アミラーゼと酵素化学の進歩

山 本 武 彦*

Researches of Amylase and Their Effects on Advances in Chemistry and Industry of Enzymes

Takehiko YAMAMOTO

Department of Biology, Faculty of Science, Osaka City University
(Sumiyoshi-ku, Osaka 558, Japan)

1. A brief history of researches of amylase is described in regard to the development of production and application of enzymes.

2. The industrial production of several amylases in Japan is also described.

3. Specificities of several amylases are discussed from the point of view of molecular biology with a special reference to the facts such as—both α - and β -amylases found in animals and higher plants, respectively, exist in certain bacteria belonging to *Bacillus*. Generally, the bacteria produce one amylase of either α - or β -. Furthermore, the bacteria producing α -amylase produce only one type of α -amylase of either starch liquefying or saccharifying. The bacterial amylase is very similar in the specificity to that of the enzyme of higher plants or animals. Thus, it is presumed that the information gene for building amylase protein has been completed in an early old era of history of biology and that the diversity in specificity of amylase has occurred by gene mutation. This consideration may call the hypothesis again that the specificity of α -, β -, exo- or endohydrolysis type of amylase depends upon minor difference in the amino acid sequence of catalytic and binding sites of amylase protein.

4. The amylases to attack raw starch granules and several other enzymes to favor the saccharification of the starch in uncooked starchy material by amylase are also discussed in connection with improving the pretreating method of uncooked starchy material for alcohol fermentation.

1. はじめに

食物消化の科学的詮索は18世紀中頃からはじまった。当初は肉類の *in vivo* における消化、次いで澱粉の *in vitro* における分解が注目された。

1914年化学者 G. S. C. Kirchhof¹⁾ は、小麦種実の粘質部分に澱粉を分解してデキストリンと還元糖を生ずるものがあること、また生体組織とこれを包囲する汁液との間で接触作用 (katalytischen Prozessen) が行われるとの見解を発表した。Kühne²⁾ が酵素の語の使用を提案

したのはこれより40年足らずのちのことである。

アミラーゼの研究史で最も画期的なのは、1833年フランスの農芸化学者 Payen と Persoz³⁾ が麦芽の水抽出液にアルコールを加えて生じる白色沈殿物が澱粉を分解する事を見出したことである。彼らの業績は偉大であったため、Pasteur はそれを記念してその種の生物起源作用物質に対して diastase と呼ぶことを提唱したことがある。その後しばらくして動物腺に強力な消化作用があることが見出され、消化剤として使用されるようになった。酵素の生産と利用上特筆すべきことは、高峰譲吉博士⁴⁾ が、前世紀末麹菌を麹を培地として麹式に培養し、その水抽出液よりアミラーゼを分画沈殿させてタカジア

* 大阪市立大学理学部 (558 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

スターゼを製したことである。これは酵素の工業生産として最初のことで、しかもアミラーゼが主対象であったことはアミラーゼ研究者として銘記すべきであろう。

今世紀に入って間もなくフランスの Boiden, Effront⁵⁾ は好気性細菌のアミラーゼの培養による生産についてフランスおよび米国の特許を申請した。このアミラーゼ製剤は1930年前にドイツを経て日本にも輸入された。これは織物の糊抜剤としてもっぱら麦芽を使用していた日本の織物業者あるいは麦芽製造業者に多大の関心を引き起こし、10年後には恩師福本寿一郎先生の研究などにより日本でも細菌アミラーゼの生産が行われるようになった。

他方アミラーゼの特異性については麦芽のアミラーゼ系がもっぱら研究され、澱粉溶液に作用してその粘度を急速に低下せしめるとともにヨウ素反応を消失せしめるが、還元糖の生成はさほどではないアミラーゼを α 、一方澱粉溶液のヨウ素反応をほとんど変化することなく還元糖（マルトース）を生じるアミラーゼを β と名付けることを Kuhn⁶⁾ が提唱した。 β は変旋光が+、すなわち生成するマルトースは β -アノマーであり、他方 α は変旋光が-、すなわち α -アノマーの還元糖を生じるからである。Kuhn の言う α -アミラーゼ、 β -アミラーゼ画分の作用様式についてはそれまでも研究されていて α -アミラーゼは澱粉のデキストリン化反応が先行し、還元糖の生成は後続的に行われるなどのことがすでにわかっていたが、後年 Myrbäck ら⁷⁾ は、それまで判明した澱粉の化学構造と作用様式を考慮して α -アミラーゼを endoamylase、 β -アミラーゼを exoamylase と分類した。これもアミラーゼの分類ないし作用様式の理解に對したしかに有益な見解と思われる。

上述の事実が総説あるいは成書にまとめられている間に1946年 Balls らが甘藷の β -アミラーゼ⁸⁾ を結晶として分離することに成功した。これが契機となったのかその後種々の α -アミラーゼが結晶として分離され、酵素化学的たん白化学的性質が一段と詳しく研究されるようになった。

また一方では長い間細々と研究されていたかび類の糖化力が1950年代になってにわかに多数の研究者の注目を集めた。そもそまかびのアミラーゼ系は日本人によって独占的に行われていたと言ってよい。喜多氏によって黄麹菌がブドウ糖を生成することがすでに1913年に報告され⁹⁾、1936年北野氏は黄麹菌の糖化酵素を β -アミラーゼとした¹⁰⁾。1950年代に入り、岡崎氏はその糖化酵素をタカアミラーゼBと呼んで詳細な研究を行い¹¹⁾、また北

原、久留島氏らは *Aspergillus awamori* の糖化酵素を γ -アミラーゼ（マルターゼ使用は認められなかったとして他起源糖化酵素と区別するためこのように命名したものである）と呼んでその性質等について報告している¹²⁾。同じ頃米国の Caldwell 女史らは *Rhizopus delamar* の糖化酵素を glucamylase と呼んで報告した¹³⁾。それまで日本では、アミラーゼ給源としてのかび類はほとんど *Ascomyceteae* に限られていたが、Caldwell 女史らの報告と偶然軌を一にして日本でも *Phycomyceteae* 糸状菌についてアミラーゼが検討され、福本、辻阪氏らによりまず糖化酵素（のちになって glucoamylase と呼ばれるようになった）が結晶として分離され¹⁴⁾、しかも間もなくこれを用いて澱粉からブドウ糖を製造する方法が工業的に確立された。

アミラーゼの基質である澱粉、グリコーゲンの化学構造についての研究史は省略するが、たとえばアミロペクチンは α -1,4-グルコシド結合のほか、数%の α -1,6-グルコシド結合を有すること、また非還元末端グルコース残基も全グルコース残基に対し数%あることが明らかにされ、アミロペクチン、グリコーゲンに対し Meyer¹⁵⁾ によって1940年代はじめに樹状構造が提案された（アミロースはマルトースから成る多糖と定義された）。

著者がアミラーゼの研究に入った頃までの国内外の研究の状況ないし経過は上述のとおりである。アミラーゼの研究はそれ以後ももちろん続くが、その主なる研究は日本で行われたことは注目に価する。次にアミラーゼシンポジウムなどで発表された研究を主なデーターとして、アミラーゼの特異性、たん白化学、応用などについて述べる。

2. アミラーゼの生産

ある種の酵素ないしたん白の生成の条件あるいは機作についての報告は比較的多数みられるが、酵素の生産を著しく増強させる研究は、微生物の変異株獲得の方法を含めても少ないように思われる。これは直接企業秘密になるためかもしれない。

抗生物質のような二次代謝産物の場合、その生合成にいくつかの酵素が並列的に関与し、その生合成は、異常物質の存在しない限り、最も反応速度の遅い酵素によって規制されることは言うまでもないが、アミラーゼのようなたん白の生合成は、酵素が直列的に関与し、アミノ酸のアデニル化からはじまり、リボゾーム上で m-RNA の指令の下に合成され、最後に活性たん白として仕上げられる。m-RNA および酵素合成の始動条件を除

けば、関与する酵素系の多くは、他のたん白の合成にも共通で、したがってある酵素たん白の生成能力を増強する方法ないし条件は、二次代謝産物の増強のそれより案外容易かもしれない。

著者が *Bacillus amyloliquefaciens* Fukumoto の α-ミラーゼ産生の条件の検討をはじめたのは1950年であった。当時は麴麴式培養と 5 l 容のフェルンバッフガラスコに少量のエタノールを添加した大豆粕抽出液を入れて静置表面培養を行っていた。その頃の現場での α-ミラーゼ活性は液体静置培養で 1 ml 当り 200 単位、麴麴培養物の乾燥品 1 g 当り 1000~1200 単位であった。

酵素生産を増大するには使用菌株のスクリーニング、培養条件の改善など初歩的工夫、次いで使用菌株の人為的突然変異の誘発、さらには遺伝子の組換えなどが考えられる。現在細菌 α-ミラーゼの生産は現場で培養液 1 ml 当り 9,000~10,000 単位が通常値で、結晶 α-ミラーゼたん白換算で 1 ml 当り 6.0~7.0 mg に相当し、これは 1 ml 中の菌体重量の 2/3、菌体たん白と比較するとむしろ多い量であり、また培養当初の培養液 1 ml 中の N 量との関係でみると総 N の約 40% が α-ミラーゼたん白に変換したことになる。現在使用されている使用菌株は単に N-メチル-N'-ニトロ-N-ニトロソグアニジン (NG) 処理で得られた突然変異株¹⁶⁾と聞いている。これらの事実から、そのような多量の α-ミラーゼ生産は、増殖させながらの細菌細胞によって α-ミラーゼを生成分泌させる方法ではもはや限界でたとえ遺伝子の組換えによってもそれ以上の α-ミラーゼ生産は望めないように思われる。

同様の例は *Rhizopus* 属糸状菌によるグルコアミラーゼ生産においてもみられ、かつては麴培養物の乾燥品 1 g 当り 120~160 単位であったものが、いまではその約 15 倍くらいが現場の平均酵素力となっており、結晶酵素の活性から換算すると麴が当初有していた N 量の 40% 近くがグルコアミラーゼたん白に変換したことになるようである。同方法によるグルコアミラーゼの生産も微生物生理・生化学的見地からは限界で、それ以上の生産は全く別の発想によらねばならないように思われる。

現在産業用酵素としての α-ミラーゼ剤には上述 2 種のほかに *Aspergillus oryzae* の α-ミラーゼ剤がある。これはいわばタカアミラーゼ剤で、タカアミラーゼは熱による可逆的変性のみごとで、加熱時失活し、放冷すると活性を回復し、また他の α-ミラーゼに比べマルトースの生成が勝れている。マルトースは乾燥などによるパンなどの変質を防止するので、製パンなどに使用される。

β-アミラーゼはマルトース製造工業においては必須の

もので、これはいかなる化学的方法によっても置換えられない。すなわち酵素の特異性利用によってはじめて成立した工業である。β-アミラーゼには現在大豆起源のものが使用されている。微生物起源の β-アミラーゼ (植物 β-アミラーゼと同様に SH-酵素) も研究され、その生産力も新家氏ら²⁷⁾によりずいぶん高められたが、まだ産業的に生産されるまでには至っていない。

Aspergillus niger の糖化酵素¹⁷⁾、*Bacillus stearothermophilus*¹⁸⁾ およびその類縁菌の超耐熱性 α-アミラーゼもそれぞれ市場酵素剤となっている。またマルトース製造工業では、澱粉中の α-1,6 結合を分解してマルトース収量を上げるためプルラーゼなどを利用する。プルラーゼも市場酵素になっているが割愛する。

すでに述べたが、酵素を多量に分泌させる条件についての学術的解析報告の少ないのは残念なことである。この研究は酵素利用工業の発展には避けて通れない研究であるとともにそれは学術的にも重要なことが多い。できる限り酵素製造業者もその種の研究を公表されることを期待する。

3. α-ミラーゼの特異性と分子生物学

α-ミラーゼは澱粉、グリコーゲンを加水分解する酵素と定義されている。Enzymic Nomenclature Recommendation (1978) of the Nomenclature Committee of the International Union of Biochemistry, Academic Press Inc. の主なる α-ミラーゼについての推奨名、系統名とその根拠等についての記事を表 1 に示す。澱粉、グリコーゲンを加水分解する酵素は表 1 以外にもあることはもちろんである。α-ミラーゼに属すると考えられる種々の新しい α-ミラーゼやそれらの転移作用の有無強弱などから α-ミラーゼの分類をどうすべきかについては α-ミラーゼシンポジウムで再々討論された¹⁹⁻²²⁾。ここでは α-ミラーゼの分類に関して云々するつもりはないが、分類に無理をする必要はないだろう。

いろいろの生物にみられる α-ミラーゼは、緑色植物によって澱粉が合成されるようになってからそれらの生物が持つようになったと思われる。生物界の歴史は長く、現在みられる α-ミラーゼを有する生物はそれまでの間いろいろと変化 (進化? 退化?) した結果の生物であろう。またそうだとするとそれらの生物のたん白についてもやはり変化があったと考えられる。表 2 に示すように、高等植物界にみられる β-アミラーゼは細菌類にもみられ、いずれも化学反応性-SH 基を有するたん白ではある。しかしそのような α-ミラーゼは動物界に見出された例は

表 1. アミラーゼの主なる分類 (E. C.)

3.2 GLYCOSIDASES

Glycosidases are classified under hydrolases, though some of them can also transfer glycosyl residues to oligosaccharides, polysaccharides and other alcoholic acceptors. The glycosidases are subdivided into those hydrolysing *O*-glycosyl-, *N*-glycosyl- and *S*-glycosyl-compounds (3.2.1, 3.2.2 and 3.2.3, respectively).

3.2.1 HYDROLYSING *O*-GLYCOSYL COMPOUNDS

Number	Recommended name	Reaction	Other names	Basis for classification (Systematic name)	Comments
3.2.1.1	α -Amylase	Endohydrolysis of 1,4- α -D-glucosidic linkages in polysaccharides containing three or more 1,4- α -linked D-glucose units	Diastase, Ptyalin, Glycogenase	1,4- α -D-Glucan glucanohydrolase	Acts on starch, glycogen, and related polysaccharides and oligosaccharides in a random manner; reducing groups are liberated in the α -configuration
3.2.1.2	β -Amylase	Hydrolysis of 1,4- α -D-glucosidic linkages in polysaccharides so as to remove successive maltose units from the non-reducing ends of the chains	Diastase, Saccharogen amylase, Glycogenase	1,4- α -D-Glucan maltohydrolase	Acts on starch, glycogen and related polysaccharides and oligosaccharides producing β -maltose by an inversion
3.2.1.3	Exo-1,4- α -D-glucosidase	Hydrolysis of terminal 1,4-linked α -D-glucose residues successively from non-reducing ends of the chains with release of β -D-glucose	Glucoamylase, Amyloglucosidase, γ -Amylase, Lysosomal α -glucosidase, Acid maltase	1,4- α -D-Glucan glucohydrolase	Most forms of the enzyme are able also rapidly to hydrolyse 1,6- α -D-glucosidic bonds when the next bond in sequence is 1,4, and some preparations of this enzyme hydrolyse 1,6- and 1,3- α -D-glucosidic bonds in other polysaccharides. This entry covers all such enzymes acting on polysaccharides more rapidly than on oligosaccharides

なく、また糸状菌類についてもその存在は知られていない。アミログルコンダーゼとみなされる酵素は動植物、微生物に広く分布するが、ある種の糸状菌のそれはいわゆるグルコアミラーゼで β-アノマーのグルコースを生ずる。動物にみられるアミログルコンダーゼ様酵素は α-アノマーのグルコースを生成する。細菌類の産するグルコンダーゼは α-グルコンダーゼであることが多い。α-アミラーゼは生物界に広く分布するがいずれも Ca 酵素である。作用細部特異性にはかなりの差があり麦芽の α-アミラーゼは *Bac. amyloliquefaciens* の液化型に近似し、他方豚膵アミラーゼは枯草菌糖化型 α-アミラーゼに近い。タカアミラーゼはそれらとも異なる特異性の α-アミラーゼとみなされる。

Bac. amyloliquefaciens α-アミラーゼ（液化型）をアミロースに作用させた場合の最終生成物は

またアミロペクチンに作用させた場合の最小分子量分岐オリゴ糖は

他方 *Bac. subtilis* var. *amylosacchariticus* α-アミラーゼ（糖化型）はアミロースからは $\phi, \bigcirc-\phi, \bigcirc-\bigcirc-\phi$ 、またアミロペクチンからの最小分子量分岐オリゴ糖は $\bigcirc-\bigcirc-\phi$ である。

なお作用様式は上述 α-アミラーゼと異なり exo 型であるが、アノマー型からは α- とみなされるアミラーゼ (exomaltotetrao- および exomaltohexao-hydrolase) の存在も知られている。

表 1 の α-アミラーゼの反応ないし推奨系統名の根拠についての記載のみでは上に述べた α-アミラーゼの作用特異性を十分説明できない。また同じく表 1 ではグルコアミラーゼの作用特異性を十分説明できない。グルコ

アミラーゼはイソマルトースをほとんど分解しないが、デキストラン、すなわち α-1,6-グルコシド鎖を遅いながらも明らかに分解する。

作用特異性は廣海ら²²⁾のサブサイト構造でうまく説明される。endo 型と exo 型とは随分作用機作が異なるように思われるが、実際はそれほどでもないかもしれない。また α-型を生成するか β-型を生成するかは次式の

S'E の水解反応において、水分子の導入が互に逆方向であるからともみなせるが、このようになるのも触媒部位ないし周辺構造のわずかの差によるものかもしれない。

表 3 に示すように *Bacillus* 属の菌に α-アミラーゼ、β-アミラーゼ、α-グルコンダーゼなどが認められ、またもし French ら²³⁾が研究した *Clostridium acetobutyricum* のアミログルコンダーゼが *Rhizopus* などのグルコアミラーゼと同特異性ならばほとんどのアミラーゼは Bacillaceae に存在することになる。少なくとも作用特異性の点でそれらの細菌の β-アミラーゼは大豆や大麦

表 2. 生物の種類と種々のアミラーゼの分布

	高等動物	微生物		高等植物
		糸状菌	細菌	
α-アミラーゼ	+	+	+	+
β-アミラーゼ	-	-	$\begin{cases} + \\ - \end{cases}$	+
グルコアミラーゼ	-	+	+	-
α-グルコシダーゼ	+	+	+	+

* *Clostridium acetobutylicum* にアミログルコシダーゼが存在する²³⁾が、生成グルコースのアノマー型については定かでない。

** 鈴木讓博士の論文²⁴⁾を参照されたい。

表 3. *Bacillus* 属細菌のアミラーゼ

菌名	アミラーゼ	備考
<i>Bac. subtilis</i>	糖化型 α-アミラーゼ	Ca 酵素, 埋没 SH 基を有する。
<i>Bac. amyloliquefaciens</i>	液化型 α-アミラーゼ	Ca 酵素, Cys を有しない。
<i>Bac. coagulans</i>	超耐熱性 α-アミラーゼ, α-グルコシダーゼ ²⁴⁾	
<i>Bac. polymyxa</i>	β-アミラーゼ ²⁵⁾	
<i>Bac. macerans</i>	マセランス酵素(1,4-α-D-Glucan 4-α-D-(1,4-α-D-glucano)-transferase)	マセランスアミラーゼとも言われる。
<i>Bac. megaterium</i>	同上 ²⁶⁾	
<i>Bac. cereus</i> ²⁷⁾	β-アミラーゼ	α-アミラーゼは認められない。

の β -アミラーゼとはほとんど、または全く同じである。著しい進化を経て大豆や大麦に β -アミラーゼが存在するのではなく、 β -アミラーゼ生成の遺伝情報はそれら植物進化のかなり初期から遺伝的に伝えられたものであろう。*Bacillus* 属アミラーゼの分布についていま一つ重要なことは、それら細菌の多くはいずれか一つのアミラーゼしか生成・分泌しないことである。液化型 α -アミラーゼ分泌菌は糖化型 α -アミラーゼを分泌せず、また β -アミラーゼ分泌菌は α -アミラーゼを分泌しない²⁷⁾。表 3 の細菌は遺伝的にもかなり近い関係にある。 α -アミラーゼと β -アミラーゼとは作用様式はずいぶん違うが、しかし α -1,4-グルコシド鎖の水解を触媒する点では同じである。作用様式は酵素の触媒活性中心あるいはその周辺の構造のわずかの差によると考えると、*Bacillus* 属細菌がそれぞれ特有のアミラーゼを有しているのは遺伝子の少しの変化によってそのようになったと解してよいのではないだろうか？ もちろん m-RNA の翻訳を通じて完成される活性酵素のペプチド鎖はある定まった折れ曲りや、からみによって独特の三次元構造をとっており、したがって触媒活性中心あるいはその近傍のわずかのちがいといっても、アミノ酸序列でいうとずっと離れたところのちがいになるかもしれない。

阪大角戸氏ら²⁸⁾によってタカアミラーゼAの立体構造が明らかにされた。また他方戸田氏ら²⁹⁾によりタカアミラーゼAの全一次構造が決定された。類似あるいは同一特異性であるが起源の異なる酵素たん白について一次構造を比較すると、酵素機能上重要な領域（活性中心や結合部位）は一般に互いに高いホモロジーを示す。戸田氏ら²⁹⁾はタカアミラーゼAの Val 116-Ala 128, Gly 202-His 210, Phe 292-Arg 300 の3領域は動物の α -アミラーゼのそれぞれの対応領域ととくに高いホモロジーを示すと報告している。

これまで述べた著者の推測は、いろいろのアミラーゼたん白の全一次構造または相補 DNA の構成塩基序列、

さらにそれらアミラーゼの立体構造の解明以前に理論的に消滅させられるかもしれないが。

4. 澱粉質の消化と酵素

アミラーゼの作用特異性は可溶性澱粉を基質として研究されてきた。可溶性澱粉はすでに人為的に低分子化されている。図1に、 α -アミラーゼ分解物についての解析結果から推定される糯米アミロペクチンの部分一次構造を示す。しかしアミロペクチンでさえ生の状態では衆知のように複雑・強固な立体構造をとっている。

分離精製した生澱粉に対するアミラーゼの作用については本誌に掲載されるように不破氏ら³⁰⁾により詳細に研

図 1. 糯米アミロペクチンの部分構造
(種々の酵素による分解生成物の解析結果からの推定図)

○, グルコース残基; —, α -1,4-グルコシド結合; ↓, α -1,6-グルコシド鎖; ϕ , 還元末端グルコース。

表 4. 生澱粉を分解するアミラーゼ

結 源	アミラーゼ名	生澱粉からの生成物	備 考
<i>Asp. awamori kawachii</i> ³³⁾	グルコアミラーゼ	ブドウ糖	生馬鈴薯澱粉を分解しない。
<i>Rhiz. niveus</i> ³⁵⁾	"	"	{ 溶性澱粉糖化力を同じにした場合 の生澱粉分解力: <i>Rhiz.</i> > <i>Asp.</i>
<i>Asp. niger</i>	"	"	
<i>Strept. bovis</i> ³¹⁾	糖化型 α -	ブドウ糖	
		麦芽糖	生馬鈴薯澱粉分解力、弱
<i>Bac. circulans</i> ³²⁾	exomaltohexao-hydrolase 型	ブドウ糖	生馬鈴薯、サゴ、バナナ澱粉を分解、
		麦芽糖	生馬鈴薯澱粉で酵素は誘導生成。

究されている。生澱粉に作用する主なアミラーゼを表4に示す。

穀類を蒸煮することなく、直接グルコアミラーゼ剤で処理して澱粉を糖化し、アルコール醗酵させる方法はすでに実用化された³⁴⁾。糸状菌グルコアミラーゼ剤といっても生澱粉分解力は給源によって著しく異なることは表4のとおりである。

いも類を無蒸煮で酵素糖化するのにはペクチン分解酵素の共存が著効を奏する。ペクチン分解酵素が存在しないと澱粉粒を取りまく粘質物（少なくともその一部はペクチン質）がグルコアミラーゼ作用を妨げ、またもろみの粘度が高く、操作できないことが多い。

穀類種実のグルコアミラーゼ剤による糖化においてもプロテナーゼやヘミセルラーゼが作用促進に役立っている。ただしわずかの酵素量で足りるようである³⁵⁾。

生澱粉を分解する酵素のうち、注目に価するのは *Bac. circulans* のアミラーゼ³²⁾である。生馬鈴薯澱粉を分解するのみならず、その酵素の生成が生馬鈴薯澱粉の存在によって誘導される。自然界における微生物の生態を考えるとこの種のアミラーゼは他にもあるように思われる。

なお *Streptococcus bovis*, *Bac. circulans* の生澱粉分解生成物は溶性澱粉あるいはアミロースを基質とした場合と異なって麦芽糖とブドウ糖またはブドウ糖のみであるが、同様なことを、たとえば液化型 α -アミラーゼを45℃くらいでトウモロコシ澱粉に作用（たぶん損傷で澱粉粒が分解されるように思われる）させるとマルトトリオース以上の重合度のオリゴ糖は認められず、ブドウ糖、麦芽糖、マルトトリオースだけであったことを経験したことがある。基質が固相であるため、それらのアミラーゼがマルチアタックを行うためかもしれない。

5. おわりに

アミラーゼは古くから研究され、また実際に応用されてきた酵素である。今回はこと細かに例を挙げて説明しなかったが、アミラーゼの研究が、他の多くの酵素の研究や酵素利用工業の研究において先導的役割を多く果たしてきたことは上述のことでわかっていただけたと思う。

今回はアミラーゼの特異性について分子生物学的思考解析を試みた。アミラーゼの基質である澱粉（植物界）、グリコーゲン（動物界）は、ともに樹状構造を呈している。いずれの一次構造も1分子当り還元末端は1残基であるのに対し非還元末端は多数あり、酵素の分解を受けやすい。ブドウ糖が多数集まって1分子のアミロペクチ

ンまたはグリコーゲンを構成すれば、存在組織において浸透圧を狂わせることもない。誠に生物学的合目的性を具えたエネルギー源である。こう考えるとアミロースの多いトウモロコシは、遺伝的にアミロース含量を増加させられるに伴い、その分解系、すなわちアミラーゼ、ホスホリラーゼに何らかの変化をきたしているのではないかと思われる。酵素系の変化は活性で追跡するとともにたん白量でも追跡する必要がある。最近単クローン抗体調製が容易になった。アミラーゼについての酵素学もいまだ少し分子生物学的思考を入れて研究する必要があると思われる。

文 献

- 1) G. S. C. KIRCHHOF: in *The Natural History of Digestion*, A. L. Gillespie, ed., London, p. 16 (1898)
- 2) W. KÜHNE: *Untersuch. Physiol. Inst. Univ. Heidelberg*, **1**, 291 (1878).
- 3) A. PAYEN et J. F. PERSOZ: *Ann. Chim. Phys.*, **53**, 73 (1833).
- 4) J. TAKAMINE: *J. Soc. Chem. Ind.*, **17**, 118 (1898).
- 5) A. BOIDEN: *Fr. Pat.*, 399,087 (1908).
A. BOIDEN et G. EFFRONT: *Fr. Pat.*, 475,431 (1915); *U. S. Pat.*, 1,227,374, 1,227,527 (1917).
- 6) R. KUHN: *Ber.*, **57**, 1965 (1924); *Ann.*, **443**, 1 (1925).
- 7) K. MYRBÄCK and G. NEUMULLER: in *The Enzyme*, 1st ed., Vol. 1, Part 1 Academic Press, New York, p. 653 (1950).
- 8) A. K. BALLS, R. R. HOMPSON and M. K. WALDEN: *J. Biol. Chem.*, **163**, 571 (1946).
- 9) O. KITA: *J. Ind. Eng. Chem.*, **5**, 220 (1913).
- 10) 北野登志雄: *工化*, **39**, 805 (1936).
- 11) 岡崎 浩: *農化*, **26**, 447 (1952); **28**, 46, 51 (1954); **29**, 181, 273, 277 (1955).
- 12) 北原覺雄, 久留島通俊: *醸工*, **27**, 213, 254 (1949); **28**, 422 (1950); **30**, 72 (1952).
- 13) L. L. PHILLIPS and M. L. CALDWELL: *J. Am. Chem. Soc.*, **73**, 3559 (1951).
- 14) 福本寿一郎, 辻阪好夫: *酵素化学シンポ*, **9**, 94 (1954).
- 15) K. H. MEYER: *でん粉の構造*.
- 16) 松村芳一: 私信.
- 17) L. A. UNDERKOFER and P. K. ROY: *Cereal Chem.*, **28**, 18 (1951).
- 18) C. B. MANNING and L. L. CAMPBELL: *J. Biol. Chem.*, **1236**, 2952 (1961).
- 19) 廣海啓太郎: *澱粉科学*, **27**, 71 (1980).
- 20) 中村道徳: *澱粉科学*, **31**, 48 (1984).
- 21) 千葉誠哉: *澱粉科学*, **31**, 55 (1984).
- 22) 廣海啓太郎, 大西正健: *澱粉科学*, **31**, 74 (1984).

-
- 23) D. FRENCH and D. W. KNAPP: *J. Biol. Chem.*, **187**, 463 (1950).
- 24) 鈴木 讓: 澱粉科学, **31**, 67 (1984).
- 25) 岡田茂孝, 東原昌孝: アミラーゼシンポジウム, **9**, 61 (1974).
- 26) 北畑寿美雄, 岡田茂孝: 澱粉科学, **26**, 68 (1979).
- 27) 新家 龍, 西羅 寛: 澱粉科学, **28**, 67 (1981).
- 28) 楠木正巳, 松浦良樹, 田中信夫, 角戸正夫: 澱粉科学, **30**, 141 (1983).
- 29) 戸田弘子, 近藤 淑, 成田耕造: 澱粉科学, **30**, 131 (1983).
- 30) 不破英次: 澱粉科学, **29**, 99 (1982); **32**, 107 (1985).
- 31) 薄上恭平, 小崎道雄, 北原覺雄: 澱粉科学, **25**, 132 (1978).
- 32) 谷口 肇, 丸山芳治: 澱粉科学, **32**, 142 (1985).
- 33) S. UEDA: Proc. Int. Symp. Enzyme Chem., Tokyo-Kyoto, Vol. 2, Maruzen, Tokyo, p. 491 (1957).
- 34) 國崎伸一, 松元信也: 澱粉科学, **32**, 152 (1985).
- 35) 久保田啓一, 松村芳一, 山本武彦: 澱粉科学, **32**, 169 (1985).