

## TDR 霜センサを用いた霜と凍露の判別

## Distinction between sublimated frost and frozen dew using TDR frost sensor

○ 澁谷和樹\* 登尾浩助\*\*

Kazuki Shibuya, Kosuke Noborio

## 1. はじめに

夜間の放射冷却によって、著しく低い気温に曝されることで、農作物が凍結し枯死することを凍霜害という。多くの場合、過冷却された農作物の葉表面に霜が付着することで、凍結が誘引され発生する。近年、温暖化による耐凍性の向上不足などが起こり、農作物の凍霜害被害が増加傾向にある。2014年の被害見込金額は75億円に上り(農林水産省, 2014)、面積当たりの被害額は同年の鳥獣害被害と比べても倍以上に大きく、日本における農作物の凍霜害被害は決して軽微ではない。しかし、微量な霜を高精度で検知可能なセンサが無く、霜の観測が目視でしか出来ないことが、野外での凍霜害の研究を困難としており、被害軽減の解法となる凍霜害の実態解明に未だ至っていない。従来センサは精度を欠き易く、霜と結露の判別や小型化が難しいという問題があり、実用性のある高精度なセンサを提供することが困難であった。そこで、物質によって異なる比誘電率 $\epsilon$ (水=80, 氷=3.5, 空気=1)を測定することで、検知部に付着した物質の判別が高精度で可能なTDR(Time Domain Reflectometry: 時間領域反射)法を用いたTDR霜センサの開発を行った。本研究では、農作物への影響が異なると考えられるため、凍霜害の実態解明を行う上で必要な情報である霜(水蒸気が昇華したもの)と凍露(結露が凍結したもの)の2つの霜の形態を判別した観測及び、この2つの形態と量が変化する環境要因に関する新しい知見の獲得を目的とした。

## 2. 実験方法

TDR霜センサは、2線式の検知部(導体:銅箔)を渦巻き状にすることで、水蒸気が昇華して発生するような霜も付着しやすく、検知可能な面的な検知部を設計した(Fig. 1)。また、目標である農作物の葉などへの霜の発生を時差無く検知するには、気温の低下や放射冷却によって冷えやすく、霜が発生し易いように、検知部は薄く製作する必要があると考えた。そこで、(株)ケツト科学研究所に製作依頼したポリイミドフィルム(厚さ0.075mm)をベースフィルムとした検知部を使用した。また、検知部に付着した物

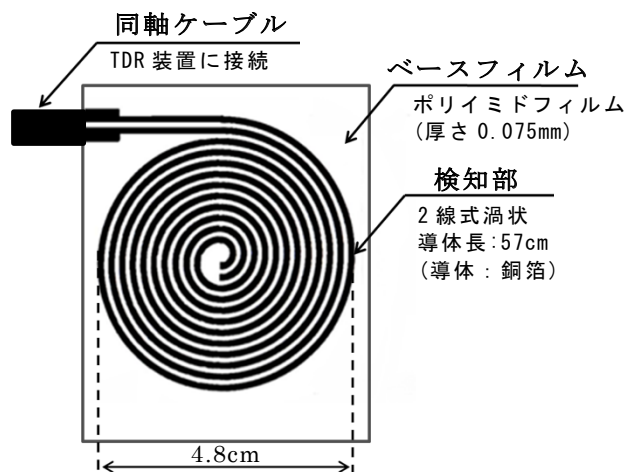


Fig. 1 TDR霜センサの概要  
Overview of TDR frost sensor

\*明治大農学研究科農学専攻 Graduate School of Agriculture, Meiji University

\*\*明治大学農学部 School of Agriculture, Meiji University

キーワード: 気象環境 気象災害 降雪・融雪

質を判別するための比誘電率 $\epsilon$ の測定にも、(株)ケツト科学研究所製の特注である TDR 装置を用いた。茨城大学農学部附属フィールドサイエンス教育研究センターにおいて、2016年1月27日-4月28日の約3ヶ月間、明治大学生田キャンパス南圃場において2016年12月29日-2017年2月18日の約2ヶ月間の野外観測を行った。TDR 霜センサを地上5cmの高さに設置し、熱電対によるセンサ上の温度測定と比誘電率 $\epsilon$ はデータロガーCR3000 (Campbell Scientific 社製) を用いて1分間隔で測定した。環境条件として純放射量 (Kipp&Zonen 社製, CNR1)、風向風速 (Campbell Scientific 社製, 034B) と気温・相対湿度 (Campbell Scientific 社製, HMP45C) を1分間隔で測定し記録した。

### 3. 結果と考察

比誘電率の変動から霜 (Fig. 2-A)・凍露 (Fig. 2-B) を判別した観測が出来た。霜の場合、着霜が起こるときの検知部上の変化は空気 ( $\epsilon=1$ )→氷 ( $\epsilon=3.5$ ) であるため、比誘電率 $\epsilon$ は0.5→0.7と僅かに上昇した。凍露の場合、まず結露が起こるときの検知部上の変化は空気 ( $\epsilon=1$ )→水 ( $\epsilon=80$ ) であるため、比誘電率 $\epsilon$ は0.6→3.5と大きく増加し、その後、結露の凍結が起こると検知部上の変化は水 ( $\epsilon=80$ )→氷 ( $\epsilon=3.5$ ) となるため、比誘電率 $\epsilon$ は3.5→0.8と大きく低下した。また、霜と凍露ともに、量の増加を比誘電率 $\epsilon$ の増加 (霜 0.7→0.9、凍露 1.0→1.4) から捉えることができた。霜と凍露の環境要因の違いは、主に気温と絶対湿度であった。霜は凍露が生じる環境に比べ、気温の冷え込みが強く、絶対湿度が約2.3-2.8g/m<sup>3</sup>と低かった。絶対湿度が低いため冷え込みが強く、微量の水蒸気が気温低下に伴い徐々にセンサ上に凍結して形成されたと考えられる。凍露が生じる環境は、絶対湿度が3.2-3.8g/m<sup>3</sup>と高いため結露しやすく、気温の冷え込みも比較的緩やかであった。そのため、水蒸気が凍結すること無く、センサ上で結露した後に、気温が氷点下に達すると結露が凍結した。量に変化する環境要因は、気温と絶対湿度の他に露点と風速の寄与が大きい可能性が示唆された。霜の場合は、センサ温度が露点に達すると霜量の増加が確認された。センサ温度が露点に達したことでセンサへ結露し易くなり、霜が成長し量が増加した可能性が考えられた。凍露の場合は、センサに結露が発生し始めてから、強風や雲の発生によって気温が低下せず、凍結までに時間が掛かるほど結露量が多くなり、凍露量も多くなった。また、凍露の発生後は気温が氷点下であれば、風速が約1m/s程度になると量の増加が確認された。適度に風速がある方が大気中の水蒸気が凍露に輸送されるため、量の増加が起きた可能性が考えられた。霜と凍露では、氷の結晶構造や付着の仕方が異なるため、量の増加要因が異なると考えられた。

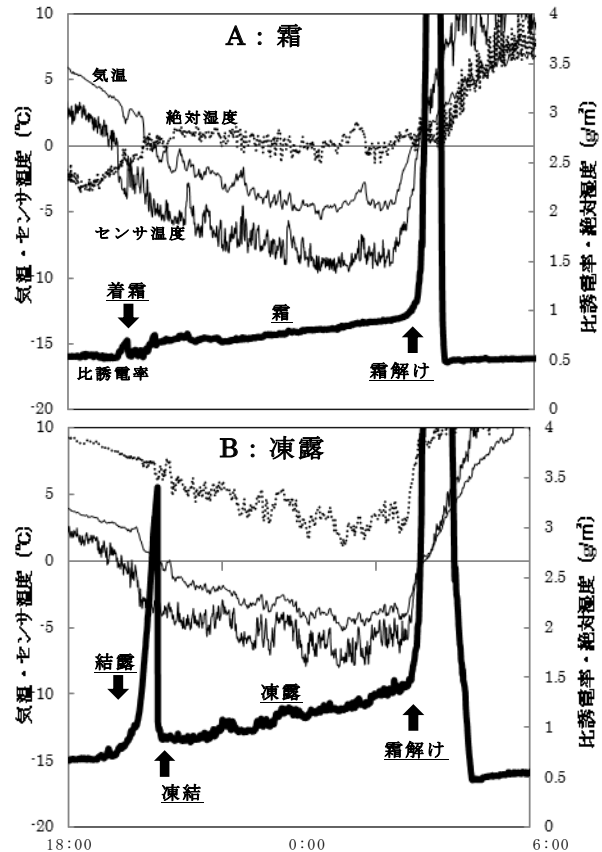


Fig. 2 霜と凍露の判別

Distinction between sublimated frost and frozen dew

る。凍露が生じる環境は、絶対湿度が3.2-3.8g/m<sup>3</sup>と高いため結露しやすく、気温の冷え込みも比較的緩やかであった。そのため、水蒸気が凍結すること無く、センサ上で結露した後に、気温が氷点下に達すると結露が凍結した。量に変化する環境要因は、気温と絶対湿度の他に露点と風速の寄与が大きい可能性が示唆された。霜の場合は、センサ温度が露点に達すると霜量の増加が確認された。センサ温度が露点に達したことでセンサへ結露し易くなり、霜が成長し量が増加した可能性が考えられた。凍露の場合は、センサに結露が発生し始めてから、強風や雲の発生によって気温が低下せず、凍結までに時間が掛かるほど結露量が多くなり、凍露量も多くなった。また、凍露の発生後は気温が氷点下であれば、風速が約1m/s程度になると量の増加が確認された。適度に風速がある方が大気中の水蒸気が凍露に輸送されるため、量の増加が起きた可能性が考えられた。霜と凍露では、氷の結晶構造や付着の仕方が異なるため、量の増加要因が異なると考えられた。