

強雨時雨滴粒径分布の計測と計測事例

国土技術政策総合研究所 中谷洋明、金澤瑛
株式会社コルバック ○鶴田謙次、吉村暢也、張成美

1. はじめに

降雨量は、河川水の流量推定のみならず土砂生産現象の推定などに利用されており、土砂洪水氾濫の警戒避難体制強化に対する重要な情報源となっている。さらに近年、雨量強度が 80mm/hr を超えるような豪雨が頻発していることを考慮すると情報源としての重要性が増しているものと考えている。一方、雨量を計測する手段は、既往の雨量計では豪雨時に計測限界となっている可能性がある。ことから、計測限界とならない雨量推定手法として、CCTV カメラ等の画像を利用した雨量強度推定手法の検討を行っている。

今回、カメラ撮影と同時に雨量強度および雨滴情報の詳細を計測した。その結果、豪雨時の雨滴レベルの様態を把握することができた。本報告は、その時に使用した雨滴計測装置と計測結果について紹介するものである。また、この装置の計測結果を利用した画像から雨量強度推定手法の検討については、別途（画像を用いた降雨強度推定手法開発のための降雨撮影実験）で報告しているので、そちらを参照されたい。

2. 使用した降雨観測装置の概要

今回が CCTV 画像から雨量強度推定を目的としているので、カメラからの見え方に影響する雨滴サイズと粒子数に着目して、それらが計測できる装置として、雨滴粒度分布計測装置（以下、ディストロメータという）を使用した。この装置は、雨滴 1 粒子ごとに計測して、雨滴サイズと落下速度および雨滴数を計測するものである。また、雨滴形状の扁平率が計測できるタイプもある。

3. 計測内容

3.1 計測項目

ディストロメータの計測項目は、雨滴サイズ[mm]、雨滴数[1/m³]、落下速度[m/s]である。落下速度は直接計測する機種を使用した。それ以外としては雨滴サイズから経験式をもとに落下速度を推定する機種もある。

3.2 使用した計測装置

今回、2種類のディストロメータを使用した。

(1) 2次元ビデオディストロメータ（図-1 参照）

2方向からの CCD カメラで撮影した画像から、雨滴サイズ（および扁平率）と雨滴数および落下速度を計測する装置である。計測できる雨滴サイズ範囲は 0.15mm～9.95mm で検知エリアサイズは 100mm×100mm。計測生データは、1 粒子ごとの計測値が記録される。

(2) Parsivel（図-2 参照）

レーザー光を用いて雨滴を計測する装置で、雨滴径ごとの雨滴数と落下速度が計測される。計測できる雨滴径は、0.2mm～8mm（液体）の範囲で、検知エリアサイズは 180mm×30mm となっている。計測生データは、雨滴サイズ範囲ごとの雨滴数と落下速度が計測間隔（今回 10 秒間隔）ごとに記録される。

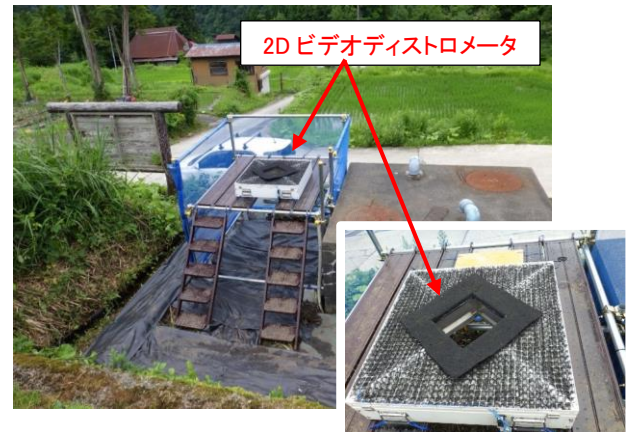


図-1 2次元ビデオディストロメータ

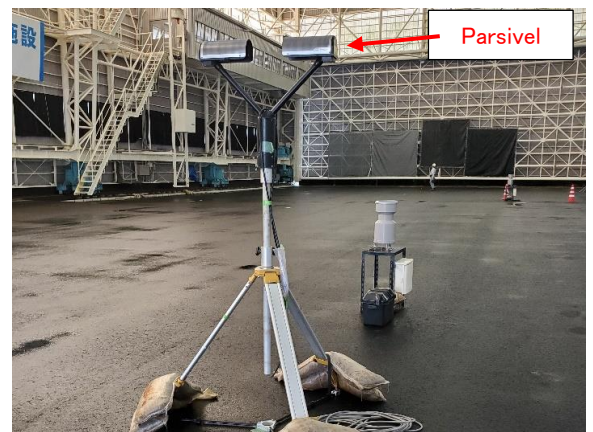


図-2 Parsivel

今回使用した以外の手法としては、雨滴の落下音から雨滴サイズと雨滴数を計測するインパクトタイプのディストロメータがある。またマイクロ波レーダを使用してドプラー効果から雨滴の落下速度と雨滴密度を計測して落下速度をもとに経験式から雨滴サイズを計測する装置がある。

4. 計測事例

今回、新潟県糸魚川市の国立研究開発法人土木研究所の観測局舎にディストロメータを設置して観測した。その計測事例を紹介する。また、比較として転倒ます雨量計の 10 分雨量も合わせて示した。

- ・観測箇所：新潟県糸魚川市
- ・観測期間：2021/7～11
- ・計測装置：2次元ビデオディストロメータ、転倒ます雨量計
- ・計測間隔：ディストロメータは 10 秒間平均値、転倒ます雨量計は 10 分雨量

4.1 雨量強度

図-3の上段にディストロメータが計測した10秒ごとの雨量強度（青線）と転倒ます雨量計の10分雨量を雨量強度（赤線）に換算したものを重ねて整理した。

この整理図によると、時刻16:40~16:50において転倒ます雨量計が雨量強度57mm/hrを記録しているに対して、ディストロメータでは最大138mm/hrを記録しており、転倒ます雨量計の約2.4倍となっている。

もう少し詳しく見ると、ディストロメータの10秒間隔の雨量強度は、およそ2~5分周期で20~138mm/hrの範囲で変動していることが分かる。10分間の平均的な雨量は両者類似しているが、局所的な変動があるためディストロメータでは10分雨量値の約2.4倍となったようである。また、この図-3の事例は特に差異が大きいケースである。今回の4ヵ月間の観測結果によると1~2倍のケースが多かった。

このように、実際に計測すると短期的であるが転倒ます雨量計では捉えられない強度の降雨が生じていることが分かった。

4.2 雨滴サイズごとの分析

図-3の中段に、雨滴サイズごとの雨量強度の時系列図を整理した。この図の色が青系統ほど雨量強度が弱く、赤系統ほど雨量強度が強いことを示している。

この図から、どの雨滴径の範囲が支配的となっているか分かる。例えば、時刻16:30~16:40ではおよそ雨滴径1.5~3mmの範囲が支配的となっており、その後時刻16:45~16:50の雨量強度ピーク時になると雨滴径が0.5~4mmの広い範囲が強くなっていることが分かる。

また、今回計測した他の降雨データを見ても、強雨な時ほど、雨滴径の範囲が広がる傾向のようである。

図-3の下段に、1m³あたりの雨滴の投影面積を雨滴径ごとに時系列図として整理した。この図の色が青系統ほど雨滴の投影面積が少なく、赤系統ほど投影面積が多いことを示す。また、この図は視覚的な雨の見え方を示したもので、カメラに映る雨画像に相当する指標と考えている。

整理した図によると、雨量強度の大きいほど雨滴径が小さい範囲の投影面積が大きくなる傾向となっている。また他の降雨によっては雨滴径1mm以上が多い投影面積となるケースもある。

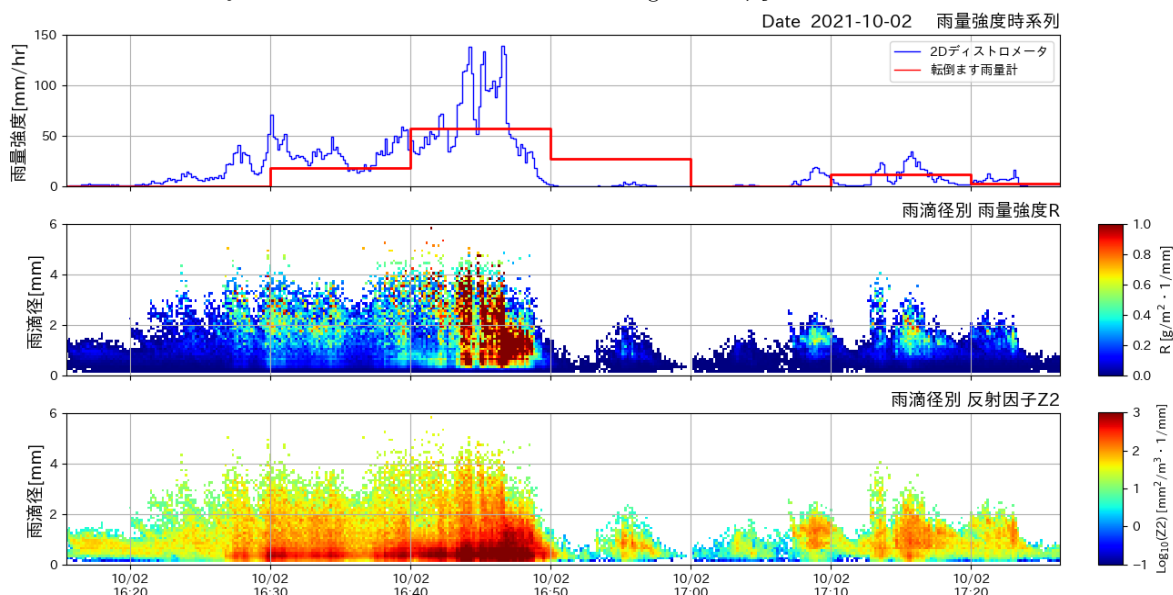


図-3 降雨観測データの時系列図(2021/10/2)

この雨滴の投影面積を使用してカメラ画像による解析を行った。成果については、別途（画像を用いた降雨強度推定手法開発のための降雨撮影実験）で報告しているため、そちらを参照されたい。

4.3 雨滴の落下速度

図-4に雨滴径と雨滴の落下速度の計測値について整理した。また、落下速度の経験式（実線）も合わせて整理した。整理した結果によると、およそ落下速度の計測値は経験式²⁾に沿った値となった。

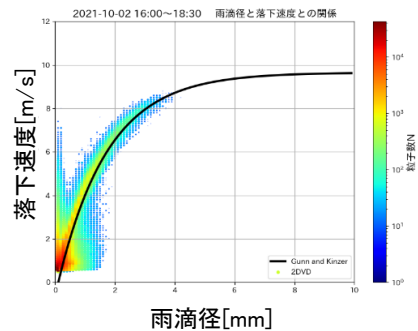


図-4 雨滴径と落下速度

5. おわりに

河川などの降雨流出問題ならば雨量を流域平均として捉えれば良いので、雨量強度や雨滴径の細かい変動が問題になることは少ないと考えられるが、砂防で取り扱う土砂生産現象では雨量強度が外力となるので短期的な変動も重要である。また今回、転倒ます雨量計の10分雨量では捉えられない可能性があることが分かり、CCTV画像による雨量推定手法開発の重要性を認識した。また、ディストロメータを使用した雨滴観測により降雨現象の詳細が分析できた。

謝辞：今回、観測局舎での観測において多大なご配慮して頂き、国立研究開発法人 土木研究所・雪崩・地すべり研究センターの各位に、厚く御礼申し上げます。

参考文献：1)Kozu Toshiaki: Estimation of Raindrop Size Distribution from Spaceborne Radar Measurement, August 1991, Kyoto University 2) Gunn, R. and G.G.Kinzer, 1949: The terminal velocity of fall for water droplets in stagnant air, J. Met.