

Integration of ICT and Artificial Intelligence Techniques to Enhance Tomato Production

Denis Pastory Rubanga

和文要旨

2050年までの世界人口91億人に対応するためには、作物生産を60%増やす必要があるとされている。野菜生産の増産の可能性は高いが、いくつかの課題があげられ、特に気候条件は野菜の生産を大きく制限する。この研究では、特に経営規模の小さいトマト農家に着目し、労働制約・ICT制約を抱えた日本およびサブサハラ・アフリカ(SSA)における小規模農家を対象とした。本研究は、生物的(トマト害虫・トマトキバガ: *Tuta absoluta*)および非生物的(微気象)要因による損失を減らすことで収量を上げ、食料安全保障の懸念を軽減することを目的に、データ駆動型の情報通信技術(ICT)と人工知能(AI)の最新技術移転による小規模農家のトマト生産環境の改善につなげる課題に取り組んだ。

本論文は以下の4つの研究成果から成る: 第2章)労働力制約のある小規模園芸農業におけるスマート農業の応用、第3章)ICT制約のある小規模農家における新技術の必要性に関する評価、第4章)深層学習によるトマト害虫の早期発見、第5章)マルチスペクトル画像を用いた機械学習によるトマト害虫の発見精度向上。

第2章:労働力に制約のある日本の小規模農家の微気象環境に着目し、これに対する解決策として、温室内のワイヤレスセンサーネットワークの開発と展開を行った。リアルタイムデータに基づく分析結果により、作物生育管理が信頼性の高い微気象環境調節で実装可能であることを示した。市販の安価なワイヤレスセンサーネットワークデバイスと、作物環境の温度センサーによる監視と管理によりトマトの収量向上が期待できることを示した。一方、本成果である微気象環境調節のSSA小規模農家への適用に取り組む際に、事前に解決しなければならない生物的要因による損失の課題があることから、ICT制約のSSAの小規模農家へのICTベースの技術移転によるトマト害虫(*T. absoluta*)の損失軽減に着目した(第3章、第4章、第5章)。

第3章:この章では、トマト害虫の問題解決に取り組むため、タンザニアにおける*T. absoluta*被害農家へのアンケート調査結果に基づき、深層学習ベースの手法を導入するための推奨プラットフォーム考案を行った。実験的研究の結果、市場におけるトマト供給の減少と*T. absoluta*の被害度合との高い相関を示し、早期発見技術の開発が本課題の解決に必要なことが示された。

第4章:トマト害虫*T. absoluta*の圃場への侵入は、最大100%の損失被害を引き起こす可能性がある。トマト生産の初期段階で効果的な管理オプションを得、経済的損失を回避するためには、害虫被害個体を早期に特定することが重要となる。本章の目標は、*T. absoluta*の早期識別および定量化ツールとしてのコンピュータービジョンに基づく深層学習技術を開発することである。具体的には、*T. absoluta*罹病トマト葉画像を用いた畳み込みニューラルネットワーク(CNN)解析による早期検出モデルを開発することである。SSA国であるタンザニアにおいて

2018年8月～2020年5月の期間で、施設内実験（ネットハウス）を実施した。移植後2日目に、植えたトマトの苗に *T. absoluta*（4～8匹の幼虫）をランダムに植物接種し、トマト葉の高解像度 RGB 画像およびマルチスペクトル画像を定期的に撮影取得した。トマトの検出タスクでは、トマト葉の被害の有無および被害カテゴリ（被害なし、軽度、重度）の分類精度について、各モデル分類器（ResNet50, VGG16, VGG19, Inception-V3）のパフォーマンスを評価した。結果として、被害有無検出器としては VGG16 モデルが他のモデルよりも優れていることを示した（精度 90%超）が、定量化（被害軽度・重度）の精度向上には課題を残した。第5章：Sequoia（Parrot社製）マルチスペクトルカメラを用いて撮影された画像は、Pix4Dソフトウェアを使用して前処理し、4つのスペクトルバンド（赤、緑、レッドエッジ、NIR）を用いた植生指数画像に変換し、植物体のみ範囲に抽出した画像を用いた。個々のトマト植物体の植生指数画像を勾配ブースティング（Xgboost、LightGBoost、CatBoost）による機械学習分類を行った。結果として、植生指数 NDVI、GNDI、NRI、および MARI 画像のキャットブーストモデルが 79.4%の精度での罹病葉検出が可能であることを示した。さらに、TreeExplainer アルゴリズムにより NDVI と GNDI がモデルへの寄与が最も高い指標であることを示し、トマト害虫被害の特定には近赤外線反射情報が有効であることが示された。