

# 100°C以上の温度におけるコンニャクに対する 塩化ナトリウムの分配係数の測定

謝 裕基

## Measurement of distribution coefficients of sodium chloride onto konjac at temperatures above 100°C

Yuki Sha

In this study, we describe the development of an apparatus for soaking food in seasoning solutions at temperatures above 100°C to quantify seasoning compounds adsorbed onto food. This apparatus comprises a stainless steel tank, covered with an aluminum block heated by a cartridge heater. The inner temperature of the tank was measured by a thermocouple mounted within the tank, and the internal pressure of the tank could be regulated up to 0.40 MPa by applying and monitoring nitrogen gas using a pressure gauge. We calculated the distribution coefficient from the amount of seasoning compounds adsorbed onto food and the concentration of the seasoning solution after incubating them together for 2.5 h. When the distribution coefficient of sodium chloride onto konjac was measured at 100°C using this apparatus, the resulting value was similar to that measured using a water bath maintained at 100°C, validating our apparatus. While the distribution coefficients based on the pre-experiment sample weight decreased at high temperatures, those based on the post-experiment sample weight remained nearly constant at 30°C, 100°C, and 120°C. Therefore, we can conclude that the distribution coefficients of sodium chloride onto konjac are pressure-independent up to 0.40 MPa at 30°C, 100°C, and 120°C.

**Key words:** Distribution coefficient, konjac, sodium chloride, pressure dependence

### 1. 背景

食品への調味成分の浸透は食味やテクスチャなどの品質を左右する要因となるため、調味成分の浸透量や浸透速度に関する知見は、製造工程の設計や保存方法の決定に重要である。しかし、食品への調味成分の移動現象は勘や経験によって主観的に判断されることが多く、定量的なデータに基づいた工学的見地から予測や制御が行われることは少ない。これまでにジャガイモ<sup>[1]</sup>や鯨肉<sup>[2]</sup>を試料として用いた場合の各種調味成分（スクロース、塩化ナトリウム、グルタミン酸1ナトリウム、イノシン酸）の浸透量に関する報告のように、調理条件における食品への調味成分の浸透量を測定した例もあるが、体系的な整理はなされていない。そのため、食品への調味成分の移動現象を定量的に扱うプロセスの構築は、製造や保存の各段階での品質を管理するだけでなく、高品質な製品の生産や既存の製造条件の改善においても有用となる。

本研究では、100°C以上の高温操作に着目し、食品を調味液に浸漬した状態で100°C以上に保持した時の浸透量の測定を試みた。モデル食品には、多糖類から構成され

るゲル状物質であるコンニャクを用い、調味成分として、高温保持を経ても分解の可能性が少ない塩化ナトリウム(NaCl)を用いた。まず、食品と調味液を保持するステンレスタंकを加熱する装置を製作し、100°Cに保持した時の浸透量を測定した。これとは別に水浴を用いて100°Cで実験を行った際の浸透量を測定し、装置の有効性を確認した。次に、30°C、100°C、120°Cでのコンニャクに対するNaClの浸透量の圧力依存性を0.40 MPa以下の範囲で測定した。

### 2. 実験方法

#### 2-1. 材料

コンニャクは神戸市内の生活協同組合で購入した。塩化ナトリウム(特級)は富士フィルム和光純薬(大阪)より購入した。

#### 2-2. 食品への調味成分の浸透量の測定

装置の概要を図1に示す。本装置は、食品と調味液を保持するステンレスタंक TP300 (ユニコントロール

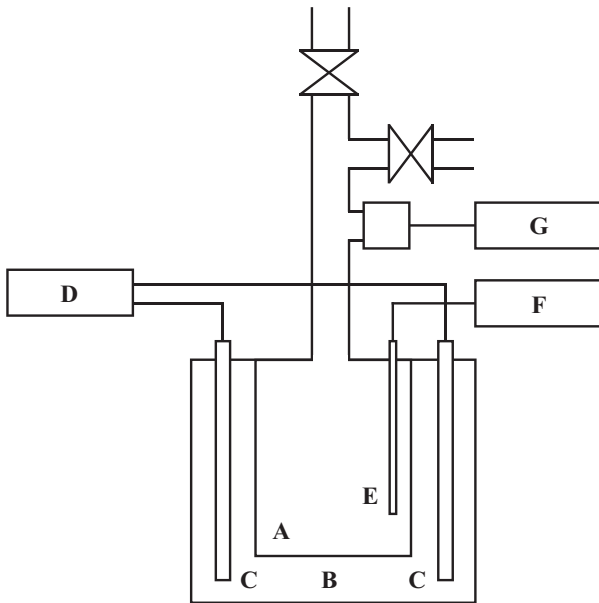


図1 試験装置の概要

ステンレスタンク (A) をアルミブロック (B) で囲い、アルミブロックに挿入したカートリッジヒータ (C) で加熱した。温調器 (D) はアルミブロックの温度を制御した。タンク内の液体の温度は温度計 (E) により測定し、データロガー (F) で記録した。また、タンク内圧は圧力計 (G) を用いて測定し、タンク上部に窒素ガス負荷口と排圧弁を設置して任意の圧力に調節できるようにした。

ズ、千葉) (A) をアルミブロック (B) に設置し、カートリッジヒータ MCHS (ミスミ, 東京) (C) により加熱するものである。K 型熱電対 MSND (ミスミ) をアルミブロックに設置し、温度調節コントローラ MTCS (ミスミ) (D) に接続して温度制御を行った。タンクにデータロガー GL200 (グラフテック, 横浜) (E, F) と圧力センサ VPRH2 (日本バルコム, 大阪) (G) を設置することにより、タンク内部の液温と内圧を測定した。また、タンク上部に窒素ガス負荷口と排圧弁を設置した。

300 g の 1% (w/v) NaCl 水溶液をステンレスタンクに入れ、1 辺が約 10 mm の立方体に整形したコンニャク約 10 g を浸漬した。コンニャクは予め 30℃ の水浴 (TB-1N, アズワン, 大阪) を用いて保温した。100℃ 以下の温度に保持する場合には、NaCl 水溶液の温度が目的の温度となった後に浸漬を開始した。120℃ でコンニャクと NaCl 水溶液を保持する場合には、予め NaCl 水溶液を 100℃ 付近まで予熱した後、タンク内にコンニャクを投入し、改めて目的の温度 (120℃) まで加熱する手法を採用した。この場合においても、浸漬開始後 15 分以内に NaCl 水溶液の温度は 120℃ に到達した。

浸漬開始から 2.5 時間経過後に、コンニャクを取り出し、方法 2-3 に従って浸透した NaCl の抽出を行い、方法 2-4 に従って抽出液の分析を行った。また、タンク内の NaCl 水溶液についても、方法 2-4 に従って分析を行った。120℃ に保持した NaCl 水溶液からコンニャクを取り出す際には、タンクを水浴で冷却し、タンク内の温度が

100℃ 以下に低下したことを確認した。

装置内に圧力を負荷する場合には、装置上部のガス負荷口から窒素ガスを流入させた。試験装置内の圧力は前述の圧力計 (図 1, G) を用いて測定し、実測値を試験圧力として記録した。

### 2-3. 食品に浸透した調味成分の抽出

コンニャクを乳鉢にとり、乳棒を用いて粉碎した。ここにイオン交換水を 50 mL 入れ、よく攪拌して 30 分放置した後に、No.2 のろ紙 (アドバンテック東洋, 東京) を用いて自然ろ過した。ろ液を 50 mL にメスアップして抽出液とした。

### 2-4. NaCl の分析

NaCl は塩分分析計 SAT-500 (東亜ディーケーケー, 東京) を用いて定量した。塩分分析計を用いた測定において、被検液の注入量は 200  $\mu$ L とした。本測定によって得られる値は塩化物イオン ( $\text{Cl}^-$ ) の濃度であるため、算出される浸透量は  $\text{Cl}^-$  のものである。しかし、コンニャク内部に  $\text{Cl}^-$  が浸透する際には、電気的な中性条件を満たすためにナトリウムイオン ( $\text{Na}^+$ ) も同時に浸透するはずであるため、一連の操作で得られた結果は塩化ナトリウム (NaCl) の浸透量と見なしてよいと考えられる。

## 3. 結果および考察

### 3-1. 試験装置の昇温履歴

タンクにイオン交換水 300 g を封入し、水温を 60℃ および 120℃ に上昇させる過程の水温とタンク内圧を測定した結果を図 2 に示す。いずれの温度の場合も、加熱開始後 30 分程度で目標温度に到達した。また、タンク内圧はタンク内水温が 60℃ のとき 0.02 MPa、120℃ のとき 0.19 MPa に到達した。

本装置を利用して、固形物と液体を所定の温度に保つ場合、目標温度が 100℃ 以下ならば予め液体のみをタンク内で予熱し、昇温後に固形物をタンクに投入できる。しかし、目標温度が 100℃ 以上の場合には、この方法を利用することができない。そのため、100℃ より高温で固形物と液体を保持する場合には、予め液体のみを 100℃ 付近まで予熱した後、タンク内に固形物を投入し、改めて目標温度まで加熱する手法を採用した。図 2 に示す通り、タンク内温度を 100℃ から 120℃ に昇温させるには 15 分程度必要だが、浸漬試験は 2.5 時間行っている。このため、試験期間に対する昇温時間の長さは無視できるほど短く考え、昇温によるタイムラグを考慮しないこととした。また、120℃ における浸漬では水浴を用いて 100℃ 以下に降温させてからコンニャクを取り出したが、冷却時間は 1 分以内だったため、同様に温度変化による影響は無視できると仮定した。

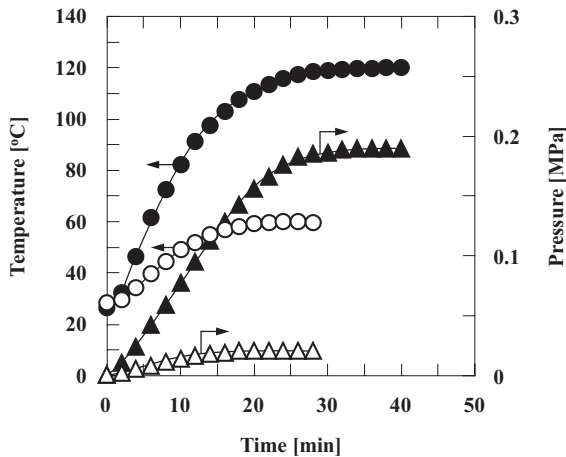


図2 試験装置内の水温(○)と圧力(△)の上昇履歴の一例  
タンクに300gのイオン交換水を封入し、水温を60℃(白抜き)および120℃(黒塗り)に上昇させた場合の結果を示す。実線はスムーズラインである。

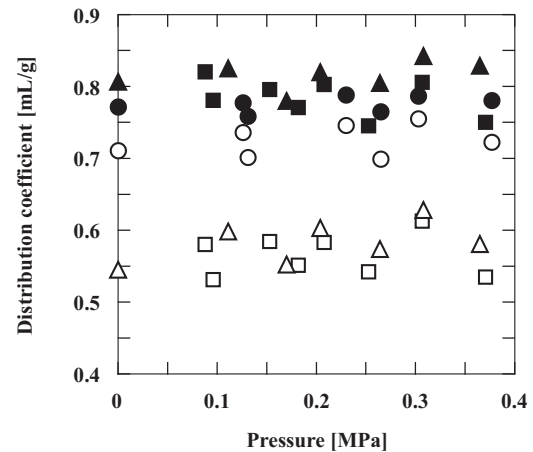


図3 コンニャクに対するNaClの分配係数の温度および圧力依存性

○: 30℃, △: 100℃, □: 120℃の結果を示す。白抜き: 浸漬前の重量基準, 黒塗り: 浸漬後の重量基準で算出した分配係数を示す。窒素ガスを用いて圧力を負荷した。

### 3-2. 分配係数の算出および試験装置による測定の妥当性

本報告では、コンニャクへのNaClの浸透量( $q$ [g/100g-konjac])および外液のNaCl濃度( $C$ [% (w/v)])から、式(1)に従ってコンニャクに対するNaClの分配係数( $K_D$ [mL/g])を定義して、算出した。

$$K_D = q / C \quad (1)$$

常温付近において種々の濃度のNaCl水溶液を外液として用いて行った予備試験の結果、 $q$ は $C$ に対して比例関係を示した。このため、本報告では外液に1% (w/v) NaCl水溶液を用いて算出した $K_D$ 値をコンニャクに対するNaClの分配係数の代表値と見なした。

本装置を用いて100℃におけるコンニャクに対するNaClの分配係数を浸漬前の重量基準で測定したところ、 $0.55 \pm 0.01$  mL/gだった。これとは別に沸騰水浴を用いてコンニャクとNaCl水溶液を100℃に保持した時の浸透量を測定した。同様に浸漬前の重量基準による算出結果は $0.54 \pm 0.02$  mL/gであり、試験装置を用いた時と同程度の結果が得られたため、本装置による測定結果が妥当であることが示された。

### 3-3. コンニャクに対するNaClの分配係数の温度および圧力依存性

図3に、コンニャクに対するNaClの分配係数の温度および圧力依存性を示す。

いずれの温度でも分配係数は圧力にほとんど依存しなかった。浸漬前の重量を基準として分配係数を算出したところ、30℃において $0.72 \pm 0.02$  mL/g (図3, ○), 100℃において $0.58 \pm 0.03$  mL/g (図3, △), 120℃において $0.56 \pm 0.03$  mL/g (図3, □)であり、高温において顕著に低下した。一方、浸漬後の重量基準で分配係数を算出したところ、30℃において $0.78 \pm 0.01$  mL/g (図

3, ●), 100℃において $0.82 \pm 0.02$  mL/g (図3, ▲), 120℃において $0.78 \pm 0.03$  mL/g (図3, ■)であり、温度にほとんど依存せず同程度の値を示した。

浸漬前後の重量変化は加熱によるコンニャクの体積変化を示唆している。100℃以上においては高温で保持したことによってコンニャクの体積が収縮した結果、浸漬前の重量基準で算出した分配係数が低下したと考えられる。浸漬後の重量基準で算出した分配係数が、浸漬温度に依存せずにはほぼ同程度であることは、ある一定の温度に保持したコンニャク1gあたりに浸透するNaCl当量が温度に依存せず一定であることを示唆しており、正味の浸透量が温度に影響を受けないことを意味すると考えられる。

図3より、浸漬後のコンニャク1gあたりへのNaClの浸透量は温度に依存しないが、高温ほどコンニャクの重量が浸漬前後で減少する。このため、浸漬後のコンニャク1gあたりに対する同量のNaClの浸透に必要なNaCl量は高温操作の方が少ない。製造前後における重量や体積の減少は歩留まりの低下につながるが、調味成分の正味の浸透量においては、温度は大きな影響を与えないことが示された。

## 4. 結論

食品と調味液を100℃以上の温度で保持する装置を製作し、コンニャクに対するNaClの分配係数を100℃および120℃で測定したところ、浸漬前の重量基準でどちらの温度でも約0.55 mL/gだった。この装置の有効性は、別途100℃の水浴を用いた試験により確認した。また、コンニャクに対するNaClの分配係数の圧力依存性を30℃, 100℃および120℃で測定したところ、0.40 MPa以下では圧力の影響は見られなかった。

### 引用文献

- [1] 武恒子, 大塚一止: 食品類の調理科学的研究 (第1報). 各種調味料の馬鈴薯への浸透性について. 家政学雑誌, **19**(5), 326-328 (1968).
- [2] 武恒子, 大塚一止: 食品類の調理科学的研究 (第2報). 各種調味料の鯨肉への浸透性について. 調理科学, **6**(2), 125-129 (1973).