

公開講座に使えるテーマ(4) —「市販酵素」、「抽出酵素」、「添加酵素」

Experimental Themes for Extension Lectures (4)
“Commercial Enzymes”, “Extracted Enzymes”, “Added Enzymes”

胸組 虎胤
Toratane MUNEGUMI

科学関連の公開講座等で使用でき、入手しやすい酵素を「市販酵素」、「抽出酵素」、「添加酵素」に分類し、それぞれの分類から酵素をいくつか選び出して特徴を解説した。それらの酵素を用いた科学実験の提案を行い、化学と生物学の融合した実験の可能性を考察した。

1. はじめに

酵素(“Enzyme”)は生体内で様々な反応を触媒する物質であり、「生体触媒」とも呼ばれる。ここでは酵素の発見についての概略、酵素の科学研究における重要性、酵素が注目されている理由について解説し、公開講座の導入として使える内容として提示したい。

1-1. 酵素の発見^{1,2)}

生体内の反応で最も身近なものは、消化作用であろう。酵素の存在が認識されたのは消化を行っている胃の作用に注目したことに端を発する。

1752年、フランスのレオマー(Reaumur)は自分が飼育する肉食の鳥(鷹)に、肉の入った鉄管を飲ませて、その肉の消化の様子を観察した。その結果、鉄管に物理的な損傷はないにも関わらず、肉の形態が崩れて細かくなっていたことを発見した。このことから、彼は消化という現象は、物理的な作用によるのではなく、化学的な作用によって起きていると考えた。彼は酵素の存在を確認したのではないが、生体による化学反応(酵素反応)を初めて確認した。

1785年、イタリアのスピランツァーニ(Spallanzani)は、人や鷹の胃から取り出した胃液を肉に振りかけると、肉が溶解することを見いだした。彼はこれが胃液に含まれる何らかの物質によると考えた。1836年、Schwannはこの胃液についての実験を詳細に検討し、胃の中に存在して肉を溶かす作用を示す物質をペプシン(pepsin)と名付けた。

一方、デンプンの加水分解酵素についての名称

の変遷がある。

1811年、キルヒホッフ(Kirchhoff)が大麦の麦芽がデンプンを加水分解してマルトースを生成することを明らかにした。1833年、ペイヤン(Payan)はこの麦芽中の酵素をジアスターゼ(diastase)と名付けた。これに関連して、Pasteurは酵素一般をla diastase、特にデンプンを加水分解する酵素をamylaseと呼ぶことを提案した。

しかし、現在ではキューネ(Kuhne)による提案が一般的な呼称となっている。つまり、酵素のことをenzymeと呼んでいる。これはラテン語の「中」を意味する“en”と、「酵母」を意味する“zyme”に由来する名称である。

図1には、酵素の発見と呼称の変遷を示す。この図で注目すべきことは、最初に発見されたのはたんぱく質や糖を加水分解に触媒する酵素であること、そして、酵素について別々に提唱された呼称が、その後の酵素の呼び名の元になっていることである。Enzymeは酵素という生体触媒の総称であり、diastase, amylaseは個々の酵素の呼び名である。

1-2 酵素の重要性¹⁻⁴⁾

酵素が触媒作用をもつ有機化合物(生体触媒)であることをすでに述べた。生体における酵素の反応条件は、37℃、1気圧、中性付近のpHという穏和なものである。そのため、酵素を生体外で使用する場合には注意が必要であるが、酵素の構造を維持できれば、過剰な熱やエネルギーを投入することなく反応を進行させることができる。つまり、省エネルギー的であるといえる。また、反応速度が速く、基質への特異性が高いため、目的に

タンパク質の加水分解に関して	糖の加水分解に関して
1752年 Reaumur：肉の消化は胃の物理的力によるものではなく、科学的力によるものであることを発見。	
1785年 Spallanzani：胃液の中に肉を溶解させる物質が存在することを確認した。	
1836年 Schwaann：胃液の中に存在し、肉を溶かす物質をペプシンと名付けた。	1811年 Kirchhoff：大豆麦芽の抽出液がデンプンを加水分解してマルトースを生成することを発見した。
1878年 Kuhne：酵素を enzyme (en：中；zymu：酵母) と呼ぶことを提唱。	1833年 Payan：麦芽中に存在し、デンプンを加水分解する物質をジアスターゼ (diastase) と名付けた。
	1878年 Pasteur：酵素を la diastase、デンプンを加水分解する酵素を amylase と呼ぶことを提唱。

図1 酵素の発見と名称

適合した酵素を複数選ぶことで、オーダーメイドの合成を可能とすることができる。さらには、使用する酵素は少量である上に、使用済み酵素はバクテリアによって容易に分解され、環境を汚染する心配もない。酵素を担体に固定化する手法を用いれば、さらに、有効活用がなされ、汚染も少ない。以上は、物質生産に酵素を用いる場合であった。

上記以外、酵素は薬剤としてそのまま用いる場合、その他の研究用として用いる場合等様々な場面で用いられる。いずれにしても、これらすべての場合に共通しているのは次の点であろう。

- (1) 反応条件が穏和である。
- (2) 反応速度が速い。
- (3) 選択性が高い。
- (4) 微量使用、タンパク質を骨格とするため環境汚染が少ない。

1-3 酵素の実験教材としての役割

酵素は上記のような物質生産のための重要性や薬品、研究用としての重要性をもつことに加え、化学と生物を結ぶ科目複合的な教材として有用である。

酵素は、物質を変化させること、すなわち化学

反応を触媒するという化学的側面で見ることができる。一方、その酵素は生体由来であるという点から生物学的側面も併せ持っている。

酵素を教材として利用することによって、化学と生物学の教育を同時に行うことができ、化学と生物学という垣根が固定的ではなく、柔軟であることを体験できる。高等専門学校の学生がこのような柔軟な発想をもつことは、将来技術者として境界領域での新しい技術開発をする着想につながるであろう。

このような複合的な教材は、学校教育だけでなく、中学生や一般を対象とした公開講座等でも利用可能である。酵素は身近に存在し、化学と生物の両方についての知識を深めてもらえる格好の材料である。

さて、酵素を教材として利用する際の視点として、反応性の違いと入手方法を知っておくことが役に立つ。そのため、この二つの見方による分類法について述べる。

2. 酵素の分類

ここでは、反応の種類による分類と入手方法による分類について示す。

2-1 反応の種類による分類

酵素の反応特異性を6種類に分類する方法が一般的である。これは、IUBMB (International Union of Biochemistry and Molecular Biology: 国際生化学分子生物学連合) のEC (Enzyme Commission: 酵素委員会) が1916年に提案した分類法 (EC番号) であり、現在もよく使われている (表1)。

表1 反応特異性による酵素の分類 (EC番号)

EC番号	反応特異性
EC. 1.	酸化還元反応 (oxidoreductase)
EC. 2.	転移反応 (transferase)
EC. 3.	加水分解反応 (hydrolase)
EC. 4.	脱離反応 (lyase)
EC. 5.	異性化反応 (isomerase)
EC. 6.	合成反応 (synthetase)

表1に示す分類は、酵素の反応特異性によって酵素を6種類に分類したものである。しかし、酵素は同じ種類の反応を触媒するものでも、反応基質の種類、補酵素の種類、作用する結合の位置などによって、さらに詳細に分類される。一般的に、一種類の酵素は4種類の番号をピリオードで結んだ番号であらわされる固有のEC番号を持つ。

たとえば、[EC.1.1.1.1]は、①「脱水素酵素であり」、②「CH-OHの結合に対して働き」、③「NADまたはNADPを必要とし」、④「エタノールを基質」とする。ただ、NADPを必要とし、エタノールを基質とするものは[EC.1.1.1.2]に分類される。また、L-乳酸を基質とするものは[EC.1.1.1.27]である。EC番号による詳細な分類は、他の反応特異性を持つ酵素にもある。

このように、一種類の酵素が固有のEC番号で分類されることは、新しく見出されたが既知酵素と異なることを明確にすることに役立つ。

2-2 入手方法による分類

本論文では、酵素を「市販酵素」、「抽出酵素」、「添加酵素」に分類し、それぞれの分類から酵素をいくつか選び出して特徴を解説する。

2-2-1 市販酵素

「市販酵素」は薬品会社から購入することが可能である。薬品会社は独自に生体試料から抽出・精製して酵素製品あるいは酵素製剤として販売するか、他の薬品製造会社の製品を販売する。

2-2-2 抽出酵素

「抽出酵素」は実験者が生体試料から抽出・精製操作を行って取り出した、いわば、自家製造の酵素である。

2-2-3 添加酵素

「添加酵素」はすでに効果が明らかとなっている化学製品に精製済みの酵素を添加することで付加的な効果が加わるか、本来その化学製品に備わっている効果がさらに増長される場合である。

3. 市販酵素、抽出酵素、添加酵素の比較

3-1. 酵素マトリックス

これらの酵素は反応性による分類と入手法による分類を組み合わせた酵素利用マトリックスを用いると、利用法が明らかとなる (表2)。

市販酵素については、それぞれの反応特異性に関する酵素が市販されている。また、抽出酵素については学生実験用に様々な教材として利用されており、従来から使用されてきた酵素の使い方は確立されているといつてよい。一方、添加酵素は、洗剤、歯磨き、化粧品、医薬品等に添加され、様々な目的に使用されているが、使用される範囲は限定されている。

次に、入手方法での分類とEC番号での分類の関係性について見ていきたい。先ほども述べたが、市販酵素については6種類すべての酵素が売られている。価格の点ではEC.1.の酸化還元酵素、EC.3.の加水分解酵素が一般的に安価である。これは、これらの酵素が微生物、植物等の生物資源から大量に得ることができるからであろう。他の反応特異性に分類される酵素は、原材料が微量にしか得られないため、比較的高価である。

抽出酵素についても、市販酵素と基本的に似たようなことが言える。実験者が自家製として抽出するには原材料が大量に得られ、その原材料が安価で得やすいことが必要である。

添加酵素については、用いられる量が比較的小

表2 酵素利用マトリックス

	市販酵素	抽出酵素	添加酵素
EC. 1. (酸化還元酵素： oxidoreductase)	アルコールデヒドロゲナーゼ カタラーゼ アスコルビン酸オキシダナーゼ	アルコールデヒドロゲナーゼ (パン酵母から) カタラーゼ(血液) アスコルビン酸オキシダナーゼ(きゅうり)	
EC. 2. (転移酵素： transferase)	トランスアミナーゼ		
EC. 3. (加水分解酵素： hydrolase)	α アミラーゼ・ β アミラーゼ クルコアミラーゼ リゾチーム・パパイン ブロメライン	パパイン ブロメライン アミラーゼ(唾液)	リパーゼ(洗剤)、プロテアーゼ(洗剤)、ステンザイム(洗剤)、セルナーゼ(洗剤) デキストラナーゼ(歯磨き) パパイン(洗顔料)、リゾチーム(医薬品)
EC. 4. (脱離酵素： lyase)	アルドラーゼ		
EC. 5. (異性化酵素： isomerase)	グルコースイソメラーゼ アラニンラセマーゼ		
EC. 6. (合成酵素： synthetase)	各種リアーゼ		

ないため、活性が高い酵素であれば、量あたりの価格が多少高価であっても、製品そのものの金額はある程度抑えられる。したがって、添加酵素では、酸化還元酵素や加水分解酵素以外にも、使用範囲の可能性があると考えられる。とくに、医薬品については、製品そのものが高価であっても、必要性が高ければ十分に採算が取れる。

以上の点から、市販酵素は教材として、どのような反応にも用いることができる。抽出酵素については、酸化還元酵素、加水分解酵素にその使用範囲が限定されることが多いであろう。実験室でほんの微量しか得られない酵素を抽出して、それをそのまま実験に用いることはむずかしい。抽出実験そのものを行う場合には、酵素の活性が検出されれば、抽出によって、濃縮や精製が進んで活性が高まることが見出される。この点、添加酵素ではすでに精製された高純度の酵素を製品に添加して、その製品の酵素活性が確かめられているので、利用しやすいであろう。

3-2. 化学教材としての酵素の比較

図2は市販酵素、抽出酵素、添加酵素を、活性、濃度、教材として使用したときのインパクト、手軽さ、価格の点で比較したものを示している。た

だし、相対値は正確な定量性を持ったものではなく、だいたいのイメージを数量化したものである。

まず、活性であるが、市販酵素の活性は抽出酵素、添加酵素に比べて明らかに高い。これは市販品が抽出・精製を行ったものであるからである。

濃度については、活性と全く比例するため、相対値も全く同じ順になる。

次に、インパクトについては、市販酵素は劣っていると考えられる。これは市販酵素を使用するとき、いわば試薬のように試薬ビンから取り出すことから明らかである。試薬ビンから取り出したものであると、それは何であっても薬品とみなされるため、酵素であるという実感は、使用者に感じられない。しかし、生体物質から抽出した酵素の活性を見るのであれば、より酵素としての特徴が現実的であり、インパクトが大きい。また、添加酵素であっても、その傾向はある。添加酵素が含まれている製品を用いて化学実験を行うことで、製品に酵素が含まれていることを実感できる。したがって、この方が市販酵素よりも、より大きなインパクトを与えられる。

手軽さについてであるが、これは面倒な操作が少なく、実験を手軽に行えることを意味している。抽出酵素は、生体材料から実際の酵素を得るため

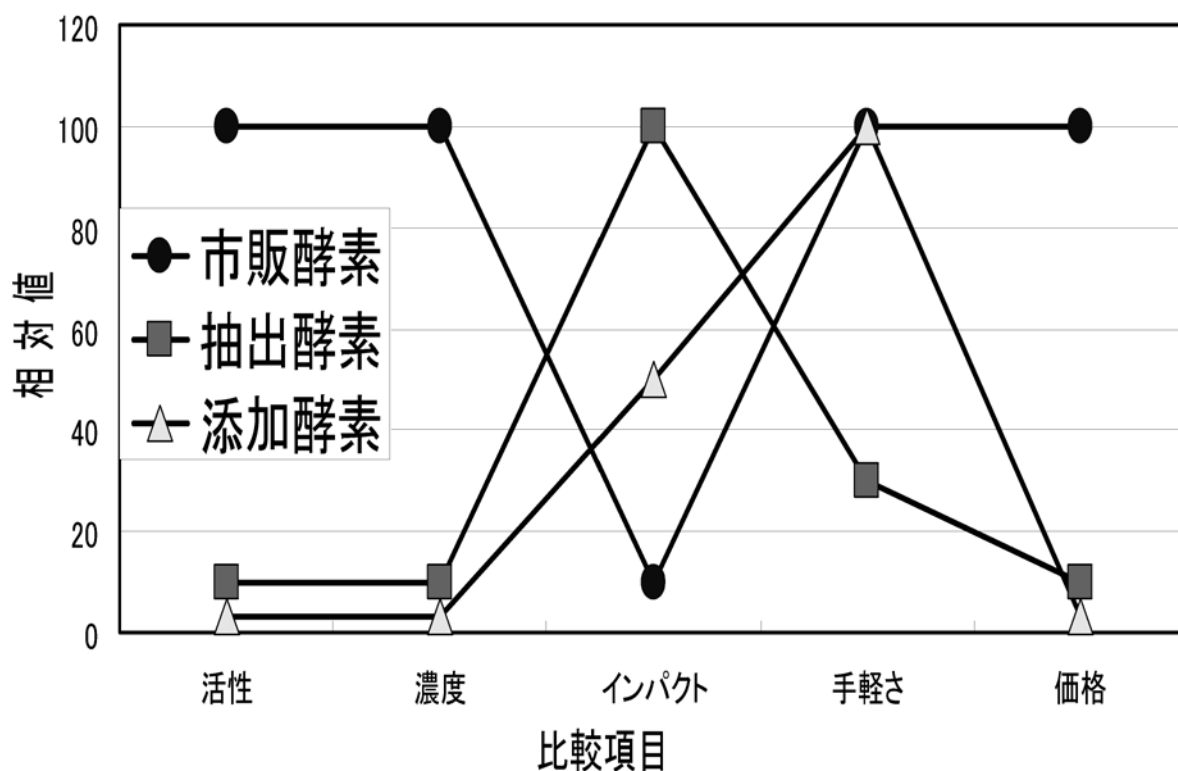


図2 市販酵素、抽出酵素、添加酵素の比較

に抽出操作を経なければならぬため、反応を調べる化学実験にたどり着くには時間がかかる。ただ、このいわば「面倒な」抽出操作そのものを体験する実験を主とするならば、抽出にも意味があることになる。

価格については、精製操作に手間がかかっている市販酵素が明らかに高価である。抽出酵素については、実験者の選択する抽出・精製条件によって酵素活性は異なるが、安価な原材料を利用するならば、価格は安い。添加酵素は一般に、精製後の純度の高い酵素を製品に混合され売られているため、その製品の価格そのものが費用であり、安価である。

4. 酵素を使った公開講座の例⁵⁻⁷⁾

酵素利用した公開講座の例は、著者がすでに小山高専紀要等に報告したように、加水分解酵素、あるいは酸化還元酵素を用いたものが中心である。

市販酵素、抽出酵素、添加酵素の観点から見ると、市販酵素、抽出酵素については、学生実験用に様々利用されている。公開講座用にはインパクトの大きいと考えられる抽出酵素と添加酵素を用いた実験が向いているかもしれない。一方、実験

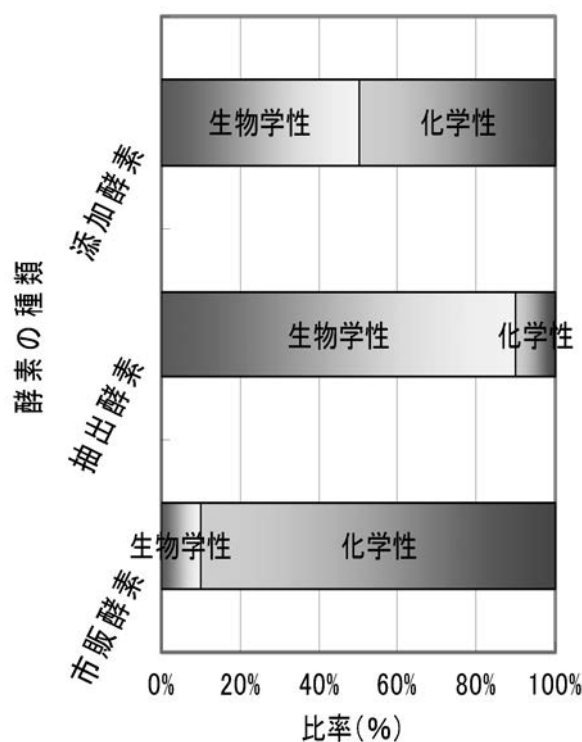


図3 3種類の酵素の生物学性と科学性

の生物学の傾向と化学の傾向から、3種類の酵素分類を比較できる(図3)。

この図は公開講座の題材および学生実験の教材とするときの参考になる。市販酵素は化学薬品と

して試薬ビンから取り出して利用することから、酵素とはいっても、ほとんど化学薬品を扱うに等しく、化学性がほとんどである。抽出酵素は実際に生体試料から抽出することを実験の中に取り込めば、生物の実験であることを意識させることができるため、生物性が高いといえる。そして、添加酵素では、実験者によって捉え方は異なるが、生物性と化学性の両方を同程度持っていると言える。この点については、実際に実験を行う学生や公開講座の受講者にアンケート調査を行うことでその捉え方の幅が明らかになると思われる。

5. おわりに

酵素を利用した化学—生物学複合教材や公開講座で利用可能な簡便な演示実験教材が数多く開発されていくことを望む。今後は、加水分解酵素や酸化還元酵素以外の酵素を用いた教材の可能性を探ることも必要であろう。多少高価な酵素であっても、用いる量を制限し、反応が視覚的に感じることができる工夫がなされれば、教材としての範囲も広がるであろう。

参考文献

- (1) 一島英治、『酵素 ライフサイエンスとバイオテクノロジーの基礎』、東海大学出版会(2001) . 一島英治、『プロテアーゼと生命現象』、丸善(1987) .
- (2) 太田隆久、『暮らしの中の酵素』、東京化学同人(1994) .
- (3) 上島孝之、『産業用酵素』、丸善(1995) .
- (4) 胸組虎胤、公開講座に使えるテーマ(1) —「ケナフを使った紙の作製」と「糖と反応する酵素」、小山高専紀要第33号、117-122 (2001) .
- (5) 胸組虎胤、公開講座に使えるテーマ (3) —「果汁を使ったタンパク質の加水分解」と「酵素と光学活性の関係」、小山高専紀要第35号、123-128 (2003) .
- (6) 胸組虎胤、谷川直也、歯磨きを使って歯垢の成分を分解する、化学と教育、第51巻、4号、238-239 (2003) .