

水田土壌

三土正則 = 農業技術研究所

はじめに

弥生時代の始め、紀元前1～2世紀頃から稲作は始まり、米が基幹的食糧の地位を確保するにいたってのち、各歴史時代を通じ水田の開発はたゆみなく続けられた。弥生時代のはじめは自然に水の溜る低湿地が利用されたが、その後氾濫の心配のない沢田・棚田から、小・中河川流域をへて、江戸時代以降水田地帯は大河川流域に進出し、さらに干拓によって海へ向けても拡大を続けてきた。また江戸時代の始めからは高燥の台地上に、明治以降は極端に低湿の泥炭地帯にも、水田は広がってきている。(図1)

わが国では、熱帯アジアの水田地帯などと違って、古代より水田の造営には灌漑水の確保が不可欠の前提であった。主な理由は、わが国の沖積地の地形は傾斜が急で扇状地の性格が強く、自然の氾濫水に頼ってはいは水害や干ばつなどの災害が大きすぎ安定な稲作が営めないこと、栽培期間中の天水(平均500～600mm)だけでは水が不足し、後背山地に降る雨を導入する他ないことにある。

水田地帯の拡大には、治水・灌漑・排水技術の進歩と、労働力を組織しうる政治体制を必要とした。水田開発はそうした地域総合開発的性格もあって、天水に依存する棚田や江戸時代後期の町人による開田を除けば、ほとんどが為政者

労働力を調達して行なった事業であった。均平化、灌漑・排水工事やその前提となる治水事業に投ぜられた労働量を考えると、まさに巨大な民族的土木事業であり、そのうえ伝統的な集約的肥培管理とあいまって、わが国の水田地帯の土壌は、人間の営力が深く刻みこまれた土壌であるということができる。

ここでは、水田耕作に伴う人為が、土壌の性質にどのような影響を及ぼすかをのべ、ついで水田地帯に出現する土壌の種類と性質について説明することにしたい。

地下水・停滞水と灌漑水

水稻栽培が土壌に強い影響を及ぼすのは、その特有な水管理に主な原因がある。その影響は、人為的な水である灌漑水の直接的影響と、地下水位の変動を介して及ぼす間接的影響の二つに分けることができる。前者の、灌漑水の直接的影響は、地下水位が低い立地条件下で明瞭にあらわれ、かつ水田耕作下に特有のものであるため特に 水田土壌化作用 とよばれる。

長期間にわたり土層を飽和する水 過剰水 は、強い嫌気状態をもたらし、土壌に独特の作用を及ぼすので、そういう影響を受けた土壌は、分類上からも区別されるのがふつうである。これまで土壌学でいう過剰水とは、地下水と停滞水の二つを指していた。このうち停滞水とは、そ

の場に降った雨水が、浅い位置にある不透水層で浸透を遮られ、その上に溜まったものをいう。浅い位置にあるため気候の影響を受け、溜まったり消えたりする点が地下水と異なるが、静水学的には、地下水の特殊な一形態とみてよい。地下水の作用のもとで生成するのがグライ土や灰色低地土(参照)とよばれる青灰色や灰色の土壌であり、停滞水の作用でできるのが、疑似グライ土とよばれる赤褐色と灰色の特徴ある模様(大理石紋様)をもつ土壌である。

ところで、とくに地下水位の低い水田地帯に導かれる灌漑水は、稲作期間中、重力により降下浸透する一方、補給されて絶えず土壌表面に湛えられる。湛水期間中は、水は土層(すくなくも表層土)を飽和するが、それは落水乾燥と規則的に交代する。湛水浸透と落水乾燥が交互する灌漑水の独特の動態は、水田耕作に伴う人為的水管理を離れては考えることができない。加工された水ともいうべき特殊な動態をもつ灌漑水は、上述の地下水や停滞水とは別の、第三の過剰水とみなすことができ、そのことが以下にのべるような水田耕作下でみられる独特の生成作用と深く結びついている。

灌漑水の直接的影響 水田土壌化作用
季節的な逆グライ化作用
稲作期間の大部分は土壌は水面下にあつて、と

図1 - 日本における水田面積と米生産量<盛永, 1967より作製>

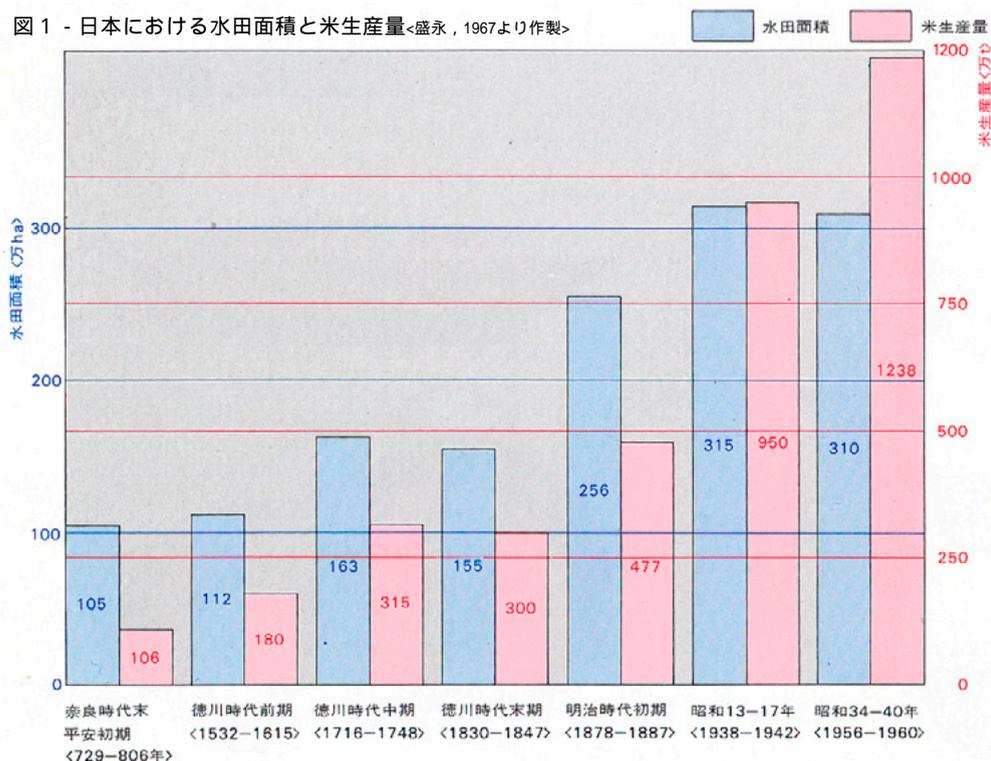
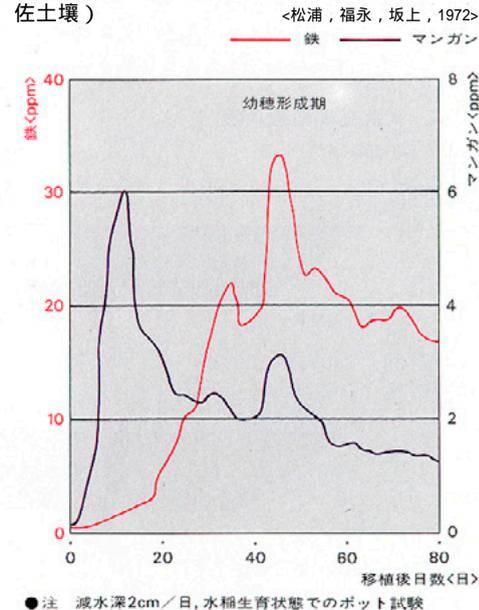


図2 - 浸透水中の鉄,マンガン濃度(山口県徳佐土壌)



●注 減水深2cm/日, 水稻生育状態でのポット試験

くに表層土の孔隙は水で飽和される。湛水後活ばつな微生物活動によって有機物の酸化分解が起こり、それに併行して酸素の消費、ついで鉄やマンガンの還元 (Fe , Mn) が進み、表層の土は青灰色に変わる。これは グライ化とよばれる。自然の土壤ではグライ化はもっぱら地下水によるから、それを正常のものと見る目には、土壤表層部から始まる水田のグライ化は逆立ちしているように映るため 逆グライ化 と呼ばれることがある。これが灌漑水の独特の動態のもたらす一つの大きな特徴である。落水期には逆グライ化層は一般に乾燥酸化が進み、鉄の孔隙にそった酸化沈殿を起こしつつ、土色は青味を失って灰色に戻る。ただ深い部位に及んだグライ化は、条件によっては落水後も長期間持続することがある。

「疑似グライ化」作用

下層土が細粒であったり充填が密なときは、水による孔隙の飽和は逆グライ化層のさらに下方にまで及ぶ。水に飽和された下層土では、水道となる大孔隙 (根や地中動物の孔、膨潤収縮の繰返しでできる構造体のすき間) にそって上部から易分解性有機物が供給され、弱い還元状態になる。湛水期の弱い還元と落水乾燥との繰返しのもとで、孔隙にそう部分が灰色化し、灰色の網目模様をつくる。孔隙から離れた地の部分

は鉄がその場で還元・再酸化されてオレンジ色の雲状斑 (輪郭のぼやけた斑点) となるか、水田にする前の褐色がそのまま残っている。この紋様構造は、疑似グライ化によってできる「大理石紋様」と基本的に一致しているので、ここでは暫定的に「疑似グライ化」と呼んでおく。逆グライ化層の鉄の斑紋が、孔隙に形成される (根や動物の孔にそう糸根状や管状、構造表面の膜状) のに対し、「疑似グライ化」層は孔隙にそう部分が灰色で斑鉄は地の部分にあるというふう位置関係が逆で、この点が両者を識別する重要な手がかりである。

還元溶脱・酸化集積作用

逆グライ化層や「疑似グライ化」層を満たしている水は、静止しておらず、重力によって降下浸透している。これが灌漑水の動態のもう一つの大きな特徴である。還元によって溶解性を増した鉄やマンガン (Fe , Mn) は、図2に示すように水の降下とともに溶脱される。

逆グライ化層 (ふう作土と第2層) から溶脱した鉄やマンガンは、その直下で全部または一部が集積する。自然堤防や旧河床のように粗粒でルーズなときは、下層土は湛水下でも水で飽和されないで、表層から溶脱した Fe , Mn はそこで分子状酸素によってことごとく酸化沈殿し、図3 Aにみるように、鉄やマンガンの斑

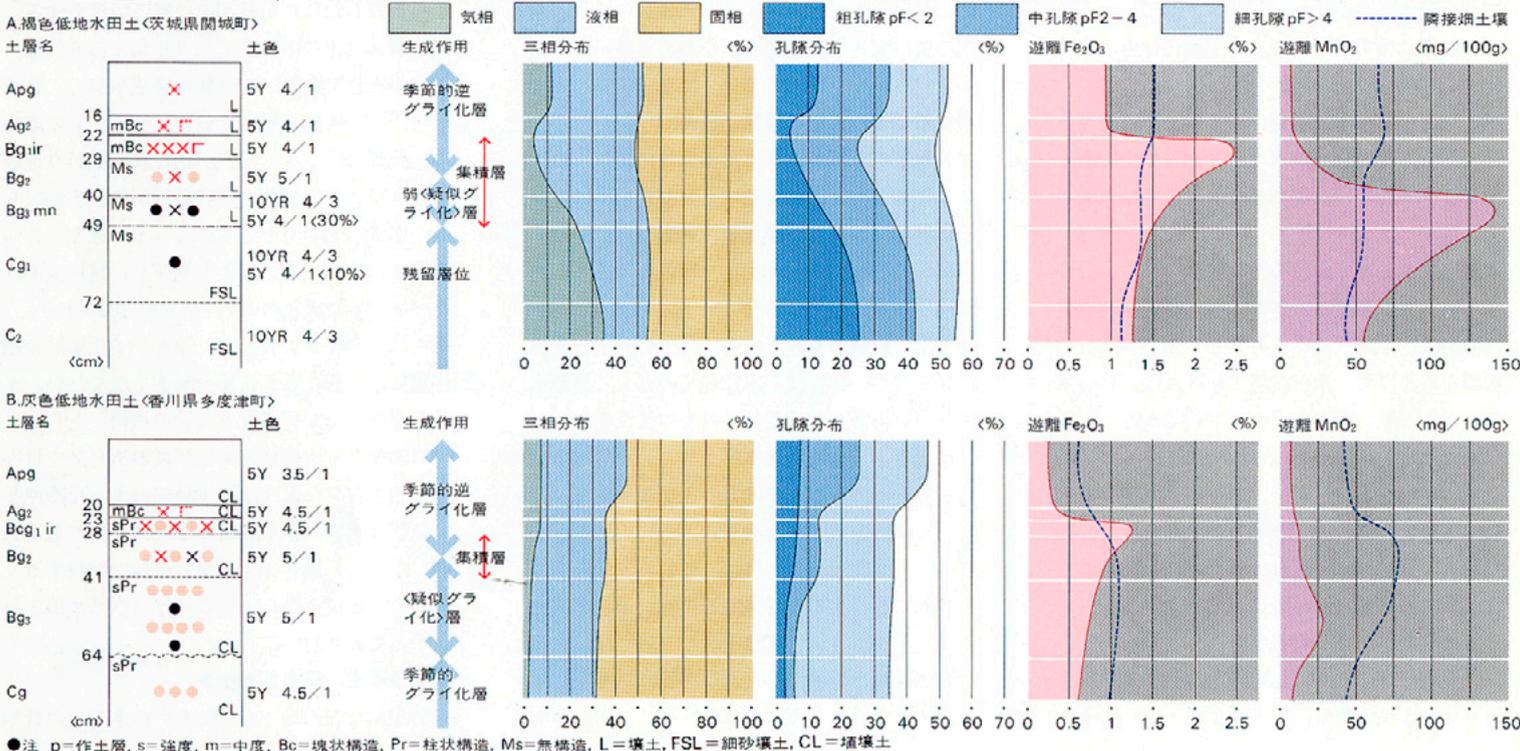
紋がにぎやかなよく発達した集積層ができる。下層土が水で飽和され「疑似グライ化」する土壤でも、逆グライ化層の下で集積が起こり、ふう「疑似グライ化」層との漸移部に集積層ができる。この場合は表層からの Fe を捕捉するのは分子状酸素ではなく、陽イオン交換能をもつ土壤粘土である。粘土に捕えられた Fe は、落水後空気が侵入してのち粘土を離れて酸化沈殿する。「疑似グライ化」層も湛水下でむろん水は降下浸透しているから、鉄・マンガンは溶脱される。ただこの層からの溶脱は表層の逆グライ化層よりは弱く、主として孔隙にそって局部的に起こる。この状態を示したものが図3 Bである。

塩基再編成作用

Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺などの陽イオンを塩基といい、土壤中ではふう粘土に吸着されている。水田耕作が土壤の塩基状態に与える影響は、灌漑水に含まれる塩基が供給される面と、生成する多量の Fe が塩基を交換浸出して洗脱を進める面との相反する作用のバランスに依存している。

塩基に乏しい沖積堆積物や洗脱の進んだ台地土壤では、前者の作用がまさって Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺などの塩基が増える。塩基に富む材料の場合、後者の作用がまさって塩基が減少し、と

図3 - 水田土壤における鉄,マンガンの溶脱と集積



くにCa⁺⁺が減る。このようにして多くの水田では、塩基飽和度40~70%, pH 5台という比較的狭い範囲に落ち着く。水田土壌が、ふつう無肥料でもイネの一定の生育を保証し、逆に、多肥による塩類障害も起こさないのはこのためである。(図4)

地下水を介した間接的影響

排水による地下水位の低下

茨城県下でかつて「笠田」という地名の由来を訊ねたとき「他村から来たばかりの嫁が、知らずに一人で出かけて田に埋れ死に、田面に笠だけ浮いていた」という伝説を聞いたことがある。膝の上までつかったり、田下駄をはいた農作業は、今日ではほとんどみられないが、そうした強湿田は、かつて関東以北や日本海側の諸県には広がった。

暗渠排水、ポンプ揚水機の整備によって、かつて広大だった強湿田の多くは乾田化された。排水は降下浸透と落水期の乾燥をもたらすことによって、有害物の洗滌、地温の上昇、乾土効果の発現、水のかげひきなどを可能にし、生産力を高めてきた。排水はまた、地耐力をつけ、農作業を容易にしたり機械の導入を可能にするほか、裏作導入の条件をもつくりだした。

これを土壌の面からみれば、ぬかるむグライ土から比較的締まったグライ土や灰色低地土へ変化する方向である。さらに湛水期の水の降下浸透や、落水期の乾燥をもたらす、でのべた水稲栽培下に特有の作用「水田土壌化作用」をひきおこす方向でもある。

泥炭地でも、排水は水稲作にとって不可欠の条件である。泥炭地の排水は、泥炭の乾燥収縮と部分的分解など、かなり重要な変化をひきおこす。

灌漑による地下水位の上昇

水田における灌漑は、さきにのべた直接的影響のほかに、地下水位を上昇させるという間接的影響をも及ぼす。水田農業でなければ河川の水はほとんど全て海へ流れ去るものであるが、わが国では、それを低平地の圧倒的部分に平均10アール当たり1,500トン、水嵩にして年間降水量に匹敵する量(1,500mm)を導き入れるわけである。また細かくみれば、夏の間、排水路水位が高まる結果、その時期の地下水位が上昇し、地下水変動が上方へ増幅させられる。

水稲栽培はこのようにして地下水位を高め、さもなければ深い位置にあるはずのグライ層や灰

色の斑鉄層(管状、糸根状斑鉄があるので「疑似グライ化」層と区別できる)を浅い位置までひきあげる。一たん浅い位置にグライ層が形成されると、構造や孔隙系を破壊して壁状化するため毛管水帯の上縁が高まり、冬の冷涼多湿な気候も手伝って、グライ層は落水期も維持されやすくなる。わが国の水田地帯には、掘っても湧水のない比較的締まったグライ土の分布が広いが、そのかなりの部分は水田耕作の所産である可能性が大きい。

ここでのべた水稲栽培が地下水の挙動を介して与える間接的影響は、一般に考えられているよりもはるかに大きい。ただ影響の性質は、地下水が自然の要因で上下する場合の効果と区別がつけにくく、水田地帯に独特のものとはいえない。

ともかくわが国の水田農業は、河川を手なづけて自然の氾濫堆積作用を抑え、排水によって低湿地の余分の水を抜き去り、そのうえ制御された水「灌漑水」を低平地の圧倒的部分に導いている。水田耕作に伴う直接間接の影響によって重要な改造を蒙らない土壌はほとんどないといってよいほど、その影響は広汎で、しかも深甚である。次項の水田地帯の土壌の種類では、泥炭土、黒泥土、グライ土をはじめ自然土壌の名称を多く使っているが、それは水田農業が自然条件をすなおに受入れて営まれていることを意味しない。それらも過去の自然改造の結果、現在の姿に変えられた場合がきわめて多いのである。

水田地帯の土壌の種類と性質

水田地帯の圧倒的部分は沖積低地にある。地下水の影響をもとにした低地土壌の分類には、鴨下の有名な五類型「泥炭土、黒泥土、低湿地土(グライ土)、灰色低地土、褐色低地土」があり、現在も広く用いられている。

地下水の影響のもっとも弱い褐色低地土と灰色低地土(の一部)は、水稲栽培のもとで灌漑水の独特の影響を強く受けて特有の性質をもつようになる。「褐色低地水田土」、「灰色低地水田土」と呼んでいるものはそのような土壌で、まとめて灌漑水型水田土壌とよぶこともある。

でのべた水田土壌化作用は、このような土壌に典型的に進行する作用である。泥炭土、黒泥土、グライ土および灰色低地土(の一部)は、地下水の影響が支配的で、人為の影響はあるとしても地下水を介して及ぼされるため、水田に特有

の性質は発達しないか弱くしか現われない。ここではそのままの名称を用いる。

水田は人間の造営物であるから、灌漑水が得られる限り土壌の種類を選ばないわけで、とくに近世に入り、台地上の黒ボク土や赤黄色土地帯にも水田が広がってきた。

褐色低地水田土、灰色低地水田土

褐色低地水田土は、自然堤防や旧河床などの粗粒質な堆積物に由来するもので、地下水位が低く透水過良~良好な水田土壌である。作土下方にスキ床が明瞭に発達し、そのため湛水期間はスキ床より上は水で飽和されてグライ化する。粗粒で充填のルーズな下層土は、湛水下でも水に不飽和なため酸化的で褐色を保っており、それがこの土壌のなまへの由来である。水の降下浸透によって、グライ化した表層から溶脱した鉄、マンガンは、下層で酸素に捕えられてごとく酸化沈殿するため、ひじょうに明瞭な鉄、マンガン集積層が発達する。(図3A)

灰色低地水田土は、沖積一般面に広く分布し、褐色低地水田土よりは細粒で充填の密な堆積物に由来するもので、透水中度~やや不良な水田土壌である。湛水下で深くまで水で飽和され、表層の季節的逆グライ化と下層の「疑似グライ化」とのために、土層全体が灰色味を帯びる。降下浸透によって全層から鉄、マンガンの溶脱が進むが、それと同時に、上部の逆グライ化層から溶脱した鉄の集積がその直下で進行する。集積層より上の季節的にグライ化する部位は、地色が灰色で糸根状や膜状の斑鉄がある。集積層の下方の灰色の層は「疑似グライ化」の産物で、孔隙にそって灰色部が網目状に拡がり地の部分にはオレンジ色の雲状斑鉄がにぎやかである。膨潤収縮のくり返しによってできる大きい塊状または柱状構造がよく発達し、構造表面はスベスベした灰色の光沢をもつ。(図3B)

そのほか深くまで波及した逆グライ化層が非稲作期間にも保存される場合がすくなくない。イネの根の自由な伸長(有機物の供給)を可能にする膨軟な土壌条件、非稲作期の蒸発散を阻害する諸条件(たとえば日本海側のような冷涼多雨気候、天水に頼る棚田にみられる常時湛水状態)などは、逆グライ化層の維持を助長する。これらの水田土壌をとくに「停滞水型水田土」と呼んでおきたい。

グライ土、灰色低地土

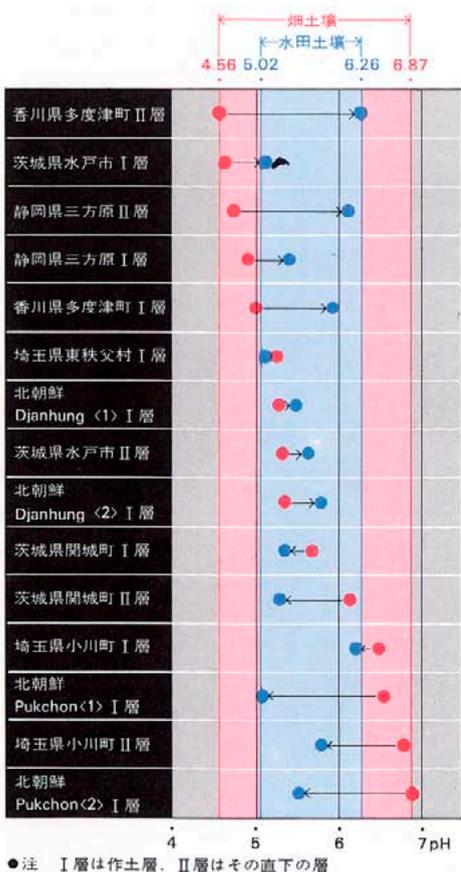
後背湿地などの地下水位の高い排水不良の低地

に分布する土壌である。恒常的な地下水面が浅い位置にあるときは、土層の大部分は年間を通じ地下水に飽和されて強い還元状態となり、生成した多量の Fe のため土壌は特有の青灰色を帯びる。これを グライ土 という。地下水面上では、空気の侵入する孔隙の付近で Fe の酸化沈殿が起こり、管状、膜状を主とする斑鉄が形成される。

恒常的な地下水面がやや低下し、土層の大部分が季節的に変動する地下水の影響を受けるときは、土層は青みが失せて灰色となり、ふつう全層にわたって管状、糸根状などの斑鉄がみられる。これを 灰色低地土 という。

グライ土も灰色低地土も地下水位の高い土壌であるから、湛水下でも降下浸透はごく弱く、また落水期も乾燥しにくい。したがって褐色低地水田土や灰色低地水田土のような水田耕作下に特有の性質は発達しにくい。しかしこれらの土壌も自然のままのものでなく、稲作に伴う人為が地下水を介して影響を与え、現在の姿に変えられた場合が多いことはすでにのべたとおりである。

図4 - 水田耕作による表層土の pH 変化



泥炭土、黒泥土

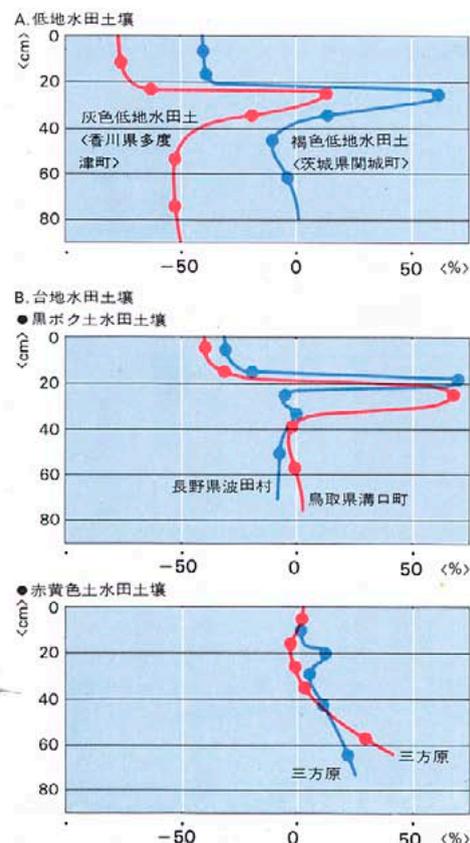
生成と性質については本書の他の部分で詳しくのべられているので省く。

自然状態の泥炭土、黒泥土はそのままではとても稲作に耐えられない。排水と客土を軸とする大規模な土地改良によってはじめて稲作が可能になる。北海道に広く分布する泥炭地（20万 haといわれる）の開発が国家事業として本格的に着手されたのは、第2次大戦後のことである。泥炭地の排水は、乾燥収縮（厚さにして3分の2、体積にして3分の1位になることがある）や部分的分解などかなり重要な変化を起こす。土地改良の結果、1mの試坑調査が湧水の心配もなく行えるような排水された泥炭土、黒泥土が水田地帯に広がっている。

台地上の水田土壌

本来なら水のこない台地上に灌漑水を引いて水田を拓げる努力は、すでに江戸時代初期にあらわれ、そのためトンネルを掘って水を引き、橋を架けて水を渡すなどの技術まで開発された。台地上の開田は、明治時代以降一そう本格化した。これらの土壌は地下水位が低いから、水田

図5 - 低地水田土壌と台地水田土壌における遊離鉄の発出物質からの変化率



耕作の影響は褐色低地水田土や灰色低地水田土の場合と基本的に同質であるが、その程度がはなはだ弱いことが特徴である。

なかでも赤黄色土に由来する水田土壌では、遊離鉄は結晶化が進んでいて湛水下でも還元されにくい。したがって鉄の溶脱層、集積層の発達がごく弱いかまたは認められず、鉄よりも還元されやすいマンガンが表層から失われ下層に集積するだけである。

これに比べると黒ボク土に由来する水田土壌は、黒ボク土が元来もっている性質を強く残しながらも、かなり明瞭な鉄、マンガンの溶脱層と集積層が発達するなど、水田耕作下で特有の性質がはっきりとつけ加わる。(図5)

図6 - 低地の水田地帯の土壌

