

世界の食品・原材料・添加物トピックス②

スプーン一杯のお砂糖以上

ニール・H・マーメルスタイン

Neil H. Mermelstein

元フードテクノロジー誌編集長：IFT Fellow

翻訳・ライティング 久保村 喜代子

Kiyoko Kubomura

久保村食文化研究所

月刊フードケミカル 2016年10月号 抜き刷り

スプーン一杯のお砂糖以上



ニール・H・マーメルスタイン
Neil H. Mermelstein

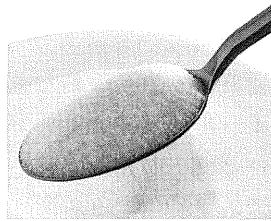
元フードテクノロジー誌編集長：IFT Fellow

翻訳・ライティング 久保村喜代子
Kiyoko Kubomura

久保村食文化研究所

1. 食品の安全と品質

映画メリー・ポピンズで歌われる「スプーン一杯のお砂糖は苦い薬も飲みやすくしてくれる」のフレーズは広



く知られている。砂糖は、エネルギー（小さじ1杯15kcal）を補給し、甘い物への欲求を満たし、食べ物の保存に役に立つなど、さまざまな機能を有している。砂糖（ショ糖）は、果物や野菜類に含まれているブドウ糖と果糖の二糖類であり、さとうきびと甜菜に最も高濃度に含まれる。Codex Alimentarius Commission（国際食品規格委員会）では白砂糖を「純度99.7%以上の精製された結晶化ショ糖である」と定義づけている。

現在、世界121カ国で年間1.2億t以上のショ糖が生産される。その内、約70%がさとうきび、30%が甜菜から製造されている。アメリカ合衆国は世界有数の砂糖生産国である。アメリカの原料はさとうきび45%、甜菜55%の割合となっている。米国農務省経済調査局（USDA-ERS）が公表している過去30年の砂糖の需給動向をみると、生産力増強に向けて、新しい処理施設、新技術の採用、

品種改良作物の使用、作付面積の拡大など、相当な投資がなされていたのがわかる。

2. さとうきび生産

さとうきび（学名 *Saccharum officinarum*）は、熱帯および亜熱帯気候で生育する背の高い多年生草で、米国ではフロリダ州、ルイジアナ州、ハワイ州、テキサス州で栽培されている。糖の含有量は品種、場所、季節変動により異なるが、約10重量%である。作物としてのさとうきびは種から栽培される事はほとんどなく、収穫した茎を横に寝かせて畑に埋めるといった農法が使われている。収穫は一般的に1年に1度、手作業で刈り入れる場合は葉を取り除きやすくするために畑を焼く（機械収穫でも一部焼き畑を行う事がある）。機械収穫では、葉を除去し、茎をカットする。収穫後は、近くの製糖工場に輸送し、そこで洗浄、細断し、高圧ローラーで圧搾して糖分の多い汁分を抽出する。バガスと呼ばれる繊維カスは燃料として使用され、搾り汁はさらに精製され結晶化し、原料糖となる。でき上がった原料糖は精糖工場に輸送され一連の加工が施される。

アフィネーション（Affination）と呼ばれる第1工程では、薄い糖蜜膜で覆われた糖度約96%～98%の原料糖を温かい飽和糖溶液と

混合する。得られたマグマ(magma)と呼ばれる混合物を、蜜と結晶に分離するために洗糖分離機にかけ不純物をおおまかに取り除く。次にその結晶を水に融解させ糖液を作る。糖液には依然として色素、微粒子、ゴム、樹脂などの非糖類が含まれているので、通常次の2種類の手法のうちいずれかの方法を用い洗浄する。一つは炭酸化精製法(Carbonatation; 精糖における清澄法)と呼ばれる方法で、水酸化カルシウム(石灰乳)と炭酸ガスを糖液に加えることにより炭酸カルシウムを生成し、不純物を吸着させ沈殿する。もう一つはホスファテーション(Phosphatation)、リン酸化精製と呼ばれる方法で、リン酸、石灰乳、および凝集剤ポリマーを糖液に添加し、リン酸カルシウム沈殿物を生成する。いずれの方法においても、不純物を含む沈殿物はその後、ろ過、または浮遊不純物除去装置の中に入れ、空気浮遊法によって除去する。

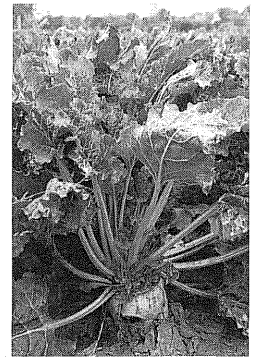
次に、残留・残存している色素を取り除くために、活性炭、天然木炭、またはイオン交換樹脂を通す。無色透明になった液を糖度63重量%から73重量%以上に高めるために、濃縮缶にいれ真空下で濃縮する。さらに真空結晶缶に入れ濃縮液が結晶形成に相応しい条件になるまで水分を蒸発させる。この時点で結晶化を促すために粉糖の結晶を添加する。できたショ糖の結晶を遠心分離によって液から分離し、温風を当てて回転乾燥機で乾燥させる。その後、結晶を篩で大きさ別に分類し、袋詰めや貯蔵がなされる。

結晶工程やアフィネーション工程の洗浄液にも糖分が含有されているので、一定の処理を施し、精製廃糖蜜と呼ばれる甘い副産物として家畜の飼料や、アルコール醸造などに利用される。

3. 甜菜糖生産

甜菜(*Beta vulgaris*)は温帯気候で育つ2年生の根菜で、毎年収穫される。米国ではカリ

フォルニア州、コロラド州、アイダホ州、ミシガン州、ミネソタ州、モンタナ州、ネブラスカ州、ノースダコタ州、オレゴン州、ワシントン州、ワイオミング州で栽培されている。糖の含有量は種類、場所、



季節変動によって異なるが、一般的には16~18重量%である。USDA-ERSが報告した甜菜糖生産の最近の動向では、遺伝子組換え品種の導入が進み、作付面積の95%以上が遺伝子組換え品種が占めるようになっている。

さとうきびが原料糖の生成工場と精製工場の2段階で製造されるのに対し、甜菜糖は1段階のみで製造される。収穫期を迎えると、脱葉機で甜菜の葉と上部を除去し、ピンチホイール機で土壌から根を引き抜く。洗浄後、コセット(cosettes)と呼ばれる薄い短冊状にスライスする。次に温水対向流拡散により糖分を抽出する。この手法は表面積を増やすので抽出が容易となる。圧搾された繊維分は乾燥して家畜の飼料や他の製品に利用される。ロージュース(Raw juice)と呼ばれる糖液は、さとうきびの加工と同様に、炭酸化精製処理やリン酸化精製処理により精製する。

次工程は、サルフィテーション(sulfitation; 亜硫酸化)、または第三飽和と呼ばれ、二酸化硫黄を炭酸化精製処理でできた透明な糖液に添加する。こうすることで砂糖と残留アミノ酸間のメイラード反応を抑制し、加熱中に暗褐色になることを防ぐ。得られたシンジュース(希薄汁)と呼ばれる液体は、約12~18%の固形分濃度から61~72%濃度にするために、複数の多重効用濃縮缶にポンプで送り出される。濃縮缶を経たシックジュース(濃厚汁)と言われる標準糖液を真空缶内で沸騰させ、砂糖の飽和点に到達した際に結晶化を促すために粉砂糖を添加する。マスキッ

ト(masscuite)と呼ばれる結晶化が進んだ結晶と蜜の混合物(製糖→白下→煮詰めた後にできる糖蜜と結晶糖の混合した液体の事)を、分離するために遠心分離機にかける。その後の工程は、さとうきびと同様である。

マスキットから分離された液体は、元来甜菜に含まれているショ糖の約50%、水溶性の非糖分の約60%を含有する廃糖蜜である。甜菜の廃糖蜜は塩分が高い事と他の非糖質が多く食用にはならない。従って、ブラウンシュガーの製造などには使用されていない。米国では甜菜の廃糖蜜はほとんど、さらにクロマトグラフィー分離によって処理され、廃糖蜜中の糖の約90%を分離し、次の二つの形状で製品化されている。一つは精白糖に結晶化される高純度のショ糖液であり、一方は塩分とアミノ酸を主成分とするもので蒸発させて濃縮し、動物の飼料として販売されている。またわずかではあるが、クロマトグラフィー分離を経ない廃糖蜜がアルコール醸造に利用されている。

4. 製品形態

さとうきび、甜菜のいずれかから製糖された精白糖は他の精製糖の原料となる。ファイングラニュー糖、エキストラファイングラニュー糖など、消費者や食品加工業者は特定の用途に応じたさまざまな結晶サイズの砂糖を入手することができる。ドライミックス用を使用するグラニュー糖は少し細かくより均一な結晶サイズを有しており、製パン・菓子業界向けのベーカーズ・スペシャル・シュガーはより細かいグラニュー糖である。

粉砂糖はグラニュー糖を砕き粉末状にし、湿気により固まるのを防ぐために3%程度のコーンスターチを加えたものである。一般に粒子の細かさの違いで6X, 10X, 12Xの3段階あり、数字が大きくなるほど細くなる。

菓子製造用のコンフェクショナーズ・シュガーは細かい粉砂糖で、フォンダンシュガーやアイシングシュガーは最も粒が細かい。

グラニュー糖を精製するのと同じく糖液を煮詰めて作るザラメ糖は結晶サイズが大きく、調理中の温度により色が変化し、ブドウ糖と果糖に自然分解(反転)しにくい。

サンディングシュガーは、主に焼き菓子に利用されている結晶の大きな砂糖である。

ブラウンシュガーは、煮沸法か着色法(コーティング)で加工される。煮沸法は、白砂糖の結晶から分離された母液を褐色の精製シロップと混ぜ、熱してカラメル化し、結晶全体に典型的な茶色と独特の風味を出す。着色法は、白いグラニュー糖をさとうきびの糖蜜でコーティングするもの、糖蜜の量の差異でライトブラウンシュガーとダークブラウンシュガーを作り分ける。

デメララ糖(南米ガイアナ産のさとうきびから採る淡褐色の粗糖)は、洗浄したさとうきびの搾り汁を濃縮させて作る。粒の大きな少し粘着性の結晶を有し、製品は淡褐色のやや粒子の粗いグラニュー糖である。

タービナード糖(中白糖)は、表面の糖蜜を軽く洗浄して除去した淡褐色の粗糖である。Sugar in the Rawは、タービナード糖のブランド名であり、マスコバド糖(黒砂糖)やバルバドス糖は強い糖蜜の風味があり、通常のブラウンシュガーに比べ、粒がやや粗く粘性の結晶を有している。

液糖は、飲料水もしくはイオン交換樹脂工程後の精製工程で得られる糖液で溶かした精白糖である。液体の形で砂糖を必要とする際に使用される。琥珀色液糖は、色が濃く、茶色い色が望まれる食品に使用される。転化糖は、ショ糖をブドウ糖と果糖に転化した液糖であり、果糖はブドウ糖やショ糖よりも甘味が強いので、転化糖は上白糖よりも甘くなる。食品業界では結晶化を遅らせたり、包装食品中の湿度を保つために、さまざまな割合でショ糖や転化糖を混合して使用している。

共結晶化糖は、過飽和状態になるまで加熱した後急冷する精製プロセスから得られた

さまざまなシロップのブレンドであり、蜂蜜など他の成分を吸着する事ができる非晶質な結晶を生み出す。廃糖蜜、ブラウンシュガーシロップ、転化糖、マルトデキストリンなどがこれにあたる。

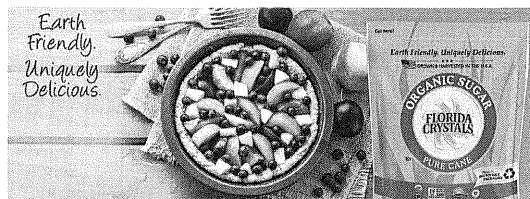
角砂糖や色砂糖は、消費の目的に合わせて形状を変えた砂糖である。

5. ASRグループ



ニュージャージー州、アイセリンに本社を置くドミノ・フーズ社 (dominosugar.com) は、米国で最大のさとうきびの精製糖販売企業であり、フロリダ州、ウエストパームビーチに本社のある世界最大のさとうきび精糖業者ASRグループ (asr-group.com) に属する。アメリカン・シュガーリファイニング社、C&Hシュガー社、レッドパスシュガー社、テート&ライル社もASRグループの系列企業であり、同グループのアメリカ各地の精製所は、一日あたり最大800万ポンドの原料糖を処理している。

ドミノ・フーズ社はFlorida Crystalsブランドの販売業者でもある。消費者向けにはドミノ・シュガー・ホワイトグラニュー糖、極細グラニュー糖、ベーカーズ・スペシャル・グラニュー糖を、コーヒー用にはDomino Dots & TabletsとC&H Cubes、ライトブラウンシュガー、ダークブラウンシュガーを、菓子・アイシング用砂糖としては、ブラウングラニュー糖、Honey Granules、Sugar N'Cinnamon、デメララ糖を、また天然有機濃縮サトウキビジュース (Florida Crystalsブランドで販売) を販売している。ASRグループの品質管理ディレクターのS・マイケル・



合衆国初めての Certified Organic Sugar

バーチャル氏は、フロリダ州にある同社の精製所は、有機さとうきびの国内唯一の生産所であり、米国の煮沸法によるブラウンシュガーの大半を製造していると語っている。

また同社は、食品業界向けにも多種多様な粒子サイズのグラニュー糖を各メーカーにあわせた特別仕様で生産しており、ベーカーズスペシャル、極細グラニュー糖、キャンディ/シリアル/焼き菓子トッピング用の極太(2mmサイズのものもある)ザラメ糖結晶、トッピング用に色付けされたザラメ糖結晶、ライト・ミディアム・ダークブラウンシュガー、コーンスターチ入りまたはなしの粉糖、照りつけ向けのマルトデキストリン入りの微粉糖、医薬品グレードの砂糖(グラニュー糖、粉糖、圧縮糖)、天然有機濃縮さとうきびジュース、液糖、ミディアム転化シロップ(50%)、転化シロップ(>90%)などがある。

同グループでは、遺伝子組換えを使用しない品種改良により、さとうきびの新品種を自社開発している。バーチャル氏はこうした自社開発の作物を使うことにより、確実に非遺伝子組換えの砂糖を作り、そして非遺伝子組換えと認知される食品を作ることができると述べている。

またバーチャル氏は、同社の砂糖製品には、多くの品質検査が行われていると語る。原料糖の購入価格は、さまざまな要素によって決定されるが、最も重要なのは、原料糖の純度(ショ糖の含有量)である。原料糖の純度は、旋光度ではなく、ショ糖の糖度で表示されるように特別設計された旋光計を用いて測定される。原料の純度測定は、ブラウンシュ

ガー、糖蜜、精製シロップでも行う。精製工程におけるショ糖溶液の糖度(Brix)は屈折計を用いて定期的に測定されている。

色については、溶液中の吸光度や光反射率により測定されるが、水に溶解した一定量の糖の吸光度は分光光度計で測定し、国際砂糖分析法統一委員会によって設定された国際基準に従い評価される。主にブラウンシュガーや外観が重要である特殊な製品の結晶の光反射率は比色計により測定される。

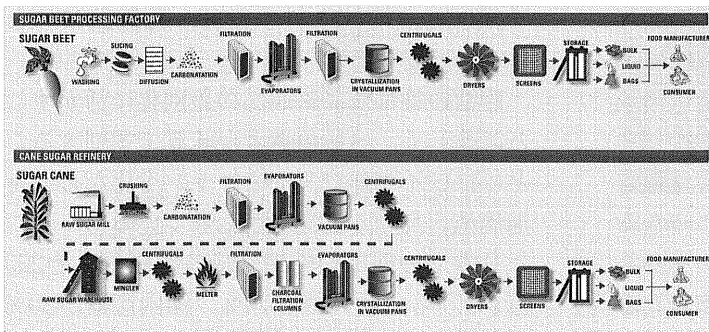
製品には、篩や粒子サイズ分析器で粒子サイズ、高精度赤外線水分計で水分含有量、伝導率により無機材料(灰、さとうきび中に存在する天然の鉱物)、濁度計により濁り、濁度計または分光光度計で粉糖やアイシング用の砂糖に含まれるコーンスターチ量、マニュアルの滴定法もしくは生化学分析装置で転化糖分析、が行われる。バーチェル氏は「砂糖の結晶化工程ならびに精製工程では、水分含量と水分活性が非常に低いため、微生物の増殖が抑制されている。このことが何世紀にもわたり砂糖が防腐剤として使用されている理由なのである」と述べている。

6. アマルガメーテッド・シュガー社

アイダホ州ボイジーに本拠を置くアマルガメーテッド・シュガー社(amalgamatedsugar.com)は、米国2番目の甜菜糖の精製糖業者で、年間約150万tの砂糖を生産している。グ

ラニュー糖、粉砂糖、ダークブラウンシュガー、ライトブラウンシュガーを小売市場用に生産。業者向けには業務用ザラメ糖、細目グラニュー糖、極細グラニュー糖、ゲルグラン、製菓用スペシャルの5種類の粒子サイズが異なるグラニュー糖を製造している。同社品質保証部長のマイク・ファウアー氏は「わが社の粉砂糖は、グラニュー糖の結晶を注文された粒子の大きさに砕き、吸湿性が非常に高い環境でも固まらないように最大5%のコーンスターチを添加して製造している。」と述べている。同社のブラウンシュガーは砂糖の結晶に液体転化糖とさとうきびの糖蜜からなるシロップをコーティングして生産している。特有の風味、テクスチャー、そして色はコーティングするシロップの量によってコントロールされる。グラニュー糖は粒子のサイズは異なっても、その他の特性(栄養価、色など)は統一され、粉糖やブラウンシュガーに使用される砂糖も品質が一定であり、粒子の大きさと添加するコーンスターチや糖蜜などで特徴付けされている。同社はまた、特定の糖分を含むように作られた液糖を製造している。固形糖分量に基づく製品を2種類と、ショ糖、ブドウ糖、果糖を同量ずつ含有するように転化された半転化糖液がある。

ファウアー氏は「砂糖の品質とリカバリーを最適化するために、製造過程の原材料に毎時300以上の品質管理テストを実施している」と述べている。最終的な結晶糖は、色、灰分(可溶性塩、一般的に0.02%以下)、水分、粒度分布、純度、および顧客固有の要件などで品質評価している。色は分光光度計、灰分は導電率、水分は乾燥時の水分損失重量、粒度分布は公認の標準篩、粉砂糖のスターチ含有量は偏光計、純度は赤外線分光法によって測定している。同社はまた、特定の顧客の要件に応じて、ガスクロマトグラフィー、液



どのようにサトウキビと甜菜糖の加工プロセスが異なるのか
(画像提供：砂糖協会株式会社)

体クロマトグラフィー、イオンクロマトグラフィー、原子吸光分光法などの機器分析を採用しており、また特定の糖の特性を決定するためには近赤外線分光法を使用している。

微生物学的試験は、好気性中温菌、酵母、カビ、嫌気好熱性芽胞形成菌、および密封後の好熱性生物の計数分析を実施している。砂糖の貯蔵前と出荷または包装する際に同じ検査をロット単位で行う。さらに耐熱性黴や細菌汚染の疑いがある場合は、追加試験が必要である。糖の水分活性は0.3未満であるので、病原性微生物の増殖は阻害される。同社の砂糖は、すべて病原体フリーである事に加えて缶詰や瓶詰め仕様の仕様を満たしている。また重金属、農薬、除草剤の残留物に対する分析も定期的に行っている。製菓仕様にも適合する特殊製品もテストできる検査体制を整えている。

7. 進歩と課題

ASRグループのバーチェル氏は「この15年の砂糖生産における進歩は、主に工程を自動的に制御する技術であった。また品質管理室での主な進歩は、卓上型化学実験器具によって変わった、新しいシンプルな計器である」と述べている。米国におけるさとうきび産業は、甜菜糖、メキシコから輸入される砂糖、非スクロース系甘味料(高果糖コーンシロップなど)とせめぎあっている。ASRグループの目標は、操業する地域で市民に歓迎される最強のメーカーであり続けることである。同社の生産拠点は、大量の原料糖を船荷として降ろすのに最適なウォーターフロントに建てられているが、こうした地域は、近年住宅地としてますます魅力的になっている。したがって、同社の工場は、エネルギーや水の使用量を減らし持続可能な操業体制とし、さらなる騒音や臭気の削減に取り組んでいる。また品質管理面での最大の課題は、40年にもわたる経験のある従業員を退職にともない入れ替えなければならない時期にきていることである。

彼らの知識やスキルはかけがえのないものであり、それをいかに引き継ぎマニュアル化、機械化するかが研究室の課題となっている。

一方、アマルガメーテッド・シュガーのファウアー氏は、次のように述べている。「甜菜糖生産者にとって唯一最大の将来への課題は、遺伝子組換え原料に対する消費者の誤解を正すことである。現在、米国における甜菜糖原料の甜菜は除草剤グリホサートに耐性を持つ遺伝子組換え種子から育てられている。精製プロセスではタンパク質、アミノ酸などすべての糖以外の物質を除去し、製品は99.97%炭水化物に規格されている。完成品はポリメラーゼ連鎖反応でもDNAの痕跡が全くなく、遺伝物質は存在していないことが証明されている。遺伝子組換え種子を使用することで生産者は、除草剤の使用や除草作業に要するエネルギー量を減らす事ができるので、ある面では環境にも良い。消費者は、こうしたプロセスや製品の純度に関する知識を得た上で商品を選択してほしい」

8. 日本の精糖事情の現状とその製品

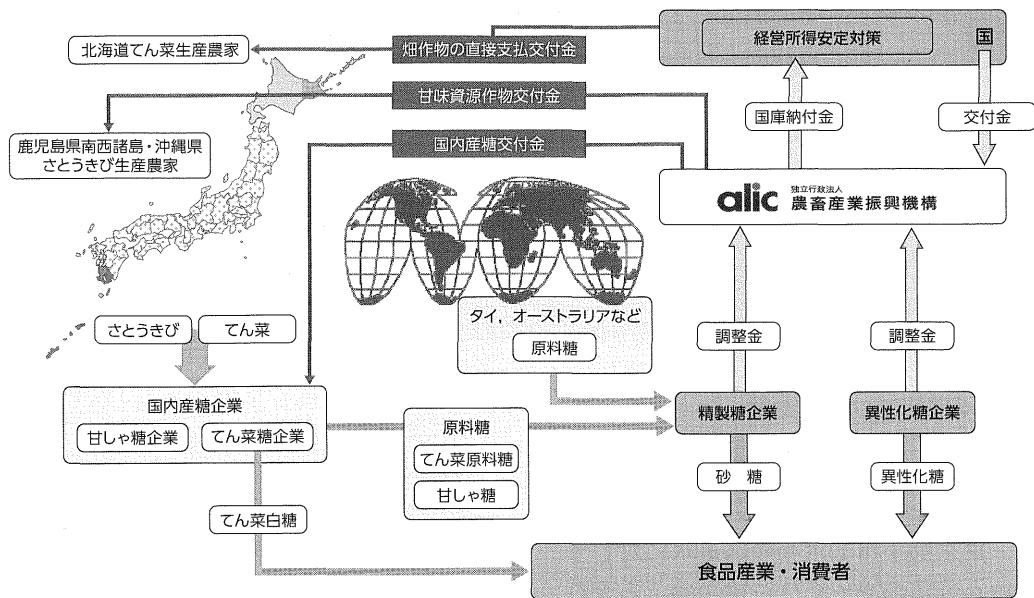
(砂糖制度の概要)

世界の砂糖生産状況では、およそ8割が甘しょ糖(さとうきび)、2割が甜菜糖からである。日本の国内産糖は逆に、8割が甜菜糖、2割が甘しょ糖(さとうきび)から生産されている。

国内の砂糖消費は、家庭用が12%、残り88%は食品製造業向けである。その内訳は菓子類28%、清涼飲料水21%、乳製品11%などとなっている。

砂糖の特性を最終商品の差別化に活かすことは難しく、一般消費者が味覚で選別することはほぼ不可能に近い。ブランド化などで付加価値を高める余地も限られている。

日本での砂糖国内消費量は年間およそ200万tのうち、輸入糖が70%、国内産糖が30%を占める。世界の主要な国々では、自国の砂糖生産を支援するために、輸出入の調整

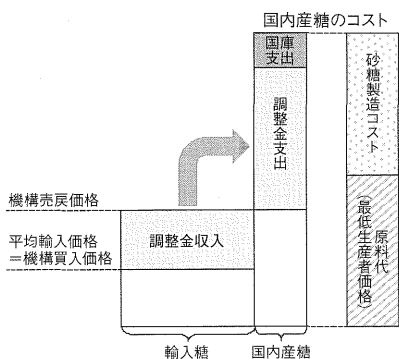


砂糖制度の概要図

や、国内の需要・供給を維持するための政策が実施され、砂糖の需要供給や価格を維持し、高い自給率が確保されている。アメリカでも年間推定消費数量を決めた後、国内市場に影響が出ない範囲で同様の措置を講じている。日本では、国内産糖と輸入粗糖を原料として生産された砂糖には、大幅な内外価格差が存在している。その額は甜菜糖からだすと2倍、さとうきびから製造される甘しょ糖はおおよそ5倍といわれ、価格の安い輸入糖から調整金を徴収し、それらを財源として国内産の製造事業者者に支援を実施している。

9. 終わりに

食品産業のレシピ開発担当者として砂糖を原材料素材として利用しているが、砂糖は風味により選択を行っている。いわゆるフレーバーに近い感覚となる高甘味度甘味料、シュガーレス製品などを含め、砂糖の利用にもさまざまなフードサイエンスを理解することが必須である。また精糖産業における現実を知り、砂糖のその安全性と品質を正しく見極める努力がやはり必要なのであろう。



砂糖に係る制度の基本的な考え方(農林水産省)



くぼむら・きよこ

専門は、セイボリーフレーバー、特に反応系香料。食品メーカーと新製品開発プロジェクトを組み商品開発などを主な業務とし、手掛けた製品は1000を超える。ワールドフードサイエンスの編集委員、IFT本部評議会、国際評議員、IFTジャパンセクション評議員、IFT教育プログラム講師などとして活動中。2008年、IFTフェロー受賞。