



五炭糖の意外（？）な利用法

榊原 祥清

稲わらやバガスなどのリグノセルロース系バイオマスを原料としたバイオエタノールの実用化のためには、解決しなければならない種々の課題がある。その一つがキシロースの効率的な発酵法の確立である。リグノセルロース系バイオマスには、多量のキシロース（稲わらの場合、含まれる糖類の約4割がキシロース）が含まれている。そして、よく知られているように、エタノール発酵の代表的な微生物である *Saccharomyces cerevisiae* はキシロースをほとんど発酵することができない。この問題への取り組みは長く、1993年にキシロース発酵能を持った *S. cerevisiae* が遺伝子組換えによって作られている¹⁾。この株は、キシロース発酵性酵母である *Scheffersomyces stipitis* (*Pichia stipitis*) がコードするキシロースレダクターゼとキシリトールデヒドロゲナーゼを、*S. cerevisiae* に導入したものである。*S. cerevisiae* はキシロースは発酵できないがキシロースは発酵できることがわかっており、“ミッシングリンク”となっているキシロース～キシロース間の代謝経路を二つの外来遺伝子によって補ったのである。

筆者らは、異性化糖の製造に用いられるグルコースイソメラーゼ（キシロースイソメラーゼ）の発酵液への添加により、このミッシングリンクのバイパスを行った。この方法は同時異性化発酵（simultaneous isomerization and fermentation）と呼ばれ目新しいものではないが、キシロキナーゼ遺伝子を人為的に高発現させた *S. cerevisiae* を用いることにより、キシロースからエタノールへの変換収率を顕著に高めることができた。キシロキナーゼの高発現株は自己遺伝子のセルフクロニングによって作ることができ、さらには変異導入や馴化といった従来型の育種によっても得られる可能性がある。キシロースはキシロキナーゼでリン酸化されることによって、ペントースリン酸経路を経て解糖系に入ることができる。つまり、ペントースリン酸経路が五炭糖代謝と六炭糖代謝の接点となっている。キシロースを利用できない微生物であっても、キシロース～キシロースのミッシングリンクを繋げることによって、キシロースからエタノール以外のさまざまな代謝産物も作れるようになるのではないかと想像を膨らませている。

さて、リグノセルロース系バイオマスを糖源として捉えたときに、その価値はキシロースなどの五炭糖を含ん

でいることにあるのではないだろうか。グルコース源としては、蔗糖蜜やコーンスターチなど安価な原料が豊富に存在しており、（食料との競合を考慮しなければ）これらに太刀打ちすることは難しい。一方、これらの原料には五炭糖は含まれておらず、五炭糖の用途や利用価値を広げることにより、リグノセルロース系バイオマスの価値も高まってくると考えられる。

歴史を紐解いてみると、1930年代の米国で、綿実殻からキシロースを安価に製造する方法が開発されている。当時、キシロースは“slenderizing sugar”として話題になったようだが²⁾、その後、（ヒトでは問題ないが）動物実験で白内障の危険性が指摘されたこともあり、低カロリー甘味料としてはあまり普及しなかったようである。とは言え、キシロースは我が国の食品衛生法においても、既存添加物リストに甘味料としてちゃんと掲載されている。また、竹輪などの水産練り製品や食肉加工食品などの焼き色を良くするためにもキシロースは利用されており、この場合は加工助剤にあたるため表示は免除となる。あまり目立たないが、キシロースは我々の食生活に大いに関わっているようだ。

キシロースの還元によって得られ、今ではキシロースよりもメジャーな甘味料となったキシリトールについても、意外な話題がある。キシリトールの非う蝕効果が示されたのは1970年代のフィンランドでの研究によってだが、これには第二次世界大戦後に砂糖不足からキシリトールが代替糖として利用されていた背景がある。日本においても、戦前、戦中にキシリトールの研究が行われており、文献が残されている³⁾。そこではキシリトールをグリセリンの代替として用いることが述べられており、化粧品や煙草の原料、合成酒への添加といった利用が提案されている。さらには、キシリトールの硝酸塩が爆薬として利用できる旨の記述もあり、現代のキシリトールのイメージとは隔世の感がある。戦時中、大日本帝国陸軍が戦闘機の代替燃料としてバイオエタノールの研究を行っていたのは有名な話である。つくづく平和な時代に研究ができる幸運に感謝したい。



- 1) Ho, N. W. Y. *et al.*: US Patent 5,789,210 (1998).
- 2) The Literary Digest, May 17, 30 (1930).
- 3) 藪田貞治郎ら：日本農芸化学会誌, **16**, 1077 (1940).