



## からくり人形

「からくり人形」とは、17世紀頃から作られ始めた日本の伝統的な機械仕掛けの人形です。人形に糸を練り動かすものからゼンマイ、バネ、歯車といった機械仕掛けのものまで多種多様で、飛騨地方や愛知県の祭りの山車の上によく見られます。その巧妙なからくりは、祭りに花を添え、見る人を楽しませてくれます。からくり人形は江戸時代に確立した洗練された日本の様式と文化を今に伝えるかけがえのない先人の遺産といえます。

Report／新製品紹介 耐熱性微生物  $\beta$ -アミラーゼ：世界で初めて工業化に成功

Topics／生物多様性COP10と企業活動

Topics／江蘇省宿遷市にAmano Enzyme Manufacturing(China) Ltd.を設立

$\beta$ -アミラーゼは、マルトースの製造や餅菓子の老化防止に利用されているが、その給源は、大麦、小麦、大豆などの食糧植物に限られている。近年、世界的な食糧危機が叫ばれているなかで、将来に渡って安定的に供給できる給源を求めることは酵素メーカーの責務である。石油燃料代替としてバイオエタノールへの流れが、穀物価格の高騰と原料確保の困難をもたらしたことは記憶に新しいところである。

微生物由来の $\beta$ -アミラーゼは、1970年代に最初に見出され、多くの研究がなされて来たが、種々の理由からその実用化は困難であった。天野エンザイムでは、新たなスクリーニングを開始し、大麦や小麦の酵素より耐熱性に優れた $\beta$ -アミラーゼを見出し、さらにグループ会社である大和化成との共同開発によりその生産性の問題を解決し製品化に成功した。

### ■ $\beta$ -アミラーゼの歴史と工業生産の現状

$\beta$ -アミラーゼは、麦芽中の糖化酵素のなかに見出された $\beta$ 型のマルトースを生成する酵素として見出され、命名された名前である。詳細な研究は、1946年の甘藷(サツマイモ)からの結晶単離から始まり、その後大麦、小麦などの穀類、大豆などの豆類から次々に見出され、高等植物に広く分布している酵素として知られた。それ以降、これら植物酵素に関する作用様式や活性化機構の解明研究が盛んになされ、1993年にはX線結晶構造が大豆由来の酵素について解明されている。

$\beta$ -アミラーゼは植物種子中に多く存在し比較的安価に製造できるため、工業生産においても植物由来酵素が利用されている。欧州で生産されている大麦由来の酵素が、現在世界の市場の大半を占めている。日本においては1960年代に大豆由来の酵素の製造販売から始まったが、その後原料供給元であった製油会社での大豆油の搾油方法の変更による原料確保の問題が生じたため、1980年代後半に小麦由来の酵素の製造販売が開始された。大豆由来の酵素も、原料の確保に成功したメーカーから供給が続いている。

一方、当初は $\beta$ -アミラーゼは微生物には存在しないと言われていたが、1974年日本で最初に細菌から見出されたのを皮切りに数多くの微生物酵素が発見された。1980年代にはその工業生産が期待され、研究開発が盛んになされたが、耐熱性において十分でなかったこと、工業レベルでの生産性が得られなかったこと、また食品用酵素生産菌として適当でなかったことなどの理由により、現在に至るまで微生物 $\beta$ -アミラーゼの工業化は成功していなかった。

### ■ $\beta$ -アミラーゼの産業利用

酵素の産業利用は多岐にわたっているが、なかでも澱粉加工工業は、酵素利用が最も盛んな産業のひとつである。その中心となるのは、澱粉液化型酵素として細菌 $\alpha$ -アミラーゼ(クライスターゼLなど)、糖化型酵素として糸状菌グルコアミラーゼ(グルクザイムなど)、枝切り酵素として細菌プルラーゼ(プルラーゼ「アマン」など)である。糖化型酵素のうち、グルコアミラーゼはグルコースや異性化糖の製造に用いられるが、マルトースシロップの製造には $\beta$ -アミラーゼが用いられる。麹菌*Aspergillus oryzae*の $\alpha$ -アミラーゼも、マルトースを比較的多く蓄積するため本用途に用いられているが、グルコースも著量生成するため用途が限られている。マルトースは、グルコースに比べ、ボディ感がある、メイラード反応率が低い、結晶化しにくいなどの特徴から、キャンデー、菓子類、佃煮、アイスクリームなどの甘味料として使用されている。特に、上品でまろやかな甘味質であり、着色も少ないことから、和菓子の甘味料としてはなくてはならないものである。

また $\beta$ -アミラーゼには澱粉老化抑制作用がある。これは、 $\beta$ -アミラーゼが澱粉の直鎖部分の $\alpha$ -1,4結合をエキソタイプに短くしていくため、澱粉老化の主原因である直鎖アミロース部分の分子間会合を抑制することによると考えられている。また生成するマルトースの保湿作用も柔らかさに寄与すると考えられる。この性質を利用して、主として日本において餅菓子の老化防止に利用されている。製パンにおいても、小麦粉中に内在する $\beta$ -アミラーゼが老化抑制作用を発揮していると言われており、大麦酵素が一部利用されているようであるが耐熱性の点で利用は制限されている。

### ■微生物 $\beta$ -アミラーゼの発見と性質

天野エンザイムでは、産業界からニーズの高い $\beta$ -アミラーゼを安定的に供給すべく、微生物 $\beta$ -アミラーゼの新たな探索を行った。食品用酵素の生産菌として相応しい菌株に給源を求めスクリーニングを行った結果、*Bacillus*属の一菌株の生産する耐熱性 $\beta$ -アミラーゼを見出した。本酵素を精製し、その遺伝子をクローニングした結果、515アミノ酸からなる分子量57.6kDaの単量体として分泌生産されることがわかった。一次構造上、これまで報告されている*Bacillus*属由来の $\beta$ -アミラーゼと43~80%の相同性を有していた。

本酵素は、反応の至適温度と耐熱性において、世界の主流である大麦や小麦由来の酵素より10℃程度高く、耐熱性の高い大豆由来の酵素に匹敵するものであった。

## ■微生物β-アミラーゼの応用性

### 1) マルトースシロップの製造

図1及び表1に液化澱粉からのマルトース生成試験の結果を示す。本酵素は、現在マルトースシロップの製造に用いられている大麦や小麦由来の酵素より優れていることがわかる。少ない酵素量でより多くのマルトースを生成することが出来るばかりでなく、反応温度を高くすることが出来るため、反応中の微生物汚染の懸念も低い。また、大麦や小麦由来の酵素の反応pHは酸性側に偏っているため、β-アミラーゼによるマルトース糖化工程の前工程である澱粉液化工程のpH領域である6付近での使用には、中性に最適pHを有する本酵素の方が適している。得られたシロップの糖組成を見ても、グルコースの生成がほとんど観察されず、マルトースシロップとして相応しいものであった。

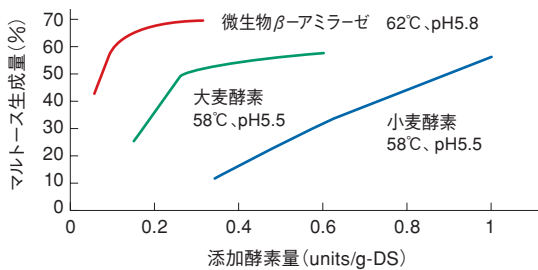


図1 液化澱粉からのマルトース生成試験

表1 マルトースシロップの糖組成

β-アミラーゼの起源	糖化温度	pH	添加酵素量 (units/g-DS)	糖組成 (%)				
				G1	G2	G3	G4	G5≤
微生物	62°C	5.8	0.3	0.2	59.1	7.2	0.7	32.8
大麦	58°C	5.5	0.7	0.2	56.1	7.2	0.8	35.9
小麦	58°C	5.5	1.0	0.2	54.2	7.2	1.1	37.4

### 2) 澱粉食品の老化抑制

図2及び図3は、餅の老化抑制効果を示す。本酵素を添加した餅は、15°Cで3日間の保存後でも明らかに柔らかさを保持していた。本用途においては、酵素剤に微量のα-アミラーゼが夾雑していると、保存中に餅がべとつく問題が生ずる。しかしながら、本生産菌はα-アミラーゼをほとんど生産しておらず、この点は本生産菌がβ-アミラーゼの工業用生産株として優れていた点の一つであった。



図2 餅の老化抑制効果

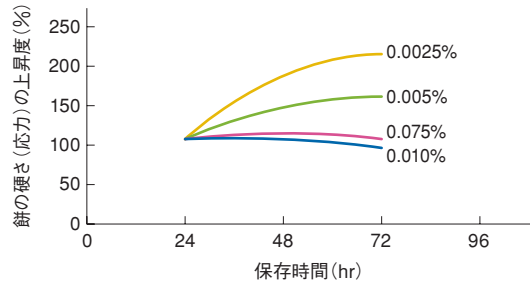


図3 餅の老化抑制効果 - 酵素添加量の影響 -

また、本酵素は生澱粉にも作用するという特徴も有していた(表2)。大豆由来酵素も含め植物β-アミラーゼは生澱粉に作用できないため、澱粉の糊化温度(約60~70°C)以下では作用しない。しかしながら本酵素はそれ以下の温度から反応するため、製パンへの応用も含めた幅広い応用が期待できる。

植物由来酵素に比べて微生物由来酵素のメリットとして、適用食品における表示の回避がある。大豆由来の酵素を用いた食品ではアレルギー表示が必須である。また近年では欧米を中心にグルテンフリー食品のニーズが高まっているが、穀類由来酵素に比べ本酵素はグルテンフリー食品に適用できるメリットもある。

表2 生澱粉に対する作用性の比較

β-アミラーゼの起源	生澱粉に対する分解活性 (units/g-製剤)
微生物	800.3
大麦	1.6
小麦	0.1
大豆	0.0

天野エンザイムグループでは、本酵素を工業レベルで生産するべく、変異処理による生産性の向上に注力し、また培養条件の最適化、ダウンストリーム・プロセスの確立を行い、製品化に成功した。

最後に、本製品の特徴を製品コンセプトとして以下にまとめる(表3)。

表3 微生物β-アミラーゼの製品コンセプト

- ◆ 世界で最初に工業化された微生物β-アミラーゼ
- ◆ 植物由来酵素と比較して、安定供給が可能
- ◆ 耐熱性において、大麦や小麦酵素より優れ、大豆酵素に匹敵
- ◆ 生澱粉に作用するため、幅広い食品への応用が期待できる
- ◆ アレルギー表示が不要であり、グルテンフリー食品にも適用可能
- ◆ Kosher及びHalal対応、non-GMO酵素



今年2010年は国連の生物多様性年であり、10月には生物多様性条約第10回締約国会議(COP10)が2週間、及びそれに先立って遺伝子組換え生物の国際的な移動に関するカルタヘナ議定書の第5回締約国会合(MOP5)が1週間、名古屋市で開催されます。交渉を行う政府関係者や大臣だけでなく、学術団体、企業、NGO/NPO、メディアなど8000人近くの人が、国の内外から愛知県・名古屋市にやってきました。生物多様性という、パンダや象などの動植物のことだと考えがちですが、およそ生物であれば微生物も対象になりますし、領域としては「生態系の多様性」、「生物種の多様性」そして「遺伝子の多様性」の三つをカバーしています。

人類の文明は、文明を築き、歴史を認識できるようになってから、数千年しかたっていません。その長い期間は、人類の生活地域も限られていましたし、人口も多くなく、概ね自然生態系の一部として生きてきましたから、人々が自然に対する畏敬の念を持ち、支えあって生きていくことはごく当たり前のことではなかったかと思えます。しかし、人類は、エネルギー源を木から化石燃料へと転換し、科学技術を発展させるようになってから、地球のあらゆるところで生活できるようになり、爆発的に増加した人口を支えるために、森林は切り開かれて農地や都市になり、漁業資源も乱獲されるようになりました。これが生物多様性と気候変動という、二つの地球的規模の環境問題をもたらしました。

最近、遺伝子工学が発達して、遺伝子の構造さえわかれば生物さえ作り出すことができるという考えも出てきました。「ジュラシック・パーク」、「バイオハザード」など遺伝子工学を題材としたSF映画もあります。しかし、現時点では遺伝子をゼロからつくり出すことはできず、遺伝子工学が活躍するには素材となる遺伝子を持ったウイルスや細菌、動植物などが提供されなければなりません。ところが、その遺伝子が急速に絶滅しているのです。

地球上には、「現在確認されている名前の付いている

生物種は約175万種、未確認のものを含めると3,000万種いる」と言われています。未確認の生物種の数がどうしてわかるのか不思議な気もしますが、人類は地球上の種の6%弱しか認識しておらず、この先も人間の調査能力と知識がどんなに進んでも、人間が知りうることは自然のほんの一部にすぎないと思います。図書館の本の目録を作っているうちから、本が無くなっているという状況です。私たちが知らないうちに有益な本が無くなっているかもしれません。新しい感染症の特効薬となる生物が絶滅していく生物の中に含まれているかも知れないのです。増加する人口を支える食糧生産や人々の健康を支える医薬品の開発には、微生物から大型動物まであらゆる種類の生物が素材となる可能性があります。それらの遺伝子を保全するにはどうしたらいいでしょうか。

そのために、目標をできるだけ数値化することが考えられています。気候変動では「Measurable, Reportable, Verifiable (MRV:測定可能、報告可能、評価可能)」な目標・施策ということが重要になっています。現在の生物多様性の2010年目標は「生物多様性の損失速度を2010年までに顕著に減少させる」ということですが、名古屋COP10で採択される予定の「ポスト2010年目標」は、よりMRVな目標となるでしょう。しかし、他方で「人間が知りうることは自然のほんの一部にすぎない」ということを人々が受け入れて対処を考え、これまでの「貴重であることが証明されなければ開発する」という考え方から、「良くわからないことはとりあえず保全する」という考え方への転換を図るということも大切です。平たく言えば「畏敬の念」をもって自然に接するということです。具体的な仕組みについてはどうでしょうか。増加する人口を支える食糧生産や、新しく出現してくる感染症をはじめとする医薬品の開発には、微生物から大型動物まであらゆる種類の生物が素材となる可能性があり、これらを保全し、その利用を確保するためには、革新的な仕組みが必要です。COP10では、いくつかの重要な仕組みが議論されます。



その第一は、遺伝子取引に関する仕組みです。大英帝国の王立植物園キューガーデンズには世界中から集められた植物が保存されています。ダーウィンが採取した今は絶滅した植物もあります。ヨーロッパのプラント・ハンターは世界中から様々な植物を採取し、食糧を確保しました。今や主たる食べ物や飼料となっているジャガイモやトウモロコシも、もともとヨーロッパのものではありませんでした。マラリアの特効薬のキニーネも現地の植物から作られました。動植物の採取は自由に行われ、それによって先進国は歴史的に莫大な利益を得てきたのです。

しかし、今、動植物や遺伝子を持ちだされた途上国は、先進国に搾取された歴史を振り返り、COP10では、先進国が享受する利益を途上国と先住民とも分配すべきであり「遺伝子資源の取得と利益配分に関する国際枠組み（ABS: Access and Benefit Sharing）」を創設するべきであると、考えています。もはや、遺伝子の取引は自由ではなくなりつつあり、豊富な生物資源を持つ途上国は遺伝子資源の移転を制限しつつあります。食糧としての遺伝子資源についてはFAOが条約を作り、穀物メジャーに対抗して農民の権利を強調しています。ABSが創設されれば、食品、医薬品、化粧品など遺伝子に携わる企業は、遺伝子資源を保護する対価を支払いつつ、その利用を図るとともに、それから得られる利益を適正に配分しなければなりません。

第二には、企業活動における生物多様性の配慮が求められることです。従来企業のCSRは、例えば自社の工場内を緑化するなど企業がコントロールできる領域か、本業とは離れた地域の清掃活動などが中心でした。これは、更に促進しなければ

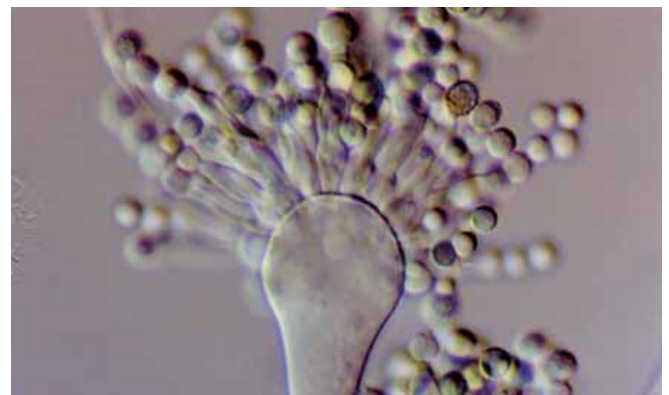


なりません。例えば、金融機関は融資に当たって融資先の事業が生物多様性を損ねていないかを審査するようになってきています。しかし、絶滅の危機に瀕している生物種を守るために国際取引というサプライチェーンを制限するワシントン条約に見られるように、COP10ではさらに進んで、企業が調達する原材料などが生物多様性を損ねていないかどうか配慮するガイドラインが議論されるでしょう。農産物を売るスーパーマーケットがその農産物が生物多様性を損ねていないかに配慮しなければならないように、医薬品を販売する薬局もその薬が生物多様性を損ねて作られていないかに配慮しなければならないようになっていくでしょう。これらを通じて、CSRは本業に組み込まれていくことになります。

そのほか、COP10では、多くの事柄が議論されます。来る10月の生物多様性条約COP10では、これらの議論を受け身的にとらえるのではなく、日本ならではのルール作りや行動原則を発信していきたいものです。

文：小島 敏郎

青山学院大学国際政治経済学部教授  
(財)地球環境戦略研究機関特別顧問



2009年7月27日、天野グループの新たな海外生産拠点として、江蘇省宿遷市にAmano Enzyme Manufacturing (China) Ltd. (略称:AEMC) を設立致しました。AEMCは天野エンザイムと泗陽協達社 (Siyang Syder Enzyme Co.,Ltd.) の合弁会社(天野エンザイム出資比率:60%)として設立し、董事長は天野源之 天野エンザイム社長が就任致しております。

AEMCは、高速道路で上海から4時間、南京からは2時間の江蘇省北部宿遷市泗陽県に位置します。当社は敷地面積17,800㎡、従業員約100名を有し、微生物液体培養により、産業用酵素製剤を製造しております。

泗陽は中国第4の大きさを誇る洪澤湖 (Hongze-lake) を南に眺め、ポプラを主体とした林業、及び木材加工業が盛んであり、「ポプラの郷」の愛称で親しまれています。近年は省の経済開発区に指定され、自然環境を配慮した緑園都市建設が進められています。

新国家60年の節目を迎え、金融危機からいち早く立ち直り、GDP年8%以上の成長を継続する中国において、AEMCは、顧客のご要望に応えるべく、安心・安全な製品を中国国内のみならず世界に供給する体制を構築してまいります。また、当地に根ざし愛される企業に成長するよう努力してまいります。皆様のご支援を承りますよう宜しくお願い申し上げます。



開所式



AEMC構内



江蘇省宿遷市



World No.1 Speciality Enzyme Producer  
More than 100 years of service, since 1899

<http://www.amano-enzyme.co.jp/>

#### AMANO ENZYME INC. (Publisher)

##### Head Office:

2-7, 1-chome  
Nishiki, Naka-Ku, Nagoya,  
460-8630 Japan  
Tel: +81-(0) 52-211-3032  
Fax: +81-(0) 52-211-3054  
E-mail: [medical@amano-enzyme.ne.jp](mailto:medical@amano-enzyme.ne.jp)

##### Tokyo Office:

1-1, 1-chome  
Uchisaiwai-cho,  
Chiyoda-ku, Tokyo  
100-0011 Japan  
Tel: +81-(0) 3-3597-0521  
Fax: +81-(0) 3-3597-0527

[food-industry@amano-enzyme.ne.jp](mailto:food-industry@amano-enzyme.ne.jp)  
[diagnostics@amano-enzyme.ne.jp](mailto:diagnostics@amano-enzyme.ne.jp)

#### AMANO ENZYME CHINA LTD.

Room 301, Apollo Building, No.1440,  
Yan An Road(C), Shanghai 200040, P.R.China  
Tel: +86-(0) 21-6249-0810・3758  
Fax: +86-(0) 21-6248-7026  
E-mail: [shanghai@amano-enzyme.ne.jp](mailto:shanghai@amano-enzyme.ne.jp)

#### AMANO ENZYME EUROPE LTD.

Roundway House, Cromwell Park,  
Chipping Norton, Oxfordshire, OX7 5SR, U.K.  
Tel: +44-(0) 1608-644677  
Fax: +44-(0) 1608-644336  
E-mail: [sales@amano.co.uk](mailto:sales@amano.co.uk)

#### AMANO ENZYME U.S.A. CO., LTD.

2150 Point Blvd., Suite 100  
Elgin, IL 60123, U.S.A.  
Tel: +1-847-649-0101  
+1-800-446-7652  
Fax: +1-847-649-0205  
E-mail: [sales@amanoenzymeusa.com](mailto:sales@amanoenzymeusa.com)