

## チョコレートの

## ロマンティック・サイエンス

### —「神の食べ物」の

### おいしさを探る—

広島大学大学院生物圏科学研究科

教授・工学博士 佐藤清隆



#### (1) はじめに

チョコレートの歴史を調べると知らないことが多く面白い。日本や、海南島を除く中国では原材料が絶対に取りえない。取れる場所は決まっていて熱帯雨林や南方で高温・多湿、平均気温が25から26℃以上、年間雨量が最低1500mmできれば3000mmも必要であり、日本だと沖縄のずっと南でないと難しいが気温も足りない。メキシコは人類が最初にカカオの木を栽培したところと推定されています。

今日、お話するのはチョコレートの故郷。それとチョコレートの誕生ですが、それは今から160年前、日本は江戸時代でした。現在ではチョコレートは固くて口に入れるとスッと溶けるものですが、カカオはドリンクとして何千年も前から、最低でも3000～4000年も前から飲まれていたことは間違いのないようです。人類が農耕を始めたのが1万年まえ、最初に作られた飲み物がビール（中東で作られた）、ワインはずっと後になってからです。ビールは大麦と水を混ぜたものに焼けた石を入れ、沸騰させて1週間放っておいたらお酒ができた。これは5000～6000年前なので、ほぼ同じ頃にカカオは飲まれていた。

チョコレートの原料はカカオ豆です。カカオ豆というのは高温・高湿で熱帯雨林でしか育たない。太い幹にニョキニョキと生えています。これがカカオポッドというものです。これはとても硬くて2cmくらいの硬い皮があります。人間の歯ではとても割れません。これを割ることができるのはげっ歯類の動物か、人間のように道具を使ってぶち割らないと割れません。割ると中から白いヌルヌルとしたものが出てくる。これをカカオパルプと言います。このカカオパルプを食べてみると味はアケビの実のような味がします。これがチョコレートの材料です。

## チョコレートの原料:カカオ豆



## カカオ豆の成分 (100g)

タンパク質	11.6 g	食物繊維	17.2g
脂質(ココアバター)	54.5 g	ビタミンB6	85 mg
水分	1.0 g	ビタミンE	13 mg
炭水化物	3.2 g	γ-トコフェロール	12 mg
デンプン	6.1 g		
糖質	0.3 g	タンニン類	3.3 g
ミネラル		エピカテキン	140 mg
カリウム	925 mg	カテキン	31 mg
リン	407 mg	キサンチン類	
マグネシウム	315 mg	無水カフェイン	0.1 g
カルシウム	83 mg	テオブロミン	1.3 g
鉄	7 mg		
亜鉛	5 mg		
銅	3 mg		

カカオ豆には殻（シェル）があり、これは食べられませんが、実にカカオニブがあり、紫色をしていて、ポリフェノールが含まれており、これが身体に良いと言われる最大の要因の一つです。なぜ、このポリフェノールがあるかといいますと、ココアバター（油）が半分以上もありますので、この油が酸化しないように保護するためにあるのです。でもポリフェノールはとても渋い！生のカカオ豆を噛んだら吐いてしまいます。ものすごく苦くて渋い。そういう特徴を持っています。

カカオ豆100gにどれくらいの成分が含まれているかといいますと水分はたったの1g、54gは油、11gはたんぱく質、ミネラルは全部合わせると2g（カリウム、マグネシウムなどが豊富に含まれる）。残りは食物繊維などで食べると腸内細菌が良く育ちます。ポリフェノールやテオブロミンもあります。

## (2) チョコレートの故郷

チョコレートの故郷は熱帯雨林的どこかといいますと、中南米です。現在カカオ豆が生産されている地域はというと赤道の南北20度以内の範囲です。2007年の世界の生産量は337万トン。コートジボアールなどが233万トン、アジアではインドネシアのジャワ島で62万トン作っています。ジャワ島の土壌は酸性過ぎて独特な味がしてあまりおいしくない。中南米ではカカオは高く売れるので、外貨を獲得するために栽培に力を入れています。お米の生産量6億1000万トンに比べると、カカオ豆の生産量はわずかに337万トンで200分の1しか生産されていません。まさにカカオは主食ではなく嗜好品なのです。

さて、カカオはどうやって広まったのでしょうか？数千万年をかけて動物を介して少しずつ広まったと考えられますが、中南米から外にカカオが出たのは、わずかに今から500年前です。コロンブスの一行はカカオを見ても羊の糞にしか思われず、その次に来たエルナン・コルテスが、スペイン王のカルロス5世に進呈したのが1517年頃のことです。日本はちょうど戦国時代の始まりくらいで織田信長が生まれる前です。



まず、命をつなぐために動物がカカオポッドの硬い殻を食い千切っても食べ、そしてカカオパルプと一緒にとった豆はまずいから吐き出し、豆が芽を出すという繰り返りで動物がカカオを広めていったのです。カカオの木も自分の生育環境を広げるためにカカオパルプを利用し、甘いもので引き寄せ、苦い豆を捨てさせて種を拡散させるという高等な戦略を持っていたのです。

1 万年以上前には人類は誰もカカオを食べていなかった。人類が最初にカカオを食べ始めた頃は、豆を食べられなかった。つまりローストを知らなかったからです。いつ、どこで火を使って食べるようになったのでしょうか？ 予想ですが、まずカカオパルプを食べて、カカオパルプを発酵させてお酒も作ったのです。事実、数年前にホンジュラスで発掘された壺から微量のテオブロミンが発見されました。壺の形からおそらくカカオのお酒が作られたと解釈されています。

では、豆を食べ始めたのはいつでしょうか？ それは、次のことから想像できます。発酵とロースト（焙炒）することによって渋みが消えます。ローストすることによって化学反応が起き複雑な化学成分が生まれるのです。チョコレートの香り成分は何種類から出来ているのでしょうか？ 500種類もの成分があのカカオの香りを出すのです。その成分は、人間の高ぶった気持ちを鎮め、落ち込んだ気分を引き上げる両方の効果を持っています。うつつにも良いと言われています。

**人類がカカオを食べはじめた**  
始めにカカオパルプを食べた(豆は食べられない)  
水分、糖分、タンパク質、アミノ酸、ビタミンなど  
カカオパルプを発酵させてお酒もつくった



ホンジュラスから発掘された  
紀元前1100年のカカオ壺



今でも中米で売られて  
いるカカオワイン

**人類がカカオ豆を食べはじめた**  
カカオ豆を発酵・焙炒(ロースト)

- ◆ 捨てられたカカオ豆の塊が発酵した (高温高湿の気候)
- ◆ 渋みが消える
- ◆ 化学反応で複雑な香り成分が生まれる

焙炒をどうやって知ったか？

- ◆ 山火事や焼き畑農業でカカオ豆が燃えた
- ◆ カカオ豆を燃料にした
- ◆ 意図的に焙炒を試みた

熱帯雨林には高温・多湿なので微生物がたくさんいるので、放っておいてもすぐに発酵しますが、どうやってローストしたのでしょうか？ 火を使って燃やしても焦がしてもいけないのです。燃える寸前で止める。しかしこれが難しい。一番考えられるのが、焼畑、山火事で適度に焼けて良い香りがしたのでしょうか。二番目には、どうせ豆は食べられないのだから、燃やしてしまえと、その途中で誰かが食べてこれはおいしいと気づいたのでしょうか。三番目には、頭の悪い人がいて、ローストして食べようと思ったのかも知れません。

ところで、カカオの花はとても小さい。カカオ農園では風を吹かせてはいけません。高温・多湿のところが良い。なぜかというカカオは虫媒花でこの小さい花の中に虫が入らなければならないのです。ヌカカなど非常に小さな虫しか入れないのです。虫が死んでしまうので、絶対に農薬は使えず、毒ヘビや毒グモもいるので、非常に苛酷な条件下でカカオは栽培されています。気温が低いと油が固まり、カカオの実が大きくなれないので、熱帯の温度でないとカカオは育たないし、土も湿っていなければならない。カカオは木のいたるところに生るので収穫に機械を使えません。木にキズがつくとウィルスが入り、木がやられてしまうので、収穫は慎重に手作業で行っています。



平均気温 25°C、湿度 80~90%での手作業は苛酷です。ここで問題になっているのが、児童労働です。青年はこんな苛酷な労働はやってられないと皆出て行ってしまうので、はなはだしい場合は、12~13歳までの子供を拉致して奴隷状態で働かせていました。今は改善されている様です。

発酵は重要で、バナナの葉で包んで発酵させることが、とても良い。カカオの味はカカオの種類、土壌によって決まり、次に発酵と焙炒によって決まります。この発酵にどのような微生物が関わっているかを研究者たちは調べています。木箱に入ったカカオを発酵させ、一日に一回、ひっくり返します。発酵には、空気を遮断した嫌気発酵と空気をたくさん入れた好気発酵があり、この両方をやらなくてはならないので、ものすごい悪臭のする高温・多湿の中でチョコレートは作られていることを理解して下さい。(自分も嗅いだが、すごい悪臭であった)

次に乾燥です。多くの場所では乾燥機なんてないので、天日で乾燥する。乾燥して集めて麻袋に入れて、日本に送られてきます。少しでも水分が残っていると腐ってしまいます。ところが、農家の人は重さを計って買ってもらうので、乾燥しすぎると高く売れない。だから農家は乾燥のギリギリのところにする。また、現地では気温が高いので、ココアバターは固まらず、チョコレートは作れない。

ベネズエラまでカカオ農園を見に行ってきました。生れて初めてで、うれしくて、うれしくて、とても感動しました。でも虫がたくさんいるので長袖シャツに、首にタオルを巻いて、虫よけ薬を振りかけて虫が入らないようにしたが、たまらなく暑い！虫がいなくて受粉できないのです。いつ行っても実は取れ、ポッドの色を見て取って収穫して良いかを判断しています。

メキシコ南部の農家でカカオを作ってもらいました。焙炒150～200℃、直接に火を当ててはいけません。数分かき混ぜて終了でした。



ホンジュラスの飲み物のピノールは、カカオとトウモロコシを混ぜてアチョーテという色素を入れて飲まれています。メキシコ南部のパツオルという飲み物はカカオ豆を焙炒し、砕いてトウモロコシと冷水で混ぜる。これは塩分が入っていないので、塩をまぶした唐辛子を食べながら飲みます。この飲み方は何千年も前から続いているということです。

中南米の人達は気温が高いので冷たくした方が飲みやすいのです。一方、熱くして飲むのは温帯に住むヨーロッパ人が考えつきました。また、中南米の人達はカカオを不老長寿

の飲み物と考えて庶民には禁止されていました。王様、貴族たちが飲んだカカオ豆は貨幣として使われていました。鳥1羽=100粒、鳥の卵1個=3粒、ウサギ1羽=10粒、奴隷1人=100粒。カカオ豆と称した偽物も多く出ました。色、形にした土で作ったものがありました。また、似せ物を見破る方法まであったそうです。お金となると大変なことが起こるのです。

私も、日本に帰ってから真似をしてカカオドリンクを作ってみました。すり鉢にカカオニブを入れてみました。夏は良いのですが、冬だと溶けないので、お湯に入れて温めました。溶けたカカオにミルクと砂糖を入れました。これがおいしい。何がおいしいかと言うとフレーバーが違う。市販のものでは流通している間にフレーバーが飛んでしまうようだ。特に粒が小さければ小さいほど香りがほとんど抜けてしまうようです。10分ぐらいすり鉢で搗るとドロドロになりおいしい飲み物になります。

### (3) チョコレートの誕生

チョコレートは昔、カカオと呼ばれていました。アステカ帝国でもカカオと呼ばれていました。カカオは現地の言葉で熱い水という意味でショコラテルと言われていました。

紅茶は中国から、コーヒーはエチオピアからヨーロッパに入ったが、最初にヨーロッパに入った嗜好品がココアでした。コーヒーと紅茶がでてくることによりココアはそれに負けてきました。つまり、注文してから30分ほども掛かってしまうからです。紅茶は葉にお湯を注ぐだけなので、注文してから10分ほどで出てきます。またスペインは南アメリカで滅茶苦茶悪いことをしており、ココアには殺戮を象徴しているイメージがあり、そのようなことでココアは負けてきました。

ここでココアを革命的に蘇らせたのが、ココアパウダーです。粉末に加工し熱いミルクを注ぐというのが第一の発明が、1828年にオランダで生まれました。そのココアパウダーを作るときに出てくる脂肪分は捨てていたが、それはもったいないということから、これに砂糖、カカオマスを入れたのが「食べるチョコレート（ブラックチョコレート）」で、できたのは160年前のことです(1849年 英国)。これを作った会社を買収したのがキャドベリーというイギリスの菓子会社です。ミルクがはいったチョコレートを作ったのはスイスのダニエル・ピーターです(1875年 スイス)。そしてフォンダン・チョコレート(1880年 スイス)の発明です。これら4つの発明によって、光沢があって、パリッと割れて、口の中ですぐ溶けて、滑らかな舌触りと香りと甘さが口いっぱい広がるチョコレートのおいしさが生まれたのです。

チョコレートのおいしさをもう少し詳しく探ってみましょう。チョコレートのおいしさの要因は次の6つです。

#### (1) 原料となるカカオ豆の種類

基本的には3種類ですが、最近では10種類と分類されています。

## (2) 生産される土地の風土

中央アメリカ、ジャワ島、アフリカなどで、気温、水、土壤に含まれるミネラル類が違うので味が異なります。

## (3) 収穫後の発酵

どういう微生物が働くかによって違います。同じ場所でもバナナの葉で発酵するのと箱で発酵する場合で違ってきます。

## (4) カカオ豆の焙炒

何度で何分で焙炒するかで化学反応が違ってきます。

## (5) 砂糖やミルクなどの配合

どういう砂糖を使うか？ どういうミルクを使うか？で違います。

## (6) ココアバターの結晶化と融解

さて、チョコレートのイメージですが、ニキビの素、太る、鼻血がでる、虫歯になると言われているが、何も根拠がない。こんなことを言っているのは日本しかない。世界中に行きましたが、こんなことを言うとバカ呼ばわりされる。では、なぜ日本ではこのように言うのでしょうか。おそらく、その理由としては、チョコレートがぜいたく品だったからです。一人当たりの年間消費量をみると、ベルギーやスイスが一番多く、3日に板チョコ1枚を食べている計算になります。しかし、スイス人は皆が肥満で、ニキビと虫歯だらけで、鼻血を出していることはない。

## チョコレートの品質と成分

ブラックチョコレートはカカオ粉末と砂糖だけでミルクが入っていません。ミルクチョコレートはこれに粉乳が入っている。ホワイトチョコレートというのは、カカオ粉末が入っていない。したがってポリフェノールやテオブロミンがない。生チョコレートというのは、生クリームとチョコレートに水分が入っている。水が入っているので、長くもたない。冷蔵庫でせいぜい2~3週間です。

チョコレートは固まっています、固体粒子が固体脂に分散していて、表面はピカピカと光沢があり、パリッと割れるスナップ性に口どけの良さに耐熱性、耐ブルーム性がココアバターですが、これがサスペンションと言います。

## チョコレートの生物学

カカオの木の種類は22種6亜族テオブロマ・カカオで、次の特徴があります。

- ・ 木の種類により味が違う
- ・ 産地により味が違う
- ・ 製造過程で多様な生物的、化学的作用が起こる（これはアメリカ先住民が何千年もかけて作った技術）

## カカオの種類

カカオの種類は主に 3 種類あります。さらに細かく分けられると思われ、まもなくそういう説が発表されると思われるが、この 3 つが中心になることは間違いない。

この中でフォラステロ種というのは、世界で最も多く栽培されている品種。ガーナなど西アフリカやインドネシアや東南アジアなど、ポッド形状は丸く表面が滑らかです。生カカオ豆の胚乳部は紫色で、醗酵とともに胚乳部の色調が褐色へと変化します。この紫色はポリフェノールによるものです。この種は世界の生産の 60%~70%を占めています。皆さんが食べているのはこれが多い。

トリニタリオ種は、フォラステロ種とクリオロ種とのハイブリッドと言われ、トリニダードバコで生まれ、ベネゼエラ、コロンビアなどの中南米、アフリカのマダガスカルなどでも栽培されています。ポッドは概して大きい。生豆胚乳部はポリフェノールによる紫色です。

クリオロ種はもともとの原産です。南米を発祥とする言われています。ポッドの形は表面にイボがあり溝が深い。また生カカオ豆の胚乳部が白いことも特徴です。最高級の豆はこのクリオロ種です。クリオロ種は原種なのでアフリカ以外の土地では育つことが出来ない。非常に美味しいが生産量が非常に少ない。高級チョコレートというのはこのクリオロ種です。



## チョコレートの化学

香りの成分（フレーバー）は、還元糖、アミノ酸、キノン酸の焙炒によるメイラード反応で 500 種類の成分があると言われています。ほろ苦いのはポリフェノール類、テオブロミン、カフェイン。テオブロミンは興奮作用が少なくて穏やかな刺激を与えます。

## チョコレートの栄養学

カカオに含まれるポリフェノールの栄養生理機能には、たくさんものがあります。ポリフェノールは体にいい。食物繊維が豊富で腸内細菌も育ち、テオブロミンは毛細血管を広げて体を温めます。このポリフェノールの含有は 100g=100cc で緑茶が 0.1g、ミルクチョコレートが 0.8g なので緑茶の 8 倍です。赤ワインは 3 倍。赤ワインを飲みながらチョコ

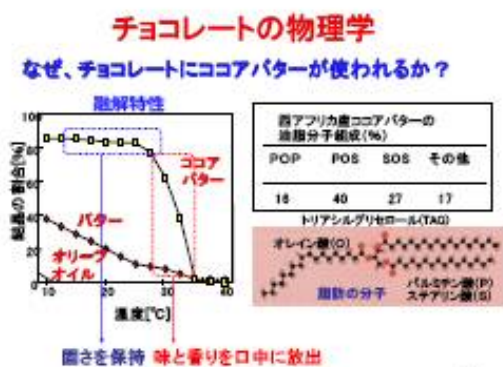


レートを食べると良い。したがって現代科学が古代の不老長寿の飲み物の秘密を明らかにしたと言えます。昔の人はこんなことは知らなかったが、だけど体に良いと分かっています。また、ポリフェノールの一般論としては、抗酸化活性、抗変異原性・抗腫瘍活性、抗炎症、糖尿病予防・合併症予防、血小板機能改善、動脈硬化予防などがあります。

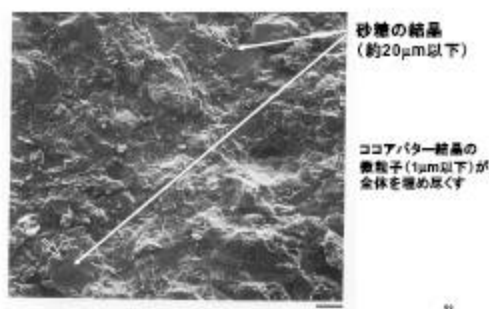
## チョコレートの物理学

チョコレートを口の中に入れるとスッと溶ける。口に入れる前はカチンカチンだが口に入れるとスーッと溶ける。このように急に柔らかくなるのは中に含まれている油の成分です。バターやオリーブオイルといった他の油には全然ないものです。

チョコレートの表面を電子顕微鏡で見ると、とても細かい。ココアバターの結晶は色々な種類の結晶があります。17°Cで溶けるものもあれば同じココアバターでも融点が違ってきます。私達が食べているのはV型(β')の33°Cで溶けるものです。口の中も丁度33°C位なんですね。もしも結晶にすることが失敗して、27°Cで固めると指で触っただけで溶けてしまいます。だから33°Cで固めなければならない。さらに放っておき、36°Cで固めると口の中に入れても溶けなくなってしまいます。

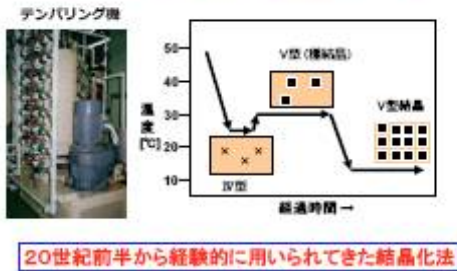


## チョコレートの破断面の電子顕微鏡写真

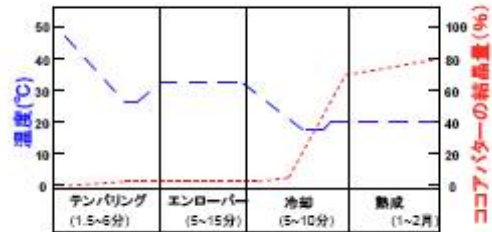


微妙な調整をして 33°Cで融けるように結晶化を止めなくてはならないので、それには特別な装置が必要になります。その機械をテンパリング機と言います。テンパリング機とはどうするかと言うと、一旦温度を下げてから上げる。26~27°Cに溶かしたチョコレートをもう一度 30~31°Cに上げてから温度を下げる。これを必ず行う。

## テンパリングと冷却・固化のモデル



## ココアバター結晶化過程



## チョコレートの最前線

(1) 今最前線で何が起きているか？ まずカカオ豆の改良（交配）、クリオロ種は美味しい。なるべくクリオロ種に近づけたいということで、品種改良をしているが遺伝子解明が難しい。しかも消費者は遺伝子組み換えを嫌うので、よりクリオロ種に近づける為に遺伝子ではなく昔に戻って花粉で交配しています。あるいはクリオロ種の本木を見つける為に現にアマゾンを探検している人がいます。

(2) 次にウイルス病の駆除、ウイルスのよってカカオ豆が死んでしまいますので、全遺伝子を解明して、カカオの遺伝子の中でどこの部分がウイルスにやられてしまうのか調べることが、2~3年前より研究が始まりました。

(3) 生産量の拡大ですが、新しいカカオ農園でいかに生産力を上げてしかも環境も壊さないで新しい生産力を考えられています。

(4) 新しい味の開発については、10年位前までのチョコレートの市場というのは、中学、高校生のような若い方たちの市場が少ないということで、砂糖を減らしカカオマス（ポリフェノール）が多いチョコレート、健康と味（美味しさ）を両立できる研究が行われています。例えば、メキシコの国立森林農業研究所カカオ研究所というのは、メキシコのすべてのカカオの木を持ってきて管理している。この木は1本1本種類が違う。これを代々受け継いでより美味しいカカオの木の品種改良をしています。なぜかというと、メキシコのカカオを売りたい。味のいいものを売りたいと考えているからです。またホンジュラスでは、暗い過酷な農業ではなくて、灌漑設備を作ってそこから水を引いて、水をまく。水をまけば湿気がでるし、そんなに暗くしなくてもいいのではという新しい発想で作った農園が沢山ある。まあそれには裏にアメリカのチョコレート会社がいると思います。またダムがあるがこれは日本のODAで作ったものがあります。

高級カカオ豆はクリオロ種ですが、病害菌に弱い。ウイルスに弱いので専門の人を雇い、病気を見つけると全部取って捨てるように徹底的に管理しています。

## チョコレートに対する現代的ニーズ

糖分を減らしたい。ポリフェノールを増やしたい。カロリーを減らしたい。私個人の意見としては運動もしないのに体重を減らすのは間違っていると思いますが、そのようなニーズに応えるために砂糖なし、カカオマス大量含有、ブラックチョコレートがあります。ブラックチョコレート 99 というのは 100 からその数字を引いたものが砂糖の量なのです。99 とあるのは砂糖は殆ど入っていない。まずいです、これは。このチョコレートを食べた後に砂糖を舐めたくらいです。85 と言ったら、15%が砂糖の量なのです。普通チョコレートというのは、砂糖 45%です。今、72~74 というのが一番落ち着いてあります。それでも砂糖の量は 20%位あります。これはお父さんお母さん世代が体に良い、肌に良いということで新しいファンが 10 年位前から定着して来ています。

また、チョコレートでエア入りと言うものがあります。ヨーロッパのネスレという会社で作ったものですが、空気を入れることが大変難しい。そこで水を入れれば良いだろうということで試したがバクテリアが繁殖して駄目であった。そこで 10 年間かけ大変苦労して作ったものがエアチョコレートです。

他に、ビタミン C をとりたいということでいちご入りチョコレートなどがあります。これもイチゴが腐ってしまうのでせいぜい冷蔵庫で 10 日位しかもたないのものです。



最後に今チョコレート会社が必死になってやっていることは、水を入れても長持ちをするチョコレートを作ることです。これはなかなか難しい。しかし、大学でも企業でも新しい味と言う分野で、一生懸命に研究を行っている人達があります。

というところで私の話はこれで終わりにしたいと思います。ご清聴ありがとうございました。