



異性化糖

元参松工業常務取締役 頼 富 憲三郎

1. はじめに

異性化糖は大抵の方は御存知のことと思いますが、コカコーラなどの飲料水の缶の表示に「果糖ぶどう糖液糖」または「ぶどう糖果糖液糖」と示されているもので、既に広く流通しており、その日本農林規格 J A S は表 1 であります。

世界の砂糖は甘蔗と甜菜合はせて約 1 億屯であり、これに対して異性化糖は現在その 5 % 程度であります。しかし米国では砂糖の 65 % が、また我が国では 25 %、E C では国により差がありますが、5 ~ 20 % を占めるに至っており、澱粉の用途としては 600 万吨 / 年に達して最大のものになっております。

澱粉の糖化法に微生物を培養して各種の酵素をつくり、これを利用することで、品質および生産費に革命的改良が実施された結果で、現在脚光を浴びているバイオインダストリーの中でも、量および金額共に最大のものがあります。このように発展した異性化糖の歴史 < 表 1 > 異性化糖の J A S 規格 (主要項目)

表 示 名	ぶどう糖果糖液糖	果糖ぶどう糖液糖
水 分	30%以下	25%以下
灰 分	0.1%以下	同 左
果糖含有率 (標準)	35~42% (42%)	55~90% (55%)
オリゴ糖 (標準)	15~8% 8%	6%以下 4.5%
P H	4.5~5.5	同 左
着 色 度	0.25以下	同 左
濁 度	0.2 以下	同 左

と、その特性および世界各国の状況などについて解説致します。

2. 異性化糖の発明とその発展経過

異性化糖はぶどう糖からつくられるので先づぶどう糖の歴史について簡単に述べます。1811年にロシアの Kirchoff がアラビアゴムの代替品をつくるための実験中に澱粉を酸で煮るとぶどう糖ができることを発見した。当時ナポレオンが英国の海上封鎖により砂糖の輸入ができなかったので、馬鈴薯澱粉からぶどう糖をつくり、砂糖の代替品をつくらせた話は有名である。

その後この酸糖化法によるぶどう糖の製造は欧州から米国のとうもろこし工業に発展して、水飴および結晶ぶどう糖などの甘味料としての生産が増大して砂糖と競合するまでに成長していった。

我が国では澱粉の生産コストと砂糖の価格の相対関係から、医薬用および合成酒用ぶどう糖以外には砂糖の代替としてぶどう糖を生産することは困難であった。

1958年に当時過剰であった甘しょ澱粉の消費のため農林省は結晶ぶどう糖育成法によりぶどう糖の生産を助成した。この時丁度酵素法によるぶどう糖の製造法が開発されて、ぶどう糖の生産コストが一挙に下がり、甘味料として砂糖と競合できるようになり、当時農林省の頭痛の一つであった甘しょ澱粉の政府在庫は一掃された。

ぶどう糖の甘味度は砂糖の約 70 % と低いの

で、これを異性化して果糖に変えて甘味度を増強することは、1895年にオランダでアルカリ法が発見されて以来70年余り、世界各国でその企業化が研究されたが成功しなかった。1957年に米国で酵素法によるぶどう糖の異性化の可能性が発見されてから急に異性化酵素の研究が盛んになった。最初発見の方法は我が国で食研(佐藤氏)により追試されたが異性化反応に珪素を添加しなければならず、食品としては問題であったが、その後香川大(山中氏)の発見した微生物による酵素は珪素を添加する必要がなく、当時NHK朝のニュースで画期的な発明として報道された。しかしこの微生物では力価および耐熱性の点で実用化できなかった。その後食研(津村氏)が発見した放線菌による酵素は力価、耐熱性共に高く、殆ど同時に醸酵研(高崎氏)の発見した放線菌は培養原料に小麦ふすまを使用して実用化が容易であったので、これを用いて筆者の工場では昭和40年(1965年)世界ではじめて異性化酵素の工業化に成功し、異性化糖の生産が開始された。この技術は米国に輸出されて大規模に進展した。ぶどう糖の場合も原理は米国で開発されたが、その工業化の技術は日本が世界をリードしたのと同様我が国の微生物研究の基礎が高く、周辺技術の支援が得られた結果、この異性化糖の技術開発も日本が世界をリードできたのである。

昭和40年当時の砂糖価格はkg当り90円と安く、当時の澱粉価格から砂糖と競争できる異性化糖の生産は困難であり、昭和40年から45年頃までは僅かに蜂蜜の代用などに使用されて年1500屯位の生産で経過したが、その後砂糖価格が上昇するに従って需要が伸びて生産が増大していった。

特に米国での発展が著しく、異性化酵素も多くの微生物の開発競争が展開されて、後に述べる酵素の固定化法も含めて現在は欧州の酵素メーカーに主導権を握られている。

異性化法は当初異性化酵素は使い捨てであった高価な粒素を固体化造粒して、濾過塔に充填し、これにぶどう糖液を流すだけで大量の異性化が可能となり、生産費を砂糖の70%以下にまで低減できたので、需要が拡大した。

このため日本農林規格も制定されたが、その名称に「異性化糖」を用いると消費者が理解し難いという理由で、(表1左)糖成分の多い順に「ぶどう糖果糖液糖」という長ったらしい名称が決定された。

その後果糖分42%の製品は砂糖に比べて甘味度が若干低いことから、その甘味増強が考えられて、42%果糖分の異性化糖を液体クロマト分離法によって果糖とぶどう糖を分離し、90%以上の果糖液をつくり、これを42%果糖分のものと混合して55%果糖分の製品をつくった。これは砂糖と甘味度が同等で完全に砂糖に代替できることから、清涼飲料などの用途に定着し、第二世代の異性化糖として発展した。日本農林規格も改正されて、果糖分の高いものを「果糖ぶどう糖液糖」、また果糖分の低いものを「ぶどう糖果糖液糖」とその含有量の多い順に標示するように定められた。表2に最近の生産量を示す。

3. 異性化糖の性質と用途

表1に示される通り異性化糖はぶどう糖と果糖が主成分の液糖である。砂糖はぶどう糖と果糖が結合した二糖類であり、これを分解した転化糖(ぶどう糖50%および果糖50%)と異性化糖は殆ど同じものである。蜂蜜も同じ糖成分である。砂糖の甘味は人間に最も親

しまれた甘味であるが、果糖の甘味はシャープな甘さで強く感じる。温度により甘味度が変わり、低温にて対砂糖甘味度が高くなる。果糖、ぶどう糖共に耐熱性が弱く、加熱により褐変しやすい。単糖類であるから砂糖に比べて浸透圧が高い。これらの性質からその用途は表3に示されるように清涼飲料、乳性飲料に好んで用いられる。特に砂糖に比べて全く大気から遮断された無菌状態の液状で製造、運搬および貯蔵されるので飲料メーカーでは殺菌行程を省略できる利点があり、近年品質および価格上の利点から清涼飲料では全面的に砂糖に代替するようになった。

4. 砂糖と異性化糖の経済性の比較

砂糖は甘蔗汁または甜菜汁からつくられ、異性化糖は各種の澱粉からつくられる。甘蔗汁や甜菜汁には液体の不純物が約15%含まれており、この不純物を除去するには砂糖を結晶させて遠心分離する方法しかなく、大量の砂糖が廃蜜になる欠点がある。これに対し異性化糖の原料である澱粉はその原料芋または穀類には同様に大量の不純物が含まれているが、澱粉は固体粒であるから水洗により効率よく不純物と分離することができて、不純物1%以下の原料となるので、これを液化、糖化および異性化した後に活性炭とイオン交換樹脂に不純物を吸着させて除去できる。従って糖の回収は殆ど100%である。水洗分離した不純物も、蛋白、脂肪、繊維それぞれの性質に応じた有効利用ができるので、砂糖の場合の残渣が飼料または燃料だけの利用に比べて経済的に有利である。また澱粉の原料は多種多様である。現在とうもろこしが最も多く使われているが、甘しょ、馬鈴しょ、タピオカ、サゴはもとより近年ヨーロッパでは過剰にな

った小麦および大麦も大量に使用されている。さらに澱粉は貯蔵の点でも極めて安定であり、多くの国で砂糖より経済的な甘味料として評価されるようになった。我が国でも非常の場合自給できる甘味源として、甜菜糖および九州、沖縄の甘蔗糖の製造原価と、甘しょ、馬鈴しょ澱粉の農水省の指示価格から異性化糖の製造原価を試算して比較すると十分に競合できるものである。

5. 世界各国の生産状況

各国の原料事情によりその経済性が大きく左右され、またその製造には高度な技術と複雑な工程が要求され、さらに液糖であるためにタンク車輸送の流通態勢が不可欠である等の点から、先進国と開発途上国など国情によりその生産状況が異っている。代表的国々について現状を述べます。

米国： とうもろこしの最大生産国で、その余剰農産物対策として澱粉からアルコールをつくりガソリンに混合している米国は、砂糖は不足して過去にはその需要の約半分の500万屯を毎年輸入していた。従って過剰なとうもろこしから砂糖代替品をつくる要求は当然であり、従来のとうもろこし澱粉業界に世界最大の穀物メジャーADM社およびカーギル社その他有力企業が新規参入してきて業界の様相が一変した。この10年間に次々と工場が増設されて1985年には465万屯の異性化糖が生産された。この為に輸入砂糖と甜菜糖の生産が大巾に減少した。砂糖の最大用途であったコココーラその他の清涼飲料には完全に異性化糖が代替し、異性化糖の当初予想では砂糖の25%位が代替限度とされたのが、現在砂糖の56%（全甘味料の37%）に達しており更に増える可能性を残している。

日本：我が国では既に述べた通り20年前の初期は砂糖対澱粉価格の関係で伸び悩んだが昭和47年頃から砂糖価格の上昇に従って増産されて、当時過当の生産競争で苦況の砂糖業界に影響するまでになった。政府は農林規格を制定するに当って異性化糖を如何に位置づけるか若干迷ったようであるが、砂糖価格の変動に対する補完的な効果を認めて第二世代の異性化糖（果糖分55%）の規格も制定されて清涼飲料にも全面的に使用された。更に増大する傾向にあったので、昭和57年から糖価安定法により課徴金制度と生産割当制によって異性化糖の年間生産量60万トンに規制する政策がとられている（表2）。

ヨーロッパ：ヨーロッパでは甜菜糖農民保護のため異性化糖の生産規制が厳しく、全ヨーロッパで20万トンと生産枠を定めて来たが、甜菜糖の生産過剰で最近の原糖価格の暴落を招き、甜菜の作付制限が余儀なくされて、この転換作物として小麦が増産され、この小麦が過剰になってその跡始末に小麦澱粉がつく

＜表2＞ 異性化糖の生産量の推移（単位千トン）

砂糖年度	固形物換算	標準換算	製品ベース
53	249	192	446
55	491	433	752
58	624	561	934
59	677	613	1004
60	682	617	1008

注 標準換算は果糖55%異性化糖換算の固形物

＜表3＞ 異性化糖の用途別使用比率

用 途	日 本	米 国
飲 料	67.8%	77%
パ ン	6.2 "	10 "
罐詰、冷菓	8.5 "	14 "
菓 子	2.9 "	5 "
そ の 他	13.6 "	4 "

られて、これから枠外の異性化糖がつくられるという悪循環を生じている。1982年以後急に全粒小麦から小麦澱粉をつくる大型工場が出現して30万トン以上の小麦澱粉が異性化糖やアルコールの生産に向けられている。北欧フィンランドなどでは大麦を原料とした澱粉から異性化糖がつくられている。

中国：中国の砂糖消費は1人当たり年4kgと先進国の10分の1であり、最近の開放政策にともなって需要は極めて大である。しかもとうもろこしは米国の約4割7,300万トン/年が生産されて、その単収は米国の半分であり、技術の改良で更に増産が期待される。過剰なとうもろこしが日本に輸入されて昨年度は米国からの輸入の半分以上にまで達した。中国でこの過剰なとうもろこしから砂糖代替の異性化糖をつくる要求は極めて高く、既に5年前から各地で小規模生産は開始されているが、前述のように技術および流通の近代化が間に合はずに伸び悩んでいる。

インドネシア：甘蔗の産地でありながらその人口増に需要の $\frac{1}{4}$ の40万トン/年の砂糖を輸入していたが、5年程前から政府の指導でタピオカ澱粉から異性化糖の生産が企画され、2工場が操業までにこぎつけたが、前述の理由で砂糖を代替できるまでに至っていない。

台湾：同様に砂糖の輸出国でありながら経済発展の結果、国民所得の上昇から甘蔗農業が政府の負担になって来ており、現在は貿易バランスの上から欧州その他外国から破格の値段で澱粉が輸入できて、これから異性化糖を生産すれば、国営生産の砂糖と競合できるので2～3の企業が異性化糖の生産をはじめた。これに対し政府は課徴金をかけて異性化糖の規制を開始している。

以上述べたように新しいバイオインダストリーとして余剰農産物のいかなる種類の澱粉からも砂糖代替の異性化糖が生産できるので、今後農産物の条件によって世界各地で異性化糖が生産されて砂糖と競合するであろう。

6. 将来の展望

異性化糖の製造技術は異性化酵素も既に第三世代の高力価で生産性が従来の10倍のものが出現して、次第にこれに変わりつつあり、品質その他の点でも完成された段階に来ている。しかし、遺伝子工学の目覚ましい発展も含めて、この分野の技術革新は終ることなく前進するであろう。

特に期待されるものとしては、その原料にセルロースを加水分解したぶどう糖を開発することで、所謂木材糖化は過去50年以上にわたり研究されて来たものであるが、近年セルロース分解酵素の研究は一段と拍車がかかっているから遠からず実現するものと思われる。

また果糖とぶどう糖を結合して砂糖にする研究も各種の方法が研究されており、果糖とぶどう糖が砂糖よりも安価につくられるようになった現在、人類に最も親しまれた砂糖が澱粉からつくられるのも興味のあることである。

先端技術バイオテクノロジー (その2)

農水省農蚕園芸局畑作振興課課長補佐 中村 文夫

バイオテクノロジーの農業への応用

前号ではバイオテクノロジーの主要技術を紹介したが、それらの技術の展開により、農林水産業の分野に画期的なブレイク・スルー（技術の飛躍的な進展）がもたらされるものと期待されている。（図1及び表1参照）

次にバイオテクノロジーが、農業、畜産それに食品工業などにどのように応用されるであろうかみてみることにする。

1 農 業

<育 種>

農作物としての植物や家畜としての動物あるいは発酵などに用いる微生物などの遺伝形質の改良については、人類は古くから経験的に良いものを選抜（淘汰）することにより進めてきた。

そして、メンデル以後、遺伝現象を理論的

にとらえ、育種（品種改良）を技術化した。

しかし、それらは、自然界で発生することをあくまで人為的に手を加え目的に合うようにしてきたといえる。

ところが、遺伝子組換えや細胞融合などのバイオテクノロジーは、これまでの育種技術では克服が困難であった障壁を超える可能性を拓いてくれた。

例えば、細胞融合によって、これまで人為的に交配不可能だった作物から新しい雑種植物を作出することを可能にした。

前号で述べたとおり、西ドイツのマックス・プランク研究所のメルヒャース博士が作出した「ポマト」はこの細胞融合を用いたものである。

また、我が国でも日本専売公社（現日本たばこ産業株式会社）の研究所では、タバコの