

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：11101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K14818

研究課題名(和文) 水田転換樹園地の灌漑排水対策と若手農業者と連携した農業ICTの促進

研究課題名(英文) Improvement of irrigation and drainage of a vineyard converted from paddy by collaborating with a farmer, using agricultural ICT

研究代表者

加藤 幸 (KATO, Koh)

弘前大学・農学生命科学部・准教授

研究者番号：40302020

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,000,000円

研究成果の概要(和文)：リンゴ産地として知られる青森県はブドウの産地でもあり、特にスチューベン(Steuben)は国内の約7割を生産する。この地域の園地は水田転換園が多く排水不良を生じている場合が多い。本研究では弘前市の園地で土壌水分や地下水位のモニタリングを行い、排水不良要因の究明と有効な対策の構築を目指した。その結果 1) 7～8月の周辺水田の深水管理が園地の排水に大きな影響を及ぼす。2) 深水期間の地下水位は地表近くまで上昇し、土壌を過湿にする結果ブドウがストレスを受け生育障害を起こす。3) データをベースにした農家との連携により、効率的な対策立案および生産現場でICTを有効活用する方法の確立につながる。ことが分かった。

研究成果の概要(英文)：Not only is Aomori famous for apple production, but also for grape production in Japan, especially 70% of a type of grapes called Steuben is produced domestically. Many vineyards in this area have been converted from paddies and those tend to have bad drainage. In this study, we aimed to clarify the causes of the bad drainage by field monitoring and create useful countermeasures.

As a result, we found the following: 1) Deep water management of paddies between July and August around the vineyard used for our research made a significant impact on the drainage; 2) During this period, groundwater rose near the surface, which made soil water excessive at the upstream of the vineyard. Consequently, grapes were stressed by this condition, which tended to cause growth defect; 3) Collaborating with the farmer who used our data collected by utilizing ICT, we found a countermeasure which could easily be installed in the vineyard.

研究分野：地域環境情報学

キーワード：水田転換ブドウ園 農地排水 農業ICT 地下水位

1. 研究開始当初の背景

国内最大のリンゴ産地である青森県はブドウの産地でもある。なかでも、スチューベン は国内生産量の約 7 割を占め、ブドウ生産は青森県の農業で大きな役割を占めている。青森県のブドウ園は、水田からの転作園が多く、中には周辺で水稲の作付けをしながらブドウ生産を行っている例も見られる。このような転換園の多くは排水不良の問題を抱えたまま営農を継続している場合が多い。

一般に、水田転作園の排水不良対策は圃場整備事業の一環として行われることが多い。しかし、個人で水田から転換したブドウ園では営農しながら現場の実情に応じ対策を施す必要があり、農家が現場で実践可能な対策の立案および検討手順の整理が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、青森県に多く見られる水田転換ブドウ園の排水不良の問題について 10 年前に就農した若手農家と協働でフィールドモニタリングを実施し、データをもとに原因の究明および解決策の立案を行った。さらに一連の過程を通じ、各種センサの現場利用および問題点の洗い出しを進め、農業 ICT の実践利用法の構築を研究の目的とした。

水田からの転換果樹園での排水改良に関する研究例は数多く見られるが、大部分が水田から樹園地への転換時に行う圃場整備を前提としたものであり、個々の農家が独自に課題解決を行う場合に参照しにくい面がある。そこで、本研究では、①圃場整備などの大規模整備を前提とせず、現場状況をふまえて実践的に排水改良を進める。②実験室ベースではなく、各種センサ(土壌、水位、気象センサ)を現場で活用し、実際の圃場における ICT の実践的利活用の可能性を検討する。③各種調査およびデータ分析を農家と協働で実施し、研究ベースだけでなく実践的な課題解決に主眼をおく。ことに重点を置いた研究を進めた。

3. 研究の方法

(1) 調査対象園地の状況

Fig.1 に示す青森県弘前市岩木地区にある水田から転作したブドウ園を調査対象とした。園地は中央を通る通作道で 2 つに分かれており、通作道と平行し両側に用水路が設けられている。さらに、園地西側に幹線排水路がある。圃場整備はされておらず、暗渠は施工されていない。周辺水田では水稲が作付けされている。対象園地では、高品質のブドウを安定して生産する一方で、2014 年頃より 7 月末から 8 月にかけて、圃場 1 の上流側(図中網掛部)で排水不良の傾向が見られるようになった。そのため、上流側水田との境界部に深さ約 30cm の明渠を設けたほか、2016 年に園地中央部を流れる水路に U 字工を設置した。

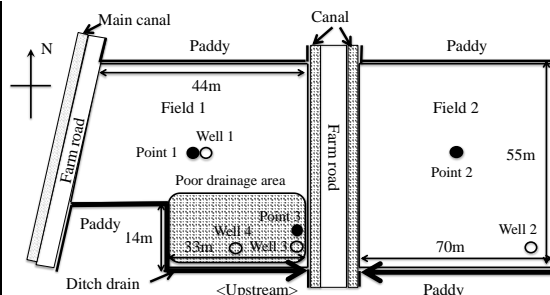


Fig.1 調査園地と測定の配置

The investigated vineyard and the arrangement of survey points.

Table 1 測点・観測位と設置深さ

Used sensors and installed depth.		
Point	Sensor	Installed depth (Ground surface is 0cm)
Point 1 (Well 1)	5TE	-10, -20, -30cm
	5TE	-10, -20, -30cm
Point 2	RT-1, ECRN-50	150cm
	5TE	-10, -30cm
Point 3 (Well 3)	5TE	-10, -30cm
Well 1-4	HYDROS-21	Well 1 : -110cm, 2 : -120cm
		Well 3 : -110cm, 4 : -100cm

(2) センサの設置

圃場 1,2 の中央(測点 1,2) および排水不良箇所(測点 3)に土壌センサ(METER 5TE)を設置した。さらに、上流側水田との境界および排水不良の兆候が見られる箇所、圃場 1 の中央に観測井を設け水位センサ(METER HYDROS-21)を設置した。観測井は比較のため圃場 2 の上流側隅にも設置した。加えて、気象センサ(RT-1, ECRN-50)を設置し気温および降水量を記録した。データは 1 時間間隔でロガー(METER Em50)に保存し定期的に回収した。各測点と設置したセンサ、設置深さについて **Table 1** に示した。

4. 研究成果

対象園地における排水不良の要因分析と対策の立案にあたり、気象条件(気温・降水量)、地形条件(縦横断面図)、土壌の基礎的理化学性、土壌水分量、マトリックポテンシャル、地下水位のモニタリング調査を行った。以下に各項目について得られた結果を整理する。

1) 気象条件

Fig.2 に調査期間 3 年間の農繁期(4~10 月)の気温変化を示した。調査期間の 2015~2017 年における農繁期の平均気温は 16.1, 16.3, 15.7°C とほぼ変化がなく、気温の変動もほぼ同じような傾向にあった。次に、**Fig.3** に示した時間雨量についてみると、2015 年の 7/25 に 25mm の強い降水があったものの園地で排水不良が生じた 7 月末から 8 月の期間に極端に強い降水は見られなかった。以上より、気象

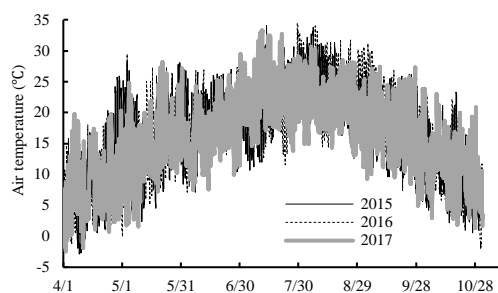


Fig.2 農繁期における気温変化
Changes of air temperature

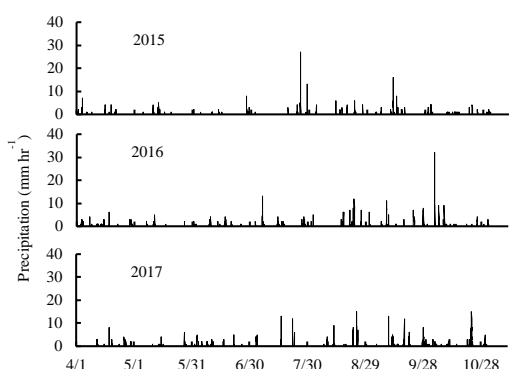


Fig.3 農繁期における降水量
Changes of precipitation

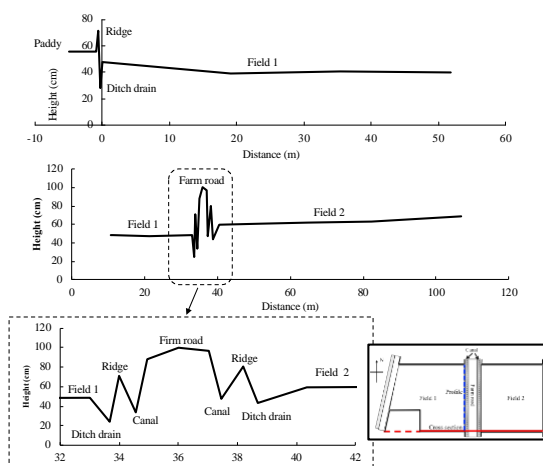


Fig.4 調査園地の縦断面図(上)・横断面図(下)
The profile and the cross section of vineyard

条件から園地の排水不良に直接関連する要因を見いだすことはできなかった。

2) 地形(測量)

調査園地と接する上流側水田の境界および中央部を流れる用排水路に沿う断面について縦横断測量を行った(Fig.4)。

園地は圃場1, 2を合わせ約60aの面積を有している。両圃場とも上流側水田と15cm程の高低差があるが、園地内の縦断勾配は1%程度でほぼ水平とみなせる。横断方向は圃場1が圃場2より10~20cm低く、両圃場とも水路方向に若干の勾配が見られる。また、圃場1は水深が大きくなると圃場面が水路水面より低くなる状態にある。この水路は2015年まで土水路であったため漏水の影響が見られたが、

Table 2 土壌の理化学性
Physical and chemical properties of soil

	Depth (cm)	Soil Classification	Bulk Density ρ_b (g cm ⁻³)	Particle Density ρ_s (g cm ⁻³)	Hydraulic Conductivity (cm s ⁻¹)	Water content (g g ⁻¹)	pH _{1:2.5}	EC _{1:5} (μmS cm ⁻¹)
Point 1	0-20	CL	1.04	2.5	6.71×10^{-3}	0.49	5.7	1.27
Field 10	20-40		1.14	2.48	2.11×10^{-4}	0.58	5.8	3.55
Point 2	0-20	CL	1.19	2.54	2.81×10^{-4}	0.42	6.2	1.61
Field 20	20-40		1.35	2.58	1.82×10^{-6}	0.72	6.3	1.62
Point 3	0-20	CL	1.34	2.67	7.98×10^{-6}	0.49	6.2	1.43
Field 10	20-40		1.44	2.65	7.28×10^{-7}	0.54	6.7	1.43

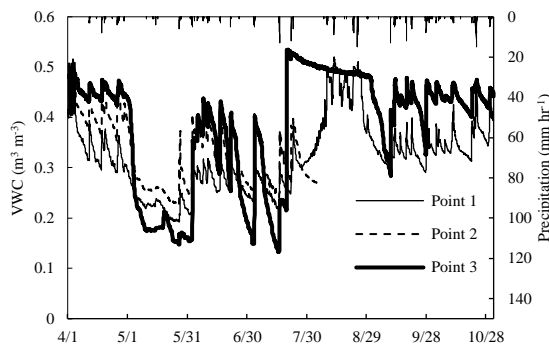


Fig.5 農繁期の土壌水分量の変化(2017年)
Changes of volumetric water content (2017)

2016年にU字工を設置したことで漏水の問題は改善された。しかし、圃場面と水路の高低差から排水口の確保が困難で、現状も暗渠排水の設置は困難な状況にある。

3) 土壌の物理性

測点1から3に各種センサを設置する際に土壌をサンプリングし、園地土壌の基礎的な理化学性を調査した(Table 2)。サンプリングはブドウの根の伸長が30cm程度の深さであることから40cm深までを対象に表土(0-20cm)、心土(20-40cm)として行った。

各測点とも樹園地転換前の耕盤が残っていると考えられ心土の透水性は低い。加えて、排水不良箇所付近である測点3では、表土の透水係数が心土と同じ程度に小さくなっている。これは園地の造成時に合筆した際、表土を削り心土が露出したためと考えられる。しかし、これ以外の箇所の飽和透水係数は $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ cm sec}^{-1}$ のオーダーにあるほか、調査開始から3年目の2017年には土壌の乾燥が進んでいる状況が観察される。そのため、土壌の物理的性質が園地の排水不良に直接的に関連しているとは言い難い状況にある。

4) 土壌水分

(1) 土壌水分量(体積含水率)

ブドウの根の伸長状況を勘案し土壌センサを10~30cm深に設置した。30cm深の土壌水分量は年間を通じ変動が小さく、測点ごとの違いは見いだすことができなかった。そこで、ここでは10cm深の土壌水分量について着目する。2017年の農繁期(4月~10月)における測点1~3の土壌水分量の変化をFig.5に示した。なお、測点2のセンサが8月初めに破損したため、それ以降は欠測した。

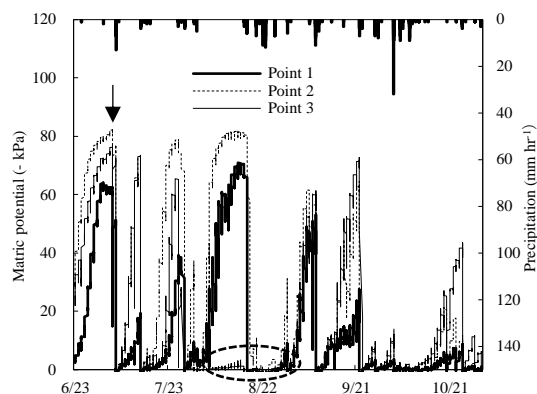


Fig.6 マトリックポテンシャルの変化 (2016年)
Changes of matric potential (2016)

各測点の土壌水分量は、融雪にともない4月に一時的な上昇する。しかし、水分量は5月に入ると急速に低下し、土壌の乾燥が進んでいる様子が確認できる。調査地域では5月中下旬頃より代かき・田植え期に入る。そのため5月末から6月にかけて水分量が大きく上昇している。その後の中干し期に水分量は再度低下するが7月後半から8月末にかけて大きく上昇している。特に排水不良の兆候がみられる圃場1上流側に位置する測点3では、この時期の水分量がほぼ飽和に近い状態で継続する。これは周辺水田が深水管理を行うため、圃場1中央部に位置する測点1でも8月に入ると水分量の多い状態が継続する。しかし、深水管理が終了する8月末には、両測点の水分量は、数日間で約20%低下する。

圃地の土壌水分量が降水に比べ周辺水田の水管理の影響を強く受けていることが分かる。

(2) マトリックポテンシャル

土壌センサを活用することにより現場で体積含水率 (VWC) の継続的な計測が可能となる。一方で VWC は全体積中の水分の占める体積割合を示すものであるため、同じ値であっても間隙の大小により農作物の生育への影響が異なり、生育環境との関連付けが難しい。そのため VWC に加え、土壌のマトリックポテンシャル (水分張力) を計測し、実際の農作物のストレスを把握する必要も大きいといえる。Fig.6 は測点1~3に設置したテンシオメータ (ダイキ DIK 3022-12) から得られた各測点のマトリックポテンシャル (2016/6/23~10/31) である。なお、図中では負圧を絶対値表示した。

まず、7/5の状況 (図中矢印) に着目すると測点1~3のマトリックポテンシャルは-65~-80kPa とかなり乾燥した状態にある。しかし、この日の 20mm hr^{-1} を超える降雨によりポテンシャルが大きく低下しており、降雨とマトリックポテンシャルが密接に関連していることが分かる。一方で、測点1,2では7月後半~8月の深水管理の期間、同様に降雨の影響によりポテンシャルが変動している様子が見られるが、排水不良の兆候が見られる測点3では降雨とは関係せず継続してポテンシャルが0に近い値で (図中丸枠) 過湿条件が継続

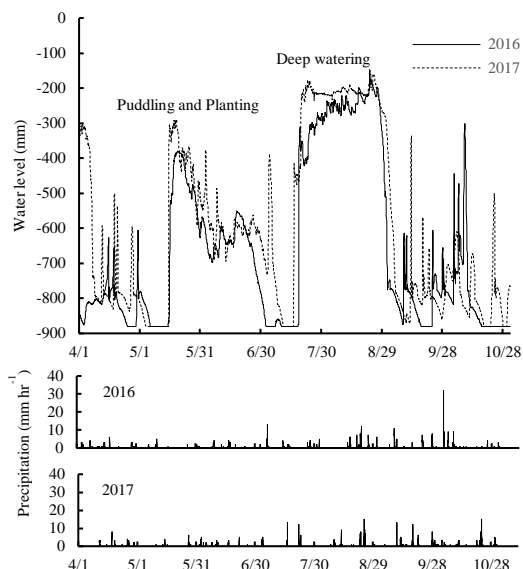


Fig.7 井戸3の地下水位変と降水量 (2016, 2017年)
Changes of ground water level in Well 3 and precipitation (2016 and 2017)

し、ブドウの生育に大きなストレスがかかっている状況を確認できる。この期間は周辺水田が深水管理を行う期間に該当し、この期間の周辺水田の水管理がブドウの生育環境と強く結びついている実態を見ることができる。

4) 地下水位

観測井から得られた調査圃地の地下水位変化の特徴について以下に示す。

(1) 地下水変動の周期

Fig.7に2016, 2017年にける井戸3の地下水位変動を示す。この観測位は圃場1の隅部にあり排水不良を生じている箇所にあたる。ここでは農繁期にあたる4~10月の地下水位変動について示した。

両年の水位変動は基本的に近似しており、5月中旬~6月末と7月後半~8月末にかけて大きく上昇している。これは、前者が代かき・田植え期、後者が深水管理期に該当し、周辺水田の水管理の影響が大きいことが分かる。また、2017年は4月初めにも水位の上昇が見られる。これは、この年の融雪が4月にずれ込んだことに伴う融雪水の影響と考えられる。

地下水位は基本的に降水に伴い変動している傾向が見られるが、特徴的なのが深水管理期の水位変動である。7月後半の周辺水田の深水管理の開始に伴い、調査圃地では約5日間で60~70cm地下水位が上昇し、約1月半の間この状態が継続する。深水管理終了時には、逆に約5日で水位が60~70cm急降下し、もとの状態に回復している。この時期の地下水位変動は、同様に湛水する代かき・田植え期の傾向と大きく異なっており、中干し期に生じる亀裂の影響などが考えられる。

このような傾向は、2016年、2017年の両年で高い再現性が見られ、調査圃地での排水対策には、深水管理期の対応が重要なポイントとなることが確認できる。

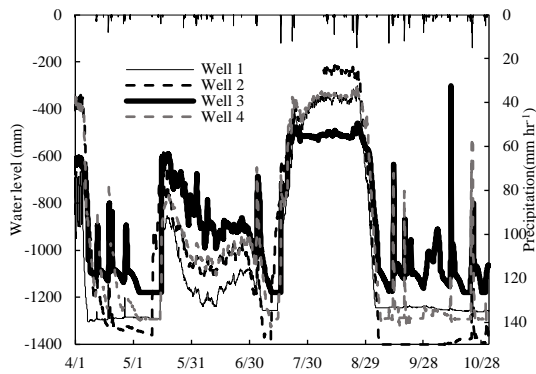


Fig.8 園地内の4つの井戸の水位変化 (2017年)
Changes of ground water level in 4 wells (2017)

(2) 園地内全体での地下水変動

排水不良箇所の地下水水位変動から排水不良と地下水水位の関係、および発生時期の再現性について確認することができた。次に、このような現象が園地内の局地的な現象かを確認するため、圃場 1,2 内の 4 つの観測位を活用し、園地内の面的な水位変動について検証した。Fig.8 は 2017 年の 4 つの井戸の地下水変動を示したものである。なお、図では 4 つの観測位の標高差を勘案し、もっとも標高の高い井戸 2 の地表面を基準高さとして示した。

Fig.8 より 4 つの井戸の水位は、5 月中旬からの代かき・田植え期および 7 月中旬からの深水管理期に大きく上昇する傾向が一致していることが分かる。このことより、調査園地の地下水水位は園地内で連動した変動を示しており、排水不良を生じた井戸 3,4 周辺に限られた水位変動ではないことが分かる。さらに、7 月後半～8 月の深水管理期の水位変化傾向もほぼ一致していることから排水不良の発生と地下水水位変動の関連性は明らかといえる。

一方で、深水管理期を除いた各井戸の水位は平均すると地表から 80cm 程の深さにあり、むしろ地下水水位は低い。したがって、調査園地での排水対策は必ずしも常時ではなく、地下水水位が大きく上昇する深水管理期 (7 月後半～8 月) にどのように対処するか検討する方が現実的といえる。

5) 排水不良の要因

以上より、調査園地における排水不良の状況とその要因について次のようなことがいえる。①この園地の排水不良は 7 月後半から 8 月に行われる深水管理期に生じ、深水が終了する 9 月以降自然回復する。②年ごとの天候や園地の地形、土壌条件について排水不良の直接的な要因とはいえない。③土壌水分量 (VWC) は、降水や周辺水田の水管理の影響はあるものの極端な過湿傾向にあるとはいえない。しかし、深水管理期間の VWC は各測点ともほかの時期に比較し相対的に高い傾向にある。④各測点のマトリックポテンシャルは降水の影響に伴い変動し、この園地ではむしろ排水の良い傾向が見られる。しかし、深

水管理期の測点 3 では、ポテンシャルは 0 に近い値となりブドウに強いストレスがかかる状況が生じている。⑤園地内の地下水水位は連動した変化が見られるほか、年単位の周期性を確認できる。各井戸とも平均的な水位は地表から 80cm 程で、地下水水位は低い状態にある。⑥地下水水位は、降雨による変動のほか、周辺水田の水管理の影響を受け、代かき・田植え期、深水管理期に大きく上昇する。中でも、深水管理期には深水の開始時に 5 日間で地下水水位が 60～70cm 上昇し期間中地表近くまで地下水水面が達する状況が継続する。

以上から、調査園地の排水不良の問題は、周辺水田が深水管理を行う時期に浸入水の影響により地下水水位が急速に上昇する結果、園地上流部で生じるといえる。また、この状態が約 1 月半継続することで土壌水分量が過剰となり、ブドウに大きなストレスがかかり生育障害に繋がっていると考えられる。

6) 排水対策と現場での実践上の課題

抜本的な排水対策を考えるならば、もっとも効果的なのが暗渠排水の施工である。しかし、最初にも述べたように調査園地は標高が低いため排水口の確保が難しく、実施は困難な状況にある。一方、調査園地の排水不良は、深水管理期に限られたもので、これ以外の時期に影響はほとんど見られない。そのため、排水対策は限られた期間 (深水管理期) のみ対処できれば良い。さらにこの時、個々の農家で対応できる対策を考えるならば、必要最低限の施工から問題を除去する方が望ましい。そこで、本研究では以下の案についてモニタリングデータをもとに農家と協働で検討した。

(1) サブソイラの施工

調査園地の排水不良は Fig.1 に示した園地 1 の上流側の一部に限られている。したがって、深水期間に生じたこの部分の停滞水を比較的排水の良い箇所に導くことで影響の低減が期待できる。しかし、この案について農家から①サブソイラでブドウの根を切断することで生じる成育への影響。②ブドウ園で使える車高が低く牽引力の高いトラクタの保有農家が少ない。という、現場目線の現実的な問題提起がなされた。本研究のような現場実証型の研究では、このような現場の声は、単なるデータ分析だけでは把握できない課題を解決するうえで、きわめて重要な指摘といえる。

(2) 明渠の排水口の設置

(1)案について指摘をふまえ、次善の方法として 2017 年春に上流側に設けている明渠について、Fig.9 に示すように園地西側の通作道下部に塩ビ管を通し幹線排水路に向かう排水口を設置した。その結果、園地の西側半分では深水管理期も含め、年間を通じ排水不良の兆候は全く見られなかった。

注目されるのが、明渠の屈折点 (図中丸印) を境とした土壌の乾湿差の差で、屈折点を境にした東西数十センチの距離で土壌の乾湿が明らかに異なっていた。排水口を設けた西側

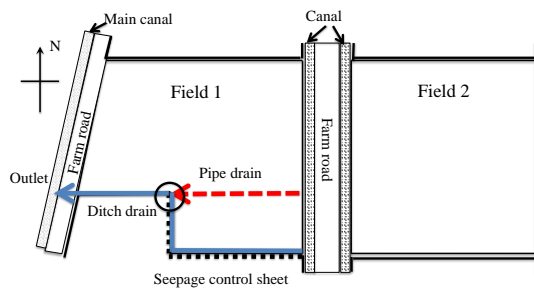


Fig.9 計画した排水システム
Planned drainage system

の直線明渠では、排水口に向かい効果的な流れが生じ大きな排水効果が得られたのに対し、東側の屈折した明渠は流れが停滞するため十分に機能していないといえる。

以上をふまえ、**Fig.9**のような対策の実施を予定している。①浸入水の遮断：上流側水田の畔塗の徹底および明渠への遮水シートの設置により、上流側水田からの浸入水を低減する。作業は小型重機で十分可能であり場合によっては手作業でも実施できる。調査園地には大型重機の搬入は不可能であるため、小型の機械や手作業で対応できる対策立案は必須といえる。②明渠に結ぶ暗渠の設置：現在有効に機能している西側の明渠に排水する形で暗渠を設置することで①の対応で処理しきれなかった浸入水の排水が期待できる。この方法により排水口が確保できるほか、掘削に伴う根の損傷も最低限にできる。さらに掘削範囲がわずかで①と同様に小型重機や手作業で対応できる利点がある。

7) おわりに

本研究では、水田転作ブドウ園の排水不良の問題について土壌水分量や地下水位などモニタリング調査から原因の究明と対策の立案を行った。得られたデータから、周辺水田の深水管理期に地下水位が地表近くまで上昇し土壌の過湿条件が継続することで生育不良に繋がる問題を引き起こしていることが分かった。さらにデータを農家と共有しながら検討を進めることで、現場の実態をふまえた排水対策の立案が可能になることが分かった。

これら一連の調査研究の過程を通じ、センサなどのICT機器の現場利用および、生産現場での課題解決の中で農業ICTを利活用するノウハウについて整理することができた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① A. Endo, K. Kato and B. C. Sarker: Leaching characteristics of nitrate nitrogen in an apple orchard Andosol under significant snow accumulation, *Geoderma*, 査読有, 319, 2018, pp.24-33
- ② 遠藤 明・伊藤大雄・加藤 幸・加藤千尋・佐々木長市: 積雪および融雪を勘案した灰色低地土リンゴ園における無機態窒素

の浸透流出特性, 農業農村工学会論文集, 査読有, 305, 2017, I_221-I231

- ③ 加藤幸, 遠藤明, 千葉克己, 溝口勝: リンゴ園地における施肥後の土壌環境の「見える化」とその評価, 農業農村工学会論文集, 査読有, 303, 2016, II_95-II_102

[学会発表] (計 11 件)

- ① 加藤幸, 千葉克己: 水田転作ブドウ園における地下水位の年変化と排水対策, 平成 29 年度農業農村工学会東北支部大会, 2017
- ② 千葉克己, 郷古雅春, 富樫千之, 加藤幸, 宮内敏郎: 復旧後の津波被災農地における地下水の塩水化の動態, 平成 29 年度農業農村工学会東北支部大会, 2017
- ③ 加藤幸, 藤倉早希, 松岡名月, 千葉克己: フィールドモニタリングによるセリ栽培のメソッド化, 平成 29 年度農業農村工学会大会, 2017
- ④ 千葉克己, 加藤幸, 郷古雅春, 富樫千之, 宮内敏郎: 復旧後の津波被災農地における淡水レンズの動態, 平成 29 年度農業農村工学会大会, 2017
- ⑤ 遠藤 明, 伊藤 大雄, 加藤 千尋, 佐々木長市, 加藤 幸: 無施肥条件の灰色低地土リンゴ園における土壌水分・間隙水 EC および地温の特徴, 平成 29 年度農業農村工学会大会, 2017
- ⑥ 加藤幸, 千葉克己: 水田転作ブドウ園における地下水位と土壌水分量の関連性, 2016 年度土壌物理学会大会, 2016
- ⑦ 加藤幸, 千葉克己: 水田転作ブドウ園における排水不良要因の分析とその対策, 平成 28 年度農業農村工学会大会, 2016
- ⑧ 加藤幸, 千葉克己: フィールドモニタリングによるセリ田管理に関する研究, 農業情報学会 2016 年度年次大会, 2016
- ⑨ 加藤幸, 千葉克己: 東北地方におけるセリ栽培の実態と地域活性化の可能性, 農村計画学会 2016 年度春季大会, 2016
- ⑩ 加藤幸, 千葉克己: 東北地方におけるセリ田管理とセリ栽培に関する研究, 平成 27 年度農業農村工学会東北支部大会, 2015
- ⑪ 加藤幸: 降雪形態がリンゴ園地の地温分布に及ぼす影響, 平成 27 年度農業農村工学会大会, 2015

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況(計 0 件) ○取得状況(計 0 件)

[その他] なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加藤 幸 (KATO Koh)

弘前大学農学生命科学部・准教授

研究者番号: 40302020