

## カキ‘富有’の夏秋季の気温低下と果実肥大との関係

新川 猛・鈴木哲也・雨宮 剛・尾関 健\*・西垣 孝\*\*

Relationship between an Air Temperature Drop in Summer and Autumn and Fruit Enlargement in 'Fuyu'  
Persimmon

Takeshi Niikawa, Tetsuya Suzuki, Tsuyoshi Amemiya, Takeshi Ozeki\* and Takashi Nishigaki\*\*

**要約：**温暖化の進行に伴って、カキの栽培環境は大きく変化してきている。本研究では、カキ‘富有’果実の発育と気温との関係についての解析を行うとともに、気象要因から果実サイズを予測することが可能かどうかについて検討を行った。1998～2012年の15年間のカキの生育ステージは、1983～1997年の15年間と比較して、開花期が有意に前進化しているが、収穫期には変化が認められず、果実の生育日数は長くなっていた。果実肥大は、果実生長第Ⅰ期の果周増加が促進される一方、果実生長第Ⅲ期の果周増加が抑制されており、肥大パターンに変化が生じていた。果実生長第Ⅲ期は、秋季の気温と有意な相関が認められ、特に9月の平均気温との相関が高かった。また日平均気温23℃以下の初遭遇日との間に相関が認められた。この温度は、カキの着色とも関連が強いことから、果実成熟全般を進めるスイッチとして機能しているものと推察された。9月の平均気温と各選果場の階級比率は高い相関が認められ、夏から秋に替わる気象要因を説明変数に用いた重回帰分析によって、収穫時の果実重は高い精度で予測が可能( $R^2=0.936^{***}$ )であった。

**キーワード：**平均気温、階級、果実重、温暖化、予測式

## 緒言

移動性が無く永年性作物である果樹は、気候温暖化の影響を最も受けやすい作物である<sup>1)</sup>。本県の主要果樹であるカキでは、軟化の多発や着色遅延が認められている。そこで著者らは、エチレン作用阻害剤である1-メチルシクロプロペンによる軟化防止<sup>2)</sup>やカキの果実着色のメカニズム<sup>3)4)</sup>ならびに温暖化と着色との関係<sup>5)</sup>を明らかにしてきた。果実着色については、秋季の気温と関連が強く、‘富有’では夏以降の着色開始期前に平均気温23℃以下の冷涼な日の遭遇の早晚によって収穫期が左右されている<sup>5)</sup>。これはこの時期から果実成熟に移行することを意味していると考えられ、果実着色と並び重要な形質である果実の大きさについても何らかの影響を及ぼすものと考えられる。

カキ‘富有’の果実は、開花後から8月上旬ころまで著しく生長する第Ⅰ期、その後約1か月間

生長が停滞する第Ⅱ期を経て、9月中旬ころから再度著しく肥大する第Ⅲ期の2重のS字曲線を描いて生長する<sup>6)</sup>。カキの肥大と気温との関係については、‘富有’<sup>7)8)</sup>や‘前川次郎’<sup>9)</sup>、‘次郎’<sup>10)</sup>と‘平核無’<sup>10)</sup>での報告があり、夏秋季の高温条件による果実生長第Ⅱ期から果実生長第Ⅲ期の肥大抑制が明らかとなっている。生長第Ⅱ期の果実発育の停滞は、我が国の高温条件下で見られる現象である<sup>7)</sup>。カキは、温暖化によって開花期が前進化するが収穫期は前進化しない果実生育期延長タイプの果樹であり<sup>11)</sup>、開花期の前進化と春季の気温上昇により肥大は促進される

が、9月の高温により果実生長第Ⅱ期が長く続き、果実生長第Ⅲ期の期間が短くなって後期肥大が劣るといったパターン変化が起こっている。

本県のカキの販売は大部分がスーパーなどの量販店に依存しているが、その中心となる果実重階級は220～260gのLサイズと260～300gの2Lサイズである。しかし近年現地では、大玉果実の比率が著しく高い年があり、Lサイズの比率が少なく、300gを越える大きな果実の販売に苦慮する場

\*現在：岐阜県農業経営課

\*\*現在：加茂農林事務所

## カキ‘富有’の夏秋季の気温低下と果実肥大との関係

面が生じている。カキの有利販売のためには、市場側に当年の果実の階級比率をできるだけ早い段階で情報提供する必要がある。そこで、本研究では近年の気温と果実肥大の関係ならびに果実肥大を制御する要因を明らかにするとともに、気象要因からの果実サイズの予測について検討を行った。

## 材料および方法

## 1. 生育ステージならびに果実肥大データ

岐阜県農業技術センター植栽の‘富有’基準樹2樹（平成24年現在51年生）について、系統適応性検定試験<sup>12)</sup>に準じて、毎年、発芽期、展葉期、開花期および収穫期の調査を行った。果実肥大は、1樹当たり15果の果実についてランダムにラベリングを行い、毎月5、15および25日に果周調査を行った。また11月25日以降の最終収穫日に一斉収穫を行い、果実重を調査した。なお、ラベリングした果実が途中で落果した際は、近傍の同程度の大きさの果実に変更し、果実数は常に同数になるようにした。果実生長期別の肥大量については、一日当たりの果周増加量が1mm未満の期間を果実生長第Ⅱ期（肥大停滞期）として、開花から第Ⅱ期までを果実生長第Ⅰ期、果実生長第Ⅱ期以降から収穫時までを果実生長第Ⅲ期として、それぞれの時期別の果周増加量を求めた。

## 2. 気象データならびに販売データ

アメダス岐阜（岐阜市加納二之丸6）の気象観測データを用いて、月別の平均気温を算出した。また岐阜市の平均気温の平年値は、8月上旬をピークに徐々に低下していくことから、毎年8月中旬を起点としてその年に初めて遭遇した低い平均気温の日を15～25℃までの間の1℃刻みで算出し解析に用いた。販売データについては、JA全農岐

阜の岐阜柿生産販売検討会資料より岐阜県全の系統共販および岐阜県内の9選果場の階級比率を用いた。なお、本研究におけるデータ解析は2003～2012年の10年間としたが、真正および糸貫選果場は2012年に合併したため、両選果場については、2003～2011年の9年間とした。

## 結果

## 1. 生育ステージの変化

1983～2012年を前半（1989～1997年）15年間と後半（1998～2012年）15年間に分け、生育ステージを比較すると、発芽期、展葉期、開花期については、5～6日有意に早くなっていた（第1表）。収穫期については有意な差が認められなかったことから、カキの生育期間については、近年10日前後長くなっていた。果実肥大については、果実生長第Ⅱ期の期間が長くなっており、果実生長第Ⅰ期および果実生長第Ⅱ期の果周増加量には前半15年間と後半15年間の差はないが、果実生長第Ⅲ期の果周増加量は、近年少なくなっていた（第2表）。

## 2. 平均気温と果実サイズとの関係

1998～2012年の15年間を対象として、月別平均気温と収穫時の果実重との相関を求めたところ、9月の平均気温との間に絶対値の高い有意な相関が認められた（第3表、第1図）。また8月中旬以降の温度別の平均気温初遭遇日と果実重との間には、25および23℃以下初遭遇日との間に有意な負の相関が認められ、果実生長第Ⅲ期の果周増加量（後期肥大量）との間には23℃以下初遭遇日との間でのみ有意な負の相関が認められた（第4表）。

第1表 1983～1997年の15年間と1998～2012年の15年間のカキ‘富有’の生育ステージの比較

	発芽期	展葉期	開花期			収穫期			発芽～収穫盛期の 日数(日)	開花盛期～収穫 盛期の日数(日)
			始期	盛期	終期	始期	盛期	終期		
1998～2012年	3月24日	4月12日	5月19日	5月21日	5月24日	11月6日	11月19日	11月30日	240	182
1983～1997年	3月30日	4月18日	5月24日	5月27日	5月29日	11月5日	11月17日	11月28日	231	174
有意性 <sup>z</sup>	*	***	**	**	**	ns	ns	ns	**	**

<sup>z</sup>t検定により\*、\*\*、\*\*\*はそれぞれ5%、1%、0.1%水準で有意差があること、nsは5%水準で有意差がないことを示す

第2表 1983～1997年の15年間と1998～2012年の15年間のカキ‘富有’の果実生長期別の果周増加量ならびに生長開始日の比較

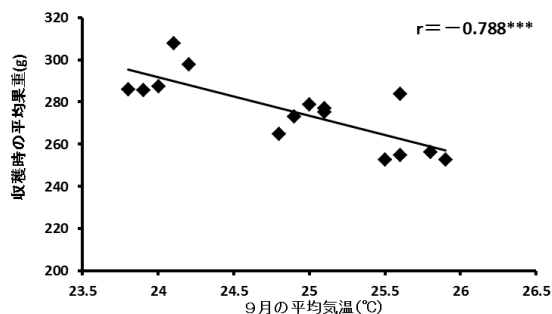
	果周増加量(cm)			果実生長第Ⅱ 期開始日	果実生長第Ⅲ 期開始日
	生長Ⅰ期	生長Ⅱ期	生長Ⅲ期		
1998～2012年	20.1	2.5	5.3	8月6日	9月25日
1983～1997年	20.1	2.4	6.1	8月11日	9月23日
有意性 <sup>z</sup>	ns	ns	*	*	ns

<sup>z</sup>t検定により\*は5%水準で有意差があること、nsは5%水準で有意差がないことを示す

第3表 1998~2012年の収穫時の平均果重と月別平均気温との相関関係

	相関係数	p値	有意性 <sup>z</sup>
3月	0.468	0.037	*
4月	0.285	0.224	ns
5月	0.312	0.181	ns
6月	-0.204	0.389	ns
7月	0.195	0.411	ns
8月	-0.520	0.019	*
9月	-0.788	0.000	***
10月	-0.272	0.246	ns
11月	-0.078	0.743	ns

<sup>z</sup>\*, \*\*\*, \*\*は5%または0.1%水準で有意であることを、nsは5%水準で有意でないことを示す



第1図 収穫時の平均果重と9月の平均気温との関係

rは相関係数, \*\*\*は0.1%水準で有意であることを示す

第4表 お盆以降に初めて遭遇した低い平均気温日と平均果重ならびに果実生育第Ⅲ期の肥大量との相関関係

	平均果重		果実生育第Ⅲ期肥大量	
	相関係数	有意性 <sup>z</sup>	相関係数	有意性
15℃以下初遭遇日	0.430	ns	0.302	ns
16℃以下初遭遇日	-0.294	ns	-0.294	ns
17℃以下初遭遇日	-0.392	ns	-0.492	ns
18℃以下初遭遇日	-0.402	ns	-0.209	ns
19℃以下初遭遇日	-0.334	ns	-0.052	ns
20℃以下初遭遇日	-0.260	ns	-0.047	ns
21℃以下初遭遇日	-0.214	ns	-0.139	ns
22℃以下初遭遇日	-0.239	ns	-0.204	ns
23℃以下初遭遇日	-0.619	*	-0.764	***
24℃以下初遭遇日	-0.336	ns	-0.322	ns
25℃以下初遭遇日	-0.667	**	-0.351	ns

<sup>z</sup>\*, \*\*, \*\*\*は5%, 1%または0.1%水準で有意であることを、nsは有意差がないことを示す

第5表 各選果場のL, 2L, 3L以上率と9月の平均気温との相関関係 (2003~2012年の10年間)

選果場名	L以上率	有意性 <sup>y</sup>	2L以上率	有意性	3L以上率	有意性
岐阜市	-0.697	*	-0.814	**	-0.730	*
北方	-0.707	*	-0.826	**	-0.891	***
巢南	-0.482	ns	-0.801	**	-0.809	**
真正 <sup>z</sup>	-0.802	**	-0.829	**	-0.768	*
糸貫 <sup>z</sup>	-0.744	*	-0.775	*	-0.725	*
大野	-0.820	**	-0.847	**	-0.827	**
羽島	-0.586	ns	-0.812	**	-0.834	**
西美濃	-0.893	***	-0.851	**	-0.805	**
山之上	0.126	ns	0.120	ns	-0.834	**

<sup>z</sup> 選果場合併前の2003~2011年度の9年間

<sup>y</sup> \*, \*\*, \*\*\*はそれぞれ5%, 1%および0.1%水準で有意であることを、nsは5%水準で有意でないことを示す

### 3. 重回帰分析による収穫時の平均果重の予測

市場と量販店との商談は、出荷1か月前に行われており、産地からはその時点で精度の高い階級情報の提供を行う必要がある。果実サイズと高い相関が得られた要因は、9月の月平均気温、日平均気温 23℃以下初遭遇日ならびに果実生長第Ⅲ期の果周増加量であったことから、2003~2012年の10年間のこれらの要因を用いた平均果重の予測を行ったところ、決定係数 0.883 の重回帰式を得た(データ略)。しかし、果実生長第Ⅲ期果周増加量は収穫時まで数値が確定しないため予測当年のデータとして用いることができない。果実生長第Ⅲ期については、第Ⅱ期終了時期と密接な関係を有し、9月から10月初めまでの間に迎えることから、9月5日から10月5日の間の1か月間の果周増加量を用いて再度重回帰分析を行い、決定係数 0.936 の以下の予測式を得た。

$$Y = 15.3X_1 - 0.28X_2 - 8.92X_3 + 528.22$$

$$(R^2 = 0.936^{***})$$

Y: 平均果重(g)

$X_1$  = 9/5~10/5の間の果周増加量(cm)

$X_2$  = 23℃以下初遭遇日(1/1を起点とした日数)

$X_3$  = 9月の平均気温(℃)

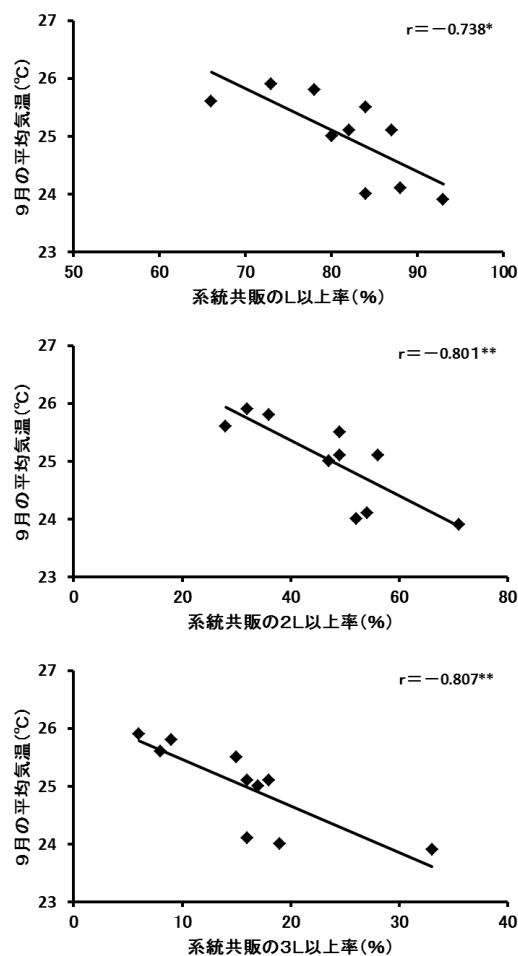
またこの予測式における実測値と予測値の平均誤差は、3.7g、最大誤差は8.4gと精度が高かった。

### 4. 選果場における階級比率と平均気温との関係

最も高い相関が認められた9月の平均気温と岐阜県系統共販の階級比率との間には、L以上、2L以上および3L以上率とも5%もしくは1%水準で有意な負の相関が認められ、9月の平均気温が低

## カキ‘富有’の夏秋季の気温低下と果実肥大との関係

いほど大玉比率が高くなる傾向が認められた（第2図）。県下9選果場毎の階級比率との間にも、ほぼ同様の傾向が認められた（第5表）。ただし、山之上選果場については、3L以上率以外には有意な相関が認められなかったが、これは共販以外の贈答需要が多いために、正確な階級が共販実績に反映されていないためと考えられた。



第2図 9月の平均気温と岐阜県系統共販‘富有’のL, 2L, 3L以上率との関係  
rは相関係数, \*, \*\*は, それぞれ5%水準または1%水準で有意であることを示す

## 考察

カキの果実発育を左右する要因は、落葉時期と貯蔵養分、葉果比、結実制限、開花時期の早晚、結果母枝長および温度<sup>13)</sup>であるが、この中で近年温暖化の影響を強く受けていると考えられる要因は、開花時期の早晚と温度である。開花期は前進化傾向にあるが、収穫期は変化していないことか

ら、果実の生育日数は長くなっており、大玉果生産については有利な条件となっている（第1表）。しかし、夏季の高温条件が果実肥大を抑制する<sup>7)</sup>ため促進効果は相殺される。春は高温で推移し、夏以降は低温基調で推移した場合は、予想以上に大玉果実の比率が高くなるため、販売する際に大きな混乱を招く年となる。このような状況を回避するためには事前に当年の果実サイズを把握しておく必要があるものの限られた定点圃場での肥大調査では、精度に難がある。そこで、気象要因から果実サイズの決定要因についての解析を行ったところ、着色<sup>5)</sup>と同様に日平均気温23°C以下初遭遇日との相関が認められた（第4表）。また9月の平均気温とも高い相関が認められた（第3表、第1図）。この結果は、着色と同様に一定の低温遭遇によって、果実生長第Ⅲ期に入り、着色の進行と同時に果実肥大などの成熟反応も進んでいくためと考えられ、平均気温23°C以下という一時的な低温遭遇は、成熟反応全般を進めるためのスイッチとして機能していると考えられる。

最新式の選果機は、カキの階級を最大断面積に基づいて決定し選別するため、従来のような果実重による階級分別を行う場面は減少傾向にあり、また出荷箱も重量表示から個数表示に変更されているためLや2Lといった分類は、現在用いられていない。しかし、断面積と果実重との相関は高く、また従来から大きさを判別するうえで馴染みの深い果実重は、生産現場においては依然として多用されている。平均果実重を予測する際のパラメーターとしては、生長第Ⅰ期の肥大量や降水量、降水日数なども深く関与すると予想されたが、これらの要因は平均果実重にはあまり影響していなかった（データ略）。二重のS字曲線を描いて生長するカキ果実は、果径の増加は生長第Ⅰ期が最も増加するが、果重については生長第Ⅲ期が最も増加する<sup>9)</sup>ことから、生長第Ⅰ期の肥大量は収穫時の果実重にあまり影響しないものと考えられた。また、カキの根は重粘土質の高硬度、低気相率の悪条件の深層土でも深く入り込み、地下50~60cmの深さでは、かん水を必要とする水分当量まで下がるには相当の日数を要するため、1か月程度の早魃では、葉の機能ならびに果実の肥大にあまり影響が現われない<sup>14)</sup>ことから、通常的气象条件下であれば降水による果実重への関与は小さいもの

と考えられた。本研究で得られた重回帰分析による予測式での説明変数は、夏から秋の季節変化に関する項目であり、残暑の長さに密接に関係している。いずれの変数も10月初旬には確定するため、当年の生産状況については収穫の1か月前には市場側に伝えることが可能となり、実用性は高いものと考えられた。また、この時期は果実サイズに加えて着色にも大きく影響を及ぼす時期であることから、温暖化条件下で今後カキ果実の生産を続けていくためには、この時期の気温変化に注視していく必要がある。

9月の平均気温と各選果場との相関については、直売主体で共販の依存度が小さい山之上選果場や市場を経由しない贈答需要の多いL級果実については、相関が低いものの、2L, 3L以上率については、ほぼすべての選果場において有意な相関が認められた。しかし相関係数については、選果場間で若干のパラッキが認められており、生産レベルが高い選果場ほど相関係数は低くなる傾向となった。これは、果実サイズは9月の気温でほぼ決定しているが、栽培管理による大玉果実生産の関与する余地が残されていることを示唆するものと考えられた。

先般、温暖化によってリンゴの糖度が高くなるという日本の研究成果<sup>15)</sup>が全世界に配信された。温暖化は、地球環境の変化によって生活基盤の変更を余儀なくされる<sup>16)</sup>ため、デメリット面が強調されている。農業分野においても、これまでと同等の収量や品質を確保するのが難しくなることや今までとは同じ品目が栽培できなくなる<sup>17)</sup>といった悪影響が論じられる機会が多い。しかし、温暖化による利点も十分に期待することができ、カキの生育日数の延長は小玉果実の減少や高糖度果実の生産の可能性を有するものであり、また肥大パターンの変化はヘタスキ発生率を低下させる要因である。今後、メリット面を導き出すような研究も進めていく必要があると考えられる。

#### 引用文献

- 1) 杉浦俊彦・杉浦裕義・阪本大輔・朝倉利員. 2009. 温暖化が果樹生産に及ぼす影響と適応技術. 地球環境. 14 : 207-214.
- 2) 新川 猛・稲荷妙子・尾関 健・三井萬丈. 2005. 1-メチルシクロプロペン処理による完全甘ガキの果肉硬度保持. 食科工. 52 : 68-73.
- 3) 新川 猛・加藤雅也・鈴木哲也・尾関 健・生駒吉識. 2014. カキ‘早秋’と‘刀根早生’果実におけるカロテノイド蓄積とカロテノイド合成関連酵素遺伝子の発現特性. 園学研. 13 : 53-58.
- 4) 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. 園学研. 6 : 251-26.
- 5) 新川 猛・鈴木哲也・尾関 健・西垣 孝. 2014. カキ‘富有’における夏秋季の気温低下と果皮の着色との関係. 園学研. 13 : 59-65.
- 6) 新居直祐. 1980. カキ‘富有’果実の肥大生長と果梗部維管束の発達について. 園学雑. 49 : 160-170.
- 7) 中條利明. 1982. 富有カキ果実の発育ならびに品質に及ぼす温度条件に関する研究. 香川大学農学部紀要. 37 : 1-63.
- 8) 森永邦久・葉師寺博. 1994. 夏秋季の高温が果実肥大と品質ならびに各器官の呼吸に及ぼす影響. 園学雑. 63 (別2) : 72-73.
- 9) 伊藤 寿. 2007. カキ‘前川次郎’の気温反応に関する研究. 筑波大学大学院生命環境科学研究科学位論文.
- 10) 鄭 国華・平 智・米森敬三・杉浦 明. 1990. 温度条件の異なる地域におけるカキ果実の発育および成熟様相の相違. 園学雑. 59 : 471-477.
- 11) 杉浦俊彦・黒田治之・杉浦裕義. 2007. 温暖化がわが国の果樹生育に及ぼしている影響の現状. 園学研. 6 : 57-263.
- 12) 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所. 2007. 育成系統適応性検定試験・特性検定試験調査方法. 11. カキ調査方法. p. 169-178.
- 13) 中村三夫. 1982. 4. 果実発育の生理. P. 50-57. 農業技術体系果樹編第4巻「カキ・ビワ・オウトウ」. 農文協. 東京.
- 14) 上野晴久・松山良樹・石崎政彦. 1967. 柿の水管理に関する研究. 和歌山果樹園試研報. 1 : 1-16.
- 15) Sugiura, T., H. Ogawa, N. Fukuda and T. Moriguchi. 2013. Changes in the taste and textural attributes of apples in response to

climate change. 3:2418. Sci. Rep.

DOI:10.1038/srep02418.

<<http://www.natureasia.com/ja-jp/srep/abstracts/49119>>

- 16) 原沢英夫. 2005. 地球温暖化の日本への影響. 環境研究. 138 : 24-31.
- 17) 杉浦俊彦. 2009. 温暖化が進むと「農業」「食料」はどうなるのか?. p. 69-164. 技術評論社. 東京.

### Abstract

We studied the relevance with growth and air temperature of persimmon "Fuyu" fruit and examined whether I could predict fruit size from meteorology factor. The growth of persimmon of 15 years from 1998 to 2012, as compared to the 15 years from 1983 to 1997, there is no change in the harvest time for flowering time came early, growth of the fruit has been prolonged. Fruit enlargement of the growth stage III was repressed while the growth stage I was promoted, and changed the growth pattern of fruit in enlargement. Fruit growth stage III was correlated with air temperature in autumn significantly, especially mean air temperature at September. In addition, correlation was recognized the daily mean air temperature first decreased to 23°C or less. It was suggested that the temperature operated as a switch to promote fruit maturation since there is also correlated with the coloring of the fruit. As for the mean temperature of September and the rank ratio of each field which sorted fruits, high correlation was recognized. By the multiple regression analysis that used the meteorology factor which changed in autumn from summer for an explanatory variable, as for the fruit weight of a harvest time, a forecast was possible in high accuracy ( $R^2=0.936^{***}$ ) .

### Key words

global warming, fruit weight, mean air temperature, predicting formula, size of fruit