

食品加工プロセスの変遷と食品工学

東京大学農学部 矢野俊正

はじめに

筆者の専門は、最初は微生物工学であった。それが、東京大学農学部農芸化学科に食品工学講座が新設され、1971年（昭和46年）3月、その講座担当に任命されてから食品工学と取り組むことになった、まったくゼロからの再出発であった。既存の食品学とはいささか異なる方向に摸索を続けてきたので、未だに食品学の事情に精通せぬままの本稿執筆である。大事なことが洩れたり、観点が偏るおそれがあるが、ご寛容のほどをお願い申し上げる。まず、手許にある資料によって戦後の食品加工プロセスの変遷を概観し、次に筆者の現在の専門である食品工学についてその展開を述べる。

I. 戦後期の状況

1945年（昭和20年）の敗戦から数年間は食糧絶対量不足の時期であった。たまたま、1946年、1947年と2年続けて米国農産物が大豊作となり、小麦などの余剰農産物が未加工のまま日本に送られてきた。この時期は、まず製粉、製油など農産物の一次加工が急務であった。米国占領軍総司令部（GHQ）の命を機に、日本食糧機械工業会が設立されたのは1948年のことであった¹⁾。一方、戦前からあった（社）日本缶詰協会などの団体も戦後間もなく活動を再開し²⁾、食糧の加工・保存に対する農芸化学関係者の取り組みも再び活発となった。

1950年に勃発した朝鮮戦争のころから、日本の戦後の混乱は終息に向う。1952年、日本で最初のHTST（High Temperature Short Time の略）熱殺菌機が乳業界に導入された³⁾が、同殺菌法が英国で開発された1922年に遅れること30年であった。醤油工場に大豆の連続蒸煮装置が初登場し⁴⁾、国産技術による濃縮果汁が日本で最初に発売された⁵⁾のは、いずれも1953年のことである。

II. 高度成長期の状況

1955年（昭和30年）ごろから神武景気と呼ばれる経済高度成長期が始まり、1959～1961年のいわゆる岩戸景気へと続く。食品加工の大規模化と装置化・自動化が顕著になり、食品工業という呼称が定着するものこのころからである。すでに食糧必要量の供給は十分であり、調理の労働から婦人を解放する簡便な食品が普及し始めた。インスタント食品ブームが起こったのは1960年である。品質の向上を求めて乾燥、造粒、包装といった技術が長足の進歩を遂げた。異論があるかもしれぬが、食品加工の大規模化・装置化・自動化という時代の変革のなかで、食品学、あるいはもう少し広く農芸化学、が先導的役割を果たしたとは考えにくい。しかし、これらの技術革新のほとんどは外国からの輸入技術であり、輸入技術を使いこなすためにいちばん苦労したのはそれまでの食品製造を担ってきた全国農芸化学科・水産学科・畜産学科の卒業生だったのではなからうか。かかる状況が、後述のように、既成の工学の導入とは一味違う、食品工学への期待を生んだとも考えられる。

一方、食品加工の大規模化は食品の広域流通を前提とし、広域流通は、また、食品の保存期間延長を前提とするものであった。安全性の検討が不十分なまま、化学保存料が添加された。AF2（フリルフラマイドの商品名）は、1958年日本で開発され、1965年食品添加物として厚生省の認可を受け、ある会社から市販されてハム・ソーセージ・豆腐などに添加され、その後染色体異常を惹起することが明らかになって、1974年食品への使用が禁止された。これなどは安易に使用された化学保存料の典型的な例であろう。

食品の広域流通は食品製造法にも変革をもたらした。いくつか例を挙げよう。まずロングライフミルク（LL牛乳）、牛乳の熱殺菌の主目的は、昔は病原菌を殺すこ

とであった。それが、広域流通の時代に入って、あらゆる微生物の殺滅へと目的が変化した。昔の殺菌と区別して滅菌という用語が当てられる。一般に、滅菌のための熱処理強化と食品の品質保持とは矛盾する。ところが、この矛盾を解決する原理があった。高温短時間法である。発見に至る経緯はよくは知らぬが、科学的にみれば、この原理は耐熱性細菌胞子の熱死滅反応の活性化エネルギーが他の低分子反応のそれよりも大であることを利用したものである。I. で触れた HTST 熱殺菌機がさらに進んで、超高温瞬間殺菌機も登場した。熱交換機に替って、牛乳中に直接水蒸気を吹き込み、直後に真空中に噴霧して急冷と増加した水分の除去とを同時に行う、などの方式である。その後熱交換機の性能も向上して、いくつかの方式で 132°C 以上 0.5~3 秒といった超高温瞬間加熱が可能になった。こうして生れたのが LL 牛乳で、無菌包装技術の進歩とあいまって、常温で 3~6 カ月の保存・流通が可能となった。LL 牛乳は、輸入されれば国内酪農に打撃を与えるという政治的問題や、10°C 以下での保存・流通を定めた厚生省令の見直しという行政上の問題をひき起こした。

次に包装豆腐。豆腐を作ってから包装したのでは滅菌不十分になることから、流動状態のまま滅菌・包装し、包装後に凝固が起こるよう工夫された製品である。凝固剤には、熱によって酸に分解を早めるグルコノ-δ-ラクトンが使用される。

包装によって、食品が置かれる環境も変化した。昔は餅に生えるのはカビであった。ところが、包装餅ではカビよりも細菌が繁殖しやすい。環境湿度が高いのである。世間には知られずに終ったが、包装餅にぶどう状球菌が繁殖していたことがあった⁽⁹⁾。食品加工の大規模化と食品の広域流通とは、食品製造プロセスにおける衛生管理の強化を要求するものでもあった。

低温技術の導入も高度成長期の落し子といえよう。食品の品質向上を目指した凍結粉碎、凍結濃縮、凍結乾燥などである。低温流通も普及した。

自動制御にも目を向けてみよう。高度成長期の初期にはなばなく登場したフィードバック制御法は、食品加工には必ずしも向いていなかった。石油のような流体の連続処理と異なり、食品加工では回分操作が多いためである。フィードバック制御全盛期の後に、コンピュータの小型化に支えられて、シーケンス制御の時代が来た。食品製造プロセスの自動化が顕著に進んだのはシーケンス制御の時代に入ってからである。これは、やがて一連の操作の数値制御へと発展する要素を含むものであった。

高度成長期における食品製造プロセスの変革の最後の例として、とくに農芸化学と関係が深い酵素利用法の新展開を挙げよう。もともと、酵素や微生物の利用はわが国農芸化学のお家芸のようなものであった。食品学の範疇から外れるおそれがあるので一例のみ挙げると、グルコースイソメラーゼによるブドウ糖の果糖への交換にまず指を屈するであろう。原理は既知であったが、1964 年日本で *Streptomyces* 属の菌の酵素に工業的適用可能性が見出され、生産方法の検討の後、1965 年酵素法による異性化糖生産が企業化された⁽¹⁰⁾。この成功は、固定化酵素・固定化菌体を使用するいわゆるバイオリアクター開発研究の大きな推進力となった。

高度成長期も最初の約 10 年を経たころから、食品の安全性のみならず、資源・エネルギーの浪費、環境汚染などに対する反省期を迎えていたが、そこに 1973 年のいわゆる石油ショックを迎え、経済低成長期に移行する。経済低成長期は技術的停滞期でもあったが、学問的進歩が普及する時期とも考えられる。3 例を挙げる。

水分活性：食品の品質と保存性は水分含量によって左右されるが、食品の水分管理に、水分含量そのものよりも、含有される水分の熱力学的状態を反映する水分活性が用いられるようになった。品質管理や工程管理が一步前進したと考えられる。多変量解析法の導入。食品の品質評価に欠かせぬ官能検査も、多変量解析法を仲介として、成分組成との対応を明らかにしつつある。解析手法の多様化。熟成という食品加工独得のプロセスも、清酒の場合には指標化合物の発見→速度論的解析→出荷計画に合わせた指標化合物初期濃度の制御、と進んで科学的予測・制御の対象となってきたが、この研究過程では化学のほかに、多変量解析、気象統計を利用した反応速度論、伝熱工学、など必要な手法が縦横に駆使された。

III. 近年（1980 年代）の状況

経済低成長期は 1980 年代に入っても続くが、技術面では新たな動きが出てきた。すなわち、超臨界流体抽出法、Extrusion cooking など、今までの食品加工が経験したことのない高温・高圧技術の導入、伝統的操作法の数値制御への転換、産業ロボット導入と計測センサーへの需要増大、などである。数値制御への転換例としては、まったく「杜氏」を雇わない酒造会社も現れた。

これらの技術的新展開は経済低成長で他分野に新展開を求める化学関係あるいは機械関係の企業の食品業界への参入を容易にしつつあり、また、食品会社も今まで互いに手を出さなかった他の食品業種に進出する傾向が顕著になった。いわば、新たな戦国時代の到来である。

IV. 食品工学の展開

ここで、筆者が新たに専門とした食品工学の展開の軌跡を随想風にたどってみたい。

冒頭に述べたように、筆者が東京大学農学部農芸化学科食品工学講座担当を命ぜられ、1人赴任したのは1971年3月であった。前の勤務先は日本大学農獣医学部で、若輩、助教授の身分での講座担当であった。同講座の設置が認められたのは1968年であったから、人選に関係者が苦慮した形跡がうかがえる。いわゆる大学紛争が東京大学農学部にも波及し始めたころであった。

さて、1人赴任当時、食品工業界で目を見張るのは手仕事の機械化と容器の装置化とであって、それら機械・装置の中で起こる現象の予測と制御に関しては昔と同様に勘と経験が支配していた。食品工学の目標の一つを、諸現象の予測と制御、と設定したとき、既成の科学・工学の直輸入では解決できぬいくつかの難問があったのである。これらの難問がいかなる性質のものであるかについて、人びとはあまり明確な認識を持ってはいなかった。食品工学という語も、化学工学を踏まえた食品加工技術、というくらいの意味で通用していた。予感された難問の性質を理解することが筆者の初仕事であった。作戦を練り、訪問先を選び、訪問先にあらかじめ質問内容を通知しておく、という試みに天も感応したか、2度目の企業訪問で相良孝昭という人に巡り合えた。明快な解答だった。

難問のよって来たる場所は、食品加工の原料である生物素材の特殊性にあった。季節性をもって生産される生物素材は、組成・構造的に多成分・不均質系であるばかりか、その組成・構造が多様である。このため、操作条件の決定や装置設計に必要な物性値は一定しないばかりか操作中にも変化し、また1つの操作中に各種の物理的・化学的・生化学的変化を併発する。これら諸変化を多成分・不均質な場で巧妙に同時制御しないと、合理化は失敗する。食品工学はこれら難問を避けては通れぬ宿命を背負っている、と思われた。ついでだが、外国のfood engineersと話をしてもこれだけの問題意識を持っている者には出会ったことがない。相良氏は、当時筆者の疑問に筆者が望むように応じえた世界でも唯一の人だったかもしれない。

暗中に模索の数年後1つの光明が見え、やがて光の数が増し、10年を経るころから展望も開けてきた。一步一步ではあるが、測定を繰り返すしかすべがなかった食品物性値に体系的把握の道が開け、食品加工独得の操作に対しても予測と制御の可能性が示された。時代的幸運に

も恵まれた。科学的認識の深化と、コンピュータの発達に支えられた計算技術の進歩とが、解析学的微積分学のみでは手も足も出なかった難問の攻略に有力な援軍となったのである。

たとえば有効熱伝導度。食品の物性値がわからない、と工学系の人びとを嘆かせた首魁の一つである。ここには2種の未知があった。すなわち、たん白質および炭水化物の固有熱伝導度と、多様な不均質構造に対応する関数形、とである。一つがわかれば他もわかる関係にあるのだが、両者とも未知だったのが混沌の原因であった。それも、一部を残して体系的把握が可能になった⁽⁷⁾。

レオロジー挙動。これも既知の理論と合わぬ食品の魔性の一つであった。原因はいろいろある。多孔質に由来する圧縮性の問題は、有限要素法といった数値計算法の発達のおかげで、まだ微小変形領域のことではあるが、ポアソン比の予測が可能となり、この結果弾性挙動の魔性の一部が消滅した⁽⁷⁾。2種混合ゲルの弾性率が元のいずれのゲルの弾性率より低くなるという奇妙な現象も、説明・予測・制御への光明がみえた。

ホイッピングや膨化という食品加工独得の操作にも工学的・科学的解析のメスが入り、気泡分離では新無次元量の発見もあった。

以上は、15年におよぶ筆者の研究室での研究例である。独善のそしりを覚悟で未熟な研究を列挙させていただいたのは、いずれも前述した難問を避けては通れぬ食品工学の宿命を意識した努力の結果であり、また、そこには筆者が教育を受けた農芸化学の伝統である「物質を中心に現象を追跡する」という立場が色濃く反映されていると思うからである。化学工学を超えた食品工学の姿が見え始めた、とするのは不遜であろうか。

付言するが、本稿を書くに当たって新たに目を通した雑誌に坂口謹一郎の次の言があった。「十分な生物学の知識の上に立つ……食品工学の成長こそ、今後の新しい学問の分野として最も期待されてよいものではないでしょうか（点線は筆者による省略）」⁽⁸⁾。この記述が、1959年の時点で食品工学を新しい学問分野と見通したものとすると、かなりの卓見というべきであろう。また、筆者の知る限りでは、これが日本で活字によって食品工学への期待が述べられた最初のものである。

いささか自己中心的に記述を進めてきたが、食品工学がすべて物質中心で発展すべきだとは思わない。現に単位操作の大部分は物理的变化の予測・制御に支えられている。歴史的にも機械や化学工学専門家の寄与が甚大であった。しかし、食品製造プロセスが大量生産と省力化から食品の質的向上を目指す段階に達した現在、学問的

表 1 食品学—プロセス—

年代	社会・食品工業	大学・研究所・学会
1945	日本敗戦	
'48	日本食糧機械工業会発足。	'47 農林省食糧管理局研究所, 食糧研究所となる。
1950	朝鮮戦争勃発。	
'52	HTST 殺菌機導入。	
'53	醤油工場に連続蒸煮機。	
	国産濃縮果汁発売。	
55	神武景気始まる。	
	食品加工の装置化・自動化顕著に。	
'59	岩戸景気。	'59 食品工学への期待活字に。
1960	インスタント食品ブーム。	
		'62 日本大学農獣医学部に食品製造工学科。 ('67 食品工学科と改称。)
65	酵素法による異性化糖生産企業化。	'65 九州大学・農に食糧化学工学科。
	ワールドチェーン勧告(科学技術庁)出る。	'66 日本農芸化学会大会に食品工学の分類登場。 広島大学水畜産学部食品工業化学科。 ('79 生物生産学部改組。)
		'67 京都大学・農に食品工学科。
		'68 名古屋大学・農に食品工業化学科。 東京大学・農・農化に食品工学講座。
1970		'72 農水省食糧研究所, 食品総合研究所に改組, 食品工学部誕生。
'73	第一次石油ショック。	
'74	フリルフラマイド使用禁止。	'74 東京水産大学に食品工学科。 米国 IFT に Food Engineering 部会誕生。
75		'75 日本ワールドチェーン研究会発足。
		'76 第1回国際会議“Engineering & Food”(米国)。
		'79 化学工学協会に食品化学工学研究会誕生。 第2回国際会議“Food Process Engineering”(フィンランド)。
1980	超臨界流体抽出, Extrusion cooking, 産業 ロボット導入などに対する食品工業界の関心 高まる。	'81 日本食品機械研究会発足。
		'83 第3回国際会議“Engineering & Food”(ア イルランド)。
85		'85 第4回国際会議 同上 (カナダ)。

にも科学・工学・食品学の融合が必要となっている。噴霧乾燥における香気成分保持, 造粒における吸湿性・溶解性制御, extrusion cooking などとくにごうであろう。ただし, 筆者の観ずるところによれば, 異なる分野の専門家を集めただけでは境界領域の本質的発展は期待できない。1人の人間が科学にも工学にも食品学にも通曉している, という状況を作り出さねばならない。全国の大学に新設された食品工学関係学科・講座の卒業生が, そろそろ出番を迎えつつあるはずである。

なお, 1979年, 化学工学協会のなかに食品化学工学

研究会が誕生した。設立者・初代表は乾燥の研究で偉業を成就した桐柴良三・京都大学教授(当時)である。筆者は現在第3代表者を務めている。

海外の動きを付加すれば, ヨーロッパでは, 1965年ごろからと思われるが, 2年ごとに食品に関する化学工学者のシンポジウムが開かれていた。米国 IFT (Institute of Food Technologists) に Food Engineering Division ができたのが 1974年。第1回国際会議“Engineering and Food”が米国で開催されたのが 1976年, この国際会議は現在までに4回開催されて, 1985年, 今後の

Food Engineering 推進のための“Permanent Body”と位置づけられた。大学・学会などの動きは表1に示す。

V. 21世紀への展望

今までの食品加工は、まず一次生産物があり、これに分離・変換などの操作を施しつつ全体の有効利用をはかる末広がり的发展をしてきた。しかし、広域流通と加工技術の発展は、世界各地の一次生産物を食品素材として見直し、地域的一次生産物にとらわれぬ食品製造への道を用意した。食品製造プロセスにとって、素材の多様化と、それに対応する分離・変換技術の精密化とが1つの方向であろう。

一方、いかなる食品を作るべきかという認識の深化も、食品プロセス——さらに食品学や食品工学——のあり方に影響を与えるべきである。1983年から3年間継続した文部省特定研究「食品機能の系統的解析と展開」は、専門を異にする農・医・薬・工・家政各分野の研究者の協力を得て、生体の神経系・内分泌系・免疫系に作用する食品の機能、老化・病態との関連、食品機能の変換・保持、などを総合的に研究し、多様な認識と手法の共有を目指したものであった。成果の21世紀への継承が望まれる。折しも、バイオテクノロジーの急速な発展は、農・水・畜各分野における一次生産物の改良を加速しつつある。食品の機能とその機能の変換・保持に関

する認識の深化は、バイオテクノロジーの有効利用のために新たな指標を与える展開となることを期待したい。

食品加工プロセスには未経験の操作が導入されつつあり、プロセスの自動化もますます進む方向にある。これらの技術的展開は、現象の科学と結びつく必要がある。いかなる目的で、どんな諸変化をそれぞれどんな範囲に制御したいのか、がまず指定しうるように食品学が成長してほしい。次いで、勤と経験への依存を脱し、食品素材の組成と構造を指定のように実現しうる手法の整備を食品工学に期待したい。最後に、食品学としての機能設計が食品工学としてのプロセス設計に具体化されるまでの展望を21世紀に期待している。

- (1) (社)日本食品機械工業会編：「日食工 30年の歩み」, 1978.
- (2) (社)日本缶詰協会編：「日本缶詰史」, 第3巻, 1977.
- (3) 明治乳業(株)：「明治乳業 60年の歩み」, 1967.
- (4) 梅田勇雄：「総合食料工業」, 桜井芳人他編, 恒星社厚生閣, 東京, 1970, p.516.
- (5) 太田安英：化学と生物, **14**, 157 (1976).
- (6) 頼富憲三郎, 小巻利章：「澱粉科学ハンドブック」, 二国二郎監修, 中村道徳, 鈴木繁男編, 朝倉書店, 東京, 1977, p.481.
- (7) 矢野俊正：「改訂5版化学工学便覧」, 化学工学協会編, 丸善, 東京 (1987 出版予定).
- (8) 坂口謹一郎：食品工業, **2**, No. 6, 1 (1959).