

博士論文

山口県育成小輪系ユリ切花の
安定的周年供給体系の確立に関する研究

2025 年 9 月

福光 優子

岡山大学大学院

環境生命科学研究科

目 次

緒言	1
第 1 章 閉鎖型最適球根養成方法の解明	7
第 1 節 りん片子球の有無および冷蔵処理が球根養成に与える影響	
第 2 節 りん片子球を用いた閉鎖型球根養成技術の確立	
第 2 章 国内球根養成地別球根の長期氷温貯蔵方法の解明	22
第 1 節 国内球根養成地別の栽培条件が球根養成に与える影響	
第 2 節 球根養成地別の冷蔵処理および長期氷温貯蔵がシュートの伸長と切花形質に与える影響	
第 1 項 早生品種 ‘プチソレイユ’	
第 2 項 晩生品種 ‘プチブラン’	
第 3 章 施設内及び外気温の積算温度を用いた収穫予測モデルの検討	43
第 1 節 施設内実測値と外気温データとの比較	
第 2 節 日平均気温積算温度を用いた収穫日予測モデルの検討	
第 3 節 気象データを用いた現地実証	
第 4 章 画像診断方法の検討	68
第 1 節 蕾長の推定方法	
第 2 節 YOLO による出芽長の検出および CNN 回帰モデルによる出芽長の推定	
第 3 節 出荷予測モデルの実用化	
総括	83
謝辞	86
引用文献	88

緒 言

山口県では、ユリ (*Lilium* spp.) を花き振興のリーディング品目の一つとして位置づけ、オリジナル品種の開発および産地化を進めている。国内で市場流通しているユリ切り花は、氷温貯蔵された輸入球根の使用が約 80% (吉田・山本, 2006) を占めており、中でもオリエンタルユリなどの大輪系が主流となっている。山口県では新たな需要を開拓するため、小球開花性を示し、花径が小さいタイプのユリの育種開発に取り組み、アジアティックハイブリッド (*L.* × *elegans*) とヒメユリ (*L. concolor*) の雑種である‘プチソレイユ’をはじめ、現在 11 品種を育成した (尾関ら, 2010)。これらのユリは、「プチシリーズ」という名称でシリーズ化し、2023 年は 32 万球の球根を山口県で増殖し販売した。福光ら (2012) は‘プチソレイユ’において長期氷温貯蔵を試みたが夏秋期以降の切り花生産が安定しなかった。「プチシリーズ」切り花の周年供給の安定には、これら球根の養成体系や様々な定植時期に対応する球根の冷蔵処理および氷温貯蔵技術の確立が不可欠である。

現在国内のユリ球根養成地は、食用ユリ中心の北海道や青森県、切り花球根中心の新潟県、シンテッポウユリの沖永良部島があるが、国内での小球開花性の球根養成体系の知見は少ない。前述した北海道や青森県では 6 月に定植し 10 月に掘り上げる作付体系 (酒井ら, 2022) が、新潟県では 2 月に定植し 10~11 月に掘り上げる作付体系 (榎並, 2006) が、沖永良部島では 10 月に定植し 6 月に掘り上げる作付体系 (野間, 1978) が報告されている。まず、山口県で球根養成に取り組むため国内のユリ養成地でアジアティックハイブリッドなどの養成を行っている北海道と青森県の作付体系を参考に養成を行った。山口県でりん片および小球根を 1 月に定植したところ、茎の上

部が7月上旬に枯れた。そのまま3か月以上圃場に置き10月に掘り上げたが、球根肥大が劣っていた。

球根増殖はりん片繁殖が一般的で、りん片に23～25℃で子球形成を行い、17℃4週間で子球の茎軸形成、5℃8週間で休眠を打破したのち4月には場定植となる。これにより1年目にりん片から小球根を養成し、さらに翌年小球根を仕上げ養成し切り花球に使用する（今西ら、2006）。

そこで、「プチシリーズ」の球根養成方法を検討した。その内容とは、最初に球根から剥皮したりん片を23℃8週間+17℃4週間処理することです。りん片に子球が形成される。そのりん片子球に発芽を高めるため5℃8週間以上処理した後、2月に施設内ユリ輸送用コンテナ定植すると、5月下旬から6月上旬に開花する。開花1か月後、7月上旬に掘り上げると切り花生産に十分使用できる球根の球根が1年で生産できるものである。しかし、山口県産の球根は、北海道産や青森県産と同様（榎並、2006）に掘り上げ後5℃8週間冷蔵しても、出芽率が低く、商品化率が低下した。山口県で生産された球根を周年切り花生産に使用するためには、貯蔵技術の確立が必要である。

球根の冷蔵および氷温貯蔵については、これまでに数多くのユリの園芸品種で調査されてきている。オリエンタル系ユリの長期氷温貯蔵期間は定植後の切り花品質を考慮すると7から8か月である（吉田ら、2006）。一方で、国内で養成し氷温貯蔵された球根品質は年次変動が大きい（今西ら、2006）。

「プチシリーズ」の育種親であるヒメユリの変種であるミチノクヒメユリの促成栽培試験において、8月に掘り上げ15℃で15日処理した後8℃で7から8週間冷蔵処理した球根を0℃で貯蔵すれば2月から10月にかけて切花生産が可能であった（三浦ら、1984）。しかし、三浦らの方法は、氷温貯蔵ではないため貯蔵中に発芽し扱いにくく、営利栽培として利用されていない。

この他にヒメユリに近縁なユリでの球根の長期氷温貯蔵に関する先行研究は見当たらない。球根の安定増殖体制の確立と合わせて、切り花生産においても、生花商や消費者に求められる品質を周年安定して供給する必要がある。そのためには、施設面積の利用率向上や法人への導入等、小輪系ユリのメリットを活かした効率的な切花安定生産技術および出荷予測による市場関係者や生花商への事前の情報提供による有利販売等の実現を検討した。そのため著者ら（福光ら，2025）は長期氷温貯蔵した球根を用いた，周年で切花生産が可能な栽培体系を確立した。しかし，周年栽培体系を確立したにもかかわらず，販売単価が高く維持されなかった。その主な理由として県内産地において計画生産が行われていない上に，出荷時期や出荷量の情報が乏しいことが挙げられている。市場関係者や生花商からは品種毎の出荷時期と出荷量の予測情報が事前に共有できた上に，出荷の1か月前にはより正確な情報提供があると有利販売しやすいという要望がある。そこで著者らは，「プチシリーズ」の出荷予測技術の開発に取り組んだ。

さまざまな園芸作物で出荷予測技術が開発されつつあり，岡田・菅原（2019）は，キャベツやレタスにおいて作成した葉齢増加モデルのシミュレーションにより推定される結球葉数から圃場ごとの収穫開始可能日予測プログラムを開発した。また，福田ら（2023）は，トルコギキョウにおいて育苗開始から収穫までの施設内平均気温と DVR が単純な線形モデルとして表現できることを見出し，施設内平均気温を用いて発蕾日から収穫日を高精度で予測している。ユリにおいても，高野（2009）は，同様に生育期間中の施設内日平均気温積算値が開花日を予測するためには有効であることを明らかにし，ユリの蕾期収穫切り花について室内温度と蕾長で開花日を予測する技術を確立した。しかし，上記の予測技術は，環境データを取得できる露地や栽培施

設の開花を予測する技術であり、環境データを測定できない場所の予測は困難である。

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構(以下；農研機構)が2016年より「農研機構メッシュ農業気象データ」(田中ら, 2017)を一定の条件で農研機構外部への提供を開始した。このシステムでは、栽培地点の緯度および経度、年次、気象要素を入力することで気象データを取得することが可能となった。このデータを活用することによって多くの露地農作物で精度の高い出荷予測技術が開発されつつある(岡田・菅原, 2019)。しかし、メッシュ農業気象データは露地での気象データである。施設内で加温栽培される山口県育成小輪系ユリにおいてこのデータを活用するためには施設内の気温を取得した外気温からかなり正確に予測する必要がある。そこで、山口県育成小輪系ユリ「プチシリーズ」の中で生育特性の異なる早生品種‘プチソレイユ’および晩生品種‘プチブラン’を供試し、農業気象データシステムの外気温データを用いて栽培地毎および栽培時期毎の収穫日予測モデルを開発することである。そのため、定植及び出芽から収穫までに要した期間の施設内気温および農業気象データシステムの外気温データと関係式を構築し、栽培時期および球根の貯蔵方法にかかわらず収穫時期を予測できる技術の確立を目指した。

そのためには、山口県育成小輪系ユリ園芸品種の生産振興のため球根を短期間で安定的に増殖し、供給する必要があった。山口県育成小輪系ユリの切花生産に適する球周は6～12 cmで、オリエンタルユリの球周20～22 cmと比較し、小球開花性に優れている。この特性を活かし、りん片から短期間で切り花生産に適する球根を養成する技術確立を進めた。その中で施設を活用した集約的な球根生産では、りん片子球から小球根の養成と小球根から切花用

球根の養成の2段階にわけて養成する方法を検討した。最初の養成時におけるりん片子球のりん片の役割と育苗期間および2段階目の養成時における適切な定植小球根重量について検討した。次に山口県育成小輪系ユリ「プチシリーズ」の栽培特性が異なる早生品種‘プチソレイユ’および晩生品種‘プチブラン’を供試し、最適なりん片子球形成温度処理および期間と増殖方法について検討した。さらに、増殖した小球根を種苗とし異なる国内3地域で養成した球根を約1年間氷温貯蔵し、8月上旬定植期の作型を確立するため、球根養成地および氷温貯蔵前の冷蔵処理がシュートの伸長と切り花形質へ与える影響を調査した。さらに、山口県育成小輪系ユリ「プチシリーズ」の中で生育特性の異なる早生品種‘プチソレイユ’および晩生品種‘プチブラン’を供試し、農業気象データシステムの外気温データを用いて品種毎の栽培地毎および栽培時期毎の収穫日予測モデルを開発した。その内容は、定植及び出芽から収穫までに要した期間の施設内気温および農業気象データシステムの外気温データと関係式を構築し、栽培時期および球根の貯蔵方法にかかわらず出荷時期を予測できる技術の確立である。合わせて出芽時には、作物群落の画像を利用した生育ステージ判断を行うことで、いつ出芽したかを画像により判別し、出荷予測に反映するため出芽長の推定を可能にした。

これらにより、国内での球根養成から長期氷温貯蔵方法の確立および切花生産の安定供給と収穫予測を実現し、山口県育成小輪系ユリ切花の安定的周年供給体系を確立した。

山口県育成小輪系ユリ「プチシリーズ」11品種の紹介

Petit Series

Petit Soleil プチソレイユ

草丈	60-70 cm
開花時期	10月中旬定植 約80日 3月中旬定植 約55日
低温必要期間	6週間以上
球周別 花蕾数	6-8cm球: 3-4輪 8-10cm球: 4-6輪 10-12cm球: 6-8輪
葉焼け症程度	弱
その他	生育中期より葉害 多量環境下で葉枯病発生 しやすい

Petit Blanc プチブラン

草丈	70-90 cm
開花時期	10月中旬定植 約100日 3月中旬定植 約60日
低温必要期間	10週間以上
球周別 花蕾数	6-8cm球: - 8-10cm球: 3-4輪 10-12cm球: 4-7輪
葉焼け症程度	普通
その他	散形花序になりやすい

Petite Rose プチロゼ

草丈	70-90 cm
開花時期	10月中旬定植 約95日 3月中旬定植 約60日
低温必要期間	8週間以上
球周別 花蕾数	6-8cm球: - 8-10cm球: 3-4輪 10-12cm球: 4-5輪
葉焼け症程度	弱(蕾焼け)
その他	茎は硬い 分球しやすい

Petit Series

Petit Etoile プチエトワール

草丈	70-80 cm
開花時期	10月中旬定植 約95日 3月中旬定植 約60日
低温必要期間	8週間以上
球周別 花蕾数	6-8cm球: - 8-10cm球: 3-4輪 10-12cm球: 4-5輪
葉焼け症程度	普通
その他	蕾の着色から開花が早い ため、切花に注意 茎は非常に硬い

Petit Lien プチリアン

草丈	70-90 cm
開花時期	10月中旬定植 約100日 3月中旬定植 約60日
低温必要期間	8週間以上
球周別 花蕾数	6-8cm球: - 8-10cm球: 3-4輪 10-12cm球: 4-5輪
葉焼け症程度	普通
その他	散形花序になりやすい 花弁の萎縮発生しやすい

Petite Fille プチフィユ

草丈	60-80 cm
開花時期	10月中旬定植 約90日 3月中旬定植 約60日
低温必要期間	8週間以上
球周別 花蕾数	6-8cm球: - 8-10cm球: 3-4輪 10-12cm球: 4-5輪
葉焼け症程度	やや弱い
その他	高温期に奇形花 (4弁花、5弁花) 発生

Petit Series

Petite Cheminee プチシュミネ

草丈	70-100 cm
開花時期	10月中旬定植 約95日 3月中旬定植 約60日
低温必要期間	8週間以上
球周別 花蕾数	6-8cm球: - 8-10cm球: 3-4輪 10-12cm球: 4-6輪
葉焼け症程度	普通
その他	葉がやや長い 草丈確保が容易

Petite Fraise プチフリーズ

草丈	70-80 cm
開花時期	10月中旬定植 約95日 3月中旬定植 約60日
低温必要期間	8週間以上
球周別 花蕾数	6-8cm球: - 8-10cm球: 3-4輪 10-12cm球: 4-6輪
葉焼け症程度	普通
その他	茎柔らかい 期間が伸びやすく、 倒れやすい

Petit Ange プチアンジェ

草丈	60-80 cm
開花時期	10月中旬定植 約100日 3月中旬定植 約60日
低温必要期間	8週間以上
球周別 花蕾数	6-8cm球: - 8-10cm球: 3-4輪 10-12cm球: 4-5輪
葉焼け症程度	普通
その他	過湿・高EC等により ズミ症発生する

Petite Lune プチルナ

草丈	60-80 cm
開花時期	10月中旬定植 約90日 3月中旬定植 約60日
低温必要期間	8週間以上
球周別 花蕾数	6-8cm球: - 8-10cm球: 2-3輪 10-12cm球: 3-4輪
葉焼け症程度	普通
その他	丸弁で黄色の美色良 花数が少ない

Petite Selenie プチセレネ

草丈	70-80 cm
開花時期	10月中旬定植 約95日 3月中旬定植 約60日
低温必要期間	8週間以上
球周別 花蕾数	6-8cm球: - 8-10cm球: 3-4輪 10-12cm球: 4-5輪
葉焼け症程度	普通
その他	生育後期の過肥により 雲色・光沢が出る

第 1 章 閉鎖型最適球根養成方法の解明

山口県育成小輪系ユリの原種生産効率化のため、閉鎖型において最適な球根養成方法を解明するため、子球養成前の温度処理および子球養成時のりん片の有無と育苗期間が球根サイズに及ぼす影響を調査した。山口県育成小輪系ユリの切り花生産に適する球周は 6~12 cm で、オリエントタルユリの球周 20~22 cm と比較し、小球開花性に優れている。この特性を活かし、りん片から短期間で切り花生産に適する球根を養成する技術確立を進めている。その中で施設を活用した集約的な球根生産では、りん片子球から小球根の養成と小球根から切り花用球根の養成の 2 段階において養成する方法を検討した。本研究では、最初の養成時における母球およびりん片への温度処理がりん片子球形成に与える影響とりん片子球のりん片の役割と育苗期間について検討した。さらに 2 段階目の養成時における、養成したりん片子球への温度処理と栽培方法について施設内で集約的に養成するため、セル育苗トレイおよびユリ輸送用コンテナを活用し、性能を検討した。

第 1 節 りん片子球のりん片の有無および冷蔵処理が球根養成に及ぼす影響

子球形成前の低温処理について、母球または剥皮したりん片に与える冷蔵処理方法について検討した。さらにりん片子球養成時のりん片の有無および冷蔵処理と期間が小球根および切り花球根養成に及ぼす影響を検討した。

材料および方法

植物材料として、山口県育成小輪系ユリ‘プチソレイユ’を使用した。母球および剥皮後のりん片について、各試験区（母球無処理＋りん片無処理、母球無処理＋りん片 5℃ 処理、母球 15℃ 処理＋りん片無処理、母球 15℃ 処

理＋りん片 5℃処理，母球 15℃＋5℃処理＋りん片無処理）の 5 区を設け，それぞれ各 30 日間処理した後，子球形成を行った．子球形成は，湿ったバーミキュライトで包埋し，23℃60 日間暗黒下で実施し，60 日間後，子球数・子球径を調査した．

次に 2018 年 5 月 10 日から 23℃暗黒条件でりん片子球を形成させた後，8 月 1 日から 15℃，10 月 4 日から 5℃で低温処理を実施したりん片子球を用いて，12 月 27 日にセル育苗トレイ(128 穴)にバーミキュライトを充填し，セルあたり 1 個の子球（子球径 6～10mm）を移植した．セル育苗トレイを温室で栽培し，栽培温度管理は最低 15℃加温，20℃換気とした．灌水方法は底面吸水とした．各試験区はりん片子球のりん片の有無しおよび育苗日数を 3 月 6 日（68 日間育苗）から 4 月 26 日（120 日間育苗）まで 1 週間間隔で 8 回とし，1 区あたり 16 子球を調査した．増殖倍率は，収穫球根重量を定植重量で割った値とし，子球径は球径横と球径縦を足して 2 で割った値とした．

結果

子球形成前の低温処理について，母球または剥皮したりん片に試験区を母球無処理＋りん片無処理，母球無処理＋りん片 5℃処理，母球 15℃処理＋りん片無処理，母球 15℃処理＋りん片 5℃処理，母球 15℃＋5℃処理＋りん片無処理の 5 区設定し各 30 日間，合計 60 日間温度処理を行った．子球数は 10 りん片あたり，母球無処理＋りん片無処理区では 15.8 個，母球無処理＋りん片 5℃処理では 17.7 個，母球 15℃処理＋りん片無処理では 11.7 個，母球 15℃処理＋りん片 5℃処理では 14.1 個，母球（15℃＋5℃）処理＋りん片無処理では 11.3 個となった．子球径 5mm 以上が 10 りん片あ

たり，母球無処理＋りん片無処理区では 5.9 個，母球無処理＋りん片 5℃処理では 13.3 個，母球 15℃処理＋りん片無処理では 7.6 個，母球 15℃処理＋りん片 5℃処理では 10.2 個，母球 15℃＋5℃処理＋りん片無処理では 8.4 個となった．母球 15℃＋5℃処理＋りん片無処理では子球形成率が 85%と低い傾向があった（第 1-1-2 表）．

セル育苗トレイでのりん片子球を用いた球根養成について，子球に付着するりん片の有無および育苗日数が子球肥大に及ぼす影響について第 1-1-2 表に示した．りん片子球の生存率は，りん片有り区は 100%，りん片無し区もほぼ 100%であった．抽苔率および地上部重量は育苗日数に影響を受けなかった．子球径（（子球幅+高さ）/2）は育苗日数に比例して大きくなり，りん片有り区および無し区において育苗期間が最短の 69 日間でそれぞれ 12.0mm と 8.9mm，最も長い 118 日間で 15.9mm と 11.5mm となり，りん片有り区で大きくなる傾向があった．球根重量においても，りん片有り区および無し区ともに育苗日数が長くなるほど増加し，最短の 69 日間でそれぞれ 2.7g と 1.1g，最も長い 118 日間で 4.4g と 2.0 g となった．

考察

子球形成前の母球および剥皮したりん片への低温処理について，無処理では子球形成数は 15.8 個と多いが，子球径 5mm 以上が他区に比べ少ない傾向があった．剥皮したりん片に 5℃処理を行った区では，子球形成数が 17.7 個と多く，直径 5mm 以上の子球の割合は 75%と大きい傾向があった．15℃の効果は判然としなかった．切花栽培に使用する球根への長期貯蔵前の冷蔵処理においては 15℃処理が切り花品質を向上させる（今西ら，2006）という報告がある．子球形成においては，今西ら（2006）が行っている方法では直接

母球やりん片子球に冷蔵処理を行っておらず、自然環境下で低温遭遇することで球根肥大を促していると考えられるが、小輪系ユリの小球開花性の特性を活かすには、人工環境下で剥皮したりん片へ 5℃の低温処理を実施することで、球根増殖期間の短縮や、安定した増殖が可能になると考える。また、りん片子球を用いて、小球根を生産する場合、セル育苗トレイを用いて施設内または人工環境下で増殖が可能であり、原種生産に利用できる。子球はりん片有り区がりん片無し区に比べ、子球径および球根重量が優れることから、りん片を除去せず定植すると良い。また、育苗期間においては長いほど増殖率が上がる傾向があるが、106 日間以上の育苗においては増加程度が緩やかになる。施設の占有効率等を考慮すると、育苗期間は 106 日程度が適すると考えられる。

第 1-1-1 表 母球および剥皮したりん片への低温処理が子球形成に及ぼす影響

子球形成処理前の低温処理 ^z		子球数 ^y	5mm以上数	平均子球径	子球形成率
剥皮前の母球	剥皮後のりん片	(個/10りん片)	(個/10りん片)	(mm)	(%)
無	無	15.8	5.9	4.5	93.3
無	5℃	17.7	13.3	5.9	100.0
15℃	無	11.7	7.6	5.2	90.0
15℃	5℃	14.1	10.2	5.8	98.3
15℃+5℃	無	11.3	8.4	5.2	85.0

植物材料：‘プチソレイユ’

^z りん片を剥皮する前の母球や剥皮後のりん片を各 30 日間処理

^y 湿ったバーミキュライトで包埋し，23℃60 日間暗黒下で子球形成後，子球数・子球径を調査

第 1-1-2 表 子球に付着するりん片の有無および育苗日数が子球肥大に及ぼす影響

育苗日数 (日間)	りん片無し			りん片有り		
	球根重量 (g/個)	子球径 ^γ (mm)	増殖倍率 ^z	球根重量 (g/個)	子球径 (mm)	増殖倍率
69	1.1	8.9	3.4	2.7	12.0	1.7
77	1.3	9.1	3.7	2.6	13.5	1.5
83	1.4	9.4	4.2	3.1	14.2	1.9
91	1.5	10.4	4.5	3.2	14.4	1.9
97	1.6	10.6	4.8	3.5	15.0	2.1
106	1.9	11.7	5.7	3.9	15.2	2.5
111	2.1	11.2	6.2	3.8	15.4	2.3
118	2.0	11.5	6.3	4.4	15.9	2.7

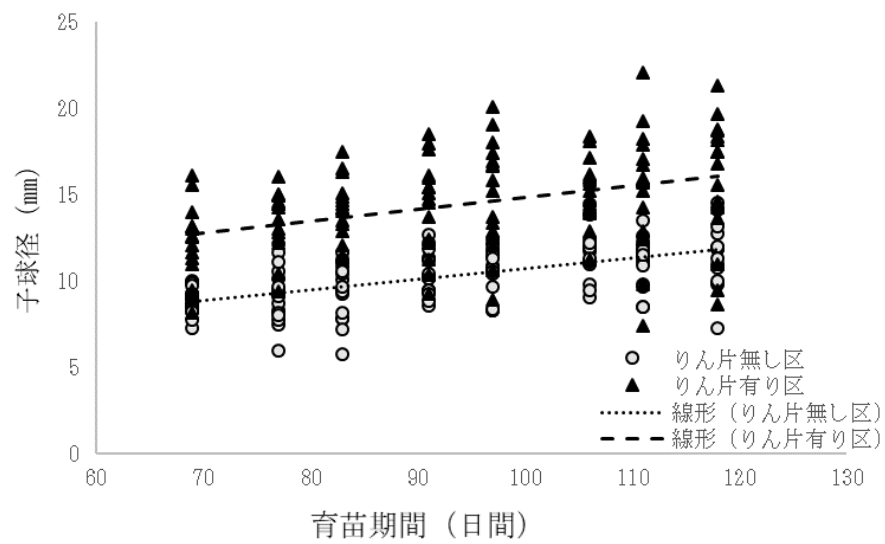
供試品種：‘プチソレイユ’

子球形成処理：2018 年 5 月 10 日から 23℃暗黒条件で子球形成し，その後 8 月 1 日から 15℃，10 月 4 日から 5℃で低温処理後，12 月 28 日にバーミキュライトを充填し，セルトレイ 200 穴に移植

灌水方法は底面吸水とし，温度管理は最低 15℃加温

^z 増殖倍率 収穫球根重量/定植重量

^γ 子球径 = 球径横 + 球径縦/2



第 1-1-1 図 りん片子球のりん片の有無しおよび育苗日数が子球肥大に及ぼす影響

第 2 節 りん片子球を用いた閉鎖型球根増殖技術の確立

山口県育成小輪系ユリの閉鎖型球根増殖技術について、りん片から短期間で切り花生産に適する球根を養成する技術確立を進めている。その中で施設を活用した集約的な球根生産では、りん片子球から小球根の養成と小球根から切り花用球根の養成の 2 段階にわけて養成する方法を検討している。本研究では、最初の養成時におけるりん片子球のりん片の役割と育苗期間および冷蔵方法についての第 1 節の結果を参照し、2 段階目の養成時における子球形成後の冷蔵処理と期間が球根養成に与える影響について検討した。さらにユリ輸送用コンテナを使用する場合の適切な定植小球根重量について検討した。これらの技術を組み合わせて、2 段階養成法の確立を検討する。

材料および方法

植物材料として、山口県育成小輪系ユリ‘プチソレイユ’を使用した。セル育苗トレイおよびユリ輸送用コンテナを使用し、栽培温室および冷蔵庫を用いて閉鎖型の球根増殖を実施した。‘プチソレイユ’の 10～12cm の球根のりん片を剥皮後、子球形成処理は 23℃で 8 週間実施した。子球形成後のりん片子球に 17℃4 週間＋5℃6 週間処理区、5℃6 週間処理区、5℃10 週間処理区、無処理の 4 区を設け、それぞれ処理した後各区 5 母球分のりん片をユリ輸送用コンテナに 2011 年 9 月 21 日、9 月 7 日、10 月 5 日、9 月 21 日に定植した。栽培施設は無加温で管理した。収穫は、全区 2012 年 7 月 23 日に実施し、収量調査を実施した。生育調査は秋生育を 12 月 1 日、春生育を 5 月 17 日に、出葉数および抽苔数を調査した。さらに、ユリ輸送用コンテナでの球根養成について最適なりん片定植重量を検討した、球周 6 cm 未満

(球重 2~3g) の小球根を使用し、ユリ輸送用コンテナ (40×60×25 cm) に培養土 (バーク堆肥 : 赤玉土 : 無調整ピートモス = 4 : 3 : 3) を 15 L 充填し 2021 年 4 月 14 日に小球根 (2.1~2.6g) を定植し、11 月 11 日に収穫し調査した。各試験区はコンテナ当たりの定植小球根重量を 150g, 200g および 250g とし 3 反復で行った。最後に、セル育苗トレイおよびユリ輸送用コンテナを用いた施設を周年で有効活用するための性能比較を実施した。

結果

子球形成後のりん片子球に 17℃4 週間 + 5℃6 週間処理、5℃6 週間処理、5℃10 週間処理、無処理の 4 区を設け定植したところ、秋生育は 17℃4 週間 + 5℃6 週間処理区で出葉数が 68.5 枚、抽苔数 3.7 となり最も生育が良かった。生育が最も悪かった区は無処理で出葉数が 0.7 枚、抽苔数 0 となった。春生育においては、17℃4 週間 + 5℃6 週間処理、5℃6 週間処理の 2 区、定植日が 9 月 21 日および 9 月 7 日で優れ、それぞれ出葉数が 312.8 枚、305.2 枚、抽苔数 14.7、12.0 となった。最終的な球根収量は 17℃4 週間 + 5℃6 週間処理区が最も優れ、増殖倍率は 17.9 倍、母球 1 球あたりの 9g 以上増殖数が 12.7 球となった。次いで 5℃6 週間区で、増殖倍率は 14.4 倍、母球 1 球あたりの 9g 以上増殖数が 9.3 球となった (第 1-2-1 表)。ユリ輸送用コンテナでの球根養成において収穫球根重量は小球根定植重量 150g および 200g 区が 375.23g および 363.13g と優れた (第 1-2-2 表)。セル育苗トレイおよびユリ輸送用コンテナを用いた施設を利用した性能比較では、圃場利用率を 60%、成球率 80% で試算したところ、1 a 当たり、セル育苗トレイは 375 トレー設置可能で、1 回に 38,250 球生産が可能である。ユリ輸送用コンテナでは、250 基設置可能で、1 回に 50,000 球生産可能である。セル育苗トレイは

育苗期間が約 100 日のため年 3 回，ユリ輸送用コンテナは年 2 回生産可能とすると，小球根生産は，試算上育苗トレイでは年 3 作で 11.4 万球/a，コンテナ栽培では，年 2 作で 10 万球/a，収穫できる（第 1-2-2 表）．効率的なりん片子球を用いた閉鎖型球根増殖技術について，母球または剥皮したりん片へ 5℃の低温処理を実施し，バーミキュライトに包括し，23℃で 8 週間子球形成した後，17℃で 4 週間＋5℃で 6 週間低温処理したりん片子球を用いて栽培環境が制御できる閉鎖栽培温室で約 100 日間養成することで，効率的に小球根養成が行える（第 1-2-1 図）．効率的なりん片子球を用いた閉鎖型球根増殖技術について，母球または剥皮したりん片へ 5℃の低温処理を実施し，バーミキュライトに包括し，23℃で 8 週間子球形成した後，17℃で 4 週間＋5℃で 6 週間低温処理したりん片子球を用いて栽培環境が制御できる閉鎖栽培温室で約 100 日間養成することで，効率的に小球根養成が行える（第 1-2-1 図）．

考察

りん片への子球形成について，23℃で子球形成することで，子球の肥大は促進する．さらに養成したりん片子球に，17℃4 週間＋5℃6 週間処理を行い 9 月中旬までに定植することで，秋生育期に葉数が確保でき，さらに春生育期において葉数および抽苔数が確保できることで，施設栽培においても安定した生産が可能になると考える．国内で切り花生産用に球根養成栽培した掘り上げ時期は 9 月下旬とされ，この時期より早く掘り上げた‘カサブランカ’の球根の低温処理は高品質な切花を得るには必要で，掘り上げが 8 月中旬でも 15℃2 週間の予冷およびその後の 2℃10 週間の冷蔵処理が必要である（浅野ら，2000）．このことから，りん片においてもりん片子球への 17～15℃の

予冷と 5～2℃の冷蔵処理が有効で、秋生育が促進したと考える。また、ユリ輸送用コンテナを用いた小球根生産では、りん片を 250g 投入すると 1 コンテナ当たり 200 球以上の小球根が収穫できる。母球 1 球から 15 g 程度のりん片が剥皮できるため、1 コンテナ当たり 17 球母球が必要となる。球根養成は 1 母球あたり最大で 12.7 球、9g 以上球根サイズ 8cm 以上の切り花用球根が養成可能である。小球根生産は、セル育苗トレイおよびユリ輸送用コンテナを用いて閉鎖系の施設を利用して養成が可能で、圃場利用率を 60%、成球率 80%で試算したところ、1 a 当たり、セル育苗トレイは 375 トレー設置可能で、1 回に 38,250 球生産が可能である。ユリ輸送用コンテナでは、250 基設置可能で、1 回に 50,000 球生産可能である。セル育苗トレイは育苗期間が約 100 日のため年 3 回、ユリ輸送用コンテナは栽培期間が最長 6 か月間で年 2 回生産可能とすると、試算上コンテナ栽培では、年 2 作で 10 万球/a、育苗トレイでは年 3 作で 11.4 万球/a 収穫できる。これらの技術を活用することで、山口県育成小輪系ユリの球根養成の原種生産が、閉鎖型栽培温室を活用し、効率的に実施できる。

第 1-2-1 表 りん片子球への低温処理が秋の生育，春の生育および収量に及ぼす影響

りん片子球低温処理	定植日	定植りん片	秋生育量(12/1)		春生育量(5/17)		球根収量 ^z	
		重量	出葉数	抽苔数	出葉数	抽苔数	増殖倍率 ^y	9g以上
		(g/母球)	(枚/母球)	(本/母球)	(枚/母球)	(本/母球)	(倍)	(球/母球)
17℃4週間+5℃6週間	9月21日	15.3	68.5	3.7	312.8	14.7	17.9 a ^z	12.7 a
5℃6週間	9月7日	15.2	27.0	0.0	305.2	12.0	14.4 ab	9.3 ab
5℃10週間	10月5日	16.0	19.2	0.0	67.8	3.9	5.3 c	3.7 b
なし(慣行栽培)	9月21日	15.1	0.7	0.0	216.6	10.3	10.4 bc	8.3 ab

植物材料：母球として‘プチソレイユ’の球周 10～12 cmの球根を供試し，子球形成処理は 23℃で 8 週間実施

^z2012 年 7 月 23 日に収穫

^y収穫総球重/定植りん片重量

^w調査項目ごとに同一文字間には，Tukey-Kramer の HSD 検定により 5%水準で有意差なし

第 1-2-2 表 ユリ輸送用コンテナ当たりのりん片投入量が収量に及ぼす影響

定植球根重量 (g/コンテナ)	収穫球根重量 ^y (g/コンテナ)	階級別球根数 (球/コンテナ) ^z				球周6cm以上割合 (%)
		2g未満	2～6g未満	6～9g未満	9g以上	
150	286.03 b	37.0	18.3	6.0	8.3	20.5
200	375.23 a	47.0	25.3	10.0	11.6	23.0
250	363.13 a	45.3	31.0	9.0	10.6	20.4

植物材料：‘プチソレイユ’ 2～3g 小球根

定植日：2021 年 4 月 14 日 収穫日：2021 年 11 月 11 日

^z 階級別球根サイズ重量：球周 6～8 cm (6～9g) 8～10 cm (9～16g)

^y Student の t 検定により異英文字間には 5% 水準で有意差あり (n=3)

第 1-2-3 表 球根増殖における育苗トレイおよびコンテナの性能比較

球根増殖方法	サイズ (cm)	占有面積 (m ²)	生産球数 (球/基)	設置数 (基/a)	総生産球数 (球/a)	作付数 (作/年)	生産球数 (球/a・年)	球根 肥大	灌水設備	栽培環境	
										ハウス	露地
育苗トレイ(128穴)	54.5×28×4	0.16	102 ^z	375	38,250	3	114,750	均一	ミスト装置等	○	×
ユリ輸送用コンテナ	60×40×20	0.24 ^y	200	250	50,000	2	100,000	不均一	灌水チューブ	○	○

^z 成球率 80%として試算

^y 圃場利用率 60%として試算



第 1-2-1 図 効率的な小球根増殖方法

第2章 国内球根養成地別球根の長期氷温貯蔵方法の解明

山口県産の球根は、北海道産や青森県産と同様（榎並，2006）に掘り上げ後 5℃8 週間冷蔵しても、出芽率が低く、商品化率が低下した。また、大川（1989）は、アカカノユリ養成球根の掘り上げ時期別最適冷蔵温度を検討したところ、開花揃いから掘り上げ時期は 9 月下旬～10 月上旬としたが、それらを早期に掘り上げた場合、8 月 10 日まで前進させたところ 5℃冷蔵処理を 70 日間行う必要があった。また、‘プチソレイユ’の交配親である朝鮮ヒメユリにおいては、日本自生のユリを花芽分化期によって 4 つのタイプに分類したところ、秋に球根内で分化を開始し、発芽直後に完成することを明らかにしている。

山口県で球根養成した球根を周年切り花生産に使用するためには、球根の花芽分化特性を考慮した、貯蔵技術の確立が必要であると考えられる。

そこで山口県育成小輪系ユリの早生品種‘プチソレイユ’および晩生品種‘プチブラン’を栽培条件の異なる球根養成地（山口県下関市、青森県弘前市、北海道斜里郡小清水町）でそれぞれ養成し、球根を掘り上げ後、山口県へ輸送し、球根養成地別の球根品質について検討した。

本研究では、氷温貯蔵前の冷蔵処理が貯蔵前後のシュートの伸長および切り花形質へ与える影響について検討した。

第1節 国内球根養成地別の栽培条件が球根増殖に与える影響

りん片子球養成後低温処理したりん片子球を用いた球根養成について、定植前に各球根養成地（山口県下関市、青森県弘前市、北海道斜里郡小清水町）へ輸送し、特性の異なる、早生品種‘プチソレイユ’および晩生品

種‘プチブラン’と球根養成地の栽培条件が球根増殖に与える影響を調査した。

材料および方法

りん片子球養成後低温処理したりん片子球を用いた球根養成において、植物材料は、早生品種‘プチソレイユ’および晩生品種‘プチブラン’を供試した。2013年7月に山口県柳井市の花き振興センター施設内で掘り上げた球周10 cm以上の球根からりん片を採取し、0.05 mm厚の有孔ポリエチレン袋に体積比5:1（バーミキュライト：水）で大粒のバーミキュライト（LLサイズ、旭工業（株））と水を混和し、りん片と混ぜ合わせ充填したものを、23℃8週間処理し、りん片に子球を養成した。その後17℃4週間処理したりん片子球を定植時期まで柳井市の花き振興センター冷蔵庫内で5℃貯蔵した。球根養成地の栽培条件については、低温処理済みのりん片子球を定植前に各球根養成地（山口県下関市、青森県弘前市、北海道斜里郡小清水町）へ輸送した。定植時のりん片子球の量は $16 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ とし、掘り上げ時の球根重量割合は 10 m^2 で算出した。球根養成作付体系は各養成地で異なり、下関市（下関区）では、2014年2月上旬に定植し2014年7月中旬に掘り上げ、弘前市（弘前区）では2014年4月下旬に定植し9月中旬に掘り上げ、小清水町（小清水区）では2014年5月上旬に定植し10月上旬に掘り上げた。各球根養成地の栽培期間中の気温をデータロガー（TR-71U,（株）ティアンドデイ）で収集した。養成した球根は常温管理し、各養成地から山口県柳井市の花き振興センターへ常温で輸送した。

結果

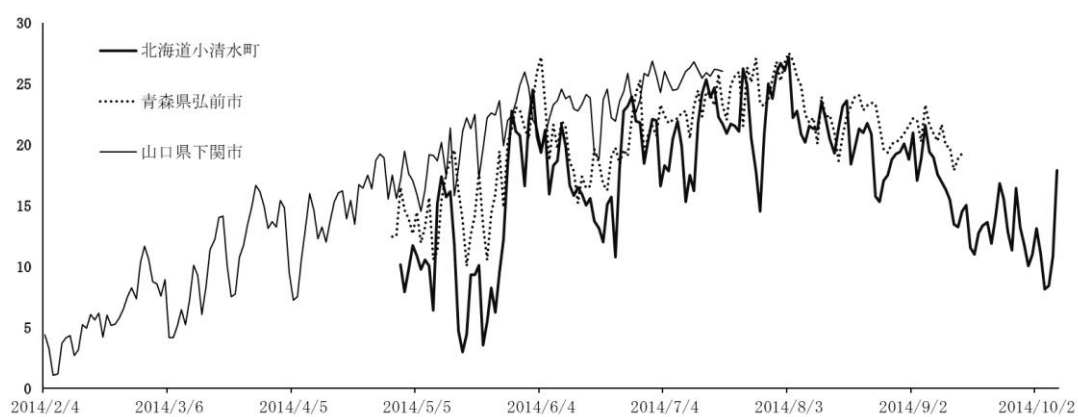
球根養成地別栽培環境条件について、平均気温の推移を第 2-1-1 図に示した。下関区では定植時の 2 月上旬は 4℃、開花時の 5 月は 20℃、掘り上げ時の 7 月下旬は 26℃であった。平均気温 20℃以上の日数は 54 日であった。弘前区では定植時の 4 月下旬は 12℃、8 月上旬は 25℃、掘り上げ時の 9 月中旬は 19℃であった。平均気温 20℃以上の日数は 75 日であった。小清水区では定植時の 5 月上旬は 10℃、8 月中旬は 23℃、掘り上げ時の 10 月上旬は 11℃であった。平均気温 20℃以上の日数は 50 日であった。

掘り上げは、開花盛期から 1～2 か月後球根肥大を確認した後に行った。第 2-1-2 図に球根養成地および品種別掘り上げ時のりん片子球 1.6 kg から養成した球根重量別割合を示した。球根重量割合は、‘プチソレイユ’では下関区の球重 9～16 g（球周 8～10 cm 相当）および球重 16～27 g（10～12 cm 相当）の球根割合が 50%になった。また、平均 1 球重が最も重く 12.4 g となった。弘前区は 10.3 g、小清水区は 9.4 g となった。‘プチブラン’ではいずれの球根養成地においても球重 9～16 g（球周 8～10 cm 相当）が 32%以上となった。下関区の平均 1 球重が最も重く 14.7 g となった。弘前区は 12.3 g、小清水区は 10.2 g となった。

考察

山口県育成小輪系ユリの‘プチソレイユ’と‘プチブラン’の異なる球根養成地（山口県下関市、青森県弘前市、北海道斜里郡小清水町）および氷温貯蔵前の冷蔵処理（15℃および 5℃）が貯蔵前後のシュートの伸長と切り花形質へ与える影響を考察した。まず、球根養成地別の球根肥大について考察した。プチシリーズにおいて切り花を得るためには、球周 8～12

cm の球根が求められる．プチシリーズでは，切り花形質は球周と正の相関（尾関ら，2003）があり，切り花長 55 cm 以上で花蕾数が 3～5 輪確保できる切り花販売球根の球周が 8～12 cm のためである．球周に換算すると 27 g 以上は 12 cm 以上，16～27 g は 10～12 cm，9～16 g は 8～10 cm，6～9 g は 6～8 cm に相当する．球周 8～12 cm の球根の割合は，‘プチソレイユ’で下関区，弘前区，小清水区でそれぞれ，50.7，29.6，35.1%，‘プチブラン’で，それぞれ 64.1，61.4，43.3% で，下関区で両品種とも割合が高くなった．球根養成地別の 1 球当たりの平均球重は，‘プチソレイユ’で下関区，弘前区，小清水区でそれぞれ，12.4，10.3，9.4 g，‘プチブラン’で，それぞれ 14.7，12.3，10.2 g であった．りん片子球を球根養成した場合，肥大適温はスカシユリでは気温が 20～23℃（榎並，2006）である．両品種とも，下関区で肥大した球根が養成されたのは，球根養成時期の気温が球根肥大に適しているためと考えられた．

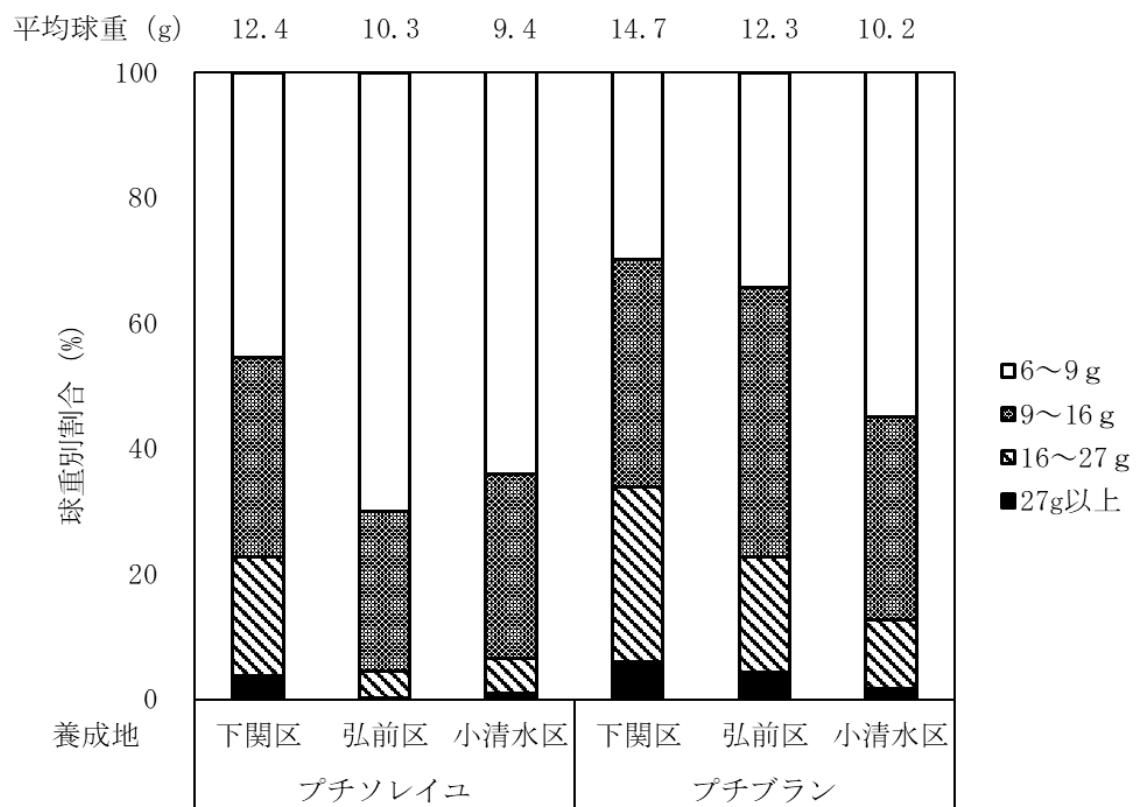


第 2-1-1 図 球根養成地の栽培期間中の平均気温の推移
(2014 年 2 月 4 日～10 月 7 日)

北海道小清水町：2014 年 5 月 1 日から 10 月 7 日までの実測値

青森県弘前市：2014 年 4 月 29 日から 9 月 14 日まで実測値

山口県下関市：2014 年 2 月 4 日から 7 月 18 日までの実測値



第 2-1-2 図 球根養成地および品種がりん片子球由来養成球根重量別割合に与える影響

球根重量は球周に換算すると、27 g 以上は 12 cm 以上、
16～27 g は 10～12 cm、9～16 g は 8～10 cm、
6～9 g は 6～8 cm に相当する

第2節 球根養成地別の冷蔵処理および長期氷温貯蔵がシュートの伸長と切り花形質に与える影響

オリエンタル系ユリの長期氷温貯蔵期間は定植後の切り花品質を考慮すると7から8か月である（吉田ら，2006）．一方で，国内で養成し氷温貯蔵された球根品質は年次変動が大きい（今西ら，2006）という報告がある．また，日本自生のユリ15種に古く中国や朝鮮から日本に渡来し，半ば自生化している3種を加えた18種について花芽分化期を調査したところ，花芽分化期は4つのタイプに分類でき，代表的なユリでは秋に球根内で分化を開始し，年内に完成するオトメユリ，秋に球根内で分化を開始し，発芽直後に完成する朝鮮ヒメユリ，発芽直後に花芽分化を開始するテッポウユリ，土佐ヒメユリ，発芽後，1か月以上経過してから花芽分化を開始するオニユリがあると大川（1989）は報告している．品種特性によって球根養成地の栽培条件と花芽分化は関係性があると考えられる．

そこで栽培条件の異なる球根養成地（山口県下関市，青森県弘前市，北海道斜里郡小清水町）でそれぞれ養成した球根の掘り上げ直後の球根内シュート長や，掘り上げ後の冷蔵処理温度および冷蔵期間がシュート長に与える影響について調査した．さらにそれらの長期貯蔵球根を用いて切り花形質について調査し，最適な冷蔵方法の検討を行った．

材料および方法

収穫後処理条件において，輸送された球根は，各養成地（下関区，弘前区，小清水区）別に，山口県柳井市の花き振興センターで洗浄選別処理を行い，球周で階級分けを行い球周8～10 cmの球根を選定した．選別した両品種の球根をチラウム・チオファネートメチル水和剤（有効成分：チウラ

ム 30.0%，チオファネートメチル 50.0%；日本曹達（株））で 30 分浸漬した後，1 昼夜常温で風乾し，0.05 mm 厚の有孔ポリエチレン袋に体積比 10：1 で無調整ピートモスと水を混和したものとともに充填し貯蔵した．

球根の冷蔵処理において冷蔵処理区ごとに解剖用 6 球および定植用 20 球を山口県柳井市の花き振興センターの恒温庫および冷蔵庫，氷温貯蔵庫を用いて貯蔵した．下関区は 2014 年 8 月 7 日から，弘前区は 10 月 20 日から，小清水区は 10 月 30 日から冷蔵処理を開始した．冷蔵処理区は，15℃冷蔵期間と 5℃冷蔵期間を組み合わせた以下の 5 区（それぞれ 15℃冷蔵期間＋5℃冷蔵期間を示す：0 週間＋0 週間，0 週間＋4 週間，2 週間＋4 週間，4 週間＋4 週間，6 週間＋4 週間）とした．各冷蔵処理終了後 -1.5℃で定植 2 週間前まで氷温貯蔵した．定植 2 週間前からは 5℃で解凍処理を行い，定植前日は室温で管理した．

冷蔵処理後，氷温貯蔵前および解凍後定植前の球根を各区 6 球ずつ解剖し，球根内のシュート（シュートは球根内の中心部にできる茎の部分と葉芽の部分とした）の長さでシュートの幅（最大の横幅）および球根外の出芽長を測定した．

切り花調査において，実験は，花き振興センターの常時 60%遮光したフッ素フィルムハウスで行った．前述の方法で解凍した両品種の球根（球周 8～10 cm）を，2015 年 8 月 6 日に培養土（田土：バーク堆肥：ピートモス＝4：3：3）を詰めた蒸気消毒済み隔離ベンチ（90 cm×18 m×30 cm）に各区 20 球定植した．栽植密度は，12 cm×12 cm に 1 球とした．施肥量は基肥として窒素成分量で $0.5 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ ，追肥として $0.5 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ を各 1 回，合計 $1 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ を緩効性粒状肥料（N:P₂O₅:K₂O=15:15:15）で施用した．灌水は土

壤の乾燥状態を判断し，灌水チューブ（エバフローA型,MKVアドバンス（株））で表面が乾く前に，各回5分程度行なった．

定植後は，切り花形質を調査した．収穫は，一輪目が開花直前になった段階で行った．切り花形質として，開花日，切り花長，花蕾数，切り花重，商品化率を調査した．商品化率は定植した球根20球のうち，不発芽やブラスチング，葉枯れ等で収穫までいたらなかった株も含め，出荷可能な切り花の切り花長55 cm以上で花蕾数が3輪以上ある割合とした．

結果

第1項 早生品種‘プチソレイユ’

‘プチソレイユ’の球根養成地別氷温貯蔵前と氷温貯蔵解凍後定植前のシュートの伸長を第2-1-1表に示した．掘り上げ時（15℃0週間 5℃0週間区）のシュート長，シュート幅と比較して，5℃4週間冷蔵処理前の15℃冷蔵処理期間において，下関区，弘前区では15℃2週間以上で値が高くなった．小清水区では，シュート長は15℃4週間以上で，シュート幅は15℃6週間で値が高くなった．15℃6週間では下関区，弘前区，小清水区でそれぞれシュート長1.4 cm，1.6 cm，3.1 cm，シュート幅5.1 mm，5.0 mm，6.5 mmであった．氷温貯蔵前の出芽に関しては，小清水区の15℃6週間 5℃4週間区（1.4 cm）以外は出芽していなかった．どの球根養成地のいずれの冷蔵処理においても，氷温貯蔵前より解凍後定植前のシュート長，シュート幅が伸長した．15℃0週間 5℃0週間区と比較して下関区，弘前区では15℃2週間以上で，小清水区では15℃4週間以上で値が大きくなった．特に下関区15℃4週間，小清水区15℃4週間および6週間で解凍後定植前のシュート長が6.0 cm以上になった．解凍後定植前の出芽長は，15℃0週間

5℃0 週間区と比較して下関区と小清水区では 15℃4 週間以上で、弘前区では 15℃2 週間以上で値が高くなった。

‘プチソレイユ’の球根養成地と冷蔵処理による切り花形質を第 2-1-1 表に示した。‘プチソレイユ’の商品化率は、下関区の 15℃0 週間 5℃0 週間区で 10%であった。15℃4 週間 5℃4 週間区では 55%であったが、他の処理区では 85%以上であった。弘前区では 15℃0 週間 5℃0 週間区および 15℃0 週間 5℃4 週間区で 45, 60%であったが、他の処理区では 75%以上であった。小清水区はすべての冷蔵処理区で 35~55%であった。到花日数は小清水区の 15℃6 週間 5℃4 週間区の 34.6 日が短く、下関区の 15℃0 週間 5℃0 週間区の 48.0 日が長くなった。弘前区においては冷蔵処理に関わらず到花日数に差がなかった。下関区および弘前区における切り花長、花蕾数および切り花重は、冷蔵処理期間による差はほとんど認められなかった。小清水区の切り花長および切り花重では 15℃0 週間 5℃4 週間区で他の冷蔵処理区より値が高くなったが、花蕾数には差がなかった。

第 2-1-1 表 球根養成地別掘り上げ後の氷温貯蔵前の冷蔵温度と期間が
 ‘プチソレイユ’のシュートに与える影響

球根養成地	冷蔵処理期間(週)		氷温貯蔵前			解凍後定植前		
	15℃	5℃	シュート長 ^w (cm)	シュート幅(mm)	出芽長(cm)	シュート長(cm)	シュート幅(mm)	出芽長(cm)
下関区 ^z	0	0	0.3 b ^y	2.3 b	0 a	1.0 c	3.0 c	0 c
	0	4	— ^u	—	—	2.8 bc	4.1 b	1.2 bc
	2	4	1.3 a	4.8 a	0 a	5.0 ab	4.7 b	3.4 ab
	4	4	1.2 a	4.4 a	0 a	6.0 a	5.5 a	4.4 a
	6	4	1.4 a	5.1 a	0 a	5.4 a	5.9 a	3.9 a
弘前区 ^y	0	0	0.9 c	3.7 b	0 a	1.6 b	4.3 b	0 b
	0	4	0.9 c	3.9 b	0 a	2.1 b	4.8 b	0.4 b
	2	4	1.3 b	4.8 a	0 a	3.7 a	5.6 a	2.3 a
	4	4	1.6 a	5.2 a	0 a	5.0 a	6.1 a	3.5 a
	6	4	1.6 a	5.0 a	0 a	3.9 a	6.1 a	2.4 a
小清水区 ^x	0	0	1.3 b	4.1 b	0 b	4.7 b	5.0 a	3.1 b
	0	4	1.3 b	4.4 b	0 b	4.0 b	4.9 a	2.4 b
	2	4	1.6 b	5.0 b	0 b	5.6 ab	5.0 a	3.8 b
	4	4	2.9 a	4.6 b	0 b	6.7 a	5.2 a	4.8 a
	6	4	3.1 a	6.5 a	1.4 a	6.9 a	5.5 a	5.2 a

^z 山口県下関市で養成した球根を 2014 年 8 月 7 日から試験区ごとに冷蔵処理を行い氷温貯蔵後，2015 年 7 月 22 日から解凍処理を行った

^y 青森県弘前市で養成した球根を 2014 年 10 月 20 日から試験区ごとに冷蔵処理を行い氷温貯蔵後，2015 年 7 月 22 日から解凍処理を行った

^x 北海道斜里郡小清水町で養成した球根を 2014 年 10 月 30 日から試験区ごとに冷蔵処理を行い氷温貯蔵後，2015 年 7 月 22 日から解凍処理を行った

^w シュート調査は球根内部までりん片を剥皮し，シュート内茎長を含めてシュート長，最大シュート幅，球根上部に出た出芽長を測定した

^y 異なる英文字間には，球根養成地毎に Tukey-Kramer の HSD 検定を行い，5% 水準で有意差あり

^u —は欠損値

第 2-1-2 表 球根養成地別掘り上げ後の氷温貯蔵前の冷蔵温度と期間が

‘プチソレイユ’の切り花形質に与える影響

球根養成地	冷蔵処理期間(週)		到花日数 (日間)	切り花長 (cm)	花蕾数 (個)	切り花重 (g)	商品化率 ^v (%)
	15℃	5℃					
下関区 ^z	0	0	48.0 a ^w	85.9 a	5.5 a	40.3 a	10
	0	4	41.9 b	79.8 a	4.7 a	33.4 a	90
	2	4	38.8 b	76.5 a	4.8 a	31.7 a	85
	4	4	38.6 b	77.0 a	4.7 a	34.5 a	55
	6	4	41.6 b	79.6 a	4.7 a	34.4 a	95
弘前区 ^y	0	0	43.6 a	76.9 a	6.2 b	31.6 a	45
	0	4	43.5 a	77.0 a	6.2 b	30.4 a	60
	2	4	42.7 a	80.3 a	7.5 a	35.0 a	75
	4	4	41.0 a	76.2 a	6.5 ab	33.7 a	80
	6	4	40.9 a	75.5 a	6.5 ab	34.0 a	80
小清水区 ^x	0	0	43.3 a	74.1 ab	5.2 a	29.8 ab	35
	0	4	40.9 ab	81.7 a	6.1 a	35.8 a	35
	2	4	38.2 bc	72.2 bc	5.4 a	31.4 ab	55
	4	4	37.0 bc	66.1 cd	5.3 a	28.2 b	45
	6	4	34.6 c	61.3 d	5.7 a	26.6 b	50

定植日：2015 年 8 月 6 日 使用球周：8～10 cm

^z 山口県下関市で養成した球根を 2014 年 8 月 7 日から試験区ごとに冷蔵処理を行い氷温貯蔵後，2015 年 7 月 22 日から解凍処理を行った

^y 青森県弘前市で養成した球根を 2014 年 10 月 20 日から試験区ごとに冷蔵処理を行い氷温貯蔵後，2015 年 7 月 22 日から解凍処理を行った

^x 北海道斜里郡小清水町で養成した球根を 2014 年 10 月 30 日から試験区ごとに冷蔵処理を行い氷温貯蔵後，2015 年 7 月 22 日から解凍処理を行った

^w 異なる英文字間には，球根養成地毎に Tukey-Kramer の HSD 検定を行い，5%水準で有意差あり

^v 9 月 23 日までに収穫した切り花のうち切り花長 55 cm 以上花蕾数 3 輪以上の切り花本数/定植球数×100

第 2 項 晩生品種 ‘プチブラン’

‘プチブラン’の球根養成地別氷温貯蔵前と氷温貯蔵解凍後定植前のシュートの伸長を第 2-2-1 表に，シュートの伸長を第 2-2-1 図に示した．どの球根養成地においても 5℃4 週間冷蔵処理前の 15℃冷蔵処理期間が長くなるほどシュート長，シュート幅は大きくなり，15℃6 週間では下関区，弘前区，小清水区でそれぞれシュート長 1.4 cm，1.7 cm，1.8 cm，シュート幅 4.8 mm，6.1 mm，5.0 mm と値が高くなった．下関区の 15℃0 週間 5℃0 週間区では腐敗したが，どの球根養成地のいずれの冷蔵処理においても，氷温貯蔵前と比較し解凍後定植前のシュート長，シュート幅は伸長した．氷温貯蔵前では出芽は見られなかったが，解凍後定植前では出芽し，下関区では 15℃の冷蔵処理期間が長くなるほど出芽長の値が高くなった．弘前区では冷蔵処理により出芽長が長くなったが，15℃2 から 6 週間処理で差がなかった．小清水区では 15℃6 週間 5℃4 週間区の出芽長の値が高くなった．

‘プチブラン’の球根養成地と冷蔵処理による切り花形質を第 2-2-2 表に示した．‘プチブラン’の商品化率は，下関区では 15℃6 週間 5℃4 週間区で 95%であったが，他の処理区では 65%以下であった．弘前区は 15℃0 週間では 40～45%であったが，15℃2 週間 5℃4 週間区以上で 80%以上であった．小清水区は 15℃0 週間 5℃0 週間区では 50%であったが，他の処理区では 90%以上であった．到花日数は，下関区および弘前区では冷蔵処理期間による差はなく，それぞれ 50.5～53.2 日，58.1～62.4 日であった．小清水区は冷蔵処理期間が長くなるほど，短くなった．切り花形質に関しては，下関区では冷蔵処理期間が長くなるほど切り花長，切り花重の値が高くなったが，花蕾数に差はなかった．弘前区では 15℃2 週間 5℃4 週間区

以上で，切り花重の値が高くなったが，切り花長，花蕾数に有意差な差はなかった．小清水区では 15℃2 週間 5℃4 週間区で切り花長および切り花重の値が高かった．

第 2-2-1 表 球根養成地別掘り上げ後の氷温貯蔵前の冷蔵温度と期間が
 ‘プチブラン’ のシュートに与える影響

球根養成地	冷蔵処理期間(週)		氷温貯蔵前			解凍後定植前		
	15℃	5℃	シュート長 ^w (cm)	シュート幅(mm)	出芽長(cm)	シュート長(cm)	シュート幅(mm)	出芽長(cm)
下関区 ^z	0	0	0.3 c ^v	2.4 c	0 a	×	×	×
	0	4	— ^u	—	—	2.7 c	4.0 c	1.1 c
	2	4	0.8 b	3.7 b	0 a	4.8 b	4.1 b	3.3 c
	4	4	1.2 b	3.8 b	0 a	6.7 ab	5.3 ab	4.9 b
	6	4	1.4 a	4.8 a	0 a	8.5 a	6.2 a	7.0 a
弘前区 ^y	0	0	0.7 c	3.2 b	0 a	2.2 b	4.1 b	0.6 c
	0	4	0.8 c	3.5 b	0 a	3.4 ab	5.1 b	1.7 b
	2	4	1.3 b	5.1 a	0 a	5.4 a	5.8 a	3.6 a
	4	4	1.5 ab	5.6 a	0 a	5.0 a	5.9 a	3.2 a
	6	4	1.7 a	6.1 a	0 a	5.1 a	6.2 a	3.3 a
小清水区 ^x	0	0	1.3 c	4.2 b	0 a	5.2 b	4.8 a	3.3 b
	0	4	1.4 bc	4.4 ab	0 a	5.0 b	4.7 a	3.0 b
	2	4	1.5 bc	4.7 ab	0 a	5.8 ab	5.3 a	3.8 ab
	4	4	1.5 b	4.8 ab	0 a	6.0 ab	5.5 a	4.0 ab
	6	4	1.8 a	5.0 a	0 a	6.5 a	5.9 a	4.8 a

^z 山口県下関市で増殖した球根を 2014 年 8 月 7 日から試験区ごとに冷蔵処理を行い氷温貯蔵後，2015 年 7 月 22 日から解凍処理を行った

^y 青森県弘前市で増殖した球根を 2014 年 10 月 20 日から試験区ごとに冷蔵処理を行い氷温貯蔵後，2015 年 7 月 22 日から解凍処理を行った

^x 北海道斜里郡小清水町で増殖した球根を 2014 年 10 月 30 日から試験区ごとに冷蔵処理を行い氷温貯蔵後，2015 年 7 月 22 日から解凍処理を行った

^w シュート調査は球根内部までりん片を剥皮し，シュート内茎長を含めてシュート長，最大シュート幅，球根上部に出た出芽長を測定した

^v 異なる英文字間には，球根養成地毎に Tukey-Kramer の HSD 検定を行い，5% 水準で有意差あり

^u —は欠損値

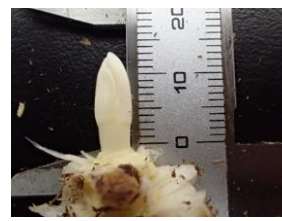
^t ×は腐敗のため，調査できず



掘り上げ直後



15℃2週間5℃4週間処理後



15℃6週間5℃4週間処理後

第 2-2-1 図 球根内シュートの伸長

(氷温貯蔵前 球根養成地：下関市 品種：プチブラン)

第 2-2-2 表 球根養成地別掘り上げ後の氷温貯蔵前の冷蔵温度と期間が
‘プチブラン’ の切り花形質に与える影響

球根養成地	冷蔵処理期間(週)		到花日数 (日間)	切り花長 (cm)	花蕾数 (個)	切り花重 (g)	商品化率 ^v (%)
	15℃	5℃					
下関区 ^z	0	0	— ^u	—	—	—	—
	0	4	50.5 a ^w	82.6 b	4.0 a	31.0 b	60
	2	4	50.5 a	82.7 b	4.5 a	38.2 ab	60
	4	4	52.4 a	86.6 ab	4.0 a	38.1 ab	65
	6	4	53.2 a	91.6 a	4.9 a	41.2 a	95
弘前区 ^y	0	0	62.4 a	85.4 a	5.4 ab	34.9 b	40
	0	4	61.8 a	82.7 b	4.6 b	34.4 b	45
	2	4	59.5 a	88.5 a	5.3 ab	40.2 a	80
	4	4	59.5 a	90.9 a	5.8 a	41.5 a	100
	6	4	58.1 a	90.2 a	6.6 a	43.5 a	95
小清水区 ^x	0	0	54.1 a	78.3 b	3.6 b	32.2 b	50
	0	4	54.0 a	80.7 b	3.8 b	34.5 b	95
	2	4	51.7 b	86.3 a	4.7 a	42.2 a	90
	4	4	52.7 ab	79.3 b	4.3 ab	34.1 b	90
	6	4	51.3 b	80.0 b	5.0 a	40.7 a	95

定植日：2015 年 8 月 6 日 使用球根：球周 8～10 cm

^z 山口県下関市で養成した球根を 2014 年 8 月 7 日から試験区ごとに冷蔵処理を行い氷温貯蔵後，2015 年 7 月 22 日から解凍処理を行った

15℃0 週間 5℃0 週間区は腐敗のため定植していない

^y 青森県弘前市で養成した球根を 2014 年 10 月 20 日から試験区ごとに冷蔵処理を行い氷温貯蔵後，2015 年 7 月 22 日から解凍処理を行った

^x 北海道斜里郡小清水町で養成した球根を 2014 年 10 月 30 日から試験区ごとに冷蔵処理を行い氷温貯蔵後，2015 年 7 月 22 日から解凍処理を行った

^w 異なる英文字間には，球根養成地毎に Tukey-Kramer の HSD 検定を行い，5%水準で有意差あり

^v 10 月 12 日までに収穫した切り花のうち切り花長 55 cm 以上花蕾数 3 輪以上の切り花本数/定植球数×100

^u—は欠損値

考察

山口県育成小輪系ユリの‘プチソレイユ’と‘プチブラン’の異なる球根養成地（山口県下関市，青森県弘前市，北海道斜里郡小清水町）および氷温貯蔵前の冷蔵処理（15℃および5℃）が貯蔵前後のシュートの伸長と切り花形質へ与える影響を考察した．まず，球根養成地別の球根肥大について考察した．プチシリーズにおいて切り花を得るためには，球周 8～12 cm の球根が求められる．プチシリーズでは，切り花形質は球周と正の相関（尾関ら，2003）があり，切り花長 55 cm 以上で花蕾数が 3～5 輪確保できる切り花販売球根の球周が 8～12 cm のためである．球周に換算すると 27 g 以上は 12 cm 以上，16～27 g は 10～12 cm，9～16 g は 8～10 cm，6～9 g は 6～8 cm に相当する．球周 8～12 cm の球根の割合は，‘プチソレイユ’で下関区，弘前区，小清水区でそれぞれ，50.7，29.6，35.1%，‘プチブラン’で，それぞれ 64.1，61.4，43.3% で，下関区で両品種とも割合が高くなった．球根養成地別の 1 球当たりの平均球重は，‘プチソレイユ’で下関区，弘前区，小清水区でそれぞれ，12.4，10.3，9.4 g，‘プチブラン’で，それぞれ 14.7，12.3，10.2 g であった．りん片子球を球根養成した場合，肥大適温はスカシユリでは気温が 20～23℃（榎並，2006）である．両品種とも，下関区で肥大した球根が養成されたのは，球根養成時期の気温が球根肥大に適しているためと考えられた．

ところが，浅野ら（2000）は，オリエント系ユリを養成した際に掘り上げ時期を変えたところ，球根肥大は同様でも掘り上げ時期の気温が高温であると切り花品質が低下すること，球根養成時のシュート長が葉焼け症および不発芽に影響することを報告している．また，高野ら（2002）はオリエント系ユリにおいて冷蔵温度が高く期間が長いと冷蔵中にシュート

が伸長し、その球根を長期間氷温貯蔵すると、花蕾と花蕾の間の欠落や、カギ葉などの抑制栽培における障害が発生したと報告している。また、6℃以下の冷蔵処理期間が長いと長期氷温貯蔵後の栽培において開花率の低下が起こる（酒井ら，2022）とも報告している。そこで、球根養成地別の冷蔵処理およびシュートの伸長と商品化率との関係を考察した。

それぞれの球根養成地で養成した球周 8～10 cm の球根に対して、冷蔵処理を行わずに氷温貯蔵した場合、商品化率は‘プチソレイユ’において、下関区、弘前区、小清水区でそれぞれ 10, 45, 35%, ‘プチブラン’でそれぞれ 0, 40, 50%であり、いずれの養成地でも低かった。このときの氷温貯蔵前のシュート長は‘プチソレイユ’において、下関区、弘前区、小清水区でそれぞれ 0.3, 0.9, 1.3 cm, ‘プチブラン’でそれぞれ 0.3, 0.7, 1.3 cm であり、シュートの伸長に関わらず 15℃および 5℃の冷蔵処理を行わず球根を貯蔵したため、未出芽や貯蔵中の腐敗が発生し商品化率が低下したと考えられた。オリエンタル系ユリの抑制栽培では - 0.5～ - 2℃の氷温で長期貯蔵した場合シュートの致死や不開花の発生（高野ら，2002）や葉焼け症の発生（常見ら，1997）が知られている。ユリ球根のシュートに含まれる糖分は耐凍性機構としての働きを持ち、含有糖分が少ないほど長期貯蔵時のシュートに著しい障害がみられる（Kok ら,2004）ことから掘り上げ直後はシュートが未発達で、冷蔵貯蔵を行わない場合、含有糖分が少なく、氷温での長期貯蔵が適さないと考えられた。また、‘プチソレイユ’の解凍後定植前のシュート長は、下関区 15℃4 週間 5℃4 週間区および小清水区 15℃4 から 6 週間 5℃4 週間区では 6.0 cm 以上になった。これらの処理区の商品化率は、それぞれ 55, 45, 50%であった。これらのことから、シュートが伸長しすぎても商品化率が低下する可能性があるこ

とが推察された．‘プチソレイユ’はアジアティックハイブリッド（*L. × elegans*）とヒメユリ（*L. concolor*）の雑種であり，ヒメユリは西南暖地にのみ生息している．球根養成には品種に適した気温を考慮する必要がある上，掘り上げ後および冷蔵処理後長期氷温貯蔵前のシュートの伸長状態は切り花形質へ影響すると考えられた．

切り花形質および商品化率から最適な冷蔵処理期間の組み合わせを見ると，‘プチソレイユ’では，下関区で 15℃0，2，6 週間 5℃4 週間処理，弘前区で 15℃2，4，6 週間 5℃4 週間処理が適した．小清水区においては，どの処理区においても商品化率が低くなった．‘プチブラン’では，下関区で 15℃6 週間 5℃4 週間処理，弘前区で 15℃2，4，6 週間 5℃4 週間処理，小清水区で 15℃2 週間 5℃4 週間処理が適した．これらの結果から，国内で養成した球根を用いる場合，15℃および 5℃の冷蔵処理は必要であった．品種間差は‘プチソレイユ’と‘プチブラン’で顕著で，‘プチソレイユ’においては，球根養成地によりシュートの伸長が異なり，掘り上げ後の冷蔵処理が商品化率に影響した．‘プチブラン’においては，球根養成地の温度条件が，冷蔵処理後のシュートの伸長および切り花長，切り花重，商品化率へ影響した．養成地毎にシュートの伸長を考慮し，耐凍性を付与した後，適期に氷温貯蔵へ移行する必要があると考えられる．また，‘プチソレイユ’と‘プチブラン’を合わせて考えると品種の早晩性によって適する球根養成地があることが推察された．

ユリの球根は輸入球根が 8 割を占めているため国内養成球においては，同一品種における掘り上げ後の養成地別の冷蔵処理期間や処理温度が切り花形質へ与える影響については知見が少ない．オランダでは地上部の枯死状態を判断し 11 月ごろ掘り上げることが多く，その時点の地温は 4℃前後

で掘り上げた球根を低温（0～4℃）で8～10週間冷蔵処理したのち，-0.5～-1.5℃の氷温で貯蔵され（吉田ら，2006）順次切り花生産に用いられている．‘プチソレイユ’および‘プチブラン’では，国内の球根養成地において切り花生産に使用可能な球周の球根がりん片子球形成から1年間で生産できた．しかし，掘り上げ時のシュートの伸長は異なった．そこで，球根内のシュートを冷蔵処理によってシュート長1.3 cm程度に伸長させることで，耐凍性が付与され長期氷温貯蔵が可能になった．‘プチソレイユ’においては下関区および弘前区で，‘プチブラン’においてはいずれの養成地においても長期氷温貯蔵が9か月間以上可能であり，翌年8月定植期の切り花栽培に利用できることが明らかとなった．

第3章 施設内及び外気温の積算温度を用いた収穫予測モデルの検討

球根の安定増殖体制の確立と合わせて、切り花生産においても、生花商や消費者に求められる品質を周年安定して供給する必要がある。そのためには、施設面積の利用率向上や法人への導入等、小輪系ユリのメリットを活かした効率的な切り花安定生産技術および出荷予測による市場関係者や生花商への事前の情報提供による有利販売等の実現を検討した。そのため著者ら（福光ら，2025）は長期氷温貯蔵した球根を用いた、周年で切花生産が可能な栽培体系を確立した。周年栽培体型を確立したにもかかわらず、販売単価が高く維持されなかった。その主な理由として県内産地において計画生産が行われていない上に、出荷時期や出荷量の情報が乏しいことが挙げられている。市場関係者や生花商からは品種毎の出荷時期と出荷量の予測情報が事前に共有できた上に、出荷の1か月前にはより正確な情報提供があると有利販売しやすいという要望がある。そこで著者らは、「プチシリーズ」の出荷予測技術の開発に取り組んだ。

ユリにおいて、高野（2009）は、同様に生育期間中の施設内日平均気温積算値が開花日を予測するためには有効であることを明らかにし、ユリの蕾期収穫切り花について室内温度と蕾長で開花日を予測する技術を確立した。しかし、上記の予測技術は、環境データを取得できる露地や栽培施設の開花を予測する技術であり、環境データを測定できない場所の予測は困難である。そこで国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構（以下；農研機構）が2016年より「農研機構メッシュ農業気象データ」（田中ら，2017）を一定の条件で農研機構外部への提供を開始した。このシステムでは、栽培地点の緯度および経度，年次，気象要素を入力することで気象データを取得することが可能となった。このデータを活用することによ

って多くの露地農作物で精度の高い出荷予測技術が開発されつつある（岡田・菅原，2019）。しかし，メッシュ農業気象データは露地での気象データである。施設内で加温栽培される山口県育成小輪系ユリにおいてこのデータを活用するためには施設内の気温を取得された外気温からかなり正確に予測する必要がある。

そこで，栽培体系に合わせ，山口県育成小輪系ユリ「プチシリーズ」の生育特性の異なる早生品種‘プチソレイユ’および晩生品種‘プチブラン’を供試し，農業気象データシステムの外気温データを用いて栽培地毎および栽培時期毎の収穫日予測モデルの開発を目指した。

山口県育成小輪系ユリの定植及び出芽から収穫までに要した期間の施設内気温および農業気象データシステムの外気温データと関係式を構築し，栽培時期および球根の貯蔵方法にかかわらず収穫時期を予測できる技術を確立する。

第1節 施設内実測値と外気温データとの比較

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構（以下；農研機構）が2016年より「農研機構メッシュ農業気象データ」（田中ら，2017）を一定の条件で農研機構外部への提供を開始した。このシステムでは，栽培地点の緯度および経度，年次，気象要素を入力することで気象データを取得することが可能となった。施設内で加温栽培される山口県育成小輪系ユリにおいてこのデータを活用するためには施設内の気温を取得された外気温からかなり正確に予測する必要がある。

そこで，山口県柳井市新庄の花き振興センター栽培温室において施設内実測値を取得し，農研機構メッシュ農業気象データの外気温との比較を実施した．

材料および方法

施設内気温と外気温のデータ収集について施設内気温は，2019 年 8 月 2 日から 2022 年 3 月 20 日までの山口県柳井市新庄の花き振興センターのガラス温室内の気温を温湿度データロガーおんどとり TR-71U（ティアンドデイ（株））で，地上 1.5 m に設置した通風筒内で 30 分ごとに計測したデータから算出した．外気温については，農研機構メッシュ農業気象データにおいて柳井市新庄の緯度 33.98，経度 132.09 地点の 2019 年 8 月 2 日から 2022 年 3 月 20 日までの月平均気温データと日平均気温データを収集した．

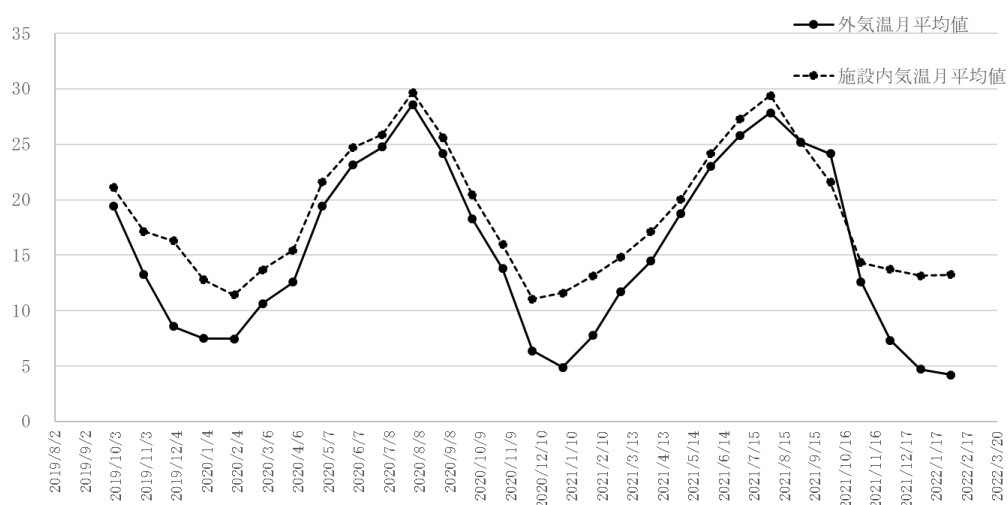
結果

施設内気温と外気温の月平均気温を比較すると，施設内気温が年間を通して高く，冬期の 11 月から 3 月は外気温より約 3～9℃高く，夏期の 6 月から 10 月は約 2℃高くなった（第 3-1-1 図）．日平均気温を比較すると冬期は施設内気温が外気温より約 5℃～15℃，夏期は約 3℃高くなり，外気温との温度差は夏期の方が小さくなった（第 3-1-2 図）．

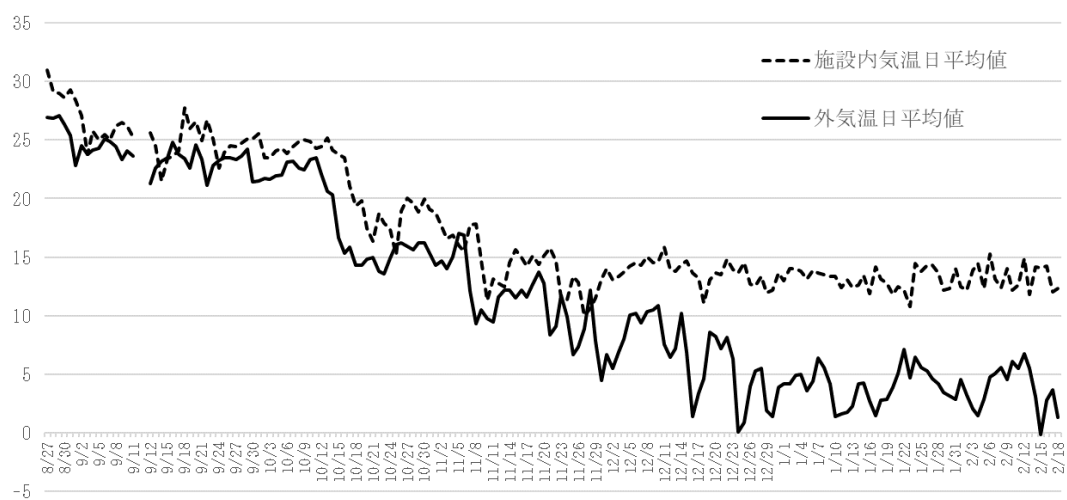
考察

施設内気温と外気温において，夏期は月平均および日平均で比較すると，施設内温度が 2℃程度高く推移するが，温度の上下の傾向は施設内お

よび外気温で大きな差はないことが明らかになった。冬期においては、11月から3月において、施設内は暖房設定温度を10℃にし加温するため、日平均気温が10℃以下になる日はないが、露地は0℃前後になる日も多く、安定しなかった。これらのことから、外気温を用いて収穫予測モデルを構築する場合には、最低温度を設定する必要があることが示唆された。佐藤らが開発した露地野菜生育予測（API）においては、キャベツなどの露地野菜においてアプリにより、収穫予測が可能で、生育が盛んな時期に収穫できることで、生育が進むのを防ぎ、収穫適期を的確に捉えることが可能になっている。出荷の過不足時の需給調整や計画生産、圃場の効率的利用に技術が使われている。施設内気温と外気温において簡易に栽培地点毎の施設内気温を推察できれば、ユリにおいて、高野（2009）は、生育期間中の施設内日平均気温積算値が開花日を予測するためには有効であることを明らかにしていることから、日積算温度での予測が可能なため、山口県育成小輪系ユリの収穫予測に利用できると考える。



第 3-1-1 図 柳井市における施設内気温と外気温の月平均気温の比較
 2019 年 8 月から 2022 年 3 月までの花き振興センター
 （柳井市新庄）の施設内気温実測値（ガラス温室 10℃加温）と
 メッシュ農業気象データ（緯度 33.98，軽度 132.09 地点）の
 月平均気温を比較した



第 3-1-2 図 柳井市における施設内気温と外気温の日平均気温の比較
 2021 年 8 月 27 日から 2022 年 2 月 18 日までの花き振興センター
 (柳井市新庄) の施設内気温実測値 (ガラス温室 10℃加温) とメッ
 シュ農業気象データ (緯度 33.98, 軽度 132.09 地点) の日平均気
 温を比較した

第2節 日平均気温積算温度を用いた収穫日予測モデルの検討

ユリにおいて、高野（2009）は、生育期間中の施設内日平均気温積算値が開花日を予測するためには有効であることを明らかにしている。収穫日予測モデルでは、農業メッシュ気象データの活用により、施設内気温を使用せず、栽培地点毎の栽培期間の平均気温を取得し、収穫予測モデルにあてはめ収穫日を予測する。これが実現すれば、施設栽培において汎用性がある。また球根貯蔵方法や期間による定植日および出芽日を起点とした、日平均積算温度を用いた収穫予測できるモデルを開発する。

材料および方法

栽培実験は、山口県柳井市新庄の花き振興センター研究ガラス温室において行った。2021年6月25日に山口県下関市で収穫した山口県育成小輪系ユリ‘プチソレイユ’および‘プチブラン’の球周10～12 cmの球根を用いた。既報（福光ら，2025）に基づき球根は2021年6月25日から7月19日まで15℃で貯蔵後，7月19日から定植まで5℃で貯蔵した冷蔵貯蔵球根と2021年6月25日から7月19日まで15℃で貯蔵後，7月19日から5℃で貯蔵し，9月28日から定植1週間前まで-2℃で貯蔵再び定植まで5℃で貯蔵した氷温貯蔵球根を供試した。

2021年9月28日から2022年2月15日まで約2週間ごとに両貯蔵球根を計8回定植し，栽培を実施した（第3-2-1，3-2-2表）。定植から9月20日まで60%遮光（ダイオクールホワイト，（株）イノベックス）をハウス内側に設置，その後は遮光を除去した温室で行った。温室内温度管理は暖房設定温度10℃，換気設定温度20℃とした。隔離ベンチ（90 cm×18 m×30 cm）に培養土（田土：バーク堆肥：パーミキュライト＝4：3：3）を詰め蒸気消

毒した後、定植した。栽植密度は、12 cm×12 cmに1球とした。施肥量は基肥として窒素成分量で $0.5 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ 、追肥として $0.5 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ を各1回、合計 $1 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ を粒状肥料（くみあい CDU 複 S555 号、N: 15%, P: 15%, K: 15%）で施用した。灌水は土壌の表面が乾かないよう、エバフロー（MKV アドバンス株式会社）で毎回5分程度行なった。調査は各区18球実施した。発育ステージを定植日から収穫日までと出芽日から収穫日までの2段階に分けた。出芽日は定植全体の8割が5 cm程度出芽したことが目視できた日とした。収穫はやまぐちオリジナルユリ出荷規格に達した株から収穫した。

さらに収穫日予測モデルの開発を行った。収穫日予測モデルに用いたガラス温室内気温実測値は、実測データから日平均気温を算出し、定植日および出芽日から収穫日までの日平均単純積算温度を求めた。同様に外気温実測値から日平均単純積算温度を求めた。開発した予測式の妥当性を明らかにするため、栽培データ（第3-2-1, 3-2-2表）を用いて定植日および出芽日から収穫日までの期間平均気温と日数の逆数である発育速度（DVR）との間に線形性が認められるか検討した。さらに農研機構メッシュ農業気象データの日平均気温の下限温度 10°C 以下を $8\sim 13^{\circ}\text{C}$ に補正したデータ（第3-3-3表）において、最適な下限値を 10°C とし、定植日および出芽日から収穫日までの期間平均気温と日数の逆数である発育速度（DVR）との間に線形性が認められるか検討した。

結果

早生品種‘プチソレイユ’の到花日数と積算温度の関係について定植日および出芽日から収穫までに要する日数と積算温度の関係について第1表に示した。産地、収穫期が同じ球根を冷蔵および氷温貯蔵した場合、施設内実

測値では栽培時期により定植から収穫までに要する日数は 74～113 日間，単純積算温度は 1,346～1,615℃，出芽から定植までに要する日数は 52～79 日間，単純積算温度は 847～1,155℃であった．定植から収穫および出芽から収穫まではともに日数の逆数である発育速度（DVR）（ d^{-1} ）を日平均気温 T の関数として直線（定植から収穫： $DVR=0.00086T-0.003$ 出芽日から収穫： $0.00146T-0.00703$ ）で表すことができ，決定係数は定植からは $R^2=0.7225$ ，出芽からは $R^2=0.7663$ となった（第 3-2-3 図）．外気温データでは，単純積算温度は 847～1155℃であった．ユリ栽培施設内は設定温度 10℃で加温する．そこで外気温データのうち最低下限温度を設定し 8℃から 1℃毎に 13℃まで最低温度を補正した積算温度との関係を第 3 表に示した．定植から収穫までの標準偏差は 10℃で 92.4，11℃で 91.8 と小さくなった．変動係数は 8℃で 11.2，9℃で 9.4，10℃で 8.2，11℃で 7.6，12℃で 7.6，13℃で 7.9 となった．変動係数は下限値 10℃以上において 9%以下となり相対的に差が小さくなった．出芽からの標準偏差は 8℃，9℃，10℃でそれぞれ 53.2，48.9，54.8 と小さくなり，変動係数は 9℃で 7.0，10℃で 7.4 と差が小さくなった．標準偏差と変動係数から，日平均気温の 10℃以下を 10℃で補正し収穫日までの積算温度を算出し収穫予測パラメータとした結果，定植日からは 1,131℃，出芽時からは 745℃となった．

また，定植および出芽から収穫までに要した日数の逆数を発育速度とした DVR 値と栽培期間中の下限値を 10℃以下 10℃で下限値を設定した場合，DVR 値と栽培期間中の施設内実測値の日平均気温は一次式（定植から収穫

: $DVR = 0.00071T + 0.002$ 出芽日から収穫: $0.00161T - 0.00294$) で表すことができ、決定係数は定植からは $R^2 = 0.6496$ 、出芽時からは $R^2 = 0.8376$ となった (第 3-2-4 図)。

晩生品種‘プチブラン’の到花日数と積算温度の関係について‘プチブラン’の定植日および出芽日から収穫までに要する日数と積算温度の関係について第 2 表に示した。産地、収穫期が同じ球根を冷蔵および氷温貯蔵し用いた場合、栽培時期により定植および出芽から収穫までに要する日数は 79～120 日間、積算温度は 1,351～1,848℃であった。出芽から定植までに要する日数は 56～88 日間、単純積算温度は 1001～1240℃であった。定植から収穫および出芽から収穫まではともに日数の逆数である発育速度 (DVR) (d^{-1}) を日平均気温 T の関数として直線 (定植から収穫: $DVR = 0.00074T - 0.00204$ 出芽日から収穫: $0.00142T - 0.00789$) で表すことができ、決定係数は定植からは $R^2 = 0.5562$ 、出芽からは $R^2 = 0.8511$ となった (第 3-2-5 図)。外気温データでは、単純積算温度は 622～1227℃であった。ユリ栽培施設内は設定温度 10℃で加温する。そこで外気温データのうち最低下限温度を設定し 8℃から 1℃毎に 13℃まで最低温度を補正した積算温度との関係を第 3 表に示した。定植から収穫までの標準偏差は 9℃で 117.9, 10℃で 115.9 と小さくなった。変動係数は 8℃で 11.9, 9℃で 10.2, 10℃で 9.4, 11℃で 9.3, 12℃で 9.4, 13℃で 9.7 となった。変動係数は下限値 10℃から 13℃において 10%以下となり相対的に差が小さくなった。出芽からの標準偏差は 8℃, 9℃, 10℃でそれぞれ 51.4, 46.1, 53.5 と小さくなり、変動係数は 9℃で 6.0

，10℃で6.5と差が小さくなった．標準偏差と変動係数から，日平均気温の10℃以下を10℃で補正し収穫日までの積算温度を算出し収穫予測パラメータとした結果，定植日からは1,231℃，出芽時からは824℃となった．

また，定植および出芽から収穫までに要した日数の逆数を発育速度としたDVR値と栽培期間中の下限値を10℃補正した日平均気温は一次式（定植から収穫： $DVR = 0.0007 + 0.0015$ 出芽から収穫： $0.0016T - 0.0042$ ）で表すことができ，決定係数は定植からは $R^2 = 0.4007$ ，出芽時からは $R^2 = 0.8457$ となった（第3-2-6図）．

考察

農業気象データを活用した日平均気温による収穫日予測において，本試験では山口県育成小輪系ユリの‘プチソレイユ’と‘プチブラン’の栽培特性と貯蔵方法の異なる球根を異なる時期に定植し，それぞれ定植からの収穫日数と施設内気温および農研機構メッシュ農業気象データシステムの気温データとの関係を調査し，簡易で普遍性のある収穫予測式を開発し，実証した．冷蔵貯蔵および氷温度貯蔵処理を行った‘プチソレイユ’と‘プチブラン’の球根を2021年9月28日から2022年2月15日まで約2週間間隔で定植した．‘プチソレイユ’では9月から翌2月定植までの作型について，定植日から収穫日までの日数によるハウス内実測値の積算温度は，平均値 $1,517^{\circ}\text{C} \pm 104^{\circ}\text{C}$ で，変動係数は6.9であった．農研機構メッシュ農業気象データの日平均気温を用いた定植日から収穫日までの単純積算温度は， $795^{\circ}\text{C} \pm 180^{\circ}\text{C}$ で，変動係数は22.6であった．有効積算温度法による発育モデルにおいては有効下限温度を用いることが一般的で，トルコギキョウの収

穫予測モデル（福田ら，2023）においても有効下限温度を用いて収穫日を予測している．本研究においても，農研機構メッシュ農業気象データの日平均気温をそのまま用いた場合，収穫日予測は信頼性に欠けた．そこで，下限値を 8℃から 1℃ごとに 13℃まで設定し，各栽培期間中の積算温度を比較すると，‘プチソレイユ’および‘プチブラン’において 10℃が適すると推察された．この理由として暖房温度を 10℃に設定しているため，施設内気温と外気温の日平均気温の比較において，外気温が 10℃以下となる 11 月下旬から 2 月中旬においても施設内気温は 10℃以上を確保できたためと考える（第 3-2-1 図）．そこで，まず施設内実測値において，両品種において栽培データを基に発育と温度の関係について回帰分析を行った結果，定植から収穫および出芽から収穫に要した日数の逆数である DVR を目的変数，日平均気温を説明変数とした線形モデルを適用できた（第 3-2-2 図）．トルコギキョウで収穫予測に用いた有効積算温度法（福田ら，2023）により，外気温データから下限値を 10℃に設定し栽培データを基に発育と温度の関係について回帰分析を行った結果，定植から収穫および出芽から収穫に要した日数の逆数である DVR を目的変数，日平均気温を説明変数とした線形モデルを実測値同様に適用できた（第 3-2-3，3-2-4 図）．さらに，決定係数において定植からは‘プチソレイユ’および‘プチブラン’でそれぞれ 0.64 と 0.40，出芽からは 0.83 と 0.84 となり出芽日からより高くなったことから，出芽日を起点とすることでより予測精度が上がると考えられた．品種ごとに下限温度を変えることが理想であるが，生産者のハウスは厳密な温度管理が出来ていないことや，低めの温度管理になりやすいこと，同一ハウスに異なる品種が栽培されることを考えるとシンプルなモデルが望まれる．よって最低下限温度を 10℃に補正した農研機構メッシュ農業気象データシステム気温データの積

算温度を用いて両品種とも定植日および出芽日から収穫日までを予測する
収穫日予測モデルを作成した。

第 3-2-1 表 ‘プチソレイユ’ における球根の貯蔵方法および定植日と出芽
日を起点とした施設内実測値と農業気象データの積算温度と
の関係について

貯蔵方法	定植日	出芽日	開花日	定植からの 到花日数 (日間)	単純積算温度(℃)		出芽からの 到花日数 (日間)	単純積算温度(℃)		切り花品質	
					施設内 積算温度	農業気象データ ^z 積算温度		施設内 積算温度	農業気象データ ^z 積算温度	切り花長 (cm)	輪数 (輪)
冷蔵 ^x	2021/ 9/28	2021/10/19	2021/12/11	74	1,369	1,104	53	847	641	64.7	6.3
冷蔵	2021/10/12	2021/11/ 5	2022/ 1/23	103	1,615	984	79	1,155	608	59.3	7.2
氷温 ^w	2021/10/12	2021/11/18	2022/ 2/ 2	113	1,751	1,031	76	1,082	480	62.7	6.2
冷蔵	2021/10/26	2021/11/20	2022/ 2/ 5	102	1,521	798	77	1,092	466	59.3	7
氷温	2021/10/26	2021/11/25	2022/ 2/ 9	106	1,577	812	76	1,074	437	63.5	7.1
冷蔵	2021/11/ 9	2021/12/ 3	2022/ 2/11	94	1,346	647	70	951	373	61.7	6
冷蔵	2021/11/26	2021/12/30	2022/ 3/13	107	1,523	578	73	1,046	377	59.3	6.5
氷温	2021/11/26	2022/ 1/ 2	2022/ 3/16	110	1,581	622	73	1,058	385	63.5	6
氷温(12/10解凍)	2021/12/24	2022/ 1/25	2022/ 4/ 3	100	1,474	595	68	1,031	457	69.5	6
氷温(12/22解凍)	2021/12/24	2022/ 2/ 5	2022/ 4/ 5	102	1,509	617	59	912	438	70.8	6.2
氷温	2022/ 1/21	2022/ 2/28	2022/ 4/23	92	1,462	780	54	936	557	66.2	6.7
氷温	2022/ 2/15	2022/ 3/20	2022/ 5/11	85	1,476	971	52	973	703	56.4	5.6
日平均気温積算値平均(℃)					1,517	795		1013	494		
標準偏差					104.0	180.0		85.5	104.7		
変動係数					6.9	22.6		8.4	21.2		

^z 「農研機構メッシュ農業気象データ(The Agro-Meteorological Grid Square Data, NARO)」を使用

^x 冷蔵貯蔵:2021 年 6 月 25 日から 7 月 19 日まで 15℃で貯蔵後,7 月 19 日から定植日まで 5℃で貯蔵

^w 氷温貯蔵:2021 年 6 月 25 日から 7 月 19 日まで 15℃で貯蔵後,7 月 19 日から 9 月 28 日まで 5℃で貯蔵し,9 月 28 日から定植 1 週間前まで-2℃で貯蔵後,再び定植まで 5℃で貯蔵

第 3-2-2 表 ‘プチブラン’ における球根の貯蔵方法および定植日と出芽日を起点とした施設内実測値と農業気象データの積算温度との関係について

貯蔵方法	定植日	出芽時	開花日	定植からの 到花日数	単純積算温度(℃)		出芽からの 到花日数	単純積算温度(℃)	
					施設内 積算温度	農業気象データ ^z 積算温度		施設内 積算温度	農業気象データ ^z 積算温度
冷蔵 ^x	2021/ 9/28	2021/10/24	2022/1/ 3	97	1,689	1,227	71	1,099	723
冷蔵	2021/10/12	2021/11/20	2022/2/ 9	120	1,848	1,055	81	1,148	507
氷温 ^w	2021/10/12	2021/11/15	2022/2/ 2	113	1,751	1,031	79	1,130	535
冷蔵	2021/10/26	2021/11/23	2022/2/19	116	1,716	855	88	1,240	528
氷温	2021/10/26	2021/11/28	2022/2/23	120	1,771	860	87	1,226	500
冷蔵	2021/11/ 9	2021/12/12	2022/2/27	110	1,570	658	77	1,082	404
氷温	2021/11/ 9	2021/12/14	2022/3/ 9	94	1,716	722	85	1,201	456
冷蔵	2021/11/26	2022/ 1/ 5	2022/3/16	110	1,581	622	70	1,015	379
氷温	2021/11/26	2022/ 1/ 2	2022/3/24	118	1,703	694	81	1,181	466
氷温	2021/12/24	2022/ 1/25	2022/4/13	110	1,662	742	78	1,219	584
氷温	2022/ 1/21	2022/ 2/26	2022/4/25	94	1,498	813	58	1,001	598
氷温	2022/ 2/15	2022/ 3/10	2022/5/ 5	79	1,351	863	56	1,020	677
日平均気温積算値平均(℃)					1,655	845		1,130	530
標準偏差					129.3	173.2		82.8	98.3
変動係数					7.8	20.5		7.3	18.6

^z 「農研機構メッシュ農業気象データ(The Agro-Meteorological Grid Square Data, NARO)」を使用

^x 冷蔵貯蔵:2021 年 6 月 25 日から 7 月 19 日まで 15℃で貯蔵後,7 月 19 日から定植日まで 5℃で貯蔵

^w 氷温貯蔵:2021 年 6 月 25 日から 7 月 19 日まで 15℃で貯蔵後,7 月 19 日から 9 月 28 日まで 5℃で貯蔵し,9 月 28 日から定植 1 週間前まで-2℃で貯蔵後,再び定植まで 5℃で貯蔵

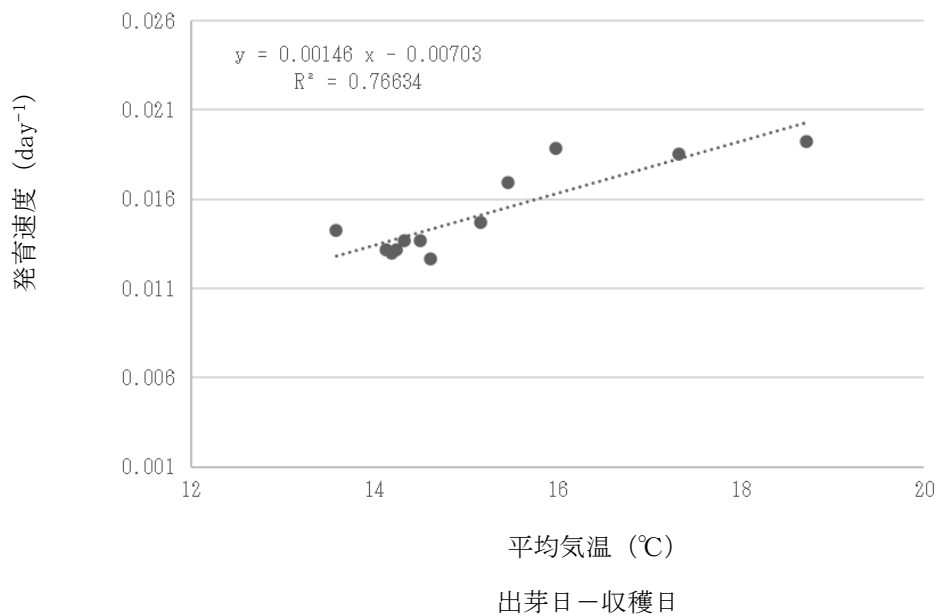
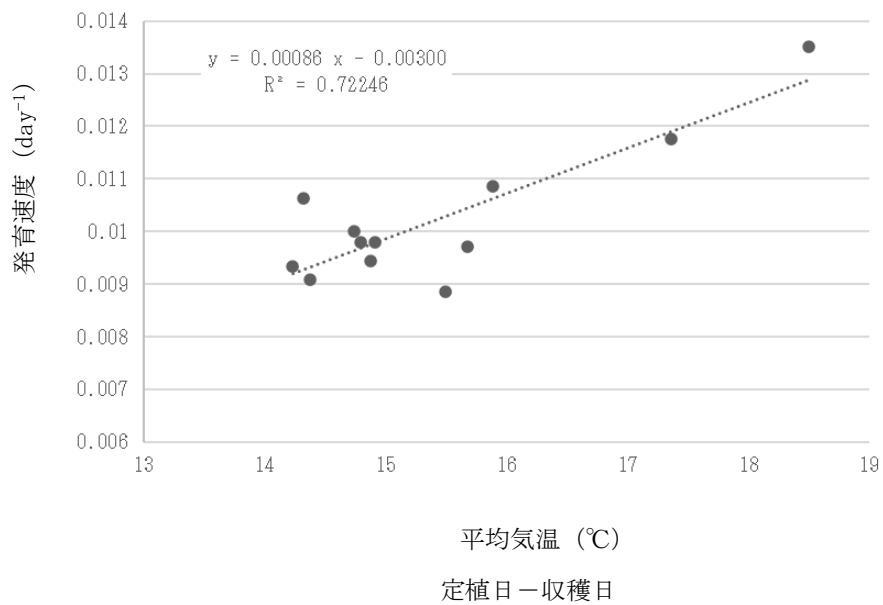
第 3-2-3 表 農業気象データを用いた積算温度と下限設定温度との関係

品種	下限設定温度 (℃)	定植日から収穫日			出芽日から収穫日		
		積算温度 ^z (℃)	標準偏差	変動係数	積算温度 ^z (℃)	標準偏差	変動係数
プチソレイユ	13℃	1358.0	107.8	7.9	910.9	103.9	11.4
	12℃	1278.2	97.1	7.6	853.1	85.5	10.0
	11℃	1202.8	91.8	7.6	797.7	68.6	8.6
	10℃	1131.4	92.4	8.2	745.3	54.8	7.4
	9℃	1065.4	99.8	9.4	696.6	48.9	7.0
	8℃	1003.9	112.3	11.2	650.9	53.2	8.2
プチブラン	13℃	1486.1	144.7	9.7	1018.3	107.9	10.6
	12℃	1396.6	131.1	9.4	951.4	88.2	9.3
	11℃	1311.9	122.2	9.3	886.6	69.5	7.8
	10℃	1231.2	115.9	9.4	824.3	53.5	6.5
	9℃	1156.8	117.9	10.2	765.4	46.1	6.0
	8℃	1087.1	128.9	11.9	709.5	51.4	7.2

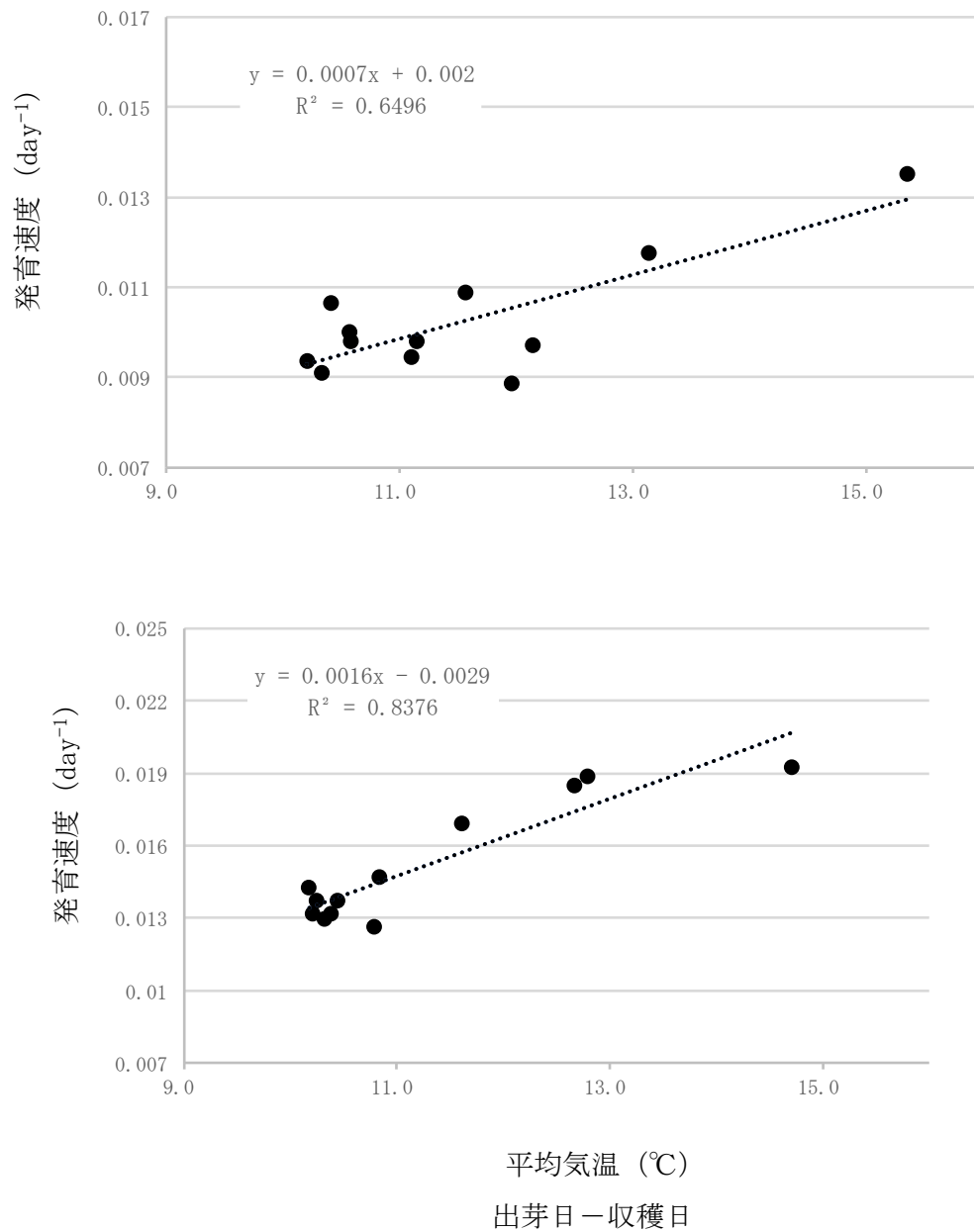
2021 年 9 月 28 日から 2022 年 2 月 15 日に計 8 回定植し収穫した農業気象データの日平均気温から下限値を 8℃から 13℃まで 1℃毎に設定

栽培地：山口市柳井市新庄

^z 農研機構メッシュ農業気象データシステム日平均気温データを使用

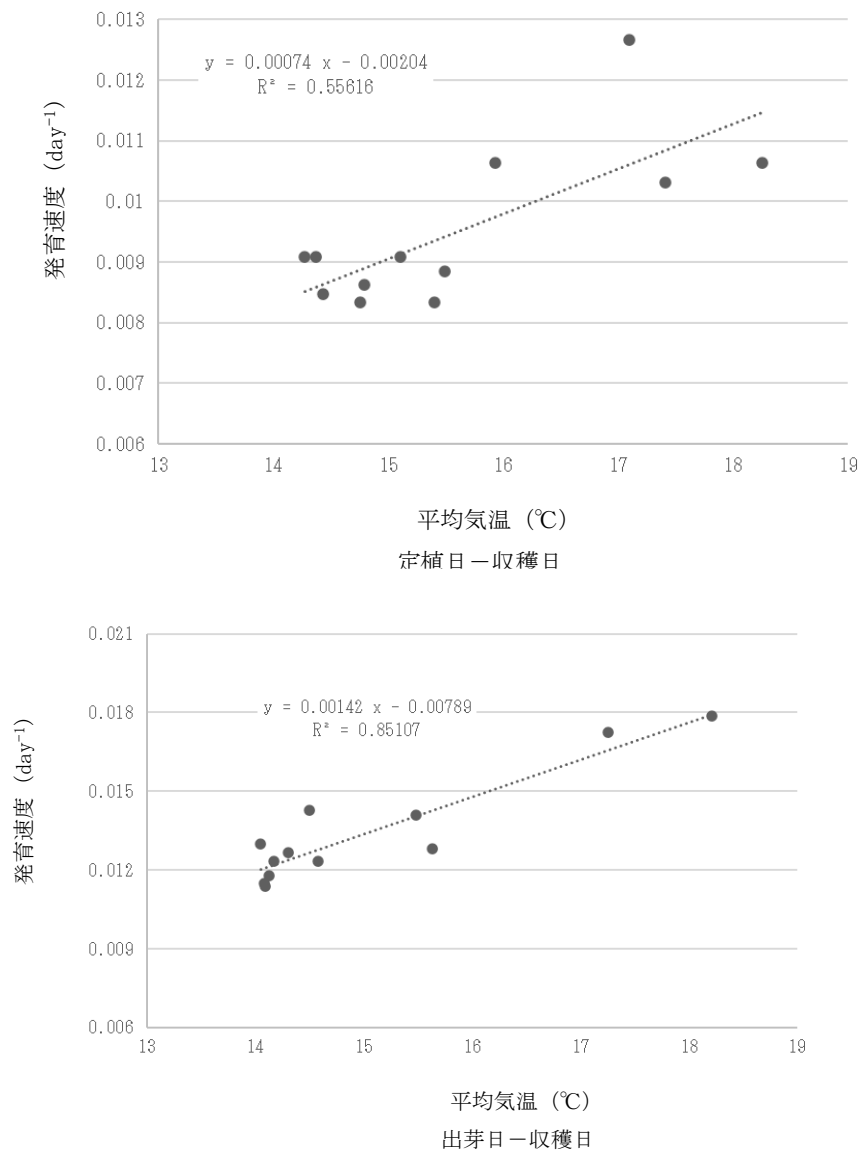


第 3-2-1 図 小輪系ユリ ‘プチソレイユ’ の単純日平均気温と発育速度 DVR との関係



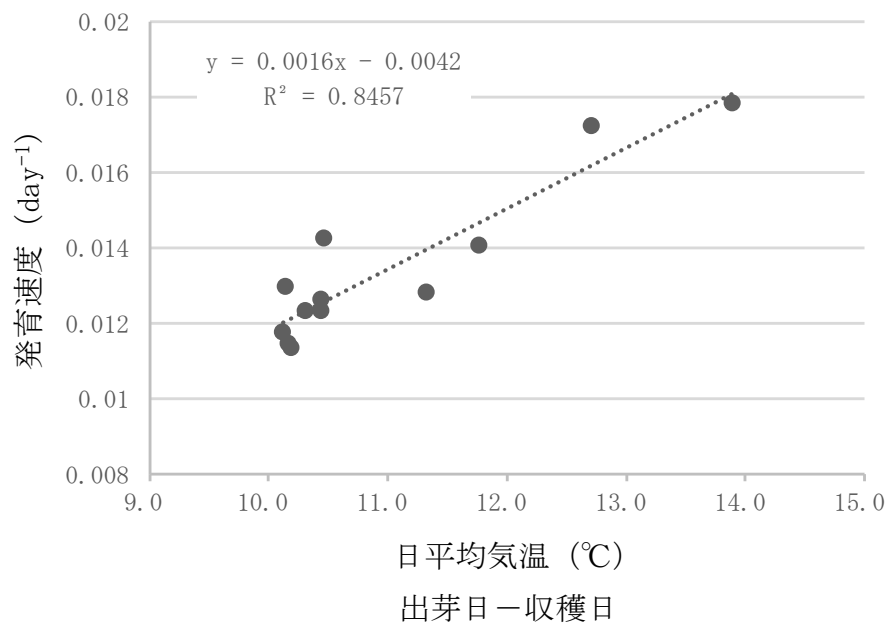
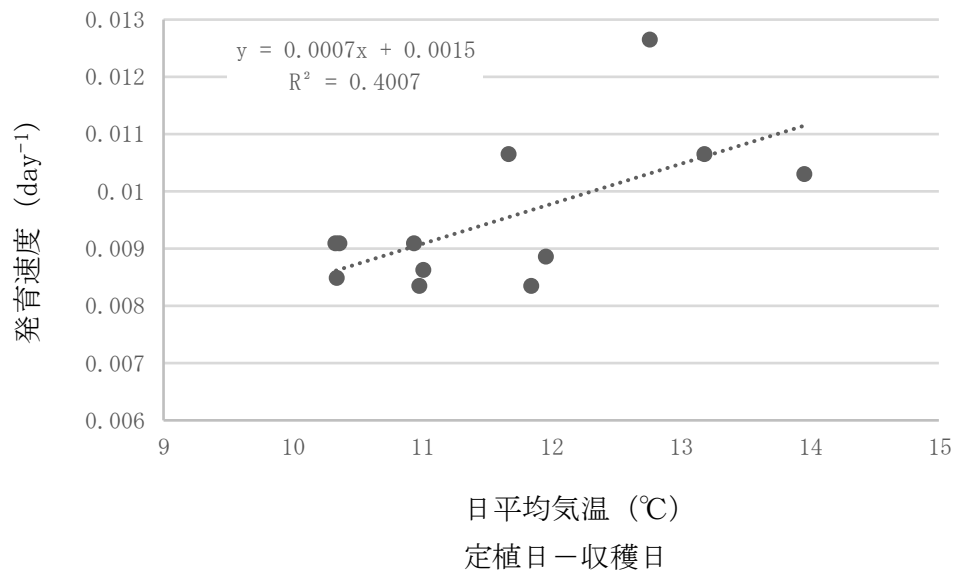
第 3-2-2 図 小輪系ユリ ‘プチソレイユ’ の単純日平均気温と発育速度 DVR
との関係

日平均気温はメッシュ農業気象データ 10℃以下を 10℃補正



第 3-2-3 図 小輪系ユリ ‘プチブラン’ の単純日平均気温と発育速度 DVR
との関係

平均気温は施設内実測値使用



第 3-2-4 図 小輪系ユリ ‘プチブラン’ の単純日平均気温と発育速度 DVR
との関係

日平均気温はメッシュ農業気象データ 10℃以下を 10℃補正

第 3 節 気象データを用いた現地実証

栽培データを用いた収穫予測モデルの検証 について，収穫予測モデルの汎用性を検証するため‘プチソレイユ’を用いて山口県下関市六連島（緯度 33.97，経度 130.87 地点）における収穫日の実測値と予測値の差（日数）を比較した．栽培期間の積算気温を算出するため，山口県下関市六連島の緯度 33.97，経度 130.87 地点の栽培時における農業気象データの外気温を取得した．栽培は 2018 年 6 月掘り上げ後，15℃で 2 週間予備冷蔵処理し-2℃で氷温貯蔵した球根と 2019 年 6 月掘り上げ後 15℃で 2 週間予備冷蔵処理し定植日まで 5℃で冷蔵貯蔵した球根を 2019 年 8 月 27 日に，2020 年 6 月掘り上げ後冷蔵貯蔵した球根を 9 月 26 日に，2021 年 6 月掘り上げ後冷蔵貯蔵した球根を 11 月 5 日に定植し，暖房設定温度 10℃で栽培した．出芽および収穫の定義は 1.2）と同様とした．

結果

現地実証圃の栽培年次別の平均気温は変動があり，特に 2021 年は 9 月から 10 月にかけて高温の傾向があった（第 3-1 図）．収穫日予測モデルを用いて，算出した収穫予測日と，実証圃の収穫日を比較した結果，定植日からの誤差は-13～0 日，出芽日からの誤差は-2～4 日であった．1 年間以上氷温貯蔵した球根を用いた 2019 年 8 月 27 日では，定植から出芽までの期間が短く，定植日から算出した収穫予測値より実測値が 13 日短くなった．しかしながら，出芽日から算出した予測値と実測値は 2 日となり誤差は小さくなっ

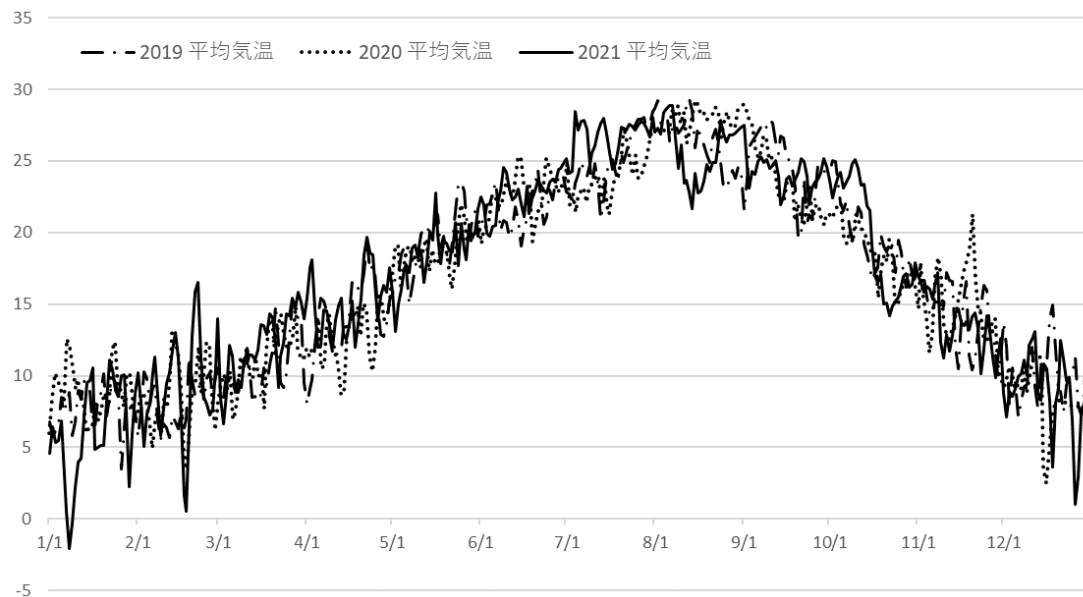
た（第 3-1 表）。

考察

栽培実証においては，過去に栽培した現地の調査栽培データを用いて，メッシュ農業気象データによる積算温度から算出した収穫予測日と，実際の収穫日を比較した．定植日から算出した予測日との誤差は-13～0 日，出芽日からの予測日との誤差は-2～4 日であった．定植日から収穫予測日との誤差が大きくなった栽培条件は氷温貯蔵期間が 1 年間以上の球根を用いた下関市六連島の 2019 年 8 月 27 日定植であった．しかしながら，出芽日から算出した予測値と実測値は 2 日となり誤差は小さくなった．一般に流通しているユリ球根は輸入球根が 80%を占め北半球と南半球で気候に合わせて栽培し掘上げ時期をかえることで氷温貯蔵期間を約 8 か月間以内に限定し品質安定を図っている（吉田・山本，2006）．しかし，山口県育成小輪系ユリは掘り上げ時期は 7 月のみの年 1 回であり，最長で約 1 年間氷温貯蔵する．周年栽培では，球根の貯蔵状況や期間が栽培日数に与える影響は大きい（今西ら，2006）ことから，今回開発したモデルにおいて，定植日から収穫予測する場合，定植日から出芽日までは，球根の貯蔵方法や期間によって変動することから収穫日予測への誤差が大きくなったと考える．

収穫日予測モデルでは，農業メッシュ気象データの活用により，施設内気温を使用せず，栽培地点毎の栽培期間の平均気温を取得し，収穫予測モデルにあてはめ収穫日を予測することが可能になった．これは，施設栽培におい

て汎用性があり，有益な結果であると考える．今後は，球根貯蔵方法や期間による定植から出芽までの日数を予測できるモデルを開発できれば，定植日からの予測もより精度が高まるものと考える．



第 3-3-1 図 現地実証圃の年次別日平均気温の推移

下関市六連島（北緯：33.96 東経：130.86 地点）のメッシュ農業
 気象データ 2019 年から 2021 年の日平均気温使用

第 3-3-1 表 現地実証圃での収穫予測モデルを活用した収穫予測日と
実測収穫日の比較

球根貯蔵方法	定植日	出芽時	収穫盛期 ^z	定植日から収穫日		出芽時から収穫日	
				収穫予測日 ^y	誤差(日)	収穫予測日	誤差(日)
冷蔵	2019/8/27	2019/9/11	2019/10/16	2019/10/16	0	2019/10/16	0
氷温	2019/8/27	2019/9/3	2019/10/3	2019/10/16	-13	2019/10/5	-2
冷蔵	2020/9/26	2020/10/10	2020/11/28	2020/12/2	-4	2020/11/24	4
冷蔵	2021/11/5	2021/12/1	2022/2/15	2022/2/16	-1	2022/2/12	3

栽培地点：下関市六連島 栽培品種：‘プチソレイユ’

^z 出荷盛期はカメラ画像および出荷量より判断した

^y 開発した収穫予測モデルを使用し，出荷盛期と開花予測日と比較した

第 4 章 画像診断方法の検討

近年農業分野において、画像を用いた作物群落のモニタリングや解析への AI 技術の応用が急速に進んでおり、深層学習等を用いた画像の自動解析が目視による判断に代わる有用な手法になる可能性を有している。作物群落モニタリングの重要な目的の 1 つが生育予測のための生育評価である。生育モデルと連携することで、生育予測に基づいて栽培・収穫作業の適切な計画を立てることが可能となり、生産の安定化が期待できる。これまでに、山口県育成小輪系ユリを対象に、作物群落の画像（以下、栽培画像）による生育ステージ判別に取り組み、栽培画像からの茎頂部の自動抽出と生育ステージ分類の可能性を示している。本研究では、蕾の生育ステージのより詳細な解析に向け、真上から撮影された栽培画像から切り出した小区画画像を用いて茎頂の蕾長推定が可能かを調査した。上部から撮影した作物群落の画像（以下、栽培画像）を利用した生育ステージ判断に取り組み、栽培画像からの植物体の自動抽出と生育ステージ分類が可能であることを示した。さらに、生育モデルの構築に向け、いつ出芽したかを推定するのに必要な情報を取得することを目的に、栽培画像に写っている出芽株を自動で検出し、出芽長の推定が可能であることを調査した。

第 1 節 蕾長の推定方法

やまぐちオリジナルユリの群落を上部から捉えた栽培画像から、深層学習手法の 1 つであるセマンティックセグメンテーションを用いて茎頂部のみを抽出できる可能性が示されている。また、抽出された茎頂部の画像を CNN 分類学習により数段階の生育ステージに分類できる可能性も示唆されている。本研究では、さらなる詳細な生育ステージ判断に係る解析として CNN

回帰モデルを利用したユリの蕾長の数値推定を行った．蕾の生育ステージのより詳細な解析に向け，真上から撮影された栽培画像から切り出した小区画画像を用いて茎頂の蕾長推定が可能かを調査した．

材料および方法

供試材料には，山口県花き振興センターで栽培された山口県育成小輪系ユリ（‘プチソレイユ’）を使用した．群落を捉えた栽培画像は，空間解像度約 $0.5 \text{ mm pixel}^{-1}$ になるように群落の真上から撮影した．CNN 回帰モデルを利用した蕾長の推定については，5 層の畳み込み層，4 層のプーリング層で構成された，回帰層を含むネットワークを利用した．小区画画像は，複数の茎頂部が写っている解像度 $2560 \times 1920 \text{ pixel}$ の画像から，画像処理ソフト ImageJ を用いて，茎頂部を中心に $250 \times 250 \text{ pixel}$ でクロップし， $125 \times 125 \text{ pixel}$ にリサイズし，1684 枚の小区画画像を得た．そして，画像間の色味の違いを補正するために，ホワイトバランス調整を行った．ホワイトバランス調整は，技術計算言語 MATLAB（MathWorks, R2022B）の自動ホワイトバランス調整の関数を用いて画像の色を調整した．学習モデルの評価には，データセットを複数のグループに分割し，1つのグループが評価用データ，残りが学習用データで構成されるサブセットについて学習・評価を行う流れをグループの数の分だけ繰り返す k-fold クロスバリデーションを利用した．今回は，先述の MATLAB を使用し，小区画画像と対応する蕾長の数値がセットになった 1684 のデータセットを 10 のグループに分割し，各サブセットについて学習および評価を行った．データセットのすべての画像について推定値を取得し，正解値と推定値について二乗平均平方根誤差（Root Mean Squared

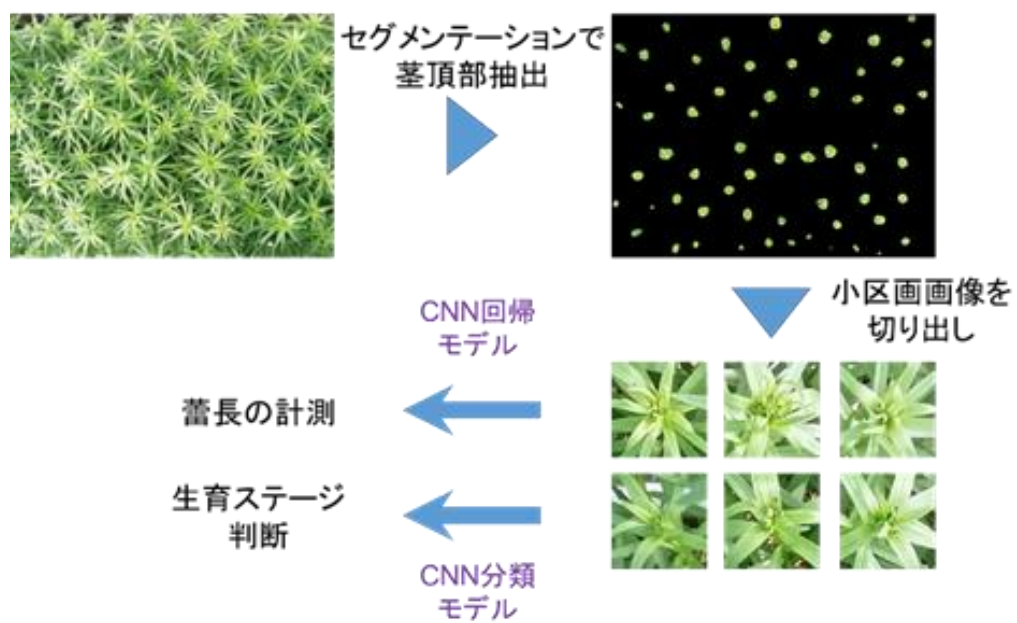
Error, 以下 RMSE) と平均絶対パーセント誤差 (Mean Absolute Percentage Error, 以下 MAPE) の指標を用いて学習モデルの精度の評価を行った.

また, 生育ステージ評価の上で重要なのは, 蕾長が 0 ~ 1.5 cm の茎頂部を抽出することであるので, 茎頂が 1.5cm 未満と 1.5cm 以上の 2 分類で, 正しく分類されるかも評価した.

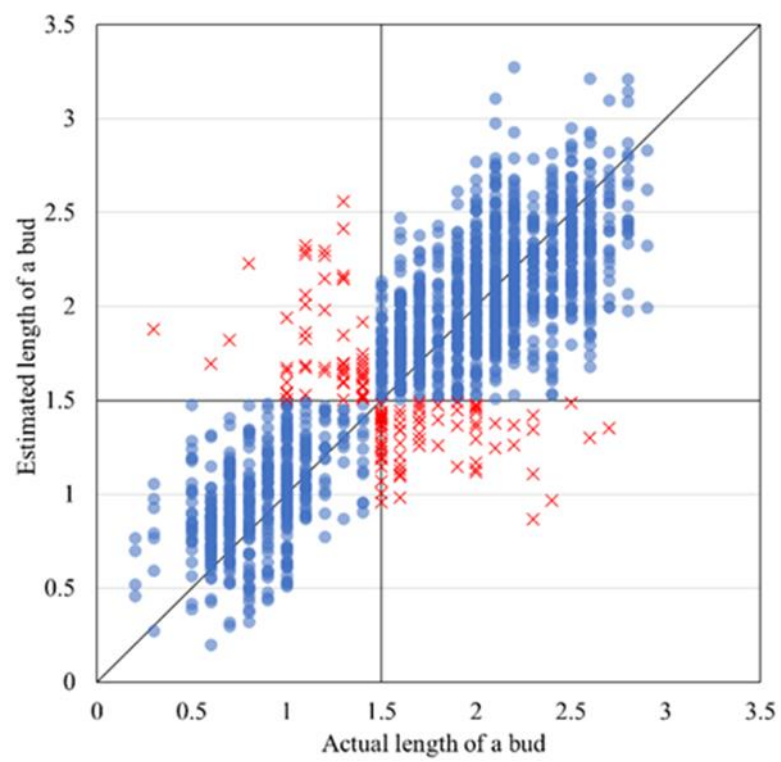
結果および考察

ユリの生育ステージ評価法の概要を第 4-1-1 図に示す. やまぐちオリジナルユリの群落を上部から捉えた栽培画像から、深層学習手法の 1 つであるセマンティックセグメンテーションを用いて茎頂部のみを抽出できる可能性が示された. 先行研究により、やまぐちオリジナルユリの群落を上部から捉えた栽培画像から、深層学習手法の 1 つであるセマンティックセグメンテーションを用いて茎頂部のみを抽出できる可能性が示されている。茎頂部の蕾長の正解値と, CNN 回帰モデルによって得られた推定値の関係を第 4-1-2 図に示す. 蕾長 1.5 cm を基準に, 正解値が 1.5 cm 未満で推定値が 1.5 cm 以上, 正解値が 1.5 cm 以上で推定値が 1.5 cm 未満の画像のプロットを×で示し, それ以外のプロットを●で示している. RMSE と MAPE は, 0.35 cm, 20 % となった. ある程度正解値に近い推定値を得ることができたが, 正解値と推定値の誤差が大きい画像も存在した. 推定精度の向上に向け, それら推定誤差が大きくなった画像に関して, その特徴を明らかにする必要がある. 次に, 蕾長 1.5 cm を基準とした各小区画画像の分類結果を表す混同行列を第 4-1-1 表に, 各混同行列における分類精度の指標となる正解率, 再現率, 適合率, F 値を第 4-1-2 表に示す. 第 4-1-1 表より, 蕾長 1.5 cm を基準に多くの小区画画像が正しく分類されており, 正しく分類できた画像数を全体の画像数で

除した分類精度も 0.91 と，高い精度で分類することができた．しかし，1.5 cm 未満の蕾長画像の再現率は 1.5 cm 以上の蕾長画像の再現率よりも低くなっており，プロットをみても，1.5 cm 未満において，過大評価の傾向が認められた．この原因についても，過大評価された画像に関して調査を行う必要がある．



第 4-1-1 図 ユリ生育ステージ評価法の概要



第 4-1-2 図 茎頂部の蕾長の正解値と CNN 回帰モデルによって
得られた推定値の関係

第2節 YOLOによる出芽長の検出およびCNN回帰モデルによる出芽長の推定

栽培画像内の各株の出芽長を推定するためには、まず栽培画像内の出芽株を抽出し、その後1株毎に出芽長を推定する必要がある。そのため、全体的な流れとして、深層学習を活用した物体検出手法の1つであるYOLO

(YOLOv2)を用い、栽培画像内の出芽株を検出し、その後、CNN回帰モデルを利用し、出芽長を推定するフローを構築した(第4-2-1図)。本研究では、栽培画像内の出芽株を検出するYOLO、そして出芽長を推定するCNN回帰モデルそれぞれについて、どの程度の精度で推定できるかを調査するとともに、2つの学習モデルを用いた、栽培画像全体としての出芽長の分布評価を行った。

材料および方法

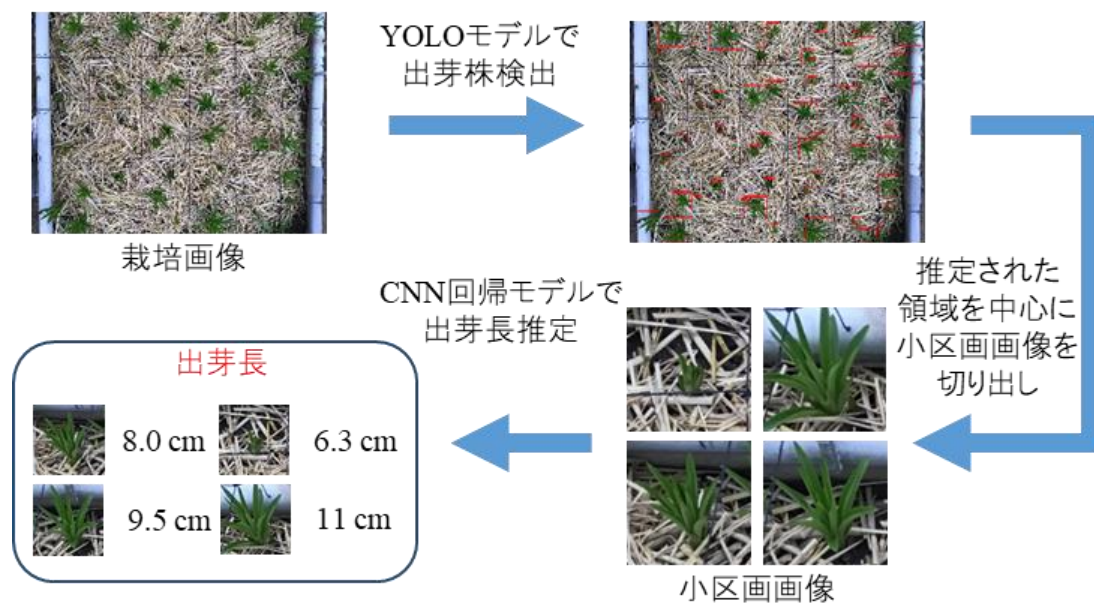
出芽長の推定方法において、供試材料は、山口県花き振興センターの施設内で栽培された山口県育成少輪系ユリを使用した。ここで用いる栽培画像は、解像度が約0.02 cm pixel⁻¹であり、1つの栽培画像に約20～40の出芽株が含まれている。次に、YOLOによる出芽長の検出およびCNN回帰モデルによる出芽長の推定において、出芽株の検出を行うYOLOでは、まず、学習に用いる栽培画像内のすべての出芽株に対して、短形のアノテーションを付した。学習用画像については、48枚の栽培画像で2984の出芽株、評価用画像については、8枚の画像で621の出芽株であった。評価用画像に対してYOLOを適用し、出芽株の検出の精度を評価した。出芽長を推定するCNN回帰モデルでは、25枚の栽培画像から、出芽長を実測した出芽株を中心に300×300 pixelでトリミングした小区画画像とそれぞれの出芽長がセットに

なった計696のデータを用意し、k-fold交差検証の手法を用い、全ての画像に対して評価値を取得し、出芽長の推定において、CNN回帰モデルが手法として適切であるかを評価した。そして、小区画画像ではなく、栽培画像としての出芽長の評価を行うために、出芽長が判明している出芽株が写っている8枚の栽培画像から、YOLOを用いて出芽株の検出を行い、検出された出芽株を中心に小区画画像をトリミングし、評価に用いていない画像で学習したCNN回帰モデルを用いて出芽長を推定し、推定された出芽長全てに対して度数分布を作成し、正解の度数分布との比較を行った。

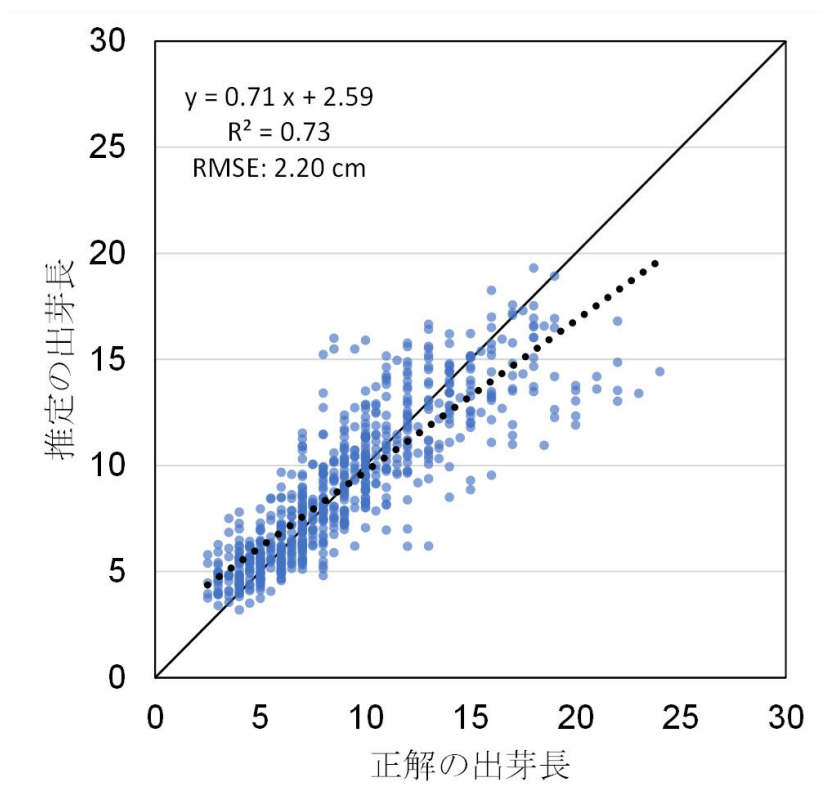
結果および考察

YOLO を用いた出芽株検出においては、検出漏れの少なさを表す指標である再現率の値が 0.95、誤検出の少なさを表す指標である適合率の値が 0.99 となった。誤検出数は少なかったが、検出漏れが画像によっては散見され、特に生育の進んでいない小さい出芽株を検出できていない傾向が見られたため、学習データの更なる拡充が必要であると考えられる。k-fold 交差検証を用いた CNN 回帰モデルの精度については、全体的には正解値に近い出芽長を推定することができた（第 4-2-2 図）。しかし、出芽長が 10 cm 以上の画像においては、大まかな傾向は捉えることができているものの、推定誤差が大きくなっている。目視の判断においても、生育が進んで葉が広がり始めると、上から見た画像から出芽長の大小を推定することが難しくなるため、回帰モデルの学習においても、画像から抽出した特徴とその出芽長を学習するのが困難であったと考えられる。栽培画像全体の評価として算出した、評価用画像から推定された出芽長の度数分布においては、全体的に正解の度数分布と似たような分布となり、YOLO による出芽株の検出および CNN 回帰モ

デルによる出芽長推定のフローが栽培画像を用いた出芽評価において有効である可能性が示唆された。



第 4-2-1 図 CNN 回帰モデルを利用した出芽長の推定の概要



第 4-2-2 図 k-fold 交差検証を用いた CNN 回帰モデルの精度

第4節 出荷予測モデルの実用化

山口県育成小輪系ユリの生産振興のため、球根の長期貯蔵技術を開発し、周年切り花生産に取り組み、定植日から収穫までの日数を栽培環境や品種特性に応じて予測した。第3章により、メッシュ農業気象データを活用し、施設内の気温を取得された外気温からかなり正確に栽培時期に合わせて予測できるよう、山口県育成小輪系ユリ「プチシリーズ」の生育特性の異なる早生品種「プチソレイユ」および晩生品種「プチブラン」を供試し、農業気象データシステムの外気温データを用いて栽培地毎および栽培時期毎の収穫日予測モデルの開発を目指した結果を活用した。予測のパラメータはメッシュ農業気象データ日平均気温積算温度の10℃以下を10℃に補正した気温データを活用し、積算温度を収穫時期として算出する方法を用いた。産地全体の出荷量の予測を行うため、Excelを用いて、収穫予測ツールを開発した。これにより、産地全体の収穫予測が簡易に可能になり、有利販売や施設利用計画へ活用できるようになった。

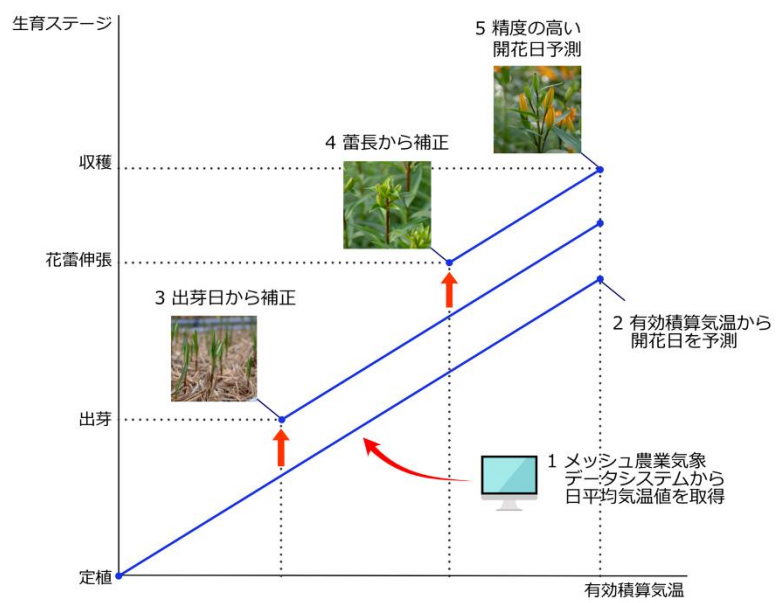
材料および方法

メッシュ農業気象データを活用した、早生品種「プチソレイユ」の日平均気温の10℃以下を10℃で補正し収穫日までの積算温度を算出し収穫予測パラメータとした結果、定植日からは1,131℃、出芽時からは745℃となった。晩生品種「プチブラン」は、定植日からは1,231℃、出芽時からは824℃となった。定植日および出芽日から日平均気温積算温度により、収穫予測を実施した。メッシュ農業気象データは栽培地点の緯度と経度を入力することで、平年値の取得を実施できるようシステムに組み込んだ。収穫日を収穫最

盛期とし、春夏期は前後 4 日間、秋冬期は前後 7 日間で定植球数の 80%が収穫できるとし、設定した。収穫率と収穫時期は手動訂正も可能とした。

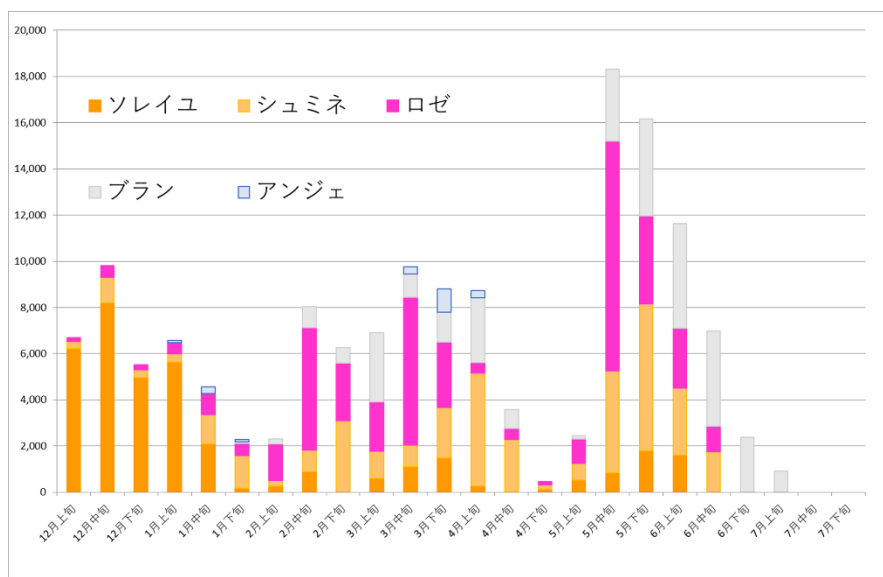
結果および考察

基礎データに生産者の名前、栽培地点の緯度・経度と定植品種、球数、定植日、出芽日、出荷率を入力することで、メッシュ農業気象データから日平均気温を取得し、10℃以下は10℃に補正し積算温度をパラメータに早生品種‘プチソレイユ’は、定植日からは1,131℃、出芽時から745℃、晩生品種‘プチブラン’は、定植日からは1,231℃、出芽時から824℃で収穫予測が実行される。定植日は、今後の予定日の入力においてもメッシュ農業気象データは平年値の値が取得できるため、結果の算出は可能である。これにより産地全体における、周年の出荷予測のグラフが作成でき、関係機関と情報共有が可能になり、有利販売が実現できた。また、生産者においては、計画生産・計画出荷の指標となり、県内の他産地との品種および収穫時期の平準化に活用できる。収穫予測モデルにより、県内全域を対象とした周年安定栽培が実現できる。



第 4-1 図 画像を用いた収穫予測

番号	氏名	品種	定植日	定植日→予測 到花日①	気温修正→予測 到花日②	収穫始め①	収穫終わり①	出芽日	実測温度と予測 温度による 到花日②	収穫始め②	収穫終わり②
20	末永花園	ソレイユ	2023/10/6	2023/12/16	2023/12/12	2023/12/2	2023/12/22	2023/10/22	2023/12/15	2023/12/5	2023/12/25
↑ 入力 平年値より予測 実測値より予測											
番号	生産者	品種	定植日	定植日→予測 到花日①	気温修正→予測 到花日②	収穫始め①	収穫終わり①	出芽日	出芽日→予測 到花日③	収穫始め②	収穫終わり②
1	石光 照彦	ロゼ	2023/9/25	2023/12/24	2023/12/20	2023/12/10	2023/12/30				
2	石光 照彦	シュミネ	2023/9/25	2023/12/24	2023/12/20	2023/12/10	2023/12/30				
3	太田 光洋	ソレイユ	2023/12/22	2024/4/3	2024/4/2	2024/3/24	2024/4/11				
4	太田 光洋	ロゼ	2024/2/6	2024/5/16	2024/5/16	2024/5/10	2024/5/21				
5	太田 光洋	ブラン	2024/2/6	2024/5/17	2024/5/16	2024/5/11	2024/5/22				
6	清重 一男	ブラン	2023/11/23	2024/3/25	2024/3/24	2024/3/14	2024/4/3	2023/12/15	2024/3/6	2024/2/25	2024/3/16
7	清重 一男	ロゼ	2023/11/23	2024/3/24	2024/3/23	2024/3/13	2024/4/2	2023/12/15	2024/3/3	2024/2/22	2024/3/13
8	清重 一男	ソレイユ	2023/11/13	2024/2/21	2024/2/21	2024/2/11	2024/3/2	2023/12/11	2024/2/23	2024/2/13	2024/3/4
9	清重 一男	ロゼ	2023/11/13	2024/3/12	2024/3/11	2024/3/1	2024/3/21	2023/12/11	2024/2/28	2024/2/18	2024/3/9
10	清重 一男	シュミネ	2023/11/23	2024/3/24	2024/3/23	2024/3/13	2024/4/2	2023/12/15	2024/3/3	2024/2/22	2024/3/13



第 4-2 図 収穫予測ツールを用いた収穫予測

総 括

山口県育成小輪系ユリの早生品種‘プチソレイユ’および晩生品種‘プチブラン’を異なる球根養成地で養成し氷温貯蔵前の冷蔵処理が貯蔵前後のシュートの伸長および切り花形質へ与える影響について検討した。掘り上げ直後の球根内シュート長は、球根養成地で差が見られた。冷蔵処理後のシュート長は、両品種とも、15℃および5℃の冷蔵処理期間が長くなるほど伸長した。‘プチソレイユ’では、球根養成地の気温によりシュート長と切り花形質、商品化率に差がみられた。‘プチブラン’では、定植時のシュート長が長いほど切り花重の値が高く、商品化率が高くなった。8月定植10月出荷作型において、両品種とも冷蔵処理によりシュート長1.3 cm程度に伸長させた球根に長期氷温貯蔵を行うことで、商品化率が高い切り花生産が可能となった。

山口県育成小輪系ユリ「プチシリーズ」の特性の異なる早生品種‘プチソレイユ’および晩生品種‘プチブラン’を用いて、栽培施設内気温データの日平均気温積算温度と農業気象データシステムの外気温データから発育速度（DVR）と平均気温との関係を検討した。定植日から収穫日、出芽日から収穫日とDVRは単純な線形モデルが適応可能であり、出芽日からにおいて決定係数が高くなった。試験の目的は農業気象データシステムの外気温データを使用して収穫予測モデルを作成することである。そのため外気温データにおいても異なる作型において積算温度を算出し平均値を求めた。外気温データをそのまま使用した場合、変動係数が大きく、信頼性が欠

けた．そこで，10℃以下は10℃とし‘プチソレイユ’で1,131℃，‘プチブラン’で1,231℃を収穫予測パラメータとした．この予測モデルを用いた現地実証の予測誤差は最大で13日となった．収穫誤差が大きくなる要因は発芽日までの期間であることが判明したため，発芽日から予測すると誤差は最大4日と小さくなり，より精度の高い予測が可能になった．

また，深層学習等を用いた画像の自動解析が目視による判断に代わる有用な手法になる可能性を有しており作物群落モニタリングの重要な目的の1つが生育予測のための生育評価となっている．収穫予測と連携することで，生育予測に基づいて栽培・収穫作業の適切な計画を立てることが可能となり，生産の安定化が期待できる．これまでに，山口県育成小輪系ユリを対象に，作物群落の画像（以下，栽培画像）による生育ステージ判別に取り組み，栽培画像からの茎頂部の自動抽出と生育ステージ分類の可能性を示している．さらに蕾の生育ステージのより詳細な解析に向け，真上から撮影された栽培画像から切り出した小区画画像を用いて茎頂の蕾長推定が可能かを検討し，上部から撮影した栽培画像を利用した生育ステージ判断に取り組み，栽培画像からの植物体の自動抽出と生育ステージ分類が可能となった．さらに，生育モデルの構築に向け，いつ出芽したかを推定するのに必要な情報を取得することを目的に，栽培画像に写っている出芽株を自動で検出し，出芽長の推定が可能であるかについても検討し，YOLOによる出芽株の検出およびCNN回帰モデルによる出芽長推定のフローが栽培画像を用いた出芽評価において有効である可能性が示唆された．

これらの研究を生産振興に活かすため、出荷予測ツールの開発を行い、栽培地点毎の農業気象データシステムの外気温データを自動で取得し、定植日および出芽日を入力することで、収穫予測が可能になり、現在は計画生産と計画出荷に活用されている。

今後、花き生産現場においては、労働人口の減少や生産コストの上昇に対応する省力低コスト栽培技術や、オリジナル品目等による特色のある品目の有利販売が経営安定には重要視され则认为。国内で養成した球根を使用することで、安定した種苗供給を実現し、それらの球根を用いた収穫予測技術を確立したことは、さらなる産地振興の一助になると考える。さらに最新の画像診断技術を収穫予測ツールに組み込むことができれば、簡易に収穫予測が可能になる。

現在これらの技術が活用され、山口県内において、種苗の原々種および原種の養成および原種を用いた、県内優良企業である株式会社花の海において露地での大型機械を活用した球根養成が行われている。また掘り上げ後の球根に関しては、山口県花卉園芸農業協同組合の委託により、株式会社花の海や美祢社会復帰促進センターにおいて球根調整や長期氷温貯蔵を実施し、切花生産者への球根供給を行っている。

山口県育成小輪系ユリ「プチシリーズ」の産地振興に、これらの技術が積極的に組み込まれ、産地が拡大することを期待する。

謝 辞

本論文を取りまとめるにあたり，岡山大学大学院環境生命科学研究科教授の後藤丹十郎博士には，終始懇切丁寧なご指導とご高閲を賜った．後藤先生には，筆者が社会人として試験研究に携わり，入学を相談した当初から親身になってご指摘，ご助言と激励のお言葉を数多くいただいた．心より感謝申し上げる．また，本研究の遂行にあたり岡山大学大学院環境生命科学研究科助教授の北村嘉那博士，同教授の吉田裕一博士（現 名誉教授）同教授の安場健一郎博士，同助教授の元木航博士，同講師の遠藤みのり博士には貴重なご助言とご鞭撻を賜り，感謝申し上げる．

これらの研究を行うにあたり球根養成地で球根養成を担っていただいた，北海道の亀屋農場，青森県の岩木農場，山口県の農事組合法人松屋の方々をはじめ現地実証圃の下関市六連島の植村恵介氏には多大なるご協力とご支援をいただき厚く感謝する．実験補助および圃場管理を行っていた山口県農林総合技術センター花き振興センターの職員の方々，生産現場から見た有益なご助言ならびにご指示を数多くいただいたオリジナルユリ振興協議会の方々には心より感謝の意を表する．また，山口大学大学院創成科学研究科の荊木康臣博士をはじめ木村元紀氏，鳥取大学大学院連合農学研究科の植木朋実氏には収穫予測に関する画像診断において共同研究者として多大なるご協力とご支援をいただいた．心より感謝申し上げます．

本研究は筆者が山口県農林総合技術センター花き振興センターおよび山口県柳井農林水産事務所農業部に勤務しつつ，岡山大学大学院環境生命科学学科に在籍して実施した．社会人としての大学在籍にあたり，元山口県農

林総合技術センター花き振興センター長の村上正徳氏ならびに山口県柳井農林水産事務所農業部長橋本明彦氏には寛大なご配慮をしていただいた。ここに厚く感謝の意を表す。

山口県農林総合技術センター農業技術部花き振興センター前所長石光昭彦氏（現 退職），長い間山口県小輪系ユリの研究の先駆者であり，一緒に研究に取り組んできた光永拓司所長，尾関仁志専門研究員（現 山口県農林総合技術センター企画戦略部），藤田淳史専門研究員，林孝晴研究員（現 萩農林水産事務所）をはじめ花き振興センターの方々には，本研究に取り組むにあたり研究員としての心構えや研究および栽培の進め方について多大なご指導とご鞭撻をいただいた。これまで私が研究に従事できたのも花き振興センターの方々のおかげである。また，岡山大学大学院環境生命科学研究科作物開花制御学研究室の皆様には温かい激励をいただいた。厚く感謝する。

最後に，岡山大学大学院環境生命科学研究科への在籍や本論文を取りまとめるにあたり、応援し，協力してくれた夫 賢巳，娘 志穂里，息子 泰士と両親に心から感謝する。

引用文献

- 浅野昭・高城誠志・本図竹司. 2000. オリエンタル系ユリの球根養成と切り花栽培に関する研究. 茨城農総セ園研報. 8: 2-42.
- 榎並晃. 2006. 球根の増殖と生産. p.49-66. 今西英雄編著. ユリをつくりこなすー開花調節と高品質栽培の実際ー. 農文協. 東京.
- 福光優子・篠原裕尚・光永拓司・藤田淳史・尾関仁志. 2012. 小輪系ユリ「プチソレイユ」の長期安定生産技術. 山口農技センター研報. 3: 38-45.
- 今西英雄・水本幸一・清水玲子・小池安比古. 2006. オリエンタル系ユリ「カサブランカ」の長期氷温貯蔵耐性に及ぼす予冷温度と期間の影響. 園学雑. 75 (別 2): 365.
- Kok, H. , H. van Aanholt and H. Gude. 2004. Sugar content of lily sprouts(measured as‘Brix’)as aparameter for freezing injury in lily bulbs grown in different climates. Abstract of IXth International Symposium on Flower Bulbs. P.9.
- 三浦孝雄・勝木謙蔵・岡崎幸吉・深井尚也・鈴木武. 1984. ミチノクヒメユリの開花調節に関する生理生態的研究. 山形園試特報. 第 1 報 1: 131.
- 野間晴雄. 1978. 野生ユリの栽培化から球根商品化への過程ー 鹿児島県甕島と沖永良部島の比較ー. 人文地理. 30: 19-34.
- 尾関仁志・光永拓司・藤田淳史・松本哲朗. 2010. 小輪系ユリ「プチフレーズ」, 「プチブラン」, 「プチルナ」および「プチロゼ」の育成. 山口農センター研報. 1: 37-45.
- 尾関仁志・光永拓司・山本雄慈・松本理. 2003. 小輪系ユリ「プチソレイユ」の育成. 山口農試研報. 54:43-46.

- 酒井悠太・斎藤由理恵・今西英雄. 2022. オリエンタル系ユリ‘カサブランカ’の抑制栽培でみられる障害発生と氷温貯蔵前温度および期間との関係. 園学研. 21:57-63.
- 高野恵子・二宮千登志・笹岡伸仁. 2002. ‘カサブランカ’の輸入凍結貯蔵球の解凍・芽出し方法と定植時期が切り花品質に及ぼす影響. 園学研. 1:275-278.
- 常見譲史・瀬下利夫・峯岸長利・古口光夫. 1997. オリエンタル系ハイブリットユリの葉焼け症の発生要因と対策. 園学雑. 66(別 1) 472-473.
- 吉田光毅・豊原憲子・山本史哉. 2006. オリエンタル系ユリ品種の球根品質に対する氷温帯での貯蔵条件の影響. 大成建設技術センター報. 39: 43.
- 吉田光毅・山本史哉. 2006. 球根の貯蔵技術と流通の現状. p.67-88. 今西英雄編著. ユリをつくりこなす― 開花調節と高品質栽培の実際―. 農文協. 東京.
- 福光優子・尾関仁志・北村嘉邦・後藤丹十郎. 2025. 山口県育成小輪系ユリ「プチシリーズ」における国内養成地および長期氷温貯蔵前の球根の冷蔵処理が切り花形質へ与える影響. 園学研. 24 (1) : 37-44.
- 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. 農研機構研究報. 2019巻1 : 43-46
- 福田直子・牛尾亜由子・岩崎勇次郎・寺田吉徳・佐藤憲二郎・宮本賢二・嶋津光鑑・都丈志・狩野敦. 2023. 発蕾日を起点としたトルコギキョウ切り花の収穫日予測と計画生産技術. 園学研. 22 (2) : 173-182.
- 高野恵子. 2009. オリエンタル系ユリの暖地における高品質切り花生産技術

の確立．高知県農業技術センター特別研究報．8：1-61

大野宏之・佐々木華織．2017．メッシュ農業気象データ利用マニュアル
（2017 年版）．農業環境変動研究センター．

農研機構メッシュ農業気象データ（The Agro-Meteorological Grid Square
Data, NARO）．

〈<http://www.naro.affrc.go.jp/karc/contents/files/manual.pdf>〉

大川清．1989．日本自生ユリの花芽分化期について．園学研．57

（4）:655-661

WAGRI の公式ウェブサイト（<https://wagri.naro.go.jp>）（農研機構・野菜
花き研究部門 佐藤文生）