

農業ビッグデータを活用した学習教材作成支援システムの研究開発

高木正則（岩手県立大学、准教授）、村上潤紀（岩手県立大学、学生）、
高橋亮（岩手県立大学、学生）、漆原翔也（岩手県立大学、学生）、
平野竜（岩手県立大学、学生）

<要旨>

本研究では、圃場データを活用した教材作成支援システムの改良と授業外時間の自主的な観察の促進を目的とし、(1)圃場ネットワークの高信頼化と欠損データの補完、(2)教材生成高速化のためのサーバ構成の改良、(3)グラフィックツールを活用した電子教材作成支援環境の提案、(4)農作業観察支援システムの開発を行った。本研究により、Web カメラセットの稼働率が向上し、教材生成時間が大幅に削減できた。また、授業時間外における自主的な観察を促進できることが示された。

1 研究の背景・目的

我々は小中学校で実施されている農業体験学習を支援する農地モニタリングシステムを開発・運用している。平成 22 年度に農地モニタリングシステムの全体概要を検討し、平成 23 年度から岩手県紫波町の農地に Web カメラを設置した。Web カメラは 5 時から 18 時まで 1 時間に 1 枚農作物（りんご）を自動撮影し、自動撮影されたりんごの写真をインターネット経由で遠隔地（教室）から閲覧できるシステム（<http://kansatu.net>）を開発した[1]。本システムは平成 23 年 5 月から紫波町立赤沢小学校で実施されているりんごの農業体験学習で利用されている。平成 24 年度には人感センサ付き Web カメラを開発し、農作物だけでなく農作業の様子を自動記録・閲覧できるシステムへと拡張した[2]。また、農地の環境モニタリングや映像監視等を行うフィールドサーバ[3]も設置し、センシング機能を利用した環境データ（気温、日射量、土壌温度など）の記録も開始した。農地モニタリングシステムの構成を図1に、農地の写真を図2に示す。平成 23 年度、平成 24 年度、平成 26 年度に農業体験学習で農地モニタリングシステムを活用した赤沢小学校の 3 年生合計 27 名に実施したアンケートの結果では、教室でりんごの様子を観察することに対して全員から好意的な意見が得られた（表 1）。また、担任の先生や校長先生からは農作業画像を閲覧できるようになり、普段目にするのでできない農作業を子供たちに確認させることができるため、農作業の内容や大変さなども学ばせるために今後活用したいといった意見が得られた。

平成 25 年度は撮影された画像や環境データ（以下、圃場データ）を活用した学習教材を手動で作成した。開花と気温の関係に関する学習教材と農作業に関する学習教材の例を図 3、4 に示す。図 3、4 の学習教材を小学校 3 年生の授業で活用した結果、圃場データを活用した学習教材が農作物の成長や農作業内容を学ぶために役立つことが示唆され[4]、蓄積された圃場データには学習に有効

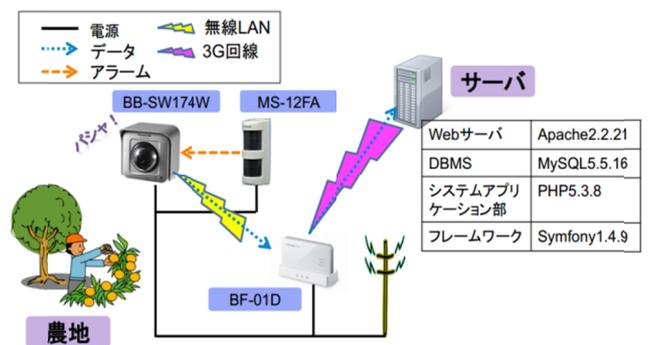


図1：農地モニタリングシステムの構成



図2：農地（紫波町）の写真

表1：児童へのアンケート

質問	5	4	3	2	1
教室でりんごの様子を閲覧することができるようになって、りんごに興味を持ちましたか？	21人	5人	0人	1人	0人
りんごの成長を動画で見ることができるようになって、りんごの育ち方が分かりやすくなりましたか？	24人	3人	0人	0人	0人
これからもカメラを使った農業体験学習をしたいですか？	23人	4人	0人	0人	0人

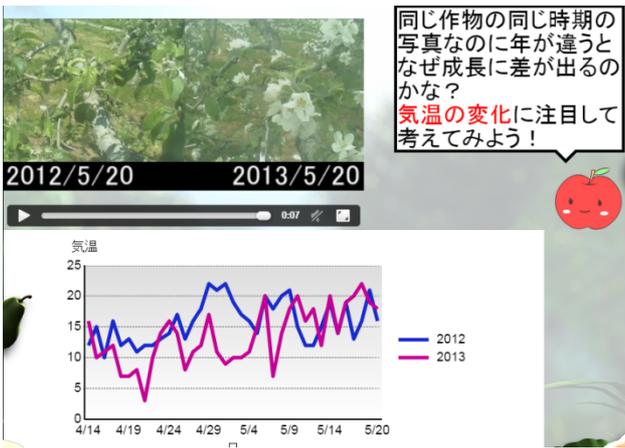


図3：開花と気温の関係に関する学習教材の例



図4：農作業に関する学習教材の例

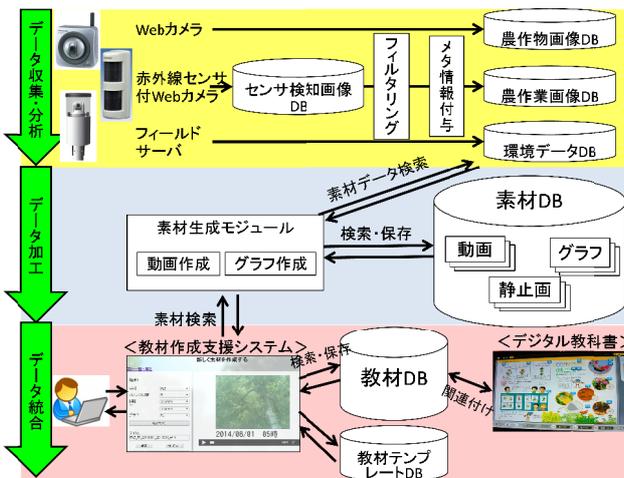


図5：教材作成支援システムのアーキテクチャ

な情報が含まれていることがわかった。そこで、平成26年度から授業で活用できる補助教材を容易に生成できる

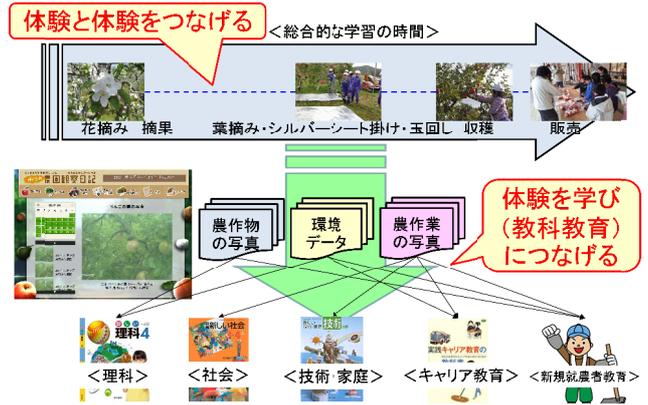


図6：圃場データを活用した教材の生成と活用イメージ

教材作成支援システム(図5)を提案し、プロトタイプシステム(<http://133.242.141.56/prototype2/material>)を開発した。また、年間1万枚を超える画像データや毎分記録される各種環境データ(以下、圃場データ)を活用し、理科や社会などの学習内容に合わせた補助教材を生成することで体験を教科教育に展開する授業案を検討した(図6)。これにより、児童たちは体験した仕事や身の回りで起きている自然現象と関連付けて理科や社会を学ぶことができる。また、作物の生産性向上や農作業日誌の記録負担軽減などにも応用することも期待できる。

しかし、試作した教材作成支援システムでは、膨大な圃場データを加工・統合するため、教材生成に5分から15分程度の時間がかかり、教育現場で利用できる実用的なシステムにはなっていない。これは、現状の農地モニタリングシステムでは、画像データや環境データに欠損が多数存在すること、膨大な圃場データを活用した教材生成に適したサーバ構成になっていないことなどが原因として考えられた。また、農業体験学習が行われている「総合的な学習の時間」の学習指導要領では、児童の自主性を育むことが目標とされているが、授業時間外でのシステムへのアクセスが極めて少ないことが分かった。

以上より、本研究では圃場データを活用した教材作成支援システムの改良と授業時間外の自主的な観察の促進を目的とし、(1)圃場ネットワークの高信頼化と欠損データの補完、(2)教材生成高速化のためのサーバ構成の改良、(3)電子教材の操作性向上のためのグラフィックツールを活用した電子教材作成支援環境(図5データ統合領域)の提案、(4)農作業観察支援システムの開発を行った。

2 研究の内容

2.1 圃場ネットワークの高信頼化と欠損データの補完

圃場データの欠損により教材生成時間が増大してしまう問題を解決するために、①農地に設置しているWebカメラセットの耐障害性の向上と、②欠損期間を短縮するための障害通知機能の開発を行い、これまで開発・運用してきた農地モニタリングシステムの信頼性の向上を試みた。また、③欠損した圃場データを実測値に近い値に

補完する手法を提案した。

(1) 耐障害性を考慮した Web カメラセットの改良

図7に冷却ファンを取り付け、通気口を備えた改良後の Web カメラセットの構成を示す。Web カメラセットは気温変化の激しい屋外に設置されているため、7月から9月の気温が上昇した日にモバイルWi-Fi ルータが熱暴走によって停止してしまい、圃場データをサーバに送信できなかったことが頻繁にあった。そこで、Web カメラセットの通気性を良くしたうえで、PC用のファンを取り付けた新しい Web カメラセットを開発した。

(2) 障害通知機能の開発

従来の農地モニタリングシステムでは、農地に設置している各種機器の稼働状況を把握するために、システム管理者が DB にアクセスして圃場データの欠損の有無を調べなければならず、障害の発見が遅れるという問題があった。そこで、データが欠損した際に管理者に障害を通知する機能を開発（開発言語：PHP5.3.3）した。本機能では、あらかじめ指定した時間になると圃場データが記録されている DB に対象日のデータの記録の有無を確認する。もし、その日のデータが無い場合は障害が発生していると判断し、あらかじめ登録されている管理者のメールアドレスに図8に示すようなメールを送信する。なお、現在稼働しているシステムでは、欠損データを補完する際に活用する気象観測所のデータ更新時刻に合わせ、毎日午前3時にデータの有無の確認を行っている。

(3) 欠損データの自動補完機能の開発

障害通知機能により障害発生を確認した場合、管理者へのメールの送信とあわせて欠損データの自動補完も行う。本研究では1日分の気温データの補完方法について検討した。欠損値の補完には、農地から最も近い気象観測所の気温データ（以下、観測所データ）と欠損した前日の農地で記録された気温データ（以下、前日農地データ）を利用し、欠損した日の前日の観測所データと農地データの差分を毎時ごとに求め、その差分を欠損した日の観測所データに加算する。欠損データのなかった2015年4月28日の農地データを用いて、上述した方式で補完した値（補完値）と農地データ（実測値）を1時間単位で比較した結果を図9に示す。補完値が実測値から平均的にどの程度乖離しているかを示す平均絶対誤差を求めた結果、1.03となった。また、5日間連続して補完した場合の平均絶対誤差の推移を表2に示す。表2の結果から連続で欠損した場合でも平均絶対誤差は1前後となった。本研究ではこの補完手法を活用した欠損データ自動補完機能と障害通知機能を開発した。図10に開発したプログラムのフローチャートを示す。

2.2. 教材生成高速化のためのサーバ構成の改良

教材作成支援システムでは、ユーザが期間や場所（圃場）、カメラ、利用する圃場データなどを指定し、該当する圃場データをサーバから抽出したうえで、加工・統合

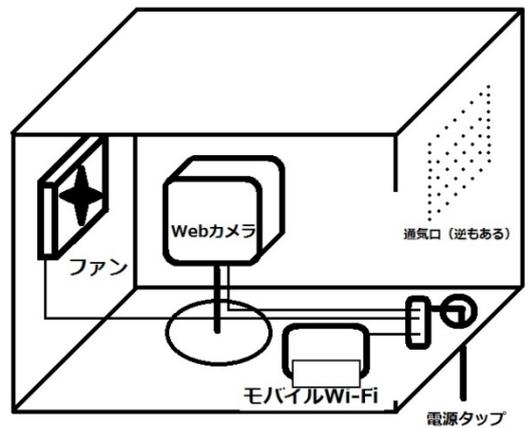


図7：改良後の Web カメラセットの構成

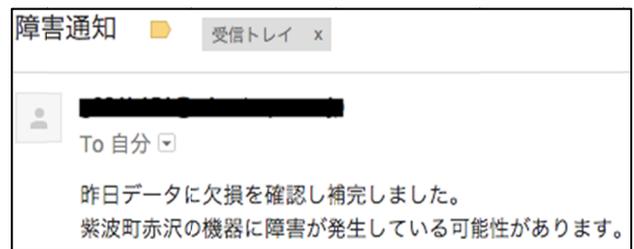


図8：障害通知メールの例

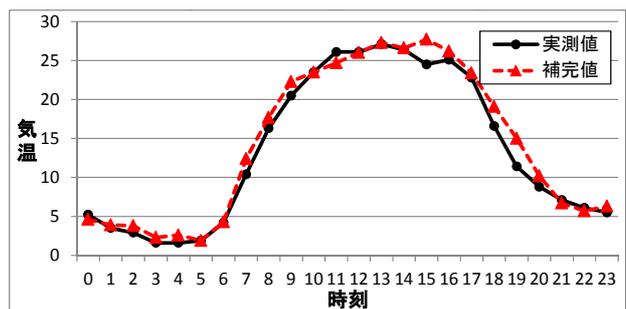


図9：実測値と補完値の比較

表2：5日連続で補完した際の平均絶対誤差の推移

1日目	2日目	3日目	4日目	5日目
1.4	1.0	1.1	0.7	1.1

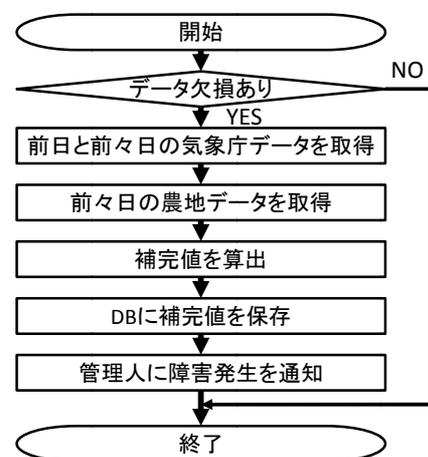


図10：障害通知と欠損データ補完のフローチャート

して教材を作成する。先行研究では、小学校3年生～5年生の理科、社会の学習指導要領から農業体験学習と関連する単元を選び出し、圃場データを活用した素材（教材の一部として活用可能な画像、動画、グラフなど）案を考察した[5]。この素材案から考えられる教材の構成例を表3に示す。図3の試作教材は表3のNo4に該当する。

先行研究で試作した教材作成支援システムは農地モニタリングシステムなどが稼働する1台のサーバ（さくらサーバ、メモリ2GB、CPUコア3）上で動作していた。そこで、動画生成に関わる処理をマシンスペックの高いAWS（Amazon Web Service）で実行することにより、既存システムへの変更を最小限に留めつつ教材生成の高速化を試みた。図11に教材生成高速化のために改良したサーバ構成を示す。改良後のサーバでは(1)データ同期モジュール、(2)APIモジュール、(3)動画生成モジュールの3つのモジュールを新たに追加した。

(1) データ同期モジュール

さくらサーバに保存されている圃場データの元データをAmazon EC2（Amazonが提供するAWSのウェブサービス）上で稼働するNFS（Network File System）と同期する。同期の処理はcrontabコマンドとrsyncコマンドを利用して毎時0分に自動実行される。

(2) APIモジュール

さくらサーバからの動画生成リクエストの受付とリク

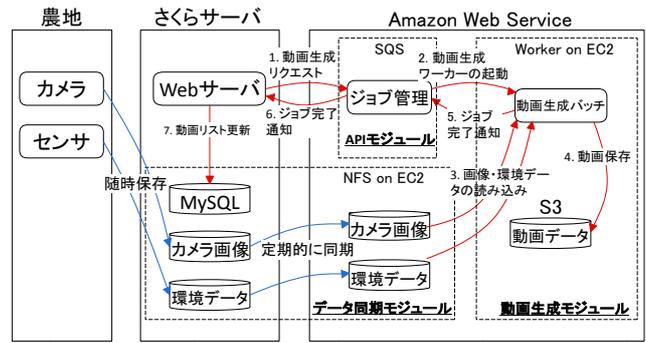


図11：教材生成高速化のために改良したサーバ構成

エスト状況の提供を行う。本モジュールはSQS（AWSで提供されているジョブ管理サービス）を活用したWebAPI形式の通信で実現している。利用者がWebブラウザ上で動画生成の条件を入力して動画生成を要求したとき、Webブラウザは動画生成リクエストAPIに動画生成リクエスト（図11、1）を出す。リクエスト送信時には、動画生成条件を付与する。リクエストを受け付けたAPIは、動画生成ジョブを管理キューに追加し、このジョブを一意に示せるIDをWebブラウザ側に返す。その後、動画生成状況取得APIが動画生成リクエストAPIで生成されたジョブの状況（生成中、生成失敗、生成完了など）を取得し、ローディング画面などを制御する。

(3) 動画生成モジュール

動画生成の処理を行うワーカーサーバ（Amazon EC2で実現）内で実行されるモジュールである。NFSをマウントすることでシームレスに圃場データにアクセスできるようにし、動画生成などの処理を行う。本モジュールはデーモンとして実装し、プログラムは終了することなく次の4つの状態を遷移し続ける。

- ・ 待機（ポーリング）：新たなジョブがないか、SQSに問い合わせを定期的に行う。
- ・ 動画生成：新規ジョブを見つけたら、ジョブの条件に従い、動画生成処理を実行する。
- ・ S3アップロード：生成された動画をS3（AWSで提供されているストレージサービス）に保存する。
- ・ SQS更新：SQSにS3のURLと処理完了を通知する。

2.3. グラフィックツールを活用した電子教材作成支援環境の提案

先行研究で試作した教材作成支援システムでは、複数の圃場データを活用してグラフを作成するとデータの確認や比較が難しかった。一方、Web技術の進歩により、主にウェブブラウザで実装されているJavaScript等のオブジェクト指向のスクリプト言語によってグラフを容易に描けるグラフィックツール（ライブラリ）が多数提供されている。そこで、グラフィックツールを活用した電子教材作成支援環境を提案し、複数の圃場データを活用した電子教材（グラフ）の表現力の向上を試みた。

グラフ作成のためのグラフィックツールには

表3：教材の構成例

No	概要	構成例
1	ある期間における環境データの推移を表すグラフ	
2	ある期間におけるカメラ1箇所での撮影された静止画の連続再生動画と同期間における環境データの推移を表すグラフ	
3	ある期間におけるカメラ1箇所での撮影された静止画（農作物または農作業）の連続再生動画	
4	ある2つの期間におけるカメラ1箇所での撮影された静止画を並べて結合した画像の連続再生動画と同期間の環境データの推移を表すグラフ	

Highcharts JS、jqplot、charts.js、d3.jsなどがあるが、実装容易性、拡張性、ユーザビリティ、複合グラフの種類の豊富さなどの観点から本研究ではシンプルなデザインで小学生に見やすいHighcharts JSを採用した。図12にHighcharts JSで作成したグラフ教材の例を示す。図12のグラフは4年生理科の「天気によって1日の気温の変化の仕方に違いがあること」を学ぶ際に活用することを想定したグラフ教材である。図12のグラフの横軸は時間、縦軸は気温を示し、農業体験を実施している圃場の晴れの日と雨の日の気温の変化をプロットしている。折れ線の上にマウスポインタを重ねると気温データの数値が表示される。また、左上の凡例情報をクリックすると、選択された情報を表示・非表示できる。

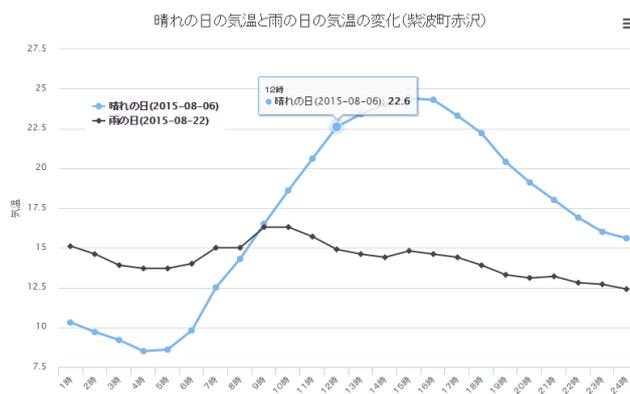


図 12 : Highcharts JS で作成したグラフ教材の例

試作したグラフ教材を平成27年8月21日に赤沢小学校の3・4年生の担任の先生に見てもらい、操作をしてもらった。その結果、「シンプルでわかりやすいので小学生が見やすい」、「動きのあるグラフなので紙媒体よりも小学生がくいついて学習できるのではないか」という意見が得られ、本教材によりデータの読み取りや分析が容易になることが示唆された。

2.4. 農作業観察支援システムの開発

従来の農地モニタリングシステムでは、農作業の有無など、農地の変化を知ることができなかつたため、授業時間外に児童自らシステムにアクセスしなかつたと考えられた。そこで、農地で農作業が行われていることを通知し、授業外に農作業の観察を支援するシステムを開発した。農作業観察支援システムの画面例を図14に示す。農作業観察支援システムでは、農地に設置されている人感センサが3回以上人を検知した場合、農地で農作業が行われたと判断し、あらかじめ指定されたメールアドレスにメールが送信される。児童は教室に設置されているiPadでメールを確認し、メールの本文に記載されているURLにアクセスすると、センサ検知画像の連続再生動画を閲覧できる。また、撮影されている農作業の内容を投稿することもできる。この農作業観察支援システムを平成27年9月1日から11月12日まで赤沢小学校で利用してもらった。その結果、この期間に行われた農作業14日間中、12日間授業外に児童からのアクセスが確認された。また、そのうち5日間は撮影されていた農作業内容が投稿されていた。前年(平成26年)の同時期に行われた農作業日のシステムへのアクセス履歴を分析したところ、農作業が行われた17日間中、1日もアクセスがなかつたことから、農作業観察支援システムが授業外時間の観察を促進できたと考えられる。



図 13 : 農作業観察支援システム

撮影している写真データで約21%、りんごの木を撮影している写真データで約24%であったのに対し、改良後のWebカメラセットを用いた2015年度のデータ欠損率は、りんごの実の写真が約1%、りんごの木の写真が6%であった。また、Webカメラセットの稼働状況を比較したところWebカメラセットの稼働率は0.78(2014年度)から0.97(2015年度)に向上したことが分かった(表4)。

表 4 : Webカメラセットの稼働状況

	2014年度	2015年度
故障回数	4回	1回
MTBF (平均故障間隔)	5120(時間)	7067(時間)
MTTR (平均修理時間)	1480(時間)	253(時間)
稼働率	0.79	0.99

3.2. 教材作成時間の短縮

2.2節で述べたサーバ構成の改良により、圃場データを活用した教材生成時間をどの程度削減できたか評価するために、サーバ構成の改良前後で教材生成時間の測定実験を実施した。表5に実験結果を示す。実験で設定した教材生成条件は先行研究で考案した素材案[5]から代表的な教材の条件を採用して決定した。また、素材デー

3 これまで得られた研究成果

3.1. Webカメラセットの稼働率の向上

改良後のWebカメラセットを2015年5月1日から滝沢市の上野りんご園に設置した。従来のWebカメラセットを用いていた2014年度のデータ欠損率はりんごの実を

表5：教材生成時間の実験結果

教材生成条件				生成時間 (秒)	
素材データ	期間	間隔	加工	改良前	改良後
農地全体を撮影した画像データ	1日分	1時間	動画	32.4	1.24
農作物を撮影した画像データと圃場の気温データ	3ヶ月分	1日	動画+グラフ	2507.2	511.1
農地全体を撮影した画像データと圃場の気温データ	2日分	1時間	動画+グラフ	2963.3	23.8
農作物を撮影した画像データと圃場の気温・土壌温度データ	3ヶ月分×2	1日	動画+グラフ	253.0	167.8
農作物を撮影した画像データ	7ヶ月分	1日	動画	721.2	207.8

タには欠損を含まない期間を指定した。表5の結果から本研究で実施したサーバ構成の改良により教材生成時間を大幅に削減できたことが確認できた。

4 今後の具体的な展開

表4に示したように、本研究でWebカメラセットを改良したことにより、稼働率が改善された。しかし、Webカメラセットの開発やメンテナンスには多大な人的コストがかかっている。また、圃場で撮影された画像などのデータを送信するための通信費も毎月5千円程度かかっている。一方、近年では様々な企業が圃場モニタリングの可能な各種デバイスの開発に取り組んでいる。その中でも本研究で取得している圃場データを安価に記録・管理できるサービスとしてみどりクラウド[6]がある。今後は圃場モニタリングを既存のサービスに置き換え、教材作成支援システムの研究に従事することを検討している。みどりクラウドを提供している株式会社セラクの開発担当者とは本研究期間中に連携を開始し、「農業体験学習支援システムとの連携によるみどりクラウドの教育現場への応用可能性」というテーマで共同研究を開始した。今後、APIによるみどりクラウド上の圃場データの連携可能性について検討する。

また、表5に示した通り、サーバ構成改良後の教材生成時間は改良前に比べ大幅に減少できたが、教育現場での利用を考えると更なる時間短縮が求められる。そのため、この教材生成時間の短縮については引き続き検討する予定である。以上の検討を踏まえたうえで、図5、図6に示した構想の実現に向け、蓄積された膨大な人感センサ検知画像に写っている農作業の内容を自動判別するシステムの開発や、自動判別された農作業画像を活用した

児童・新規就農者向けの学習支援システム、農作業の魅力的な紹介コンテンツの開発を目指す。また、全国各地で野生動物による農作物被害が深刻化している現状を踏まえ、農作業の検知に加え、野生動物の圃場への侵入検知システムについても検討する。

5 論文・学会発表等の実績

- (1) 漆原翔也、佐々木淳、山田敬三、高木正則、グラフィックツールを用いた小学校向けグラフ教材作成環境、平成27年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集、1H02、2015.8
- (2) 村上潤紀、高木正則、山田敬三、佐々木淳、農地モニタリングシステムにおける欠損データの補完方法の検討、平成27年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集、1H10、2015.8
- (3) 高橋亮、高木正則、佐々木淳、山田敬三、農業体験学習の授業外学習を促進する観察日記システムの提案、平成27年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集、1H11、2015.8
- (4) 平野竜、高木正則、山田敬三、佐々木淳、農業ビッグデータを活用した学習教材作成支援システムの提案、平成27年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集、1H12、2015.8
- (5) 平野竜、高木正則、山田敬三、佐々木淳、圃場で撮影された人感センサ検知画像への農作業情報自動付与機能の開発と評価、情報処理学会第78回全国大会講演論文集、pp.267-268、2016.3

6 受賞・特許

なし。

7 参考文献

- [1] 高木正則、吉田昌平、中村武道、山田敬三、佐々木淳：児童を対象とした農業体験学習支援システムの開発と評価、情報教育シンポジウム2012論文集、pp.233-240、2012
- [2] 中村武道、高木正則：児童向け学習教材に活用する農作業画像へのメタ情報付与機能の開発と評価、情報処理学会研究報告、Vol.2015-CLE-15、No.4、pp.1-5、2015.1
- [3] 株式会社イーラボ・エクスペリエンス：フィールドサーバ、<http://www.elab-experience.com/fieldserver>
- [4] 阿部勇人、佐々木淳、高木正則、山田敬三、中村武道、加藤裕美、山本晃大、吉田理穂：定点カメラ画像を利用したりんごの成長過程用学習コンテンツの試作と評価、第76回情報処理学会全国大会、2ZE-4、2014.3
- [5] 高木正則、中村武道、山本晃大、吉田理穂：農地のモニタリング画像を利用した農業体験学習支援システムの研究開発、平成26年度いわてのものづくり・ソフトウェア融合テクノロジーセンター研究成果報告書、pp.59-65、2015.9
- [6] 株式会社セラク：みどりクラウド、<https://midori-cloud.net/>