

# 実験教材としての雨の粒径観測法の比較

## Comparison of rain drop measurement techniques for students

新谷英二<sup>1</sup>, 森本真紀<sup>1,2</sup>

SHINTANI Eiji, MORIMOTO Maki

[キーワード Keyword]	雨粒, 粒径, 水の循環, 小学校理科, 中学校理科
[所属 Institution]	<sup>1</sup> 岐阜大学大学院教育学研究科 (Graduate School of Education, Gifu University), <sup>2</sup> 岐阜大学教育学部 (Faculty of Education, Gifu University)

[要旨 Abstract] 小・中学校理科の地学領域の「地球の大気と水の循環」分野では, 身近な気象の観察, 実験などを通して, 天気の変化や日本の天気の特徴を学習する。地球の水の循環において, 降水はシステムの重要な一部分であり, 雨そのものを観察・観測することは生徒の興味・関心を引き出しやすい。直径数mmの小さな雨粒が地球規模の気象現象の理解につながるという学習の流れは, 理科学的な見方を育むために効果的である。本研究では, これまでに開発された雨粒の観測方法についてまとめた。各種観測方法のうち, 学校教育の教材としての可能性があるペーパー (染色) 法, 小麦粉法, 液体窒素法を取り上げて, 雨粒の直径を求める関係式を作成するための室内実験を行い, それぞれの方法の長所・短所と教材としての適性について検討した。

### 1. はじめに

小・中学校理科の地学領域にある「地球の大気と水の循環」分野では, 身近な気象の観察, 実験などを通して, 天気の変化や日本の天気の特徴を理解することを目標としている。天気の変化や日本の天気の特徴を理解するにあたっては, 大気中の水の状態変化や大気の動きなどと関連していることを捉えさせることが重要である。表1に, 学習指導要領と教科書での小・中学校の「地球の大気と水の循環」分野における観察・実験内容を示す (梶田ほか, 2021; 毛利ほか, 2021; 文部科学省, 2018)。小学校では, 第3~5学年において天気の様子や変化を観察するだけでなく水の状態変化を基に自然界での水の様子やその行方についても観察・実験を通して理解させることが求められている。中学校では, 第2学年において, 小学校での既習事項を活かして身近な気象要素を観測したり, それぞれの気象要素を詳しく知るために実験したりすることで, 天気の変化や日本の天気の特徴についてより体系的に理解させることが求められている。

表1 小・中学校の「地球の大気と水の循環」分野における観察・実験内容

学年	単元	学習内容及び取り扱い	観察・実験内容 【観】: 観察【実】: 実験
小学校第3学年	地面の暖かさや湿り気の違い	太陽の光が地面を温めていることに着目した, 日なたと日かげの地面の温度や湿り気の違い。	【観】日なたの地面と日かげの地面の温度を調べる。
小学校第4学年	天気による1日の気温の変化	天気による1日の気温変化の仕方の違い。	【観】晴れ・曇り・雨の日の1日の気温の変化を調べる。
	雨水の行方と地面の様子	水は高い場所から低い場所へと流れて集まる。 水のしみこみ方は土の粒の大きさによって異なる。	【観】雨水が流れていたところの地面の傾きや水たまりとその周りの地面の傾きを調べる。 【実】土や砂の粒の大きさによる水のしみこみ方の違いを調べる。

	水の自然蒸発と結露	水は水面や地面などから蒸発し、水蒸気になって空気中に含まれていく。空気中の水蒸気は結露して再び水として現れる。	【実】入れ物の水が空気中に出ていくのかを調べる。 【観】蒸発した水が目に見える姿に戻るのか調べる。
小学校第5学年	天気の変化	天気の変化は雲の量や動きと関係がある。 天気の変化は映像などの気象情報を用いて予想できる。	【観】雲の様子と天気の変化を調べる。 【観】気象情報を集めて、天気の変化を調べる。 【観】明日の天気を予想し、発表する。
	雲と天気の変化	台風の動き方と天気の変化について気象情報を用いて理解する。	【観】台風の動き方と天気の変化を調べる。
	流れる水のはたらきと土地の変化	雨の降り方によって流れる水の速さや量が変わり、土地の様子が変化することがある。	【実】水の量を変えて、流れる水のはたらきを調べる。
中学校第2学年	気象観測	観測記録に基づいた、気象要素（気温、湿度、気圧、風向、風速）の変化と天気との関係。	【観】気象観測を行い、気象要素がどのように変化し、どのようにかわりあっているのかを調べる。
	圧力	圧力は力の大きさと面積に関係があること。 空気中にある物体にはあらゆる向きから圧力が働くことや、空気の重さとともに大気圧の存在を理解する。	【実】空き缶を使って大気圧を調べる。 【実】力を加える面積の違いによる力のはたらき方を調べる。
	霧の発生	大気中の水蒸気が気圧、気温及び湿度の変化と関わりながら凝結して霧が発生する。	【実】水蒸気水滴に変わる条件を調べる。
	雲の発生	高度による大気圧の変化と、大気の上昇に伴う気温の低下で雲ができる。 太陽のエネルギーによって水が循環している。	【実】気圧の低いところで水に起こる変化を調べる。
	前線の通過と天気の変化	気象観測などのデータに基づいた、前線の通過に伴う天気の変化。	【観】空気塊の温度差と線香の煙を用いた実験から、前線周辺の空気の様子を観察する。
	日本の気象	天気図や気象衛星画像などに基づいた、日本の天気の特徴や大気の動きと海洋の影響。	【実】翌日の天気を予想する。

特に水の循環の学習は、生物に必要不可欠である水について、湿度や気圧など身近な諸要素を活用して地球規模の現象を思考することができる。水の循環の主な要因は降水・貯水・浸透・河川・蒸発である（内閣官房長官水循環政策本部事務局ウェブサイト）。地球上の水は絶えず循環し持続可能な社会を築いているため、水の循環を学習することは理科と社会科を総合的に学習できる重要な内容と考えられる。現行の理科の教科書では水の循環について、小学校は雨水の流れ方や水の状態変化による自然の中での水の行方を観察・

実験して調べ、中学校では雲の動きや雨量を観測し、霧や雲の発生実験や前線の動きの実験を行うことで、水が循環する構造を理解させている。しかし、先に述べた水の循環の一要因となる降水についてはほとんど記載されておらず、降水量の観測以外では雨そのものに関する観察・実験などの活動は示されていない。例えば、降ってくる雨粒の観察・観測は、雨という生徒にとってかなり身近な気象要素であるため興味・関心を引き出しやすい。そして、直径が数mmという小さな雨粒を理解することが数百～数千kmと広がる気団の動きなど地球規模の現象の理解につながるという学習の流れは、理科的な見方を育むために効果的であると考えられる。さらに、雨粒の直径は季節や地域による変動が見られる (Yamaji *et al.*, 2020) ほか、局地予報の精度を向上させるために必要不可欠な要素となっており (藤吉, 2007), 人間社会とも関わっている。このことから、水の循環の学習内容の中で雨粒を観測することは、理科の見方・考え方を働かせながら自然の精妙さや偉大さを主体的に学ぶために非常に価値の高いものである。

## 2. 雨粒の観測方法

高校の教科書では雨粒の直径は約2mmと記述されているが (磯崎・江里口, 2020), 実際の雨粒の大きさにはばらつきがある。雨粒は直径が0.2mm以上の大きさの水滴のことを示すが、それはこの大きさ以上に雲粒が成長すると雲中からの落下が始まり、さらに落下中に蒸発して消えてしまうことが少なくなるからである (武田, 2005)。また、雨粒が6mmより大きくなることは少なく、これ以上大きくなると一つにまとまっていることができずに分裂してしまう (白鳥, 2008)。一般的には、小さな雨粒に比べて大きな雨粒は少なく、雨が強くなると大きな雨粒の数が増え (武田, 2005), そのおよその粒度分布はMarshall-Palmer (1948) の指数分布式で表現することができる。しかし、低気圧性、前線性、台風、線状降水帯など降雨時の気象状況によって雨粒の成長過程が異なることから、同じ降水強度であっても降ってくる雨粒の大きさの分布が異なっており、降雨のタイプとその粒径分布の関係や世界各地の降雨の粒径分布が調べられてきた (菊池・小林, 1989; Bringi *et al.*, 2003; Janapati *et al.*, 2020など)。

雨粒の粒径を調べる方法として、過去100年以上にわたって様々な測定技術が開発されてきた (Kathiravelu *et al.*, 2016; 武田, 2005)。簡単な道具による手作業の方法から始まり、現在ではディストロメーター (雨滴粒径分布計) のような自動測定装置や衛星による地球全体の観測まで行われるようになった。表2に雨粒の粒径の主な観測方法とその特徴をまとめた。

初期の研究では、簡単に入手できる器具を用いた手作業による雨粒の計測が行われた。ペーパー (染色) 法は、ろ紙やペーパータオルなどの吸水性の高い紙に雨粒を落として、ウォーターブルーと呼ばれる染料やインスタントコーヒーなどの粉末で紙に雨粒を円形の染みとして色付けして計測する方法である (大内, 1957; Kathiravelu *et al.*, 2016)。小麦粉法では粉の上に雨粒を落として小さい団子を作り、粉がまぶされた雨粒の団子をふるいで回収して大きさを計測する (武田, 2005; Kathiravelu *et al.*, 2016)。ペーパー法や小麦粉法は雨粒の大きさの計測はできるが、雨粒一つずつの水を保存したりその水質を分析する目的の場合には、水分の抽出作業の手間や染料によるコンタミネーションによる問題が生じる。そこで、江口 (2006) では液体窒素に雨粒を落として一粒ずつ回収する方法を提唱し、回収した雨粒の一粒ごとの同位体測定をおこなった。以上の方法では、元の雨粒の大きさと、小麦粉団子、紙上の染み、凍結後の氷滴の大きさには違いが生じるため、あらかじめ予備実験として、大きさ (重量) 既知の水滴を用いて双方の直径同士の関係式を求めておく必要がある。

雨粒を光学的に直接見る方法としてはカメラ撮影が用いられてきた。雨粒を回収することはできないが、落下中の雨粒の形状や大きさ、落下速度の計測を行うことができる (藤吉, 2007)。さらに、雨粒の粒径分布計測専用の機器 (ディストロメーター) として、光学イメージング (カメラ) 方式、衝撃センサー方式、レーザー光方式など様々なものが開発され、現在では降水研究で広く用いられている (Kathiravelu *et al.*, 2016)。以上の方法はある地点や狭い範囲の観測法だが、地球全体の広域の降雨の粒径分布の観測法として、マイクロ波を用いた衛星観測も可能となり、Yamaji *et al.*, (2020)では北半球全域の雨粒粒径と降雨強度の季節変化が示された。

様々な雨粒粒径観測法の中で、器材価格や入手しやすさ、実験方法の簡便さから学校教育の教材として使いやすいのは、手作業によるペーパー法、小麦粉法、液体窒素法である。本研究ではこれら3つの方法について、雨粒の直径を求める関係式を作成するための実験を行い、それぞれの方法の長所・短所について検討した。

表2 雨の粒径の観測方法

	ペーパー (染色) 法	小麦粉法	液体窒素法	写真法	ディストロメーター (雨滴粒径分布計)	衛星観測
測定原理	手作業 (紙上の雨粒の染みの 大きさ)	手作業 (粉で覆われた雨 粒の球の大きさ)	手作業 (凍結した雨粒の 大きさ)	カメラ撮影	レーザー光 CCDカメラ 衝撃センサーなど	降水レーダ (マイクロ波) 地球全域 (緯度2.5° × 経度2.5° グリッド)
雨粒の計数	◎	◎	◎	◎	◎	×
雨粒の回収	×	○	◎	×	×	×
落下速度・ 降水強度	△ (一定時間の観測 個数としての降水 強度のみ)	△ (一定時間の観測 個数としての降水 強度のみ)	△ (一定時間の観測 個数としての降水 強度のみ)	○ (落下速度のみ)	◎	○ (降雨強度のみ)
器材価格、機器・ データの入手しやすさ	◎	◎	○	△	△	△
参考文献	大内 (1957) Kathiravelu <i>et al.</i> (2016)	武田 (2005) Kathiravelu <i>et al.</i> (2016)	江口 (2006, 2008)	藤吉 (2007) Kathiravelu <i>et al.</i> (2016)	Kathiravelu <i>et al.</i> (2016)	Yamaji <i>et al.</i> (2020)

### 3. 手作業による雨粒観測 一雨の粒径の関係式の作成一

2で述べたように、手作業で雨の粒径を測定するペーパー法、小麦粉法、液体窒素法では、大きさの分かった数種類の水滴を用いて、その水滴がそれぞれの方法で回収された時の径と比較し、その関係式を作成する必要がある。これらの方法の実験器具は学校現場でも比較的、入手・取扱いがしやすいものである。3種類の観測法の詳細と、関係式を求める方法を以下に示す。全ての実験で外的要因を同一にするため、実験室内で作業を行った。

#### 1) 水滴 (雨粒) の回収方法

10種類の異なる大きさの水滴を滴下するために、マイクロピペット1本と5種類のシリンジやスポイトを使用し、全ての方法で同じものを用いた (写真1)。マイクロピペットについては、滴下量を5種類 (20  $\mu$ L, 15  $\mu$ L, 10  $\mu$ L, 5  $\mu$ L, 3  $\mu$ L) に変化させた。

#### i. ペーパー法 (若宮「やまびこネット」日本博物館協会ウェブサイト他)

器具: キムタオルやペーパータオルなど吸水性のある紙, インスタン



写真1 使用したピペット類



## 実験教材としての雨の粒径観測法の比較

### トコーヒー（細粒）

- ① 水滴の滴下：キムタオルの上にピペットから水滴同士が重ならないように必要個数滴下する（本研究では10個）。
- ② 水滴の可視化：キムタオルの水滴の染みにコーヒー粉を振りかけ、粉が定着するのを待つ。余分なコーヒー粉を払い落とすことにより、コーヒー色の円形の染みが可視化される。
- ③ 水滴の直径測定

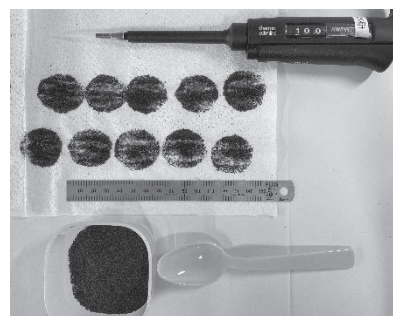


写真2 ペーパー法

- ii. 小麦粉法（北海道教育大学釧路校・境研究室ウェブサイト 他）  
器具：小麦粉、浅型で開口面積の広い容器（タッパーなど）、ふるい、茶こし、スプーン

- ① 小麦粉の準備：小麦粉のダマができないように、タッパーにふるいを用いて小麦粉を厚さ1~2 cm程度入れる。
- ② 水滴の滴下：小麦粉の上に、ピペットから水滴同士が混じらないように必要個数滴下する（本研究では10個）。
- ③ 小麦粉玉の作成と回収：水滴の上から茶こしで小麦粉を軽く振りかけ、少し揺らして粉をまぶす。スプーンで小麦粉のついた水滴（小麦粉玉）をすくいとり、茶こしに入れ余分な粉を振り落とす。
- ④ 水滴の直径測定



写真3 小麦粉法

- iii. 液体窒素法（江口, 2006）

器具：液体窒素、広口魔法瓶、目の細かい金網（天かすとりなど）、ピンセット

- ① 液体窒素の用意：液体窒素を広口魔法瓶に入れ、金網を液体窒素に1 cm程度浸かる高さで固定する。
- ② 水滴の滴下：液体窒素中の金網の上に、ピペットから水滴を1滴滴下する。一度に2個以上滴下すると水滴同士が固着してしまう。
- ③ 水滴の回収：水滴が凍るまで待ち、水滴が金網の上に落ちたら、ピンセットで水滴を取り出す。
- ④ 水滴の直径測定：水滴が溶ける前に急いで計測する。



写真4 液体窒素法

## 2) 水滴（雨粒）直径の求め方

各滴下器具が滴下する水滴の重量から、理論的な水滴の直径を求める。その水滴直径と、3種類の観測法から得られた水滴の平均直径とを比較する。

### i. 水滴直径の算出

- ① 水滴重量の測定：電子天秤を用いて、1種類のピペットから落とした水滴1滴の重量を記録する。重量の誤差を少なくするため1種類の器具で10回秤量する。
- ② 水滴直径の算出：①の結果より、各ピペットから得られる水滴1滴の平均重量 [mg] を計算する。水滴は球体でありその密度は  $1 \text{ g/cm}^3$  と仮定して、各ピペットから得られる水滴1滴の直径 [mm] を算出する。

### ii. 直径の比較

- ① 10種類のピペットから滴下した水滴について、1)で計測した3種類の観測法それぞれによる平均直径

と2) iで重量から求めた平均直径の関係を，最小二乗法でフィッティングさせる。また，それぞれの直径の10回繰り返しの誤差についても比較する。

- (② 雨粒の直径観測：本研究では実施しないが，実際の降水観測では，3種類いずれかの方法で計測した雨粒の直径に①で求めた最小二乗法の関係式を適用して，降ってきた雨粒の実際の直径を算出する。その際に，集雨時間と集雨面積（雨粒の回収器具の開口面積）を用いて，単位時間・単位面積あたりの雨粒の個数とその大きさ，すなわち降水強度を求めることができる。)

### 3. 結果・考察

#### 3.1. 1回の実験での3種類の雨粒観測法の比較と直径復元の関係式

写真1のピペット類を用いて，10種類の大きさの水滴をそれぞれ10回滴下して秤量し，重量から換算した直径を図1に示す。容量可変のマイクロピペットを用いて3~20  $\mu\text{l}$ で滴下した水滴は直径0.5~3.2 mmとなり，それ以外の5種類のシリンジ・スポイトでは直径1.7~6.7 mmの水滴であった。2で述べたように実際の雨粒は直径がおよそ0.2~6 mmであり，本研究で用いたピペット類から滴下される水滴は実際の雨粒の範囲をおよそカバーしており，雨粒の直径復元の補正式作成に適していると言える。

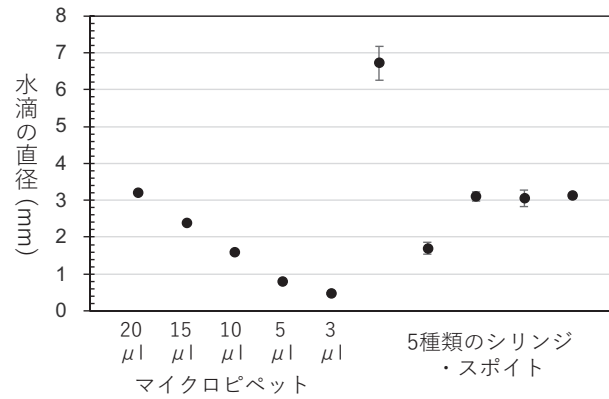


図1 ピペットから滴下した水滴1滴の直径（重量から換算）  
（エラーバーは標準偏差（1 $\sigma$ ，n=10））

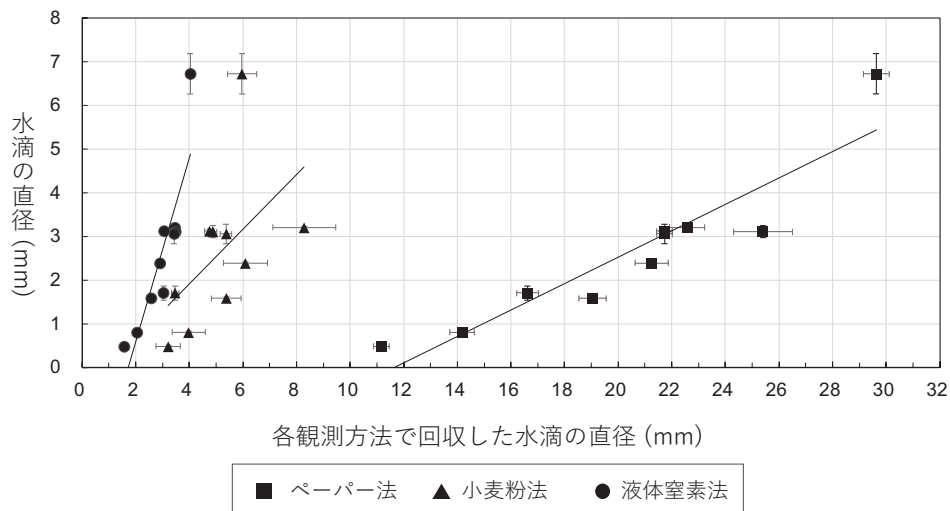


図2 ピペット滴下による3種類の観測法の直径と実際の水滴直径の関係  
（エラーバーは標準偏差（1 $\sigma$ ，n=10））

次に、ピペット類で滴下した水滴のペーパー法・小麦粉法・液体窒素法の3種類の方法での直径と、先に求めた水滴の直径を比較した(図2)。水滴の実際の直径の範囲(0.5~6.7 mm)と比べて、ペーパー法の直径の範囲は $11.2 \pm 0.3 \sim 29.6 \pm 0.5$  mmと4~20倍大きく、小麦粉法は $3.2 \pm 0.5 \sim 8.3 \pm 1.2$  mmで1.2~6倍大きくなっていった。一方、液体窒素法の直径は $1.6 \pm 0.1 \sim 4.0 \pm 0.1$  mmとなり、大きい水滴ほど実際の水滴の直径よりやや小さいものが見られた。ペーパー法では紙に水滴が染み込んで広がること、小麦粉法は水滴の周りに粉がまぶされることが直径増加の原因である。液体窒素法では、液体窒素に落ちる時の衝撃で昇華や蒸発が起こることが元の水滴と回収した氷滴の同位体変化から示されており(江口, 2006)、そのことによる体積減少が原因と考えられる。ピペット滴下の10回繰り返しの標準偏差(1σ)については、ペーパー法と小麦粉法では平均で約0.5 mmであったが、液体窒素法では全てのピペットで約0.1 mmと他の2つの方法と比べてばらつきが1/5と小さかった。

3種類の観測法それぞれについて、水滴直径との関係式と相関係数rは以下となった。相関係数が約0.9と高いペーパー法や液体窒素法と比べて小麦粉法は0.5と低い値ではあったが、これらの関係式を用いてそれぞれの観測法で回収した雨粒の直径を補正することによって、降ってきた元の雨粒の大きさを求めることができる。

ペーパー法	$y = 0.303x - 3.55$	(n=10, r = 0.92)
小麦粉法	$y = 0.626x - 0.60$	(n=10, r = 0.53)
液体窒素法	$y = 2.10x - 3.62$	(n=10, r = 0.88)

### 3.2. 20人分の実験結果の比較

手作業による3種類の雨粒観測法は、岐阜大学教育学部理科教育講座(地学専攻)3年生の「地質学実験」講義の降水観測実習として、2021~2023年度に実施した。大学3年生19人と3.1の修士課程1年生1人を合わせた20人分の結果を図3と図4に示す。

図3は10種類のピペットについて20人の結果の個々のばらつきを見ることができる。例えば、6番ピペットでは、重量から求めた水滴直径はほとんどの学生が4~5 mmであったが、2人が7 mm近い大きさの結果であった。さらに6番ピペットで水滴直径が4~5 mmと近い値であった18人のデータについて、特にペーパー法で直径18~40 mmと大きくばらついた一方、液体窒素法では多くの学生が4~5 mmの結果を得た。

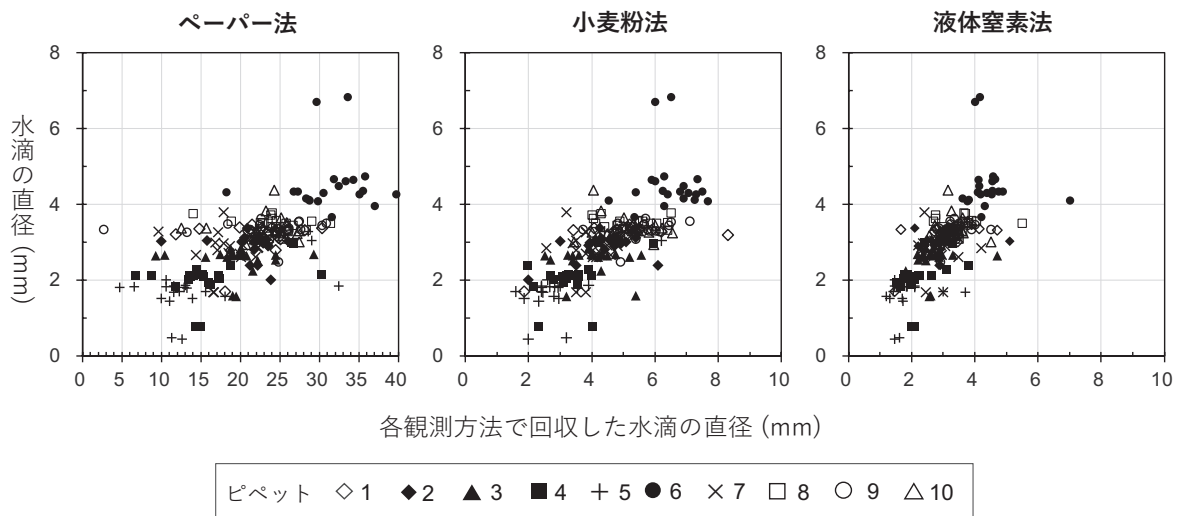


図3 3種類の観測法の直径と実際の水滴直径の関係：大学生・大学院生合わせて20人分の結果  
(エラーバーは標準偏差 (1σ, n=10))

図3の20人の結果の平均値と標準偏差を示したのが図4である。これらの平均値について、重量から求めた水滴直径と3種類の法の直径の相関係数 $r$ はペーパー法が0.99、小麦粉法が0.98、液体窒素法が0.99と非常に高い。しかし、重量から求めた水滴直径が2 mm以下や4 mm以上のデータや、ペーパー法直径では全てのデータについて、標準偏差すなわち20人の結果のばらつきが大きい。そのため20人の平均値を用いて観測法それぞれの直径と水滴直径との関係式を求め、全員が使用する式として一般化することは難しいと言える。よって、観測法ごとの水滴直径の補正をおこなう関係式は、実験者がそれぞれ事前の予備実験を行う必要があるだろう。

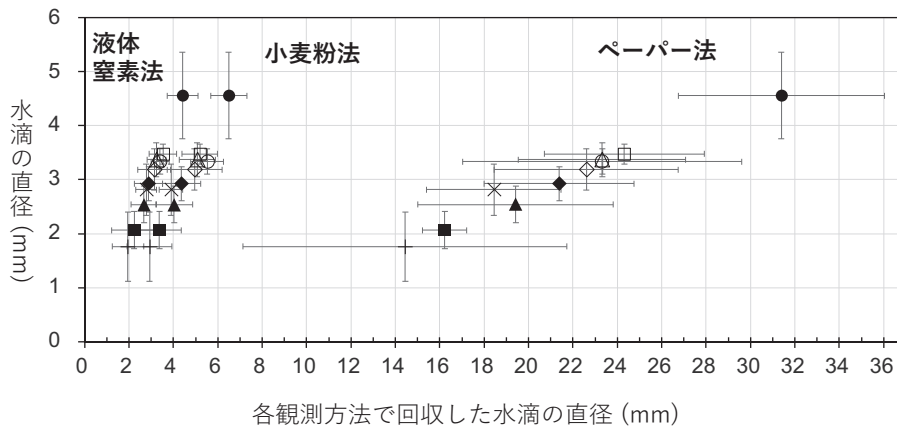


図4 3種類の観測法の直径と実際的水滴直径の関係：大学生・大学院生合わせて20人分の結果の平均（エラーバーは標準偏差（ $1\sigma$ ,  $n=20$ ））

### 3.3. 3種類の雨粒観測法の比較

3種類の雨粒観測法について、3.1, 3.2ではデータのばらつきや個人差を示したが、ここでは教材としての適性や扱いやすさなどの教育的視点から比較を行う。

#### 1) 回収される水滴の形状

##### ペーパー法

- 地面に落ちた雨粒と形状が似ているため、子どもが感覚的に分かりやすい。
- × 元の水滴よりも大きく広がり、また、平面的になるので水滴の形が残らない。

##### 小麦粉法

- 球形の状態を観測できる。
- × 水滴の周りに小麦粉がまぶされる分直径が大きくなる。

##### 液体窒素法

- 落下した水滴が冷却されて氷滴になるので、元の水滴に近い大きさで観測できる。

#### 2) 実験にかかる時間（10滴の水滴回収にかかった時間）：

3.1の実験では、ペーパー法：10~15分、小麦粉法：約20分、液体窒素法：約15分であり、大きな差はないがペーパー法が最も短い時間で終わられ、小麦粉法が最も時間を要した。

#### 3) 実験のしやすさ

##### ペーパー法

- 器具が入手しやすい。
- 実験結果（紙上の染み）を残せる。
- 水滴を落として粉をふりかけるだけなので誰でも安全に容易に実験できる。



## 実験教材としての雨の粒径観測法の比較

- × コーヒー粉の定着がばらつくため、水滴の染みの端が分かりにくく、計測誤差が大きい。

### 小麦粉法

- 器具が入手しやすい。
- 実験結果が小麦粉玉として残る。
- ある程度の硬さがあるため定規をあてて計測しやすい。
- × 小麦粉の中から水滴を探すのに時間がかかる。
- × 粉をまぶす際に水滴を球形に保つのが難しく、形がつぶれてしまうことがある。

### 液体窒素法

- 水滴を液体窒素中に落として回収するだけなので、作業が簡単である。
- 水を状態変化させているだけなので、何を観測しているのか感覚的に分かりやすい。
- × 液体窒素を用意するのが容易ではない。
- × 取り扱いに危険性が伴う。
- × 水滴に定規（特に金属製）をあてるとすぐに溶解してしまうため、測定を素早く行わなければならない。
- × 溶解するため実験結果を残すことができない。

以上のようなそれぞれの観測法についての長所・短所と、想定されるデータのばらつきを考慮し、授業・実験を行う対象学年に適した方法を選択する必要があるだろう。例えば作業の難易度や取り扱いの安全性の観点からは、小学校低・中学年ではペーパー法、高学年では小麦粉法、中学生は液体窒素法での観測が適していると思われる。

### <参考文献>

- 磯崎 行雄・江里口 良治 編 (2020) 地学基礎. 啓林館.
- 江口 景子 (2006) 雨滴粒径ごとの同位体比分析法の開発. 名古屋大学理学部卒業論文, 28 p.
- 江口 景子 (2008) 粒径別に評価した雨滴の酸素・水素安定同位体比. 名古屋大学大学院環境学研究科修士論文, 50p.
- 大内 浩 (1957) 雨滴の粒径分布について (I). 気象集誌. 第2輯, **35**(3), 196-200.
- 梶田 隆章 他 (2021) 新しい科学2, 東京書籍.
- 菊池 勝弘・小林 利章 (1989) 降水のタイプと雨滴粒度分布の関係 (雨滴の気候学; その1). 北海道大学地球物理学研究報告, **52**, 33-54.
- 白鳥 敬 (2008) 大人の「科学」と「学習」天気と気象. 学習研究社, 194p.
- 武田 喬男 (2005) 雨の科学—雲をつかむ話. 成山堂書店, 185p.
- 内閣官房水循環政策本部事務局, 水循環とは「循環する水」, [https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/mizu\\_junkan/about/index.html](https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/mizu_junkan/about/index.html) (最終閲覧2024年1月3日)
- 藤吉 康志 (2007) 雨滴の最大粒径について. 日本気象学会北海道支部機関紙「細水」, **53**, 2-13.
- 北海道教育大学釧路校・境研究室, 雨粒をつかまえてみよう, 「たんちょう先生のじっけん教室第23号」, <https://cs.kus.hokkyodai.ac.jp/tancyou/top1/index.html> (最終閲覧2024年1月7日)
- 毛利 衛 他 (2021) 新しい理科3~5, 東京書籍.
- 文部科学省 (2018) 小学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説理科編.
- 文部科学省 (2018) 中学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説理科編.
- 若宮 崇令, 雨粒の大きさと雨量の関係を調べよう, 「やまびこネット」日本博物館協会, <https://www.j-muse.or.jp/rika08/summer/pr01/index02.html> (最終閲覧2024年1月7日)
- Bringi, V.N., V. Chandrasekar, J. Hubbert, E. Gorgucci, W. L. Randeu, and M. Schoenhuber (2003) Raindrop size distribution in different climatic regimes from disdrometer and dual-polarized radar analysis. *J. Atmos. Sci.*, **60**, 354-365.

- Janapati, J., B.K. Seela, P.-L. Lin, P.K. Wang, C.-H. Tseng, K.K. Reddy, H. Hashiguchi, L. Feng, and S.K. Das (2020) Raindrop size distribution characteristics of Indian and Pacific ocean tropical cyclones observed at India and Taiwan sites. *J. Meteor. Soc. Japan*, **98**(2), 299-317.
- Kathiravelu, G., T. Lucke, and P. Nichols (2016) Rain drop measurement techniques: A review. *Water*, **8**, 29; doi:10.3390/w8010029.
- Marshall, J.S., and W.McK. Palmer (1948) The distribution of raindrops with size. *J. Meteorology*, **5**, 165-166.
- Yamaji, M., H.G. Takahashi, T. Kubota, R. Oki, A. Hamada, and Y.N. Takayabu (2020) 4-year climatology of global drop size distribution and its seasonal variability observed by spaceborne dual-frequency precipitation radar. *J. Meteor. Soc. Japan*, **98**(4), 755-773.