

論文の内容の要旨

論文題目 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

氏 名 川倉 慎司

背景

近年、深刻な国内の少子高齢化に歩調を合わせるように、第一次産業の現場が抱える様々な問題は、一層深刻の度を増している。特に深刻な問題には、若者を含めた農作業分野の担い手不足、初心者への言語化しにくい伝統的な技術（農業情報分野でキーワードとされているいわゆる「経験知」）の指導、作業者の状態検知の困難さなどがある。口頭で伝えるのが難しい独特の特徴、作業自体の過酷さ、とも言えるであろう。今日も多く農家は、伝統的な手作業に従事しており、若者や農作業の初心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。

一方、各学会の活動、民間企業の技術面や資金面での参画、様々な活性化のためのイベントも活発である。ITや先進的な機械を積極的に導入し、生産性・安全性の向上などを目的に、リアルタイムに現場の状況をよりの確に捉えようとする活動が盛んになりつつあり、成果も挙げている。

一定数の若者、退職後の中高年が、農業分野に流れているのも事実である。そして今日も、日本人が代々受け継いできたきめ細やかで繊細な農業技術や、良質の製品を社会に供給し続けている。例えば中国の富裕層が、日本の高品質の果物を高い値段で輸入するなど、諸外国からも高い評価を得ている。

屋内外の農業用ITシステムや電子情報機器類は、局所的なもの、大規模なもの、遠隔的なもの、どれも発展を遂げ、実用化の手法も複雑化・多様化している

しかし今後、現場への技術導入が更に進もうとも、こういった中小規模の農場における人的手作業は普遍的に残るはずであり、それに携わる作業員への密着型のフォローも同様になくならない。また当然、農業分野を含めた第一次産業の現場の管理者、旧来からの業者としては、当然、せっかく入ってくれた若年者・初心者へ適切な技術指導を行いたい。

そういった背景を考慮し、本報では伝統的な手作業が主の農家の現状も踏まえ、現場支援を目的とした、データ測定・解析のシステムを開発・提案する。特に農業者の支援分野では、これまであまり活用される機会がなかった技術、具体的には近年の着用型ヒューマンプロブ技術なども活かし、農業技術自体をある種の「向上可能な技能・運動」と見なし、人間工学的に研究を進める。

技術伝承の困難さをケアするという目的もあり、言語化しにくい部分、ある程度の現場経験が必

要な部分、日々の作業者の安全面管理などが困難なところであり、そこを我々は科学技術で補助する手法を提案してゆきたい。

人の手と簡易な用具のみによる作業者の状況把握に焦点を当て、計測・解析するシステムを使用者の安全・状態検知に段階的に役立ててゆくことを考える。

先行事例と目標

先行研究によると、主に加速度・角速度センサを用いて日常動作の動作やその遷移を、統計処理などで判別・指標化できることが分かっている。熟練者－未熟練者、若年者－高齢者、どんな作業や運動をしているかを主たる判別対象としている事例が多い。大量の加速度の時系列データを基に、歩行・走行・掃除機がけ・食事等の日常生活動作が高精度で判別可能と示されている。

他にもスマートフォンを用いたものなど、日常生活に関するものは多々あるが、農作業に関するものはない。

農業情報分野では、クワなどの古典的な用具や、ハイテク農業機器自体の性能分析に関する事例、RFIDやGISを用いた作業やトラクターの位置検知、指定した動作の有無や正誤（道具やビンなどを手に取ったか否かなど）の判別に関する事例がある。

そのような流れの中で、農業情報学会などは生産性・安全性の向上などを掲げ、リアルタイムに現場の状況をよりの確に捉え、かつ最新のITを活用して生産性を向上させようと日々尽力している。例えばRFID・GPSセンサ、植物や人物の映像解析などを適宜用いて、農作業者の活動の情報を分析、インターネット経由で伝達・保存するシステムは複数存在する。

またリアルタイムのレスポンスがあるものに関しては、種々のウェアラブルシステム(WS)を土台にし、ヘッドマウントディスプレイやヘッドホン、スマートフォンの画面等を利用したケースが多い。具体的には、現実の生活に有用な映像・文字情報・音声などを伝達し、リアルタイムでユーザーに必要・有用と思われる情報を与える試みが増えている。

IT化が進む昨今、さらにこういった技術は望まれる。そこで本報で我々は、特にこれまで本分野ではほとんど活用される機会がなかった人間工学・運動工学分野の技術、近年の着用型ヒューマンプロブ技術なども活かすことにした。農業技術を「レクチャーを受け、向上可能な技能・運動」と見なし、それをサポートするための研究開発を実施している。伝統的な手作業が主の農家や農業訓練センター等のため、事後にユーザーに必要な適確な指示を出せる現場支援システムを開発し、その検証を行う。

先行研究やデータなどからも、下腕・胴体部・頭部・脚部の加速度・角速度がもっとも重要な要素といえる。本研究では、農業情報分野でそういった手法や技術を応用し、かつ既存の技術と複合的に用いることを目指す。それらと併せて、3メートルの距離からの映像データ、調査票による被験者の情報を取得し、補助的に用いる。それらを前述の学術分野で用いられる解析方法（主に統計的なもの）で分析する。得られたデータより、作業中の初心者と熟練者の差異・特徴などを抽出し、事後に被験者らに数値により提示する方針である。

初心者や若者への技術の伝承、微妙なニュアンスの伝達は依然として困難であり、それらは長年、現場の悩みであった。しかし、「即時的なリアルタイム・フィードバック指示」により、農業動作の質の改善、ユーザーの状態・危機検知機能が高まる可能性が示された。その有用性を見込み、検証

した結果を報告する。

ウェアラブル機構を基幹とした、農作業技術支援システムの構築

加速度・角速度・オプティカル・フロー（OF）を基本要素とした、農業情報分野の人体計測・分析の前例は存在せず、ウェアラブルセンシング機構等を利用した独自の装着型システムを作製した。

本システムは代表的な現場動作時の、使用者の身体やクワの加速度・角速度のデータ値等を測定・記録する。また発展版においては、リアルタイムでデータをプログラム処理しつつ、技術向上に有用な音声指示を適宜、使用者に伝達するのが目的である。

そして事後にその時系列データを用いて、種々の解析や熟練者と初心者の比較などを実施した。そこで得られた統計的指標の特徴や、その差異などが技術支援に有用と考えられる。

さらに、数メートルの距離において非接触に動作分析するために、作業者の正面からの映像データを収集し、オプティカル・フローのベクトル算出・分析し、データを事後に、フィードバックする技術指導システムの可能性を示唆した。

民間圃場におけるシステムの運用

まずは、屋外での種々の測定に入る前に、理想的な屋内平面で臥位、立位、中腰、しゃがみ状態、椅子上での座位などの姿勢を取ってもらい、3軸加速度センサの測定値が取りうる範囲を調べた。また、歩行・走行・転倒時など基礎運動に関するものも同様に参考値として収集した。

そして屋外で、データ提示による若者・初心者らの技術向上、そのための熟練者との差異を指摘、および安否検知を行うという目標を念頭に、これまで述べた特徴量の抽出などの分析を進めた。具体的に収集・分析した加速度・角速度の時系列データは、座位の作業の代表例であるタマネギの収穫時のもの、クワでの耕し作業時のもの、（特に高齢者や、重篤な病気や怪我を持たれている方のために）圃場での転倒時のものなどである。また、種々の作業に関して、オプティカル・フローの時系列データの分析も行った。

作業ごとに熟練者と初心者の中に明確な特徴が見受けられ、前述の目当てのように、目視でグラフの各指標値の時系列変化を観察することも可能である。

時系列データの発展的な統計解析

前章までに取得・分析した各データを、本章ではより高度な解析方法を用いて分析したり、統計的手法の妥当性を検証したりし、隠れている要素などをあぶり出すといった試行を進捗してゆく。

具体的に用いた手法は、試技直後のVAS値、RPE値の比較、被験者の基礎情報、鉛直下方向の加速度から算出された値も交えた単相関、日常生活の習慣に関する、調査票の各指標値の収集、相関比の演算・基礎情報に加え、被験者の生活習慣などに関する基礎情報を収集した後の、それぞれの相関比、クラスター分析による被験者のグルーピング、上記の要素に関する主成分分析などである。

これらの既存の統計的手法が、汎用的な農作業動作においても有効であることが示された。

音声指示伝達型ウェアラブルシステムの検証

前章までの内容に加え、さらにリアルタイムで背部のコンピューター（PC）より、音声指示信号

を伝えることにより、より即時性を持って農作業者の技術をケアすることを目指す。同時に使用者の動作・姿勢の改善の助言を行う、ウェアラブルシステムを設計・作製し、現場支援するシステムを提案する。

システム部では身体の各部位やクワなどの加速度・角速度値を、背中に装着したノートPCに有線で伝達、その内部で測定・各演算処理・記録をする。また使用者らは装着したイヤホンから、PC内に録音しておいた音声指示ファイルの再生により、技術面・安全面に関するリアルタイムのフィードバックを受ける。

技術向上に有益な情報や、危険回避のための指示を逐次、必要なタイミングで得ることができる。それらのトリガーの条件は、事前の諸般の基礎実験により収集された時系列データの分析結果を基にしている。また参考として、数メートル離れた位置からの映像データも取得し、Optical Flowによるデータの統計分析も実施し、併せて観察した。

音声指示の送信機能やフィールドサーバー (FS) といった周辺機構の提案

こういった種々のデータやシグナルを、インターネット上のSNSにアップロードするための中継点となるフィールドサーバーにまつわる種々の動作検証も実施した。本システムは、将来的に様々な手作業を行う農家・指導機関などでの技術コンサルティング用途に用いることで、現場の作業性向上に活用できる可能性があると考えます。また、汎用的なUAVをホバーリングさせて、空中からの映像撮影も行い、将来的には、上空のノードの一つとして用いる可能性も示唆した。