

# 調理と塩の科学

小竹 佐知子

日本獣医生命科学大学応用生命科学部准教授

食塩は料理には欠かせない調味料であり、‘塩味をつける’味付けの成否が最終的な食事のおいしさに大きな影響を及ぼす。本講演では塩味調味の代表として煮物と漬物を取り上げ、塩味の味付け工程における食塩の拡散現象を中心に調理科学的研究の試みについてご紹介する。

## 1. 煮物の味付け —食塩の拡散現象—

煮物は、食塩、醤油、砂糖、みりん、酒などを加えただし汁で煮ながら食材に味をつける料理である。このとき、だし汁調味液に溶解している成分は表1に示すようになる。煮物の味付けは、これら成分の食品内部への拡散現象として解釈することができる。

拡散(diffusion)は、濃度差のある状態で存在する拡散物質が拡散媒の中に濃度勾配を駆動力として移動する現象である。すなわち、

拡散物質 … だし汁調味液に溶解している成分

拡散媒 … 食材

となり、煮物味付け中の拡散現象を模式的に表すと図1のようになる。だし汁調味液に溶解している成分は、食材にはもともと含まれていないか、たとえ含まれているとしてもごくわずかである。そのため、食材の周りにあるだし汁調

味液中に溶解している成分の濃度は食材中の濃度より高く、これら成分はだし汁調味液から食材内部へと移動する。このときの移動のしやすさを表す値を拡散係数(Diffusion coefficient)という。拡散係数が大きい成分ほどその移動速度は速い。だし汁調味液中に溶解している成分は表1に示すように複数あるわけだが、これらの成分の水中の移動しやすさを表す自己拡散係数(Self diffusion coefficient)をみてみよう(図2)。自己拡散係数はそれぞれの成分の濃度に依存し(図2)、異なる成分間では分子量が大きくなるほど小さくなる傾向がある(図3)。すなわち、分子量58の食塩の方が分子量342のショ糖(=砂糖)に比べて自己拡散係数は大きく、したがって、拡散速度は速い。

煮物の味付け工程では、拡散物質である調味料成分が食品内部へと移動してゆくわけだが、食品の多くが水分を含んでおり、また、食塩、ショ糖、うま味成分である核酸やアミノ酸、有機酸といった多くの調味料成分が水溶性物質である。したがって、調味料分子は水に溶解した状態で、食品の構造体をなしている固体部分にぶつかりながら、食品内部の水に満たされた空隙部分を進んでいくことになる(図4)。このような場合の拡散係数は、水分を含んだ空隙部の割合や、空隙部の曲がりくねる程度などを包括

表1. だし汁調味液に含まれる成分

	調味料					
	食塩	醤油	砂糖	みりん	酒	だし汁
NaCl	○	○				○
アミノ酸		○		○		○
有機酸		○		○		○
糖類		○	○	○		
エタノール		○		○	○	
核酸						○
色素		○				

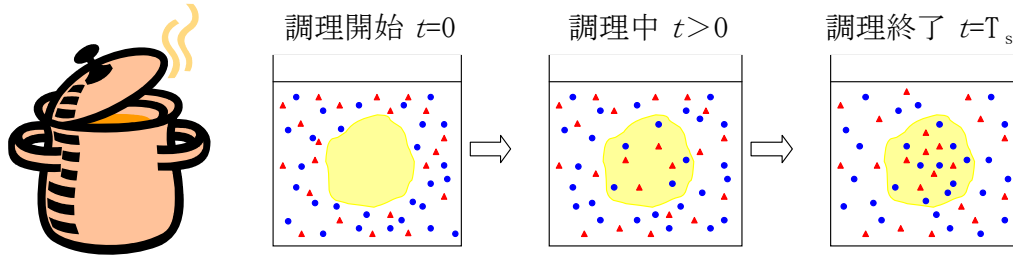


図1. 煮物調味における拡散現象の模式図

● … 食材, ●と▲ … 成分

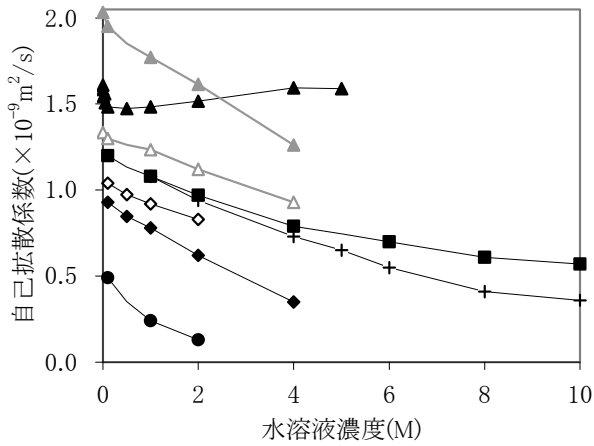


図2. 25°Cにおけるだし汁調味料成分の自己拡散係数

▲食塩, △Na<sup>+</sup>, ▲Cl<sup>-</sup>, +エタノール, ■酢酸, ◇グリシン, ◆β-アラニン, ●ショ糖  
(化学便覧-基礎編Ⅱ-, 日本化学会編, 丸善, p.58-64 (2002) より小竹作図)

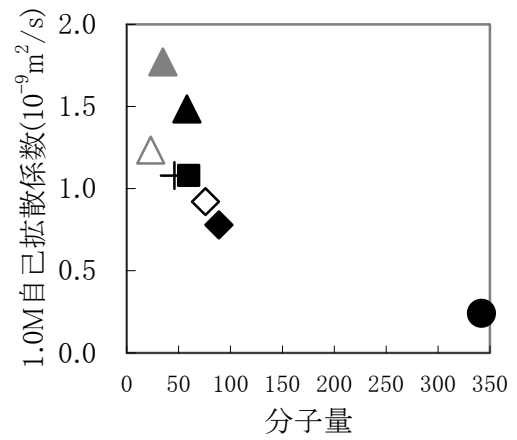


図3. 1.0 M 濃度における自己拡散係数と分子量の関係 (25°C)

▲食塩, △Na<sup>+</sup>, ▲Cl<sup>-</sup>, +エタノール, ■酢酸, ◇グリシン, ◆β-アラニン, ●ショ糖  
(化学便覧-基礎編Ⅱ-, 日本化学会編, 丸善, p.58-64 (2002) より小竹作図)

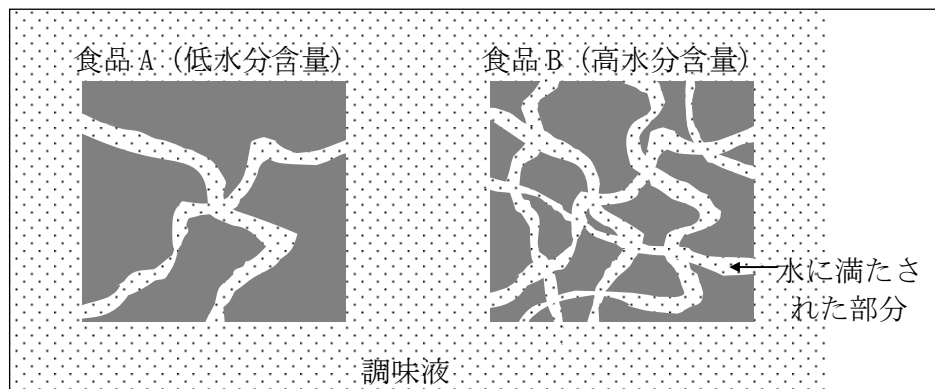


図4. 食品への調味拡散工程模式図

■食品, ●ドットが調味料分子

した数値として算出されるため、有効拡散係数 (Effective diffusion coefficient,  $D_e$ ) や見かけの拡散係数 (Apparent diffusion coefficient,  $D_{app}$ ) と呼ぶことがある。食材によっては水分含量が異なるため、同じ調味料成分でも有効拡散係数は異なり、一般的に水溶性の成分であれば水分含量が多い食材の方が拡散速度は速い傾向となる(図5)。寒天のような固形分が少なく(1~4%)、水分を多く含包している(96~99%) 試料では、食塩の有効拡散係数は  $1.143 \sim 1.282 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  であった。水分含量が約 70% (たん白質 25%, 脂質 5%) のメカジキ、マグロ赤身、牛肉での食塩の有効拡散係数は  $0.94 \sim 1.039 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  と、3 食品間でほぼ同程度の値を示した。一方、ニシンは前記の 3 食品に比べて水分含量がわずかに低い約 64% (たん白質 17%, 脂質 19%) であるにもかかわらず、食塩の有効拡散係数は  $0.232 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  と小さかった。これは、ニシンが脂質を多く含む食材であり、ニシン組織内に存在する脂質が食塩の拡散を妨げていることが認められる。水分含量 40% (たん白質 26%, 脂質 29%) のゴーダチーズ塩漬(えんせき)中の食塩の拡散係数値は  $0.225 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  であった。

## 2. 煮物の加熱中の変化 — 拡散係数の温度依存性 —

煮物の味付け工程では、調味操作と同時に加熱による温度上昇も起こる。だし汁調味液の温度上昇にしたがって、熱エネルギーが食材の熱変性をもたらす。たとえば、加熱前のジャガイモにみられる生デンプン粒(図6 a)は加熱によって糊化し(図6b)、ジャガイモの内部構造は大きく変化する。拡散係数の温度依存性は以下のアレニウス式に従うことが知られている。

$$D = A \cdot \exp(-Q/RT)$$

ここで  $A$  は定数、 $Q$  は拡散の活性化エネルギー、 $R$  は気体定数、 $T$  は温度を表す。加熱による熱エネルギーの投入により、調味成分の運動エネルギーが大きくなるので、高温ほど拡散係数は大きくなる。このときの有効拡散係数は、図6で示したような食品内部組織構造の変化を包括したものといえる。橋場らによってダイコン<sup>2)</sup>、加熱卵白<sup>3)</sup>、豚肉<sup>4)</sup>について加熱温度を考慮した拡散係数が報告されている。

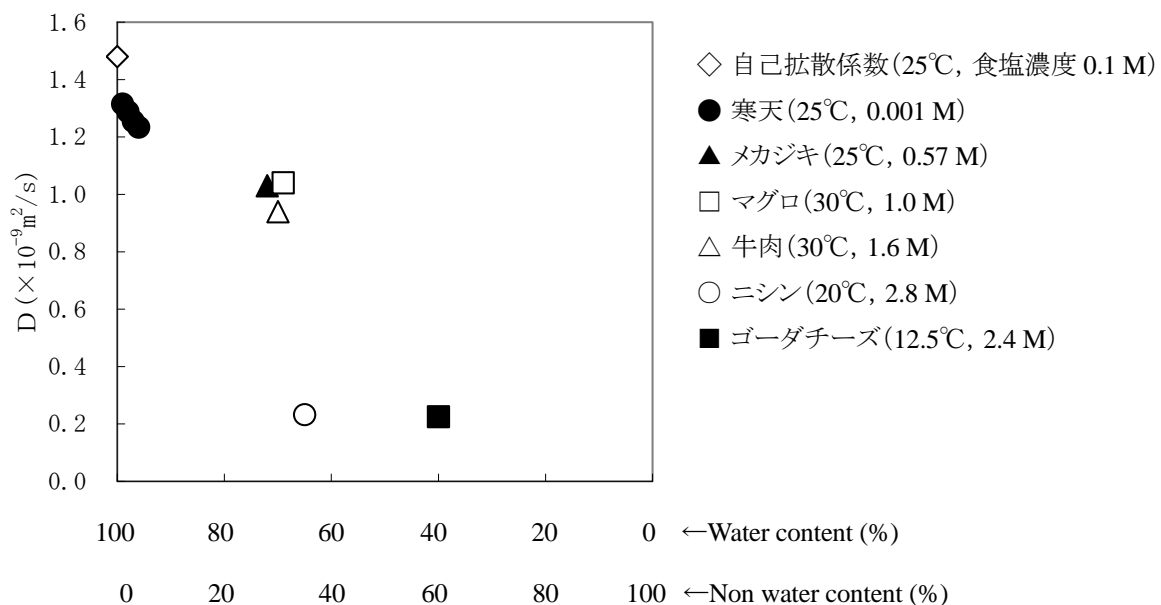
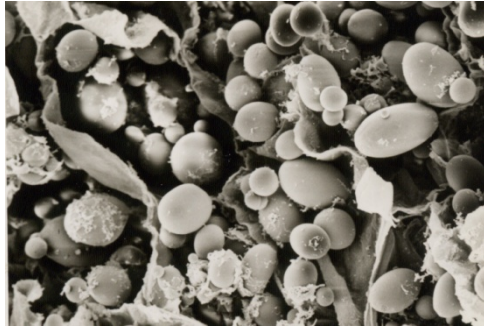
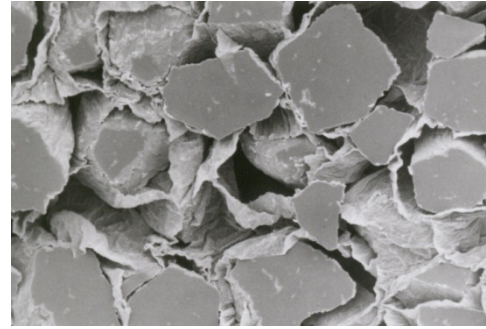


図5. 各種食品中の食塩の拡散係数<sup>1)</sup>

(Odake, S., 8<sup>th</sup> World Salt Symposium, ed. Rob. M. Geertman, Elsevier, The Netherlands, p.805-810(2000) より作図)



a 加熱前



b 沸騰加熱後

図6. 加熱前後のジャガイモ組織走査型電子顕微鏡観察 (—— 50 μm)

### 3. ルーをつかう煮込み料理 —粘稠性溶液中での食塩の拡散—

カレーやシチューのようなトロミのある料理では、煮込みの最終段階でルーを添加する。ルーを煮込み液に加えると粘稠性が増すが、これにより調味ルー溶液中の食塩の拡散係数は減少する(図7)。実験ではコーンスターチの濃度が1%、3%、5%と増加すると、食塩の拡散係数はそれぞれ、 $1.12 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ 、 $1.07 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ 、 $0.94 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ と減少し、コーンスターチの濃度が増すほど食塩が拡散しにくくなること分かる。

粘稠性素材中の食塩の拡散係数把握は、調味操作中の管理に必要なのは当然であるが、さらに、トロミ材やタレに覆われた製品を消費者が口に入れて咀嚼する際、唾液と攪拌されながら拡散溶出した調味料が、舌の味蕾へと至って味覚刺激になることから、調味料の呈味の度合いを知る上でも重要となってくる。

### 4. 醤油調味における塩の挙動と他成分の影響

醤油は食塩を16~18%含む調味料であり、醤油調味は食材への「塩味」の付与だけでなく、醤油色素による色の付与と香り成分による香りの付与が伴う。

図8は、ハンペン(1.5 cm 角)を醤油原液につけたときの表面と断面の写真である。醤油色素のハンペン表面への着色は2時間浸漬と24時間浸漬でほとんど差がないのに対し、内部への着色は非常に遅い。これは、醤油色素の分子量が非常に大きく、食品内部への拡散が遅いためである。分子量が小さい食塩は3時間浸漬でハンペン全体に拡散していることが分かっており、醤油中の食塩と醤油色素では拡散時間に大きく差がでる。

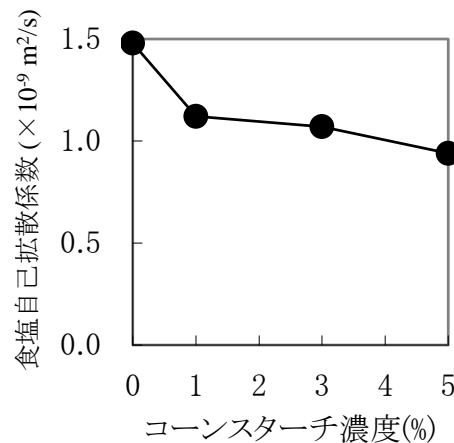


図7. 粘稠性溶液における食塩の拡散係数(25°C)<sup>1)</sup>

(Odake, S., 8<sup>th</sup> World Salt Symposium, ed. Rob. M. Geertman, Elsevier, The Netherlands, p.805-810 (2000)より作図)

香り付与の実験については下田による報告<sup>5)</sup>があり、200 mM(約1.2%)の食塩水溶液に醤油のにおい濃縮物を添加すると、300 mMの食塩水溶液と同等の「塩味」感を得るという官能検査結果が得られている。また、かつおだしに4%淡口醤油を添加した液体は、食塩以外の他成分の影響により減塩効果のあることが報告されている<sup>9)</sup>。

### 5. 漬物の塩蔵 —梅干しとカリカリ梅—

漬物は、食塩により塩蔵することによって、細菌の活動を抑えて保存性を高めた食品である。近年においては、食塩摂取を控える志向により低塩漬物が多く出回っている。製造にあたっては、最終製品の食塩濃度より高濃度で

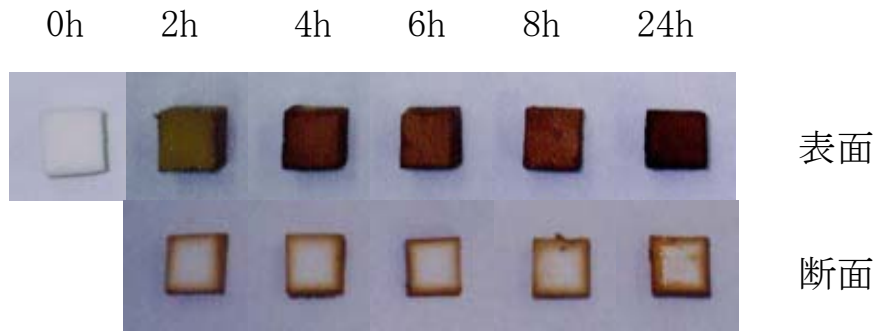


図8. ハンペンの醤油調味  
(4°C原液醤油浸漬)

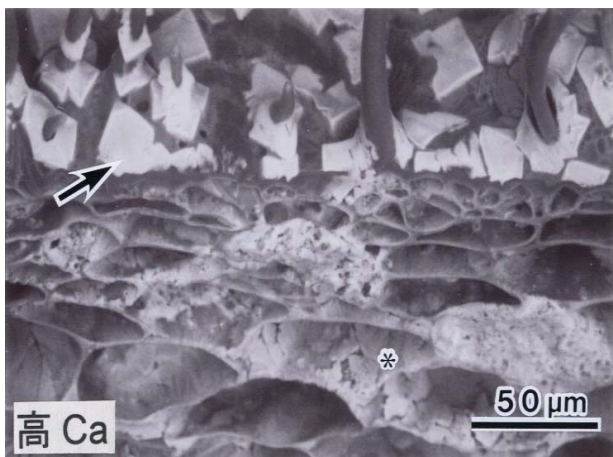


図9. カリカリ梅の組織  
→ 梅表面の食塩結晶, \* 梅果肉内のカルシウム

の塩蔵を行った後、いったん脱塩し、その後うま味成分や糖類の混合調味溶液に浸漬して味付けを行う。低塩製品を作るので、はじめから低い濃度の食塩で塩蔵すればいいと考えがちであるが、それでは食塩の浸透圧による植物細胞膜の半透膜性消失を起こすことができないので、梅ぼし独特の柔らかい果肉は得られないのである。果肉組織がしっかりとしているカリカリ梅でも同様のことが行われているが、このときには塩蔵と同時にカルシウム剤を投入することにより(図9)、カリカリとした独特の食感を得ることができるのである。

## 6. おわりに

拡散理論は古くから確立された数学理論の1つであり、食品の調味加工プロセスで起きる拡散現象を把握するこ

とにより、食品にどのくらいの調味成分が入り込んだかを予測することが可能になる。日々、食品の調理に従事して下さっている皆様の活動に対して、本稿が何らかのお役に立てれば幸である。

## 引用文献

- 1) Otake, S.: Diffusion of sodium chloride in food materials during food processing, "8<sup>th</sup> World Salt Symposium", ed. Rob. M. Geertman, Elsevier, The Netherlands, pp.805-810 (2000)
- 2) Hashiba, H., Komiyama, J., Nakanishi, T. and Gocho, H.: Dual mode diffusion of NaCl in Japanese radish under cooking conditions, *J. Food Sci.*, **72**, C154-162 (2007)
- 3) Hashiba, H., Gocho, H., and Komiyama, J.: Dual mode diffusion and sorption of sodium chloride in pre-cooked egg white, *LWT-Food Sci. and Technol.*, **41**, 1978-1986 (2008)
- 4) Hashiba, H., Gocho, H., and Komiyama, J.: Dual mode diffusion and sorption of sodium chloride in pork meats under cooking conditions, *LWT-Food Sci. and Technol.*, **42**, 1153-1163 (2009)
- 5) 下田満哉: 醤油の香りは塩味を増強するか?、*日本味と匂学会誌*, **14**, 3-8 (2007)
- 6) 小早川知子、松尾和吉、橋本忠明、築山良一: 淡口醤油中の塩味とだし風味の閾値およびかつおだしとの併用による塩味の増強、*日食科工誌*, **57**, 336-345 (2010)

## 講演者略歴

小竹 佐知子(おだけ さちこ)。1962 年生まれ。  
日本獣医生命科学大学応用生命科学部准教授。  
お茶の水女子大学食物科学科卒業、同大学院修士課程修了、同大学院博士課程修了(学術博士)／山梨県立女子短期大学(現山梨県立大学)、ワーゲニンゲン農業大学(在オランダ、現ワーゲニンゲン大学・研究センター)を経て 2002 年から現職。お茶の水女子大学非常勤講師。

## 研究分野

食品調味加工中の食品内での物質拡散現象の研究(調味料成分の食品内部への拡散、カリカリ梅製造における添加カルシウム化合物のウメ果実内での挙動)／食品咀嚼中の香気成分放散現象の研究(口腔咀嚼モデル装置の開発)／先人の日記から読み解く食生活の研究(アンネの日記、頼山陽両親の日記)