



## ガラス状態の食品が新しい粉体食品を作出

### Glassy State Foods Materials Produce New Food Flour

高井 陸雄

Rikuo TAKAI

東京海洋大学 名誉教授

Professor Emeritus, Tokyo University of Marine Science and Technology, JAPAN

#### 抄 録

近年多くの「食用粉体」は、有効成分の付加、忌避成分の除去、等の加工を施し、販売されるようになってきている。原材料の成分には無いものを付加し、新たな機能を持った「新しい粉体」を設計し、その「粉」の特徴を大胆に売り出していこうと言う作戦である。「小麦粉を主食」とするヨーロッパの人にとっては避けたいグルテンを除去した粉を市場に出す必要がある。このように決まった成分は持たない「粉」を市場に売り出すことが必要とされている。

日本の市場においては、食品の高機能粉末の作出とそのカプセル化技術がある。日本では製粉技術を駆使したグルテンフリーの粉に関心があるのであろうか？

本稿では上記の技術に少なからぬ貢献をすると考えられる、「食品のガラス状態」を「食文化」と関連づけて取り上げる。

#### ABSTRACT

In recent years, many forms of “edible powder” have been applied various processing including addition of active ingredients and removal of repellent component, and distributed and sold in the market. By adding an element which is not part of the raw material to design new powder with a new feature, and boldly market the renewed and reinforced characteristics - this is the strategy. For the European market, where wheat flour is a staple, it is crucial to distribute flour free of certain elements including gluten free wheat flour.

For the Japanese market, there are technologies to produce and encapsulate high-performance powder of foodstuff. Is there enough interest in gluten free flour in Japan where we can make full use of the flour milling technology?

This article focuses on “food glassy state”, which substantially contributes to the future development of the afore-mentioned technology, while also touching upon the culture of food.

#### 1 アルファー化米は携帯食だった

「伊勢物語：『東下り』の段には、遠く都を離れ懐旧の念に駆られ、在原業平が涙を流し、ぼたぼた落

ちる涙で『糰, (かれひ, ほしい)』がふやけてしまった、」というお話は覚えておられるだろう。既に食品と関わり合っておられ方は、あれは「アルファー米だ」と気づかれた事と思う。平安時代以前から、

旅支度の中に「糲」はあったようである。「炊いたご飯を、お湯で洗い、干す」と言われている。飯台に落としたご飯粒が歯が欠けるほど堅くなり、「ガラス粒」の透明感がある。陽光に透かすときらきら、まさにこれは「ガラス」なのである。米を炊飯しアルファー化し、さっと水で洗い、乾燥、デンプンは老化することなく $\alpha$ 化の状態なのである。デンプンの結晶に戻れない状態で固化したものを『ガラス状態』呼ぶ。糲は水を加えると柔らかくなる。このように、食品のガラスは熱や水を加えると柔らかくなる特徴を持つガラスである。

## 2 ヨーロッパにこれとおなじ食べものがあるか？

おそらく「パン」が旅の携行食糧である。堅くなれば、ふやかして食べたのであろう。彼らはミルクを飲み、ミルクにひたしたのであろう。非常食はきっと「乾パン」である。日本では「 $\alpha$ 米の非常食」が人気である。

## 3 ヨーロッパ人は小麦を食べ続けてきた

人類発祥の地アフリカを出ることになったのは、おおよそ6.5万年前と言われている。我々ホモサピエンスが氷河期末期（氷河が最大だった）、雨が降らず大地が干上がり、アフリカから「食」を探そうと出立したのである。メソポタミヤの肥沃な三日月地帯に人々が集まり、どこに「食」があるかを論じ合った。この地は現在のような乾燥地では無しに潤いのある土地であり、小麦の原産地である。キャンプの住民はポケット（あったかしら）小麦を入れ、西に・北に・東にと食料をもとめ出立した。

西に向かったものは、すぐに大陸の西岸に到着、住むに適した場所を見つけ、自分たちの文化と文明を育んだ。ヨーロッパが文化と・文明の発祥の地であることがよくわかる。粉の技術、ガラスの技術、ギリシャ、ローマが栄えるまでのたっぷりとした時間、大勢の人が居たのである。彼らはその頃から小麦を食べてきた。グルテンアレルギー・グルテン拒否症の源泉はその頃からの影響かもしれない。

## 4 東に向かった人々は私達である

小麦をポケットに入れ東に向かった。オーストラリアのアボリージニの人々は、鳥伝いに早い段階で南下した。

東に向かった我々は緯度の低いところをさまよったおかげで『稲』を見つけたのである。麦も・稲も元はと言えば同じイネ科である。稲は、水があり気温が高ければ、どんどん成長する作物である。麦は季節を問う。

麦の種皮は堅く、稲の種皮は比較的柔らかい、この違いは、製粉の産業構造を変えるほどの違いだと思われる。稲は脱穀し玄米でも食べようと思えば食べるが、小麦はそれはなかなか難しいのである。製粉機械は技術の母と言われている。

## 5 グルテンフリーの生活が必要になったヨーロッパ人

2016年5月17日ボストンMITで、“Food Engineering for Life”のシンポジウムがおこなわれた。MITの名誉教授となったDr. Marcus Karelの食品工学研究・教育での栄誉をたたえ、門下生が開催した食品工学に関する小さいが「食の未来を語るシンポジウム」である。

ハンブルグ大学の教授、Stefan Palzerは講演で、食品産業界が提案する「21世紀の粉体食品像」を話した。(Palzer S., 2016)

Palzer氏の話のを要約すれば、これからの加工粉体は、微少な可食性結晶基板上に「機能性の粒子、分子、膜、を積層」し、これらを可食性物質のスプレー膜でかため、粒体にして、食用に供する。あるいは、ガラス処理を施した粉粒体をカプセルに充填し供給するようになるであろうという大胆な提案であった。Palzer氏の微細粒子への有用物質の安定付着の研究報告は既に発表されており、「ガラス状態の利用」程度に私は軽く考えたのであるが、「必要な食品粉体は作るのだ！」ということに成ったようである。微細基板上に必要な栄養素、化学有効成分を積層しグルテンフリーの食材生産を考えるとと言う物である(Palzer S., 2005)。このような新しい食品素材を生み出すための基板としてはガラス状態のデンプンシート、植物タンパクシートなどを想像すること

は有意義かもしれない。

我が国に於いては、成書「食品の高機能粉末・カプセル化技術」を古田武 (Furuta T., et al 2003) らが上梓しており、この成書の「技術」も期待される。ヨーロッパでは、グルテンフリーのための新食材開発が喫緊の課題である。

どうやら、ヨーロッパでは『グルテンアレルギー、拒否反応』が広がっているようで、そのためにはあらゆることをすると言うのが潮流のようである。

Palzer 氏の技術は粉を作る技術であると思われる。小麦が主食だからこそ、そこからグルテンだけを取り除き新しい粉を人工的につくるプロジェクトのようである。

食品素材原料として、「粉体」の役割は以前にも増して大きくなってきている。「粉体」であれば比較的取り扱いが簡便なこと、様々な機能を持った「粉」を作ることが出来、比較的取り扱いが楽であるとの思いがあることも事実である。『粉』をつくってしまうと言うことに驚いた。

## 6 『ガラス状態の食品を知る』

「食品のガラス状態」に関する簡略で要を得たものとして、『食品のガラス状態とその利用』, (Suzuki T., 2006), 「食品とガラス化・結晶化技術」 (Murase N., 2000) は良くまとめられている。この技術の道しるべになる資料である。

(1) ガラス状態とは物質の状態を表している。クリスタルに対する物質の状態で、堅いが結晶では無いものをガラスと呼ぶ。

加熱と冷却により、相変化がおきる。液体をゆっくりと冷やしていけば結晶として固体になる場合もあれば、高熱でどろどろの状態であるものが急冷されると結晶化する時間が足りず、塊の状態で固化してしまうこともあり、これもまたガラスである。溶岩がこれにあたるであろう。

しかし、液体に溶質が溶け込んでいたり、この溶

液を冷却することにより、析出する固体は結晶を含むと同時に、一部は溶質を含んだ状態で固体となる。この場合の「固体」は結晶では無しに水飴のような状態で凝固する。この状態がアモルファス状態 (非結晶状態の固体) で、これらを『ガラス』とよぶ。部分的には結晶が有るかもしれない。粘度が高い物質は結晶を作れず塊である。溶岩は代表的なガラスである。

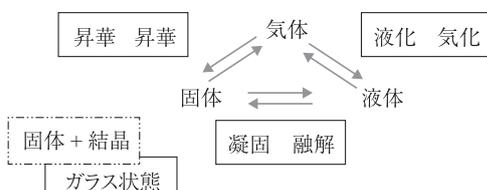
結晶では無い固体物質の状態をガラス状態と呼ぶ。

(2) 結晶を作る物質の溶液を急冷することにより、「アモルファス」状態の物質を作ることにも出来る。溶融状態にある「鉄」を急冷して出来る金属ガラスもまたアモルファス金属であり、通常の鉄とは異なる磁性を示す。分子が移動し結晶を作る時間が確保できないほど急冷した場合アモルファス物質になる。溶質濃度が高くなると粘度が高くなり、結晶を作る位置に分子が達することが出来ず結晶は出来ない。

(3) 食品の美味しさを保存するためには、美味しく食べた焼きたてのパン、炊きたてのご飯も、冷蔵庫に入れたのでは美味しく食べられない。粗熱を取り、冷凍室に入れてデンプンを  $\alpha$  化するのがよい。ご飯が美味しいのも、焼きたてのパンが美味しいのもデンプンがきっちり  $\alpha$  化しているからである。焼き上げてから暫く放置すると  $\alpha$  化したデンプンが老化することによる。これを防ぐためには、焼きたてのパン、炊きたてのご飯の粗熱を取ったらずぐに冷凍することである。食材のデンプンは水が有ると容易に老化する。老化防止は冷凍である。食品の貯蔵安定性については次のものを参照していただきたい (Takai R, 1999)。

(4) タンパク質のガラス食品を紹介する。「かつ節」である。生のカツオを三枚に下ろし、これを煮熟し「ゾル状態」にする。タンパク質が煮え、塊となって居る状態である。これより中に含まれている水分をじっくりと抜くことにより、均一な塊となる。ゲル状態である。無機ガラスで複雑なものを作るときの、ゾル・ゲル法では同じ手法のようである。

(5) 最後になったが、図 1 を使用し、ピーカーに入っているスクロース溶液を冷却した時の変化をこの図上で考える。縦軸に温度を、横軸に水と溶質の濃度 (%) で表している。



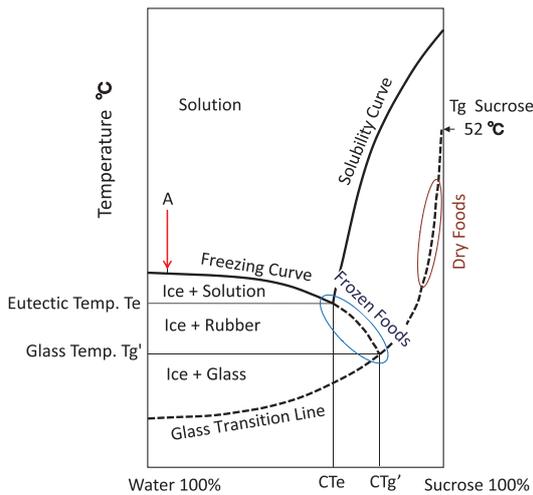


図1 水-スクロース状態図  
Fig. 1 State Diagram of Water and Sucrose

i A点から矢印に沿って溶液の温度を下げる。凍結曲線の温度に達すると水は凍り始める。糖が入っているので凝固点降下を起こしている。溶解している砂糖の濃度によって決まる温度で氷が出来る。氷が出来ると溶液の濃度が高くなるので、更に冷やさなければ凍らない。「凍結濃縮」は氷結

晶が出来ている前面で起きている。冷やし続けると、濃縮は更に進行する。濃縮が進み溶液が糖の結晶が始まる『共晶点』温度になると、砂糖の結晶も出来はじめる。しかし、温度を更に下げていくと、凍結曲線に沿って温度は低下する。この状態は冷凍食品を生産する場合に発現する。この温度を  $T_g'$  ( $T_g'$  プライム) とよび、その食品のガラス転移温度である。スクロースの  $T_g'$  は  $-32^\circ\text{C}$  である。この点はガラス転移曲線上にある。ガラス転移曲線の水 100% の温度は水が単独でガラス化する温度で  $-141^\circ\text{C}$  である。溶質 100% に延長した点は糖 (スクロース) のガラス転移点 (温度)  $T_g$  である。スクロースの  $T_g$  は  $52^\circ\text{C}$  である。このようにして食品の状態図 (State Diagram) を作ることが出来る。この図は登山の時の地図と同じ役割、(操作の) 道しるべである。

ii 綿アメのできる道はつぎのとおりである。綿アメはザラメ砂糖を直接溶かし、融けた砂糖が常温大気中に糸状に吹き出し、冷却され、砂糖の細かい「糸」ができ、まとまると「砂糖の綿」ができる。溶質 100% の縦軸上を移動するのみである。

### References

- Palzer S., Particle Design in the Food Industry, in: Food Engineering for Life, Honorary Symposium for Professor Emeritus Marcus Karel (MIT, May 17, 2016), pp. 19.
- Palzer S., The effect of glass transition on the desired and undesired agglomeration of amorphous food powders, Chemical Engineering Science, 60 (2005) 3959-3968.
- 古田 武等 (編): 食品の高機能粉末・カプセル化技術, (株)サイエンスフォーラム社, 千葉 (2003).
- 鈴木 徹, 食品のガラス状態とその利用, 食品と技術, 426 (2006) 1-9.
- 村勢 則郎, 佐藤 清隆 (編): 食品のガラス状態とその利用, (株)サイエンスフォーラム社, 千葉 (2000).
- 高井 陸雄, “ガラス転移制御技術を用いた食品の貯蔵安定性の向上”, 食品工業における科学・技術の進歩, 光琳社, 東京 (1999), pp. 85-103.

#### 〈著者紹介〉



高井 陸雄 Rikuo TAKAI

〔経歴〕 1975年東京大学大学院工学研究科博士課程修了, 1995年東京水産大学水産学部食品生産学科教授, 2003年東京海洋大学長, 2009年東京海洋大学名誉教授。

〔専門〕 食品工学・食品冷凍学・食文化学。

食べることは楽しい!

〔連絡先〕 rick.takai@gmail.com