

## 超高压処理による食品物性の改質と圧力殺菌の展望

山崎 彬\*

(Akira Yamazaki)

### 1. はじめに

熱と圧力は、それぞれ独立した物質の状態変換因子であるにもかかわらず、近年まで超高压を食品の加工に利用する研究は少なかった。しかし、1988年に林によって生物関連高圧研究会が開催され、現在では、日本が国際的にも先導的な役割を果たしている。ここで発表された研究は、加圧食品の開発から工業化の諸問題まで、筆者の報告を含め、そのほとんどが出版されている<sup>1)~9)</sup>。ここでの超高压処理とは、100~1,000 MPa (1,000~10,000 bar) 程度の静水圧で食品を処理することである。海底も含めて地球上に存在しない高圧を利用することから、超高压と表現したが、地球物理学やダイヤモンド合成では、さらに高い圧力も利用されており、以下、本文では単に高圧と表記する。当初は、多くの研究者の興味が微生物の殺菌に向けられたが、研究が進むにつれて、細胞や生体分子レベルでの基礎研究やバイオテクノロジー、生物物理学、医学や薬学の分野にまで裾野の広がりを見せている。食品への応用では微生物制御と共に、タンパク質やデンプンの変性、酵素の失活や反応の制御、脂質の乳化、含有気体の排除、液体の含浸、組織の結着や破壊などの現象を利用した新しい食感の食品開発等が進められている。ここでは、食品物性の改質と圧力殺菌の展望について、最近の研究成果を紹介する。

### 2. タンパク質食品の改質

タンパク質の水溶液に高い圧力を加えると、不可逆的な変性が生じ、凝固やゲル化を起す。これは水分子の集合が、自由水として存在するよりもタンパク質のアミノ酸側鎖の周囲に配位されるほうが、体積が小さくなるからである。また、立体構造を形成している非共有結合のうち、脂肪族アミノ酸の側鎖からなる疎水

結合とイオン結合は切れる方向に、水素結合は形成される方向に向かう。すなわち、タンパク質の共有結合は開裂せず、三次構造を形成しているイオン結合、水素結合、疎水結合などの弱い非共有結合が圧力の影響を受けて崩れることで圧力変性が生ずる。しかし、共有結合は加熱を伴わないかぎり影響を受けないので、加熱処理と異なり、食品の変質、劣化、栄養素の破壊、異臭の発生および毒性因子の生成などがなく、これが加圧食品の安全性の根拠にもなっている。

#### 1) 魚肉すり身のゲル化

圧力による魚肉すり身のゲル化については、魚種、食塩濃度、圧力、温度、水分、処理時間などを変化させながら、加熱処理との破断強度を比較した多くの報告がある<sup>1)~5),9)~14)</sup>。ここでは、スケトウダラのすり身に100~500 MPa (0°C, 10分間)の高圧処理を施し、加圧ゲルを製造した昌子らの例を示す<sup>9)</sup>。図1は、すり身の検査項目である破断強度と凹みをレオメーターで測定した結果である。食塩無添加区ではゲルが形成されず、2.5%食塩添加区では、200 MPa以上で加熱ゲルに比べて破断強度と凹みの値が共に大きいことが認められる。さらに、300 MPaで最大となり、400 MPa以上では低下する傾向がある。加圧ゲルは加熱ゲルに比較して弾力性に優れ、透明感と光沢があり、従来の加熱ゲル(カマボコ)と異なる新しい製品となる。また、この加圧ゲルを低温(5°C)で貯蔵すると、さらに弾力性のあるしなやかな製品となる特徴が認められている<sup>14)</sup>。

#### 2) 牛肉(死後硬直後)の軟化

鈴木・池内は、死後硬直後の乳廃牛の肩ロース肉を試料として、表1の結果を報告している<sup>15)</sup>。試料は、屠殺後4日経過した肉塊を-25°Cで凍結保存しておき、必要により低温室(2°C)で解凍し、冷水中で100, 150, 200, 300 MPaの高圧処理を5分間行ったものである。300 MPaの圧力処理で、熱を加えずに硬さを約1/10

\* 越後製菓株式会社, 食品総合研究所  
(Research Institute, Echigoseika Co., Ltd. Takanashi-machi, Ojiya-shi, Niigata 947-0193)

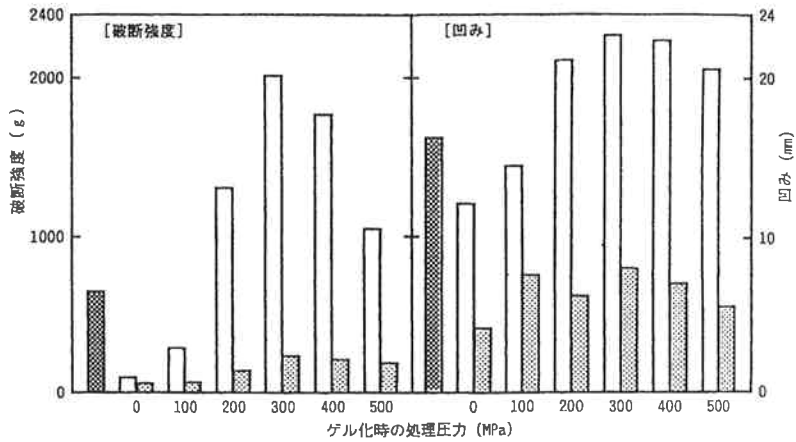


図1. スケトウグラすり身の加圧ゲルにおける破断強度および凹みに及ぼす食塩添加の影響

表1. 高圧処理による肉の硬さと弾力性の変化

| 処理圧力     | 硬さ<br>(対照を100とした相対値) | 弾力性 |
|----------|----------------------|-----|
| 対照 (無処理) | 100                  | 100 |
| 100MPa   | 58                   | 91  |
| 150MPa   | 22                   | 94  |
| 200MPa   | 27                   | 91  |
| 300MPa   | 13                   | 98  |

測定方法：レオメーター (不動工業製 NRM-2002 J)

咀嚼試験：円錐形プランジャー，荷重 200g

に減少させたが、弾力性は保たれている。肉の軟化は筋原線維の小片化に関係することが知られている。通常の熟成肉ではZ線の脆弱化が筋原線維の小片化の原因となるが、圧力処理肉ではZ線の脆弱化が認められなかった。したがって、圧力処理肉では、熟成と異なる仕組みで筋原線維の小片化が生じたものと考えられている。

### 3) 新しい加圧豚肉と加圧ハムの製造

辻田・鈴木は、豚肉に高圧処理を施して図2の結果を得ている<sup>19)</sup>。未塩漬の肉では、処理圧力の増加に伴って硬さが増加し、400MPaで一定の硬さとなった。一方、塩漬の肉は、処理圧力が200MPaから600MPaへと増加するに伴って硬さも次第に増加したが600MPaでも硬さは一定にならなかった。これらのことから、塩漬は豚肉の圧力変性を抑制すると考えられてい

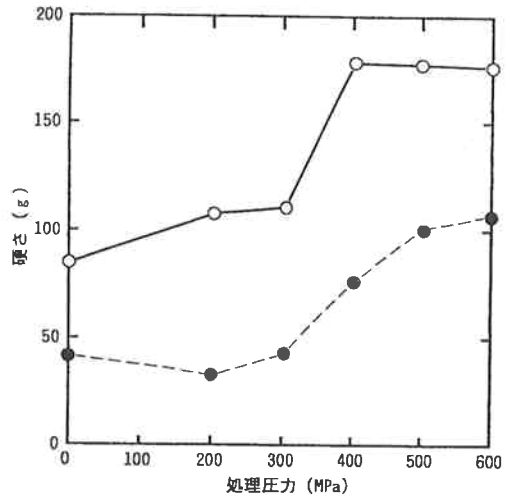


図2. 豚肉の硬さに対する圧力の影響

○、未塩漬の肉；●、塩漬肉；処理方法、肉の圧力処理は温度を10℃以下に保持し、加圧保持時間を30分間とした。；測定方法、クリープメータ (山電製 レオナー RE-3305) の肉片、円錐形プランジャー、速度1mm/sec、5mm侵入させた時の最大荷重を硬さの指標とした。

る。また、未塩漬の加圧肉は、加熱とは異なる新しい食感があり、香りは生であるが、加熱調理で美味しく食べることができた。さらに、塩漬の肉で製造した加圧ハムは、従来のハムより弾力性があり、生臭さの無い、肉のうま味の強く感じられる新しい製品になったと報告している。

4) 鶏卵の卵白と卵黄の物性変化

本間・芳賀は、卵白と卵黄に対して、各種の圧力と温度で、粘度とゲル強度を測定した<sup>17)</sup>。図3に卵白、図4に卵黄の測定結果を示した。また、卵白のゲル化について、タンパク質濃度が高いほど低い圧力でゲル化することを示し、数個の豚モモ肉に2% (w/w) の乾燥卵白を添加することで、焼いても剥離しない加圧接着の合成肉製品 (500 MPa, 20°C, 10min) を得ている。さらに、この高压処理は低温加熱殺菌と同程度の殺菌効果があることを指摘している。

3. デンプン質食品の改質

デンプンの懸濁液に 300 MPa 以上の加圧を施すと、室温から 60°C までの間で、高い温度ほど低い圧力でア

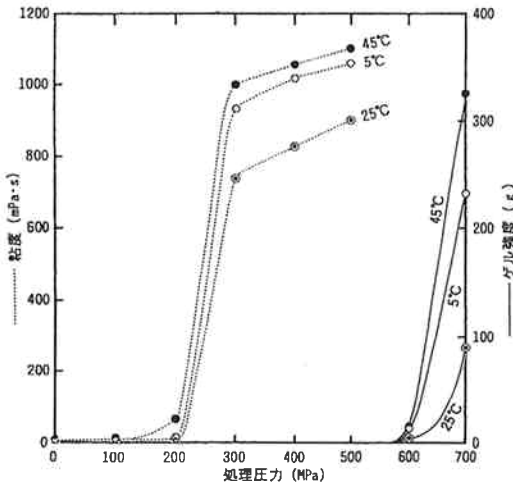


図3. 卵白の粘度とゲル強度への圧力処理の影響

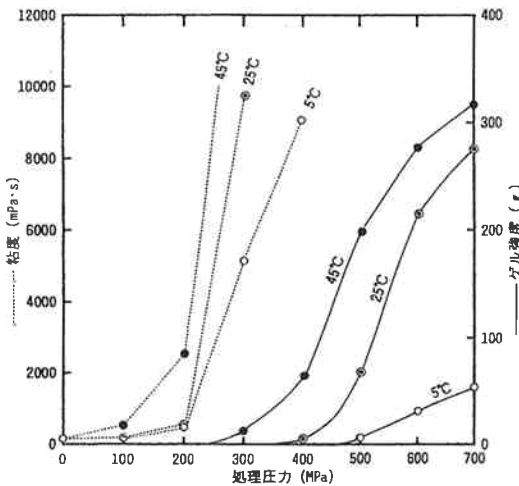


図4. 卵黄の粘度とゲル強度への圧力処理の影響

ミラーゼ消化性が高まる。顕微鏡観察では、偏光十字が消失し、粒径の増大が見られ、また示差走査熱量分析と X 線回折で糊化熱の減少と結晶化度の低下が認められている。これは、高压によりデンプンの立体構造が壊れ、加熱による糊化現象と類似した水分子との関わりが生じたことを示している。筆者らは、圧力処理を施したデンプンでは、水の配置や分布状態が加熱処理のデンプンとは異なることを指摘し<sup>18)</sup>、さらに高压処理を受けたデンプンはその後の加熱で高い糊化度

表2. 高压処理米飯の物性

| 処理区分            | 炊飯後1時間  |                    |  |
|-----------------|---|--------------------|--|
|                 | 硬さ, H <sub>1</sub><br>(×10 <sup>5</sup> dyn/cm <sup>2</sup> ) | 粘り, H <sub>2</sub> | バランス度, H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub><br>(-) |
| 無処理 (対照)        | 5.95  | 0.40               | 0.07   |
| 200 MPa, 10 min | 5.12  | 0.55               | 0.11   |
| 400 MPa, 10 min | 6.15  | 0.60               | 0.10   |
| 600 MPa, 10 min | 5.56  | 0.80               | 0.14   |

測定値, テンシプレッサー (タケモト電機製 TTP-50 BX), 3 粒法 (クリアランス 0.4mm), 測定数 5 回の平均値; 試料, 1994 年新潟県産コシヒカリを小型精米機で 90% に精白して使用; 高压処理, 昇圧, 減圧時間, 2min, 処理温度, 30°C

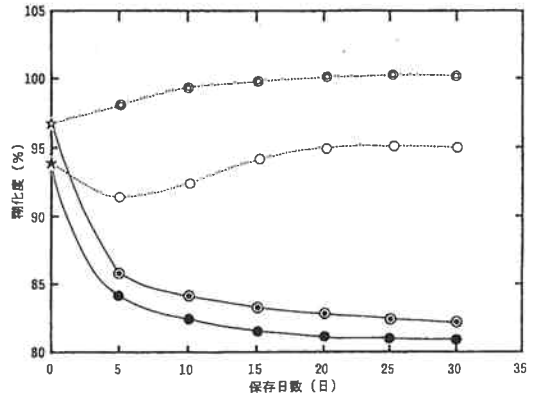


図5. 高压処理米飯の保存日数による糊化度の変化と高周波加熱での復元性

☆, 高压処理米飯 (炊飯 1 時間後); ★, 無処理の従来米飯 (炊飯 1 時間後); ●, 高压処理老化米飯; ○, 高压処理高周波復元米飯; ●, 無処理老化米飯; ○, 無処理高周波復元米飯; 高压処理条件, 浸漬米に対し 400 MPa, 10min, 30°C; 保存方法, 5°C で該当日まで保存; 復元方法および糊化度の測定方法, 米飯 100g を高周波出力 550 W の電子レンジ調理器 (シャープ製 RE-Z7-H 5 P) で 2 分間加熱後 -80°C で急速凍結を行ない, これを凍結乾燥で水分 3% とし, その後小型粉砕機 (Tecator 社製 CYCLOTEC 1093 Sample mill) で粉砕し, BAP 法<sup>30)</sup> により測定した。

を示し、これが米飯に利用できることを指摘した<sup>19)-21)</sup>。

1) 米飯の食感改良

浸漬米に高圧処理を施して炊飯した米飯（以下、高圧処理米飯と記載）の物性を表2に示した<sup>19)</sup>。無処理に比べて、全ての圧力処理区で粘りが増加し、美味しさの指標であるバランス度を上昇させていることが分る。また、保存日数による糊化度の変化と、これを電子レンジで加熱した時の復元性を図5に示した<sup>22)</sup>。高圧処理米飯は無処理の米飯に比べて、炊飯直後から糊化度が高いだけでなく、保存経過中も、また高周波で再加熱した後も、高い糊化度を示している。興味深いことは、高圧処理米飯が高周波加熱で炊飯直後よりも高い糊化度を示したことである。このような性質は従来の米飯には認められず、冷えた米飯から高周波加熱で炊飯器の炊きたてを凌ぐ米飯が得られるなど、全く新しい物性が付与されたことになる。図6に無処理の米飯と高圧処理米飯の比較写真を示した<sup>21)</sup>。対照(A)は炊飯時に生じた亀裂や破綻が見られるが、高圧処理米飯(B)では、ほぼ穀粒の形のまま膨潤していて、米飯に亀裂や破綻の跡が見られない。これも、従来の

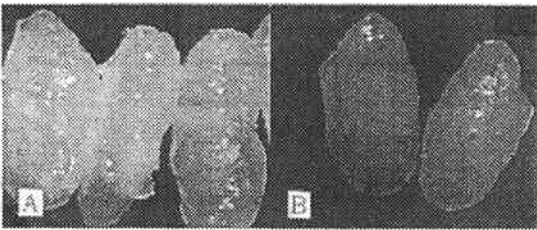


図6. 無処理の米飯と高圧処理米飯の比較写真  
A, 無処理の炊飯米で炊いた米飯 (対照)  
B, 400MPa, 10min 処理の浸漬米で炊いた高圧処理米飯

米飯に比べて高圧処理米飯が光沢に優れており、各々の飯粒が立っている印象を与える理由となっている。

Watanabeらは、古米に高圧処理を施して新米と同程度のバランス度を示す米飯を得ている<sup>23)</sup>。表3に結果の一部を抜粋した。古米による米飯は、硬さが増加し、粘りが大きく低下するためにバランス度が低くなる。しかし高圧処理が、炊飯時に古米の硬さを軟らげ、粘りを増加させ、バランス度の向上に寄与している。これらの結果は、生の米粒への高圧処理の履歴が、炊飯に影響し、粘りのある米飯の提供に役立つことを示している。他の穀類にも類似の現象が認められることから、今後の食品加工に大きな影響を与えることと思われる。

2) 新しい物性の餅の開発

常法で餅を製造し、軟らかいうちに高圧処理を施し、含まれていた空気泡を排除することで、冷却硬化後に、焼き上がりや煮えが早く、湯溶けの少ない、弾力性に富んだ、新しい物性の餅が開発されている<sup>24)</sup>。表4に示したこの餅は、従来の餅に比べて溶出率が1/5以下に

表4. 餅の物性に及ぼす高圧処理の影響

| 物 性                           | 無処理区<br>(対照) | 圧力処理区<br>(400MPa, 10min) |
|-------------------------------|--------------|--------------------------|
| 比 重 (25°C)                    | 1.25         | 1.29                     |
| 水 分 (%)                       | 42.2         | 42.3                     |
| 空気含有量 (cm <sup>3</sup> /100g) | 2.92         | 0.00                     |
| 溶出率* (%)                      | 10.2         | 1.8                      |
| 切断荷重 (g)                      | 27.9         | 30.4                     |
| 引張試験での餅の足 (cm)                | 2.43         | 2.03                     |
| 引張試験での餅の腰 (g)                 | 39.5         | 53.2                     |

\*: 100°C の水中で直方体 30×30×15mm 試料の2分間の溶出率; 引張試験の測定機器, レオメーター (不動工業製 NRM-2010 J-CW); 荷重, 200g

表3. 高圧処理による古米の炊飯特性の改良

| 炊飯米の物性      | 無処理区      |              | 古米の高圧処理区 (20°C, 10min) |              |              |
|-------------|-----------|--------------|------------------------|--------------|--------------|
|             | 新米        | 古米           | 100MPa                 | 300MPa       | 500MPa       |
| 硬さ (H) kg   | 2.18±0.17 | 2.71±0.11*** | 2.55±0.12**            | 2.50±0.08*** | 2.40±0.19*** |
| 粘り (S) kg   | 0.49±0.06 | 0.35±0.09*** | 0.57±0.06***           | 0.47±0.01**  | 0.44±0.08*   |
| 凝集性         | 0.71±0.03 | 0.74±0.03*   | 0.73±0.02              | 0.70±0.02**  | 0.68±0.04**  |
| バランス度 (S/H) | 0.23±0.03 | 0.13±0.03*** | 0.23±0.02***           | 0.19±0.01*** | 0.19±0.05**  |

原料米, 広島県産アキヒカリ; 新米, 1990年産米の冷蔵保存3カ月; 古米, 1989年産米を広島県内の無空調室内で1年間自然保存; \*, 有意差5%; \*\*, 有意差1%; \*\*\*, 有意差0.1%; 無処理区の新米の有意差検定は新米をベースとし, 高圧処理区の新米の有意差検定は無処理の古米をベースとした。炊飯方法は500MPa 処理の試料に限り「湯炊き法」で, 他は全て普通炊飯法による。測定機器, テクスチュロメーター (General Foods GTX-2); プランジャー, 18mmφ樹脂製; クリアランス, 0.1mm; 咀嚼速度, 6回/min; 温度, 品温25°C; 測定方法は3粒法とし, 10回の平均値に標準偏差をつけて表示した。

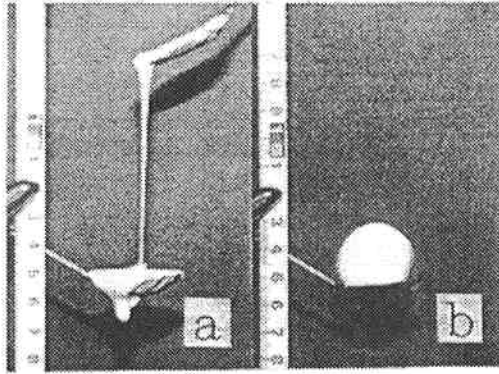


図7. 団子生地 (水分52%) の写真  
a, 無処理; b, 700 MPa (10min) 処理

減少しており、加温時間が不特定となる店頭販売用のおでん材料や、同じ湯で大量に餅を茹でる力うどん、あべかわ、雑煮や汁粉用の餅に適する新製品となる。

### 3) 新しい米菓の製造方法

筆者らは、米菓の製造工程中の蒸し工程を高圧処理に置き換えることで、成型性のある団子を製作し、省エネルギー型の米菓製造方法を提唱した<sup>25)</sup>。図7は水分52%の米粉(a)に高圧処理を施して、成形性のある団子(b)に変化させた写真である。この団子を焼き上げて風味豊かなせんべいを製造した。一方、小野らは、硬化させた糯米生地に200~400 MPa, 10°C, 20分間の高圧処理を施し、生地の硬度や切断応力の低下による加工性の向上について報告している<sup>26)</sup>。顕微鏡観察により高圧処理で生地中の気泡量の減少と生地密度の増加が確認されている。今後、新しい理論による米菓の製造方法の革新が期待されている。

### 4. 漬物への高圧利用

調味液中に野菜や果実を浸漬し、高圧処理を施すことで、短時間に内部へ調味液を浸透させることができる。また、高圧による殺菌効果を利用し、従来の漬物製造の工程から加熱殺菌工程を省くことが検討されている。

#### 1) 梅漬けの物性改良処理

一般に、果実の硬度は細胞壁成分であるペクチン質の量的あるいは質的变化に関係し、カルシウムなどの2価の金属イオンがペクチンのカルボキシル基間で架橋結合を起し、網目構造を形成することで果実組織を硬くすることが知られている。乙黒らは、ウメの果実に食塩および乳酸カルシウムを添加して、300 MPa, 25°C, 10分間の高圧処理を施し、物性の変化とその機構について報告している<sup>27)</sup>。これは、カルシウムを添加

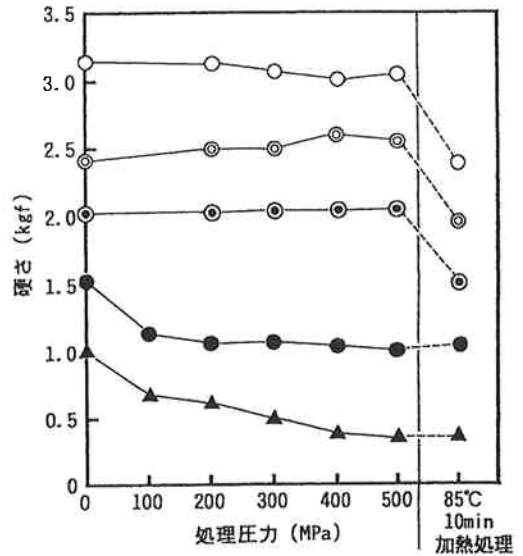


図8. 高圧処理による各種漬物の物性変化

○, 日野菜さくら漬け; ◎, しば漬け; ●, 醤油もろみ漬け; ●, ゆず大根漬け; ▲, 白菜浅漬け; 圧力保持時間, 10分間; 物性測定機器, テクスチュロメーター (3mm厚の試料を3mmφのプランジャーによりクリアランス0.3mmで1回咀嚼した時に要した力を硬さとした。)

し、高圧処理の利用により短時間で、特に果皮部にカルシウム濃度を増加させ、前述の架橋結合を促進することで水溶性ペクチンを減少させ、硬度を保持した例である。詳細は文献を参照いただきたい。

#### 2) みょうがおよびかぶの調味加工

布施らは、みょうがおよびかぶに対し、処理圧力300および600 MPa, 温度10および20°C, 処理時間10および20分間、調味液を低濃度および高濃度に設定し、酸度、色調、硬さ、Brix(ショ糖度)等を測定した<sup>28)</sup>。その結果、みょうがは1日後、7日後ともに酸味、甘味、香り、色調、歯応えの良好な製品を、かぶについては酸味、甘味、香り、歯応えは良好で、1日後は色調がやや透明で不良であるが、7日後には光沢があり白色で良好な製品を得ている。詳細は文献を参照されたい。

#### 3) 各種漬物の加圧と加熱との物性比較

松本は、漬物の製造工程で保存性向上のための加熱殺菌を高圧処理に代替できる可能性について実験している<sup>29)</sup>。図8に加熱殺菌と比較した各種漬物の硬さの変化を示した。醤油もろみ漬け、しば漬けおよび日野菜さくら漬けは、いずれも圧力処理による硬さの低下が認められず、加熱処理より高圧処理が優れていた。一方、白菜浅漬けとゆず大根漬けは、加熱処理と同じ

表 5. 高压処理による微生物の殺菌効果

| 微生物の種類                             | 微生物数 (群)<br>[cfu/ml] | 初期菌数<br>[cfu/ml]  | 高压処理 400 MPa, 10 min. |               |
|------------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|---------------|
|                                    |                      |                   | 20°C [cfu/ml]         | 45°C [cfu/ml] |
| <i>Penicillium verrucosum</i>      |                      | $1.5 \times 10^4$ | $2.0 \times 10^2$     | 0             |
| <i>Rhizopus oryzae</i>             |                      | $1.5 \times 10^4$ | 1                     | 0             |
| <i>Cladosporium sphaerospermum</i> |                      | $6.3 \times 10^3$ | 0                     | 0             |
| <i>Fusarium oxysporum</i>          |                      | $5.4 \times 10^5$ | 2                     | 0             |
| <i>Pseudomonas fluorescens</i>     |                      | $1.5 \times 10^4$ | 5                     | 0             |
| <i>Streptococcus Cp 22 B</i>       |                      | $9.3 \times 10^4$ | $1.4 \times 10^4$     | 0             |

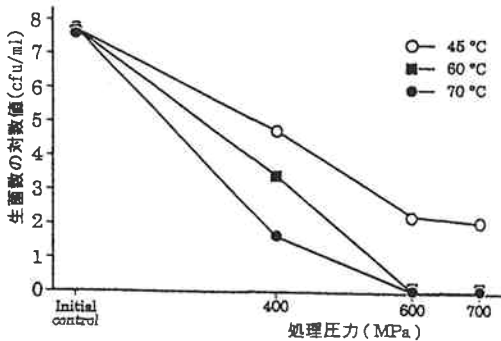


図 9. *B. subtilis* の生菌数に及ぼす圧力と温度の影響

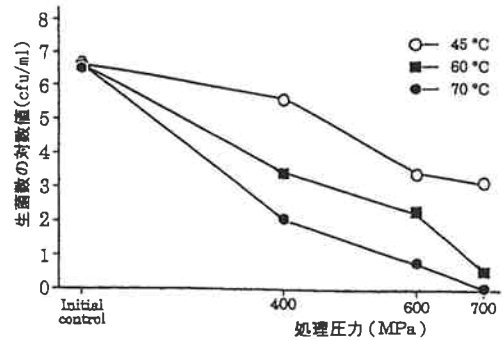


図 11. *B. pumilus* の生菌数に及ぼす圧力と温度の影響

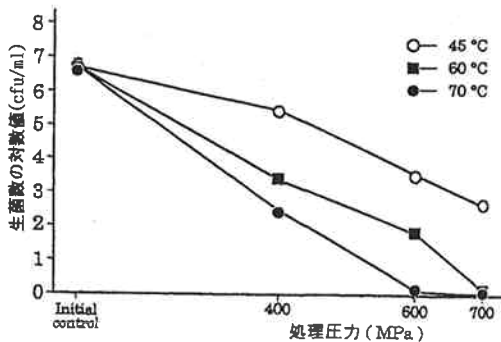


図 10. *B. cereus* の生菌数に及ぼす圧力と温度の影響

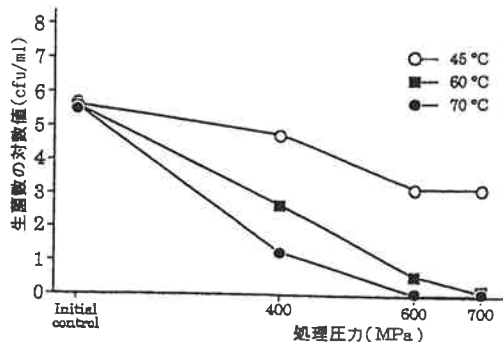


図 12. *B. licheniformis* の生菌数に及ぼす圧力と温度の影響

レベルまで硬さが低下し、更なる工夫が必要だと判断された。保存性については、400 MPa 以上の高压処理が、醤油もろみ漬け、しば漬けおよび白菜浅漬けに有効であったと報告している。

5. 果実加工品への利用

高压処理による最初の実用化商品は、イチゴ、キウイ、リンゴのジャム<sup>30)</sup>であり、その後、苦みを抑えたグレープフルーツ果汁<sup>31)</sup>や自然の風味を残した各種柑橘類の果汁や果肉<sup>32)</sup>などが開発されてきた。殺菌を優先する場合は、熱を併用すると効果的であるが、残

留する菌や酵素の影響を抑えるために冷蔵流通によって商品化されているものが多い。詳細は文献を参照いただきたい。

6. 圧力殺菌

表 5, および図 9~12 に代表的な微生物の圧力殺菌の例を示した<sup>24)</sup>。また、多くの研究者による報告から次の知見が得られている<sup>1)-8)</sup>。

- 1) 寄生虫などの器官をもった生物は、200 MPa 程度の圧力で死滅する。

- 2) 酵母細胞のように比較的大きい細胞については、高压により細胞壁、細胞膜が破壊され、特に核膜の損傷のため100~200MPaで増殖不能となる。また、-10~-20°C、200MPaでDNAやRNA組成の漏出が認められる。
- 3) 水分が十分に存在する場合、芽胞を形成しない微生物は400~600MPaで死滅する。この場合、処理温度は45~70°Cが有効である。温度を上昇させると、微生物のタンパク質が変性し、圧力の影響を受けやすくなること、および水の粘性が減少し、細胞内に水分の浸入が容易になること、圧力で損傷した細胞が修復できにくくなること等が考えられている。
- 4) 芽胞細胞を対象とした場合、加圧のみでは1,000MPa以上でも発芽を維持する菌種があり、完全な殺菌条件になりえない。しかし、熱と組み合わせた急速な加圧や減圧、および各種の気体を水中に溶解させる方法などにより、菌体細胞内の体積変化を利用した完全殺菌が検討されている。
- 5) 熱を圧力に組み合わせる場合、中、高温域では加熱殺菌の効果を上回る相乗的な効果が得られる。また、0~-20°Cの低温域でも殺菌が促進される。これは、細胞内部の水分(氷)の体積変化、細胞内膜の流動特性の変化、氷の相変化などによるものと考えられている。

6) 一般に糖類、塩類、油脂、タンパク質等の存在は細菌細胞を保護し、殺菌効率を低下させる。酸、アルカリ等のpH調整剤の影響は、食品の種類と菌種によって異なるが、菌体細胞の湿潤化や脆弱化を促すpH調整は有効である。

最近、早川により、高压を利用した殺菌方法の一つとして瞬間除圧殺菌の成果が報告されている<sup>33)</sup>。100~200MPaに加圧した菌体胞子を0.0013~0.00155秒で瞬間的に除圧して殺菌する装置である<sup>34)</sup>。図13にこの装置による瞬間除圧後の耐熱性胞子(*B. stearothermophilus* IFO 12250)の写真を示した。今後、この断熱膨張速度を更に高め、衝撃波による破壊力として利用できれば、革命的に優れた殺菌方法が誕生することになる。

## 7. 展望

高压処理を利用すると、改質と同時に殺菌ができることも大きな利点である。冷凍、冷蔵での流通が確立されている多くの国では、数年単位の長期的な保存よりも、数週間から数ヶ月程度の安心できる品質の保証が望まれている。なまもの(生鮮品)は、どの国でも食の中心を担っている。自然の味や香りを残したままで安全性が確保できる利点は大きい。特に生食を習慣としてきた日本では、高品質化の要望と共に新しい食感を有する加圧食品が開発され、未来の食品産業を支えることになると想定される<sup>35)</sup>。

高压処理の食品への利用は、数百万年の歴史をもつ熱の利用に比べれば、まだ誕生したばかりであり、我々の調理の常識に根付いていない。近い将来、無限に近い調理工程の中に高压処理を付加することで、安心、安全、健康を提供する新しい食文化が創造されるであろう。

## 文献

- 1) 林力丸編：食品への高压利用，さんえい出版(1989)
- 2) 林力丸編：加圧食品，さんえい出版(1990)
- 3) 林力丸編：高压科学と加圧食品，さんえい出版(1991)
- 4) 林力丸編：生物と食品の高压科学，さんえい出版(1993)
- 5) 功刀滋，嶋田昇二，鈴木敦士，林力丸編：高压バイオサイエンス，さんえい出版(1994)
- 6) 鈴木敦士，林力丸編：高压生物科学と高压技術，さんえい出版(1997)
- 7) 功刀滋，林力丸編：高压バイオテクノロジー，さんえい出版(1998)
- 8) 菅野長右エ門，林力丸編：高压バイオサイエンスとバイオテクノロジー，さんえい出版(2000)
- 9) 昌子有，佐伯宏樹，若目田篤，中村誠，野中道夫：高

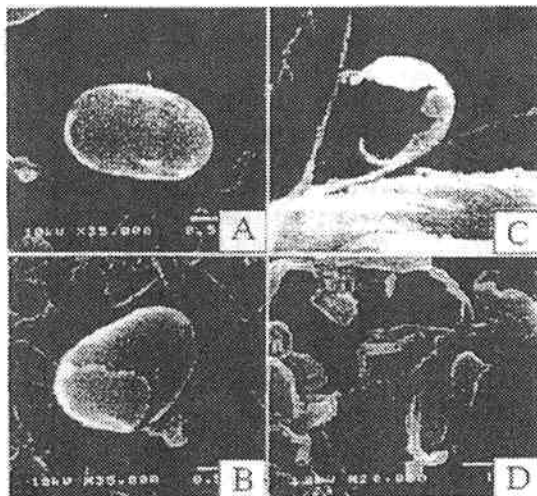


図13. *B. stearothermophilus* IFO 12250 胞子の瞬間除圧後のSEM写真

A, 対照; B, 100MPa, 75°C, 60分加圧後瞬間除圧; C, 100MPa, 75°C, 60分加圧後瞬間除圧; D, 200MPa, 75°C, 60分加圧後瞬間除圧

- 圧によるスケトウダラすり身のゲル化と筋原線維タンパク質の変化, 日本水産学会誌, **56**, 2069 (1990)
- 10) 橋本健司, 金子博実, 野俣洋, 武田忠明, 木村稔, 高橋淳也: プナザケの乳化素材等に対する超高压処理技術によるテクスチャー改善と新製品開発, 北海道立網走水産試験場事業報告, **1992**, 416-423 (1994)
  - 11) 朝賀昌志, 中西律子, 村井恵子, 青山好男: 魚介類の切り身およびスケトウダラすり身ゲルのテクスチャーに与える高压処理の影響, 東洋食品工業短期大学, 東洋食品研究所研究報告書, **21**, 69-76 (1996)
  - 12) M. Pérez-Mateos and P. Montero: High-Pressure-Induced Gel of Saridine (*Sardina pilchardus*) Washed Mince as Affected by Pressure-Time-Temperature, *J. Food Sci.*, **62**, 1183 (1997)
  - 13) F. Fernández-Martín, M. Pérez-Mateos and P. Montero: Effect of Pressure/Heat Combinations on Blue Whiting (*Micromesistius poutassou*) Washed Mince: Thermal and Mechanical Properties, *J. Agric. Food Chem.*, **46**, 3257 (1998)
  - 14) 昌子有, 佐伯宏樹, 若目田篤, 中村誠: スケトウダラすり身加圧ゲルの性質, 高压科学と加圧食品, さんえい出版, p. 300 (1991)
  - 15) 鈴木敦士, 池内義英: 畜肉の高压処理, 高压科学と加圧食品, さんえい出版, p. 258 (1991)
  - 16) 辻田純二, 鈴木邦弘: 高压処理技術を利用した食肉加工品, 加圧食品, さんえい出版, p. 123 (1990)
  - 17) 本間一男, 芳賀紀之: 鶏卵の物性に与える高压処理の影響, 生物と食品の高压科学, さんえい出版, p. 325 (1993)
  - 18) 山崎彬, 笹川秋彦, 山田明文: 高压処理および熱処理後における各種澱粉-水系中の水の存在状態の比較, 熱測定, **23**, 149 (1996)
  - 19) 山崎彬, 杵淵美倭子, 山本和弘, 山田明文: 高压処理を施した浸漬米の炊飯後の微細構造と物性, 高圧力の科学と技術, **5**, 168 (1996)
  - 20) 杵淵美倭子, 渡辺勝也, 小宮新一, 山崎彬, 山元皓二: 圧力処理炊飯米の老化の特徴, 応用糖質科学, **46**, 31 (1999)
  - 21) 山崎彬, 笹川秋彦: 高压処理による米加工食品の開発, 日本食品科学工学会誌, **45**, 526 (1998)
  - 22) 山崎彬, 笹川秋彦: 高压を利用した米加工食品の開発, 日本農芸化学会誌, **74**, 619 (2000)
  - 23) M. Watanabe, E. Arai, K. Honma and S. Fuke: Improving the Cooking Properties of Aged Rice Grains by Pressurization and Enzymatic Treatment, *Agric. Biol. Chem.*, **55**, 2725 (1991)
  - 24) 山崎彬, 笹川秋彦, 杵淵美倭子, 山田明文: 高压処理を利用した餅の製造, 高压バイオサイエンス, さんえい出版, p. 328 (1994)
  - 25) 笹川秋彦, 杵淵美倭子, 山崎彬, 山田明文: 高压処理を利用した米菓の製造, 高压バイオサイエンス, さんえい出版, p. 336 (1994)
  - 26) 小野章夫, 山崎公位, 松永隆: 米菓の製造工程改善技術 (第1報) 高压処理が米菓生地に及ぼす影響, 栃木県工業試験研究機関研究集録, **1993**, 290-293 (1994)
  - 27) 乙黒親男, 小竹佐知子, 樋川芳仁: 地域特産素材を利用した加工食品の品質改善及び保存技術の開発, 高压処理による食品の物性変化及びその機構, 山梨県工業技術センター研究報告, **8**, 36-41 (1994)
  - 28) 布施恒明, 富川桂子, 石川健一, 加藤照: 高压処理による食品の加工技術に関する研究 (第1報) みょうがおよびかぶの加工試験, 愛知県食品工業技術センター年報, **35**, 64-74 (1995)
  - 29) 松本正: 漬物への高压利用, 食品加工技術, **13**, 20 (1993)
  - 30) 堀江雄, 木村邦男, 井田雅夫, 吉田泰博, 大亀邦仁: 加圧法によるジャム製造に関する研究, 日本農芸化学会誌, **65**, 975 (1991)
  - 31) 弓削典子, 三枝裕昭, 六鹿靖務, 玉置洋司: 高压処理によるグレープフルーツ果汁の苦み発生の抑制, 生物と食品の高压科学, さんえい出版, p. 350 (1993)
  - 32) 福久一馬, 佐野和男, 小川浩史, 福本治次: 柑橘類果汁・果実の高压処理, 生物と食品の高压科学, さんえい出版, p. 336 (1993)
  - 33) 早川功: 食品産業への圧力利用, 日本食品科学工学会誌, **47**, 651 (2000)
  - 34) 早川功, 堀内啓史, 水永晃博, 古川壮一, 中島太一, 藤尾雄策: 瞬間除圧式殺菌装置の開発, 日本食品科学工学会誌, **45**, 158 (1998)
  - 35) 山崎彬, 笹川秋彦: 高压処理法, 新食感事典, サイエンスフォーラム, 371-383 (1999)
  - 36) 貝沼圭二, 松永暁子, 板川正秀, 小林昭一:  $\beta$ -アミラーゼ-プルランナーゼ (BAP) 系を用いた澱粉の糊化度, 老化度の新測定法, 澱粉科学, **28**, 235 (1981)