



INVITATION

ユニークな研究の世界へご招待

広島大学

美味しい
チョコレートの裏に
サイエンスあり

名誉教授 佐藤清隆 さん

内外のチョコレートメーカーの顧問なども務め、世界のさまざまなカカオ飲料やチョコレートを口にしてきた佐藤さんだが、日本のチョコレートはレベルが高いと話す



今回取材させていただいた食品物理学研究室のある広島大学 東広島キャンパス。245haという広大な敷地内では多種類の樹木や生き物が見られる。広島大学は「自由で平和な一つの大学」という建学精神のもと、自由な発想での研究活動が盛ん。日本トップレベルの研究分野も数多い

チョコレート製造は総合科学

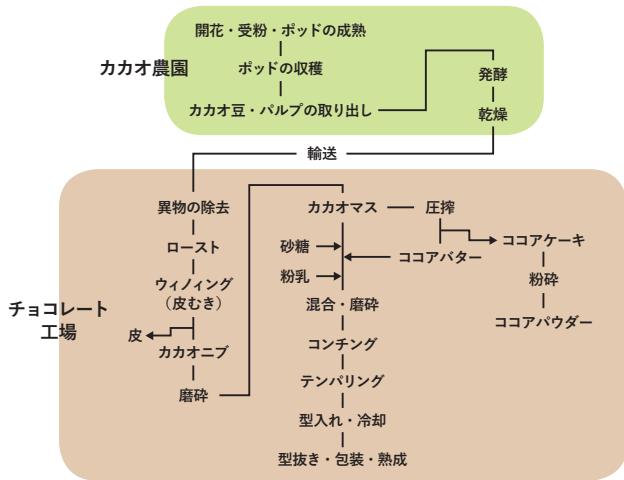
口に入れるとなめらかにとけ、豊かな香りと甘さに癒される魅力的な食べ物、チョコレート。全国の男女約5,000人を対象にLINEリサーチが2021年に行ったウェブ調査によると、チョコレートが「とても好き」「やや好き」と回答した人は全体の86%を占めていた。それほど多くの人から愛されているチョコレートであるが、原料であるカカオ豆の生産から最終製品となるまでのプロセスが複雑かつ手間のかかるものであることは、意外と知られていないのではないだろうか。

「チョコレート製造は、生物学をはじめ脂質科学、食品化学、食品物理学、食品栄養学、食品工学…と実にさまざまなサイエンスに支えられています。とくに味わいを左右するココアバターについては、その物性を理解して制御する上で科学的なアプローチが不可欠。そのため『チョコレート製造は総合科学』とも言われているのです」。チョコレート研究の世界的権威である広島大学名誉教授の佐藤清隆さんはそう話す。

チョコレート製造のプロセスは、図に示すように多岐にわたる。美味しいチョコレートをつくるためにはどの段階もおろそかにできないことから、多くの技術や科学的知見が必要となるのだ。

「チョコレート博士」の異名をとる佐藤さんも、もともとは結晶物理学者である。大学院では食品とはまったく関係のない無機物の結晶構造に関する研究を行っていた。「博士課程を終えた後に広島大学で助手の職を得たことをきっかけに、研究対象を無機結晶から脂質結晶へと変えまし

[図1]ミルクチョコレートが出来るまで



た。僕の中ではどちらも結晶物理学の知見を活かせるという意味では同じだろうと思っていましたから」。

脂質結晶とは固体状の脂質のこと。例えばマーガリン、ホイップクリーム、チョコレートなどは、水分、タンパク質などの固形分、そして脂質結晶が分散した状態で混ざり合い構成されることから、「結晶性油脂食品」と呼ばれている。化粧品や医薬品にも、脂質結晶が使われているものがある。室温で固体のチョコレートが口の中ではすぐとけてしまうように、油脂はわずかな温度の違いで状態を変化させる。その物理的性質が食品のテクスチャーや味わい、化粧品や医薬品の機能などを決める上で大きな役割を担っている。

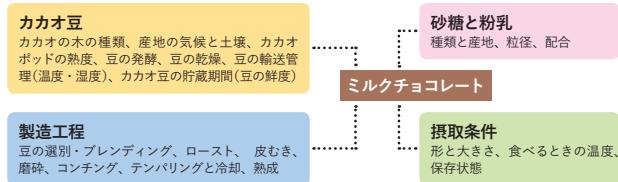
基礎研究からチョコレートの応用研究へ

脂質結晶の研究を始めた当初、佐藤さんは食品などへの応用研究ではなく基礎的な研究に力を注いでいた。「食品や化粧品に使われている植物性油脂の主成分は、3つの脂肪酸と1つのグリセロールからなるトリアシルグリセロール (TAG : triacylglycerol) です。脂肪酸は油脂の基礎単位、いわば建物を構成するレンガのようなもので、その研究を7~8年続けていました。いずれ応用研究に取り組むにしても、まず基礎をしっかりと固めることが大切だと考えていました」。

TAGは、結晶化する際の温度などの条件によって複数の異なる結晶構造をとる。これを結晶多形と言い、同じ炭素原子の結晶で構造が異なる黒鉛とダイヤモンドがまったく違う物質であるように、同一の原子・分子の結晶でも構造が異なると密度、融点、融解速度、安定性など物質としてのふるまいも異なる。

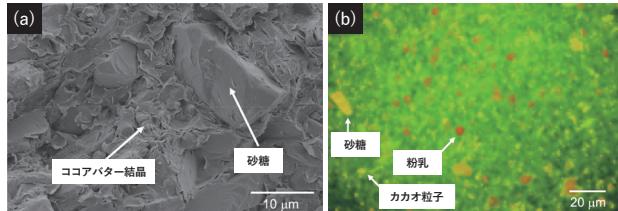
そのため、結晶性油脂食品の製造では目的とする構造の脂質(TAG)結晶をつくり出す「結晶多形の制御」が極めて重要になる。その制御技術の開発には脂質の基本的な物性を理解すること、すなわち佐藤さんが続けてきた脂肪酸の

[図2]ミルクチョコレートのおいしさを決める要因



[図3]ミルクチョコレートのミクロ構造:

(a)破断面の電子顕微鏡像、(b)3次元の透過X線CT像



出典：「チョコレートを極める12章」佐藤清隆著 幸書房

基礎研究の知見が欠かせない。チョコレートの品質や美味しさのカギを握るのも結晶多形の制御であることから、やがて佐藤さんのもとに食品メーカーから共同研究の依頼が舞い込むようになる。

「1985年頃だったでしょうか、最初にアプローチしてくれたのが不二製油株式会社で、チョコレートの品質に関する課題の解決をめざしてココアバターの結晶多形に関する共同研究を行いました。さらに、明治製菓(現 株式会社明治)からは2名の若手研究員を僕たちの研究室に受け入れて共同研究を開始しました。僕が応用研究でチョコレートの道に入ったのは、半ば引っ張り込まれたようなものです」と佐藤さんは笑う。

ココアバターの結晶を制御する

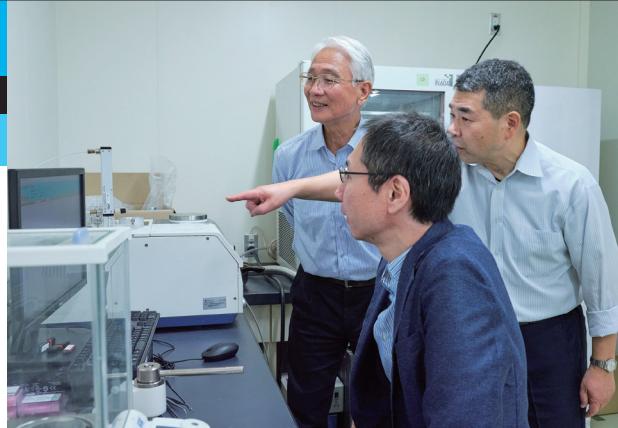
ココアバターはチョコレートの原料であるカカオ豆の油脂成分で、生のカカオ豆では50%以上、チョコレート製品では通常18%以上含まれている。「食べ物の美味しさは味や香りだけでなく食感にも影響されます。チョコレートの場合、独特の風味はもちろんですが、室温では硬くパリッとしているのに口の中に入れるとスッととけて味や香りが一気に広がる、口どけのよさが魅力です。とけ方はココアバターの結晶状態に左右されることから、美味しいチョコレートをつくるにはその物性を理解して理想的な結晶状態に制御することが必要なのです」。

ココアバターの結晶多形は、I型からVI型まで6種類ある。それぞれ融点が異なり、I~IV型は融点17~27°Cと低く常温で固体を保てない、逆にVI型は融点が36°Cと高く、口中ではとけにくい、口どけが最もよいのが融点33°CのV型で、私たちが普段食べているチョコレートは結晶がV型になるように制御されている。

結晶多形をV型に制御するには「テンパリング」という特別な方法が用いられる。それは、まず材料のカカオマス

広島大学

佐藤清隆さん(奥)と、現在、食品物理学研究室を率いる上野聰教授(右)。上野教授の主な研究テーマはココアバターの結晶多形の制御技術。そして同研究室でココアバターの代用脂の研究や油脂結晶の構造回析などに取り組んでいる小泉晴比古准教授(手前)



(カカオ豆の胚乳部分をすりつぶしたもの)、砂糖、粉乳などを混ぜて粉碎し、約50°Cまで温めてとかし、攪拌しながら27~28°Cに冷却し、再加熱して30~31°Cにしたら型に流し込み、20°C以下まで冷却して固めるという、複雑な温度調整を要する方法だ(温度はカカオ豆の産地などによって微調整する必要がある)。さらに、型に流し込んだあと一定期間熟成させ、ようやく製品としてのチョコレートが完成する。

「そのような操作が必要なのは、ココアバターの結晶多形と関係しています。材料を温めてとかしたあと単に冷却しただけでは、結晶の構造や大きさを理想的な状態に揃えることができず、表面が白くなるファットブルーム現象などが生じてしまって美味しいチョコレートにならないのです」。

佐藤さんたちの基礎研究をもとに開発された「BOB」という植物性油脂は、添加することで複雑なテンパリングを行わずとも美味しいチョコレートを製造できるようになることから、チョコレートの製法革命の1つに数えられている。ただコスト面などでの課題もあり、広く活用できるようにするための工夫が必要と佐藤さんは話す。

汲めども尽きせぬ魅力と不思議

半ば引き込まれるように始めたチョコレートの研究を40年も続け、第一人者となった佐藤さん。それほどチョコレートに魅了された理由は何だろうか。

「やはりココアバターの物質としての複雑性、奥深さでしょうか。6種類の結晶多形それぞれの分子構造がX線回

折などを用いても明らかにできていないなど、研究すべきことがまだまだ多くあるのです。また、カカオの壮大な歴史も魅力です。約1万5000年前に中南米に足を踏み入れた人々がカカオと出会い、最初はカカオの果肉(パルプ)を食べ、やがて豆をすりつぶして飲み物とするようになり、1847年にイギリスで食べるチョコレートが生まれた。そんな歴史を調べるだけでもおもしろいのです」。

そのカカオが今、危機に瀕している。世界最大の生産地である西アフリカで2023年に発生した異常気象と病害でカカオ豆の収穫量が激減、国際価格が高騰しているのだ。生産量の回復には時間がかかるほか、カカオ農園の約7割が小規模な家族経営といった構造的な問題から生産改革も進めににくい。

「農家への技術支援や新たな産地の開拓などと平行して、今後はカカオ豆の不足を補うための代替材料の開発も必要でしょう」と佐藤さんは指摘する。例えば人工カカオ香料の開発。カカオの香気成分は非常に複雑で1000種類以上の揮発性化合物が関係しているため、人工合成は困難と言われているが、ここ広島の食品会社のあじかんが焙煎したゴボウからカカオに近い香気成分を得ることに成功し、それを使って広島大学の上野聰教授らの指導で「ゴボウから作るチョコレート味のお菓子」を製造している。

また広島大学ではココアバターの代用脂の開発にも取り組んでいる。「ココアバターには融点に達するとスッと一気にとけるという、ほかの油脂にない特性があります。ものがとけるときには融解熱が必要で周囲から熱を奪うのですが、ココアバターはその融解熱が大きく、舌や口蓋の温度を1~2°C下げる、それが食べたときの爽快感につながっています。そうした特性を代用脂でどう実現していくかが今後の研究課題です。カカオ豆とチョコレートには汲めども尽きせぬ魅力と物質としての不思議があり、まだまだ研究には終わりが見えそうにありません」と佐藤さんは未来を見つめる。

カカオ豆の学名の「Theobroma」はギリシア語で「神の食べ物」を意味する。命名の背景には諸説あるようだが、多岐にわたる複雑なプロセスを経て多くの人々から愛されるチョコレートという食品に昇華することを思うと、その名を冠されたことも頷ける。チョコレートを口にすると、そんな背景にも思いを馳せてみると、味わいがより深まるかもしれない。

(取材・文 関亜希子)



広島大学 大学院統合生命科学研究所 生物機能開発学専攻 食品物理学研究室は、脂質結晶の基礎研究を行っている国内唯一の研究室



写真の中のホワイトチョコは1875年に世界初のミルクチョコを作ったダニエル・ベーター(スイス)の粉ミルク製法を再現して作られている。