

みどりの食料システム戦略実現技術開発・実証事業のうち
農林水産研究の推進（委託プロジェクト研究）

令和4年度 みどりの食料システム戦略実現技術開発・実証事業のうち農林水産研
究の推進（委託プロジェクト研究）

A I を活用した食品における効率的な生産流通に向けた研究開発

令和4年度 最終年度報告書

課題番号	18064796
研究実施期間	平成30年度～令和4年度（5年間）
代表機関	三菱ケミカル株式会社
研究開発責任者	吉田 重信
研究開発責任者 連絡先	TEL : 080-2351-4441
	FAX : 03-6685-2404
	E-mail : shigenobu.yoshida.mc@mcgc.com
共同研究機関	国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学
	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構
	ヤマト運輸株式会社
	沖縄セルラーアグリ&マルシェ株式会社
	国立大学法人東京大学
	学校法人明治大学
普及・実用化 支援組織	

<別紙様式3>最終年度報告書

I-1. 年次計画

研究課題	研究年度					担当研究機関・研究室		研究担当者 (注1)
	2	3	4	5	6	機関	研究室	
研究開発責任者	/	/	/	/	/	三菱ケミカル	アトバンソリューションズ ビジネスグループ 戦略 企画本部	◎ 吉田重信 橋爪 宇生 篠崎 陽代
1 生産現場での需要 に応じた生育管理技術 の開発	○	○	○	○	○	農研機構	野菜花き研究部門	○ 岩崎泰永 (~2020.3) 磯崎 真英、 (2020.4 ~ 2022.3)、王蕊 (2022.4~)
1-(1) 農業法人の 栽培解析	○	○	○	○	○	農研機構	野菜花き研究部門	○ 岩崎泰永 (~2020.3) ○ 磯崎 真 英 (2020.4 ~ 2022.3) ○ 王 蕊 (2022.4~) △ 佐々木 英和 山浦 寛子 高野 暢雄 (~2021.1) 江口 雅丈 (~2019.3) 篠原 洋太 (~2022.3) 菅野 圭一 杉山 智美 王 蕊 (~2022.3) 村松 幸成 (2022.4~) 磯崎 真英 (2022.4~)
						三菱ケミカル	アトバンソリューションズ ビジネスグループ 戦略 企画本部 アグリソリューション事業部	窪川 清一 橋爪 宇生 池田 憲亮 (~2021.3) 安部 常浩 (~2021.3) 中南 暁夫 (~2021.3)
1-(2) 生育管理シ ステムの開発	○	○	○	○	○	三菱ケミカル	アトバンソリューションズ ビジネスグループ 戦略企 画本部 アグリソリューション事業部	△ 窪川清一 橋爪 宇生 池田 憲亮 (~2021.3) 安部 常弘 (~2021.3)

						<p>農研機構</p> <p>パナソニック (~R3)</p>	<p>野菜花き研究部門</p> <p>コネクティッドソリューションズ社 アグリ事業SBU</p>	<p>中南 暁夫 (~2021.3)</p> <p>佐々木 英和</p> <p>八谷 佳明 (~2020.3)</p> <p>柴田 泰匡 (~2020.3)</p> <p>河野 賢二 (~2020.3)</p> <p>山崎 正弘 (~2020.3)</p> <p>石母田 充 (~2020.3)</p> <p>安本 英雄 (~2020.3)</p> <p>藤山 広光 (~2020.3)</p> <p>野阪 茂聖 (~2020.3)</p> <p>寺島 祐二 (~2020.3)</p> <p>山田 太一 (~2020.3)</p> <p>牧 直史 (~2020.3)</p> <p>垂口 昭博 (~2020.3)</p> <p>富田 常張 (~2020.3)</p> <p>湯下 良一 (~2020.3)</p> <p>山本 雅弘 (~2020.3)</p> <p>新居 道子 (~2020.3)</p> <p>菅 祥彦 (~2020.3)</p> <p>松本 幸則</p> <p>藤原 誠二 (~2021.3)</p> <p>福井 祐子 (2020.4 ~ 2022.3)</p> <p>小笹 稔 (2020.4 ~ 2022.3)</p> <p>北井 崇博 (2020.4 ~ 2022.3)</p> <p>元山 恵太 (2020.4 ~ 2022.3)</p> <p>井上 智裕 (2020.4 ~ 2022.3)</p> <p>遊佐 幸樹</p>
--	--	--	--	--	--	-------------------------------------	--	--

						<p>沖縄セルラーアグリ&マルシェ</p> <p>東京大学</p> <p>明治大学 (R3～)</p>	<p>MI本部</p> <p>工学系研究科</p> <p>農学部</p>	<p>(2020. 4 ～ 2022. 3)</p> <p>山内 正二 (2020. 4 ～ 2022. 3)</p> <p>佐藤 健喜 (2020. 4 ～ 2022. 3)</p> <p>加賀 武史</p> <p>伊吉 栄吉</p> <p>池島 正仁</p> <p>松尾 誠治</p> <p>高橋 洋子 (2021. 4～)</p> <p>所 千晴 (2021. 4～)</p> <p>岩崎 泰永</p>
2 収量予測システムの研究開発	○	○	○	○	○	<p>東海国立大学機構</p> <p>名古屋大学</p> <p>農研機構</p> <p>パナソニック (～R3)</p>	<p>情報学研究科</p> <p>大学院生命農学研究科</p> <p>野菜花き研究部門</p> <p>コネクティッドソリューションズ社 アグリ事業SBU</p> <p>コネクティッドソリューションズ社 イノベーションセンター</p>	<p>○ 北 栄輔</p> <p>松本 省吾</p> <p>太田垣 駿吾</p> <p>西内 俊策</p> <p>磯崎 真英</p> <p>佐々木 英和</p> <p>山浦 寛子</p> <p>高野 暢雄</p> <p>江口 雅丈</p> <p>篠原 洋太</p> <p>菅野 圭一</p> <p>杉山 智美</p> <p>王 蕊</p> <p>村松 幸成</p> <p>八谷 佳明 (～2020. 3)</p> <p>柴田 泰匡 (～2020. 3)</p> <p>河野 賢二 (～2020. 3)</p> <p>山崎 正弘 (～2020. 3)</p> <p>石母田 充 (～2020. 3)</p> <p>安本 英雄 (～2020. 3)</p> <p>藤山 広光 (～2020. 3)</p> <p>野阪 茂聖 (～2020. 3)</p> <p>寺島 祐二 (～2020. 3)</p> <p>山田 太一 (～2020. 3)</p>

												牧 直史 (～2020.3) 垂口 昭博 (～2020.3) 富田 常張 (～2020.3) 湯下 良一 (～2020.3) 山本 雅弘 (～2020.3) 新居 道子 (～2020.3) 菅 祥彦 (～2020.3) 松本 幸則 藤原 誠二 (～2021.3) 福井 祐子 (2020.4～ 2022.3) 小笹稔 (2020.4～ 2022.3) 北井 崇博 (2020.4～ 2022.3) 元山 恵太 (2020.4～ 2022.3) 井上 智裕 (2020.4～ 2022.3) 遊佐 幸樹 (2020.4～ 2022.3) 山内 正二 (2020.4～ 2022.3) 佐藤 健喜 (2020.4～ 2022.3)
						三菱ケミカル	アドバンスソリューションズ ビジネスグループ R&D 部	窪川 清一 橋爪 宇生 池田 憲亮 (～2021.3)				
3 需給支援システムの研究開発		○	○	○	○	三菱ケミカル	アドバンスソリューションズ ビジネスグループ R&D 部	○ 窪川清一 橋爪 宇生 池田 憲亮 (～2021.3)				
						名古屋大学	情報学研究科	北 栄輔				
4 需給支援システムの実証研究	○	○	○	○	○	三菱ケミカル	アドバンスソリューションズ ビジネスグループ 戦略 企画本部	○ 窪川清一				
4- (1) 需給支援システムの実証研究	○	○	○	○	○	三菱ケミカル	アドバンスソリューションズ ビジネスグループ 戦略	△ 窪川清一 窪川 清一 橋爪 宇生				

						明治大学 (R3～)	企画本部 農学部	池田 憲亮 (～2021.3) 安部 常浩 (～2021.3) 岩崎 泰永
4-(2) 海外流通の 実証研究	○	○	○	○	○	三菱ケミカル ヤマト運輸	アドバンスソリューションズ ビジネスグループ 戦略 企画本部 グローバルフォロ ーディング部 経営戦略部 社長室 経営戦略部 グローバルSCM事 業本部	窪川 清一 橋爪 宇生 池田 憲亮 (～2021.3) △宮澤 恭一 (2021.8.16 ～) 陶 凱琳 (2021.4～) 守屋 伊久美 (～2020.3、 2021.4～2021 ～.8.16) 下築 亮一 (～2021.3) 朱 暁楠 (2021.3～) 大上 直樹 (2020.3～ 2021.3) 松渕 真哉 (～2020.9)

(注1) 研究開発責任者には◎、小課題責任者には○、実行課題責任者には△を付してください。

I-2. 研究目的

平成28年度の作物生産調査では収穫量と出荷量の差となる廃棄ロスにはトマトで10%、ホウレンソウで16%となっている。生産者の多くは、契約状況や出荷実績を参考にしながら経験と勘による生産計画を作成している。特に、契約栽培を行っている生産者においては、契約先への出荷量及び品質の安定供給が必須となっていることから、規格外品の発生や生育不良、収穫時期のズレ等による欠品を回避するため、契約より多い生産を行っていることが多い。また、こうした「過剰生産」によって発生した余剰品の販売先を新たに探すことも困難となっている。

こうした「過剰生産」や「規格外品の発生」等が廃棄ロスを生み出す要因となっていることから、廃棄ロスを削減するためには、契約栽培の出荷量を最適化するとともに、余剰品の販売先を事前に調整することにより適正価格で販売することが担い手の収益向上では重要な課題である。このため、契約栽培(量・質)の最適化を図るとともに、生育予測に基づく栽培品目毎の栽培最適化技術による需要に応じた計画的生産の精度の向上、さらに、余剰品の販売先の確保といった、規格外品や余剰品を最小化するための技術・手法の確立が課題となっている(表-1)。

表-1 廃棄ロスの発生要因、課題、解決に必要な技術

廃棄ロス発生要因	課題	課題解決に必要な技術
1. 過剰生産	<ul style="list-style-type: none"> ・経験と勘等、大まかな情報による契約栽培と栽培計画 ・収穫日の予測ができない ・出荷したい日に生育調整ができない ・余剰品の販売先がない 	<ul style="list-style-type: none"> ①生育予測モデル 環境条件、生育状況のデータ収集 生育モデルの構築 ②収量予測システム 収穫日や供給可能量の予測 ③需給支援システム 余剰品を1週間前に把握し販路拡大に貢献
2. 規格外品の発生	<ul style="list-style-type: none"> ・収量・品質が把握できない 葉菜類：高温時の過剰成長等 トマト：高温時の裂果、尻ぐされ等 	<ul style="list-style-type: none"> ①生育予測モデル 高温時等の環境要因に対応した最適収穫時期と歩留の把握

本研究では、

1. 対象圃場から収集した生育・環境情報に基づく生育予測モデル開発
2. 上記1で開発したモデルと、1週間後の環境予測に基づくサイバー在庫(※)を把握するための「収量予測システムの研究開発」
3. 上記1～2の取組で把握されるサイバー在庫の販売を支援するための「需給支援システムの研究開発」
4. 上記の1から3の取組を統合し、開発技術の効果の実証

に取り組むことにより、契約量よりも過剰に生産された生産品を契約販売と同等価格で販売し、生産量 - 契約数量の20%を適正価格で販売することを目指す。

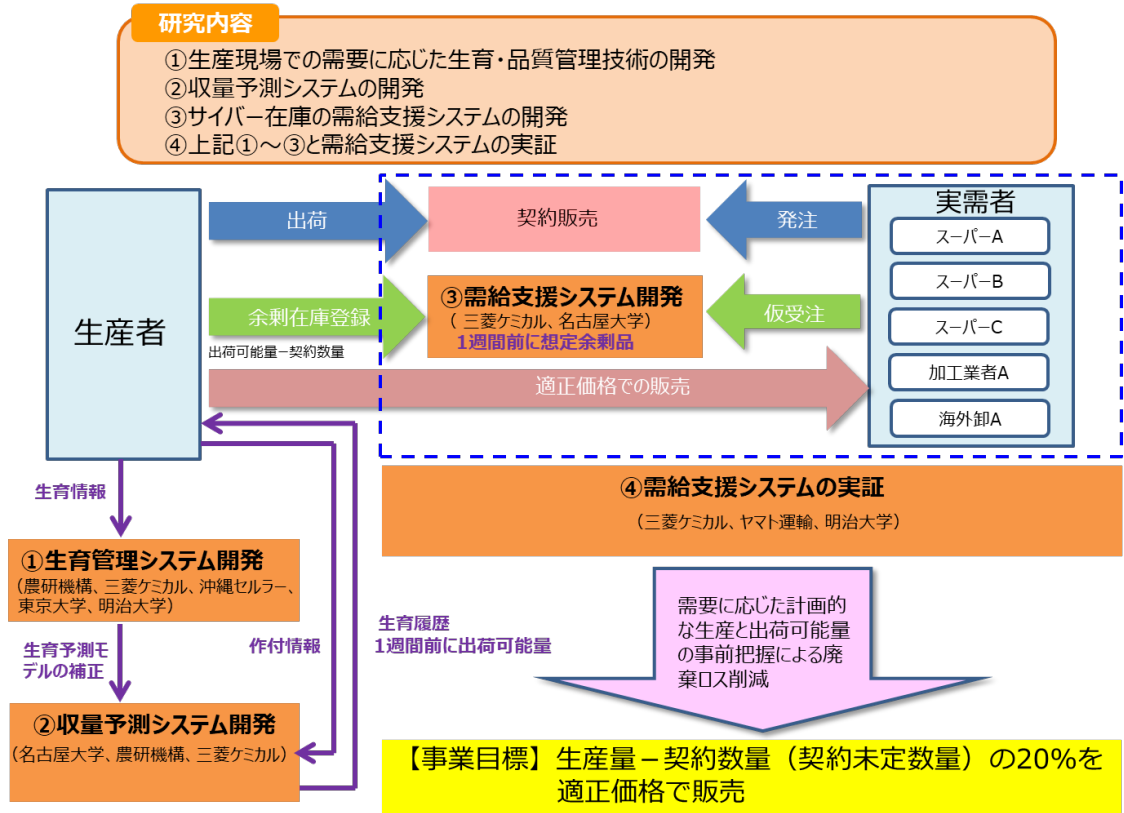
また、上記1～4の研究課題の精度を上げるためには、需要に応じた計画的な生産が重要であることから、本研究では、露地栽培に比べて生育管理が容易な葉菜類、トマトを中心とした施設園芸の野菜を対象品目とする。

この結果、

1. 廃棄ロスの削減に加え、生産予測の高精度化・最適人材配置に伴うコスト削減と余剰品の販売による農業担い手の所得向上
2. 需給支援システムの活用により、市場ニーズに応じた調達先の拡大が期待される。

(※) サイバー在庫：1週間前の生産量から受注量を除いた在庫予測量

「AIを活用した食品における効率的な生産流通に向けた研究開発プロジェクト」の全体像



※令和4年4月よりパナソニックは協力機関に変更

I-3. 研究方法

(1) 生産現場での需要に応じた生育管理技術の開発

農研機構内に設置した水耕栽培装置を利用してホウレンソウを栽培するとともに、本事業に参画している協力農業法人、糸満市のうちなーファームに設置した圃場（以後、糸満圃場）から定期的にサンプルを収集し、葉面積、乾物重、全長、葉枚数など調査し、同時に収集した栽培管理情報（栽培・環境データ）から、水耕栽培ホウレンソウの生育を予測するモデルを構築した。また、3次元画像解析技術やAI技術を用いて生育状況推定値（葉面積、新鮮重等）を補正する技術を開発した。

(2) 収量予測システムの研究開発

生育予測モデルと各圃場のセンサ情報や外部気象予報情報から、農作物の生育や収穫時期、収穫量を予測するシステムを開発した。また、ホウレンソウ生育の画像を機械学習することにより農作物の生育や収穫時期、収穫量を予測するシステムを開発した。

(3) サイバー在庫の需給支援システムの研究開発

複数の生産者のサイバー在庫情報を、実需者のスマートフォンやパソコン画面に一覧形式で提示することにより、従来廃棄せざるを得なかった余剰品を需給マッチング検討に活用することが可能な需給支援システムを構築した。

(4) 需給支援システムの実証研究

協力農業法人等にて収量予測システム、需給支援システムの運用をおこない、サイバー在庫のマッチングなどによる廃棄ロス削減効果の検証を行った。

I-4. 研究結果

(1) 生産現場での需要に応じた生育管理技術の開発

生育予測モデル予測精度と汎用性を向上させるため、農研機構の植物工場で複数品種の成長実験を行って、データに基づいて成長解析を行った。得られた品種ごとの結果をもとに、ホウレンソウの成長特徴を抽出し、グラスター解析によって類似度が高い品種ごとのグループに分けることができた。グループごとにモデル係数とグループの特徴を紐づけることによって、多品種予測モデルを作成した。さらに、将来の新品種を対応するために、季節別の予測モデルを作成した。このモデルの予測精度は実証圃場のデータにより、乾物重で90%、全長で85%であった。

距離画像センサによる全長、葉面積の自動収集システムを開発した。生育の初期段階での測定誤差が明らかとなったものの、中期以降の測定精度は高く実用可能であると判断した。

AI技術を用いて作物の生育状況推定値（葉面積、新鮮重等）を補正することで、ホウレンソウ生育予測モデルの精度の向上あるいは生育予測モデルの補正等につながる可能性を検証した。

(2) 収量予測システムの研究開発

環境データやカメラ画像のAI解析によって収量を予測するアルゴリズムを3種類開発し、それぞれのアルゴリズムについてスマートフォン等で利用可能なアプリ（アプリ1～3）を開発した。アプリ1は圃場のカメラやセンサ、外部気象などの多様な情報を利用して予測結果をタブレットに通知するシステムとした。アプリ2は圃場のウェブカメラから入手した農作物画像のみを用いて収穫時期、全長、生育環境の温度を予測するシステムである。アプリ3は外部気象情報のみから圃場内の農作物の成長を予測するシステムであり、実際の圃場において90%以上の生育予測精度を達成した。

(3) サイバー在庫の需給支援システムの研究開発

サイバー在庫情報を需給マッチングの検討に活用することが可能な需給支援システムを構築した。具体的には、(2)で開発した収量予測システムにより1週間後の収穫量を予測し、契約数量を差し引いたサイバー在庫量を実需者に送付し、実需者が生産者に見積もりを依頼できるものとした。また実需者へのヒアリングの結果、サイバー在庫をリアルタイムで更新できる機能を付加するとともに、発信情報を余剰品に限定せず、葉菜類の栽培情報全般をその対象とすることができる機能を追加した。

(4) 需給支援システムの実証研究

全国5カ所の生産法人において、収量予測および需給支援システムによる廃棄ロス削減効果の実証テストを実施した。その結果、収量については84%以上、ホウレンソウ全長については91%以上の精度で予測が可能であった。また、収量予測および需給支援システムを活用した、サイバー在庫の販売および作付け計画の適正化により、13~35%（全場所平均24%）の廃棄ロス削減効果があることが示された。

I-5. 今後の課題

開発した収量予測システムと需給支援システムにより、20%以上の廃棄ロス削減効果が示された。本研究で開発した収量予測システムのうち、最も簡易な外部気象データを用いるアプリでも十分な予測精度を示し、協力生産法人の評価も高かったことから、今後の社会実装を推進するため、さらなる精度の向上などの検討が必要である。これについては、研究コンソーシアムのメンバーを中心に生産者も含めた「AI生産流通研究会」を設立して、次年度以降も継続して検討する。

小課題番号	0101	小課題 研究期間	平成30～令和4年 度
小課題名	1 生産現場での需要に応じた生育・品質管理技術の開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 野菜花き研究部門 岩崎泰永（～2020.3） 磯崎真英（2020.4～2022.3） 王蕊（2022.4～）		

II. 小課題ごとの研究目的等

(1) 生育予測モデル、生育管理システムの開発

1) 研究目的

本研究課題では、研究課題2収量予測システムの研究開発において、圃場全域における1週間後の収量予想を行うために必要な生育予測モデルを開発するとともに、地域の異なる各圃場において生育を予想する基盤構築のための生育管理システムの開発を行う。

2) 研究方法

農研機構内に設置した実験用水耕栽培装置を利用してホウレンソウを栽培し、生育予測モデルを開発した。農研機構野菜花き研究部門（茨城県つくば市）の実験温室に設置した水耕栽培システム（商品名ナッパランド）を用いて、ホウレンソウの栽培試験を夏と秋の2回行った（図-1(1)-1）。栽培管理は水耕栽培システム付属のマニュアルに準じて行い、水温について15、20、25℃の3水準を設定した。栽培期間において定期的に（1週間1回、栽培期間中に4回）葉面積、全長、乾物重などの生育データを測定するとともに、室外気温、室内気温や室内外日射量、水温等の栽培管理情報を収集した。

合わせて複数の農業生産法人等から定期的にサンプリングして上記の生育データおよび栽培管理情報を収集した。これらのデータを解析して水耕栽培ホウレンソウの生育予測モデルを構築した。



図1-1(1)-1 実験温室における小規模水耕栽培装置を利用したホウレンソウ栽培試験の状況

3) 研究結果

① 水耕栽培ホウレンソウの生育予測モデルの開発

総乾物重と積算受光量の関係から、光利用効率を調査したところ、夏期栽培では、25℃、20℃、15℃の順に、それぞれ0.63、0.69、0.74となり、水温によって異なった（図1-1(1)-2）。また、夏期栽培と秋期栽培では光利用効率が異なった。気温と全長の間には強い相関関係があり、積算気温で全長が予測できることが示された（図1-1(1)-3）。一方、夏期栽培と秋期栽培では、気温や日射量に対する生育反応が異なり、光利用効率や積算気温と全長の関係も

係数が異なったことから、このような気象情報と生育情報による一次回帰モデルでは、乾物重と全長を予測することは難しいと考えられた。

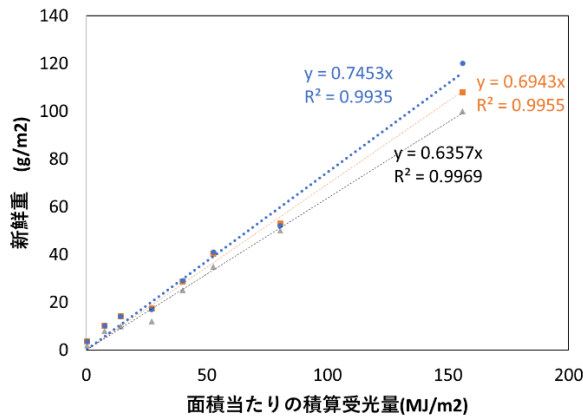


図1-(1)-2 積算受光量と総乾物重の関係 (夏栽培)

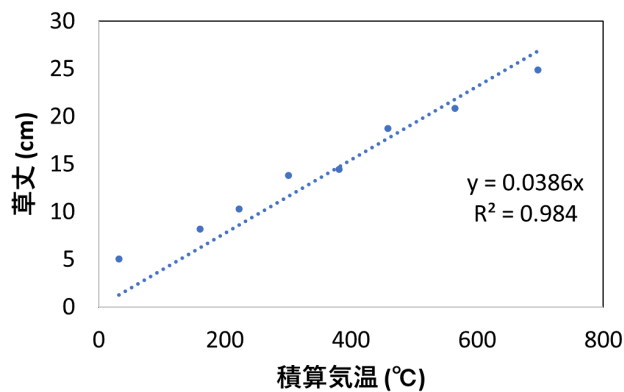


図1-(1)-3 積算気温と全長の関係

そこで気温と日射量をモデルに含め、さらに水温、日数を係数とした生育予測の一般化線形モデルを構築したところ、全長を70%以上の精度で予測できた。(図1-(1)-4)。

$$dY1 \text{ (日全長増加量)} = a_1 \times \text{栽培日数} + b_1 \times \text{養液水温} + c_1 \times \text{日射} + d_1 \times \text{気温} + e_1$$

$$dY2 \text{ (日乾物重増加量)} = a_2 \times \text{栽培日数} + b_2 \times \text{日射} + c_2 \times \text{気温} + d_2$$

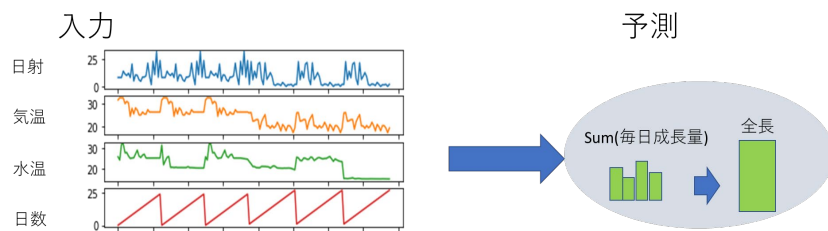


図1-(1)-4 気象とハウレンソウの成長の特徴を日ごとに抽出し、関係を定量化

前述の実験温室のデータから構築した生育モデルを基に、農業生産法人等におけるハウレンソウの生育データや実際の圃場において計測可能なデータを考慮して、モデルの入力パラメータを検討した。その結果、ハウレンソウの質量予測モデルと全長予測モデルの予測式には日射、気温、水温、栽培日数の4つのパラメータを用いることとした。冬季の地域性を考慮し、国内各圃場の経度別月別（それぞれ経度 24° ～ 46° 、1月～12月の範囲）に固有値を設定した。さらに、日々の成長量と気象条件の関係を定量化することにより、ハウレンソウの基本予測モデルを構築した（図1-(1)-5、図1-(1)-6）。全長の平均精度は75%であり、乾物質量の平均精度は80%であった。

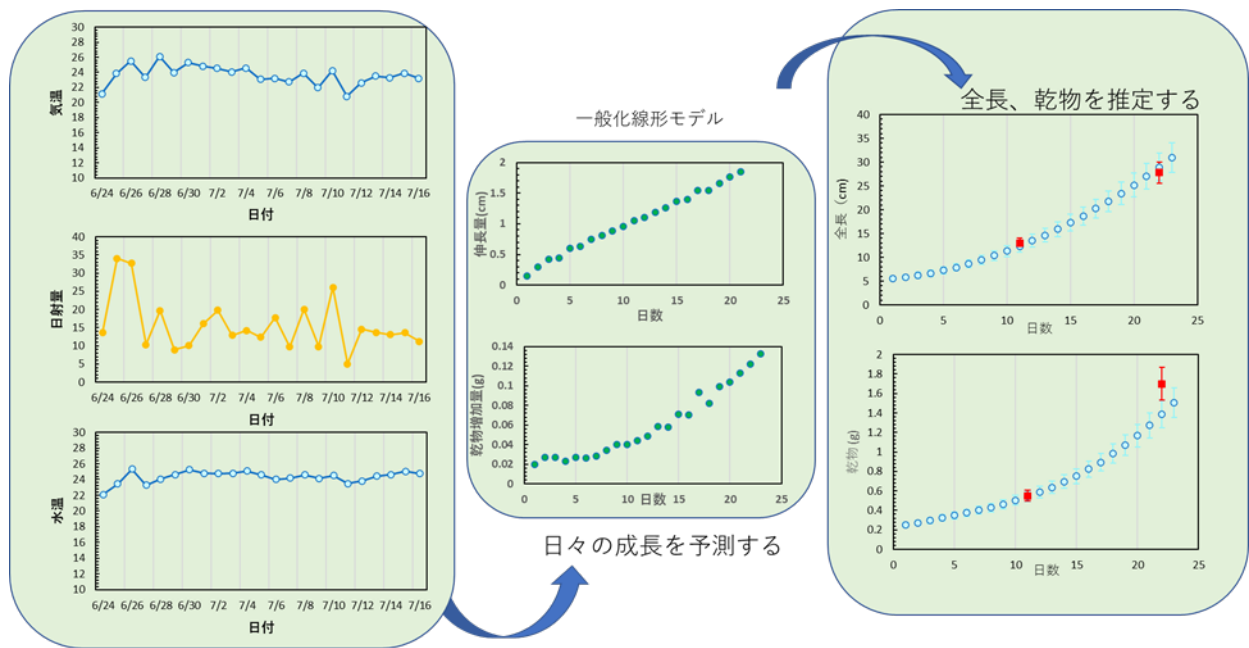


図1-(1)-5 生育予測モデルの計算仕組み

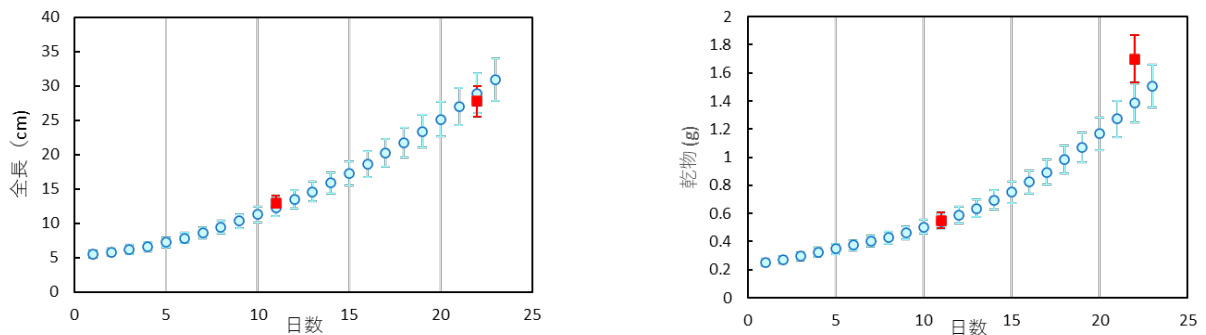


図1-(1)-6 生産法人での基本モデル実証結果（2019年7月19日、定植）

図1-(1)-6は夏高温期における、ハウレンソウの生産圃場で基本モデルを利用して、実証した結果である。現地の日平均温度、日射量、水温、実際の栽培日数等の環境データを予測モデルに代入して、ハウレンソウの日々の成長量と伸長を計算して、全長と乾物量を推定できた。図1-(1)-6に示された赤いエラーバーは栽培期間中に2回、毎回圃場内の異なる地点から9株を選んで調査した結果である。青いエラーバーはモデルの計算値と誤差範囲である。

実測値と予測値の比較結果により、基本モデルでは、夏高温期において全長を80%以内の範囲に予測できた。一方、乾物質量の予測結果により、実測値は予測値よりやや大きいことがわかった（誤差率30%）。これは夏高温環境でハウレンソウ葉の呼吸量が通常より多くなり、一部貯まった乾物質量を消費したためと考えられる。なお、ハウレンソウの乾物質量と新鮮質量の比率は周年で変わることがわかった。

基本モデルにおいて、乾物質量から新鮮質量の変換式（乾物質量＝新鮮質量*0.06）では変換係数として年間平均値(0.06)を使った。これにより誤差率が大きくなった原因と考えられる。これを解決するために、実際生産圃場のハウレンソウ生育調査データにより、各地域の周年栽培サラダハウレンソウの新鮮乾物質量比をまとめた(表1-1)。

表 1-1 乾物質量から新鮮質量の変換係数

緯度/月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
24°	0.055	0.053	0.053	0.055	0.055	0.059	0.059	0.059	0.060	0.062	0.060	0.055
26°	0.056	0.053	0.052	0.055	0.055	0.059	0.059	0.059	0.060	0.063	0.062	0.056
28°	0.058	0.053	0.051	0.055	0.055	0.059	0.059	0.060	0.060	0.064	0.064	0.058
30°	0.058	0.055	0.051	0.048	0.052	0.053	0.060	0.060	0.060	0.065	0.066	0.060
32°	0.058	0.055	0.051	0.048	0.052	0.054	0.060	0.060	0.061	0.068	0.068	0.061
34°	0.060	0.055	0.050	0.048	0.052	0.054	0.062	0.062	0.062	0.072	0.070	0.062
36°	0.060	0.055	0.050	0.048	0.050	0.055	0.062	0.062	0.063	0.075	0.072	0.062
38°	0.060	0.056	0.048	0.050	0.050	0.057	0.062	0.062	0.065	0.077	0.074	0.063
40°	0.062	0.060	0.048	0.050	0.049	0.060	0.065	0.068	0.070	0.079	0.076	0.064
42°	0.063	0.060	0.048	0.050	0.049	0.062	0.065	0.068	0.070	0.081	0.078	0.064
44°	0.063	0.060	0.048	0.050	0.048	0.062	0.068	0.070	0.072	0.082	0.080	0.065
46°	0.064	0.062	0.045	0.050	0.048	0.065	0.068	0.070	0.072	0.082	0.082	0.068

② 水耕栽培ハウレンソウの生育予測モデルの精度と汎用性

上記の生育予測モデルの精度と汎用性を高めるために、農研機構実験温室内で複数品種の生育試験データに基づいて生育解析を行った。また、品種別の予測モデルと季節別の予測モデルを開発した。研究期間終了時における品種別の予測モデル（バージョン3）の予測対象品種は、ハウレンソウ周年栽培の生産圃場で使われている8品種であった。

生産現場で使われている複数品種の生長特徴量と栽培環境の相関関係により、環境（温度、日射量）の変動に応じて、葉の成長速度が違うことがわかった。これにより、葉の成長速度に基づいて、類似度が高い品種ごとにグループに分けることができることを明らかにした。この分類方法を用いて、様々な品種をいくつかのグループをわけることが可能である。そこで、ハウレンソウの品種グループごとにモデルの計算係数と品種の特徴量を紐づけることによって、季節別の予測モデル(バージョン4)を作成した(図1-(1)-7)。この2つのモデルについて、農業生産法人等で実証を行った。

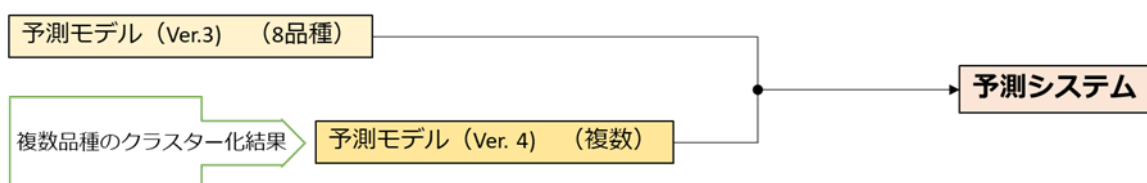


図1-(1)-7 モデルの適用性を拡大

実証は3農業生産法人（圃場A、B、C）において生産された、4つの品種（品種a、b、c、d）について行った。A圃場で生産された品種dについては、品種名が開示されなかった。実証期間は冬作2021年1月22日～2月19日、秋作2021年11月22日～12月12日、夏作2020年7月10日～7月27日、春作2021年3月25日～4月20日であった。品種別予測モデルVer. 3と季節別予測モデルVer. 4の計算結果により、予測値と実測値は良好な一致を示し、全長の平均誤差率は15%であり、乾物量の平均誤差率が10%であった。品種名が開示されなかった品種dについても全長が15%以内の誤差で予測できたことから、将来、新しい品種を予測する場合にも、季節別予測モデルVer. 4を利用して、予測可能であることが示唆された。

表 1-2 予測モデルの精度と汎用性

予測式	定植日	最終調査日	栽培日数	圃場名	品種名	実測全長(cm)	実測乾物(g)	予測全長(cm)	予測乾物(g)	全長の誤差	乾物の誤差
Ver.4 季節別	2021/1/22	2021/2/19	28	A	a	27.6	2.9	29.4	2.7	106.6	93.7
Ver.3 品種別							2.9	27.4	2.7	99.4	93.2
Ver.4 季節別	2021/11/22	2021/12/22	30	B	b	23.1	2.7	30.6	2.2	132.6	79.1
Ver.3 品種別							2.7	30.5	2.4	132.0	86.4
Ver.4 季節別	2020/7/10	2020/7/27	17	C	c	22.6	2.3	22.3	2.1	98.8	88.6
Ver.3 品種別							2.3	24.0	2.2	106.4	94.6
Ver.4 季節別	2021/3/25	2021/4/20	26	A	d	37	4.0	32.1	4.4	86.7	110.6

4) 成果活用における留意点

生産者圃場におけるハウレンソウの生育調査結果を踏まえ、現場におけるデータの計測可能性と予測モデルの精度を考慮して、予測モデルのパラメータは日射量、気温、水温、定植日数を選んだ。さらに、日々の成長量と気象条件の関係を定量化することにより、ハウレンソウの基本予測モデルを構築した。このモデルによって、ハウレンソウの全長、質量を予測することができた。ハウレンソウの周年栽培においては、様々な品種が栽培されている。そこで、生育予測モデルの適用性を拡大するために、複数の品種に適する生育モデルの生成技術を開発した。この技術によって、品種の適用時期を分類して、複数品種の生育予測モデルを構築した。目標通りでハウレンソウの生育予測モデルを作成した。

留意点としては、予測モデルは日々の成長量を計算しているため、定植苗の大きさに応じて、初期値の設定が必要である。

5) 今後の課題

本課題では、収穫日及び収穫量を予測するための生育予測システムを開発し、収穫量を平均 90%での精度で予測が可能であった。これにより実際の圃場において作業計画の立案等に貢献できると考えられる。今後、他の養液栽培の葉菜栽培にも、この予測モデル構築方法及び多品種の予測手法の展開が可能であると考えられる。

<引用文献>

なし

(2) 生育管理システムの開発

1) 研究目的

AI画像処理技術を用い対象作物の新鮮重を推定するための葉面積を推定する手法を提案

し、その推定精度の向上と提案手法の有効性を検証する。それにより、提案手法の利用を作物の生育状況の推定値(全長、重量等)の補正につなげる。

2) 研究方法

Watershed法、楕円フィッティング法、最大葉面積による葉の枚数及び面積の推定法を検討した。糸満圃場、農研機構内実験農場に設置したカメラより取得したハウレンソウ栽培画像を用い、推定した葉面積と新鮮重の実測値との相関関係を求め、有効性を検証した。検証画像には、密植状態のケースとして糸満圃場の夏期および冬期栽培のデータを、非密植状態のケースとして農研機構内実験農場の夏期栽培および冬季栽培のデータを用いた。非密植状態の検証には異なる品種も用いた。

3) 研究結果

<葉面積推定手法の検討>

Watershed法による葉の枚数と面積の推定は次の手順で行った(図1-(2)-1)。まず栽培画像から色の情報(RGB)を除き二値化(白黒)を行う。この二値化では個々の葉が分離できることが重要であった。次に、個体の輪郭を明確にするための明確な背景情報、明確な前景情報、unknownな領域の情報にそれぞれラベル付けを行うことで、この手法で重要なmarkerデータを求める。このmarkerデータを基に各対象の番号、個体の画素数、markerからの距離の分布が求められた。

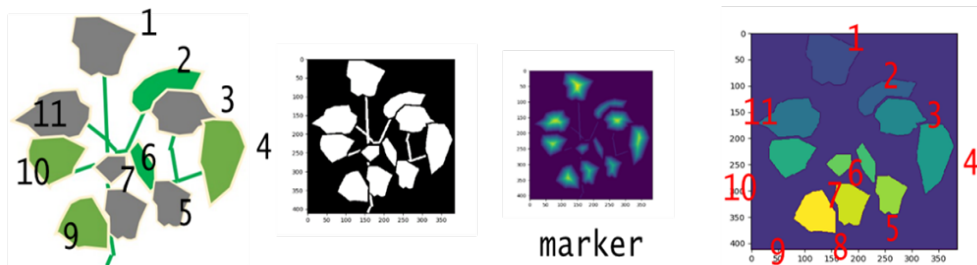


図1-(2)-1 Watershed法による葉枚数と面積の推定

ハウレンソウ葉の認識では、栽培状態により重なり部分が増えその補正が必要になる。ここでは、主として2つ方法を検討した。楕円フィッティング法は、葉の輪郭の一部から楕円を近似するもので、複雑な形状をした輪郭をより少ない数の点で近似する事ができる。この手法により葉の重なりがあってもそれぞれを楕円推定することで重なり部分の葉面積の補正が行える(図1-(2)-2)。もう一つの重なり補正方法として、Watershed法により栽培画像の最大葉の面積を推定することで葉面積全体を推定する方法を検討した。

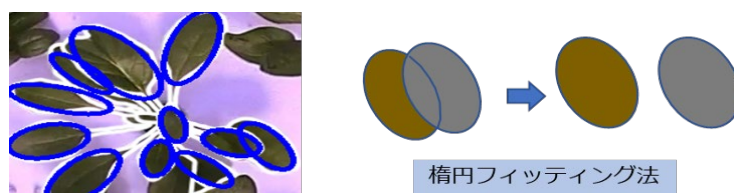


図1-(2)-2 楕円フィッティング法による葉面積の補正

<栽培画像の取得>

解析する栽培画像は、各圃場に設置されたカメラより取得したハウレンソウ栽培画像をも用いた。各画像は、提案手法に適用するために一定の区画で切り出し、背景除去や輪郭処理を実施することで葉の輪郭を抽出した（図1-(2)-3）。

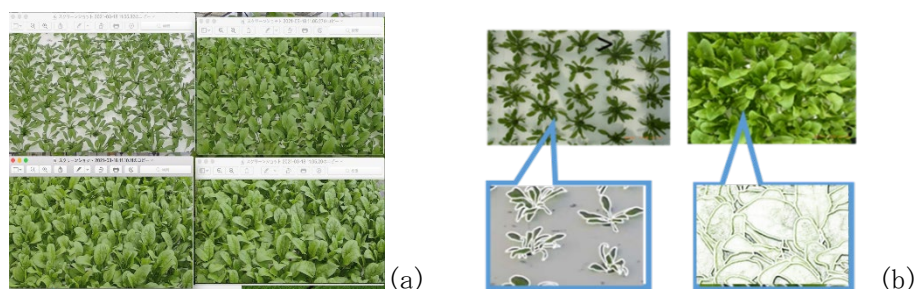


図1-(2)-3 圃場より取得した栽培画像とその前処理

(a) 圃場カメラ画像

(b) 解析画像の切り出しと輪郭抽出

<解析結果>

解析結果は葉の重なり部分が多い密植状態とそうでない非密植状態に分けて行った。図1-(2)-4は、つくば農研機構内実験農場における栽培中期のハウレンソウ一株の画像に対し、watershed法により葉の枚数を推定した結果を示している。このように葉枚数が正確に推定できていることが分かり、非密植状態でかつ葉が重なっていない状態の場合はwatershed法による葉枚数や面積の推定に有効な手法であることが分かる。

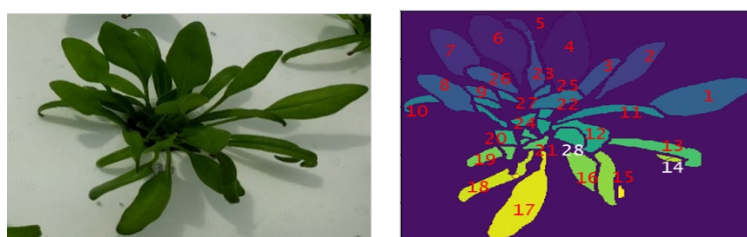


図1-(2)-4 watershed法を用いた非密植状態ハウレンソウの枚数の推定結果

また、図1-(2)-5(a)にはつくば農研機構内実験農場における非密植状態の夏期栽培に対し、一例として楕円フィッティング法を用いた場合の葉面積の推定結果を示している。このように、楕円フィッティングにより各葉の輪郭が楕円で近似できている様子が分かる。図1-(2)-5(b)には、楕円フィッティング法により求めた葉の推定値と実際に計測した葉面積との相関関係を示している。これにより、両者には相関係数が0.9以上と高い相関が認められ、非密植状態におけるこの手法による葉面積の推定方法の有効性が示唆できる。

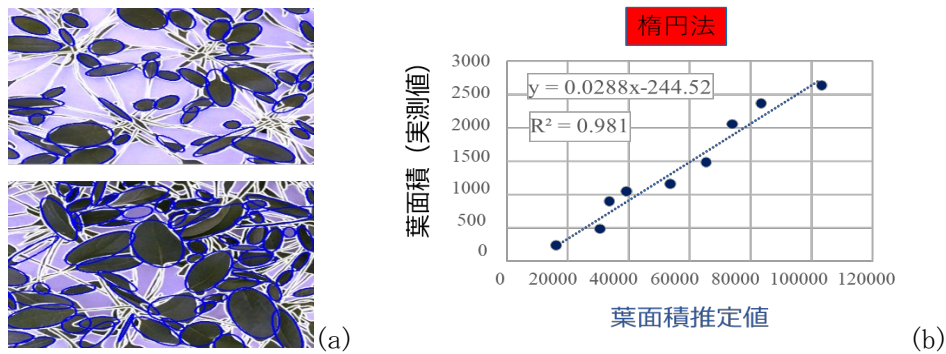


図1-(2)-5 非密植状態栽培画像の楕円フィッティング法を用いた葉面積推定結果
 (a) 楕円フィッティング法による葉の認識、(b) 推定値の実測値の相関関係

次に、葉が重なり部分が多い密植状態における栽培画像の解析をおこなった。図1-(2)-6は、沖縄セルラー糸満圃場の密植状態の夏期栽培 (a) と冬期栽培 (b) における、葉面積を推定した画像処理結果を示している。ここで、上の画像はwatershed法で分類された葉を、下の画像には楕円フィッティング法で推定された葉の状態を示している。この図より、密植状態においてもwatershed法、及び、楕円フィッティング法において個々の葉の輪郭が認識できている様子が分かる。

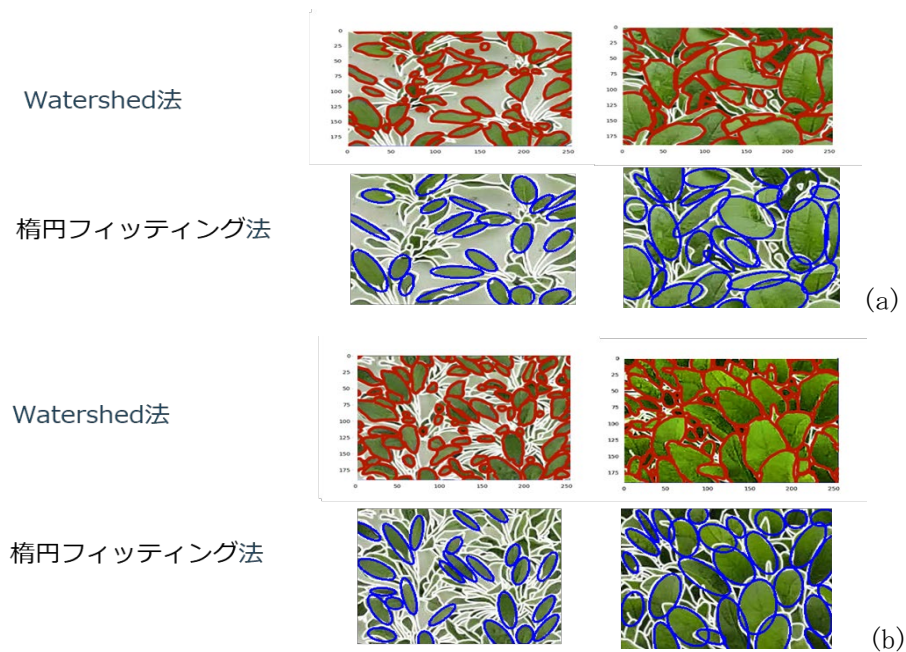


図1-(2)-6 密植状態栽培画像におけるwatershed法と楕円フィッティング法を用いた葉面積推定結果 (a) 夏期栽培、(b) 冬期栽培

図1-(2)-7は、Watershed法 (a) と楕円フィッティング法 (b) で推定したそれぞれの葉面積の推定値の推移を示している。また、比較として圃場で実際に測定された新鮮重の値の推移 (c) を示した。図1-(2)-8には、計測された葉面積と新鮮重との相関関係を示している。これによると、Watershed法による推定値は収穫期が近づくにつれて葉の重なり部分が増加するため正確な推定が行えず葉面積推定値が小さくなった。一方、楕円フィッティング法では、重なり部分の補正が行えるためにこのような減少はみられず、新鮮重の実測値の推移同様

に推定値の増加が認められることが分かる。なお、葉面積と新鮮重の実測値の相関関係をみると、両者には相関係数が0.9以上と高い相関が認められて作物の新鮮重の予測に葉面積の推定値を用いることの妥当性がわかる。

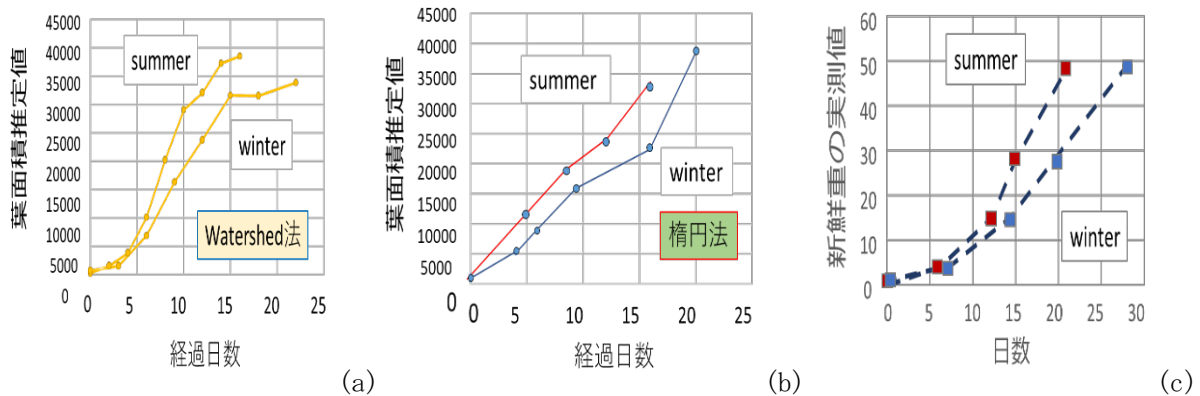


図1-(2)-7 密植状態栽培画像における葉面積の推定値の推移
(a) watershed法、(b) 楕円フィッティング法、(c) 新鮮重実測値

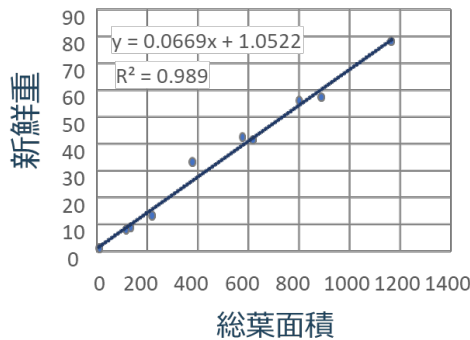


図1-(2)-8 新鮮重と総葉面積の実測値との相関関係

図1-(2)-9は、楕円フィッティング法で推定した葉面積の推定値と新鮮重の実測値との相関関係を示した。このように、両者には直線的な正の相関がみられ相関係数も0.9以上と高いことが分かり、楕円フィッティング法で葉面積の推定を行うことで、密植状態でも重なり部分を補間して新鮮重の予測が可能であった。

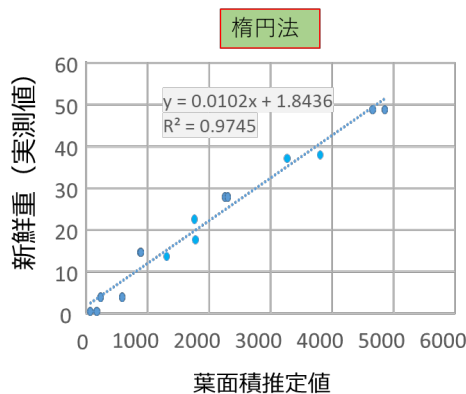


図1-(2)-9 葉面積の推定結果の日数の推移

最後に、最大の葉面に着目しその推定値を求め解析した結果を示した(図1-(2)-10)。図1-(2)-11は、Watershed法で推定した最大葉面積の推定値の推移と、推定した最大葉面積の値と新鮮重の実測値との相関関係を示している。

このように、最大葉面積の推定値は新鮮重の実測値の推移と同様の傾向が認められた。新鮮重の実測値との相関関係についても両者には相関係数が0.9以上と高い正の相関が認められ、作物の新鮮重の予測に最大葉面積の推定値が有効であることが示唆された。

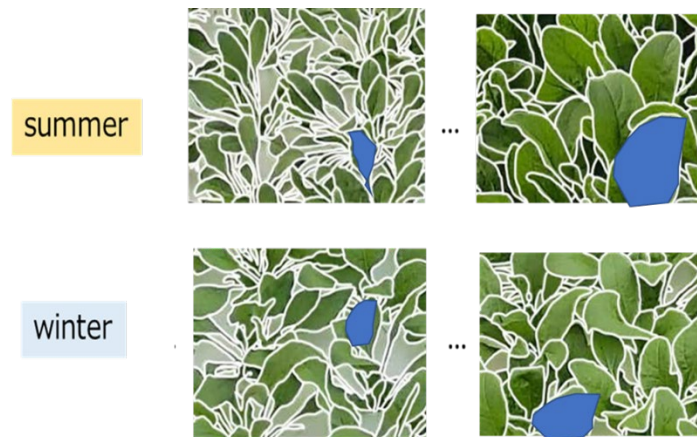


図1-(2)-10 密植状態栽培画像における最大葉面積推定法を用いた葉面の推定

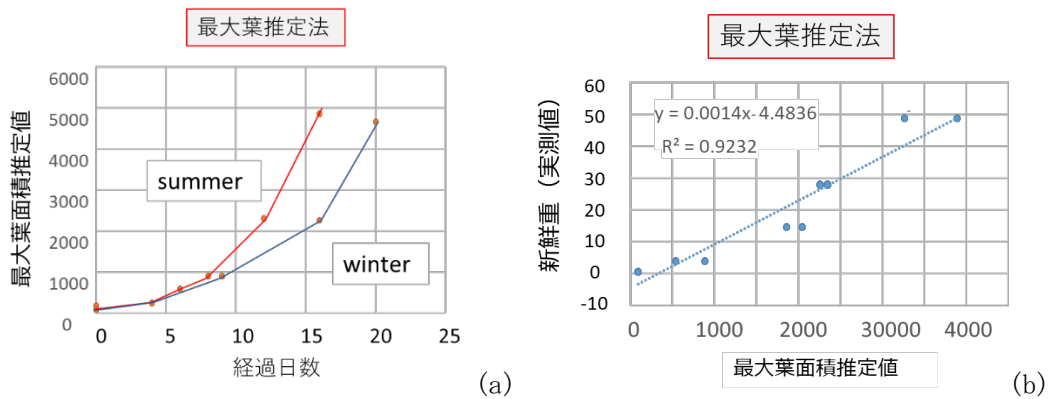


図1-(2)-11 最大葉面積推定法を用いた解析結果

(a) 最大葉面積推定値の推移、(b)最大葉面積と新鮮重の実測値の相関関係

4) 成果活用における留意点

葉面積の推定法として3つの手法、Watershed法、楕円フィッティング法、最大葉面積法を提案した。Watershed法は非密植状態で葉の重なり部分が少ない場合は葉の枚数の推定に用いることが可能である。楕円フィッティング法、最大葉面積法は、密植状態においても新鮮重の実測値と間に0.9以上の正の相関が認められた。今後この成果の活用としては、圃場に設置されたカメラ画像にこの手法を用いることで、収穫時期などの密植状態でも重なり部分を補間した新鮮重の予測が行える。このことは、プロジェクト本来の目的であるハウレンソウ生育予測モデル精度の向上あるいは予測モデルの補正等につながるもの

と考える。

留意点としては、画像の前処理となる葉の輪郭抽出があげられる。葉が密植状態になると輪郭抽出についても正確な解析が難しく、今回一部については手動による輪郭抽出を行った。今後は、どの条件においてもこれらが完全に自動で行える手法の改善が必要であると考ええる。

5) 今後の課題

今回実施した内容における今後の課題としては、留意点で述べた画像の前処理となる葉の輪郭抽出があげられる。また、今回の課題では扱わなかったが、今後の実装において本手法のAIカメラ手法への実装が考えられる。課題では、撮影された栽培画像はサーバシステムに送られ、これをローカルPCにダウンロードすることで新鮮重の推定を実施した。今後は、AIカメラを用いてその内部で撮影された画像から新鮮重の推定が行えれば、その場で推定値を確認することが可能となるとともに、サーバシステムが不要になるなど実装に向けた初期費用の大幅に削減が期待できるものと考ええる。

<引用文献>

なし

小課題番号	0201	小課題 研究期間	平成30 ～令和4年度
小課題名	2 収量予測システムの研究開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学 大学院情報学研究科 北 栄輔		

II. 小課題ごとの研究目的等

1) 研究目的

本研究課題では、研究課題1の「生産現場での需要に応じた生育管理技術の開発」で開発する生育予測モデルの予測精度を向上するために、圃場内の環境予想の研究開発とAIを活用した収量予測システムの研究開発を行う。研究課題1で構築する生育予測モデルは葉面積や乾物重など「実測」したデータに基づいて生産者単位（もしくは圃場単位）で必要なパラメータを求めている。つまり、実測データが直接得られていない条件下は精度が低下する可能性がある。そこで、研究課題2では、研究課題1で作成した生育予測モデルの「パラメータ」や「誤差」などのデータの提供をうけ、さらに圃場内全体の環境予測技術を活用するとともに、AIを活用して収量予測の高精度化を行う。

2) 研究方法

本課題では、環境データやカメラ画像のAI解析によって収量を予測するアルゴリズムを開発するとともに、それぞれのアルゴリズムについてスマートフォン等で利用可能なアプリ（アプリ1～3）を開発した。これらのシステム関係を図2-1に示す。

アプリ1は全ての基本となるシステムで、圃場に設置されたカメラ、センサ、外部気象などの多様な情報を表示するとともに、それらのデータをAI解析して農作物の生育を予測するものである。その一方で、実用面から考えると、植物工場を運用する農業法人に特別なシステムの設置が必要となることから、より簡便な機器のみで予測する2種類のシステムをあわせて検討した。

アプリ2は、画像判別だけを用いて、対象作物の収穫時期、全長、生育環境を予測するものである。システムの導入費用を抑えるため画像判別で用いるカメラ画像として、比較的低い解像度のウェブカメラを用いることとし、アプリ1のような多様なセンサを利用せずに、生育予測を行うこととした。そのため、画像判別のみを用いて、ハウレンソウの収穫時期、全長、気温を予測するアルゴリズムを検討した。

アプリ3は、圃場の緯度経度情報から近隣の気象サーバーを検索し、外部環境情報（外気温、湿度、日射量）を入手し、そこから圃場内の生育環境情報（内部環境情報）を予測し、この予測した内部環境情報に基づいて、作物の生育を予測するものである。このアプリを運用するためには、外部環境情報から内部環境情報を予測する手法および予測された内部環境情報

から全長と質量を予測するアルゴリズムを開発する必要がある。全長と質量の予測式については、課題1と連携して、アルゴリズムを開発した。

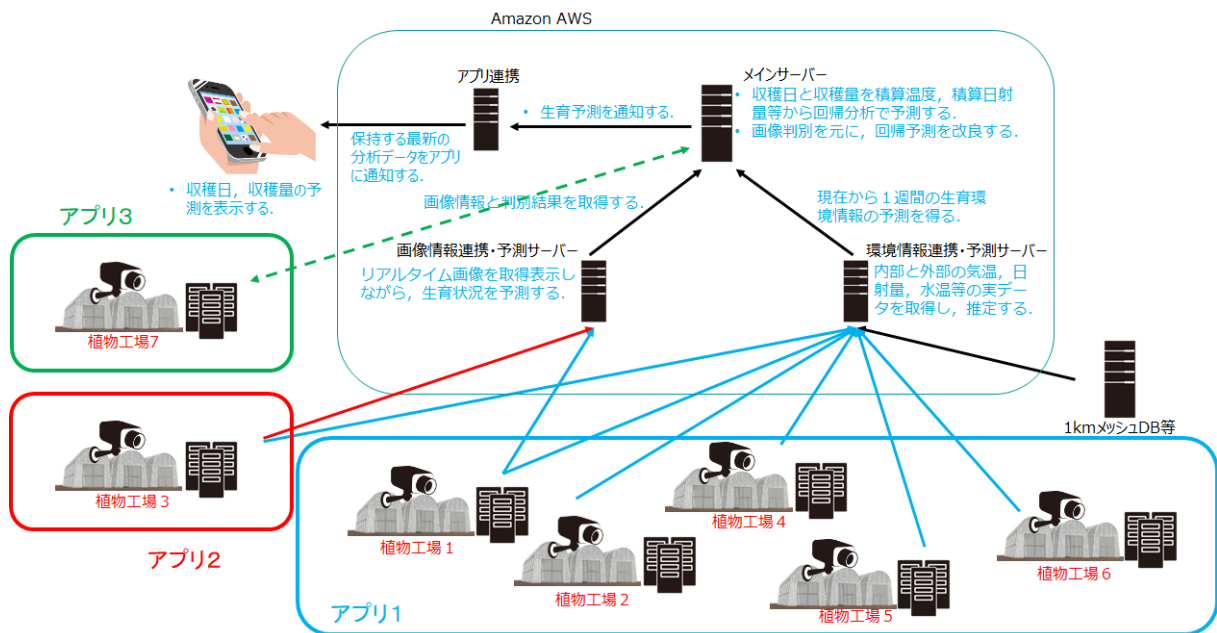


図2-1 アプリ1、2、3の連携

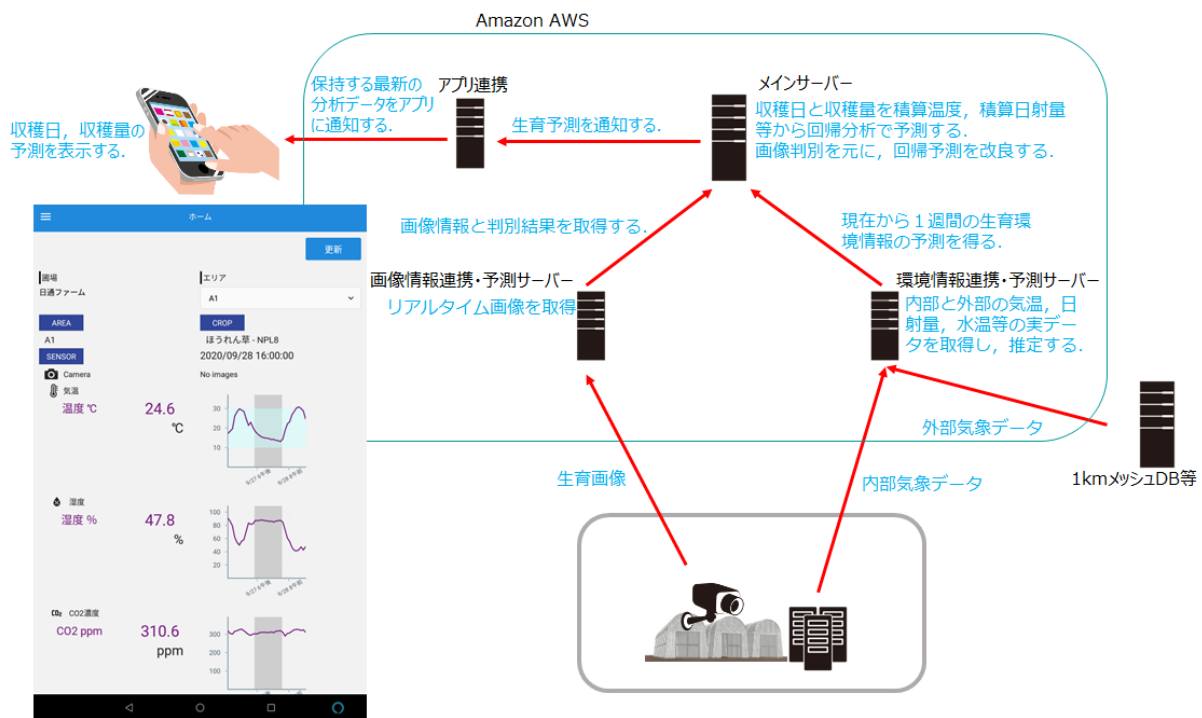


図2-2 アプリ1のシステム構成

3) 研究結果

(1) アプリ1

アプリ1のシステム構成を図2-2に示す。アプリ1では、圃場に設置した生育環境センサか

ら内部環境情報を、最寄りの1kmメッシュ気象センサからインターネット経由で外部環境情報を、それぞれ環境情報連携・予測サーバーを通して入手した。それらの情報を用いてメインサーバーで生育環境予測を行い、予測結果をアプリ連携サーバー経由でアプリに配信した。あわせて、生育環境の画像情報もアプリ連携サーバー経由でアプリに配信した。

植物工場外の日平均気温から植物工場内の日平均気温を推定する式は図2-3から決定した。図の横軸が植物工場外の日平均気温を、縦軸が植物工場内の日平均気温である。予測式を2次関数として次のように決定した。

$$\text{植物工場内日平均気温 } y = 0.7064 x^2 + 0.2823 x + 10.11$$

ここで x =植物工場外の日平均気温である。

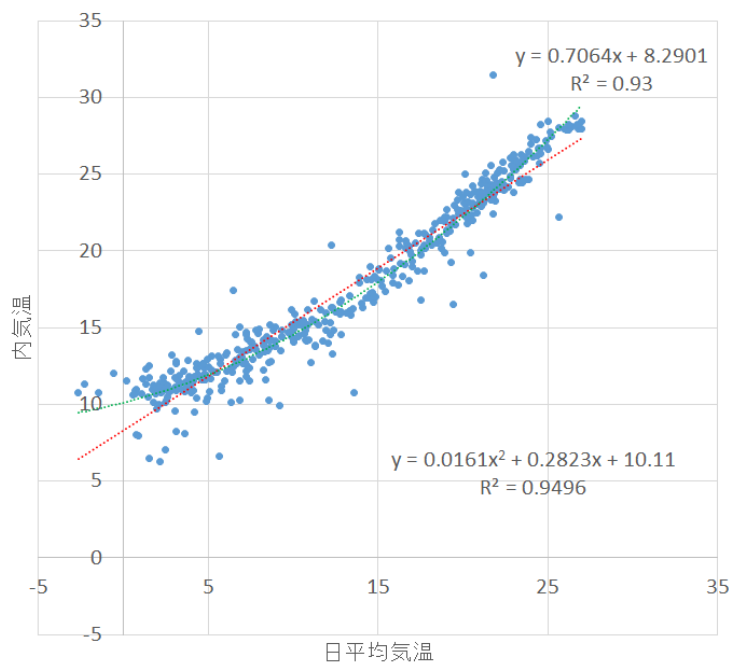


図2-3 植物工場内外日平均気温の関係

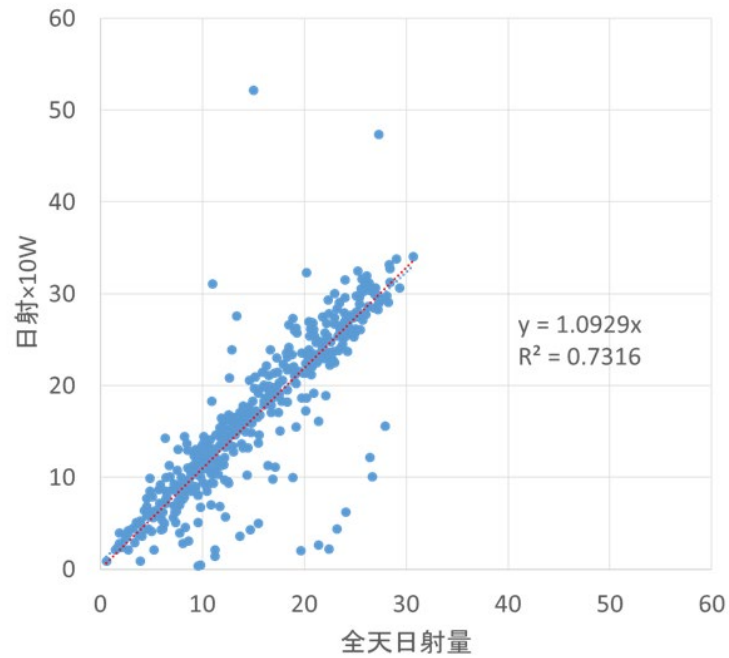


図2-4 植物工場内外の日射量の関係

植物工場外の日射量から植物工場内の日射量を推定する式を図2-4から決定した。外日射量が0の場合は、内日射量も0となることから、関係式を決定した。

$$\text{植物工場内日射量 } y = 1.0929 x$$

ここで、 x = 植物工場外日平均気温である。

最後に、水温については温度変化が小さいことがわかったので、植物工場の設定温度を入力値とすることにした。

アプリのホームページに生育環境予測を表示した様子を図2-5に、栽培植物の全長と質量の予測結果を図2-6に示す。



図2-5 アプリ 1 のホームページ



図2-6 アプリ 1 における栽培植物の全長と質量の表示機能

(2) アプリ2

アプリ2のシステム構成を図2-7に示す。このアプリで生育予測に必要なのは、圃場内の画像のみであり、それ以外の圃場の外部環境情報、内部環境情報は必要としない。そのため、

アプリ 1 で利用している環境情報連携・予測サーバーは利用しなかった。

このシステムで使用した画像予測モデルには、画像判別を用いた、収穫時期予測、寸法予測、気温予測がある。

収穫時期予測モデルの比較結果を表2-1に示す。モデルの詳細については省略するが、4種類のモデルを比較した結果、いずれのモデルにおいてもR2値は0.94以上であった。また、それぞれのモデルについて、予測精度のR2値、学習パラメータ数、学習時間について明らかにした。

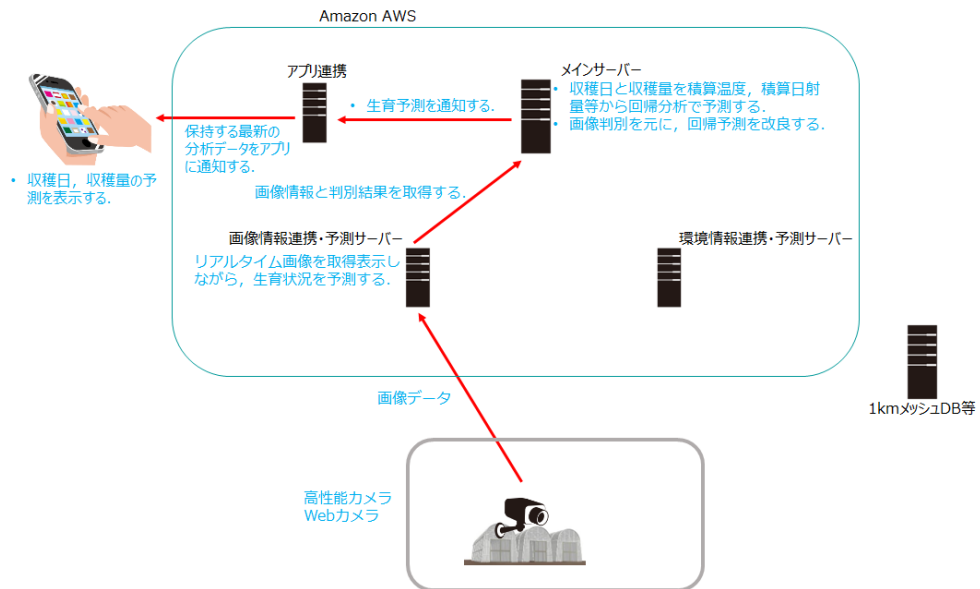


図2-7 アプリ 2 のシステム構成

表2-1 収穫時期予測モデルの比較

深層学習モデル	モデル1	モデル2	モデル3	モデル4
総パラメータ数	15.2	4.28	8.09	44.7
学習パラメータ数	2.89	3.99	4.98	18.3
推論用モデル(Mb)	58	27	32	171
学習時間(m)	43	49	99	111
RMSE	0.067	0.062	0.068	0.061
R2値	0.945	0.953	0.944	0.955

次に、全長予測モデルとして、画像を用いてアンサンブル学習によって判別するアルゴリズムを検討した。

実験結果を表2-2に示す。それぞれ、深層学習の予測モデルとして表2-1で示したモデルのうち、学習パラメータおよび学習時間の小さなモデル1～3を比較した。画像サイズ1と画像サイズ2は、実験で用いている画像の大きさの違いを、学習方法1～3は、予測モデルの学習方法の違いを示している。これにより、全長予測モデルとして適した条件が明らかになった。

表2-2 全長予測モデルの比較

(a) モデル1を用いる場合

		学習方法1	学習方法2	学習方法3
画像サイズ1	RMSE	2.287	2.764	2.998
	R2	0.827	0.748	0.703
画像サイズ2	RMSE	2.540	2.749	2.733
	R2	0.780	0.751	0.753

(b) モデル2を用いる場合

		学習方法1	学習方法2	学習方法3
画像サイズ1	RMSE	4.086	3.386	3.667
	R2	0.449	0.622	0.556
画像サイズ2	RMSE	10.136	3.589	3.538
	R2	---	0.575	0.587

(c) モデル3を用いる場合

		学習方法1	学習方法2	学習方法3
画像サイズ1	RMSE	1.598	1.404	1.485
	R2	0.916	0.935	0.927
画像サイズ2	RMSE	2.779	2.745	3.775
	R2	0.745	0.751	0.530

(3) アプリ3

アプリ3のシステム構成を図2-11に示す。このアプリでは、圃場の画像や内部環境情報などのセンサデータを必要とせず、外部環境情報のみを利用する。外部環境情報から、圃場内の内部環境情報を推定し、さらにそこから、作物の全長と質量を推定した。

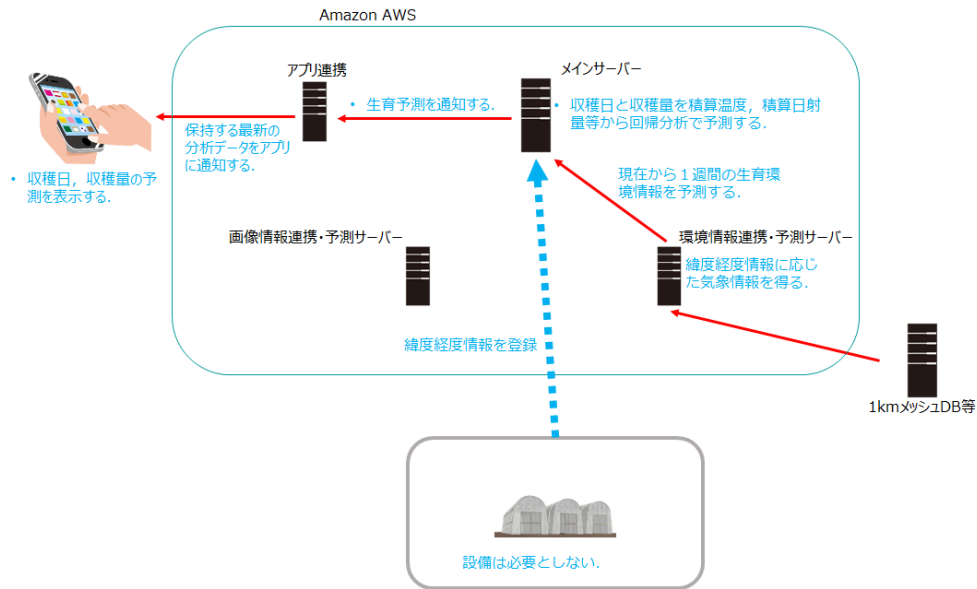


図2-11 アプリ3のシステム構成

研究課題1 - (1)「生育予測モデル、生育管理システムの開発」で開発した生育予測式を用いて全長伸長量と乾物増加量の推定を行うためには、日平均気温、日平均日射量、日平均水温が必要である。そこで、外部環境情報からこれらの内部環境情報を推定する予測式を設計した。

圃場外の日平均気温から植物工場内の日平均気温を推定する式は、植物工場外の日平均気温と植物工場内の日平均気温から、予測式を2次関数として決定した。これは、アプリ1で開発したものと同一である(図2-3)。

植物工場外の日射量から植物工場内の日射量を推定する式は実データから決定した。このとき、外日射量が0の場合は、内日射量も0となることから、関係式を決定している。これは、アプリ1で開発したものと同一である(図2-4)。

水温については植物工場の管理システムの設定温度に対して、一日あたりの温度変化が小さかったことから、植物工場の設定温度を入力値とした。

日平均気温と日射量の予測精度を表2-1および2-2に示す。気温については最小0%、最大25%、平均9%の誤差で予測できた。日射量については平均40%と日平均気温より誤差が大きかった。今後は、データを収集して、生育環境予測の精度改善を行う必要がある。

表2-1 日平均気温の予測結果

日付	平均気温(実測)	平均気温(予測)	誤差
2020/10/22	15.5	16.5	6%
2020/10/23	16.4	17.2	5%
2020/10/24	14.8	14.8	0%
2020/10/25	13.3	14.6	9%
2020/10/26	13.6	15.9	17%
2020/10/27	15.2	16.4	8%
2020/10/28	15.7	16.8	7%
2020/10/29	16.1	16.1	0%
2020/10/30	13.9	15.0	8%
2020/10/31	12.7	16.0	25%
2020/11/1	12.7	16.0	26%
2020/11/2	14.8	16.1	9%
2020/11/3	17.4	16.0	8%
		平均誤差	9%

表2-2 日射量の予測結果

日付	日射量(実測)	日射量(予測)	誤差
2020/10/22	7.00	4.92	30%
2020/10/23	4.54	4.15	10%
2020/10/24	18.2	14.2	28%
2020/10/25	17.9	17.4	3%
2020/10/26	16.5	14.8	11%
2020/10/27	15.8	10.2	55%
2020/10/28	14.2	14.5	2%
2020/10/29	16.7	3.53	373%
2020/10/30	15.5	14.4	8%
2020/10/31	16.7	11.6	44%
2020/11/1	12.6	11.5	10%
2020/11/2	6.00	11.4	47%
2020/11/3	17.4	11.2	55%
		平均誤差	40%

社会実装の可能性の高いアプリ3について、三菱ケミカルを通して協力農業法人で試行し、意見を聴取した。その結果、第1回目の修正意見として次の意見を得た。

1. 圃場名の変更
2. モデル精度向上
 - 管理用 Web UI の品種管理画面より予測モデルのパラメータを変更可能な UI を追

加

- 従来の品種の予測モデルのパラメータの変更
- 春秋用/夏用/冬用向けの3種類の品種と予測モデルの追加

3. 水温入力対応

- 栽培毎に任意の水温を設定できるようにAPI、DBを修正
- タブレットアプリの栽培登録画面に水温の項目を追加
- 水温の初期値は品種毎に指定されたデフォルト値を表示しておき、必要に応じてユーザーが変更する

これらについて修正を施し、協力農業法人で改めて試行した結果、以下のような意見を得た。

1. ログイン（従来のアプリとは別のユーザー管理とする。アプリ3のユーザーのみユーザー名、メールアドレスを移行する）
2. 画像を使った全長、生育率の算出機能を削除
3. スマート菜園クラウドとの連携機能を削除
4. アプリ3での変更点を反映した新たなサーバーを構築
5. アプリ3での変更点を反映した新たなタブレットアプリを作成

得られた意見をもとにアプリ3の更なる改良についてコンソ内や農業法人と検討して、以下のアプリ改良計画を検討した。

- アプリの使用開始時期で、品種を推薦する機能を追加する。
- 入力品種情報を変更する機能を追加する。
- ユーザー管理をなくすことで運転費用を小さくする。
- サーバー自体をなくすこと。サーバーが1kmメッシュのデータを取ってくるので、ユーザーが固定なら可能。

これらについてベンダーと意見交換して見積もったところ、以下のような改良方針を定めた。

- (1) 品種を推薦する機能を追加する。
- (2) 将来の定植日（ex. 入力日から1か月以内）でも予測値が即日表記されるように仕様を変更することと、入力項目の一部のみ変更できるように仕様を変更する。
- (3) 露地栽培への拡張に関しては価格と時間的に実施が難しい。

上記の(1) (2)に対応した結果をまとめてアプリ3‘をリリースした。

アプリ3に関する予測精度を3つの農業法人で確認した実証テストの予測誤差は次のようである。（詳細は課題4に記載）

協力生産法人A：-6.9～+5.6%

協力生産法人B：-29.2～5.2%

ここで、協力生産法人Bにおける最大誤差-29.2%の原因については、生育予測誤差、モデルパラメータの改良の必要性、モデルの外れ値の可能性等いくつかの要因が想像されるが、

細部については今後検討の必要がある。

4) 成果活用における留意点

本課題では3種類のアプリを開発し、このうちセンサ類の設置を必要とせず外部環境情報から予測するアプリ3において実際の生産圃場において誤差10%以内で全長や重量の予測が可能であった。このアプリ3を含めた開発した3種類のアプリの利用上の留意点は以下のとおりである。

アプリ1は圃場に内部環境情報を取得するためのカメラやセンサを必要とすることから、初期投資が必要になる。アプリ2は、比較的解像度の低いウェブカメラを用いることが可能であるが、異なる圃場で利用する場合には、画像判別モデルの改良が必要である。アプリ3は、現段階では、ユーザーの利用コストをもっとも小さくすることができる。その一方で、品種ごとにモデルを決定する必要があること、予測誤差が最大で30%程度と大きい圃場があることが検討課題である。

5) 今後の課題

本課題で開発した3種類のアプリのうち、アプリ1については、センサ類の設置など初期投資が必要なことから、生産者の導入可能性を考慮して、今後は、カメラ情報のみで予測するアプリ2および外部環境情報のみで予測するアプリ3のさらなる開発や社会実装を進める。

アプリ2について、複数の協力農業法人の圃場のデータを用いて開発を進めた。今後、一般的な圃場での利用可能性についてさらに検討を進める必要がある。

アプリ3について、ハウレンソウの品種毎に予測モデルを設定する必要があり、これを自動化する方法の開発が必要と考える。また、圃場によっては精度が低下する場合がみられるため原因を調査して、さらに精度を向上させる必要がある。

また、開発したアプリについては、本課題では水耕栽培のハウレンソウを対象にしたものであり、今後、他の農作物への拡張、露地栽培作物への対応なども検討する。

<引用文献>

なし

小課題番号	0301	小課題 研究期間	平成30～令和4年 度
小課題名	3 サイバー在庫の需給支援システムの研究開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	三菱ケミカル株式会社 アドバンストソリューションズ ビジネスグループ 戦略企画本部 窪川 清一		

II. 小課題ごとの研究目的等

1) 研究目的

本研究課題では、研究課題2で開発する収量予測システムで約1週間前に収穫量を予測し、生育予測モデルによる生育制御を踏まえた上で、これら研究課題と連携し、小売店、加工業者、レストラン等の実需者が契約栽培の余剰品としての供給可能量となるサイバー在庫の取引を支援する仕組みと農業法人間の品繰り調整を支援する仕組み（以下、「需給支援システム」という。）を構築する。

出荷時の1週間程度前に出荷量の予想を行い、契約受注量以上に生産される野菜の想定余剰品を各農業法人がサイバー在庫として登録し、スーパーやレストランの実需者や消費者が仮受注することにより、販路の開拓を行い、余剰野菜の20%を適正価格で販売することで生産者の収益増を目指す。

2) 研究方法

研究課題2で開発した収量予測システムから算定される予測出荷量を生産者が確認し、契約量から差し引いた余剰分（契約未定数量）の一部を将来発生することを想定される在庫（サイバー在庫）として登録することにより、仲介業者を通じて需給者（スーパー、レストラン、一般消費者等）にサイバー在庫情報を通知し販売を支援するシステムの設計を行った。また、開発した収量予測システムを、研究課題4「需給支援システムの実証」にて、実際の農業生産法人において活用し、需給支援システムの課題を抽出することで、収量予測システムと需給支援システムの連携方法を検討・検証した。

3) 研究結果

需給支援システムは、生産者が収量予測システムを使って得られる約1週間後の収穫期の収穫量から出荷に必要な契約量を差し引いた収穫余剰分（契約未定数量）の一部を、実需者にネットを通じて開示することで契約未定数量分を販売に繋ぐシステムであり、いわゆる生産者と実需者の需給マッチングシステムである。

図3-1に収量予測システムと需給支援システムの連携図を示す。まず、訓練データにより収量予測モデルのパラメータを最適化した学習システムを構築する。次に、その学習システムに生産者が各圃場の特性データを反映させることで、収量予測システムは約1週間後の収穫期の予測収量を算定すると同時にその情報をテキストファイル（CSVファイル）で需給支援システム側に自動送信する。生産者は需給支援システムを用い、収量予測システムから転送された予測収量情報と契約量とを比較することで、実需者に提示可能な契約未定数

量を算定し、その情報をネットにアップロードする。実需者は需給支援システムを用い、複数の生産者からアップロードされた契約未定数量情報を閲覧の上、購入を希望するアイテムに対して生産者に見積依頼をすることができる。需給支援システムの機能としては需給マッチングに特化しているため、実際の販売購入に繋げるには、需給支援システムを用いてマッチングが成立した生産者と実需者が取引条件の詳細（送料、荷姿、納期など）をさらに取り決める必要がある。

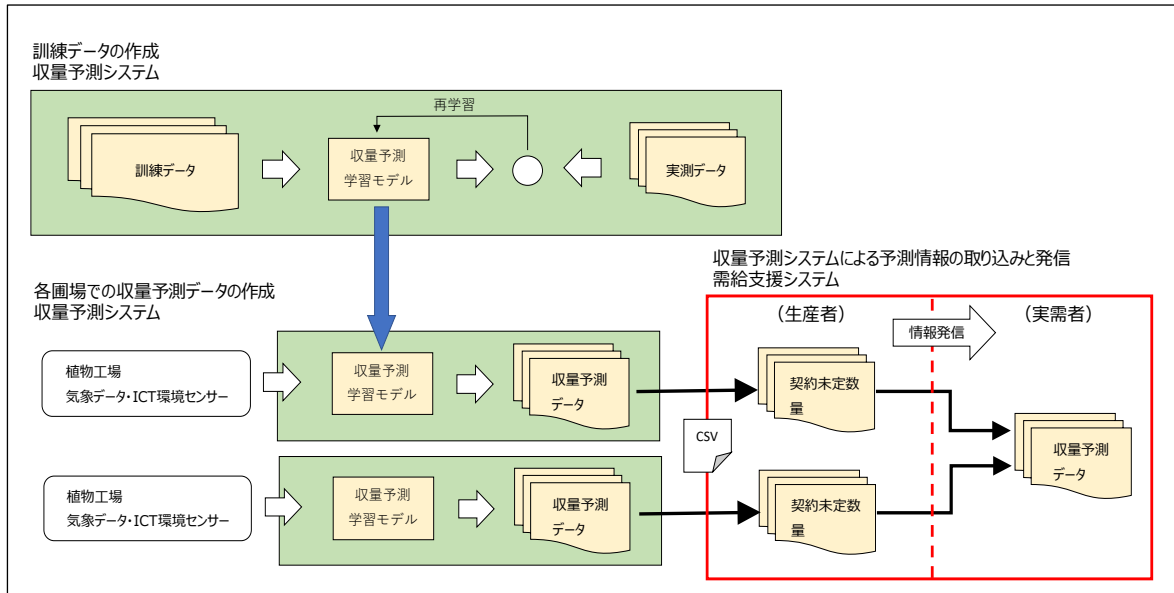


図3-1 収量予測システムと需給支援システムの連携図

以上のような両システムの連携と契約未定数量をネットに開示するため、需給支援システムには、i) 生産者が契約未定数量をネットに開示する機能、ii) 実需者が各生産者からアップロードされた契約未定数量情報を閲覧する機能、iii) 需給支援システムのユーザーである生産者と実需者を登録管理する機能、の3つの機能を構築した。また本システムのユーザーとなる生産者と実需者用の操作マニュアルを作成した。

i) 生産者が契約未定数量をネットに開示する機能

図3-2の上部（緑部）に生産者画面例を示す。これらの画面操作を通じて、生産者は下記①～⑧の各作業を実施することができる。ここで、⑥と⑦の操作は、生産者同士で収穫品の多少を調整することを目的としたものであり、収穫過剰な生産者と収穫不足の生産者間で商品の融通ができる機能である。また、②の操作において、取引規模や数量をできるだけ増やすことを目的に、登録できる商品は契約未定数量情報に限定せず、一般的な葉菜類収穫物情報もアップロードできる仕様とした。

- ① 需給支援システムにログインする
- ② 商品（契約未定数量など）を新規登録（アップロード）する
- ③ 登録済み商品情報を削除する
- ④ 商品登録状況を一覧形式で確認する
- ⑤ 実需者から生産者に発信された見積依頼内容を確認する
- ⑥ 他生産者から発信されている商品情報を確認する
- ⑦ 他生産者から発信されている商品に対して見積依頼をする

⑧ 商品画像を登録する

ii) 実需者が各生産者からアップロードされた契約未定数量情報を閲覧する機能

図3-2の下部（青部）に実需者画面例を示す。これらの画面操作を通じて、実需者は下記①～⑤の操作が可能である。ここで、①の操作は、実需者が需給支援システムサイトにアクセスせずとも生産者からの新規更新情報を逐次ショートメール（ユーザー登録時にショートメールアドレスを登録）で確認できるようにした機能である。

- ① 生産者からの情報発信状況をショートメールで確認する
- ② 需給支援システムにログインする
- ③ 商品（契約未定数量など）情報を一覧形式で確認する
- ④ 生産者に見積依頼をする
- ⑤ 見積依頼したリストとその内容を確認する

収量予測リスト

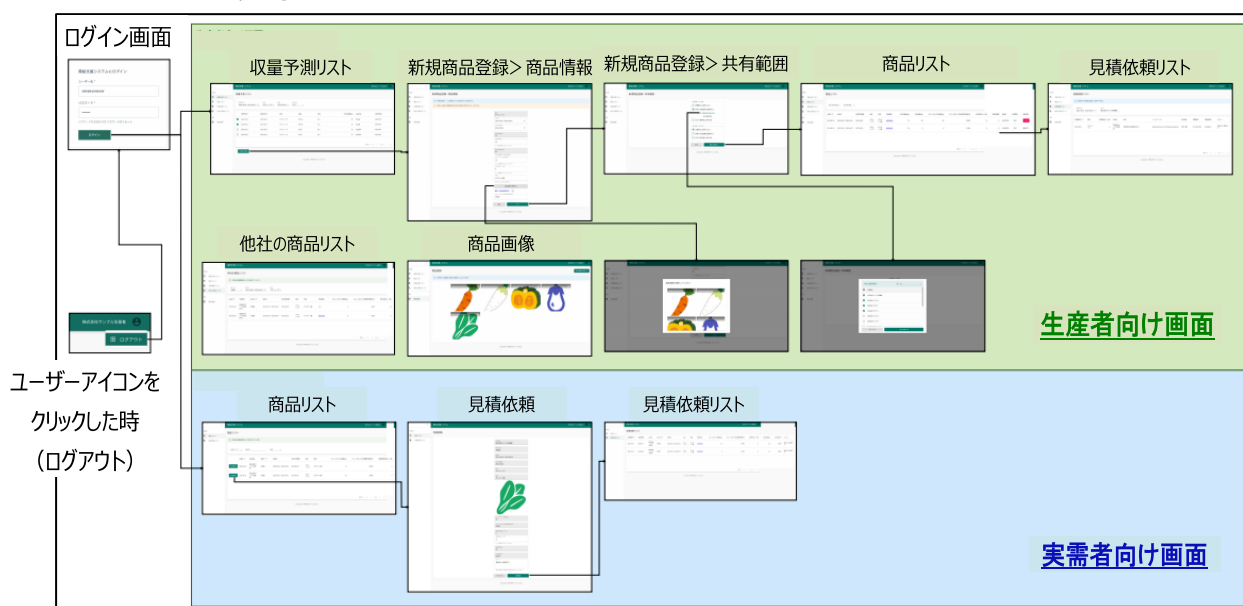


図3-2 需給支援システム（生産者画面・実需者画面）

iii) 需給支援システムのユーザーである生産者と実需者を登録管理する機能

図3-3に需給支援システムユーザー登録画面例を示す。これらの画面操作を通じて、管理者は下記①～④の操作が可能である。これはユーザーの個人情報を取り扱うことから、本管理サイトへのアクセスは信頼性の高い管理者のみに限定するなど情報漏洩に対する最大限の注意が必要である。

- ① 需給支援システム管理サイトにログインする（管理者のみ）
- ② ユーザー情報を入力しユーザー登録する
- ③ ユーザー登録情報を一覧形式で確認する
- ④ 登録ユーザーを削除する

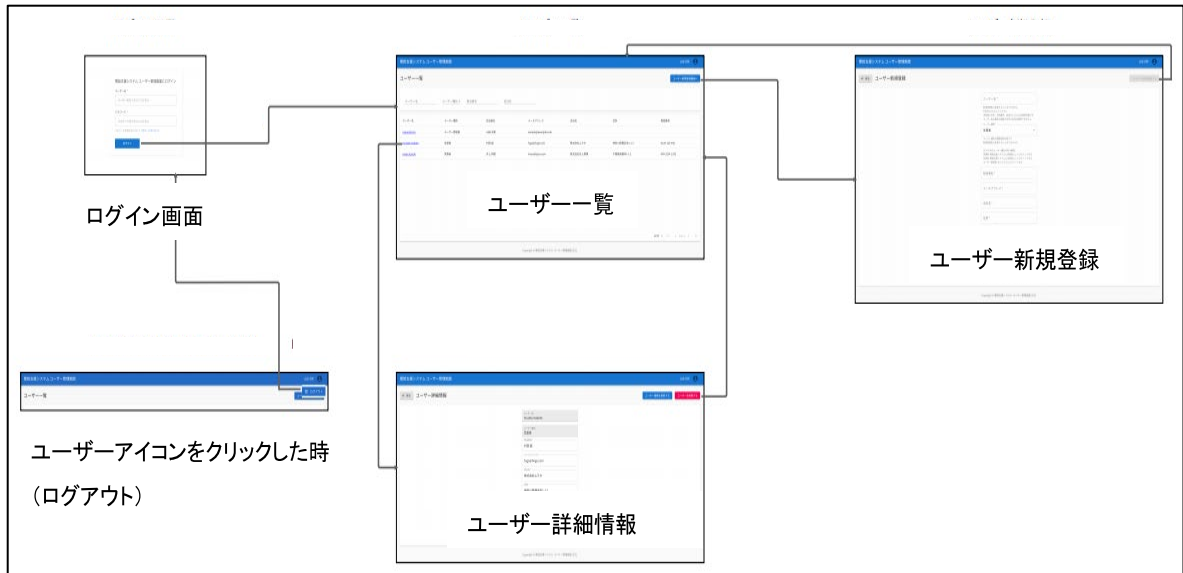


図3-3 需給支援システムユーザー登録サイト画面

4) 成果活用における留意点

小課題4「需給支援システムの実証研究」の項でまとめて記載

5) 今後の課題

図3-4に、需給支援システムの社会実装化に向けた今後の課題について、システムの経済性、信頼性、操作性の各観点からまとめたものを示す。いずれにしても需給支援システム仕様に求められるのは、システムのユーザーとなる生産者と実需者の希望に沿うものであることが最低限必要である。総じてまとめると、社会実装化する需給支援システムには以下に示す各条件を満たす仕様であることが望ましい。

- ① 小口取引ではないこと
- ② 特長あるサイトであること
- ③ 継続取引が可能であること
- ④ 海外対応が可能であること

開発システム	経済性	信頼性	操作性	R 5 年度以降
需給支援システム	初期コスト&運用コストのミニマム化 <観点> ・サーバーレス化 ・通信費 ・通信システムの更新、保守	ユーザ管理機能の強化と会員数の確保 <観点> ・個人情報、与信情報の管理 ・管理者利益の明確化 (有料会員制, 手数料等) ・既存マッチングサイトの活用 ・国内外会員の獲得	ストレスフリーで使い易いこと <観点> ・システムのスタンドアローン化 (余剰情報に特化しない) ・栽培情報更新時のショートメッセージ発信機能 ・在庫量情報のリアルタイム化 ・限定した実需者、生産者との情報共有する機能	本研究内での検討を中断すること <観点> ・栽培余剰情報に特化したマッチングサイト運用によるフードロス削減効果は限定的であり、その有用性は小さく、システム独立性保持は困難 ・通常の需給マッチングの中の一機能として余剰品情報を取り扱うのが合理的かつ効果的である

図3-4 需給支援システムの社会実装化に向けた課題

<引用文献>

なし

小課題番号	0401	小課題 研究期 間	平成30～令和 4年度
小課題名	4 需給支援システムの実証研究		
小課題 代表研究機関・研究室・研究 者名	三菱ケミカル株式会社 アドバンストソリューションズ ビジネスグループ 戦略企画本部 窪川 清一		

II. 小課題ごとの研究目的等

1) 研究目的

廃棄ロス削減に向けた環境整備と複数の生産者及び実需者間での試験運用を行い、実用化（社会実装化）に向けた需要管理システムの課題について洗い出しを行う。

2) 研究方法

協力機関として本研究に参画した葉菜類栽培の5カ所の農業法人において、栽培方法、廃棄ロス、契約外出荷量等の実態調査を実施した。

また、本農業法人に加えて、糸満圃場及び明治大学黒川農場において、栽培管理データとして圃場の温湿度、日射量、CO2濃度、養液性状（温度、EC等）のほか、栽培作業情報として液肥や農薬の使用量、計画生産量、収穫量、生育画像などを収集するとともに、本農業法人に生育状況等のヒアリング調査を実施した。得られた情報をデータベース化し、収量予測システムおよび需給支援システムに反映させた。また、複数の農業法人（生産者）と実需者において、収量予測システムと需給支援システムの試験運用を行い、両システムの社会実装モデルの構築に向けた課題点を抽出した。

これに加えて、海外流通実証テストでは、東南アジアで調査範囲を拡大し、台湾、タイ、シンガポールをその新たな調査候補とし、日本産サラダホウレンソウの現地市場性とフードロス削減への寄与度について調査する。

3) 研究結果

本研究で開発した需給支援システムおよび収量予測システムを生産法人で試行し、それぞれのシステムの廃棄ロス削減の実証を行った。本実証結果を以下の5つの各項目に分けて説明する。

- i) 需給支援システムに関する実証テスト（生産者・実需者）
- ii) 収量予測システムに関する実証テスト（生産者）
- iii) 実証テストによる廃棄ロス削減効果の検証
- iv) 実証テストによる廃棄ロス削減効果の考察
- v) 流通実証テストによる需給支援システムへのフィードバック

- i) 需給支援システムに関する実証テスト（生産者・実需者）

需給支援システムを生産者および実需者で試用し、マッチングシステムとしての有効性やその使用感などについての意見を聴取した。その結果から、需給支援システム仕様の方向

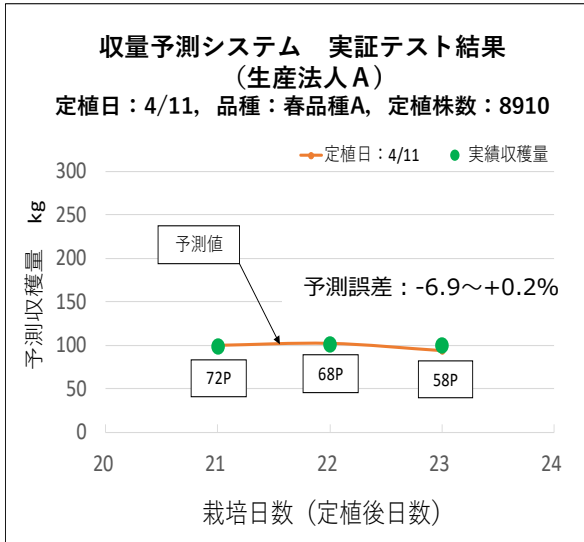
性についてまとめたものを図4-1に示す。

需給支援システム仕様の方向性について	
<生産者からの要望事項>	
1. 情報発信の手間のミニマム化とモチベーションの明確化	・取引量の規模に対し、情報発信の手間が多い割に、フードロス低減に対する有効性を感じられない。
2. 小口取引ではないこと	・取引量が限定的になってしまっているため、大口取引に対応できるような仕様がほしい。
3. 需給支援システムに依らずとも、フードロス削減検討に対しては、作付け計画の最適化など収量予測システム単独活用が効果的	・収量予測システム（アプリ3）には作付け計画の参考になる情報を提供する機能に注目している。
<実需者からの要望事項>	
1. 小口取引ではないこと	・手間がかからないこと（Web取引メリットの最大化）
2. 特長があること	・対象を絞る（サラダ用、無農薬、水耕栽培、葉菜類、カット用、他） ・上記特長を有する同種類の生産法人をまとめる機能
3. 継続取引が可能なこと（リピーターの確保）	・周年での供給責任とその品質確保に対応できる生産法人の確保
4. 海外対応	・国内のサラダ用葉菜類の国外での評価は高いが、輸出条件に制約あり ・国内市場飽和⇒市場拡大を見込み、物流チャネルの確保

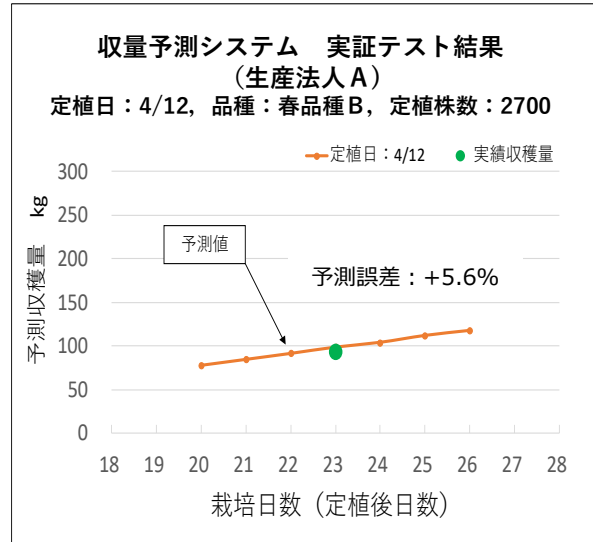
図4-1 需給支援システム仕様の目指すべき方向性

ii) 収量予測システムに関する実証テスト（生産者）

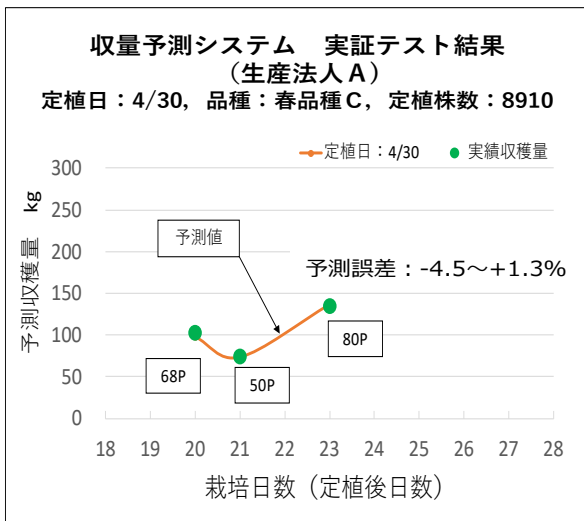
収量予測システム（アプリ3）の予測精度を検証した。その結果の一例を図4-2(a)～(d)に示す。これは協力生産法人Aでの栽培条件下（定植日：4/11～5/12、ホウレンソウ品種：春品種A、B、C）で、アプリ3による予測値（予測商品質量）と実際値（出荷商品質量）を比較したものである。図中(a)と(c)は、対象となる定植株の収穫が3日間にわたったケースであり、図中(b)と(d)は全ての定植株を1日で収穫したケースである。実際値（図中プロット点）と予測値（図中実線）の差異（予測誤差）は-6.9%～+5.6%の範囲内であった。従ってこの場合の予測精度（=予測値/実際値）は93%～106%となり、少なくとも±10%の精度で収量を予測できた。



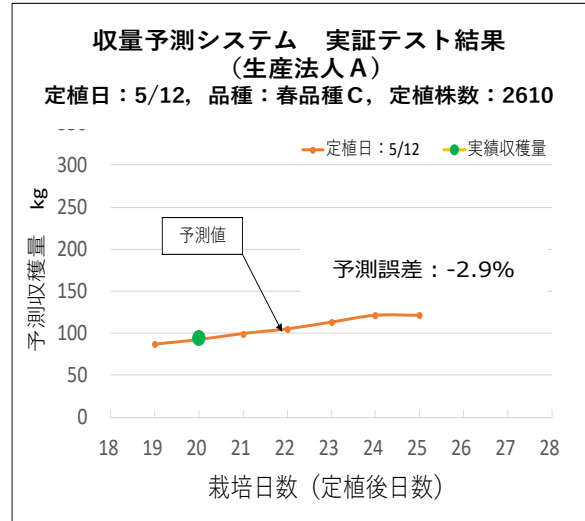
(a)



(b)



(c)



(d)

図4-2 収量予測システム (アプリ3) による実証結果例

次に、表4-1に生産法人A、B、C、Dにおいて、実際に収量予測システム (アプリ3) をインストールしたタブレットを配布し、実証した結果を示す。実施時期は秋期 (9月~12月) であり、予測精度の検証に加えて、アプリ3を試用した上での意見や要望も併せて調査した。

<予測精度について>

「生産法人B」では収量及び全長の予測精度が98%以上であるのに対し、「生産法人D」ではどちらも70%以上となり、圃場によって予測精度に差があった。これらは各圃場での生産環境の違いによるものと考えられる。特に予測誤差の大きかった「生産法人D」では、ハウス天窓開度制御によるハウス内温度制御機能を導入されており、アプリ3の予測アルゴリズム (アプリ3ではハウス外気温からハウス内気温を推定) と合わなかったことによって予測誤差が大きくなった可能性が考えられる。この「生産法人D」のケースを除外した全場所平均の予測精度は、収量が84%以上、全長が91%以上であった。

<今後の課題について>

今回の実証テストでは、アプリ3に対する意見や要望についてもヒアリング調査した。その結果、下記のような項目を今後検討すべき主な課題として抽出することができた。

- ① 他葉菜類への拡張
- ② 入力操作の簡便化
- ③ 作付け計画機能の追加
- ④ 予測精度とその信頼性向上

表4-1 各圃場での実証テスト結果

協力生産法人 (圃場場所)	予測精度 ：収穫量 kg	予測精度 ：全長 cm	アプリ 3 仕様に対する主なコメント	R5年度以降： AI生産流通研究会への参加可否
生産法人 A (山梨県)	75%以上	95%以上	<ul style="list-style-type: none"> ・全作ほぼ同じ内容を入力するのが結構な手間がかかる。 ・予測情報一覧画面で右スクロールしても左端が見えるようにしてほしい。 ・入力する定植日が明日以降であっても、即日に予測値を表示してほしい。 	・参加希望
生産法人 B (宮城県)	98%以上	98%以上	<ul style="list-style-type: none"> ・収穫適期を株重量で設定できないか。 ・標準的な収量にならなかった際の原因分析が容易になった。 ・ルッコラへの拡張を希望 	・参加希望
生産法人 C (茨城県)	80%以上	80%以上	<ul style="list-style-type: none"> ・使いやすいシステムだが、収穫日を予め入力できれば、さらにいい。 	・参加希望
生産法人 D (山口県)	70%以上	70%以上	<ul style="list-style-type: none"> ・とても使いやすい。 ・収穫予定日の目安把握には役立つが、販売や作付計画に使うのは現時点ではリスクが大きいと思われる。 ・天窓開度制御によるハウス内温度制御を実施しているため、予測誤差が大きくなった可能性がある。 	・参加希望
予測精度 (全場所平均) *生産法人D は除く	84%以上	91%以上	<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; display: inline-block;"> 社会実装化に向け今後 検討すべき主な課題点 </div>	① 他葉菜類への拡張 ② 入力操作の簡便化 ③ 作付計画機能の追加 ④ 予測精度とその信頼性向上

iii) 実証テストによる廃棄ロス削減効果の検証

収量予測システムおよび需給支援システムを生産現場に導入した際の廃棄ロス削減効果について各生産法人に対してヒアリング調査を実施した。以下にその内容について詳述する。

<調査内容>

収量予測システムの完成版仕様を下記のように想定した場合、収量予測システムによって得られる1週間後の余剰収量情報を需給支援システムにより開示することで廃棄ロス削減にどれ程の効果があるのかについて、ヒアリング調査を実施した。その結果を、図4-3に示す。

廃棄ロス削減効果の定量評価のために想定した収量予測システム仕様：

- ・ 予測精度＝85%以上
- ・ AI画像処理技術の活用で病害の発生や栽培作業ミス等の場合も実際の成長に合わせた予測補正が可能
- ・ センサ類設置等の初期投資は不要で、気象庁が開示している1kmメッシュの気象情報のみを活用
- ・ ホウレンソウ以外、パクチー、春菊、ケール、など圃場内で栽培しているすべての葉菜類

に適用可

夏季（6～8月の3カ月）とその他季節で余剰収量の発生状況が異なるため、夏季とその他季節に分類し、それぞれの廃棄ロス削減効果を調査した。一般的に夏季の方が栽培ベンチの稼働率が上がるうえ、栽培期間が短い（成長速度が大きい）ことから、余剰品が発生する確率は高くなるため、その分廃棄ロス削減効果は大きくなると想定された。調査の結果、通年での廃棄ロス削減効果は13～35%、平均で24%であり、夏季では最大30%の削減効果が見込まれた。

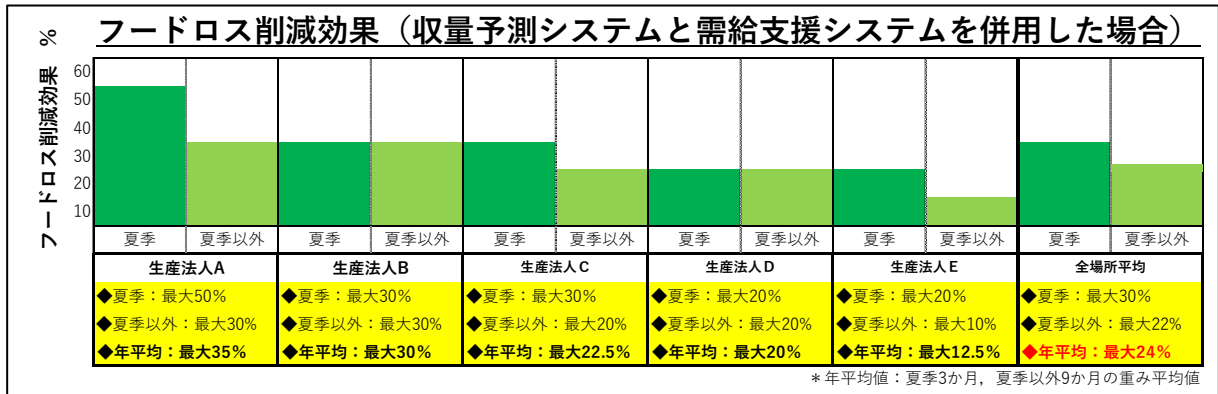


図4-3 廃棄ロス削減効果（収量予測システムと需給支援システムを併用した場合）

次に、収量予測システムのみを活用した場合の廃棄ロス削減効果について調査した。その結果を図4-4に示す。収量予測システムを用いて、最適な作付け（余剰収量を最小化すると同時に、栽培時期に適した品種の選定および収穫量を最大化する定植時期の選定）が可能であることから、収量予測システムのみをうまく活用することでも廃棄ロス削減に寄与できると想定された。ここでは、予測精度85%（予測誤差15%）を前提とした場合に、従来の過剰作付け分をどれくらい削減できるか、という観点から廃棄ロス削減効果を調査した。すなわち、従来の作付けが契約量に対して20%過剰に作付けしている場合、収量予測システムによって過剰作付け量を15%に抑制できることから、25%（余剰作付け率20%⇒15%に抑制）の廃棄ロス削減効果が期待できることになる。過剰作付け率は圃場によって異なり、場所によっては契約出荷量の20%ではなく、最大50%の過剰作付けをしているところもある。このような圃場毎の特性を考慮した上で、廃棄ロス削減効果を調査した。ヒアリング調査結果を図4-4に示す。その結果、通年での廃棄ロス削減効果は9～20%、平均で15%であった。

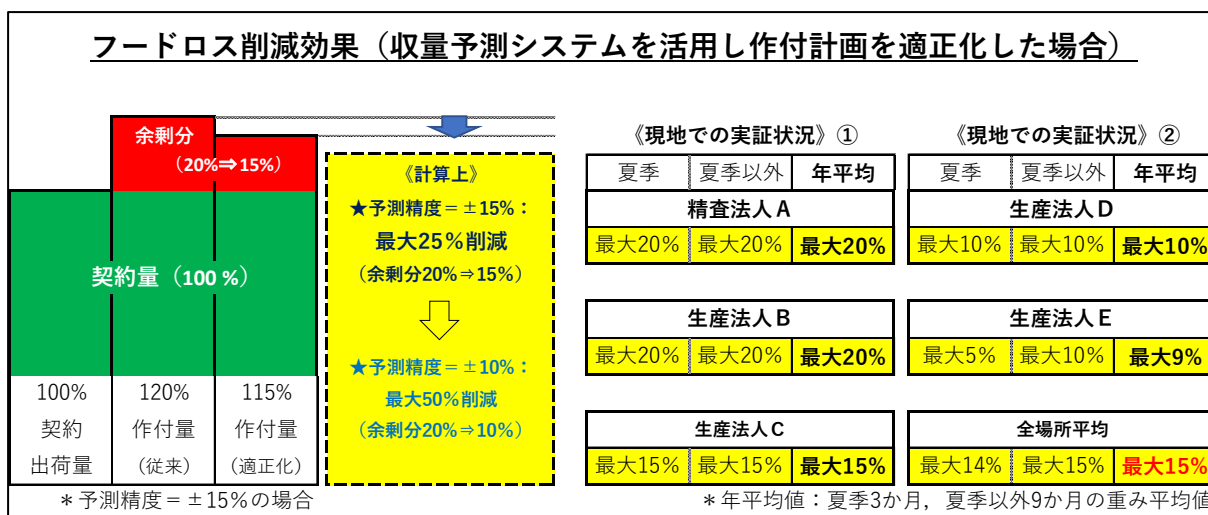


図4-4 廃棄ロス削減効果（収量予測システムを活用し作付け計画を適正化した場合）

iv) 実証テストによる廃棄ロス削減効果の考察

生産現場で廃棄ロスが発生する要因は、大別して以下の4種類に分類される。

本研究で開発したシステムは、下記に示す(1) 収穫量の上振れと(3) 栽培日数減少の改善に寄与できる。本研究内での実証の結果、最大24%の廃棄ロス削減効果が見込めることが示されたが、契約量の突発的な変動や病害発生による収穫量の変動への対応方法をさらに検討することで、生産現場における廃棄ロス削減効果をより高めることができる。例えば、課題2で開発した栽培画像のAI処理を適用して栽培予測する収量予測システム「アプリ2」は、廃棄ロス発生要因(4) 品質不良に対応できる可能性がある。つまり、アプリ2により病害などによる生育不良を判断することで終了の予測精度が高まることから、さらに廃棄ロス削減に寄与できると考える。

＜生産現場での廃棄ロス発生要因＞（*発生頻度順）

- (1) 収穫量の上振れ：思った以上に多く収穫できることによる余剰
- (2) 出荷量の急減：実需者側の事情等によって、急に出荷量が減少したり、遅延したりすることによる余剰
- (3) 栽培日数減少：想定以上に栽培物の成長が早く、出荷時期よりも早めに収穫することによる余剰
- (4) 品質不良：出荷品質がある基準に達せず、出荷することができないことによる余剰

次に、本研究で構築したシステムの社会実装を進める上での課題について検討する。需給支援システム及び収量予測システムの社会実装に向けた課題点と今後の取り組みについて、その経済性、信頼性、操作性観点からまとめたものを表4-2に示す。

＜需給支援システムについて＞

- ・実需者と生産者間、あるいは生産者間での栽培物の生産情報や余剰情報をネットを通じて交換し合うことにより、廃棄ロス削減に一定の効果が見込める。
- ・一方、栽培物の取引量、取引者数、取引品目が少なく、既存のマッチングアプリ、電話やFaxによる取引の簡便性や迅速性には劣っている。

＜収量予測システム（アプリ3）について＞

- ・栽培ハウス内の気温や日射などを把握するためのセンサ設置することなく、アプリケーションを活用するだけで実用的な精度で予測収量情報を入手できる。これにより、廃棄ロス削減への寄与は元より、将来の作付け計画に対しても有用であることから、経営改善効果が見込まれる。

表4-2 需給支援システム・収量予測システムの社会実装化に向けた課題について

開発システム	経済性	信頼性	操作性	R 5 年度以降
収量予測システム	初期コスト&運用コストのミニマム化 <観点> ・圃場でのセンシング機能 ・サーバーレス化 ・通信費 ・通信システムの更新、保守 ・栽培予測機能に特化 ＊栽培管理機能とは区別する。	少なくとも従来の経験値以上の予測精度の確保 <観点> ・高精度な予測式の採用 ・栽培画像のAI処理による予測補正機能の充実 ・突発的な要因（病害・作業ミス等）への対応 ・生産者による予測補正機能の充実	ストレスフリーで使い易いこと <観点> ・全国どこでも使えること ・サーバーレス化 ・入力数削減とデフォルト化 ・出力値が見やすいこと （一覧性向上、グラフ化等） ・良好な通信状態の確保 （高通信速度は不要） ・タブレット化	「AI生産流通研究会」にて検討を継続 <観点> ・導入運用に係るコストミニマム ・システムの使い易さ向上 ・予測精度向上 ・栽培予測による経営効果の明確化 ・AI画像処理による栽培予測精度向上検討 ・品種、品目の拡張検討 ・露地栽培への拡張検討 ・その他
需給支援システム	初期コスト&運用コストのミニマム化 <観点> ・サーバーレス化 ・通信費 ・通信システムの更新、保守	ユーザ管理機能の強化と会員数の確保 <観点> ・個人情報、与情報の管理 ・管理者利益の明確化 （有料会員制、手数料等） ・既存マッチングサイトの活用 ・国内外会員の獲得	ストレスフリーで使い易いこと <観点> ・システムのスタンドアロン化 （余剰情報に特化しない） ・栽培情報更新時のショートメッセージ発信機能 ・在庫量情報のリアルタイム化 ・限定した実需者、生産者との情報共有する機能	本研究内での検討を中断 <観点> ・栽培余剰情報に特化したマッチングサイト運用によるフードロス削減効果は限定的であり、その有用性は小さく、システム独立性保持は困難 ・通常の需給マッチングの中の一機能として余剰品情報を取り扱うのが合理的

v) 流通実証テストによる需給支援システムへのフィードバック

流通実証テストにおいて、実需者になりうる対象の有無や2019年度末からの新型コロナウイルス蔓延拡大の影響によって調査地域を東アジア及び東南アジアに絞り、合計7回のテスト輸送及び商材の嗜好調査を実施した。表4-3に各年度の輸出先の国及び調査場所を示した。

表4-3 流通実証テストの仕向け先について

輸出先調査先	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
香港	● 日本食レストラン			● 日本食レストラン、 洋食レストラン	
マレーシア		● 富裕層が集まるエリアにある商業施設内の店舗			
シンガポール		● 郊外の主にローカルの富裕層が住む地域にある商業施設内店舗	● 飲食店のバイヤーとジェフ	● 日系百貨店にある食品売り場	● シンガポールヤマト現地従業員（個人消費者）

本研究が対象とする養液栽培による日本産野菜の試食または販売にて市場調査を行った結果、概ね鮮度を中心に良好な評価が得られ、市場性及び需要自体は確認できた。輸送にお

ける課題を踏まえ、需給支援システムの実装にあたり検討が必要な部分についてフィードバックする。

<輸送における課題>

本研究では生産地より最終消費地まで国際保冷輸送テストを行い、航空輸送の部分については主に通常のキープクール輸送及び特殊定温梱包（ヤマトナチュラルエアカーゴ：YNA）の2種類の輸送手法を使用した。結果として、新型コロナウイルスの蔓延拡大による便の減少などの影響により最終配送先までのリードタイムが伸びたという状況があるものの、仕向け先が近隣のアジア圏であり、発側及び着側の保冷施設も整備されていることから、総合的に消費地まで温度を一貫的に維持することは可能であり、特段大きな影響を受けなかった。

ただし、例えば着空港の保冷施設から陸送用のトラックに積み替えるといった輸送モードを切り替えるポイントや、発側及び着側空港での積み込みと積み下ろし作業では外気温に触れるリスクが高く、一時的な温度上昇が生じたケースが見られた。

今後本研究で開発したシステムを海外に展開する際、対象となる商材の市場性以外に、安価で鮮度を維持したまま輸送を実現するといった流通の観点を取り入れる必要があると考える。

<需給支援システムへのフィードバック>

本流通実証テストでは、少量（数箱程度）の輸送物量で実施した。実際の取引では、このような少量の貨物輸出はコスト面で折り合わない場面が想定される。生産量及び輸出品量の多い生産法人や荷主であれば荷量を自主的に調整できるが、中小法人及び個人の生産者の場合、基本物量が少ないため、輸出の際の運賃が高くなる傾向がある。それにより、現地での販売価額も上昇し、他国の産品と比較した際に競争力が落ちてしまう懸念がある。

開発した需給支援システムでは、中小生産法人を含めた使用者に対して実需者とのタイムリーなマッチングというメリットを提供できる一方、それ以降の見積発行、発注、現地までの輸送手配などは個別で行う必要がある。ひとつの生産法人の栽培余剰分は通常出荷分より少量にある傾向を踏まえ、輸送物量も少量になり、結果として個々で負担する輸送費用は割高になってしまうと考えられる。解決策として、システムで需給のマッチングを行った後、個々の出荷量を取り纏めて一括で輸出する体制や仕組みが構築されると、本システムの実用性が向上すると考える。

4) 成果活用における留意点

開発した需給支援システムは、余剰収量情報に特化したマッチングサイトであるため、廃棄ロス削減効果は限定的でありその有用性は小さく、システム独立性保持は困難である。今後の本システムの方向性としては、通常の需給マッチングアプリの中の一機能として余剰品情報を取り扱うことが廃棄ロス削減には合理的かつ効果的である。取り扱い品目の拡張や外国語対応などによって取引規模や数量の拡大を図る、あるいは取引できるエリアを地域限定仕様とするなどしてシステムの初期導入障壁をより低くする等、システム設計を見直すことを主眼とした新たな取り組みの中で検討を進めるのが望ましい。ただし、開発した本システムのソースコードは開発プラットフォームに残るので、必要に応じて再検討が可能である。

一方、収量予測システムについては、センサ等を設置することなく、収量で84%以上、全長で91%以上の精度で予測が可能であり、生産者のヒアリングから15%の廃棄ロス削減効果があった。今後、社会実装して、生産現場での廃棄ロス削減に寄与するため、生産現場への初期導入をしやすくしたアプリ3の適用範囲拡大の検討に加え、AI画像処理技術をベースとしたアプリ2の改良を進めることで、廃棄ロス削減効果をさらに高めたアプリとして社会実装につながると考える。

5) 今後の課題

表4-4に、収量予測システムの社会実装化に向けた今後の課題について、システムの経済性、信頼性、操作性の各観点からまとめたものを示す。

表4-4 収量予測システムの社会実装化に向けた課題

開発システム	経済性	信頼性	操作性	R 5 年度以降
収量予測システム	初期コスト&運用コストのミニマム化 <観点> ・圃場でのセンシング機能 ・サーバーレス化 ・通信費 ・通信システムの更新、保守 ・栽培予測機能に特化 ・栽培管理機能とは区別する。	少なくとも従来の経験値以上の予測精度の確保 <観点> ・高精度な予測式の採用 ・栽培画像のAI処理による予測補正機能の充実 ・突発的な要因（病害・作業ミス等）への対応 ・生産者による予測補正機能の充実	ストレスフリーで使いやすいこと <観点> ・全国どこでも使えること ・サーバーレス化 ・入力数削減とデフォルト化 ・出力値が見やすいこと ・（一覧性向上、グラフ化等） ・良好な通信状態の確保（高通信速度は不要） ・タブレット化	「AI生産流通研究会」にて検討を継続 <観点> ・導入運用に係るコストミニマム ・システムの使い易さ向上 ・予測精度向上 ・栽培予測による経営効果の明確化 ・AI画像処理による栽培予測精度向上検討 ・品種、品目の拡張検討 ・露地栽培への拡張検討 ・その他

経済性については、システム導入に係る初期経費と通信費やアプリ利用料などの運用経費の最小化が重要である。本研究では、栽培予測に必要なセンサ類を省略し、一般公開されている気象データを最大限に活用することでインシヤルコストの低減を図った。これにより、基本的にタブレットやスマートフォンがあれば栽培予測システムを活用できる。

信頼性の観点で重要視すべきは、予測精度をさらに向上することである。このためには予測式の改良というよりも、アプリの一機能として予測値の修正機能を検討する方が有効と考える。本研究では、収量予測システムアプリの中に、予測値と実際値との間の系統誤差に修正係数（一定値）を乗じることで、各生産者が独自に各圃場の特性を予測値に反映できる機能を追加した。これにより、収量予測システムを使い込むことで次第に明らかとなるであろう、系統誤差を見込んだ予測が可能になるなど、アプリを各圃場になじませることができるようになる。今後はこのような予測値の修正補正機能の充実を図ると共に、栽培画像のAI処理によって病害など圃場での突発的な要因を予測値に反映できる機能を追加することで収量予測システムの予測精度の向上検討を進めることが必要である。

操作性の観点で重要視すべきは、通年で国内のどこでも使うことができる機能である。本研究では、アプリに全国で一般公開されている1kmメッシュ気象情報を自動的に取り込む機能を設定したこと、また生鮮乾物質量比（予測式で直接算定される予測収穫量は栽培物の乾物重であり、アプリでは算定された乾物重を生鮮重に換算するため、生鮮乾物質量比を設定）として国内各圃場の経度別月別（それぞれ経度24°～46°、1月～12月の範囲）に固有値を設定した。これにより、国内のどの場所でも高精度な栽培予測が可能である。今後はアプリの汎用性をさらに高めるため、ハウレンソウ以外の葉菜類や露地栽培品への拡張や、ア

プリの入力方法の改善や出力画面の向上など、操作性の高いアプリへの改良が必要である。

以上のような課題を継続して検討するため、コンソーシアムのメンバーを中心にR5年度から「AI生産流通研究会」を発足することとした。本課題の協力機関である生産法人(表4-1)も参画を希望しており、成果の社会実装の推進に向けて取り組みを継続する予定である。

<引用文献>

なし

Ⅲ 研究成果一覧【公表可】

課題番号 18064796

AIを活用した食品における効率的な生産流通に向けた研
中課題名 究開発

成果等の集計数

課題 番号	学術論文		学会等発表(口頭 またはポスター)		出版 図書	国内特許権等		国際特許権等		PCT	報道件数	普及しうる 成果	発表会の 主催(シン ポジウム・ セミナー 等)	アウトリー チ活動 *下記(9)項 参照
	和文	欧文	国内	国際		出願	取得	出願	取得					
18064796	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	22

(1)学術論文

区分:①原著論文、②その他論文

整理番号	区分	タイトル	著者	機関名	掲載誌	掲載論文のDOI	発行 年	発行 月	巻 (号)	掲載 ページ
1	①	Effect of Root Zone Temperature on Biomass Production of Spinach in NFT (Nutrient Film Technique) system	磯崎真英,王蕊	農研機構	HortScience	https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/hortsci-overview.xml	2022	4	57(4)	532-540

(2)学会等発表(口頭またはポスター)

整理番号	タイトル	発表者名	機関名	学会等名	発行 年	発行 月
1	ハウレンソウの成長解析に基づいた水温制御法の最適化	磯崎真英、王蕊	農研機構	令和3年園芸学会春大会	2021	3
2	ハウレンソウ栽培におけるwatershed 法を用いた葉数、サイズの推定手法の提案	松尾誠治(東京大学) 磯崎真英(農研機構)	東京大学、農研機構	第79回農業食料工学会年次大会	2021	9
3	水耕栽培ハウレンソウにおける受光量と光利用効率の品種間差異	王蕊1・磯崎真英1・岩崎泰永2 (1農研機構、2明治大)	農研機構、明治大学	令和3年園芸学会秋大会	2022	9
4	深度センサーを用いたハウレンソウ草丈の非接触計測技術の開発	梶原雄大1、岩崎泰永1 元山恵太2、福井祐子2 (1明治大、2パナソニック)	明治大学 パナソニックホールディングス	園芸学会2023年春季大会	2023	3

(3) 出版図書

区分:①出版著書、②雑誌(学術論文に記載したものを除く、重複記載をしない。)、③年報、④広報誌、⑤その他

整理番号	区分	著書名(タイトル)	著者名	機関名	出版社	発行年	発行月
1		「該当無し」					

(4) 国内特許権等

区分:①育成者権、②特許権、③実用新案権、④意匠権、⑤回路配置利用権

整理番号	区分	特許権等の名称	発明者	権利者 (出願人等)	機関名	出願番号	出願年月日	取得年月日
1		「該当無し」						

(5) 国際特許権等

区分:①育成者権、②特許権、③実用新案権、④意匠権、⑤回路配置利用権

整理番号	区分	特許権等の名称	発明者	権利者 (出願人等)	機関名	出願番号	出願年月日	取得年月日	出願国
1		「該当無し」							

(6) 報道等

区分:①プレスリリース、②新聞記事、③テレビ放映、④その他

整理番号	区分	記事等の名称	機関名	掲載紙・放送社名等	掲載年月日	備考
1		「該当無し」				

(7) 普及に移しうる成果

区分:①普及に移されたもの・製品化して普及できるもの、②普及のめどがたったもの、製品化して普及のめどがたったもの、③主要成果として外部評価を受けたもの(複数選択可)。

整理番号	区分	成果の名称	機関名	普及(製品化) 年月	主な利用場面	普及状況
1		「該当無し」				

(8) 発表会の主催(シンポジウム・セミナー等)の状況

整理番号	発表会の名称	機関名	開催場所	年月日	参加者数	備考
1	AI流通プロジェクトシンポジウム	三菱ケミカル	糸満市観光農園 うちなーファーム	2021/12/16		参加者 沖縄地区自治体農業関係者、農業法人

(9)アウトリーチ活動の状況

区分:①一般市民向けのシンポジウム・講演会及び公開講座・サイエンスカフェ等、②展示会及びフェアへの出展・大学及び研究所等の一般公開への参画、③その他(子供向け出前授業等)

整理番号	区分	アウトリーチ活動	機関名	開催場所	年月日	参加者数	主な参加者	備考
1	③	技術成果説明会	三菱ケミカル	内閣府沖縄総合事務局	2018/12/24	3	内閣府沖縄総合事務局	
2	③	技術成果説明会	三菱ケミカル	沖縄県庁水産部	2018/12/24	5	沖縄県庁水産部	
3	③	技術成果説明会	三菱ケミカル	沖縄グローバルロジスティクスセンター・サザンゲート	2019/9/13	7	沖縄ヤマト運輸	
4	③	技術成果説明会	三菱ケミカル	糸満市観光農園 うちなーファーム	2019/10/1	10	糸満市市長、糸満市役所	
5	③	技術成果説明会	三菱ケミカル	宮城県 農業・園芸総合研究所 野菜部	2020/2/19	4	宮城県 農業・園芸総合研究所	
6	③	技術成果説明会	三菱ケミカル	WEB開催	2020/6/24	10	糸満市役所、アグリジャパン	糸満市観光農園うちなーファーム合同会議
7	③	技術成果説明会	沖縄セルラーアグリ&マルシェ	糸満市観光農園 うちなーファーム	2020/7/1	2	南大東村役場	
8	③	技術成果説明会	沖縄セルラーアグリ&マルシェ	糸満市観光農園 うちなーファーム	2020/7/2	16	森トラスト、ヤマトホールディングス、KDD他	経済同友会視察
9	③	技術成果説明会	沖縄セルラーアグリ&マルシェ	糸満市観光農園 うちなーファーム	2020/7/3	4	ヨシケイ沖縄	
10	③	技術成果説明会	三菱ケミカル	糸満市観光農園 うちなーファーム	2020/10/21	6	糸満市市長、糸満市役所	

11	①	技術成果説明会	三菱ケミカル	WEB開催	2020/11/11～ 13	48	アグリビジネス創出 フェア参加者	アグリビジネス創出フェア出展
12	③	技術成果説明会	沖縄セルラーアグ リ&マルシェ	糸満市観光農園 うちなーファーム	2020/11/10	2	南大東村村長、南大 東村役場	南大東村村長
13	③	技術成果説明会	沖縄セルラーアグ リ&マルシェ	糸満市観光農園 うちなーファーム	2021/1/12		与那原町役場	与那原町役場
14	①	技術成果説明会	三菱ケミカル	WEB開催	2021/11/24		アグリビジネス創出 フェア参加者	アグリビジネス創出フェア出展
15	③	技術成果説明会	三菱ケミカル	糸満市観光農園 うちなーファーム	2021/12/10		インドネシア大使館	糸満研究圃見学
16	①	技術成果説明会	三菱ケミカル	糸満市観光農園 うちなーファーム	2021/12/16	34	協力農業法人、糸満 市役所、那覇市社会 福祉協議会(こども 食堂ぎ担当)、宜野 座村役場	糸満研究圃場見学
17	③	技術成果説明会	三菱ケミカル	ポスター発表	2022/10/26 ～28		アグリビジネス創出 フェア参加者	アグリビジネス創出フェア出展
18	③	技術成果説明会	名古屋大学	愛知県立半田高等 学校	2022/11/11		愛知県立半田高等 学校学部学科研究 会参加者	口頭発表
19	③	技術成果説明会	名古屋大学	WEB登録	2022/11/30			ノースカロライナ州立大学において運用 するNU-Techに成果紹介として登録
20	③	技術成果説明会	名古屋大学	グリーンDXプラス マコンソーシアム講 演会	2022/12/16			口頭発表

21	③	技術成果説明会	名古屋大学	国際会議7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFT COMPUTING IN DATA SCIENCE (SCDS2023)	2023/1/24			国際会議招待講演
22	①	技術成果説明会	三菱ケミカル	三菱ケミカル本社 (パレスビル) WEB	2023/2/16		協力農業法人	AI流通プロジェクトシンポジウム