

降水量計の捕捉損失補正の重要性

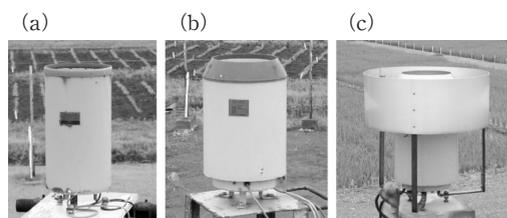
—測器メタデータ整備の必要性—

中 井 専 人*・横 山 宏太郎**

1. はじめに：降水量計の捕捉損失補正はなぜ重要か

国内における地上降水量の観測には、気象官署をはじめとして一般的に降水量計（雨量計）が使用されている（例えば、気象庁ホームページ http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kansoku_guide/b1.htm）。国内で主に用いられる降水量計には3種類あり、それらの受水口内径は20 cm、面積は314 cm²と共通であるが、外形はかなり異なる（第1図）。転倒ます式降水量計（RT-1）は円筒形をした容器の側壁が薄く、温水式降水量計（RT-3）は厚い。このためRT-3では容器の外径がRT-1よりも大きくなっている。溢水式降水量計（RT-4）はRT-3と同様の外形をしており、さらに風除けとして径の大きな円筒形部品が外側に取り付けられている。

降水量計にさまざまな観測誤差（捕捉損失、蒸発損失、濡れ損失、飛び込み・飛び出し）があることは古くから知られており、それについての調査、改良も半世紀以上に渡って行われてきた（鈴木 1996；Goodison *et al.* 1998）。特に、固体降水（本稿では冬季における雪片、霰を指すことにする）の観測については依然として課題が多く、今後も測器の改良と測定値の補正の両方が必要であると指摘されている（杉浦・横山 2006）。特に、固体降水の風による捕捉損失は観測誤差の中で際だって大きく、降水量の50%に達することがある。さらに、その特性は降水量計の形状や降水状況に依存



第1図 気象庁観測点など国内で主に用いられている降水量計の外観。(a) 転倒ます式 (RT-1)、(b) 温水式 (RT-3)、(c) 溢水式 (RT-4)。横山ほか (2003) による。

する (Sevruk 1985；横山ほか 2003；Sugiura *et al.* 2006)。従って、冬季の降水観測において、降水量計の型式を知った上で捕捉損失の補正を行うことが、正確な降水量の把握、ひいては雪氷災害予測、予報の検証、水資源の評価にとって非常に重要とすることができる。

2. 捕捉率を用いた捕捉損失補正

降水粒子には雪片、霰、雨滴などがある。しかし、雪片など固体降水ではその形状が著しく多様であり、また雲粒付き雪片、霰といった中間的なものがある。これらについて形状や密度まで考慮した捕捉損失の補正を行うことは困難であり、捕捉率は液体降水（降雨）と固体降水のそれぞれに対して風速の関数として求められるのが一般的である。WMO (World Meteorological Organization；世界気象機関) においては1960年から降水量計の相互比較が試みられており、特に固体降水に対しては1986年から1993年の間に15カ国23地点の参加による相互比較が行われた (Goodison *et al.* 1998)。

この相互比較に対して、日本からは農林水産省北陸

* (独) 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター。
saint@bosai.go.jp

** (独) 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業研究センター北陸研究センター。

—2008年9月8日受領—

—2008年11月29日受理—

農業試験場（現：独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・中央農業総合研究センター・北陸研究センター）ならびに気象庁が参加し、北陸（高田）と女満別においてWMOの勧告に基づいた観測が行われた（大野ほか 1998；Shiraki 1998；大野 1999；横山ほか 2003）。この観測ではRT-1, RT-3, RT-4が比較観測の対象となり、それぞれに対応した捕捉損失の補正式が、北陸の観測データ（2001年まで）に基づき、横山ほか（2003）によって定められた。彼らは捕捉損失を吉田（1959）の式

$$CR = \frac{1}{1 + mU} \quad (1)$$

に回帰させ、液体降水、固体降水のそれぞれに対して降水量計の型式ごとに係数 m を求めた（第1表）。 CR は捕捉率、 U (ms^{-1}) は降水事象平均の風速（1降水事象は風速の顕著な変化のない数時間から30数時間の継続した降水）である。なお、ここでの風速は降水量計開口部の高さにおける風速である。

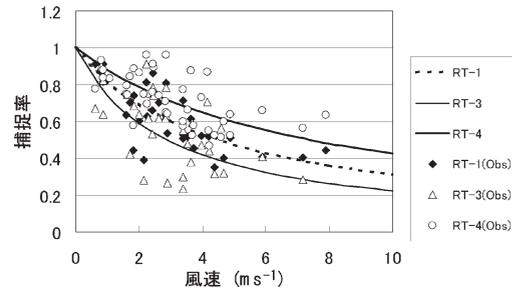
捕捉率は風速が大きくなるほど小さくなり、特に固体降水の場合は、降水量計の形状にもよるが風速 5ms^{-1} を越えるあたりから平均的には捕捉率が0.5以下になる（第2図）。これは、通常の冬季季節風時の降水量観測値が数十%の負の観測誤差を持ち得ることを示している。液体降水の捕捉率は固体降水に比べると大きいが1ではない。従って、気温や相対湿度を用いて液体降水と固体降水の比率を求め（e.g. Matsuo *et al.* 1981；菅谷 1990；長谷美 1991）、それに応じて配分した液体降水と固体降水それぞれに対して、風速を用いた捕捉損失の補正を行い、その和を求めることにより、観測誤差のかなりの部分を取り除いた補正降水量が得られると考えられる。

ただし、捕捉率は観測毎のばらつきが大きく、係数 m の適用範囲は風速 8ms^{-1} 程度までであることに注意が必要である（第2図）。また、測定データの大部分は気温 -1°C から $+3^{\circ}\text{C}$ におけるものであるが、女満別のデータとの比較から、国内に適用することは可能と考えられる。(1)式による捕捉損失補正を行った降水量はこれらの点を理解した上で使用する必要がある（横山ほか 2003）。

この方法で補正した降水量計による降水量（以下、補正降水量と呼ぶ）とモデルによる降水量を比較した例が第3図である。モデルの降水量を $y = ax$ の形で補正降水量に回帰させると、この例では3地点の回帰

第1表 横山ほか（2003）によって降水形態、降水量計の種類別に求められた(1)式の m の値。

降水形態	降水量計		
	RT-1	RT-3	RT-4
固体降水	0.213	0.346	0.128
液体降水	0.0454	0.0856	0.0192



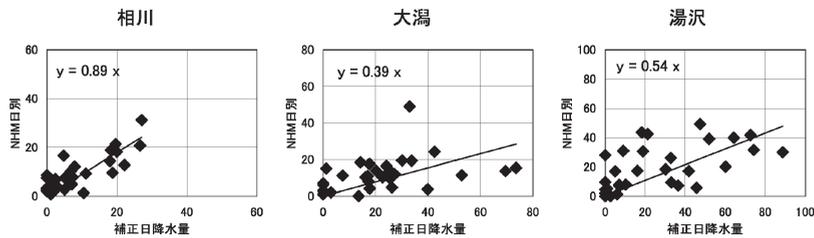
第2図 3種類の降水量計に対する固体降水の捕捉率。それぞれの点 (Obs) は観測結果を示す。曲線は回帰曲線で(1)式と第1表の m で表される（横山ほか 2003）。

係数が0.39から0.89となり、モデルは降水量をかなり過小評価したと解釈される。ところが、同じデータを用いても降水量計の捕捉損失を補正しなかった場合（第4図）、3地点中2地点で回帰係数は1に近く、モデルは降水量をある程度再現したという解釈が得られる。しかし、そもそも比較対象の観測値が過小評価であるから、この結果は誤りである。このように、降水量計の捕捉損失補正は、特に固体降水の定量的解析やモデルの検証において結果の解釈に大きく影響し、非常に重要な補正といえることができる。

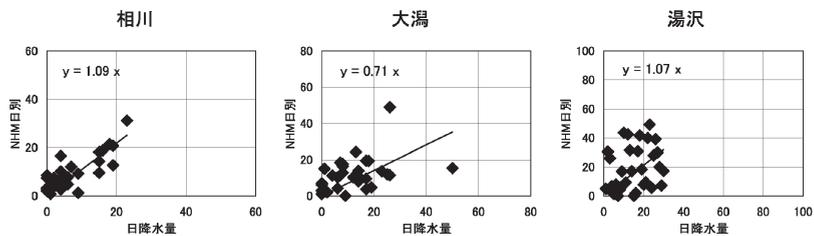
3. 風除けの追加、撤去についての試行調査

日本の積雪地域で主として使用されてきたRT-3とRT-4は本体の形状がほぼ同等であり、大きく異なるのは風除け（風防、助炭）の有無である（横山ほか 2003）。風速 2ms^{-1} 以下の弱風時を除けば、RT-3とRT-4の捕捉率は20%以上異なり（第2図）、これは風除けの有無によると思われる。従って、正確な捕捉損失補正のためには、使用する観測地点の降水量計について、風除けの有無、及び暖候期と寒候期で異なる形状の測器を切り替えて使用している場合はその日時を知る必要がある。

観測開始後に風除けの追加、撤去が行われた場合、



第3図 2008年1月の日降水量についての観測値とモデルとの比較例。横軸は気象庁の地上観測値から捕捉損失の補正を行った日降水量、縦軸は数値実験(中井ほか 2008 a)による日降水量。点が日別の値を表し、図中の直線はモデルの降水量を $y = ax$ の形で補正降水量に回帰させたもの。



第4図 第3図に同じ。ただし捕捉損失の補正なしの降水量を使用したもの。

その日時を境として捕捉率が変化するため、データの接続にはそのことを考慮しなければならない。しかし、風除けの有無については、観測値に係わる情報(メタデータ)として認識されていないのが現状である。例えば、気象庁月報には地域気象観測所地点情報履歴ファイル(amdmaster.index)及び地上気象観測地点情報履歴ファイル(smaster.index、気象官署等のみ)というメタデータがある。これらについて、青森から松江までの23地点(新潟県は13地点、他は各県1ないし2地点)を対象に、実際の風除け設置、撤去の日付を各地の地方気象台に問い合わせた結果との比較を行った。両者を対照させると、アメダス(15地点)については風除け設置の日付がamdmaster.indexに記載されていたが、降水量統計の項目は全て0(接続する)とされていた。また、気象官署(旧気象官署を含む8地点)については、調べた範囲ではamdmaster.indexに符合する日付は見あたらず、smaster.indexには7地点で符合する日付があったものの降水量統計接続について特記する項目はなかった。実際には風除け設置、撤去の日付で測器形状、すなわち(1)式における m の値が変わるため、降水量の解析ではそれに応じた捕捉損失補正を行うべきであ

る。しかし、測器形状変更の情報が得られなければ、それは不可能である。

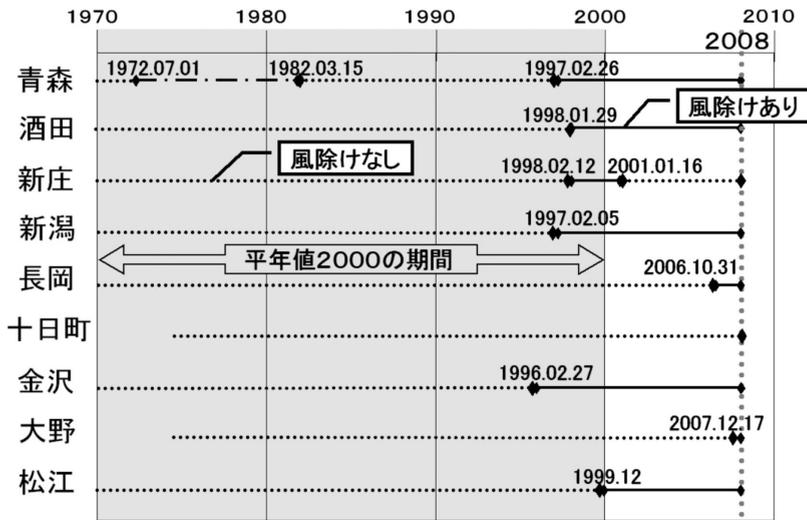
風除け設置の履歴について、調査結果の一部を第5図に示す。風除けが取り付けられた時期は1990年代の終わり頃と2006年以降に多く、これらはそれぞれJMA-95型(気象庁 2002)およびJMA-04型(もしくはJMA-04 B型)と呼ばれる観測装置への更新に対応するものと思われる。しかし、中には風除けが取り付けられていない地点や、一度取り付けてから撤去された地点(例えば、新庄)が存在する。これは豪雪地帯の観測地点において、風除けによって引き起こされる着雪による欠測増

加を避けるためとのことである(付録)。このような観測の実状があるため、JMA-04型といった観測システムの仕様変更の情報だけでは、降水量計の形状変更に対するメタデータとしては不十分である。

今回問い合わせによる試行調査を行った範囲では、風除け設置、撤去の日時をかなり確定できた。しかし、地点ごとの風除けの有無や測器の変更は、観測値にかかわるメタデータとしては記録されていなかった。事務的な工事記録や出張記録であれば、一定年数が経過すれば機械的に破棄され、正確な捕捉損失の補正が不可能になる危険性は高い。また、そのような状態にある記録の掘り起こしや測器設置状況の調査には多大な労力がかかるが、時間とともに困難さは増すと考えられる。降水量計を整備している気象庁を含めたあらゆる機関において、風除け設置と測器変更について、記録の収集だけでも、早急に実施する必要がある。

4. 風除けの有無による捕捉率変化が長期データの解析に与える影響

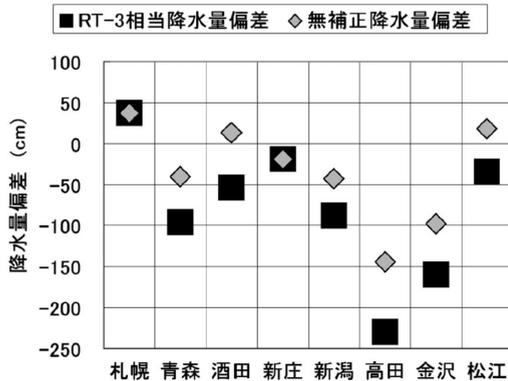
風除けの情報がない状態で長期データの解析を行った場合、例えば「1997年ごろから本州の冬の降水量が



第5図 地点毎の風除け有無の履歴。実線が風除けあり、点線が風除けなし、一点鎖線は風除けありの可能性が高い、を示す。

の変化を考慮して捕捉率等の補正を行った結果、10年あたり5 mmまで減少したことが報告されている (Metcalf *et al.* 1997)。

第6図は、2008年1月から2月にかけての44日間降水量の年間偏差である。使用した年間値 (気象庁2001) の統計期間は1971年から2000年までである。札幌以外の地点では、この期間のほとんどで風除けなし、2007/2008冬季には風除けありであった。札幌は年間値統計期間も含めて風除けありとした。これらの地点において、捕捉率の変



第6図 2008年1月16日から2月末日まで1.5ヶ月 (44日間) についての、総降水量の年間偏差。2008年はうるう年のため、通常年との日数比をかけて44日間相当の値を求めてある。各地点について、捕捉率の変化を考慮してRT-3相当の降水量を推定して求めた偏差 (■) と、捕捉率の変化を考慮しないで求めた偏差 (◇) を示す。

化を考慮した偏差 (■) と考慮しないで求めた偏差 (◇) とを求めたところ、両者の間には44日間で50 mmから100 mm近い差が生じた (中井ほか 2008 b)。明らかに後者には無視できない正バイアスがあり、酒田や松江のように偏差の符号が異なる地点も見られた。このことから、風除け有無の情報は捕捉損失の補正を通して年間値との比較解析にも無視できない影響を及ぼすことがわかる。

5. 結語

本稿では、地上気象観測の問題として、降水量計の捕捉損失補正の重要性、及び風除けの設置、撤去 (測器の形状変更) に伴う捕捉率の変化について述べた。特に固体降水の場合は捕捉率が小さいため、その影響が大きい。述べてきたことの要点を箇条書きにすると、次の通りである。

- 降水量計の風除け (風防、助炭) の有無は、特に固体降水においては20%に及ぶ捕捉率すなわち観測される降水量の差異をもたらすので、観測値に係わる情報 (メタデータ) として認識すべきである。
- 風除け設置・撤去がある場合、降水量の統計はそのまま接続できない。風除け設置・撤去の年月日を記録し、降水量データに付加するべきである。この情報は、固体降水の長期データの解析に対して無視できない影響を及ぼす。

10%増えている。」という結果が得られたとしよう。しかし、使ったデータの降水量計にそのころ風除けが付けられていると、その結果は、誤りの可能性が高い。カナダの現業に用いられた降水量計については6時間ごと45年のデータを用いた調査があり、10年あたり25 mmであった降水量増加傾向が、降水量計形状

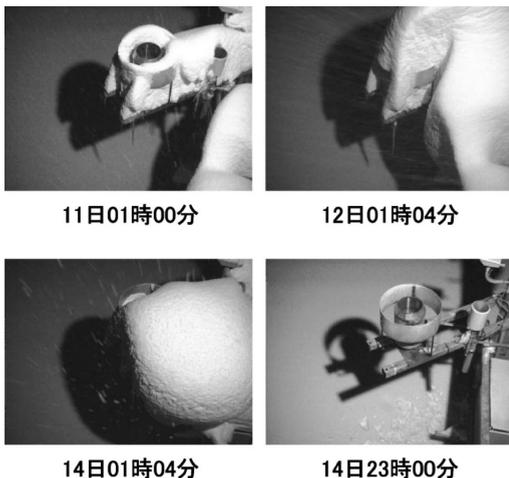
●風除け設置・撤去（捕捉率の変化）の調査には多大な労力がかかる。また、時間の経過とともに記録が失われるおそれがある。降水量計を整備している気象庁を含めたあらゆる機関において、早急に風除け設置・撤去及び測器の変更について記録を整備すべきである。

謝 辞

気象庁観測点更新状況については青森地方気象台、山形地方気象台、仙台管区気象台、新潟地方気象台、金沢地方気象台、福井地方気象台、松江地方気象台から回答をいただきました。面倒な問い合わせに快く対応していただいた気象台職員の方々に深く感謝致します。査読者の方には拙稿の改良に有益なコメントを多くいただきました。降水量計との比較に用いたモデル実験データは気象研究所の加藤輝之博士作成のものを使わせていただきました。以上、記して感謝いたします。本報告の一部は防災科学技術研究所プロジェクト研究「雪氷災害の発生予測システムの実用化とそれに基づく防災対策に関する研究」によります。作図にはGrADS (The Grid Analysis and Display System) を使用しました。

付 録

降水量の欠測をもたらす着雪がどのように起こるの



第A1図 2005豪雪(佐藤 2006)時における雪氷防災研究センター栃尾田代観測点(長岡市田代)の降水量計(降水量計本体はヒーター付き, 風除けはヒーターなし)への着雪(2005年1月)。

か、防災科学技術研究所雪氷防災研究センターによって観測された豪雪時の着雪例を示す(第A1図)。この期間は併設された積雪重量計(木村 1983)によって、水相当にして417 mmの連続的な積雪増加が記録された豪雪期間である(中井 2007)。非常に強い降雪時の極端な例ではあるが、着雪の実態を端的に示している。撮影時、この降水量計には本体のみヒーターが取り付けられ、風除けにはヒーターが取り付けられていなかった。その後風除けにもヒーターを取り付けてから状況は改善された。

参 考 文 献

- Goodison, B. E., P. Y. T. Louie and D. Yang, 1998 : WMO Solid Precipitation Measurement Intercomparison, Final Report. WMO/TD-No. 872, Instruments and Observing Methods Report No. 67, 212 pp. (<http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-67-solid-precip/WMOtd872.pdf>, 2008年11月27日現在)
- 長谷美達雄, 1991 : 冬季降水における降雪の発生割合と地上気温の関係(1) — 発生割合の地域性と雨雪判別の的中率について —. 雪氷, 53, 33-43.
- 木村忠志, 1983 : Metal waferによる積雪相当水量の観測. 国立防災科学技術センター研究報告, (31), 203-217.
- 気象庁, 2001 : 平年値(統計期間1971~2000年)CD-ROM. 気象業務支援センター.
- 気象庁, 2002 : 地上気象観測指針(第11版). 気象業務支援センター, 128 pp.
- Matsuo, T., Y. Sasyo and Y. Sato, 1981 : Relationship between types of precipitation on the ground and surface meteorological elements. J. Meteor. Soc. Japan, 59, 462-467.
- Metcalfe, J. R., B. Routledge and K. Devine, 1997 : Rainfall measurement in Canada : Changing observational methods and archive adjustment procedures. J. Climate, 10, 92-101.
- 中井専入, 2007 : 平成18年豪雪における降雪分布の特徴. 気象研究ノート, (216), 45-59.
- 中井専入, 加藤輝之, 岩本勉之, 石坂雅昭, 佐藤篤司, 2008 a : 雪雲上陸時の降水強度変化とその再現性. 日本気象学会2008年度春季大会予稿集, B407.
- 中井専入, 山口 悟, 竹内由香里, 2008 b : 地上気象要素の偏差に見られた2007/2008冬季の特徴. 雪氷, 70, 487-498.
- 大野宏之, 横山宏太郎, 小南靖弘, 井上 聡, 高見晋一, T. Wiesinger, 1998 : 北陸地方における降水量計の固体

- 降水捕捉率. 雪氷, 60, 225-231.
- 大野宏之, 1999: 「北陸地方における降水量計の固体降水捕捉率 (大野ら, 1998)」に寄せられた質問に対する回答. 雪氷, 61, 42-44.
- 佐藤篤司, 2006: 地震災害と雪害の2重災害構造. 月刊地球, 号外 (53), 201-206.
- Sevruk, B., 1985: Correction of precipitation measurements. Proc. WMO Workshop on the Correction of Precipitation Measurements, (104), 13-23.
- Shiraki, M., 1998: Country reports, Memambetsu, Japan. WMO Solid Precipitation Measurement Intercomparison, Final Report. WMO/TD-No. 872, Instruments and Observing Methods Report No. 67, Annex, 162-163. (<http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-67-solid-precip/WMOtd872.pdf>, 2008年11月27日現在)
- 菅谷 博, 1990: 暖地積雪面の微細気象的特性とそれに基づく積雪質量推定モデル. 北陸農業試験場報告, (32), 43-64.
- 杉浦幸之助, 横山宏太郎, 2006: 降水量観測—固体降水—. 雪氷, 68, 573-580.
- Sugiura, K., T. Ohata and D. Yang, 2006: Catch characteristics of precipitation gauges in high-latitude regions with high winds. J. Hydrometeor., 7, 984-994, DOI: 10.1175/JHM542.1.
- 鈴木宣直, 1996: 雨量計, 雪量計. 気象研究ノート, (185), 53-64.
- 横山宏太郎, 大野宏之, 小南靖弘, 井上 聡, 川方俊和, 2003: 冬期における降水量計の捕捉特性. 雪氷, 65, 303-316.
- 吉田作松, 1959: 積算雪量計の研究 (第2報) 主として型別の積算捕集率決定ならびに積算雪量計実用化のための吟味. 研究時報, 11, 507-524.

The Importance of the Correction of Wind-Induced Undercatch of the Gauges : The Necessity for Compilation of Metadata on the Gauges

Sento NAKAI* and Kotaro YOKOYAMA**

* *Snow and Ice Research Center, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Suyoshi-Maeyama 187-16, Nagaoka 940-0821, Japan.*

** *Hokuriku Research Center, National Agricultural Research Center, National Agriculture and Food Research Organization, Inada 1-2-1, Joetsu 943-0193, Japan.*

(Received 11 September 2008 ; Accepted 29 November 2008)
