

博士論文 (要約)

ウェアラブルセンサを用いた農業者の
作業支援システムの開発

川倉 慎司

論文要約

背景

近年、国内の少子高齢化に歩調を合わせるように、農業を代表とする第一次産業が抱える様々な問題は、深刻になっている。

具体的なものには、現場作業員・担い手の不足、新規参入者への言語化しにくい伝統的な技術の指導、作業者の状態検知の困難さなどがある。農作業の独特の動作、その勘所の指導は単純ではない。こういったものは、農業情報学分野では「技術伝承」と、その内容は「経験知」と呼ばれている。

しかし、一定数の人材が農業分野に新規参入しているのは、農林水産省などの調査結果でも示されている。また、ハイテク化の潮流には乗らず、旧来の手作業に拘っている農家は、現在も多数残っており、我が国の農業を支えている。今後、現場への科学技術の介入が進もうとも、それには染まらない人的手作業は残り、継承されるはずである。

そういった背景もあり、伝統的な手作業に従事する農家らは、新規参入者への的確な技術指導・状態検知の手法を必要としている。彼らは現場において、可能な限り安全・的確な指導を行いたい。しかし、依然として難儀しているケースが多い。

一方、学会・官公庁・企業などは、こういった農家のために、技術面・資金面・人材面で協力し、活性化のための提言・イベントなどを活発に行っている。先進的な IT・機具も積極的に提供し、前述の目的達成に向けた成果を挙げている。

特に、屋内外の農業用 IT システム・電子機器類は、多角的に進化し続けている。大分すると、圃場で局所的・大局的な測定やデータ管理を行うもの、大規模農園などを俯瞰的にモニタリング・マネジメントするもの、何らかの遠隔的な操作をするもの、それらを経営面に活かすためのものなどがある。科学的手法と手作業の調和は、今後一層、重要性を増すものと推察される。

先行事例

関連分野の先行研究によると、身体の加速度・角速度・位置・映像などのデータを用い、日常動作やその遷移を、判別・指標化できることが分かっている。熟練者－未熟練者間、若年者－高齢者間の比較、規定時間内の作業・運動、心身の状態などを対象とした事例が多い。

具体的には、大量の時系列データを基に、歩行・走行・掃除機がけ等の日常動作、スポーツ・武道・舞踏などを比較・評価し、それらの意義・有用性が示されている。

農業情報学分野においては、種々の肉体労働・電子機器・大型機械の効率・性能、特定の動作の有無・正誤などについて分析・評価を実施した事例が多い。

また、経営面・管理面に重点を置き、生産性・安全性の向上などを目標に、最新の IT も活用し、リアルタイムに現場・生産・流通の状況を捉え、有益な情報を発信・分析・保存している事例も多い。代表的なものには、気温・天候・収穫量・移動経路・映像などのデータを用い、圃場・農作業者の活動情報を管理するシステムなどがある。

本研究の目標

上記の既存研究の課題・限界は、以下のように整理される。

- ・手作業を主とした農作業現場において、技術指導、現場の状況検知が、未だ十分ではない。複雑な身体動作への対応は、特に不十分である。
- ・また、農業情報学分野では、接触式・非接触式技術を統合的に用いた例は限定的である。両手法は、互いに欠点を補い合える見込みが高いが、現段階では質的に不十分である。
- ・なおかつ、システムから自動的にリアルタイムに音声情報を作業者に与え、それによる作業の変化を分析・観察した事例はない。

これらを鑑み、本研究では伝統的な手作業が主の農家の現状を踏まえ、技術伝承・状況検知のサポートを目的としたウェアラブル・センシングシステム(WS)を開発・提案・検証する。

特に、農作業者の支援分野ではこれまであまり活用されていない、人間工学の技術、中でもバイオメカニクス技術、着用型ヒューマンプローブ技術などを活かす。そして、農業技術自体を「適切な指導によって、改善が可能な技能・運動」と見なし、研究開発を進める。

本研究のシステムにより、前述のような技術伝承の困難さをケアすることを目指す。また、作業者の状況把握・安全管理の面に関しても、電子情報系の技術でサポートする。

先行研究・事前データなどから、使用者の下腕部・胸部・腰部・用具の加速度・角速度、それらを統計分析した指標値が重要な要素といえる。これらの部位の動作分析を遂行し、そのデータを既存技術と複合的に用いることも目指す。

また、被験者から数メートルの距離の固定点より取得した映像データ、事後に回答を得た調査票データも補助的に用いる。前者については、オプティカル・フロー(OF)・ベクトルを用いた解析を主とする。なおかつ、種々の統計技術を用いて、それらを統括的に処理する。

上記の種々の手法によって得られたデータより、作業中の熟練者・初心者間の差異・特徴などを抽出し、事後に現場の作業員・管理者らに、具体的な数値、作業改善案という形で提示することを目指す。

併せて、作業中にノート型 PC よりイヤホン経由で、使用者に有益な音声指示を逐次、即時的に送信し、それらによる動作・姿勢の変容を観察する。そのデータも、解析・提示する。

将来、民間農家・農業訓練センター・レンタルファームなどが本システムを利用することを想定し、ユーザーに有益な、統合的な現場支援システムの提供を目的とする。

ウェアラブル・センシングシステムを基幹とした農作業技術支援システムのデザイン・作製

先行事例を勘案し、本研究用の WS をデザイン・構築した。計測・分析については、先に述べた通りである。構成要素は、市販のセンサ機器類・ノート型 PC、自作のソフトウェア群である。それらの組み合わせにより、腰部・胸部の動作・姿勢計測用のベルト部・ベスト部、下腕部・クワに装着する計測システム部を構築した。

屋内外におけるシステムの検証

まず屋内の平面上で、被験者らに日常の基本的な姿勢を取ってもらい、腰部に装着した 3 軸加速度センサの出力値が取りうる値を調べた。また、歩行・走行・転倒時などの基礎運動に関するデータも同様に参考値として収集した。これらを、以降の諸々の測定・システム構築に活かした。

それらに加え、非接触に被験者の動作・姿勢を分析するため、その正面・側部からの映像データを収集し、OF を基にしたデータを算出・分析し、手法の妥当性の検証を実施した。

次に屋外圃場・納屋で、種々の計測を行った後、各指標値のレンジ・波形特徴の抽出といった分析を進めた。具体的には、タマネギの収穫、クワによる耕しなどの動作を対象とした。

以上の内容と併せ、圃場での転倒時のデータも収集した。特に高齢の作業者の、圃場における動作停止・転倒などを想定した。将来、それらのケアも行う目的である。この試行により、本 WS での判別・検出がある程度は可能であることが示された。

また種々の作業に関し、前述の通り、映像データの OF ベースの演算・分析も実施した。これにより、作業ごとに熟練者・初心者間で、多様な差異が観察された。9 つの指標データの数値的分析のみならず、目視によるグラフの時系列変化(波形の形状変化など)の観察も可能であった。この手法についても、技術指導に有用となる可能性を確認できた。

音声指示伝達型ウェアラブルシステムの作製・検証

使用者に必要・有用と判断される音声指示を、イヤホン経由で適宜、伝達するシステムを考案・作

製し、その検証実験を実施した。本機構により、既存のシステムよりも高い即時性を持って、農作業者をケアすることを目指した。

具体的には、被験者が装着した WS の各センサによる測定値を、背部のノート型 PC に有線ケーブルで伝達し、その内部にセットしたプログラム群で、分析処理を実施させる。そして、事前に設定したトリガー条件を満たした際に、ユーザーへ向けて、事前に録音・保存しておいた音声ファイルを適宜再生し、教示を送信する機構である。

それらより使用者らは、技術面・安全面に関するリアルタイム・フィードバックを、適切なタイミングで受け取ることができる。

それらのトリガー条件は、屋外での基礎測定で収集した加速度・角速度データの分析結果を基に考案・定義したものである。熟練者・初心者群間の動作・姿勢の差異を小さくし、現場の新規参入者の技術向上に活用できると見込まれる内容である。

その際、加速度・角速度データだけでなく、音声指示の発生状況についての時系列データの記録も可能である。事後、それらの解析・考察を実施した。この音声指示の与え方を変えた初心者 A 群・B 群、熟練者群の間の、クワ・腰部の加速度・角速度に関する各指標値を、時系列で観察・分析した。

複数の項目について、ある程度明確な差異(有意差)が見られ、本システムの効用が定量的に示せたといえる。また、音声指示自体の発生回数の変遷についても分析した。試技の進捗とともに、発生回数が抑えられる傾向が見て取れ、ここからも、農作業動作の改善効果を示せた。その際、加速度・角速度・音声指示発生についての時系列データの記録も可能であり、事後、それらの解析・考察を実施した。

また、この試行においても、前述の手法で映像データを取得し、OF ベースの分析も実施した。

各統計手法の適用性の検証,

付録に示した試行では、これらの諸データを、多様な統計手法を用いて分析した。

また、フィールドサーバーシステム(FS)・無人飛行機(UAV)の活用に関する構想・提案・検証も行った。将来、本研究のシステム群を、こういった他分野の技術と融合させることで、より高質で統括的な現場サポートが可能になると予想される。そこで、その有力な候補である無線通信技術・無人飛行機を取り上げた。その稼働やデータの精度・実用性を示した。