

## 単細胞化食品—既存食品と新しい試み—

渡辺 篤二<sup>\*§</sup>

Tokuji Watanabe

廣瀬理恵子<sup>\*\*</sup>

Rieko Hirose

## まえがき

食味、食感という言葉があるが、いうまでもなく前者は旨み、甘みなど多くは水に溶けた成分を舌で感ずる味であり、後者は硬さ、粘り、滑らかさを舌や歯で感ずる物理的な性状に由来するものである。米飯、麺類、豆腐、チーズ、ゼリーなどそれぞれ独自の歯ごたえ、舌ざわりを持つが、これには原材料に独自の加工調理が行われて始めて完成する。

ここでは、細胞同志を結びつけている細胞間物質（ミドルラメラともいい、ペクチン類が主成分）を加熱その他の方法で可溶化した個々の細胞の集まりを主体とする食品について考える。この際、当然のことながら細胞は加熱などの処理で本来の生理的機能を失っており、細胞内の不溶成分を内蔵するカプセル的役割が主となっている。具体的には餡やマッシュポテトなどであり、これらについて以下説明し、さらに原料の酵素処理で個々の細胞を分離して食品とする新しい試みを紹介する。

なお、この種の食品に、細胞の名を冠することは適当でないが、適切に表現できる言葉が見当たらず、このまま使用することとする。

## 既存食品の例

## 餡（あん）

小豆、いんげん類などを原料とする生餡は豆を十分量の水と加熱し、その間途中で渋切りと称して煮汁の一部を捨て、さらに加熱を続け、十分軟らかくなった時点で煮汁を抜き、水を加えながら丁寧にすり潰す。次いで、裏ごしにより皮を除き、水晒し後に脱水し、生餡として低温流通する。また、砂糖を加えて練餡として常温流通する<sup>1)</sup>。餡粒子中のデンプンは加熱で凝固したタンパク質と細胞壁に妨げられて膨潤する程度にとどまる。写真1は小豆子葉細胞の生（浸漬後）と煮熟後を走査型電子顕微鏡で観察したものである。加熱により、細胞間を結びつけるミドルラメラが可溶化し、個々の細胞が分離しやすい状態になる。餡粒子が原料豆から個々に分離するには一定温度以上原料豆を煮熟する必要があるが、90℃以上が望ましい。これより低いミドルラメラの溶解が不十分で、煮豆をすり潰す際、細胞が壊れる恐れがある。餡粒子の光学顕微鏡の写真（写真2）から餡粒子内のデンプン粒が崩壊せず粒形を保っている状態が見られる。餡粒子から分離したデンプンの糊化度の値は低く<sup>2)3)</sup>、餡製造工程では、細胞内に在るデンプンの糊化が特殊であると考えられる。また、製餡に用いる

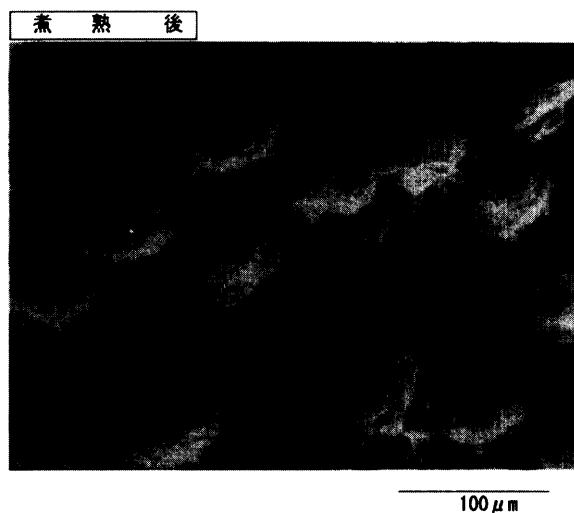
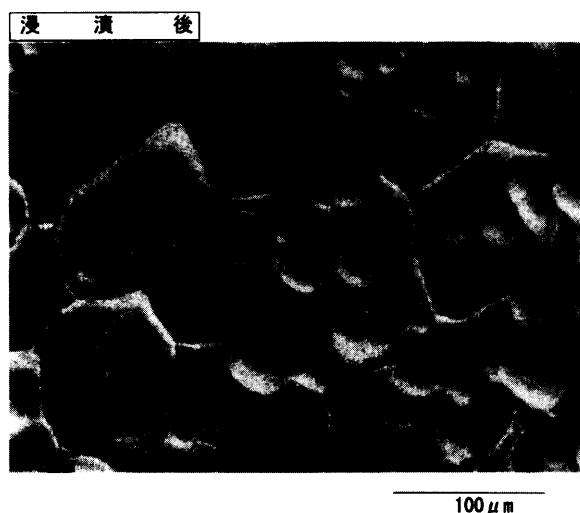


写真1. 小豆子葉細胞の浸漬並びに煮熟後の状態（走査型電子顕微鏡写真）

\* (元) 共立女子大学

(Kyoritsu Women's University (former affiliation))

\*\* 東京都立食品技術センター

(Tokyo Metropolitan Food Technology Research Center)



S: デンプン粒

写真2. 小豆餡粒子

小豆やインゲン類は加熱によって、原料豆より食物繊維含量が高くなることが報告されており<sup>4)</sup>、デンプンが豆の煮熱中にレジスタントスターチに変化したのではないかという。このことと前記低い糊化度との関係は一応符合するが必ずしも明らかではない。

餡は以上述べた工程を経て、生餡、練餡などの製品として大部分が和菓子用に供される。元来、水や熱湯に全く不溶であるので、成形、溶液状態で用途に供するには他の素材を必要とすることが多い。和菓子には砂糖を加えて、練餡として賦形性を与え、様々の形態に仕上げる。また、羊羹のように、寒天などのゲル形成素材を用いる場合もある。餡で、この他に考えられる用途としては次項に挙げるポタージュ式のスープがある。砂糖にこだわらなければ、他に豆の風味を生かした半乾燥または乾燥による調味料または副食的なものも考えられよう。なお、餡粒子は原料豆の種類により、形、大きさが異なり、さらに表面の組成、特に不溶性のペクチンの性質により、生餡または練餡の物性に差のあることが認められており<sup>5)</sup> 豆の種類による用途の適否が示唆されている。

#### 豆のポタージュ

ソラマメ、グリーンピースなどの豆を軟らかく煮て、煮汁と共に裏ごしして皮を除き、これをブイヨンや牛乳でのばしたものがスープとして広く用いられる。このとき、豆が未熟の場合は細胞が壊れやすいが、完熟の場合は餡同様、細胞は個々に分かれ、あまり壊れず、デンプンは細胞内にとどまる。そして特有の舌触りを示す。

#### マッシュポテト

馬鈴薯を剥皮後、煮るか蒸して熱いうちに丁寧に裏ごしする。この際細胞間を結ぶペクチンは可溶化し、細胞は個々に分離する。裏ごしを冷却状態で行くと、硬さが増して裏ごしが難しくなり、細胞が壊れるおそれがある。マッシュポテトの場合もデンプンは細胞内にとどまるので糊状にはならず、独特の食感を示す<sup>6)</sup>。写真3は市販の乾燥マッシュポテトを水で戻し、ヨウ素で染色したものである。

写真3. マッシュポテト（市販乾燥品を熱湯で戻したもの）  
ヨウ素染色で細胞内のデンプン粒が染まっている

#### そばろ（でんぶ）

魚肉を原料にして作られる「そばろ」、これを原料とする「でんぶ」は煮魚や練製品とは違った食感を持っている。タラやタイなどの白身魚を切身状にして煮熟し、皮、骨、すじなどを取り除き、水晒し後圧搾、脱水し、筋肉繊維をほぐして乾燥したものである<sup>7)</sup>。魚類の骨格筋は筋繊維が多数集合したもので、筋繊維は筋繊維鞘と称する袋状の筋形質膜に包まれた多核細胞であるといわれている<sup>8)</sup> ことから、そばろの大部分が単一細胞であると考えられる<sup>9)10)</sup>。タラの筋肉組織を加熱後水晒しし、実体顕微鏡で観察した

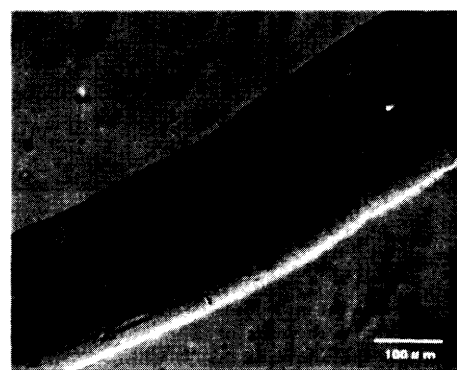
写真4. 加熱処理後のタラの筋肉組織  
(実体顕微鏡写真)

写真5. 市販でんぶ（光学顕微鏡写真）

ものを写真4に示した。筋繊維鞘に接した個々の筋繊維はきれいに分離しやすい状態であることがわかる。写真5は「でんぶ」の光学顕微鏡写真である。そばろを砂糖などで調味、煮詰めたものが「でんぶ」である。

### 新しい試み

細胞を破壊せず、個々に分離した状態の、果実・野菜食品に関する情報があり、また、大豆を原料とした製品が市場に姿を見せている。以下、その概要を紹介する。

#### 果実・野菜の加工食品

果実、野菜にペクチン分解酵素を加えて、細胞を分離する試みはかなり以前から試みられてきた<sup>11)12)</sup>。その目的を、以下のように説明している。果実・野菜の搾汁の風味が本来のものと違うのは細胞の破壊のためとし、細胞を破壊することなく個々に分離することにより、本来の風味を細胞内に温存し、またある種の野菜搾汁の強いにおいを防げるという。これに関する報告によると<sup>13)</sup>、野菜類としてはニンジンやハウレンソウを用いる。一般的に行われる機械的処理によると細胞は破壊されるが、予め細胞間物質分解酵素処理した野菜では細胞は破壊されず、野菜本来の成分を細胞内に保持し続ける。また、加熱及びpHの調整によって、退色は抑えられる。

以上の工程をやや詳しく説明する。供試野菜に水を加えることなく。プロトペクチナーゼ（日本セルフーズ製プロトペクチナーゼ調合製剤）を添加、40℃で1～2時間攪拌しながら、反応を行わせる。篩別後80℃で5分間加熱し、酵素を失活させて、終了する。このものは機械的磨砕によるものと比べて表面張力、界面張力が低く、空気や油と分離しにくく、牛乳、スープ、ヨーグルト、アイスクリーム、パンなどに添加しやすく、野菜の利用範囲拡大につながっている。また、この種の単細胞をペプシン、キモトリプシンで消化試験を行うと明らかに分解性が良く、幼児食、高齢者食に利用できるといふ。また、他の食品に添加することによってビタミン、特にカロテン、繊維等、野菜が本来もつ栄養素を補給でき、栄養バランスの改善が可能としている。また、単細胞化野菜は一定の大きさの粒子が多く、のどごしが良く、また沈でんが起こりにくいので、ジュース製造時は繊維質を除去する必要がなく、野菜の繊維質を有効に摂取でき、野菜の搾り粕も無駄なく利用できるという。

一方、植物組織の単細胞化を短時間で実施できるような試みが報告されている<sup>14)</sup>。この方法は野菜などの素材を凍結後酵素液に浸漬し、減圧することにより、植物組織内部に急速に酵素を含浸させる方法である。ジャガイモ、サツマイモ、ニンジンなどを用い、剥皮後円柱状に切り抜き、中心温度を92℃になるまで水蒸気加熱してブランピング後、室温になるまで放置し、凍結（-20℃）させる。凍結した試料を予め40℃に保温しておいたペクチン分解酵素

液に浸漬、真空ポンプで5分間減圧後急激な常圧復帰を繰り返し行う。その結果、無処理に比べて凍結・減圧処理のものは組織の軟化が急速に進んでいることが、明らかになり、且つまた、香気成分、β-カロテン、アントシアニンの残存率の高いことも示されたとしている。また、本法による単細胞は内容成分の溶出防止、香気成分の安定性の観点からみて従来法より優れているという。細胞内にデンプン粒子を保持している植物素材の場合、加熱による粘度上昇を抑制できることから、濃縮操作が容易にできるという利点、さらに任意の硬さを維持した食品素材の調製も可能で、新しい食品素材の開発技術につながる可能性を示唆している。

#### 大豆の加工食品

大豆の単細胞化の目的の根拠は大豆の粉末がしばしば大豆独特のにおいを発し、このことがその用途を著しく制限していることにある。

以下に説明するのは大豆を水と共に加熱して、これにポリガラクトクロナーゼを加えて細胞間物質を分解、可溶化して、細胞同志を分離させるのである（写真6）。これにより、大豆中の各種の成分を細胞内に閉じ込め、脂肪酸酸化酵素（リボキシゲナーゼ）と油脂の接触を妨げる一方、この種の酵素を加熱により不活性化させる。その結果大豆臭の原因であるヘキサノール、ヘキサナールの生成を大幅に減少させることができる<sup>15)</sup>。したがって、このものは用途を大きく広げることができる。

以下製法の特許資料に基づいて、順を追って説明する<sup>6)</sup>。大豆を水で洗った後、水に浸漬する。浸漬時間は室温で12～15時間とする。次いで大豆を水の存在下で加熱するが、これによりリボキシゲナーゼは一部不活性化し、タンパク質は熱変性により人体への消化がよくなるとする。そして、ペクチン質を主体とする細胞間物質を軟化させてこの後の酵素処理を容易にする。次いで蒸煮大豆を60℃くらいに冷却し、蒸煮大豆とはほぼ同量の水及び*Bacillus*属の生産するペクチナーゼ（ナガセ生化学社製）を添加、攪拌して反応を促進させる。ペクチナーゼ添加量は浸漬前的大豆重量に対し0.05～0.2%で、特に0.1%が好ましいと

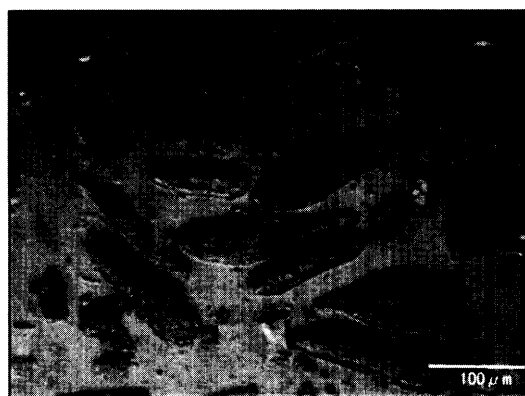


写真6. 大豆単細胞化食品（光学顕微鏡写真）

している。酵素反応は60℃、約30分で完了する。攪拌は20～30回/分の程度で、細胞が破壊するような攪拌は避ける。この結果、大豆の単細胞が分散して存在するスラリーが得られるが、酵素を不活性化するため、例えば120℃で15分の加熱を行う。これをそのまま冷凍してもレトルト殺菌、あるいは噴霧乾燥しても、細胞は破壊されることなく、保存が可能である。必要に応じて、元の状態に戻し、そのまま、あるいは簡単な操作で他の素材と混合して利用する。また、後述するように既存の各種加工食品に副素材として加え、大豆臭を与えることなく、タンパク質強化の目的の他に既存の食品の製造工程や製品に新たな特性を与える。

特許によると、上記原料大豆から製品に至る間に生ずる浸漬水、蒸煮による煮汁を含む全生成物は廃棄することなく、全て製品中に回収され、収量は原料大豆に対して、ほぼ100%である。わが国の伝統的加工食品は、不味、不消化の成分を廃棄する結果、製品の収量は固形物換算でかなり低く、豆腐で50%、餡で60%、練り製品で30～40%（魚体に対し）であり、中間素材とはいえ100%という数字は例外的な収量といえる。

発明者によると、本品は吸水後、保水性に富んでいるため、小麦粉製品に添加して、大豆臭を与えることなくタンパク強化の目的と共に製品の品質、歩留まりに良好な影響を与えるとしている。食パンの例をとると、小麦粉に対し乾燥した単細胞化大豆製品を3%加えることにより、得られるパンの水分を6%上げることができ、パンの保水性を高め、ソフトな仕上がりのパンが得られるという。これは大豆製品の吸水力によるもので、これによりパン焼成の際の熱の伝播を良好にして、内部温度の上昇を助けている。

製麺試験の結果では小麦粉に対して、大豆製品5%を加えた麺は、何ら大豆臭を感じず、また、最終製品で水分量が無添加の麺に比べて4%多い製品が得られている。これも大豆製品の特性によるものという。

単細胞化の大豆製品はエイコサペンタエン酸（EPA）、ドコサヘキサエン酸（DHA）、など生理的に有効な油脂類が各種の食品に添加、強化される際、それぞれ独自のおいさをかなり消去できる効果が認められている。

### 課題と展望

上に示したように単細胞化食品の多くが既存食品であり、全て加熱工程によっている。もちろん、加熱についても一定の条件があり、その後の処理もそれぞれ独自の工程を踏んでいる。原理的にいえば細胞同志を結びつけている細胞間物質が加熱によって可溶化して、細胞が個々に分離することにある。しかし細胞間物質は原料によって異なっており、熱による挙動も同一とは考えられず、また、個々の細胞の形、表面の状態、物質の透過性なども明らかでない。また、動物細胞の場合は植物細胞との違いが一層著し

いと考えられる。

現在、日常的に既存の単細胞化食品が食膳に供されているのは長い歴史の中の試行錯誤の成果に他ならない。ここで、個々の単細胞化食品が食膳に供されるまでの工程を種々の点から追跡検討することはこの種の食品の用途開発あるいは品質改善に資すると考える次第である。例えば細胞の表面の物理的・化学的状態は個々にどのように違うのか、細胞そのものは調理に必要な加熱に対し、どう対応しているのか。破壊しやすいのか、それとも極めて安定なのか、また、砂糖、食塩、酸、アルカリ、油脂類などに対して細胞そのものの粒形あるいは食感の変化はどうか、またこれらのものは細胞内に進入しているのか、といったことなどが挙げられよう。

一方、新しい試みで取り上げられた食品は全て酵素処理である。おそらく、これに関する最初の報告は既に紹介したようにかなり以前のものと思われる。対象は果実、野菜類で、その目的が風味の改善ということは現在の試みも同じである。酵素で個々の細胞を分離することにより、果実、野菜の持つ風味を細胞内に温存し、また細胞破壊による二次風味の発生を防ぐことにある。この点は大豆についての試みも類似しており、細胞破壊によって生ずる大豆臭の発生を抑え、また、この種の成分の原因となる物質を細胞内に閉じ込めることにある。

ここで、加熱による単細胞化と酵素処理（酵素の種類を含めて）によるものとは細胞間物質の可溶性状況は異なるはずであり、それに伴う細胞の形、表面、物質の出入りなどに違いが在ると思われるが、詳細は不明である。加熱だけによる果実、野菜の単細胞化の報告は聞いていないが、大豆の場合は小豆餡のように加熱による単細胞化は可能であり、現実に九州では大豆餡が作られ、これを用いた和菓子が市販された。この場合も酵素処理の単細胞と比較して形、表面、物性など食品原料としての違いに興味もたれる。

なお、既に例示した単細胞化食品に関する限り、加熱を用いるもの（あんこ・そばろ）では最終食品中の大部分が単細胞群であり、他の可溶性、不溶性成分は途中の段階で除かれている。これに対し、酵素処理のものでは単細胞群の他に原料処理後の全部が最終食品中に含まれている。おそらく前者は単細胞群が示す独自の食感を大切にするためであり、後者は専ら風味を問題にするためと考えられる。

単細胞化食品で必ずしも十分明らかにされていないことの一つに消化、吸収の問題がある。既に記したように個々の細胞の表面は原料の種類や単細胞化の方法により異なることは当然で、消化酵素に対する挙動も決して同じではない。果実、野菜の単細胞化食品ではペプシン、キモトリプシンによる消化がよいとしているが、他の素材についての報告はみられない。そして、消化酵素が細胞内にもし進入しても細胞の中で、内部にあるタンパク質、デンプン、油

脂などを分解可能なのか、明らかにする必要がある。さらに、餡におけるデンプンのようにレジスタントスターチが生成されていると、その部分は消化が困難ということになる。タンパク質も細胞という限られた空間で加熱されたものの消化性は必ずしも向上しているか明らかではない。今後、原料の種類、単細胞化の方法の異なる個々について検討する必要があるだろう。

なお、魚卵、酵母など本来単細胞で構成されているものは単細胞化食品とは種々の点で異なっているが、これらのもので研究され、明らかにされていることの中には単細胞化食品で明らかでないことを解決するのに参考になるものと考えられる。

### むすび

以上、単細胞化食品について紹介を兼ねて解説を試みた。大きく分類すると加熱によって、細胞間物質（主にペクチン質）を可溶化し、その後磨砕を行って、個々の細胞に分離する方法と酵素を用いて細胞間物質を分解し、そのまま単細胞を得る方法である。前者は既存食品に多く、経験的に独自の食感が得られるので、これが各種の調理に利用されている。先に記した食品の他にも、結果的に単細胞化されている既存食品が存在する可能性はある。一方、後者は新しい試みで、今後の発展が期待され、特に風味の改善、温存など利用の範囲は広いと思われる。

両者に共通することは単細胞化のための操作が、当然のことながら、極めて温和で、時間を惜しまないものが多い。したがって、原料の成分が激しい変化を受けることも少ない。

### 謝 辞

本稿の学会誌掲載についてご配慮に与ったお茶の水女子大学 畑江敬子教授に厚くお礼申し上げます。

また、種々ご助言くださった東京都立食品技術センター

野田誠司氏に感謝する。

### 文 献

- 1) 農林水産省食品流通局委託事業（1984）、あんの製造・流通管理等マニュアル、食生活開発研究所、東京
- 2) 畑井朝子（1977）、小豆の調理特性に関する研究（第4報）含有澱粉の $\alpha$ 化度について、北海道教育大学紀要 **28**, 1-8
- 3) 渡辺篤二、小林理恵子、佐々木堯（1987）、小豆の熱処理過程におけるデンプンの性状変化、日食工誌, **30**, 539-543
- 4) 本田千代、難波豊彦、浅岡修、湯本邦子、林敏夫、池上幸江、高居百合子（1992）、豆類及び豆類加工品における食物繊維の定量法の検討、食品衛生学雑誌 **33**, 46-51
- 5) 道川恭子、小林理恵子、渡辺篤二（1992）、大白花を原料とする餡の特性—特に大手亡との比較、日食工誌, **39**, 663-670
- 6) 曾根敏磨（1965）、食品の粘稠性、光琳書院、東京、102-103
- 7) 日本水産学会編（1989）、水産学用語辞典、恒星社厚生閣、東京、123
- 8) 日比谷 京（1976）、日本水産学会編 日本水産学シリーズ13 白身の魚と赤身の魚、恒星社厚生閣、東京、20-21
- 9) 畑江敬子（1994）、鴻巣章二編、魚の科学、朝倉書店、東京、141-142
- 10) 高橋豊雄（1960）、煮熟魚介肉についての諸現象、*New Food Ind.*, **2**, 38-48
- 11) 中山重信、竹田良作、外山信男（1965）醸造に対するセルラーゼの応用（第3報）セルラーゼと細胞壁分解酵素の併用による大豆種皮と子葉部の分解、醗酵工, **43**, 643-652
- 12) 高橋慧（1972）微生物酵素の利用に関する研究（第7報）、愛媛県総合化学指導所研究報告, **10**, 9-16
- 13) 川端希代子、赤澤徹（1995）プロトペクチナーゼ利用による野菜の栄養価及び味香りの改良、栄養学雑誌, **53**, 183-190
- 14) 坂本宏司、石原理子、柴田賢哉、井上敦彦（2004）、凍結減圧酵素含浸による植物細胞の軟化および単細胞化、日食工誌, **51**, 395-400
- 15) 赤澤徹（1995）、*New Food Ind.*, **41**, 5-11
- 16) 赤澤徹、日本国特許第159272号、平成14年6月4日酵素を利用した大豆の加工方法により得られた液状加工大豆及び同加工大豆を含む食品