

平成 30 年 9 月 3 日現在

機関番号：14403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05287

研究課題名(和文) 精度良い降雪量観測に向けた降雪粒子自動観測の試行

研究課題名(英文) A trial methods to measure the amount of precipitation more accurately by getting the size and shape information of solid precipitation particles automatically

研究代表者

小西 啓之 (Konishi, Hiroyuki)

大阪教育大学・教育学部・教授

研究者番号：70178292

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、南極などの寒冷地に降る弱い降雪の量を光学式雨量計を用いてより精度良く降雪量を推定する方法を見出すことである。光学式雨量計で測定された粒径と落下速度から個々の粒子体積と密度を与え、その和から求めた降水量と電子天秤を用いた重量法から求めた降雪量との比較を行った。両者の差は、降雪粒子の形状やタイプに依存すると考え、降雪粒子の顕微鏡写真を連続自動で観測できる装置を作成した。

研究成果の概要(英文)：This study attempts to provide better methods to estimate amount of solid precipitation, especially small amount of precipitation by small size snow particles in Antarctica, more accurately by using some disdrometers which measure sizes and fall velocities of all precipitation particles passing through the laser beam. The simultaneous observation of snowfall rate by using the electric balance to measure the weight of amount of snowfall were carried out to valid the snowfall rate in 3 winter seasons at Rikubetsu/Hokkaido in northern part of Japan. A new instrument assembled to take photographs of snow particles continuously and automatically every minute by USB microscope camera was also used to get snow particle shape. The size and shape of snow particles obtained from the microscope photographs were compared to the size distributions and estimated snowfall rate from disdrometers.

研究分野：気象学

キーワード：降雪量測定 雪結晶観察 光学式雨量計

1. 研究開始当初の背景

降雨量の測定に比べ降雪量の測定は、風に流されやすいため捕捉率が低いこと、凍結するため測器の取り扱いが難しいこと、そもそも降水量が少ないため測定そのものが難しいことなどの困難さがあり、信頼されるデータがないのが現状である。また、直接的に降雪量を測定するのではなく、レーダーや衛星観測などリモートセンシングによる間接的な降雪量測定法(推定法)もあるが、降雪粒子の形状は降雨粒子のような球状だけではなく種々の様々な形状があるため、その推定値には大きな誤差が含まれる問題点がある。また観測ではなく客観解析データを使った数値モデルから降水量を推定するという研究も近年増加しているが、実際の真値である降雪量がほとんど測定されていないことから、比較評価が難しいという問題がある。

一方、近年(多少の風があっても計測できる)光学式降水量計が降水量観測に使われるようになり、筆者らも新潟県長岡や北海道の陸別で2009年から降雪観測を行い降雪量の推定法に関する研究を始めた。その方法は、光学式降水量計で測定される個々の降水粒子の粒径と落下速度から粒子の見かけ密度を与え、その質量を求め、それらの総和として降雪量を求める方法で、比較的精度の良い降雪量測定法であることを気象学会や雪水学会で発表してきた。これらの過程で光学式降水量計を用いれば、氷晶などの小さい粒径の降雪粒子が多い極域の降雪に対しても詳細な降雪量変動を観測できると考え、2014年からは、より低温下での微小降雪粒子による降雪量を測るため北海道の陸別で種々の光学式降水量計を用いて降雪観測を行い、光学式降水量計の種々の降雪粒子に対する特性および降雪量見積りについて観測的研究を行うようになった。その結果、よりよい降雪量の推定のためには光学式降水量計の測定値のみではなく、降雪粒子そのものの形状と比較し、降雪粒子の形状に対する光学式降水量計の特性を明らかにしその関係を利用すれば、精度良く降水量が推定されると結論した。そこで本研究では、降雪粒子の形状を記録するために新たに降雪粒子観測装置の開発を行い、降雪粒子の形状を記録する手法とそれを用いた精度良い降雪量観測法の研究を行うことにした。

降雪量の精度の良い観測手法の開発は、古くて新しい問題で、陸別で行った降雪量観測も世界気象機関(WMO)が中心となり世界15ヶ所の観測点で現在行われている固体降水測定法比較計画(Solid Precipitation Intercomparison Experiment: SPICE)の一翼を担っており、共通の仕様の防風柵や降雪量計を用いて種々の降雪量観測手法の比較を行い、国際的に共通な降雪量観測手法を見出す研究が行われている。また世界降水計画として衛星による極域も含めた地球全体の降水量観測が実行されつつあることや、南極

昭和基地付近では極域の水循環に関する研究計画が進んでおり、極域の精度のよい降雪量の測定法が求められていること、などが本研究を計画した動機である。

2. 研究の目的

本研究は、降雪量の正確な見積りのため、近年開発された光学式降水量計を用いた降雪量見積り法の確立、および、その降水量をより正確に見積もるため降雪粒子の形状を連続観測する手法の確立を目指す。具体的には(1)降雪粒子検証のためのUSB顕微鏡を用いた降雪粒子の自動観測装置の試作およびそれを用いた降雪粒子観測、(2)種々の降雪粒子に対する光学式降水量計の感度試験、を行い降雪量見積りのために有効な降雪量測定法について研究を行う。

3. 研究の方法

(1). 降雪粒子連続観測装置の試作

降雪粒子の形状の記録は、近年レーザー光を用いて2次元の像で示す測器などが開発され、一昔前に比べ詳細な粒子の形状の記録が可能になっているが、顕微鏡で見なければわからないような1mm以下の小さい粒子や雪が融解過程でみぞれになっている粒子の融解程度については、レーザー光による影の像ではなく実際の降雪粒子の画像からしか粒子の詳細を知ることができない。本研究ではUSB顕微鏡を用いて、一定時間間隔で降雪時の粒子の形状を撮影記録する装置の開発を行う。

(2). 降雪粒子連続観測装置と光学式降水量計の比較観測から、より精度の高い降雪量推定法の確立。

光学式降水量計の測定値を用いた降雪量見積り法を降雪粒子の形状因子を入れて改善し、より精度の高い降雪量見積り法を見出す。粒子の形状の違いが、光学式降水量計で測定される粒径と落下速度の分布に影響すると考えられるので、降雪粒子の形状と光学式降水量計の観測値を比較し、降雪粒子の形状に対する光学式降水量計の特性を明らかにし、精度良い降雪量推定法の開発を行う。

4. 研究成果

(1). 降雪粒子自動観測装置の試作

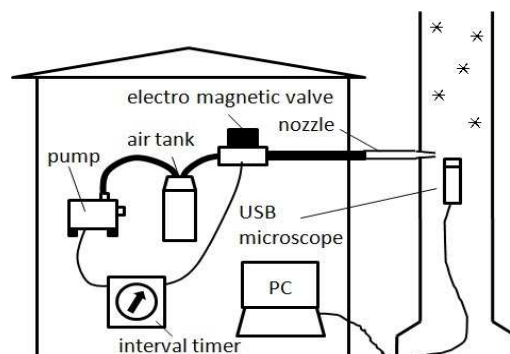


図1. 降雪粒子自動観察装置の概略図

降雪粒子の形状を記録する方法として自動観察装置を試作した。この装置は観察部と装置に積もる雪の除去部からなり、観察部は直径 10cm 高さ 0.8m の塩ビ管内に USB 顕微鏡カメラ (Dino-Lite) を鉛直上向きに設置し、カメラ上に落下した降雪粒子を下から観察撮影する装置である。顕微鏡は氷晶程度の大きさを調べるため最大倍率の 210 倍にし、2.4mm×1.7mm の範囲を撮影した。撮影した映像は、USB ケーブルで接続した屋内のパソコンに表示され、30 秒間隔で画像を収録した。撮影面に雪粒子が積もり、撮影視野が悪くならないよう積もった雪を吹き飛ばす積雪除去部として、カメラ上部にノズルから間欠的に圧縮空気が送られるようタイマー、電磁弁、ポンプなどを配置し、1 分毎に間欠的に空気を噴射し、観測視野が晴れるようにした。その装置の概要を図 1 に示す。

この降雪粒子自動観測装置は、観測視野が狭いため、十分な数の雪結晶画像が得られない可能性があったので複数台作成し、研究初年度の 2015/16 と 2 年目の 2016/17 の冬季は 4 台、最終年の 2017/18 の冬季は 6 台、観測に使用した。図 2 には、得られた雪結晶画像の一例を示す。

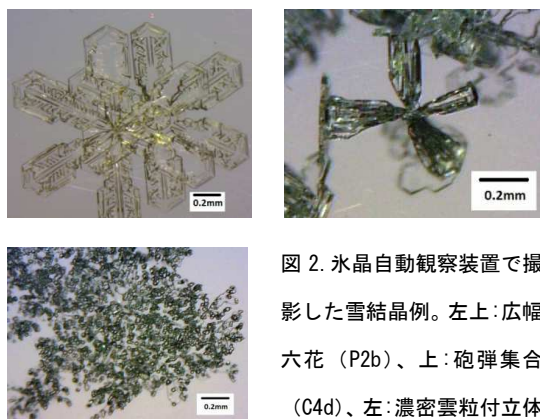


図 2. 氷晶自動観察装置で撮影した雪結晶例。左上：広幅六花 (P2b)、上：砲弾集合 (C4d)、左：濃密雲粒付立体 (R2d)

(2). 降雪粒子連続観測装置と光学式降水量計の比較観測

南極や北極の極域で降るような小さい雪結晶からなる雪は、低温な大気中で形成される。このような単結晶の氷晶あるいは砲弾集合などの多結晶雪が比較的多く観測されるのは、国内では北海道内陸部にほぼ限られ、本研究の比較観測は、北海道中央部の陸別で 3 冬間行った。

粒径と落下速度を測定できる光学式雨量計として OTT parsivel、Thies Laser Precipitation Monitor (LPM) の 2 種の雨量計を用いた。Parsivel は粒径 26mm までを 32 クラス、落下速度 22.4m/sec までを 32 クラス、一方、LPM は粒径 8.5mm までを 22 クラス、落下速度 10m/sec までを 20 クラス、に 1 分間に降った降雪粒子をそれぞれクラス分けして集計する装置である。また、同時に天秤法による降雪量測定も行った。天秤法は、弱風

時しか良いデータは得られないが、より真値に近い降雪量を測定することができる。

多種複数の降雪量計や降雪粒子自動観測装置を設置した陸別観測点での観測風景の概要を図 3 に示す。



図 3. 観測風景。高さ 2m の位置に光学式雨量計、地上の防風ネットの内側には、天秤式降水量計や降水粒子自動観測装置を設置した。

次に観測結果の一例としてとして図 4 に、降雪強度が大きい降雪の事例として 2015 年 2 月 13 日 (上段) と降雪強度が小さい事例として 2014 年 12 月 29 日 (下段) の観測例を示す。真値に近い天秤法による降雪量と光学式雨量計である LPM によって推定された降雪量の比較である。この図の事例では、弱い降雪時より強い降雪時の方が Parsivel の推定された降雪量が、天秤法による降雪量に近いことがわかる。このような弱い降雪時に推定値が小さくなる傾向は他の観測された降雪例にも多く見られた。

このような系統的な差の原因を調べるため、光学式雨量計と同時に降雪粒子自動観測装置で降雪粒子の形状が観測された事例について、ひとつの試みとして降雪量の推定値との差と粒子の落下速度との関係を粒子の形状毎に調べた。図 5 は各降雪時における LPM や Parsivel のデータから見積もった降雪強度の割合と 1.25mm 粒子の平均落下速度との関係である。落下速度が小さいときは、推定値は小さくなり、落下速度が大きくなると推定値が真値 1 に近くなることがわかる。等しい粒径で落下速度が小さい場合とは、すなわち粒子の密度が小さいことを意味し、その場合には、見積もり量が小さくなること、逆に落下速度が大きく、すなわち密度が大きい粒子の場合には見積もり量が大きくなること示された。

降雪粒子連続観測装置で得られた雪結晶の形状を図 5 の事例に書き加えると、予想されたように雲粒付の重い粒子は図の上部、六花の樹枝などの落下速度の小さい粒子は図の下部に集まることがわかった。これらのことを考慮し、落下速度や粒径分布の補正をさらに加えれば降雪強度のより良い推定がで

きると考えられる。

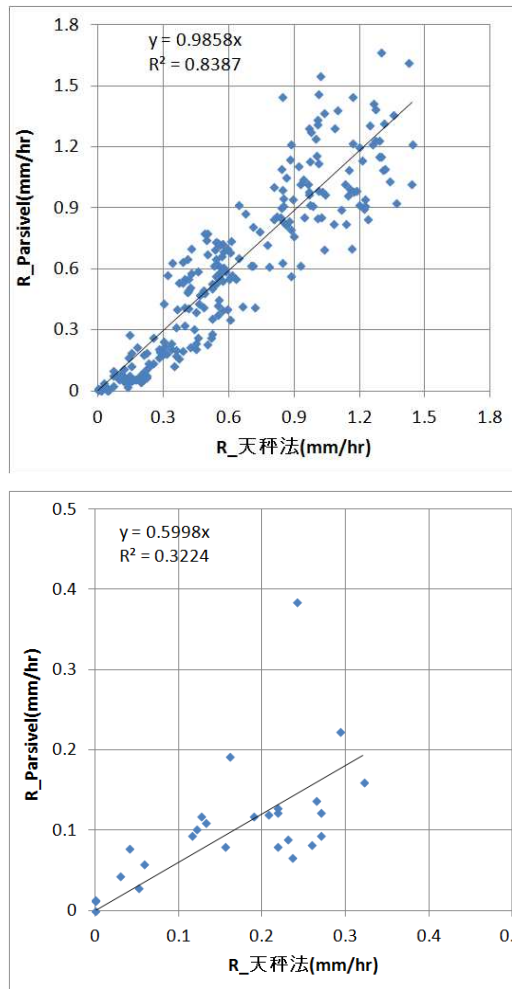


図4. 天秤法によって求められた降雪強度と光学式雨量計(Parsivel)のデータを用いて推定した降雪強度の比較。上：通常の降雪 2015/02/13、下：弱い降雪 2014/12/29

(3). GPM(Global Precipitation Measurement)衛星の DPR(Dual-frequency Precipitation Radar)の地上検証

地上降水量測定の実用例として 2016 年より GPM 衛星に搭載された DPR L2 降水量プロダクト (Ver. 3) と地上の降雪量との比較検証観測を行った。衛星による降水量計測値と地上の降水量の比較を行った結果、地上降水は観測されたが衛星では検出できない事例が数例見つかった。衛星による降雪検出の可否の原因を調べるため、各降雪時の地上観測で得られた粒径分布を調べたところ、DPR で降雪量を検出できた降雪は、相対的に大きい粒子の割合が多く、粒径分布の傾きが大きい事例であった。

実際の降雪粒子との対応を同時に行っていた雪結晶自動観察装置によって撮られた雪結晶写真から調べたところ、衛星で降雪を検出できた事例では樹枝状結晶や扇状結晶の大きな粒子が見られたのに対し、衛星で降

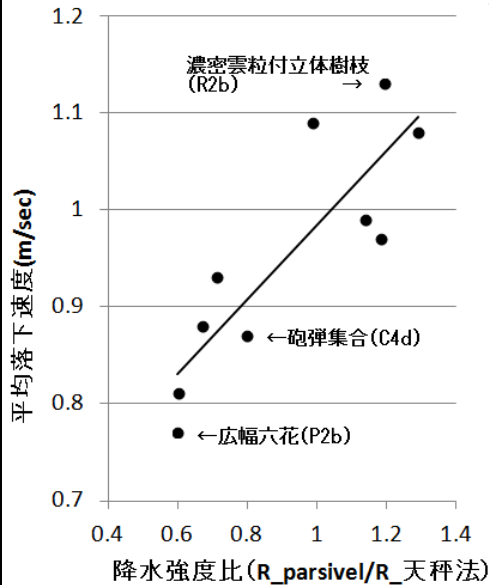


図5. 光学式雨量計(Parsivel)から推定した降雪強度と真値の比と降雪粒子の平均落下速度の関係

雪を検出できなかった事例では 1 mm以下の小さな氷晶クラスの粒子が観測された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 7 件)

①小西啓之、杉浦裕紀、多田遥、平沢尚彦：GPM 搭載 DPR と地上降雪量の比較検証観測、日本気象学会、2018。

②小西啓之、杉浦裕紀、平沢尚彦：地上降雪観測から推定される GPM 衛星二周波降水レーダで検出可能な降雪粒子の特徴、日本気象学会、2017。

③小西啓之：南極の降雪量を測る-陸別での降雪観測を利用して-、名古屋大学宇宙地球環境研究所陸別観測施設設立 20 周年記念シンポジウム、2017。

④H. Konishi and N. Hirasawa: Providing the better methods to estimate snowfall rate by using laser disdrometers. Proc., 17th Int. Conference Cloud and Precipitation at Manchester, England. 2016.

⑤小西啓之、野々村達也、平沢尚彦：光学式降水量計検証のための降雪粒子自動連続顕微鏡観察、日本雪氷学会、2015。

⑥小西啓之、野々村達也、平沢尚彦：光学式雨量計を用いた弱い降雪に対する降雪量推定、日本気象学会、2015。

⑦野々村達也、小西啓之、平沢尚彦：光学式雨量計を用いた降雪粒子の形状推定と検証、日本気象学会、2015。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小西啓之 (KONISHI, Hiroyuki)

大阪教育大学・教育学部・教授

研究者番号：70178292

(2)研究分担者

平沢尚彦 (HIRASAWA, Naohiko)

国立極地研究所・教育研究系・助教

研究者番号：10270422