

ナガイモ圃場における栽培前後の土壌物理性と植え溝土壌の力学的挙動特性 Characteristics of soil mechanical behavior and soil physical property after plowing in Chinese-yam field

○遠藤 明* 永吉 武志**
Akira ENDO and Takeshi NAGAYOSHI

1. はじめに

ナガイモ (*Dioscorea opposita* Thunb.) はヤマノイモ科ヤマノイモ属に属し、青森県における作付け面積は 2,220 ha を占め全国第 1 位を誇る。中でも同県上北地域は、有効土層が厚く、有機物や腐植が豊富で土壌の透水性・保水性にみられる土壌物理性が良好な腐植質黒ボク土で覆われており、長形種のナガイモ栽培が盛んな一大農業生産地帯である。ナガイモ等の根菜類を栽培する際には伸長特性に応じた耕起作業が必要であり、トレンチャー耕起によって植え溝を形成することが一般的である。本研究の目的は、腐植質未熟黒ボク土のナガイモ圃場において、土壌水分動態と植え溝土壌の力学的挙動を観測することで、植え溝の穴落ち挙動への理解を深めることを目的とし、土壌物性試験および現場観測（降水量、土壌水分、植え溝内部のひずみの連続計測）を行った。

2. 材料および方法

1) 調査圃場の概要と土壌調査・観測計器類の設置： 青森県上北郡東北町大字大浦の普通畑（埋設暗渠なし）において 2023 年 5 月 10 日にチェーン式トレンチャーを用いた部分的耕起作業により植え溝を形成し、5 月 16 日に切りイモを植え付けた（株間約 24 cm）。その後、培土による畝の成形（畝高約 11 cm）を経て、6 月 2 日にナガイモの茎葉を地上部に這わせるための支柱を立てた。土壌調査は 6 月 8 日および収穫直前の 11 月 14 日に実施した。はじめに、調査対象の畝の末端部および、当該畝と隣接する畝間を縦断する方向で、地表面から 110 cm 深まで掘削して土壌断面を観察した。畝末端部を対象とした理由は、掘削によって健全な生長が見込まれなくなるイモを最小限に留めるためである。次に、耕起された植え溝土壌および畝に隣接する畝間の深度 20, 30, 40, 60, 80, 100 cm の 6 深度から土壌理化学性を測定するための不攪乱土（100 cm³ 円筒コア試料で各深度 $n=3$ ）と攪乱土（各深度 $n=1$ ）を採取した（11 月 14 日も土壌断面観察・同深度の土壌を採取）。次に、土壌環境観測を実施するために、雨量計（ECRN-50, METER）を土壌採取地点の直上約 1.5 m の高さに設置した後、土壌採取深度の植え溝および畝間の断面に対して誘電式土壌水分計（5TE, METER, 以下、水分センサーと記す）を各深さで水平に挿入・埋設した。2 アクティブゲージ法（熊谷, 2006）を適用したプラスチック（PVC）製ひずみセンサー（長さ $L=20$ cm, 幅 $b=5$ cm, 厚さ $t=0.1$ cm）を、植え溝の深度 20, 40, 60, 80 cm の 4 深度に埋設した。埋設の際には図 1a に示したように、センサー片側を植え溝外側の硬い土層（地山）にめり込ませ固定端側 A とし、反対側のセンサー片側は軽しような植え溝土壌の内部に位置するよう自由端側とした（片持ちばりを仮定）。これらのひずみセンサーから伸びるリード線に対して、増幅回路を有したひずみゲージアンプを結線し（遠藤ら, 2025）、さらにこれらをデータロガー（CR23X, Campbell Scientific, Inc.）に接続した上でブリッジ出力電圧を計測することで、各深度の植え溝土塊の曲げひずみを連続測定した。ひずみゲージ部が凸状に変形した際のひずみの符号は負（図 1a）、凹状に変形した際の符号は正（図 1b）である。降水量、土壌水分、植え溝土壌の曲げひずみの計測インターバルは 30 分間であり、同年 6 月 8 日～11 月 14 日の計 159 日間にわたり観測した。

2) 採取土壌の理化学性測定とナガイモ塊茎の調査： はじめに基本的な土壌物理性（土粒子密度、乾燥密など）を測定した上で土性を判別し、変水位法による飽和透水係数を測定した。次に同一試料を用いて加圧板法による土の保水性試験を行った。最後に、6 月 8 日と 11 月 14 日の土壌採取日における植え溝と畝間の各深度の乾燥密度および飽和透水係数について、オープンソースの統計解析プログラミング言語 R (Ihaka and Gentleman, 1996) を用いて Tukey-Kramer 法による多重比較検定 ($p < 0.05$) を行った。

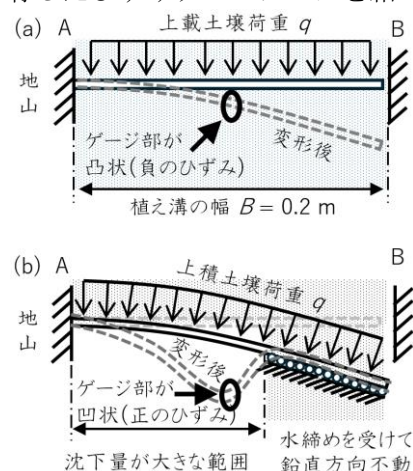


図1 ひずみセンサーの変形状況
Deformation of the strain sensor

*弘前大学農学生命科学部 *Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University

*秋田県立大学生物資源科学部 **Faculty of Bioresource Sciences, Akita Prefectural University

キーワード： 黒ボク土, 降雨, 体積含水率, ひずみ計測, 塑性変形, 穴落ち

3. 結果および考察

文字や図表掲載スペースの都合上、本講演要旨では曲げひずみにのみ着目して記述する。図2a～2dに植え溝の深度20, 40, 60および80 cmにおける曲げひずみの観測結果を示す。データ点と実線は、それぞれ実測値と中央移動平均である。同図A～C（以下、降雨A～Cと記す）は土壌水分の増加を引き起こした80 mm以上の降雨を示している。ここで、ひずみセンサーを用いて計測した挙動に着目する。ひずみとは、材料の初期長に対する長さの変化を表す無次元量であり「 $\mu\text{m}/\text{m}$ 」の単位として表す。検出ひずみが負の時には、ひずみセンサーの中央部が図1aに示した凸状に変形したことを意味する。一方、正のひずみの時には、図1bに示した凹状の変形を表している。7月11日の降雨A（計121 mm）を受けて、図2aに示した20 cm深においてはステップ状に明瞭な負のひずみへ至る傾向（ひずみセンサーが凸状の変形挙動）を示したものの、図2bに示した40 cm深では体積含水率の増加が同様に認められたにも関わらず、20 cm深ほど短時間では変形せず、時間を掛けて変形する挙動が認められた。また、図2c, 2dに示した60 cm以深では、変形がほとんど見受けられなかった。このことから、降雨Aに起因する浸潤を受けて増加した土塊の上載荷重は、(i) 20 cmで鉛直下向きの変位を短時間で生じさせること、(ii) 40 cm以深では降雨後2週間程度に渡るクリープ的なひずみを生じさせること、(iii) 60 cm以深では上位土層と比較してクリープひずみが小さいことがわかった。このような浅層での土塊が変位した後においても、下位では徐々に塑性変形が進行していたものと推察される。この降雨Aが観測されたタイミングは種イモの植付けから2カ月経過しており、この頃の塊茎先端部の深さは、遠藤ら（2024）が報告したナガイモ塊茎長に関する成長曲線から20～30 cmに達していたと推定される。収穫したナガイモ塊茎の20～30 cmの位置には腐敗やコブが形成されていなかったことから、この頃に生じる120 mm程度の大雨ではナガイモの健全な成育に支障を来さないことが明らかになった。

4. まとめと今後の課題

(1) ナガイモ生育期間中に観測された3回の豪雨時およびその後において、体積含水率の増加と80～100 cm深における内部排水挙動がそれぞれ確認された。特に、7月11～15日の断続的な降雨A（計121 mm）を受けて、20 cm深では短時間ステップ状の明瞭なひずみ挙動が確認され、また、下位深度ではクリープ的なひずみが生じた。(2) 9月21日に観測された83 mmの降雨Cの後、20および40 cm深では、ひずみが負から正に転じる挙動が観測された。また、この降雨が観測されてから3週間後の10月11～13日にかけて、80 cm深において土塊の塑性変形を示す大きな沈下を観測した。これら現象は、植え溝の穴落ち挙動とは断定できないものの、穴落ちに発展する可能性がある塑性変形挙動と考えられる。(3) 降雨A～Cが観測された時期および、ひずみが負から正に転じた時期におけるナガイモ塊茎の先端位置に腐敗や奇形が認められなかったことから、当該観測年のナガイモ圃場では降雨に伴うひずみ挙動がナガイモの成育に悪影響を及ぼさなかった。

これらの観測結果はトレンチャー耕起により形成された植え溝土壌が、クリープ現象により塑性変形する様相を示した特徴的な挙動であり、今回の圃場観測によつてはじめて明らかになった事例である。今後は、(i)ひずみセンサーを用いて植え溝土壌の穴落ちの正確な挙動を観測するために、埋設するセンサーを小型化すること、(ii) 深さ方向の多点計測を実施し、植え溝土壌内部の詳細な挙動を理解すること、(iii) 土質の異なる畑地において同観測手法を適用して知見を集積すること、そして、(iv) 植え溝土壌が大きく塑性変形することで生じた空洞（穴落ちの空洞部）を閉塞させるために、生産者自身で容易に対応できる手法の検討が必要である。

謝辞：本研究ではナガイモ生産者 大久保 利美氏の圃場の一部を拝借したので感謝申し上げます。

参考文献：遠藤ら（2024）農業農村工学会誌, 92(7), 11-16; 遠藤ら（2025）農業農村工学会誌, 93(2), 3-8; Ihaka and Gentleman(1996) *J. Comput. Graph. Stat.* 5(3), 299-314; 熊谷（2006）計測と制御 45(4), 323-328

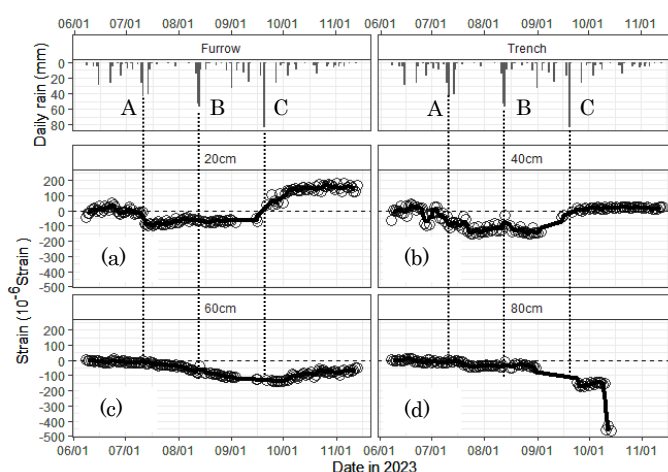


図2 成育期間中の植え溝土壌の曲げひずみの経日変化 (a: 20 cm 深, b: 40 cm 深, c: 60 cm 深, d: 80 cm 深)
Daily changes in the bending strains in the planting ditch at each depth (a: 20 cm, b: 40 cm, c: 60 cm, d: 80 cm).