



Title	画像解析を用いた濁水監視による土石流検知手法に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	五十嵐, 和秀
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第15564号
Issue Date	2023-06-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/90217
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	IGARASHI_Kazuhide_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称： 博士（農学）

氏名 五十嵐 和秀

学位論文題名

画像解析を用いた濁水監視による土石流検知手法に関する研究

近年多発する土砂災害に対して、人的被害軽減及び住民避難情報への活用のため、効率的かつ高精度に溪流を監視する技術が求められている。全国の溪流などには CCTV カメラが多数整備され、オンライン化による公開も進められ溪流監視の基盤が整えられてきている。現状、これら画像データは概ね目視利用に留まっており、土石流が発生した際には、後から映像を観て溪流の状況を確認する事例が多い。溪流監視の多重化を図る目的で、監視カメラが併設されるケースも多い。これら既存の CCTV や豊富な画像データをリソースとして、土石流等の土砂移動現象に対して一層の監視体制強化が必要とされている。

近年の土砂災害と溪流監視の取り組みや、これまでの土石流監視についての技術開発成果や実績のレビューを行い、既存の土石流検知センサーの概要やメリット・デメリット、画像解析技術適用のメリットを整理した。例えば、土石流を検知する機器として現在一般に普及しているワイヤーセンサーは、検知率の高さやコスト面で優れるが、断線後は再設置するまで繰り返し検知が不可能であり、土石流ピーク到達前の水位で切断されてしまうとピーク時の時間的・量的な評価が困難であるという欠点がある。また、土石流が発生するような山地河川では、接触型のセンサーは損傷のリスクが大きなデメリットとなり、非接触型のセンサーの方が有利である。その上で、近年の画像解析技術のレビューを行い、溪流監視への適用事例や課題を整理するとともに、土石流監視における濁水監視の意義と、カメラ画像から非接触で濁りを把握する重要性を整理した。光源条件が一定しない屋外の CCTV 等の監視カメラにおいては、光源条件を一定にして行う室内実験と同じ手法を適用できないため、未だ画像から濁度の定量評価についての研究や技術開発はなされておらず、濁りを指標とした土石流検知手法は確立されていない。それらを踏まえ、渓流水面画像の RGB 値及びその単位ベクトルを用いて、CCTV 等の画像データを用いた非接触による濁度評価と土石流検知手法を提案することを研究目的とした。

本研究では、信濃川水系魚野川支流芋川、利根川水系大谷川支流稲荷川、那智川水系内の川、石狩川水系黒岳沢川を研究対象地とした。芋川では 2019 年 10 月の台風第 19 号豪雨に伴う中小出水の映像、稲荷川では 2016 年の中小出水と 2011 年 9 月の土石流の映像、内の川では 2017 年 10 月の台風第 21 号豪雨に伴う中小出水と 2018 年に実施した溪流実験時の映像、黒岳沢川では 2016 年の中小出水と土石流の映像を収集し、後述する濁度評価と土石流検知の検討に供した。また、濁水の色情報を解析するにあたり、複数の色情報の指標のうち、画像解析による濁水監視と土石流検知に適した表現手法を作成した。続いて、屋外で時々刻々と変化する日照条件に対応するため、色情報の RGB 値を単位ベクトル化する手法を用いて、濁度との相関関係や土石流発生時の閾値を設定する手法を作成した。

濁度の観測データがある芋川と内の川において、画像の色情報と濁度の相関関係を考察した。収集した画像から濁水映像の特徴を整理し、いずれの溪流においても、中小出水時に濁水が発生すると、渓流水面の濁りは茶系を呈することを確認した。また、収集した映像からも、濁水発生時において渓流水面の茶系の色に対し、濁水の濃淡の違いを視覚的に確認し、出水規模に応じて渓流水の濁度は増減し、土砂本来が持つ色の濃淡が渓流水面にも表れること

になることを明らかにした。内の川では、夜間降雨時における LED 白色照明の点灯時の映像から、濁水発生時に渓流水面が昼間と同様に茶系の色を呈することを確認した。夜間降雨時でも、照明により明るさを確保できれば、溪流の濁水の発生状況を把握可能になることが確認できた。次いで、画像解析による濁度評価手法により、渓流水面の解析結果と、水位や濁度等の現地観測データとを比較し、画像の色情報と濁度との相関関係を考察した。結果、芋川と内の川において、濁水発生に伴い水面が茶系を呈すると、RGB のうち R 値が相対的に高くなり、高濁度になるほどその傾向が顕著に表れることがわかった。また、水位と濁度が出水前と同程度に低下すると、B 値が相対的に高く R 値は低くなり、RGB 値も濁水発生前と同様の状態に戻る傾向が認められた。芋川においては、RGB や輝度値 L は日照条件による輝度の時間変動が 100~230 程度ある一方で、RGB 単位ベクトルの成分をみると rgb はそれぞれ 0.42~0.75 程度の変動で、曇天の濁水発生時間中に限ると 0.53~0.62 の範囲での変動に収まった。RGB 値を単位ベクトル化することで、日照の変化に伴う輝度変化の影響を軽減した解析値を得ることができた。また、濁水発生前から濁水発生時へ至る、方向ベクトル (dr, dg, db) を持つ近似直線と任意の濁度に相当する位置ベクトル (r, g, b) から、近似直線を直交する平面を導出した。この平面を濁度に応じて段階的な設定をすることで、平面を境界にして位置ベクトル (r, g, b) から濁度が評価可能となることを示した。

土石流映像を収集できた稲荷川と黒岳沢川において、収集した画像から土石流映像の特徴を整理し、土石流発生時においても、渓流水面の濁りは茶系を呈することを確認した。特に土石流フロントおよび土石流流下時の渓流水面の色は、中小出水時の濁りの色と比較して、土砂本来が持つ色の特徴が渓流水面に強く表れることを視覚的に確認した。画像解析により、稲荷川と黒岳沢川においても、中小出水時の濁水発生に伴い水面が茶系を呈すると、RGB のうち R 値が相対的に高くなり、濁度と画像の色情報との相関関係を確認した芋川と内の川と同様の傾向を示すことが明らかとなった。黒岳沢川の 2 ヶ月間の画像データからは、中小出水による濁水、土石流フロント到達前の濁水、土石流による濁水の画像を解析することで、RGB 単位ベクトルの連続的な変化から方向ベクトル $(dr, dg, db) = (0.46, 0.43, -0.78)$ を持つ近似直線を導出した。濁水発生前~濁水発生~土石流フロント到達前~土石流流下の過程が、近似直線に沿って連続する傾向で分布する結果が得られたことより、土石流フロント到達前の位置ベクトル $(r, g, b) = (0.600, 0.577, 0.554)$ と近似直線の方向ベクトル $(dr, dg, db) = (0.46, 0.43, -0.78)$ から、この近似直線を直交する平面を導出した。結果、黒岳沢川で 6 月 24 日~8 月 20 日の期間で発生した中小出水による濁水と、8 月 23 日に発生した土石流を境界に、それぞれの位置ベクトル (r, g, b) の点群を分割する平面となった。黒岳沢川で検討することができた土石流映像は 8 月 23 日の一事例、稲荷川で検討することができた土石流も 2011 年 9 月 2 日の一事例ではあるが、その発生に至る線形性を示す方向ベクトル (dr, dg, db) から、土石流フロント到達前の濁水を境界とする平面を設定することで、土石流発生検知の閾値設定が可能となる方法を提案できた。

本研究成果と、既存の雨量や水位といった水文情報、カメラの視覚的画像情報などを組み合わせることで、現行よりも検知精度の高い土石流監視システムを構成できるようになると考えられる。