

山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センター 高坂農場の水田の土壌断面形態

佐々木 由 佳

山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センター
(平成 25 年 11 月 15 日受理)

Soil Profile Morphology of Paddy Field at Yamagata Field Science Center, Faculty of Agriculture, Yamagata University

Yuka SASAKI

Yamagata Field Science Center, Faculty of Agriculture, Yamagata University,
Takasaka, Tsuruoka 997-0369, Japan
(Received November 15, 2013)

Summary

Soil profile morphology of paddy field at Yamagata Field Science Center, Faculty of Agriculture, Yamagata University was investigated to get basic information of the paddy field. Soil profile was observed at 6 areas with different depth due to conditions of land at two paddy fields numbered No.19 and No.20. The 6 areas were selected at 2 from near to irrigation canal, 2 from near to drain canal, and 2 from far from canal. These fields have been mined gravel from subsoil and appeared soil profiles inside the paddy field (worksite of mining). The result of soil profile morphology could support planning of rice cultivation practices and mining gravel. Soil profile was divided into Ap, Ad, A, B, and C horizons. Soil of Ap to A horizon was sandy loam with humus. Soil of B horizon was sandy loam, loam, silt loam, or sand with a little humus. Soil of C horizon was sandy loam or sand without humus. C horizon contained of high alluvial gravel delivered by Akagawa River. A depth of boundary between B horizon and C horizon varied from 25 cm to 102 cm irregularity among positions. It was caused by irregular sedimentation amount of alluvial gravel in C horizon. Most layers had iron mottle. Bands shape and thready mottles were on Ap-B horizon, tubular and filmy mottles were on A-C horizon, and cloudy mottle was on B-C horizon. Manganese oxides were reacted on Ap-B horizon at the far positions from canal and on B-C horizon at the near positions to canal.

Key words : alluvial paddy soil, gravel, mottle, soil horizon

緒 言

土壌断面調査は土壌の土性、礫含量、構造、かたさ、孔隙、有機物量、根の分布などを把握し、土壌の作物生産に対する影響を評価する指標となる。また、土壌の断面形態から土壌の生成過程を明らかにすることができる(久馬 1997)。山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センターエコ農業部門(高坂農場)には約10haの水田があり、その3分の1から半分程度を学生実習や研

究に利用し、残りを生産販売用に利用している。水田は減水深が大きく、湛水を維持するためには2~4日ごとに入水する必要がある。減水深は水田によって異なり、また同一水田内では排水路側で大きい傾向がある。このことは水稲の生育、収量にも影響を与えており、減水深の大きい水田や排水路側では生育遅延や収量の低下が認められる年が多い。水田間および水田内の減水深の変動とそれに伴う水稲の生育、収量の変動は土壌の生成過程に起因する現象と考えられるが、その特徴は栽培管理を

行う職員の経験によって把握されているだけである。

高坂農場が位置する鶴岡市高坂は山形県庄内平野の南端に位置する。高坂農場の約3.5km東側を流れる現在の赤川は、高坂農場の約1km西側にある金峰山のふもとまで氾濫していたという（佐藤・志村1966, 1974）。土地分類基本調査では高坂農場の水田の地形は赤川扇状地に分類し、土壌は細粒強グライ土壌に分類している（山形県1979）。高坂農場の水田下層には赤川の上流地質である花崗岩を母材とした礫が堆積し、減水深が大きい原因となっている。礫は水田表層にも多く存在して栽培管理の妨げとなっている。これらを改善するため、2008年度から水田に堆積する礫の採掘と暗渠設置の工事を行っている。工事は隣り合った2枚の水田を1区画として1年に1区画ずつ行っている。礫を採掘するために1区画の水田の外周の畔の下には高さ数mの土壌断面が形成される。土壌断面調査によって高坂農場の礫の空間的な分布や水田土壌の生成過程が推測できれば、水稻の栽培管理計画や礫採掘工事の計画に役立つものと考えられる。

扇状地の地形は勾配が大きく、河川の流速が大きいいため、網目状の分流路が発達する。そのため、同一扇状地内でも礫層や砂層の出現深度が異なる（庄子ら1973）。本研究は1区画の水田内で複数箇所の土壌断面を調査して土性や礫の分布から土壌の生成過程を推測し、鉄とマンガンの移動集積様式から土壌中の水の移動を推測する。また、作物生産に関与する要因として根の分布についても検討する。

材料および方法

調査圃場は山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センターエコ農業部門（高坂農場）の19番水田と20番水田である。両水田を合わせた6000m²の範囲は礫採掘工事が2012年4月から2013年4月まで行われた。調査は2013年3月26日～4月3日に行った。調査時は礫の採掘が終了して下層土の基盤整地を行っている段階であった。土壌断面は礫を採掘する2枚の水田の外周の畔から1m内側に形成されていた。この断面は工事区域内に面しているため通常は調査ができないが、下層土の基盤整地を行っている段階では高さ1m程度の土壌断面を安全に調査できる機会が数日間存在する。調査地点は工事に支障がなくかつ安全が確保される位置にある6ヶ所を選定した。調査地点は調査圃場の外周の4辺のうち用水路側の短辺

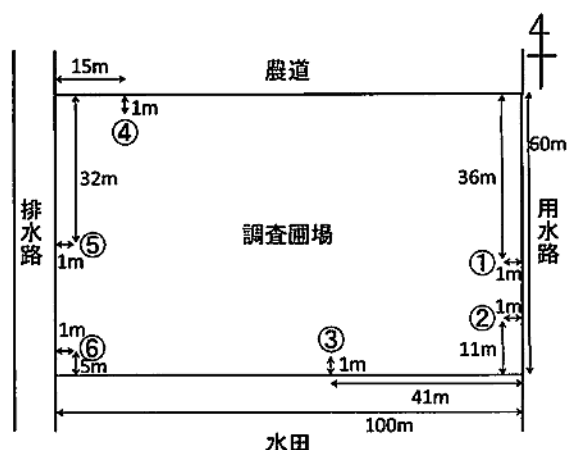


図1 調査地点。①～⑥は調査地点の位置を示す

に2ヶ所、排水路側の短辺に2ヶ所、2辺の長辺に1ヶ所ずつとした。調査地点の位置は図1に示した。

土壌断面の記載内容と記載方法は日本ペドロロジー学会編土壌調査ハンドブック改訂版（1997）に基づいた。土壌層位の区分は土壌断面の色、土壌粒子の大きさ、礫含量、構造、根の分布、孔隙、稲わらの存在、触覚によるかたさや手ざわりの違いを基準とした（日本ペドロロジー学会1997）。区分した層位は腐植や稲わらの集積が認められる層をA層とし、そのうち耕うんによって形成されたと判断した層をA_p（作土）層、A_p層の直下で指先で土壌断面をおしたときに抵抗を感じる層をA_d（耕盤）層とした。A層の下にあり、腐植や稲わらをほとんど含まず、A層と比較して斑紋・結核が多い層をB層とした。B層の下にあり、土壌断面を礫が多く占めている層や腐植、稲わら、根、孔隙が認められない層をC層とした。土色の判定は小山・竹原（1967）の新版標準土色帳を基準とした。土性は野外土性判定法（日本ペドロロジー学会1997）に従って評価した。緻密度は山中式硬度計で測定した。マンガン酸化物の反応はテトラメチル・ジアミノ・ジフェニール・メタン5gを10%（v/v）酢酸溶液1Lに溶かした試薬を断面から採取した土塊に滴下して紫黒色の呈色によって判定した（日本ペドロロジー学会1997）。活性二価鉄イオンの反応は α - α' -ジピリジル1gを10%（v/v）酢酸溶液500mLに溶かした試薬を断面から採取した土塊に滴下して赤色の呈色によって判定した（日本ペドロロジー学会1997）。

結果と考察

1. 層位の区分

調査地点ごとの土壌断面形態は表1~6に示した。土壌断面は地点1が45cmまで、地点2が50cmまで、地点3が65cmまで、地点4が160cmまで、地点5が70cmまで、地点6が150cmまで調査できた。土壌断面の最上層はすべての地点でAp層に区分された。排水路側の地点5、6を除く4地点ではAp層の直下に、耕起と代かきによって形成されたと考えられるAd層が認められた。地点5、6でAd層が認められなかった理由は、これらの地点が排水路側の畔まで1mと近く、耕起、代かき、収穫の際に農業機械の旋回によって耕盤が攪乱されたためと考えられた。地点5、6のAp層の深さはそれぞれ13cmと14cmで、地点1~4のAd層までの深さは13~18cmであったことから、耕起、代かきは地表面から15cm前後の深さを目安に行っていると考えられた。Ap層とAd層の下はA層に区分された。A層の深さは地点によって0~29cmまでの幅があった。A層の下にはB層が7~69cmの深さで堆積していた。土壌断面の最下層は地点

1を除く全ての地点でC層に区分された。地点1は断面の深さが45cmであったためC層まで到達できなかったと考えられた。

Ap層、Ad層、A層の次層との層界は平坦または波状画然であった。A層とB層の境界面の深度は用水路側(地点1、2)が19cm、18cm、地点3が23cm、地点4が33cm、排水路側(地点5、6)が31cm、43cmと用水路側から排水路側に向かって深くなった。B層とC層の層界は地点により異なり、平坦画然、波状画然、波状明瞭、波状判然であった。B層とC層の境界面は地点1から6まで順に、45cm以下、25cm、55cm、102cm、48cm、63cmに存在し、用水路側や排水路側といった地点位置の特徴に関係なく大きく変動した。この変動は赤川の激しい河川堆積作用によって礫が凹凸に堆積してできたと考えられた。調査圃場はC層上面の凹凸を均しながら無機質土壌が堆積し、その後有機物が蓄積しなかったB層と有機物が蓄積したAp~A層とに分かれたと考えられた。Ap層とAd層は現在の耕起、代かきによって分化した層であり、A層はそれ以前の深耕によって分化した層であると考えられた。

表1 地点1の土壌断面形態

層位	深さ(cm)	層界	土性	礫	腐植	土色	構造	緻密度	砕易性	粘着性	可塑性	斑紋・結核	Mn	Fe II	根	孔隙	備考
Ap	0-8	平坦	SL	円	含む	2.5Y 3/3	なし	6mm	極砕易	弱	弱	うん管状(鉄)	±	±	0.5-2mm	0.5-2mm	粗わら
		画然		1-2cm		暗オリブ	壁状	極疎				3mm			5-10%	0-5%	を含む
				0-5%		ブ褐色						非常に鮮明					
												5YR 4/8					
												5-10%					
Ad	8-14	波状	SL	円	含む	2.5Y 3/3	なし	11mm	極砕易	弱	弱	うん管状(鉄)	+	±	0.5-2mm	0.5-2mm	粗わら
		画然		1-2cm		暗オリブ	壁状	疎				2mm			5-10%	0-5%	を含む
		(礫による凹凸)		0-5%		ブ褐色						鮮明					
												7.5YR 4/6					
												2-5%					
A	14-19	平坦	SL	円、角	含む	2.5Y 4/3	なし	12mm	砕易	弱	中	糸根状(鉄)	±	±	0.5-2mm	0.5-2mm	
		画然		2-12cm		オリブ	壁状	疎				0.5-1mm			5-10%	0-5%	
				40-50%		褐色						非常に鮮明					
												5YR 5/8					
												10-20%					
												膜状(鉄)					
												非常に鮮明					
												5YR 5/8					
												10-20%					
B1	19-26	波状	SiL	なし	なし	2.5Y 2/1	角塊状	21mm	すこぶる	弱	なし	うん管状(鉄)	+	±	0.5-2mm	0.1-0.5mm	
		画然				黒色	強	中	堅硬			3mm			0-5%	5-15%	
												非常に鮮明					
												5YR 4/6					
												20%以上					
B2	26-45	nd	SiL	なし	なし	2.5Y 6/2	角塊状	16mm	極砕易	弱	なし	うん管状(鉄)	+	±	0.5-2mm	0.1-0.5mm	
						灰青色	弱	疎				3mm			0-5%	5-15%	
												非常に鮮明					
												5YR 5/8					
												20%以上					

表中の%は層位中に占める面積割合を示す。緻密度の数値(mm)は山中式硬度計で測定した値を示す。Mnはテトラメチル・ジアミノ・ジフェニール・メタン溶液の反応結果を示し、Fe IIはαα'ジピリジル溶液の反応結果を示す。MnとFe IIの反応結果は、-は呈色なし、±はしばらくたつと弱く呈色、+は即時呈色するがその程度は弱い、++は即時鮮明に呈色、+++は即時非常に鮮明に呈色、を示す。ndは測定できなかった項目を示す。

2. 土性と礫の分布

Ap層、Ad層、A層は全ての調査地点で土性が砂壤土(SL)であった。

B層の土性は地点により異なり、砂壤土(SL)、壤土(L)、シルト質壤土(SiL)、砂土(S)が認められた。本調査の土性判定では粘土の存在がほとんど感じられず、土性は砂とシルトの含有率の違いによって区分された。地点1、3、4の土性はA層と比較してB層のシルトの割合が高く、地点5、6の土性はA層と比較してB層の砂の割合が高いと判定された。地点1と地点3はシルトの割合の高いB層が19~45cmと23~48cmに認められた。一方、地点4のシルトの割合の高いB層は地点1、3より深い45~102cmに認められた。地点1、3と地点4の違いはC層の堆積厚の凹凸を反映していると考えられた。ところで、地点5、6のB層の土性には他の地点とは異なる要因が関与していると考えられる。高坂農場の設立時は現在の水田の排水路側約3mの範囲に素掘りの排水路が通っていたとの私信がある。この素掘りの排水路は1988~1990年にかけて水田側の畔の礫や土を埋め立てて水田

の一部にしたとのことである。地点5、6は排水路側の現在の畔から水田内に1m入った地点であるため、埋め立てられた素掘りの排水路の断面を調査したことになる。高坂農場の付近の農家水田ではこの排水路にU字溝を埋めて現在も使用しており、その深さは田面からU字溝上部までが30cm、田面からU字溝底部までが80cmである。地点5、6の地表からB層底面までの深さはそれぞれ48cmと63cmであり、B層の底面が素掘りの排水路の底面に当たる可能性が高い。B層の礫含量が層位の断面積の40~50%と多く、B層の土性がA層と比較して砂の割合が高くなった理由は、素掘りの排水路を埋め立てる際に水路の底に礫を敷き詰めてその上に畔の土をかぶせた工程が影響していると考えられた。

C層は礫の堆積層であった。全ての調査地点でC層の礫含量は各層位の断面積の40%以上を占めており、土性は砂壤土(SL)か砂土(S)であった。C層の礫の大部分は直径10~20cmの大円礫であり、赤川の上流地質である花崗岩が河川堆積作用により堆積したものである。

礫含量が多い(層位の断面積の40%以上を占める)層

表2 地点2の土壤断面形態

層位	深さ(cm)	層界	土性	礫	腐植	土色	構造	緻密度	砕易性	粘着性	可塑性	斑紋・結核	Mn	Fe II	根	孔隙	備考
Ap	0-12	平坦 面然	SL	なし	含む	2.5Y 3/3 暗オリーブ 褐色	なし 壁状	8mm 極疎	極砕易	弱	弱	なし	+	±	0.5-2mm 20%以上	0.1-0.5mm 5-10%	稲わら を含む
Ad	12-18	平坦 面然	SL	角 3cm 0-5%	含む	2.5Y 3/3 暗オリーブ 褐色	なし 壁状	12mm 疎	砕易	弱	弱	うん管状(鉄) 2mm 非常に鮮明 7.5YR 5/8 2-5%	+	±	0.5-2mm 10-20% 3-5mm 0-5%	0.1-0.5mm 5-10%	
B	18-25	波状 面然 (礫による凹凸)	SL	円 1-8cm 10-20%	あり	2.5Y 4/3 オリーブ 褐色	平板状 中	20mm 中	堅硬	弱	弱	糸根状(鉄) 0.5mm 鮮明 5YR 4/8 10-20% うん管状(鉄) 3-5mm 鮮明 5YR 4/6 10-20%	+	±	0.5-2mm 10-20%	0.1-0.5mm 5-10%	
C1	25-35	波状 面然 (礫による凹凸)	SL	円 1-14cm 40-50%	なし	2.5Y 5/3 黄褐色	なし 壁状	17mm 疎	砕易	弱	なし	管状(鉄) 2-3mm 鮮明 5YR 5/8 20%以上 点状(マンガン) 2mm 10-20%	+	±	なし	なし	マンガン 斑は 輪郭鮮 明な鉄 斑に囲 まれて いた。
C2	35-50	nd	S	円 1-18cm 50%以上	なし	2.5Y 4/3 オリーブ 褐色	なし 単粒状	nd	疎しよう	なし	なし	管状(鉄) 3mm 非常に鮮明 5YR 5/8 20%以上	+	-	なし	なし	

表中の%は層位中に占める面積割合を示す。緻密度の数値(mm)は山中式硬度計で測定した値を示す。Mnはテトラメチル・ジアミノ・ジフェニール・メタン溶液の反応結果を示し、Fe IIはαα'ジピリジル溶液の反応結果を示す。MnとFe IIの反応結果は、-は呈色なし、±はしばらくたつと弱く呈色、+は即時呈色するがその程度は弱い、++は即時鮮明に呈色、+++は即時非常に鮮明に呈色、を示す。ndは測定できなかった項目を示す。

位は地点1がA層(14~19cm)、地点2がC1~C2層(25~50cm)、地点3がC層(55~65cm)、地点4がB1層(33~45cm)とC1~C2層(102~160cm)、地点5がB~C層(31~70cm)、地点6がB~C3層(43~150cm)であった。前述のとおり地点5、6のB層の礫は素掘りの排水路を埋め立てる際に人為的に混入された可能性が高い。地点5、6で河川堆積作用によって堆積したと考えられる礫の含量が多い層位はそれぞれC層(48~70cm)、C1~C3層(63~150cm)である。用水路側の地点1、2は排水路側の地点5、6と比較して礫含量の多い層位が浅い位置に存在する。礫の出現深度が異なる理由は土壌の堆積様式によるものと考えられるがその機構は不明である。

本調査によって認められた礫はほとんどが円礫であった。これは河川運搬時の摩擦作用によってできたものである。しかし地点4ではAp~A2層(0~33cm)で角礫しか認められず、その下のB1層(33~45cm)、B3層(71~102cm)でも円礫とともに角礫が認められている。地点4で認められた角礫は直径が1~4cmであり、含量は層位の断面積の5%以下と少ないものであった。地点4は

農道脇に位置する(図1)。この農道は水田の土壌を盛土して砂利を敷いてつくられた。これらのことから推測すると、地点4の角礫は農道の砂利が何らかの形で混入したものと考えられた。

3. 鉄、マンガンの移動集積

土壌の還元状態を判定する活性二価鉄イオンの反応はいずれの地点でも明確でなかった。調査圃場は本調査が行われるまでの約1年間、礫採掘のために地下水のくみ上げが行われていた。この期間のほとんどは地下水位が地表から5m程度にまで下げられていたことから、調査した土壌断面の深さまでは土壌が弱い還元状態か酸化状態であったと考えられた。

土壌断面の斑紋・結核は地下水位の変動や土壌の酸化還元反応の程度を推測する指標となる(松井1987)。調査断面において鉄斑紋は大部分の層位で認められたが、形状によって認められる層位が異なる傾向があった。うん管状鉄斑紋は地点1のAp~Ad層(0~14cm)とB1~B2層(19~45cm)、地点2のAd~B層(12~25cm)、地

表3 地点3の土壌断面形態

層位	深さ(cm)	層界	土性	礫	腐植	土色	構造	緻密度	砕易性	粘着性	可塑性	斑紋・結核	Mn	Fe II	根	孔隙	備考
Ap	0-11	平坦 面然	SL	なし	含む	2.5Y 3/2 黒褐色	なし 壁状	10mm 極疎	極碎易	弱	なし	なし	+	±	0.5-2mm	0.1-0.5mm	
Ad	11-14	平坦 面然	SL	なし	含む	2.5Y 4/2 暗灰黄色	なし 壁状	15mm 疎	碎易	弱	弱	なし	+	±	0.5-2mm	0.1-0.5mm	
A	14-23	平坦 面然	SL	円 1-8cm 0-5%	含む	2.5Y 3/2 黒褐色	なし 壁状	15mm 疎	堅硬	弱	弱	なし	+	±	0.5-2mm	0.1-0.5mm	
B1	23-29	波状 面然	SiL	なし	なし	2.5Y 4/2 暗灰黄色	なし 壁状	20mm 中	すこぶる 堅硬	弱	なし	糸根状(鉄) 鮮明 5YR 4/8 10-20%	+	±	0.5-2mm	0.1-0.5mm	
B2	29-48	波状 面然	SiL	円 1-8cm 0-5%	なし	5Y 5/1 灰色	なし 壁状	15mm 疎	極碎易	弱	なし	糸根状(鉄) 非常に鮮明 5YR 5/8 20%以上 膜状(鉄) 非常に鮮明 7.5YR 5/8 20%以上	+	±	なし	0.1-0.5mm	5-10%
B3	48-55	波状 判然 (礫による凹凸)	S	なし	なし	5Y 5/1 灰色	なし 壁状	14mm 疎	極碎易	なし	なし	糸根状(鉄) 非常に鮮明 5YR 5/8 20%以上 雲状(鉄) 鮮明 10YR 5/8 20%以上	+	+	なし	なし	
C	55-65	nd	nd	円 5-20cm 50%以上	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	

表中の%は層位中に占める面積割合を示す。緻密度の数値(mm)は山中式硬度計で測定した値を示す。Mnはテトラメチル・ジアミノ・ジフェニール・メタン溶液の反応結果を示し、Fe IIはα-ジピリジル溶液の反応結果を示す。MnとFe IIの反応結果は、-は呈色なし、±はしばらくたつと弱く呈色、+は即時呈色するがその程度は弱い、++は即時鮮明に呈色、+++は即時非常に鮮明に呈色、を示す。ndは測定できなかった項目を示す。

点4のAp~Ad層(0~14cm)とA2層(23~33cm)で認められた。うん管状鉄斑紋は地下水位の季節的変動部位の指標である(山崎1960)。調査圃場は灌漑期間や積雪期間には地下水位が地表面に維持され、それ以外の排水期間(融雪から入水まで、中干し期間、収穫期から積雪まで)に地下水位が低下すると考えられる。この季節変

動はうん管状鉄斑紋が認められた深さ(0~45cm程度)で最も頻繁に行われていると考えられた。

うん管状鉄斑紋が認められた層位(地点1のAd層、地点2のB層、地点4のA2層)の次層には管状または膜状鉄斑紋が認められた。管状鉄斑紋と膜状鉄斑紋の存在は強い還元状態を示唆するものである(三土1974)。これ

表4 地点4の土壤断面形態

層位	深さ(cm)	層界	土性	稜	腐植	土色	構造	緻密度	碎易性	粘着性	可塑性	斑紋・結核	Mn	FeII	根	孔隙	備考
Ap	0-7	平坦 画然	SL	角 1-2cm 0-5%	含む	2.5Y 3/3 暗オリーブ 褐色	なし 壁状	13mm 疎	碎易	弱	なし	うん管状(鉄) 5mm 非常に鮮明 7.5YR 5/8 5-10%	+	±	0.5-2mm 5-10%	0.5-2mm 0-5%	稲わら を含む
Ad	7-14	波状 画然	SL	角 1cm 0-5%	含む	2.5Y 3/3 暗オリーブ 褐色	なし 壁状	19mm 中	堅硬	弱	なし	うん管状(鉄) 5mm 非常に鮮明 5YR 5/8 5-10%	+	±	0.5-2mm 0-5%	0.1-0.5mm 0-5%	稲わら を含む
A1	14-23	平坦 画然	SL	角 1-4cm 0-5%	含む	10YR 4/3 にぶい黄 褐色	なし 壁状	10mm 極疎	碎易	弱	なし	糸根状(鉄) 1mm 鮮明 5YR 4/8 10-20%	+	±	0.5-2mm 10-20%	0.1-0.5mm 0-5%	稲わら を含む
A2	23-33	平坦 画然	SL	角 1-3cm 0-5%	あり	2.5Y 4/3 オリーブ 褐色	なし 壁状	18mm 疎	堅硬	弱	なし	うん管状(鉄) 10mm 不鮮明 7.5YR 4/6 20%以上	+	±	0.5-2mm 0-5%	0.1-0.5mm 0-5%	稲わら を含む
B1	33-45	平坦 明瞭	SL	角、円 1-6cm 40%	なし	2.5Y 3/2 黒褐色	なし 壁状	23mm 中	すこぶる 堅硬	弱	なし	膜状(鉄) 鮮明 7.5YR 4/6 20%以上 糸根状(鉄) 0.5mm 非常に鮮明 5YR 5/8 10-20%	+	±	0.5-2mm 0-5%	0.5-1mm 0-5%	
B2	45-71	波状 画然	L	なし	なし	2.5Y 3/2 黒褐色	角柱状 強	22mm 中	堅硬	弱	なし	膜状(鉄) 鮮明 7.5YR 4/6 20%以上 糸根状(鉄) 1mm 非常に鮮明 5YR 4/8 10-20%	-	±	0.5-2mm 0-5%	3mm 5-10%	
B3	71-102	波状 画然 (礫による 凹凸)	L	円、角 1-3cm 0-5%	なし	2.5Y 3/2 黒褐色	角柱状 強	20mm 中	堅硬	弱	なし	管状(鉄) 1-2mm 非常に鮮明 5YR 4/8 10-20%	+	±	0.5-2mm 0-5%	2mm 5-10%	
C1	102-110	波状 画然 (礫による 凹凸)	SL	円 3-17cm 50%以上	なし	2.5Y 5/2 暗灰黄色	なし 壁状	nd	極碎易	弱	なし	膜状(鉄) 非常に鮮明 5YR 4/8 20%以上 管状(鉄) 2mm 非常に鮮明 5YR 5/8 10-20%	-	±	0.5-2mm 0-5%	なし	
C2	110-160	nd	S	円 2-35cm 50%以上	なし	2.5Y 4/3 オリーブ 褐色	なし 単粒状	nd	疎しよう	なし	なし	なし	-	±	nd	なし	

表中の%は層位中に占める面積割合を示す。緻密度の数値(mm)は山中式硬度計で測定した値を示す。Mnはテトラメチル・ジアミノ・ジフェニール・メタン溶液の反応結果を示し、FeIIはα,α'-ジピリジル溶液の反応結果を示す。MnとFeIIの反応結果は、-は呈色なし、±はしばらくつと弱く呈色、+は即時呈色するがその程度は弱い、++は即時鮮明に呈色、+++は即時非常に鮮明に呈色、を示す。ndは測定できなかった項目を示す。

表5 地点5の土壌断面形態

層位	深さ(cm)	層界	土性	礫	腐植	土色	構造	緻密度	砕易性	粘着性	可塑性	斑紋・結核	Mn	FeII	根	孔隙	備考
Ap	0-13	平坦 面然	SL	円 1-3cm 0-5%	含む	2.5Y 3/2 黒褐色	なし 壁状	11mm 疎	砕易	弱	弱	なし	+	±	0.5-2mm 0-5%	0.1-0.5mm 5-15%	
A1	13-21	平坦 面然	SL	円 1-4cm 5-10%	含む	2.5Y 3/3 暗オリーブ 褐色	なし 壁状	14mm 疎	極砕易	弱	弱	なし	+	±	0.5-2mm 0-5%	0.1-0.5mm 0-5%	
A2	21-31	波状 面然 (礫による 凹凸)	SL	円 1-8cm 20-30%	含む	2.5Y 3/2 黒褐色	なし 壁状	16mm 疎	堅硬	弱	弱	糸根状(鉄) 不鮮明 10YR 4/6 5-10%	+	±	0.5-2mm 0-5%	0.1-0.5mm 0-5%	
B	31-48	波状 明瞭 (礫による 凹凸)	S	円 2-12cm 40-50%	なし	2.5Y 3/3 暗オリーブ 褐色	なし 単粒状	11mm 疎	極砕易	なし	なし	点状(マンガン) 5-10% 糸根状(鉄) 不鮮明 10YR 4/6 2-5%	+	-	0.5-2mm 0-5%	0.5-2mm 0-5%	
C	48-70	nd	S	円 3-20cm 50%以上	なし	2.5Y 4/3 オリーブ 褐色	なし 単粒状	nd	疎しよう	なし	なし	点状(マンガン) 5-10% 膜状(鉄) 鮮明 7.5YR 5/8 5-10%	+	-	なし	なし	

表中の%は層位中に占める面積割合を示す。緻密度の数値(mm)は山中式硬度計で測定した値を示す。Mnはテトラメチル・ジアミノ・ジフェニール・メタン溶液の反応結果を示し、FeIIはα-ジピリジル溶液の反応結果を示す。MnとFeIIの反応結果は、-は呈色なし、±はしぼらくたつと弱く呈色、+は即時呈色するがその程度は弱い、++は即時鮮明に呈色、+++は即時非常に鮮明に呈色、を示す。ndは測定できなかった項目を示す。

らは地点1のA層(14~19cm)、地点2のC1~C2層(25~50cm)、地点3のB2層(29~48cm)、地点4のB1~C1層(33~110cm)、地点5のC層(48~70cm)、地点6のC1層(63~91cm)で認められた。これらの斑紋はAp~Ad層で認められず主にB層とC層で認められたことから、湛水時に還元が発達によってAp~Ad層で生成した二価鉄イオンが土壌水に溶解して浸透水とともに下方へ移動し、集積したものと考えられる。溶脱した二価鉄イオンは下層土の気相率が高い場合は下層で酸化沈殿し、管状鉄斑紋や膜状鉄斑紋となる(三土1974)。これらの斑紋が認められた層位のうち地点3のB2層(29~48cm)と地点4のB2~B3層(45~102cm)以外は礫含量の多い(層位の断面積の40%以上を占める)層であることから、これらの層が内包する空気による酸化沈殿が生じたと考えられた。地点3のB2層と地点4のB2~B3層は礫含量が少なく、比較的土性が細かい傾向があった。溶脱した二価鉄イオンの下層での酸化集積様式には、還元条件下で溶脱してきた二価鉄イオンが陽イオン交換基に吸着保持され、落水後の空気の侵入により酸化沈殿するものもある(松本ら1970)。地点3のB2層と地点4のB2~B3層はこの様式で管状鉄斑紋や膜状鉄斑紋が生じた可能性がある。管状鉄斑紋や膜状鉄斑紋が認められた層位の深さは用水路側の地点1、2で排水路側の地点5、6よりも浅い位置であった。これは礫含量が多い(層位の断面積の40%以上

を占める)層位の深さが用水路側で排水路側よりも浅い位置に存在することと関連していると考えられた。

糸根状鉄斑紋は地点1のA層(14~19cm)、地点2のB層(18~25cm)、地点3のB1~B3層(23~55cm)、地点4のA1層(14~23cm)とB1~B2層(33~71cm)、地点5のA2~B層(21~48cm)、地点6のAp~B層(0~63cm)で認められた。同一調査地点で比較すると糸根状鉄斑紋が認められた層位の位置は管状鉄斑紋や膜状鉄斑紋が認められた層位と同じかそれより上方であった。糸根状鉄斑紋は、落水期に孔隙を通して空気が侵入するのにともない移動性の高い二価鉄イオンが移動沈殿することによって生じる(三土1974)。つまり糸根状鉄斑紋の発達の背景には多量の易動性二価鉄イオンの生成があり、糸根状鉄斑紋の存在は管状、膜状鉄斑紋に次ぐ強い還元状態を示す(三土1974)。高坂農場の水田では深さ50cm程度まで水稲根の伸長が認められる。本調査で糸根状鉄斑紋が認められた層位は水稲根が伸長できる深さであり、後述する根や孔隙の分布ともほぼ一致している。水稲栽培期間中に水稲根表面の酸化層で酸化沈殿してきた糸根状鉄斑紋も多いと考えられた。

雲状鉄斑紋は地点3のB3層(48~55cm)と地点6のC2~C3層(91~150cm)にのみ認められた。これらの層位の土性はいずれも砂土(S)である。雲状鉄斑紋は落水後の糸根状鉄斑紋生成後に空気が孔隙から基質内部

表6 地点6の土壤断面形態

層位	深さ(cm)	層界	土性	礫	腐植	土色	構造	緻密度	砕易性	粘着性	可塑性	斑紋・結核	Mn	Fe II	根	孔隙	備考
Ap	0-14	平坦 画然	SL	円 1-4cm 0-5%	含む	10YR 4/2 灰黄褐色	なし 単粒状	8mm 極疎	極砕易	なし	なし	糸根状(鉄) 不鮮明 20%以上	-	-	0.5-2mm 0-5%	0.1-0.5mm 5-10%	
A1	14-23	平坦 画然	SL	円 1-4cm 0-5%	含む	2.5Y 3/3 暗オリーブ 褐色	なし 単粒状	14mm 疎	極砕易	なし	なし	糸根状(鉄) 不鮮明 20%以上	-	-	0.5-2mm 0-5%	0.5-2mm 0-5%	
A2	23-32	平坦 画然	SL	円 1-8cm 10-20%	含む	2.5Y 3/3 暗オリーブ 褐色	なし 単粒状	14mm 疎	極砕易	弱	弱	糸根状(鉄) 不鮮明 20%以上	-	-	0.5-2mm 0-5%	0.5-2mm 0-5%	
A3	32-43	平坦 画然	SL	円 1-15cm 20-30%	含む	2.5Y 3/3 暗オリーブ 褐色	なし 単粒状	11mm 疎	極砕易	弱	弱	糸根状(鉄) 鮮明 10-20%	-	+	0.5-2mm 0-5%	0.5-2mm 0-5%	
B	43-63	平坦 画然	S	円 2-18cm 40-50%	あり	2.5Y 3/2 黒褐色	なし 単粒状	10mm 極疎	極砕易	弱	なし	糸根状(鉄) 鮮明 10-20%	-	+	0.5-2mm 0-5%	0.5-2mm 0-5%	
C1	63-91	波状 明瞭 (礫による 凹凸)	S	円 2-20cm 50%以上	あり	2.5Y 4/2 暗灰黄色	なし 単粒状	12mm 疎	疎しよう	なし	なし	膜状(鉄) 非常に鮮明 20%以上	+	-	0.5-2mm 0-5%	0.5-2mm 0-5%	
C2	91-108	波状 明瞭 (礫による 凹凸)	S	円 2-20cm 50%以上	なし	2.5Y 3/3 暗オリーブ 褐色	なし 単粒状	nd	疎しよう	なし	なし	雲状(鉄) 非常に鮮明 20%以上	+	-	0.5-2mm 0-5%	なし	
C3	108-150	nd	S	円 2-20cm 50%以上	なし	2.5Y 4/4 オリーブ 褐色	なし 単粒状	nd	疎しよう	なし	なし	雲状(鉄) 非常に鮮明 20%以上	-	-	0.5-2mm 0-5%	なし	

表中の%は層位中に占める面積割合を示す。緻密度の数値(mm)は山中式硬度計で測定した値を示す。Mnはテトラメチル・ジアミン・ジフェニール・メタン溶液の反応結果を示し、Fe IIはα-α'ジピリジル溶液の反応結果を示す。MnとFe IIの反応結果は、-は呈色なし、±はしばらくたつと弱く呈色、+は即時呈色するがその程度は弱い、++は即時鮮明に呈色、+++は即時非常に鮮明に呈色、を示す。ndは測定できなかった項目を示す。

へ拡散し、そこに存在する移動性の低い二価鉄イオンを酸化沈殿することで生じるため、弱い還元状態の発達を示唆する(三土1974)。

マンガン酸化物の反応が比較的強く認められた層位を調査地点ごとに比較すると、地点1のB2層(26~45cm)、地点2のC1層(25~35cm)、地点3のAp~B1層(0~29cm)、地点4のAp~B1層(0~45cm)、地点5のB~C層(31~70cm)、地点6のC1~C2層(63~108cm)であった。地点2のC1層と地点5のB~C層には点状のマンガン斑も認められた。マンガン酸化物の反応が強い層位は用水路側と排水路側の地点1、2、5、6ではB層やC層に分布し、用排水路から離れた地点3、4ではA層やB層に分布した。地点1、2、5、6では水が下方へ浸透してマンガン酸化物がB層やC層に集積し、地点3、4では水の下方向への浸透が抑えられているか横方向への浸透が大きかった結果としてマンガン酸化物がA層やB層に集積したと考えられた。

4. 根の分布

本調査で土壤断面に認められた根はほとんどが直径0.5~2mmであり、水稻根と考えられた。根は地点1のAp~B2層(0~45cm)、地点2のAp~B層(0~25cm)、

地点3のAp~B1層(0~29cm)、地点4のAp~C1層(0~110cm)、地点5のAp~B層(0~48cm)、地点6のAp~C3層(0~150cm)に認められた。孔隙は直径0.1~3mmであり、水稻根の跡と考えられた。孔隙は根と同様の層位に分布し、地点1のAp~B2層(0~45cm)、地点2のAp~B層(0~25cm)、地点3のAp~B2層(0~48cm)、地点4のAp~B3層(0~102cm)、地点5のAp~B層(0~48cm)、地点6のAp~C1層(0~91cm)に認められた。全ての調査地点で根や孔隙がB層まで達していたことから、水稻根はB層にまで伸長して土壤養分を吸収していると考えられた。

5. おわりに

本調査は高坂農場の19番水田と20番水田の外周から用水路側2地点、排水路側2地点、用排水路から離れた2地点の合計6地点を選定して行った。土壤断面は、腐植や稲わらの集積が認められるA層、腐植や稲わらをほとんど含まず、A層と比較して斑紋・結核が多いB層、礫を多く含み、腐植、稲わら、根、孔隙が認められないC層に区分した。層位区分の結果から、調査圃場の土壤は現在の耕起、代かきによって分化したAp~Ad層、以前の深耕によって有機物が蓄積したA層、無機質土壤

が堆積したB層、赤川の激しい河川堆積作用によって礫が堆積したC層に分けられた。高坂農場において減水深の空間的な変動をもたらす要因と考えられる礫は全ての調査地点において認められたが、礫含量が多い層位の深度は地点により異なった。礫含量が多い層位には管状鉄斑紋や膜状鉄斑紋が認められる場合が多く、この層位が鉄の集積に関与していることが明らかとなった。マンガンの酸化物の反応が比較的強く認められた層位の深度から、用水路側と排水路側では水が下方へ浸透し、用排水路から離れた地点では水の下方への浸透が抑えられているか横方向への浸透が大きいことが推測された。水稲根の伸長を反映していると考えられる根と孔隙の分布は全ての調査地点でB層まで到達していた。また、糸根状鉄斑紋もほとんどの調査地点でB層まで認められた。これらのことから、A層のみならずB層の土壌も水稲の養分吸収に大きく影響を与えると考えられた。今後は高坂農場周辺の圃場整備や高坂農場の区画整備などの記録を確認し、水田土壌の成り立ちを明らかにするとともに、B層までの土壌の養分供給能力や養分保持能力を明らかにする必要がある。

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、高坂農場の水田の栽培管理や圃場整備に関する有益な情報をご教示くださいました山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センターの菊地洋一技術専門職員に深く感謝申し上げます。

引用文献

- 小山正忠・竹原秀雄(1967) 新版標準土色帳. 日本色彩研究所事業株式会社. 東京.
- 久馬一剛(1997) 最新土壌学. 1-26. 朝倉書店. 東京.
- 佐藤誠朗・志村博康(1966) 赤川史. 24-26. 赤川土地改良区連合. 山形.
- 佐藤誠朗・志村博康(1974) 青龍寺川史. 1-5. 青龍寺川土地改良区. 山形.
- 庄子貞雄・安藤豊・増井淳一(1973) 東北地方の水田土壌の粘土鉱物(第3報) 福島県会津高田町付近の水田土壌. 日本土壌肥科学会誌. 44: 197-203.
- 松井健(1987) V水田土壌学の考古学への応用. 163-186. 土壌学と考古学. 編者 久馬一剛・永塚鎮男. 博友社. 東京.
- 松本聰・和田秀徳・高井康雄(1970) 作土から溶脱した鉄の心土による吸着機構(その1) 水田土壌下層土の形態的諸特徴の発達過程について(第2報). 日本土壌肥科学会誌. 41: 101-106.
- 三土正則(1974) 低地水田土壌の生成的特徴とその土壌分類への意義. 農業技術研究所報告B土壌肥料. 25: 29-115.
- 日本ペドロロジー学会(1997) 土壌調査ハンドブック改訂版. 東京.
- 山形県企画調整部土地対策課(1979) 土地分類基本調査鶴岡.
- 山崎欣多(1960) 水田土壌の生成論的分類に関する研究. 富山県農業試験場研究報告. 特1号: 1-98.