

12) J. S. Langer: Rev. Mod. Phys., 52, 1 (1980).

13) 大川章哉：「結晶成長」裳華房（1977）.

金 米 糖 の 形 態

横浜国大・工 戸 田 盛 和

1. 金米糖

金米糖（金平糖）はよく知られているように、角（ツノ）のある砂糖菓子である。この名前はもともとポルトガル語の Confeitos から来ているもので、1569年（永禄12年）宣教師ルイス・フロイスが織田信長に贈ったのが伝来のはじめである。英語の confectionary（砂糖菓子屋）も同じ語源に属する。

寺田寅彦先生の随筆に「金米糖」というのがある（続冬彦集。昭和2年）。これは昔読んだときから常に記憶に残っていた。今読み返えしてみると、くわしい製法は書いてなく、伝えきいた製法が数行述べられているだけであり、それも正確ではない。ケシ粒を中心に砂糖の濃い液が固まって金米糖ができるのだが、「なぜあのように角を出して生長するかが問題である」ということを少し論じておられる。金米糖が球形に育たないで角を出すのは、ゆらぎによってたまたま出っぱったところができると、出っぱったところが低いところよりも生長速度が大きいという物理的条件さえあればよい。「現在の場合にここの条件が何であるかはまだよくわからないが、そのような可能性はいくらかも考え得る。面白いことには、金米糖の角の数がほぼ一定している。その数を決定する因子が何であるか、これは一つの極めて興味ある問題である」と寺田先生は書かれている。そのあと先生はゆらぎの研究が大切であることを述べておられるが、ここでは省略する。とにかく寺田先生は金米糖に関する二つの問題点を明らかに述べておられる。それは次のようにまとめられる。

(1) 金米糖の角が成長する条件。

(2) 角の数をきめる条件。

中谷宇吉郎さんの随筆「寅彦夏話」には中谷さんが大学を出てすぐに寺田先生の助手をしていたときに実験室で聞いた話として金米糖が出ている。上記の随筆が書かれる直前のことだっただろう。ここには次のように書かれている。

「少し突起の出来た所は早く冷えるから先きに固まる。するとそこへ余計に砂糖が付く。それでますますそこが突起する。したがって余計に冷えてまた固まるというぐあいにして角が伸びてくるんじゃないかという気がする。……誰か数学の達者な人がやってみたら、きっと面白いだろう。その後、理研の研究室で線香花火も金米糖も予報的な実験がされ、その報告も出た。」

この「予報的な実験」は理研彙報（昭和5年）に載った福島浩氏の「金平糖の生成と其形状について」である。福島氏はまず金米糖の生成に類似すると思われる実験をおこない、また菓子製造元からもらった金米糖について統計的な観察をおこなっている。

金米糖に類似の実験では(i) 砂糖液でぬれている紙の上でガラス棒をころがす実験、(ii) セッコウの上で球をころがす実験をおこない、付着することによって突起ができることを確かめた。さらに(iii) 湯せんした蒸発皿の中に小豆、ケシ粒、鉛の散弾などを入れ、煮えつつある砂糖液を少しずつかけてはかきまわし、砂糖が乾くのをもってはさらに砂糖液をかけてかきまわすことをくりかえした。そして金米糖に似たものが得られたようである（“らしい”というのは私のもっているコピーの写真が不鮮明なため）。

福島氏の報告にもあるが、金米糖の角の数は約25ぐらいで多いものは30以上である。しかし角は成長不十分のものや、折れたと見られるもの、二つに分かれたものなどもあり、数の勘定はいくらか主観がまざる。

菓子屋で気をつけて見ると、金米糖にいくらか似たものが他にもあることに気がつく。京都の菓子で甘納豆を中心にした金平糖があったが、次に買いに行ったら製造中止になったといわれた。五色豆などもいくらか金米糖に似ている。豆とか球いせんべい状のものに砂糖をつけたもので角の出かかったような菓子もある。

2. 金米糖の作成

昨年1月にNHKの科学部「みんなの科学」の海野龍一氏が来訪され、番組「たのしい実験室」で2月に金米糖のことを放映するという話をして下さった。NHKでは松戸の近くにある金米糖の製造工場を訪れてビデオにとったということであって、放映では金米糖を作るための直径2mぐらいの平らなナベが見られた。見たところナベは10～20度ぐらいの傾斜を保って回転し、下からガスの遠火で加熱されている。ナベは70℃～100℃ぐらいに保たれる。砂糖はグラニュー糖がよく、水30グラムに砂糖70グラムを溶かし、約70℃に保って、これをひしゃくで少しずつまんべんなくかけるのがコツだという。大きな金米糖は2週間ぐらい（約100時間）かかって作るという。ナベはモーターで駆動する。

番組では実験グループの人が台所のナベを使ってゴマか何かを芯にして金米糖を作る実験を

してみせた。短時間だったし、あまり立派な金米糖はできなかったが、それでもいくらか金米糖らしいものが作られた。

横浜国大で工場のナベを小さくしたようなものを作り、実際に金米糖を作ってみた。渡辺慎介氏が作ったナベは直径約 50 センチのステンレス板から作ったナベで、小さなモーターで 1 分間に 1 回転する。約 20 度ぐらい傾斜させておき、低いところを下からガスバーナーで熱した。ゴマ粒をナベの低部に沢山いれ、ナベを回転させながら少しずつ砂糖水をかける。できはじめるときれいな金米糖がどんどん作れるようになった。数時間で直径 7 ～ 8 ミリぐらいに成長する。角が少しすくないようだが、20 くらいはある。

ナベが傾いているので、できつつある金米糖の大集団はナベの回転につれて絶えずナベの低部へなだれのようにころがる。そこへ少しの砂糖水をかけるので、金米糖に砂糖水はわずかずっ付着するが、金米糖どうしがくっつくことはない。このような機械的な条件で金米糖は成長するのである。

下からガスで熱せられているので、ナベは全体が熱いが、出来つつある金米糖も熱い状態に保たれている。ちょっと粘っこく、熱い状態である。このように熱く保たれることが金米糖が成長する熱的な条件であるらしいことに気付いたのである。

おそらく、金米糖の角が成長するのは突起したところで砂糖が冷えて固まるためではなく、突起したところは水蒸気が逃げやすいのではやく固まり、これが突起部分の生長する原因であろう。

突起した部分ではこれに接する空中の水蒸気濃度の勾配が大きいのが自然であるから、水蒸気の拡散も速く、そのため速く固まるだろう。こう考えると金米糖の角が成長するためには、成長しつつある金米糖の温度が高く保たれることが必要であることになる。

これは結晶が樹枝状に成長するための条件である。よく知られているように樹枝状結晶（デンドライト）が成長する条件は結晶が周囲より高い温度に保たれることである。例えば高温の壁から樹枝状結晶が成長するが、溶液の方が温度が高いときは樹枝状結晶はできない。これは結晶の方が高温であると突起部では速く凝固熱が周囲へ逃げ去るために、そこが速く固まって成長するからである。結晶が成長する速さ R は温度勾配に比例し

$$R = -\frac{k}{L} \frac{\partial T}{\partial x}$$

と書ける。ここで L は凝固の潜熱、 k は熱伝導率である。

金米糖の角が成長するときも、各部分の成長速度を R とすると

$$R = -D \frac{\partial p}{\partial x}$$

のように書けるだろう。ここで p は水蒸気圧、 D は水蒸気の拡散係数に比例する。

3. 自然界の金米糖類似現象

出っぱった部分がますます出っぱるという現象はよくあることで、例えば、つららが出来るとき、はじめのつららの成長は偶然であっても、それからは水がそれを伝って先端へ行って固まるから、ますます成長することになる。北海道など寒いところでは川ふちの木の枝に川の水のしぶきが飛んで凝固して細かく美しいつららができる。

雷雲の中で上昇気流に吹き上げられては落下をくりかえす氷晶がひょうやあられに成長するとき角の出たのが出来て降ってくることがある。さがせば自然界の中にも金米糖に類似のものがいろいろあるし、積極的にこのようなものを作ることもできるだろうと考えられる。

樹枝状結晶及び絶縁破壊パターンについて

東北大・通研 沢田康次 本庄春雄

[1] 序；1 図(a)は高エネルギーでアクリル 樹枝に一樣に打ちこまれた電子が1点を接地した時に、絶縁破壊を起しながら逃げる道すじとして作られたものであり、1 図(b)は毛管内に過飽和溶液から成長する樹枝状結晶の例である。この2つは一見全く異なる形状をとる。樹枝状結晶は規則性があるが、絶縁破壊のパターンは規則的でないかに見える。しかし化学ポテンシャルの高い状態がその低い状態に解消して行く道すじ又は境界と云う意味では関係がある。樹枝状結晶の場合は、その規則性から、形を特徴づけるパラメーターは、その側枝の間隔であるが、絶縁破壊のパターンの様に見ランダムな形を特徴づけるパラメーターは存在するか。又その様なパラメーターは、非平衡現象の如何なる性質を反映しているか。以上がこの研究の主題である。

[2] 絶縁破壊パターン； 絶縁破壊のパターンを計算機シミュレーションした例が図2である。