

近中四農研資
Misc.Pub.NARO West.
Reg.Agric.Res.Cent.

MISCELLANEOUS PUBLICATION OF
NARO WESTERN REGION AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

No.12 March 2016

近畿中国四国農業研究センター研究資料

第12号 平成28年3月



近畿中国四国農業研究センター

NARO WESTERN REGION AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

近畿中国四国農業研究センター研究資料

第12号

所長 竹中重仁

編集委員会

委員長	水町功子	
委員	中野正明	笹倉修司
	船附秀行	亀井雅浩
	佐藤隆徳	山本直幸
	尾島一史	富岡啓介
	猿田正恭	畔柳武司
	伊藤陽子	大島一修
	濱崎洋好	

MISCELLANEOUS PUBLICATION OF
NARO WESTERN REGION AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

No.12

Shigehito TAKENAKA, Director General

EDITORIAL BOARD

Koko MIZUMACHI, Chairman

Masaaki NAKANO

Hideyuki FUNATSUKI

Takanori SATO

Kazushi OJIMA

Masayasu SARUTA

Yoko ITO

Hiroshi HAMASAKI

Shuji SASAKURA

Masahiro KAMEI

Naoyuki YAMAMOTO

Keisuke TOMIOKA

Takeshi KUROYANAGI

Kazunaga OSHIMA

(NARO : National Agriculture and Food Research Organization)

近畿中国四国農業研究センター研究資料

第12号

(平成28年 3月)

目 次

ヤーコン (<i>Smallanthus sonchifolius</i> (Poepp. & Endl.) H. Robinson) の早掘り栽培に関する研究 杉浦 誠	1
ヤーコン (<i>Smallanthus sonchifolius</i> (Poepp. & Endl.) H. Robinson) 「アンデスの乙女」の生育期における特性と他の品種および系統との 類似性に関する調査 杉浦 誠・矢野孝喜	29
栽培管理・営農の高度化に資する精密メッシュ気温データの作成 植山秀紀	39

MISCELLANEOUS PUBLICATION OF
NARO WESTERN REGION
AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

No.12 March 2016

CONTENTS

Studies on Some Cultivation Methods for Early Harvesting of Yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i> (Poepp. & Endl.) H. Robinson) Makoto SUGIURA	1
Researches on Morphological Characteristics of A Yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i> (Poepp. & Endl.) H. Robinson) Cultivar 'Andesu no otome' and Similarities with Those of Other Cultivars and Lines during each Growth Makoto SUGIURA and Takayoshi YANO	29
Precise Meteorological Grid Data of Daily Air Temperature for Advanced Managements in Agriculture Hideki UYAMA	39

ヤーコンの早掘り栽培に関する研究

杉浦 誠

Key words : 早掘り, 塊根, 栽培, 収量, ヤーコン

目 次

I 緒 言	1	V 植付け時期の前進による霜の影響	14
II 植付け方法とマルチ処理の影響	3	1 材料および方法	14
1 材料および方法	3	2 結果および考察	16
2 結果および考察	5	VI 導入系統の早掘り栽培適性	18
III 栽植密度の影響	8	1 材料および方法	18
1 材料および方法	8	2 結果および考察	19
2 結果および考察	9	VII 総合考察	21
IV 苗に用いた種球重の影響	12	VIII 摘 要	22
1 材料および方法	12	引用文献	23
2 結果および考察	12	Summary	26

I 緒 言

ヤーコン (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. &

Endl.) H. Robinson) は、アンデス地方原産のキク科の多年生草本 (写真1) で、地下部に塊茎と塊根ができる^{1, 6, 25)}。塊茎には芽が多数存在し、翌年の種いも (種球) として30 g程度に分割して利用



写真1 ヤーコンの生育状況 (左) および掘り取り株 (右)

注) 1991年11月。掘り取り株にあるメジャーは1 m。

する。塊根には芽がないが、食用として利用されている。また、塊根には成分として直鎖状のイヌリン型のフラクトオリゴ糖が多く含まれており、その他の糖類としてフルクトース、グルコース、スクロースが含まれているがイヌリンはないことが明らかとなっている²¹⁾。フラクトオリゴ糖は低カロリーで甘みがあり、腸内細菌叢の改善や低う蝕性などを有する⁷⁾機能性成分であり、塊根中には乾物重あたり約80%含まれている¹⁾。このため、ヤーコンは機能性食品に利用されている。ヤーコンの栽培は、1984年にペルーA群系統¹⁶⁾が国内に導入されてから各地で行われているが、国内の作付面積は非常に小さい^{3, 4, 17)}。この理由として、①利用方法や調理方法が普及していないため、消費が伸びていないこと、②現在の消費が小さいため市場が確立されていないこと、③亀裂のある塊根の発生率が高く、外観品質の良い塊根の生産ができていないこと、④年間を通じた安定供給ができていないこと、⑤園芸作物として特徴ある品種がないことが考えられている。これに対し、農研機構近畿中国四国農業研究センター(以下近中四農研)では、「サラダオトメ」³³⁾、「アンデスの雪」⁵⁾、「サラダオカメ」⁵⁾および「アンデスの乙女」³⁴⁾を育成し、併せてヤーコン料理集などを作成して利用方法や栽培方法の普及に努めている。育成品種は亀裂のある塊根の発生が少なく、これらの普及は、商品価値の高いヤーコンの生産には有効である。

ヤーコンの生育には、日平均気温は25℃以下が適していると考えられている¹¹⁾。暑さに弱いため、生育は夏が冷涼な地域に適しており、関東以北の東北地方や北海道、温暖地の中山間部での栽培が多い^{17, 32, 39)}。一般に普及している作期では、栽培農家は晩霜の心配がなくなった4月下旬から5月頃に20から30g程度の種球を畑に直播し、11月以降の霜が降りて地上部が枯れる頃に塊根を収穫して、主に100g以上の塊根を販売する。このため、現在の販売では、収穫が始まる11月頃から、その後貯蔵を行っても6月までしか塊根を出荷できず、販売者から要望があがっている周年供給ができないため、新たな生産体系や貯蔵方法の確立が求められている。

栽培方法に関しては、菅野¹²⁾の栽培に関する報告に始まり、月橋らは、塊根の収量に対する、最適

な栽植密度⁴²⁾、マルチの効果⁴³⁾、栽培方法(種球の直播と苗の定植)の影響⁴⁴⁾、窒素とカリの施肥量の影響⁴⁵⁾、種球の植付け時期の影響⁴⁶⁾、種球の大きさの影響⁴⁷⁾、うねの作り方の影響⁴⁸⁾および除草回数の影響⁴⁹⁾、生育と塊根収量に及ぼす追肥の効果⁵⁰⁾、連作の影響⁵¹⁾、種球の植付け深さの生育と塊根収量に及ぼす影響⁵²⁾に関して報告し、小木曾ら^{19, 20)}は生育に及ぼす栽植密度や施肥量の影響に関して報告している。近中四農研においても、小野・林²²⁾や亀野ら¹⁰⁾が生育特性の調査を行い、また、筆者らは、地上部が枯れた12月における塊根収量は、株あたり3から4kg得られたこと³⁹⁾、塊根重と地上部重との間に相関があること³⁸⁾、また、根の肥大は日長の影響を受けないこと²⁸⁾を報告した。これらの結果を参考に国内の各地で独自の栽培方法が確立され、栽培が行われるようになったが、これまでの研究は地上部が低温により枯れる時期での収穫を目的とした研究であったことから、それ以外の時期における収穫に関しては検討されていない。また、塊根を周年供給するために必要な貯蔵方法についての研究は少なく^{2, 6, 25)}、長期貯蔵に関しては研究されていない。1992年の試験⁴⁰⁾において、苗を香川県にある近中四農研の圃場に4月16日に定植することにより、株あたりの塊根重は7月下旬に約1kg収穫でき、冬の収穫時期に亀裂のある塊根が多発するペルーA群においても、8月上旬までは塊根に亀裂がほとんどなく、皮色が白くきれいな塊根が収穫できたことを報告した。このことは、夏季に亀裂が少なく、外観品質の高い塊根を生産できることを示しており、市場から要望の高い夏季以降の塊根の供給が可能であることを示している。このため、ヤーコンの栽培方法の一つとして、夏季に塊根を収穫する新たな栽培方法が考えられ、この栽培方法を「早掘り栽培」とし、作型は、近中四農研で株あたりの塊根重の増加が8月中旬から9月にかけてみられなかったこと^{32, 39)}から、春に植付け、収穫期を8月上旬までとした。

本報告では、早掘り栽培方法の確立のための研究として、Ⅱ章において、苗の定植(移植栽培)および種球の植付け(直播栽培)方法とマルチ処理の影響について、Ⅲ章において、栽植密度の影響について、Ⅳ章において、定植する苗に使用する種球重の

影響について、V章において、作期を前進した場合における霜の生育に及ぼす影響について、およびVI章において、品種育成のために導入した系統の早掘り栽培適性について試験研究を実施したので、ここに報告する。

II 植付け方法とマルチ処理の影響

瀧田・中西は、株あたりの塊根重は植物の生育とともに増加し、苗の4月定植は5月定植よりも地上部が大きく、塊根収量も多くなり、また、地上部重と塊根収量には相関関係があったことを報告している^{38, 39, 40)}。そのことから、塊根収量をあげるためには、地上部を大きくすることが重要であることを指摘している。早掘り栽培においては、生育期間が短くなることから、収穫までに地上部を大きくするためには、できるだけ生育期間を延ばし、地上部を早く大きくする栽培方法が必要であると考えられる。種球の萌芽および発根の適温は25℃程度と考えられている²⁶⁾。圃場における生育初期は気温が低いことから、萌芽や生育が緩慢となるため、この時期の生育促進方法を検討する必要がある。菅野¹²⁾は、群馬県での栽培においてマルチの効果を検討し、5月15日に直播することにより、10月25日の株あたりの塊根重は無マルチ区よりマルチ区が重かったことを報告した。また、月橋ら⁴⁴⁾は、茨城県での栽培において黒色ポリマルチを使用することで、黒色ポリマルチの地上部の生育促進効果を報告した。このように、マルチ栽培は塊根収量を増加させたことから、早掘り栽培においても塊根収量を増加させる効果が期待できるが、早掘り栽培に対するマルチ処理の効果は調べられていない。また、種球ではなく挿し木苗を用いたポット苗の移植栽培は、種球の植付け栽培より塊根収量が高かった^{39, 40)}ことから、移植栽培も早掘り栽培には効果的な栽培方法であると考えられた。

そこで、本章では、植付け方法およびマルチの効果を検討した。

1 材料および方法

試験は、1994年に近中四農研で保有するペルーA群を供試して、近中四農研（香川県善通寺市、以下、

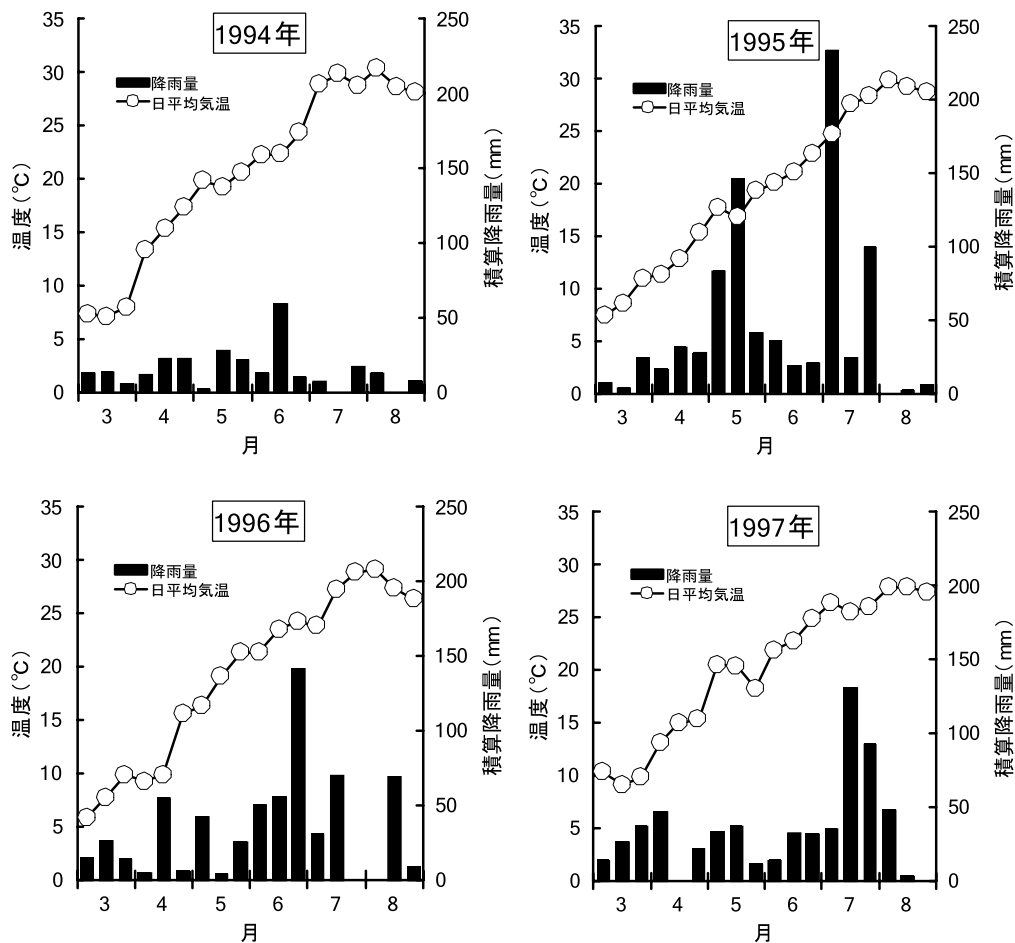
試験実施場所はすべて同じ）内の灰色低地土の圃場で実施した。試験区は、ポット苗を定植した定植区と種球を圃場に直播した直播区に、それぞれマルチ処理の有無を組み合わせた合計4区（以下、試験区を「植付け方法・マルチ処理の有無区」と表し、「定植・マルチ区」、「定植・無マルチ区」、「直播・マルチ区」、「直播・無マルチ区」）を設けた。マルチ区は、半円形の畝（畝の高さは約0.2m）に厚さ0.03mmのシルバーストライプの入った黒色ポリマルチを張った試験区で、無マルチ区はマルチを張っていない区とした。4月13日に、それぞれの区でポット苗の定植および直播を行った。種球には、前年12月に収穫した株から分割し、5℃で保存した塊茎（新鮮重30から40g）を使用した。2月24日に、種球を直径9cmの黒ビニールポットに植付け、定植日まで温室で育苗し、地上部の節数が4から5で、茎数が1本のポット苗を試験に使用した。マルチ処理は4月13日から5月25日（植付け後42日目）まで行った。栽植密度は畝間1.2m、株間0.5m（㎡あたり1.67株）とした。試験区の面積はそれぞれ26.4㎡で、3反復について乱塊法により配置した。施肥は、堆肥（1kg/㎡）、苦土石灰（100g/㎡）、化成肥料（成分量で、㎡あたり窒素、りん酸、カリそれぞれ10g、20g、20g）を定植前に行った。また、6月下旬から降雨量が少なかったため、7月12日および8月18日に畝間灌水を行った。

調査は、7月4日（植付け後82日目）、8月9日（植付け後118日目）および9月5日（植付け後145日目）に行い、生育量および塊根の糖含量を測定した。調査株数は、各試験区5株3反復、合計15株とした。植物体は地際で切断し地上部と地下部分け、地下部の茎を地下茎とし、種球は地下茎に含めた。なおここでは、最大肥大部の直径が2cm以上の根を塊根とした。調査した生育量は、地上部で他の茎から分かれて伸長していることが確認されない長さ5cm以上の茎の数（茎数）、すべての茎の地際から未展開葉までの展開葉数（葉数）、すべての地上部の茎の重さ（茎重）、すべての葉の重さ（葉重）、地下茎重、地下茎および塊茎より出ている根の数（根数）、新鮮重50g以上の塊根数および塊根重を調査した。なお、塊根の直径1cm以下の部分は切除した。また、1本以上亀裂の入った塊根を亀裂塊根、

少しでも変色，軟化および腐敗がある塊根を腐敗塊根とし，各株でのそれぞれの発生率を調査した．茎重，葉重および地下茎重は乾物重で示し，乾物重は105℃で3日間以上乾燥後測定した．

塊根の乾物率，Brixおよび糖含量の測定には，7月4日は調査時に新鮮重50g以上の塊根がない試験区があったため，新鮮重50g未満の塊根を使用し，8月9日および9月5日は調査時に新鮮重100g以上の塊根がない試験区があったため，新鮮重100g未満の塊根を使用した．糖類の抽出および測定には塊根を3から5本用い，分析は2反復実施した．塊根は皮を剥いた後切断し，そこから任意抽出した新鮮重約50gの塊根断片について，その含水率からエタノールの体積比が80% (V/V) になるように99%エタノールを加えてミキサーで磨砕した．ミキサーで磨砕したのから一部を取出し，さらに乳鉢で磨砕後，10,000×gで15分間の遠沈を行った．得られた沈澱には80%エタノールを加え，

さらに10,000×gで15分間の遠沈を2回行い，上清と沈澱に分けた．3回の遠沈操作で得られた上清は減圧堅固後，水で定容し，フルクトース，グルコース，スクロースおよびフラクトオリゴ糖の分離，定量に使用した．各種糖類の分離，定量は，Tabataら³⁵⁾ およびLampioら¹⁴⁾ の方法に準じ，液体クロマトグラフィー (HPLC: LC Module 1, Waters) およびパルス電気化学検出器 (Pulsed-ECD 464, Waters) を用いて行った．HPLCで使用したカラムは，ポリマー系アミノカラム (Asahipak NH2P-50, Shodex) で，溶離液はアセトニトリルと水の混合比が65対35 (V/V) とし，溶離液の流量は1分間に1.0mlとした．ポストカラムとして0.2Mの水酸化ナトリウム水溶液を用い，溶離液と等倍量混合させ検出器に通した．電気化学検出器のパルスポテンシャルは，E1: 0.05 V, E2: 0.65 V, E3: -0.55 Vとした．なお，フラクトオリゴ糖は糖の重合度が3から10 (GF₂からGF₉) とし，糖の重合度3から5



第1図 1994年から1997年における3月から8月の旬別の日平均気温および積算降雨量の推移

(GF₂からGF₄, 以下, GF₂₋₄)の低重合度のフラクトオリゴ糖については標準品を用い定量した。また, 重合度6から10 (GF₅からGF₉, 以下, GF₅₋₉)の高重合度のフラクトオリゴ糖の定量は, Fukaiら⁹⁾の方法に準じて行った。沈澱はイヌリンおよびデンプンの定量に用いた。イヌリンおよびデンプンの定量は, Ohyamaら²¹⁾に準じて行った。沈澱は十分に乾燥後微粉末にし, 20mlのジメチルスルホキシドと5mlの8Mの塩酸を加え, 60℃で30分間加温した。水酸化ナトリウム水溶液でpHを4から5に調整した後, 蒸留水で100mlにしてイヌリンおよびデンプンの分析の試料溶液とした。デンプンは, F-キットスターチ(バーリンガー・マンハイム山之内)を用いて定量した。イヌリンは, レゾルシン塩酸法で得られた吸光度からの定量値からデンプン含量を差し引くことにより定量した。なお, HPLCで定量した各糖含量とイヌリンおよびデンプン含量の合計を全糖含量とし, 全糖含量に対するフラクトオリゴ糖含量(GF₂₋₄とGF₅₋₉の合計)の占める割合をオリゴ糖比とした。

生育期間中の気温および降雨量は, 近中四農研内の気象観測データを使用した。統計処理はSPSS(日本IBM(株))を用い, 各調査間の有意差検定にはTukeyの検定を用い, 処理効果の検定は一元配置分散分析を行った。

2 結果および考察

栽培期間中の日平均気温および降雨量を第1図に示した。植付け時の日平均気温は15℃を超え, 7月上旬には日平均気温が25℃を超えた(第1図, 1994年)。また, 6月下旬から降雨量が少なかったため, 7月12日および8月18日に畝間灌水を行った。

直播区において, 50%の株で萌芽が確認された日は, マルチ区で4月26日(植付け後13日目), 無マルチ区で5月2日(植付け後19日目), 90%の株で萌芽が確認された日は, マルチ区で5月2日, 無マルチ区で5月7日であり, どちらもマルチ区が5から6日早かった。すべての区において7月から9月にかけて地上部の生育量は増加したが, 8月9日の調査では各区とも茎重は増加しているにもかかわらず, 葉数および葉重が減少した(第1表)。6月下旬から7月中旬まで降雨量が18mmで平年値に比べ約

第1表 植付け方法とマルチ処理試験における株あたりの茎数, 葉数, 茎重および葉重

調査日	試験区	茎数 (本)	葉数 (枚)	茎重 (gDW)	葉重 (gDW)
7月4日	定植・マルチ	5.1 a	82.1 a	36.0 a	44.0 a
	定植・無マルチ	3.1 a	52.1 ab	29.0 a	46.8 a
	直播・マルチ	4.4 a	56.5 ab	21.2 ab	39.8 a
	直播・無マルチ	4.1 a	35.9 b	9.3 b	27.5 b
8月9日	定植・マルチ	6.4 a	63.4 a	78.3 a	41.2 a
	定植・無マルチ	3.3 b	34.5 b	43.1 b	23.7 b
	直播・マルチ	4.4 b	41.5 ab	39.4 b	28.0 ab
	直播・無マルチ	3.0 b	15.5 c	16.8 c	9.6 c
9月5日	定植・マルチ	6.0 a	80.9 a	78.4 a	41.4 a
	定植・無マルチ	3.5 b	35.0 bc	50.8 b	24.3 b
	直播・マルチ	6.1 a	75.1 ab	66.3 ab	56.5 a
	直播・無マルチ	3.4 b	30.3 c	19.3 c	17.0 b
7月4日	方法	ns	ns	**	ns
	マルチ	*	ns	*	ns
	方法×マルチ	ns	ns	ns	ns
8月9日	方法	ns	ns	**	ns
	マルチ	ns	*	*	ns
	方法×マルチ	ns	ns	ns	ns
9月5日	方法	ns	ns	**	ns
	マルチ	**	**	**	**
	方法×マルチ	ns	ns	ns	ns

注) 各調査項目における異なるアルファベット文字間ではTukey法により5%水準で有意差があることを示す(n=15)。**および*は1%および5%水準で有意差もしくは有意な交互作用があることを, nsは5%水準で有意差がないことを示す。

150mm少なく, 土壌が乾燥し, 葉の萎凋および落葉が激しかったため, 8月収穫時の調査で葉数および葉重が減少したと考えられた。7月から9月収穫時にかけて, 定植区の地上部の生育量では, 7月収穫時以外, マルチ区が無マルチ区より大きく, 直播区においてもマルチ区が無マルチ区より大きく, 特に9月収穫時では1%水準で有意差が認められた。また, 茎重は植付け方法の影響が大きく, マルチ区が無マルチ区より重かった。地下部の生育量も, マルチ区が無マルチ区よりも大きい傾向であった(第2表)。地下茎重は, 8月収穫時まで「定植・マルチ区」が重かったが, 9月収穫時は「直播・マルチ区」が最も重かった。根数は, 7月から9月収穫時まで「直播・マルチ区」が最も多かったが, 塊根数および塊根重は, 本試験ではどの区においても少なかった。

第2表 植付け方法とマルチ処理試験における株あたりの地下茎重、根数、塊根数、亀裂塊根の発生率、腐敗塊根の発生率および塊根重

調査日	試験区	地下茎重 (gDW)	根数 (本)	塊根数 (本)	亀裂塊根 (%)	腐敗塊根 (%)	塊根重 (gFW)
7月4日	定植・マルチ	21.1 a	110 b	0.8 a	0.0	0.0	72 a
	定植・無マルチ	15.5 ab	132 ab	0.3 ab	0.0	0.0	16 ab
	直播・マルチ	16.3 ab	167 a	0.1 ab	0.0	0.0	7 ab
	直播・無マルチ	9.2 b	159 ab	0.0 b	—	—	0 b
8月9日	定植・マルチ	40.4 a	160 a	2.4 a	0.0	0.0	262 a
	定植・無マルチ	22.1 ab	117 b	0.8 ab	0.0	0.0	50 ab
	直播・マルチ	31.0 ab	161 a	0.6 ab	0.0	0.0	57 ab
	直播・無マルチ	9.4 b	132 ab	0.0 b	—	—	0 b
9月5日	定植・マルチ	41.4 ab	168 ab	3.4 a	0.0	14.8	288 a
	定植・無マルチ	24.3 b	147 b	0.8 ab	0.0	0.0	52 b
	直播・マルチ	56.5 a	225 a	1.9 ab	0.0	8.0	138 ab
	直播・無マルチ	17.0 b	154 ab	0.0 b	—	—	0 b
7月4日	方法	ns	**	*			*
	マルチ	*	ns	ns			ns
	方法×マルチ	ns	ns	ns			ns
8月9日	方法	ns	*	*			*
	マルチ	ns	ns	ns			ns
	方法×マルチ	ns	ns	ns			ns
9月5日	方法	ns	ns	ns			ns
	マルチ	**	**	*			**
	方法×マルチ	ns	ns	ns			ns

注) 塊根は新鮮重50 g以上の根を調査した。各調査項目における異なるアルファベット文字間ではTukey法により5%水準で有意差があることを示す (n = 15)。**および*は1%および5%水準で有意差もしくは有意な交互作用があることを、nsは5%水準で有意差がないことを示す。—: 調査個体無し。

たが、「定植・マルチ区」が多い傾向であり、9月の調査時ではマルチの効果が認められた。菅野¹²⁾は、5月15日に直播し、10月25日に収穫した場合、生育期間中に黒色マルチを使用したマルチ区と無マルチ区では地上部重に大きな差が認められなかったが、株あたりの塊根重はマルチ区が無マルチ区より大きかったことを報告した。月橋ら⁴³⁾は、ポット苗を5月19日に定植し、11月7日に収穫した場合、わらマルチ区で株あたりの塊根重が最も大きく、黒色ポリマルチ区では無マルチ区と塊根収量に差がなかったことを報告した。このように、一般に行われている栽培における11月以降の塊根収量においてはマルチ処理の効果が明らかになってはいないが、

香川県よりも涼しい環境条件の茨城県における月橋らの試験では、黒色ポリマルチ区で8月までの地上部の生育促進効果が報告されていることから、黒色ポリマルチ処理が初期生育を促進している可能性は高い。今回の結果から、植付け後42日目までのマルチ処理が、地上部および地下部の生育量を増加させたことが明らかになり、さらにポット苗を定植することにより、早掘り時までの塊根の生育が促進されることがわかった。また、9月収穫時のマルチ区において腐敗塊根が14.8%発生したが、ほとんどは根端が少し腐敗した塊根であり、本試験では亀裂塊根の発生は9月までみられなかった。

定植区では、8月と9月収穫時の塊根重に差がな

く、「直播・マルチ区」も9月収穫時の塊根数および塊根重は8月収穫時よりもそれほど増加していなかった。1992年の近中四農研での栽培³⁹⁾において、7月から9月収穫時までの塊根重の増加量が非常に小さいことを報告した。今回の結果からも、8月収穫時の塊根重の増加が小さいことが確認された。亀野ら¹¹⁾は、ヤーコンの生育には日平均気温は25℃以下が適していることを指摘している。このため、試験実施場所（善通寺市）のような温暖地では気象条件により8月から9月収穫時にかけて塊根重が増加しない可能性が高いと考えられた。

本試験において、塊根数および根数はマルチ区が無マルチ区より多い傾向であったが、同じマルチ処理間では、直播区の根数は定植区より多かったにもかかわらず、塊根数は直播区が定植区より少ない傾向であった。ヤーコンの塊根は木部肥大型の根²⁷⁾で、根には塊根、梗根および細根が存在する³⁰⁾。同じ木部肥大型の塊根であるカンショでは、幼根から細根、梗根および塊根へ発達するが、どの種類の根に発達するかは土壤水分などにより左右されやすいことが分かっている⁴¹⁾。月橋ら⁴³⁾は、わらマルチ処理により無処理区より土壤水分が保たれたため、

わらマルチ区は塊根収量が増加したことを推察した。マルチ栽培は、マルチの種類により地温の低下や上昇抑制、肥料の流亡防止の他に土壤水分の保持効果が認められている³⁶⁾。また、試験圃場は灰色低地土であり、水田としては問題がないが、畑地としては空隙が少なく、硬くなりやすい土壌である。今回の試験では、マルチ処理は植付けから5月25日までの42日間であったが、マルチ区で塊根が多かったことは、マルチ処理によって土壤水分が保持され、土壌も硬くなりにくかった結果、塊根に生長する根が多く発生した可能性が考えられた。また、定植区では、使用したポット苗は育苗時に水分を十分に与えられていたことから、ポット苗は育苗時に塊根に生長する根が多く発生していた可能性が考えられた。そのため定植区では直播区より根数が少なかったにもかかわらず塊根数が多かった可能性が考えられた。

塊根の乾物率およびBrixは、どの区においても7月収穫時に比べ8月収穫時に低下し、9月収穫時ではマルチ区が8月収穫時と変わらないもしくは増加したのに比べ、無マルチ区ではさらに低下した（第3表）。塊根内の糖類の組成に関して、すべての区

第3表 植付け方法とマルチ処理試験における塊根の乾物率、Brix、乾物重あたりの各糖含量、乾物重および新鮮重あたりの全糖含量およびオリゴ糖比

調査日	試験区	乾物率	Brix	フルクトース					全糖含量	全糖含量	オリゴ糖比
		(%)	(%)	グルコース	スクロース	GF ₂₋₄	GF ₅₋₉	(mg/gFW)			
7月4日	定植・マルチ	11.8	9.3	39	47	132	327	75	619	73.1	65.0
	定植・無マルチ	12.3	10.3	58	88	139	251	55	590	72.6	51.9
	直播・マルチ	10.3	9.0	77	131	165	282	49	703	72.4	47.0
	直播・無マルチ	14.2	11.0	61	108	176	220	47	612	86.8	43.6
8月9日	定植・マルチ	9.9	8.9	88	75	185	203	39	589	58.3	41.0
	定植・無マルチ	10.0	7.7	115	101	175	166	21	576	57.6	32.4
	直播・マルチ	9.6	8.0	80	65	211	189	17	562	53.9	36.8
	直播・無マルチ	10.2	8.4	84	70	180	202	17	554	56.5	39.7
9月5日	定植・マルチ	9.8	10.0	42	51	149	182	50	474	46.4	48.9
	定植・無マルチ	7.7	6.8	102	100	218	175	21	617	47.5	31.9
	直播・マルチ	11.0	11.7	49	43	172	261	61	587	64.5	54.9
	直播・無マルチ	9.4	7.0	51	51	180	163	23	469	44.0	40.1

注) 数値は2反復の平均で、分析には亀裂や腐敗のない塊根で、7月4日は新鮮重50g未満の塊根を使用し、8月9日および9月5日は新鮮重100g未満の塊根を使用した。GF₂₋₄：糖の重合度3から5の低重合度のフラクトオリゴ糖、GF₅₋₉：重合度6から10の高重合度のフラクトオリゴ糖、オリゴ糖比：全糖含量に対するフラクトオリゴ糖（GF₂₋₄とGF₅₋₉）の占める比率。

でデンプンおよびイヌリンは検出できなかった。8月収穫時の乾物重あたりのフルクトースおよびスクロース含量は、どの区においても7月収穫時より多く、フラクトオリゴ糖含量は少なかった。また、この時、塊根の乾物重あたりおよび新鮮重あたりの糖含量も7月収穫時に比べ減少し、オリゴ糖比も低下した。ヤーコンの塊根中にフラクトオリゴ糖が多量に存在する理由は明らかとはなっていない。フラクトオリゴ糖などのフルクタンは、短期および長期的な貯蔵炭水化物で、植物の再生や生育環境の悪化による植物へのエネルギーの補給に利用される。また、細胞の浸透圧調整による、細胞の凍結防止や水分の保持などの働きも考えられている^{18, 24)}。ヤーコンにおいて、塊根中のフラクトオリゴ糖は生育期間中での短期的な炭水化物の補給に利用されていることが指摘されている^{8, 31)}。本試験において、すべての区において7月収穫時から8月収穫時にかけて糖含量やオリゴ糖比が低下したことは、8月の降雨量が少なかったことによる土壤の乾燥や高温により、塊根においてフラクトオリゴ糖の分解が促進され、その結果、単糖類が多くなり、塊根から植物体への短期的な糖類の供給や塊根の細胞の浸透圧を高めることによる塊根での水分保持が行われている可能性が考えられた。また、9月収穫時にマルチ区が無マルチ区よりも塊根の乾物率、Brixおよびフラクトオリゴ糖含量が多かったことは、地上部や地下部の生育量がマルチ区で無マルチ区よりも大きい傾向であったことと関係しているかもしれない。

本試験の結果から、苗の定植は直播より早掘り時の塊根の生育が良いことが明らかとなった。また、生育初期のマルチ処理により、莖重、地下莖重、莖数および根数が増加し、塊根重および塊根中のフラクトオリゴ糖含量が増加した。しかし、この試験では十分な塊根収量が得られなかった。これは、この試験でのマルチ処理は5月25日までで、マルチを除去した後に土壤の乾燥や地温の上昇などにより生育の抑制が起こったことが影響したと考えられるため、今後、地温が高温になり過ぎないことを念頭において、マルチ処理期間やマルチ資材を検討することにより、土壤水分の低下および地温の上昇の抑制を促し、そのことにより地上部の生育の促進および塊根収量の増加が期待できると考えられた。

Ⅲ 栽植密度の影響

前章において、早掘り時の塊根の生育は、直播よりも苗の定植の方が促進されることが確認された。また、生育初期のマルチ処理により、地上部の生育量が大きくなり、塊根重および塊根中のフラクトオリゴ糖含量が増加した。このようにマルチ処理によってヤーコンの生育を促進させることで、早掘り栽培での株あたりの塊根収量が増加することが分かった。しかし、株あたりの塊根収量が多くても、単位面積あたりの塊根収量が多いとは限らない。そのため、単位面積あたりの塊根収量に対する栽植密度の検討が必要である。月橋ら⁴²⁾は、茨城県で4月24日に直播し、11月16日に収穫した場合、粗植区(株間0.7m, 畝間0.7m)の地上部重および株あたりおよび単位面積あたりの新鮮重100g以上の塊根重が、標準区(株間0.5m, 畝間0.7m)および密植区(株間0.3m, 畝間0.7m)より有意に多いことを報告した。小木曾ら¹⁹⁾は、愛知県で5月29日にポット苗を定植し、10月17日、11月10日および12月5日に収穫した場合、10月17日では標準区(株間0.6m, 畝間1.2m)の株あたりの新鮮重50g以上の塊根重が粗植区(株間0.8m, 畝間1.2m)および密植区(株間0.4m, 畝間1.2m)より多かったが、12月5日では粗植区の塊根重が標準区および密植区より多かったことを報告した。また、10aあたりの塊根重は10月17日の標準区が最も多かったが、11月以降は密植区が最も多くなり、m²あたり2.0から2.1株程度の時が塊根収量は最も多いことを示唆した。このように、単位面積あたりでは11月以降密植区の塊根収量が多いが、株あたりでは粗植区が多い傾向であった。しかしながら、早掘り栽培に対する栽植密度の影響は明らかとなっていない。

そこで、本章では、栽植密度の影響について検討した。

1 材料および方法

試験は、1996年に近中四農研で保有するペルーA群を供試して、近中四農研内の灰色低地土の圃場で実施した。試験区は、株間0.3, 0.5および0.7mと畝間1.0および1.2mを組み合わせて合計6区(以下、

試験区を「株間/畝間区」と表し、「30/100区」, 「50/100区」, 「70/100区」, 「30/120区」, 「50/120区」, 「70/120区」) を設けた。各試験区の栽植密度は、「30/100区」は3.33株/m², 「50/100区」は2.00株/m², 「70/100区」は1.43株/m², 「30/120区」は2.78株/m², 「50/120区」は1.67株/m², 「70/120区」は1.19株/m²である。4月9日に、厚さ0.03mmの黒色ポリマルチを張った半円形の畝(畝の高さは約0.2m)にポット苗を定植した。ポット苗に使用した種球は、前年12月に収穫した株から分割し、5℃で保存した塊茎(新鮮重15から20g)を使用した。2月13日に、種球を直径9cmの黒ビニールポットに植付け、定植日まで温室で育苗し、地上部の節数が6から7で、茎数が1から2本のポット苗を試験に使用した。マルチ処理は7月25日(植付け後107日目)まで行った。試験区の面積はそれぞれ26.4m²で、3反復について乱塊法により配置した。施肥は、堆肥(1kg/m²), 苦土石灰(100g/m²), 化成肥料(成分量でm²あたり窒素, リン酸, カリそれぞれ10g, 20g, 20g)を定植前に行った。

調査は7月29日(植付け後111日目)に行い、生育量および塊根の糖含量を測定した。調査株数は、各試験区5株3反復、合計15株とした。調査項目、調査方法、塊根の糖含量の測定、統計処理は、II章の方法に従い行った。なお、最長茎長は地上部の茎の中で長さが最も大きい茎で、茎の長さは地際より

茎頂の未展開葉のある節までの長さとした。調査した塊根は新鮮重100g以上の根とした。また、塊根の糖含量の測定は新鮮重100から200gまでの亀裂や腐敗のない塊根を使用し、一回の測定には塊根を5本用い、3反復行った。

2 結果および考察

栽培期間中の気温は、7月上旬が平年値に比べやや低く、日平均気温が25℃を超えたのは7月中旬以降であり、それ以降は収穫日までほぼ平年並みに高かった(第1図, 1996年)。降雨量は6月が249mmで平年値の1.5倍多く、7月下旬は降雨がなかった。

本試験では、植物体は収穫調査日まで順調に成育し、塊根も亀裂や腐敗の発生が少なかった(写真2)。株あたりの茎数、葉数、茎重および葉重は、各畝間では株間が0.7m区が大きく、株間が狭くなるに従い小さくなり、茎重および葉重では株間処理間で有意差が認められた(第4表)。最長茎長は逆に株間が狭い方が長かった。また、同じ株間同士での畝間処理間では茎重の有意差は認められなかった。m²あたりの茎重および葉重を合わせた地上部乾物重の換算値が最も重かったのは「30/100区」で664gであり、株間が広くなるに従い減少し、畝間1.0m区よりも畝間1.2m区の方が少なかった。株あたりの葉重やm²あたりの地上部乾物重には株間および畝間処理間で有意差があり、それらの交互作用も認められ、



写真2 栽植密度の影響試験におけるヤーコンの生育状況(左)および掘り取り株(右)

注) 1996年7月。掘り取り株は70/120区で、メジャーは1m。

第4表 栽植密度の影響試験における株あたりの最長茎長, 茎数, 葉数, 茎重, 葉重および㎡あたりの地上部重

試験区	栽植密度 (株/㎡)	最長茎長 (cm)	茎数 (本)	葉数 (枚)	茎重 (gDW)	葉重 (gDW)	地上部重 (gDW/㎡)
30/100	3.33	135 a	3.3 c	69 d	128 c	73 c	664 a
50/100	2.00	123 ab	3.5 c	83 cd	185 b	116 b	601 bc
70/100	1.43	109 b	4.3 bc	113 ab	222 a	152 a	535 cd
30/120	2.78	119 b	3.8 c	74 d	134 c	85 c	608 ab
50/120	1.67	114 b	5.2 ab	98 bc	190 b	120 b	518 cd
70/120	1.19	113 b	5.8 a	123 a	212 ab	158 a	441 d
株間		*	*	*	**	**	**
畝間		ns	ns	ns	ns	*	**
株間×畝間		ns	ns	ns	ns	*	*

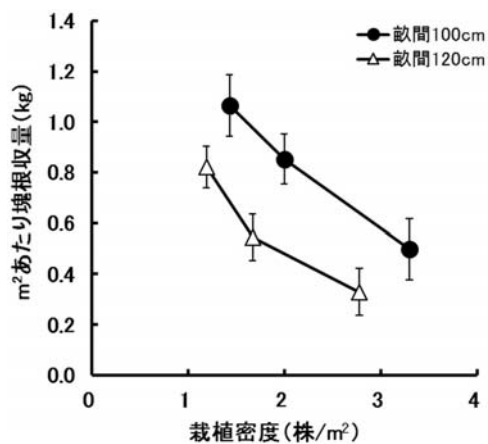
注) 各調査項目における異なるアルファベット文字間ではTukey法により5%水準で有意差があることを示す (n = 15). **および*は1%および5%水準で有意差もしくは有意な交互作用があることを, nsは5%水準で有意差がないことを示す。

第5表 栽植密度の影響試験における株あたりの塊根数, 亀裂塊根の発生率, 腐敗塊根の発生率, 塊根重および㎡あたりの塊根収量

試験区	塊根数 (本)	亀裂塊根 (%)	腐敗塊根 (%)	塊根重 (gFW)	収量 (gFW/㎡)
30/100	1.0 c	3.6 b	3.6 a	150 c	482 bc
50/100	2.4 b	4.2 b	0.0 a	426 b	852 ab
70/100	4.5 a	20.2 a	2.5 a	745 a	1117 a
30/120	0.8 c	3.0 b	0.0 a	118 c	295 c
50/120	2.2 b	3.2 b	0.0 a	325 bc	488 bc
70/120	4.0 a	13.4 a	2.1 a	689 a	827 ab
株間	**	*	ns	**	**
畝間	ns	ns	ns	*	**
株間×畝間	ns	ns	ns	ns	*

注) 塊根は新鮮重100g以上の根を調査した。各調査項目における異なるアルファベット文字間ではTukey法により5%水準で有意差があることを示す (n = 15). **および*は1%および5%水準で有意差もしくは有意な交互作用があることを, nsは5%水準で有意差がないことを示す。

密度効果により, 株あたりの葉重は畝間および株間が広くなるに従い重くなり, 地上部乾物重は軽くなった。株あたりの新鮮重100g以上の塊根数および塊根重は株間が広くなるに従い多くなり, 株間処理間には有意差が認められたが, 株間の変動が大きかったため同じ株間での畝間処理間には差がみられなかった(第5表)。㎡あたりの塊根収量の換算値は, 「70/100区」が1,117gで最も重かった。㎡あたりの塊根収量には株間および畝間で有意差があり, それ



第2図 栽植密度の影響試験における栽植密度と㎡あたりの塊根収量

注) バーは標準誤差を示す。収量には新鮮重100g以上の塊根を使用した。

らの交互作用も認められ, 株間が広くなるに従い大きくなったが, 畝間が1.2mよりも1.0mの狭い方が塊根収量が多い傾向であった(第2図)。また, 亀裂塊根の発生率は株間が広い方が高かったが, 「70/100区」では亀裂および腐敗塊根を除いた塊根重が㎡あたり745gで他の区よりも多かった。月橋ら⁴²⁾は, 4月24日に直播し, 11月16日に収穫した場合, 粗植区(株間0.7m, 畝間0.7m)の株あたりの地上部重および塊根重が標準区(株間0.5m, 畝

間0.7m) および密植区(株間0.3m, 畝間0.7m) より収量が有意に多く, また10 aあたりの塊根重も粗植区が多いことを報告した. 小木曾ら¹⁹⁾は, 5月29日にポット苗を定植し, 10月17日, 11月10日および12月5日に収穫した場合, 10月17日では標準区(株間0.6m, 畝間1.2m)の株あたりの塊根重が粗植区(株間0.8m, 畝間1.2m)および密植区(株間0.4m, 畝間1.2m)より多かったが, 12月5日では粗植区の株あたりの塊根重が標準区および密植区より多かったことを報告した. また, 小木曾らは, 11月以降の収穫ではm²あたり2.0から2.1株程度の時が塊根収量は最も高いこと示した. 本試験の結果は, 7月29日収穫の早掘り栽培試験のため, 月橋らや小木曾らの試験結果と比較できないが, 早掘り栽培においても粗植栽培により株あたりの地上部重や塊根収量が多くなったが, 単位面積あたりでは, 塊根収量は粗植栽培が密植栽培よりも多い結果となった. 早掘り栽培における単位面積あたりの塊根収量は, 植付け密度の効果と植付け密度に影響を受けた株あたりの塊根重の肥大成長が関係していると考えられる. 早掘り時はまだヤーコンが成長している時期であり, 塊根も肥大している⁴⁰⁾. また, 塊根の肥大成長と地上部の生育は同時に大きくなるわけではなく³⁹⁾, 塊根中の主な貯蔵物であるフラクトオリゴ糖は植物の生育環境が悪化したときの一時的なエネルギー供給源としての役割が考えられていることから^{9, 24, 31)}, 生育条件により塊根の生育パターンは異なってくることを示唆される. 本試験では, 株間は植付け密度に影響を受けた株あたりの塊根重の

肥大成長, 畝間は植付け密度の効果が関係していると考えられ, 粗植栽培は密植栽培よりも塊根の肥大が非常に大きかったため, 単位面積あたりの塊根収量には負の密度効果が現れたと考えられた. 本試験では, まだ早掘り栽培にとって最適な栽植密度が分かっていない. 今後, 単位面積あたりの塊根収量を高くする早掘り栽培に適した株間および畝間について, 収穫時期や亀裂塊根の発生率とあわせてさらに検討する必要がある.

塊根の乾物率およびBrixは株間30cmの区で若干低い傾向であったが, 特に処理区間に大きな差は認められなかった(第6表). 塊根内の糖類の組成に関して, すべての区でデンプンおよびイヌリンは検出できなかった. 「70/120区」は全糖含量が最も少なかったが, オリゴ糖比は高い傾向であった. 塊根のフラクトオリゴ糖含量やオリゴ糖比は, 植物体の生育環境や生育状況から大きく影響を受けることが考えられている^{9, 29, 31, 32)}. 本試験では, 株間が大きいほど地上部の生育量, 塊根収量が多かったことから, 株間が大きいほど塊根の成長が進み, 高重合度のフラクトオリゴ糖が多くなり, このためオリゴ糖比が高くなる傾向となったと考えられた.

以上より, 早掘り栽培には株あたりの地上部の生育が旺盛になる粗植栽培が適していることが明らかになった. 本試験結果では, 単位面積あたりの塊根の収量および品質に対する早掘り栽培における最適な栽植密度は明らかとはならない. 今後, 早掘り栽培に適した栽植密度, 施肥量や被覆資材などを検討する必要がある.

第6表 栽植密度の影響試験における塊根の乾物率, Brix, 乾物重あたりの各糖含量, 乾物重および新鮮重あたりの全糖含量およびオリゴ糖比

試験区	乾物率	Brix	フルクトース					全糖含量		オリゴ糖比
	(%)	(%)	グルコース	スクロース	GF ₂₋₄	GF ₅₋₉	(mg/gDW)	(mg/gFW)	(%)	
30/100	12.7 a	10.1 ab	41 ab	55 ab	89 a	196 a	21 bc	402 a	50.4 a	54.9 a
50/100	12.9 a	10.4 ab	35 b	51 ab	80 a	204 a	28 ab	398 a	51.5 a	58.2 a
70/100	12.6 a	10.2 ab	59 ab	58 ab	73 a	226 a	42 a	458 a	57.6 a	58.5 a
30/120	12.0 a	9.6 b	80 a	80 a	100 a	266 a	17 c	543 a	64.9 a	52.5 a
50/120	13.4 a	10.9 a	48 ab	55 ab	79 a	251 a	27 b	460 a	61.6 a	60.5 a
70/120	13.4 a	10.9 a	25 b	36 b	64 a	179 a	27 b	331 a	44.2 a	62.4 a

注) 表中の表記は第3表参照. 分析には亀裂や腐敗のない新鮮重100から200gまでの塊根を使用した. 調査項目における同じアルファベット文字間ではTukey法により5%水準で有意差がないことを示す(n=3).

IV 苗に用いた種球重の影響

ヤーコンの種球には地下部にできる塊茎が使われるが、塊茎にはたくさんの芽が存在するため、種球の大きさにより塊根収量が影響を受ける可能性は高い。月橋ら⁴⁷⁾は、茨城県で4月24日に新鮮重10 g、30 gおよび50 gの種球を直播し、11月5日に収穫した場合、有意差は認められなかったが、種球重が重いほど塊根収量が大きくなる傾向を報告した。中西¹⁷⁾も初冬に収穫した場合、有意差はないが種球重の重い方が塊根収量は多くなる傾向があることを報告している。しかし、月橋らの結果では株あたりの塊根収量は低く、また、中西の報告では収量が示されていない。どちらの報告も7月から8月における収量は調べられていないため、早掘り栽培における種球重の影響は不明である。

そこで、本章では、種球重の影響について検討した。

1 材料および方法

試験は、1997年に近中四農研で保有するペルーA群を供試して、近中四農研内の灰色低地土の圃場で実施した。試験区は、苗に用いる種球重により、新鮮重5から10 g (以下、「5-10区」)、15から20 g (以下、「15-20区」)、25から30 g (以下、「25-30区」) および35から40 g (以下、「35-40区」)の合計4区を設けた。4月7日に、厚さ0.03mmの黒色ポリマルチを張った半円形の畝 (畝の高さは約0.2m) にポット苗を定植した。ポット苗に使用した種球には、前年12月に収穫した株から分割し、5℃で保存した塊茎を使用した。2月10日に、各試験区の種球を直径9cmの黒ビニールポットに植付け、温室で育苗し、地上部の節数が6から7で、茎数が1から2本の苗を試験に使用した。マルチ処理は7月23日 (植付け後107日目) まで行った。栽植密度は畝間1.2m、株間0.5m (㎡あたり1.67株) とした。試験区の面積はそれぞれ、18㎡で、4反復について乱塊法により配置した。施肥は、堆肥 (1 kg/㎡)、苦土石灰 (100g/㎡)、化成肥料 (成分量で、㎡あたり窒素、りん酸、カリそれぞれ10 g、20 g、20 g) を定植前に行った。

調査は、7月29日 (植付け後113日目) に各試験区5株4反復、合計20株について行った。調査項目、調査方法、塊根の糖含量の測定、統計処理は、II章の方法に従い行った。調査した塊根は新鮮重50 g以上の根とした。なお、糖含量の測定は新鮮重100から200 gまでの亀裂や腐敗のない塊根を使用し、一回の測定には塊根を5本用い、3反復行った。

2 結果および考察

栽培期間中の気温は、7月上旬に日平均気温が25℃を超えたが、7月中旬から8月上旬まで降雨量が多く、平年よりも低く推移した (第1図, 1997年)。

収穫時における地上部の茎数は、6.1から7.2本で処理区間に差は認められなかったが、葉数、茎重および葉重は、種球重が重くなるほど大きい傾向で、「5-10区」と「35-40区」の間に有意差が認められた (第7表)。新鮮重50 g以上の塊根数および塊根重は、種球重が重いほど大きく、「25-30区」および「35-40区」の塊根数は、それぞれ株あたり6.1本および7.3本で「5-10区」よりも有意に多かった (第8表)。また「35-40区」の塊根重は株あたり701 gで「5-10区」よりも有意に重かった。月橋ら⁴⁷⁾や中西¹⁷⁾は、通常の作期では種球重が重いほど塊根収量が多い傾向となることを報告した。今回の結果から、早掘り栽培においても種球重が重い方が塊根収量が多い傾向が示されたが、試験区ごとの反復を記載した図 (第3図) から、「5-10区」および「15-20区」と「25-30区」および「35-40区」の間で塊根収量に差がみられ、統計結果もあわせて考えると、25 g以上の種球を用いて苗を作成することが早掘り栽培には適していることが考えら

第7表 苗に用いた種球重の影響試験における株あたりの茎数、葉数、茎重および葉重

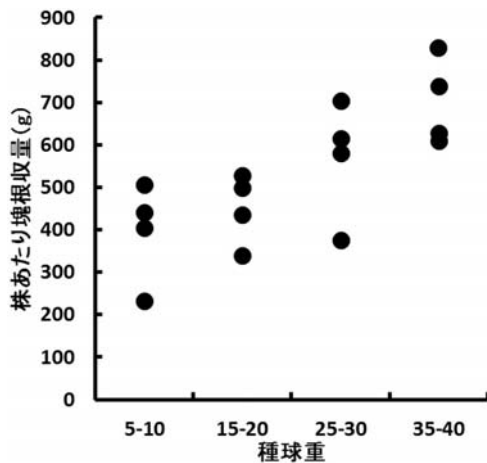
種球重 (g)	茎数 (本)	葉数 (枚)	茎重 (gDW)	葉重 (gDW)
5-10	6.1 a	75 b	52.9 b	55.6 b
15-20	7.1 a	92 ab	59.8 ab	62.8 ab
25-30	7.2 a	91 ab	60.6 ab	65.1 ab
35-40	6.7 a	101 a	73.6 a	72.1 a

注) 各調査項目における異なるアルファベット文字間ではTukey法により5%水準で有意差があることを示す (n=20)。

第8表 苗に用いた種球重の影響試験における株あたりの塊根数、亀裂塊根の発生率、腐敗塊根の発生率および塊根重

種球重 (g)	塊根数 (本)	亀裂塊根 (%)	腐敗塊根 (%)	塊根重 (gFW)	
				全塊根	腐敗塊根なし
5-10	3.3 b	77.7 a	53.9 a	396 b	230 b
15-20	5.1 ab	68.7 a	32.2 ab	451 ab	333 b
25-30	6.1 a	68.2 a	30.3 ab	569 ab	453 a
35-40	7.3 a	48.3 b	25.2 b	701 a	540 a

注) 塊根は新鮮重50 g以上の根を調査した。各調査項目における異なるアルファベット文字間ではTukey法により5%水準で有意差があることを示す (n = 20)。



第3図 苗に用いた種球重の区分ごとの株あたりの塊根収量

注) 各区4反復のプロットを示した。収量には新鮮重50 g以上の塊根を使用した。

れた。しかし、本試験では、マルチ処理 (Ⅱ章) および栽植密度 (Ⅲ章) の試験結果ではほとんど発生しなかった亀裂および腐敗塊根の発生が多かった。また、種球重が重くなるほどそれらの発生率は低く、腐敗塊根を除いた株あたりの塊根重は「25-30区」および「35-40区」で重かった。カンショ²³⁾ やニンジン³⁷⁾ では、土壌水分の変動が亀裂の発生を促していることが指摘されている。月橋ら⁴³⁾ は、黒色ポリマルチにより亀裂のあるヤーコンの塊根の発生率が高いことを示し、黒色ポリマルチ処理では地温および土壌水分の変化が大きかったことが影響していると推察した。本試験では、6月中旬から7月上旬までの日平均気温が旬別では22.7から26.4で平年より約1から2℃高く、その後は平年より1から

2℃低かった (第1図, 1997年)。降雨量は6月下旬から7月上旬まで68mmで平年より少なく、その後は収穫日まで131mmで、平年値の3.5倍で非常に多かった。本試験において亀裂および腐敗塊根が発生した要因は、7月上旬までの土壌の乾燥状態からそれ以降の湿潤状態へ変わったことも一因であることが考えられた。また、種球重が重い区ではそれらの発生が少なかったことは、地上部は種球重が軽い区より大きく繁茂し、広く地表を覆ったことにより地温の上昇などの変動が緩和されたためと推察された。

塊根の乾物率およびBrixは「35-40区」が低く、乾物率が高いほどBrixは高い傾向であった (第9表)。塊根内の糖類の組成に関して、すべての区でデンプンおよびイヌリンは検出できなかった。塊根のフルクトース、グルコースおよびスクロース含量は種球重が重いほど多かったが、フラクトオリゴ糖含量や全糖含量には差がみられなかった。また、オリゴ糖比は「15-20区」が74.2%で最も高く、「35-40区」が65.3%で最も低かった。瀧田ら⁴⁰⁾ は1992年の近中四農研での試験において、7月下旬でのオリゴ糖比は34%であったことを報告しているが、本試験でのオリゴ糖比は65%以上で非常に高かった。本試験では1992年の試験より全糖含量が少なかったが、フルクトース、グルコースおよびスクロース含量が非常に少なく、この結果、塊根のオリゴ糖比が高くなったと考えられた。また、Sugiuraら³¹⁾ は、天候不順のために湿害が発生した1993年の試験において、8月上旬の塊根の全糖含量やオリゴ糖比は、7月上旬より大きく低下したことを報告した。本試

第9表 苗に用いた種球重の影響試験における塊根の乾物率, Brix, 乾物重あたりの各糖含量, 乾物重および新鮮重あたりの全糖含量およびオリゴ糖比

種球重 (g)	乾物率 (%)	Brix (%)	糖類					全糖含量 (mg/gFW)	全糖含量 (%)	
			フルクトース	グルコース	スクロース	GF ₂₋₄	GF ₅₋₉			
5-10	13.3 ab	11.5 ab	29 b	28 b	48 b	229 a	63 a	397 a	52.9 a	73.7 a
15-20	13.7 a	11.9 a	33 ab	32 b	55 ab	267 a	76 a	463 a	63.5 a	74.2 a
25-30	13.5 a	11.6 ab	37 ab	41 ab	56 ab	255 a	70 a	459 a	61.8 a	70.9 ab
35-40	12.6 b	10.9 b	46 a	48 a	61 a	238 a	58 a	450 a	56.7 a	65.3 b

注) 表中の表記は第3表参照. 分析には亀裂や腐敗のない新鮮重100から200 gまでの塊根を使用した. 調査項目における同じアルファベット文字間ではTukey法により5%水準で有意差がないことを示す (n = 3).

験でも腐敗した塊根が発生していることから, この時期の気候が塊根の腐敗の発生や全糖含量およびオリゴ糖比に大きく影響を及ぼしている可能性があることが推察された.

以上より, 本試験は前年度に比べ, 亀裂および腐敗塊根が多く発生したため全体的に収量が少なかったが, 種球重が重いほど7月下旬収穫時の株あたりの塊根重は重かった. 月橋ら⁴⁷⁾や中西¹⁷⁾の報告から種球重が軽いと塊根収量が低い傾向になったことが示唆されており, また, 本試験結果から種球重が重いほど塊根の亀裂および腐敗の発生が小さい傾向であったことから, 早掘り栽培にはなるべく重い種球を用いた方が良く, 塊根収量および塊根中の糖含量の結果から新鮮重で25から30 g程度の種球を用いて苗を作成することが良いと考えられた.

V 植付け時期の前進による霜の影響

II章において, 苗の移植栽培は種球の植付けより早掘り時の塊根収量が高いことを明らかにした. 塊根収量と地上部の生育量には相関があり, 生育期間が長い方が塊根収量が多いことが明らかとなっている³⁸⁾. そのため, 早掘り栽培で塊根収量をあげるために作期を前進させ, 生育期間を長くする栽培方法が考えられる. 一般的に, 植付けは終霜後に行うため, 宮崎, 鳥根および四国では4月中旬から5月上旬, 愛知, 茨城および福島では5月上旬から中旬, 岩手, 宮城および北海道では5月中旬から下旬頃に苗の定植を行い, 秋以降の降霜後に収穫する. このように, 一般的な栽培では, 確実に降霜がない時期に植付けを行っている. 早掘り栽培においては作期

を前進させることが塊根の収量増につながると考えられるが, 霜害を受ける可能性が高くなることが予想される. また, 一般的な栽培においても, 作付け年により霜害を受ける可能性が存在するが, これまでの研究では, 生育に対する霜害の影響について調べられていない.

そこで, 本章では, 植付け後の霜の影響について調査した.

1 材料および方法

試験は, 1996年に近中四農研で保有するペルーA群を供試して, 近中四農研内の灰色低地土の圃場で実施した. 試験区は, ポット苗を3月19日, 4月2日および試験地で過去5年間降霜がみられなかった4月16日に圃場に定植した区(以下, 3月定植区, 4月定植区および対照区)と種球を3月19日および4月2日に直播した区(以下, それぞれ3月直播区および4月直播区)の合計5区を設けた. 3月18日に, 厚さ0.03mmの黒色ポリマルチを張った半円形の畝(畝の高さは約0.2m)を作成し, それぞれの植付け日に定植または種球の直播を行った. 種球は前年12月に収穫した株から分割し, 5℃で保存した塊茎(新鮮重15から20g)を使用した. 3月定植区に使用したポット苗は1月30日, 4月定植区に使用したポット苗は2月13日, 対照区は2月27日にそれぞれ種球を直径9cmの黒ビニールポットに植付け, 温室で育苗し, 地上部の節数が6から7で, 茎数が1から2本の苗を試験に使用した. マルチ処理は7月3日まで行った. 栽植密度は畝間1.2m, 株間0.5m (㎡あたり1.67株)とした. 試験区の面積はそれぞれ28.8㎡で, 3反復について乱塊

法により配置した。施肥は、堆肥（1 kg/m²）、苦土石灰（100g/m²）、化成肥料（成分量で、m²あたり窒素、りん酸、カリそれぞれ10 g、20 g、20 g）を定植前に行った。

霜害の調査は、4月3日から5月9日まで行い、

その後の生育の変化を調査した。調査株数は、各区連続した8株の3反復、合計24株とした。霜害の程度は、全く被害を受けなかった株（FI-0：写真3 A）、全個葉の半分以下の葉で枯れた部分があり、茎頂は被害を受けなかった株（FI-1：写真3 B）、

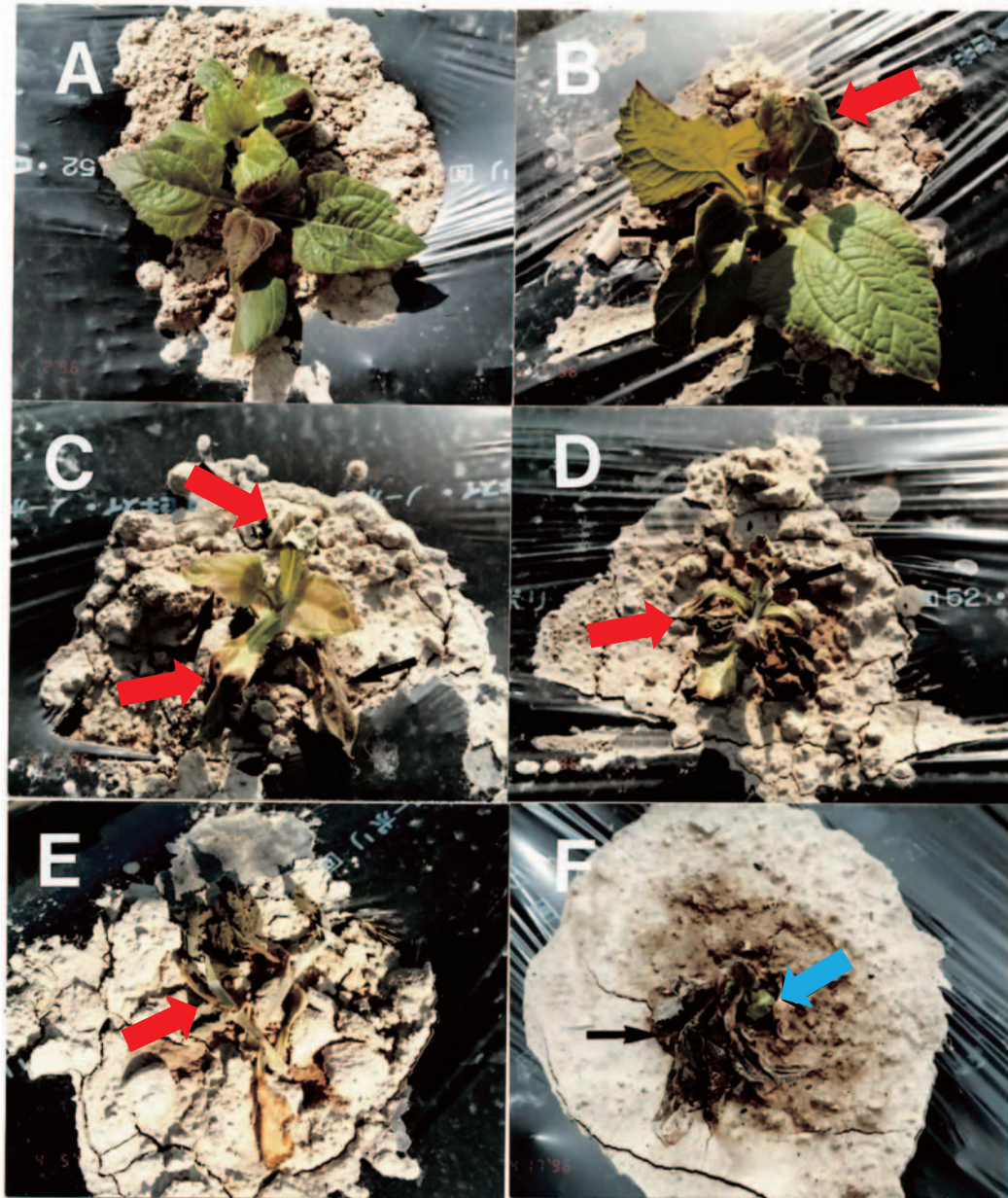


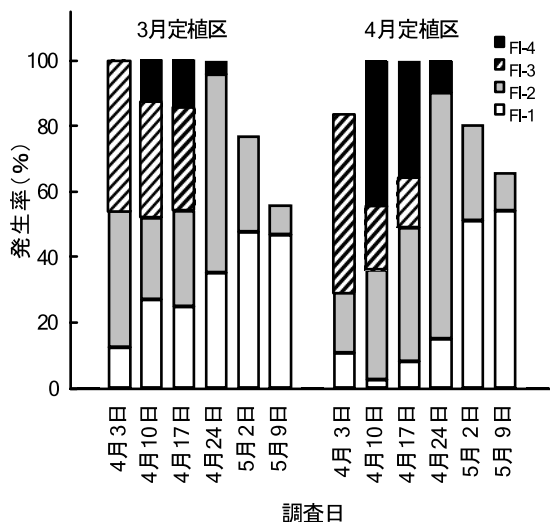
写真3 植付け時期の前進試験における定植後の降霜による被害状況

- 注) Aは3月19日定植株で4月2日撮影，BからEは4月2日定植株で4月5日撮影，Fは4月2日定植株で4月17日撮影。赤色の矢印は枯れた部分，青色の矢印は萌芽を指す。FI-1～4は被害程度を表す。
 B：全個葉の半分以下の葉で枯れた部分があり，茎頂は被害を受けていない株（FI-1）
 C：すべての葉で枯れた部分があり，茎頂は被害を受けていない株（FI-2）
 D：すべての葉が枯れ，茎頂も枯れている株（FI-3）
 E：地上部がすべて枯れている株（FI-4）
 F：枯れた地上部の下からの萌芽（黒色の矢印は完全に枯れている）

すべての葉で枯れた部分があり、茎頂は被害を受けなかった株 (FI-2: 写真3 C), すべての葉が枯れ、茎頂も枯れた株 (FI-3: 写真3 D) およびすべての葉と地際より上の茎が枯れてしまった株 (FI-4: 写真3 E) の5段階に分けた。なお、茎数が2以上の株については、株の中で最も茎長の長い茎について調査した。掘り取り調査は7月8日と8月5日に行った。調査項目、調査方法、塊根の糖含量の測定、統計処理は、II章の方法に従った。調査した塊根は新鮮重50g以上の根とした。なお、糖含量の測定は7月8日は新鮮重50から150gまで、8月5日は新鮮重100から200gまでの亀裂や腐敗のない塊根を使用し、一回の測定に3から5本使用し、3反復行った。

2 結果および考察

4月3日および4月4日の最低気温は -0.5°C および 0.1°C で降霜が認められ、3月定植および4月定植区は、両日に霜害が顕著に見受けられた(写真3)。その後4月6日まで最低気温が 3°C 以下で降霜があり、4月10日までに地上部が完全に枯れた株はそれぞれ全体の13%および44%に達した(第4図)。しかし、その後の気温の回復とともに、新しい葉および新しい芽が出始め(写真3 F)、被害



第4図 植付け時期の前進試験における降霜により地上部が被害を受けた株の被害の推移

注) 地上部がすべて枯れた後に芽が出てきた場合は、枯れた地上部の下からの萌芽から育った植物体を調査した。FI-1, FI-2, FI-3, FI-4は写真3の脚注参照。

を受けた葉の比率は低下し、5月2日には両区とも地上部が枯れた状態のままの株はなくなった。また、3月直播および4月直播区での萌芽はそれぞれ4月7日および4月18日に始まり、萌芽が全体の50%の株で認められた日は4月22日および4月27日で、90%の株で確認された日は4月28日および5月1日であり、対照区、3月直播および4月直播区においては霜害により枯れた葉はなかった。この試験に使用した種球は新鮮重15から20gであり、芽が3から6個存在していた。本試験において、今回のような程度の降霜で枯死した株がなかったことは、種球にある複数の芽が完全に被害を受けなかったためと考えられた。今回の試験では、霜害に対してすべての株の地上部が枯れたわけではなく、株によって被害の程度が異なっていた。また、4月定植区は3月定植区に比べ被害の程度が大きかった。霜害の程度は、降霜の程度や植物の状態により異なることから、今回の霜による被害の程度のばらつきの理由は明らかではない。耐霜性の強い作物では、寒い時期に細胞内の糖濃度が高く、水分含量が低いなどの特徴があることがわかっている⁵²⁾。また、ムギ類などの茎葉にフルクタンを持つ作物は、フルクタンが冬季における茎葉の細胞の凍結を防止する働きを持っていることが分かっている^{18, 24)}。ヤーコンにおいても重合度の小さいフラクトオリゴ糖が萌芽した芽や生育初期の茎に多く存在する⁸⁾ことから、霜害に対して被害の小さかった株は、茎葉のフラクトオリゴ糖濃度が関係している可能性が考えられた。

栽培期間中の気温は、7月上旬が平年値に比べやや低く、日平均気温が 25°C を超えたのは7月中旬以降であり、それ以降は収穫日までほぼ平年並みに高かった(第1図, 1996年)。降雨量は6月が249mmで平年値の1.5倍多く、7月下旬は降雨がなかった。

茎数および茎重は、ほとんどの区で7月収穫時から8月収穫時にかけて増加した(第10表)。8月収穫時の葉数は、各区とも7月収穫時から若干減少したが有意差はなく、8月収穫時の葉重は7月収穫時に比べ大きく変化していなかった。茎数および茎重は3月定植区、3月直播区および対照区で多かったが、葉数および葉重には差がみられなかった。塊根数および塊根重は7月から8月収穫時にかけて増加した(第11表)。また、塊根数および塊根重は3月

定植区および対照区がそれぞれ新鮮重で554 gおよび668 gで他の区より大きかった。4月定植区は対照区より生育期間が14日長かったが、4月定植区は霜害の被害を大きく受けたため、定植の前進化による生育促進効果がなかったと考えられた。また、3月定植区は霜害の被害を受けたが、4月定植区より被害程度の軽い株が多く、そのため4月定植区より塊根収量が多かったと考えられた。また、定植区は、直播区よりも塊根の収量が多い傾向であった。亀裂塊根の発生率は、どの区においても8月収穫時に増加した。

塊根内の糖類の組成に関して、すべての区でデンプンおよびイヌリンは検出できなかった。塊根の乾物率、Brix、各糖含量およびオリゴ糖比は、同じ収穫日の処理区間で差がみられなかった（第12表）。塊根の乾物率、Brix、フルクトースおよびスクロース含量は、7月から8月収穫時にかけて増加し、フラクトオリゴ糖含量は減少した。乾物重あたりの全糖含量は7月から8月収穫時にかけて変化しなかつ

たが、新鮮重あたりの全糖含量は8月収穫時に増加し、オリゴ糖比は各区とも8月収穫時に減少した。本試験において、7月収穫時から8月収穫時に乾物重あたりの全糖含量が変化せずフラクトオリゴ糖含量が減少したことは、フラクトオリゴ糖が分解され、消費されていることを示している。また、各処理区間で茎重や塊根収量が異なるにもかかわらず、塊根の糖含量および糖組成にほとんど差がなかったことから、塊根中の糖含量および糖組成には植物の生育量より生育時の環境要因などの影響が大きいことが考えられた。

本試験で発生した程度の降霜では圃場に植わっていた株が完全に枯れることはなかったが、地上部は大きく被害を受け、降霜前に定植した株の7月収穫時における塊根収量は、降霜後に定植した株と同じもしくは少なかった。また、霜害の被害を受けた降霜前に定植した株は、同時期に直播した株に比べ塊根収量が高かった。塊根重と地上部重との間に相関があること³⁸⁾から、地上部の生育量を大きくす

第10表 植付け時期の前進試験における株あたりの茎数、葉数、茎重および葉重

調査日	試験区	茎数 (本)	葉数 (枚)	茎重 (gDW)	葉重 (gDW)
7月8日	3月定植	3.6 a	83.0 a	91.8 a	89.8 a
	4月定植	3.3 a	74.9 a	57.0 c	75.2 a
	3月直播	4.0 a	81.3 a	84.0 ab	96.3 a
	4月直播	3.8 a	74.5 a	61.0 bc	81.6 a
	対照	3.2 a	78.8 a	78.3 ab	85.1 a
8月5日	3月定植	5.3 a	75.4 a	129.3 ab	82.1 a
	4月定植	4.6 ab	73.0 a	104.8 b	83.6 a
	3月直播	5.3 a	70.4 a	132.8 a	84.5 a
	4月直播	3.6 b	71.2 a	104.0 b	87.4 a
	対照	4.1 ab	73.1 a	120.6 ab	85.9 a
7月8日	方法	ns	ns	ns	ns
	時期	*	ns	*	ns
	方法×時期	ns	ns	ns	ns
8月5日	方法	ns	ns	ns	ns
	時期	*	ns	*	ns
	方法×時期	ns	ns	ns	ns

注) 対照は4月16日に苗を定植。調査項目における異なるアルファベット文字間ではTukey法により5%水準で有意差があることを示す (n = 24)。*は5%水準で有意差もしくは有意な交互作用があることを、nsは5%水準で有意差がないことを示す。

第11表 植付け時期の前進試験における株あたりの塊根数、亀裂塊根の発生率、腐敗塊根の発生率および塊根重

調査日	試験区	塊根数 (本)	亀裂塊根 (%)	腐敗塊根 (%)	塊根重 (gFW)
7月8日	3月定植	1.5 a	3.8 a	3.8 a	208 a
	4月定植	0.5 ab	0.0 a	5.6 a	67 ab
	3月直播	0.9 ab	3.8 a	0.0 a	115 ab
	4月直播	0.1 b	0.0 a	0.0 a	10 b
	対照	1.5 a	5.6 a	3.7 a	206 a
8月5日	3月定植	3.5 ab	17.4 a	10.1 a	554 ab
	4月定植	2.5 b	11.5 a	1.1 a	384 b
	3月直播	2.8 ab	12.6 a	3.0 a	414 ab
	4月直播	2.5 b	17.2 a	0.0 a	372 b
	対照	3.9 a	23.9 a	3.3 a	668 a
7月8日	方法	ns	ns	ns	ns
	時期	ns	ns	ns	*
	方法×時期	ns	ns	ns	ns
8月5日	方法	ns	ns	ns	ns
	時期	*	ns	ns	*
	方法×時期	ns	ns	ns	ns

注) 対照は4月16日に苗を定植。塊根は新鮮重50 g以上の根を調査した。調査項目における異なるアルファベット文字間ではTukey法により5%水準で有意差があることを示す (n = 24)。*は5%水準で有意差もしくは有意な交互作用があることを、nsは5%水準で有意差がないことを示す。

第12表 植付け時期の前進試験における塊根の乾物率, Brix, 乾物重あたりの各糖含量, 乾物重および新鮮重あたりの全糖含量およびオリゴ糖比

調査日	試験区	乾物率	Brix	フルクトース	グルコース	スクロース	GF ₂₋₄	GF ₅₋₉	全糖含量	全糖含量	オリゴ糖比
		(%)	(%)	(mg/gDW)					(mg/gFW)	(%)	
7月8日	3月定植	12.4 a	9.6 a	39 a	55 a	58 a	221 a	33 a	405 a	49.8 a	62.9 a
	3月直播	12.1 a	10.1 a	33 a	48 a	56 a	234 a	31 a	402 a	48.5 a	66.1 a
	4月定植	12.1 a	9.9 a	35 a	50 a	56 a	216 a	27 a	384 a	46.3 a	63.2 a
	4月直播	11.4 a	9.7 a	39 a	59 a	58 a	243 a	25 a	423 a	48.3 a	63.2 a
	対照	12.5 a	10.1 a	34 a	46 a	56 a	242 a	34 a	411 a	51.2 a	67.0 a
8月5日	3月定植	13.3 a	12.1 a	52 a	49 a	81 b	193 a	28 a	402 a	53.5 a	54.9 a
	3月直播	13.4 a	12.6 a	41 a	40 a	83 ab	202 a	28 a	394 a	52.7 a	58.3 a
	4月定植	13.2 a	12.6 a	55 a	47 a	92 a	223 a	36 a	452 a	59.8 a	57.2 a
	4月直播	13.4 a	12.9 a	51 a	39 a	84 ab	225 a	32 a	421 a	56.5 a	61.0 a
	対照	13.3 a	12.2 a	57 a	49 a	91 a	201 a	36 a	434 a	57.9 a	53.9 a

注) 対照は4月16日に苗を定植。表中の表記は第3表参照。分析には7月8日は新鮮重50から150gまで、8月5日は新鮮重100から150gまでの亀裂や腐敗のない塊根を使用した。調査項目における異なるアルファベット文字間ではTukey法により5%水準で有意差があることを示す(n=3)。

ることは塊根収量をあげることにつながると考えられ、植付け時期を前進化させ、生育期間を長くすることは有効であると考えられる。月橋ら⁴⁶⁾は、種球を4月10日、4月20日、4月30日および5月10日に直播し、11月5日に収穫した場合、霜害は受けていないが、4月20日植付け区が最も塊根収量が高く、それよりも早期の植付けには塊根収量を増加させる効果は認められないことを報告し、ヤーコンの生育には日平均地温は15℃以上が必要であることを推察した。今回の結果では、霜害を受けたことにより、早掘り栽培に対する植付け時期の前進化の効果は認められなかったが、被覆やハードニングにより霜害を回避し、マルチなどで地温を上昇させることにより初期生育を促進できれば、早期植付けによる塊根収量の増収効果は高いと考えられる。また、定植は直播よりも早掘り栽培において塊根の収量確保には効果的であり、今後、さらに影響の大きい霜害も想定した上で栽培方法の検討が必要である。

VI 導入系統の早掘り栽培適性

ヤーコンには、エクアドルやペルーに25から30のクローンが存在することが報告されている²⁵⁾が、それらの特性は詳しく調べられていない。1984年に民

間業者によって導入され、現在最も国内に普及している系統は、形態がほとんど変わらないことから単一系統群と考えられ、ペルーA群と命名された¹⁶⁾。近中四農研では、この系統群を基に、1988年から1991年まで組織培養を行い¹³⁾、1991年からは国外からの新たな系統の導入およびそれらを使った交配育種を行っている^{15, 17)}。導入した系統は、1991年にボリビアより導入したボリビア群および1992年に国際馬鈴薯センターエクアドル支所より導入したペルーB群であり、ペルーA群と葉の形状、草型や開花習性などに違いがみられ¹⁶⁾、各群の12月における塊根収量は、栽培地域や栽培方法により差がみられた¹⁷⁾。このことから、これら3群は生育に特徴があり、早掘り栽培に適する系統が存在する可能性が考えられた。

そこで、本章では、これら国外から導入した各系統群の代表的な系統を用い、それらの早掘り栽培における生育特性を比較した。

1 材料および方法

試験は、1995年に近中四農研内の灰色低地土の圃場で実施した。試験には、「SY11」(ペルーA群: 1991年徳島県立農業試験場より分譲)、「SY23」(ペルーA群: 1992年茨城大学より分譲)、「SY102」

(ポリビア群) および「SY107」(ペルーB群)の4系統を供試した。3月28日に、厚さ0.03mmのシルバーストライプの入った黒色ポリマルチを張った半円形の畝(畝の高さは約0.2m)に直播した。種球は、各系統とも前年の12月に収穫した株から分割し、5℃で保存した塊茎(新鮮重30から40g)を使用した。マルチ処理は3月28日から6月1日(植付け後65日目)まで行った。栽植密度は畝間1.1m、株間0.5m(m²あたり1.8株)とした。試験区の面積はそれぞれ、13.2m²で、2反復を乱塊法により配置した。施肥は、堆肥(1kg/m²)、苦土石灰(100g/m²)、化成肥料(成分量で、m²あたり窒素、りん酸、カリそれぞれ10g、20g、20g)を定植前に行った。

調査は、7月26日(植付け後120日目)に、栽培区の中央の6株、合計12株について行った。調査項目、調査方法、塊根の糖含量の測定、統計処理は、II章の方法に従い行った。調査した塊根は新鮮重50g以上の根とした。なお、糖含量の測定には新鮮重30から100gまでの亀裂や腐敗のない塊根を使用

し、一回の測定には3から5本使用し、3反復行った。

2 結果および考察

萌芽が90%以上の株で確認された日は、「SY23」が最も早く4月18日で、次いで「SY107」、「SY11」で、「SY102」が最も遅く4月27日であった。7月26日の調査時において、各系統とも茎数には差が認められなかったが、葉数は「SY107」が少なく、葉重および茎重は「SY102」が小さかった(第13表)。地下茎重は「SY102」が小さく(第14表)、茎重および地下茎重では、「SY102」と他の系統の間には有意差が認められた。根数は「SY107」が最も多く、「SY102」が少なかったが有意差は認められなかった。しかし、根の最大肥大部の直径が10mm以上の株あたりの根数は、「SY11」および「SY23」が多く、特に直径が30mm以上の根が「SY102」および「SY107」ではほとんど存在しなかった(第5図)。新鮮重が50g以上の塊根数および塊根重はペルー

第13表 導入系統の早掘り栽培適性試験における萌芽日、株あたりの茎数、葉数、茎重および葉重

系統	萌芽日 (月日)	茎数 (本)	葉数 (枚)	茎重 (gDW)	葉重 (gDW)	備考
SY11	4月24日	3.2 a	136 a	145 a	142 a	ペルーA群
SY23	4月18日	2.5 a	124 ab	147 a	126 ab	ペルーA群
SY102	4月27日	3.5 a	140 a	102 b	106 b	ポリビア群
SY107	4月21日	3.2 a	100 b	152 a	117 ab	ペルーB群

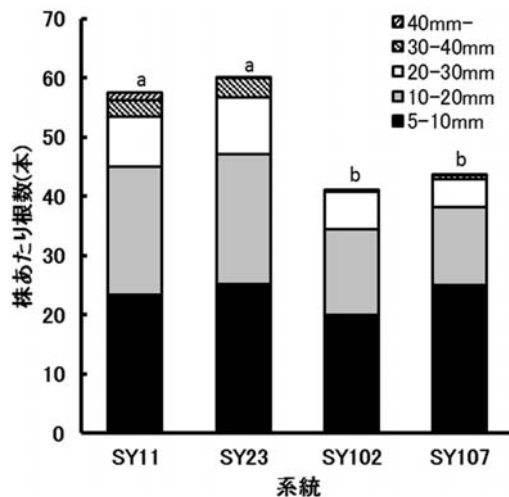
注) 各調査項目における異なるアルファベット文字間ではTukey法により5%水準で有意差があることを示す(n=12)。

第14表 導入系統の早掘り栽培適性試験における株あたりの地下茎重、根数、塊根数、亀裂塊根の発生率、腐敗塊根の発生率および塊根重

系統	地下茎重 (gDW)	根数 (本)	塊根数 (本)	亀裂塊根 (%)	腐敗塊根 (%)	塊根重 (gFW)
SY11	69.9 a	155 a	6.7 a	0.0	7.5	653 a
SY23	58.1 a	154 a	4.3 a	0.0	7.7	458 a
SY102	38.2 b	144 a	0.8 b	0.0	0.0	48 b
SY107	55.1 a	169 a	1.2 b	0.0	0.0	83 b

注) 塊根は新鮮重50g以上の根、各調査項目における異なるアルファベット文字間ではTukey法により5%水準で有意差があることを示す(n=12)。

A群である「SY11」および「SY23」が株あたり6.7本、新鮮重653 gおよび4.3本、458 gであり、「SY102」および「SY107」に比べ多く、「SY11」および「SY23」と「SY102」および「SY107」との間に有意差が認められた。また、「SY102」では新鮮重100 g以上の塊根は認められなかった。「SY11」、「SY23」および「SY107」の間には、葉重、莖重および根数に差がみられなかったが、「SY11」および「SY23」に比べ塊根重が「SY107」では有意に少なく、また、「SY102」は、莖数や葉数は「SY11」、「SY23」および「SY107」よりやや多かったが、莖重、葉重、地下莖重および塊根重が「SY11」、



第5図 導入系統の早掘り栽培適性試験における株あたり根の太さごとの本数

注) 茎から直接生えている根について、横断面での最も太い位置で計測した太さごとに分類した。図中の異なるアルファベット文字間では全根数についてTukey法により5%水準で有意差があることを示す (n = 12)。

「SY23」および「SY107」より少なかった。ペルーA群、ペルーB群およびボリビア群は、葉の形状、草型や開花習性など、形態および生態的特性が異なっており¹⁶⁾、ペルーA群の「SY11」やペルーB群の「SY107」は、栽培地域により10月以降の塊根収量が異なっていることが報告されている¹⁷⁾。今回の結果からも各群の生育が異なっていることが明らかとなった。

塊根の乾物率は、「SY107」が12.5%で最も高く、他の系統は10から10.8%で「SY107」より低かった(第15表)。Brixも「SY107」が11.7%で最も高く、他の系統は9.4から10.1%で低く、乾物率が高い系統はBrixも高い傾向が認められた。塊根内の糖類の組成に関して、どの系統においてもデンプンおよびイヌリンは検出できなかった。乾物あたりの全糖含量は「SY102」が最も多く、738mgであったが、新鮮重あたりでは「SY107」が最も多かった。オリゴ糖比は、「SY102」が最も小さく47%であったが、他の系統は55から57%で変わらなかった。

以上より、ペルーA群の「SY11」および「SY23」は、近中四農研で7月26日に収穫した場合、ボリビア群の「SY102」およびペルーB群の「SY107」に比べ塊根収量が多いことが明らかとなった。また、「SY11」および「SY23」と「SY102」や「SY107」は、塊根の肥大に関して異なった生育パターンを持っていることが分かった。本試験の結果から、早掘り栽培にはペルーA群が適していると考えられるが、エクアドルやペルーには、ヤーコンが25から30クローン存在しており²⁵⁾、ペルーA群より早掘り栽培に適した系統が存在する可能性がある。また、

第15表 導入系統の早掘り栽培適性試験における塊根の乾物率、Brix、乾物重あたりの各糖含量、乾物重および新鮮重あたりの全糖含量およびオリゴ糖比

系統	乾物率	Brix	フルクトース	グルコース	スクロース	GF ₂₋₄	GF ₅₋₉	全糖含量	全糖含量	オリゴ糖比
	(%)	(%)	(mg/gDW)			(mg/gFW)		(%)		
SY11	10.0 b	9.5 b	65 a	83 ab	127 b	320 a	42 a	637 a	63.7 b	56.8 a
SY23	10.8 b	10.1 ab	72 a	87 ab	146 ab	352 a	44 a	702 a	75.8 ab	56.4 a
SY102	10.3 b	9.4 b	107 a	124 a	157 a	334 a	16 b	738 a	76.0 ab	47.3 a
SY107	12.5 b	11.7 a	79 a	81 b	149 ab	358 a	30 ab	696 a	87.0 a	55.6 a

注) 表中の表記は第3表参照。分析には亀裂や腐敗のない新鮮重30から100 gまでの塊根を使用した。調査項目における異なるアルファベット文字間ではTukey法により5%水準で有意差があることを示す (n = 3)。

ヤーコンはこれまで本格的な選抜が行われてこなかったことから派生系統には変異が出てくる可能性が高く、今後、早掘り栽培に適した品種開発には、ペルーA群を親とした品種育成、積極的な国外系統の導入や分離系統などの早掘り栽培適性の検索が必要である。

Ⅶ 総合考察

7月下旬から8月上旬に塊根を収穫する早掘り栽培方法の検討において、Ⅱ章およびⅢ章の結果から、移植栽培は直播栽培より塊根収量が多く、生育初期のマルチ処理や粗植栽培することにより株あたりの塊根収量が多くなることが明らかになった。また、Ⅳ章の結果から、ポット苗に用いる種球は重い方が塊根収量が多いことが認められた。瀧田ら⁴⁰⁾は1992年の近中四農研での栽培試験から、苗を4月中旬に定植し、7月下旬に塊根を収穫することにより、株あたり地上部の茎葉重が乾物重で約200g、新鮮重100g以上の塊根が合計約1kg得られ、塊根中のフラクトオリゴ糖は全糖含量の34%得られたことを報告した。本試験では、最も塊根収量の多かった試験区でも、瀧田らの1992年の塊根収量より少なく、年次変動が大きかった。また、今回行った「SY11」を用いたどの試験においても、塊根中のフラクトオリゴ糖含量はGF₂₋₄の低重合度がg乾物重あたり163から358mgで多く、GF₅₋₉の高重合度はg乾物重あたり16から76mgで少なかった。また、塊根中のフラクトオリゴ糖含量やオリゴ糖比は栽培方法や栽培年次による変動が大きく、フラクトオリゴ糖含量はg乾物重あたり186から396mg、オリゴ糖比は32から74%であった。終霜後にポット苗や種球を植付けるヤーコンの一般的な栽培では、生育環境や栽培方法により同一系統内でも塊根収量の変動が大きいことが報告されており¹⁷⁾、他の文献からも塊根の収量やフラクトオリゴ糖含量は安定していない。本試験においても塊根収量や塊根中のフラクトオリゴ糖含量の変動が大きく、ヤーコンは栽培年の気温、降雨量などの影響を受けやすい作物であることが推察された。このため、早掘り栽培においても、塊根の多収技術の開発とともに、塊根収量や塊根のフラクトオリゴ糖含量の安定生産技術の開発を進める必要があ

り、生育特性のさらなる究明と、最適栽植密度の検討、トンネル栽培、施肥量、マルチなどの被覆資材の検討および早掘り栽培に適した品種の育成が必要と考えられる。特に、早掘り栽培では、栽培期間が長ければ塊根は多収になると予想されるため、植付け時期の早期化を可能とする栽培管理方法の開発と、低温下での生育が旺盛で塊根の早期肥大性を持つ品種の育成が重要である。本研究で3種類の導入群の早掘り栽培における塊根収量を比較したが、調査した系統の中では国内に一般的に普及しているペルーA群の系統が最も収量が多かった。今後、さらなる遺伝資源のスクリーニングとペルーA群を中心とした系統間交雑などによる新たな早掘り栽培用の品種育成が期待される。

本試験では、Ⅳ章の種球重の影響の試験においてすべての区で亀裂の入った塊根が多く発生し、Ⅲ章の栽植密度の影響およびⅤ章の作期の前進による降雪の影響についての試験ではそれほど多く発生しなかったが、塊根収量の多い区ほど亀裂の入った塊根の発生率が高い傾向であった。カンショ²³⁾やニンジン³⁷⁾では、土壤水分の変動が塊根の亀裂の発生を促していることが指摘されている。特に、土壤が乾燥状態から多湿状態に急激に変わる時に多く発生し、また、カンショではマルチの使用により生育が旺盛になった場合、塊根の肥大速度に対し亀裂部位の治癒の速度が遅くなること、さらに、低温や乾燥は治癒を阻害することが指摘されている²³⁾。1997年は7月下旬以降の降雨量が特に多く、また、1996年は降雨量が少なかったため圃場に灌水した。ヤーコンは、カンショのような塊根の亀裂部分を治癒する能力が備わっているか不明であるが、ヤーコンにおいても亀裂塊根の発生は塊根の肥大速度と土壤水分の変動など外部環境要因が大きく影響している可能性が考えられた。塊根の亀裂は、塊根の外観品質を大きく低下させる。今後、塊根の亀裂の発生機構を解明し、亀裂の発生を抑制する技術の開発が必要である。

亀野ら¹¹⁾は、ヤーコンの生育には日平均気温は25℃以下が適していることを指摘しており、香川の平坦地のような夏季が高温になる地域では、夏季には地上部や塊根の生育の停滞が一般的に起こると考えられる。小野・林²²⁾は、乾燥時の茎の直径から

ヤーコンは乾燥に弱いことを指摘している。近中四農研での1992年³⁹⁾および1996年³²⁾の試験では、株あたりの地上部重は7月から8月にかけて、塊根重は8月から9月にかけてほとんど増加しなかったことが確認され、II章では8月から9月にかけて地上部重および塊根重は増加しなかった。また、夏季の高温および乾燥時には灌水が必要であり、多雨時には湿害対策も行わなければならない。夏季の栽培において多大な労力を要した。筆者は、熊本県、香川県、滋賀県、茨城県などの生産者から、平坦地において、近年、ヤーコンが夏季に生育せず、ひどい場合は枯れてしまい、収量が非常に少なくなっているとの報告を受けている。夏季の高温による被害を軽減させるためには地上部への散水や遮光処理が効果的であると考えられているが、効果が十分に調査されておらず、栽培面積が大きくなった場合は多大な労力が掛かる。また、夏季は高温と土壤の湿潤により湿害の発生が懸念され、本試験においても1997年に腐敗塊根が多発している。本試験で検討した早掘り栽培は、生育に害を及ぼす夏季の前に収穫する栽培方法であり、通常の栽培では夏季に被害を受ける地域での有用な栽培方法と考えられる。また、これまでの栽培では生育期間が長いヤーコンを輪作体系に組み込むことは難しかったが、早掘り栽培を行うことによりヤーコンの栽培期間が短くなることから、秋以降に野菜などの栽培が可能となり、輪作体系に組み込む作物の一つとしてヤーコンを考えることが可能となった。さらに、ヤーコンの地上部はお茶として利用されており、本試験で茎葉が7月下旬から8月上旬にかけて株あたり乾物重で約100から300g収穫できたことから、この時期の収穫では一定量の地上部収量が期待できることが分かった。

以上のことから、塊根の亀裂発生や栽植密度など明らかにしなければならない問題は残っているが、早掘り栽培により、①夏季以降に塊根の出荷が可能になること、②夏季の枯れる前に収穫でき、夏季の栽培管理のための労力が軽減できること、③生育期間が短いと秋以降の野菜やムギ類などの輪作による土地利用の効率化が図られること、また、④収穫時の茎葉は枯れていないことからお茶または家畜飼料として利用することが期待できることが考えられ、香川県の平坦地のような夏季が暑い地域での新

たな栽培方法として、早掘り栽培は有望な生産技術の一つになることが期待でき、今後、さらなる検討が必要である。

VIII 摘 要

ヤーコンの早掘り栽培方法確立のための栽培試験および導入系統の早掘り栽培特性の研究を1994年から1997年まで行った。その結果、以下のとおりであった。

- 1 植付け方法およびマルチ処理の影響について、1994年4月13日に植付け7月から9月にかけて調査した。マルチ処理は5月25日まで行った。移植栽培およびマルチ処理は、直播栽培およびマルチ処理をしなかった場合よりも地上部重および塊根重が増加し、8月9日における「定植・マルチ区」の塊根数および塊根重はそれぞれ株あたり2.4本および新鮮重262gだった。
- 2 栽植密度の影響について1996年4月9日に苗を定植し、7月29日に調査した。株間0.7m、畝間1.0mの区は㎡あたりの塊根収量が1,117gで、株間0.5および0.3mの区より重かった。株あたりの地上部重や塊根収量は、粗植栽培により多くなったが、単位面積あたりでは株間が広がるほど塊根収量が増加し、畝間は1.2mよりも1.0mの方が多かった。
- 3 苗に使用する種球重の影響について1997年4月7日に苗を定植し、7月29日に調査した。種球重が重くなるに従い、塊根重が増加する傾向であり、株あたりの塊根重は「25-30区」および「35-40区」でそれぞれ569gおよび701gで「5-10区」より多かった。塊根の乾物率およびBrixは「35-40区」が低く、全糖含量には差がみられなかったが、オリゴ糖比は「35-40区」が65.3%で最も低かった。塊根収量および塊根中の糖含量の結果から、早掘り栽培には新鮮重で25から30g程度の種球を用いて苗を作成することが良いと考えられた。
- 4 植付け時期の前進による霜害の影響について1996年に調査した。4月3日および4月4日の降霜により3月19日定植(3月定植区)および4月2日定植(4月定植区)は地上部に被害を受け、

特に4月定植区は44%の株で地上部が枯れたが、その後、それらの株から芽が出てきたため、枯死した株はなかった。8月5日の調査では、3月定植区の塊根重と4月16日定植（対照区）での株あたりの塊根重はそれぞれ新鮮重で554 gおよび668 gで差がなかったが、4月定植区の塊根重は、対照区より少なかった。また、定植区は、直播区よりも塊根の収量が多い傾向であった。

5 「SY11」, 「SY23」, 「SY102」および「SY107」を1995年3月28日に直播し、7月26日に生育特性を調査した。新鮮重が50 g以上の塊根数および塊根重は、ペルーA群の「SY11」は株あたり6.7本、新鮮重653 gで、「SY23」は株あたり4.3本、新鮮重458 gであり、ボリビア群の「SY102」に比べ多かった。また、ペルーB群の「SY107」は、地上部重はペルーA群と差がなかったが、塊根数および塊根重はペルーA群より少なかった。

引用文献

- 1) 浅見輝男・大山卓爾・南沢 究・月橋輝男 1989. 多量のフラクトオリゴ糖を含む新しい根菜ヤーコン—機能性食品およびフラクトオリゴ糖の原料として注目—, 農乃園64: 1033 - 1036.
- 2) ———・南沢 究・土屋哲郎・狩野佳弥子・堀幾太郎・大山卓爾・久保田正亜・月橋輝男 1991 a. 栽培・保存期間中におけるヤーコンのフラクトオリゴ糖など各種糖類の成分変化, 土肥誌62: 621 - 627.
- 3) ———・———・月橋輝男 1991 b. 大量のフラクトオリゴ糖を含むヤーコンの世界と日本における栽培と利用, 農乃園66: 413 - 416.
- 4) 藤野雅文 2001. わが国でのヤーコン栽培と今後の課題. 農及園76: 969 - 975.
- 5) ———・中西建夫・石原次郎・小野貞芳・土井芳憲・杉浦 誠・富岡啓介 2008. ヤーコンの新品種「アンデスの雪」および「サラダオカメ」の育成. 近中四農研報7: 131 - 143.
- 6) Grau, A. and J. Rea 1997. Yacon *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.). H. Robinson. In: Andean roots and tubers: ahupa, arracacha, maca and yacon, IPGRI, 201 - 240.
- 7) 日高秀昌・栄田利章・足立 堯・斉藤安弘 1987. フラクトオリゴ糖の工業生産とその利用開発, 農化誌61: 915 - 923.
- 8) 深井克彦・大野幸子・後藤慶一・原 征彦 1995. 生育—休眠期間中におけるヤーコン各部位の糖含量の変化, 土肥誌66: 233 - 237.
- 9) Fukai, K., S. Ohno, K. Goto, F. Nanjyo and Y. Hara 1997. Seasonal fluctuations in fructan content and related enzyme activities in yacon (*Polymnia sonchifolia*), Soil. Sci. Plant Nutr. 43: 171 - 177.
- 10) 亀野 貞・川嶋浩樹・竹崎あかね 1996. ヤーコンの生育特性およびフラクトオリゴ糖含量, 園学雑62 別2: 446 - 447.
- 11) ——— 1998. ヤーコンの生育特性と栽培適地. 四国農業試験場公開セミナー要旨: 5 - 10.
- 12) 菅野元一 1989. 薬用植物ヤーコンの栽培, 農及園64: 538 - 540.
- 13) 黒田 秧・石原次郎 1993. ヤーコンの培養苗の生育特性と高糖度系統の選抜, 四国農試報57: 111 - 121.
- 14) Lampio, A. and J. Finne 1991. Sugar analysis of glycoproteins and glycolipids after methanolysis by high-performance liquid chromatography with pulsed amperometric detection. Anal. Biochem., 197: 132 - 136.
- 15) 中西建夫 1992. キク科作物の有用性とヤーコンの開発研究, 農業技術47: 241 - 246.
- 16) ———・杉浦 誠 1994. ヤーコンの形態及び生態特性, 熱帯農業38 別2: 9 - 10.
- 17) ——— 1997. ヤーコンの栽培—栽培研究と地域適応性—, 農及園72: 1192 - 1198.
- 18) Nelson, C. J. and W. C. Spollen 1987. Fructans, Physiol. Plant. 71: 512 - 516.
- 19) 小木曾正敏・内藤博務・倉島秀雄 1990. ヤーコンの栽植密度と収穫時期及び貯蔵性, 愛知農総試研報24: 205 - 210.
- 20) ———・浅山 哲 1992. ヤーコンの施肥量と収量及び塊根の糖度, 愛知農総試研報22: 161-164.
- 21) Ohyama, T., O. Ito, S. Yasuyoshi, T. Ikarashi,

- K. Minamisawa, M. Kubota, T. Tsukihashi and T. Asami 1990. Composition of storage carbohydrate in tubers of yacon (*Polymnia sonchifolia*), Soil Sci. Plant Nutr. 36: 167 - 171.
- 22) 小野貞芳・林 陽生 1989. 新作物の栽培・生育と気象条件. 中国・四国の農業気象 2 : 34 - 37.
- 23) 小柳敦史・中谷 誠・渡辺 泰 1988. カンショ塊根裂開症に関する研究 農研センター研報 9 : 33 - 53.
- 24) Pollock, C. J. 1986. Fructans and the metabolism of sucrose in higher plants, New Phytol. 104: 1 - 24.
- 25) Popenoe, H., S. R. King, J. Leon and L. S. Kalinowski 1989. Yacon. In: N. D. Vietmeyer, M. Dafforn, F. R. Ruskin, M. J. Engquist and E. Mouzon (eds.). Lost Crops of the Incas Little-Known Plants of the Andes with Promise for World Cultivation. National Academy Press, Washington, D. C.: 115 - 123.
- 26) 杉浦 誠・中西建夫 1991. ヤーコンの萌芽特性. 日作四国支紀 28 : 44 - 45.
- 27) ———・———— 1995 a. ヤーコン (*Polymnia sonchifolia*) の塊根組織の肥大生長, 日作紀 64 別 1 : 182-183.
- 28) ———・———— 1995 b. ヤーコン (*Polymnia sonchifolia*) の塊茎及び塊根の生長に及ぼす日長要因の影響, 日作紀 64 別 2 : 191 - 192.
- 29) ———・———— 1996 a. 灌水量の抑制処理によるヤーコンの塊根の糖含量の変化, 園学雑 64 別 2 : 60 - 61.
- 30) ———・———— 1996 b. 生育初期におけるヤーコン (*Polymnia sonchifolia*) の塊根, 梗根及び細根の内部組織の相違と分布の変化, 日作紀 65 別 2 : 281 - 282.
- 31) Sugiura, M. and T. Nakanishi 1996. Changes in carbohydrate content of tubers and tuberous roots of yacon (*Polymnia sonchifolia*). Proc. 2nd Asian Crop Sci. Conf.: 540 - 541.
- 32) 杉浦 誠 1997. 四国地域におけるヤーコン (*Polymnia sonchifolia*) 各部位の生育と糖含量の変化. 日作紀 66 別 2 : 171 - 172.
- 33) ———・中西建夫・亀野 貞・土井芳憲・藤野雅丈 2007. ヤーコン新品種「サラダオトメ」の育成. 近中四農研報 6 : 1 - 13.
- 34) ———・————・藤野雅丈・石川浩一 2014. ヤーコンの新品種「アンデスの乙女」の育成. 近中四農研報 13 : 59 - 69.
- 35) Tabata, S. and T. Ide 1988. Electrochemical detection of reducing carbohydrate produced by the transferase action of yeast debranching enzyme on maltosaccharides. Carbohydr. Res., 176: 245 - 251.
- 36) 高橋和彦 1987. マルチング. 野口弥吉・川田信一郎監修, 農学大辞典, 養賢堂 : 1363.
- 37) 高橋康利・千葉 明 1971. 短根にんじんのポリマルチ栽培, 農乃園 46 : 1725 - 1730.
- 38) 瀧田 誠・中西建夫 1992. ヤーコンの定植時期と生育・収量の関係, 日作四国支紀 29 : 46 - 47.
- 39) ———・———— 1993 a. ヤーコン (*Polymnia sonchifolia*) の定植時期による生育特性. 日作紀 62 別 2 : 173 - 174.
- 40) ———・———— 1993 b. ヤーコンの収穫適期の調査, 日作四国支紀 30 : 26 - 27.
- 41) 戸荻義次 1950. カンショ塊根形成に関する研究, 農事試報 68 : 1 - 96.
- 42) 月橋輝男・吉田 徹・宮本 誠・鈴木典夫 1989. ヤーコンの栽培に関する研究第 1 報 栽植密度と収量について, 農作業研究 24 : 32 - 38.
- 43) ———・小松崎将一・吉田 徹・宮本 誠・鈴木典夫 1990. ヤーコンの栽培に関する研究第 2 報 黒色ポリマルチとわらマルチが収量に及ぼす影響, 農作業研究 25 : 38 - 47.
- 44) ———・宮本 誠・鈴木典夫・宇津木芳雄・浅見輝男 1991 a. ヤーコンの栽培に関する研究第 3 報 植付け方法の相違がヤーコンの収量に及ぼす影響, 農作業研究 26 : 185 - 189.
- 45) ———・浅見輝男・南沢 究・久保田正重 1991 b. ヤーコン栽培における窒素とカリの施肥量, 総合農学 38 : 50 - 56.
- 46) ———・宮本 誠・宇津木芳雄・鈴木典夫・原弘道 1994 a. ヤーコンの栽培に関する研究

- 第4報 植付時期の相違が収量に及ぼす影響，農作業研究29：38 - 43.
- 47) ———・—————・—————・—————・—————
1994 b. ヤーコン (*Polymnia sonchifolia*) の栽培に関する研究 第5報 種いもの大きさの相違が収量に及ぼす影響，農作業研究29：119 - 123.
- 48) ———・—————・—————・—————・—————
1994 c. ヤーコン (*Polymnia sonchifolia*) の栽培に関する研究 第6報 うねの作り方の相違が収量に及ぼす影響，農作業研究29：176 - 180.
- 49) ———・原 弘道・鈴木典夫 1995. ヤーコン (*Polymnia sonchifolia*) の栽培に関する研究 第7報 除草回数がヤーコンの生育と塊根収量に及ぼす影響，農作業研究30：23 - 29.
- 50) ———・曹 文英・原 弘道 1996. ヤーコン (*Polymnia sonchifolia*) の栽培に関する研究 第8報 生育と塊根収量に及ぼす追肥の効果，農作業研究31：77 - 83.
- 51) ———・原 弘道・柏木真佐子 1996. ヤーコン (*Polymnia sonchifolia*) の栽培に関する研究 第9報 連作の影響について，農作業研究31：85 - 91.
- 52) ———・河村嘉宏・原 弘道・田口雄一 1996. ヤーコン (*Polymnia sonchifolia*) の栽培における種いもの植付け深さが生育と塊根収量に及ぼす影響，農作業研究31：257 - 264.
- 53) 上村賢治 1987. 霜害. 野口弥吉・川田信一郎 監修，農学大辞典，養賢堂：399 - 405.

Studies on Some Cultivation Methods for Early Harvesting of Yacon (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson)

Makoto SUGIURA

Key words : cultivation, early harvesting, tuberous root, yacon, yield

Summary

Some cultivation techniques and characters on some lines of yacon were tested from 1994 to 1997 in order to establish a cultivation type for early harvesting. The results were as follows.

- 1 The effects of the planting and mulching methods on the plant growth and the yield of tuberous roots were investigated in 1994. Seedlings or seed tubers were planted on April 13. The silver polyethylene film mulch covered till May 25. The weights of the top and the yields of the tuberous roots per plant on the transplanting or the mulching plots were more than those of the other plots respectively. The numbers and yields of the tuberous roots per plant on transplanting and the mulching plot were 2.4 and 262 gFW respectively on August 9.
- 2 The effects of the planting distance of the seedlings on the plant growth and yield were investigated in 1996. Seedlings were planted on April 9. The yield of the tuberous roots per square meter on 70/100 (0.7 m in interhill space and 1.0 m in interval of ridges) plot was 1,117 gFW on July 29. The interhill space treatment was increased the weights of the top and the yield of the tuberous roots per plant with increasing. In the contrary, the interhill space treatment was decreased the yield of the tuberous roots per area with increasing, and those of 1.0 m in interval of ridges treatment was more than those of 1.2 m in interval of ridges treatment in each interhill space treatment.
- 3 The effects of the weight of seed tuber on the plant growth and yield were investigated in 1997. Four experimental plots were made; 5-10 plot (the weights of the seed tubers between 5 gFW and 10 gFW), 15-20 plot (the weights of the seed tubers between 15 gFW and 20 gFW), 25-30 plot (the weights of the seed tubers between 25 gFW and 30 gFW) and 35-40 plot (the weights of the seed tubers between 35 gFW and 40 gFW). Seedlings were planted on April 7. The yields of the tuberous roots per plant on 25-30 plot and 35-40 plot were 569 gFW and 701 gFW respectively and more than that on 15-20 plot on July 29. The percentage of dry weight and Brix of tuberous root on 35-40 plot were least in each plot. The percentage of fructooligosaccharides content on total sugar content in tuberous root on 35-40 plot were smallest in each plot.
- 4 The influences of late frost on the plant growth were investigated in 1996. Seedlings were planted on March 19, April 2 and April 16, and seed tubers were planted on March 18 and April 2. The tops of the plants which were planted on March 19 and April 2 suffered some damages from the late frost at April 3 and April 4, and the aerial parts of the plants which were planted on April 2 were dead 44% of

the plants on the plot. But these plants did not die. From July 8 to September 2, there was no significant difference between the yields of the tuberous roots of the each plants which were planted on March 19 and April 16, however the yield of the tuberous roots of the plants which were planted on April 2 was less than that of the plants which were planted on April 16.

- 5 The characters of the plant growth of four clones, named SY11, SY23, SY102 and SY107, were investigated on July 26 in 1995. The SY11 and SY23 were belong to Peru A line. The SY102 was belong to Bolivia line. The SY107 was belong to Peru B line. Seed tubers were planted on March 28. The numbers of the tuberous roots per plant of SY11 and SY23 on July 26 were 6.7 and 4.3 respectively. The yields of the tuberous roots per plant of SY11 and SY23 on July 26 were 653 gFW and 458 gFW respectively. The number and the yield of the tuberous roots per plant of Peru A line was more than those of SY102 on July 26. The weight of the top of SY107 was similar to those of Peru A line, however, the yield of the tuberous roots of SY107 was less than those of Peru A line.

ヤーコン (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson) 「アンデスの乙女」の生育期における特性と他の品種 および系統との類似性に関する調査

杉浦 誠・矢野孝喜

Key words : ヤーコン, アンデスの乙女, 特性, 茎数, 塊根, 表皮

目 次

I 緒 言	29	2 2013年の特性調査	34
II 材料および方法	30	IV 考 察	35
1 2012年の特性調査	30	V 摘 要	36
2 2013年の特性調査	31	謝 辞	37
III 結 果	31	引用文献	37
1 2012年の特性調査	31	Summary	38

I 緒 言

ヤーコン (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson) の新品種「アンデスの乙女」⁷⁾ が2014年に品種登録 (品種登録番号: 第23007号) された。これにより, 農研機構で育成した品種は, 「サラダオトメ」, 「アンデスの雪」および「サラダオカメ」と合わせ4品種となり^{1, 6)}, 農研機構ではこれら品種の普及を進めている。ヤーコンの育種は, 1984年以降に国内に導入され, 広く普及したヤーコンで問題となっている, 塊根の収量の不安定性や亀裂の多発による外観品質低下の改善および消費者の要望に対応するための品種の多様化を目的に, 1991年から農研機構近畿中国四国農業研究センター四国研究センター (以下四国研究センター, 旧四国農業試験場を含む。) で行われてきた。育種には, 1984年以降に国内で広く普及したヤーコンから分離し, 四国研究センターで命名したペルーA群系統¹²⁾ を中心に, 1991年にボリビアより導入したボリビア群

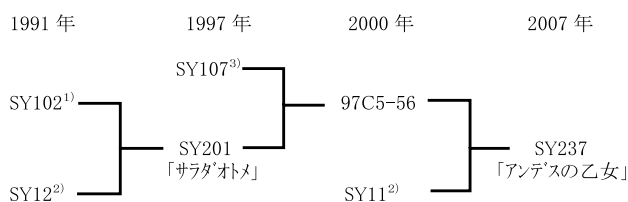
系統³⁾と1992年に国際馬鈴薯センターから導入したペルーB群系統⁴⁾およびそれらをベースに交配して得た系統を用いた。「サラダオトメ」は, ボリビア群系統である「SY102」とペルーA群の分離系統である「SY12」との交雑品種であり, 塊根は割れが少なく多収となる特徴を持つ, 国内最初の品種である⁶⁾。「アンデスの雪」は, ペルーB群系統である「CA5073 (SY106)」とペルーA群の分離系統である「SY4」との交雑品種であり, 塊根は割れが少なく多収であり, 塊根の肉色が白く, また塊根の貯蔵性が良い特徴を持つ¹⁾。「サラダオカメ」は, ペルーB群系統である「CA5074 (SY107)」とペルーA群の分離系統である「SY23」との交雑品種であり, 塊根は割れが少なく多収であり, 塊根の形状は凹凸が発生しやすいが, 塊根の肉色は浅黄橙色で塊根中の糖含量が高い特徴を持つ¹⁾。「アンデスの乙女」は, 「SY107」と「サラダオトメ」との交雑系統である「97C5-56」と, ペルーA群の分離系統で品種育成において標準として利用している「SY11」との交雑品種である (第1図)⁷⁾。その特徴は, 一

(平成27年5月28日受付, 平成28年2月29日受理)

農研機構近畿中国四国農業研究センター
傾斜地園芸研究領域

一般的な10月以降の収穫時において、塊根の形状が滑らかな紡錘形で揃いが良く、亀裂が少ないこと、株あたりの塊根の個数が多く、収量が多いこと、収穫直後の塊根の表皮の色が淡い赤色から赤紫色の赤みを帯びていること、莖長が長く、莖数が多いため株あたりの地上部乾物重が重いことである。しかし、「アンデスの乙女」の塊根の表皮の色や莖数が多い特性については、地上部が枯れる時期の収穫時における品種特性であるという結果以外、不明な点が多く、他の品種との相違点や形質の遺伝、および「アンデスの乙女」の特性の発現時期について、品種登録における審査員や生産者から説明が求められてきた。また「アンデスの乙女」の育成における特性評価では、主に地上部が枯れる頃の収量等を「サラダオトメ」や「SY11」と比較しているだけであり、現在の栽培方法が「アンデスの乙女」を栽培したい農家にとって適した栽培方法であるかは不明であるため、今後、「アンデスの乙女」を普及するには、「アンデスの乙女」に適した栽培方法や収穫時期を検討していく必要がある。このため、他の品種との比較や生育時期による生育パターン、塊根の表皮の色の特徴を調査し、「アンデスの乙女」の特性を明らかにしていく必要がある。

本資料では、2012年に香川県善通寺市の四国研究センターの圃場において、また、2013年に品種育成の際に育成地の生産力検定試験で利用した愛媛県上浮穴郡久万高原町の愛媛県中予地方局産業振興課地域農業室久万高原農業指導班（以下久万高原）の圃場において、「アンデスの乙女」と比較品種および系統を栽培し、生育期における「アンデスの乙女」の特徴と他の品種および系統との類似性を明らかにした。



第1図 「アンデスの乙女」の育成経過

- 1) 1991年導入のボリビア群系統。
- 2) 1984年以降にニュージーランドから導入されたペルーA群の分離系統。
- 3) 1992年、国際馬鈴薯センターより導入。

II 材料および方法

1 2012年の特性調査

「アンデスの乙女」, 「サラダオトメ」, 「サラダオカメ」, 「アンデスの雪」, 「SY11」および「SY107」を供試した。

栽培は、四国研究センター（海拔24m）内の灰色低地土の圃場で実施した。2012年2月27日に、水稻用育苗土を詰めた直径9cmの黒ビニールポットに新鮮重20~25gの塊茎を植付け、萌芽後6葉展開したポット苗を、4月13日に白黒ポリマルチを張った半円形の畝（畝の高さは約20cm）に定植した。栽植密度は畝間100cm, 株間50cm（㎡あたり2.0株）とした。試験区は、各品種および系統それぞれ12㎡の3反復とし、乱塊法により配置した。施肥量は、N, P₂O₅, K₂Oそれぞれ㎡あたり15gとし、全量基肥とした。夏季に畝間灌水を2回行った。生育調査は、栽培区の中央の4株, 3反復の合計12株について、5月28日（定植後45日目）、6月29日（定植後77日目）、7月29日（定植後107日目）に主莖長および地際から5cmより下の莖から分岐した莖数の調査を行い、7月30日（定植後108日目）に主莖の葉数と中央部の莖径、地上部乾物重、塊根数および塊根重を調査した。なお、塊根は最大肥大部の直径が2cm以上の根とし、新鮮重100g未満と100g以上に分けて調査した。また、塊根の直径1cm以下の部分は切除した。地上部乾物重は、105℃で3日間以上乾燥後測定した。

また、7月30日に収穫し、新鮮重50~100gで収穫直後に表皮の色が赤色を呈していない塊根を用い貯蔵試験を行い、収穫後の塊根の表皮の色の変化を調査した。試験は20℃設定の恒温器（MIR-153, SANYO）内で、上部に取り付けた昼光色の直管蛍光灯（FL15D, TOSHIBA）により24時間明条件で行った。塊根を並べた位置での上部からの光量子量は11.6μmol/s/㎡であった。供試した各品種および系統の塊根それぞれ5本ずつを無作為に選び、それぞれをまとめて透明なビニール袋（明条件）または黒いビニール袋と黒い布（暗条件）で緩く覆い、1週間おきに塊根全体に光が当たるように塊根を並べ替え、30日後に塊根の表皮の色が、赤および赤紫に

着色した割合について目視で調査した。調査基準は、各塊根について、まったく染まらなかった場合を「無」、全体の表面積の1/4未満の着色のある場合を「少」、全体の1/4以上1/2未満の着色のある場合を「中」、全体の1/2以上3/4未満の着色のある場合を「多」、「多」よりも多く着色している場合を「全」の5段階とした。

生育期間中の気温および降雨量は四国研究センター内の気象観測データを使用した。

2 2013年の特性調査

「アンデスの乙女」、「アンデスの雪」、「SY11」および「SY107」を供試した。

栽培は、久万高原の黒ボク土の圃場（海拔500 m）で実施した。2013年5月21日に、白黒ポリマルチを張った半円形の畝（畝の高さは約20 cm）にポット苗を定植した。ポット苗は2012年の試験と同様な生育状態のものとした。栽植密度は畝間120 cm、株間50 cm（㎡あたり1.7株）とした。試験区は、各品種および系統それぞれ15㎡の2反復とした。施肥は2012年の試験と同様に行った。白黒ポリマルチは7月23日に除去し、夏季に畝間灌水を2回行った。生育調査は9月9日（定植後111日目）に、品種登録における品種特性審査基準に従い、各株の最長茎の最大葉について、個葉の大きさ（葉身長、葉身幅、葉柄長）および、目視で葉縁の鋸歯の量と葉色について調査し、アントシアニンの着色度は各株の最長茎の上位葉について目視で調査した。また、

11月6日（定植後169日目）に、株あたりの最長茎長、最長茎の中央部の茎径、茎数、地上部乾物重や塊根の収量、個数、平均1個重、糖度および塊茎乾物重あたりの芽数を調査した。なお、塊根は最大肥大部の直径が5 cm以上の根とし、新鮮重100 g以上の塊根について調査した。また、塊根の直径1 cm以下の部分は切除した。地上部および塊根の乾物重は、105℃で3日間以上乾燥後測定した。調査個体数は栽培区の中央部の連続した10株、2反復の合計20株とした。

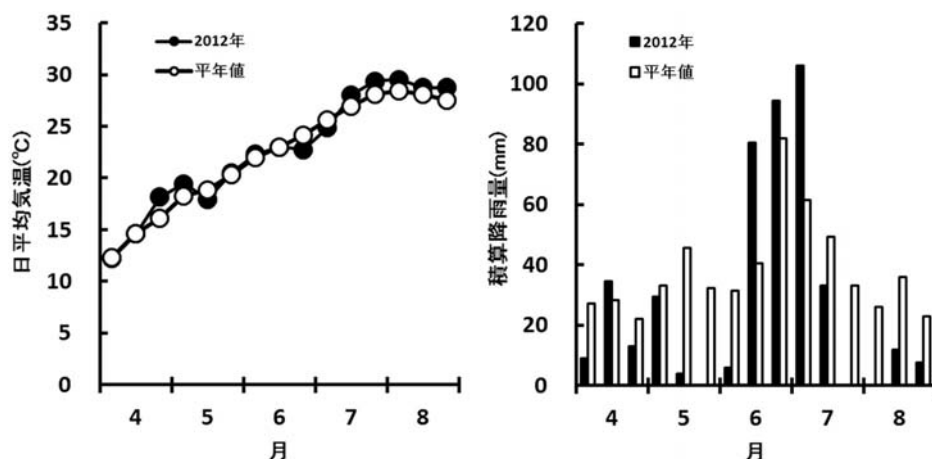
生育期間中の気温および降雨量は、試験に使用した久万高原の敷地内に設置されているアメダスの気象観測データを使用した。

2012年および2013年の試験ともに、各調査における統計処理はSPSS（日本IBM株）を用い、Tukeyの多重比較により検定した。

Ⅲ 結 果

1 2012年の特性調査

旬別の日平均気温は、7月中旬以降25℃を超え、7月および8月の日平均気温の平均は、27.4℃および29.0℃で、7月中旬から8月上旬の平均は29.2℃であり、1981年から2010年までの過去30年の平均値（平年値）よりも1.4℃高かった（第2図）。また、降雨量がなかったため畝間灌水を行ったが、8月上旬には供試した品種および系統はすべて萎凋し、その後枯死したため、生育調査は定植後107日

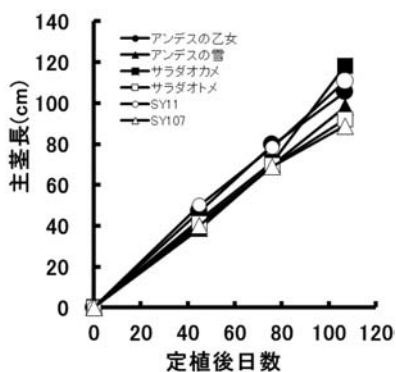


第2図 四国研究センターにおける4月から8月までの旬別の日平均気温（左）および積算降雨量（右）の2012年および平年値（1981年から2010年の平均）

目 (7月29日) までとした。

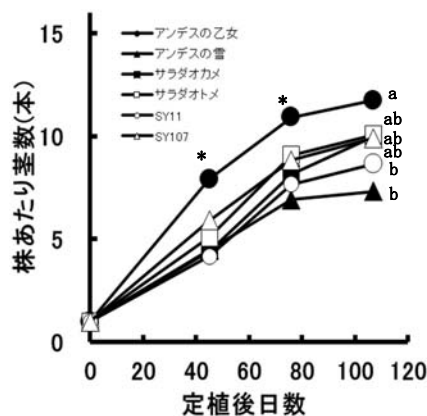
生育期間中における「アンデスの乙女」の主茎長は、経過日数とともに直線的に増加し、定植後107日目では105cmであり、「SY11」と同様に他の品種および系統よりも定植後77日目まで比較的大きく推移したが有意差は認められなかった (第3図)。また、「サラダオカメ」は定植後107日目では118cmで最も長くなったが、他の品種および系統とは有意差は認められなかった。「アンデスの乙女」の株あたりの茎数は、定植後45日目と77日目は他の品種および系統よりも多く、他の品種および系統との間で有意差が認められ、定植後107日目では11.8本で「アンデスの雪」および「SY11」との間に有意差が認められた (第4図)。

定植後108日目に地上部および地下部を収穫した (第1表)。主茎の葉数は15.8~16.5枚で、品種および系統間での有意差は認められなかった。主茎の中央部の茎径は15.9~17.6mmで、品種および系統間で



第3図 2012年の栽培における生育期間中の主茎長の推移

の有意差は認められなかった。「アンデスの乙女」および「サラダオカメ」の地上部乾物重は、他の品種および系統よりも重かった。「SY11」は株あたりの新鮮重100g以上の塊根数や株あたりの塊根重が他の品種および系統よりも多く、「SY107」は新鮮重100g以上の塊根がなかった。また、各品種間には塊根重に有意差が認められなかった。塊根の亀裂の発生は「SY11」において100g未満の塊根で11.5%みられたが、他の品種および系統ではみられなかった (データ省略)。供試した品種および系統の収穫直後の塊根の表皮の色は、乳白、薄い黄色または灰茶であり、「アンデスの乙女」では表皮の色が全面もしくは所々が薄い赤色を呈している塊根も



第4図 2012年の栽培における生育期間中の株あたり茎数の推移

注：図中の*は同一調査日において「アンデスの乙女」と他の品種および系統との間に5%水準で有意差が認められたことを示し、定植後107日目における同じアルファベットは品種および系統間に5%水準で有意差が認められなかったことを示す (n = 12)。

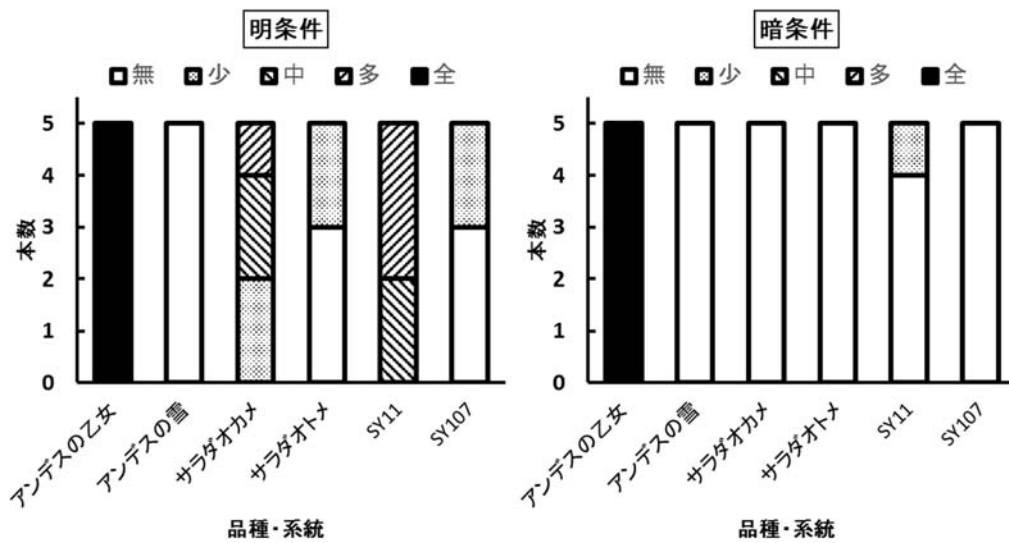
第1表 2012年の栽培における定植後108日目における株あたりの主茎の葉数と茎径、地上部乾物重および新鮮重100g未満または100g以上の塊根数と塊根重

品種・系統	地上部			塊根数			塊根重 (g)	
	葉数	茎径 (mm)	乾物重 (g)	100g 未満	100g 以上	100g 未満	100g 以上	
アンデスの乙女	16.0	15.9	297 a	6.67 bc	1.33 b	257 ab	207 b	
アンデスの雪	16.5	17.6	232 b	8.56 ab	1.00 b	392 a	137 b	
サラダオカメ	16.1	17.0	314 a	9.33 a	0.11 b	281 ab	66 b	
サラダオトメ	15.8	17.0	224 bc	6.11 bc	0.44 b	232 abc	163 b	
SY11	16.5	16.7	221 bc	6.78 bc	3.11 a	321 abc	705 a	
SY107	16.1	16.5	193 c	5.67 c	0.00	222 c	0	

注：各調査項目における系統、品種間での同じアルファベットには5%水準で有意差が認められなかったことを示す (n = 3)。

みられた。各品種および系統の赤色を呈していない50～100gの塊根の貯蔵試験において、「アンデスの乙女」の塊根の表皮の色は、貯蔵開始1週間後の塊根の並べ替え時点において、明条件および暗条件ともにすべての塊根の表皮の色が赤色を呈し始めており、貯蔵試験開始後30日にはすべての塊根で全体が赤く変色し、赤紫色を呈し、塊根の中央部近くまで染まっていた（第5図、写真）。「SY11」およ

び「サラダオカメ」の塊根の表皮の色は、明条件において全調査個体が赤く変色し、塊根内部も変色していたが、「アンデスの雪」の塊根の表皮の色は変色していなかった。暗条件では「SY11」は表皮の色程度が少であったが、「アンデスの雪」、「サラダオカメ」、「サラダオトメ」および「SY107」は赤くならなかった。



第5図 収穫後30日目の塊根の表皮の色の变化

図中の評価基準については「II 材料および方法 1 2012年の特性調査」参照。

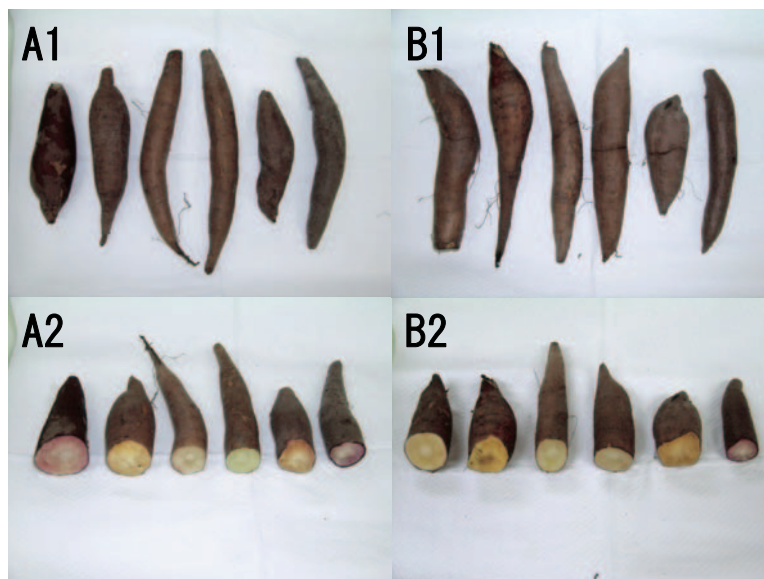
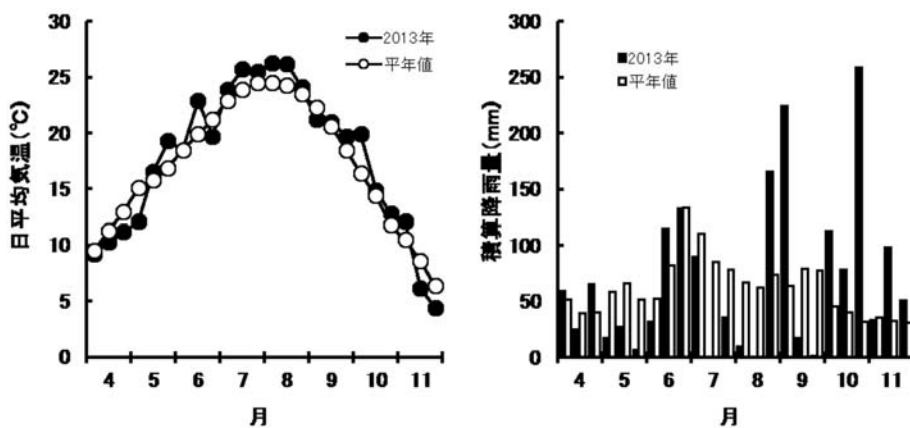
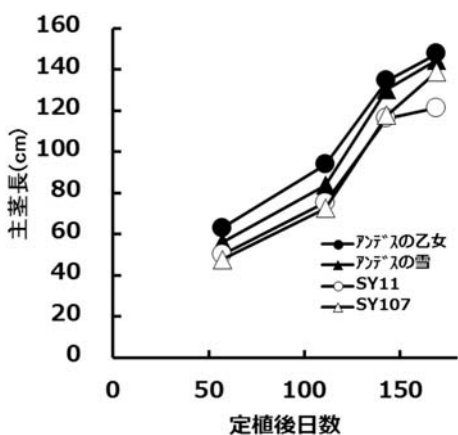


写真 明条件 (A1, A2) および暗条件 (B1, B2) で30日間貯蔵後の塊根 (A1, B1) とそれぞれの切断面 (A2, B2)

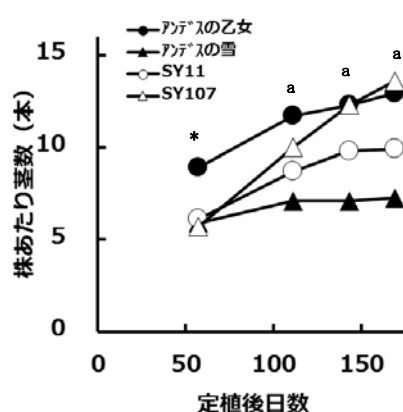
写真左から「SY11」, 「SY107」, 「サラダオトメ」, 「アンデスの雪」, 「サラダオカメ」, 「アンデスの乙女」.



第6図 久万高原における4月から11月までの旬別の日平均気温（左）および積算降雨量（右）の2013年および平年値（1981年から2010年の平均）



第7図 2013年の栽培における生育期間中の主茎長の推移



第8図 2013年の栽培における生育期間中の株あたり茎数の推移

注：図中の*は同一調査日において「アンデスの乙女」と他の品種および系統との間に5%水準で有意差が認められたことを示し、図中のaは同一調査日において「アンデスの乙女」と「SY107」間に5%水準で有意差が認められなかったが、「アンデスの乙女」と「アンデスの雪」および「SY11」との間に5%水準で有意差が認められたことを示す（n = 20）。

2 2013年の特性調査

2012年の四国研究センターの栽培において、供試したヤーコンが8月中旬にすべて枯死したことから、夏季の気温が比較的低い久万高原の圃場で栽培を行った。旬別の日平均気温は、7月中旬から8月中旬まで25℃を超えた日が多くなり、7月および8月の日平均気温の平均は、25.0℃および25.5℃であり、1981年から2010年までの平年値よりも1.3℃および1.4℃高かった（第6図）。また、この時期の降雨量が少なかったため畝間灌水を2回行った。

各品種および系統の主茎長は生育とともに増加し、定植後111日目では、「アンデスの乙女」が94cmで、供試した品種および系統の中で最も長かったが、有意差はみられなかった（第7図）。その後、いずれの品種および系統も伸長したが、品種および系統間で有意差はみられなかった。「アンデスの乙

女」の株あたりの茎数は、定植後57日目では8.9本で他の品種および系統よりも多く、定植後111日目では11.7本であり、定植後143日目以降は「SY107」とともに「アンデスの雪」や「SY11」よりも多く推移した（第8図）。また、「アンデスの雪」は品種および系統の中で最も株あたりの茎数が少なかった。

生育最盛期の定植後111日目における「アンデスの乙女」の葉身長および葉身幅は「アンデスの雪」

よりも小さく、葉柄長は供試した品種および系統の中で最も小さかった（第2表）。「アンデスの乙女」の葉身の縦横比および葉身に対する葉柄の比率は「SY107」との間に有意差がみられず、「アンデスの雪」および「SY11」との間に有意差が認められた。葉や茎上部のアントシアニンの着色は「SY107」ではみられず、「アンデスの乙女」は着色程度が「SY11」と同等に強かった。

定植後169日目に株あたりの地上部および塊根の生育量を調査した（第3表）。調査時にはすべての株において開花がみられ、主茎よりも長く伸長した茎が多数みられた。最長茎長の長さは「アンデスの乙女」が最も長く、茎数は「アンデスの乙女」と「SY107」が多かった。主茎の中央部の茎径は13.3～15.0mmで、品種および系統間での有意差は認められなかった。地上部乾物重は、「アンデスの乙女」および「SY107」がそれぞれ332gおよび333gで「SY11」よりも大きかった。新鮮重100g以上の塊根収量は、株間のばらつきが大きかったため、供試した品種および系統間で有意差は認められなかった。「アンデスの乙女」は塊根の1個重は小さい傾

向であったが、株あたりの平均個数が多く、株あたりの塊根収量は多かった。塊根の糖度には供試した品種および系統間で有意差はみられなかった。

Ⅳ 考 察

「アンデスの乙女」は、10月以降の収穫期において、株あたりの茎数が多く、地上部乾物重が重い形質を持っている⁷⁾。2012年の四国研究センターでは、「アンデスの乙女」の定植後107日目の主茎長は105cm、株あたりの茎数は11.8本であり、2013年の久万高原では、定植後111日目の主茎長が94cm、株あたりの茎数は11.7本であった。年次および栽培場所が異なる試験ではあるが、定植後日数がほぼ同じ調査日での結果において主茎長および株あたりの茎数が類似しており、それぞれの調査年において同時に栽培した他の品種および系統よりも茎数が多かった。すなわち、「アンデスの乙女」は生育初期から株あたりの茎数が多くなる特性を持つと考えられた。また、2013年の結果から、「アンデスの乙女」は塊根の1個重は供試した品種および系統に比べ比較的小

第2表 2013年の栽培における定植後111日目の葉の特性

品種・系統	葉身長 (cm)	葉身幅 (cm)	葉柄長 (cm)	葉身の 縦横比	葉柄の 比率 ²⁾	アントシアニンの 着色	葉縁の 鋸歯	葉色
アンデスの乙女	23.7 c	26.8 b	9.5 c	0.885 a	0.403 c	強	中	濃緑
アンデスの雪	25.9 a	32.1 a	13.2 a	0.810 b	0.510 b	中	中	緑
SY11	22.3 d	27.0 b	13.6 a	0.826 b	0.612 a	強	多	緑
SY107	24.9 b	27.6 b	10.2 b	0.903 a	0.410 c	無	少	濃緑

注：各調査項目における系統、品種間での同ジアルファベットには5%水準で有意差が認められなかったことを示す（n = 20）。

1) 葉身長÷葉身幅, 2) 葉柄長÷葉身長

第3表 2013年の栽培における定植後169日目の株あたりの生育量および塊根収量

品種・系統	最長茎長 (cm)	茎径 (mm)	茎数	地上部乾 物重(g)	塊根 ¹⁾			
					収量(kg)	個数	1個重(g)	糖度(%)
アンデスの乙女	160 a	14.0	13.0 a	332 a	2.94	13.0	223	11.0
アンデスの雪	151 ab	15.0	6.4 b	246 ab	2.73	9.7	273	10.7
SY11	120 b	14.0	7.9 b	151 b	1.97	8.1	242	11.5
SY107	141 ab	13.3	12.9 a	333 a	1.53	6.4	238	11.3

注：各調査項目における系統、品種間での同ジアルファベットには5%水準で有意差が認められなかったことを示す（n = 20）。

1) 新鮮重100g以上の塊根

さかったが、株あたりの塊根の個数が多く、株あたりの塊根重が重くなる傾向であることが確認できた。「アンデスの乙女」は、塊根の形状が滑らかな紡錘形で揃いが良く、亀裂が少ないことや、株あたりの塊根の個数が多く、収量が多い特性を持っている⁷⁾。塊根は地中の茎から出現するため、茎数が多くなれば塊根が多く発生することが予想される。本調査の結果から、「アンデスの乙女」の茎数が生育初期から多い特性が明らかになり、このことが株あたりの塊根の個数を増加させた要因と考えられた。一方、着生した塊根の数が増えるとそれぞれの肥大速度が遅くなり、個々の塊根が小さくなることから、塊根数が多くなったとしても株あたりの塊根の収量は多くならないことが考えられるが、「アンデスの乙女」は株あたりの塊根収量は多かった。国内に広く普及しているヤーコンを用いた試験から、生育期間が長く、地上部が大きく成長するほど収穫期の塊根収量が多くなることが示されている^{8, 9, 10, 11)}。これらのことから、「アンデスの乙女」の株あたりの塊根収量が多い特性は、生育初期から茎数が増える特性により肥大期間が長い塊根が多くなり、また収穫までに地上部が大きく成長したことが個々の塊根の肥大成長を促進させたと考えられ、塊根の個数が多いこととあわせ、結果として株あたりの塊根収量が多くなったと考えられた。

ペルー A 群系統のヤーコンの塊根の表皮の色は、一般的な10月以降の収穫時では灰茶であり、光に当たると赤紫色になり、また、生育時に露出している塊根の露出部分も赤紫色を呈する¹²⁾。2012年の試験では、7月下旬(定植後108日目)の収穫直後において赤紫色ではない塊根の表皮の色が、明条件下では「アンデスの乙女」、「SY11」や「サラダオカメ」は赤紫色に変化した。「SY107」はほとんど変化せず、暗条件において、「アンデスの乙女」以外の供試した品種および系統はほとんど変化しなかった。このことは、「アンデスの乙女」の塊根の表皮の色が赤紫色に変化しやすいことを示しており、この性質が、10月以降の収穫時において露出していない塊根でも赤から赤紫色を呈するという「アンデスの乙女」の品種特性に関係していると考えられた。

近年、熊本県、香川県および茨城県などの温暖地でのヤーコンの生産現場から、ヤーコンが夏季に枯

れることや萎凋して成長が停滞し、収穫期の塊根収量が大幅に低下したとの報告が寄せられている。

2012年の四国研究センターの栽培では、供試した品種および系統はすべて8月に枯死したが、2013年の久万高原での栽培においては枯死しなかった。四国研究センターでのペルー A 群系統を用いた試験において、ヤーコンは夏季に地上部や塊根の生育が停滞すること⁵⁾や、日平均気温が25℃以上の高温により地上部の生育阻害が引き起こされることが推察されている²⁾が、一部株において菌核病での枯死以外の枯死の発生はみられなかった。本試験だけでは2012年の枯死は単純に高温の影響であるとは言えないが、2012年の四国研究センターの日平均気温は、7月中旬から25℃を超え、7月中旬から8月上旬の日平均気温の平均が29.2℃であり、2013年の久万高原においては、7月中旬から25℃を超えたものの2012年の四国研究センターよりも7月および8月の日平均気温の平均がそれぞれ2.4℃および3.5℃低かったことが久万高原において夏季に枯死が無かったことに影響しているかもしれない。また、本試験結果から、「アンデスの乙女」は、他の品種などと同様に高温に弱い可能性が高いことが考えられた。

本試験では、「アンデスの乙女」との比較検討に育成で使用した系統である「SY107」と「SY11」および「サラダオトメ」、「サラダオカメ」、「アンデスの雪」を使用した。「アンデスの乙女」の中間母本である「97C5-56」は変異拡大のためにさまざまな交配を行った個体群の中の1個体であったことから特性は調査しておらず、また、育成途中で消失したため、「97C5-56」の特性は不明である。しかしながら、「アンデスの乙女」の育成において使用した系統である「SY107」と「SY11」を比較対照とした本試験により、「アンデスの乙女」のいくつかの特徴が明らかとなった。国内のヤーコン栽培を定着させるためには、「アンデスの乙女」だけではなく、さまざまな品種および系統を用いたヤーコンという植物に対するさらなる特性解明や栽培研究が重要である。

V 摘 要

2012年は、農研機構近畿中国四国農業研究センター(香川県善通寺市、海拔24m)の圃場において

「アンデスの乙女」, 「サラダオトメ」, 「サラダオカメ」, 「アンデスの雪」, 「SY11」および「SY107」を用い, また2013年は, 愛媛県中予地方局産業振興課地域農業室久万高原農業指導班(愛媛県上浮穴郡久万高原町, 海拔500m)の圃場において「アンデスの乙女」, 「アンデスの雪」, 「SY11」および「SY107」を用い, 「アンデスの乙女」の生育特性を調査した。2012年での試験において, 「アンデスの乙女」の株あたりの茎数は, 定植後45日目および77日目では他の供試した品種および系統よりも多かった。定植後108日目における「アンデスの乙女」および「サラダオカメ」の地上部乾物重は, 他の供試した品種および系統よりも多かった。定植後108日目に収穫した塊根の貯蔵試験において, 「アンデスの乙女」は光条件にかかわらずすべての塊根の表皮の色が赤紫色になった。「SY11」および「サラダオカメ」の塊根の表皮の色は, 明条件においてすべての調査個体に赤紫の変色があったが, 暗条件ではほとんどの個体で変化がみられなかった。2013年での試験において, 「アンデスの乙女」の株あたりの茎数は, 定植後57日目は他の品種および系統よりも多く, 定植後169日目の収穫時では「SY107」とともに多かった。定植後111日目の葉の調査結果から, 葉身の縦横比および葉長に対する葉柄の比率は「アンデスの乙女」と「SY107」との間で有意差が認められず, アントシアニンの着色程度は「SY11」に類似していた。

以上のことから, 「アンデスの乙女」は生育初期から茎数が多いことや塊根の表皮の色が赤紫色に変化しやすい特性を有することが明らかとなった。

謝 辞

本試験の実施にあたり便宜を図っていただいた愛媛県中予地方局産業振興課地域農業室久万高原農業指導班の各位に対し, 心から感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 藤野雅丈・中西建夫・石原次郎・小野貞芳・土井芳憲・杉浦 誠・富岡啓介 2008. ヤーコンの新品種「アンデスの雪」および「サラダオカメ」の育成. 近中四農研報7: 131-143.
- 2) 亀野 貞 1998. ヤーコンの生育特性と栽培適地. 四国農業試験場公開セミナー要旨 5-10.
- 3) 中西建夫・瀧田 誠 1993. ヤーコンの新導入系統“ボリビア系”の特性. 日作四国支紀30: 28-29.
- 4) ———・———— 1994 b. ヤーコン新導入系統群“ペルーB群”の特性. 四国育種談話会会報28: 5-6.
- 5) 杉浦 誠 1997. 四国地域におけるヤーコン(*Polymnia sonchifolia*)各部位の生育と糖含量の変化. 日作紀66 別2: 171-172.
- 6) ———・中西建夫・亀野 貞・土井芳憲・藤野雅丈 2007. ヤーコン新品種「サラダオトメ」の育成. 近中四農研報6: 1-13.
- 7) ———・————・藤野雅丈・石川浩一 2014. ヤーコンの新品種「アンデスの乙女」の育成. 近中四農研報13: 59-69.
- 8) 瀧田 誠・中西建夫 1992. ヤーコンの定植時期と生育・収量の関係. 日本作物学会四国支部紀事 29: 46-47.
- 9) ———・———— 1993. ヤーコン(*Polymnia sonchifolia*)の定植時期による生育特性. 日作紀62 別2: 173-174.
- 10) 月橋輝男・宮本 誠・鈴木典夫・宇津木芳雄・浅見輝男 1991. ヤーコンの栽培に関する研究第3報 植付け方法の相違がヤーコンの収量に及ぼす影響. 農作業研究26: 185-189.
- 11) ———・————・宇津木芳雄・鈴木典夫・原弘道 1994. ヤーコンの栽培に関する研究第4報 植付時期の相違が収量に及ぼす影響. 農作業研究29: 38-43.
- 12) ———・———— 2004. 新特産シリーズ ヤーコン 健康効果と栽培・加工・料理. 農文協, 東京: 52.
- 13) ———・———— 2004. 新特産シリーズ ヤーコン 健康効果と栽培・加工・料理. 農文協, 東京: 67.
- 1) 藤野雅丈・中西建夫・石原次郎・小野貞芳・土

Researches on Morphological Characteristics of A Yacon (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson) Cultivar ‘Andesu no otome’ and Similarities with Those of Other Cultivars and Lines during each Growth

Makoto SUGIURA and Takayoshi YANO

Key words : yacon, Andesu no otome, number of stem, tuberous root, epidermis

Summary

The morphological characteristics of a yacon (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson) cultivar, ‘Andesu no otome’, were investigated during its growth and compared with those of other cultivars and lines.

In 2012, the nursery plants of four cultivars, ‘Andesu no otome’, ‘Andes no yuki’, ‘Salad okame’ and ‘Sarada otome’, and two lines, ‘SY11’ and ‘SY107’, were planted on 13 April in the experimental field of NARO Western Region Agricultural Research Center in Zentsuji, Kagawa, which is 24 m above sea level. The number of stems of ‘Andesu no otome’ was more than that of the other cultivars and lines 45 and 77 days after transplanting (DAT) respectively. The dry weights of the top part of the plant of ‘Andesu no otome’ and ‘Salad okame’ 108 DAT were higher than that of the other cultivars and lines. In the storage examination of tuberous roots that were harvested 108 DAT, the epidermis of the tuberous roots of ‘Andesu no otome’ was magenta under both light and dark conditions. The epidermis of the tuberous roots of ‘Salad okame’ and ‘SY11’ were magenta under light conditions but not under dark conditions under the storage examination.

In 2013, nursery plants of two cultivars, ‘Andesu no otome’ and ‘Andes no yuki’, and the same two lines, ‘SY11’ and ‘SY107’, were planted on 21 May in the experimental field of the Industrial Promotion Division local agriculture room Kumakogen agriculture leadership team in Ehime prefecture, which is 500 m above sea level. The number of stems of ‘Andesu no otome’ was more than that of the other cultivar and lines 57 DAT, and the same as that of ‘SY107’ 169 DAT. The ratio of leaf length to leaf width and the ratio of petiole length to leaf length of ‘Andesu no otome’ were similar to those of ‘SY107’ 111 DAT. The degree of anthocyanin-mediated coloring on the leaves of ‘Andesu no otome’ was similar to that on the leaves of ‘SY11’ in September.

栽培管理・営農の高度化に資する精密メッシュ気温データの作成

植山秀紀

Key words : 精密気象情報, 気温, 放射冷却強度指標, IT, 農業支援システム

目 次

I 緒 言	39	2 現地気温観測	46
II メッシュ気温データの概要	40	3 放射冷却強度指標 (RCS) の取得	48
1 メッシュ気温データ開発の経緯	40	4 地形因子の作成	50
2 メッシュ気温データにおける気温推定技 術	41	5 精密メッシュ気温データの作成事例	52
3 放射冷却強度指標による新しい気温推定 手法	44	IV 摘 要	57
III 精密メッシュ気温データの作成	45	謝 辞	61
1 作成手順	45	引用文献	61
		Summary	65

I 緒 言

近年、インターネットを利用する端末やソフトウェアなどの情報技術 (IT: Information Technology) の発達著しく、社会に大きな影響を与えている。農業においても、農薬、化学肥料などの農業資材やトラクタなどの農業機械と同様に、農業に変革をもたらすものとして、ITを活用した栽培や営農の支援システム、そして環境計測のための機器が多数開発され、すでに実用化されているものもある。しかし、実際の農作業では、ITを利用したシステムは、いまだに標準的なものとはなっていない。その大きな理由の一つは、農業において、ITのもつ利点を十分に活用していないことである。ITの利点の一つは、現場で蓄積された膨大なデータを適切に管理することで、過去の経験や結果を現在の作業工程の最適化に役立てることが容易なことである。現在、この利点は、工場の生産ラインや流通システムの最適化などで、効力を発揮している。

工業において有効な技術が、なぜ農業において有効なものとならないかは、その利用場面の違いによる。ITの利点を農業で活用する一つの方法は、過去の栽培において得られたデータに基づき、現在の栽培工程を最適化するとともに、過去のデータに基づく将来予測にも対応した、効率的な栽培計画を立案し、実行することである。しかし、屋内にあり環境が安定している工場とは違い、作物の生育を左右する気象条件が、年により異なる農地では、過去のデータ取得時の経験や結果を、単純に現在へ反映させることはできない。過去の天気を知ることはできるが、ITによる綿密な栽培管理に適用するのであれば、天気予報における“晴”や“雨”といった定性的な情報ではなく、特定された地点 (農地) における、定量的な数値データが必要である。これらことから、ITの農業現場への導入が進まない要因の一つは、各農地における年ごとの気象条件の違いを、データとして蓄積できていないためと考える。

Ueyama (2013)⁶²⁾ は、過去の経験や結果に基づいて日々の作業を最適化し、生産性を向上させるの

に有用な気象データとして、以下の3つの特徴が必要であると提案している。

1. 数値の示す「地点が明確」である。
2. 測器による測定値のように誤差が明確で、「定量的評価が可能な数値」である。
3. データが過去・現在・未来にわたり存在することで、「任意の年月日のデータ」へのアクセスが容易である。

そして、Ueyama et al. (2015)⁶³⁾ は、このようなデータを“精密気象情報 (Precise Meteorological data)”と名付け、これを基盤データとすることで、農業へのITの導入を推進するとしている。

精密気象情報のもつ特徴は、気象観測機器による測定値そのものである。測定値であれば、数値に含まれるセンサーの誤差が明らかな上に、地点は明確で、設置期間全体のデータが蓄積できる。さらに、数値予報モデルの出力値と観測値から、気象庁ガイダンス (ポイント予報) のように、将来予測も可能となる。実際、ITによる農業支援システムを開発している企業が、農地の気象データを取得する気象ロボットを同時に開発していることは、精密気象情報の有効性が認識されはじめているためであると考えている。ただし、気象ロボットの場合、設置日以前のデータがなく、現在にフィードバックできるデータの蓄積には、かなりの時間を要する。また、センサーの精度を維持し、同質のデータを長期間取得するには、専門知識を有する技術者による、メンテナンスなどのコストを長期に負担する必要がある。このため、測器から得られるデータを利用したシステムが実用化されているのは、今のところ、作物の単価が比較的高いことで設備投資が可能で、また、環境が安定していることで測器の維持管理が露地よりも容易な、植物工場やハウス栽培に限られている。一方、露地での利用は、測器の維持管理にコストがかかること、そして農地の約4割を占める中山間地域には、地形と気象条件の多様さから多数の測器が必要なことなどから、活用事例はほとんどない。

広範囲にわたる農地に低コストで導入可能で、精密気象情報の特徴を有するデータとして、アメダスなどの気象観測網の観測値を面的な気象値とする、メッシュ気象データがある。しかし、既存のメッシュデータの解像度は1 kmであり、地形が複雑な中山

間地域では、メッシュ内の地形が大きく異なる場合があり、その適用には難点がある⁵⁵⁾。このようなことから、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 (農研機構) 近畿中国四国農業研究センターは、精密気象情報の特徴を有する、数十m解像度のメッシュ気温データを作成する手法を開発した。そこで本資料では、農研機構近畿中国四国農業研究センターで開発したメッシュ気温データを「精密メッシュ気温データ」と名付け、その作成法を紹介する。

II メッシュ気温データの概要

1 メッシュ気温データ開発の経緯

地図情報を計算機で管理するアイデアが、1960年代にアメリカやカナダで考え出され、日本でも1960年代後半から研究が開始された¹⁶⁾。そして、さまざまな地図情報を重ね合わせるため、日本全国について、約1 km (緯度30秒×経度45秒) の3次メッシュを基本として、それを縦横10個ずつ統合した2次メッシュ、2次メッシュを縦横8個ずつ統合した1次メッシュが定義された。その後、3次メッシュを縦横等分に分けた細分メッシュが定義されている¹⁶⁾。そして、1974年から、国土に関する諸計画策定事業における基礎資料の提供を目的として、国土数値情報の整備事業が開始された¹⁶⁾。これは、日本全域について、地形、水系、土地利用、指定地域などの基本的な地理情報を数値情報とするもので、大きく分けて、1. 国土 (海岸線、土地利用など) 2. 政策地域 (市町村の境界、浸水想定区域など) 3. 地域 (役場、公共施設など) 4. 交通 (道路、駅の位置、バスのルートなど) の4つの分野をカバーしている¹⁶⁾。国土数値情報は、国土交通省のホームページ (<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>) から、約款に従う限り、誰もが自由に利用可能である。ただし、利用においては、2002年4月1日より、日本測地系から世界測地系に座標が変更されていることに注意が必要である。座標変換のためのプログラムは、国土地理院のホームページ (<http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/tky2jgd/main.html>) などで公開されている。

1975年頃から国土数値情報が整備され、地形デー

タがデジタル化されたことで、気象平年値をメッシュ化する、メッシュ気候値研究が可能となった。気象庁は、月別の降水量、気温、積雪深を気候値ファイルとして、1984年から1988年にかけて作成している²⁰⁾。これは、1 kmメッシュの気候値データで、降水量は1953～1976年（24年間）、気温は1953～1982年（30年間）、そして積雪深は1955～1984年（30年間）の観測値から作成されている。そして1980年代半ばごろまでに、大学などの研究機関と共同で、多くの県・地域においてメッシュ気候値推定を行っている²⁰⁾。メッシュ気候値の農業研究利用では、1993年の時点で、公立試験研究機関の1/3以上がメッシュ気候値を開発・整備し、作期や作付の計画、適地判定などに利用している⁶⁷⁾。これまでに気象庁は、平年値の改訂に応じて、メッシュ気候値、メッシュ気候値2000、メッシュ平年値2010として、メッシュ気候値データを刊行している。なお、メッシュ気候値データは、一般財団法人気象業務支援センターから購入できるほか、国土数値情報ダウンロードサービスからも取得できる。

1990年代の初めまでは、観測値から作成された月別、年別の平年値データ、そして月平年値に調和解析法を適用して得られる日別の平年値データによる、適地判定研究が実施されてきた^{1, 38, 48, 65)}。その後、清野（1993）⁴²⁾により、気温の1 kmメッシュ気候値とアメダス観測値とを組み合わせることで、気候値ではなく、日々の気温データとなる、リアルタイムメッシュの作成手法が開発された。現在この作成法は、農業分野におけるメッシュ気温データの標準的な仕様となっている。

2 メッシュ気温データにおける気温推定技術

メッシュデータの作成には、未観測地点の気温推定が必要である。未観測地点の気温推定法には、気象観測値に基づく全球データを初期値として、コンピューターシミュレーションを実施する数値気象モデルによる方法と、周辺の観測値を用いた統計的手法による方法がある。そこで本節では、農業情報の作成に適切な気温推定法について解説するとともに、アメリカ、ヨーロッパ、日本の農業情報の作成で利用されるメッシュ気温データについて紹介する。さらに、解像度の違いによる、メッシュ気温デ

ータの利用方法について紹介する。

1) 農業情報作成のための気温推定技術

数値気象モデルによる計算は、近年のコンピューター技術の発達により、研究ツールとして身近になっている。しかし、数値気象モデルによる気温推定では、記憶媒体や計算専用マシンの確保などのコストが必要であるほか、実際の計算において、モデル特有の誤差として必ず計算値に含まれる、モデルバイアスの問題が付きまとう。また、モデルバイアスの問題のほか、農地の気温を正確に計算するには、地形や地表被覆物などによる気温への影響をすべて物理モデルに反映させる必要があることから、広範囲にわたり、地表面の気温を正確に計算することは、今のところ不可能である。このため、数値気象モデルによる接地層の計算値を現実世界に適用する場合、原因が特定できない誤差が含まれている可能性が高い¹³⁾。したがって、現実の運用を考える場合、農業情報の作成に利用するメッシュ気温情報の作成は、数値気象モデルではなく、統計的手法を適用することが実用的である。

統計的手法による気温推定法は数多く提案されているが、Ueyama（2013）⁶²⁾は、それらを第1表のように、以下の3つに分類している。

1. GISソフトなどに組み込まれている既存のラスタライズ技術で気温を面的データにする“ラスタライズ法（General rasterization method）”
2. 地形因子を用いた要因分析や統計解析により周辺観測値から推定する“地形因子解析法（Geographic function method）”
3. 平年値データに気温の平年偏差を加味することで推定する“平年偏差法（Anomaly method）”

2) アメリカ、欧州、日本における農業向けメッシュ気温データ

農業における気象情報の重要性は世界的な関心事であり、2001年のブリッジタウン（バルバドス）、2002年のワシントンD.C.（アメリカ）における農業気象分野の専門家会合を経て、世界気象機関（WMO：World Meteorological Organization）の加盟国が作成した農業情報をインターネットで利用

第1表 気温推定法の種類

タイプ	手法	利用事例
ラスタライズ法 GISソフトなどに組み込まれている、 既存のラスタライズ技術	・ 距離重み付け	・ World Agricultural Outlook Board・DAYMET
	・ クリギング	・ Dodson, Marks(1997) ¹⁴⁾ ・New et al. (1999) ³²⁾
	・ スプライン	・ Tobin et al. (2001) ⁵¹⁾ ・Samanta et al. (2012) ³⁹⁾
	・ ガウシアンフィルタ	
地形因子解析法 地形因子を用いた要因分析や 統計解析による推定	・ 地形要因による重み付け	・ AGRI4CAST ⁴³⁾ ・気象庁メッシュ気候値
	・ 重回帰分析	・ Daly et al. (2002 ⁷⁾ , 2007 ⁸⁾ , 2008 ⁹⁾ , 2012 ¹⁰⁾
	・ 冷気体積効果による最低気温推定	・ 菅野(1997) ¹⁷⁾ ・栗原・村上(1982) ²⁴⁾
		・Carrega (1995) ⁶⁾ ・Blennow, Persson (1998) ⁴⁾ ・大原(1999) ³⁵⁾ ・Lookingbill, Urban (2003) ²⁶⁾ ・Ashcroft (2006) ²⁾ ・Chung et al. (2006) ⁷⁾ ・Hollden et al. (2011) ¹⁵⁾
平年偏差法 平年値データに気温偏差を 加味した推定	・ 距離重み付け	・ 清野(1993) ⁴²⁾ ・New et al. (2000) ³³⁾
	・ 重回帰分析	・ Luzio et al. (2008) ²⁷⁾ ・Dobrowski et al. (2009) ¹³⁾

できる、世界農業気象情報サービス (WAMIS : World AgroMeteorological Information Service ; <http://wamis.org/>) が創設され、各国の報告書が公開されている。

WAMISで公開されている、米国農務省 (USDA : United States Department of Agriculture) の Weekly Weather and Crop Bulletin maps (<http://www.usda.gov/oce/weather/pubs/Weekly/Wwcb/index.htm>) の基盤データである、World Agricultural Outlook Board (<http://usda.gov/oce/commodity>) の気象データは、米国海洋大気庁 (NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration) の気象観測網から得られる観測値を、GISアプリケーション Arc view の Spatial Analyst extension 機能を使ってメッシュ化したものである⁴³⁾。NOAAの気象観測網のうち、Cooperative Observation Network (COOP ; <http://www.weather.gov/rah/coop>) は、1891年に始まった事業で、全米の約11,000か所に設置された気象ロボットを10,000人以上のボランティアが管理し、全米の気象・水文データを収集するものである。全気象観測地点のうち、約5,000か所で気象観測 (時間別最高気温、時間別最低気温、降水量、積雪深、雹・雷日数など) を、約6,000か所で水文観測 (降水量、河川水量、時間別最高・最低気温、降雪深、蒸発量など) を実施している。このほかの気象情報として、Parameter-elevation Relationships on Independent Slope Model (PRISM ; <http://www.prism.oregonstate.edu/>) による平年値データがある。

これは、1971～2000年における解像度30arcsec (800 m) の月平均平年値データ (最高気温、最低気温、降水量) である¹¹⁾。PRISMにおける気温は、半径10 km内にある観測値に地理要因で重み付けをした値を目的変数、そして標高を説明変数として作成した、1次回帰式を用いて推定される⁹⁾。このほかPRISMは、USDAの耐寒性マップ (Plant Hardiness Zone Map) における最低気温データに利用されている¹²⁾。ほか、カスケード山脈における、解像度50 mの気温データの作成に利用されている¹⁰⁾。さらに、アメリカ航空宇宙局 (NASA : National Aeronautics and Space Administration) が公開している解像度1 km×1 kmの気象データ (DAYMET : Daily surface weather and Climatological Summaries ; <http://daymet.ornl.gov/>) は、カナダ、アメリカ、メキシコの2,005か所の観測値から、日々の最高・最低気温、降水量、湿度、短波照射 (日射)、降雪量の情報を蓄積している。DAYMETによる未観測地点の推定法は、標高の影響を加味したガウシアンフィルタによるものである⁵⁰⁾。

WAMISで公開されている、欧州委員会共同研究センター (IES : European Commission Joint Research Center : JRC, Institute for Environment and Sustainability) における農業部門 (MARS : The Monitoring Agricultural Resources) のMARS Bulletin (Crop Monitoring in Europe ; <http://mars.jrc.ec.europa.eu/mars>) の作成に使われる、解像度25 kmの気温データは、周辺観測地点の地理的要因で

重み付けしたスコアが、最小となった観測値（1～4地点）の平均値として推定される⁴⁹⁾。

農業用として日本で用いられる気象データは、第1項で紹介した、清野（1992）⁴²⁾の手法によるデータである。これは、周辺のアメダスポイントにおける、メッシュ平年値と観測値との差である、平年偏差を距離重み付け平均して内挿している。この1kmメッシュ気象データは、国立研究開発法人農業環境技術研究所の農業環境情報データセンターが整備するメッシュデータ（<http://agrienv.dc.affrc.go.jp/index.html>）として公開されている。また、農研機構中央農業総合研究センターで開発されているメッシュ農業気象データ³⁶⁾も、基本的には同じ手法で作成されている。ただし、メッシュ農業気象データは、気象庁の数値予報モデルのデータを利用することで、従来の気象要素のほか、下向き長波放射や日平均風速、さらには、2週間先までの気温予測データを整備している。

日本の政府機関は、アメリカやヨーロッパのような、メッシュ気象データに基づく農業情報の作成や配信は行っていない。政府による資料ではないが、農研機構が研究資料として、近畿中国四国農業研究センターの水稻予測システム（<http://www.aginfo.jp/RGP>）およびリアルタイムアメダスを用いた麦の発育ステージ予測（http://pc78.cgk.affrc.go.jp/wheat/index_mugi.html）、そして東北農業研究センターによる水稻冷害早期警戒システム（<http://www.reigai.affrc.go.jp>）および寒締め菜っ葉糖度予測マップ（<http://www.kanjime.affrc.go.jp/index.html>）を公開している。

3) 解像度に応じたメッシュ気温データの利用法

統計的手法による気温データの空間解像度は、1km～数十kmの低解像度のものと、数m～300m程度の高解像度のものに分けられる⁶²⁾。ただしこれらは、既存のメッシュデータに基づき、分類の基準となる解像度の数値を示しているが、「低解像メッシュ」と「高解像メッシュ」の分類においては、特定の地点の気温が明確となっているかが重要であり、厳密に解像度で分類されるものではない。高解像メッシュデータと分類されるかどうかは、メッシュ内のすべての地点において同じ数値が適用できるかど

うかで決まる。

低解像メッシュデータの利用場面としてまず考えられるのは、任意の地点の具体的な数値ではなく、地域全体の気象の傾向把握を目的とする場合である。そして、このような利用者は、国、州、県の食料生産に関するデータを必要とする、政府、自治体の関係者や、世界規模で穀物の取引を行っている企業家、そして気候変動などの地球規模での気象現象を扱う研究者などである。また、地点間の気温変化が小さい平野部において、大規模農地を管理する生産者にも有用なデータとなっている。

高解像メッシュデータは、霜発生^{4, 5, 47)}や生態調査¹⁰⁾のような研究上の利用がほとんどある。日本において実用的に利用されている事例としては、北海道における小麦の生育予測³⁴⁾に用いられている、解像度250mの気温データ⁴⁰⁾があるが、このような事例は稀である。高解像メッシュデータがあまり利用されない理由として、次のことが考えられる。まず、フランスやアメリカのような農業国の主産地は、大規模農家が多く、高解像メッシュデータに対する需要が少ないこと、そして平野部のように平坦な地域において、稲、麦、大豆などの土地利用型作物を栽培する場合、低解像メッシュデータであっても、生育状況の把握や予測が十分可能なためである。また、信頼性のある高解像メッシュデータを毎日取得・配信する技術が事業化できるレベルで確立されていないため、高解像メッシュデータを活用するノウハウが蓄積されておらず、高解像メッシュデータを利用する農業というものの自体が、これまで存在しなかったことも、高解像メッシュデータの利用が進まない大きな原因の一つと考えている。

実際の農業生産に高解像メッシュデータが利用される場面は少ないが、地域の気象を面的に把握し、地域農業に活用することは、地形が複雑で多様な気象条件を有する、中山間地域や山岳地帯の農業には必要と考えている。実際、地域特有の気象環境に応じた、適切な作物配置や栽培法の選択、そして多様な気象を活用した少量多品目生産が地域農業の活性化につながる可能性が指摘されている^{28, 53, 56)}。また、高解像メッシュデータは、気温が品質に直結する園芸作物において、生産性を大きく高める可能性を秘めている。具体的には、柑橘類のように樹単位

の管理が有効である作物^{8, 29, 37)}や、複雑地形地で栽培され、局所の気象の影響を強く受ける茶⁴⁶⁾などである。

現在のところ利用事例はほとんどないが、高解像メッシュデータは任意地点の具体的数値として扱えることから、精密な栽培管理の実現に貢献すると考えている。また、農業気象情報のコストを負担する意味は、先進国、途上国にかかわらず高いという報告もある⁶⁶⁾。これらのことから、高解像メッシュデータの作成技術が事業化可能なレベルにまで発達し、利用のためのノウハウの蓄積が進めば、高解像メッシュデータに対する需要は拡大すると考えている。特に、国土の約7割、農地の約4割が中山間地域である日本や、アメリカ、ヨーロッパ、そして東南アジアの山岳農業地域などは有望であろう。

3 放射冷却強度指標による新しい気温推定手法

緒言で述べたように、栽培管理を最適化し、作物の付加価値を高める気象情報として、“精密気象情報”という考えが提案されている。そこで本節では、精密気象情報としての気温データを取得するために、農研機構近畿中国四国農業研究センターで開発された新しい気温推定法について紹介する。

高解像メッシュデータが有効な中山間地域などの複雑地形地域において、統計的手法で気温推定を行うには、既存の観測網の観測密度は粗すぎる。なぜなら、気温は地点特有の地形の影響を受ける⁶⁸⁾ため、統計的な気温推定を実施するには、同じ気象条件下における、さまざまな地形の観測データが必要となるからである。このため、高解像メッシュデータの作成には多数の観測点が必要であるが、気象観測所を新たに設置する費用が問題となり、開発地域の自由度が制限される。開発地域の自由度を確保するには、自作の観測装置を多数設置することで解決できる^{3, 26, 35)}。しかし、独自観測による気温推定では、観測期間と同期間の気温推定値しか得られない。また、農業試験場などでの試験結果を現場に適用する場合、気温を測定していても、測定方法や機器が異なれば、同じ数値であっても、農業試験場と現場とが同じ温度環境下とは限らないため、農業試験場と同じ結果が得られる保証はない。そこで、農研機構近畿中国四国農業研究センターでは、高解像

メッシュデータの作成には粗すぎるが、統一規格で管理され、同質のデータを長期間蓄積しているアメダスを利用した、任意地点の気温推定手法⁵⁷⁾を開発し、特許を取得した。

本手法は、近隣にあるアメダスなどの気象観測地点と任意地点との気温地点間差の推定モデルを作成することで、アメダスなどの気温観測値に準じた気温を推定する。気温を直接推定するのではなく気温地点間差を推定するのは、近隣の観測値から任意地点の気温を直接推定するよりも、気温の地点間差を推定の方が合理的なためである。なぜなら、同時期における気温地点間差の年変動は小さく^{22, 55)}、地点間差を推定する方が、直接気温を推定するよりも容易なためである。また、実際の観測値を基準とすることで、推定誤差の実体が明確になる。

標高は気温に大きな影響を及ぼしているが、この影響はすべての地点に共通するものである。このため、これを軽減することで、統計解析において、標高以外の要因の影響が過小評価されるのを防ぐことができる。そこで本手法では、気温は温位として扱う。そこでまず、Dodson and Marks (1997)¹⁴⁾に従い、式1のように、標準大気として求めた気圧を用いて、式2で温位に変換する。式1で導かれる気圧は実際の気圧とは異なるが、本手法は、温位そのものを推定するのではなく、基準地点との温位差の推定が目的であるので、正確な温位に変換する必要はない。また、標高のみで気温に戻せるので、実用的である。

式1

$$P_z = P_o \left[\frac{T_b}{T_b + \lambda z} \right]^{\frac{mg}{\lambda R}}$$

ここで、 P_z ：推定地点の大気圧 (hPa)、 P_o ：海面気圧 (1,013.25hPa)、 T_b ：海面気温 (288.15K)、 λ ：気温減率 (-0.0065K/m)、 Z ：推定地点標高 (m)、 m ：乾燥空気の分子量 (0.02897 kg/mol)、 g ：重力 (9.8065m/s²)、 R ：気体定数 (8.3143J/mol/K)

式2

$$\theta = T \left(\frac{P}{P_z} \right)^{\frac{R}{m c_p}}$$

ここで、 θ ：温位（K）、 T ：気温（K）、 P ：1,000（hPa）、 C_p ：定圧比熱（1,005J/kg/K）である。

長期でみた場合、気温地点間差の変動はあまり大きくないが、日々の気温地点間差は、気象の影響を受ける^{44, 45)}。また、同じ気象条件下にあっても、地形が異なれば気温も変化することから、地点間温位差 ($\Delta\theta$) は、角野 (1961)⁴⁴⁾ に従い、式3のように、推定地点の要素値 (T_{esc}) と、基準となるアメダスポイントなどの気象観測地点における要素値 (T_{ssc}) に分離する^{57, 62)}。

式3

$$\Delta\theta = T_{esc} + T_{ssc}$$

・複数日における平均値の場合

$$T_{esc} = \frac{1}{DAYS} \sum_{d=1}^{d=DAYS} (\Delta\theta_d - \overline{\Delta\theta_d})$$

・日値の場合

$$T_{esc} = \Delta\theta - \overline{\Delta\theta}, \quad T_{ssc} = \overline{\Delta\theta}$$

ここで、 $\overline{\Delta\theta}$ ：全推定地点における温位差の平均、DAYS：推定期間の総日数である。

地域における平均気温分布は、最低気温分布と同じ特徴を示す⁵⁵⁾。さらに、最低気温は、気象条件、特に地表からの放射と関連があり^{5, 25)}、放射冷却の強度により最低気温分布も変化する。そこでUeyama (2008)⁵⁷⁾ は、放射冷却の強度を示す新たな指標として、放射冷却強度指標（RCS：Radiative Cooling Scale）を提案している。この指標は、式4のように、上層気圧面と地上との温位差として計算されるが、基準地点における地表面温度の低下から放射冷却の強さを物理量として示すものではない。この指標は、放射冷却の強弱に関連する地域全体の気象状況（雲量や風速など）を総合的に数値化し、分類するための指標“スケール”である。

式4

$$RCS = \theta - \theta_G$$

ここで、 θ ：上層気圧面における温位（K）、 θ_G ：式1, 2による基準地点における地上の温位（K）である。

Ueyama (2008)⁵⁷⁾ は、地点間温位差を構成する2つの要素値は、式5のように、RCSを変数とする1次回帰式でモデル化できることを見いだしている^{57, 62)}。そして、推定地点と基準地点における実際の気温観測値から、一旦モデル式が作成（式5の定数項 $\alpha \cdot \beta$ の決定）できれば、推定地点における観測を中止しても、基準となる気温観測データが存在するかぎり、気温推定が可能となる。

式5

$$T_{esc} \& T_{ssc} = \alpha \cdot RCS + \beta$$

ここで、 $\alpha \cdot \beta$ ：定数である。ただし、 α , β の値は、 T_{esc} および T_{ssc} で異なる。

RCSを変数とする T_{esc} および T_{ssc} の推定式の特徴は、それぞれのポイントにおける地形により異なる。放射冷却が強いとき、地域において低温になりやすい斜面下や窪地などでは、RCSと負の相関を示す。逆に、地域において高温となる斜面上部や台地上などでは、正の相関を示す。そして、放射冷却の影響を受けにくい平地では、RCSとの相関は小さく、RCSに応じた値の変化はほとんどない⁵⁷⁾。また、RCSを変数とする T_{esc} および T_{ssc} の推定モデルは、平均気温、最高気温、最低気温について、別途推定式を作成する必要がある。このとき、最高気温分布は、気象条件よりも標高による影響が大きく、地域の最高気温分布は標高でおおむね決定される⁵⁵⁾が、最高気温は、日射量（雲量）や風速による影響を受けることから、最高気温についてもRCSによる推定モデルの適用は適当である。

Ⅲ 精密メッシュ気温データの作成

1 作成手順

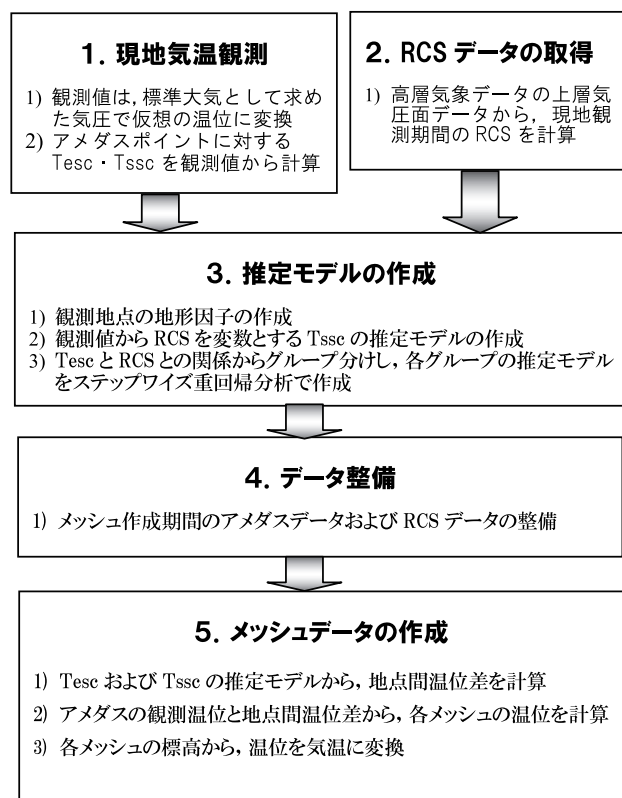
精密メッシュ気温データは、近隣のアメダスポイントと各メッシュとの地点間温位差推定モデルにより作成する。この地点間温位差推定モデルは、放射

冷却強度指標を用いた気温推定法を応用して作成する。放射冷却強度指標を用いた手法を適用するメリットは、一度推定モデルを作成すれば、アメダス観測値の存在する全期間（過去・現在・未来）において、メッシュデータの作成と更新が容易に行えることである。また、推定値には当然のことながら誤差が含まれているが、誤差の基準がアメダス観測値であることが明確なので、他産地との比較や、農業試験場などの研究成果導入の適否判定などに利用できる。

精密メッシュ気温データの作成には、次の4つのデータが必要となる。

1. 地点間温位差推定モデル作成のための現地観測データ
2. 作成期間におけるRCS値
3. メッシュ作成地域の地形因子
4. 作成期間におけるアメダス観測値

メッシュデータ作成の具体的な手順としては、まず作成地域において、現地気温観測を実施する。そして観測値に基づき、Tssc推定モデルをRCSによ



第1図 精密メッシュ気温データの作成手順

る1次回帰モデルとして作成する。次に、観測値から作成した各観測地点のTesc値をRCSに応じてグループ分けし、数値標高モデルで作成した地形因子を説明変数とする、ステップワイズ重回帰分析により、RCSに応じたグループごとのTesc推定モデルを作成する。作成したTsscおよびTescの推定モデルとRCS値およびアメダス観測値から、各メッシュの温位を求め、最後に各メッシュ標高から、温位を気温に戻すことで、メッシュ気温データを求める。作成手順の概要を第1図に示す。また、具体的方法を項目別に、次節以降で説明する。


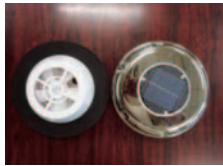
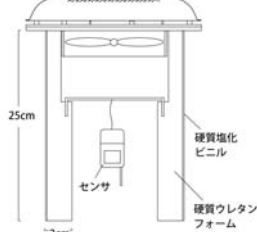
2 現地気温観測

現地気温観測の実施においては、センサーへの放射の影響をできるだけ小さくする必要がある。気象庁の気象観測の手引 (http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kansoku_guide/tebiki.pdf) によると、“光沢のある金属及び断熱材で二重の筒をつくり、この中心部に温度計を取り付けたファンで強制的に通風（下部から上部への流れ）する”通風筒（シェルター）内にセンサーを設置することが推奨されている。さらに、“通風速度は5 m/s前後とし、自然通風を利用した通風筒の場合、気象庁の試験では、いずれも日射などの影響をかなり受けることが分かっており、気温観測には適さない”とされている。また通風筒の設置高さは、WMOでは1.25～2.0 mを



写真1 自作観測装置による現地観測風景

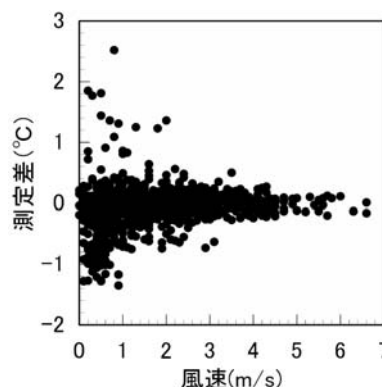
第2表 自作観測装置の仕様

<p>温度計</p> <p>データロガー内臓小型温度計（右写真は、T&D社のおんどとり RTR502） H62mm×W47mm×D46.5mm+アンテナ長24mm</p> <p>*温度計の上に、センサー固定用の針金（幅100mm 引掛け部20mm）を取付ける。</p>	
<p>ファン 注：必ず排気モードで使用</p> <p>ソーラーベンチレーター（右写真は、ニュージャパンヨット（株）の蓄電式ソーラーベンチレーター-13027） 直径215mm，高さ70mm（ステンレス部32mm），開口穴120mm，埋め込み深さ40mm</p>	
<p>筒部</p> <p>配管保温材（写真1は、INACパイプガード（1m）を25cmに切断） サイズ：内径89mm×厚さ20mm×高さ250mm</p> <p>*ファン取り付けのため、内径は120mmに拡張（右図参照）</p> <p>*筒は、高さ1.8m，太さ2cmのイボ竹に固定する。イボ竹の接地部分は、1辺2cmの等辺鋼で固定（長さ約1.5mのうち、30cmは地中）【写真1参照】</p>	

第3表 市販の強制通風筒に対する自作観測装置の測定誤差 (RMSE)

	誤差 (°C)
日平均値	0.12
日最高値	0.13
日最低値	0.48
時別値	0.33

*測定期間は2007年6月5～28日・10月12～31日で、測定間隔は5分



第2図 市販の強制通風筒と自作観測装置による時別観測値の測定誤差（自作－市販）と風速との関係

推奨しており、気象庁では1.5mを基準としている。

気象庁の基準を満たす観測を実施するには、市販されている10万円程度の強制通風シェルターを購入する必要があるほか、AC電源も必要となるため、多数の観測点を設けることは困難である。電源のない現地で強制通風する方法として、大原（1999）³⁵⁾の考案した自然通風シェルターに、太陽電池とファンによる通風装置を取り付ける方法がある⁵²⁾。しかし自作の場合、防水性や耐久性などの問題から、太陽電池によるファンは、市販品を利用するのが実用的である。そこで、電源のない現地における気温観測の参考例として、太陽電池パネルとファン、そして蓄電池からなる、市販のソーラー換気扇を利用した、気温観測装置⁵⁴⁾を紹介する。

気温観測装置の概観および部材は、写真1および

第2表のとおりである。この観測値を市販の通風式白金抵抗温度計（Pt100Ω 4線式，英弘精機（現EKO））と比較した結果は第3表のとおりで、実用的な装置であると考え⁵⁴⁾。ただし、断熱材の性能に対応した十分な通風速度が確保されていないことから、第2図のように、風速が1 m/s以下の場合には誤差の拡大が懸念される。このため、ハウス内などの無風に近い状況で使用する場合は注意が必要である。第3表と第2図の測定誤差は、2007年6月5～28日および10月12日～11月25日における、5分間隔の測定値を1時間平均したもので比較している。

また、この観測装置による10分間隔の測定値とアメダス観測値（大三島）と比較した結果を第3図に示す。この時の観測期間は、2014年5月17日～2015年2月28日で、測定間隔は10分であった。また、第3表および第3図中のRMSEとは、気象庁の精度検証にも用いられる、式6で求める、二乗平均平方根誤差（Root Mean Square Error）の略である。

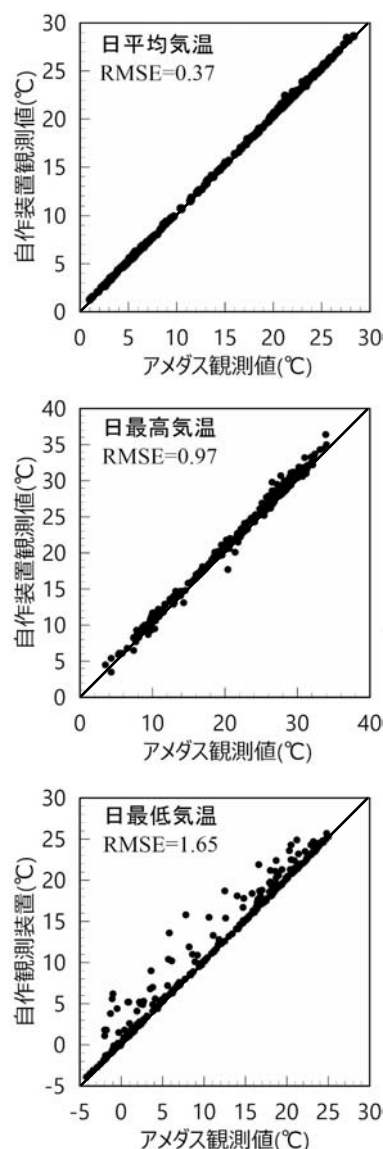
式6

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T - T_a)^2}$$

ここで、N：サンプル数、T：自作装置の観測値、 T_a ：アメダス観測値である。

アメダスとの比較では、日平均気温に比べ、日最高気温、日最低気温の誤差が大きいが、これはセンサーの違い（サーミスターと白金抵抗温度計）のほか、観測方法の違いが大きく影響していると考えられる。なぜなら、自作装置の最高気温および最低気温が10分間隔の測定における極値であるのに対し、アメダスによる極値は、2002年以前は毎正時の観測値（24個）から求め、それ以降は、10分ごとの観測値から求めている。そして2005年以降は、10秒ごとの観測値から求めている（気象庁資料：<http://www.jmbasc.or.jp/hp/offline/henkou080307.pdf>）。

RCSを変数とする回帰式を作成するための現地観測値は、春や秋、冬といった放射冷却の強い時期のデータを含む必要があるため、3か月から半年の間実施することが適当である。そして、設置地点は、谷底、斜面、台地、窪地など、対象地域全体を反映するように、多様な地形の場所を選定する。このとき、すぐ近くに障害物があるなど、空気の流れの悪い場所は避けるべきである。さらに、最高気温や最低気温を推定する場合は、自作観測装置とアメダス観測値との差が大きくなる場合があるので、アメダスポイント付近でも観測を実施し、気温地点間差を求める場合は、設置した観測装置のデータをアメダスポイントにおける気温とすることが望ましい。また、天気によって、最高気温は朝方や夕方、最低気温はその日の夜（22時頃）に出現する日があるが、



第3図 自作観測装置とアメダス観測値との比較

そのようなデータをRCS値から推定することは困難である。そこで、日最高気温、日最低気温は、気象庁が定めるところの、朝の最低気温（0時から9時の最低気温）、日中の最高気温（9時から18時までの最高気温）とすることが適当である。

3 放射冷却強度指標（RCS）データの取得

過去に実施された、月・旬平均値の推定^{57, 58)}では、高層気象台のレーウインゾンデ観測値とアメダス観測値とから、統計的に作成した推定モデルを用いて、RCSデータを取得している。しかしこの手法は、日値の推定において、誤差の拡大が懸念される⁶²⁾。

そこで、日平均値推定におけるRCSの上層気圧面温位は、数値気象モデルの出力値を利用する^{62, 64}。地上温位は数値気象モデルでも計算できるが、地表面における信頼性は低いことから、アメダス観測値から求めた温位を利用する。

1) 気象庁数値予報モデルの利用

実用的な数値気象モデルとして、まず気象庁の数値予報モデルの出力値 (GVP: Grid Point Values) がある。以前の気象庁数値予報モデルは、水平解像度約60kmの全球モデル (GSM)、水平解像度約20kmの領域モデル (RSM) と台風モデル (TYM) および水平解像度約10kmのメソ数値予報モデル (MSM) であった。その後、2007年11月に全球モデルは高解像度化され、領域モデルと同程度の解像度を持つようになり、RSMとTYMは廃止された¹⁹⁾。また、メソ数値予報モデル (MSM) も高解像度化され、2006年からは水平解像度が5kmとなっている。現在、GSMの配信時間は1日4回 (UTC00, 06, 12, 18) で、予報時間は最大264時間である。また、MSMの配信時間は1日8回 (UTC00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21) で、予報時間は39時間である。気象庁数値予報モデルは、一般財団法人気象業務支援センターから購入する必要があるが、国立研究開発法人と共同研究を実施している場合などで、利用が適切と判断された公的研究機関などであれば、農林水産省の農林水産研究情報総合センターのデータベースからも取得できる。ただし、GPVデータは、GRIB2というバイナリファイルであり、専門的な知識がなければ扱い難いデータである。このため、インターネット上で公開されているフリーソフト (http://www.geocities.jp/ne_o_t/soft/soft.htm) や市販ソフト (<http://www.insight-inc.co.jp/cm/cmmain.html>) などで、テキスト化する必要がある。

2) 領域気象モデルの利用

精密気象情報の特性の一つは、過去の任意の時期のデータが利用可能なことであるが、気象庁GPVデータの場合、初期のデータフォーマットが現在とは異なるなどの問題があり、2001年以前のデータを利用することは、専門機関以外では難しい。実際、農林水産研究情報総合センターのデータベースに

は、現在のところ、2002年以前のデータは存在していない。このため、過去のデータを整備するには、数値気象モデルによる計算を独自で行い、上層気圧面データを作成する必要がある。そこで、筑波大学で開発された、領域気象モデルTERC-RAMS⁷⁰⁾による事例を紹介する。

領域気象モデルの計算では、初期値データとして、観測値などから作成される全球の再解析データなどが必要である。今回のTERC-ERAMSの計算では、アメリカのNational Centers for Environmental Prediction (NCEP) が作成した、解像度約250kmの再解析データを解像度5kmにダウンスケールすることで上層気圧面データを得た。ここでいう再解析データとは、地球のさまざまな地点で観測された測定値をコンピューターにより、均等間隔の格子点データとして再配置したものである。また、領域気象モデルの計算には、海水面温度データも必要である。これらのデータは、インターネットを使って申請し、申請が受理されれば、自由にダウンロードできる。ダウンスケーリングの詳しい方法については、Ueyama et al. (2011)⁵⁹⁾、Ueyama (2012 a)⁶⁰⁾、そして、Ueyama et al. (2015)⁶⁴⁾を参照願いたい。

上層気圧面の温位として、どの大気圧面を用いるかは、対象地域の地形によるが、基本的な考え方としては、対象地域とその周辺の標高よりも高い位置にある大気圧面を選ぶことである。ただし、高度が高すぎると、時期によっては上層大気にある冷気の影響などを受けるので、注意が必要である。西日本地域であれば、925hPa面程度が適当と思われる。また、アメダスポイントにおける値としては、最近接グリッドの計算結果を用いても問題ないと思われるが、Ueyama et al. (2011)⁵⁹⁾、Ueyama (2012 a)⁶⁰⁾、そして、Ueyama et al. (2015)⁶⁴⁾は、近隣4グリッドの出力値に、式7の距離重み付け法を適用して得た値をアメダスポイントの温位としている。

式7

$$\theta = \frac{1}{L} \left(\frac{\theta_1}{l_1} + \frac{\theta_2}{l_2} + \frac{\theta_3}{l_3} + \frac{\theta_4}{l_4} \right)$$

$$L = \frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2} + \frac{1}{l_3} + \frac{1}{l_4}$$

ここで、 θ ：アメダスポイントの上層温位、 $\theta_{1\sim 4}$ ：周辺4グリッドの温位、 $l_{1\sim 4}$ ：4周辺グリッドから、アメダスポイントまでの水平距離である。

4 地形因子の作成

過去の数十m解像度のメッシュ気温データの作成において利用された地形因子の例を第4表に示す。また、1kmメッシュデータであるが、気象庁のメッシュ気候図において採用されている説明変数も参考に示す。第4表のように、ステップワイズ重回帰分析の説明変数とされる地形因子は、既存研究のすべてと同じではない。これは、明確な理論に基づき、地形因子が選択されているわけではないことによる。ステップワイズ重回帰分析は、目的変数となる事象を引き起こす原因が明確になっていない場合に有効な手法で、目的変数と関連があると思われる複数の要因（説明変数）の中から、統計的にもっともよく目的変数を説明する組み合わせを見つけているのであり、原因を明確に突き止めているわけではない。Aという説明変数が選択されたとしても、変数Aが直接的な原因ではなく、解析前に変数候補として挙げられていなかったが、変数Aに関連の深いBという要因に影響を受けている場合でも、変数Aが選択される。つまり、ステップワイズ重回帰分析は、目的変数となる事象を引き起こす要因の科学的証明よりも、発生の予測を重視する場合に適した手法といえる。このことは、ステップワイズ重回帰分析で作成された推定式は、論理性に劣るともいえるが、

気温推定には合理的かつ実用的な手法であると考えられる。なぜなら、地表面付近の気温に影響を及ぼす要因は非常に複雑で、何がどの程度の影響を与えているかをさまざまな地点で明らかにすることは、今のところ不可能だからである。よって、実際の地形因子の作成では、作成地域の地形や土地利用状況などから、適切と考えるものを選択する。

本資料では、植山 (2006⁵³), 2008 a⁵⁵), 2008 b⁵⁶) および Ueyama (2010⁵⁹), 2012 a⁶⁰), 2012 b⁶¹) の報告をもとに、第5表の地形因子を精密メッシュ気温データ作成のための説明変数として提案する。本手法では、温位に変換することで気温減率（標高）の影響を取り除いているが、その他の標高による影響（風・日射の状況や斜面温暖帯）について考慮するため、標高を地形因子としている。また、第5表には、植山^{53, 55, 56}) が説明変数としている日射量は含めていない。これは、日射の影響は、開放度、平均傾斜、そして標高差などに加味されるので、日射量を加えたことによる精度の改善があまり期待できないことによる。また、表中の計算範囲がRとは、観測地点のメッシュから、東西南北方向にR個のメッシュをとった正方形、すなわち $(2 \times R + 1)^2$ 個のメッシュを対象として、説明変数を求めることを意味する。なお、ここで紹介している地形因子は、メッシュデータ作成範囲において、作成者が各自で作成する必要がある。

植山^{53, 55, 56}) による50mメッシュ推定では、説明変数の計算範囲Rは、高山ら (1999)⁴⁷) に従い1

第4表 高解像メッシュ気温推定のための作成に用いられた地形因子

大原 ³⁵⁾	河合ら ¹⁸⁾	高山ら ⁴⁷⁾	Sameshima ⁴⁰⁾	気象庁 (参考)
緯度	緯度	緯度	平均標高	緯度
経度	経度	経度	起伏量	経度
平均標高	標高	平均標高	傾斜度	海岸距離
平均傾斜	最大傾斜量	平均傾斜	斜面方位	標高
標高差	平均傾斜	標高差		起伏量
開放度	海岸距離	開放度		陸度
	最高標高	盆地度		西・東勾配
	最低標高			南・北勾配
	平均標高			南西・北東勾配
	起伏量			南東・北西勾配
	標高差			方位別開放度
	開度			開放度
	開放度			人工被覆率
	方位別開放度			

第5表 高解像メッシュ気温データ作成において本稿で提案する地形因子

地形因子	定義
標高	メッシュ標高値
緯度	メッシュ作成範囲における最南端を1行とした時の行番号
経度	メッシュ作成範囲における最西端を1列とした時の列番号
平均標高	東西南北方向にR個のメッシュをとった正方形内すべてのメッシュ標高値の平均
標高差	東西南北方向にR個のメッシュをとった正方形内の最大標高値と中心メッシュとの標高差
開放度	東西南北にR個のメッシュをとった正方形の周辺メッシュで、中心よりも ΔH_m 以上高くないメッシュ数の割合
平均傾斜	東西南北方向にR個先の標高をZE, ZW, ZS, ZNとすると、 平均傾斜 = $[(Z_N - Z_S)^2 + (Z_E - Z_W)^2]^{0.5} \div 2R$
傾斜の通過頻度	全メッシュを最大傾斜方向へ傾斜度が0になるまでたどった時に、対象メッシュに到達するまでに通過してきたメッシュ数を計算する。そして、東西南北方向にR個とったときの正方形内における通過メッシュ数の合計値
水域度	メッシュ内をより高解像のメッシュで区切った時に、水域の含まれる高解像メッシュの数を計算する。そして、東西南北方向にR個とったときの正方形における水域を含む高解像メッシュの合計値
海岸距離	メッシュの中心から最近接海岸までの距離

～60としているが、この数値についても明確な基準はなく、作成地域の状況および使用するメッシュ解像度に応じた値を選択することが適切である。実際の分析においては、ステップワイズ重回帰分析で選択された説明変数のR値が最大値と等しい場合などは、Rの範囲を広げるなどの工夫が必要かもしれない。また、10mメッシュなど、より高解像の地形データを用いる場合、標高差などを計算しても数メッシュ先までは、どの観測地点でもほぼ同じ数値を示すことがある。そして、ステップワイズ重回帰分析では、説明変数の組み合わせとして最適と判断されると、すべての観測地点で同じ数値である変数が選択される場合も生じる。このような場合は、Rが10以上の説明変数だけでステップワイズ重回帰分析を実行するなどの工夫が必要となる。

第5表の地形因子の多くは、栗原・村上(1982)²⁴⁾に準じているが、水域度および傾斜の通過頻度は、高解像メッシュデータにおける説明変数として提案された、独自の地形因子である。これは、大原(1999)³⁵⁾が、50mメッシュの気温推定において、最低気温の推定精度は低く、改善が必要であると指摘していることから、1kmメッシュよりも高解像の気温推定で

は、地形の影響をさらによくあらわす説明変数を加える必要があると考えたことによる。傾斜の通過頻度を説明変数に加えたのは、松村ら(1988)³⁰⁾や Laughlin and Kalma(1990)²⁵⁾が霜害危険地帯の検出に用いたように、多くのメッシュを通過してきた傾斜の軌跡が集まる地点は、冷気が集まり低温になりやすいと考えたことによる。また、水域度については、海や域内の水系が気温に影響を及ぼすという報告^{21, 24, 31, 69)}があることから、大きな河川や多数の溜池を有する地域では、水系の大きさを説明変数に加えている。傾斜の通過頻度は、メッシュを最大傾斜方向へ傾斜度がゼロになるまでたどった時に、対象メッシュに至るまでに軌跡が通過してきたメッシュの数をカウントし、このカウントした数を $(2 \times R + 1)^2$ メッシュにおいて合計した値と定義されている。そして水域度は、次の方法で求める。まず、国土地理院の数値地図25,000で作成した水系のラスターデータを作成し、これをメッシュ解像度よりも高解像のメッシュにリサンプリングする。そしてメッシュごとに、リサンプリングされた水系データが含まれる高解像メッシュの数を計算し、この数を水域度としている。植山(2008)⁵⁵⁾は、数値地図

25000による水系のラスターデータの抽出を、農研機構近畿中国四国農業研究センター営農・環境研究領域の高橋英博主任研究員が作成したプログラムを用いて実施している。

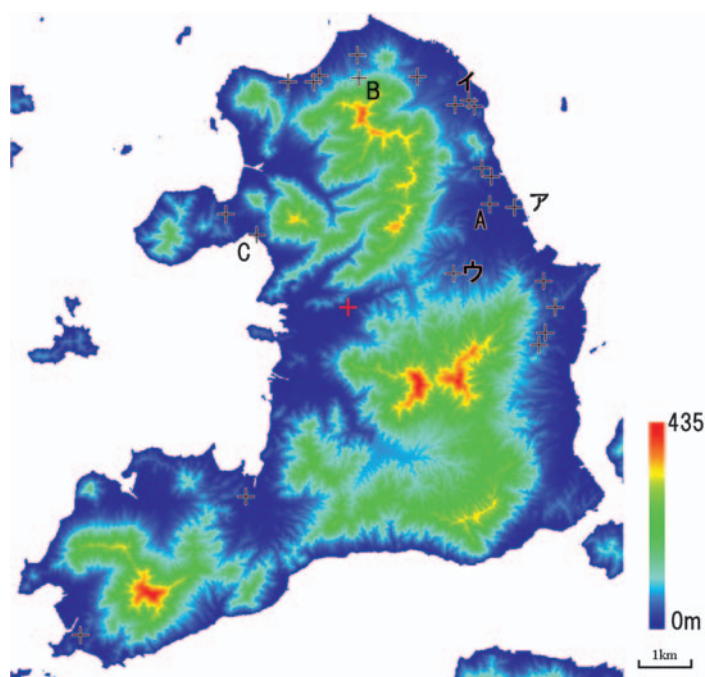
傾斜の通過頻度と水域度を説明変数に加えたことによる推定精度の改善程度は、メッシュデータの作成地域により異なる。なぜなら、谷の形成が明らかに異なる場所が含まれる地域や、水域の有無が場所により大きく異なるような地域では、傾斜の通過頻度や水域度を説明変数に加えることの意義は大いにあると思われる。しかし、対象地域において谷や水域の分布が一様な場合は、それらの影響は他の地形因子で代用され、精度があまり改善されない可能性がある。実際、鯨・池田(2015)²³⁾は、第5表の地形因子のうち、水域度と傾斜の通過頻度を用いず、実用的な50mメッシュの気温データを作成している。また、内陸部にある場合は海岸距離を説明変数に含めないなど、対象地域の状況に応じて、説明変数とする地形因子を決定するのが適当である。

地形因子は、数値標高モデル(DEM: Digital Elevation Model)で作成する。数値標高モデルのうち、1kmメッシュ(3次メッシュ)、500mメッシュ(4次メッシュ)、250mメッシュ(5次メッシュ)

は、国土地理院の国土数値情報ダウンロードサービス(<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>)から入手できる。また、同じく国土地理院の基盤地図情報ダウンロードサービス(<http://fgd.gsi.go.jp/download/>)からは、5mメッシュおよび10mメッシュの地形データが入手できる。50mメッシュデータは、一般財団法人日本地図センター(<http://www.jmc.or.jp/index.html>)で販売されている。これらの詳しい情報は、インターネットから入手できる。

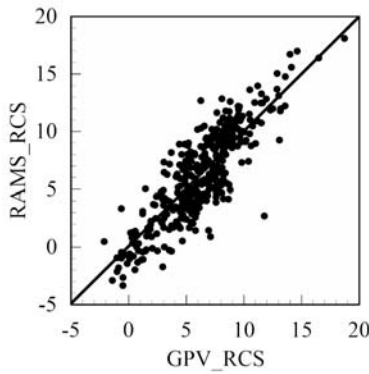
5 精密メッシュ気温データの作成事例

精密メッシュ気温データの具体的な作成事例として、第4図に示す、愛媛県今治市の大三島(面積約64.5km²)において作成した、10m解像度の精密メッシュ気温データ(1995~2014年の日平均気温)を紹介する。RCSデータの計算に必要な上層気圧面温位は、TERC-RAMSの出力値を用いた。ただし、TERC-RAMSの出力値とGPVから計算したRCS値は、第5図のように、ほぼ同様であることから、データ更新の利便性を考え、今後のデータ更新には、気象庁の数値予報モデルを用いる。また、Tesc値の推定モデルを作成するためのステップワイズ重回



第4図 大三島の10mメッシュ地形図と現地観測地点(十字印)

* 赤十字はアメダスポイント

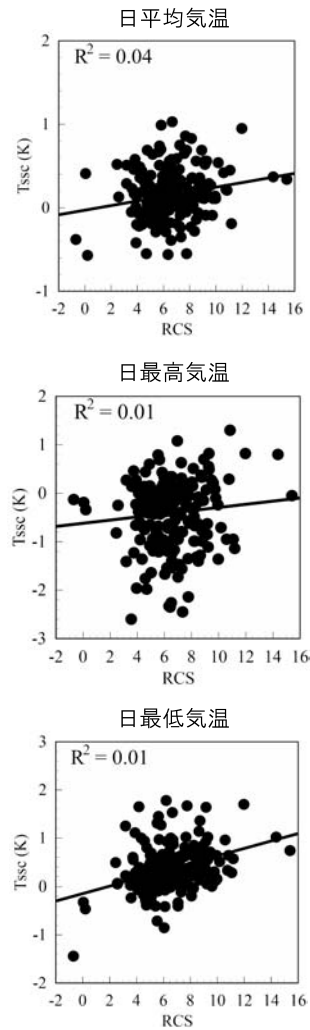


第5図 アメダスポイント（大三島）
における気象庁GPVとTERC-
RAMSによるRCS値の比較

*計算期間は、2013年1月1日～12月31日

帰分析で使用する説明変数は、第5表のうち、水域度、緯度、経度を除く6種とした。これは、作成面積が比較的小さく、海に囲まれていること、そして大きな水系が存在しないことによる。地形因子作成のための、DEMは、基盤地図情報ダウンロードサービスから取得した、10mメッシュデータ（0.4秒×0.4秒）を用いた。

一般に統計解析では、モデル変数の10倍程度以上のサンプル数が必要とされる。観測装置の設置数が増えるほど、予算が大きくなり、なるべく少なくしたいが、高解像メッシュデータの作成では、最低でも20地点程度以上で気温観測を実施する必要があると考えている。これは、過去に作成したモデル式の変数の数が、3個以内であったことによる。ただし、作成地域全体の地形の多様性を20地点程度では網羅できない場合は、さらなる観測点が必要となる。大三島における実際の作成では、まず、第4図の十字印の位置で、気温観測を実施した。この時の測定間隔は10分で、観測地点数は23か所とし、うち1か所はアメダスポイントの脇に設置した。そして、アメダスポイントとの地点間温度差の推定モデルを作成するため、2014年5月17日～12月19日における観測値を温度に変換し、Tssc値およびTesc値を計算した。このとき、推定モデルの開発では、気温観測値には観測装置の故障などによる異常値や欠測値が含まれている場合があるので、モデル作成ではその日のデータは削除して、解析には使用しないよう、注意する必要がある。



第6図 Tssc値とRCSとの関係

第6図のTssc値とRCSとの関係から、Tsscの推定モデル（式8、式9、式10）を開発した。TsscのRCSとの相関は小さいが、これは、アメダスポイントが、放射冷却による局地的な影響を受けにくい場所にあること、そしてTssc値に対して、RCSの幅が非常に大きいためである。

式8（日平均気温）

$$T_{ssc} = 0.0275 \cdot RCS - 0.0281$$

式9（日最高気温）

$$T_{ssc} = 0.0275 \cdot RCS - 0.0281$$

式10（日最低気温）

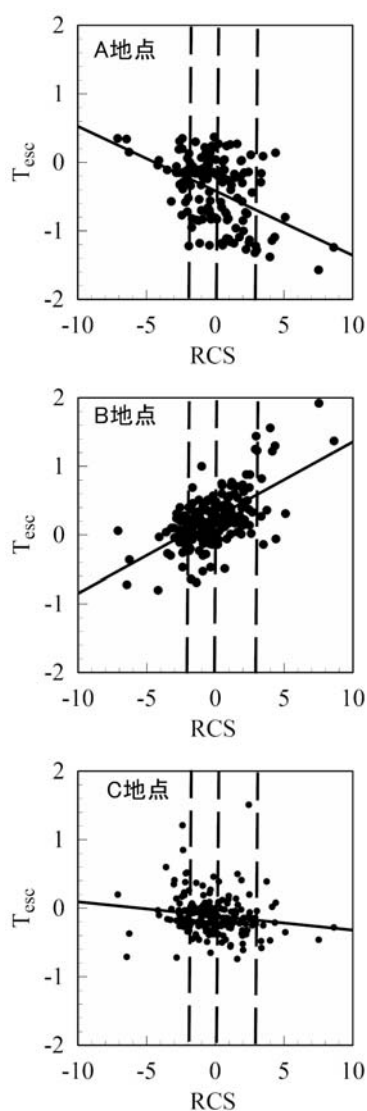
$$T_{ssc} = 0.0772 \cdot RCS - 0.141$$

次に、Tesc 値の推定モデルを作成するグループを決定するため、全観測地点における Tesc 値と RCS との関係进行调查した。参考例として、斜面下で冷気にさらされやすい地点 A、斜面中腹にあり逆転層の発達により夜間の気温が比較的高い地点 B、そして、平地で地形の影響を受けにくい地点 C における、日平均気温の Tesc と RCS との関係を第 7 図に示す。そして、RCS との関係から、大三島においては、Tesc 推定モデルのグループを次の 4 つとした。

1. $RCS < -2$
2. $-2 \leq RCS < 0$
3. $0 \leq RCS < 3$
4. $3 \leq RCS$

推定モデルを作成するグループの数は、全観測地点における RCS と Tesc 値との関係、そして Tesc 値のバラつき具合などから、別の推定モデルを使うことが適切と判断される、RCS の境界値の数で決まる。ただし、RCS がゼロをまたぐグループを作ることは、RCS の定義から考えても不適切である。また、推定モデルは、平均気温、最高気温、最低気温において別途つくるが、グループで分けるときの RCS の値は、共通したもので良い。なぜなら、RCS は、地域全体の気象状況を示す指標であり、気温の特性に応じて決まる指標ではないからである。また、最低気温と平均気温の放射冷却に応じた変化は同様の傾向を示す⁵⁵⁾ ので、同じ指標を境界にすることに問題はないと考えられる。最高気温については、放射冷却強度の影響は小さく、ほぼ標高で決まる⁵⁵⁾ が、放射冷却と関連する、風速や雲量（日射量）の影響が考えられるので、放射冷却との関係が認められている平均気温と最低気温に準じた RCS 値の境界によるグループ分けとしている。

ステップワイズ重回帰分析により、4 つのグループごとの Tesc 値の推定モデルを開発した。各 Tesc 推定モデルを第 6 表に示す。ステップワイズ重回帰分析において、説明変数を追加除去するときに、統計的意味があるかないか判断する基準として、F 比や第 1 種の誤りの確率などが用いられる。しかし、この基準値については明確に定められたものではなく、実際に採用された変数の種類と数、そして誤差



第 7 図 3 地点（第 4 図 A, B, C）における RCS と日平均気温における Tesc 値との関係
（点線は、各グループに分類する際の境界値）

の大きさや相関係数などから、総合的に判断する必要がある。また、推定式の妥当性を判断する基準としては、相関係数の大きさよりも、採用された説明変数の妥当性および誤差の大きさを重視すべきである。なぜなら、相関係数については、目的変数のバラつきが大きければ、誤差が大きくても良い相関を示す場合があるが、温位とすることで標高の影響を軽減しているため、地域によっては、目的変数のバラつきの幅が狭く、相関係数が小さい場合があるからである。また、ステップワイズ重回帰分析では、過去に明らかにされている、気象と地形との関係性

は一切考慮されず、機械的に変数は選択される。このため、選択された変数の妥当性には十分な注意を払い、推定式を作成する必要がある。具体的には、選択された説明変数の数が5個程度以上の場合や、R値が非常に近い同じ説明変数が複数選択され、また、それらの偏回帰係数の正負が逆の場合、あるいは地形と気温との関係から、偏回帰係数の正負が明らかに誤りと思われる場合は、基準値を変えて、誤差が許容できる範囲にあり、なおかつ選択された説明変数が妥当と思われる重回帰式を、Tescの推定

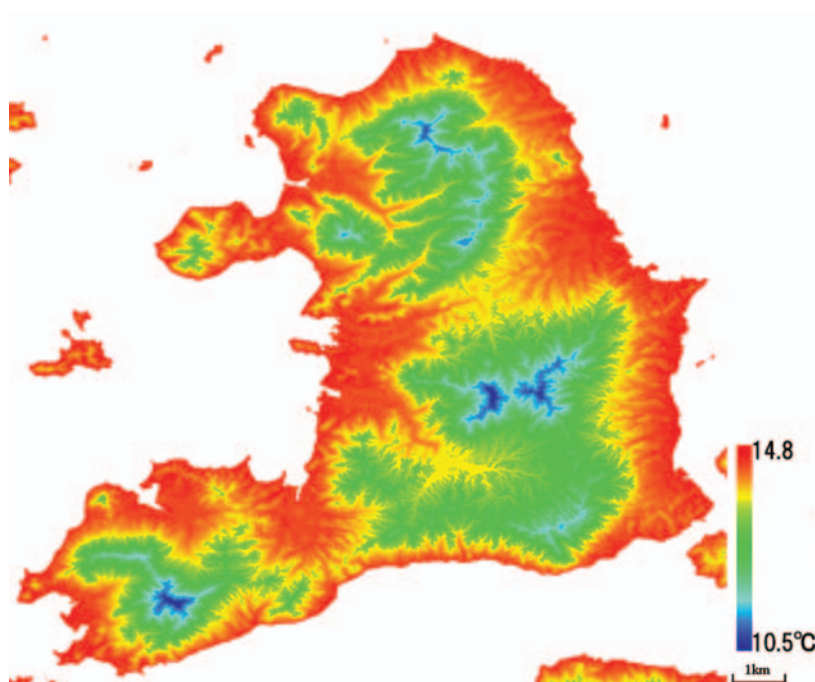
式として採用する。また、実際の変数の追加除去の判断基準は、一般のステップワイズ重回帰分析の値よりも、かなり小さくする必要がある。なぜなら、ほとんどの地形因子は、気温と何らかの関係はあるので、一般的な基準値では、非常に多くの地形因子が推定式の説明変数として採用されるからである。

これまでのTesc推定式作成の経験から、選択される説明変数の数は、1～3個程度が妥当と考えている。説明変数が10個程度選択された場合は、決定係数が0.95以上で、誤差も非常に小さい重回帰式

第6表 各グループにおけるTesc推定モデル

気温	グループ	推定モデル
平均気温	1 (RCS ≤ -2)	$Tesc = -0.000362 \cdot SD + 0.135$
	2 (-2 ≤ RCS < 0)	$Tesc = -0.804 \cdot OP_0(11) + OP_0(26) - 0.405$
	3 (0 ≤ RCS < 3)	$Tesc = 0.226 \cdot SL(56) - 0.257$
	4 (3 ≤ RCS)	$Tesc = 0.381 \cdot SL(56) - 0.439$
最高気温	1 (RCS ≤ -2)	$Tesc = -0.218 \cdot SL(8) + 0.00000334 \cdot VA28 + 0.136$
	2 (-2 ≤ RCS < 0)	$Tesc = -0.126 \cdot SL(7) - 0.734 \cdot OP_{30}(97) + 0.599$
	3 (0 ≤ RCS < 3)	$Tesc = -1.194 \cdot OP_{30}(100) + 0.736$
	4 (3 ≤ RCS)	$Tesc = -1.545 \cdot OP_{30}(100) + 0.958$
最低気温	1 (RCS ≤ -2)	$Tesc = 0.00349 \cdot DH(79) + 1.034 \cdot OP_{19}(19) + 1.604 \cdot OP_{30}(67) - 2.246$
	2 (-2 ≤ RCS < 0)	$Tesc = 0.383 \cdot SL(56) + 1.574 \cdot OP_{30}(68) - 1.410$
	3 (0 ≤ RCS < 3)	$Tesc = 0.594 \cdot SL(56) + 2.375 \cdot OP_{30}(82) - 2.142$
	4 (3 ≤ RCS)	$Tesc = 0.854 \cdot SL(56) + 2.720 \cdot OP_{30}(82) - 2.661$

*ここで、括弧内の数値は計算範囲Rの値で、各記号は、SD：海岸距離、OP_x：開放度（xはΔHm）、SL：平均傾斜、VA：傾斜の通過頻度、DH：標高差を意味する。



第8図 2014年の10mメッシュ年平均気温

が作られる。しかし、作成された式は、観測地点の温位差を精度よく予測する式にはなっているが、他地点の予測には使えない場合が多く、そのような式で作成されたメッシュ図は、隣り合うメッシュの気温がまったく異なる、斑模様の気温分布図となってしまう。高解像メッシュデータに採用される説明変数の数は、1 kmメッシュの作成事例と比べるとかなり少ない。起伏などの地形の細かな違いが表れない1 km解像度の地形データであれば、多数の変数をもつ推定式を適用しても、メッシュごとの気温の連続性はそれなりに維持される。しかし、高解像の地形データに多くの変数をもつ推定式を適用すると、わずかな地形の違いで、計算結果が大きく変わる。そしてこのような傾向は、地形データの解像度が高くなるほど顕著に表れ、1 kmメッシュデータでは問題のない推定式であっても、100 m程度以下の解像度では、気温分布データとして不自然なものとなる。よって、高解像メッシュデータの気温推定式の妥当性は、ステップワイズ重回帰分析の結果だけでなく、実際に作成された気温分布図を確認した上で判断する必要がある。

RCSと温位に変換したアメダス観測値をTescおよびTsscの推定モデルに適用することで、各メッシュの温位が計算される。そして最後に、各メッシュの標高から温位を気温に変換することで、メッシュ気温データが作成できる。作成された推定式は、基準としたアメダスポイントが存在するすべての期間において適用でき、高解像メッシュデータの作成に利用できる。作成事例として第8図に、大三島で作成した、2014年における10 m解像度の年平均気温図を示す。

作成した10 mメッシュデータの誤差について検証を試みた。メッシュ値の検証は、2015年1月1日～7月30日における現地観測値の測定値とメッシュ推定値を比較することで実施したが、第2表の観測装置は、1年以上露地で使用した場合、ソーラーファンの軸の劣化等によりファンの通風能力が落ちる場合がある。そこで、第4図の3地点(A, B, C)のほかに、第4図の3地点(ア, イ, ウ)に設置した、現在開発中の気温データ自動収集装置の観測値とメッシュ推定値との比較も行った。気温データ自動収集装置は、写真2のようなもので、ソーラ

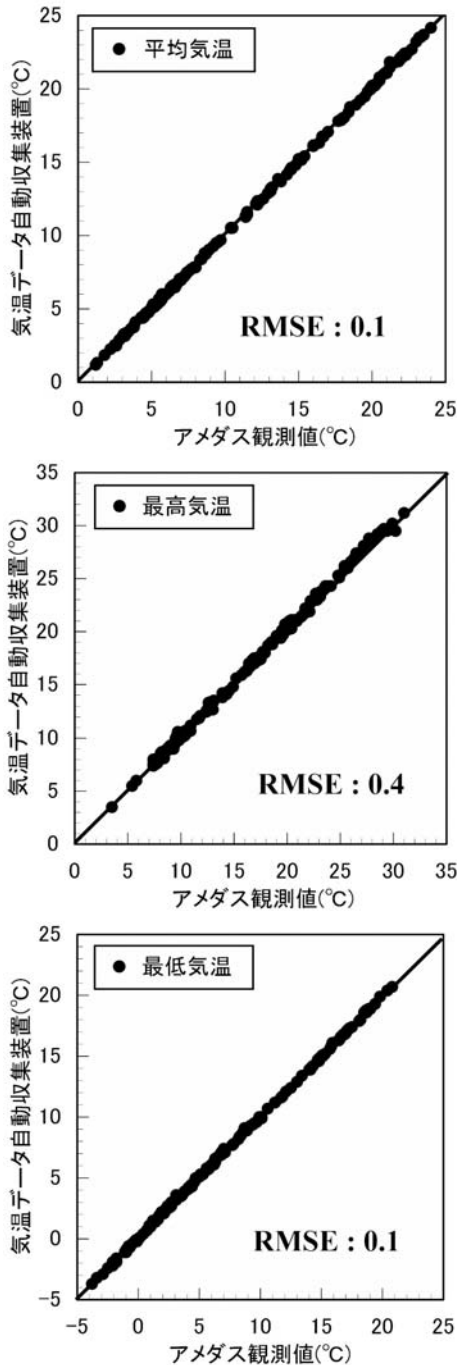
ーパネル、電源ボックス、通風シェルターからなる。電源ボックスは、ソーラーパネルにより発電された電力を蓄電するリチウムイオンバッテリー、携帯回線を利用した記録データ送信用のモバイルベースステーション(RTR-500MBS, ティアンドディ社)を内蔵している。そして通風シェルター内には温度計(RTR-502, ティアンドディ社)が内蔵されており、センサー部分は、白い塩ビ管の中を発泡スチロールと空気層の2重で断熱している。通風口は上部4か所にあり、筒下部から空気を排出する仕様となっている。第9図は、アメダスポイント脇に設置された装置の観測値とアメダス観測値を比較したものである。このときの測定間隔は10分であるが、アメダスとほぼ同程度の測定性能を有している。



写真2 気温データ自動収集装置

- *ソーラーパネル：W250×D435×H25mm
- *電源ボックス：W160×D210×H100mm
- *通風シェルター：H305×Φ300mm

メッシュ推定値の誤差を第10図、第11図、第12図に示す。各地点における推定誤差（RMSE）は、最高気温で約2℃、そして平均気温および最低気温で約1℃であった。このうち、B地点の最低気温の誤差が大きかったのは、観測装置のファンの回転が不十分で、放射冷却によるソーラーファンおよび筒



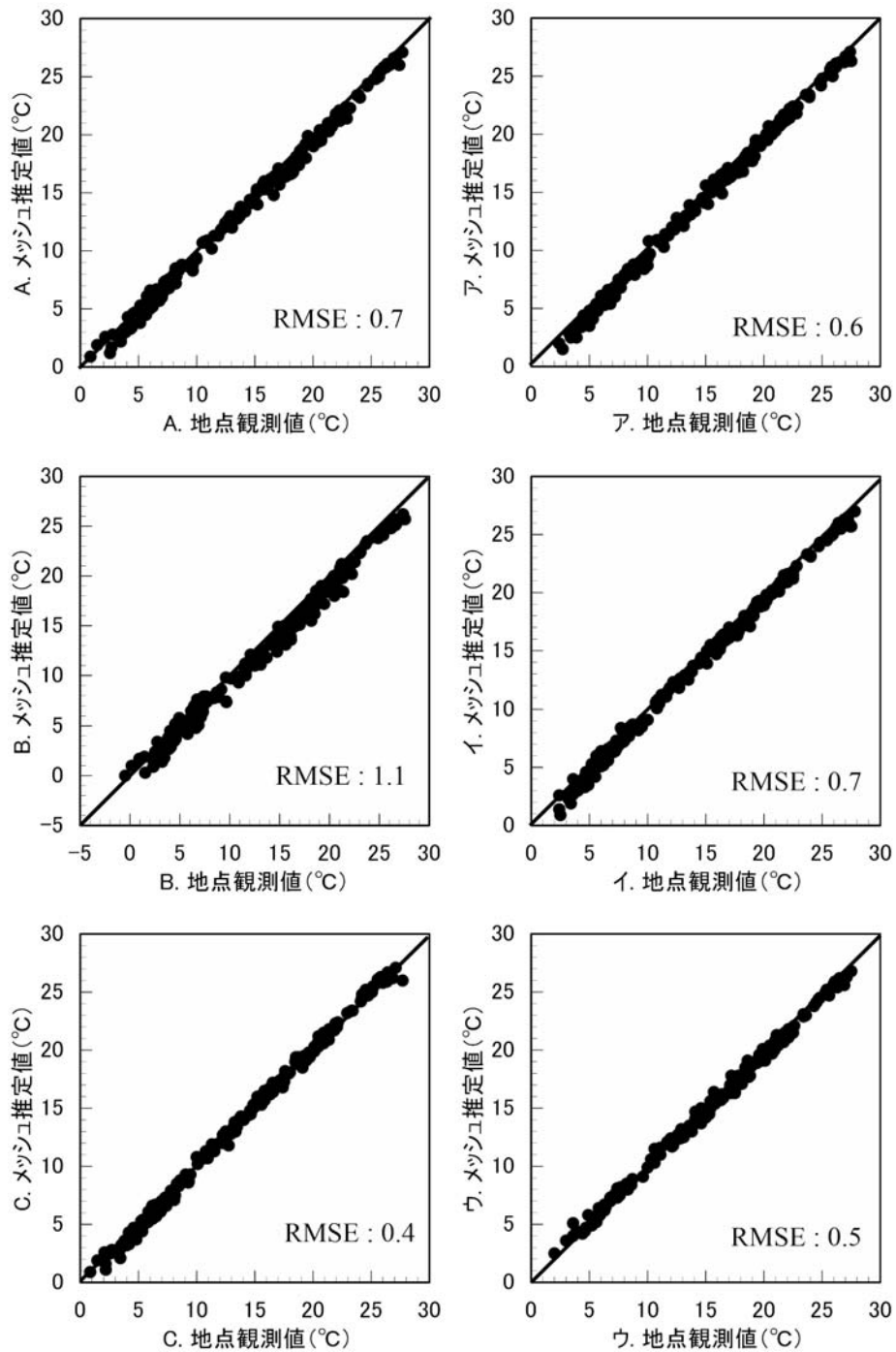
第9図 気温データ自動収集装置とアメダス観測値

(観測期間は、2014年9月6日～2015年2月28日)

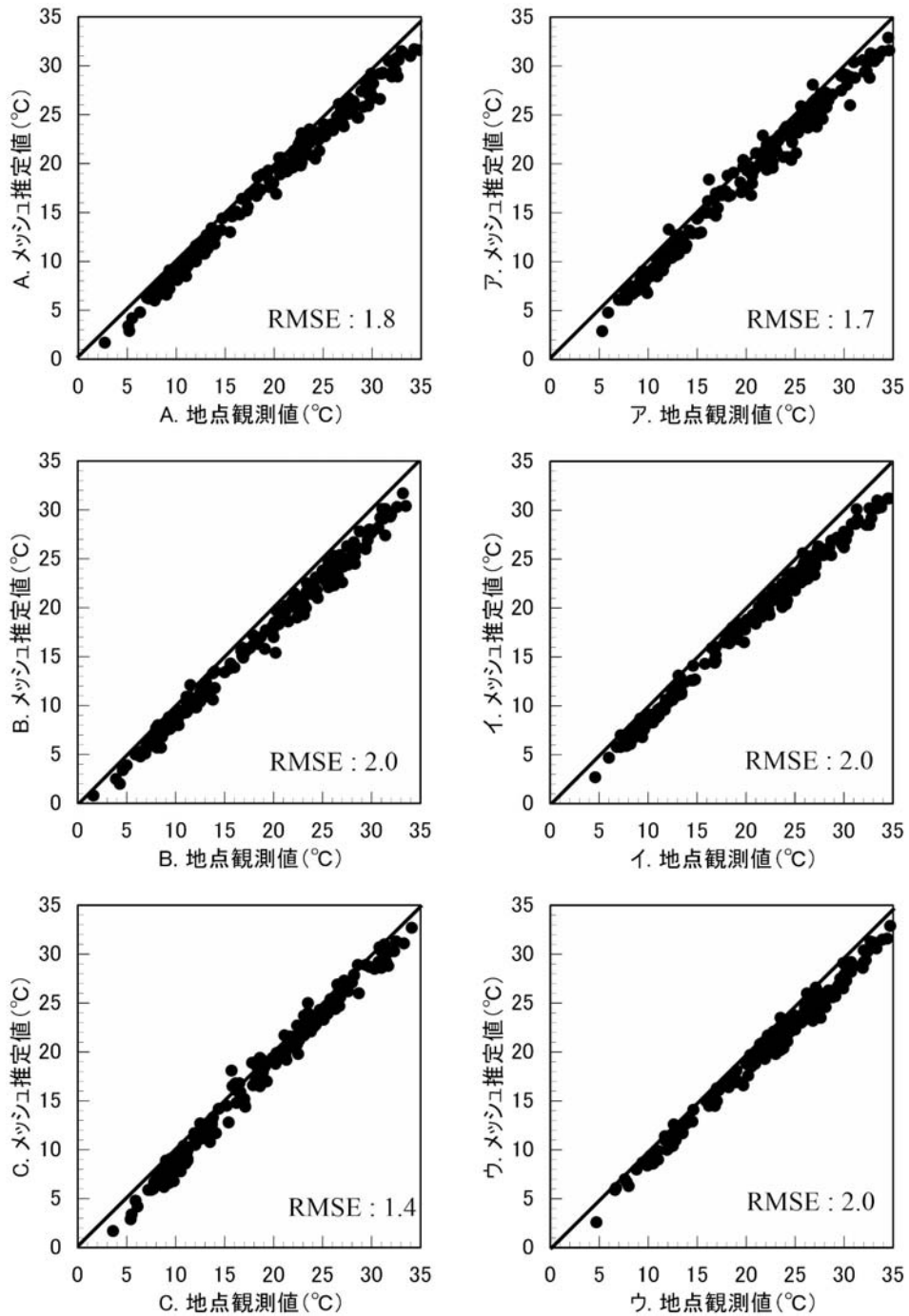
部の温度低下による可能性が考えられる。そして、最高気温の誤差が大きかった理由については、アメダスとの観測方法（10秒間隔の観測極大値と10分間隔の観測極大値）の違いの影響や、アメダスポイントと観測地点における最高気温の発生時間の違いが影響した可能性が考えられる。このため、地域の最高気温や最低気温の分布状況の把握など、メッシュデータの利用目的によっては、極値ではなく、最高気温は12時～15時、最低気温は3時～6時の平均値とすることが適当な場合がある。また、全22地点を対象とした測定誤差（RMSE）は、平均気温0.8℃、最高気温1.4℃、最低気温1.2℃であった。これらのことから、気象庁のポイント予報における測定誤差（RMSE）が1.5℃であることを考慮すると、最高気温の精度はやや大きいですが、本メッシュデータは実用的な精度であると考えられる。ただし、今回示された測定精度は、他地域で作成されたメッシュデータの精度を保証するものではない。測定精度は、作成されたときの気温観測地点の数や場所の適切さ、アメダスポイントとの距離等で変わる可能性があるため、作成地域における推定モデル式の作成条件において、精度を検証する必要がある。

IV 摘 要

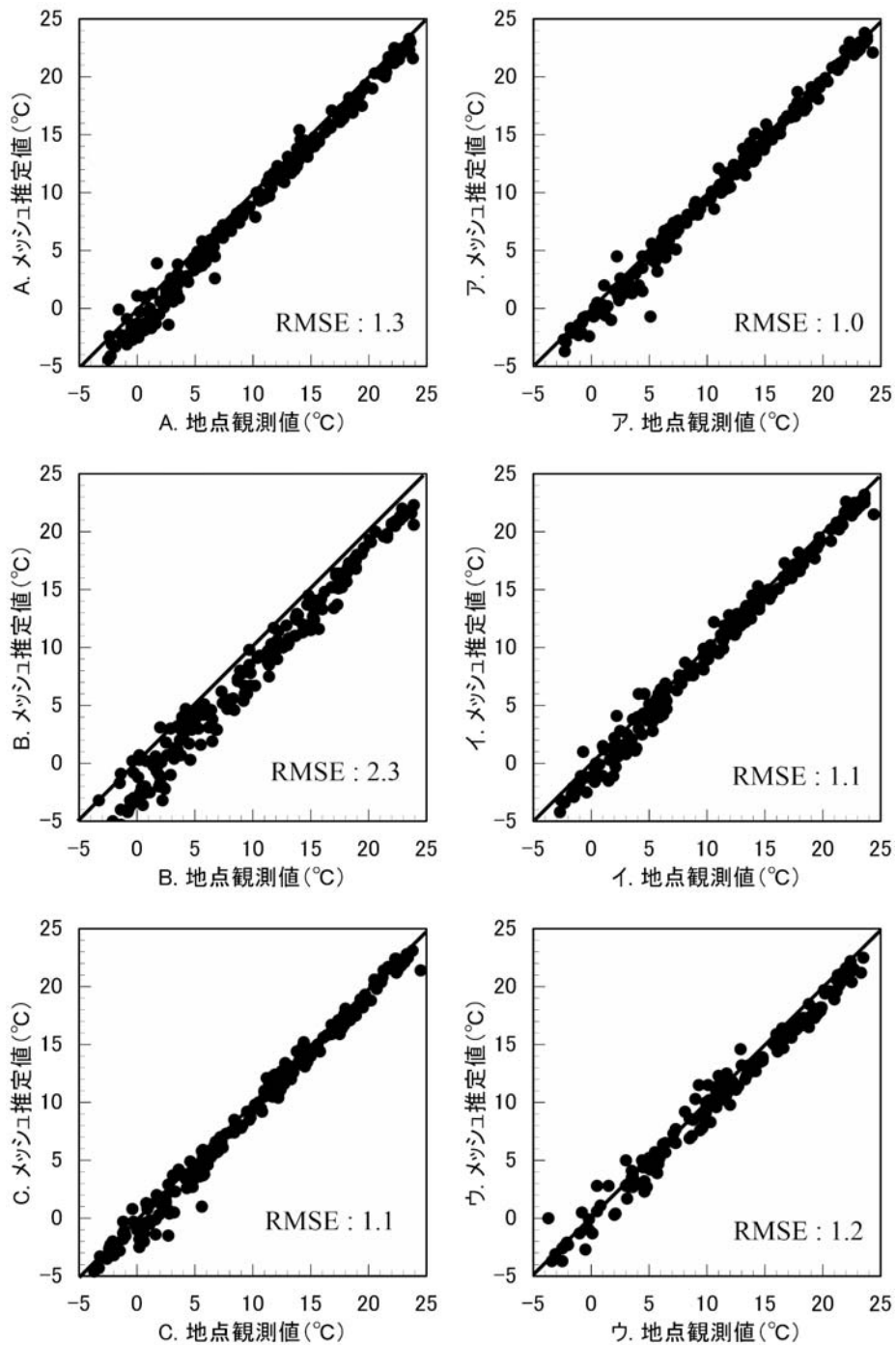
1. 農業に有用な気象データは、①数値の示す地点が明確で、②誤差が明確な具体的数値で、③過去・現在・未来にわたり存在する、精密気象情報である。
2. メッシュ気温データ作成のための未観測地点の気温推定法は、ラスタ化法、地形因子解析法、平年偏差法の3つに分類される。
3. 放射冷却強度指標を変数として、アメダスなどの気象観測地点との気温差をモデル化する、新しい気温推定法が開発された。
4. 放射冷却強度指標による気温推定技術を応用した、精密メッシュ気温データの作成には、①現地観測データ、②放射冷却強度指標データ、③地形因子、④アメダス観測値が必要である。
5. メッシュデータの具体的な作成手順は、作成地域における現地観測から、Tssc推定モデルをRCSによる1次回帰モデルとして開発する。次



第10図 日平均気温における6地点の観測値とメッシュ推定値



第11図 日最高気温における6地点の観測値とメッシュ推定値



第12図 日最低気温における6地点の観測値とメッシュ推定値

に、RCSに応じてグループ分けしたTesc値の推定式を、地形因子を説明変数とするステップワイズ重回帰分析で開発する。そしてTsscおよびTescの推定モデルとRCS値およびアメダス観測値から、メッシュ気温データを求める。

謝 辞

大三島のメッシュ気温データの作成および気温データ自動収集装置の開発は、農研機構生物系特定産業技術研究支援センターが実施する「攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業（うち産学の英知を結集した革新的な技術体系の確立）」で実施した。なお、気温データ自動収集装置は、上記事業において、(株)ビジョンテックと共同開発したものである。領域気象モデルTERC-RAMSの指導および関連プログラムの提供において、筑波大学大学院生命環境科学研究科元教授の木村富士男博士および理化学研究所の足立幸穂博士のお世話になった。メッシュ推定式の作成は、農林水産研究情報総合センター科学技術計算システムのスASを用いて行い、アメダスデータは、同センターのAGROPEDIAから取得した。現地気温観測では、設置果樹園地の選定および園主との交渉において、越智今治農業協同組合しまなみ統括営農センターのお世話になった。そして、現地観測装置の製作および設置では、農研機構近畿中国四国農業研究センター業務第2科樋笠啓智氏、松上勝利氏、高尾二郎氏、大谷恭史氏のお世話になった。

引用文献

- 1) 安倍 章・林 勝寛・山田芳文・佐藤 如
1991. メッシュ気候値を利用したダイコンブロッコリーの作型設定. 大分県農業技術センター研究報告 第21号: 27 - 39.
- 2) Ashcroft M. B. 2006. A method for improving landscape scale temperature predictions and the implications for vegetation modelling. *Ecological Modelling* 197: 394 - 404.
- 3) Blennow, K., 1998. Modelling minimum air temperature in partially and clear felled forests. *Agric. For. Meteorol.* 91: 223 - 235.
- 4) ——— and Persson P. 1998. Modelling local-scale frost variations using mobile temperature measurements with a GIS. *Agric. For. Meteorol.* 89: 59 - 71.
- 5) Bootsma, A. 1976. Estimating minimum temperature and climatological freeze risk in hilly terrain. *Agric. For. Meteorol.* 16: 425 - 443.
- 6) Carrega P. 1995. A Method for the Reconstruction of Mountain Air Temperatures with Automatic Cartographic Applications. *Theor. Appl. Climatol.* 52: 69 - 84.
- 7) Chung, U., Seo, H. H., Hwang, K. H., Hwang, B. S., Choi, J., Lee, J. T., and Yun, J. I. 2006. Minimum temperature mapping over complex terrain by estimating cold air accumulation potential. *Agric. For. Meteorol.* 137: 15 - 24.
- 8) Cohen, S. and Fuchs, M. 1987. The distribution of leaf area, radiation, photosynthesis and transpiration in a shamouti orange hedgerow orchard part I. Leaf area and radiation. *Agric. For. Meteorol.* 40: 123 - 144.
- 9) Daly C., Gibson W. P., Taylor G. H., Johnson G. L. and Pateris P. 2002. A knowledge-based approach to the statistical mapping of climate. *Climate Research* 22: 99 - 113.
- 10) ———, Smith J. W. and Smith J. I. 2007. High-Resolution Spatial Modeling of Daily Weather Elements for a catchment in the Oregon Cascade Mountainous, United States. *J Applied Meteorol Climatol* 46: 1565 - 1586.
- 11) ———, Halbleib, M., Smith, I. J., Gibson, P. W., Doggett, K. M., Taylor H. G., Curtis J. and Pasteris, P. P. 2008. Physiographically sensitive mapping of climatological temperature and precipitation across the conterminous United States. *Int. J. Climatol.* 28: 2031 - 2064.
- 12) ———, Windrlechner M. P., Halbleib M. D., Smith I. and Gibson W.P. 2012. Development of a New USDA Plant Hardiness Zone Map for the United States. *J Applied Meteorol Climatol* 51: 242 - 264.

- 13) Dobrowski, Z. S., Abatzoglu, T. J., Greenberg, A. J. and Schladow, S. G. 2009. How much influence does landscape-scale physiography have on air temperature in a mountain environment?. *Agric. For. Meteorol.* 149: 1751 – 1758.
- 14) Dodson R. and Marks D. 1997. Daily air temperature interpolated at high spatial resolution over a large mountainous region. *Climate Research* 8: 1 – 20.
- 15) Holden, A. Z., Abatzoglu, T. J., Luce, H. C. and Baggett, L. S. 2011. Empirical downscaling of daily minimum air temperature at very fine resolutions in complex terrain. *Agr. For. Meteorol.* 151: 1066 – 1073.
- 16) 稲葉和雄 1996. 国土地理院の数値地図. 高坂宏行・岡部篤行編, GISソースブック. 古今書院, 東京. 12 – 20.
- 17) 菅野洋光 1997. ヤマセ吹走時におけるメッシュ日平均気温の推定. *農業気象* 53: 11 – 19.
- 18) 河合 誠・内山泰行・皆川秀夫・今井敏行・小嶋孝志・原田賢二・附田 崇 2001. 青森県上十三地域における50mメッシュ気象値分布図の作成とその営農への利用. 日本農業気象学会耕地気象改善研究部会第22・23回研究会講演論文集: 23 – 26.
- 19) 気象庁 2007年. 平成19年度数値予報研修テキスト「新しい数値予報モデルの特性」. 財団法人気象業務支援センター, 東京都.
- 20) 北村 修 1990. 気候値メッシュファイルの作成と応用, *地学雑誌* 99 – 6: 56 – 63.
- 21) 小林哲男 1977. 中海北西部沿岸, 本庄地域の気温について. *農業気象* 33 (2): 61 – 66.
- 22) 小林哲夫・坂上 務・元田雄四郎 1984. 気温の日出現時間分布曲線のモデル化. *農業気象* 39 (4): 305 – 309.
- 23) 鯨 幸和・池田晴佳 2015. 有田地方における50mメッシュ気温図の作成とその活用. 和歌山県農林水産試験研究機関研究報告 第3号: 41 – 56.
- 24) 栗原弘一・村上律雄 1982. 広島県メッシュ気候図(1) 1km²メッシュ平均気温. *研究時報* 34巻1: 17 – 28.
- 25) Laughlin, G. P. and Kalma, J. D. 1987. Frost hazard assessment from local weather and terrain data *Agric. For. Meteorol.* 40: 1 – 16.
- 26) Lookingbill, T. R. and Urban, D. L. 2003. Spatial estimation of air temperature differences for landscape-scale studies in montane environments. *Agric. For. Meteorol.* 114: 141 – 151.
- 27) Luzio M. D., Johnson G. L., Daly C., Kischeid J. K. and Arnold J. G. 2008. Constructing Retrospective Gridded Daily Precipitation and Temperature Datasets for the Conterminous United States. *J. Appl. Climatol.* 47: 475 – 497.
- 28) 真木太一・黒瀬義孝 1990. 香川県高瀬盆地周辺における冬期晴天日の局地気象特性の観測. *農業気象* 46 (2): 79 – 86.
- 29) 間苧谷徹・町田 裕 1977. 温州ミカン樹の乾燥過程及び乾燥後のかん水による蒸散速度, 葉内水蒸気拡散抵抗と葉の水ポテンシャルの推移. *農業気象* 32 (4): 203 – 208.
- 30) 松村伸二・堀口郁夫・谷 宏・本木敏博 1988. 国土数値情報と衛星データを用いた霜害危険地帯の検出について. *農業気象* 44 (2): 101 – 110.
- 31) 宮沢哲男・山下修二・野村典男 1980. 都市域の気温分布に与える小水体の影響. *水温の研究* 23 (6). 32 – 38.
- 32) New M., Hulme M. and Jones P. 1999. Representing Twentieth-Century Space-Time Climate Variability. Part I: Development of a 1961-90 Mean Monthly Terrestrial Climatology. *J Climate* 12: 829 – 856.
- 33) ———, ———, ———. 2000. Representing Twentieth-Century Space-Time Climate Variability. Part II: Development of a 1961-90 Monthly Grids of Terrestrial Surface Climatology. *J Climate* 13: 2217 – 2238.
- 34) 奥野林太郎 2004. 品質向上のための広域圃場情報を用いた小麦収穫作業システム. 北海道土壌肥料研究通信 第50巻第1号: 23 – 30.
- 35) 大原源二 1999. 50mメッシュ気候値情報と農業生産. 日本農業気象学会局地気象研究会講演

- 論文集第15号：1 - 11.
- 36) 大野宏之 2014. メッシュ農業気象データ利用マニュアル. 中央農業研究センター研究資料 9 : 1 - 77.
- 37) Pereira, A. B., Villanova, N. A., Pires, L. F. and Alfaro, A. T. 2011. Transpiration of irrigated apple trees and citrus from a water potential gradient approach in the leaf-atmosphere system. *Revista Brasileira de Meteorologia* 26 (2): 181 - 188.
- 38) 貞井慶三・藤原多見夫 1985. 広島県におけるメッシュ気候図によるカンキツの適地判定. 広島県果樹試験場研究報告 第11号：77 - 91.
- 39) Samanta S., Pal D. K. and Lohar D. 2012. Interpolation of climate variables and temperature modeling. *Theor. Appl. Climatol.* 107: 35 - 45.
- 40) Sameshima, R., Yokoyama, S., Hirota, T. and Hamasaki, T. 2008. Creation and Application of 250m Square Grid Meteorological Information for Crop Management Using a Local Weather Station Network. *JARQ* 42 (1): 41 - 48.
- 41) Saito, K., Fujita, T., Yamada, Y., Ishida, J., Kmagai, Y., Aranami, K., Ohmori, S., Nagasawa, R., Kumagai, S., Muroi, C., Kato, T., Eito, H. and Yamazaki, Y. 2006. The Operational JMA Nonhydrostatic Mesoscale Model. *Monthly Weather Review* 134: 1266 - 1298.
- 42) 清野 豁 1993. アメダスデータのメッシュ化について. *農業気象* 48 (4) : 379 - 383.
- 43) Shannon, D. H. and Motha, P. R. 2001. Application of GIS Technology for Agrometeorological Bulletins. *Improving Agrometeorological Bulletins, Proceedings of the Inter-Region Work Shop 15 - 19 October 2001*: 249 - 260. (available at http://www.wamis.org/agm/pubs/agm5/wmol108_agm5.pdf)
- 44) 角野迪夫 1961. 宮城県の最低気温分布の推定について. *天気* 8 (7) : 16 - 20.
- 45) Svesson, M. K., Eliasson, I. and Holmer, B. 2002. A GIS based empirical model to simulate air temperature variations in the Goteborg urban area during the night. *Clim. Res.* 22: 215 - 226.
- 46) 鈴木義則・佐藤正一・川尻佳合 1982. 暖地の凍霜害・寒害と地形気象 (1) 宇部小野茶園における最低気温分布. *農業気象* 37 (4) : 289 - 295.
- 47) 高山 成・早川誠而・河村宏明 1999. 霜害発生予察のための50m地形情報を用いた局地的冷却現象の解析. *農業気象* 55 (3) : 235 - 252.
- 48) 田村良文・清野 豁・門馬栄秀・小野祐幸・金野隆光 1989. サイレージ用トウモロコシの発育ステージ予測と栽培適地判定図の作成. *農業研究センター研究報告* 17 : 55 - 81.
- 49) The Monitoring Agricultural Resources (MARS) Unit, Institute for Environment and Sustainability (IES), JOINT RESEARCH CENTER, European Commission 2012. Technical description of interpolation and processing of meteorological data in CGMS. (available at ftp://ftp.ccrs.nrcan.gc.ca/ftp/ad/EMS/Anita/GW_articles/interpol_metdata.pdf)
- 50) Thornton P. E., Running S. W. and White M. A. 1997. Generating surfaces of daily meteorological variables over large region of complex terrain. *J. Hydrol.* 190: 214 - 251.
- 51) Tobin C., Nicotina L., Parlange M. B., Berne A. and Rinaldo A. 2011. Improved interpolation of meteorological forcings for hydrologic applications in a Swiss Alpine region. *J. Hydrol.* 401: 77 - 89.
- 52) 植山秀紀・大原源二 1999. 太陽電池を利用した通風式温度計の試作, 近畿中国農業研究第97号：247 - 28.
- 53) ———・山下祐作・八木洋憲 2006. 50mメッシュ図による気温特性の把握と農業振興への活用. *農業土木学会誌* 74 (8) : 723 - 728.
- 54) ———・黒瀬義孝・下田星児 2007. ソーラー換気扇を利用した気温観測装置. *中国四国の農業気象* 第20号：122 - 123.
- 55) ——— 2008 a. 中山間地域におけるメッシュ気象図の利用. *近中四農研報* 7 : 145 - 207.
- 56) ——— 2008 b. アメダスに準じた50mメッ

- シユ月平均気温平年値図の作成とその利用. システム農学24 (3): 1 - 8.
- 57) Ueyama H. 2008. Estimating monthly air temperature using a radiative cooling scale. *Theor. Appl. Climatol.* 94: 175 - 185.
- 58) 植山秀紀 2010. 中山間地域における葉いもち病・霜発生評価. *農村工学会誌* 78 (8): 681 - 685.
- 59) Ueyama H., Adachi S. and Kimura F. 2010. Compilation method for 1km grid data of monthly mean air temperature for quantitative assessments of climate change impacts. *Theor. Appl. Climatol.* 101: 421 - 431.
- 60) ——— 2012a. Estimation methods for monthly humidity from dynamical downscaling data for quantitative assessments of climate change impacts. *Theor. Appl. Climatol.* 109: 15 - 26.
- 61) ——— 2012b. Practical Utilization of High-Resolution Air Temperature Data as Geographical Information for Local Agriculture. *JARQ* 46 (2): 139 - 144.
- 62) ——— 2013. Classification of recent studies by method type for surface air temperature map development and estimation of daily temperature using a radiative cooling scale. *J. Agric. Meteorol.* 69 (3): 215 - 227.
- 63) ———, Hoshi N. and Nesumi H. 2015. Advanced support system based on precise meteorological data for citrus orchards. *Int. Conf. Agricultural and Climate Change - Adapting Crops to Increased Uncertainty, Procedia Environmental Sciences:* In press.
- 64) ———, Kato M., Kawamukai H., Ikegami M. and Fujimoto H. 2015. Development of daily mean air temperature data with 50-m resolution for a support system identifying the suitable planting period for Yamadanishiki sake rice. *J. Agric. Meteorol.* 71 (4): 292 - 301.
- 65) 梅津俊彦・木村和則・中野憲司・長谷川愿・松田裕之・大田秀樹・芳賀静雄・武田正宏・矢島正晴 1993. メッシュ気候値を活用した水稻適地区分第1報 好適作期の策定と適地判定. *山形県農業試験場研究報告* 27: 1 - 21.
- 66) Weiss A., Crowder L. V. and Bernardi M. 2000. Communicating agrometeorological information to farming communities. *Agric. For. Meteorol.* 103: 185 - 196.
- 67) 山田一茂 1993. 農業気象情報とシステム化について - 自治体における動向分析 -, *農業情報研究* 2: 21 - 15.
- 68) ——— 1995. 短時間スケールの気温分布特性とそのメッシュ化手法. *農業気象* 51 (4): 345 - 354.
- 69) 横張 真・加藤好武・山本勝利 1988. 都市近郊水田の周辺市街地に対する気温低減効果. *ランドスケープ研究* 61: 731 - 736.
- 70) Yoshikane, T. and Kimura, F. 2003. Formation Mechanism of the Simulated SPCZ and Baiu Front Using a Regional Climate Model. *Journal of the Atmospheric Sciences* vol. 60: 2612 - 2632.

Precise Meteorological Grid Data of Daily Air Temperature for Advanced Managements in Agriculture

Hideki UHEYAMA

Summary

Grid data of air temperature have practical use in a variety of agricultural fields. Current practical methods for estimation of surface air temperature are not physical methods, but statistical ones. These methods are classified into three types: 1. general rasterization methods; 2. geographical function methods; and 3. anomaly methods. Estimated data are less reliable when geographical functions are not considered, although general rasterization methods may be applicable to areas with meteorological continuities. Geographical function methods or anomaly methods are more suitable. It is considered that precise data furnish the potential to realize effective agricultural management, although practical resolution of meteorological data should be not by area but by objective. In this endeavor, there are three characteristics required of the data: 1. precise position estimates; 2. substantial data at the sites; and 3. availability of continuous data covering the past, present and future and then the data has been naming “precise meteorological data”. It was developed a new estimation method which acquires daily air temperature data satisfying the above characteristics of precise meteorological data. The essence of the method is to convert air temperature to potential temperature and build estimation models of the potential temperature difference between an estimation site and existing observation site. The potential temperature differences between an estimation site and existing observation site. The potential temperature differences are partitioned into two components: a “standard (observation) site component (Tssc)” and “estimation site component (Tesc)”. Estimation models for Tssc and Tesc are developed using a radiative cooling scale, i.e., the difference of potential temperature between an upper level and ground level. A compiling method of precise meteorological grid data with a few tens meter resolution was also developed. In the procedure, Tesc values at each grid was developed by a stepwise regression analysis using geographical factors.

近畿中国四国農業研究センター研究資料 第12号

平成28年 3月31日 印刷

平成28年 3月31日 発行

発行所 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
近畿中国四国農業研究センター

〒721-8514 広島県福山市西深津町 6-12-1

発行者 竹中 重仁

印刷所 株式会社デルタプリント

〒732-0802 広島市南区大州 2丁目12-15

本研究資料から転載・複製する場合は、近畿中国四国農業研究センターの許可を得て下さい。

農研機構は、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネーム（通称）です。