

夜間におけるCCTV等のカメラ映像を用いた 雨量推定手法について

小杉 恵¹・北本 楽¹

¹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)

近年では水害や土砂災害の発生しうる箇所においてCCTVによる現場の監視が不可欠である。他方、雨量も危機管理上の最も重要な情報であるが、山間部の雨量計測箇所は少なく、また、レーダー雨量もその精度に課題を抱えている。夜間降雨時のCCTVの映像は照明により反射した降雨の軌跡が多く映る映像となるが、それを活用して降雨軌跡を方向性解析により数値化し、降雨特徴量を求める雨量計測方法について、大型降雨実験施設で実験を行った。結果的としては背景の映像の影響を受けるものの、降雨強度と降雨特徴量の高い相関関係を確認することができた。

キーワード CCTV, 画像解析, 雨量推定

1. はじめに

水害や土砂災害の早期警戒において、現地の雨量は最も重要かつ基本的な情報であり、全国の地上雨量計は約9,000箇所¹⁾以上とされている。しかし、その主な雨量観測局の場所の多くは低平地で、砂防事業の対象としているような山間部は少なく、レーダー雨量についても数km上空を計測対象としているなどの理由から、計測精度に課題があるとされている。奈良県南部の紀伊山系砂防管内においては、2011年の紀伊半島大水害前から設置されている雨量計測箇所は極めて少なく、発災後に5つの河道閉塞と3箇所の深層崩壊斜面、那智川流域で雨量計測を行ったものの、管内の隅々まで整備が進んでいないのが現状であり、雨量観測局の設置費用や維持管理費用も比較的高価であることから、新たな雨量観測局の設置にかかるハードルは高い。

一方、近年においては災害現場や土砂災害が発生しうる現地状況の把握にCCTVは不可欠であり、紀伊山系砂防管内にも32台のCCTVが設置されている。CCTVの監視映像は晴天時や雨天の昼間については現地状況を確認しやすい映像であるが、夜間については、照明が雨滴により反射し、監視対象の視認性が低下することが多いが、そのことを利用して雨量計測に活用することで、特に平野部と異なる気候特性となる山間部の現地の雨量を把握することができれば、防災上有用となり得るうえ、既存の設備を活用するという点で効率化を図ることができる。

画像解析により雨量を計測する試みとしては、Grarg et

al.(2004)²⁾らのカメラパラメータを基に雨滴の数や速度を求め、そこから雨量を計測する試みやAllamano et al.(2004)³⁾の映像中の雨滴を抽出する方法の他にも、金澤ら(2021)⁴⁾のように映像内の輝度値による雨量推定等が試行されている。しかしこれらはいずれも昼間の降雨映像を対象としたものであり、また、夜間の降雨時には全く異なる特徴を有するため、それらを適用することはできない。本稿は夜間の映像を対象とした降雨強度の計測方法として、筋状に映る雨滴の軌跡から降雨特徴量を求めるための画像解析方法と国立研究開発法人防災科学技術研究所(以下「防災科研」と表記する)の大型降雨実験装置を用いて実施した実験の結果を報告するものである。

2. CCTVの監視映像による夜間の雨量計測方法

(1) 夜間におけるCCTVの映像の特徴

山間部のCCTVでは、街灯などの光源がないことから、



図-1 CCTVと照明との位置関係

夜間の監視には照明が必要となるため、カメラに付属している照明(図-1)を監視対象に照射して撮影している。このため降雨時には図-2に示すように、その照明がカメラ近傍の雨滴で反射するが、暗い箇所ではシャッタースピードが遅くなるため、鉛直に近い角度での白い(輝度の高い)降雨の軌跡が多数映っている映像が記録されることとなる。このような映像では降雨強度が高いほど、線状となる雨滴の数は多くなるものと推察され、その線状の映像を数値指標化することで、少なくとも降雨強度の大小は把握できるものと考えられる。

(2) 監視映像の方向性解析

金澤(2020)⁹⁾では鉛直に近い筋状の輝度の高い線状の数

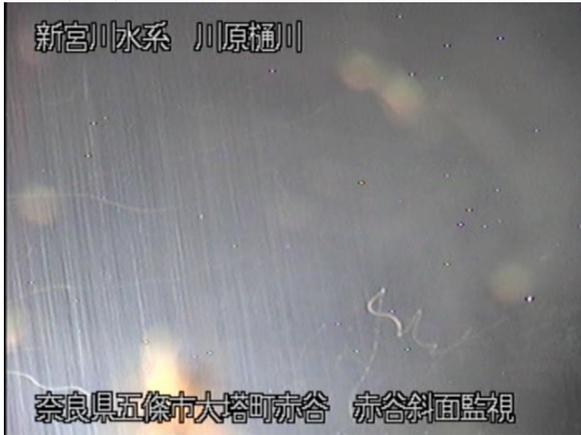


図-2 夜間の降雨時のCCTVの映像の例

を指標化するために、2次元周波数解析(2次元FFT: Fast Fourier Transform)を利用して。2次元周波数解析では図-3(a)及び(b)に示すように、縞状の映像から2次元のスペクトルを求めることで、その角度を把握することができる。図-3(c)の縦方向に近い多数の降雨の軌跡と水平方向に移動する虫の映像を2次元FFT解析すると図-3(d)に示すような周波数スペクトルが求まる。図-3(d)の白い部分は輝度の大きい成分を示している。図-3(e)の-90°(鉛直方向)での方向性フィルタや、図-3(f)に示す-81°の方向性フィルタを図-3(d)の周波数スペクトルに処理する(フィルタの白い部分だけの値を取り出す)ことで、特定の方向の成分を抽出することができる。1°毎の180個の方向性フィルタで処理することで、図-4に示すような筋状の雨の軌跡の角度の分布を把握することができると考えられる。この図-4に示す方向性フィルタで処理したヒストグラムを方向性ヒストグラムと呼んでいる。

なお、CCTVの監視映像の中には、樹木の幹や対策工の構造部材などの線状の映像が含まれる場合があるため、その影響を低減するために、1枚の映像を2枚の映像にして片方をガウジアンフィルタ⁶⁾で平滑化処理したものを求め、平滑化処理したものと処理していない映像の両方の方向性ヒストグラムを求めてそれらの差分を求めている(図-5)。

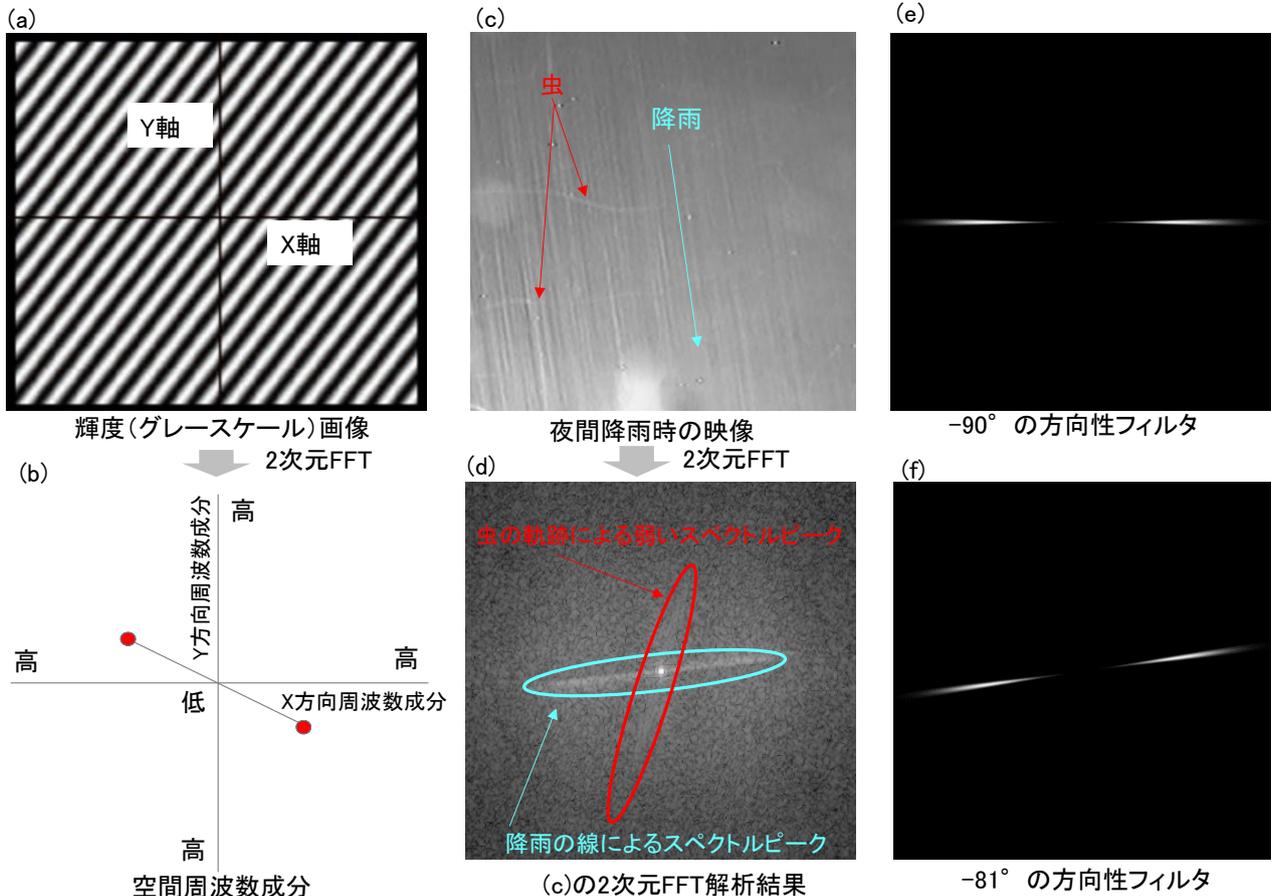


図-3 映像データの2次元周波数解析(FFT)(a)45°方向の縞状映像の例(b)縞状の映像のFFT解析結果(概念図)(c)夜間降雨時の映像の例(d)夜間降雨時の映像の2次元FFT解析結果の例(e)-90°の方向性フィルタ(f)-81°の方向性フィルタ

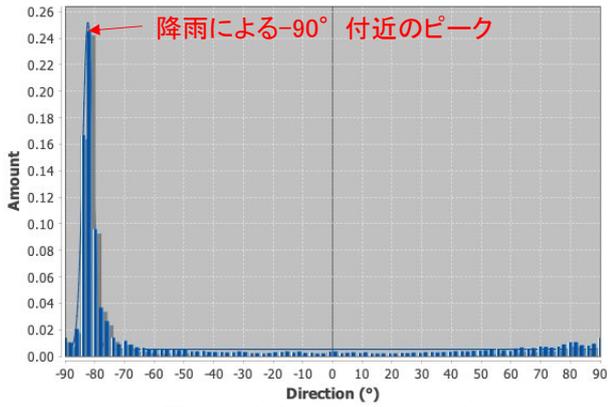


図4 方向性ヒストグラムの概念図

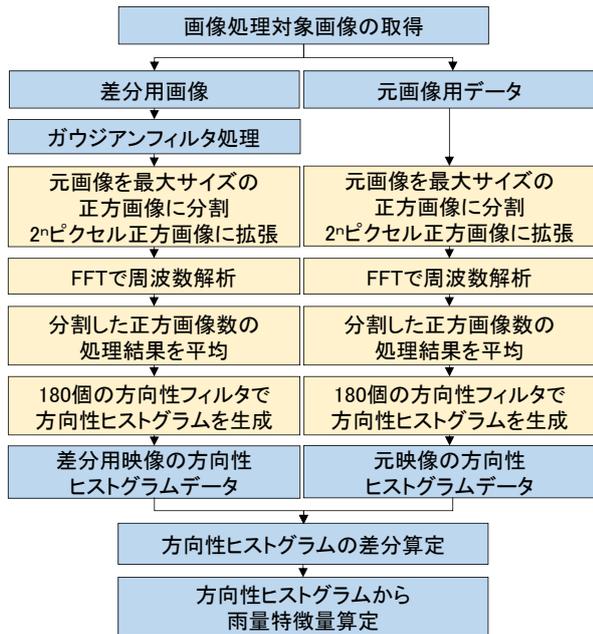


図5 方向性解析の流れ

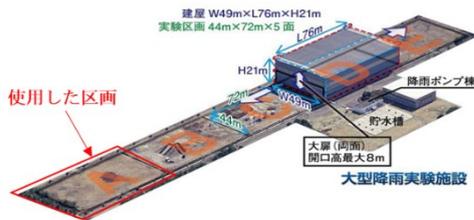


図6 大型降雨実験施設

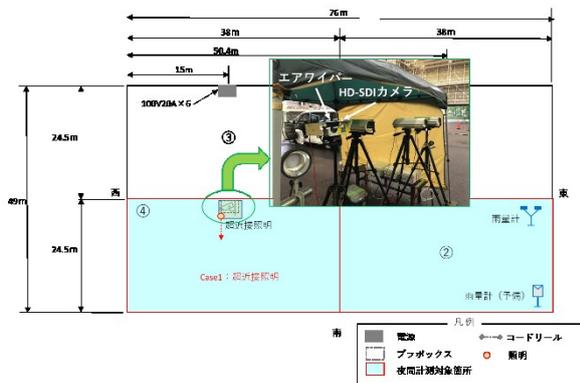


図7 Case1における資機材の配置

(3)降雨特徴量の算定

図4に示す方向性ヒストグラムから降雨強度と関連のある降雨特徴量を求める。夜間のCCTVに映る降雨の軌跡は鉛直方向が主体であるが、風の影響などで分布にばらつきが生じることを踏まえて、本稿では実験での方向性ヒストグラムの分布から鉛直方向となる90°に対し、±20°の方向に降雨の軌跡が分布していると判断し、その範囲の輝度の積算値Σ(90°±20°)を降雨特徴量とした。

実験で取得した映像はCCTVと同様、1秒間で30枚の映像(30fps)であるが、3fp間隔で求めた10セットの方向性ヒストグラムの平均を1秒間隔で求めた。さらにその1秒間の映像取得期間(約2分間)の平均値をそのケースの方向性ヒストグラムの値として取り扱った。

3. 大型降雨実験装置での実験と解析

(1) 実験方法

防災科研の大型降雨実験装置(図6)による降雨実験では、前述のCCTVの映像による降雨計測について、時間雨量に換算して200mm/hr(33mm/10min)を超える高い高強度の降雨時のデータを取得することや、照明の違いによる降雨特徴量との関係性の把握を目的とし、多くの照明の条件を変化させた約20ケース×4段階降雨強度の映像を取得した。ここでは、紙面の都合上、最もCCTVの標準的な照明の状態に近いCase01の結果について報告する。

Case01におけるカメラの設置状況を図7に示す。Case01の照明はカメラの付属照明に近い位置に35WのLED照明(CCTVに付属している250Wハロゲン照明と同程度の照明)を設置したものである。カメラは現在のCCTVの最新の仕様と同じ解像度(1920×1080pixel)のHD-SDIカメラを使用し、また、高強度の降雨に備えてエアワイパーを設置して、レンズへの雨滴の付着を防止した。

降雨量の計測は、雨滴の粒径分布と移動速度を計測して雨量を求めるディストロメーター(Parsivel)で計測した。降雨は4種類のノズルを使って、Case01の場合は

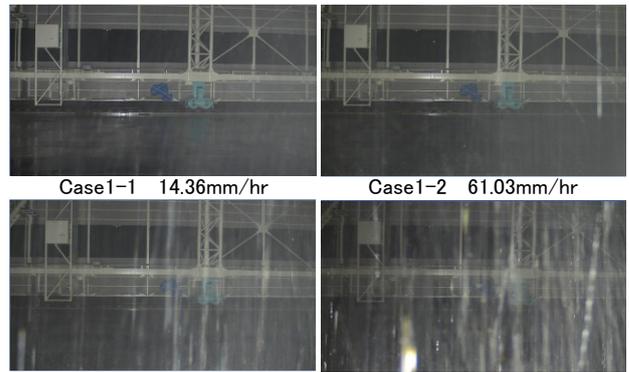


図8 降雨実験時の映像(Case01)

表-1 映像の解像度に関する検討ケース

項目	検討ケース
映像サイズ	Full-HD(1920×1080), VGA(854×480) QVGA(426×240)の3ケース
計算時間間隔	1秒間平均値：3fps間隔×10の平均
背景/範囲	映像全体の1ケース

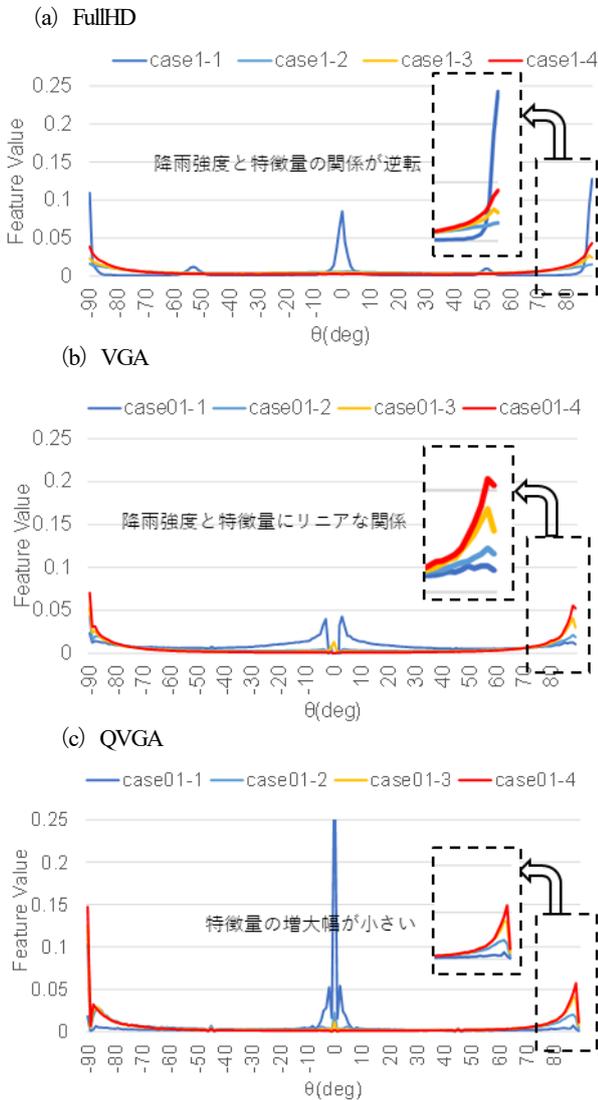


図-9 Case1の方向性ヒストグラム

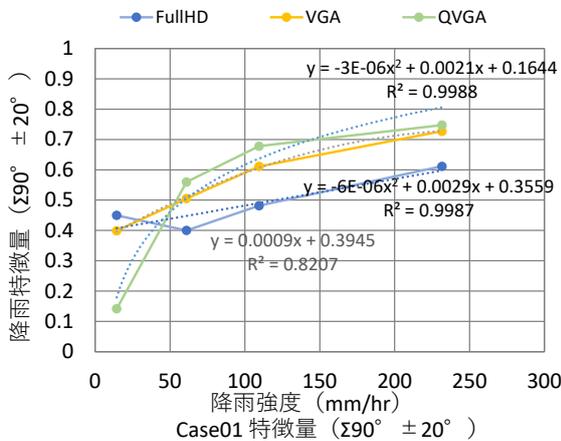


図-10 各解像度の降雨特徴量と降雨強度の関係

14.36mm/hr, 61.03 mm/hr, 109.52mm/hr, 231.57 mm/hrの4段階の映像をそれぞれ約2分間程度取得した。図-8に各Case01-1~Case01-4の映像のキャプチャ映像を示す。降雨強度が高いケースほど降雨の軌跡が多く映っている。

(2) 解析に適した解像度

降雨の軌跡の角度は、映像の解像度による違いは生じないものの、解像度が降雨特徴量に影響を及ぼす可能性もあるため、表-1に示すFullHD(1920×1080pixel), VGA(854×480 pixel), QVGA(426×240 pixel)の3種類の解像度の映像について、降雨特徴量と降雨強度の関係を確認した。各解像度の方向性ヒストグラムを図-9(a)~(c)に、降雨強度との関係を図-10に示す。方向性ヒストグラムについては、VGAは90°付近の分布は同じ角度で降雨強度が大きくなるにつれて特徴量も増加している傾向であるのに対して、FullHDでは90°付近の成分においても降雨強度と特徴量の関係が逆転している部分も見られる。図-8ではFullHDよりもVGAの方が降雨特徴量の値の変化も大きく、降雨強度の増大に対してリニアな関係となっており、また、QVGAは100mm/hr以上の範囲が特徴量が増大が少なくなっていることが分かる。このため、雨量計測を行う上ではVGA程度の解像度が望ましいと考えられる。

(3) 実験データの解析方法

第2章に示したように方向性ヒストグラムを求める際には、背景の影響を低減するような過程を盛り込んでいくものの、完全にその影響を除去できるものではなく、一定量の背景の影響を受けるものと考えられる。また、降雨の反射で白い線状の降雨の軌跡を数値化しているものであるため、背景は黒色が望ましいと考えられる。

そこで、実験データの解析にあたっては、図-11に示すように背景の異なる4つの解析対象範囲(ROI: Region of Interest)を映像内に設定して、映像全体と4つのROIの計5つの降雨特徴量を求めた。その解析条件を表-2に示す。なお、映像の解像度はFull-HDサイズ(1920×1080 pixel)であるが、前述の解像度に対する検討結果を踏ま

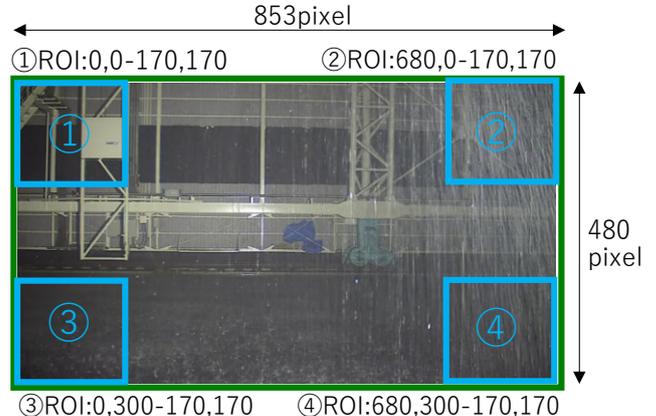


図-11 方向性解析の解析対象範囲

表-2 解析対象範囲についての検討ケース

項目	検討ケース
映像サイズ	VGA(854×480)
計算時間間隔	1秒間平均値：3fps間隔×10の平均
背景/範囲	ROI1~4と映像全体の5ケース

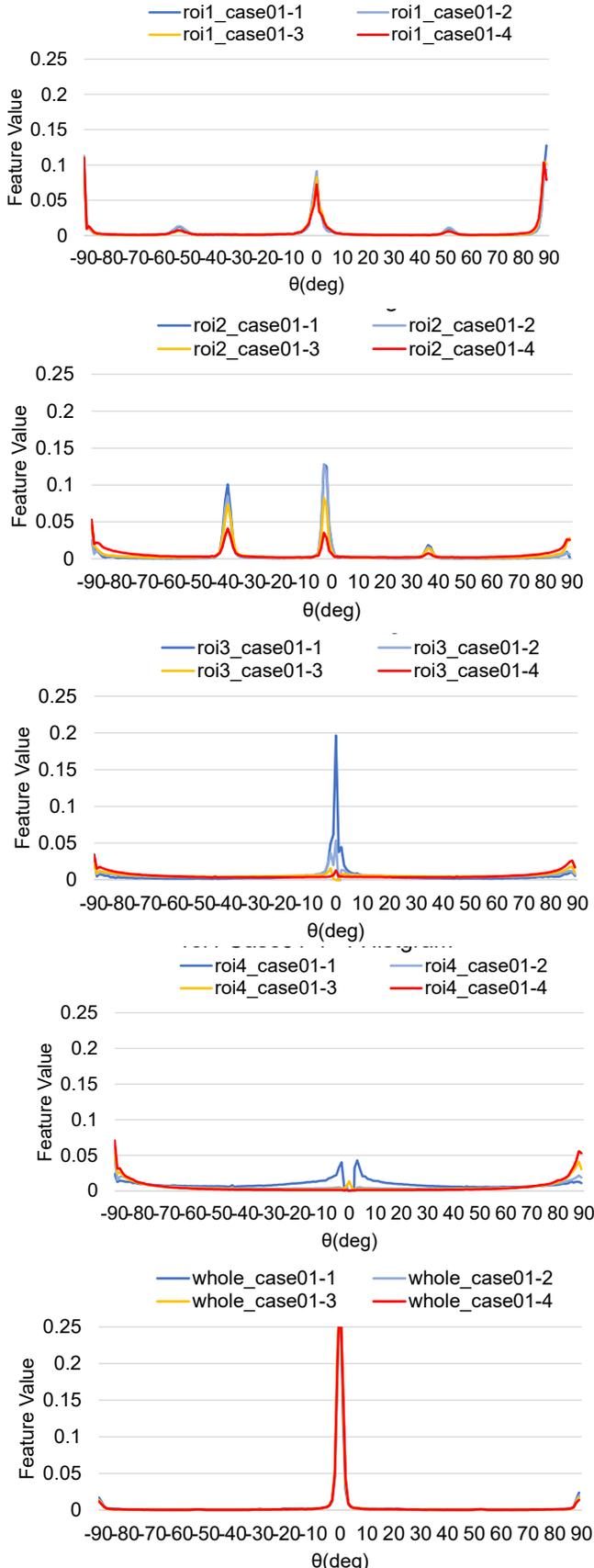


図-12 Case1の各ROIの方向性ヒストグラム

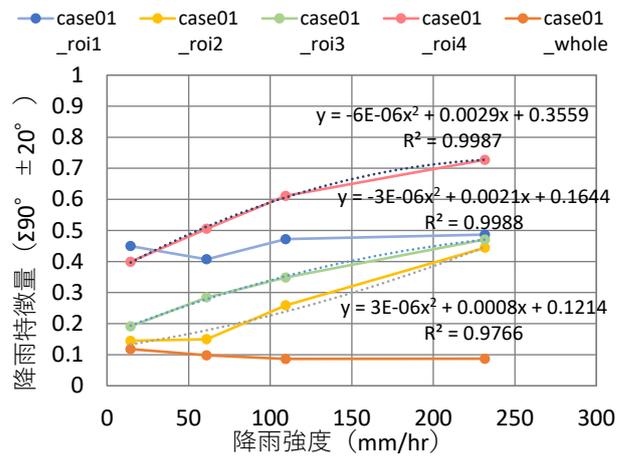


図-13 各ROIの降雨特徴量と降雨強度の関係

え、VGAサイズ (854×480pixel) に変換した映像で解析を行った。なお、VGAは、実際の紀伊山系管内のCCTVの映像サイズに近い解像度である。

4. 実験データの解析結果

図-12にCase01-1~4の各ROI及び映像全体の方向性ヒストグラムを示す。0°付近(水平方向)のヒストグラムのピークは降雨実験装置の建物の白い構造材によるものであり、90°付近のピークが降雨の軌跡を捉えたものである。特にROI1とROI2においては、背景の水平構造材や斜材の影響を受けているが、ROI4についてはその影響は小さいことが分かる。

ROIを映像全体としたケースを除くと、どのROIについても90°付近(-90°付近)の方向性ヒストグラムにおいて、降雨強度の低いCase01-1よりもCase01-4の方がピーク付近と、ピークの±20度付近までの範囲も輝度値が大きくなっていることが分かる。

図-13に示した降雨特徴量とした輝度の積算値Σ(90°±20°)の値と降雨強度の関係ではROIを映像全体としたものやROI1については、降雨強度の変化に伴う降雨特徴量の変動がない。一方で、Case01-2、Case01-3、Case01-4で高い相関性が確認できており、その中でも背景に全く構造材のないROI4が最も信頼性ある結果であると考えられる。最も降雨強度の高い231.57 mm/hr(38.60mm/10min)のような強度の高い範囲に近づくにつれて、降雨特徴量の値の伸びが小さくなっている理由としては、映像中の降雨の軌跡は重複等が生じているためではないかと推察される。

5. まとめ

本稿では、夜間降雨時のCCTVの映像から、降雨強度を推定するための画像解析方法と大型降雨実験装置を使って高強度の降雨強度のケースを含む実験を実施した。

夜間降雨時の映像における照明の反射による鉛直方向に近い角度の線状の降雨の軌跡を数値化するため、2次元FFTと方向性フィルタで角度 1° 毎の輝度のヒストグラムを求め、 $90^\circ \pm 20^\circ$ の輝度値の総和を特徴量として、14.36-231.57 mm/hrの降雨強度の範囲についてそれらの関係性を確認した。

結果としては、ガウジアンフィルタによる処理映像との差分によっても、背景の映像の影響を受けるが、構造物等のない黒色の背景となっている範囲等を対象とした解析では良好な相関性が確認された。

今後は、実際のCCTVの監視映像の取得・解析を行い、実用性・汎用性を向上させることで、将来的にはCCTVを危険箇所の監視だけでなく雨量計測にも活用して、砂防事業が対象としている山間地の流域をより効率的かつ多角的に監視し、ひいては地域の警戒避難体制の早期確立に寄与することができるよう、検討を進めていきたい。

謝辞：国土技術政策研究所土砂災害研究グループ土砂災害研究室の中谷室長と金澤研究官、国立研究開発法人防災科学技術研究所の酒井総括研究員と小林氏には大型降雨実験施設における実験にあたり、多くのご助言と多大

な協力を得た。また、実験内容の企画・立案・実施およびその後の解析にあたっては、(株)エイト日本技術開発の皆様にご尽力いただいた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 牧原康隆, 気象学ライブラリ 1 気象防災の知識と実践, 朝倉書店, p.73, 2020.
- 2) Grag, K. and Nayar, S.K. ; When Does a Camera See Rain, Tenth IEEE International Conference on Computer Vision, Vol.1, pp.1067-1074, 2005.
- 3) Allamano, P., Croci, A. and Laio, F. : Toward the camera rain gauge, Water Resources Research, Vol.51, Issue3, pp.1744-1757, 2015.
- 4) 金澤瑛, 内田太郎, 中谷洋明 : 監視カメラの画素値を用いた降雨強度の推定, 砂防学会誌, Vol.74, No.3, pp.37-48, 2021.
- 5) 金澤瑛, 木下篤彦, 中谷洋明, 山田拓, 柴田俊, 海原荘一, 井深真治 : 防災用監視カメラを用いた降雨量推定手法の検討, 2020年砂防学会研究発表会概要集, pp.683-684, 2020.1) 土木学会 : 土木学会論文集の完全版下印刷用和文原稿作成
- 6) 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.