転倒ます型雨量計の特性評価に関する報告書

京都大学 防災研究所 潮岬風力実験所に設置した三種類の転倒ます型雨量計

2020 年 6 月

特定非営利活動法人 気象システム技術協会

Meteorological System Technology Association of Japan

序　文

本報告書は、特定非営利活動法人 気象システム技術協会（Meteorological System Technology Association of Japan（以下、MeST と記す）が事業活動の一つとして実施した「転倒ます型雨量計」の動作特性に関する調査報告である。

今回調査対象とした転倒ます型雨量計は、世界気象機関（World Meteorological Organization; WMO）が標準的な雨量計として認め、世界各国で公式の測器として使用されている雨量計である。わが国でも、気象庁の気象測器検定規則に則った 1960 年代から標準の雨量計として使用されている計測機器である。

「南アジア気象水文研究連絡会」(South Asia Meteorological and Hydrological Research Group：以下、SAMetHy と記す)所属の研究者が、2006 年から世界有数の豪雨地帯であるインド亜大陸北東部において降雨の計測を実施した際、現地雨量計の一部が 0.2 mm ごとに転倒するものが使用されている事実に気が付いた。インド亜大陸北東部のメガラヤ州では、6 月から 9 月の 4 ヶ月間の雨季に年平均 10,000 mm の豪雨が発生し、それ以外の期間にはほとんど降雨はない。日本の観測では、主にます容量 0.5 mm または 1.0 mm の転倒ます雨量計を使用しているが、「果たして、0.2mm というます容量の小さな転倒ます型雨量計が、豪雨に対して転倒が十分に追従できているのか？」という素朴な疑問を抱いたのが、この調査研究のきっかけである。この疑問を解決するために、MeST と SAMeHy が転倒ます型雨量計の特性についての調査研究を共同で進めることにした。

既往の雨量計に関する論文やカタログでは、転倒ます型雨量計の測定限界について、室内での人工的な降雨強度に対する雨量計の応答結果について報告がある。しかしながら、自然の幅広い降雨強度について、異なるます容量の雨量計の応答の違いを議論した報告は見いだせなかった。そこで、インド北東部の豪雨地域で野外観測を行って、ます容量 0.2 mm、0.5 mm および 1.0 mm のます容量の異なる三種類の転倒ます型雨量計の特性を比較することにした。現地での観測は、実績がある SAMetHy が中心となって 2014 年度に実施した。インドでの観測の前の 2013 年度に日本での予備観測を計画し、日本の豪雨地域に位置する京都大学防災研究所の潮岬風力実験所で観測を行った。この観測期間中に梅雨前線や台風の接近に伴う豪雨を観測することができた。

これらの野外での雨量観測に加えて、静的な動作特性を調べるために、一定量の水を人工的に制御しながら転倒ます型雨量計に注水する室内での実験を行った。また、現在の雨量観測の起源や観測機器の開発過程の経過を辿る雨量計の歴史についても調査を行った。

この報告書を作成するにあたり、観測資料の解析およびとりまとめにアドバイスを戴いた、気象研究所の山本哲氏、潮岬での観測実施の際に協力戴いた京都大学 防災研究所附属潮岬風力実験所の職員各位、インドでの雨量観測に協力いただいた North Eastern Hill 大学の関係者に心より感謝の意を表したい。最後に、この報告書が、今後の地上での雨量観測行う上で参考になれば幸いである。

2020 年 6 月
特定非営利活動法人
気象システム技術協会

この調査研究に関係した団体

特定非営利活動法人 気象システム技術協会 [1)]

2012 年 4 月に MeST の前身となる組織として気象測器研究会を立ち上げた。当研究会では、複数の気象センサを一体化した CWS（Compact Weather Sensor）の性能評価実験について、「一体型地上気象観測機器 Compact Weather Sensor の性能評価」を目的として、気象測器企業、大学などの研究機関、気象庁などの実務機関で共同研究を行った。性能評価を進める中で、国内外で利用されている気象センサ、データロガー、通信技術、データの可視化技術等について各分野の専門家が集い研究を行ったが、研究会は任意団体で法人格を所有しないために活動に限界があった。そこで、2014 年 10 月に、大学や研究機関、気象に関係する企業から幅広く会員の参加を得て、さらに気象庁や国際協力事業団などの政府や地方自治体関係機関の協力の下、産学官の各方面の専門家と団体の交流を促進する MeST を新たに設立した。主な活動内容は、気象、環境、防災分野において、①情報の収集、公開に関する事業、②調査、研究に関する事業、③知識の普及のための研修会の開催、④国内外の気象技術者に対する助言、協力、支援である。なお、気象測器研究会は会員向けに年間 3 ～ 4 回程度開催しており、活動の詳細はホームページ（http://www.mest-japan.or.jp/）を参照されたい。

MeST 発足後、新たな研究テーマとして実施したのが、本事業である雨量計の性能評価についての研究である。

南アジア気象水文研究連絡会

本事業で、本研究連絡会のインドのメガラヤ州チェラプンジサイトにおいて、雨量ますの異なる三種類の転倒ます型雨量計の比較観測を担当した。チェラプンジは、年平均降水量が 10,000 mm を越え、世界最大の降雨が発生する場所である。本会は、バングラデシュで発生した 1987 年の大洪水を契機として、京都大学防災研究所を中心として組織された研究組織に根ざす。その後、1991 年のサイクロンの被害以来、現在まで、インド亜大陸北東部の洪水、サイクロン、竜巻などの気象災害に関して、総合的な研究を進めてきた。京都大学などの大学を中心に、インドのアッサムおよびメガラヤ、バングラデシュにおいて、現在まで現地の研究機関と連携して共同研究を実施してきた。

目　　次

第 I 部　転倒ます型雨量計の性能

章	題　　名	頁
	序　文	i
I	概　要	2
	1. 性能評価の目的	2
	2. 野外観測および室内実験の概要	2
II	野外における雨量観測	5
	1. 転倒ます型雨量計の設置概要	5
	2. 潮岬における雨量観測	7
	2.1 観測開始前の動作確認	7
	2.2 観測期間中の降水量の時系列	7
	2.3 降雨強度と転倒回数の関係	10
	2.4 観測期間中の 10 分間降水量	12
	2.5 特徴的な事例の解析	14
	2.5.1 事例 1 三種類の雨量計で降水量の観測値の差が大きい事例	14
	2.5.2 事例 2　降水がある場合にかかわらず降水量の差が小さい事例	15
	3. チェラプンジにおける雨量観測	16
	3.1　0.2 mm 雨量計による観測結果の取り扱い	16
	3.2 観測期間中の降水量の時系列	18
	3.3 降雨強度と転倒回数の関係	20
	3.4 観測期間中の 10 分間降水量	21
	3.5 特徴的な事例	23
	3.5.1 事例 1 降雨強度が 300 mm/h の事例	23
	3.5.2 事例 2 100 mm/h 以上の降雨強度が長時間続いた事例	25
	3.5.3 事例 3 連続した降雨で 1,000 mm を超えた事例	26
	4. まとめ	27
III	制御した注水強度に対する雨量計の性能調査	28
	1. 簡易的に注水量を制御した実験	28
	1.1 実施内容	28
	1.2 実験結果	29
	1.3 考察とまとめ	31
	2.　精密に注水量を制御した実験	32
	2.1 注水ポンプの概要	33
	2.2 実験概要	34
	2.3 実験結果	36

目　　次

第 I 部　転倒ます型雨量計の性能

章	題　　名	頁
	2.4 まとめ……	39
	3. 転倒ます型雨量計の出力信号……	40
	3.1 チャタリング現象……	40
	3.2 データロガーのパルス信号に対する応答実験……	41
Ⅳ	まとめ……	44
	謝　辞……	46
	関係組織名と URL……	46
	学会発表資料 1……	47
	学会発表資料 2……	50
	学会発表資料 3……	57
	学会発表資料 4……	60
	学会発表資料 5……	63

目　　次

第Ⅱ部　雨量観測と雨量計開発の歴史

章	題　　名	頁
Ⅰ	雨量観測のはじまり	67
Ⅱ	近代の雨量観測	67
	1. 韓国（朝鮮）の測雨量（測雨器）	67
	2. Benedetto Castelli の雨量観測	68
.	3. Christopher Wren と Robert Hooke の雨量計の開発と観測	69
	4. Leupold の記録型雨量計	70
	5. 自記記録型の雨量計	70
	6. 転倒ます型雨量計	71
	7. 重量式雨量計	72
	8. 雨量計と雨量計測の課題	72
Ⅲ	日本の雨量観測	75
	1. 貯水型雨量計	75
	2. フロート（サイフォン）式自記雨量計	76
	3. 重量式雨量計	76
	4. 転倒ます型雨量計	79
Ⅳ	雨量データの記録	81
	1. 自記電接計数器	81
	2. データロガー	82
Ⅴ	インターフェース	83
	謝　辞	86
	参考文献	86
	関係組織名と URL	87

第Ⅰ部 転倒ます型雨量計の性能

第Ⅰ章　概　要

1. 性能評価の目的

本事業の目的は、ます容量 0.2 mm の転倒ます型雨量計を多雨地域で使用した場合に、実際の豪雨に対する追従性を明らかにすることである。この実証のため、地球上で最も降水量が多いインド北東部の豪雨地域であるチェラプンジで、ます容量 0.2 mm、0.5 mm、1.0 mm の三種類の転倒ます型雨量計を同時に比較する野外観測を計画した。このインドでの観測の前に、日本の豪雨地域の一つである和歌山県潮岬において予備観測を実施した。

また、野外観測に加えて、実験室において人工的に一定流量に制御した水を転倒ます型雨量計に注水して、実験的に測定限界を確認する調査を行った。

２．野外観測および室内実験の概要

今回の特性評価で行った実施項目、実施時期および場所は表 1-1 のとおりである。野外降雨観測の実施場所は、表の通り国内での予備観測は 2013 年 6 月～11 月に京都大学防災研究所潮岬風力実験所で行い、その後、2014 年 4 月～2015 年 3 月まで、インド メガラヤ州チェラプンジで本観測を実施した。特性調査実験は、簡易実験および精密実験による測定限界調査を表に示す期間に潮岬風力実験所、MeST 京都分室、MeST 東京でそれぞれ実施した。

表 1-1　実施項目および実施時期と場所

実施項目		実施日または期間	実　施　場　所	備　考
野外観測	予備観測	2013 年 6 月 16 日～同年 11 月 8 日	和歌山県東牟婁郡串本町 京都大学 防災研究所 流域圏観測研究領域附属 潮岬風力実験所	京都大学防災研究所と MeST との共同研究
	本 観 測	2014 年 4 月 28 日～翌年 3 月 1 日	インド　メガラヤ州 チェラプンジ	SAMetHy と MeST との共同研究
特性調査実験	簡易実験	2013 年 11 月 8～9 日	潮岬風力実験所	自然排水よる方式
	精密実験	第 1 回 2015 年 1 月 20～21 日	京都府京田辺市 MeST 京都分室	チューブポンプによる方式
		第 2 回 2015 年 3 月 3～5 日	東京都豊島区 MeST 東京	
		第 3 回 2016 年 2 月 26 日		

表 1-2 に潮岬で使用した雨量計の仕様をまとめた。いずれも受水口の直径は 200 mm である。なお、チェラプンジでの観測で使用した 0.5 mm 計は SAMetHy で既設の雨量計を利用した。この雨量計は潮岬で使用したものと同じ型番であった。0.2 mm 計と 1.0 mm 計は、MeST で器材を準備し、SAMetHy が設置作業を実施した。

表 1-2　観測に使用した雨量計

項　目	0.2 mm 計	0.5 mm 計	1.0 mm 計
製造会社	大田計器製作所 [4]	小松製作所 [5]	小松製作所
型　番	OW-34-BP-0.2	R1-502	R2-501
精　度	20 mm/h 以下： ±0.5 mm 20 mm/h 超過： 雨量の±3 %以内	20 mm/h 以下： ±0.5 mm 20 mm/h 超過： 雨量の±3 %以内	40 mm/h 以下： ±1.0 mm 40 mm/h 超過： 雨量の±3 %以内
受水口直径	200 mm	200 mm	200 mm
接点動作時間	0.1～0.2 秒	0.1 秒以上	0.1 秒以上

今回使用した転倒ます型雨量計は、いずれも気象測器検定に合格した測器である。気象測器検定は、気象業務法および関連法令である気象測器検定規則等に基づき、気象業務援センターが実施しており、気象測器の検定要領（2018）に準拠する。しかしながら、この検定要領には降雨強度に対する明確な測定範囲の記述はなく、検定公差は転倒ますの容積により表 1-3 に示すような器差が規定されているだけである。通常の雨量観測では表 1-3 の器差で問題はないと思われるが、0.2 mm 計が、時間雨量（以下、降雨強度と記す）20 mm を超えた場合、器差が 3 %である保証はない。

表 1-3 転倒ます型雨量計の器差（時間雨量）

転倒ますの容積	検定の範囲	個別の器差
転倒雨量が 0.5 mm 以下のもの	雨量 20 mm 以下	雨量 0.5 mm 以内
	雨量 20 mm を超える範囲	雨量の 3 %以内
転倒雨量が 0.5 mm を超えるもの	雨量 40 mm 以下	雨量 1.0 mm 以内
	雨量 40 mm を超える範囲	雨量の 3 %以内

出典：気象測器の検定要領　第 8 章 8.3 雨量計の検定公差より抜粋

図 1-1 に、転倒ます型雨量計の外筒を外した計測部の外観を示す。雨水はろ水器に集まり、転倒ますに溜まる構造である。受水口直径 200 mm の 0.5 mm 計では 15.7 cm^3 の雨水が溜まると 1 転倒するように設計されている。

図 1-1　転倒ます型雨量計計測部

表 1-4 に、実験室で行ったポンプによる、雨量計の測定限界調査で使用した器材を示す。転倒ます型雨量計は、潮岬で使用した器材と同じものを使用したかったが、0.5 mm 計が使用できなかったため、ほぼ同じ規格のメーカが異なる 0.5 mm 計を使用した。実験では、チューブポンプ、雨量計用データロガー、雨量ますを使用した。

表 1-4 測定限界調査で使用した器材

項　　目	製 造 会 社 と 型 番	備　　考
転倒ます型雨量計	0.2 mm 計：大田計器製作所 Model OW−34−BP−0.2	野外観測と同一器材
	0.5 mm 計：大田計器製作所 Model OW−34−BP	新規使用
	1.0 mm 計：小松製作所 Model R2−501	野外観測と同一器材
チューブポンプ	アズワン Model TP−20SA	新規使用
雨量計用データロガー	東洋電子工業 Model PL−5150N	新規使用
雨量ます	大田計器製作所 10 mm 用 気象測器検定規則準拠	受水口直径 200 mm 用

第Ⅱ章 野外における雨量観測

1. 転倒ます型雨量計の設置概要

インドのチェラプンジでの野外観測を行う前の予備観測として、紀伊半島の最南端の日本の豪雨地域に位置する京都大学 防災研究所 潮岬風力実験所構内（和歌山県東牟婁郡串本町）で、2013 年 6 月 16 日～2013 年 11 月 8 日にかけて観測を行った。観測場所の位置を図 2-1～図 2-2 に示す。潮岬の年間平均降水量は約 2,500 mm である。

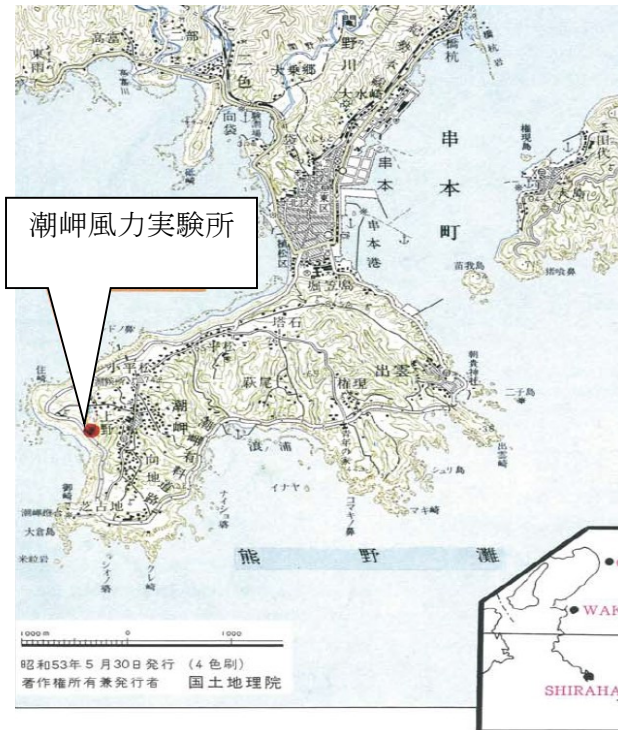


図 2-1 和歌山県 京都大学 防災研究所 潮岬風力実験所の位置

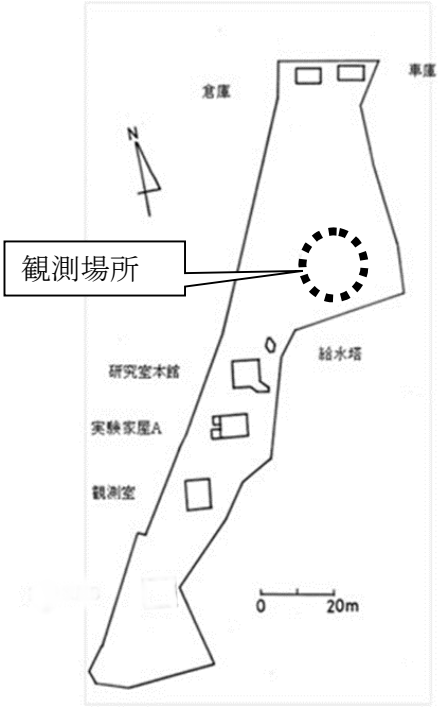


図 2-2 潮岬風力実験所構内 配置図

図 2-3 潮岬風力実験所での設置状況
左 0.2 mm 計、中央 0.5 mm 計、右 1.0 mm 計

潮岬風力実験所での設置状況は図 2-3 の通りで、観測露場に取付台を 3 台準備し、その上に雨量計を取り付けた。雨量計を設置する場合の取り付け方法の詳細は、別編の「雨量計の設置と保守」に記している。

インドの設置場所のメガラヤ州チェラプンジは、ヒマラヤの南麓の東部に位置し、標高約 1,600 m で(図 2-4)、観測場所は、コンクリート製平屋建て民家の屋上である。この地点に、0.2 mm 計と 1.0 mm 計を新設し、0.5 mm 計は SAMetHy の既設雨量計を利用した。設置状況は図 2-5 に示すとおりで転倒ます型雨量計は直接モルタルで固定した。

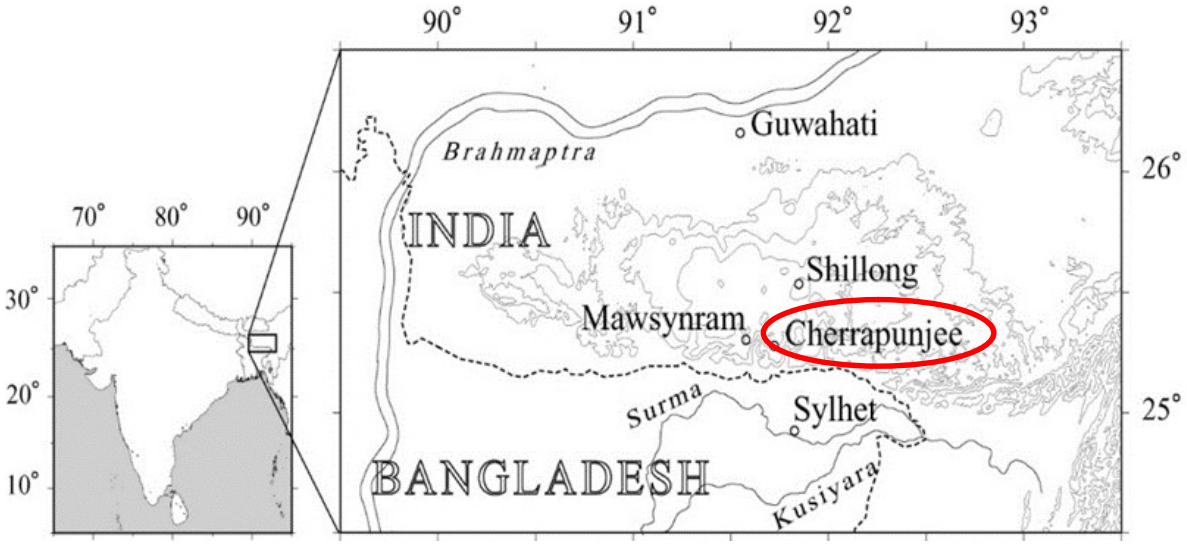


図 2-4　チェラプンジの位置

図 2-5 チェラプンジでの設置状況
中央奥 0.2 mm 計、右手前 0.5 mm 計、左手前 1.0 mm 計

図 2-6 雨量計に取り付けたデータロガー

なお、図 2-5 を見ると 0.2 mm 計の外筒の中間部に凹部が見られるが、この凹部は風による雨滴の補足率を改善するためで、このことにより数 % の改善が見られるようである。それらを定量的に実証した資料は現在のところ残念ながら確認できていない。

観測データの収録は、データロガー（Hobo Onset:ペンダントロガー:UA−003−64）を使用し、転倒ます型雨量計の内部に格納した（図 2-6 参照）。このデータロガーはボタン電池で作動し、本体サイズが小さく雨量計内部におさまる。この記録計で、雨量計のますの転倒の時刻を記録できる。

2. 潮岬における雨量観測

2.1 観測開始前の動作確認

図 2-7 動作確認の作業

潮岬での雨量観測を開始する前に、準備した三種類の雨量計の動作確認を行った。図 2-7 に示すように、メスシリンダの中の水をろ水器に注水し、転倒ますの転倒を確認し、注水した水の量を読み取った。動作確認は左右の雨量ますの転倒を 1 回とし計 5 回実施した。その結果を表 2-1 に示した。

表 2-1　動作確認の結果　　単位：cm^3

項　目	0.2 mm 計の注水量		0.5 mm 計の注水量		1.0 mm 計の注水量	
	ますの位置		ますの位置		ますの位置	
	左	右	左	右	左	右
1 回目の注水量	7	7	17	15	32	31
2 回目の注水量	7	6	16	16	32	31
3 回目の注水量	7	6	16	16	32	33
4 回目の注水量	7	8	15	17	32	32
5 回目の注水量	6	7	16	16	31	34
平均注水量	6.8	6.8	16.0	16.0	31.8	32.2

今回準備した転倒ます型雨量計の受水口は直径 200 mm であり、0.2 mm 計のます容量は 6.3 cm^3、0.5 mm 計は 15.7 cm^3、1.0 mm 計は 31.4 cm^3 で、ますが 1 転倒するように設計されている。表 2-1 には各 1 回の転倒に要する注水量を示す。5 回の注水量は、設計容量に対して多少の差が生じているが、これはメスシリンダにより手動で注水するため、ますの設計容量以上に注水してしまうことやメスシリンダの目盛りの読み取りが 1 cm^3 単位であることによる。5 回の試技では、左右のますの転倒時の注水量の差は少なく、平均注水量もほぼ設計注水量と同等で、今回の野外観測で十分精度のよい測定が可能であると判断した。

2.2 観測期間中の降水量の時系列

潮岬での観測は 2013 年 6 月 16 日 10 時 36 分～2013 年 11 月 8 日 8 時 41 分の約 5 か月間である（観測時刻は日本時間）。三種類の雨量計の降水量の観測値の時系列を、2013 年 6 月 16 日～2013 年 8 月 27 日の期間を図 2-8-a に、2013 年 8 月 28 日～2013 年 11 月 8 日の期間を図 2-8-b に示す。

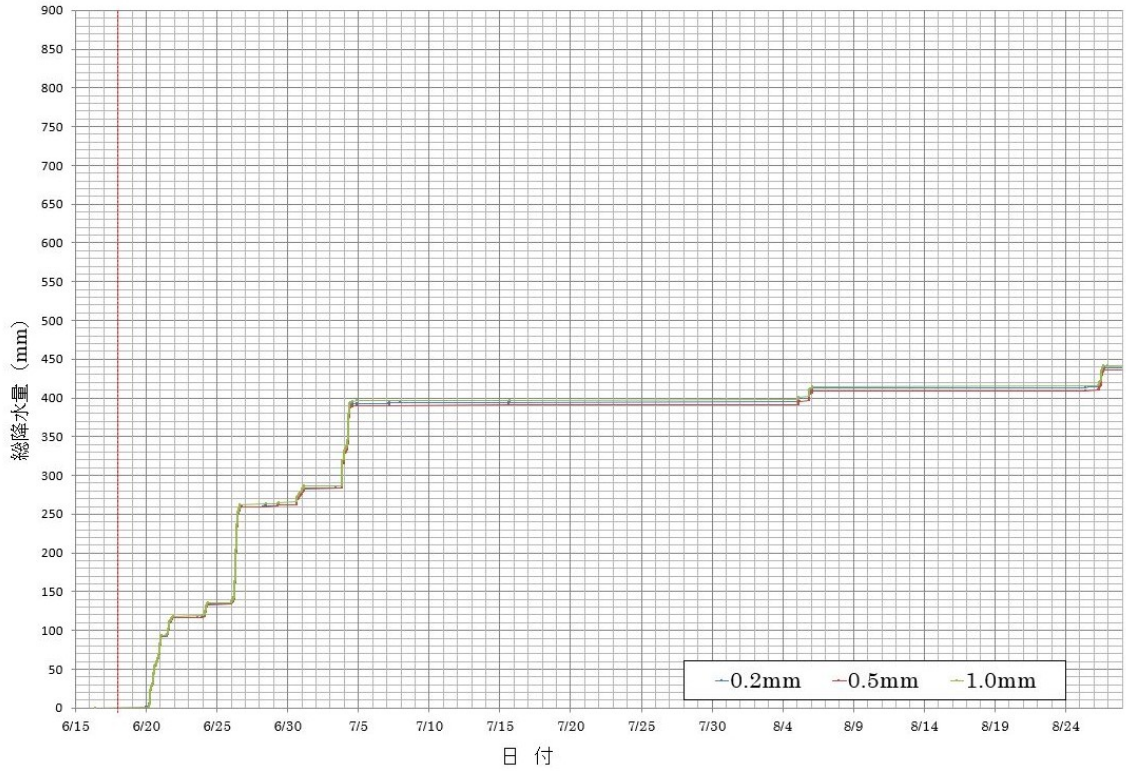


図 2-8-a　観測期間中の降水量の変化

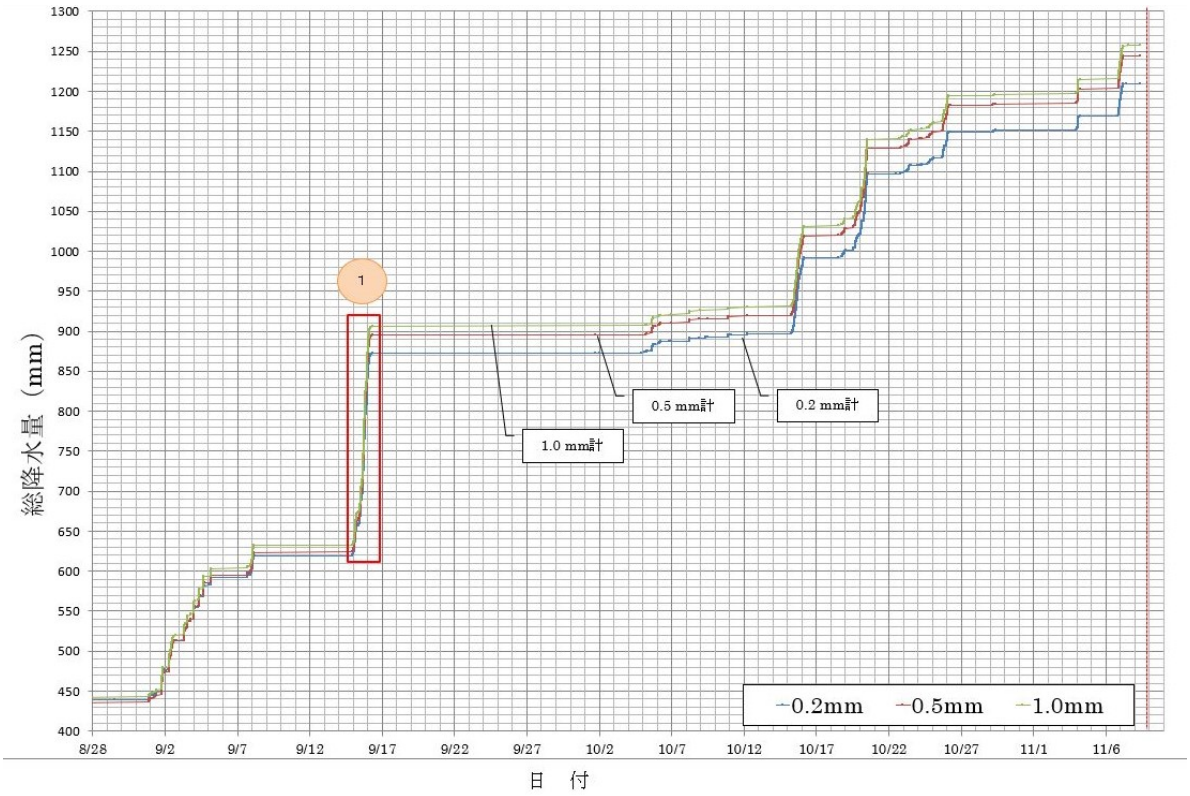


図 2-8-b　観測期間中の降水量の変化

観測開始時の 6 月 16 日 10 時 36 分時点の降水量を 0.0 mm として観測を開始した。本報告書では、ある降雨現象と次の降雨との間の無降雨継続時間が 12 時間未満の場合は、2 つの降雨をまとめて「ひと雨」として取り扱い、そうでない場合は別の降雨と区別したところ、図 2-8-b の赤枠で

囲った①が 274.0 mm で、ひと雨降水としては観測期間中最も多かった事例であった。この期間の地上天気図を図 2-9 に示す。この期間は、台風 18 号が紀伊半島の南海上を通り愛知県に上陸する経路を通ったことから、潮岬でまとまった降雨を観測した。9 月 15 日の日降水量は、1.0 mm 計で 230.0 mm、9 月 16 日の日降水量は 43.0 mm であった。

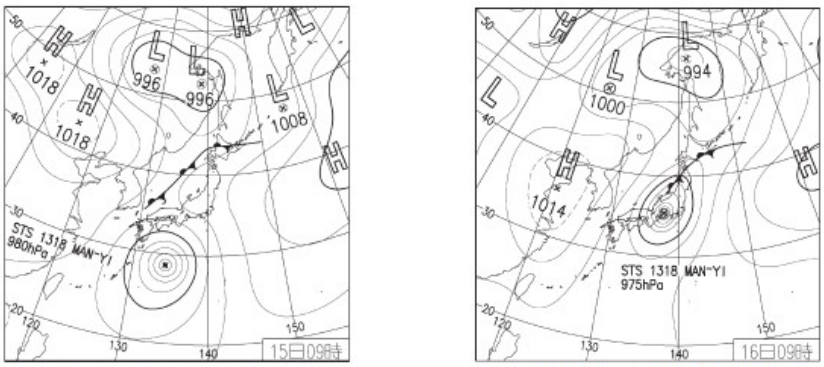


図 2-9　ひと雨降水量の多かった日とその翌日の天気図
出典：日本気象学会 2013 年 9 月の日本の天候,天気,60 巻 11 号

図 2-10 に観測期間中の日降水量について日降水量 50 mm 以上 100m 未満および 100 mm 以上の発生回数を月ごとに集計した結果を示す。その結果、6 月、7 月、9 月、10 月に 50 mm 以上の降雨現象が発生し、6 月と 9 月には日降水量が 100mm を超える事例が発生した。

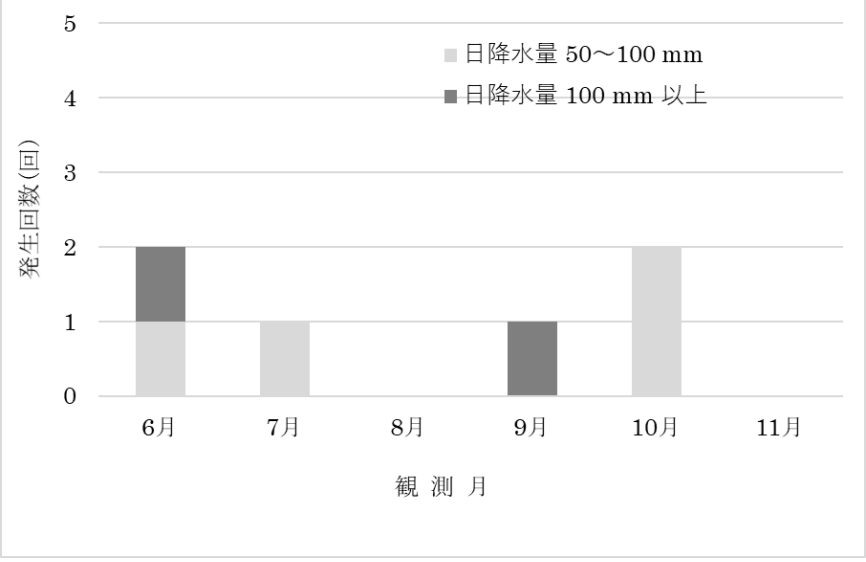


図 2-10　日降水量 50 mm 以上の発生回数

表 2-2 は、観測期間中の各雨量計で観測し積算した降水量（以下、観測総降水量と記す）を示す。観測期間中の三種類の雨量計による観測総降水量は 0.2 mm 計が 1,209.4 mm、0.5 mm 計が 1,244.5 mm、1.0 mm 計が 1,258.0 mm であり、1.0 mm 計が最も多く、0.2 mm 計が最も少ない。

表 2-2　期間中の各雨量計の観測総降水量と 1.0 mm 計との観測総降水量値との差

項　目	0.2 mm 計	0.5 mm 計	1.0 mm 計
観測期間中の総降水量(mm)	1,209.4	1,244.5	1,258.0
観測期間中の転倒回数(回)	6,047	2,489	1,258
1.0 mm 計との観測差(mm)	48.6	13.5	
1.0 mm 計との観測差の割合(%)	3.9	1.1	

三種類の雨量計の中で観測総降水量が最も大きい 1.0 mm 計を基準とすると、0.2 mm 計の観測総降水量との差は 48.6 mm、その割合は 3.9 %、0.5 mm 計では観測値の差が 13.5 mm、割合は 1.1 %である。0.2 mm 計のほうが、差が大きい原因として、豪雨時には、ます容量が小さいほどますの転倒が頻繁になり、ますが転倒している間の降水が測定から漏れてしまう現象が考えられ転倒回数が最も多い 0.2 mm 計で発生しやすい。

2.3 降雨強度と転倒回数の関係

表 2-3　降雨強度別出現回数と頻度

降雨強度（mm/h）	出現回数	頻度（%）
0 ～20	801	63.67
20 ～40	196	15.58
40 ～60	119	9.46
60 ～80	64	5.09
80 ～100	33	2.62
100 ～120	12	0.95
120 ～140	12	0.95
140 ～160	7	0.56
160 ～180	10	0.79
180 ～200	1	0.08
200 ～220	1	0.08
220 ～240	2	0.16

期間中の降雨強度別の出現回数示したのが、表 2-3 である。降雨強度は、1.0 mm 計の転倒時刻の差から求めた。例えば、転倒時刻と次の転倒時刻の時間間隔が 60 秒間であるとすると、時間降雨強度は 60 mm/h になる。

期間中の降雨強度別の出現回数は、100 mm/h を超える時間降雨強度の場合、全体の 3.6 %にあたる 45 事例、200 mm/h を超える事象が 3 事例観測された。

図 2-11 に、1.0 mm 計の観測値から求めた時間降雨強度と、1.0mm 計が 1 回転倒する間に、0.2 mm 計が転倒した回数を示す。0.2 mm 計と 1.0 mm 計の降水に対する応答が同等であれば、降雨強度に関係なく、1.0 mm 計が 1 回転倒する間に 0.2 mm 計の転倒は 5 回のはずであるが、ばらつきが生じている。両者の誤差を考慮すると、5±2 回(図中、オレンジの枠で囲った部分)の範囲にはいってれば、概ね 0.2mm 計と 1.0 mm 計は、ほぼ同様な応答を示し、範囲外では応答が同等ではないと判断する。

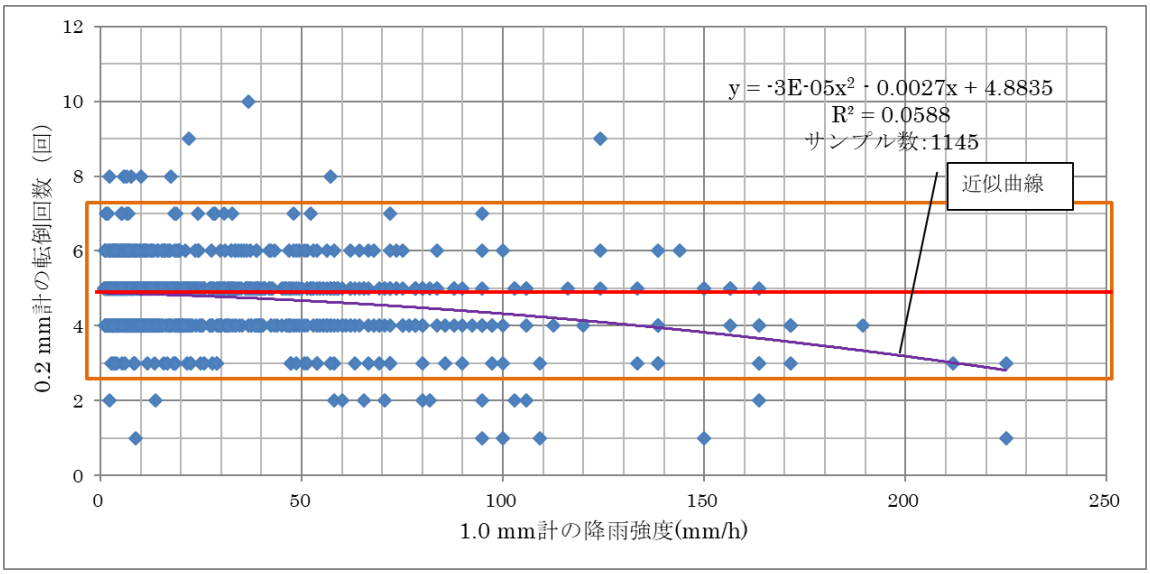


図 2-11　1.0 mm 計の降雨強度に対する 0.2 mm 計の転倒回数の関係

図 2-11 に示すように、0.2 mm 計の転倒回数は、概ね 5±2 回以内のオレンジの枠内に集中するが、1 回から 10 回までばらついている。そのばらつきは、1.0 mm 計、0.2 mm 計それぞれの動作による観測誤差と考えられる。降雨強度が 60 mm/h を超えると、7 回を上回るデータは 1 点であるのに対し、3 回を下回るデータが多く存在する。3 回以下の場合は、0.2 mm 計がこの降雨強度の降雨に対して追従できないことを示している。近似曲線（図中、紫色）は、降雨強度の増加に対して、0.2 mm 計の転倒回数は減少する傾向を示し、0.2 mm 計が十分追従できないことを示している。これらのことから、0.2 mm 計の測定限界は、降雨強度は約 60 mm/h と推定できる。

同様に、1.0 mm 計による降雨強度と 0.5 mm 計の転倒回数について示したものが図 2-12 である。1.0 mm 計と 0.5 mm の応答が同等であれば、降雨強度に関係なく 1.0 mm 計 1 回の転倒に対し、0.5 mm 計は 2 回の転倒を示すはずである。0.5 mm 計の転倒回数が、2±1 回(図中、オレンジの枠で囲った部分)の範囲にはいってれば、1.0 mm 計と同等の応答と評価する。

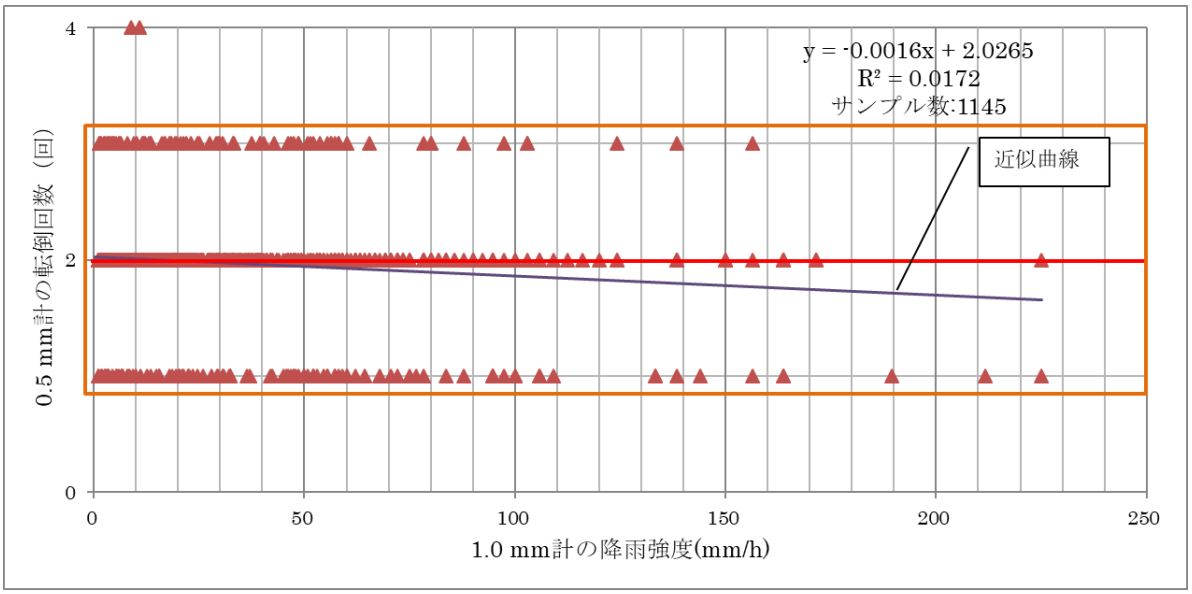


図 2-12　1.0 mm 計の降雨強度に対する 0.5 mm 計の転倒回数の関係

概ね 0.5 mm 計の転倒回数は 2±1 回の範囲に収まり、降雨強度が大きい場合にも、変化はない。しかしながら、降雨強度が 150 mm/h を超えた場合には、転倒回数が 1 回の少ない事例のみが存在する。近似曲線（図中、紫色）は、降雨強度の増加に対して、0.5 mm 計の転倒回数も減少を示し、降雨強度が大きくなると十分に追従できない傾向がある。測定限界は、降雨強度は約 150 mm/h と推定できる。

2.4 観測期間中の 10 分間降水量

観測期間中の、1.0 mm 計の観測値による 10 分間降水量の統計を表 2-4 に示す。期間中の月最大降水量は 460.0 mm、日最大降水量は、2013 年 9 月 15 日の 230.0 mm である。

表 2-4　観測期間での統計結果

項　目	降水量	期　　間
総降水量	1,258.0 mm	2013 年 6 月 16 日 10 時 36 分～11 月 8 日 8 時 41 分
月最大降水量	460.0 mm	2013 年 9 月
日最大降水量	230.0 mm	2013 年 9 月 15 日
最大 1 時間降水量	43.0 mm	2013 年 9 月 15 日 18 時
最大 10 分間降水量	20.0 mm	2013 年 9 月 15 日 18 時 00 分

10 分間降水量について、1.0 mm 計と 0.2 mm 計の観測値を比較した結果を図 2-13 に示す。図中の赤線は 1：1 の直線で、緑線は両者の近似直線である。

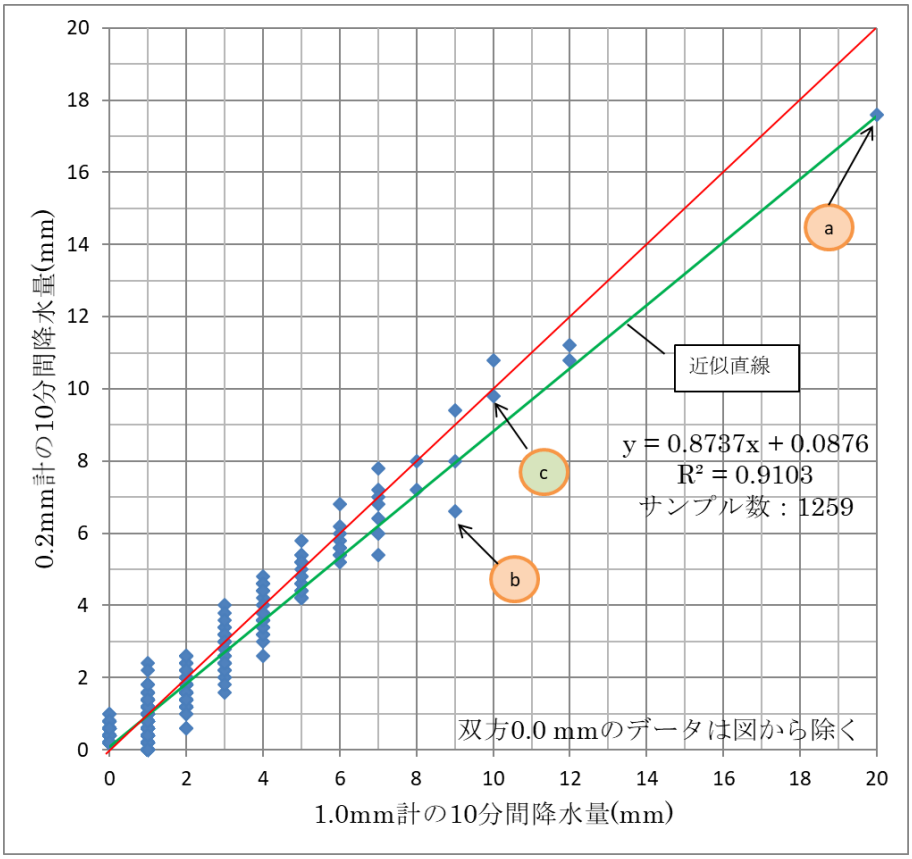


図 2-13　0.2 mm 計と 1.0 mm 計との 10 分間降水量の比較

表 2-5　図 2-13 上の a、b、c の時間帯の 10 分間降水量

番号	時　間　帯	0.2 mm 計	1.0 mm 計
a	9 月 15 日 18 時 00 分	17.6 mm	20.0 mm
b	9 月 2 日 7 時 00 分	6.6 mm	9.0 mm
c	7 月 3 日 20 時 30 分	9.8 mm	10.0 mm

10 分間降水量で 5 mm 以下ではよく一致しているが、1.0 mm 計の観測値が 5 mm を超えると 0.2 mm 計の観測値が小さくなる傾向が見られた。特に図中の a、b では 2 mm を超える差が出た。図中の a については後述の事例 1 で述べる。一方、図中の c では 10 mm 程度の降水で差はほとんど無かった。この事例については後述の事例 2 で説明する。

同じく 1.0 mm 計を基準として、0.5 mm 計との 10 分間降水量の比較を図 2-14 に示す。0.2 mm 計との比較結果とは異なり、a、b、c の事例を含め、0.5 mm 計と 1.0 mm 計の比較では、降水量によるばらつきはなかった。

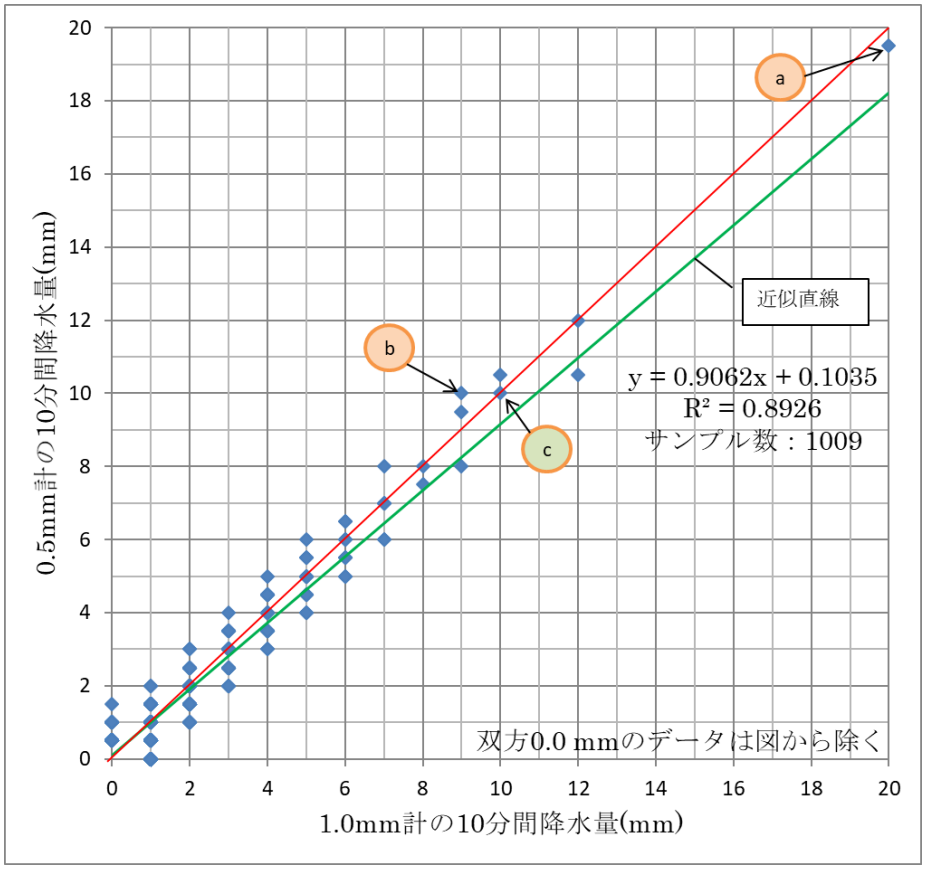


図 2-14　観測期間中の 0.5 mm 計と 1.0 mm 計との 10 分間降水量の比較

表 2-6　図 2-14 上の a、b、c の時間帯の 10 分間降水量

番号	時　間　帯	0.5 mm 計	1.0 mm 計
a	9 月 15 日 18 時 00 分	19.5 mm	20.5 mm
b	9 月 2 日 7 時 00 分	10.0 mm	9.0 mm
c	7 月 3 日 20 時 30 分	9.8 mm	10.0 mm

2.5 特徴的な事例の解析

2.5.1 事例 1 三種類の雨量計で降水量の観測値の差が大きい事例

三種類の雨量計で積算降水量の差が大きかった事例として 9 月 15 日 17 時 25 分～18 時 03 分の 1 分毎の降水量のグラフを図 2-15 に示す。また、同時間の 1 分毎の降雨強度を図 2-16 に示す。図 2-16 では、0.2 mm 計の測定限界の指標として降雨強度 60 mm/h を青破線で示す。

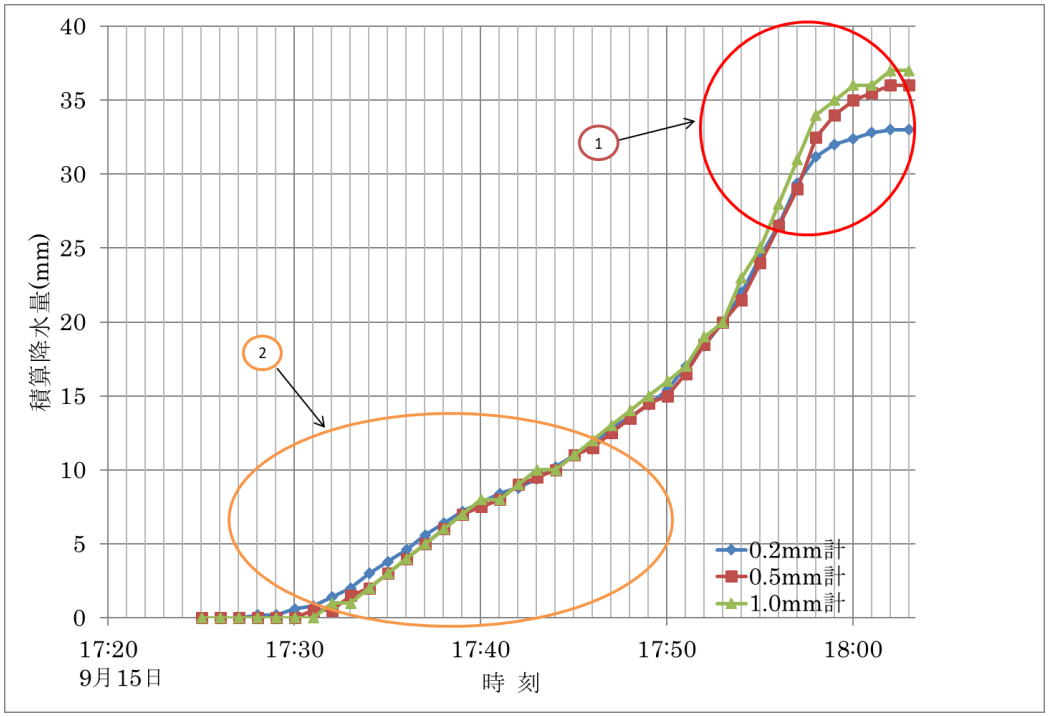


図 2-15　積算降水量の変化

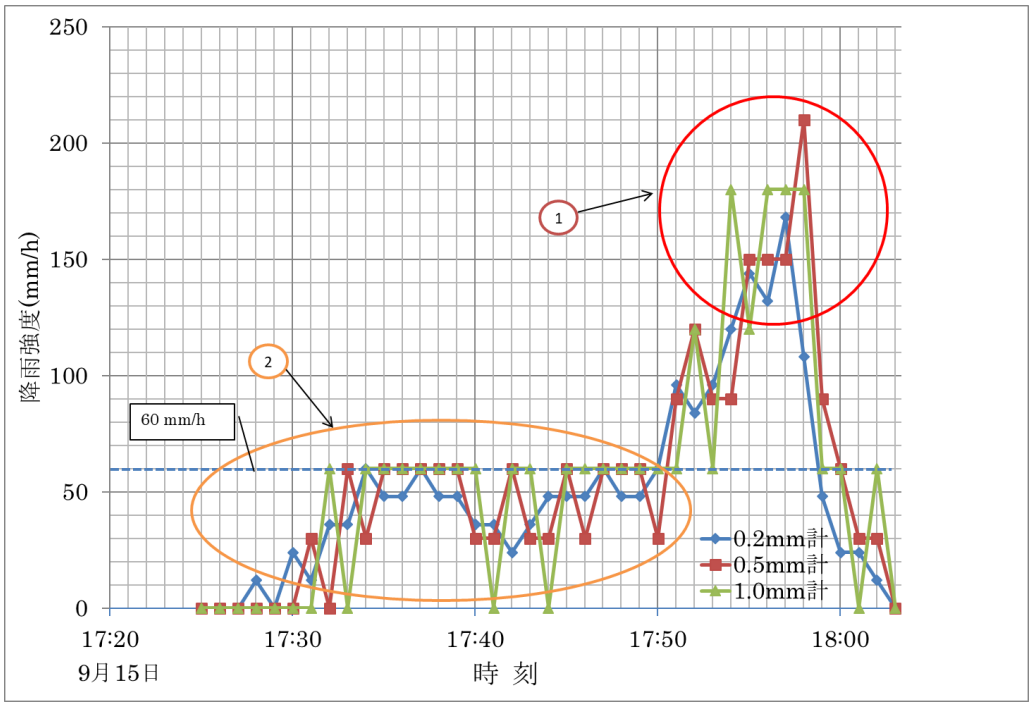


図 2-16　降雨強度の変化

この事例では、0.2 mm 計と 1.0 mm 計を比較すると積算降水量で 4.0 mm の差がある。観測された積算降水量は 33.0～37.0 mm、最大降雨強度は 200 mm/h を超えた。②に示す事例の降り始めの降雨強度の時系列から、降り始めの 17 時 28 分には 0.2 mm 計が最初に応答した。17 時 50 分までは降雨強度 60 mm/h（図中の青破線）を超える強度は観測されず、三種類の雨量計ともにほぼ同様な降水量を示した。一方、図中に示す①の 17 時 50 分～17 時 59 分の間には、降雨強度が測定限界の 60 mm/h を大きく超え、一時的には 200 mm/h を超えた。その間に、0.2 mm 計は、0.5 mm 計や 1.0 mm 計と比べて、十分追従できず、降水量の観測値は小さく、①の 9 分間に 3 mm 程の差が出た。なお、図中の降雨強度は 1 分毎降水量から算出したため、0.2 mm 計では 1 分間に 1 転倒した場合には、その降雨強度は 12 mm/h に相当し、降雨強度はこの倍数になる。同じく、0.5 mm 計が 30 mm/h、1.0 mm 計が 60 mm/h の倍数の値になる。

2.5.2 事例 2　降水がある場合にかかわらず降水量の差が小さい事例

降水がありながら、降水量の差が小さかった事例として 7 月 3 日 20 時 09 分～20 時 50 分の 1 分毎の積算降水量のグラフを図 2-17 に示す。また、同一時間の 1 分毎の降雨強度に換算したグラフを図 2-18 に示した。

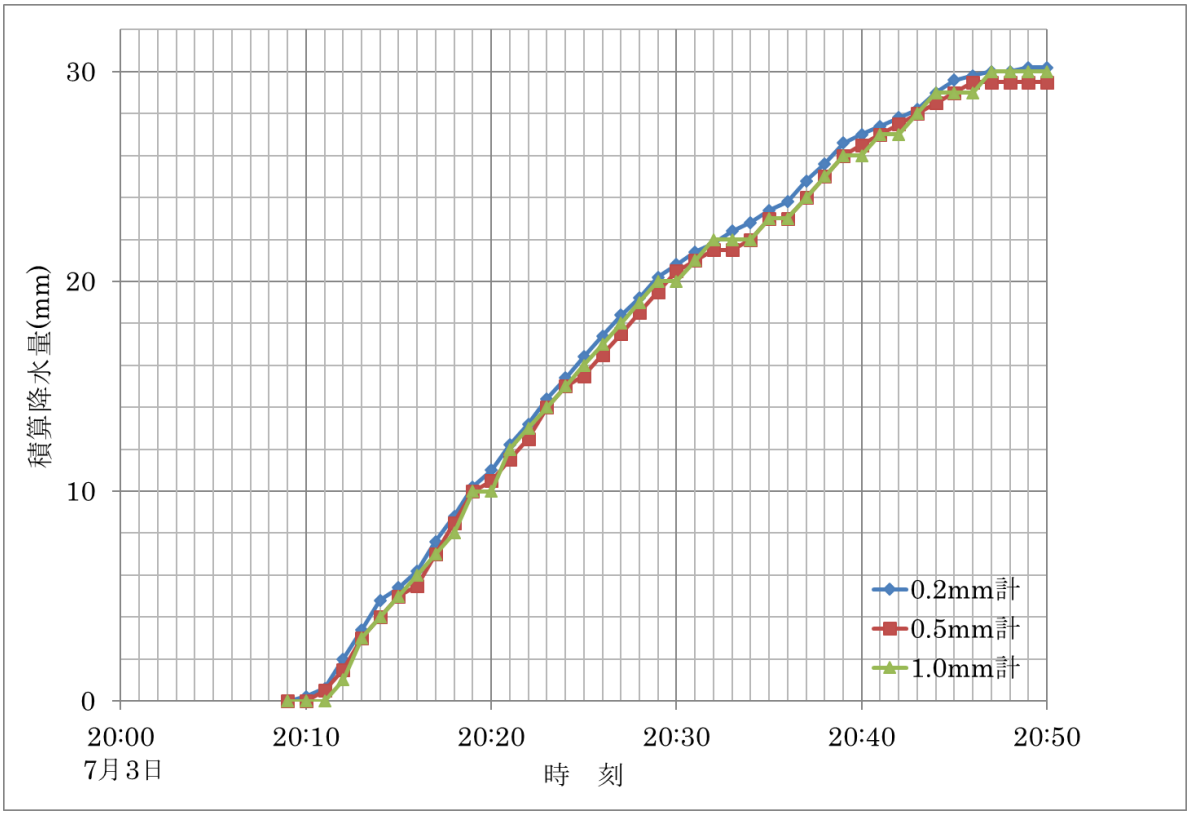


図 2-17　積算降水量の変化

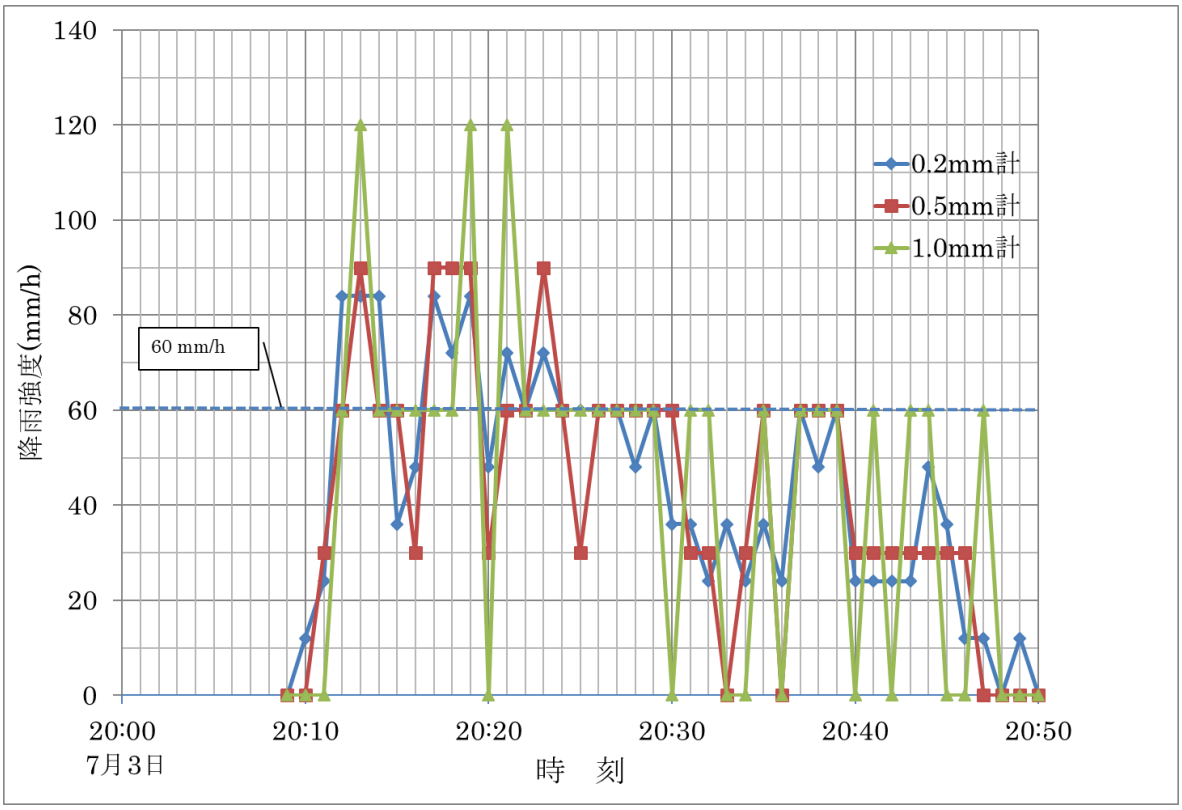


図 2-18　降雨強度の変化

図 2-18 を見ると、20 時 12 分~20 時 24 分では降雨強度 60 mm/h を超え最大で 120 mm/h に達する降雨が観測されているが、この事例では三種類の雨量計とも、ほぼ同じ積算降水量を示し 0.2 mm 計も降雨現象に追従している。

3. チェラプンジにおける雨量観測

潮岬の予備観測で、0.2 mm 計の測定限界は降雨強度が約 60 mm/h と推定した。潮岬における観測では、降雨強度が 100 mm/h を超えるような激しい降雨現象は全体の 3.6 %の 45 事例にすぎないため、激しい降雨現象をより多く観測できる場所として、インド北東部メガラヤ州のチェラプンジに三種類の雨量計を設置し、潮岬と同様の野外降雨観測を行った。観測場所はインド北東部チェラプンジにある SAMetHy の気象観測点である平屋の家屋の屋上で、観測期間は 2014 年 4 月 28 日から 2015 年 3 月 1 日までの約 11 ヶ月間である。なお、チェラプンジの観測結果は全て世界標準時(UTC: Coordinated Universal Time)で表記している。

3.1　0.2 mm 雨量計による観測結果の取り扱い

図 2-19 に、観測期間の一部の降水量の観測値の時間変化を示すが、0.2mm 計の観測総降水量が最大となる結果が出た。7 月 26 日 18 時 09 分時点での総降水量は、0.2 mm 計が 6000.8 mm、1.0 mm 計が 5652.0 mm、0.5 mm 計が 5473.5 mm であり、観測値の総降水量は、0.2 mm 計（青線）

が最も多く、次に 1.0 mm 計（緑線）、0.5 mm 計（赤線）が最も小さいという結果となった。潮岬の事例と異なって、0.2 mm 計の値が 0.5 mm 計や 1.0 mm 計より大きいという結果を得て、観測データを詳細に点検した。2014 年 5 月 1 日の 19 時 09 分～20 時 06 分には、0.2 mm 計では 12 回の転倒が記録されたが、20 時 04 分 16 秒と 20 時 04 分 17 秒の 1 秒間に 2 転倒（以下、二重カウントと呼ぶ）が記録されていた。この二重カウントは、0.2 mm 計の雨量計でのみ記録された。なお、前節の潮岬での観測ではこのような記録はない。この例のような 1 秒の間隔での転倒は、降雨強度に換算すると 720 mm/h に相当するが、チェラプンジでもこのような非常に激しい降雨現象が発生しているとは考えにくい。

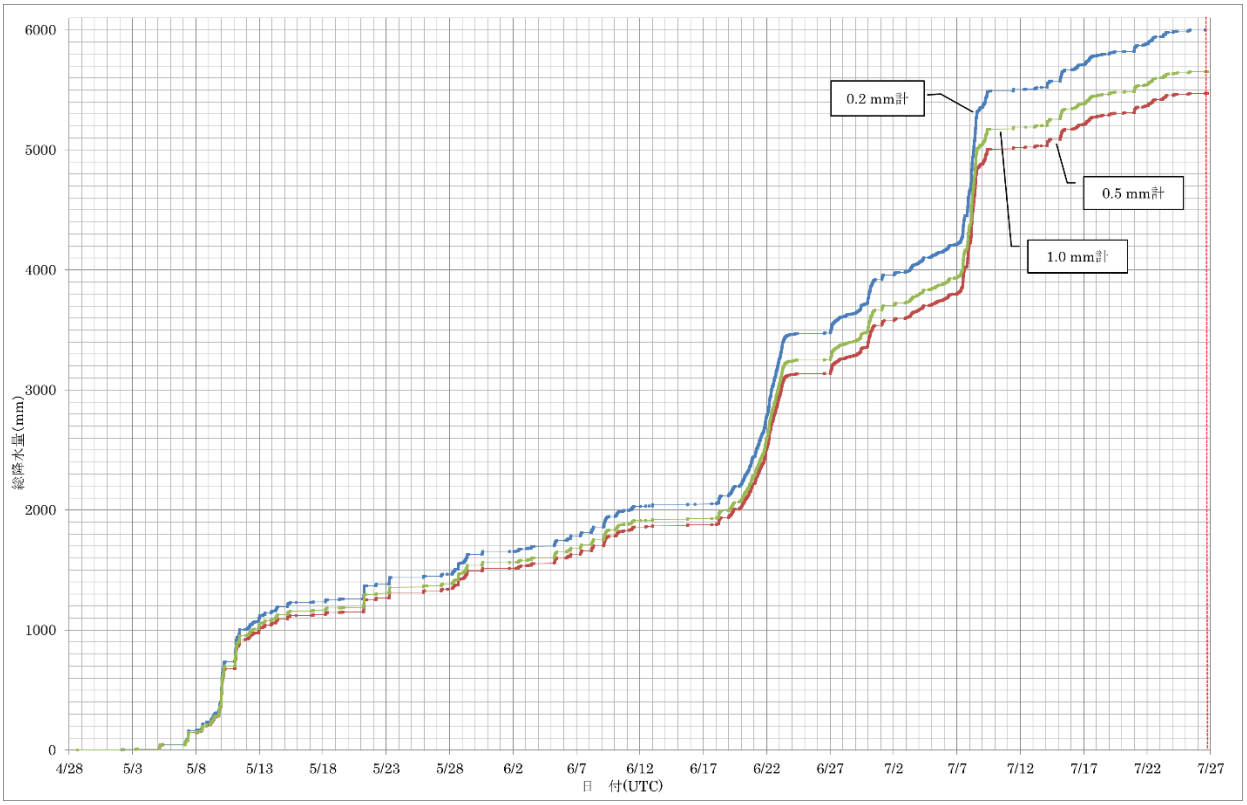


図 2-19　観測期間途中の降水量の変化（補正前）

図 2-20 は、降雨強度に対するその発生頻度を雨量計ごとに示したものである。ほとんどの点は、図の左下部分の降雨強度 200 mm/h 以下にプロットされるが、図の右上部に 0.2 mm 計による観測値がある。これは、降雨強度 720 mm/h であり、発生頻度は 0.2 mm 計全体の 11.4 %で出現頻度も非常に高い。この降雨強度 720 mm/h の激しい雨は、1.0 mm 計、0.5 mm 計では記録されておらず、0.2 mm 計でのみこの二重カウントが記録されている。そこで、本項の以降の解析では、0.2 mm 計にて二重カウントと推測される場合は、一つ目のパルスを観測データとして取り扱い、二つ目のパルスは採用しない処理を施した。なお、二重カウントの原因については、後述する第Ⅲ章「転倒ます型雨量計の出力信号」の項で説明する。

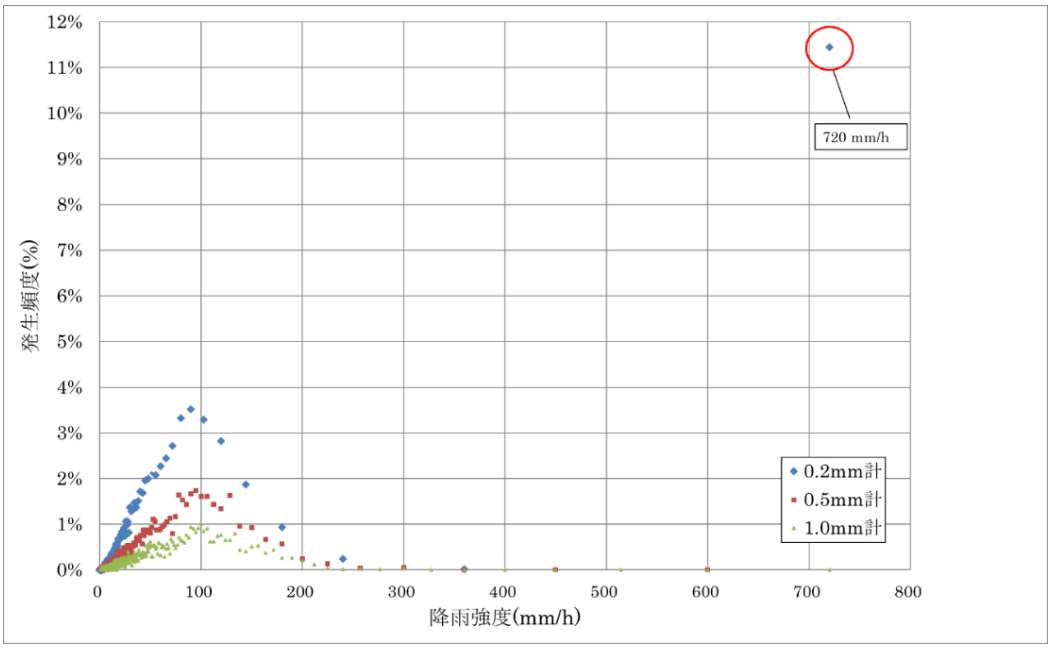


図 2-20　三種類の雨量計による観測値の降雨強度と発生頻度の分布

3.2 観測期間中の降水量の時系列

上記の補正を行った、観測期間の 2014 年 4 月 28 日　7 時 09 分～2015 年 3 月 1 日　6 時 53 分(UTC)の降水量の時間変化を図 2-21 に示す。

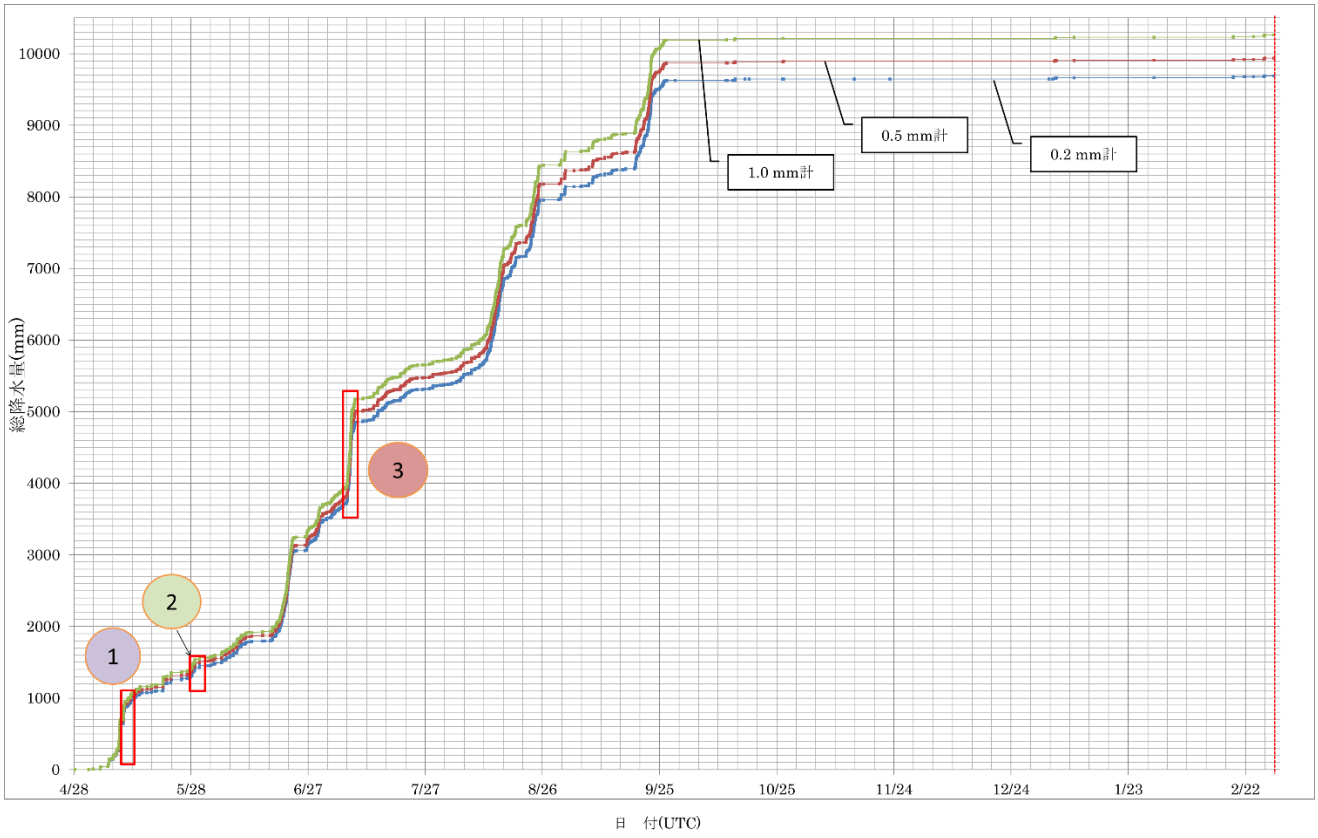


図 2-21　観測期間中の降水量の変化

2014 年 4 月 28 日 7 時 09 分時点の降水量を 0.0 mm として観測を開始した。前半の 2014 年 5 月から 9 月は、インドモンスーンの雨季にあたっていて、連続的に降雨がある。このため、潮岬の観測の際のひと雨降水量は定義していない。後半の 10 月以降は乾季となり、ほとんど雨が降らない。図中の円内の数字は、特徴的な現象が起こった事例を示す。①は、100 mm/h 以上の降雨強度が長時間続いた事例、②は、降雨強度が 300 mm/h に達した事例、③は、36 時間降水量で 1,000 mm を超えた事例でその詳細は後述する。

図 2-22 に観測期間中の日降水量について日降水量 50 mm 以上 100 mm 未満および 100 mm 以上の月ごとの発生回数を示す。2014 年 5 月~ 9 月に日降水量 50 mm 以上の日がそれぞれ、10 回、13 回、9 回、18 回、8 回であった。中でも 8 月が最も多く、50 mm 以上が 18 日、100 mm 以上が 10 日発生した。一方、乾季となる 2014 年 10 月~2015 年 2 月は乾期のため発生がない。

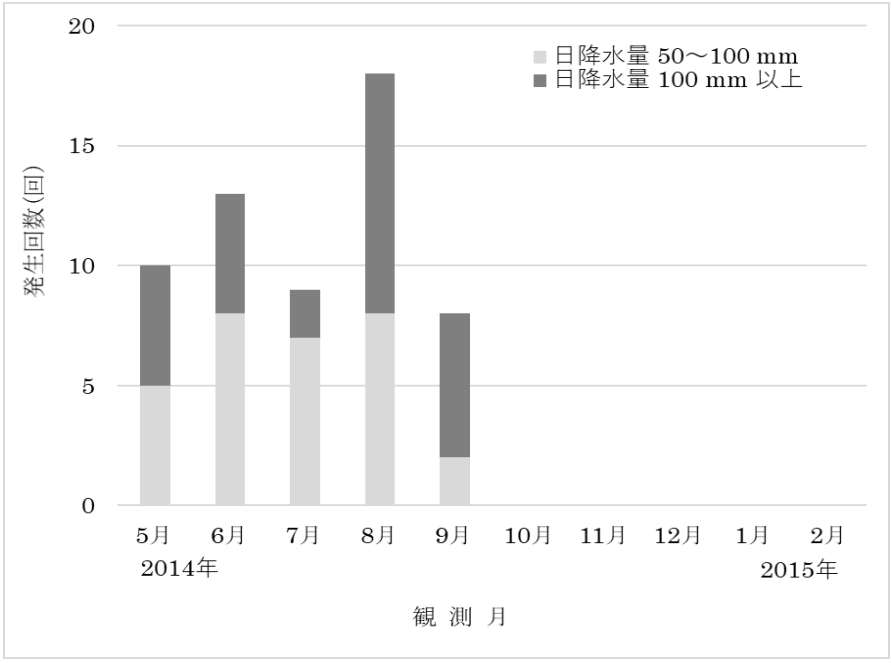


図 2-22　日降水量 50 mm 以上の発生回数

表 2-7 に期間中の各雨量計の観測総降水量と、1.0 mm 計を基準として 0.2 mm 計および 0.5 mm 計を比較した観測差を示した。観測期間中の、三種類の総降水量は 0.2 mm 計が 9,691.2 mm、0.5 mm 計が 9,936.0 mm、1.0 mm 計が 10,258.0 mm であり、1.0 mm 計が最も総降水量が多く、0.2 mm 計が最も少ない。また、1.0 mm 計との観測値の差および観測差の割合は、0.2 mm 計で観測差は 566.8 mm、差の割合は 5.5 %、0.5 mm 計では観測差が 322.0 mm、差の割合は 3.1 %であり、いずれも 0.5 mm 計より 0.2 mm 計の方が大きい。

観測期間は異なるものの、チェラプンジでの観測結果は潮岬と比較すると、総降水量は約 8 倍、また 6 月から 9 月の 4 ヶ月間雨期に降雨が集中し、0.2 mm 計が十分に追従できない事例が潮岬より多く発生し、観測差も大きくなったと推測される。0.5 mm 計は転倒ます型雨量計の器差 3 %にほぼおさまっている。

表 2-7　期間中の各雨量計の観測総降水量と 1.0 mm 計との観測総降水量値との差

項　目	0.2 mm 計	0.5 mm 計	1.0 mm 計
観測期間中の総降水量(mm)	9,691.2	9,936.0	10,258.0
観測期間中の転倒回数(回)	48,456	19,872	10,258
1.0 mm 計との観測差(mm)	566.8	322.0	
1.0 mm 計との観測差の割合(%)	5.5	3.1	

3.3 降雨強度と転倒回数の関係

表 2-8　降雨強度別出現回数と頻度

降雨強度（mm/h）	出現回数	頻度（%）
0 ～20	4440	43.28
20 ～40	2245	21.89
40 ～60	1416	13.80
60 ～80	876	8.54
80 ～100	586	5.71
100 ～120	322	3.14
120 ～140	170	1.66
140 ～160	98	0.96
160 ～180	64	0.62
180 ～200	26	0.25
200 ～220	7	0.07
220 ～240	3	0.03
240 ～260	2	0.02
260 ～280	1	0.01
280 ～300	2	0.02

2014 年 4 月 28 日～2015 年 3 月 1 日の期間について、1.0 mm 計の 1 転倒の時刻の間隔から求めた降雨強度の出現頻度を表 2-8 に示す。降雨強度 100 mm/h を超える事例が全体の 6.8 %にあたる 695 例観測できた（潮岬では、全体の 3.6 %にあたる 45 例）。期間中には、200 mm/h を超える事象が 15 例（潮岬では 3 例）で、最大 300 mm/h に相当する激しい降雨強度の観測事例（1 例）が発生した。

1.0 mm 計の観測値で求めた降雨強度に対して、1.0mm 計が 1 回転倒する間に、0.2 mm 計が転倒した回数を示したものが、図 2-23 である。0.2 mm 計の転倒回数は、1 回から 11 回までばらついている。降雨強度が 60 mm/h を超えると、2 回にのみ事例が示された。近似曲線（図中、紫色）は、降雨強度の増加に対して、0.2mm 計の転倒回数は減少する傾向を示し、0.2 mm 計が十分追従できないことを示している。この結果、0.2 mm 計の測定限界は、降雨強度約 60 mm/h と推定でき、潮岬での結果と一致する。

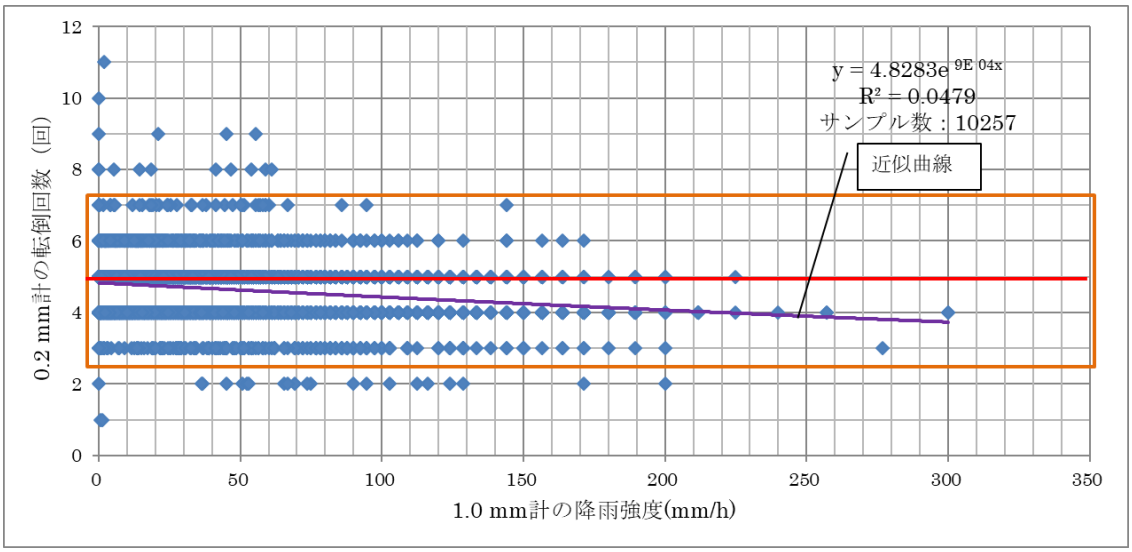


図 2-23　1.0 mm 計の降雨強度に対する 0.2 mm 計の転倒回数の関係

0.5 mm 計について同様な解析を行った結果を図 2-24 に示す。降雨強度が 2 回±1 回に収まるが、降雨強度が 150 mm/h を超えると、転倒回数が 1 回の事例が存在する。近似曲線（図中、紫色）は、降雨強度が強くなるにつれて転倒回数が減少する傾向を示す。この結果、0.5 mm 計の測定限界は、降雨強度約 150 mm/h と推定でき、潮岬での結果と一致する。

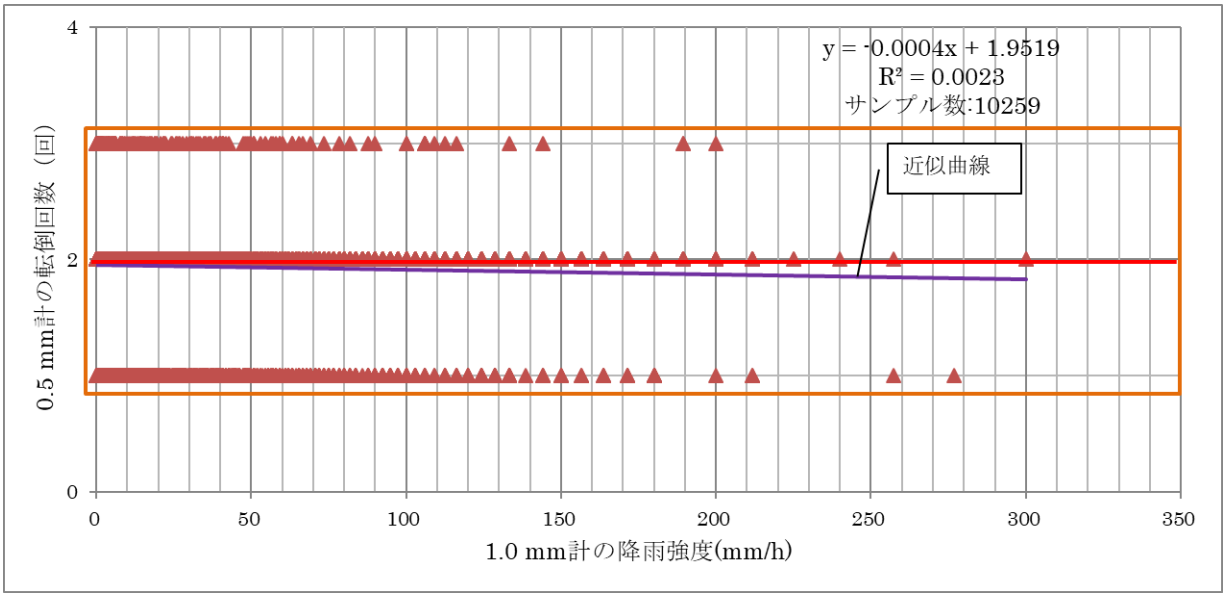


図 2-24　1.0 mm 計の降雨強度に対する 0.5 mm 計の転倒回数の関係

3.4 観測期間中の 10 分間降水量

観測期間中の 10 分間降水量についての統計を表 2-10 に示す。期間中の月最大降水量は、2,912.0 mm、日最大降水量は、2014 年 7 月 7 日に 780.0 mm を記録した。

表 2-10　観測期間での統計結果

項　目	降水量	期　　間
総降水量	10,258.0 mm	2014 年 4 月 28 日 7 時 09 分～2015 年 3 月 7 日 7 時 00 分
月最大降水量	2,912.0 mm	2014 年 8 月
日最大降水量	780.0 mm	2014 年 7 月 7 日
最大 1 時間降水量	128.0 mm	2014 年 5 月 9 日 16 時
最大 10 分間降水量	24.0 mm	2014 年 5 月 9 日 16 時 10 分

1.0 mm 計と 0.2 mm 計の 10 分間雨量の比較を図 2-25 に示す。図中の緑の線は近似直線を示している。赤線は 1 : 1 の線である。なお、双方 0.0 mm のデータは除いている。10 分間降水量 4 mm 以下では、両者はよく一致しているが、4 mm を超えると 0.2 mm 計の観測値が小さくなる傾向がある。10 mm を超えると、ほぼすべての点が 1 : 1 の直線より下となり 0.2 mm 計の降水量の観測値が小さい。10 分間降水量 10 mm は、時間雨量に換算すると 60 mm/h に相当し、上述した 0.2 mm 計の測定限界と一致する。

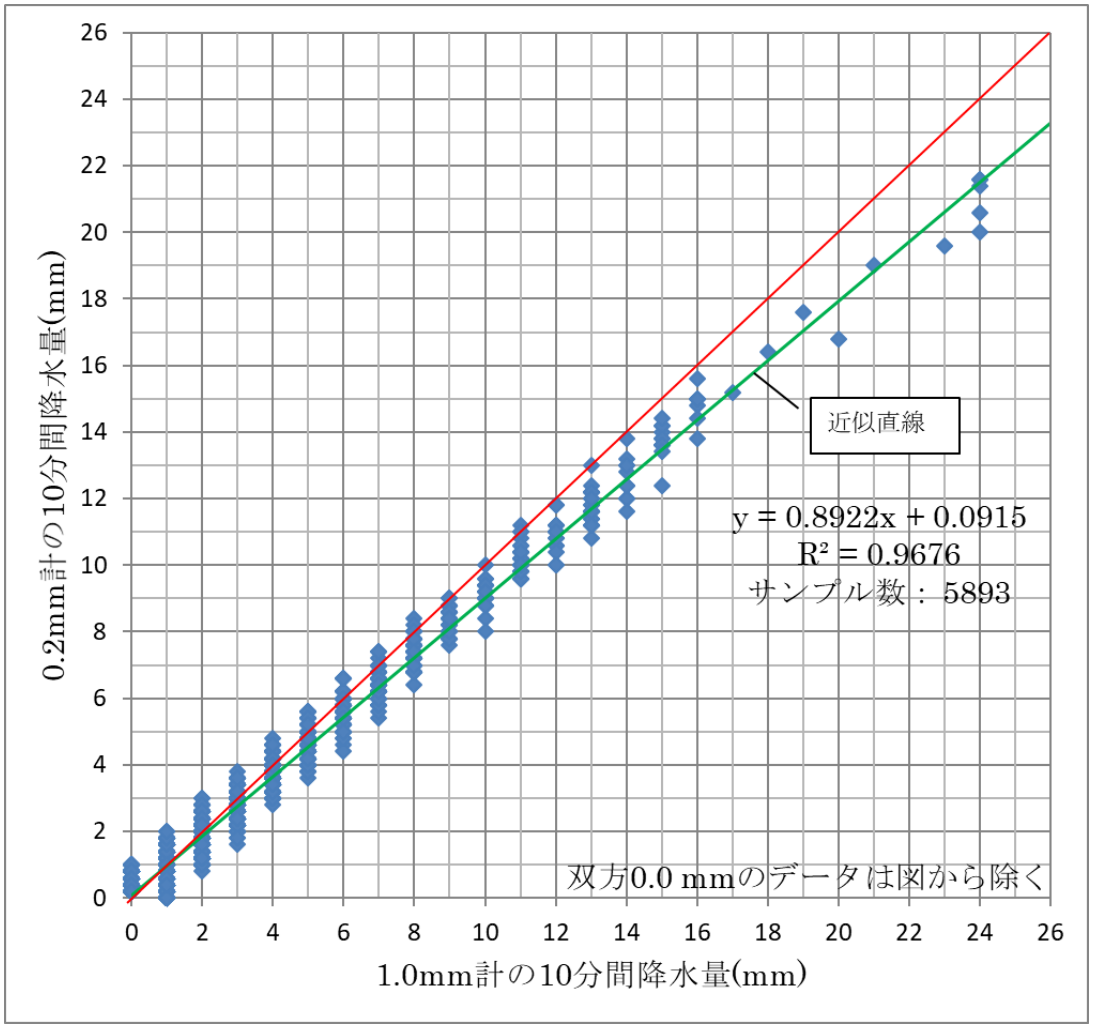


図 2-25　観測期間中の 0.2 mm 計と 1.0 mm 計との 10 分間降水量の比較

同様に 1.0 mm 計と 0.5 mm 計の 10 分間雨量の比較を図 2-26 に示す。10 分間降水量で 3 mm 以下ではよく一致しているが、3 mm を超えると 0.5 mm 計で観測値が小さい傾向がある。14 mm を超えると、ほぼすべての事例が 0.5mm 計の観測値は 1.0mm 計の観測値より小さい。10 分間降水量で 14 mm は、1 時間あたりの降雨強度に換算すると 84 mm/h に相当する。

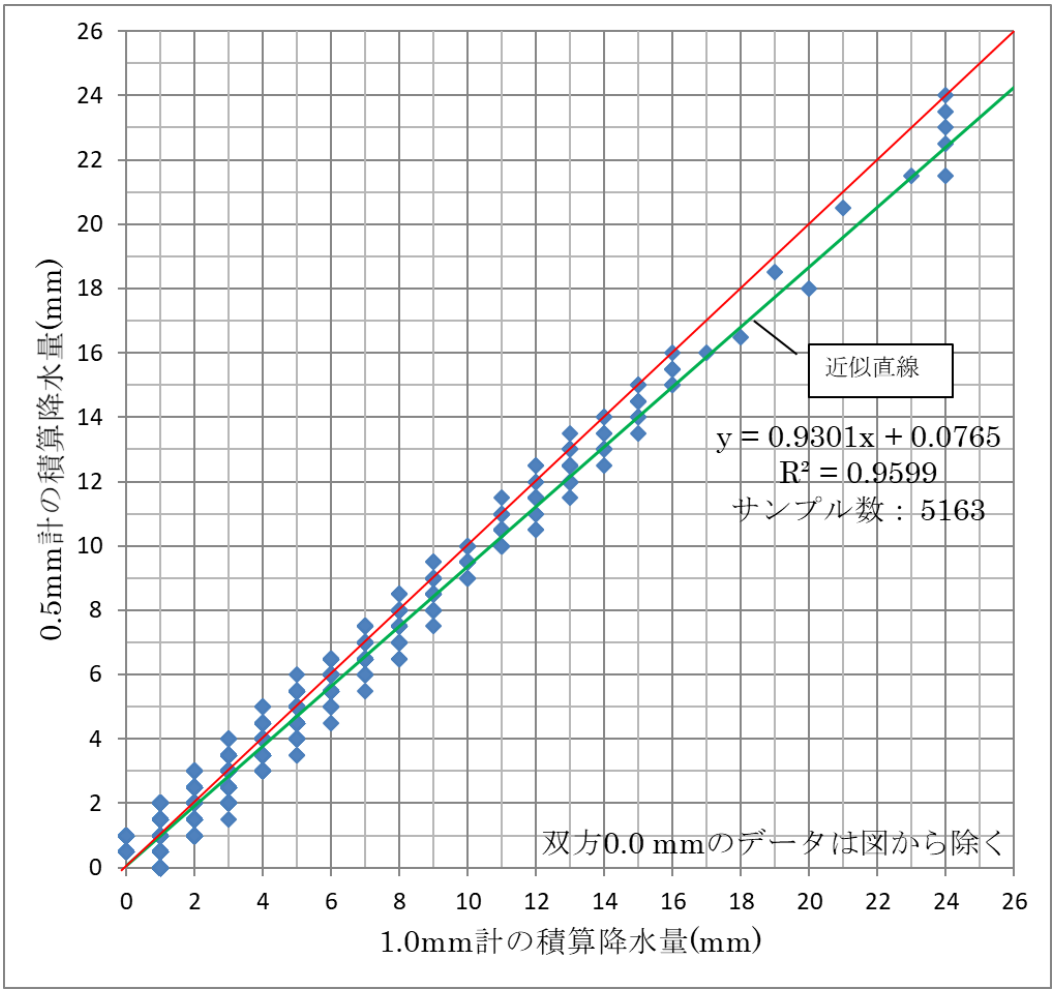


図 2-26　観測期間中の 0.5 mm 計と 1.0 mm 計との 10 分間降水量の比較

潮岬とチェラプンジの 10 分間降水量の比較結果について、近似直線の傾きは、0.2 mm 計について、潮岬で-0.87、チェラプンジで-0.89、0.5 mm 計では潮岬が-0.91、チェラプンジが-0.93 と概ね一致していて、観測場所による傾きの違いは見られない。

3.5 特徴的な事例

3.5.1 事例 1 降雨強度が 300 mm/h の事例

5 月 28 日 7 時 10 分～8 時 20 分（UTC）の 1 分毎の降水量のグラフを図 2-27、同時間の 1 分毎の降雨強度を図 2-28 に示す。

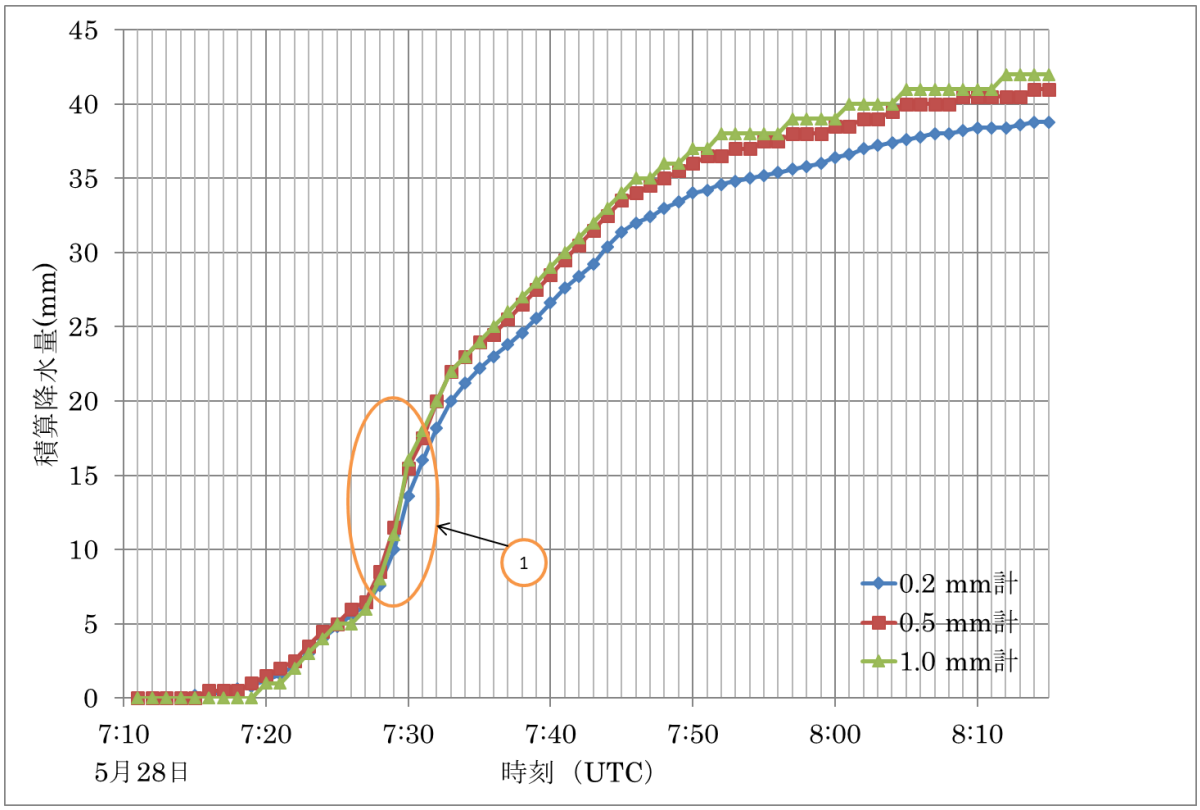


図 2-27　積算降水量の変化

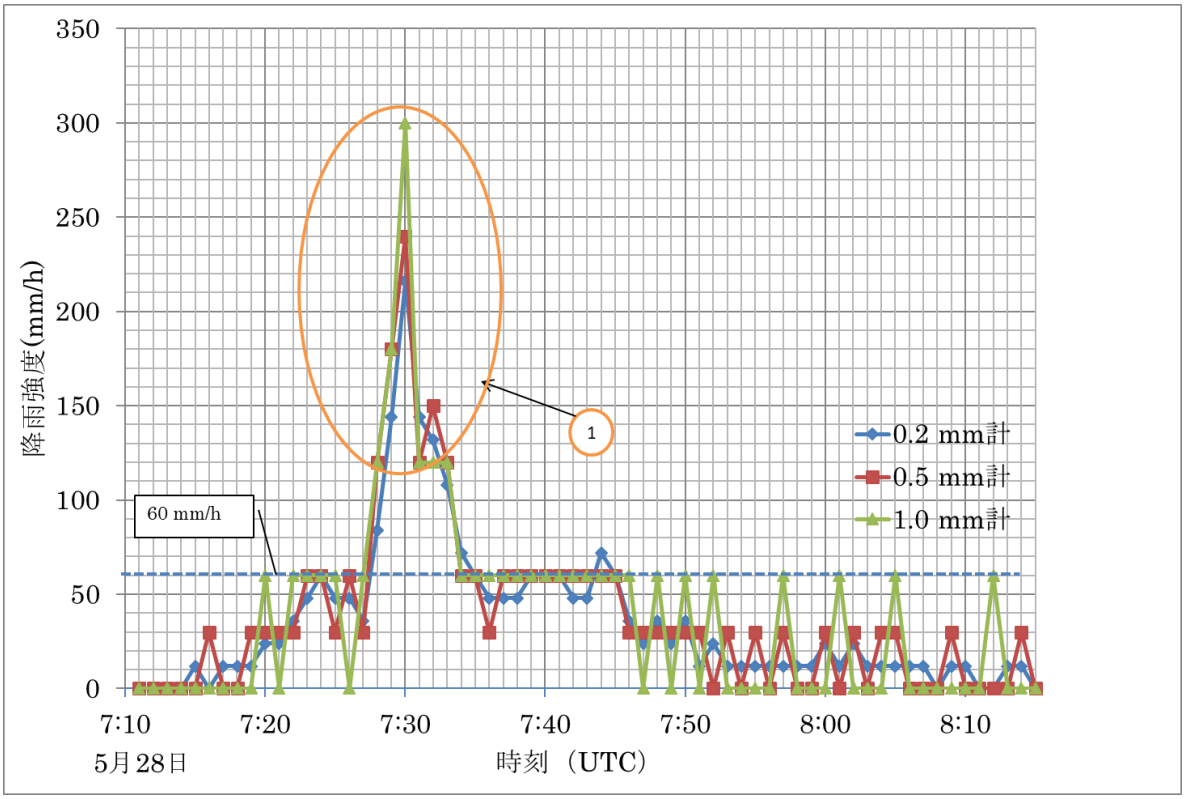


図 2-28　降雨強度の変化

期間中の降水量は 0.2 mm 計が 38.8 mm、0.5 mm 計が 41.0 mm、1.0 mm 計が 42.0 mm である。最大降雨強度は 1.0 mm 計で 300 mm/h 相当である。図中の①の時刻の 7 時 30 分頃から、雨量の観測値に差が出始める。この期間の降雨強度は、60 mm/h 以上の降雨強度が継続し、1.0 mm

計では瞬間的に 300 mm/h に達している。①以外の時間帯は、ほぼ 60 mm/h 以下であり降水量の観測値の差は小さい。図中の①の時間帯は 6 分程のわずかな時間であるが、1.0 mm 計の降水量に比べて、他の雨量計では、この期間の雨量の 10 %以上に相当する 2 mm 程の差が出た。

3.5.2 事例 2 100 mm/h 以上の降雨強度が長時間続いた事例

5 月 9 日 14 時 30 分～16 時 20 分（UTC）の 1 分毎の積算降水量のグラフを図 2-29、同時間の 1 分毎の降雨強度を図 2-30 に示す。

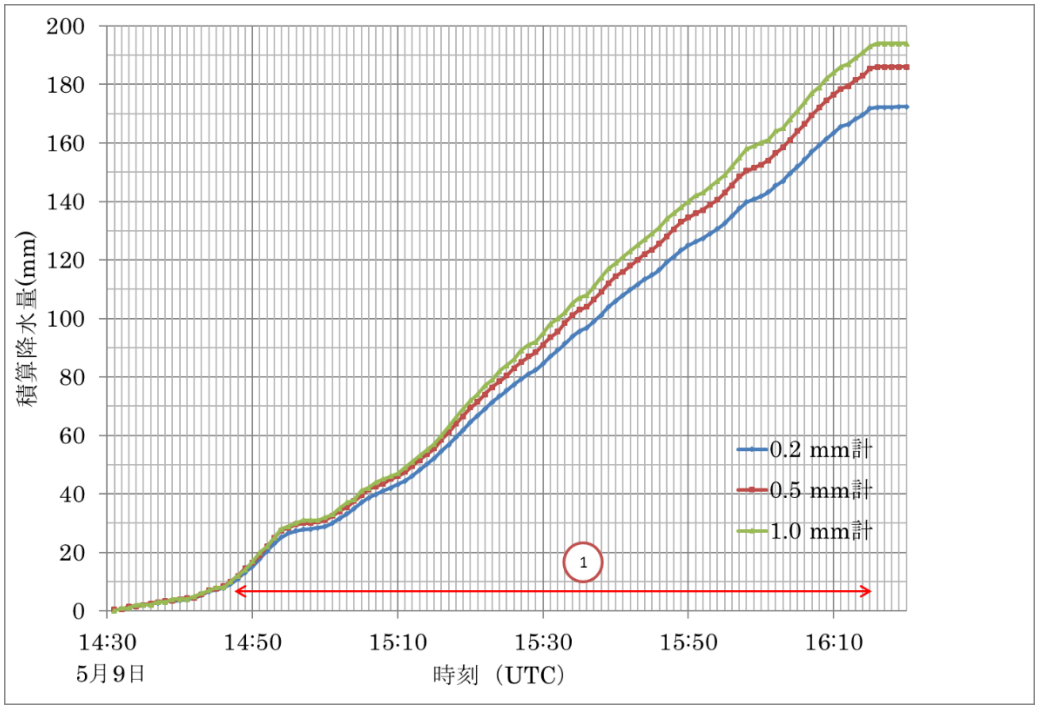


図 2-29　積算降水量の変化

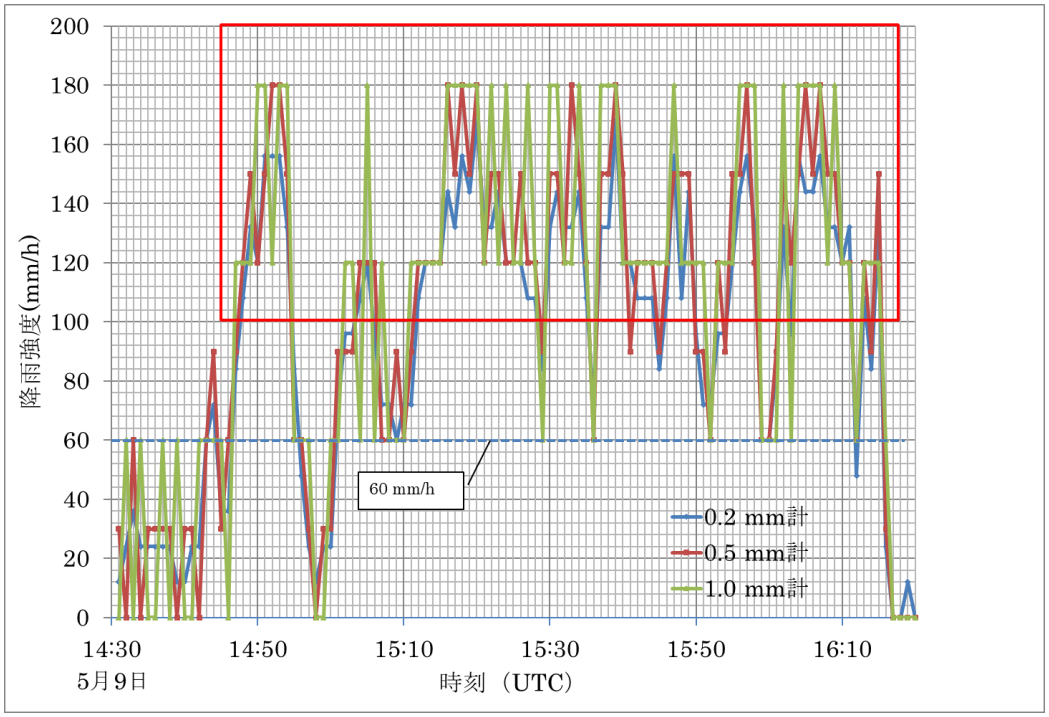


図 2-30　降雨強度の変化

期間中の降水量は 0.2 mm 計が 172.4 mm、0.5 mm 計が 186.0 mm、1.0 mm 計が 194.0 mm である。その期間の最大降雨強度は 1.0 mm 計で 180 mm/h である。図中の①で示す時間帯に、1 時間 25 分間にわたって、降雨強度 100 mm/h 以上の降水が続いた。この時間帯では、3 種類の雨量計の観測値の差が徐々に広がった。特に 0.2 mm 計で 1.0 mm 計との差が大きい。0.2 mm 計では、1 時間余りで 1.0 mm 計の降水量の 10 %超にあたる 20 mm 超の差が発生し、0.5 mm 計でも 1.0 mm 計の降水量の 4 %にあたる 8 mm の差がでた。

3.5.3 事例 3　連続した降雨で 1,000 mm を超えた事例

7 月 6 日 12 時 00 分～8 日 12 時 00 分にかけての積算降水量の時系列を図 2-31 に示す。この事例では、7 月 7 日 0 時 00 分～8 日 12 時 00 分（UTC）の 36 時間連続して降雨があり、総降水量は 1,000 mm を超えた。開始の 7 月 7 日 0 時 00 分から同日 9 時 00 分までは、一度激しい降水があったが、小康状態が続き降水量は 200 mm 程度だった。同日 9 時 00 分以降、強い雨が継続した。36 時間の降水量は、0.2 mm 計が 1025.4 mm、0.5 mm 計が 1080.0 mm、1.0 mm 計が 1109.0 mm で、0.2 mm 計の観測値と 1.0 mm 計の観測値の差は約 7 %の約 83 mm、0.5 mm 計では約 3 %の 29 mm である。図には示していないが、期間中の 1.0 mm 計から計算した降雨強度の最大値は 212 mm/h であり、降水量が急激に増えた 7 日 9 時 00 分以降は、大きな降雨強度の時間帯が数多く発生し、0.2 mm 計や 0.5 mm 計での測定誤差が大きくなった。

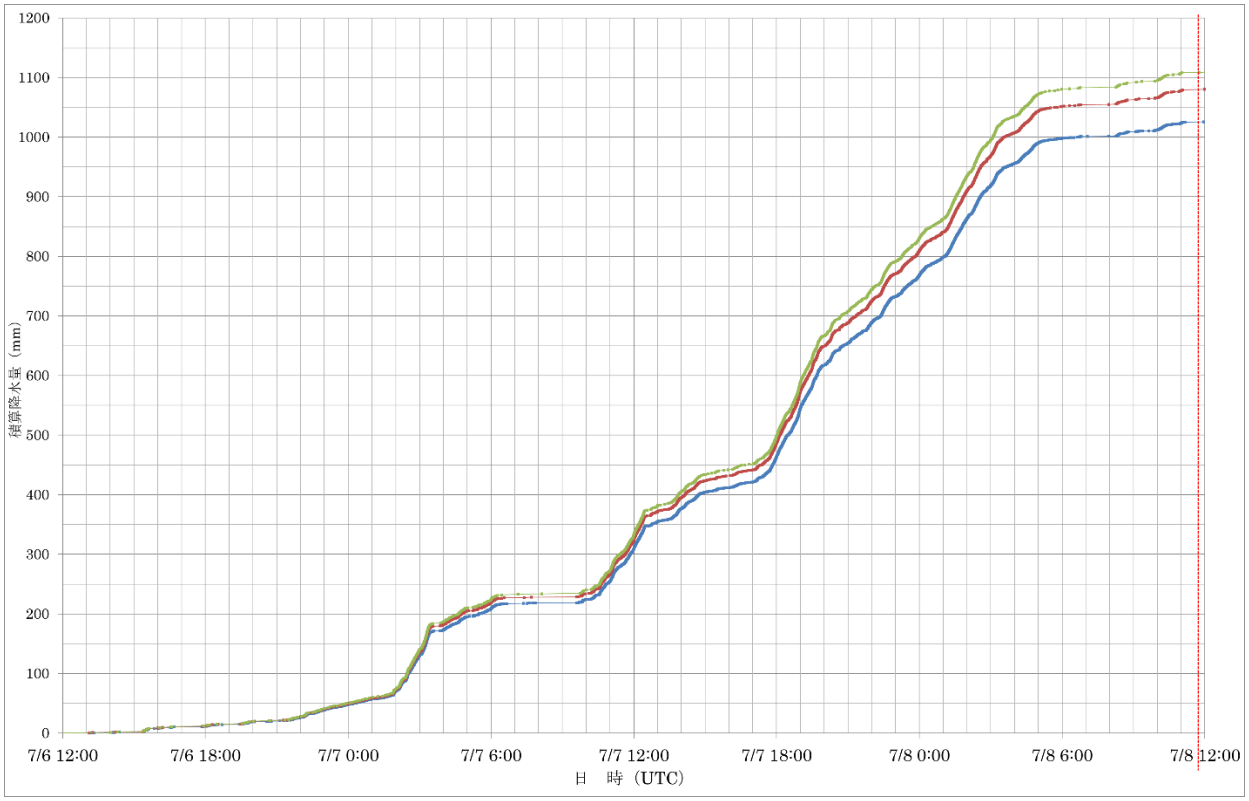


図 2-31　積算降水量の変化

4. まとめ

野外観測での測定限界調査の結果は、以下の通りである。

- 0.2 mm 計の測定限界は、降雨強度約 60 mm/h と推定できた。
  降雨強度が 60 mm/h を超える降水には十分に追従できなくなる。このような降水強度の降雨が発生する豪雨地帯での観測には適さない。

- 0.5 mm 計の測定限界は、降雨強度約 150 mm/h と推定できた。
  降雨強度 150 mm/h を超えるような非常に激しい降雨では追従できない。

第Ⅲ章 制御した注水強度に対する雨量計の性能調査

ます容量の異なる転倒ます型雨量計の測定限界を調べるために、人工的に一定流量の水を雨量計の受水口に注水したときの雨量計の応答を確認する実験を行った。この実験では、注水量と転倒ますの転倒数から求めた換算水量が一致すれば、注水量が正確に計測されたことになる。しかし、注水強度が大きくなると、転倒ますが十分追従出来なくなり、転倒ますから水が溢れるなどの現象が発生する。このような現象が発生し始める注水強度が、注水強度に対する測定限界である。

1. 簡易的に注水量を制御した実験

簡易的に注水量を制御する方法として、ペットボトルの底部を切り取り、そのキャップに穴をあけ、水が自然落下する装置を考案した。実験は、潮岬における野外観測の終了後、図 3-1 に示すように、転倒ます型雨量計の上にペットボトルを固定し、ペットボトルのキャップの穴から水が自然落下する経過を測定した。キャップの穴の大きさは、0.6 mmϕ、0.8 mmϕ、1.0 mmϕ の 3 種類、計 9 個を作成した。

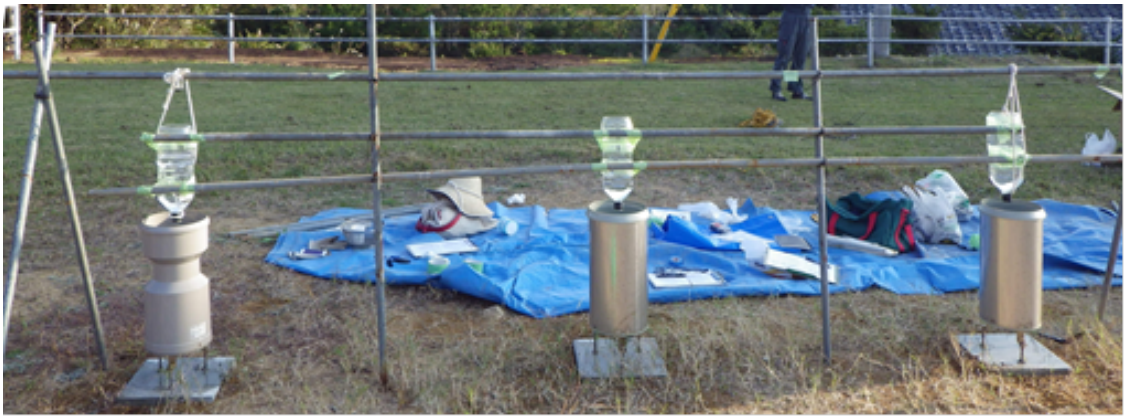


図 3-1 実験の状況 左より 0.2 mm 計、0.5 mm 計、1.0 mm 計

転倒ます型雨量計には雨量観測で使用したデータロガー（UA−003−64）を内蔵して、転倒ますの転倒時刻を記録した。各雨量計に対して、同じ穴の径のキャップを用いて同時観測を実施した。

1.1 実施内容

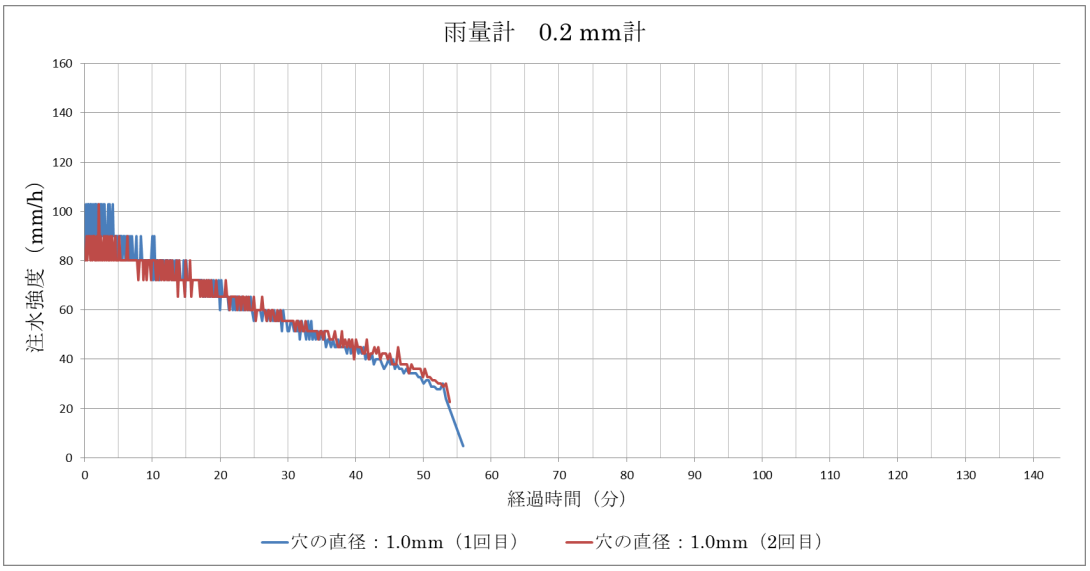
三種類の転倒ます型雨量計に対して行った実験の概要を表 3-1 に示す。ペットボトルのキャップの穴はテープで塞いだ状態で 1,800 cm^3 の水を入れ、キャップのテープを剥がして受水口に注水を開始した。この自然注水実験は野外で実施したため、気温や日射の変化によるペットボトルの容積の変化、キャプに穿孔した穴の変形など気象環境の自然注水に対する影響が考えられるが、ここではその影響は考慮していない。

表 3-1　実施概要

項　目	内　　容
場　　所	京都大学 防災研究所 潮岬風力実験所
時　　期	2013 年 11 月 8～9 日
使用機器	転倒ます型雨量計、0.2 mm 計、0.5 mm 計、1.0 mm 計の三種類
注水器材	ペットボトルとキャップ　キャップには 0.6 mmΦ,0.8 mmΦ,1.0 mmΦの 3 種類穿孔。ペットボトル 3 本、キャップ 計 9 個
注水方法	ペットボトルに 1,800 cm^3 の水を入れて自然排水
データ収録	データロガー Model UA-003-64　3 台

1.2 実験結果

図 3-2～図 3-4 に 0.2 mm 計の注水に対する応答の結果を示す。図 3-2 は穴の直径 1.0 mm のキャップに対する結果である。



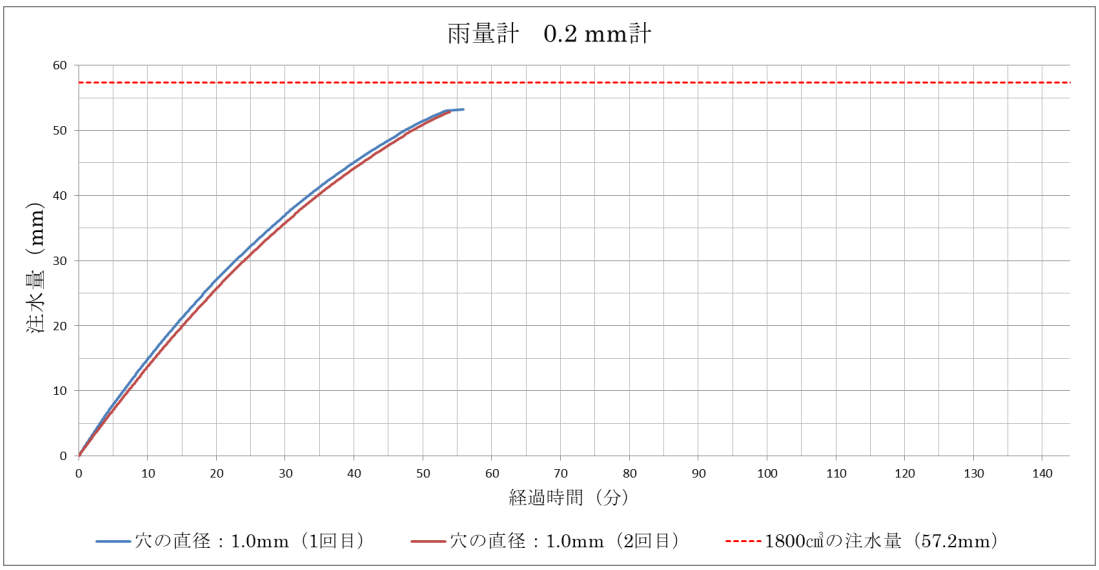


図 3-2　注水強度および注水量の経時変化図

図 3-2 の上図は、実験開始からの経過時間に対する注水強度の変化である。注水強度は転倒ますの転倒の時間間隔から求めた。注水の開始直後は、ペットボトル内の水量が大きいため、注水強度は 90 mm/h 前後である。水量が小さくなると注水強度は小さくなる。図中の青線と赤線は実施した 2 回の応答である。1 回目と 2 回目の結果の違いは小さい。図 3-2 の下図は、経過時間とその間の転倒回数から求めた注水量（換算水量）の変化を示す。注水量の単位は、mm である。例えば、0.2 mm 計の雨量計において、データロガーパルス数が 100 回の場合、100×0.2 で換算でき、このときの注水量は 20 mm となる。注水量の測定値は、時間経過とともに増え、最終的に 57.2 mm の赤点線に近づくが、実際のペットボトルに注水した量とは一致せず、誤差が生じている。

図 3-3、図 3-4 は、0.2 mm 計に対する、それぞれキャップ穴の直径 0.8 mm のペットボトルに対する場合と、キャップ穴の直径 0.6 m に対する場合の経過時間に対する注水強度と注水量の変化を示す。

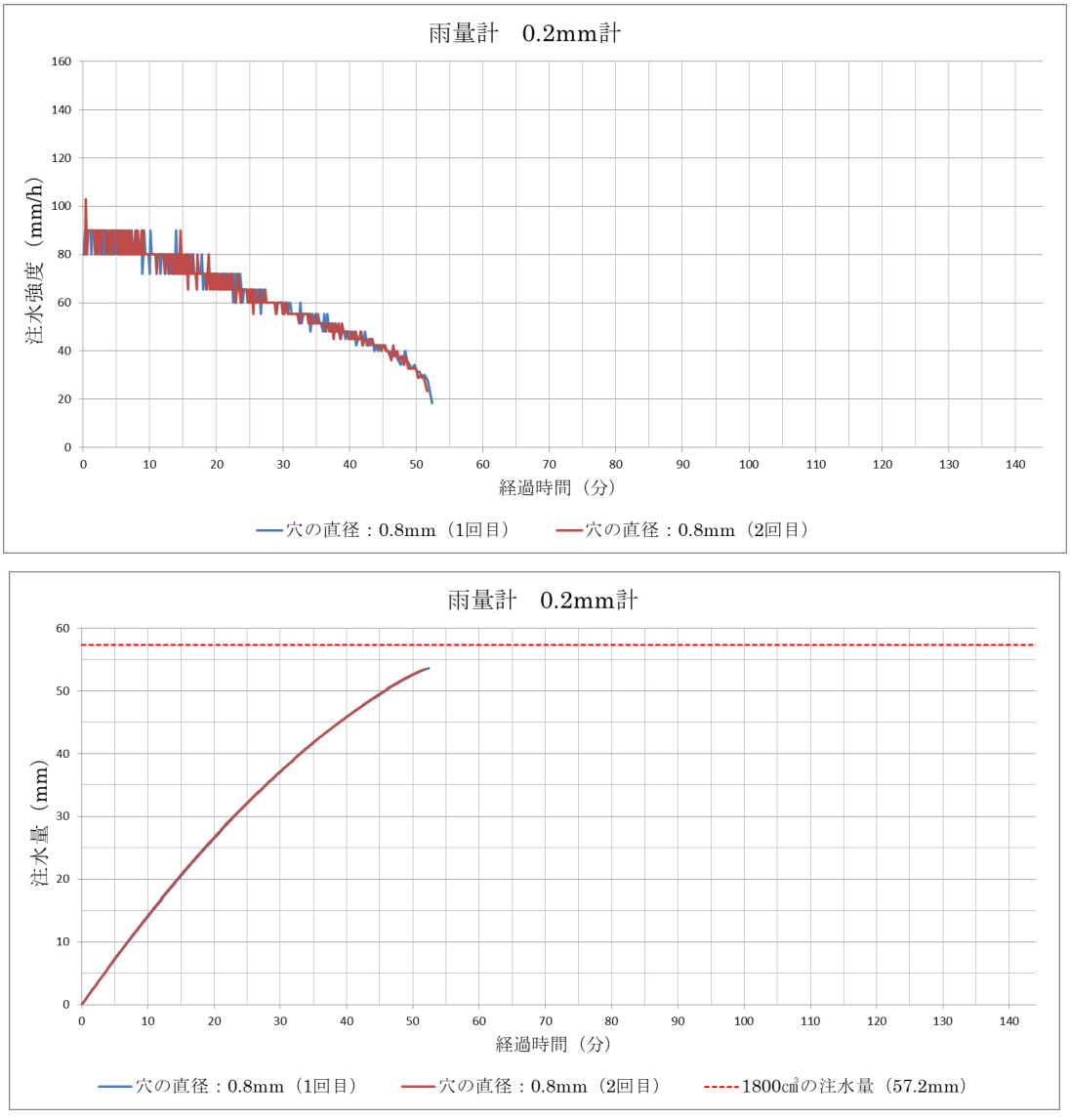


図 3-3　注水強度および注水量の経時変化図

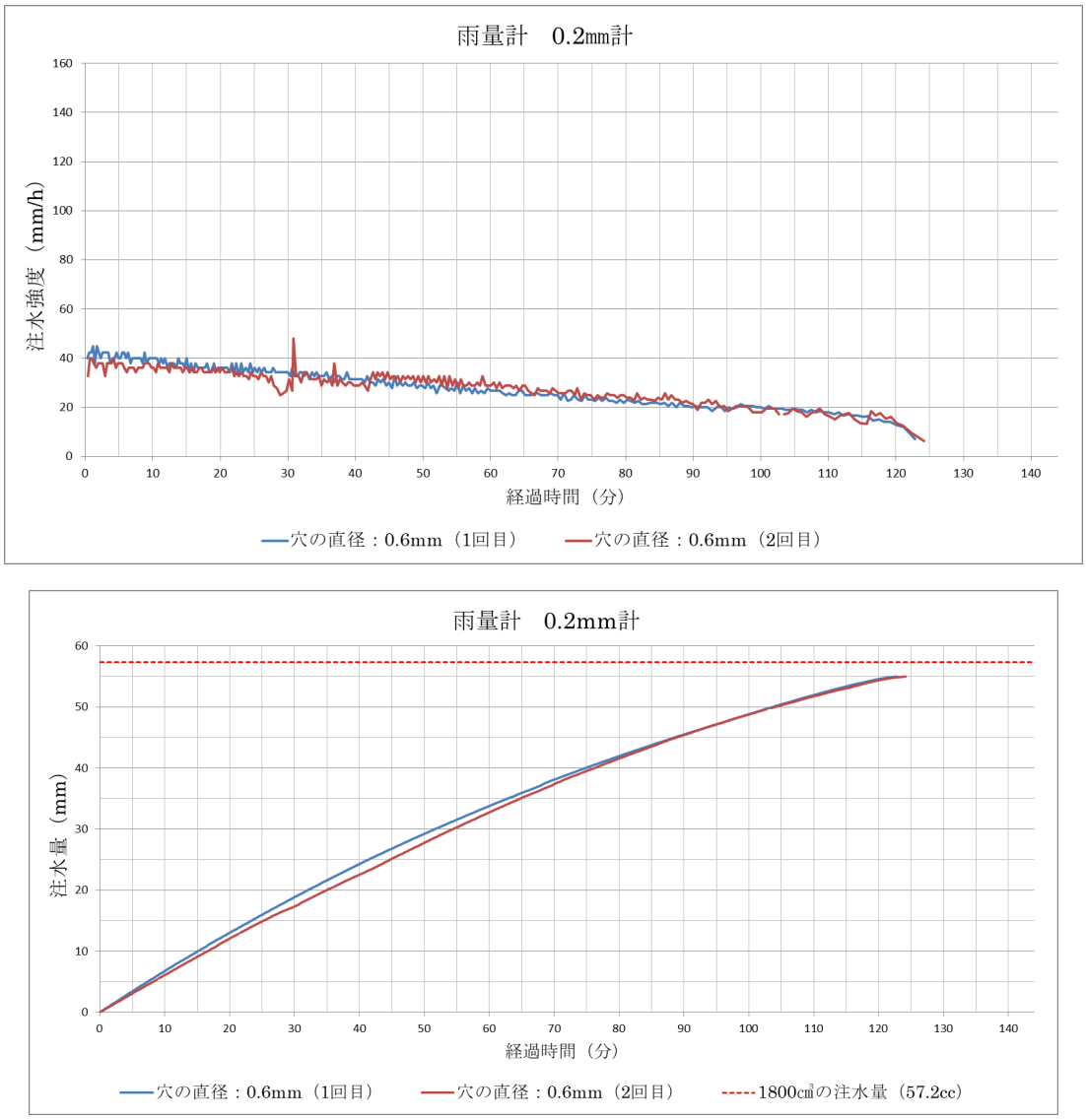


図 3-4　注水強度および注水量の経時変化図

1.3 考察とまとめ

今回の実験でデータロガーから求めた穴の直径毎の注水強度と注水量は、下表のとおりである。ペットボトルに最初に注水した 1800 cm^3 分の水量は直径 200 mm の入水面に対して 57.2 mm の水量に相当するので、この値と測定値の差が誤差である。1 回目と 2 回目の測定値と測定値から誤差を評価した結果が表 3-2 から表 3-4 である。

表 3-2 注水強度と測定誤差の関係（0.2 mm 計）

穴の直径	注水強度	注水量（左が 1 回目、右が 2 回目の測定値）	注水量との差（1 回目､2 回目）	測定誤差の平均
1.0 mm	30～90 mm/h	53.2、52.8 mm	4.0、4.4 mm	7.9 %
0.8 mm	35～85 mm/h	53.6、53.2 mm	3.6、4.0 mm	7.1 %
0.6 mm	15～40 mm/h	55.0、54.8 mm	2.2、2.4 mm	4.2 %

表 3-3 注水強度と測定誤差の関係（0.5 mm 計）

穴の直径	注水強度	注水量（左が 1 回目、右が 2 回目の測定値）	注水量との差（1 回目､2 回目）	測定誤差の平均
1.0 mm	60～145 mm/h	55.5、55.0 mm	1.7、2.2 mm	3.6 %
0.8 mm	40～80 mm/h	55.5、56.0 mm	1.7、2.2 mm	3.6 %
0.6 mm	20～45 mm/h	57.0、56.0 mm	0.2、1.2 mm	1.2 %

表 3-4 注水強度と測定誤差の関係（1.0 mm 計）

穴の直径	注水強度	注水量（左が 1 回目、右が 2 回目の測定値）	注水量との差（1 回目､2 回目）	測定誤差の平均
1.0 mm	40～100 mm/h	56.0、55.0 mm	1.2、2.2 mm	3.0 %
0.8 mm	40～100 mm/h	56.0、55.0 mm	1.2、2.2 mm	3.0 %
0.6 mm	15～40 mm/h	57.0、56.0 mm	0.2、1.2 mm	2.1 %

※1　実験開始直後、実験終了直前のペットボトル内の水が残りわずかになった時に注水強度が急速に落ちる部分は解析から除外した。

※2　測定誤差は、注水量との差÷57.2×100 で求め、1 回目と 2 回目の平均を行った。

表 3-2 より、0.2 mm 計では穴の直径 1.0 mm と 0.8 mm のキャップによる注水時に、前章の野外観測での注水強度 60 mm/h を超える事例が得られ、その時の測定誤差は 7.9 および 7.1 %で器差 3 %を上回っている。穴の直径 0.6 mm のキャップによる注水では、注水強度は最大で 40 mm/h であり、その測定誤差は 4.2 %であった。

表 3-3 より、0.5 mm 計ではいずれの大きさの穴のキャップによる注水でも、測定誤差は 1.2 ~ 3.6 %であり、概ね器差 3 %の範囲であった。注水強度 150 mm/h を超える注水強度を再現することができなかったため、測定限界の確認はできなかった。

表 3-4 より 1.0 mm 計では、すべての大きさの穴のキャップでの注水に対して、測定誤差は 2.1 ~ 3.0 %以下であった。注水強度は 100 mm/h 以下では、器差 3 %以下の測定が可能であった。しかしながら、注水強度 100 mm/h を超える注水強度を再現できず、雨量計の測定限界の確認はできなかった。

2. 精密に注水量を制御した実験

精密な注水量を制御した注水強度を再現できる方法として、ポンプにより一定量を注水する方法を考案した。

2.1 注水ポンプの概要

転倒ます型雨量計の受水口に一定水量を継続的に注水するため、理化学、医療や薬学及び食品等分野の実験で使用されているチューブポンプ（Tube pump，動作方式が同じでも呼称が多数あるがここではチューブポンプという）を採用した。

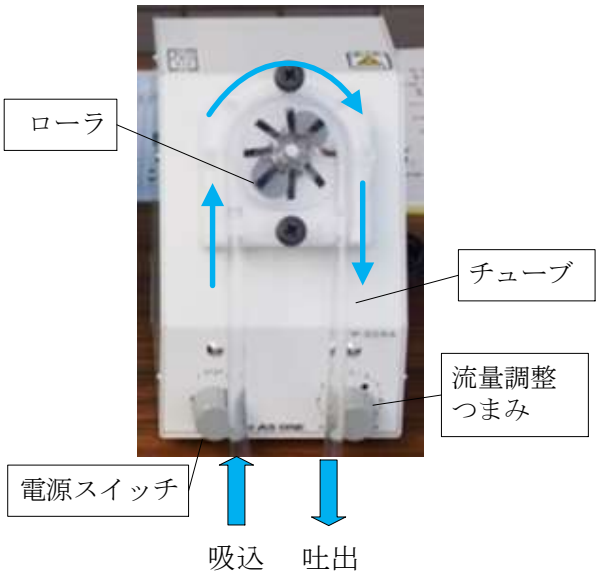


図 3-5　チューブポンプの外観

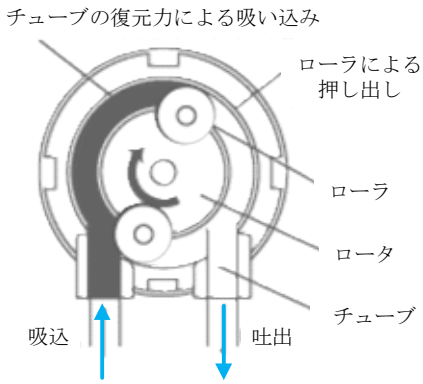


図 3-6　チューブポンプの原理

チューブポンプは、図 3-5、図 3-6 に示すように、弾力性のあるチューブを回転するアームの先端に装着したローラで圧し潰しながら中の液体を排水する仕組みである。チューブの内径とアームの回転数で排水量が決まり、アームの回転数の変化により、排水量を変化させることができる。アームの回転はモーターで行うが、通常の電動モーターでは微妙な負荷で回転数が変化するため、ステッピングモーター（Stepping motor,Stepper motor，パルスモーターと同意語 ）を使用した。このステッピングモーターの利用により、回転数 0 から最大回転数の範囲内で回転を一定に保つことが可能となり安定した排水流量が得られる。今回採用したのは、アズワン社製の Model TP−20SA（図 3-5 参照）である。表 3-5 にチューブポンプ Model TP−20SA の仕様の一部を示す。

表 3-5 チューブポンプ Model TP−20SA 仕様（取扱説明書より抜粋）

項　　目	内　　容	備　　考
型　　式	TP−20SA	アズワン社製
ポンプ形式	2 ローラーポンプをステッピングモーターで駆動	2 アーム
ポンプ回転数	1～250 rpm	
チューブ材質	シリコン，ダイコン(R)，ファーメド(R)	何れも利用可
チューブ寸法	6 d × 9 D mmΦ, 7 d × 10 D mmΦ	内径 d×外形 D
排 水 流 量	5 ～ 1,000 cm^3/min	
電　　源	100 ～ 240 AC 50/60 Hz	

本装置は 1 分間に 1,000 cm^3 の最大排水流量が実現可能で、この値は 1 時間当たり 60,000 cm^3 の排水量に相当する。直径 200 mm の受水口の転倒ます型雨量計に注水する場合、高さ 1 mm の水量は、10 cm×10 cm×0.1 cm×3.14 = 31.4 cm^3 である。従って、排水流量 60,000 cm^3/h の注水強度は 60,000÷31.4 = 1,910 mm/h に相当する。この値は自然界で発生する最大降雨強度をはるかに上回る値であり本実験の目的を十分満足するものである。

2.2 実験概要

実験は時期を分けて 3 回実施した。実験に使用した転倒ます型雨量計は、野外の雨量観測に使用した器材を使用すべきであったが、0.5 mm 計が使用出来ず、規格は同じであるがメーカの異なる 0.5 mm 計を使用した。いずれの機器も気象測器検定規則に準拠した雨量計であり、大きな差は生じないと判断した。実施場所と器材については、表 3-6 に示す。

表 3-6　実施場所と器材

項　目	内　　容
実施場所と時期	第 1 回 2015 年 1 月 20 日～21 日: MeST 京都分室
	第 2 回 2015 年 3 月 3 日～ 5 日 ：MeST 東京
	第 3 回 2016 年 2 月 26 日 ：MeST 東京
使用機器	転倒ます型雨量計 0.2 mm 計、0.5 mm 計、1.0 mm 計の三種類　合計 3 台
注水器材	チューブポンプ Model TP−20SA　1 台
注水方法	チューブポンプによる制御された注水
計量器材	雨量ます（受水口直径 200 mm 用）　1 台
データ収録	雨量計用データロガーModel PL−5150N　1 台

転倒ます型雨量計に接続する雨量計用データロガーModel PL−5150N は、東洋電子工業と気象情報通信で共同開発した装置で、転倒ます型雨量計の出力信号に含まれるチャタリング対策を講じた製品である。

三種類の転倒ます雨量計の受水口の直径が 200 mm であるため、雨量計に注水する雨量に相当する水の計量は、200 mm 計専用の雨量ますで計量した（図 3-7 参照）。この雨量ますは、貯水型雨量計の雨水計量に使用していた歴史のあるガラス製の計量ますであり、雨量ますに 31.4 cm^3 の水が入ると、雨量ますの目盛りで 1 mm を示すように設計されている。

図 3-8 に MeST 京都分室に設置した実験装置を示す。給水タンクからチューブポンプで水を吸込み、その水をチューブにて転倒ます型雨量計の受水口に注水し、実験終了後に給水タンクの残水量を計量することで、注水量を確認した。図右上の給水タンクの水がチューブを介して、チューブポンプに一定流量で取り込まれ雨量計に注がれる。その時の転倒ますの転倒時刻がデータロガーに収録される。

図 3-7　ガラス製雨量ます

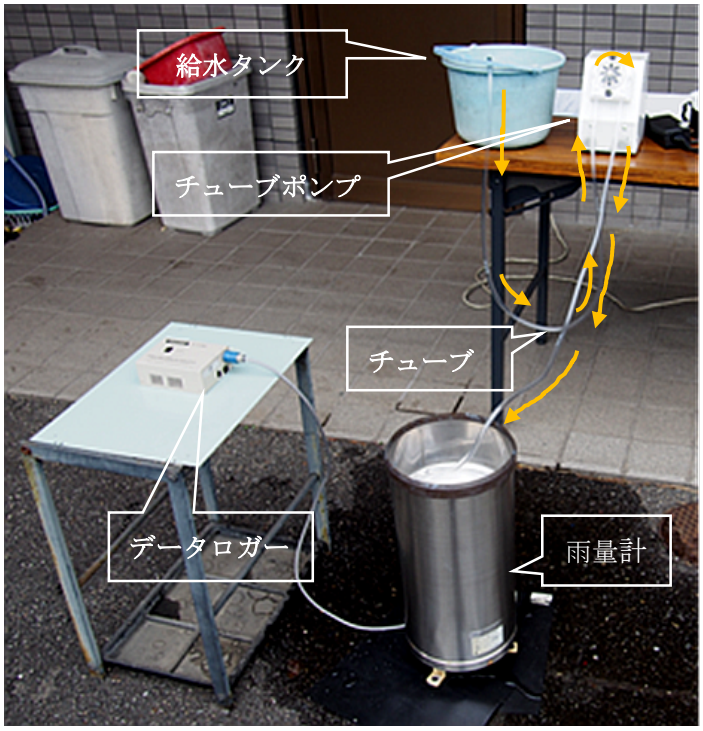


図 3-8　　MeST 京都分室に設置した実験装置

図 3-8 の実験装置を使用して行った手順の詳細は以下の通りである。

（1）データロガーの時刻校正をし、転倒ます型雨量計に接続する。
（2）チューブポンプの目盛りを調整して目標流量を確定する。
（3）転倒ますに残っている水を全て排水する。
（4）給水タンクに雨量ますで計量して実験に必要な水量を注水する。
（5）受水口に所定の注水をおこなう時間は、注水強度等を勘案し決定する。
（6）注水完了後、給水タンクの残水量を計量する。

以上の作業を、1 種類の転倒ます型雨量計につき、同一注水量で 3 回実施した。

転倒ます型雨量計に注水した水量と、転倒ますの転倒回数から換算した換算水量を比較して、転倒ます型雨量計の性能を判断した。注水量と換算水量の差が測定誤差である。この誤差の原因としては、注水強度が大きい場合の、転倒ますの転倒が十分追従できないことなどが考えられる。

表 3-7 に、注水強度を設定して実際に行った実験条件を示す。注水強度は、40 mm/h から 600 mm/h の範囲である。表の〇印が実施した転倒ます型雨量計ごとの注水強度であり、0.2 mm 計では 40 mm/h から 500 mm/h の 9 段階、0.5 mm 計で 8 段階、1.0 mm 計で 5 段階の合計 22 段階について試験を行った。それぞれ、1 段階につき各 3 回の実験を行った。

表 3-7　転倒ます型雨量計別の確認項目

注水強度	0.2 mm 計	0.5 mm 計	1.0 mm 計
40 mm/h	○		
50 mm/h	○	○	
60 mm/h	○		
80 mm/h	○		
100 mm/h	○	○	
120 mm/h	○		
150 mm/h		○	
200 mm/h	○	○	○
250 mm/h		○	
300 mm/h		○	○
400 mm/h	○	○	○
500 mm/h	○	○	○
600 mm/h			○

2.3 実験結果

0.2 mm 計の第 1 回から第 3 回の解析結果を表 3-8 から表 3-10 に示す。野外観測の結果を考慮して、0.2 mm 計の測定限界の約 60 mm/h および 0.5 mm 計の測定限界の約 150 mm/h の近傍について重点的に実験を行った。第 1 回の実験では、注水時間を一定にしたため、それぞれの注水強度での総パルス数が変化し、1 パルスが誤差に寄与する重みが違ったことから、第 2 回および第 3 回の実験では、それぞれの注水強度でパルス数が概ね 100 パルスになる注水量を事前に計算して実験を計画した。

表 3-8 から表 3-10 の注水強度は、事前にチューブポンプの目盛りを調整して目標流量を調整した。注水量は、実験開始時と終了時の給水タンクの貯水量の差を雨量ますで計量し求め、この注水量と注水時間から実注水強度を求めた。注水量は、雨量ますで計量した値であり、単位は mm で記述している。パルス数は、注水時にデータロガーから得られたパルス数であり、パルス数より、換算水量を求めた。0.2 mm 計の雨量計において、データロガーパルス数が 20 回の場合、20×0.2 で換算でき、このときの換算水量は 4.0 mm となる。換算水量の単位は、注水量と同じく mm である。測定誤差は、（注水量－換算水量）／注水量×100 で計算した。

表 3-8　第 1 回　解析結果表（0.2 mm 計）

注水強度 (mm/h)	回数	注水量 (mm)	注水時間 (分間)	実注水強度(mm/h)	パルス数 (回)	換算水量 (mm)	測定誤差(%)
50	1 回目	4.3	5	51.6	20	4.0	7.0
	2 回目	4.2	5	50.4	20	4.0	4.8
	3 回目	4.2	5	50.4	19	3.8	9.5
100	1 回目	8.4	5	100.8	39	7.8	7.1
	2 回目	8.4	5	100.8	39	7.8	7.1
	3 回目	8.5	5	102.0	39	7.8	8.2
200	1 回目	16.4	5	196.8	72	14.4	12.2
	2 回目	16.7	5	200.4	71	14.2	15.0
	3 回目	16.3	5	195.6	71	14.2	12.9
400	1 回目	33.7	5	404.4	134	26.8	20.5
	2 回目	33.2	5	398.4	133	26.6	19.9
	3 回目	34.0	5	408.0	135	27.0	20.6

表 3-9　第 2 回　解析結果表（0.2 mm 計）

注水強度 (mm/h)	回数	注水量 (mm)	注水時間 (分間)	実注水強度(mm/h)	パルス数 (回)	換算水量 (mm)	測定誤差(%)
40	1 回目	16.8	30	33.6	81	16.2	3.6
	2 回目	16.4	30	32.8	78	15.6	4.9
	3 回目	15.9	30	31.8	76	15.2	4.4
60	1 回目	18.4	20	55.2	87	17.4	5.4
	2 回目	17.7	20	53.1	84	16.8	5.1
	3 回目	18.1	20	54.3	85	17.0	6.1
80	1 回目	21.0	15	84.0	97	19.4	7.6
	2 回目	20.7	15	82.8	95	19.0	8.2
	3 回目	20.5	15	82.0	95	19.0	7.3
100	1 回目	20.1	12	100.5	93	18.6	7.5
	2 回目	19.9	12	99.5	91	18.2	8.5
	3 回目	19.9	12	99.5	91	18.2	8.5
120	1 回目	20.5	10	123.0	93	18.6	9.3
	2 回目	20.0	10	120.0	89	17.8	11.0
	3 回目	20.5	10	123.0	92	18.4	10.2

表 3-10　第 3 回　解析結果表（0.2 mm 計）

注水強度 (mm/h)	回数	注水量 (mm)	注水時間 (分間)	実注水強度(mm/h)	パルス数 (回)	換算水量 (mm)	測定誤差(%)
200	1 回目	20.6	6	206.0	87	17.4	15.5
	2 回目	20.3	6	203.0	86	17.2	15.3
	3 回目	20.3	6	203.0	88	17.6	13.3
300	1 回目	19.2	4	288.0	79	15.8	17.7
	2 回目	19.3	4	289.5	80	16.0	17.1
	3 回目	19.3	4	289.5	79	15.8	18.1
400	1 回目	18.1	3	362.0	78	15.6	13.8
	2 回目	19.6	3	392.0	78	15.6	20.4
	3 回目	19.6	3	392.0	77	15.4	21.4
500	1 回目	20.0	2.4	500.0	76	15.2	24.0
	2 回目	20.2	2.4	505.0	76	15.2	24.8
	3 回目	20.3	2.4	507.5	76	15.2	25.1

表 3-8 から表 3-10 の結果から、すべての実験において、注水強度が大きくなると、誤差が大きくなる。

0.2 mm 計、0.5 mm 計、1.0 mm 計のそれぞれの実験結果から、注水強度と誤差の関係を図 3-9 示す。図中の赤線は雨量計の許容誤差の 3 %である。また、各雨量計での近似曲線を点線で示した。0.2 mm 計の近似曲線は注水強度約 30 mm/h 付近で 3 %上回り、注水強度 60 mm/h で 5 %、その後、注水強度が大きくなるにつれて誤差は大きくなり、注水強度 350 mm/h では 20 %を上回った。0.5 mm 計では、許容誤差 3 %を超えるのは注水強度約 100 mm/h であり、その後、誤差は大きくなり、緩やかに 8 %程度まで増加する。1.0 mm 計では、誤差 3 %を超えるのは注水強度が約 200 mm/h であり、その後、誤差は大きくなるが、最大 6 %以下である。

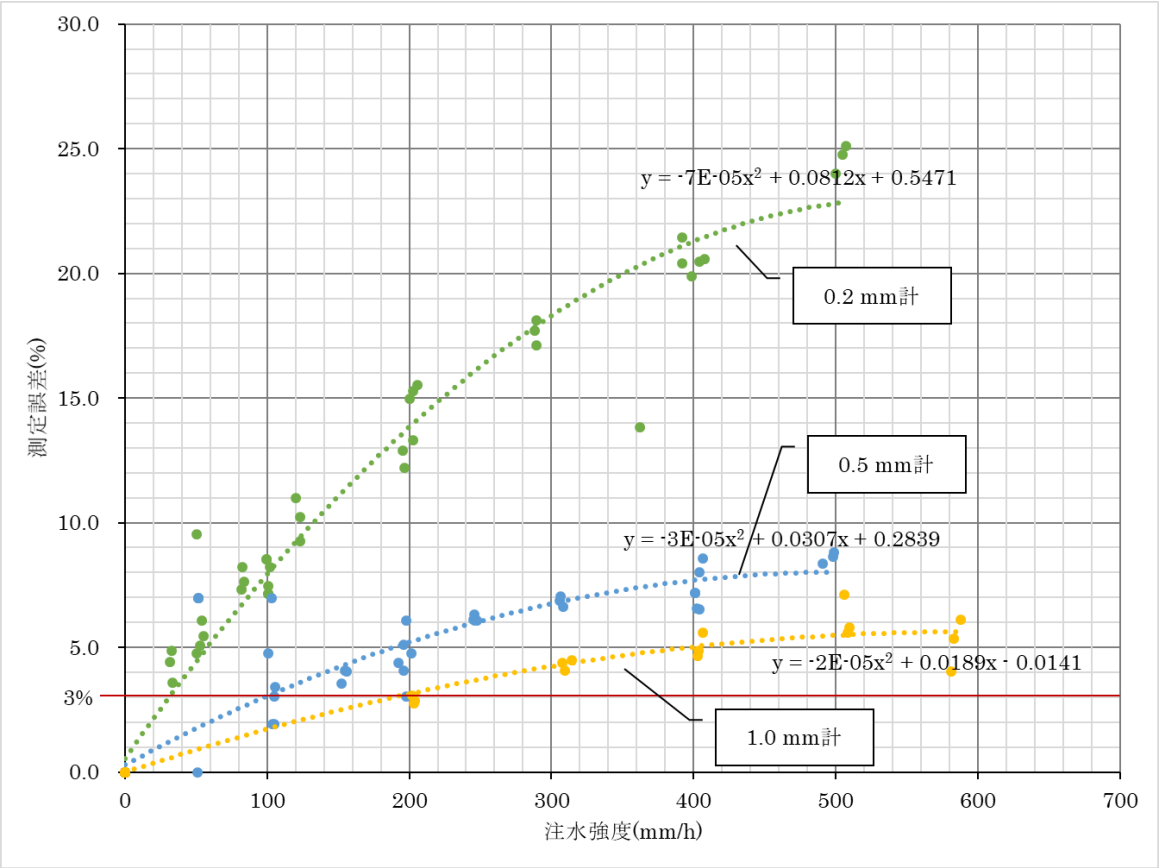


図 3-9　注水強度と測定誤差の関係

2.4 まとめ

転倒ます型雨量計の測定限界を確認するため、注水量を精密に制御した実験を行った。注水強度に対する各機器の誤差を見積もり、測定しうる注水強度の限界を示すことができた。

結果は以下の通りである。

- 0.2 mm 計では、注水強度 30 mm/h 以下では誤差 3 %以内であるが、60 mm/h で 5 %、100 mm/h では 8 %と誤差の値が大きくなる。
- 0.5 mm 計では、注水強度 100 mm/h 以下では誤差が 3 %以下であるが、140 mm/h で 4 %、200 mm/h で 5 %程度である。
- 1.0 mm 計では、注水強度 200 mm/h 以下で誤差が 3 %以下であり、400 mm/h でも誤差 5 %程度である。三種類の転倒ます雨量計の中で測定限界値はもっとも高く 200 mm/h と推定される。野外観測で雨量測定の基準器としたことは妥当だと判断できる。

3. 転倒ます型雨量計の出力信号

3.1 チャタリング現象

転倒ます型雨量計のパルス信号で発生するチャタリング現象が、雨量観測に影響を与えることがあることから、転倒ます型雨量計のパルス信号の出力原理とチャタリング現象の関係について説明する。図 3-10 に、転倒ます型雨量計の外筒を外した内部の計測部を示す。図左の白枠で囲った部分は、通常は防水のために保護カバーで覆われ見えないが、マグネットとリードスイッチが取り付けられている。

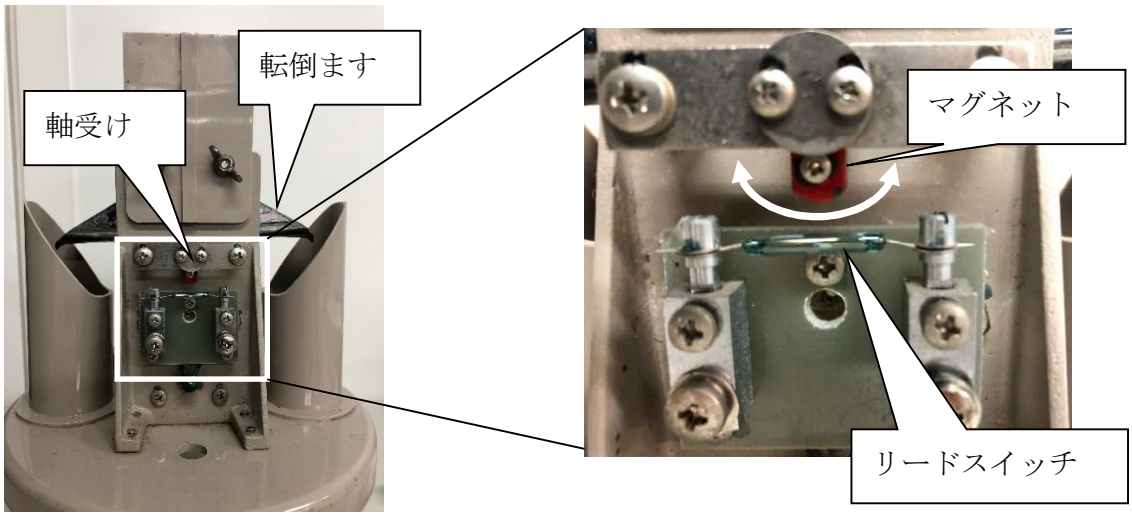


図 3-10　転倒ます型雨量計計測部の背面

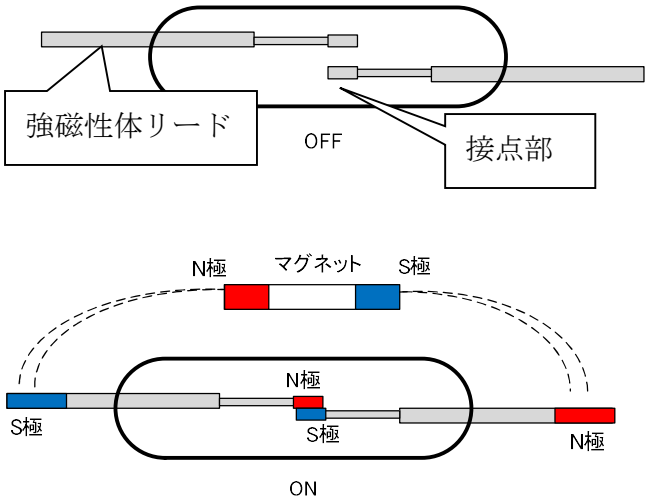


図 3-11　リードスイッチの構造

図 3-11 にリードスイッチの構造を示す。図の上段がスイッチ OFF、下段が ON の状態を示している。リードスイッチは図のように，2 本の強磁性体リードが接点間隔を持って相対し、ガラス管の中に封入されている。このリードスイッチに対してリードの軸方向に磁界を外部から加えるとリードが磁化され，相対した接点部が互いに接触して回路が ON（クローズ）になる。

転倒ます型雨量計では、マグネットは雨量計の軸受けとつながっていて、転倒ますの転倒に合わせて、左右に円弧を画く。転倒ますがどちらかに傾いているときは、マグネットとリードスイッチの間は離れているので、リードスイッチは OFF（オープン）であり、転倒ますが転倒を始め両者が最も接近した時（転倒ますが左右平行になった状態のとき）に、マグネットによってリードスイッチが ON（クローズ）の導通状態になる。その後、転倒ますが反対方向に傾いてしまうと、再びリードスイッチは OFF に戻る。リードスイッチが ON になる時に、本来ならば、1 個の

パルス信号が発せられる。しかし、強磁性体リードの両接点が接触する直前、または離れる直前に接点間で放電現象を生じて、瞬時に ON,OFF を繰り返すチャタリング（Chattering）が発生する場合がある。

図 3-12 に、チャタリング信号の概念図を示す。図左の上段の出力信号の点線で囲んだ部分がチャタリングであり、複数の ON,OFF を繰り返す。下段のようにパルス信号の立ち上がり、立ち下りが明確な信号であれば、問題はないが、実際には機械式スイッチの特性上、理想的な波形にはならない。図右の実測波形は、転倒ます型雨量計の出力信号のチャタリングを確認するため、オシロスコープで計測した波形であり、画面の時間幅は 200 マイクロ秒である。画面左端にパルス信号の立ち上がりが来るようにオシロスコープの表示を調整したところ、画面内に数十マイクロ秒幅のチャタリング発生の信号が複数確認された。

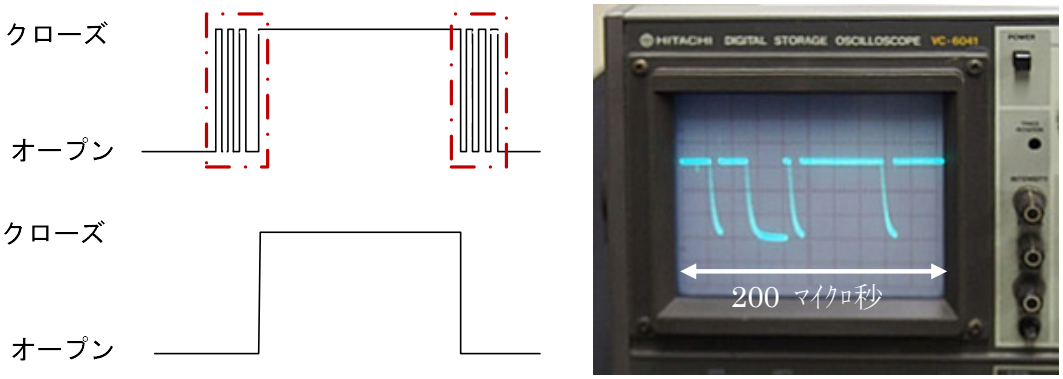


図 3-12 チャタリングの概念図（左）と実測波形（右）

3.2 データロガーのパルス信号に対する応答実験

データロガーでパルス信号を収録する場合、パルス信号内にチャタリングが含まれると、どのような内部処理を行うかを確認するために、転倒ます型雨量計の出力信号の代わりに、パルス発生装置から発するパルス信号をデータロガーに直接入力し記録する実験を行った。

チャタリング信号のパルス幅は数十マイクロ秒であるが、今回準備したパルス発生装置で再現できる最小パルス幅は 10 ミリ秒であり、このパルス幅を短いパルス幅として実験を行った。

表 3-11 に、実験の実施日および場所を示す。

表 3-11　実験の実施日および場所

項　　目	実　施　日	実　施　場　所
パルス信号に対する応答実験	2015 年 1 月 21 日	京都府京田辺市 MeST 京都分室

実施した実験の詳細と結果は、以下の通りである。

① 短いパルスの入力

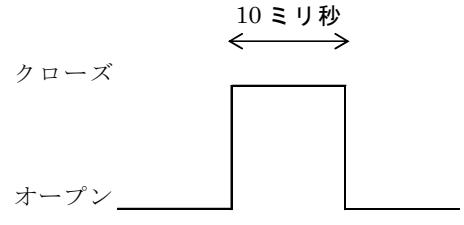


図 3-13　短いパルスの入力

パルス発生装置にてパルス幅 10 ミリ秒の短いパルスを発生させてデータロガーで収録した。データロガーは 10 ミリ秒のパルスを 1 カウントとして収録した。なお、今回検証に使用したパルス発生装置は 10 ミリ秒未満の短いパルスを発生することができないため、10 ミリ秒のパルスで検証した。

② 長いパルスの入力

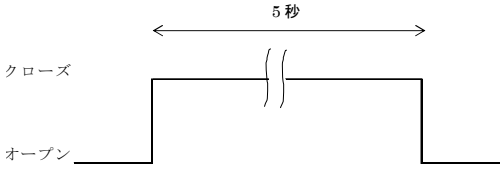


図 3-14　長いパルスの入力

パルス発生装置にてパルス幅 5 秒の長い時間のパルスを発生させてデータロガーで収録した。その結果、5 秒のパルスを 1 カウントとして収録した。

③ 連続したパルスの入力

次に、チャタリング信号を想定して連続したパルスの入力テストを 2 ケース実施した。

ケース 1：パルス間隔が長い場合

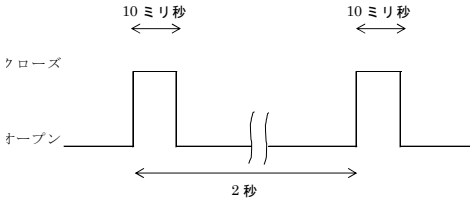


図 3-15　連続したパルスの入力イメージ 1

パルス発生装置にて 2 秒のパルス間隔で 10 ミリ秒幅のパルスを 2 回連続して発生させてデータロガーで収録した。20 回の連続テストを実施したが、いずれの場合も 2 つのパルスをデータロガーは収録した。

ケース 2：パルス間隔が短い場合

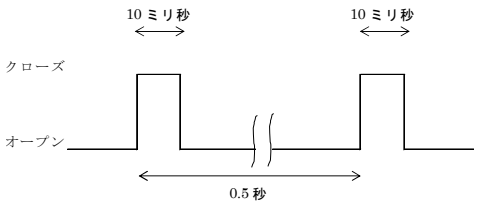


図 3-16　連続したパルスの入力イメージ 2

パルス発生装置にて 0.5 秒のパルス間隔で 10 ミリ秒幅のパルスを 2 回連続して発生させてデータロガーで収録した。5 回の連続テストを行ったところ、3 回は 2 つのパルスをカウントし、2 回は 1 パルスとしてデータロガーは収録した。

実験においてデータロガーの内部処理を確認したところ、連続したパルス入力のケース 1 では前者と後者のパルス間隔が 1 秒以上開いているため、どちらも正常な転倒信号とみなして収録した。一方、ケース 2 では、前者と後者のパルス間隔が 0.5 秒と間隔が短いため、結果にばらつきが出た。

転倒ます型雨量計のパルス信号を収録するデータロガーでは、連続したパルスの間隔が 1 秒未満の信号の場合、内部処理にて前者のパルスを正常な転倒信号とみなし、後者のパルスを受け付けないような処理が組み込まれていると、実際の雨量観測でチャタリング信号が発生した場合でも二重カウントが防止でき、雨量観測に影響を与えることは避けられる。

第Ⅳ章　ま　と　め

本報告書は、転倒ます型雨量計のます容量 0.2 mm 計、0.5 mm 計、1.0 mm 計の 3 種類について、降雨強度に対する測定限界を調査した結果をまとめたものである。

野外観測では、潮岬で約 5 か月間の予備観測を行い、その後、インドのチェラプンジで約 10 か月間の本観測を行った。いずれの観測でも、0.2 mm 計は降雨強度約 60 mm/h が測定限界であり、これを超えると転倒ますが十分追従できない。降雨強度が 60 mm/h を超える激しい降雨が継続すると測定誤差が大きくなることが明らかになった。0.5 mm 計は、0.2 mm 計より測定限界は高く、約 150 mm/h であることが確認できた。

実験室において人工的に一定流量に制御した水を転倒ます型雨量計に注水して、実験的に測定限界を確認する調査を行った。0.2 mm 計は注水強度 30 mm/h を超えると誤差は 3 %を超え、60 mm/h で 5 %と誤差が大きくなった。0.5 mm 計は 100 mm/h を超えると誤差は 3 %を超えた。1.0 mm 計は 200 mm/h までは、誤差は 3 %以内であった。

野外観測および実験室において 3 種類の転倒ます型雨量計の測定限界を調べたところ、0.2 mm 計が最も低く、0.5 mm 計、1.0 mm 計の順で高くなった。0.2 mm 計は、降雨強度が 60 mm/h を超えるような激しい降雨現象が発生する地域での利用は適さない。その地域の降雨特性に適したます容量の雨量計の選択が重要である。

以上の通り、今回の調査研究によって 0.2 mm 計の限界が明らかになり、当初の調査目的は達成された。

本研究の参加メンバーと役割分担、所属一覧

氏　名	役　割	所　属　企　業
林　　泰一	研究の総括 潮岬およびチェラプンジでの観測	京都大学東南アジア地域研究研究所および MeST
永瀬　　司	潮岬での雨量計設置 潮岬での簡易実験の実施 観測データ解析・処理	気象情報通信（株）
寺地 雄輔	潮岬での雨量計取付台の製作	気象情報通信（株）
河内 伸治	潮岬での雨量計設置	京都大学 防災研究所 潮岬風力実験所　技術支援職員
小松 亮介	潮岬での簡易実験の実施	(株)小松製作所および MeST
Sylemileihe, H.J.	チェラプンジでの野外実験の実施	North Eastern Hill 大学
Cajee, L.	チェラプンジでの野外実験の実施	North Eastern Hill 大学
木船 一晶	室内精密実験の実施・データ解析 データロガーの検証	気象情報通信（株）
石水 慎治	室内精密実験の実施	気象情報通信（株）
吉田 大紀	室内精密実験の実施	気象情報通信（株）
林　　夕路	室内精密実験の実施 データロガーの検証	東洋電子工業(株)および MeST
田村 直美	室内精密実験の実施 データロガーの検証	東洋電子工業(株)および MeST
太田 行俊	データロガーの検証	東洋電子工業（株）
三谷 圭吾	データロガーの検証	東洋電子工業（株）
渡邉 好弘	雨量観測に関する歴史調査 実験アドバイザー	気象情報通信(株)および MeST
橋波 伸治	報告書のまとめ	気象情報通信(株)および MeST
山本　　哲	実験アドバイザー	気象庁気象研究所
木口 雅司	実験アドバイザー	東京大学生産技術研究所

（所属企業は 2018 年 10 月現在、順序不同）

謝　辞

この報告書にまとめるにあたり、多くの方に協力いただいた。気象庁気象研究所 山本 哲氏、京都大学 防災研究所 潮岬風力実験所関係者、海外の観測を共同して実施した南アジア気象水文研究連絡会の会員、国内の観測や実験の実務を担当した気象情報通信（株)、電子技術面で支援して頂いた東洋電子工業（株）に深く謝意を表したい。

関係組織名と URL

1) 特定非営利活動法人 気象システム技術協会（Meteorological System Technology Association of Japan；MeST ）　URL:http://www.mest-japan.or.jp/
2) 一般財団法人 気象業務支援センター(Japan Meteorological Business Support Center；JMBSC)　URL:http://www.jmbsc.or.jp/
3) 京都大学 防災研究所 潮岬風力実験所
   URL:http://rcfcd.dpri.kyoto-u.ac.jp/frs/swel/SWEL.htm
4) 株式会社 大田計器製作所　URL:http://otakeiki.com/
5) 株式会社 小松製作所 URL: http://komatsuins.co.jp/
6) 気象情報通信　株式会社(Werther Information Communications Service LTD.) URL: https://www.wics.co.jp/
7) 東洋電子工業 株式会社(Oriental Electronics,Inc)　URL:http://www.orie.com/

学会発表資料１

学会名：日本気象学会 2014 年度春季大会

会場：横浜市開港記念会館および横浜情報文化センタ

会期：2014 年 5 月 21 日～5 月 24 日

タイトル：転倒ます型雨量計の比較観測

ポスター発表

転倒ます型雨量計の比較観測

*永瀬　司[1]、林　泰一[2]、小松　亮介[3]、渡邉　好弘[1]、橋波　伸治[1]、山本　哲[4]、木口　雅司[5]
[1]気象情報通信株式会社、[2]京都大学防災研究所、[3]株式会社小松製作所、[4]気象庁気象研究所、[5]東京大学生産技術研究所

１．はじめに

日本国内では、雨量 0.5mm 相当で１回転倒する転倒ます型雨量計が広く採用されている。一方、雨量の少ない海外の地域では、雨量 0.2mm 相当で１回転倒する雨量計を採用する国も多く、それが南アジアや東南アジアなどの激しい降水現象が発生する所でも使用される場合がある。今回、正確な雨量観測が保証されるかどうかを検証するために、 0.2mm 計、0.5mm 計、1.0mm 計の３台の転倒ます型雨量計を野外に設置し、比較観測を実施した。

２．観測条件

比較観測に使用した雨量計は、表１の通りである。

表１　比較観測に使用した雨量計

	1.0mm 計	0.5mm 計	0.2mm 計
型番	R2-501	R1-502	OW-34-BP
精度	(※1)	(※2)	

(※1) 40mm 以下：±1.0mm,40mm 超過：雨量の±3%以内
(※2) 20mm 以下：±0.5mm,20mm 超過：雨量の±3%以内

比較観測は、京都大学防災研究所潮岬風力実験所（和歌山県東牟婁郡串本町）で行った。雨量計の設置状況を図１に示す。観測期間は、平成 25 年 6 月 16 日から 11 月 7 日までである。

図１　雨量計設置状況
（左から　1.0mm 計、0.5mm 計、0.2mm 計）

各雨量計からは、転倒ますが転倒する毎に、パルス信号が出力される。データの記録はデータロガー(HOBO Pendant)を使用し、転倒ますが転倒した時刻が記録される。

３．結果と考察

観測期間の積算降水量は、1.0mm 計が 1258.0mm、0.5mm 計が 1244.5mm、0.2mm 計が 1209.4mm であり、0.2mm 計と 0.5mm 計の間で約 35mm、0.5mm 計と 1.0mm 計の間で約 13mm の差が出た。12 時間以上の降水がない場合を区切りとして、降水事例をひと雨降水として定義すると、観測期間に 27 回あった。特に、9 月 14 日～16 日にかけて、台風 18 号の接近時の降水は、1.0mm 計で 274.0mm、0.2mm 計で 251.0mm であり、21mm の降水量の差が生じた。

より詳しく結果を比較するため、10 分間降水量について比較を行った。図２に、1.0mm 計と 0.2mm 計の 10 分間降水量の比較を示す。

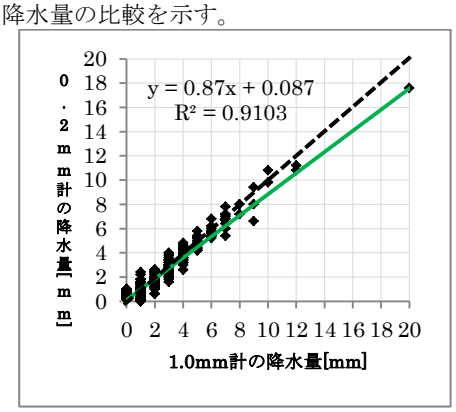


図２　1.0mm 計と 0.2mm 計の 10 分間降水量の比較

10 分降水量 6mm 以下ではよく一致しているが、6mm を超えると、0.2mm 計で観測値が小さい傾向が見られた。なお、0.2mm 計の測定範囲は 80mm/h 以下(製造者仕様)であり、10 分間雨量が 13mm を越える場合は誤差が生じる可能性が高いと考えられる。

降水強度と雨量計観測値のばらつきの状況を確認するため、図 3 に 1.0mm 計が 1 回転倒する時間内の 0.2mm 計の転倒回数を求めた。横軸は 1.0mm 計の 1 回転倒時間間隔から求めた降水強度、縦軸には 0.2mm 計の転倒回数を示す。0.2mm 計の測定範囲内である 80mm/h 以下の降水強度では、転倒回数 5 回を中心に上下にばらついていることがわかる。一方、降水強度が 80mm/h を超えると、転倒回数が 5 回よりも小さくなる傾向が見られた。

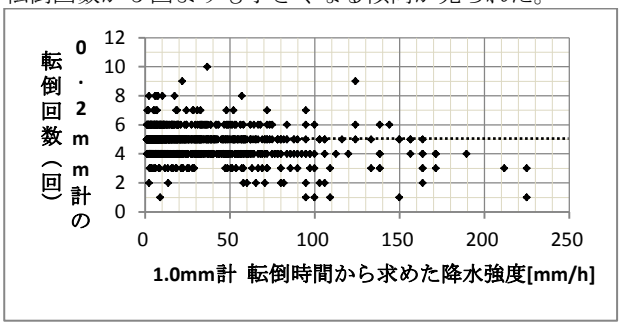


図 ３　1.0mm 計で算出した降水強度と 0.2mm 計の転倒回数の関係（転倒回数 5 回、降水量 1.0mm を破線で示した）

４．まとめと今後の課題

今回の比較観測では、観測期間中に台風の接近があり、200mm/h を超えるような激しい降水強度を含む幅広い降水強度のデータを取得できた。その結果、降水強度が強くなると、0.2mm 計は、0.5mm 計、1.0mm 計に比べて、十分追従できていない。このため、激しい雨量強度の場合は、0.5mm 計、1.0mm 計を使用するのが適当である。

P241

転倒ます型雨量計の比較観測

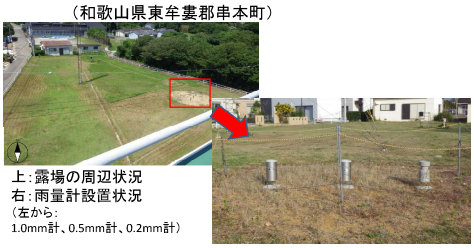
永瀬　司（※1）、林　泰一（※2）、小松　亮介（※3）、渡邉　好弘（※1）、橋波　伸治（※1）、山本　哲（※4）、木口　雅司（※5）
（※1）気象情報通信株式会社 、（※2）京都大学防災研究所 、（※3）株式会社小松製作所、
（※4）気象庁気象研究所、（※5）東京大学生産技術研究所
E-mail：nagase@wics.co.jp（永瀬 司）、hayashi.taiichi.3m@kyoto-u.ac.jp（林 泰一）

1．はじめに

- 日本国内では、雨量0.5mm相当で1回転倒する転倒ます型雨量計が広く採用されている。
- 一方、雨量の少ない海外の地域では、雨量0.2mm相当で1回転倒する雨量計を採用する国も多く、それが南アジアや東南アジアなどの激しい降水現象が発生する所でも使用される場合がある。その場合、実際の降水過程に十分追従できないため、降水量が過少評価になることが懸念される。
- 今回、正確な雨量観測が保証されるかどうかを検証するために、0.2mm計、0.5mm計、1.0mm計の3台の転倒ます型雨量計を野外に設置し、比較観測を実施した。

2．比較観測実施条件

実施日：平成25年6月16日～11月8日
実施場所：京都大学防災研究所　潮岬風力実験所
（和歌山県東牟婁郡串本町）



上：露場の周辺状況
右：雨量計設置状況
（左から：
1.0mm計、0.5mm計、0.2mm計）

3．比較観測に使用した転倒ます

	1.0mm計	0.5mm計	0.2mm計
型番	R2-501	R1-502	OW-34-BP
精度	（※1）	（※2）	

（※1）40mm以下：±1.0mm,40mm超過：雨量の±3%以内
（※2）20mm以下：±0.5mm,20mm超過：雨量の±3%以内

・0.2mm計の測定範囲：80mm/h以下（製造者仕様）

4．データの記録について

各雨量計のデータの記録については、データロガー(HOBO Pendant)を使用した（青矢印）。転倒ますが転倒する毎に、パルス信号が出力され、転倒した時刻が記録される。

5．比較観測前の校正実験

0.2mm計、0.5mm計、1.0mm計の各雨量計について、転倒ますの中が空の状態から水を雨量計に落とし、ますが転倒するまでの降水量を測った。
（左右のますに対し、各5回実施）

校正実験の結果

左右のますに対し、空の状態から転倒するまでの水の量を測った。（5回実施）

・0.2mm計

	左	右
1回目	7	7
2回目	7	6
3回目	7	6
4回目	7	8
5回目	6	7
平均	6.8	6.8

降水量0.2mm=6.3cc

・0.5mm計

	左	右
1回目	17	15
2回目	16	16
3回目	16	16
4回目	15	17
5回目	16	16
平均	16	16

降水量0.5mm=15.7cc

・1.0mm計

	左	右
1回目	32	31
2回目	32	31
3回目	32	33
4回目	32	32
5回目	31	34
平均	31.8	32.2

降水量1.0mm=31.4cc

0.2mm計、0.5mm計、1.0mm計共、
各計測結果で、左右の転倒ます共に、ほぼ一定の結果が出たことから、比較観測の実施に問題ないと判断し、計測を開始した。

6．比較観測結果

6．1　観測期間中の積算降水量

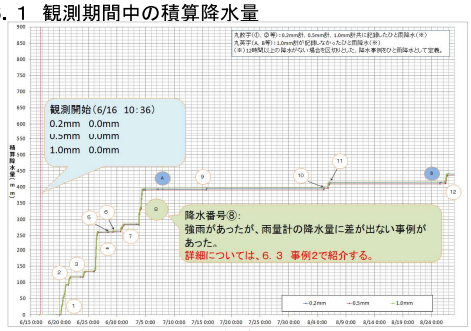
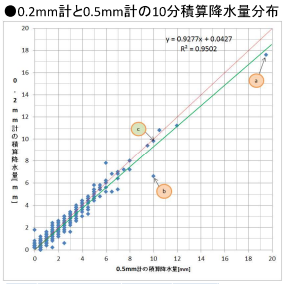


図1　観測期間中の積算降水量（6/16～8/27）

図2　観測期間中の積算降水量（8/28～11/8）

6．2　観測期間中の10分積算降水量

●0.2mm計と0.5mm計の10分積算降水量分布

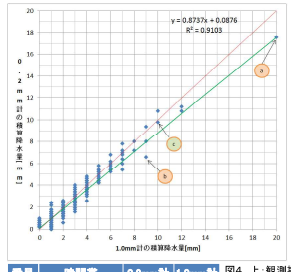


・10分降水量10mm未満ではよく一致しているが、10mm以上になると、0.2mm計で観測値が小さい傾向が見られた。
・特に、番号aでは20mm程の降水量で約2mmの差が出た。
また番号bでは10mm程の降水量で3mm以上の差が出た。
（事例については6．3　事例1で説明する）
・一方、番号cのように、10mm程度の降水でも差はほとんど無い事例があった。
（事例については6．3　事例2で説明する）

番号	時間帯	0.2mm計	0.5mm計
a	9/15 18:00	17.6	19.5
b	9/2 7:00	6.6	10.0
c	7/3 20:30	9.8	10.0

図3　上：観測期間中の0.2mm計、0.5mm計の10分積算降水量分布図
（サンプル数：1286、双方0.0mmのデータは除く）
※緑線：分布の近似直線
左：図3上a、b、cの時間帯の前10分間降水量（mm）

●0.2mm計と1.0mm計の10分積算降水量分布

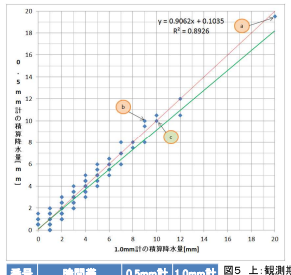


・10分降水量6mm以下ではよく一致しているが、6mmを超えると、0.2mm計で観測値が小さい傾向が見られた。
・特に、番号a,bでは2mm強の差が出た。
（事例については6．3　事例1で説明する）
・一方、番号cでは10mm程度の降水で差はほとんど無かった。
（事例については6．3　事例2で説明する）

番号	時間帯	0.2mm計	1.0mm計
a	9/15 18:00	17.6	20.0
b	9/2 7:00	6.6	9.0
c	7/3 20:30	9.8	10.0

図4　上：観測期間中の0.2mm計、1.0mm計の10分積算降水量分布図
（サンプル数：1259、双方0.0mmのデータは除く）
※緑線：分布の近似直線
左：図4上a、b、cの時間帯の前10分間降水量（mm）

●0.5mm計と1.0mm計の10分積算降水量分布



・0.2mm計の降水量と比較をすると、番号a、b、cの事例を含め、0.5mm計と1.0mm計については、降水量によるばらつきは出なかった。

番号	時間帯	0.5mm計	1.0mm計
a	9/15 18:00	19.5	20.0
b	9/2 7:00	10.0	9.0
c	7/3 20:30	9.8	10.0

図5　上：観測期間中の0.5mm計、1.0mm計の前10分間降水量分布図
（サンプル数：1009、双方0.0mmのデータは除く）
※緑線：分布の近似直線
左：図5上a、b、cの時間帯の前10分間降水量（mm）

6．3　特徴的な事例の解析

事例1：降水量の差が大きかった事例（ 9月15日　17：25～18：03 ）

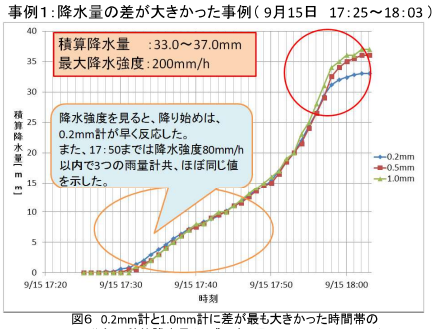


図6　0.2mm計と1.0mm計に差が最も大きかった時間帯の
1分毎の積算降水量（平成25年9月15日　17：25～18：03）

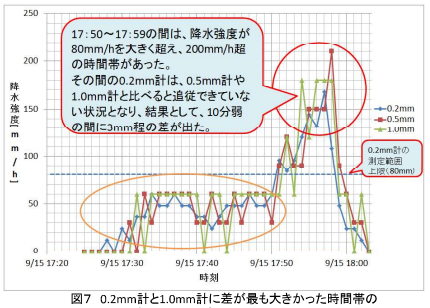


図7　0.2mm計と1.0mm計に差が最も大きかった時間帯の
1分毎の降水強度（平成25年9月15日　17：25～18：03）
※1分毎で降水強度を算出したため、各雨量計の分解能は、以下の通りとなる
0.2mm計：12mm/h、0.5mm計：30mm/h、1.0mm計：60mm/h

事例2：降水量の差が小さかった事例（ 7月3日　20：09～20：50 ）

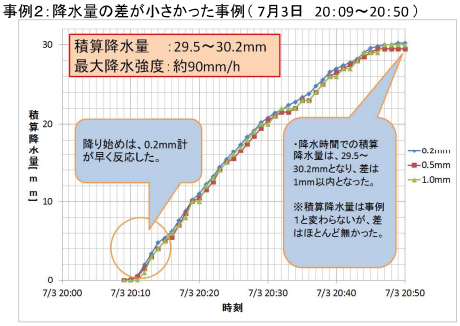


図8　0.2mm計と1.0mm計に差が出なかった時間帯の
1分毎の積算降水量（平成25年7月3日　20：09～20：50）

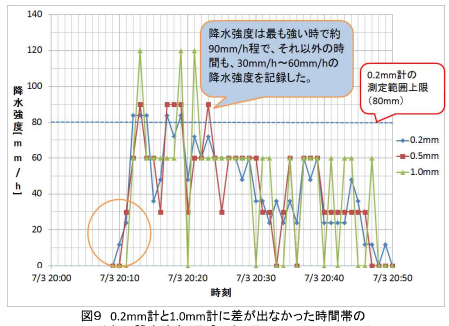


図9　0.2mm計と1.0mm計に差が出なかった時間帯の
1分毎の降水強度（平成25年7月3日　20：09～20：50）
※1分毎で降水強度を算出したため、各雨量計の分解能は、以下の通りとなる
0.2mm計：12mm/h、0.5mm計：30mm/h、1.0mm計：60mm/h

7．まとめ

- 今回の比較観測では、観測期間中に台風の接近があり、200mm/hを超えるような激しい降水強度を含む幅広い降水強度のデータを取得できた。
- 降水強度が80mm/h以下の降水強度では、0.2mm計は十分に追従できた一方、80mmを超える降水強度では、0.2mm計の降水量が1.0mm計や0.5mm計と比べると少なく、実際の降水過程に追従できていないことがわかった。その定量的な評価を行った。
- その結果、降水強度が強くなると、0.2mm計は、0.5mm計、1.0mm計に比べて、十分追従できていない。このため、激しい雨量強度の現象が発生する地域では、0.5mm計、1.0mm計を使用するのが適当である。

学会発表資料 2

学会名：TECO-2014

会場：ロシア　サンクトペテルブルグ

会期：2014 年 7 月 7 日～7 月 9 日

タイトル：Comparison of RainGauges in Natural Rainfall Conditions

口頭発表

COMPARISONS OF RAINGAUGES IN NATURAL RAINFALL CONDITION

Taiichi HAYASHI[1)], Tsukasa NAGASE[2)], Ryosuke KOMATSU[3)], Yoshihiro WATANABE[2)], Shinji HASHINAMI[2)], Akira YAMAMOTO[4)], Masashi KIGUCHI[5)]

1) Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University
Gokasho, Uji, Kyoto, 6110011, Japan, Tel : +81-774-38-4179, Fax : +81-774-38-4180
Email : hayashi.taiichi.3m@kyoto-u.ac.jp
2) Weather Information & Communications Service Co. Lmt.
3) Komatsu Factory Co. Lmt.
4) Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency
5) Institute of Industrial Science, University of Tokyo

ABSTRACT

Three kinds of tipping bucket rain gauges (0.2, 0.5 and 1.0mm) are compared in the relatively heavy rainfall region of Japan for three months from June to November of 2013. Total amount of observed rainfall are somewhat smaller in 0.2mm rain gauge than other two rain gauges. In particular, when the typhoon approached in the observational site and heavy rainfall occurred from 14th to 16th of September, the difference of the amount of observed rainfall are large. Rainfall amount for each 10 minutes by 0.2mm type is in good coincidence with 1.0mm type in the weak and moderate rain intensity and smaller in the high intensity rainfall.

1. Introduction

Tipping bucket type rain gauges are prevailing as one of the standard instruments for rainfall measurement. However, the small amount for one tipping cannot respond sufficiently in the heavy rainfall and sometimes makes the small evaluation of true rainfall. Simultaneous comparison of three types of rain gauges was carried out of Different amount of rainfall for one tipping exists and of these rain gauge

2. Observation

Observation of comparison of response of tipping bucket rain gauges were conducted at Shionomisaki Wind Effect Laboratory (SWEL) of Disaster Prevention Research Institute (DPRI) of Kyoto University, which is located at the end of the southern end of the Main Island of Japan. Three types of tipping bucket rain gauges (0.2, 0.5 and 1.0mm) were installed at the test field, as shown in Figure 1 and the distance of each rain gauge is 1.5m.

Fig.1 Installation of rain gauges at the test field(left), 1.0mm type (left), 0.5mm type(center) and 0.2mm type(right).

3. Results

Total amount of observed rainfall are as follows; 1258.0mm for 1.0mm type, 1244.5mm for 0.5mm type and 1209.4mm for 0.2mm type in Figure 2. The difference of observed rainfall is 35mm between 0.2mm type and 0.5mm type, and 13.5mm between 0.5mm type and 1.0mm type. In particular, when the typhoon approached in the observational site and heavy rainfall occurred from 14th to 16th of September, the amount of observed rainfall are 274.0mm for 1.0 type and 251.0mm for 0.2mm type. The difference of rainfall amount is 21.0mm. Rainfall amount for each 10 minutes by 0.2mm type is in good coincidence with 1.0mm type in the weak and moderate rain intensity and smaller in the high intensity rainfall.

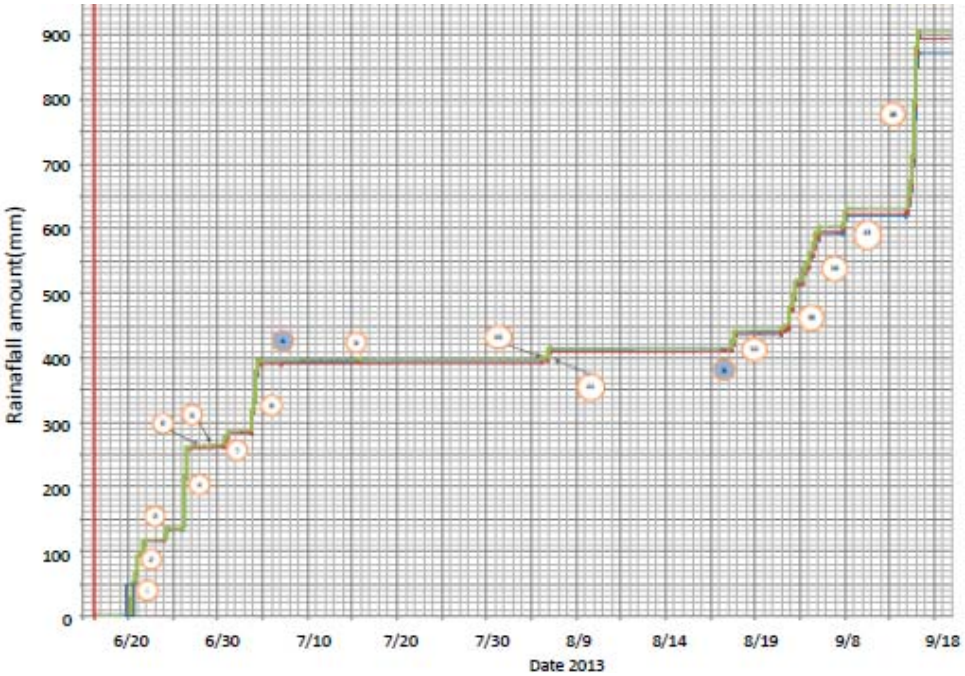


Figure 2 Total rainfall time series of three rain gauges

4. Summary

Three tipping bucket rain gauges (0.2, 0.5 and 1.0mm) are compared in natural rainfall condition in the relatively heavy rainfall region of Japan in the rain season from June to November of 2013. Total amount of observed rainfall are as follows; 1258.0mm for 1.0mm type, 1244.5mm for 0.5mm type and 1209.4mm for 0.2mm type. The difference of observed rainfall is 35mm between 0.2mm type and 0.5mm type, and 13.5mm between 0.5mm type and 1.0mm type. In particular, when the typhoon approached in the observational site and heavy rainfall occurred from 14th to 16th of September, the amount of observed rainfall are 274.0mm for 1.0 type and 251.0mm for 0.2mm type. The difference of rainfall amount is 21.0mm. Rainfall amount for each 10 minutes by 0.2mm type is in good coincidence with 1.0mm type in the weak and moderate rain intensity and smaller in the high intensity rainfall.

Comparison of Raingauges in Natural Rainfall Condition

Taiichi HAYASHI [1)] , Tsukasa NAGASE[2)], Ryosuke KOMATSU[3)], Yoshihiro WATANABE[2)], Shinji HASHINAMI[2)], Akira YAMAMOTO[4)], Masashi KIGUCHI[5)]

1）DRPI, Kyoto Univ., 2)Weather Information & Communication Co., 3)Komatsu Fasctory Co., 4)MRI, Japan Meteorological Agency, 5)IIS, Tokyo Univ.

1. Introduction

Tipping bucket raingauges are used as one of the standard rainfall measurement instruments. These type raingauges have several kinds, following the Bucket size.

The raingauges with small size tipping bucket are sometimes used in the heavy rainfall area and their performance cannot follow the real rainfall amount. We have looked that the raingauges with 0.2 mm bucket type were used in the summer monsoon regions where severe rainfall occurs in the summer monsoon period., .

In this research, Three kinds of tipping bucket (0.2, 0.5 and 1.0mm) are compared in the relatively heavy rainfall region of Japan for three months from June to November.

2. Observation

Date：from June 16 to November 8 in 2013
Site : Shionomisaki Wind Effect Laboratory, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

3

Test Field

Raingauges
1.0mm, 0.5mm、0.2mm

4. Data Acquisition

Compact data logger (HOBO Pendant) is installed in each tipping bucket raingauge. The time of pulse signal is recorded at every tipping of bucket.

5. Calibration of Raingauge

Water were dropped artificially for 0.2mm, 0.5mm and 1.0mm raingagues and calibrated the tipping performance of both buckets of all raingauges for 5 times.

Result of Calibration

・0.2mm

	left	right
1	7	7
2	7	6
3	7	6
4	7	8
5	6	7
mean	6.8	6.8

・0.5mm

	left	right
1	17	15
2	16	16
3	16	16
4	15	17
5	16	16
mean	16	16

・1.0mm

	left	right
1	32	31
2	32	31
3	32	33
4	32	32
5	31	34
mean	31.8	32.2

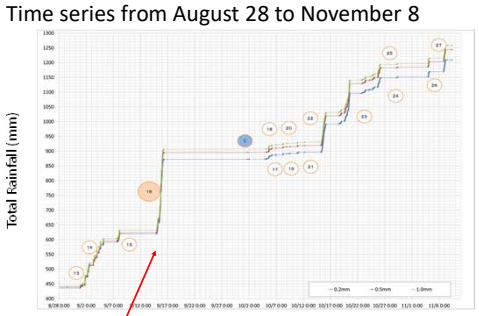
1 tipping rainfall

0.2mm : 6.3cc　　0.5mm : 15.7cc　　1.0mm : 31.4cc

The result of the calibration is sufficient and the observation was started

6. Result

Time series from August 28 to November 8



- ①、②...: Rainfall series : rainfall recorded by 0.2mm, 0.5mm, 1.0mm raingagues
- A、B...: No. rainfall record by 1.0mm raingauge
- Rainfall : Rainfall series are separated by the period of no rainfall for 12 hours

Total amount of rainfall

- 0.2mm type　1209.4mm
- 0.5mm type　1244.5mm
- 1.0mm type　1258.0mm

- Differces

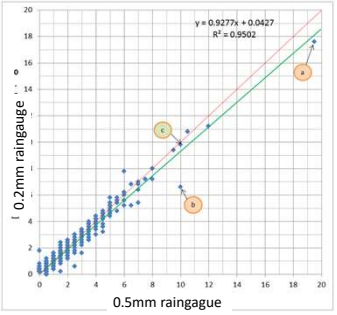
  35mm between 0.2mm type and 0.5mm type

  13mm between 0.5mm type and 1.0mm type

9

6.2 10min rainfall

Comparison between 0.2mm and 0.5mm raingauges



Samples: 1286

Cases are excluded for the rainfall amouunts less than 0.5mm.

・Good coincidence below 10mm rainfalls for 10minutes. Above 10mm, the measured amount by the 0.2 mm raingauge is smaller.

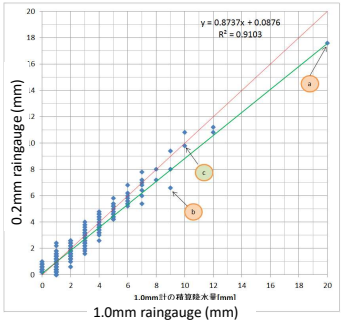
・Diffence is 2mm in case 1, more than 3mm in case b.

・In case c, the diffence is small.

These three cases will be shown in the details.

	Time	0.2mm	0.5mm
a	9/15 18:00	17.6	19.5
b	9/2 7:00	6.6	10.0
c	7/3 20:30	9.8	10.0

Comparison between 0.2mm and 1.0mm raingauges



Samples: 1259

Cases are excluded for the rainfall amount of 0.0mm measured by two raingauges.

・Good coincidence below 10mm rainfalls for 10minutes. Above 10mm, the measured amount by the 0.2 mm raingauge is smaller.

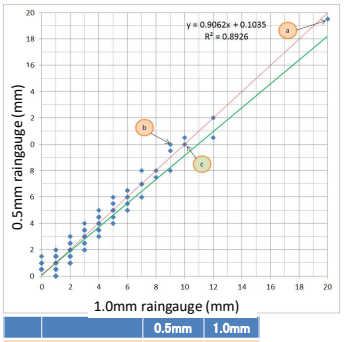
・Diffence is 2mm in case 1, more than 3mm in case b.

・In case c, the diffence is small.

These three cases will be shown in the details.

	Time	0.2mm	1.0mm
a	9/15 18:00	17.6	20.0
b	9/2 7:00	6.6	9.0
c	7/3 20:30	9.8	10.0

Comparison between 0.5mm and 1.0mm raingauges



Samples : 1009

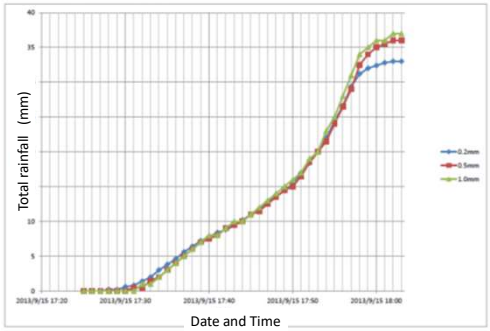
Cases are excluded for the rainfall amount of 0.0mm measured by two raingauges.

Bothe of the rainfall measured by two raingauges are well conicided

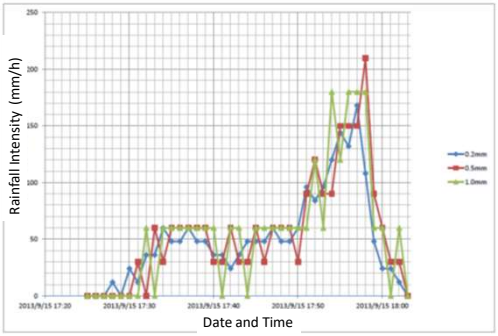
		0.5mm	1.0mm
a	9/15 18:00	19.5	20.0
b	9/2 7:00	10.0	9.0
c	7/3 20:30	9.8	10.0

6.3 Special events

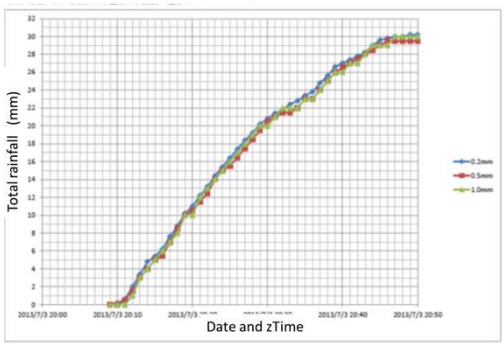
Rainfall at every 1 minutes
Case a at 17：25 to 18：03 on Sept.15
Large difference of rainall amount



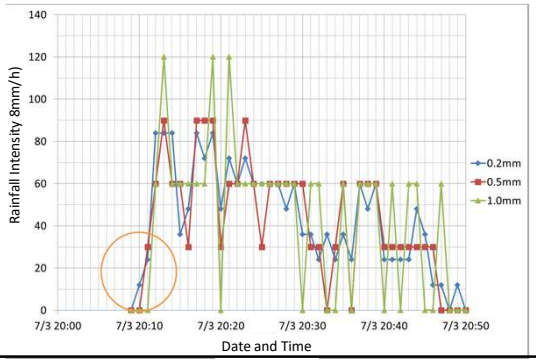
Rainfall intensity at every 1 minutes
Case a at 17：25 to 18：03 on Sept.15
Large difference of rainfall amount



Case 2 Small differnce of rainfall measurement
Date and time: 20：09 to 20：50 on July 3



Rainfall intensity at every 1 minutes
Case a at：20：09 to 20：50 on July 3
Small difference of rainfall amount



7. Summary

- In this comparison observation, typhoon approached to the observational site and the serious event of rainfall can be measured with the rainfall intensity of more than 200mm/h.
- 0.2mm raingauge underestimate the real rainfall in the condition of rainfall intensity more than 80mm/h. Under the 80mm/h rainfall, the performance is sufficient for the measurement.
- We are making the comparison at Cherrapunji in the northeastern India to estimate the performance for the extreme condition in this rainy season from May.

学会発表資料 3

学会名：日本気象学会 2015 年度春季大会

会場：つくば国際会議場

会期：2015 年 5 月 21 日～5 月 24 日

タイトル：転倒ます型雨量計の比較観測（その２）

ポスター発表

転倒ます型雨量計の比較観測（その２）
－　インド、チェラプンジでの比較観測　－

*永瀬　司[1]、林　泰一[2]、小松　亮介[3]、渡邉　好弘[1]、橋波　伸治[1]、山本　哲[4]
[1]気象情報通信株式会社、[2]京都大学防災研究所、[3]株式会社小松製作所、[4]気象庁気象研究所

１．はじめに

2014 年春季大会（P241）では、潮岬において 0.2mm 計、0.5mm 計、1.0mm 計の 3 台の転倒ます型雨量計の野外比較観測を実施し、80mm/h を超えるような激しい降水強度では、0.5mm 計、1.0mm 計が適していることを報告した。潮岬においては、観測期間（約 5 ヶ月）において、積算降水量が 1260mm、最大 200mm/h に相当する降水強度が観測された。今回は、より激しい降水強度における 3 台の雨量計の特性を検証するため、年間降水量が約 12,000mm のインド北東部メガラヤ州のチェラプンジに雨量計を設置し、それぞれの雨量計の特性を検証した。

２．観測条件

比較観測に使用した雨量計は、表 1 の通りである。

表１　比較観測に使用した雨量計

	1.0mm 計	0.5mm 計	0.2mm 計
型番	R2-501	R1-502	OW-34-BP
精度	(※1)	(※2)	

（※1）40mm/h 以下:±1.0mm,40mm/h 超過:雨量の±3%以内
（※2）20mm/h 以下:±0.5mm,20mm/h 超過:雨量の±3%以内

比較観測は、チェラプンジにある雨量観測点の家屋の屋上で行なった。雨量計の設置状況を図 1 に示す。観測期間は、雨季にあたる 2014 年 4 月 28 日から 9 月 6 日までの約 4 ヶ月とした。

図１　雨量計設置状況
（手前左　1.0mm 計、手前右 0.5mm 計、奥 0.2mm 計）

各雨量計からは、転倒ますが転倒する毎に、パルス信号が出力される。データの記録は、潮岬での検証と同様に、データロガー(HOBO Pendant)を使用し、転倒ますが転倒した時刻を記録した。

３．結果と考察

観測期間の積算降水量は、1.0mm 計が 8643.0mm、0.5mm 計が 8379.5mm、0.2mm 計が 8154.0mm であった。潮岬とは観測期間が異なるが、6 倍以上の降水量だったことが分かる。1.0mm 計の積算降水量を基準とすると、0.5mm 計では 97%（潮岬では 99%）、0.2mm 計では 94%（同 96%）と、ますの大きさが小さくなると積算降水量も少なくなり、激しい降水現象に対して雨量計が追従できなかった状況が、潮岬と比べてより顕著となった。

次に、1.0mm 計の観測雨量 1.0mm（１転倒）毎の降水強度を求め整理し、各降水強度の事象数と全体に対する割合についてまとめた。結果、0.2mm 計の測定限界である 80mm/h（製造者仕様）超の降水強度が、全体の 14%にあたる 1249 例あった（潮岬では、全体の 5%にあたる 72 例）。期間中には、最大 300mm/h に相当する降水強度をはじめ、200mm/h 超の事象が 15 例あった（潮岬では 3 例）。

最後に、図 2 に 1.0mm 計で 1 転倒にかかった時間内での 0.2mm 計の転倒回数と 1.0mm 計の転倒時間間隔から換算した降水強度の関係を分布図にまとめた。結果、潮岬での比較観測と同様に、0.2mm 計の測定範囲内である 80mm/h 以下の降水強度では、転倒回数 5 回を中心に上下にばらついていることがわかるが、降水強度が 80mm/h を超えると、転倒回数が 5 回よりも下側にばらつく傾向が顕著となった。

同様に、1.0mm 計で 1 転倒にかかった時間内での 0.5mm 計の転倒回数について分布図にまとめた（図３）。0.2mm 計程は顕著に見られないが、降水強度が強まる程、転倒回数が減少する傾向が見られた。

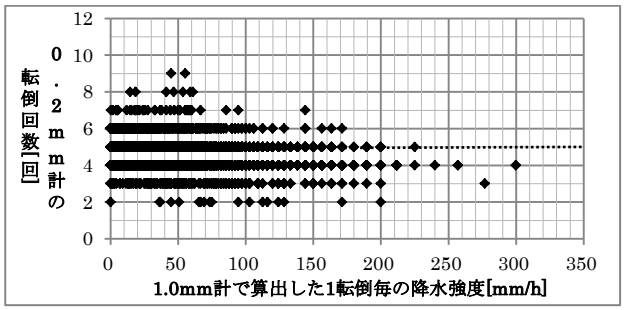


図２　1.0㎜計で算出した１転倒毎の降水強度と 0.2㎜計の転倒回数の関係（転倒回数 5 回、降水量 1.0㎜を破線で示した）

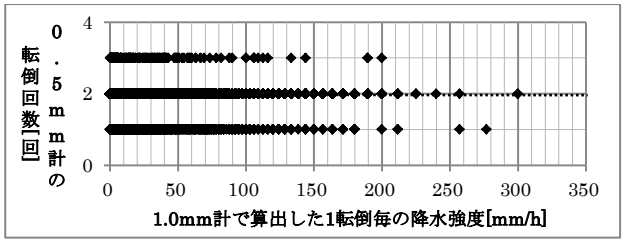


図３　1.0㎜計で算出した１転倒毎の降水強度と 0.5㎜計の転倒回数の関係（転倒回数 2 回、降水量 1.0㎜を破線で示した）

４．まとめ

今回観測を行ったチェラプンジでは降水強度が 300mm/h に達する程の事例もあり、前回の潮岬よりもさらに激しい降水強度での比較観測が実施できた。その結果、1.0mm 計と比べて 0.2mm 計は降水強度が 80mm/h を超えると追従できていない現象を確認した。また、0.5mm 計についても、十分追従できていない限界があることが分かった。南アジアや東南アジアなどの激しい降水現象が発生する所については、その地域で想定される雨量強度にあった雨量計を使用することが適切である。

P115

転倒ます型雨量計の比較観測(その2)
ー インド チェラプンジでの比較観測 ー

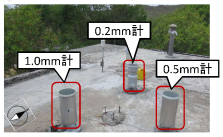
永瀬 司(※1)、林 泰一(※1)(※2)、小松 亮介(※3)、渡邉 好弘(※1)、橋波 伸治(※1)、山本 哲(※4)
(※1)気象情報通信株式会社、(※2)京都大学東南アジア研究所、(※3)株式会社小松製作所、(※4)気象庁気象研究所
E-mail:nagase@wics.co.jp(永瀬 司)、hayashi.taiichi.3m@kyoto-u.ac.jp(林 泰一)

1. はじめに

- 2014年春季大会(P241)では、潮岬において0.2mm計、0.5mm計、1.0mm計の3台の転倒ます型雨量計の野外比較観測を実施し、80mm/hを超えるような激しい降水強度では、0.5mm計、1.0mm計が適していることを報告した。
- 今回は、年間降水量が約12000mmに達し、豪雨の発生が頻繁に起こるインド北東部メガラヤ州のチェラプンジに雨量計を設置し、潮岬よりも激しい降水強度における3台の雨量計の特性について検証した。

2. 比較観測実施条件

実施日:2014年4月28日～2015年3月1日
実施場所:インド チェラプンジ(メガラヤ州)



上:チェラプンジの位置関係
右:雨量計設置状況

3. 比較観測に使用した雨量計

	1.0mm計	0.5mm計	0.2mm計
型番	R2-501	R1-502	OW-34-BP
精度	(※1)	(※2)	

(※1)40mm以下:±1.0mm,40mm超過:雨量の±3%以内
(※2)20mm以下:±0.5mm,20mm超過:雨量の±3%以内

・0.2mm計の測定範囲:80mm/h以下(製造者仕様)

4. データの記録について

各雨量計のデータの記録については、データロガー(HOBO Pendant)を使用した(青矢印)。転倒ますが転倒する毎に、パルス信号が出力され、転倒した時刻が秒単位まで記録される。

5. 比較観測結果

5.1 観測期間中の積算降水量

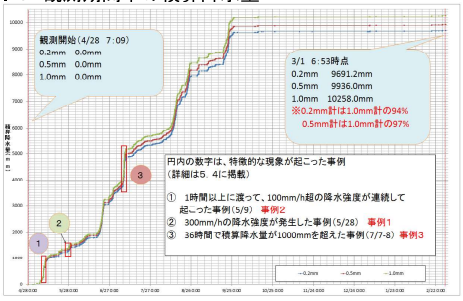
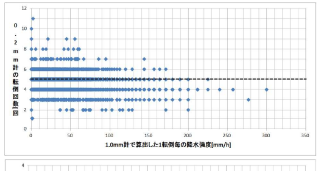


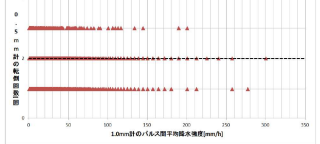
図1 観測期間中の積算降水量(2014/4/28～2015/3/1) ※図中の時刻はUTC

5.2 観測期間中の降水強度と転倒回数の関係



・観測期間中、降水強度が300mm/hとなる事象があった。

・0.2mm計の測定範囲内である80mm/h以下の降水強度では、転倒回数5回を中心に上下にばらついていることがわかるが、降水強度が80mm/hを超えると、転倒回数が5回よりも下側にばらつく傾向が顕著となった。

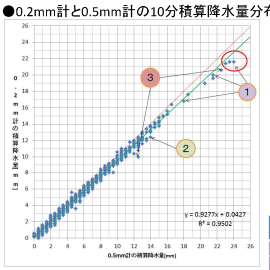


・1.0mm計で1転倒にかかった時間内での0.5mm計の転倒回数については、0.2mm計程は顕著に見られないが、降水強度が強まる程、転倒回数が減少する傾向が見られた。

図2 観測期間中の1.0mm計の降水強度と転倒回数の関係(上:0.2mm計、下:0.5mm計)
(破線は、降水量1.0mmに相当する転倒回数を示す)

5.3 観測期間中の10分積算降水量

●0.2mm計と0.5mm計の10分積算降水量分布

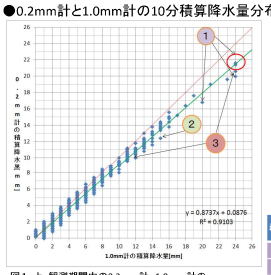


・10分降水量3mm未満ではよく一致しているが、3mm以上になると、0.2mm計で観測値が小さい傾向が見られた。
・10mmを超えると、ほぼすべてで、0.2mm計の降水量ほうが少なくなり、特に、①の期間では最大24mmの降水量で2mm超の差が出た。
また②、③の期間でも、12mm程の降水量で2mm前後の差が出ており、0.2mm計の降水量は0.5mm計の90%前後となった。
(各番号の事例については5.4で説明する)

番号	時間帯	0.2mm計	0.5mm計	割合
①	5/9 15:20	21.6	23.5	92
①	5/9 15:30	20.0	21.5	93
①	5/9 15:40	21.4	23.0	93
①	5/9 16:00	16.8	18.0	93
①	5/9 16:10	21.6	24.0	90
②	5/28 7:30	12.4	14.0	89
③	7/7 2:30	10.0	12.5	80
③	7/7 19:00	20.6	22.5	92

図3 上:観測期間中の0.2mm計、0.5mm計の10分積算降水量分布図
(サンプル数:5994、双方0.0mmのデータは除く)
※緑線:分布の近似直線
右:図3の①、②、③の主な時間帯の前10分間降水量(mm)と割合(%)
(図3内の番号は、図1の番号と関連する)

●0.2mm計と1.0mm計の10分積算降水量分布

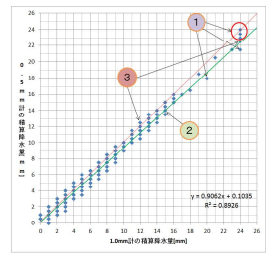


・10分降水量2mm以下ではよく一致しているが、2mmを超えると、0.2mm計で観測値が小さい傾向が見られた。
・10mmを超えると、ほぼすべてで、0.2mm計の降水量ほうが少なくなり、特に、①の期間では最大24mmの降水量で4mmの差が出たのをはじめ、
②、③の時間帯を含め、2mm超の差が出たり、1.0mm計の降水量に対する0.2mm計の割合が80%台となる事象が多く見られた。
(各番号の事例については5.4で説明する)

番号	時間帯	0.2mm計	1.0mm計	割合
①	5/9 15:20	21.6	24.0	90
①	5/9 15:30	20.0	24.0	83
①	5/9 15:40	21.4	24.0	89
①	5/9 16:00	16.8	20.0	84
①	5/9 16:10	21.6	24.0	90
②	5/28 7:30	12.4	15.0	83
③	7/7 2:30	10.0	12.0	83
③	7/7 19:00	20.6	24.0	86

図4 上:観測期間中の0.2mm計、1.0mm計の10分積算降水量分布図
(サンプル数:5893、双方0.0mmのデータは除く)
※緑線:分布の近似直線
右:図4の①、②、③の主な時間帯の前10分間降水量(mm)と割合(%)
(図4内の番号は、図1の番号と関連する)

●0.5mm計と1.0mm計の10分積算降水量分布



・10分降水量3mm以下ではよく一致しているが、3mmを超えると、0.5mm計で観測値が小さい傾向が見られた。
・14mmを超えると、ほぼすべてで、0.2mm計の降水量ほうが少なくなり、特に、①の期間では最大24mmの降水量で2.5mmの差が出た。
・1.0mm計の降水量に対する0.5mm計の割合が90%台前半となり、0.5mm計の取りこぼす事象が多く見られた。
(各番号の事例については5.4で説明する)

番号	時間帯	0.5mm計	1.0mm計	割合
①	5/9 15:20	23.5	24.0	98
①	5/9 15:30	21.5	24.0	90
①	5/9 15:40	23.0	24.0	96
①	5/9 16:00	18.0	20.0	90
①	5/9 16:10	24.0	24.0	100
②	5/28 7:30	14.0	15.0	93
③	7/7 2:30	12.5	12.0	104
③	7/7 19:00	22.5	24.0	94

図5 上:観測期間中の0.5mm計、1.0mm計の前10分間降水量分布図
(サンプル数:5163、双方0.0mmのデータは除く)
※緑線:分布の近似直線
右:図5の①、②、③の主な時間帯における前10分間降水量(mm)と割合(%)
(図5内の番号は、図1の番号と関連する)

5.4 特徴的な事例の解析

事例1:降水強度300mm/hを記録した事例(2014年5月28日 7:10～8:20)

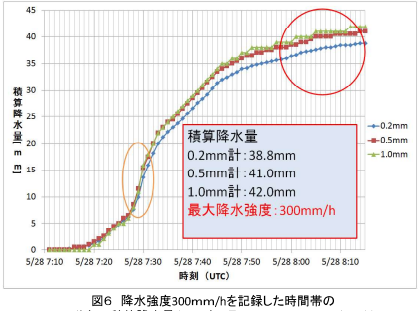


図6 降水強度300mm/hを記録した時間帯の1分毎の積算降水量(2014年5月28日 7:10～8:20(UTC))

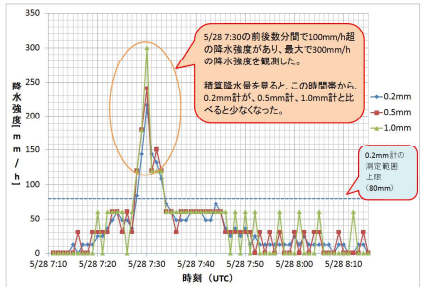


図7 降水強度300mm/hを記録した時間帯の1分毎の降水強度(2014年5月28日 7:10～8:20(UTC))
※1分毎で降水強度を算出したため、各雨量計の分解能は、以下の通りとなる
0.2mm計:12mm/h、0.5mm計:30mm/h、1.0mm計:60mm/h

事例2:1時間以上に渡り100mm/h超の降水強度が連続した事例
(2014年5月9日 14:30～16:20)

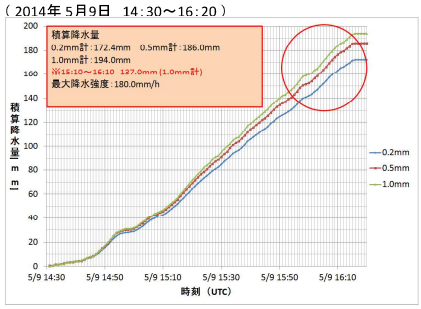


図8 1時間以上に渡り100mm/h超の降水強度が連続した時間帯の1分毎の積算降水量(2014年5月9日 14:30～16:20(UTC))

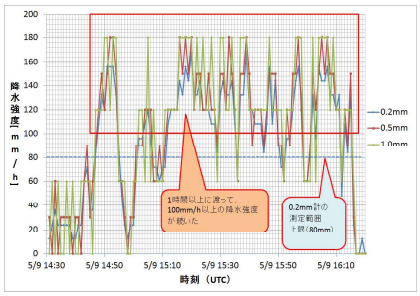


図9 1時間以上に渡り100mm/h超の降水強度が連続した時間帯の1分毎の降水強度(2014年5月9日 14:30～16:20(UTC))
※1分毎で降水強度を算出したため、各雨量計の分解能は、以下の通りとなる
0.2mm計:12mm/h、0.5mm計:30mm/h、1.0mm計:60mm/h

事例3:36時間で積算降水量が1000mmを超えた事例
(2014年7月7日 0:00～7月8日 12:00)

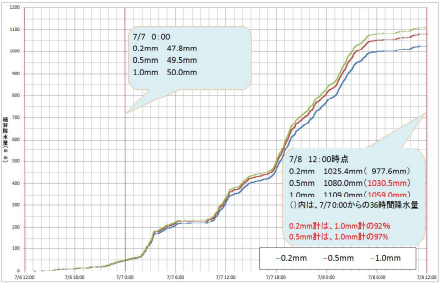
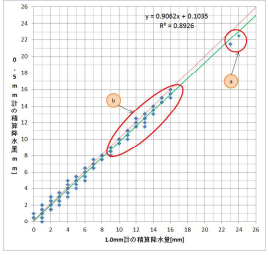


図10 36時間で積算降水量が1000mmを超えた時間帯の積算降水量
(2014年7月6日 12:00～7月8日 12:00) ※図中の時刻はUTC



・図10の通り、1.0mm計と0.5mmでは1000mm超で30mmの差が出た。
図11で、図10の期間の1.0mm計と0.5mm計の10分間積算降水量を示す。

・5、3でも述べた通り、20mm超では、0.5mm計の方が1mm余り少なかった。(aの部分)

・また、bのように、8～16mm降った時間帯でも0.5mm計の方が少ない状況が目立った。

図11 36時間で積算降水量が1000mmを超えた時間帯の0.5mm計、1.0mm計の10分積算降水量分布図
(サンプル数:188、双方0.0mmのデータは除く)
※緑線:分布の近似直線

6. まとめ

- 今回観測を行ったチェラプンジでは最大で降水強度が300mm/hに達する事例や36時間で積算降水量が1000mmを超えた事例など、前回の潮岬での観測よりもさらに激しい降水強度での比較観測が実施できた。
- その結果、0.2mm計の性能限界が80mm/h(瞬間値)を超えたあたりにあることが再確認された。また、潮岬よりも激しい降水現象のもとで比較観測を行ったことで0.5mm計についても、十分追従できていない性能限界があることが分かった。
- 南アジアや東南アジアなどの激しい降水現象が発生する所で観測をする場合は、その地域で想定される雨量強度にあった雨量計を使用することが適切である。

学会発表資料 4

学会名：日本地球惑星科学連合 2015 年大会

会場：幕張メッセ国際会議場

会期：2015 年 5 月 24 日～5 月 28 日

タイトル：転倒ます型雨量計の比較観測

ポスター発表

投稿番号：01928

転倒ます型雨量計の比較観測
Comparison of Tipping-Bucket Rain Gauges in Natural Rainfall Conditions

永瀬 司[1*] ; 林 泰一[2] ; 小松 亮介[3] ; 渡邉 好弘[1] ; 橋波 伸治[1] ; 山本 哲[4]
NAGASE, Tsukasa[1*] ; HAYASHI, Taiichi[2] ; KOMATSU, Ryosuke[3] ; WATANABE, Yoshihiro[1] ; HASHINAMI, Shinji[1] ; YAMAMOTO, Akira[4]

[1] 気象情報通信株式会社, [2] 京都大学防災研究所, [3] 株式会社小松製作所, [4] 気象庁気象研究所
[1]Weather Information & Communications Service LTD., [2]Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, [3]Komatsu Factory Co. LTD., [4]Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency

近年、局地的な豪雨による災害が多く発生している。例えば、2014 年 8 月に広島市で発生した豪雨では、線状降水帯が数時間停滞し、3 時間に 200mm を超える大雨となった。この豪雨により山崩れや土石流が発生し災害をもたらした。このような豪雨において、実際の降水量を正確に観測することは、現象の解明および将来の防災対策においても有用であり、その必要性は高くなっている。

日本国内の雨量観測は、雨量 0.5mm 相当で 1 回転倒する転倒ます型雨量計が広く採用されている。一方、雨量の少ない地域、特に海外では、雨量 0.2mm 相当で 1 回転倒する雨量計を採用する国も多い。このタイプの雨量計が、南アジアや東南アジアなどの激しい降水現象が発生する所でも使用されている場合がある。今回、降水強度と転倒ます型雨量計の精度の関係を調査し、激しい降水現象が発生する場所で、正確な雨量観測が保証されるかどうかを検証することにした。転倒ますの容量が、0.2mm 計、0.5mm 計、1.0mm 計の 3 台の転倒ます型雨量計を野外に設置し、比較観測を実施した。

比較観測は、日本（潮岬：京都大学防災研究所潮岬風力実験所露場）と、日本よりさらに激しい降水現象が発生し、世界有数の多雨地点である、インド北東部メガラヤ州のチェラプンジの 2 か所で行った。

観測期間は、潮岬は、2013 年 6 月 16 日から 11 月 7 日まで、チェラプンジは 2014 年 4 月 28 日から 9 月 6 日までの約 4〜5 か月間である。比較観測で使用した雨量計は、潮岬、チェラプンジとも同じものである。

観測期間の 1.0mm 計、0.5mm 計、0.2mm 計の積算降水量は順に、潮岬は、1258.0mm、1244.5mm、1209.4mm であった。またチェラプンジは 8643.0mm、8379.5mm、8154.0mm であった。観測期間は異なるものの、チェラプンジの積算降水量は、潮岬の 6 倍以上であった。1.0mm 計の積算降水量を基準とした 0.5mm 計、0.2mm 計の積算降水量の割合を見ると、潮岬では 99%、96%、チェラプンジは 97%、94%で、ますの大きさが小さくなると積算降水量も少なくなることが確認できた。

1.0mm 計の転倒の時間間隔から、観測雨量 1.0mm（1 転倒）毎の降水強度を求めた。0.2mm 計の測定限界である 80mm/h（製造者仕様）超の降水現象が、潮岬では、72 例（全体の 5%）で、チェラプンジは 1249 例（同 14%）発生している。また、200mm/h を超える猛烈な降水現象についても、潮岬では 3 例（最大降水強度は 225mm/h）、チェラプンジでは 15 例（同 300mm/h）観測された。

1.0mm 計が 1 転倒する時間内に発生した、0.2mm 計の転倒回数と降水強度の関係を調査した。その結果、潮岬、チェラプンジ共に、0.2mm 計の測定範囲内である 80mm/h 以下の降水強度では、転倒回数 5 回を中心に ± 2 回の範囲におおむね収まっていることがわかった。しかし、降水強度が 80mm/h を超えると、転倒回数が 5 回よりも少ない場合が多いことがわかった。その傾向は、チェラプンジではより顕著である。同様に 1.0mm 計の 1 転倒に対する、0.5mm 計の転倒回数も、降水強度が 200mm/h を超えると、転倒回数が少なくなる傾向が見られた。

まとめとして、今回の比較観測では、最大 300mm/h に達する事例をはじめ、激しい降水強度での比較観測が実施できた。

その結果、1.0mm 計と比べて 0.2mm 計は降水強度が 80mm/h を超えると追従できていない現象を確認した。

また、0.5mm 計についても、十分追従できていない限界があることが分かった。

南アジアや東南アジアなどの激しい降水現象が発生する所については、その地域で想定される降水強度にあった雨量計を使用することが適切である。

キーワード: 転倒ます雨量計, 局地性豪雨, 気象観測, インド
Keywords: tipping-bucket rain gauges, local heavy rain, meteorological observation, India

AAS22-P02

転倒ます型雨量計の比較観測

Comparison of Tipping-Bucket Rain Gauges in Natural Rainfall Conditions

永瀬　司(※1)、林　泰一(※1)(※2)、小松　亮介(※3)、渡邉　好弘(※1)、橋波　伸治(※1)、山本　哲(※4)

(※1)気象情報通信株式会社、(※2)京都大学東南アジア研究所、(※3)株式会社小松製作所、(※4)気象庁気象研究所

NAGASE, Tsukasa (※1)　HAYASHI, Taiichi (※1)(※2)　KOMATSU, Ryosuke (※3)　WATANABE, Yoshihiro (※1)　HASHINAMI, Shinji (※1)　YAMAMOTO, Akira (※4)

(※1)Weather Information & Communications Service LTD.　(※2) Southeast Asia Research Institute, Kyoto University　(※3)Komatsu Factory Co. LTD.

(※4)Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency

E-mail：nagase@wics.co.jp（永瀬 司）、hayashi.taiichi.3m@kyoto-u.ac.jp（林 泰一）

1. はじめに

- 近年、局地的な豪雨による災害が多く発生している。このような豪雨において、実際の降水量を正確に観測することは、現象の解明および将来の防災対策においても有用であり、その必要性は高くなっている。

- 日本国内の雨量観測は、雨量0.5mm相当で1回転倒する転倒ます型雨量計が広く採用されている。一方、雨量の少ない地域、特に海外では、雨量0.2mm相当で1回転倒する雨量計を採用する国も多い。このタイプの雨量計が、南アジアや東南アジアなどの激しい降水現象が発生する所でも使用されている場合がある。今回、降水強度と転倒ます型雨量計の精度の関係を調査し、激しい降水現象が発生する場所で、正確な雨量観測が保証されるかどうかを検証することにした。転倒ますの容量が、0.2mm計、0.5mm計、1.0mm計の3台の転倒ます型雨量計を野外に設置し、比較観測を実施した。

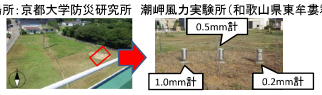
2. 比較観測実施条件

日本（潮岬）とインド（チェラプンジ）の2か所で実施した。

●日本（潮岬、Shionomisaki）

実施日：2013年6月16日～2013年11月8日

実施場所：京都大学防災研究所　潮岬風力実験所（和歌山県東牟婁郡串本町）



左：露場の周辺状況、右：雨量計設置状況

●インド（チェラプンジ、Cherrapunjee）

実施日：2014年4月28日～2015年3月1日

実施場所：インド　チェラプンジ（メガラヤ州）

左：チェラプンジの位置関係、右：雨量計設置状況

3. 比較観測に使用した雨量計

	1.0mm計	0.5mm計	0.2mm計
型番（Model Number）	R2-501	R1-502	OW-34-BP
精度（Accuracy）	（※1）	（※2）	

（※1）40mm以下：±1.0mm,40mm超過：雨量の±3%以内
（※2）20mm以下：±0.5mm,20mm超過：雨量の±3%以内

・0.2mm計の測定範囲：80mm/h以下（製造者仕様）

4. データの記録について

各雨量計のデータの記録については、データロガー(HOBO Pendant)を使用した（青矢印）。転倒ますが転倒する毎に、パルス信号が出力され、転倒した時刻が秒単位まで記録される。

5. 比較観測結果

5．1　観測期間中の積算降水量

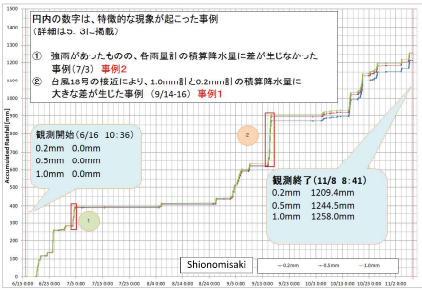


図1　観測期間中の積算降水量（潮岬）(2013/6/16～2013/11/8)　※図中の時刻はJST

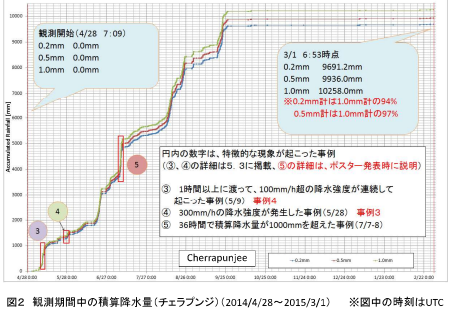
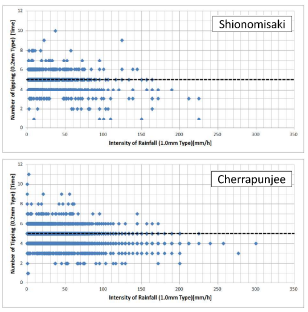


図2　観測期間中の積算降水量（チェラプンジ）(2014/4/28～2015/3/1)　※図中の時刻はUTC

5．2　観測期間中の降水強度と転倒回数の関係



・観測期間中、潮岬で最大225mm/h、チェラプンジで最大300mm/hの降水強度の事象があった。

・潮岬、チェラプンジ共に、0.2mm計の測定範囲内である80mm/h以下の降水強度では、転倒回数5回を中心に上下にばらついていることがわかるが、降水強度が80mm/hを超えると、転倒回数が5回よりも下側にばらつく傾向が見られた。

潮岬よりもサンプル数および降水強度が強い頻度が多いチェラプンジでは、その傾向がより顕著となった。

図3　観測期間中の1.0mm計の降水強度と0.2mm計の転倒回数の関係
（上：潮岬、下：チェラプンジ）　※図中の破線は転倒回数5回（降水量1.0mm）

5．3　特徴的な事例の解析

事例1：台風接近に伴なう大雨により積算降水量の差が生じた事例

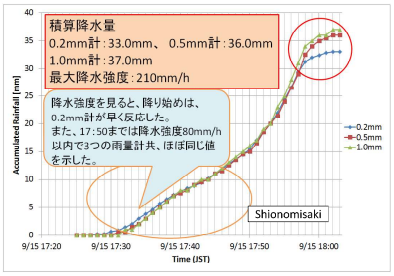


図4　事例1が発生した時間帯の1分毎の積算降水量（潮岬）
（2013年9月15日　17：25～18：03（JST））

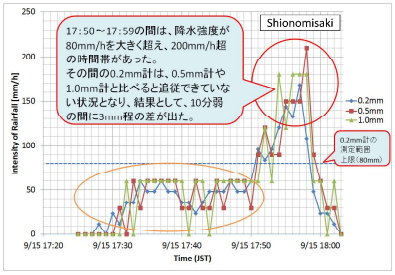


図5　事例1が発生した時間帯の1分毎の降水強度（潮岬）
（2013年9月15日　17：25～18：03（JST））
※1分毎で降水強度を算出したため、各雨量計の分解能は、以下の通りとなる
0.2mm計：12mm/h、0.5mm計：30mm/h、1.0mm計：60mm/h

事例2：強雨があったものの各雨量計の積算降水量に差が無かった事例

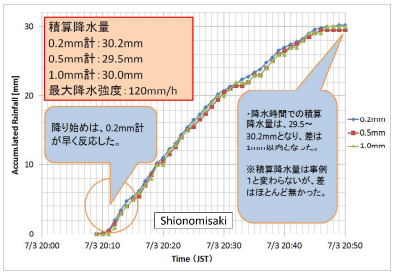


図6　事例2が発生した時間帯の1分毎の積算降水量（潮岬）
（2013年7月3日　20：09～20：50（JST））

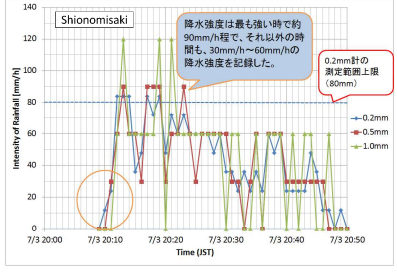


図7　事例2が発生した時間帯の1分毎の降水強度（潮岬）
（2013年7月3日　20：09～20：50（JST））
※1分毎で降水強度を算出したため、各雨量計の分解能は、以下の通りとなる
0.2mm計：12mm/h、0.5mm計：30mm/h、1.0mm計：60mm/h

事例3：降水強度300mm/hを記録した事例

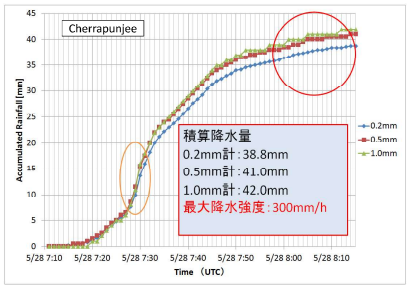


図8　事例3が発生した時間帯の1分毎の積算降水量（チェラプンジ）
（2014年5月28日　7：10～8：20（UTC））

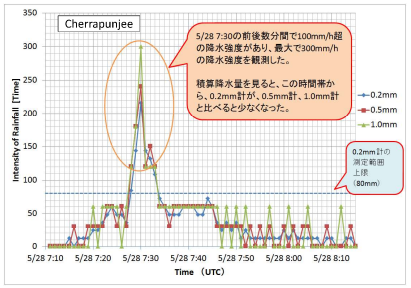


図9　事例3が発生した時間帯の1分毎の降水強度（チェラプンジ）
（2014年5月28日　7：10～8：20（UTC））
※1分毎で降水強度を算出したため、各雨量計の分解能は、以下の通りとなる
0.2mm計：12mm/h、0.5mm計：30mm/h、1.0mm計：60mm/h

事例4：1時間以上に渡り100mm/h超の降水強度が連続した事例

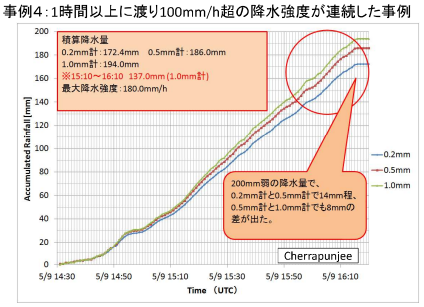


図10　事例4が発生した時間帯の1分毎の積算降水量（チェラプンジ）
（2014年5月9日　14：30～16：20（UTC））

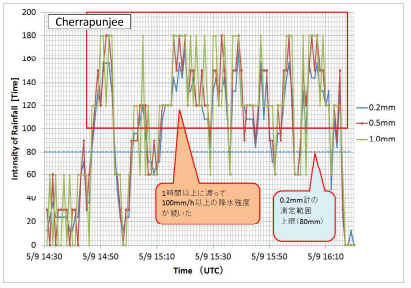


図11　事例4が発生した時間帯の1分毎の降水強度（チェラプンジ）
（2014年5月9日　14：30～16：20（UTC））
※1分毎で降水強度を算出したため、各雨量計の分解能は、以下の通りとなる
0.2mm計：12mm/h、0.5mm計：30mm/h、1.0mm計：60mm/h

6. まとめ

- 今回の比較観測では、最大300mm/hに達する事例をはじめ、激しい降水強度での比較観測が実施できた。
- その結果、0.2mm計は降水の開始を早く検知できるものの、1.0mm計と比べると、降水強度が80mm/h（瞬間値）を超えると追従できていない現象を確認した。
  また、0.5mm計についても、十分追従できていない限界があることが分かった。
- 南アジアや東南アジアなどの激しい降水現象が発生する所については、その地域で想定される降水強度にあった雨量計を使用することが適切である。

- We found that the TBR with higher resolution underestimates the rainfall at the intensity than 80 mm/h.
- The TBR with lower resolution is recommended to use for the accurate rainfall measurement at the heavy rain places.

学会発表資料 5

学会名：TECO-2016

会場：スペイン　マドリッド

会期：2016 年 9 月 27 日～9 月 30 日

タイトル：Comparison 0f Three Kinds of Tipping Bucket Rain Gauges in the Heavy Rainfall Condition at Sohra (Cherrapunjee) ofIndia Subcontinent

ポスター発表

COMPARISONS OF RAINGAUAGES IN NATURAL RAINFALL CONDITION

Taiichi HAYASHI[1)], Tsukasa NAGASE[2)], Yoshihiro WATANABE[2)],
Shinji HASHINAMI[2)], Akira YAMAMOTO[3)]

1) Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University
Gokasho, Uji, Kyoto, 6110011, Japan,
Tel : +81-774-38-4179, Fax : +81-774-38-4180
Email : hayashi.taiichi.3m@kyoto-u.ac.jp
2) Weather Information & Communications Service Co. Lmt.
3) Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency

ABSTRACT

Three kinds of tipping bucket rain gauges (0.2, 0.5 and 1.0mm) are compared one of the heaviest rainfall point in the world of the northeastern India for two years. of observed rainfall are as follows; 1258.0mm for 1.0mm type, 1244.5mm for 0.5mm type and 1209.4mm for 0.2mm type. The difference of observed rainfall is 35mm between 0.2mm type and 0.5mm type, and 13.5mm between 0.5mm type and 1.0mm type. In particular, when the typhoon approached in the observational site and heavy rainfall occurred from 14th to 16th of September, the amount of observed rainfall are 274.0mm for 1.0 type and 251.0mm for 0.2mm type. The difference of rainfall amount is 21.0mm. Rainfall amount for each 10 minutes by 0.2mm type is in good coincidence with 1.0mm type in the weak and moderate rain intensity and smaller in the high intensity rainfall.

Three kinds of tipping bucket (0.2, 0.5 and 1.0mm) are compared at Cherrapunji of Meghalaya, the northeastern region of Indian subcontinent, where the largest rainfall occurs in the world, in the rainy season of summer monsoon of two years of 2014 and 2015. Total amount of observed rainfall in 2014 are as follows; 8643.0mm for 1.0mm type, 8379.5mm for 0.5mm type and 8154.0mm for 0.2mm type. The difference of observed rainfall is 489.0mm between 0.2mm type and 1.0mm type, and 263.5mm between 0.5mm type and 1.0mm type. The difference percentage to the 1.0mm type are 3.0% and 5.7% respectively. In particular, when the heaviest rainfall intensity more than 300hh/hour occurred sometimes at Cherrrapunjee, the most of the difference is happened. .

Comparison 0f Three Kinds of Tipping Bucket Rain Gauges in the Heavy Rainfall Condition at Sohra (Cherrapunjee) of India Subcontinent

Taiichi HAYASHI(Kyoto University), Tsukasa NAGASE, Yoshihiro WATANABE, Shinji HASHINAMI(WICS)

1. Introduction

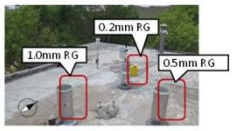
- We reported the some preliminary results of "the comparison of three kind of Rain Gauges in Japan" at TECO 2014 of St. Petersburg in Russia.
- In this time, we will present the results of the similar comparison of three rain gauges in the much severe rainfall condition at Sohra (cherrapunjee), Meghalaya, in India, one of the heaviest rainfall place in the world.

2. Field Experiment

Duration：28th April 2014 to 1st March 2015

Site : Sohra (Cherrapunjee), Meghalaya, India

Location of Sohra (Cherrapunjee)



Installation of three Raingauges on the roof top of the house

3. Specification of Rain gauges in comparison

	1.0mm RG	0.5mm RG	0.2mm RG
Type	R2-501	R1-502	OW-34-BP
Precision	(※1)	(※2)	

※1) ±1.0mm for the condition of rainfall amount of less than 40mm/ hour, and less than ±3% for rainfall amount of over 40mm / hour

※2) ±0.5mm for rainfall amount of less than 20mm, and less than ±3% for rainfall amount of more than 20mm / hour

Measurement limit of 0.2mm rain gauge : 80mm / hour

4. Data recording

Small Loggers (HOBO pendant) recorded the exact time of tipping of buckets.

5. Results

5.1 Cumulative Rainfall Amount

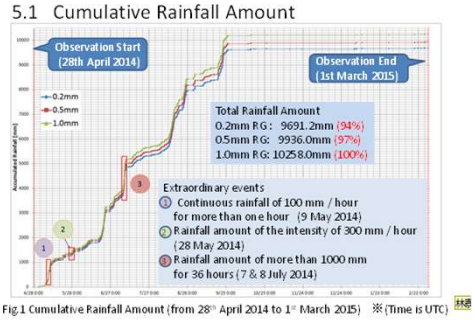
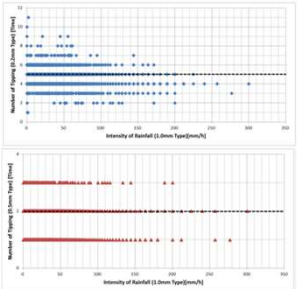


Fig.1 Cumulative Rainfall Amount (from 28th April 2014 to 1st March 2015) ※(Time is UTC)

5.2 Comparison of Tipping Counts



Tipping counts of 0.2mm RG scatter equally above and below 5 tipping counts to one tipping of 1.0mm RG in the rainfall intensity of less than 80 mm /hour. However, in the range of more than 80 mm / hour, the cases of less than 5 tipping are predominant.

Tipping counts of 0.5mm RG are also similar behavior.

Fig.2 rainfall intensity of 1.0mm RG vs. Tipping counts (Top:0.2mm RG, Bottom: 0.5mm RG)
Dashed line : Expected tipping counts of 0.2 mm & 0.5 mm RGs to 1 tipping of 1.0mm RG.

5.3 Comparison of 10 min rainfall amount

0.2mm RG vs. 0.5mm RG

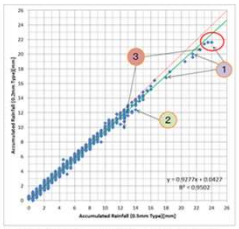


Fig.3 Scatter diagram of 10 minutes rainfall amount of 0.2mm RG and 0.5mmRG
(Sample : 5994, excluded the 0.0 mm rainfall amount of both RGs)

Both of 10 min rainfall amounts of 0.2mm RG and 0.5mm RG coincide in the condition of less than only 3 mm / 10 min rainfall amount. The difference between two RGs becomes larger in more than 10 mm /10 min rainfall amount. In the case ①, the difference is more than 2 mm to the 10 min rainfall amount 24 mm. In the cases ② and ③, the rate of 0.2mm RG /1.0mm RG is sometimes 80% in the case of 12 mm / 10 min rainfall amount.

No.	Date & time	0.2mmRG	0.5mmRG	0.2/0.5
①	5/9 15:20	21.6	23.5	0.92
①	5/9 15:30	20.0	21.5	0.93
①	5/9 15:40	21.4	23.0	0.93
①	5/9 16:00	16.8	18.0	0.93
①	5/9 16:10	21.6	24.0	0.90
②	5/28 07:30	12.4	14.0	0.89
③	7/7 02:30	10.0	12.5	0.80
③	7/7 19:00	20.6	22.5	0.92

0.2mm RG vs.1.0mm RG

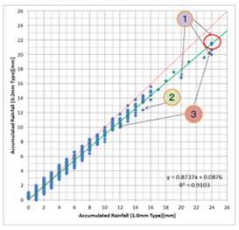


Fig.4 Scatter diagram of 10 minutes rainfall amount of 0.2mm RG and 1.0 mm RG
(Sample : 5893, excluded the 0.0 mm rainfall amount of both RGs)

Both of 10 min rainfall amounts of 0.2mm RG and 1.0mm RG coincide only in the condition of less than 2 mm / 10 min rainfall amount. The difference becomes larger in the condition of more than 10 mm / hour rainfall amount.

In the case ①, the difference is more than 4 mm to the 10 min rainfall amount 24 mm. In the cases ② and ③, the measured rainfall amount of 0.2mm RG is 80 to 86 %.

No.	Date & Time	0.2mm RG	1.0mm RG	0.2/1.0
①	5/9 15:20	21.6	24.0	0.90
①	5/9 15:30	20.0	24.0	0.83
①	5/9 15:40	21.4	24.0	0.89
①	5/9 16:00	16.8	20.0	0.84
①	5/9 16:10	21.6	24.0	0.90
②	5/28 07:30	12.4	15.0	0.83
③	7/7 02:30	10.0	12.0	0.83
③	7/7 19:00	20.6	24.0	0.86

0.5mm RG vs. 1.0mm RG

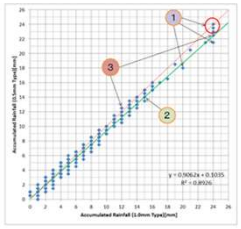


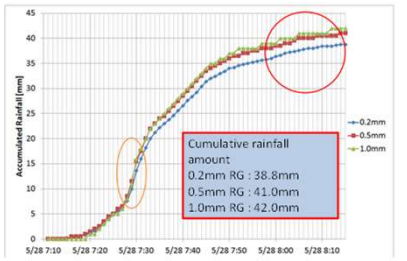
Fig.4 Scatter diagram of 10 minutes rainfall amount of 0.5mm RG and 1.0 mm RG
(Sample : 5163, excluded the 0.0 mm rainfall amount of both RGs)

Both of 10 min rainfall amounts of 0.5mm RG and 1.0mm RG coincide only in the condition of less than 3 mm / 10 min rainfall amount.
The difference becomes larger.
In the case ①, the difference is more than 4 mm to the 10 min rainfall amount 24 mm. In the cases ② and ③, the measured rainfall amount of 0.5mm RG is 80-86 %.

No.	Date & Time	0.2mm RG	1.0mm RG	0.5/1.0
①	5/9 15:20	23.5	24.0	0.98
①	5/9 15:30	21.5	24.0	0.90
①	5/9 15:40	23.0	24.0	0.96
①	5/9 16:00	18.0	20.0	0.90
①	5/9 16:10	24.0	24.0	1.00
②	5/28 07:30	14.0	15.0	0.93
③	7/7 02:30	12.5	12.0	1.04
③	7/7 19:00	22.5	24.0	0.94

5. 4 Extraordinary Events

Case 1 : Rainfall amount of the intensity of 300 mm/ hour



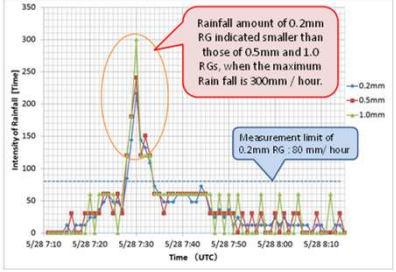


Fig.7 Rainfall intensity in 1 minute(28th May 2014 07:10～8:20 UTC)
※Resolution of Rainfall intensity :
0.2mm RG : 12mm/hour, 0.5mm RG : 30mm/hour, 1.0mm RG:60mm/hour

- Case 2 rainfall of 100 mm / hour for more than one hour

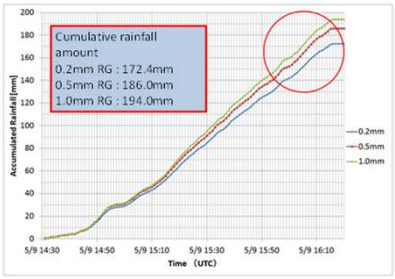


Fig.8 Cumulative rainfall amount (9th May 2014 14:30～16:20UTC)

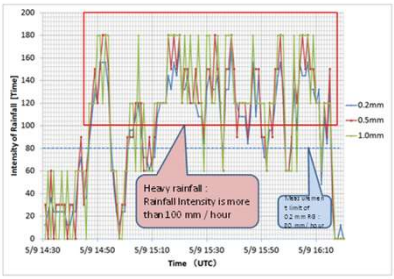


Fig.9 Rainfall intensity in 1 minute(9th May 2014 14:30～16:20 UTC)
※Resolution of Rainfall intensity :
0.2mm RG : 12mm/hour, 0.5mm RG : 30mm/hour, 1.0mm RG:60mm/hour

- Case 3 Rainfall amount of more than 1000 mm for 36 hours

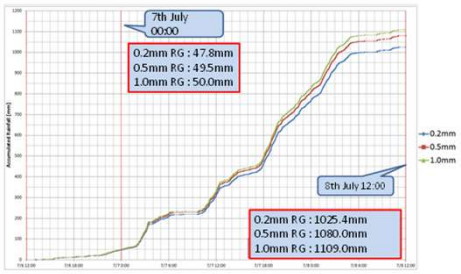
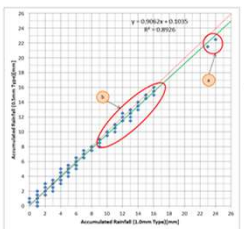


Fig.8 Cumulative rainfall amount (12:00UTC of 6th～12:00UTC of 8th 2014)



- The difference between 1.0mm RG and 0.5mm RG is 30mm in the rainfall amount of more than 1000mm.

(a) Rainfall amount in 10 minutes of 0.5mm RG is smaller than that of 1.0mm RG.

(b)Rainfall amount in in 10 minutes of .05mm RG is also smaller the that of 1.0mm RG in the range between 8mm and 16mm.

Fig.11 Scatter Diagram of rainfall amount in 10 minutes of 0.5mm RG and 1.0mm RG.
(Sample : 188, excluded the 0.0 mm rainfall amount of both RGs)

6. Summary

- Comparison of three kinds of rain gauges are conducted at Sohra (Cherrapunjee), which is one of the heaviest rainfall point in the world.
- Details of behavior of those rain gauges can be compared in the extraordinary rain cases;
  (1)Rainfall intensity of more than 300 mm/ hour.
  (2)Cumulative rainfall amount of more than 1000mm in 36 hours.
- 0.2mm RG and 0.5mm RG are sometimes under estimate the rainfall in the very strong rainfall condition.
- The appropriate rain gauges are necessary to be be used in heavy rainfall regions such as Asian Monsoon Area.