

# ペットボトル簡易雨量計の高精度化に関する研究

山田浩加・森本真紀

岐阜大学教育学部

Study of improving precision of simple rain gauges that are made of plastic beverage bottles

Hiroka Yamada and Maki Morimoto

Faculty of Education, Gifu University, Gifu, 501-1193, JAPAN

## 要 約

貯水型雨量計の一つであるペットボトル簡易型雨量計を自作し、ピンポン球法やオイル法といった蒸発防止装置の有無による降水の蒸発量の違いについて調べ、最適な蒸発防止装置を検討した。さらに、口径18cmの漏斗を用いたペットボトル雨量計について観測精度を調べ、降水量に対して平均±0.5%であった。これは、転倒ます型雨量計よりも高精度であり、使用済ボトルを利用した安価な自作簡易型雨量計であるが、十分に実用的な精度を持っていることが明らかになった。

## 1. はじめに

日常生活において、雨や雪などの降水は大変身近な気象現象である。小中学校の理科（地学分野）においては、気象分野は大きな範囲を占めており、その中でも雲や雨についての学習は重要な項目の一つである。気象の学習における機器観測の目的は、生徒が自分で実際に測器を扱って気象データを収集して得られたデータについて考えることにより、気象現象や日々の天気の変化についての理解を深めることである。気温や気圧と異なり、降水は目で見られる気象現象であるため、より理解しやすい対象である。

気温や湿度の観測には従来、百葉箱が多く用いられてきたが、気象庁での1974年のアメダス運用開始と1993年3月の百葉箱を使用した地上気象観測の終了により、気象観測業務での百葉箱の使用は減少している（山口，2006）。1950年代から学校現場でも百葉箱の導入が進んだが、機器の老朽化と更新予算の不足などにより、現在実際に気象の連続観測を行っている学校は少ないことが調べられた（山口，2006）。降水の観測は、百葉箱内で行うのではなく、別途、地表面に専用装置を設置する必要がある。最も一般的で気象庁でも使用している転倒ます型雨量計は高価であり、小中学校における普及の程度は不

明である。

降水の観測方法は、大きく分けて、貯水型雨量計と転倒ます型雨量計の2種類がある。気象庁で行われている降水量の観測では、口径20cmの転倒ます型雨量計が用いられている（気象庁，2002）。転倒ます型とは、図1のように雨量計の内部に転倒ますと呼ばれる装置があり、口径20cmで円形状の受水口に集められた降水が、片方の転倒ますに注がれる。そして、0.5mm相当の降水量に達すると、重みで転倒ますが倒れて排水され、次は反対側の転倒ますに降水が貯められるといった仕組みになっており、転倒した回数により降水量が求められる。

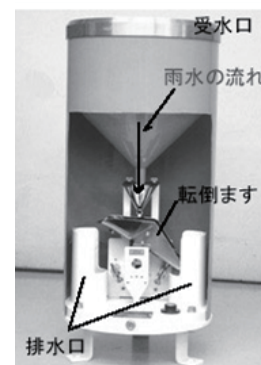


図1. 転倒ます型雨量計（仙台管区気象台 website (<http://www.jma-net.go.jp/sendai/wadai/sokki/sokki5.html>))

気象庁が定めた検定公差（必要な観測精度）は、降水量 20 mm 以下では  $\pm 0.5$  mm, 降水量 20 mm 以上では  $\pm 3\%$  であり、市販の雨量計の観測精度はこれに準じたものが多い。一方、貯水型雨量計とは、受水口から入った降水を容器に集めて測るものである。容器の日盛りから降水量を読み取るか、もしくは重量の変化を調べる貯水型指示雨量計と、容器内の降水の重さを記録紙に時系列で自動記録する貯水型自記雨量計の 2 種類がある。気象庁の検定公差は、貯水型指示雨量計は降水量 10 mm 以下では  $\pm 0.2$  mm, 降水量 10 mm 以上では  $\pm 2\%$  である。貯水型自記雨量計では、降水量 20 mm 以下では  $\pm 0.5$  mm, 降水量 20 mm 以上では  $\pm 3\%$  である。貯水型指示雨量計をさらに簡便にしたものに、使用済み飲料ペットボトルを用いた雨量計があり、降水に関する研究などで用いられている（牛山・松山, 1995; 棚橋, 2002; 四方, 2005 他）。ペットボトルの口に漏斗を取り付け、ボトル内に集まった降水をメスシリンダーに移し替えるか、重量の差を計測することにより、降水量を求めるものである。

それぞれの雨量計の長所と短所を比較する。転倒ます型雨量計の長所は、自動で排水するので溢れる恐れがないために、長期間の自動連続観測ができる点が挙げられる。また、発信機等の取り付けにより、遠隔地からのモニタリングが行える点も挙げられる。短所は、転倒ますが転倒している間にも降水が注がれるため、転倒中の降水は計測されないので誤差が生じやすく、強い雨ほど降水量を実際よりも少なく計測する恐れがある。また、転倒したます内の降水は自動で排水されるため、集めた降水の成分分析を行うことはできない。

比べて、貯水型雨量計全般の短所は、量の計測のため定期的に現地での作業が必要な点である。貯水型のうち、指示雨量計の長所は、比較的安価で取り扱いが容易な点がある。短所は、自動排水機能がないために、雨量ますの容量を超すと計測ができなくなる点や、貯水中の蒸発による水量減少の可能性が挙げられる。一方の貯水型自記雨量計の長所は、自動排水装置があるので長時間の連続観測ができる点であるが、指示型に比べ高価である。さらに、ペットボト

ル雨量計の長所としては、主な材料が使用済みペットボトルと漏斗という簡便なものであるため、前述の他の装置よりはるかに安価であり、数を多く用意しやすいという点が挙げられる。市販ではなく自分で作成する必要はあるが、簡単に作ることができる。また、降水が貯水されるので、成分分析を行いやすい。短所は、ペットボトルの容量を超える前に回収する必要があることである。本研究では、学校の教材にやすく、また降水に関する卒業研究でも扱いやすい、さらに資源ごみの再利用でもあり、安価で作成でき取り扱いが容易なペットボトル雨量計を対象とした。

ペットボトル雨量計に関する先行研究として、牛山・松山（1995）は、転倒ます型雨量計との観測値の差が約  $\pm 10\%$  であることを示した。しかし、全般にペットボトル雨量計の方が多めの観測値を示し、両方式の受水後の蒸発の差や転倒ます型の誤差について言及した。棚橋（2002）では漏斗口径による採水精度のばらつきが調べられ、口径 3 ~ 30 cm の中で口径 18 cm のものが観測に適しているという結論であった。また、四方（2005）では、雨滴・雨量・風速と漏斗口径の関係について調べられた。しかし、降水の観測を行うにあたって必要な蒸発防止の対策がされていなかった。そのため、降雨終了 1 時間以内に急いで回収と重量測定を行う方法を取っており、1 週間や 1 ヶ月毎などの定期的な観測には向いていない。

ペットボトル内の試料水の蒸発を防ぐ方法には、漏斗の穴を塞いで容器内で蒸発した水の拡散を防ぐこと、回収した降水の表面に膜を張って蒸発自体を防止すること、の 2 つが挙げられる。漏斗の穴を防ぐために、ピンポン球を漏斗内に入れる方法が使われている（若本・山中, 2002; 奈尾, 2013, 他）。試料水の表面に膜を張る方法として、シリコンオイル、パラフィンオイル、灯油などのオイルをペットボトルに入れる方法が使われてきた（Murray, 1972; 若本・山中, 2004, 他）。しかしながら、蒸発防止策の有無による違いの詳細は研究されていない。

そこで本研究では、ペットボトル雨量計について、蒸発防止装置の有無による降水の蒸発量の違いについて調べ、最適な蒸発防止装置を検討し

た。さらに、口径18cmの漏斗を用いた雨量計について、実際の雨量観測から観測精度を調査した。

## 2. 研究方法

### (1) ペットボトル雨量計

1. で述べたように、ペットボトル雨量計は安価で作成と取扱いが容易であるために、生徒一人ずつが別々に作成することや、多数の地点での同時観測も可能となる。本研究で使用したペットボトル雨量計を図2に示す。棚橋(2002)の結果より、本研究では口径18cmの漏斗を用いた。2Lのペットボトルの口に口径18mmの漏斗を差し込み、隙間を油粘土で詰めた。風などでペットボトルが倒れないように、木製すのこ檜の木材を使用して簡易的な雨量計固定器具を自作した。さらに強度を上げるために、すのこの上にコンクリートブロックをのせた。これにより、台風接近時も倒れることなく観測することができた。また、地面から跳ね返った降水が漏斗内に入る可能性があり、気象庁の観測指針では周囲を芝生、人工芝、細かな砂利などを敷くことが推奨されており、本研究では雨量計の周囲(0.6m×1.0m)を人工芝のマットで覆った。

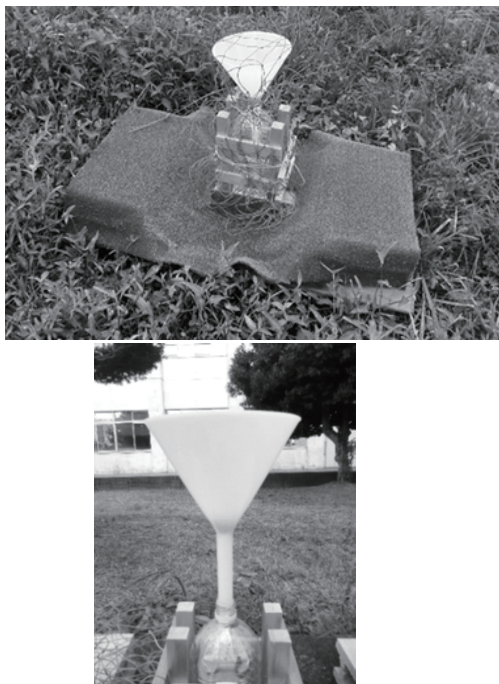


図2. 本研究で作成した口径18cm漏斗付きペットボトル雨量計。

### (2) 蒸発防止装置の比較

ペットボトル雨量計について、回収した降水が観測中に蒸発し試料量が減少することを防止する方法の検討を行った。蒸発防止装置なしの場合(条件①)との比較のため、ピンポン球を漏斗内に入れる(条件②)、ペットボトル内にサラダ油を入れる(条件③)、の2つの蒸発防止法を用いて、蒸発量の違いを調べた(図3)。



図3. 蒸発防止策の模式図(左図: 条件①防止装置なし, 中図: 条件②ピンポン球法, 右図: 条件③オイル法)

各々のペットボトルには1000gの水道水を入れ、蒸発量は設置前のペットボトルの重量から観測後の重量を引いた減少量として求めた。条件②では直径40mmのピンポン球を漏斗内に入れ、条件③では水道水を入れた後に40gの食用油(サラダ油)をペットボトルに入れた。本テストの雨量計は全て、岐阜大学教育学部棟北側の庭に設置した。降雨による重量増加の影響を除くため、空の雨量計1個を同じ場所に設置して期間中の降水の有無を調べ、降水がなかった期間の結果を用いた。テスト期間(1)2016年8月9日～8月12日では雨量計設置の24時間後、72時間後、テスト期間(2)2016年11月2日～11月8日では139時間後の蒸発量を調べた。

### (3) 雨量計の観測精度

本研究で用いる漏斗口径18cmのペットボトル雨量計の採水精度を求めた。棚橋(2002)では、転倒ます型雨量計との観測値の差が調べられたが、ペットボトル雨量計そのものの観測値のばらつきは求められていない。四方(2005)では、同じ口径の漏斗を5個ずつ用いたが、採水精度すなわち5個のばらつき(標準偏差)は求められていない。本研究では観測精度をより詳細に確認するために、岐阜大学教育学部棟北側の庭の1.1m<sup>2</sup>(1.25m×0.9m)の範囲にペット

ボトル雨量計 5 個を設置した。5 個とも同じ 1 週間の降水を採集し、5 本の雨量計の採水量とそのばらつきを調べた。採水量を口径 18 cm 漏斗の口部の面積で割り、降水量に換算した。2016 年 9 月 5 日から 2016 年 10 月 17 日にかけての 6 週間の観測から、6 回のテストを行った。

### 3. 結果と考察

#### (1) 蒸発防止装置の比較検討

テスト期間 (1) : 2016 年 8 月 9 日 09 : 00 ~ 2016 年 8 月 12 日 09 : 00

表 1. 蒸発防止装置テストの結果 : 期間 (1) 2016 年 8 月 9 日 09 : 00 ~ 2016 年 8 月 12 日 09 : 00

	24時間設置後			72時間設置後		
	蒸発量[g]	平均蒸発量[g]	標準偏差	蒸発量[g]	平均蒸発量[g]	標準偏差
①なし	1.9	0.93	0.85	4.8	3.10	1.57
	0.6			2.8		
	0.3			1.7		
②ピンポン球	0.2	0.17	0.06	0.6	0.57	0.06
	0.1			0.5		
	0.2			0.6		
③オイル	0.3	0.30	0.00	0.7	0.70	0.00
	0.3			0.7		
	0.3			0.7		

条件①~③ (条件① : 蒸発防止装置なし, 条件② : ピンポン球を漏斗内に入れる, 条件③ : ペットボトル内にサラダ油を入れる) それぞれにつき雨量計 3 本ずつを設置した。設置した 24 時間後と 72 時間後の蒸発量, 各条件の平均値と標準偏差を表 1 に示す。条件①は条件②よりも平均蒸発量が 24 時間後で 0.76g, 条件③よりも 0.63g 多く, 72 時間後ではそれぞれ 2.53g, 2.4g 多かった。蒸発量の標準偏差については, 条件①②③の順に 24 時間後では 0.85g, 0.06g, 0.00g, 72 時間後では 1.57g, 0.06g, 0.00g であり, 条件①が他の 2 つの条件よりも 10 倍以上ばらつきが大きかった。この結果は, 蒸発防止装置を用いていない条件①では雨量計内の水が蒸発して容器外に拡散していることを示している。一方で, ピンポン球を用いると蒸発した試料水が漏斗外に拡散しにくく, オイルを用いると蒸発そのものが減少していることが示された。ピンポン球法とオイル法では, 平均蒸発量と標準偏差について大きな差は見られない (表 1)。

テスト期間 (2) : 2016 年 11 月 2 日 15 : 00 ~ 2016 年 11 月 8 日 09 : 00

表 2. 蒸発防止装置テストの結果 : 期間 (2) 2016 年 11 月 2 日 15 : 00 ~ 2016 年 11 月 8 日 09 : 00

	139h後 蒸発量[g]	平均[g]	標準偏差
①なし	0.4	0.35	0.05
	0.3		
②ピンポン球	0.2	0.15	0.05
	0.1		

条件①, ②それぞれにつき雨量計 2 本ずつを設置した。設置 139 時間後の蒸発量, 各条件の平均値と標準偏差を (表 2) に示す。期間 (1) の約 2 倍の時間を使って蒸発テストを行ったが, 蒸発量は期間 (1) よりも少ない。これは, 8 月と 11 月の気温の差であると考えられる。139 時間後の平均蒸発量は条件①で 0.35g, 条件②で 0.15g であり, 蒸発防止装置なしの場合がピンポン球法よりも 0.2g 多かった。この差について t 検定を行い, 蒸発量について有意水準 10% 以下の差があった。

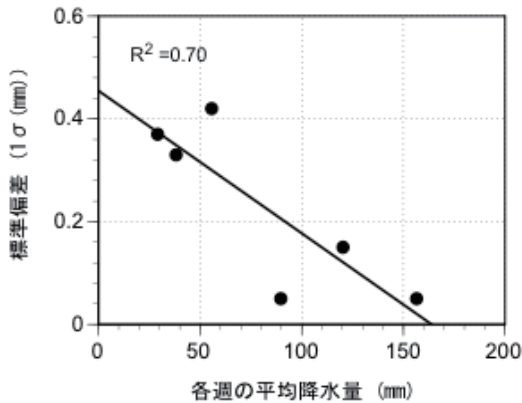
2 期間のテストの結果から, ペットボトル雨量計の蒸発防止策の有無で明らかに観測雨量が異なり, 採集した降水の蒸発を防止するための装置を用いる必要があることが示された。蒸発防止策のピンポン球法とオイル法では, 両者の蒸発量に明確な差はなかったため, 観測の目的により方法を使い分けることが望ましい。例えば, 雨量観測目的だけではなく, 採水後に化学分析や同位体分析を行う場合は, オイル法ではオイルの除去が必要となり, ピンポン球法が適している。風が強い地域や, 人間や動物の関与 (いたずらなど) が予想される場所での観測では, ピンポン球法は適していない。

#### (2) 雨量計の観測精度

2016 年 9 月 5 日から 2016 年 10 月 17 日にかけての 6 週間における 1 週間毎の, 5 個のペットボトル雨量計の観測雨量, 平均値, 標準偏差を表 3 に示す。

表 3. 1.1m<sup>2</sup>の範囲に設置したペットボトル雨量計 5 個の 1 週間毎の観測雨量 (期間 : 2016 年 9 月 5 日 ~ 10 月 17 日)。

	1	2	3	4	5	平均 [mm]	標準偏差	相対標準偏差 (%)
9/5 ~ 9/12	29.2	28.6	29.2	28.9	29.7	29.1	0.37	1.26
9/12 ~ 9/19	89.7	89.8	89.7	-	-	89.7	0.05	0.05
9/19 ~ 9/26	156.5	156.4	-	-	-	156.5	0.05	0.03
9/26 ~ 10/3	120.5	120.2	120.4	120.4	120.1	120.3	0.15	0.12
10/3 ~ 10/10	56.3	55.3	55.6	-	-	55.7	0.42	0.75
10/10 ~ 10/17	38.3	37.9	37.7	38.6	38.4	38.2	0.33	0.87



平均値と観測精度の関係.

週降水量は29mm～157mmの変化をしていた。9月19日～26日の雨量が157mmと観測期間で最多であるが、9月20日の台風16号の接近による降水であった。各週の観測雨量の雨量計毎のばらつき（標準偏差）は、0.05mm～0.42mmであり、平均は0.3mmであった。各週の平均降水量と標準偏差には負の相関（ $R^2=0.70$ ）があり（図4）、降水量が多いと標準偏差は小さくなり、台風接近のような強風時の降水でもこの傾向に沿っていた。降水量とばらつきに関係があることから、量に対する相対的な標準偏差を求めると、0.03%～1.3%であり、最小雨量で一番大きく、最多雨量で一番小さい値となった。

本研究で用いたペットボトル雨量計の観測精度は、降水量29mm～157mmの範囲で、平均±0.3mmであり、量に対しては平均±0.5%であった。気象庁の検定公差では、転倒ます型雨量計と貯水型自記雨量計では±3%、貯水型指示雨量計では±2%である。本研究のペットボトル雨量計の精度が4～6倍高いことが示された。

#### 4. おわりに

本研究では、ペットボトル簡易型雨量計を自作し、蒸発防止装置の有無による降水の蒸発量の違いについて調べ、最適な蒸発防止装置を検討した。蒸発防止策について本研究では量の変化のみを議論したが、降水の化学分析や同位体分析を行う場合には、水質への蒸発の影響を配慮する必要がある。例えば、若本・山中（2004）では、自動降水分取器を用いた時の降水同位体変化（凝縮）とオイル法の有効性について調査

された。今後、ペットボトル雨量計でも調べる必要があると考える。

さらに、口径18cmの漏斗を用いたペットボトル雨量計について、実際の雨量観測から観測精度を調査した。ペットボトル雨量計は安価で簡易であるので、設置場所や個数を制限されずに、気象観測・研究を行えることが最大の長所であるが、さらに十分に実用的な精度を持っていることを示した。精度に関しては、水質や同位体比のばらつきについても今後調べる必要があるだろう。さらには、1個の雨量計がどの程度の範囲の空間代表性を持つかを調べることも考えている。

気象観測は、自動化やデジタル化が進み既に観測された数値データを解析することも多い。しかしながら、小中学校・高校や大学の卒業研究などで生徒が観測機器を自作・改良し、設置して観測、自分の気象データを得ることにより、気象現象がより身近なものとなり、気象・気候・環境変動への理解につながるものと期待する。

#### <参考文献>

- 牛山素行・松山洋（1995）簡易雨量計の試作と比較観測. 水文・水資源学会誌, 8 (5), 492-498.
- 気象庁（2002）気象観測ガイドブック, 55p.
- 四方（2005）雨量測定の問題点 ～漏斗サイズによる測定値のばらつき～. 岐阜大学教育学部卒業論文, 35p.
- 嶋田純・三條和博（1987）降水中の安定同位体測定用採取装置について. 第一回日本水文学会秋季学術大会講演予稿集, 30-31.
- 棚橋（2002）メソスケールの降水分布について. 岐阜大学教育学部卒業論文, 33p.
- 奈尾雅浩（2013）カンキツ黒点病の防除適期判定に用いる簡易雨量計の製作法. 第19回農作物病害虫防除フォーラム講演要旨, 5p.
- 山口 隆子（2006）日本における百葉箱の歴史と現状について. 天気, 53 (4), 3-13.
- 若本実希・山中勤（2004）降水分取器内部での蒸発に伴う試水の同位体濃縮について. 筑波大学陸域環境研究センター報告, 5, 73-79.
- Murray, D.L. (1972) Comparison of raingauge evaporation suppressants. J. Hydrology (N.Z.), 11 (2), 99-104.