

年内どりレタスにおける収穫球径の生育予測モデル

宮寄朋浩，尾崎祐未

キーワード：株面積，球径生育予測モデル，レタス，年内どり，積算，

Growth Prediction Model of Lettuce Head Diameter for Harvest within the Year.
Tomohiro MIYAZAKI, Yumi OZAKI

目 次

1. 緒言
2. 材料および方法
 - 1) 供試品種，栽培条件，気象データ
 - 2) 積算温度を用いた生育予測モデル
 - 3) 空撮画像を用いたレタス株面積測定
 - 4) 積算温度と株面積を組み合わせた生育予測モデル
3. 結果
 - 1) 積算温度を用いた生育予測モデル
 - 2) 空撮画像を用いたレタス株面積測定
 - 3) 積算温度と株面積を組み合わせた生育予測モデル
4. 考察
 - 1) 積算温度を用いた生育予測モデル
 - 2) 空撮画像を用いたレタス株面積測定
 - 3) 積算温度と株面積を組み合わせた生育予測モデル
5. 摘要
6. 引用文献

Summary

1. 緒言

長崎県はレタスの生産が盛んであり、2022年度産の年間生産量は37,000tと全国有数のレタス産地となっている。しかし、レタスは露地栽培であるため気象に左右されやすく、夏期の高温や早ばつによりレタスの収穫期が前後し、中・長期的な計画出荷が予測し難い状況になっている。レタスの生育予測モデルを作成することは計画出荷の精度向上に繋がることを目的とする。

生育予測モデルとは作物の成長過程や収穫量を予測するためのものであり、農業生産において重要な役割を果たす。気候変動の影響を受ける中で、生育予測モデルは収量の最適化や生産計画の調整に活用され、効率的な農業経営に不可欠となっている。生育予測モデルは、気象データ（土壌条件、気温、降水量、日照時間など）と作物の特性データ（品種、

成長ステージ、植え付け時期など）を組み合わせ、作物の成長過程や最終的な収量を予測するものである。

生育予測モデルを用いて栽培管理を行うことは、生育条件に合った栽培管理および肥料の効果的な施用、病害虫の予防策の最適化や、適切な収穫タイミングを把握することができる。その結果、農業経営者は資源の無駄を減らし、良質の作物を生産し経済的利益を最大化することが可能になる。

本報告では長崎県内のレタス栽培方法のうち、9月前後に定植を行い、12月までに収穫を完了する年内どりの作型において積算温度および空撮画像を活用して収穫時の球径および調整重を予測するための生育予測モデルの作成ならびに予測精度の検証を行なったので、その結果を報告する。

2. 材料および方法

1) 供試品種、栽培条件、気象データ

(1) 供試品種

長崎県の年内どりレタスで用いられる「オーウェン」（住化農業資材株式会社）、「パワースイープ」（株式会社サカタのタネ）、「ツララ」（ツルタのタネ株式会社）の3品種を栽培して調査を実施した。

(2) 栽培条件

レタス栽培は長崎県農林技術開発センター畑作営農研究部門干拓営農研究室圃場（諫早市中央干拓）で行った。

育苗は128穴セルトレイ（セル容量：24ml、幅8個×長さ16個、トレイ寸法：幅300mm×長さ590mm×高さ44mm）と育苗培土「与作N-150」を使用し、播種後25日前後の苗を定植した。栽培は畦幅150cm、株間30cm、条間30cm、4条植え（8889株/10a）で黒マルチ被覆の平高畝で行った。

施肥は硫酸を用い、窒素成分として2.8kg/aを施用した。諫早湾干拓地の土壌では可給態リン酸、交換性カリウムが充分量含まれていることから（長崎県、2011）リンとカリウムは無施用とした。

定植日は、「オーウェン」は2022年9月25日、「パワースイープ」は同年9月28日、「ツララ」は同年10月21日である。

(3) 気象データ

栽培期間中の温度データは「農研機構メッシュ農業気象データ」の干拓営農研究室圃場（緯度32度51分55秒、経度130度6分40秒）が含まれる1kmメッシュ（メッシュコード64414276）から調査対象の日平均温度データを取得した。

2) 積算温度を用いた生育予測モデル

(1) 調査方法

生育調査では圃場内でレタスの葉の枚数（以下葉数）を各品種4回調査した。収穫調査は、各品種5回行った。調査項目は、全葉数、外葉を3枚付けた状態での結球部分の直径（以下、球径）、結球部分の重量（以下、調整重）である。

調査は試験区あたり12株を3反復の合計36株で行い、調査した12株のうち最大値と最小値を除いた10株の平均値を算出した。

(2) 解析方法

(1)で調査した各データはMicrosoft Excel 365を用いてデータ整理を行い、R ver.4.3.1を用いて統

計解析を行った。統計解析は相関分析により各項目間の相関係数を計算した。また、収穫期の判断基準となる球径および調整重を目的変数とし、説明変数に積算温度を用いて回帰分析を行った。得られた回帰式の予測精度は決定係数 (r^2) ならびに二乗平均平方根誤差 (Root Mean Squared Error : RMSE) で評価した。

3) 空撮画像を用いたレタス株面積測定

(1) 生育および収穫調査

各品種 12 株 (3 株×4 条) の 2 反復の合計 24 株に対して空撮画像 (RGB 画像) から株面積を調査した。それぞれの株に対する生育調査は全葉数を、収穫調査は玉径、調整重を調査した。生育調査は 3 回、収穫調査は 2 回実施した。

(2) レタス株画像の撮影および画像合成

DJI 製 Phantom4 RTK (カメラ 1 インチ CMOS, 有効画素数 2000 万画素) ドローンを用い、高度 30m (解像度 0.8cm/px1), ラップ率 (撮影画像の重なり割合) は縦方向 75%, 横方向 75% に設定して撮影した。空撮画像の解像度が 0.8cm/px1 であることから、株面積は平方センチメートル単位でデータ化した。

撮影はレタス栽培中の圃場 (面積 240m², 縦 6

m, 横 40m) を 2022 年 10 月 25 日, 11 月 2 日, 11 月 7 日, 11 月 16 日, 11 月 22 日, 12 月 1 日の合計 6 回行った。撮影した画像ファイルを、画像合成ソフト Pix4D Fields を用いて撮影日ごとに 1 枚の合成画像を作成した。

(3) 株面積の計算

合成画像は GIS ソフト QGIS ver.3.14 (以下 QGIS) を用いて撮影日ごとに画像レイヤを作成し、ジオリファレンス (位置合わせ) を行った。生育調査および収穫調査を行なった株は、画像レイヤ上に株の位置、識別番号 (以下、株 ID) ならびに品種を属性として登録した。空撮画像の撮影日ごとに、株 ID ごとの株面積を QGIS 上で計算し、撮影日ごとに CSV ファイル形式で出力保存した。以上の手順を表 1 に示した。

(4) 株面積測定に適した株の選択と面積計算

レタス個体の株面積を画像から計算する場合、株画像を画像処理によってポリゴン化 (多角形化) し、株の投影面積を計算する。この際、株同士の間隙があると、分離が容易で株面積の計算がしやすくなる (写真 1)。

そこで、株面積測定に適した撮影時期を明らかにするため、隣接する株の外葉が接触していない株を目視で判断・選択して株面積を測定した。

表 1 レタス株面積計算の手順と使用機材

手順	画像撮影、処理	(使用目的) 使用機材
1	画像撮影	(撮影用ドローン) DJI製 Phantom4 RTK
2	合成画像作成	(画像処理ソフト) Pix4D Fields
3	画像レイヤ作成	
4	ジオリファレンス (レイヤ位置合わせ)	
5	調査株の確認、登録	(GISソフト) QGIS ver.3.14
6	株面積計算 (画像ポリゴン化、計測)	
7	結果出力 (CSV形式)	
8	集計・データ処理	(データ整理) Microsoft Excel 365 (データ解析) R ver.4.3.1



写真1 隣接する株の外葉が接触していないレタス株
（「オーウェン」，2022年10月25日撮影）

(5)解析方法

各データはR ver.4.3.1を用いて統計解析を行った。相関分析では調査項目間の相関係数を計算した。また、収穫期の判断基準となる球径および調整重を目的変数とし、説明変数に定植後からの積算温度を用いて回帰分析を行った。また、レタスの結球前に撮影した画像から未結球状態における各品種の株面積データと球径、調整重との相関分析を行った。使用

した株面積データは品種ごとに2回の撮影日から取得したものである。「オーウェン」と「パワースイープ」は、10月25日を1回目、11月2日を2回目とし、「ツララ」は、11月11日を1回目、11月16日を2回目とした。

4) 積算温度と株面積を組み合わせた生育予測モデル

(1)使用したデータ

表2に示した条件で個体ごとに株面積および球径、調整重のデータを記録した。調査に用いた株数は「オーウェン」80株、「パワースイープ」18株、「ツララ」55株の合計153株である。

調査期間中の気象データは、1)_(3)で示した方法で取得した日平均温度を用いた。

(2)データ解析

(1)のデータを用いて球径および調整重を目的変数とし、積算温度を説明変数としたそれぞれの単回帰式、および積算温度と株面積を説明変数とした重回帰式を作成した。得られた回帰式を用いて、球径および調整重の予測値と実測値とのRMSEを計算し、予測精度を比較した。

表2 空撮および収穫調査の実施日

品種	定植日	撮影日	定植日翌日から 撮影日までの 積算温度 (°C)	収穫調査日1	定植日翌日から 収穫調査日1 までの積算温度 (°C)	収穫調査日2	定植日翌日から 収穫調査日2 までの積算温度 (°C)
オーウェン	2022/9/25	2022/10/16	475.4	2022/11/11	916.3	2022/11/16	999.1
パワースイープ	2022/9/28	2022/10/22	513.8	2022/11/16	927.2	2022/11/22	1023.4
ツララ	2022/10/21	2022/11/16	453.8	2022/12/12	797.8	2022/12/26	880.0

3. 結果

1) 積算温度を用いた生育予測モデル

(1)定植後の積算温度とレタス形質との相関

全葉数、球径、調整重のすべてが積算温度と高い相関を示した(表3)。

(2)定植後の積算温度と各形質との回帰分析

ア)線形回帰による球径の回帰式

収穫時の球径を目的変数 y 、定植から収穫までの積算温度を説明変数 x とした回帰式およびその決定係数を表4に示す。

供試した品種のうち「オーウェン」、「パワースイープ」の回帰式の決定係数はそれぞれ0.825、0.804で球径に対する積算温度の影響が大きかった。一方、「ツララ」の回帰式の決定係数は0.504であり、積算温度の影響は小さく、品種ごとの球径に対する積算温度の効果が異なることが明らかになった。回帰式を用いた球径の予測値と実測値のずれはRMSEから±0.42~0.78cmと推定された。

作成した球径の生育モデルを使って、出荷時に球径15cmに達するための積算温度を計算した結果、

「オーウェン」は 933.5℃, 「パワースイープ」は 967.8℃, 「ツララ」は 901.4℃であった (表4)。

1) 線形回帰による調整重の回帰式

収穫時の調整重を目的変数 y , 定植から収穫までの積算温度を説明変数 x とした回帰式およびその決定係数を表5に示す。

得られた回帰式は品種によって異なったが, 決定係数は 0.830~0.878 といずれも高く, 調整重は積算温度の影響が大きいことが示された。回帰式を用いた調整重の予測値と実測値のずれは RMSE から ±26.1~64.6g であると推定された。

表3 積算温度と生育指標の相関係数

品種	全葉数	球径	調整重
オーウェン	+0.936	+0.940	+0.953
パワースイープ	+0.990	+0.932	+0.942
ツララ	+0.970	+0.867	+0.962

表4 球径の生育予測モデル

品種	回帰式	決定係数 (r^2)	RMSE	球径15cmとなる積算温度 (°C)
オーウェン	$y = 0.013x + 2.865$	0.825	0.42	933.5
パワースイープ	$y = 0.012x + 3.386$	0.804	0.65	967.8
ツララ	$y = 0.017x - 0.324$	0.504	0.78	901.4

表5 調整重の生育予測モデル

品種	回帰式	決定係数 (R^2)	RMSE
オーウェン	$y = 1.965x - 1097.9$	0.878	51.5
パワースイープ	$y = 1.326x - 790.2$	0.830	64.6
ツララ	$y = 1.154x - 642.2$	0.852	26.1

2) 空撮画像を用いたレタス株面積測定

(1) 株面積と撮影時の積算温度との関係

供試したレタス3品種「オーウェン」, 「パワースイープ」, 「ツララ」の株面積とドローン撮影日までの積算温度の相関分析から相関係数 $r = 0.652$ が得られた (図1)。

撮影したレタス株を, 中心部の結球が認められない株 (以下, 未結球株) と結球が認められた株 (以

下, 結球株) に分類し, 積算温度との関連を調査した。積算温度が増加すると未結球株の株面積は増加したが, 結球後は積算温度が増加しても株面積の増加は明確ではなかった (図2)。このため, 調査データを未結球株と結球株に分けて積算温度との回帰分析を行った。未結球株は回帰式 $y = 1.146x - 147.8$ (決定係数 $r^2 = 0.684$), 結球株は回帰式 $y = -0.322x + 1071.2$ (決定係数 $r^2 = -0.015$) が得られた。

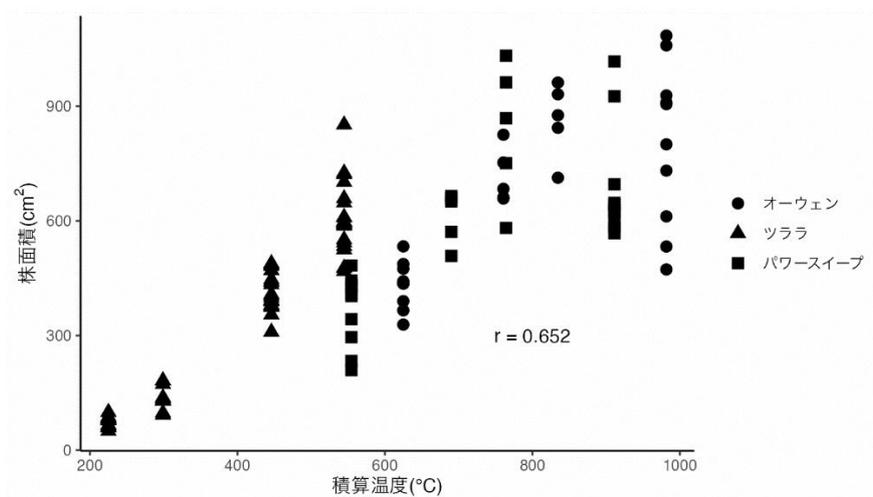


図1 撮影日までの積算温度とレタス株面積

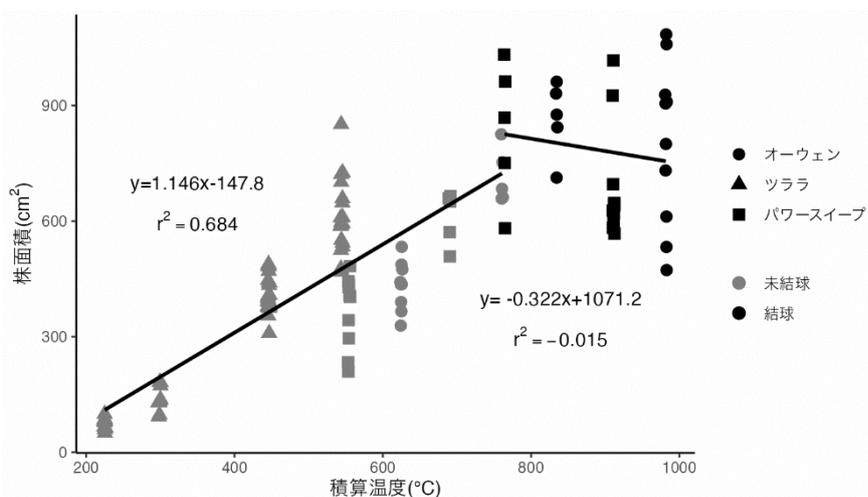


図2 撮影株の条件別積算温度と株面積

品種ごとの積算温度と株面積の相関分析を行った結果、いずれの品種も未結球株は積算温度と高い相関を示したが、結球株は相関が低く、また品種による差が大きかった(表6)。

さらに、品種ごとに、定植後から撮影日までの積算温度より未結球株の株面積を予測する式を得た

(表7)。さらに、未結球の株面積と球径、調整重との間には正の相関が見られ、特に「パワースイープ」では相関係数が高かった。また、同一品種間では、2回目が高い傾向にあった(表8)。

表6 品種別結球の有無による積算温度と株面積の相関係数

品種	未結球株	結球株
オーウェン	+0.914	-0.166
パワースイープ	+0.817	-0.419
ツララ	+0.956	NA ^z

^z 結球株の撮影データがないため該当なし。

表7 品種別未結球株と積算温度の生育予測モデル

品種	回帰式	決定係数 (r ²)
オーウェン	y = 2.086x - 870.4	0.823
パワースイープ	y = 1.790x - 642.5	0.642
ツララ	y = 1.733x - 3.475	0.913

表8 未結球苗の株面積と収穫物の相関

品種	撮影日	平均株面積 (cm ²)	相関係数 (r)	
			球径	調整重
オーウェン	10月25日	433.0	+0.14	+0.21
	11月2日	716.3	+0.29	+0.37
パワースイープ	10月25日	368.2	+0.57	+0.68
	11月2日	610.8	+0.60	+0.76
ツララ	11月11日	412.5	+0.14	+0.04
	11月16日	609.2	+0.14	+0.06

(2)株面積計算に適した撮影時期

表7で示した品種ごとの回帰式を用いて計算した。隣接した株同士が接触しない状態を維持できる積算温度は「オーウェン」が652.9℃、「パワースイープ」が422.6℃、「ツララ」が636.6℃であった(表9)。

3) 積算温度と株面積を組み合わせた生育予測モデル

(1)球径の予測モデル

「ツララ」では単回帰式の決定係数が、「オーウェン」「パワースイープ」では重回帰式の決定係数

が大きかった(表10)。また、RMSEは単回帰式に比べ重回帰式で小さく、RMSEで示される球径の予測精度は平均±3.87cmから±1.70cmに向上した。図3に品種別球径のRMSEを図示した。

(2)調整重の予測モデル

いずれの品種でも単回帰式に比べて重回帰式の決定係数が大きく、単回帰式に比べ重回帰式のRMSEが小さかった(図11)。RMSEで示される調整重の予測精度は平均±239.0gから平均±190.5gに向上した。図4に品種別調整重のRMSEを図示した。

表9 隣接苗で外葉が接していない株の株面積

品種	株面積		予測積算温度 (°C)
	平均 (cm ²)	標準偏差	
オーウェン	491.6	47.5	652.9
パワースイープ	419.4	67.1	422.6
ツララ	497.1	67.2	636.6

表10 球径の生育予測モデルと精度

回帰式の種類	品種	回帰式 (y: 球径、a: 積算温度、b: 株面積)	決定係数 (r^2)	RMSE
単回帰式	オーウェン	$y = 0.002a + 13.971$	0.012	4.49
	パワースイープ	$y = 0.020a - 4.043$	0.579	4.28
	ツララ	$y = 0.019a - 1.579$	0.656	2.85
平均				3.87
重回帰式	オーウェン	$y = 0.002a + 0.005b + 12.169$	0.062	1.46
	パワースイープ	$y = 0.016a + 0.009b - 4.052$	0.683	1.87
	ツララ	$y = 0.018a + 0.002b - 2.007$	0.649	1.78
平均				1.70

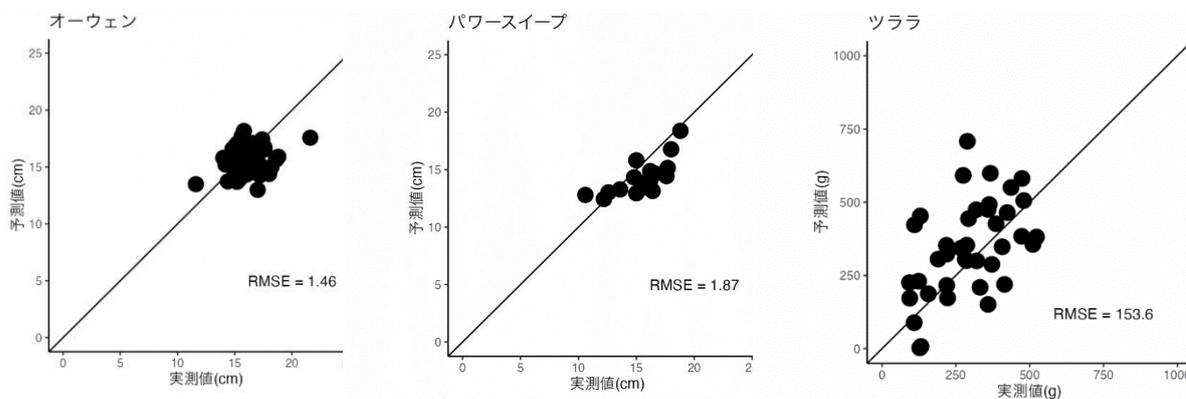


図3 品種別球径（積算温度+株面積）のRMSE

表11 調整重の生育予測モデルと精度

回帰式の種類	品種	回帰式 (y: 調整重、a: 積算温度、b: 株面積)	決定係数 (r^2)	RMSE
単回帰式	オーウェン	$y = 2.256a - 1412.2$	0.602	299.1
	パワースイープ	$y = 2.555a - 2020.3$	0.755	231.4
	ツララ	$y = 1.093a - 597.3$	0.635	186.6
平均				239.0
重回帰式	オーウェン	$y = 2.200a + 0.557b - 1606.6$	0.625	204.3
	パワースイープ	$y = 1.123a + 2.166b - 2021.3$	0.874	213.5
	ツララ	$y = 1.040a + 0.322b - 672.9$	0.647	153.6
平均				190.5

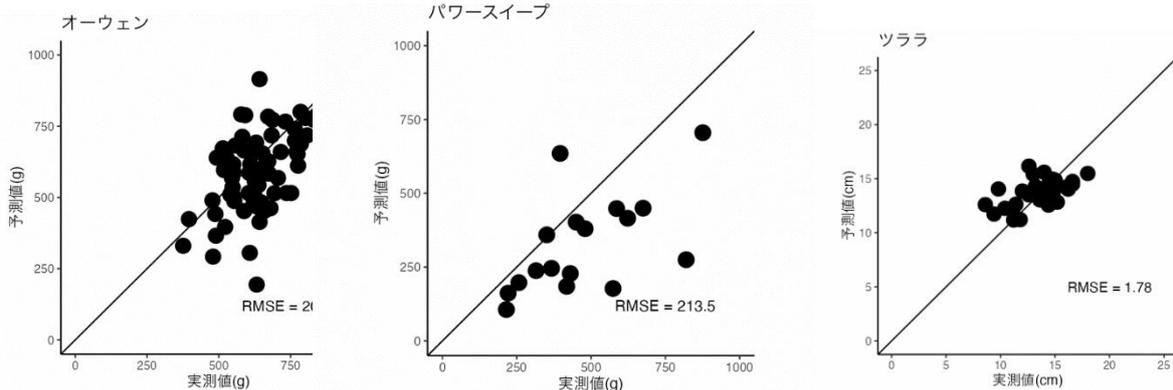


図4 品種別調整重（積算温度+株面積）のRMSE

4. 考察

1) 積算温度を用いた生育予測モデル

レタスやキャベツなどの葉菜類では、結球重増加モデルを用いた生育予測法が開発されている（岡田・佐々木, 2016; 岡田・菅原, 2019）。このモデルは、地上部乾物重、結球部乾物重、結球部生体重の増加を要素としており、これらは日射利用効率（RUE：Radiation Use Efficiency）と結球葉数（HLN：Head Leaf Number）に基づいて計算される。結球葉数の日増加分は日平均気温に比例するため、葉齢を基にした葉齢モデルが生育モデルとしてよく用いられている（兵庫県立農林水産技術総合センター淡路農業技術センター, 2018; 熊本県農林水産部, 2021）。しかし、長崎県のレタス産地である雲仙市南串山町周辺地域では、球径を基準とした出荷基準が設定されており、本研究では球径を予測する方法を採用した。併せて、レタスの品質の指標の一つである調整重を推定する生育予測モデルを開発した。

本研究で生育モデル作成に供試した3品種は、いずれも、球径および調整重が積算温度と相関を示し、回帰式に基づく生育モデルの開発が可能であった。

兵庫県立農林水産技術総合センター淡路農業技術センター（2018）の生育予測モデルでは、収穫適期の目標積算温度は葉齢40枚時点で907℃としている。球径を使った本モデルでの収穫適期は901.4℃~967.8℃であり報告と概ね一致している。

小松ら（2006）の報告にもあるように、品種ごとに生育予測式が異なる理由として、日平均気温におけるレタスの1日の生育速度（Developmental Rate,

DVR）が品種ごとに異なることが影響していると考えられた。

今後、開発した生育予測モデルの予測精度を向上させるために栽培試験および現地での実証試験から得られたデータを活用し、モデルの適合性を検討する。また、気温と相関の強い降水量などの要因を含めた新たな予測モデルの導入やロジスティック関数などの非線形関数型モデルの活用によって、より正確で信頼性の高い予測が可能となるよう工夫と調整を進める。

2) 空撮画像を用いたレタス株面積測定

リモートセンシングを用いて生育状況を把握し、収量を予測する研究は幅広く進められているが、その多くは面の収量を重視するイネ、ムギ、トウモロコシなどの穀物を対象にしている。

一方で、個体の大きさが重要となる野菜に関する研究はまだ少ない。野菜は数センチの違いで出荷規格が変わり、出荷価格も変動するため、大きさを高精度で推定する必要がある。そのため、近年ではドローンによる空撮を用いた個体生育の識別がキャベツ（田中ら, 2021）やブロッコリー（Wangら, 2023）などで進められている。今回のレタスでの画像解析は、撮影から対象株の判別、切り出し、ポリゴン化、株面積計算の手順で行った。この方法は1株ずつに詳細なデータを得ることができる反面、圃場全体や複数圃場、産地などデータ量が増えると対応が難しくなる。今後、複数圃場や産地単位で精度の高い出荷予測を行うためには、IoTやデータ処理

技術（飯塚ら，2018；西田ら，2022）の導入を検討すべきである。

株面積データと積算温度との回帰分析の結果，結球株に比べ未結球株の決定係数が高かった。このことは積算温度が未結球株の株面積の変化に約70%の影響を与えている一方で，結球株の株面積にほとんど影響を与えないことを示している。

レタスの生育ステージは発芽してから40～50日で結球が始まり，それまでに外葉が約20枚展開する。その後，外葉が立ち上がり，内部の若い葉が先端を内部に巻き込みながら成長し，最終的に結球を形成する（加藤，1972）。したがって結球が始まると外葉の展開が止まるため，株面積が増加しないと考えられる。また，隣接した株の距離が一定（株間30cm）であるため，面積の変化が確認しにくいことも要因と考えられる。

また，未結球期に形成された外葉の大きさは結球部分の肥大に影響するため，外葉を含めた株面積を測定することが重要である。キャベツでも生育初期に株面積が小さな株は，大きい株と比べて受光量や

同化量が少なく，その結果，株が十分に成長せず結球が遅れる。同日に収穫する場合，生育初期の株面積が小さい株ほど球重が軽くなることが示されている（田中ら，2021）。したがって，レタス生育期間の積算温度に基づく生育予測モデルには，外葉を含めたレタス株面積が適したデータと考えられる。

この結果から，定植後の積算温度が420℃から650℃に達する範囲で隣接株との接触がない状態で空撮を実施すれば，生育予測のデータとして適した画像が得られると考えられる。

上記の積算温度を基に作型別の画像の撮影適期を試験地である諫早湾干拓地の日平均温度の平年値を基に算出すると，9月20日定植の11月上旬収穫予定作型では，10月10日（定植後19日，積算温度415.2℃）から10月21日（定植後31日，積算温度643.6℃）に撮影することが望ましい。また，10月10日定植の12月上旬収穫予定作型では，11月2日（定植後23日，積算温度409.9℃）から11月18日（定植後39日，積算温度648.0℃）に撮影するのが適期である（図5）。

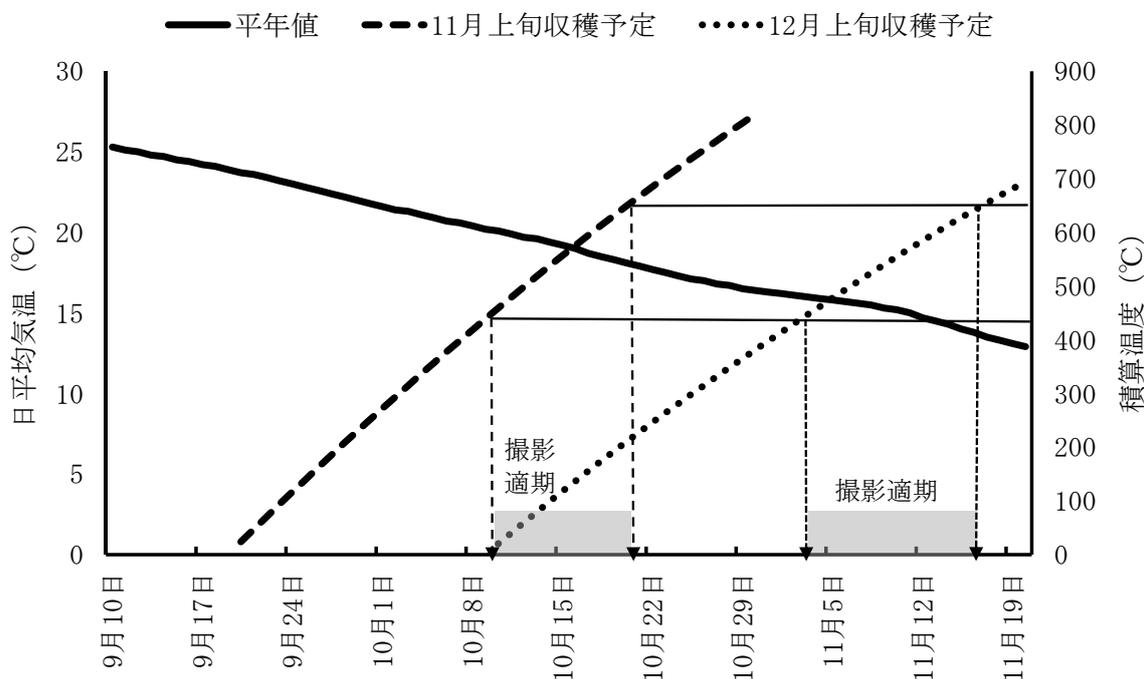


図5 諫早湾干拓地におけるレタス作型とドローン空撮撮影適期

3) 積算温度と株面積を組み合わせた生育予測モデル

シミュレーションモデルを用いた生育予測では，シミュレーション中に実測値を入力することで，推定精度が向上することが期待される（菅原，2014）。本研究では，栽培期間中に取得した株面積

データを実測値として導入し，精度向上の効果を調べた。

同品種であっても，生育は個体ごとに異なるため，個体の生育情報である株面積を加えることで，個体間の生育のばらつきを考慮した生育モデルが構

築できると考えられる。本研究では、積算温度に株面積を加えた重回帰式を使用することで予測精度の向上が確認された。より高精度な予測を行うためには、さらなるデータの収集や解析が必要であるが、本報告の結果は、レタスの栽培条件データとドローン空撮データを組み合わせて、収穫適期を推定する手法として活用できる可能性がある。

本研究では、実測データを用いた線形回帰モデルに基づく生育予測モデルを作成したが、ドローン空撮で得られる圃場全体の画像は膨大であり、より効

率的なデータ処理や判断技術の開発が必要である。現在、露地野菜の画像解析においては、畳み込みニューラルネットワークを用いたレタス葉齢の判別（飯塚ら、2018）や深層学習を用いたブロッコリー花蕾径予測（西田ら、2022）などの研究が進んでいる。今後、栽培地域の気象予測や画像データを活用した実測値の組み合わせなど、より高精度な予測手法の検討が必要である。

5. 摘要

長崎県の年内どりレタスで用いる複数品種について、収穫時の球径や調整重を予測するための生育予測モデルを検討した結果、下記のことが明らかになった。

1) 積算温度と球径、調整重との間に高い相関が見られ、品種ごとに異なる回帰式で表す生育予測モデルが必要である。出荷時に球径 15cm に達するための積算温度は 901~968℃である。

2) 空撮画像から測定する株面積は、未結球株で積算温度と高い相関を示す。未結球株の株面積測定には、定植からの積算温度が 420~650℃の範囲で、隣接株との接触がない時期が最適である。

3) 球径や調整重の生育予測モデルでは、積算温度の単回帰モデルよりも積算温度と株面積を説明変数とする重回帰モデルにより予測精度が向上する。重回帰モデルの予測精度は、球径で $\pm 1.70\text{cm}$ 、調整重で $\pm 190.5\text{g}$ である。

6. 引用文献

兵庫県立農林水産技術総合センター淡路農業技術センター. 2018. 生食用レタスの生育出荷予測システムの開発. <https://hyogonourinsuisangc.jp/18-panel/pdf/2018/15.pdf>

飯塚俊介・藤井信忠・國領大介・貝原俊也・中野伸一・山東良子. 2018. 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. 日本機械学会第 28 回設計工学・システム部門講演会講演論文集. 28:セッション ID1310

小松和彦・小澤智美・元木 悟・塚田元尚. 2006. ノンパラメトリック DVR 法によるレタス収穫期予測. 長野県野菜花き試験場報告. 12:1-4

熊本県農林水産部. 2021. 葉齢増加モデルの改良による平坦地のキャベツ収穫期予測精度向上. <https://www.pref.kumamoto.jp/uploaded/attachment/144787.pdf>

松木宏司・塚田元尚・小口伴二・上杉壽和・小澤智美. 1997. 鉛直投影面積測定システムとレタス生育予測への利用可能性. 長野県野菜花き試験場報告. 10:19-26

長崎県. 2011. 諫早湾干拓地における大規模環境保全型農業技術対策の手引き~JAS有機ならびに長崎県特別栽培農産物認証取得に向けた技術体系~. 16

西田えり佳・王 浩舟・李 唐・深野祐也・郭威・加藤洋一郎. 2022. ICT を使った全個全景計測と生育予測モデルによるブロッコリーの最適な収穫日推定. 日本作物学会講演会要旨集. 254:58

西谷国広・清水康司. 1981. 12 月どりレタスの中球生産と品質向上に関する研究. 香川県農業試験場研究報告. 33:14-20

加藤 徹. 1972. 農業技術体系野菜編第 6 巻 レタス 基礎編. 農山漁村文化協会. p25-38

- 岡田邦彦・佐々木英和. 2016. 寒候期キャベツの結球重増加モデルの開発. 野菜茶業研究所研究報告. 15: 67-76
- 岡田邦彦・菅原幸治. 2019. 加工業務用露地野菜生産・出荷におけるデータ駆動型生産支援システム: 葉齢増加モデルを用いた出荷調整システムを例として. 農研機構研究報告. 1: 43-45
- 白井英清・牛田 均・松崎朝浩. 1995. 2-3 月どりレタスの時期別生育と全重, 球重との関係. 香川県農業試験場研究報告. 46: 39-43
- 菅原幸治. 2014. ジャストインタイムを目指した露地野菜の出荷予測. スマート農業. 農業情報学会編. 農林統計出版. 97-99
- 菅原幸治・岡田邦彦・佐藤文生. 2021. 葉面積計算方および収穫量予測方法. 特許公開 2021-151228
- 杉浦 綾. 2017. ドローン空撮画像による高速フィールドフェノタイピング. 日本ロボット学会誌. 35(5): 369-371
- 杉浦 綾. 2020. ドローン空撮画像による大規模圃場のリモートセンシング. 日本農薬学会誌. 45(2): 146-149
- 田中美咲・濱 侃・鶴崎 幸・柴戸靖志. 2021. キャベツほ場の生育を株単位で把握するためのドローン空撮方法と画像解析手法. 日本リモートセンシング学会誌. 41(3): 375-385
- Wang,H,T.Li,E.Nishida,Y.Kato,Y.Fukano and W.Guo. 2023. Drone-Based Harvest Data Prediction Can Reduce On-Farm Food Loss and Improve Farmer Income. Plant Phenomics. 86: 1-16

Summary

In this study, we examined growth prediction models for multiple varieties of lettuce cultivated for harvest within the year in Nagasaki Prefecture, aiming to predict head diameter and adjusted weight at harvest. As a result, the following findings were obtained.

1) There was a strong correlation between accumulated temperature and head diameter or adjusted weight. Different regression models are required for each variety. The accumulated temperature needed to achieve a head diameter of 15 cm at harvest is 901–968°C.

2) Plant area measured from aerial images showed a high correlation with accumulated temperature for non-heading plants. For accurate measurement of plant area, the accumulated temperature should be between 420–650°C, and measurements should be taken when adjacent plants are not touching.

3) Growth prediction models for head diameter and adjusted weight showed improved accuracy when using multiple regression models with accumulated temperature and plant area as explanatory variables, compared to single regression models using only accumulated temperature. The predictive accuracy of the multiple regression models is ± 1.70 cm for head diameter and ± 190.5 g for adjusted weight.