

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）

現場ニーズ対応型研究

ドローンやセンシング技術を活用した、土地利用型園芸作物等の栽培管理効率化・
安定生産技術の開発

令和4年度 最終年度報告書

課題番号	18065033
研究実施期間	平成30年度～令和4年度（5年間）
代表機関	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
研究開発責任者	菅原 幸治
研究開発責任者 連絡先	TEL : 029-838-6669（代表）
	FAX : 029-838-6673
	E-mail : sugak@affrc.go.jp
共同研究機関	兵庫県立農林水産技術総合センター
	一般社団法人 UAS多用推進技術会
	国立大学法人 神戸大学大学院システム情報学研究科
	群馬県農業技術センター
	田辺 健
	江本 弘幸
	高橋 貴史
	須賀 昭浩
普及・実用化 支援組織	あわじ農業協同組合
	群馬県吾妻農業事務所
	群馬県西部農業事務所
	群馬県農政部技術支援課

<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)
	H30	R1	R2	R3	R4	機関	研究室	
研究開発責任者						農研機構野菜花き研究部門	露地生産システム研究領域露地野菜花き生産管理システムグループ	◎ 前任者 岡田邦彦 (~2020.3) 佐々木英和 (~2021.3) 後任者 菅原幸治 (2021.4~)
1 センシング技術を活用したレタスの生育診断・生育予測システムの開発・実証	○	○	○	○	○	兵庫県立農林水産技術総合センター	淡路農技農業部	○ 中野伸一
1-1 センシングデータと生育状況との関係解明および生育状況推定・生育予測手法の開発	○	○	○	○	○	兵庫県立農林水産技術総合センター	淡路農技農業部	△ 中野伸一
1-2 センシングデータを活用したレタス生育予測・栽培管理高度化手法の開発・実証	○	○	○	○	○	兵庫県立農林水産技術総合センター	淡路農技農業部	△ 中野伸一
2 センシング技術を活用したこんにゃく栽培管理支援システムの開発・実証	○	○	○	○	○	群馬県農業技術センター	こんにゃく特産研究センター	△ 篠原和典
2-1 ドローン空撮センシングデータによるこんにゃく病害等発生状況等の推定法の開発	○	○	○	○	○	群馬県農業技術センター	こんにゃく特産研究センター	△ 篠原和典
2-2 ほ場環境のモニタリングデータに基づく栽培管理支援技術の開発・実証	○	○	○	○	○	群馬県農業技術センター	こんにゃく特産研究センター	△ 篠原和典

(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

レタスをはじめとする土地利用型葉菜類では、拡大する加工・業務用需要や近年多発する不作による価格高騰への対応が課題となっている。レタスの優良産地である、あわじ島農業協同組合（以下、JAあわじ島）でも、レタスの出荷計画・栽培指導が気象変動に対応できておらず、生産者・取引先からも安定化が求められている。

こんにゃくでは、主産地である群馬県でも生産コストの低減をねらい、こんにゃく経営の大規模化・分散多ほ場化が進む中、人手不足が深刻化し、生育状況に対応した効率的防除が困難となり、生産不安定化を招いている。

このため、本研究では、

1. センシング技術を活用したレタスの生育診断・生育予測システムの開発・実証
2. センシング技術を活用したこんにゃく栽培管理支援システムの開発・実証

により、作物体可視光画像情報を用いた生育量・生育ステージ推定手法および作物体マルチスペクトル画像情報を用いた窒素栄養状態・病害発生状況推定手法を開発・実証を行うとともに、こんにゃくでは、ほ場可視光画像情報を用いた立毛状況推定手法および病害発生状況推定手法を開発し、大規模分散圃経営を含む生産現場において実証を行う。

その結果、

1. レタスでは、気象変動による影響を最小化し、経営の安定化、実需者、さらには、国民への供給の安定化
2. こんにゃくでは、人手不足が深刻化する中でも、効率的防除が可能となり、生産の安定化・環境負荷低減が期待される。

I-3. 研究方法

(1) センシング技術を活用したレタスの生育診断・生育予測システムの開発・実証

レタスにおいて、作物体可視光画像情報を用いた生育量・生育ステージ（葉齢）推定手法および作物体マルチスペクトル画像情報を用いた窒素栄養状態・病害発生状況推定手法を開発する。画像情報およびAIによる葉齢推定システムについては、キャベツ、はくさい等の他品目への適用拡大を行う。また、気象データと生育モデルによる生育予測手法と葉齢推定システムを組み合わせ、生産者向けの収穫日予測アプリを開発する。生産現場においてドローンなどを用いた生育予測・栄養状態・病害発生状況モニタリングの実証を行う。

(2) センシング技術を活用したこんにゃく栽培管理支援システムの開発・実証

こんにゃくにおいて、ほ場可視光画像等情報を用いた立毛状況推定手法および病害発生状況推定手法を開発し、大規模分散ほ場経営を含む生産現場において、ドローン空撮画像を用いた立毛状況推定手法および病害発生状況推定手法の実証を行う。また、これら推定法やほ場のモニタリングデータを活用した防除作業可否判定等栽培管理を支援するための指導手法の開発・実証を行う。

I-4. 研究結果

(1) センシング技術を活用したレタスの生育診断・生育予測システムの開発・実証

淡路地域における新品種に適用するための生育モデル作成を行った。また、葉齢推定の他品目への展開についてレタスのほかキャベツとはくさいを対象に適用拡大を行い、機械学習によりレタス、キャベツで精度約90%、はくさいでは精度約80%で推定可能となった。レタスビッグベイン病の推定については、画像の先鋭化処理と教師画像の補強により発病判別率は80%以上に達した。また、コンソーシアム参画3農家とJAあわじ島の各支所代表ほ場において、開発した収穫日予測アプリの精度実証試験を行い、品種別の生育モデルとメッシュ農業気象データから、収穫日予測を行った。各農家では平均予測誤差約2日で予測できており、開発したアプリの運用に向けた実現性を確認できた。併せて、アプリの予測結果を集約し、JAあわじ島が販売計画立案において利用可能な集約機能を開発した。

(2) センシング技術を活用したこんにゃく栽培管理支援システムの開発・実証

こんにゃくの倒伏株率、倒伏面積率の推定について、ドローンによる空撮条件を決定した。ほ場単位での減収率を推定する手法については、9月2半旬（9/10日前後）の倒伏株率、倒伏面積率を基に減収率を推定することを可能にした。これをもとに、ドローン空撮画像を用いた病害防除対策マニュアルを作成した。また、気象センサーと土壌水分センサーの観測の結果、降雨により土壌水分は上昇するが、降雨が弱くなるとともに土壌水分も減少することがわかった。地域ごとにあらかじめ降雨の終了から土壌水分が安定するまでの時間を計測することで、気象データから作業適否を判断すること可能であることを、試験ほ場のほか生産現場でも確認した。

I-5. 今後の課題

レタス収穫日予測アプリは今後、JAあわじ島にて実運用される予定である。また、レタスで90%の精度で推定可能となった撮影画像による葉齢推定手法の他品目への適用拡大（キャベツ、はくさい）が達成できたため、問題点はない。

こんにゃくについては、ドローン空撮画像を用いた病害防除対策マニュアル（生産者用、普及員用）を群馬県内で普及させることが今後必要である。

小課題番号	180650331	小課題 研究期間	平成30～令和4年 度
小課題名	1 センシング技術を活用したレタスの生育診断・生育予測システムの開発・実証		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	兵庫県農技総合センター・淡路農技センター・中野伸一名		

II. 小課題ごとの研究目的等

1) 研究目的

レタスでは、拡大する加工・業務用需要や近年多発する不作による価格高騰への対応が課題となっている。レタスの優良産地である、JAあわじ島でも、レタスの出荷計画・栽培指導が気象変動に対応できておらず、生産者・取引先からも安定化が求められている。

レタスの撮影画像とAIによる葉齢（生育ステージ）推定手法、ならびにレタスビッグベイン病判別手法を開発し、生産現場で精度検証する。葉齢推定手法はキャベツおよびはくさいにも適用拡大する。また、淡路の全作型に対応した現地主要品種の生育モデルとAIを利用した画像認識による葉齢推定システムを農家レベルで使用可能な生育予測・生育診断システムとして実装するために、JAあわじ島および農家がインターネット上で使用可能なウェブアプリを開発する。このアプリの実証試験を行い、参画農家やJAの意見をもとに検証、改良する。

2) 研究方法

作物体可視光画像情報と鉛直投影面積・葉齢との関係、マルチスペクトル画像情報と窒素栄養状態・病害発生（レタスビッグベイン病等）との関係を解析し、生育量・生育ステージ、栄養状態・病害発生状況の推定手法を開発するほか、生育予測モデルを用いた生育診断手法を開発する。生育予測モデルは農研機構開発モデルを淡路の現地で栽培されている品種に適用拡大を行う。また、生育予測モデル作成用のレタス画像を教師データとし、AI（畳み込みニューラルネットワーク）を用いて画像を機械学習し、画像から葉齢を推定するシステムを構築する。また、そのシステムを応用し、撮影画像からの葉齢推定を行う。また、マルチスペクトル画像情報およびAIによる葉齢推定システムについては、キャベツ、はくさい等の他品目への適用拡大を行う。

普及支援組織であるJAあわじ島の阿万支所においてドローンによる空撮を行い、ほ場毎の地図情報と連動したドローン画像からレタスの作付面積を把握する。そして、ドローン画像による葉齢推定結果とメッシュ農業気象データからレタスの出荷日別の出荷量を予測する。また、メッシュ農業気象データを利用し、定植日、品種、被覆方法、被覆開始日等の栽培情報の入力並びにレタス画像をアップロードできるプラットフォームを開発し、モデルによる生育予測と実際の生育との差から生育診断をするシステムをウェブアプリとして実装する。また、本研究により開発する生育状況推定・生育予測手法を用いて、生産現場においてドローン空撮などによる画像データなどを用いた生育予測・栄養状態・病害発生状況モニタリングの実証を行うほか、これらモニタリングを用いた栽培管理指導支援・出荷予測手法の開発・実証を行う。

3) 研究結果

レタスについて、農研機構開発生育モデルの淡路栽培品種への適用拡大を、10～5月どり6品種と追加した新品種について行い、生育モデルのパラメータを作成した。株の撮影画像とAIによるレタスの葉齢推定については、±1枚の誤差を許容する判別率が目標精度90%で推定可能となった。同様に、他品目であるキャベツとはくさいの葉齢推定についても、±1枚の誤差での判別率がそれぞれ約90%、80%となった。AIによるレタスビッグベイン病の発病株率の推定については、罹病株の判別率が80%以上となった。

JAあわじ島の各支所代表ほ場において、作付面積の把握を行い、品種別の生育予測モデルとメッシュ農業気象データから、ほ場収穫量、出荷量の予測を行った。さらに、これまでに開発した淡路の全作型に対応した主要品種の生育モデルとAIを利用した画像認識による葉齢推定システムを用い、JAあわじ島および農家レベルで利用できるスマートフォン用の収穫日予測アプリを開発した。アプリの実証試験を行い、遅くとも収穫2週間前に予測した収穫開始日の予測誤差は平均2日以内であり、目標の7日以内に収穫されたレタスほ場の割合は91%に達した。

4) 成果活用における留意点

開発したレタスの生育予測・診断手法については、兵庫県淡路島での試験結果にもとづくものであり、他地域で適用するには、現地での試験が必要となる可能性がある。

収穫日予測アプリはJAあわじ島にて令和5年度より実運用の予定である。他産地での運用については、今後検討が必要である。

5) 今後の課題

レタス収穫日予測アプリは今後、JAあわじ島にて実運用される予定である。また、レタスで90%の精度で推定可能となった手撮影画像による葉齢推定手法の他品目への適用拡大（キャベツ、はくさい）が達成できたため、問題点はない。

小課題番号	180650332	小課題 研究期間	平成30～令和4年 度
小課題名	2 センシング技術を活用したこんにゃく栽培管理支援システムの開発・実証		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	群馬県農業技術センター・こんにゃく特産研究センター・ 篠原 和典、南雲顕太、山田文典		

II. 小課題ごとの研究目的等

1) 研究目的

こんにゃくでは、主産地である群馬県でも生産コストの低減をねらい、こんにゃく経営の大規模化・分散多ほ場化が進む中、人手不足が深刻化し、生育状況に対応した効率的防除が困難となり、生産不安定化を招いている。

倒伏個体の多くで収穫皆無とはならず、単なる倒伏率だけでは減収率の推定が困難である。ただし、倒伏時期が遅いほど、減収率が小さいと考えられることから、時系列的なドローン空撮画像から得られる時期別倒伏株率から、ほ場単位の減収率を推定する手法を開発する。また、「あかぎおおだま」及び「みやままさり」の両品種で倒伏個体の根腐病などの要因割合について明らかにする。

こんにゃく主産地である群馬県でも経営の大規模化・分散多ほ場化が進む中、人手不足が深刻化し、生育状況に対応した効率的防除が困難となり、生産不安定化を招いている。そこで、大規模分散圃経営を含む生産現場における栽培管理支援のため、気象データセンサーによる環境モニタリング値とほ場作業適否判断との関係を解明し、ほ場モニタリング値による作業適否判断指標を得る。

2) 研究方法

こんにゃく特産研究センター内に設置する施肥試験ほ場や土壌病害（根腐病）と地上部病害（葉枯病）の各耐病性検定試験ほ場および現地ほ場において、実調査による葉色推移や生育状況（生育量や倒伏程度）の立毛状況並びに病徴の程度推移など病害発生状況とドローン空撮画像情報（可視光・マルチスペクトル）の関係を解析し、生育株の状況や各病害の発生を個体レベルで識別できる空撮条件を設定する。併せて、過去における病害発生状況データと気象観測データを解析することで、病勢進展の助長または抑制要因の抽出を行い、空撮画像情報や気象条件から病害発生状況を推定する手法を開発する。また、松義台地や東吾妻町などにおけるドローン空撮情報の取得や実際の筆単位での根腐病発病調査を行い、上記推定手法の広域調査への適用条件を解明する。

現地モニタリングほ場におけるドローン空撮画像、環境モニタリングデータ（一般気象項目、土壌水分、定点カメラによるほ場画像）と立毛や収穫物による根腐病等のほ場内での発生部位と発生程度の調査を行い、上記推定手法と、それに基づく防除対策の有効性を現地実証する。また、気象データ、特に降水量と、土壌水分センサーによる実測値からほ場の土壌水分を推定する手法を開発、検証する。さらに、降雨終了からの経過時間を指標に遠隔地の作業可否判断を支援する技術を開発し、現地実証を行う。

3) 研究結果

ドローン空撮（可視光）をする上で、個体ごとに病害発生状況を識別するための解像度などの条件を確立した。また、倒伏時期と減収率の関係については、9月10日前後を境として、減収率が大幅に変化することが明らかとなった。一方で、減収率の定式化に関しては、実際の減収率を推定することが可能となった。

発病進展に関与するほ場条件として、「品種の違い」が及ぼす影響が大きいことが明らかとなった。特に根腐病に関しては、「あかぎおおだま」と比較して「みやままさり」の方が罹病しやすい。一方で、葉枯病に関しては、両品種とも生育初期から後期にかけて経時的な発生株数が増加するが、根腐病ほど大きな減収にはつながらないことが確認された。

マルチスペクトル画像を利用する場合、土壌消毒剤の違いによる肥料効果が生育状況に異なる影響を及ぼすこと、7月下旬から8月上旬の開葉期における病害の初期発生を捕捉できることが明らかとなった。

現地で空撮を行う場合、1ピクセル2cmの解像度を確保する場合、機体の高度は概ね85mとなるため、現在想定している地域での空撮実施上のリスク要因が殆どなく、現地でドローン空撮を実施する際の注意点を把握できた。また、倒伏時期別の球茎収量調査により、空撮時期に関しては、9月2半旬（9月10日前後）が望ましいことを確認した。以上の開発技術を病害防除対策マニュアルとしてまとめ、県内の生産者や普及員に配布する予定である。

松義台地と東吾妻町に土壌水分センサーを設置した観測結果から、ほ場により若干の差はあるものの、雨が降り止んでから松義台地東部のほ場では24時間、東吾妻のほ場では30時間経過すると、土壌水分が安定することがわかった。このデータと栽培日誌を照らし合わせたところ、大部分の作業でこの時間が経過後に作業が行われていた。あらかじめ降雨の終了から土壌水分が安定するまでの時間を計測することで、気象データから作業適否を判断すること可能であることがわかった。

4) 成果活用における留意点

開発したこんにやくの病害発生推定手法については、群馬県内での試験結果にもとづくものであり、他県で適用するには、現地での試験が必要となる可能性がある。

5) 今後の課題

こんにやくについては、ドローン空撮画像を用いた病害防除対策マニュアル（生産者用、普及員用）を群馬県内で普及させることが今後必要である。

Ⅲ 研究成果一覧【公表可】

個別課題番号 18065033

課題名 ドローンやセンシング技術を活用した、土地利用型園芸作物等の栽培管理効率化・安定生産技術の開発

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)	アウトリーチ活動
	和文	欧文	国内	国際		出願	取得	出願	取得					
18065033	0	0	9	0	3	1	0	0	0	0	5	1	0	1

(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
		該当無し								

(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	ドローン搭載マルチスペクトルカメラによるレタスの収量および窒素栄養状態の推定	中野伸一	淡路農業技術センター	淡路農業技術センター 試験研究成果発表会	2021	11
2	ドローンによる空撮画像から求めたレタスの植被率と収量の関係	中野伸一	淡路農業技術センター	淡路農業技術センター 試験研究成果発表会	2020	12
3	ドローンやセンシング技術を活用したレタスの栽培管理効率化・安定生産技術の開発	中野伸一	淡路農業技術センター	タイスマート農業シンポジウム	2019	9
4	CNNによる葉齢推定と葉齢増加モデルによるレタスの収穫日予測技術の開発	中野伸一	淡路農業技術センター	園芸学会令和3年度秋季大会	2021	9
5	ドローン搭載マルチスペクトルカメラによるレタスの収量および窒素栄養状態の推定	中野伸一	淡路農業技術センター	園芸学会令和3年度春季大会	2021	3
6	ドローンによる空撮画像から求めたレタスの植被率と収量の関係	中野伸一	淡路農業技術センター	園芸学会令和元年度秋季大会	2019	9
7	機械学習を用いた農作物の生育予測手法—ドローン画像への適用—	飯塚俊介, 藤井信忠, 國領大介, 貝原俊也, 中野伸一	神戸大学、淡路農業技術センター	日本経営工学会2020年春季大会	2020	3
8	畳み込みニューラルネットワークを用いた農作物の生育予測に関する研究(第2報)~農作物の病害予測~	飯塚俊介, 藤井信忠, 國領大介, 貝原俊也, 中野伸一, 西口真嗣	神戸大学、淡路農業技術センター	日本機械学会第29回設計工学・システム部門講演会	2019	9
9	畳み込みニューラルネットワークを用いた農作物の生育予測に関する研究	飯塚俊介, 藤井信忠, 國領大介, 貝原俊也, 中野伸一, 山東良子	神戸大学、淡路農業技術センター	日本機械学会 第28回設計工学・システム部門講演会	2018	11

(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	②	CNN-Based Growth Prediction of Field Crops for Optimizing Food Supply Chain, Advances in Production Management Systems. Production Management for the Factory of the Future, IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2019, Austin, TX, USA	Shunsuke Itsuka, Nobutada Fujii, Daisuke Kokuryo, Toshiya Kaihara, Shinichi Nakano	神戸大学、淡路農業技術センター	Springer	2019	9
2	④	ドローンを利用したレタスの収量予測技術、ひょうごの農林水産技術 No.214	中野伸一	淡路農業技術センター	兵庫県	2021	8
3	④	AIと生育予測モデルによるレタス収穫日の予測技術、ひょうごの農林水産技術 No.218	中野伸一	淡路農業技術センター	兵庫県	2022	8

(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	②	農作物生育推定装置, 農作物生育推定システム, 農作物生育推定方法, 及びプログラム	藤井 信忠, 飯塚 俊介, 岡田 邦彦, 中野 伸一	神戸大学 淡路農業技術センター 農研機構	神戸大学、淡路農業技術センター、農研機構	特願2019-201061	2019/11/5	

(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
		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	①	レタス収穫予測アプリのデモ版が完成！JAあわじ島にて試験運用中	淡路農業技術センター		2021/11/29	日本農業新聞に、2021年12月6日記事掲載
2	②	レタス栽培にAI導入	淡路農業技術センター	神戸新聞	2019/5/14	
3	②	レタスの病害空撮で判定	淡路農業技術センター	神戸新聞	2019/10/27	
4	②	レタス収穫期AIが予測	淡路農業技術センター	神戸新聞	2021/12/16	
5	③	AIやロボットを活用「スマート農業」県内でも	淡路農業技術センター	NHK神戸放送局	2021/12/9	

(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	①	レタス収穫日予測アプリおよび出荷予測システム	JAあわじ島	2023	8	・レタス生産者がスマートフォンにインストールし、圃場にて収穫日予測と生育診断に利用 ・JAあわじ島の販売部が販売計画の策定に利用	JAあわじ島営農指導員およびレタス生産者200戸に配布予定

(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
	該当無し					

(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	①	令和4年度甘楽富岡こんにゃく冬期研修会にて、講演「ドローン技術を活用したコンニャクモニタリング調査について」	甘楽富岡こんにゃく研究会・西部農業事務所富岡地区農業指導センター	富岡合同庁舎3階会議室	2023/1/26		生産者、JA職員、普及員、市町村職員等	