

降雨を模擬するための装置

山崎和彦・橘田萌・前田亜紀子*

生活環境学科 生理人類学研究室 *長野県短期大学

Devices for rainfall simulation

Kazuhiko YAMASAKI, Moe KITTA and Akiko MAEDA*

Department of Human Environmental Sciences * Nagano Prefectural College

Key words : rain 雨, raindrop 雨滴, rainfall simulation 降雨シミュレーション, siphon サイフォン

1. 緒言

筆者らの研究グループは、野外活動時における衣服内気候について研究を行っており、これまで噴霧器による散水実験（前田ら、1999）、濡れた衣類の着用実験（前田ら、2006）などについて報告した。

自然下であって雨に見舞われるとき、人体や衣類は次第に濡れて行く。そこで降雨を模擬するため、水を滴下する装置を 2008 年と 2009 年に製作した。前者（以下、08 型）は人工気候室内に、後者（以下、09 型）は本館 3 階の廊下の東側端に設置した。これらは共にサイフォン現象を利用して多数の細管から雨水を模して水を滴下させる装置であり、雨量は細管の両端の高低差により調整するものである。本論文では仕様および装置の特性等について紹介する。

2. サイフォン現象

サイフォン siphon とは水管を意味し、サイフォン現象とは、A 地点と C 地点に高低差があるとき、両地点より高い位置にある B 点を経由して管内を液体が流れる現象をいう。流量には、高低差、管の仕様（長さ、内径、壁面の滑らかさ等）、流体の粘性、大気圧等が関わっている。

図 1 は、08 型に用いた細管（軟質ポリエチレン、内径 1 ミリ、外径 2 ミリ、長さ 1 m）における水の滴下特性について示したものである。細管の使用期間が長くなるにつれて、流動抵抗が増すことが分かる。おそらく水道水に含まれる塩分が管の内壁に付着して行くためであろう。したがって、雨量の制御は、所定の滴下数に要する時間に基づいて行うのがよいということになる。

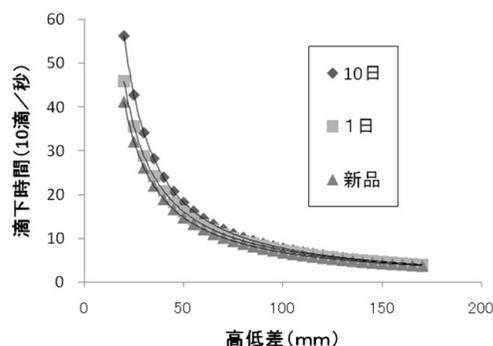


図 1 滴下に要する時間と高低差の関係

解説：08 型で使用した内径 1 ミリの細管について示したものである。高低差が大きくなるほど、当然ながら滴下時間は短くなる。凡例の「10 日」「1 日」は実験に使用した期間を意味する。使用期間が長くなると、滴下に要する時間も長くなる。

3. 装置の概要

降雨装置の構成要素は、滴下部（多数の細管と貯水部から成る）、これらを高所に配置するための構造物、貯水部に対する給水排水装置、吸引装置（サイフォン現象を開始するには管内に液体を満たす必要があり、そこで通常、低位置側から吸引する）、作業区画（人体やマネキンを濡らす区画）、水受け部（滴下した水を溜めておくもの）、および排水装置である。

細管は 5 cm 間隔で配置した。08 型では、身体の左右方向 70cm の間に 14 列、前後方向 120cm の間に 24 列（合計 336 本）とした。細管は 3 群に分け、3 個の

貯水部（バケツ）に一端を連結した。ノズル端の高さは床面から207cmとした（図2、図3）。

09型では、内径2ミリ、外径4ミリ、長さ1m（材質は同じ）の細管を使用し、左右方向に15列、前後方向に23列（合計345本）とした。なお、ノズル端の高さは235cmであった（図4～図6）。



図2 08型による実験風景

解説：滴下部を高所に配置するため、折りたたみ式脚立（アルインコ、MH-180、アルミ製、最大荷重100kg）2台と木材を組み合わせた構造物を作成した。筆者は脚立に乗り、高低差をほぼ一定に保つために絶えずヒシヤクで給水する必要があった。図の下部左右に見えるシートは、水はね対策用である。



図3 08型を脚立側から眺めた様子

解説：バケツの下部に見えるホース類には、汲み上げ用と排水用の2種がある。右側に見えるものは水桶とヒシヤクである。

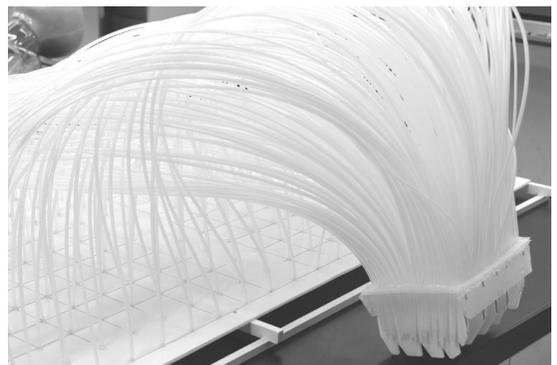


図4 09型の滴下装置の外観

解説：プラスチック製段ボールに5cm間隔にてドリルで穴を明け、細管の一端を差し込み、グルーガン（合成樹脂を加熱溶融して接着するもの）で固定した。他の一端は一カ所にまとめ、ここが貯水部に浸ることとなる。なお、細管の両端は斜めに切断されている。



図5 09型の滴下部を上側から眺めた様子

解説：09型では高低差を一定に保持するため、貯水部（図の右端）をオーバーフロー式とした。つまり多めに給水し、所定の高さを超えた分は排水される。

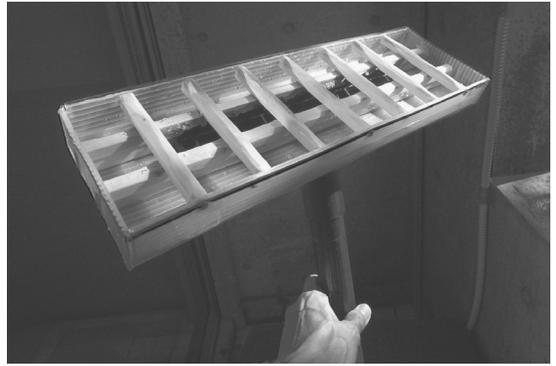


図7 吸引装置における吸込口の様子

解説：08型用と09型用の2種を製作した。図は09型用であり、同時に24本の細管を吸引できる。集塵機の柄の部分には長軸短軸を各々40ミリ、12ミリとする楕円の穴を空け、これを親指で塞いだり開放したりすることにより、吸引の開始と終了を制御した。



図6 09型の全体的外観

解説：本館3階の廊下の東側端バルコニー（85cm×196cm、高さ290cm、開口部幅93cm）に設置した。雨対策が施されているので、排水における労はない。この図は、筆者がストップウォッチにより滴下時間を測定している様子である。

4. 他の構成要素

滴下を開始するには、細管全体に水を満たす必要がある。そこで効率よく吸引するため、湿乾両用型集塵機（RYOBI,VC-23）の吸込口を加工した（図7）。

08型は人工気候室内に設置したため、滴下した水を溜めておく水受け部が必要とされた。これは木枠（板厚2cm、内寸は左右方向89cm×前後方向179cm×高さ9cm）の上に2重に樹脂製シートを敷いたものである。ここに木製スノコを敷き作業用スペースとした。

5. 雨量の調節

08型において、電子天秤（島津、AEU-210）により10滴当たりの重量を求めたところ、0.263gであった。これより、水滴10個の滴下に要する時間（x、秒）と1時間当たりの雨量（y、mm）との関係式 $y = 379.2x^{-1}$ を得た（図8）。なお、09型では細管の直径が大きいため10滴当たりの重量は0.591gであった。

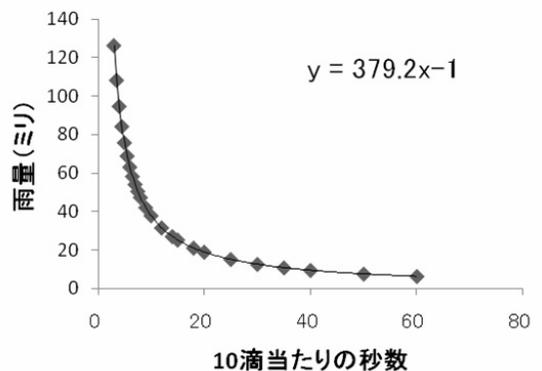


図8 雨量と10滴当たりの秒数の関係

水の密度は水温によって異なり、20℃、25℃、30℃において各々、0.998203、0.997044、0.995646である。これらの違いは、筆者らが行う実験精度からみて無視できるものであり、そこで水1gを1mlとみなして

問題はないと判断した。

表1に滴下に要する時間と時間雨量との関係について示す。

気象庁は時間雨量20～30mmは「強い雨」、30～50mmは「激しい雨」、50～80mmは「非常に激しい雨」と区分している(山崎、2005)。

サイフォン方式において、滴下における所要時間を長く設定するには、高低差をわずかなものとする必要があるが、その場合、細管間であれ細管内であれ、滴下量のバラツキが大きくなる。実際に装置を使用した感覚によれば、10滴当たりの時間が15秒を超える辺りから、高低差による制御が困難になる。したがって本装置は、「強い雨」より高い雨量レベルでの実験に向くと見える。

表1 滴下時間と時間雨量との関係

滴下時間 (秒)	時間雨量(ミリ)	
	08型	09型
4.0	94.8	106.4
4.5	84.3	94.5
5.0	75.8	85.1
5.5	68.9	77.4
6.0	63.2	70.9
6.5	58.3	65.5
7.0	54.2	60.8
7.5	50.6	56.7
8.0	47.4	53.2
9.0	42.1	47.3
10.0	37.9	42.5
12.0	31.6	35.5
14.0	27.1	30.4
15.0	25.3	28.4
18.0	21.1	23.6
20.0	19.0	21.3
25.0	15.2	17.0
30.0	12.6	14.2

注) 滴下時間: 08型では10滴、09型では5滴の落下に要する時間。

6. 実験に際しての問題と対策

本装置では水一滴の体積は自然の雨より大きく、また水滴は5cm間隔に設置された同じ箇所から垂直に落下する。さらに低水準の雨量の設定は困難であり、

高低差の影響が大きいいため、高度の工作精度および装置の設定が必要とされる。

一方、自然下における雨では、雨量や降雨期間について制御することなど不可能である。かくして、以上に示した装置の特性を把握した上で、実験計画を組む必要がある。

08型を用いた実験は、成人女子を被験者とするものであり、作業区画において身体を前後に移動させ、濡れる部位が分散するようにした。09型とマネキンを組み合わせた実験では、マネキンを置く台の傾斜角度を変えることにより、風がもたらす雨の水平成分による濡れ効果について検討した。

本装置においては低水準雨量の再現が困難であるとなれば、曝露時間を調整することにより濡れ具合を制御せざるを得ない。つまり時間雨量80ミリの雨に対する30分の曝露は、時間雨量40ミリの雨に対する60分の曝露と等価とみなすのである。また、降雨により衣服が次第に濡れて行く際の体温調節機構について捉えたい場合、作業区画への出入りを適切に調節することにより、そうした状況が精度よく再現され得るであろう。

なお、温熱生理学に関わる実験では、気温条件に加えて水温も問題となる。2008年夏期に実施した水温に関する測定結果は次の通りである。

人工気候室は気温30℃、相対湿度80%一定に制御された。事前に室温になじませるようにした容器の水温は27.1℃、水道から出たばかりの水温は25.7℃であった。落下直前の水滴の温度は前者では28.4℃、後者では28.2℃であった。つまり上記の諸条件においては、水が細管を通過する間に加温され、類似する値になったといえる。

引用文献

- 前田亜紀子、山崎和彦、飯塚幸子、吉田燦(1999)、雨天想定下における作業時の衣服内気候について、日生気誌、36(2)、103-111
 前田亜紀子、山崎和彦、梶原裕(2006)、濡れた衣服の体温調節反応への影響、日生気誌、43(2)、103-112
 山崎和彦(2005): 人間の許容限界事典(第6章、雨)、朝倉書店、680