

ナガイモ栽培時におけるトレンチャー溝の形成方式が土壤水分移動特性に与える影響 Impact of the Method of Planting Trench Formation on Soil Water Transport Properties at a Chinese-yam Cultivation

○遠藤 明* 今川 貢** 大和山真一** 上平章弘*** 杉山憲雄****

ENDO Akira*, IMAKAWA Mitsugu**, OHWAYAMA Shinichi**, KAMITAIRA Akihiro*** and SUGIYAMA Norio****

1. はじめに 近年、農業の機械化に伴いトラクター等の重機が圃場地表面を走行するようになり、軽しう且つ膨軟な黒ボク土壌であっても、土壤内部では機械走行による踏圧や土塊の自重により堅密な硬盤層が形成される傾向にある。本研究ではナガイモ栽培時においてチェーン式およびホイール式トレンチャーによる植溝の形成が、植溝土壌の理化学的特徴(土性や乾燥密度、土壤硬度等)と水分移動特性(透水性や保水性)に対して、どのような影響を与えるのかということ調査した。そして、両トレンチャーを用いて形成した植溝土壌の水分移動特性の測定結果に基づき、数値計算を行うことによりナガイモ作付け期間中の土壤水分の動態を明らかにしたのでここに報告する。

2. 材料および方法

(1) 試料採取および土壤物理性試験の概要

青森県十和田市相坂地区(以下、相坂と記す)および青森県東北町虫神地区(以下、虫神と記す)のナガイモ作付圃場(チェーン式トレンチャー区とホイール式トレンチャー区)を掘削して土壤断面を観察した。相坂および虫神の土壤型は、土壤情報閲覧システムにより、それぞれ表層多腐植質黒ボク土と厚層多腐植質黒ボク土であった。次に、各トレンチャーにより掘削された植溝土壌の深度 $z = 10, 30, 50, 70, 100\text{cm}$ の 5 深度からそれぞれ 1 点ずつ不攪乱土(100cm³ 円筒コア試料)と攪乱土を採取した。ナガイモ畑土壌の水分移動解析を行う上で必要な土壤物理性パラメータを把握するため、不攪乱土を用いて基本的な土壤物理性(乾燥密度や三相分布など)を測定し、変水位法による飽和透水係数の測定および加圧板法による保水性試験を実施した。次に、保水性試験から得られた体積含水率と水分張力の関係に対し、式(1)に示した van Genuchten (1980) の土壤水分特性曲線を非線形カーブフィッティングすることにより曲線パラメータ(スケーリングパラメータ α および形状パラメータ n)を決定し、各深度の不飽和透水係数と体積含水率の関係(式(2))を推定した。

$$\theta(\psi) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|\psi|)^n]^m} \quad (1)$$

$$K_u(\theta) = K_s \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{\frac{1}{2}} \left[1 - \left(1 - \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{\frac{1}{m}} \right)^2 \right] \quad (2)$$

(2) 土壤水分移動に関する計算方法

2014 年の作付け期間中のナガイモ圃場における各深度の土壤水分の挙動を把握するために、遠藤ら(2014)の数値モデルの中の根系分布を改良したものを使用し解析した。解析領域は鉛直方向 1 次元の地表面($z=0\text{cm}$)～下端($z=100\text{cm}$)の深さ 100 cm である。初期条件を決定するため、はじめに、2013 年 11 月 1 日において、地表面から深度 100cm の範囲が圃場容水量程度(平均 $\psi = -61.4 \text{ cmH}_2\text{O}$)になるように任意の水分張力値を与えた。次に、2013 年 11 月 1 日～2014 年 4 月 1 日までの日降水量と日蒸発散量を規定した境界条件のもとで水分移動方程式(3)を解くことにより 2014 年 4 月 1 日における水分張力分布を取得し、これを初期条件とした。地表面の境界条件は降水、蒸発散等の系依存型境界条件である。ただし、降雨強度が地表面での水フラックス密度を上回った場合は、降水が地表面に湛水する条件を適用した。また、下端の境界条件は圧力勾配境界条件(圧力勾配がゼロ、且つ、水流束密度=不飽和透水係数)を適用した。土壤中の水分移動を表す支配方程式は式(3)に示した Richards 方程式を用いた。

$$c_w \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} \left(K_u \left[\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right] \right) - ET_a(t)S(z) \quad (3)$$

なお、蒸発散は午前 6 時～午後 6 時までの 12 時間に行われると仮定(Endo et al., 2009, 2013)し、式(4)に示した時間依存型の蒸発散量として与えた。

$$ET_a(t) = \begin{cases} f(\theta)ET_m \sin \left[2n\pi \left(t - \frac{1}{4} \right) \right] & \left(\frac{n\pi}{2} < t < \frac{3n\pi}{2} \right) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$f(\theta) = \begin{cases} 1 & (\theta > \theta(\text{pF1.8})) \\ \frac{\theta - \theta(\text{pF3.0})}{\theta(\text{pF1.8}) - \theta(\text{pF3.0})} & (\theta(\text{pF3.0}) \leq \theta \leq \theta(\text{pF1.8})) \\ 0 & (\theta < \theta(\text{pF3.0})) \end{cases} \quad (5)$$

ここに、 $f(\theta)$:蒸発散抑制関数、 ET_m :日最大蒸発散量(cm/d)、 t :経過時間(d)、 n :自然数(= 1, 2, 3...)である。種イモの表面には養水分を吸収する役割を担う「吸収根」と呼ばれる根が伸長しており、深度 20cm 付近までに多く分布することが報告されている(しんせい五戸農業協同組合, 2002)。本解析では遠藤ら(2014)の灰色低地土リンゴ園に適用した数値モデルにおける根系の分布関数を、式(6)に示したナガイモの吸収根の分布関数 $S(z)$ に置き換えるこ

*弘前大学農学生命科学部 *Faculty of Agriculture and Life Sciences, Hirosaki University **青森県上北地域県民局 **Kamikita District Administration Office, Aomori Prefectural Government ***全国農業協同組合連合会 青森県本部 ***National Federation of Agricultural Cooperative Associations in Aomori Prefecture ****JA 十和田おいらせ農業協同組合 ****Japan Agricultural Cooperatives in Towada-Oirase キーワード: ナガイモ畑, チェーン式トレンチャー, ホイール式トレンチャー, 土壤中の水分移動, 数値計算

とで改良し曲線 $S(z)$ と z 軸で挟まれた土壌領域において蒸発散すると仮定した。

$$S(z) = \frac{0.2}{6.127 + 0.3 \exp(0.1z)} \quad (6)$$

最後に、グラフ作成ソフト Surfer ver.8.06 (Golden Software 社)を用いて土壌水分張力の等値線図を作成し、解析領域における作付け期間中(4~11月)の平均水分張力を算出した。

3. 結果および考察

(1) 相坂地区圃場の土壌水分移動の推定結果

図 1A, B に 2014 年のナガイモ作付け期間中における相坂地区圃場の土壌水分張力の等値線図(数値計算結果)を示す。同図白色のハッチ部は正圧領域を表している。また、カラースケールは土壌水分の多少を表している。チェーン区(図 1A)では、7月10日に生じた日降水量 56.5mm の降水(b)に着眼すると、青色~紫色の領域と黄緑色~青色の領域で挟まれた領域の傾きである「 $dz/dt > 0$ 」に着目することで、本降雨による降下浸透水が約1日半かけて深度 $z=100\text{cm}$ に到達する見込みであることがわかった。このことは、降下浸透水が1日あたり約 $71\text{cm}(= 8.26 \times 10^{-4} \text{ cm/s})$ 下方へと移動することを示唆している。一方、ホイール区(図 1B)では、8月中において全層の水分張力が非常に高い計算結果が得られた。2014年8月は、台風接近に伴う活発な前線活動が観測され、当地域では 320mm もの月降水量があった。具体的には降水(c)に示したように、8月上旬(8月6~11日)の6日間で 175.5mm, 8月中旬(8月15~22日)の8日間で 118mm の降水が観測された。これらの

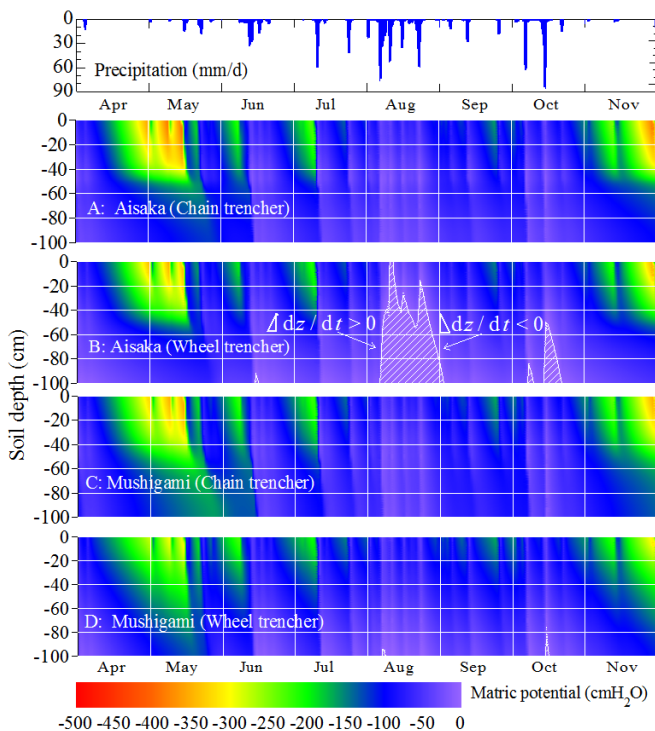


図 1 ナガイモ作付け圃場の水分張力の等値線図

期間では、図 1B に示した水分張力の等値線図内のハッチ部に示したように、水分張力が正圧以上であることを受け、水分飽和状態が長期間にわたり継続していたことが予測される。また、この水分飽和状態は、降水(a), (d)および(e)を受け、7月と10月にも同様に確認された。ここで着目すべきところは、負圧領域から正圧領域に移行するハッチ部周囲の境界線の傾き「 $dz/dt > 0$ 」である。当該境界線は、8月6~8日生起した降水による降下浸透水を反映し、深度 $z=100\text{cm}$ から深度 $z=40\text{cm}$ に向い、約3日間かけて正圧領域が拡大することを示した「地下水位の上昇」を示唆するものである。その後、この正圧領域は8月10~11日に生じた降水により、約半日間かけて地表面に達したのち、地表面での湛水が約1日継続すると推定された。この地下水位と正圧領域の形成は、透水性が低い約 10^{-5}cm/s オーダーの飽和透水係数を持つ土壌が深度 $z=100\text{cm}$ 付近に存在することと、当該深度の飽和体積含水率と残留体積含水率の差である($\theta_s - \theta_r$)値が相対的に小さいことに起因すると考えられる。

(2) 虫神地区圃場の土壌水分移動の推定結果

図 1C, D に、虫神地区圃場における水分張力の等値線図(数値計算結果)を示す。7月10日に生じた降水(b)に着目すると、相坂チェーン区(図 1A)と同様に $z=100\text{cm}$ の深度まで降下浸透するのに約1日半要することが推定された。また、虫神チェーン区(図 1C)の土壌水分張力は生育期間を通してすべての深度において正圧以上とはならず、作付け期間中の平均水分張力が全試験区の中で最も小さい(-103.2cmH₂O (pF 2.02 に相当)であった。

4. おわりに

2種類のトレンチャーが形成した植溝土壌の水分移動特性の測定結果に基づいて数値計算を行うことにより、ナガイモ作付け期間中の土壌水分の動態を明らかにした。両圃場および両トレンチャー区における土壌理化学性試験の結果、ホイール区の深度 $z=70\text{cm}$ 以深が低透水性であることが判明し、植溝の形成方式の相違が当該深度の土壌の水分移動特性に対して大きく影響することが明らかになった。今後は、2次元的な土壌硬度分布と土壌中の水分移動の様態を定量化することで、ナガイモの障害発生機構を明らかにしたい。

引用文献

遠藤 明, 今川 貢, 大和山真一, 上平章弘, 杉山憲雄 (2016): ナガイモ栽培時におけるトレンチャー溝の形成方式が土壌水分移動特性に与える影響 — 青森県上北地域の黒ボク土畑圃場を事例として —, 農業農村工学会論文集, 301, I_39-I_46.

遠藤 明, 加藤千尋, 佐々木長市, 伊藤大雄 (2014): 施肥・無施肥リンゴ園土壌の無機態窒素の浸透流出挙動, 農業農村工学会論文集 294, 423-431.

しんせい五戸農業協同組合 (2002): ながいもの本, 1-164.