

## 学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称： 博士（農学）

氏名 五十嵐 和秀

審査担当者	主査	教授	山田孝
	副査	教授	中村太士
	副査	特任教授	山口真司（本学広域複合災害研究センター）
	副査	准教授	笠井美青
	副査	助教	桂真也

### 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

本学位論文は、和文 120 頁、図 76、表 12、4 章からなり、参考論文 1 編、そのほかの論文 2 編が付されている。

近年多発する土石流災害に対して、住民避難情報への活用のため、効率的かつ高精度に溪流の土砂移動現象を監視する技術が求められている。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の整理から、土石流が発生する山地河川では、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となる。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提起した。未だ屋外の監視カメラ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、信濃川水系芋川、利根川水系稻荷川、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。各溪流において、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手法の検討に供した。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。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。さらに、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  $(x, g, b)$  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、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、中小出水時の濁水の色と比較して、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  $(0.46, 0.43, -0.78)$  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濁水の位置ベクトル  $(0.60, 0.58, 0.55)$  と近似直線の方向ベクトル  $(0.46, 0.43, -0.78)$  から、この近似直線を直交する平面を導出した。結果、黒岳沢川の中小出水による濁水と、2016年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  $(x, g, b)$  の点群を分割する平面となった。黒岳沢川と稲荷川において、土石流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。

以上のように、本研究は、濁水に含まれる土砂と画像の色情報(RGB 値)の関係を溪流での観測により検討し、濁度を画像の色情報で表現する新たな画像解析手法を開発し、それを用いた土石流検知手法を提案した。この手法は、従来の土石流監視システムのデメリットを補完し、検知精度を向上させるための重要な砂防学的知見であると評価される。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等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の開発に発展することが期待される。

よって、審査員一同は、五十嵐和秀が博士(農学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。