

21世紀の調理の方向

—新しい調理操作の潮流を見据えて—

長尾慶子

1. プロローグ

ずいぶん昔から、そして洋の東西を問わず、料理には火が使われている。無論我が国のどの家庭でもご飯を炊き、惣菜類の煮付けをし、魚を焼くといった具合に食事の用意がされている。周知のごとく、食材を煮炊きすることによりその多くは軟らかくて食べやすく、消化吸収の良い食べ物になるばかりか、好みの味付けにした煮物や、香ばしくて美味しい焼き物が各家庭の食卓を賑わすことになる。しかも、食材の加熱は食べ物を衛生的に仕上げるためにも必要な操作である。しかし食材を加熱する究極の目的はおいしいものを食べたいという人間の欲望につきるであろう。

人間が火を用い始めたのは約50万年前という説もあるとおり、加熱の歴史は非常に長い。加熱方法には、煮る、蒸す、焼く、揚げるなどの従来の方法と、最近主流を占めてきた電子レンジなどの高周波加熱があり、食べ物の仕上がり状態に大きく影響するものである。我々の祖先は、長い長い加熱の歴史の中で、食品材料と加熱方法との組み合わせの中においしい食べ物を調製する最適要領を「こつ」としてその経験のなかから確立してきた。調理科学という分野はその「こつ」に科学があるとして学際的に研究している新しい学問分野である（私はこの複雑で且つ奥深く魅力的な調理科学分野に足を踏み入れ、加熱の研究に15年以上試行錯誤していることになるが）。

本稿では、新しい加熱機器のしくみならびに

火を使わないで操作する未来派調理の超高压処理を利用した食品加工の現況を紹介したい。

2. 新しい加熱調理法 (高周波を利用して)

大きく分けて電子レンジによる加熱と、電磁調理器による加熱がある。前者はマイクロ波を用いた誘電加熱、後者は誘導加熱を応用したものである。

1) 電子レンジ加熱の原理

水分子のような電気双極子は電場の中で配向する性質を持つ。水分子を極板に挟んで極板に正負の電荷を与える（誘電分極する）。極板を交流電源につなげば交流の周波数に応じたリズムで回転し、水分子の運動エネルギーすなわち熱エネルギーに転換される。水分子だけが回転する周波数を選べば他の分子（アミノ酸、糖、でんぷんなど）は回転せずに、水分子のあるところだけ発熱することになる。食品に吸収されるエネルギーは以下の式で得られる。

$$P(W/cm^2) = (5/9) f \epsilon_r \tan \delta (V/L)^2 \\ = 1.36 \times \epsilon_r \times \tan \delta \times E^2 \times 10^{-3}$$

但し、 f : 周波数、 ϵ_r : 比誘電率（誘電分極する大きさを表す）、 $\tan \delta$: 誘電損失正接（電場の变化する速さに遅れる程度）、 V : 電圧、 L : 食品の厚み、 E : 電場の大きさをレンジ内の場所により変化する。

食品の体積を V とすると食品に吸収される電力は $P \times V$ となる。加熱される食品の体積が2倍、3倍となると、単位体積あたりの吸収される

電力Pは1/2および1/3となり、同じ温度まで加熱するのに2倍および3倍の時間がかかることになる。つまりあまり大きいものには、電子レンジ加熱はかえって時間がかかることになり便利な加熱器といえない。

このように誘電加熱とは、従来の加熱調理のように外側に熱源があって、外から熱エネルギーが与えられ食材内部へ伝導によって熱が伝わっていく方式とは加熱原理が全く異なっている。マイクロ波が食品の分子、原子に直接働きかけ、それらの運動を活発にさせて食品自体が温度上昇するものであり、電子レンジはその代表的な加熱機器である。

電子レンジにはマグネトロンという短い波長のマイクロ波を発生する装置があり、日本では2450メガヘルツ (MHz) の振動数の電磁波が利用され、それが食品中に吸収されて、食品中の電場で誘電分極して水分子を振動させ、その摩擦熱で食品内部で発熱する。マイクロ波を吸収したものが発熱するので、食品からマイクロ波をさえぎると加熱されない。電子レンジで調理された食品の栄養成分、特に水溶性のビタミンB群やC、無機質類の残存率が高いことが知られている。電子レンジで炊飯した飯の α 化度は電気炊飯100に対して96%、放置時間とともに老化が早まる。電子レンジの欠点を補い調理時間も短縮できるように、オープンにマイクロ波を併用し、望ましい性状の食品を得るオープンレンジも工夫されている。

日本での家庭用電子レンジの登場は1965年(昭和40年)、マイクロ波利用はまだ日が浅く今後さまざまな改良が行われより利用しやすいもの、調理性能の良いものへと移行することが期待できる。

2) 電磁調理器加熱の原理

クリーンヒーターの名称で売りだされている電磁調理器の原理は、トッププレートの下のコイルに高周波(25KHz程度)の電流を流して磁力線を発生させ、鍋底が磁力線を受け起電力を

生じて渦電流が発生して発熱する電磁誘導加熱(Induction Heating, IH方式加熱ともいう)である。

鍋底で発生した熱が伝導や対流により中の食品や水に伝わり加熱されるので、加熱の方法は外に熱源がある従来の方法と変わらないが、熱効率が非常に高く80%以上(従来の電気コンロの場合は約50%)である。そのため100Vの電磁調理器で湯を沸かすのに、ガスコンロに近い時間で普通の電気コンロの2.5倍早い時間で済む。また鍋をはずせば熱源がなくなり、排気ガスも出ないので大変クリーンである。この電磁調理器は1974年(昭和49年)に発売された新しい加熱機器であり、21世紀の福祉社会に対応した安全・高性能の調理機器といえよう。最近ではこのIH(Induction Heating)方式が電気炊飯器にも応用されて売り出されている。磁力線による誘導加熱で金属釜全体が発熱し加熱されるので、炊き上がりが羽釜炊きに近く、従来の電気炊飯器に比べよりおいしいと感じる。短所は使える鍋に制約があり、鍋底が平らで材質は鉄を含む強磁性体のものが必要で、電流の流れない土鍋やセラミックは使えない。先日、青山のUで豆腐懷石を楽しんだ折、卓中央に組み込まれた電磁調理器のプレート上に、竹籠と耐水性の和紙の容器に湯豆腐がセットされてくださった。和紙の底には薄い金属板が敷かれていたので、電磁調理器からの磁力線が紙容器の金属板を通過して中の液体が加熱されるという仕組みである。いかにも日本的な竹の籠と和紙の容器の中の豆腐をすくいながら、日本情緒たっぷりのしつらえに感心したものであった。電気の通りにくい土鍋やセラミックでもその底に薄い金属を貼りつけた鍋が発売されれば電磁調理器の短所は解決できるのにとと思う。

3. 熱エネルギーを利用しない方法 (超高圧処理を調理に利用して)

前述のように、現在食品を製造加工するには主に熱を利用して食品を調理している。保存や衛生管理面では安心であるが、食品の風味や鮮度、栄養素が加熱で失われる可能性も大である。

最近の消費者の意識として、新鮮で高品質な食品、添加物を避けた減塩・低糖・安全な食品への要望が高まってきている。これを満たすためには伝統的な加工貯蔵技術では満足できない部分が多くなってきているのが現状である。

そこで圧力を食品の製造や加工に利用しようという動向は世界で注目をあびている新しい食品加工技術である。

この加圧処理は、静止した流体にかかる圧力(静水圧)を利用して食品に数百～数千気圧(数十～数百MPa)の超高圧をかけ、食品製造や加工を行おうとする加工技術である。現在では数種の食品が市場に出るにおよび、加熱食品に対して加圧食品という言葉が現代用語辞典にも採用されるようになってきている。

ここで少し圧力についての基本的なことを調べてみよう。

1) 気圧と水圧:

我々に身近な圧力の例をあげると、天気予報で使われる高気圧や低気圧はその地域の地表面の圧力であり、家庭で使われる圧力鍋は高い圧力下で水の沸点が100℃以上の温度となることを利用したものである。また混雑した電車の中などでハイヒールを履いた女性に足を踏まれた時に、小柄な痩せた女性でも大変痛いと感じるのは圧力が面積に関係しているからである。

圧力をかける媒体には気体と液体があり、気体はボイルの法則に従い圧力が2倍になると、体積は1/2になる。しかし液体である水は5000気圧(500Mpa、5000kg/cm²)の圧力をかけても体積は14%しか減少しない。しかも液体中で物体に圧力を加えるとパスカルの原理で全ての面に均一に圧力がかかる(等方性の原理)。また水深によって圧力が変わり、10mで約1気圧(1kg/cm²0.1Mpa)の圧力がかかる。そ

のため水深10000mの日本海溝の底には約1000気圧(100Mpa)の圧力がかかっていることになる。

2) 圧力利用の歴史:

人間が圧力を技術として利用したできごととして、1765年のジェームスワットによる蒸気機関の改良や1814年のスチーブンソンによる蒸気機関車の発明があげられる。

その後食品加工へ圧力を応用しためざましい進歩がなかったのは、工業的な氷の生産や家庭用冷蔵庫の普及などの食品保存技術の急激な進歩が背景にあり、無理に圧力を利用する必要がなかったためといわれている。しかし、1968年研究用潜水艦Alvin号の沈没事故で、10ヶ月間1543mの海底に放置された後に引き上げられた艦内から、乗員の残した昼食用サンドイッチやりんごがほとんどもとの状態が残っていたことより高圧力下での微生物活性が注目された。以後熱と同様に圧力も調理に利用できないかという考えが、1986年日本で初めて京大の林力丸先生らにより提唱され、各大学研究所を中心に実用化に向けて本格的な研究が始められて14年、超高圧の研究はまだ始まったばかりである。超高圧処理では、よほど反応性が高くないかぎり共有結合の切断や生成は起こらず、非共有結合のみが影響される。つまり、成分変化やビタミンなどの栄養素の破壊、異臭の発生、毒性因子の生成を伴わないので生の風味に近いものとなる。また圧力は瞬時に伝わるので省エネルギーになるという利点がある。しかし、共有結合の変化つまり加熱香気の発生や、メイラード反応のような着色を起こすことができないのが欠点ともなる。現在技術が応用されている分野を以下に紹介する。

3) 超高圧利用技術の応用

○食品の殺菌:

もっとも期待されている分野である。1000気圧(100Mpa)以上の圧力をかけると多くの生物が死滅する。細菌、かび、酵母などは2000気圧

(200Mpa) 以上で死滅し、ウイルスも不活性化し、寄生虫も死滅する。しかし、現在食品衛生法で殺菌条件が加熱条件で定められている食品には加圧による殺菌は認められていない。かんきつ類果汁、牛乳、生酒などの食品に検討がなされている。芽胞を有する細菌は耐圧性も強いので、完全な殺菌には70-80℃の加熱と6000気圧(600Mpa、以下Mpaで表示する。)の加圧処理を利用すると殺菌硬化が上がるといわれている。

0-157をはじめとする病原菌の大部分は超高压処理での殺菌が可能であり(ボツリヌス、ウェルシュ、セレウスなどの耐圧菌も一部存在するが)調理と同時にできる。大腸菌(E.coli)については、20℃、500Mpa、20分で殺菌が行え、またサルモネラ菌については20℃、400Mpa、20分で殺菌が可能である。

○タンパク質、でんぷんなど高分子食品成分の変性:

タンパク質では200-300Mpa、でんぷんや一部の酵素はそれ以上の圧力を加えると、立体構造がくずれ熱変性に似た現象を起こす。タンパク質は変性するため魚肉・畜肉は白っぽくなるが、加熱した物とはやや異なる。卵ははつぶれることなく弾力のあるゆで卵状になる。野菜は見かけ上茹でたようになり、野菜の細胞膜の機能が著しく低下し、しなっとしているが、常圧下で放置すると次第に硬くなりその後加熱しても煮崩れが起こりにくくなる。

○酵素の失活や反応の制御:

上記の圧力効果は食品中の酵素にも適合し、温度と圧力の制御によって酵素を失活または活性化することができる。食品中の酵素は食品の保存性に密接に関係しており、果実、穀類、肉、魚などは特に影響をうける。現在魚肉や果汁を中心に研究が進められている。この効果を利用した食品に明治屋の超高压ジャムがあり、従来の加熱ジャムにない自然な色調や風味が保たれている。その他、肉および加工製品、魚および

加工製品、水産練り製品、乳製品中の複合タンパク質からアレルゲンのみを除去した製品などの検討が行われている。

○成分の抽出:

超高压による浸透性を利用し、食品中へ糖や塩分の浸透、食品から有効成分の抽出が試みられている。すなわち、果実への糖質の浸透、漬物への超高压利用などがあげられる。

○食品の保存:

加圧により、水の凍結温度が低下するという特有な現象を利用しておこなう食品の加工・保存技術である。すなわち0℃以下でも不凍領域であれば凍らない。そのために、氷点下不凍結保存(いちご、牛肉、鶏肉への応用)、加圧解凍(牛肉、マグロ、ウニ、白子など)、急速凍結などの食品への利用があげられる。通常、常圧下の低温高湿度解凍に比べて5℃、150Mpa加圧解凍では1/3、200Mpaでは1/5の時間で解凍される。急速凍結では微細な氷の結晶の生成が可能であり、高野豆腐などの製造に利用すると有効な結果が得られる。

○加圧による半調理食品:

食品の調理・加工の分野で加圧-加熱を併用する、ハイブリッド加工技術は単一操作の欠点を補う効果もあり、将来は非常に有望な分野である。食べる直前に加熱することを想定して食品加工に加圧行程を組み合わせ多様性を持たすことができる。

たとえば、現在の給食などの食材をあらかじめ加圧することで、微生物の挙動を抑制あるいは病原性菌類を殺菌し鮮度や栄養素を保った半調理食材としておき、その後軽い加熱や調理をすれば衛生的でおいしく、栄養も豊かな給食となる。

4) 市販されている超高压食品の紹介

○(ジャム(明治屋)):

1994年4月に明治屋より発売された無加熱ジャムは世界初の超高压食品である。ジャムは果実の長期保存を目的とした伝統的な食品であ

り、糖度を高くすることで保存性を高めている。しかし、消費者の嗜好の変化や健康志向によりジャムの糖度は下がり、ジャム製造時の加熱に加え殺菌のため包装後の再加熱が不可欠になっている。超高圧によるジャムはペクチンのゲル化と殺菌を無加熱で同時に行ってしまうため、鮮度保持ができビタミンCの損失が少ない。ビタミンCは従来法で70%減少していたものが、約400Mpaの圧力で90%以上の保持ができたという報告がある。

○果汁：

ポッカのグレープフルーツ（商品名：オーシャンズプレープレミアム）は果汁を絞ったあとに生成される特有の苦味（リモニン）を圧力により防いでいる。

和歌山農協のみかん果汁は、超高圧により味の劣化を防いだジュースを発売している。

○氷核たんぱく（食品添加物）：

食品や水の凍結、凍結濃縮、凍結乾燥などの加工処理における補助（促進）剤としてキューピー（株）より発売している。氷核たんぱくは茶畑の遅霜の原因とされている氷核菌が生成するタンパク質で、過冷却を防ぎ急速な凍結や解凍などの効果がある。低温で殺菌できる超高圧処理（5℃、300Mpa、5分間）を利用して氷核菌の殺菌を行っている。

○よもぎもち：

よもぎもちは新鮮な春の香りと美しい緑が楽しめる伝統的なもちの一種であるが、食品製造の間ではこの香りと色を残すことは難しく加熱を用いる製造方法では諦められていた部分であった。越後製菓ではその工程に超高圧（400Mpa、50℃、10分）処理を利用してよもぎの新鮮な香りと緑の色を残す商品の開発に成功し販売を行っている。

以下に同越後製菓研究所の平成10年度食品工学会技術賞受賞研究成果を紹介する。

○品質の良い餅の製造と無菌化：

餅の品質は、穀類の持ち味と、足（伸展生）、

腰（弾力性）、舌触り（食感）で評価されるが、煮たときの湯溶解率、餅に含まれる空気泡も品質に関係する。餅を400Mpa、10minの処理で急冷糊化すると、湯どけ率は1/5以下に減少し弾力性、伸展性に優れ、透明度が増し、焼き上がりや煮えが早く同水分量では明らかに弾力性が増した餅ができた。工場内で生息するカビや菌は原料米や副材料（よもぎ、のり、豆）に由来するものが多く、無菌包装に失敗すると2次的な汚染としてかび、植物病原菌、動物由来の球菌が混入する。芽胞を形成するBacillus菌以外は400Mpaで45℃、10minで殺菌できた。耐熱性の芽胞菌には、色味香りを損なわずに低菌化する条件として、青豆には70℃、700Mpa、10min、青海苔や蓬には45℃で400Mpa、10minの結果を得た。

○米菓への高圧処理の利用：

原料が、うるち米の‘せんべい’と、もち米の、‘あられ’や‘おかき’に大別される。製法は平安時代から変わらずに一度米を蒸して成形したのち再度焼くという処理を行っている。このように製造に2回の糊化工程が入るため、加工時間が長かつ複雑であるが、高圧処理により工程が短縮できた。高圧処理は浸漬したうるち米を水きりし、高圧処理してから粉砕機で粉にし加水して団子生地にし、乾燥して焙煎して素焼きの生地をつくるという、省力化したせんべいの製造が可能となる。また高圧処理した米粉から得たせんべいは食感、風味とも既存に比べて同等なものが得られた。エネルギー的にみると、10%程度の省エネであるが、労働力的には60%程度の削減となった。

○高圧処理炊飯米

水分を含ませた米デンプンに400Mpa - 600Mpaの高圧処理でデンプンは変性する。無処理米との炊飯米の外観を比較すると、高圧処理米はほぼ穀類の粒がそのまま膨潤していて米粒に亀裂や破裂の跡が見られない。できあがり炊飯米に光沢があつておのおの粒が立って

みえる。高圧処理米はバランス度および粘りが高い。24時間になっても老化した食感は少なく弾力性があった。高圧処理炊飯は、圧力によって米粒内のデンプンに強制的な水和が生じ、炊飯時に糊化が進行したものと推察された。吸水の悪い古米や、インデイカ米についても圧力変性を併用することで、バランス度の高い飯を作ることができる。低温で保存しても硬化は早い、弾力のある食感が残り、おいしいことより、外食産業やコンビニエンスストアなどの販売時間や消費期限の延長を促し廃棄品の減少に寄与すると考えられる。

○ γ -アミノ酪酸 (GABA) の生成した玄米の製造販売 (品名: ふつうに炊ける玄米)

玄米食は玄米に含まれる薬理物質やその効果が研究されて、高コレステロール、高血圧症、便秘、過酸化脂質の増加、老化に伴う免疫力の低下などの対策として近年見直されている。従来、玄米は吸水に時間がかかること、および果皮、種皮、糊粉層によって胚乳中のデンプンの膨潤が阻害され、炊飯性に劣るなどの欠点があった。また圧力釜などによる100℃以上の加熱はビタミンや栄養素の破壊、脂質の酸化、たんぱく質の分解などを促す。また玄米の生菌数は多く常温での長期保存は困難であった。そこで玄米を洗浄後熱水による2-3分のブラッシングを行いさらに65℃600Mpaの処理を行うと、白米と同程度に浸漬15分で炊飯可能な水分量に達し、普通の炊飯器で炊飯可能となる。(未加圧の玄米は浸漬12時間を要する) しかも低菌化を実現し、酸化酵素の働きを押さえ常温保存の玄米の過酸化物質が30meqに対し1-2meqで保存安定性に優れていた。GABAは甲殻類の神経接合部、哺乳動物の小脳、海馬などに多く存在する抑制性神経伝達物質であり、血圧降下作用があるが、高圧処理によりGABAを含む炊飯性に優れた玄米を作ることができたと報告している。著者も都内Tデパートで市販されているこの製品を購入、炊飯器で白米同様に炊飯し

たが、商品名のとおり、普通に炊け、強飯に近い食感であった。

以上最近の調理加工の新しい動向を紹介した。今後調理の分野に熱(温度)に加えて圧力が食品の加工、保蔵、輸送の技術として広く用いられれば、我々の食生活も今よりずっと豊かにそして健全になるであろう。21世紀の調理の新しい方向がみえてきていることに期待したい。

4. エピローグ

すべての食材は動植物成分すなわち生体成分で構成されている。いずれも農業生産、畜産、水産により、栽培され、あるいは捕獲されて食材に加工されたものである。食べ物にはそれら動植物の靈魂がやどっており、人はその靈魂によって生かされているという古来の日本人の食にたいする思想がある。21世紀の調理を考えたとき、今後ますます調理の外部位化が進み大規模に加工された食べ物が食卓に上ることも多くなると予測される。食品素材の由来を知らずに食べ物を口にすることも多くなるだろう。しかしながら、その土地の気候風土に根ざした食べ物を大切にし、その素材を生かし、その味を楽しむ、季節感を大切にするといった日本料理の心は大切に残していきたいものである。古来の食文化の伝統を失わず時代に対応した日本の食生活を創造していきたいものである。

いつの時代も調理の究極の目的はおいしいものを作ることであり、加熱操作の重要性に変わりはないと確信する。そして新しい機能を備えた調理機器や加工技術の進展に対応した調理科学の幅広く学際的な研究が要求されている。

参考文献

- ・島田淳子・中沢文子・畑江敬子編、調理科学講座2、調理の基礎と科学、朝倉書店(1993)
- ・食品加熱の科学、渋川祥子編、朝倉書店

(1996)

- ・下村道子・和田淑子編、改訂調理学、光生館

(1998)

- ・石毛直道監修、杉田浩一編、食の文化講座第三卷、調理とたべもの、味の素食の文化センター

(1999)

- ・林力丸、食品への高圧利用、さんえい出版、(1989)

- ・林力丸、食品産業の未来を拓く高圧技術と高密度培養（食品プロセスとしての高圧科学技術・有効性と展望）、食品産業超高圧利用技術研究組合編、健康産業新聞社

- ・林力丸、加圧食品—研究と開発—、さんえい出版、(1990)

- ・林力丸、高圧科学と加圧食品、さんえい出版、(1991)

- ・林力丸、生物と食品の高圧科学、さんえい出版、(1993)

- ・島田淳子・葛西みどり・山本文子・畑江敬子、高圧処理による物理的特性および嗜好性の変化、日本食品工学会誌、37 (7)、511 (1990)

- ・山本文子・葛西みどり・畑江敬子・島田淳子、大根の物性に及ぼす高圧処理および処理後の放置の影響とその機構、日本食品工学会誌、39 (7)、571 (1992)

- ・山崎彬・笹川秋彦、高圧処理による米加工食品の開発、日本食品工学会誌、45、526 (1998)