

自分の畑は自分で診断する

これなら分かる「土と肥料」の実践講座 第14回

水田の土 その②

水田土壌に今しのびよる人為的障害

瘦せきつた日本の土を上手に使っていい方法として、畔をめぐらし圃場を均平にして水を張るこの水田形態は、夏期の地力消耗を未然に防ぐすばらしい仕組みであることを前回学びました。

この水田システムは畑と違い、水が栄養を運んで来てくれますし、圃場の中で緑ソウ類などが繁殖して無料の緑肥を提供してくれ、なお均平化されたところに張られた水は雑草も防止し、窒素成分をうまく貯え、春先からは少しずつ必要に応じて放出するという素晴らしいシステム栽培を実現してくれるのです。

私たちの先人は、この理屈は知らなくても体験的に田んぼを丹精することが家族の暮らしを守ることであることを悟っていたかのように春先の田起こしから秋の収穫までをまさに身を粉にして働いて、この体系を維持してきました。

このまじめさを次の世代に伝えていくために水田基盤整備事業を全国各地で実施し、その新しい大型圃場では機械化一

貫体系が成立して、昔の過重労働からは開放されたのです。そして、農水省が大変な予算を組み込んで行なわれた水稲研究による優れた品種が登場して、水田を取り巻く事態はほぼ完結したかのように思われているのかもしれませんが。

今回は、大型水田圃場と大型機械化体系という私たちの到達した現在の水稲栽培システムの問題点に科学のメスを入れてみます。

水稲システムの問題点

この話には酸化と還元という言葉が何度も登場しますが、この意味を理解しておかないと困るので説明しておきます。

ある物質が酸素と化合するとき、水素を失うとき、電子を失うとき、これを酸化されるといいます。逆に酸素を失うとき、水素を化合するとき、電子を受け取るとき、これを還元されるといいます。例えば水田土壌の反応によく登場する鉄成分

農業技術コンサルタント「ブリーローズ」主幹 関 祐二



1953年静岡県生まれ。東京農業大学において実践的な土壌学にふれる。75年より農業を営む。営農を続ける中で、実践現場において、土壌・肥料の知識がいかに不足しているかを知り、民間にも実践的な農業技術を伝播普及するべく、84年より土壌・肥料を中心とした農業コンサルタントを始める。
〒142-03 静岡県榛原郡吉田町川尻304
6-6-16 TEL 0548-3212758

ですが、赤褐色の Fe^{3+} イオンが Fe^{2+} になるときは、 Fe^{3+} （三価の鉄イオン）+ e^- （電子）→ Fe^{2+} （二価の鉄イオン）という反応式となり、電子を受け取っているので還元されたということになります。

この酸化・還元のことについては、中学、高校の理科の教科書を見直してみると詳しく述べられています。

さて、水田では水を張った作土層が酸

素の供給を受けられず、還元状態となる還元層ができるわけですが、この還元状態というものに実は、いくつかの段階があつてこれを科学的に現場で測定でき、その段階が稲の根に相当であるのか、あるいは不適であるのかということ自分で診断できるのです。

そこで測定方法ですが、水田土壌の酸化還元電位というものを測るのです。酸



63 Ehメーター
堀場製作所
〒601京都府京都市南区吉祥院宮の東町2
☎075(313)8122

化還元電位は英語略文字のORPとも表現されます。そして、pHメーターと似た原理なのですが、白金電極を湛水状態の水田土壌に差し込むことで、その数値はデジタル表示されます。この測定値はEh \sim VあるいはEh \sim mVと表現します。つまり電圧です。

このEhが+0.365Vより高ければ高い程強い酸化状態にあることを示し、逆に+0.365Vより低ければ低い程強い還元状態といえます。

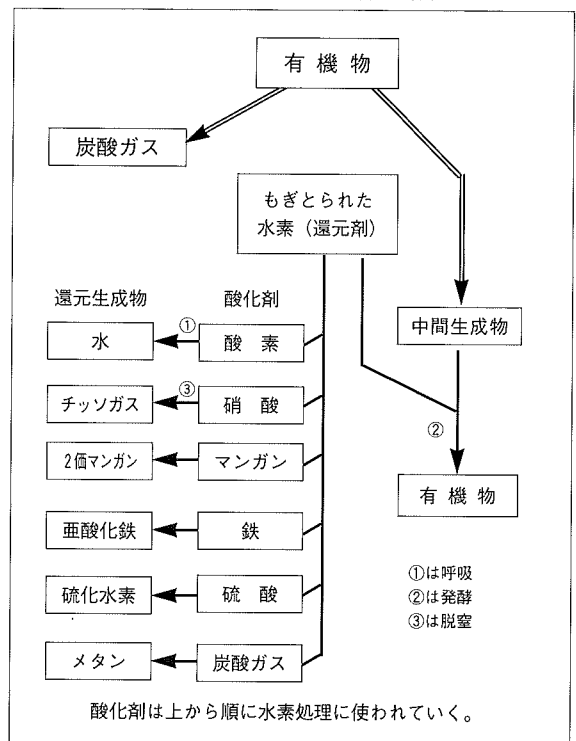
肝心の測定器ですが、堀場製作所より発売されているカスターニシリーズのD13、9万5000がお勧めです。これは土のpHも測定できるし、温度も測れて酸化還元電位Ehも測れるということで購入の価値があります。この機種はEhをmVで表示しています。先端のセンサー部である白金は測定のたびにサンドペーパーできれいにしてください。

水田作土層の分析

測定器の確認ができた次はこの測定値をどのように考えて活用していくかの話になります。水田では酸化層でプラス0.3V以下0.6V、還元層ではマイナス0.2V以下となります。酸化層のEh値はあまり問題視する必要はありません。酸化層は、その厚さがどのくらいあるかという観察をしてください。

酸化層が薄く、1~2mm程度であれば地力の高い水田土壌、また1cmにもおよぶ厚さがあると地力は低い水田土壌と判断できます。このことは、前回説明しました。

図1 それぞれの層の環境

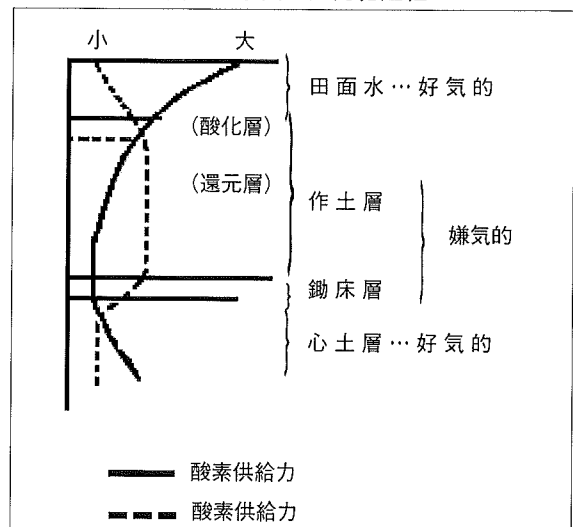


そこで話をEh値の活用法に戻しますが、水田作土が還元化し、その程度が強くなっていく現象は、湛水下にある状態ならどこでも起こります。

黒部川下流にあるダムが沈砂物を除去するため、堆積土砂放出用の水門をあけて富山湾に放出したところ、この池底の有機物を含んだ土砂が、還元化してしまつたことによりヘドロ状悪性物質に変化して、これが流入した富山湾の漁業資源が被害を受けた事件がありました。池底の強還元化は現在の育てる漁業、養殖業の大きな難題にもなっています。その他、私たちの身近にある景勝池や、大規模なところでは、自然の湖、飲料水を確保するダムなどこの湛水下の還元化とこの問題は大変なものです。

そこで還元化が規則的に進行していくことを表にしたものをみていくと、第一期と第二期の二つの段階に大別できま

図2 水田の還元化過程



す。第一期は好氣的あるいは半嫌氣的条件下でおきるもので、条件的嫌氣性菌が働く段階です。第二期は、いっそう嫌氣的環境となつて、絶対的嫌氣性菌が活躍することになります。そして、この変化は細かく分けると6つの段階を経て、還元化のクライマックスに到達するので、この一連の変化は、酸化還元電位Ehポルト値の低下と運動することになります。

では各段階をみていきますが、まず「分子状酸素の消失」が最初におきます。好氣性菌が有機物を分解し、もぎとつた水素を水中に溶存している酸素分子を使って処理するものです。

水に溶け込んでいる酸素の量はごくわずか、温度が高まれば、溶存量は低下します。1ℓの水に30℃の条件で5ml程度です。好氣性菌は、このわずかの酸素を使って土壌中の有機物を酸化分解する

のです。夏では田に水を張っておくと、1~2日で酸素を消費しつくしてしまします。

このことから、田面に緑ソウ類やウキ草の繁茂しての酸素の供給は意味があるのです。還元化過程の最初で酸素が好氣性菌によって消費しつくされると、その次の段階では、酸素なしでも活動できる条件的嫌氣性菌が働くことになります。

「硝酸の消失」が次の段階で、有機物を分解し、もぎとつた水素の処理を硝酸からとりだした酸素で行なうものです。この硝酸の還元はいくつかの過程を経て、チッソガスまでしてしましますが、この一連の変化を脱窒作用といっています。水田土壌では還元層でおこります。

次に「マンガンの還元」がおこります。マンガンは畑状態では黒紫色を呈した二酸化マンガン(四価のマンガ)として

存在していますが、還元されると無色の水に透けやすい二価のマンガンに変化します。この還元された二価マンガンは根に吸収されやすいものです。

さらに、「鉄の還元」にすすんでいきますがこの鉄の反応は、土壌の酸化と還元について最も視覚的にわかりやすく私たちに教えてくれます。

酸化状態では赤褐色の三価鉄イオンで、還元されると、青灰色の二価鉄イオンとなるので、この鉄イオンの色をみることで、作土層の酸化還元状態を知ることができのです。ただし、火山性黒ボク土、黒泥土、泥炭土などでは地色の黒さによってこの鉄の色がかき消され識別が難しくなります。

ここまですが還元化過程第一期の変化です。この段階までなら、稲の根も障害を受けないことはあまりありません。またこの後の第二期に発生するような有害物質の発生も少ないのです。

還元化第二期にはいると、絶対的嫌気菌しか生きられない状態となります。そして稲の根に有害な物質もこの過程になつてしまうと発生します。

その一つが硫化水素です。これは「硫酸の還元」によって生じます。この反応は硫酸還元菌という酸素のあるところでは生きられない微生物によっておこります。硫化水素は、硫黄を含む有機物を硫酸還元菌とは違う条件の嫌気性菌の一種が還元して生成することもあります。水田では硫酸の還元による硫化水素の発生が主です。

このため、硫酸根を含む肥料、例えば硫酸安や過燐酸石灰などの使用はなるべく

しないよう指導されてきました。

硫化水素の発生に大変神経を使うのは、稲の根に障害を与えるためであるという事は述べましたが、その時期も、稲が生育ステージで大事な穂の形成準備をするときから、登熟の頃まで、つまり盛夏の高温期に害を与えてしまうのです。

この害から守るため鉄分の客入をすることが行なわれますが、これは硫化水素を鉄と反応させ硫化鉄にしてしまい根を健康に保たせるものです。もともと鉄分の少ない、花こう岩の風化したような土

では、解毒剤としての効果は大変に大きいのです。

また、この還元化過程第二期の始めは有機物の嫌気発酵で生成する各種有機物の集積する時期です。水田で発生するのは酢酸や酪酸で、稲の根に有害です。硫化水素や有機酸の中の酪酸などは、ドブ臭い、いやな腐敗臭がするので、誰でもわかるはずですが、この第二期に達しているとき、酸化還元電位Ehの値はマイナス0.2V以下になってきます。

還元化過程の最終段階は、作土からブクブク泡となって出てくる「メタンの生成」に至ります。これは炭酸ガスや有機酸からできます。メタンガスそのものは稲の根には無害ですし、また発生するメタンは先に述べた有害な有機酸が変化したものなので、その意味からも毒物除去となり都合はいいのです。しかし、それよりも何よりも、このメタンが発生してしまうような強還元状態にまですすんでしまうことが大きな問題なのです。この段階でのEhはマイナス0.3V以下になってしまいます。

また冷害の年など、温度が上がらないときは還元化がここまで強くすすんでも、有機酸のメタンへの変化はあまりすすまないで毒物除去にはな

りません。また山間地などの水田で冷たい水が入ると稲がうまくできない原因の一つになっているとも考えられます。

以上、還元化の進む過程を説明してきましたが、湛水された土が、単に時間的経過を経るだけで強還元化がすすむものではありません。易分解性の有機物が存在して、それに嫌気性菌が働きかけて進行していくのです。

栽培体系の調査方法

では、これからこの基礎知識をもとに現在の水田作業栽培体系を検討していきます。まずトラクタの大型化による弊害、それもホイールトラクタのタイヤで水田が踏み固められていること。

この「踏圧増大」は、水田の水が縦に浸透していくことを妨げています。かつては水の浸透がよすぎたザル田も、大型ホイールトラクタを何年も走らせていると様子が変わってきます。

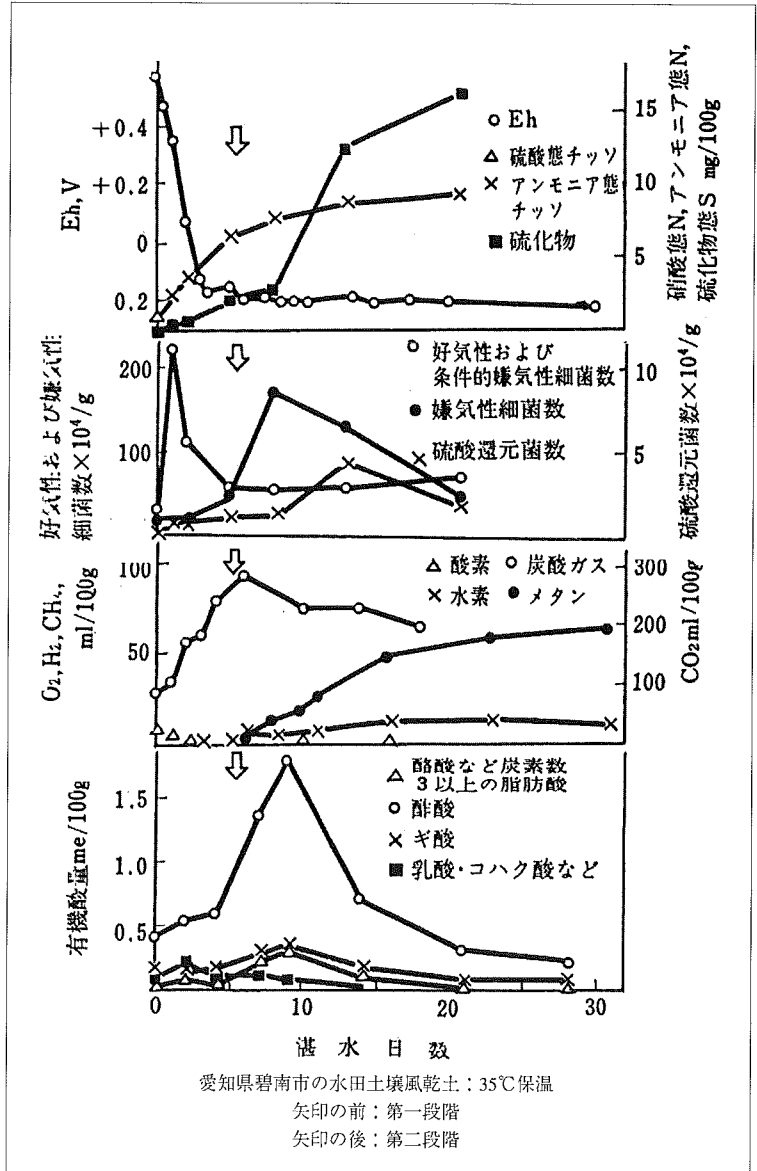
これを調べるには、田植後、水の出入りを止めて、24時間にどのくらい水位が下がるかを測定します。つまり減水深が何ミリかを測ります。この値が20~30mmなら適正値です。これより値が小さい場合は、サブソイラや暗渠排水に心掛ける必要があります。

そして次に問題点としてあげられるのは、ロータリ耕による「浅耕化」です。現代の水田は浅くしか耕していない。これは昔の人が「土一石二石」といった教えに逆行しているのです。稲は幼穂形成期という大事な時期に18cmの耕土が根を伸ばすために必要なのです。

自分の畑は自分で診断する

これならわかる「土と肥料の実践講座」

図4 灌水土壌中の微生物の動態



その次は「過剰代かき」です。稲のこを考えた代かきとは、お菓子にたとえらるとおこし状ということですが、現実にはヨウカン状が多いでしょう。つまりトロトロにしてしまっているということですね。

この原因は圃場整備により大型圃場となり、これが長年を経て均平ではなくなってしまう、このため何度も機械をまわしてやらないと平らな代が仕上がらないことも一因ではないでしょうか。また、高速田植機の求める代の状態をヨウカン状と誤解しているのではないかと思えます。いずれにしても、表面は細かく、その下は粗い理想的な代かきに心掛けるか

どうかということになります。さて、4番目に注目することは「生ワラ施用」です。かつて東北地方でワラを焼くことが問題となりました。堆肥にして田に戻すことなどできないから出稼ぎに行く前に処分してしまうということでしたが、今では生ワラは短くカットされ田に戻されています。これで地方問題解決としてよいのかということです。

コンバインによる生ワラ施用のはじめた40年代後半と現在では水田の状況がずいぶん違ってきます。つまり、「踏圧増大」に水の縦浸透の減少、「浅耕化」「過剰代かき」この悪条件の中に生ワラが施用されると夏期に強還元化が進んで

しまうということですね。酸化還元電位Ehポルト値が低下しているということですね。

強還元が有害な硫化水素や有機酸を生ずることは説明しましたが、これに一発処理タイプの「強力な除草剤」が微生物相を破壊して、生ワラ分解に弊害を与えていることも加わっています。

この悪い環境にさらに、稲の根からは排泄物が分泌されることも考えに入れなくてははいけません。排泄は動物だけでなく植物にもあるのです。農業は植物を強制的に群落に行なうものなので、この群落内の排泄物ストレスは大変なものです。稲は元来、沼地の植物であり、泥

日数	温度	全酸量	ギ酸	酢酸	プロピオン酸	酪酸
15日	16℃	343.00	4.0	25.3	40.4	45.5
	35℃	6.0	0.6	1.7	0.9	2.8
30日	16℃	18.2	0.9	1.4	14.4	1.4
	35℃	2.4	0.5	1.0	0.3	0.6

図5 水田土壌の有機酸生成と温度

沼の還元化に耐えられるような根の構造と酸化力によって、この還元化という攻撃に対して防御する力を持つてはいるのですが、それには限界があるということです。

大型機械を組み合わせた水田作業体系、これが稲にとってどんな人為的障害を与えているか水田土壌のEhポルト値に少し気を使ってみる必要があるようです。(図表「田畑の微生物たち」渡辺 蔵著、農文協刊)