

第Ⅱ部 雨量観測と雨量計開発の歴史

第Ⅰ章 雨量観測のはじまり

初期の雨量観測および雨量計の開発の歴史について、Middleton (1969) や Strangeways (2010) の記事に沿って、以下にまとめる。Sammadar (1912) や Shamasastri (1915) によると、インドのマガダ国マウリア王朝の宰相 Kautiliya (または Chanakya) の「実利論 (Arthashastra)」(英訳がある) のなかに、紀元前 4 世紀にインド北部のヒマラヤ南麓の数カ所で、雨量の観測を行った記述があることを報告している。雨量を標準である器ではかり、その体積で評価し、場所による雨量の違い、雨季の総雨量の 1/3 が最初と最後の月に降り、2/3 がこの雨季の間の月に降るという季節変化についても記述している。木星、金星や太陽の動きを観察して、雨の予測をしていたと記述されている。

パレスチナにおける、紀元前 2 世紀から紀元 200 年頃のユダヤ民族の生活に関する資料である Mishnah には、年間の降水量は 540 mm という記述がある(Vogelstein, 1894)。この雨量測定では、インドとは違ってその深さで雨量を表現した。

中国では、1247 年頃に南宋の数学者の秦九韶が著した「数書九章」に雨量観測の記事がある。それによると、簡易な雨量計が各省の首都に設置され、竹で作った積雪計が峠に設置された (Needham, 1959)。

このように、人間活動において、農業技術が発達し、食糧の安定した生産のための水資源の確保が必要不可欠になり、雨量の計測が始まったと考えられる。また、洪水対策として雨量観測の必要性が考えられる。統一的な雨量の観測機器と雨量観測の開始は、次章に記述するとおり、1441 年に朝鮮の測雨量を使用した雨量観測が最も早い時期である (和田, 1910a)。

第Ⅱ章 近代の雨量観測

雨量計は多種多様であるが、その中で、操作性や利便性、精度維持の容易さなどの理由で淘汰され、現在に至っている。その試みの中には、現在の貯水型の重量式雨量計や転倒ます型雨量計の起源となったものがある。

1. 韓国（朝鮮）の測雨量（測雨器）

朝鮮の李朝第四代国王 世宗 (セジョン) が、1441 年に実施した「測雨量」(石製、長さ 2 尺約、直径 8 寸の金属製、現在は測雨器と称している資料もある) を用いて、世界で最初に統一的な雨量観測を実施した (和田, 1910a,b)。「世宗実録」によれば、世宗大王は、蔣英実 (チャン・ヨンシル) と共に「測雨量」を発明し、翌年から雨量観測を制度化した。専門の観測員が、測雨台に設置された測雨量で捕捉した雨水の水深を竹の物差しで計測し、その観測値を国王に報告した。さらに、河川に水標 (水位尺) を設置して雨量と水位を同時に測定し、洪水の情報を得ていたことが記述されている。この雨量の観測資料は、干ばつ対策や租税の算定に使用された。



図 2-1 測雨量
(朝鮮新報,2008)



図 2-2 測雨台と測雨量
(<https://ja.wikipedia.org/wiki/測雨器>より)



図 2-3 韓国の水標
(朝鮮新報,2008)

その後、成宗（在位 1469 年-1495 年）の時代までは忠実に観測がなされたが、時代経過とともに、当初の精度維持などの制度がくずれ、体系化されていた機器や観測手順が乱れていった。その後、18 世紀の英祖（1724-1776）の時代に測雨器による観測が復活した。この測雨量を用いた観測は朝鮮半島内に留まっていた。日露戦争勃発の際に、日本の気象技術者が朝鮮半島に派遣され、その中の和田雄治が測雨器の存在を発見した。和田は、この歴史的な長期にわたる雨量観測の事実を日本語のみならず、フランス語と英語で発表して世界に知らしめた（Wada, 1910）。この観測体制は、1910 年の日本による韓国併合により、日本の観測システムが導入され終了した。和田のこの発表までは、最初の雨量観測は、1639 年のイタリアの数学・水文学の研究者 Benedetto Castelli によるものと言われてきたが（2.に詳細を記述）、朝鮮李朝の世宗の測雨量による観測はそれより 200 年も前のことである。この測雨量は、この当時としては画期的な観測システムである。成宗の時代の測雨量は、韓国の蔣英実科学公園に測雨量と測雨台のレプリカが設置されている

（<https://ja.wikipedia.org/wiki/測雨器>）。和田は 1915 年の帰国時に測雨量 1 台を持ち帰り、長く気象庁が保管していたが、韓国の要請により日本政府が 1971 年 6 月に返還した。

2. Benedetto Castelli の雨量観測

Castelli は、Galileo の学生であったが、ローマから Galileo 宛に 1639 年 6 月 18 日付けの手紙で「ペルージャに滞在中に、8 時間連続した降雨があつて、この降雨量が近くのトラシメント湖の流出量にどの程度影響するかを推定したいと考えた。そこで、直径約 10 cm、高さ約 20 cm のガラスの容器の底に少量の水を入れて、その深さを正確に計り、降雨量を受けるために外気に放置して、1 時間ごとに貯まった降雨の増加量を記録した。」ことを書き送った。これが、Castelli がヨーロッパで最初に雨量観測を実施したことの所以である。その後、彼が属していた Accademia del Cimento では、継続して雨量観測は行われた記述はない。先に述べたとおり、200 年前に韓国では、すでに組織的な雨量観測が開始されていた。

3. Christopher Wren と Robert Hooke の雨量計の開発と観測

Wren と Hooke は、1663 年に重量式の時計を組み込んだ気象観測器を作成した。この機器は、気圧、気温、相対湿度、降水量及び風向を測定でき、15 分ごとに紙テープに記録した。この機器の雨量計は、転倒ます式であったが、現在のますが回転軸の両側にある「二ます」ではなく「一ます」式である。図 2-4 に転倒ますの概略図と図 2-5 に転倒ますの回転のようすを示す。雨量ますが雨水で満たされ段々傾き、雨水の重量で最大の傾きになると、雨水は排水され、雨量ますは空になって元に戻る。この繰り返しの転倒ますの転倒回数に「転倒ます」の容積を乗じた値が雨量となる。

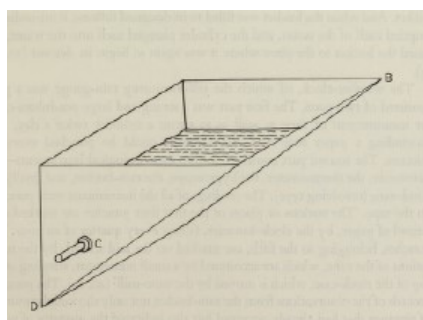


図 2-4 転倒ます
(Biswas, 1967)

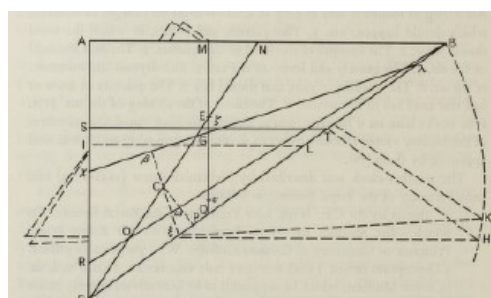


図 2-5 軸周りの転倒ますの回転
(Biswas, 1967)

Hooke は上記の雨量計のほかに、受水口は直径 11 インチ (約 28 cm)、貯水部は 2 ガロン (英ガロン 約 9 リットル) の容量を持つ貯水式の雨量計を作成した (図 2-6)。この雨量計を、1695 年にロンドンの Gresham 大学に設置し、雨量観測を行い、年間雨量 737 mm を記録した。貯水部のネックが細くなっているが、受水口が捕捉した雨水の蒸発を考慮したものと推測される。雨量計について、最も初期の詳細な説明である可能性が高いと記述されている。

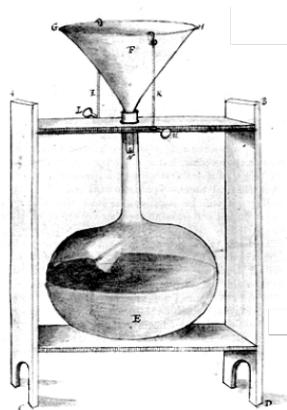


図 2-6 Hooke の Gresham 大学の雨量計 1695 年
(Middleton, 1969)

しかし、貯水部に貯まった雨水を後で計量するため、その計量は一雨毎のようであり、観測間隔は比較的長く不規則であったと推測され、恒久的な雨量計として実用に供するまでには至らなかった。

4. Leupold の記録型雨量計

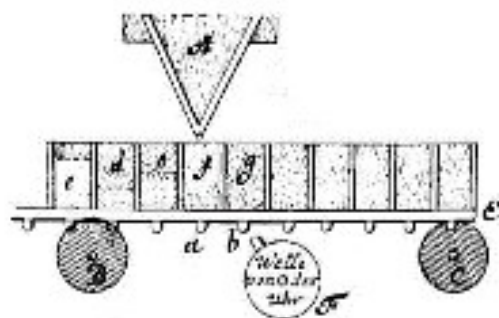


図 2-7 Leupold の記録型雨量計 1726 年
(Middleton, 1969)

図 2-7 の Leupold が 1726 年に完成した雨量計の受水部は、3. に述べた 1663 年の Wren の転倒ますであり、受水口の下の貯水箱に雨水を貯めて測る方式である。図下の中心に円形に時計で回る部分があり、この時計を利用して、1 時間毎に貯水箱の位置を一箱分受水口の下に動かす構造になっている。貯水箱の駆動のためには水時計が必要で、全体の構造が大きくなる。この水時計は、中国で紀元前に誕生し、水の落下を使用して時を刻む構造である。長い間にわたって改善が図られたが、小型化も困難で恒常的な観測装置までには進まなかった。また、貯水箱に貯まった雨水の測定時間間隔も問題になり、少量の雨水の場合は計測前に蒸発することが避けられなかった。その後、小型の機械式時計の誕生が雨量の観測値の自記記録に必要な円筒型時計を生み、従来の人手観測から、記録方式の雨量観測へと進化した。

5. 自記記録型の雨量計

捕捉した雨水を記録する方法は大別して、(1) 貯水部の水面にフロートを浮かせ、そのフロートの上下の動きを、雨水の増減の変化として円筒型時計に巻付けた記録紙に、貯水部の水面と同期するように記録する方法、(2) 一定容積の雨水が計測される毎に、サイフォンの原理を利用して貯水を排出し、リアルタイムで記録紙に記録する二つの方法がある。このような自記記録型雨量計は、円筒形時計が実用化されてから登場したもので、機械的に「てこ」を応用した装置である。(1) のフロート型は、日本では転倒ます型雨量計を供用するまで使用された。

(2) のサイフォン型は、図 2-8 の Bevan が 1827 年に作成した雨量計が最も早い記録型雨量計と言われている (Middleton, 1969)。その後、多数の記録式雨量計が発明されたが、貯水槽に貯まった雨水は、一定量を超すとサイフォンを使用して排水して貯水部を空にし、新たに捕捉した雨水を貯水すると同時に、その水面変化はすべて記録することになる。

この種の自記雨量計は、多数試作され、20 世紀の転倒ます型雨量計の登場まで貯水型雨量計と共に使用されていた。しかし、構造が複雑で、保守管理に専門知識を要し、高価であったために公的機関では使用されたものの、一般には普及しなかった。

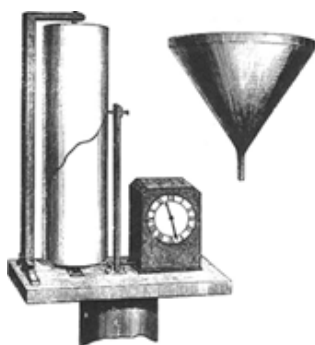


図 2-8 Bevan フロート式自記雨量計 1827 年
(Middleton, 1969)

6. 転倒ます型雨量計

現在、標準的な雨量計として普及している転倒ます型雨量計は、第Ⅱ章の 3 項に述べたとおり、1663 年の Sir Christopher Wren の転倒ますの開発に遡る。その後、現在の転倒ます型雨量計の原型を 1830 年 Horner が完成した(Middleton, 1969)。図 2-9 に示すような回転軸の周りに二つの「転倒ます」を装備するような改良を加え、円筒型時計に自記記録が可能な雨量計を開発した。一般に、円筒型時計は 1 日一回転する日巻と、1 週間に一回転する週巻の二種類がある。この円筒型時計は現在も利用されているが、時計の駆動はゼンマイから電子式に代わっている。

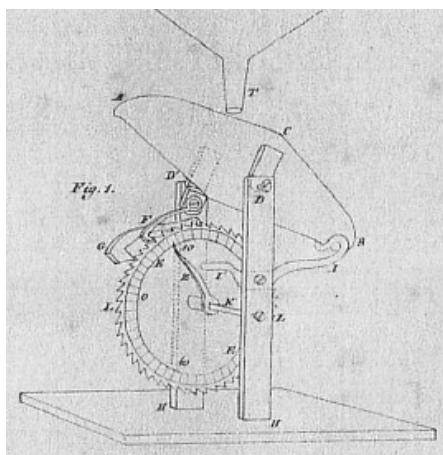


図 2-9 Horne の自記転倒ます型雨量計
1830 年 (Middleton, 1969)

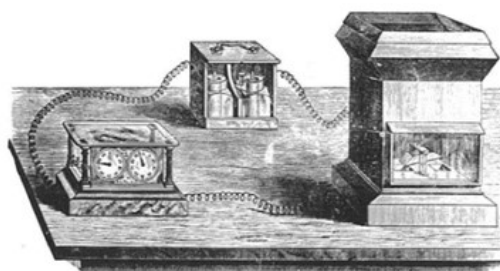


図 2-10 Yeates and Son of Dubson の 電
子式雨量計 1876 年 (Middleton, 1969)

その後、図 2-10 のような電池を使用した電子式雨量計を Yeates and Son of Dublin が 1876 年に開発した。当時の雨量計の設置場所は必ずしも平地でなく、屋根の上等に設置したとの記録が見られるところから、隔測観測に供したのであったと推測される。尚、当時の電池はダニエル電池で液体が使用されており、寒冷地では凍結するため冬季には使用できないという欠点があった。

7. 重量式雨量計

雨水を貯めつつ、その重量を計測する雨量計で 1880 年代に発明され、開発が進められたが普及は進まなかったようである。19 世紀末頃の重量式雨量計を図 2-11、図 2-12 に示す (Strangeways,2010)。普及しなかった原因は、小さな重量変化を容易に検出できなかったことと推察される。当時の技術力では、変位の検出に「てこ」を応用して機械的に拡大して検出したものの、風の影響による雨量計筒内と外気との圧力差で貯水槽が振動し、記録紙上の記録が幅広くなる現象を除去することが出来なかったと思われる。元々、この重量式雨量計は雨水よりも降雪を重視していたようである。矢崎 (1974)によれば、英国の Kew Observatory では、標準雨量計の一方式を目途として、重量式雨量計(Crawford,1972)を設置したとの記述がある。

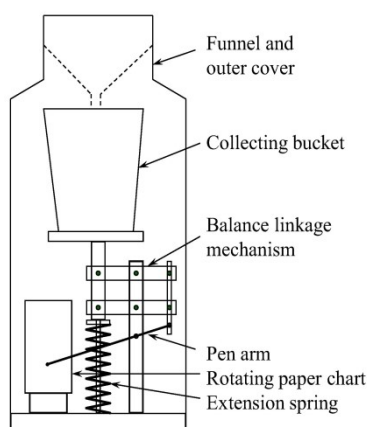


図 2-11 重量式雨量計 19 世紀末頃
(Strangeways,2010)

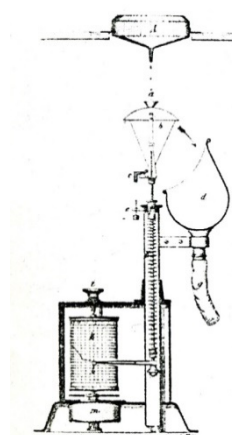


図 2-12 重量式転倒ます型自記雨量計 1884 年
(Strangeways,2010)

8. 雨量計と雨量計測の課題

正確な雨量の計測には、雨量計の受水面積や受水口の地面からの高さの違い、風による影響、雨滴の受水口での跳ね返りや地面での跳ね返りなど多くの解決すべき課題があり、雨量計の開発と平行して、解決方法が議論されてきた。以下、雨量観測の課題をまとめる。

受水口の大きさについては、矢崎 (1974) と佐貫 (1953) の資料に基づいて、1950 年代の世界各国の大きさをまとめたものが表 2-1 である。受水口の大きさについては、直径を基準とするか面積を基準するかの違い、また、各国の歴史的な長さの単位のメートル法とインチ法の違いがある。

WMO (World Meteorological Organization, 世界気象機構) の下部組織である CIMO (測器・観測法委員会: Commission for Instruments and Methods of Observation) は、降水観測について加盟国に対して調査を実施し、その結果を 1957 年の CIMO 第 II 回会議で報告した (WMO, 1957)。五十嵐 (1959a,b) は、この報告をもとに、各国の雨量計の受水面積、高さ、及び雨量計の設置環境などをまとめた。受水口の大きさは、佐貫のものと同様である。雨量計の地面からの高さは表 2-2

のとおりである。

表 2-1 各国の受水口のサイズ (矢崎,1974 と佐貫,1953 の資料よりまとめる)

国 名	直 径	備 考
イギリス	8 in, 5 in, 6 in, 11.31 in,16 in	8 in が気象局の正式、11.31 in は自記、16 in は 95 日巻
ドイツ	11.28 cm, 5.96 cm, 25.23 cm	11.28 cm は受水面積 100 cm ² 15.96 cm は受水面積 200 cm ²
フランス	20 cm, 22.5 cm	
イタリア	35.6 cm	受水面積 1,000 cm ² は自記
アメリカ	8 in, 12 in	8 in が気象局の正式、12 in は自記
スイス	15.96 cm	受水面積 200 cm ²
オランダ	45 cm	
ノールウェイ	16.93 cm	受水面積 225 cm ²
スウェーデン	15.96 cm	受水面積 200 cm ²
ベルギー	11.28 cm	受水面積 100 cm ²
オーストラリア	8 in, 25.22 cm	
日 本	20 cm,14.14 cm 11.28 cm,10 cm	20 cm が正式

表 2-2 各国の雨量計の地上からの高さ

受水口の地上か らの高さ	観測国数
30 cm	8
40 cm	1
45 cm	1
50 cm	2
75 cm	2
1.0 m	13
1.50 m	5
1.75 m	1
2.50 m	1

(五十嵐,1959a)

受水口の淵は雨量計の器種に関係なく図 2-13 に示すようにナイフエッジになっており、受水口に降り注ぐ降水のみを捕捉する構造になっている。



図 2-13 受水口上部のナイフエッジ

受水部での雨滴の跳ね返りについて、受水部のロート部分の傾斜角を議論し、雨滴の浸入に対して跳ね返りが軽減するように決定した（五十嵐,1959b）。さらに、受水部から貯水部へは、管の直径を小さく設計して、雨量計からの蒸発を軽減した（矢島, 1974）。

雨量計に対する風の影響は、Jevons の研究（1861）によって明らかにされ、"Jovon's effect"と名付けられた。この風の影響を防ぐために 1842 年に Stevenson は、図 2-14 のように雨量計を地中に埋め込み、風の影響を測定した。1878 年に Nipher が図 2-15 のような雨量計に「風よけ」を付けることを考案した。その後も「風よけ」の改良が進み、雨量計の設置環境によるが、最大 10% 程度の改善が見られた（矢崎,1974）。この「風よけ」は、日本でも研究され、「助炭」と名付けられたが、この言葉は本来、茶道で「炭の火を助ける」という意味で、炉や火鉢にかぶせて火持ちをよくする道具の名前であり、雨量計の「風よけ」を表現するには不適當であると記されている（佐貫、1953）。

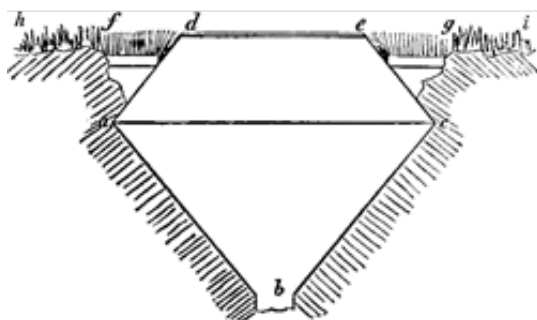


図 2-14 Stevenson の埋め込み型雨量計
1842 年 (Middleton, 1969)

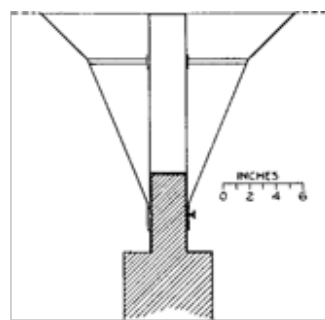


図 2-15 Nipher の雨量計 1878 年
(Middleton, 1969)

その他、貯水型雨量計の課題として、貯水された雨水の凍結があり、凍結を防止するには、ヒーターを組み込んだ雨量計も試行されてきたが、装置が大がかりなものになった。雪も降水観測の対象であり、雪を加熱して溶かす雨雪量計も開発された。また、貯水型雨量計では、貯水槽の雨水の蒸発が発生し、その影響は季節により変動する。この蒸発の防止には貯水面に油膜で蓋をするなどして使用される場合が多い。

第Ⅲ章 日本の雨量観測

「徳川実記」に、1716年に徳川吉宗が江戸城で雨量計により雨水の深淺を記録させたこと、および1728年、和算家の建部弘賢の書いた「極星測算愚考」に雨量観測と測器名「雨尺」の記述があることから、日本の雨量観測は、この時代にはじまったようである（気象測器工業会, 2001）。その後、1835年にオランダ政府から幕府に贈呈された気圧計と温度計を江戸天文台内に設置し、同年8月より観測が行われている。幕末から明治維新に至る気象観測の貴重な記録などは、国内の混乱の際に焼失したと伝えられている。外国の気象観測技術の教授のための外国人が来日し、東京気象台創設へと繋がることになった。日本の公式な気象観測は、1875年に東京気象台が創設されてからである。当時の日本には、イギリスやフランスのような気象機器を製造できる会社はなく、観測機器はすべて輸入であった。気象台で使用する輸入機器にはイギリスのカセラ社製キュー気象台の証書（検定書に類するもの）を添付することが義務付けられていた。これが日本の検定制度のはじまりとも考えられる。その後の国内の科学技術の発達に伴って、輸入品に頼るだけでなく、気象台内で機器を製作することを原則化し、輸入機器の改良改善や新しい機器の開発が行われた。しかし、わが国での気象機器の本格的な開発製造は、第2次世界大戦後の1950年代以降である。

1. 貯水型雨量計

貯水型雨量計は、一定時間内の降水を貯めて、一定の時間ごとに専用の雨量ますで貯水量の容積を計測する。日本では気象庁などの公的機関で1960年代まで使用していたが、人手がかかり、観測時間間隔を短くすることには限度があり、現在は転倒ます型雨量計に更新された。

図3-1の貯水型雨量計は、芝地に外筒2/3を埋めて受水器（受水口に付いているローターの部分を含む）下部が芝面の位置になるように設置する。芝は降雨時に雨水が地面から跳ね返って受水口に入ることを防ぐためである。雨量計の内部はバケツとその中に入れる貯水びんで構成される。雨水は貯水びんに貯まり、その雨水を規定時間毎に雨量ます（図3-2）で計量し、観測野帳にその値を記録する。雨水が貯水びんから溢れてもバケツに雨水が貯まり、欠測を防ぐよう工夫されている。

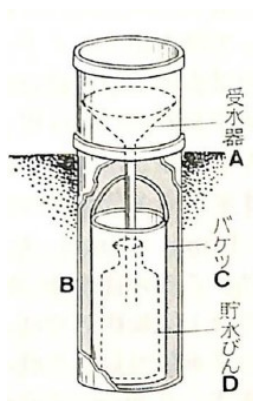


図 3-1 貯水型雨量計の設置概念図
(毛利,1980)



図 3-2 雨量ます

2. フロート（サイフォン）式自記雨量計

この雨量計は、降水を一定量貯水槽に貯め、その水面にフロートを浮かせ、フロートに連結したペンで円筒型時計に巻き付けた記録紙に水面の変位を記録する方式である。図 3-3 に機器の構成を示す。貯水槽の雨水が一定量を超すとサイフォンの原理を応用して排水することからサイフォン式自記雨量計と呼ぶ場合もある。観測と記録を自動化して行う観測機器として、古くから使用されており、日本では特に雪の観測に使用された。フロート式は、構造がやや複雑で保守に技術を要することと高価であり、一般には普及しなかった。

前述の通り、風の影響による貯水面の振動や寒冷地での雨水の凍結などの問題で、冬の降雨観測では図 3-4 の降雪の重量を記録するヘルマン式自記雪量計を用いる場合もあった（気象百年史, 1975）。

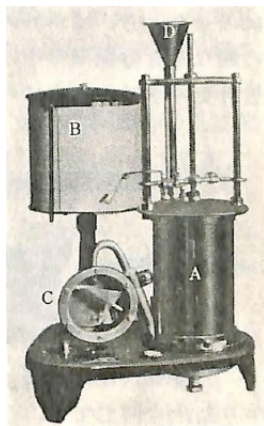


図 3-3 サイフォン式自記雨量計
(毛利,1980)



図 3-4 ヘルマン式自記雪量計
(毛利,1980)

3. 重量式雨量計

降水を貯めながらその重量を計測して降水量に換算する方式で、研究が行われたが、開発当時は技術環境が今日のように整っておらず、また、雨に限らず、雪の重量を計測する試みもあったが実用化には至らなかった。

日本には独特の雨雪量計なるものがあり、直径 20 cm の円筒型雨雪量計と降水はかり（図 3-5）を雨雪観測に使用していた時期があった。使用方法是、円筒型雨雪量計に貯まった降水を、降水はかりと称する上皿はかりを使用して、円筒型雨雪量計の重量を計り、その計量値から円筒型雨雪量計の重量を引いた値を降水量として使用していた。この観測方法は、降水のみを直接測定するわけではないが、間接的な重量測定と言える。

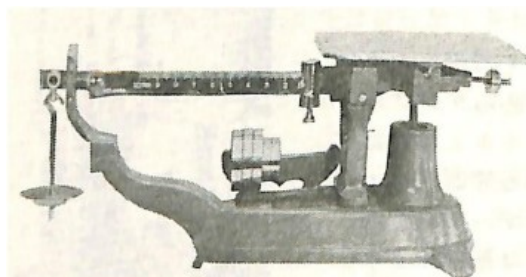


図 3-5 降水はかり（毛利, 1980）

宮脇・臼井(1993)が、電磁弁を用いた重量式雨量計についての報告を行っている。図 3-6 に、雨量計の内部の構造を示す。口径 200 mm の受水口で受けた雨水は、第 1 貯水タンクに一時的に溜まった後、電磁弁が 3 秒開き第 2 貯水タンクに送られる。第 2 貯水タンクでロードセルにより重量が計測され、前回の重量と差があればこの差が降水量に換算される。重量を計測するセンサには密閉型のロードセルが使われている。雨量強度 60 ～ 410 mm/h について室内実験の結果、降雨強度 200 mm/h までは、検定公差（3 %）内で雨量強度に影響されず計測が可能である。雨量強度 240 mm/h の場合は、第 2 貯水タンクの計測可能な降水量を越え制御回路が停止し計測が不可能である。しかし、電磁弁の流入量などを改良することにより強い降水時の計測も可能になると推測された。

現在、国産では、この電磁弁を用いた重量式雨量計の改良品と思われる Model TR-040 型（図 3-7）が光進電気工業で製品化されており、受注生産で注文に応じている。この機器では、電磁弁の代わりにチューブを開閉し水の流れを制御するピンチバルブが用いられ、ピンチバルブが約 4 秒開くことで、第 1 貯水タンクから第 2 貯水タンクに雨水が送られロードセルで重量が計測される。

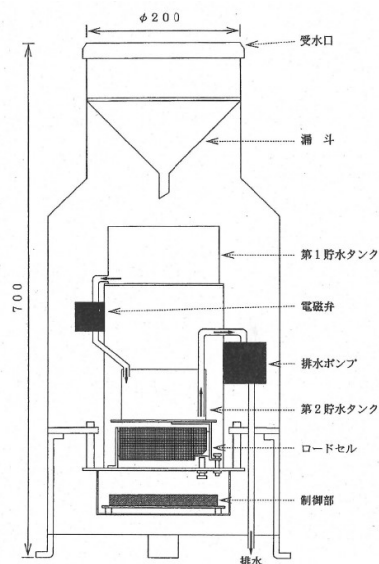


図 3-6 電磁弁式雨量計
（宮脇・臼井,1993）

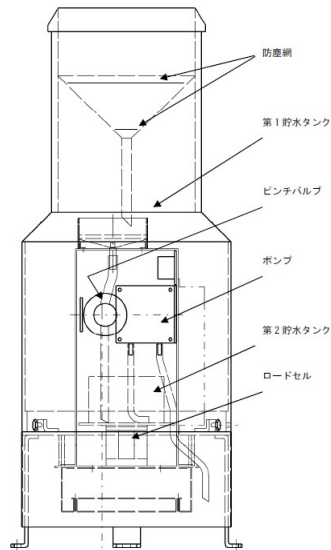


図 3-7 TR-040 型
（光進電気工業の取扱説明書）

海外製品では、ドイツ OTT 製の Pluvio² が製品化されている（図 3-8、図 3-9）。日本では OTT の代理店（ANEOS、旧 小笠原計器製作所）などで取り扱っており、OTT または日本の代理店のホームページで仕様を公開している（<https://www.aneos.co.jp/productinfo/rains/>）。

Pluvio² は図に示すように、受水口の面積が 200 cm² と 400 cm² の二種類が用意されていて、いずれも重量を測定するセンサには、高密度密封ロードセルが使われている。



図 3-8 Pluvio² 200



図 3-9 Pluvio² 400

(OTT Pluvio² のカタログより)

(OTT Pluvio² のカタログより)

TR-040 と Pluvio² の仕様を表 3-1 にまとめた。両者の違いは、受水口径、入力電源、出力インターフェースなどであるが、その他、Pluvio² は、受水口で捕水した雨水を貯めて計量し、その雨水を手で捨てる方式、TR-040 は、その都度計量処理して自動で排水する方式という違いがある。これらの重量式雨量計は、一般気象観測というより、研究などの特別な目的に使用することを想定している。将来的には、設置が容易で、低消費電力で連続観測が可能な機器の開発を期待したい。

表 3-1 3 機種 of 仕様

製 造 会 社	光進電気工業	OTT	OTT
形 式	TR-040	Pluvio ² 200	Pluvio ² 400
セ ン サ	ロードセル	密閉ロードセル	同 左
受 水 口	直径 200 mm	面積 200 cm ²	面積 400 cm ²
最大測定雨量	(自動排水方式)	1,500 mm	750 mm
測定範囲	雨量強度 0~200 mm/h	雨量強度 12~1,800 mm/h	雨量強度 6~1,800 mm/h
精 度	±3 %	降雨強度±0.1 mm/分ま たは±6mm/時	同 左
分 解 能	0.01 mm	0.01 mm	同 左
出力インター フェース	カレントループまた は RS-232C or RS- 422 の内 1 種	デジタル出力：インパルス シリアル出力：SDI-12 また は RS-485	同 左
伝送間隔	1 分毎	1 分毎	同 左
出力データ	1 分間降水量	雨量、降雨強度	同 左
環境温度		-25 ~ +60 °C	同 左
電 源	100 VAC	9.6 ~ 28 VDC	同 左
消費電力	最大 130 W	最大 180 mW 通常は 12 V で 12 mA	同 左
寸 法	700 mmH×306 mm φ	750 mmH×450 mm φ	660 mmH×450 mm φ
重 量	10 kg	15 kg	同 左

4. 転倒ます型雨量計

現在最も一般的に使用されている雨量計で、回転軸の周りに二つの転倒ますを持ち、一方のますに降水が満たされると、重心の移動で満たされたますの雨水が転倒排水し、同時にもう一方のますに雨水が貯まりはじめるシーソー運動をする。その転倒の回数を連続して計測する。初期の自記電接计数器や指示器（電気盤と呼んだ時期もある。）を使用して、自動記録ができる機器である。

転倒ますの容積は 0.1 ～ 5.0 mm まで各種あるが、日本では 0.5 mm が広く使用されている。初期の転倒ます型雨量計は調整部分があり、観測精度保持のためには定期的に調整が必要であったため、一般気象観測に利用されず、山岳用無線ロボット雨量計などにのみに使用されていた。その後、使用部材の改良を重ね、現在では長期の観測にも調整がほとんど必要ない状態に達している。

転倒ます型雨量計は、構造的に計測部の転倒ますの容量の降雨がないと、ますが転倒しないことから、降雨のはじまりや終わりが正確に観測できないため、感雨計を併用することで解決している。また、小型化も進められ、受水口の直径が 10 cm の小型雨量計も実用化され、気象庁の気象測器検定に合格した製品もある。

転倒ます型雨量計が普及した 1960 年代末期には、ますの転倒ごとにパルス信号を発生させるスイッチには水銀スイッチが使用されていたが、近年（2010 年政府間交渉開始）は水銀の環境汚染問題で水銀スイッチの使用は中止となり、マグネットを使用したリードスイッチが採用されている。水銀スイッチはパルス発生時のチャタリングが少ないのが特徴の一つである。

パルス信号の通信については、最初に山岳用無線ロボット雨量計で無線送信する方法が実用化された。その後、アナログ回線、専用線そしてデジタル回線による通信方法が開発され、地上気象要素とともに、効率的な記録の収集が進んだ。最近では、インターネット網や携帯電話網、衛星通信回線を介した方法など通信方法は多様化が進んでいる。

従来の転倒ます型雨量計を改良し、電磁弁を用いた転倒ます型雨量計について、宮脇・臼井(1993)が報告を行っている。図 3-10 に構成図を示す。この雨量計は、転倒ますが転倒し始めると電磁弁が閉じて、ますへの注水が停止する。転倒ますが完全に転倒した状態を光センサが検知すると、電磁弁が開き、再び注水が開始される構造である。

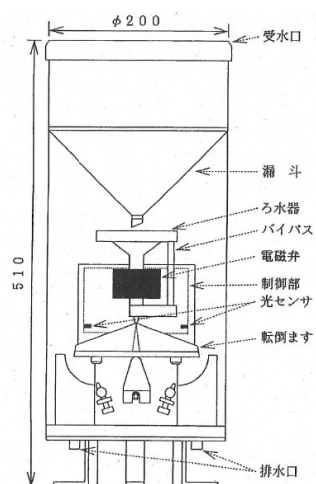


図 3-10 電磁弁式雨量計
(宮脇・臼井,1993)

降雨強度 25 ～ 420 mm/h の室内実験の結果、この雨量計は、比較的弱い降水から降雨強度 約 300 mm/h まで誤差 3%以内で計測できる。同時に行った従来の転倒ます雨量計が降雨強度 150 mm/h までに対し、より強い雨まで精度よく測定可能である。なお、従来の転倒ます雨量計のこの測定限界は、本報告書の第 I 部で報告した野外における転倒ます型雨量計(0.5 mm 計)の測定限界の約 150 mm/h と一致している。

このほか、古河電工の資料によれば、光ファイバ式雨量計が開発されている。従来の転倒ます型雨量計を改良し、ますの転倒ごとにパルス信号を発生させるスイッチとして、光ファイバ接近センサを用いている（図 3-11、図 3-12）。左右のマスが、どちらかに傾いている時は光ファイバに反射光は伝わらないが、ますが平行になり、磁石が接近センサを通過した際に反射光が信号出力器に伝わる仕組みである。光ファイバ接近センサの原理は、光ファイバセンシング振興協会のホームページ（<http://phosc.jp/cms/article/000045.html>）で紹介しており、雨量計以外にも、液面センサや落石センサなどに応用されている。

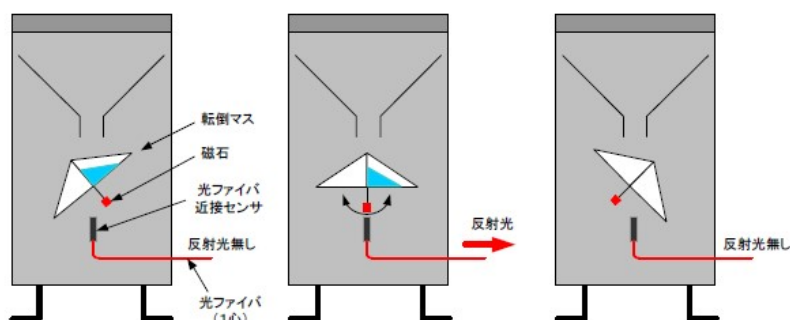


図 3-11 動作原理（古河電工のホームページより）



図 3-12 接近センサの外観（古河電工のホームページより）



図 3-13 システム構成（古河電工のホームページより）

図 3-13 にシステム構成を示すが、図の右側の観測現場では機器構成は雨量計のみの設置で済み、伝送機器や避雷機器は必要なく、電源も不要である。データの伝送には光ファイバを使用しており、伝送可能距離は最大約 40 km と遠隔観測ができ、被雷対策も十分である。このため、電源工事が困難な山岳道路や道路わきの傾斜地、河川敷の施設などに設置することを想定している。ます容量は 0.5 mm、1.0 mm 計を選択でき、気象庁の気象測器検定に合格している。計測部信号出力器の仕様を表 3-2 に示す。

表 3-2 計測部信号出力器仕様

項 目	仕 様
対応センサ	ファラデー素子による光ファイバ近接スイッチ
光入出力端子	SC コネクターダプタ（入出力共通）
出力信号	無電圧接点 接点動作時間 0.1～0.2 秒
電源 消費電力	12 VDC 2 W 以下
環境温湿度	-10 ～ +50 °C 65±30 %
概略寸法	EIA 1U 410 W×100D×43H mm

第IV章 雨量データの記録

1. 自記電接計数器

現在、最も広く使用されている転倒ます型雨量計は、ますが転倒する度にパルス信号を発する。このパルス信号の記録には当初から電気式指示器やリシャール型自記電接計数器が使用された。電気式指示器は、一定時間毎に表示される値を目で読取り、前回と今回の表示値との差を観測値として雨量に換算する。従って、観測時刻は定められた時間に行うものの読み取りの誤差は避けられず、観測精度を維持するにはそれなりの努力が必要となる。しかし、当初の観測はすべて人手に頼ったため、訓練された観測員が観測にあたり誤差を小さくする努力が払われていた。

リシャール型自記電接計数器の構成は割合単純な機械であるが、正確に時を刻む円筒型時計が必要であり、円筒型時計の起源は分からないものの、17～18 世紀の大航海時代に、航海上の必要性から高精度のマリン・クロノメータ（Chronometer）が発明されており、これらの技術が気象観測にも導入されて円筒型時計の採用に至ったものと推察される。クロノメータは、航海時の船体の動揺に関わらず、正確な時を刻む時計で、一般の時計とは区別されていた。



図 4-1 自記電接計数器

自記電接計数器は、雨量計からのパルス信号が入力される度に、電磁石を使用して規定の分に

じた記録用ペンを上げ、その動きを円筒型時計に巻き付けられた記録紙にインクで記録する方式である。円筒型時計には1日一回転する日巻と1週間に一回転する週巻があり、記録紙の下部から上部に記録する方式となっている。この自記電接計数器は、機構が単純で取り扱いが容易であることから今日でも使用されている。ただ、円筒型時計の精度保持、記録紙の交換、記録ペンの保守やインクの補充など、手間がかかる。

なお、現在の乾電池を発明したのは1887年の日本人 屋井 先蔵 (<https://ja.wikipedia.org/wiki/屋井先蔵>) であり、電池はクロノメータ同様に、気象観測の自動化に大きく寄与している。

自記電接計数器は転倒ます型雨量計の記録のみならず、風速計の風程パルスの記録時にも使用されている。

2. データロガー

転倒ます型雨量計用データロガーは、数多く市販され国内外製品を入手することができるが、その多くは、製品仕様は公開されているものの、機能の詳細を知るには購入しないと情報が得られない場合が多い。

著者らが1970年代に手掛けた転倒ます型雨量計用データロガーについて紹介する。電子技術や電子部品の発達により、電子的に雨量計の出力信号を記録する方式が開発されてきた。特に、メモリ素子の実用化はデータロガーの発達に大きく貢献し、1970年代後期のCMOSメモリの実用化以降、1980年に雨量計用専用ロガーを日本気象協会（Japan Weather Association ; JWA）と東洋電子工業（Oriental Electronics, Inc ; Ori）がJWA-80R 型 呼称「メモリパック」（図4-2）として、国内では最初に開発し雨量観測業務に使用した。このデータロガーは記憶容量がいっぱいになると、新たなロガーと交換する方式をとっている。



図 4-2 データロガー JWA-80R 1981 年
(東洋電子工業の社内資料より)

その後、JWA-80R シリーズは、2007 年以降、気象情報通信（Werther Information Communications Service LTD.:WICS）と Ori に引き継がれて改良や新開発を行った。現在は、後述のようなネットワーク対応の PL-5150N（図 4-3 参照）が製品化されている。



図 4-3 データロガーPL-5150N の外観
(気象情報通信のホームページより)

PL-5150N は、小型、軽量、低消費電力での運用を可能にし、内蔵リチウム電池のみで観測ができる。データロガーをインターネット等に接続することで、遠隔地の観測データをオンラインで収集が可能である。観測データは、常に内蔵メモリに記録され、通信障害の場合も、データが保持できる。通信機能付きのデータロガーを導入することで情報がリアルタイムで得られる利点は大きい。転倒ます型雨量計の出力はパルス信号であったが、近年は出力がデジタル信号の雨量計もある。このデータの収録にはデジタル信号が入力可能なデータロガーが必要である。

データロガーの問題点として、構成する電子部品が設置場所の環境、とくに、温度・湿度によっては、十分な機能が発揮できないことがある。また、内部の時計の遅れや進みにより、正確な時刻の記録ができなくなる場合がある。現在では、正確な時刻の取得には、インターネットからの取得や GPS (Global Positioning System) をデータロガーに組み込む方法がある。

第V章 インターフェース

観測機器の性能や機能の向上によって出力信号がアナログやパルス信号からデジタル信号になる場合、そのデータ収録には観測機器とパソコンやデータロガーなどの受信装置とのインターフェースを適合させる必要がある。デジタル出力を搭載した観測機器のインターフェース規格として、RS-232C、RS-422、RS-485、USB、SDI-12 などが搭載されている。ここでは、観測機器で広く使用されている RS-232C と最近のパソコンで標準仕様となっている USB の規格について記述した。

RS-232C Recommended Standard 232 Ver C

RS-232C はアメリカの電子工業会 (EIA ; Electronic Industries Association) が策定した通信規格である。RS-232 は当初の規格名で、正式名称は EIA-232 である。RS-232C の C はバージョンを示す識別で、現在はバージョン D までであるが、使いやすい RS-232C 規格が現在も使用されている。この規格は接続する時の電氣的・機械的特性を規定していて、同じ伝送路を使用し、送信側

と受信側の通信規格が一致していることが重要である。その通信方式により、単向通信方式（Simplex）、半二重通信方式（Half duplex）と全二重通信方式（Full duplex）に分けられる。

単向通信方式は、「垂れ流し」とも言われることように、受信側に対して一方的に通信を行う。半二重通信方式は1つの伝送路で送受双方が互いに同じ通信規格でタイミングを取り合いながら送受信を行う通信方式。全二重通信方式は送受別々の伝送路を使用し、送受信を同時に行う方式である。単に送受信機の RS-232C 規格を接続しただけでは通信は行われず、ドライバーソフトウェアやデータの一次処理プログラムが不可欠である。

観測機器と受信装置を接続する時に使用するケーブルにはコネクタを装備するが、その時のピンアサインを表 6-1 と図 6-1 に示した。コネクタの形式は D-sub（D-Subminiature）と称し、そのピン数は 9 ピン、15 ピン、25 ピン、50 ピン等があるが、最近では 9 ピンが多い。

表 6-1 RS-232C のピンアサイン

9 Pin	25 Pin	略 語	名 称	
1	8	DCD	Date Carrier Detect	キャリア検出
2	3	RxD	Receive Data	受信データ
3	2	TxD	Transmit Data	送信データ
4	20	DTR	Data Terminal Ready	データ端末レディ
5	7	SG	Signal Ground	信号用接地または共通帰線
6	6	DSR	Data Set Ready	データセットレディ
7	4	RTS	Request To Send	送信要求
8	5	CTS	Clear To Send	送信許可
9	22	RI	Ring Indicator	被呼表示
CASE		FG	Frame Ground	保守用接地またはアース



図 6-1 RS-232C のピンアサイン

USB（Universal Serial Bus）

USB は RS-232C に代わる次世代インターフェース規格として、1990 年代から Compaq、DEC、IBM、Intel、Microsoft、NEC、Telecom の 7 社により規格化が進められた。USB とは、データを伝送するための経路であるバス規格のひとつで、1 ビットずつデータを順番に転送するシリアルバスとも呼ばれる。キーボード、マウス、カメラ、音楽プレーヤー、外付けハードディスク、無線 LAN 子機等様々な周辺機器をパソコン本体につなげる伝送路の規格でもある。USB はシリアルバスであるため、タイミングがずれてしまうタイミングスキューという問題や、データが干渉される

問題がなく、転送速度はバージョンが上がるごとに高速化している。USB 1.0 が 12 Mbps だったのに対し、USB 2.0 では 480 Mbps となり、USB 3.0 では 5 Gbps にまで高速化している。

コネクタの形状は、現在、大きく分けて「USB」、「mini USB」、「Micro USB」の 3 サイズがあり、さらにその中に Type A、B、C といったコネクタの形状があり、結果として様々な種類の USB コネクタが存在する。また、通信速度が異なる USB 2.0 と USB 3.0 では使用する接続ケーブルも異なる。どのコネクタ形状を用いるかは、それぞれの観測機器やその信号を受信する処理装置（ホスト側）の通信仕様に依存するため、取扱説明書の記載事項に準ずることとなる。

図 6-2 は、USB コネクタの Type A であり、形状は 12 mm×5 mm の長方形で 4 または 5 ピンで構成されており、USB 2.0 と 3.0 規格で互換性を持たせたコネクタ付のケーブルが市販されている。さらに、それぞれの USB を装備している機器では、USB 用のドライバー ソフトウェアが実装されている必要がある。



図 6-2 USB ケーブルとコネクタ

表 6-2 USB ピンアサイン

Pin	USB 2.0	USB 3.0
1	V _{BUS}	V _{BUS}
2	-Data (D-)	-Data (D-)
3	+Data (D+)	+Data (D+)
4	GND	ID(NC)
5		GND

最近の問題

以前はすべてのパソコンに RS-232C のポートが標準装備されていたが、最近のパソコンに RS-232C ポートは装備されず USB ポートのみである。観測機器の出力部は、RS-232C が多いが、それを処理するパソコン側には RS-232C ポートの装備がない。このため RS-232C から USB に変換する装置が市販されている。また、最近は接続ケーブルのコネクタケース内部に変換する電子回路を組み込んだ接続ケーブルが市販されているが、いずれにせよ、購入前に仕様を十分確認した上で導入する事が重要である。

謝 辞

雨量観測機器は割合シンプルな構造であるが、初期から今日に至るまで、先人たちが苦勞して開発してきた結果である。本節をまとめにあたって、多く資料や観測経験者の意見等をお聞きしたが、雨量計に関しては想像以上にご苦勞されたように思う。関係諸氏に改めて感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) Biswas, B. K., 1967, The Automatic Rain-gauge of Sir Christopher Wren, Note and Records of Royal Society of London, 22, Issues1/2, 94-104
- 2) Crawford, S. G., 1972: A recording gravimetric rain-gauge Towards an absolute reference instrument, Met. Mag., 101, 368-374
- 3) Middleton, W. E. K., 1969, Invention of the Meteorological Instruments, The Johns Hopkins Press, Baltimore, 1969, (Chapter 4).
- 4) Needham, J. Science and civilization in China, Vol.1 Cambridge University Press, Cambridge, 1959.
- 5) Sammadar, Quart., J. Roy. Meteorol. Soc. Vol.38, 65-66.
- 6) Shamasastri, R., Translation of 'Arasstra' by Kautilya. Gov. Oriental Library Series Bibliographica Sanskrita, No.37, Part 2, Bangalore, 1915.
- 7) Strangeways, I., 2010, A history of rain gauges", Weather, Vol.65, No.5, 2010, 133-138.
- 8) Vogelstein, H: Die Landwirtschaft in Palästina zur Zeit der Mishnah, I, Teil: Der Getreidebau, Berlin, p.3.
- 9) W. E. Knowles Middleton : 1969, Invention of the Meteorological Instruments IV The Rain Gauge and the Atmometer,
- 10) Wada, Y., Les Pluviomètres, Coreens du XVe Siècle, Scientific Memoirs, No.1, 1-4.
- 11) Wada, Y., Scientific memoirs of the Korean Meteorological Observatory, Vol.1. Chemulpo. Quated
- 12) WMO : 2018, Guide to Instruments and Methods of Meteorological Variables 2018 Edition WMO-No.8-2018-WMO, pp.547
- 13) 岡田武松 ; 1944, 気象器械学, 第5章 雨量計, 岩波書店,
- 14) 気象測器研究会 ; 2012, 一体型地上気象観測機器 Compact Weather Sensor(CWS)の性能評価
- 15) 気象測器工業会 ; 2001, 気象観測測器の歴史, 第1章 地上観測機器
- 16) 宮脇保彦, 臼井かつ江 ; 1993, 2種類の新しい雨量計, 測候時報, 60, 5, 気象庁
- 17) 五十嵐浩三 : 1959a, 世界における降水量観測の現状 (1) , 測候時報, 26, 53-60 気象庁.
- 18) 五十嵐浩三 : 1959b, 世界における降水量観測の現状 (2) , 測候時報, 26, 101-109 気象庁.
- 19) 荒川秀俊 ; 1941, 日本気象學史 P.36, P.66, P.113, P.144 河出書房
- 20) 佐貫亦男 ; 1953, 地上気象測器, 第5章 降水量の測定, 共立出版社
- 21) 小松製作所 ; 転倒ます型雨量計説明書, 非売品
- 22) 世宗大王が発明した測雨器 ; <http://bunka-hikaku.seesaa.net/article/222827242.html>
- 23) 朝鮮新報 ; 2008, 人物で見る朝鮮科学史 53 測雨器と気象学

- 24) 東洋電子工業株式会社 ; 1980,JWA-80R 技術資料,社内資料
- 25) 日本気象学会 ; 1975,気象百年史
- 26) 日本気象学会 ; 1975,気象百年史 資料編
- 27) 日本気象協会 研究所 ; 1998,技術検討会報告書 非売品
- 28) 任 正赫 ; 2008,人物で見る朝鮮科学史-52,測雨器と気象学①,朝鮮新報,2008.4.11
- 29) 武田喬男 ; 1987,水循環の科学,東京堂出版,P14～P21
- 30) 毛利茂雄 ; 1980,気象観測の手引き, 第 4 章 降水の観測,(財)日本気象協会
- 31) 木口雅司,沖 大幹 ; 2010,世界・日本における雨量極値記録,水文・水資源学会誌 第 23 巻,第 3 号 P.231～P.247
- 32) 矢亀紀一,毛利文郎 ; 1957, 自記雪量計について,4 巻 13 号,天気,日本気象学会
- 33) 矢崎敬三 ; 1974, 雨量計について,21 巻 1 号,天気,日本気象学会
- 34) 矢島幸雄 ; 1953,雨量計の助炭について、研究時報 第 5 巻 8 号,気象庁
- 35) 友田三八二 ; 1970, 計測器 誤差ゼロの追求,日経サンエンス 5,日本経済新聞社
- 36) 和田雄治 ; 1910,世宗英祖兩朝ノ測雨器、韓国観測所學術報文,第 1 巻、
- 37) 和田雄治 a ; 1910,世宗英祖兩朝ノ測雨器、気象集誌,第 29 巻,第 3 号, 81-87.
- 38) 和田雄治 b ; 1910,朝鮮古代ノ観測記録、気象集誌,第 29 巻,第 11 号,285－286

関係組織名と URL

株式会社 大田計器製作所 Ota keiki seisakusho co, ltd <http://otakeiki.com/>
 ANEOS 株式会社 (旧 株式会社 小笠原計器製作所) <https://www.aneos.co.jp/>
 OTT 社 <https://www.ott.com/>
 気象庁 Japan Meteorological Agency ; JMA <http://www.jma.go.jp/>
 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 <http://www.mest-japan.or.jp/>
 気象情報通信株式会社 Weather Information & Communications Service LTD. ; WICS <https://www.wics.co.jp/>
 光進電気工業株式会社 KOSHIN DENKI KOGYO CO., LTD. <http://www.koshindenki.com/>
 株式会社 小松製作所 Komatsu Factory Co.,LTD <http://komatsuins.co.jp/ins.co.jp/>
 東洋電子工業株式会社 Oriental Electronics,Inc. ; Ori <http://www.orie.com/gaiyou.htm>
 一般財団法人 気象業務支援センター Japan Meteorological Business Support Center ; JMBSC <http://www.jmbsec.or.jp/jp/>
 世界気象機関 World Meteorological Organization ; WMO <https://www.wmo.int/>
 測器・観測法委員会 Commission for Instruments and Methods of Observation ; CIMO
 光ファイバセンシング振興協会 <http://phosc.jp/>

※ 本書の著作権は 特定非営利活動法人 気象システム技術協会が有するが、学術的な目的で第三者の使用を妨げるものでない。但し、本書を利用することによって生じる一切のトラブルは特定非営利活動法人 気象システム技術協会には責任がないものとする。

書 名	転倒ます型雨量計の特性評価に関する報告書
発行日	2020 年 6 月
出 版	特定非営利活動法人 気象システム技術協会
U R L	www.mest-japan.or.jp
住 所	東京都豊島区南池袋 2-8-5 MI ビル 4F
T E L	03-6907-2186