

## 水を味方につける農作業 —気候変動を乗り越え安定生産に向けて—

庄司浩一\*

〔キーワード〕：畝立て、排水、不耕起栽培、保水  
水田の高低差、穀物乾燥

### 1. はじめに

農業生産において水は必要不可欠な環境要因であるが、近年の気候変動の影響により、過湿や干ばつなどが脅威となっている。そこでは水を味方につける（コントロールする）のか、敵に回す（放置する）のかで農業生産が大きく変わる。ここでは、作物や土に働きかける農作業に改めてスポットを当て、水をコントロールする場面について、実際のデータから読み解く。

### 2. 過剰な水避ける農作業（畝立て）

農業生産に直接携わらない人でも、花や野菜などを畑地で栽培する場合には、水はけをよくするため畝を立てることはよくご存知かと思う。図1は兵庫県丹波篠山市での黒ダイズ（いわゆる黒豆）栽培における畝立ての例で、図1(a)では畝の高さは30 cm以上ある（高畝）。耐湿性は高くない作物でありな

がら、連作障害を避けるために水稲とのローテーションで栽培するため、水が溜まりやすい水田環境に適応した方法である。一方で、暗渠が十分機能する水田や、土壌の亀裂が発達した畑地で排水が確保される場合には、畝を立てずにダイズが栽培されている光景がよく見られる。

一般に黒ダイズ栽培では、梅雨間の6月上中旬に播種し（移植する場合もほぼ同じ）、雨の合間を見ながら、中耕培土（土寄せ）を播種後15および25日目を目安に2回、雑草をみてさらに軽く1-2回行い、徐々に畝を高くする<sup>1)</sup>。この例では条間（畝の間隔）が約1.2 m、株間（畝内での植付間隔）は約0.5 mである。梅雨明け以降には日中を避けて谷に灌漑するが、走り水程度として根の通気を確保する。当地での中耕培土作業には、ロータリカルチに専用の中耕爪<sup>2,3)</sup>（図1(b)、スクリュー爪 or らせん爪、通常より長く、中央から端に向かって回転半径が減少）を装着する方法が主流で、より湿潤条件に適応した中耕ディスク<sup>4,5)</sup>（皿状で自身が回転しながら土を上げるスキ）も導入されつつある。ただ



図1 黒ダイズ栽培での中耕培土例

(a) 2回目完了、(b) 中耕培土を行う機械（管理機と中耕爪）、(c) 1回目完了で排水待ち、(d) 未実施で雑草に埋没した作物、2020.7撮影。

し、梅雨の降雨が多くかつ長引くと、圃場によっては中耕培土が不完全なまま梅雨明けまで放置せざるを得ない場合もある(図1(c)(d))。気候変動による異常気象が通例化するなかで、従来の農作業体系の改良が望まれる。

ところで上記の例は、播種時期、条間、株間、中耕培土の時期、畝の高さなど、農家や普及機関が永年検討し適用してきた結果を述べたに過ぎない。一般化して論文にする以前に、常識的な経験値は農家ならば誰もが承知であるから、たとえば畝の高さは何cmが最適、といった論文を探すのはかなり難しい。しかし研究者としては常識を前提としつつも、たとえば上述の環境変化に対応するように、新たな提案を行う使命もあると筆者は考えている。たまたま海外(アフリカ南部のナミビア)で研究する機会を得たので、畝立て方法に関する事例研究<sup>6)</sup>を以下に紹介したい。

比較的人口が多い北中部ナミビアでは、近年の気候変動で年ごとに干ばつか洪水を繰り返す中で、トウジンビエ(粉に挽いて餅にする)やササゲ(タンパク源のマメ)といった耐乾性の作物が栽培されている。これらの作物は降雨が多いと生育不良、場合によっては枯死するので、伝統的なロバで曳くプラウ(スキ)耕では往復しながら内側に土を起こして畝を立てる(図2(a))。近年のトラクタによる賃耕では、スピードを重視してディスクハローで畝を立てない(図2(b))か、ディスク列の並びを工夫し

て低い畝(平畝)を立てるかである。洪水(大河からの水の氾濫、流速はきわめて低い)を繰り返すことで現地圃場は砂を多く含むので、畝を立てても収穫までには降雨で崩れていることが多い。そこで、ロバとトラクタの間である二輪トラクタでも作業でき、スピードを維持しつつけん引力を要しないように、耕さない部分を中央に多く残す畝立て方法はどうかと検討した(図2(c))。

通常の年間雨量相当を乾期の約2か月間に集中してスプリンクラー灌水し、トウジンビエとササゲの栽培試験を行った。図2(a)の畝立て方法での収量を基準とした場合、トウジンビエは(b)18%減/ (c)15%増、耐乾性はあるが水に弱いササゲは(b)25%減/ (c)40%増となっていた。この結果を説明するために収穫期に残った畝を調べたところ、(c)の方法は(a)と比較して畝の縦横比で約2倍となっていた。畝が残ることに対応して土壌水分も低かったことから、耕さない部分を多く残して崩れにくくした畝立て方法で、湿害を回避できていたことがわかった。

湿害とは逆に灌水が十分に届かなかった場所では、図2(c)の畝立てでは乾燥害が見られた。洪水時に水を遠ざけつつも干ばつ時に乾燥を促さない工夫が必要である。現地では土地が十分にあることもあって条間を広くとり、図2(a)と(b)の中間にあたる平畝とする場合が多い(ただし収穫時には原形をとどめない)。これは洪水でも干ばつでもあ



図2 耕うん方法の違い

(a) ロバ+プラウによる畝立て(2往復)、(b) トラクタ+ディスクハローでの平面耕(1行程)、(c) 二輪トラクタ+2枚の内向きディスクによる畝立て(1行程)、SATREPS(2011-2016年度)にて研究実施、2016.9撮影。

る程度対応できる現地農家の知恵であるとともに、単純に機材の制約をうけた妥協点とも考えられ、大いに参考になる。

後日、図2(c)の作業機相当が、トラクタ用に現地で販売されていることも知った。ただこれは図2(b)のように全面を耕してから畝を立てるもので、耕さない部分を多く残して畝立てする発想はないようである。筆者が提案した図2(c)の方法をデモしたところ、耕さない部分残るのはよくないとか、雑草を埋め込んだだけで手抜きだ、といった厳しいコメントが寄せられた。耕してきれいなところに種を播くのは万国共通の農作業の基本のようであるが、次節ではその基本への挑戦を紹介する。

### 3. 水と同時に土壌を保全する農作業 (畑地での不耕起栽培)

作物栽培に先立って行われる農作業が「耕うん」である。しかしそれに続く播種や移植作業も機械化され、使える除草剤の選択肢も増えてくると、本当に耕うんが必要なのかとの疑問が呈された。まずは労働力や投入エネルギーの観点から「不耕起栽培」の検討がなされ<sup>7,8)</sup>、続いて土壌の保全機能が着目されるようになった。改めて不耕起栽培を定義すると、前作物を収穫後にその残渣を耕さずに残したまま後作物の播種や移植を行うものである。前作物の根が形成した環境を残すことで、土壌の透水性を高めて降雨に伴う土壌侵食を防ぐとともに、耕うんに伴う土壌有機物の分解を抑えて貯留し、これにより保水性を高める<sup>9,10)</sup>。国連食糧農業機関 (FAO) が提唱する「保全農業」では<sup>11)</sup>、できるだけ耕さずに(最小限の攪乱)、土の表面を有機物などで覆った状態を保つことが、水を保持し土壌も保全するために推奨される。耕起および不耕起栽培による土壌環境の違いと有機栽培ナスの生産を検討した例では、

不耕起栽培において土壌中の有機物の増加と土壌団粒構造の発達が進み、耕起栽培に比べて過湿や過乾燥が抑制され、より安定した土壌環境を提供することで生産性向上に寄与することが報告されている<sup>12)</sup>。

このような土壌中の水の移動の違いは、降雨後の播種作業の可能性に大きく影響を及ぼす。一般に、耕うん作業は土壌を膨軟化し良好な発芽環境をつくる反面、降雨によっていわゆる「ぬかるみ」化し、トラクタを利用した播種機の走行を困難にすることが多い。しかし不耕起栽培では、トラクタ走行に対する地耐力が向上することで、降雨に対する播種作業可能日数が増加する。日本よりも大型の農業機械が用いられるオーストラリアの例では、トラクタの通路を固定化してランダムな土壌踏圧を防ぐことで (Controlled Traffic Farming), 不耕起栽培と相まって、透水性を確保してぬかるみを回避するとともに降雨が貯留され、作業性・生産性に寄与すると報告されている<sup>13)</sup>。

不耕起栽培のもつ土壌有機物の貯留や水のコントロール機能が認められる一方で、技術面の課題も多い。不耕起対応の播種機 (トラクタ搭載) の例では、種子を落下させる直前にディスクで直接作溝して狭い隙間を作るか<sup>14)</sup>、播種溝相当のみを部分的に耕うんしている (図3左)<sup>15,16)</sup>。前作物の残渣や雑草を刈り倒して被覆した圃場に直接播種する、不耕起が続き局地的な凸凹が大きい圃場で播種する、小規模圃場に適した二輪管理機で播種する、など生産環境や農家の都合に応じた課題が多い。除草剤を用いず土壌により多くの有機物を貯留することを目的に、果樹園のように条間の雑草を刈り込む栽培とする場合は、現状は刈払機や手押し芝刈機に頼るところを、ラジコン化やトラクタ搭載などで軽労化する余地がある。不耕起栽培の普及のためにはこれ



図3 不耕起圃場におけるダイズの播種と生育のようす (狭畦栽培)  
小松崎将一氏による。

らの課題を解決し、土壌保全と生産性向上が両立する農作業システムの開発が求められる。

#### 4. よく知られた農作業を水の観点から見直す (水田内の高低差・粃の自然乾燥)

前節までに紹介した事例は、作物生産に直結する要因として、積極的に水を避けたり逆に保全したりする農作業を行うものであった。しかし数千年にわたる農業の歴史の中で当然のように繰り返されてきた農作業も多い。そこでよく知られた農作業に関連した測定を改めて行う研究を通して、別の角度からその作業の意義を考えさせられた事例を二つ紹介する。

水田は均平に、との命題を検討してみる。アメリカ大陸での大規模水田では傾斜をつけたかけ流し灌漑が行われるが、ここでは移植前に湛水して代かき・均平を行う一般的な日本国内の水田とする。では湛水を行う水田でどの程度の高低差(凸凹)が許容されるのか。直接的には、移植時の苗の成長点の水没を避けることと、非湛水部分での除草剤の無効化を避けるために、安全側をみて高低差は5 cm程度までといわれる。もちろん、中苗(条件にもよるが15 cm程度以上の草丈)移植で灌漑水の制約がなければ、高低差が10 cm以上あっても正常に見える水田もある。

このように一見問題がない程度の高低差でも、収量や品質(ここでは食味に影響するタンパク質含有率、低いほど良食味といわれる)に変動がないか調べてみた。その結果、10 cm程度の高低差でも玄米タンパク質含有率は変動し(図4)、高地ほど低タンパク質含有率となっていた<sup>17)</sup>。これは食味測定装置での食味点10以上の幅である。水位の経時変化をみると、高地では中干し後の間断灌漑(つぎ足し湛水)の期間中に湛水時間が相対的に短かったことが



図4 0.5 ha 水田の玄米タンパク質含有率(%) マップ  
2001.9 測定。

ら<sup>17)</sup>、水分の吸収制限や土壌内の脱窒現象などの可能性から低タンパク質含有率になったのではないかと推察された。収量については、試作した収量計測コンバインを用いて標本数を増やして検証したところ、7.5 cmの高低差で粗粃630~730 kg/10a(玄米換算で490~570 kg/10a相当)の範囲で変動し、高地ほど低収量の傾向がはっきり出ている<sup>18)</sup>。

水田内に高低差が発生する原因として、枕地でのトラクタやコンバインの旋回による踏圧の繰り返し、水田内での透水性の違い、場合によっては合築(複数の水田を統合する)前の履歴、などが考えられる。一方で代かきを行うロータリハローでは局所的な均平を行う機能しか持ち合わせていない、つまり土地改良で一筆の面積は増えたが均平技術は50年前のまま、という場合が多い。レーザーレベルを用いて水田内の広域的な高低差を解消する技術が普及しつつある一方、明渠や暗渠による排水を十分に行ったうえでなければ作業は困難で効果も限定的であることに留意が必要である。均平作業を行うときに直接的には想定しえない「水」を介しての収量や品質の変動をどの程度許容するか、あるいはコストをかけても均平度を高めることで収量と品質が両立するような灌漑スキームを新たに考えるかなど、農作業の選択肢の幅は広い。

粃の乾燥作業は、粃摺りを行って玄米として出荷する前に、微視的な範囲の「水」を操作する農作業である。近年では乾燥施設で行われることが通常であるが、伝統的には脱穀前に圃場内で自然乾燥(はさがけ、稲木干しなど、図5)させる方法があり、現在でも良食味を掲げたマーケティングの一環と



図5 稲木干しの例  
小松崎将一氏による。

して実施する農家がある。たまたまそのような農家から、自然乾燥（ワラをつけたまま）と乾燥機（コンバインで生扱き）で調製した玄米の食味測定の依頼をうけたことがあった。食味点で10以上差がある場合とほとんど差がない場合があったことから、乾燥方法よりも上述の水田内の品質の変動を反映しているのではと直感した。一方で乾燥方法の違いによる食味の差については詳細な先行研究があり、玄米では食味に影響するといわれる成分の差がなく、炊飯を行って測定器類で若干の差が検出され、パネラーが食べて数項目で差（いずれも自然乾燥が優れる）が見られたと報告されている<sup>19)</sup>。しかし近年では乾燥機の性能も向上し、より低温で操作できるので、むしろワラをつけたままか脱穀した状態で乾燥させる違いを反映するのではと考えた。

そこで、複数の水田内の異なる地点からワラごと刈り取って試料を採取し、ワラをつけたまま圃場で乾燥させる「稲木干し」と、脱穀してから太陽光下で乾燥させる「即脱穀」に二分割して比較した。いずれも自然乾燥ではあるが乾燥中のワラの有無が異なり、先に指摘した水田内の変動は一对比較を行えば消去できる。測定の結果、登熟歩合、千粒重、タンパク質含有率、アミロース割合は両者で差がなく、食味点のみが若干「稲木干し」で向上していた<sup>20)</sup>。炊飯食味計で測定してみると、平均値に差はなかったが、「稲木干し」で標準偏差が小さく（試料採取地点間の食味の変動が少なく）なっていた<sup>21)</sup>。この説明として、タンパク質含有率について「即脱穀」VS「稲木干しー即脱穀の差分」を、同一品種で異なる水田から得た試料をすべてプロットすると、明らかな負の相関が認められた<sup>21)</sup>。両乾燥法で平均値は不変であるので、ワラをつけたままの緩やかな乾燥中に、未熟粒（高タンパク粒）が充実する一方で大きな粒（低タンパク粒）の消耗（呼吸）により、結果としてタンパク質含有率（食味）が揃ったことが示唆される。

籾の乾燥作業は、水分を下げることで自身の呼吸を抑制させる操作でもあることに立ち返ると、ひとくりに自然乾燥と扱うのは危うさを伴う。コンバインでの収穫を前提とした栽培暦では、走行のために早めの落水で土壌乾燥が行われるので、収穫適期となるころにはかなり枯れ上がった状態になっていて、ワラからの転流による追熟が期待できない場

合がある。むしろ近年は収穫期に高温が続くことが多いうえ、台風の襲来増による多雨となっていて、乾燥が速やかに進まない、籾の消耗から全体的な品質低下を招く場合もある。これらのリスクも織り込んで、自然乾燥を農作業に組み込む周知さが求められる。

## 5. おわりに

作物栽培と「水」とは密接に関係するため、改めて「水」に関連する農作業の種類が多いことに気づく。一方で近年の気候変動の影響を考えると、これまで当たり前と思われてきた農作業も、基本を大きく変えるか保持するかの差はあるものの、環境変化に応じた柔軟な改良を必要としているのが理解できる。

## 謝辞

本稿第2節で紹介した研究は、国際科学技術共同研究推進事業 地球規模課題対応 国際科学技術協力プログラム (SATREPS) 「半乾燥地の水環境保全を目指した洪水指干ばつ対応農法の提案」(2011指2016年度)において実施した。第3節及び第5節では、茨城大学小松崎将一氏より写真とデータの提供を受けた。

## 6. 引用文献

- 1) 兵庫県農政環境部農林水産局農産園芸課：稲・麦・大豆作等指導指針について。 [https://web.pref.hyogo.lg.jp/nk12/af11\\_000000107.html](https://web.pref.hyogo.lg.jp/nk12/af11_000000107.html)
- 2) 旭陽工業(株)：黒大豆中耕爪軸セット。 [http://kyokuyokkc.co.jp/sakumotu\\_main.htm](http://kyokuyokkc.co.jp/sakumotu_main.htm)
- 3) (株)宮丸アタッチメント研究所：黒大豆土寄せセット。 [http://www.miyamaru.co.jp/hatake\\_daizu\\_negi.html](http://www.miyamaru.co.jp/hatake_daizu_negi.html)
- 4) 小橋工業(株)：中耕ディスク。 <http://www.kobashiindustries.com/product/detail/105>
- 5) 井関農機(株)：高精度畑用中耕除草機。 <https://www.iseki.co.jp/products/jyouyou/jyou-imp-baido/h3-200.html>
- 6) Hirooka et al. (2019) Ridge formation with strip tillage alleviates excess moisture stress for drought-tolerant crops. *Soil and Tillage Research* 195.
- 7) 春原亘ほか(1985)不耕起栽培の評価 第1報 作業体系と省力効果。 *農作業研究* 54: 37-50.
- 8) 坂井直樹ほか(1987)不耕起栽培の評価 第2報 圃場への直接投入エネルギー。 *農作業研究* 22: 113-119.
- 9) Komatuszaki & Ohta (2007) Soil management practices for sustainable agro-ecosystems. *Sustainability Science* 2: 103-120.
- 10) Higashi et al. (2014) Tillage and cover crop species affect soil organic carbon in Andosol, Kanto, Japan. *Soil and*

- Tillage Research 138: 64-72.
- 11) FAO. Conservation Agriculture. <http://www.fao.org/conservation-agriculture/en/>
  - 12) Hashimi et al. (2019) Potential for no-tillage and clipped-weed mulching to improve soil quality and yield in organic eggplant production. *Biological Agriculture & Horticulture* 35: 158-171.
  - 13) Tullberg et al. (2007) Controlled traffic farming - From research to adoption in Australia. *Soil and Tillage Research* 97: 272-281.
  - 14) アグリテクノ矢崎 (株) : 不耕起対応 高速汎用播種機. <https://agritecno.co.jp/product/seeds/tractor/contents00426.html> (動画あり)
  - 15) みのる産業(株). 不耕起大豆播種機トラクターアタッチ 2 条. [http://www.agri-style.com/product\\_guide/detail.php?id=287](http://www.agri-style.com/product_guide/detail.php?id=287)
  - 16) Zhao et al. (2013) Performance of a no-tillage seeder with different cover crop species and residue management for sweet sorghum for sustainable biofuel production. *Engineering in Agriculture, Environment and Food* 6: 152-159.
  - 17) 庄司浩一ほか (2003) 水田内の高低差が収量および品質の変動に与える影響. *農作業研究* 38 : 73-78.
  - 18) 庄司浩一ほか (2007) 水稻栽培試験における収量計測コンバインを利用した収量比較法. *農作業研究* 42 : 105-110.
  - 19) 深井洋一ほか (2007) 米の天日干し及び熱風式機械乾燥の乾燥手法の差異が品質に及ぼす影響. *日本調理科学会誌* 40 : 347-351.
  - 20) 庄司浩一・布施未恵子 (2013) 稲木干し (はさがけ) が水稻品質に与える影響について. *農作業研究* 48(別1) : 75-76.
  - 21) 庄司浩一 (2020) 稲木干し (はさがけ) が水稻品質に与える影響について (続報). *農作業研究* 55 (別1) : 42-43.