

# 酪農学園大学文京台キャンパスにおける畑地栽培管理

— 省耕起の意義 —

小八重 善 裕<sup>1)</sup>・飛 谷 淳 一<sup>2)</sup>

Field crop management at the Bunkyo-dai campus: the significance of reduced tillage

Yoshihiro KOBAE<sup>1)</sup> and Junichi TOBITANI<sup>2)</sup>

(Accepted 6 July 2021)

## 1. はじめに

酪農学園には、文京台キャンパス（野幌丘陵地）の重粘地、元野幌農場（石狩低地帯）の泥炭地、そして植苗農場の火山灰地の北海道3大劣悪土壌がある。本学園は開学当初からこれらの劣悪土壌と向き合い、酪農を基軸とした循環農法を旗印に土壌改良に挑み続けてきた。その結果、今日の充実した圃場群が整備されたと資料は伝えている。

近年、気候変動による不安定な天候が続いており、文京台キャンパスの作物領域においても、従来の栽培管理方法では予定に沿った実習・研究に十分に対応できない場面が増えている。特に、降雨後の土壌の排水性が思わしくなく、適期に農作業を行えず、学生への指導に混乱をきたすことが多い。何故、排水性が悪いのだろうか。劣悪な状況を克服したのではなかったのか？ 本稿では、文京台キャンパス畑作圃場の排水性が悪い原因を探り、その対処法として「省耕起」を提案する。

### 土壌の排水性の現状

文京台キャンパスの土壌は灰色台地土の重粘土である。特に、雨が降ると水を含んで重くなり、作業性が著しく悪くなる。現場感覚としては、雨が降るとセメントのようにぬかるみ、乾燥すると表面が極めて硬くなる。表面が十分乾いているように見えても、下層は依然として多くの水を含んでおり、足を踏み入ると表面が固く歩けるが、内部は「プリン」のようだと言われる。しかるに、雨の多い年には、畑に入って作業できるタイミングが限られ、全体と

して余裕のない栽培管理となる。今年、2021年は4月、5月ともに雨が多く、それぞれ109 mm, 99 mmの降水量があった。月平均はそれぞれ42.4 mm, 56.1 mm（気象庁2000年～2020年）の降水量であることから、今年は約2倍の水が土に入ったことになる。結果として、学生の初年度教育として重要な位置を占めている健土健民入門実習では、大豆とスイートコーンの播種適期が5月上旬であるにも関わらず、6月10日現在、依然として耕起すらできていない状況である。しかしながら、同キャンパスの畑作圃場の中には、すでにトラクターで耕起を済ませ、栽培を開始しているところもある。同じ重粘土であるにもかかわらず、作業性に明らかな差を生んでいる要因は何だろうか。

### 土壌間隙と排水性

土壌の水はけ（排水性）は、基本的にその土壌の母材に左右される。砂質土や火山灰土であれば、土粒子が大きいためにその間隙も大きく、水は重力に従って下層に流れやすい。しかし今問題にしているのは、同じ灰色台地土（重粘土）の中での違いである。まず、排水性を「改善」する要因について述べる。

植物の根が土壌に張りめぐらされると、そこには無数の「水の道」が生まれる。そうなるまでには、①根が土壌の大きな間隙に主根や側根を伸ばす。②盛んに伸長する根から分泌されるムシレージ（多糖類を多く含む）や有機酸等の有機物をエサにして、細菌、糸状菌、原生生物などの様々な微生物が根の周囲で増殖する。③根がいずれ枯死して、無数の根

<sup>1)</sup> 酪農学園大学農食環境学群循環農学類作物栄養学研究室

<sup>2)</sup> 酪農学園大学農食環境学群循環農学類農業科教育研究室

<sup>1,2)</sup> 069-8501 北海道江別市文京台緑町582番地

Department of Sustainable Agriculture, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

投稿者所属学会：日本土壌肥料学会

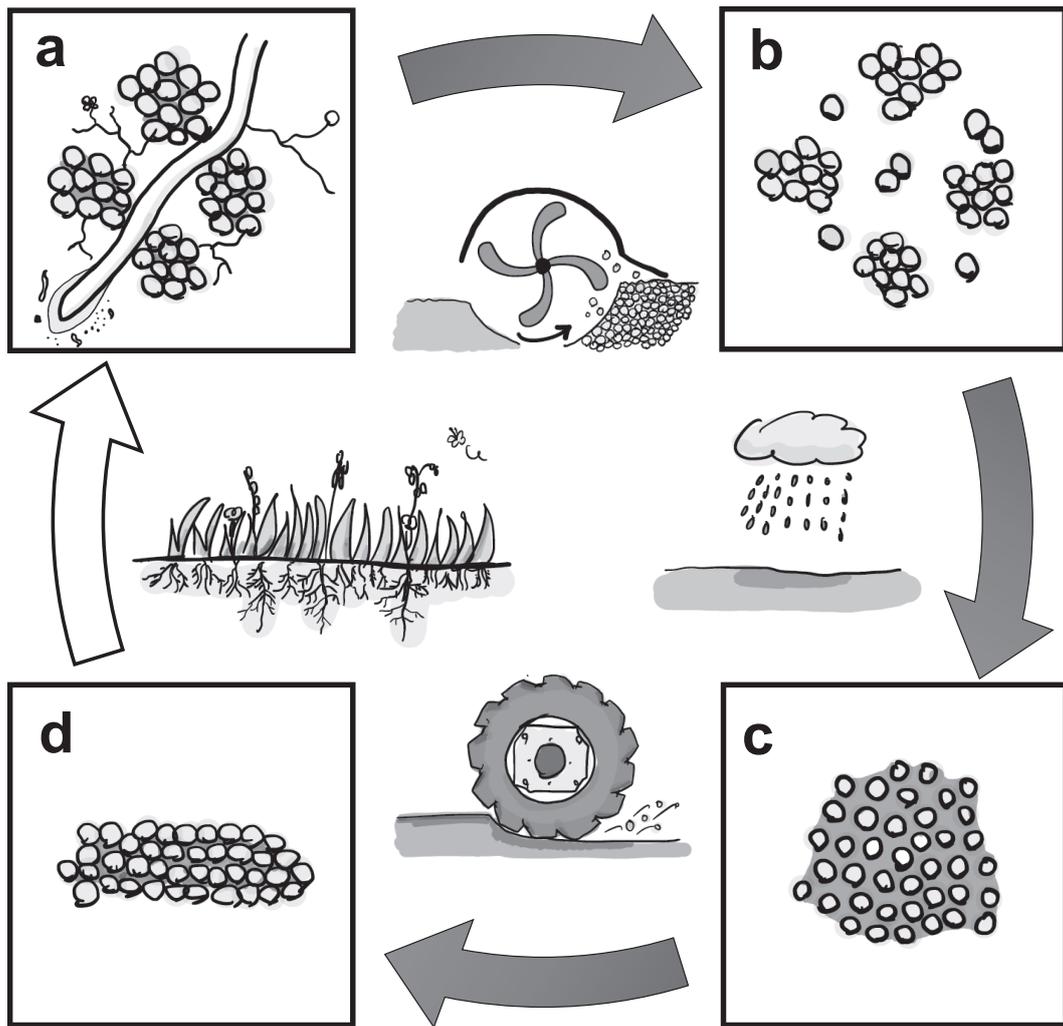


図1 土壌の堅密化メカニズムの模式図

a. 団粒構造は根や菌糸や有機物などと土壌微粒子が絡み合って出来る。伸長する根端からはムシレージや有機酸などの有機物が分泌され、土壌微生物のエサとなる。b. ロータリー耕などにより土壌が過剰に碎土されると土壌構造の骨格バランスが崩れる。c. 雨の衝撃で土粒子が分散し、団粒構造が失われる。d. 蒸発やトラクターの踏圧などにより土壌が収縮・圧縮され、堅密な作土層や耕盤層になる。団粒構造の復活には、有機物の補給が不可欠である。堆肥の施用や緑肥栽培・すき込みなどにより、土壌構造を再構成できる。

穴が形成される。④枯死した根は微生物のエサになる。⑤分解が比較的遅い粗大有機物や、糸状菌の菌糸の菌糸などが土壌粒子に絡みつくことで、団粒構造が形成される (図 1a)。⑥ミミズやダンゴムシのような土壌動物の排泄物も、団粒形成に寄与する、といったステップが含まれる (⑥は慣行栽培では関係ない)。団粒構造中には、大小さまざまな隙間が作られている。根穴を含めた大きな隙間 (マクロ隙間: 団粒間隙) は、排水性や通気性を高めるだけでなく、新たな根の伸長にも都合がよい。一方で、排水性が高すぎ、土壌に水分が保てないと、作物は干ばつに対して脆弱になる。団粒の小さな隙間 (ミクロ隙間: 団粒内) には、重力では流されず、根毛などの細い根が利用できる水 (有効水分) を保持す

る能力があり、これが水持ちの良さ (保水性) につながっている。大小さまざまな団粒間隙が、水はけと水持ちという矛盾する特性を両立させることができる。加えて、団粒構造には、多様な微生物に捕食から逃れることのできる棲み処 (ミクロ間隙) を提供するという機能もある。そうしたニッチが多様な微生物を含む土壌生態系を支えており、その中で繰り広げられる食物連鎖・腐食 (死骸を食べること) 連鎖を通して、余剰な成分が土壌に放出され、それが植物の栄養となり、さらに植物からの有機物が土壌に供給され、土壌の団粒構造形成が一層進むという正の連鎖を引き起こす。結果的に、多雨のような不安定な天候でも安定して、作物の栄養と生長を支える強靱な土壌が作られる。

### 慣行の栽培管理による排水性悪化のスキーム

では次に、排水性が悪化する要因である。土壌が隙間なく植生で被覆されている場合、土壌にはその表面にまで根がはびこっており、適度な水分が含まれている。そのような土壌では、団粒構造は有機物や微生物の菌糸などの骨格で支えられており（図1a）、多少の雨でも懸濁して崩壊しない耐性（疎水性）を備えている。一方で、その植生が何かの原因で失われ、光合成産物の供給が不足し、土壌の生物性（バイオマス）が減少すると、表面が著しく乾燥し、土壌構造が不安定になる（図1b）。そこに雨が降った場合、水が急激に団粒構造の内部に浸透し、土粒子は水中に分散して団粒構造が崩壊する（Mullins et al. 1990）（図1c）。団粒構造の骨格を失ってしまった土粒子は、浸透水に懸濁して下方に浸透し、土壌の隙間に目詰まりを引き起こす。そうして乾燥した後には、極めて堅密で、発芽すら難しい、厚さ数mmの薄膜（クラスト）が土壌表面に形成される。しかし、圃場の耕起条件では、作土がロータリーを使って深さ15cmほどまで碎土され、土壌が極めて膨軟になっている。雨が降ると、砂の城に水をかけたかの如く、その構造がまたたくまに崩壊し、クラストよりもはるかに深いところまで、団粒の分散を引き起こす。土壌が膨軟であるがゆえに、乾燥して収縮すると、粗く碎土された土壌よりも、はるかに高い収縮率で引き締まる。

ところで大きな土塊の間隙水が蒸発しても、土塊の配置は変化しないが（つまり収縮はしない）、耕起したばかりの団粒構造は、その構造の骨格が不安定なため、間隙水が蒸発すると、変形・崩壊して著しい体積の減少を示す。なお、ここで見ている耕起を通じた土壌の収縮（ハードセッティング：Hardsetting という）と、トラクターによる土壌の圧縮（踏圧）は、似て非なる現象である。前者は硬化後に水分を含むことで再び柔らかくなるものであり、主に土壌の表面近くに出現する。後者は十分に水を含んでも硬くなったままであり、これはいわゆる耕盤層や犁盤層（犁床）として見られるものである。耕起をトラクターで繰り返し行うことで、収縮したハードセッティング層が下層に移動していき、タイヤで踏み固められることで耕盤層が厚みを増しているケースも多いと考えられる（図1d）。それらを防ぐために、繰り返し「過度の碎土」が行われ、さらに団粒構造が崩壊するという、悪循環に陥りやすい。

それでも一見して、ロータリーで碎土された土壌は細かく膨軟で、根との接触面積も大きく、種子の

発芽に必要な水の供給も、実生の根張りも、またその養分吸収も、問題ないように感じられる。アップロータリーを使えば、さらに柔らかい播種床を作ることもできる。しかし、この土壌構造は、作物の生長にとっては好ましいものではない。土壌の有機物が消耗し、乾燥と湿潤を繰り返すことで収縮してきた土塊には、たとえそれが小粒だとしても、実は内部の間隙が少なくなっている。土粒子にマクロやミクロな団粒構造が多く保持されていれば、その間隙に側根や根毛が侵入し、そこにある水分や養分を利用できるが、「過度の碎土」の果てに生まれる土塊には、堅密でそのような隙間は少なく、根との接触面積は極めて小さくなっている（図2）。また土壌の疎水性団粒の割合が低下し、水を多く含んで土壌粒子が分散・移動しやすい状態では、耕起したりトラクターを入れたりすることで、いわゆる「練り返し」の状態となりやすい（相馬, 2006）。ひとたび団粒構造が崩壊し、土粒子が構造を持たないただの塊になってしまうと、排水性、保水性、保肥性、微生物の涵養といった団粒構造の機能が、自然に復活することはない。機能を回復するには、土壌の有機物を何らかの方法で増やし、団粒構造の形成を、先に述べたその生成の原理に従って、促す他はないのである（図1d）。

### 文京台キャンパス畑作圃場の土壌物理性

北海道の慣行的な畑作栽培管理では、ボトムプラウ耕による深耕反転と、ロータリー耕による耕耘碎土がセットになっている。ボトムプラウ耕は、栽培管理を通じて硬くなった上層（作土層）を反転して地中に埋め、作物残渣などの有機物の土壌還元と、その無機化を目的とする。一方で、前年の栽培管理を通じて硬くなった下層の耕盤層を反転させ、再び地上に露出させる。また当年の雑草の種子を地下に埋没させることで、翌年の除草の効果も期待される。しかし、プラウ耕は必ずしも土壌の物理性の改善や、栽培管理の優位性にはつながらないとも見方もある（相馬, 2006）。なぜか。

先にも述べた通り、栽培を通じてロータリー耕や農業機械により圧縮された作土層は、団粒構造が一部崩壊してしまっている。このように土壌間隙が減少し、微生物による有機物分解活性が低下した作土層を土中に埋没させたとしても、土壌物理性の改善は望めない。図3に、附属とわの森三愛高等学校の畑地圃場の土壌物理性を調べた結果を示す。図中の「土層構成」に示した耕耘管理土層（Ap層）から下層土のC2層までは、母材や生成環境などが同一の

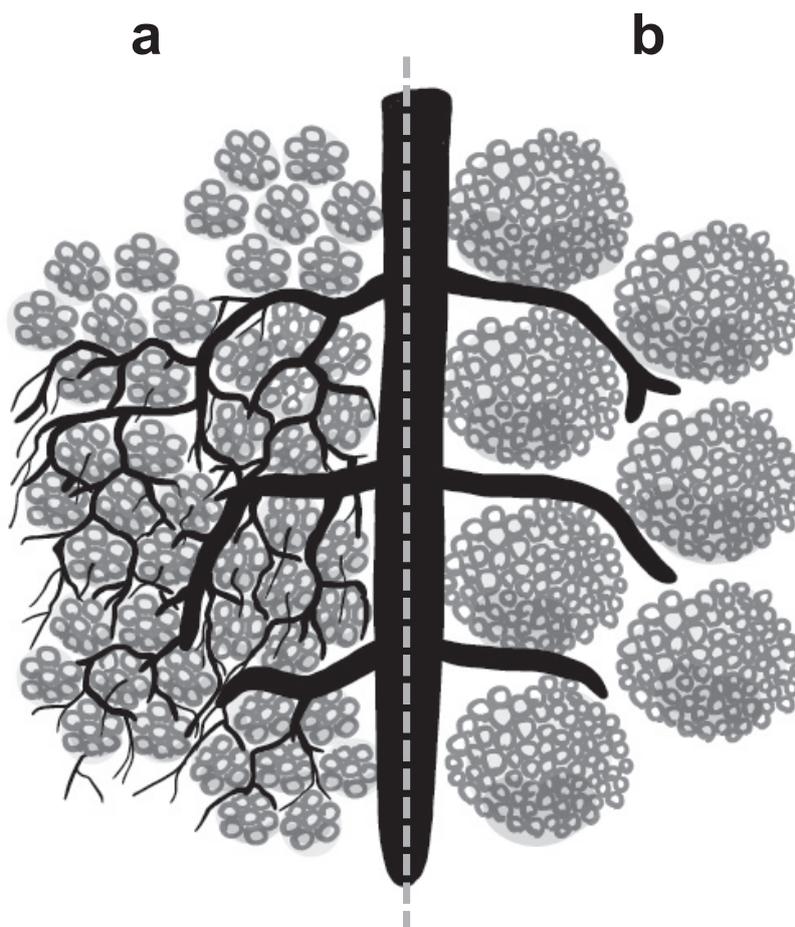


図2 団粒構造は根との接触面積を拡大する

a. 生物的な作用により（有機的に）生成される団粒構造は、根の側根の進入を許すマクロ団粒間隙と、さらに細い根毛などの侵入を許すミクロ土壌間隙を有している。b. ロータリー耕などにより生成される人為的な土壌微粒子には、根の伸長を許す間隙はない。

素材であるため、「間隙組成」や「飽和透水係数」が似た値を示している。Ap1層はロータリー耕深、Ap2層はプラウ耕深、C1・2層は、耕耘管理が入っていない土層深を示している。播種・定植が行われるAp1層および、Ap2層、C1・2層はいずれも、マクロ間隙が $0.02\text{ cm}^3/\text{g}$ にも達しておらず（適正範囲は $0.05\sim 0.15\text{ cm}^3/\text{g}$ ）、きわめて難透水性の耕盤層となっている。特にAp2層は、水分飽和度が $0.91\text{ cm}^3/\text{cm}^3$ と高く（適正範囲は $0.5\sim 0.9\text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ）、また水はけの指標となる飽和透水係数も $10^{-7}\text{ cm/s}$ 以下と著しく低い場所があり（適正範囲は $1\times 10^{-4}\sim 3\times 10^{-3}\text{ cm/s}$ ）、水はけ不良や根張りの抑制に起因する生産性の低下を招いている可能性が高い。加えて水分量とマクロ間隙の量から、有機物の無機化も抑制されていると考えられるため、慣行的なプラウ耕では、物質循環的な栽培管理が難しいことを、土壌物理性データは示している。

省耕起の実践：ロータリー耕のタイミングが重要  
それではプラウ耕だけが問題かという、そうではない。栽培の初めに、ロータリー耕を適切に行うことが、作土層の土壌構造の崩壊を最小限に抑えるためにも必要である。耕盤層により排水性が低下した圃場を改良するためによく使われるのが、心土破碎を行うサブソイラーである。サブソイラーをかける必要がある圃場は、たいてい排水性が悪いため、耕盤層は多くの水分を含んでいる。すなわち土壌構造が動きやすく柔らかい状態となっており、サブソイラーを高速で走らせると、その破碎面（切り口）が再び閉じて戻ってしまう。これを避けるため、サブソイラーは、時速 $2\text{ km}$ でゆっくりと走行させ、亀裂を残存させなければならない。

サブソイラーをかけた後、ロータリーで作土を破碎して播種床を準備することになる。ここでも重要なのは、サブソイラーの亀裂を残存させることである。ロータリーの前処理として、ディスクハローを

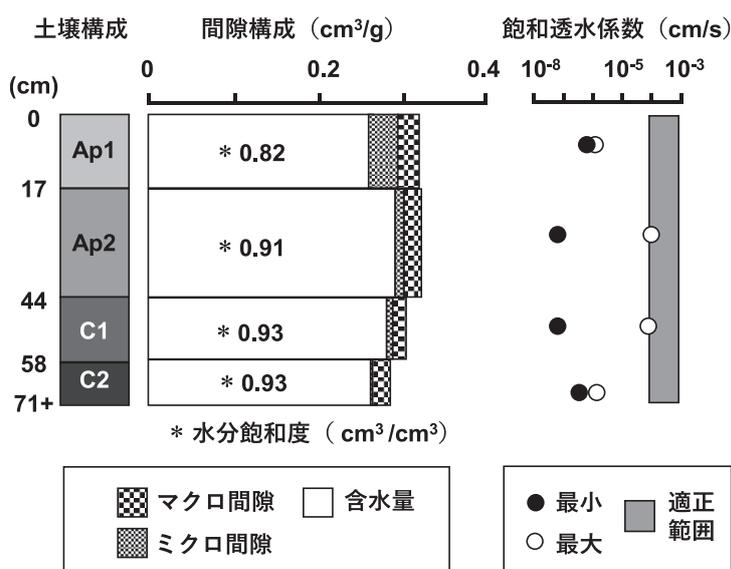


図3 酪農学園大学附属とわの森三愛高等学校の畑作圃場の土壌物理性

圃場はFEDREC FC06を2018年に調査、分析した。Ap1, ロータリー耕深, Ap2, ボトムプラウ耕深, C1・2, 耕耘管理が入っていない層。間隙構成は3地点の平均値。

使って表面の大きな土塊を破碎した場合、そこで生じる小さな土塊が亀裂に転がり込む。それらの小さな土塊が十分な団粒構造を有していない場合、この亀裂から流入する雨によって先述のように土粒子が分散・懸濁してセメント状になり、サブソイラーの亀裂を埋めてしまう(図4)。加えて、ロータリー耕を繰り返すことで、碎土された微粒子が下層に落下して亀裂に入り込み、同じように雨が流入して懸濁した土粒子が小さな土壌間隙を埋めてしまう。したがって、特に文京台キャンパスでは、サブソイラーをかけた場合、その圃場は播種直前まで放置しておくのが正しい。春になると、地温が上がり、乾いた強い春風がサブソイラーの亀裂を通して硬盤層の水分を上へ下へと、押し出していく。播種や定植の直前に、作土が水分を多く含まず「練り返し」が起こらないタイミングを見計らい、極力少ない回数のロータリー耕で、播種床を完成させるべきである。サブソイラーの亀裂が効いている場合には、ロータリー耕の後にも、その働きが土と大気とが繋がる小さな亀裂として、土壌表面に確認することができる(図5)。

#### 圃場の物理的構造の適正管理に向けて

ロータリー耕に限らず、大型機械を用いた耕起作業が土壌構造にダメージを与えることは避けられない。一方で、土壌構造は修復可能であり、その修復メカニズムに植物根や微生物が深く関わっていることをこれまで述べてきた。したがって、これから

の土壌管理では悪影響のある過剰な碎土(耕起)を避けることを基本として、傷んだ土壌を修復しつつ、「機械耐性の高い土壌を作る」ことが重要と思われる。

作物の栽培において、土壌の排水性を向上させるためには、第一にロータリーを繰り返し入れるような「過度の碎土」は行わないこと、これがまず重要である。碎土されて人為的に生じた微小土壌構造と、生物的な作用により生成される団粒構造は全く異なるものである。土壌の物理的構造を修復するためには、数値目標で表すと、難透水性の耕盤層「Ap2層, C1・2層」を、適正量(0.1 cm<sup>3</sup>/g程度)のマクロ間隙を含むものに改良することが重要である。現状、排水性が悪い場合には、サブソイラーによる心土破碎を行う必要がある。心土破碎の実施時期は、基本的には播種・定植の直前がよい。根本的な土壌構造の修復には、ミクロとマクロの団粒間隙が安定して保持される栽培体系を構築する必要があり、緑肥や堆肥のすき込みを通して、恒常的に、養分バランスを分析しつつ、土壌へ有機物を供給することが不可欠である。以上を踏まえ、圃場における1年間の管理工程を以下のように提案する。通常の作物栽培では①～③と、収穫後に④を行う。定期的に、緑肥の栽培とすき込みを行い、耕盤層を生物的に破壊し排水性を高めることも重要であり、この場合は①～④を行う。

① 必要に応じて雑草処理(ロータリー耕): 04/下

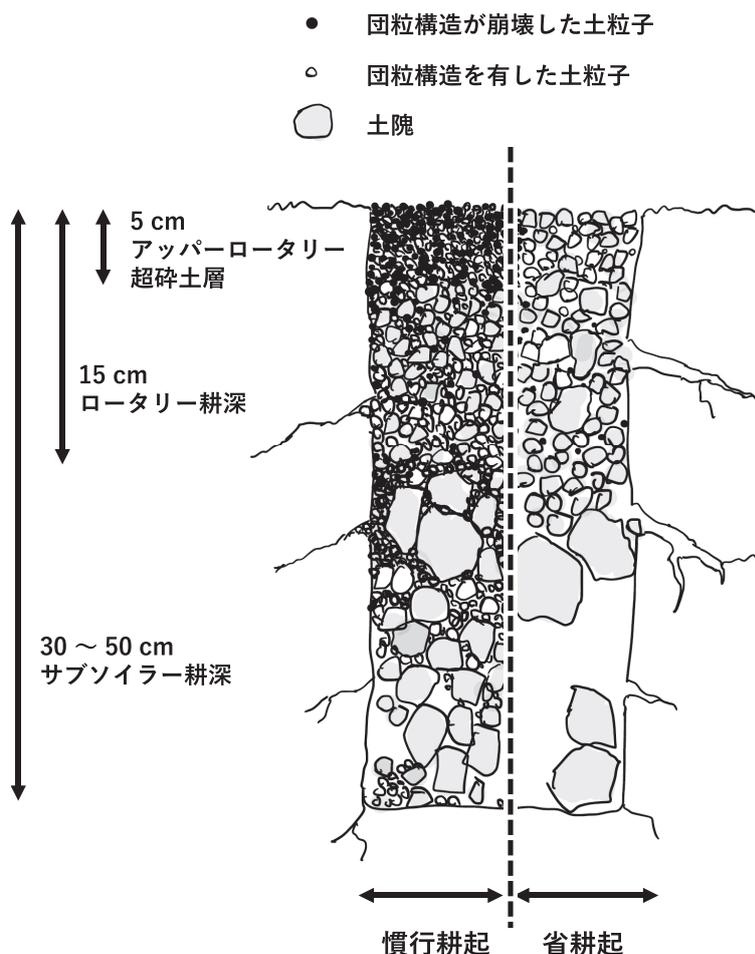


図4 土壤管理方法の違いによるサブソイラー亀裂内の土壤構造変化

慣行耕起では、ロータリー耕で生じた団粒構造を持たない土粒子が、サブソイラーの亀裂に落ち込んで透水性を低下させている。省耕起ではロータリー耕の回数を極力減らし、有機物を投入して団粒構造の形成を促し、透水性を高める。

- 旬
- ② Ap1・2・C層の排水性改善(3連サブソイラー, 2 km/h, 60 cm 間隔, 可能な限り深く, 縦・横にかける): 05/中旬
  - ③ 碎土整地(ロータリー耕): 05/中旬
  - ④ 緑肥の播種(深根性), マクロ間隙の適正化のため鎮圧(ケンブリッジ): 05/中旬
  - ⑤ 緑肥をチョッパーで破碎・分散し圃場に還元: 07/下旬
  - ⑥ 堆肥\*の散布(マニュアルスプレッダ 5 t/10 a), 切返し(ロータリー耕), 1週間養生(緑肥の分解促進): 07/下旬
  - ⑦ 必要に応じて雑草処理(ロータリー耕): 08/月上旬
  - ⑧ Ap1・2・C層の排水性改善(3連サブソイラー, 2 km/h, 60 cm 間隔, 可能な限り深く, 縦・横にかける): 08/月上旬
  - ⑨ 碎土整地(ロータリー耕)

- ⑩ 緑肥の播種(深根性), マクロ間隙の適正化のため鎮圧(ケンブリッジ): 08/月上旬
- ⑪ 緑肥をチョッパーで破碎・分散し, 圃場に還元: 10/下旬
- ⑫ 堆肥\*の散布(マニュアルスプレッダ 5 t/10 a): 10/下旬

\* 堆肥はC/N比, 養分バランス, 熟度に留意して施用する。

## 2. おわりに

過剰な碎土は, 土壤が持つ排水性, 保水性, 保肥力などを低下させる。その原因は主に土壤の物理性の悪化に求めることができるが, 良好な物理性を足元から支えているのは団粒構造の骨組みとなる有機物である。堆肥をはじめとする有機質肥料は, 成分のコントロールが容易ではない。有機質肥料の無計画な施用は, 土壤養分のアンバランスを引き起こす。

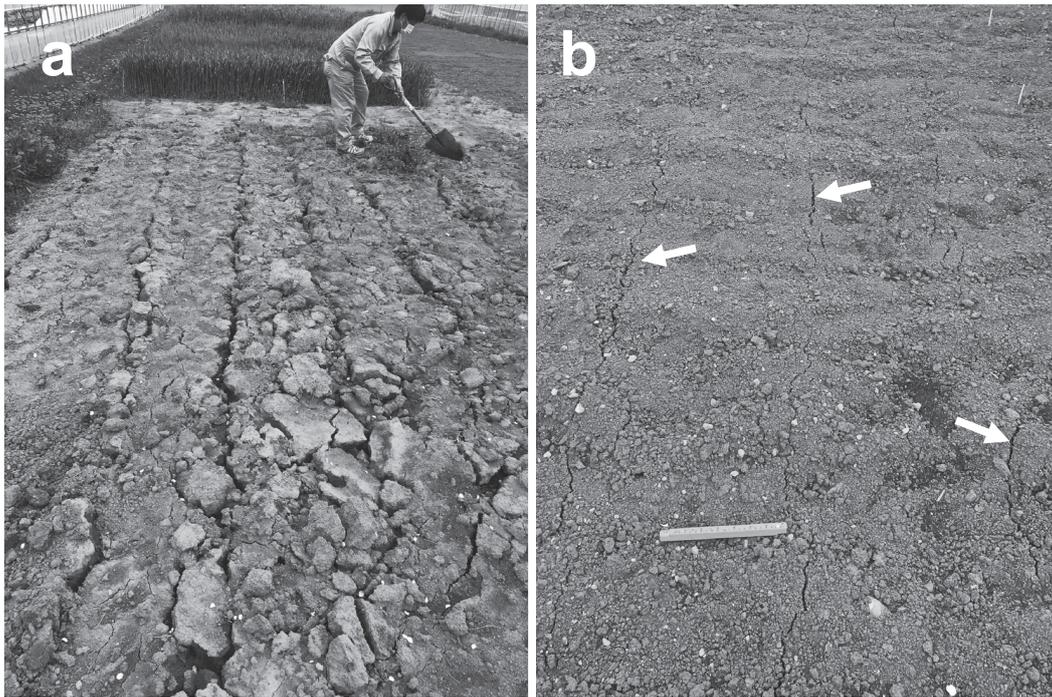


図5 省耕起管理により土壤排水性が高まる

a. 春の播種・定植直前にサブソイラーをいれ、ロータリー耕で碎土整地する。b. ロータリー耕の整地後も、サブソイラーに由来する亀裂（矢印）が土壤表面から確認できる。

計画的に、循環的に、栽培に適した土壤を作るための方策を、総合的に考える必要がある。そのためにはまず、有機物の土壤中での働きを、科学的に理解する必要がある。

本稿では、文京台キャンパスの、土壤の排水性に注目して、その悪化の原因と、改善策を論じた。耕起による土壤の排水性悪化と、それを防ぐための繰り返し耕起という悪循環は、古くから農家の悩みの種であったようで、そのような土壤を“ランチタイムソイル (lunchtime soils)”と呼んでいたらしい (Mullins et al. 1990)。これは、朝には足を踏み入れられないほどにぬかるんだ畑も、昼過ぎにはカチカチになっていることを言ったものである。それほどに、耕起すべきタイミングは、一年のうちでも一瞬である。このことは、黒澤西藏先生の言葉「機を知るは農の始めにして終りなり」にも通ずるところがある。機を知ることに加えて、土壤の理解を深め、機を「増やす」ことも重要であろう。

### 3. 要 約

文京台キャンパスの作物生産領域において、従来の栽培管理のやり方では計画に沿った実習・研究が

十分に実施できない場面が増えている。これは天候不順により雨が多く、機をとらえた作業が困難になっているためである。本論文では、その原因の一つとして土壤の排水性に注目し、その悪化のメカニズムと、解決策を考える。ポイントは、過剰な碎土（耕起）をしないことと、有機物を効率よく土壤に還元することである。

### 4. 謝 辞

本論文を執筆するにあたり、本学の作物生産ステーションの山口剛典技師、高橋義輝技師に多くのご助言をいただいた。

### 5. 引用文献

- 相馬尅之 2006. 耕うん法による土壤間隙を中心とした土壤物理性の変化, 『農業技術大系』土壤施肥編 第5-1巻 畑+152の10~畑+152の18
- Mullins, C. E., MacLeod, D. A., Northcote, K. H., Tisdall, J. M., & Young, I. M. 1990. Hardsetting soils: behavior, occurrence, and management. In *Advances in soil science*, pp. 37-108. Springer, New York, NY.

### Abstract

In the crop fields of Bunkyo-dai campus, it has become difficult to carry out practical training and research that was planned using conventional cultivation management methods. This is due to the fact that rainfall has been abundant in recent years, making it difficult to manage cultivation in a timely manner. In this article, we focus on soil drainage as one of the causes of this problem; we consider the mechanism of the soil's degradation and suggest possible solutions. The key solutions are avoiding excessive soil tillage and returning organic matter to the soil efficiently. Excessive soil tillage destroys the aggregate structure of the soil, resulting in the loss of multifaceted functions that include drainage and the retention of water and fertilizer. The soil ecosystem, which is enhanced by the input of organic matter, supports the soil's granular structure. In the future, it may be necessary to improve soil functions by recycling organic matter in a labor-efficient manner.