

# 近年の水田管理の課題と 今後の土づくり

秋田県立大学 名誉教授 金田吉弘

## 近年の水稲生産現場と気象変動の状況

近年、水稲の生産現場では、大区画圃場の整備やICT水管理施設の整備など、スマート農業の実装を促進するための農業生産基盤整備が推進されている（農林水産省、2023）。また、トラクターなどの作業機械の大型化も進み、作業能率は飛躍的に向上している。

一方、気象についてみると、夏季の気温が年々上昇傾向にあり、水稲の品質や収量に大きな影響をおよぼして

いる。登熟期の高温による品質低下の主な要因には、乳白粒や背白粒などの白未熟粒があげられる（長戸・江幡、1965）。これまで、白未熟粒は、胚乳内のデンプン粒の発育や集積が劣り、デンプン粒間にできた空隙で光が乱反射するために生じることが明らかにされている（田代・江端、1945）。特に、高温年では、生育後半に光合成能が低下し、デンプン生成に悪影響をおよぼす場合が多く、白未熟粒の発生を助長すると考えられる。

このことから、変動する気象下でも安定した水稲栽培を継続するには、これまで以上に根圏の環境を重視した土づくりが重要となる。ここでは、水稲根圏の土壤環境に視点をおいて、いくつかの知見を紹介する。

## 最近、水田で多く目にする現象

最近の水田では、ワキと呼ばれる異常還元と表層剥離の発生を目にする事が多い。足を踏み入れると気泡が発生する水田が多く（写真1）、土を手にとってにおいをかぐと温泉の硫黄のようなにおいを感じる。稲わらがす

き込まれた水田では、稲わらを分解する微生物の活動により酸素が消費されてワキが発生する。ワキの程度が強くと強還元状態になった水田では、写真1のような温室効果ガスのメタンや水稲根に有害な硫化水素が発生する。また、強還元状態になると土壤中の二価鉄が増加し、葉身に鉄の過剰吸収による赤枯れ症状（写真2）がみられる。この現象は、排水性が低く、稲わらの分解が遅い水田で多く認められる。

市販されている銀メッキ板（商品名：イオウチェッカー



写真1 気泡が発生する水田



写真2 強還元による赤枯れ症状



写真3 「イオウチェッカー」の黒色程度と水稲根の関係

一) は、硫化水素と反応して黒色に変色することから、6月中旬に1週間ほど水田に挿入し、黒色に変化する程度で硫化水素の発生量を簡易に評価することができる。黒色への変色程度が強い水田では、変色程度が小さい水田に比べて根が黒く根張りも悪くなる（写真3）。また、移植1～3週間後、地温の上昇にともないごく表層の土壤が

膜状になって剥がれ、水面に浮か上がる表層剥離が発生する水田が多い(写真4)。表層剥離が発生すると、光を



写真4 表層剥離の状況

遮断して根の活性を低下させ初期生育を抑制する場合があります。このことから、最近の水田では、根に悪影響をおよぼす現象が多くみられ、品質や収量の低下を招きやすいことが推察される。

### 先人の土壌環境に学ぶ

わが国では、かつて「米作日本一表彰事業」が実施され、多収農家の技術が解析されている。当時、多収水田の土壌を観察した研究者は、土壌は肥沃でありながら酸化していることや下層に塊状の土壌構造が発達していることを明らかにしている。異常還元が生じない酸化状態の土壌は、根の周りに酸素が多く存在するため、活力のある根が維持されて水稻の生産性向上に結びつく(本谷, 1989)。

かつての酸化土壌環境に近づけるには、収穫後の田面排水を徹底するとともに、翌年の移植時まで、できるだけ稲わらの分解を進めることがポイントになる。そのため、春の耕起作業前には次のような水田管理が必要となる。①水田表面の稲わらを均一にする②秋起こしにより稲わらの分解を進める③明渠により表面排水を実施する、ことなどが有効である。

秋起こしによる稲わらの処理を優先するか、明渠による表面排水を優先するかは、収穫後の気象や水田の乾き具合で判断する。一般的には、秋口に雨が多い北陸や日



秋に乾きにくい地帯では浅い明渠  
写真5 水稻収穫後の秋作業



秋に乾きやすい地帯では浅い(5cm目安)秋起こし

本海側の東北地域では、明渠による表面排水を優先し、土壌が乾きやすい地域では、ロータリにより5cm程度の深さで稲わらが土壌と軽く混ざる程度に秋起こしする(写真5)。土壌水分が高い状態での秋起こしは土壌を練ることになり、逆に春に排水性が低下してしまう。溝切機による明渠で表面排水を行う場合には、明渠を排水口にしっかりと連結させることが重要である。また、稲わらの秋散布時に石灰窒素を施用すると稲わらの分解が促進されることが「石灰窒素100年 技術の歩み」で紹介されている。

### 稲わらの分解を進める石灰窒素の効果

石灰窒素は、収穫後の稲わらの上に10a当たり現物で10~20kg程度(Nとして2~4kg/10aに相当)を散布し、土中にすき込むのが一般的である。稲わらの分解促進については、石灰窒素添加による秋混和が最も効果が高いが、秋に石灰窒素を土壌の表面に散布するだけでも分解が促進される(図1:千葉ら, 1980)。

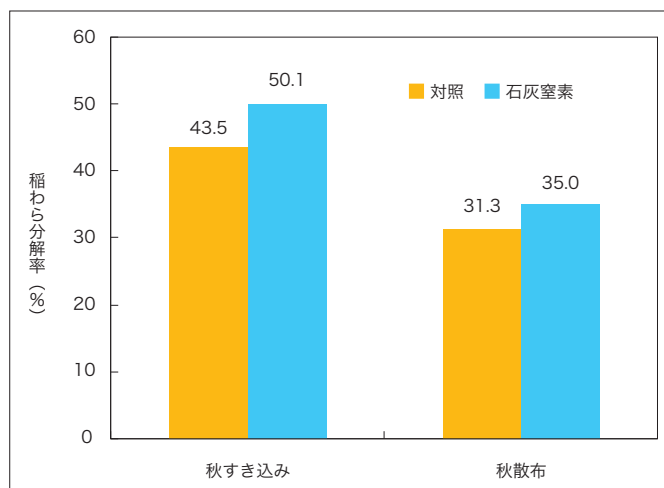


図1 石灰窒素による稲わら分解率  
(千葉ら: 1980, のデータから作図)

石灰窒素由来の窒素の動態については「石灰窒素だよりNo.149」で詳しく解説されている。それによれば、石灰窒素由来の窒素利用率は、石灰窒素単用で13.3%に対して稲わらと石灰窒素を混用すると21.7%に高まることや、石灰窒素由来の窒素は硫酸由来の窒素に比べてロスが少なく、翌年の水稻での利用率も高まることなどが示されている。

土壌の酸化還元電位については「石灰窒素だよりNo.157」において、石灰窒素の

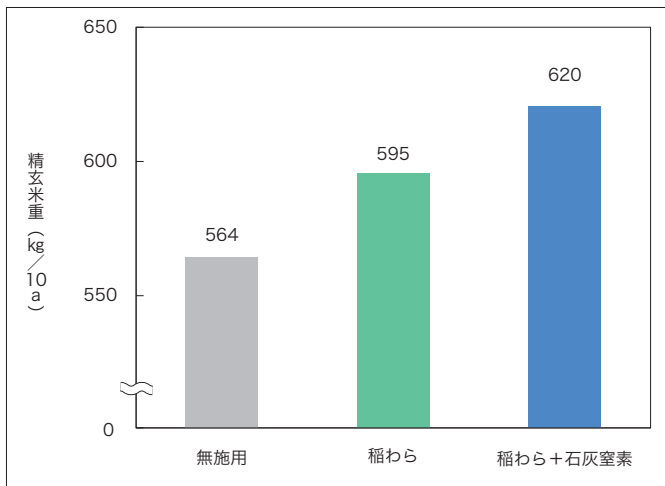


図2 稲わらおよび稲わら+石灰窒素併用の連用が水稻収量におよぼす影響(1984~1992年)  
(秋田県稲作指導指針：2023. のデータから作図)

秋施用により稲わらの腐熟が促進され、土壌の還元程度が弱くなることが報告されている。また、秋田県農試において、1984年から1992年の9年間実施した稲わらおよび稲わら+石灰窒素の併用による連用試験の結果をみると、有機物無施用区の収量564kg/10aに対して、稲わら区595kg/10a、稲わら+石灰窒素併用区620kg/10aであり、無施用区に対してそれぞれ5%、10%の増収効果が認められた(図2：秋田県稲作指導指針、2023)。

最近、出穂期以降に極端に葉色が低下する水田も多くみられる。稲わらの分解を進め、水稻根の活性を生育後半まで維持できるような土壌環境を実現することにより、稲体養分が維持される。稲わらの分解促進は、土壌ケイ酸の溶出を促進させることが報告されており(高橋、2007)、窒素のみならず水稻のケイ酸吸収量を増加させる効果も認められている。

このように、石灰窒素によって土壌肥沃度が高まる反面、「石灰窒素だよりNo.156」において、玄米の粗タンパク質含有率が毎年高い水田や地力が高い水田、追肥を省く全量基肥栽培において、食味を最優先する最近の品種を作付けする場合は、石灰窒素の施用について留意することが示され、現在試験が継続されていることから、今後、情報を共有する必要がある。

## 土づくりの定着に向けて

スマート農業などの導入で効率化が進む水田農業をより発展させるには、作物生産を支える土壌について理解

を深め、土づくりの効果を生産者、指導者さらには消費者が共有することが望ましい。そのためには、次の点が重要となる。

### 土づくりと環境問題のつながりを示す

土づくりは、作物の生産性を高めるだけではなく、今日の地球環境問題の解決にも貢献できることを示したい。例えば、「石灰窒素だよりNo.156」にあるように、石灰窒素の施用により水田から発生するメタンの発生量を削減できる効果は貴重な情報である。そこでは、秋浅耕が難しい土壌水分が高い水田において、稲わらの上から石灰窒素を施用すると、翌年のメタン発生量は、慣行区に比べて17~37%削減されたことが報告されている。さらに、分解が遅い土壌有機物含量を増やすことは、大気への二酸化炭素放出量を抑制する効果がある。

### 見える化により効果を確認する

水稻の生産現場では、土壌の変化をできるだけ“見える化”することが重要である。写真6は、石灰窒素の秋施用により土壌の還元や表層剥離に変化をおよぼしたことを確認したものである。銀メッキの黒色染色をみると、石灰窒素無施用区では、作土全体におよんでいたのに対して、石灰窒素区では、土壌表層部に限られていたことから、石灰窒素区では、稲わらの分解が進み硫化水素の発生が減少したことがわかる。

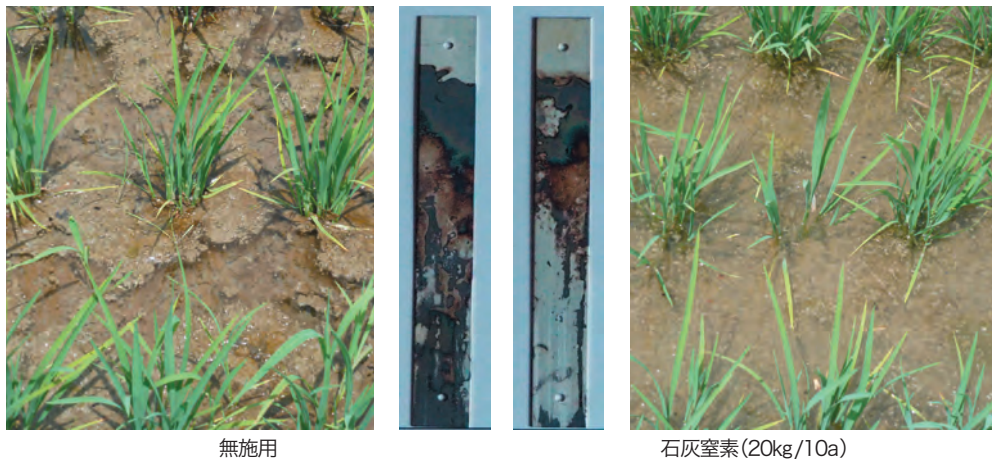


写真6 石灰窒素の秋施用による土壌還元と表層剥離の抑制効果

また、石灰窒素区では、無施用区に比べて表層剥離が明らかに少ないことが観察できる。表層剥離については、次のような発生機構が報告されている(村岡ら、1997)。代かきによって地表面に浮上した微細な土壌粒子が、珪藻類の運動によって速やかに凝集し薄膜が形成される。その後、珪藻類が急速に増殖し優占化することにより、土壌粒子の凝集がさらに進むとともに、藻類の光合成作用によって生じた酸素が膜上で気泡となって浮力が生じ、膜の浮上が始まる。さらに、浮上膜内で藍藻類の増殖が始まり、凝集した土壌粒子を緊縛することにより、剥離膜の強度が増加する。石灰窒素区において、表層剥離が少

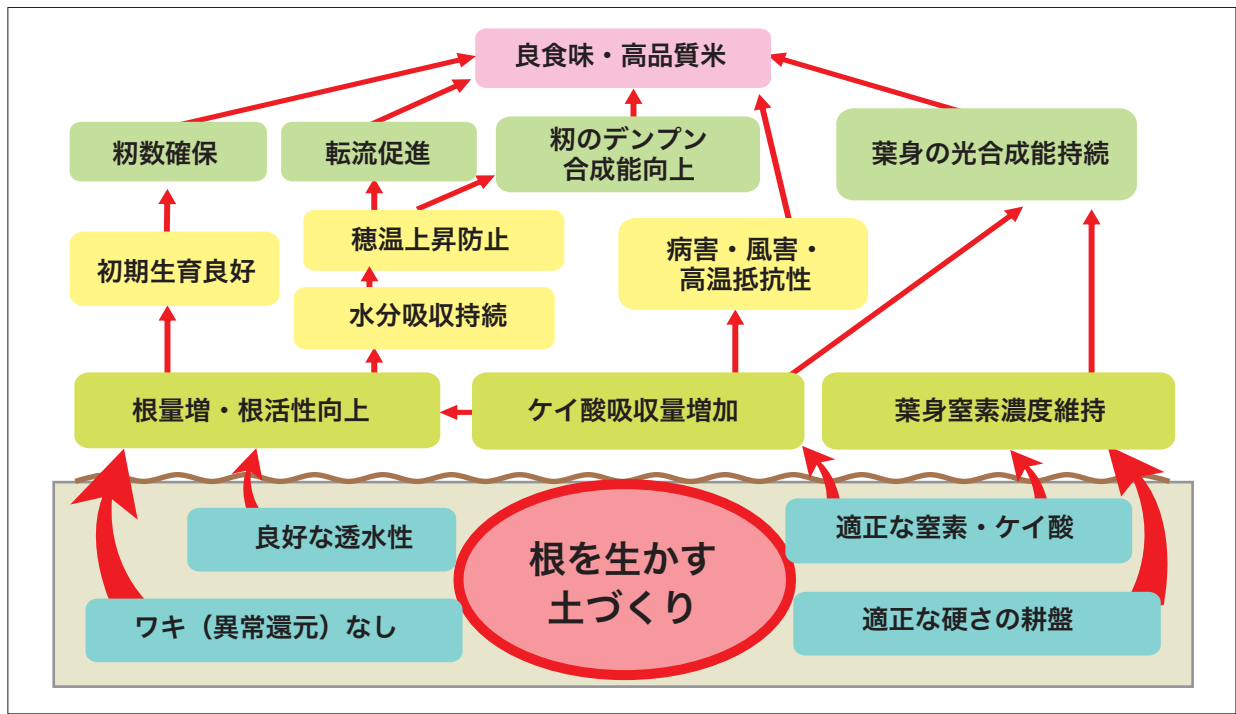


図3 良食味・高品質米を実現する土づくり

なかった理由としては、石灰窒素に含まれるカルシウムシアナミドが珪藻類や藍藻類の増殖を抑制したためと推察した。

### 土づくりは総合管理技術である

かつての水稻の多収穫栽培では、土壤改良資材や堆きゅう肥の施用にとどまらず、耕起作業なども重要な土づくりの手段であるとされていた。本来、耕起作業は、表土と下層土を反転させる「耕起」と耕起された土壌を細かく砕く「砕土」の2工程からなる。一方、現在では、耕起、砕土ともトラクター駆動のロータリにより行うのが一般的である。しかし、過度なロータリ作業は、作土を細粒化し田面水の縦浸透を低下させやすい。また、トラクターの走行によって踏圧が繰り返されると作土直下の耕盤層が硬くなり、透水性を低下させる場合も多い。

次に、代かき作業は、土壌を泥状化することにより漏水を防止するとともに有機物の分解による窒素の無機化と土壌の還元化を促進する。窒素の無機化が促進すると水稻の生育にとっては有利になるものの土壌は還元的になりやすい。特に、ロータリ耕により腐熟が進まない稲わらを作土にすき込む栽培では、土壌還元の進行は早く、水稻にとっては悪影響をおよぼすことになる。そのため、粘土の多少など土壌の特性を踏まえて代かきの回数や深さなどを判断する必要がある。例えば、秋田県で多収穫日本一になった農家は「代かきは上層のみを泥状にし下層は粒状になるように意識して作業した」と話している。多収穫農家は、作土の表層と下層を意識しながら耕起・代かき作業を行っていたことがわかる。

このように、土づくりは、ケイ酸や窒素などの土壤養

分保持に限定されたものではなく、適正な硬さの耕盤や良好な透水性を確保して異常還元を生じない土壌環境を実現する機械作業も含む総合管理技術であることを忘れてはならない(図3)。今後は、経営評価も視野に入れながら、土づくりが定着しその技術が広く次世代に伝わることを期待したい。

### 引用文献

農林水産省2023. 令和4年度食料・農業・農村白書。  
 長戸一雄・江幡守衛1965. 登熟期の高温が穎果の發育ならびに米質に及ぼす影響. 日作紀, 34, 59-66.  
 田代 亨・江幡守衛1975. 腹白米に関する研究 第4報 白色不透明部の胚乳細胞の形態的特徴. 日作紀, 44, 205-214.  
 本谷耕一1989. 多収穫稲作の解明, p.98-100. 博友社, 東京.  
 日本石灰窒素工業会2001. 石灰窒素100年 技術の歩み.  
 千葉満男・島津了司・武藤和夫・内藤修吉1980. 水田における稲わら施用と稲作の安定化. 岩手農試研報, 22, 81-117.  
 高階史章・小川賢人・平野聖也・金田吉弘・佐藤 孝・毛利友明2014. 石灰窒素秋施用による稲わら腐熟促進効果と窒素動態の解明. 石灰窒素だより, 149, 6-9.  
 齋藤 寛・今野 悟・岡田典晃・熊谷勝巳2022. 石灰窒素の秋施用による「つや姫」の生育改善効果の実証と水田からのメタン発生量の削減. 石灰窒素だより, 157, 1-3.  
 秋田県農林水産部2023. 稲作指導指針, p.36-37.  
 高橋英一2007. 作物にとってケイ酸とは何か, p.34-40. 農文協, 東京.  
 塩野宏之2021. 積雪寒冷地水田からの温室効果ガス(メタン)削減技術. 石灰窒素だより, 156, 4-7.  
 村岡哲郎・鴨居道明・則武晃二1997. 水田における表層剥離の発生機構. 雑草研究, 42, 227-232.