原 著

大量の煮物における煮汁の対流についての研究

A Study on the Convection of Liquid in the Cooking Pan
and the Osmotic Pressure of Foods

賢明女子学院短大 (Kenmei Women's Junior College)

片 山 喜 美 子 (Kimiko Katayama)

立正女子短大 (Rissho Women's Junior College)

斎 藤 貴 美 子 (Kimiko Saito)

立正女子大学 (Rissho Women's College)

高 木 和 男 (Kazuo Takagi)

Of Japanese cooking methods, boiling and stewing are usually applied in mass-feeding, but there are very few data on heat transference. Most troubles occur in designing the heating apparatus or improvement of cooking methods. Beside these, there are destroying the shape of food is destroyed during the boiling in the cooking pan. This phenomenon seems to be partly concerned with the osmotic pressure of foods.

The results obtained were as follows:

1. There was no significant difference between fresh water and the 3% starch solution in the convection of heat.
2. Solid substances such as solid-foods, did not disturb normal convection of liquid.
3. The lid of the cooking pan can maintain temperature of the space between the liquid surface and the lid as same as the upper-layer temperature of the water.

I 緒 言

著者らは、従来集団給食における調理について研究し、報告¹⁾を重ねてきたが、今回は煮る調理における対流と、食品の浸透圧とについて報告する。煮るという調理は、日本食においては最もしばしば行なわれる調理法であるが、この調理の特徴である、液体の対流についての研究は余り行なわれていない。煮物においての煮汁の対流は、煮る調理の伝熱の主体をなすもので、これは煮汁の粘度、食品と煮汁の比率などにより異なると思われる。これらの関係についての実験を報告する。

II 加熱時における鍋内液体の温度分布変化についての実験

実験は小規模の調理についてのものと、大鍋を用いる大量調理についてのものの2種に別けられる。

A) 小鍋を用いる小規模調理についての実験

(1) 実験方法

- a. 使用した鍋と熱源：直径 20 cm の市販アルミ製両手鍋を用いた。水深 5.5 cm とした場合の水量は

1,600 ml であった。

b. 温度測定：6 点切換付熱電対（池田製作所製）を使用し、その感応部を鍋の中心部に上下方向に 4 点配置したが、その位置を示せば図 1 の如くである。

鍋の底から蓋の下面まで 9.5 cm あるが、液体の深さを 5.5 cm としたから、蓋下の空間は 4 cm である。熱電対の感応部①はこの空間の上下方向の中間に、②は液面下 0.5 cm に、③は液面下 2.5 cm に、④は液面下 5.0 cm、すなわち底から 0.5 cm のところに配置した。温度の観測は各点を切換えて行なうため 1 か所 30 秒を必要とし、各点の観測時刻に差があることはまぬがれない。

図 1 小鍋実験、熱電対感応部の位置

c. 粘度ある煮汁の作製：煮汁に粘度を附与するためには市販上質片栗粉を水溶液に対し、1%，3%，5%加えて加熱溶解して、放冷後実験に用いた。

粘度の測定は KK 東京計器製造所製、BM 型粘度計を用いた。

d. 食品の代りに用いた固形物について：食品を煮る場合の状況を実験するため、水中に食品に代るべき固形物を入れて実験する必要がある。このような固形物としての必要な条件は、物質が溶出しないこと、比重が食品のそれに近いこと、すなわち、水に近く、少し重いことである。このような条件を具備する固形物として、多数の物質について実験した後、小型鍋の調理の場合にはコンニャクが最も適当であることを知ったので、これを 2.5 cm 角に切ったものを用いた。

(2) 実験の条件

実験は次のような条件について行なった。

実験番号	液体および内容物	全容量 (ml)	実験回数
No. 1	水道水	1,600	6
No. 2	でん粉 1% 溶液	1,600	2
No. 3	でん粉 3% 溶液	1,600	2
No. 4	でん粉 5% 溶液	1,600	2
No. 5	コンニャク 1 : 水 1 (容量比)	1,600	2
No. 6	コンニャク 1.5 : 水 1 (容量比)	1,600	2
No. 7	コンニャク 2.0 : 水 1 (容量比)	1,600	2
No. 8	コンニャク 2.5 : 水 1 (容量比)	1,600	2
No. 9	コンニャク 3.0 : 水 1 (容量比)	1,600	2

(3) 実験結果

a. 加熱される水溶液の粘度と容器内の温度分布について：実験番号としては No. 1 から No. 4 までの実験である。実験に用いた溶液の粘度は表 1 の如きものであった。

実験に用いたでん粉 1% 溶液は、しばしば一般に用いられている、くず湯の濃度に相当し、5% 溶液は、吉野煮、あんかけ用のくず湯の濃度に相当する。

表 1 でん粉溶液の粘度

濃 度	温 度		料 理 例
	30°C	95°C	
1 %	7 cP	5 cP	くず湯
3 %	68 cP	38~55 cP	吉野煮
5 %	1,140 cP	450~500 cP	あんかけ

鍋内の温度上昇の状態を測定した結果は図2～5の如くである。すなわち真水の場合(図2), 鍋の底部の水と上層部の水との温度は加熱10分の頃から, 4°C の差を以て上層部の方がむしろ高く, 約18分後に至って, 両者の差はなくなる。また下層部は上層部に約1分遅れて同一温度に達することがわかる。

さらに鍋の蓋と水面との間に残った空間の温度は, 加熱後4～10分の間はかなりの温度差を水温との間に示すが, その後徐々に温度差はちぢまり, 20分後には水温と同一の温度に達することがわかる。

本実験の加熱方法の下では, 加熱後約11分までは, 蓋下部は鍋の上層より約1分30秒遅れて同一温度に達するのであるが, 加熱後14分に至れば30秒の遅れで液の上層部と同一温度になる。

以上のことから, 鍋の蓋がよく閉じていれば熱伝導率の高いアルミニウムの蓋の場合にも, 煮物の液面から露出した部分も十分に加熱されるということがわかる。ただしこの実験は夏季に行なわれたものであるが, 室温の低い場合にも, 加熱さえ十分ならば, 同様の現象が見られるであろう。

粘度を与えるために, 1%のでん粉を加えて行なった成績を図3に, 3%のでん粉を加えたものを図4に示した。これらの図に示されるように粘度のある場合には液の上層部と下層部の温度上昇の関係は真水の場合とまさに反対の様相を示す。これは液の粘性より対流が阻害されたことを示すものである。なお1%溶液においては加熱の初期に, 3%溶液においては加熱の初期と後期とに両層の温度に混乱が見られる。この混乱は液の粘度の上昇により対流が阻害されて, 突沸現象が起ったことによると考えられる。なお3%における初期の混乱は, 1%のときは正反対であることが図に示されているが, これは同一場所の温度測定が3～4分間隔に行なわれているため, 3%の場合には加熱と同時に突沸を生じたということを意味するものである。5%のでん粉を混ぜたもの(図5)では下層部の温度上昇は異状を示す。加熱4分後においては下層部は 60°C に達したのに, 上層

図2 小鍋, 真水, 液上層, 下層, 液上空間の温度上昇

図3 小鍋, 1%くず湯, 液上層, 下層の温度上昇

図4 小鍋, 3%くず湯, 液上層, 下層の温度上昇

図5 小鍋, 5%くず湯, 液上層, 下層の温度上昇

図6 小鍋, 水:コンニャク=1:1, 液上層, 下層の温度上昇

図7 小鍋, 水:コンニャク=1:2, 液上層, 下層の温度上昇

図8 小鍋, 水:コンニャク=1:3, 液上層, 下層の温度上昇

部はほとんど初めの温度を示し, その後6分に至って下層部の温度は5°C低下し, 同時に上層部の温度は急に上昇しはじめる。しかも上下層の温度差は10°C以上に達し, 12分後に至って両者の温度にはほぼ一致を見る。

対流阻害の傾向は1~3%のでん粉溶液にも見られたものであるが, 3%までのでん粉溶液と5%のでん粉溶液とでは煮物の煮汁としての性格が, 非常に異なるものであると考えてよいであろう。

b. 加熱される溶液に, 食品が入れられた場合の容器内の温度分布: 液中に固形の物体が入っていれば, 対流は阻害されるはずと考えてこの実験を行なった。物体としては前述の如くコンニャクを用いたが, その結果を図6~8に示す。実験はこの図に示したものの以外にも, 水とコンニャクの容積比が, 水に対し1.5, 2.5の2種についても行なったが, 図示することを省略した。

実験の結果は意外にも液中のコンニャクの体積が液の3倍に達しても, 液の対流はそれほど影響されず, 前述の5%のでん粉液における如き, 突沸現象は見られなかった。ただ, コンニャク:水比 $1/1$, $2/1$, $3/1$ を比較すると, 僅かずつではあるが, 比が大きくなるに従って, 上下層間の温度差が大きくなる傾向はみられたが, これも3%でん粉液の場合と似た傾向を示すにすぎない。以上の結果から液の対流は液中に投入された物体によって阻害されることは少ないということがわかる。

B) 大鍋を用いる大量調理実験

(1) 実験方法

a. 使用した鍋：直径 81 cm、深さ 30 cm のガス回転釜を使用した。水深 20 cm で水の容量は 47 l であった。

b. 温度測定：熱電対の感応部の位置は図 9 に示した。

c. 粘度ある煮汁の作製：小鍋の実験に行なったものと同様である。

d. 食品の代りに用いた固形物について：小鍋の場合と異なり、かなり大形のものを入れて見る必要があるので、水に溶けず、比重が 1 に近いものとして、庭球の軟式ボールに水を入れたものを用いた。

(2) 実験の条件

実験は次のような条件で行なった。

単位：cm 材質：なべ・鉄、蓋・木材

図 9 大鍋実験，熱電対感応部の位置

実験番号	液体および内容物	全容量(l)	実験回数
No. 1	水道水	47	2
No. 2	でん粉 1% 溶液	47	1
No. 3	でん粉 3% 溶液	47	1
No. 4	でん粉 5% 溶液	47	1
No. 5	ボール 0.5 : 水 1 (容量比)	30	1
No. 6	ボール 1 : 水 1 (容量比)	30	1
No. 7	ボール 2 : 水 1 (容量比)	30	1

(3) 実験結果

a. 加熱される水溶液の粘度と容器内の温度分布について：実験の結果は図 10～14 のようになった。すなわち真水の場合，上層部の温度は直ちに下層部より高くなる。その差は加熱後 20 分に至れば 5°C に達し，25 分では 5°C を超える。しかし 28 分後には上下の差はなくなる。水の上層部の温度が下層部より高いために，この期間は蓋下の温度も下層部よりは高くなる。しかも蓋下の温度は加熱後 10 分頃までは上層部の水温よりも高い。しかし 1% でん粉液では，上下層の温度差はこのようにはならず，むしろ差は非常に少ない。この場合，

図 10 大鍋，真水，液上層，下層，液上空間の温度上昇

図 11 大鍋，1% ぐず湯，液上層，下層，液上空間の温度上昇

図 12 大鍋, 3%くず湯, 液上層, 下層, 液上空間の温度上昇

図 13 大鍋, 5%くず湯, 液上層, 下層, 液上空間の温度上昇

蓋下の温度は加熱後20分頃までは上下層部よりもむしろ高い。3%, 5%のでん粉液では粘度が高くなるため, 底部に熱の蓄積が起り, そのため突沸現象を見るため, 3%の場合4分頃から, 5%液の場合8分後頃から, 上層部の温度は突然に上昇する。5%の場合, 突沸の起るのが遅れるため, 底部の熱の蓄積も大きく, そのため発生後は温度の上昇も著しい。上層部の温度が急上昇した後, 急に液の対流が発生するため, 底部の温度は急に低くなる。

実際の加熱調理に際して, 上層部の温度が下層部より早く高くなること, 蓋下の温度が, 初期において上層部よりさらに高くなっていることなどは, 集団給食などの大量調理に際して, 蓋の利用が重要であることを意味することを示すものである。

b. 加熱される水溶液に食品が入れられた場合の容器内の温度分布: 小鍋についての実験では, 食品に代るべきものとしてコンニャクを用いたが, 大鍋についての実験では, 大型のものを用いる必要があると考えて, 庭球ボールに水を入れたものを食品の代用として用いることとした。ただこの場合に注意しなければならぬことは, ボールの表面を作っているゴムの熱伝導率が, $0.31 \sim 0.38 \times 10^{-3}$ であるのに反し, 食品の熱伝導率²⁾が

図 14 大鍋, 水:ボール=1:0.5, 液上層, 下層, 液上空間の温度上昇

図 15 大鍋, 水:ボール=1:1, 液上層, 下層の温度上昇

図 16 大鍋, 水:ボール=1:2, 液上層, 下層の温度上昇

$1.4 \sim 1.5 \times 10^{-3}$ で約 4 倍であることである。このことは食品を煮る実際の場合に比し、食品の代りに投入したボールに熱が奪われないため、ボールの外部を満す液温の上昇が、実際の煮物の場合より早くなることを意味する。実験の結果は図14~16の如くであったが、ボールの占める体積が多くなるに従って、水温の上昇は急になることを示している。また特にボールの体積比が水量の 2 倍になった図16の場合に、上層の水温はむしろ下層より高くなっていることを示している。

以上のことから、固形食品が水中にかなり多くの体積を占める場合にも、その相互の間に隙隙のある場合には、水の対流は阻害されないことがわかる。ただし実際の場合には、鍋底に密着した食品が、直接鍋底からの熱を受けて、密着部が高温となることはあり得るわけで、このような条件は今回の実験条件としては、考慮していないものである。

III 考察ならびに結論

以上の実験の結果を、実際の調理に際しての問題として考えると、煮汁の対流が速やかな場合には、沸点に近づくまで、底部の温度は上層部の温度よりも低く、また蓋がしてある場合、液面と蓋との間にある空間も、液と同一の温度に達していた。このことは煮物の場合、食品の一部が、液上に露出していても蓋さえよくしてあるならば、完全に加熱されることを意味している。

また、煮汁に粘度があって液の対流のそこなわれる場合は、底部に突沸の現象が発生して、はじめて液の攪拌が行なわれて均一な温度に近づくことがわかる。このような現象は、3%のでん粉液では明らかでなく、5%のでん粉液のときに明瞭に見られるものである。

液の中に固体の塊が存在している通常の煮物のとき、実験の結果からは、液の粘度が増加していない限り対流を妨げることはないことがわかった。そのみならず、鍋の容積が一定の場合には、固形物が多いとそれだけ液量が少なくなるので液の温度の上昇は早くなるわけである。一方食品の熱伝導率は小さいので、食品が多く入った場合にはよほど静かに加熱しないと液の蒸発のみが起って、食品の加熱は困難になるという現象が起る。このことは同時に、集団給食の調理では蓋がよくできない場合が多いので、多量の食品を煮る場合、煮汁を多くして煮ることになってしまうのであろう。この点が、集団給食の煮物と、家庭の煮物との大きなちがいとなるのである。

要 約

集団給食の調理では、煮物をする機会が著しく多いのにもかかわらず、煮物に際して煮汁の熱による対流についての測定値はほとんど発表されていない。また一方、煮くずれの原因の一つは、食品の浸透圧とも関係すると思われるが、この測定値も見られない。本報告は、これらについての実験の結果を述べた。

1. 真水から 3% のでん粉溶液までの間では、液の粘度の上昇にもかかわらず、熱の対流に著しい差は見られなかった。
2. 煮汁中に、固形物が入っている場合にも対流は阻止されなかった。
3. 蓋の効果として、蓋と液面との間の空間は、液の上層の温度とほぼ等しくなることがわかった。

文 献

1) 東京天文台編纂：理科年表

2) 中浜信子：食品の熱伝導度について、家政学雑誌, 16, 1 (1965)

(受付：昭和48年8月20日)