

チョコレート用油脂の物性と機能に関する研究

佐藤 清隆

(広島大学大学院 生物圏科学研究科 生物資源開発学専攻 食資源科学講座 食品物理学教室教授)

食べ物のおいしさは、外見、匂い、触感、味覚、歯ごたえ、のど越しなどのさまざまな要因で決まるが、最も重要な要因は味覚と匂いである。味覚には、5つの基本味（甘味、塩味、酸味、苦味、うま味）に加えて「辛味」や「渋味」などの刺激味がある¹⁾。しかし、これらが「おいしさ」を決める要因のすべてではない。おいしさを決める食品の特性としては、味覚と香り（匂い）という化学的要因に加えて、いわゆる「食感」として、やわらかさや堅さ、舌触り、口融けのような感覚を生む物理的要因も不可欠である。さらには生理的、心理的要因や、記憶・経験、社会環境などが複合的に作用して、食べ物のおいしさは決まる²⁾。また、「食べる」ことに対する人々の社会的意識とおいしさにも関係がある。たとえば戦後の日本では、わずか半世紀の間で、人々の「食べる」ことへの意識が様変わりしたと言われている。「お腹で食べていた」戦後の食糧難の時代から、「舌で食べていた」飽食の時代。そして健康ブームの現代では「頭で食べる」、すなわち個々の食材の栄養知識を重ねて、人々は食べ物に対して「おいしさと健康」という付加価値を希求している。

1. 食品のおいしさと物性

食品の主な物理的性質（物性）は、図1にまとめられる。固さや柔らかさ、溶けやすさなどは、外力や熱などの物理的な刺激に対する応答として評価されるが、そのような応答は、食品を構成する成分の内部構造によって左右される。また、色や形や温度など、食品全体としての外観も物理的性質に含まれる。また食品の物性は、食品がどのような状態にあるかによっても多様に変化するが、図2には食品の多様な物理状態を示す。具体的に、これらの物性が食品のおいしさにどのようにかわるかは、食品によって千差万別である。

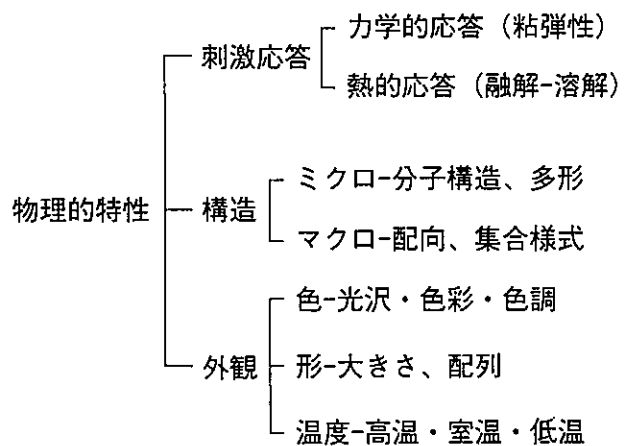


図1. 食品の主な物理的性質

液体状態の食品素材の特徴は、透明度や色、粘度である。固体状態は液体を冷却や乾燥ないしは加圧操作して得られるが、でんぷんや油脂の固体中に砂糖などの固体粒子が分散した場合は、サスペンションという。代表的な固体状食品はチョコレート、キャラメル、タブレット菓子（錠菓）、ビスケットなどである。固体状態には、結晶とアモルファス（ガラス）があるが、ハードな食感には結晶状態、ソフトな食感にはガラス状態が適している。なぜならば、結晶よりガラス状態が密度が低く溶解度が高いために、口中に食品成分が溶けやすくなる。一方結晶状食品の場合では結晶粒子

の形態やサイズ、凝集性・配向性が食品の口中での滑らかさや舌触りに関係している。また結晶の融解特性、すなわち融解温度の幅や融解エンタルピーは、シャープな口融けや清涼感につながっている。チョコレートやマーガリンにおいては、結晶性油脂の融点や微細構造がそれに該当する。タブレット菓子では、栄養成分や呈味・香気物質を有機結晶粉末のマトリクスで包含しているが、マトリクスを構成する結晶材料の水への溶解特性が食感を決めている。たとえば、マトリクス結晶の溶解熱が大きいほど、口中で唾液に溶ける際に奪う熱が大きいので、清涼感が増す。キシリトールを用いた錠菓が口中で清涼感を示すのは、キシリトールの水に対する溶解熱が、ショ糖よりも1グラム当たり8倍ほど大きいためである。

ゲルの定義は多様であるが、おおまかに言えば、ゲル状態とは少量の固体状成分が多量の液状成分を吸収して一定限度の容積まで膨潤した、固体と液体の中間に位置する状態である。ゲルは小さい応力下では弾性を示し、大きな応力下では流動性を示すので、ゲルにおいては保形性やテクスチャーが重要な特性である。

エマルションは食品でもっとも多く存在する物理的状态で、相互に溶解しあわない液体（ほとんどが水と油）が、界面活性物質の乳化作用によって分散したものである。水と油のどちらが分散相（あるいは連続相）となるかによって、水中油（oil-in-water, O/W）型とW/O型に分かれる。それぞれの代表がマヨネーズ（O/W型）やマーガリン（W/O型）である。いずれの場合も、分散相の体積分率や分散粒子の大きさとその分布が、エマルションの分散性とテクスチャー、ならびに分散相に溶解させた味覚物質の包含性に影響を与え、おいしさにも影響する。

本稿で扱うチョコレートは、通常はココアバターは結晶中に砂糖やカカオマスなどの固体粒子が分散したサスペンションである。これに対して、生チョコの一種であるガナッシュの場合は、水溶性のクリーム等がO/W型エマルション、あるいはW/O型エマルションで分散している。いずれの場合も、カカオバターは結晶化しているので固体状食品といえる。しかし、口中では速やかにココアバターが融解するので、チョコレートバーもW/O型ガナッシュも、口中で溶解したとたんにW/Oエマルションとなる。そして、咀嚼が進んで唾液が増えるにつれて、せん断力により水相と油相の分散状態が逆転してO/W型エマルションに転相する。口中に入った後のW/O型からO/W型へのエマルションの急激な状態変化に合わせて、チョコレートの味覚と香りが口中で時間的に微妙に変化する。すなわち、最初のW/O型エマルションでは外側の連続相が油なので、脂溶性のフレーバーなどが感知されるが、水溶性の味覚はまだ支配的とはならない。しかしO/W型エマルションになると水溶性の味が強く押し出される。チョコレートのおいしさには、物理状態の変化とマッチした味と香りのハーモニーのダイナミックな変化が含まれているのである。

状態	物性	例
液体	透明度・色 粘度	ドリンク
固体	融解 テクスチャー	チョコレート キャンデー
ゲル	保形性 テクスチャー	ゼリー ヨーグルト
エマルション		
↑ O/W +気体	分散性 包含性	クリーム
↓ W/O	分散性 テクスチャー	バター
↓ ホイップ	分散性 保形性	アイスクリーム

図2. 食品の物理状態と物性

2. チョコレートのおいしさと油脂の物性

いうまでもなくチョコレートは、熱帯雨林に産するカカオの木になるカカオポッドの中のカカオ豆を発酵、乾燥、焙煎、摩砕したカカオペースト状が原料である。カカオの利用と言う観点からすれば、人類を含む動物はカカオ豆よりもカカオポッドの中のパルプを食した時代がはるかに長いといわれている。その後にメソアメリカの人々がパルプ中の糖分を発酵して酒を造ることを知り、その後カカオ豆を焙煎してペースト状の飲料として食していた。16世紀にやってきたスペイン人がカカオ飲料を欧州に伝え、19世紀中葉にオランダでカカオが粉末化され、すぐにイギリスでカカオバターを固めて、現代につながる「食べるチョコ」となった。

メソアメリカでは今でもカカオ飲料が食卓に出ている。そこで最初に、いわば「チョコレートの原点」であるメソアメリカのカカオ飲料の味をご紹介します。

2.1 メソアメリカの「飲むカカオ」の味

メソアメリカのネイティブの人々（すなわち、マヤ-アステカの末裔）は、カカオペーストをとうもろこしと混ぜて冷たい飲料として食している。その呼び名は地方によって異なるが、作り方はほぼ共通している。筆者が2008年10月に訪問したメキシコ南部、グアテマラ国境に近いタパチュラ近郊の農家で食した飲料は「ポツオル」と呼ばれている。発酵しないでよく乾燥したカカオ豆を30分ほど焙煎し、皮を飛ばして中身を残し、シナモンなどを入れてハンドミルを2回通して粉碎する（カカオマス）。一方、とうもろこしはアルカリ化して茹で、柔らかくして細かくつぶして粉を作る（コーンマス）。コーンマスとカカオマスを約4対1で混ぜて丸い「団子」にして保存する。冷たい井戸水に「団子」を入れ、木の幹（あるいは根）を利用した攪拌棒でよくかき混ぜて飲料としたものがポツオルである。砂糖を入れても入れなくてもよい。毎朝、塩に唐辛子を混ぜたものをなめながら、ポツオルを250ccくらいのコップで2杯飲めば、昼までお腹にもつという。

「遠い昔にブラジルやコロンビアのアマゾンから、山を越えてカカオがやってきた。そのときからこういう飲み方をしている」と言うそのポツオルは、カカオの味はまったくしないで、とうもろこしの薄い香りと味だけである。よく考えたらそれは当然のことで、カカオのフレーバーは冷水には殆ど溶けないので、こういう飲み方ではカカオ独特の味は隠されている。要するにメソアメリカの人たちは、主食であるとうもろこしのさまざまな調理法の一つとしてポツオルを飲んでいるのである。しかも熱帯なので冷たい飲料として飲んでおり、その温度ではカカオ豆の中のカカオバターは結晶粒子のまま水中に分散しているから、カカオのフレーバーを感知しないのは当然である。しかし飲んだ後は体温でカカオバターが溶けるので、消化過程では油に溶ける栄養成分が微細に乳化して体に吸収される。最初に筆者は「発酵しない豆」と聞いていぶかしく思ったが、発酵で一番変化するのはカカオ豆の渋みが緩和されるのとフレーバー成分の変化であるが、ポツオルではカカオ豆の固有の味は水中にサスペンションとなって分散したままで隠されているので、必ずしも発酵する必要はないと思われる。

すなわちポツオルに代表されるメソアメリカ飲料では、温帯に住む我々が嗜好品として飲む熱いカカオドリンクや、油の結晶が全体を占めているチョコレートとは異なる物理状態で食しているのである。

2.2 食べるチョコレートの味

チョコレートのおいしさは、フレーバー、甘味、適度な苦味などの化学的性質の他に、つややかな表面、室温でパリッと割れるスナッフ性、口中で速やかに融ける口どけなどの物理的性質で決まる。前者は、原料となるカカオ豆の品質（栽培種や産地で異なる）と焙煎条件、さらには添加する砂糖、ミルクやフレーバーで決まり、物理的性質は、カカオ豆から絞りでる植物油：ココアバター結晶の状態と構造で決まる。

たとえばミルクチョコレートの内部では、砂糖やミルクの粉末がココアバター結晶の中に閉じ込められている。既に述べたように、砂糖や粉乳の粒子は水溶性で油には不溶なので、チョコレートでは水溶性と脂溶性の固体粒子が相互に溶解しない形で分散している。口中に入ると、連続相であるココアバター結晶が融解した直後はW/Oエマルションになるが、唾液と混じることによってO/W型のエマルションに変化する。その結果、水溶性の呈味物質や脂溶性のフレーバーや苦味物質が、O/W型エマルションとして混合しながら、あの複雑な味を生んでいる。チョコレート用油脂であるココアバターは、水溶性微粒子を分散させる微細な結晶粒子の分散性や速やかな融解などの物性によって、きわめて重要な役割を果たしているが、温度変化などでそれらが損なわれると、おいしさも著しく減退するのである。

図3に示すように、チョコレートの内部では、砂糖やミルクの粉末がココアバター結晶の中に閉じ込められている。砂糖やミルクは水溶性であるが、油には不溶なので、チョコレートでは水溶性と脂溶性の固体が相互に溶解しない形で分散している（サスペンション）。水溶性物質と脂溶性物質が、固体状で混合したサスペンション状態であるチョコレートを融解している間に、少しでも水が入ると、水に溶ける成分と液体状のココアバターが分離するので、強力な攪拌を行わないかぎり、冷却してもサスペンション状態には戻らない。

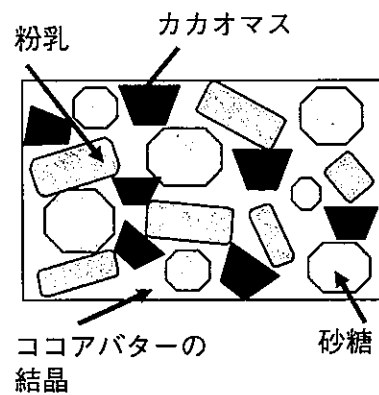


図3. ミルクチョコレートの内部構造

チョコレートの中のココアバターだけを融解させて、その中に水溶性粒子が分散した状態を保持して、「原料選別－焙煎－配合・分離－磨砕－混合－微粒化－精練－結晶化－型入れ－冷却－型抜き－検査・包装－熟成－出荷」という一連の工程でチョコレートが製造される。ここで物性的に重要な工程が、結晶化である。ココアバターの融点以上で「混合－微粒化－精練」を経た溶融チョコレートを、そのまま単純に冷却してはならず、「テンパリング」という操作で結晶化しなければならない。単純に冷却しただけでは型から離れずに艶やかな表面はできず、融点も低く、手で触っただけで簡単に溶けてしまう。さらにテンパリングして作ったチョコレートでも、そのあとで高温にさらすと表面が白くなる（ファットブルーム）。ファットブルームが起ると、表面だけでなく内部もバサバサになり、ココアバターの融点も高くなって口どけも悪くなり、当然おいしさは失われる。

テンパリングを行う理由は、ココアバターの結晶多形現象にある。ココアバターには6種類の結晶多形があり、正常なチョコレートのココアバターは最安定多形ではなく、2番目に安定なV型になっている。テンパリングによる固化過程においては、図4のように、冷却、昇温、再冷却という温度変化をさせる。その過程で、ココアバターの結晶多形の状態が変化して、安定なV型の結晶が最後に出

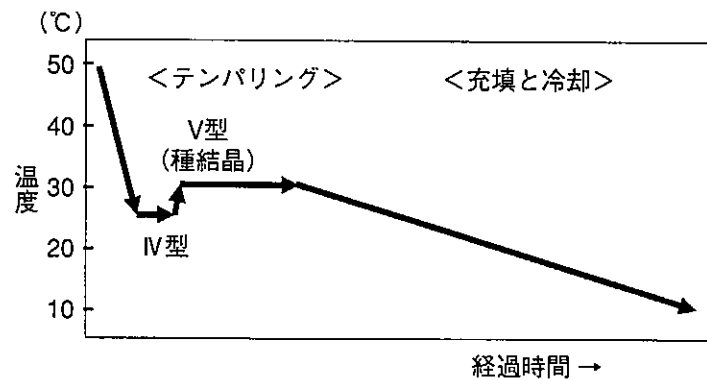


図4. チョコレートのテンパリングと冷却過程

来上がる。もし、テンパリングをしないで単純に室温まで冷却すると、ココアバターの前安定多形が析出するが、これらは不安定なので、熟成している間にV型やVI型に変化し、その過程でファットブルームが発生する。最適なテンパリングの条件は、まだ固まらないでいるココアバターの融液が、その後の冷却過程ですべてV型として結晶化するために必要最小限の微細な種結晶を作ることである。それが不十分な場合が「アンダーテンパリング」で、冷却過程でV型以外の結晶が発生して、その後の放置でブルームを発生させる。逆にV型の種結晶が多すぎると「オーバーテンパリング」といって、その後の冷却で急速に結晶化が始まり、ナッツを包むなどのさまざまな成型加工に必要な時間の間に、過冷却の液体として保持されないという不都合が生じる。最適なテンパリングで発生する種結晶の濃度については研究者によって意見が異なるが、ココアバター全体に対して0.5～2%程度と考えられている。

最近の健康志向によりさまざまな新しいタイプのチョコレート製品が現れているが、物性的に工夫を要するのがエア入りチョコである。欧州で人気のN社のエアチョコでは、気泡が体積比で50%を占めるほどである。これは、「おいしいチョコは食べたい」が「カロリーは減らしたい」と言う消費者の要望に沿ったものであるが、おいしさと言う立場からは、気泡が入ることによって、「噛みだしが柔らかい、口どけがよい、香り立ちがよい」などのメリットがある。しかし、製造面ではいくつかの難関をクリアしなければならない。それは「ホイップ(起泡)化」と「気泡の粗大化」と「ココアバターの結晶化」の両立である。すなわち図4のテンパリング操作の後の冷却過程で、ココアバターが固まる前にホイップ化と気泡の粗大化を手早く行うのである。気泡を小さくするためには強力な攪拌を伴うが、その熱によってテンパリングで生成したV型結晶を消失してはならない。また、気泡の安定化のためには、空気と熔融したカカオバターの液体との間に微細結晶を吸着させなければならない。さらには、最初に形成した微細な気泡を膨張させる過程も必要である。エアチョコの作成技術はノウハウとして秘匿されているが、基礎的な立場から詳細に解明する現象が多く、その本質は物性制御にあると思われる。

参考文献

- 1) 伏木享：食品と味、(伏木享編著)、光琳、pp.1-20 (2003)
- 2) おいしさの科学 (山野善正・山口静子編) 朝倉書店、pp.1-7, (1994)
- 3) 佐藤清隆、食べ物のおいしさと食感-物性からのアプローチ、日本味と匂学会誌、11(2004) 147-156.