最優秀賞 賞金 20 万円

おんぷら

～積算温度で植物育成～

独立行政法人国立高等専門学校機構

鳥羽商船高等専門学校

おんぷら
～温度だけで分かること～
報告書

平成 29 年 10 月

鳥羽商船高等専門学校
制御情報工学科

3 年　野中　勝生
4 年　大野　拓摩
4 年　藤浪　薫

要旨

近年、農業従事者の高齢化、新規就農者の減少が問題となっています。短期間での技術継承が難しい、土地や農機など莫大な初期費用がかかる、収穫が天候に左右されることで労力に見合う安定した収入が得られないなどが主な原因となっています。おんぷらは、気温のみを観測し農作物の生育や害虫の発生ピーク、収穫などの時期を有効積算温度を利用して分析、予測します。そのデータをメッセージアプリ LINE で利用者にプッシュ通知し、そのデータをもとに経験の浅い新規就農者は農作物の育成を行います。また、気温は温度計の設置位置の高さで地面からの輻射熱等の影響を受けるため正確な気温の観測は非常に困難です。そのため今回は観測対象を気温だけに絞り、半導体温度センサと白金測温抵抗体を利用して取得した気温をアメダスと比較実験を行うことで気温観測の精度を高めます。白金測温抵抗体と半導体温度センサの精度比較実験では半導体温度センサよりも白金測温抵抗体の方が気温を正確に観測できることが分かりました。また、チンゲンサイの栽培による収穫時期予測実験ではチンゲンサイの播種からの観測で１１月１５日に収穫時期を迎えることが予測されています。実際に農家の方に試用していただき「早く設置したい」との声も頂きました。今後、観測データを蓄積することで正確な収穫時期の予測が可能になります。更にモモアカアブラムシ等の害虫の発生時期の予測まで可能になります。

目次

１．背景・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１
２．目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１
３．システム
　３．１　概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２
　３．２　機器説明
　　３．２．１　Arduino UNO・・・・・・・・・・・・・・・４
　　３．２．２　sakura.io・・・・・・・・・・・・・・・・５
　　３．２．３　半導体温度センサ・・・・・・・・・・・・６
　　３．２．４　白金測温抵抗体・・・・・・・・・・・・・７
　　３．２．５　A/D 変換器・・・・・・・・・・・・・・・８
　　３．２．６　Microsoft Azure ・・・・・・・・・・・・９
　　３．２．７　Microsoft Power BI・・・・・・・・・・１０
４．実験１
　４．１　方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１２
　４．２　結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１４
　４．３　考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１５
５．実験２
　５．１　方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１６
　５．２　結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１７
　５．３　考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１８
６．まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１９
７．今後の展望・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２１
８．参考文献・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２２

１．背景

さくらの開花予測に使われる有効積算温度は昆虫、植物が発育をとげるために必要とされる生育基準温度と１日の平均気温の差分を積算した値のことです。有効積算温度は植物や昆虫の生育だけでなく魚類の発育や孵化の時期、コンクリートの強度まで予測する事ができます。また害虫の発生ピーク時期や農作物の収穫時期などの植物の生育に必要な多くのことも分かります。

近年、第一次産業者の高齢化や、新規就農者の減少が問題となっています。熟練した農業従事者（篤農家）は農作物の品質、収穫や害虫の駆除等の作業時期を長年の経験に基づいて判断していますが、新規就農者には篤農家のような経験がなく、短期間での技術継承もできないためこれらを判断することが困難です。また農業を１から始めるとすると、土地やお金が必要となり、その初期投資の費用が莫大にかかってしまいます。それに加え、天候に左右されたりと運要素が高くなってしまうことも新規就農を阻む原因となっています。

２．目的

おんぷらは、気温のみを観測し農作物の生育や害虫の発生ピーク、収穫などの時期を有効積算温度を利用して分析、予測します。そのデータをメッセージアプリ LINE で利用者にプッシュ通知し、経験の浅い新規就農者は農作物の育成を行います。このように新規就農者をサポートするシステムです。また、気温は温度計の設置位置の高さで地面からの輻射熱等の影響を受けるため正確な気温の観測はとても難しいです。そのため今回は観測対象を気温だけに絞りました。半導体温度センサと白金測温抵抗体を利用して観測した気温をアメダスの気温と比較することで気温観測の精度を高めます。そして気温のみの観測をすることでセンサの数を最低限とし、システムの小型化と大幅なコストの削減を行うことができます。

３．システム

３．１　概要

おんぷらは温度センサ用いて、気温のみを観測し農作物の生育や、害虫の発生ピーク、収穫などの時期を予測するシステムです。おんぷらの最大の特徴は気温のみを観測することです。これにより、温度計の精度向上や、最小限のコストでシステムを構成することができるので、従来の観測機器と比較した場合システムの小型化や、大幅なコストの削減が期待できます。また植物の種類よって各生育段階における生育基準温度は決まっているため、播種した日から気温を積算し、植物の発芽や結実時期を予測することができます。さらには、害虫の発生ピーク予測も可能となります。そのため植物の知識が少ない人でも栽培が容易になります。

おんぷらのシステム構成は以下の通りです。

① 白金測温抵抗体の抵抗値や温度センサの値を Arduino UNO で取得し気温の算出を行います。

② 算出した値をさくらの通信モジュールを利用して Microsoft Azure へ送信、保存します。

③ Microsoft Power BI で値を分析、視覚化します。

④ 分析、視覚化したデータを利用者のスマートフォンへ通知します。

⑤ 利用者は、このデータをもとに播種や収穫時期などを判断します。

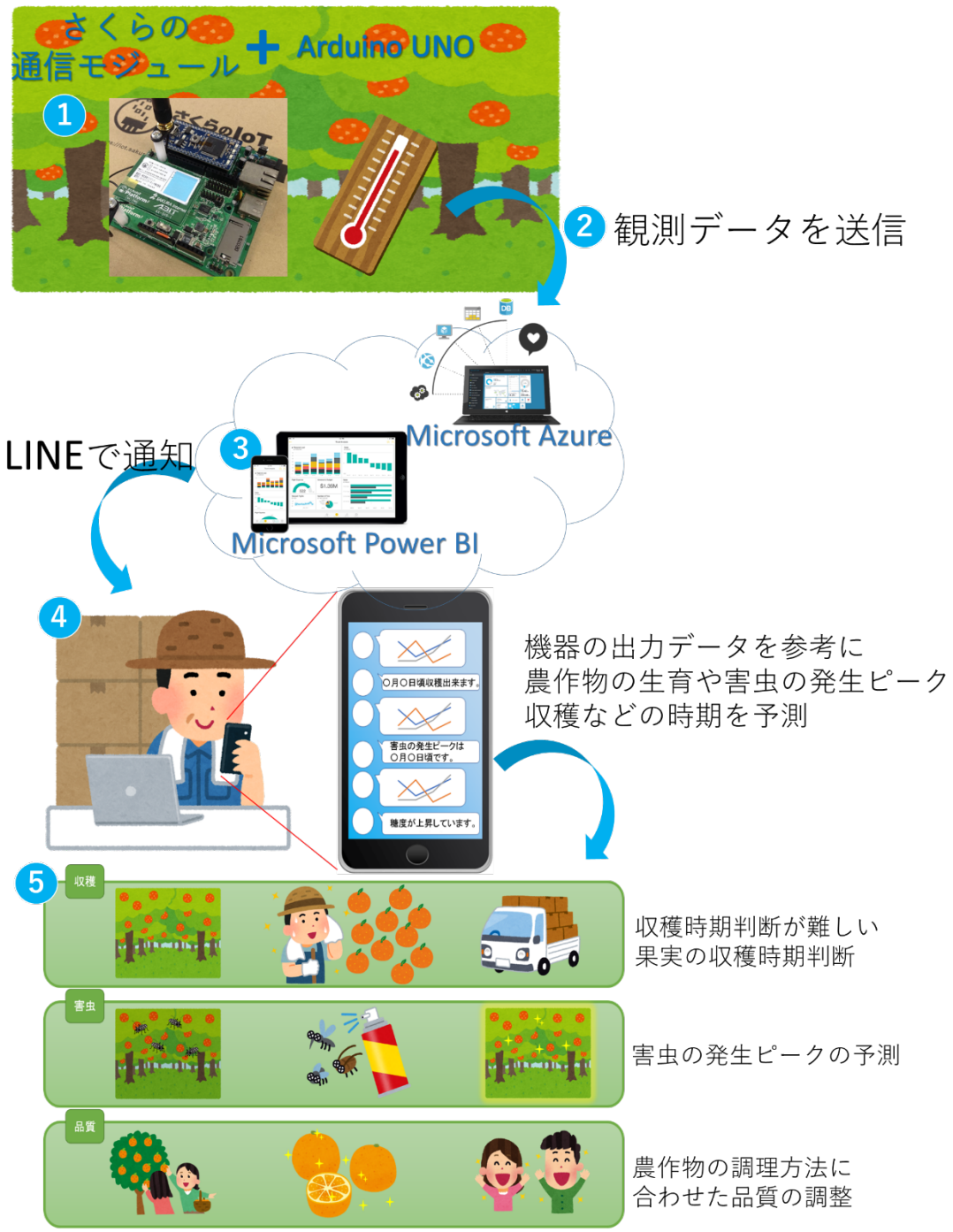
さくらの
通信モジュール
+ Arduino UNO
1
2 観測データを送信
Microsoft Azure
LINEで通知
3
Microsoft Power BI
4
○月○日頃収穫出来ます。
害虫の発生ピークは
○月○日頃です。
糖度が上昇しています。
機器の出力データを参考に
農作物の生育や害虫の発生ピーク
収穫などの時期を予測
5
収穫
収穫時期判断が難しい
果実の収穫時期判断
害虫
害虫の発生ピークの予測
品質
農作物の調理方法に
合わせた品質の調整

図１. システム概要図

３．２　機器説明

３．２．１　Arduino UNO

白金測温抵抗体の抵抗値や温度センサの値を Arduino UNO R3 で取得し気温の s や算出を行います。

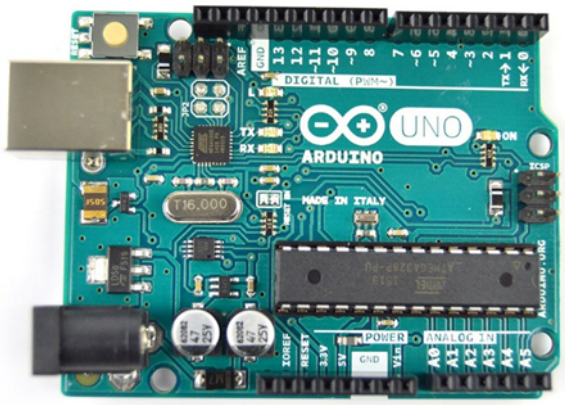

図２．Arduino UNO R3

- ◆　マイコンチップ:ATmega328P
- ◆　動作電圧:5V
- ◆　入力電圧（推奨）:7～12V　(DC ジャックもしくは VIN 端子から入力)
- ◆　デジタル I/O ピン:14 本（うち 6 本は PWM 出力可能）
- ◆　アナログ入力ピン:6 本（デジタル I/O ピンとしても利用可能）
- ◆　DC 出力電流:1 つの I/O ピン当り 20mA 程度、I/O ピン全部の合計 100mA まで（1 ピンあたり 40mA 以上流すと壊れます）
- ◆　DC 出力電流:3.3V 出力ピン 50mA
- ◆　Flash メモリ:32KB　(うち 0.5KB をブートローダーで使用)
- ◆　SRAM:2KB
- ◆　EEPROM:1KB
- ◆　クロックスピード:16MHz

３．２．２　sakura.io

Arduino UNO で測定した気温を sakura.io シールド for Arduino を介して Microsoft Azure にアップロードするためにさくらの通信モジュールを使用します。

図３．さくらの通信モジュール(LTE)

図４．sakura.io シールド for Arduino

◆　型番：SCM-LTE-01

◆　商品重量：8g

◆　型番：SCO-ARD-01

◆　商品重量：20g

３．２．３　半導体温度センサ（NTC サーミスタ）

今回使用した Arduino dht11 は、温湿度センサーdht11 を基板に取り付けモジュール化したものです。シリアル単線(1-wire ライク)通信で、ホスト(マイコン等)のデータ要求に返答する形式でデジタル出力されます。

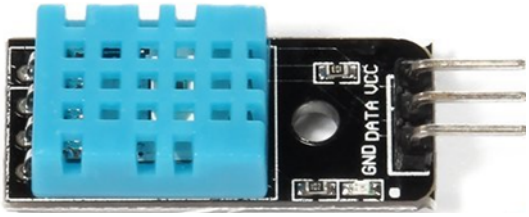

図５．Arduino dht11

- ◆　電源電圧：３．５Ｖ～５．５Ｖ
- ◆　消費電流：０．３ｍＡ（観測時)、６０μＡ（スタンバイ時)
- ◆　サンプリング間隔：２秒以上
- ◆　内部ＡＤコンバータ：各１６ｂｉｔ
- ◆　サイズ：１２×１５．５×５．５ｍｍ(ピン含まず)
- ◆　センサ：ＮＴＣサーミスタ
- ◆　精度：±２℃（@２５℃)
- ◆　繰り返し精度：±0.2℃
- ◆　レスポンス：１０秒以内（1/e（63%))
- ◆　形式：単線バス（双方向)、シリアル４０ｂｉｔ構成
- ◆　出力データ：湿度８ｂｉｔ(分解能：1%RH)、温度８ｂｉｔ(分解能：1℃)
- ◆　出力：オープンドレイン
- ◆　通信距離：２０ｍ max(@5.1kΩプルアップ)

３．２．４　白金測温抵抗体

測温抵抗体の原理を以下に示します。測温抵抗体は金属の電気抵抗が、温度と一定の関係にあることを利用したもので、きわめて純度の高い白金線を抵抗体としています。このような特徴があるため、白金測温抵抗体は一般的に高価です。ですが徹底した調査の結果、白金測温抵抗体でありながら２９８０円（税抜き）の安価なものを見つけることができ、おんぷらに採用しました。

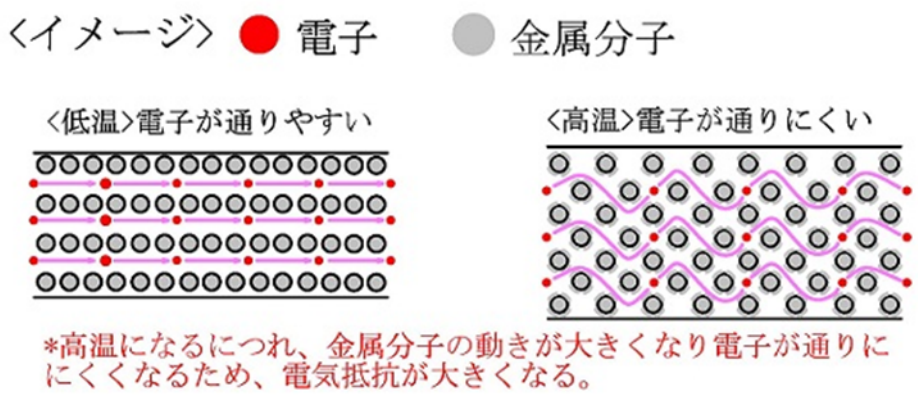

図６．測温抵抗体の原理

図７．白金測温抵抗体

◆　気温範囲(℃)0～＋200

◆　抵抗エレメント　白金測温抵抗体(Pt100Ω)B 級 3 線式

◆　・リード線長さ M(m)　2(±0.6)

３．２．５　A/D 変換器

今回は高性能な A/D 変換機 ADS1115 搭載 16Bit　ADC　4CH 可変ゲインアンプ付きを白金測温抵抗体の A/D 変換に使用しました。

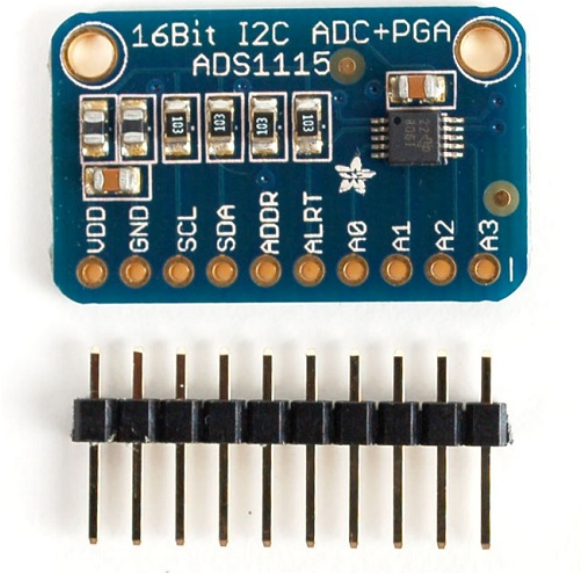

図８．A/D 変換機 ADS1115 搭載 16Bit ADC 4CH 可変ゲインアンプ付き

- ◆　超小型 X2QFN パッケージ: 2mm × 1.5mm × 0.4mm
- ◆　広い電源電圧範囲: 2.0V～5.5V
- ◆　低消費電流: 150μA(連続変換モード時)
- ◆　データ・レートを設定可能: 8 SPS～860 SPS
- ◆　収束時間は 1 サイクル
- ◆　低ドリフト基準電圧を内蔵
- ◆　オシレータを内蔵
- ◆　I^2C インターフェイス: 4 つのピンでアドレスを選択可能
- ◆　4 つのシングルエンド入力または 2 つの差動入力(ADS1115)
- ◆　プログラマブル・コンパレータ (ADS1114 および ADS1115)
- ◆　動作気温範囲: －40℃～＋125℃

３．２．６　Microsoft Azure

Microsoft Azure とはアプリケーションソフトが稼動するためのハードウェアや OS などのプラットフォーム一式を、インターネット上のサービスとして提供する形態のことを指します。今回は Microsoft Azure の IoThub とデータベースを使用しました。

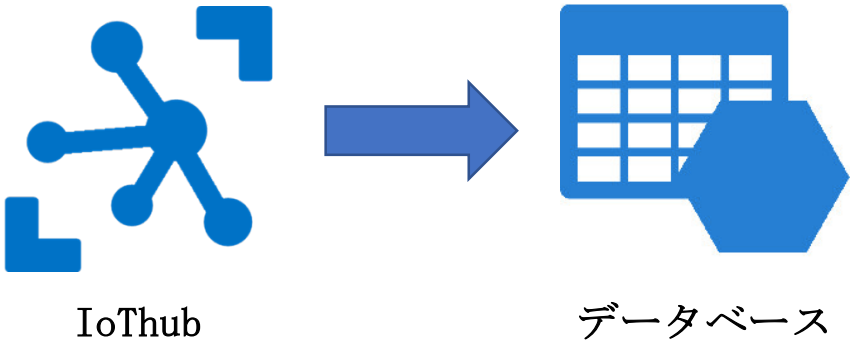

図９．Microsoft Azure IoThub

３．２．７　Microsoft Power BI

データを分析し、洞察を共有するビジネス分析ツールのスイートです。今回 Microsoft Power BI ではデータの視覚化を行います。Power BI を用いた実際のグラフを以下に示します。

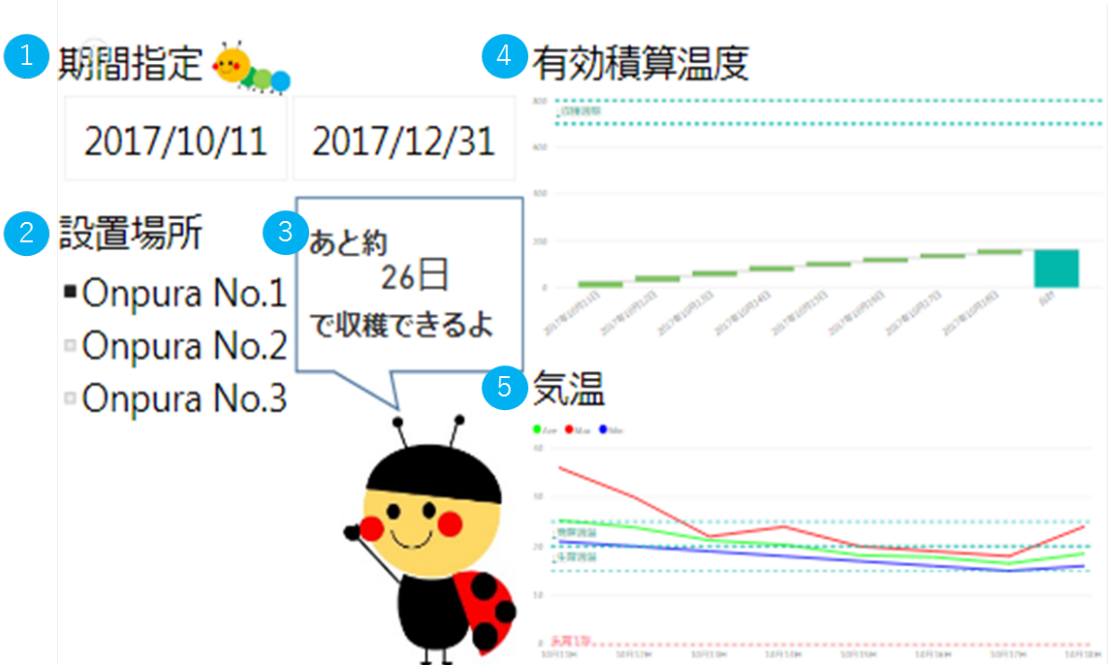

図１０．Microsoft Power BI によるチンゲンサイの生育予測

① 集計期間の指定
② 温度計の選択
③ 収穫の目安を表示
④ 有効積算温度のグラフ
⑤ 一日の最高気温、最低気温、平均気温のグラフ

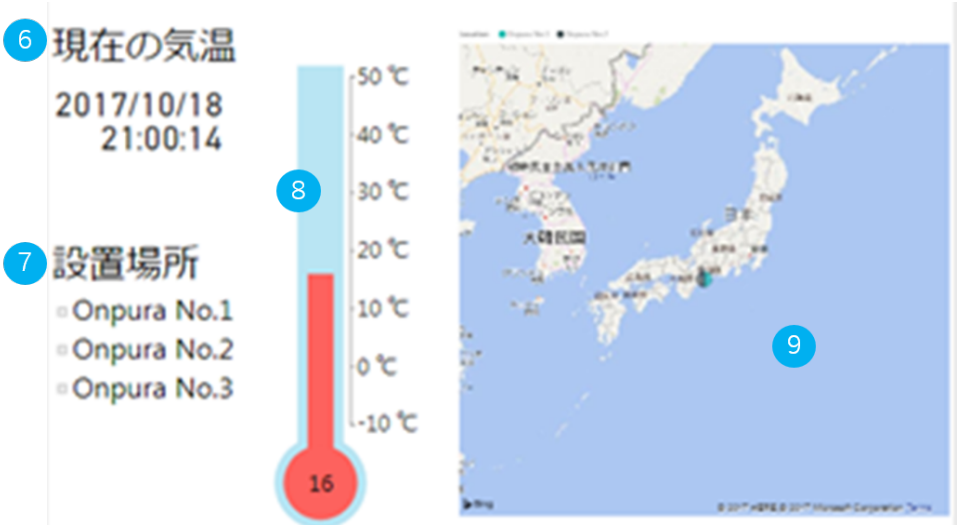

図１１．Microsoft Power BI による現在の気温の表示

⑥ 現在の日時
⑦ 温度計の選択
⑧ 現在の気温
⑨ 温度計の設置位置

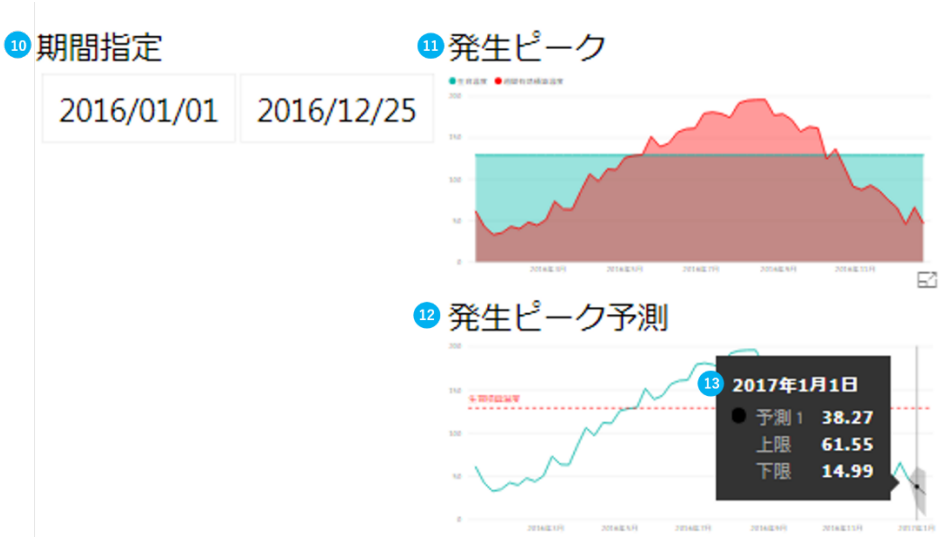

図１２．Microsoft Power BI によるモモアカアブラムシの発生ピーク予測

⑩ 集計期間の指定
⑪ モモアカアブラムシの発生ピークのグラフ
青色がモモアカアブラムシの生育に必要な有効積算温度。青色を超えた赤色のグラフは１週間以内にモモアカアブラムシが成虫になることを示しています。
⑫ 発生ピーク予測
⑬ オンマウスで予測の詳細を表示

４．実験１

４．１　方法

白金測温抵抗体と半導体温度センサの精度の比較実験を行います。白金測温抵抗体、半導体温度センサで取得した気温とアメダスの気温を比較して、その精度を検証します。白金測温抵抗体と半導体温度センサのスペックを以下に示します。

白金測温抵抗体と半導体センサは同じ箱の中に入れ、１．５ｍの高さに設置します。また、輻射熱の影響を受けないように箱の内部には断熱材を張り強制通風を行います。温度計の設置状況と配置写真を以下に示します。

表１．センサの性能比較表

センサ	白金測温抵抗体	半導体温度センサ
精度	±0.425(@25℃) ±（0.3＋0.005｜t｜）℃	±2℃（@25℃）

図１３．温度計の設置状況

図１４．温度計の配置写真

４．２　結果

学校敷地内に設置されているアメダスと白金測温抵抗体、半導体温度センサを１０月１４日のデータを使用して比較した結果を以下のグラフに示します。

また、今回おんぷらは鳥羽に設置されているアメダスから約１０ｍの位置に設置されています。

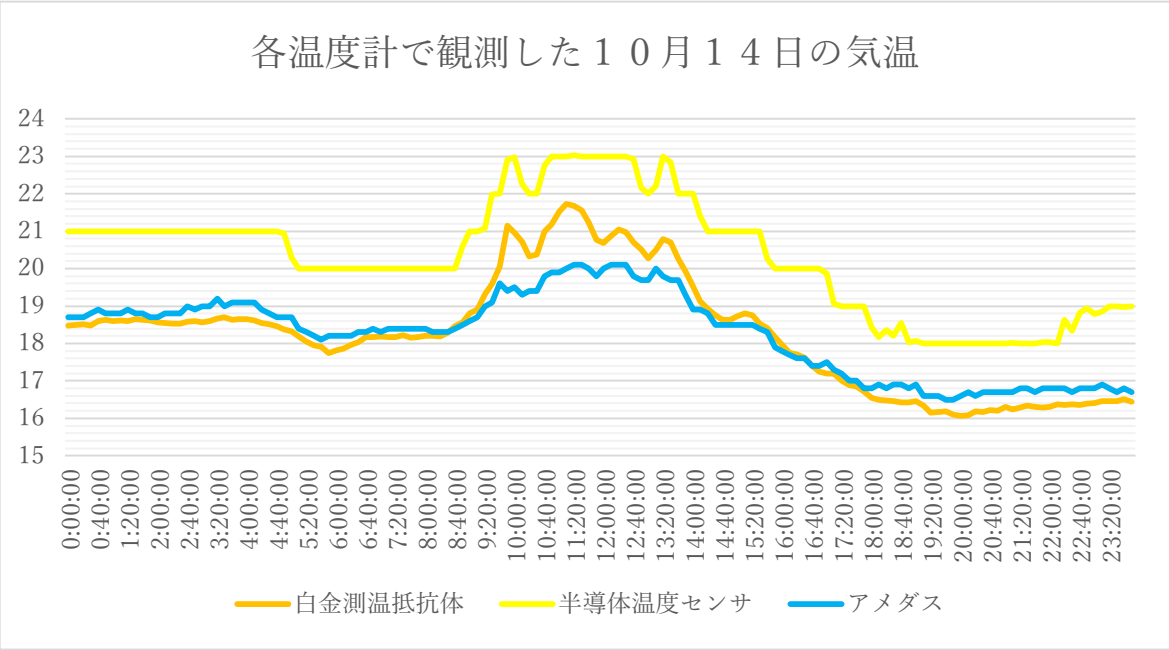

図１５．アメダスと白金測温抵抗体、半導体温度センサの比較

表２．アメダスと白金測温抵抗体、半導体温度センサの比較

日時	白金	半導体	アメダス
15:00:00	18.74048	21	18.5
15:10:00	18.80823	21	18.5
15:20:00	18.75065	21	18.5
15:30:00	18.52714	21	18.4
15:40:00	18.41408	20.26667	18.3
15:50:00	18.17296	20	17.9
16:00:00	17.96679	20	17.8
16:10:00	17.74301	20	17.7
16:20:00	17.70551	20	17.6
16:30:00	17.62301	20	17.6
16:40:00	17.40037	20	17.4
16:50:00	17.24492	20	17.4
17:00:00	17.19386	19.86667	17.5
17:10:00	17.19127	19.0678	17.3
17:20:00	16.99908	19	17.2
17:30:00	16.88674	19	17
17:40:00	16.84524	19	17
17:50:00	16.70781	19	16.8
18:00:00	16.54554	18.42373	16.8

４．３　考察

実験より白金測温抵抗体と半導体温度センサをアメダスと比較して、白金測温抵抗体とアメダスとでは最大約１．７４℃、半導体温度センサとアメダスでは最大約３．５℃の誤差が出ることが分かりました。また、白金測温抵抗体の値の方が半導体温度センサよりもアメダスの値に近いことが分かりました。これより、白金測温抵抗体の方が半導体温度センサよりも高精度であることが証明されました。図１５のグラフでは９時頃～１４時頃までの誤差が大きくアメダスよりも白金測温抵抗体の気温が高く観測されていることから、誤差の原因は日中の輻射熱の影響であると考えられます。

今回の実験では輻射熱の影響を少なくするため、強制通風を行っていますが、吸気口に対して排気口がなく排気が出来ないために輻射熱の影響を受けたと考えました。そのため、輻射熱を排気するための排気口を箱の上部左右に三箇所ずつ開けました。対策前と対策後の写真を以下に示します。

図１７．対策前

図１８．対策後

５．実験２

５．１　方法

実際におんぷらを使用してチンゲンサイの栽培を行っています。温度センサで気温を観測し、有効積算温度を観測していきます。播種した日から気温を積算していきます。１０月１１日に播種を行い、校内でチンゲンサイの育成を開始しました。播種の様子を以下に示します。

図１９.播種の様子１

図２０．播種の様子２

５．２　結果

１０月１８日時点のチンゲンサイの生育状況（発芽状態）とおんぷらで観測した有効積算温度および、その時点での生育予測結果を以下に示します。生育予測結果等の情報はデータに応じてリアルタイムで変化します。

図２１．チンゲンサイ生育状況

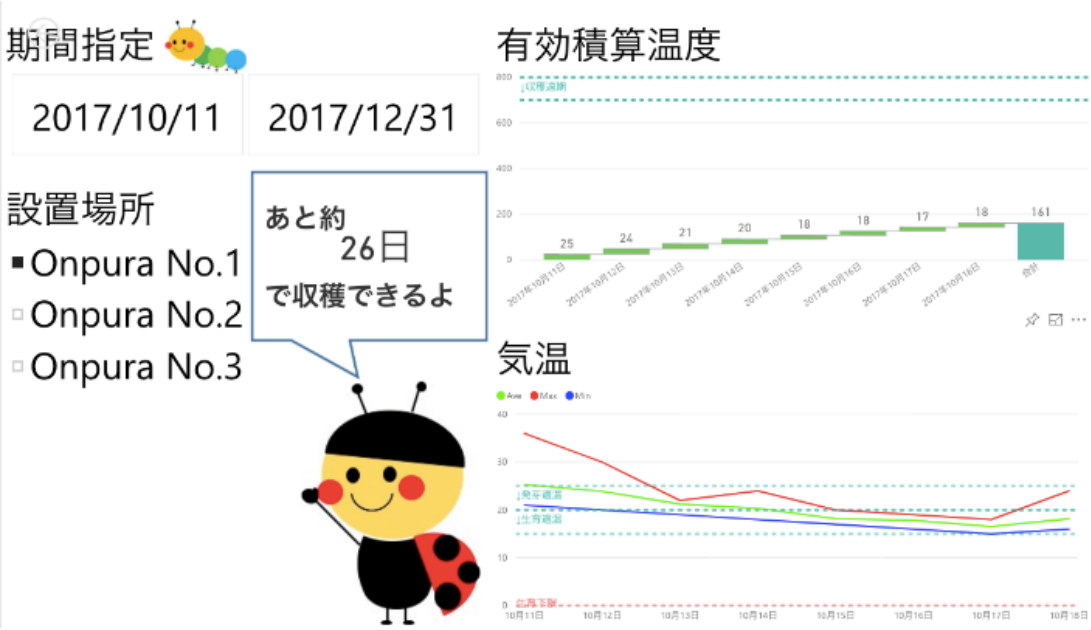

図２２．有効積算温度

５．３　考察

１０月１１日に播種、１０月１８日に有効積算温度１６１℃で発芽を迎えました。このあと、おんぷらの予測では１１月１５日に有効積算温度７００℃で収穫適期（１株１００ｇ）を迎える予定です。今回は時間の関係で発芽までしか報告することができませんでしたが、実験の進捗はコンテストのポスター発表で報告します。

また、収穫時期を迎えたら、おんぷらの予測精度の検証を行います。今回の実験では単純な有効積算温度のみで収穫時期の予測を行っていますが、気温と植物の生育速度には密接な関係（生育適温では生育速度が速く、生育適温から離れるほど生育速度が遅くなる）があることが知られているため、この特性を考慮して予測を行うことで更に予測精度を高めることが出来ると考えています。

６．まとめ

以上、二つの実験より、有効積算温度を用いることで農作物の収穫時期が予測出来ることが示唆されました。これにより、農業をしたことのない人にも簡単に農作物の収穫時期を判断することが出来るようになるでしょう。

１月１日を起算日とし、有効積算温度を算出することでそれぞれの害虫が成虫になる時期が判断できます。そのため、このシステムを稼動し続けることで害虫の発生時期のピークを予測することが可能になります。有効積算温度で発生時期が予測できる害虫の例を図２４に示します。また、長期間おんぷらを稼動することで、その土地の特性を把握することができます。これより、低温障害、発育遅延などが発生しにくい、その土地に適した農作物を選択して栽培することができます。

今回、おんぷらの構成にかかった費用は 40,271 円です。そのうち白金測温抵抗体を用いた温度計は 22,593 円、半導体温度センサを用いた温度計は 17,678 円で作成しました。それにより無線温度ロガーに比べても安価な気象観測機器を構成することができました。

また実際農家に訪問し、おんぷらを試用してもらいました。この農家ではハウス栽培を行っているため、ハウス内の室温はコントロールしています。しかし灯油の盗難被害にあった場合、温度の変化に気づけず不作になってしまう場合があるそうです。また既設の温度センサの不調などにより、高温または低温被害が出る恐れがあります。高額な機器の更新は現状、農業では難しいため、故障率が高く、被害も出ています。別途センサのみでの温度観測、観測などができるのは自宅での温度管理ができるため「夜中の点検作業がいらず、手間が省けるため、少しでも早くおんぷらを設置したい」との意見をいただきました。そのときの写真を以下に示します。（図２３）

図２３．農家の方がおんぷらを試用する様子

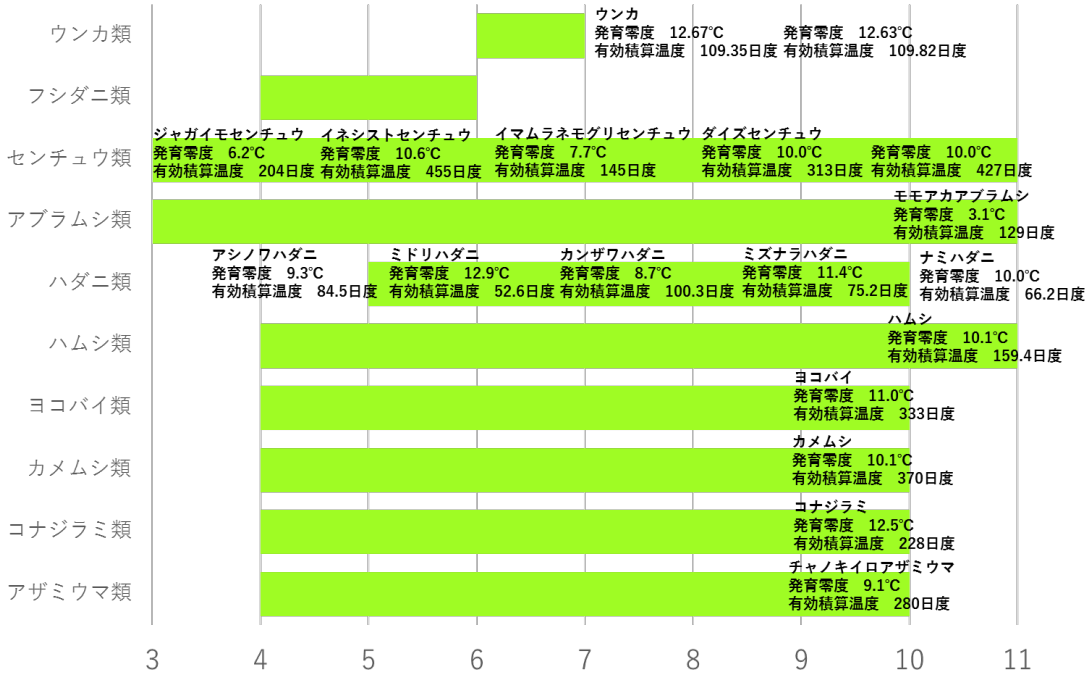

図２４．害虫発生予測表

７．今後の展望

今後の展望としては温度計の更なる精度向上に向けて改良を進めていきます。またチンゲンサイの害虫の発生ピーク予測と収穫時期の適正温度をさぐり、用途に合わせた植物育成ができるようにします。更には、チンゲンサイ以外の植物の実証実験も行います。そして、実際農家に設置させてもらい、実用化に向けて農家の方が使いやすいように改良も行っていきます。今回の実験より以下の点を改良する必要を感じました。

・観測機器の改良点
　・半田を使っての配線
　・消費電力の削減
　・機器の組み立ての煩雑さ
　・温度計の精度向上
・ユーザーインターフェースの改良点
　・スマートフォンだと、日付けの指定が困難
　・害虫発生ピーク予測する害虫の種類の追加
　・生育予測する農作物の種類の追加

以上の点を改良することで、より多くの設置要望をいただけるようにし、システムの実用化・サービス化を目指します。

８．参考文献

１．　気象庁　アメダス
http://www.jma.go.jp/jp/amedas/

２．　測温抵抗体の原理・種類・特徴・導線形式について
http://www.hayashidenko.co.jp/about_rtd.html

３．　水産関係用語集（積算温度）－ 宮城県公式ウェブサイト
https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/suishin/yogo2404.html

４．　低段・多段組合せ栽培による トマトの周年多収生産技術マニュアル
http://www.jgha.com/tomato-teidantadan.pdf

５．　野菜の病気対策と害虫対策 Guide Book
http://yasaitosyokubutsubyoukitaisaku.com/byoukitaisaku/tingensai.html

６．　日本産昆虫、ダニの発育零点と有効積算温度定数：第２版
http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/sinfo/publish/bulletin/niaes31-1.pdf

７．　有効積算温度法による軟弱野菜の収穫期の予測
http://farc.pref.fukuoka.jp/farc/seika/seikah2-6/6-24.pdf