

ペットボトル簡易雨量計の高精度化に関する研究（3） － 週単位の雨量観測に適した漏斗径 －

伊佐治佑太・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 (3) - Optimum funnel diameter for weekly rainfall observation -

Yuta Isaji and Maki Morimoto
Faculty of Education, Gifu University

要約

本研究では、簡易の貯水型雨量計の一つである漏斗を用いたペットボトル雨量計について、週単位の雨量観測に適した漏斗の直径と観測精度を求めた。漏斗の直径と回収された降水量の関係を調べ、漏斗の形状や雨量計からの蒸発の影響を検討した。精度の高い降水量を求めるためには、漏斗の外径を正確に測り受水口面積を正しく見積もる必要があることが示された。

1. はじめに

地学分野において気象は重要な分野の一つであり、気温や降水量などの気象要素を測器を用いて観測することによって、気象現象や日々の天気の変化について理解を深めることができる。市販の降水観測の測器（雨量計）は大型で高価なため、安価で簡単に自作できる雨量計として、漏斗と使用済みペットボトルを用いた装置が提案され、降水に関する研究や教育教材として用いられている（牛山・松山, 1995; 棚橋, 2002 他）。多数の雨量計を準備することが簡単であるため、学校の実習の教材や卒業研究の観測に適している。

直径 18cm の漏斗と 2L ペットボトルを組み合わせた雨量計を用いて、山田・森本(2017)ではオイル法などの蒸発防止策の有無による蒸発量の違いを調べ、ピンポン玉による蒸発防止策によって降水量への蒸発の影響は無視できることを示した。大宮・森本(2017)ではさらに、1 週間の観測期間中の雨量計内の蒸発量と降水の同位体への蒸発の影響を詳細に調べた。

同じ仕様の雨量計を用いて、山田（2017）と大宮（2018）では、岐阜市や濃尾平野の降水の分布を調べるために週単位の降水量観測を行った。2 年 2 ヶ月の約 120 週の観測期間のうち 14 週間で、2L ペットボトルの容量を上回り漏斗の中に溜まるか、さらには漏斗から溢れるほどの多量の降水があり、正確な雨量を求めることができなかつた。直径 18cm の漏斗と 2L ペットボトルで観測できる最大降水量は 79 mm であり、これを上回る週降水量の観測ができなため、漏斗の直径を小さくする、もしくは、回収容器（ボトル）の容量を大きくして回収可能な降水量を増やす必要がある。入手が容易な市販飲料のペットボトルは 2 L 容器が最大のため回収容器の容量は変更が難しい。

漏斗の直径が小さいほど多量の降水量が観測可能となるが、降水の回収率（雨粒の捕捉率）や観測精度が観測の目的に相当であるか確認する必要がある。片岡（1957）では、金属製の受水口（直径 60, 40, 20, 10, 5 cm）を持つ雪量計を兼ねた雨量計をそれぞれ 3 個ずつ設置し、直径が大きいほど測定誤差（ばらつき）が小さくなることを示した。また、棚橋（2002）では、直径 3～30cm の 11 種の漏斗を用いたペットボトル雨量計と転倒ます式雨量計の観測値の差を調べ、直径 15cm 以上の漏斗で転倒ます式の雨量との差が小さいことが示されたが、各直径につき 1 個の雨量計しか用いていないため、観測精度は求められていない。そこで

本研究では、直径3~21cmの漏斗を用いたペットボトル雨量計による降水観測から、週単位の雨量観測に適した漏斗の直径を求めその観測精度を示すことを目的とした。

2. 研究方法

2Lのペットボトルに取付けた漏斗の直径は、3 cm, 6 cm, 8.6 cm, 11.6 cm, 12 cm, 15 cm, 18 cm, 21 cmであり、それぞれにつき6個ずつ雨量計を作成した。ここでの直径は漏斗の一番広がった部分の内径である。直径8.6 cmと11.6 cmの漏斗は市販品(100円均一ショップで入手)であり、受水部の形状はお椀型である。それ以外については実験用(理化学用)の漏斗であり、形状は逆円錐形である。回収した雨の蒸発防止策について、ピンポン球(直径4 cm)は直径の小さな漏斗には適さないため用いることができない。そこで本研究ではオイル法を採用し、全てのペットボトル内にサラダ油を約10 mL入れた。複数の雨量計を一つのカゴに入れて固定し、周囲に風雨を遮るものが少ない岐阜大学教育学部棟の屋上に設置して採雨した(図1)。降水量は集めた雨水の重量を漏斗受水口の面積で割ることにより求める。採雨前にロートを含めた雨量計全体の重量を電子天秤(Chyo PD-1-1600W,測定精度±0.1 g)で測定した。採雨後にボトルと漏斗の外側に付着した雨を拭き取った後に重量を測定し、採雨前後の重量の差を用いて降水量に換算した。

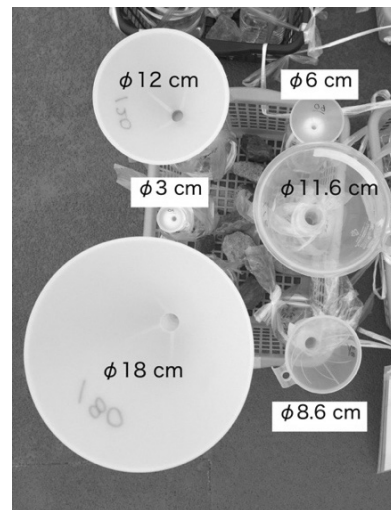


図1：直径の異なる漏斗を用いたペットボトル雨量計の設置状況

観測は以下の6回実施し、いずれの観測でも1回の降水の降り始めから降り終わるまでの雨を採取した。1回目の観測は、岐阜大学教育学部理科教育講座(地学)3年生の降水量観測実習として行った。

- | | | |
|-----|--------------------|---|
| (1) | 2018年6月19日~6月21日 | (漏斗直径：3, 6, 8.6, 11.6, 12, 18 cm) |
| (2) | 2018年8月31日~9月2日 | (漏斗直径：3, 6, 8.6, 11.6, 12, 18 cm) |
| (3) | 2018年10月9日~10月11日 | (漏斗直径：3, 6, 8.6, 11.6, 12, 15, 18, 21 cm) |
| (4) | 2018年11月8日~11月9日 | (漏斗直径：3, 6, 8.6, 11.6, 12, 15, 18, 21 cm) |
| (5) | 2018年12月2日~12月4日 | (漏斗直径：3, 6, 12, 15, 18, 21 cm) |
| (6) | 2018年12月11日~12月12日 | (漏斗直径：3, 6, 12, 15, 18, 21 cm) |

1回目と2回目は1つのかごに6種類の雨量計を入れて設置したが、径の小さい漏斗が大きな漏斗の陰に入り採雨が妨げられる可能性があるため、3回目以降は1つのかごに入れる雨量計の個数を4個に減らすことにより雨量計同士の間隔を広くした。また6回目の実験ではロートに付着した雨滴の影響を除くために、漏斗を外してボトルにキャップを付けた状態で重さを測った。

表1：6回の調査における漏斗口径(内径)

別の回収降水量と標準偏差

((1) 6月19日, (2) 8月31日, (3) 10月9日,
(4) 11月8日, (5) 12月2日, (6) 12月11日)

		漏斗内径(cm)							
		3	6	8.6	11.6	12	15	18	21
降水量 平均值 (mm, n=6)	(1)	40.4	64.4	80.9	78.1	76.3		75.1	
	(2)	58.7	49.0	46.9	50.1	56.3		54.0	
	(3)	10.4	9.3	10.5	10.2	9.3	8.1	9.0	8.8
	(4)	11.5	10.7	11.8	11.7	11.0	9.5	10.6	10.4
	(5)	37.7	34.3			35.2	30.4	33.8	33.1
	(6)	21.4	19.7			20.5	17.7	19.7	19.4
標準偏差 (1σ, n=6)	(1)	15.4	7.5	5.2	4.0	2.2		0.3	
	(2)	2.3	5.0	12.2	5.0	0.4		0.4	
	(3)	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0
	(4)	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	(5)	1.2	0.5			0.5	0.3	0.3	0.3
	(6)	0.5	0.2			0.4	0.1	0.0	0.1
相対標準 偏差 (1σ, %)	(1)	38.2	11.7	6.4	5.1	2.9		0.3	
	(2)	3.9	10.3	25.9	9.9	0.7		0.8	
	(3)	4.1	1.3	0.6	1.3	0.8	0.3	0.9	0.4
	(4)	2.5	1.8	0.8	0.5	0.8	0.7	0.7	0.5
	(5)	3.1	1.5			1.4	0.9	1.0	1.1
	(6)	2.5	1.0			1.7	0.4	0.1	0.3

3. 結果

6回の調査における漏斗の直径（内径）別の回収降水量とその標準偏差を表1と図2に示す。1回目に最多降水量を観測し、直径が大きくなると回収降水量が増える傾向が見られた。2回目以降では直径の小さい3 cm や、8.6 cm, 11.6 cm で降水量が多く、15 cm で少なくなっており、直径と回収降水量の明瞭な関係は見られない。標準偏差は降水量の多かった1回目と2回目で大きく、3回目以降はほとんどの直径で1 mm 以下であった。降水量の多少を考慮した相対標準偏差では、ほとんどの回で直径が大きいくほど偏差が小さくなっていったが、2回目は直径8.6 cm で26%と他の漏斗より高い値を示した。

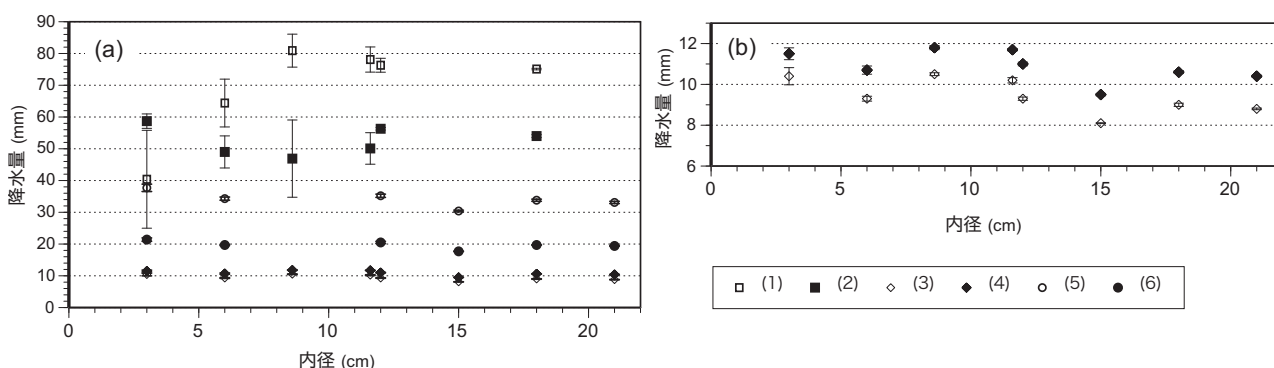


図2：6回の調査における漏斗口径（内径）別の回収降水量と標準偏差 ((a) 全データ, (b) 降水量13mm以下の回のみ)
 (1) 6月19日, (2) 8月31日, (3) 10月9日, (4) 11月8日, (5) 12月2日, (6) 12月11日

4. 考察

漏斗の直径の違いによって回収される降水量が変化する原因は、以下の自然要因と人為的要因が考えられる。⑥のみが自然要因であり他は雨量計の形状や取扱いなどに関する人為的要因である。

- ① 雨量計同士の相互干渉（陰になる）
- ② 雨量計からの蒸発／残水分
- ③ 漏斗の形状
- ④ 受水口面積の見積もり
- ⑤ 雨滴の跳ね返り
- ⑥ 降雨条件（降雨強度、持続時間、雨滴の大きさ、風速、湿度など）

①について3回目以降は雨量計同士の間隔を広げて観測した。変更の前後での明瞭な変化はなかったが、相互に干渉しない間隔で設置することは必要であろう。

②は、漏斗内壁に付着した雨滴が測定前に蒸発して回収降水量を減少させる影響と、雨量計の外側に付着した雨滴を重量測定前に完全に除去できず回収降水量を増加させる影響の2点が考えられる。蒸発の影響を調べるために室内実験として雨量計全体に霧吹きで水を吹き付け、漏斗内壁に付着した水滴の重量を測定し、その重量を降水量に換算した。最大でも0.3 mm 以下（漏斗直径3 cm の場合）であり、雨量計の精度への影響は小さいと言える。雨量計の外側に付着した水分については、通常の観測作業と同じ手順でボトルと漏斗の表面をキムタオルで拭き取った後に重量を測り増加分を調べた。平均で約0.3 g、すなわち降水量に換算すると最大0.5 mm（漏斗直径3 cm の場合）であり、念入りに雨量計の外側を拭くことにより回収降水量への影響はさらに減らせるであろう。

③は、雨滴を受ける漏斗の形状によって降水の回収量（回収率）が異なる可能性である。本研究ではお椀型と逆円錐型の2種類を用いた。お椀型の直径8.6 cm と11.6 cm について、回収降水量と標準偏差の両方で逆円錐型の漏斗とは明らかに異なる傾向を示した。よって、直径に関する比較を行うには同じ形状の

漏斗を用いる必要があるため、以降の考察ではこの2種類の直径のデータを除いておこなう。

④の受水口面積について、表1、図1では漏斗の受水口の内径を用いて計算を行なった。しかし、もし漏斗の縁に当たった雨滴の多くが漏斗内部に入り回収されているならば、縁を含めた外径で考えるのが適切である。外径は漏斗の仕様説明には記載されていないため、糸と定規を用いてそれぞれの直径で6個ずつ長さを測定して平均値を求めた。内径、外径、断面積、内径と外径の断面積比を表2に示す。直径15cmの漏斗は他と比べて材質が柔らかいため正円ではなく変形しており、長軸が14.95cm、短軸が14.2cmの楕円形として面積を計算した。直径15cmの漏斗を除いて、内径を用いた断面積は外径よりも小さく(最大で27%)なっており、いずれかの直径を用いるかで計算される降水量が異なってくる。

表2：内径と外径による漏斗直径と断面積

a. 内径 (cm)	b. 外径 (cm)	c. 内径断面積 (cm ²)	d. 外径断面積 (cm ²)	e. 内径・外径断面積比 c/d*100 (%)
3	3.5	7.1	9.6	73.5
6	6.45	28.3	32.7	86.5
8.6	9.8	58.1	75.4	77.0
11.6	13.05	105.6	133.7	79.0
12	12.7	113.0	126.6	89.3
15	楕円	176.6	168.4	104.9
18	18.4	254.3	265.8	95.7
21	21.15	346.2	351.1	98.6

表3：漏斗外径を用いて再計算した回収降水量

((1) 6月19日, (2) 8月31日, (3) 10月9日, (4) 11月8日, (5) 12月2日, (6) 12月11日)

		漏斗外径(cm)							
		3.5	6.45	9.8	13.05	12.7	15	18.4	21.15
降水量	(1)	29.7	55.7			68.1		71.8	
	(2)	43.1	42.4			50.3		51.7	
平均値 (mm, n=6)	(3)	7.6	8.1			8.3	8.5	8.6	8.6
	(4)	8.5	9.3			9.8	9.9	10.1	10.2
	(5)	27.7	29.7			31.4	31.9	32.3	32.7
	(6)	15.7	17.1			18.3	18.6	18.9	19.1

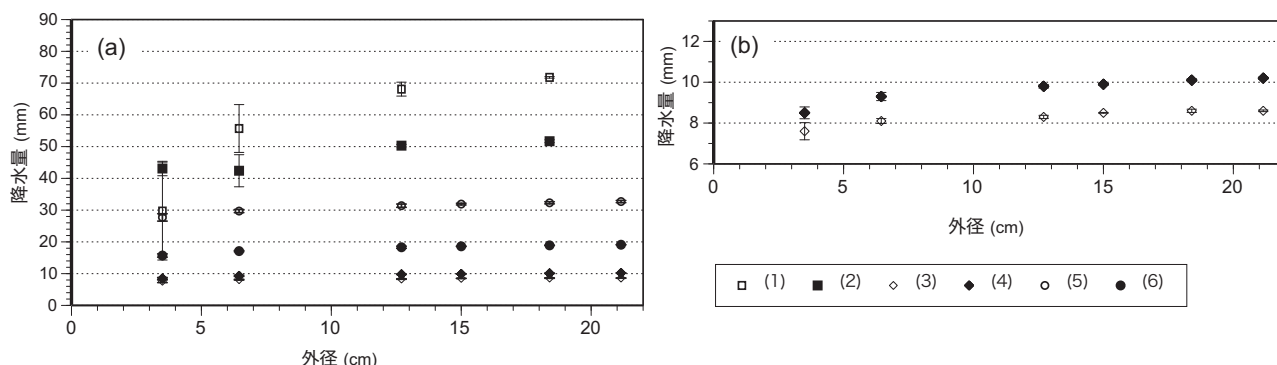


図3：漏斗外径を用いて再計算した回収降水量 ((a) 全データ, (b) 降水量13mm以下の回のみ)

((1) 6月19日, (2) 8月31日, (3) 10月9日, (4) 11月8日, (5) 12月2日, (6) 12月11日)

漏斗の外径による受水口面積を用いて再計算した6回の調査の回収降水量を表3と図3に示す。全調査回において外径が大きくなるほど回収降水量が多く、同じ傾向となった。降水量計算に使用する受水口面積について、牛山・松山(1995)でもペットボトル雨量計と転倒ます式雨量計の比較から、外径で計算した降水量の方が内径を用いるよりも転倒ます式の値に近いことが示されている。

次に、漏斗の外径による受水口面積で計算した回収降水量について、6回の調査における漏斗の直径ごとの降水捕捉率を計算した(図4)。降水量の絶対値を求めることはできないため、各回とも最多降水量を100としてその他の径の漏斗による回収降水量の比率を求めた。その結果、直径が大きくなるほど降水捕捉率が高くなっており、観測方法や期間の詳細は不明であるが矢崎(1974)でも同様の結果が示されている。直径の最も小さい3cmでは捕捉率が41~88%、直径6cmでは78~93%と、降水量の多少によってもばらつきが大きかった。また、降水量が最も多い1回目でも捕捉率が最も低くなっていた。さらに、直径12cm以

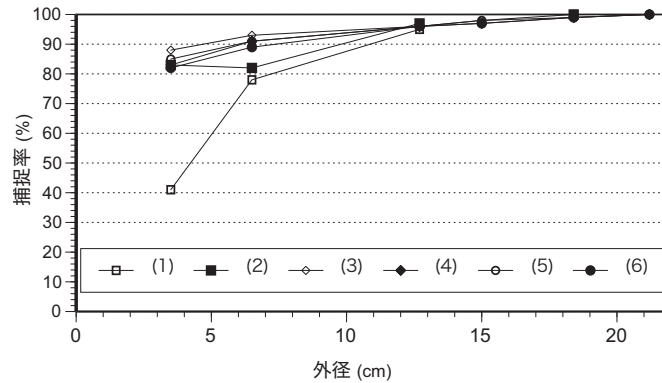


図4：6回の調査における降水捕捉率。各回とも最多雨量を100として比率を求めた。

((1) 6月19日, (2) 8月31日, (3) 10月9日, (4) 11月8日, (5) 12月2日, (6) 12月11日)

上の漏斗では、捕捉率が常に95%以上と高い値を示した。

このことから、直径12 cmの漏斗を用いた2Lペットボトル雨量計では、捕捉率が95%以上であること、測定精度（相対標準偏差）は大きくても3%以下であることが示された。この精度は気象庁の貯水型雨量計の検定公差（3%）を満たしている。2Lペットボトルであれば、直径12 cmの漏斗との組み合わせで177 mmまでの降水量を観測することが可能である。これまで使用していた直径18 cmの雨量計の2.3倍の量の観測をすることができ、岐阜市におけるほとんどの週の降水量の観測が可能となる。

本研究では、漏斗の直径と降水の捕捉率の関係に影響する要因について考察したが、自然要因である降雨条件については議論していないため、雨の降り方や、風速、湿度などによって降水の捕捉率がどのように変化するかを調べるのがこの雨量計の特徴を知り、観測精度を上げるための今後の課題である。

<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.
- 大宮奈美（2018）金華山における降水量の東西分布と気象の関係. 岐阜大学教育学部卒業論文, 53p.
- 大宮奈美・森本真紀（2018）ペットボトル簡易雨量計の高精度化に関する研究（2）－装置内蒸発の影響－. 岐阜大学教育学部研究報告（自然科学）, **42**, 31-36.
- 片岡健二郎（1957）雪量計の形と雨量計の口径の大小による比較. 雪氷, **19** (5), 134-139.
- 棚橋舞（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.
- 矢崎敬三（1974）雨量計について. 天気, **21** (1), 13-28.
- 山田浩加（2017）同位体分析による濃尾平野の降雨の特徴. 岐阜大学教育学部卒業論文, 110p.
- 山田浩加・森本真紀（2017）ペットボトル簡易雨量計の高精度化に関する研究. 岐阜大学教育学部研究報告（自然科学）, **41**, 101-105.

