

氏名	金澤 瑛		
学位の種類	博 士 (環 境 学)		
学位記番号	博 甲 第 10865 号		
学位授与年月日	令和5年3月24日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査学術院	理工情報生命学術院		
学位論文題目	画像情報を用いた流域監視技術に関する研究 —画像による降雨強度推定—		
主査	筑波大学教授	博士 (農学)	内田 太郎
副査	筑波大学教授	博士 (理学)	辻村 真貴
副査	筑波大学准教授	博士 (農学)	奈佐原 顕郎
副査	筑波大学助教	博士 (農学)	山川 陽祐
副査	土木研究所主任研究員	博士 (農学)	木下 篤彦

論 文 の 要 旨

降雨量の把握は防災のみならず、水資源の管理等において必須である。そのため、各種の降雨観測技術が開発され、社会実装されてきた。しかしながら、地上雨量計の観測箇所の空間的密度は、山地域の複雑な降雨分布を観測するのに十分とは言い難い。また、近年、技術革新が進んでいるレーダー雨量計は、上空の雨量を観測しているため、地上に到達した雨量を計測しているとは言い難い。一方で、近年、画像解析の技術が格段に進歩してきているとともに、画像取得に関わるコストも大きく低下したこともあり、カメラベースの雨量計が検討されてきたが、社会実装に至っているとは言い難い。そこで、本論文において著者は、カメラ画像から降雨量を計測する社会実装可能な手法の提案を目的とし、降雨が画像に及ぼす影響の基礎的な検討、コンピュータビジョンの技術を応用した画像から降雨量を推定する手法の提案、画像に基づく降雨量の計測精度の検証を行った。

第1章で著者は、降雨観測および画像解析技術の現状について整理し、画像解析による降雨観測技術の必要性、実現性について論じた。

第2章で著者は、降水現象について物理的に分類・整理した上で、雨滴が画像に及ぼす効果を静的気象としての効果と動的気象としての効果に分類した。その上で、カメラから雨滴までの距離が短い場合、動的気象として効果が卓越し、雨滴までの距離が十分離れると静的気象として効果が卓越すると考察した。さらに、カメラベースの雨量計に関する研究をレビューし、従来のカメラベースの雨量計は動的気象としての効果を定量的に評価するものであることを示した。一方で、静的気象の効果を用いたカメラベースの雨量計が実現すれば、空間代表性の高いデータが得られること、既設のカメラが有効活用できることなど、有利な点が多いことを示し、本論文で著者は静的気象の効果評価による降雨量計測手法の構築を目的とすることを述べた。

第3章で著者は、既設の新潟県魚野川流域、長野県天竜川流域のCCTVカメラの画像を用いて、降雨が画像に及ぼす影響、特に静的気象としての効果について、解析した。その結果、降雨強度が増加するにつれて、画像は白くなり、画像内のコントラストが低くなること、画像の輝度は降雨強度の時系列変動に追従

することを確認した。さらに、画像の輝度と降雨強度の関係性は背景の状況や背景までの距離に大きく依存することも示した。また、著者はこれらのCCTV画像の解析結果は、降雨の静的気象の効果が画像に現れたものであると考えられるとした。

続いて、第4章では、コンピュータビジョン分野で提案された静的気象の効果を画像から取り除く技術と理論的に導かれる降雨強度と光の消散の関係を結びつけることで、画像情報、降雨強度、シーン深度の関係性を表す式を提案した。また、提案式を山梨県北杜市大武川流域におけるインターバルカメラおよび地上雨量計の観測結果を用いて検証した。著者は提案式において、画像の透過率が降雨強度とシーン深度の増加に伴って、指数関数的に低下することを示した。その上で、提案式中に含まれる光が大気を通過する際に浮遊する粒子等によって散乱・吸収され減衰する程度を表す消散係数をフィッティングさせることにより、観測された雨量と画像の透過率の関係が明瞭に表現できることを示した。

第5章で著者は、第4章で提案した式に基づき、画像の透過率から降雨強度を推定する手法を提案し、大武川のデータを用いて検証した。その結果、従来のカメラベースの雨量計と比較しても、提案手法は十分な精度を有することを確認した。さらに、カメラから背景までの距離が100～400 mのときに、計測精度が向上することを示した。その上で、第6章で著者は、本研究を総括するとともに、本研究で提案したカメラベースの雨量計が将来、山地域の土砂災害の防止にどのような貢献が考えられるか展望を述べた。

審 査 の 要 旨

本論文は、山間部における降雨量データが不足している現状を踏まえ、安価で設置が容易なインターバルカメラ等による画像を用いて、降雨強度を把握することを目的とし、画像解析による降雨強度計測手法を提案したものである。本論文で著者はまず、既存のCCTVカメラの画像を用いて、降雨時の画像の変化を確認した。その結果、降雨にともない画像が白色化する傾向を確認した。続いて、降雨による白色化の程度を定量的に評価すること、安価な市販のインターバルカメラの有効性を検証することを目的に山梨県北杜市の大武川流域において、現地観測を実施した。コンピュータビジョン分野における静的気象が画像に及ぼす影響を評価する技術を応用し、降雨強度とシーン深度が画像の白色化に及ぼす影響を定量的に評価する手法を提案し、画像から降雨強度を推定可能なことを実証的に示した。その上で、著者は、画像から降雨強度を計測する手法を提案し、精度を検証した。本論文で著者が提案した手法は学術的に高い新規性があるとともに、国内外の山間地の降雨データが不足している現状を踏まえると、国内外の防災、水資源管理など広い分野に応用が期待される成果であると評価される。

令和5年1月18日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士（環境学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。