

令和4年 9月21日

各報道機関 御中

国立大学法人山梨大学

メロンの網目模様に着目した科学法則を発見  
～ 網目の画像診断によって  
メロンの美味しさを評価できる可能性も ～

【研究の概要】

メロンには様々な種類がありますが、高級メロンの代表格であるマスクメロンや、比較的小手頃な価格のアンデスメロンなどには、表面全体にきれいな網目模様(ネット)が入っています。この網目模様は、農家の方がメロンの品質を評価するための、重要な指標として用いられます。すなわち、網目の間隔が狭く、網目の細かさが均一で、網目が盛り上がっているほど、そのメロンは値段の高い「高級メロン」と評価できるのです。このように、メロンの網目模様とメロンの品質は互いに関係することが経験的に知られている一方で、網目のかたちを科学的に調べた研究例は今までほとんどありませんでした。

山梨大学の島弘幸(しま ひろゆき)教授を始めとする研究グループは、小売店で市販されている(=品質が保証されている)複数個のマスクメロンの網目模様を写真に撮って、網目のきめ細やかさを統計的に解析しました。その結果、白い網目で囲まれた小さな緑色の果皮断片の面積が、ある共通の確率分布に従うことを初めて発見しました。さらに、このメロン網目に関する実験的な発見が、力学的な理論から導かれる結果と一致することも分かりました。この発見は、マスクメロンの表皮を画像処理することで、メロンの品質を自動的に判別・評価できる可能性を示唆しています。

本研究成果は、日本時間の 2022 年 9 月 20 日、日本物理学会が刊行する英文学術雑誌 *Journal of the Physical Society of Japan* の 電子版に、オープンアクセス論文(無料で閲覧可能な論文)として掲載されました。本研究は、山梨大学大学院生命環境学域の島弘幸(しま ひろゆき)教授らの研究グループにより、文部科学省科学研究補助金の支援を受けて行われました。

【研究のポイント】

- ・ マスクメロンの網目が、ある共通の幾何学的法則に従うことを、初めて発見した。
- ・ この幾何法則が、球殻構造の破断力学理論と一致することを、初めて証明した。

## 【研究の背景】

マスクメロンの表面は、白い網目模様で覆われています。この網目は、植物が産生するスベリンという油脂状の高分子物質で出来ています。スベリンは、コルクの主要な構成成分の一つであることから、スベリンでできたメロンの網目模様は「コルク細胞」とも呼ばれています。

このスベリンで出来た網目模様(ネット)は、成長の途中で起きたメロンのひび割れの名残です。というのも、実は成長初期のマスクメロンには、表面にネットがありません。実際マスクメロンは、受粉後およそ 1 週間でニワトリの卵の大きさにまで成長しますが、この段階ではまだ表面がツルツル滑らかでネットのない状態です。受粉後約 2 週間たつと、メロンの表皮が急に硬くなり、表皮の力学的柔軟性が失われる「硬化期」に入ります。この硬化期に入ったあとも、メロン内側の果肉部分は膨張(肥大成長)を続けます。その結果、表皮の成長速度が果肉の膨張速度に追いつかず、表皮に細かいひび割れが次々と発生し始めます(図 1)。表面にひびが入ると、内部から液状のスベリンが分泌され、ひび割れの隙間を埋めて水分の蒸発を防ぎます。この隙間に分泌されたスベリンが、コルク状に固まったものが、マスクメロンの網目そのものなのです。

うへの説明から分かるとおり、**マスクメロンの網目は、果肉の膨張によって表皮が細かく断片化することが原因です。**すなわち、球のかたちをした殻状の物質が、内部からの圧力を受けて次々と(階層的に)破断する現象とみなすことが出来ます。これと類似した破断プロセスは、マスクメロンの他にも、多くの自然現象で観察できます。たとえば、干上がった田んぼの泥が示すひび割れや、老朽化したコンクリートで見られるひび割れは、乾燥によって媒質に収縮力が生まれ、この収縮力に耐え切れずにひび割れが生じたものです。こうした自然界で見られるひび割れ模様を、統計的な視点でとらえると、そこにある共通した統計的法則が潜んでいることがしばしばあります。この観点からマスクメロンの網目を考えた場合、果たして**そこには統計的な法則が見つかるのでしょうか？**

## 【研究成果】

島教授らによる研究チームは、複数のマスクメロンの網目模様のきめ細やかさを調べ、統計的に解析しました。その結果、網目で囲まれた果皮断片の面積が、ある共通の確率分布に従うことを初めて発見しました。

今回の実験で使用したのは、北海道産の「ライデン」と呼ばれるマスクメロン品種です。5 玉のメロン標本のそれぞれを、水平方向に 3 等分して、赤道付近のみを取り出しました(図 2)。この赤道部を、さらに縦方向に 4 分割して、表皮だけを切り取りました。この切り出した表皮の各々について、薄緑色のコルクネットに囲まれた暗緑色の破片を、カメラで撮影しました。その後、コンピュータ処理によって、ひとつひとつの破片の形と面積を算出し(図 3)、どの面積の破片がどのくらいあるか、その確率分布関数を求めました。

図 4 に示すグラフが、実験で得た破片面積の分布データです。グラフの横軸  $s/s_0$  は、破片の面積  $s$  を、規格化定数<sup>[\*脚注 1]</sup>  $s_0$  で除した値を意味します。グラフの縦軸は、ある面積をもつ破片が、破片全体の何パーセントを占めるかを表しています。グラフから分かるとおり、5 つのメロン個体(a~e)の破片面積分布は、ほぼ共通した分布曲線(グラフの実線と点線)に従うことが分かりました。この結果は、**いっけん個体ごとにバラバラとみえるメロンの網目模様が、ある共通した科学法則に従うことを意味しています。**

さらに島教授らは、この分布曲線が具体的にどのような数式で表現できるのか、その関数形を破断力学理論を用いて導出しました。1 次元脆性リングの膨張破断理論を、2 次元の脆性球殻に対して拡張した結果、この分布曲線が第二種の変形ベッセル関数<sup>[\*脚注 2]</sup>で記述できることを示しました。つまり、今回実験的に得られた**マスクメロン網目の法則は、単なる偶然ではなく、力学的な理論に裏打ちされた結果だ**という事を証明しました。

### 【社会的意義・今後の研究】

マスクメロンの品質は、主に外観によって評価されます。また、等級の違いによるメロンの価格の差は、他の果実に比べて格段に大きいです。したがって、生産者・販売側の立場では、メロンを切ることなく、外観を見るだけで、なるべく正確に中身の美味しさを診断する必要があります。

現在、メロンの選別作業は、生産者や市場関係者などの専門家が目視で行っています。しかし、そのような職人の技だけに頼る状況のままですと、人手不足に陥るリスクがあるほか、マスクメロンの等級を決定する際に恣意的な主観が入ってしまう恐れがあります。また、人の手で識別できるマスクメロンの数には、おのずと上限が生じてしまいます。

今回の研究成果を発展させると、こうした課題を解決する糸口が見えるかもしれません。今回の研究対象は市販のマスクメロン (=外観によって品質が保証されたメロン) だけでしたが、栽培途中または選果作業の過程で廃棄されるメロンの外観も同様に調べれば、網目模様の統計的性質とメロン果肉の美味しさとの間の相関関係を把握できる可能性があります。さらに、メロンの成長過程とそれに伴う網目の形成過程の関係が明らかになれば、**メロンの成熟度を画像認識によって自動的かつ客観的に判断できる技術**に繋がると期待できます。

### 【用語解説】

注 1. 規格化定数: メロン個体の大きさのばらつきを打ち消すために導入する定数  $s_0$  のこと。メロン果肉の膨張によって、メロンの表皮が細かく割れて出来た果皮断片の面積  $s$  は、断片ごとに異なる値を示す。そして、調べるメロンの大きさが違えば、この  $s$  の期待値(平均値)も必然的に変わってしまう。そこで、各メロン個体から算出された  $s$  の期待値が 1 と等しくなるよう、適切な定数  $s_0$  で実測値を除することで、個々のメロンの大きさの違いを無視することができる。この定数  $s_0$  のことを、規格化定数と呼ぶ。

注 2. 変形ベッセル関数: 通常のベッセル関数  $J_n(x)$  を拡張して定義された関数のこと。通常のベッセル関数  $J_n(x)$  とは、電磁波や光の伝搬などを記述する際に頻出する特殊関数のひとつである。ただし、関数  $J_n(x)$  の変数  $x$  は、実数だと仮定される。この変数  $x$  が純虚数となるように、関数  $J_n(x)$  を拡張したものを、変形ベッセル関数とよぶ。

### 【発表論文名】

題目: Empirical Rule of Fruit Rind Fragmentation in Muskmelon Netting

著者名: Yuri Akiba, Akari Ishibashi, Motohiro Sato, and Hiroyuki Shima

雑誌名: Journal of the Physical Society of Japan, Vol.91, 104801 (2022) [6 pages]

掲載 URL: <https://doi.org/10.7566/JPSJ.91.104801>

【参考図】

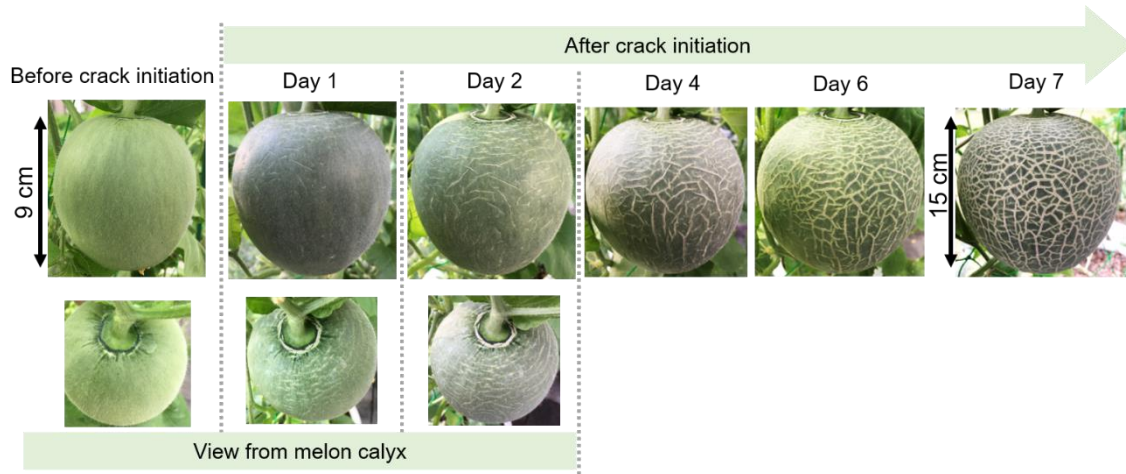


図 1. 成長に伴うメロン表面の変化。わずかな亀裂が表面全体に入ったのち、7 日後に網目が表面全体に発達する。

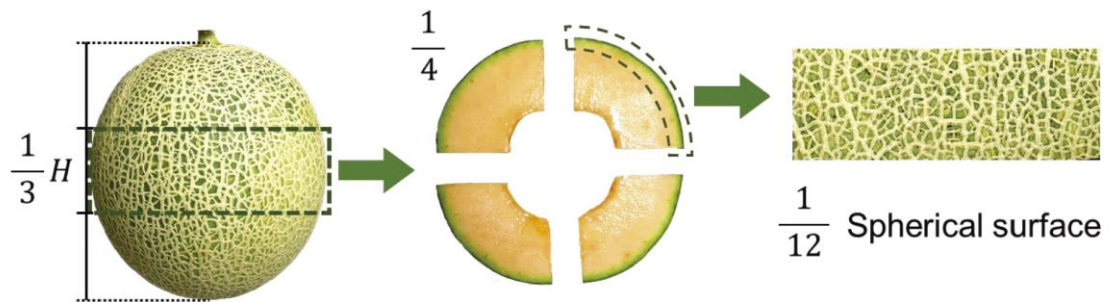


図 2. 実験で使用したメロン標本。まずメロンひと玉を、水平方向に 3 等分して、赤道周辺だけを取り出す。さらに、それを 4 等分して、表皮だけを切り出した。

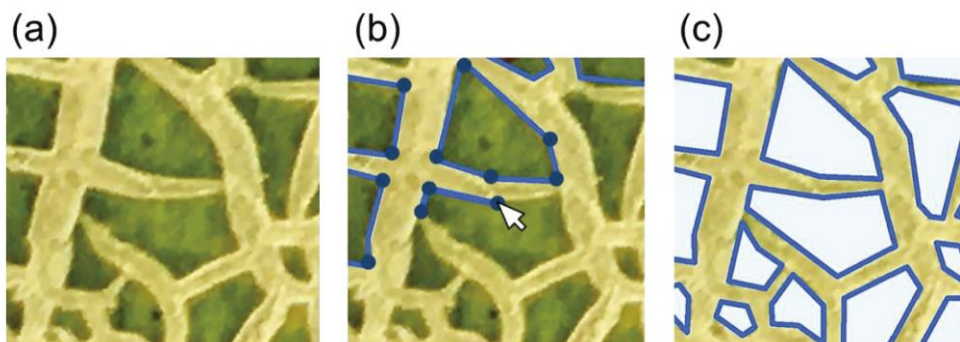


図 3. 画像解析によるメロン果皮断片の面積評価。(a) マスクメロン表皮の拡大写真。コルク質の網目 (薄緑色) が果皮の小片 (濃緑色) を囲んでいる様子がわかる。(b) コンピュータによって、果皮小片の境界線(青線)を認識させる。(c) 青線で囲まれた領域(水色)の面積を算出する。

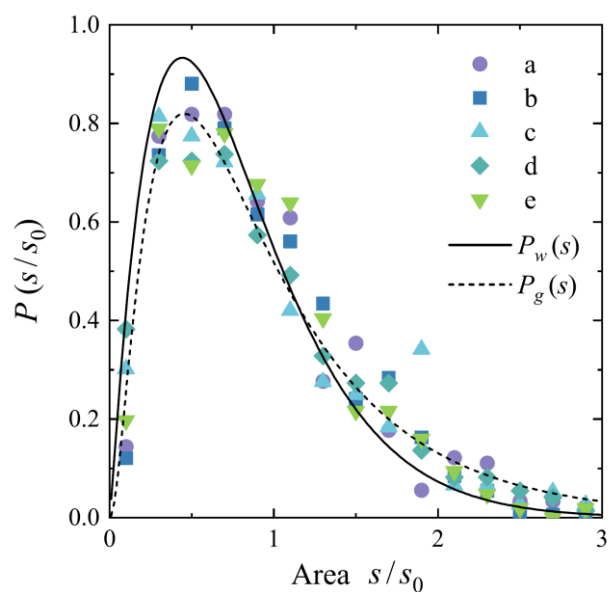


図 4. メロン果皮の断片面積の確率分布。横軸  $s/s_0$  は、破片の面積  $s$  を規格化定数  $s_0$  で除した値である。縦軸は、ある面積  $s$  をもつ破片が、破片全体の何パーセントを占めるかを表す。グラフから分かるとおり、5 つのメロン個体(a~e)の破片面積分布は、ほぼ共通した分布曲線(グラフの実線と点線)に従うことが分かった。

【お問い合わせ先】

<研究について>

山梨大学 大学院総合研究部 生命環境学域

教授 島 弘幸(しま ひろゆき)

TEL:055-220-8771 (秘書室直通)

E-mail: hshima@yamanashi.ac.jp

<広報について>

山梨大学企画部広報企画課

TEL:055-220-8005, 8006 FAX:055-220-8799

E-mail: koho@yamanashi.ac.jp