

生化学における代謝経路の理解支援ツールの開発

芝崎誠司

Development of a support tool for understanding of metabolic pathway
in biochemistry

Seiji SHIBASAKI

Abstract

In the learning of biochemistry, a metabolic pathway is regarded as complicated and difficult by many university students. Compared with other subjects related in life science such as anatomy, physiology or pharmacology, biochemistry is dealing with more invisible molecules and energy which are difficult to visualize. Taking into account this situation, it thought be important that visualizing biochemical reaction caused by invisible molecules and energy in addition to a lecture using conventional textbook. To help students feel familiar with biochemical reaction, metabolic pathways have been transplanted to a game called as *Sugoroku* which is very familiar among Japanese people.

Keywords : Biochemistry, Metabolic pathway, Glycosylation pathway, Citrate cycle, Electron transfer pathway, β -oxidation, ATP, *Sugoroku*

1. はじめに

我が国では、理学部、工学部、農学部などの自然科学系学部において生化学（生物化学）が開講されており、とくに、生命科学系学部や医学部・医療系学部では、必修科目となっていることが多い。また、大学・専門学校における看護系学科でも専門基礎科目として生化学は、専門基礎科目の1つに加えられており、専門科目の履修に先立ち、入学後の早期に、さらに非常に時間的に限られた中で提供されている。生化学と同じ専門基礎科目である解剖学や薬理学は、医療に関心を持った学生にとって比較的親しみやすい科目であると考

えられる。一方、生化学に対しては扱う対象が主に分子であり「目で確かめることが難しい」「イメージしにくい」といった否定的な反応がよく聞かれる。筆者は、これまで、看護系学科の生化学を担当するなかで、「化学」はできれば避けて通りたいという学生の意見に数多く遭遇し、生体内で起きている現象にもかかわらず、ほとんど興味を感じないまま履修期間が終わってしまうケースを何度も見てきた。このような状況下、生化学への理解を高める第一歩は、中心的な概念であるが、複雑で難解な代謝経路に、少しでも親近感や好奇心を高めることが重要ではないかと考察するに至った。

高等学校の化学の学習においては、高分子に係る单元の中で、糖質、脂質、タンパク質、ならびに酵素反応などについて学ぶ。また、生物では代謝とエネルギーの单元の中で、エネルギー変化と化学反応、解糖系 (Glycosylation pathway)、クエン酸回路 (Citrate cycle) などが扱われる。このように大学や専門学校の入学前にいずれかの科目を通して、生化学に関連する予備知識を得るとともに、多くの学生はその複雑さに対し難解な印象を抱いてきたものと考えられる。以前、筆者は生化学への親近感を得られるようにと、関連イラストの塗り絵¹⁾を授業に導入したことがある。視覚的効果により、作業を通して親しみながら学習ができるという効果を得たものの、作業時間の個人差が生じ易く、講義時間内に実施するには適当でないと考えた。そこで、視覚に訴えつつ、楽しみながら一斉に参加でき、ゲーム性のある教材²⁾が有用はないかと考え、すごろくゲームの導入を試みた。これまで、人体の理解を支援するすごろくゲームの取り組みは報告されているが³⁾、生化学の中でも最も理解されにくい代謝反応のイメージ形成の促進を目的とした、そのようなツールは開発されていない。

そこで、代謝経路 (Metabolic pathway) をすごろくの盤面として移植し、酵素化学、代謝反応についてイラスト化するとともに、ATP (Adenosine triphosphate) をゲームのカードとして視覚化することで親しみ易さを持たせ、生化学反応のイメージ形成を支援できるツールを開発が試みられた。ATPは生体内エネルギー物質として利用されるとともに、その生成反応は多数の酵素反応から成り、一見複雑に見える代謝系を構成している。このように筆者は、糖質または脂質がATPを生成する一連の代謝経路について、視覚的にイメージし易いすごろくゲームに置き換えた。本稿では代謝すごろくの構成と、実際に学生が取り組んだ場合の実践について紹介し、その課題について検討を行う。

2. 代謝すごろくの概要

2.1 すごろくの構成

代謝すごろくには2つの異なるコースがあり、グルコースをスタートとする糖質代謝コースと、脂肪をスタートとする脂質代謝コースがある (図1)。いずれのコースにおいても、酵素反応に関与する物質を1つのマス目としている。2つの代謝コースは共通してアセチルCoAを生成してクエン酸回路へ続き、さらに電子伝達経路 (Electron transfer pathway) に至り、水の生成をゴールとしている。途中で生成されるATP、または電子



図2 コマ、ATPカード（左）とサイコロ（右）のデザイン

2.3 ルール

2つあるコースのうち、グループ内の全員は同一のコースでゲームを進める。また、いずれのコースにおいても、最初にATPカードを2ATP分持って開始することとしている。解糖コースの場合、解糖反応（Glycolysis pathway）を終えて、グループで一番初めにピルビン酸に到達したコマは、乳酸のマスにて1回休みとなる。アセチルCoAを経てクエン酸回路に入り、ここで15ATP獲得すると、さらにコマを電子伝達反応に進む。ゴールは最終産物である水 H_2O であり、サイコロの丁度の目が出なければその分戻る。脂肪コースの場合は、1回休みとなるマスは無いが、 β 酸化反応（ β -oxidation）を3周回った後、アセチルCoAを経て、クエン酸回路に入る。以降のルールは解糖コースと同じである。

2.4 すごろくの実施

生化学を履修している看護系学生を対象に、授業の最初に10分間ルールと要領の説明を行なったのち、40分間ゲームを実施させた。参加者は90人であり、4人または5人を1グループとした（20グループ）。すごろくゲーム終了直後、5分間で実施内容に関する質問紙調査を行なった。

3. 結果と考察

3.1 所要時間、ATPカードについて

1ゲーム所要時間の予備調査をもとに、40分間に4ゲーム（糖質、脂質コースを各2回）の実施を設定した。このうち全て終了できたのは8グループ（40%）、3ゲームまで6グループ（30%）、2ゲームまで6グループ（30%）であった。予備調査では7グループ（35人）で行い、1ゲーム平均約9分で終了していたが、本実験の20グループでは個々のグループからの質問対応に多くの時間を要したため、全体として目標ゲーム数に到達できなかったと考えられる。授業時間内に円滑に実施するためには、サポート役の教員またはアシスタントを学生40名につき1名程度配置する必要があると考えられる。また、獲得ATPの数は

1 ゲームあたり糖質コースで16.4ATPであり、脂質コースでは17.6ATPであった。準備した108ATP分のカードは、1 ゲーム実施するには十分対応できる枚数であると考えられる。

3.2 すごろくに対する主観的評価

すごろくに参加した全ての学生を対象に行った質問紙調査は、5段階による回答項目4問、自由記述項目2問からなる。本調査結果から、概ね楽しみながらゲームに参加でき、半数以上の学生は新たに学習できた内容があったと評価していることがわかった(表1)。

表1 質問項目に対する回答

質問項目	5	4	3	2	1
1) 楽しめたか	29	26	31	4	0
2) ルールの難しさ (5 難しい↔1 簡単)	4	15	47	12	12
3) デザインの良さ	12	26	47	5	0
4) 新たに学習できたことがあったか	2	7	43	28	10

表1において、デザインに関して肯定的な評価が得られた一方、自由記述の1問目「改善点した方が良いところ」については、盤面を大きくした方が良い(5人)、ハエをもう少し可愛く(5人)など、改善点も指摘された。また盤面については、ゲーム中に物質名がしっかり確認できるよう、今回使用したA4からB4サイズ程度に拡大した方が良いと考えられる。さらに、ルールの事前の説明をもう少し行ってほしい(7人)という意見があり、ルールが難しいという評価(表1)も考慮すると、これまで出た質問をもとにFAQを整備した上で、ルールとともに事前配布するなどの準備も必要であると考えられる。

自由記述2問目の「感想」には、ATP生成についての理解が促進された旨の評価があり、代謝反応のイメージを掴むツールとしての役割を果たすことができたと考えられる(表2)。一方で、「盤面を見る余裕がなかった」、「目的がわからなかった」など否定的な評価もあり、サイコロを振り、コマを動かすことだけに集中してしまう可能性が示唆された。このような問題を防ぐには、ゲーム開始前のルールの明確化と、適宜教員やアシスタントによる質問対応が効果的であると思われる。また、より多くの学生が代謝反応のイメージを獲得するためには、ゴールすることだけが目的とならないよう、止まったマス目で物質名を読み上げるなどのルールの導入が、代謝反応への注目を促す上でも有効ではないかと考えられる。

表2 自由記述の感想 (抜粋)

感想	人数
代謝で生成する ATP の数が理解できた	6
脂肪は糖質より ATP をたくさん生成することが理解できた	6
座学だけでは疲れるので気分転換になった	3
代謝のしくみがよくわかった	2
マス目 (物質名) を見る余裕がなかった	2
目的が分からなかった	2

参考文献

- 1) Griffin, R.D. (1986) The Biology Coloring Book, HarperPerennial, 49-56.
- 2) 中川徹夫 (1988) クロスワードパズルを用いた元素記号の学習方法、化学と教育, 80, 308-309.
- 3) 薄井健太、出口明子 (2014) 「人体」の理解を支援するすごろくゲームの開発、日本科学教育学会年会論文集、38, 581-582.