

山地河川の濁りによるRGB値変化に着目した 土石流発生検知手法開発に向けた試み

五十嵐和秀・水谷 佑・高原晃宙・木下篤彦・水野秀明

1. はじめに

毎年のように発生する土砂災害、特に平成26年広島災害のような広域に及ぶ土砂災害に対して、効率的かつ低コストに監視できる機器が求められている。全国の溪流などにはCCTVカメラが多数整備されており、それらの画像を自動解析し有効活用できれば監視体制の一層の向上が期待される。これまでの画像解析研究では、PIV(PTV)解析によるアルゴリズムを用いた雪崩の流下検知^{1),2)}や水位・流量推定³⁾などが行われてきたが、動体検知の他、水位変化や濁り変化などの流況変化を総合的に捉えるアルゴリズムからのアプローチは行われていない。山地河川では、豪雨に伴う出水のほか、土石流や土砂流出など様々な形態の流況変化があり、現象に対して限定的な検知アルゴリズムでは汎用性が乏しい。

そこで、土木研究所では、現象を複合的に捉えて流況変化を監視・観測することを目的として、従来のPIV(PTV)解析によるアルゴリズムの応用も踏まえつつ、新しいアルゴリズムによる画像解析の研究・開発を進めている。

本研究のフローを図-1に示す。画像解析技術の運用化に向けては、流況変化の検知アルゴリズムの構築、環境条件・閾値の検討に加え、現地による適用性検証や精度検証が必要である。本稿では、まず、収集した土石流映像の流況変化時における画像の特徴より、画素情報に着目し、動画から流況変化を捉える手法を検討した。次に、濁りや水位の変化を検知・計測する検知アルゴリズムを検討し、最後に課題と今後の展望をまとめた。

2. 流況変化時における画像の特徴

平成28年8月23日に北海道石狩川水系黒岳沢川で発生した土石流のCCTV映像（AM6:53:45～AM6:57:13、29F/s）を収集し、この動画をもとに、流況変化の検知アルゴリズムの試作を行った。映像は、既に濁水が発生している6:53:45から、6:56頃

に土石流段波により画面内の水位がピークに到達し、その後水位が低下する6:57:13までの動画である（図-2）。流木や巨礫も混じるが不明瞭である。動画の特徴として、濁水の流れと土石流段波の流下によって、流路に占める茶褐色の面積が増加し、水面の画像は時間とともに刻々と画素が乱れている。一方、流路外の右岸岸壁などの画像には大きな画素の乱れはなく、動画では終始ほとんど変化は見られない。これらの画像の特徴から、画素情報に着目し、濁りや水位の流況変化を捉える手法を検討した。

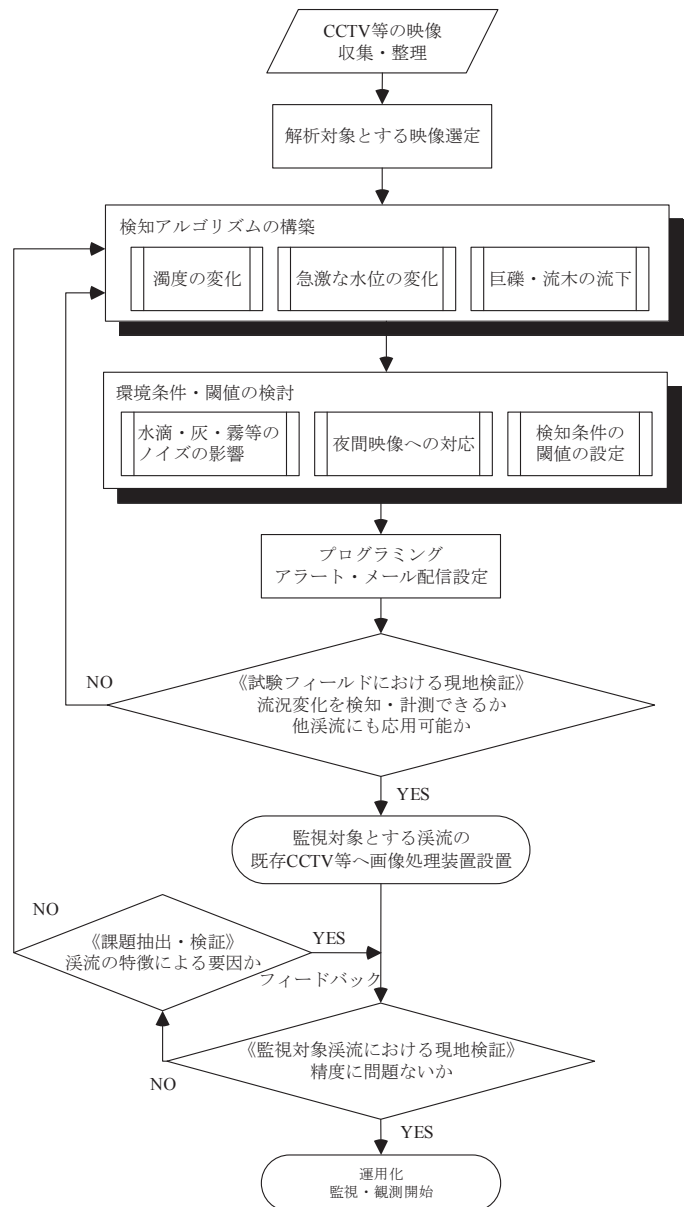


図-1 研究・開発フロー



図-2 黒岳沢川に設置されたCCTVの土石流記録動画
 (a)6:53:45段波到達前、(b)6:56:35段波到達時、
 (c)6:56:39段波到達後、(d)6:57:13水位低下後

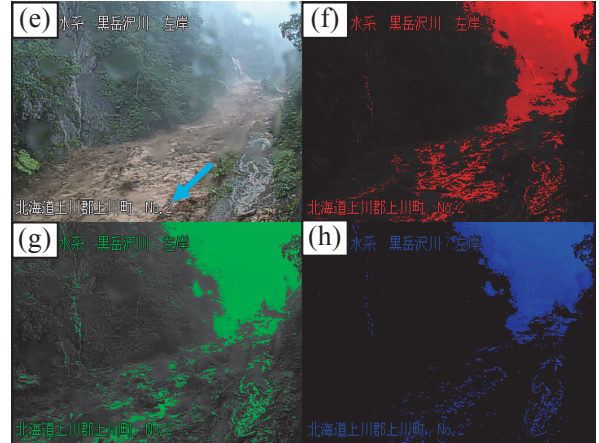


図-3 RGB抽出映像

(e):オリジナル映像、(f):R(赤色)のみ抽出した映像、
 (g):G(緑色)のみ抽出した映像、(h):B(青色)のみ抽出した映像
 ※(f)、(g)、(h)はそれぞれ彩度70%以上をフィルタリング
 して表示

3. 画像の特徴を踏まえた画像解析手法

3.1 画素情報による濁り検知手法

水が濁る際に起こる色の变化に着目し、画像を構成する画素情報であるR(赤色; $\lambda=700\text{nm}$)、G(緑色; $\lambda=546.1\text{nm}$)、B(青色; $\lambda=435.8\text{nm}$)の3チャンネルを用いた。清水と濁水の色の違いを把握するため、画像からRGB値を抽出し、RGB値から濁りの検知手法を試みた。

(1) RGB値から濁水を検知する方法

黒岳沢川の土石流発生時の映像から、RGB別に表示させた映像を図-3に示す(6:56:45時点)。図-3の4枚の映像の内、上流側は霧の影響で白くなっているため、RGB値はそれぞれ高く、鮮やかに映っている。茶色く見える濁水については、 $R > G > B$ の順でR値が相対的に大きく、赤色系の色を呈していることを示す。

また、RGB値の相対的な割合を示す指標として色相(H)がある。この色相(H)は以下の式(1)、(2)により表わされる。

$$H = \theta_{x,y} \dots \dots \dots \text{式(1)}$$

$$(x,y) = \left(r - \frac{g}{2} - \frac{b}{2}, g \times \frac{\sqrt{3}}{2} - b \times \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \dots \dots \text{式(2)}$$

ここで、r:画素のR値、g:画素のG値、b:画素のB値、H:色相、 θ :偏角である。色相(H)は、 $0 < H(\theta_{x,y}) < \pi/3, 5\pi/3 < H(\theta_{x,y}) < 2\pi$ のとき赤色系、 $\pi/3 < H(\theta_{x,y}) < \pi$ のとき緑色系、 $\pi < H(\theta_{x,y}) < 5\pi/3$ のとき青色系となる。黒岳沢川の土石流の濁水の色相は $H=\pi/6$ となり、赤色系を示す(図-4)。

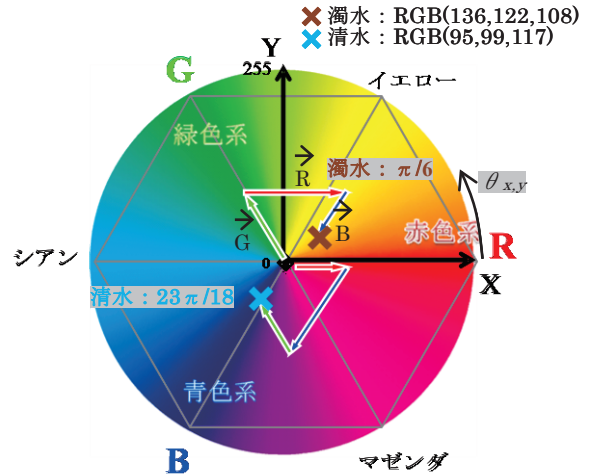


図-4 濁りと色相の関係

(2) RGB値抽出結果と濁水との関係

黒岳沢川の土石流の動画から、解析対象領域①(右岸岸壁)と解析対象領域②(水面)を指定し(図-5)、解析対象領域内の画素ごとのRGB値を24bit(8bit/チャンネル)で抽出した。それら各画素のRGB値を平均し、フレーム毎に時系列で輝度(Luminance(L))値とともに整理した(図-6、図-7)。6:56:40頃に土石流の段波が到達すると、解析対象領域①に濁水が映り込み、RGB値および輝度値が85~90程度から100以上に上昇した。そのうち、R値が85から107と最も大きな増加率125%を示した(図-6)。一方、解析対象領域②では常に濁水の水面を映しており、RGBのうちR値が相対的に高い値を示している(図-7)。これにより、段波到達時に解析対象領域①において濁水が映り込む面積が増加したため、R値が相対的に増加する結果となった。



図-5 黒岳沢川（土石流時）と解析対象領域①②の指定

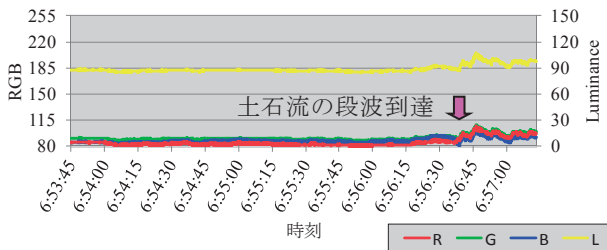


図-6 解析対象領域①におけるRGB値・輝度(L)値の時間変化

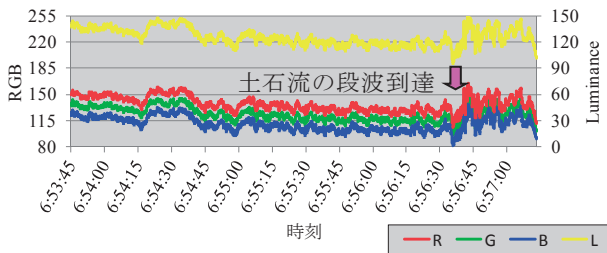


図-7 解析対象領域②におけるRGB値・輝度(L)値の時間変化

(3) RGB値抽出結果と清水との関係

平成28年8月23日の土石流映像では、濁水発生後の映像しか入手できなかったため、濁水発生前の映像（平成28年11月15日）を入手し、同様に水面のRGB値を抽出した（図-8、図-9）。清水水面の色は、水を透過し河床を映している。清水水面の画素情報をみると、濁水と異なり、 $B > G \approx R$ の順でBが相対的に大きく、青色系の色を呈している。色相も $H=23\pi/18$ となり、図-4上でも青色系を示すことが確認できた。

今回、濁水発生前から濁水発生後の一連の動画を入手することができなかったが、清水と濁水の色相の変化から、濁り発生検知の可能性が示唆された。今後、濁水発生前からの一連の映像を入手次第、この濁り発生の検知手法を検証していく。

3.2 画素情報による水位推定手法

濁水発生には、R値の上昇が特徴として挙げられる。山地河川では、水位が急激に上昇する場合、濁りも伴う場合が多い。この特性を利用して、水位変



図-8 黒岳沢川（平水時）と解析対象領域③の指定

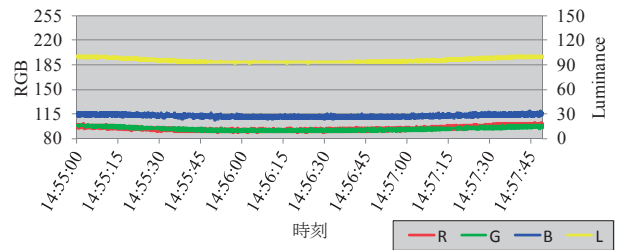


図-9 解析対象領域③におけるRGB値・輝度(L)値の時間変化

化も捉えられると考えられる。

(1) 水位が変化する領域の推定方法

3.1 (2) で示した通り、解析対象領域において、濁水が写り込む領域（水位到達領域）と、写り込まない領域（水位未到達領域）では、画素情報（R値）が異なる。それらの領域を式(3)及び図-10に示すようにイメージし、R値を用いた水位変化領域を推定するアルゴリズムを試作した。

$$R = \frac{1}{S} \sum_{x=0,y=0}^S r(x,y), \quad R_1 = \frac{1}{S_1} \sum_{x=0,y=0}^{S_1} r(x,y), \quad R_2 = \frac{1}{S_2} \sum_{x=0,y=0}^{S_2} r(x,y)$$

$$R \cdot (S_1 + S_2) = R_1 \cdot S_1 + R_2 \cdot S_2 \quad \dots \dots \text{式(3)}$$

展開すると、 P_2 はR値のみを用いて式(4)で表わされる。

$$P_2 = \frac{R - R_1}{R_2 - R_1} \quad \dots \dots \text{式(4)}$$

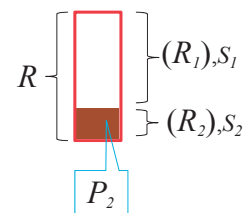


図-10 解析対象領域における水位変化領域推定イメージ

ここで、 R :解析対象領域のR値（平均）、 R_1 :水位が変化しない領域のR値（平均）、 R_2 :流水面のR値

(平均)、 S_1 :水位が変化しない領域の面積、 S_2 :水位が変化する領域の面積、 $r(x,y)$:画素 (x,y) のR値、 P_2 :解析対象領域において S_2 が占める割合($S_2/(S_1+S_2)$)である。

(2) 水位変化領域推定結果

水位が変化する領域面積の推定結果を図-11に示す。前述(1)のR値から計測した領域変化面積割合を青線、画像から目測で読み取った領域変化面積割合を赤点で示した。これによると、R値の変化から、水位変化領域の増減の傾向を捉えていることが認められた。なお、6:56:45頃に P_2 値が突出しているが、段波到達時に水面のイレギュラーな乱れにより明度が落ち、RGB値が相対的に減少したことによるものである。

この水位変化領域に長さの尺度を与えると、水位情報となる。今回、画像から水位を推定する一手法として考案したが、精度向上については、今後の課題である。

4. おわりに

濁水の検知についてR値が指標となる可能性が示唆された。今後、RGB値と濁度の定量的評価が必要である。また、色変化や水面の乱れは輝度値からも評価できる可能性があり、濁りの程度と状況に応じた使い分け、精度面を含め検討する必要がある。画像の画素情報は、カメラ本体の画像処理性能や、現地の日射量の強弱にも依存するため、カメラの性能や、日射量の日内変動と濁度変化との関係を十分に検証していく。併わせて、現地カメラ映像をリアルタイムで計測・解析していくことも行っていく予定である。

謝 辞

本稿執筆にあたり、黒岳沢川のCCTV映像を提供いただいた北海道開発局、画像解析についてご協力いただいた(株)ブレインズの井深真治氏に、この紙面を借りて深く感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 上石勲：センサーを用いた雪崩の検知・予知技術、日本雪氷学会誌、第20号、第3巻、pp.294～297、2004
- 2) 日本雪氷学会：3.27左俣谷雪崩災害調査報告書、2001
- 3) 中谷洋明、鈴木豊、荒井良介、春日亮太、木下篤彦、石井秀樹、松本定一、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
- 4) 福田昌宏、井深真治、水谷佑、高原晃宙、木下篤彦、水野秀明：インターバルカメラの画像解析による山地溪流における水位・濁水計測、平成28年度砂防学会研究発表会概要集、pp.102～103、2016
- 5) 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.290～291、2016

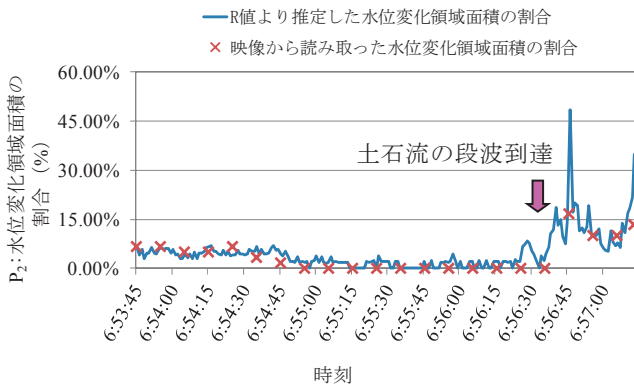


図-11 水位変化領域面積割合の算定結果

五十嵐和秀



土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 交流研究員
Kazuhide IGARASHI

水谷 佑



研究当時 土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム交流研究員、現 日本工営(株)国土保全事業部砂防部
Tasuku MIZUTANI

高原晃宙



研究当時 土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム研究員、現 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主任研究官、博士(農学)
Dr.Teruyoshi TAKAHARA

木下篤彦



研究当時 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、現 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主任研究官、博士(農学)
Dr.Atsuhiko KINOSHITA

水野秀明



研究当時 土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 交流研究員、現 国立大学法人九州大学農学研究院環境農学部門准教授、博士(農学)
Dr.Hideaki MIZUNO