

博 士 論 文

カキ果実の肉質評価および品質保持に
関する研究

平成 2 7 年 1 2 月

鈴 木 哲 也

目次

第1章 緒論	1
第2章 カキ‘富有’の肉質評価	
第1節 音響振動法およびAMC法によるカキ‘富有’の肉質評価 と食べ頃予測	9
第2節 音響振動法およびAMC法による袋かけ栽培‘富有’の肉 質評価とおいしさの要因解明	25
第3章 カキ‘早秋’の肉質評価および品質保持技術の開発	
第1節 音響振動法によるカキ‘早秋’の肉質評価と果肉硬度保持 技術の開発	34
第2節 1-MCP処理と防湿段ボール箱によるカキ‘早秋’の品 質保持技術の開発	50
第4章 カキ‘太秋’の肉質評価および品質保持技術の開発	
第1節 音響振動法によるカキ‘太秋’の肉質評価とおいしさの要 因解明	57
第2節 AMC法によるカキ‘太秋’の食感評価方法の開発	66
第3節 1-MCP処理およびポリエチレン包装によるカキ‘太秋’ の食感保持技術の開発	80
第5章 総合考察	95
Synopsis	101
謝辞	107
引用文献	108

第1章 緒論

カキの来歴

カキ (*Diospyros kaki* Thunb.) はカキノキ科 (Ebenaceae) カキ属に属し、中国、日本、朝鮮半島に分布している。カキ属には 400 近くの種が存在するとされているが、その多くは熱帯・亜熱帯地域に分布しており、カキのように温帯地域に分布している種は多くない。熱帯・亜熱帯地域に分布しているカキ属植物には二倍体の種が多いが、カキは一部の九倍体品種を除き、ほとんどが六倍体であり、カキは種の形成過程で倍数性を獲得したと考えられる (米森, 2008)。

カキの起源地は中国南部であり、朝鮮半島を経由して、日本に渡来したと考えられている (米森, 2008)。「古事記」や「日本書紀」には地名や人名としてカキの記述があるが、カキを果樹として記載した最初の文献には「本草和名」(918)と「和名類聚抄」(923~930)がある (菊池, 1948; 山田, 2013)。また、平安時代の宮中の式典の細目などを記した「延喜式」(927)にも祭礼の際に熟し柿や干し柿が供物として記載されていた (米森, 2008)。これらは渋ガキの記録であり、甘ガキの最も古い記録は神奈川県都筑郡柿生村 (現川崎市麻生区) 原産の‘禅寺丸’である。‘禅寺丸’は不完全甘ガキ (後述) であり、東京では大正時代まで代表的な甘ガキであった。一方、江戸時代まで、完全甘ガキとして広く知られていたのは奈良県御所市原産の‘御所’であり、これが各地で植えられ、地元の完全渋ガキや不完全甘ガキ品種と交雑して完全甘ガキ品種が生まれた (山田, 2013)。なお、‘富有’は岐阜県本巣郡川崎村 (現瑞穂市) 居倉の原産であり、‘居倉御所’と呼ばれていた。1898年、岐阜県農会主催のカキ展覧会に福嶋才治氏が‘富有’と命名し出品して一等賞となり、その後、1903年、農商務省農事試験場園芸部恩田場長に有望品種であることを認められ、全国に栽培が広まった (第18回全国かき研究大会実行委員会, 1980)。

甘ガキと渋ガキ

カキは甘渋、種子数および果肉の褐斑程度によって、完全甘ガキ (pollination constant, non-astringent : PCNA)、完全渋ガキ (pollination constant, astringent : PCA)、不完全甘ガキ (pollination variant, non-astringent : PVNA)、不完全渋ガキ (pollination variant, astringent : PVA) に分類される (Hume, 1914; 梶浦, 1946)。第1表に示したように、完全甘ガキは揮発性物質 (アセトアルデヒド) の生成・蓄積とは無関係に脱渋し、それ以外のカキは揮発性物質 (アセトアルデヒド) が生成・蓄積することによって脱渋する。その中で、アセトアルデヒド量の生成が相対的に高いものが不完全甘ガキ、相対的に低いものが不完全渋ガキ、ほとんど生成しないものが完全渋ガキと分類されている (米森, 2008)。完全甘ガキは、種子の有無にかかわらず渋味がないかまたはほとんどなく、通常、果肉全体に少量の褐斑が生じるものであり、‘富有’や‘次郎’

などがある。完全渋ガキは、種子の有無にかかわらず著しく渋味を有し、褐斑は生じないものであり、‘西条’や‘愛宕’などがある。不完全甘ガキは、種子が形成されるとその周囲に多量の褐斑が生じて甘ガキとなるが、種子数が少ないと種子のない部分に渋が残るもので、‘西村早生’や‘禅寺丸’などがある。不完全渋ガキは、種子の周囲にのみわずかに褐斑が生じるが、褐斑のない部分に著しく渋味のあるもので、‘平核無’や‘会津身不知’などがある。不完全甘ガキは種子ができると果肉に多量の褐斑が生じるため、肉質は粗い。完全甘ガキのうち‘富有’は種子脱渋性を有しているため、種子が多いほど果肉の褐斑の量が多く、種子脱渋性を有していない‘次郎’や‘御所’などより肉質は粗くなる（山田，2013）。

岐阜県におけるカキ栽培の現状および課題

岐阜県のカキ栽培面積は 1,340ha で全国 4 番目である（農林水産省，2015）。甘ガキ主体の産地であり、従来品種構成は 9 月中旬～10 月上旬に出荷される‘西村早生’，10 月中旬～下旬に出荷される‘松本早生富有’，11 月上旬～12 月上旬に出荷される‘富有’であった。しかし、不完全甘ガキである‘西村早生’は渋果が混入しやすいことや果肉が硬く食味不良であること，‘松本早生富有’は早期軟化が発生しやすいことから、市場評価が低下しており、近年‘西村早生’の代替品種として‘早秋’，‘松本早生富有’の代替品種として‘太秋’が導入されている。‘早秋’は極早生の完全甘ガキとして 10 月初旬から収穫ができること，果皮色は赤く，良食味でへたすき果がほとんど発生しないことから（山田ら，2004），市場評価が高く，高単価で販売されている。しかし，‘西村早生’よりも日持ち性が短いこと，果肉硬度が早く低下することが課題である。‘太秋’は中生の完全甘ガキであり，食味の優れていることが最大の特徴である（山根ら，2001）。その特徴はサクサクとした食感に起因しており（山根，1994），サクサク感を生かした販売戦略の構築が重要である。また，岐阜県は，1998 年頃から，労力分散および年末贈答需要に対応するため，袋かけ栽培‘富有’に取り組んでいる。これは通常栽培の‘富有’の出荷終了後，12 月中旬に出荷する。樹上での成熟期間が長いため，糖度が高いなど食味が優れている。この袋かけ栽培‘富有’のうち，大きさ，糖度，果色が一定の基準を満たしているものを「果宝柿」と名付け，岐阜県のトップブランドとして販売している。

岐阜県産のカキは中京および京浜市場を中心に出荷しており，‘富有’においては名古屋中央卸売市場の取扱量の約 92%を占めている（名古屋市，2015）。ほぼ独占的な状況であるが，販売価格は低迷している。供給量が少ない年でも，販売価格は上昇せず，カキの需要そのものが減少していると考えられる。このような状況の中，需要拡大を図るキーワードの一つとしておいしさがある。カキだけではなく，果物全体の消費低迷が続いている中において，消費者ニーズが高く，栽培面積の増加している品種がある。ブドウの‘シャインマスカット’，リンゴの‘シナノスイート’，ナシの

‘あきづき’，カンキツ類の‘せとか’などであり，これらの共通点は食味が優れていることである（山田，2014）．そこで，岐阜県においては，サクサク感を有している‘太秋’，高級ブランドとして評価の高い袋かけ栽培‘富有’など食味の優れている商品づくりに取り組んでいる．

一般的に果物のおいしさは糖含量，糖組成，有機酸含量，糖酸比，硬度，食感，芳香などから構成されている．しかし，カキ果実に含まれている有機酸（主にクエン酸，リンゴ酸）は官能で感知できないほど少ない（三浦・荒木，1988）．また，カキ果実の芳香については，揮発性成分の同定（Horvat ら，1991；平ら，1996）や官能評価（Lyon ら，1992）の報告はあるが，香りそのものが弱く，その構成成分などは十分解明されていない．これらのことから，カキ果実のおいしさは糖含量や糖組成などの甘味，硬度や食感などの肉質によって決定される．糖含量や糖組成についての報告は多くあり，平井・山崎（1984）は，甘ガキおよび渋ガキ 18 品種の糖組成をガスクロマトグラフィーで測定した結果を報告している．辻・小宮山（1987）は，‘富有’および‘甲州百目’においてショ糖分解酵素の一つであるインベルターゼの活性と糖組成との関係を報告している．インベルターゼの活性上昇は甘味の増加に繋がると考えられている．鄭・杉浦（1990）は，甘ガキおよび渋ガキ 6 品種における経時的な糖組成の変化とインベルターゼ活性との関係について報告している．また，糖度向上技術として，松本・黒田（1982）は着果調整，鈴木ら（2010b）は光環境改善と着果調整について報告している．しかし，果肉硬度や食感など肉質よるおいしさの評価の報告は少ない．

カキの果肉硬度

カキの果肉硬度には品種間差異があり，‘西村早生’は硬く，‘平核無’と‘太秋’は軟らかい品種である（山田ら，1998）．また，成熟に従って果肉硬度は軟らかくなる．収穫後，甘ガキ（完全甘ガキおよび種子が十分入っている不完全甘ガキ）は直ぐに食べることができるが，渋ガキ（完全渋ガキ，不完全渋ガキおよび種子が十分入っていない不完全甘ガキ）は脱渋しないと渋くて食べることができない．脱渋方法には炭酸ガス脱渋法やアルコール脱渋法などがあり，いずれも脱渋処理後，果肉硬度は低下する（平ら，1987）．

一般的に果肉硬度は果実硬度計によって測定される．しかし，果実硬度計はプランジャを貫入した時の最大貫入力計測するため，対象物を破壊しなければならず，同一果実を継時的に評価することができない．非破壊法として，Abbott ら（1968），Finney（1970）は，振動を利用して果実の弾性を測定する方法を開発したが，接触式のセンサーで振動を検出していた．そこで，Muramatsu ら（1997）は，非破壊および非接触法として，果実に正弦波振動を与えた時の振動をレーザードップラー振動計（Laser Doppler Vibrometer, LDV）で測定する方法を開発した．キウイフルーツ（Terasaki ら，2001b, c），リンゴ（元村ら，2004），セイヨウナシ（Murayama ら，2006；Taniwaki

ら, 2009b; Terasaki ら, 2006), カキ (Taniwaki ら, 2009a), メロン (Taniwaki ら, 2009c, 2010) などにおいて, 弾性指標による果肉硬度や食べ頃の推定などが報告されている. さらに, Kuroki ら (2006) は, LDV 法を応用した音響振動法による小型測定装置を開発し, トマトスライス of 果肉硬度推定 (中野ら, 2008), セイヨウナシの可食期および熟度推定など (知野ら, 2009, 2010a, 2010b, 2011), ブドウの品種による果肉硬度の軟化様式特性 (Takahashi ら, 2010), ニホンナシの熟度指標 (黒坂ら, 2010), アボカドの食べ頃判別と予測 (秋元ら, 2010, 2011a, 2011b), プルーンの収穫指標と予測 (大畑・櫻井, 2011, 2012), マンゴーの果肉硬度推定と品質保持 (文室・櫻井, 2011, 2012, Fumuro・Sakurai, 2014), ウメの梅酒原料の選定指標 (大江ら, 2013), ピタヤの収穫適期判定 (Fumuro ら, 2013) などが報告されている.

このように, 音響振動法によって, 同一果実を非破壊で継続的に評価できるようになり, 多くの果実で果肉特性が明らかにされてきた. しかし, カキ果実において, 品種の違いによる保存条件を考慮した研究はほとんど行われていない.

カキ果実の食感

カキの育種において, 以前は肉質が緻密な果実ほど良食味とされていたが, 現在, 肉質の粗密は人によって好みがあり, どちらも「良い食味」であると位置づけられている (山田, 2011). 実際「太秋」は肉質が粗く軟らかい品種であるが, 食味は優れていると評価されている. その要因は, 食感がサクサクとしていること (山根, 1994), 「富有」とは糖組成が異なること (鈴木ら, 2010a) などである. 特にサクサクとした食感は今までのカキにはない新たな食感であり, 高い人気を得ている. そこで, このサクサク感の有無や強弱を評価するために, 定量的な計測方法が必要となってきた.

一般的な食感評価法として官能試験が多く行われているが, 客観的な評価は困難である (Taniwaki・Sakurai, 2010). また, 機器測定として, 実際に人が食べた時に発生する音をマイクロフォンで計測する方法が研究されてきたが (Christensen・Vickers, 1981; De Belie ら, 2000, 2002; Drake, 1963, 1965; Lee ら, 1998; Seymour・Hamann, 1998; Vickers・Bourne, 1976), 個人差の大きいこと, 再現性のないことが課題であった. そこで, Sakurai ら (2005a, b) は, プローブをサンプルに貫入させ, その時に発生する音響振動をプローブとピストンの間に挟んだ圧電素子で検出する食感測定装置 (Acoustic Measurement of Crispness, AMC) を開発し, 「シャープネス指標」によってキュウリやカキの肉質評価を行った. その後, Taniwaki ら (2006b) は, 電圧データをオクターブマルチフィルタで周波数帯域ごとに分けて数値化した. その食感指標 (TI: Texture Index) によって, ネギ (Kuroki ら, 2008; Taniwaki ら, 2006a), キャベツ (Taniwaki・Sakurai, 2008), セイヨウナシ (Taniwaki ら, 2009b), スイカ (岩谷ら, 2009), ブドウ (岩谷ら, 2010) などの食感評価が報告されている. その後, Iwatani ら (2013) は, 振動検出を圧電素子から加速度センサに替え, エネルギー食感

指標を厳密な物理量で定義し、スイカ（岩谷ら，2011）の食感評価について報告している。

従来の肉質評価方法で‘太秋’のサクサク感を定量評価することは難しく、生産者や流通販売関係者などからサクサク感の定量評価方法が求められてきた。AMC法によって、少しずつ青果物の果肉特性が評価されてきたが、‘太秋’のサクサク感はまだ評価されていない。

カキ果実の品質保持

果物を食べない一番の理由は、日持ちがせず買い置きができないことであり（公益財団法人中央果実協会，2015），日持ち性および品質保持の短さが消費低迷の大きな要因の一つになっている。カキの消費拡大，有利販売を図るためには，食べ頃のおいしい果実を供給するとともに品質保持によっておいしい果実の供給期間を拡大することが重要である。

収穫後にカキ果実の品質が悪化する要因には，果実自体の生理作用，果実からの水分蒸散，微生物による腐敗がある（北川，1970）。生理作用による品質悪化のうち最たるものは軟化である。カキ果実の軟化にはエチレンが関わっており，エチレン生成に関して多くの報告がある（板村ら，1991；岩田ら，1969；高田，1982，1983）。板村ら（1986，1994）は，‘平核無’において，アルコール脱渋処理によりエチレン生成が早まること，摘葉処理により脱渋後のエチレン生成が促進することを報告している。Nakanoら（2001）は，‘西条’において，水分ストレスおよび脱渋処理に伴うCO₂ストレスがエチレン誘導に関与していることを報告している。千々和ら（2002）は，‘伊豆’において，へたすき果が健全果よりエチレン生成の早いことを報告している。播磨ら（2006）は，‘刀根早生’において，環状はく皮処理によりエチレン生成量が増加することを報告している。また，カキ果実では，水分蒸散によって減量率が3～5%になると果実表面の光沢が減少し，5%を越すと光沢が消失，シワが出現し，肉質が弾性化する（樽谷，1965）。果実からの水分蒸散に関しては，‘富有’果実をポリエチレン袋に密封すると水分蒸散が抑制され，貯蔵性が優れること（樽谷，1960），‘富有’果実を高湿条件で保存すると低湿条件よりも水分損失量，エチレン生成量が少なくなること（Tuchidaら，2003）が報告されている。

軟化や肉質の変化は細胞壁構成成分の分解によると考えられている。平ら（1986）は，アルコールおよび炭酸ガス脱渋後における‘平核無’の硬度低下は水溶性ペクチンの増加によると報告している。板村ら（1989），Itamuraら（1995）は，アルコール脱渋後における‘平核無’や‘刀根早生’の急速な軟化はヘミセルロースの分解によると報告している。石丸ら（2001）は，アルコールおよび炭酸ガス脱渋後における‘平核無’の軟化は水溶性ペクチン画分のウロン酸量の増加と水不溶性ペクチン画分のウロン酸量の減少およびヘミセルロースの減少が関係していると報告している。また，

Tsuchida ら (2004) は, ‘富有’ 果実における軟化は様々な細胞壁構成成分の含量の変化によると報告している.

実用的な品質保持対策として, 石丸ら (1998) は, ハウス ‘刀根早生’ において, CO₂ 脱渋時に CO₂ 濃度を漸次低下させると呼吸量, エチレン生成量を抑え, 果実硬度を保持できることを報告している. 播磨ら (2002a, 2002b) は, CTSD (Constant Temperature Short Duration) 脱渋法 (Matsuo ら, 1976) による脱渋処理後のハウス ‘刀根早生’ において, 有孔ポリエチレン包装や透湿度を抑えた段ボール紙出荷容器により, エチレン生成の誘導と軟化の発生を抑制することを報告している. また, 2010 年, 1-メチルシクロプロペン (1-MCP) が日本で農薬登録され, 2015 年 5 月現在, リンゴ, ナシ, カキで使用が可能である. 1-MCP はエチレンよりもエチレン受容体に対する親和性が高く, エチレンよりも先にエチレン受容体に結合するため, 受容体の活性が維持され, 成熟・老化が抑制されたままになる (櫻村, 2005). リンゴ (艾乃吐拉ら, 2005; 櫻村ら, 2010a; Tatsuki ら, 2006), ナシ (島田ら, 2011), キウイフルーツ (Boquete ら, 2004; Cantin ら, 2011; Kim ら, 2001), バナナ (Jiang ら, 1999; 小泉ら, 2008; Tojo ら, 2009) などにおける品質保持, 日持ち性向上効果が報告されており, カキにおいても, ‘刀根早生’・‘西条’ (Harima ら, 2003), ‘松本早生富有’ (新川ら, 2005), ‘西条’ (倉橋ら, 2005), ‘蓮台寺’ (Ortiz ら, 2005), ‘Rojo Brillante’ (Salvador ら, 2004b) などにおいて, 軟化抑制の効果が報告されている.

このように, カキ果実にはエチレンや水分蒸散と軟化の関係, 1-MCP などによる品質保持についての報告があるが, おいしさに関わる肉質評価から品質保持について研究した報告は少ない. そこで, カキ果実の肉質評価および品質保持に関する研究を行った.

現在の ‘富有’ における収穫基準では, 出荷時においてまだ果肉が硬すぎて食べ頃になっていない. そこで, 第 2 章では ‘富有’ の肉質評価に関する研究を行った. 第 1 節では, 音響振動法および AMC 法によって, ‘富有’ の肉質特性の変化, すなわち食べ頃を明らかにするとともに食べ頃予測式を作成した. 第 2 節では, 音響振動法および AMC 法によって, ‘富有’ の抑制栽培である袋かけ栽培 ‘富有’ の肉質特性を明らかにするとともにおいしさの要因を調査した.

‘早秋’ は従来の早生品種に比べて日持ち性が短く, 果肉硬度の低下が早いことが課題であった. そこで, 第 3 章では ‘早秋’ の肉質評価および品質保持に関する研究を行った. 第 1 節と第 2 節において, 音響振動法により, ‘早秋’ の果肉硬度特性および食べ頃を明らかにするとともに品質保持技術を開発した.

‘太秋’ は食味の優れた品種であり, 特にサクサクとした食感が人気である. このサクサク感を活かすことにより, カキの新しい需要を喚起すると期待されている. そこで, 第 4 章では ‘太秋’ の肉質評価および品質保持に関する研究を行った. 第 1 節では, 音響振動法によって, ‘太秋’ の果肉硬度特性を明らかにするとともにおいし

さの要因を調査した。第2節では、AMC法によって、‘太秋’におけるサクサク感の定量評価方法を開発した。第3節では、AMC法によって、‘太秋’の肉質特性および食べ頃を明らかにするとともに品質保持技術を開発した。

なお、各品種とも、収穫時期は岐阜県における収穫基準を基本とした。

第1表 甘ガキ, 渋ガキの区分(山田, 2013; 米森, 2008)

種類	甘渋性	甘渋性と種子との関係	アセトアルデヒドの生成	種子脱渋力	果肉の褐斑	肉質
完全甘ガキ(PCNA)	甘	無	(無関係に脱渋する ^X)	有・無	少	やや粗 ^W
完全渋ガキ(PCA)	渋	無	ほとんど生成しない	無	無	密
不完全甘ガキ(PVNA)	変 ^Z	有 ^Y	相対的に高い	有(強)	多 ^Y	粗 ^W
不完全渋ガキ(PVA)	渋 ^Y (変 ^Z)	有 ^Y	相対的に低い	有(弱)	少 ^Y	密

^Z種子数によって変動する

^Y種子ができると, その周囲に褐斑が生じて脱渋する

不完全渋ガキはその範囲が狭いため, 果肉全体としては渋い

^X可溶性タンニンの生成が早期に停止し, それが果実内で希釈される

^W褐斑部

第2章 カキ‘富有’の肉質評価

第1節 音響振動法およびAMC法によるカキ‘富有’の肉質評価と食べ頃予測

緒言

現在、カキの出荷基準は大きさ、形、色などの外観により区分されている。しかし、消費者が自家用のカキを購入する際の重要な要因は色、味である(秋元・伊藤, 1979a)。また、小売店がカキを仕入れる際の重要な要因は産地や銘柄であり、その理由は‘味の保証’である(秋元・伊藤, 1979b)。このように、以前から消費者や小売店がカキに求めているものは味であったが、実際に味を評価した販売はなかなか行われていなかった。

カキの食味に係る主な要因は甘さ、果肉硬度および食感などであり、近年、糖度については、選果場における内部品質センサー導入、小売店における糖度表示など、生産および販売面での取り組みが行われている。

一方、果肉硬度や食感については、まだ取り組みが行われていない。特に果肉硬度は収穫後大きく変化すること、また嗜好に個人差や地域差があることなどから、その評価を行うことは極めて重要である。

従来、果肉硬度の測定は破壊法で行われており、樽谷・真部(1960)、樽谷(1960, 1961)は‘富有’における貯蔵中の温度、包装形態およびガス条件が果肉硬度に及ぼす影響を報告している。しかし、破壊法では同一果実における経時的な測定ができないため、カキ果実本来の果肉硬度推移の評価が困難であった。実用的な非破壊法として、大森・鷹尾(1994)は、青果物の弾性範囲内における圧縮力と変形量の関係から軟らかさを測定する非破壊評価装置(HITカウンタ)を開発した。薬師寺ら(1995)はカキへの適応性を検討し、HITカウンタ値とユニバーサル型果実硬度計、および、ペネトロメータによる測定値との間に強い相関関係があることを明らかにした。しかし、プランジャを果面に接触させて測定するため、同一果実の継続測定において、傷害エチレンの発生による果肉硬度への影響を指摘した。近年、非破壊および非接触法として、Muramatsuら(1997)は果実に正弦波振動を与えた時の振動をレーザードップラー振動計(Laser Doppler Vibrometer, LDV)で測定する方法を開発した。キウイフルーツ(Terasakiら, 2001b)、リンゴ(元村ら, 2004)、カキ(Sakuraiら, 2005b; Taniwakiら, 2009a)、セイヨウナシ(Murayamaら, 2006; Taniwakiら, 2009b; Terasakiら, 2006)、メロン(Taniwakiら, 2009c; Taniwakiら, 2010)などにおいて、果肉硬度の非破壊測定が報告されている。しかし、LDV法による測定装置は大きく高価であるため、Kurokiら(2006)はLDV法を応用した音響振動法による小型測定装置を開発し、栽培中の温室メロンにおける弾性指標の変化を明らかにした。トマト(中野ら, 2008)、セイヨウナシ(知野ら, 2009, 2010a)などにおいて、果肉硬度測定による果実特性の評価が報告されている。

一方、従来の食感測定では、実際に人が食べた時に発生する音をマイクロフォンで計測する方法がとられていた。しかし、個人差の大きいこと、再現性のないことが課題であった。Sakuraiら(2005a, b)はプローブをサンプルに貫入させ、その時に発生する音響振動をプローブとピストンの間に挟んだ圧電素子で検出する食感測定装置(Acoustic Measurement of Crispness, AMC)を開発し、カキやキュウリの肉質評価を行い、そのパラメーター「シャープネス指標」について検討した。Taniwakiら(2006b)は、その電圧データをオクターブマルチフィルタで周波数帯域ごとに分けて数値化した。ネギ(Taniwakiら, 2006a)、キャベツ(Taniwaki・Sakurai, 2008)、セイヨウナシ(Taniwakiら, 2009b)などにおいて、食感の数値化およびその評価が報告されている。

カキ‘富有’における現在の収穫基準では、出荷時においてまだ果肉が硬すぎて食べ頃になっていない。そこで、本研究では、‘富有’において音響振動法による果肉硬度の非破壊測定および音響法(AMC法)による食感測定を行い、収穫後の果実における肉質特性の変化、すなわち食べ頃を明らかにするとともに果肉硬度の変化から食べ頃の予測が可能であることを明らかにしたので報告する。

材料および方法

1. 音響振動法による果肉硬度の測定(実験1)

岐阜県農業技術センターに植栽されている‘富有’(1963年定植)の果実を供試した。2008年は収穫始期の11月7日、収穫盛期の11月17日、2009年は収穫始期の11月5日、収穫盛期の11月15日、収穫終期の11月25日に、果頂部の果皮色が‘富有’用カラーチャート値(農林水産省果樹試験場監修)で5.0に達した果実をそれぞれ72果採取した。果皮色の測定には色彩色差計(CR-400, コニカミノルタ(株))を使用した。新川ら(2008)の報告に準じて次式を作成し、測定した色相角度(H°)をカラーチャート値(CC値)に変換した。 $CC \text{ 値} = -8.101 \times \text{LN}(H^\circ) + 38.829$ ($r^2 = 0.992$)。

収穫時(収穫後0日)～収穫後40日まで、概ね1日おきに非破壊法による果肉硬度の測定、軟化度調査および官能評価などを行った。なお、果実は40日間室温下に保管した。

非破壊法による果肉硬度の測定は小型振動測定装置((有)生物振動研究所)を使用した。果実のへたを上向きにしてスポンジ上に置き、加振器と受振器を果実の赤道部の対角線上に軽く挟み、100～1,500 Hzの振動を与えた。第2共鳴周波数(f_2)を振幅強度および位相から求め、Kurokiら(2006)の報告に準じて、弾性指標(EI: Elasticity Index)を算出した。なお、果実直径(d)は加振器と受振器の挟んだ長さとした。

軟化判定は、岩田ら(1969)の手法を用いた。軟化度Ⅲ(指で押すと崩壊しそうになる、または果肉の一部が水浸状になる)に達した時点を軟化とした。なお、2008年11月7日収穫は25果、2008年11月17日収穫と2009年11月5日収穫は24果、2009

年 11 月 15 日収穫は 26 果，2009 年 11 月 25 日収穫は 33 果中軟化した果実の頻度を軟化率とした。

官能評価は 1 日（回）に 2～3 果用い，5 段階評点法で硬さおよびおいしさを評価した。硬さは非常に軟らかい（-2）～ちょうど良い（0）～非常に硬い（+2），おいしさは非常においしくない（-2）～普通（0）～非常においしい（+2）とした。パネルは岐阜県農業技術センター職員で構成し，2008 年は 7 人（男性 5 人・女性 2 人，30～50 歳代），2009 年は 9 人（男性 6 人・女性 3 人，30～50 歳代）とした。いずれのパネルも約 1 ヶ月半の訓練をした後，官能評価を行った。

また，官能評価におけるおいしさの評点と非破壊法による果肉硬度（弾性指標）との関係から，食べ頃を決定した。

＜弾性指標の計算＞

本実験では，音響振動法による小型振動測定装置で弾性指標（EI）を測定した。

Abbott ら（1968）は，リンゴ果実において第 2 共鳴周波数と果肉弾性との間に強い相関があることを明らかにした。その後，Cooke（1972）は，弾性率（ μ ）を次の式で表した。 α は形状定数， ρ は密度， m は果実重量， f_2 は第 2 共鳴周波数である。

$$\mu = \alpha \times \rho^{(1/3)} \times m^{(2/3)} \times f_2^2$$

Terasaki ら（2001a）は，共鳴する果実の振動モードを決定し，第 2 共鳴周波数の振動モードが半径方向に回転楕円体状に歪むことを明らかにして上記式の理論を裏付けた。また，上記式から，定数項である形状定数 α と密度 ρ を除くと弾性指標（EI）は次の式になる。

$$EI = m^{(2/3)} \times f_2^2$$

Kuroki ら（2006）は，LDV 法を応用した音響振動法による小型振動測定装置を開発し，樹上の果実が測定できるように果実の弾性指標（EI）を果実重量の代わりに果実直径（ d ）を用いる次の式を報告した。単位は $m^2 \cdot s^{-2}$ である。

$$EI = d^2 \times f_2^2$$

2. 音響法（AMC法）による食感の測定（実験 2）

岐阜県農業技術センターに植栽されている‘富有’（1963 年定植）の果実を供試した。2009 年 11 月 4 日～11 月 24 日まで，1 日おきに各 6 果（測定用 5 果，予備用 1 果）採取し，測定まで室温下に保管した。採取基準は，果頂部の果皮色が‘富有’用カラーチャート値で 5.0 とし，実験 1 と同様の方法で測定した。

12 月 2 日に実験 1 と同様の方法で，非破壊法による果肉硬度を小型振動測定装置（（有）生物振動研究所）で測定した。

12 月 3 日には，食感を音響法（AMC 法）による食感測定装置（（有）生物振動研究所）で測定した。果実赤道部を厚さ 2 cm 程度に輪切りにし，果皮にやや近い果肉部を

6 か所測定した。楔形のプローブ（直径 5 mm，幅 5 mm）を放射状の向きに毎秒 22 mm の速度で果肉に貫入させ，その時に生じる音響振動を圧電素子（（株）富士セラミックス）で検出し，出力電圧信号をコンピュータで解析した。得られた信号は 0～10Hz，10～50Hz，50～100Hz，100Hz から 25,600Hz までは半オクターブ毎に分け，19 の周波数帯域に分割した。Taniwaki・Sakurai（2008）の報告に準じて，各周波数帯域の食感指標（TI：Texture Index）を算出した。

Taniwaki ら（2009a）は‘富有’と‘太秋’において，19 に分割した周波数帯域のうち，0～50 Hz の食感指標が官能評価における硬さと高い相関のあることを報告している。また，岩谷ら（2009）はスイカにおいて，周波数帯域 0～50 Hz の食感指標は，非破壊法による弾性指標で測定できる可能性を示唆している。これらのことから，食感指標（0～50 Hz）と弾性指標の関係を求めた。

＜食感指標の計算＞

本実験では，AMC 法による食感測定装置で食感指標（TI）を測定した。

振動は物体が運動することによるので，その運動を 2 乗するとエネルギーに相当する値になる。そこで，食感指標（TI）を次のように定義した（櫻井，2013；Taniwaki ら，2006a；Taniwaki・Sakurai，2008）。 v はプローブの振動速度， n はデータ数である。

$$TI = \sum (v^2) / n$$

プローブの振動速度（ v ）とセンサからの電圧値（ V ）との間には，センサが位置情報を検出するとすれば $v=V \times f$ の関係があるため，食感指標（TI）は次の式で表すことができる。 f は振動周波数である。

$$TI = \sum (V \times f)^2 / n = (f^2/n) \times \sum (V^2)$$

f は帯域の中心の周波数であることから，その 2 乗は帯域の下側と上側の周波数を掛けた値と等しくなるため，食感指標（TI）は次の式で表すことができる。下限周波数（ f_l ），上限周波数（ f_u ），振幅（ V_i ）およびデータ数（ n ）である。

$$TI = (f_l f_u) \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^2$$

結果

1. 音響振動法による果肉硬度の測定（実験 1）

1) 収穫後の弾性指標の変化

今回使用したカキは収穫時期，年度に関わらず，収穫時（収穫後 0 日）の弾性指標はほぼ一定であり，収穫後の弾性指標の変化は同様のパターンを示した（第 1 図）。収穫後 0～14 日（弾性指標 $43.4 \sim 14.2 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ ）までは大きく低下し，その後緩やかに低下した。

2) 収穫後の軟化率および食味の変化

いずれの収穫時期においても、収穫後 24 日までは軟化の発生が認められず、35 日前後以降、軟化度Ⅲに達した果実の割合（軟化率）が増加した（データ略）。

また、いずれの収穫時期においても、官能評価における硬さの評点は、収穫時（収穫後 0 日）をピークにその後低下した。おいしさの評点は、収穫後 10 日前後をピークに山型に推移した（データ略）。

3) 官能評価における評点と弾性指標との関係

官能評価における硬さの評点と弾性指標との間には、硬さの評点 0 を境にして 2 つの有意な正の相関関係が認められた（第 2 図）。相関係数は硬さの評点が 0 以上で $r = 0.873$ 、0 未満で $r = 0.779$ であった。硬さの評点が 0 未満では、硬さの評点が 0 ~ -2.0 まで大きく変化するにもかかわらず、弾性指標の変化は $14.4 \sim 5.0 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ までと小さかった。

また、おいしさの評点と弾性指標との間には、おいしさの評点が最も大きい 0.4 の時の弾性指標 $22.4 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ を境にして、2 つの有意な正と負の相関関係が認められた（第 3 図）。相関係数は弾性指標が $22.4 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ 以上で $r = -0.855$ 、 $22.4 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ 未満で $r = 0.813$ であった。おいしさの評点が 0 以上の弾性指標は $13.563 \sim 30.202 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ であり、この範囲を食べ頃と決定した。

4) 食べ頃の予測

Terasaki ら（2006）の報告に準じて、逆数式（[1]式）へのフィッティングを行った。

$$Y = Y_0 \left[1 - \frac{t}{\alpha + \beta t} \right] \quad [1]$$

Y は弾性指標、 Y_0 は収穫後 0 日の弾性指標、t は収穫後日数、 α と β は係数である。なお、 α と β は χ^2 フィッティングにより、係数の値を求めた。

食べ頃の弾性指標 $13.563 \sim 30.202 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ を含む中で、最もフィッティングが良かった収穫後 0 ~ 18 日までの弾性指標から、次の式を得た ($r = 0.999$) 。

$$Y = Y_0 \left[1 - \frac{t}{9.386 + 0.830t} \right] \quad [2]$$

[2]式から食べ頃（収穫後日数 t）を求めるために、以下の式に変形した。

$$t = \frac{9.386 (Y - Y_0)}{0.830 (Y_0 - Y) - Y_0} \quad [3]$$

食べ頃始期（ t_1 ）の弾性指標（Y）は $30.202 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ であるため、[3]式から以下の式で求められる。

$$t_1 = \frac{9.386 (30.202 - Y_0)}{0.830 (Y_0 - 30.202) - Y_0} \quad [4]$$

食べ頃終期（ t_2 ）の弾性指標（Y）は $13.563 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ であるため、[3]式から以下の式で求められる。

$$t_2 = \frac{9.386 (13.563 - Y_0)}{0.830 (Y_0 - 13.563) - Y_0} \quad [5]$$

このことから、食べ頃始期の予測式は[4]式、食べ頃終期の予測式は[5]式となった。なお、弾性指標（Y）は指数表示における 10^6 を外した仮数部としたため、収穫後 0 日の弾性指標（ Y_0 ）も指数部を代入する。

この予測式の有効性を確認するため、本実験において供試した果実のうち、官能評価に用いた果実を除いた 122 果の弾性指標の測定データを用いた。実際の食べ頃始期は弾性指標が $30.202 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ 、食べ頃終期は弾性指標が $13.563 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ に相当する日とした（実測値）。実測値の平均は食べ頃始期で 4.3 日、食べ頃終期で 14.7 日であった。予測値は、収穫後 0 日の弾性指標を前述の[4]式、[5]式に代入して算出した。食べ頃始期における実測値と予測値の誤差（絶対値）は、実測値が収穫後 2～6 日で 0.5～1.0 日、7～10 日で 1.3 日であった。一方、食べ頃終期における誤差（絶対値）は、実測値が収穫後 11～22 日で 0.7～2.4 日、9、10 日で 3.5 日であった（第 4 図）。

2. 音響法（AMC法）による食感の測定（実験 2）

1) 収穫後の食感指標の変化

食感指標は、収穫後日数が経つに従い低下した（第 5 図）。収穫後日数は、供試果実を採取してから食感を測定した 12 月 3 日までの日数とした。食感指標の低下した幅

が最も大きかったのは周波数帯域 0～50 Hz で、収穫後 9 日は $7.7 \text{ Hz}^2\text{mV}^2$ 、収穫後 29 日は $6.5 \text{ Hz}^2\text{mV}^2$ であった。次いで 560～800 Hz であり、高周波数帯域ほど低下幅は小さかった。

また、周波数帯域 0～50 Hz における食感指標は、収穫後 9～15 日までは変わらず、17 日以降低下した（第 6 図）。

2) 食感指標と弾性指標との関係

周波数帯域 0～50 Hz における食感指標と弾性指標との間には、食べ頃終期の弾性指標 $13.563 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ を境にして、2 つの有意な正の相関関係が認められた（第 7 図）。相関係数は弾性指標 $13.563 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ 以上で $r=0.655$ 、 $13.563 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ 未満で $r=0.647$ であった。

食べ頃終期までは、弾性指標の変化の幅が大きく（ $27.8 \sim 13.5 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ ）、食感指標は小さかった（ $7.7 \sim 7.2 \text{ Hz}^2\text{mV}^2$ ）。一方、食べ頃終期を過ぎてからは、食感指標の変化の幅が大きく（ $7.5 \sim 5.9 \text{ Hz}^2\text{mV}^2$ ）、弾性指標は小さかった（ $12.8 \sim 7.0 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ ）。

考察

カキ‘富有’の収穫後（収穫後 0 日）の弾性指標は、収穫時期に関わらず差が認められなかった。山田ら（1998）は、収穫時期が遅くなるほど果肉硬度も低下するとしたが、これは着色の進度に合わせて採取を行ったためと考えられる。カキは果頂部の果皮色を収穫基準としており、本研究では岐阜県における‘富有’出荷基準のカラーチャート値 5.0 に達した果実を採取したので、硬度に差が認められなかったと考えられる。すなわち、着色はカキ果実の成熟段階を判断する指標の一つであり（米森，2002）、収穫時期に関わらず果皮色が同じであれば同じ成熟段階にあり、果肉硬度に差はなかったものと考えられる。

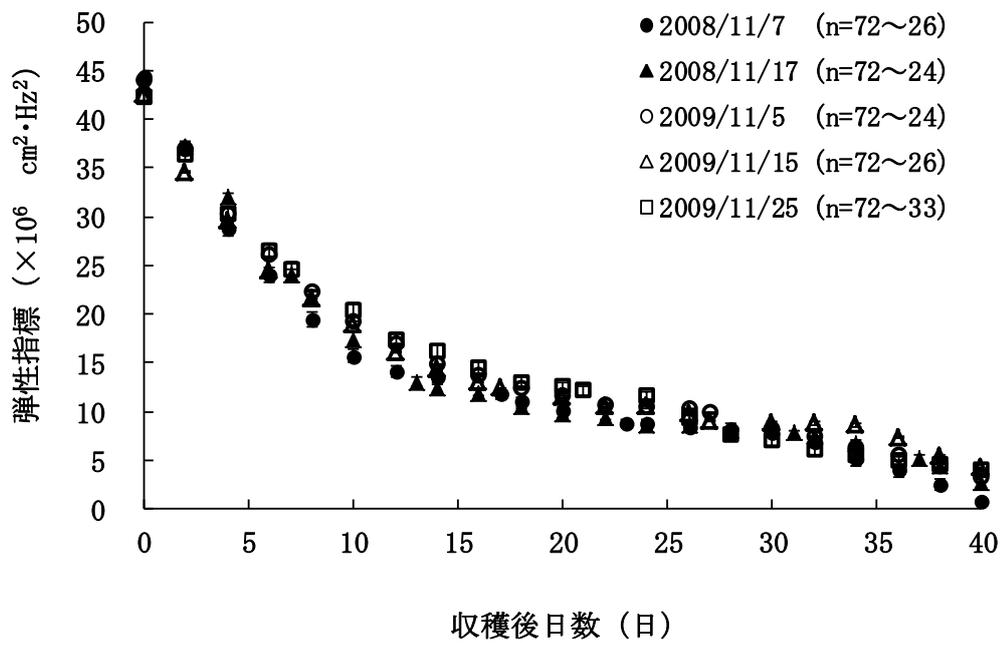
‘富有’果実は軟化する。すなわち果肉硬度は低下する。音響振動法による弾性指標は指数関数的に低下した。これは、Taniwaki ら（2009a）が LDV 法で測定した‘富有’や‘太秋’の弾性指標の結果と同様であった。LDV 法によるキウイフルーツ（Terasaki ら，2001b）、セイヨウナシ（Murayama ら，2006；Taniwaki ら，2009b；Terasaki ら，2006）の弾性指標も指数関数的に減少している。また、本研究において、弾性指標は収穫時期に関わらず、同様のパターンで低下した。セイヨウナシ‘ラ・フランス’果実は低温処理日数に関わらず、低温処理後測定した弾性指標から食べ頃が予測できると示唆されており（藤路ら，2006）、果実の硬度レベルを揃えることによって、果実熟度も揃うものと考えられる。

第 1 および 2 図より、果実の軟化が進み、食べ頃終期（弾性指標 $13.563 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ ）を過ぎると、弾性指標の変化の幅は小さくなり、果肉硬度の変化を反映し難くなった。これは、第 2 共鳴周波数から算出している弾性指標は果実中心部の弾性を反映しているため（黒木ら，2006）、果実の外側に軟化が進むと果実中心部の軟化、すなわち弾性指標の変化の幅は小さくなると考えられる。一方、第 6 および 7 図より、周波数帯域 0～50 Hz における食感指標は、食べ頃終期を過ぎてからの変化の幅が大きかった。このことから、食べ頃終期を過ぎてからは、食感指標の方が弾性指標よりも果肉特性を鋭敏に評価できることが明らかになった。以上のことから、収穫後の‘富有’果実における肉質評価は、食べ頃終期までは音響振動法による弾性指標が、それ以降は音響法（AMC 法）による食感指標が有効な方法であると考えられる。このことは、Taniwaki ら（2009a）による LDV 法で測定した‘富有’の弾性指標が、食べ頃までは有効であるとする報告と同様であった。

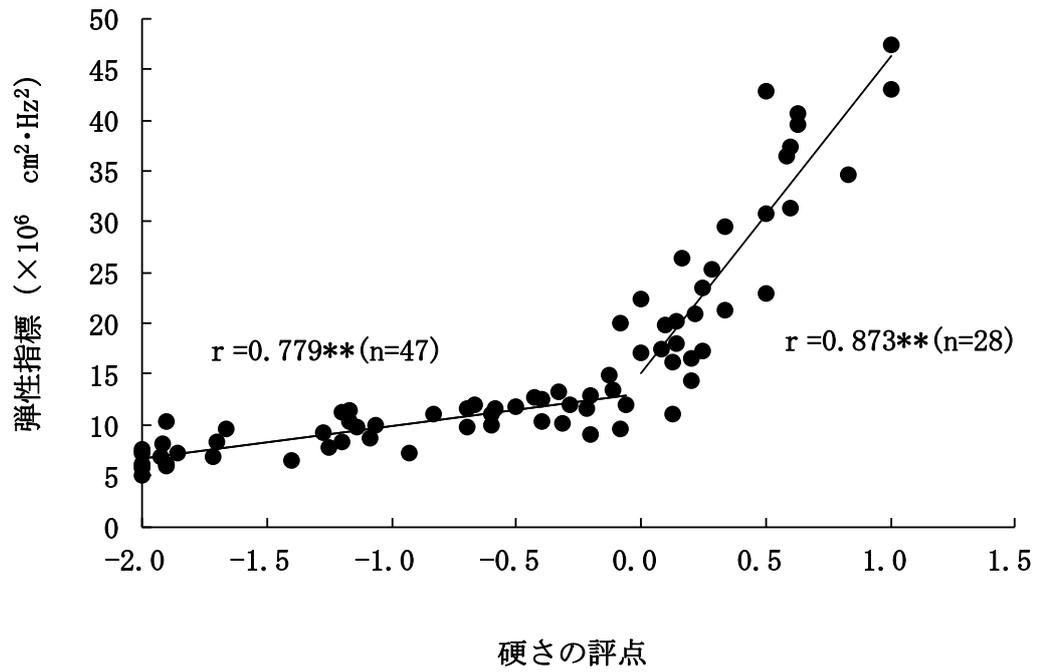
収穫後の‘富有’果実における弾性指標の変化から、食べ頃予測式を作成した。食べ頃始期における実測値と予測値の誤差（絶対値）は小さく、実用性は高いと考えられる。一方、食べ頃終期における誤差（絶対値）は食べ頃始期に比べてやや大きい。食べ頃終期の弾性指標は非常に緩やかに減少し、その弾性指標に相当する日数が長いことから、実用上大きな問題はないと考えられる。しかし、今後、より精度の高い予測式を作成するため、さらなる検討が必要である。

また、本予測式には収穫時の弾性指標が必要であり、現在、この測定装置を選果機の速度に対応して導入することは難しく、今後、測定時間の短縮化など装置の改良が必要である。

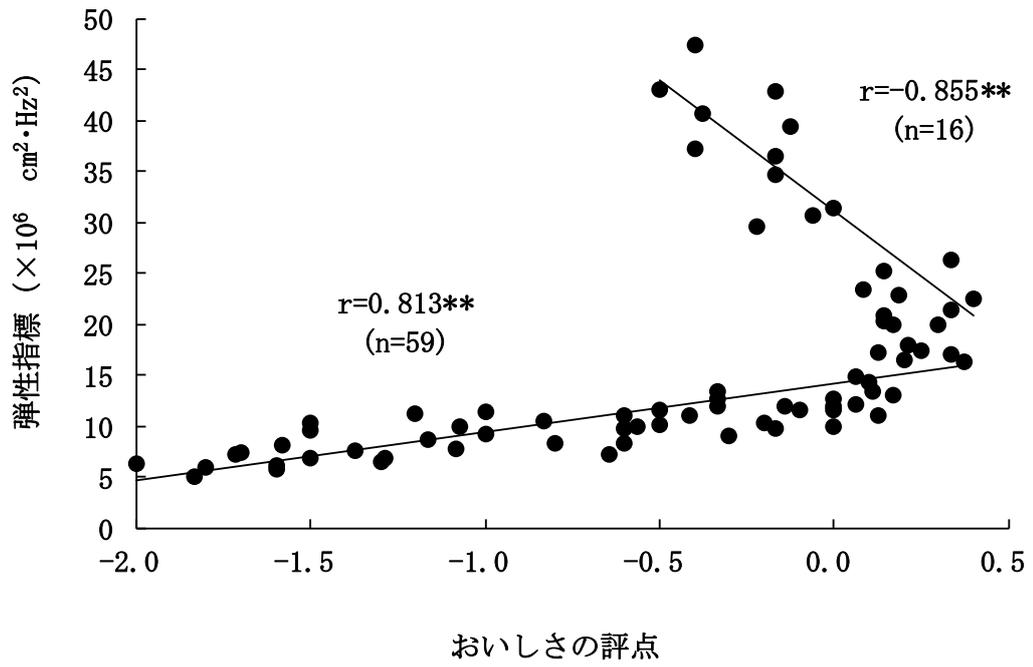
食べ頃の表示によって、消費者にちょうど良い硬さのおいしいカキを提供することが可能となる。カキの硬さの嗜好には個人差や地域差があるため、それぞれに応じた販売や消費宣伝を行い、販売促進に繋げることができる。また、脱渋した渋ガキをよく食べる地域では、甘ガキである‘富有’の硬さは馴染みが薄く、食べ頃が分かり難い。そこで、‘富有’の食べ頃あるいは消費者の嗜好にあった食べ頃時期を提示することによって、今まであまり‘富有’を食べられていなかった新しい市場を開拓することができると考えられる。近年、価格低迷などにより、農家経営が圧迫され産地活力が低下しているなか、食べ頃表示による販売はカキの消費拡大を図ることができ、カキ産地の活性化を促すことができると期待される。



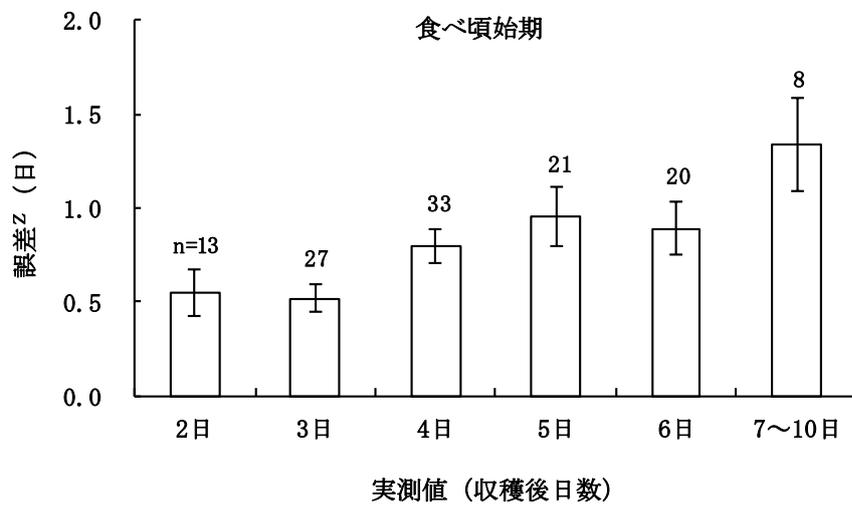
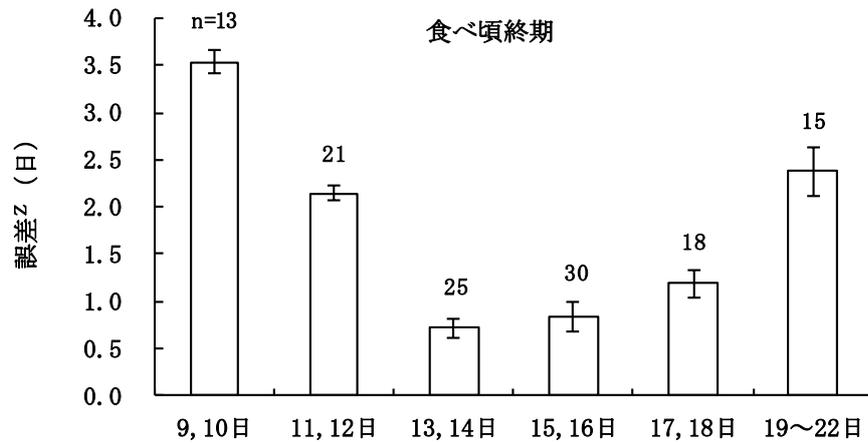
第 1 図 ‘富有’における収穫後の弾性指標の変化
縦線は標準誤差を示す



第2図 ‘富有’における硬さの評点と弾性指標との関係
**は1%水準で有意であることを示す

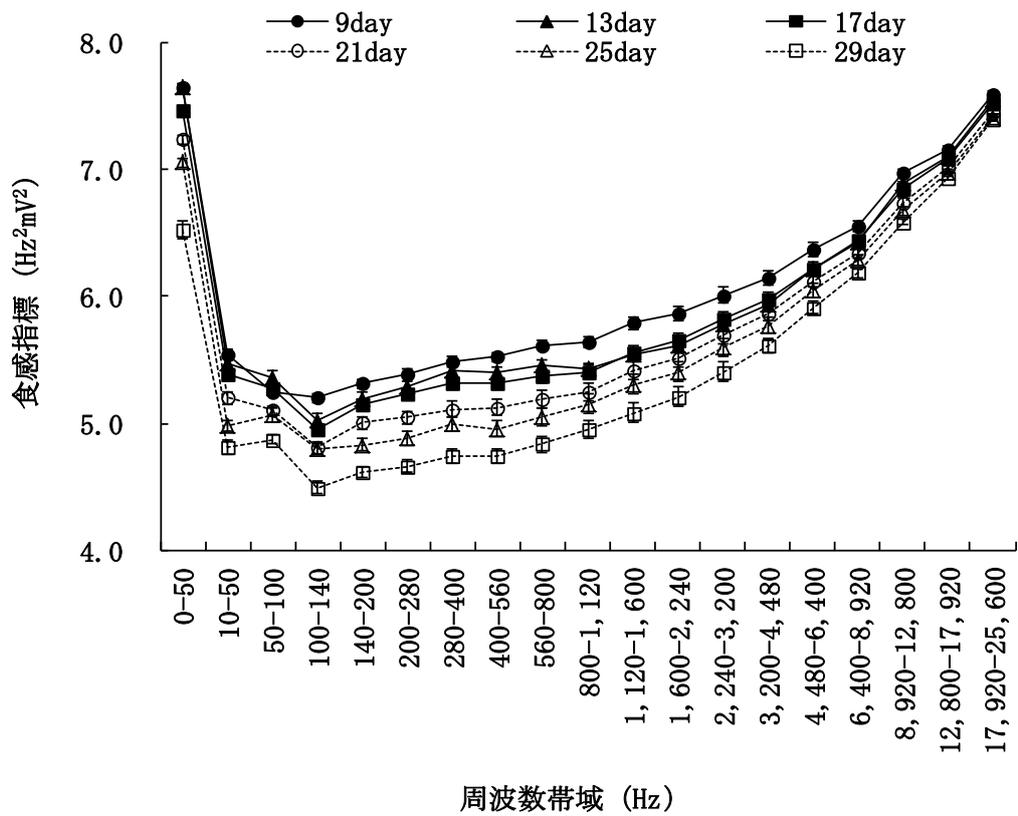


第3図 ‘富有’におけるおいしさの評点と弾性指標との関係
 **は1%水準で有意であることを示す

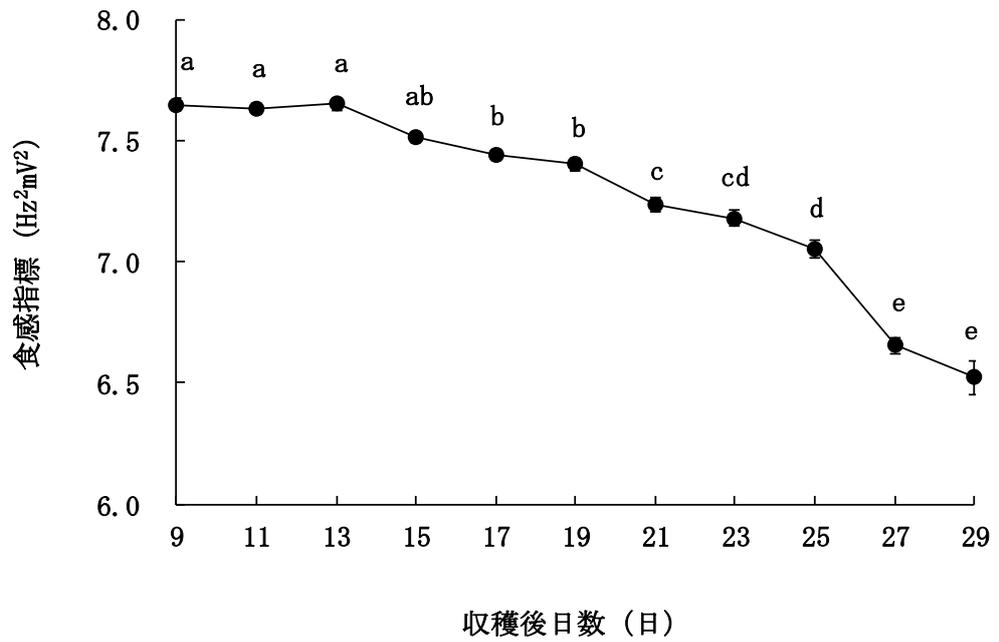


第4図 食べ頃終期および始期における実測値と予測値との誤差の関係
縦線は標準誤差を示す

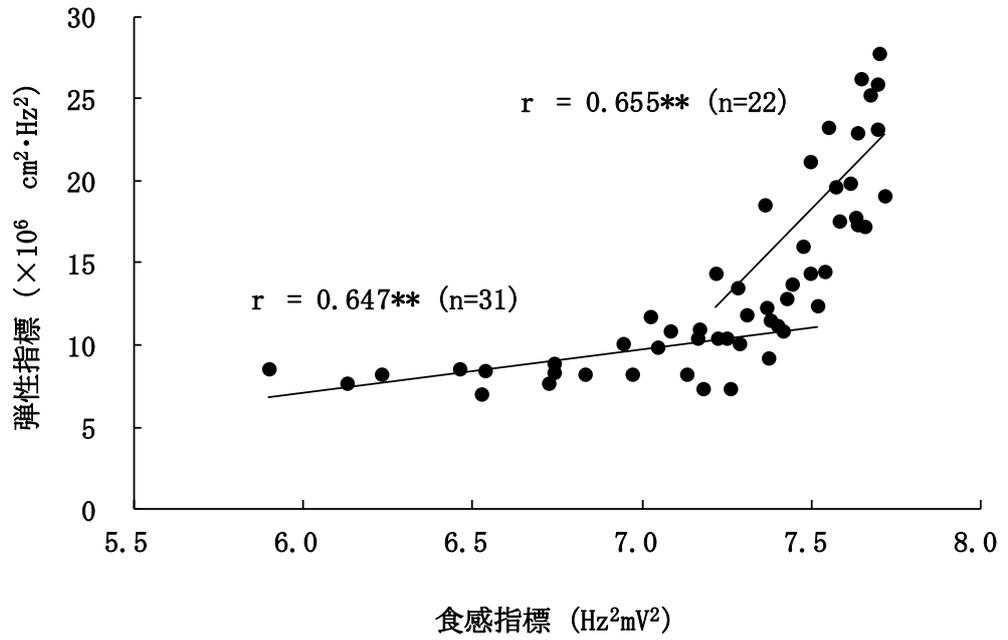
^Z 実測値と予測値との誤差日数 (絶対値)



第5図 収穫後日数の違いが‘富有’の食感指標に及ぼす影響
 縦線は標準誤差を示す
 収穫後日数は9, 13, 17, 21, 25および29 dayの表示とした
 (9 day n=21, 13~29 day n=30)



第6図 ‘富有’における周波数帯域0-50 Hzの食感指標の変化
 縦線は標準誤差を示す
 異符号間はTukeyの多重検定により、5%水準で有意であることを示す
 (9 day n=21, 13~29 day n=30)



第7図 ‘富有’における周波数帯域0-50 Hzの食感指標と弾性指標の関係
**は1%水準で有意であることを示す

第2節 音響振動法およびAMC法による袋かけ栽培‘富有’の肉質評価とおいしさの要因解明

緒言

カキ‘富有’の収穫時期は11月上旬から12月上旬までである。その時期の生産者は収穫作業、家庭選果作業、産地によっては選果場への出役があり、一年間で最も多忙である。従って、収穫時期の労働力によって栽培面積が決まる。構造的に価格が低迷している中、規模拡大による生産量増大、生産コスト低減が重要である。また、通常の栽培では、贈答需要が高まり、市場が活発になる年末出荷に対応できない。そこで、労力分散および年末贈答対応を図るため、‘富有’の抑制栽培が検討された。光質転換不織布を枝ごとに被覆する方法（松村ら、2000）、ハウスで樹ごとにビニルを被覆する方法（尾関ら、2005）などが検討されたが、不織布被覆の労力、施設費および光熱費などのコストがかかることから、産地への本格的な導入には至らなかった。しかし、その後、手軽に収穫時期を遅らせることのできる袋かけ栽培（片桐、1993）が考案され、全国の一部の産地で取り組まれた。岐阜県では「果宝柿」や「おふくろ柿」、和歌山県では「夢」などのブランド名で高値販売され、高級ブランドとして位置づけられている。

袋かけ栽培‘富有’が高級ブランドとして評価を得ている要因は12月中旬に出荷されるだけでなく、その食味の良さにある。通常栽培‘富有’の収穫盛期（11月20日頃）から約3~4週間樹上に長く成っていることから、糖度は高くなる（片桐、1993）。そこで、本研究では、音響振動法による弾性指標およびAMC法による食感指標を測定し、袋かけ栽培‘富有’の肉質評価を行い、糖度以外のおいしさの要因を明らかにした。

材料および方法

1. 音響振動法による果肉硬度の測定（実験1）

岐阜県農業技術センター植栽の袋かけ栽培‘富有’（1963年定植）の果実を供試した。2008年は9月10日、2009年は9月8日から収穫時まで、白色パラフィン袋をへたも含めて果実ごと被袋した。2008年は12月11日に14果、2009年は12月9日に50果、一斉収穫した。その後、果実は室温下に保管し、収穫後30日まで概ね2日おきに果肉硬度、果皮色および軟化度を調査した。

果肉硬度は音響振動法による小型振動測定装置（（有）生物振動研究所）で測定した。果実のへたを上向きにしてスポンジ上に置き、加振器と受振器を果実の赤道部の対角線上に軽く挟み、100~1,500 Hzの振動を与えた。第2共鳴周波数（ f_2 ）をスペクトルピークおよび位相から求め、Kurokiら（2006）の報告に準じて、弾性指標（EI：Elasticity Index）を以下の式で算出した。果実直径（ d ）は加振器と受振器の挟んだ長さとした。

$$EI = d^2 \cdot f_2^2$$

果頂部の果皮色は色彩色差計（CR-400，コニカミノルタ（株））で測定した。新川ら（2008）の報告に準じて次式を作成し，測定した色相角度（ H° ）を‘富有’用カラーチャート値（農林水産省果樹試験場監修）に変換した。カラーチャート値（CC値） $= -8.101 \times \text{LN}(H^\circ) + 38.829$ ($r^2 = 0.992$)。

軟化判定は岩田ら（1969）の手法を用い，軟化度Ⅲ（指で押すと崩壊しそうになる，または果肉の一部が水浸状になっている）を軟化と判断した。2008年は15果，2009年は26果中軟化した果実の頻度を軟化率とした。

なお，通常栽培‘富有’の弾性指標および軟化率は，前節の実験1における収穫盛期，2008年11月17日，2009年11月15日のデータとした。

2. AMC法による食感の測定（実験2）

岐阜県農業技術センター植栽の袋かけ栽培‘富有’（1963年定植）の果実を供試した。2009年9月8日から収穫時まで，白色パラフィン袋をへたも含めて果実ごと被袋した。12月9日，12月15日に果頂部の果皮色が‘富有’用カラーチャート値で6，8，10の果実を各6果採取した。また，12月9日に対照として通常（無袋）栽培の‘富有’を同様に採取した。果皮色の測定は実験1と同様の方法で行った。その後，室温下に保管し，12月17日に食感を測定した。

食感 は AMC 法による食感測定装置（（有）生物振動研究所）で測定した。果実赤道部を厚さ2 cm程度に輪切りにし，楔形のプローブ（直径5 mm，幅5 mm，先端 30° ）で果皮にやや近い果肉部を6か所，放射状の向きに測定した。毎秒22 mmの速度で赤道面に対して直角に貫入させ，その時に生じる音響振動を圧電素子（（株）富士セラミックス）で検出し，出力電圧信号をコンピュータで解析した。得られた信号は，半オクターブマルチフィルタを用いて19の周波数帯域に分割した。Taniwaki・Sakurai（2008）の報告に準じて，各周波数帯域の食感指標（TI：Texture Index）を下限周波数（ f_l ），上限周波数（ f_u ），振幅（ V_i ）およびデータ数（ n ）から，以下の式で算出した。

$$TI = (f_l f_u) \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^2$$

結果

1. 音響振動法による果肉硬度の測定（実験1）

袋かけ栽培‘富有’における収穫時の果頂部の果皮色（カラーチャート値）は，2008年が7.1，2009年が8.3であり，その後，微増した（データ略）。

収穫直後の弾性指標は、2008年で $23.7 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ 、2009年で $24.9 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ であり（第8図）、両年とも通常栽培の‘富有’における収穫直後の弾性指標の約55%、収穫後約7日の弾性指標に相当した。収穫後の弾性指標は、両年とも収穫後10～12日頃までは大きく、その後緩やかに低下し、通常栽培と同様の傾向を示した。

軟化率は、両年とも収穫後18～20日以降増加した（データ略）。

2. AMC法による食感の測定（実験2）

袋かけ栽培‘富有’における食感指標は果皮色（カラーチャート値）が高いほど、収穫日が早いほど低かった（第9図）。12月9日収穫のカラーチャート値6の果実と12月15日収穫のカラーチャート値8の果実、12月9日収穫のカラーチャート値8の果実と12月15日収穫のカラーチャート値10の果実の食感指標がほぼ同様であった。

また、周波数帯域0～50 Hzにおいて、12月15日収穫の食感指標に対する12月9日収穫の食感指標の割合はカラーチャート値6で99.0%、8で97.5%、10で94.6%であり、カラーチャート値が高いほど小さかった（第10図）。

12月9日に収穫した袋かけ栽培‘富有’と通常（無袋）栽培‘富有’の間には、いずれのカラーチャート値においても食感指標に差は認められなかった（第11図）。

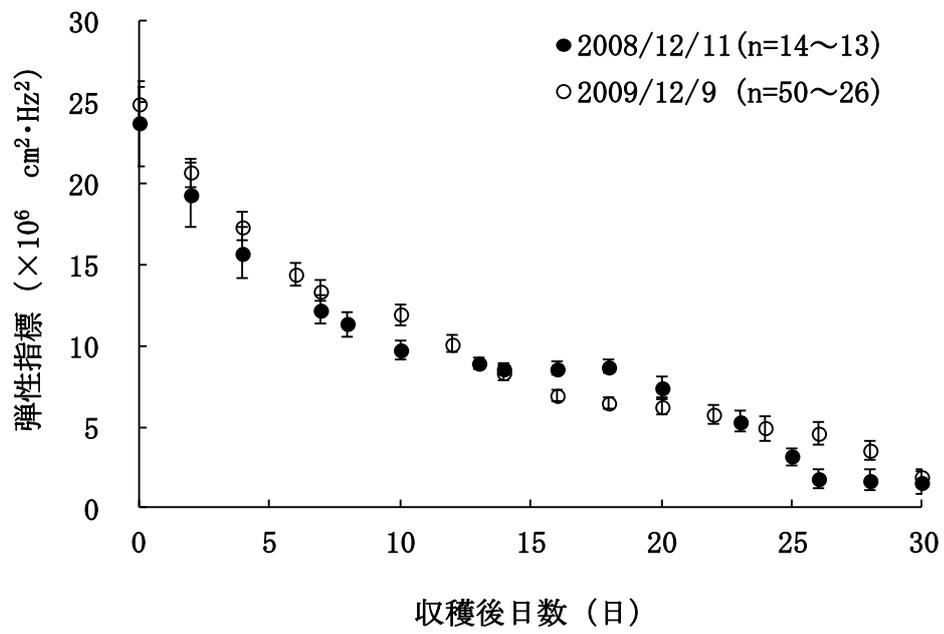
考察

ニホンナシ、リンゴ、モモ、ブドウなどでは病虫害防除、外観保持および裂果防止を目的として袋かけが行われている（小林，1982）。しかし、カキ‘富有’における袋かけの目的は、収穫時期の遅延による収穫・選果作業の労力分散および年末贈答需要対応である。

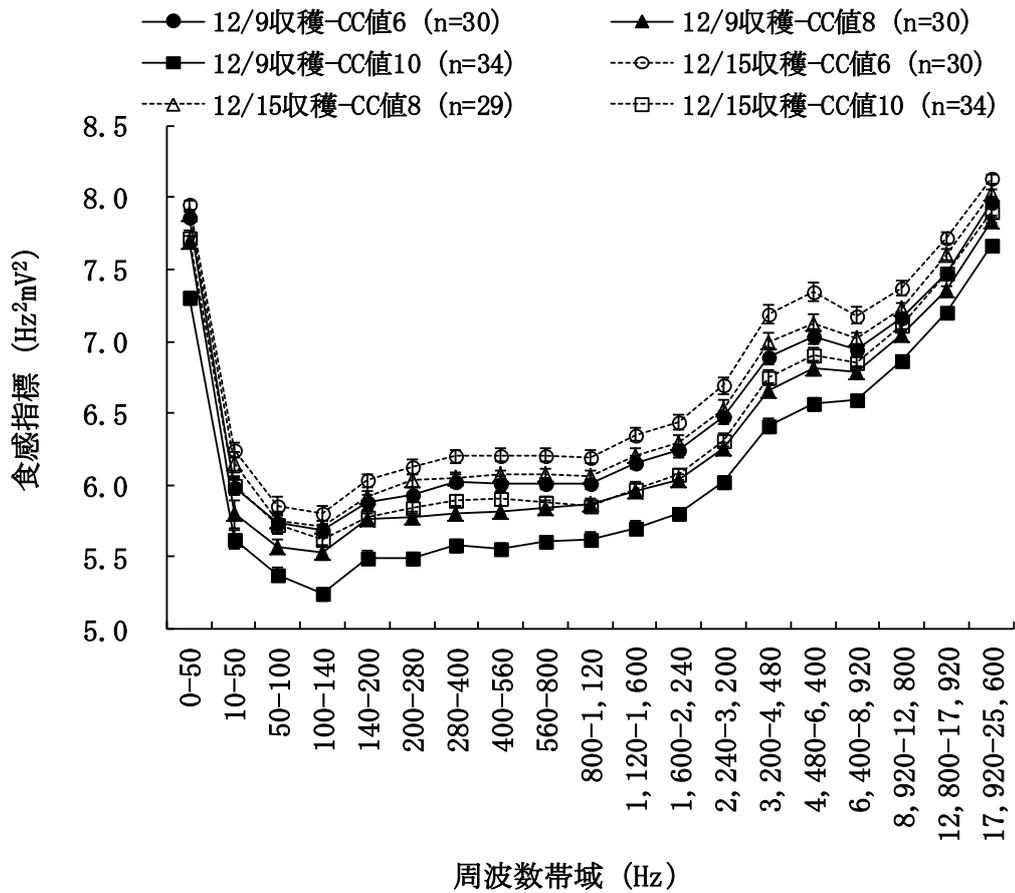
袋かけ栽培‘富有’の収穫直後の弾性指標は、2008年で $23.7 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ 、2009年で $24.9 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ であり（第8図）、両年とも通常栽培‘富有’における食べ頃の弾性指標 $13.6 \sim 30.2 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ （第3図）の範囲内であった。袋かけ栽培‘富有’は収穫まで樹上で成熟が進み、果肉硬度が低下するため、収穫時には既に食べ頃になっていると考えられた。また、この点から、収穫時には完熟に近い状態になっていると考えられた。このことは、軟化度Ⅰ～Ⅳ（Ⅰ．じゅうぶんに堅い、Ⅱ．全体にかなり軟らかくなるが、しっかりしている、Ⅲ．指で押すと崩壊しそうになる、または果肉の一部が水浸状になっている、Ⅳ．非常に軟弱となる、または果皮の一部が破損している）のうち、軟化度Ⅱを完熟期、Ⅲを過熟期への過渡期、Ⅳを過熟期とした岩田ら（1969）の報告と一致している。

袋かけ栽培‘富有’における収穫直後の弾性指標は、通常栽培の‘富有’における収穫後約7日の弾性指標に相当した。そこで、袋かけ栽培‘富有’の収穫後0日を通常栽培‘富有’の収穫後7日に合わせると、弾性指標の推移はほぼ同様であり、両栽培間に差は認められなかった（第12図）。このことから、‘富有’では収穫時期や収穫時の果皮色が異なっても、収穫時の弾性指標がわかれば、その後の弾性指標の推移、すなわち食べ頃が推定できると考えられた。また、軟化による細胞壁構成成分の変化は品種や脱渋方法によって異なることから（石丸ら，2001，2002）、袋かけ栽培においても肉質に変化が生じている可能性があると考えられた。そこで、実験2において、AMC法による食感測定装置で食感指標を測定したが、袋かけの有無による食感指標の違い、すなわち肉質の違いは認められなかった（第11図）。

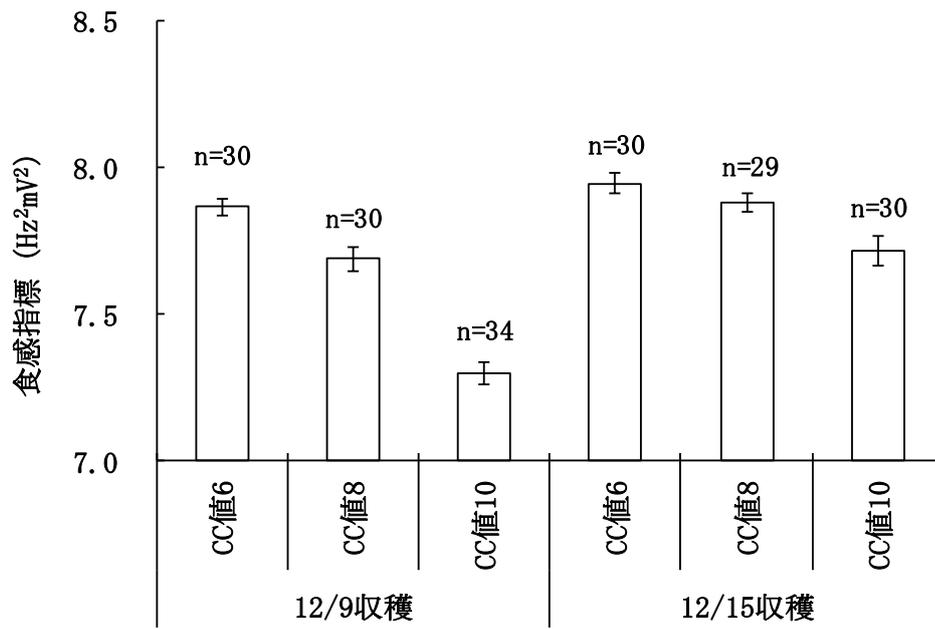
通常栽培‘富有’の収穫時期は11月上旬から12月上旬である。日持ち性などを考慮した販売面および果実が低温障害に遭遇する前に収穫し終えなければならない農作業面から、一定の果皮色（‘富有’用カラーチャート値5）に達した果実を収穫している。そのため、収穫直後の果肉硬度はまだ硬く、食べ頃になっていない。一方、袋かけ栽培‘富有’は袋かけによる低温障害の防止によって、収穫時期を通常栽培よりも約3～4週間遅らせ、12月中旬に収穫している。本実験から、袋かけ栽培では、収穫時に完熟状態となり、食べ頃の硬さになっていることが明らかにされ、このことが袋かけ栽培‘富有’のおいしさの要因と考えられた。また、‘富有’は成熟に伴い糖組成が変化すること（辻・小宮山，1987）、人は同じ糖度でも、果肉が軟らかいほど甘味を強く判断すること（藤原・板倉，1999）からもおいしく感じられると考えられた。



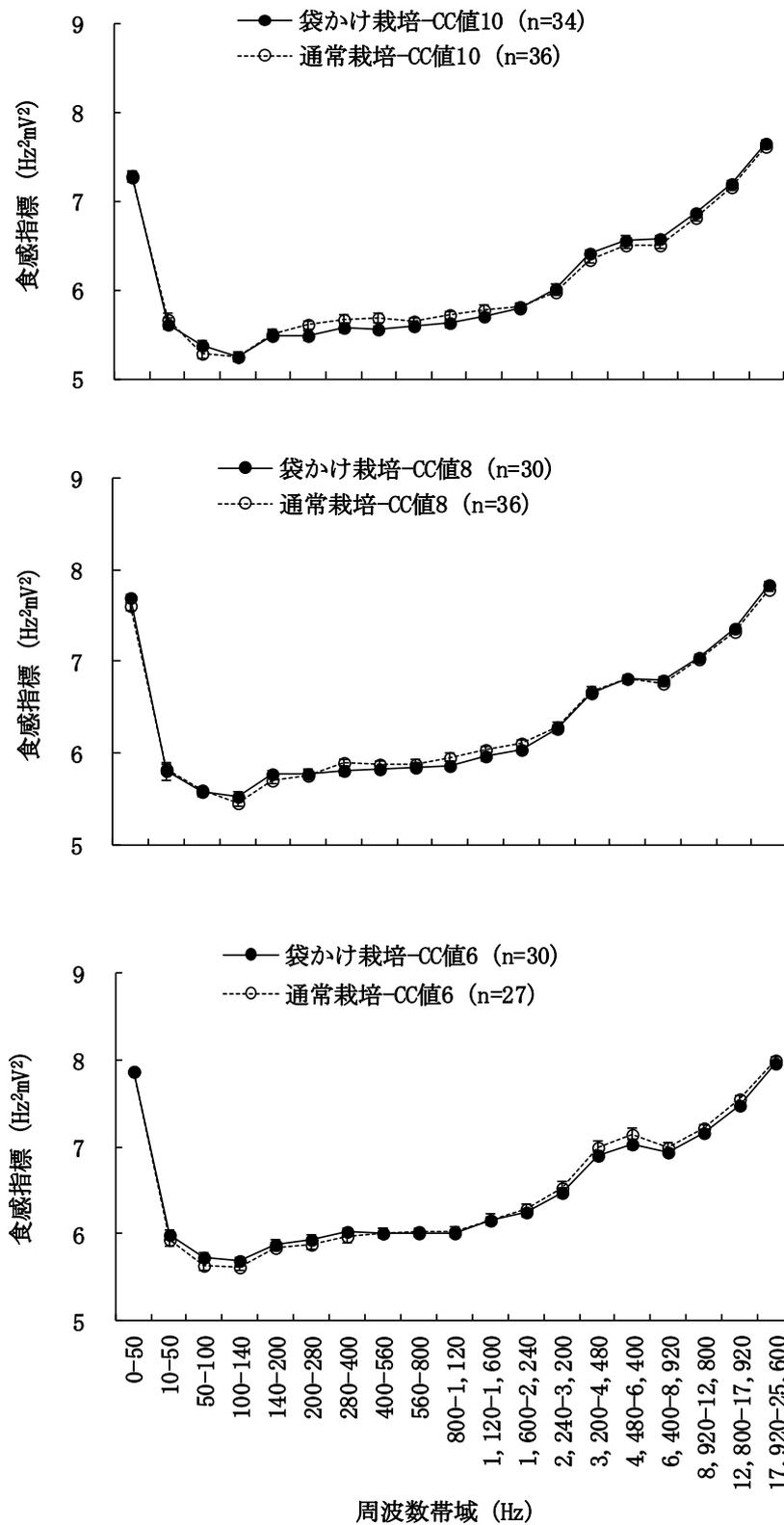
第8図 袋かけ栽培‘富有’における収穫後の弾性指標の変化
縦線は標準誤差を示す



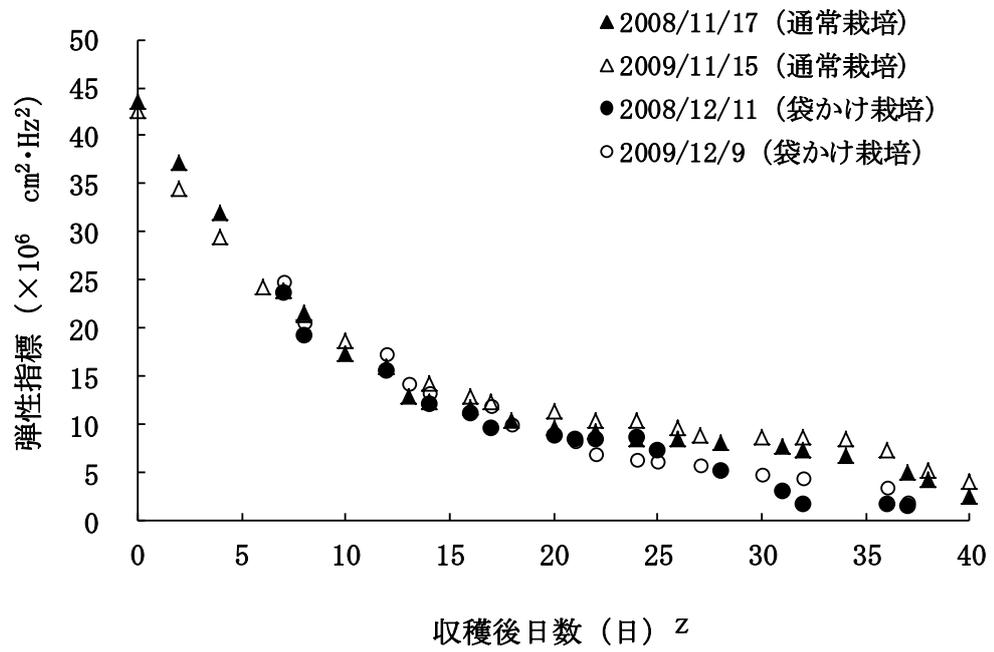
第9図 収穫日と果皮色の違いが袋かけ栽培‘富有’の食感指標に及ぼす影響
 縦線は標準誤差を示す



第10図 袋かけ栽培‘富有’における周波数帯域0-50 Hzの食感指標
縦線は標準誤差を示す



第11図 栽培方法の違いが‘富有’の食感指標に及ぼす影響
 縦線は標準誤差を示す
 (上段: CC値10, 中段: CC値8, 下段: CC値6)



第12図 通常栽培‘富有’および袋かけ栽培‘富有’における弾性指標の推移

^Z通常栽培の収穫後日数（袋かけ栽培の収穫後0日を通常栽培の収穫後7日とする）

第3章 カキ‘早秋’の肉質評価および品質保持技術の開発

第1節 音響振動法によるカキ‘早秋’の肉質評価と果肉硬度保持技術の開発

緒言

果樹経営において、早晩性の異なる品種の組み合わせは労力分散、危険分散などの面から重要である。産地としても、早生品種から晩生品種まで長期間出荷することは売り場の確保、選果場の運営など大きなメリットがある。特に早生品種はそのシーズンで最も早く出荷され、その後の価格形成に大きな影響を与えることから、非常に重要な役割を果たす。

リンゴでは‘つがる’，ナシでは‘幸水’，渋ガキでは‘刀根早生’が有力な早生品種であるが、甘ガキでは‘西村早生’がその役を担っている産地が多かった。‘西村早生’は不完全甘ガキであること、食味がやや劣ることなどから、年々市場評価が低下していた。そのような状況の中、2003年に‘早秋’が品種登録され、極早生の完全甘ガキとして10月初旬から収穫ができること、果皮色は赤く、良食味でへたすき果がほとんど発生しないことから（山田ら，2004），各産地で導入が進められた。しかし、‘西村早生’や‘松本早生富有’よりも日持ち性が短いこと、すなわち、果肉硬度が早く低下することが課題であった。日持ち性は品種によって異なり、晩生品種ほど長い傾向であるが（山田ら，2002），技術的に日持ち性、特に果肉硬度を保持することは、流通段階における損失の削減に加えて、おいしいカキを長期間提供することからも重要である。

果肉硬度は果実硬度計による測定が一般的であり、果肉にプランジャを貫入した時の最大貫入力で評価する。しかし、対象物を破壊しなければならないことや、より正確な硬さの評価には難がある（大森，1998）。そのような中、非破壊および非接触法として、Muramatsuら（1997）は果実に正弦波振動を与えた時の振動をレーザードップラー振動計（Laser Doppler Vibrometer, LDV）で測定する方法を開発した。しかし、LDV法による測定装置は大きく高価であるため、Kurokiら（2006）はLDV法を応用した音響振動法による小型測定装置を開発した。第2章第1節では、音響振動法によって、カキ‘富有’における収穫後の果肉硬度の変化を明らかにし、食べ頃予測式を作成した。音響振動法での測定値（弾性指標）は微妙な硬さの評価が可能であり、特に収穫直後から食べ頃までの硬さについては鋭敏に評価ができる。そこで、本研究においても、音響振動法によって‘早秋’果実の硬さの特性を評価した。

カキ果実の軟化にはエチレンが関わっており（板村ら，1991），Nakanoら（2001）は、水分ストレスやCO₂ストレスがエチレン誘導に関与していると報告している。また、樽谷・真部（1960），樽谷（1960，1961）は、カキ‘富有’果実における好適な貯蔵条件を低温、果実からの水分蒸散抑制、低酸素・高二酸化炭素条件と報告している。これらのことから、果肉硬度保持方法としては、エチレン生合成・作用阻害、低

温貯蔵，水分蒸散抑制，MA 貯蔵などが想定される．しかし，‘早秋’は常温下で流通されるため，常温での MA 貯蔵（プラスチックフィルム包装）はガス障害などが危惧される（久保，2002）．また，プラスチックフィルム包装は労力がかかることから，実用的ではない．

そこで，本研究では，‘早秋’における果肉硬度保持技術の開発として，エチレン作用阻害，水分蒸散抑制の面から検討した．なお，果肉硬度保持技術の開発に当たって，音響振動法による測定値（弾性指標）と官能評価におけるおいしさとの関係を明らかにした．

材料および方法

1. おいしさの評点と弾性指標との関係（実験 1）

岐阜県農業技術センター植栽の‘早秋’果実を供試した．2011 年 10 月 4 日に 21 果，果頂部の果皮色が‘富有’用カラーチャート値（農林水産省果樹試験場監修）で 6.0 に達した果実を収穫した．果皮色の測定には色彩色差計（CR-400，コニカミノルタ（株））を使用した．新川ら（2008）の報告に準じて次式を作成し，測定した色相角度（ H° ）をカラーチャート値（CC 値）に変換した． $CC \text{ 値} = -9.033 \times \text{LN} (H^\circ) + 43.185$ ($r^2 = 0.986$)．その後，室温下に保管し，10 月 14 日までに 7 回，1 回当たり 3 果，果肉硬度の測定と官能評価を行った．

果肉硬度は音響振動法による小型振動測定装置（（有）生物振動研究所）で測定した．果実のへたを上向きにしてスポンジ上に置き，加振器と受振器を果実の赤道部の対角線上に軽く挟み，100～1,500 Hz の振動を与えた．第 2 共鳴周波数（ f_2 ）をスペクトルピークおよび位相から求め，Kuroki ら（2006）の報告に準じて，弾性指標（EI：Elasticity Index）を以下の式で算出した．果実直径（ d ）は加振器と受振器の挟んだ長さとした．

$$EI = d^2 \times f_2^2$$

官能評価は 5 段階評点法で，おいしさ（非常においしくない：-2～非常においしい：+2）を評価した．パネルは岐阜県農業技術センター職員の訓練された 6～7 人（男性 5 人・女性 2 人，30～50 歳代）で構成した．

2. エチレン作用阻害剤による‘早秋’の果肉硬度保持技術の開発（実験 2）

岐阜県農業技術センター植栽の‘早秋’果実を供試した．2013 年 10 月 3 日に，果頂部の果皮色が‘富有’用カラーチャート値で 6.0 に達した果実を収穫した．果皮色の測定は実験 1 と同様の方法で行った．エチレン作用阻害剤として 1-メチルシクロプロペン（以下，1-MCP）を使用した．試験区は 1-MCP 処理をした 1-MCP 処理区および無処理区とした．1-MCP は，気密性のプラスチック容器（内容積 117 L）に果実と SmartFresh™

(ローム・アンド・ハース・ジャパン(株))を入れて密封し、初期濃度 1 ppm で 24 時間曝露処理した。

処理後 14 日間、有効内寸 582 mm×392 mm×100 mm のプラスチックコンテナに 1 段で並べて室温下に保管し、1 日ごとに果重、果肉硬度および果皮色を、また軟化果実の発生は毎日調査した。1-MCP 処理区は 20 果、無処理区は 30 果とした。果肉硬度の測定は実験 1 と同様の方法で行った。軟化判定は岩田ら (1969) の手法を用い、軟化度Ⅲ (指で押すと崩壊しそうになる、または果肉の一部が水浸状になっている) を軟化と判断した。1-MCP 処理区は 30 果、無処理区は 39 果中軟化した果実の頻度を軟化率とした。なお、軟化した果実は調査から除去した。

また、別の果実を供試し、エチレン生成速度を密閉法 (Fonseca ら, 2002) によって毎日測定した。計量した約 2 kg (8 個) の果実を内容積 4.8 L のアクリル製の密閉容器に密封して 20°C のインキュベータに静置した。密封後、ヘッドスペースのガスを容器上部のセプタムの付いたガス採取口からマイクロシリンジにて 2.0 mL を 40 分おきに 4~6 回サンプリングし、水素炎検出器 (FID) 付きのガスクロマトグラフィーによりエチレン濃度を分析した。密封時間とエチレン濃度の関係を最小自乗法によって一次式にあてはめ、その傾きをエチレン生成速度に換算した。エチレン生成速度の計測が終了したら密封容器の蓋を取り外し、次の測定まで容器内を換気した。なお、軟化した果実は容器から取り除いた。

3. 水分蒸散抑制による‘早秋’の果肉硬度保持技術の開発 (実験 3)

岐阜県農業技術センター植栽の‘早秋’を供試した。2013 年 10 月 7 日に果頂部の果皮色が‘富有’用カラーチャート値で 6.0 に達した果実を収穫した。果皮色の測定は実験 1 と同様の方法で行った。

水分蒸散抑制として岐阜県産業技術センターが作成した防湿段ボール箱を使用した。防湿樹脂の濃度などを変えた 2 種類の防湿ライナー原紙を作成し、慣行段ボール箱に貼り付けた。防湿ライナー原紙の透湿度をカップ法 (JIS Z 0208:1976 防湿包装材料の透過湿度試験方法) で測定した結果、 $130 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot (24\text{h})^{-1}$ と $15 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot (24\text{h})^{-1}$ であった (神山ら, 2014)。透湿度の高い防湿ライナー原紙を貼り付けた防湿段ボール箱 A 区、透湿度の低い防湿ライナー原紙を貼り付けた防湿段ボール箱 B 区、防湿ライナー原紙を貼り付けなかった慣行段ボール区を設定し、それぞれ粘着テープで蓋の閉める部分を留める I 貼りおよび蓋の閉める部分と角の部分を留める H 貼りで封函した (檜村ら, 2010b)。その後、室温下に保管した。各試験区 36 果とし、処理後 14 日間、1 日ごとに果重、果肉硬度、果皮色および軟化果実の発生を調査した。軟化率は各区 36 果中軟化した果実の頻度とした。なお、調査の度、段ボール箱を開閉した。果肉硬度の測定および軟化の判定は実験 2 と同様の方法で行い、軟化した果実は調査から除去した。

結果

1. おいしさの評点と弾性指標との関係（実験 1）

おいしさの評点と弾性指標との間には有意な正の相関 ($r=0.924$) が認められた。おいしさの評点が 0 以上の時、弾性指標は約 $22 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ 以上であった（第 13 図）。また、弾性指標と重量減少率の間には有意な負の相関 ($r=-0.930$) が認められた。弾性指標が $22 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ の時、重量減少率は約 3% であった（第 14 図）。

2. エチレン作用阻害剤による‘早秋’の果肉硬度保持技術の開発（実験 2）

弾性指標は指数関数的に減少した。処理直後において 1-MCP 処理区が無処理区よりも有意に高かったが、それ以降、両区間の差は認められなかった（第 15 図）。重量減少率でも、1-MCP 処理区と無処理区との間に有意な差は認められなかった（第 16 図）。

軟化果実の発生について、無処理区では処理後 5 日に初めて認められたが、1-MCP 処理区では処理後 12 日まで認められなかった。無処理区では処理後 11 日以降、軟化果実の発生が急増し、処理後 14 日の軟化率は 35.9% であった。また、1-MCP 処理区における処理後 14 日の軟化率は 6.7% であった（第 17 図）。

エチレン生成速度は、1-MCP 処理区、無処理区ともに処理後 5 日までは $0.1 \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 以下であり、6 日以降上昇した。特に無処理区では大きく上昇し、1-MCP 処理区は無処理区よりも低く推移した（第 18 図）。

果皮色は、1-MCP 処理区と無処理区との間に差が認められなかった。処理後からほぼ直線的に上昇し、収穫後約 12 日にはカラーチャート値が約 10 になった（データ略）。

なお、試験期間中の室温は平均 25.4°C ($19.6 \sim 28.6^\circ\text{C}$) であった。

3. 水分蒸散抑制による‘早秋’の果肉硬度保持技術の開発（実験 3）

慣行段ボール箱区の弾性指標はほぼ直線的に減少した（第 19 図）。防湿段ボール箱区の弾性指標は、収穫直後から収穫後 10 日までは緩やかに、それ以降は大きく減少した。収穫後 4~10 日の間、防湿段ボール箱区の弾性指標は慣行段ボール箱区よりも有意に高く推移した。その間、防湿段ボール箱 B 区は防湿段ボール箱 A 区よりも、数値の上では高く推移したが、I 貼り、H 貼りともに有意な差が認められたのは収穫後 6 日のみであった。また、粘着テープの貼り方による弾性指標の差は認められなかった。重量減少率は、防湿段ボール箱 B 区、防湿段ボール箱 A 区、慣行段ボール箱区の順で有意に低く推移した（第 20 図）。粘着テープの貼り方によって、防湿段ボール箱 A 区では収穫後 8 日以降、H 貼りが I 貼りよりも有意に低く推移したが、防湿段ボール箱 B 区および慣行段ボール箱区では差が認められなかった。

軟化率は、収穫後 12 日以降、各試験区とも一様に増加し、明確な差が認められなかった（第 21 図）。収穫後 14 日の軟化率は、防湿段ボール B 区の I 貼り、H 貼りともに約 86%、防湿段ボール A 区の H 貼りで約 81%、I 貼りで約 78%、慣行段ボール

区の I 貼りで約 67%，H 貼りで約 53%であった。

果皮色は，収穫後 8 日に一部試験区で有意な差が認められたが，その他の日には差は認められなかった。処理後からほぼ直線的に上昇し，収穫後約 12 日にはカラーチャート値が約 10 になった（データ略）。

なお，試験期間中における段ボール箱内の温度は，封函方法に関係なく，慣行段ボール箱で 24.2℃，防湿段ボール箱 A で 25.0℃，防湿段ボール箱 B で 26.0℃であり，大きな差は認められなかった。一方，湿度は慣行段ボール箱の I 貼りを除いてほぼ 99% RH であった。慣行段ボール箱の I 貼りは約 95% RH であった。

考察

1. おいしさの評点と弾性指標との関係

第2章第1節では、音響振動法によって‘富有’果実の肉質を評価し、収穫後の果実の弾性指標は指数関数的に低下すること、おいしさの評点が0以上の期間は収穫後約4~14日であることを明らかにした。本研究の‘早秋’においても、収穫後の果実の弾性指標は‘富有’と同様のパターンで指数関数的に減少した。しかし、‘富有’の収穫直後の果実は硬すぎておいしさの評点が0以下であったが、‘早秋’は弾性指標が高いほどおいしさの評点も高く、収穫直後の果実の評点が最も高かった(第13図)。このことから、‘早秋’においては収穫直後の果肉硬度を保持することが重要であり、エチレン作用阻害や水分蒸散抑制の面から果肉硬度保持について検討した。

カキ果実の食味構成要素は主に、肉質の粗密、硬度、粉質の有無、果汁の多さ、糖度によって構成されている(佐藤, 2013)。前述の‘富有’と‘早秋’の間における収穫直後の弾性指標とおいしさの評点とのずれは、果肉硬度に加え肉質の粗密の違い(山田ら, 2004)も影響していると考えられた。

2. ‘早秋’の果肉硬度保持技術の開発

前述から、本研究の目的は収穫直後の硬い果肉硬度を保持することである。1-MCPはエチレン作用を強力に阻害し(Sisler・Serek, 1997)、カキにおいても多くの軟化抑制効果の報告がある(Harimaら, 2003; 新川ら, 2005)。しかし、実験2において、1-MCP処理による‘早秋’の硬い果肉硬度の保持効果は認められなかった(第15図)。処理後5日までのエチレン生成速度は、1-MCP処理区、無処理区ともに $0.1 \mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{hr}^{-1}$ 以下であったことから(第18図)、収穫後前半における果実軟化を伴わない果肉硬度の低下は、エチレンとは関係がないと考えられた。

1-MCP処理によって、軟化率は低く抑えられ、日持ち性は向上した(第17図)。これは、千々和ら(2005)の‘伊豆’果実における結果と同様であった。処理後6日以降、1-MCP処理区のエチレン生成速度は無処理区よりも低く推移した(第18図)。1-MCPはエチレン作用を阻害し、結果として成熟に伴う自己触媒的なエチレン生成を抑制することから(Nakanoら, 2002)、軟化果実の発生を抑えたと考えられた。

なお、実験2の無処理区において、処理後11日以降、軟化率は増加したが(第17図)、弾性指標は大きく低下しなかった(第15図)。これは、軟化した果実をその都度除去したこと、弾性指標は指数関数的に低下するため、果実の軟化が進むと変化の幅が小さくなること、軟化度は果実に触れて調査するが、弾性指標の第2共鳴周波数は果実の中心部を測定しているため(Akimotoら, 2012)、両測定値間に軟化の進行する時間的なずれが生じていることなどが要因と考えられた。

播磨ら(2002b)は、ハウス栽培‘刀根早生’果実の実験で、透湿度を抑えた段ボール箱による水分蒸散抑制効果を報告している。実験3において、防湿段ボール箱によ

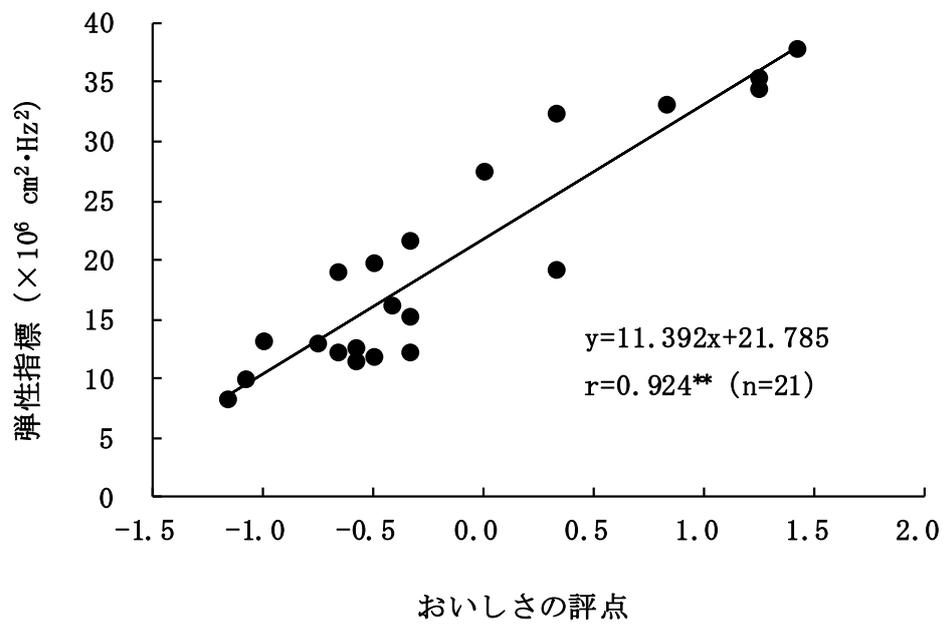
る‘早秋’の果肉硬度保持効果が認められた。おいしさの評点が 0 以上の時の弾性指標は約 $22 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ 以上であり、その期間は、慣行段ボール箱区が収穫直後から収穫後約 6 日、防湿段ボール箱区が収穫直後から収穫後約 10 日と、防湿段ボール箱区が約 4 日長かった（第 19 図）。防湿段ボール箱区の重量減少率は慣行段ボール箱区の重量減少率より低く推移し、果実からの水分蒸散が抑制されたことが要因と考えられた（第 20 図）。このことから、実験 2 において、1-MCP 処理による‘早秋’の果肉硬度保持効果が認められなかったのは、果実からの水分蒸散が抑制されなかったことが要因と考えられた。

透湿度（防湿段ボール箱 A 区と B 区）の違いによって、重量減少率の差は認められたが（第 20 図）、弾性指標の差は一部を除いて明確に認められなかった（第 19 図）。粘着テープの貼り方（I 貼りと H 貼り）の違いによって、重量減少率の差は防湿段ボール箱 A 区において認められたが（第 20 図）、弾性指標の差は認められなかった（第 19 図）。これらの結果から、果肉硬度保持効果、コストおよび労力などから考慮すると、防湿段ボール箱 A 区の I 貼りが最も実用的な方法と考えられた。

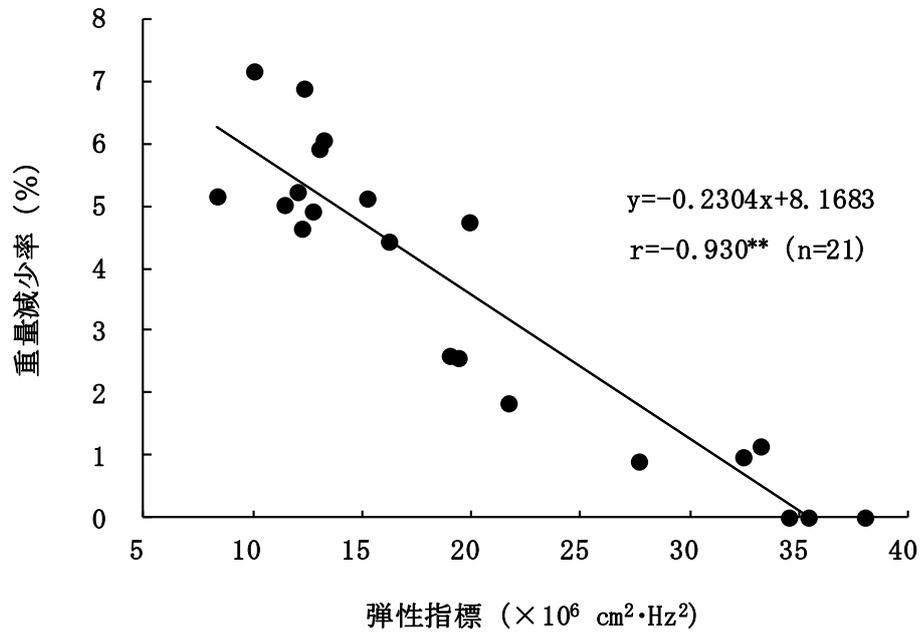
中野ら（2001）は、ハウス栽培‘刀根早生’果実の実験で、有孔ポリ包装の水分蒸散抑制によって水ストレス誘導エチレン生成を抑制し、その結果、果実軟化を抑制すると報告している。また、播磨ら（2002b）も、透湿度を抑えた段ボール箱において同様の報告をしている。しかし、本実験における‘早秋’では、収穫後 5 日までエチレン生成速度が非常に低く推移したため（第 18 図）、収穫直後のストレス誘導性エチレンの生成は認められなかったと考えられた。このことから、防湿段ボール箱の水分蒸散抑制によるストレス性誘導エチレンの生成抑制については判断できなかった。

収穫後 12 日以降、段ボール箱の種類に関わらず弾性指標は大きく低下し（第 19 図）、軟化が増加した（第 21 図）。また、おいしさの評点が 0 以上の時の重量減少率は約 3% であり（第 13, 14 図）、その時の収穫後日数は、慣行段ボール箱区が約 6 日、防湿段ボール箱 A 区が約 10~12 日、防湿段ボール箱 B 区が 14 日以降であった（第 20 図）。慣行段ボール箱区と防湿段ボール箱 A 区は、弾性指標が約 $22 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ になった日と重量減少率が 3% になった日がほぼ同じであったが、防湿段ボール箱 B 区では重量減少率が 3% になる前に果実が軟化した。防湿段ボール箱の水分蒸散抑制は成熟に伴う自己触媒型エチレンの生成を抑制しないため、自己触媒型エチレン生成によって軟化の増加、重量減少率の上昇よりも早い軟化の発生が生じたと考えられた。

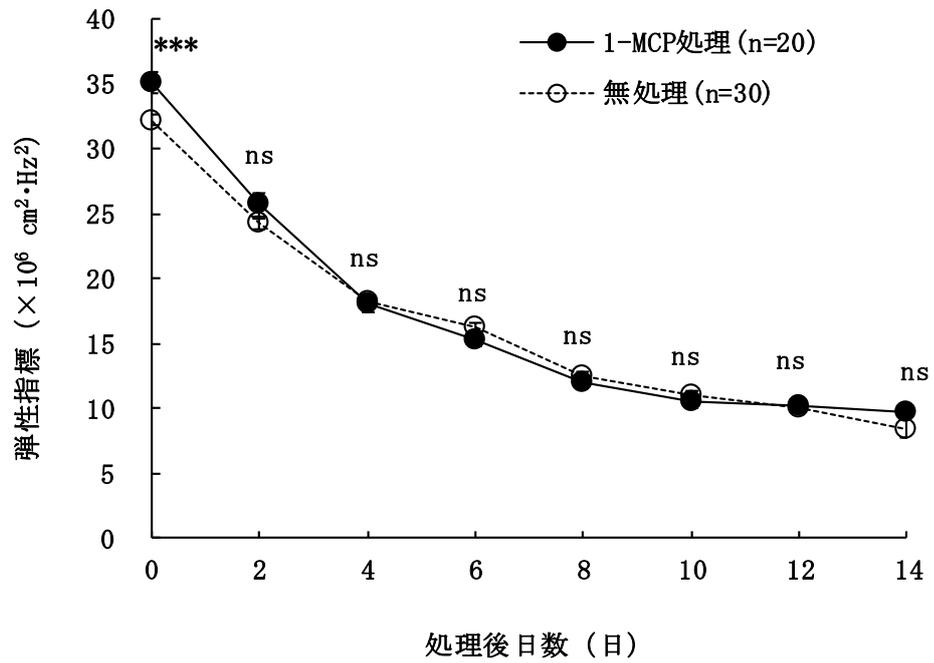
実験 3 は、調査の度、段ボール箱を開閉しており、実際の流通とは異なる条件であった。また、段ボール箱内のエチレン濃度やガス組成を測定していない。今後、防湿段ボール箱の実用化を図っていく中、実際の流通を想定し、途中で開封しない試験区を設定するとともに開封後の果実における経時的な弾性指標の測定、段ボール箱内のエチレン濃度やガス組成などの測定を行う必要がある。



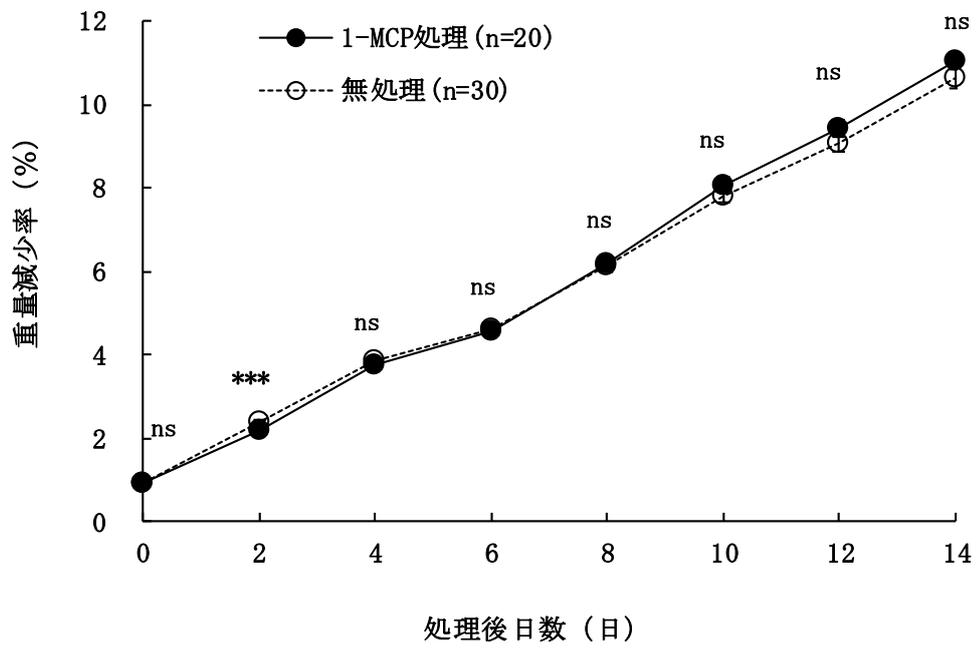
第13図 ‘早秋’におけるおいしさの評点と弾性指標との関係
 **は1%水準で有意であることを示す



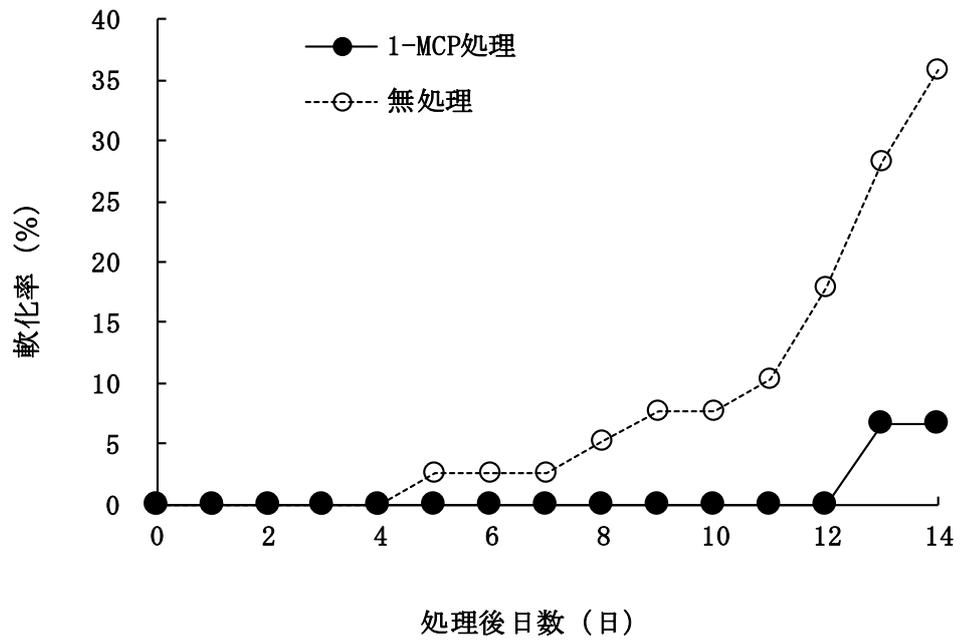
第14図 ‘早秋’における弾性指標と重量減少率との関係
**は1%水準で有意であることを示す



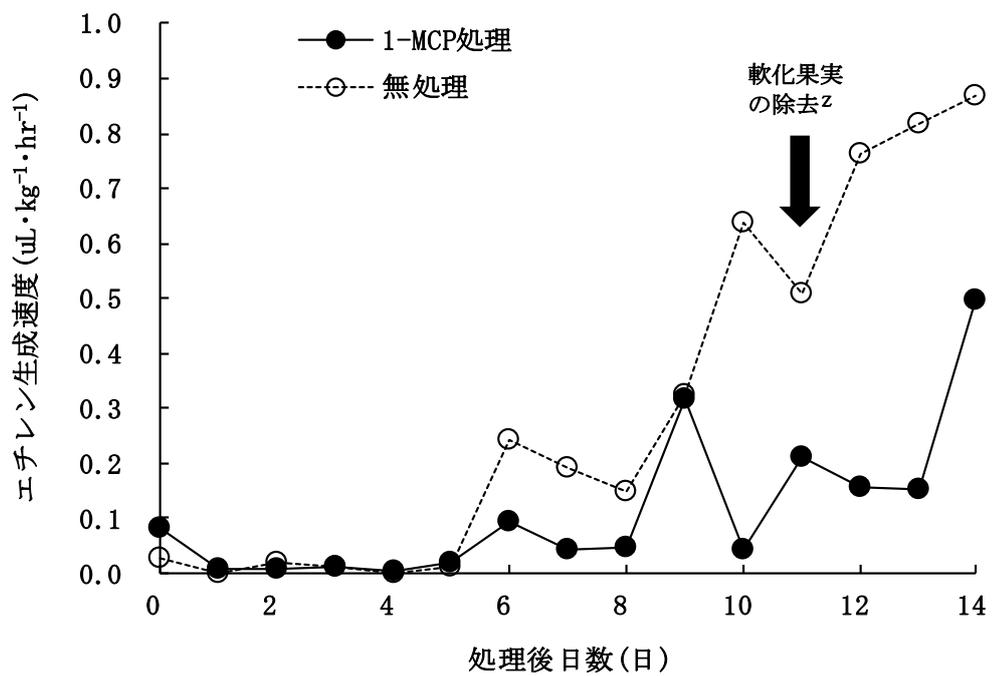
第15図 1-MCP処理が‘早秋’の弾性指標に及ぼす影響
 縦線は標準誤差を示す
 t検定により、nsは有意差なし、***は0.1%水準で有意差あり



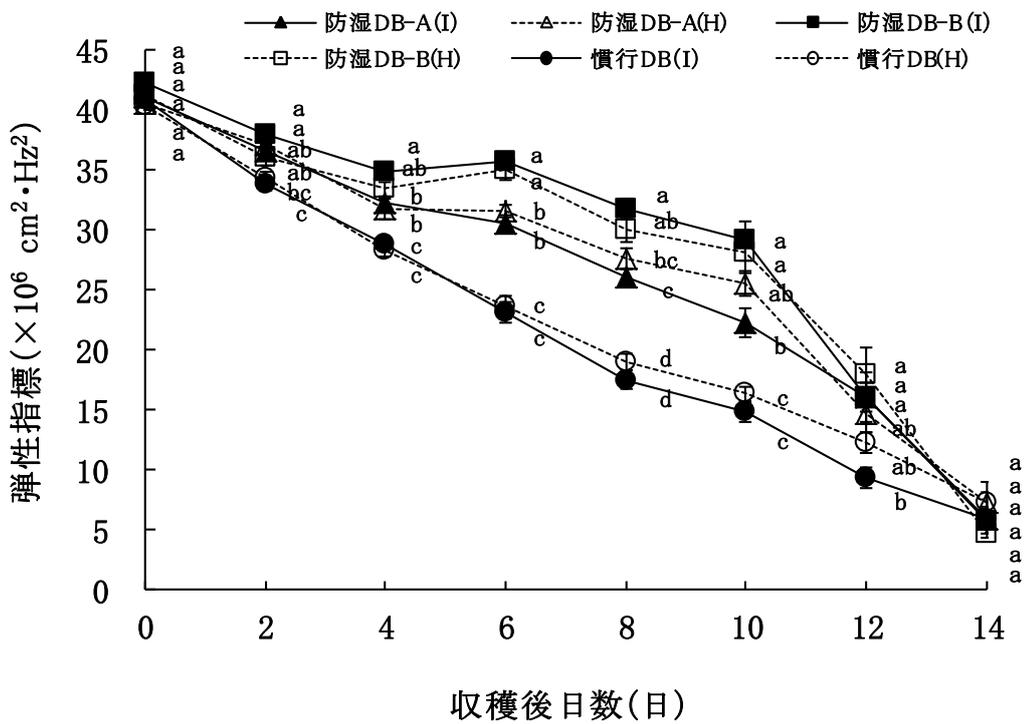
第16図 1-MCP処理が‘早秋’の重量減少率に及ぼす影響
 縦線は標準誤差を示す
 アークサイン変換後，t検定により，nsは有意差なし，
 ***は0.1%水準で有意差あり



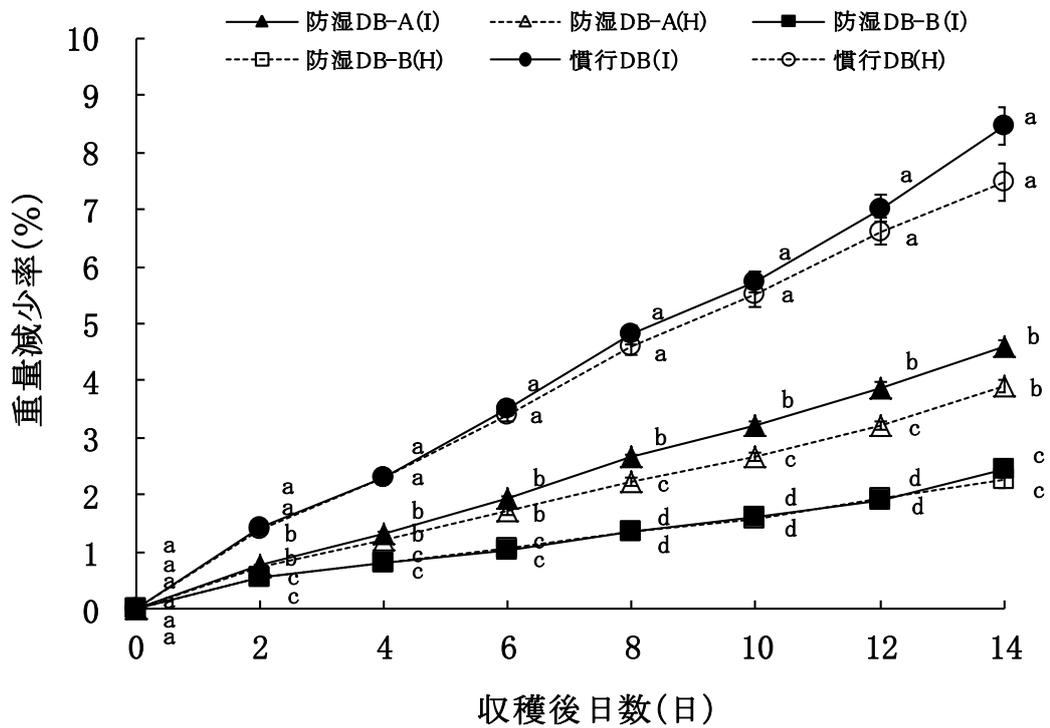
第17図 1-MCP処理が‘早秋’の軟化率に及ぼす影響



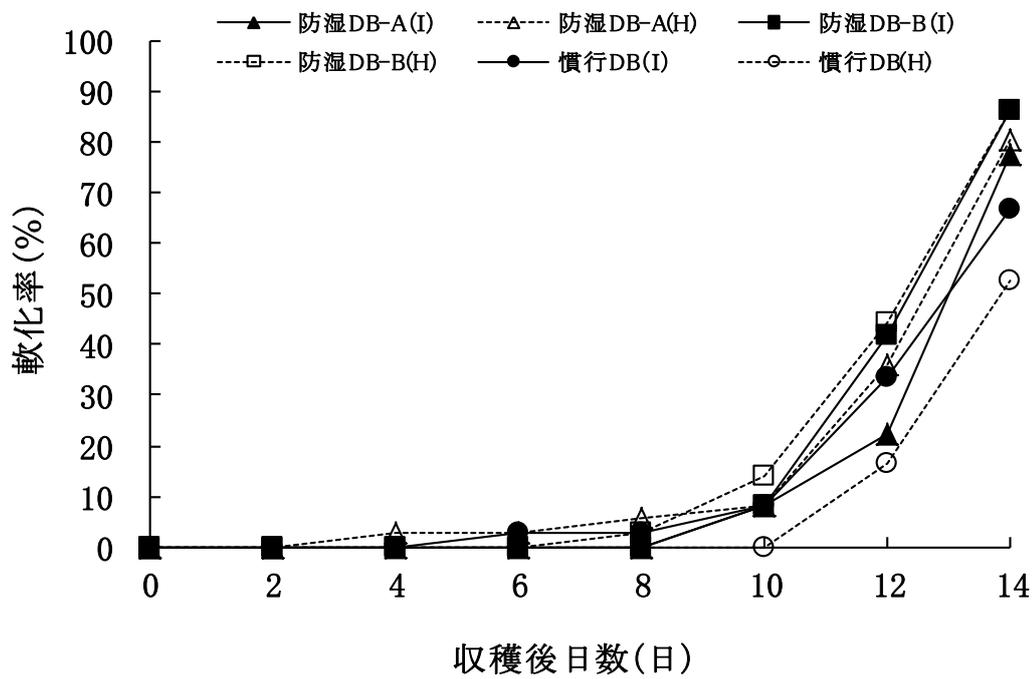
第18図 1-MCP処理が‘早秋’のエチレン生成速度に及ぼす影響
^z1-MCP処理区は1果，無処理区は2果を除去



第19図 防湿段ボール箱および封函方法が‘早秋’の弾性指標に及ぼす影響
 防湿DB-Aは防湿段ボール箱A区，防湿DB-Bは防湿段ボール箱B区，
 慣行DBは慣行段ボール箱区，(I)はI貼り，(H)はH貼りを示す
 縦線は標準誤差を示す (n=15~36)
 同一収穫後日数における異符号間はTukey-Kramerの多重検定により，
 5%水準で有意差あり



第20図 防湿段ボール箱および封函方法が‘早秋’の重量減少率に及ぼす影響
 防湿DB-Aは防湿段ボール箱A区，防湿DB-Bは防湿段ボール箱B区，
 慣行DBは慣行段ボール箱区，(I)はI貼り，(H)はH貼りを示す
 縦線は標準誤差を示す (n=15~36)
 同一収穫後日数における異符号間には，アークサイン変換後，Tukey-Kramerの多重検定により，5%水準で有意差あり



第21図 防湿段ボール箱および封函方法が‘早秋’の軟化率に及ぼす影響
 防湿DB-Aは防湿段ボール箱A区，防湿DB-Bは防湿段ボール箱B区，
 慣行DBは慣行段ボール箱区，(I)はI貼り，(H)はH貼りを示す

第2節 1-MCP処理と防湿段ボール箱によるカキ‘早秋’の品質保持技術の開発

緒言

‘早秋’は極早生の完全甘ガキとして10月初旬から収穫できること、果皮色は赤く、良食味であることから（山田ら，2004），市場評価が高く，高単価で販売されている。しかし，既存の早生品種である‘西村早生’などよりも日持ち性が短いこと，すなわち果肉硬度が早く低下することが課題であった。前節で，防湿段ボール箱の水分蒸散抑制によって果肉硬度は保持されるが，日持ち性は向上しないこと，1-メチルシクロプロペン（以下，1-MCP）処理のエチレン作用阻害によって日持ち性は向上するが，果肉硬度は保持されないことを明らかにした。

そこで，本研究では，1-MCP処理と防湿段ボール箱の組み合わせによる果実品質保持技術の開発について検討した。

材料および方法

岐阜県農業技術センター植栽の‘早秋’を供試した。2014年10月7日に果頂部の果皮色が‘富有’用カラーチャート値（農林水産省果樹試験場監修）で7.0に達した果実を収穫した。果皮色の測定には色彩色差計（CR-400，コニカミノルタ（株））を使用した。新川ら（2008）の報告に準じて次式を作成し，測定した色相角度（ H° ）をカラーチャート値（CC値）に変換した。 $CC\text{値} = -9.156 \times \text{LN}(H^\circ) + 43.797$ ($r^2 = 0.985$)。

1-MCPは，気密性のプラスチック容器（内容積117L）に果実とSmartFreshTM（ローム・アンド・ハース・ジャパン（株））を入れて密封し，初期濃度1ppmで収穫日から24時間曝露処理した。その後，防湿段ボール箱（前節の結果から，防湿段ボール箱A〈透湿度 $130\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot(24\text{h})^{-1}$ 〉とB〈透湿度 $15\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot(24\text{h})^{-1}$ 〉の範囲内になる透湿度の防湿段ボール箱を新たに作成した），慣行段ボール箱および平箱（蓋なしの慣行段ボール箱）に詰め，室温下で保管した。防湿段ボール箱の透湿度は $107\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot(24\text{h})^{-1}$ であり（カップ法：JIS Z 0208:1976 防湿包装材料の透過湿度試験方法），防湿段ボール箱および慣行段ボール箱の蓋はI貼りで封函した。試験区は防湿段ボール箱区，慣行段ボール箱区，平箱区，1-MCP+防湿段ボール箱区，1-MCP+慣行段ボール箱区および1-MCP+平箱区とした。各区36果とし，1-MCP処理後14日間，果肉硬度，重量および軟化果実の発生などを調査した。

果肉硬度は音響振動法による小型振動測定装置（（有）生物振動研究所）で測定した。果実のへたを上向きにしてスポンジ上に置き，加振器と受振器を果実の赤道部の対角線上に軽く挟み，100~1,500 Hzの振動を与えた。第2共鳴周波数（ f_2 ）をスペクトルピークおよび位相から求め，Kurokiら（2006）の報告に準じて，弾性指標（EI：Elasticity Index）を以下の式で算出した。果実直径（ d ）は加振器と受振器の挟んだ長さとした。

$$EI = d^2 \times f_2^2$$

軟化判定は岩田ら（1969）の手法を用い、軟化度Ⅲ（指で押すと崩壊しそうになる、または果肉の一部が水浸状になっている）を軟化と判断した。防湿段ボール箱区と慣行段ボール箱区は 32 果、1-MCP+防湿段ボール箱区、1-MCP+慣行段ボール箱区、平箱区および 1-MCP+平箱区は 31 果中軟化した果実の頻度を軟化率とした。なお、軟化した果実は調査から除去した。

結果

防湿段ボール箱および慣行段ボール箱の湿度はほぼ 99%RH、平箱の湿度は平均約 65%RH であった（データ略）。

弾性指標は、防湿段ボール箱区で緩やかに、慣行段ボール箱区で直線的に、平箱区で指数関数的に低下した（第 22 図）。防湿段ボール箱区の弾性指標は慣行段ボール箱区および平箱区よりも、処理後 2～4 日以降、有意に高く推移した。また、1-MCP 処理によって、防湿段ボール箱の弾性指標は、処理後 10～12 日の間、有意に高く推移した。しかし、慣行段ボール箱および平箱の弾性指標において差は認められなかった。弾性指標が約 $22 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ 以上において果肉硬度が保持されるとすると（第 13 図）、果肉硬度保持日数は、1-MCP+防湿段ボール箱区で処理後約 12 日、防湿段ボール箱区で約 8 日、1-MCP+慣行段ボール箱および慣行段ボール箱区で約 6 日、1-MCP+平箱区および平箱区で約 2 日であった。

重量減少率は防湿段ボール箱区、慣行段ボール箱区、平箱区の順で有意に低く推移し、いずれの段ボール箱においても 1-MCP 処理による重量減少率の差は認められなかった（第 23 図）。

防湿段ボール箱区および慣行段ボール箱区の軟化率は平箱区よりも高く推移した（第 24 図）。処理後 14 日の軟化率は防湿段ボール箱区で 56.3%、慣行段ボール箱区で 37.5%、平箱区で 29.0%であった。また、いずれの段ボール箱においても、1-MCP 処理によって軟化率は低く推移し、処理後 14 日の軟化率は 6.5%であった。軟化率が約 10%までを日持ち保持とすると、日持ち保持日数は 1-MCP+防湿段ボール箱区および 1-MCP+平箱区で処理約 14 日、1-MCP+慣行段ボール箱で約 12 日、平箱区で約 10～12 日、防湿段ボール箱区および慣行段ボール箱区で約 8 日であった。

考察

前節において、防湿段ボール箱による果肉硬度保持効果、1-MCP 処理による日持ち性向上効果を明らかにした。カキの流通販売上、果肉硬度保持および日持ち性向上ともに重要な要素であり、‘早秋’の一層のブランド化を図るためにはいずれの要素も兼ね備える必要がある。おいしくて、棚持ちも優れている商品は非常に魅力的である。そこで、1-MCP 処理によるエチレン作用阻害と防湿段ボール箱による水分蒸散抑制を組み合わせることによって、果肉硬度が保持されるとともに日持ち性も向上する技術の開発を検討した。

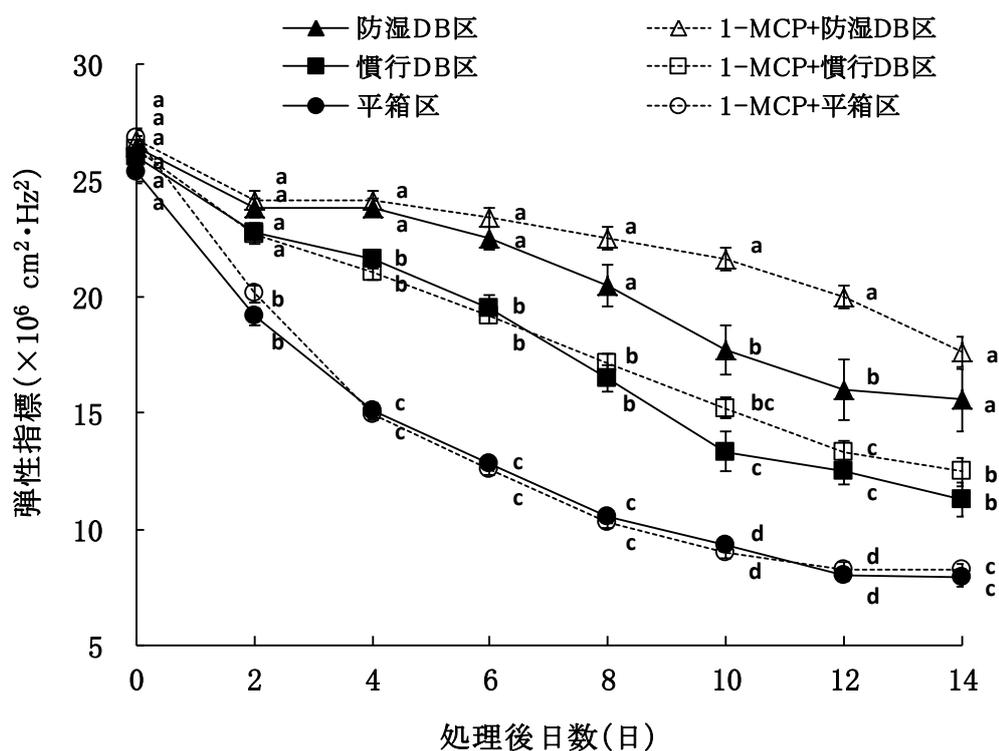
本実験結果において、1-MCP+防湿段ボール箱区の果肉硬度保持日数は処理後約 12 日であり、防湿段ボール箱区よりも約 4 日、1-MCP+慣行段ボール箱区および慣行段ボール箱区よりも約 6 日、1-MCP+平箱区および平箱区よりも約 10 日長く保持された（第 22 図）。また、1-MCP+防湿段ボール箱区の日持ち保持日数は約 14 日であり、防湿段ボール箱区および慣行段ボール箱区よりも約 6 日、平箱区よりも約 2~4 日長く保持された（第 24 図）。1-MCP 処理した果実を防湿段ボール箱に入れることによって、1-MCP 処理単独よりも果肉硬度保持日数が長く、防湿段ボール箱単独よりも日持ち保持日数が長く保持されたことは、それぞれ水分蒸散抑制、エチレン作用阻害が加味された効果と考えられた。しかし、防湿段ボール箱単独よりも果肉硬度保持日数が長くなったことは水分蒸散抑制とエチレン作用阻害が相乗的に作用したためと考えられた。ニホンズモモにおいて、1-MCP 処理した果実を MA 包装すると、食べ頃期間が長くなったと報告されている（Khan・Singh, 2008）。

前節の実験 2 および本実験の結果において、防湿段ボール箱の軟化率は慣行段ボール箱や平箱の軟化率よりも高い傾向であった。ニホンナシ‘幸水’を MA 包装用段ボール箱内で貯蔵した際、段ボール箱内にエチレンが蓄積した報告から（羽山ら, 2012）、防湿段ボール箱は成熟エチレンが溜まりやすく、軟化率が高まったと考えられた。

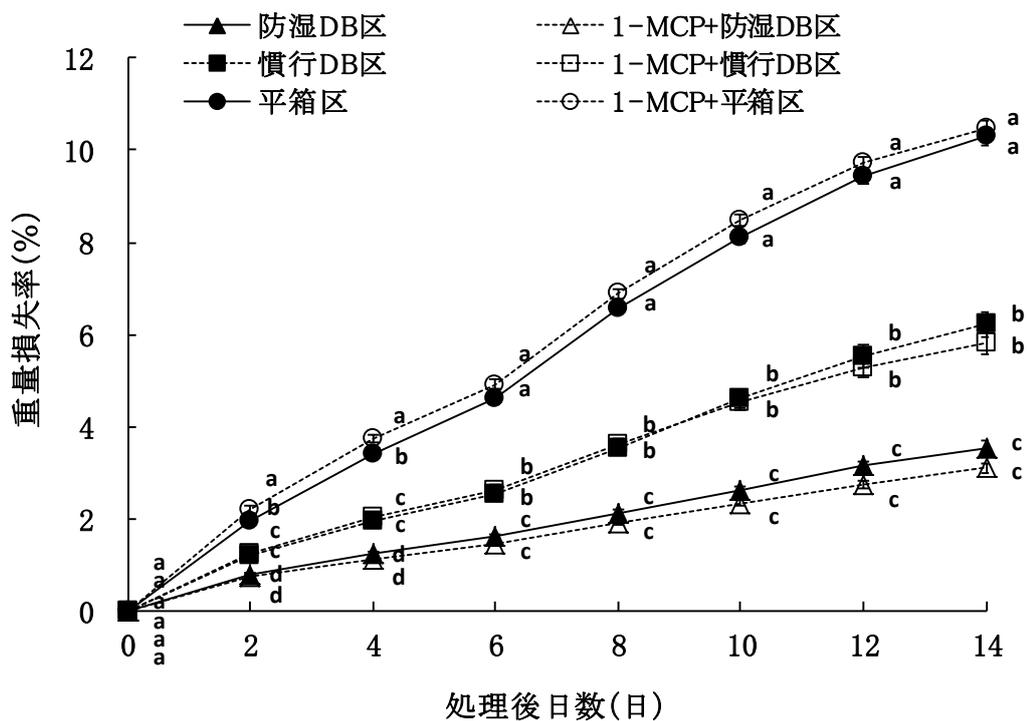
岐阜県における‘早秋’の選果基準では、条紋や傷が軽微なもの、カイガラムシの被害のないものなどを蓋付きの段ボール箱で、条紋がやや目立ち、果肉に達していない程度の傷があるもの、カイガラムシの被害のあるもの、軟化につながらない程度のへたすき果などを平箱（蓋なしの段ボール箱）で出荷している。これは商品が有する価値による違いであるが、本実験における平箱の弾性指標は指数関数的に低下し、果肉硬度保持日数は処理後約 2 日であり、これではおいしい‘早秋’を販売しているとは言い難い。段ボール箱のコストもあるが、果実品質保持を考えるのであれば、蓋付きの段ボール箱が良いと考えられる。しかし、へたすき果、フジコナカイガラムシ被害果などエチレンが発生する危険性のある果実（千々和ら, 2002；杉浦ら, 2012）が混入すると、逆に軟化率が早くから高まる危険性があるため、果実の選別には注意が必要である。

本実験によって、1-MCP 処理と防湿段ボール箱を組み合わせることによって‘早秋’

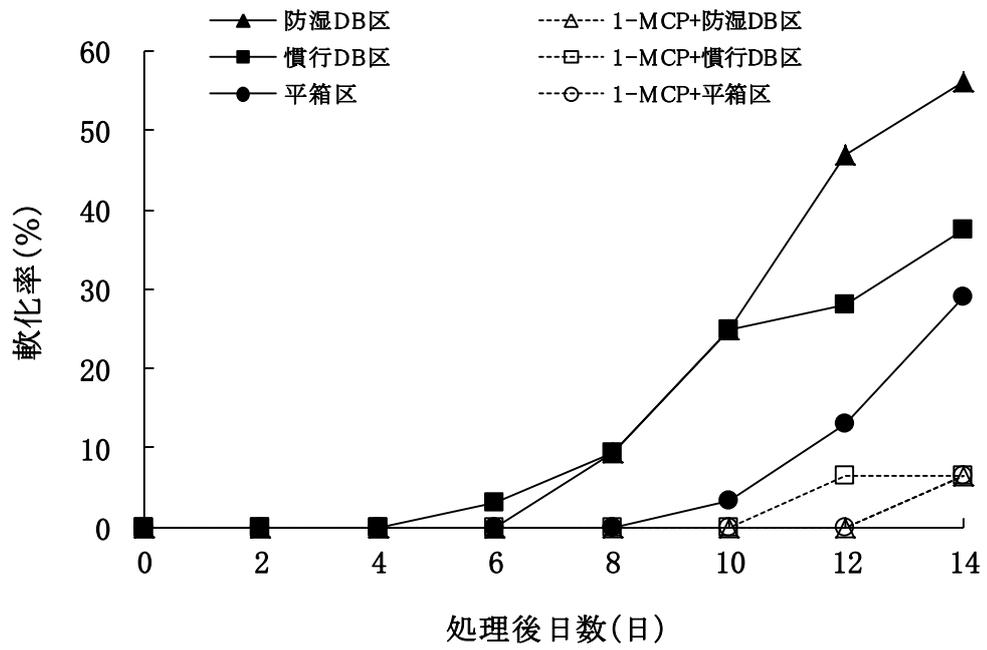
の果肉硬度は処理後 12 日，日持ちは処理後 14 日まで保持できることが明らかになった。しかし，1-MCP 処理および防湿段ボール箱のコストや労力が余分にかかるため，レギュラー品ではなく付加価値のあるブランド品としての販売戦略（価格設定）を構築する必要がある。そこで，コストおよび労力低減の方法の一つとして，MA 包装用段ボール箱内 1-MCP 処理（羽山ら，2012；檜村ら，2010b）など検討していく必要がある。



第22図 1-MCP処理および防湿段ボール箱が‘早秋’の弾性指標に及ぼす影響
 縦線は標準誤差を示す (n=16~36)
 同一収穫後日数における異符号間はTukey-Kramerの多重検定により、5%水準で有意差あり



第23図 1-MCP処理および防湿段ボール箱が‘早秋’の重量減少率に及ぼす影響
 縦線は標準誤差を示す (n=16~36)
 同一収穫後日数における異符号間には、アークサイン変換後、Tukey-Kramerの多重検定により、5%水準で有意差あり



第24図 1-MCP処理および防湿段ボール箱が‘早秋’の軟化率に及ぼす影響

第4章 カキ‘太秋’の肉質評価および品質保持技術の開発

第1節 音響振動法によるカキ‘太秋’の肉質評価とおいしさの要因解明

緒言

日本のカキ育種は国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所がリードして取り組んでいる。1980年代までの育種目標は、果実品質が高く、裂果性のない早生の完全甘ガキの育成であり、1995年に大果性や食味の良さを追求した‘太秋’、2003年に早生品種の代表として‘早秋’を品種登録した（河野，2013）。育種目標の一つである高果実品質の基準は、硬度が軟、紛質化が無、果汁が多、糖度が高としており（佐藤，2013）,’太秋’は硬度が低く、紛質化が無、果汁が非常に多く、糖度が中程度であることから、高品質果実と位置づけられている。

現在,’太秋’は熊本県、福岡県、愛媛県を中心に291.2 ha導入されており（農林水産省，2015）、全国的に栽培が広まっている。また、食味が非常に優れていることから、消費者の人気も高まっている。食味が良い主な要因は、糖組成が‘富有’とは異なること（鈴木ら，2010a）、食感がサクサクとしていること（山根，1994）などであり、特にサクサク感は今までのカキにはない新たな食感であり、若い世代に人気が高い。

カキ果実の物理的なおいしさに関する研究が少ない中、Sakuraiら（2005b）は、AMC法による‘富有’の肉質評価を行い、パラメーター「シャープネス指標」を検討した。Taniwakiら（2009a）は、Muramatsuら（1997）が開発したLDV法とAMC法によって、‘富有’と‘太秋’の食べ頃を明らかにした。第2章第1節では、Kurokiら（2006）が開発した音響振動法の小型振動測定装置とAMC法の食感測定装置によって、‘富有’の肉質評価を行った。そこで、本研究では、‘太秋’の物理的なおいしさの要因を明らかにするため、音響振動法による弾性指標と官能評価によって、肉質特性を評価した。

材料および方法

1. 音響振動法による果肉硬度の測定（実験1）

岐阜県農業技術センター植栽の‘太秋’（1997年定植）果実を供試した。2009年10月6日（収穫始期）、10月16日（収穫盛期）、10月26日（収穫終期）に、果頂部の果皮色が‘富有’用カラーチャート値（農林水産省果樹試験場監修）で3.5に達した果実をそれぞれ52果、56果、60果収穫した。果皮色の測定には色彩色差計（CR-400、コニカミノルタ（株））を使用した。新川ら（2008）の報告に準じて次式を作成し、測定した色相角度（ H° ）をカラーチャート値（CC値）に変換した。CC値 = $-8.101 \times \text{LN}(H^\circ) + 38.829$ ($r^2 = 0.992$)。収穫後40日まで、室温下に保管し、概ね1日おきに果肉硬度、軟化度の調査および官能評価を行った。

果肉硬度は音響振動法による小型振動測定装置（（有）生物振動研究所）で測定した。果実のへたを上向きにしてスポンジ上に置き、加振器と受振器を果実の赤道部の対角線上に軽く挟み、100～1,500 Hz の振動を与えた。第 2 共鳴周波数 (f_2) をスペクトルピークおよび位相から求め、Kuroki ら（2006）の報告に準じて、弾性指標（EI：Elasticity Index）を以下の式で算出した。果実直径（d）は加振器と受振器の挟んだ長さとした。

$$EI = d^2 \cdot f_2^2$$

軟化判定は岩田ら（1969）の手法を用い、軟化度Ⅲ（指で押すと崩壊しそうになる、または果肉の一部が水浸状になっている）を軟化と判断した。10月6日収穫は22果、10月16日収穫は13果、10月26日収穫は18果中軟化した果実の頻度を軟化率とした。

官能評価は1日に3果用い、5段階評点法で硬さ（非常に軟らかい：-2～非常に硬い：+2）およびおいしさ（非常においしくない：-2～非常においしい：+2）を評価した。パネルは岐阜県農業技術センター職員の訓練された9人（男性6人・女性3人、30～50歳代）で構成した。

2. 音響振動法と官能評価による物理的なおいしさの要因解明（実験2）

岐阜県農業技術センター植栽の‘太秋’（1997年定植）果実を供試した。2010年10月19日に、果頂部の果皮色が‘富有’用カラーチャート値で3.5に達した果実を48果採取した。果皮色の測定は実験1と同様の方法で行った。

収穫後33日まで、室温下に保管し、概ね1日おきに2～3果、果肉硬度の測定および官能評価を行った。果肉硬度の測定および官能評価は実験1と同様の方法で行った。なお官能評価においては、サクサク感（非常に弱い：-2～非常に強い：+2）を新たに評価した。パネルは岐阜県農業技術センター職員の訓練された7人（男性5人・女性2人、30～50歳代）で構成した。

結果

1. 音響振動法による果肉硬度の測定（実験1）

1) 収穫後の弾性指標の変化

収穫直後の弾性指標は、10月6日収穫で $26.5 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ 、10月16日収穫で $28.1 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ 、10月26日収穫で $28.0 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ であり、収穫時期による差は認められなかった（第25図）。収穫後の弾性指標の推移は、いずれの収穫時期においても、収穫後8日まで（弾性指標約 $6.2 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ ）までは大きく、その後、緩やかに低下し、同様のパターンで推移した。

2) 収穫後の食味の変化および軟化率

いずれの収穫時期においても、官能評価における硬さおよびおいしさの評点は、収穫後 12 日までは緩やかに、その後、大きく低下した。おいしさの評点が 0 になるのは、収穫後約 15 日であった（データ略）。

軟化率は、10 月 6 日収穫で収穫後 22 日以降、10 月 16 日および 10 月 26 日収穫で収穫後 32 日以降、増加した（第 26 図）。軟化率の増加が早かった 10 月 6 日収穫は弾性指標の低下も早かった。

3) 官能評価における評点と弾性指標との関係

官能評価におけるおいしさの評点と弾性指標との間には、おいしさの評点 0 を境にして 2 つの集団に分けることができた（第 27 図）。相関係数はおいしさの評点が 0 以上で $r=0.607$ 、0 未満で $r=0.389$ であり、おいしさの評点が 0 以上では有意な正の相関関係が認められた。なお、おいしさの評点が 0 以上の弾性指標は約 $4.0 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ 以上であった。

また、硬さの評点と弾性指標との間においても、同様に 2 つの集団に分けることができた（データ略）。

2. 音響振動法と官能評価による物理的なおいしさの要因解明（実験 2）

官能評価における硬さの評点とおいしさの評点との間、サクサク感の評点とおいしさの評点との間には、それぞれ有意な正の相関関係（ $r=0.925$ 、 $r=0.965$ ）が認められ、硬さの評点とおいしさの評点、サクサク感の評点とおいしさの評点の間に大きな違いは認められなかった（第 28 図）。しかし、おいしさの評点が 0 以上における硬さの評点とおいしさの評点との間の相関係数は $r=0.536$ ($p<0.05$)、サクサク感の評点とおいしさの評点との間の相関係数は $r=0.825$ ($p<0.01$) であり、いずれも有意な相関は認められたが、サクサク感の評点とおいしさの評点の相関係数の方が大きかった。

サクサク感の評点と弾性指標との間には、サクサク感の評点 0 を境にして 2 つの集団に分けることができ、それぞれ有意な正の相関関係が認められた（第 29 図）。相関係数はサクサク感の評点が 0 以上で $r=0.527$ 、0 以下で $r=0.590$ であった。しかし、サクサク感の評点 0 以下では、サクサク感の評点が $-2.0 \sim 0$ まで大きく変化するにもかかわらず、弾性指標の変化は約 $2.5 \sim 11.5 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ と小さかった。一方、サクサク感の評点 0 以上では、サクサク感の評点の変化が $0 \sim 1.1$ までと小さいにもかかわらず、弾性指標は約 $7.1 \sim 37.1 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ と大きく変化した。

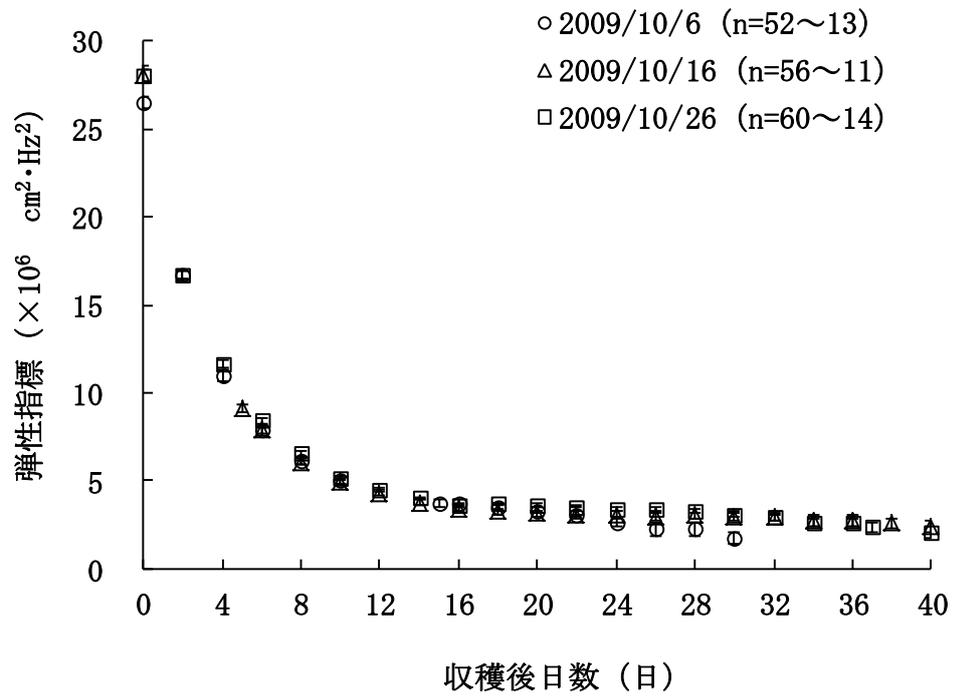
考察

実験 1 の結果から，‘太秋’における収穫直後の弾性指標は収穫時期に関わらず差が認められなかった（第 25 図）．‘富有’と同様に果皮色が同じであれば同じ成熟段階にあり，果肉硬度に差はなかったと考えられた．‘太秋’の収穫直後の弾性指標は $26.5\sim 28.0\times 10^6 \text{ cm}^2\cdot\text{Hz}^2$ であり，‘富有’の収穫直後の弾性指標 $43.4\times 10^6 \text{ cm}^2\cdot\text{Hz}^2$ （第 1 図）の約 63%であった．これは，ユニバーサル型果実硬度計による果肉貫入抵抗と同様の結果であり（山田ら，1998），‘太秋’の果肉の軟らかさを改めて明らかにした．また，‘太秋’の収穫後の弾性指標は，収穫時期に関わらず，同様のパターンで指数関数的に低下した（第 25 図）．‘富有’の収穫後の弾性指標も指数関数的に低下するが（第 1 図），‘太秋’の弾性指標が‘富有’よりも減少する割合が大きかった．これは，品種特性による影響と考えられた．

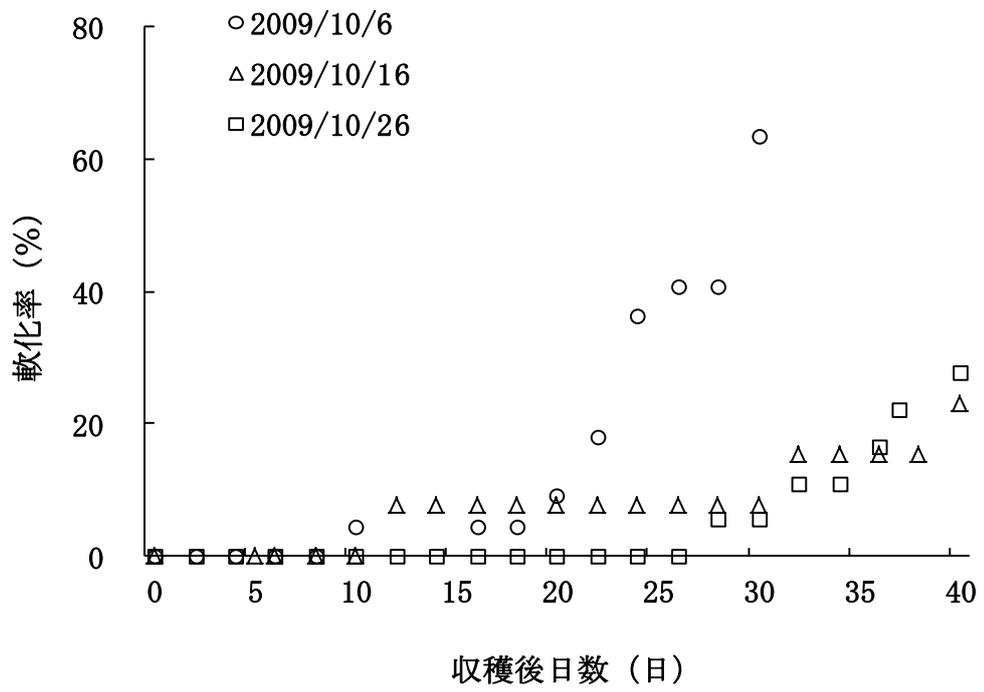
おいしさの評点が 0 以上の弾性指標は，‘富有’で $13.6\sim 30.2\times 10^6 \text{ cm}^2\cdot\text{Hz}^2$ （第 3 図），‘太秋’で約 $4.0\times 10^6 \text{ cm}^2\cdot\text{Hz}^2$ 以上であった（第 27 図）．食べ頃終期の弾性指標は‘太秋’が‘富有’よりも低く，これは両品種間における食感の違いによると考えられた．‘太秋’は今までのカキにはないサクサク感を有しており，このサクサク感によって，弾性指標が低下してもおいしさを保つことができると考えられた．

実験 2 の結果から，‘太秋’の物理的なおいしさの要因において，サクサク感が果肉硬度よりも重要であることが明らかになった．官能評価におけるサクサク感の評点と弾性指標との関係から（第 29 図），サクサク感の評点が 0 以上の時，サクサク感の評点の変化以上に弾性指標が大きく変化したため，弾性指標によるサクサク感の評価は難しいと考えられた．

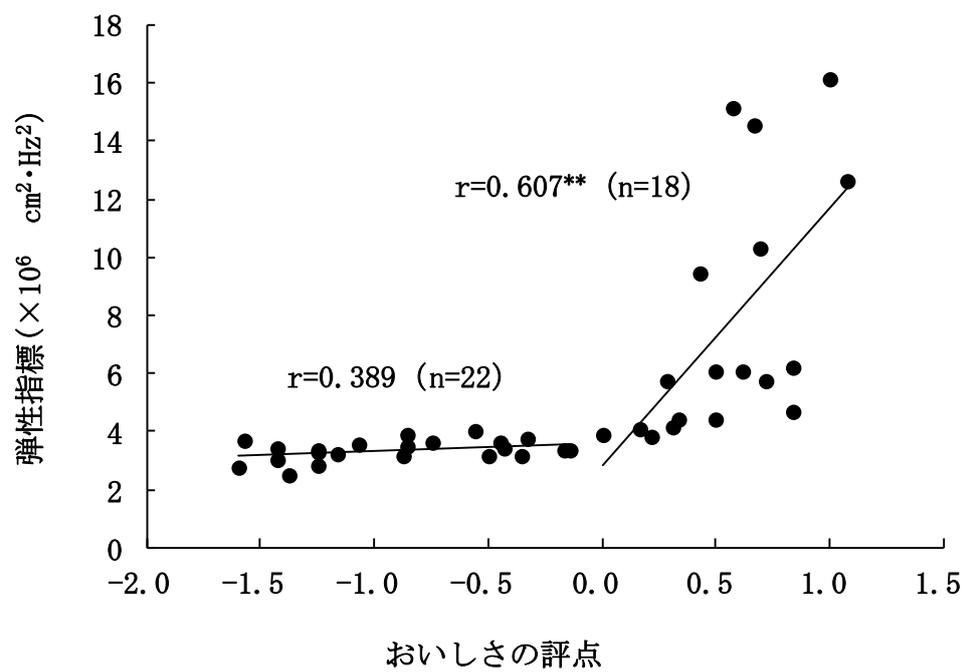
サクサク感は‘太秋’のおいしさを評価するにあたって重要な要素であり，また，サクサク感を有する品種が増えていることから，サクサク感の定量評価方法の開発が必要である．



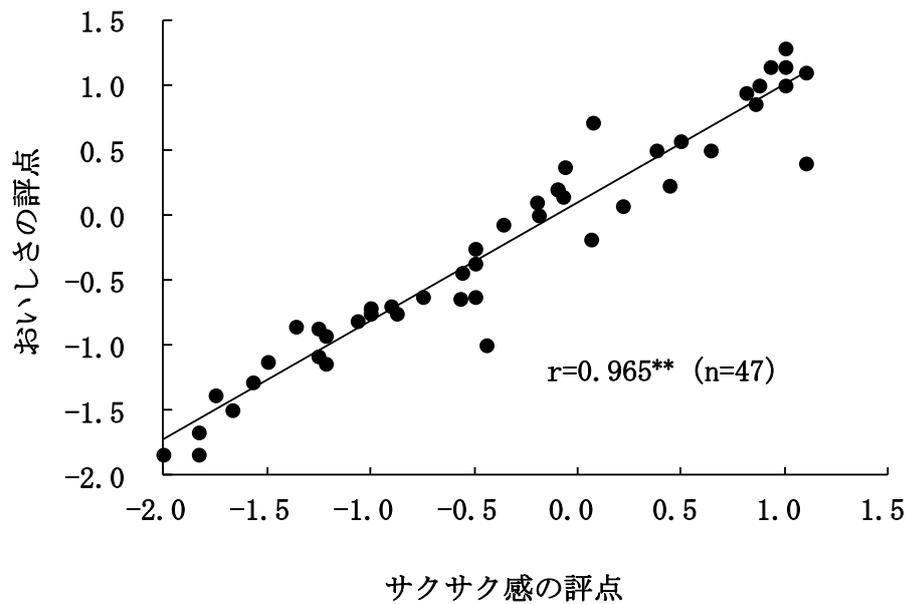
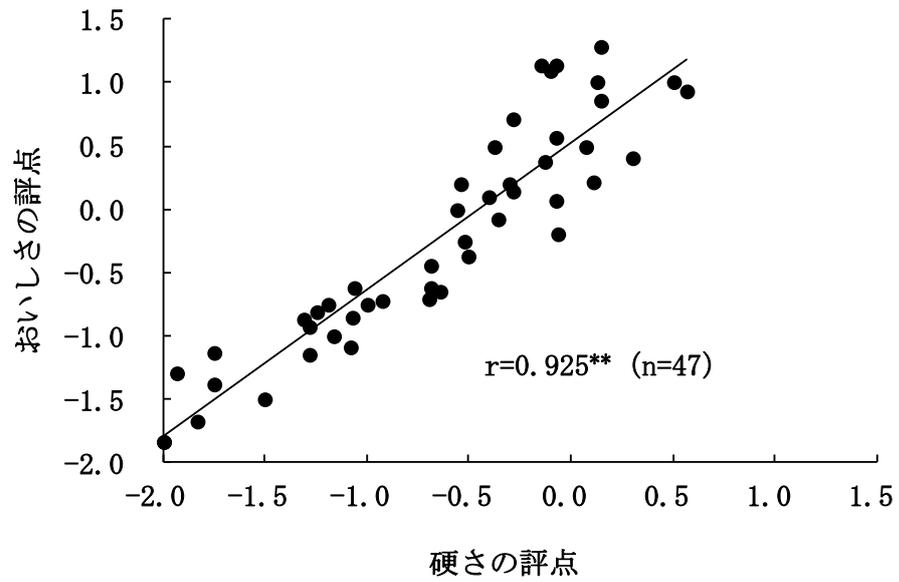
第25図 ‘太秋’における収穫後の弾性指標の変化
 縦線は標準誤差を示す



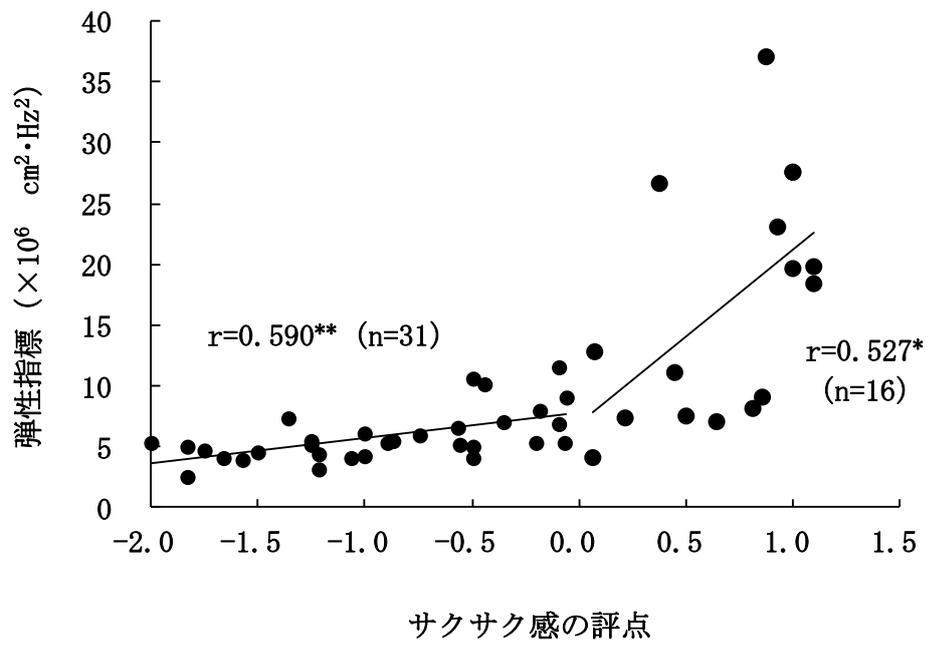
第26図 ‘太秋’における軟化率の推移



第27図 ‘太秋’におけるおいしさの評点と弾性指標との関係
 **は1%水準で有意であることを示す



第28図 ‘太秋’における硬さ，サクサク感の評点とおいしさの評点との関係
 **は1%水準で有意であることを示す



第29図 ‘太秋’におけるサクサク感の評点と弾性指標との関係
 **は1%, *は5%水準で有意であることを示す

第2節 AMC法によるカキ‘太秋’の食感評価方法の開発

緒言

近年、カキの消費は低迷しており、特に若い世代の消費量が非常に減少している。総務省家計調査（総務省統計局，2011）によると、世帯主が29歳以下の世帯におけるカキの平均年間購入量は、世帯主が60～69歳の世帯に比べて約7.2%と非常に少なく、将来におけるカキの需要低下が危惧されている。この状況を打破し、カキの需要回復を図るためには、消費者ニーズを踏まえた戦略の構築が必要である。消費者がカキを購入する際の重要な要因は色、味であり（秋元・伊藤，1979a）、また、小売店がカキを仕入れる際の重要な要因は‘味の保証’である（秋元・伊藤，1979b）。このように以前から、消費者ニーズとして食味は重要な要因であったが、農林水産省の定めた果実の全国標準規格が生産者と流通業者段階のみを対象としていたように（黒田，1978）、カキ産地において消費者ニーズが考慮されることはほとんどなく、大きさや果皮色など流通段階で重視される外観品質が優先されていた。しかし、時代が移り、今後カキ産地が生き残っていくためには、消費者ニーズを最優先に位置づけることが極めて重要になってきた。

‘太秋’は1995年に品種登録された中生の完全甘ガキであり、食味が優れていることが最大の特徴である（山根ら，2001）。消費者への試食アンケート調査においても人気が高く（川尾，2009）、‘太秋’が基幹品種として出荷体系の一角を担うことは、カキ全体の需要拡大に繋がる。‘太秋’の食味の良さは、食感がサクサクとしていること（山根，1994）、‘富有’とは糖組成が異なること（鈴木ら，2010a）などにある。特にサクサクとした食感は今までのカキにはない新たな食感であり、ナシのような食感とも評されている。この食感を定量的に評価することは、おいしさの解明とともに今後のカキ消費拡大に取り組むにあたって重要なポイントである。

従来の食感測定は実際に人が食べた時に発生する音をマイクロフォンで計測する方法がとられていた。しかし、個人差の大きいこと、再現性のないことが課題であった。そこで、Sakuraiら（2005a）は、プローブをサンプルに貫入させ、その時に発生する音響振動をプローブとピストンの間に挟んだ圧電素子で検出する食感測定装置（Acoustic Measurement of Crispness, AMC）を開発した。その後、その電圧データをオクターブマルチフィルタで周波数帯域ごとに分けて数値化し（Taniwakiら，2006b）、振動検出に加速度センサを用い、エネルギー食感指標を厳密な物理量で定義した（Iwataniら，2013）。

Sakuraiら（2005b）においては、AMC法によって‘富有’の肉質評価を行い、そのパラメーター「シャープネス指標」を検討した。また、Taniwakiら（2009a）においては、AMC法とMuramatsuら（1997）が開発したレーザードップラー（Laser Doppler Vibrometer, LDV）法によって、‘富有’と‘太秋’の食べ頃を明らかにした。第2章

第1節では、AMC法とKurokiら(2006)が開発した音響振動法の小型測定装置によって、‘富有’の食べ頃の予測を行った。このように、AMC法を中心に、カキ、特に‘富有’の肉質特性が明らかになってきた。

Taniwakiら(2009a)は、AMC法による‘富有’と‘太秋’の食感指標(TI: Texture Index)の推移が異なることを明らかにしたが、サクサクとした食感の評価については検討していない。そこで、本研究では、AMC法を用いて、‘太秋’におけるサクサクとした食感(以下、サクサク感)の定量評価方法および収穫時の熟度(果頂部の果皮色)と食感の関係について検討したので報告する。

材料および方法

1. 収穫後日数とエネルギー食感指標の関係(実験1)

岐阜県農業技術センター植栽の14年生‘太秋’を供試した。2010年10月13日、15日、17日、19日、21日、23日および25日に、果頂部の果皮色が‘富有’用カラーチャート値(農林水産省果樹試験場監修)で3.5に達した果実を各7果収穫した。カラーチャート値3.5は岐阜県における‘太秋’の収穫基準であり、商業的な収穫適期である。果皮色の測定には色彩色差計(CR-400, コニカミノルタ(株))を使用した。新川ら(2008)の報告に準じて次式を作成し、測定した色相角度(H°)をカラーチャート値(CC値)に変換した。 $CC \text{ 値} = -9.163 \times \text{LN}(H^\circ) + 43.807$ ($r^2 = 0.987$)。その後、室温下に保管し、10月26日に食感測定および官能評価を行った。

食感はAMC法による食感測定装置((有)生物振動研究所)で測定した。果実赤道部を厚さ2cm程度に輪切りにし、楔形のプローブ(直径5mm, 幅5mm, 先端角 30°)で果皮にやや近い果肉部を5か所、放射状の向きに測定した。毎秒22mmの速度で赤道面に対して直角に貫入させ、その時に生じる音響振動を加速度センサで検出し、出力電圧信号をコンピュータで解析した。得られた信号は半オクターブマルチフィルタを用いて19の周波数帯域に分割した。Iwataniら(2013)の報告に準じて、各周波数帯域のエネルギー食感指標(ETI: Energy Texture Index)をデータ取得時間(t)、上限周波数(f_u)、下限周波数(f_l)および振幅(V_i)から、以下の式で算出した。

$$ETI = (1/t) \times (1/f_u f_l)^2 \times \sum (V_i)^2$$

官能評価は、5段階評点法でサクサク感(非常に弱い: -2~非常に強い: +2)およびおいしさ(非常においしくない: -2~非常においしい: +2)を評価した。パネリストは、カキ果実の品質評価の経験を積んだ著者の1人(鈴木)が行い、試験区名を伏せたうえで評価した。

2. 商業適期に収穫した‘太秋’と‘甘秋’のエネルギー食感指標の比較(実験2)

当センター植栽の14年生‘太秋’および15年生‘甘秋’を供試した。2010年10月25日に、果頂部の果皮色が‘富有’用カラーチャート値で‘太秋’は3.5, ‘甘秋’は5.0に達した果実を各8果収穫した。‘甘秋’の果実成熟期は‘伊豆’と‘松本早生富有’の中間の時期であり(山田ら, 2006), 岐阜県においては10月中下旬に相当し, 商業的な適期としてカラーチャート値5.0で収穫した。10月25日に果肉硬度測定, 10月27日に食感測定および官能評価を行った。

果肉硬度は非破壊法による小型振動測定装置((有)生物振動研究所)で測定した。果実のへたを上向きにしてスポンジ上に置き, 加振器と受振器を果実の赤道部の対角線上に軽く挟み, 100~1,500 Hzの振動を与えた。第2共鳴周波数(f_2)をスペクトルピークおよび位相から求め, Kurokiら(2006)の報告に準じて, 弾性指標(EI: Elasticity Index)を以下の式で算出した。果実直径(d)は加振器と受振器の挟んだ長さとした。

$$EI = d^2 \cdot f_2^2$$

食感測定と官能評価は実験1と同様の方法で行った。なお, 官能評価は実験1に硬さ(非常に軟らかい: -2~非常に硬い: +2)を加えて評価した。

3. 収穫時の熟度(果皮色)とエネルギー食感指標の関係(実験3)

当センター植栽の14年生‘太秋’を供試した。2010年10月25日に, 果頂部の果皮色が‘富有’用カラーチャート値で3.5および4.5に達した果実を各7果収穫した。なお, カラーチャート値3.5の果実は実験1で用いた果実と同一のものである。

10月25日に果肉硬度測定, 10月26日に食感測定および官能評価を実験1および2と同様の方法で行った。

結果

1. 収穫後日数とエネルギー食感指標の関係(実験1)

エネルギー食感指標は, 周波数帯域0~50 Hz, 100~140 Hzおよび3,200 Hz以上において収穫後日数が経つに従い低下した(第30図)。周波数帯域0~50 Hzにおけるエネルギー食感指標は収穫後1~3日と9~13日に低下し, 3~9日はほぼ横ばいであった(第31図)。周波数帯域100~140 Hzにおけるエネルギー食感指標は収穫後5~7日と11~13日に低下し, 1~5日と7~11日はほぼ横ばいであった。周波数帯域3,200 Hz以上におけるエネルギー食感指標およびサクサク感の評点は収穫後5~13日に低下し, 1~5日はほぼ横ばいであった。特に11~13日は急激に低下した(第31図)。おいしさの評点はサクサク感の評点とほぼ同様の推移を示した(データ略)。

また, 周波数帯域0~50 Hz, 100~140 Hzおよび3,200 Hz以上におけるエネルギー食感指標とサクサク感の評点との間には, 相関係数0.7以上の強い正の相関関係が認め

られた（第2表）。

2. 商業適期に収穫した‘太秋’と‘甘秋’のエネルギー食感指標の比較（実験2）

弾性指標は‘太秋’で $28.6 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ ，‘甘秋’で $26.6 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ であり，両品種間に有意な差は認められなかった（第3表）。硬さの評点は‘太秋’で-0.1，‘甘秋’で0.1であり，両品種間に有意な差は認められなかった。サクサク感の評点は‘太秋’で1.8，‘甘秋’で-1.5であり，両品種間に0.1%水準で有意な差が認められた（第3表）。

また，両品種間において，実験1で示した周波数帯域におけるエネルギー食感指標のうち，0～50 Hzでは5%水準，4,480～12,800 Hzでは1%水準，12,800 Hz以上では0.1%水準で有意な差が認められた。特に，4,480 Hz以上の高周波帯域では，‘太秋’が‘甘秋’より有意に高いエネルギー食感指標を示した（第32図）。

3. 収穫時の熟度（果皮色）とエネルギー食感指標の関係（実験3）

‘太秋’の弾性指標はカラーチャート値3.5で $28.7 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ ，カラーチャート値4.5で $26.7 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ であり，両区間に有意な差は認められなかった（第4表）。硬さの評点はカラーチャート値3.5で0.0，カラーチャート値4.5で-0.1であり，両区間に有意な差は認められなかった。サクサク感の評点はカラーチャート値3.5で1.9，カラーチャート値4.5で1.4であり，両区間に5%水準で有意な差が認められた（第4表）。

また，2つの果皮色（カラーチャート値3.5と4.5）のエネルギー食感指標の間において，周波数帯域12,800～17,920 Hzでは5%水準，周波数帯域0～50 Hzおよび4,480～12,800 Hzでは1%水準，周波数帯域3,200～4,480 Hzでは0.1%水準で，カラーチャート値3.5の方が有意に高いエネルギー食感指標を示した（第33図）。

考察

日本語のテクスチャー表現は非常に多く、日本人はテクスチャーに対して繊細であり、こだわりをもっている（早川，2009）。リンゴのシャキシャキ感やスイカのシャリ感など果物には特徴的な食感があり、テクスチャーとして表現されるが、従来のカキにはこのような特徴的な食感、テクスチャー表現はなかった。しかし、‘太秋’は今までのカキにはないサクサク感を有し、その食感は‘太秋’のおいしさを表現している。そこで、このサクサク感を定量的に評価することは、おいしさの解明とともに‘太秋’の品質評価を行ううえで非常に重要である。‘太秋’の果肉硬度は‘富有’などに比べて軟らかく（千々和ら，1997；山田ら，1998），果肉硬度の測定値だけで評価すると単なる軟らかい品種になってしまうため、食感の客観的な測定を行い、サクサク感を評価することが重要である。

実験 1 で収穫後日数の異なる‘太秋’の食感測定および官能評価を行った。周波数帯域 0～50 Hz，100～140 Hz および 3,200 Hz 以上におけるエネルギー食感指標は収穫後日数が経つに従い低下し、サクサク感の評点との間に強い正の相関関係が認められた（第 30 図，第 2 表）。しかし、周波数帯域 0～50 Hz におけるエネルギー食感指標の低下パターンはサクサク感の評点の低下パターンと少し異なることから、周波数帯域 100～140 Hz および 3,200 Hz 以上のエネルギー食感指標においてサクサク感の定量評価が可能と考えられた（第 31 図）。

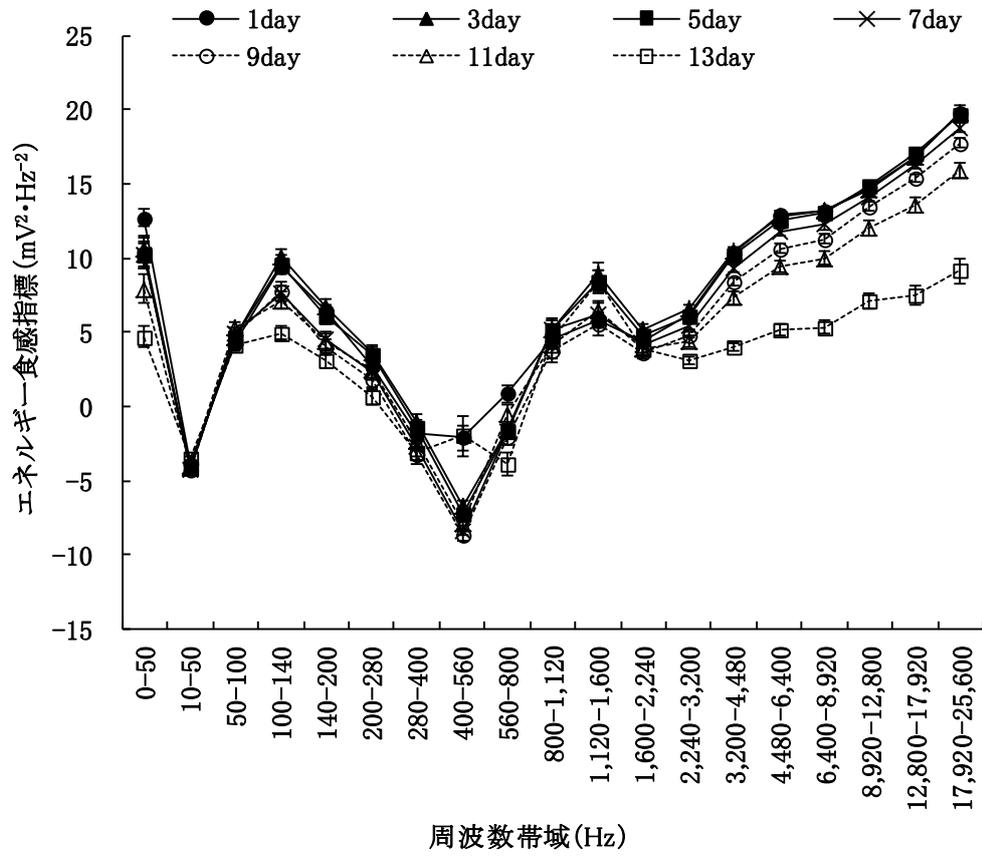
次に、実験 2 で商業的な適期に収穫した‘太秋’と‘甘秋’の果肉硬度測定、食感測定および官能評価の比較を行った。果肉硬度を示す弾性指標と官能評価の結果から、‘太秋’と‘甘秋’との間に果肉硬度の差は認められないが、食感の差は認められることが確認された（第 3 表）。そして、その食感の差は食感測定の結果からも明らかになった。4,480 Hz 以上の高周波帯域において、‘太秋’が‘甘秋’より有意に高いエネルギー食感指標を示した（第 32 図）。実験 2 および前述の実験 1 の食感測定の結果から、‘太秋’のサクサク感の定量評価は、弾性指標ではできないが、周波数帯域 4,480 Hz 以上におけるエネルギー食感指標ではできると明らかになった。これは、スイカのシャリ感を定量評価するに当たり、1,000 Hz 以上の高周波数帯域を大きく評価している報告と一致する（岩谷ら，2011）。なお、実験 2 における‘太秋’と‘甘秋’は両方とも商業的な収穫適期の果実を用いている。すなわち、両品種の熟度を揃えていないため、この結果は品種間差のみでなく、それぞれの熟度の違いも影響している可能性があると考えられる。今後、熟度を揃えて実験を行い、より高精度にサクサク感を定量評価できる周波数帯域を検討していく必要がある。

‘太秋’は未熟な果実ほど糖度が低く、サクサク感が強いが、過熟になると糖度が高く、サクサク感がなくなる（川尾，2009）。現在、岐阜県における‘太秋’の収穫基準は果頂部の果皮色が‘富有’用カラーチャート値 3.5 以上であり、糖度よりもサクサク感を重視している。そこで、収穫時の熟度（果頂部の果皮色）と食感の関係を調

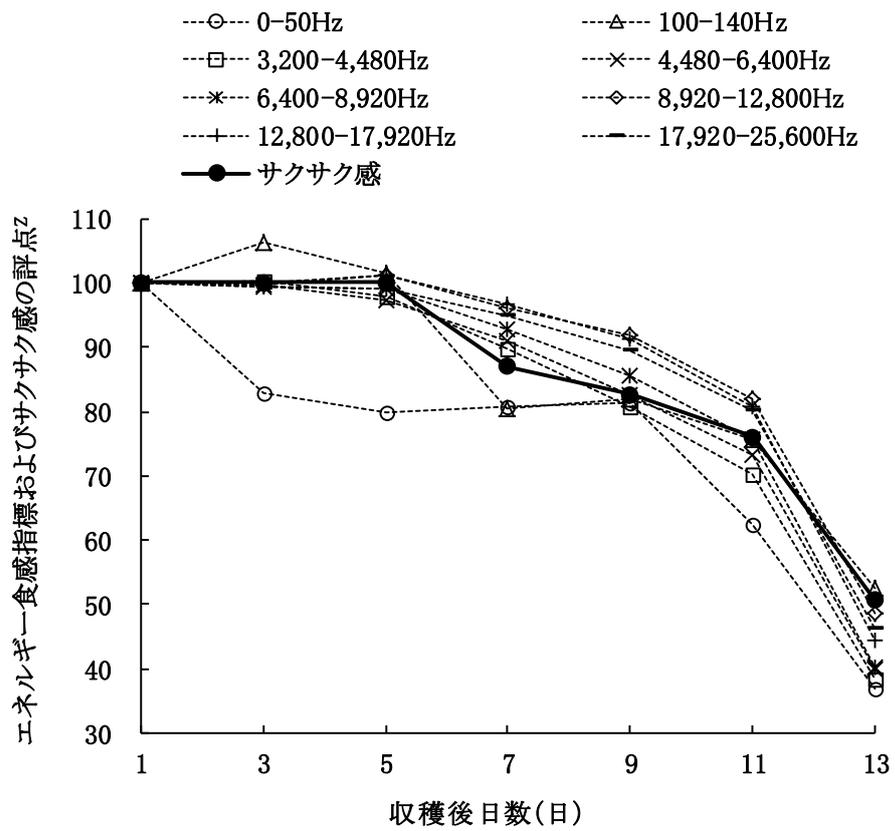
査した。カラーチャート値 3.5 で収穫した果実と 4.5 で収穫した果実との間に果実硬度の差は認められなかったが、食感の差は認められた（第 4 表）。収穫後 1 日のカラーチャート値 4.5 の果実と収穫後 1～11 日のカラーチャート値 3.5 の果実におけるエネルギー食感指標を比較すると、4.5 で収穫した果実の食感は 3.5 で収穫した果実の収穫後 7～9 日に相当すると考えられた（第 34 図）。サクサク感は‘太秋’のおいしさの代名詞であり、食感を重視した選果の中で、カラーチャート値 4.5 以上の果実の出荷は‘太秋’の評価低下に繋がること懸念された。今後、‘太秋’の一層のブランド化を図るためには、収穫基準の適正な範囲を検討する必要があると考えられた。

現在、カキの品種育成においては‘太秋’の食味の良さを活かした育種が行われており、2007 年には‘黒熊’と‘太秋’を交雑して選抜された‘太天’が品種登録出願された（山田ら、2008）。‘太天’は不完全渋ガキであることから脱渋処理を行うが、脱渋後もサクサク感が残る（佐藤、2009）。このように、今後、サクサク感を有した品種の増えることが予測され、サクサク感を定量評価することは益々重要になると考えられた。

今後、カキの消費拡大を図るためには、‘太秋’のサクサク感を活用していく必要がある。サクサク感を定量評価することによって、品種育成や栽培技術および貯蔵技術の開発を効率的、効果的に進めることができると考えられる。‘太秋’を起爆剤として、カキ産地の活性が期待される。



第30図 ‘太秋’における収穫後日数とエネルギー食感指標の関係
縦線は標準誤差を示す (n=35)



第31図 ‘太秋’における周波数帯域0-50 Hz, 100-140 Hz, 3,200 Hz以上のエネルギー食感指標およびサクサク感の評点の推移
^z収穫後1日のエネルギー食感指標および評点を100とした値

第2表 ‘太秋’における各周波数帯域のエネルギー
食感指標とサクサク感の評点との相関係数

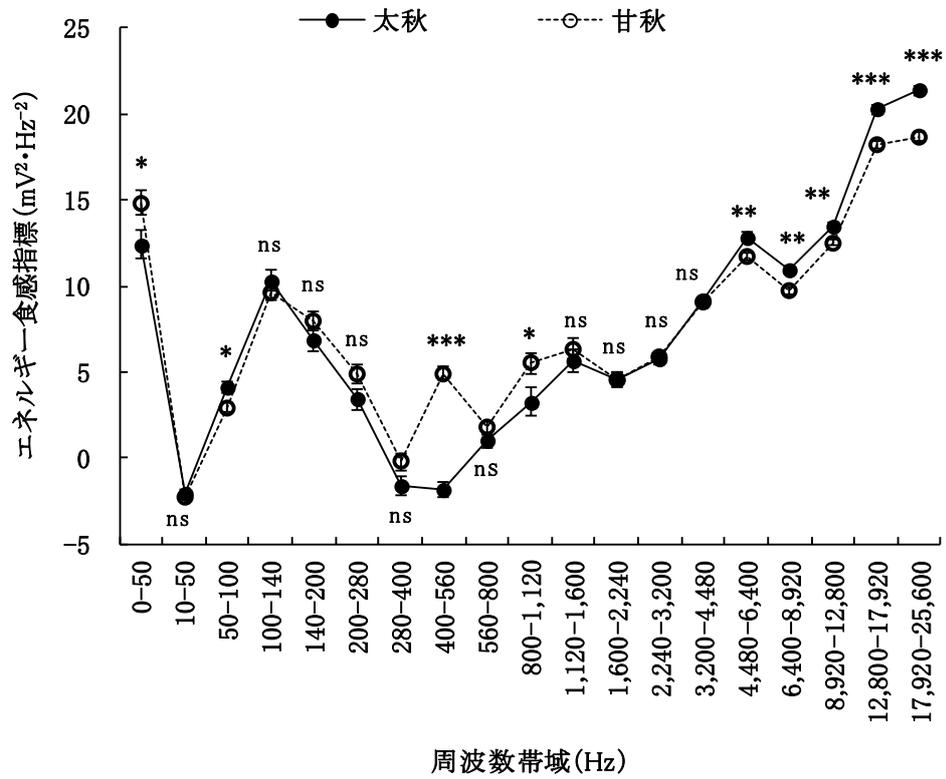
周波数帯域(Hz)	相関係数(r)
0-50	0.806 ***
10-50	-0.277 ns
50-100	0.073 ns
100-140	0.705 ***
140-200	0.597 ***
200-280	0.433 ***
280-400	0.215 ns
560-800	0.429 ***
800-1120	0.073 ns
1,120-1,600	-0.130 ns
1,600-2,240	0.163 ns
2,240-3,200	0.695 ***
3,200-4,480	0.859 ***
4,480-6,400	0.901 ***
6,400-8,920	0.901 ***
8,920-12,800	0.892 ***
12,800-17,920	0.920 ***
17,920-25,600	0.928 ***

nsは有意差がないこと, ***は0.1%水準で
有意差があることを示す(n=49)

第3表 商業適期に収穫した‘太秋’と‘甘秋’の果実硬度, 食感の比較

	弾性指標 ($\times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$)	官能評価の評点	
		硬さ	サクサク感
太秋	28.6	-0.1	1.8
甘秋	26.6	0.1	-1.5
有意差 ^Z	ns	ns	***

^Zt検定により, nsは有意差がないこと, ***は0.1%水準で有意差があることを示す
(n=8)

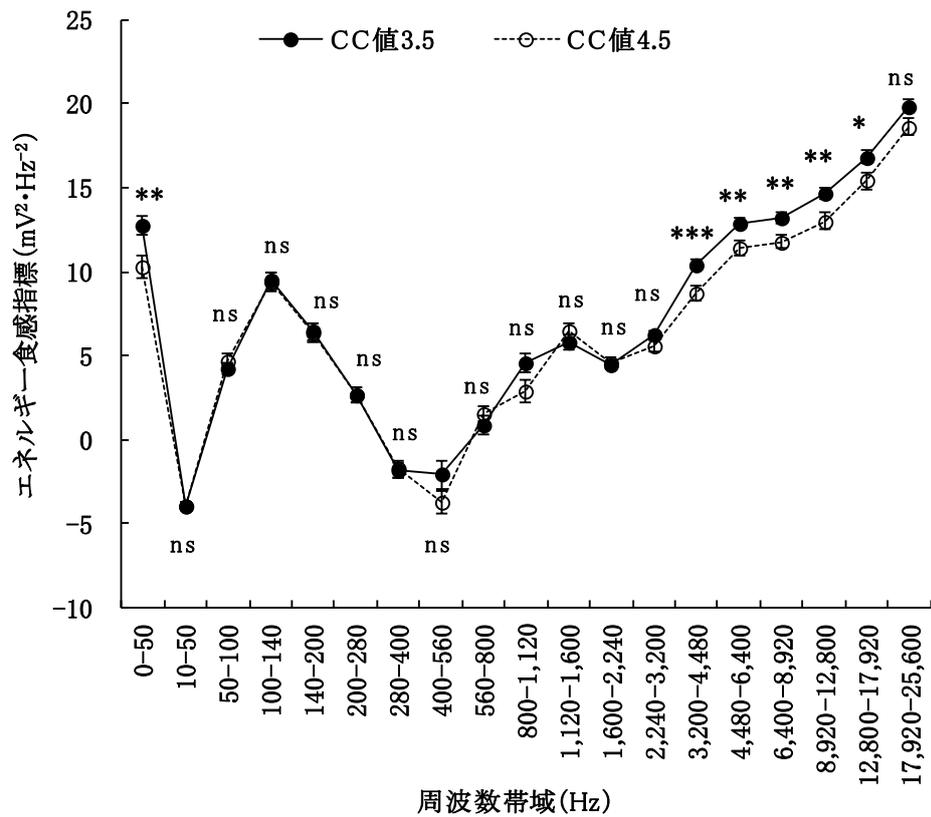


第32図 商業適期に収穫した‘太秋’と‘甘秋’のエネルギー食感指標の比較
 縦線は標準誤差を示す(n=40)
 t検定により, nsは有意差がないこと, *は5%水準, **は1%水準,
 ***は0.1%水準で有意差があることを示す

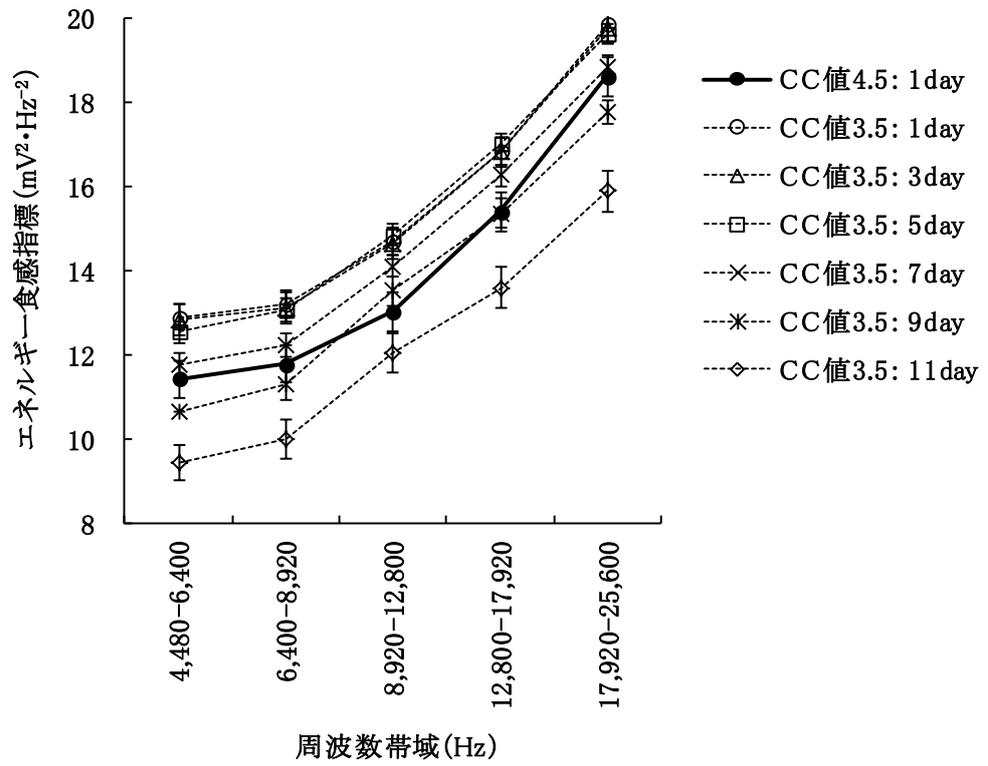
第4表 ‘太秋’における果皮色と果実硬度, 食感の関係

	弾性指標 ($\times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$)	官能評価の評点	
		硬さ	サクサク感
CC値3.5	28.7	0.0	1.9
CC値4.5	26.7	-0.1	1.4
有意差 ^Z	ns	ns	*

^Zt検定により, nsは有意差がないこと, *は5%水準で有意差があることを示す
(n=7)



第33図 ‘太秋’における果皮色とエネルギー食感指標の関係
 縦線は標準誤差を示す(n=35)
 t検定により, nsは有意差がないこと, *は5%水準, **は1%水準,
 ***は0.1%水準で有意差があることを示す



第34図 ‘太秋’における果皮色, 収穫後日数とエネルギー食感指標の関係
縦線は標準誤差を示す(n=35)

第3節 1-MCP処理およびポリエチレン包装によるカキ‘太秋’の食感保持技術の開発

緒言

近年、農産物の価格が低迷している中、多くの産地においてブランド化の取り組みが行われている。和歌山県農業協同組合連合会では、同県内産ミカンについて「味が一番の商品」を生産・販売戦略のキーワードとして、糖度および酸度を基準としたブランド展開を行っている。「味一」・「味一 α 」はその中のトップブランドであり、レギュラー品の約2~4倍の市場出荷価格で取引されている（佐藤・于，2011）。また、静岡県内の茶産地には、広く栽培されている‘やぶきた’ではなく、香味に特徴のある品種をブランド化して生産・販売戦略に取り組んでいる地域がある（加納・納口，2008）。

‘太秋’は1995年に品種登録された中生の完全甘ガキであり、食味が優れていることが最大の特徴である（山根ら，2001）。‘太秋’の食味の良さは、食感がサクサクとしていること（山根，1994）, ‘富有’とは糖組成が異なること（鈴木ら，2010a）などにある。特にサクサクとした食感は今までのカキにはない新たな食感であり、ナシのような食感とも評されている。そして、この最大の特徴であるサクサクとした食感を生かしたブランド戦略，すなわち、食感を長期間保持することができる技術の開発は、消費が右下がり傾向であるカキの新しい需要を喚起すると期待される。

カキ果実の物理的なおいしさに関する研究は、貯蔵における品質保持（果肉硬度の評価）を中心に行われてきた。樽谷・真部（1960），樽谷（1960）は‘富有’の好適な貯蔵条件を明らかにし、0.06 mmのポリエチレン袋に入れ、0℃に貯蔵する方法を開発した。現在、その方法は実用化され、‘富有’の冷蔵柿が流通している。また、文室・蒲生（2002），平・磯部（2005）は、‘平核無’を炭酸ガス脱渋した後、プラスチックフィルムで個包装し、1℃に保持すると、約2~3か月間の長期貯蔵が可能であることを明らかにした。しかし、これら果肉硬度に基づく貯蔵性の評価と食感評価は異なるものであり、食感の保持に関する研究は行われていない。

食感の評価を行うに当たり、定量的に評価する方法が必要である。これまで、食感の評価は官能試験が一般的であり、客観的に評価する方法がなかった。そこで、Sakuraiら（2005a）は、プローブをサンプルに貫入させ、その時に発生する音響振動をプローブとピストンの間に挟んだ圧電素子で検出する食感測定装置（Acoustic Measurement of Crispness, AMC）を開発した。その後、その電圧データをオクターブマルチフィルタで周波数帯域ごとに分けて数値化し（Taniwakiら，2006b），振動検出に加速度センサを用い、エネルギー食感指標を厳密な物理量で定義した（Iwataniら，2013）。そして、前節では、AMC法によって‘太秋’のサクサクとした食感を定量評価できることを明らかにした。

そこで、本研究では、AMC法を用いて‘太秋’のサクサクとした食感（以下、サクサク感）を定量評価するとともに、サクサク感の保持技術について検討したので報告する。なお、サクサク感の保持方法は、現地で実用的に使用できる技術とするため、冷蔵設備を使用しない室温条件下で検討した。

材料および方法

1. ポリエチレン包装がエネルギー食感指標に及ぼす影響（実験1）

岐阜県農業技術センター植栽の15年生‘太秋’を供試した。2011年10月17日、20日および23日に各14果、26日および29日に各6果、果頂部の果皮色が‘富有’用カラーチャート値（農林水産省果樹試験場監修）で3.5に達した果実を収穫した。果皮色の測定には色彩色差計（CR-400, コニカミノルタ（株））を使用した。新川ら（2008）の報告に準じて次式を作成し、測定した色相角度（ H° ）をカラーチャート値（CC値）に変換した。CC値 = $-9.033 \times \text{LN}(H^\circ) + 43.185$ ($r^2 = 0.986$)。なお、供試果実はへたすきや条紋の発生していないものとした。

その後、低密度ポリエチレンの袋（大きさ180 mm×270 mm）で個包装した。密封はヒートシーラーで行い、室温下に保管した。11月1日と10日に食感測定および官能評価を行い、それぞれの前日に果重および果皮色を測定した。11月1日は収穫後3～15日に相当する収穫日（10月17日、20日、23日、26日および29日）の果実各6果、10日は収穫後18～24日に相当する収穫日（10月17日、20日および23日）の果実各8果を測定した。ポリエチレンの厚さは0.03 mm、0.06 mmおよび0.08 mmの3種類を用いた。

食感はAMC法による食感測定装置（（有）生物振動研究所）で測定した。果実赤道部を厚さ2 cm程度に輪切りにし、楔形のプローブ（直径5 mm、幅5 mm、先端角 30° ）で果皮にやや近い果肉部を5か所、放射状の向きに測定した。毎秒22 mmの速度で赤道面に対して直角に貫入させ、その時に生じる音響振動を加速度センサで検出し、出力電圧信号をコンピュータで解析した。得られた信号は、半オクターブマルチフィルタを用いて19の周波数帯域に分割した。Iwataniら（2013）の報告に準じて、各周波数帯域のエネルギー食感指標（ETI: Energy Texture Index）をデータ取得時間（ t ）、上限周波数（ f_u ）、下限周波数（ f_l ）および振幅電圧（ V_i ）から、次の式で算出した。

$$ETI = (1/t) \times (1/f_u f_l)^2 \times \sum (V_i)^2$$

食感は、前節に準じて、周波数帯域4,480 Hz以上におけるエネルギー食感指標で評価した。

官能評価は5段階評点法で、サクサク感（非常に弱い：-2～非常に強い：+2）およびおいしさ（非常においしくない：-2～非常においしい：+2）を評価した。パネ

リストは、カキ果実の品質評価の経験を積んだ著者の 1 人（鈴木）が行い、試験区名を伏せたうえで評価した。

2. 1-メチルシクロプロペン（以下、1-MCP）処理とポリエチレン包装がエネルギー食感指標に及ぼす影響（実験 2）

岐阜県農業技術センター植栽の 16 年生‘太秋’を供試した。2012 年 10 月 16 日、19 日、22 日、25 日、29 日、11 月 2 日および 5 日に、果頂部の果皮色が‘富有’用カラーチャート値で 3.5 に達した果実を各 8 果収穫した。果皮色の測定は実験 1 と同様の方法で行った。また、実験 1 と同様にへたすきや条紋の発生している果実は供試しなかった。

試験区は、低密度ポリエチレン袋（厚さ 0.06 mm、大きさ 180 mm×270 mm）で個包装したポリエチレン包装区（以下、ポリ包装区）、1-MCP 処理後、低密度ポリエチレン袋で個包装した 1-MCP 処理+ポリエチレン包装区（以下、1-MCP+ポリ包装区）および無処理区とした。なお、個包装はヒートシーラーで密封した。ポリエチレン袋の厚さは実験 1 の結果および取扱いの利便性などを考慮して 0.06 mm とした。1-MCP は、気密性のプラスチック容器（内容積 117 L）に果実と SmartFresh™（ローム・アンド・ハース・ジャパン（株））を入れて密封し、1 ppm で 24 時間曝露処理した。

その後、室温下に保管し、11 月 15 日に果重および果皮色を測定し、11 月 16 日に食感測定および官能評価を行った。11 月 16 日は収穫後 11～31 日に相当し、食感測定および官能評価は実験 1 と同様の方法で行った。

結果

1. ポリエチレン包装がエネルギー食感指標に及ぼす影響（実験 1）

ポリエチレン包装した区におけるサクサク感の評点は、収穫後 15 日まで横ばいに推移し、その後大きく低下した。無処理区におけるサクサク感の評点は直線的に低下した。収穫後 9 日までおよび 18～24 日においては、試験区間に有意な差が認められなかった。収穫後 12 と 15 日においては、ポリエチレン包装した区が無処理区よりも有意に高く推移した。ポリエチレン袋の厚さの間に有意な差は認められなかった（第 35 図）。なお、おいしさの評点はサクサク感の評点とほぼ同様の推移を示した（ $r=0.96$ 、データ略）。

エネルギー食感指標の結果を第 36 図に示した。周波数帯域 4,480～6,400 Hz におけるエネルギー食感指標は、試験区間に明確な差が認められなかった。周波数帯域 6,400 Hz 以上におけるエネルギー食感指標はサクサク感の評点とほぼ同様の推移を示し、エネルギー食感指標とサクサク感の評点との間には正の相関が認められ、相関係数（ $r=0.74\sim 0.77$ ）は 1%水準で有意であった（データ略）。収穫後 12 と 15 日においては、ポリエチレン包装した区が無処理区よりも有意に高く推移し、ポリエチレン包装

した区間に有意な差は認められなかった。

重量減少率は、無処理区がポリエチレン包装した区よりも有意に大きく推移し、収穫後日数が経つに従い、その差は大きくなった（第 37 図）。ポリエチレン包装した区の間では、収穫後 5 日以降、0.03 mm 区が 0.06 mm 区および 0.08 mm 区よりも有意に大きく推移した。しかし、その差はわずかであった。

果皮色（カラーチャート値）は、いずれの試験区においても、収穫後 2 日には約 4.0 となり、収穫後 14 日まではほぼ横ばいで推移し、それ以降上昇した。なお、試験区間に明確な傾向は認められなかった（第 38 図）。

なお、保存期間中の温度は 11.4～25.4℃（平均 18.9℃）であった。

2. 1-MCP 処理およびポリエチレン包装がエネルギー食感指標に及ぼす影響（実験 2）

1-MCP+ポリ包装区におけるサクサク感の評点は、収穫後 25 日まで横ばいに推移し、その後大きく低下した（第 39 図）。無処理区およびポリ包装区におけるサクサク感の評点はやや直線的に低下した。収穫後 11 日においては、ポリ包装区および 1-MCP+ポリ包装区が無処理区よりも有意に高く、ポリ包装区と 1-MCP+ポリ包装区との間に有意な差は認められなかった。収穫後 14～25 日においては、1-MCP+ポリ包装区がポリ包装区および無処理区よりも有意に高く推移した。なお、おいしさの評点はサクサク感の評点とほぼ同様の推移を示した（ $r=0.96$ ，データ略）。

エネルギー食感指標の結果を第 40 図に示した。周波数帯域 4,480～6,400 Hz においては、無処理区でエネルギー食感指標がサクサク感の評点よりもやや高めに推移し、1-MCP+ポリ包装区と無処理区との間に明確な差は認められなかった。周波数帯域 6,400 Hz 以上におけるエネルギー食感指標はサクサク感の評点の推移とほぼ同様の傾向を示し、エネルギー食感指標とサクサク感の評点の間には正の相関が認められ、相関係数（ $r=0.77\sim 0.86$ ）は 1%水準で有意であった（データ略）。周波数帯域 6,400 Hz 以上におけるエネルギー食感指標は、収穫後 14～25 日において 1-MCP+ポリ包装区が無処理区およびポリ包装区よりも有意に高く推移した。

重量減少率は、無処理区がポリ包装区および 1-MCP+ポリ包装区よりも有意に大きく推移し、収穫後日数が経つに従い、その差は大きくなった（第 41 図）。ポリ包装区と 1-MCP+ポリ包装区との間にもわずかではあるが有意な差が認められ、1-MCP+ポリ包装区がポリ包装区よりも大きく推移した。

収穫後 22 日までの果皮色（カラーチャート値）は、試験区間に差が認められなかったが、収穫後 25～31 日においては無処理区が 1-MCP+ポリ包装区よりも有意に大きく推移した（第 42 図）。

なお、保存期間中の温度は 6.7～27.0℃（平均 15.6℃）であった。

考察

1. ‘太秋’の食感の定量評価

鈴木ら（1981）は、カキ果実における熟期の判定はもっぱら果皮色に基づいてなされており、カラーチャートは最も良い熟期判定の指針であるとした。また、第2章第1節では、‘富有’において収穫時期に関わらず果皮色が同じであれば、収穫時の果肉硬度およびその後の硬度変化に差はなく、同じ成熟段階であるとした。これらのことから、‘太秋’においても収穫時の果皮色が同じであれば成熟段階も同じと考え、本研究では異なる収穫日から特定の調査日までの日数を収穫後日数として実験を行い、取りまとめた。

前節では、AMC法における周波数帯域4,480 Hz以上のエネルギー食感指標によって、‘太秋’のサクサク感を定量評価できるとした。本研究において、周波数帯域6,400～25,600 Hzにおけるエネルギー食感指標はサクサク感の評点と同様の推移を示したが、周波数帯域4,480～6,400 Hzにおけるエネルギー食感指標はサクサク感の評点と異なる推移を示した（第35, 36, 39, 40図）。周波数帯域4,480～6,400 Hzにおいて、エネルギー食感指標とサクサク感の評点との相関係数は $r=0.67$ （実験1）、 0.74 （実験2）であり統計上1%水準で有意であったが、無処理区でエネルギー食感指標がサクサク感の評点よりもやや高めに推移したことから、この周波数帯域での定量評価は精度が劣ると考えられた。以上の結果から、本研究において、‘太秋’のサクサク感は周波数帯域6,400～25,600 Hzにおけるエネルギー食感指標によって、高い精度で定量評価できることが明らかになった。なお、周波数帯域6,400～25,600 Hzにおいて、サクサク感が保持されているエネルギー食感指標の値を特定するには、まだデータが十分でないため、今後の研究が必要であると考えられた。

2. ‘太秋’の食感保持技術の開発

樽谷（1960）は、‘富有’をポリエチレン包装することによって、果実からの水分蒸散が抑制され、貯蔵性が高まることを明らかにした。Tsuchidaら（2003）は、‘富有’を低湿条件（温度20℃、湿度60%）に置くと高湿条件（温度20℃、湿度 $\geq 98.5\%$ ）に比べて水分損失量、エチレン生成量が多くなり、果実軟化が著しくなったと報告している。実験1および2において、‘太秋’をポリエチレン包装すると、収穫後約11～15日までサクサクとした食感を保持することができた（第35, 36, 39, 40図）。無処理区の食感保持日数は収穫後約9日までであることから（第35, 36図）、ポリエチレン包装によって約2～6日長く保持できることが明らかになった。ポリエチレン包装した区の重量減少率が無処理区の重量減少率よりも有意に低く推移したことから（第37, 41図）、ポリエチレン包装による水分蒸散抑制によって、果肉細胞壁の健全性が保たれ（Tuchidaら、2003）、食感が保持されると考えられた。

実験1において、ポリエチレンの厚さによる食感保持効果に差は認められなかった

(第 35, 36 図) . 重量減少率はポリエチレンの厚さによって有意な差が認められたが (第 37 図) , 食感の保持されている期間中 (収穫後 14 日) の重量減少率は 0.03 mm 区で 0.7% , 0.06 mm 区で 0.3% , 0.08 mm 区で 0.2% とわずかな差であった . 樽谷 (1960) は , 果実品質に影響を及ぼす重量減少率を 5% 程度としており , ポリエチレン包装区間における 0.2~0.7% の差では果実品質への影響はほとんどないと考えられた . また , 樽谷 (1960, 1961) は , ‘富有’ に対して厚さの異なるポリエチレンを包装したところ , 0.06 mm が 0.03 mm および 0.08 mm よりも長期間貯蔵することができ , その理由として , 水分蒸散の防止のみでなくガス条件の面を指摘している . しかし , 本研究のような短期間の保存においては , ポリエチレンによる MA 効果の可能性は低く , 果実品質に差が生じなかったと考えられた .

1-MCP はエチレン作用を強力に阻害し (Sisler・Serek, 1997) , リンゴ , ナシなどにおける鮮度保持効果が報告されている (艾乃吐拉ら , 2005 ; 島田ら , 2011) . カキでは , ‘刀根早生’ , ‘西条’ , ‘松本早生富有’ , ‘太秋’ などにおいて , 軟化抑制の効果が報告されている (Harima ら , 2003 ; 中満ら , 2006 ; 新川ら , 2005) . 実験 1 のポリエチレン包装した区においては , 収穫後 18 日以降 , 果皮は硬いが果肉の軟らかい果実が発生し始めたことから , これ以上の保存は商品価値を著しく損ねてしまうと判断した . 果肉硬度に対してガス条件は大きな影響を示さないこと (樽谷 , 1961) , 実際に果肉の軟化した果実から異臭などは認められなかったことから , この軟化はエチレンによる影響と考え , 1-MCP 処理を試みた . 実験 2 の結果では , 1-MCP 処理後 , ポリエチレン包装を行うと , 収穫後約 25 日まで食感を保持することができた (第 39, 40 図) . ポリエチレン包装のみの食感保持日数は収穫後約 11~15 日までであったことから , 1-MCP を処理することによってさらに約 10~14 日長く保持できることが明らかになった . このことから , ポリエチレン包装のみで収穫後しばらくしてから生じる軟化は , 少なくともエチレンが関与していると考えられた . 本研究では , エチレン生成量を測定していないが , 温度 20℃ で貯蔵した ‘富有’ では高湿条件 (湿度 100%) においてもエチレンが発生することから (土田ら , 2002) , 本研究の ‘太秋’ においてもエチレンが発生し , ポリエチレンの袋内に徐々にエチレンが溜まり , 軟化に至ると考えられた . なお , 実験 2 の重量減少率において , 1-MCP+ポリ包装区がポリ包装区よりもわずかに大きく推移したことは (第 41 図) , ポリ包装した日にちの違いと考えられた . すなわち , 1-MCP+ポリ包装区は 1-MCP 処理に 24 時間を要するため , ポリ包装区に比べて 1 日遅くポリ包装を行ったことがそのまま影響したと考えられた .

以上の結果から , ポリエチレン包装による水分蒸散抑制によって , 収穫後約 11~15 日まで食感を保持できることが明らかになった . その後 , 袋内に蓄積したエチレンによって軟化が生じるため , 1-MCP 処理により , 収穫後約 25 日まで食感が保持できると考えられた . しかし , エチレン生成量は保存期間中の温度 (李・前澤 , 2004) や果実品質 (千々和ら , 2002) によって変わるため , ポリエチレン包装のみでは , 保存条件

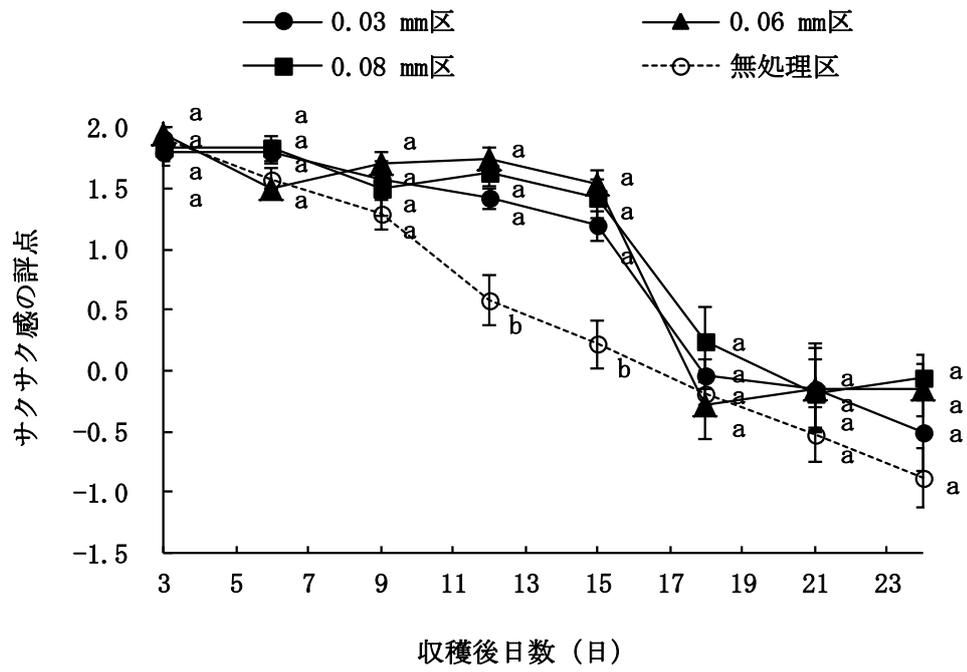
によって収穫後 11～15 日よりも早く軟化する可能性が危惧される。そこで、1-MCP 処理後にポリエチレン包装を行うと、そのようなリスクを軽減し、安定して食感を保持することができると考えられた。

一般的な果実において、食味に直結する肉質を決定する要因は細胞壁構成成分である（久保，2002）。また、石丸ら（2002）は、‘富有’果実と‘平核無’果実の肉質の違いはペクチン質のウロン酸量の違いによると推察しており、他のカキにはない‘太秋’のサクサクとした食感もこれら細胞壁構成成分の違いによるものと考えられる。また、果実の軟化は細胞壁構成成分の変化によるもので（Tsuchida ら，2003），食感の低下も同様に細胞壁構成成分の変化によるものと考えられる。軟化抑制効果のある 1-MCP 処理によって食感も保持されたことから、軟化の進行と食感の低下はほぼ同様であるように見えるが、実際の細胞壁構成成分の変化は明らかではない。今後、食感に関する細胞壁構成成分およびその変化について、軟化との違いを明らかにしていく必要がある。

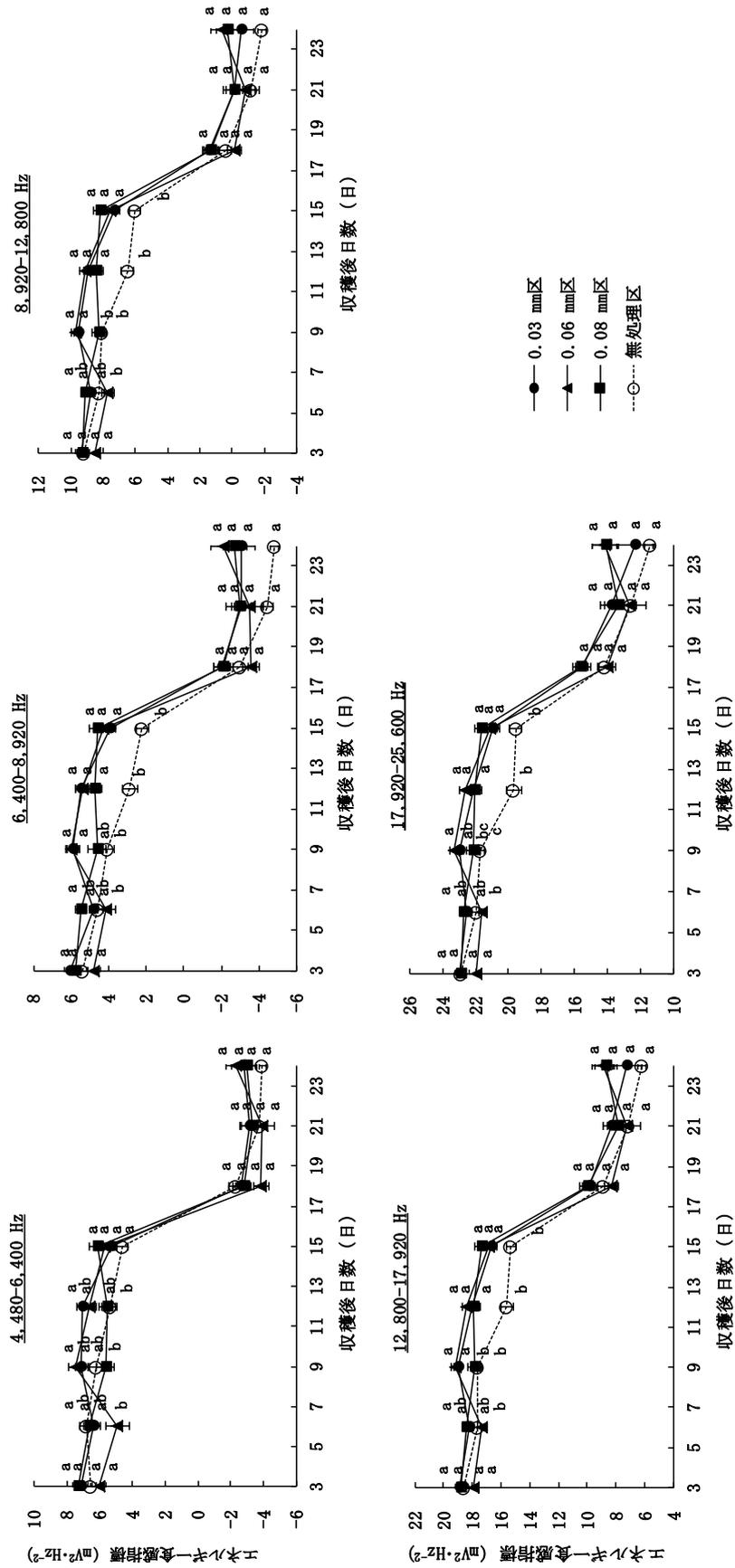
また、本研究では、室温下においてポリエチレンで密封包装した。実験 1, 2 ともに、官能評価時において異臭や異味は感じられなかったが、室温下での密封包装はガス障害の危険性がある（久保，2002）。今後、より長期間、食感を保持しようとする、ガス組成を測定するとともに、水分蒸散を抑制しながらガス交換性があり、エチレンの蓄積も軽減できる有孔ポリエチレンの利用や低温条件下での保存などを検討していく必要がある。

1-MCP 処理後にポリエチレン包装を行い、収穫後 25 日まで食感を保持しても、果皮色（カラーチャート値）は 4.2 前後であり（第 42 図），実用上問題はなかった。実験 1, 2 を通じて、果皮色の変化は食感の変化と異なり、両者が別々の生理学的要因で進行するプロセスであることが示唆された。

‘太秋’は消費者の人気が高い品種であるが（川尾，2009），岐阜県における出荷時期は 10 月中旬～11 月上旬と限られている。しかも、成熟が進むとサクサク感は弱くなるため（川尾，2009），サクサク感の強い収穫時期は一層限定される。この状況の中、本法による食感保持技術は‘太秋’のサクサク感を長期間保持することができ、商品的価値を高め有利販売に繋げることができると期待される。



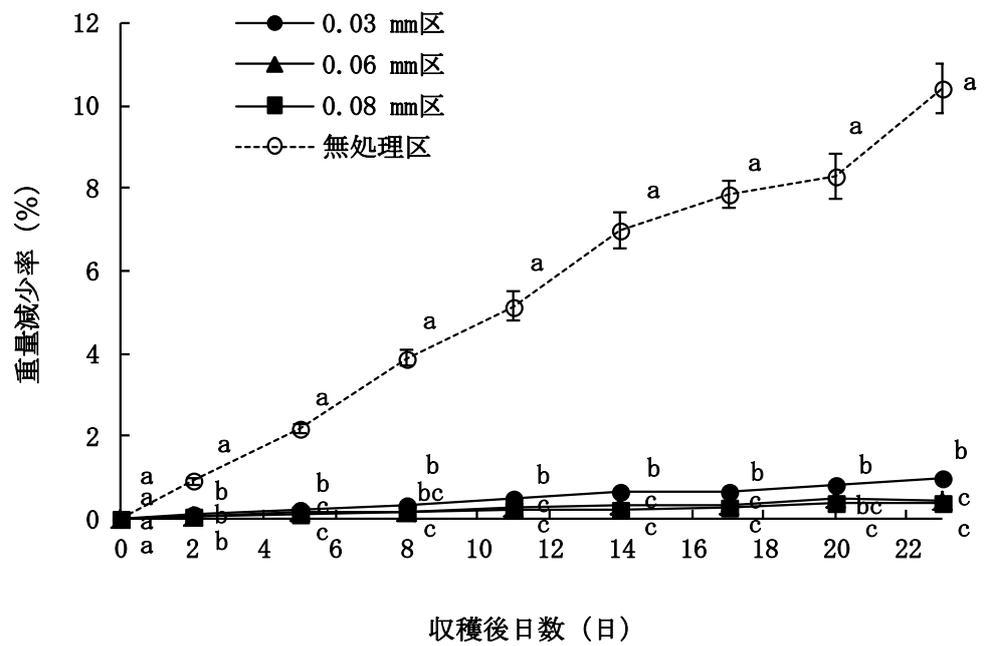
第35図 ポリエチレン包装が‘太秋’のサクサク感の評点に及ぼす影響
 縦線は標準誤差を示す (n=3~8)
 同一収穫後日数における異符号間はTukey-Kramerの多重検定により、5%水準で有意差あり



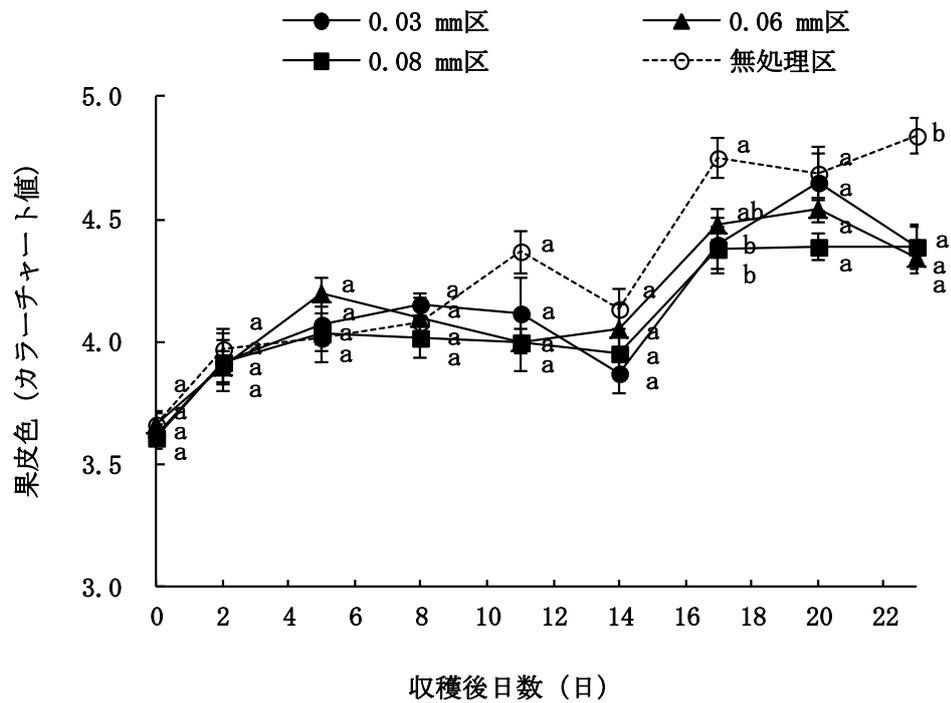
第36図 ポリエチレン包装が‘太秋’の周波数帯域4,480-25,600 Hzにおけるエネルギー食感指標に及ぼす影響

縦線は標準誤差を示す (n=15~40)

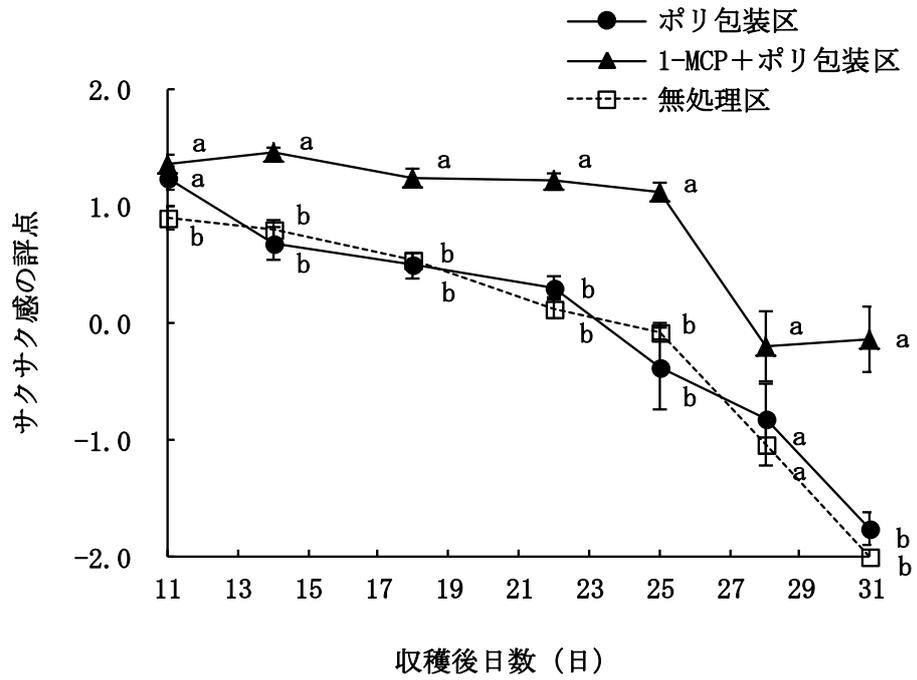
同一収穫後日数における異符号間にはTukey-Kramerの多重検定により, 5%水準で有意差あり



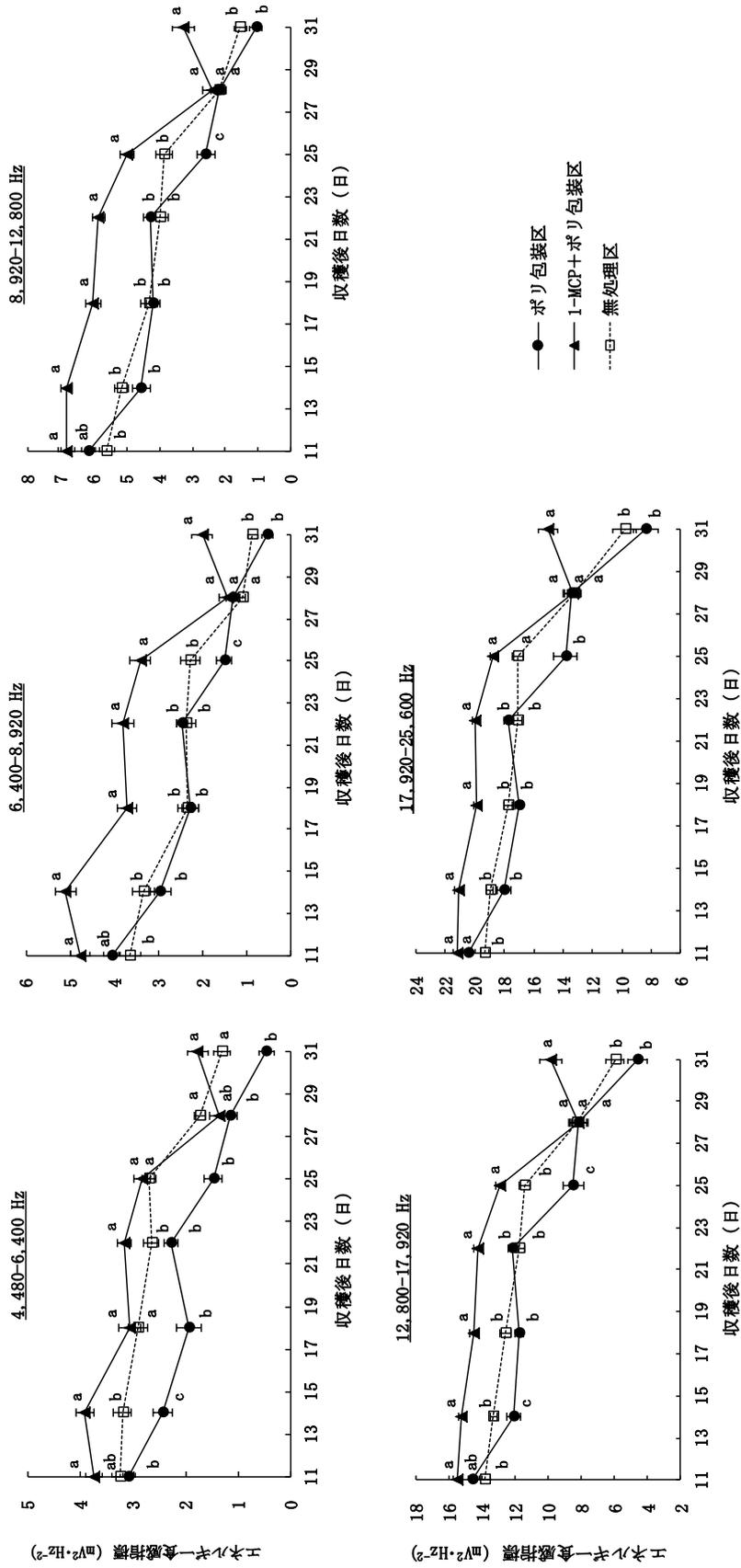
第37図 ポリエチレン包装が‘太秋’の重量減少率に及ぼす影響
 縦線は標準誤差を示す (n=3~8)
 同一収穫後日数における異符号間には、アークサイン変換後、Tukey-Kramerの多重検定により、5%水準で有意差あり



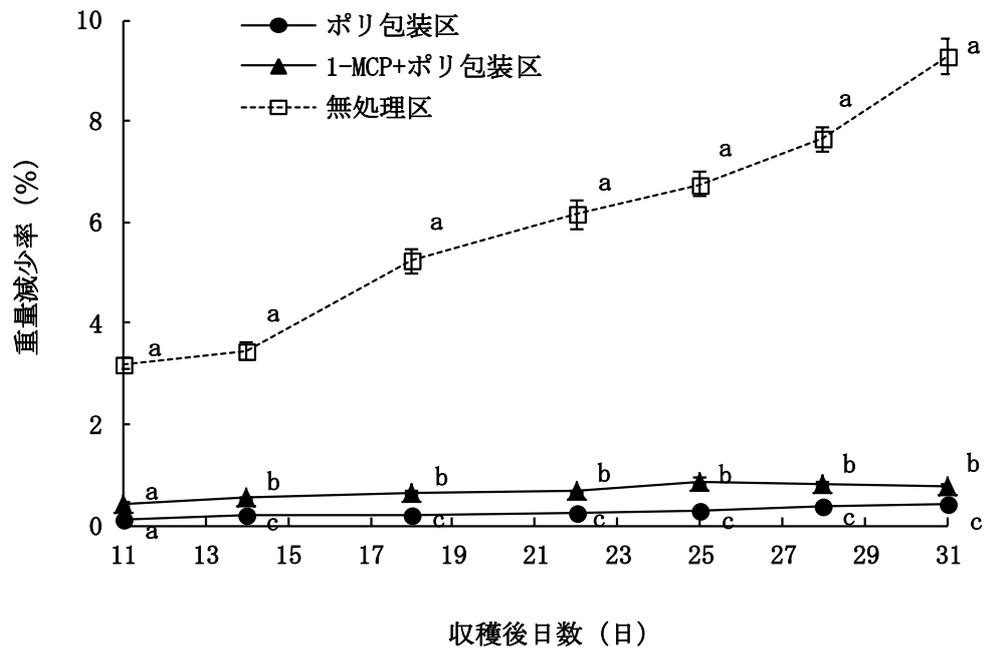
第38図 ポリエチレン包装が‘太秋’の果皮色に及ぼす影響
 縦線は標準誤差を示す (n=3~8)
 同一収穫後日数における異符号間にはTukey-Kramerの多重検定により、
 5%水準で有意差あり



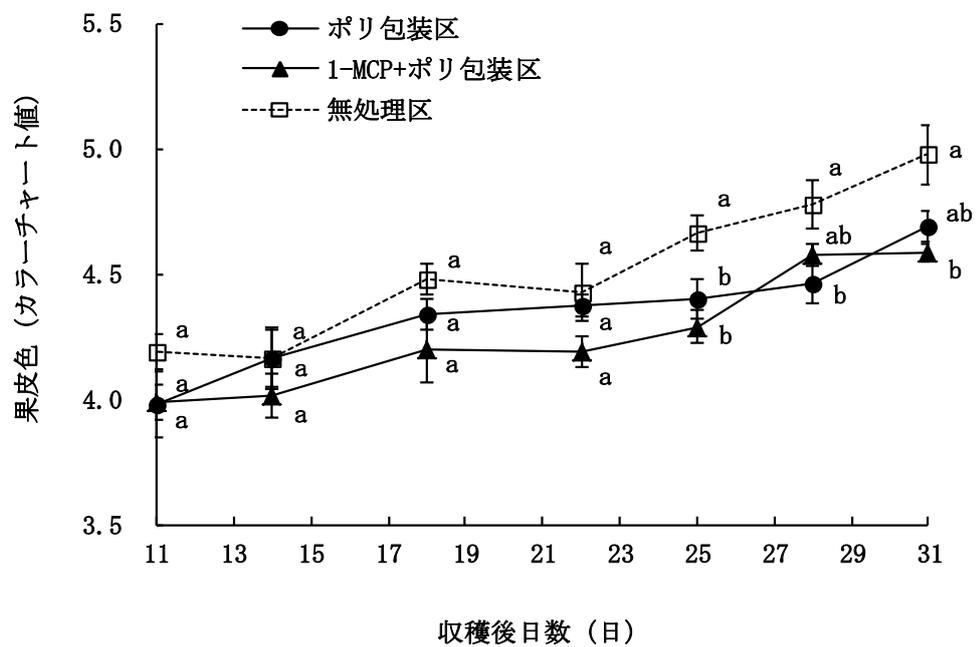
第39図 ポリエチレン包装, 1-MCP処理が‘太秋’のサクサク感の評点に及ぼす影響
 縦線は標準誤差を示す (n=8, 収穫後18日はn=5)
 同一収穫後日数における異符号間にはTukeyの多重検定により, 5%水準で有意差あり



第40図 ポリエチレン包装, 1-MCP処理が‘太秋’の周波数帯域4, 480-25, 600 Hzにおけるエネルギー食感指標に及ぼす影響
 縦線は標準誤差を示す (n=40, 収穫後18日はn=25)
 同一収穫後日数における異符号間にはTukeyの多重検定により, 5%水準で有意差あり



第41図 ポリエチレン包装, 1-MCP処理が‘太秋’の重量損失率に及ぼす影響
 縦線は標準誤差を示す (n=8, 収穫後18日はn=5)
 同一収穫後日数における異符号間には, アークサイン変換後, Tukeyの
 多重検定により, 5%水準で有意差あり



第42図 ポリエチレン包装, 1-MCP処理が‘太秋’の果皮色に及ぼす影響
 縦線は標準誤差を示す (n=8, 収穫後18日はn=5)
 同一収穫後日数における異符号間にはTukeyの多重検定により,
 5%水準で有意差あり

第5章 総合考察

カキ果実の肉質に関する研究は、軟化や貯蔵などを中心に行われてきた。板村ら(1991, 1994)は、軟化とエチレンの関係、Nakanoら(2001, 2003)は、エチレン生成とストレスの関係、石丸ら(1998)、中野ら(2001)、播磨ら(2002a, 2002b)は、軟化抑制技術について報告している。また、樽谷(1965)、板村ら(1993)、文室・蒲生(2002)、平・磯部(2005)は、貯蔵について報告している。しかし、食味の観点から肉質について研究した報告は少なく、本研究は、カキ果実の果肉の物理的なおいしさについて研究した。

カキは完全甘ガキ、完全渋ガキ、不完全甘ガキ、不完全渋ガキに分類される。完全渋ガキ、不完全渋ガキ、一部の不完全甘ガキは、脱渋処理によってカキ果実内部で生じたアセトアルデヒドにより可溶性タンニンをも不溶化させて(松尾, 1989; Taira, 1996)、渋味を感じないようにしないと食べることができない。脱渋処理の方法には炭酸ガス脱渋法やアルコール脱渋法などがあり、現在は炭酸ガス脱渋法を改良した CTSD 脱渋法が多く渋ガキ産地で行われている。いずれの脱渋方法においても、脱渋処理後果肉硬度は低下するが、アルコール脱渋法が炭酸ガス脱渋法よりも低下が速い(平ら, 1987)。一方、完全甘ガキはタンニン細胞の肥大が果実発育初期に停止することによって自然脱渋が起こるため(米森ら, 1985)、収穫後、脱渋処理を行わずに食べることができる。このため、果肉硬度は収穫直後が最も硬く、その後少しずつ軟らかくなり、食べ頃を迎え、やがて軟化に至る。このように、完全甘ガキの果肉硬度は収穫後大きく変化する。本研究では、甘ガキ、特に岐阜県の主要品種である‘富有’、‘早秋’、‘太秋’について、音響振動法による弾性指標、AMC法による食感指標を測定し、肉質特性を評価するとともに品質保持技術を開発した。

音響振動法による食べ頃判定

収穫後、カキ果実の全糖含量はほとんど変化しない(小宮山ら, 1985; 平ら, 1987)。また、カキ果実に含まれている有機酸含量は少なく、香りも弱いことから、収穫後のカキ果実におけるおいしさの変化、すなわち食べ頃は主に果肉硬度によって決定すると考えられる。

一般的に果肉硬度は果実硬度計で測定するが、プランジャで対象物を貫入するため、同一果実を継時的に測定して評価することができない。そこで、第2章第1節、第3章第1節、第4章第1節において、非破壊法の音響振動法で弾性指標を測定し、果肉硬度を継時的に評価した。室温および無包装条件では、収穫後の‘富有’、‘早秋’、‘太秋’の弾性指標は指数関数的に低下し(第1, 15, 25図)、セイヨウナシ(知野ら, 2009; Murayamaら, 2006; Terasakiら, 2006)、メロン(Taniwakiら, 2009c)、アボカド(秋元ら, 2010, 2011a, 2011b)と同様の結果であった。このことから、樹種や軟化機構に関わらず収穫後の果実の弾性指標は指数関数的に低下する特徴がある

と考えられた。弾性指標の推移と官能評価によって，‘富有’および‘早秋’の食べ頃の弾性指標を決定し，その弾性指標に相当する食べ頃日数を求めた。‘富有’では弾性指標 $13.6\sim 30.2\times 10^6 \text{ cm}^2\cdot\text{Hz}^2$ ，収穫後約 4～15 日，‘早秋’では弾性指標 $22.0\times 10^6 \text{ cm}^2\cdot\text{Hz}^2$ 以上，収穫後約 4 日までであった。‘富有’は，収穫後，弾性指標の低下に伴って食べ頃を迎えるが，‘早秋’は収穫直後から食べ頃であった。このように，食べ頃の弾性指標および日数は品種によって異なることが明らかになった。この‘富有’と‘早秋’の違いは果肉硬度に加えて肉質の粗密が影響していると考えられた。肉質の粗密の基準は粗が‘西村早生’，中が‘富有’，密が‘平核無’であり（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），‘早秋’の肉質は密と分類され‘富有’とは異なる（山田ら，2004）。

収穫後の‘富有’における弾性指標は，収穫直後から食べ頃終期までは大きく低下し，その後は緩やかに低下した（第 1 図）。硬さの評点と弾性指標との関係から（第 2 図），収穫直後の弾性指標 $43.4\times 10^6 \text{ cm}^2\cdot\text{Hz}^2$ から食べ頃終期の弾性指標 $13.6\times 10^6 \text{ cm}^2\cdot\text{Hz}^2$ までは，硬さの評点の変化に比べて弾性指標の変化が大きいこと，食べ頃終期の弾性指標 $13.6\times 10^6 \text{ cm}^2\cdot\text{Hz}^2$ 以下では，弾性指標の変化が小さいにも関わらず，硬さの評点の変化が大きいことが明らかになった。このことから，弾性指標は収穫直後から食べ頃終期まで，すなわち果肉が硬い状態から食べ頃の状態までは詳細に評価することができるが，食べ頃を過ぎて軟らかくなった果肉の変化は捉え難いと考えられた。このことは‘早秋’および‘太秋’においても同様の傾向が認められた。弾性指標の算出に用いた第 2 共鳴周波数は果実の中心部の物性を評価していることから（Akimoto ら，2012），カキは果実の中心部から果皮方向に軟化していくと考えられた。すなわち，果実内部の軟化が終了すると第 2 共鳴周波数の低下は止まるが，表皮に近い果肉の軟化は続行していると考えられるため，第 3，第 4 共鳴周波数による評価を今後行う必要があると考えられた。

音響振動法による食べ頃予測

果実の収穫後の成熟現象を追熟という。クライマクテリック型果実は，一定の発育段階に達していれば未熟段階で収穫しても，その後，追熟して適熟状態に至る。キウイフルーツやセイヨウナシは成熟エチレンの生成が始まる前，メロンは樹上でのエチレン生成開始直後に収穫される（久保，2008）。キウイフルーツの追熟にはエチレン処理が必要であり（矢野・長谷川，1993），セイヨウナシは低温処理によって追熟が促進される（村山ら，1993；古田・浅野，1991）。メロンは収穫後数日間常温で追熟する必要がある（平井，2008）。このように，キウイフルーツ，セイヨウナシ，メロンなどは追熟して適熟，すなわち食べ頃まで待たないと，消費者はおいしく食べることができない。しかし，追熟する果実の食べ頃判定は難しい。早過ぎると果肉が硬く，香りも弱く，果実本来のおいしさに欠ける。一方，食べ頃を過ぎると過熟になり，果

肉が軟化し、こちらも果実本来のおいしさを損ねてしまう。このため、流通販売関係者や消費者から、簡易な食べ頃判定方法や予測方法が求められており、セイヨウナシ‘ラ・フランス’では食べ頃判定装置および食べ頃判定ラベル(大森ら, 2004a, 2004b), メロンでは打音伝搬速度や弾性指標によるメロンの食べ頃予測式(佐野ら, 2010)が作成された。

一般的にカキはキウイフルーツ, セイヨウナシ, メロンなどのように追熟して食べる果実ではない。‘早秋’は果肉硬度の低下が早く, また肉質が緻密であること(山田ら, 2004), ‘太秋’は果肉硬度そのものが低いこと(山田ら, 1998), ‘刀根早生’および‘平核無’は脱渋処理によって果肉硬度が低下することから(平ら, 1987; 山田ら, 1998), 出荷時においてこれらの品種は既に食べ頃になっている。しかし, ‘富有’は出荷時においてまだ果肉が硬すぎて, 食べ頃になっていない。実際, 産地直送の贈答品として‘富有’を出荷市場以外の地域に発送した時, 届け先から『このカキは硬すぎる』と苦情を受けたこともある。‘富有’が食べ頃に至るためには, メロンのように数日追熟しなければならない。このことから, ‘富有’には食べ頃の判定および予測が必要であり, 第2章第1節において, 収穫後の弾性指標の推移から逆数式へのフィッティングを行い, ‘富有’の食べ頃予測式を作成した。神田ら(2010)は, ‘西条’において, 収穫前(樹上)の果実の弾性指標測定により収穫期の予測が可能であることを示唆している。そこで, 甘ガキである‘富有’は脱渋処理を行う必要がないため, 収穫前(樹上)の果実における弾性指標の測定によって, 食べ頃の予測が可能であると推察された。このことから, 収穫後ではなく, 収穫前から食べ頃の予測が可能になると, 早い時期に販売促進および売り場確保を図り, 有利販売に繋ぐことができると考えられる。また, 現在‘富有’の収穫適期は果皮色の変化で判断しているが, 温暖化によってカキでは着色遅延や樹上早期果肉軟化の発生が指摘されており(杉浦ら, 2007), 今後, 着色と肉質の変化にずれが生じることも考えられる。このことから, 肉質(弾性指標)の変化による収穫適期の判別および予測が重要になると考えられる。

カキ果実の果肉は収穫直後の硬い状態から熟柿のような非常に軟らかい状態まで大きく変化し, 各人各様の好みがある。また, 果物の嗜好には地域差も存在する(飯島ら, 2004)。このように果肉硬度において幅広く, 多様な好みのある果物は希少であり, 食べ頃を明らかにすることによって, 消費者が好みに応じて食べることができるとともに, 消費者や地域の好みに合わせた販売戦略を講じることができる。

AMC法による‘太秋’の食感評価

1995年に‘太秋’が品種登録されるまで, カキには特徴的な食感やテクスチャー表現がなかった。‘太秋’の有するサクサク感は今までのカキにはない新たな食感であり, そのサクサク感はカキの新しいおいしさを表現している。そこで, このサクサク

感の有無や強弱などを評価するためには、定量的な測定方法が必要である。しかし、サクサク感は果肉硬度とは異なる尺度であり、貫入式の果実硬度計では評価が難しい。また、第2章第1節、第3章第1節、第4章第1節において、音響振動法における弾性指標により‘富有’および‘早秋’の食べ頃を判定することはできたが、‘太秋’のサクサク感を評価することは難しかった。そこで、第4章第2節、第3節において、AMC法の食感指標によって、サクサク感を評価することができないか検討した。その結果、‘太秋’のサクサク感は6,400~25,600 Hzの高周波数帯域におけるエネルギー食感指標で評価のできるようになった。櫻井(2010, 2013)は、周波数帯域10~280 Hzにおいてブドウの食感、100~140 Hzにおいてハクサイのザクザク感、2,240~6,400 Hzにおいてレタスのシャキシャキ感、4,480~6,400 Hzにおいてキャベツのシャキシャキ感、8,920~12,800 Hzにおいてスイカのシャリ感を評価していると報告しており、‘太秋’のサクサク感はスイカのシャリ感と近い食感であると推察された。

サクサク感を定量評価することによって、従来、経験的に判断されていたことが数値として判断できるようになった。果頂部の果皮色をカラーチャート値4.5で収穫した果実の食感3.5で収穫した果実の収穫後7~9日に相当することが明らかになった。また、果頂部の果皮色をカラーチャート値3.5で収穫した果実の食感保持期間は収穫後約9日まで、4.0で収穫した果実は約7日まで、4.5で収穫した果実は約4~5日までであったことから、食感を重視した販売戦略の場合、収穫に適した果皮色はカラーチャート値3.5~4.0であると考えられた(鈴木, 2014)。

カキ果実の品質保持技術の開発

第3章第1節、第4章第2, 3節において、‘早秋’は弾性指標による果肉硬度の評価、‘太秋’は食感指標によるサクサク感の評価から、食べ頃期間を明らかにした。室温および無包装条件における食べ頃期間は‘早秋’で収穫後約4日まで、‘太秋’で約9日までであった。果肉硬度を保持することによって、‘早秋’は流通段階におけるロスの削減に加えて、おいしい果実を長期間提供することができる。サクサク感を保持することによって、‘太秋’は新たな需要を掘り起こし、カキ全体の消費拡大に繋げることができる。そこで、岐阜県におけるカキの販売戦略上、重要なポジションを占める‘早秋’および‘太秋’の品質保持技術を検討した。

果実の品質保持を図る上でまず水分蒸散抑制が重要である。カキ果実に含まれている水分は可食部100g当たり83.1gであり(文部科学省, 2015)、約5%の水分が損失すると果実品質は著しく劣化する(樽谷, 1960)。樽谷(1960)は、‘富有’をポリエチレン袋に密封すると果実からの蒸散が抑制され貯蔵性が優れること、Tsuchidaら(2003)は、‘富有’を貯蔵するにあたり、低湿条件より高湿条件の方が水分損失量、エチレン生成量が少ないことを報告している。本研究における水分蒸散抑制の方法として、‘早秋’は防湿段ボール箱、‘太秋’はポリエチレン袋の個包装とした。これ

は，‘早秋’はレギュラー品として，‘太秋’はブランド品として商品化することを想定したものである．第3章第1節，第4章第3節において，‘早秋’の果肉硬度は，防湿段ボール箱によって慣行段ボール箱よりも約4日長い収穫後約10日まで，‘太秋’のサクサク感は，ポリエチレン袋の個包装によって無包装よりも約2～6日長い収穫後約11～15日まで保持できることが明らかになった．このことから，水分蒸散抑制によって食べ頃期間の長期化が可能であると考えられた．

しかし，‘早秋’において，防湿段ボール箱の軟化率が慣行段ボール箱の軟化率よりも高い傾向であったこと，‘太秋’のポリエチレン個包装において，収穫後18日以降，果皮は硬いが果肉の軟らかい果実が発生し始めたことから，水分蒸散抑制のみでは次第に成熟エチレンの発生による影響が生じると考えられた．そこで，第3章第2節，第4章第3節において，防湿段ボール箱に入れる前，ポリエチレン袋に個包装する前にエチレン作用阻害効果のある1-MCPの処理を行った．1-MCPによるカキの日持ち性向上（Harimaら，2003；倉橋ら，2005；Orizら，2005；Salvadorら，2004b）や低温障害軽減（Pérez-Munueraら，2009；Salvadorら，2004a）についての報告は多くあるが，1-MCP処理と水分蒸散抑制など他の品質保持技術を組み合わせた報告は少ない．

‘早秋’を1-MCP処理後防湿段ボール箱に入れると，果肉硬度は1-MCP処理単独よりも約6～10日，防湿段ボール箱単独よりも約4日長い処理後12日まで，‘太秋’を1-MCP処理後ポリエチレン個包装すると，サクサク感はポリエチレン個包装単独よりも約10～14日長い収穫後約25日まで保持できることが明らかになった．このことは，1-MCP処理によるエチレン作用阻害と水分蒸散抑制の組み合わせによる相乗効果と考えられた．‘早秋’において，処理後12日まで品質が保持されることは販売上大きなメリットである．しかし，1-MCP処理および防湿段ボール箱の費用がかかるため，コスト分を見据えた販売戦略が必要である．また，‘太秋’において，収穫後25日（11月中下旬）まで品質が保持されることは，サクサク感のあるカキを長期間供給するという面からはメリットがある．しかし，岐阜県における11月中下旬は‘富有’の出荷最盛期であり，その時期に‘太秋’の売り場を確保するのは難しい．販売上大きなメリットを出すためには，12月中旬の年末贈答需要に向けたより長期的な品質保持が必要である．そのためには，低温貯蔵やMA包装などの組み合わせや併用が必要と考えられる．

第2章第1節の弾性指標による果肉硬度の評価から，‘富有’における食べ頃の弾性指標は $13.6\sim 30.2\times 10^6\text{ cm}^2\cdot\text{Hz}^2$ ，食べ頃期間は収穫後約4～15日であった．そこで，‘富有’を1-MCP処理後，厚さ0.03mmのポリエチレン大袋を内装した慣行段ボール箱に入れると，1-MCPを処理せず，そのまま慣行段ボール箱に入れる慣行方法よりも果肉硬度を長く保持できることが明らかになった．しかし，食べ頃の果肉硬度よりも硬い状態を保持し，結果として，慣行方法よりも食べ頃期間は短くなった（鈴木ら，2012）．このように食べ頃の果肉硬度に上限と下限がある場合，その間で果肉硬度を保持することは難しいと考えられた．‘富有’は果肉硬度および日持ち保持日数その

ものが長いことから、販売戦略的には品質保持を図るよりも、通常栽培の出荷が終了してから出荷する袋かけ栽培の方が販路拡大や有利販売には実用的であると考えられた。

まとめ

カキ果実の消費が低迷しており、特に若い世代の消費が著しく低下している（総務省統計局，2011）。将来の需要低下が危惧される中、需要拡大を図るためには、おいしいカキを供給することが重要である。そのためには、糖度が高いことはもちろんであるが、食べ頃の硬さのカキを食べていただくことも重要である。高度な栽培技術によって高品質果実を生産しても、収穫後の品質管理が悪いと折角のブランドイメージを損ねてしまう。消費者は食べた時の食味で判断するため、食べ頃を判定して伝えること、食べ頃期間を伸ばしておいしさを長く保つことが重要である。本研究によって、カキ‘富有’，‘早秋’，‘太秋’の食べ頃を明らかにし、品質保持技術を開発した。その結果、消費者においしいカキを長期間提供することが可能になった。また、AMC法によるサクサク感の定量評価方法を開発した。現在、‘太秋’以外にサクサク感を有する品種は‘太天’（2009年品種登録），‘福岡 K1 号’（2012年品種登録，商標名‘秋王’），‘太豊’（2014年品種登録出願公表）などがある。今後、この傾向は益々増えていくことが予想されるため、カキ品質の一要素としてサクサク感を評価することが重要である。サクサク感の定量評価によって、サクサク感を有する品種育成、品質保持技術の開発などの推進に繋がると考えられる。‘太秋’は若い世代に好評であり、今後、サクサク感を有する品種が増えることにより、カキ全体の消費拡大に繋がることが期待される。

近年、音響振動法による振動特性によって、果実の内部障害の判別が可能になってきた。ニホンナシ‘幸水’の芯腐れ症果実の判別（Kadowakiら，2012），カキ‘早秋’の早期軟化果実の判別（鈴木ら，2013），ブラッドオレンジとハッサクのす上がり果の判別（文室ら，2014），モモ‘おかやま夢白桃’の核割れ果実の判別（中野ら，2015）の報告がある。音響振動法が、今後、今まで検出できなかった様々なカキの内部障害、例えば果実中心部から始まる早期軟化などの判別に適用できるようになることが期待される。

Synopsis

Chapter 1 (General Introduction)

Persimmon growing area of Gifu prefecture is 1,340 ha. It is the fourth in the country. Gifu prefecture is a main region to grow non-astringent persimmon. 'Fuyu' persimmon that is non-astringent, and grown in the Gifu prefecture occupies about 92% of 'Fuyu' handling volume of Nagoya City Central Wholesale Market, but the sales price is sluggish. Expansion of demand and improvement of the eating quality would be a key to keep the sale price at the higher level. Therefore, the flesh texture in non-astringent persimmon, particularly 'Fuyu', 'Soshu', and 'Taishuu' has been studied as leading cultivars of Gifu prefecture.

In chapter 2, the flesh texture of 'Fuyu' persimmon after the harvest was evaluated with an acoustic resonance measurement and an acoustic measurement of crispness (AMC). The flesh texture and the factors required for the palatability of bagging 'Fuyu' persimmon after the harvest were evaluated with an acoustic resonance measurement and AMC. In chapter 3, the flesh texture and improvement of the storability of 'Soshu' persimmon were evaluated with acoustic resonance measurement. In chapter 4, the flesh texture and the factors required for the physical palatability of 'Taishuu' persimmon after the harvest were evaluated with AMC. Quantitative evaluation of the crisp texture of 'Taishuu' persimmon was studied based on AMC. The crisp texture and improvement of the storability of 'Taishuu' persimmon were evaluated with AMC.

Chapter 2

Section 1

The flesh texture of 'Fuyu' persimmon after the harvest was evaluated with an acoustic resonance measurement and an acoustic measurement of crispness (AMC). Moreover, a prediction for optimum ripeness was studied with the elasticity index (EI) determined by an acoustic resonance measurement and the score by a sensory test. EI determined by a resonant frequency method for 'Fuyu' after the harvest decreased in a consistent manner despite the harvest time. By a sensory test, the optimum ripeness by EI was determined to range from 30.202 to $13.563 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$. A predictive formula for optimum ripeness was constructed using a reciprocal equation. The beginning of the optimal ripeness period (t_1) = $\{9.386(30.202 - Y_0)\} / \{0.830(Y_0 - 30.202) - Y_0\}$, the end of the optimal ripeness period (t_2) = $\{9.386(13.563 - Y_0)\} / \{0.830(Y_0 - 13.563) - Y_0\}$, where Y_0 is EI at 0 after harvest and substitutes mantissa of the scientific notation. The error between this predicted value and the observed one ranged from 0.5 to 1.3 days for the beginning of optimal ripeness period and from 0.7 to 3.5 days for the end of the optimal ripeness period, suggesting that the formula is

practical to predict the range of optimal ripeness of 'Fuyu'. However, further examination is necessary to construct a predictive formula with high precision. Texture index (TI) measured by AMC decreased little before the optimum ripeness and decreased greatly after the optimum ripeness. For the flesh texture of 'Fuyu' persimmon, EI drastically decreased before the optimal ripeness time and TI decreased thereafter, suggesting that both parameters reflect different inner qualities of persimmon fruit.

Section 2

Bagging of 'Fuyu' fruit on the tree prolongs the harvest time by three to four weeks from November 20th to December 15th, partly because the bagging reduces low temperature injury. Effects of bagging of 'Fuyu' persimmon on the desirable flesh texture and softness were evaluated after the harvest with an acoustic resonance measurement and an acoustic measurement of crispness (AMC). The elasticity index (EI) of bagged 'Fuyu' immediately after the harvest was in the range of optimum ripeness of non-bagged 'Fuyu'. Bagged 'Fuyu' was harvested three to four weeks later than non-bagged fruit. EI of the harvest day 0 of bagged 'Fuyu' corresponded to EI of about 7 days after harvest of non-bagged 'Fuyu'. Changing pattern of EI of bagged 'Fuyu' was similar to that of non-bagged 'Fuyu' 7 days after harvest. Measurement of the texture index (TI) by AMC revealed no difference between bagged 'Fuyu' and non-bagged 'Fuyu'. These results suggested that bagging of 'Fuyu' fruit was the way to achieve the optimum ripeness after the harvest.

Chapter 3

Section 1

The flesh texture and improvement of the storability of 'Soshu' persimmon were evaluated with acoustic resonance measurement. The elasticity index (EI) determined by a resonant frequency method for 'Soshu' after the harvest decreased in a consistent manner like 'Fuyu'. A significant positive correlation ($r=0.924$) was found between the sensory score on desirable texture and EI measured by the resonant frequency. The sensory score (ranging from -2: very poor to +2: very good) on desirable texture (0 or higher) corresponded to EI of about $22 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ or higher. The flesh firmness immediately after the normal harvest time of 'Fuyu' was too hard, and the sensory score on desirable texture was 0 or less. 'Soshu' that was received the highest sensory score on desirable texture exhibited the higher EI than 'Fuyu' with the highest score. The highest sensory score on the desirable quality was found immediately after harvest. Resonant method revealed that 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment did not affect the maintenance of flesh firmness of 'Soshu'. 1-MCP had no effect on the weight loss caused by water evaporation. It reduced the rate of over ripe fruit or fruit with

water-soaked lesion, improving the shelf-life. Moisture-proof corrugated fiberboard box retained flesh firmness. The moisture-proof corrugated fiberboard box prolonged the shelf-life period about 4 days longer than the conventional corrugated fiberboard box. The weight loss of moisture-proof corrugated fiberboard box fruit was lower than that in the conventional corrugated fiberboard box. No clear difference was observed between a incomplete and complete closure by adhesive tapes during changes in flesh firmness. Moisture-proof corrugated fiberboard box had no effect on softening rate of flesh. These results suggested that the incomplete closure of the moisture-proof corrugated fiberboard box has an advantage in shipping method in terms of retaining flesh firmness, operation cost, and labor cost.

Section 2

In the previous section, it was found the effect of the moisture-proof corrugated fiberboard box on retaining flesh firmness and the effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on improving shelf-life. Method of keeping fruit quality in 'Soshu' persimmon was studied on the combination of 1-MCP treatment and the moisture-proof corrugated fiberboard box. When $22 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ or higher of EI was used for evaluation of the desirable flesh firmness, number of days of retaining flesh firmness under the condition of combination of 1-MCP treatment and the moisture-proof corrugated fiberboard box was about 12 days, which was about 4 days longer than the moisture-proof corrugated fiberboard box alone. The number of days for retaining flesh firmness by conventional corrugated fiberboard box was about 6 days with or without 1-MCP. Those by conventional corrugated fiberboard box without top was about 2 days with or without 1-MCP. When the retaining shelf-life was defined accumulation of deteriorate fruits at 10%, number of days of retaining shelf-life was about 14 days for the combination of 1-MCP and any type of corrugated fiberboard box, which was about 6 days longer than the moisture-proof or conventional corrugated fiberboard box without 1-MCP. Conventional corrugated fiberboard box without top retained flesh firmness 10 to 12 days after 1-MCP treatment. These results suggested the synergistic effect of suppression of water loss from the fruit and inhibition of ethylene action contributed to retaining flesh firmness. Including the results of previous section, the softening ratio of accumulation of deteriorate fruit in the moisture-proof corrugated fiberboard box tended to be higher than that of the conventional corrugated fiberboard box and the corrugated fiberboard box without top.

Chapter 4

Section 1

The desirable flesh texture and softness of 'Taishuu' persimmon after the harvest were

evaluated with an acoustic resonance measurement and a sensory test. When ‘Taishuu’ persimmon was harvested according to the same color score, the elasticity index (EI) determined by a resonant frequency method decreased in a similar manner after the harvest time. While EI of ‘Taishuu’ after the harvest exponentially decreased similar to that of ‘Fuyu’, the rate of decrease in EI of ‘Taishuu’ was higher than that of ‘Fuyu’. When the sensory score (ranging from -2: very poor to +2: very good) on desirable texture of ‘Taishuu’ was 0 or higher, EI was about $4.0 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ or higher, that is lower than those for ‘Fuyu’. ‘Taishuu’ had the crisp texture that was different from other cultivars of persimmon and this crisp texture maintained even when EI was decreased. These results suggest that the crisp texture of ‘Taishuu’ plays an important role in determination of the desirable texture of ‘Taishuu’. The results of the sensory test revealed that the crisp texture rather than the flesh firmness is more important to determine the desirable texture of ‘Taishuu’. Since the correlation between the sensory score on desirable texture and EI was non-linear, evaluation of the crisp texture by EI is difficult.

Section 2

Evaluation of the crisp texture of ‘Taishuu’ persimmon was studied by an acoustic measurement of crispness (AMC). The crispness of flesh texture and a sensory test of ‘Taishuu’ stored for varying days were studied. The energy texture index (ETI) calculated from frequency bands from 0 to 50 Hz, from 100 to 140 Hz and from 3,200 to 25,600 Hz decreased after harvest. A significant positive correlation ($r=0.705 \sim 0.928$) was found between ETIs and the sensory score on crispness. Declining pattern of ETI calculated from frequency band from 0 to 50 Hz was different from that of the sensory score. The results suggested that ETIs calculated from frequency bands from 100 to 140 Hz and above 3,200 Hz could be used to evaluate quantitatively the crisp texture. Next, measurements of the texture of ‘Kanshu’ persimmon with a different texture from that of ‘Taishuu’ revealed that there was a significant difference between ETIs above 4,480 Hz. These results suggest that ETIs with a frequency above 4,480 Hz can be used to segregate quantitatively the crisp textures of ‘Taishuu’ and ‘Kanshu’. Furthermore, the relation between skin color score and flesh texture were studied using ‘Taishuu’. The ETIs of ‘Taishuu’ harvested with a color score of 4.5 (orange) were lower than those harvested with a color score of 3.5 (yellow’sh orange), and corresponded to those of fruit harvested with a score of 3.5 and stored for 7 to 9 days. Therefore shipment of the fruit with a color score above 4.5 may decline the market rating of ‘Taishuu’.

Section 3

Evaluation of the crisp texture of 'Taishuu' persimmon stored under different condition was more precisely studied with an acoustic measurement of crispness (AMC). Changing pattern of the energy texture index (ETI) calculated from frequency band from 4,480 to 6,400 Hz and the sensory score on crispness were different. Changing pattern of ETI calculated from four frequency bands from 6,400 to 25,600 Hz fit more to those of the sensory score on crispness than ETI from the lower frequency bands. Polyethylene packaging maintained the crisp texture for about 11 to 15 days after harvest, which was longer for about 2 to 6 days than fruit without the packaging. The weight loss rate of the fruit with polyethylene packaging was significantly smaller than that without polyethylene packaging. These results suggested that suppression of water loss from the fruit by polyethylene packaging maintains the crisp texture. Thickness of polyethylene packaging did not affect the maintenance of the crisp texture. Difference in thickness of polyethylene film have essentially no effect on the texture. Polyethylene packaging following 1-MCP treatment for 24 h maintained the crisp texture for about 25 days after harvest, which was about 10 to 14 days longer than fruit with polyethylene packaging alone. These results suggested that the crisp texture can be maintained longer because of the inhibition of ethylene action by 1-MCP treatment. Since polyethylene packaging only induces the softening of fruit probably due to accumulation of ethylene within polyethylene bag, 1-MCP treatment was thought to be necessary for maintenance of the crisp texture stored in a polyethylene of the fruit bag.

Chapter 5 (General Discussion)

Determination of optimum ripeness by an acoustic resonance measurement

The optimum ripeness of persimmon was determined by the change of the elasticity index (EI) measured by an acoustic resonance measurement. EI of the optimum ripeness of 'Fuyu' persimmon was 13.6 to $30.2 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$, and EI of the optimum ripeness of 'Soshu' persimmon was $22.0 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{Hz}^2$ or higher. It was revealed that EI of the optimum ripeness is different in cultivars. It was also suggested that the difference of EIs between 'Fuyu' and 'Soshu' could be influenced by the flesh texture as well as the flesh firmness.

Prediction of optimum ripeness by an acoustic resonance measurement

'Fuyu' persimmon after the harvest reached the optimal ripeness with decreasing in EI. It is necessary to predict the range of the optimal ripeness. A predicted range for the optimum ripeness was calculated using a reciprocal equation. This equation makes it possible to build a strategy for consumer is acceptance. Thus, consumers could eat persimmons according to predicted quality by the formula for the optimum ripeness.

Texture evaluation of 'Taishuu' persimmon using an acoustic vibration method (AMC)

Quantitative evaluation of the crisp texture of 'Taishuu' persimmon was difficult only by a

fruit hardness tester and an acoustic resonance measurement. Therefore, quantitative evaluation of the crisp texture of 'Taishuu' persimmon was studied based on an acoustic measurement of crispness (AMC). The results suggested that the energy texture index (ETI) calculated from frequency bands from 6,400 to 25,600 Hz could be used to evaluate quantitatively the crisp texture.

Development of keeping fruit quality of persimmon

It was found that the optimal ripeness period could be evaluated either by the flesh firmness by EI in 'Soshu' persimmon or the crisp texture by ETI in 'Taishuu' persimmon. The optimal ripeness period without the packaging lasted about 4 days after the harvest in 'Soshu' and about 9 days after the harvest in 'Taishuu', suggesting that the packaging is necessary to prolong the period of optimal ripeness of persimmon by the following mechanisms.

1) Suppression of water loss

The moisture-proof corrugated fiberboard box extended the period of appropriate flesh firmness of 'Soshu' persimmon to about 10 days after the harvest, or about 4 days longer than the conventional corrugated fiberboard box. Polyethylene packaging maintained the crisp texture of 'Taishuu' persimmon for about 11 to 15 days after the harvest. It is about 2 to 6 days longer than without the packaging. These results suggested that suppression of water loss from the fruit maintains the flesh firmness and the crisp texture.

The moisture-proof corrugated fiberboard box and polyethylene packaging have disadvantages to induce the softening of fruit due to accumulation of ethylene within the fiberboard box or polyethelene packaging.

2) 1-methylecyclopropene and suppression of water loss

The moisture-proof corrugated fiberboard box packaging following 1-methylecyclopropene (1-MCP) treatment maintained the flesh firmness of 'Soshu' persimmon for about 12 days after 1-MCP treatment, or about 6 to 10 days longer than with 1-MCP treatment only and about 4 days longer than with only the moisture-proof corrugated fiberboard box packaging. Polyethylene packaging following 1-MCP treatment maintained the crisp texture of 'Taishuu' persimmon for about 25 days after the harvest, or about 10 to 14 days longer than with polyethylene packaging alone. These results suggested the synergistic effect of suppression of water loss from the fruit by packaging and inhibition of ethylene action by 1-MCP.

謝辞

本研究の遂行および本論文の作成にあたり、終始ご懇切なご指導とご校閲を賜った広島大学大学院生物圏科学研究科 櫻井直樹教授に謹んで深謝申し上げます。

また、本論文の作成にあたり、有益なご助言を頂きました上真一教授、実岡寛文教授、羽倉義雄教授、中坪孝之教授、岡山大学大学院環境生命科学研究科 久保康隆教授の審査員の先生方に対し、心より感謝申し上げます。

本研究の遂行にあたり、広島大学大学院生物圏科学研究科教育研究補助職員 秋元秀美博士、広島大学博士課程 岩谷真一郎氏、広島大学産学連携センター研究員 谷脇満博士には有益なご助言を頂きました。深く感謝申し上げます。また、岐阜県農業技術センター 新川猛主任専門研究員には有益なご助言とご協力を頂きました。深く感謝申し上げます。岐阜大学大学院連合農学研究科 中野浩平教授、岐阜県産業技術センター紙業部 神山真一主任専門研究員からは貴重なデータの提供と有益なご助言を頂きました。深く感謝申し上げます。

さらに、本研究の遂行にあたり、岐阜県農業技術センター 越川兼行所長、前矢野秀治所長、元宇次原清尚所長、鈴木尚司氏、高木敏彦氏、那須大輔氏を始め、多くの上司ならびに同僚各位より特段のご配慮と多大なご協力を頂き、大変お世話になりました。記して深く感謝の意を表します。

引用文献

- Abbott, J. A., G. S. Bachman, R. F. Childers, J. V. Fitzgerald and F. J. Matusik. 1968. Sonic techniques for measuring texture of fruits and vegetables. *Food Technol.* 22: 101-112.
- 秋元浩一・伊藤扶美子. 1979a. アンケート調査による消費者の果実, とくにカキに対する購買行動の分析. *岐阜大農研報.* 42: 59-76.
- 秋元浩一・伊藤 誠. 1979b. 全国の小売店における果実の取扱い実態と規格に対する意識について. *岐阜大農研報.* 42: 77-98.
- Akimoto, H., K. Nagai and N. Sakurai. 2012. Viscosity measurement by the free vibrations of homogeneous viscoelastic sphere. *J. Appl. Mech.* 79: 41002-1-41002-8.
- 秋元秀美・櫻井直樹・岩谷真一郎. 2010. 音響振動による硬さ指標を用いたアボカドの食べ頃の判別と予測. *園学研.* 9(別 2): 308.
- 秋元秀美・櫻井直樹・岩谷真一・Hu Chen・高橋昌之. 2011a. 弾性指標を用いたアボカドの原産地別・サイズ別の食べ頃予測. *園学研.* 10(別 2): 296.
- 秋元秀美・櫻井直樹・岩谷真一郎・高橋昌之. 2011b. 弾性指標を用いたアボカドのサイズ・硬さ別の食べ頃予測. *園学研.* 10(別 1): 265.
- 艾乃吐拉 木合塔尔・壽松木 章・小森貞男. 2005. 1-メチルシクロプロペン (1-MCP) 処理がリンゴ 3 品種の貯蔵性に及ぼす影響. *園学研.* 4: 439-443.
- Boquete, J. E., D. G. Trincherro, A. A. Frascina, F. Vilella and O. G. Sozzi. 2004. Ripening of 'Hayward' kiwifruit treated with 1-methylcyclopropene after cold storage. *Postharvest Biol. Technol.* 32: 57-65.
- Cantin, C. M., D. Holcroft and C. H. Crisosto. 2011. Postharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) extends shelf life of kiwifruit. *Acta Hort.* 913: 621-626.
- 千々和浩幸・林 公彦・巢山拓郎. 2002. 甘ガキ果実における呼吸速度・エチレン生成速度の品種間差異とへたすきの影響. *園学雑.* 71(別 2): 276.
- 千々和浩幸・平川信之・浦 広幸. 2005. 1-MCP 処理がカキ '伊豆' の軟化抑制と果実品質に及ぼす影響. *園学雑.* 74(別 2): 242.
- 千々和浩幸・牛島孝策・林 公彦・姫野周二・吉永文浩・鶴 丈和. 1997. 福岡県におけるカキ '太秋' の生育, 果実品質, 着花及び花粉に関する特性. *福岡農総試研報.* 16: 82-86.
- 知野秀次・松本辰也・太田祐樹・児島清秀. 2009. 追熟中のセイヨウナシ 'ル・レクチェ' における非破壊法による果実特性の評価. *園学研.* 8: 109-114.
- 知野秀次・松本辰也・徳田美佳子・二木明日香・太田祐樹・齋藤洋太郎・坂井 優・児島清秀. 2011. セイヨウナシ 'ル・レクチェ' における低温貯蔵中の弾性指標と水分消失との関係. *園学研.* 10: 413-419.
- 知野秀次・太田祐樹・二木明日香・齋藤洋太郎・黒坂 俊・大塚伸吾・坂井 優・松

- 本辰也・児島清秀. 2010a. セイヨウナシ‘越さやか’における追熟中の果実特性の変化ならびにフィルム包装が果実追熟に及ぼす影響. 園学研. 9: 99-105.
- 知野秀次・徳田美佳子・大石智美・小式澤一博・太田祐樹・松本辰也・児島清秀. 2010b. 低温処理期間の違いが追熟中のセイヨウナシ‘ル・レクチェ’の果実特性に及ぼす影響. 園学研. 9: 235-241.
- Christensen, C. M. and Z. M. Vickers. 1981. Relationships of chewing sounds to judgments of food crispness. *J. Food Sci.* 46: 574-578.
- Cooke, J. R. 1972. An interpretation of the resonant behavior of intact fruits and vegetables. *Trans. ASAE.* 15: 1075-1080.
- 第18回全国かき研究大会実行委員会編. 1980. 岐阜のかき. 第3章 富有かきの沿革. 29.
- De Belie, N., V. De Smedt and J. De Baerdemaeker. 2000. Principal component analysis of chewing sounds to detect differences in apple crispness. *Postharvest Biol. Technol.* 18: 109-119.
- De Belie, N., F. R. Harker and J. De Baerdemaeker. 2002. Crispness judgement of Royal Gala apples based on chewing sounds. *Biosys. Eng.* 81: 297-303.
- 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. p. 174.
- Drake, B. K. 1963. Food crushing sounds. An introductory study. *J. Food Sci.* 28: 233-241.
- Drake, B. K. 1965. Food crushing sounds: comparisons of objective and subjective data. *J. Food Sci.* 30: 556-559.
- Finney, E.E., Jr. 1970. Mechanical resonance within Red Delicious apples and its relation to fruit texture. *Trans. ASAE.* 13: 177-180.
- Fonseca, S.C., F.A.R. Oliveira and J.K. Brecht. 2002. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *J. Food Eng.* 52: 99-119.
- 藤原孝之・坂倉 元. 1999. メロンにおける甘味識別可能な糖度差. *食科工誌.* 46: 609-612.
- 文室政彦・蒲生英美. 2002. 短期脱渋, 個装および冷蔵技術を用いたカキ‘平核無’果実の長期貯蔵の実用化. *園学雑.* 71: 300-302.
- 文室政彦・堀川勇次・櫻井直樹. 2014. ブラッドオレンジとハッサクのす上がり果判別における音響振動法の適用. *園学研.* 13: 365-370.
- 文室政彦・櫻井直樹. 2011. 音響振動法によるマンゴー‘アーウィン’の果肉硬度の評価. *園学研.* 10(別1): 263.
- 文室政彦・櫻井直樹. 2012. 弾性指標によるマンゴー‘アーウィン’果実の日持ち性の評価. *園学研.* 11(別1): 234.
- Fumuro, M. and N. Sakurai. 2014. Effects of ripening stage, temperature, and film wrapping

- on the elasticity index as determined by a nondestructive resonance vibration method and fruit quality in 'Irwin' mango. HortScience. 49: 791-797.
- Fumuro, M., N. Sakurai and N. Utsunomiya. 2013. Improved accuracy in determining optimal harvest time for pitaya (*Hylocereus undatus*) using the elasticity index. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 82: 354-361.
- 古田道夫・浅野 聡. 1991. 西洋ナシ (ル レクチェ) の追熟特性. 新潟食品研報. 26: 1-5.
- 播磨真志・中野龍平・稲葉昭次・久保康隆. 2006. 環状はく皮処理および反射マルチ敷設がカキ '刀根早生' 果実の収穫後の軟化発生に及ぼす影響. 園学研. 5: 185-191.
- 播磨真志・中野龍平・山内 勸・北野欣信・久保康隆・稲葉昭次・富田栄一. 2002a. 有孔および無孔ポリエチレン包装によるハウス栽培 '刀根早生' 果実の軟化抑制技術の確立. 園学雑. 71: 284-291.
- Harima, S., R. Nakano, S. Yamauchi, Y. Kitano, Y. Yamamoto, A. Inaba and Y. Kubo. 2003. Extending shelf-life of astringent persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) fruit by 1-MCP. Postharvest Biol. Technol. 29: 319-324.
- 播磨真志・中野龍平・山内 勸・久保康隆・稲葉昭次・北野欣信. 2002b. カキ '刀根早生' 促成栽培果実の出荷容器の改善による軟化抑制. 園学雑. 71: 583-587.
- 早川文代. 2009. 現代日本人の食感表現. 家政誌. 60:69-72.
- 羽山裕子・樫村芳記・阪本大輔・中村ゆり. 2012. リボン型製剤を用いた MA 包装用段ボール箱内 1-MCP 処理がニホンナシおよびリンゴの日持ち性に及ぼす影響. 日食保蔵誌. 38: 3-9.
- 平井 剛. 2008. メロン果実の追熟とテクスチャーに関する客観的評価方法の開発. 北海道農試報.
- 平井俊次・山崎喜美江. 1984. ガスクロマトグラフィーによる甘柿, 渋柿の糖組成の研究. 食科工誌. 31: 24-30.
- Horvat, R. J., S. D. Senter, G. W. Chapman Jr. and J. A. Pyne. 1991. Volatile compounds from mesocarp of persimmons. J. Food Sci. 56: 262-263.
- Hume, H. H. 1914. A kaki classification. J. Hered. 5: 400-416.
- 飯島久美子・米田千恵・小西史子・綾部園子・香西みどり・畑江敬子. 2004. 若年層を対象とした果物の嗜好に関する調査. 調科誌. 37: 383-389.
- 石丸 恵・茶珍和雄・和田安規・上田悦範. 2001. 脱渋方法の異なるカキ '平核無' 果実のペクチン質およびヘミセルロースの変化と軟化との関係. 日食保蔵誌. 27: 197-204.
- 石丸 恵・茶珍和雄・和田安規・上田悦範. 2002. '平核無' と '富有' カキ果実のペクチン質およびヘミセルロースの変化と軟化との関係. 日食保蔵誌. 28: 119-125.
- 石丸 恵・山本貴司・茶珍和雄. 1998. ハウスカキ '刀根早生' 果実の CO₂ 脱渋にお

- ける CO₂濃度の漸次低下処理が果実硬度に及ぼす影響. 園学雑. 67: 812-814.
- 板村裕之. 1986. 成熟段階の異なるカキ‘平核無’果実のアルコール脱渋に伴う軟化と呼吸量及びエチレン生成量の関係. 園学雑. 55: 89-98.
- 板村裕之・福嶋忠昭・北村利夫. 1989. カキ‘平核無’果実の軟化と細胞壁多糖成分の関係. 日食工誌. 36: 647-650.
- 板村裕之・福嶋忠昭・北村利夫・原田 久・平 智・高橋芳浩. 1994. 摘葉およびジベレリン処理がカキ‘平核無’果実のアルコール脱渋後の軟化に及ぼす影響. 園学雑. 62: 867-875.
- 板村裕之・北村利夫・平 智・原田 久・伊藤教善・高橋芳浩・福嶋忠昭. 1991. カキ‘平核無’果実の軟化とエチレン生成および呼吸の関係. 園学雑. 60: 695-701.
- Itamura, H., T. Tanigawa and H. Yamamura. 1995. Composition of cell-wall polysaccharides during fruit softening in ‘Tonewase’ Japanese persimmon. *Acta Horticulturae (Postharvest physiology)* . 398: 131-138.
- 板村裕之・横井 誠・山村 宏・内藤隆次. 1993. カキ‘西条’の長期貯蔵に関する研究. 日食低温誌. 19: 14-19.
- 岩田 隆・中川勝也・緒方邦安. 1969. 果実の収穫後における成熟現象と呼吸型の関係(第1報). 園学雑. 38: 194-201.
- Iwatani, S., H. Akimoto and N. Sakurai. 2013. Acoustic vibration method for food texture evaluation using an accelerometer sensor. *J. Food Eng.* 115: 26-32.
- 岩谷真一郎・大澤雅子・橋詰利治・櫻井直樹. 2011. 音響振動法を用いたスイカの肉質特性“シャリ感”の定量評価. 園学研. 10(別1): 264.
- 岩谷真一郎・大澤雅子・櫻井直樹. 2009. 音響法を用いたスイカの食感測定. 園学研. 8(別2): 345.
- 岩谷真一郎・薬師寺 博・三谷宣仁・櫻井直樹. 2010. 破壊音響振動法によるブドウ肉質の判定. 園学研. 9(別1): 232.
- Jiang, Y., D. C. Joyce and A. J. Macnish. 1999. Responses of banana fruit to treatment 1-methylcyclopropene. *Plant Growth Regul.* 28: 77-82.
- Kadowaki, M., S. Nagashima, H. Akimoto and N. Sakurai. 2012. Detection of core rot symptom of Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* cv. Kosui) by a nondestructive resonant method. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 81: 327-331.
- 梶浦 実. 1946. 柿の品種と品種改良. 育種と農芸. 1: 14-17, 31-38.
- 神田巳樹夫・谷脇 満・櫻井直樹. 2010. 携帯型振動硬度計によるカキ‘西条’の収穫期予測法. 園学研. 9(別1): 233.
- 加納昌彦・納口るり子. 2008. 新品種を用いた茶産地ブランド戦略と地域組織化—静岡県内2産地を事例として—. 農業経営研究. 46: 69-74.
- 樫村芳記. 2005. 新規鮮度保持剤 1-MCP. 農機誌. 67: 16-18.

- 榎村芳記・羽山裕子・阪本大輔. 2010a. 収穫から処理までの日数および保管温度がリンゴ‘ふじ’における 1-メチルシクロプロペンの品質保持効果に及ぼす影響. 園学研. 9: 361-366.
- 榎村芳記・羽山裕子・阪本大輔・中村ゆり. 2010b. MA 包装用段ボール箱を利用したニホンナシおよびリンゴの 1-メチルシクロプロペン処理. 日食保蔵誌. 36: 165-171.
- 片桐孝樹. 1993. 袋かけによるカキの高品質化生産. 豊穰. 31: 48-49.
- 川尾尚史. 2009. カキ=太秋. p. 33-47. 農山漁村文化協会編. 最新農業技術 果樹 vol.2. 農文協. 東京.
- Khan, A. S. and Z. Singh. 2008. 1-methylcyclopropene application and modified atmosphere packaging affect ethylene biosynthesis, fruit softening, and quality of ‘Tegan Blue’ japanese plum during cold storage. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 133: 290-299.
- 菊池秋雄. 1948. 果樹園芸学上巻 果樹各種各論. p. 347-400. 養賢堂. 東京.
- Kim, H. O., E. W. Hewett and N. Lallu. 2001. Softening and ethylene production of kiwifruit reduced with 1-methylcyclopropene. Acta Hort. 553: 167-170.
- 北川博敏. 1970. カキの栽培と利用. p. 153-156. 養賢堂. 東京.
- 小林 章. 1982. 改訂版果樹園学大要. p. 196-198. 養賢堂. 東京.
- 公益財団法人中央果実協会. 2015. 平成 26 年度果物の消費に関するアンケート調査報告書. p. 20.
- 神山真一・河瀬 剛・佐藤幸泰・鈴木哲也・新川 猛. 2014. カキにおける輸出用長期貯蔵技術および品質保持技術の確立ー柿用防湿段ボールの作製に関する研究ー. 岐阜県産業技術センター研究報告. 8:56-58.
- 小泉明嗣・馬場 正・真子正史. 2008. 1-メチルシクロプロペン処理がバナナ果実の可食期間に及ぼす影響. 園学研. 7: 585-590.
- 小宮山美弘・原川 守・辻 政雄. 1985. 果実類の熟度と貯蔵条件に基づく糖組成の特徴. 食科工誌. 7: 522-529.
- 河野 淳. 2013. 特集・最近の優良品種と今後の展開方向 カキ新品種育成戦略と代表的な新品種. p. 84-89. 岡本健治. 果実日本 7 月号. 日本園芸農業協同組合. 東京.
- 久保康隆. 2002. 収穫後の果実の取り扱い. p. 195-217. 水谷房雄ほか著. 最新果樹園芸学. 朝倉書店. 東京.
- 久保康隆. 2008. I 総論 第 4 章 美味しさと栄養成分・機能性成分 4.1 美味しさと熟度・食べ頃. p. 36-39. 杉浦 明ほか編. 果実の事典. 朝倉書店. 東京.
- 倉橋孝夫・松本敏一・板村裕之. 2005. 1-methylcyclopropene (1-MCP) 処理とエチレン吸収剤処理が収穫時期の異なるカキ‘西条’果実のドライアイス脱渋後の軟化と日持ち性に及ぼす影響. 園学雑. 74: 63-67.
- 黒田佐俊. 1978. 青果物流通技術の規格・標準化. 農業機械学会農産機械部会研究会資料. 5: 1-20.

- 黒木信一郎・秋元秀美・藤路 陽・櫻井直樹. 2006. メロン果実内部の粘弾性評価法. 園学雑. 75(別 1): 234.
- Kuroki, S., T. Hanada, M. Tohro, T. Wako, A. Kojima and N. Sakurai. 2008. Detection of textural difference between cultivars of bunching onion using the device for acoustic measurement of food texture. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 77: 440-446.
- Kuroki, S., M. Tohro and N. Sakurai. 2006. Monitoring of the elasticity index of melon fruit in a greenhouse. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 75: 415-420.
- 黒坂 俊・知野秀次・太田祐樹・齋藤洋太郎・坂井 優・児島清秀. 2010. ニホンナシ ‘幸水’, ‘新高’ および ‘新興’ における MA 包装が果実貯蔵に及ぼす影響および貯蔵期間中の弾性指標のモニタリング. 新大農研報. 62: 81-87.
- Lee, W. E., III, A. E. Deibel, C. T. Glembin and E. G. Munday. 1988. Analysis of food crushing sounds during mastication: Frequency-time studies. J. Texture Stud. 19: 27-38.
- 李 進才・前澤重禮. 2004. 低, 常温下におけるカキ ‘富有’ 果実の軟化と抗酸化レベルの変化. 園学研. 3: 301-305.
- Lyon, B. G., S. D. Senter and J. A. Payne. 1992. Quality characteristics of oriental persimmons (*Diospyros kaki* L. cv. Fuyu) grown in the southeastern United States. J. Food. Sci. 57: 693-695.
- 松本善守・黒田喜佐雄. 1982. カキの着果調整に関する研究 (第 1 報) 富有の着果調整基準の設定. 奈良農試研報. 13: 9-20.
- 松村博行. 2000. 施設栽培 抑制栽培. p. 401-405. 農山漁村文化協会編. 果樹園芸大百科 6 カキ. 農文協. 東京.
- 松尾友明. 1989. カキタンニンの化学特性と収穫後の脱渋機構. 園学シンポ要旨: 119-125.
- Matsuo, T., J. Shinohara and S. Ito. 1976. An improvement on removing astringency in persimmon fruits by carbon dioxide gas. Agr. Biol. Chem. 40: 215-217.
- 三浦 洋・荒木忠治. 1988. 果実とその加工. p. 51-56. 建帛社. 東京.
- 文部科学省. 2015. 日本食品標準成分表 2010. <<http://fooddb.mext.go.jp/index.pl>>
- 元村佳恵・長尾多実子・櫻井直樹. 2004. 6 品種のリンゴ果実硬度のレーザー・ドップラー法による非破壊・非接触測定. 食科工誌. 51: 483-490.
- Muramatsu, N., N. Sakurai, N. Wada, R. Yamamoto, K. Tanaka, T. Asakura, Y. Ishikawa-Takano and D. J. Nevins. 1997. Critical comparison of an accelerometer and a laser Doppler vibrometer for measuring fruit firmness. HortTechnology 7: 434-438.
- Murayama, H., I. Konno, S. Terasaki, R. Yamamoto and N. Sakurai. 2006. Nondestructive method for measuring fruit ripening of ‘La France’ pears using a laser Doppler vibrometer. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 75: 79-84.
- 村山秀樹・長沼真徳・北村利夫・福嶋忠昭. 1993. 異なる追熟条件がセイヨウナシ果実

- 大森定夫・藤岡 修・宮浦友宏・野口協一. 2004a. 西洋ナシの食べ頃判定技術の開発 (第2報) - 積算温度表示ラベルによる食べ頃判定 -. 農機誌. 66: 96-101.
- 大森定夫・平田 晃・中元陽一・藤岡 修・鷹尾宏之進・駒林和夫. 2004b. 西洋ナシの食べ頃判定技術の開発 (第1報) - 打音・振動による食べ頃判定 -. 農機誌. 66: 121-126.
- 大森定夫・鷹尾宏之進. 1994. 青果物の軟らかさ非破壊評価装置の開発 (第1報). 農機誌. 56: 49-57.
- Ortiz, G. I., S. Sugaya, Y. Sekozawa, H. Ito, K. Wada and H. Gemma. 2005. Efficacy of 1-methylcyclopropene (1-MCP) in prolonging the shelf-life of 'Rendaiji' persimmon fruits previously subjected to astringency removal treatment. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 74: 248-254.
- 尾関 健・西垣 孝・後藤光憲・松村博行. 2005. カキ「富有」の促成及び抑制栽培法. 岐阜農技研報. 5: 20-25.
- Pérez-Munuera, I., I. Hernando, V. Larrea, C. Besada, L. Arnal and A. Salvador. 2009. Microstructural study of chilling injury alleviation by 1-methylcyclopropene in persimmon. HortScience 44: 742-745.
- 櫻井直樹. 2010. 加工・業務用野菜の品種及び技術研究最前線⑨ 食感測定装置による野菜の食感の評価法の開発について. p. 28-35. 野菜情報4月号. 独立行政法人農畜産業振興機構. 東京.
- 櫻井直樹. 2013. 特集 食とVR 食感測定装置による食物の食感評価法の開発について. 日本バーチャルリアリティ学会誌. 18: 110-114.
- Sakurai, N., S. Iwatani, S. Terasaki and R. Yamamoto. 2005a. Texture evaluation of cucumber by a new acoustic vibration method. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 74: 31-35.
- Sakurai, N., S. Iwatani, S. Terasaki and R. Yamamoto. 2005b. Evaluation of 'Fuyu' persimmon texture by a new parameter, "Sharpness index". J. Japan. Soc. Hort. Sci. 74: 150-158.
- Salvador, A., L. Arnal, A. Monterde and J. Cuquerella. 2004a. Reduction of chilling injury symptoms in persimmon fruit cv. Rojo Brillante by 1-MCP. Postharvest Biol. Technol. 33: 285-291.
- Salvador, A., J. Cuquerella, J., J. M. Martínez-Jávega, A. Monterde and P. Navarro. 2004b. 1-MCP preserves the firmness of stored persimmon Rojo Brillante. J. Food. Sci. 69: SNQ 69-73.
- 佐野健人・石井 貴・鹿島恭子. 2010. 非破壊計測手法によるメロンの食べ頃判定および予測. 茨城農総セ園研報. 17: 29-34.
- 佐藤明彦. 2009. 渋ガキ品種 太天, 太月. p. 71-72. 農山漁村文化協会編. 最新農業技術 果樹 vol.2. 農山漁村文化協会. 東京.
- 佐藤明彦. 2013. 特集・カキ産業の現状と展開方向 カキの品種～最近の動向～. p.

- 34-38. 岡本健治. 果実日本 10月号. 日本園芸農業協同組合. 東京.
- 佐藤正志・于 明傑. 2011. 「農産物ブランド」化の展開と課題—「有田みかん」ブランドの動向を中心に—. 経営情報研究：摂南大学経営情報学部論集. 19: 1-15.
- Seymour, S. K. and D. D. Hamann. 1988. Crispness and crunchiness of selected low moisture foods. *J. Texture Stud.* 19: 79-95.
- 島田智人・浅野聖子・六本木和夫・須賀明雄. 2011. ニホンナシに対する 1-メチルシクロプロペン処理の効果. *農業および園芸.* 86: 789-797.
- Sisler, E. C. and M. Serek. 1997. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. *Physiol. Plantarum* 100: 577-582.
- 総務省統計局. 2011 総務省家計調査. <<http://www.stat.go.jp/data/kakei/index.htm>>
- 杉浦直幸・吉田達雄・吉田麻里子・飛野敏明・榊 英雄・山田一字. 2012. カキ‘太秋’における収穫後の早期軟化発生に及ぼすフジコナカイガラムシの影響. *九病虫研会報.* 58: 88-92.
- 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: 257-263.
- 鈴木勝征・山崎利彦・村瀬昭治・宮川久義・野方俊秀・水戸部 満・森田 彰. 1981. 果実の成熟度判定のためのカラーチャートの作成とその利用に関する研究 (第 3 報) 成熟と果皮色との関係. *果樹試報 A.* 8: 85-100.
- 鈴木哲也・新川 猛・櫻井直樹. 2012. ポリエチレン包装および 1-MCP 処理がカキ‘富有’の果実硬度保持に及ぼす影響. *園学研.* 11(別 2): 300.
- 鈴木哲也・新川 猛・櫻井直樹. 2013. 音響振動法によるカキ‘早秋’の早期軟化の判別. *園学研.* 12(別 1): 227.
- 鈴木哲也・新川 猛・櫻井直樹. 2014. カキ‘太秋’における食感保持に適した収穫時の果皮色. *園学研.* 13(別 2): 369.
- 鈴木哲也・新川 猛・白武勝裕. 2010a. カキ品種間の糖組成の違いと糖代謝酵素遺伝子発現との関係. *園学研.* 9(別 1): 313.
- 鈴木哲也・尾関 健・新川 猛. 2010b. 光環境と葉果比がカキ‘富有’の糖度に及ぼす影響. *岐阜農技セ報.* 10: 28-35.
- Taira, S. 1996. Astringency in persimmon. P. 97-110. In: H. F. Linskens and J. F. Jackson (eds.). *Modern methods of plant analysis. Vol. 18. Fruit analysis.* Springer-Verlag, Berlin.
- 平 智・磯部志帆. 2005. 脱渋方法の違いと貯蔵温度がプラスチックフィルム包装したカキ‘平核無’果実の貯蔵性に及ぼす影響. *日食保蔵誌.* 31: 261-265.
- 平 智・久保康隆・杉浦 明・苫名 孝. 1987. 脱渋方法の違いがカキ‘平核無’果実の収穫・脱渋後の品質及び貯蔵性に及ぼす影響. *園学雑.* 56: 215-221.
- 平 智・大井雅也・渡部俊三. 1996. 渋ガキ果実の揮発性成分について. *園学雑.* 65: 177-183.

- 平 智・杉浦 明・久保康隆・苫名 孝. 1986. CaCl₂ 処理がカキ ‘平核無’ 果実の脱渋後の品質に及ぼす影響. 山形大学紀要. 10: 115-120.
- 高田峰雄. 1982. 発育ステージの異なるカキ果実の呼吸, エチレン生成及び成熟に対するエチレン処理の影響. 園学雑. 51: 203-209.
- 高田峰雄. 1983. 種々の発育段階で採取したカキ果実の呼吸, エチレン生成及び成熟. 園学雑. 52: 78-84.
- Takahashi, M., M. Taniwaki, N. Sakurai, T. Ueno and H. Yakushiji. 2010. Changes in berry firmness of various grape cultivars on vines measured by nondestructive method before and after veraison. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 79: 377-383.
- Taniwaki, M., T. Hanada and N. Sakurai. 2006a. Development of method for quantifying food texture using blanched bunching onions. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 75: 410-414.
- Taniwaki, M., T. Hanada and N. Sakurai. 2006b. Device for acoustic measurement of food texture using a piezoelectric sensor. Food Res. Int. 39: 1099-1105.
- Taniwaki, M., T. Hanada and N. Sakurai. 2009a. Postharvest quality evaluation of ‘Fuyu’ and ‘Taishuu’ persimmons using a nondestructive vibrational method and an acoustic vibration technique. Postharvest Biol. Technol. 51: 80-85.
- Taniwaki, M., T. Hanada, M. Tohro and N. Sakurai. 2009b. Non-destructive determination of the optimum eating ripeness of pears and their texture measurements using acoustical vibration techniques. Postharvest Biol. Technol. 51: 305-310.
- Taniwaki, M. and N. Sakurai. 2008. Texture measurement of cabbages using an acoustical vibration method. Postharvest Biol. Technol. 50: 176-181.
- Taniwaki, M. and N. Sakurai. 2010. Evaluation of the internal quality of agricultural products using acoustic vibration techniques. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 79: 113-128.
- Taniwaki, M., M. Takahashi and N. Sakurai. 2009c. Determination of optimum ripeness for edibility of postharvest melons using nondestructive vibration. Food Res. Int. 42: 137-141.
- Taniwaki, M., M. Tohro and N. Sakurai. 2010. Measurement of ripening speed and determination of the optimum ripeness of melons by a nondestructive acoustic vibration method. Postharvest Biol. Technol. 56: 101-103.
- 樽谷隆之. 1960. カキ果実の利用に関する研究 (第 4 報) 富有の冷蔵における包装の効果. 園学雑. 29: 212-218.
- 樽谷隆之. 1961. カキ果実の利用に関する研究 (第 5 報) 富有の冷蔵におけるガス条件について. 園学雑. 30: 95-102.
- 樽谷隆之. 1965. カキ果実の貯蔵に関する研究. 香川大農紀要.
- 樽谷隆之・真部正敏. 1960. カキ果実の利用に関する研究 (第 3 報) カキ果の貯蔵温度について. 園学雑. 29: 114-120.
- Tatsuki, M. and A. Endo. 2006. Analyses of expression patterns of ethylene receptor genes in

- apple (*Malus domestica* Borkh) fruit treated with or without 1-methylcyclopropene (1-MCP). *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 75: 481-487.
- Terasaki, S., N. Sakurai, N. Wada, T. Yamanishi, R. Yamamoto and D. J. Nevins. 2001a. Analysis of the vibration mode of apple tissue using electronic speckle pattern interferometry. *Trans. ASAE.* 44: 1697-1705.
- Terasaki, S., N. Sakurai, R. Yamamoto, N. Wada and D. J. Nevins. 2001b. Changes in cell wall polysaccharides of kiwifruit and the visco-elastic properties detected by a laser Doppler method. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 70: 572-580.
- Terasaki, S., N. Sakurai, J. Zebrowski, H. Murayama, R. Yamamoto and D. J. Nevins. 2006. Laser Doppler vibrometer analysis of changes in elastic properties of ripening 'La France' pears after postharvest storage. *Postharvest Biol. Technol.* 42: 198-207.
- Terasaki, S., N. Wada, N. Sakurai, N. Muramatsu, R. Yamamoto and D. J. Nevins. 2001c. Nondestructive measurement of kiwifruit ripeness using a laser Doppler vibrometer. *Trans. ASAE.* 44: 81-87.
- 藤路 陽・花田貴紀・櫻井直樹. 2006. 'ラ・フランス' 収穫後の低温処理期間が食べ頃に及ぼす影響. *園学雑.* 75(別 1): 236.
- Tojo, F., Y. Suzuki, K. Kawaguchi and H. Terai. 2009. Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on ripe stages of banana fruit. *Food Preserv. Sci.* 35: 73-77.
- 土田靖久・朝倉利員・児下佳子・森永邦久. 2002. 貯蔵湿度がカキ '富有' 果実の水分状態とエチレン生成に及ぼす影響. *園学雑.* 71(別 1): 386.
- Tsuchida, Y., N. Sakurai, K. Morinaga, Y. Koshita and T. Asakura. 2003. Effects of water loss of 'Fuyu' persimmon fruit on mesocarp cell wall composition and fruit softening. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 72: 517-524.
- Tsuchida, Y., N. Sakurai, K. Morinaga, Y. Koshita and T. Asakura. 2004. Effects of water loss of 'Fuyu' persimmon fruit on molecular weights of mesocarp cell wall polysaccharides and fruit softening. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 73: 460-468.
- 辻 政雄・小宮山美弘. 1987. カキ果実のインベルターゼ活性と糖組成の関係. *食科工誌.* 34: 425-431.
- Vickers, Z. M. and M. C. Bourne. 1976. A psychoacoustical theory of crispness. *J. Food Sci.* 41: 1158-1164.
- 薬師寺 博・小野祐幸・鷹尾宏之進・伊庭慶昭. 1995. 軟らかさ非破壊評価装置によるカキの果実硬度の非破壊測定について. *果樹試報.* 28: 39-50.
- 山田昌彦. 2011. 果樹の交雑育種法. p. 94-100. 養賢堂. 東京.
- 山田昌彦. 2013. 第 15 章 カキ. p. 442-470. 鶉飼保雄・大澤 良編著. 品種改良の日本史 作物と日本人の歴史物語. 悠書館. 東京.
- 山田昌彦. 2014. 特集・果樹育種の最新動向と有望品種の普及状況 果樹における有望

- 品種の普及状況. p. 34-39. 岡本健治. 果実日本 8月号. 日本園芸農業協同組合. 東京.
- 山田昌彦・岩波 宏・佐藤明彦・薬師寺 博. 1998. カキの果肉の硬さの品種間差異. 園学雑. 67(別 2): 181.
- 山田昌彦・佐藤明彦・山根弘康・三谷宣仁・岩波 宏・白石美樹夫・平川信之・上野俊人・河野 淳・吉岡美加乃・中島育子. 2008. カキ新品種‘太天’. 園学研. 7(別 1): 310.
- 山田昌彦・佐藤明彦・山根弘康・吉永勝一・平川信之・岩波 宏・小澤俊治・角谷真奈美・三谷宣仁・吉岡美加乃・中島育子. 2006. カキ新品種‘甘秋’. 果樹研報. 5:95-106.
- 山田昌彦・玉井啓之・井上良子・佐藤明彦・板村裕之. 2002. 20℃・相対湿度 80%の条件下におけるカキの日持ち性の品種・系統間差異. 園学雑. 71(別 2): 468.
- 山田昌彦・山根弘康・佐藤明彦・岩波 宏・平川信之・吉永勝一・小澤俊治・中島育子. 2004. カキ新品種‘早秋’. 果樹研報. 3:53-66.
- 山根弘康. 1994. 農林登録新品種の解説④かき‘太秋’. 果樹種苗. 56:18-20.
- 山根弘康・山田昌彦・栗原昭夫・佐藤明彦・吉永勝一・永田賢嗣・松本亮司・平川信之・角谷真奈美・小澤俊治・角 利昭・平林利郎・岩波 宏. 2001. カキ新品種‘太秋’. 果樹試報. 35:57-73.
- 矢野昌充・長谷川美典. 1993. キウイフルーツの収穫後における自己触媒的なエチレン生成の特徴について. 園学雑. 62: 625-632.
- 米森敬三. 2002. 果実の発育と成熟. p. 177-194. 水谷房雄ほか著. 最新果樹園芸学. 朝倉書店. 東京.
- 米森敬三. 2008. II各論 カキ. p. 174-190. 杉浦 明ほか編. 果実の事典. 朝倉書店. 東京.
- 米森敬三・松島二良. 1985. カキ果実のタンニン細胞の発育過程と自然脱渋との関連について. 園学雑. 54: 201-208.
- 鄭 国華・杉浦 明. 1990. カキ果実の発育・成熟過程における糖組成の変化とインペルターゼ活性との関連について. 園学雑. 59: 281-287.

本博士論文は次の論文を参考論文とした。

- 第2章第1節 参考論文の1
- 第3章第1節 参考論文の2
- 第4章第2節 参考論文の3
- 第4章第3節 参考論文の4

参 考 論 文

- 1 鈴木哲也・新川 猛・櫻井直樹. 収穫後のカキ‘富有’果実における肉質評価と食べ頃予測. 園学研. 10: 421-427. 2011.
- 2 鈴木哲也・新川 猛・中野浩平・神山真一・櫻井直樹. 音響振動法によるカキ‘早秋’の果肉評価と果肉硬度保持技術の開発. 園学研. 14: 75-81. 2015.
- 3 鈴木哲也・新川 猛・櫻井直樹. 音響振動法によるカキ‘太秋’の食感評価. 園学研. 12: 433-438. 2013.
- 4 鈴木哲也・新川 猛・櫻井直樹. 1-MCP 処理およびポリエチレン包装によるカキ‘太秋’の食感保持技術の開発. 園学研. 13: 275-282. 2014.