

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

DETECTION OF LANDSLIDE AND DEBRIS FLOW BY BRIGHTNESS DIFFERENCE IMAGES AND CLEARING OF RAINFALL AND NIGHTTIME SURVEILLANCE IMAGES

柴田俊¹・小竹利明¹・山田拓¹・木下篤彦¹・中谷洋明²・
金澤瑛²・海原荘一³・井深真治⁴

Suguru SHIBATA, Toshiaki KOTAKE, Taku YAMADA, Atsuhiko KINOSHITA,
Hiroaki NAKAYA, Akito KANAZAWA, Soichi KAIHARA and Shinji IBUKA

¹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
(〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

²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
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

³株式会社エイト日本技術開発 (〒700-8617 岡山県岡山市北区津島京町3丁目1-21)

⁴株式会社ブレインズ (〒158-0094 東京都世田谷区玉川2-27-8 玉川ビジネスパーク4F)

Key Words : *cctv camera, image analysis, sediment related disasters detection, making image clearer and histogram extension processing*

1. はじめに

国土交通省では、台風時等の警戒体制時に現地状況を確認できるように河川の要所や崩壊箇所、重要な対策施設などの監視のためCCTVの設置台数を増やしている。また、2011年の紀伊半島大水害時では、国土交通省が大規模河道閉塞箇所等について早期にCCTVを設置し、衛星通信等のネットワークにより現地映像を関係者で共有する等¹⁾、CCTVの監視映像が災害現場でも活用されてきている。監視映像は現地状況を単に確認するだけでなく、映像データに基づく自動監視は人手不足や省力化、ヒューマンエラーの防止等を解消する有効な手段の1つとして考えられ、道路分野における逆走車両等の自動検知²⁾や、河川水位の検知³⁾等では既に活用されている。研究段階ではあるが砂防分野においても、RGB値のR値とその単位ベクトルに着目した濁水の発生検知⁴⁾や水位の計測⁵⁾、MPEG画像の動ベクトルに着目し

た土石流の検知⁶⁾、PIVや映像のマッチングによる崩壊検知^{7,8)}が検討されているものの、計算負荷量が大きいなどの課題がある。

一方、CCTVの映像は豪雨時における降雨の映り込みや夜間の照度不足により監視映像の品質が低下し、監視対象を視認しにくいケースも多く、CCTVにより土砂移動を検知するためには、まず、映像の品質向上を図る必要がある。そこで、本研究では過去の崩壊や土石流の映像データを基に、計算処理が軽く、モノクロ映像や日照条件等の映像の経時変化に対応できる崩壊・土石流の検知方法と、降雨時や夜間の映像品質の向上を図るための照明方法や画像解析等を試行した。

2. 輝度差分映像による崩壊・土石流検知方法

(1) CCTV映像による崩壊・土石流の検知方法の検討における着眼点と検討方法

CCTV映像データは1秒間で30フレームという多くの枚数の映像データで構成されており、映像における粒子の移動を追跡して流速を計測するPIV法⁷⁾(Particle Image Velocimetry)や監視映像をメッシュで領域分割し、メッシュ内の土砂移動を検出・追跡するブロックマッチング法⁸⁾では、多くの計算資源を必要とする。しかし、図-1のように崩壊・土石流の発生時の映像では土砂移動の範囲の色調が大きく変化しており、細かい映像の変化を追跡するのではなく、簡易な演算かつ計算対象のフレーム間隔を長くして、大まかな映像の変化を把握することで、計算資源が少なくても、発生を検知できる可能性がある。そこで、本研究では時間軸の差分画像における輝度の経時変化に着目した方法を検討した。なお、崩壊・土石流の発生は非常に稀に発生する現象であるため、既存の映像⁹⁾を対象として解析することとした。

(2) 輝度差分映像による崩壊・土石流の検知の原理
 検知の原理としては、図-2の例に示すような映像内の輝度の値を基に、図-3の要領で1枚/秒(1fps=1秒間隔)、2枚/秒(2fps=0.5秒間隔)、5枚/秒(5fps=0.2秒間隔)、30枚/秒(30fps=0.03秒間隔)と間隔の異なる2枚の差分画像(フレーム間差分)を連続的に生成し、その輝度差分値を求め閾値を設定し崩壊・土石流の発生を判定するものとした。

CCTV映像は、日照の経時変化や夜間の照度不足によるカラー映像から白黒映像への切り替え(夜間モード等)、夜間の照明に集まる昆虫や雷光、ワイパーの動作の影響など、瞬間的な輝度差分値が増大する可能性はあるが、それらの変化は長時間継続するものではないため、値の経時変化に着目することで解決が可能と考えられる。

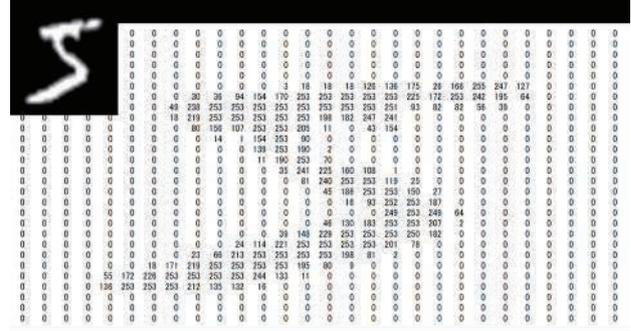


図-2 映像データの輝度値の例(出典: MNIST)
 (個々の数字は映像データ中の1ピクセルの輝度値を示している)

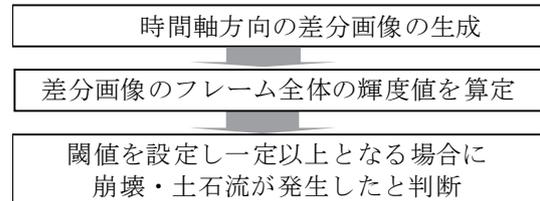


図-3 輝度の差分による崩壊・土石流の検知方法



崩壊発生前(初期)映像の例



崩壊発生後(初期)映像の例



土石流発生前映像の例



土石流発生時の映像の例

図-1 崩壊・土石流発生前後の映像の変化(上側: 揖斐川町東横山の崩壊の事例, 下側: 姫川水系浦川の土石流の事例)

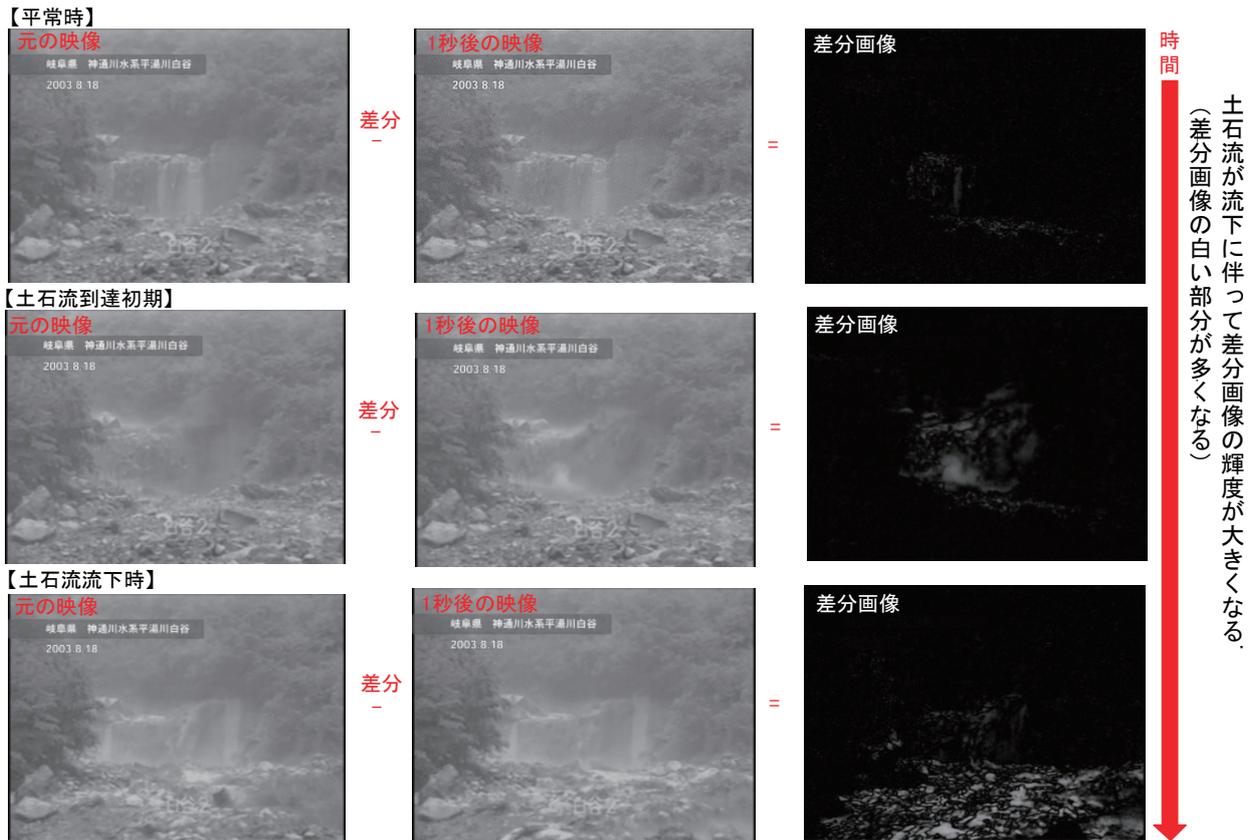


図-4 輝度差分画像の作成方法

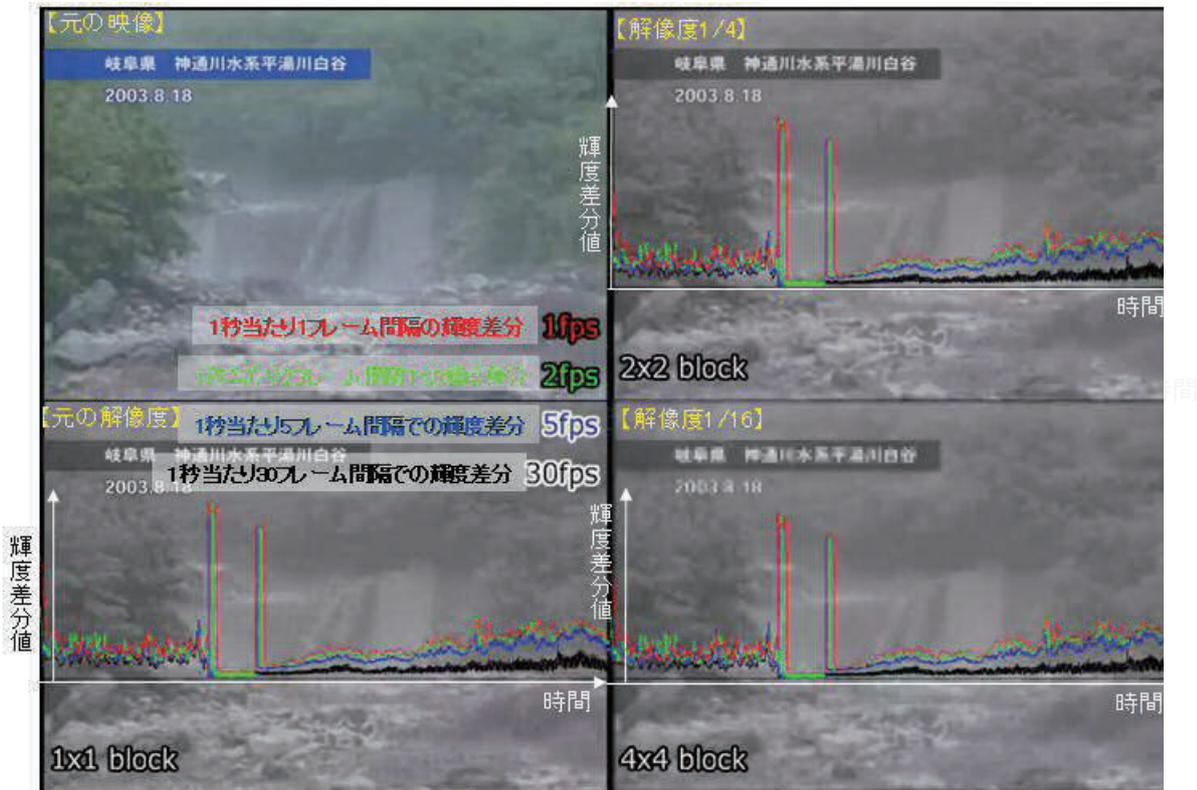


図-5 解像度と計算フレーム間隔を変えた輝度差分の時間変化の例

この検知方法では、周波数解析などの複雑な計算が不要であり、差分映像のフレーム間隔を大きくする、映像の解像度を下げるなど計算処理を軽くすることができ、スマートフォン程度のCPUでも処理可能な方法という利点がある。

図-4に既存の土石流映像⁹⁾での輝度差分画像の作成例を、図-5に解像度と計算フレーム間隔を変えた輝度差分の時間変化の例を示す。土石流の流下に伴って、輝度差分値が上昇していること、1秒当たり1~5フレーム間隔の輝度差分の場合でも、1/4、

1/16の解像度のように解像度の異なる差分映像の輝度の差が少なく、低解像度の映像でも土石流発生時に輝度差分値が大きく変動していることから、解像度は低くてもよいことがわかる。

(3) 既存の崩壊・土石流映像の輝度差分の変化

過去の崩壊・土石流の映像⁹⁾及び紀伊山系砂防事務所管内の2回の深層崩壊斜面の再崩壊の映像の時間差分値の変化を図-6(a)～(e)に示す。なお、図-6のグラフは時系列の輝度差分値を偏差にしたものを示している。また、信濃川水系焼岳上々堀沢の土石流映像での解析事例における画面中央の値の増大は、映像中の発生場所等を示すタイトル表示時の変化で土砂移動に伴うものではない。

2018年台風18号後の赤谷地区の再崩壊映像以外の事例では、土砂移動時の輝度差分値が増大していることがわかる。この2013年の赤谷地区の再崩壊の映像は、不鮮明で、肉眼でも崩土の移動状況はわかりにくいものとなっており、そのことが輝度差分値が増大しない直接的な原因であると考えられる。

この崩壊・土石流の検知における輝度差分値の閾値については、様々な環境の変化を踏まえた長期の映像により、誤検知等が生じにくく、発生の見逃しもない閾値を設定する必要があるが、原理的には簡易な画像処理方法で自動的に検知できる可能性を確認できた。

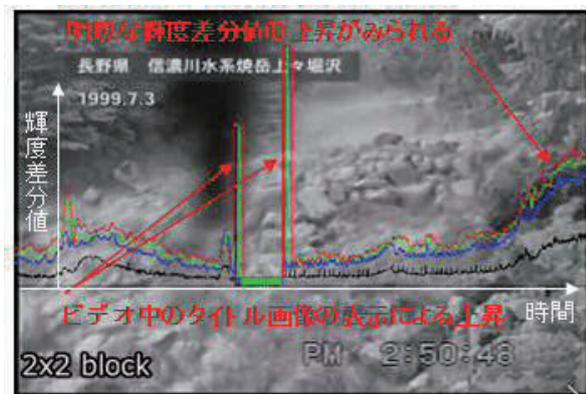


図-6(a) 信濃川水系焼岳上々堀沢における土石流映像の解析事例（解像度1/4、モノクロ映像）



図-6(b) 手取川別当谷における土石流映像での解析事例（解像度1/4）

3. 監視映像の鮮明化

(1) 監視映像の鮮明化の必要性

CCTVは現場状況を目視確認するためのものであるが、図-7に示すように降雨の映り込みや、図-8に示すような夜間の照度不足により、現場の監視が最も必要となる悪天候時や夜間において監視対象の状況把握ができないことも少なくない。また、第2章に示したCCTVによる崩壊・土石流の検知方法では、図-6(e)に示すように2013年の赤谷地区の再崩壊の事例において、輝度差分値が増大しなかったことから、映像品質が土砂移動の自動検知の可否を左右していることから、本研究では監視カメラの照明方法や映像データ処理による監視映像の鮮明化を試行した。

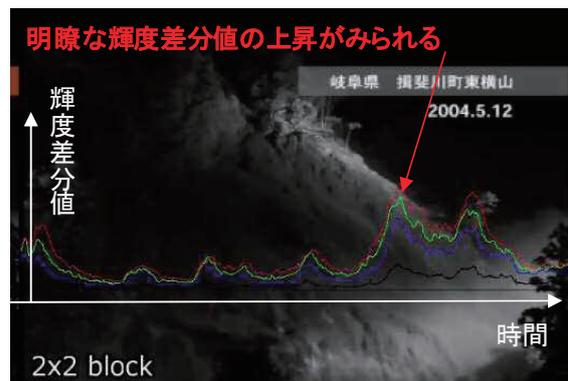


図-6(c) 揖斐川東横山における崩壊映像の解析事例（解像度1/4、モノクロ映像）

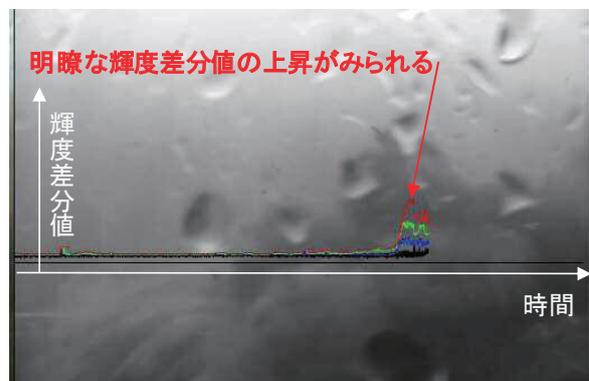


図-6(d) 2014年台風11号の赤谷地区における再崩壊映像の解析事例（解像度1/2、モノクロ映像）

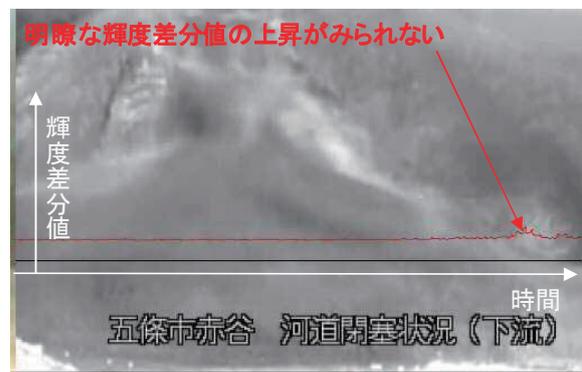


図-6(e) 2013年台風18号後に発生した赤谷地区の再崩壊映像での解析事例（解像度1/2、モノクロ映像）



図-7 夜間降雨時の降雨の映り込みの例

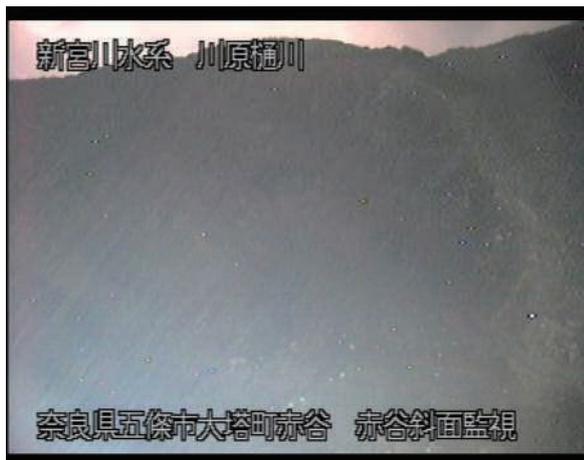


図-8 照度不足による不鮮明な映像



図-9 監視カメラと照明の位置関係 (赤谷地区)

(2) 雨天・夜間に監視映像が見えにくくなる原因

雨天・夜間に監視映像が見えにくい原因としては、照度の不足とカメラに近接した照明による降雨の反射が挙げられる。照度の不足は観測対象がカメラから遠くにあるため照明が十分に届かず、監視対象地点の照度がCCTVの撮影可能な被写体照度の限界に達しないことが原因である。特に深層崩壊斜面を対象とした監視ではCCTVと崩壊斜面が数百mも離れており、照明が届きにくい。照度の低い映像では、全体的に暗い映像となるが、後述するように映像の画角内の輝度値の出現頻度（ヒストグラム）¹⁰⁾の幅が狭いと映像が見えにくくなる。CCTVの照明はカメラの直近に一体化されていることが多く、このこ

とがCCTVに近い範囲の雨滴に照明光が強く反射する原因となっている。

(3) 照明方法の工夫

本研究では降雨の映り込みを避けるため、図-9に示すように赤谷地区に監視カメラを設置し、その監視カメラから10m以上離れた位置に挟角（照明角30度）のLED照明を4基設置して800m先の崩壊斜面に照射するとともに、できるだけ光を集めるためにカメラのDSS（Digital Slow Shutter：光を集めやすくする）機能を有効にして撮影を行った。それらの処理を行っても、図-10の上側の映像のように映像が全体的に暗く崩壊斜面が見えにくいため、以下に示す映像の輝度値のヒストグラム延伸処理¹⁰⁾により鮮明化を図ることとした。

(4) 映像のヒストグラムの延伸処理と画像の重ね合わせによる鮮明化

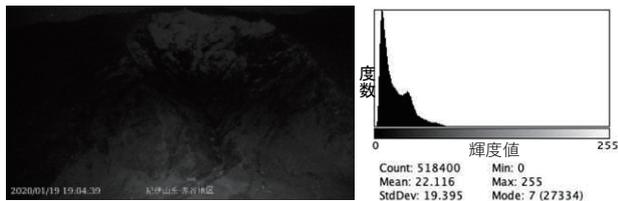
監視映像の鮮明化のため、図-10の中段の映像のように輝度のヒストグラムを延伸し、暗いところから明るいところまで鮮明な画像に変換し、さらに、図-10下段の映像のように映像自体を最大で64枚重ね合わせすることで映像を鮮明化できた。しかし、図-11のように霧が出ている状況では映像の重ね合わせだけでは視認性の向上は得られなかった。

(5) 降雨時における降雨の映り込みの低減効果

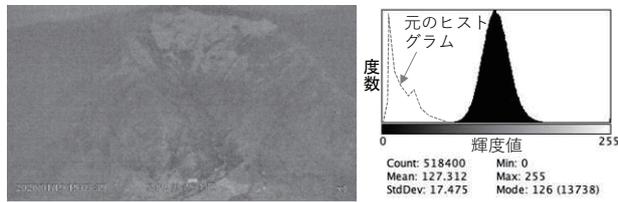
図-12に赤谷地区に設置した監視カメラにおいて10分間雨量で0.5mm/10minの降雨時の映像を基に無処理・鮮明化処理後・カメラの近接照明時の映像を示す。近接照明の映像や無処理の映像では監視対象が認識できないが、この程度の降雨強度であれば鮮明化処理により、800m先の深層崩壊斜面の映像が鮮明なものとなっていることがわかる。

4. まとめ

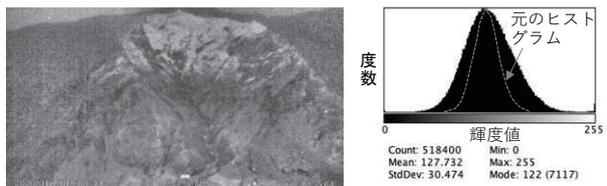
本研究では計算処理が軽く、日照等の条件変化に対応可能となる輝度差分でのCCTV映像に基づく崩壊・土石流の自動検知手法を検討し、既存の崩壊・土石流映像で検討した結果、多くの事例で土砂移動時に輝度差分値が上昇し、適切な閾値を設定できれば自動検知が可能と考えられる結果となった。しかし、映像品質が検知の可否を左右することが示唆された。また、CCTV映像で自動検知に必要な夜間・降雨時の映像の鮮明化の方法として、照明の工夫とヒストグラムの延伸処理、映像の重ね合わせによる監視画像の映像品質の向上策を検討した。今後は長期の映像で輝度の差分解析を行い、誤検知が少なく、見逃しもない適切な閾値を設定することが必要となる。また、雷光や昆虫の飛来によって急激な輝度の変化を土砂移動と区分する等の検討を統計的手法等により今後検討する予定である。また、映像の鮮明化の方法についても、高強度の降雨時のデータでその効果を確認する予定である。



カメラ画像と輝度のヒストグラム (LED照明、DSSを使用)



通常のヒストグラム伸長処理後の画像とヒストグラム

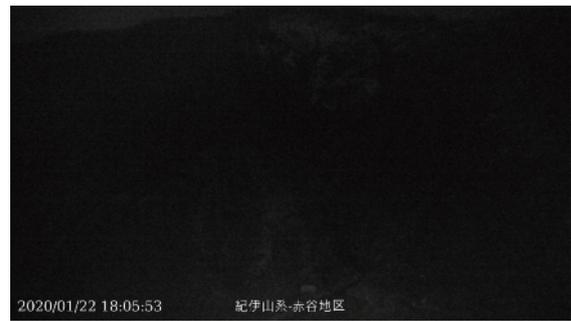


さらにヒストグラムを延伸するため中段の画像を64枚重ね合わせたもの

図-10 映像の処理内容・輝度のヒストグラムの違いと映像の見え方の関係



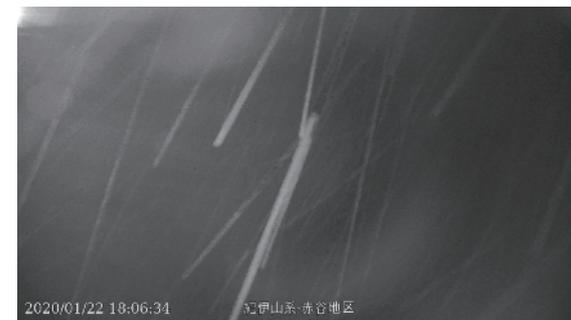
図-11 霧が出ている時の斜面の状況 (2020. 6. 18 23:55 64枚重ね合わせ)



2020. 1. 22 18:00頃の無処理の映像 (降雨量はR-1で0.5mm/10分)



2020. 1. 22 18:00頃の鮮明化処理後の映像



2020. 1. 22 18:00頃のカメラ近接照明時の映像 (降雨量の映り込みが著しい)

図-12 降雨時の無処理の映像(上段)・鮮明化処理後の映像(中段)・カメラ近接照明時の映像(下段)

参考文献

- 1) 近畿地方整備局河川部：平成23年度台風12号による河道閉塞への対応～紀伊半島大水害～，2012.
- 2) 金澤文彦，鈴木彰一，田中良寛，佐治秀剛：CCTV画像を用いた危険事象検知システムの低コスト化，土木技術資料，Vol.55，No. 9，pp.26-29，2013.
- 3) 上田昌治，芦田泰，野村拓光：映像セキュリティ技術の最新動向，5. 防災・広域監視，映像情報メディア学会誌，Vol.70，No. 1，pp. 70-74，2016.
- 4) 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.
- 5) 松本定一，中谷洋明，鈴木豊，荒井良介，春日亮太，木下篤彦，石井秀樹，池島剛：CCTV静止画像を用いた流量推定システムの開発，平成27年度砂防学会研究発表会概要集，pp.420-421，2015.
- 6) 小山俊彦，稲葉宏幸，板倉安正，笠原正雄：MPEG画像を用いた土石流の発生検知システムの提案，映像情報メディア学会年次大会講演予稿集，ITE98，pp. 382-383，1998.
- 7) 原幸希，寺田秀樹，近藤浩一，小野田敏，高山陶子，大鋸朋生：粒子画像流速測定法(PIV)を用いた崩壊の動画解析，砂防学会誌，Vol.59，No.1，pp.33-38，2004.
- 8) 井深真治，福田昌宏，水谷佑，高原晃宙，木下篤彦，水野秀明：画像解析による動体追跡技術の土砂移動検知への適用，平成28年度砂防学会研究発表会概要集，pp.A-290-291，2016.
- 9) 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.
- 10) 公益財団法人画像情報教育振興協会(CG-ARTS)デジタル画像処理編集委員会，デジタル画像処理(改訂第二版)，2020.

(2020. 7. 1受付)