

ふろんてあ

食品成分と水との相互作用

佐藤之紀, 野口 駿

(共立女子大学家政学部)

1. 食品の成分と水

人類は水を直接摂取したり, それを食物の調理や加工に利用している。動物や植物も恒常性を保つために生体外から水を供給し, 体内で利用している。したがって, 生息する場所や生長段階によって生物の含水量にバラツキが見られるものの, 水を含有していない生物は存在しない。ヒトの食物の大部分は生物由来のものであり, 食物の水分含量もまた多岐にわたっている。穀類や豆類などの乾物では1~40%, 畜肉や魚貝類で50~80%, 果物や野菜類で70~98%¹⁾と, 水分含量を指標とすると食物を大きく3種類に分けられるが, 加工方法や保存状況などでこれらの値も大きく変化する。

食品の成分には水のほかにタンパク質, 糖質, 脂質, ミネラルなどが挙げられ, それぞれの成分間で相互作用が存在する。それぞれの相互作用のバランスが乱れると, 水の状態に変化が生じ, 最終的に食品の味や保存性などが変わる。古来から, それらの低下を抑制したり, またはそれらの向上を目的として, 水の特性を十分に生かした種々の調理方法や加工法の改善が行われている。水の物理的, 化学的作用のうち代表的なものを表1にまとめた。これらの水の作用を利用した日本の伝統料理も数多く存在している。

本総説では, 食品成分間の相互作用のうち, 食品成分と水との相互作用を特に取り上げ, 水の動態が食品加工や食物の調理に深い関わりを持っていることを概説し, 食品中の水の性状の代表的な測定法についても言及した。

(1) タンパク質食品の成分と水

食品を加熱すると食品成分の生理機能, 食感, 食味などが変化する。最適な加熱温度や加熱時間は種々の食品で異なるが, 食品中に変性防止剤を添加したり, 加熱温度を100℃以下の低温に保つ努力がなされてい

る。

タンパク質の変性温度はその種類により異なるが, ほぼ60~80℃²⁾である。最近では真空パックした食材をその温度帯で加熱する真空調理法³⁾が注目されてきている。鶏ささみ肉はタンパク質のみでできているわけではないが, 主にアクチンやミオシンなどの構造タンパク質が多く, 50~70℃で加熱した鶏ささみ肉のプロトンの緩和時間は未加熱のものに比べ長い。このことは活発な運動をする水の出現を示唆するものである⁴⁾⁵⁾が, 一方で, 緩和曲線の形から加熱した肉内での水の交換が遅くなる⁴⁾ことも見出されている。

卵の料理ではしよ糖を添加して加熱する方法⁶⁾⁷⁾で硬さや味を調節したり, ゼラチンゲルでは常温以下での保存で形状を保たせている。これらの性状の改善に水の動態の変化が密接に関連することは, 水分含量にともなう凝固点の上昇⁷⁾, 結合水量や結合水形成におけるエンタルピー変化量⁸⁾から裏付けられている。

また, 食品を冷凍してもタンパク質は変性する。この冷凍変性は分子量の大きい棒状タンパク質よりも分子量の小さい球状タンパク質に起こりやすく, 水和量や疎水結合部位の溶媒との接しやすさから説明されている⁹⁾。酵素活性を指標として変性の度合いを測定する場合が多く, 変性を抑制する物質にはガラス化(vitrification)を起こすグリセロールなどの多価アルコールやジメチルスルホキシド(DMSO)などが知られている。これらの物質の化学構造には水素結合しやすい部位と疎水性の部位の両方が存在する¹⁰⁾。

凍結乾燥する場合の失活防止剤には多価アルコールなどは乾燥中に揮発してしまうために使用できないが, 糖やアミノ酸は有効である⁹⁾。これらの物質のタンパク質変性の防止効果は単にそれらの保水機構によるものではなく, 水の秩序構造を部分的に歪めた局所的な融解状態の誘起や, これらの物質の水の結合サイトへ

表 1. 調理・加工に関わる水

作 用	基本となる原理・現象	事 例
水の物理作用 (熱)	溶解	抽出 (a) コーヒー, スープ, だし (b) あく抜き, 塩抜き, さらし 呈味
	溶解・分散	水洗
	分散・界面活性	エマルジョン, サスペンション, コロイド
	表面張力・ぬれ・拡散	調味, 復水 (水戻し)
	浸透圧・拡散	漬物, 梅酒, 果実の砂糖煮, 殺菌, 調味, 脱水, 吸水
	潤滑作用	茶, 汁物, 牛乳
	透析	成分の分離
	熱伝導・対流	オープン加熱と水煮, くず湯のさめにくさ
	熱容量	加熱・冷却能力, 保温能力, 温度調製
	潜熱	蒸し操作, 氷菓
水の関与する化学作用	体積変化・状態変化	凍り豆腐, 解凍時のドロップ, 膨化 (パン, ケーキ, パイ, シュー, パフド製品), 結露
	誘電分散	電子レンジ
	pH	しめ鯖, 落とし卵, プロトペクチンの分解, 野菜や紅茶の色の変化
	Ca ²⁺ イオン	水の味, 豆腐のすだち, ペクチンの硬化
	イオン交換	魚のあらい
	加水分解	辛味の発生, アミラーゼの作用
	異性化	糖の異性化 (果物の甘みの温度変化)
	褐変現象の防止	NaCl (りんご, なす), 食酢 (ごぼう, うど, れんこん), みょうば ん (さといも, なす)
	タンパク質変性の調節	卵料理における砂糖の添加
	タンパク質の変化	コラーゲンのゼラチン化 (加熱)
水の移動	でんぷんの糊化・老化	炊飯, ベーキング, 老化防止
	乾燥	貯蔵性の向上, 冷蔵庫内での乾燥, ケースハードニング (水分分布の 不均化), 野菜, 果物の萎凋
基質との相互作用	吸湿	海苔・茶の吸湿, せんべいの硬化, ビスケットのふやけ
	結合水と自由水 水和	物性の変化, 貯蔵性, 水分活性

の可逆的結合によるものと考えられている¹¹⁾¹²⁾。

(2) 糖質食品成分と水

単糖やオリゴ糖の水酸基は, エカトリアルな位置では水の構造を安定化させ, アキシアルな位置では構造を破壊する¹³⁾ から, 水酸基の糖骨格への結合方向が水の構造の形成に重要である。しかし, 筋原繊維タンパク質の熱変性の抑制には, 添加する糖の水酸基の数が増えると有効性が増す¹⁴⁾。

多糖類はタンパク質の場合と同様に, 疎水性領域や, 極性基, 解離基を持ち, それらの局所的な水和が総合されて食品全体としての効果として現れてくる。多糖類の中には最近, 栄養学的に注目されている食物繊維も数多く含まれており, 食物繊維はさらに水溶性食物

繊維 (SDF) と不溶性食物繊維 (IDF) に分けられている。その分類の基準は大まかで便宜的ではあるが, それぞれの食物繊維の生理作用が水への溶解性と関連する¹⁵⁾ ためによく用いられている。しかし, ごく最近まで SDF と IDF の水和挙動の違いを検討した報告はほとんどなかった。それらの挙動の違いを食物繊維粉末の水分活性を制御した場合¹⁶⁾ と水中に存在した場合¹⁷⁾ とで調べた結果, いずれの場合においても SDF と IDF に異なる水和機構が存在することが明らかになった。

食物繊維の他に代表的な多糖として, デンプンがある。デンプンの性状は含水量に大きく支配され, その変化は主として糊化と老化の程度に代表されるため,

食品成分と水との相互作用

デンプン-水系の糊化開始温度や糊化終了温度を DSC (Differential Scanning Calorimetry) などの熱分析を用いて調べる研究者が多い。また、デンプン食品の一つであるパンの老化をパルス NMR 法で調べた例¹⁸⁾もある。

(3) 脂質と水

マヨネーズやドレッシングなどが保存中に 2 相に分離する現象が生じる場合がある。これは脂質と水との相互作用の変化の現れであり、その変化の追跡には水蒸気圧¹⁹⁾、電気抵抗²⁰⁾²¹⁾、NMR²²⁾、誘電率²³⁾²⁴⁾、赤外線吸収²⁴⁾、X 線回折²⁴⁾ などを用いる方法が可能と思われる。これらの方法はすでに石鹼など生活用品一般の性状の追跡に用いられている。

一方、水の動態は脂質の酸化にも大きく関与している。食品の水分活性により、脂質の酸化が抑制される場合 (a_w 0.2-0.6) と、促進される場合 ($a_w < 0.2$: 0.6) があるが、中間水分食品 (a_w 0.6-0.85) では同一水分活性でも高水分含量の系の方が脂質の酸化は速い²⁵⁾。脂質の種類や、食品中の他の構成成分の存在によってそれぞれ脂質の酸化防止に適した a_w は異なる²⁵⁾ が、代表的な食品中の脂質酸化と水分活性との関係を図 1²⁶⁾ に示した。

(4) ミネラルと水

最近、ミネラルウォーターや“名水”が市販されるようになり、電機メーカーの中には電解水生成器を発売するところも出現している。これらの水は水道水や蒸留水に比べミネラルの種類によってはその含量が高い。たとえば、水道水 (カルシウムイオン 15~16 mg/l, 塩化物イオン 5~6 mg/l) に比べて、アルカリ性電解水にはカルシウムイオン濃度が高く (20~25 mg/l), 酸性電解水には塩化物イオンが高濃度 (8~9 mg/l) になっている²⁷⁾。しかし、それらの水を炊飯用として米を炊いても、炊飯米の硬さなどの物性の違いはほとんどない。この原因は米の緩衝作用に起因し、浸漬後数分間で炊飯水の pH は中性に収れんする。しかも、浸漬中の水の動態にはわずかしき差がない²⁷⁾。

また、ミネラルは体内の pH 調節、酵素反応の活性化など重要な働きをしているが、“名水”や電解水を食品の調製や調理に用いる重要性を証明することは現状ではかなり難しい。わずかに、硬水がグリンピースの軟化の抑制に関与していることや、 Na^+ が豆腐におけるすだちを防止することが知られているが、それらにおける水の動態に関する研究はほとんどない。微量の揮発性成分が除かれている場合には、その点だけ

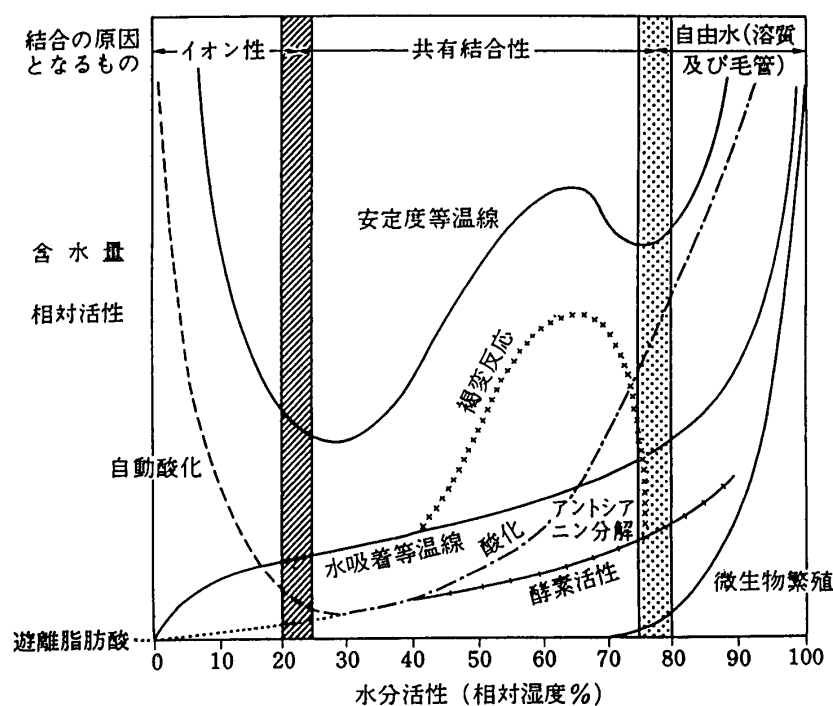


図 1. 化学変化、酵素変化および微生物変化に及ぼす水分活性の影響²⁶⁾

で健康によいと判断されるのかも知れない。

ミネラルと水、厳密な意味は違うが、イオンと水との相互作用に関しては成書²⁸⁾にまとめられており、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} はwater structure makerとして、 Cl^- はbreakerとして働いている。したがって、 NaCl 水溶液の緩和時間をパルス NMR で測定する場合、それぞれの水との作用が拮抗し、その総合的な結果のみが一本の緩和曲線に現れる。 NaCl 水溶液が少なくとも0.8M以下の低濃度である場合、それらの溶液の緩和時間は20 MHzのパルス NMR で測定する限り蒸留水のそれとほとんど変わらない。

2. 食品中の水の性状の測定法

食品中では多種多様な成分分子が相互作用し、最終的に食品中の水の結合力やその量の変化(水の動態)として現れる。したがって、精密さだけを追求するあまり、ごく微量の不純物の混入も許すことのできない測定法は食品中の水の性状を調べるには必ずしも適当であるとはいえない。

(1) 食品中の水の量を調べる

1) 全水分含量

食品中の水の量を調べる方法には昔から、秤量法が用いられてきている。この方法は、食品中に揮発性物質がある場合や加熱により水以外の成分の質量の変化がある場合には用いることができない。AOAC法²⁹⁾では穀類には $130 \pm 3^\circ\text{C}$ 、糖類には 100°C などと食品群ごとに異なった加熱温度を設定しており、加熱時間も食品の種類や量によって異なる。また、減圧下で加熱する方法²⁹⁾、赤外線加熱法³⁰⁾、電子レンジ加熱法³⁰⁾³¹⁾などがあり、加熱温度の低温度化や加熱時間の短縮が行われている。

タンパク質などのように加熱法で乾燥させると性状が大きく変化する試料には凍結乾燥法を用いることもある。しかし、この方法では水を単分子層吸着水まで完全に除去することはできず、2~3%の水分が残る。

水に特異的な化学的定量方法にはカールフィッシャー法があるが、一度に多数の測定は不可能であることから、検体の数の多い工場などでの測定には向かない。最近では、それらに代わる方法として近赤外線の反射を用いる方法が知られつつある。近赤外線の絶対反射率やその対数などをもとにする方法と、異なる2波長での反射率の差をもとにする方法があるが、前者は水分活性よりも水分含量に³²⁾、後者は水分活性³³⁾の追跡に有効であることが報告されている。

このように全水分含量は上述の方法で測定できるが、食品中の水は成分分子との結合の強さから通常3群(単分子層吸着水、多重層吸着水、キャピラリー水またはバルク水)に分けられることが多く、それぞれの水のクラス別の水の定量が試みられている。測定方法によってそれらの値や呼び方も異なるため、文献値を比較する場合には注意する必要がある。

2) 単分子層吸着水量

単分子層吸着水量は収着等温線(水分活性-平衡水分含量)での第一屈曲点における水分含量とほぼ等量であるが、試料の水分活性と平衡水分含量の関係をBrunauer, Emmett and Teller (BET) の式³⁴⁾、やGuggenheim Anderson and DeBoer (GAB) の式³⁵⁾に適合させて算出する。適合する水分活性の範囲がBET式に比べてGAB式のほうが広範囲にわたっているため、現在ではGAB式に適合させて単分子層吸着水量を算出する場合が多い。単分子層吸着水は粉末など固体の試料上に水が一層に吸着した場合の水量を表し、水溶液中ではA相³⁶⁾と呼ばれている領域に存在する水が単分子層吸着水に相当すると考えられる。

3) 多重層吸着水量

多重層吸着水量も収着等温線を用いて求めることができる。水の吸着エネルギー量から水分活性0.784での水分含量³⁷⁾が多重層吸着水と単分子層吸着水の合計量と考えられるから、その値から既知の単分子層吸着水量を減じればよい。

また、成分分子と結合した水は氷点付近あるいはそれ以下の温度で凍らないとの考えに基づき、不凍水量³⁸⁾を求める場合もある。測定温度や冷却速度などによって不凍水量が変化する³⁸⁾から、氷点およびそれ以下の温度での測定値が常温でどのレベルの結合水に相当するのかを検討する必要がある。不凍水量を求めるには、熱分析によって氷が融解しなくなる最小水分含量を求める方法³⁹⁾と、ピークの面積から融解した氷の量を算出し、全水分含量からそれを減じた量を不凍水量とする方法⁴⁰⁾がある。しかし、同一試料の不凍水量をこれらの2つの方法で求めて、それぞれの値を比較した例はほとんどない。

4) キャピラリー水量またはバルク水量

単分子層吸着水量と多重層吸着水量が既知であれば全水分含量からそれらの差を求めれば算出できる。したがって、一般的には全水分含量から不凍水量を除いたものとほぼ一致する。しかし、不凍水が常温でどのレベルの結合水に相当するのかが明らかにされていない。

食品成分と水との相互作用

い現在、不凍水量を用いる方法はあくまでも推定値としての比較にとどめておくべきと考えている。タンパク質の試料では不凍水量が単分子層吸着水量として引用されている値とほぼ一致している⁴¹⁾から、これらの試料には多重層吸着水は存在しないことになってしまふ。

厳密な意味ではバルク水とキャピラリー水は成分分子との相互作用は異なっており、キャピラリー水は多重層吸着水に比べて弱いながら成分分子と結合しているが、バルク水は全く相互作用していない水を示す。食物繊維や食肉では water holding capacity (WHC) として、古くからフィルターペーパーに形成されたジュースリングの広がりから求めたり (圧搾法)⁴²⁾、遠心分離後に生じた液体の容量を測定する方法 (遠心分離法)⁴³⁾、水分活性 0.995 に相当する 280 mOsm の浸透圧を示す濃度から水分含量を算出する方法 (浸透圧法)⁴⁴⁾ などがあげられる。

(2) 食品中の水の動態を調べる

1) 水分活性

食品の水分活性の測定は、食品の貯蔵条件の決定に古くから用いられ、図 1 に示すように食品の水分活性や食品のおかれている相対湿度と種々の活性との関連が示されてきている。水分活性を低下させる一つの方法として塩類の添加や水分含量を減少させることがあげられるが、鶏卵に水や牛乳を添加し、水分含量を 80~90% に変化させても水分活性は 0.97 から変化しない⁴⁵⁾ ことや、一般的な食品の収着等温線の形状²⁶⁾ から判断すると、高含水量の試料の水分活性を制御することは難しい。

また、実際に食品の水分活性を測定するには、現在、グラフ内挿法や電気湿度計法などが知られている⁴⁶⁾ が、よく用いられる方法はグラフ内挿法⁴⁷⁾ である。この方法は安価で簡単な方法ではあるが、測定値の解析まで数時間を要する。電気抵抗を基にした湿度計法はアルコールなどの揮発性物質に影響されるが、最近ではセンサー部分の改良などでこの問題がほとんど解決され、分単位での測定が可能となっている。

また、収着等温線を単純化して、一次式や二次式に変換した各種解析式¹⁶⁾ に実測した水分含量の値を代入すればその食品の水分活性を間接的に算出できる。

2) 核磁気共鳴法 (NMR 法)

食品中の水の分子は絶えず食品成分と結合している水と結合していない水との間で順次移行し、交換が起きているので、高分解能 NMR の化学シフトの変

化で水の動態を追跡することはできない。したがって、¹H, ²H, ¹⁷O の緩和時間を測定し、運動性を論じた研究が多い。緩和時間には使用した核の交換速度や pH などが影響を与え、正確な理論もまだ十分とはいえないが、パルス NMR 法⁴⁸⁾ は水和能力の高い物質を検索する一次スクリーニングとして十分対応できる。著者は一定条件下で試料と水が共存する系全体の緩和時間を測定することにより、米ぬかが高水和能力をもつ⁴⁸⁾ こと、食物繊維水溶液中の濁りの生成⁴⁹⁾ や真空調理での最適温度⁴⁾ が水和能力の変化と関連があることなどを明らかにした。また、保存温度で誘起された多糖のゾル・ゲル転移の際にも緩和時間の変化が起こるが、 α -カラギーナンなどのように緩和時間の変化がほとんど見られないものもある⁵⁰⁾。その他にも、カルシウムイオンの添加によって誘起されるゾル・ゲル転移にも緩和時間の変化が伴う⁵¹⁾。

このように、緩和時間を基にして食品の性状変化を追跡する方法の他に、緩和時間から水の平均滞在時間 (相関時間) を算出している例⁵²⁾⁵³⁾ もある。最近は、腫瘍等の診断用として使われていた緩和時間の映像化による方法 (magnetic resonance imaging)⁵⁴⁾ も用いられるようになってきた。

一方、クラスターと呼ばれる水の集合体の大きさの違いを ¹⁷O の NMR における半値幅の変化から論じ、飲料のおいしさに関連づけられている⁵⁵⁾ もの、クラスター以外の要因の関与に興味を抱く研究者もいる。

このように、食品成分と水との結合力や結合している水の量が明確に求められないこと、異なる測定法での測定値の関連性に関する研究が少ないこと、水の構造変化のほかに食品のおいしさなどに影響を与える要因が多いことなどから、依然、食品中における水の作用には不明な点が数多く残されている。

食品には一般的に数多くの成分が混在しているため、より純度の高い、より微量な、より微細なものを追求して分析を続けてきた現在、局所的な水の動態によって生理活性が大きく異なる特別な物質は別として、食品中に存在する水全体としての動きを総合的に追跡する一面も大切である。水は食品の貯蔵や加工のみならず食感などにも影響を与える重要な成分であるから、食品中の水に関する研究を除外しては食品の機能を解明できないことだけは確実である。

参 考 文 献

- 1) 中島泰子, 安東明夫, 折田義正: 常用量目安食品成分

- 早見表, 医歯薬出版, 東京, 2~238 (1993)
- 2) Wright, D. J. and Wilding, P.: *J. Sci. Food Agric.*, **35**, 357~372 (1984)
 - 3) 脇 雅世: 調理科学, **22**, 190~195 (1989)
 - 4) Sato, Y., Noguchi, S., Takahashi, S., Naito, F., Naito, H. and Tanaka, T.: *Nihon Kasei Gakkaishi (J. Home Econ. Jpn.)*, **44**, 191~195 (1993)
 - 5) 高橋節子, 内藤文子, 佐藤之紀, 内藤 博, 田中直義, 野口 駿: 家政誌, **45**, 123~130 (1994)
 - 6) 野口 駿: 調理と水, 学建書院, 東京, 150~151 (1978)
 - 7) Low, B. (木原芳次郎, 松元文子ら訳): ベルロウの調理実験, 柴田書店, 東京, 345~468 (1970)
 - 8) Sato, Y. and Noguchi, S.: *Nihon Kasei Gakkaishi (J. Home Econ. Jpn.)*, **42**, 697~702 (1991)
 - 9) 花房尚史: 食品の水, 恒星社厚生閣, 東京, 9~24 (1973)
 - 10) Fahy, G. M., Levy, D. I. and Ali, S. E.: *Cryobiology*, **24**, 196~213 (1987)
 - 11) Hanafusa, N.: *Contr. Low Temp. Sci.*, **B17**, 21~38 (1964)
 - 12) 花房尚史: 低温科学, 生物編, **27**, 11~22 (1969)
 - 13) Uedaira, H. and Uedaira, H.: *J. Solution Chem.*, **14**, 27~34 (1985)
 - 14) 若目田 篤: 水産加工とタンパク質の変性制御, 恒星社厚生閣, 東京, 17~24 (1991)
 - 15) 辻 啓介: 食品ハイドロコロイドの科学, 朝倉書店, 東京, 285~299 (1990)
 - 16) Sato, Y. and Noguchi, S.: *Nihon Kasei Gakkaishi (J. Home Econ. Jpn.)*, **44**, 625~631 (1993)
 - 17) Sato, Y.: *Nihon Kasei Gakkaishi (J. Home Econ. Jpn.)*, **45**, 689~696 (1994)
 - 18) 肥後温子, 島崎通夫, 野口 駿, 中沢文子: 家政誌, **34**, 474~479 (1983)
 - 19) 江崎平八, 大和田健次, 野口 駿: 油化学, **8**, 62~64 (1959)
 - 20) 江崎平八, 大和田健次, 野口 駿: 工化誌, **62**, 534~538 (1959)
 - 21) 江崎平八, 野口 駿: 工化誌, **62**, 1834~1835 (1959)
 - 22) 野口 駿: 農化, **34**, 416~420 (1960)
 - 23) 野口 駿: 農化, **34**, 420~423 (1960)
 - 24) 野口 駿: 農化, **34**, 694~698 (1960)
 - 25) 豊水正道: 食品と水, 恒星社厚生閣, 東京, 124~137 (1973)
 - 26) Rockland, L. B. and Nishi, S. K.: *Food Technol.*, **34**, 42~51, 59 (1980)
 - 27) 佐藤之紀, 野口 駿, 高橋節子, 内藤文子: 家政誌, **45**, 343~348 (1994)
 - 28) 上平 恒, 逢坂 昭: 生体系の水, 講談社サイエンティフィック, 東京, 30~62 (1989)
 - 29) Helrich, K.: Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 15th edition, Arlington, Vol. 2, 777, 1010~1011 (1990)
 - 30) 田中伸子, 西川真理子, 岡村 浩: 家政誌, **41**, 249~255 (1990)
 - 31) Lee, J. W. and Latham, S. D.: *J. Food Sci.*, **41**, 1487 (1976)
 - 32) Delwiche, S. R., Pitt, R. E. and Norris, K. H.: *Cereal Chem.*, **69**, 107~109 (1992)
 - 33) 佐藤之紀, 野口 駿: 日本家政学会第46回大会研究発表要旨集, 東京, p. 123, 2Dp-4 (1994)
 - 34) Brunauer, S., Emmett, P. H. and Teller, E.: *J. Am. Chem. Soc.*, **60**, 309~319 (1938)
 - 35) Cadden, A. M.: *J. Food Sci.*, **53**, 1150~1155 (1988)
 - 36) Privalov, P. L. and Mrevlishvili, G. M.: *Biofizika*, **12**, 22~29 (1967)
 - 37) Caurie, M.: *J. Food Technol.*, **6**, 193~201 (1971)
 - 38) 村勢則郎: 表面, **29**, 571~583 (1991)
 - 39) Duckworth, R. B.: *J. Food Technol.*, **6**, 317~327 (1971)
 - 40) Kumagai, H., Nakamura, K. and Fujiwara, J.: *Agric. Biol. Chem.*, **49**, 3097~3101 (1985)
 - 41) 野口 駿: 食品と水の科学, 幸書房, 東京, 227~263 (1993)
 - 42) Wierbicki, E. and Deatherage, F. E.: *Agric. Food Chem.*, **6**, 387~392 (1958)
 - 43) Miller, W. O., Saffle, R. L. and Zirkle, S. B.: *Food Technol.*, **22**, 1139~1142 (1968)
 - 44) Wallingford, L. and Labuza, T. P.: *J. Food Sci.*, **48**, 1~5 (1983)
 - 45) 佐藤之紀, 高田昌子, 野口 駿: 共立女子大学家政学部紀要, **37**, 91~94 (1991)
 - 46) 平田 孝: ジャパンフードサイエンス, **22**, 26~35 (1983)
 - 47) 横関源延: 食衛誌, **16**, 145~152 (1975)
 - 48) Sato, Y. and Noguchi, S.: *Nihon Kasei Gakkaishi (J. Home Econ. Jpn.)*, **44**, 1021~1025 (1993)
 - 49) 佐藤之紀, 野口 駿: 共立女子大学家政学部紀要, **38**, 97~101 (1992)
 - 50) Child, T. F. and Pryce, N. G.: *Chem. Comm.*, 1214~1215 (1970)
 - 51) 佐藤之紀, 野口 駿: 家政誌, 投稿中
 - 52) Koenig, S. H., Hallenga, K. and Shporer, M.: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **72**, 2667~2671 (1975)
 - 53) Sato, Y. and Noguchi, S.: *Nihon Kasei Gakkaishi (J. Home Econ. Jpn.)*, **44**, 185~189 (1993)
 - 54) Rongsheng, R. and Litchfield, J. B.: *Cereal Chem.*, **69**, 13~17 (1992)
 - 55) 松下和弘: 食品と開発, **24**, 82~85 (1989)