

第14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実験的検討

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り、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。特に小麦は秋季に播種し、春季に収穫するため、他の作物と比較して冬季における霧や霜の影響が考えられる。霧や霜に関する研究は、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。湿害対策は主として大雨や霜、霧など空気中や土壌水分の変化に即応して適切な処置を施すことが基本である。しかし耕作地は点在していることが多く、小規模農業従事者がすべての耕作地の土壌の状態を確認して作業することは困難である。そこで、点在する土壌水分の状態を遠隔で一括確認できるシステムを低コストで導入できれば、作業効率の向上と収穫量の増加が期待できる。

本研究は、まず天候と耕作地内の水循環の關係に着目し、IoT技術を利用して複数の農地を同時に観測するセンサネットワークを構築する。この観測データを利用して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。霧や霜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。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。図1は本研究の目標を示す。本研究は広域に点在する圃場の土壌水分・霧・霜を検知し、そのデータをSNS等により生産者に通知・確認できるシステムの開発までを目標とする。

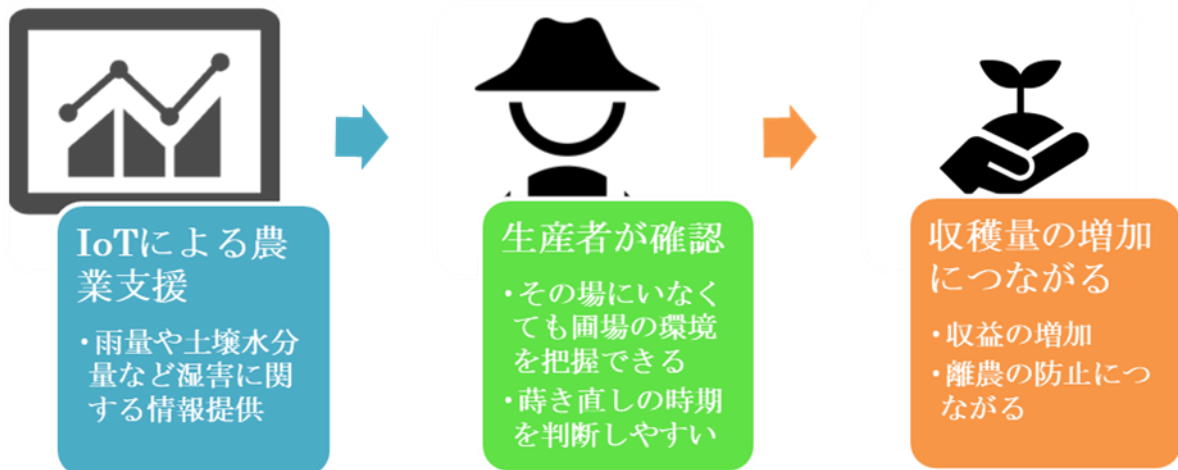


図1 本研究の目標

2. 研究内容と成果

2.1 本研究の達成目標と昨年までの達成度

本研究は大きく3つの段階で実施する。昨年度は①気温・湿度・雨量・土壌水分の遠隔観測及び、②霧の観測装置の試作運用を目標として実施した。昨年度において目標のいくつかは達成されたが、不十分なものもあった。今年度は継続課題として解決に取り組むこととした。

(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2は今回開発する土壌水分観測システムの構成を示す。点する耕作地の観測ノードから、比較的低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。昨年度の結果としては気温、湿度、雨量等の観測は概ね順調に達成できた。遠隔観測に関しては基地局にLPWAとWi-Fiを利用していたが、それぞれの通信確立を行うための基地局を常時交流電源に接続しておく必要があるなどの課題があった。さらに基地局を設置したことにより通信範囲の制約が大きいことから、今年度は基地局を廃止し、LTEを採用しノードから直接インターネット環境に接続させることを目標とした。

(2) 霧及び霜の検出方法の再検討

昨年度、視程計の原理を利用した霧検出装置を試作し、室内での検出実験に成功した。しかし実際に霧が発生する条件下での遠隔実験等を実施することができなかった。そこで今年度は製作した検出装置の実地試験を行うとともに、新たに葉濡れセンサを利用した霧及び霜の検出・確認を計画している。葉濡れセンサはまず市販品を用いて検証し、その後コスト削減を目指し自作する予定である。

(3) 実地実験によるデータ取得と評価

昨年度は実証が学内での観測にとどまってしまったことから、今年度は圃場での実地観測を2段階で実施する。製作したシステムを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。1段階目は近隣の農業系高校である神奈川県立相原高校に協力を依頼し、遠隔観測実験を行う。2段階目に栃木県の岩城農場に協力を依頼し、複数の観測ノードを用いて広域観測実験を実施する。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。

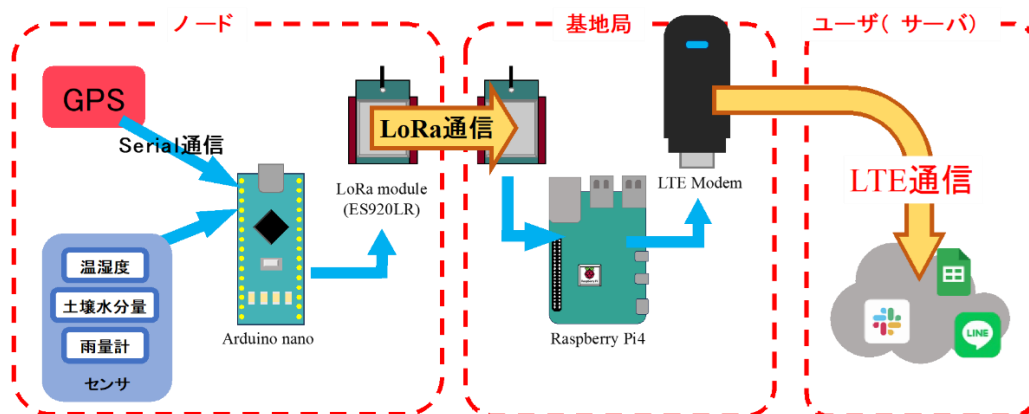


図2 土壌水分観測システムの概要

2.2 観測システムの構築

(1) 観測ノードの製作

図3は今年度製作した観測用センサノードの外観を示す。ノードはGPS受信機とLoRaモジュール、小型マイコンArduino Nanoと各種センサ、及び太陽光発電パネルとバッテリーで構成されている。今年度は土壌水

分センサと雨量計だけでなく、温湿度気圧センサと霧の検出装置とロガーを追加した。温湿度気圧センサは簡易的なシェルタを製作して雨量計から吊るした。霧の検出装置は、赤外線センサによる視程距離の変化により検出する方式を採用した。また通信不可の場合に備えてマイクロ SD カードでログを取得することとした。図 4 は基地局の外観を示す。データ受信用の LoRa モジュールと小型マイコン M5StickC plus, LTE 方式の Wi-Fi ルーターが接続されている。

(2) 霧及び霜の検出方法の再検討

霧が発生した場合における、発生時刻時の温湿度、気圧、雨量のデータと霧の検出装置の変化から発生条件を調査した。なお今回は霜の検出装置を搭載しなかったが、本システムとは別に葉面濡れ検出用のセンサ (C-PHYTO-31, CLIMATEC 製) と同様の形状の低価格静電容量式センサを樹木の下部に設置し、センサ値の変化を観測した。



図 4 新規製作したノードの概観



図 5 基地局の構成

2.3 観測実験結果

(3) 実地実験によるデータ取得と評価

8 月 (夏季) 及び 12 月 (冬季) に栃木県大田原市にある岩城農場で実施した。夏季の実験期間:は 2024 年 8 月 6 日～8 月 20 日、冬季の実験期間は 2024 年 12 月 9 日～2025 年 1 月 31 日である。測定項目は気温、相対湿度、気圧、土壌水分量、雨量、葉濡れ、霧 (赤外線センサ) である。ただし、冬季はノードを 2 台準備し、タイムラプスカメラにより霧の有無を観測した。また冬季の葉濡れセンサは 1 月 2 日まで、冬季のノード 1 台は 1 月 5 日までの観測期間であった。圃場の土壌水分量はノードに搭載した安価な静電容量式センサと、TDR 法による土壌水分計 (土壌水分モニター C-M1001, CLIMATEC 製) を用いて観測、比較した。図 6 はノードで観測した気温、相対湿度と大田原に設置されている気象庁のアメダスで観測された気温、相対湿度を示す。ただし、観測ノードは通信不調と同時にロガーも停止していたため、一部欠測区間がある。昼間は気象庁データに対してノードが高温低湿となったが、それ以外はほぼ同じ傾向であることが確認できた。高温低湿となった理由としては、センサ位置が地面と 20[cm]程度しか離れていなかったため輻射熱の影響を受けたと考えられる。図 7 は静電容量式センサ及び土壌水分計による土壌水分変化の比較結果を示す。なお、土壌水分センサ値は検出した出力電圧の変化で示されている。また黒の鎖線は雨量計で降雨が観測された時刻を示す。雨量を観測すると同時にノードのセンサ、土壌水分計共に値が大きく変化した。この図から、低価格静電容量式センサの値は、土壌水分計と同様の傾向が見られ、数時間単位の変化傾向については評価可能であることを確認した。今年は 12 月中に降雨がなかったため、冬季実験において比較はできなかった。

図 8 は冬季実験における霧の発生・消失と葉濡れセンサ値の変化を示す。この実験における霧の有無は、タイムラプスカメラによる観測結果から決定した。その結果、霧の発生時と消失時に葉濡れセンサが反応していることが判明した。霧発生時の各センサとの関係を調査した結果、①気温 0℃以下、②湿度 80%以上、且つ③気圧低下時、という条件が重なっている場合であることが判明した。なお、赤外線を利用した霧の検出装置はほとんど値の変化は見られなかった。また霜は検知できなかった。

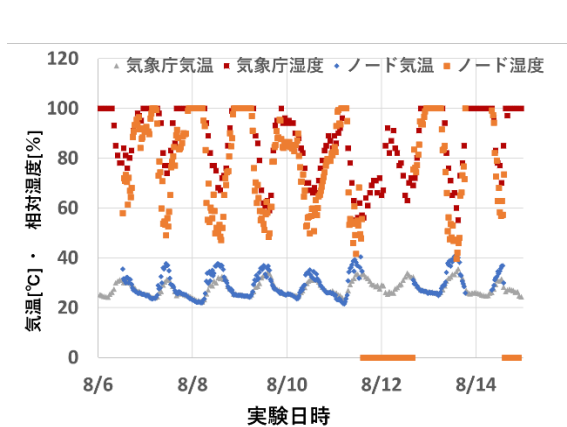


図6 夏季における観測結果

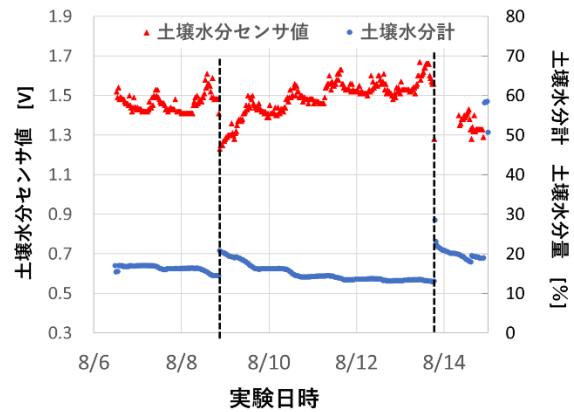


図7 夏季における土壌水分の比較結果

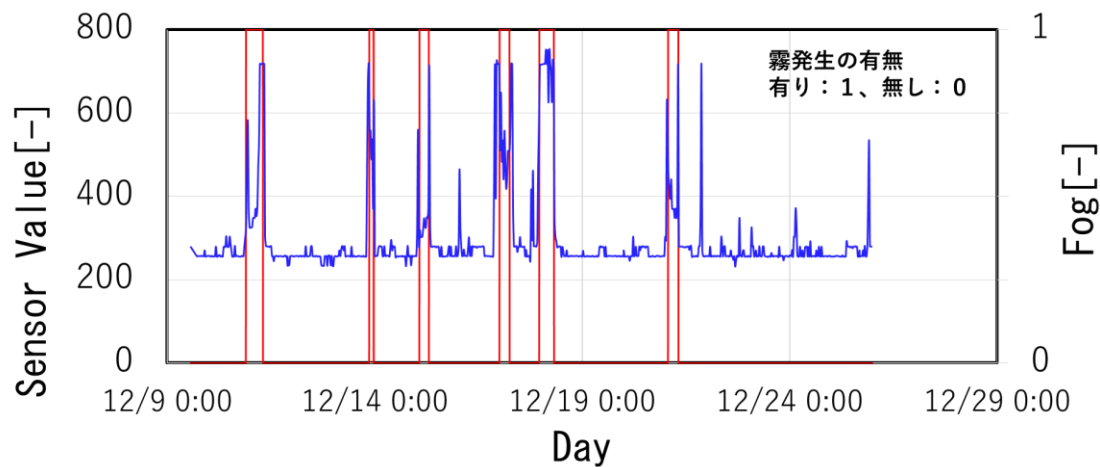


図8 冬季における霧発生・消失と葉濡れセンサ値の関係

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。観測ノードを製作後、夏季と冬季に約2か月程度の長期観測を実施した。その結果、気温、相対湿度、気圧、雨量及び土壌水分の相対変化は取得可能であった。冬季実験において霧の発生と消失の検出に葉濡れセンサが有効であることが分かった。ただし、その発生条件は再現性を検討する必要がある。また霜の検出はできなかったため、タイムラプスカメラを増設し現象の把握を目指す。今後は広域データ取得のため、基地局を廃止し新しい観測ノードを開発する。また霧、霜の検出を調査し、発生予測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、協力して頂いた岩城農場の岩城義広様、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, “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,
- [2] 吉田将司, 近藤優衣, “圃場周辺の水分変動を予測するための簡易観測装置の検討”, 電気学会研究会資料, IIS-24-067-070, 2024.

[3] 吉田将司, “農業におけるスマートセンシング技術”, 電気設備学会誌, 2025, 45 巻, 6 号, p. 334-337, 2025.

参考文献

- [1] 加藤 雅康, 「ダイズの苗立ち時の「湿害」の原因は何だろうか」, 日本作物學會紀事, 82 , pp446-447, 2013.
- [2] 中野恵子, 原嘉隆, 土屋史紀, 松尾直樹, 「大豆作圃場での土中水分・酸素濃度の降雨応答」, 農業農村工学会大会, pp469-470, 2016.
- [3] 農研機構, 「霧による濡れが根の発達とその後の生長に及ぼす影響」, 日本農業気象学会1991年度全国大会, 1991.
- [4] 松本賢英, 「スマート農業の社会実装に向けた取り組み」, 日本農業学会誌, Vol、45,No、2, pp141-145, 2020、
- [5] 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,
- [6] 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壌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,
- [7] 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壌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,
- [8] 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壌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.