

電子レンジによる食品加熱の話（その4）

中 沢 文 子*

§8. スポンジケーキと餅の電子レンジ加熱と通常加熱の比較

調理品の例として同じスポンジケーキのタネを使って電気オーブン、ターンテーブル付（TT付と略称する）電子レンジ、固定型電子レンジの3方法でスポンジケーキを作った場合の出来上りの色、きめ、膨れ方、水分分布を比較する。オーブン、電子レンジはたまたま手元にあったのを使用したもので、他の機種を用いれば、多少は変えると思われる。材料の薄力粉 300g、卵 100g、砂糖 100g、ショートニング 30g を一定の条件で攪拌して、耐熱ガラス容器に流しこんで加熱した。各方法の出来上りを仕込量の約91%の重量となるようにして、含水量をそろえた。加熱条件を表5に示す。1200W の電気オーブンは焼き上げまでの時間が42分以上かかるのに対し、電子レンジは3分半という短時間で仕上がる。これは電子レンジの大きな長所であり、ケーキを手作りしてみようかなという気をもたせる。粉やバター、ショートニングをとかした容器を洗わないですむ使いすて容器付の電子レンジ加熱用ケーキミックスが売れたのはうなずける。

オーブンでは、天板からの熱伝導と、高温の空気の対流により熱せられた容器と、表面から、内部に向かって熱伝導で加熱される。オーブンの設定温度 160°C にさらされると、スポンジケーキのたねは、内部の昇温膨化の前に容器に接した面と表面が固る。“ケース・ハードニング”の状態が徐々に昇温するので、気泡の移動と合体が妨げられ、比較的きめが細かく、膨化は制限さ

れる。容器に接した部分は膨らまず、中央部がもり上る。スポンジケーキの図37に示した部位から試料を採取して水分分布を測定した。図37の結果から、オーブン加熱では上層皮部の水分が際立って低く、側面に近い3の底部がこれに続く、○印の中部は含水量が高く保たれ、しっとりした感じに仕上がっている。表面は焼色が図38のようにつき、香りがよい。他方電子レンジ加熱では表面も内部も同時に昇温し、出来上りまでに3分半位であるから、表面が軟かいうちに内部に気泡が生じて移動、合体し気泡は大きくなり、きめが粗くまた表面の固化が優先しないのでケーキの大きさもオーブン加熱に比べると嵩高くなる。水分分布はTT付電子レンジでは比較的均一で、17~27%の含水量に納っている。しかしながら、中部の含水量は電気オーブンの33~35%と比べると17~23%であり、10%以上低い。このため食感は電気オーブンのしっとり重厚に比較して電子レンジ加熱ケーキは軽やかな、またはケーキとしても足りない感じがする。固定型の電子レンジでは、底部の含水量が高く34%程度で、含水量の少ない上層部では15%とばらつきは大きい。同じ材料を加熱しても電子レンジの機種によってこれ程の水分分布が違ふのは注目に値する。全体としてみると電気オーブン加熱のいわゆるスポンジケーキと比べて材料は同じでも外観、口ざわり、香りは蒸パンのようである。スポンジケーキでは、香ばしい香りが勝るが、電子レンジケーキでは卵の香りが生きて軽やかに感じる。電子レンジケーキを食べやすい形の一口大に切って、電子レンジ

表 5. スポンジケーキ（約 330g）の加熱条件

機 種	設定条件	予 熱	加熱時間	全時間
電気オーブン（上下ヒータ計 1200W）	160°C	7分以上	35分	42分以上
TT付電子レンジ（出力 600W）	強	なし	3分30秒強	3分30秒強
固定型電子レンジ（出力 600W）	強	なし	3分30秒	3分30秒

* 共立女子大学家政学部

電子レンジによる食品加熱の話 (その4)

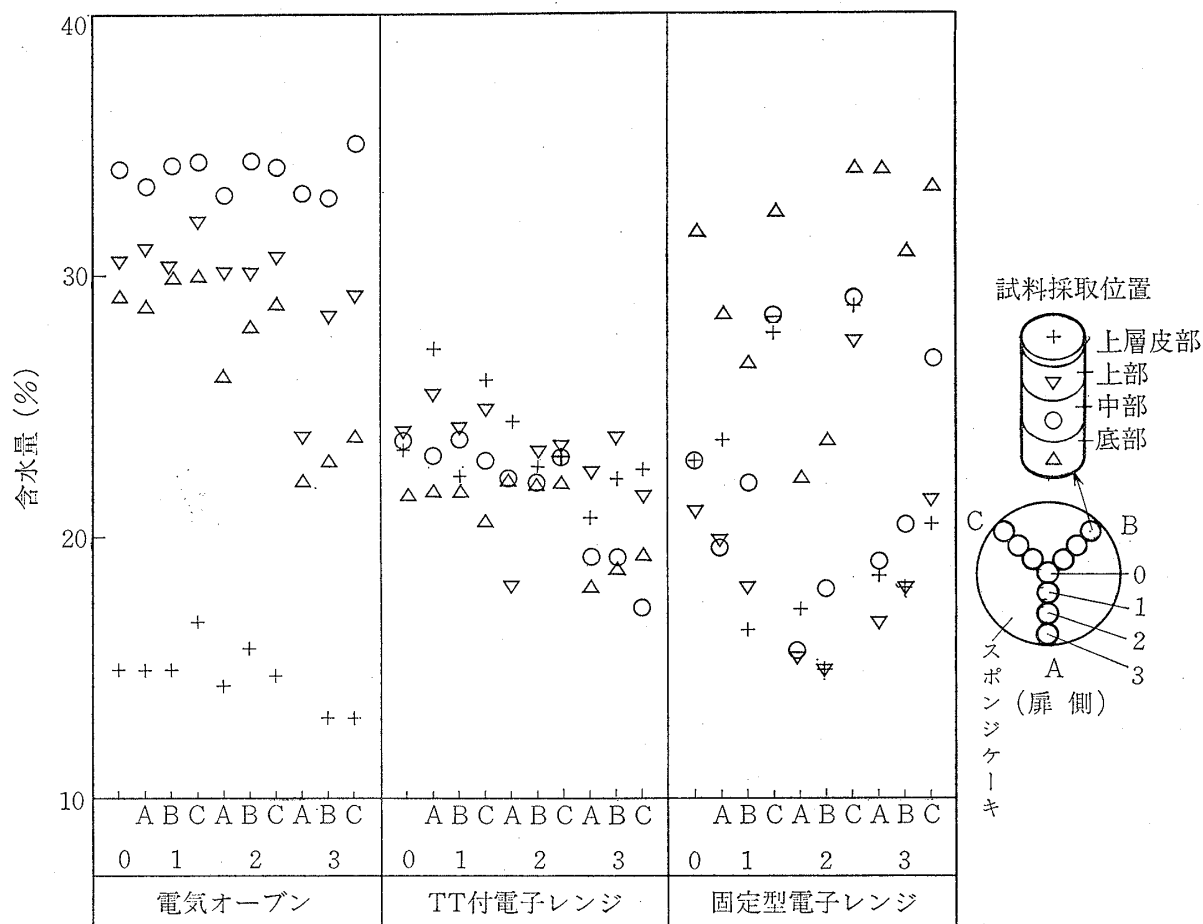
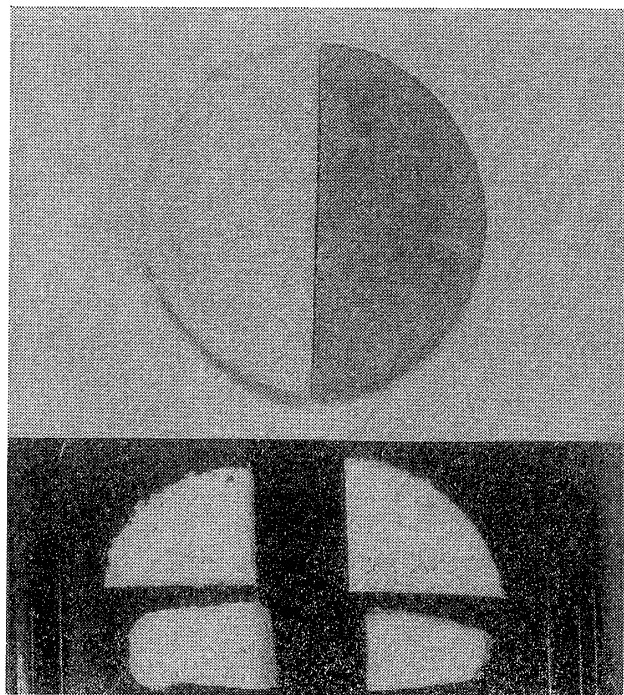


図37. スポンジケーキの水分分布



左 電子レンジ加熱 3分30秒
右 オープン加熱 35分

図38. スポンジケーキの比較

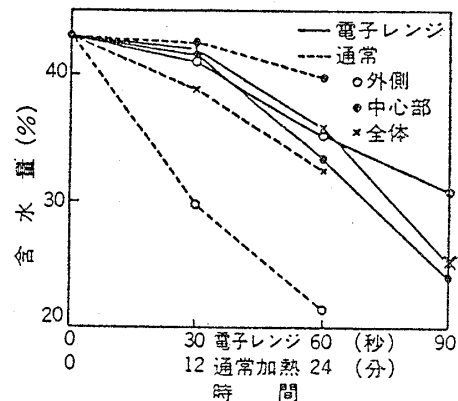


図39. 餅をヒーターで焼いた時と電子レンジで加熱した時の水分変化

で再加熱すると短時間で水分がとび、油で揚げない保存のきくスナック菓子となる。これもまたよしである。

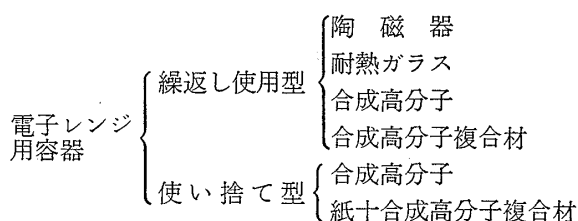
餅は電子レンジで加熱すると焦目はつかないが1個では30秒程度の短い時間でやわらかく食べれる状態になる。60×35×15mmの大きさの餅を加熱し、表層部、中心部全体の含水量を求め、電気ヒーターで通常加熱した餅と比べて図39に示した。外側、中心部の含水量は135°C、3時間法、全体の含水量変化は餅重量の変化から求めた。

加熱してやわらかくなった餅の外側と中心部ははっきり分けることができないので、その分け方は厳密なものではない。食べれるように軟かさになるのに電子レンジ加熱では30秒に対し、電気ヒータでは12分要した。過剰に加熱した時の水分分布の様子が39図からわかる。電子レンジ加熱では短時間のうちに全体が軟かくなるから中央部がたやすく膨らみ、球形に近づく、そうすると§5で述べたレンズ効果でマイクロ波は中心部に集中し中心部の水分蒸発が表層部よりも促進されると考えられる。図39の実線で示したように電子レンジ加熱では60秒加熱した過剰加熱の時に中心部の方が含水量が低くなっている。この時中心部は表層部よりも硬く、餅としての価値はなくなる。他方点線で示した通常加熱では、表層部の水分が先に失われて、ケースハードニングの状態となり、容器に密封されたと同じような状態で餅が加熱される。そのために中まで軟かくなる時間12分の2倍の24分まで加熱しても表面は硬くなるが、中心部は餅のやわらかさが保たれる。

餅の場合も1つの例であるが電子レンジ加熱では中心部の温度が表面よりも高くなることが本質的にあり得る。最適加熱時間の判断のさいに、そのことを考慮すること、間欠的加熱により熱伝導を利用すること、また形のない食品では加熱中断の際に攪拌し再度加熱するなどが加熱むらを避け、電子レンジ加熱の長所を生かす方法といえよう。

§9. 電子レンジに用いられる食品包材, 容器

電子レンジで食品を加熱する時に使う容器は、通常の食品容器として要求される性質の他に 2450MHz の電波の吸収が小さく透過することが欠くことのできない必要条件である。耐熱性の点では特定の使用条件（水分が多く油が遊離していない）であれば 110°C 以上の実用使用温度、油物や不特定多数の食品に使う容器としては 200°C 以上の実用使用温度をもたなければならない。また -20°C 程度の冷凍温度にも使えるもの、熱容量の小さいものが望ましい。現在電子レンジで使われている容器としては大別して繰返し使えるものと、電子レンジの手軽さをより引出す使い捨て容器がある。



陶磁器は耐熱性の点からは通常の瀬戸物でよい、陶土の種類により誘電損失が変わるので、マイクロ波透過の効率からは電子レンジ向きに作られたアルミナ系（図40参照）の容器の方がよりよいが、大量生産以外には問題にする程のことではない。普通の瀬戸物では彩色材に金属が入っていることがあり、彩色材中の金属粒子の有無は一見してわかるものだけではないから、無地の瀬戸物

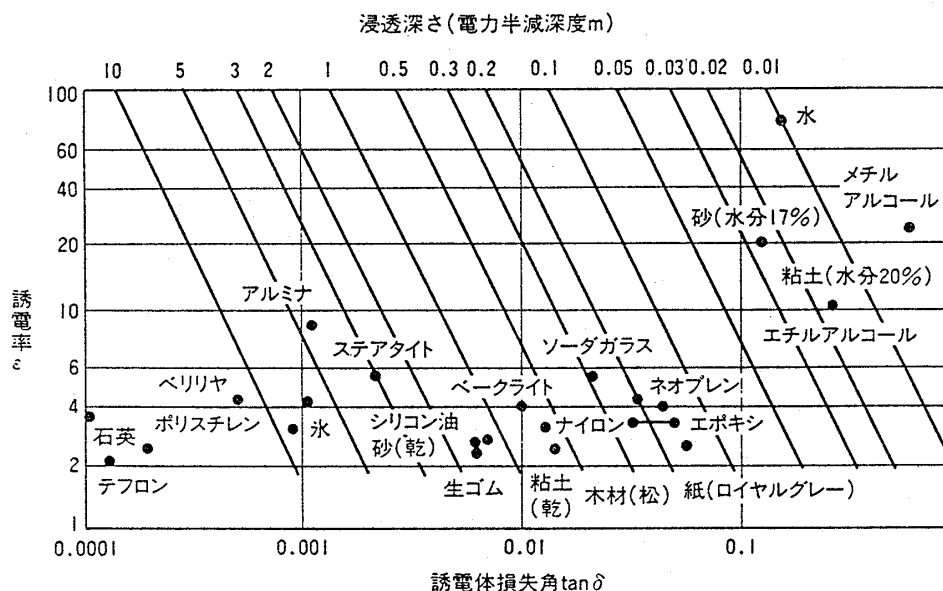


図40. 2450MHz における各種物質の ϵ , $\tan \delta$, 電力侵入深度

註. アルミナ Al_2O_3 酸化アルミニウム、アルミナ磁器は硬さ、耐蝕性大きく軟化点高い。るつば、乳鉢、保護管に使われている
 ベリリヤ BeO 酸化ベリリウム、融点が高く安定な酸化物、高周波損失が小さいのが特徴
 ステアタイト 滑石のことでタルクとも呼ばれる。軟かく滑らかな鉱物で滑石磁気の主成分は MgSiO_3 。高周波の誘電損失が小さいので高周波縁鉢とに使われる。

電子レンジによる食品加熱の話(その4)

表 6. 高分子の実用最高使用温度

高 分 子 材 料	融点°C	添 加 物	実用最高温度°C	組 成
LDPE (低密度ポリエチレン)	110	あり	60	CH
LLDPE (リニヤー低密度ポリエチレン)	120	あり	80	CH
HDPE (高密度ポリエチレン)	130	あり	80	CH
PP (ポリプロピレン)	170	あり	130	CH
PP コポリマー	150	あり	100	CH
PS (ポリスチレン)	200	あり	80	CH
PVC (硬質塩化ビニル)	210	あり	70	CHCl
PVDC (ポリ塩化ビニリデン)	170	あり	70	CHCl
TPX (ポリ-4-メチルペンテン-1)	240	あり	180	CH
不飽和ポリエステル	—	あり	180	CHO
フッ素樹脂	—	あり	260	CHF
ポリカーボネイト	230	なし	180	CHO
ナイロ-6	230	なし	150	CHON
ナイロン-66	260	なし	180	CHON
PBT (ポリブチレンテレフタレート)	230	なし	180	CHO
C-PET (ポリエチレンテレフタレート)	270	なし	220	CHO
PPS (ポリフェニレンサルファイド)	280	なし	230	CHOS
Ultem (ポリエーテルイミド)	360	なし	300	CHON
Xyder (オールアロマチックポリエステル)	420	なし	350	CHO

(渡辺晴彦²⁴⁾より)

の方が無難である。金属粒子が入っていると2章§7のAl発熱シートのところで述べたように誘導電流により急速に発熱し、彩色材が変色するだけでなく、基材の陶磁器が局所的昇温に耐えられず割れることがある。

耐熱ガラスは通常のガラスと外見では区別がつかないから、電子レンジに使えることを確認の上購入することが望まれる。通常のソーダガラスは図40でみるとアルミナより $\tan \delta$ が10倍以上大きいから容器自身もアルミナ容器などよりはマイクロ波を吸収、昇温し、耐熱性からも食品の加熱効率からも望ましくない。ガラスビーカーではそそぎ口、上の縁のように突出部が割れることは何度か経験した。耐熱ガラスは図40からみると石英が一番よいが高価なので、ホウ酸とケイ酸が共重合したホウケイ酸ガラス材のものが使われる。パイレックス、テレックスがよく知られた商品名である。

合成高分子はその種類によっては安価で使捨て用としての用途が開けているために近年多くのメーカーが力を入れている。陶磁器、ガラスと比較すると、形が自由になり肉薄にできるので軽くまたマイクロ波の吸収も小さくできる。表6²⁴⁾に各種の包装材として使われている高分子の融点、実用最高使用温度などを示した。メーカーにより耐熱温度の表示は違っているから、この表は1つのめやすとして利用するとよい。これらの高分子が単独で容器として使われていることもあるが、特殊な紙にコーティング材として、また2種類以上の高分子を組合せて使われ、容器が作られている。適度な強度をもちかつ耐熱、

衛生上溶出物がないことの上に経済性が追求されている。

日本で大量に販売されている電子レンジ食品ケーキミックスの容器は紙にPP又はTPX(表6参照)をコーティングしたものが使われているとの事である。電子レンジ加熱向きに作られた冷凍食品も国内でも出回ってきたから、使捨ての容器がかなり使われることになりそうだ。米国で多量に売られている冷凍—電子レンジ加熱のTVディナーは油ものも入るので、表6に示された実用最高使用温度の高いC-PETが多く使われている。1パックの中に区分けして種々の調理済み冷凍食品が入っていて、電子レンジ加熱した時にも低温の方がよいデザートなどは、Alフォイルで部分的に覆うなどの細工がなされている。

電子レンジで冷えた調理品を再加熱する時、中が見えてマイクロ波を透過するということでラップフィルムで覆って再加熱することが多い。ラップフィルムの外箱には原材料名、耐熱温度、電子レンジに……など記すことが国内ではきめられているから参考になる。しかし覆はラップフィルムだけではなくて、陶磁器、耐熱ガラスの蓋でもマイクロ波は十分透過するのだから全く差支えない。耐熱温度はラップフィルムより高いから、油ものの再加熱にはむしろラップフィルムよりすすめられる。電子レンジで調理操作のゆでる、蒸す、煮る、炊くとその調理品の再加熱は、蓋をして調理品からの蒸発水分を逃がさないようにする、温度の高い水蒸気を加熱に利用しまた飽和水蒸気の下で加熱して水分のとびすぎを少しで

おさえる。これに対して、揚げもの、焼きものの再加熱は、加熱しすぎないことが第1で、これを守れば蓋はしない方が食感が損われないことが多い。よく利用される冷御飯の再加熱も覆をしないで加熱するとべとつきがなく、好みによるが評判はよい。

§10. おわりに

4回にわたる電子レンジによる食品加熱の講座をふり返ってみると、何故内部から加熱されると云われるのか、電子レンジ加熱の水分蒸発の特徴とその原因、避けがたく生じる不均一加熱の理屈、など自分では調べにくいのではないと思われるところに重点をおいた意図は果たしたと思う。しかし電子レンジ利用の実際面ではこの4回目の講座でスポンジケーキ、餅の例をあげただけで、家政学雑誌に掲載された文献も割愛した。

広くマイクロ波に関する最新の報文は雑誌 Journal of Microwave Power に掲載されている。国外のマイクロ波照射による食品の冷凍融解、乾燥、殺菌、その他の1980年代までの報告は、文献25)、26)にレビューされている。マイクロ波、誘電加熱に関する一般的な参考書とこの講座1～4の目次を末尾につけた。この講座が電子レンジ加熱について、“何故なのか”、“改善できるのか”という疑問が生じたときの考えるヒントになれば幸いである。

謝辞 この講座を書く機会を与えて下さった調理科学編集委員会に深く御礼申し上げます。書くことのりが手の筆者はこの機会なしにはまとめるチャンスはなかったと思います。お茶の水女子大学大学院生の佐々木恵子さんには貴重なデータを見せていただきました。アルミの発熱シートを御提供下さった凸版印刷KK、包材事業本部の佐々木啓明氏、加内満氏に心からの御礼を申し上げます。共立女子大学家政学部食物科学物理研究室の卒論生、小畑恵子さん、池田美弥さん、篠原りえさんには多くの実験をしてもらいました。心から感謝致します。

文 献

- 24) 渡辺晴彦：食品加工技術，7，45 (1987)
- 25) U. Rosenberg and W. Bögel : Microwave Thawing, Drying and Baking in the Food Industry. Food Technology, June 85 (1987)
- 26) U. Rozenberg and W. Bögel : Microwave Pasteurization and Sterilization, Blanching and Pest Control in the Food Industry. Food Technology, June 92 (1987)

マイクロ波，誘電加熱の一般的参考書

- 阿部英太郎：マイクロ波，東京大学出版会 (1983)
 阿部英太郎：マイクロ波技術，東京大学出版会
 雨宮好文：現代電磁波工学，オーム社 (1985)
 犬石嘉雄，中島達二，川辺和夫，家田正之：誘電現象論，電気学会 (1977)
 岡小天：誘電体論，気体及び液体の誘電的性質（復刻版），現代工学社 (1977)
 金丸競：高分子電気物性，共立出版 (1981)
 高橋勲次郎：高周波の工業への応用，東京電機大学出版会 (1977)
 露木英男，首藤厚：食品のマイクロ波加熱，建帛社 (昭49)
 肥後温子編：電子レンジ・マイクロ波食品利用ハンドブック，日本工業新聞社 (1987)
 藤沢和男：改版マイクロ波回路，コロナ社 (1972)
 A. R. プライス：高分子の電気的性質，培風館 (1982)
 M. ボルン，E. ウォルフ：光学の原理Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，東海大学出版会 (1975)
 森田清監修，末武国弘，林周一著：マイクロ波回路，オーム社 (1958)

電子レンジによる食品加熱の話の目次

(その1) 調理科学 Vol.20, No1, 20～25 (1987) 文献1)～7)

第1章うま味電子レンジを使うための基礎	20
§1. はじめに	20
§2. マイクロ波	20
§3. 誘電体，誘電分極，誘電率	22
§4. 誘電体が電磁波から吸収するエネルギー	24
§5. 電子レンジ加熱のエネルギー出入	25

(その2) 調理科学 Vol.20, No.2, 111～117 (1987) 文献8)～11)

§6. 食品中のマイクロ波の波長，定在波，屈折	111
§7. 電子レンジの構造	112
第2章電子レンジ加熱の実験と応用	113
§1. 水の蒸発速度	113
§2. 水と油の電子レンジ加熱の比較	115
§3. 澱粉一水系の加熱	115

(その3) 調理科学 Vol.20, No.3, 193～200 (1987) 文献12)～23)

§4. 電子レンジ加熱食品の温度分布を見る	
A. ヨード染色澱粉糊液を使用する方法	
B. 界面活性剤の曇点を利用する方法	
C. コピーのトナー，サーモペイントを用いる方法	
D. 赤外線放射温度計を用いる方法	
§5. 円柱形容器の中心軸附近の優先的昇温	

電子レンジによる食品加熱の話（その4）

§ 6. 種々の食品の誘電定数とその温度依存性

§ 7. 金属へのマイクロ波の照射と発熱 Al シート

（その4）調理科学 Vol.20, No.4, 280～285 (1987)
文献 24)～26)

§ 8. スポンジケーキと餅の電子レンジ加熱と通常加熱

の比較

§ 9. 電子レンジに用いられる食品包材, 容器

§ 10. おわりに

マイクロ波誘電加熱の一般参考書

新 刊 紹 介

松元文子著

「食べ物と水」

（B 5 判 244 ページ 定価 1,800 円 家政教育社）

本会の前会長松元文子先生が「調理と水」を出版されたのは昭和38年であったということであるが、本誌の読者の方は、一度はこの本をお読みになっていると思う。今回「調理と水」の改訂・増補版と言ってよいと思うが、前回と同様、先生のご研究を中心として、調理科学の内容を平易に解説しておられるのが本書であるということが出来よう。

文中に文献がわかるように、活字を小さくしてあげておられるのは、その内容をもう少し深く調べたいという人には非常に便利なことと思われる。

本誌を読まれる方は教材研究という欄をご覧になっ

ていることと思う。この欄は先生が企画し、執筆の交渉をさせていただいているところであるが、本書の考え方も教材研究、すなわち高校の先生が読んですぐ授業に使えることをねらったものであるが、本書もその目的で書かれたものと思われ、是非一読をおすすめする。

内容は、①食べ物の味、②食べ物のおいしさと水、③調理と水、④水の三態と調理、⑤溶媒としての水、⑥調理形態上必要な水、⑦食品の吸水能と調理、⑧澱粉糊化に必要な水、⑨調理における「加減」ということ、となっている。（元山）