

平成21年 5月28日現在

研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18310126
 研究課題名（和文）
 新規開発する雨雪判別器を用いた北陸地域の降積雪質量測定と雪氷防災への応用
 研究課題名（英文）
 SWE observation and analysis with newly developed rain/snow discriminator in Hokuriku
 研究代表者
 熊倉 俊郎
 長岡技術科学大学・工学部・准教授
 研究者番号：00272865

研究成果の概要：

季節的な大雪や強い降雪は雪国の社会生活に危険を及ぼす。これを避けるために除雪、防護柵設置、安全情報の配信などが行われているが、その際に、本来利用したいのにはできないのが、雨か雪かあられかの降水種別情報である。理由は、粒子種別を正確にかつ簡易的に自動で行う機器がないためである。そこで、ここでは簡易的な雨・雪・あられの判別器を試作し、特別なデータ処理により、自動では難しいとされる雪とあられの判別率を8割にまで高めた。また、この降水種別データを用い、未解明な課題に対して新たな知見を得た。

交付額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2006年度 | 12,400,000 | 3,720,000 | 16,120,000 |
| 2007年度 | 2,000,000 | 600,000 | 2,600,000 |
| 2008年度 | 1,300,000 | 390,000 | 1,690,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 15,700,000 | 4,710,000 | 20,410,000 |

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム化学、自然災害科学

キーワード：降雪降雨あられ判別、降雪質量、積雪質量、降雪積雪融雪数値モデル、積雪層水収支、底面融雪量、降雪観測、雪害防除

1. 研究開始当初の背景

現在、現業において自動で降雪水量を観測できる機器は存在しない。原因は、雨雪の区別ができないことであり、それができる機器は高価で、しかもそれらは固体降水に対して十分な着雪防止措置がなく、かつ、強風に対しての観測対策が為されていないことにある。一方で、降雪水量が計測できれば、災害の軽減対策、早期警戒などに対してより多くの正確な情報を提供できる。例えば、除雪、早期融雪、雪崩の警戒、水資源対策などがそれに

あたる。現状では降雪水量を知るための一つの手段として、降水量計での固体降水の融解測定が一般的に行われているが、そこには、固液判別手法が確立されていないことが問題となり、液体の雨と区別して観測することが困難な状況がある。また、降水量計に入る固体降水は流体力学的に機器を避ける傾向が強く、捕捉率補正を施す必要があると考えられている。さらに、降雪判別は、道路融雪の地下水利用に広く利用されているが、この機器では降雪質量測定はできないし、判別率

に関しても100%とは言えない状況にある。また、これらの問題の一つにあられとなって降る降水の把握がある。あられば、雪崩を引き起こすような弱層の形成や、視程障害の発生に關与するために、これらの把握も重要な課題である。

2. 研究の目的

雨・雪・あられなどの降水粒子の自動判別器を、安価で、着雪に強く、風にも左右されないものという観点により作成することを試みる。さらにそれを用いた観測を実施し、測定結果から、従来は解析が困難であった事例に關してその解析を試みる。

3. 研究の方法

すでに試作されていた粒子判別器を7台作成し、それらを、長岡技術科学大学、田村雪氷技術研究所（長岡）、防災科学技術研究所雪氷防災研究センター（長岡と妙高）、森林総合研究所十日町試験地、長岡国道事務所小出維持出張所、鉄道総合技術研究所塩沢雪害防止実験所の7か所に設置して、観測を行った防災研究センター（3年間）と十日町試験地（2年間のみ）では、画像処理型の大型粒子判別装置が併設されており、それらと比較することにより、判別アルゴリズムの作成を試みた。これは、当初にビデオ撮影から判別する予定であったが、人により判読に差があるなど問題点が多く、断念し、その代替として採用したものである。また、これらの結果から、現状の機器で不十分な点を明らかにする。

雪氷防災研究センターと十日町試験地では、画像処理型の大型粒子判別装置により真値に近い観測結果と比較検討できるために、本研究の光学式粒子係数器の出力に対しAD変換によるリアルタイム信号取得を冬季全体で実施し、アルゴリズムの妥当性の検討を行うこととした。しかし、大型粒子判別装置のデータ解析では、計測結果を人手により処理していたため、常時観測の結果と直接全部を比較検討することはできなかった。よって、大型粒子判別装置の出力を自動判別する手法の開発も行うこととなった。それにより、雨・雪・あられの判別結果とその他の気象状況の比較が、より正確に実施可能となる。その他の観測点については、当初想定したアルゴリズムにより、簡易的に判別可能である。

これらのデータを用いた応用に向けての解析については、適切な捕捉率補正手法を考慮した降水粒子ごとの降雪水量の導出、その結果を用いた積雪モデルの駆動について実施した。また、降水粒子種別と気温の關係につ

いて、従来は日本全体で数十年にわたるデータを用いて解析していたものを、年別、場所別に解析することが可能となった。よって、その解析を試験的に実施した。

4. 研究成果

試作した機器は、近赤外波長を用いたアクティブ型の光学式粒子計数器である。7箇所を観測を行ったところ、観測にあたっては次のような知見や結果を得ることができた。

- (1) 現状のセンサーは昼の明るい時間帯の測定に向かないようである。単純な照射と受光の仕組みでは不十分であり、ハードウェアに改善の余地がある。
- (2) 照射範囲が観測対象領域となるが、夜間の場合には、150×200×300(mm)程度の領域を観測している。照射と反射の時間差は見えていないために、領域内全てが計測対象となり、個々の受光信号に關しては意味を持たせることが困難であり、統計的な処理に依るしかない。
- (3) 風による観測機器の振動により、バックグラウンドの照射を拾っている場合には、擬似的な揺らぎの信号が捕らえられることがある。風向にも寄るため、風向風速計との併設が必要になるが、装置の簡便さも考慮しなければならないため、この点もハードウェア的に解決する必要がある。
- (4) 当初の判別アルゴリズムでは、粒子の落下速度に相当する「受光信号の継続時間」だけを基として判別する予定であったが、詳細な時系列信号（0.1ms間隔）を全て観測して検討したところ、最大信号強度も重要なパラメータの一つであることが判明した。
- (5) 風などにより照射領域に斜めに入射する粒子の場合、0.1ms毎の計測からは、最大信号強度を記録した時間に対して左右対称な受光信号になっていないことがわかった。しかし、この事実を判別率改善に対してどのように有効に活用できるかは、現時点では不明である。

以上の結果により、次期の装置開発の目処を立てることができた。

判別アルゴリズムに關わる部分で得られた知見や結果は以下の通りである。

- (6) AD変換による0.1ms毎の信号強度計測を常時的確に行うソフトウェアを開発した。
- (7) 画像処理型の粒子判別器の測定結果の自動処理に關しては、みぞれの場合は自動で判別することが難しいことが経験的にわかっていた。雪片とあられの区別は比較的

容易にできることから、落下速度と粒子半径の関係からこれらを判別するアルゴリズムを開発し、全観測時間の結果を得ることができた。

- (8) 前述の結果を真値と見て、0.1ms 毎の計測結果を基にいくつかのパラメータを統計的に計算し、その結果を基に判別分析を行ったところ、雪とあられの固体降水に対して、約8割のあられが正解として判別できるアルゴリズムを開発することができた。2006年から2007年にかけての長岡市での観測結果に基づく結果のひとつを表1に示した。

表1 画像処理型の大型粒子判別装置の結果と比較した、光学式粒子計数器の判別分析結果。雪とあられに限った的中率は80%である。

| | | Vx,dxを使用 | |
|------|-----|----------------|----------------|
| | | 光学式 | |
| | | 雪 | あられ |
| 画像処理 | 雪 | 704 (79.1%) | 186 (20.9%) |
| | あられ | 29 (17.2%) | 140 (82.8%) |

以上により、主に夜間の固体降水に関しては当初の目的は達成できたと考えられる。

降雪水量の導出と積雪モデルの駆動に関しては次の通りである。

- (9) 本研究の観測装置に併設されている溢水型雨量計は、捕捉率補正手法がある程度確立されているが、観測間隔は短くて15分程度、通常は1時間間隔である。この雨量計は0.5mmごとの計測であるから、降水量が少ない場合には15分の観測間隔が十分である保証はない。一方で、本観測装置では判別アルゴリズムなどの関係で5分ごとにデータを収集していた。そこで、捕捉率補正を施した溢水型雨量計計測では1時間間隔の真値に近いデータを取得可能と仮に考えて、そのデータを用いて本観測装置の捕捉率補正を試み、その結果を用いて積雪モデルを駆動した。ところが、あられ判別手法の開発が後発であったため、その成果を取り入れていない。その段階では、雨雪判別方法の違いが最も大きな違いであり、もともと気温による雨雪判別が比較的適性に求まる観測サイトのデータを利用したことから、あまり大きなインパクトは

見られなかった。しかしながら、あられは積雪内の弱層になるなど、力学的な性質がかなり違う層を形成することから、このような情報を入れた実験を今後実施していく予定である。

以上により、積雪の動的解析にどれだけ寄与するかは、今後の解析で結果が出るものと思われる。

その他の解析については以下の通りである。

- (10) 降雪粒子種別と気温の関係については、気温を用いた簡易的な雨雪判別手法の基礎になるなど、従来から興味を持って調べられてきた関係である。しかしながら、粒子種別の自動計測が難しいことなどから、観測データは少なく、主に目視による判別データにより行うしかなかった。それらは、気象庁による最短で1時間毎のデータが主であり、それ以外はほとんどない。また、北陸地方のような0°C近傍で降雪がある地域は、世界にはそれほど多くない（実際にはどの地域にも季節的にはある。全冬季にわたる例が少ないということ）ため、このような性質の地域（または気象状態）に限った研究もあまりない。さて、今回の装置は5分毎に判別が行われているわけなので、この関係が年々変動や地域差を持つものなのかを解析することが可能である。従来行われた結果は、数年、数十年にわたる、北海道から北陸までの地域の観測結果を全て使ったものであり、一般的には、気温2°Cで雨雪頻度比が約1/2になるというものである。今回の結果では、新潟県中越地域では、2年間ではあるが、あまり年によらずに1.5°C近傍で頻度比が1/2となった。その様子の一例を図1、図2に示した。また、笹ヶ峰観測地での結果は、年により若干前後するように見えるが、1°C近傍で1/2となった。その一例を図3に示した。この地点のみが標高の高い場所での測定例であり、明確な原因を推定することは現状では困難であるが、冬季の平均的な気温環境で前後することは十分に考えられる。また、どの地点でも見られることだが、3°C以上で降雪する頻度はほとんど0となり、年によっては3°Cから4°Cの間で降雪頻度の増加する山が観測された。これは、特に暖かい状況で一連の降雪があったことからきた結果であり、そのような降雪があれば3°C以上で降雪の頻度が高まり、無ければ頻度は0となるようである。4°C以上で顕著に降っている例を図2に、降っていない例を図1、図3に示した。このように、特別な事例が有るか無いかでグラフの形が大きく変化することがわかった。従来為

されてきた、時間的あるいは場所的に多くのデータを重ねたものは、この各事例が押しなべて平滑化されると予想され、その結果を我々は過去の研究の図として見ていたものと考えられる。従来から、場所や時間に関わらず、気温の閾値を基に雨と雪を判別する簡易手法がよく利用されているが、①場所により頻度分布が違ふようであり、さらに、②個々の事例と、頻度に基づく確率については切り離して考えないと重要な事実を見逃すことになりかねないようである。そのような意味で、本研究のような自動判別機器は重要であると言える。

なお、この研究も含めて、この種の観測は他にほとんどないこともあり、継続して観測することが非常に重要である。よって、本研究で設置された機器については、今後も継続的に観測を行っていきたい。また、指摘された問題点を改良した新たな機器の開発についても継続し、より良いデータの取得を目指したい。

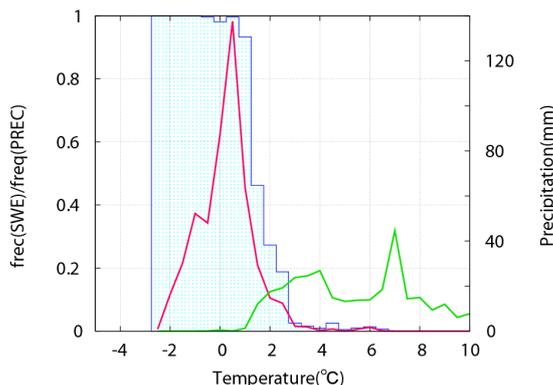


図1 2006年～2007年冬季の十日町市の気温ごとの雨雪頻度比。網掛けが雪の比率で、折れ線は低温側が降雪水量、高温側が降雨量を示す。

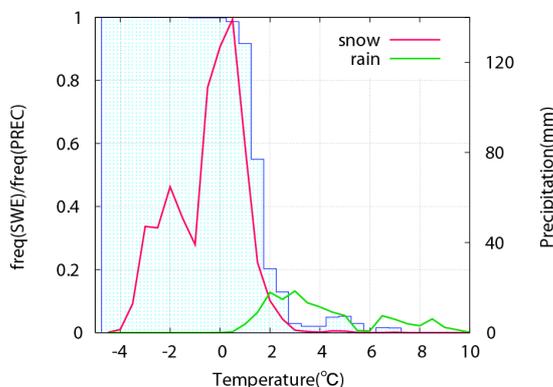


図2 2007年～2008年冬季の十日町市の気温ごとの雨雪頻度比。網掛けが雪の比率で、折れ線は低温側が降雪水量、高温側が降雨量を示す。

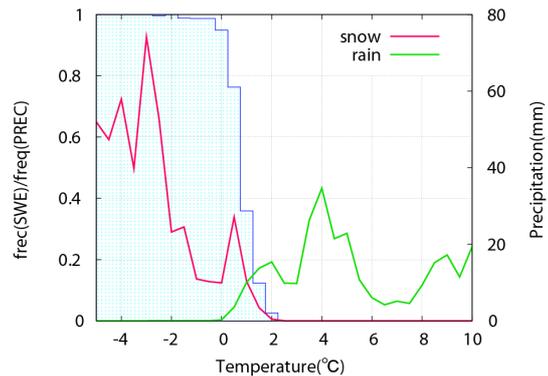


図3 2007年～2008年冬季笹ヶ峰の気温ごとの雨雪頻度比。網掛けが雪の比率で、折れ線は低温側が降雪水量、高温側が降雨量を示す。

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)

[雑誌論文] (計 2件)

- 1) 中井専人, 熊倉俊郎: 平成18年豪雪における降雪分布の特徴:10分間3ヶ月間のレーダーデータ解析, 日本雪氷学会誌雪氷, 査読有, 69, 31-43, 2007
- 2) 熊倉俊郎, 中井専人: レーダー雨量の地上観測雨量補正に伴う誤差の評価について, 土木学会水工学論文集, 査読有, 51, 343-348, 2007

[学会発表] (計 23件)

- 1) 天藤由季子, 熊倉俊郎, 竹内由香里, 山口悟, 石坂雅昭: 新潟県内での気温に対する降水形態の地域差について, 日本雪氷学会北信越支部研究発表検討会, 雪氷北信越 29号, No. 20, 2009, 加賀
- 2) KATSUSHIMA, Takafumi, T. KUMAKURA, Y. TAKEUCHI: A Multiple Snow Layer Model Including a Parameterization of Vertical Water Channel Process in Snowpack, International Snow Science Workshop, 2008, Whistler
- 3) 天藤由季子, 熊倉俊郎, 石坂雅昭, 椎名徹: 画像処理手法を用いた自動観測による降雪粒子の自動判別, 日本雪氷学会, 2008年度全国大会講演予稿集, p59, 2008, 東京
- 4) 大倉走, 熊倉俊郎, 山口悟, 中井専人: レーダー降水量とアメダス観測を用いた広域降積雪分布の導出, 日本雪氷学会, 2008年度全国大会講演予稿集, p56, 2008, 東京
- 5) 石坂雅昭, 熊倉俊郎, 中井専人, 岩本勉之, 佐藤篤司, 椎名徹: 降雪フラックスを考慮した降雪粒子の種類判別, 日本雪氷学会, 2008年度全国大会講演予稿集, p63, 2008, 東京
- 6) 浦野陽子, 勝島隆史, 熊倉俊郎: 広域降

積雪モデルにおける融雪量の水平分布の推定に関する研究, 土木学会関東支部新潟会, 第26回研究調査発表会論文集, 82-85, 2008, 長岡

- 7) 熊倉俊郎, 小田島未来子, 田村盛彰, 石坂雅昭: 光学式降雪粒子計測器を用いた北陸地域での雨/雪判別に関する研究, 日本雪氷学会北信越支部研究発表検討会, 雪氷北信越 28号, p23, 2008, 長岡
- 8) 熊倉俊郎, 勝島隆史, 野沢明弘, 小田島未来子, 竹内由香里, 田村盛彰: 中越地方での2006-2007年を対象とした雨雪判別と積雪解析, 日本雪氷学会, 2007年度全国大会講演予稿集, p79, 2007, 富山
- 9) 勝島隆史, 熊倉俊郎, 竹内由香里: 水みちの浸透過程を取り入れた積雪モデルの開発と検証, 日本雪氷学会, 2007年度全国大会講演予稿集, p56, 2007, 富山
- 10) 小田島未来子, 熊倉俊郎, 田村盛彰: 2006-2007年の長岡における光学式測定器を用いた雪/あられ/みぞれ判別の自動観測に関する研究, 日本雪氷学会, 2007年度全国大会講演予稿集, p31, 2007, 富山
- 11) 浦野陽子, 勝島隆史, 熊倉俊郎: 二次元降積雪モデルへの融雪過程の導入に関する研究, 土木学会関東支部新潟会, 第25回研究調査発表会論文集, 80-83, 2007, 長岡
- 12) 小田島未来子, 熊倉俊郎, 田村盛彰: 降雪粒子の赤外線反射強度と落下速度の時間統計量に関する研究, 土木学会関東支部新潟会, 第25回研究調査発表会論文集, 86-87, 2007, 長岡
- 13) 熊倉俊郎, 勝島隆史, 野沢明弘, 山口悟, 石坂雅昭, 飯倉茂弘, 竹内由香里: 光学式降雪粒子判別器を用いた降雪観測, 日本雪氷学会北信越支部研究発表検討会, 雪氷北信越 27号, 2007, 松本
- 14) 勝島隆史, 熊倉俊郎, 竹内由香里: 水みちの浸透過程を取り入れた積雪モデルの開発, 日本雪氷学会北信越支部研究発表検討会, 雪氷北信越 27号, 2007, 松本
- 15) 野沢明弘, 熊倉俊郎, 竹内由香里: 冬季北陸の積雪融雪に関する研究, 日本雪氷学会北信越支部研究発表検討会, 雪氷北信越 27号, 2007, 松本
- 16) 野澤明弘, 熊倉俊郎, 竹内由香里: 多層で計測された地温データからの熱拡散係数の導出, 日本土木学会関東支部新潟会, 第23回研究調査発表会論文集, 76-77, 2006, 新潟
- 17) 伊藤隆広, 熊倉俊郎: アメダスデータによる降雨継続時間とひと雨の総雨量の導出とその検討, 日本土木学会関東支部新潟会, 第23回研究調査発表会論文集, 78-79, 2006, 新潟
- 18) 佐藤光, 熊倉俊郎, 中井専入: 地上観測降水量によるレーダー降水量の補正手法の

妥当性に関する研究, 日本土木学会関東支部新潟会, 第23回研究調査発表会論文集, 98-99, 2006, 新潟

- 19) 熊倉俊郎, 北幸寛: 多雪, 少雪に着目した, 長岡冬季の気温の季節内変動, 日本雪氷学会, 2006年度全国大会講演予稿集, p55, 2006, 秋田
- 20) 中井専入, 佐藤篤司, 熊倉俊郎: レーダーアニメーションで見る2005/2006冬季の降雪, 日本雪氷学会, 2006年度全国大会講演予稿集, p140, 2006, 秋田
- 21) 勝島隆史, 熊倉俊郎, 竹内由香里: 十日町における冬季の底面融雪量の推定に関する研究, 日本雪氷学会, 2006年度全国大会講演予稿集, p231, 2006, 秋田
- 22) 中井専入, 熊倉俊郎: レーダーで見た今冬の降水系と降雪分布, 日本雪氷学会北信越支部研究発表検討会, 雪氷北信越 26号, p62, 2006, 長岡
- 23) 勝島隆史, 熊倉俊郎: アメダスを用いた新積雪の密度と降雨降雪判定に関する研究, 日本雪氷学会北信越支部研究発表検討会, 雪氷北信越 26号, p61, 2006, 長岡

6. 研究組織

(1) 研究代表者

熊倉 俊郎 (KUMAKURA Toshiro)
長岡技術科学大学・工学部・准教授
研究者番号: 00272865

(2) 研究分担者

陸 旻皎 (Lu Minjiao)
長岡技術科学大学・工学部・教授
研究者番号: 80240406
石坂 雅昭 (ISHIZAKA Masaaki)
防災科学技術研究所・雪氷防災研究センター・研究員
研究者番号: 50414412

(3) 連携研究者

田村 盛彰 (TAMURA Moriaki)
田村雪氷技術研究所
研究者番号:
山口 悟 (YAMAGUCHI Satoru)
防災科学技術研究所・雪氷防災研究センター・研究員
研究者番号: