

第5章 考察および論議

北海道における水田土壌の分類とその特性については既に中山¹⁰¹⁾によって体系的に取りまとめられているが、粘性が強く排水性不良な“強粘質水田”の理工学的な特徴と排水性不良の要因解析に関する報告はほとんど見当たらない。また、この種水田土壌において有機物を積極的に活用した栽培体系を確立するためには、水稻の初期生育不良および生育遅延に関与する土壌的な欠陥要因を明らかにするとともに、その改良法を確立する必要がある。

本研究は、以上のような問題点を解明する目的で1967～1979年の13箇年間にわたって行った。

本章では主要項目の問題点の整理と、若干の考察および論議を加える。

1) 強粘質水田の理工学的な特徴

一般に、強粘質を呈する排水不良田は、下層土が軟かく土層全体の飽水度の高い低地水田と、下層にち密な不透水層をもつ台地水田の2群に大別される。この種水田の土壌排水能の劣る要因としては、圃場整備による作土層のかく乱および大型機械の過度な走行による踏圧、ねり返しおよび代かき時の細粒化などが作土の構造破壊と地表面の排水機能の低下を助長している事実も見逃せない^{43, 51, 56, 57, 67, 73, 78, 81, 87, 103, 104)}。

本試験に供試したグライ土〔II〕およびグライ台地土はいずれも高圧縮性の無機質シルトと有機質粘土の体系に属しており、下層土の土壌構造の発達がきわめて悪く、かつ土壌粒子の和水膨潤に伴って排水性の低下する欠点を具備している。このことから、本実験に供試したグライ土〔II〕およびグライ台地土は水の降下浸透能がきわめて小さいことがわかる。

さらに、両土壌の耕起前および落水後の圃場状態は常に過湿気味に推移し、土壌のコンシステンシー指数(Ic)も0.5以下の場合が多かった。

過去の試験結果によると¹⁰³⁾、水田において大型機械の走行に支障のないIc値は0.5以上が必要であるとされている。この時の圃場の土壌含水比およびpF値は土壌構成粘土の活性度や含量および腐植含量の差異によって著しく変動することが予想され、一般には粘土含量が高く、塑性指数の大きい強粘質な湿田の中粒質で構造の発達した乾田に比べIc値が0.5に達するまでの土壌の脱水・乾燥度合が強く要求されるものである。

一方、圃場でのキレツ生成は地表水の排除の面できわめて有効であり、とくに下層土がち密で構造の発達がほとんどみられない強粘質水田ではとりわけ重要な役割を果たしている。

さらに、水田土壌のキレツの生成ならびに発達形態は土壌の種類によって差異のあることが認められており^{98, 102)}、腐植含量が高く土壌構造の発達した乾田型土壌ほど高pFでキレツの生成がみられるのに対し、粘土含量が高く排水不良な湿田型土壌では低pF値で開始され、しかも形態が大きく数の少ないのが特徴とされている。

本研究に供試した土壌では、初期キレツの生成はpF 1.5～1.7(含水比65%前後)で認められ、またpF 2.0以上(含水比60.8%以下)に達すると大キレツが生成され、地表面も硬くなってIc値も0.5以上の値を示した。なお、初期キレツおよび大キレツの生成とpF値との関係は富士岡ら¹²⁾の結果と良く一致している。

これらの結果から、強粘質の排水不良田において大型機械による作業を円滑に進めるためには圃場の土壌水分pF値を2.0以上(本供試土壌では含水比で60.8%以下)に保つことが必要であることが明らかとなった。

湛水期間中の作土の土壌粒子の動態は土壌還元の進行に伴って活性が高まるために、土塊および耐水性粒団の結合力が弱体化して作土には泥状化した和水膨潤層が形成される¹¹⁴⁾。

この過程は、土壤還元容量の大きい湿田型土壤ほど迅速に進行し、かつ発達程度が旺盛である。また同一タイプの土壤でも湛水前の圃場の乾燥状態や耕起・砕土法によっても著しく変動する。

本供試土壤（グライ土〔I〕、グライ台地土）でも、湛水後土塊および耐水性粒団が急激に崩壊し、 20μ 以下の土壤粒子の分散率が明らかに低下する傾向がみられ、とくに耕起時の圃場状態が軟弱で、湛水後の土壤還元の著しいグライ台地土でその傾向が強かった。このことは、強粘質の排水不良田では表層土の大部分が和水平潤層で構成されているため、湛水期間にあっては縦への水の動きを低下させ、また落水後では地表水の排除を図るうえでの大きな障害になるものと考えた。

一方、土壤の理工学的な挙動が土壤の水分状態によって著しく変化することはすでに多くの研究で明らかにされている^{5, 20, 30, 59, 79, 80, 81, 122, 123, 144, 145}。

また土壤の乾燥化を図ることによって土壤構造が発達し、排水性の高まることも数多く認められている^{50, 61, 77, 98, 133}。

一般に、生土を風乾すると土壤粒子の活性が低下するために液性限界、塑性限界および塑性指数がいずれも低下する。また、その影響は風乾処理前の湿潤土の水分状態によっても規制され、中粒質で排水性良好な乾田型土壤では脱水（風乾）による影響が比較的少ないのに対し、細粒質で湿潤な湿田型土壤ではその影響を強くうける。

筆者の行った実験では、土壤含水比が70~80%以下の範囲内において土壤含水比の低下に伴って液性限界および塑性限界が減少する傾向が認められ、さらに含水比の低下は同時に土壤の圧砕強度、透水係数、容気度ならびにIcの増加をもたらした。そして、Ic値0.5以上を得るために必要な土壤の圧砕強度は $8\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上であることが明らかにされた。

以上の結果は、同一湿潤型強粘質水田土壤であっても土壤乾燥の良化に伴ってその理工学特性が改善されることを意味している。

2) 排水不良対策について

従来、圃場の排水能を高める排水工法として土

もどし暗渠(土管暗渠)、心土破碎などが取り上げられているが、作土が泥状化した土層で構成されている湿田型土壤では縦への水の動きがほとんどなく、また暗渠工事施工時には渠溝の掘り上げた土を十分に乾燥し、かつ渠壁にキレツを造成した後に埋めもどすなどの配慮がまったくなされていないため両工法の効果はきわめて小さい場合が多い。一方、近年新たに施工された籾殻暗渠および籾殻心土破碎の排水改善効果は、強粘質なグライ土〔II〕およびグライ台地土ともに顕著に認められ、融雪後および落水後の土壤乾燥が従来の土もどし暗渠に比べると著しく促進された。小林・水元⁵¹⁾は北海道空知管内の強粘質水田において同様な試験を行ない、籾殻暗渠に心土破碎を併用するとその効果が一層高まることを認めている。

一般に、籾殻暗渠は土もどし暗渠と異なり表層土下に埋設した籾殻が疎水材的な役割をはたすため土壤水の吸引力の増大とそれに伴ってキレツ生成が早く⁷⁷⁾、かつ大小のキレツ量が増加して融雪後および落水後の地表水の排除を促進したものと考える。その結果、籾殻暗渠の効果範囲は従来の土もどし暗渠に比べると4~6m程拡大された。

後藤¹³⁾によると、湿田ではキレツ生成に伴って土壤水分の蒸発が活発になるため土壤の乾燥化が促進されるとされ、さらに中川⁹⁸⁾は湿田の乾田化に伴う排水性増加の要因として、非かんがい期間の土壤乾燥に基づくキレツや大孔隙生成など土壤構造変化の重要性を指摘している。

グライ土〔I〕とグライ台地土において水管理法の差異と土壤の乾燥化との関係を検討した。

水稻登熟期間の水管理は収量および米質などを考慮して登熟完了までは十分な土壤水分の確保が必要で、そのための落水の適期は土壤、立地条件、気象条件ならびに栽培条件などによって異なるが、収穫作業機械の走行性と水稻の登熟生理面から検討すべきである。

グライ土〔I〕とグライ台地土において、収穫時の機械走行性に支障のない土壤条件を得るための落水時期としては出穂期落水が最適であった。また後に考察するように、出穂期落水は収量および品質の向上面においても有利な点が多い。

水稻生育期間中における断水、すなわち中干しの利点は通常①土壌中の有害物質の排除、②土壌中に酸素を補給し水稻根の活力を高める、③過剰窒素および無効分けつの抑制、④過繁茂による倒伏防止など水稻生育調節の技術としての効果が一般に論じられているが、強粘質で排水不良な湿田型土壌では落水後の土壌乾燥化促進、さらには地耐力増強面での期待も考えられよう。しかしながら、土壌に大キレツの生成が認められない軽度な中干し(土壌pF1.9以下)では収穫時の土壌含水比が高く、Ic値も0.5以下であった。一方、地表面に大キレツ生成が認められるpF2.1以上の比較的強度な中干しでは収穫時の土壌pF値、地表面の垂直硬度およびIc値がいずれも高まり、明らかに大型機械走行可能な圃場条件が得られた。とくにグライ土〔I〕では中干しを併用すれば落水時期を出穂後14日に遅延させても出穂期落水なみの土壌乾燥が得られたことは注目すべきである。

さらに、地表面の垂直硬度と土壌含水比の間には高い負の関係が認められたが、泥状化した作土層の正規収縮途上にある単純な脱水過程と、pF2.1以上に達し正規収縮が終了に近づき、残収縮に移行したと思われる大キレツ生成後の脱水過程では異った値が得られ、同一含水比でも前者に比べ後者が著しく高く、中干しの強度と排水性との関係を裏付けていた。なお、Ic値0.5における地表面の垂直硬度は前者で6mm、後者では14mmで大きな差異が認められた。

松浦⁷⁸⁾らによると、湿田型土壌で自脱型コンバインの作業走行に必要な表層土の垂直硬度は山中式硬度計による読みで6mm以上(足跡の沈下が2cm位)が必要であるとし、さらに地表面の垂直硬度は降雨量によって影響をうけ、1日9~10mm以上の降雨量で減少がみられ、また乾田型土壌でも1日30mm程度の降雨で地表面の硬度が6mm以下に低下することを認めている。また大竹・芳賀¹⁰⁹⁾は生育前半から作溝などを取り入れた計画的な水管理体制を確立させた場合には中干しによる地表水の排除が早く、落水後の圃場の乾きも速やかになることを確認しており、粃殻暗渠、粃殻心土破碎および中干しの効果を高める補助排水法として積極

的に取り入れるべきであるものと考えた。

以上の結果を総括すると、落水後の地表面の硬度は降雨量の多少により著しく変動するが、正規収縮がほぼ完了し、地表面に大キレツが生成された場合にはその影響が比較的少ないことを示唆しているものといえよう。

その観点からも、強粘質の排水不良田においては粃殻暗渠、粃殻心土破碎およびpF2.1程度の中干しを行なって落水後の地表面に大キレツの生成を早めることが、土壌乾燥促進と地耐力増強につながる事が明らかである。

3) 土壌の乾燥化対策と水稻の生産性

排水不良な湿田型土壌における水稻の生育過程は、一般に初期生育の不良と生育遅延による登熟性の悪化によって特徴づけられており^{30,138)}、この種土壌では排水法の改善と水稻の初期生育促進化技術が最も重要視されている。そのため、湿田型土壌を対象とした試験では土壌の排水性と関連づけた研究が数多く報告されている^{34,35,39,43,51,56,59,81,82,83,98)}。

湿田型土壌において土壌の排水性を高めることは地温の上昇、有害物質の排除、さらには酸素供給による水稻根の健全化と初期生育の増大を図るうえで重要である。石原²⁹⁾は、水田における透水性の改善は土壌中に発生する有害物質を除去して水稻根の生理活性を高め、幼穂形成期以降の地上部の生育を促進して登熟歩合を高める効果が大きいとし、さらに滝嶋¹²⁸⁾はポット試験において泥炭地水田における排水処理は無排水(常時湛水)に比べ根の伸長が良く、初期生育が向上することを認めた。

本試験では、粃殻暗渠および粃殻心土破碎の効果は従来の土もどし暗渠(土管暗渠)に比べて融雪後および落水後の地表水の円滑な消失とキレツの生成を早め、圃場全体の乾燥化も比較的下層にまで及んでいた。その結果、湛水期間中における土壌還元発達程度も土もどし暗渠に比べると常に軽微に推移し、かつ水稻の初期生育も旺盛であった。結局、排水促進に伴う土壌乾燥の良化が水稻初期生育の増大と登熟性の向上、さらには玄米収

量の増加をもたらしたものと判断される。

一方、出穂期以降の水管理には根の環境良化が期待され、水稻根の生理活性面の向上と光合成能力を高めるためにも土壌的には酸化状態が望ましく、そのためには水稻籾の登熟に必要な土壌水分さえ確保されれば必ずしも湛水の必要はないものとする¹⁰⁹⁾。とくに強粘質の排水不良田では落水後の地表水の消失が遅く、水稻の登熟遅延や収穫作業能率の低下を招来するため早期での落水が要求され、ここに落水適期の把握が必要となる。

一般に、米粒澱粉の蓄積は登熟期間の温度条件によって異なるが、開花後20日頃で完了することが知られており、登熟過程からみた標準的な落水の適期は寒地で出穂後25～30日、暖地で30～35日といわれている⁴²⁾。また大竹・芳賀¹⁰⁹⁾は、出穂後の落水時期と収量・品質の関係を検討し、早期落水は適期落水に比べ収量、品質がいずれも劣ることを認め、収穫機械の走行を加味した落水の適期は出穂後30日としている。しかしながら、筆者らの試験結果が示すように、落水後の地表水の消失がきわめて緩慢なグライ土〔I〕とグライ台地土では出穂期から出穂7日後にかけての落水が登熟および収量性とも最も勝り、しかも出穂期落水では収穫時にほぼ大型収穫機械走行可能な圃場条件を満していた⁶³⁾。一方、落水後の土壌水分の消失が急激な褐色低地土では出穂21日後の落水が、収量・登熟面とも最も優位な関係にあった。

以上のように、水稻の登熟性ならびに収量、品質面の向上からみた落水の適期は土壌環境、とくに土壌排水能の良否によって異なるもので一概に規定できないが、基本的には落水後の土壌水分の消長と水稻の登熟状態を考慮して決定すべきものであろう。

湛水期間中の水管理法の一つである中干しについての論議は多いが、実施時期・期間および程度などについては目的によって差異がみられる。木根淵⁴²⁾は水稻の生育調節をねらいとした中干しについて検討し、一般的な中干しは最高分けつ期を中心とした無効分けつ期から分けつ減退期にかけて行うのが効果的であるとし、さらに村上⁹⁰⁾は稲の一生の中で最も低水分に耐える有効分けつ期以

降から幼穂形成期にかけて行うのが理想的で、その程度は土壌の最大容水量の60～80%が適当であると報告している。本試験では中干しの主眼を登熟期における地耐力増強と登熟性の向上面におき、冷害危険期後の止葉展開期から出穂始期にかけて実施したが、強粘質な排水不良田では7～10日間の中干し期間にpF2.0以上の土壌乾燥を得るためには作溝などの補助排水を伴う必要があるのに対し、排水良好田(褐色低地土)ではきわめて容易で、ほぼ4日間の排水処理でpF2.0以上に達した。また褐色低地土ではpF2.75以上(含水比45%以下)のきわめて強い中干しによって水稻葉身の相対膨潤土(RT)が低下する現象が認められたが、これは明らかに水稻葉身の水分蒸散量が土壌からの供給量を上回ったためと解される。このことに関しては大山・坂井¹²⁾もpF1.7付近からの高pF域では水稻根の吸水量が土壌からの供給水量を上回ることを確認している。

つぎに、土壌水分と水稻籾の登熟の関係について考察してみると、木根淵⁴²⁾は水稻栽培面の立場から、登熟期間中において籾の正常な発育を満たす土壌水分の下限は最大容水量の80～90%であり、さらに60～70%以下に急激に低下すると作物体への水分供給が悪化し、登熟が阻害されると報告している。筆者らが検討した土壌含水比およびpF値をこれらの関係にあてはめてみると、登熟過程で水稻籾の正常な発育を満たす土壌の含水比はグライ土〔I〕で58%以上(pF2.3以下)、褐色低地土では66%以上(pF2.1以下)となり、この時の土壌のIc値は各々0.5前後に相当することが明らかとなった。また登熟阻害に転ずる土壌含水比はグライ土〔I〕で43～50%(pF2.5以上)、褐色低地土では49～57%(pF2.4以上)で、これらの値はいずれも圃場容水量の土壌水分値に相当することが明らかにされた。

4) 排水不良田に対する粗大有機物施用の影響

湿田型土壌において、有機物のもつ多面的な機能を水稻生産の安定化に向けて有効に活用するためには土壌的な欠陥の是正によって土壌固有の負要因を排除し、水稻に対する養分供給様式の改善

が重要な課題である^{59, 92, 93, 146)}。グライ土〔Ⅲ〕の水稲の初期生育を乾田的性格をもつ褐色低地土と対比してみた場合、幼穂形成期における茎数および乾物生産量の不足、あるいは分けつ期からの生育進度の遅滞という生育パターンの相違がある。この時の圃場の土壌条件の差異をみると、排水不良なグライ土〔Ⅲ〕は排水良好な褐色低地土に比べ生育期の水田地温が低く推移し、しかも上層部(0~5cm)と下部層(5~10cm)間の地温較差の大きい傾向を示した。

さらに、圃場において生育異常の認められた1975、1976両年のグライ土〔Ⅲ〕における稲わら施用区では、施用稲わらが未分解のままマット状に集積しており、かつ根圏土壌が著しく還元的であったため、分けつ期および幼穂形成期における水稲根の伸長は明らかにその位置で停滞していた。

一方、稲わらの施用が水稲の生産性に及ぼす影響については地域性が認められ、一般に生育期間が短く、かつ生育遅延気味の寒冷地ほどその障害性が大きい。これに対し、障害があっても分解速度が早く、後期回復可能な暖地ではその程度も軽く、実用的には堆肥と同等に扱う場合が多い。

さらに、道内においても土壌タイプによって稲わら施用が許容される場合と、冷涼な気象条件に規制され稲わら施用が不可能な地帯とに区分される^{22, 25)}。

したがって、未熟な稲わらを貴重な有機物資源として有効に利用するに際しては暖地より寒地の方が多くの規制条件を伴うものである。

湛水条件下における土壌還元が発達過程と物質変化に関する基礎的研究については古くから数多くの報告がある^{2, 3, 14, 47, 49, 91, 130, 142, 143)}。

また粗大有機物施用に伴う有害生成物質が水稲の初期に悪影響を及ぼすことも多くの研究者によっても明らかにされている^{6, 7, 8, 94, 95, 96, 97, 125, 126, 127, 128, 129)}。

酸化還元と根の障害について田中¹³⁰⁾のまとめた結果によると、硫化水素は地温30~40℃で生成量が多く、しかも遊離酸化鉄含量の少ない土壌で障害が大きいこと、さらに有機酸は地温30℃よりも18℃で生成量が多く、かつ阻害程度は酪酸、酢酸、

蟻酸>プロピオン酸、乳酸>コハク酸、蔞酸の順に大きいとしている。また、水稲の健全な生育条件下では水稲根は2価鉄を酸化する能力があるが、有機物の分解などによる土壌の急激な還元化のもとでは有害な2価鉄が根に侵入し、正常な養分代謝が阻害されるとの報告もある³⁹⁾。

一方、長井^{94, 95, 96)}は、稲わら施用に伴う水稲の生育障害は稲わらのエタノール可溶部の易溶性および易分解性物質中に含まれるポリフェノール系化合物(クマリン酸、パラオキシ安息香酸など)による直接的な影響がきわめて強く、排水中のフェノール系化合物濃度が20ppmをこえると障害がみられ、しかも障害の著しいものほど高濃度に達することを認めている。また同氏は、水稲の生育障害および養分吸収阻害には、窒素飢餓および2価鉄の過剰吸収という要因は必ずしも不可欠な条件でないとの指摘もしている。

筆者も、グライ土〔Ⅲ〕圃場における水稲の初期生育不良要因の解明のため、移植時の土壌養分状態ならびに有害生成物質濃度と水稲の生育障害との関係について検討した。

その結果、グライ土〔Ⅲ〕および褐色低地土とも土壌中に存在する活性2価鉄生成量が多く、かつポリフェノール系物質濃度の高いものほど水稲の生育障害が著しく出現し、とくに活性2価鉄生成量が400~600mg、ポリフェノール濃度が22~26ppmに達したものでは移植3日後にすでに水稲葉身が枯死し、回復不可能な状態に陥るほどであった。また活性2価鉄、無機態窒素量の推移ならびにポリフェノール系物質濃度の消長から考察すると、稲わら施用によって誘発された水稲の生育障害は一般にいわれている窒素飢餓および活性2価鉄などの影響よりもポリフェノール系物質の直接的な作用の方が強いものと思われた。さらにグライ土〔Ⅲ〕は褐色低地土に比べると土壌におけるポリフェノール系物質の残存期間が長く(分解・消失が緩慢)、かつ同一濃度でも障害が著しく大きかった。

このような、土壌間でみられる障害性の大小、ならびに有害物質の消長は土壌粒子自体の活性強度など複雑な他の多くの要因が関与しているもの

と考えられるが、本試験の範囲では明確な要因把握は困難であった。

したがって、1975および1976の両年にわたってみられたグライ土〔Ⅲ〕圃場における水稲生育障害は、主として根圏域に多量に集積した未分解な稲わらから溶出するフェノール系化合物の関与によってもたらされたことがほぼ明らかとなった。勿論、他の有害物質との相互作用によって障害の発現が著しく拡大された事実も当然考慮に入れるべきである。

一方、排水不良なグライ土〔Ⅲ〕においても土壤の乾燥化が進行した1977年以降では湛水後の土壤還元化がきわめて軽微となり、かつ稲わら施用による水稲の生育障害はほとんどみられず、幼穂形成期までの乾物生産量および稲穂吸収窒素量も無施用とほぼ同様なパターンを辿った。とくに籾殻暗渠を施工して稲わらを施用したものではむしろ無施用を凌駕する傾向を示した。

以上の結果を総括すると、たとえ強粘質の排水不良田であっても合理的な排水法改善処理（籾殻暗渠、籾殻心土破碎の施工）と適切な水管理（作溝を組入れた中干し、適期落水など）、さらには融雪剤の散布等によって非湛水期間の土壤の乾燥化が図られれば湛水後の土壤の還元発達が緩和され、稲わら施用による水稲の生育障害が著しく軽減されることがここに明らかとなった。

5) 有機物の長期連用が水稲の生産性および土壤の理化学性に及ぼす影響

水田に対する堆厩肥などの粗大有機物の施用量が減少するなかで地力の低下、土壤の悪化が取り上げられ、全国的に地力増強の必要性が論議されている^{23, 32, 52, 89, 118, 135,)}。論議の中心は、有機物施用量の減少に伴って化学肥料では代替できない有機物のもつ多面的な機能が減退し、土壤肥沃度ひいては収量性が低下するのではないかという点に集約される。

水稲生産に及ぼす有機物施用の効果については古くから認められており、多くの場合有機物連用によって土壤の潜在的窒素地力は富化され、収量はいずれも高まる傾向にある。

そしてこの傾向は湿田型土壤よりも乾田型土壤で一層明らかであり、さらに土壤に蓄積された易分解性有機態窒素は地温上昇を伴った生育後半に放出されることが多くの研究者によって明らかにされている^{15, 16, 17, 69, 120, 121, 124, 137, 138)}。筆者が行った試験結果でも、排水性良好な褐色低地土では有機物連用によって富化された土壤窒素が水稲の生産性に寄与する度合がきわめて大きいことが明らかにされた。しかしながら、排水不良なグライ土ではその度合がきわめて小さく、稲わら施用の場合には逆に減収する傾向さえみられた。このことから、グライ土において有機物施用によって富化された土壤窒素を水稲生産に効率的に利用するためには排水性の向上が前提条件であることが示唆された。

一方、有機物連用が土壤の理化学性に及ぼす影響については多くの報告がある^{36, 37, 40, 44, 54, 55, 58, 75, 76, 95, 99, 100, 110, 139)}。

有機物連用によって、土壤の易分解性有機物が増加するにもかかわらず、褐色低地土のように全炭素含量の増加が比較的小さい結果が得られたが、この説明にはPriming action（起爆作用）の概念の導入が必要である。

すなわち、徳永¹³⁴⁾はJenkinson³¹⁾の論文を引用し、新たに加えられた有機物の分解作用で、土壤中にもともとあった有機物の分解が促進される現象を「起爆作用」としている。

これらは畑土壤を対象に行った研究結果であるが、乾田型水田土壤（褐色低地土）においても当然このことを考慮に入れる必要がある。

土壤有機態窒素の特質、CECに及ぼす腐植の寄与割合ならびに耐水性粒団の分布割合が粗大有機分連用によって著しく変動する傾向がみられた。しかしながら、褐色低地土とグライ土でまったく逆の関係を示したが、これらには土壤の母材、粘土含量および粘土鉱物組成、土壤水分環境などに起因しているものと想定されたが、本研究では解明できなかった。

一方、堆肥連用に伴う土壤腐植酸の腐植化度の低下については、すでに川口^{36, 37)}の報告があるが、稲わら施用でそのような傾向がみられないのは堆

肥と稲わらの分解過程、すなわち腐植化作用に本質的な差異があるものと思われる。

土壌の物理的分画法による粒団の化学性については川口³⁸⁾、和田ら^{140,141)}の報告がみられるが、2.0~0.5mmの粒団群において窒素肥沃度が最も高い傾向を示したことは川口らの結果と一致しており、これらは明らかに粗大有機物が粒団形成に関与していることを示している。

湛水条件下における土壌粒子の動態についてはすでに齊藤^{113,114)}によって詳細に報告されているが、有機物連用が水田土壌の構造に及ぼす影響をみると、青峰¹⁾は湛水条件下にあって泥状で推移した作土の構造は落水後再び粒団形成に転じ、粗孔隙の多いパン状構造が形成されるとしている。いずれにしても、中粒質の褐色低地土において粗大有機物の土壌構造形成にはたす役割はきわめて大きく、中でも稲わらのような未分解有機物の施用効果が最も顕著である。これに関しては出井⁹⁾もまったく同様なことを指摘している。

褐色低地土では有機物連用によって耐水性粒団の増加とタフネス指数、圧碎強度の低下が顕著で

あったが、久保田⁵⁰⁾によると、土壌の理工学性に及ぼす有機物連用の影響は土壌粒子の表面活性によって支配され、表面活性の大きな土壌では親水性の性質を高める効果が小さいのに対し、表面活性の小さな土壌では逆に親水性を高め、そのことが微細構造の増加をもたらすとしている。したがって、本土壌のように中粒質の火山灰を母材とする褐色低地土では後者の特性を示したものと考えられる。

なお、Cooke⁴⁾は畑土壌における100年以上にわたる長年の有機物連用試験の結果から、有機物連用は土壌の物理性に变化を及ぼすものの、この変化を直ちに作物の増収に結びつけることはできないと指摘した。

さらに、田中^{131,132)}は稲わらの利用を積極的効果としてではなく、むしろ収穫残さ物の処理としてとらえるべきであるとの意見ものべており、とくに湿田型土壌に対する粗大有機物施用の意義については土壌の排水性との関連でさらに検討を深める必要があろう。

第6章 摘要

この研究は、北海道に広く分布する排水不良な強粘質水田の理工学特性を明らかにするとともに、それに基づいた排水不良対策ならびに土壌管理法を確立する目的で行った。

得られた結果をまとめると以下のとおりである。

1) この研究に供試した強粘質水田の4土壌(グライ土〔I〕,〔II〕,〔III〕およびグライ台地土)は対象土壌(褐色低地土)に比べていずれも粘土含量が高く、かつ液性限界および塑性指数が大きい。さらに透水係数が小さく、土壌の排水性が著しく劣る。

2) 強粘質なグライ土〔I〕,〔II〕,〔III〕およびグライ台地土は中粘質な褐色低地土に比べると湛水後の土壌還元化が急激に進行するため、作土の土壌構造は速やかに泥状化する。

3) また、グライ土〔I〕,〔II〕,〔III〕およびグライ台地土は耕起時ならびに落水後の土壌含水比、液相割合が高く、かつ固相および気相割合がきわめて小さな特徴を示す。

4) 排水不良田では融雪後の地表水の消失が遅く、しかも下層ほど湿潤であった。また16mm程度の降雨であっても圃場には表面停滞水がみられる。

5) さらに、耕起時の土壌含水比は全般に65%以上(pF1.8以下)の場合が多く、かつ大型機械走行可能な指標となるIc値(コンシステンシー指数)も0.5を大幅に下回っている。

6) グライ土〔I〕における落水後の初期キレット(pF1.5, 含水比67%)は落水7日後にようやく認められ、大キレット(pF2.0, 含水比61%)生成をみるまでには10日以上も要する。一方、中粒質の褐色低地土では落水3日後に初期キレット(pF1.7, 含水比72%)が開始され、さらに落水後4日目に大キレット(pF2.0, 含水比68%)が形成される。

7) 土壌の容気度割合は液相割合の低下に伴って直線的に高まり、また容気度と透水係数の間には明瞭な正相関($r = 0.839^{***}$)が得られる。

8) 土壌含水比が70~80%以下の範囲内では含水比の低下に伴って液性限界、塑性限界が明らかに低下する。さらに、土壌の圧砕強度およびIc値はともに土壌含水比の低下に伴って著しく増大する。

9) グライ土〔I〕,〔II〕,〔III〕およびグライ台地土において、大型機械走行可能な土壌条件(Ic値0.5以上)を得るために必要な土壌含水比は61%以下(pF2.0以上)であり、またこの時の土壌圧砕強度は8 kg/cm²前後であることが判った。

10) さらに、一般水田土壌においても粘土含量と圧砕強度の間には正の相関が得られ、しかも粘土含量が40%以上に達すると圧砕強度が急激に高まる傾向にある。

11) 不かく乱土壌の体積変化量は粘土含量の多い強粘質土壌が粘土含量の少ない褐色低地土よりはるかに大きい。

12) 強粘質の圃場整備完了水田は未実施水田に比べると減水深が小さく、かつ地温の上昇や排水性が明らかに低下するが、その程度は中粒質の乾田型土壌より細粒質な湿田型土壌の方が明らかに大きい。

13) グライ土〔I〕,〔II〕,〔III〕およびグライ台地土の4土壌とも籾殻暗渠および籾殻心土破碎を施工すると、従来の土もどし暗渠および心土破碎施工に比べ融雪後および落水後の地表水の消失と大キレット生成が早く、大型機械走行可能な圃場条件を得ることができる。

14) 籾殻暗渠は土もどし暗渠に比べると土壌含水比が低く、かつ塑性指数も小さい。さらに、地表面の大小キレット生成量は後者より前者の方がはるかに多い。

15) 籾殻暗渠施工位置から4~6m(暗渠間の中央)の土壌含水比はほぼ土もどし暗渠直上の値と合致していた。以上のことから、籾殻暗渠は強粘質水田の排水法改善対策としてきわめて効果的である。

16) グライ土〔I〕, 〔II〕, 〔III〕およびグライ台地土とも落水時期の早期化により土壤のIc値および地表面の硬度が顕著に高まる。またその時期は収穫作業機械の走行と水稻の登熟生理面からみて出穂期が最適である。

17) 一方, 中干しも落水後の速やかな地表水の排除を助長するが, 収穫機械走行可能な地耐力を期待し得る強度は土壤の脱水・収縮過程およびキレツ生成状態からみてpF2.0以上(含水比61%以下)が必要である。

18) 耕耘機処理に比べトラクター処理の方が土壤の排水性低下を助長する傾向にある。さらに, 土壤の乾燥化の面では耕起深の深い方(24cm)が浅いもの(12cm)より有利である。

19) 水田転換畑は連作水田に比べ下層土の土壤構造の発達が良好であり, 土層全体の乾燥化も著しく進行していた。したがって, 強粘質な排水不良田の土壤乾燥化対策として田畑輪換を組入れた水田の高度利用を高く評価すべきである。

20) 排水不良なグライ土〔I〕, 〔II〕, 〔III〕とグライ台地土では籾殻暗渠と籾殻心土破碎の施工によって水稻の初期生育ならびに登熟性が向上し, 玄米収量も従来の土もどし暗渠を上回る。

21) 登熟期における水管理技術としての落水時期の早晚と収量性の関係では, 排水不良なグライ土〔I〕およびグライ台地土とも, 出穂期落水>出穂7日後落水>出穂14日後落水の順に落水時期が早いほど登熟歩合が高く, 玄米収量も増加する。さらに, 中干し(止葉展開期~出穂始期)も出穂期落水に匹敵する効果を示す。

22) 排水良好な褐色低地土では収量・品質的にみて出穂21日後の落水が最も勝り, 早期落水および中干しでは登熟・品質面で劣る。

23) 登熟過程で水稻籾の正常な発育を満たす土壤の含水比は強粘質のグライ土〔II〕で58%以上(pF2.1以下)であり, この時の土壤のIc値は各々0.5以上に相当する。

24) 褐色低地土において, pF2.75(含水比45%以下)付近の低水分状態が持続した場合には, 水稻葉身の水分蒸散量が土壤からの水分供給量を上回るため, 3L葉身(止葉-2L)の水分含量が著

しく低下する。

25) 排水不良なグライ土〔III〕では稲わら施用によって水稻の初期生育が抑制され, 乾物増加量が著しく停滞する。一方, 排水良好な褐色低地土ではそのような傾向は認められない。

26) 排水良好な褐色低地土では6月上・中旬の水田地温が排水不良なグライ土〔III〕に比べると高く推移し, かつ上層(0~5cm)と下層(5~10cm)間の地温較差が小さいのに対し, グライ土〔III〕では10cmの地温が5cmに比べ著しく低く経過する。

27) グライ土〔III〕では稲わら施用に伴って土壤中の活性2価鉄生成量および環元容量(N/100KMnO₄消費量)が急激に高まる。また, 活性2価鉄と還元容量の間には高い正相関($r=0.950^{***}$)が得られる。

28) 作土層に分布する粗大有機物量は褐色低地土に比べグライ土〔III〕の方がはるかに多く, しかも稲わらを施用した場合にはその傾向が著しい。また両土とも普通耕に比べ深耕の方が表層での分布量が少なく, 土壤の還元化も軽微である。

29) グライ土〔III〕においても圃場の乾燥化が確保された1977年以降では稲わら施用による初期生育抑制はほとんど認められず, 籾殻暗渠を併用したものではむしろ無施用を上回る生育を示す。

30) 排水不良なグライ土〔III〕でも非湛水期間の適切な排水不良対策と湛水期間中の周到的な水管理によって作土の乾燥化を図れば, 稲わら施用に伴う水稻の初期生育障害がかなり緩和されることが明らかとなった。

31) 未熟稲わら施用による水稻の初期生育量の停滞および養分吸収の阻害は低温条件下ほど著しく出現し, しかもグライ土〔III〕の方が褐色低地土に比べその影響が大きい。

32) これら障害性に関与する要因としてポリフェノール系物質の生成が考えられる。この物質は活性2価鉄生成量とともに地温上昇に伴って増加するが, 積算地温が200~300℃でピークに達する。

33) グライ土〔III〕は褐色低地土に比べると全ポリフェノール物質濃度が高く, かつ残存期間が長い。また同一濃度でも水稻に対する阻害度は褐色低地土よりグライ土〔III〕の方がはるかに大きい。

34) 腐熟度（分解度）の高い稲わらほど窒素含量が高く、炭素含量、C/N比および灼熱損失量が明らかに小さい。

35) 0.5% NaOHによって抽出される腐熟稲わら含有腐植物質の吸光度(470nm)と窒素含量およびC/N比との間に各々高い相関関係 ($r = 0.685^{***}$, $r = -0.655^{***}$) が得られ、窒素含量が高く、C/N比の小さな腐熟度の進んだ稲わらほど吸光度の高い特徴を示す。

36) 腐熟稲わらの化学組成がC/N比で26.7以下、アルカリ抽出液の吸光度が0.8以上を示すものでは水稻の初期生育および窒素吸収に対して促進的に作用するが、C/N比が42以上、吸光度0.6以下のもものでは逆に初期生育量が著しく停滞する傾向が認められる。

37) さらに、施用稲わらの腐熟度がC/N比で26.7以下、吸光度0.8以上のもものでは灌水後の土壤還元が発達は比較的緩慢であるが、C/N比42以上、吸光度0.6以下で腐熟度の低いものでは土壤中の活性2価鉄生成量が急激に増加し、土壤の還元化が著しく助長される。

38) 以上のことから、稲わら腐熟度の簡易判定法としては従来の肉眼観察による色の違い、灼熱損失量およびC/N比などの判定法よりも、0.5% NaOH抽出液の吸光度を測定する方法の方が迅速・簡便である。この方法は稲わら腐熟度の新しい判定法として提案した。

39) 中粒質な褐色低地土では堆肥および稲わら秋すきこみによって玄米収量が著しく増加し、しかも無施用との較差は連用年数が増すにつれ拡大される傾向にある。

40) 一方、排水不良なグライ土では有機物連用による増収効果はきわめて小さく、堆肥施用の場合でもわずか2%の増収にとどまり、稲わら秋散布

および春すきこみでは逆に2~4%減収する。

41) 褐色低地土では移植後の日平均積算地温(5cm深) 1,300~1,500℃、有効積算地温 ($T - 13^{\circ}\text{C}$) 400~500℃近辺で有機物施用区の稲体窒素吸収量が無施用区を凌駕する傾向にある。

42) グライ土および褐色低地土とも稲わら連用によって土壤のpH、置換性CaO、MgOおよび石灰飽和度が明らかに低下する。また、グライ土では全窒素および全炭素含有率が増加するが、褐色低地土では明瞭でない。

43) 褐色低地土では堆肥および稲わら連用によって土壤の酸可溶性窒素中に占める溜出性窒素割合が低下するのに対し、グライ土では逆に著しく高まる傾向が認められる。

44) グライ土および褐色低地土とも有機物連用によってアルカリ可溶腐植の抽出割合が増加する傾向が認められる。また全抽出腐植中に占める腐植抽出割合はグライ土で増加するのに対し、褐色低地土では低下する

45) 褐色低地土では有機物連用によって土壤の液性限界、塑性限界および塑性指数が高まる。また耐水性粒団、作土層の膨軟化および土壤構造の安定化も同時にもたらされ、かつその度合は堆肥より稲わら土壤の方が顕著である。

46) 一方、排水不良なグライ土では有機物連用によって土壤の容積重が低下し、かつ大土塊の細塊化が顕著である。反面、稲わら秋散布では地表面の乾きを阻害するなど土壤排水能を低下させる傾向にある。

47) 以上のことから、排水不良田に対する粗大有機物の連用が水稻の生産性および土壤の理化学性に及ぼす影響は土壤の排水能と密接に関係していることが明らかである。

引用文献

- 1) 青峰重範：土壤肥料講座，**2**，144-147(1961)
- 2) Asami, T. and K. Kumada : Comparison of several methods for determining free iron. *Soil and Plant Food*, **5**, 179-183(1959)
- 3) 浅見輝男：水田土壤中における遊離酸化鉄の行動に関する研究(第1報)，*土肥誌*，**41**，1-6(1970)
- 4) Cooke, G. W : The control of soil fertility (1967)
- 5) C. R. Panabokke and J. P. Quirk : Effect of initial water content on stability of soil aggregates in water. *Soil Sci*, **83**, 185-195 (1956)
- 6) D. Young cho and F. N. ponnamperuma : Influence of soil temperature on the chemical kinetics of flooded soils and the growth of rice. *Soil Sci*, **112**, 184-194 (1971)
- 7) D. Pal, F. E. Broadbent and D. S. Mikkelsen : Influence of temperature on the kinetics of rice straw decomposition in soils. *Soil Sci*, **120**, 442-449 (1975)
- 8) D. Niranjan Rao and D. S. Mikkelsen : Effect of rice straw incorporation on rice plant growth and nutrition. *Agron J*, **68**, 752-755 (1976)
- 9) 出井嘉光：水田作土の構造と水稻生育，*土壤の物理性*，**16**，27-32 (1967)
- 10) 土壤養分測定法委員会編：土壤養分分析法，養賢堂 (1970)
- 11) 土壤物理性測定委員会編：土壤物理測定法，308-363，養賢堂 (1972)
- 12) 富士岡義一，佐藤晃一：粘質土壤水田の乾燥とキ裂について(II)，*農土論集*，**26**，8-14 (1968)
- 13) 後藤定年：湿田土壤の物理性の特性について，*土壤の物理性*，**8**，1-6 (1963)
- 14) 後藤重義，鬼藪豊：水田土壤の還元容量，*土肥講要集*，**15**，Part I，83 (1963)
- 15) 原田登五郎：水田土壤の有機態窒素の無機化とその機構に関する研究，*農技研報告*，**B-9**，123-199 (1959)
- 16) 原田登五郎，林竜三，近本明雄：土壤の機械的処理効果と有機態窒素の無機化促進効果，*土肥誌*，**35**，21-28 (1964)
- 17) 広瀬春朗：稲わらおよび稲わら堆肥の分解とアンモニア態窒素の有機化過程，*土肥誌*，**44**，211-216 (1973)
- 18) H. Okajima and J. Kimura : Studies on the mechanisms of phosphorus and iron absorption by rice plant. II. *Rep. Inst. Agr. Res. Tohoku Univ*, **3**，1-11 (1952)
- 19) H. Okajima : Research problems to solve for the study of rice plant growth and environmental factors. *Rep. Inst. Agr. Res. Tohoku Univ*, **18**，69-86 (1967)
- 20) 福士定雄：低水分状態における水田土壤の圧碎強度，*土肥誌*，**40**，49-54 (1969)
- 21) 北海道農業試験場：北海道農業技術研究史，1-569，北農会 (1967)
- 22) 北海道立農業試験場：水稻に対する素わら施用の影響に関する試験成績，1-96 (1971)
- 23) 児玉徹，小野充：低温条件下における水稻の初期生育に対する腐植酸の効果，*秋田県農試研究時報*，**12**，11-18 (1978)
- 24) 飯田一郎：多収穫水田の水管理，*農及園*，**44**，1083-1086 (1969)
- 25) 石沢修一，江川友治，村山登監修：土壤肥料新技術，6-63，技報堂 (1969)
- 26) 石塚喜明，永沢悟，西潟高一：田畑輪換栽培土壌の物理的および化学的性質に関する研究，*北海道米作研究会報告*，**1**，135-161 (1951)
- 27) 池田実，原田勇，田村香居：田畑輪換土壌に関する研究(第3報)，*土肥誌*，**27**，361-364 (1956)
- 28) 石原邦：透水と水稻の生育について，*土壤の物理性*，**16**，22-26 (1969)
- 29) 五十崎恒：適正浸透量について，*農土研*，**24**(6)，311-312 (1957)
- 30) 井利一：湿田の乾田化問題について，*土肥誌*，**32**，342-350 (1961)
- 31) Jenkinson, D. S. : The priming action. The use of isotopes in soil organic matter studies, 199-280 (1967)
- 32) 鎌田易尾，伊藤俊一，神谷清之進，鳴貫和夫：稲わらすき込田の稲作安定作業技術，*秋田県農試*

- 研究時報, **12**, 27-32 (1978)
- 33) 木村清, 伊藤輝行, 松原一実, 水本秀彰, 小林荘司: 石狩川流域に分布する水田土壌に関する研究(第4報). 土肥学会講要集, **18**, 71 (1972)
- 34) 香山俊秋, 宮坂昭, 武舎武保, 伊藤栄治: 温田における水管理に関する作物学的研究(IV). 日作紀, **27**, 31-34 (1959)
- 35) 香山俊秋, 宮坂昭, 伊藤栄治, 江口和雄: 湿田における水管理に関する作物学的研究(VI). 日作紀, **29**, 37-39 (1961)
- 36) 川口菊雄, 坂上朗, 橋本重久: 水田土壌中における腐植の形態ならびに動態に関する研究(第1報). 土肥誌, **39**, 363-369 (1968)
- 37) 川口菊雄, 坂上朗: 水田土壌中における腐植の形態ならびに動態に関する研究(第2報). 土肥誌, **40**, 221-227 (1969)
- 38) 川口桂三郎, 喜田大三: 水田土壌の耐水性粒団の分析法. 土肥誌, **27**, 262-264 (1956)
- 39) 川口桂三郎監修: 水田土壌学, 299-332, 講談社 (1978)
- 40) 河本泰: 暖地におけるわら類施用の影響. 土肥学会講要集, **26**, Part I, 199-200 (1980)
- 41) 喜田大三, 川口桂三郎: たん水・還元・脱水条件の土壌構造への影響(第1報). 土肥誌, **31**, 375-379 (1960)
- 42) 木根淵旨光: 水の管理と水稻の養分吸収. 農及園, **43**, 1091-1094 (1968)
- 43) 久津那浩三: 水田基盤整備の現状と問題点. 近代農業における土壌肥料の研究 **1**, 7-11, 養賢堂 (1970)
- 44) 久保田徹: 作土の構造維持に対する有機物施用の効果. 土肥誌, **42**, 7-11 (1971)
- 45) 熊田恭一, 広瀬春朗, 中野綱次郎, 北洞信也: 植物遺体の腐朽化過程に関する化学的研究(第1報). 土肥誌, **43**, 13-20 (1972)
- 46) 弘法健三, 金野隆光: 透水条件下における水田土壌の物質変化(第1報). 土肥誌, **41**, 178-187 (1970)
- 47) 弘法健三, 高井康雄, 和田秀徳, 香川尚徳: 水田状態土壌中の物質変化に及ぼす透水の影響(第1報). 土肥誌, **41**, 438-444 (1970)
- 48) Kononova, M. M.: Soil organic matter, 345 (1961)
- 49) 小管伸郎, 飯村康二: 水田土壌中におけるガス収支について. 土肥学会講要集, **21**, Part I, 78 (1975)
- 50) 小林荘司, 伊藤輝行, 大西屋働: 休耕田の土壌変化について. 北農, **39**, 1-12 (1972)
- 51) 小林荘司, 水元秀影: 強粘質水田の排水法改善に関する研究(第1報). 道農試集報, **28**, 33-44 (1973)
- 52) 小林達治: 有機質肥料の植物に与える効果. 土と微生物, **13**, 35-47 (1971)
- 53) 前田要, 山口正栄, 盛時雄, 小田切弘一: 水田の蔬菜地化に伴う土壌肥料の対策. 北農, **34**, 32-39 (1969)
- 54) 前田要, 野村美智子, 山田正栄, 小田切弘一: 寒地水田におけるイネわらの連用. 土肥学会講要集, **15**, Part I, 91 (1969)
- 55) 前田要, 南松雄: イネわら連用に伴う土壌Nの形態について. 土肥学会講要集, **17**, Part II, 11 (1970)
- 56) 前田要, 南松雄: 強粘質水田の物理・化学的特性と透水性改良法に関する研究(第1報). 土肥学会講要集, **18**, 2 (1972)
- 57) 前田要, 南松雄: 強粘質水田の物理・化学的特性と透水性改良法に関する研究(第2報). 土肥学会講要集, **20**, Part II, 10 (1974)
- 58) 前田要: 粗大有機物連用水田土壌の物理特性について. 土壌の物理性, **30**, 33-38 (1974)
- 59) 前田要, 南松雄: 強粘質水田土壌の物理・化学的特性と生産力向上に関する研究(第1報). 道立農試集報, **35**, 18-28 (1976)
- 60) 前田要, 南松雄: 稲わらの簡易腐熟度判定法について. 土肥学会講要集, **22**, Part II, 17(1976)
- 61) 前田要, 南松雄: 強粘質水田土壌の物理・化学的特性と生産力向上に関する研究(第2報). 道立農試集報, **37**, 25-34 (1977)
- 62) 前田要, 南松雄: 強粘質水田の物理・化学的特性と透水性改良法に関する研究(第4報). 土肥学会講要集, **23**, Part II, 16 (1977)
- 63) 前田要, 南松雄: 強粘質水田土壌の物理・化学的特性と生産力向上に関する研究(第3報). 道立農試集報, **40**, 19-29 (1978)
- 64) 前田要, 南松雄: 強粘質水田の物理・化学的特性と透水性改良法に関する研究(第5報). 土肥学会講要集, **25**, Part II, 231 (1979)
- 65) 前田要, 南松雄: 強粘質水田の物理・化学的特性と透水性改良法に関する研究(第6報). 土肥学会講要集, **25**, Part I, 110 (1979)

- 66) 前田要, 岩淵晴郎, 南松雄: 稲わら腐熟度の簡易判定法について, 北海道立上川農業試験場, 1-23 (1979)
- 67) 前田要, 岩淵晴郎, 南松雄: 排水不良田の地力培養方策ならびに土壤管理法に関する試験, 1-36 (1979)
- 68) 前田要, 南松雄: 強粘質水田の物理・化学的特性と生産力向上に関する研究(第4報), 道立農試集報, **44**, 1-11 (1980)
- 69) 前田要, 山口正栄, 岩淵晴郎: 寒地水稻の生産性に及ぼす粗大有機物連用の影響, 土肥学会講要集, **27**, Part II, 234 (1981)
- 70) 前田要, 南松雄: 強粘質水田の物理・化学的特性と生産力向上に関する研究(第5報), 道立農試集報, **46**, 41-50 (1981)
- 71) 前田要, 稲津脩, 水野直治: 湿田土壤の動態と水稻の生産性向上に関する研究(第1報), 土肥学会講要集, **28**, Part I, 104 (1982)
- 72) 前田隆, 相馬尅之: 土のコンシステンシーに影響をおよぼす因子について, 土壤の物理性, **30**, 15-22 (1974)
- 73) 前田隆, B. P. Warkentin: 近代農業における土壤肥料の研究III, 5-13, 養賢堂 (1972)
- 74) 前田隆: 機械利用における土つくりの方向, 農業機械技術情報, **275**, 4-5 (1975)
- 75) 前田隆, 相馬尅之, 佐々木清一: 腐植が土の物理性に及ぼす影響, 農土論集, **61**, 9-17 (1976)
- 76) 前田隆, 相馬尅之: 低有機質土のコンシステンシー及びpF試験における測定上の問題点, 土質工学会, 有機質土の試験方法シンポジウム発表論文集, 31-36 (1979)
- 77) 増島博, 根本清一, 国分欣一: 水田土壤の乾燥収縮について, 土肥学会講要集, **16**, Part I, 12 (1970)
- 78) 松浦欣哉, 青木研一, 前原貞一: 湿田地帯における機械収穫に関する研究(第1報), 農作業研究, **11**, 61-64 (1971)
- 79) 松尾憲一, 山中金次郎: 土壤の粘着力に関する研究(第1報), 土肥誌, **33**, 111-114 (1962)
- 80) 松尾憲一, 山中金次郎: 土壤の粘着力に関する研究(第2報), 土肥誌, **33**, 348-351 (1962)
- 81) 水管理研究会編: 水田の水管理と圃場整備, 86-91, 地球出版 (1972)
- 82) 三井進午, 熊沢喜久雄, 向井登: 作物の養分吸収に関する動的研究(第22報), 土肥誌, **30**, 345-348 (1959)
- 83) 三井進午, 熊沢喜久雄, 菱田孝: 作物の養分吸収に関する動的研究(第23報), 土肥誌, **30**, 411-413 (1959)
- 84) 三井進午, 熊沢喜久雄: 作物の養分吸収に関する動的研究(第41報), 土肥誌, **35**, 115-118 (1964)
- 85) 南松雄, 前田要: 寒地水田におけるイネわら連用の影響について, 道立農試集報, **23**, 67-79 (1971)
- 86) 南松雄, 前田要, 藤原耕治, 関口明: 水田の畑転換に伴う土壤理化学性の変化について, 土肥学会北海道支部講要集, **5** (1971)
- 87) 南松雄, 前田要: 重粘土地帯水田における透水性改良に関する試験成績, 北海道立上川農業試験場, 1-27 (1973)
- 88) 南松雄, 前田要: 水田転換畑の生産性向上に関する研究(第1報), 道立農試集報, **29**, 72-85 (1974)
- 89) 南松雄: 水田地力の現状と有機物施用の意義, 北農, **43**, 1-17 (1976)
- 90) 村上利雄: 水稻多収栽培の水管理, 農業技術, **22**, 205-210 (1967)
- 91) 本村悟, 秋山豊, 山中金次郎: 湛水条件下における土壤の物質代謝に及ぼす有機物添加効果, 土肥誌, **32**, 605-611 (1961)
- 92) 本村悟, 秋山豊, 山中金次郎: 水田土壤中における2価鉄の行動とその役割について, 農技研報告, **B-21**, 1-114 (1969)
- 93) Motomura, S., Lapid, F. M., Yokoi, H.: Soil structure development in Ariake Polder soils in relation to iron forms. Soil Sci. Plant Nutr., **16**, 47-54 (1970)
- 94) 長井武雄: 稲わら施用による水稻の初期生育障害に関する研究(第1報), 鳥取大学農学部研究報告, **25**, 1-13 (1973)
- 95) 長井武雄: 稲わら施用による水稻の初期生育障害に関する研究(第2報), 鳥取大学農学部研究報告, **25**, 14-20 (1973)
- 96) 長井武雄: 稲わら中のフェノール化合物が水稻の初期生育に及ぼす影響, 土肥学会講要集, **21**, Part I, 85 (1975)
- 97) 長井武雄: 稲わらの分解度が水稻の生育に及ぼす影響(第2報), 土肥学会講要集, **23**, Part I, 97 (1977)
- 98) 中川昭一郎: 湿田の乾田化に伴う透水条件の変化

- について. 農土論集, **2**, 19-85 (1964)
- 99) 仲谷紀男, 鬼鞍豊: 稲わら施用水田における NH_3 -Nの生成: 土肥学会講要集, **16**, Part I, 96 (1970)
- 100) 仲谷紀男: 有機物が関与する土壤の水分特性について. 農技研報告, **B-32**, 1-74 (1981)
- 101) 中山利彦: 北海道における水田土壌の特質とその生産性に関する研究. 北海道立農試報告, **16**, 1-93 (1968)
- 102) 根本清一, 国分欣一: 落水後の水田土壌における亀裂の発生について. 土肥学会講要集, **15**, Part II, 18 (1969)
- 103) 農林水産技術会議事務局: 大型機械化に伴う水田基盤整備に関する研究. 33-70 (1969)
- 104) 農林水産技術会議事務局: 重粘土地帯水田の土層改良と用排水組織に関する研究. 1-205 (1972)
- 105) 農林水産省農蚕園芸局: 堆厩肥等有機物分析法. 1-23 (1973)
- 106) 岡島秀夫: イネの栄養生理, 1-205, 農文協(1962)
- 107) 岡島秀夫: 土壌肥沃度論, 1-235, 農文協 (1976)
- 108) 岡島秀夫, 木曾誠二, 石崎俊和: 湛水下での土壌窒素の無機化および添加窒素の有機化に対する温度の影響. 土肥学会講要集, **25**, Part I, 70 (1979)
- 109) 大竹俊博, 芳賀静雄: 稲作登熟期における水管理と米の品質. 農及園, **51**, 995-998 (1976)
- 110) 大羽裕: 土壌腐植研究法II. ペドロジスト, **8**, 38-46 (1964)
- 111) 大山信雄, 坂井弘: 水管理による水田耕土の酸化還元状態の変化(第1報). 土肥誌, **42**, 317-322 (1971)
- 112) 大山信雄, 坂井弘: 水管理による水田耕土の酸化還元状態の変化(第2報). 土肥誌, **42**, 349-354 (1971)
- 113) 齊藤万之助, 川口桂三郎: 水田土壌の凝集性(第1報). 土肥誌, **42**, 1-6 (1971)
- 114) 齊藤万之助: 水田土壌の凝集性. 土試報, **56**, 1-49 (1971)
- 115) 坂上行雄, 井口卓平: 作物の干ばつと養分吸収に関する研究(第1報). 土肥誌, **39**, 171-175 (1968)
- 116) 志賀一一: 北海道農業と土壤肥料, 269, 北農会(1960)
- 117) 志賀一一他7名: 北海道の水稲作における素糞施用の影響(第2報). 土肥学会講要集, **13**, Part I, 79 (1967)
- 118) 志賀一一: 水稲生産に対する地力窒素の役割. 北農, **43**, 18-31 (1976)
- 119) 志賀洋郎, 青峰重範: 水田の耕土の構造. 土肥誌, **29**, 32-36 (1958)
- 120) 関矢信一郎, 宮崎直美, 志賀一一: 水田における土壌または粗大有機物由来の窒素と肥料窒素の効果の比較(第4報). 土肥学会講要集, **24**, Part I, 92 (1978)
- 121) 関矢信一郎: 水田土壌の動態と水稲生育について(第9報). 土肥学会講要集, **25**, Part I, 105 (1979)
- 122) 相馬尅之, 前田隆: 火山性ローム土の初期含水比が液性限界に及ぼす影響. 農土論集, **49**, 27-34 (1974)
- 123) 相馬尅之: 初期含水比が土の液性, 塑性限界に及ぼす影響. 土壌の物理性, **38**, 16-22 (1978)
- 124) Stewart, B. A., Porter, L. K., and Johnson, D. D.: Immobilization and mineralization of nitrogen in several organic fractions of soil. Soil Sci Soc. Am. Proc, **27**, 302-304 (1963)
- 125) 高井康雄, 小山忠四郎: 水田土壌の微生物代謝に関する研究(第2報). 土肥誌, **26**, 507-512 (1956)
- 126) 高井康雄: 水田土壌の還元と微生物代謝. 農業技術, **16**, 1-4, 5-53, 122-126, 162-166, 213-216 (1961)
- 127) 滝嶋康夫: 泥炭地水田土壌に関する研究(第15報). 土肥誌, **30**, 381-384 (1959)
- 128) 滝嶋康夫: 泥炭地水田土壌に関する研究(第18報). 土肥誌, **30**, 521-524 (1960)
- 129) 滝嶋康夫, 塩島光州, 有田裕: 水田土壌中の有機酸代謝と水稲生育阻害性に関する研究(第2報). 土肥誌, **31**, 441-446 (1960)
- 130) 田中明: 酸化還元性の障害. 農及園, **44**, 1226-1227 (1969)
- 131) 田中明: 粗大有機物と肥効. 農業北海道, **23**, 52-55 (1971)
- 132) 田中明: 稲わら中の窒素とエネルギーの再利用. 土肥誌, **46**, 328-332 (1975)
- 133) 寺沢四郎: 水田土壌群の物理的特徴に関する研究. 農技研報告, **B-22**, 85-217 (1971)
- 134) 徳永美治: 有機物施用とその意義. 農及園, **46**, 125-130 (1971)
- 135) 上野正夫: 寒冷地におけるわら類施用の影響. 土

- 肥学会講要集, 26, 201-202 (1980)
- 136) 渡辺巖, 鈴木達彦: 堆肥腐熟度の簡易な標示法. 農業技術, **19**, 18-19 (1964)
- 137) 渡辺公吉, 今野一男, 稲津脩: 土壤肥料に関する試験成績書, 32-48 (1969)
- 138) 渡辺公吉: 北海道の中央低湿地帯における窒素肥沃度と稲作りの対応. 土肥誌, **46**, 286-291 (1975)
- 139) 和田秀徳: 水田土壤有機物の2, 3の特徴について. ペドロジスト, **12**, 85-95 (1968)
- 140) 和田秀徳, 金沢晋二郎, 高井康雄: 土壤有機物の物理的分画法(第1報). 土肥誌, **41**, 273-280 (1970)
- 141) 和田秀徳, 金沢晋二郎, 高井康雄: 土壤有機物の物理的分画法(第2報). 土肥誌, **41**, 395-400 (1970)
- 142) 山中金次郎, 本村悟, 秋山豊: 土壤のグライ化に関する研究(第1報). 土肥誌, **28**, 308-310 (1957)
- 143) 山根一郎, 佐藤和夫: 水田土壤における植物構成物質とガスの生成. 土肥誌, **32**, 364-367 (1961)
- 144) 横井肇, 池宗勝三郎, 水野要蔵, 小柳芳郎: 土壤の透水係数の方向性について. 土肥誌, **40**, 271-275 (1969)
- 145) Yokoi, H: Theoretical analysis on textural classification. Soil Sci. Plant Nutr., **16**, 38-45, (1970)
- 146) 吉沢孝之: 水田における稲, 麦わらの施用とその効果. 農業技術, **26**, 349-351, 407-413, 456-461 (1971)

Studies on Physical and Engineering Properties and Drainage Acceleration Techniques of Heavy Clayey Paddy Fields in Hokkaido

by

Kaname MAEDA

Summary

So-called heavy clayey paddy fields are widely distributed on alluvial plains and terraces in Hokkaido. They have poor surface drainage because of higher groundwater levels and compact subsoils, and the surface of the fields is very soft in spring and after surface drainage in autumn.

A study was made in order to clarify the physical and engineering properties and drainage acceleration techniques of these soils.

Four heavy clayey ill-drained paddy fields were subjected to the study, three of them belong to Gley Lowland soils, one of Gley Upland soils. As a control a field belongs to medium-textured Brown Lowland soils is also studied.

The results obtained are summarized as follows :

1. Soil physical and engineering properties of heavy clayey paddy fields

Gley Lowland soils (I) and Gley Upland soils were placed in the lower side of the line A of Casagrand's plasticity diagram which distinguishes humic soils from silty soils. As for soil three phases, Gley Lowland soils (I, II, III) and Gley Upland soils were the highest in the liquid phase, and their water permeability coefficient was very low throughout the non-irrigation period. In the Gley Lowland soils (II), the initial fissures after surface drainage in autumn were observed at pF values of 1.5 corresponding to 67% soil moisture content, and when large fissures at pF values of 2.0 were observed the surface of the fields was tight, and the consistency index (Ic) above 0.5.

When the paddy fields were flooded and puddled, proportion of the water stable aggregates above 2.0 mm as well as the dispersion ratio of particles below 20μ decreased with the development of the reduced condition. Soil structure of the plowed layers was composed of flocculated soil particles, and the tendency to form these particles was more remarkable in the Gley Lowland soils (I) and Gley Upland soils than in the medium-textured Brown Lowland soils.

Soil physical and engineering properties were influenced by the change in soil moisture content. High negative correlation was obtained between the liquid and air phase in terms of the soil three phases, and

also positive correlation was observed between the permeability coefficient and rate of air capacity.

The liquid and plastic limit of wet soils were lowered with the decrease of moisture content. On the other hand, the soil crushing strength and consistency index (Ic) remarkably increased in lower moisture content.

From these facts, it could be emphasized that the development of soil structure and accessibility of farm machinery were accelerated by the drying of the fields.

2. Drainage acceleration techniques in ill-drained paddy fields

On the basis of studies on drainage acceleration techniques in ill-drained paddy fields, the author studied the effects of the improved drainage methods and irrigation water management on speeding up of surface soil drying.

Underdrainage with rice hull and subsoiling with rice hull had more remarkable effect on drainage acceleration than usual underdrainage with earthen pipe and usual subsoiling as a result of downward movement of surface soil water and decrease in soil moisture content, whereby formation of large fissures was speeded up and compactness of the surface greatly increased. It was found, moreover, that midseason surface drainage induced a great extent development of soil fissures, stability of soil compactness and accessibility of farm machinery, and this tendency was very remarkable at pF values of 2.0 corresponding to 60.8% soil moisture content.

On the other hand, for the speeding up of soil drying and the accessibility of farm machinery in ill-drained paddy fields the most effective period for drying surface soils was in the heading stage of rice plant growth.

A high negative correlation was obtained between soil hardness and soil moisture content in the Gley Lowland soils (III). If the moisture content remained the same the soil compactness was higher in soils which had received midseason drainage.

3. Effects of improvements in drainage procedures and irrigation water management on productivity of rice plants.

In the Gley Lowland soils (II) and Gley Upland soils, subsoiling with rice hull and underdrainage with rice hull showed an evident effect on the initial growth of rice plants compared to the usual underdrainage with earthen pipe. And a result of this is a remarkable increase in the percentage of ripened grain and in the yield of hulled rice. And in both soils a time for draining surface water the most effective in the growth and yield of rice plants was in the heading stage, and the drainage from the flag leaf development stage to the heading stage had a remarkable effect. Meanwhile, in the Brown Lowland soils the most effective time was found to be 21 days after the heading stage. Both in ill-drained and well-drained paddy fields the most effective extent of the midseason surface drainage in water metabolism of rice plants and accessibility of farm machinery after the surface drainage in autumn was observed at soil moisture tention of pF 2.0.

For the normal growth of grains in the ripening stage, it was estimated, furthermore, that the most suitable soil moisture tention was pF 2.3 and 2.1 in the Gley Lowland soils (II) and Brown Lowland soils,

respectively.

4. Effects of application of rice straw on the initial growth of rice plants

1) Field experiment

The rate of increase in dry weight of rice plants from the tillering stage to the young panicle formation stage and the amount dry weight produced at the later stage were found smaller in the Gley Lowland soils (III) than in the Brown Lowland soils. In the Gley Lowland soils (III) which were extremely soft in 1975 and 1976 in particular, the amount of growth in the initial stage was found markedly smaller in plots to which rice straw had been applied. On the other hand, in the Gley Lowland soils (III) to which rice straw had been applied in 1977 and subsequent years when the drying of fields progressed, the development of the redox potential of soils was remarkably slow and the growth of rice plants in the initial stage became favorable; this tendency was observed more conspicuously in plots treated with underdrainage with rice hull.

It is concluded from the results obtained that if the surface soils of the heavy clayey ill-drained paddy fields are sufficiently dry in the plowing season it will be easy to maintain the surface soils in a favorable state of redox potential after the flooding. The condition thus obtained is regarded as helpful for rice plants to root firmly and grow well in the initial stage.

2) Pot experiment

Application of rice straw retarded the initial growth of rice plants, and the retardation was more remarkably pronounced in the Gley Lowland soils (III) than in the Brown Lowland soils. Subsequent growth recovery of rice plants was also significantly inferior in Gley Lowland soils (III). Moreover, the difference in two soils was more remarkable at 17°C than at 20°C.

The major cause of the retardation was due to polyphenolic compounds contained in raw rice straw, and nitrogen starvation and harmful uptake of active ferrous iron were inferred to be an incidental cause. Furthermore, it was found in both soils that the concentration of polyphenolic compounds in flooded soils reached to the maximum at the period of accumulated temperature of about 200-300°C and that it was higher in the Gley Lowland soils (III) than in the Brown Lowland soils. The period in which the compounds remained in soils was longer in the Gley Lowland soils (III).

It was concluded from marked retardation observed in the Gley Lowland soils (III) that buffer action against the harmful substances affecting the initial growth of rice plants varied with the kinds of soils.