

TDR 法を用いた霜露センサの開発及び実証

The development and demonstration of frost dew sensor using the TDR method

○渋谷和樹* 登尾浩*助

Kazuki Shibuya, Kousuke Noborio

1. はじめに

日本における農作物の凍霜害被害は、2014年には被害面積15,400ha、被害見込金額75億円と報告されており（農林水産省）、凍霜害の被害は決して小さくない。近年では温暖化により被害が増加傾向にあり、より適切な対策を講じていく必要がある。さらに将来、温暖化に伴い作物栽培地域が変化する可能性があり、凍霜害の発生頻度・発生場所も変化すると考えられ、この変化に対応するための対策の策定が必要とされている。しかし現状では、凍霜害の確認方法は目視のみであり、降霜量などの定量的な測定法が無いため、被害の評価が十分出来ていない。そのため、被害の規模・程度に応じた適切な対策を策定できずにある。燃焼法などの事前対策（被害予防）のさらなる向上には高精度な発生予測（発生確率・発生時間・発生場所）が必要であり、摘果や農薬散布などの事後対策（被害回復）の向上には実際の降霜情報（降霜量・被害範囲・被害時間）が必要である。そのため、高精度な発生予測と降霜を実測する手法の開発が必要とされている。既存の凍霜害予測モデルには、最低気温・葉温・降霜を指標とした大別すると3つのモデルが存在するが、これらのモデルは凍霜害の局所性と降霜の有無を考慮していないため、精度の面で未だ不十分である。既存の凍霜害予測モデルは1-20kmメッシュで予測が行われているが、凍霜害は地形・湿度・風速に影響を受けるため局所的にも発生しており、降霜を直接検知可能な手法があれば、それを用いて得た降霜情報を活用することで、予測モデルの精度をより高められると考えられる。また、既存の凍霜害予測モデルでは、凍霜害の発生条件として「最低気温が4℃以下」、「葉温が3時間以上0℃以下」など気温のみで定義されているが、霜が付着することで作物の細胞内凍結を誘引するため、降霜があることで約0.8℃早く凍結が起こることが知られており（酒井, 1995）、降霜の有無を考慮することで予測モデルの精度をより高められると考えられる。しかし、従来の霜を検知する方法として、光学式や振動式などのセンサが知られているが、これらのセンサは精度を欠き易く、霜と結露の判別と小型化が困難という問題があり、優れたセンサを提供することが困難であった。そこで本研究グループでは、比誘電率を測定することで物質の特定が可能なTDR(時間領域反射)法を用いた霜露センサの開発を行い、室内実験において霜の検知に成功し（加藤ら, 2008）、野外においても霜の検知に成功した（宮川ら, 2009）。しかし、ガラスエポキシ製感光基板（サンハヤト社製）で製作したものは熱容量が大きく、作物の葉と比較すると着霜し易さに差が生じている可能性が考えられた。そこで本研究では、さらに降霜が葉と同様に発生し易いようPCB（ポリ塩化ビフェニル）製の熱容量の小さいシート状のTDR霜露センサを用いての観測及び、熱収支式を使用してTDR霜露センサの実用性の実証を行った。

*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 農地環境

2. 実験方法

1) TDR 霜露センサ

TDR (Time Domain Reflectometry, 時間領域反射) 法により、センサ上の比誘電率を測定した。空気の比誘電率が 1、水の比誘電率が 80、氷の比誘電率が 3.5 であることから、センサ上についた物質の区別が可能である。本研究では、降霜が葉と同様に発生し易いよう PCB (ポリ塩化ビフェニル) 製の熱容量の小さいシート状の霜露センサ (ケット科学研究所製) を使用した (Fig. 1)。電極長さ 57cm、電極幅 0.1cm、電極間隔 0.05cm の渦巻き状 2 線式 TDR センサを使用した。

2) センサ設置

山梨県南都留郡山中湖村において、2015 年 12 月 26-29 日に野外観測を行った。霜露センサを地上 5cm の高さに設置し、1 分間隔で測定した。センサ上の温度を T 型熱電対とデータロガー CR3000 (Campbell Scientific 社製) を用いて 2 分間隔で測定した。さらに環境条件の測定として、純放射計 (1m:Campbell Scientific 社製, CNR1, 5cm:ペルチェ素子) と風速計 (1m:Campbell Scientific 社製, 034B, 5cm:熱線風速計) を地上 1m と 5cm の高さ、温湿度計 (Campbell Scientific 社製, HMP45C) を地上 1m の高さに設置し、同じくデータロガー CR3000 を用いて、1 分間隔で測定した。

3. 結果・考察

霜露センサを用いた野外での観測結果を Fig. 2 に示した。実線のグラフに比誘電率、2つの点線のグラフに気温とセンサ上の温度をそれぞれ示した。12:00 から 18:00 にかけて比誘電率は低い値を推移しており、これは空気を示し

ており、検知部に何も付着していないことを示している。18:00 に着霜によって比誘電率が高くなった。霜は 18:00 から翌朝 10:00 にかけて降霜し続け、比誘電率の値も霜の増加に伴って増加し続けた。温度上昇により 11:00 には霜が解けた。水の比誘電率は 80 であり、氷の 3.5 に比べ高いため、それにより比誘電率は一時的に急激に上昇した。その後、解けた霜によって生じた水もすぐまた蒸発したため、比誘電率は降霜前の値まで低下し、その後は安定した。熱容量の小さいシート状の TDR 霜露センサを用いることにより、検知部に着霜し易くなり、より明確に着霜を捉えることができた。降霜の有無は目視に頼らざるを得ないため不確実性を孕む、そのため実用性の実証を行うに当たり、現在、私たちは熱収支式による降霜シミュレーションのコードを開発中です。

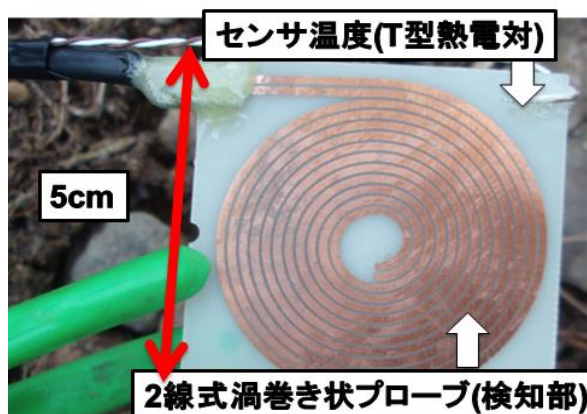


Fig. 1 霜露センサの概要

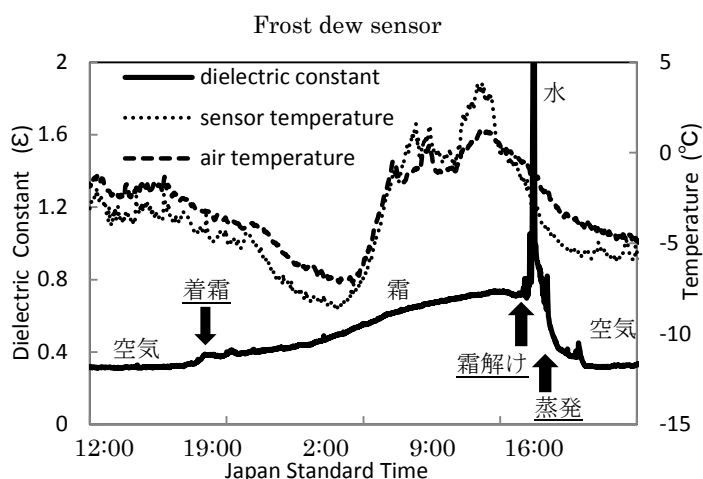


Fig. 2 比誘電率・温度の観測結果
Observation of the dielectric constant and temperature