

目まぐるしく変化を続けた日本の稲作とIoT技術による農作業の低減

伊藤 智博 (山形大学 大学院理工学研究科, tomohiro@yz.yamagata-u.ac.jp)

熊倉 亮介 (山形大学 工学部, tmf86536@st.yamagata-u.ac.jp)

佐藤 大生 (山形大学 工学部, tax39976@st.yamagata-u.ac.jp)

立花 和宏 (山形大学 大学院理工学研究科, h9rbvq3x@yz.yamagata-u.ac.jp)

仁科 辰夫 (山形大学 大学院理工学研究科, nishina@yz.yamagata-u.ac.jp)

Rapidly changes of Japanese rice cultivation and reduction of agricultural work by using IoT technology

Tomohiro Ito (Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University, Japan)

Ryousuke Kumakura (Faculty of Engineering, Yamagata University, Japan)

Taisei Sato (Faculty of Engineering, Yamagata University, Japan)

Kazuhiro Tachibana (Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University, Japan)

Tatsuo Nishina (Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University, Japan)

要約

日本における稲作は縄文時代にはじまり、墾田永年私財法を経て現代に受け継がれている。一方、1800年代から始まった富国強兵によって、第二次産業が発達するに従って、第一次産業や農業は衰退してきている。戦後の食糧難から脱却するための開墾、米が余ると減反政策を導入、自主流通米による米価の調整、米の自由化などと農業現場は目まぐるしい変化にさらされている。特に、農業収入は、高卒の初任給に換算すると、1975年に比べて2015年では約3分の1まで減少している。日本の農業政策も2018年の減反政策および転作補助金も終了をもって、一つの終着点を迎える。しかしながら、農業が衰退することは、水資源の減少や将来の食糧自給率の低下を意味し、国力低下を否めない。この問題に解決するために、IoT技術を活用した室内水耕栽培装置やリモート監視穀物乾燥機の開発を試みた。LED光源下の室内水耕栽培では、苗および出穂まで稲が成長した。リモート監視穀物乾燥機においては、キノマクリエイトと温度センサーを使用して排気温度を測ることで、インターネットを経由して乾燥機の緊急停止を監視し、農作業の低減ができた。

キーワード

インターネット, 食糧危機, Internet of Things, 太陽定数, イネ

1. はじめに

少子高齢化が進み、若者への農業の世代交代が難しくなっている。著者の一人である伊藤は、農家に生まれ幼少期を田圃で過ごした。就職を考える1990年代後半に、農業を継げば子供の教育費用を養うことができず、家業を捨てた人物の一人であった。しかし、両親は年老いて、農業を引退する時期が近づくに従い先祖代々の農地への思いと、日本の国債残高が増え、若者への将来の負担が増えることを悟り、農業と国力としての第一次産業の在り方を再度考えさせられた。

第一次産業は工業原料の源である。第一次産業の要である植物は、太陽定数 1.37 kW/m^2 の太陽エネルギーを最初に獲得できる(浜島書店, 2014)。植物は水と炭酸ガス、太陽光から作られ、パルプや化石燃料などの工業原料になる。第一次産業の衰退は日本の経済を支えている工業の原料を失うことでもある。

稲作農家の減少の一因は、稲作の重労働である。稲の収穫には約半年を有し、苗作り、田植え、稲の見守り(害虫駆除や肥料制御)、収穫、乾燥、保管・出荷の過程を経る。特に、苗作りは収穫に大きく左右する重要な過程であり、その内容は重労働で極まりない。具体的には、種籾の準備、土の乾燥・粉碎、粉碎した土のスクリーンメッシュによるサイズ調整をした後に肥料を混ぜて床土を作る。苗箱に床土、種籾、水、

覆土を順番に加え、種まきを完了する。水を含んだ苗箱は、5 kg程度になり、人力でハウスに運ぶ。苗に水をやり、4週間ほどハウスの温度を管理し、20 cm程度まで伸びたら田植えをする。

生活に便利な住宅街への移民も稲作縮小の一因である。2015年頃から、高齢化に伴い農業従事者が農村部から住宅街に移り住み、農業を継続している例もある。農作業において乾燥機の異常停止は、刈取り作業のタクトタイムの低下を意味する。乾燥機のある農村部までは10 km程度離れており、深夜に乾燥機を見回すことは非現実的である。もし、自宅のパソコン(PC)から監視できれば、異常時に農作業の開始時刻を1時間早め、遅延を少なくできる。

本主張は、筆頭著者である伊藤が幼いころを回想しながら、学生と農業や稲作の将来像について議論した結果をまとめたものである。また、室内水耕栽培やインターネット技術を活用したリモート監視穀物乾燥機によって、重労働である農作業の低減を試みた。

2. 稲作の歴史およびインターネットやセンサーの登場

表1に稲作の歴史を示す。縄文時代に陸稲が伝播し、稲作が開始された(佐藤, 1992)。日本の集落水田は、一世紀頃から始まった(文化庁, 1952)。その後、租庸調による通貨としての米、稲作の継承を促すために三世一身法や墾田永年私財法が整備され、先祖代々の稲作文化が生まれる(丸山, 1960)。江戸時代まで封建制度である士農工商による時代が続き、明治維新によって、工業・商業の時代である富国強兵、第二次

世界大戦へと時は進んだ。

終戦後の日本の農業は食糧不足を補うために勤しんでいた。農業機械が乏しいときは馬や牛を使って耕作や開墾をしていた。著者の一人である伊藤の祖父は、陸軍工兵として馬の世話をしながら満州に渡り、生還した。祖父は、牛の調子が悪いと、牛に葉草を煎じて食べさせていた。振り返れば、戦後の食糧不足を脱却するために戦地で培った技術の転用を図ったのかもしれない。

1960年代からは、高度成長期になり工業が著しく発達し第二次産業への労働者の流出が進んだ。工業の発達は、農業への機械の導入も進み、少ない労働力で農業を可能にした（佐藤, 1984）。一方で、農業者人口と専業農家数は減少した（総務省統計局, 2010）。1976年からの日本の貿易収支は、黒字に転換し、第二次産業の時代が到来した（財務省, 2015）。

1970年頃からは、減反政策による数量調整と米価の下落が深刻化した。この頃の農業従事者が生まれた1950年頃は、大規模農家ほど収益が多く、家業である農業を継ぐことが当たり前であったであろう。1985年頃になると彼らは、米価の下落によって、農業機械を導入して効率化せざるを得なかった。

1995年頃からは、稲作産業の民営化が進んだ。1993年の米騒動も要因し、米の自由化が始まった。2004年には、水田

の減少によって地下水涵養が減少し、湧き水量の低下も問題視された（桐山他, 2004）。2010年は、米の生産量が約800万トンにまで減少した（浜松書店, 2014）。

2011年には、原油価格の上昇に伴い、日本の貿易収支は赤字に転落した（財務省, 2015）。そして、農業資材も高騰した。東日本大震災で生活物資の大切さに気が付かせられるが、農家の収益は減る一方であった。2014年の時点で農業従事者数は約370万人であり、その半数以上が60歳以上となっている。この頃になると、カロリーベース食料自給率は1960年の77%に比べて2014年では39%、穀物自給率に至っては1960年の82%に比べると2014年は39%となった（総務省統計局, 2014）。また、減反政策は、2013年の国会の決議により2018年に終了し、転作補助金も終了する。

IT技術は農業分野でも活躍している。1979年にマイコンによる農業用温室の自動制御について研究がなされている（高倉他, 1979）。1990年頃までに、センサーによるマイコン制御の温室や農機具が販売された。数時間毎の天気を予測するために、気象衛星の画像を直接受信するシステムの農業への応用も研究された（田野, 1996）。

インターネットの登場は気象情報を安価に入手可能にした。1992年に初の商用インターネット（IIJ）が誕生し、一般家

表1：稲作の歴史

西暦	事項	内容	参考文献
縄文時代	稲作の開始	縄文時代晩期に伝播	佐藤(1992)
1世紀頃	登呂遺跡	最古の集落単位	文化庁(1952)
645年	租庸調	通貨としての米	
722年	三世一身法	田畑の開墾による土地の3代保有権の政策	丸山(1960)
743年	墾田永年私財法	開墾した土地の永久保有の権利、荘園制の発生	丸山(1960)
江戸時代	土農工商	封建制度下	
1868年	富国強兵	西洋文化摂取と工業の発展、軍備の増強、そして第二次世界大戦	
1939年	第二次世界大戦		
1943年	登呂遺跡の発見		文化庁(1952)
1945年	終戦		
1949年	土地改良法	農村・農地開発による所得向上・雇用の確保	齋藤(2015)
1950年		専業農家数 300万戸、生産量 940万トン	総務省統計局(2010)
1960年	高度成長期	農業の集約化	
1961年	農業基本法	規模拡大、機械化、米以外の農作物への転作可	浜松書店編著(2014)
1969年	自主流通米	流通の一次自由化、生産量 1370万トン	小池他(1994)
1970年代	減反政策開始	米の生産過剰から政府による作付面積の減少と転作補助金の導入、専業農家数 80万戸	浜松書店編著(2014) 総務省統計局(2010)
1973年	オイルショック	食糧問題またはエネルギー資源問題	荒谷(2008)
1975年頃	農業のIT化	マイコンによる農業の自動化	高倉他(1979)
1992年	商用インターネット(IIJ)誕生		伊藤(2015)
1995年	米流通の自由化	新食糧制度により計画外流通米として生産者の直売が可能	浜松書店編著(2014)
1999年	食糧・農業・農村基本法の施行	農業が持つ多面的機能の発揮と農業の持続的な発展を目指す	浜松書店編著(2014)
2010年		専業農家数 45万戸、米の生産量 800万トン	総務省統計局(2010)
2012年	IoT補助デバイス(Raspberry Pi)の誕生		
2013年	農地法改正新法施行	太陽光発電設備への転用許可	農水省(2013)
2013年	2018年減反政策終了決議		

庭でもインターネットが利用できるようになった。1998年にはADSLやCATVが登場し、インターネットは常時接続になった。気象衛星「ひまわり」システムは数百万円もした。インターネットを使えば月々数千円の費用で気象情報を入手できるようになった。

インターネットは、センサーネットワークも安くした。2003年頃に無線LANによる農業の監視がなされているが、専用システムであり百万円程度の導入コストが必要であった。2005年には、電圧信号をAD変換できるアルドゥイーノ(Arduino、数千円)が登場した。2012年には、アルドゥイーノと通信をして、情報をインターネットに送信できるIoT補助デバイス「Raspberry Pi」(数千円)が登場した。2015年には、AD変換器とIoT補助デバイスの両方の機能を搭載したキノマクリエイト(Kinoma Create、2.2万円)が登場し、安価なセンサーネットワークの導入が可能になった。

3. 農業収入の変化と若者の農業への見解

重労働に関わらず、稲作は採算が取れない。図1には、年代別の高卒の初任給Sと生産者介入価格Pの比(S/P)を示す。この比は高卒の初任給Sの収入を得るために必要な米の売却俵数(1俵=60kg)を示している。1975年頃は、100俵の米(耕作面積1ha)を収穫できれば、高卒の初任給の20か月分を得られた。しかし、2010年頃には、高卒の初任給の8か月分にも満たない。農家は百万~壱千万円の農機具を購入している。2014年には、農家の所得は1ha当たり7万円まで減り、明らかに採算が取れない。

表2に稲作の将来像についての見解を示す。研究室内の数名にインタビューにした結果である。青森県出身の学生からは消滅案があった。やませで稲作には不向きなので、縮小したいという意見であった。秋田・青森・岩手県は、戦前から冷害に悩まされ、戦後に品種改良を進め日本の食糧難を回避してきた。人口が減る以上、別の第一次産業に力を注ぎ、米の生産は米処に任せざるべきとこのことであった。

米処の宮城・新潟出身の学生からは、ほそぼそ案があった。

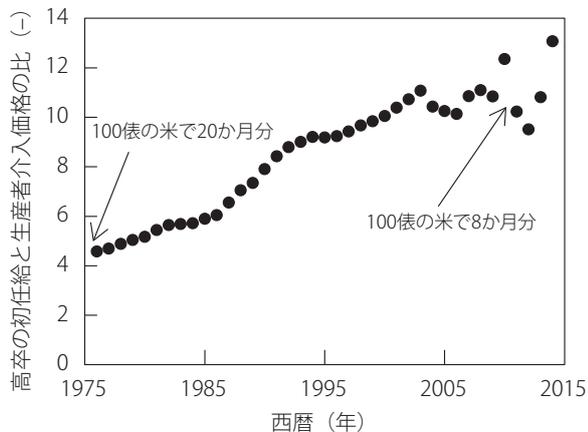


図1：年代別の高卒の初任給Sと生産者介入価格Pの比(S/P)
注：高卒の初任給Sは賃金構造基本統計調査を参照した(総務省統計局、2016)。生産者介入価格Pは、食糧統計年報から生産者介入価格(1951~2008年)と農林水産省の相対取引価格(2009~2014年)を参照した(総務省統計局(2008)、農林水産省(2016))。

表2：稲作の将来像についての見解

名称	将来の稲作への見解や方向性
消滅案	厳しい山瀬がある環境なので稲作は撤退 稲作以外の一次産業を優先
ほそぼそ案	稲作の継続は賛成 今後拡大をして行うことはしないだろう 兼業農家としては、自給自足を進める 続けていくために規模を縮小する
革命案	観光地化して別の収益を増やす カロリーベース自給率が40%は低すぎるので、観光と組み合わせて田圃を維持する
チャレンジ案	稲作は規模を拡大(少なくなっているならなおさら)
縮小案	稲作は継続してほしいが国内の需要に合わせて生産するのが良い 稲作と他の農作物を現状維持
保守案	稲作の継続は賛成。理由としては、土地の保全・水源確保・主食が無くなるのは嫌

稲作は継続したいが、休日一日でできる範囲に規模を縮小し、縁故米程度にしたいとの意見であった。就職面接で、実家の農業の兼業については、批判的な意見をいただいた学生もいる。全ての企業ではないが、主食である米への関心は、社会全体で薄れているようにも感じられ、自分の食の扶持は自分で用意するとの意見であった。

これら以外にも縮小案やチャレンジ案、革命案、保守案があった。人口は減る一方なので縮小する縮小案、大規模化を図り低コスト化を試みるチャレンジ案、収益を増やすために観光地化する革命案があった。栃木・茨城・群馬の学生からは、米だけではなく野菜農家も多く、主食の米は現状維持との保守案もあった。ある学生からは、単純に維持するといっても、収益は減るので縮小せざるを得ない。しかし、日本全体の地下水の減少や砂漠化は困る。税金を増やして、1~2万円程度の補助金を支払い、耕作が再開できるように田圃を維持して欲しい。

4. 室内水耕栽培

4.1 自動水やり稲栽培装置の概略

図2に室内水耕栽培キットの概略図を示す。図2(a)は水の入ったタンクであり、常時5L程度の水(図2(b))が補充されている。このタンクにはホース(図2(c))が接続されており、電磁弁(図2(d))を介して、水耕栽培キット(株式会社ユーイング・グリーンファームCUBE UH-CB01G、図2(f))に注がれる。水量は、水耕栽培キットに取り付けられた水量スイッチ(図2(g))によって、水の量が減ると電磁弁(図2(d))が開き、自動的に調整される。図2(h)に示すように水量スイッチの構造は、フロート部分に銅板を取り付けたメカニカルスイッチ(実物写真図2(i))であり、常に5Vの直流電圧が印加されている。水量が減り電流が流れると電磁弁制御回路(図2(e))のリレーによって、交流100Vの電流が電磁弁に印加され、弁が開けられる。

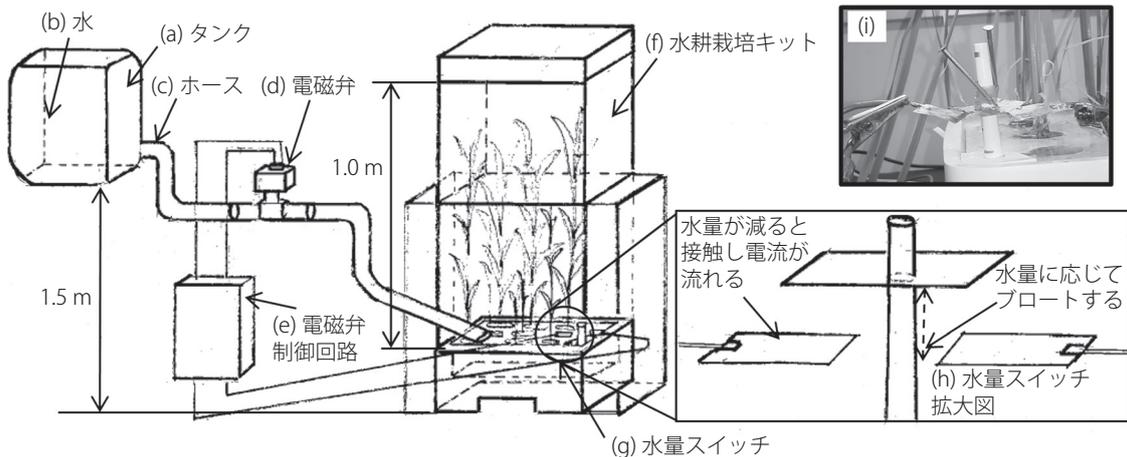


図2：室内水耕栽培の概略図

4.2 2016年の室内栽培の実施記録

図3に稲の室内水耕栽培記録を示す。2016年4月25日に、コユキモチの種を水耕栽培キットに蒔いた。培地には、湛液型水耕(DFT)を使用し、種床はスポンジとシリカ入り吸水ゴムによって支えられた。種まきから一カ月後には、一般に植える苗より少し長い25cm程度まで成長した。水耕栽培によって苗をハウスで栽培するよりも早く栽培できる。

7月6日には、稲は80cmまで成長し、水耕栽培にも関わらずカビが発生した。屋内水耕栽培による無農薬栽培を試みていたが、断念した。急ぎホームセンターからベントレートを買って、消毒およびカビの生えた稲を処分した。8月15日には、東北地方で地震が発生し、米沢市の震度は3であった。この影響で水耕栽培キットから水があふれ、研究室の一部が水浸しになった。お盆も終わり、米沢の水田では出穂の季節、まったく穂がでる気配がない。今年も収穫は無理かと嘆いていると、10月12日に収穫した。遅れはあるが種まきから出穂まで、室内で稲の栽培ができた。

5. リモート監視穀物乾燥機

5.1 リモート監視穀物乾燥機の概略

穀物乾燥機は、乾燥したい穀物にもよるが灯油などを燃焼

し40℃程度の温風を送り込み、排気口から水分を多く含む空気を出すことで乾燥を促進する機械である。この排気温度を監視し、予定時刻より早く排気温度が下がったら異常が発生したと推定できる。2015年の穀物乾燥機は遠隔監視サービスが利用できるが、2000年以前の乾燥機は未対応である。農家の多くが対応した乾燥機に買い替えることは難しい。乾燥機に百円の温度センサーと約2万円のIoT補助デバイス(キノマクリエイト)を取り付ける。さらにインターネットを活用して排気温度を測定すれば、全ての乾燥機を自宅から監視できる。

図4にインターネット接続によるリモート監視穀物乾燥機の概略図を示す。図4(a)の穀物乾燥機は、バーナー部分で温風が作られ、乾燥機内に送り込まれる。温風によって粉が温められ、排気口より水分が含まれた空気が排出される。排気温度は、図4(b)に示す温度センサーにより、電圧信号として出力され、図4(c)のIoT補助デバイスのAD変換器によって電圧が読み取れる。読み取られた電圧は、IoT補助デバイス内で温度に変換される。IoT補助デバイス内のWiFiモジュールにより、モバイルWiFiルーター(図4(d))とインターネット(図4(e))を介して、ウェブサーバ(図4(f))に温度の情報が30秒間隔で送信される。ウェブサーバにはデータベースの機能も

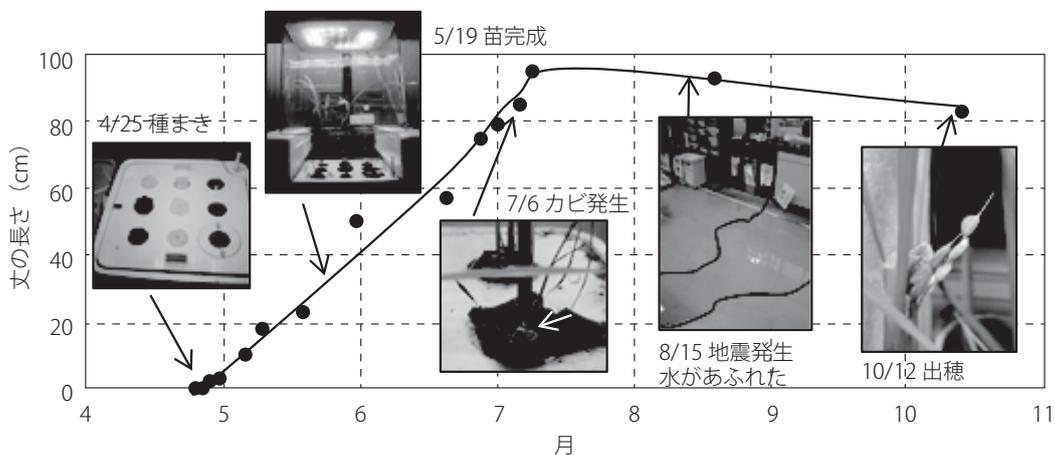


図3：稲の室内水耕栽培記録

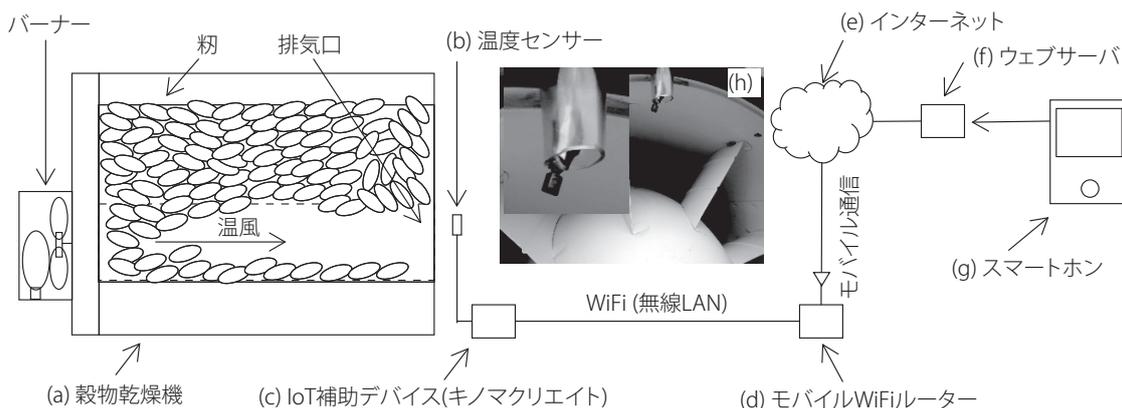


図4：リモート監視穀物乾燥機の概略図

有しており、温度の情報が蓄積される。自宅から農業従事者は、スマートフォン(図4(g))やタブレット、パソコンのウェブブラウザを使って温度情報を閲覧できる。

5.2 センサーユニットの開発

センサーユニットは、図4(b)の温度センサー部分と図4(c)のIoT補助デバイスによって構成した。センサーには、ローカル・アナログ温度センサー(日本テキサス・インスツルメンツ、LM61BIZ)を使用した。温度センサーの出力電圧ピン(V_O)をキノマクリエイトのアナログ入力ピン(54)に接続、キノマクリエイトの3.3V供給ピン(25)を温度センサーの電源ピン($+V_S$)に接続、それぞれのグラウンドを接続した。ノイズ低減のために、データシートに従ってセラミックスコンデンサーを取り付けた。

キノマクリエイトには、筆者らが開発したアプリ“ITO Manager Rice Dryer 4.1b3”をインストールした。ソースコードは、日本のオープンソースソフトウェアプロジェクトのホスティングサイトであるOSDN-JPから“20160810ITOManager4.1b3-RiceDryer.zip”のファイルをダウンロードした(OSDN-JP(2016))。ダウンロードファイルを開発キットKinoma Studioにインポートし、キノマクリエイトにインストールした。

5.3 排気温度の結果

図5(a)に穀物乾燥機の試運転時の排気温度の変化のグラフを示す。横軸は2016年9月30日18時40分に閲覧した時刻を原点として、経過時刻を示したものである。約5時間前に乾燥を始めたときは、排気温度は27°Cであった。5分前には、排気温度が18°Cまで急激に下がり始め、温度低下を目安に自宅のPCから乾燥機の停止を確認できた。

図5(b)に実運用時の排気温度の記録の一部を示す。グラフの○印は乾燥機の停止を、×印は乾燥機の停止が識別できなかったことを示す。2011年頃からの穀物乾燥機は、穀物の水分量を自動的に測定して、燃料の消費を最小になるように制御している。2016年の作柄は、比較的水分量が少なかったため、熱風温度が低く自動設定されたためであると推測される。

6. まとめ

衰退する農業ではあるが、若手の学生は稲作によって得ら

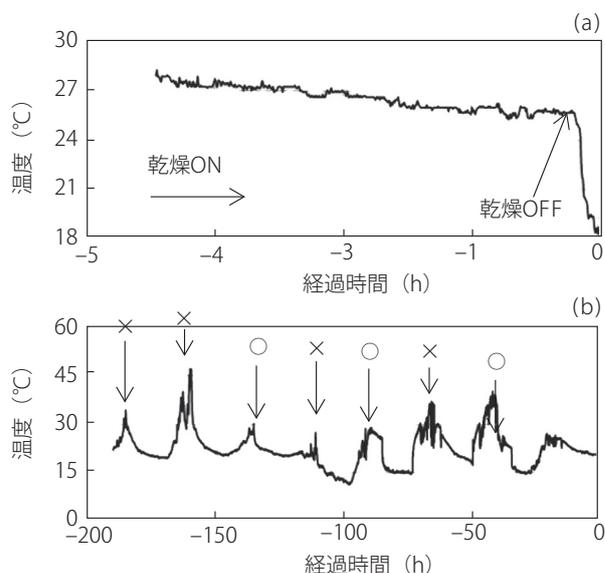


図5：穀物乾燥機の試験時(a)と実運用時(b)の排気温度

れる水資源や自給率の大切さを認識している。日本の将来のためにも、日本の食糧は国内で調達してほしい。室内水耕栽培によって、稲は出芽から苗、出穂まで7か月間で栽培できる。穀物乾燥機の動作を自宅のPCから監視できる。IoT技術は農作業の負担を低減できる。

謝辞

稲作の将来像について、建設的なご意見をいただきました赤間未行氏、石川智士氏、黒澤大輝氏、白谷貴明氏、関口理希氏、関根慧氏、大橋悠太郎氏に感謝申し上げます。また、シリカ入り吸水ゴムをご提供いただきました株式会社フコク様に感謝申し上げます。

引用文献

- 荒谷勝喜(2008). 石油危機後のエネルギー資源問題. 岩崎恵一教授退職記念論文集, 第371号.
- 浜島書店編著(2014). 新地学図説. 浜島書店.
- 浜松書店編著(2014). 最新図説 現社. 浜島書店.
- 伊藤智博(2015). 研究機関紹介 KDDI研究所. 科学・技術研究,

- Vol. 4, No. 2, 117-120.
- 桐山貴文・市川勉 (2004). 水田を涵養域に持つ地域の地下水保全について. 水工学論文集, Vol. 48, 373-378.
- 小池晴伴・三島徳三 (1994). 自主流通米の拡大による政府米流通構造の変貌. 北海道大学農経論叢, Vol. 50, 53-66.
- 佐藤洋一郎 (1992). 日本の稲の伝播経路. 醸協, No. 10, 732-738.
- 文化庁 (1952). 国指定文化財等データベース (史跡名勝天然記念物) 登呂遺跡. <http://kunishitei.bunka.go.jp/bsys/explanation.asp> (参照: 2016-11-16).
- 丸山忠綱 (1960). 壠田永年私財法について. 法政大学史学会.
- 佐藤清美 (1984). 農業機械化における生産費の低コスト化. 農業機械学会誌, Vol. 46, No. 1, 645-650.
- 総務省統計局 (2010). 7専業別農家数. <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001047487&cycode=0> (参照: 2016-11-15).
- 総務省統計局 (2015). 企業規模別新規卒者の初任給の推移 (昭和51年~平成28年). <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001014754&cycode=0> (参照: 2016-11-22).
- 総務省統計局 (2008). 米穀 政府買入価格 年産別 (昭和26年~平成20年) 一国の告示価格一. <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001065026> (参照: 2016-11-15).
- 総務省統計局 (2008). 米穀 政府買入価格 年産別 (昭和26年~平成20年) 一入札等による結果の価格一. <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001065026> (参照: 2016-11-15).
- 農林水産省 (2016). 米の相対取引価格・数量・契約・販売状況、民間在庫の推移等. <http://www.maff.go.jp/j/seisan/keikaku/soukatu/aitaikakaku.html> (参照: 2016-11-15).
- 農林水産省 (2013). 支柱を立てて営農を継続する太陽光発電設備等についての農地転用許可制度上の取扱いについて. 24農振第2657号.
- 農林水産省 (2013). 農林漁業の健全な発展と調和のとれた再生可能エネルギー電気の発電の促進に関する法律. <http://www.maff.go.jp/j/shokusan/renewable/energy/houritu.html> (参照: 2016-11-16).
- OSDN-JP (2016). リリース ITO Manager Rice Dryer (もみ乾燥機モニター) 4.1b3-RiceDryer -ITO Manager - OSDN. <https://ja.osdn.net/projects/ito-manager/releases/66291> (参照: 2016-11-15).
- 齋藤邦明 (2015). 近代日本における農地と水への投資『途上国日本の開発課題と対応—経済史と開発研究の融合 (中間報告書) —』調査報告書. アジア経済研究所.
- 総務省統計局 (2014). 総合自給率等の推移. <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001150436> (参照: 2016-11-22).
- 高倉直・岡田益己・島地英夫・奈良誠 (1979). 温室の複合制御用マイクロコンピュータシステムの試作. Vol. 35, 97-102.
- 田野信博 (1996). 気象衛星「ひまわり」直接受信システムの農業気象への応用 (第1報) —受信システムの概要と雲画像解析—. 農業機械学会誌, Vol. 58, 417-418.
- 財務省 (2015). 財務省貿易統計. 輸出入総額の推移. <http://www.customs.go.jp/toukei/suui/html/nenbet.htm> (参照: 2016-11-15).

(受稿: 2016年11月21日 受理: 2016年12月2日)