

光学式ディストロメーター観測に基づく 固相および液相の降水粒子自動分類

中井 専 人^{*1}・本吉 弘 岐^{*2}・山下 克 也^{*2}・砂子 宗次朗^{*2}
山口 悟^{*2}・伊藤 陽 一^{*2}・横山 宏太郎^{*2}・富永 禎 秀^{*3}
上石 勲^{*2}・覺 道 由 郎^{*4}

要 旨

光学式ディストロメーターによって観測された粒径-落下速度分布と同時観測された気温とから、降水粒子の種類を自動分類して速報として Web 公開する仕組みを構築した。観測された粒径-落下速度分布はその時間帯の代表的な粒径、落下速度に変換され、分類ダイアグラムと気温のしきい値により何種類かの乾雪、霰、及び雨に分類される。2021年1月8日の新潟県上越市の大雪時には新潟県内6地点の乾雪の種類が地域、高度により異なっていたことを速報として示すことができた。湿雪については判定方法の改良が必要ながわかった。

1. はじめに

降水粒子の種類(雨、雪片、霰、霰、小粒子など、以下、降水種と略す)はZ-R関係を通してレーダー降水量推定に影響する(Nakai *et al.* 2022)。また、南岸低気圧による雲粒なし結晶起因の雪崩(中村ほか 2018)など、雪氷災害に対しても本質的な情報となることもある。近年では降水種分布は気象レーダーの偏波モーメントを利用して推定され、降水量評価に活用されている(Kouketsu *et al.* 2015; 増田ほか 2018)が、レーダー観測高度の高さや推定に利用するZ-R関係式の選択など課題も残している。

防災科学技術研究所では地上観測とレーダーを併用した降雪量推定手法の開発を行っている。その一環として光学式ディストロメーター観測値から降水種分類

を行い降雪粒子観測速報として Web 公開する処理系を作成した。公開したのは新潟県内6地点、雪崩観測点3地点、関東地方5地点である(第1図a)。

降水粒子観測には市販の光学式ディストロメーターであるThies社製LPM(Adolf Thies GmbH & Co. KG 2021)を使用している(第1図b)。LPMを用いているのは、1)計測特性が明確(中井ほか 2020)でファームウェアが安定している、2)内蔵ヒーターが冠雪に強い、3)CMF法(2.1節)による降水種判別用途であれば粒径計測最大値の小ささ(9mm弱)が問題になりにくい、が主な理由である。LPMにはTelegramと呼ばれる観測値収集設定が何種類か組み込まれており、本報告で述べる観測データは全て1分間隔で、粒径 D (mm)22ピン、落下速度 V (m s^{-1})20ピンの2次元のヒストグラムに離散化した分布(particle size-velocity distribution; PSVD)が得られる設定(Telegram4もしくはTelegram5、以後、Adolf Thies GmbH & Co. KG (2021)に合わせてTelegram4/5と表記する)で取り出したものである。それを数分間隔でデータ管理用のサーバーに自動集積するよう運用されている。

本報告ではこの集積されたデータから自動的に降水種分類を行い、Web公開するまでの処理内容について述べる。

*1 (連絡責任著者) 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター。

saint@bosai.go.jp

*2 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター。

*3 新潟工科大学。

*4 長岡技術科学大学。

—2022年6月6日受領—

—2022年8月5日受理—

2. 観測値の速報処理

2.1 アルゴリズム

速報処理は10分ごと更新で行っており、その内訳は次の通りである。まず、計測特性を考慮したフィルタリング(中井ほか 2020)を行い、異常とみなせる値を除く。次に、粒径-落下速度分布を Center of Mass Flux distribution (CMF) 法 (Ishizaka *et al.* 2013) を用いて代表的な粒径、落下速度のペアに変換する。CMF 法では、個々の降水粒子についてその粒径 D (mm) 及び落下速度 V (m s^{-1}) から質量 m (D, V) (mg) を求める。この処理には降水種ごとの D と m の関係式及び D と V の関係式 (Nakaya 1954; Locatelli and Hobbs 1974; Atlas and Ulbrich 1977; 石坂 1995) から補間により作成したテーブルを用いる。

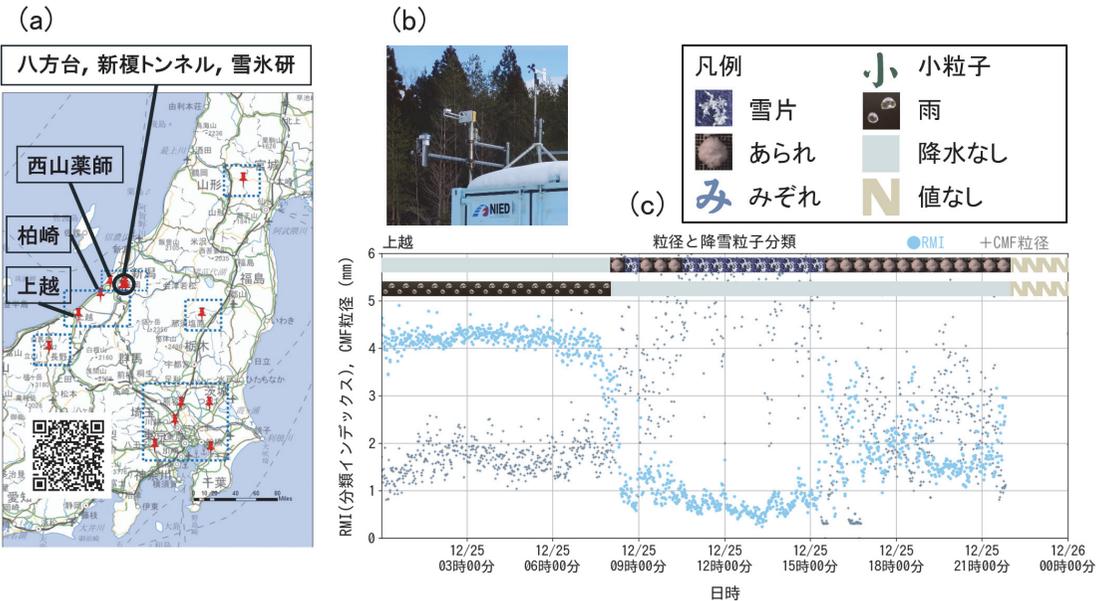
ここで、全粒子の数濃度 N (m^{-3}) を考えると、粒径軸 D (mm) と落下速度軸 V (m s^{-1}) とで張る空間における粒径・落下速度分布 $n(D, V)$ は

$$N(D, V) = \partial^2 N / \partial D \partial V \quad (\text{m}^{-3} \text{mm}^{-1} (\text{m s}^{-1})^{-1}) \quad (1)$$

で表せる。しかし、LPM のような“フラックス型 (flux scan-type; Katsuyama and Inatsu 2021)”光学式ディストロメーターでは、単位体積中の粒子数 N (m^{-3}) に計測空間の体積を掛けた数を測るのではなく、単位面積を通過する粒子数 N' (m^{-2}) に計測面積を掛けた数を計測するので、単位時間内に計測される粒子が存在する計測空間の高さは $V \times 1$ (m) である。従って、LPM によって得られる N' と数濃度分布 $n(D, V)$ との関係は

$$N(D, V) = (1/V) \partial^2 N' / \partial D \partial V \quad (\text{m}^{-3} \text{mm}^{-1} (\text{m s}^{-1})^{-1}) \quad (2)$$

となる。質量フラックスの分布 $f(D, V)$ は



第1図 降雪粒子観測速報 Web サイトと速報画像及び観測地点の例。(a) 速報 Web サイトトップ画面と2次元バーコード (<https://yukibousai3.bosai.go.jp/~kansoku/CMFopen/CMFCLASST/html/>, 2022.7.13閲覧)。第5図に使用した地点の名称も示す。(b) 柏崎(新潟工科大学)観測地点。LPM(写真中央)のほか温湿度計を入れた強制通風筒と風車型風向風速計を備える。(c) 当日分の速報値の例(2020年12月25日, 上越)と凡例。表示内容は30分毎の降水種分類, 1分毎の代表的な粒径及びRMI(いずれも2節参照)である。降水種分類は2段に分け、乾雪は上段に、雨及び霰は下段に表示している。なお、観測休止や通信環境の関係でデータがアップロードされない場合は、その観測点は表示をしないよう運用している。背景地図には地理院地図(電子国土 Web, <https://maps.gsi.go.jp/>)を使用。

$$f(D, V) = m(D, V) V n(D, V) \quad (\text{mg s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ mm}^{-1} (\text{m s}^{-1})^{-1}) \quad (3)$$

で表すことができ、この分布で重み付け平均した粒径 D_c (mm) 及び落下速度 V_c (m s^{-1}) を

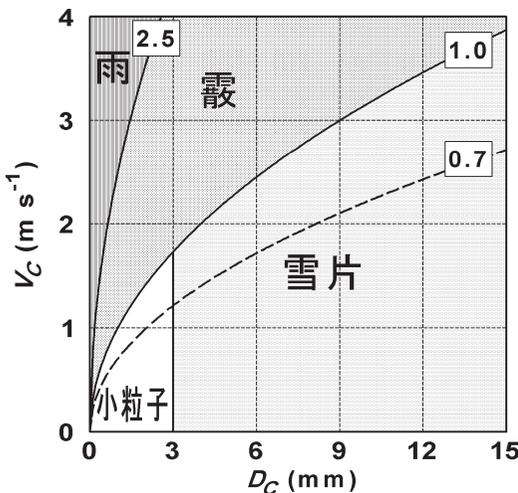
$$D_c = \frac{\int f D dD dV}{\int f dD dV}, V_c = \frac{\int f V dD dV}{\int f dD dV} \quad (4)$$

によって得る。この D_c , V_c のペアを CMF (Center of Mass Flux distribution) と呼ぶ。なお、(3) 式を粒径、落下速度空間で積分して ((4) 式の分母) 10^{-6} を乗じると単位は ($\text{kg s}^{-1} \text{ m}^{-2}$) となり、これは水の密度を 1 と仮定して降水強度 (mm s^{-1}) とみなせる。

この D_c , V_c を用いて定義する Riming and Melting Index (RMI; Nakai *et al.* 2022)

$$\text{RMI} = V_c / D_c^{0.5} \quad (5)$$

及び気温を用いて降水粒子の分類を行う。分類に用いる RMI のしきい値は、第 2 図に枠囲いで示す数値である。ただし、雪片の分類については、2 種類に分けている Nakai *et al.* (2022) に対し、1 種類とすることで簡略化する。分類のフローチャートを第 3 図に示す。



第 2 図 降水粒子分類区分。 D_c , V_c は CMF 法による代表的な粒径と落下速度。枠囲いの数字は (5) 式の RMI。実線と影は乾雪に対する分類、ただし $\text{RMI} \geq 2.5$ は粒径・落下速度からは雨に相当するため雨としている。破線は湿雪分類有無の境界である。

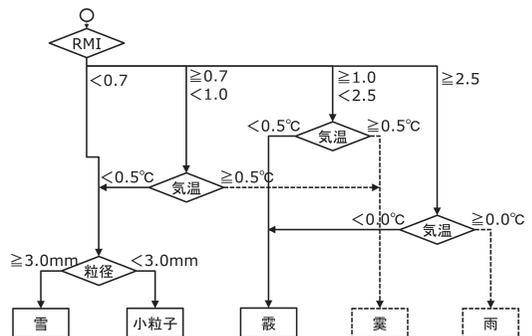
RMI が 0.7 より小さい場合は粒径に対して落下速度が十分小さく湿雪や雨とは考えにくいので、気温判定を行わず D_c によって雪または小粒子と判定する。

RMI が 0.7 以上の場合には、気温を用いて湿雪の可能性を考慮した (第 2 図破線及びその上方)、 $0.7 \leq \text{RMI} < 1.0$ 、及び $1.0 \leq \text{RMI} < 2.5$ の場合は固体もしくは湿った固体降水と判断し、同時観測されている気温が 0.5°C 以上で霰、それ以下で RMI により雪片または霰とした (第 3 図)。なお、新榎トンネル観測点については気温の観測がないため、防災科学技術研究所雪氷防災研究センター (以下、雪氷研と表記する) の観測点の値に湿潤断熱減率を用いた高度補正を行ったもので代用した。気温 0.5°C というしきい値は経験的なものである。雪氷研における降雪時の湿度が 90% 程度のことが多いことと、Matsuo *et al.* (1981) の輪島における乾雪と湿雪の境界が湿度 90% で約 0.5°C になること、古市・松澤 (2009) の調査 (図 2.1.9) でも同様であることを考え合わせてこの値に設定した。

RMI ≥ 2.5 の場合は、第 2 図に示す通り、通常は雨のはずである。しかし、気温が低い場合は霰の落下速度の異常値、凍雨、雹の可能性があるので霰に含め、気温が高い場合は雨とした。霰は 0°C 以上でも降る (梶川 1976) 一方で、雨氷など着氷性の雨は 0°C 以下で降ることが多い (Matsushita and Nishio 2008) ため、本来、このしきい値は気温のみからは一義的に決まらない。現時点では気温のみを使用しているため、 0°C で霰と雨に分けるようにした。湿雪に関するしきい値の検討は現状十分ではなく暫定的である。

2.2 データ処理

各観測点の LPM による粒径・落下速度の観測データは LPM の Telegram4/5 の書式でローガーまたは PC



第 3 図 降水分類のフローチャート。破線が湿雪または雨を表す。

に記録され、そのデータが日別1ファイルの形で管理用サーバーに数分毎更新で自動アップロードされる。この処理は観測点毎にハードウェア構成に応じて行われているが、サーバーにアップロードされた時点で1) Telegram4/5書式であり、2) 日別である、ことが統一されるようになっている。気温データは、観測地点によってLPMとは別に月別ファイルで、もしくはLPMデータに含まれて日別ファイルで同様に更新アップロードされる。

LPMデータ、気温データ共に10分サイクルで管理用サーバーから速報処理ワークステーションにダウンロードされて処理される。使用したLPMデータには観測点のログとPCによるデータ回収処理に依存する細かい書式の差異があるが、その差異は読み込み時点で吸収し、以後の処理を共通化するようにした。気温データファイル書式の差異も読み込み時点の処理において吸収した。

LPMデータ分解能は1分であり、速報処理では1分毎にCMFを求めた後に降水量重み付きで平均した30分毎(毎時の00~30分及び30~00分)のCMFを求めている。さらに、その値と30分平均気温を用いて30分毎の降水種分類結果を得る。このとき、降水粒子データの1分値が15以上得られなかった場合はデータなしとした。なお、降水なしでも粒子0個としてデータファイルは作成される。10分サイクルで処理をしているのは通信等によるエラーや遅延への対策であり、重複処理となる部分は上書き更新される。以上の処理は、Linux上でC-shell, Fortran, AWK, Pythonを用いて作成した。

降雪粒子観測速報トップページ(第1図a)では地図上に観測地点の位置をピンで示しており、ピン付近

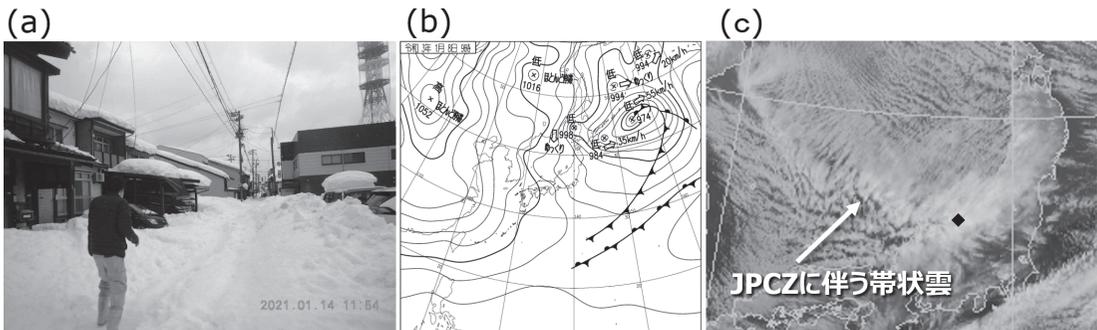
をクリックすることで新潟県、関東、もしくは雪崩観測点の当日分の速報値(第1図c)が表示される。得られた30分毎の降水種分類結果は、ひと目でわかるように画像を用いて表示し、かつ、乾雪は上段に、雨及び霽は下段に分けて表示するようにした。現状では降水粒子の特性を見るため1分毎のCMF粒径 D_c とRMIを重ね書きしている。値の細かい変動がわかるが、一般的にわかりやすい指標ではないので改良が必要と考えている。

3. 大雪事例において観測された降水種の空間分布

2021年は年明け1月6日から15日にかけて交通障害、休校、住宅破損などの雪氷災害が多発した。新潟県上越市高田では6時間降雪量で46cm、24時間降雪量で103cmなど、6時間~48時間積算の降雪量が統計開始以来の極値を更新し、その全てが1月8日に起時があった(新潟地方気象台 2021)。このため、上越市においては1月11日までの降雪後数日たっても除雪が追いつかないほどの積雪となった(第4図a)。

1月8日の日本海西部の地上等圧線パターンは日本海西部に低圧部が見られる状態(第4図b)ではほぼ変化がなく、気象衛星ひまわり赤外画像ではJPCZ(日本海寒帯気団収束帯; 浅井 1988)に伴う発達した帯状雲が石川県から新潟県にかけて上陸し続けた(第4図c)。

このとき、新潟県内の上越から八方台(長岡市)まで6地点で降雪分類の速報値が得られていた(第5図)。上越から雪氷研にかけての分類は、大まかに西南西一東北東方向の海岸線に沿った地理的な差異を表す。1月8日0時には八方台以外全ての観測点で霽と判定されていたものが、雪氷研から上越へと順に雪片に変化し、降雪が続く中で異なる降雪系に入れ替わっ



第4図 (a) 2021年1月14日正午前の上越市内の状況。(b) 2021年1月8日09JSTの地上天気図。(c) 2021年1月8日1430JSTの気象衛星ひまわり赤外画像。◆は上越の位置を表す。(b)(c)は気象庁Webサイトの画像を使用した。

たことが推測される。

雪氷研（センサー標高101m）から八方台（センサー標高565m）までは、近接した地点の標高による差が見られることがある。1月8日には八方台では13時30分から21時30分にかけて霰判定が見られたが、新榎トンネル（センサー標高168m）での霰判定は17時から18時の1時間程度であり、雪氷研では霰判定は見られなかった。このような差異をレーダーによる3次元的な降雪分布と比較することで、雪雲の雲物理的な構造の解析や降雪量推定の改良につなげられると考えている。

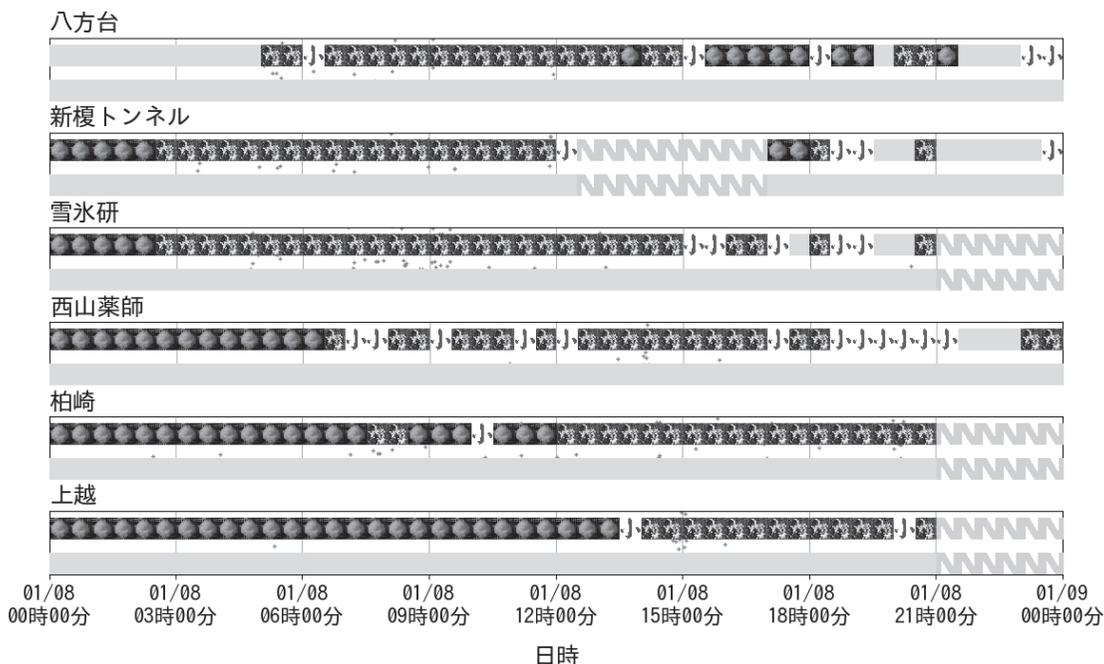
4. まとめと今後の課題

本報告では、光学式ディストロメーターを用いた降水粒子観測に基づき、“今降っている降水種”を速報としてWeb公開できることを示した。乾雪についてはこれまでの研究に基づいた分類を適用することが可能であり、第5図に示したように観測点を分布させることで、卓越降水粒子の地理的な差異、標高による差異を観測速報として得ることができた。近年、降雪粒子を観測できる安価な測器の開発も行われており、複数

の降水種が混在する状態を判別する手法も開発されている（Katsuyama and Inatsu 2020, 2021）。このような測器や手法が現れたことで、本稿で示した降雪粒子観測速報を面的な分布として得ることがより現実的になってきたと言える。

しかし、湿雪については、大きな改良の余地を残す。2020年12月25日もまとまった降雪があったが、この事例では雨から雪に変わった後も気温が0.3℃前後で推移し、本研究の速報では第3図の判別により雪または霰と判定し続けた（第1図c）。しかし、約2.5km離れた気象庁高田特別地域気象観測所の観測（「感雨器により降水現象を観測した際に、気温および相対湿度の観測値から雨／みぞれ／雪を判別」している。気象庁Webサイトより；<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/chijyou/surf.html>）では、6時過ぎごろまでは雨であったが、その後霰と雪とが入れ替わり記録されていた。気温は2観測点でほとんど差がなかった。

乾雪、湿雪の判別について本報告では現在の方法を記述したが、これはかなり簡易な方法である。湿雪（融解）の発生については気温に加えて相対湿度が影響す



第5図 2021年1月8日の上越から八方台まで6地点の降雪粒子観測速報から、30分毎の降水種分類のみを切り出して並べた。分類は2段に分け、乾雪は上段に、雨及び霰は下段に表示している。観測地点の位置は第1図に示す。21時以降データなしとなっているのは通信上の問題と思われる。

るため (Matsuo *et al.* 1981), 今後, 相対湿度を考慮した判別をするよう改良したい. Misumi *et al.* (2014) では雪片について地上気象要素による降水中の含水率推定式

$$F_L = a_1 T + a_2 RH + a_3 R + a_4 \quad (6)$$

を提案している. ここで, F_L は含水率, T は気温 ($^{\circ}\text{C}$), RH は相対湿度 (%), R は降水強度 (mm h^{-1}), $a_1 = 0.371$, $a_2 = 0.0391$, $a_3 = -0.0668$, $a_4 = -3.17$ は実験的に得られた係数である. 2020年12月25日の気温 0.3°C 前後で推移した期間において, (6) 式による F_L は上越観測点, 気象庁高田観測点ともに0.6程度で推移し, 湿雪と判定するのが妥当であったと考えられる. 雨, 霰, 雪の判別式としては古市・松澤 (2009) の式が気象庁の降水種別ガイダンスに用いられており (土田 2018), 別途, 気象庁 (2011) 記載の式が気象庁 JMA-10型地上気象観測装置に用いられている. このいずれかの式を用いることも検討する.

霰など落下速度の大きい粒子についての乾湿判別は, 2節に述べたように気温で一義的に決めることは難しい. しかし, レーダー偏波モーメントでは霰とぬれ霰が分けて推定される. 本研究の速報値とレーダーと比較するためには, 湿った雪片とぬれ霰に関する判別の改良, 及び現在の手法で扱っていない霰の判別は避けて通れない課題である. ひきつづきアルゴリズム開発を進めるとともに, 表示方法についてもより一般向けに適したものに改良していきたい.

謝辞

本研究は, 防災科学技術研究所「変容する雪氷災害軽減のための危険度把握と面的予測技術の融合に関する研究」, 東日本旅客鉄道株式会社・防災科学技術研究所共同「鉄道沿線における降雪の面的把握に関する研究」, 科研費基盤研究 (C) 18K03766, 新潟工科大学・防災科学技術研究所共同「新潟県沿岸地域における降雪粒子・気象特性観測研究」, 千葉大学・防災科学技術研究所共同「地上降水・気象観測データを用いた降雪の面的把握に関する研究」によります.

参考文献

Adolf Thies GmbH & Co. KG, 2021: Laser Precipitation Monitor: Instruction for Use. 72pp.
https://www.thiesclima.com/db/dnl/5.4110.xx.x00_

- Laser_Precipitation_Monitor_eng.pdf (2022.6.6閲覧)
 浅井富雄, 1988: 日本海豪雪の中規模的様相. 天気, 35, 156-161.
 Atlas, D. and C. W. Ulbrich, 1977: Path- and area-integrated rainfall measurement by microwave attenuation in the 1-3cm band. J. Appl. Meteor., 16, 1322-1331, doi:10.1175/1520-0450(1977)016<1322:PAAIRM>2.0.CO;2.
 古市 豊, 松澤直也, 2009: 最大降雪量ガイダンス. 平成21年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 27-38.
 石坂雅昭, 1995: 雲粒付雪片の落下速度について. 雪氷, 57, 229-238, doi:10.5331/seppy.57.229.
 Ishizaka, M., H. Motoyoshi, S. Nakai, T. Shiina, T. Kumakura and K. Muramoto, 2013: A new method for identifying the main type of solid hydrometeors contributing to snowfall from measured size-fall speed relationship. J. Meteor. Soc. Japan, 91, 747-762, doi:10.2151/jmsj.2013-602.
 梶川正弘, 1976: 霰の密度の観測. 天気, 23, 685-695.
 Katsuyama, Y. and M. Inatsu, 2020: Fitting precipitation particle size-velocity data to mixed joint probability density function with an expectation maximization algorithm. J. Atmos. Oceanic Technol., 37, 911-925, doi:10.1175/JTECH-D-19-0150.1.
 Katsuyama, Y. and M. Inatsu, 2021: Advantage of volume scanning video disdrometer in solid-precipitation observation. SOLA, 17, 35-40, doi:10.2151/sola.2021-006.
 気象庁, 2011: 地上気象観測指針 (令和2年4月1日改正版). 気象庁, 118pp.
 Kouketsu, T., H. Uyeda, T. Ohigashi, M. Oue, H. Takeuchi, T. Shinoda, K. Tsuboki, M. Kubo and K. Muramoto, 2015: A hydrometeor classification method for X-Band polarimetric radar: Construction and validation focusing on solid hydrometeors under moist environments. J. Atmos. Oceanic Technol., 32, 2052-2074, doi:10.1175/JTECH-D-14-00124.1.
 Locatelli, J. D. and P. V. Hobbs, 1974: Fall speeds and masses of solid precipitation particles. J. Geophys. Res., 79, 2185-2197, doi:10.1029/JC079i015p02185.
 増田有俊, 板戸昌子, 谷口和哉, 境 和宏, 上田 博, 山下克也, 中井専人, 2018: XRAIN を用いた冬期降水量推定精度の向上. 土木学会論文集 B1 (水工学), 74, 185-190, doi:10.2208/jscejhe.74.L.85.
 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, 462-476, doi:10.2151/jmsj1965.59.4_462.
 Matsushita, H. and Nishio F., 2008: A simple method of discriminating between occurrences of freezing rain and ice pellets in the Kanto Plain, Japan. J. Meteor. Soc.

- Japan, 86, 633–648, doi:10.2151/jmsj.86.633.
- Misumi, R., H. Motoyoshi, S. Yamaguchi, S. Nakai, M. Ishizaka and Y. Fujiyoshi, 2014: Empirical relationships for estimating liquid water fraction of melting snowflakes. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 53, 2232–2245, doi:10.1175/JAMC-D-13-0169.1.
- 中井専人, 山下克也, 本吉弘岐, 熊倉俊郎, 村上茂樹, 勝島隆史, 2020: 球体を用いた室内試験と全粒子ロギングによる1ビーム光学式ディストロメーターの特性評価. *天気*, 67, 89–108, doi:10.24761/tenki.67.2_89.
- Nakai, S., K. Yamashita, H. Motoyoshi, T. Kumakura, S. Murakami and T. Katsushima, 2022: Relationships between radar reflectivity factor and liquid-equivalent snowfall rate derived by direct comparison of X-band radar and disdrometer observations in Niigata Prefecture, Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, 100, 45–56, doi:10.2151/jmsj.2022-002.
- 中村一樹, 上石 勲, 根本征樹, 小杉健二, 山口 悟, 伊藤陽一, 平島寛行, 本吉弘岐, 佐藤研吾, 安達 聖, 阿部 修, 内山庄一郎, 鈴木比奈子, 飯田 肇, 西村浩一, 河島克久, 松元高峰, 渡部 俊, 伊豫部 勉, 阿部幹雄, 阿部直樹, 竹内由香里, 勝島隆史, 近藤伸也, 2018: 那須雪崩災害の現地調査. 2017年3月27日に栃木県那須町で発生した雪崩災害に関する調査研究 (平成29年度科学研究費補助金研究成果報告書), 1–20.
- Nakaya, U., 1954: *Snow Crystals: Natural and Artificial*. Harvard University Press, Cambridge, 510pp.
- 新潟地方気象台, 2021: 令和3年1月7日から11日にかけての急速に発達した低気圧及び強い冬型の気圧配置に関する新潟県気象速報. https://www.jma-net.go.jp/niigata/menu/sokuhou/20210107-11_sokuhou.pdf (2022.6.6閲覧)
- 土田尚侑, 2018: 降雪ガイダンス. 数値予報課報告別冊「ガイダンスの解説」, (64), 気象庁予報部, 119–131. https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/nwpreport/64/No64_all.pdf (2022.7.6閲覧)

An Automatic Solid- and Liquid-Phase Hydrometer Classification System Based on Optical Disdrometer Observations

Sento NAKAI^{*1}, Hiroki MOTOYOSHI^{*2}, Katsuya YAMASHITA^{*2}, Sojiro SUNAKO^{*2},
Satoru YAMAGUCHI^{*2}, Yoichi ITO^{*2}, Kotaro YOKOYAMA^{*2},
Yoshihide TOMINAGA^{*3}, Isao KAMIISHI^{*2} and Yoshiro KAKUDO^{*4}

^{*1} (Corresponding Author) *Snow and Ice Research Center, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience.*

^{*2} *Snow and Ice Research Center, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience.*

^{*3} *Niigata Institute of Technology*

^{*4} *Nagaoka University of Technology*

(Received 6 June 2022; Accepted 5 August 2022)

Abstract

An automatic hydrometer classification system was constructed, and the result was opened on the Web site. The classification system used optical disdrometer observations of the size–fall speed distribution of precipitation particles and collocated temperature observations. The observed size–fall speed distributions were converted into a pair of representative size and fall speed and used for classification into several kinds of solid precipitation, sleet, and rain, using a diagram and temperature thresholds.

The classification system showed that the solid hydrometeor classes of six observation sites were different according to geographical location and altitude during heavy snowfall in the Niigata Prefecture on January 8, 2021. The classification method of wet particles will be improved in future studies.