

サツマイモにおける食塩と糖類の挙動

船石 由香^{1,2}、 多山 賢二³、 岡本 洋子^{*,3}

(令和2年2月15日受理)

Behavior of salt and sugar in sweet potatoes

Yuka Funaiishi^{1,2}, Kenji Tayama³ and Yoko Okamoto^{*,3}

Summary

Sweet potatoes were selected to study the diffusion of salt and sugar into a root vegetable. The concentrations of sodium ions and glucose were measured after immersing the “raw sample”, “normal steamed sample” and “strong steamed sample” in a solution containing 3.0% sodium chloride and 30.0% glucose (w/v) at 85°C for 60 minutes, respectively. Measurements of diffusion suggested that the distance from the surface and the concentration showed an approximate curve of power in all samples: the concentrations of sodium ions and glucose were high near the surface, but tended to decrease towards the center of the sweet potato. The sodium ion penetration amounts in the “raw sample”, “normal steam sample” and “strong steam sample” were 2.50×10^4 , 3.43×10^4 , and 3.16×10^4 mm·ppm, respectively. The “steamed sample” had about 1.3 to 1.4 times greater sodium ion penetration when compared with the “raw sample”. No significant difference in glucose penetration was observed between the “steamed sample” and the “raw sample”. It is considered that the difference between these penetration amounts is the difference in diffusion rate due to the difference in molar mass between sodium ions and glucose.

Key words : sodium ion, glucose, diffusion, sweet potato

要 旨 : 根菜類としてサツマイモを試料に選び、食塩と糖類のサツマイモ食材への拡散状況を調べた。液温 85°C、3.0%塩化ナトリウム溶液および 30.0%グルコース溶液中 (w/v) へ、それぞれ、「生試料」「普通蒸試料」「強蒸試料」を 60 分間浸漬した後、ナトリウムイオン濃度とグルコース濃度を測定した。サツマイモ中のナトリウムイオンおよびグルコースの拡散について、表面からの距離と濃度の関係は、いずれの試料も累乗の近似曲線を描いた。また、「生試料」「普通蒸試料」「強蒸試料」のナトリウムイオン侵入量は、それぞれ、 2.50×10^4 、 3.43×10^4 、 3.16×10^4 (mm·ppm) であった。「蒸試料」は、「生試料」に比べ、およそ 1.3～1.4 倍のナトリウムイオン侵入量であった。グルコース侵入量については「蒸試料」と「生試料」では、著しい差が認められなかった。これらの侵入量の差は、食塩とグルコースのモル質量の違いによる拡散速度の差であると考えられる。

キーワード : ナトリウムイオン, グルコース, 拡散, サツマイモ

* 連絡責任者・別冊請求先 (Corresponding author, E-mail : yokamoto@shudo-u.ac.jp)

広島修道大学 (731-3195 広島県広島市安佐南区大塚東一丁目1番1号)

Hiroshima Shudo University, 1-1-1, Ozukahigashi, Asaminami-ku, Hiroshima 731-3195, Japan

¹株式会社日清医療食品 ²元鈴峯女子短期大学専攻科 ³広島修道大学健康科学部健康栄養学科

緒 言

一般に、イモや野菜の調理工程においては、食塩や砂糖などの調味料を用いて煮熟して食されることも多い。根菜類の煮物では、「さしすせそ」の順に調味料を加えると効果的であるといわれている¹⁾。分子量(式量)の大きい砂糖は、式量(分子量)の小さい食塩より先に添加しないと食品中に拡散しにくいとされている¹⁾。煮熟される際、根菜類に、食塩や砂糖がどのように入り込んでいくのであろうか。調理時における食塩の食材中への拡散については、いくつかの報告がある^{2)~5)}。しかし、砂糖の食材中への拡散に関する報告はみあたらない。さらに、食塩と砂糖の食材中への拡散状況の違いを同時に調べた報告もみあたらない。

そこで、本実験では、サツマイモ、サトイモ、ジャガイモ、ダイコン、ニンジンなど多くの根菜類があげられるが、第一段階として身近なサツマイモを実験材料に選び、食塩と糖類の食材への拡散を調べることにした。サツマイモの「生試料」と「前処理で蒸した試料」を調製し、塩化ナトリウム溶液、グルコース溶液に、それぞれを浸漬したとき、ナトリウムイオンやグルコースがどのように拡散するのか検討した。

実験方法

1. 材料等

表1に浸漬実験の材料・条件等、表2に浸漬実験に用いた試薬を示した。

表1. 浸漬実験の材料・条件等

試 料		調 製	85℃ 塩化ナトリウム溶液中 およびグルコース溶液中の 浸漬時間 (分)
サツマイモ 徳島県産 鳴門金時 【食品番号:02006】	生サツマイモ	前処理をしない	60
	普通蒸サツマイモ	試料の中心部の温度が 98℃に達した後、直ちに取り出す	60
	強蒸サツマイモ	試料の中心部の温度が 98℃に達した後、15 分間加熱を続け、直ちに取り出す	60

注) 食品番号は、「日本人の食事摂取基準 2015 年版」⁶⁾ によった。

注) 浸漬については、30 分、60 分、90 分の実験を行ったが、60 分のみのデータを示した。

表2. 浸透実験に用いた試薬

浸 漬 液	試 薬
3.0%塩化ナトリウム溶液 (w/v)	塩化ナトリウム 試薬特級 シグマアルドリッチジャパン社
30.0%グルコース溶液 (w/v)	D-グルコース 試薬特級 シグマアルドリッチジャパン社

2. ナトリウムイオン浸漬実験プロトコール²⁾

(1) 塩化ナトリウム溶液の調製と浸漬装置のセット

① 3.0%塩化ナトリウム溶液 (w/v) 1000ml 調製する。ホットスターラー (CHPS-250AN:アズワン製) の天板上に、3.0%塩化ナトリウム溶液 1000ml を入れたビーカーを準備しておく。油性マーカーで 1000ml の位置にマークを入れる。

② ホットスターラーを最初は 400℃にセットし

て、溶液温度が 85℃まで上昇したことを確認した後、240℃にセットする。スターラーバーを投入して攪拌する。5 分ごとに溶液温度を確認し、液量の減少がみられた場合には、恒温水槽中で 90℃に維持した純水をビーカーの底部に向かって、パストールピペットで注入し、濃度上昇を抑えた。液温 85℃を保持し、3.0%塩化ナトリウム溶液濃度を一定に維持させた。

(2) サツマイモ試料の調製

① サツマイモを内径 35mm×50mm のステンレス抜き型（浸漬するときの抜き型より大きいもの）で抜き、蒸し器で蒸す。サツマイモの中心部の温度が 98℃に達したことを確認して、直ちに取り出す。これを「普通蒸試料」とする。また、サツマイモの中心部の温度が 98℃に達したことを確認した後、15 分間加熱を続け、直ちに取り出す。これを「強蒸試料」とする。温度の確認には、温度テスターを使用する。温度測定用として、上記とは別に試料 1 片を準備して、蒸し器に入れる。温度テスターで穴があくので、浸漬実験には使用できない。

② 蒸し器から取り出した「普通蒸試料」と「強蒸試料」を、まな板の上で室温まで冷ます。その後、試料の先端を 2mm 厚さに 1 枚スライスし、アルミホイルで包み、ドライアイス箱に保管する。試料番号をメモする（浸漬していない場合の試料のナトリウムイオン濃度を測定する）。

③ 先端をスライスした後の「普通蒸試料」と「強蒸試料」を、内径 20mm×50mm のステンレス抜き型でくり抜く。これを薄い天然ゴム製プローブカバー（指保護サック：L サイズ：内径 20mm：以下、薄ゴムと表記する）に、注射器を活用して入れる。

④ 「生試料」の場合には、内径 20mm×50mm のステンレス抜き型でくり抜き、その後の手順は「普通蒸試料」・「強蒸試料」と同じである。

(3) ナトリウムイオンをサツマイモ試料中へ浸透させる

① 液温 85℃、3.0%塩化ナトリウム溶液中へ薄ゴム被覆した「生試料」、「普通蒸試料」、「強蒸試料」を浸漬する。薄ゴムで被覆した試料は、3.0%塩化ナトリウム溶液に浸漬すると、後部の空気層が浮きになって前部が常に液中に沈み、液との接触が保持される。この断面からナトリウムイオンが入り込む。

② 所定時間、浸漬する。蒸発分の水分を順次、補給した。

(4) 浸漬後の処理とナトリウムイオン濃度測定

① 浸漬後、サツマイモ試料を取り出し、薄ゴムをはずし、向きを確認しながら、アルミホイルで包んでドライアイス入りの箱で凍結させる（30 分以上）。油性マーカーでアルミホイルにナトリウムイオンの侵入方向を記入しておく。

② 浸漬サツマイモ試料を取り出したときの、塩化ナトリウム溶液の約 1ml を、マイクロチューブ（エ

ッペンドルフチューブ）にとっておく。最終の塩化ナトリウム溶液のナトリウムイオン濃度を測定するためである。本実験では、最初 3.0%塩化ナトリウム溶液が最終 3.06%塩化ナトリウム溶液（外液）となっていた。

③ 凍結サツマイモ試料をドライアイス箱から取り出し、全長をノギスで測定する。凍結サツマイモ試料を 2mm 厚さに 10 枚スライスする。各断片は重量（小数点以下第 3 位まで測定）を測定し、目盛り付き遠心管に移して保存する。ナトリウムイオンが最も多く侵入している小片を 1 とし、2, 3・・・10 まで、番号を記入する。冷凍保存しておき、別の日にナトリウムイオン濃度を測定した。

④ 遠心管に保存した試料を室温まで解凍する。

⑤ 遠心管試料に、純水を入れ、ホモジナイザー（シャフトジェネレーター HT-1008：アズワン製）で 30 秒間ホモジナイズする。27,000 回転/分とする。測定器の上限を超えるときには、さらに純水を加える。

⑥ 往復振とう装置（タイテック株式会社製）に遠心管試料を真横にセットし、60 分間振とうさせ、ナトリウムイオンを純水の方へ溶出させる。100 往復/分とする。

⑦ 蓋に番号を記入したエッペンドルフチューブに、⑥を 1.3ml 程度移し、小型遠心分離機（REV SPIN 102：REVSCI 社製）にて 10,000rpm で 1 分間遠心分離する。

⑧ エッペンドルフチューブを 1 本ずつ取り出し、ナトリウムイオンメーター（COMPACT Na+ METER B-722：堀場製）でナトリウムイオン濃度を測定する。1 回測定するには、0.3ml が必要である。本実験では、3 回測定したので、計 1.2ml が必要であった。

⑨ それぞれの小片試料について、希釈を考慮して、ナトリウムイオン濃度を算出する。また、それぞれの重量と厚さから「表面からの距離（深さ）」を算出する。

3. グルコース浸漬実験プロトコール

(1) グルコース溶液の調製と浸漬装置のセット
30.0%グルコース溶液（w/v）1000ml 調製する。上記の塩化ナトリウム溶液の調製と同じ手順で行った。

(2) サツマイモ試料の調製

上記のナトリウムイオン浸漬実験の試料調製と同じ実験方法である。

(3) グルコースをサツマイモ試料中へ浸透させる
上記のナトリウムイオン浸漬実験の試料調製と同じ実験方法である。

(4) 浸漬後の処理とグルコース濃度測定

上記のナトリウムイオン浸漬実験の試料調製とはほぼ同じ実験方法である。具体的には、ナトリウムイオン浸漬実験の⑦までは、同じように行った。その後、 $10\mu\text{ml}$ を試験管にとり、これに酵素含有発色液（グルコースCII-テストワコー）を 1.2ml 加え、 37°C 5分間放置した後に、 505nm の吸光度を測定した。吸光度は分光光度計（日本分光V-630 B10）を用いて測定した。グルコースの標準液の吸光度から、測定した試料のグルコース濃度を求めた。

実験結果

1. サツマイモ試料中へのナトリウムイオンの拡散

図1, 図2, 図3に、試料を 85°C 3.0%塩化ナトリウム溶液に浸漬したときの、「サツマイモの表面からの距離とナトリウムイオン濃度」を示した。

(1) 表面からの距離とナトリウムイオン濃度

「生試料」、「普通蒸試料」、「強蒸試料」いずれも、表面からの距離が小さいところでは、つまり表面に近いところでは、ナトリウムイオン濃度が高く、ナトリウムイオンが浸透していることがわかる。しかし、表面からの距離が大きいところ、つまり深いところでは、ナトリウムイオン濃度が低く、ナトリウムイオンが侵入していないことがわかる。いずれの試料においても、累乗の近似曲線を描いた（図1～図3）。しかし、 5mm を超えたところから 20mm の間（全長約 20mm ）では、ナトリウムイオン濃度が低く、ナトリウムイオンの侵入量は少なくなっていた。R-2乗値は $0.8471\sim 0.9373$ となっており、測定データに対するこの近似曲線の信頼性は高くなっていた。

(2) 「生試料」と「普通蒸試料」・「強蒸試料」のナトリウムイオン拡散状況の比較

「生試料」と「普通蒸試料」・「強蒸試料」のナトリウムイオンの拡散状況を近似曲線から比較した（図1～図3）。近似曲線式の傾きから、「生試料」の傾きは、「普通蒸試料」および「強蒸試料」の傾きに比べ、数値がやや小さく、拡散状況がやや緩やかであることがわかる。「普通蒸試料」と「強蒸試料」の傾きは、近い数値であることから、拡散状況は、類似していることがわかる。つまり、「生

試料」は、「前処理で蒸した試料」と比べると、ナトリウムイオンの拡散状況がやや緩やかであるといえる。

また、「生試料」「普通蒸試料」「強蒸試料」のナトリウムイオン侵入量を、測定数値から比較した（面積を計算した）。「生試料」「普通蒸試料」「強蒸試料」のナトリウムイオン侵入量は、それぞれ、 2.50×10^4 , 3.43×10^4 , 3.16×10^4 ($\text{mm}\cdot\text{ppm}$) であった。「前処理で蒸した試料」は、「生試料」に比べ、ナトリウムイオン侵入量がやや多い傾向がみられ、「前処理で蒸した試料」は、「生試料」に比べ、およそ1.3～1.4倍のナトリウムイオン侵入量であった。

2. サツマイモ試料中へのグルコースの拡散

図4, 図5, 図6に、試料を 85°C 30.0%グルコース溶液に浸漬したときの、「サツマイモの表面からの距離とグルコースイオン濃度」を示した。

(1) 表面からの距離とグルコース濃度

「生試料」「普通蒸試料」「強蒸試料」いずれも、累乗の近似曲線を描いた（図4～図6）。R-2乗値は $0.8754\sim 0.9370$ となっており、測定データに対するこの近似曲線の信頼性は高くなっていた。試料中へのグルコースの拡散状況は、ナトリウムイオンの拡散状況に類似していた。

(2) 「生試料」と「普通蒸試料」・「強蒸試料」のグルコース拡散状況の比較

「生試料」と「普通蒸試料」・「強蒸試料」のグルコースの拡散状況を近似曲線から比較した（図4～図6）。近似曲線式の傾きから、「生試料」の傾きは、「普通蒸試料」および「強蒸試料」の傾きに比べ、数値がやや小さく、拡散状況がやや緩やかであることがわかる。「普通蒸試料」と「強蒸試料」の傾きは、近い数値であることから、拡散状況は、類似していることがわかる。つまり、「生試料」は、「前処理で蒸した試料」と比べると、グルコースの拡散状況がやや緩やかであるといえる。この結果も、前出のナトリウムイオン拡散状況と類似傾向であった。

また、「生試料」「普通蒸試料」「強蒸試料」のグルコース侵入量を、数値から比較した（面積を計算した）。「生試料」「普通蒸試料」「強蒸試料」のグルコース侵入量は、それぞれ、 40.0 , 43.7 , 41.4 ($\text{mm}\cdot\%$) であった。「前処理で蒸した試料」と「生試料」は、グルコースの侵入量については著しい差はみられなかった。

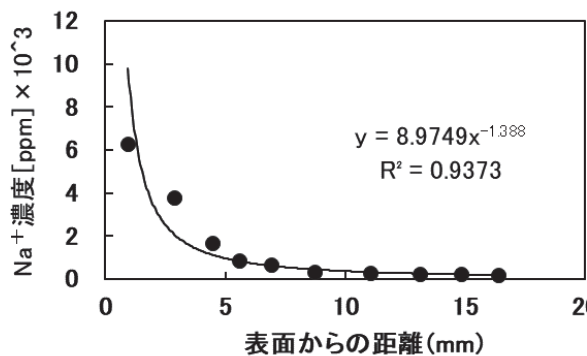


図1. サツマイモの表面からの距離とナトリウムイオン濃度
(生サツマイモ 85°C 60分浸漬)

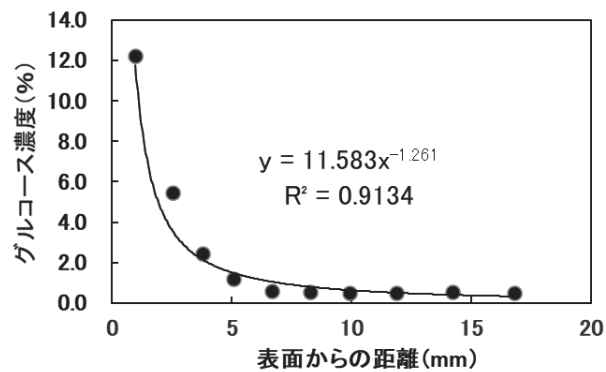


図4. サツマイモの表面からの距離とグルコース濃度
(生サツマイモ 85°C 60分浸漬)

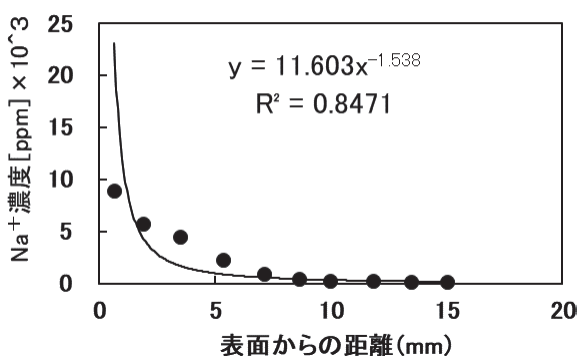


図2. サツマイモの表面からの距離とナトリウムイオン濃度
(普通蒸サツマイモ 85°C 60分浸漬)

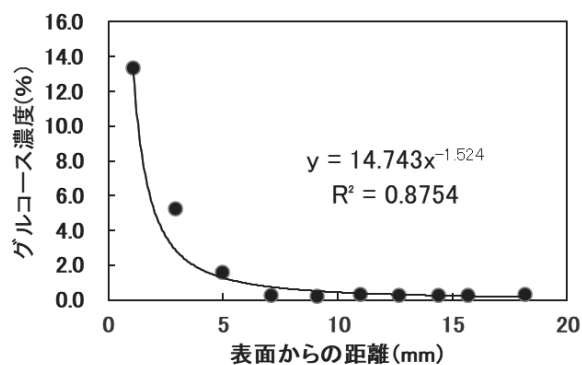


図5. サツマイモの表面からの距離とグルコース濃度
(普通蒸サツマイモ 85°C 60分浸漬)

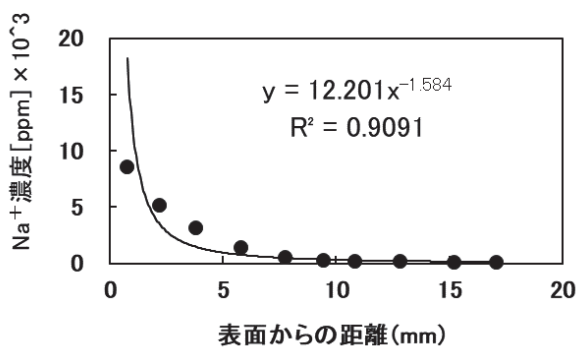


図3. サツマイモの表面からの距離とナトリウムイオン濃度
(強蒸サツマイモ 85°C 60分浸漬)

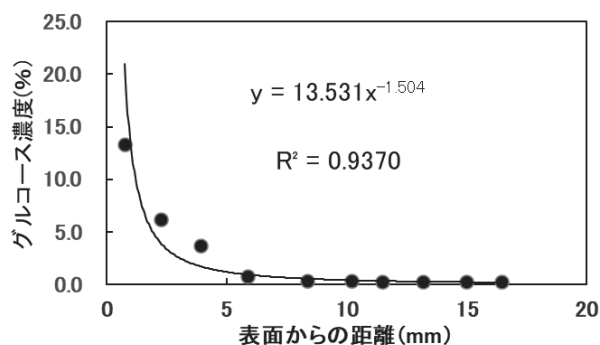


図6. サツマイモの表面からの距離とグルコース濃度
(強蒸サツマイモ 85°C 60分浸漬)

考 察

サツマイモ中へのナトリウムイオンおよびグルコースの拡散状況

本実験では、液温 85°C におけるサツマイモ中のナトリウムイオンおよびグルコースの拡散状況について調べた。「前処理で蒸した試料」と「生試料」いずれも、表面からの距離と濃度の関係は累乗の近似曲線を描いた。小見山ら²⁾と Hashiba ら³⁾の先行研究では、ダイコンを試料として、98°C 2 時間、沸騰状態を維持しながら加熱処理した後、3.0%濃度の食塩水中で 40 分および 60 分間、食塩を断面から拡散させる実験を行っている。これらの報告では生試料については記述がみられない。加熱ダイコンを試料としたものであり、食塩の拡散について言及しているが、本実験のナトリウムイオンおよびグルコースの拡散状況と同様の結果が得られている。つまり、食材の表面に近い部分では、浸漬液の濃度が高く、深いところでは、それらの濃度が低くなる傾向がみられ、累乗の近似曲線を描いている。

サツマイモを塩化ナトリウム溶液に浸漬した場合も、グルコース溶液に浸漬した場合も、「生試料」が「前処理で蒸した試料」に比べ、侵入状況がやや緩やかであった。図 1～図 6 からカーブがやや緩やかであることが読み取れる。植物性食品の浸透・拡散現象についておよそ次のような記述がある¹⁾。植物性食品を加熱すると細胞膜の機能が変化して、食塩のような分子の移動が自由に行われ、容易に食材に入り込みやすい。サツマイモを塩化ナトリウム溶液に浸漬した場合には、「前処理で蒸した試料」は、「生試料」に比べ、ナトリウムイオン侵入量がやや多くなっていた。「前処理で蒸した試料」と「生試料」は、グルコース侵入量については著しい差がなかった。食塩とグルコースの食材への入り込み状況の違いについて、次のように述べられている¹⁾。食塩とショ糖では、モル質量の違いから食塩の方がショ糖より拡散が速い。本実験では、ショ糖ではなくグルコースを用いたが、食塩のモル質量がグルコースのモル質量より小さいということによって説明できるのではないかと考える。なお、食塩、ショ糖、グルコースのモル質量は、それぞれ、58.4g/mol、342.3g/mol、180.1g/mol である。今後、植物性食材へのナトリウムイオンやグルコースの侵入については、検討を続けたい。

ま と め

- (1) 根菜類としてサツマイモを試料に選び、サツマイモにおける食塩および糖類の挙動を解明した。サツマイモを塩化ナトリウム溶液、グルコース溶液に、それぞれ浸漬したとき、ナトリウムイオンやグルコースがどのくらい拡散するのか検討した。
- (2) 材料は徳島産サツマイモを用いた。液温 85°C、3.0%塩化ナトリウム溶液および 30.0%グルコース溶液中 (w/v) へ薄ゴム被覆した「生試料」「普通蒸試料」「強蒸試料」を、所定時間浸漬した。浸漬後、凍結して小片にわけ、細断・遠心分離を行って、ナトリウムイオン濃度 (Na+METER B-722: 堀場製) とグルコース濃度 (分光光度計による吸光度) を測定した。
- (3) 液温 85°C におけるサツマイモ中のナトリウムイオンおよびグルコースの拡散について、表面からの距離と濃度の関係は、いずれも累乗の近似曲線を描いた。サツマイモの表面に近いところでは、ナトリウムイオン濃度およびグルコース濃度が高く、深くなるとそれらの濃度が低くなる傾向がみられた。
- (4) サツマイモを塩化ナトリウム溶液に浸漬した場合には、「生試料」「普通蒸試料」「強蒸試料」のナトリウムイオン侵入量は、それぞれ、 2.50×10^4 、 3.43×10^4 、 3.16×10^4 (mm・ppm) であった。「前処理で蒸した試料」は、「生試料」に比べ、ナトリウムイオン侵入量がやや多い傾向がみられ、「前処理で蒸した試料」は、「生試料」に比べ、およそ 1.3～1.4 倍のナトリウムイオン侵入量であった。
- (5) サツマイモをグルコース溶液に浸漬した場合には、「普通蒸・強蒸試料」と「生試料」では、グルコース侵入量について著しい差が認められなかった。

謝 辞

本研究を遂行するにあたりご指導いただいた東京聖栄大学教授 橋場浩子氏に心より感謝申し上げます。

本報告、筆頭著者が 2015 年 10 月に大学評価・学位授与機構 (現 大学改革支援・学位授与機構) に提出した学修成果の一部を論文としてまとめたものである。

文 献

- 1) 吉田恵子, 綾部園子:『調理の科学』, 理工図書, 東京, 78(2012).
- 2) 小見山二郎, 橋場浩子, 牛腸ヒロミ, 仲西正: 調理時における呈味成分の食材中への拡散, 序論-二元吸着拡散染色理論への適用-, 日本海水学会誌, 404-412(2004).
- 3) H.Hashiba, J.Komiyama, T.Nakanishi, and H.Gocho: Dual Mode Diffusion of NaCl in Japanese Radish under Cooking Conditions, Journal of Food Science, **72**,154-162(2007).
- 4) 遠藤瑤子, 渥美恵理, 香西みどり: 根菜類の食塩拡散過程の予測と適度な食塩濃度の評価, 日本調理科学会誌, **45**, 422-428 (2012).
- 5) 香西みどり: 植物性食品の最適加熱条件設定に関する基礎的研究, 日本調理科学会誌, **45**, 71-80 (2012).
- 6) 菱田 明, 佐々木 敏監修:『日本人の食事摂取基準 2015年版』, 第一出版, 東京, (2014).