による誤検知

現在のシステムは、計算負荷の小さい計算である輝度の差分から土砂移動を検知できるというメリットがある。一方で、計算の簡易さゆえに例えば日常に起こりうる現象でも検知をしてしまうデメリットもある。



写真-1 土砂移動検知装置とその周辺機器の設置状況

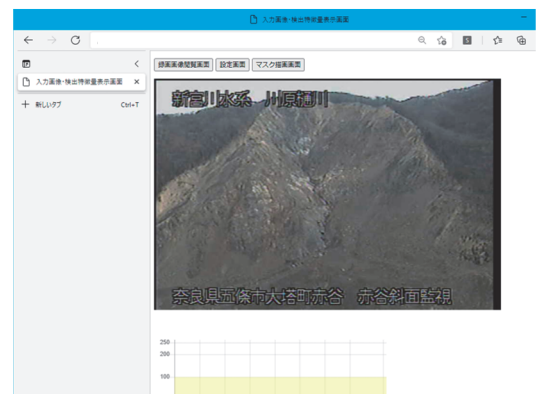


図-4 2014年台風第11号の赤谷地区における再崩壊における映像の解析事例(表示はカラー映像、解析は解像度1/2にしたモノクロ映像)

写真-2に紀伊山系以外の事例も含めて、画像から検知したい土砂移動現象の例を示す。なお、(a)・(b)は本検討で対象とした地区であり、(c)～(g)は対象外の地区であり、既往土砂災害の動画³⁾をキャプチャーしたものである。斜面崩壊や土石流、雪崩などを対象としている。写真-3に誤検知が生じやすい現象の例を示す。いずれの現象でも輝度に変化が生じるため、誤検知が生じる可能性がある。

現在の検知システムの誤検知を把握する目的で、2021年4月1日～6月30日までの91日間、赤谷地区に設置してある崩壊斜面監視用のCCTVカメラ(1台)で誤検知内容の把握調査を行った。表-1に調査期間中の原因別誤検知数を示す。昼間は、ワイパー、カメラの首振りなど、機械的操作を誤検知している。中にはテスト信号(カラーバー)が含まれており、また、検知画像からのみでは原因が明確にならなかったものもある。夜間は、霧、雨、虫に対する照明の反射などが原因となっている。また、原因が「不明」である誤検知が約47%と多いのも特徴として挙げられる。なお、「無降雨」での雨の検知とは、降雨はあるものの、0.5mm/hr未満で、雨量計が検知しなかったケースの



写真-2 検知したい土砂移動現象の例。(a)・(b)は対象とする地区、(c)～(g)は対象外で既往土砂災害の動画³⁾をキャプチャーしたものである。



写真-3 誤検知が発生しやすい現象の例

ことを示している。

現段階では、原因は照度の急な変化（太陽光の入射など）、照明の消灯や点灯、カメラパラメータの自動切り替えによる画質変化などと推定される。夜間（便宜的に20時～4時）、昼間（4時～20時）、降雨時・無降雨時（1時間単位で判定）で集計した結果、平均的には27.5件/日（2,505÷91日）の誤検知が生じた。

4. 誤検知を減らすための工夫

表-1において、ワイパーの動きや虫の飛来は土砂移動現象と比べると短時間の現象である。また、日射や雲の移動など、移動に伴う輝度の変化やその特徴を把握し対策を講じれば、誤検知を防げるものも多い。4章では、誤検知を減らすために取り組んだ工夫の内容について紹介する。

4.1 短時間の現象による誤検知対策

表-1に示した多くの誤検知は、閾値の100を大きく超過しており、閾値の調整のみでは誤検知の削減は困難と判断された。しかし、その誤検知の原因の多くが

表-1 2021年4月1日～6月30日までの91日間の原因別誤検知数

昼/夜区分 降雨区分 内容	昼間		夜間		合計
	無降雨 件数	降雨時 件数	無降雨 件数	降雨時 件数	
ワイパー	138	20	0	0	158
雨	2	12	115	47	176
雨・虫	0	2	23	42	67
影の移動	1	0	0	0	1
画像なし	1	1	0	0	2
画像異常	6	0	0	0	6
回転	4	0	0	0	4
丸い影	0	0	0	1	1
丸い光	0	0	0	8	8
黒いゴミ	1	0	0	0	1
消灯	8	0	0	0	8
テスト信号	3	2	0	0	5
水滴	1	0	0	0	1
虫	29	1	33	662	725
虫・丸い光	0	0	0	3	3
鳥	1	1	0	0	2
点灯	7	0	0	1	8
不明	127	29	128	898	1,182
霧	25	8	37	77	147
総計	354	76	336	1,739	2,505

短時間で生じる動作によるものであり、また、検知方法も0.5秒間隔の2枚の画像の差分をとるという短期の

変化を捉える指標となっている。それに対して土石流や崩壊などの顕著な土砂移動の映像の変化は数十秒程度継続することから、より長い期間の輝度差分値で検知を行うこととし、差分時間間隔の調整を行った。

図-5に、改良した輝度差分の検知フローを示す。輝度差分値の長期指標化は、CCTVカメラの1秒のフレーム数（約30枚）に近い2の n 乗となる32フレームを1つのユニットとして、32フレーム分の連続する画像の同じ座標の輝度を平均した画像（「時間平均輝度映像」という）を求め、 $32 \times N$ フレームの平均輝度差分値を求める。 N については、土砂移動自体が稀な現象（カメラを設置して構えていてもなかなか発生しない）であるため、既存の映像で最適な値を検証した上で設定することとした。図-6に、 N を8とした場合の差分値の算定の概念図を示す。

図-7に、既存の映像について、 N を1（32フレーム）～16（512フレーム）まで変化させた場合の輝度最大差分値を示す。なお、図-7では検知対象でない現象（ワイパー動作時映像・虫の飛来映像・雨の映像）による輝度最大差分値も合わせて示す。検知対象でない現象について、 32×2 フレームでは、ワイパー動作時の映像で輝度差分最大値が39と大きかったが、 32×4 フレームとすることで15まで低減できた。また、平均輝度を算出するフレーム数が多くなるほど、検知すべき現象と誤検知となる現象の判別がしやすくなった。閾値は少なくとも 32×4 フレーム以上で「検知対象現象」と「検知対象でない現象」を区別することができ、 32×8 フレームでは30～70あたりに閾値を、 32×16 フレームでは、40～70あたりに閾値を設けるのが良いと考えられるが、 32×16 フレームの場合は、フレーム数が多くて、輝度が平均化されすぎて差分値の

ピークが捉えにくいと考えた。このため、 32×8 フレームを採用するとともに、閾値は50とした。

新しいアルゴリズムで再度42日間（2021年9月24日～11月4日）検証を行った結果を表-2に示す。誤検知の頻度については、表-1の27.5件/日から17.5件/日まで減らすことができた。一方で、太陽光の入射と雲の影の移動による輝度の変化による誤検知を十分に排除することができなかった。このため、これらについては別途対策を講じることとした。

4.2 太陽光の入射による誤検知対策

太陽光の入射時に発生時における誤検知の映像は、図-8(a)の入射が無い状況と比較すると(b)は山頂の一部の範囲に強い日光が差し込んでいる映像となっている。非常に明るい部分があるため、CCTVカメラのAGC（自動ゲイン制御機能）が動作し、その影響で、斜面部分は崩壊が発生しても検知できないほど暗いのが特徴であった。誤検知の映像の日光照射の部分の輝度値は220～230程度の値となっており、また、220を超える輝度値のピクセル数を100程度に設定し、検知メールを送信しないことで誤検知を低減することとした。

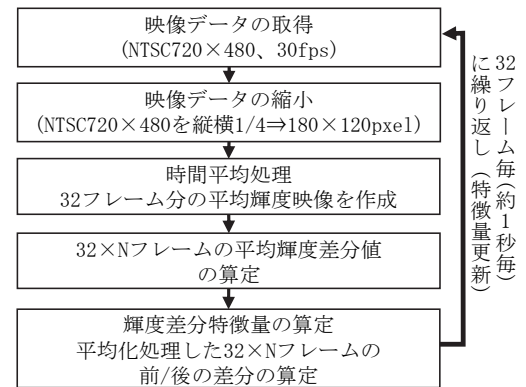


図-5 32×Nフレームの輝度の差分による検知フロー

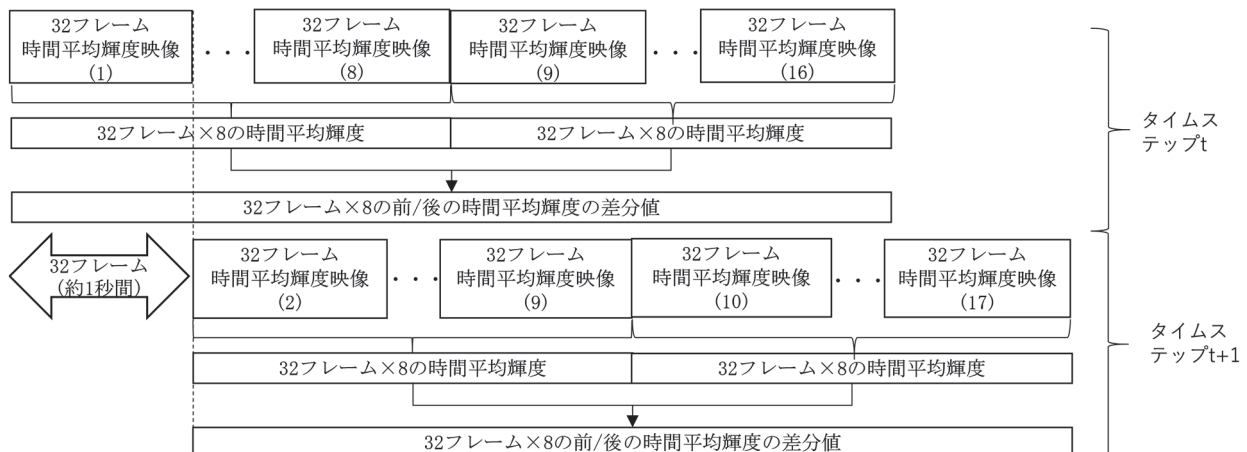


図-6 32フレーム×約8秒を1つのユニットとした場合の輝度差分計算の概念図

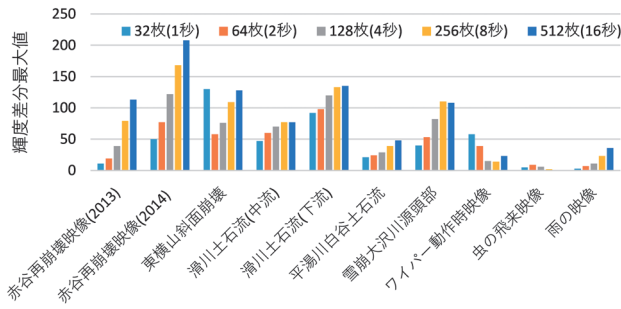
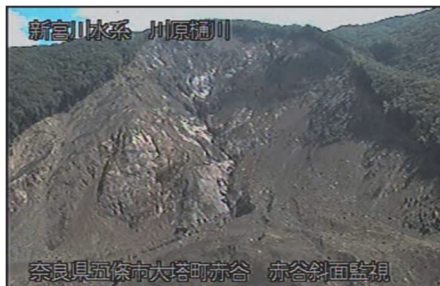


図-7 土砂移動及び誤検知映像の32×Nフレームの輝度差分最大値

(a) 日光の入射無し



(b) 日光の入射あり



図-8 太陽光の入射時の映像の例。(a)日光の入射無し、(b)日光の入射あり。

(a) 雲の移動による誤検知時の画像(解像度を落としたもの)



(b) 白黒二値化した画像

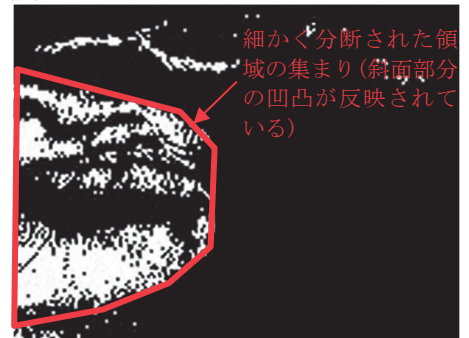
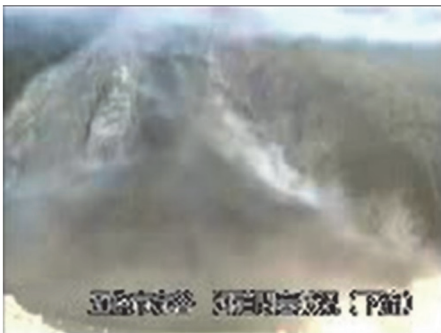


図-9 雲の移動による白黒二値化の事例。(a)元画像、(b)白黒二値化した後の画像。

(a) 崩壊時の画像(解像度を落としたもの)



(b) 白黒二値化した画像



図-10 2013年赤谷地区崩壊時の白黒二値化の事例。(a)元画像、(b)白黒二値化した後の画像。

4.3 雲影の移動による誤検知対策

雲影の移動による誤検知の特徴としては、晴天時、日射のある領域と雲の影となる領域の輝度差が顕著になった場合に生じていることが挙げられる。日射のある領域では、図-9(a)に示すように崩壊斜面部分の山

肌の細かい凹凸や樹木のテクスチャが鮮明となるという特徴がある。このため、(b)のように白黒二値化(CCTVカメラの画像のピクセルの色が白に近い場合は白に、黒に近い場合は黒に変換する。)した場合に、黒の部分が細かい多数の領域に分かれる。一方、図-

表-3 2022年3月2日～3月17日の16日間の内容別誤検知数

内容	件数	割合
霧	3	20.0%
雲の影の移動	9	60.0%
ビデオ映像欠測	3	20.0%
計	15	100%
平均	0.94件/日	

10(a)のような大規模土砂移動が発生した場合は、流下する土砂等によりテクスチャが不鮮明になり、輝度差分発生領域が一様となる。このため、(b)のような白黒二値化した映像には、図-9(b)で見られたような細かい多数の黒色の領域が少ない。

輝度差分の白黒二値化画像に対して領域分割処理を、分割領域の平均面積を算出し、その平均面積値が一定の閾値以下である場合に雲の影の移動による現象と判断することとし、雲の影の移動による映像の値を確認し、閾値を50と設定した。

4.4 検討した全ての対策を行った上での誤検知

時間平均輝度映像を採用し、輝度値220以上のピクセル数による対策、白黒二値化後の平均面積での対策後、2022年3月2日～3月17日の16日間の検知状況を表-3に示す。誤検知の頻度は、対策前の27.5件/日より大幅に減少し、平均で1件/日未満となった。特に、表-1で約47%も占めていた誤検知原因「不明」についても、表-3では発生しなかった。改良したアルゴリズムの成果と考えられる。一方で、雲の影の移動による誤検知がいくつか発生した。これは、冬季で日差しが弱いのではないかと推察されるが、不明点も多い。この点については、今後さらに誤検知を減らす検討を進めていきたい。

5. まとめ

本稿では、映像から斜面崩壊や土石流といった顕著な土砂移動や雪崩を検知する手法と誤差を減らすための工夫について紹介した。今後も誤差を減らしながら対象とする土砂移動を検知するシステムの開発に取り組んでいきたい。

また、これまで、昼間の検知について重点的に取り組んできた。今後は夜間の検知について、必要なカメラの性能や照明の配置などについて取り組んでいきたい。

その他、国総研では、画像雨量計の開発⁴⁾にも取り組んでおり、一つのカメラで土砂移動を検知しながら、土砂移動発生時の雨量も推定できるようなシステムの開発にも取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 五十嵐和秀、水谷佑、木下篤彦、井深真治、肥後明豪、池島剛、秋田寛己、水野秀明：画像のRGB空間における濁水の立体分布と3次元ベクトル空間モデルを用いた流況変化検知手法の基礎的検討、砂防学会誌、Vol.71、No.6、pp.28～34、2019。
- 2) 柴田俊、小竹利明、山田拓、木下篤彦、中谷洋明、金澤瑛、海原荘一、井深真治：輝度の差分映像による斜面崩壊・土石流の検知と降雨・夜間の監視映像の鮮明化、第10回土砂災害に関するシンポジウム論文集、pp.79～84、2020
- 3) NPO法人砂防広報センター（企画：社団法人全国治水砂防協会）：土砂動態（DVD）、2009
- 4) 金澤瑛、内田太郎、中谷洋明：監視カメラ画像の画素値を用いた降雨強度の推定、砂防学会誌、74巻、3号、pp.37～48、2021

木下篤彦



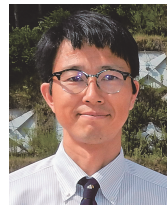
研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部砂防研究室（近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター）主任研究官、現土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム主任研究員、博士（農学）
Dr. KINOSHITA Atsuhiko

北本 楽



国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター 技官
KITAMOTO Gaku

中谷洋明



国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部土砂災害研究室長、博士（農学）
Dr. NAKAYA Hiroaki

金澤 瑛



国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部土砂災害研究室 研究官
KANAZAWA Akio