

‘ヒュウガナツ’の枝変わり品種‘古山ニューサマー’の  
特性と無核果生産に関する研究\*

Studies on Characteristics and Seedless Fruit Production of  
‘Hyuganatsu’ Bud Mutation ‘Koyama New Summer’

浜部 直哉

Naoya Hamabe

\*岐阜大学大学院連合農学研究科博士学位審査論文 2020年（令和2年）

# 目 次

第1章 緒言	1
第2章 ‘古山ニューサマー’の受粉および結実特性	3
2-1 ‘古山ニューサマー’の花粉稔性および受粉特性	
2-2 異なる受粉処理が‘古山ニューサマー’の着果率に及ぼす影響	
2-3 花粉遮断条件下におけるヒュウガナツ4品種・系統の着果率	
2-4 考察	
2-5 摘要	
第3章 開花期にネットを被覆した‘古山ニューサマー’における無核果の着果量, 着果特性および果実品質	9
3-1 開花期にネットを被覆した‘古山ニューサマー’における無核果の着果量, 着果特性および果実品質	
3-2 ‘古山ニューサマー’の無核果生産における果実品質を決定づける着果特性の検証	
3-3 考察	
3-4 摘要	
第4章 ‘古山ニューサマー’の自然受粉条件下における果実品質と樹上摘果による 無核・少核果生産の可能性	18
4-1 自然受粉条件下における‘古山ニューサマー’の種子数および果実品質	
4-2 ‘古山ニューサマー’の無・少核果生産に向けた果実肥大期における 摘果方法の検討	
4-3 考察	
4-4 摘要	
第5章 総合考察	26
総合摘要	29
謝 辞	31
引用文献	32
Summary	34

## 第1章 緒言

ヒュウガナツ (*Citrus tamurana hort. ex Tanaka*) は鮮黄色の果皮と独特の芳香を有し (長友ら, 2001), 食味が良好で消費者からの人気が高いカンキツである (第1図). また, 収穫期が4~5月であることから, 他の国内産カンキツが少ない時期に出荷が可能な晩生種として販売上有利である. 本種は文政年間 (1820年頃) に宮崎県で偶発実生として発見され, 伊豆地域には1920年に導入されたといわれている (山田ら, 1991). 2017年時点での静岡県内におけるヒュウガナツの栽培面積は46.8 haで (農林水産省生産局園芸作物課, 2020), その多くが伊豆地域で栽培されており, ヒュウガナツは当該地域のカンキツ栽培の根幹を担う品目となっている. 一方で, 本種は自家不和合性を有し, かつ単為結果性に乏しいため (三輪, 1951), 結実には他家受粉が必要であり, 伊豆地域における通常の露地栽培では訪花昆虫による虫媒がその役割を担っている. そのため開花期の気象の影響を受けやすく, 生産量が安定しないという栽培上の問題点がある. 安定して結実させるためには人工受粉や受粉樹の混植を行う必要があるが, 他家受粉した果実には20~30個の種子が含まれることから (長友ら, 2001), 無核を嗜好する現在の消費者ニーズに合致しないため, これまでに無核果の安定生産を目的とした様々な研究がなされてきた. 植物成長調整剤であるジベレリンを利用することによる単為結果の誘起や (牧田, 1984; 中島ら, 1977; 中島ら, 1986), 軟X線を照射した花粉の利用により (廣瀬ら, 2016), ‘ヒュウガナツ’の無核果生産が可能であることがこれまでに報告されている. この他にも, 今井ら (2014) により, 受粉用四倍体品種が開発され, 吉倉 (2008) は, 開花期にネットで園全体を被覆し, 四倍体花粉を人工受粉することで少核果が得られることを報告している. しかし, 単為結果誘起のためのジベレリンの高濃度散布は薬剤費が高価であること, 軟X線照射花粉による受粉は花粉採取の労力がかかること, 受粉用品種による交配では複数の不完全種子が含まれることといった問題点が指摘されており, ジベレリンなどの薬剤やネットの被覆, 四倍体品種や軟X線を照射した花粉を利用することなく, より省力的かつ安定的に無核果を得るためには, 自らの力で無核果を生産可能な, 無核性を有する新品種の開発と生産現場への導入が重要であると考えられる.

これまでに, ‘ヒュウガナツ’において枝変わりが発見され, 品種登録された事例は多く, 静岡県内では‘オレンジ日向’, ‘白鳥日向’ (白鳥, 1988), ‘井原日向’ (井原, 2008) が, 高知県内では‘室戸小夏’ (松浦, 1987), ‘宿毛小夏’ (久保ら, 1992), ‘西内小夏’ (西内, 1995) が挙げられる. ‘オレンジ日向’は, 果皮と果肉が橙黄色で‘ヒュウガナツ’に比べて糖度がやや高く (山田ら, 1991), ‘白鳥日向’は, その花粉を受粉することで‘ヒュウガナツ’の完全種子が少なくなることから受粉樹として有望であり (岡田ら, 1992), ‘井原日向’は, 自家和合性を有することが報告されている (荒木, 2006). また, ‘宿毛小夏’は施設栽培における収穫期が‘ヒュウガナツ’より1カ月早い (谷岡ら, 2001). 無核・少核性の枝変わりとしては‘西内小夏’と‘室戸小夏’が挙げられるが, ‘西内小夏’は自家受粉して結実し種子のほとんどがしいな化することが報告されているもの (Honschoら, 2009), しいなは口に残るため食する際には取り出さなければならず, ‘室戸小夏’は果実が約100gで小さく (山田ら, 1991), 無核果を安定的に生産可能であるという報告はみられない.

‘ヒュウガナツ’の枝変わりで, 静岡県賀茂郡河津町の生産者ほ場において2006年に発見され, 2015年に品種登録された‘古山ニューサマー’は, その外観は‘ヒュウガナツ’とほとんど差が認められないものの, ‘ヒュウガナツ’に比べて種子数が少なく (古山, 2015), 無核果が多く得られる点で有望と考えられる (第2図).

‘古山ニューサマー’の特性解明と無核果生産技術の開発により, 簡便性を求める消費者ニーズに応える無核果の安定生産が可能となれば, ヒュウガナツ産地の収益性向上に繋がる可能性がある.

そこで, 本研究では, ‘古山ニューサマー’における無核果が得られる要因をはじめとした品種特性の解明と無核果安定生産技術の確立を目的として試験を行った. まず第2章において, 無核果が着果する要因について解明するため, 受粉および結実特性について‘ヒュウガナツ’と比較した. 第3章では無核果の生産性について明らかにすることを目的として, 開花期にネットを被覆することで他家受粉を防止した条件下における無核果の着果量や着果特性, 果実品質について検討した. 第4章では自然受粉条件下における無核果の発生率や種子

数と果実品質との相関について調べるとともに、無核・少核果安定生産のための技術確立を目的として、幼果期に一部の果実の果頂部にみられる突起形状を利用した樹上摘果による、無核・少核果生産の可能性について検討した。なお、本研究において、ヒュウガナツの普通系を品種として示す場合には、これを‘ヒュウガナツ’と記載することとした。



第1図 ‘ヒュウガナツ’ の着果状況（左）および輪切りにした果実（右）



第2図 ‘古山ニューサマー’ の着果状況（左）および輪切りにした果実（右）

## 第2章 ‘古山ニューサマー’の受粉および結実特性

‘古山ニューサマー’の自家および他家受粉時の花粉管伸長や花粉遮断条件下における着果率について‘ヒュウガナツ’および‘ヒュウガナツ’の枝変わり品種と比較することで、‘古山ニューサマー’における無核果が得られる要因を検証した。

### 2-1 ‘古山ニューサマー’の花粉稔性および受粉特性

#### 2-1-1 材料および方法

2016年に、静岡県農林技術研究所伊豆農業研究センター（静岡県賀茂郡東伊豆町稲取）内の露地に植栽された‘古山ニューサマー’（2007年に変異樹から穂木を採取し15年生の‘ヒュウガナツ’に高接ぎ）、‘ヒュウガナツ’（2016年時点24年生）および‘川野なつだいたい’（Citrus natsudaidai Hayata, cv. Kawano-natsudaidai）（2016年時点48年生）各3樹を供試した。

花粉稔性の調査は、2016年5月16日に行った。開花直前の10花蕾を採取し、葯のみにして開葯させ、得られた花粉を用いた。アセトカーミン溶液により染色し、1カンキツ種1樹500粒、3反復、計1500粒を調査した。染色された花粉を稔性とした。花粉の発芽率は、花粉稔性の調査と同様の方法で採取・調製した花粉を用い、液体花粉培地（内田ら、2012）での培養6時間後の状態を1カンキツ種1樹100粒、3反復、計300粒調査した。

受粉特性の調査は、2016年4月29日～5月4日に実

施した。開花直前の花蕾を除雄した後、供試した3カンキツ種を総当たりで人工受粉し、小袋を掛けた。ただし、‘川野なつだいたい’の自家受粉区は設けなかった。花粉の採取および調製は、花粉稔性の調査と同様の方法で行った。人工受粉8～9日後に処理花を採取し、メタノールと酢酸を7:3の割合で混合した溶液内に浸漬して、-70℃で保存した（DTF-35, 日本フリーザー（株））。花柱内の花粉管は8N水酸化ナトリウムで軟化させ、水洗後に0.1%アニリンブルー溶液で染色し、押しつぶし法により蛍光顕微鏡（FLUOPHOT, (株)ニコン）を用いて観察した。花粉管数は、花柱上部、中部、下部に分けて計測した。供試花数は1組合せにつき5花とし、これを5反復とした。

#### 2-1-2 結果

供試した‘古山ニューサマー’の花粉稔性は97.8%、発芽率は55.2%、‘ヒュウガナツ’の花粉稔性は98.7%、発芽率は53.5%、‘川野なつだいたい’の花粉稔性は98.2%、発芽率は41.4%で、カンキツ種間に有意な差は認められなかった。

‘古山ニューサマー’および‘ヒュウガナツ’について、自家受粉および正逆交配、加えて‘川野なつだいたい’との交配における花粉管伸長を調査した結果、‘古山ニューサマー’、‘ヒュウガナツ’ともに、自家受粉によって柱頭上部まで花粉管は達したものの、中部および下部に達した花粉管は認められなかった（第1表）。

第1表 ‘古山ニューサマー’、‘ヒュウガナツ’および‘川野ナツダイダイ’の各交配組合せにおいて花柱内に伸長した花粉管数

種子親	花粉親	花粉管数（本/花）		
		花柱上部	花柱中部	花柱下部
古山ニューサマー	× 古山ニューサマー	30.4 ± 6.1	0 ± 0	0 ± 0
ヒュウガナツ	× ヒュウガナツ	31.8 ± 8.4	0 ± 0	0 ± 0
有意性 <sup>2</sup>		n.s.	—	—
古山ニューサマー	× ヒュウガナツ	29.2 ± 10.4	0.2 ± 0.4	0 ± 0
ヒュウガナツ	× 古山ニューサマー	13.6 ± 10.0	0 ± 0	0 ± 0
有意性		*	n.s.	—
古山ニューサマー	× 川野ナツダイダイ	143.2 ± 3.9	49.8 ± 7.9	19.0 ± 9.4
ヒュウガナツ	× 川野ナツダイダイ	144.4 ± 9.1	49.8 ± 13.0	19.2 ± 9.4
有意性		n.s.	n.s.	n.s.
川野ナツダイダイ	× 古山ニューサマー	138.2 ± 6.1	54.0 ± 11.6	22.4 ± 7.3
川野ナツダイダイ	× ヒュウガナツ	169.2 ± 14.3	50.6 ± 15.6	22.8 ± 8.2
有意性		**	n.s.	n.s.

<sup>2</sup> t検定により、\*\*は1%水準で、\*は5%水準で有意差あり、n.s.は5%水準で有意差なし

ニューサマー’ と ‘ヒュウガナツ’ の正逆交配では、‘古山ニューサマー’ を種子親にした場合が ‘ヒュウガナツ’ を種子親にした場合に比べて柱頭上部に達した花粉管数は多く、中部に達するものもわずかに認められたが、柱頭下部まで達した花粉管はどちらを種子親にした場合も認められなかった。

‘川野なつたいたい’ を花粉親に用いた場合、‘古山ニューサマー’、‘ヒュウガナツ’ とともに柱頭下部まで花粉管が達し、その花粉管数に2カンキツ種間での有意な差はなかった。‘川野なつたいたい’ を種子親とした場合、‘古山ニューサマー’、‘ヒュウガナツ’ とともに柱頭下部まで花粉管が達した。柱頭上部に達した花粉管数は ‘古山ニューサマー’ に比べて ‘ヒュウガナツ’ 花粉で多かったが、中部および下部まで達した花粉管数に差はなかった。

## 2-2 異なる受粉処理が ‘古山ニューサマー’ の着果率に及ぼす影響

### 2-2-1 材料および方法

2015～2016年に静岡県農林技術研究所伊豆農業研究センター内の露地に植栽された ‘古山ニューサマー’ 3樹（2015年時点9年生）を供試し、供試樹の周囲には受粉樹となりうるカンキツ樹が複数植栽されている条件下で実施した。2015年5月13～14日に開花直前の花蕾の花弁と雄ずいを除去した。処理区として除雄区、自家受粉区、他家受粉区の3区を設け、除雄区は除雄処理のみ実施して小袋を掛けた。自家受粉区は開花直前の ‘古山ニューサマー’ 10花蕾を採取し、葯のみにして一晚静置することで開葯させ、得られた花粉を人工受粉し、小袋を掛けた。また、他家受粉区には、自家受粉区と同様の方法で ‘川野なつたいたい’ の花粉を採取し受粉した。処理は1区1樹30花、3反復、計90花について、有葉花を選んで行った。2015年7月15日から2016年4月19日まで2週間ごとに着果率を調査した。2016年4月19日に着果していた各処理区の果実をすべて採取し、7℃に設定した貯蔵庫内で保存した。採取したすべての果実について、2016年5月10～13日に種子数、果実重、横径、果形指数、果皮厚、果肉歩合、糖度、クエン酸含量、す上がり度を調査した。種子は、正常に発育している完全種子と、完全種子に比べて小さく厚さが薄い不完全種子、5mm以下の受精胚珠に区分し、完全種子数および不完全種子数を調べた。す上がり度はカンキツの調査方法（農林水産省果樹試験場興津支場、1987）

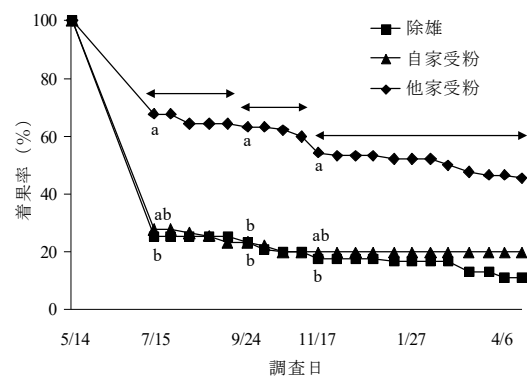
に基づき、す上がり無(0)、軽(1)、中(2)および甚(3)に分けて測定し、その平均値とした。

### 2-2-2 結果

‘古山ニューサマー’ の除雄区、自家受粉区および ‘川野なつたいたい’ の花粉を用いた他家受粉区における着果率を第3図に示した。生理落果がほぼ終了した7月15日時点における除雄区、自家受粉区および他家受粉区の着果率は、それぞれ25.6%、27.8%および67.8%であった。調査を開始した7月15日から完了した4月19日までの全期間を通して除雄区と自家受粉区の着果率に有意な差は認められなかった。

4月19日時点で各処理区に着果していたすべての果実の種子数を調べた結果を第2表に示した。除雄区では、すべてが完全種子、不完全種子ともに含まない無核果実であった。他家受粉区の完全種子数は、他の2処理区に比べて有意に多かった。

処理区ごとの果実品質を第3表に示した。すべての調査項目において、除雄区と自家受粉区間に有意な差は認められなかった。除雄区および自家受粉区の果実は他家受粉区に比べて小さく、果皮が薄く、糖度が高かった。



第3図 異なる受粉条件下における ‘古山ニューサマー’ の着果率  
図中の異なる符号間には、arcsin変換後Holmの多重比較検定により5%水準で有意差あり  
図中の矢印は当該期間中の符号が同一であることを示す

第2表 異なる花粉条件下における ‘古山ニューサマー’ の種子数

処理区	完全種子数 (個/果)		不完全種子数 (個/果)	
除雄	0 ± 0 <sup>z</sup>	b <sup>y</sup>	0 ± 0	b
自家受粉	0.11 ± 0.19	b	0.38 ± 0.54	ab
他家受粉	24.02 ± 1.44	a	3.07 ± 0.55	a
有意性 <sup>x</sup>	**		**	

<sup>z</sup> 平均値±標準偏差

<sup>y</sup> Holmの多重比較検定により、異なる符号間に5%水準で有意差あり

<sup>x</sup> 分散分析により、\*\*は1%水準で有意差あり

第3表 異なる受粉条件下における‘古山ニューサマー’の果実品質

処理区	果実重 (g)	横径 (mm)	果形指数 <sup>z</sup>	果皮厚 (mm)	果肉歩合 <sup>y</sup> (%)	糖度 (°Brix)	クエン酸含量 (%)	す上がり 度
除雄	114.4 ± 15.6 <sup>x</sup> b <sup>w</sup>	63.2 ± 3.3 b	111.4 ± 3.7	2.4 ± 0.1 b	79.2 ± 1.0 a	12.6 ± 0.3 a	1.44 ± 0.10 a	0.1 ± 0.1
自家受粉	85.3 ± 11.5 b	57.5 ± 3.2 b	111.9 ± 2.1	2.2 ± 0.2 b	79.1 ± 1.0 a	13.4 ± 0.8 a	1.52 ± 0.16 a	0.2 ± 0.4
他家受粉	203.4 ± 9.0 a	78.5 ± 1.4 a	109.3 ± 1.0	4.9 ± 0.3 a	68.4 ± 1.7 b	10.7 ± 0.4 b	1.01 ± 0.04 a	0.8 ± 0.4
有意性 <sup>v</sup>	**	**	n.s.	**	**	**	*	n.s.

<sup>z</sup> (横径/縦径) × 100

<sup>y</sup> arcsin変換後に検定

<sup>x</sup> 平均値 ± 標準偏差

<sup>w</sup> Holmの多重比較検定により、異なる符号間に5%水準で有意差あり

<sup>v</sup> 分散分析により、\*\*は1%水準で有意差あり、\*は5%水準で有意差あり、n.s.は5%水準で有意差なし

クエン酸含量は、分散分析では有意差がみられたものの、す上がり度を防止した。

多重比較では有意な差は認められなかった。果形指数、

す上がり度に有意差は認められなかった。

## 2-3 花粉遮断条件下におけるヒュウガナツ4品種・系統の着果率

### 2-3-1 材料および方法

調査は2018～2019年に、静岡県農林技術研究所伊豆農業研究センター内の同一の露地ほ場に植栽された‘古山ニューサマー’ (2018年時点12年生)、『ヒュウガナツ』の枝変わり品種である‘西内小夏’ (同13年生)、『室戸小夏’ (同13年生)、『ヒュウガナツ’ (同13年生)の計4カンキツ種を各3樹供試して行った。なお、『古山ニューサマー’3樹は試験2の供試樹と同一である。2018年5月1～4日に開花直前の有葉花の花卉および雄ずいを除去して小袋を掛け、他品種の花粉を遮断した。処理花数は1樹当たり40花とした。2018年6月4日に小袋を除去し、以降2週間ごとに7月31日まで、それ以降は1か月ごとに2019年4月1日まで着果率を調査した。2019年4月18日にすべての果実を採取し、試験2と同様の方法で完全種子、不完全種子および不受精胚珠に区分して、それぞれの数を調べた。なお、本試験の供試樹の周囲には、これらの受粉樹となりうるカンキツ樹が複数植栽されており、放任した場合、昆虫媒介による受粉で有核果が多く着果すると考えられる。同一樹の中で有核果が多くなるにつれて無核果の着果率が低下する可能性があることが報告されていることから (中島ら、1979)、有核果の着果数を減らして処理花の着果率を高めるため、開花期間中の2018年4月17日～6月4日はすべての調査樹の側面および天井面を目合2mm、透光率92%のネット (サンサンネット (N7000)、日本ワイドクロス (株)) で1樹ずつ覆い、加えてネット被覆直前にアセタミプリド顆粒水溶剤 (有効成分20.0%、希釈倍率3000倍、日本曹達 (株)) を各調査樹に全面散布することで樹全体への訪花昆虫による受粉

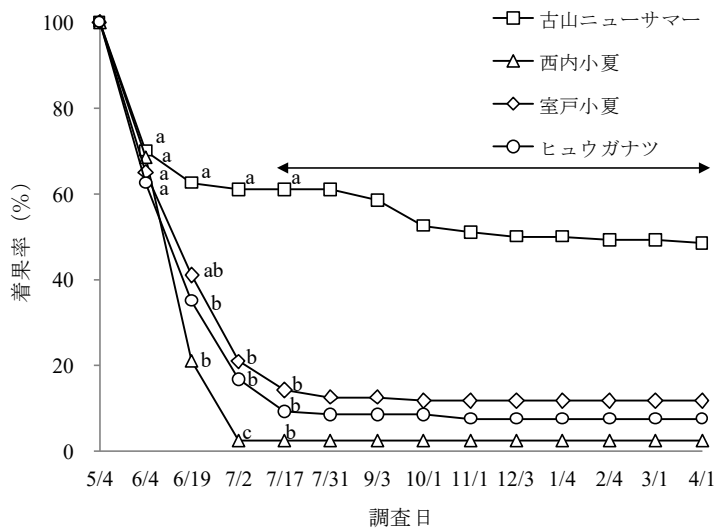
## 2-3-2 結果

開花直前の花を除雄し、小袋を掛けることで花粉を遮断した条件下における‘古山ニューサマー’、『西内小夏’、『室戸小夏’および‘ヒュウガナツ’の着果率を第4図に示した。調査を開始した6月4日時点の着果率はすべてのカンキツ種で60%以上であり、品種・系統間の着果率に差は認められなかった。しかしながら、6～7月に‘西内小夏’、『室戸小夏’、および‘ヒュウガナツ’の着果率が大きく低下したのに対し、『古山ニューサマー’の着果率は60%程度で推移した。生理落果がほぼ終了した7月31日時点の‘古山ニューサマー’、『西内小夏’、『室戸小夏’および‘ヒュウガナツ’の着果率はそれぞれ60.8%、2.5%、12.5%および8.3%で、『古山ニューサマー’の着果率が有意に高かった。同様に、産地における‘ヒュウガナツ’の収穫月である4月1日時点においても、『古山ニューサマー’の着果率は48.3%で、他の3カンキツ種に比べて高かった。

4月1日時点で着果していたすべての果実について、完全種子数、不完全種子数、不受精胚珠数を調査したところ、供試したすべてのカンキツ種のすべての果実で、完全種子および不完全種子は含まれていなかった。1果当たりの不受精胚珠数は‘古山ニューサマー’で46.5個、『西内小夏’で43.0個、『室戸小夏’で43.5個、『ヒュウガナツ’で48.4個であり、供試カンキツ種間における差はみられなかった。

## 2-4 考察

カンキツにおける無核性の要因には、①雄性器官に異常があり自家受粉が行われず単為結果するもの (雄性不稔)、②雌性器官の異常により受精ができないか種子の発育に異常があるもの (雌性不稔)、③自家不和合性によって自家受精が妨げられ、かつ単為結果するもの、④三倍体のため種子が形成されないものがある (根角、



第4図 花粉遮断条件下における供試カンキツ種の着果率  
 図中の異なる符号間には、arcsin変換後Tukeyの多重比較検定により5%水準で有意差あり  
 図中の矢印は当該期間中の符号が同一であることを示す

2002). このうち‘古山ニューサマー’は‘ヒュウガナツ’の枝変わりであるが、これまでに枝変わりで三倍体が発見されたという報告はみられず、また本研究では、‘川野なつたいたい’花粉を用いた他家受粉区に種子を生じたことから(第2表)、三倍体である可能性は除外し、ここでは無核性に関連する性質として、雄性不稔性、雌性不稔性、自家不和合性、単為結果性の4つについて考察する。

三輪(1951)は、‘ヒュウガナツ’花粉における花粉発芽率を最大で78.3%であると報告している。また、内田ら(2012)は、液体花粉培養における‘ヒュウガナツ’の花粉発芽率を73.6%と報告している。本研究では、‘古山ニューサマー’および‘ヒュウガナツ’の花粉発芽率は、三輪(1951)と内田ら(2012)の報告に比べて低いものの、それぞれ55.2%、53.5%と、両カンキツ種でほぼ同じ割合を得た。また、‘古山ニューサマー’の花粉を‘川野なつたいたい’の花に受粉したところ、花柱下部まで花粉管の伸長が認められ、その花粉管数は‘ヒュウガナツ’花粉を‘川野なつたいたい’の花に受粉した場合と同等だった(第1表)。これらことから、‘古山ニューサマー’の花粉は正常に機能しており、無核性の要因は雄性不稔性の獲得ではないと考えられる。

北島ら(2001)は、‘水晶文旦’の花粉を‘ヒュウガナツ’の花に受粉した場合の花粉管数を調査しており、受粉7日後には花粉管が柱頭基部に達し、その数は21.4本/花であったことを報告している。本研究では、‘川野なつたいたい’の花粉を‘古山ニューサマー’および

‘ヒュウガナツ’の花に受粉し、受粉8~9日後に柱頭基部に達した花粉管数を調べたところ、その数はそれぞれ19.0本/花、19.2本/花とほぼ同等であった(第1表)。また、用いた花粉の品種は異なるが、この結果は北島ら(2001)の報告とほぼ一致した。さらに、‘川野なつたいたい’の花粉を‘古山ニューサマー’の花に受粉して得られた果実には、24個程度の完全種子が含まれた(第2表)。「古山ニューサマー」の胚珠は他品種の花粉で正常に受精し、完全種子が形成されたことから、無核性の要因は雌性不稔性の獲得ではないと考えられる。

‘ヒュウガナツ’が自家不和合性を有することは複数の文献で報告されている(三輪, 1951; Yamamotoら, 2006)。Yamamotoら(2006)は、自家受粉による柱頭内の花粉管伸長についてカンキツ類65種で調べ、‘ヒュウガナツ’を含む31品種が自家不和合性であることを明らかにしている。本研究では、自家受粉した花のうち生理落果後の7月15日時点で27.8%が着果したことから(第3図)、「古山ニューサマー」が自家不和合性を獲得した可能性が考えられた。しかし、「古山ニューサマー」の自家受粉による花粉管の伸長は、「ヒュウガナツ」の自家受粉と同様、花柱上部までであり、花柱中部および下部では認められなかった(第1表)。このことから、「ヒュウガナツ」の有する自家不和合性を「古山ニューサマー」も有していると考えられた。

‘ヒュウガナツ’は単為結果性に乏しく、これまではジベレリンによって人為的に単為結果を誘起することで、着果率を高める栽培方法が検討されてきた(牧田,



1984). 中島・木村 (1981) は、ジベレリン含有人工花粉の受粉による着果率を調べ、3.6%ジベレリン含有区では47%の着果率を得たものの、0~0.1%ジベレリン含有区では5~7%であったことを報告している。本研究では、除雄後に小袋を掛けて花粉を遮断した条件下で、‘古山ニューサマー’の着果率を調べたところ、生理落果後の7月15日時点で25.6%の着果が認められた(第3図)。また、除雄後に小袋を掛け、‘古山ニューサマー’、‘西内小夏’、‘室戸小夏’、および‘ヒュウガナツ’の着果率を比較したところ、生理落果後の7月31日時点における‘ヒュウガナツ’の着果率は8.3%であり、中島・木村(1981)の報告とほぼ同等の着果率であった(第4図)。これに対し、‘古山ニューサマー’の着果率は60.8%で、‘ヒュウガナツ’を含む他の3カンキツ種に比べて有意に高かった。加えて、これらの試験で得られた果実はすべて完全種子および不完全種子を含まない無核果であった(第2表)。このことから、‘古山ニューサマー’は‘ヒュウガナツ’に比べて強い単為結果性を有しているために、無核果が多く得られるようになったと考えられる。

単為結果は、受粉やその他の刺激を与えなくても、子房壁や花托が自然に肥大して果実を形成する自動的単為結果と、花粉もしくはこれに代わる物質の刺激によって無核果実が形成される他動的単為結果に分類される(間苧谷ら, 2002)。「古山ニューサマー」の単為結果は、花粉を遮断した条件下で、かつジベレリンなどの化学薬剤を用いずに誘起されたことから、自動的単為結果であると考えられる。以上から、「古山ニューサマー」の種子数が「ヒュウガナツ」に比べて少なく、無核果が多く得られる要因は、自家不和合性と自動的単為結果性の双方を有している点であることが明らかになった。

単為結果性を有することを加味して、異なる受粉処理が「古山ニューサマー」の着果率に及ぼす影響について調べた試験の結果を再検証すると、自家受粉区では、自家不和合性を有することから自家受粉処理では受精せず、単為結果により着果したと考えられる。自家受粉区と除雄区では種子数、果実品質、着果率のすべての項目で有意な差が認められなかった点も、これを裏付けるデータであると考えられる(第2表、第3表、第3図)。

試験2において除雄区および自家受粉区の「古山ニューサマー」の果実は単為結果による無核果であり、その果皮は多くの種子が含まれた他家受粉区の果実に比べて薄かった(第3表)。「ヒュウガナツ」において種子数

と果実重には正の相関があることが知られているが(長友ら, 2001)、これらと果皮厚の関係について調べた報告は少ない。本研究では、無核果は有核果に比べて果実重は小さく、果皮厚は薄かったことから、「古山ニューサマー」において種子数、果実重および果皮厚には正の相関があることが示唆された。また、本研究では品種比較を行っていないことから、「古山ニューサマー」と「ヒュウガナツ」の果皮厚の品種間差については明確でない。しかし、山田ら(1991)は、2倍体ナツダイダイ花粉を用いて受粉した「ヒュウガナツ」の果皮厚を6.1mmであると報告しており、本研究における除雄区、自家受粉区、他家受粉区のすべてで、山田ら(1991)の報告に比べて果皮厚が薄い傾向がみられた(第3表)。このことから、「古山ニューサマー」の果皮厚は「ヒュウガナツ」に比べて薄く、これが「古山ニューサマー」の果実特性の一つである可能性があり、この点については今後の研究で明らかにする必要があると考えられた。また、「ヒュウガナツ」はアルベドが厚いことから、フラベドのみをナイフで剥ぎアルベドと果肉を一緒に食するが(長友ら, 2001)、無核の「古山ニューサマー」の果皮は薄く、ナイフで剥皮してアルベドごと食するのは難しいことから、一般的なカンキツと同様、手で剥皮して食することに向くと考えられる。

食味を左右する重要な果実品質として糖度、酸含量が挙げられ、カンキツでは、小玉果は大玉果に比べて糖度、酸含量ともに高いことが報告されている(木原ら, 1981)。除雄区および自家受粉区で得られた無核の「古山ニューサマー」で、糖度、酸含量ともに他家受粉区の有核果に比べて高い傾向がみられたのは(第3表)、無核果が有核果に比べて小さいことがその要因の一つであると考えられた。本研究では食味の官能評価を実施していないため明らかではないが、無核果と有核果では、その糖度、酸含量に差が認められたことから、食味が異なる可能性があると考えられた。

異なる受粉処理が着果率に及ぼす影響について調べた試験における除雄区の生理落果後の着果率は25.6%であり、同様に除雄して小袋を掛け、ヒュウガナツ4品種・系統間の着果率を比較した試験における「古山ニューサマー」の着果率は60.8%で(第4図)、同一の処理条件であるが着果率に差がみられた。中島ら(1979)は、同一樹の中で有核果が多くなるにつれて無核果の着果率が低下することを報告している。このことから、異なる受粉処理が着果率に及ぼす影響について調べた試験

では同一樹中に他家受粉による有核果が着果している条件下であるが、品種・系統間の着果率を比較した試験では試験樹をネットで被覆することで訪花昆虫による受粉を防止した条件下であることが、着果率に差がみられた要因の1つであると考えられた。また、これらの試験は同一の調査樹を用いており、調査年が異なることから、樹体の栄養条件や気象環境等によっても‘古山ニューサマー’の着果率が変動した可能性が考えられた。単為結果によって連年安定結実が可能か否かについては不明であるため、今後その収量や経済性について調べる必要がある。樹体の栄養条件や気象環境以外で、ヒュウガナツの着果率に影響を及ぼす可能性がある要因として、カンキツトリステザウイルスの罹病により発生するステムピッチングが挙げられる。山田ら(1991)は、ステムピッチングの発生度と着果率の関係を調べ、人工受粉を施さない放任受粉区や、自家受粉を施した区において、ステムピッチングの発生程度が低い場合であっても着果率は0%であったことを報告している。本研究では、カンキツトリステザウイルスの罹病やステムピッチングの発生度の調査を行っていないが、すべての品種・系統で2.5~48.3%の着果率を示したことから(第4図)、カンキツトリステザウイルスが本研究の着果率に影響を及ぼしている可能性は低いと考えられた。

単為結果性は、受粉樹が不要となる点において、果樹栽培で極めて有益な特性である(間苧谷ら, 2002)。「古山ニューサマー」は、これまでのヒュウガナツ栽培で問題とされてきた開花期の気象条件による結実の不安定さを解消し、無核果を省力的に生産できる可能性を有している。また、無核果は糖度および酸含量が有核果に比べて高い傾向がある点、果皮が薄く果肉歩合が大きい点においても「古山ニューサマー」の無核果生産において、これまでのヒュウガナツ生産との果実品質上の差別化が図れる可能性があると考えられる。今後は、受粉樹を混植しない園地条件での無核果の収量や経済性を明らかにすることで、速やかな本品種の産地への導入が期待される。

## 2-5 摘要

‘ヒュウガナツ’の枝変わり品種である‘古山ニューサマー’について、無核果が‘ヒュウガナツ’に比べて多く生産される要因を検討した。‘古山ニューサマー’および‘ヒュウガナツ’の自家受粉における柱頭内の花粉管伸長を調べたところ、両カンキツ種ともに花粉管の

伸長は花柱上部で停止し、花柱中部および下部では認められなかったことから、‘古山ニューサマー’は、‘ヒュウガナツ’と同様に自家不和合性を有していることが明らかになった。また、除雄後に小袋を掛けることで花粉を遮断した条件下における‘古山ニューサマー’の着果率を‘ヒュウガナツ’、‘ヒュウガナツ’の枝変わり品種である‘西内小夏’および‘室戸小夏’と比較したところ、生理落果後における‘古山ニューサマー’の着果率は60.8%であり、‘西内小夏’の2.5%、‘室戸小夏’の12.5%および‘ヒュウガナツ’の8.3%に比べて高かった。このことから、‘古山ニューサマー’は‘ヒュウガナツ’に比べて強い単為結果性を有していることが明らかになった。また、‘古山ニューサマー’の単為結果は、花粉を遮断した条件下で、かつジベレリンなどの化学薬剤を用いずに誘起されたことから、自動的単為結果であると考えられた。これらのことから、‘古山ニューサマー’は自家不和合性を有し、かつ自動的単為結果性を有することが明らかになり、‘ヒュウガナツ’に比べて強い単為結果性を有していることが、無核果を多く生産できる要因であると考えられた。

## 第3章 開花期にネットを被覆した‘古山ニューサマー’における無核果の着果量,

### 着果特性および果実品質

開花期にネットを被覆することで花への訪花昆虫の往来を防止した条件下における‘古山ニューサマー’の着果量を検証するとともに、無核果の安定生産と高品質化のための基礎的知見を得ることを目的に、樹上での着果特性や収穫時の果実品質についても併せて検証した。

#### 3-1 開花期にネットを被覆した‘古山ニューサマー’における無核果の着果量、着果特性および果実品質

##### 3-1-1 材料および方法

試験は、2016年および2017年の2か年、静岡県農林技術研究所伊豆農業研究センター（静岡県賀茂郡東伊豆町稲取）内の露地に植栽された‘古山ニューサマー’3樹（2016年時点10年生、カラタチ台）、および対照として、これと同一の園地に植栽された‘ヒュウガナツ’3樹（同11年生、カラタチ台）を供試し、供試樹の周囲には受粉樹となりうるカンキツ樹が複数植栽されている条件下で実施した。施肥は当該地域の慣行に従い、年間窒素施肥量を10a当たり30kgとし、年2回に分けて施用した。2016年は開花前の4月28日から開花終了後の5月31日までの間、すべての調査樹の側面を目合2mm、透光率85%のネット（ビニロン寒冷紗（#520）、ユニチカ（株））で、天井面を目合2mm、透光率92%のネット（サンサンネット（N7000）、日本ワイドクロス（株））で1樹ずつ覆うことでネット内への訪花昆虫の侵入を防止した。同様に2017年は4月28日から6月12日までの間、2016年と同一の資材で覆い、加えてネット被覆直後にネットの外から調査樹に向けてアセタミプリド顆粒水溶剤（有効成分20.0%、希釈倍率3000倍、日本曹達（株））を全面散布することで訪花昆虫の侵入を防止した。摘果は、2016年は7～8月に、2017年は後述の着果特性の調査を生理落果後の8月下旬に行ったため、この調査が終了した後の9月上旬に、小玉果や隣接する果実との養分競合がみられる果実を中心に実施した。摘果する果実の数は、‘ヒュウガナツ’における樹冠占有面積当たりの適正着果量である20～24果・m<sup>2</sup>を基準とし（長友ら、2001）、摘果後から収穫時までの落果による着果数の減少を加味して決定した。

2017年1月26日に樹高および4方位の樹幅を調査した。また、伊豆地域における‘ヒュウガナツ’の収穫期が4～5月であり、‘ヒュウガナツ’の収穫期における‘古山ニューサマー’の酸含量が‘ヒュウガナツ’とほぼ同等であることから（浜部、2017）、4月20日に1樹ずつ収穫して収穫果実数および収量を調査した。翌年は、2018年1月30日に樹高および樹幅を、4月23日に収穫果実数および収量を調査した。また収穫後には、収穫したすべての果実の種子数を調べた。種子は、正常に発育している完全種子と、完全種子に比べて小さく厚さが薄い不完全種子、5mm以下の不受精胚珠に区分し、完全種子と不完全種子をともに含まない果実を無核果とした。すべての収穫果実の中から無核果のみを選び出し、樹当たり、および樹冠占有面積当たりの収穫果実数と収量を算出した。なお、樹冠占有面積の算出は樹高および樹幅の数値からカンキツの調査方法（農林水産省果樹試験場興津支場、1987）に基づいて行った。

さらに2017年は、収穫時の果実品質と樹上における着果特性との関係を検証するため、2017年8月21～30日に、調査時点で着果していたすべての果実について、樹上での着果特性（主幹からの距離、地上高、結果母枝長、水平を0°とした場合の結果母枝角度、内側果・外側果の別、有葉果・無葉果の別、結果枝葉数）を調査した。なお、樹冠外周部の日光が直接当たる果実を外側果とし、外側果以外の果実を内側果とした。また、新葉を展開しながら伸びた総状果と有葉果を合わせて有葉果とし、新葉の展開がみられない総状果と直花果を合わせて無葉果とした。

2017年9月12日に、摘果したすべての果実について前述の収穫果実と同様の方法で種子数を調べた。また、2018年4月24～27日に、収穫したすべての果実の品質（果実重、横径、果形指数、果皮厚、果肉歩合、糖度、クエン酸含量、す上がり度）を調べた。なお、す上がり度はカンキツの調査方法（農林水産省果樹試験場興津支場、1987）に基づき、無（0）から甚（3）の4段階で評価した。

##### 3-1-2 結果

‘古山ニューサマー’と‘ヒュウガナツ’の樹冠占有

面積当たりの収穫果実数および収量を第4表に示す。無核果について両種を比較すると、2016年の収穫果実数では差がなかったものの、2017年の収穫果実数、2016、2017年の収量において、「古山ニューサマー」が「ヒュウガナツ」より多かった。また、無核果について、供試樹による収穫果実数のばらつきを示す標準偏差は、「古山ニューサマー」に比べて「ヒュウガナツ」で大きい傾向であった。有核果では、両種間に差は認められなかった。得られた果実の種子数および無核果率を第5表に示す。種子数、無核果率ともに両種間で差は認められなかった。両種ともに無核果が得られ、2016年産、2017年産ともに7割以上が無核であった。なお、2017年産は摘果した果実についても種子数を調査したが、全調査樹のすべての果実が無核であった。

摘果果実と収穫果実のうち、無核であることが確認された果実の着果特性を検証したところ、主幹から果実までの距離の平均値は、「古山ニューサマー」で64.8 cm、「ヒュウガナツ」で89.3 cmであった。また、地上高の平均値は「古山ニューサマー」で111.0 cm、「ヒュウガナツ」で198.6 cmであった。「古山ニューサマー」の無葉果率は「ヒュウガナツ」に比べて高かった(第6表)。その他の項目に差は認められなかった。第7表に無核果の果実品質を示す。「古山ニューサマー」の無核果は、「ヒュウガナツ」の無核果に比べて果皮厚が薄く、果肉歩合が大きかった。その他の項目に差は認められなかった。

## 3-2 「古山ニューサマー」の無核果生産における果実品質を決定づける着果特性の検証

### 3-2-1 材料および方法

特に「古山ニューサマー」の高品質化に重要と考えられる果実品質である横径、糖度、クエン酸含量について、これらを決定づける要因となる着果特性(主幹からの距離、地上高、結果母枝長、結果母枝角度、内側果・外側果、結果枝葉数)を、決定木分析( $\alpha=0.01$ )を用いて検証した。検証には、2018年4月23日に「古山ニューサマー」の供試樹3樹から収穫されたすべての無核果の果実品質と着果特性の測定値を用いた。決定木分析の実行には統計ソフトR(ver. 2.15.1, R Core Team, 2016, パッケージ: rpart, partykit)を用いた。2016年にネットの被覆を行い2017年に収穫した果実を2016年産、2017年にネットの被覆を行い2018年に収穫した果実を2017年産とした。

### 3-2-2 結果

横径に関する決定木分析の結果を第5図に示す。供試した254果は12のグループに分類され、第1の分岐は地上高であり、第2の分岐は結果母枝長であった。最も横径が大きいグループに分類されたのは、地上高142.5 cm以上かつ結果母枝長12.75 cm以上の47果で、平均横径は76.3 mmであった。反対に、横径が小さいグループに分類されたのは地上高142.5 cm未満かつ結果母枝長12.25 cm未満の7グループに含まれた計119果で、平均横径は65.6 mmであった。

糖度に関する決定木分析の結果を第6図に示す。供試果実は14のグループに分類され、第1の分岐は結果枝葉数、第2の分岐は主幹からの距離であった。糖度が高いグループに分類されたのは結果枝葉数0.5枚以上かつ主幹からの距離79.5 cm以上の5グループに含まれた計68果で、これらの果実の平均糖度は11.8°であった。反対に、糖度が低いグループに分類されたのは結果枝葉数0.5枚以下かつ主幹からの距離53.5 cm未満の3グループに含まれた計49果で、平均糖度は10.4°であった。

クエン酸含量に関する決定木分析の結果を第7図に示す。供試果実は13のグループに分類され、第1の分岐は結果母枝長で、第2の分岐は結果母枝長または結果母枝角度であった。クエン酸含量が低いグループに分類されたのは結果母枝長12.25~17.25 cmの2グループに含まれた計68果で、これらの果実の平均クエン酸含量は1.43%であった。反対に、クエン酸含量が高いグループに分類されたのは結果母枝長12.25 cm未満かつ結果母枝角度 $>2.5^\circ$ 未満の2グループに含まれた計32果で、平均クエン酸含量は1.64%であった。

### 3-3 考察

吉倉(2008)は、「ヒュウガナツ」を用いて開花期に4 mm目のネットで園全体を被覆し、更に4倍体花粉を人工受粉することで96.4%の果実が完全種子3個未満の少核果となったことを報告している。本研究では、開花期に2 mm目のネットを「古山ニューサマー」および「ヒュウガナツ」に被覆し、収穫果実の種子数を2か年調べたところ、両種ともに無核果が得られ(第4表)、その割合は品種によって異なり、「古山ニューサマー」では9割以上、「ヒュウガナツ」では7割以上が無核であった(第5表)。ネットを用いない場合との比較を行っていないため、ネット被覆の効果については明らかでないが、

**第4表** 開花期にネットを被覆した‘古山ニューサマー’と‘ヒュウガナツ’の樹高および樹幅と樹冠占有面積当たりの収穫果実数および収量

品種	樹高 (m)		樹幅 (m)		樹冠占有面積 (m <sup>2</sup> )		収穫果実数 (果・m <sup>2</sup> )		収量 (kg・m <sup>2</sup> )		
	2016年産	2017年産	2016年産	2017年産	2016年産	2017年産	2016年産	2017年産	2016年産	2017年産	
古山ニューサマー	2.2 ± 0.4 <sup>z</sup>	2.3 ± 0.1	1.8 ± 0.0	2.1 ± 0.1	2.4 ± 0.0	3.6 ± 0.2	無核	25.7 ± 7.4	23.6 ± 2.7	3.0 ± 0.7	3.5 ± 0.7
							有核	1.7 ± 1.5	0.8 ± 0.5	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.1
							合計	27.3 ± 8.8	24.4 ± 3.2	3.1 ± 0.8	3.6 ± 0.7
ヒュウガナツ	2.7 ± 0.2	2.8 ± 0.1	2.6 ± 0.1	3.1 ± 0.0	5.1 ± 0.4	7.4 ± 0.2	無核	9.8 ± 9.3	5.6 ± 3.6	1.0 ± 0.9	0.8 ± 0.5
							有核	1.3 ± 1.6	2.7 ± 3.4	0.1 ± 0.2	0.3 ± 0.4
							合計	11.1 ± 10.8	8.3 ± 6.9	1.1 ± 1.1	1.1 ± 0.9
有意性 <sup>y</sup>	n.s.	**	**	**	**	**	無核	n.s.	**	*	**
							有核	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
							合計	n.s.	*	n.s.	*

<sup>z</sup> 平均値±標準偏差

<sup>y</sup> t検定により, \*\*は1%水準で, \*は5%水準で有意差あり, n.s.は有意差なし

**第5表** 開花期にネットを被覆した‘古山ニューサマー’と‘ヒュウガナツ’の収穫果実の種子数および無核果率

品種	2016年産		2017年産		無核果率 (%)	
	完全種子数 <sup>z</sup> (個/果)	不完全種子数 <sup>y</sup> (個/果)	完全種子数 (個/果)	不完全種子数 (個/果)		
古山ニューサマー	0.02 ± 0.01 <sup>w</sup>	0.04 ± 0.05	94.7 ± 3.6	0.02 ± 0.02	0.04 ± 0.05	96.7 ± 1.7
ヒュウガナツ	0.07 ± 0.04	0.18 ± 0.23	89.4 ± 3.1	0.31 ± 0.25	0.31 ± 0.28	75.3 ± 14.8
有意性 <sup>v</sup>	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

<sup>z</sup> 正常に発育した種子

<sup>y</sup> 完全種子に比べて小さいまたは厚さが薄い種子

<sup>x</sup> 全収穫果実に占める完全種子および不完全種子を含まない果実の割合

<sup>w</sup> 平均値±標準偏差

<sup>v</sup> t検定により, n.s.は有意差なし

第6表 開花期にネットを被覆した‘古山ニユウサマー’と‘ヒユウガナツ’の無核果の着果特性 (2017年産)

品種	結果母枝長 (cm)	結果母枝角度 <sup>z</sup> (°)	内側果率 <sup>y</sup> (%)	無葉果率 <sup>x</sup> (%)	結果枝葉数 (枚/個)
古山ニユウサマー	11.2 ± 0.7 <sup>w</sup>	28.2 ± 5.6	52.6 ± 9.2	42.9 ± 13.3	3.0 ± 0.7
ヒユウガナツ	13.9 ± 1.9	46.7 ± 13.6	20.4 ± 28.2	6.6 ± 10.2	6.8 ± 3.0
有意性 <sup>v</sup>	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.

<sup>z</sup> 水平を0°とした場合の結果母枝の角度

<sup>y</sup> 内側果数 / (内側果数+外側果数) × 100, arcsin変換後にt検定

<sup>x</sup> 無葉果数 / (有葉果数+無葉果数) × 100, arcsin変換後にt検定

<sup>w</sup> 平均値±標準偏差

<sup>v</sup> t検定により, \*は5%水準で有意差あり, n.s.は有意差なし

第7表 開花期にネットを被覆した‘古山ニユウサマー’と‘ヒユウガナツ’の無核果の果実品質 (2017年産)

品種	果実重 (g)	横径 (mm)	果形指数 <sup>z</sup>	果皮厚 (mm)	果肉含有 <sup>y</sup> (%)	糖度 (°Brix)	クエン酸含量 (%)	す上がり度 <sup>x</sup>
古山ニユウサマー	147.7 ± 19.2 <sup>w</sup>	69.1 ± 3.5	113.9 ± 2.1	2.9 ± 0.1	75.3 ± 1.3	11.2 ± 0.2	1.53 ± 0.11	0.2 ± 0.1
ヒユウガナツ	137.4 ± 3.5	68.4 ± 1.8	118.0 ± 2.8	4.9 ± 0.6	63.0 ± 3.3	11.6 ± 0.8	1.58 ± 0.10	0.1 ± 0.1
有意性 <sup>v</sup>	n.s.	n.s.	n.s.	*	**	n.s.	n.s.	n.s.

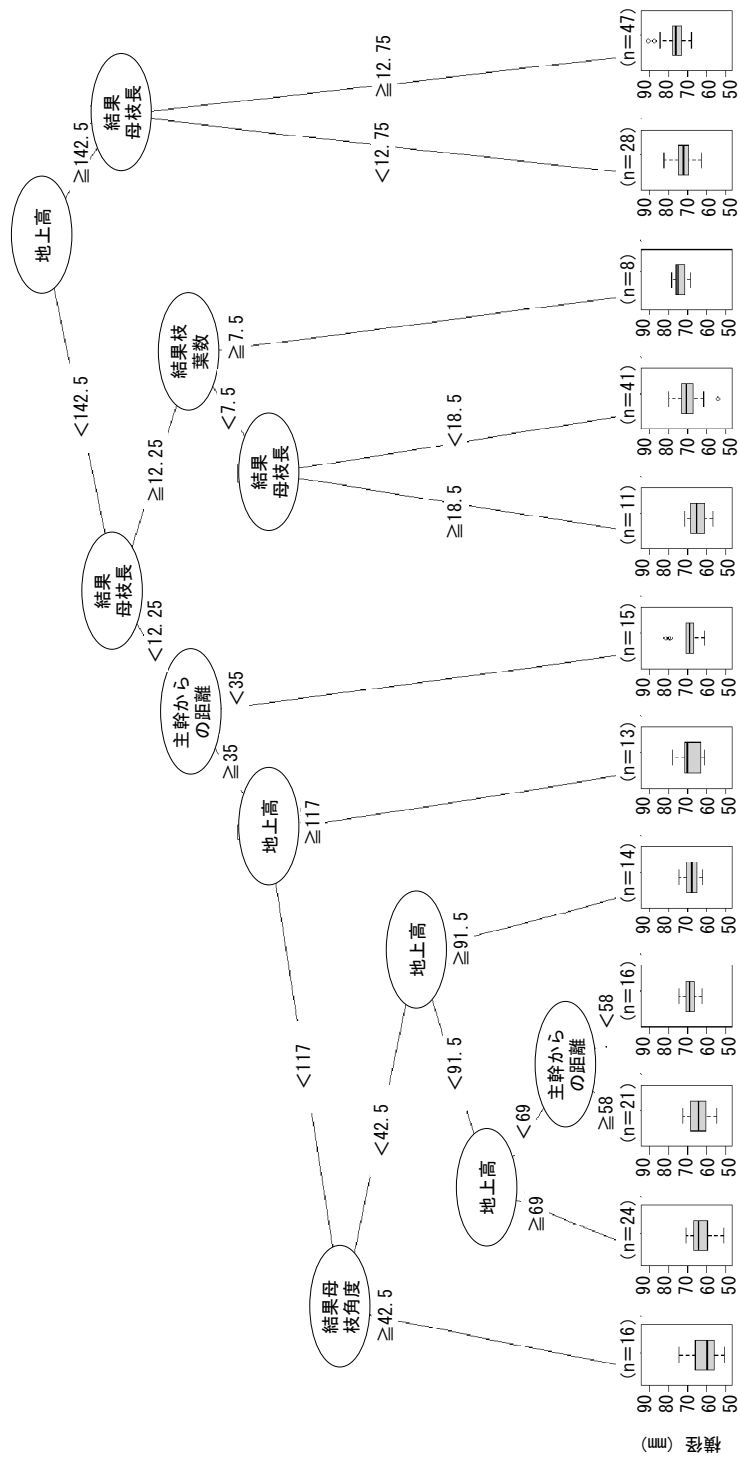
<sup>z</sup> (横径/縦径) × 100

<sup>y</sup> arcsin変換後にt検定

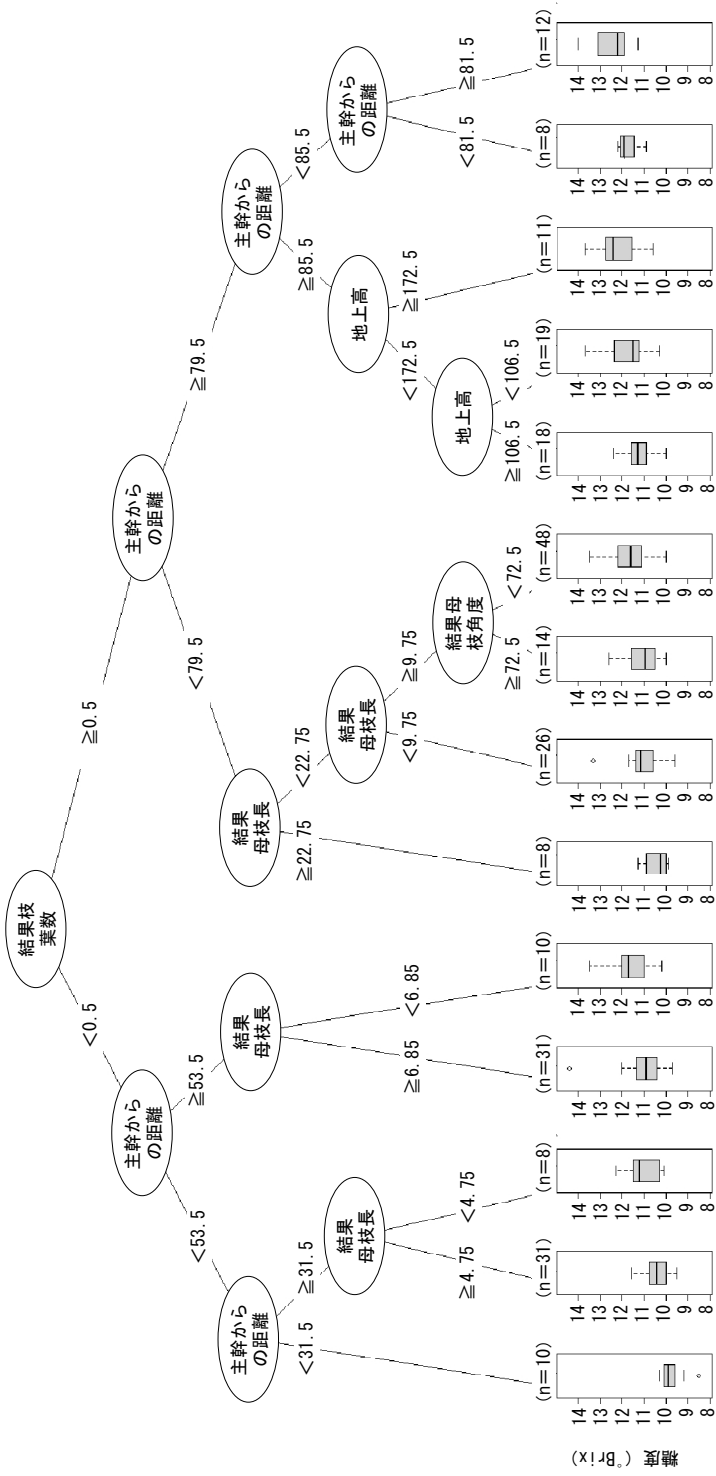
<sup>x</sup> 0(無) ~ 3(甚)で評価

<sup>w</sup> 平均値±標準偏差

<sup>v</sup> t検定により, \*\*は1%水準で, \*は5%水準で有意差あり, n.s.は有意差なし

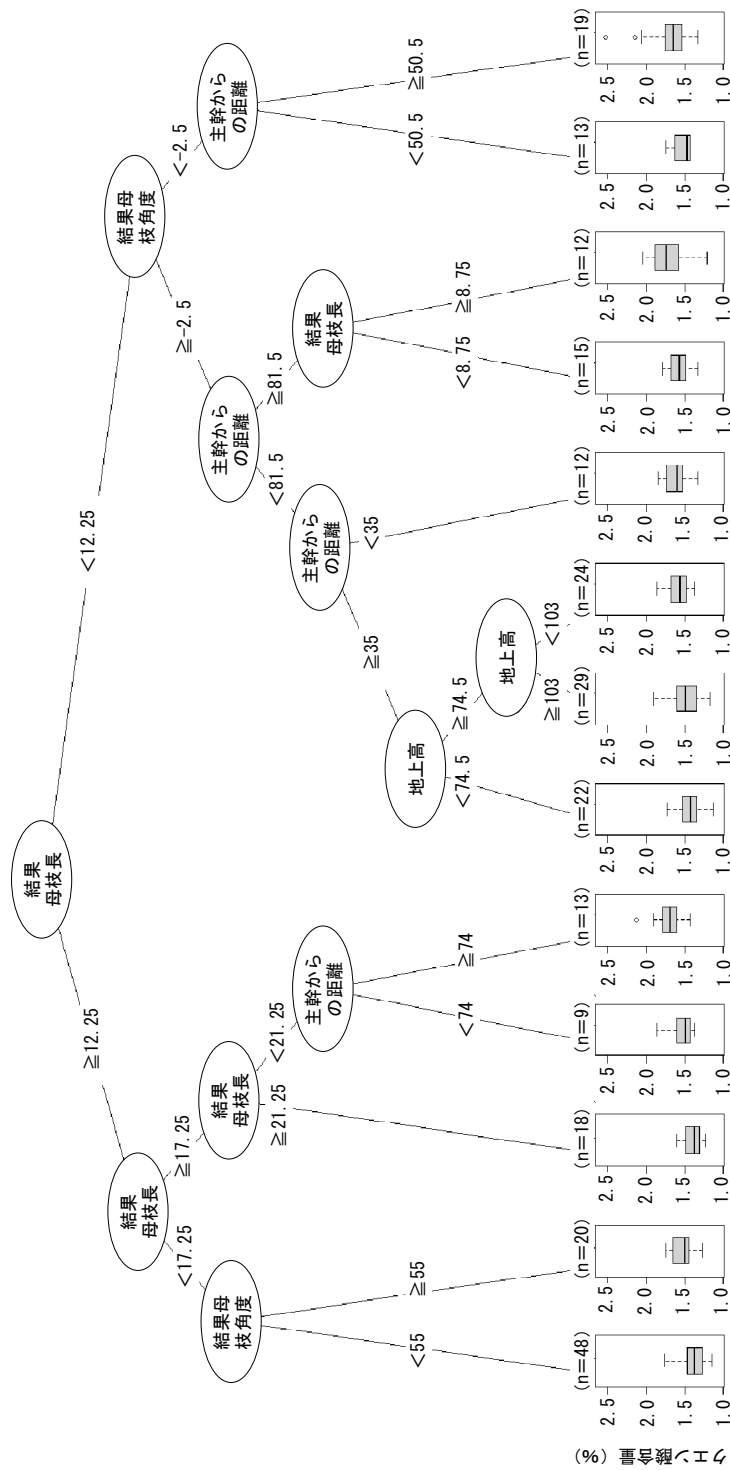


第5図 開花期にネットを被覆して得られた無核の「古山ニューサマー」の横径に関する決定木 (cp=0.01)  
 図中の数値の単位は主幹からの距離, 地上高, 結果母枝長がcm, 結果母枝角度が° , 結果枝葉数が枚である



第6図 開花期にネットを被覆して得られた無核の「古山ニューサマー」の糖度に関する決定木 (cp=0.01)  
 図中の数値の単位は主幹からの距離, 地上高, 結果母枝長がcm, 結果母枝角度が°, 結果枝葉数が枚である





第7図 開花期にネットを被覆して得られた無核の‘古山ニユースァマー’のクエン酸含量に関する決定木 (cp=0.01)  
 図中の数値の単位は主幹からの距離、地上高、結果母枝長がcm, 結果母枝角度が°, 結果枝葉数が枚である

‘ヒュウガナツ’ および ‘古山ニューサマー’ では、花粉が存在しない条件下であっても単為結果により結実して無核果が得られることから (浜部ら, 2020a), ネット内は訪花昆虫の侵入が極めて少ない条件となり, 多くの花で受粉が行われず, 単為結果して無核となったと考えられた。しかし, すべての果実が無核にはならず, 年次間差, 品種間差はあるものの有核果が着果した。この理由として, 開花期間中に調査者がネット内に立ち入る必要があり, ネットの開閉時に訪花昆虫が侵入した可能性や, 天井面と側面の継ぎ目が不十分であった箇所から訪花昆虫が侵入した可能性が考えられた。

また, 無核果率を高める目的で2017年産果実の開花時にはネット被覆直後にアセタミプリド顆粒水溶剤を散布したが, ‘古山ニューサマー’ の無核果率は2016年産よりも高い傾向であったものの, ‘ヒュウガナツ’ では2016年産より低い傾向であったため, その効果は明確でなかった。

樹冠占有面積当たりの ‘古山ニューサマー’ の無核果の2017年産の収穫果実数, 2016, 2017年産の収量は, ‘ヒュウガナツ’ に比べて多かった (第4表) 。 ‘古山ニューサマー’ の単為結果性が ‘ヒュウガナツ’ に比べて強いことが (浜部ら, 2020a), 無核果の収穫果実数が多かった要因であると考えられた。長友ら (2001) は, ‘ヒュウガナツ’ の樹冠占有面積当たりの適正着果量を20~24果・m<sup>2</sup> であるとしている。本研究で得られた無核の ‘古山ニューサマー’ の収穫果実数は2か年ともにこれを満たしており, ‘ヒュウガナツ’ の適正着果量を基準とした場合には, 無核果のみでこれを確保できることが示唆された。また, 樹冠占有面積当たり収量は, 2016年産で3.0kg・m<sup>2</sup>, 2017年産で3.5kg・m<sup>2</sup> であることから, 10a当たりの収量の試算値はそれぞれ, 3.0t・10a<sup>-1</sup>, 3.5t・10a<sup>-1</sup> となり, 産地における ‘ヒュウガナツ’ の目標収量である2.7t・10a<sup>-1</sup> を満たした。なお, 有核果の収穫果実数および収量には両種の間には有意な差が認められなかった点 (第4表), 今回の ‘ヒュウガナツ’ の供試樹には, 有核果の着果数のごくわずかであってもほとんど無核果が着果しなかった個体が認められた点から, 有核果の着果が無核果の着果量および収量に影響を与えた可能性はあるものの, その影響は小さいと推測され, 本研究で得られた調査データから両種における無核果の着果量および収量の比較は可能であると考えられた。

‘ヒュウガナツ’ で無核果の着果が得られた要因は,

弱いながらも単為結果性を有するためであると考えられた。また, 無核果の収穫果実数の標準偏差が ‘古山ニューサマー’ より大きく供試樹間で着果量にばらつきがみられ (第4表), ‘古山ニューサマー’ に比べて収穫果実数が少なかったのは, 単為結果性が弱く, 樹勢や気象の影響を受けて安定した着果が得られなかったためと推察された。

‘古山ニューサマー’ は ‘ヒュウガナツ’ に比べて, 着果した果実に占める無葉果の割合が大きかった (第6表)。一般にカンキツの花において, 有葉花は充実して大きく, 直花をはじめとした無葉花は弱く小さいことが知られており, 無葉花は有葉花に比べて生理落花しやすいとされている (門屋, 1985)。また, 樹冠内部は日照条件が不良で同化産物不足に陥り, 無葉花が発生しやすい傾向がある。本研究では, 開花時には ‘古山ニューサマー’, ‘ヒュウガナツ’ とともに十分な有葉花および無葉花が観察されたが, 生理落果終了後には ‘ヒュウガナツ’ の無葉果の着果は少なかった。このことから ‘ヒュウガナツ’ では単為結果性が弱いと推察された。反対に, ‘古山ニューサマー’ は単為結果性が強く, 日照条件が不良な樹冠内部の無葉果であっても生理落果せずに着果したことが, 樹冠占有面積当たりの収穫果実数が ‘ヒュウガナツ’ に比べて多かった要因であると考えられた。

‘古山ニューサマー’ と ‘ヒュウガナツ’ の無核果の果実品質を比較したところ, ‘古山ニューサマー’ の果皮厚が ‘ヒュウガナツ’ に比べて薄く, 果肉歩合が大きかった (第7表)。浜部ら (2020a) は, 除雄後に小袋を掛けることで単為結果した ‘古山ニューサマー’ の果皮厚を2.4mm, 果肉歩合を79.2%と報告しており, 本研究における ‘古山ニューサマー’ の果皮厚および果肉歩合は, これに近い値を示した。 ‘ヒュウガナツ’ はフラベドをナイフで剥いてアルベドごと果肉を食するのが一般的であるが, ナイフを利用することで手軽さは失われる。その点, ‘古山ニューサマー’ の無核果はアルベドが薄く, 手で剥皮しても残る可食部が大きいことからナイフは不要となり, 手軽さを求める消費者のニーズに合致すると考えられた。

決定木分析による横径, 糖度, クエン酸含量を決定づける着果特性の検証の結果, 横径の決定要因は第1に地上高, 第2に結果母枝長, 糖度では第1に結果枝葉数, 第2に主幹からの距離, クエン酸含量では第1に結果母

枝長，第2に結果母枝角度であった。

富永ら(1987)は，高ししょう系ポンカンの果実重と地上高の間に正の相関があることを明らかにしており，本研究においても決定木分析の第1分岐で，地上高が高い果実で横径が大きくなったため，既報と同様の傾向であった(第5図)．本研究の調査樹は一般的なカンキツの樹形である開心自然形に仕立てられており，樹冠上部の主枝の先端付近では長く太い結果母枝の発生が多くみられ，これらの母枝に着果する果実の肥大は優れると考えられる。

次に，糖度について，富永ら(1987)はポンカンの糖度と主幹からの距離との間に正の相関があることを，内田ら(1985)は‘福原オレンジ’で樹冠内部に比べて外周部で糖度が高いことをそれぞれ報告している．本研究における結果も同様で，決定木分析では第2分岐が主幹からの距離となり，距離が遠い果実で糖度は高かった(第6図)．また，第1分岐は結果枝葉数0.5枚で分岐しており，すなわち葉数1枚以上の有葉果であることが高糖度となる要因であることが示された．有葉果では，結果枝に着生した新葉で合成された同化産物が効率よく果実に転流するため，無葉果に比べて糖の蓄積に有利であると考えられる。

クエン酸含量は，決定木分析の第1分岐が結果母枝長で，長い結果母枝に着果するとクエン酸含量は低かった(第7図)．結果母枝の性質とカンキツの酸含量の関係について調べた報告は少ないが，肥大が促進されるほどクエン酸含量が低下することはこれまでに報告されている(木原ら，1981)．第5図の第2分岐から長い結果母枝に着果した果実の肥大は良好であるといえ，それゆえにクエン酸含量が低くなったと考えられる。

横径，糖度，クエン酸含量をそれぞれ決定づける最も重要な要因と考えられる，各決定木分析の第1分岐を総合すると，地上高142.5 cm以上，結果母枝長12.25 cm以上，結果枝葉数0.5枚以上をすべて満たすことで，大玉で高糖度かつ低クエン酸含量の高品質な果実が得られると考えられる．なお，これらの条件をすべて満たす果実は，本研究において決定木分析に用いた果実中の18.5%を占めており，実際に高品質な果実の生産は可能であると考えられた。

本研究の結果から，‘古山ニューサマー’は‘ヒュウガナツ’に比べて単為結果性が強い(浜部ら，2020a)，特に‘ヒュウガナツ’に比べて無葉果の着果が多く得られ，単為結果で得られた無核果のみで‘ヒュウガナツ’

で目安とされる適正着果量程度の着果は確保できる可能性が示された．今後は‘古山ニューサマー’の無核果生産における肥大促進技術の開発を行うことで，他家受粉や受粉樹の混植といった他家受粉に頼らない栽培体系の確立につながると考えられる．また，無核果の果実品質は，無核であるがゆえに食べやすいというだけでなく，‘ヒュウガナツ’の無核果に比べて果肉歩合が大きく，手で剥皮した場合の可食部が大きい点で高品質であることが明らかになった．更に，横径，糖度，クエン酸含量に関する各決定木分析の結果から，樹上の高い位置にある長い結果母枝に着生した有葉果であることが，大果であり，かつ高糖度，低クエン酸含量で内部品質の良好な果実の条件であると推察され，樹体の日当たりを良好に保ち，かつ樹勢を強く維持することが‘古山ニューサマー’の無核果生産においては重要であることが考察され，これらの結果は剪定や摘果といった栽培管理に応用できる可能性があると考えられた．

### 3-4 摘要

‘ヒュウガナツ’の枝変わり品種で単為結果性を有する‘古山ニューサマー’について，開花期にネットを被覆して訪花昆虫の侵入を防止した条件下における無核果の着果量，着果特性，果実品質を‘ヒュウガナツ’と比較した．樹冠占有面積当たりの無核果の収穫果実数は‘古山ニューサマー’で多く，単為結果による無核果のみで‘ヒュウガナツ’で目安とされる適正着果量程度の着果が得られることが示唆された．着果特性を検証した結果，‘古山ニューサマー’は，‘ヒュウガナツ’に比べて無葉果の着果が多くみられ，これが着果量が多かった要因であると考えられた．また，無核の‘古山ニューサマー’の果肉歩合は‘ヒュウガナツ’に比べて大きく，手で剥皮した場合の可食部が大きいたことが明らかになった．得られた‘古山ニューサマー’の無核果について，果実品質を決定づける着果特性を決定木分析を用いて検証したところ，地上高142.5 cm以上，結果母枝長12.25 cm以上，結果枝葉数0.5枚以上を満たすことが，大玉かつ高糖低酸の高品質な果実となる条件であった．このことから，樹体の日当たりを良好に保ち，かつ樹勢を強く維持することが‘古山ニューサマー’の高品質な無核果生産において重要であることが推察される．

## 第4章 ‘古山ニューサマー’の自然受粉条件下における果実品質と樹上摘果による

### 無核・少核果生産の可能性

‘古山ニューサマー’の無核・少核果安定生産技術の確立を目的として、自然受粉条件下における‘古山ニューサマー’の無核果率および種子数と果実重や糖度などの果実特性との関係性を明らかにするとともに、肥大期における果実の突起形状と横径に着目した摘果方法による無核・少核果生産の可能性について検討した。

#### 4-1 自然受粉条件下における‘古山ニューサマー’の種子数および果実品質

##### 4-1-1 材料および方法

静岡県農林技術研究所伊豆農業研究センター（静岡県賀茂郡東伊豆町稲取）内の露地に植栽された‘古山ニューサマー’（2007年に変異樹から穂木を採取し15年生の‘ヒュウガナツ’に高接ぎ）3樹を供試した。なおすべての供試樹には‘古山ニューサマー’の他に、‘西内小夏’、‘室戸小夏’および‘井原日向’が主枝・亜主枝単位で枝別に高接ぎされており、かつ供試樹の周囲には受粉樹となりうるカンキツ樹が複数植栽されている条件下で調査を実施した。

2017年4月19日に、供試樹に着生していたすべての‘古山ニューサマー’の果実を採取した。得られた3樹合計54果について、4月28日に種子数、果実重、横径、縦径、果形指数、果肉歩合、果皮厚、糖度、クエン酸含量、す上がり度を調査した。同様に、2018年5月3日に86果を採取し、5月17日および18日に前年と同じ項目について調査し、種子数とその他の果実特性との単相関係数を算出した。種子は、正常に発育している完全種子と、完全種子に比べて小さく厚さが薄い不完全種子、5mm以下の不受精胚珠に区分し、完全種子および不完全種子の数を調べ、ともに含まない果実を無核果とし、供試果実に占める無核果の割合を無核果率として算出した。す上がり度はカンキツの調査方法（農林水産省果樹試験場興津支場、1987）に基づき、す上がり無（0）、軽（1）、中（2）および甚（3）に分けて測定し、その平均値とした。なお、調査年次を明確にし、試験2との整合性を取るため、2017年4月19日に採取した果実を2016年産、2018年5月3日に採取した果実を2017年産とした。

#### 4-1-2 結果

2016年産と2017年産の2か年において供試樹から得られたすべての果実の種子数を調査した結果を第8表に示した。2か年ともに完全種子および不完全種子の形成が認められ、無核果率はおよそ4割であった。果実特性を第9表の上段に、種子数と果実特性との単相関係数を下段に示した。調査年次における果実特性に大きな差はみられなかった。種子数と果実特性との単相関係数を算出したところ、果実重、横径、縦径、果皮厚で2か年ともに有意な正の相関が、果肉歩合、糖度で有意な負の相関が認められた。

第8表 自然受粉条件下における‘古山ニューサマー’の種子数および無核果率

調査年次 <sup>2</sup>	種子数（個/果）			無核果率（%）
	完全 <sup>3</sup>	不完全 <sup>4</sup>	合計	
2016年産 <sup>5</sup>	2.1	3.5	5.6	40.7
2017年産 <sup>6</sup>	1.3	1.8	3.1	41.9

<sup>2</sup> 2017年4月19日に採取した果実を2016年産、2018年5月3日に採取した果実を2017年産とした

<sup>3</sup> 正常に発育した種子

<sup>4</sup> 完全種子に比べて小さいまたは厚さが薄い種子

<sup>5</sup> n=54

<sup>6</sup> n=86

#### 4-2 ‘古山ニューサマー’の無・少核果生産に向けた果実肥大期における摘果方法の検討

##### 4-2-1 材料および方法

試験1と同一の3樹を供試樹に用い、2016～2017年、2017～2018年および2018～2019年の計3か年試験を実施した。枝が密生する樹冠内部に比べ、樹冠外周部は訪花昆虫が飛来しやすく、果実の種子数は多いと予想されることから、7月中旬に樹冠外周部に着生している‘古山ニューサマー’の果実を無作為に選んで調査札を付し、供試果実とした。札を付した供試果実について、当日および8月上中旬と9月上中旬に各1回、果頂部における突起の有無および果実横径を調査した。各調査年次における調査日および供試果実数は第10表に示した。果頂部の突起の有無は、その形状から3種類に分類し（第8図）、果頂部の先端に明確な突起がみられる果実（A）を突起「有」、果頂部の周囲がリング状にやや盛り上がる果実（B1）および、盛り上がりがなくほぼ平面である果実（B2）を突起「無」とみなした。伊豆地域における‘ヒ

**第9表** 自然受粉条件下における‘古山ニューサマー’の果実特性および種子数と果実特性との単相関係数<sup>z</sup>

調査年次 <sup>y</sup>	果実重		果径		果肉形合 (%)	果皮厚 (mm)	糖度 (° Brix)	クエン酸含量 (%)	寸上がり度 <sup>w</sup>
	(g)	横 (mm)	縦 (mm)	果形指数 <sup>x</sup>					
2016年産	148.0	68.8	62.1	111.0	78.8	2.4	11.9	1.21	0.4
2017年産	151.8	69.0	62.4	110.9	78.3	2.7	12.2	1.18	0.2
2016年産	0.86 ** <sup>v</sup>	0.81 **	0.84 **	-0.18	-0.67 **	0.81 **	-0.61 **	-0.38 **	0.44 **
2017年産	0.86 **	0.57 **	0.66 **	-0.36 **	-0.43 **	0.57 **	-0.23 *	-0.13	0.10

<sup>z</sup> 上段に果実特性，下段に合計種子数と果実特性との相関係数を示す

<sup>y</sup> 2017年4月19日に採取した果実を2016年産，2018年5月3日に採取した果実を2017年産とした

<sup>x</sup> 横径/縦径×100

<sup>w</sup> 0(無)～3(甚)で評価

<sup>v</sup> \*\*は1%水準で，\*は5%水準で有意

**第10表** 各調査年次における調査日および供試果実数 (試験2)

調査年次 <sup>z</sup>	果実肥大期における調査日 <sup>y</sup>	供試果実数 <sup>x</sup> (果)	収穫期における 果実採取日および調査日 <sup>w</sup>	分析果実数 <sup>v</sup> (果)
2016年産	2016年7月15日，8月12日，9月9日	45	2017年4月19日，4月28日	29
2017年産	2017年7月11日，8月8日，9月5日	100	2018年5月3日，5月17・18日	27
2018年産	2018年7月17日，8月16日，9月18日	120	2019年4月15日，4月19日	92

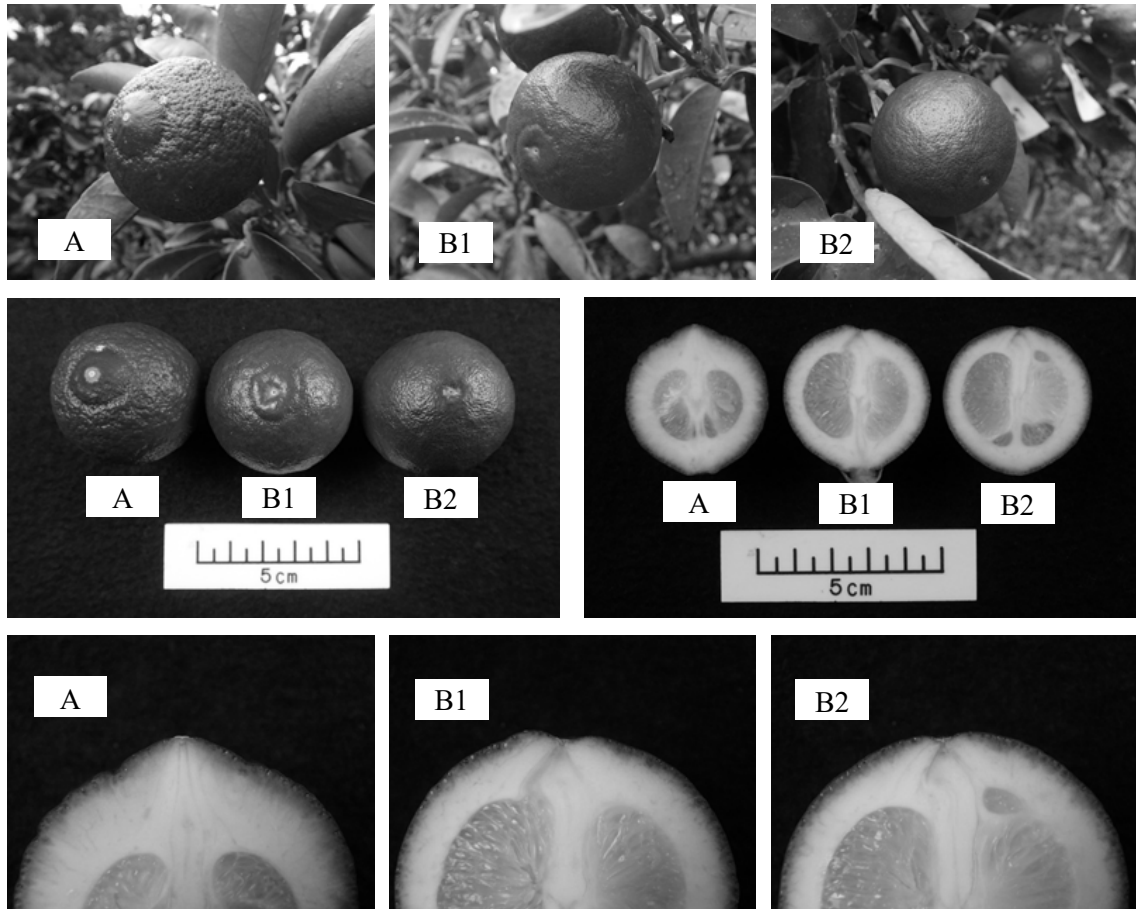
<sup>z</sup> 2016年7月～翌年の果実採取までを2016年産，2017年～翌年を2017年産，2018年～翌年を2018年産とした

<sup>y</sup> 果頂部の突起の有無および果実横径を調査

<sup>x</sup> 調査札を付し，供試果実とした果実の供試樹3樹の合計数

<sup>w</sup> 種子数と果実横径を調査

<sup>v</sup> 供試果実の内，採取日まで樹上に着生していた果実の供試樹3樹の合計数



第8図 果頂部における突起の有無による‘古山ニューサマー’の果実の分類

A：果頂部の先端に明確な突起がみられる果実  
 B1：果頂部の周囲がリング状にやや盛り上がる果実  
 B2：盛り上がりがなくほぼ平面である果実  
 Aを突起「有」、B1・B2を突起「無」とみなした  
 すべての写真は2020年7月17日に撮影した

ユウガナツ’の収穫期である翌年4～5月の時点で、樹上に着生していたすべての供試果実を採取し、種子数と横径を調べた。果実の採取日と分析果実数について、それぞれ第10表に示した。種子数は、試験1と同様の方法で完全種子、不完全種子および受精胚珠に区分し、完全種子数と不完全種子数の合計値を種子数とした。

摘果の時期や指標による収穫果の種子数や無核果率、横径の差異を明らかにするため、上記の調査で得られた7～9月の果実肥大期における果頂部の突起の有無および果実横径をそれぞれ指標として摘果を実施した場合と、摘果を実施しなかった場合の、収穫時における果実の種子数、無核果率、横径を試算した。果頂部の突起を指標とする場合には、果実肥大期の各月において突起「有」に分類されたすべての果実を摘果するものとし、横径を指標とする場合には、横径が大きい果実から順に突起による摘果数と同数を摘果するものとした。

調査年次の表記は、2016年7月～翌年の果実採取ま

でを2016年産、2017年～翌年を2017年産、2018年～翌年を2018年産とした。なお、試験2における2016年産および2017年産の分析果実は、試験1で供試した果実の内数である。

#### 4-2-2 結果

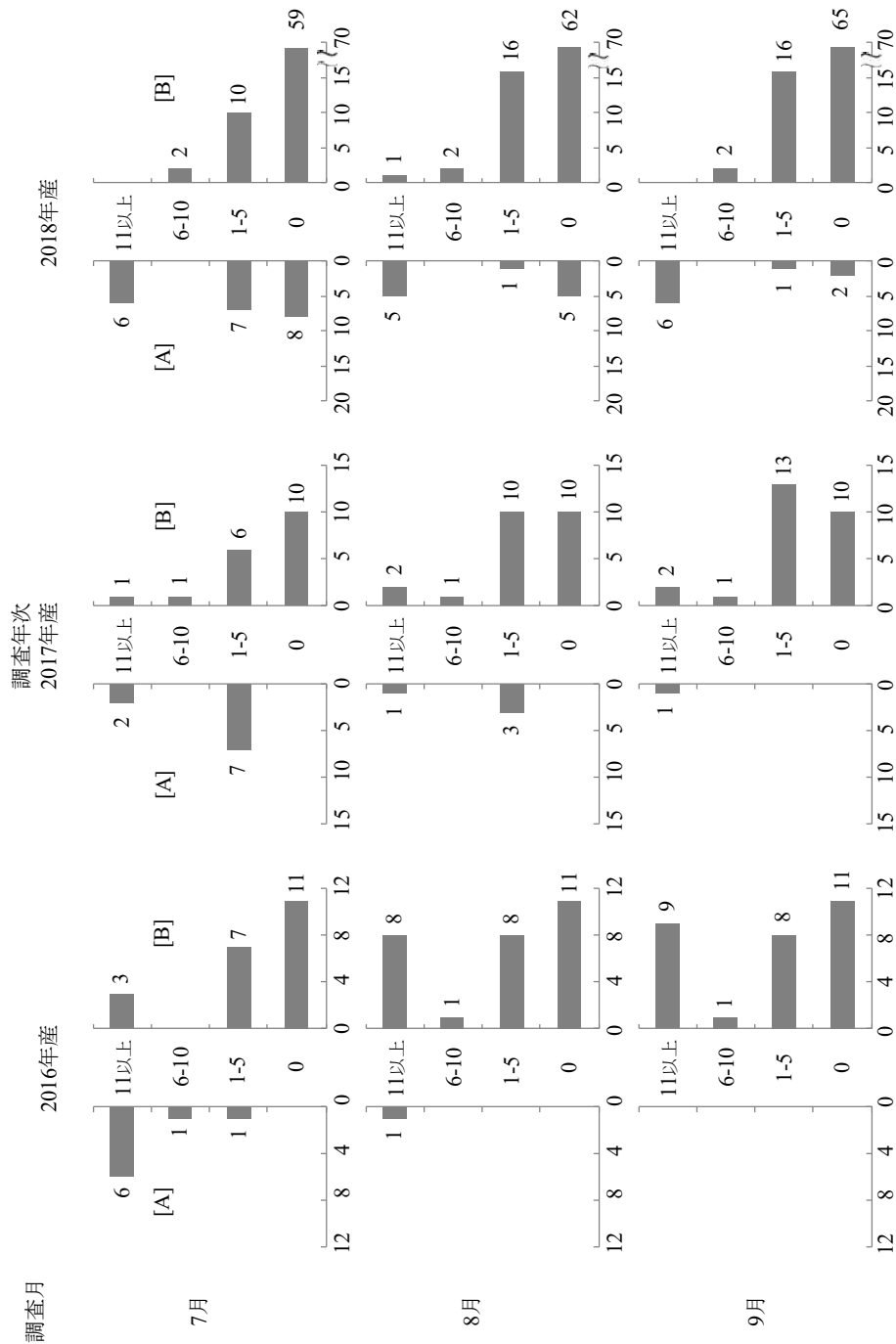
各調査年次における分析果実を、種子数0個、1～5個、6～10個、11個以上に分類して第11表に示した。1果当たりの種子数は調査年次によって異なり、2.2～8.4個/果であった。果実肥大期の各調査月における果頂部の突起の有無と収穫月に調査した種子数との関係を第9図に示した。突起「有」の果実は、すべての調査年次において7月時点では全体の2～3割程度みられたが、8月にはその割合が減少し、9月時点では1割未満となり、2016年産では9月時点で全くみられなかった。また、突起「有」に分類された果実の多くが、種子数1個以上の有核果であった。特に2016年産および2017年産に

第11表 各調査年次における種子数別の分析果実数

調査年次 <sup>z</sup>	果実数 (果)				合計	種子数 (個/果)
	0 <sup>y</sup>	1-5	6-10	11以上		
2016年産	11	8	1	9	29	8.4
2017年産	10	13	1	3	27	3.7
2018年産	67	17	2	6	92	2.2

<sup>z</sup> 2016年7月～翌年の果実採取までを2016年産, 2017年～翌年を2017年産, 2018年～翌年を2018年産とした

<sup>y</sup> 種子数 (0: 0個, 1-5: 1～5個, 6-10: 6～10個, 11以上: 11個以上) 別に果実を分類



第9図 果実肥大期の各調査月における突起の有無と収穫月における種子数との関係  
2016年7月～翌年の果実採取までを2016年産, 2017年～翌年を2017年産, 2018年～翌年を2018年産とした  
各調査年次の各調査月において, [A]は突起「有」, [B]は突起「無」であった果実数をそれぞれ示す  
横軸の目盛は果実数を, 縦軸の目盛は種子数 (0: 0個, 1-5: 1～5個, 6-10: 6～10個, 11以上: 11個以上) を示す

において突起「有」に分類された果実は、すべての調査月で種子数1個以上の有核果であった。種子数別に0個、1～5個、6～10個、11個以上の4グループに分けた果実を、さらに突起の有無により分類して第12表に示した。種子数11個以上の果実は2016年産では9果あり、このうち7月では6果、8月では1果、9月では0果が突起「有」に分類された。同様に2017年産では3果の内、7月では2果が、8月と9月では1果が、2018年産では7月と9月では6果中6果すべてが、8月では5果が突起「有」に分類された。

果実肥大期の各調査月において突起「有」である果実をすべて摘果した場合と、横径が大きい果実から順に突起による摘果数と同数を摘果した場合における、収穫時の果実の種子数、無核果率および横径を試算した(第13表)。突起の有無を指標とした場合において、摘果された果実の平均横径は、3か年の平均値で7月摘果が32.5 mm、8月摘果が49.1 mm、9月摘果が63.7 mmであり、同様に横径を指標とした場合は、7月摘果が36.4 mm、8月摘果が54.6 mm、9月摘果が66.3 mmであった。摘果の時期、摘果の指標に関わらず、摘果を実施した場合が実施しなかった場合に比べて収穫される果実の種子数は少なく、無核果率は高く、横径は小さい傾向であった。突起を指標として摘果した場合、横径を指標として摘果した場合、摘果しなかった場合について、3か年のデータを反復とみなし、収穫果実の種子数、無核果率、横径の3項目におけるHolmの多重比較検定を月別に実施したところ、7月に突起による摘果を行った場合が摘果を行わなかった場合に比べて無核果率が有意に高く、また7月に横径による摘果を行った場合の横径が摘果を行わなかった場合に比べて有意に小さかった。7月摘果におけるその他の項目、8月および9月摘果におけるすべての項目で差は認められなかった。摘果の時期、摘果

の指標による比較では、7月に摘果した場合が8月、9月に摘果した場合に比べて、収穫される果実の無核果率が有意に高かった。また、収穫果の横径は、分散分析では摘果の時期による差がみられたものの、多重比較検定では差は認められなかった。

#### 4-3 考察

浜部ら(2020a)は、'川野なつたいたい'の花粉を'古山ニューサマー'の花に人工受粉し、得られた果実には24個程度の完全種子が含まれたことを報告している。本研究において、供試果実に占める無核果の割合は約4割であり、1果当たりでは平均4.4個の種子が形成されたことから、周囲に受粉樹となりうるカンキツ樹が複数本植栽されている自然受粉条件下では'古山ニューサマー'は種子を形成することが明らかになった。また、長友ら(2001)は、'ヒュウガナツ'の種子数と果実重との間に相関があることを述べている。本研究においても、'古山ニューサマー'の合計種子数と果実重、横径、縦径との間に有意な正の相関がみられたことから、種子が多い果実ほど大玉果になることが示された。このうち、摘果の指標として利用できる可能性があるのは、樹上で計測することができる横径および縦径である。縦径は純粋な果実の大きさに加えて、後述する果頂部における突起の有無によって計測値が増減することから、摘果を行う際の指標としては、横径が利用の可能性があると考えられた。

木原ら(1981)は、ウンシュウミカンの小玉果は大玉果に比べて糖度が高いことを報告している。無核のウンシュウミカンと一概に比較はできないが、自然受粉条件下で有核果と無核果が混在する'古山ニューサマー'の果実も小玉果ほど糖度が高かった。また、'古山ニューサマー'の果皮厚は有核果より無核果で薄く、果肉歩合

第12表 各調査年次における種子数別の分析果実数と突起の有無による分類

調査年次 <sup>z</sup>	調査月	果実数(果)											
		種子数0個			種子数1-5個			種子数6-10個			種子数11個以上		
		[A] <sup>y</sup>	[B]	合計	[A]	[B]	合計	[A]	[B]	合計	[A]	[B]	合計
2016年産	7月	0 <sup>x</sup>	11		1	7		1	0		6	3	
	8月	0	11	11	0	8	8	0	1	1	1	8	9
	9月	0	11		0	8		0	1		0	9	
2017年産	7月	0	10		7	6		0	1		2	1	
	8月	0	10	10	3	10	13	0	1	1	1	2	3
	9月	0	10		0	13		0	1		1	2	
2018年産	7月	8	59		7	10		0	2		6	0	
	8月	5	62	67	1	16	17	0	2	2	5	1	6
	9月	2	65		1	16		0	2		6	0	

<sup>z</sup> 2016年7月～翌年の果実採取までを2016年産、2017年～翌年を2017年産、2018年～翌年を2018年産とした

<sup>y</sup> [A]は突起「有」、[B]は突起「無」をそれぞれ示す

<sup>x</sup> 種子数および突起の有無により分類した果実数を示す



第13表 異なる時期および指標により摘果した場合における収穫される果実の種子数、無核果率および横径の試算

調査年次 <sup>z</sup>	摘果の時期	摘果の指標	果実数 (果)	種子数 (個/果)	無核果率 <sup>y</sup> (%)	横径 (mm)
2016年産	7月	突起 <sup>x</sup>	21	3.6	52.4	68.8
		横径 <sup>w</sup>		3.2		68.5
	8月	突起	28	7.7	39.3	71.2
		横径		7.4		71.1
	9月	突起	29	8.4	37.9	71.5
	横径			37.9		
	摘果なし		29	8.4	37.9	71.5
2017年産	7月	突起	18	2.6	55.6	67.3
		横径		1.4		65.8
	8月	突起	23	2.8	43.5	67.7
		横径		1.6		67.2
	9月	突起	26	2.8	38.5	68.2
	横径		2.7	38.5	68.3	
	摘果なし		27	3.7	37.0	68.6
2018年産	7月	突起	71	0.4	83.1	62.9
		横径		0.5		62.0
	8月	突起	81	0.9	76.5	63.2
		横径		0.6		62.5
	9月	突起	83	0.5	78.3	63.1
	横径		0.6	79.5	62.7	
	摘果なし		92	2.2	72.8	64.3
3か年平均	7月	突起	37	2.2	63.7	66.3
		横径		1.7		65.4
	8月	突起	44	3.8	53.1	67.4
		横径		3.2		66.9
	9月	突起	46	3.9	51.6	67.6
	横径		3.9	52.0	67.5	
	摘果なし		49	4.8	49.3	68.1
要因別平均	摘果の時期	7月		2.0	61.4 a <sup>v</sup>	65.9 a
		8月		3.5	53.7 b	67.1 a
		9月		3.9	51.8 b	67.5 a
	摘果の指標	突起		3.3	56.1	67.1
		横径		2.9	55.1	66.6
二元配置分散分析 <sup>u</sup>						
摘果の時期 (A)				n.s.	**	**
摘果の指標 (B)				n.s.	n.s.	n.s.
交互作用 (A × B)				n.s.	n.s.	n.s.

<sup>z</sup> 2016年7月～翌年の果実採取までを2016年産, 2017年～翌年を2017年産, 2018年～翌年を2018年産とした

<sup>y</sup> arcsin変換後に検定

<sup>x</sup> 突起「有」の果実をすべて摘果

<sup>w</sup> 横径が大きい果実から順に突起による摘果数と同数を摘果

<sup>v</sup> 異なるアルファベット間にはHolmの多重比較検定により5%水準で有意差あり

<sup>u</sup> \*\*は1%水準で有意差あり, n.s.は有意差なし

は高かった。従って、種子数を減らすことを目的とした摘果は、収穫果1個当たりの果実重が軽くなるため収量が減少する可能性があるものの、糖度および果肉歩合が高くなることから、果実品質を向上させることができると考えられる。

カンキツ果実における果頂部の突起には、レモンやラ

イムでみられる花柱跡の周辺が盛り上がる乳頭状の突起、‘させぼ温州’やその珠心胚実生である‘長崎果研させぼ1号’（早崎ら, 2016）、‘津之輝’（野中ら, 2019）においてそれぞれ発生が確認されている、花柱跡が異常に肥大して果実の外側に突出するいわゆる「へそ」がある。このうち‘古山ニューサマー’の幼果で確認された

突起は、レモンやライムに類似する乳頭状の突起である。果頂部の突起が形成される要因については不明であるが、種子で生成される何らかの物質が果頂部の細胞分裂・肥大を促しているものと推察される。ジベレリンをはじめとした植物ホルモンが果頂部の突起形成に関与している可能性が考えられる。本研究では、調査を実施した3か年すべてで、果頂部に突起を有する果実が認められた。また、突起「有」に分類された果実の多くが、種子数1個以上の有核果であった。これらのことから、果頂部の突起の有無を指標とし、突起「有」の果実を摘果することで、有核果の一部を果実肥大期に除去できることが示唆された。そこで、果頂部の突起の有無を指標として摘果を行った場合の、収穫時の種子数および無核果率について試算したところ、摘果しない場合に比べて種子数が減少する傾向がみられ、特に7月に摘果を行うことで収穫果の無核果率が高まることが明らかになった。このことから、果頂部の突起の有無を指標とした摘果は、無核果生産を目的とした摘果の手法として有効であることが示された。

突起の有無を指標とした摘果と横径を指標とした摘果の比較では、収穫される果実の種子数、無核果率および横径に差は認められなかったものの、7月摘果では突起の有無を指標とした場合のみ摘果なしの場合に比べて収穫果の無核果率が有意に高く、横径を指標とした場合は摘果なしとの差が認められなかったことから、無核果生産を目的とした摘果としての効果は、突起を指標とした場合のほうが高いことが示唆された。また、横径を基準に摘果することを想定した場合、摘果する果実と残す果実の境界値の設定が必要となる。3か年の全分析果実における7月時点の横径の平均値を例示すると、2016年産が32.8 mm、2017年産が25.8 mm、2018年産が35.4 mmであり、同じ7月中旬であってもその年の気象要因によって横径に差がみられ、果実肥大に影響すると考えられる4~6月の気温が2016年や2018年に比べて低かった2017年の横径は小さい傾向であった。このことから、摘果の基準となる境界値の設定には気象条件を考慮する必要があり、実際栽培で横径を摘果の指標として用いるのは難しいと考えられた。一方で、果頂部における突起の有無は、実際の果実を用いてその形状を伝えることができ、果頂部に指の腹で触れるだけで容易に判別可能であることから、生産現場に導入しやすい摘果基準であるといえる。

摘果の時期ごとに比較すると、7月時点で摘果した場

合が8月、9月に摘果した場合に比べて収穫果の無核果率は高く、さらに7月に突起による摘果を行った場合の無核果率は摘果を行わなかった場合に比べて高かった。8、9月時点では、7月時点に比べて突起「有」に分類される果実が少ないことから、種子数が多い果実の摘果が不十分となると考えられた。このことから、無核・少核果生産を目的とした果頂部の突起の有無を指標とした摘果は、7月に実施すべきであることが示された。また試算では、有意な差は認められなかったものの、突起を指標として摘果した場合の収穫される果実の横径は、摘果を実施しない場合よりも小さくなる傾向がみられた。しかし、7月に摘果を行うことで、生理落果が終了した直後の早い時期から果実の養分競合を抑制することができ、残された果実の肥大が促され、収穫果の横径は本研究での試算値より大きくなる可能性があると考えられた。

以上のことから、果頂部に突起を有する果実を摘果することで、有核果の一部を果実肥大期に除去でき、7月に摘果を行うことで収穫される果実に占める無核果の割合を高めることができることが明らかになった。なお、果頂部における突起の有無を指標とした摘果では有核果すべてを除去することはできず、種子数11個以上の果実が摘果されずに収穫に至る可能性がある。今後は収穫後の果実においてより高い精度で無核・少核果の判別が可能な選果技術を検討することで、幼果期の樹上摘果と収穫後の選果の二段階で選別し、無核・少核果を安定的に生産・出荷可能となると考えられる。加えて、果頂部における突起の有無を基準とした樹上摘果を行った際の反収について今後調査することで、生産現場における「古山ニューサマー」の無核・少核果の安定生産に資する技術となると考えられた。

#### 4-4 摘要

‘ヒュウガナツ’の枝変わり品種である‘古山ニューサマー’について、自然受粉条件下における果実品質と樹上摘果による無核・少核果生産の可能性を検討した。周囲に受粉樹となりうるカンキツ樹が植栽されている条件下における‘古山ニューサマー’の無核果率はおよそ4割であり、種子数と果実重、横径、縦径、果皮厚との間に正の、果肉歩合、糖度との間に負の相関が認められた。また、果頂部に突起を有する果実には有核果である場合が多いことが明らかになり、果頂部の突起の有無または横径を無核・少核果生産のための摘果の指標として

利用できることが示唆された。果頂部の突起の有無または横径を指標として摘果を行った場合、収穫果の種子数および無核果率について試算したところ、7月に果頂部の突起の有無を指標として摘果を行った場合、摘果を行わない場合に比べて収穫果の無核果率が高かった。また、果頂部の突起の有無は、摘果の基準を毎年決めなければならない横径に比べて、摘果の指標として利用しやすいと考えられた。以上の結果から、果頂部に突起を有する果実を摘果することで、有核果の一部を果実肥大期に除去でき、7月に摘果を行うことで収穫される果実に占める無核果の割合を高められることが明らかになった。

## 第5章 総合考察

‘ヒュウガナツ’は自家不和合性を有し、かつ単為結果性が乏しいため(三輪, 1951), 安定した結実を得るためには他品種の花粉を必要とする。しかし, 他家受粉により形成される多数の種子は, 食する際には除去する必要があり手間がかかることから, 簡便性を求める現代の消費者ニーズに合致する無核果を生産するための技術についてこれまでに多くの研究がなされてきた。植物成長調整剤であるジベレリンを利用することによる単為結果の誘起や(牧田, 1984; 中島ら, 1977; 中島ら, 1986), 軟X線を照射した花粉の利用が(廣瀬ら, 2016), 無核果生産技術として報告されているものの, ジベレリンの高濃度散布は薬剤費が高価であること, 軟X線照射花粉による受粉は花粉採取の労力がかかることといった問題点が指摘されており, より低コストかつ省力的に無核果を生産可能な, 無核性を有する新品種の開発・導入が求められてきた。本研究では, 2006年に静岡県賀茂郡河津町で発見され, 2015年に品種登録された‘ヒュウガナツ’の枝変わり種で, ‘ヒュウガナツ’より多くの無核果を結実する有望品種‘古山ニューサマー’について, 無核果を生産する機構をはじめとした品種特性を解明するとともに, 無核果の安定生産技術確立を目的として試験を行った。第2章では受粉および結実特性について検証し, 第3章では他家受粉を遮断した条件下で得られた無核果の着果量や着果特性, 果実品質について調査した。また, 第4章では自然受粉条件下における果実品質について調査するとともに, 無核・少核果生産のための摘果方法について検討した。

第2章において, ‘古山ニューサマー’の開花直前の花を除雄し, 小袋を掛けて他家受粉を防止した条件下での着果率を検証したところ, 他のヒュウガナツ品種・系統に比べて高い60.8%の着果が得られた(浜部ら, 2020a)。このことから, ‘古山ニューサマー’の単為結果性は‘ヒュウガナツ’に比べて強く, これが無核果を多く生産できる要因であることが示された。単為結果性は, 受粉樹が不要となる点において, 果樹栽培で極めて有益な特性であることから(間苧谷ら, 2002), これまでに多くの研究報告がある。カンキツではウンシュウミカン由来の単為結果性を有する‘清見’を種子親として育成された数々の品種が選抜されており(根角, 2002), ブドウでは‘デラウェア’をはじめとした様々な品種において無核果を生産するための手法としてのジベレリ

ンの効果が報告され(岸, 1973), 人工的に単為結果を誘起する方法が広く生産現場で利用されており, 無核果生産による高品質化および結実の安定化に繋がっている。‘ヒュウガナツ’においてもジベレリンにより単為結果性を誘起させる研究がこれまでになされており(牧田, 1984; 中島ら, 1977; 中島ら, 1986), ジベレリンの薬剤費が高価であってもそれを上回る高単価での販売が可能なハウス栽培における無核果生産に利用されている。しかしながら, 単為結果性のように果実の外観の差異を伴わない突然変異は発見されにくく, これまでに遺伝資源の探索により発見された系統が単為結果性を有していた事例は報告されているものの(棚原・目取, 2014), 国内におけるカンキツ系統で, 単為結果性が強化された突然変異が発見されたという報告はみられない。近年, 多くの果樹でゲノム情報の収集やゲノム配列の解読が進み(Shimizu, 2010), ウンシュウミカンでも全ゲノム配列が解読された。今回供試した‘古山ニューサマー’は, 枝変わりによる新品種としては特異な例であると考えられることから, 今後本種のゲノム解析が進められれば, 単為結果性に関与するゲノムの発見や単為結果性を強化した新品種の育成に繋がる可能性があると考えられる。

単為結果性を獲得した‘古山ニューサマー’が, 実際の栽培においてこれまでの‘ヒュウガナツ’と同等かそれ以上の収量が得られるのか, すなわち無核性品種としての実用性について第3章で検証した。第2章において‘古山ニューサマー’の受粉特性は変異しておらず, ‘ヒュウガナツ’と同等程度の自家不和合性を有することが示されたため, 開花期にネットを被覆し, 他家受粉を防止した条件下における樹冠占有面積当たりの着果量を検証することで, 単為結果のみで‘古山ニューサマー’を着果させた際の単位面積当たりの収量を試算した。結果として, ‘古山ニューサマー’は, 検証を行った2年間ともに‘ヒュウガナツ’における樹冠占有面積当たりの適正着果量である $20\sim 24$ 果 $\cdot m^2$ を満たしており, 単為結果で得られる無核果のみで‘ヒュウガナツ’栽培での基準となる着果量を確保できた(浜部ら, 2020b)。また, 10a当たりの収量の試算値が伊豆地域における‘ヒュウガナツ’栽培の目標収量である $2.7 t \cdot 10 a^{-1}$ を満たしたことから, ‘古山ニューサマー’の獲得した単為結果性は, 無核果の安定結実にほぼ十分であると考

えられた。このことは、‘古山ニューサマー’の導入が無核果生産を可能とするだけでなく、受粉樹の混植や人工受粉が不要となることを意味し、これまでのヒュウガナツ栽培が抱えてきた開花期の天候不順による結実の不安定さや人工受粉作業の煩雑さ、受粉樹の混植による単位面積当たり植栽本数の減少といった問題を解消できる点で大きな価値があるといえる。

第2章における‘古山ニューサマー’の受粉および結実特性の検証では、上述した単為結果性に関して解明されたことに加え、雌性不稔性は獲得していないことから胚珠は他品種の花粉で正常に受精し、完全種子が形成されることが明らかになった。そこで、第4章において、周囲に受粉樹となりうるカンキツ樹が複数植栽されている自然受粉条件下における無核果率を検証したところ、着果したすべての果実の内、無核果は4割程度にとどまった。伊豆地域における中晩柑栽培の歴史は古く、明治27年にはナツミカンの栽培が奨励され（塚口、1959）、現在でも‘ヒュウガナツ’の受粉樹となりうるカンキツ樹が産地内に多く定植されていることから、‘古山ニューサマー’の無核果を安定的に生産・出荷するためには、他家受粉を防止するか、あるいは他家受粉した果実を樹上摘果や収穫後選果により除去する必要があると考えられた。他家受粉を防止する方法としては、第3章で用いた開花期において樹全体をネットで被覆する方法が考えられる。第3章におけるネット被覆による栽培と第4章における自然受粉による栽培を比較すると、ネット被覆による栽培で顕著に高い95%の無核果を得られたことから、ネット被覆による栽培は無核果生産のための一つの方法として有効であることが示唆された。

第3章で用いたネットの被覆には資材費、作業労力ともに要することから、第4章では、ネットなどの特殊な栽培方法をとらず、カンキツ栽培における一般的な管理作業である摘果方法の検討による、無核・少核果生産の可能性について検証した。‘古山ニューサマー’の幼果では、果頂部にレモンに類する乳頭状の突起を有する果実とこれがみられない果実が混在しており、このうち突起を有する果実が有核果である場合が多いことが示された（浜部ら、印刷中）。このことから、7月に突起の有無を指標として摘果した場合の無核果率について試算したところ、摘果を実施しない場合に比べて10~20%程度高まることが明らかになった。無核果は有核果に比べて果実が小さいものの、7月に摘果を行うことで、生理落果終了後の早い時期から養分競合を抑制すること

ができ、残された果実の肥大を促すことが可能である。第3章におけるネット被覆栽培ほどの高い無核果率を得るには至らないが、基本的な管理作業である摘果によって無核果を増加させることが可能であり、追加の資材や労力が必要でないことから技術導入が容易である点で有効な栽培方法であると考えられた。今後は、収穫後の果実においてより高い精度で無核・少核果の判別が可能な選果技術を検討することで、幼果期の樹上摘果と収穫後の選果の二段階で選別し、無核・少核果を安定的に生産・出荷することが可能になると考えられる。無核・少核果を判別する選果技術については、すでに糖度の非破壊予測が実用化されている近赤外分光分析法を種子数の予測にも応用できる可能性について現在検証中である（浜部ら、2018）。

第2章から第4章までの各章では、‘古山ニューサマー’における無核果生産の要因と栽培技術について検証するとともに、無核果および有核果の果実品質について併せて調べた。第3章において、‘古山ニューサマー’の無核果は、‘ヒュウガナツ’の無核果に比べて果皮が薄く、果肉歩合が大きいことが明らかになり、第4章では、‘古山ニューサマー’の無核果は、有核果に比べて果実重が小さいものの、果皮が薄く、糖度が高いことが明らかになった。‘ヒュウガナツ’はフラベドをナイフで剥いてアルベドごと果肉を食するのが一般的であり、手で剥皮した場合には残る可食部は小さくなる。‘古山ニューサマー’の無核果の剥皮性は‘ヒュウガナツ’と大きな差はないものの、アルベドが薄いため手で剥皮しても残る可食部が大きくなることからナイフは不要と考えられ、手軽さを求める消費者のニーズに合致する。以上から‘古山ニューサマー’の無核果は、無核であるがゆえに食べやすいという点だけでなく、果皮が薄く手で剥皮して食することができ、かつ高糖度であることから、無核果生産による品質面でのメリットは大きく、販売単価向上による生産者所得の増加に繋がる可能性が示された。

より高品質な無核の‘古山ニューサマー’を生産するための基礎的知見を得ることを目的として、開花期にネットを被覆した条件下で果実品質と樹上での着果位置との関係を第3章で検証した。結果として、供試した樹高2.3 mの樹において地上高142.5 cm以上に着果し、かつ結果母枝の長さが12.25 cm以上で、結果枝葉数0.5枚以上のすなわち有葉果であることの3つの条件を満たすことで、大玉で高糖度かつ低クエン酸含量の高品質な

果実が得られることが明らかになった。樹冠上部は日当たりが良好で長く強勢な結果母枝が発生しやすく、これらの母枝には有葉果が着生しやすいと考えられる。ウンシュウミカンでは上述の強勢な母枝に着生した果実が極大果となり、糖度が低い果実となる場合があるが、‘古山ニューサマー’では果実肥大が停止してから収穫期である4～5月まで樹上に着果している期間が長く、糖を蓄積する期間が十分にあることから、大玉果でありつつも高糖度である果実の生産が可能になると推察された。以上から、高品質な‘古山ニューサマー’の無核果を得るためには、樹体の日当たりを良好に保ち、かつ樹勢を強く維持することが重要であると考察され、無核果生産における剪定や摘果といった栽培管理に応用できる可能性があると考えられた。

本研究の結果から、‘古山ニューサマー’が無核果を多く生産できるのは、‘ヒュウガナツ’より単為結果性が強化されたためであることが示され、試算では単為結果による無核果で産地の目標とする生産量が得られたことから、受粉樹の混植や人工受粉作業なしで安定した結実が得られ、単位面積当たり植栽本数の増加や作業の省力化が図れることから生産面で大きなメリットがあることが明らかになった。また、得られる無核果は有核果に比べて果皮が薄く、糖度が高いことから品質面でも無核果生産のメリットがあることが示された。

‘古山ニューサマー’は、これまでのヒュウガナツ品種群より強い単為結果性を有する新品種であり、既存の無核・少核性品種である‘西内小夏’、‘室戸小夏’と比較して、‘西内小夏’のように口に残るしいなを含まない完全な無核果が得られ、かつ‘室戸小夏’に比べて果実が大きく、無核果のみで安定した収量が得られる点で優位であると考えられる。これらの生産面および品質面での有望性から、伊豆地域の生産現場において改植に用いられる苗木の品種は‘ヒュウガナツ’から‘古山ニューサマー’に移行しつつある。カンキツ産地の高齢化が進み耕作放棄地の増加が問題となっている中、地域で見られた新系統の有望性が明らかになり、産地への導入が図られることは、生産者の生産意欲向上と地域農業の活力増大に繋がることから当該地域の産業にとって重要な意味を持つ。今後は本品種が伊豆地域におけるカンキツ産業の発展に貢献することに期待するとともに、実際に生産現場において果実が生産・出荷されることで様々な課題の発生が予想されることから、これらの解決に取り組んでいきたい。

## 総合摘要

静岡県伊豆地域におけるカンキツ産業の根幹を担う品目であるヒュウガナツは、自家不和合性を有し、かつ単為結果性に乏しいことから、結実には人工受粉や受粉樹の混植が必要となり、果実には多くの種子が含まれる。種子は食べる際に取り出す必要があり、簡便さを求める消費者ニーズに合致しないことから、無核性を有する新品種の導入・普及が望まれている。そこで本研究では、静岡県賀茂郡河津町で発見された‘ヒュウガナツ’の枝変わり種で、無核性を有する新品種‘古山ニューサマー’について、無核果が得られる要因を解明するとともに、無核果の安定生産に関する研究を行った。

### 1. ‘古山ニューサマー’の受粉および結実特性

‘ヒュウガナツ’の枝変わり品種である‘古山ニューサマー’について、無核果が‘ヒュウガナツ’に比べて多く生産される要因を検討した。‘古山ニューサマー’および‘ヒュウガナツ’の自家受粉における柱頭内の花粉管伸長を調べたところ、両カンキツ種ともに花粉管の伸長は花柱上部で停止し、花柱中部および下部では認められなかったことから、‘古山ニューサマー’は、‘ヒュウガナツ’と同様に自家不和合性を有していることが明らかになった。また、除雄後に小袋を掛けることで花粉を遮断した条件下における‘古山ニューサマー’の着果率を‘ヒュウガナツ’、‘ヒュウガナツ’の枝変わり品種である‘西内小夏’および‘室戸小夏’と比較したところ、生理落果後における‘古山ニューサマー’の着果率は60.8%であり、‘西内小夏’の2.5%、‘室戸小夏’の12.5%および‘ヒュウガナツ’の8.3%に比べて高かった。このことから、‘古山ニューサマー’は‘ヒュウガナツ’に比べて強い単為結果性を有していることが明らかになった。また、‘古山ニューサマー’の単為結果は、花粉を遮断した条件下で、かつジベレリンなどの化学薬剤を用いずに誘起されたことから、自動的単為結果であると考えられた。これらのことから、‘古山ニューサマー’は自家不和合性を有し、かつ自動的単為結果性を有することが明らかになり、‘ヒュウガナツ’に比べて強い単為結果性を有していることが、無核果を多く生産できる要因であると考えられた。

### 2. 開花期にネットを被覆した‘古山ニューサマー’

### ’における無核果の着果量、着果特性および果実品質

‘ヒュウガナツ’の枝変わり品種で単為結果性を有する‘古山ニューサマー’について、開花期にネットを被覆して訪花昆虫の侵入を防止した条件下における無核果の着果量、着果特性、果実品質を‘ヒュウガナツ’と比較した。樹冠占有面積当たりの無核果の収穫果実数は‘古山ニューサマー’で多く、単為結果による無核果のみで‘ヒュウガナツ’で目安とされる適正着果量程度の着果が得られることが示唆された。着果特性を検証した結果、‘古山ニューサマー’は、‘ヒュウガナツ’に比べて無葉果の着果が多くみられ、これが着果量が多かった要因であると考えられた。また、無核の‘古山ニューサマー’の果肉歩合は‘ヒュウガナツ’に比べて大きく、手で剥皮した場合の可食部が大きいことが明らかになった。得られた‘古山ニューサマー’の無核果について、果実品質を決定づける着果特性を決定木分析を用いて検証したところ、地上高142.5 cm以上、結果母枝長12.25 cm以上、結果枝葉数0.5枚以上を満たすことが、大玉かつ高糖低酸の高品質な果実となる条件であった。このことから、樹体の日当たりを良好に保ち、かつ樹勢を強く維持することが‘古山ニューサマー’の高品質な無核果生産において重要であることが推察される。

### 3. ‘古山ニューサマー’の自然受粉条件下における果実品質と樹上摘果による無核・少核果生産の可能性

‘ヒュウガナツ’の枝変わり品種である‘古山ニューサマー’について、自然受粉条件下における果実品質と樹上摘果による無核・少核果生産の可能性を検討した。周囲に受粉樹となりうるカンキツ樹が植栽されている条件下における‘古山ニューサマー’の無核果率はおよそ4割であり、種子数と果実重、横径、縦径、果皮厚との間に正の、果肉歩合、糖度との間に負の相関が認められた。また、果頂部に突起を有する果実には有核果である場合が多いことが明らかになり、果頂部の突起の有無または横径を無核・少核果生産のための摘果の指標として利用できることが示唆された。果頂部の突起の有無または横径を指標として摘果を行った場合、収穫果の種子数および無核果率について試算したところ、7月に果頂部の突起の有無を指標として摘果を行った場合、摘果を

行わない場合に比べて収穫果の無核果率が高かった。また、果頂部の突起の有無は、摘果の基準を毎年決めなければならない横径に比べて、摘果の指標として利用しやすいと考えられた。以上の結果から、果頂部に突起を有する果実を摘果することで、有核果の一部を果実肥大期に除去でき、7月に摘果を行うことで収穫される果実に占める無核果の割合を高められることが明らかになった。



## 謝 辞

本論文の作成にあたり、静岡大学農学部加藤雅也教授には貴重なご助言、ご指導を賜りました。謹んで感謝の意を表します。また、本論文の校閲を賜った岐阜大学農学部前澤重禮教授、静岡大学農学部八幡昌紀准教授に深く感謝申し上げます。本研究のとりまとめにおいては、千葉大学環境健康フィールド科学センター野田勝二助教授に、論文の書き方の基礎から細部まで数々のご助言、ご指導を賜りました。千葉大学園芸学部在籍していた頃より、静岡県職員として勤務して以降も長年に渡って多大なるご配慮・ご協力をいただき、心より御礼申し上げます。

本研究の遂行にあたっては、静岡県農林技術研究所伊豆農業研究センター佐々木俊之センター長、元センター長稲葉善太郎博士、賀茂農林事務所地域振興課種石始弘課長（元生育・加工技術科長）、生育・加工技術科長馬場富二夫博士、久松奨わさび生産技術科長、片井祐介上席研究員、加藤智恵美上席研究員、勝岡弘幸主任研究員、山田晋輔研究員、木下秀夫主任技能員ならびに伊豆農業研究センター職員、元職員各位には、多大なるご指導と激励を賜りました。ここに深く感謝申し上げます。また、本研究の前任者である馬場明子氏には、試験方法についての数々のアドバイスを賜るとともに、これまでに収集なさった試験データを快くご提供いただきました。ここに記し、謹んで感謝の意を表します。

## 引用文献

- 荒木勇二. 2006. 自家和合性のあるヒュウガナツ系統  
‘井原日向’の特性について. 園学雑. 75 (別2) :  
93.
- 浜部直哉. 2017. ヒュウガナツの枝変わり「古山(こや  
ま)ニューサマー」の品種特性. 柑橘. 69: 8-10.
- 浜部直哉・馬場明子・前田未野里・勝岡弘幸・種石始弘・  
久松 奨・野田勝二. 2020a. ‘ヒュウガナツ’の  
枝変わり品種‘古山ニューサマー’の受粉および結  
実特性. 園学研. 19: 229-235.
- 浜部直哉・馬場明子・前田未野里・勝岡弘幸・種石始弘・  
久松 奨・野田勝二. 2020b. 開花期にネットを被  
覆した‘古山ニューサマー’における無核果の着果  
量, 着果特性および果実品質. 園学研. 19:331-337.
- 浜部直哉・馬場明子・前田未野里・種石始弘・久松 奨・  
野田勝二. 2021. ‘古山ニューサマー’の自然受粉  
条件下における果実品質と樹上摘果による無核・少  
核果生産の可能性. 園学研. 20:279-285.
- 浜部直哉・前田未野里・池ヶ谷篤・大場聖司・馬場明子.  
2018. 近赤外分光法を用いた‘古山ニューサマー’  
の非破壊種子数判別. 園学雑. 17 (別1) : 78.
- 早崎宏靖・古川 忠・林田誠剛・谷本恵美子・高見寿隆・  
根角博久・山下義昭・今村俊清. 2016. ウンシュウ  
ミカン新品種‘長崎果研させぼ1号’の育成. 長崎  
農林技術開発センター研究報告. 7: 133-140.
- 廣瀬拓也・田中満稔・松本正明・濱田和俊・尾形凡生.  
2016. 軟X線照射花粉を利用したヒュウガナツの  
無核果生産. 園学研. 15: 275-282.
- Honsho, C., M. Kotsubo, Y. Fukuda, Y. Hamabata, Y.  
Kurogi, A. Nishiwaki and T. Tetsumura. 2009.  
Reproductive Characteristics for  
Self-compatibility and Seedlessness in 'Nishiuchi  
Konatsu', a Bud Mutation of Hyuganatsu (*Citrus  
tamurana hort. ex Tanaka*). HortScience.  
44:1547-1551.
- 井原初雄. 2008. 井原日向. 品種登録16770.
- 今井 篤・生山 巖・松本亮司・國賀 武・吉岡照高・  
高原利雄・稗園直史. 2014. ヒュウガナツの人為四  
倍体新品種‘カンキツロ之津41号’. 果樹研報.  
18: 13-22.
- 門屋一臣. 1985. 開花と着果の生理. p. 59-63. 果樹全  
書カンキツ. 農文協. 東京.
- 木原武士・伊庭慶昭・西浦昌男. 1981. ウンシュウミカ  
ン果実の特性が糖・酸含量とその変動に及ぼす影響.  
果樹試報 B. 8: 13-36.
- 岸 光夫. 1973. ぶどうにおけるジベレリン利用に関す  
る研究. 京都大学学位論文.
- 北島 宣・岡田嘉樹・長谷川耕二郎. 2001. ヒュウガナ  
ツ無核性品種‘室戸小夏’と‘西内小夏’における  
花粉管伸長, 受粉および種子形成. 園学雑. 70:  
320-327.
- 古山邦男. 2015. 古山ニューサマー. 品種登録 24080.
- 久保 悟・松岡努・吉岡隆敏. 1992. 宿毛小夏. 品種登  
録 3295.
- 牧田好高. 1984. 有核性カンキツの無核果生産に関する  
研究 第2報 ジベレリンペースト利用によるヒュ  
ウガナツと清見の無核果生産. 静岡柑試研報. 20:  
21-29.
- 間苧谷 徹・足立 礎・足立嘉彦・今田 準・黒田治之・  
小林省藏・真田哲朗・壽松木 章・田中敬一・福元  
將志・本條 均・松本亮司・吉岡博人. 2002. 新編  
果樹園芸学. p. 180-185. 化学工業日報社. 東京.
- 三輪忠珍. 1951. 日向夏蜜柑の授粉, 受精現象と落果問  
題に就いて. 宮崎大学時報. 自然科学. 2: 1-67.
- 松浦政喜. 1987. 室戸小夏. 品種登録 1336.
- 長友 大・山本末之・高妻達郎. 2001. 日向夏ものがた  
り. p. 111-118. 鉦脈社. 宮崎.
- 中島芳和・川添真知子・川村一成・吉村不二男. 1977. 日  
向夏ミカンの単為結果性に及ぼすジベレリンの影  
響. 高知大学研報(農). 25: 51-57.
- 中島芳和・木村正明. 1981. カンキツの単為結果性に及  
ぼすジベレリン含有人工花粉の影響 I ヒュウガ  
ナツに対する人工受粉. 高知大学研報(農). 29:  
59-62.
- 中島芳和・前田久尚・西窪武久. 1986. 防虫ヒュウガナ  
ツ樹の結実ならびに果実発育に及ぼす生長ホルモ  
ン剤処理の影響. 高知大学研報(農). 35: 81-88.
- 中島芳和・尾上弘之・村田彰三. 1979. ヒュウガナツの  
結果性と種子数に及ぼす受粉の影響. 高知大学研報  
(農). 27: 61-68.
- 根角博久. 2002. カンキツの雄性不稔の遺伝と育種. 果  
実日本. 57: 66-69.
- 西内哲夫. 1995. 西内小夏. 品種登録 4726.

- 野中圭介・松本亮司・吉岡照高・國賀 武・山本雅史・奥代直巳・吉永勝一・高原利雄・山田彬雄・三谷宣仁・稗圃直史・浅田謙介・今井 篤・池宮秀和・内原 茂・深町 浩・村田広野. 2019. カンキツ新品種‘津之輝’. 農研機構報告果樹茶部門. 3: 33-45. 農林水産省果樹試験場興津支場. 1987. カンキツの調査方法. p. 5-12. 黒船印刷. 静岡.
- 農林水産省生産局園芸作物課. 2020. 平成 29 年産特産果樹生産動態等調査.  
<[http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokusan\\_kazyu/index.html](http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokusan_kazyu/index.html)>.
- 岡田正道・鈴木 誠・平井靖巳・三井信也・植田義一・三田豊久・佐々木俊之. 1992. 新品種「白鳥日向」の特性. 静岡柑試研報. 24: 33-38.
- R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria,  
<<http://www.R-project.org/>>.
- Shimizu, T. 2010. Genomics Approaches for the Molecular Analysis of Citrus Mutants. Gamma field symposia. 49: 57-68.
- 白鳥龍作. 1988. 白鳥日向. 品種登録 1684.
- 棚原尚哉・目取眞要. 2014. シークワサー‘仲本シードレス’の無核要因の解明. 沖縄農業研究センター研報. 8: 30-34.
- 谷岡英明・田中満稔・青木俊和・五百蔵 茂. 2001. 施設栽培におけるヒュウガナツ‘宿毛小夏’および‘西内小夏’の品種特性. 高知農技セ研報. 10: 99-106.
- 富永茂人・佐藤宗治・岩堀修一. 1987. ポンカンの樹冠内着果位置と品質. 鹿児島大農学報. 37: 29-40.
- 塚口勇作. 1959. 静岡県柑橘史. p. 171-173. 静岡県柑橘販売農業協同組合連合会. 静岡.
- 内田飛香・安部秋晴・星野洋一郎・國武久登. 2012. ヒュウガナツ (*Citrus tamurana hort. ex Tanaka*) における成熟花粉の液体培養系の確立. 園学研. 11: 173-179.
- 内田 誠・吉永勝一・河瀬憲次. 1985. 晩生カンキツの果実品質に及ぼす果実周辺の環境条件に関する研究 (1). 福原オレンジの果実品質に及ぼす果実周辺の環境条件に関する研究. 果樹試報 D. 7: 39-55.
- 山田彬雄・波多野 洋・青木俊和・牧田好高. 1991. 特産のくだもの一ひゅうがなつ. p. 1-92. 社団法人日本果樹種苗協会. 東京.
- Yamamoto, M., T. Kubo and S. Tominaga. 2006. Self and cross-incompatibility of various Citrus accessions. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 75: 372-378.
- 吉倉幸博. 2008. ヒュウガナツの多目的ネット栽培法. 宮崎総農試研報. 43: 8-26.

## Summary

‘Hyuganatsu’ (*Citrus tamurana hort. ex. Tanaka*) is a species that plays a key role in citrus industry in the Izu region of Shizuoka prefecture. Since ‘Hyuganatsu’ has self-incompatibility and poor parthenocarpy, and hand pollination or mixed planting of pollinated trees are required for fruit setting. But their fruits contain many seeds that need to be removed when eating. In order to meet the demand of consumers for easy-to-eat, it is desired to introduce and spread new seedless varieties. ‘Koyama New Summer’, a bud mutation of ‘Hyuganatsu’ discovered in Kawazu-cho, Kamo-gun, Shizuoka Prefecture, is a newer species with fewer seeds and more seedless fruits. In this study, we researched the factors for produce seedless fruits and how to stable fruit production.

### 1. Characteristics of Pollination and Fruit Set of ‘Hyuganatsu’ Bud Mutation ‘Koyama New Summer’

‘Koyama New Summer’ is a bud mutation of ‘Hyuganatsu’ (*Citrus tamurana hort. ex. Tanaka*), which has the characteristic of producing more seedless fruits than ‘Hyuganatsu’. We examined the cause of seedlessness in ‘Koyama New Summer’. In the self-pollination process of ‘Koyama New Summer’ and ‘Hyuganatsu’, the pollen tube elongation stopped in the upper part of the style, and there was no significant difference between the two. This indicates that ‘Koyama New Summer’ has self-incompatibility like ‘Hyuganatsu’. The fruit setting rate after physiological fruit drop of ‘Koyama New Summer’ under the non-pollen condition was 60.8%, being higher than in ‘Nishiuchi Konatsu’, ‘Muroto Konatsu’, and ‘Hyuganatsu’. This indicates that ‘Koyama New Summer’ has highly parthenocarpic traits compared with ‘Nishiuchi Konatsu’, ‘Muroto Konatsu’, and ‘Hyuganatsu’. In addition, parthenocarpy in ‘Koyama New Summer’ gives rise to autonomic parthenocarpic traits because it was induced under non-pollen and non-agent-administered conditions. In conclusion, after examining the causes of seedlessness in ‘Koyama New Summer’, it was determined that it exhibits not only self-incompatibility but also highly autonomic parthenocarpic traits.

### 2. Fruit Setting and Quality of ‘Koyama New Summer’ Covered with Cheesecloth during the Flowering Period

‘Koyama New Summer’ is a bud mutation of ‘Hyuganatsu’ (*Citrus tamurana hort. ex. Tanaka*), which has highly parthenocarpic traits compared with ‘Hyuganatsu’. We investigated fruit setting and quality of ‘Koyama New Summer’ and ‘Hyuganatsu’ that had been covered with cheesecloth during the flowering period. The number of ‘Koyama New Summer’ fruits harvested per area occupied by tree crowns was larger than that for ‘Hyuganatsu’. It was considered that the factor determining the larger number of fruits in ‘Koyama New Summer’ was the fact that there were more leafless fruits than in ‘Hyuganatsu’. It was considered that ‘Koyama New Summer’ is capable of achieving sufficient fruit setting through parthenocarpic traits alone. In addition, the pulp ratio per fruit of ‘Koyama New Summer’ was larger than that of ‘Hyuganatsu’, and in the case of peeling by hand, its edible portion is larger than ‘Hyuganatsu’. Using decision tree analysis to clarify factors determining the high fruit quality (defined as fruits with a large diameter, high Brix, and low acidity), the results showed that height above the ground should be >142.5 cm, the fruiting mother shoot length should be >12.25 cm, and the number of leaves on the fruit-bearing shoot should be >0.5. The results indicate the importance of maintaining an optimal sunlight environment and strong tree vigor for producing high-quality fruits of ‘Koyama New Summer’.

### 3. Possibility of Seedless ‘Koyama New Summer’ Fruit Production by Fruit Thinning under Natural Pollination Conditions

'Koyama New Summer' is a bud mutation of 'Hyuganatsu' (*Citrus tamurana hort. ex. Tanaka*). We examined the possibility of using fruit thinning to increase the production of seedless 'Koyama New Summer' fruit under natural pollination conditions. We found that 40% of the fruit produced in the field were seedless under natural pollination conditions. Examination of the relationship between seed number and fruit quality showed that fruit with more seeds were larger in size, had a lower Brix value, and had thicker peel. Furthermore, many of the fruit with a prominently nipped on the apex contained seeds. Consequently, we considered that the transverse diameter of the fruit and the presence of a prominently nipped on the apex could be used as indices for fruit thinning to increase seedless fruit production. We estimated the number of seeds and seedless fruit ratio in the harvested fruit by these two indices of fruit thinning. There was high seedless fruit ratio in the harvested fruit when fruit thinning was undertaken in July by using the prominently nipped on the apex of the fruit compared with no fruit thinning. It was considered that the prominently nipped on the apex of the fruit is easier to use as an index of fruit thinning than the transverse diameter of the fruit which have to decide the criterion for annual fruit thinning. In conclusion, we recommend that fruit thinning is performed in July using the prominently nipped on the apex as an index to remove a part of seeded fruit and to increase seedless fruit production.