

第13回気象文化大賞 研究成果報告書

IoTを活用した土壌水分観測システムによる霧および霜の発生検知手法の検討

研究代表者： 吉田将司

所属機関： サレジオ工業高等専門学校

1. 研究背景と研究目的

関東内陸部は主として冬季に放射冷却が起これ、霧や霜、霜柱が発生しやすい環境である。霧による濡れは作物の生育全般を抑制し、特に根の伸長を著しく阻害する。一方、夏季においては台風による豪雨や逆に日照りなど土壌水分の変化を伴う。

今回観測対象とする大豆や麦は、種子を直接畑に蒔き、植物の育成、管理を行う。しかしこれらの作物は湿害の影響を受けやすく、降雨や霧の影響により育成障害を起こす。霧や霜、霜柱に関する研究は、農業分野、気象分野で様々な観点から取り上げられている。自然現象に対してこれらの障害を完全に防ぐ方法はないが、霧や霜、霜柱の発生を早期に検知、または予測することにより、ある程度の対策が可能であることが先行研究により明らかとなってきた。

しかし耕作地が複数点在する農家は、移動にも時間がかかるなど対策にかかる時間が多く必要であるため、対策の効果が限定的となる。そこで、複数の農地を同時に観測するセンサネットワークによる観測システムの構築が必要と考えられる。その中で本研究は、天候と耕作地内の水循環の関係に着目し、IoT技術を利用してこれらを観測するという試みである。

本研究室では20年から、土壌水分量の観測用センサネットワークシステムについて検討してきた。本研究の最終目的は点在する農場における霧や霜、霜柱の発生を検知もしくは予測するシステムを開発することである。まず土壌水分や雨量を観測するためのセンサノードを開発し、その状態を遠隔監視できるセンサネットワークシステムを構築する。次に、霧や霜、霜柱の発生条件をもとに、ノードや基地局で観測した気象及び土壌水分量の変化から発生を検知するシステムを追加する。最後に、冬季に本システムを農場に設置して大豆・麦を対象として実地実験を行い、その妥当性を評価する。申込者の属する学校（東京都町田市）や協力先（栃木県大田原市）などは関東の内陸部に属しており、霧や霜柱の発生しやすい場所である。地域特有の気象現象について調査し、その情報を今後地域に還元することを目標としている。

2. 研究内容と成果

2.1 本研究の達成目標

本研究は大きく3つの段階で実施する予定である。ただし1年間で終了できない場合もあり、その場合は継続実施が必要であると考えている。

(1) 観測ノードの製作と試験

本研究室ではこれまでに気象観測機器コンテストにおいて簡易的な土壌水分観測システムを開発してきた。図1は今回開発する土壌水分観測システムの構成、図2は観測ノードの構成概要、図3は昨年製作し、農場で実験した観測ノードの概観を示す。これを本研究では土壌水分だけでなく霧及び霜、霜柱の観測に利用する。まずは霧や霜の発生条件をもとに、センサでの検出条件を検討する。必要があれば、専用の検出装置を製作する。次に、その結果と研究室内での霧等の再現実験から、実際に検出できるかを確認する。

(2) 取得データのデータ処理方法及び表示方法の検討

点在する耕作地の観測ノードから、比較的消費電力で遠距離通信が可能なLoRaを活用して常時安定した電源が確保された基地局へデータを送信する。基地局からはLTEを利用してインターネット回線に接続し、各種Googleサービスを活用してデータ格納、表示を行う。さらにSNSを利用した情報を表示も検討する。

(3) 実地実験によるデータ取得と評価

製作したシステムについて、まずは町田市にある申込者の学校（サレジオ高専）で運用試験を実施する。その後、研究協力者である栃木県大田原市にある農場に設置し、実際に秋季の麦、春季の大豆の栽培に合わせて観測データを取得する。これらの試験では別途タイムラプスカメラを設置し、実際に霧や霜、霜柱が発生した状況と、観測ノードでの判定条件が一致しているかについて比較検討する。

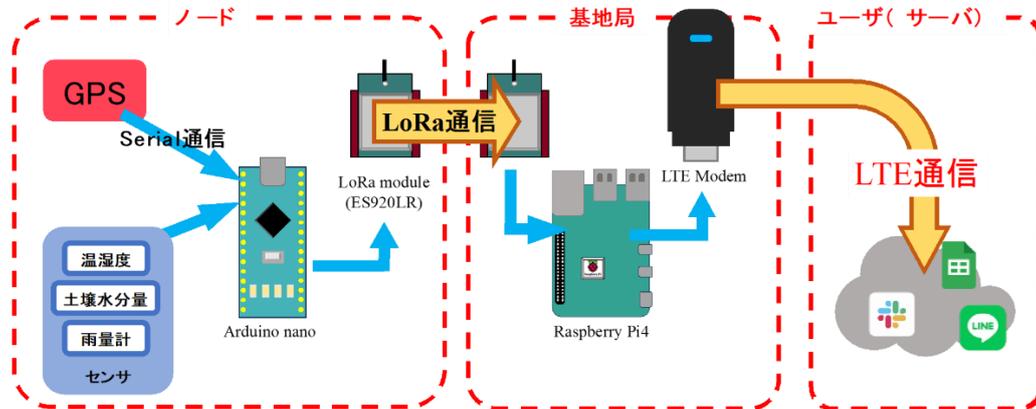


図1 土壌水分観測システムの概要

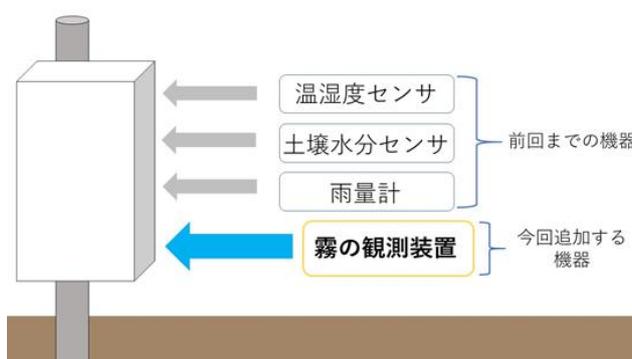


図2 観測ノードの構成



図3 製作したノードの内部（2022年）

2.2 観測システムの構築

(1) 観測ノードの製作と試験

図4は今回開発した観測ノードの概観、図5は基地局の概観を示す。2022年に製作したものと比較して温度湿度センサ及び雨量計が追加された。また霧の検出装置を取り付けられるようにした。図6は霧の検出方法を示す。霧の検出は、鏡で反射させたレーザー光をカラーセンサで検出し、電圧に変換する仕組みである。霧が生じると光が散乱するため、検出電圧が低下する。この装置を図7に示すように、図4のノードに取り付けた。この検出装置の性能調査として、加湿量が明記された加湿器を利用し、加湿量と受光量の関係を調査した。表1は実験結果を示す。この結果から、約3[mL/分]を超えないと検出の閾値として利用できないことが判明した。そのため、この方法による霧の検出を取りやめ、今後赤外線を利用した装置を製作することとした。このように霧の検出装置に時間がかかったことから、霜及び霜柱の観測方法の検討が予定より遅れることとなった。そこで、霜柱は観測を断念し、冬季以降に霜検出の検討を行い、静電容量式葉濡れセンサを活用することを決定した。市販品とセンサモジュールで測定結果を比較した。

(2) 取得データのデータ処理方法及び表示方法の検討

図5で示したように、基地局はLoRaで受信したデータをマイコンを通じてLTEルータに送信、インター

ネット回線に接続し、本研究室の Google Drive 内に作成したスプレッドシートに格納する。図 8 は実際に収集した様子を示す。学内における実験にて、温湿度、雨量、土壤水分の観測とデータ受信に成功した。次に、取得したデータを SNS にて確認する方法を検討した。今回は LINE bot 形式を利用し、ノード番号を問い合わせることでその時点での該当するノードの取得データを表示させることができた。図 9 は LINE によるデータ表示例を示す。以上のように、当初予定していたデータ処理及び表示方法を達成することができた。



図 4 新規製作したノードの概観



図 5 基地局の構成

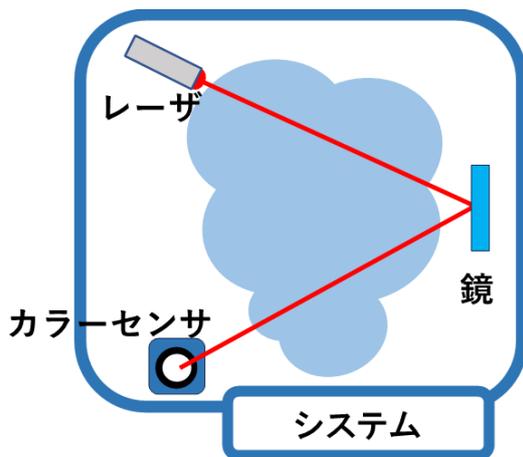


図 6 レーザーを利用した霧検出

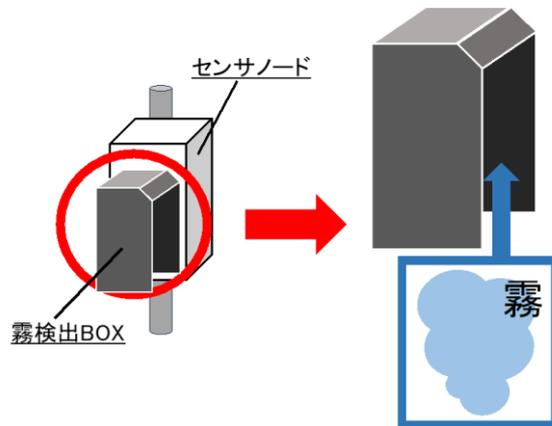


図 7 霧検出装置の取り付け

気象観測_土壤水分 ☆ 📁 ☁

ファイル 編集 表示 挿入 表示形式 データ ツール 拡張機能 ヘルプ

🔍 🔄 🏠 📏 100% ▼ ¥ % .0_ .00 123 デフォ... ▼ - 10 + B I 🔒 A 🗑️ 📄 📄 📄

L20 ▼ | fx

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	受信時刻	観測時刻	番号	RSSI	緯度	経度	土壤水分量	雨量
2	2023/12/08 17:53:08	17:53:00	3	-93	0	0	2.55	0
3	2023/12/08 17:52:08	17:52:00	3	-90	0	0	2.55	0
4	2023/12/08 17:51:08	17:51:00	3	-93	0	0	2.55	0
5	2023/12/08 17:50:08	17:50:00	3	-94	0	0	2.54	0
6	2023/12/08 17:49:08	17:49:00	3	-92	0	0	2.55	0
7	2023/12/08 17:48:08	17:48:00	3	-91	0	0	2.54	0

図 8 Google Drive のスプレッドシートを利用したデータ収集



図9 LINEによるデータ確認

表1 加湿量と受光量の関係

加湿量[ml/分]	受光量[V]	標準偏差[V]
0.00	4.93	0.04
2.82	4.91	0.01
3.33	4.45	0.25
5.00	2.92	0.30

2.3 観測実験結果

(3) 実地実験によるデータ取得と評価

2023年11月に学校内の中庭にプランターを設置し、プランター内に観測ノードを設置して雨量と土壌水分の変化を観測した。図10は大雨が降った11月14日～18日にかけての雨量と土壌水分の変化を示す。雨量は比較対象として気象庁相模原のデータを黒線で示した。この図のように、雨量に関して気象庁とほぼ同様の観測結果となり、十分な結果が得られた。土壌水分センサは17日の雨量の急激な変化に対応して出力電圧が低下しており、満足な結果と言える。しかし透水性が高いプランターを使用したため水がたまることなく抜けてしまい、滞留に対しての変化検出が不十分な結果となった。

次に、11月の実験で明らかになった問題点を改良した上で、2024年5月に神奈川県立相原高校に協力を依頼し、遠隔観測実験を実施した。中庭に観測ノード、100[m]ほど離れたビニルハウス内に基地局を設置した。このときの取得した観測データをGoogle drive上でリアルタイムに更新表示させた。結果としては、1日半程度で観測が停止した。何回か再起動を実施したが同様の結果となった。原因を調査した結果、基地局に使用しているRaspberry Piのプログラムの通信エラーが判明した。そのため、プログラムが改善されるまでは2022年まで使用していた基地局とLTEルータの間をWi-Fiで接続させることで運用することとした。

最後に、2024年6月に静電容量式水分センサの比較実験を実施した。既製品である葉濡れセンサ(C-PHYTOS-31)と安価な静電容量式水分センサモジュールを1週間屋外に設置し、その出力を比較した。

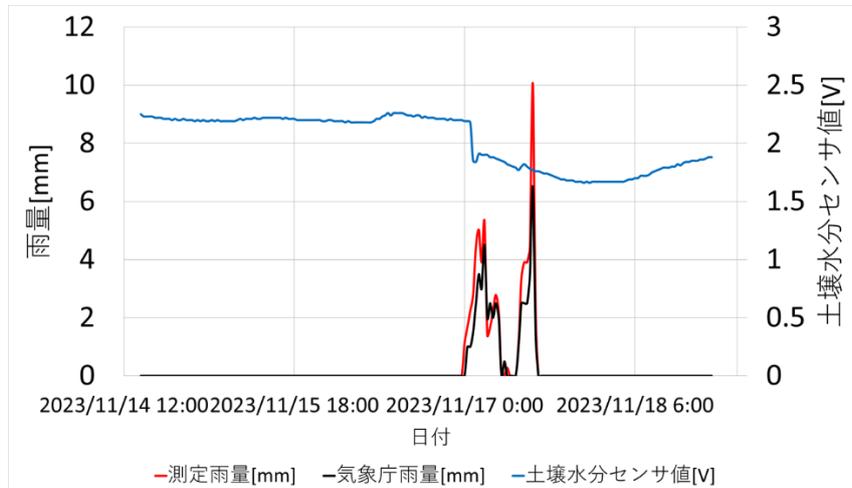


図10 11月における雨量とセンサ値の関係



図 11 葉濡れセンサの試験



図 12 センサ値の比較結果

図 11 は実験の様子、図 12 はセンサ値の比較結果を示す。この図の廉価版はセンサモジュール、既製品は C-PHYTOS-31 を示す。概ね両方とも降雨時に同じタイミングでセンサ値が変化しており、水分変化をとらえられていることを確認した。しかしモジュールの出力値は変動が大きいことから、平均化などの処理が必要であることがわかった。また今回はこれらのセンサで霧及び霜の検出を行っていないため、今後実施する予定である。

3. まとめ

本研究課題は点在する農地の水分変化の把握と湿害、霜害等の発生予測を目的とした観測ノードの製作と、そのデータ収集及び表示方法を検討した。その結果、温湿度・土壌水分及び雨量の観測とデータ取得・表示に成功した。ただし基地局の安定運用に課題が残った。また霧の検出は不十分な結果となり、霜検出の検討も遅れたため、霜柱の検出については断念した。今後は新たな基地局の製作及び水分変化量の検証、霧、霜の検出実験を課題としてさらに研究を進める予定である。

謝辞

本研究を実施するにあたり、協力して頂いた神奈川県立相原高校、岩城農場の岩城様、及び研究室所属学生に感謝の意を表します。

成果発表実績

- [1] 近藤優衣, 吉田将司, “圃場内水分量の観測システムの検討”, 第15回大学コンソーシアム八王子学生発表会, PJ4-12, 2023.
- [2] 須川稜己, 吉田将司, “スマート農業における高速 LTE 回線を用いた遠隔観測システムの構築”, 第15回大学コンソーシアム八王子学生発表会, E111, 2023.
- [3] 吉田将司, 大村葵未子, 近藤優衣, 中川雅史, “湿害低減を目的とした土壌水分観測用無線センサネットワークの検討,” 測位航法学会, GPS/GNSSシンポジウム2023, pp89-91, 2023.
- [4] 近藤優衣, 吉田将司, “遠隔地での運用を想定した土壌水分量観測システム,” 測位航法学会, GPS/GNSSシンポジウム2024, 2024 (10月発表予定) .

参考文献

- [1] 松本賢英, 「スマート農業の社会実装に向けた取り組み」, 日本農薬学会誌, Vol.45, No.2, pp141-145, 2020.
- [2] 赤山直生・島田敬士・有田大作・谷口倫一郎, 「農業センシング情報の収集可視化システム」, 情報処理

学会全国大会, 5ZE-05, 2019.

[3] 大村葵未子, 吉田将司, “湿害低減のための雨量計を用いた土壤水分量観測システムの構築”, 第14回大学コンソーシアム八王子学生発表会, D113, 2022.

[4] 近藤優衣, 吉田将司, “ADR 法と静電容量式センサの測定値比較及び土壤水分量の状態判別法の検討”, 第14回大学コンソーシアム八王子学生発表会, E127, 2022.

[5] 吉田龍紀, 塚本悟朗, 近藤優衣, 吉田将司, “遠隔地での運用を想定した土壤水分量観測システム”, 測位航法学会, GPS/GNSSシンポジウム2022, BS-08, p227, 2022.