

## 飯舘村各地区における土壌凍結日の推定 Estimating soil freezing date in each district of Iitate Village

○登尾浩助\* 溝口勝\*\* 岩瀬広\*\*\*

Kosuke Noborio\* Masaru Mizoguchi\*\* Hiroshi Iwase\*\*\*

### 1. はじめに

2011年3月に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故によって放出された $^{137}\text{Cs}$ と $^{134}\text{Cs}$ が福島県相馬郡飯舘村をはじめ周辺各地に降下して環境汚染を引き起こした。塩沢ら(2013)は、事故直後の5月24日に調査を行って、降下したほとんどの $^{137}\text{Cs}$ と $^{134}\text{Cs}$ が地表面付近の深さ5cmまでに存在していることを報告した。また、溝口(2012)は、飯舘村では冬期に表層土壌が凍結するので、 $^{137}\text{Cs}$ と $^{134}\text{Cs}$ を含んだ表層土を容易にはぎ取り取ることができることを実証した。溝口が実証した凍土はぎ取りによる除染法は、農水省が発行した農地除染対策の技術書にも参考技術として取り上げられている(農林水産省, 2013)。表層土が5cm程度まで凍結する時期を予測する精度は、凍土はぎ取りによる農地除染の効率を左右する。本報告では、飯舘村佐須公民館近くに設置した気象台の気温データを利用して、村内各地区の土壌凍結日を推定できないか検討した。

### 2. 実験方法

写真1に示すように、気温と地表面から5cm深さの地温を1時間毎に測定するための温度計を飯舘村各行政区の水田に設置した。気温測定用の温度計(RTR-51, T&D社)は、地表から50cm高さに設置した。日射の影響を低減するために、白色ペンキを塗った塩ビ性排水管用65mmエルボの内側に温度計をぶら下げた。サーミスタ温度計(RTR-52, T&D社)を地表面から5cmの深さに差し込んで測定した。参照とした気温は、佐須公民館近くの民家の庭に設置した気象台の気温を使った。

各測定場所における気温を使って、積算寒度 $F$ を計算した。積算寒度 $F$ ( $^{\circ}\text{Ch}$ )は、1時間毎に測定した気温 $T_a$ ( $^{\circ}\text{C}$ )が $0^{\circ}\text{C}$ 以下になったときの気温のみを足し合わせた。積算寒度 $F$ と凍結深度 $z$ (cm)の間には次の関係が成立する(溝口, 2012)。



写真 1. 温度計設置状況

$$z = \sqrt{\frac{2\lambda}{\rho_i \theta L} |F|} \quad [1]$$

ここで、 $\lambda$ は土壌の熱伝導係数( $\text{W/m/K}$ )、 $\rho_i$ は氷の密度( $=0.918 \text{ Mg/m}^3$ )、 $\theta$ は凍結直前の体積含水率( $\text{m}^3/\text{m}^3$ )、 $L$ は水の凍結潜熱( $=334.0 \text{ MJ/Mg}$ )である。地表面における風をはじめとする様々な

\*明治大学農学部 School of Agriculture, Meiji Univ., \*\*東京大学大学院農学生命科学研究科 Grad. School of Agric. and Life Sci., The Univ. of Tokyo, \*\*\*高エネルギー加速器研究機構 High Energy Accelerator Research Organization, キーワード: 除染、農地、気温、積算寒度

地表面の影響を考慮に入れると、[1]式は次のように変形できる（溝口, 2012）。

$$z = \alpha \sqrt{|F|} \quad [2]$$

ここで、 $\alpha$ は実験定数である。

### 3. 結果

佐須地区の水田における積算時間に対する積算寒度の平方根と 5cm 深度における体積含水率の変化具合を図 1 に示す。体積含水率  $\theta$  が 0.19 から  $0.05\text{m}^3/\text{m}^3$  に急激に減少したのは、液状水が氷に変化して土壤の比誘電率が低下したためである（Spaans and Baker, 1995）。このときに深さ 5cm まで土壤が凍結したと考えられ、積算時間 = 376h、 $\sqrt{|F|} = 36.6$  であった（図 1）。

飯館村南東部の標高の高い場所に位置する比曽地区における積算寒度の平方根と参照地区のそれとを比較すると、比曽地区では、参照に比べて 1.26 倍の早さで積算寒度の平方根が大きくなっていることがわかる（図 2）。この関係から、比曽地区が  $\sqrt{|F|} = 36.6$  になるのは、参照地区では  $\sqrt{|F|} = 29.0$  である。参照地区で  $\sqrt{|F|} = 29.0$  となるのは、積算時間 = 352h であった。比曽地区で積算時間 = 352h となったとき、 $\sqrt{|F|} = 36.4$  であり、 $\sqrt{|F|} = 36.6$  となるときの積算時間との差はわずか 1-2 時間程度あった。しかし、比曽地区で測定した深さ 5cm の地温から判断した凍結日は、積算時間 = 369h であり、その時  $\sqrt{|F|} = 37.4$  であった。

**引用文献** 農林水産省 (2013): 農地除染対策の技術書(第 4 編 参考資料編). 農林水産省; 溝口勝 (2012): 冬の間に凍土を剥ぎ取れ! -自然凍土剥取り法による土壤除染-. 農業農村工学会誌 80(2):152; 塩沢昌ら (2011): 福島県の水田土壤における放射性セシウムの深度別濃度と移流速度. RADIOISOTOPES 60(8):323-328 ; Spaans, E.J.A., and J.M. Baker (1995):

Examining the use of time domain reflectometry for measuring liquid water content in frozen soil. Water Resour. Res. 31:2917-2925.

**謝辞** 本研究の実施にあたり飯館村農業委員会と同委員長の菅野宗夫氏ならびに特定非営利活動法人ふくしま再生の会の皆様の多大な御協力を頂いた。また本研究の一部は、明治大学研究・知財戦略機構「震災復興支援・防災研究プロジェクト」早期帰宅実現プロジェクトの助成により実施した。深謝致します。

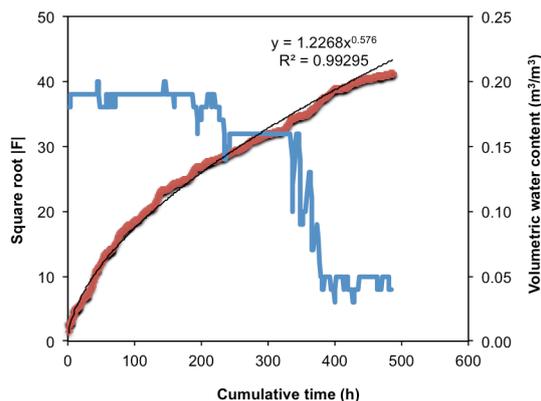


図 1. 積算時間に対する  $\sqrt{|F|}$  と深さ 5cm における体積含水率の変化

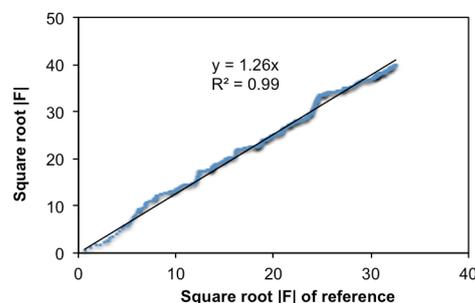


図 2. 参照気温と比曽地区気温における  $\sqrt{|F|}$  の比較

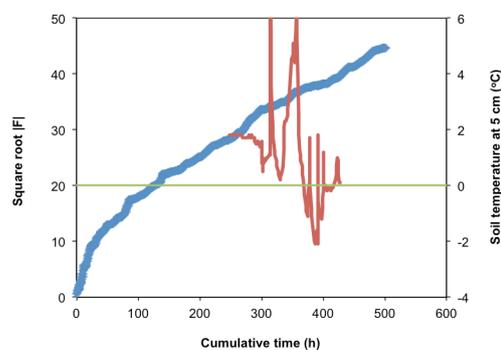


図 3. 比曽地区の  $\sqrt{|F|}$  と深さ 5cm の地温