

滴下パルス計測降水量計の測定方法の改良に関する研究

長岡技術科学大学 水文気象研究室 山本 健太
指導教員 熊倉 俊郎

1. 背景

降水量の測定器には、例えば世界気象機関(WMO)の個体降水量測定法国際相互比較実験(SPICE)プロジェクトに登録している上越サイトで使用されているような転倒マス降水量計、田村式降水強度計、重量測定式の Geonor 降水量計などがある。

田村式降水強度計の降水量の測定方法は、従来、単位時間(通常1分)の間に滴下する滴下数のカウントから降水量に変換する方式で降水量を測定していた。ところが新たに滴下時間間隔が降水量によって変化することを利用して、そのカウントの間隔を用いた降水量の測定を実験室にて行い、時間間隔と降水量の関係式が導出された。

この手法を用いた転倒マス降水量計と田村式降水強度計(従来方式と新たな方式)の比較は過去の論文で杉山が検討を行っている。(3)(4)(5)

2. 目的

Geonor 降水量計は3つのバイブレーションワイヤーセンサーによって降水量を測定しており精度が高い。よってこの Geonor 降水量計によって得られたデータを真値として田村式降水強度計の比較・検討を行う。田村式降水強度計には上記で述べたように二つの測定方式がある。新しい方式である滴下間隔から降水量を求める方式では、より細かな時間での測定が可能である。しかし、この方式は滴下間隔が22秒を超えると降水量の測定ができないという弱点がある。そこで本研究の目的は、田村式降水強度計の二つの測定方式と、Geonor 降水計により求めた降水量とを比較し、実際の降水量に近い値を得るために田村式降水強度計の降水算定方法を改良することである。

3. 使用した測定器

・ Geonor 降水量計

重量式の降水量計で、降水が液体・固体にかかわらず計測可能である。また、可動部品がなく長期安定性に優れており、温度変化の影響が少ない3つのバイブレーションワイヤーセンサーで吊るされている。他方式の降水量計と比べ高精度、高分解能といった特徴がある。(2)

・ 田村式降水強度計

受水器で受け取った固体降水をヒーターで水滴とし、その水滴の数を光電センサーでパルス検出し降水強度を約0.005mm単位で測定する。また、降雪を簡易ではあるが安価に観測ができる特徴がある。(1)

4. 測定器の設置状況



図1 Geonor 降水量計



図2 田村式降水強度計

この二つの設置場所はほぼ同じ降水状況である。

5. 算出方法

・ Geonor 降水量計

3つのバイブレーションワイヤーセンサーによって得られた3つの値の平均値を用いる。

・ 田村式降水強度計[滴下回数]

1分間の滴下回数を*i*とし、以下の式により計算する。

P (mm/min)

$$= 4.8571 \times i + 0.034679 \times (i^{1.74})/1000 \quad (1)$$

・ 田村式降水強度計[滴下間隔]

T_D : 滴下間隔(s)

$$\left. \begin{aligned} P &= 20.696 \times T_D^{-1.063} \quad (0.45\text{sec} \leq T_D < 22\text{sec}) \\ P &= 17.263 \times T_D^{-1.277} \quad (0.28\text{sec} \leq T_D < 0.45\text{sec}) \\ P &= 13.718 \times T_D^{-1.422} \quad (T_D < 0.28\text{sec}) \end{aligned} \right\} (2)$$

これらの式を式(2)とする。1分間の降水量を求めるためにこの式(2)に対して重み付き平均を行い降水量の計算を行う。

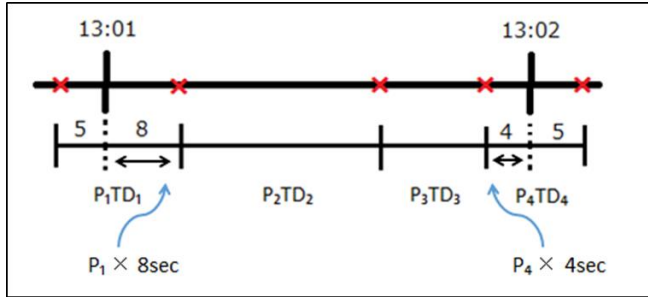


図3 1分間の降水量の重み付き平均例

この図3のような滴下間隔で滴下してきた際の重み付き平均を行う場合、 P_1TD_1 と P_4TD_4 は1分の区切りから出てしまう。そこで P_1 を計算する際には全体の13秒を使い、重み付き平均で使用する値には0秒から次の滴下間隔である8秒を使う方法で計算を行った。

6. 結果

2015年12月11日13:00~13:59のGeonor降水量計と田村式降水強度計の比較データを図1,2に示す。

Y軸はGeonorの降水量(mm/h)である。X軸は、図4は降水量[滴下回数]、図5は降水量[滴下間隔]である。青の丸は時間雨量、オレンジの直線は $y=x$ の線、黒の点線は最小二乗法を示している。また、右上の数値は近似曲線の式と相関係数を表している。

2015年11月11日13:00~13:59(緑○)、12月27日3:00~3:59(オレンジ◇)、12月28日18:00~18:59(赤△)、22:00~22:59(青□)の田村式[滴下間隔]と田村式[滴下回数]4時間の比較データを図6に示す。また、この図6の4(mm/h)以下で拡大したものを図7に示す。図6、7はそれぞれY軸に田村式[滴下回数]の降水量、X軸に田村式[滴下間隔]の降水量である。オレンジの直線は $y=x$ の線、黒の点線は最小二乗法を示している。また、右上の数値は近似曲線の式と相関係数を表している。

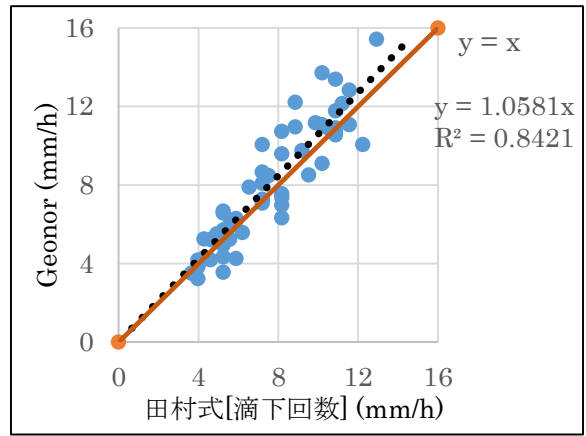


図4 時間雨量散布図(滴下回数)

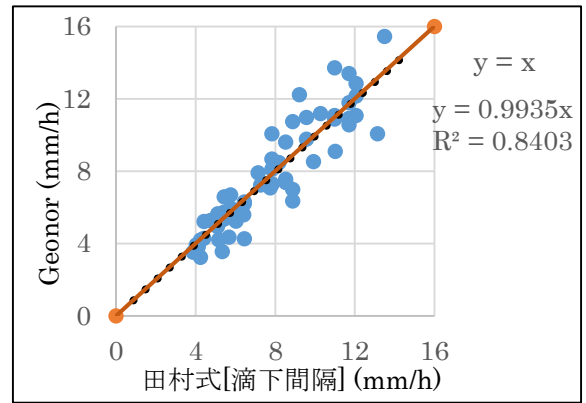


図5 時間雨量散布図(滴下間隔)

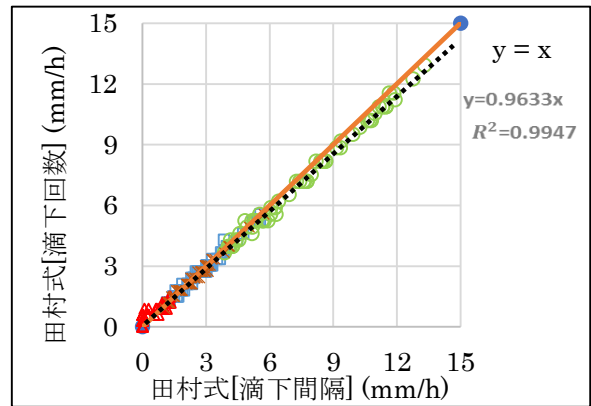


図6 田村式[滴下回数]と田村式[滴下間隔]の比較(1)

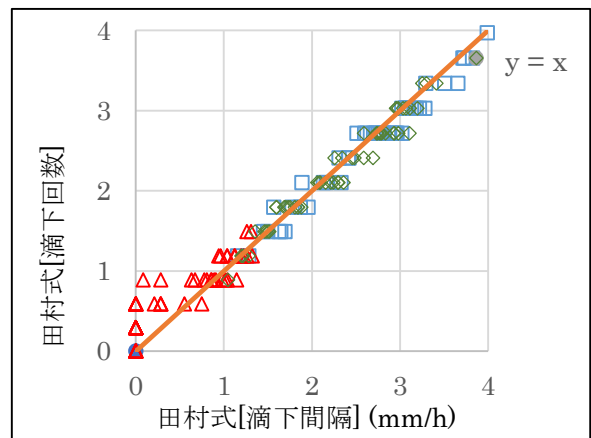


図7 田村式[滴下回数]と田村式[滴下間隔]の比較(2)

7. 考察

・ Geonor 降水量計と田村式降水強度計の比較

図 4, 5 を比較すると滴下間隔から求めた降水量が Geonor 降水量計から求めた降水量とほぼ同じ値となっていることがわかる。このことから滴下間隔から求めた降水量が実際の値に近いと考えられる。

・ 田村式降水強度計の各算出方法の比較

図 5 の近似曲線を見ると滴下回数から求めた降水量の値が 96% 小さくなっていることがわかった。このことから全体的に滴下間隔から求めた降水量が多くなっていることがわかった。

・ 滴下間隔から求めた降水量が多い理由

図 6 を見ると全体的に滴下間隔から求めた降水量が多くなっていることがわかる。これを理論的に考えた。

初めに、田村式降水強度計の図 8 のように滴下回数が 2 滴として滴下間隔が等間隔であった場合と不等間隔であった場合の計算結果の違いを考えた。

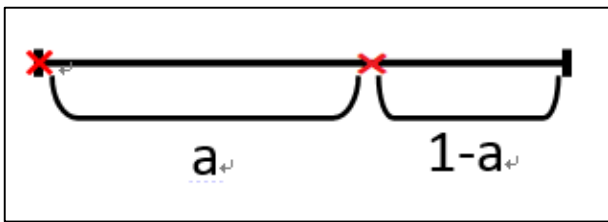


図 8 滴下回数 2 滴の例

この $T_D = a, 1-a$ を式(2)に代入して計算を行う。

$$\bar{P} = (20.696 \times a^{-1.063}) + (20.696 \times (1-a)^{-1.063})$$

このとき A, B を $A = 20.696, B = 1.063$ とすると

$$A(a^{-B} + (1-a)^{-B}) \quad (0 < a < 1) \quad (3)$$

上記の式(3)の微分を行う。

$$A(-Ba^{-B-1} + B(1-a)^{-B-1}) \quad (4)$$

式(3)のそれぞれの項は

$$f = \frac{1}{a^B} \begin{cases} a \rightarrow 0, & f \rightarrow +\infty \\ a \rightarrow +\infty, & f \rightarrow 0 \end{cases}$$

$$f = \frac{1}{(1-a)^B} \begin{cases} a \rightarrow -\infty, & f \rightarrow 0 \\ a \rightarrow 1, & f \rightarrow +\infty \end{cases}$$

となり、(4)の a に 0.5 を代入すると 0 になることから、0.5 の地点で最小値を取ることがわかった。滴下回数方式では一定の間隔で降水が入ってきている仮定のもと計算が行われている。よって滴下回数が 2 滴の場合は 0.5(min) 間隔ということになる。以上のことから滴下回数方式で求めた降水量が最も低い値を取るこ

とがわかった。

これは 2 滴での事象だが滴下数が増えても基本的な理論は変わらないと考えられる。そこで図 9 のように降水が滴下してきたと仮定して計算を行ってみた。その結果、田村式[滴下回数]=1.49(mm/h)、田村式[滴下間隔]=1.54(mm/h)となり滴下間隔から求めた降水量が大きくなることがわかった。

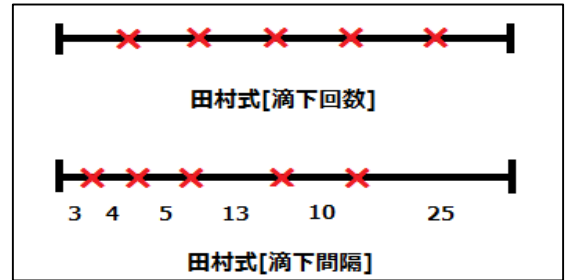


図 9 田村式の滴下回数と滴下間隔の比較

・ 田村式降水強度計の降水算出方法の改良

滴下間隔から降水量を求める方式は実際の値にちがひものであることがわかった。しかし、この方式は滴下間隔が 22 秒を超えると降水量が測定できない弱点がある。そこで降水量が少ない場合滴下回数から求めた降水量を適応させることでより実際の降水量に近い値が得られると考えた。図 10 は図 7 の拡大図の降水量が一番少なかったデータ(2015 年 12 月 28 日 18:00~18:59)を除いたグラフである。

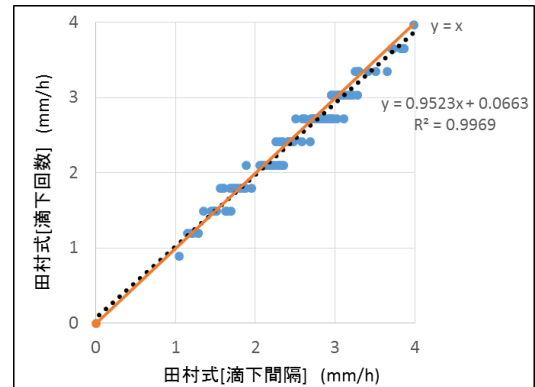


図 10 時間雨量散布図

この図 10 の近似曲線を見ると降水量が 1.4(mm/h) 以下で滴下回数方式から求めた降水量が多くなっていることがわかる。よってこの 1.4(mm/h) を境界とし、滴下回数の手法と滴下間隔の手法のどちらを使うか決めた。1.4(mm/h) は 1 分間の滴下回数に直すと 4 回となり、1 分間の滴下数が 4 回より多い場合は滴下間隔方式を用い 4 回以下であった場合は滴下回数方式を用いることで正確な降水量が算出できると考えた。

8. まとめ

- ・降水量が少ないと滴下回数から求めた降水量が多くなることがわかった。
- ・降水量が多いと滴下間隔から求めた降水量が多くなることがわかった。
- ・Geonor 降水量計と比較した結果、滴下間隔から求めた降水量は滴下回数から求めた降水量と比べ Geonor 降水量計の降水量と近い値となった。よって滴下間隔から求めた降水量が実際の降水量と近いと考えられる。
- ・田村式降水強度計の降水算出方法は1分間の滴下数が4回より多い場合は滴下間隔方式を用い4回以下であった場合は滴下回数方式を用いることとした。
- ・今回の研究では限定的なデータで解析を行った。全データや風の影響を考えるとまた違った改良になる可能性があるが、この結果は今回使用したデータの範囲で利用が可能である。

参考文献

(1) クリマテック「降水強度計」

<www.wether.co.jp/catalog_html/CTM-SR2A.htm>

(2016/2/12アクセス)

(2) Geonor 社「CSE,Inc.気象水文センサー」

<www.cstokki.co.jp/sens/rain01.html>

(2016/2/12)アクセス)

(3) 山下克也・中井専人・本吉弘岐 (2015)

『降雷種ごとの降水量捕捉率推定の試み』

日本気象学会2015年度春季大会、P111、P.99

(4) 藤田学斗・熊倉俊郎・中井専人・石坂雅昭

・本吉弘岐・山口悟・横山宏太郎・小南靖弘

・村上茂樹・竹内由香里・田村盛彰(2012)

『年毎・地域毎の北陸での雨雪の気温依存性についての調査と検討』、雪氷研究大会講演要旨集、セッション IDP1-11

(5) 杉山 友加里(2012)

『新しい降水量測定方法と従来の降水量測定との比較検証に関する研究』、長岡技術科学大学 学士論文、PP25