市立札幌旭丘高等学校 数理データサイエンス科
2023 年度(65 期) SDS 探究 研究報告書

電気熱量式積雪含水率を含む雪質の測定を用いた雪かき予測所要時間通知システムの作成

【班番号】 ８班
【班　名】 気象隊
【班員名】 坂田悠真　藤田晴人　立石穣　中村雄善　三木脩平　岡田旬太郎
【指導教員】 坂庭康仁先生
【アドバイザー】 北海道大学　川俣大志先生

Abstract

We developed an IoT snow observation device inspired by our experiences growing up in Hokkaido, where snow shoveling often disrupted daily life. With global warming increasing the frequency of heavy, wet snow, residents, especially the elderly, face significant challenges. On average, people in the region spend 200 hours annually shoveling snow. Our device measures ultraviolet reflectance and water content to predict the timing and quality of snow for easier shoveling. Users receive data via smartphone, and regression analysis provides optimal times to start shoveling. Through experiments, we created an affordable, accurate, and user-friendly snow observation tool.

私たちは IoT 雪質観測機を製作した。これは私たちが北海道で生まれ育った過程で、雪かきに予定を狂わされた経験や、屋根からの落雪を見てきて強く危機感を感じていたことがきっかけだ。近年、地球温暖化の影響で気温が上昇し、海水の蒸発量が増加している。それに伴い含水量の多いべた雪のリスクが 5 倍に増えたと昨年気象庁が示した。道民は年間約 200 時間を雪かきに費やしているが、特に高齢者にはべた雪の雪かきは重労働であり、大きな問題になっている。そこで私たちは、その日の雪かき予測時間と雪質の両方をユーザーが知ることができれば、雪かき開始の適切なタイミングが分かり、重労働を避け、負担を軽減することが可能だと考え、実現のために、観測機を製作した。この観測機は紫外線反射率や含水率を測定し、ユーザーが観測機とスマホでやり取りを行い、回帰分析で雪かきの予測時間モデルを求める仕様だ。電気熱量式による積雪含水率測定実験及び観測機の動作実験を行い、安価で高精度かつスマホで操作可能な雪質観測機を製作することに成功した。

1. 諸論
1.1. 製作背景及び目的 2
1.2. 名前の決定とその理由 4
2. 仕様
2.1. 使用部品及び機材 5
2.2. 本気の基本機能 9
2.3. 使用ソフト及びツール 11
2.4. プログラムの作成 11
2.5. 観測機全体図と製作過程(画像) 14
3. 実験方法
3.1. 電気熱量式積雪含水率の算出 16
3.2. 雪中の水分量 17
3.3. 雪かき時間予測方法 17
4. 実験結果
4.1. ①電熱線性能試験 20
4.2. ②削氷を用いた含水率測定と計算モデルを用いた予測時間の実 21
4.3. ③紫外線反射率測定,緯度経度実験 24
4.4. ④実際の雪を用いた全体の動作実験 25
4.5. ⑤PTC ヒーターによる加熱精度の向上実験 26
4.6. 3 種類の含水率実験の総合結果 27
5. 考察
5.1. 雪質に関する考察 28
5.2. 含水率測定に関する考察(電気熱量式) 29
5.3. UI に関する考察 30
5.4. 紫外線反射率に関する考察 30
6. まとめと展望,研究計画
6.1. まとめ 33
6.2. 改善点 33
6.3. 更なる問題 34
6.4. ハードウェア面で実装すること 35
6.5. 参考文献と引用 36
7. 成果
7.1. 第 12 回高校高専気象観測機コンテスト 37
7.2. 台湾ポスターセッション 37

1.諸論

1.1.製作背景及び目的

1.1.1.背景

近年、地球温暖化などの影響による様々な気候変動が起きている中で、私たちが住んでいる札幌でも年々記録的な大雪が発生している。それによって除雪や車、屋根の雪下ろしの労力やスケジュールに対する影響などが大きくなっていると感じていた。実際に、一度にたくさん降るドカ雪やべた雪のリスクは 5 倍にまで増えているということを昨年気象庁が発表した。仕組みは図 1 の通りだ。

北海道民は年間で平均 200 時間を雪かきに費やしていると推定されていて、これは大きな数字だ。

後 5 年後には、北海道の 5 分の 1 が独居高齢者世帯になるため、水分を多く含むべた雪の雪かきは重労働で身体的負担が大きい。この負担を軽減するために、私は気象観測機を製作することを決定した。

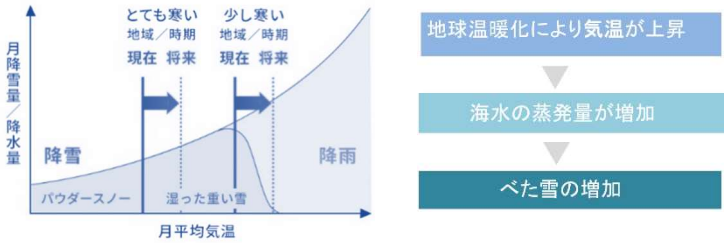


図 1 地球温暖化によりべた雪が増加する仕組み

1.1.2.目的

私たちの製作した観測機は多くの雪質を測定することが目的だが、その内の雪質の 1 つが含水率測定だ。

既存の含水率測定機より圧倒的に安価な物を実現することがこの観測機の目的の 1 つである。

1.1.2.1 既存の積雪含水率計測器

-SE-WISe-

この計測器は、金属製の円筒と電極によりサンプラー内の雪含水率を測定して雪崩の予測、人工雪の解析などを行う機器である。この製品の特徴として、コンパクトということが挙げられる。

私たちが作成する観測器は仕組みが違い、電気熱量式で雪の含水率を測定する。それに対し、この”SE-WISe”は、金属製の円筒と電極によりサンプラー内の雪の含水率を測定する。また、”ゆきらく”は Discord

Bot を通し、ユーザーに直感的な操作を可能にさせ、様々な人が使いやすく、また分かりやすく結果を表示するのに対し、“SE-WISe”は、装置上で結果を表示する。さらに、この観測器はおよそ 2 万円という比較的低価格での製作を実現してする。

価格	精度	応答速度	バッテリー	操作性
約 20、000 円	○	200s	約 1 日	スマホ
※	◎	5s	12 日	機器本体

図 2　既存の含水率測定機との比較

※価格が一般には公表されていないため、正確な価格を表記することはできないが、
今回私たちが製作した観測機とは、測定方法など違いがあるため、価格差にも大きな違いがあると思われる。

1.1.2.2 電気熱量式を選択した理由

今回私たちは電気熱量式で積雪含水率を求める仕様にした。

・他の方法と比較した電気熱量式含水率計算の利点と欠点

・他の測定方法との比較表まとめ

上記の観点を評価した上でかつ、私たちが求めるユーザーへの雪に関する様々な事象への効率化や実際の運用なども考えた結果、下図から電気熱量式計算は比較的簡単に行える測定方法かつ精度の高いものとなっている。→安価で誤差の少ない方法を目指す私たちの目的にマッチする

その他にもマイクロ波法などにより精度の高い方法をとることも可能ではあるが、装置自体が高額であることなどを考慮した結果、私たちの目的に沿う形で利用できることが利点であると議論した。

また、欠点として熱量計算に時間を要するため、全体的に時間がかかってしまうことが挙げられる。確かに計算の多さや複雑さによる懸念や試行錯誤はあったものの、結果的にユーザーに行なってもらう操作が比較的少ないものとなっているため(詳細は後ほど記載)、私たちは電気熱量式による計算こそ、今回の測定に相応しい方法であると考えた。

また、もう1つの目的は、雪かき時間の予測を実現することだ。その日の雪かきの予測時間と雪質の両方をユーザーが知ることができれば、雪かきを開始する適切なタイミングがわかることで負担を軽減することができる。早期観測によってこうした雪被害を軽減することも目的の 1 つだ。

名称	測定精度	原理・手法	特徴
電気抵抗法	◎	雪中の氷と水の導電性の差を利用.	実験室環境で高い精度が得られる.
マイクロ波法	◎	電磁波による加熱から含水率を求める.	非侵襲的でリアルタイム測定が能.
遠心分離法	△	遠心分離を用いて氷と水を分離し割合を計算.	比較的手軽に実施できる.
密度法	△	雪の密度変化から含水率を推定.	屋外での実施が容易で、比較的手軽に実施できる.
電気熱量法	○ (※正確な熱量計測が求めらる)	雪を融解する際に必要な熱量を計算して含水率を求める.	雪の内部の構造を考慮している.
重量法	△ (※正確な質量計測が求めらる)	雪の質量と水の質量の差から含水率を計算.	屋外での実施が容易で、比較的手軽に実施できる.

図 3　主要な積雪含水率測定方法とその特徴

1.2. 名前の決定とその理由

“ゆきらく”という名前は、”雪”という言葉、除雪が”楽”になるという意味が込められている。”ゆきらく”は Discord Bot としてユーザーとの会話をすることが考慮されているため、キャラクター性のある接しやすい名前を採用した。

また、ゆきらく のロゴには主に国鉄型特急のヘッドマークで採用されているフォントを再現し、可愛らしさを出すため、ひらがな表記を採用した。

2.仕様

2.1.使用部品及び機材

積雪を測定するためには耐冷なセンサー及び機器を使用する必要があったため、最適な物を見つけることに苦労した。

2.1.1 使用部品

1×Raspberry Pi 4 Model B(ARM プロセッサ搭載のボード型コンピューター)

1×Arduino Due(マイコンボード)

2×GY-ML8511(UV センサー)

1×ACS712(電流センサー)

1×DS18B20(水中温度センサー)

1×DF9-40(圧力センサー)

1×SAM-M8Q(GPS センサー)

1×昇圧コンバーター

1×ユニバーサル基板

1×ニクロム線 $7.5[m]$

2.1.2.各部品の配置

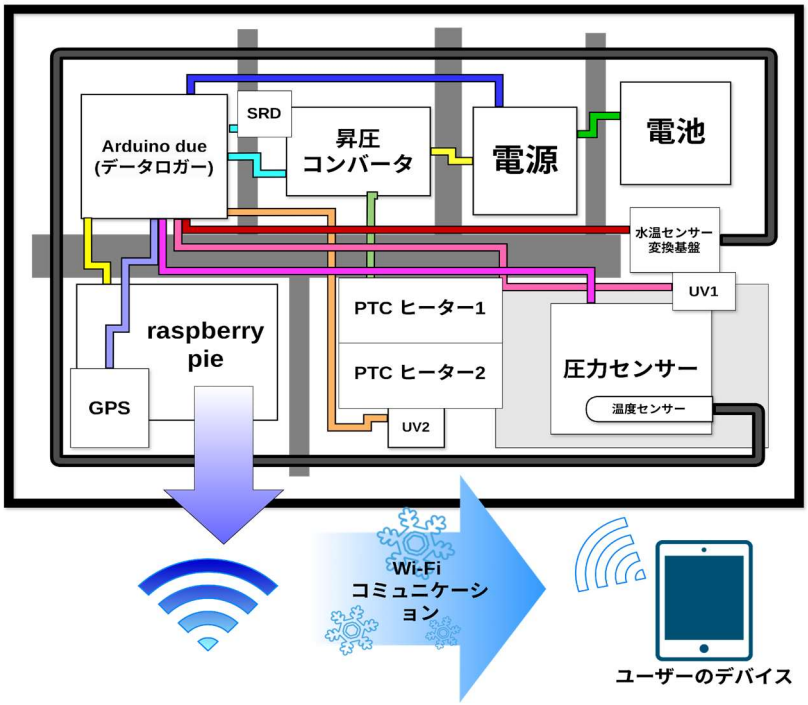


図 3 各センサーの配置図

2.1.3. インターフェース図

本機は下図のような UI とセンサーノードから構成されている。※wifi 通信の部分は省略している

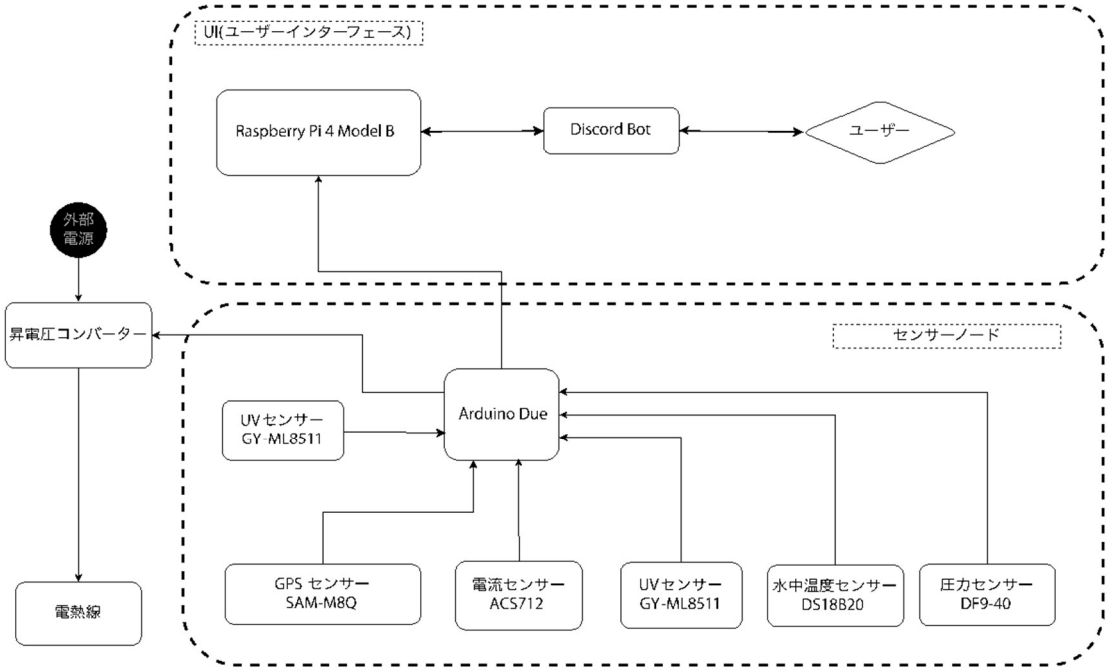
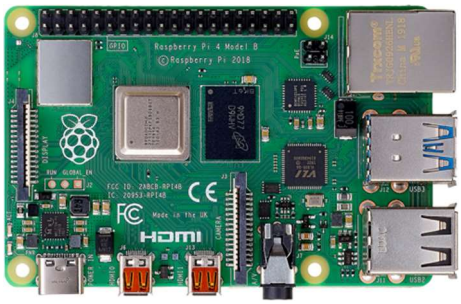


図 4　UI とセンサーノードの関係

2.1.4. 各部品についての詳細説明

[Raspberry Pi 4 Model B]

Raspberry Pi はシングルボードコンピューター(SBC)と呼ばれるコンピューターの一つで、1 枚の基盤上に ARM ベースの CPU をはじめとした、コンピューターとして動く部品を全て備えている.入出力ポートがあるため周辺機と接続することができる.本機器の中枢を担う.

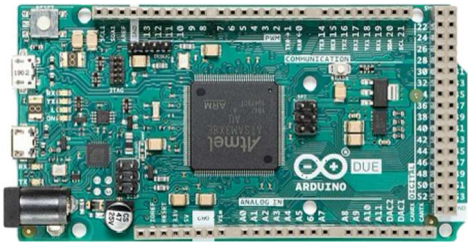


※1

項目	値
動作電圧[V]	*3.3*
定格入力電圧[V]	*6-20*
合計最大電流出力[mA]	*130*
各ピンの最大電流[mA]	*800*

[Arduino Due]

センサーからのデータの送受信、また集計したセンサーデータを Raspberry Pi に送信する役割を担っている.



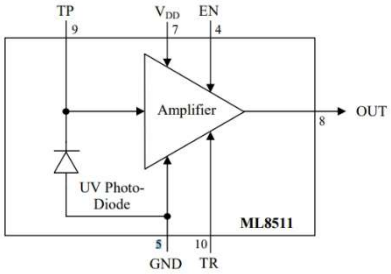
※2

※Pin Assign 図.

項目	値
CPU	Broadcom BCM2711 64-bit
メモリー[*GB*]	*8*
主な接続	2× USB3.0 A コネクタ 2× USB2.0 A コネクタ 2× Micro HDMI(出力) 1× microSD カードスロット
電源定格(DC) [*V*]	*5*
消費電流(MAX) [*A*]	*1.7*

[GY-ML8511(UV センサー)]

GY-ML8511 は積雪における紫外線反射率を測定するために紫外線を検出するセンサー.本機器では UV センサーを 2 つ用いて測定を行う.

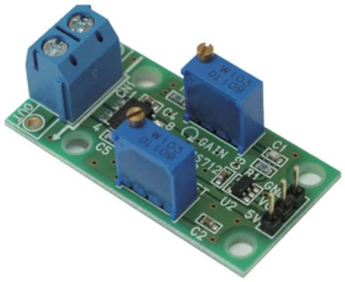


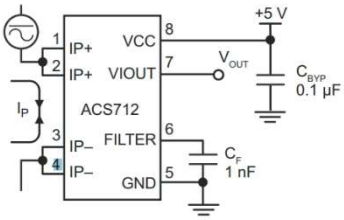
項目	値
動作電圧(DC) [*V*]	*3.3–5.0*
出力電圧(DC) [*V*]	*0–1.0*
テスト精度	*±1*
電流[*mA*]	*0.06* (標準) *0.1* (最大)
応答時間[*s*]	*0.5* 未満
温度[*℃*]	*-20–85*

※3

[ACS712(電流センサー)]

機器に流れている電流値を測定する.含水率算出の際にその値が用いられる.





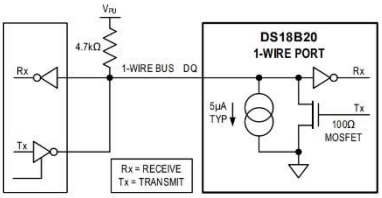
項目	値
電源電圧(DC) [*V*]	*5*
最大測定電流[*A*]	*±3* (DC) *±2* (AC)

※4

[DS18B20(水中温度センサー)]

融雪によって発生した水の温度を測定するセンサー.

他のセンサー類と比較して防水性に優れている.



項目	値
温度測定範囲[℃]	*-55–125*
精度[℃]	*±0.5 (-10–85)*

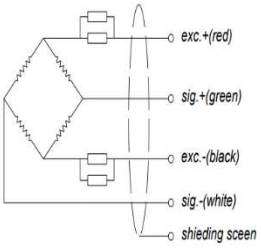
※5

[DF9-40(圧力センサー)]

センサーの部分に圧力が加わると、抵抗値が減少して質量を計測する.

今回は積雪の質量を測定する.

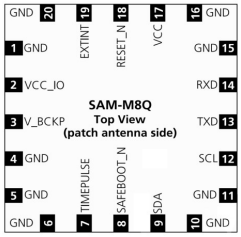
項目	値
測定範囲[*kg*]	*0–10*
厚さ[*mm*]	*0.25*
精度[%]	*±2.5*
再現性(*50*[%]負荷) [%]	*±5.8*
項目	*値*
初期抵抗(無負荷)[*MΩ*]	*10*
応答時間[*ms*]	*1*
復元時間[*ms*]	*15* 未満
電圧(標準)[*V*]	*DC 3.3*



※6

[SAM-M8Q(GPS センサー)]

現在地と複数の衛星との距離をそれぞれ電波を用いて測定することで位置を特定する.また、この GPS センサーはみちびき(準天頂衛星システムと呼ばれ、日本の衛星測位システムである)に対応している.そのため、GPS を補い、高精度で安定した衛星測位サービスを実現している.

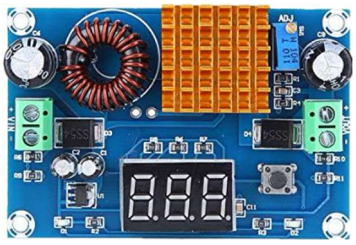


項目	値
供給電圧[*V*]	*2.7–3.6*
動作温度[℃]	*-40–85*
感度[*dBm*]	*-165*
データレート(MAX) [*kbps*]	*400*

※7

[昇圧コンバーター]

直流から直流に変換するが、変換する際に入力電圧よりも高い電圧を出力することができる.そのため、電圧の低い電源を使用した際も、高い電圧を得ることができる.



※8 画像はイメージであり.実際とは異なる場合がある.

項目	値
入力電圧[*V*]	*3–35*
出力電圧[*V*]	*5–45*
入力電流(ピーク) [*A*]	*5*
電圧表示範囲[*V*]	*5–30*

[PTC ヒーター]

PTC ヒーターは、スイッチを入れた後、電流が流れて温度が上がると次第に電気が流れにくくなる特性（PTC 効果）を持っている。

一度温まると無駄な電力を消費しない賢い発熱体であり、温度が上限に達して安定すると消費電力量が一定に抑えられるため、省エネだ。

※9

※画像はイメージであり.実際とは異なる場合がある.

項目	値
入力電圧[V]	3–35
出力電圧[V]	5–45
入力電流(ピーク) [A]	5
電圧表示範囲[V]	5–30

2.2. 本機の基本機能

諸論にて説明されているように、雪にある水の部分の量を測定し、それにより

雪かきにかかる時間を本機から Raspberry Pi へとデータを送信し、その中で必要演算を行いトレンドラインを用いて予測し、求められた除雪所要時間の予測を Discord Bot を通してユーザーに送信する。（図

(1)雪が降ってきた際に、質量センサーで雪を感知し、雪と氷を合わせた全体の質量を測定する。

(2)電熱線 orPTC ヒーターに $7.0[V]$の電流を流して加熱し雪を溶かす。

(3)溶けるまでの時間を計測し、その時の電流を計測し、下記の計算方法で含水率を計算する。

(4)含水率とその日の積雪データから、Raspberry Pi でトレンドラインを用いて除雪時間を予測する。

(5)Discord Bot で予測した除雪所要時間を下記の手順でユーザーにメッセージを送信する。

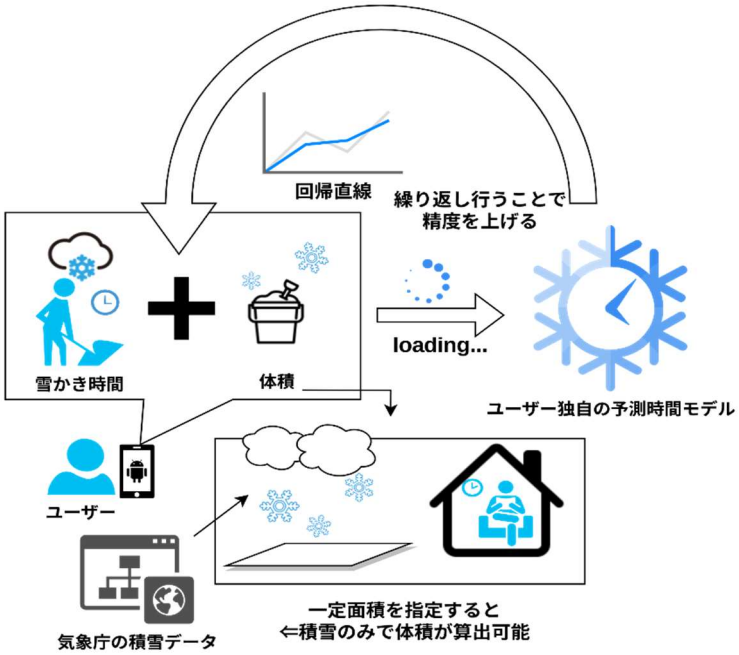


図4　予測時間モデル作成の流れ

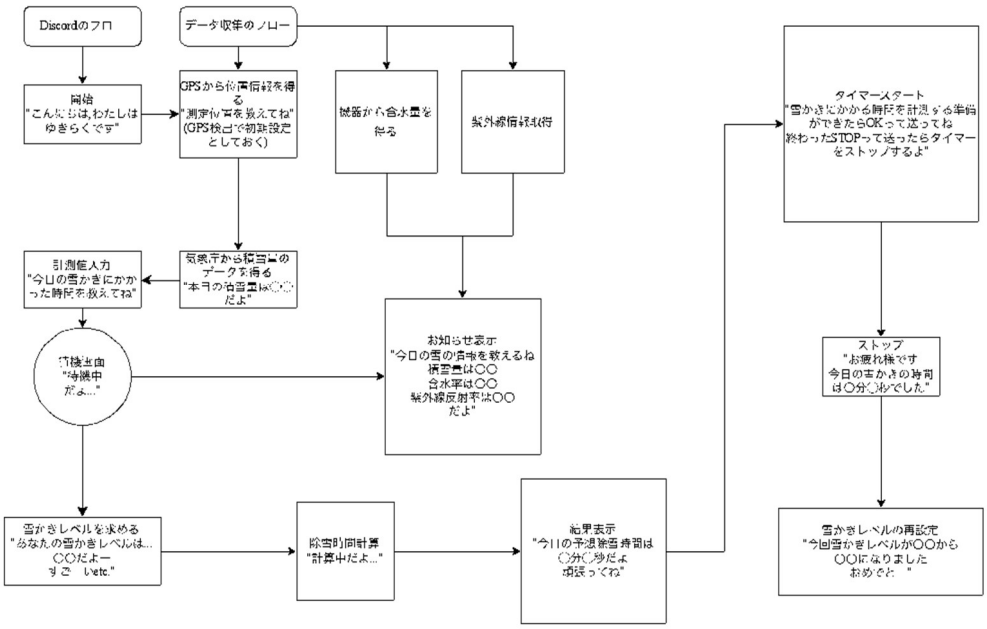


図 5　本機のユーザーとのやり取りのフローチャート

2.3.使用ソフト及びツール

2.3.1.Discord Developer Portal

Discord Developer Portal は開発者向けのプラットフォームであり、Discord の拡張機能を開発し全ユーザーに届けることができる。今回の研究にあたっては、ユーザーとのやり取りをするための Bot の開発に使用した。

2.3.2.使用手順

(1)ユーザーが挨拶をする。

(2)”ゆきらく”が時間計測開始を促すため、ユーザーが雪かき開始時に応答をする。

(3)ユーザーが本日の積雪体積を入力する(単位は[m3])。

(4)観測機の蓋を開け、日当たりの良い場所に置き、完了したら”OK”と送信する。

(5)”ゆきらく”が含水率を測定し、ユーザーに送信する。

(6)本日の除雪予測所要時間を”ゆきらく”がユーザーに送信する。

(7)終了したら、”ゆきらく”に雪かきが終了した旨を伝える。

(8)雪かき所要時間を表示し、次回の除雪予測所要時間の精度を向上させる。

2.4.プログラムの作成

2.4.1.制作環境概要

マイコンボード	統合開発環境(IDE)	Version	言語
Arduino Due	Arduino IDE	2.7	C++ ※多少異なる.
Raspberry Pi	Thonny Python IDE	3.7	Python3

図 6　ソフトウェアシステム開発環境

2.4.2.インクルードしたライブラリ

観測器をプログラムするにあたって様々なライブラリをインクルードした。以下はそれぞれのインクルードしたライブラリである。

Arduino Due

ライブラリ	役割	取得 URL
OneWire.h	温度センサーへのアクセス、 メモリへの書き込みに使用.	https://github.com/PaulStoffregen/OneWire
DallasTemperature.h	温度センサーのデータ計算に使用する.	https://github.com/milesburton/Arduino-Temperature-Control-Library
TinyGPS.h ※9	GPS センサーの制御に使用.	https://github.com/mikalhart/TinyGPS

※9 GPS センサーの制御には Arduino Due の場合、Software Serial というライブラリが必要であるが、Due、Mega 等の場合インターフェースに UART 通信がいくつか搭載されているため必要はない。

Raspberry Pi Model B

ライブラリ	役割	URL
Discord.h	Discord Bot へのログインとユーザーのやり取りに使用する.	https://github.com/Rapptz/discord.py
Pyserial.h	Arduino Due との UART 送受信に使用.	https://github.com/pyserial/pyserial

図 7 インクルードしたライブラリ

2.4.3. モード遷移図

INIT:初期化モード

WAIT:待機モード

DH:データ取得モード

USERCOM:ユーザーのスマホと通信するモード

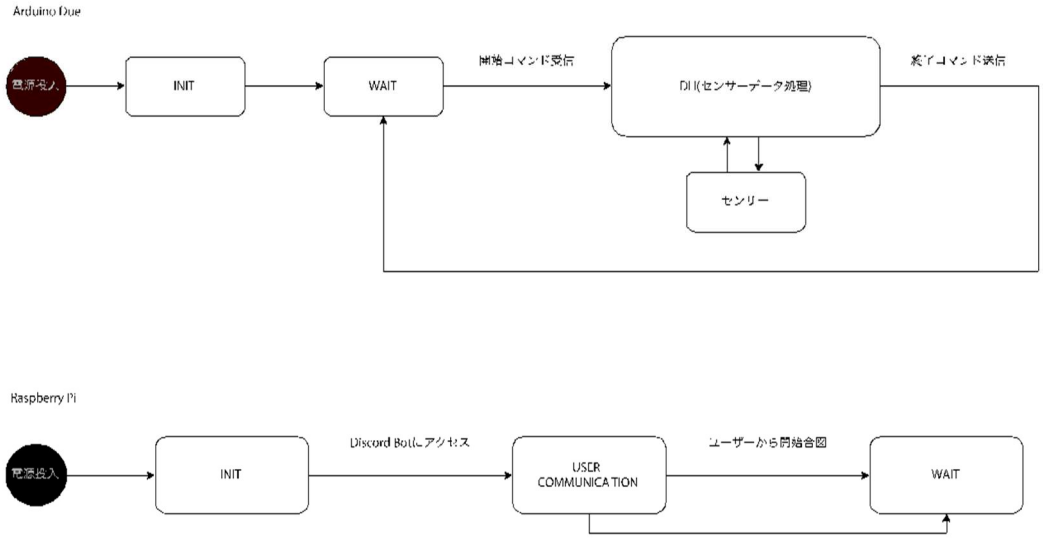


図 8 本機のモード遷移図

2.4.4.通信システム

通信システムの構成方法や通信システムの動作原理について説明する。

本システムは各値を取得するセンサーノード、測定したデータをサーバーに送信する”DH-CPU（Data Handle CPU)”、主にデータ取得のために用いる電熱線、その制御及びデータ管理を行い、また取得データの解析と管理を行う Raspberry Pi で構成される。

温度センサーと電熱線への電流では Arduino Due によって制御され、取得した観測データを解析し、算出した物を、Raspberry Pi に送信し、Raspberry Pi は Discord Bot にてデータ表示、ユーザーとのやりとりを行う。観測データは Arduino Due でリアルタイムに確認することができる.本システム観測は Discord の任意で行われ、日時、温度、湿度、電流・電圧値、雪の融解にかかった時間といったすべてのデータは、Arduino Due にて保存される。

センサーノード・DH-CPU の概要

センサーノードは、Arduino Due によって管理されており、UV センサー、GPS センサー電流センサー、水中温度センサー、質量センサーで構成され、それぞれ DH-CPU(Arduino Due)と有線通信を行う。

Arduino Due に送信される”DH-CPU”はデータの中間地点である.”DH-CPU”で行う仕事は主に 2 つある。1 つ目は、センサーノードからデータを受信することである。2 つ目は、観測したデータを raspberry pi に送信することである。

2.4.5.外部サービスへのデータ送信

本システムは、外部サービス Discord を利用してデータベースへの観測データの保存や利用者への現在の観測データのお知らせを行なっている。

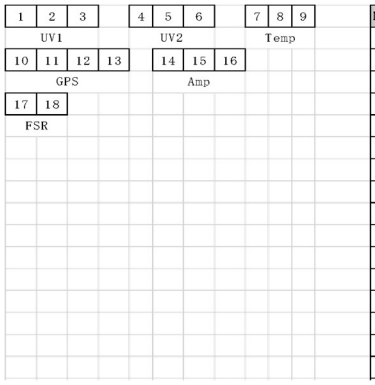
Discord はインスタントメッセージ・ビデオ通話・音声通話を行える SNS の一種である。

Discord での利用者とのデータのやり取りやチャットなどは Discord Bot と呼ばれる拡張機能を利用した。

Discord Bot とは様々な機能を持ったアプリのようなものとなっており、ジャンルも幅広く、音楽再生 Bot や翻訳 Bot、荒らし対策のサーバー管理 Bot などが人気となっている。Discord 内で Bot がメッセージを送信し、それに対する利用者の返信をデータとして Raspberry Pi へと送信する役割を担っている。

2.4.6.製作したシールド基板

この機体を製作するにあたり、センサー類との接続をコネクタで行えるようシールド基板を作成した。



Number	Assign
1	A1
2	5[V]/3.3[V]/Vin
3	GND
4	A2
5	5[V]/3.3[V]/Vin
6	GND
7	3.3[V]
8	GND
9	Digital 10
10	5[V]
11	GND
12	T×1
13	R×1
14	3.3[V]
15	A0
16	GND

図 9 製作したシールド基盤

※図 4、水中温度センサー、圧力センサーは、プルアップ抵抗が必要であったため、変換基板を自作し使用した

2.5. 観測器の全体図と製作過程(画像)

100 円ショップで購入したプラスチックケースに装置本体を投入し、ケースに穴を開け、雪の出し入れ等を行えるようにする。

図 10 観測機の写真

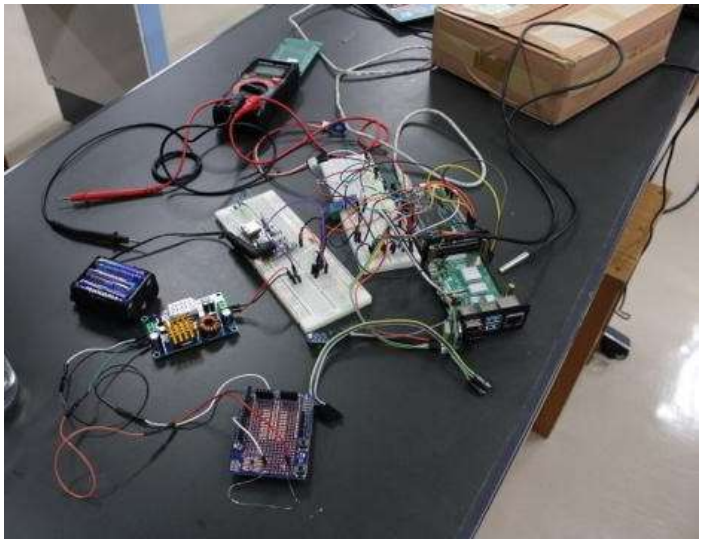


図 11　観測機の BBM(ブレッドボードモデル)

3. 実験方法

PTC ヒーターと電熱線の比較、雪と削氷の比較のために 4 種類の実験を行った

●1:電熱線の性能実験

●2:削氷を用いた含水率計算性能実験と計算モデルを用いた予測時間の計算

●3:紫外線反射率、緯度経度測定実験

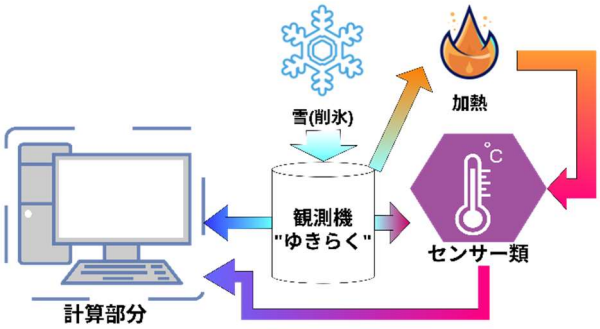
●4:雪を用いた全体の動作確認と回帰分析を用いた予測時間の計算

●5:PTC ヒーターによる加熱性能向上実験

①電熱線部分をヒーターに変更

②1、2 と同様の数値計測

③電熱線状態との性能比較



3. 1. 電気熱量式積雪含水率の算出

3. 1. 1. 文字や単位の定義

R:抵抗[Ω]

P:電力[W]

※$P=i2\cdot R=i\cdot v$

t:時間[s]

※電力量[J]=$P\cdot t$

I:電流[A]

v:電圧[V]

Q:熱量[cal]

J:熱の仕事当量[J]

※$J\fallingdotseq 4.1855[cal/J]$

X:含水率[%]

θ:体積含水率[%]

V:全体の体積[$cm3$]

Vw:水の体積[$cm3$]

Ms:雪の質量[g]

Mw:雪に含まれる水の質量[g]

Mi、Mw':雪に含まれる氷の質量[g]

※$Ms=Mi+Mw=Mw+Mw'$

3.1.2. 計算方法

電気熱量式による雪の含水率計算にあたって、以下のような方法で測定を行う。

雪を溶かす際に必要な熱量を求める式を

(1)電熱線に流す電力量→[cal]に変換→熱量を求める。

(2)雪の質量とその内部に含まれる氷の質量の差(水の質量)を求めその値と熱の仕事当量との積によって求める。

(3) (1)、(2)の 2 式から含水率 $Mw/Ms\cdot 100$[%]を求める。

(1)$Q=\frac{1}{j}i^2\cdot Rt$[cal]

$Q=0.24ivt$

※$J=4.1855\frac{J}{cal}$より、$\frac{1}{J}\fallingdotseq 0.24\frac{cal}{J}$となる.

(2)$Q=80(Ms-Mw)$[cal]$=80Mi$

(3)$X=100\frac{Mw}{Ms}=100(1-\frac{0.24ivt}{80Ms})$

3.1.3.Ms、Mw について

$Ms=Mw+(Ma)\rightarrow Ma$ は空気の質量であるが、限りなく小さい値のため無視

含水率全体を 1 とした比で表す(含水比)

含水比 $x=\frac{Mw}{Ms}$

含水率 $X=100\cdot x$

これを使うと

氷部分:$Mi=Ms\cdot(1-x)$ $(Vi=\frac{Vs\cdot(1-x)}{Pi})$

水部分:$Mw=Ms\cdot x$ $(Vw=\frac{Ms\cdot x}{Pw})$

※空気部分はごく僅かであるため今回は省略

3.2.雪中の水分量

3.2.1.雪中の水分量の求め方

雪を加熱→融解し、液体状になる→雪内の水分が蒸発

この時の手順の質量変化を求める。

この差の質量変化の値が雪中の水分量となる。

$Mw=Ms-Mi$

このようにして雪中の水分量を求める。

3.3.雪かき所要時間予測方法

3.3.1.雪かき所要時間予測方法

雪かきの所要時間を求めるための式を考える。

雪の含水率と雪かきの所要時間は比例するものと仮定する。

含水率と雪の一定体積あたりの質量は比例しているため、含水率と雪かきの所要時間は比例すると予測できる。

(1) ユーザーからは、積雪しているおおよその体積(単位は$[m3]$)の情報を取得する。

(2) ユーザーから得た情報等をもとに回帰分析を行い数値をまとめる。回帰分析を行う値は、主に積雪体積、含水率、雪の質量であり、回帰分析を行にうことよってそれらのデータと雪かき時間のトレンドラインを引いて比例係数 tr を求めることができる。

$$X = 100\frac{Mw}{Ms} = 100(1 - \frac{0.24ivt}{80Ms})$$

また、雪の質量には雪中の水分量が大きく関係している。そこで

$Ms=Mw+Mi+Ma$

含水比 $x=Mw/Ms$

含水率 $X=100\cdot x$

氷部分:$Ms\cdot(1-x)$ $(Vi=Vs\cdot(1-x)/Pi)$

水部分:$Mw=Ms\cdot x$ $(Vw=Ms\cdot(x/Pw))$

このように、雪の質量は水分量と関係がある。

(3)求めた含水率 $X[\%]\cdot$tr より、雪かきの所要時間 $t[s]$を求める。ここで求めることのできる tr はあくまでおおよその所要時間である。そこで、比例係数 tr の信憑性を高めるため、ユーザーから得たデータをもとに順次トレンドラインを求め、更新していく。

トレンドラインの算出には最小二乗法を用いる.

回帰直線を $y=ax+b$ とするとき

$$a = \frac{s_{xy}}{s_{x^2}} \quad = \frac{\sum_{n=1}^{n} \quad (x_i - \underline{x})(y_i - \underline{y})}{\sum_{n-1}^{n} \quad (x_i - \underline{x})^2} \, b = \underline{y} - a\underline{x}$$

ここで

Sxy は x と y の共分散

$Sx2$ は x の分散

n は 2 変数データ$(x、y)$の総数

xi と yi は個々のデータの数値

$\underline{x}$ と $\underline{y}$ はそれぞれの変数の平均値

得るデータが増えるとともに、”ゆきらく”による観測の精度が上がる仕組みである。

(4) (1)で取得した体積と含水率を用いて雪かき予測所要時間を計算する。

主な計算方法

(1)初回の測定でのかかった時間[s]をその時の体積で割り、一定体積あたりの時間を出す。

（比例定数 tr）

(2)上記の値に含水率の比 $100x$ をかける。

(3)2 回目以降は、回帰分析した以前のデータを用いて雪かきにかかる所要時間の予測を行う。

1 回目:$(t_1/V_1 \cdot (X2/100)/(X1/100)$

2 回目:$(t_2/V_2)/(t_1/V_1) \cdot (X3/100)/(X1/100)$

3.3.2. 紫外線反射率を用いた雪質取得

屋外にいる人は、上空から地上に対して降り注いでいる紫外線(太陽からの直射日光と大気で撹乱された光を合わせたもの)を浴びるだけでなく、地表面で反射された紫外線も浴びている。

地表面での紫外線の反射の割合は、地表面の状態により大きく異なる。草地やアスファルトの反射率は 10% もしくはそれ以下であるが、砂浜 25%、新雪では 80%にも達する。

このことから砂浜や新雪のような雪を反射されやすい色とされている白に近い地表面の色だと紫外線反射率は高い。そこで私たちは雪に不純物が含まれていると色が白から離れていくことで、紫外線反射率が下がると考えられ、逆に紫外線反射率を計測することで、雪質を判断できるのではないかと考えた。

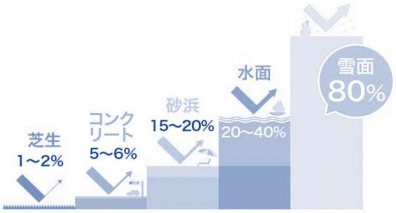


図 12　紫外線反射率の違い

3.3.3.計測方法

UV センサーを使用して紫外線を測定する。

ひとつを直射日光の紫外線量を測定するため上を向けて配置し、2 つ目は雪の反射光に含まれる紫外線量を測定するために、機器の内部に向けて配置した。その 2 つのセンサーから得られたデータを用いて、雪の反射光に含まれる紫外線量$(UV1)$/直射日光の紫外線量$(UV2)\times 100$

$\rightarrow UVx=100\frac{UV_1}{UV_2}$ という式で紫外線反射率(UVx)を計算した。

4. 実験結果

4.1.①電熱線の性能試験

4.1.1.手順

(1)装置に流れた電流、電圧、抵抗値を制御し、電熱線を発熱させる.

(2)装置内の容器に水を入れ、温度上昇、経過時間を水中温度センサーとともに調べる.

4.1.2.使用道具

・ビーカー$60[ml]$ (そのうち水 $30[ml]$)

・電熱線 $10[cm]$ (半径 $0.26[mm]$)

・観測機器”ゆきらく”本体

4.1.3 電気仕様

設定した電圧、電流、抵抗の各値は以下の通りである。

項目	値
電圧$[V]$	4
電流$[A]$	0.11
抵抗$[\Omega]$	3.64
熱量$[cal]$	3.168

図 13　電気的仕様

4.1.4 実験結果

[電熱線使用開始に伴う性能確認試運転]

$4.0[V]$の電流を電熱線に流し、電熱線の発熱を確認した。$30[ml]$、$23.0[℃]$の水に電熱線を入れ、5分間で $25.0[℃]$まで水温が上昇した。電熱線に流す電気の入出力電圧は、手前の電圧表示器にて確認することができる。

加熱時間$[min]$	1	2	3	4	5
温度上昇[℃]	0.8	1.4	1.6	2	2
平均温度上昇[℃]	0.8	0.6	0.2	0.4	0

図 14　電熱線加熱の結果

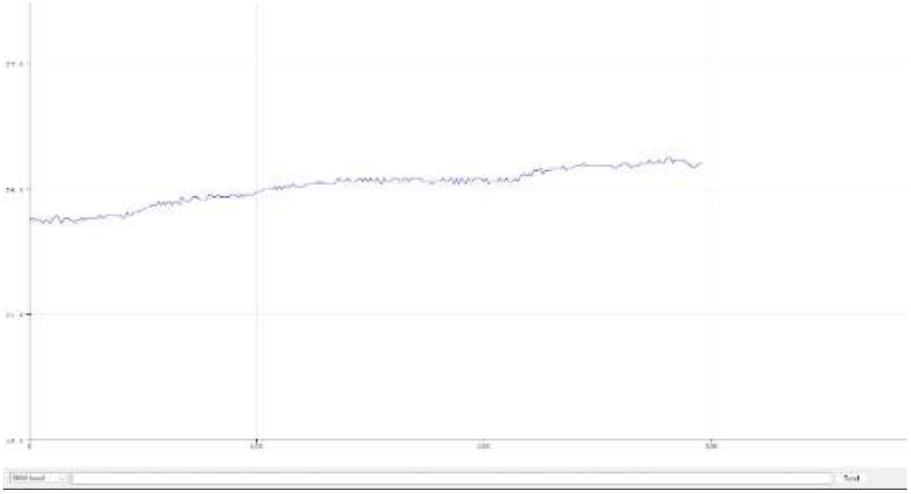


図 15　電熱線加熱の時間と温度のグラフ

4.2. ②削氷を用いた含水率測定と計算モデルを用いた予測時間の実験

4.2.1.実験方法

(1)装置に流れた電流、電圧、抵抗値を制御し、電熱線を発熱させる

(2)装置内の容器に水を入れ、温度上昇、経過時間を水中温度センサーとともに調べる

(3)測定されたデータを Excel にシリアル通信で送信する

(4)観測器で含水率計算を行う

4.2.2.使用道具

・ビーカー$60[ml]$ (そのうち水 $30[ml]$)

・削り氷 12.13$[g]$

・電源装置($5[V]$、$1[A]$)

・電熱線 $10[cm]$ (半径 $0.26[mm]$)

・観測機器”ゆきらく”本体

※電源装置は実際の計測ではアルカリマンガン乾電池 6 本を用いて行う。

4.2.3.電気仕様

設定した電圧、電流、抵抗の各値は以下の通りである。

項目	値
電圧[*V*]	*5*
電流[*A*]	*1.1*
抵抗[*Ω*]	*3.64*
熱量[*cal*]	*3.17*

図 16　電気的仕様

4.2.4.実験結果

[実際の観測器と削り氷を用いた電気熱量式含水率計算による試運転]

下記の条件のもと、実際に観測器”ゆきらく”を用いて雪の代替である削り氷(*12*。*13*[*g*])を装置の容器内に投入し、加熱した電熱線で溶かしながら温度センサーの変化のグラフをエクセルで表示しながら完全融解までのおよそ 10 分弱装置の動作を行った。

加熱時[*min*]	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*
温度上昇[℃]	*-1.62*	*-3.06*	*-6.81*	*-6.5*	*-9.06*	*-11.2*	*-11.9*	*11.13*	*13.13*	*13.94*
平均温度上昇[℃]	*-1.62*	*-1.44*	*-3.75*	*-3.1*	*-2.56*	*-2.13*	*-0.69*	*0.75*	*-2*	*-0.81*

図 16　融解点までの水温と時間の結果

下記のグラフから完全融解を目視により確認をして、その時の含水率計算に必要な値をまとめた.

$X=100(1-(0.24[cal/J]\cdot 5.0[V]\cdot 1.1[A]\cdot 602[s]/80[cal/g]\cdot 12.13[g]$

$=18.1121...$

よって、*18.1%*

この値は削り氷の完全融解点を正確に測定した状態での計算ではないため(目視)、この含水率計算には大きな誤差が生まれてしまっていると考えられる。

※式の詳細は 3.3.1.参照

※詳細は 5.1.1.、5.1.2.参照

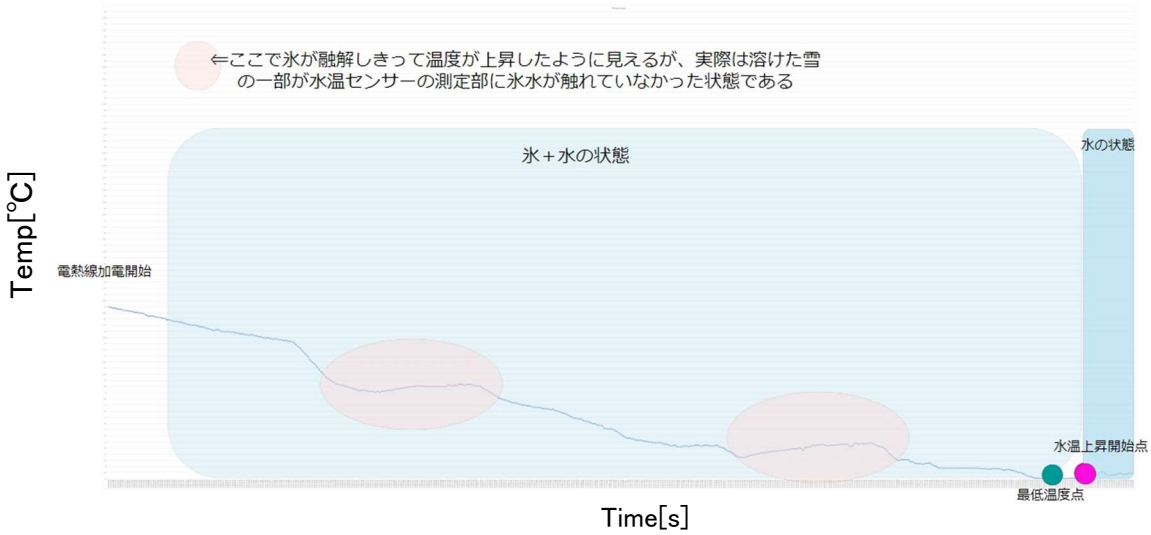


図 16　融解点までの水温センサーと時間のグラフ

4.2.5.予想雪かき時間を求める

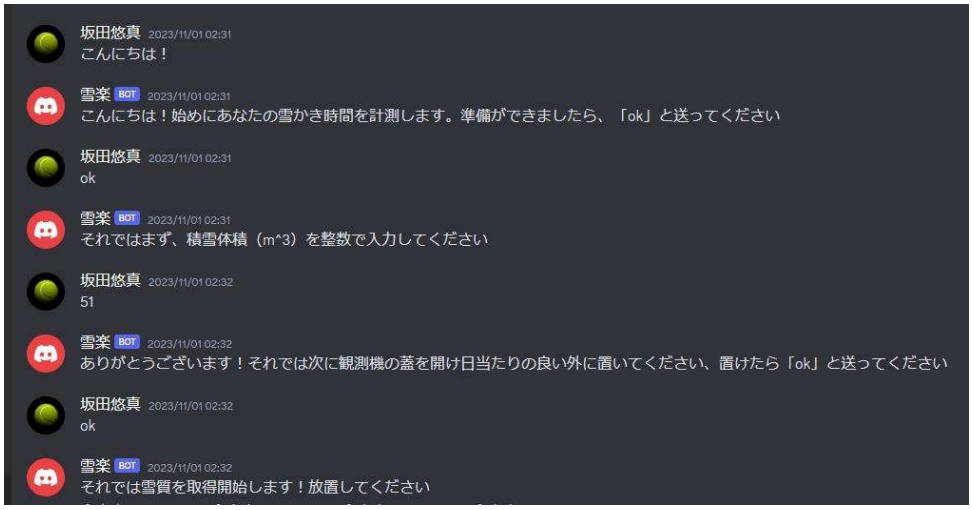
予測時間モデルを作るために、重回帰分析を利用した.この方法でそれに伴ってデータ取得→プログラミング上での算出という手順をふむ

求めているため測定実験で求めた含水率 $18.1[\%]$を用いて

今回は Discord bot の正しいユーザーとの応答確認時の仮の数値をおいて

計算を行う.以下はそのやり取りの操作画像である.

1



上図から

(1)入力した体積を $5[m^3]$とし、この状態の雪を排泄するのにかかった時間を $300[s]$と置く.

(2)3.3.1.から、2 回目の含水率を $10.0[\%]$とすると

(3)2 回目の予測時間は

$$300/5\cdot(10.0/100)/(18.1/100)=33.14917\ldots\fallingdotseq 33[s/m^3]$$

(4)3 回目の含水率が $15[\%]$、時間を $350[s]$、体積を $6[m^3]$とすると

$350/6 \cdot (15/100)/(18.1/100)=48.34254... \fallingdotseq 48[s/m^3]$

計算結果からおおよそ一定体積あたりの雪かき時間が算出できていると言える。

また、体積をユーザーが入力する所を一定面積で固定することで、

ある地点での積雪量を気象庁やニュースなどから引用するだけで計算が行える。

今回は回帰分析を除いた状態での計算であるためこれを修正することで

計測を行う回数が多いほどより正確な時間予測が可能である。

また実際に重回帰分析を実行したグラフは下図である。(※要素数はユーザーが指定することができる)

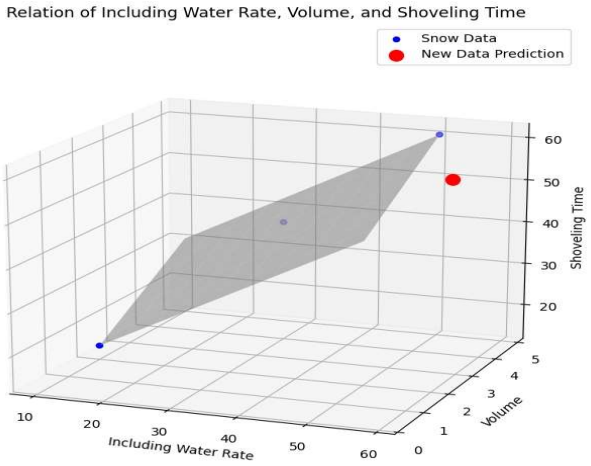


図 17　予測時間導出の重回帰分析グラフ

4.3.③紫外線反射率測定、緯度経度実験

4.3.1.実験概要

地表面の性質と紫外線反射率には差があり、水面と新雪では $70[\%]$以上の差が存在する。そのため地球温暖化によって雪の量が減ってしまうと、紫外線が分散されずにそのまま地面に降り注いでしまうため、より温暖化が進んでしまうなどの問題がある。反射率を求め続けることによって温暖化の進行度を知る指標になり、新たな含水率測定法にもなり得るだろうと考えこの実験を行うことにした。

4.3.2.実験方法

(1)雪を観測機の中に入れ、紫外線センサーを上むきと氷(下)向きに取り付け、値を取得する。

(2)それぞれのセンサーから得た値を用いて紫外線反射率を算出する。

4.3.3.実験結果

測定したセンサーの値、また反射率は図 17 のとおりである。

使用した UV センサーが紫外線の度合いを下図の Index の値で返す仕様であったため、正確な反射率を求めることはできなかった。また、天気が曇りであったため、紫外線が弱く、固定方法に斜光を許してしまったため、誤差も生じたと考えられる。しかし、新雪が $80[\%]$の反射率を持つのに対し、削り氷は結晶がなく荒いため、反射率は低くなるという仮説は実証されたといえる。

UV 指数	出力電圧 (mV 未満)
0	＜ 50
1	227
2	318
3	408
4	503
5	606
6	696
7	795
8	881
9	976
10	1079
11+	1170+

図 17　インデックスと出力電圧

Time	GPS Longitu	Latitude	Refrect Rate
8:09:21	141.318813	43.037945	
8:09:22	UV1	3	0
8:09:23	UV2	0	0
8:09:24	141.31813	43.037943	
8:09:25	UV1	2	50
8:09:26	UV2	1	50
8:09:27	141.318813	43.037933	
8:09:28	UV1	3	33.3333333
8:09:29	UV2	1	33.3333333
8:09:30	141.318812	43.037922	
8:09:31	UV1	3	0
8:09:32	UV2	0	0
8:09:33	141.31881	43.037918	
8:09:34	UV1	2	50
8:09:35	UV2	1	50
8:09:36	141.318808	43.037913	
8:09:37	UV1	2	50
8:09:38	UV2	1	50
8:09:39	141.318808	43.037918	
8:09:40	UV1	2	0
8:09:41	UV2	0	0
8:09:42	141.318808	43.037925	
8:09:43	UV1	2	50
8:09:44	UV2	1	50
8:09:45	141.318808	43.037932	
8:09:46	UV1	3	0
8:09:47	UV2	0	0
8:09:48	141.31881	43.037943	
8:09:49	UV1	3	33.3333333
8:09:50	UV2	1	33.3333333

図 18　紫外線反射率測定、緯度経度測定の結果

4.4.④実際の雪を用いた全体の動作実験

4.4.1②との実験に関する違い

実際の雪を使用していて、完全融解点を目視ではなくプログラムの処理で観測機自体が認識するように変更した。

4.4.2 実験結果

実験結果に関しての水温と時間の関係グラフは下図である。

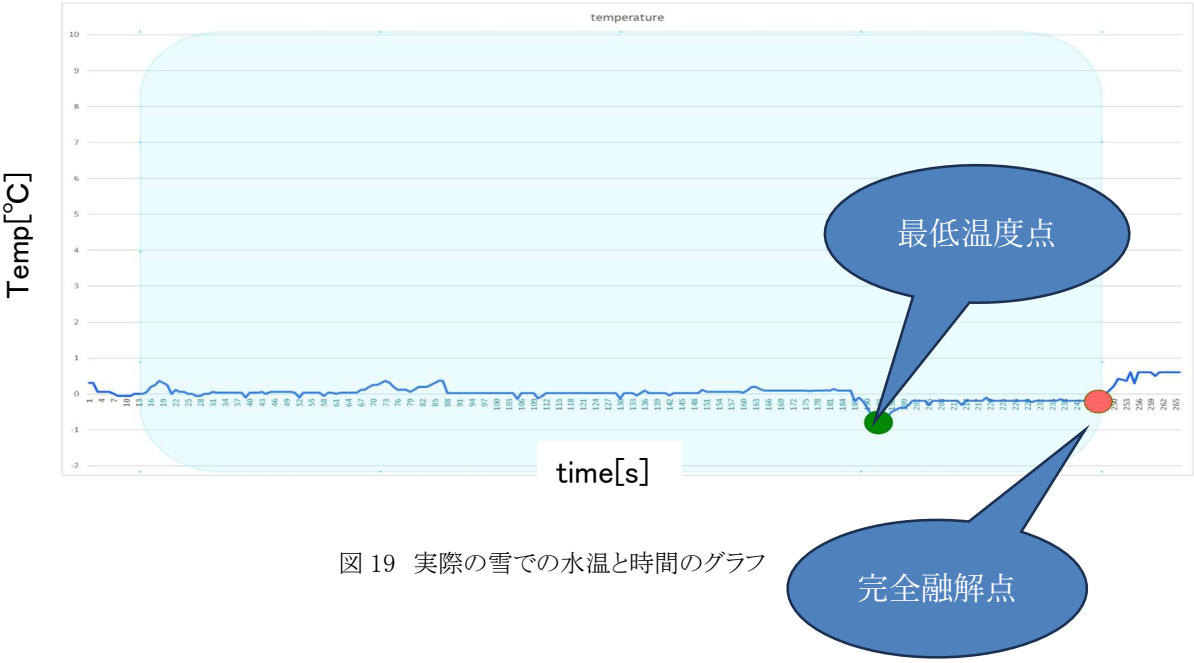


図 19　実際の雪での水温と時間のグラフ

4.5.⑤PTC ヒーターによる加熱精度の向上実験

4.5.1④との実験に関する違い

1 度目、2 度目と同様の方法で実験を行い、電熱線との加熱時間効率を減らすため PTC ヒーターを使用し、制度の向上を計った。

4.5.2 PTC ヒーターの特徴

トヨタの電気自動車などの暖房にも使用されているヒーターで、

日光の当たる場所、こもり熱などで、ヒーターの温度が一部だけ高くなる場合でも、その部分だけ発熱を抑え、無駄な消費電力を抑えるので省エネ効果がある。

PTC 自己温度制御機能とも呼ばれるこの特性が、ヒーターの異常な温度上昇を抑制するので、安全性にすぐれている。

4.5.3 実験結果

実験結果に関しての水温と時間の関係グラフは下図である。

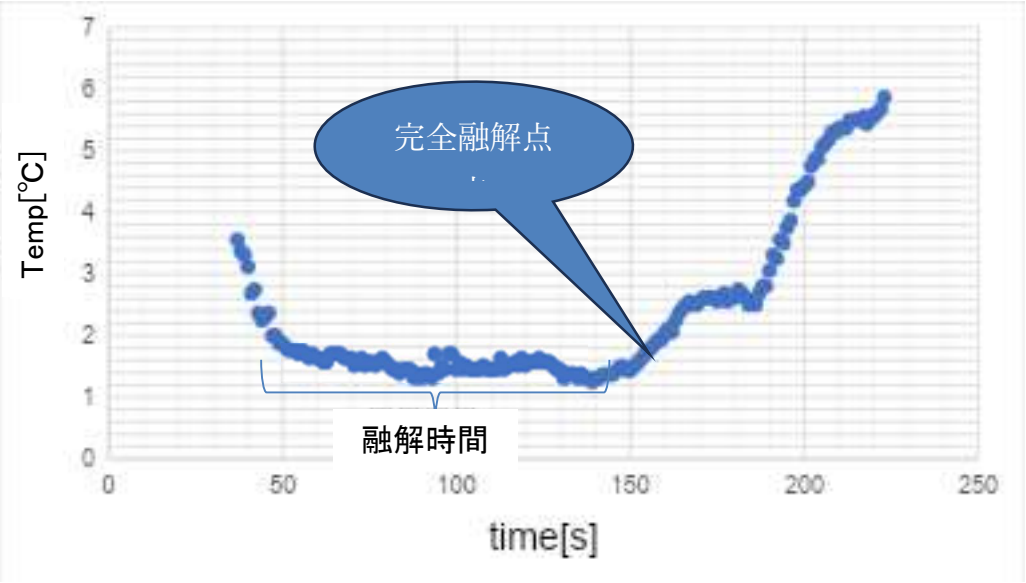


図 19　PTC ヒーター加熱での水温と時間のグラフ

4.6.　3 種類の含水率実験の総合結果

各実験のそれぞれの項目差は下表の通りである。

	雪の質量(Ms)	電圧(v)	電流(i)	加熱時間(t)	加熱器具
実験①	12(g)	5(V)	1.1(A)	602(s)	電熱線
実験②	10(g)	5(V)	1.1(A)	248(s)	電熱線
実験③	25(g)	5(V)	0.4(A)	250(s)	PTCヒーター

図 20　各実験の比較

5. 考察

5.1. 雪質に関する考察

本研究では、観測機のシステム、UI、電気熱量式の含水率測定についての検証を成功させた。

5.1.1.測定結果から得られた考察

[含水率が比較的高いもの]

含水率の高い削り氷に関しては目視でもわかるほどシャーベット上の雪に近いもので、さらに一般的な雪よりも氷を削ってできているため、結晶構造が大きく、氷を薄くスライスしたような形状あった。これは実際の温湿度気圧によって左右されるものと考えられる。

[含水率が比較的低いもの]

含水率が低い状態のものに関しては同様に比較的かかる時間が少なく、気温や湿度は低かった。

これは雪中の氷の割合が大きかったためと考えられる。

5.1.2.含水率測定の精度の評価

今回の実験では、かき氷と新雪を用いて含水率測定を行ったが、下図はレーザー距離計によって非常に高精度に含水率が測定された結果である。

誤差は+−10%に収まる非常に高精度な結果を算出することができたと考えられる。

	本観測機（avr）	レーザーによる非常に高精度な測定
模擬積雪		41
模擬シャーベット	63。1	73
新雪		28
自然積雪	21。4	31
シャーベット	46。2	53

図 21　含水率測定の精度評価比較

5.1.3.観測機の動作

本観測機のオペレーションシステム及び各センサーの実証は行うことができ、結果としては安価で GPS により場所把握ができる積雪観測機の実現はできたと考える。

5.1.4.その他の事象につながるものの予想

この実験から得られた積雪含水率のデータは、様々な分野で有益な可能性を秘めていると考えられる。

(1)レジャー活動の最適化

含水率の正確な予測により、スキーやスノーボードなどのウィンタースポーツの愛好者は、雪質の良し悪しを事前に把握できるようになる。これにより、スキーリゾートへの訪問者は、含水率が適切な範囲にある日を選んで楽しむことができる。

(2)安全性の向上

含水率のデータは雪崩の予測にも役立つ可能性がある。特に雪の結晶が急速に融解する条件では、雪崩の発生確率が高まるため、この情報を利用して、山岳地帯での安全対策や警告システムの向上が期待される。

(3)農業や水産資源管理

積雪含水率の正確な測定は、雪解けの水の予測にも関連している。これにより、農業や水産資源管理分野で雪解けによる水供給量を事前に把握し、適切な計画を立てることが可能になる。

(4)気象予想の精度向上

積雪含水率のデータは気象予測モデルに組み込むことで、地域ごとの降水や気候変動をより正確に予測できる可能性がある。これにより、地域社会や公共交通機関の運行計画が改善されることにつながる。

(5)環境保護への貢献

積雪含水率のデータは、気候変動や環境の変化に関する研究においても貢献することができると考えられる。雪の結晶構造や含水率の変動が気候変動にどのような影響を与えるかを理解することで、環境保護対策の立案や対応に進む可能性がある。

これらの例は、積雪含水率測定がさらに高度化し、広域な領域での利用が進むことによって現実のものにできると考えられる。

5.2.含水率測定に関する考察(電気熱量式)

含水率測定の考察として以下の点が挙げられた。

5.2.1.数値誤差として考えられる要因

一方で、雪が完全に融解して水温が上昇し始めるポイントの正確な特定は困難を伴い、この段階では、融解が進む中で雪の結晶が完全に融解し、水温が上昇し始める瞬間に急激な温度変化が生じることがある。この急激な変化により、観測機器が雪の塊などによって影響を受け、温度が急激に下がる可能性があるた

め、水温の上昇ポイントを正確に見極めることは容易ではなく、これが難しい要因、誤差になったと考えられる。

総括的に、電気熱量式気象観測機器は積雪含水率の推定において概ね正しい精度を有しているが、融解の過程における急激な温度変化の観測には制約がある。

また、電熱線の温度を安全性の観点から比較的低温にしたため、融解時間が長引いてしまったため、より高温にすれば、蒸発量との差が小さくなり、誤差を減少させることができると考えられる。

5.2.2.次回以降起こりうる誤差

次回以降の測定を行うにあたって煩わしさを感じると予測される点として、電源に乾電池を用いるため、電源変動が起こり、測定に誤差が生じるのではないかという疑問が生まれた。今回の測定では、比較的電圧変動の起きにくい電源装置を用いたため、誤差の有無を確認する方法は見つけ出すことができなかったが、電源自体を上記の装置に置き換えたりすることで、この疑問は解決できるものと考えられる。

5.3.UI に関する考察

この観測機は、ユーザーとの円滑な対話を実現するために Discord Bot を導入しましたが、LINE Notify との比較検討を行うと、ユーザーの設定が簡便であり、受信も容易であるという点において、Discord Bot が相応しかったと考えられる。ユーザーが手軽に設定を行え、通知の受信も簡単に行えるため、利便性に優れていると考えられる。しかし、Python 上のプログラミングにおいて、ライブラリをインクルードするにはバージョンが 3 以上でないと使用できないため注意が必要である。

さらに、意識した点として、ユーザーに対して"ふわふわ言葉"を用い、YES-or-NO または簡潔な一言で返答できる質問を行うことが、ユーザーにとって待機時間を減少させ、ストレスを軽減し、スムーズかつ使いやすい対話の成立を促進すると実感した。このアプローチは、ユーザーエクスペリエンスを向上させる上で重要な要素であり、コミュニケーションの円滑な展開に寄与していると考えられる。

5.4.紫外線反射率に関する考察

今回製作した気象観測機器では、積雪含水率の評価において重要な要素である紫外線反射率を測定する実験を行ったが、砕氷においても反射が確認され、これは潜在的に新しい積雪含水率測定手法の可能性を示唆している。ただし、得られた結果からは値が安定せず、これは固定方法が不十分であったため、斜めの紫外線や他の部分からの反射光を適切に取り込めていない可能性が考えられる。

この安定性の不足が、実験における誤差の要因であると考えられる。具体的には、斜めからの入射や他の物体からの反射光の影響によって、測定値が安定しなかった可能性がある。この点に対処するためには、より効

果的で堅牢な固定方法の導入や、光の取り込み方向の最適化が必要である。これによって、測定誤差を最小限に抑え、正確で安定した紫外線反射率の測定が可能になると考えられる。

5.4.1.その他の事象につながるものの予想

⑴雪の紫外線反射率を測定することによって得られたデータは、積雪状態や雪の特性の詳細な理解を提供できる。
これにより、雪の表面状態や結晶構造、密度変動、積雪の湿潤度など、気象学の観点から重要な情報が把握され、精緻な気象モデルの構築や異常気象の予測に寄与することが期待できる。

⑵同時に、雪の紫外線反射率データは積雪含水率の推定にも応用できる。雪の含水率は雪の密度や結晶の構造に依存するため、これを正確に測定することで雪崩のリスク管理や雪解け水の量の予測などに有用な情報を提供することができる。特に、上記の例にもあるが、冬季スポーツや山岳地帯の安全管理においては、積雪含水率のデータが不可欠である。

⑶最後に、このデータは環境科学の研究にも寄与すると考えている。積雪の紫外線反射率は地域ごとの気候変動や地球温暖化の影響を詳細に把握する手段となり、地球規模での気象変動の理解が深まる。。
これにより、環境保護や持続可能な開発に向けた戦略の策定に貢献することを期待することができる。
以下は具体的な地球温暖化の指標として雪の紫外線反射率使用する方法である。

5.4.2.地球温暖化の指標として雪の紫外線反射率を用いる方法

⑴まず、積雪の表面反射特性を通して気候変動の影響を評価する。積雪地域では、雪が太陽の紫外線を反射することで地表の温度を調整する役割がある。この反射率の変動は、気温上昇や降水量の変化といった気候の変動を指標として捉える手段となり得る。

⑵雪の紫外線反射率が低下すると、雪が太陽光を吸収しやすくなり、これが地球表面の温度上昇に寄与する。この現象は地球温暖化の進行を示す可能性があり、逆に、反射率が高い場合は、太陽光が大部分を反射して吸収が少なくなり、地表の温度上昇が緩やかになる。このように、積雪地域における紫外線反射率の変動は、地球温暖化の進行具合を把握する上で重要な指標となり得る。

(3)また、雪の紫外線反射率データを用いて、氷床や氷河の融解速度をモニタリングすることも地球温暖化の指標として活用できる。氷の表面が太陽光にさらされる際、反射率の変動は氷の融解や凍結の進行を表し、これが地球温暖化に伴う氷の変動を観測する手がかりとなる。

このように、雪の紫外線反射率データは地球温暖化の影響を捉える重要な指標となり、気候変動の指標になり得る。

6. まとめと展望

6.1. まとめ

以下に、今回までの観測機器の立案から製作、実験、議論の全体を総括する。

私たちが行った研究は、測定や事前の定義にまだ改善の余地はあるものの、

特に北海道ならではの気候である雪に焦点を当てた非常に応用の効く探求であったと考えられる。

観測機器の開発は、積雪含水率や紫外線反射率の測定において新たな知見をもたらし、地域特有の気象条件に対する理解を深める上で重要な一歩となった。

しかし、反省点として挙げられるべき課題も存在する。装置自体において発生する誤差や未解決の疑問点があり、実験に十分な時間を割くことが難しく、試行回数を充分に確保できなかったことが挙げられる。

この点に対しては、今後の改善作業を進め、より正確で信頼性の高い観測機器を構築するための努力を続けていく所存である。

6.2. 改善点

“ゆきらく”の製作、実験をもとに、更なる利便性、効率化を目指して本機器の改良を行う。と思われるので、

これから雪が降る日が増えていくことにより、

データを取りやすくなっていくと考えられるため、より実験の回数を積み重ね、

他にも雪に熱を加えた時の状態変化を観察する実験なども行い、機器の改善また

紫外線センサーによるデータ取得で反射率が一般的な雪と大きな違いが見受けられたことから、雪と削氷の違い、雪自体の性質に関する知見を深めていきたいと考えた。また、誤差の削減に向けて、今回の実装において生じた誤差に対して上記に挙げた

改善策を導入することで、観測データの信頼性を向上させることが必要である。

誤差の削減においては上記の改善点に加え、試行の回数を増やすことが一つの鍵となる。試行回数の増加によって、機器の性能やデータの正確性をより確実なものとすることが必要である。

最後に、紫外線反射率の確立や他の新たな方法の実装など、積雪含水率の測定手法の多様化も重要である。より高い精度で含水率の値を求めることが可能とし、実用的かつ科学的な観点から有益な情報を提供することができる観測機にできるように、性能を向上させていきたいと考えている。

6.3. 更なる問題

本観測機は、雪かき問題に関して貢献できるものを作りたいという思いで製作を始めたが、今回様々な雪に関する研究論文を調べた上で、私たちは更なる問題があると考える。それは多孔質の雪は生成過程で発がん性物質を含む大気汚染物質を吸収することだ。

6.3.1.雪の多孔質性

雪が多孔質である理由とその構造は、雪の結晶が形成される過程に起因する。雪の結晶は大気中の微小な水滴が凍ることで形成されるが、その際に結晶内には無数の空隙が生じる。この多孔質な構造が、大気中の汚染物質を効率よく吸収する要因となる。具体的には、雪の結晶内に取り込まれた大気汚染物質が、時間の経過とともに雪の内部に蓄積されることが知られている。

6.3.2.雪が吸収しやすい大気汚染物質

雪は様々な大気汚染物質を吸収する能力があるが、特に有機化合物や重金属、硫酸塩、硝酸塩などが吸収されやすいとされている。これらの汚染物質は、特に都市部や工業地帯での降雪において高い濃度で検出されることが報告されている。

汚染物質	化学式	健康への影響
ベンゾ[a]ピレン	$C_{20}H_{12}$	発がん性が高い
鉛	Pb	神経系への影響
二酸化硫黄	SO_2	呼吸器系への影響

図 22　雪が吸収しやすい大気汚染物質

6.3.3 北海道の雪との反応

北海道の雪は、ph が約 4.8 と酸性度が高いことが知られている。この酸性度の高さは、主に産業活動や交通機関から排出される硫酸や硝酸に起因する。このような酸性度の高い雪が大気汚染物質と反応すると、汚染物質の濃度がさらに上昇する可能性がある。特に酸性雪と反応した有機化合物は、より毒性の高い物質へと変化することが報告されている。

6.3.4.雪が大気汚染物質を含むと起こる微細な変化

雪が大気汚染物質を吸収すると、色や匂い、化学的性質に変化が生じることがある。例えば、ベンゾ[a]ピレンなどの有機化合物が吸収された雪は、黄色がかった色を呈することがある。また、硫黄酸化物を多く含む雪は、硫黄臭が感じられることもある。

6.3.5.健康面のリスク評価

現在、雪に含まれる大気汚染物質による健康リスクは十分に評価されていないのが現状だ。しかし、本観測機によるセンシング技術の活用により、雪の汚染状況をモニタリングし、潜在的な健康リスクを早期に検出することが期待される。

6.4. 今後ハードウェア面で実装すること

6.4.1.ソーラーパネル

本観測機は、低消費電力の設計に基づいており、少量の太陽光で十分に動作可能だ。しかし、現在のバッテリーシステムでは長時間の連続動作が難しいため、太陽光発電を活用したソーラーパネルの実装が重要だ。このソーラーパネルにより、晴天時には常に電力を供給し続けることが可能になり、電池の交換や充電の手間を削減する。また、雪の反射光を利用して効率的にエネルギーを収集し、観測機の稼働時間を大幅に延ばすことが期待される。これにより、より長期間にわたり、安定したデータ収集が可能となり、観測精度の向上に寄与する。

6.4.2.長距離通信（LoRA）

現在の観測機では、データの通信距離が限られており、山間部や遠隔地での使用には制約がある。この問題を解決するために、LoRA（Long Range）通信技術を実装することが必要だ。LoRA 通信は、低電力で広範囲にわたる通信が可能であり、山岳地帯や都市部の遠隔地に設置された観測機からもリアルタイムでデータを取得することができる。これにより、雪崩などの大規模な雪関連の災害リスクを事前に検知し、迅速な対応が可能となるだけでなく、広範なデータ収集が行えるため、地域全体の気象状況や雪質の変化を包括的に監視することができる。

6.4.3.雪の微細な変化を認識するカメラ

雪の大気汚染物質を正確にセンシングするためには、雪の微細な色調や質感の変化を識別する能力が必要だ。そのため、高精度な GPU を搭載したコンピューターを観測機に組み込み、さらに高解像度カメラと多機能センサーを組み合わせることを検討している。このシステムにより、雪の表面のわずかな変化をリアルタイムで解析し、汚染物質の種類や濃度を高精度に特定することが可能となる。さらに、これらのデータをクラウドに蓄積し、AI を用いて大規模なデータ解析を行うことで、より高度な予測モデルの構築も視野に入れている。

6.4.4.雪の排出機構

現状では、観測機が雪を収集した後、その雪を排出するには人の手が必要だ。この手動のプロセスを自動化するために、雪の排出機構を実装することを計画している。具体的には、観測機内部に

排出用のスクリューやベルトコンベアを組み込み、定期的に雪を自動的に排出できるようにすることで、連続的な雪質測定が可能となる。この機構により、積雪が観測機に蓄積しすぎることを防ぎ、観測の精度や信頼性を維持しつつ、メンテナンスの負担も軽減する。

6.5. 参考文献と引用

荘田幹夫。”雪の含水率測定法”。1951

高橋宏治、槐嘉代子。”電気熱量計による積雪の含水率測定について”。1950

※1 I-O DATA “Raspberry Pi 4 Model B (UD-RP4B シリーズ)仕様”、http://www。iodata。jp/product/pc/raspberrypi/ud-rp4b/spec。htm

※2 SWITCH SCIENCE “Arduino Due”、https://www。switch-science。com/products/1096

※3 Amazon “Ren He GY-8511 紫外線センサー UV 検出モジュール 280nm-390nm アナログ出力 UV Sensor Breakou Arduino に対応 GY-ML8511”、https://www。amazon。co。jp/Ren-He-280nm-390nm-Arduino%E3%81%AB%E5%AF%BE%E5%BF%9C-GY-ML8511/dp/B096FR8Z4F

※4 秋月電子通商 “ACS712 使用高感度電流センサーモジュールキット”、https://akizukidenshi。com/catalog/g/gK-14533/

※5 Amazon “SupLucktar ZOYOSI DS18B20 防水デジタル温度温度センサープローブ 1M 2M 3M 5M 10M 15M-10M”、https://www。amazon。co。jp/ZOYOSI-DS18B20%E9%98%B2%E6%B0%B4%E3%83%87%E3%82%B8%E3%82%BF%E3%83%AB%E6%B8%A9%E5%BA%A6%E6%B8%A9%E5%BA%A6%E3%82%BB%E3%83%B3%E3%82%B5%E3%83%BC%E3%83%97%E3%83%AD%E3%83%BC%E3%83%961M-2M-10M-15M/dp/B08C7W7Q4B?th=1

※6 Amazon “圧力センサー、Akozon DF9-40 高精度薄膜型圧力センサーフォースセンサー1 個入り(0-2kg)”、https://www。amazon。co。jp/Akozon-DF9-40%E9%AB%98%E7%B2%BE%E5%BA%A6%E8%96%84%E8%86%9C%E5%9E%8B%E5%9C%A7%E5%8A%9B%E3%82%BB%E3%83%B3%E3%82%B5%E3%83%BC%E3%83%95%E3%82%A9%E3%83%BC%E3%82%B9%E3%82%BB%E3%83%B3%E3%82%B5%E3%83%BC1%E5%80%8B%E5%85%A5%E3%82%8A-0-2kg/dp/B07P6QS9T4

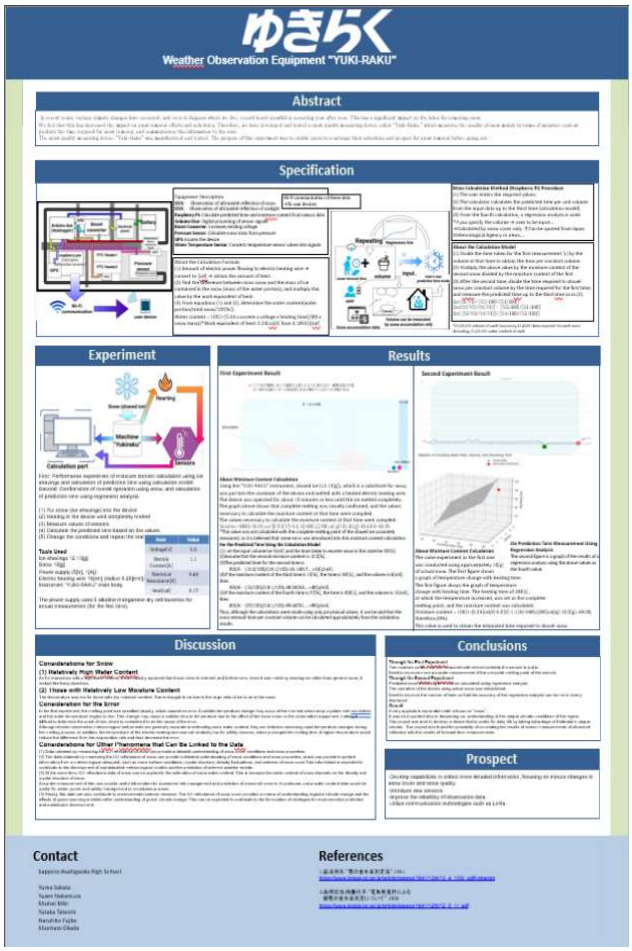
※7 SWITCH SCIENCE “Qwiic - SAM-M8Q 搭載 GPS モジュール(チップアンテナ)”、https://www。switch-science。com/products/5545

※8 楽天”DC-DC 昇圧コンバータ 昇圧モジュール 3-3。5V 5V-45V 電源モジュール 5A 昇圧 dc-dc コンバーター 出力電圧 9v”、https://store。shopping。yahoo。co。jp/salastore/kk07b9yc61m。html#

7. 発表成果

7.1.　第 12 回高校高専気象観測機器コンテスト

一般社団法人WNI気象文化創造センター主催のコンテストにおいて、1 次、2次選考を突破し、最終選考にて新人賞を受賞した。

7.2.　台湾にて台湾師範大学ポスターセッション

2024 年 7 月に台湾の国立台湾師範大学付属高級中学にて、英語でのポスターセッションを行った。