

## 講演会記録

### 澱粉の消化とその応用

上田 誠之助\*

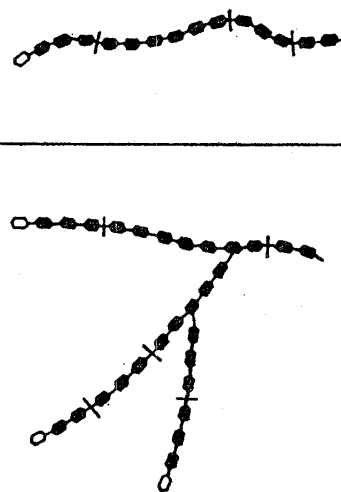
只今御紹介にあずかりました上田でございます。福岡先生から非常に身に余る御紹介を頂きまして、恐縮に存じます。

数か月前に、福岡女子大学の支倉先生から、調理科学研究会で何か話さないかというお話があったのですが、私自身、調理のことを全然存じませんので固くおことわりしたのですが、支倉先生が九大に内地留学にこられました時に、私どもの部屋で一緒に研究したことがありまして、それ以来いろいろお世話になっていますので、おことわりすることもできず、厚くましく参上した次第でございます。

しかも参りますと、私ども農芸化学会の大長老の小幡先生が前にひかえておられ、私自身非常に恐縮して、これまた話がしにくく、皆様方に非常に御迷惑をかけるのではないかと思います。しばらくの間御清聴の程お願いいたします。

でんぶんの消化とは、皆様よく御存知のように私どもが食物をとりました際、いわゆる唾液中の  $\alpha$ -アミラーゼででんぶんを大まかに切り、さらに腸の中でいろいろのアミラーゼとか、 $\alpha$ -グルコシダーゼで小さくして腸管から吸収することで、私たちの生命を維持しますのにもアミラーゼは非常に大事な酵素で、でんぶん様のものすなわちアミラシアウスなものを分解するという意味でアミラーゼと言います。これは一名ジアスターゼという名で呼ばれた時代があります。ジアスターゼとは、酵素という意味です。酵素＝アミラーゼと呼ばれた時代もある位にアミラーゼとは最も古くから知られている酵素です。現在アミラーゼにはどういう種類のものがあるかを皆様方に御紹介したいと思います。

第1図にありますのが、いわゆる  $\alpha$ -アミラーゼによるでんぶんの分解でありまして、図の上のがアミロース



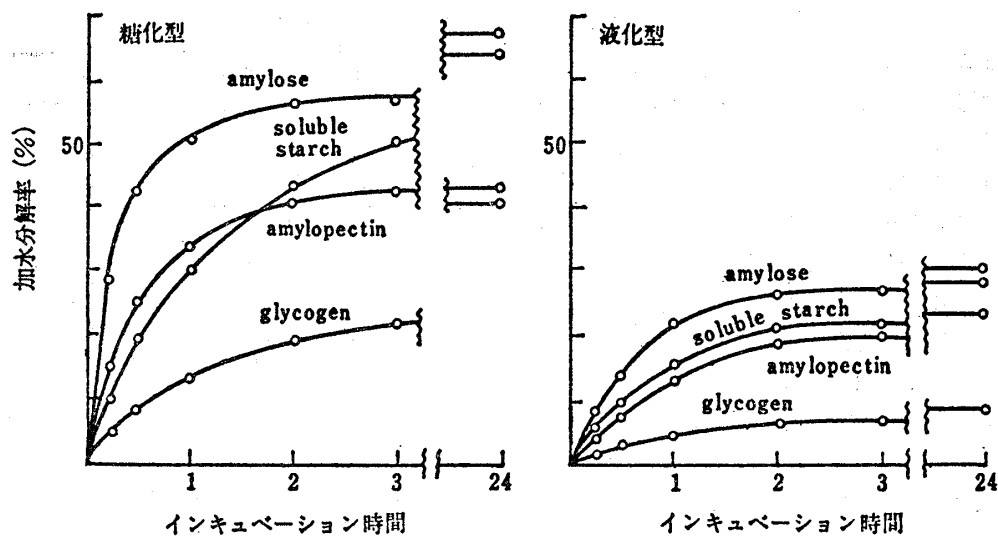
第1図  $\alpha$ -アミラーゼ

という直鎖状のグルコースの集まりです。それを大まかに切りますのが  $\alpha$ -アミラーゼです。下がアミロペクチンで、枝分れの構造をしています。やはり内部をアトランダムに切るのが  $\alpha$ -アミラーゼで、産業界で使います酵素のうちでも、最も利用されていますのが  $\alpha$ -アミラーゼです。 $\alpha$ -アミラーゼは唾液や膵臓の中にありますが一般によく知られていますが、しかし工業的に使用されているのは、バクテリアの  $\alpha$ -アミラーゼです。しかもバクテリアの  $\alpha$ -アミラーゼといっても、極端に性質の違う2種類の  $\alpha$ -アミラーゼがあります。

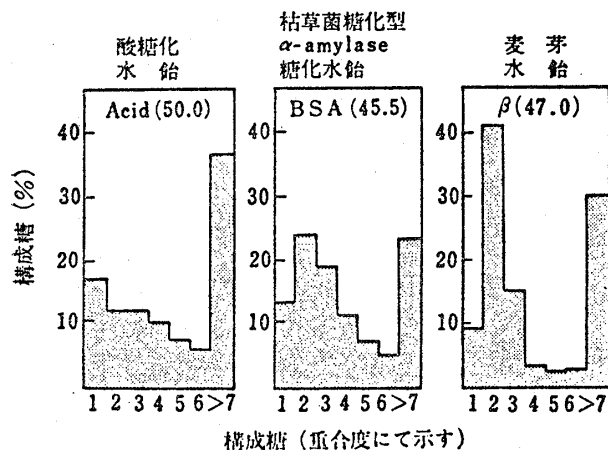
第2図は、液化型  $\alpha$ -アミラーゼと呼ばれる  $\alpha$ -アミラーゼによるでんぶんの分解を示していて非常に糖化の伸びが悪いのでありますが、これが工業的に一番使われています。例えば、捺染のために織物につけたでんぶんを捺染後取りますが  $\alpha$ -アミラーゼが大量に使われています。さらに食品工業においても、でんぶんを糊化しますと非常に粘度の高いものになりますので、まず  $\alpha$ -アミラーゼで前処理して粘性を下げませんと後の工程が大変

\* 九州大学農学部

澱粉の消化とその応用



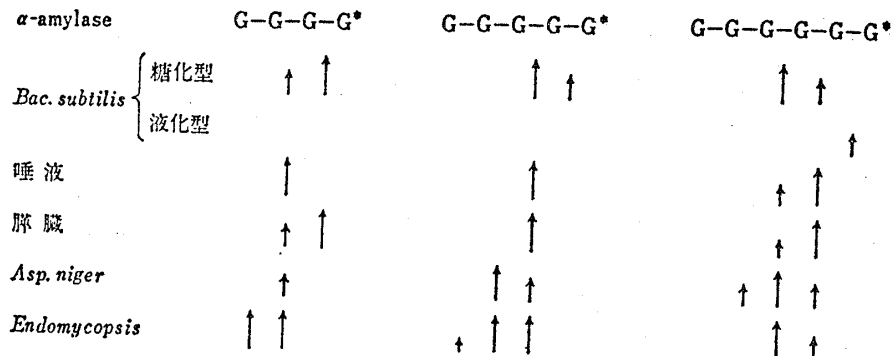
第2図 枯草菌糖化型 α-および液化型 α-amylase の種々基質における分解曲線



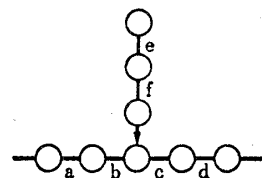
第3図 市販水飴の糖組成

ですので、α-アミラーゼが大量に使われております。ところが最近、図の左のように非常に糖化の伸びの高い糖化型の α-アミラーゼというのも見い出され、これを使って麦芽の水あめに近い水あめを作ろうとしています。第3図の通りです。

バクテリアの α-アミラーゼのみならず、いろいろな起源、例えば動物、バクテリア、かび、さらに酵母の α-ア



第4図 数種 α-amylase のオリゴ糖に対する作用 (矢印は分解位置を示し、またその長短は分解の難易を示す)



α-アミラーゼ源	生成される最小のオリゴ糖	各種結合への作用					
		a	b	c	d	e	f
唾液		+	+	-	-	+	+
<i>Bacillus subtilis</i>		+	-	-	+	+	-
ライムギ麦芽		+	+	-	-	+	+
オオムギ麦芽		+	+	-	+	+	+

第5図 分枝点付近への種々のアミラーゼの作用 (Marshall, 1972)

ミラーゼの作用機構が異なることが最近はっきりとしました。第4図の通りです。矢印の長い方がよく分解し、短い方はやや分解し、矢印がないと分解しないことを意味し、このように小さなオリゴ糖ですと、液化型は全然分解しません。ところが唾液のアミラーゼとか膵臓の α-アミラーゼは、非常に小さな分子、例えばグルコース4個からなるマルトテトラオーズでもよく分解して消化することがわかります。さらに一番下に書いてありますエンドマイコプシスという酵母では、

さらに小さなデキストリンを分解して、ブドウ糖とかマルトースにすることができます。

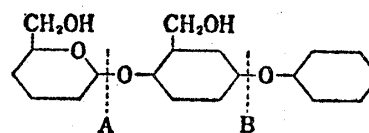
次に枝分れ構造の付近を  $\alpha$ -アミラーゼがどのように切断するかを示したのが次の第5図です。b, c ということに上の f からおりてきている矢印が枝分れの  $\alpha$ -1,6 結合ですが,  $\alpha$ -アミラーゼはそこを切ることはできませんが, その近くの  $\alpha$ -1,4 結合を切ることができます。アミラーゼの起源により, 分解する位置が異なりますので結局最終的にできます枝分れのオリゴ糖が違ってきます。このようにその  $\alpha$ -アミラーゼの起源によって, でんぷんに対する作用が非常に違うことがはっきりいたしております。

簡単に  $\alpha$ -アミラーゼの作用の違いを比較するのには, フェニール  $\alpha$ -マルトシドが使われます。第6図のに示

すようにフェニール基にマルトースがくっつきましたものです。液化型のアミラーゼは全然分解しませんが, かびのものと, ほとんどがBの位置でマルトースの形で切り, 酵母エンドマイコプシスの  $\alpha$ -アミラーゼはフェニールマルトシドをAで切り, フェニール  $\alpha$ -グリコシドを残します。 $\alpha$ -アミラーゼの種類により, 生成される糖が違いますので容易にお互いの間を区別することができます。

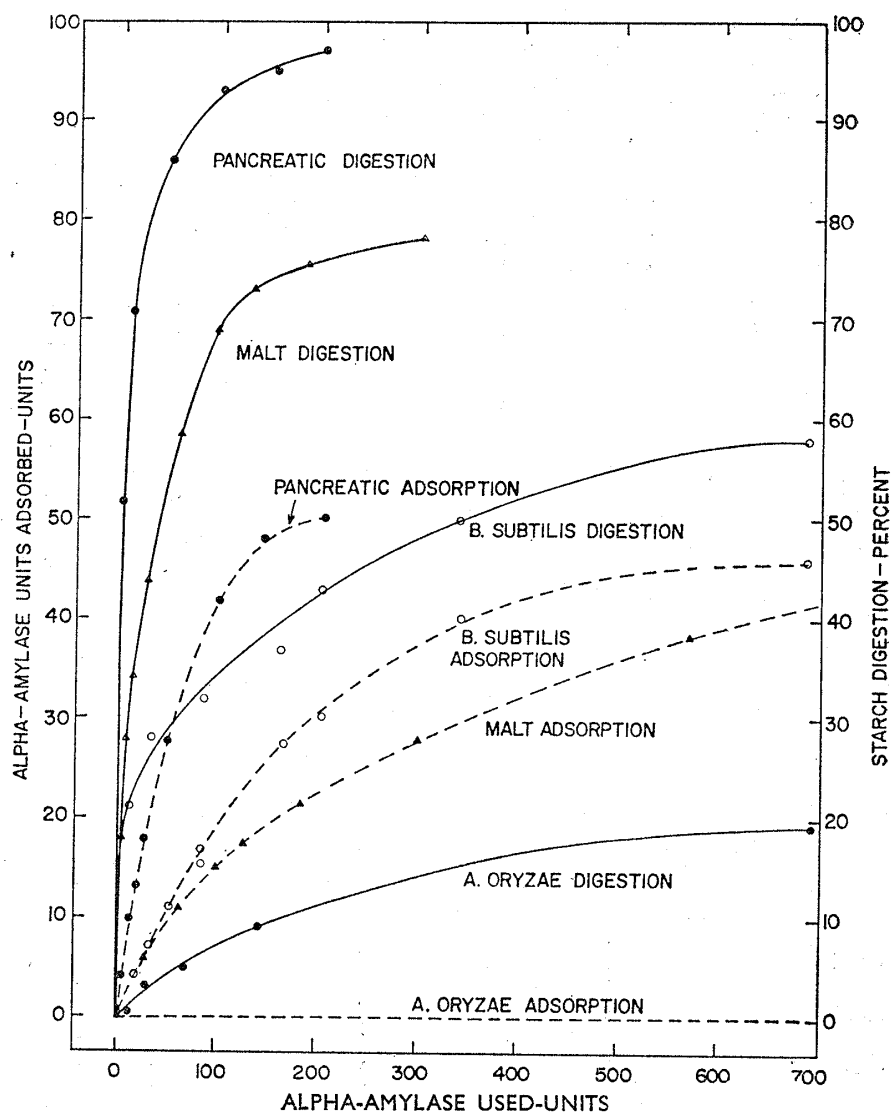
それで私は, 今からもう10数年前にアメリカで生でんぷんの分解をサンドステットという教授のもとで研究しました。そこでいろいろの  $\alpha$ -アミラーゼについて, やはり生でんぷん分解にも特異性があるのではないかとということで, 試験をしたのが次の第7図です。

実線が生でんぷん分解で横軸は加えましたアミラーゼ量で右の縦軸が生でんぷん分解率です。例えば100単位加えますと, パンクレアスの  $\alpha$ -アミラーゼは生のでんぷんを非常によく分解いたしまして, 100単位のパンクレアチンで生でんぷんを20時間位ではほぼ完全に分解する。次



(酵 素)	(分解位置)
細菌 液化型	—
" 糖化型	A, B
<i>Rhizopus delemar</i>	B
<i>Asp. niger</i>	B
<i>Asp. oryzae</i> (Taka A)	B
<i>Asp. niger</i> 耐酸性	B
<i>Endomycopsis</i>	A
<i>Cospora</i>	—
麦 芽 酶	—

第6図 フェニール- $\alpha$ -マルトシドに対する種々  $\alpha$ -amylase の分解型式

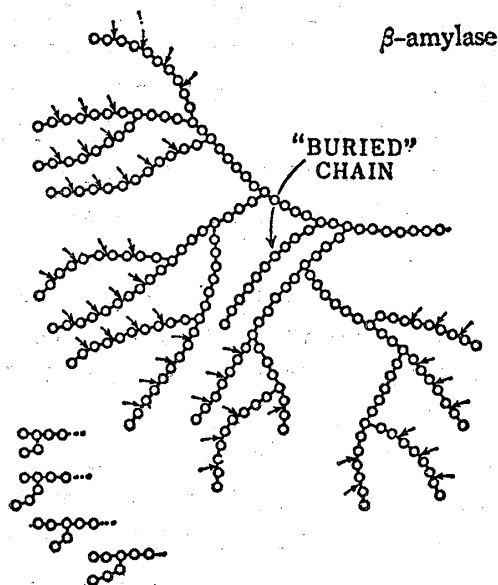


第7図 Comparison of adsorption and digestion as obtained from the action of increasing concentrations of pancreatic, malt, *B. subtilis* and *A. oryzae*  $\alpha$ -amylases on 363mg samples of maize starch. Adsorption at 10 min, digestion after 20 hr.

## 澱粉の消化とその応用

が麦芽でその次の3がバクテリアの $\alpha$ -アミラーゼで、4がきこうじ菌の $\alpha$ -アミラーゼですが、きこうじ菌の $\alpha$ -アミラーゼですと100単位を加えてもやっと5%位しか分解しません。そういうふうに $\alpha$ -アミラーゼの種類により、糊化でんぷんへの力価を同じにしてもこのように生でんぷん作用力価が違います。一方生でんぷんに吸着される $\alpha$ -アミラーゼ量を左の縦軸に示しておりますが破線のように膵臓の $\alpha$ -アミラーゼですと非常によく吸着し、例えば100単位を加えますと、そのうちの40単位は吸着されますが、黄こうじ菌のものは一番下に破線で示してありますように、全然吸着はおこりません。必ずしも正比例はいたさないのかもしれませんが、生でんぷん分解をつかさどる時には、やはりその生でんぷんにまずアミラーゼが吸着されるということが、一つの大きなファクターであることがよくわかります。例えば動物は昔から調理しない穀類を食べて生存してきた訳で、その時にそのでんぷんがよく消化されていたというのは、やはり膵臓の $\alpha$ -アミラーゼ、唾液の $\alpha$ -アミラーゼが生でんぷんによく吸着されるのでよく分解させるという非常に理にかなった当然のことが、研究から明らかになった次第でございます。

$\beta$ -アミラーゼは、御存知のようにアミロペクチンに作用いたしますと第8図に示すように非還元性末端から作用して、マルトースで切りますがこれもまた $\alpha$ -1,6結合のところでは止まります。でんぷんからマルトースを100%作りますには、後ほど申します $\alpha$ -1,6結合を切ります酵素を一緒にしますと、完全に100%マルトースが



第8図  $\beta$ -amylase の分岐基質に対する作用  
(French<sup>17)38)</sup>  
(左下、 $\beta$ -amylase で分解されない  
分岐オリゴ糖)

できますが、 $\beta$ -アミラーゼだけは第8図のように大きな限界デキストリンとマルトースができます。それで今までは $\beta$ -アミラーゼと申しますと植物起源のものだけが知られていました。特に甘藷の $\beta$ -アミラーゼが、アミラーゼの中では初めて結晶化されました酵素で、そのうち大麦の麦芽、小麦、大豆、大根などの $\beta$ -アミラーゼがそれぞれ結晶化されております。しかし後ほど申しますように、マルトースを工業的に作ることが意義があるということがわかりだしまして、自然界の植物に酵素起源を求めるのではまにあわないということで研究をしておりましたところ、やはり、パチルス・ポリミキサーとかシュードモナス、ストレプトマイセスといういろいろなバクテリアの中に $\beta$ -アミラーゼを生成するものがあるということが特に我国で見出されましたが、今のところその力価は甘藷など植物のものにおとりますのでバクテリア $\beta$ -アミラーゼの工業的生産の段階にはまだ達しておりません。しかしバクテリアの場合ですとそういうものに変異をおこさせることによりまして、非常に活性を高くすることができますので、おそらく植物の $\beta$ -アミラーゼもバクテリアの $\beta$ -アミラーゼにおきかわる日が遠くはないかと思っております。普通、大麦とか大豆の植物の $\beta$ -アミラーゼは生でんぷんには吸着されないのに、バクテリアの $\beta$ -アミラーゼは生でんぷんによく吸着されることが味の素の方によって最近報告されました。たまたま、一昨年私が、マイアミ大学にセミナーにまいりまして、先程も申しましたように生でんぷんの分解には、まず、生でんぷんへのアミラーゼの吸着が非常に大きなファクターで、おそらくバクテリアの $\beta$ -アミラーゼもこのように吸着性が高いから生でんぷんを分解するのではなかろうか、というようなことを申しましたら、たまたまそのマイアミ大学の生化学教室にバクテリアの $\beta$ -アミラーゼがありまして、早速実験しました所、甘藷の $\beta$ -アミラーゼはほとんど生でんぷんを分解いたしません、バクテリアの $\beta$ -アミラーゼは非常にスムーズに生でんぷんを分解することをみいだしました。そういうことでやはり生でんぷんに吸着されるから必ず生でんぷんをよく分解するとは申しませんが、生でんぷんに吸着性のアミラーゼが生でんぷんを分解する可能性があるといえると思います。

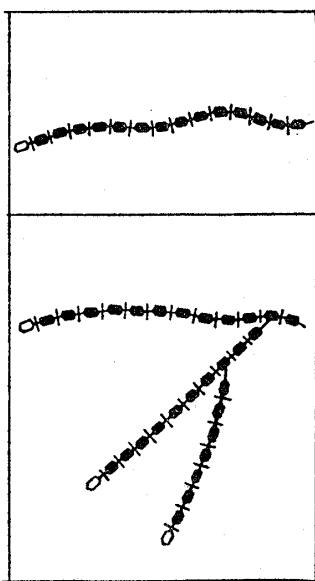
第1表に示すように $\beta$ -アミラーゼ資源は、だいたい植物からバクテリアの起源のものに今まさにあと2,3年ずるとかわるのではないかと思っております。その他にやはり、 $\beta$ -アミラーゼではありませんが非常にそれに似たものがたくさん見出されております。例えば第1表にみられるようにマルトース生成アミラーゼと書いておりま

第1表

$\beta$ -アミラーゼ	甘藷, オオムギ麦芽, コムギ, ダイズ, ダイコン
	<i>Bacillus polymyxa</i> <i>Pseudomonas</i> sp. <i>Streptomyces</i> sp.
マルトース生成アミラーゼ	<i>St. hygroscopicus</i> SF-1084 <i>St. praecox</i>
マルトトリオース生成アミラーゼ	<i>St. griseus</i>
マルトテトラオース生成アミラーゼ	<i>Ps. stutzeri</i>
マルトペンタオース生成アミラーゼ	<i>Bacillus licheniformis</i>
マルトヘキサオース生成アミラーゼ	<i>Aerobacter aerogenes</i>

すが、これもストレプトマイセスが生成します。この場合ですと、でんぷんにこの酵素を作用させますと、80%位のマルトースができます。それでしかもその時に、枝分れを切る力はどれもはっきりしておりませんが、おそらくこの酵素は、枝のところをさらに、先にバイパスしてゆくのだろうと考えられます。そして非常に奇妙なことに、ブドウ糖が3つくっついておりますマルトトリオースにこの酵素が作用

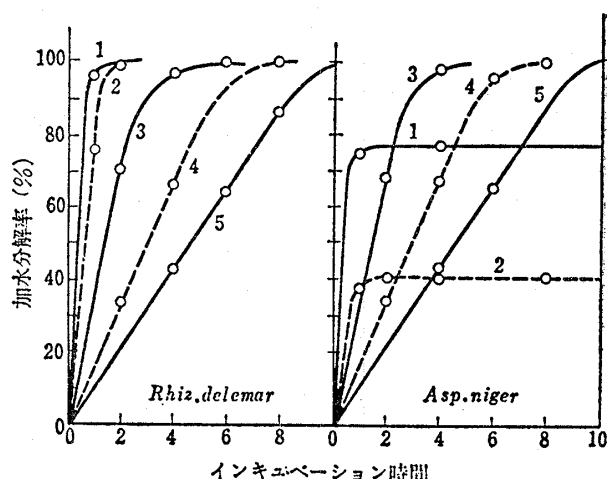
すると2分子のマルトトリオースから、3分子のマルトースを作り、グルコースが全然でてまいりません。そういうことでおそらく分子内の転移をおこしまして、マルトトリオースのうちの1分子のブドウ糖は次のマルトトリオースにくっつき、マルトテトラオースになってマルトースが2分子できる。そういうことで、計2個のマルトトリオースから3個のマルトース



第9図 グルコアミラーゼ

ができると考えられております。さらにマルトテトラオース、マルトペンタオース、マルトヘキサオースをそれぞれたくさん作るアミラーゼが見出されています。

それから次の第9図のように、グルコース単位で非還元性末端から切っていきますグルコアミラーゼがございます。このグルコアミラーゼは、この図に示しますように非還元性末端からアミロースですとほとんど完全にブドウ糖にしますし、アミロペクチンですと $\alpha$ -1,4だけではなくてさらに、枝分かれの $\alpha$ -1,6の所も切り、100%ブドウ糖にします。一般にアミラーゼの場合、 $\alpha$ -1,4だ



第10図 2種の glucoamylase の種々基質に対する作用

1: アミロペクチン, 2:  $\beta$ -リミットデキストリン  
3:  $\alpha$ -リミットデキストリン, 4: アミロース  
5: パノース

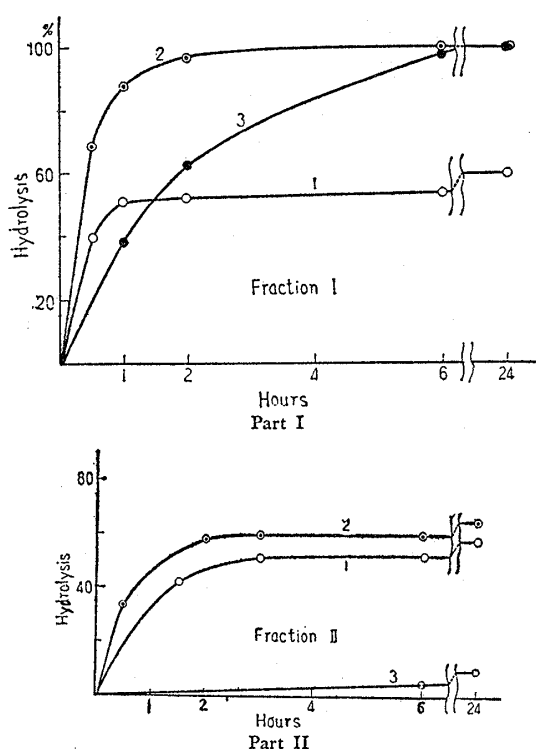
けを切るのが普通ですがこのグルコアミラーゼは、 $\alpha$ -1, 4・ $\alpha$ -1,6の両方とも切るといふ非常にかわった酵素です。ところがその $\alpha$ -1,6を切ります能力は、カビの種類によって違います。

第10図は、大阪市立大学の名誉教授の福本先生の図です。左側のリゾプス・デレマーのグルコアミラーゼは $\alpha$ -1,6を切る力が強いので、でんぷん系のほとんどすべてのものを100%グルコースに分解します。ところが、右の図は、アスペルギルス・ニーゲルの場合で、 $\alpha$ -1,6結合が切断されにくくアミロペクチンも完全には分解されません。そういうふうにカビの種類によりまして $\alpha$ -1,6結合を切りやすいものと切りにくいものがあることがわかります。ところが私もアスペルギルス・アワモリといって沖縄のあわもりを作ります時の黒こうじ菌ですが、そのグルコアミラーゼを研究しておりましたら、それは1つの菌株のグルコアミラーゼの中に先程のリゾプスタイプとニーゲルタイプを両方ともつくるということを見出しました。

第11図の上のがいわゆるほとんど100%でんぷんを分解するグルコアミラーゼで、下のほうがでんぷんを70%近くしか分解できないグルコアミラーゼです。1957年ころこれは報告いたしました。

一方、でんぷんは大別して2種類のでんぷんがあります。すなわち地下でんぷんと地上でんぷんです。例えば、コーンスターチとか、米のでんぷんにはリン酸がないのですが、馬鈴薯でんぷん、甘藷でんぷんには、エステル状についたリン酸があり、これがアミラーゼの作用をじゃまするのであります。馬鈴薯でんぷんからバクテリアの $\alpha$ -アミラーゼでとりましたブドウ糖が10個位くっつ

## 澱粉の消化とその応用



第11図 Comparison in Hydrolysis of Amylaceous Materials by Fraction I (Part I) with that by Fraction II (Part II).

Hydrolysis curve in both figures :

Curve 1 ; on soluble starch.

Curve 2 ; on glutinous rice starch.

Curve 3 ; on  $\beta$ -LD (glycogen).

The reaction mixture contained 10.0 mg of substrate, 2.6 units of saccharogenic amylase fraction I (Part I) or 1.6 units of saccharogenic amylase fraction II (Part II) ; volume 20 ml.

き、リン酸が1個くっついたホスフォデキストリンにグルコアミラーゼを働かせるとだいたい50%までグルコアミラーゼで分解します。そしてこの所で、ホスファターゼといいますリン酸を切り離す酵素を加えますと無機リン酸ができますとともに、またデキストリンの分解がおこり、デキストリンは完全にグルコースにされます。こういうふうにいたしましてグルコアミラーゼの場合にもやはりでんぷん分解をじゃまするということがわかります。例えば北海道のように馬鈴薯でんぷんがたくさんとれるところで、ブドウ糖を製造します時には、やはりホスファターゼを加えませんかとでんぷんは完全にはブドウ糖になりません。ホスファターゼを加えませんかとホスフォデキストリンがイオン交換樹脂につまりまして、非常に製造工程を阻害するといわれております。ホスファターゼをどのようにしたらたくさんとれるかの研究をしました。一般に培養液中のリン酸の濃度は68mg/100mlですが、これではホスファターゼはほとんどできません。それをグーッと減らしまして、1mg/mlと培養

液を非常にうすい濃度にしますと、ほとんど2000倍にも近いホスファターゼができ、もしホスファターゼを作りたい場合には培地中のリン酸を下げますとたくさんでてくることがわかりました。

さらにアメリカでやっと2種類のグルコアミラーゼが1つの菌の中にあるということが71年頃からいわれまして、アメリカでも真剣にそれにとりくむようになりまして、今年の9月にアメリカの化学会の年次大会がマイアミビーチであり、そこでアミラーゼのシンポジウムをするので演者になって来いと言われておりまして、やっと目の目をみてシンポジウムにでて、この点につきましてむこうの人とディスカッションしたいと思っております。

いろいろのこうじ菌とかリゾプスとか私どもの所でグルコアミラーゼの比較をしております。アスペルギルス・オリゼーといって私どもが酒をつくったり、醤油をつくったりいたします大事な菌ですがそのグルコアミラーゼを調べましたところ、DEAE-セファデックスのA-25を用いますと非常にはっきり分れてグルコアミラーゼ1,2,3がでできます。そしてグルコアミラーゼ1と申しますのだけが生でんぷんを非常によく分解して、しかも $\alpha$ -1,6結合を非常によく切る酵素でございます。そういうことで何もアワモリだけでなく、日本古来の我々が使っておりますオリゼーにつきましても、やはりグルコアミラーゼの中には、 $\alpha$ -1,6を非常によく切るものと切らないものがあるということがわかりました。

さらに先程も福場先生が申されましたようにこれは、不完全菌のプルラリア、昔はデマチウムといっております、最近ではまたオオレオバンディウムという名前でも呼ばれておりますがこれは静置培養いたしますと酵母様の細胞になります。この時に非常に液が粘性になりましてグルコースのポリマーができます。そのプルラリアですのプルランという名前がつけられました。その構造はブドウ糖が3つ、マルトトライオーズになりましてそれが、 $\alpha$ -1,6でくっついて階段状になったものです。ところがこれを切ります酵素がプルラナーゼといい、 $\alpha$ -1,6を切るのです。ところがそのようにプルランの $\alpha$ -1,6を切りますばかりかアミロペクチンに作用しましてもプルラナーゼは $\alpha$ -1,6結合を切ってアミロースを作るのです。枝分れを切りますのでこれを先程の $\beta$ -アミラーゼといっしょに用いますとでんぷんは完全にマルトースになります。その他にイソアミラーゼというのがあります。これは東京大学を今度御退官になられました丸尾先生たちが酵母の中に見いだされたもので、この場合はアミロペクチンには作用しますが、プルランには作用しません。

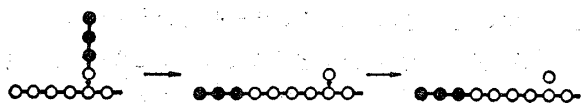
このような枝切り酵素はまた植物の中とくに玄米とか

馬鈴薯の中にもあります。

イソアミラーゼは細菌(シュドモナス)の中にもあることが見いだされています。その他にも一つ、のちほど申しますけれど  $\alpha$ -アミロ-1,6-グルコシダーゼ-4- $\alpha$ -グルカノトランスフェラーゼというややこしい名前のものがやはり枝切りをいたします。こういうふうには3種類がございます。もっぱら今は、プルラナーゼとシュドモナスのイソアミラーゼが工業的に使われております。

私どもは、先程のアエロバクター、アエロゲネスのプルラナーゼを非常にたくさんつくる菌をみつけ出しまして、特に窒素源に硫酸を用いますと、細胞結合型で酢酸アンモンを用いますと菌体外すなわち液中にプルラナーゼを作るというおもしろい現象を見いだしました。酢酸アンモンの場合ですと菌体外のプルラナーゼは100時間位で最高に達します。菌体内の酵素は全然作りません。ところが硫酸を用いますと10数時間で菌体の中にプルラナーゼを著量に作ります。それぞれのプルラナーゼを結晶化してそれぞれ性質を決めておりますが、10時間で菌体とプルラナーゼと同時に作るという菌体内酵素の方が経済的にメリットがありますので菌体内酵素生成菌体を溶存酸素一定での連続培養することに成功しました。

$\beta$ -アミラーゼに対しましてプルラナーゼもイソアミラーゼもそのように加えますとでんぷんから100%マルトースができてきます。マルトースを工業的にこの方法で大量生産いたしており、マルトースは主に注射薬に使っております。特に糖尿病患者のように血液の中にグルコースが入るとまずい場合、このマルトースを分解します  $\alpha$ -グルコシダーゼがありませんので血糖の上昇なしにマルトースの注射ができるということでマルトースが使われております。さらに又、それを水素添加して糖アルコールにいたしましたマルチトールというのはカロリーになりにくい甘味料としても使われていると聞いております。その給源にはプルラナーゼとかイソアミラーゼが使われているのであります。ところがそのプルラナーゼの至適温度が45°Cで、その45°Cは雑菌汚染の心配があって工業的に非常にむずかしい糖化プロセスなのです。その糖化を45°Cではなくて、60°Cにあげれば非常にスムーズにいけますのでもう少し高熱性のプルラナーゼはないかと私どもは天然からさがしたわけで、幸いにここにでおります放線菌から、高温性のプルラナーゼを作

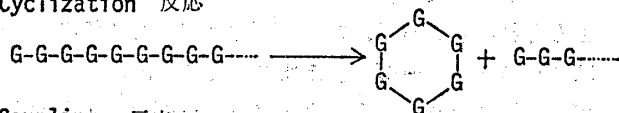


第12図 アミロ-1,6-グルコシダーゼ/トランスフェラーゼによるホスホリラーゼリミットデキストリンの枝切り順序

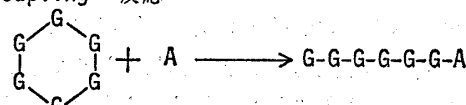
りました。これは60°Cに適温がありますので先程の45°Cからみると非常に使いやすいものです。ただこの場合はカルシウムによる保護をうけます。一般にプルラナーゼはあまりカルシウムの保護を受けないのですが、この場合はカルシウムを加えた時初めて保護をうけるという興味ある酵素です。アミロ-1,6-グルコシダーゼ/トランスフェラーゼによります枝切りと申します。第12図にありますような枝の黒丸で書いてある3つが枝の1つ前で切れ、これが主鎖の方へ移ります。主鎖に移りますと残りのグルコースがアミロ-1,6-グルコシダーゼでグルコースだけが切れるわけで、こういうことで枝を切る酵素が家兎の筋肉にみいだされました。ところがその後、酵母の中にもこの酵素があることがわかりました。そういうことで先程の東大の丸尾先生たちのイソアミラーゼは分枝を直接切る酵素だと言われているので酵母に分枝点を直接切断するものと間接的に切断する2種類の酵素があるのかどうか今、盛んに研究されている段階です。

次は、マセランズのエンザイムと昔いわれた酵素で第13図に示しますように、できますベンゼン形をしましたグルコースが1,4結合だけで、6つ集まりましたものをシャーリングの  $\alpha$ -デキストリンという名前と呼ばれておりましたが、6つのものと、7つ、8つのいろいろの、そういう手をつないだ環状のものができますのですが、そのマセランズのエンザイムの1つの作用をサイクリゼーションと申します。しかも同じ酵素がカップリングと申しまして、Aという基質がございますと、今度は、そのリングがはなれましてああいうAというものに、さっとくっつくわけです。これをカップリングアクションといいます。さらにまた同じ酵素が、グルコースが3つのマルトトライオーズに働きますと、グルコースが1つのものや、さらにグルコースが4つのデキストリンとかに変わるわけでした、加水分解ではなしにトランスがおこるわけです。それをディスプロポーションエイションといっておりますが、そういう3つの作用をもつおもしろい酵素をバチルス・マセランズというのが生成します。

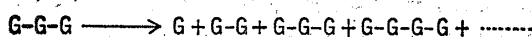
### 1) Cyclization 反応



### 2) Coupling 反応

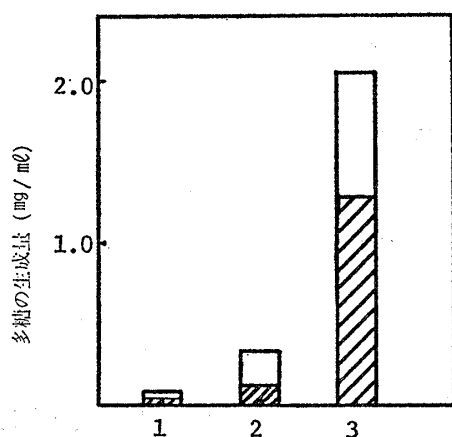


### 3) Disproportionation 反応



第13図 Cyclodextrin glycosyltransferase の作用  
G: グルコシル基 - :  $\alpha$ -1,4結合を示す。

## 澱粉の消化とその応用



第14図 *Streptococcus mutans* JC 2株の分泌する酵素による種々糖類からの多糖類の合成

1: 蔗糖を除去した砂糖水飴, 2: 砂糖水飴, 3: 蔗糖  
 □: 可溶性多糖類, ▨: 不溶性多糖類

これを今、工業的に使おうとしております。

これは大阪の市研の岡田博士らによって行なわれたもので、この酵素にでんぷんとショ糖を加えますとショ糖が先程のBに相当し、それがアクセプターとなりましてそれにグルコースが1つついたり、3つついたり、4つついたりいたします。そういうカップリング反応で糖ができます。甘いデキストリンでこれにカップリングシュガーと名前がついております。今まで虫歯というのは、乳酸菌が出します不溶性の多糖が歯の表面にできて、その中で乳酸菌が繁殖して虫歯になるのだという、そういう不溶性の多糖ができることがいけないといわれているわけですが、その不溶性多糖を生成するストレプトコッカス・ムタンスの培地に砂糖を加えますと第14図に示すようにたくさんの不溶性多糖ができます。ところが純粹のカップリングシュガーを培地に加えた方では、ほとんど不溶性多糖は作られない。そういうことでカップリングシュガーは虫歯にならない甘い水飴ということになります。

先程高熱性のプルナーゼを作る菌を得たと申しまし

たが、それを研究いたしておりましたら、その菌がアミラーゼの活性を阻害するアミラーゼインヒビターというものを作ることを初めて見いだしました。その当時まではただ植物にだけアミラーゼインヒビターというものがあったタンパク様の物で分子量が3万～4万という非常に大きなものですが私どものところで見いだした微生物生産のアミラーゼインヒビターは、グリコペプチドで、千～2千位の分子量の物です。それで非常にアミラーゼに結合しやすく、普通植物のアミラーゼインヒビターですとでんぷんに作用させます前に、アミラーゼとアミラーゼインヒビターをよく混ぜておいたのちにでんぷんに作用させますと阻害が起こるのですが、この場合にはでんぷんの中にいきなりインヒビターを加えても、アミラーゼにくっつきまして、アミラーゼはでんぷんの分解を起こさないのです。例えばねずみのえさにアミラーゼインヒビターを加えておき、それを食べさせますと、80%以上は消化管を素通りして、糞の中にそのでんぷんは出てくるのであります。そういう非常に強力なアミラーゼを阻害する物を見いだしまして、このアミラーゼインヒビターが非常によく阻害作用を示すアミラーゼは、かびのグルコアミラーゼ、バクテリアのサッカロゲンニックな糖化型のアミラーゼ、それから唾液、パングレアスなど、動物性のアミラーゼです。さらにアミラーゼインヒビターを精製していきますと4種類のアミラーゼインヒビターに分かれましてα-グルコシダーゼによく作用するものやホスホリラーゼを阻害するものなどに分れます。先程のサイクロデキストリン・トランスグルコシダーゼにも、容易にこれは阻害作用を示します。放線菌はあらゆる酵素のインヒビターを作り出すのではないかと思います。これらによってでんぷんの消化がさらにレギュレートされて、少しでも我々人類の栄養にプラスになる方に役立てばと考えながら、研究を進めております。

雑駁な話、御清聴を感謝いたします。