

調理操作における食品の熱伝導率について

— スポンジケーキの場合 —

東根 裕子, 宮川久邇子

(武庫川女子大学生生活環境学部食物栄養学科)

Thermal Conductivity of Food in Cooking Process I. Sponge Cake

Yuko Higashine and Kuniko Miyagawa

Department of Food Science and Nutrition,

School of Human Life and Environmental Sciences,

Mukogawa Women's University Nishinomiya 663, Japan

The purpose of this study were to clarify thermal conductivity in sponge cake baking. Specific gravity, moisture content, specific volume, etc. were measured. Besides, thermal conductivity by Probe method was investigated.

The results were as follows: It was found that thermal conductivity of food was influenced by many factors. Time dependence of thermal conductivity was not found.

緒 言

物質内の熱の伝わりやすさの指標になる熱伝導率は各物質に固有の値であり、金属などはよく知られている。食品における熱伝導率も殺菌などによる衛生効果、冷凍保存に関する熱処理、また加熱調理における加熱温度や時間を知るうえで重要な熱物性値である。食品そのものの熱伝導率の値はいくつか出されているが、加熱中の熱移動に関するデータはほとんどみられない。そこで、熱流計を用いて、batterからスポンジ生地へ状態が変化するスポンジケーキを試料にして、加熱中の熱伝導率の測定を試みた。同時に batter 及びケーキの比重、水分量、高さなどを測定し、熱伝導率に影響を及ぼす因子を検討した。また、Probe法の熱伝導率計を用い、スポンジケーキ、およびその類

以品の試料に関して熱伝導率の測定を行い、比較検討を行った。

実験方法

1. 熱流計による焙焼実験の試料とその調製法

スポンジケーキは、花王のモントンケーキミックスと新鮮卵を使用した。モントンの配合は Table 1 に示すとおりである。

調製方法は、ときほぐして裏ごしを通した卵 150g とモントンケーキミックス A を容器にいれ、フードミキサー (General Electric 製 Mixer M45X) の回転 No. 12 (925rpm) で 3 分間攪拌後、ミックス B を入れ回転 No. 2 (550rpm) で 30 秒攪拌、ケーキバッターを作製し、18cm ケーキ型に 380g 入れ焙焼実験用にした。

Table 1. Contents of Monton Cake Mix (plain)

(名称)
ケーキミックス (花王株式会社製造)
(原材料名)
ミックスA 150g
[砂糖, ぶどう糖果糖液糖, 植物油, 乳化剤, ソルビトール, 酒精, 香料, 着色料 (アナトー)]
ミックスB 100g
[無漂白小麦粉, ベーキングパウダー]

2. Probe 法の熱伝導率計用試料

(1) 市販品

食パン, フランスパン, カステラ, チーズケーキ

(2) 調製試料

1) スポンジケーキ

薄力粉 (バイオレット) 100g, グラニュー糖 100g, 新鮮卵 200g の配合でフードミキサーを用い, 常法によりケーキ batter を作り, 18cm 型で 380g を 163°C 45 分焙焼した。

2) 蒸しパン

薄力粉 100g にベーキングパウダー 4g を用い, 水 100ml 加え, 流し箱に入れて 20 分間蒸した。

3) モントンケーキミックス

前述の実験方法 1. の通り

3. 熱流計での熱伝導率の測定方法

Fig. 1 のような装置を batter の中央部に差し込み加熱中の熱伝導率の変化の測定を試みた。18cm のケーキ型の底から 2cm と 4cm のところに, ヒートセンサー (英弘精機 KK 製 CH-9) と熱電対をセットした。オープン加熱開始後 0 分, 6 分, 6 分以降は 2 分おきに電圧と温度をハイブリッドレコーダー (横河電気 KK 製 HR1300) で記録した。熱流の移動は温度差と断面積に比例し, 距離に反比例することから Fig. 1 により求めた。熱伝導率の単位は, Kcal/mh°C である。使用したオープン, コンパクションオープン (Montgomery Ward 製 Model 8287) で 163°C 45 分間焙焼した。このオープン, ファンが側面の奥に設置されている。

4. Probe 法での熱伝導率の測定方法

迅速熱伝導率計 (京都電子工業 KK 製 KermthermQTM-D3) を用い, そのプローブ面に

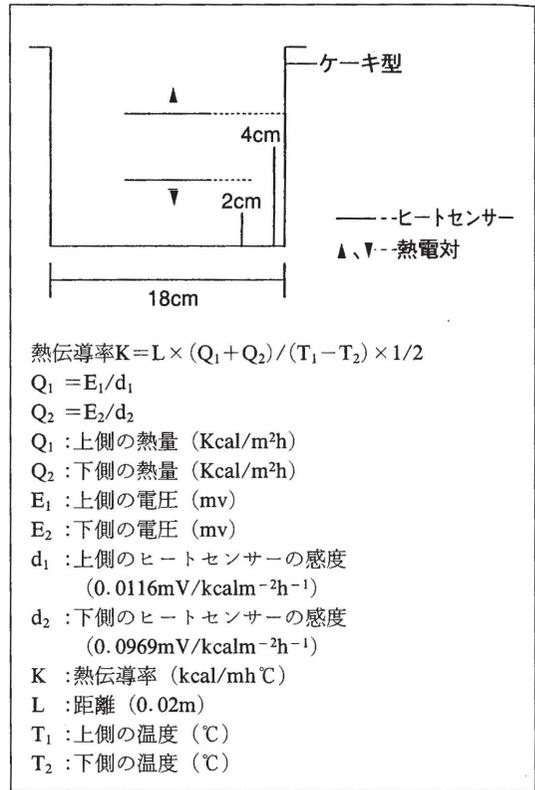


Fig. 1. Measurement of thermal conductivity (heat sensor) mechanism and numerical expression

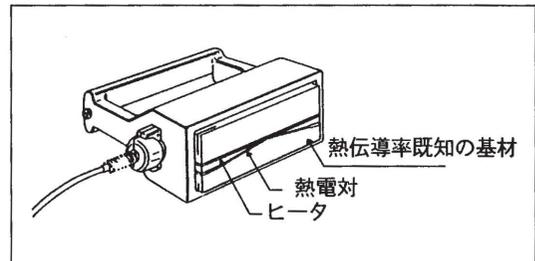


Fig. 2. Construction of thermal conductivity machine in Probe method

5cm × 10cm の試料を上からおしつけて測定する。プローブの構造は Fig. 2 のようになっており, この加熱線に一定電流を流し, その間の熱電対の起電力を記録し, 次式で熱伝導率を計算する。

単位は W/mk.

$$\lambda = K \times I^2 \ln(t_2/t_1) / (V_2 - V_1) - H$$

K, H は定数

V_1, V_2 はそれぞれ時間 t_1, t_2 における熱電対の起電力 (mV), I は加熱線に流す電流 (A) である。

5. batter・スポンジケーキの形状などの測定方法

(1) batter の比重

内径 40mm 高さ 35mm の秤量びんに試料を入れて重量を測定し、同じ要領で測定した水の重量で除して算出した。

(2) batter およびスポンジケーキの水分量

焼く直前の batter および焙焼後のスポンジケーキを各 5g とり電子水分計(長計量器製作所製 MC-30MB)で測定した。

(3) 気孔率

試料を超音波サンプルカッター(山電 KK 製 USC-3305)で $3 \times 3 \times 1.3$ cm に整え、その体積を重量で除し、気孔率とした。

(4) その他

batter およびスポンジケーキの高さの測定方法は、目盛りをつけた竹串を使用した。

batter からスポンジケーキへの水分蒸発量より焙焼時の水分減少率を算出した。

実験結果及び考察

1. 熱流計によるスポンジケーキ焙焼時の熱伝導率

オープンで 163°C に予熱後、batter を入れて測定した。電圧、熱伝導率は Fig. 3 に示すとおり、20 分までの間は生地内温度の急激な上昇期 (Fig. 4) でもあるため、熱伝導率は安定しない。焙焼開始後約 20 分で熱伝導率は一定の値を示し始め、その値は 0.633 ± 0.047 であった。電圧の値はヒートセンサーの上部から下部に向かって電流が流れたときプラスの値を示し、逆の場合はマイナスである。

熱伝導率が一定になるのは、一度高温まで昇温した生地は、澱粉の糊化開始に従い澱粉粒子が周囲の自由水を吸着して膨潤することにより、生地内部の自由水が減少して結合水の割合が増加する現象が起こる³⁾ため、澱粉糊化後の生地の熱伝導率が温度に対し依存性が小さくなってくると考えられる。

2. 卵の泡立て時間の違いによる熱伝導率

batter の気孔が熱伝導率に与える影響を見るために、卵の泡立て 3 分の基準配合に比し、泡立て時間を 1 分、9 分と変えて測定した。1 分では batter の粘性が強いので値にばらつきが生じ、一定の熱伝導率は得られない。9 分では batter がセンサーの上部までできているため初期の段階から熱伝導率はばらつきが少なく、その値は 0.576 ± 0.093 であった。batter とスポンジの形状は Table 2 に示すとおり、泡立て時間が

Table 2. Effect of egg mixing time on various characteristic of batter and sponge cake

卵の泡立て時間 (min)	1	3	9
熱伝導率 (kcal/mh $^\circ\text{C}$)		0.633	0.576
batter の比重	0.815	0.668	0.607
水分減少率 (%)	12.4	4.9	1.7
パッターの高さ (cm)	2.0	3.1	4.0
スポンジの高さ (cm)	3.5	5.0	6.2

増すにつれ比重、水分減少率は低下し、batter と焙焼後のスポンジの高さは高くなっており、差が見られた。

3. 生地の重量の違いによる熱伝導率

泡立て時間を 3 分にして、batter の量を 380g、450g とかえ、焙焼時における熱伝導率の差を見た。

Fig. 3 の 380g に較べて Fig. 5 に示した 450g の電圧 1, 2 は、ほぼ同様の時間経過を示したが、batter 450g の熱伝導率は焙焼初期から数値はほぼ一定し、12 分以降の値は 0.530 ± 0.061 であった。450g の場合、batter が装置の上を基準をこして十分におおったことが、温度 1 より 2 を最初の段階から高い値にし、その結果熱伝導率がほぼ一定の値を示したと考えられる。

4. Probe 法による熱伝導率の測定

熱流計を用いて食品加熱中の熱伝導率の変化をとらえようと試みたが、明らかに差のあるデータが得られなかったため、今後装置を検討する必要がある。そこで熱伝導率測定のための測定方法である Probe 法でスポンジケーキおよびそれらの類似食品の熱伝導率を測定した。(Probe 法では、食品の状態変化に伴う熱伝導率測定はできない。)以下は Probe 法での結果を示す。その結果は Table 3 に示すように、モントン 3 分泡立て 0.1427、モントン 9 分泡立て 0.1361 であった。これらの値は熱流計での測定値と異なっているが、熱伝導率の値は測定方法によって違う⁴⁾ので、このような結果になったと思われる。

5. 熱伝導率と水分量の関係

(1) スポンジケーキとその類似食品

スポンジケーキおよびそれらの類似食品のプロープ法による熱伝導率と水分量の関係を見たところ Fig. 6

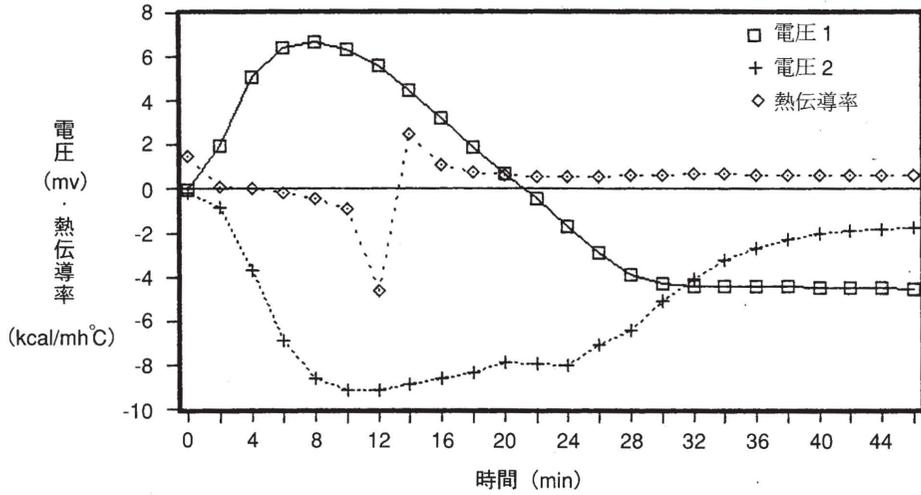


Fig. 3. Change of thermal conductivity and voltage (in case of 380g)

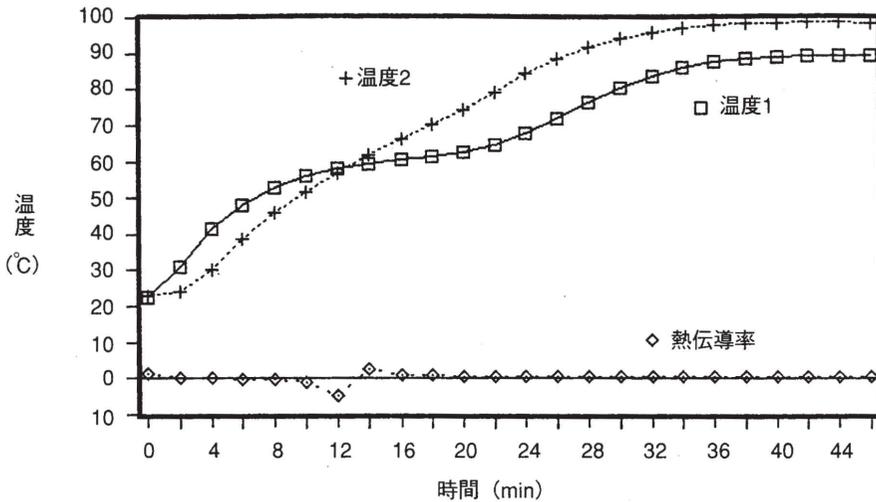


Fig. 4. Relation between thermal conductivity and temperature

Table 3. Thermal conductivity of food
by Probe method

試料	熱伝導率 (W/m·k)
モントン3分泡立て	0.143
モントン9分泡立て	0.136
スポンジケーキ (調合)	0.132
食パン	0.104
フランスパン	0.116
カステラ	0.140
チーズケーキ	0.250

に示すようになった。スポンジケーキなどは熱伝導率は0.14、水分量は40~45%付近の値になった。このように、これらの食品の熱伝導率と水分量の間には明らかな関係は見られなかったが、表面の状態が似たスポンジケーキとカステラがほぼ同様の熱伝導率を示したことから、Probe法による熱伝導率は、混合成分量の違いよりも表面の状態に影響されることが予想された。

(2) 食パンの場合

食パンの熱伝導率と水分量の関係を見るために、食パンの保存による水分量の変化をあわせて測定した。

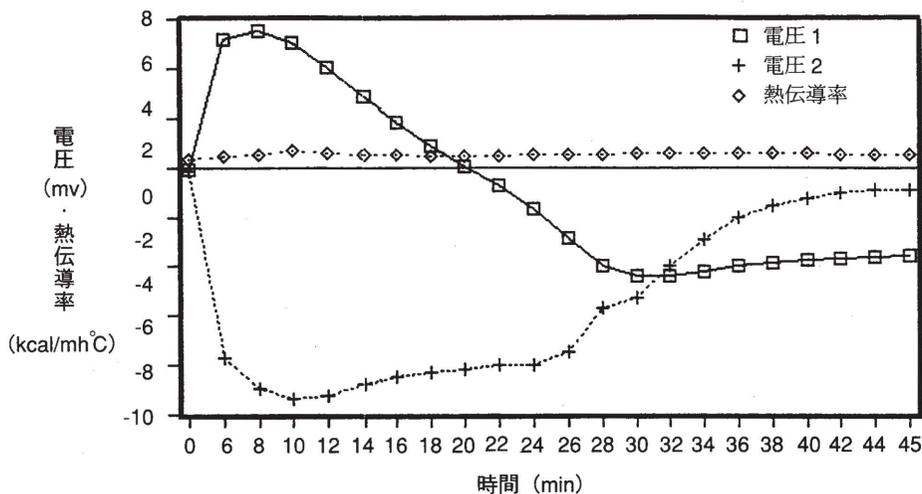


Fig. 5. Change of thermal conductivity and voltage (in case of 450g)

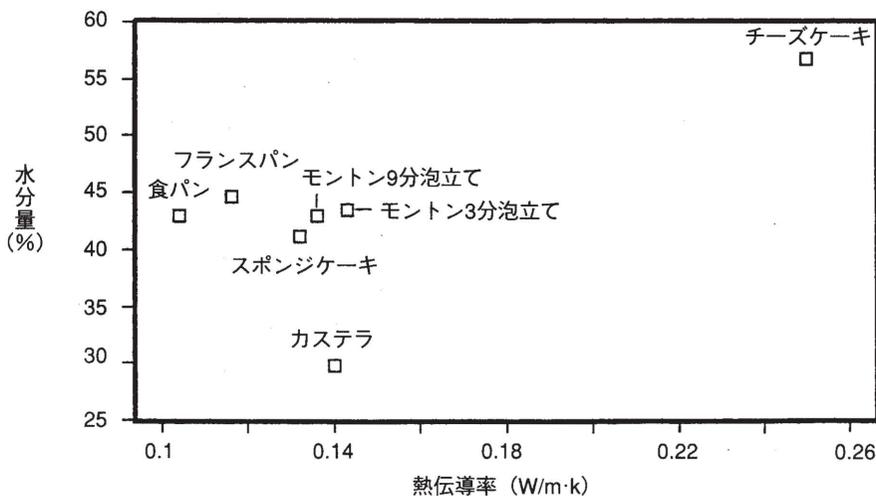


Fig. 6. Relation between thermal conductivity and moisture content

(Fig. 7) その結果、水分量は日がたつにつれて低下したが、熱伝導率については明らかな傾向はみられなかった。

(3) 蒸しパンの場合

同様に蒸しパンでの関係を調べた。ベーキングパウダーは粉の4%に固定し、水分量を150、75と変えて蒸しパンを作製して、基準の100に対し測定を行った結果、予想したように添加水分量が多いほど熱伝導率は上がり調製品の水分量も高くなる傾向が見られた。(Fig. 8)

6. 熱伝導率と気孔率の関係

熱伝導率と気孔率の関係を見るために、ベーキングパウダーの添加量を粉の0% 4% 8%と変えて蒸しパンを作製した。その結果添加量を増加させた方が気孔率は上がり、熱伝導率は下がる傾向がみられた。このことから膨化が大きいほど熱伝導率は下がる傾向があることが分かる。(Fig. 9) これは密度の大きいほうが高い熱伝導率を示すというデータと一致し、気孔率の違う食品では食品のきめも違うことから、熱伝導率の違いが明らかに測定できると考えられた。

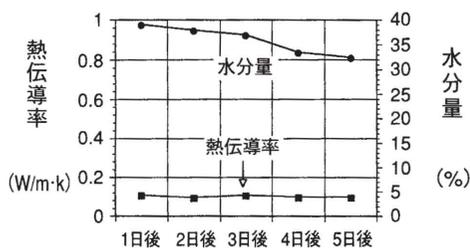


Fig. 7. Relation between thermal conductivity and moisture content on white bread

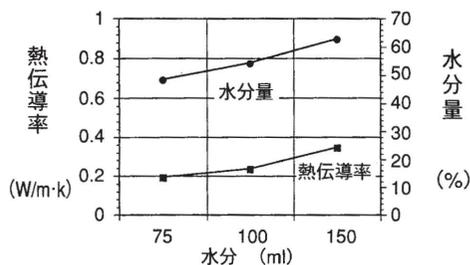


Fig. 8. Relation between thermal conductivity and moisture content (difference in water added)

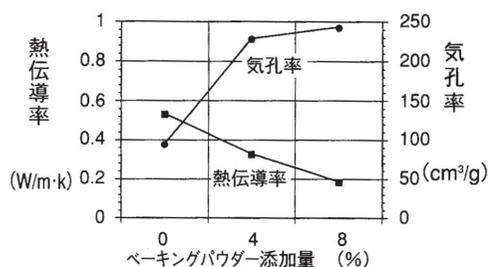


Fig. 9. Relation between thermal conductivity and specific volume on steam bread (difference in quantity of baking powder)

貴重なご助言を下さいました元大阪市立大学工学部教授兵働務先生、また迅速熱伝導率計 (Probe 法) の使用を快諾下さいました京都電子工業株式会社に深く感謝致します。

本研究の概要は、日本調理科学会近畿支部第 20 回研究発表会において発表した。

文 献

- 1) 日本熱物性学会, 熱物性ハンドブック, (日本熱物性学会, 1991)
- 2) N. N. Mohsenin, 林弘通(訳), 食品の熱物性, (光琳, 1985)
- 3) Nikui, J., et al., Denpun Kagaku Handbook, Asakura shoten (1977), 34
- 4) 山田盛二, 小林清志, 高野孝義, The Thirteenth Japan Symposium on Thermophysical Properties 181~184, (1992)

要 約

batter からスポンジ状生地へと状態が変化するスポンジケーキの焙焼中における熱伝導率を熱流計を用いて測定した。また Probe 法での熱伝導率測定も行い、熱伝導率に影響を及ぼす因子を検討した。

1. 生地内の温度と電圧から熱伝導率を求めたが、今回の熱流計の装置では焙焼中の明らかな変化はとらえられなかった。
2. バッターの比重・重量などを変化させての熱伝導率測定においても明らかな差は見られなかった。しかし、バターの高さが 4cm 以上あるほうが、焙焼の初期段階から熱伝導率のばらつきを少なくすることがわかった。
3. プローブ法で測定した熱伝導率は、試料の表面の状態(きめ)、水分量による差が見られた。

以上のことから食品の熱伝導率は比重、水分量、気孔率などの因子に影響を受けることがわかったが、食品の状態変化を時間の経過に従ってとらえられることはできなかった。