

## Changes in the Apparent Modulus of Elasticity of Strawberries During Storage and Harvest Periods, and Evaluation of the Apparent Modulus of Elasticity in Different Strawberry Cultivars

|       |  |
|-------|--|
| メタデータ | 言語: jpn<br>出版者:<br>公開日: 2018-03-27<br>キーワード (Ja):<br>キーワード (En): Strawberry, Fruit firmness, Compression depth, Storage quality, Apparent modulus of elasticity<br>作成者: 遠藤 (飛川) , みのり, 曾根, 一純, 藤田, 敏郎, 森下, 昌三<br>メールアドレス:<br>所属: |
| URL   | <a href="https://doi.org/10.24514/00000227">https://doi.org/10.24514/00000227</a>  |

# イチゴ果実における見かけ弾性率の貯蔵、収穫時期による変化および遺伝資源評価

遠藤（飛川）みのり・曾根一純・藤田敏郎・森下昌三

(2017年4月27日受理)

## 要 旨

遠藤（飛川）みのり・曾根一純・藤田敏郎・森下昌三；イチゴ果実における見かけ弾性率の貯蔵、収穫時期による変化および遺伝資源評価。九州沖縄農研報告 67: 1-14, 2018。

イチゴでは、既報によれば見かけ弾性率、すなわち貫入試験において応力をひずみで除した値が貯蔵中における果実の日持ち性を表す良い指標であるとされている。そこで、イチゴ果実において見かけ弾性率に関する基礎的知見を得るため、見かけ弾性率の品種間差異や、貯蔵・収穫時期による変化、他の形質との関係性を調査した。見かけ弾性率は15℃、6日間の貯蔵により低下したが、低下程度には品種間差異が認められた。また、2月から4月にかけて収穫時期が進むにつれても見かけ弾性率は低下したが、低下程度には品種間差異が認められた。貯蔵および収穫時期のいずれによる低下においても、見かけ弾性率は果実硬度よりも低下程度が明瞭である場合があり、日持ち性を評価する指標として有用であることが示唆された。ただし、4月以降は、見かけ弾性率も果実硬度と同様に品種間差異の検出が困難となった。さらに、遺伝資源48点における見かけ弾性率を比較したところ、見かけ弾性率は果皮硬度と強く相関し、果皮硬度により83.9%が説明された。本研究により、見かけ弾性率は果皮硬度によりある程度代替できるものの、日持ち性を評価する上では果皮硬度よりも適していることが明らかになり、利用が推奨されると考えられた。

キーワード：イチゴ、果実硬度、貫入変形量、日持ち性、見かけ弾性率

## 1. 緒 言

イチゴにおいて、果実硬度は日持ち性に関する重要な品質構成要素である<sup>4,5)</sup>。イチゴ果実は軟弱で傷みやすいため、これまでに高い果実硬度を目標とした品種開発<sup>8)</sup>や、品質を維持、向上させる貯蔵、流通方法の検討<sup>2)</sup>が行われてきた。近年、我が国では青果物の長距離輸送、特に海外への輸出が進められており、イチゴにはますます高い日持ち性が求められると予想される。

このような中、イチゴではこれまでに、貯蔵中における果実品質、すなわち日持ち性を表す値として、果実硬度以上に見かけ弾性率が有効であるとの報告がある<sup>3)</sup>。イチゴの日持ち性は、経験的に果実硬度や糖度が維持されること、果皮色に黒ずみがなく光沢の喪失が少ないこと、カビ等が発生しないこと等をもって評価されるが、複合的かつ官能的要素を多分に含むことから、客観的評価は一般に難しい。客観的な評価基準としては、これまでに果皮の光沢や果実硬度等が知られているが<sup>4,5)</sup>、果皮の光沢には

色調が影響し客観的評価が難しい<sup>4)</sup>等の問題があることから、果実硬度を用いるのが一般的であった。果実硬度は果実の物理的損傷とも関係する重要な評価基準であるが、測定に使用するプランジャーの形状により容易に数値が変動するため、異なる条件下で測定したデータを単純に比較することが難しいという問題点がある。一方、見かけ弾性率は変形のしにくさを表す物質固有の値として、硬度を含むいくつかの要素により物理的に厳密に定義されており、プランジャーの形状などが異なる条件下で測定したデータの比較に適していることから、見かけ弾性率によりイチゴの日持ち性を詳細に評価することができれば、新たな品種や貯蔵・輸送方法の開発において有用であると考えられる。しかしながら、イチゴでは見かけ弾性率が関与すると考えられる値として、これまでに果皮の貫入変形量（以下貫入変形量）、すなわち細い棒状のプランジャーが果皮に貫入する際の変形量が検討された例はある<sup>1,4)</sup>ものの、多くの品種においては貫入変形量や見かけ弾性率は検討されていない。見かけ弾性率は応力をひずみ(変

形量を変形前の果実の横径で除した値）で除した値であるため、果実硬度が高い品種では見かけ弾性率も高いことが予想されるが、貯蔵に伴う貫入変形量の変化程度にも品種間差異がある<sup>4)</sup>ことから、見かけ弾性率の品種間差異を計測しておくことは重要である。また、見かけ弾性率は貯蔵により低下することが報告されており、果実硬度よりも低下が早いこと等から日持ち性の指標としての有効性が指摘されている<sup>3)</sup>が、多品種間の比較は行われていない。さらに、一部の品種では果実硬度が収穫時期の推移とともに低下することが知られている<sup>9)</sup>ものの、収穫時期による見かけ弾性率の変化は明らかになっていない。

本研究ではイチゴ果実における見かけ弾性率について基礎的な知見を得て、今後イチゴ果実の品質を見かけ弾性率により広く評価できるか否かを検討するため、果実硬度が異なる4品種について、イチゴで一般的に用いられている貫入試験によって見かけ弾性率を計測するとともに、貯蔵および収穫時期による見かけ弾性率の変化を検討した。また、国内外のイチゴ遺伝資源48点について見かけ弾性率を調査し、見かけ弾性率に特徴がある遺伝資源を検索するとともに見かけ弾性率と他の形質との相関を検討したので報告する。

なお、本研究の遂行にあたり、ホクサン株式会社より種苗の提供を頂いた。記して謝意を表す。

## II. 材料および方法

### 実験 1. 貯蔵に伴う見かけ弾性率の変化の品種間差異

試験には、九州沖縄農業研究センター筑後・久留米研究拠点（久留米）のビニルハウスで促成作型にて土耕栽培した‘さちのか’、‘おいCベリー’、‘恋みのり’および‘とよのか’を用いた。‘さちのか’、‘おいCベリー’、‘恋みのり’は果実硬度が高い品種として、‘とよのか’は果実硬度が低い品種としてそれぞれ用いた。2014年8月20日から9月10日にかけて各品種30株ずつに短日夜冷処理（8時間日長、庫内温度15℃）を行い、9月10日に定植した。また、各品種30株ずつを無処理で9月24日に定植した。基肥はN:P:K = 15:15:15 kg/10 aとし、追肥としてCDU化成肥料（S555、ジェイ

カムアグリ（株））を適宜施用した。それぞれ株間23 cmの二条植えとし、11月下旬より翌年2月下旬まで白熱電球（みのり、パナソニック（株））により約3時間の日長延長を行った。暖房設定温度は5℃とした。2015年1月16日から2月18日にかけて収穫した6 g以上の果実から奇形果、病果および明らかな傷みが認められるものを取り除き、完全に着色した正常果および乱形果のみを供試した。供試果実は約半数を収穫後直ちに調査した。残る果実は品種別に収穫後蓋付きプラスチック容器に入れ、既報<sup>4)</sup>に従い15℃に設定した恒温庫で、6日間貯蔵したのち調査した。貯蔵後に再度果実の外観を確認し、明らかなカビの発生が認められたものは、調査対象から除外した。調査直前に色彩色差計（CR-13 コニカミノルタ（株））を用いて、CIELab表色系における明度（L\*）、a\*値、b\*値を果実表面中央部および果実裏面中央部で測定し、それぞれについて表面および裏面の平均値を求め、色相（b\*/a\*）および彩度（ $\sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$ ）を算出した。

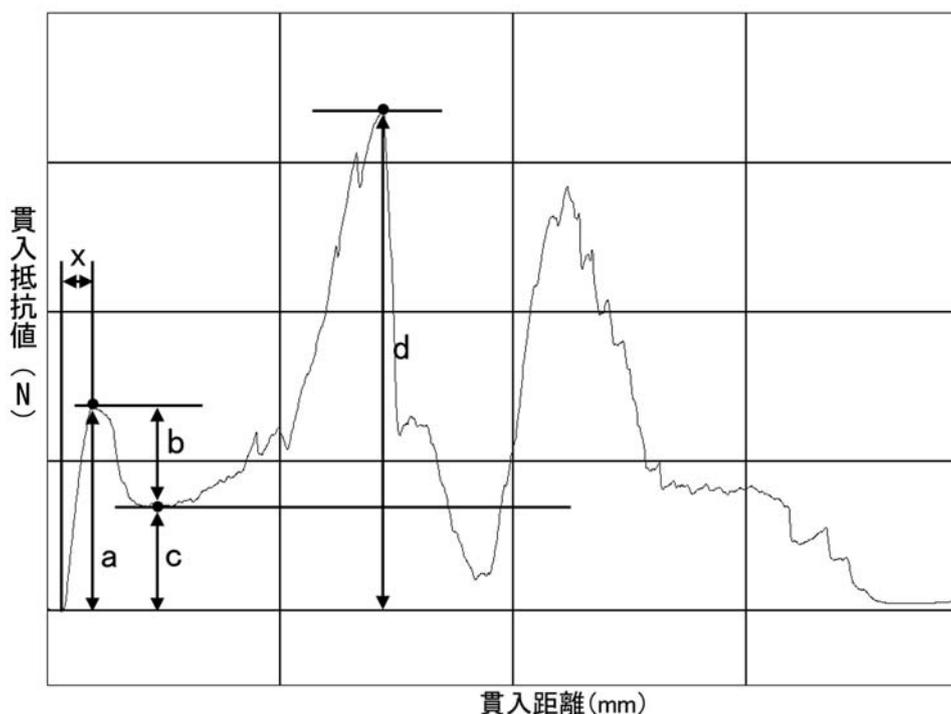
オートグラフ（EZ-SX、（株）島津製作所）を用いた貫入試験により、果皮硬度、果肉硬度、芯の硬度、貫入変形量および見かけ弾性率をそれぞれ調査した。ロードセルは10 Nとした。ロードスピードは既報<sup>7)</sup>に従い100 mm・min<sup>-1</sup>、貫入させるプランジャーの直径は3 mmとした。貫入箇所は果表の赤道部とし、プランジャーの先端は瘦果を避け果皮部に貫入するようにした。貫入抵抗値は同社の材料試験オペレーションソフトウェア TRAPEZIUMを用いて解析した。第1図に貫入抵抗曲線を示す。果皮貫入後の第1のピークを果皮硬度（第1図a）、果肉部を貫通する際のボトムを果肉硬度（第1図c）、次に管束帯および髓を貫通する際の第2から4のピーク（髓がない果実では3）のうち最大のものを芯の硬度（第1図d）とした。また、既報<sup>7)</sup>に従い、果皮硬度から果肉硬度を差し引くことで真の果皮硬度（第1図b）を求めたほか、既報<sup>4)</sup>に従い、貫入開始から第1のピークまでの変位を貫入変形量（第1図x）とした。さらに、以下の式により見かけ弾性率を求めた。なお、イチゴ果実は果形にばらつきがあると同時に表面も平坦でない。したがって、本研究では既報<sup>3)</sup>に準じ、イチゴ果実にプランジャーを貫入した際の応力をひずみで除した値を、弾性率ではなく見かけ弾性率と称した。

見かけ弾性率 (MPa) = (果皮硬度 (N) / プランジャーの断面積 (mm<sup>2</sup>) ) / (貫入変形量 (mm) / 果径 (mm))

また、果実硬度調査後直ちに、送風乾燥機 (SY-120HG, アルプ (株)) を用いて 90℃ で約 48 時間、

さらに 20℃ で約 2 時間乾燥後、以下の式で含水率を算出した。

含水率 (%) = (乾燥前の果重 (g) - 乾燥後の果重 (g)) / 乾燥前の果重 (g) × 100



第 1 図 貫入試験におけるイチゴ果実各部位の硬度および貫入変形量

a: 果皮硬度, b: 真の果皮硬度, c: 果肉硬度, d: 芯の硬度, x: 貫入変形量

## 実験 2. 収穫時期に伴う見かけ弾性率の変化の品種間差異

実験 1 と同様に、試験には、九州沖縄農業研究センター筑後・久留米研究拠点 (久留米) のビニルハウスで促成作型にて土耕栽培した‘さちのか’、‘おいCベリー’、‘恋みのり’および‘とよのか’を用いた。2015 年 8 月 20 日から 9 月 10 日にかけて各品種 30 株ずつに短日夜冷処理 (8 時間日長、庫内温度 15℃) を行い、9 月 10 日に定植した。また、各品種 30 株ずつを無処理で 9 月 24 日に定植した。その他の栽培管理は実験 1 に準じた。2016 年 2 月 18 日から 3 ~ 4 日間隔で 4 月 21 日まで毎週 2 回程度、全 18 回収穫を行い、每次奇形果、病果および明らかな傷みが認められるものを取り除いた 6 g 以上の完全に着色した正常果あるいは乱形果を調査材料として収穫回および品種当たり 1 ~ 22 果供試

した。

果皮硬度、果肉硬度、芯の硬度、貫入変形量、見かけ弾性率を調査した。調査方法は実験 1 に準じた。

## 実験 3. 国内外遺伝資源の見かけ弾性率

試験には、九州沖縄農業研究センター筑後・久留米研究拠点 (久留米) で露地にて土耕栽培したイチゴ遺伝資源 48 点を用いた。イチゴ遺伝資源には休眠性を有し促成栽培に向かないものが多いことから、試験はほぼすべての遺伝資源を同時期に収穫できると考えられる露地栽培にて行った。2015 年 10 月 6 日に株間 30 cm の二条植えて定植し、基肥は N : P : K = 15 : 15 : 15 kg / 10 a とした。2016 年 4 月 22 日から 5 月 30 日にかけて収穫した果実から、奇形果、病果および明らかな傷みが認められるものを取り除いた 6 g 以上の完全に着色した正常果あるいは乱形果を調査材料として各品種 5

果以上供試した。

果皮色，果皮硬度，果肉硬度，芯の硬度，貫入変形量，見かけ弾性率および含水率を調査した。調査方法は実験 1 に準じた。

なお，すべての統計処理は，JMP ver. 8.0.2 (SAS Institute Japan (株)) を用いて行った。含水率については，角変換後に統計処理を行った。

### III. 結 果

#### 実験 1. 貯蔵に伴う見かけ弾性率の変化の品種間差異

供試果実の果重，果径，果皮色および含水率を第 1 表に示す。すべての項目において品種間差異が認められたが，貯蔵による変化が認められたのは果皮色の彩度のみであった。彩度は貯蔵により上昇する傾向にあったが，上昇程度には品種間差異があり，‘恋みのり’で大きく，‘とよのか’では低下した。また，果重および果径は‘とよのか’および‘恋みのり’で大きく，果皮色の色相は‘とよのか’や‘恋みのり’で，彩度は‘さちのか’で高かった。含水率は‘とよのか’および‘恋みのり’で高い傾向にあり，‘とよのか’では貯蔵後にさらに増加した。一方，‘おいCベリー’では低かった。

第 1 表 イチゴ果実の貯蔵による果重，果皮色および含水率の変化

| 品種                 | n            | 果重 (g) <sup>a)</sup> |         | 果径 (mm) <sup>a)</sup> |         | 果皮色 <sup>a)</sup> |         |          | 含水率 (%) <sup>a)</sup> |
|--------------------|--------------|----------------------|---------|-----------------------|---------|-------------------|---------|----------|-----------------------|
|                    |              | 果重                   | 果重      | 果径                    | 果径      | 明度                | 色相      | 彩度       |                       |
| とよのか               | 貯蔵前          | 75                   | 15.9 ab | 33.7 a                | 43.1 ab | 0.8 ab            | 42.0 bc | 88.4 b   |                       |
|                    | 貯蔵後          | 46                   | 16.9 a  | 34.6 a                | 44.8 a  | 0.8 a             | 40.4 c  | 89.5 a   |                       |
| さちのか               | 貯蔵前          | 157                  | 12.2 c  | 30.0 b                | 39.4 ab | 0.5 c             | 43.1 ab | 86.9 d   |                       |
|                    | 貯蔵後          | 108                  | 12.2 c  | 30.0 b                | 36.6 b  | 0.5 c             | 44.7 a  | 87.3 cd  |                       |
| おいCベリー             | 貯蔵前          | 67                   | 12.6 bc | 30.2 b                | 40.0 ab | 0.6 c             | 40.2 c  | 84.8 e   |                       |
|                    | 貯蔵後          | 53                   | 12.1 bc | 29.3 b                | 36.3 b  | 0.5 c             | 41.5 bc | 84.9 e   |                       |
| 恋みのり               | 貯蔵前          | 87                   | 18.3 a  | 35.9 a                | 44.2 a  | 0.7 b             | 40.3 c  | 87.8 bc  |                       |
|                    | 貯蔵後          | 41                   | 17.9 a  | 35.3 a                | 42.8 ab | 0.7 b             | 43.6 ab | 87.4 bcd |                       |
| 分散分析 <sup>b)</sup> |              |                      |         |                       |         |                   |         |          |                       |
|                    | 品種 (A)       |                      | **      | **                    | **      | **                | **      | **       | **                    |
|                    | 貯蔵 (B)       |                      | n.s.    | n.s.                  | n.s.    | n.s.              | **      | n.s.     | n.s.                  |
|                    | 交互作用 (A × B) |                      | n.s.    | n.s.                  | n.s.    | **                | **      | *        | *                     |

a) 表中の異なる英小文字間には Tukey 法により 1% 水準で有意差があることを示す。含水率については，角変換後に統計処理を行った。調査期間は 2015 年 1 月 16 日～2 月 18 日。

b) \*\*, \* および n.s. はそれぞれ二元配置分散分析により 1%, 5% 水準で有意差があることおよびないことを示す。

調査項目ごとに品種および貯蔵を要因とした分散分析の結果を第 2 表に示す。各部位の硬度と同様に，見かけ弾性率および貫入変形量は品種および貯蔵の影響が見られた。また，見かけ弾性率，貫入変形量，果皮硬度および真の果皮硬度においては，品種と貯蔵の交互作用も有意であった。すなわち，見

かけ弾性率および各部位の硬度には品種間差異があること，貯蔵により変化するとともに一部では変化程度にも品種の違いが影響することが明らかになった。したがって，それぞれの品種間差異および貯蔵による変化について以下に詳しく検討することとした。

第2表 貫入試験で得られた測定値において品種、貯蔵およびそれらの交互作用を要因とした分散分析表

| 調査項目   | 要因           | 自由度 | 平均平方   | F 値    | p 値 <sup>a)</sup> |
|--------|--------------|-----|--------|--------|-------------------|
| 見かけ弾性率 | 品種 (A)       | 3   | 36.57  | 41.76  | <0.01**           |
|        | 貯蔵 (B)       | 1   | 186.92 | 213.44 | <0.01**           |
|        | 交互作用 (A × B) | 3   | 7.58   | 8.66   | <0.01**           |
|        | 誤差           | 626 | 0.88   |        |                   |
|        | 全体           | 633 |        |        |                   |
| 貫入変形量  | 品種 (A)       | 3   | 4.70   | 9.13   | <0.01**           |
|        | 貯蔵 (B)       | 1   | 72.24  | 140.22 | <0.01**           |
|        | 交互作用 (A × B) | 3   | 2.07   | 4.02   | <0.01**           |
|        | 誤差           | 626 | 0.52   |        |                   |
|        | 全体           | 633 |        |        |                   |
| 果皮硬度   | 品種 (A)       | 3   | 13.77  | 47.39  | <0.01**           |
|        | 貯蔵 (B)       | 1   | 19.46  | 66.97  | <0.01**           |
|        | 交互作用 (A × B) | 3   | 1.50   | 5.17   | <0.01**           |
|        | 誤差           | 626 | 0.29   |        |                   |
|        | 全体           | 633 |        |        |                   |
| 真の果皮硬度 | 品種 (A)       | 3   | 6.18   | 33.63  | <0.01**           |
|        | 貯蔵 (B)       | 1   | 10.06  | 54.72  | <0.01**           |
|        | 交互作用 (A × B) | 3   | 1.31   | 7.15   | <0.01**           |
|        | 誤差           | 626 | 0.18   |        |                   |
|        | 全体           | 633 |        |        |                   |
| 果肉硬度   | 品種 (A)       | 3   | 1.57   | 51.98  | <0.01**           |
|        | 貯蔵 (B)       | 1   | 1.54   | 50.97  | <0.01**           |
|        | 交互作用 (A × B) | 3   | 0.06   | 1.92   | 0.12              |
|        | 誤差           | 626 | 0.03   |        |                   |
|        | 全体           | 633 |        |        |                   |
| 芯の硬度   | 品種 (A)       | 3   | 59.05  | 76.77  | <0.01**           |
|        | 貯蔵 (B)       | 1   | 71.14  | 92.50  | <0.01**           |
|        | 交互作用 (A × B) | 3   | 1.38   | 1.79   | 0.15              |
|        | 誤差           | 626 | 0.77   |        |                   |
|        | 全体           | 633 |        |        |                   |

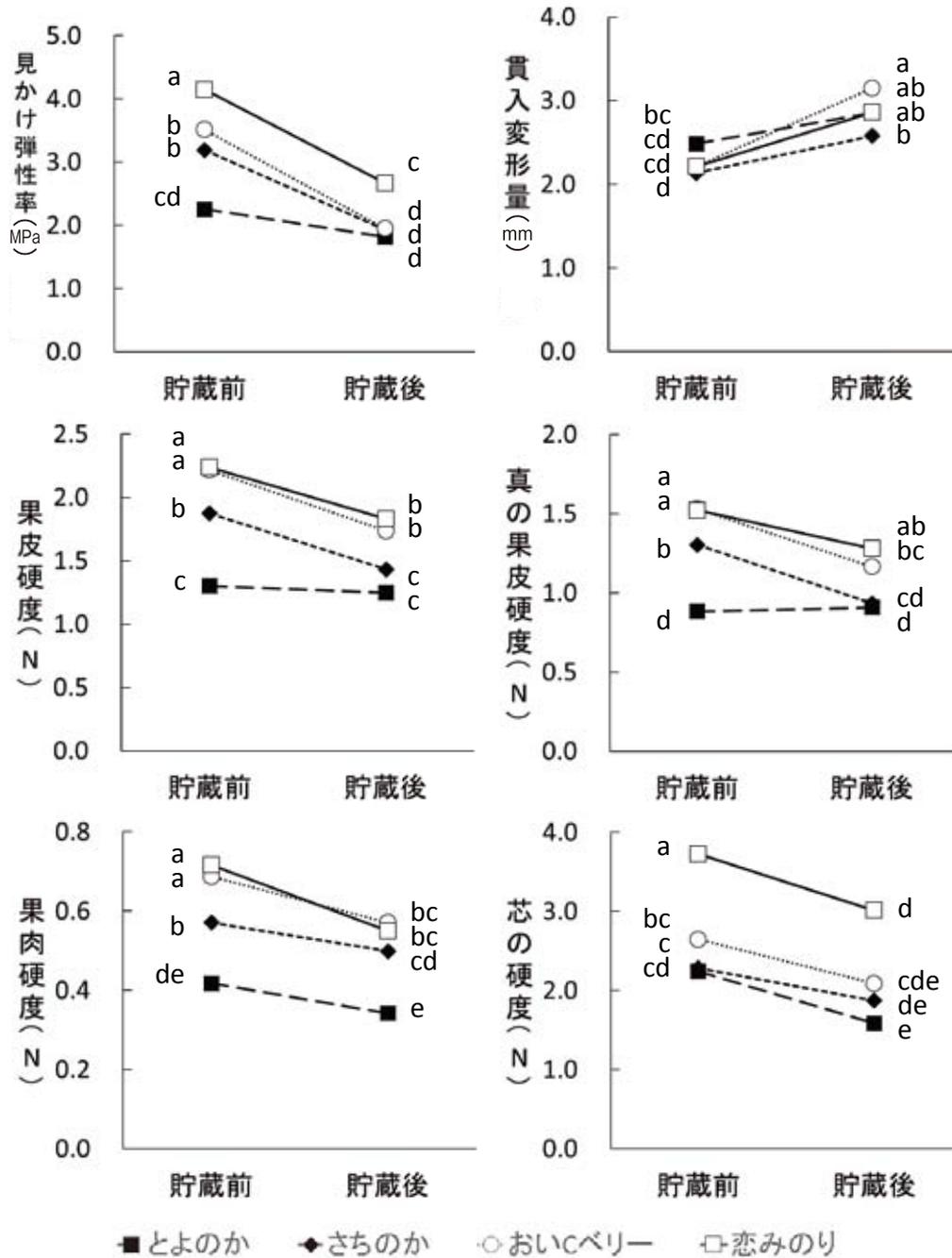
a) \*\* は二元配置分散分析により 1% 水準で有意であることを示す。

供試品種別に貯蔵に伴う見かけ弾性率、貫入変形量および各部位の硬度の変化を検討したところ、見かけ弾性率は、貯蔵前は‘恋みのり’、‘おいCベリー’および‘さちのか’、‘とよのか’の順に高かった（第2図）。貯蔵後は‘とよのか’を除くすべての品種で低下したが、‘恋みのり’では他の品種に比べ高かった。貫入変形量は、貯蔵前には‘とよのか’で大きく、‘さちのか’で小さかったが、貯蔵後では‘とよのか’を除くすべての品種において増加した。一方、芯を除くすべての部位において、貯蔵前の硬度は‘恋みのり’または‘おいCベリー’、‘さちのか’、‘とよのか’の順に高く、貯蔵後も概ねこの順序のまま、真の果皮硬度に関しては‘おいCベリー’および‘さちのか’で、その他の部位では‘とよのか’を除くすべての品種において低下した。すなわち、‘恋みのり’は見かけ弾性率においては他の品種より高

かったが、芯を除く部位の果実硬度では‘おいCベリー’と同程度であった。なお、芯の硬度は貯蔵前後ともに‘恋みのり’が他の品種よりも特異的に高く、一方その他の品種間には差がなかった。貯蔵後は‘おいCベリー’を除くすべての品種で低下したが、低下後も‘恋みのり’で高かった。

## 実験 2. 収穫時期に伴う見かけ弾性率の変化の品種間差異

調査項目ごとに品種および収穫日を要因とした分散分析の結果を第3表に示す。各部位の硬度と同様に、見かけ弾性率および貫入変形量は品種および収穫日の影響を有意に受けた。また、見かけ弾性率および各部位の果皮硬度においては、品種と収穫日の交互作用も有意であった。すなわち、実験1に続き見かけ弾性率および各部位の硬度には品種間差



第2図 イチゴ果実の見かけ弾性率，貫入変形量および各部位別硬度の貯蔵に伴う変化  
 図中の異なる英小文字間には Tukey 法により 1% 水準で有意差があることを示す。

異があることが再確認されたとともに，両者が収穫時期により変化し，一部では変化程度にも品種の違いが影響することが明らかになった。したがって，

それぞれの収穫日による変化について以下に詳しく検討することとした。

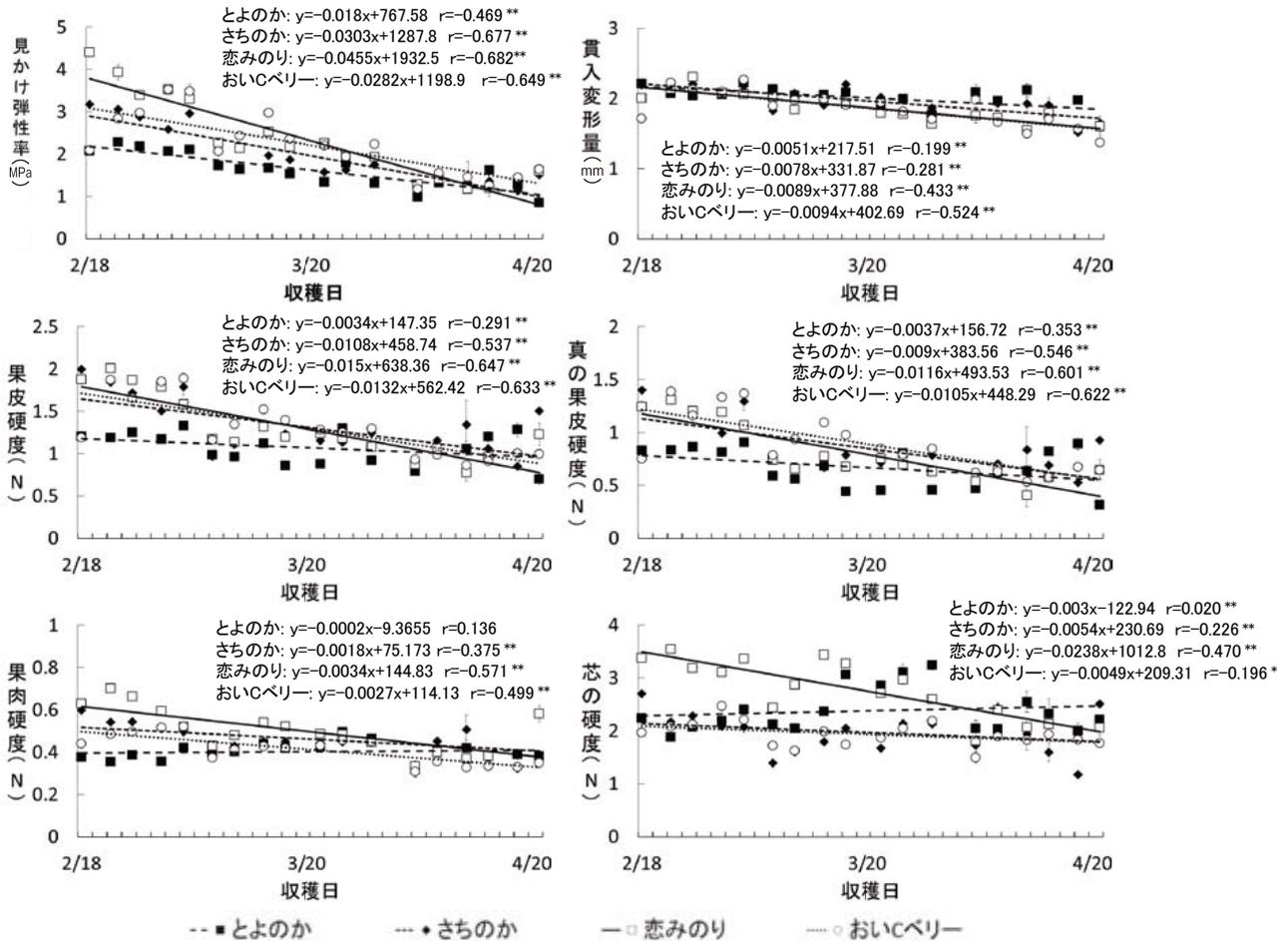
第3表 貫入試験で得られた測定値において品種、収穫日およびそれらの交互作用を要因とした分散分析表

| 調査項目   | 要因           | 自由度 | 平均平方   | F 値    | p 値 <sup>a)</sup> |
|--------|--------------|-----|--------|--------|-------------------|
| 見かけ弾性率 | 品種 (A)       | 3   | 27.44  | 54.95  | <0.01**           |
|        | 収穫日 (B)      | 1   | 233.94 | 468.46 | <0.01**           |
|        | 交互作用 (A × B) | 3   | 7.65   | 15.33  | <0.01**           |
|        | 誤差           | 726 | 0.50   |        |                   |
|        | 全体           | 733 |        |        |                   |
| 貫入変形量  | 品種 (A)       | 3   | 0.47   | 3.76   | 0.01*             |
|        | 収穫日 (B)      | 1   | 12.89  | 103.59 | <0.01**           |
|        | 交互作用 (A × B) | 3   | 0.44   | 3.55   | 0.01*             |
|        | 誤差           | 726 | 0.12   |        |                   |
|        | 全体           | 733 |        |        |                   |
| 果皮硬度   | 品種 (A)       | 3   | 4.53   | 38.38  | <0.01**           |
|        | 収穫日 (B)      | 1   | 37.19  | 314.85 | <0.01**           |
|        | 交互作用 (A × B) | 3   | 1.76   | 14.92  | <0.01**           |
|        | 誤差           | 726 | 0.12   |        |                   |
|        | 全体           | 733 |        |        |                   |
| 真の果皮硬度 | 品種 (A)       | 3   | 2.90   | 34.20  | <0.01**           |
|        | 収穫日 (B)      | 1   | 25.44  | 300.01 | <0.01**           |
|        | 交互作用 (A × B) | 3   | 0.66   | 7.74   | <0.01**           |
|        | 誤差           | 726 | 0.08   |        |                   |
|        | 全体           | 733 |        |        |                   |
| 果肉硬度   | 品種 (A)       | 3   | 0.51   | 50.85  | <0.01**           |
|        | 収穫日 (B)      | 1   | 1.11   | 111.33 | <0.01**           |
|        | 交互作用 (A × B) | 3   | 0.28   | 27.64  | <0.01**           |
|        | 誤差           | 726 | 0.01   |        |                   |
|        | 全体           | 733 |        |        |                   |
| 芯の硬度   | 品種 (A)       | 3   | 37.20  | 98.74  | <0.01**           |
|        | 収穫日 (B)      | 1   | 8.63   | 22.91  | <0.01**           |
|        | 交互作用 (A × B) | 3   | 8.27   | 21.94  | <0.01**           |
|        | 誤差           | 726 | 0.38   |        |                   |
|        | 全体           | 733 |        |        |                   |

a) \*\* および \* はそれぞれ二元配置分散分析により 1%, 5% 水準で有意であることを示す。

供試品種別に収穫時期による見かけ弾性率、貫入変形量および各部位の硬度の変化を検討したところ、見かけ弾性率、貫入変形量および各部位の硬度はいずれも収穫日が進むにつれ低下する傾向を示した(第3図)。ただし、‘とよのか’では、貫入変形量および各部位の硬度と収穫日との相関は弱く、果肉硬度では相関は認められなかった。見かけ弾性率

と収穫日との相関は、いずれの品種においても、貫入変形量や各部位の硬度と収穫日との相関よりも強かった。なお、収穫日別に見かけ弾性率や各部位の硬度における品種間差異の有無を検討したところ、見かけ弾性率および各部位の硬度はいずれも4月初旬以降品種間差異が認められなくなった(第4表)。



第3図 イチゴ果実の見かけ弾性率，貫入変形量および各部位別硬度の収穫時期に伴う変化  
 図中の縦線は標準誤差を，\*\*，\*はそれぞれ1%，5%水準で有意であることを示す。  
 収穫回および品種当たりの供試果数：n=1～22。

第4表 貫入試験で得られた測定値の収穫日別品種間差異

| 調査項目   | 収穫日別品種間差異 <sup>a)</sup> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|        | 2/18                    | 2/22 | 2/25 | 2/29 | 3/3  | 3/7  | 3/10 | 3/14 | 3/17 | 3/22 | 3/25 | 3/29 | 4/4  | 4/7  | 4/11 | 4/14 | 4/18 | 4/21 |
| 見かけ弾性率 | **                      | **   | **   | **   | **   | *    | **   | **   | **   | **   | n.s. | **   | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| 貫入変形量  | n.s.                    | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | *    | **   | n.s. | n.s. | n.s. |
| 果皮硬度   | **                      | **   | **   | **   | *    | **   | **   | *    | **   | **   | n.s. | *    | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| 真の果皮硬度 | **                      | **   | *    | **   | *    | **   | **   | **   | **   | **   | n.s. | **   | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| 果肉硬度   | **                      | **   | **   | **   | n.s. | n.s. | **   | *    | **   | n.s. |
| 芯の硬度   | **                      | **   | **   | **   | **   | **   | **   | **   | **   | **   | **   | **   | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |

a) \*\*, \* および n.s. はそれぞれ 1%, 5% 水準で供試品種間に有意差があることおよびないことを示す。

実験3. 国内外遺伝資源の見かけ弾性率  
 供試した遺伝資源の名称，果重，果径，果皮色および含水率を第5表に示す。果重，果径，果皮色

および含水率にはいずれも品種間差異が認められた。

第5表 イチゴ遺伝資源における果重, 果径, 果皮色および含水率

| 遺伝資源名                 | n  | 果重 (g) <sup>a)</sup> | 果径 (mm) <sup>a)</sup> | 果皮色 <sup>a)</sup> |        |            | 含水率 (%) <sup>a)</sup> |
|-----------------------|----|----------------------|-----------------------|-------------------|--------|------------|-----------------------|
|                       |    |                      |                       | 明度                | 色相     | 彩度         |                       |
| すずあかね                 | 7  | 12.0 abc             | 30.4 abcdefghi        | 44.9 a            | 0.8 a  | 34.7 abcde | 89.4 bcdefghi         |
| 盛岡24号                 | 5  | 17.0 abc             | 33.4 abcde            | 39.0 abcdefgh     | 0.6 ab | 32.7 abcde | 92.1 abcdefg          |
| 紅ほっぺ                  | 13 | 9.2 bc               | 27.9 bcdefghi         | 37.7 bcdefg       | 0.5 ab | 30.8 bcde  | 90.3 bcdefgh          |
| 熊本VS03                | 11 | 10.0 abc             | 28.8 abcdefghi        | 39.1 abcde        | 0.6 ab | 29.7 cde   | 86.0 ghij             |
| 島系22-111              | 23 | 12.2 abc             | 31.2 abcde            | 35.3 defghi       | 0.5 ab | 26.7 d     | 88.2 efghi            |
| 濃姫                    | 10 | 15.7 ab              | 32.4 abc              | 35.9 bcdefghi     | 0.5 ab | 36.0 abcde | 90.1 bcdefgh          |
| さがほのか                 | 19 | 11.7 abc             | 31.0 abcde            | 40.5 abc          | 0.5 ab | 39.9 abc   | 89.7 cdefgh           |
| とちおとめ                 | 5  | 11.8 abc             | 30.2 abcdefghi        | 37.3 abcdefghi    | 0.6 ab | 36.3 abcde | 88.2 bcdefghij        |
| きりしま                  | 6  | 11.1 abc             | 31.5 abcdefgi         | 37.4 abcdefghi    | 0.4 ab | 31.8 abcde | 83.1 hijk             |
| スイートベビー               | 16 | 14.6 abc             | 32.6 ab               | 35.7 cdefghi      | 0.4 ab | 38.3 abce  | 81.7 jk               |
| 久留米67号                | 5  | 13.5 abc             | 32.8 abcde            | 36.2 bcdefghi     | 0.5 ab | 35.7 abcde | 89.9 abcdefghij       |
| とよのか                  | 12 | 13.3 abc             | 31.5 abcde            | 41.5 ab           | 0.5 ab | 31.5 bcde  | 89.4 bcdefgh          |
| 宝交早生                  | 24 | 9.3 bc               | 28.9 bcdefghi         | 36.1 defgh        | 0.6 ab | 37.7 abce  | 90.3 bcdefg           |
| 夢つづき                  | 22 | 12.8 abc             | 30.1 abcdei           | 39.1 abcd         | 0.6 ab | 31.5 cde   | 88.6 defghi           |
| 久留米56号                | 5  | 9.3 abc              | 29.0 abcdefghi        | 36.2 bcdefghi     | 0.5 ab | 32.0 abcde | 75.1 k                |
| まりひめ                  | 17 | 16.8 a               | 33.7 a                | 34.3 efghi        | 0.6 ab | 41.1 ab    | 95.2 a                |
| サマーベリー                | 8  | 15.4 abc             | 33.3 abc              | 32.2 fghi         | 0.4 ab | 31.9 abcde | 91.7 abcdefg          |
| DOVER                 | 5  | 12.2 abc             | 30.2 abcdefghi        | 31.5 fghi         | 0.4 ab | 28.7 bcde  | 93.9 abcde            |
| 王香                    | 12 | 12.7 abc             | 30.3 abcdefi          | 36.1 bcdefghi     | 0.7 ab | 33.7 abcde | 91.6 abcdefg          |
| 紅宝満                   | 9  | 12.2 abc             | 30.8 abcdefi          | 33.3 efghi        | 0.4 ab | 33.0 abcde | 88.6 cdefghi          |
| HECKER                | 5  | 8.3 abc              | 26.7 abcdefghi        | 38.3 abcdefgh     | 0.7 ab | 31.1 abcde | 91.9 abcdefgh         |
| 久留米37号                | 8  | 13.9 abc             | 31.3 abcdefi          | 39.2 abcdeg       | 0.6 ab | 37.4 abcde | 92.3 bcdefghi         |
| 紅露                    | 20 | 11.9 abc             | 29.3 abcdefghi        | 32.0 hi           | 0.4 ab | 31.2 cde   | 89.5 cdefgh           |
| かおり野                  | 6  | 14.7 abc             | 32.3 abcde            | 35.3 bcdefghi     | 0.4 ab | 31.6 abcde | 93.1 abcdef           |
| 静紅                    | 13 | 8.1 c                | 25.1 fgh              | 34.9 defghi       | 0.6 ab | 33.4 abcde | 94.5 abc              |
| もういっこ                 | 5  | 15.3 abc             | 33.8 abcd             | 35.0 bcdefghi     | 0.4 ab | 34.7 abcde | 90.2 abcdefghi        |
| LADETTE               | 6  | 11.9 abc             | 31.0 abcdefghi        | 36.6 bcdefghi     | 0.4 ab | 29.6 bcde  | 90.6 abcdefgh         |
| 麗紅                    | 28 | 13.5 abc             | 31.8 abc              | 34.5 efghi        | 0.5 ab | 39.0 abc   | 88.7 defgh            |
| SELVA                 | 5  | 13.2 abc             | 29.9 abcdefghi        | 38.4 abcdefgh     | 0.7 ab | 31.5 abcde | 94.1 abcde            |
| 阿賀                    | 9  | 13.5 abc             | 31.6 abcde            | 30.2 i            | 0.3 ab | 40.9 abc   | 90.5 bcdefgh          |
| スルガレッド                | 15 | 13.5 abc             | 30.7 abcdei           | 32.9 fhi          | 0.4 b  | 40.0 abc   | 91.4 abcdef           |
| 長崎クイーン                | 6  | 9.2 abc              | 25.0 efghi            | 32.5 efghi        | 0.3 ab | 35.6 abcde | 91.9 abcdefg          |
| CALISIA               | 13 | 10.4 abc             | 29.2 abcdefghi        | 34.1 efghi        | 0.4 ab | 34.7 abcde | 90.3 bcdefgh          |
| TRISTAR               | 9  | 8.9 bc               | 24.9 fghi             | 34.9 cdefghi      | 0.4 ab | 25.8 d     | 93.0 abcde            |
| 女峰                    | 11 | 13.5 abc             | 31.6 abcde            | 36.0 bcdefghi     | 0.5 ab | 35.6 abcde | 90.5 bcdefgh          |
| 久留米62号                | 6  | 12.1 abc             | 30.7 abcdefghi        | 40.2 abcde        | 0.6 ab | 37.3 abcde | 90.9 abcdefgh         |
| 久留米48号                | 14 | 11.3 abc             | 28.5 bcdefghi         | 34.8 defghi       | 0.5 ab | 36.0 abcde | 86.8 fghij            |
| 讚紅                    | 12 | 11.2 abc             | 29.5 abcdefghi        | 38.7 abcdeg       | 0.4 ab | 30.4 bcde  | 92.4 abcde            |
| 筑紫                    | 6  | 8.8 abc              | 25.9 cdefghi          | 37.5 abcdefghi    | 0.5 ab | 36.1 abcde | 81.3 ijk              |
| 大和                    | 5  | 9.0 abc              | 27.1 abcdefghi        | 34.5 bcdefghi     | 0.4 ab | 41.9 abce  | 88.1 bcdefghij        |
| FLORIDA 693           | 7  | 9.3 abc              | 28.6 abcdefghi        | 35.6 bcdefghi     | 0.6 ab | 45.9 a     | 95.1 ab               |
| 興津14号                 | 8  | 8.9 bc               | 27.5 bcdefghi         | 31.6 fhi          | 0.4 ab | 30.1 bcde  | 90.3 bcdefgh          |
| CAMBRIDGE PRIZEWINNER | 10 | 9.5 bc               | 28.3 abcdefghi        | 36.3 bcdefghi     | 0.6 ab | 44.6 a     | 89.0 bcdefgh          |
| はるのか                  | 28 | 11.3 bc              | 27.3 dfghi            | 34.3 efghi        | 0.5 ab | 33.3 bcde  | 90.2 bcdefg           |
| 興津6号                  | 7  | 9.4 abc              | 26.6 bcdefghi         | 31.7 fhi          | 0.3 ab | 26.5 de    | 91.9 abcdefg          |
| KUROU                 | 5  | 7.5 bc               | 28.6 abcdefghi        | 37.4 abcdefghi    | 0.5 ab | 38.8 abcde | 90.6 abcdefghi        |
| 久留米103号               | 15 | 10.3 bc              | 24.9 gh               | 32.0 hi           | 0.4 b  | 35.4 abcde | 90.8 cdefghi          |
| 久留米16号                | 8  | 7.1 c                | 23.7 h                | 32.8 efghi        | 0.4 ab | 37.2 abcde | 93.4 abcd             |
| 分散分析 <sup>b)</sup>    |    |                      |                       |                   |        |            |                       |
| 品種                    |    | **                   | **                    | **                | **     | **         | **                    |

a) 表中の異なる英小文字間には Tukey 法により 5% 水準で有意差があることを示す。含水率については、角変換後に統計処理を行った。調査期間は 2015 年 4 月 22 日～5 月 30 日。

b) \*\* は一元配置分散分析により 1% 水準で有意差があることを示す。

第6表 イチゴ遺伝資源において貫入試験で得られた測定値

| 遺伝資源名                    | 見かけ弾性率<br>(MPa) <sup>a)</sup> | 貫入変形量<br>(mm) <sup>a)</sup> | 果皮硬度 (N) <sup>a)</sup> | 真の果皮硬度<br>(N) <sup>a)</sup> | 果肉硬度<br>(N) <sup>a)</sup> | 芯の硬度<br>(N) <sup>a)</sup> |
|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| すずあかね                    | 3.63 a                        | 1.74 abcd                   | 1.48 abc               | 1.04 abcf                   | 0.44 abcdefgh             | 1.99 cdefghijklmn         |
| 盛岡 24 号                  | 3.43 abc                      | 2.12 abcd                   | 1.53 abcd              | 1.00 abcdf                  | 0.53 abcd                 | 4.66 a                    |
| 紅ほっぺ                     | 3.17 ab                       | 1.72 bcd                    | 1.39 abc               | 0.83 abcdef                 | 0.56 ab                   | 3.22 b                    |
| 熊本 VS03                  | 3.10 abc                      | 2.28 a                      | 1.74 a                 | 1.18 a                      | 0.56 ab                   | 2.55 bcdefgj              |
| 島系 22-111                | 3.06 ab                       | 1.95 abcd                   | 1.37 ab                | 0.94 abf                    | 0.43 bcdefgh              | 2.70 bc                   |
| 濃姫                       | 3.01 abcd                     | 1.83 abcd                   | 1.17 bcdefghij         | 0.72 bcdefghj               | 0.45 abcdefgh             | 2.17 bcdefghijkl          |
| さがほのか                    | 3.00 abc                      | 1.68 c                      | 1.14 bcdefghi          | 0.78 bcdef                  | 0.36 cdefghij             | 1.88 defghijklm           |
| とちおとめ                    | 2.99 abcdefghj                | 2.11 abcd                   | 1.43 abcdef            | 0.94 abcdef                 | 0.49 abcdefgh             | 3.17 abcd                 |
| きりしま                     | 2.95 abcdefh                  | 2.22 abcd                   | 1.41 abcdef            | 0.92 abcdef                 | 0.49 abcdeh               | 1.79 cdefghijklmn         |
| スイートベビー                  | 2.90 abcd                     | 1.97 abcd                   | 1.18 bcdefghi          | 0.78 bcdef                  | 0.40 cdefghj              | 1.75 efg hijklmn          |
| 久留米 67 号                 | 2.87 abcdefghj                | 2.09 abcd                   | 1.29 abcdefghij        | 0.92 abcdef                 | 0.37 abcdefghij           | 2.83 bcdefgj              |
| とよのか                     | 2.87 abcde                    | 1.61 c                      | 0.99 bcdefghijkl       | 0.64 bcdefghij              | 0.34 cdefghij             | 1.81 cdefghijklmn         |
| 宝交早生                     | 2.82 abcd                     | 1.77 bcd                    | 1.22 bcdefhi           | 0.77 bcdef                  | 0.45 abcdh                | 2.45 bcdegj               |
| 夢つづき                     | 2.72 abcdeh                   | 2.02 abcd                   | 1.30 bcdef             | 0.92 abcf                   | 0.37 cdefghij             | 1.64 fhiklmn              |
| 久留米 56 号                 | 2.72 abcdefghij               | 2.12 abcd                   | 1.41 abcdefh           | 0.79 abcdefghj              | 0.61 ab                   | 2.45 bcdefghijkl          |
| まりひめ                     | 2.64 abcdefhj                 | 1.98 abcd                   | 1.09 bcdefghij         | 0.70 bcdefj                 | 0.39 cdefghij             | 1.32 klmn                 |
| サマーベリー                   | 2.61 abcdefghij               | 2.26 ab                     | 1.16 bcdefghij         | 0.72 bcdefghj               | 0.44 abcdefgh             | 2.81 bcde                 |
| DOVER                    | 2.53 abcdefghijk              | 2.04 abcd                   | 1.21 abcdefghijk       | 0.80 abcdefghj              | 0.41 abcdefghij           | 3.15 abcd                 |
| 王香                       | 2.52 abcdefghj                | 2.18 ab                     | 1.28 abcdefhi          | 0.85 abcdef                 | 0.43 abcdefgh             | 2.50 bcdefghj             |
| 紅宝満                      | 2.50 abcdefghij               | 1.76 abcd                   | 0.97 bcdefghijklm      | 0.56 cdeghij                | 0.41 bcdefghij            | 1.62 efg hijklmn          |
| HECKER                   | 2.50 abcdefghijk              | 2.27 abcd                   | 1.50 abcde             | 1.11 ab                     | 0.40 abcdefghij           | 3.14 abcd                 |
| 久留米 37 号                 | 2.49 abcdefghij               | 1.60 bcd                    | 0.84 efg hijklm        | 0.52 deghij                 | 0.32 cdefghij             | 1.61 efg hijklmn          |
| 紅露                       | 2.49 abcdefghj                | 1.68 c                      | 1.00 cdefghijkl        | 0.68 bcdefj                 | 0.32 efgij                | 1.36 klmn                 |
| かおり野                     | 2.37 abcdefghijk              | 2.00 abcd                   | 1.09 bcdefghijkl       | 0.66 bcdefghij              | 0.43 abcdefghij           | 1.26 fhijklmn             |
| 静紅                       | 2.34 bcdefghij                | 2.16 abd                    | 1.42 abc               | 0.83 abcdef                 | 0.58 a                    | 1.61 fhijklmn             |
| もういっこ                    | 2.31 abcdefghijkl             | 2.45 a                      | 1.14 abcdefghijkl      | 0.76 abcdefghij             | 0.38 abcdefghij           | 3.55 ab                   |
| LALETTE                  | 2.28 abcdefghijk              | 1.80 abcd                   | 0.92 bcdefghijklm      | 0.51 cdefghij               | 0.42 abcdefghij           | 2.23 bcdefghijklm         |
| 麗紅                       | 2.28 cdefghj                  | 1.97 abcd                   | 0.98 defghijkl         | 0.58 deghij                 | 0.40 cdefgh               | 1.63 fhiklmn              |
| SELVA                    | 2.25 abcdefghijkl             | 1.98 abcd                   | 1.08 bcdefghijklm      | 0.84 abcdefgj               | 0.24 gj                   | 2.73 bcdefghij            |
| 阿賀                       | 2.20 bcdefghijk               | 1.58 cd                     | 0.77 ghijklm           | 0.38 ghij                   | 0.39 bcdefghij            | 1.54 efg hijklmn          |
| スルガレッド                   | 2.19 bcdefghijk               | 1.80 abcd                   | 0.90 efg hijklm        | 0.47 eghij                  | 0.42 bcdefgh              | 2.16 cdefghijk            |
| 長崎クイーン                   | 2.18 abcdefghijkl             | 1.94 abcd                   | 1.18 abcdefghijk       | 0.69 bcdefghij              | 0.50 abcdeh               | 1.87 cdefghijklmn         |
| CALISIA                  | 2.06 cdefghijk                | 2.07 abcd                   | 1.03 bcdefghijkl       | 0.54 deghij                 | 0.49 abc                  | 2.64 bcdeg                |
| TRISTAR                  | 2.03 bcdefghijkl              | 1.95 abcd                   | 1.11 bcdefghijk        | 0.70 bcdefghj               | 0.40 bcdefghij            | 2.60 bcdefgj              |
| 女峰                       | 2.02 cdefghijkl               | 1.94 abcd                   | 0.87 fghijklm          | 0.46 eghij                  | 0.41 bcdefghij            | 1.84 cdefghijklmn         |
| 久留米 62 号                 | 2.02 bcdefghijkl              | 2.13 abcd                   | 0.99 bcdefghijklm      | 0.60 bcdefghij              | 0.39 abcdefghij           | 1.76 cdefghijklmn         |
| 久留米 48 号                 | 2.02 defghijkl                | 1.89 abcd                   | 0.93 defghijklm        | 0.54 deghij                 | 0.39 cdefghij             | 1.43 iklmn                |
| 讚紅                       | 1.93 defghijkl                | 2.01 abcd                   | 0.91 defghijklm        | 0.59 cdeghij                | 0.31 efg hij              | 1.60 fghijklmn            |
| 筑紫                       | 1.90 bcdefghijkl              | 1.96 abcd                   | 1.03 bcdefghijklm      | 0.57 bcdefghij              | 0.46 abcdefgh             | 1.20 hiklmn               |
| 大和                       | 1.89 bcdefghijkl              | 1.91 abcd                   | 0.94 bcdefghijklm      | 0.50 cdefghij               | 0.44 abcdefghij           | 2.04 bcdefghijklmn        |
| FLORIDA 693              | 1.67 efg hijkl                | 1.75 abcd                   | 0.72 gijklm            | 0.40 eghij                  | 0.32 cdefghij             | 1.35 fhijklmn             |
| 興津 14 号                  | 1.60 fgijkl                   | 2.11 abcd                   | 0.91 bcdefghijklm      | 0.57 bcdefghij              | 0.34 cdefghij             | 1.29 iklmn                |
| CAMBRIDGE<br>PRIZEWINNER | 1.56 gikl                     | 1.59 c                      | 0.59 klm               | 0.36 ghij                   | 0.24 i                    | 1.04 lmn                  |
| はるのか                     | 1.56 ikl                      | 1.90 abcd                   | 0.75 jklm              | 0.40 ghi                    | 0.35 defghij              | 1.67 fhiklmn              |
| 興津 6 号                   | 1.45 gijkl                    | 2.04 abcd                   | 0.74 ghijklm           | 0.43 eghij                  | 0.31 cdefghij             | 1.15 klmn                 |
| KUROU                    | 1.41 fghijkl                  | 1.68 abcd                   | 0.59 gijklm            | 0.34 eghij                  | 0.24 fgij                 | 0.73 mn                   |
| 久留米 103 号                | 1.24 kl                       | 2.28 a                      | 0.78 gijklm            | 0.33 hi                     | 0.45 abcdefh              | 1.27 klmn                 |
| 久留米 16 号                 | 0.81 l                        | 1.99 abcd                   | 0.45 m                 | 0.22 i                      | 0.23 ij                   | 0.68 n                    |
| 分散分析 <sup>b)</sup>       |                               |                             |                        |                             |                           |                           |
| 品種                       | **                            | **                          | **                     | **                          | **                        | **                        |

a) 表中の異なる英小文字間には Tukey 法により 5% 水準で有意差があることを示す。含水率については、角変換後に統計処理を行った。調査期間は 2015 年 4 月 22 日～5 月 30 日。

b) \*\* は一元配置分散分析により 1% 水準で有意差があることを示す。

供試した各遺伝資源における見かけ弾性率、貫入変形量および各部位の硬度を第6表に示す。供試した遺伝資源における見かけ弾性率は3.63～0.81 MPaで、‘すずあかね’、‘盛岡24号’等が高く、‘久留米16号’等で低かった。また、貫入変形量は‘熊本VS03’、‘もういっこ’、‘久留米103号’等で、果皮硬度および真の果皮硬度は‘熊本VS03’等で、果肉硬度は‘静紅’等で、芯の硬度は‘盛岡24号’等で高かった。見かけ弾性率と各部位の硬度の相関係数は果皮硬度で $r=0.839^{**}$ 、真の果皮硬度で $r=0.838^{**}$ 、果肉硬度で $r=0.532^{**}$ 、芯の硬度で $r=0.606^{**}$ であり、いずれも比較的強い正の相関を示した(第7表)。また、見かけ弾性率と果重で $r=0.487^{**}$ 、果径で $r=0.574^{**}$ 、果皮色の明度で

$r=0.500^{**}$ 、色相で $r=0.345^*$ の相関が認められた。さらに、見かけ弾性率に対する果皮硬度、貫入変形量および果径の寄与率を比較するために、見かけ弾性率を目的変数とし、見かけ弾性率に関わる変数(果皮硬度、貫入変形量および果径)を説明変数としたPLS(Partial Least Squares)回帰分析を行ったところ、交差検証法によりすべての説明変数が選択され、 $q^2=1.000$ 、 $r^2=0.970$ の以下の重回帰式が得られた。

見かけ弾性率 $=0.004+0.594 \times (3.370 \times \text{果皮硬度} - 1.883 \times \text{貫入変形量} + 0.135 \times \text{果径})$

見かけ弾性率に対する果皮硬度、貫入変形量および果径の寄与率は、それぞれ83.5%、1.5%、12.0%であった。

#### IV. 考 察

第7表 イチゴ遺伝資源における見かけ弾性率と各部位の硬度、果重、果皮色および含水率の相関係数

|        | 果皮硬度 <sup>a)</sup> | 真の果皮硬度 <sup>a)</sup> | 果肉硬度 <sup>a)</sup> | 芯の硬度 <sup>a)</sup> | 果重 <sup>a)</sup> | 果径 <sup>a)</sup> | 果皮色(明度 <sup>a)</sup> ) | 果皮色(色相 <sup>a)</sup> ) | 果皮色(彩度 <sup>a)</sup> ) | 含水率 <sup>a)</sup> |
|--------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|
| 見かけ弾性率 | 0.839**            | 0.838**              | 0.532**            | 0.606**            | 0.487**          | 0.574**          | 0.497**                | 0.345*                 | -0.197                 | -0.248            |

a) \*\* および \* はそれぞれ 1%, 5% 水準で有意であることを示す。

本研究では、イチゴにおいてこれまでほとんど検討されてこなかったが、既報<sup>3)</sup>により日持ち性の評価指標として有効であることが示唆された見かけ弾性率について、貯蔵や収穫時期による変化の特徴を品種別に明らかにした。また、遺伝資源における見かけ弾性率を比較し、見かけ弾性率が高い遺伝資源および低い遺伝資源を明らかにするとともに、見かけ弾性率と他の形質との相関を明らかにした。これにより、イチゴ果実における見かけ弾性率について基礎的知見を得るとともに、見かけ弾性率によりイチゴ果実の品質を広く評価できるか否かを検討した。

実験1および2では、果実硬度に差異のある4品種について、貯蔵および収穫時期による見かけ弾性率の変化と、それらの品種間差異を検討した。その結果、まず、実験1、2ともに、供試した4品種には見かけ弾性率に品種間差異が認められた。また、見かけ弾性率は果実硬度と同様に6日間の貯蔵により低下したものの、‘とよのか’では低下程度が小さく、他の品種では低下程度が大きいなど、低下程度にも品種間差異が認められた(第2表、第2

図)。さらに、果実硬度が高い品種においては見かけ弾性率も高い傾向にあった。芯の硬度を除き果実硬度に差異が認められなかった‘恋みのり’と‘おいCベリー’は、見かけ弾性率で差異が認められ、‘恋みのり’は‘おいCベリー’よりも見かけ弾性率が高く、貯蔵6日後においても高い状態で推移した。これまでのイチゴの貯蔵中における品質評価、すなわち日持ち性評価では果皮硬度と果肉硬度が重視されてきたが、果皮硬度と果肉硬度のみを指標として評価した場合、‘恋みのり’と‘おいCベリー’は同程度の日持ち性を有すると判定される。一方、見かけ弾性率を指標とした場合、‘恋みのり’は‘おいCベリー’に比べ日持ち性が高いと判定されることから、見かけ弾性率の品種間差異の検出能力は果実硬度よりも高いといえる。実際に、生産者らによる達観評価にもとづけば、‘恋みのり’は他の品種に比べ極めて日持ち性が高いとされるが((株)アグリス、JA阿蘇、私信)、本実験の結果はこのような評価とはよく一致する。貫入試験はイチゴ果実の品質評価方法として確立されたものであり<sup>7)</sup>、見かけ弾性率は貫入試験により果実硬度と同時に求められることから、評価指標としての利便性は高いであろう。本

実験により、見かけ弾性率を求めることで、より高感度にイチゴ果実の日持ち性の品種間差異を検出できる可能性が示唆された。なお、品種の日持ち性を総合的に判断するには、見かけ弾性率の他に、果皮色、光沢、含水率等も加味する必要がある。本実験において4品種の果皮色および含水率を求めたところ、両者にはそれぞれ品種間差異が認められ、貯蔵による変動程度も異なった。また、見かけ弾性率は‘恋みのり’、‘おいCベリー’、‘さちのか’、‘とよのか’の順に高かったが、果皮色や含水率の順位はこれとは一致しなかった（第1表、第2図）。つまり、果皮色や含水率は品種特有のものであり、見かけ弾性率と独立している可能性が高い。望月ら<sup>4)</sup>は、貯蔵に伴う果実外観評価へは、品種の果実色により、明度が影響しやすい場合と彩度が影響しやすい場合とがあることを報告している。品種別に果皮外観や含水率等の特性をよく考慮し、これらの要素と見かけ弾性率を組み合わせた評価指標を開発することは今後の課題である。

見かけ弾性率は果実硬度や貫入変形量と同様に、収穫時期が進むにつれても低下し、低下程度にも品種間差異が認められた（第3表、第3図）。収穫時期による果実硬度の変化は、果実硬度が高い品種や部位で顕著であり、果実硬度が低い‘とよのか’等では部位によって判然としない場合があった。一方、見かけ弾性率は品種を問わず、果実硬度よりもはっきりとした低下傾向を示した（第3図）。一般にイチゴ果実の日持ち性は冬期には高く、春期には低くなる<sup>9)</sup>ことが知られるが、本試験により、見かけ弾性率はこのような収穫時期による日持ち性の変化を評価する上でも、有効な指標となり得ることが示唆された。ただし、見かけ弾性率においても、4月以降は果実硬度と同様に品種間差異の検出が困難であった（第4表）。促成栽培の収穫終期となる晩春期には株の成り疲れや高温による影響で果実が著しく軟化するため、果実硬度から導かれる見かけ弾性率は、日持ち性の品種間差異を検討する上では指標として不十分である可能性がある。

最後に、実験3で遺伝資源48点について、見かけ弾性率を明らかにした。実験3では休眠性を有する多くのイチゴ遺伝資源を一様に比較するために、晩春期に試験を行ったものの、供試した遺伝資源間において見かけ弾性率や果実硬度についてある

程度の品種間差異を見出すことができた。これは、同じ晩春期であっても露地栽培はハウス内での促成栽培に比べ気温が低いとともに収穫始期にあたることから、実験2に比べ調査期間における株の消耗が小さかったこと、‘宝交早生’に代表されるように露地栽培に適するよう育成、選抜された遺伝資源が多く含まれたこと、実験2に比べ多くの遺伝資源を供試したこと等によるものと考えられる。遺伝資源48点中最も見かけ弾性率が高い品種は‘すずあかね’であり、見かけ弾性率は3.63 MPaであった（第6表）。‘すずあかね’は夏秋どり作型用四季成り性イチゴ品種の中では比較の日持ち性が高い品種として知られるが、季性が異なる遺伝資源を露地作型において評価した本試験によれば、主に促成作型で用いられる一季成り性品種以上に見かけ弾性率が高かった。このほか、‘盛岡24号’も見かけ弾性率は3.43 MPaと高かった。一方、‘久留米16号’の見かけ弾性率は0.81 MPaと最も低かった（第6表）。露地栽培は促成栽培と栽培条件が異なることから果実の物理特性に違いがあると指摘されており<sup>4)</sup>、本試験で観察された見かけ弾性率が促成栽培において必ずしも再現されない可能性はあるものの、これらの遺伝資源については今後露地用品種等の育種や日持ち性に関する試験研究への利用が期待されるとともに、ペクチン含量やペクチン組成等を詳細に調査し、見かけ弾性率との関係を解明することが期待される。

なお、見かけ弾性率は果実硬度が高い遺伝資源で大きい傾向にあり（第6表）、特に果皮硬度および真の果皮硬度で見かけ弾性率との間に特に強い相関が認められた（第7表）。一方、果肉硬度や芯の硬度と見かけ弾性率の相関はやや弱かった。イチゴの果皮硬度と果肉硬度は独立に遺伝する<sup>9)</sup>とされているものの、両者および両者と芯の硬度の相関は強い<sup>7)</sup>。イチゴにおいては見かけ弾性率は果皮硬度または真の果皮硬度に大きく依存するが、果皮部分の硬度は果肉および芯の硬度と強く相関しているため、見かけ弾性率と各部位の硬度が総じて相関する結果になったと考えられる。日持ち性を重視したイチゴの育種においては、果実硬度が高まることにより果汁量が低下し、食感および食味が低下することが、以前より懸念されている<sup>8)</sup>。しかしながら実験3によれば、やや意外なことに、見かけ弾性率と含

水率には相関が認められなかった（第7表）。貫入試験を行ったイチゴ果実の電子顕微鏡写真を撮影した Harker ら<sup>2)</sup>も、イチゴ果実の細胞は崩壊することなく乖離するため、物理的強度には細胞同士の接着が大きく関与していると述べていることから、日持ち性と果汁量には、懸念されているほどの相関関係はないと考えられる。したがって、見かけ弾性率は高いが、果肉や芯などの硬度が低く、含水率が高い個体を選抜することにより、日持ち性と食感・食味に優れた品種を開発できるかもしれない。実際に、‘すずあかね’、‘盛岡24号’および‘熊本VS03’はともに見かけ弾性率と果皮および真の果皮硬度が高かったが（第6表）、芯の硬度が比較的高い‘盛岡24号’や含水率が比較的低い‘熊本VS03’に比べ、‘すずあかね’は芯の硬度は1.99 Nとあまり高くないとともに含水率が89.4%程度あるなど、日持ち性と食感を両立している可能性がある（第5表、第6表）。さらに、見かけ弾性率は果重、果径および果皮色（明度および色相）との間にも有意な相関が認められたことから（第7表）、育種において果重が大きい個体および果皮色が薄いまたは色相の値が高い個体を選抜することによっても、少なからず日持ち性を高めることが可能であると考えられる。本研究により、見かけ弾性率を用いてイチゴ果実の日持ち性を評価できるだけでなく、見かけ弾性率と他の形質とあわせて検討することで、より優れた品種を開発できることが示唆された。

なお、PLS回帰分析の結果から、見かけ弾性率の83.9%が果皮硬度で説明され、次いで影響する要因は果径（12.0%）、貫入変形量（1.5%）であり、これら3要因により見かけ弾性率の97.0%が説明された。既に述べた通り、イチゴの育種や栽培において日持ち性を検討するために果実の硬さを評価する場合、果皮硬度、または果皮と他の部位を区別することなく果実硬度を測定することが一般的である。果皮硬度と各部位の硬度の相関は高い<sup>7)</sup>ことから、育種など多くの果実を迅速に評価する必要がある試験研究においては、これまでどおり果皮硬度を測定することで、見かけ弾性率の測定に代替することができると考えられる。しかしながら、本研究により見かけ弾性率は果実硬度よりも日持ち性を評価する指標として優れていることが示唆された。したがって、より詳細に果実品質を評価する必要がある場合

や、異なる測定条件下において果実の硬さを評価し比較する場合においては、収穫時期に注意しつつ、果皮硬度に貫入変形量や果重を加味した見かけ弾性率を測定することが推奨される。

## 引用文献

- 1) 番喜宏・矢部和則（2005）イチゴ新品種「ゆめのか」の育成．愛知農総試研報．**37**: 17-22.
- 2) HARKER F. R., ELGAR H. J., WATKINS C. B., JACKSON P. J. and HALLETT I. C. (2000) Physical and mechanical changes in strawberry fruit after high carbon dioxide treatments. *Postharvest Biol. Technol.* **19**: 139-146.
- 3) KOHYAMA K., MASUDA T., SHIMADA H., TANAKA T. and WADA Y. (2013) A simple mechanical index of storage quality of strawberry fruits. *Rep. Nat'l Food Res. Inst.* **77**: 1-11.
- 4) 望月龍也・稲川裕・船倉英一郎・野口裕司・曾根一純（2001）促成イチゴ果実における日持ち性の評価方法と品種間差異．野茶試報．**16**: 1-7.
- 5) 門馬信二・上村昭二（1978）イチゴ果実の日持ち性の品種間差異並びに日持ち性と果皮・果肉の硬さとの関係．野菜試報 B. **2**: 1-10.
- 6) 門馬信二・上村昭二（1985）イチゴ果実における果皮及び果肉の硬さの遺伝．野菜試報 B. **5**: 49-59.
- 7) 門馬信二・上村昭二・吉川宏昭（1977）イチゴ果実の硬さ測定法と品種間差異．野菜試報 B. **1**: 1-11.
- 8) 森下昌三・望月龍也・野口裕司・曾根一純・山川理（1997）促成栽培用イチゴ新品種‘さちのか’の育成経過とその特性．野茶試報．**12**: 91-115.
- 9) 佐藤公洋・北島伸之．（2007）イチゴ‘あまおう’における果実品質の収穫時期別推移および果実品質と成熟期間中の温度との関係．福岡農総試研報．**26**: 45-49.

## Changes in the Apparent Modulus of Elasticity of Strawberries During Storage and Harvest Periods, and Evaluation of the Apparent Modulus of Elasticity in Different Strawberry Cultivars

Minori Hikawa-Endo, Kazuyoshi Sone, Toshiro Fujita, and Masami Morishita<sup>1)</sup>

### Summary

The apparent modulus of elasticity, stress divided by strain, for strawberries is a good index of storage quality, as indicated in a previous report. Therefore, we evaluated cultivar variations and differences in the way they respond to storage time and harvest period, as well as relationships with other traits, to obtain basic knowledge of the apparent modulus of elasticity of strawberries. The apparent modulus decreased during six days of storage at 15°C, and the extent of decrease differed among cultivars. Similarly, the apparent modulus of elasticity decreased over the harvest period, from February to April, and the extent of decrease again differed among cultivars. The apparent modulus of elasticity seems to be a good index of storage quality because it changes in a manner that is sometimes easier to discern than fruit firmness. However, neither the apparent modulus of elasticity nor fruit firmness differed among any cultivars observed after April. Furthermore, among the 48 cultivars studied, the apparent modulus of elasticity was higher in the Suzuakane and Morioka No. 24 cultivars than in Kurume No. 16. In addition, the apparent modulus of elasticity was an accurate predictor of fruit skin toughness 83.9% of the time. The present study confirmed that the apparent modulus of elasticity is more appropriate for evaluating storage quality even when it is substituted by fruit firmness to some extent. Our data suggested that the use of the apparent modulus of elasticity is recommended except for late spring.

**Keywords:** Strawberry, Fruit firmness, Compression depth, Storage quality, Apparent modulus of elasticity

Division of Horticulture, Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, NARO, Mii-machi 1823-1, Kurume, Fukuoka 839-8503, Japan

---

1) Retired