

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K11787

研究課題名(和文)対話的スマートデバイスによる熟練農業生産者の経験知収集とデータ統合

研究課題名(英文) Data Integration and Collection of Skilled Agricultural Producers' Knowledge and Experience by using Interactive Smart Devices

研究代表者

小林 一樹 (Kobayashi, Kazuki)

信州大学・学術研究院工学系・教授

研究者番号：00434895

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、環境データ、植物データ、生産者データの統合と活用による生産の効率化と安定化とを旨とし、スマートデバイスが対話的に生産者から経験知を引き出す自動収集システムの実現が目的である。本研究を通して、(a)スマートデバイスとのテキスト対話と音声対話による対話形態を限定しないシステムの構築、(b)ナッジ理論を応用した声かけやユーザへの共感を利用した発話による対話継続に基づく経験知収集、(c)生産者から収集した経験知を紐づけるための定点観測画像からの自動情報抽出を達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、利用状況を限定しないスマートデバイスとの円滑な対話や、その対話内容によるユーザ発話の誘導や対話破綻の回避に基づく情報収集、人間から収集した情報と環境から収集した情報との統合に関する技術を開発しており、その典型的な例として農業に焦点を当て、農作物や農園に対する生産者の主観や評価をデータ化するとともに、客観的な観測情報と紐づけて管理するシステムを実現した。農業に限らず、人間の知識や技が関係する物理空間での情報をサイバー空間に持ち込む技術として様々な社会的活動に有用であり、その実現のための要素技術に関しては学術的新規性を有する。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to realize an automatic collection system in which smart devices interactively draw empirical knowledge from farmers, aiming to improve and stabilize production efficiency by integrating and utilizing environmental data, plant data, and farmer(human) data. Through this research, we have achieved the following: (a) construction of a system that does not limit the form of interaction with smart devices through text and voice interaction, (b) collection of empirical knowledge based on continuous speech interaction using nudge theory and empathy for the user, and (c) automatic information extraction from fixed point observation images to link the empirical knowledge collected from farmers.

研究分野：ヒューマンコンピュータインタラクション

キーワード：スマートデバイス 深層学習 データ拡張 農作業記録

## 1. 研究開始当初の背景

近年、ICTを活用した農業であるスマートアグリが注目されている。スマートアグリでは、温度や湿度などの環境情報や灌水量、施肥量などを数値化して記録することで、生産の安定化と経営の効率化を進めている。最近では、オランダの栽培施設がメディアで取り上げられているが、日本は農村の通信インフラ提供と農園モニタリングを同時に行うフィールドサーバのさきがけであり、センサネットワークプラットフォームとして発展を続けている。生産の安定化と経営の効率化には、その時々での適切な判断と意思決定が重要である。これには過去データが有効であり、植物生長や市場価格の予測モデルの構築や傾向分析に活用できる。そのため、ドローンを用いた農園観測により、詳細な農園を三次元モデルとして再構成する研究がはじまっており、数値化できる対象を拡大して、発展を続ける計算機の力を農業に適用する試みが続けられている。国外においては大規模農園が多く、マネージャとしての農家がほとんどである。それに対し、日本では小規模・多数農家という構造でありプレーヤとしての農家である。そのため、人間の経験知を活用する本研究課題の取り組みは、量ではなく、高品質化、付加価値化、高効率化をめざす日本型の農業にとって大きなアドバンテージとなる。

植物の生長は環境に応答的であるため、従来は主に温度や湿度などの環境情報のモニタリングが行われてきた。しかし、近年は気候変動が激しいため、想定外の環境下における植物の生長や形態変化、収量などに与える影響を分析して生産者の意思決定に反映させる必要がある。この問題に対し、申請者はこれまでにモニタリング画像から自動的に作物の成長率を可視化する取り組みを実施してきた。

しかし、環境や植物の過去データが使えても、生産者がデータに基づいてどのような行動をしたのかわからない問題や、生産者の知恵や知識、判断が再利用可能なデータとして活用されていない問題がある。生産者が適切な作業を適切なタイミングで実施したのか、しなかったとすれば何故か、といった疑問に答えることができれば、環境データや植物データに対して解釈や判断に関するアノテーションが付与でき、相互参照可能な網羅的農業データとなる。人間を未知のパラメータとして残すのではなく、環境データや植物データと適切に関連付けて蓄積すれば、近年急速に発展している機械学習における訓練データとして容易に利用可能となる。

## 2. 研究の目的

環境データ、植物データが自動的に記録できるようになったいま、残された課題は生産に関わる人間のデータの収集である。生産者の解釈・判断・行動についても過去データとして再利用できれば、どこに無理が生じているのか、どのように作業を効率化するのか、どのように生産を安定化するのかを多角的かつ網羅的に検討できる材料となる。国外ではマネージャとして振る舞う大規模農家が大半であることに対して、国内ではプレーヤとして振る舞う小規模農家が多数を占めている。

そこで本研究では、環境データ、植物データ、生産者データの統合と活用による生産の効率化と安定化とを目指し、スマートデバイスが対話的に生産者から経験知を引き出す自動収集システムを実現する。本研究課題での取り組みは、きめ細かな意思決定を支援する現場志向なものであり、国内の農業にとって有益な投資となる。

## 3. 研究の方法

本研究では、農業における生産者の行動や判断をデータとして効率的に収集して環境データや植物データと統合するために、ナッジ理論を応用した対話的スマートデバイスを開発し、生産者との対話を繰り返して情報収集する。生産者から有益な解釈や判断に関するデータを引き出すために、適切な時間と場所、情報表現手法とを考慮してシステム設計を行い、比較実験を通して有効な条件を特定して運用を行う。本研究課題に必要な項目と実施内容を以下に示す。

### (1) 対話的スマートデバイスの開発と包囲網の構築

スマートスピーカが普及しはじめているが、現状ではユーザからスマートスピーカに話しかけることで対話が始まる。しかし、日常生活の中で積極的にユーザを支援しようとしたとき、スマートスピーカからユーザに話しかける必要がある。これを実現するために、行動検出センサと連動してスピーカからユーザに話しかける対話的スマートデバイスを開発する。スマートスピーカの他にも、スマートウォッチやウェアラブルスピーカ、スマートフォンなども同様に行動検出センサと連動させ、生産者の習慣に合わせた多様な対話形態によってスマートデバイス包囲網を構築し、経験知収集のための基盤を整備する。

## (2) ナッジ理論を応用した生産者からの経験知収集

生産者から有益な情報を引き出すために、様々な時間と場所においてスマートデバイスから生産者に能動的に働きかけを行うシステムを開発する。ここではナッジ理論を応用することで、生産者が抵抗感を抱きにくく回答しやすい状況を構築する。具体的には、農園内の休憩小屋や倉庫にセンサを設置してドアの開閉や農機具の使用を検出したり、スマートフォンやスマートウォッチのGPSデータを利用して、デバイスから何をなぜ実施するのかを行動開始時に問いかけたり、テキストメッセージを送ることで、言語情報として経験知収集を行う。また、生産者の抵抗感を低減するために、出かける直前にその日の重要な予定や作業を知らせたり、帰宅時にその日の作業内容を尋ねて回答を自動的に記録する、といった支援機能を実装する。

## (3) 機械学習における訓練データとして利用可能にするデータ統合

深層学習をはじめとする機械学習に利用可能な形式でデータ統合を行うために、申請者らが運用している高精細農園モニタリングシステムによって収集した環境データと植物データと、対話的スマートデバイスによって収集した行動・解釈・判断データとを統合し、相互参照可能なデータとして構築する。特に、行動・解釈・判断データは、環境データや植物データに対してアノテーションとして扱うことができ、機械学習が要求する訓練データとして適した形態となる。

## 4. 研究成果

以下に本研究課題の成果について項目別に記載する。

### (1) 対話的スマートデバイスの開発と包囲網の構築に関して

日常生活の中で積極的にユーザとのやりとりの機会を増加させるために、ユーザの行動に基づきスマートスピーカから話しかけるプロトタイプを開発した。行動検出センサとして人感センサを採用し、ユーザが特定の場所に位置したときにスピーカからユーザに話しかけることを可能とした。通常のスマートスピーカは待機中でもウェイクワードの検出を監視しており、ウェイクワードが検出されたときに反応を示す。開発したプロトタイプでは、ユーザがウェイクワードを発話するかわりに、人感センサによってユーザの存在を検出し、それをトリガとしてウェイクワードを検出した場合と同じ処理を開始することができる。たとえば、生産者の農園において農機具の保管場所に人感センサを配置すれば、ユーザが器具を持ち出そうとしたときを検出して、スマートスピーカから自動的に発話し、「これからどのような作業をする予定ですか?」といった問いかけが可能となる。この研究内容に関しては、国内学会において発表を行った。

また、スマートスピーカの制御の自由度を向上させるために、PCのプログラムからスマートスピーカを自動的に制御できる仕組みを構築した。これにより、スマートスピーカのボタン操作をはじめとするユーザによる操作なしにリアルタイムで連続的な対話を実施するシステムを実現した。具体的には、入力されたテキスト情報によるスマートスピーカからの音声再生、ユーザ発話のテキスト変換、変換されたテキスト情報からの発話文生成が可能なシステムを構築した。

さらに、システムとの音声対話とテキスト対話の双方に対応させるために、スマートフォンやタブレット等を通したモバイル対話システムを構築した。テキスト対話については、スマートフォンやタブレットの標準機能を用いてユーザがテキスト入力するものであるが、音声対話については、無線骨伝導スピーカなどを使用することで、作業中であってもデバイスの操作を必要とせず対話できる機能を実現した。特に、インターネットに接続されていないオフラインのモバイル端末上で動作させることができ、日本語音声を認識してテキストに自動変換することができる。また、認識したテキストは深層学習を用いた言語モデルに入力され、返答文を自動生成できる。この言語モデルについても、オフラインかつ数秒の待ち時間で動作可能とした。また、言語モデルが生成したテキストについてもオフラインで音声再生することが可能である。モバイル端末はWindowsが動作するバッテリー内蔵の軽量なものを採用しており、実用性が高い特徴がある。

### (2) ナッジ理論を応用した生産者からの経験知収集に関して

生産者の農園内の休憩小屋にスマートデバイスを設置し、音声認識に基づいて農作業内容の記録を実施した。このスマートデバイスは、ドアセンサに連動して話しかけを行うが、音声入力はボタンを押してからユーザ（生産者）が能動的に操作を行う。生産者からは、スマートデバイスからの話しかけがリマインダとして機能しているとのフィードバックを得ており、2020年度の作業に関する入力は175件であった。このような状況に対し、(1)に記述したように、スマートデバイスを一切操作しなくても、ユーザの存在を感知して話しかけを行い、自動的に聞き取りモードに移行してユーザ発話を取得してテキスト情報として保存できるシステムを構築した。

また、自動的に発話を生成する対話的作業記録システムを開発し、実験室における参加者実験を実施した。対話的作業記録システムは、音声認識、発話理解、作業記録、行動決定、発話生成、音声合成といったモジュールから構成され、ユーザが作業中に自動的に話しかけ、その返答内容から作業記録に必要な情報を抽出して記録するとともに、共感的発話を行うことでシステムへの返答の心理的障壁を低減させる。参加者実験では10名が参加し、システムから繰り返される作業に関する約50回の質問に対して98%以上の回答率を得た。この研究内容については、国内学会において発表を行った。

さらに、深層学習を採用し、ユーザへの共感を行うことで対話を継続して経験知を引き出す対話手法を開発した。従来システムを用いた場合には、あらかじめ登録した発話内容を用いた柔軟性のない発話を繰り返したり、柔軟性を高めた場合には、不自然な返答を行うことがしばしば生じる問題があった。GPT2をベースとした言語モデルをファインチューニングし、より自然な返答と対話継続の可能性が高まる自然な返答を生成できるようにした。特に、ユーザへの共感についての対話データを言語モデルに追加学習しており、ユーザを質問攻めにすることなく、ユーザ発話に合わせて共感しながら質問を織り交ぜて、経験値を引き出す対話システムのプロトタイプを構築した。

### (3) 機械学習における訓練データとして利用可能にするデータ統合に関して

高精細農園モニタリングシステムによって収集した画像データから果実領域を自動認識するための訓練データ生成手法の開発に取り組んだ。農園を模倣したコンピュータグラフィックスを用いることで、機械学習用の訓練データを大量かつ自動に生成できる。これにより、人手によって大量に画像アノテーションを行うことなく、学習データを生成できる。画像の生成方法については、写真から切り抜いた部分画像を組み合わせて農園を模倣した画像を生成する手法と、三次元コンピュータグラフィックスを用いて、その構成部品を三次元モデル内で区別してアノテーションを行い、最終的に2次元画像を生成する手法を開発した。

上記の訓練画像自動生成手法について、精度向上に寄与する条件を特定するための調査を実施したところ、切り抜き画像（カットアンドペースト法）による合成が有効であることを示唆する結果を得た。この手法は、農園を模倣した人工的な機械学習用の訓練データを大量かつ自動的に生成し、切り抜き画像による訓練データによって、最大で適合率99%、再現率30%、IoU平均71%の結果を得た。この機能を用いて、特定の果実位置とサイズとを画像の中から時系列に沿って抽出する技術を開発した。開花日から150日経過すれば、収穫時の果実サイズを誤差1cm以内で予測できる機能を実現した。この研究内容に関しては、査読付き国際ジャーナルに投稿して採録された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Hondo Takaya, Kobayashi Kazuki, Aoyagi Yuya	4. 巻 22
2. 論文標題 Real-Time Prediction of Growth Characteristics for Individual Fruits Using Deep Learning	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 6473 ~ 6473
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s22176473	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 源野広和, 小林一樹	4. 巻 30(2)
2. 論文標題 畳み込みニューラルネットワークを用いて果実画像の生育度分類を行う場合の果実拡大率の影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 農業情報研究	6. 最初と最後の頁 86-95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3173/air.30.86	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 源野 広和, 小林 一樹	4. 巻 29
2. 論文標題 深層学習を用いたデータクレンジングとリンゴ果実画像への応用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 農業情報研究	6. 最初と最後の頁 47-61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3173/air.29.47	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 0件／うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Hideto Kubo, Kazuki Kobayashi, Yuya Aoyagi
2. 発表標題 Automatic Annotated Farm Image Generation from 3D Computer Graphics for Machine Learning
3. 学会等名 2022 Joint 12th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 23rd International Symposium on Advanced Intelligent Systems (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上田 弦輝, 吉原 一成, 小林 一樹
2. 発表標題 ユーザに共感しながら作業記録を行うモバイル対話システム
3. 学会等名 HAIシンポジウム2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 花形 優斗, 吉原 一成, 小林 一樹
2. 発表標題 ブドウ摘房支援のためのフォトグラメトリによる着果量測定
3. 学会等名 日本知能情報ファジィ学会 合同シンポジウム 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本堂貴也, 小林一樹, 青柳悠也
2. 発表標題 深層学習を用いた果実の個体別リアルタイム生育情報の抽出
3. 学会等名 農業情報学会2022年度年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tatsuki Hori, Kazuki Kobayashi,
2. 発表標題 Designing Personality Shifting Agent for Speech Recognition Failure
3. 学会等名 The 21st ACM International Conference on Intelligent Virtual Agents (IVA 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tatsuki Hori, Kazuki Kobayashi
2. 発表標題 Personality Shifting Agent to Remove Users' Negative Impression on Speech Recognition Failure
3. 学会等名 The 5th International Conference on Computer-Human Interaction Research and Applications (CHIRA 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上田 弦輝, 小林一樹
2. 発表標題 共感対話コーパスを用いた農作業記録対話システムの開発
3. 学会等名 日本知能情報ファジィ学会 合同シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本堂貴也, 小林一樹
2. 発表標題 深層学習を用いた果実の個体別生育状態の抽出
3. 学会等名 日本知能情報ファジィ学会 合同シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久保秀斗, 小林 一樹
2. 発表標題 果実自動認識のための多様な果樹3Dモデルと訓練画像の自動生成
3. 学会等名 農業情報学会2021年度年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青山夏樹, 小林一樹, 青柳悠也
2. 発表標題 対話的スマートデバイスによる熟練農業生産者の経験知収集
3. 学会等名 日本知能情報ファジィ学会 合同シンポジウム2020(第29回北信越シンポジウム & 第28回人間共生システム研究会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高井亮磨, 小林一樹
2. 発表標題 深層学習による隠れ果実領域抽出のための3DCGを用いた訓練データ生成手法
3. 学会等名 第33回人工知能学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高井亮磨, 小林一樹
2. 発表標題 StyleGANによる深層学習訓練用果実パーツ画像の自動生成
3. 学会等名 農業情報学会2020年度年次大会(ポスター)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高井亮磨, 小林一樹
2. 発表標題 深層学習におけるリンゴ果実 3Dモデルを用いた多視点訓練画像の生成
3. 学会等名 農業情報学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 小林一樹
2. 発表標題 フィールドモニタリングによる農業データ収集とAIの活用
3. 学会等名 第13回アカデミックナイト, (財)中部圏イノベーション推進機構
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林一樹
2. 発表標題 スマートフィールドモニタリングの活用とAIT農業への展開
3. 学会等名 日本機械学会北陸信越支部特別講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林一樹
2. 発表標題 IoT農業におけるスマートフィールドモニタリング
3. 学会等名 経営者向けセミナー「IoT をどう経営戦略に生かすか」, 基調講演, 一般社団法人 佐久産業支援センター
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

小林研究室Webページ  
<https://www.cs.shinshu-u.ac.jp/~kby/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	青柳 悠也  (Aoyagi Yuya)  (20882195)	信州大学・先鋭領域融合研究群社会基盤研究所・助教(特定 雇用)    (13601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関