

近中四農研報  
Bull.NARO West.  
Reg.Agric.Res.Cent.

BULLETIN OF  
NARO WESTERN REGION AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

No.15 March 2016

# 近畿中国四国農業研究センター 研究報告

第15号 平成28年3月



NARO

農研機構

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

NARO WESTERN REGION AGRICULTURAL RESEARCH CENTER



# 近畿中国四国農業研究センター研究報告 第15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	

---

BULLETIN OF  
NARO WESTERN REGION AGRICULTURAL RESEARCH CENTER  
**No. 15**

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報告

## 第15号

(平成28年3月)

### 目 次

ダイズモザイクウイルスに対する褐斑・種子伝染抵抗性を有するダイズ新品種「たつまる」の育成 猿田正恭・高田吉丈・岡部昭典・菊池彰夫 .....	1
台風0423号時の愛媛県中山間地における平均風速および突風率の推定 松田 周・柴田昇平 .....	17
段差のあるアスパラガス栽培圃場にも適用可能な既存散水設備を活用した点滴灌水導入技術の開発 笠原賢明・渡邊修一・松森堅治 .....	27
キウイフルーツの品種および成熟段階の違いが抗酸化成分に及ぼす影響 阿部大吾 .....	35



BULLETIN OF  
NARO WESTERN REGION  
AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

No. 15 March 2016

CONTENTS

A New Soybean Cultivar “Tatsumaro” Resistant to Seed Coat Mottling and Seed Transmission of Soybean Mosaic Virus Masayasu SARUTA, Yoshitake TAKADA, Akinori OKABE and Akio KIKUCHI .....	1
Estimation of Average Wind Speed and Gust Factors during the Passage of Typhoon No. 0423 in a Mountainous Region in Ehime Prefecture, Japan Shuh MATSUDA and Shohei SHIBATA .....	17
Development of A Procedure to Introduce Drip-Irrigation to Terraced Fields of Asparagus Yoshiaki KASAHARA, Shuichi WATANABE and Kenji MATSUMORI .....	27
Effect of Fruit Ripening Stage on Antioxidant Components of Kiwifruit Cultivars Daigo ABE .....	35





# ダイズモザイクウイルスに対する褐斑・種子伝染抵抗性を有する ダイズ新品種「たつまる」の育成

猿田正恭・高田吉丈・岡部昭典<sup>1</sup>・菊池彰夫<sup>2</sup>

Key words : ダイズ, 新品種, 褐斑・種子伝染抵抗性, 難裂きょう性, 醤油, 豆腐

## 目 次

I 緒 言	1	2 栽培適地	13
II 来歴および育成経過	2	3 栽培上の留意点	13
III 特性の概要	3	V 考 察	13
1 形態的特性	4	1 期待される効果	13
2 生態的特性	5	2 今後の課題	13
3 品質特性	10	VI 摘 要	14
IV 適地および栽培上の留意点	13	引用文献	14
1 奨励品種決定調査における試験成績	13	Summary	15

## I 緒 言

ダイズは、ダイズモザイクウイルス (SMV) などのウイルスの感染により減収や褐斑粒を生じ、この褐斑粒は検査等級の下落により商品価値を低下させる。このため褐斑の主な原因である SMV に対する抵抗性遺伝子の導入は重要な育種目標となっている。これまで国内の大豆品種育成機関では、主に真性抵抗性遺伝子の利用により抵抗性品種を育成し、SMV による被害の低減を図ってきた<sup>2)</sup>。一方、ダイズ遺伝資源の中には SMV に感染しても褐斑粒を生じず、種子伝染もしない抵抗性 (褐斑・種子伝染抵抗性) を持つものが知られている<sup>1, 3)</sup>。この抵抗性は SMV のいずれの病原系統にも効果があり、真性抵抗性遺伝子とはまったく異なる作用機作を有すると考えられることから、新たにこの抵抗性を導入することにより、持続的で強固な抵抗性品種の育成が期待できる。

醤油は日本を代表する調味料で、近年では年間 80～90 万キロリットルが国内で生産されている。その原料のほとんどは脱脂加工大豆や輸入大豆であるが、食に対する安全・安心志向や地産地消への意識の高まりなどから、国産大豆を原料とした醤油製品へのニーズがあり、年間約 4,000 トン強の国産大豆が醤油醸造に使用されている。醤油醸造の原料となる大豆には、比較的子実の大きさが小さく蛋白質含有率の高いものが適しているとされている。しかし、近年育成されてきた国内大豆品種の多くは、蛋白質含有率は高いものの子実の大きさが大きく、醤油醸造に好適な大豆品種は少ない状況にある。

「たつまる」は、褐斑・種子伝染抵抗性、ラッカセイわい化ウイルス (PSV) 抵抗性を持ち、子実の大きさが「サチユタカ」および「タマホマレ」より小さく、比較的蛋白質含有率が高く、醤油醸造や豆腐に適する。また、難裂きょう性を有し、最下着きょう節位が高く、倒伏も少ないことから機械化適性が優れている。子実収量は「サチユタカ」<sup>9)</sup> および

(平成 27 年 5 月 29 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  
作物機能開発研究領域

<sup>1</sup> 現 農研機構近畿中国四国農業研究センター  
水田作研究領域

<sup>2</sup> 現 農研機構東北農業研究センター

「タマホマレ」<sup>6)</sup> とほぼ同熟期であるが両品種と同等以上である。そこで、これらの優れた特性を有する「たつまる」を品種登録出願（2014年4月）し、近畿中国四国地域において普及を図ることとした。

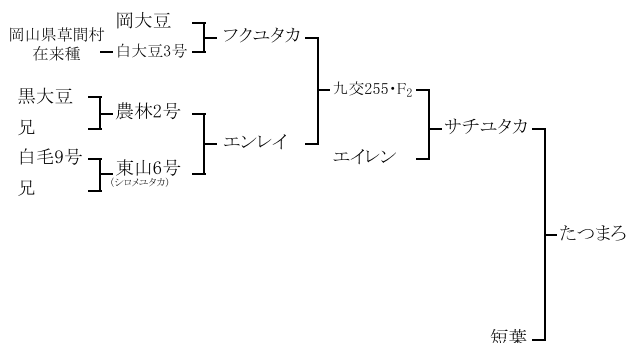
「たつまる」の育成に際し、奨励品種決定調査、系統適応性検定試験ならびに特性検定を担当された公立農業試験研究機関の各位には多大なご協力をいただいた。また、加工適性試験については国産大豆の品質評価に係る情報交換会ならびにメーカー各社には格段のご協力を賜った。さらに、農研機構近畿中国四国農業研究センター四国研究センター業務第2科技術専門職員（大豆担当）の宮武正広、富永裕二、塩本知、上枝博樹、渡辺修一、萩原栄一、加賀宇昌宏、関浩二、宮西克明、高尾二郎、大谷恭史、香川基の各氏には、育種業務の遂行にご尽力いただいた。ここに記して各位に深く感謝する。

## Ⅱ 来歴および育成経過

「たつまる」は、2004年に農研機構近畿中国四国農業研究センター作物開発部大豆育種研究室（現・農研機構近畿中国四国農業研究センター作物機能開発研究領域大豆育種研究グループ）において、褐斑・種子伝染抵抗性を有する品種の育成を目標に、倒伏に強く、高蛋白で多収の「サチユタカ」を母、

褐斑・種子伝染抵抗性を有する「短葉」を父とした人工交配を行い、以後、選抜・固定を図り育成した（第1図、第1表）。

2004年にF<sub>1</sub> 個体を養成後、2005年に集団選抜を行い、2006年にF<sub>4</sub> 集団から個体選抜を行った。2007年にF<sub>5</sub> 系統選抜および褐斑抵抗性の選抜を行い、以後、系統育種法により選抜および固定を進めた。2009年から「善系51号」として生産力検定予備試験、系統適応性検定試験などに供試し、成績が良好であったことから2012年に「四国15号」の地方番号を付し、以後、生産力検定試験、奨励品種決定調査および特性検定試験などに供試した。その結果、難裂きょう性を有し、最下着きょう節位が高く、倒伏も少なく、また、SMVに対する褐斑・種子伝染抵抗性およびPSV抵抗性を有して褐斑粒が発生し



第1図 「たつまる」の系譜

第1表 「たつまる」の選抜経過

年次	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013		
世代	交配	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub>	F <sub>10</sub>	F <sub>11</sub>
供試	系統群数	29花					13	2	1	1	1	1
	系統数	10莢				86	65	10	5	5	5	10
	個体数	12	800	800	880	1892	1430	220	110	110	110	220
選抜	系統群数					2	1	1	1	1	1	1
	系統数					13	2	1	1	1	1	1
	個体数	12粒	1700	1937	1921	86	65	10	5	5	5	10
育成地における試験			集団選抜	集団選抜	個体選抜	系統選抜・褐斑抵抗性選抜	生産力検定試験					
						予備試験 B	予備試験 A			本試験		
							善系51号			四国15号		

第2表 形態的特性

品種名	胚軸のアントシアニン着色の有無	側小葉の形	花の色	茎の毛じの色	茎の長さ	茎の節数	分枝の数	最下着節の高さ	伸育型	熟さや色の濃淡	子実の大きさ	子実の形	粒の光沢	種皮の地色	子実のへその色	子実の子葉の色
たつまる	有	鋭先卵形	紫	白	中	中	中	やや高	有限	淡	中	球	中	黄	黄	黄
サチユタカ	有*	鋭先卵形	紫	白	短	中	中	やや低	有限*	中	大	球	中	黄白	黄	黄
タマホマレ	有*	鋭先卵形	紫*	白*	中*	中*	中*	中	有限*	中*	大	球*	中*	黄*	黄*	黄*
フクユタカ	有*	鋭先卵形*	紫*	白*	長	多*	中*	高	有限*	淡*	大*	球*	中*	黄白	淡褐*	黄

注1) 農林水産植物種類別審査基準(2012年4月)および品種登録審査基準(審査基準国際統一委託事業調査報告書, 2004年3月)による。原則として育成地での観察・調査に基づいて分類した。

注2) \*印は当該形質について標準品種になっていることを示す。

注3) 下線の形質について当該品種は標準品種になっているが、育成地での調査結果を優先して記載したことを示す。

第3表 生態的特性

品種名	開花始期	成熟期	生態型	裂き易の難易	倒伏抵抗性	ダイズモザイクウイルス抵抗性						ダイズシストセンチュウ抵抗性(レース3)
						A	A <sub>2</sub>	B	C	D	E	
たつまる	やや晩	やや晩	中間型	難	強	R	M	R	M	M	N	弱
サチユタカ	やや晩	やや晩	中間型	易	強	R	M*	R	M*	M	N	弱
タマホマレ	やや晩	やや晩	中間型*	難*	中*	R	R*	R	M*	M	N	弱
フクユタカ	晩*	晩*	秋大豆型*	中*	弱*	R*	M*	R*	M*	M*	N*	弱*

注1) 農林水産植物種類別審査基準(2012年4月)および品種登録審査基準(審査基準国際統一委託事業調査報告書, 2004年3月)による。原則として育成地での観察・調査に基づいて分類した。

注2) \*印は当該形質について標準品種になっていることを示す。

注3) 下線の形質について当該品種は標準品種になっているが、育成地での調査結果を優先して記載したことを示す。

注4) ダイズモザイクウイルス抵抗性の状態は、M：感受性(モザイク)、N：感受性(ネクロシス)、R：抵抗性で示す。

にくい特性が確認された。さらに、品質・加工面では、子実の大きさが小さく蛋白質含有率が高く、醤油醸造や豆腐に適することが明らかになった。醤油原料として栽培の要望があがっていることから、本系統の速やかな普及を図るため、2014年4月に「たつまる」の名称で品種登録出願を行った。育成終了の世代はF<sub>11</sub>である。

なお、「たつまる」(英語表記: Tatsumaro)の品種名は、倒伏に強く立った草姿を表し、また、まるやかな醤油に仕上がるように願いを込めて命名した。

### Ⅲ 特性の概要

「たつまる」の形態的特性、生態的特性および品

第4表 品質特性

品種名	粗タンパク含有率	粗脂肪含有率	裂皮の難易	子実の品質
たつまる	やや高	中	難	中の上
サチユタカ	高*	中	易	中の中
タマホマレ	低*	高*	難	中の下*
フクユタカ	やや高*	中	易	中の中*

注1) 農林水産植物種類別審査基準(2012年4月)および品種登録審査基準(審査基準国際統一委託事業調査報告書, 2004年3月)による。原則として育成地での観察・調査に基づいて分類した。

注2) \*は当該品種について標準品種になっていることを示す。

注3) 下線の形質について当該品種は標準品種になっているが、育成地での調査結果を優先して記載したことを示す。

質特性を第2表、第3表および第4表に示した。これら特性の分類は、主に特性検定試験ならびに育成

第5表 水田転換畑標準播(6月播)の生育, 収穫物および品質調査成績(育成地)

品種名	試験年次	開花始期 (月・日)	成熟期	倒伏				茎の長さ (cm)	茎の節数 (節)	分枝の数 (本)	最下着きょう節位の高さ (cm)	全実重 (kg/a)	子実重 (kg/a)	標準対比 (%)	百粒重 (g)	粒の障害 <sup>1)</sup>				品質 <sup>2)</sup>
				倒伏	ウイルス	立枯	青立									紫斑	褐斑	裂皮	しわ	
たつまる	2012	7.29	10.29	0.0	0.0	1.5	2.0	50	14.9	5.5	15.5	89.4	47.1	120	24.2	1.0	0.0	0.5	0.0	4.0
	2013	7.28	11.11	0.5	0.0	2.0	1.5	53	13.6	7.8	13.2	60.8	29.1	82	24.3	0.5	0.0	0.3	0.0	4.0
	2014	7.27	11.02	1.0	0.0	1.0	1.0	75	16.0	7.0	15.3	104.4	49.4	112	24.5	1.0	0.0	0.0	0.0	3.0
	平均	7.28	11.04	0.5	0.0	1.5	1.5	59	14.8	6.8	14.7	84.9	41.9	105	24.3	0.8	0.0	0.3	0.0	3.7
				微	無	少	少									微	無	無	無	中上
サチユタカ (標準)	2012	7.31	10.19	0.0	0.0	0.0	2.0	45	14.3	4.1	9.9	74.4	39.1	100	33.0	0.5	0.0	5.0	1.0	5.0
	2013	7.29	11.03	1.0	0.0	0.0	1.8	47	15.4	6.0	13.5	68.6	35.5	100	34.6	1.8	0.2	2.5	0.8	5.5
	2014	7.29	10.28	1.0	0.0	0.0	2.0	53	14.6	5.2	10.6	85.6	44.1	100	37.0	0.0	0.0	4.0	1.0	5.0
	平均	7.30	10.25	0.7	0.0	0.0	1.9	48	14.8	5.1	11.3	76.2	39.6	100	34.9	0.8	0.1	3.8	0.9	5.2
				微	無	無	少									微	無	多	微	中中
タマホマレ (比較)	2012	7.27	10.30	0.0	0.0	0.0	4.5	49	14.4	3.8	10.5	73.8	39.9	102	32.8	1.0	0.0	5.0	0.0	5.5
	2013	7.24	11.12	3.5	0.0	0.0	2.8	53	13.9	6.2	10.8	75.2	40.4	114	33.1	1.0	0.0	1.5	0.0	5.5
	2014	7.25	11.02	2.0	0.0	0.0	2.0	67	14.6	4.7	12.6	82.4	39.2	89	31.0	0.0	0.0	1.0	0.0	4.0
	平均	7.26	11.04	1.8	0.0	0.0	3.1	56	14.3	4.9	11.3	77.1	39.8	102	32.3	0.7	0.0	2.5	0.0	5.0
				少	無	無	中									微	無	中	無	中中
フクユタカ (参考)	2012	8.07	11.03	0.0	0.0	1.0	0.5	77	18.2	5.4	10.8	95.2	48.0	123	32.6	0.0	0.0	5.0	0.0	5.0
	2013	8.04	11.12	5.0	0.0	0.0	0.5	80	18.9	6.1	11.2	72.0	31.5	89	35.1	0.3	0.0	2.0	0.0	4.3
	2014	8.05	11.03	5.0	0.0	1.0	0.0	95	20.5	8.1	13.0	97.3	38.7	88	33.0	1.0	0.0	4.0	0.0	6.0
	平均	8.05	11.06	3.3	0.0	0.7	0.3	84	19.2	6.5	11.7	88.2	39.4	100	33.6	0.4	0.0	3.7	0.0	5.1
				中	無	微	無									無	無	多	無	中中

注1) 障害の程度は, 無(0), 微(1), 少(2), 中(3), 多(4), 甚(5)の6段階評価。

注2) 品質は, 上の上(1), 上の中(2), 上の下(3), 中の上(4), 中の中(5), 中の下(6), 下(7)の7段階評価。

注3) 播種日は, 2012年は6月13日, 2013年は6月10日, 2014年は6月10日。

地における生産力検定試験に基づき行った。生産力検定試験は水田転換畑標準播(6月播)(第5表)および水田転換畑晩播(7月播)(第6表)の2条件で実施したが, 以下の特性に関する具体的数値は水田転換畑標準播(6月播)における数値を引用した。なお, 育成地における生産力検定試験は, 標準播は6月10日, 晩播は7月10日を播種日の目安として, 畦幅70cm, 株間13cm, 1株1本立てとし, 栽植密度は約1,100株/aとした。2区制で, 1区面積は8.4㎡とした。肥料は大豆化成(3-10-10)10kg/a, 炭酸カルシウム10kg/a, 堆肥100kg/aを施用した。標準品種を「サチユタカ」, 比較品種を「タマホマレ」とした。

## 1 形態的特性

「たつまる」の茎の長さ(59cm)は標準品種「サ

チユタカ」より11cm長く, 茎の節数(14.8節)はほぼ同じで, 分枝の数(6.8本)は1.7本多く, 茎の長さ, 茎の節数および分枝の数は「中」に分類される(写真1)。また, 伸育型は「有限」で, 側小葉の形は「鋭先卵形」, 花の色は「紫」, 茎の毛じの色は「白」である。熟さやの色の濃淡は「サチユタカ」の「中」に対して「淡」である。百粒重は24.3gで, 子実の大きさは「中」で, 「サチユタカ」より小さい。種皮の地色, 子実のへその色ならびに子実の子葉の色は, それぞれ「黄」である。「たつまる」の子実の幅/長さおよび厚さ/幅の比は, それぞれ0.96, 0.90であり, 粒形は「球」に分類される(第7表, 写真2)。

第6表 水田転換畑晩播（7月播）の生育，収穫物および品質調査成績（育成地）

品種名	試験年次	開花始期 (月, 日)	成熟				茎の長さ (cm)	茎節数 (節)	分枝数 (本)	最下着きょう節の高さ (cm)	全実重 (kg/a)	子実重 (kg/a)	標準対比 (%)	百粒重 (g)	粒の障害 <sup>1)</sup>				品質 <sup>2)</sup>	
			倒伏	ウイルス	立枯	青立									紫斑	褐斑	裂皮	しわ		
たつまる	2013	8.13	11.06	0.0	0.0	2.0	0.0	57	13.4	5.9	13.5	77.6	40.7	111	21.2	0.0	0.0	0.0	0.5	3.0
	2014	8.20	11.05	0.5	0.0	2.0	0.0	56	13.7	5.4	11.3	64.6	37.3	95	24.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5
	平均	8.17	11.06	0.3	0.0	2.0	0.0	57	13.6	5.7	12.4	71.1	39.0	103	22.8	0.0	0.0	0.0	0.3	2.8
サチユタカ (標準)	2013	8.15	10.31	1.0	0.0	1.5	1.5	50	13.8	5.0	11.9	64.9	36.7	100	36.4	1.0	0.0	2.5	1.0	4.5
	2014	8.21	10.29	1.0	0.0	0.0	0.0	47	13.8	3.9	10.2	62.7	39.1	100	35.1	0.0	0.0	2.5	0.0	4.0
	平均	8.18	10.30	1.0	0.0	0.8	0.8	49	13.8	4.5	11.1	63.8	37.9	100	35.8	0.5	0.0	2.5	0.5	4.3
タマホマレ (比較)	2013	8.14	11.13	3.5	0.0	1.5	1.5	64	14.4	4.5	11.6	69.2	38.0	103	32.7	0.5	0.0	1.5	0.0	3.5
	2014	8.19	11.06	2.0	0.0	0.5	1.5	52	13.8	5.2	12.0	63.7	36.2	92	31.7	0.0	0.0	2.0	1.0	3.0
	平均	8.17	11.10	2.8	0.0	1.0	1.5	58	14.1	4.9	11.8	66.5	37.1	98	32.2	0.3	0.0	1.8	0.5	3.3
フクユタカ (参考)	2013	8.19	11.13	5.0	0.0	1.0	1.0	71	17.1	5.0	18.1	76.8	40.8	111	33.9	0.0	0.0	2.5	1.0	4.0
	2014	8.25	11.11	3.0	0.0	2.0	0.5	69	16.3	5.1	13.4	72.1	37.9	97	33.0	0.0	0.0	3.5	1.0	5.0
	平均	8.22	11.12	4.0	0.0	1.5	0.8	70	16.7	5.1	15.8	74.5	39.4	104	33.5	0.0	0.0	3.0	1.0	4.5

注1) 障害の程度は，無（0），微（1），少（2），中（3），多（4），甚（5）の6段階評価。

注2) 品質は，上の上（1），上の中（2），上の下（3），中の上（4），中の中（5），中の下（6），下（7）の7段階評価。

注3) 播種日は，2013年は7月9日，2014年は7月16日。



写真1 草姿の比較

写真1 草姿の比較

[栽培場所] 近畿中国四国農業研究センター四国研究センター 水田転換畑標準播

[栽培条件] 播種日：2013年6月10日 畦幅70cm 株間13cm 1株1本立



写真2 子実の比較

写真2 子実の比較

## 2 生態的特性

### 1) 早晩性および収量性

「たつまる」の開花始期は7月28日で「サチユタカ」より2日，「フクユタカ」<sup>7)</sup>より8日程度早く，成熟期は11月4日で「サチユタカ」より10日程度遅く，「フクユタカ」より2日程度早いことから，開花始期および成熟期は“やや晩”に分類される。生態型は「サチユタカ」と同じ“中間型”である。子実重は標準播において41.9kg/aで「サチユ

第7表 粒形調査成績 (育成地)

品種名	栽培条件	長さ (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)	幅/長さ	厚さ/幅	判定	既往の評価
たつまる	標準播	7.86	7.55	6.78	0.96	0.90	球	
	晩播	7.33	7.09	6.16	0.97	0.87	球	
サチユタカ	標準播	8.95	8.20	6.93	0.92	0.85	球	球
	晩播	8.98	8.12	6.98	0.90	0.86	球	
フクユタカ	標準播	8.76	8.22	7.14	0.94	0.87	球	球
	晩播	8.68	8.04	7.05	0.93	0.88	球	

注1) 標準播は2012年～2013年の2ヶ年平均, 晩播は2013年.

注2) 育成地産の50粒を調査した.

注3) 粒形“球”の分類基準: 幅/長さが0.85以上で厚さ/幅が0.85以上.

第8表 ウイルス病抵抗性検定試験成績 (長野県野菜花き試験場)

系統名 または 品種名	生育期調査			褐斑粒調査(300粒調査)			判定	既往の評価
	発病株率 (%)	発病度	単年度判定	褐斑粒率 (%)	発生度	単年度判定		
たつまる	5.0	1.3	強	31.0	10.9	強	強	
十勝長葉	55.0	32.5	中	99.7	66.4	弱		極弱
農林2号	40.0	12.5	強	91.7	37.3	中		弱
タチナガハ	0.0	0.0	極強	6.7	2.3	強		中
ギンレイ	0.0	0.0	極強	1.0	0.3	強		強

注1) 2009年度の善系世代 (善系51号) の試験成績.

注2) スプレッターとして「信濃黒」の種子を一定間隔で栽培して発病を促した圃場で実施.

注3) 生育期調査

発病度は, A: 無病徴, B: 病徴が判然としない, C: 軽微なモザイク症状, D: 縮葉症状が中程度, E: 縮葉症状が甚だしい, F: 縮葉症状が著しく生育が抑制, で判定し, 発病度 =  $(C + 2D + 3E + 4F) / 4 (A + B + C + D + E + F) \times 100$ とした.

ここでA, B, C, D, E, Fは該当する病徴を示した株数.

注4) 褐斑粒調査

発生度は, A: 褐斑がまったくみられない, B: 僅かに褐斑を有する, C: 一見してわかる程度の褐斑を有する, D: 臍の大きさ程度の褐斑を有する, E: それ以上, で判定し, 発病度 =  $(B + 2C + 3D + 4E) / 4 (A + B + C + D + E) \times 100$ とした.

ここでA, B, C, D, E, Fは該当する病徴を示した粒数.

注5) 判定

発病度・発生度 0: 極強, 0.1~20: 強, 20.1~50: 中, 50.1~80: 弱, 80.1~: 極弱.

タカ」対比105%, 晩播においても39.0kg/aで「サチユタカ」対比103%と多収である.

## 2) 病虫害抵抗性

### (1) 圃場におけるウイルス病抵抗性

長野県野菜花き試験場での圃場におけるウイルス病抵抗性検定試験では, 「たつまる」の圃場におけるウイルス病抵抗性は, 生育期調査および子実の褐斑粒調査ともに「強」と判定される (第8表).

### (2) ダイズモザイクウイルス (SMV) 病原系統別抵抗性

育成地におけるSMVの病原系統別接種試験では,

「たつまる」はAおよびB系統には抵抗性, A<sub>2</sub>, C, D, E系統には感受性である (第9表).

### (3) 褐斑・種子伝染抵抗性

育成地におけるSMV感染による褐斑・種子伝染抵抗性検定試験では, 「たつまる」はほとんど褐斑粒が発生せず, 種子伝染もしないことから抵抗性を有している (第10表, 写真3).

### (4) ラッカセイわい化ウイルス (PSV) 抵抗性

育成地におけるPSV接種試験では, 「たつまる」は発病が見られないことから抵抗性である (第11表).

第9表 ダイズモザイクウイルス病原系統別抵抗性検定試験成績（育成地）

品種名	ダイズモザイクウイルス病原系統											
	A		B		A <sub>2</sub>		C		D		E	
	発病 判定 率(%)	個体 判定 率(%)	発病 判定 率(%)	個体 判定 率(%)	発病 判定 率(%)	個体 判定 率(%)	発病 判定 率(%)	個体 判定 率(%)	発病 判定 率(%)	個体 判定 率(%)	発病 判定 率(%)	個体 判定 率(%)
たつまる	0.0	R	0.0	R	100.0	S	100.0	S	100.0	S	75.0	S
ヒュウガ	10.0	R	20.0	(R)	88.9	S	100.0	S	100.0	S	100.0	S
アキヨシ	0.0	R	0.0	R	100.0	S	100.0	S	100.0	S	100.0	S
アキセンゴク	0.0	R	0.0	R	0.0	R	100.0	S	100.0	S	80.0	S
Harosoy	0.0	R	44.4	(S)	0.0	R	0.0	R	0.0	R	100.0	S
白豆	0.0	R	66.7	S	0.0	R	0.0	R	100.0	S	100.0	S

注1) 2009年度の善系世代（善系51号）の試験成績。

注2) 病原系統別の人工接種による。

注3) 判定：発病個体率 0～10%：R, 11～30%：(R), 31～50%：(S), 51～100%：S。

注4) ヒュウガはA, B系統に感受性であるが、本試験では発病率が低かった。

第10表 褐斑・種子伝染抵抗性の調査成績（育成地）

品種名	試験年次	褐斑抵抗性		種子伝染抵抗性
		褐斑粒率 (%)	発生度	種子伝染率 (%)
たつまる	2009	4.6	2.1	0.0
	2014	4.4	1.5	0.0
サチユタカ	2009	71.9	51.9	6.4
	2014	82.9	56.6	4.6

注1) 2009年度の善系世代（善系51号）の成績。

注2) 試験は2009年は1区8株の2反復，2014年は1区4株の4反復で，各  
個体初生葉にSMV-C系統を接種し，収穫・脱穀後，褐斑粒率および種  
子伝染率を調査した。

注3) 褐斑粒調査は，第8表に準じる。

注4) 種子伝染率は，出芽個体中の種子伝染個体の割合。



たつまる

サチユタカ

写真3 SMV感染による子実  
初生葉にSMV-C系統を接種処理

(5) インゲンマメ南部モザイクウイルス (SBMV)  
抵抗性

育成地におけるインゲンマメ南部モザイクウイルス  
接種試験では、「たつまる」は、「サチユタカ」や  
「フクユタカ」と同じ時期にモザイク症状が現れる  
ことから感受性である（第12表）。

(6) ダイズシストセンチュウ抵抗性

長野県野菜花き試験場におけるダイズシストセン  
チュウ抵抗性検定試験では，シスト着生指数が2009  
年が80，2013年が100で，「たつまる」のダイズシ  
ストセンチュウ抵抗性は“弱”と判定される（第13  
表）。

(7) 紫斑病抵抗性

福島県農業総合センター会津地域研究所における  
紫斑病抵抗性検定試験では，指標品種の発病粒率と

第11表 ラッカセイわい化ウイルス抵抗性検定試験成績 (育成地)

系統名 または 品種名	接種 個体 数	発病 個体 数	発病 個体 率(%)	判定	既往の 評価
たつまる	10	0	0.0	R	
サチユタカ	10	10	100.0		S
フクユタカ	10	0	0.0		R
つるの卵1号	10	0	0.0		R
農林4号	10	2	2.0		N

注1) 2009年度の試験成績.

注2) 分離株PSV-Kの人工接種による.

注3) 判定: 発病個体率 0~10%: R, 11~30%: (R), 31~50%: (S), 51~100%: S.  
ただしネクロシスを生じる場合をNとする.

第12表 インゲンマメ南部モザイクウイルス抵抗性検定試験成績 (育成地)

系統名 または 品種名	接種 個体 数	接種後2週間		接種後4週間		判定	既往の 評価
		発病 個体 数	発病 個体 率(%)	発病 個体 数	発病 個体 率(%)		
たつまる	10	6	60.0	10	100.0	S	
サチユタカ	10	10	100.0	10	100.0		S
フクユタカ	10	8	80.0	10	100.0		S
Peking	10	10	100.0	10	100.0		S
つるの卵1号	10	0	0.0	0	0.0		R
BRS.154	10	0	0.0	8	80.0		LS
秣食豆公503	10	8	80.0	10	100.0		N

注1) 2009年度の試験成績.

注2) 分離株SBMV-Kの人工接種による.

注3) 判定: 接種後約2週間と4週間での発病個体率および病徴から抵抗性の判定を行った.

判定基準は, 発病個体率 0~10%: R, 11~30%: (R), 31~50%: (S), 51~100%: Sとし, このうちBRS.154のような通常の発病時期より遅れて発病するものをLate Susceptible (LS), 秣食豆公503のような激しいネクロシス症状を現すものをネクロシス (N) とした.

第13表 ダイズシストセンチュウ抵抗性検定試験成績 (長野県野菜花き試験場)

系統名または 品種名	2009年		2013年		判定	既往の 評価
	シスト着生指数	抵抗性	シスト着生指数	抵抗性		
たつまる	80	弱	100	弱	弱	
ネマシラズ	31	弱	100	弱		弱
PI88788	14	強	50	強		強
Peking	0	極強	0	極強		極強

注1) 試験はダイズシストセンチュウ汚染土壌をプランターに充填して実施.

注2) 根の雌成虫の着生密度を, 0 (無) ~ 4 (甚) の階級値で表し, 以下の式により, シスト着生指数を算出した.

$$\text{シスト着生指数} = \frac{\sum (\text{階級値} \times \text{該当個体数}) \times 100}{4 \times \text{個体数}}$$

注3) 抵抗性は, 標準品種のシスト着生指数との比較により判定した.

注4) 「ネマシラズ」は弱, 「PI88788」は強, 「Peking」は極強の標準品種である.



比較した結果から「たつまる」の紫斑病抵抗性は“強”と判定される（第14表）。

(8) 立枯性病害抵抗性

岩手県農業研究センターにおける立枯性病害抵抗性検定試験では、同一株内「Harosoy」対比に基づき設定した基準で判定した結果、「たつまる」の立枯性病害抵抗性は“中”と判定される（第15表）。

3) 機械化適性

「たつまる」の標準播および晩播での倒伏程度が、「サチユタカ」の“微”に対して、それぞれ“微”と“無”で「サチユタカ」より倒伏しにくいことから、倒伏抵抗性は“強”と判定される。

最下着きょう節位の高さは、標準播で「サチユタカ」,「タマホマレ」および「フクユタカ」より高く、晩播で「サチユタカ」,「タマホマレ」より高く、「フクユタカ」より低いことから、“やや高”に分類

第14表 紫斑病抵抗性検定試験成績（福島県農業総合センター会津地域研究所）

品種名	発病粒率(%)			判定	既往の評価
	標播	晩播	平均		
たつまる	7.6	2.9	5.3	強	
赤莢(長野)	3.6	0.5	2.1		強
タマヒカリ	22.6	2.5	12.5		やや強
スズユタカ	28.8	7.5	18.2		中
エンレイ	30.3	7.0	18.7		中

注1) 2011年度の善系世代（善系51号）の試験成績。

注2) 試験は標播では自然感染，晩播では発病種子の散布と冠水により発病を促した圃場で実施。

注3) 判定は，任意に抽出した100gの子実について発病粒率を調査し，指標品種の発病粒率より判定の分類基準を設定。

2011年の判定の分類基準 0.0～2.1：極強，2.1～12.6：強，12.6～18.4：やや強，18.4～25.0：中，25.0～40.0：やや弱，40.0～：弱（単位：％）。

注4) 「赤莢（長野）」は“強”，「タマヒカリ」は“やや強”，「スズユタカ」と「エンレイ」は“中”の指標品種である。

第15表 立枯性病害抵抗性検定試験成績（岩手県農業研究センター）

品種名	発病株率(%)	発病度	同一株内Harosoy対比	単年度判定	判定	既往の評価
たつまる	93.7	2.43	0.61	中	中	
サチユタカ	89.5	2.14	0.55	やや強		中
フクユタカ	87.4	2.15	0.54	やや強		やや強
ハロソイ	100.0	3.57	1.00	弱		弱
ナンブシロメ	85.9	2.48	0.68	やや弱		やや弱
スズカリ	80.5	2.34	0.62	やや強		やや強
シロセンナリ	58.0	1.73	0.48	強		強

注1) 2011年度の善系世代（善系51号）の試験成績。

注2) 検定は連作により黒根腐病の発生を高めた圃場で実施。

注3) 1株に供試品種・系統と「Harosoy」を混植し，「Harosoy」が罹病した株だけを調査対象とした。

注4) 発病度は，0：発病無し，1：地際部に褐変が認められる，2：褐変が地際部全体を取り巻いている，3：褐変が地際部を中心に長く伸びている，4：主根が腐朽，5：枯死とする階級値を個体毎に与え，以下の式によって算出した。

$$\text{発病度} = \{ \sum (\text{階級値} \times \text{該当株数}) / (\text{全調査株数} \times 5) \} \times 100$$

注5) 同一株内「Harosoy」対比は，同一株内の「Harosoy」の発病度に対する供試系統の発病度，として算出し，この値について指標品種により判定の分類基準を設定。

される。

裂きょうの難易は、熱風乾燥処理<sup>10)</sup>による裂きょう率が「タマホマレ」より低いことから、“難”に分類される(第16表, 写真4)。

### 3 品質特性

#### 1) 粒の外観品質, 粒度分布および子実成分

「たつまる」の粒の外観品質は、生産力検定試験の障害粒発生程度などから「サチユタカ」, 「タマホマレ」より裂皮の発生が少なく“中の上”に分類される。第17表の粒度分布から「たつまる」は篩い目7.3mm上に70%以上残らず、篩い目5.5mm上に

70%以上残るため、農産物規格規程(平成13年農林水産省告示第244号)の粒度区分では小粒に分類される。ただし、同規程の定める「小粒大豆の産地品種銘柄にあっては篩い目6.1mm上に残る粒の重量比が10%未満」という要件を満たさないため、産地品種銘柄にはならない。

粗タンパク含有率は標準播では45.0%で、「タマホマレ」より4.5%高く、「サチユタカ」より0.9%低いことから、「フクユタカ」と同じ“やや高”に分類される(第18表)。粗脂肪含有率は「フクユタカ」並みで“中”に分類される。全糖含有率は「サ

第16表 熱風乾燥処理による裂きょう率の調査成績  
(育成地)

品種名	裂きょう率 (%)	判定	既往の評価
たつまる	2.5	難	
タマホマレ	45.5		難
フクユタカ	67.8		中
サチユタカ	95.8		易

注1) 2013年度6月播栽培の二粒さやを400個調査。

注2) 熱風乾燥処理は60℃・2時間で行った。

注3) 判定は標準および比較品種の裂きょう率を基準として行った。

注4) 「タマホマレ」は“強”, 「フクユタカ」は“中”の標準品種。



たつまる

サチユタカ

写真4 裂きょう性の比較

60℃, 2時間の熱風乾燥処理

第17表 粒度分布調査成績 (育成地)

品種名	播種期	試験年次	重量比(%)								百粒重 (g)	粒度区分	
			5.5未満	5.5mm ~6.0mm	6.1mm ~7.2mm	7.3mm ~7.8mm	7.9mm 以上	5.5mm 以上	6.1mm 以上	7.3mm 以上			7.9mm 以上
たつまる	標準播	2012	0.0	0.4	37.9	58.5	3.2	100.0	99.6	61.7	3.2	24.2	小粒大豆
		2013	0.2	1.0	30.1	52.1	16.6	98.8	98.8	68.7	16.6	24.3	小粒大豆
		2014	0.0	2.8	28.8	57.0	11.4	100.0	97.2	68.4	11.4	24.5	小粒大豆
	晩播	2013	0.1	0.7	68.1	30.0	1.1	99.9	99.2	31.1	1.1	21.2	小粒大豆
		2014	0.0	4.9	42.2	51.1	1.8	100.0	95.1	52.9	1.8	24.3	小粒大豆
こがねさやか	標準播	2012	0.1	0.3	3.0	31.6	65.0	100.0	99.9	96.6	65.0	30.9	中粒大豆
		2013	0.2	1.1	7.0	31.2	60.5	100.0	99.8	91.7	60.5	33.1	中粒大豆
		2014	0.0	0.5	4.1	39.3	56.2	100.0	99.6	95.5	56.2	31.6	中粒大豆
	晩播	2013	0.0	0.7	12.7	52.3	34.3	100.0	100.0	86.6	34.3	29.8	中粒大豆
		2014	0.0	0.8	7.0	33.5	58.7	100.0	99.2	92.2	58.7	33	中粒大豆
サチユタカ	標準播	2012	0.0	0.0	0.9	11.6	87.5	100.0	100.0	99.1	87.5	33.0	大粒大豆
		2013	0.0	0.0	2.5	16.0	81.5	100.0	100.0	97.5	81.5	34.6	大粒大豆
		2014	0.0	0.0	0.6	9.8	89.6	100.0	100.0	99.5	89.7	37.0	大粒大豆
	晩播	2013	0.0	0.0	1.1	12.1	86.8	100.0	100.0	98.9	86.8	36.4	大粒大豆
		2014	0.0	0.0	0.9	12.7	86.4	100.0	100.0	99.1	86.4	35.1	大粒大豆

注1) 各反復500g, 2反復調査した。

注2) 2012年晩播は出芽不良のため試験を中止した。

「フクユタカ」と同程度で、「タマホマレ」より2.4%低い。

2) 醤油加工適性

第19表にH社において行った醤油醸造試験の結果を示した。圧搾生汁の全窒素は「タマホマレ」よりやや高く、同じ麴配合で仕込んだ場合「圧搾生汁・全窒素」も高くなることが確認された。色度は同じランクで淡口規格を満たした。醤油の官能評価は各項目とも「タマホマレ」と同等で、醤油醸造に

適すると評価された。

3) 豆腐加工適性

「たつまる」の豆腐の物性については、豆乳粘度は「フクユタカ」と同程度で加工上の問題はなく、豆腐破断強度は「サチユタカ」と同程度で、十分な硬さであった(第20表)。また、A社による官能評価では、食感は「フクユタカ」よりやや軟らかく、外観、こく味、不快味およびおいしさの項目で「フクユタカ」と同程度であったことから(第21表)、

第18表 子実成分調査成績(育成地)

品種名	粗タンパク含有率(%)		粗脂肪含有率(%)		全糖含有率(%)	
	標準播 (6月播)	晩播 (7月播)	標準播 (6月播)	晩播 (7月播)	標準播 (6月播)	晩播 (7月播)
たつまる	45.0	44.0	19.7	20.0	19.4	19.5
サチユタカ	45.9	46.9	19.5	18.5	19.9	20.8
タマホマレ	40.5	40.3	20.8	20.7	21.8	21.9
フクユタカ	43.4	44.6	20.5	20.0	20.0	19.6

- 注1) 標準播, 晩播ともに水田転換畑において栽培した。
- 注2) 標準播は2012~2014年の3ヶ年平均。晩播は2013~2014年の2ヶ年平均。2012年晩播は出芽不良のため試験を中止した。
- 注3) 分析値は、近赤外分光分析法による無水分中の含有率。窒素-蛋白質変換係数は6.25。

第19表 醤油醸造試験成績

品種名	圧搾生汁		官能評価					
	全窒素(%)	色度	醤油香	熟成香	重厚感	華やかさ	アルコール香	総合評価
たつまる	1.383	No.35	3.1	3.1	3.3	3.5	3.6	2.8
タマホマレ(標準)	1.302	No.35	3.0	3.5	3.3	3.6	3.3	2.8

- 注1) 2013年にH社の醤油醸造小規模仕込み試験方法により実施した。原料大豆は2012年兵庫県たつの市産。
- 注2) 色度はJAS規格「しょうゆ標準色」の番数。No.2(濃)-No.56(薄)。「淡口」規格はNo.18以上、「濃口」はNo.18未満。
- 注3) 官能評価はパネル8名で行い、総合評価は悪(1)-良(5)、その他は弱(1)-強(5)の5段階の絶対評価とした。

第20表 豆腐加工適性試験成績(物性)

品種名	試験年次	粗タンパク含有率(%)	豆乳粘度(mPas)	豆乳Brix	豆腐破断強度(g/cm <sup>2</sup> )
たつまる	2012	48.1	32.3	11.7	52.9
	2013	43.7	30.3	12.0	46.5
サチユタカ	2012	46.4	23.0	11.7	40.0
	2013	44.1	28.7	12.4	50.5
フクユタカ	2012	46.3	25.4	12.0	63.2
	2013	45.2	30.7	12.4	66.8

- 注1) 原料大豆の生産年次は試験年次の前年、「フクユタカ」は福岡県産、その他は育成地産。
- 注2) 豆腐の製造は、九州沖縄農業研究センター・大豆育種グループにより、小谷野ら<sup>5)</sup>の電子レンジを用いた加熱搾り法(7.25倍加水)で実施した。
- 注3) 分析値は、九州沖縄農業研究センター・大豆育種グループによる測定。

第21表 豆腐加工適性試験成績 (官能評価)

品種名	官能評価					
	外観	甘味	こく味	不快味	食感	おいしさ
	(5:良)   (1:悪)	(5:強)   (1:弱)	(5:強)   (1:弱)	(5:無)   (1:有)	(5:硬)   (1:軟)	(5:おいしい)   (1:まずい)
たつまる	2.9	2.7	2.8	3.0	2.6	2.8
サチユタカ	2.9	3.0	2.8	2.9	3.0	2.8
フクユタカ(標準)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0

注1) 本試験は国産大豆の品質評価に係る情報交換会において、A社により2013年に実施した。  
 注2) 原料大豆の「フクユタカ(標準)」は2012年福岡県産、その他は2012年育成地産。  
 注3) 豆腐の製造は、九州沖縄農業研究センター・大豆育種グループにより、小谷野ら<sup>5)</sup>の電子レンジを用いた加熱搾り法(6.25倍加水)で実施した。  
 注4) 官能評価はパネル5名で行い、標準サンプルの評価を「3」とした5段階評価。

第22表 奨励品種決定調査における試験成績概評一覧

県名	試験場所	2012年		2013年		2014年		標準品種
		標準対比	概評	標準対比	概評	標準対比	概評	
兵庫	農技セ(標準播)	99	◇	112	○	89	○	サチユタカ
	農技セ(晩播)	106	◇	126	○	98	○	サチユタカ
	たつの市神岡町(現地1)			122	○	103	○	サチユタカ
	たつの市御津町(現地2)			73	○	96	○	サチユタカ
鳥取	農試	97	×					サチユタカ
山口	農総技セ(標準播)	81	×					サチユタカ
佐賀	農研			68	×			フクユタカ

注1) 標準対比は標準品種との収量比。  
 注2) 概評 ◎:有望, ○:やや有望, ◇:再検討, △:やや劣る, ×:劣る。

第23表 普及見込み地帯の兵庫県における試験成績

試験場所	品種名	開花始期 (月・日)	成熟期 (月・日)	生育中の障害 <sup>2)</sup>			莖の長さ (cm)	莖の節数 (節)	分枝数 (本)	最下着きよ う節位 の高さ (cm)	子実重 (kg/a)	標準対比 (%)	百粒重 (g)	粒の障害 <sup>2)</sup>			品質 <sup>3)</sup>	粗タンパク含有率 <sup>4)</sup> (%)	粗脂肪含有率 <sup>4)</sup> (%)
				倒伏	ウイ イル 枯	立青 立								紫	褐	裂			
兵庫農技セ	6月播 たつまる	8.06	11.05	微	無	微	74	15.3	6.5	18.5	35.7	103	24.0	微	微	微	上下	45.6	19.5
	サチユタカ 標準	8.06	10.26	無	無	微	61	14.3	5.1	16.1	34.5	100	33.6	微	微	少	中上	45.8	19.5
兵庫農技セ	7月播 たつまる	8.27	11.13	無	無	微	63	13.5	3.6	17.6	31.9	110	24.8	微	微	微	上下	46.9	19.0
	サチユタカ 標準	8.26	11.14	微	無	微	53	12.3	3.3	15.9	29.0	100	34.9	無	微	少	上下	47.1	18.6
兵庫農技セ	神岡町 たつまる	8.28	11.26	微	無	微	54	11.7	2.6	11.2	54.2	113	27.8	微	無	無	上中	46.6	19.4
	サチユタカ 標準	8.28	11.29	少	無	微	49	11.7	3.5	8.5	48.0	100	34.9	微	微	微	上下	46.4	18.6
	タマホマレ 比較	8.27	12.01	少	無	微	49	11.8	4.7	9.2	56.3	117	32.3	微	微	微	上中	42.4	20.0
たつの市現地	御津町 たつまる	8.30	11.25	微	無	微	50	11.9	3.6	10.4	42.7	82	27.4	少	無	無	上中	47.6	18.6
	サチユタカ 標準	8.26	11.14	少	無	微	46	12.0	4.5	8.3	51.8	100	33.3	無	無	微	上下	46.2	18.6
たつの市現地	タマホマレ 比較	8.29	11.27	中	無	微	48	12.3	4.8	10.3	45.0	87	31.4	微	微	微	上下	42.3	19.8

注1) 試験データは、兵庫県立農林水産技術総合センターは2012～2014年の3ヶ年、たつの市現地は2013～2014年の2ヶ年の平均値。  
 兵庫県立農林水産技術総合センターでは、6月播は畦幅75cm, 株間15cm, 7月播は畦幅60cm, 株間10cm, いずれも1株2本立て、3反復。  
 たつの市現地では、7月下旬播種、畦幅25cm, 株間10cm, 1株1本立て、反復無し。  
 注2) 障害の程度は、無(0), 微(1), 少(2), 中(3), 多(4), 甚(5)の6段階評価。  
 注3) 品質は、上の上(1), 上の中(2), 上の下(3), 中の上(4), 中の中(5), 中の下(6), 下(7)の7段階評価。  
 注4) 分析値は、近赤外分光分析法による無水分中の含有率(%)。窒素-蛋白質変換係数は6.25。

豆腐加工に適すると評価された。

#### IV 適地および栽培上の留意点

##### 1 奨励品種決定調査における試験成績

2012年から2014年の3ヶ年に4県、延べ13箇所  
に供試し、やや有望が8箇所、中（再検討）が2箇所、劣るが3箇所であった（第22表）。このうち栽培が見込まれる兵庫県における奨励品種決定調査および現地試験（たつの市）では、「たつまる」の成熟期（7月播）は「サチユタカ」とほぼ同熟期で、茎の長さはやや長く、倒伏はやや少なかった（第23表）。子実重は場内試験と神岡町では「サチユタカ」対比で1割程度多収を示し、御津町では18%低かった。百粒重は「サチユタカ」「タマホマレ」より軽く、子実の大きさも小さかった。「たつまる」は裂皮などの障害が少なく、外観品質が優れた。子実中の粗タンパク含有率は「サチユタカ」とほぼ同程度で、「タマホマレ」に比べ約4%程度高かった。

##### 2 栽培適地

成熟期および公立試験研究機関における奨励品種決定調査などの成績から、「たつまる」の栽培適地は近畿地域と判断される。

##### 3 栽培上の留意点

「たつまる」は、ダイズシストセンチュウおよび立枯性病害に対する抵抗性が弱いので、これらの病害虫が蔓延する地域での栽培は避ける。

#### V 考 察

##### 1 期待される効果

「たつまる」は、「短葉」由来の褐斑・種子伝染抵抗性を有する国内唯一の育成品種である。本抵抗性の生産現場での効果に関するデータは少ないが、仮に新たなSMVの病原系統が発生したとしても、この抵抗性は褐斑の発生を抑制することにより外観品質の低下を防ぐとともに、SMVの主要伝染源である種子伝染株<sup>4)</sup>を発生させないため、被害はほとんど生じないと考えられる。ただし、褐斑・種子伝染抵抗性のSMV以外のウイルスに対しての効果

は、少なくともSBMVによる褐斑には効果がないことが確認できており、SMV以外のウイルスの発生が多い地域では褐斑粒が発生する可能性がある。褐斑・種子伝染抵抗性のSMV感染時の収量への影響は未調査であるが、葉には病徴が現れることから若干の減収が考えられる。しかし、「たつまる」の収量性は高く、これまでのところSMV感染による減収が発生したと考えられる事例はない。

「たつまる」の難裂きょう性は、Suzukiら<sup>8)</sup>が開発したDNAマーカーによる増幅断片長が「たつまる」および「短葉」ともに、ほかの難裂きょう性品種のものと同じであったことから、「短葉」に由来する、*PDHI*と同じ遺伝子によるものと推察される。

醤油醸造用大豆として求められている特性は、比較的子実の大きさが小さく蛋白質含量が高いことである。しかし、近年の育成品種にはそのような特性を有する品種は少ない。兵庫県たつの市では、醤油醸造メーカー、流通業者、生産者が参画する「高タンパク大豆生産協議会」を立ち上げ、醤油醸造に適する大豆の栽培に取り組んでいる。これまでに「サチユタカ」と「タマホマレ」を醤油原料大豆として生産が行われてきたが、両品種は子実の大きさや蛋白質含量の面で必ずしも醤油醸造には適しておらず、より醤油醸造に適する大豆品種の導入を検討している。「たつまる」は子実の大きさが小さく蛋白質含有率が高いことから地元の醤油醸造メーカーからの期待が高く、醤油醸造小規模仕込み試験でも良好な結果となった。また、「たつまる」は耐倒伏性を有しており、たつの市で行われている狭畦密植栽培に適すると期待され、2013年、2014年に実施した現地栽培試験では、「サチユタカ」よりも倒伏程度は軽微であった。また、現地の生産物の粗タンパク質含有率は「サチユタカ」と同程度に高かったことから、同地域での醤油原料大豆として普及が期待される。

##### 2 今後の課題

「たつまる」は難裂きょう性で、最下着きょう節位が高く、耐倒伏性を有することから機械化適性が優れており、病害抵抗性として褐斑・種子伝染抵抗性、PSV抵抗性を持ち、収量性も「サチユタカ」と

付表 育成従事者

年次 氏名	世代											
	交配	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub>	F <sub>10</sub>	F <sub>11</sub>
高田吉丈							●					●
猿田正恭	●											●
岡部昭典	●								●			
菊池彰夫	●					●						

同等以上に多収であることから、育種母本として利用価値が高い。ただし、農産物規格規程において産地品種銘柄としては該当する粒度区分がないこと、立枯性病害にやや弱いことが課題として残っている。今後は「たつまる」の優れた特性を活かしつつ、中粒大豆規格に該当する粒度分布を持ち、立枯性病害抵抗性を向上させた品種を開発する必要がある。

## VI 摘 要

「たつまる」は、2004年に農研機構近畿中国四国農業研究センター作物開発部大豆育種研究室（現・農研機構近畿中国四国農業研究センター作物機能開発研究領域大豆育種研究グループ）において、褐斑・種子伝染抵抗性を有する品種の育成を目標に、倒伏に強く、高蛋白で多収の「サチユタカ」を母、褐斑・種子伝染抵抗性を有する「短葉」を父とした人工交配を行い、以後、選抜・固定を図り育成した品種である。

本品種は、生態型が中間型で、難裂きょう性を有しており、最下着きょう節位も高く、耐倒伏性が強く機械化適性が優れ、「サチユタカ」と同等以上に多収である。病害抵抗性は、褐斑・種子伝染抵抗性、PSV抵抗性を有する。子実の種皮色は“黄”，へそ色は“黄”，子実の大きさは“中”で、外観品質が良好である。子実の蛋白質含量が高いため醤油や豆腐の加工に適している。

2014年4月に「たつまる」の名称で品種登録出願を行った。栽培適地は近畿地域である。

## 引用文献

1) Cooper R. L. 1966. A major gene for resistance to seed coat mottling in soybean. *Crop Sci.* 6

(3): 290 - 292.

- 2) 橋本鋼二・長沢次男 1987. ウイルス病抵抗性育種. 小島睦男, 我が国におけるマメ類の育種. 農林水産省農業研究センター, 茨城. 32 - 64.
- 3) 飯塚典男・吉田幸二 1988. 北海道におけるダイズモザイク病の発生と病原ウイルスの種子伝染. *北海道農試研報* 150: 33 - 43.
- 4) 越水幸男・飯塚典男 1963. 大豆のウイルス病に関する研究. *東北農試研報* 27: 1 - 103.
- 5) 小谷野茂和・萩原誠司・大西志全・小宮山誠一・奥村 理 2010. 加熱絞り法による大豆の豆腐加工適性（豆腐硬さ，豆乳粘度）評価法. *研究成果情報 北海道農業* 2009: 70 - 71.
- 6) 御子柴公人・丸山宣重・高橋信夫・堀内寿郎. 1984. 大豆新品種「タマホマレ」の育成とその特性. *長野中信農試報* 3: 1 - 19.
- 7) 大庭虎雄・岩田岩保・竹崎 力・工藤洋男・異儀田和典・小代寛正・原 正紀・池田 稔・高柳 繁・下津盛昌・橋本篤一・志賀鑑昭・富田貞光 1982. ダイズ新品種「フクユタカ」について. *九州農試報告* 22: 405 - 432.
- 8) Suzuki, M., K. Fujino, Y. Nakamoto, M. Ishimoto and H. Funatsuki 2010. Fine mapping and development of DNA markers for the qPDH1 locus associated with pod dehiscence in soybean. *Mol. Breeding* 25: 407 - 418.
- 9) 高橋将一・松永亮一・小松邦彦・中澤芳則・羽鹿牧太・酒井真次・異儀田和典 2004. ダイズ新品種「サチユタカ」の育成とその特性. *九州沖縄農業研究センター報告* 45: 15 - 39.
- 10) 土屋武彦・砂田喜与志 1978. 大豆の裂莢性に関する育種学的研究. II 裂莢性の検定方法と品種間差異. *北海道立農試集報* 39: 19 - 26.

## A New Soybean Cultivar “Tatsumaro” Resistant to Seed Coat Mottling and Seed Transmission of Soybean Mosaic Virus

Masayasu SARUTA, Yoshitake TAKADA, Akinori OKABE<sup>1</sup> and Akio KIKUCHI<sup>2</sup>

### Summary

A new cultivar of soybean *Glycine max* (L.) Merr. “Tatsumaro” was developed at the NARO Western Region Agricultural Research Center in 2014. In order to create a cultivar with resistance to seed coat mottling and seed transmission of soybean mosaic virus (SMV), plants were selected from a cross between “Sachiyutaka” and “Tanyou”. “Tatsumaro” was classified into group IV on the basis of the date of maturity, which is almost the same as that of “Sachiyutaka” grown at Zentsuji, Kagawa (34° 13' 37" N, 133° 46' 39" E). “Tatsumaro” has purple flowers, gray pubescence, pointed ovate leaflets, and light brown pods at maturity. It shows a determinate growth habit and has a medium plant height. The seeds are of medium size, the color of the seed coat is yellow-ground, and that of hilum is yellow. This cultivar has astonishing resistance; it is resistant to seed coat mottling and seed transmission of SMV. Yields of “Tatsumaro” are higher than those of “Sachiyutaka”. “Tatsumaro” is adapted to cultivation in Kinki District, Japan, and it is suitable for production of soy sauce.

---

Crop Breeding and Food Functional Components Research Division, NARO Western Region Agricultural Research Center

<sup>1</sup> Lowland Crops Research Division, NARO Western Region Agricultural Research Center

<sup>2</sup> NARO Tohoku Agricultural Research Center





# 台風0423号時の愛媛県中山間地における平均風速 および突風率の推定

松田 周・柴田昇平<sup>1</sup>

Key words : 台風, 中山間地, 平均風速, 突風率, 風況シミュレーション, LES

## 目 次

I 緒 言	17	1 アメダス久万における平均風速の推定	22
II 方 法	18	2 風速観測点における突風率の推定	22
1 台風0423号および解析対象地域	18	IV 摘 要	24
2 数値計算の方法	19	謝 辞	24
3 風速観測の方法	21	引用文献	24
III 結果および考察	22	Summary	26

## I 緒 言

2004年の台風23号（以下台風0423号）は四国の中山間地に甚大な被害をもたらした。愛媛県の旧久万町（現久万高原町）においては、パイプハウス被害が大きく、福本ら（2008）<sup>1)</sup>の調査では、総数879棟のうち、全壊（パイプの破損割合が70%以上）が26棟、半壊（同20～70%）が54棟、一部損壊（同20%未満）が19棟、被覆フィルムのみ破損が207棟であった。ハウスの骨組あるいは栽培作物を強風から守る対策として、ハウス建設時の構造設計や臨時補強材の設置等の耐風対策、防風ネット設置による防風対策、作物の栽培時期や栽培作物の変更による栽培技術的対策、さらには骨組を守るためのフィルムの剥ぎ取り等があげられる。これらの対策のうち、ハウスにどの程度の風がどの方向に吹くかあらかじめ知ることができれば、臨時補強材設置の要否、防風ネットの展張位置選定やフィルム対処等応急措置の判断材料になり得ると考える。

しかし、中山間地では風の流れは地形の起伏に大

きく影響を受けており、立地条件によってハウスの強風被害の受けやすさが異なっている。このような複雑地形上の風況を評価する手法として風洞実験と数値解析がある。前者は信頼性の高いデータが得られるが、再現可能な範囲が風洞の大きさに制限される<sup>4)</sup>。一方、数値解析は結果の妥当性について検証する必要があるものの、風洞実験に比べて低コストかつ比較的短時間で複雑地形上の流れ場を予測できる<sup>4)</sup>メリットがある。現状では、風向風速予報値から強風域を予測するまでには至っていないが、近年の計算機性能の飛躍的向上により、風況シミュレーションによる強風域の予測は可能になると考える。

さらに、中山間地の気流は乱流となるため、乱流を導入した風況シミュレーションを行う必要がある。このようなシミュレーションには、RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes equation), LES (Large-Eddy Simulation) などの乱流モデルを使う方法や乱流モデルを使わず直接計算するDNS (Direct Numerical Simulation) などがある。後者は物理モデルを用いない格子解像度までを高精度に

(平成27年5月29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

<sup>1</sup> 現 農研機構九州沖縄農業研究センター  
生産環境研究領域

計算<sup>6)</sup>することが可能であるが、計算処理に膨大な時間がかかる。k-εモデルに代表されるRANSには多くの研究があり(例えば石原(2003)<sup>5)</sup>、村上ら(2003)<sup>12)</sup>、年平均風速の推定に良好な結果を得ている。福本ら(2008)<sup>1)</sup>も村上ら(2003)<sup>12)</sup>が開発した風況シミュレーションソフト(LAWEPS: Local Area Wind Energy Prediction System)を使用して、台風0423号時の中山間地における最大風速を比較的良好に推定している。しかし、パイプハウス倒壊の要因の一つである風の乱れ(豊田ら(1998)<sup>16)</sup>)や最大瞬間風速の推定はできていない。これはRANSが時間平均型の乱流モデルであることに起因すると推察される。一方、LESは格子平均型モデルであり、乱流の非定常な動きを再現でき、単純で普遍的なモデルの構築が可能<sup>3)</sup>である。LESの欠点はRANSよりも計算負荷が大きい点であるが、計算機能力の向上に伴い、この問題は大きく緩和されつつある<sup>3)</sup>。LESは複雑地形上の風況を精度良く再現しており(例えば中山・岸(2000)<sup>13)</sup>、内田・大屋(2002)<sup>17)</sup>)、LESを使った風況シミュレーションはますます発展すると考えられる。そこで、農家のフィルム対処や臨時補強材設置の要否、防風ネットの展張位置選定等の意思決定に資するために、気象・地形条件から最大瞬間風速の大きい地域を推定する手法として、乱流の非定常な動きを再現できるLESを選択し、風況シミュレーションを行うことにした。

台風0423号による局地風の風況シミュレーションは友清ら(2006)<sup>15)</sup>や大塚・川口(2007)<sup>14)</sup>が行っており、前者は佐賀県において大気安定度による風況の違いを明らかにし、後者は岡山県において高さ方向の風向の違いがおろし風に影響を与えた可能性を示唆した。しかし、このような大気安定度や高さ方向の風向の違いが、愛媛県旧久万町での強風発生要因となったか不明である。そこで、本研究では、まず風に対する地形および土地利用の影響を見るために、二つの場(圧力場と速度場)を設定し、一方の風を与えて、風況再現性を検証することにした。単純なモデルを段階的に発展させていくことは、複雑な自然現象を解明する上で重要であり、本研究はその第一段階に位置付けられる。

風況シミュレーションによって得られる平均風

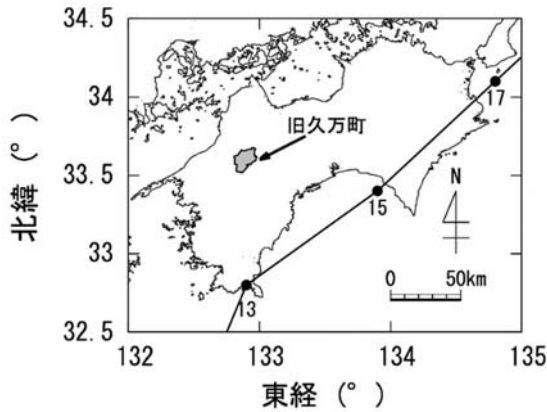
向・風速や最大瞬間風向・風速は、計算領域内の風速観測値と比較して、その結果の妥当性を検証する必要がある。2004年時の旧久万町における風速観測点はアメダス久万のみであり、しかも最大瞬間風速は測定していない。そこで、当アメダス点では台風0423号時の平均風向・風速のみ検証を行う。次に、旧久万町内における複数地点の突風率を推定し、台風0423号における同町内の推定突風率の妥当性について検証する。突風率とは最大瞬間風速を平均風速で除した値であり、平均風速と突風率を精度良く再現できれば、最大瞬間風速も真の値に近づくと推察される。しかし、突風率は平均風速のほかに風向、高さ、周囲の地形および地表面粗度などの影響を受ける。桑形(1993)<sup>10)</sup>は全国気象官署における突風率の長期変化を調べ、都市化に伴う地表面粗度の増加が突風率上昇の一要因である可能性を示唆した。しかし、都市化が進んでいない中山間地における平均風速-突風率の年ごとの違いを調べた研究は少ない。そこで、旧久万町において風速観測点(アメダス点との混同を避けるために、以降の風速観測点はこの観測点を指す)を設け、平均風速-突風率の年ごとの違いを調べる。それらの違いが認められず、かつ2004年から今日に至るまで、本地域で大規模な地形・土地利用変化がなければ、近年の平均風速-突風率の関係を2004年にも適用できると考え、本観測点の観測値から推定突風率の妥当性について検証することにした。

## Ⅱ 方 法

### 1 台風0423号および解析対象地域

台風0423号は2004年10月12日に北緯12度0分、東経151度0分で発生した<sup>7)</sup>。20日13時頃、高知県土佐清水市付近に上陸した後、北東に進み、15時過ぎに同県室戸市付近に再上陸した<sup>7)</sup>(第1図)。13、15および17時の中心気圧はそれぞれ955、955および960hPaであった<sup>7)</sup>。その後も北東に進み、21日に北緯35度9分、東経139度8分で温帯低気圧に変わった<sup>7)</sup>。

アメダス久万(北緯33度39.8分、東経132度53.7分、標高511m、風速計高さ6.5m(2004年時))においては、13時過ぎから15時まで平均風速8 m s<sup>-1</sup>



第1図 台風0423号の通過ルート

(気象庁のデータ<sup>7)</sup>を元に作成)

(図中の●は台風の中心位置、傍らの数字は2004年10月20日の時刻を示す)

以上の風が吹き、14:40~14:50に最大風速13m s<sup>-1</sup>を記録した。

被災地域である愛媛県旧久万町は愛媛県のほぼ中央に位置し、標高400~1,500mの地域である。四国山地の山々に囲まれた高原であり、その底部には水田が広がり、山の斜面は森林や棚田で構成されている。棚田では水稲のほか、パイプハウス内で主に夏秋トマトを栽培している。同町におけるパイプハウスは棟高3m程度の単棟が多い。

## 2 数値計算の方法

台風0423号時の旧久万町における風況を再現するために、LESを導入したプログラムをFortranで自作した。友清ら(2006)<sup>15)</sup>は温度場を、大塚・川口(2007)<sup>14)</sup>は高さ方向の風向の違いを数値計算に導入しているが、ここではその第一段階として風に対する地形および土地利用の影響を見るための単純な場を想定し、一方向の風を与えた。具体的には、温度の影響を考慮せず、速度場と圧力場のみの場を設定した。地球の曲率、コリオリ力および重力は考慮していない。

基礎方程式は空間粗視化した非圧縮性流れの連続の式(式1)とNavier-Stokes方程式(式2)を用いた<sup>6)</sup>。また、渦粘性近似より式3を導入し、ひずみ速度テンソル $D_{ij}$ 、渦粘性係数 $\nu_e$ 、ひずみ速度テンソルの大きさ $|D|$ 、フィルター幅 $\Delta$ には式4~7を用いた<sup>3, 6, 17)</sup>。

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\tau_{ij} + 2\nu \bar{D}_{ij}) \quad (2)$$

$$\tau_{ij} = -2\nu_e \bar{D}_{ij} \quad (3)$$

$$\bar{D}_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (4)$$

$$\nu_e = (C_s \Delta)^2 |\bar{D}| \quad (5)$$

$$|\bar{D}| = \sqrt{2 \bar{D}_{ij} \bar{D}_{ij}} \quad (6)$$

$$\Delta = \sqrt[3]{\Delta_x \Delta_y \Delta_z} \quad (7)$$

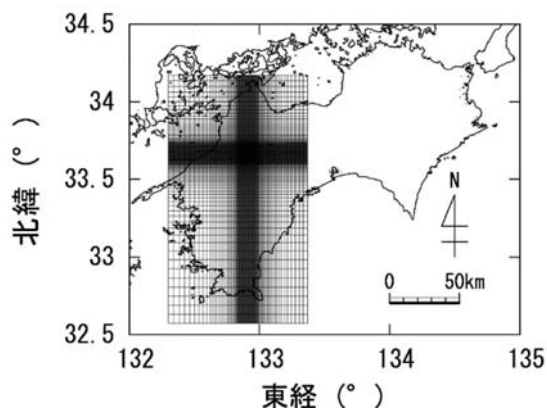
ただし、 $x, y, z$ は直交座標系の座標軸を表し、本研究ではそれぞれ南北(南向きをプラス)、東西(東向きをプラス)、鉛直方向(鉛直上向きをプラス)を示す。 $u, v, w$ はそれぞれ $x, y, z$ 方向の速度成分である。 $t, p, \tau_{ij}, \rho, \nu, C_s$ はそれぞれ時間、圧力、レイノルズ応力、流体密度、動粘性係数、Smagorinsky定数を表す。なお、これらの式に用いた変数の上の“-”はGS(Grid Scale)成分を示し、重複する添字には総和規約を適用した。フィルター幅の添字は各方向を表す。

微分方程式の離散化手法には差分法を用い、一般座標系( $\xi-\eta-\zeta$ 系)とした。ただし、 $\zeta$ 軸は鉛直方向のシグマ座標系とした。式1~7は直交座標系の式であり、これらを一般座標系に変換し、さらに無次元化して使用した。変数の配置はコロケート格子とし、速度場と圧力場のカップリングにはfractional step法を用いた。対流項は発散型(保存型)の上流差分であるQUICK法(Quadratic Upstream Interpolation for Convective Kinematics method)、それ以外の空間差分は2次精度中心差分を用いた。時間発展には2次精度Adams-Bashforth法を用い、圧力解法にはSOR法(Successive Over-Relaxation method)を採用した。SGS(Subgrid Scale)モデルには標準Smagorinskyモデル(Smagorinsky定数=0.10)を用いた。なお、当シミュレーションによる風況動態について、松田ら(2010)<sup>11)</sup>は風の剥離、逆流、渦の発生・移動・変形、再付着などの現

象発生の有無を確認している。

計算領域を第2図に示す。国土地理院発行の数値地図250mメッシュ(標高)のデータを用い、旧久万町被災地域内を密(250mメッシュ)、領域枠近くを粗になるようにメッシュを作成した。格子形成の結果、隣り合う格子幅の比は1:1.00~1.10であった。鉛直方向は高度4,000mまでを対象とし、地表近傍を密、上方境界近傍を粗とした。アメダス点の平均風速推定においては、風速計の高さが6.5mであることを考慮して、地表面上1番目の格子高( $\Delta z_1$ )を13.0m(コロケート格子では格子の中心における風速を算出する)とした。突風率の推定においては、後述の風速観測点における観測高さが4.0mであるので、 $\Delta z_1 = 8.0$ mとした。どちらも地表面上2番目の格子高( $\Delta z_2$ )を $\Delta z_1$ と同じ高さとし、上方境界に接している格子高( $\Delta z_{n-1}$ )を250mとした。次に、 $\Delta z_2 \sim \Delta z_{n-1}$ 間をVinokur(1983)<sup>18)</sup>の1次元補間関数で格子形成を行った(第3図)。格子形成の結果、鉛直方向の隣り合う格子幅の比は平均風速推定においては1:1.00~1.17、突風率の推定においては1:1.00~1.19であった。格子点数はどちらも南北、東西、鉛直方向にそれぞれ132、100、36点とした。

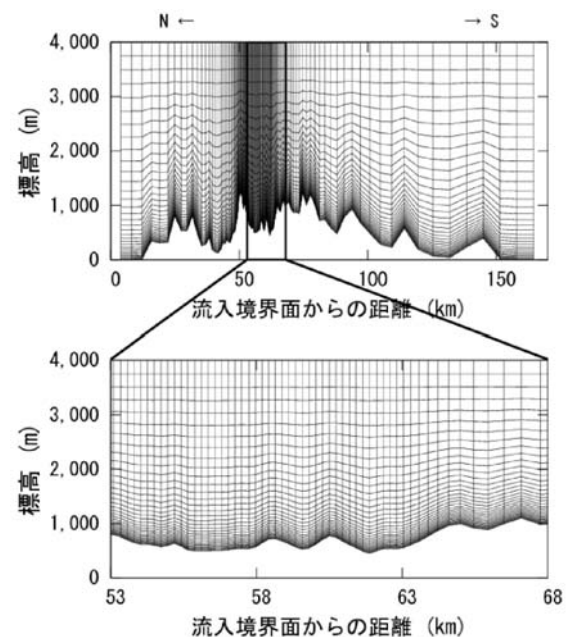
アメダス久万における最大風速発生起時(14:40~14:50)の風向記録値は北北西であった。また、松山気象官署、アメダス今治における同時刻から1時間前までの風向は北北東~北北西であったことから、北面を流入境界面、南面を流出境界面(対流流出)とする計算領域(3次元)を設定し、北から南への風をシミュレートした。東、西および上面



第2図 計算領域およびメッシュ分割図(水平方向)

の境界面はすべり条件とした。地表境界面は粘着条件とし、粗度長( $z_0$ )型対数則を適用した。流入および初期条件には、気象庁が配信しているMSM-GPV(Meso Scale Model-Grid Point Value)を使用した。アメダス久万における最大風速発生起時前後の配信されている気圧面MSM-GPVは12時と15時であったため、本研究では15時のMSM-GPVを流入および初期条件に用いた。なお、鉛直風速(鉛直p速度)は水平風速に比べて小さかったので、流入・初期条件では0とした。また、流入境界に位置する島は便宜上海面として扱った。

土地利用区分ごとの粗度長は近藤(2000)<sup>9)</sup>を参考にして、第1表の値を用いた。土地利用区分は国土交通省発行の国土数値地図(土地利用細分メッシュデータ、平成18年度(2006年度))を使用した。



第3図 鉛直方向メッシュ分割の一例

第1表 土地利用区分ごとの粗度長

土地利用	粗度長(m)
水田	0.01
その他の農用地	0.01
森林	0.03
荒地	0.01
建物交通用地	1
幹線交通用地	0.2
河川地および湖沼	$1.0 \times 10^5$
海浜	0.01
海水域	$1.0 \times 10^5$
ゴルフ場	0.01
その他の用地	0.01

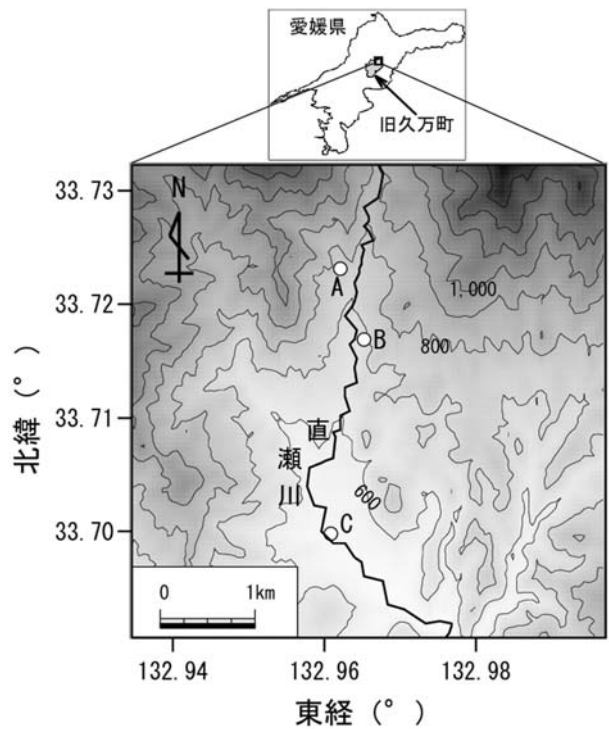
当数値地図の土地利用データ（100 mメッシュ）と第1表から、第2図の各格子内における平均粗度長を算出した。

レイノルズ数は70,000，時間刻みは平均風速推定では $8.0 \times 10^{-3}$ 秒，突風率推定では $5.0 \times 10^{-3}$ 秒とした。これは后者の $\Delta z_1$ が前者よりも小さいために，時間刻みを細かくすることで，計算の発散を回避するねらいがある。なお，これらの時間間隔で計算される風速をここでは瞬間風速として扱う。また，初期条件の影響を小さくするために，領域北面における標高2,000 m付近の水平風速（ $35.9 \text{ms}^{-1}$ ）が下流端に到達する時間である計算開始42分以降の風速値を解析対象とした（旧久万町の北および南側領域では最高標高が1,982 mであることから，2,000 m付近の風を想定した）。具体的には，計算開始42分後から72分後までの瞬間風速の平均値を平均風速とした。また，同時刻の瞬間風速の最大値を最大瞬間風速，最大瞬間風速を記録した時刻の5分前から5分後までの瞬間風速の平均値を10分間平均風速として，最大瞬間風速と10分間平均風速の比を突風率とした。

### 3 風速観測の方法

風況シミュレーションから算出した突風率の妥当性を検証するために，旧久万町内3地点において風速観測を行った。観測点は同町内を流れる直瀬川沿いに，上流から地点A，B，Cとした（第4図）。地点A（標高750 m）は森林と接している棚田に囲まれた地点，地点B（標高660 m）は棚田と川に囲まれた地点，地点C（標高545 m）は谷底に位置する広場の隅とした。観測には，ギルUVW風速計（Young, 27005R）を用いた（写真1）。本風速計はプロペラが3方向を向いており，一番下のプロペラを北，二番目を東，一番上を鉛直上方に向くように設置した。また，下から二番目のプロペラが地表面上4.0 mの高さになるようにした。電源は太陽電池を用い，0.1秒間隔でデータロガー（日置電機，8430）に瞬間値を記録した。観測期間は地点AおよびBが2010～2014年，地点Cが2011～2014年であり，冬期は積雪による故障を回避するために，風速計を撤去した。

風向に追従する風車型風向風速計と違い，本風速



第4図 風速観測点の位置図  
（図中の数字は標高を示す）



写真1 風速観測風景（左）とギルUVW風速計（右上）

計は方向固定で使用するため，軸方向以外の風の影響を受ける。この影響を緩和するために，Horstの風速補正法<sup>2)</sup>を用いて，瞬間風速をコサイン補正した。

### Ⅲ 結果および考察

#### 1 アメダス久万における平均風速の推定

流入風の境界条件に15時のMSM-GPVを用いており、その風がアメダス久万に到達する時間は平均風速 $35.9\text{ms}^{-1}$ （標高2,000 m付近の平均風速）と直線距離から単純に計算すると、28分であった。15時28分以降の平均風速記録値は時系列に4, 5,  $5\text{ms}^{-1}$ であり、推定値( $4.6\text{ms}^{-1}$ )は近い値を示した（相対誤差はそれぞれ15.0, 8.0, 8.0%）。一方、福本ら（2008）<sup>1)</sup>はアメダス点の最大風速( $13\text{ms}^{-1}$ )を推定したところ、 $13.1\text{ms}^{-1}$ であり、相対誤差は0.9%であった。しかし、これら最大風速発生起時はアメダス記録値では15時近く（14:40～14:50）であったのに対し、福本ら（2008）<sup>1)</sup>の推定値は14時であり、約1時間のズレがあった。福本ら（2008）<sup>1)</sup>が述べているように空間・時間分解能ともかなり粗いRSM-GPVデータを入力値として用いたので、風速の発生起時に多少のズレが生じたと考えられる。なお、アメダス記録値と推定値の最大風速発生起時1時間後の平均風速相対誤差は117.2%であった（それぞれ5,  $10.9\text{ms}^{-1}$ ）。比較対象となる平均風速記録値の絶対値が異なるため相対誤差の単純な比較は出来ないものの、これらを考慮すると本研究の平均風速の推定はおおむね妥当であったと考える。また、15:30～16:00の平均風向記録値はいずれも北北西であったのに対し、推定値は北西であった。福本ら（2008）<sup>1)</sup>の推定風向は北東～北であり、平均風向推定もおおむね良好であったと考える。

しかし、アメダス点における最大風速発生起時が14:40～14:50であったことから、ハウス倒壊は今回計算した時刻よりも約1時間前に起こったと考えられる。本研究では、15時のMSM-GPVを用いたが、ハウス倒壊時間帯の風況を知るためには、14時の境界条件を用いて、アメダス点における最大風速発生時の風況を再現する必要がある。これは今後の課題として残された。

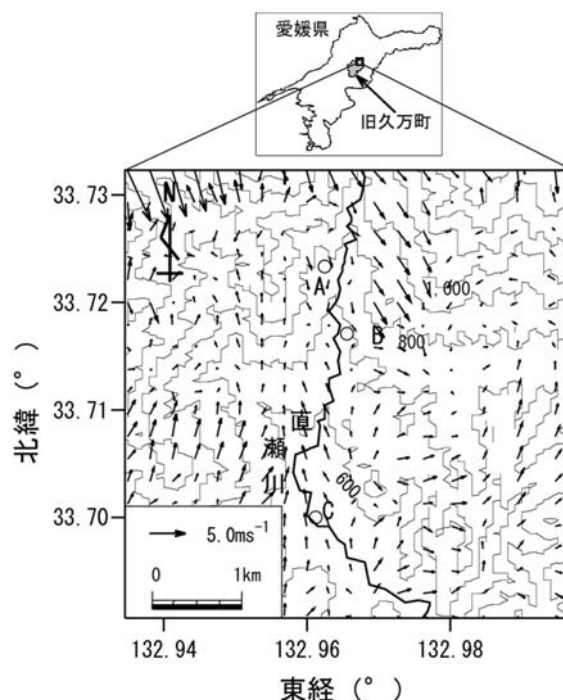
また、本研究では旧久万町内の水平メッシュを250 m間隔として計算したが、同町内の風況をより細かく推定するためには、メッシュサイズをもっと細かくする必要がある。中山間地では棚田と森林が

接している箇所が多く見られ、このような地表面粗度の急変する地点における風況再現性について検討する必要がある。

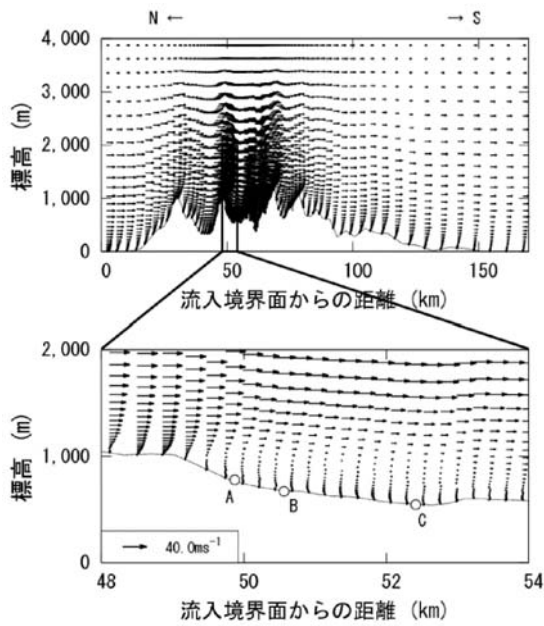
#### 2 風速観測点における突風率の推定

突風率を推定する風況シミュレーションより、地表面上4.0 mにおける風速観測点周辺の平均風向・風速水平分布図を第5図に示す。尾根（同図の北側境界付近）では北西～北北西の風が強く、その一部は地点Bの東側に流れ込んでいる様子が分かる。また、風速観測点周辺の平均風向・風速鉛直分布図を第6図に示す。主風は尾根で剥離し、尾根の後背域には弱い逆風が発生した（第5, 6図）。しかし、後背域に友清ら（2006）<sup>15)</sup>や大塚・川口（2007）<sup>14)</sup>が再現したおろし風は認められず、ハウス倒壊時の風況を再現するためには地形や土地利用の導入だけでは不十分と考えられる。これは今後の課題として残された。なお、最大瞬間風速発生時の風向は地点Aが北、Bが南南東、Cが東南東であった。

各風速観測点における10月の平均風速と突風率の分布図を第7図に示す。ただし、突風率を推定す



第5図 地表面上4.0 mにおける風速観測点周辺の平均風向・風速水平分布図  
（図中の数字は標高を示す）

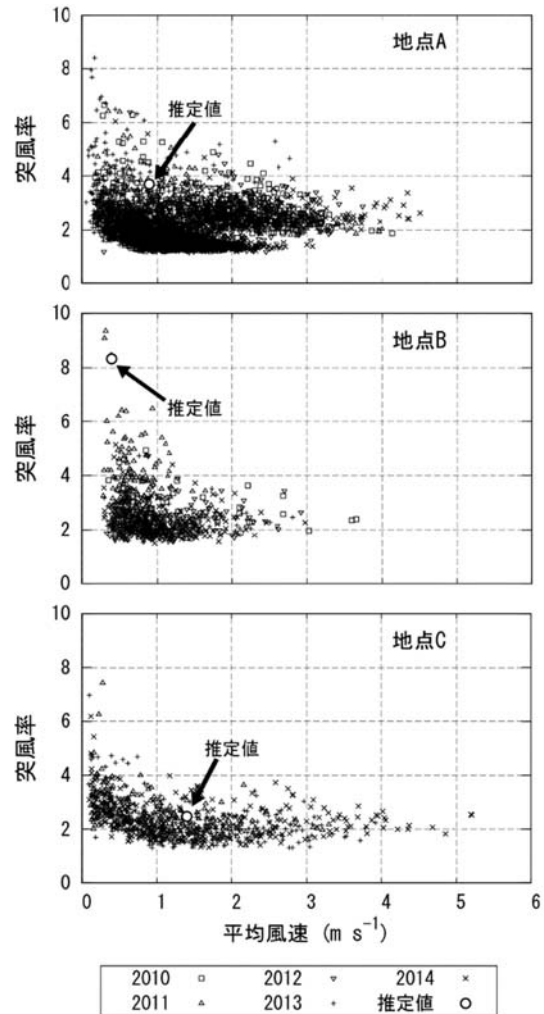


第 6 図 風速観測点周辺の平均風向・風速鉛直分布図

る風況シミュレーションの結果を受けて、地点Aは北、Bは南南東、Cは東南東の平均風速およびその時の突風率を抽出して図示している。突風率は低風速時ではばらつくが、平均風速が上昇するにつれて収束している。一般的に用いる突風率はこの収束した値を示し、その値は地上の風速計高度を  $h$ 、地表面粗度長を  $z_0$  としたとき、粗度の小さい所 ( $1/\ln(h/z_0) = 0.2$  程度) では突風率 = 1.6 ~ 2、粗度の大きい都市など ( $1/\ln(h/z_0) = 0.35$  程度) では突風率 = 1.8 ~ 3 になる (近藤 (1994)<sup>8)</sup>)。本研究の風速観測点では  $1/\ln(h/z_0) = 0.17$  であり、第 7 図中の高平均風速時の突風率は地点 A では 1.9 ~ 3.3、B では 2.4、C では 1.8 ~ 2.5 であったことから、近藤 (1994)<sup>8)</sup> よりも値が高かった。これは、地形および周囲の森林等の土地利用が影響していると推察される。

第 7 図の突風率において、各観測点ともに年による大きな違いはなかった。役場や住民の聞き取り調査によると、被災した 2004 年から 2014 年に至るまで、同観測点周辺における地形や土地利用に大きな変化はなかったため、2004 年時の分布図もほぼ同様であったとみなし、この図を用いて推定突風率の検証を行った。

数値計算による各観測点の推定突風率を第 7 図に白丸で記す。図中に示す平均風速と突風率のプロッ



第 7 図 風速観測点における平均風速と突風率の関係

ト群の形状は観測点によって異なるが、推定した突風率はそれぞれ観測値の範囲内に入っており、風況の再現性に大きな問題はなかったと考えられる。しかし、本結果では推定値が各一点であり、弱風から強風までの平均風速に対する突風率を検証した結果では無い。つまり、本研究は台風 0423 号時の 15 : 30 ~ 16 : 00 頃の突風率について検証したものであり、ハウス倒壊時間帯の最大瞬間風速を推定するためには強風時の突風率を検証する必要がある。これは今後の課題であり、風速観測期間中の強風時境界条件を用いてシミュレーションすることで、検証できると考える。

また、前項で示したように、ハウス倒壊時間帯の風況を知るためには 14 時の境界条件を用いる必要がある。この条件を用いて平均風速と突風率を推定し、福本ら (2008)<sup>1)</sup> が調査した旧久万町内被災ハ

ウス位置図から推定結果の妥当性を検証する予定である。

#### Ⅳ 摘 要

台風0423号時の愛媛県旧久万町における風況を風況シミュレーションによって再現した。シミュレーションにはLESを用い、アメダス久万における平均風向・風速および風速観測点における突風率を推定した。その結果、アメダス点における推定平均風向・風速は、おおむね妥当な値であった。各風速観測点における推定突風率はそれぞれ観測値の範囲内の結果が得られた。

しかし、ハウス倒壊時間帯の風況は再現できなかった。これには本研究で用いた時刻の約1時間前の境界条件を使用すべきと考える。また、おろし風の再現は出来なかった。これには温度場や高さ方向の風向の違いなどの導入を検討する必要がある。さらに、各風速観測点における強風時の推定突風率や地表面粗度が急変する地点の風況再現性については今後の課題として残された。

#### 謝 辞

本研究の一部は農林水産研究情報総合センターのシステムを利用して実施した。また、風速観測を行うために高岡啓一氏、JA松山市直瀬支所に場所を提供していただいた。さらに、風速計設置および撤去に近畿中国四国農業研究センター四国研究センター業務第2科技術専門職員の香川信次、関浩二、加賀宇昌宏、松崎健文、岡信光、森江昌彦、上枝博樹、塩本知、桑田将能、宮西克明の各氏にご尽力いただいた。ここに記して各位に感謝する。

#### 引用文献

- 1) 福本昌人・柴田昇平・吉村亜希子 2008. LAWEPSによる台風時のパイプハウス地点の風速推定. システム農学. 24 (2): 85 - 92
- 2) Horst, H. W. 1972. A computer algorithm for correcting noncosine response in the Gill anemometer. Ed. C. L. Simpson, Pacific Northwest Laboratory Annual Report for 1971 to the USAEC Division of Biology and Medicine II part1. Battelle Pacific Northwest Laboratories, Washington. 183 - 188
- 3) 飯塚 悟・近藤裕昭 2008. LESの基礎. 藤吉康志編集, 気象研究ノート. 219. 日本気象学会. 東京: 2 - 10
- 4) 石原 孟 2002. 複雑地形における局所風況の測定と数値予測. 日本風工学会誌. 91: 3 - 8
- 5) ——— 2003. 非線形風況予測モデルMASCOTの開発とその実用化. ながれ. 22: 387 - 396
- 6) 梶島岳夫 1999. 乱流の数値シミュレーション, 養賢堂. 東京. 144 - 218
- 7) 気象庁 2015. 過去の台風資料. <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/index.html>
- 8) 近藤純正 1994. 水環境の気象学—地表面の水収支・熱収支—. 朝倉書店, 東京. 122 - 123
- 9) ——— 2000. 地表面に近い大気の科学. 東京大学出版, 東京. 88 - 95
- 10) 桑形恒男 1993. 大型台風にもなった気象官署の突風率の長期変化. 天気. 40 (2): 91 - 97
- 11) 松田 周・柴田昇平・吉村亜希子・細川雅敏・内田晴夫 2010. 中山間地に適用できる乱流シミュレーションモデルの基礎的検討. 中国・四国の農業気象. 23: 22 - 23
- 12) 村上周三・持田 灯・加藤信介・木村敦子 2003. 局所風況予測システムLAWEPSの開発と検証. ながれ. 22: 375 - 386
- 13) 中山昭彦・岸修士郎 2000. ラージ・エディター・シミュレーションによる実地形上気流の予測, 応用力学論文集. 3: 737 - 744
- 14) 大塚清敏・川口彰久 2007. 2004年台風23号による局地風「広戸風」の大規模発生時の強風解析. 大林組技術研究所報. 71: 1 - 6
- 15) 友清衣利子・内田孝紀・前田潤滋 2006. 台風0423号通過時における佐賀県小城市周辺風況のCFD解析—風況に及ぼす大気安定度の影響—. 風工学シンポジウム論文集. 19: 205 - 210
- 16) 豊田裕道・森山英樹・瀬能誠之・前川孝昭 1998. 園芸用プラスチックハウス等の風害発生



- 時例とその特徴. 農業施設. 29 (1) : 21 - 30
- 17) 内田孝紀・大屋裕二 2002 : ネストグリッドを用いた複雑地形上の風況予測シミュレーション. 日本風工学会論文集. 92 : 135 - 144
- 18) Vinokur, M. 1983. On one-dimensional stretching functions for finite-difference calculations. J. Comp. Phys. 50 : 215 - 234

## Estimation of Average Wind Speed and Gust Factors during the Passage of Typhoon No. 0423 in a Mountainous Region in Ehime Prefecture, Japan

Shuh MATSUDA and Shohei SHIBATA<sup>1</sup>

### Summary

On October 20, 2004, Typhoon No. 0423 passed through Shikoku region of Japan between 13:00 JST and 17:00 JST. Approximately 300 greenhouses in a mountainous area formerly known as Kuma-cho in Ehime Prefecture were damaged by the typhoon. In this study, wind conditions generated by the typhoon in this region were simulated using large eddy simulation (LES). The reproducibility of wind conditions was verified by comparing the simulated values with the average wind speed recorded at the Automated Meteorological Data Acquisition System (AMeDAS) observation station in Kuma-cho and gust factors recorded at three wind observation points from 2010 (or 2011) to 2014. The LES was based on a generalized curvilinear collocated grid. For the initial and inlet boundary conditions, Meso-Scale Model Grid Point Values (MSM-GPV) were used. The average wind direction and the wind speed at the AMeDAS observation station were estimated, and the simulated results appeared to be reasonable. Wind gust factors at the three observation points were simulated and compared with the observed data from 2010 to 2014 (or 2011 to 2014). At each observation point, no significant differences were found between the gust factors during October for each year. The gust factors simulated by LES for each observation point were within the range of the measured values. However, wind conditions during the collapse of the greenhouses and fall wind that seemed to affect the collapse could not be reproduced. The results suggest that boundary conditions from an hour earlier than those used in this study should be used and gust factors at high average wind speeds at the three observation points should be verified in order to estimate wind conditions at the time when greenhouses collapsed. Further, temperature field and wind shear should be introduced into this simulation model in order to reproduce the fall wind.

# 段差のあるアスパラガス栽培圃場にも適用可能な既存散水設備を 活用した点滴灌水導入技術の開発

笠原賢明・渡邊修一・松森堅治

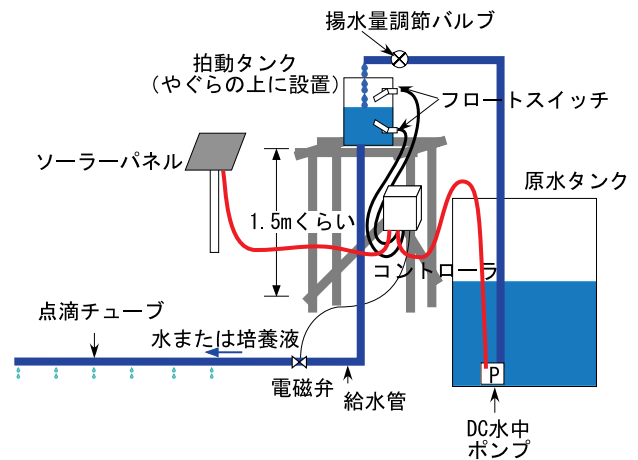
Key words : 点滴灌水, 露地栽培, アスパラガス, 棚田跡地

## 目 次

I 緒 言	27	3 水位調整タンクの利用	30
II アスパラガス栽培圃場の概要と拍動灌水装置 導入時の問題点	28	IV 拍動灌水装置導入の効果とコスト	31
III 既存配管を利用する施工方法	28	V 摘 要	32
1 対象とするアスパラガス圃場の既存灌水 装置	28	謝 辞	32
2 拍動灌水装置の導入方法	29	引用文献	32
		Summary	33

## I 緒 言

これまでに、太陽電池で駆動するポンプを利用した低コストな点滴灌水装置（日射制御型拍動灌水装置、以下拍動灌水装置）が開発され<sup>5)</sup>、露地栽培への導入が進んでいる（第1図）。点滴灌水に関しては、土壤水分を好適に保つことができる、水の節約になる、灌水同時施肥が可能で肥料の節約になる<sup>3)</sup>、細根の発達を促す<sup>2, 4)</sup>など、散水や畝間灌水など慣行の灌水方法に対する優位性がさまざまに指摘されている。その一方で、広島県内のアスパラガス栽培圃場では散水による灌水設備が広く導入されている現状がある。散水管を用いると単位時間あたりの灌水量が多くなり、水源の水圧と水量が十分でなければ送水能力の大きな動力ポンプと原水タンクが必要となる。大型の動力ポンプは高価格で、補修経費もかさみ、消費電力または使用燃料も多くなることから、アスパラガス圃場の既存の散水管を点滴チューブに置き換え、時間あたり灌水量を少なくすることはコスト削減の点からも意義深い。



第1図 標準的な拍動灌水装置の基本構成

ソーラーパネルに光が当たるとDC水中ポンプが稼働し、原水タンクから拍動タンクへの揚水が始まる。拍動タンク内の水位が上側のフロートスイッチまで上昇すると、コントローラから信号が送られ、電磁弁が開いて点滴灌水が開始される。電磁弁が開いている間も水中ポンプは稼働して揚水は継続するが、灌水量が揚水量を上回れば、拍動タンク内の水位は低下する。水位が下側のフロートスイッチまで低下するとコントローラから信号が送られて電磁弁が閉じ灌水は中断する。日射がある限り揚水は継続するため、拍動タンク内への水の貯留が再開し、水位が上昇する。この動作を繰り返す。

われわれは、広島県内のアスパラガス圃場で普及している灌水設備の既存の配管を活かしながら、拍動灌水装置を導入する方法を考案した。さらに棚田跡地など多筆からなり、かつ段差のある圃場に対して点滴灌水の導入を可能とする新たな技術を開発したので報告する。

## Ⅱ アスパラガス栽培圃場の概要と拍動灌水装置導入時の問題点

対象とした棚田跡地のアスパラガス栽培圃場には段差があり、圃場全体を一齐に灌水すると次の3つの原因によって、上段に比べ下段の灌水量が多くなる問題があった。1) 上段の圃場よりも下段の圃場の方が給水管内の水圧が高くなり散水量が多くなる。2) 灌水停止後も上段の給水管内の水が下段に移動し、散水管から水だれが起こる。3) バルブを開く、あるいはポンプを稼働して灌水を開始した直後は下段の散水管内が先に水で満たされて散水が始

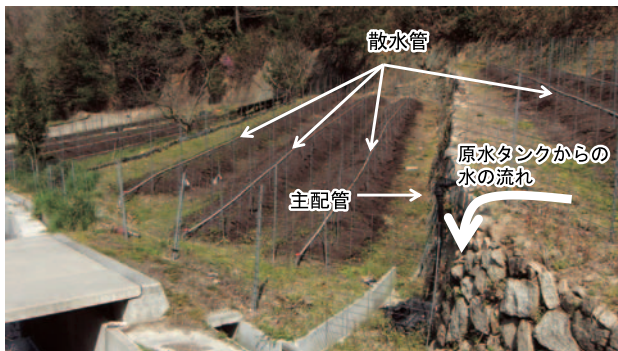


写真1 棚田跡地アスパラガス圃場の散水灌水設備の例

まるため、上段よりも下段の方が散水時間が長くなる。棚田跡地のアスパラガス栽培圃場では、段差に起因する灌水ムラを防ぐためにバルブを手動で順次開閉することで、各段一筆毎に散水灌水を行う必要があった。段差のあるアスパラガス圃場の散水灌水設備の例を写真1に示す。

高低差のある圃場でムラなく点滴灌水を行うには、水だれ防止・圧力補正機能付きの点滴資材を使用する方法が確立している<sup>1)</sup>。水だれ防止・圧力補正機能付き点滴資材で灌水するには0.1MPa(約10mの水頭圧に相当)以上の水圧が必要であるが、この圃場の水源は最上段に掘られた井戸から給水される原水タンクであり、高低差が10mに満たず、そのような高い水源水圧が得られない(写真2)。送水圧を確保するために動力ポンプを導入する場合、栽培規模に見合った能力の高価なものが必要となる。

また、圃場が細長く、点滴チューブを単純に畝方向(長い方向)に設置した場合、チューブ内には水が流れるときの壁面抵抗が大きくなる。拍動灌水装置のように1.5m程度の水頭圧(約0.015MPa)では、壁面抵抗による水頭損失が無視できないレベルとなり、点滴チューブ末端では水圧不足になり、吐出量が不足して灌水不足になることも起こり得る。

## Ⅲ 既存配管を利用する施工方法

### 1 対象とするアスパラガス圃場の既存灌水設備

対象とした圃場の既存灌水設備は次のように構成

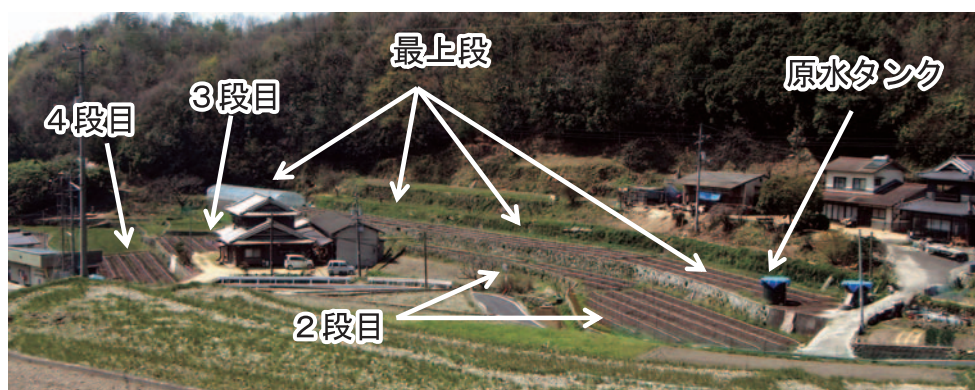


写真2 拍動灌水装置を導入する前の対象圃場の全景

ゲートバルブで区切られている灌水区画は、最上段が4区画(1番西(左)はハウス)、2段目が2区画、3段目と4段目は1区画である。

されている。まず、最上段の圃場にある井戸から地上の原水タンクに井水を汲み上げ貯留する（写真2）。貯留した原水は送水ポンプで地下に埋設した径50mmのポリエチレン管（PE管）を通して圃場全体の各区画に送水される。この配管を主配管と称す

ることとする。区画ごとの配管分岐箇所にゲートバルブが設置されており、バルブの開閉により区画ごとに、それぞれ独立に灌水できるようになっている（写真2、3）。各区画に導かれた配管は畝の端で地中から硬質塩化ビニル管（塩ビ管）によって地上に立ち上がりエルボ、ボールバルブを介して外径40mmの散水管に接続されている（写真4）。このボールバルブの開き具合によって、同時に灌水する区画ごとの散水量を調節していた（写真5）。

地下に埋設してある主配管は径50mmであり、内容積は非常に大きい。しかし、原水送水ポンプが地上にあり、かつ、散水管も畝の端から立ち上がっているという構造上、散水を停止している時間も常時水に満たされている。ただし、段の異なる区画を区切るゲートバルブを開放すると、主配管内の水もサイフォンによって下段へ流去する可能性がある。

なお、この形式の灌水設備は広島県内の中山間地のアスパラガス栽培圃場で多数認められる。

## 2 拍動灌水装置の導入方法

既存の配管を活かすため、散水管の接続部分を異径ソケットで減径し、散水管を点滴チューブに置き換えた（写真6）。スタートコネクタをY字にして1畝に対し2条点滴チューブを設置した。段差のある圃場に点滴灌水を導入する場合には、異なる段を区切るゲートバルブを常時閉じた状態にして、主配管をそのまま利用する（灌水ムラをなくす方法については後述）。拍動タンクには、点滴チューブまでの管内を一気に水で満たすという役割があるが、主



写真3 圃場を区切るゲートバルブ



写真4 地下配管からの立ち上がり



写真5 ボールバルブによる散水量の調節  
バルブの開き具合で散水量を調節していた。



写真6 散水管を点滴チューブへ置き換えたところ  
万一、導入した拍動灌水装置が機能しなかった場合に備えて、従来の散水灌水に戻ることができるようにしてある。

配管内は水に満たされているため、点滴チューブ内の総容積より、やや大きめの拍動タンクサイズで十分である (第1表)。

入手しにくいPE管の資材を用いて拍動タンクから主配管へ水を導入する必要はなく、散水管の接続部分から水を導入することで、入手が容易な塩ビ管用配管部材で施工可能である (写真7)。主配管は太く、流速が遅いので、壁面抵抗による水頭損失が小さい。このため、長い距離でも区画の末端まで水圧が伝わる。すなわち、主配管の活用により、細長い形状の圃場であっても、拍動タンクの高さ由来の1.5mの水頭圧で圃場末端まで点滴灌水が可能になる。

### 3 水位調整タンクの利用

小型のタンクとボールタップを水位調整タンクに使用することで、段差のある圃場間の水圧差に起因する灌水ムラを解消できる。構成は第2図のとおりである。水位調整タンクに必要な容量は第1表に示した拍動タンクサイズと同等である。水位調整タンクからの灌水は、標準的な拍動灌水装置に用いるものと同型の電磁弁の開閉で行う (開閉方法は後述)。最上段の圃場は標準的な拍動灌水装置を設置する。上から2段目以降の圃場にはその1段上の圃場に設置した水位調整タンクから灌水する。水位調整タンクは、灌水する段の点滴チューブから1.5mくらいの高さになるように設置する。水位調整タンクから

第1表 点滴チューブの総延長と拍動タンクに必要な容量

点滴チューブの種類 (商品名)	ハイドロゴル	ストリームライン
内径 (カタログ値)	1.05 cm	1.62 cm
1 m あたりの容積	0.0866 L	0.206 L
点滴チューブの総延長 (面積の目安*)	満水位センサーと空水位センサーの間に最低限必要な容積 (A) ***	
100 m (1.0 a)	8.66 L	20.6 L
200 m (2.0 a)	17.3 L	41.2 L
300 m (3.0 a)	26.0 L	61.8 L
400 m (4.0 a)	34.6 L	82.4 L
500 m (5.0 a)	43.3 L	103.0 L

※畝間 2 m, 1 畝につき点滴チューブ 2 条を設置した場合。  
 ※※拍動タンクの大きさは (A) の 1.5~2 倍もあれば十分である。

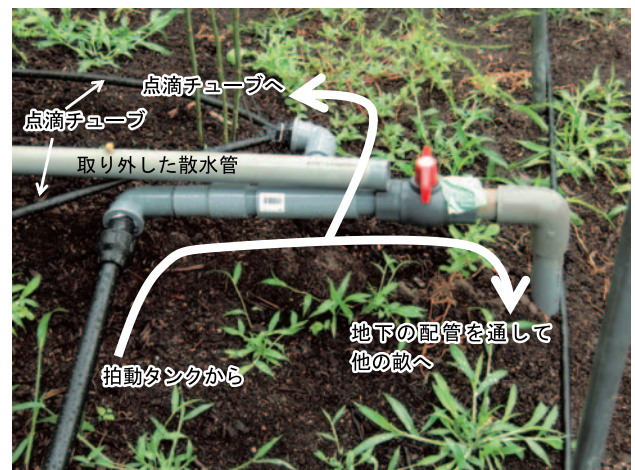
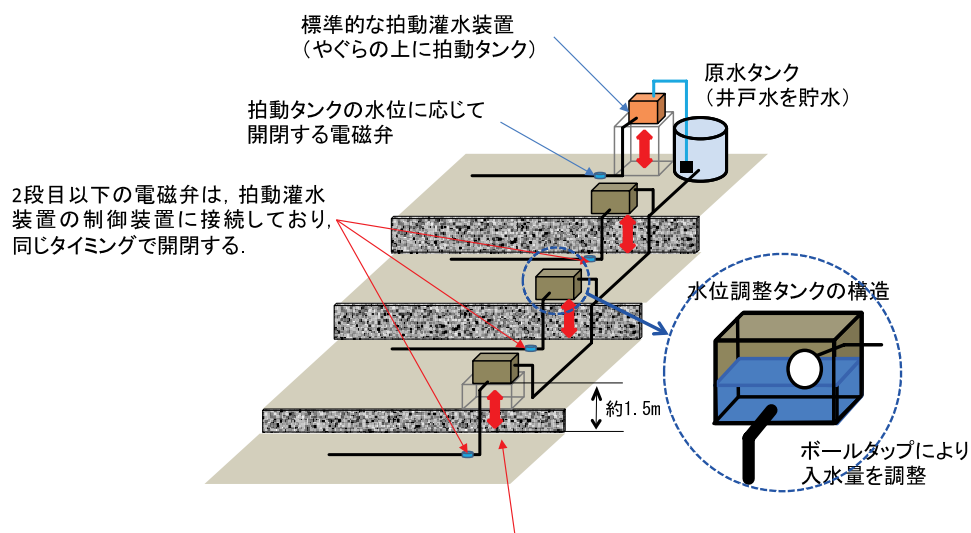


写真7 拍動タンクからの導入部



灌水面から水位調整タンクまでの高さは、拍動タンクの高さと一致させる。高さが足りないときは、適当な足場で嵩上げる。

第2図 棚田に対応した拍動灌水装置の構成

主配管への水の導入は最上段と同様、散水管の接続部分から行う。各段の主配管を区切るゲートバルブは常時閉じた状態にしておき、主配管を通して段をまたいで水が移動しないようにする。

水位調整タンクへは径25mmのPE管を接続し、原水を導く。水が流入してタンク内の水位が上昇するとボールタップにより流入が停止する。

各段の複数の電磁弁は1つのコントローラーで同時に開閉することができる。最上段の標準的な拍動灌水装置の電磁弁と、2段目以降の電磁弁は並列にコントローラーに接続することで連動し、日射対応の一斉灌水が可能である。最上段の拍動タンクが満水となり、最上段の電磁弁が開くとそれに連動して、2段目以降の電磁弁も開く。最上段で灌水が始まるのと同時に、2段目以降でも水位調整タンクから点滴チューブに水が流れ出して灌水を開始する。水位調整タンク内の水位が低下し、ボールタップが開いて水源からタンクへの水の流入が開始する。タンク内の水位に応じてボールタップからタンクへの流入量が変わり、点滴チューブへの水の流出量と釣り合ったところでタンク内水位は一定になる。なお、点滴チューブの総吐出量よりも、ボールタップから水位調整タンクへの最大流入量が多いことをあらかじめ確認しておく必要がある。

最上段は標準的な拍動灌水装置であり、拍動タンク内にある2つのフロートスイッチのうち、下側のフロートスイッチまで拍動タンク内の水位が低下すると電磁弁が閉じ、それに連動して2段目以降の電磁弁も閉じることで灌 waters が停止する。

以上により、圃場間の段差に由来する水圧を利用し、既存散水設備を活用して、すべての圃場を同時に点滴灌水できる。

#### IV 拍動灌水装置導入の効果とコスト

拍動灌水装置導入年の、アスパラガスの夏芽収量は10a換算で655kgであった。これは当該地域の普及機関関係者によれば、問題ない収量・品質水準とのものである。ただし、収量データを得るには複数年を要し、条件を厳密に揃えることのできない栽培現場においては従来の散水灌水との比較が困難である。このため現時点で収量・品質など生産物も含め

た経済的効果を示すことは難しい。そこで、装置導入の判断の参考として対象圃場における明白な効果について述べる。

灌水作業の労力軽減効果は次のとおりである。散水灌水作業の所要時間は実測していないため、次のように見積もる。圃場の栽培面積は約18aであり、原水タンクの容量は約8m<sup>3</sup>である。揚水可能量の制約により原水タンクを満水にするためには1日を要する。散水管の灌水量は1分あたり0.7～0.9mmであることから、仮に全圃場に同時に散水灌水を行うと毎分1.3～1.6m<sup>3</sup>の灌水量、すなわち5～6分の灌水時間で原水タンクが空になる。したがって1回の灌水時間は6分が上限である。対象圃場では、動力ポンプの性能上の制約と、灌水ムラ防止のため灌水を8つの区画に分けて順次灌水を行っていた。各区画ごとに順次灌水を行っても6分ずつの灌水時間で原水タンクはほぼ空になる。灌水時間6分に区画数の8を乗じて48分、区画を区切るバルブの開閉作業のために、各バルブへの移動時間を含めて8分を要する(写真2参照)。よって、1回の灌水作業に56分、およそ1時間を要していたと見積もることができる。灌水作業が必要な日数を年間50日だとすると約50時間の労働時間である。この値について、当該地域担当の普及関係者からもおおむね妥当との意見が得られている。拍動灌水装置の導入によってこの時間が不要となる。さらに、散水中の区画は収穫、除草、病害株の除去などの作業ができないのに対して、点滴灌水中はこれらが可能であり、作業効率の改善が期待できる。

続いて、前述した効果を得るために必要なコストについて述べる。対象圃場への拍動灌水導入資材費は、約60万円である。償却期間を7年とすると年あたり9万円弱、作業者の労賃が時給1,800円を超えるのであれば、労力軽減効果は装置導入コストに見合うと判断できる。また、散水施設にタイマ、電磁弁などを追加することで自動で散水灌水を行えるようにした場合には、資材費を25～40万円程度(資材の選択による)に抑えることも可能である。ただし、散水灌水用の大型ポンプを更新する場合には、10～15万円程度要するのに対して、拍動灌水装置に用いるDC水中ポンプは1.3万円程度であり、加えて故障時に備え、予備機を用意しておく経済的

負担への抵抗感も少ない。なお、ソーラーパネルの寿命はDC水中ポンプに比べて十分に長いと考えられている。これらのことを考慮すると、労力軽減のためには、ポンプのメンテナンスや更新費用まで含めた場合、散水灌水へのタイマ制御導入と、拍動灌水装置導入とにコスト的な差はほとんどなくなる。従って、散水灌水に比べてどの程度の増収、増益が見込めるかで、拍動灌水装置を導入するかどうか判断することになる。

最後に、拍動灌水装置の導入コストを、既存設備を利用しなかった場合と比較する。散水灌水では、前述したように灌水できる面積は井水の揚水可能量だけでなく、原水タンクの容量にも制約される。このため大容量のタンクが必要で、対象圃場では約8 m<sup>3</sup>のタンクが用いられている。拍動灌水装置を導入する場合には、時間あたり灌水量が散水よりも少ないため、既存の原水タンクをそのまま利用しても同時に灌水できる面積が現状より下回ることはない。論拠は次のとおりである。仮に、丸1日かけて少量ずつ灌水を行えば、原水タンクは不要であるが、時間あたり灌水量が揚水量を上回る場合、灌水を休止している間の揚水を原水タンクに貯留する必要がある。拍動灌水の場合、日中のおよそ6時間かけて灌水することになるので、残りの18時間分の揚水を貯留することになる。必要な原水タンク容量は1日あたり揚水可能量の18/24、すなわち約6 m<sup>3</sup>と概算できる。必要な原水タンクの容量が6,000 Lだとすれば価格は50万円程度である。さらに既存地下配管を利用せず、圃場末端まで灌水するために水頭損失の少ない40mmのPE管を用いてあらたに配管を行った場合には、少なくとも5万円程度の追加の資材費が必要である。対象圃場では既存散水設備の活用により、拍動灌水装置の導入コストを約55万円節約したことになる。

## V 摘 要

水位調整タンクを使用し、水頭圧を調節すること

で、段差がある多筆圃場でも日射に対応した点滴灌水を行うことができる手法を開発した。広島県で広く普及している散水設備のあるアスパラガス栽培圃場において、既存の配管の活用により資材コストを抑制しながら拍動灌水装置を導入できる。

## 謝 辞

ここで紹介した技術の一部は、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「高齢・障がい者など多様な主体の農業参入支援技術の開発」において開発されたものである。本技術の検証にあたり、広島県東部農業技術指導所の原敬和氏、檜垣慶史氏、農事組合法人「あすら」にご協力いただいた。装置の設置作業には近畿中国四国農業研究センターの山崎孝昭氏の協力を得た。感謝の意を表する。

## 引用文献

- 1) 東出忠桐 2010. わが国の中山間傾斜地における施設園芸作物の安定多収生産に向けての養液栽培技術の開発 近中四農研報 9 : 37 - 98
- 2) 笠原賢明・渡邊修一・吉川弘恭・柴田昇平 2013. 夏秋トマト栽培への循環式・かけ流し式ハイブリッド養液栽培装置の適用 近中四農研資料 10 : 1 - 12
- 3) 六本木和夫・加藤俊博 2000. 野菜・花卉の養液土耕. 農文協, 東京. 野菜の養液土耕の実際 23 - 30
- 4) 渡邊修一・笠原賢明・松森堅治・吉川弘恭 2014. 根の簡易調査法の提案と露地ナス圃場における調査事例 土肥誌 85 : 519 - 524
- 5) 吉川弘恭・中尾誠司 2010. ソーラーポンプを利用した拍動自動灌水装置の組み立て方法 近中四農研資料 7 : 21 - 31



## Development of A Procedure to Introduce Drip-Irrigation to Terraced Fields of Asparagus

Yoshiaki KASAHARA, Shuichi WATANABE and Kenji MATSUMORI

### Summary

We developed a procedure that enable solar-radiation-dependent drip-irrigation system to use on terraced fields of asparagus by using water level adjustment tanks to control the hydraulic pressure in drip tube. The system can be introduced to asparagus fields while restraining the material cost by utilization of the existing pipes for sprinkler that are widespread facilities in Hiroshima prefecture.



# キウイフルーツの品種および成熟段階の違いが 抗酸化成分に及ぼす影響

阿部大吾

Key words : キウイフルーツ, 成熟, 抗酸化能, H-ORAC, ポリフェノール, カロテノイド

## 目 次

I 序 論	35	いがカロテノイド含有量に及ぼす影響	41
II キウイフルーツの品種および成熟段階の違いが抗酸化能・ポリフェノール含有量に及ぼす影響	36	1 緒 言	41
1 緒 言	36	2 材料および方法	42
2 材料および方法	36	3 結 果	42
3 結 果	38	4 考 察	44
4 考 察	40	IV 総合考察	44
III キウイフルーツの品種および成熟段階の違い		謝 辞	45
		引用文献	45
		Summary	48

## I 序 論

キウイフルーツ (kiwifruit, 学名: *Actinidia deliciosa* あるいは *Actinidia chinensis*) は, マタタビ科マタタビ属の雌雄異株の落葉つる性植物の果実である。元々は中国の長江南部に自生する獼猴桃 (ビコウトウ) と呼ばれるシマサルナシ果実の種子が, 1904年にニュージーランドに導入され, その実生苗から改良されたものである。獼猴桃は, 現在も利尿, 止血, 食欲不振に効果のある生薬として利用されている。ニュージーランドに導入された当初は Chinese gooseberry (シナスグリ) と呼ばれており, キウイフルーツと呼ばれるようになったのは1950年代のことである。ニュージーランドの国鳥にもされている鳥であるキウイが名前の由来だという説が一般的であるが, 諸説あり真偽は定かではない。

日本国内では, キウイフルーツは1970年代にミカンの転換作物として注目を浴び, 栽培面積が急増

し, 1980年代にはキウイフルーツブームとなった。しかし, 栽培に不適な園地も多かったことから, 不安定な品質による価格低下などが避けられず, 園地の淘汰が進み栽培面積の減少が続いているが, 1990年代に入り高品質化が進み, 販売価格は順調に上昇している。2009年農林水産省統計によれば, 2000年に国内栽培面積が2,960ha, 出荷量が36,700トンであったが, 2009年には2,370ha, 29,900トンとなっている。生産量順位は愛媛25%, 福岡18%, 和歌山10%, 神奈川5%, 静岡5%の順で, この上位3県で日本国内の50%以上の生産を占めている。

一方海外からの輸入は1964年に始まって以降, 10年間で10倍以上に増加した。近年の輸入の大部分がニュージーランドからである。2002年に黄肉で甘味の強い, ゼスプリ社のゴールド種「ホート16A」の輸入が始まり, 2000年の輸入量は41,400トンであったが2009年は58,500トンと約1.5倍, 輸入額は2000年に93億2,673万円, 2009年には210億4,580万円と約2倍になっている (財務省貿易統計)。

(平成27年7月14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  
作物機能開発研究領域

2009年の輸入割合はニュージーランドが98%であり、ニュージーランド産が5月～12月、国産が12月～4月と年間を通して流通している。

近年は、ニュージーランドのゼスプリ社と契約した愛媛県と佐賀県の農家が「ヘイワード」(*Actinidia deliciosa*)と「ホート16A」(*Actinidia chinensis*)を栽培しているが、全国的には「ヘイワード」が広く栽培されている。国内では香川県農業試験場が1970年代からキウイフルーツの品種育成に取り組んでおり、1987年に大玉で糖度の高い「香緑(こうりょく)」(*Actinidia deliciosa*)、1999年に糖酸のバランスの良い「讚緑(さんりょく)」(*Actinidia deliciosa*)とサルナシの血を引く小粒の「香粹(こうすい)」(*Actinidia arguta*)、2005年には大玉で黄色い「さぬきゴールド」(*Actinidia chinensis*)を品種登録している。ほかに、静岡県的小林氏が中国系キウイフルーツから育成・選抜した、果肉の中心部が赤い「レインボーレッド」(*Actinidia chinensis*)などがある。近年のゼスプリ社による販売促進効果により市場は拡大されつつあり、国産卸売価格は245円/kg(2002年)から387円/kg(2012年)、外国産卸売価格は379円/kg(2002年)から440円/kg(2012年)と高くなっている。しかし、キウイフルーツは栽培が始まって約100年しか経っておらず、「ヘイワード」以外の品種が流通し始めたのは近年である。キウイフルーツの品質や機能性に関する研究は他の果樹に比べると極端に少なく、味や色調など特徴的な品種が登場しても、キウイフルーツの持つ健康機能性や新品種の成分的特徴など基礎的な知見が不足している。

そこで本研究では、近年育成されたキウイフルーツにおける抗酸化能の品種間差異や追熟による抗酸化成分の変動を明らかにすることを目的とした。

## Ⅱ キウイフルーツの品種および成熟段階の違いが抗酸化能・ポリフェノール含有量に及ぼす影響

### 1 緒言

キウイフルーツは、ビタミン、ポリフェノール、カロテノイド、フィトステロールなどさまざまな抗酸化化合物を含有しており<sup>5)</sup>、特にポリフェノールは果物の中でも多いことが知られている<sup>31)</sup>。また、

キウイフルーツの摂取により血中の酸化ストレスマーカーが減少し<sup>9)</sup>、*in vitro*においても抗酸化活性を示すことが報告されている<sup>4, 11)</sup>。近年、生体内で発生する過剰な活性酸素種(Reactive Oxygen Species: ROS)に誘導される酸化ストレスが、糖尿病<sup>6)</sup>などの生活習慣病や老化の原因のひとつとして認識されており、抗酸化成分の摂取による酸化ストレスの軽減は生活習慣病の予防に有効であることが報告されている<sup>2, 13)</sup>。これらのことから、キウイフルーツの抗酸化能は着目に値すると考えられる。しかし、過去の多くの報告が一般品種「ヘイワード」によるもので、近年、香川県で育成された国内栽培品種「香緑」、「香粹」、「さぬきゴールド」や赤い果肉が特徴的な「レインボーレッド」などについては評価が進んでおらず、追熟による変動についても明らかにされていない。そこで本研究では、キウイフルーツ5品種の適熟果実について抗酸化能およびポリフェノール含有量を測定するとともに、3品種については追熟による変動についても調査を行うこととした。

抗酸化測定法にはORAC(oxygen radical absorption capacity)法、DPPH(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)法、TRAP(total radical trapping antioxidant parameter)法、FRAP(ferric reducing ability of plasma)法など多くの測定法が存在する。アメリカ農務省は果実・果物などのORAC値を公表するなど、ORAC法は標準的な測定法であり、日本国内でもAOU研究会では、ORAC法を抗酸化測定における標準法の有力候補として選定している(<http://www.antioxidant-unit.com/>)。ORAC法はAAPH(2,2'-azobis(2-amidinopropane) dihydrochloride)から誘導されるペルオキシラジカルによってフルオレセインが分解される過程を、蛍光強度を経時的に測定することで追跡し、抗酸化物質によるフルオレセインの分解阻害能を相対的に算出する方法である。本研究では、抗酸化能の測定にORAC法を採用し、親水性成分の評価にH(hydrophilic)-ORAC値を用いる。

### 2 材料および方法

#### 1) 材料

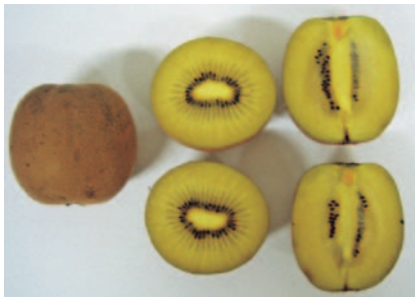
「香緑」、「香粹」、「さぬきゴールド」、「ヘイワー



第1図 適熟段階の「香緑」果実



第2図 適熟段階の「香料」果実



第3図 適熟段階の「さぬきゴールド」果実



第4図 適熟段階の「ヘイワード」果実



第5図 適熟段階の「レインボーレッド」果実



第6図 適熟段階の果実全5品種

ド」の果実は、2009年10月に香川県農業試験場府中分場より入手した。「レインボーレッド」の果実は、2009年10月に愛媛県西条市の農家から購入した。入手したキウイフルーツ果実は収穫直後の果実であり、追熟処理を行っていない。「香緑」、「香料」、「さぬきゴールド」、「ヘイワード」、「レインボーレッド」の平均重量は、それぞれ134 g, 52 g, 155 g, 100 g, 78 gであった。果実はポリエチレン袋に入れ、1,000ppmエチレン、16℃で追熟処理を行った。エチレン処理前の果実を処理0日目、処理開始後2, 4, 6, 8日目の果実を追熟日数2日目、

処理4日目、処理6日目、処理8日目とし、果皮を除去するとともに、約5mm角にカットし液体窒素で凍結後、-80℃で保存した。適熟段階（8日目）の果実の写真を第1～6図に示した。

## 2) 試薬

Folin-Ciocalteu 試薬およびフルオレセインはSigma-Aldrich社 (MO, USA) から購入した。TroloxおよびAAPHは和光純薬 (京都) から入手した。抽出に用いる溶媒はすべて特級以上を用いた。

## 3) 抽出方法

凍結保存したキウイフルーツの一部を凍結乾燥し

た。凍結乾燥後、重量を測定し、マルチビーズショッカー（安井器械、大阪）で粉碎した。粉碎した粉をガラス試験管に500mg秤量し、抽出用サンプルとした。抽出はAWA（アセトン：水：酢酸 = 70：29.5：0.5）8 mlで行い、1分間超音波処理後、10分間振とうし、遠心分離（2,000rpm, 5分, 室温）した後、上清を25mlメスフラスコに移した。これを3回繰り返し行い、最後にAWAで25mlに定容したものを抽出液とした。

#### 4) ポリフェノール含有量の測定

抽出液のポリフェノール含有量は改変したFolin-Ciocalteu法<sup>33)</sup>を用いて測定した。測定には96ウェルプレートを使用し、各ウェルに試料抽出液12 $\mu$ l, 水72 $\mu$ l, 2倍希釈したFolin-Ciocalteu 試薬90 $\mu$ lを加え、3分間攪拌した。さらに90 $\mu$ lの7.5% (w/v)炭酸ナトリウム液を加え混合後プレートシールをして遮光で1時間置いた後、マイクロプレートリーダーで765nmの吸光度を測定した。ポリフェノール含有量は (+) -カテキン等量で示した。

#### 5) H-ORAC値の測定

H-ORAC値の測定は渡辺ら<sup>29)</sup>の方法に準じて行い、抗酸化能はTrolox等量で表した。キウイフルーツ抽出物は、75mMリン酸カリウム緩衝液(pH7.4)で希釈した後、測定に供試した。TroloxはAWA溶液で溶解し、キウイフルーツ抽出液と同様に希釈し、測定に用いた。96穴マイクロプレート(Becton Dickinson, NJ, USA)に希釈した抽出液、

20 $\mu$ l Trolox溶液およびリン酸カリウム緩衝液で溶解した200 $\mu$ lフルオレセイン溶液(94.4nM)を加え、37 $^{\circ}$ Cに加熱した蛍光プレートリーダー(Ex 485nm, Em 530nm)を用い、蛍光強度を底面から測定した。さらに、リン酸カリウム緩衝液で溶解したAAPH溶液(31.7mM)を75 $\mu$ l加えて振とう後、2分間隔で90分間経時変化を測定した。蛍光強度変化グラフの曲線下面積(AUC: Area Under the Curve)を算出し、ブランクのAUCを差し引いた値(net AUC)を求めた(第7図)。Trolox標準液の濃度を横軸に、net AUCを縦軸に検量線を作成し、希釈した試料のH-ORAC値をTrolox相当量(TE)として算出した。実験はすべて5反復で行った。

#### 6) 総アスコルビン酸含有量の測定

総アスコルビン酸測定の前処理には佐藤ら<sup>23)</sup>の方法を用い、ジチオスレイトールによるデヒドロアスコルビン酸の還元後、定量を行った。HPLC分析条件は、カラムはYMC-ODS-AM(4.6 $\times$ 250mm)、移動相は0.2Mリン酸緩衝液(pH 2.3)、流速1.2 ml/分、カラム温度40 $^{\circ}$ Cとした。

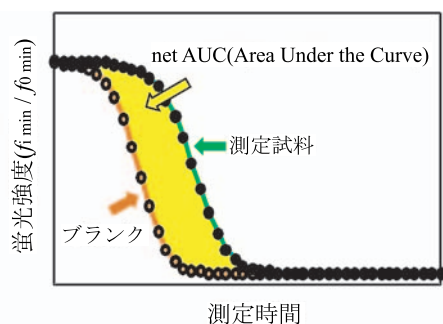
#### 7) 統計解析

結果は、反復の平均値 $\pm$ SEで示し、Tukeyの多重検定により有意差検定を行った。

### 3 結果

#### 1) H-ORAC値の品種間比較と追熟による変動

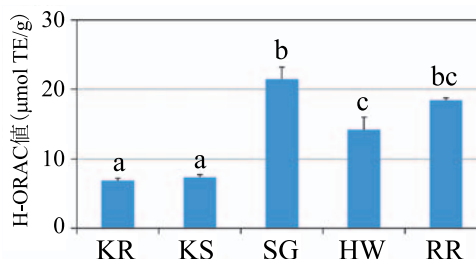
第8図に示すとおり、エチレン処理8日目のキウ



第7図 ORAC値の算出方法図

$$AUC = (0.5 \times f_{8 \text{ min}} + f_{10 \text{ min}} + f_{12 \text{ min}} + \dots + f_{88 \text{ min}} + 0.5 \times f_{90 \text{ min}}) / f_{0 \text{ min}} \times 2$$

$f_{i \text{ min}}$  : i分後のフルオレセインの蛍光強度



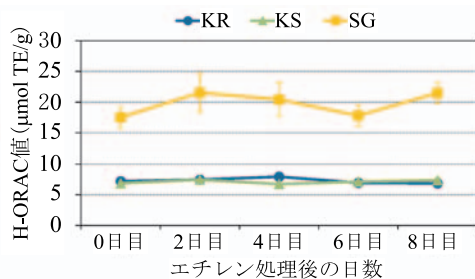
第8図 適熟キウイフルーツ果実におけるH-ORAC値の品種間差異

KR:「香緑」、KS:「香粹」、SG:「さぬきゴールド」、HW:「ヘイワード」、RR:「レインボーレッド」

注) Tukeyの多重検定により、品種ごとに異なるアルファベット間には5%水準で有意差があることを示す。

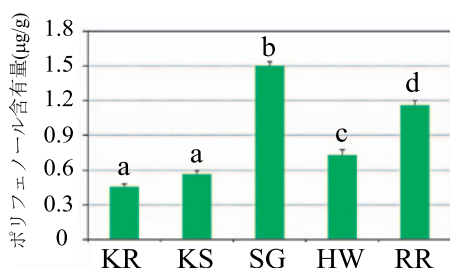
イフルーツについて、H-ORAC値を測定した。「香緑」のH-ORAC値は $6.87\mu\text{mol TE/g}$ 、「香粹」は $7.37\mu\text{mol TE/g}$ と近い値を示した。一方、「さぬきゴールド」は $21.49\mu\text{mol TE/g}$ と他の品種と比較して有意に高く、抗酸化能が顕著に高いことが示唆された。最も一般的に栽培されている「ヘイワード」のH-ORAC値は $14.16\mu\text{mol TE/g}$ であり、「香緑」、「香粹」より高値を示した。また、果肉が赤色を呈する「レインボーレッド」は、 $18.40\mu\text{mol TE/g}$ と5品種の中で二番目に高く、「ヘイワード」と同程度の抗酸化能であることが明らかになった。

次に、「香緑」、「香粹」、「さぬきゴールド」の3品種については、追熟による抗酸化能の変動を調査するため、エチレン処理後2日ごとに8日目まで採取した果実についてH-ORAC値を測定した。第9図で示すように、「香緑」および「香粹」果実のH-ORAC値は追熟前(0日目)から適熟期(8日目)までほぼ一定であり、有意な変動は見られなかった。「さぬきゴールド」は、追熟初期にやや増加する傾向を示したが、その変動は小さく、有意な差は見ら



第9図 成熟段階の違いがH-ORAC値に及ぼす影響

KR:「香緑」, KS:「香粹」, SG:「さぬきゴールド」



第10図 適熟キウイフルーツ果実におけるポリフェノール含有量の品種間差異

KR:「香緑」, KS:「香粹」, SG:「さぬきゴールド」, HW:「ヘイワード」, RR:「レインボーレッド」

注) Tukeyの多重検定により、品種ごとに異なるアルファベット間には5%水準で有意差があることを示す。

れなかった。以上のことから、いずれのキウイフルーツでも追熟により抗酸化能は低下することなく維持されていることが明らかになった。

## 2) ポリフェノール含有量の品種比較と追熟による変動

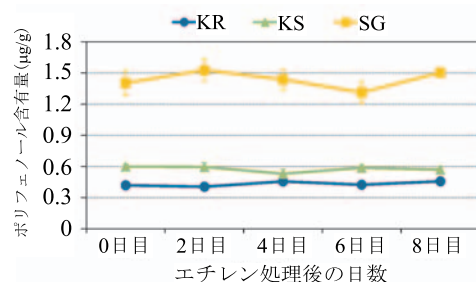
H-ORAC値に大きな影響を与えることが推定されているポリフェノール含有量を、H-ORAC値を測定したサンプルすべてにおいてFolin-Ciocalteu法により測定した。適熟期(8日目)の5品種のポリフェノール含有量は、H-ORAC値と同様に、「さぬきゴールド」、「レインボーレッド」、「ヘイワード」、「香粹」、「香緑」の順に高く、含有量の違いもH-ORAC値とほぼ一致していた(第10図)。さらに、ポリフェノール含有量の追熟に伴う変動についても、H-ORAC値と同様に大きな変動はなかった(第11図)。

## 3) 総アスコルビン酸含有量の品種間差異

第12図に示すとおり、適熟期(8日目)の5品種の総アスコルビン酸含有量はH-ORAC値と同様の傾向を示したが、「さぬきゴールド」は他の品種と比較して顕著に含有量が高かった。

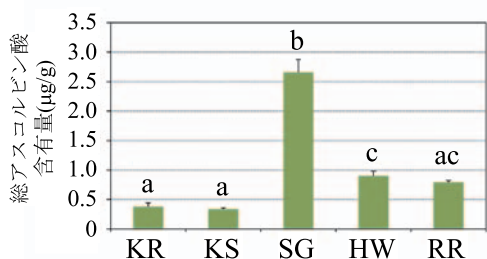
## 4) H-ORAC値とポリフェノール含有量の相関

H-ORAC値とポリフェノール含有量の相関関係について調査を行った。それぞれの測定果実について、縦軸にポリフェノール含有量、横軸にH-ORAC値としてプロットしたところ、 $r = 0.863$ と非常に高い正の相関が見られた(第13図)。以上のことから、キウイフルーツ果実におけるH-ORAC値にはポリフ



第11図 成熟段階の違いがポリフェノール含有量に及ぼす影響

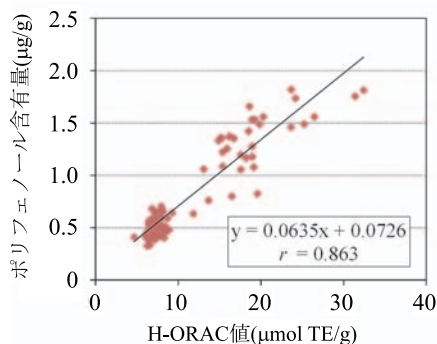
KR:「香緑」, KS:「香粹」, SG:「さぬきゴールド」



第12図 適熟キウイフルーツ果実における総アスコルビン酸含有量の品種間差異

KR:「香緑」, KS:「香粹」, SG:「さぬきゴールド」, HW:「ヘイワード」, RR:「レインボーレッド」

注) Tukeyの多重検定により, 品種ごとに異なるアルファベット間には5%水準で有意差があることを示す。



第13図 H-ORAC値とポリフェノール含有量の相関関係

ポリフェノール含有量が大きな影響を与えていることが示唆された。

#### 4 考察

生体においてROSは, 外部からの異物侵入などに対する防御機構として積極的に利用されているが, 一方では, 過剰なROSは酸化ストレスを引き起こし, ガン, 神経疾患, 動脈硬化, 糖尿病など多岐にわたる疾病や老化の原因だと考えられている。酸化ストレスの改善には野菜や果物の摂取増加が有用であることが示されており<sup>27)</sup>, 抗酸化成分の摂取による酸化ストレスの改善はさまざまな疾病の予防に役立つと期待されている。本研究では, キウイフルーツ果実「香緑」, 「香粹」, 「さぬきゴールド」, 「ヘイワード」および「レインボーレッド」の抗酸化能とポリフェノール含有量について明らかにした。キウイフルーツ果実は, 果物の中でもポリフェノール含有量が高く<sup>31)</sup>, 抗酸化能も高い<sup>7)</sup>ことは報告されてきた。しかし, 近年育種された比較的新しい品種

や, 品種間における抗酸化能およびポリフェノール含有量については明らかにされていなかった。本研究では適熟期の「香緑」, 「香粹」, 「さぬきゴールド」, 「ヘイワード」, 「レインボーレッド」果実のH-ORAC値を比較したところ, *chinensis*種に属する「さぬきゴールド」が, *deliciosa*種に属する「香緑」および*arguta*種に属する「香粹」の約3倍と非常に高く抗酸化作用が最も期待できることが示唆された。次にH-ORAC値が高かったのは, 「レインボーレッド」で, 「さぬきゴールド」と同様に*chinensis*種であるが, 果肉中心部が赤色を呈しているのが特徴である。Montefioriら<sup>15)</sup>は「レインボーレッド」に非常に似た特徴を持つ品種「Hongyang」を材料に用い, 赤色成分のひとつをcyanidin 3-O-xylo(1-2)-galactosideと同定しており, 「レインボーレッド」の赤色成分も同様である可能性が高い。アントシアニン類は高い抗酸化能を有すると予想されることから, 「レインボーレッド」のH-ORAC値に寄与しているかもしれない。また, Nishiyamaら<sup>18)</sup>は, キウイフルーツ品種間のアスコルビン酸含有量について報告しており, 「香緑」, 「香粹」, 「さぬきゴールド」, 「ヘイワード」のアスコルビン酸含有量を明らかにしている。これによれば, アスコルビン酸含有量は「さぬきゴールド」>「ヘイワード」>「香粹」>「香緑」となっており, 今回得られた結果もほぼ同様の傾向を示した。アスコルビン酸標準品のH-ORAC値(3,518±39μmol TE/g)からアスコルビン酸の寄与率を計算すると, 「香緑」1.95%, 「香粹」1.63%, 「さぬきゴールド」4.36%, 「ヘイワード」2.24%, 「レインボーレッド」1.52%であり, 他の品種と比較して「さぬきゴールド」はアスコルビン酸の寄与率が高いことが示唆された。一方, すべての品種においてH-ORAC値に対するアスコルビン酸の寄与率は5%以下であり, H-ORAC値にはアスコルビン酸以外の成分の寄与が大きいと考えられた。さらに, H-ORAC値とポリフェノール含有量には高い正の相関が認められたことから, キウイフルーツのH-ORAC値にはポリフェノールが強い影響を及ぼしていることが示唆された。以上のことから, 抗酸化能, ポリフェノール含有量および総アスコルビン酸含有量は他の品種と比較して「さぬきゴールド」が非常に高く, 抗酸化成分の供給源として有望



な品種であることが示唆された。

次に、成熟段階の違いが抗酸化能およびポリフェノール含有量に及ぼす影響について調査を行った。キウイフルーツは、クライマクテリック型果実であり、収穫後のエチレン処理による追熟に伴い酸が低下するとともに、糖含量が増加し、芳香も発生することで食味が向上する。しかし、抗酸化能が、追熟に伴いどのように変動するかについての報告は非常に少ない。そこで本研究では、「香緑」、「香粋」、「さぬきゴールド」の3品種について、十分なエチレン処理を8日間行い、2日ごとにサンプルを採取して分析を行った。エチレン未処理から8日目まで、H-ORAC値およびポリフェノール含有量に有意な差は観察されず、追熟により抗酸化能に変動はないことが示唆された。Parkら<sup>20)</sup>はABTS (2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid))法、TEAC (Trolox-Equivalent Antioxidant Capacity)法、DPPH法、CUPRAC (cupric reducing antioxidant capacity)法などさまざまな抗酸化測定法を用いて「ヘイワード」の追熟による抗酸化能の推移を報告しており、追熟6日目に最も抗酸化能が高まると報告している。しかし、測定方法により変動傾向が異なっており、ポリフェノール含有量と同様に変動の小さな測定結果も多いことから、測定法の違いによる検出誤差の可能性も否定できない。H-ORAC法を用いた本研究では、特徴的な変動は確認されなかったが、ポリフェノール含有量も同様な傾向を示しており、信頼できる結果であると考えられる。抗酸化に関しては、追熟による機能性のロスがないということは、追熟を経て店頭に並ぶキウイフルーツにとっては有益なデータと考えられる。

### Ⅲ キウイフルーツの品種および成熟段階の違いがカロテノイド含有量に及ぼす影響

#### 1 緒言

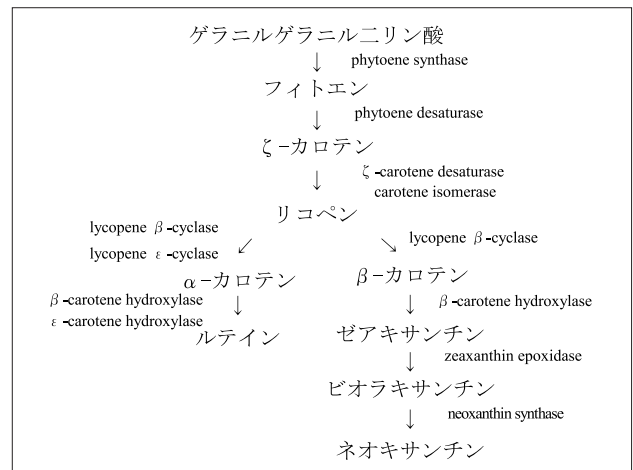
キウイフルーツは、第1～6図(第Ⅱ章)のように非常に美しい色彩の果肉を持つ果物である。キウイフルーツに特徴的な緑色はクロロフィル類、黄色はルテインやβ-カロテンなどのカロテノイド類に起因することが知られている。カロテノイドは抗酸化物質であり、カロテノイドがその対象とする活性酸

素種は一重項酸素 ( $^1O_3$ ) である。第Ⅱ章で述べたORAC法による測定では、 $^1O_3$ 消去活性の評価には対応できないことが知られており、 $^1O_3$ 消去活性の簡便な評価法にはSOAC (Singlet Oxygen Absorption Capacity)法<sup>1)</sup>が報告されているが、妥当性確認が終了していないため普及していない。つまり、現状ではカロテノイドそのものを定量することが、ORAC法では測定できない抗酸化能を補うことにつながると考えられる。

含有されるカロテノイドの種類は植物種によって異なり、ウンシュウミカンではβ-クリプトキサンチン、トマトではリコペン、ニンジンではβ-カロテンが多く蓄積されることが知られている<sup>8)</sup>。カロテノイド生合成経路および制御機構についても研究が進んでおり(第14図)、合成酵素や基質の量などによって、蓄積するカロテノイドの量および種類が変動する<sup>12, 25)</sup>。

カロテノイドの機能性としては、β-カロテン、α-カロテン、β-クリプトキサンチンなどに古くからプロビタミンA作用が知られているが<sup>3, 19)</sup>、プロビタミンA作用を有さないカロテノイドについても特徴的な機能性が明らかになりつつある。ルテインやゼアキサンチンは眼の黄斑に蓄積し、抗酸化作用や光からの保護により黄斑変性症のリスクを低減すること<sup>24)</sup>、白内障発生を抑制すること<sup>10)</sup>が報告されている。ほかにも近年は、ガン<sup>16)</sup>、心疾患<sup>28)</sup>、アルツハイマー<sup>34)</sup>、リウマチ<sup>21)</sup>などさまざまな疾病に効果を示すことが報告されている。

このように、カロテノイドは健康維持のため役立つ



第14図 植物におけるカロテノイド生合成経路

つと期待されており、キウイフルーツのカロテノイド含有量や種類を調査することは、カロテノイドの供給源としての評価に必須であり、品種や成熟段階の違いによる特徴を把握することは、今後の育種や流通分野の研究推進にもつながると考えられる。

## 2 材料および方法

### 1) 材料

「香緑」, 「香粹」, 「さぬきゴールド」の収穫直後の果実を2009年10月に香川県農業試験場府中分場より入手し、それぞれの果実はポリエチレン袋に入れ、1,000ppmエチレン、16℃で追熟処理を行った。エチレン処理前の果実を処理0日目、処理開始後2, 4, 6, 8日目の果実を追熟日数2日目、処理4日目、処理6日目、処理8日目とし、果皮を除去するとともに、約5mm角にカットし液体窒素で凍結後、-80℃で保存した。

### 2) 試薬

カロテノイド標準品については、ルテイン、ルテインエポキシド、ビオラキサンチン、 $\beta$ -クリプトキサンチン、エキネノン、 $\alpha$ -カロテン、 $\beta$ -カロテンをCaroteNature GmbH社 (Lupisingen, Switzerland) から購入した。抽出する有機溶媒はすべて特級以上、HPLCにはHPLC用グレードを使用した。カロテノイドの分析カラムはDevelosil (C-30-UG3, 4.6×150mm) (野村化学, 愛知) を用いた。

### 3) カロテノイド抽出法

カロテノイド抽出はYanoら<sup>32)</sup>の方法を一部改変して行った。塩基性マグネシウム1gを加えたガラス遠沈管にカットした凍結キウイフルーツ約8gを入れ、0.1%BHT (butylated hydroxytoluene) を含むジエチルエーテル/メタノール (7:3) を16ml、内部標準としてエキネノン溶液 (20 $\mu$ g/ml) を400 $\mu$ l (8 $\mu$ gに相当) 加えると同時にポリトロンホモジナイザー (Kinematica社, Lucerne, Switzerland) で粉碎した。粉碎後、0.1%BHTを含むジエチルエーテル/メタノール (7:3) でさらに洗浄しながら別の遠沈管に移し、水2mlを加え、30分間振とうし、遠心分離 (2,000rpm, 5分, 常温) を行った。上清をガラスパスツールを用いて別の遠

沈管に移し、元の遠沈管にジエチルエーテル10mlを加え、同じ作業をさらに2回繰り返した。集めた上清は遠心濃縮乾固し、10%水酸化カリウム溶液とジエチルエーテルに溶解し、窒素置換して、常温でインキュベートした。一晩けん化後、2M塩化ナトリウム水溶液を加え、遠心分離 (2,000 rpm, 5分, 常温) を行い、上清を別の遠沈管に移した。集めた上清に水を加えて洗浄後、遠心分離 (2,000rpm, 5分, 常温) を行い水層を除去した。残ったジエチルエーテル層は遠心濃縮乾固し、2mlの0.1%BHTを含むメタノール/TBME (t-ブチルメチルエーテル) (1:1) に溶解して、PTFEシリンジフィルター ( $\phi$  0.45 $\mu$ m) (GE Healthcare社, NJ, USA) を通してHPLCサンプルとした。

### 4) カロテノイド分析法

HPLCによる分析条件は第15図に示した。得られたピークを標準品のリテンションタイムおよび波長と比較し、カロテノイドの種類を決定した。含有量は波長444nmのピークの面積を基にそれぞれの検量線から算出した。また、9'-cis-ネオキササンチンはビオラキサンチンの標準直線を、ゼアキササンチンはルテインの標準直線を参考に算出した。それぞれの測定値は、内部標準のエキネノンを用いて補正を行った。

## 3 結果

### 1) カロテノイド含有量および組成の品種比較

エチレン処理8日目の「香緑」, 「香粹」, 「さぬきゴールド」適熟果実について、カロテノイド含有量および組成について分析を行った結果を第16図に示す。3品種を比較した結果、総カロテノイド量は

分析システム: 日立D7000
検出: フォトダイオードアレイ
カラム: 野村化学Develosil(C30-UG-3, 4.6×150mm)
移動相: A メタノール/MTBE/1.5%(w/w)酢酸アンモニウム水(85:12:3)
B メタノール/MTBE/1.0%(w/w)酢酸アンモニウム水(8:90:2)
グラジエント条件:
0→21分 A 100%→45%
21→22分 A 45%
22→30分 A 45→5%
30→35分 A 5%
流速: 0.4ml/分
カラム温度: 23℃
サンプル注入量: 10 $\mu$ l

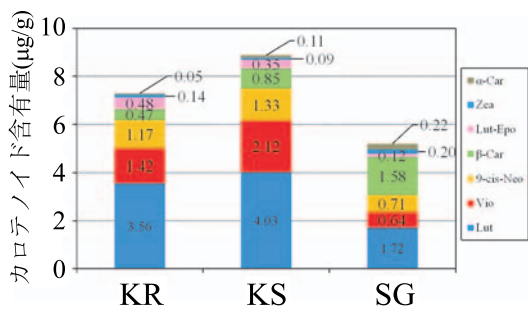
第15図 カロテノイドのHPLC分析条件

「香粹」は9.0 $\mu\text{g/g}$ と一番多く、次に「香緑」は7.2 $\mu\text{g/g}$ 、最後に「さぬきゴールド」は5.1 $\mu\text{g/g}$ の値を示した。「さぬきゴールド」は果肉の黄色が鮮やかな品種であり、この黄色はカロテノイド由来であるが、カロテノイド含有量としては他の2品種に比べて少なかった。カロテノイドの種類は、 $\alpha$ -カロテン、ゼアキササンチン、ルテインエポキシド、 $\beta$ -カロテン、9'-cis-ネオキササンチン、ビオラキササンチン、ルテインが検出可能であり、3品種ともに $\beta$ -カロテン、9'-cis-ネオキササンチン、ビオラキササンチン、ルテインでカロテノイド含有量全体の90%以上を占めていた。ルテインはすべての品種で最も含有されていた。品種による差異も存在し、「さぬきゴールド」ではビオラキササンチンおよびルテインは少なく、 $\beta$ -カロテンが多いという特徴を有しており、ルテイン

と $\beta$ -カロテンは各々1.7 $\mu\text{g/g}$ と1.6 $\mu\text{g/g}$ と、ほぼ同程度であった。

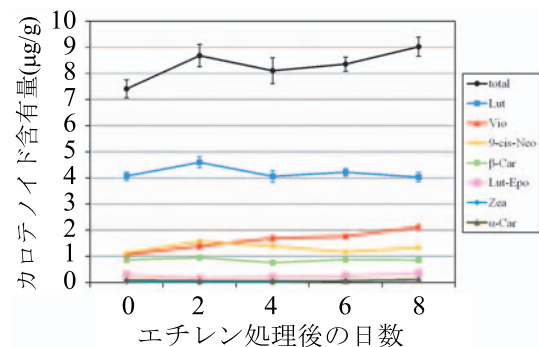
## 2) カロテノイド含有量および組成の追熟による変動

追熟によるカロテノイド含有量および組成の変動について第17図（「香緑」）、第18図（「香粹」）、第19図（「さぬきゴールド」）に示した。総カロテノイド含有量は、3品種とも成熟が進むにつれて「香緑」で1.1倍、「香粹」で1.2倍、「さぬきゴールド」で1.1倍と若干増加する傾向が見られたが、劇的な変動は観察されなかった。ルテインは同等もしくは若干減少する傾向があり、「香緑」および「香粹」ではビオラキササンチンが増加する傾向が認められた。また、「さぬきゴールド」では、 $\beta$ -カロテンがエチレン処



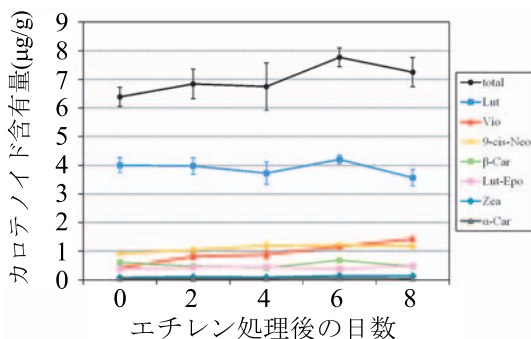
第16図 適熟キウイフルーツ果実のカロテノイド含有量・組成の品種間差異

KR:「香緑」、KS:「香粹」、SG:「さぬきゴールド」  
 $\alpha$ -Car:  $\alpha$ -カロテン、Zea: ゼアキササンチン、Lut-Epo: ルテインエポキシド、 $\beta$ -Car:  $\beta$ -カロテン、9-cis-Neo: 9'-cis-ネオキササンチン、Vio: ビオラキササンチン、Lut: ルテイン



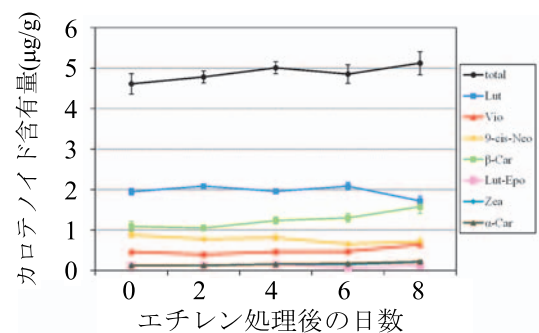
第18図 成熟段階の違いが「香粹」カロテノイド含有量に及ぼす影響

$\alpha$ -Car:  $\alpha$ -カロテン、Zea: ゼアキササンチン、Lut-Epo: ルテインエポキシド、 $\beta$ -Car:  $\beta$ -カロテン、9-cis-Neo: 9'-cis-ネオキササンチン、Vio: ビオラキササンチン、Lut: ルテイン



第17図 成熟段階の違いが「香緑」カロテノイド含有量に及ぼす影響

$\alpha$ -Car:  $\alpha$ -カロテン、Zea: ゼアキササンチン、Lut-Epo: ルテインエポキシド、 $\beta$ -Car:  $\beta$ -カロテン、9-cis-Neo: 9'-cis-ネオキササンチン、Vio: ビオラキササンチン、Lut: ルテイン



第19図 成熟段階の違いが「さぬきゴールド」カロテノイド含有量に及ぼす影響

$\alpha$ -Car:  $\alpha$ -カロテン、Zea: ゼアキササンチン、Lut-Epo: ルテインエポキシド、 $\beta$ -Car:  $\beta$ -カロテン、9-cis-Neo: 9'-cis-ネオキササンチン、Vio: ビオラキササンチン、Lut: ルテイン

理前に比べ1.6倍に増加した。まとめると、今回試験した3種類のキウイフルーツは、追熟前と追熟後において総カロテノイド含有量の変動は微増であり、各カロテノイド含有量も劇的な変動は見られなかったが、ビオラキサンチンや $\beta$ -カロテンは品種により変動しやすい傾向にあることが明らかとなった。

#### 4 考 察

本研究では、3品種のキウイフルーツ果実におけるカロテノイド含有量および組成について品種間差異および追熟に伴う変動を調査した。分析した3品種において、多くのカロテノイドは成熟が進行しても含有量に大きな変動は見られなかったことから、カロテノイドによる機能性についても、追熟による影響はないことが示唆された。ただし、興味深いのは、ビオラキサンチンにのみ増加傾向が見られたことである。ビオラキサンチンはカロテノイド合成経路の下流に位置するが、さらに下流の9'-cis-ネオキササンチンは増加しておらず、ビオラキサンチンは生合成関連酵素の変化によって成熟に伴い特異的に蓄積するのかもしれない。カンキツ、トマト、カキにおいて、カロテノイド生合成関連酵素の遺伝子発現が報告されており<sup>12, 22, 25)</sup>、関連遺伝子の樹上果実生育中の変動については明らかになっている。これら果実では、緑熟期から成熟期に変化する際に遺伝子発現の大きな変動により蓄積されるカロテノイドの種類が決定され、成熟が進むにつれて蓄積量が増加する。また、渡辺ら<sup>30)</sup>は、「ハイワード」、「ブルーノ」、「ゴールデンキング」および「イエロークイーン」の貯蔵中のカロテノイド含有量の変動について報告しており、収穫後、冷蔵貯蔵中に徐々にカロテノイドが減少するとしている。このように、キウイフルーツのカロテノイド含有量は収穫後の成熟進行による大きな変動はなく、機能性という面で見ると生育中にできる限り多く蓄積させることが重要であると考えられる。

適熟果の品種間比較では、「香粹」(*Actinidia arguta*) が最もカロテノイドを高含有しており、次が「香緑」(*Actinidia deliciosa*)、一番低かったのが黄色系品種の「さぬきゴールド」(*Actinidia chinensis*) であった。McGhieら<sup>14)</sup>は、「ハイワー

ド」(*Actinidia deliciosa*) と「ホート16A」(*Actinidia chinensis*) を比較し、黄色系品種の「ホート16A」はむしろカロテノイド含有量が低いと報告しており、本研究結果もこれを支持する結果であった。「香粹」は「香緑」に比べ、総カロテノイド量が約1.3倍であり、カロテノイド摂取には「香粹」が最も優れていることが示された。他の報告も含めるとカロテノイド含有量はある程度品種により支配されていると考えられ、カロテノイドの供給源としては、*chinensis* 種の黄色系キウイフルーツよりも *deliciosa* 種の緑色系キウイフルーツの方がより適していると考えられる。

分析したキウイフルーツの総カロテノイド含有量は約5~9  $\mu\text{g/g}$  であり、Holdenら<sup>8)</sup> および Tee と Lim<sup>26)</sup> に報告されている果物の含有量と比較すると、リンゴ、ブドウ、バナナ、モモよりも高く、パイア、カキ、マンダリンオレンジよりも低く、中程度の含有量であった。一方、カロテノイド組成の分析結果から、キウイフルーツはルテインを多く含有することが明らかとなった。同様な結果を Nishiyama<sup>17)</sup> も報告している。Holdenら<sup>8)</sup> および Tee と Lim<sup>26)</sup> の報告と比較すると、モモ、リンゴ、ブドウなどの一般的に消費される果物のルテイン含有量は1.5 $\mu\text{g/g}$  以下であることから、キウイフルーツは他の果物と比較してルテインの優れた供給源であると考えられ、特に「香粹」は約4  $\mu\text{g/g}$  と高含有しており、ルテインの供給源として有望であることが示唆された。

#### IV 総合考察

近年、社会問題となっているガンや生活習慣病は、生体内の過剰な活性酸素 (ROS) による酸化ストレスが原因のひとつと考えられている。酸化ストレスの改善には野菜や果物の摂取増加が有用であることが示されており、抗酸化成分の摂取による酸化ストレスの改善はさまざまな疾病の予防に役立つと考えられる。キウイフルーツは抗酸化成分が多い果物であることが知られているが、歴史の浅い果物であることから機能性研究の知見も少なく、追熟に伴う抗酸化能の変動や近年新たに育成された品種の評価などについて基礎的なデータの蓄積が求められてい

る。そこで本研究では、キウイフルーツの抗酸化能についてポリフェノールおよびカロテノイドに着目して、追熟による変動や品種間差異について明らかにした。

第Ⅱ章では、キウイフルーツ5品種の抗酸化能およびポリフェノール含有量の違いについて調査するとともに追熟による変動について検討した。適熟キウイフルーツ果実のH-ORAC値は「さぬきゴールド」>「レインボーレッド」>「ハイワード」>「香粹」>「香緑」の順に高く、ポリフェノール含有量および総アスコルビン酸含有量も同様な傾向を示したことから、ポリフェノールを中心とした抗酸化能を期待するには、「さぬきゴールド」が最も優れていることが示唆された。成熟段階の抗酸化能とポリフェノール含有量に総じて大きな変動はなく安定しており、追熟後も抗酸化能は維持されていることが明らかとなった。

第Ⅲ章では、キウイフルーツ3品種のカロテノイド含有量および組成の品種間差、追熟による変動について調査した。適熟果の総カロテノイド量は「香粹」>「香緑」>「さぬきゴールド」という順であり、効率的なカロテノイド摂取には、「香粹」が最も適していることが示唆された。面白いことに、黄色品種の「さぬきゴールド」はカロテノイド含有量としては他の2品種に比べて少なかった。検出できたカロテノイドは、9'-cis-ネオキササンチン、ビオラキササンチン、ルテイン、 $\beta$ -カロテン、ルテインエポキシド、ゼアキササンチン、 $\alpha$ -カロテンであり、すべての品種で最も含有量が高かったのはルテインであった。他の果物に比べても含有量が高いことからキウイフルーツはルテインの優れた供給源であると考えられる。成熟段階の違いによるカロテノイド含有量の変動は認められず、カロテノイドは追熟後も維持されていることが明らかとなった。

## 謝 辞

本論文は、岡山大学学位審査論文（平成23年9月30日、博乙第4369号）である「キウイフルーツ果実における抗糖尿病作用と抗酸化能に関する研究」の一部を基に編集、加筆したものである。

本研究を遂行し、学位論文をまとめるにあたり、

親切な指導と校閲を賜った岡山大学農学部教授の久保康隆博士に謹んで深謝申し上げます。また、論文作成にあたり多大な指導と適切な助言をいただいた中村宜督教授、終始適切な助言をいただいた中野龍平准教授に心より感謝申し上げます。

本研究の実施にあたり、香川県農業試験場の末澤克彦氏ならびに福田哲生氏からは貴重な試料を提供いただきました。記して深く感謝の意を表します。

近畿中国四国農業研究センター齋藤武氏には実験手法から論文作成まで、さまざまな場面で貴重なアドバイスをいただきました。心より感謝申し上げます。

最後に、本研究の遂行には岡山大学農学部食品機能学、農産物利用学分野専攻生ならびに近畿中国四国農業研究センター職員より多大な協力、配慮をいただきました。記して深く感謝の意を表します。

## 引用文献

- 1) Aizawa, K., Y. Iwasaki, A. Ouchi, T. Inakuma, S. Nagaoka, J. Terao and K. Mukai 2011. Development of singlet oxygen absorption capacity (SOAC) assay method. 2. measurements of the SOAC values for carotenoids and food extracts, *J. Agric. Food Chem.* 59: 3717 – 3729
- 2) Annuzzi, G., L. Bozzetto, G. Costabile, R. Giacco, A. Mangione, G. Anniballi, M. Vitale, C. Vetrani, P. Cipriano, G. Della Corte, F. Pasanisi, G. Riccardi and A.A. Rivellese 2014. Diets naturally rich in polyphenols improve fasting and postprandial dyslipidemia and reduce oxidative stress: a randomized controlled trial, *Am. J. Clin. Nutr.* 99: 463 – 471
- 3) Bauernfe, J. C. 1972. Carotenoid vitamin-A precursors and analogs in foods and feeds. *J. Agric. Food Chem.* 20: 456 – 473
- 4) Collins, B. H., A. Horska, P. M. Hotten, C. Riddoch and A. R. Collins 2001. Kiwifruit protects against oxidative DNA damage in human cells and in vitro. *Nutr. Cancer* 39: 148 – 153
- 5) Fiorentino, A., B. D'Abrosca, S. Pacifico, C.

- Mastellone, M. Scognamiglio and P. Monaco 2009. Identification and assessment of antioxidant capacity of phytochemicals from kiwi fruits. *J. Agric. Food Chem.* 57: 4148 – 4155
- 6) Furukawa, S., T. Fujita, M. Shimabukuro, M. Iwaki, Y. Yamada, Y. Nakajima, O. Nakayama, M. Makishima, M. Matsuda and I. Shimomura 2004. Increased oxidative stress in obesity and its impact on metabolic syndrome. *J. Clin. Invest.* 114: 1752 – 1761
- 7) Halvorsen, B. L., K. Holte, M. C. W. Myhrstad, I. Barikmo, E. Hvattum, S. F. Remberg, A. B. Wold, K. Haffner, H. Baugerod, L.F. Andersen, J. O. Moskaug, D. R. Jacobs and R. Blomhoff 2002. A systematic screening of total antioxidants in dietary plants. *J. Nutr.* 132: 461 – 471
- 8) Holden, J. M., A. L. Eldridge, G. R. Beecher, I. M. Buzzard, S. Bhagwat, C. S. Davis, L. W. Douglass, S. Gebhardt, D. Haytowitz and S. Schakel 1999. Carotenoids content of U.S. food: an update of database. *J. Food Composition and Analysis* 12: 169 – 196
- 9) Iwasawa, H., E. Morita, S. Yui and M. Yamazaki 2011. Anti-oxidant effects of kiwi fruit in vitro and in vivo. *Biol. Pharm. Bull.* 34: 128 – 134
- 10) Jacques, P. F., L. T. Chylack, S. E. Hankinson, P. M. Khu, G. Rogers, J. Friend, W. Tung, J. K. Wolfe, N. Padhye, W. C. Willett and A. Taylor 2001. Long-term nutrient intake and early age-related nuclear lens opacities. *Arch Ophthalmol-Chic* 119: 1009 – 1019
- 11) Jung, K. A., T. C. Song, D. Han, I. H. Kim, Y. E. Kim and C. H. Lee 2005. Cardiovascular protective properties of kiwifruit extracts in vitro. *Biol. Pharm. Bull.* 28: 1782 – 1785
- 12) Kato, M., Y. Ikoma, H. Matsumoto, M. Sugiura, H. Hyodo and M. Yano 2004. Accumulation of carotenoids and expression of carotenoid biosynthetic genes during maturation in citrus fruit. *Plant Physiol.* 134: 824 – 837
- 13) Macready, A. L., T. W. George, M. F. Chong, D. S. Alimbetov, Y. Jin, A. Vidal, J. P. Spencer, O. B. Kennedy, K. M. Tuohy, A. M. Minihane, M. H. Gordon and J. A. Lovegrove 2014. Flavonoid-rich fruit and vegetables improve microvascular reactivity and inflammatory status in men at risk of cardiovascular disease—FLAVURS: a randomized controlled trial. *Am. J. Clin. Nutr.* 99: 479 – 489
- 14) McGhie, T. K. and G. D. Ainge 2002. Color in fruit of the genus *Actinidia*: Carotenoid and chlorophyll compositions. *J. Agric. Food Chem.* 50: 117 – 121
- 15) Montefiori, M., T. K. McGhie, G. Costa and A. R. Ferguson 2005. Pigments in the fruit of red-fleshed kiwifruit (*Actinidia chinensis* and *Actinidia deliciosa*). *J. Agric. Food Chem.* 53: 9526 – 9530
- 16) Nishino, H., H. Tokuda, M. Murakoshi, Y. Satomi, M. Masuda, M. Onozuka, S. Yamaguchi, J. Takayasu, J. Tsuruta, M. Okuda, F. Khachik, T. Narisawa, N. Takasuka and M. Yano 2000. Cancer prevention by natural carotenoids. *Biofactors* 13: 89 – 94
- 17) Nishiyama, I. 2007. Fruits of the *actinidia* genus. *Adv. Food Nutr. Res.* 52: 293 – 324
- 18) ———, Y. Yamashita, M. Yamanaka, A. Shimohashi, T. Fukuda and T. Oota 2004. Varietal difference in vitamin C content in the fruit of kiwifruit and other *actinidia* species. *J. Agric. Food Chem.* 52: 5472 – 5475
- 19) Olson, J. A. 1969. Recent developments in the fat-soluble vitamins. Metabolism and function of vitamin A. *Fed. Proc.* 28: 1670 – 1677
- 20) Park, Y. S., S. T. Jung, S. G. Kang, B. G. Heo, P. Arancibia-Avila, F. Toledo, J. Drzewiecki, J. Namiesnik and S. Gorinstein 2008. Antioxidants and proteins in ethylene-treated kiwifruits. *Food Chem.* 107: 640 – 648
- 21) Pattison, D. J., D. P. Symmons, M. Lunt, A. Welch, S. A. Bingham, N. E. Day and A. J. Silman 2005. Dietary beta-cryptoxanthin and inflammatory polyarthritis: results from a

- population-based prospective study. *Am. J. Clin. Nutr.* 82: 451 – 455
- 22) Ronen, G., M. Cohen, D. Zamir and J. Hirschberg 1999. Regulation of carotenoid biosynthesis during tomato fruit development: Expression of the gene for lycopene epsilon-cyclase is down-regulated during ripening and is elevated in the mutant Delta. *Plant J.* 17: 341 – 351
- 23) 佐藤陽子・中西朋子・瀧 優子・梅垣敬三 2009. HPLC – 電気化学検出法による野菜・果物中のビタミンCの定量に関する検討. *栄養学雑誌* 67 : 318 – 322
- 24) Seddon, J. M., U. A. Ajani, R. D. Sperduto, R. Hiller, N. Blair, T. C. Burton, M. D. Farber, E. S. Gragoudas, J. Haller, D. T. Miller, L. A. Yannuzzi and W. Willett 1994. Dietary carotenoids, vitamins A, C, and E, and advanced age-related macular degeneration. Eye Disease Case-Control Study Group. *JAMA* 272: 1413 – 1420
- 25) 新川 猛・鈴木哲也・尾関 健・加藤雅也・生駒吉識 2007. カキ‘富有’の成熟に伴うカロテノイドの蓄積特性. *園芸学研究* 6 : 251 – 256
- 26) Tee, E. S. and C. L. Lim 1991. Carotenoid Composition and Content of malaysian vegetables and fruits by the AOAC and HPLC methods. *Food Chem.* 41: 309 – 339
- 27) Thompson, H. J., J. Heimendinger, C. Gillette, S. M. Sedlacek, A. Haegele, C. O’neill and P. Wolfe 2005. In vivo investigation of changes in biomarkers of oxidative stress induced by plant food rich diets. *J. Agric. Food Chem.* 53: 6126 – 6132
- 28) Voutilainen, S., T. Nurmi, J. Mursu, T.H. Rissanen 2006. Carotenoids and cardiovascular health, *Am. J. Clin. Nutr.* 83: 1265 – 1271
- 29) 渡辺 純・沖 智之・竹林 純・山崎光司・津志田藤二郎 2010. 抗酸化能測定法であるH-ORAC法の室間共同試験. *日本食品科学工学会誌* 57 : 525 – 531
- 30) 渡辺慶一・広田才之・高橋文次郎 1999. 緑色系, 黄色系キウイフルーツ果実の発育および貯蔵中のクロロフィル, カロテノイド色素. *園芸学会雑誌* 65 : 1038 – 1043
- 31) 山崎正利・上田浩史・油井 聡 2000. キウイの抗酸化作用と生体の酸化的傷害. *Bio. Ind.* 24 – 31
- 32) Yano, M., M. Kato, Y. Ikoma, A. Kawasaki, Y. Fukazawa, M. Sugiura, H. Matsumoto, Y. Oohara, A. Nagao and K. Ogawa 2005. Quantitation of carotenoids in raw and processed fruits in Japan. *Food Sci. Technol. Res.* 11: 13 – 18
- 33) Yoshida, A., K. Sonoda, Y. Nogata, T. Nagamine, M. Sato, T. Oki, S. Hashimoto and H. Ohta 2010. Determination of free and bound phenolic acids, and evaluation of antioxidant activities and total polyphenolic contents in selected pearled barley. *Food Sci. Technol. Res.* 16: 215 – 224
- 34) Zaman, Z., S. Roche, P. Fielden, P. G. Frost, D. C. Niriella and A. C. D. Cayley 1992. Plasma-concentrations of Vitamin-A and Vitamin-E and carotenoids in alzheimers-disease. *Age Ageing* 21: 91 – 94

## Effect of Fruit Ripening Stage on Antioxidant Components of Kiwifruit Cultivars

Daigo ABE

### Summary

The formation of excessive reactive oxygen species (ROS) can induce oxidative stress, which is related to the development of several diseases including diabetes, dementia, cardiovascular disease, and cancers. However, natural antioxidants can protect cellular components from oxidative processes caused by ROS, so their dietary intake in the form of fruit and vegetables is important. Kiwifruit contains a high level of antioxidants, such as vitamin C, carotenoids, and polyphenolic compounds, but few studies have investigated these because of the short history of cultivation of kiwifruits compared with most other crop plants. Here, I researched the effect of the fruit ripening stage on the antioxidant components of kiwifruit cultivars. Significant differences were observed between cultivars with respect to H-ORAC values ('Sanuki Gold' > 'Rainbow Red' > 'Hayward' > 'Kousui' > 'Kouryoku'), as well as polyphenol content and total ascorbate content, which showed similar trends. Total carotenoid levels in three different kiwifruit cultivars were: 'Kousui' > 'Kouryoku' > 'Sanuki Gold'. Interestingly, 'Sanuki Gold' had the lowest carotenoid content despite being the yellowest cultivar. All cultivars contained seven different carotenoids:  $\alpha$ -carotene, zeaxanthin, lutein-epoxide,  $\beta$ -carotene, 9'-cis neoxanthin, violaxanthin, and lutein. Kiwifruit was shown to contain more lutein than other fruits such as peaches, apples, and grapes. The carotenoid content was maintained during the ripening process as well as H-ORAC values, polyphenol content, and total ascorbate content. 'Sanuki Gold' appears to be the cultivar with the strongest hydrophilic antioxidative effects, while 'Kousui' had the highest antioxidative effects from carotenoids, so these may therefore be more beneficial for human health.



近畿中国四国農業研究センター研究報告 第15号

---

平成28年 3月17日 印刷

平成28年 3月17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

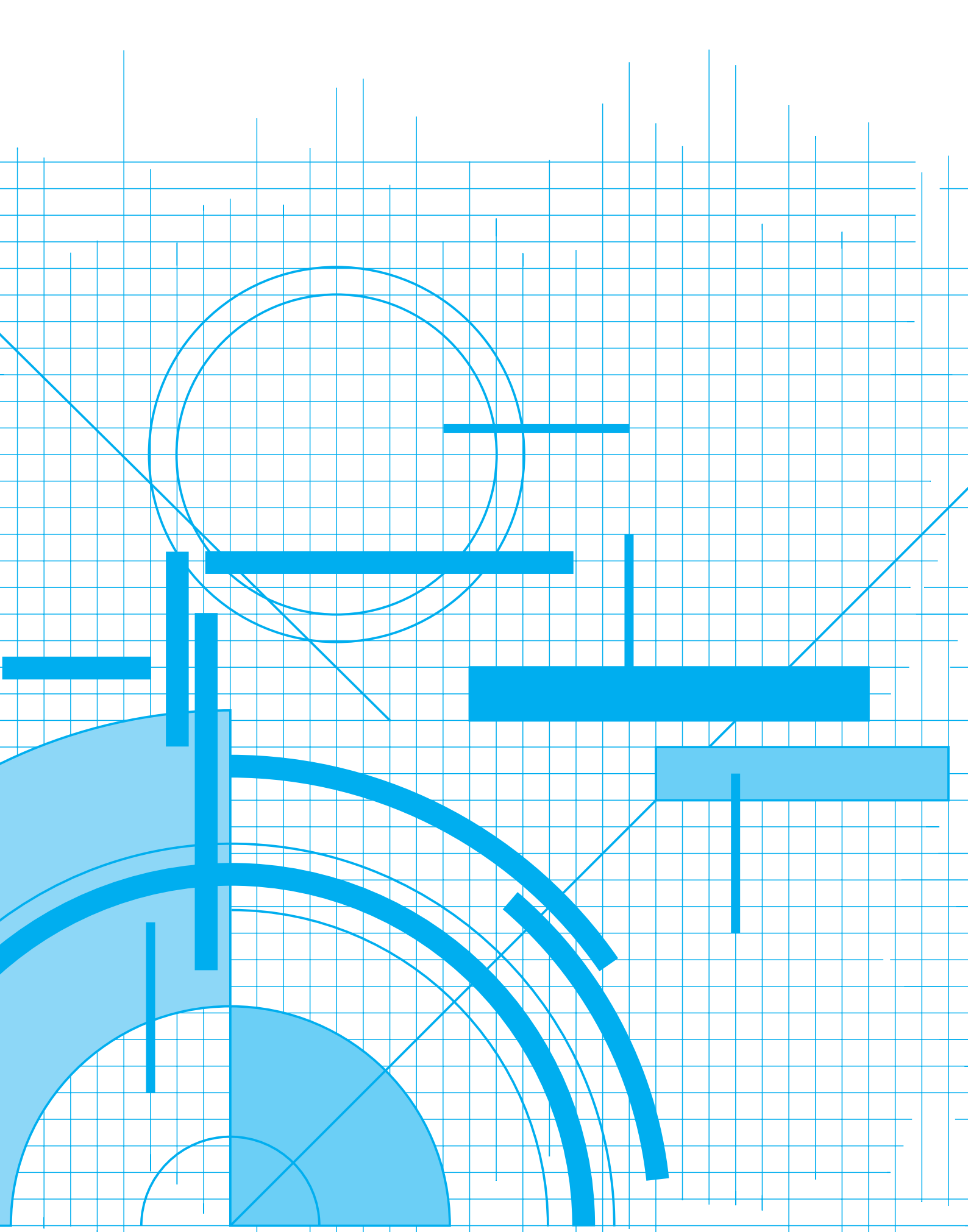
発行者 竹 中 重 仁

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

---

本研究報告から転載・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。