

中・高等教育において生化学を学ぶ意義と

カフェインを題材とした講義手法に関する一考察

Significance of biochemistry learning in secondary and higher education and a consideration of lecture method using caffeine as a subject

福島 洋一^a, 蕪木 智子^b

Yoichi FUKUSHIMA, Tomoko KABURAGI

Biochemistry is the field of chemistry on biological phenomena and seeks to understand their nature at the molecular level. It provides fundamental knowledges of food and health that supports medicine, pharmacology, nutrition, agriculture, and related industries. It is also an important field of study to learn about the mechanisms of life, and expected that many students will take an interest in this subject as a liberal education. However, it cannot be said that the hurdle to learn this subject is low, as it involves many chemical substances and complex metabolic mechanisms. The Guidelines for the Course of Study for Senior High School emphasize the importance of independent, interactive, and deep learning when taking science courses, as well as the importance of acquiring "perspectives and ways of thinking." In order to foster the essential mindset that students is motivated and proactively learn biochemistry because biological phenomena are interesting, we (1) draw out the students' curiosity by starting their learning from a visible and story-telling aides (e.g. science film) and concrete and familiar materials (e.g. food components), and (2) conduct project-based active learning in parallel with the learning of knowledge at the textbooks. This article introduces an idea to use caffeine, a food component in coffee and tea, as a supplementary teaching material for biochemistry lectures. Caffeine is a familiar chemical substance that has a central nervous system stimulating effect, such as relieving drowsiness, and has a physiological effect on glucose metabolism. Caffeine, which is easily crystalized, can be visible and bring actual sensation, so it may help students to ruminate on what they have learned in biochemistry.

Key words: biochemistry, caffeine, science education, intellectual curiosity

1. はじめに

生化学は生命現象を化学的に研究し、その本質を分子のレベルで理解しようとする学問である。「生きる」ということは何かという問いは人にとって根源的なものであり、生命が極めて巧みで精緻なシステムで営まれるという興味深い内容を、これまで明らかにされてきた知識や現在進行形で明らかにされつつある最新の知見を学ぶ。また医薬や栄養、食品などの分野に進む学生にとって、生化学は必須の基礎知識を提供するが、生命現象が複雑であるが故に、生化学の学習では生体成分の化学物質名や代謝の仕組みなど、用語や複雑な概念が多く、習得す

るハードルは決して低いとは言えない。

人は霊長類の中でも好奇心が強く、人でしか見られない行動の基盤に好奇心があるという指摘がある¹⁾。おそらく小学生くらいまではほとんどの人が、好奇心を持って自然現象に触れ、面白いと思い、理解を進め、学んでいたのではないかと。恐竜図鑑に熱中した子ども時代を持つ人も多いはずだ。ところが、学年が上がって、学ぶべき対象が目に見えない抽象的なものや論理的なものが増えてくるに従い、好奇心を維持するのが難しくなってくる。そしてさらに受験というイベントが子どもたちを待ち構えている。受験システムは、テストで時間内に解答する力をつけることを強いる。テストで点がとれないことは、

a: ネスレ日本株式会社, b: 大東文化大学

本来好奇心を満たし、面白いはずの科学への興味を失わせる原因となる。また受験の手段としての学びは、試験が終わればそれで役目が終わりであり、生涯にわたって学びを継続することに繋がりにくいというネガティブな側面がある。こうした現状の中で中高生時代を送った多くの学生に対し、大学での生化学は何を目指し、どのような学びを提供していけばよいのであろうか。

生化学は、生きる現象を学ぶ故に人の持つ好奇心に訴えるものを持っているはずである。しかし、その現象を突き詰めていくと分子とその反応、すなわち化学の世界に入っていく、そこで学ぶ分子や代謝も目で見ることができず、直感的に理解しにくく、また身近な話題との接点が見いだしにくい。生化学を直感的に身近に感じてもらえる工夫はないものだろうか。コーヒーや茶に含まれるカフェインは誰もが知っている化学物質である。カフェインは生体物質ではないが、その類似物質であるために、生体で応答し、その眠気を飛ばす作用は誰もが実感できる。本稿では、生化学を学習する意義を振り返り、生化学を意味のある形で学ぶ方法について考察していく。そして学生の興味を引き出す手法としてカフェインという身近な化学物質を活用する可能性について論じることとする。

2. 理科離れと受験システムの功罪

本学受験生の受験科目の選択状況を表1に示す。2019年度に大東文化大学健康科学科を非推薦枠で受験した436名のうち、「化学」あるいは「化学基礎」を選択して受験した学生数は154名(35%)、「生物」あるいは「生物基礎」では185名(42%)だった。同年のセンター試験の理数系科目の選択状況と比較すると、生物系の選択が多く、また基礎系の選択が多い傾向が見てとれる。複数科目受験も考慮すると、化学系を受験していない学生は65%、生物系を受験していない学生は55%に及び、また基礎科目でなく、発展科目としての「生物」あるいは「化学」を受験科目として選択していない学生は72%にも達した。推薦枠で化学・生物を含む基礎学力テストを受けた者は推薦合格者のうち2割程度に過ぎなかった。これらのことから、本学科の教育対象となる学生の大半は、生化学の基礎となる化学や生物について十分に履修していない可能性が高いことがわかる。しかし、この事実はいずれも幸いとみるべきかもしれない。受験という呪縛から解放された学生は、新しい内容を新鮮な気持ちで、大学での生化学の講義に参加してくれる可能性がある。

またこうした立ち位置は一般社会人の多くと共通していることから、本学の学生が魅力的に学べる生化学のカリキュラムを模索し構築していくことは、すなわち日本のマジョリティに対する教育手法を提示することにもなる。

表1. 平成31年度センター試験及び大東文化大学健康科学科の入学試験における理数科目の受験者数

	センター試験		本学健康科学科	
	受験者数	理数科目のべ人数中の割合	受験者数	理数科目のべ人数中の割合
物理基礎	20,179	3%	63	15%
物理	156,568	21%	16	4%
化学基礎	113,801	15%	107	26%
化学	201,332	27%	47	11%
生物基礎	141,242	19%	108	26%
生物	67,614	9%	77	18%
地学基礎	49,745	7%	-	-
地学	1,936	0.3%	-	-
理数科目のべ人数	752,417	100.0%	418	100%
数学IA	392,486		77	
数学IB	349,405		7	
総受験者数	516,858		436	

高等学校学習指導要領では、理科の目標として「理科の見方・考え方（どのような視点で物事を捉え、どのような考え方で思考していくのか）を働かせ、見通しをもって観察、実験を行うことなどを通して、自然の事物・現象を科学的に探求するために必要な資質・能力を育成することを旨とする」とし、理解を深め、技能を身につけ、科学的に探求しようとする態度を養うようにと論じている。そして、留意して取り組む事項として「主体的な学び」「対話的な学び」「深い学び」があるとし、深い学びの鍵として「見方・考え方」を働かせることが重要であり、教科等の学習と社会をつなぎ、学習や人生において「見方・考え方」を自在に働かせることができるようになる」としている2)。「マインド」「知識」「スキル」の3要素は、実社会で仕事をしていく際に求められる重要な要素だが、指導要領の理科の目標は極めて一致した考え方となっている。大学においても、専門性を重視しつつ、これらの要素を身につける教育が求められていると考える。

子どもの理科離れが問題視されるようになって久しいが、なぜ高校生は理科でつまづき、理科嫌いに陥ること多いのだろうか。人は学ぶ生き物であり、生来好奇心が強い。「知りたい」、「学びたい」というモチベーションは高く、それらが満たされたときに喜びを感じる。小学校くらいまでの学びのモチベーションに、「実際にわかった」「できた」時のうれしさや、大人から「褒められる」「認められる」という認知欲求が満たされることが占める割合は大きい。ところが、中学・高校になると状況が一変する。受験への準備という大きな目標が目前に出現するのである。テストで点が取れることはモチベーショ

ンを高め、教科に興味を持つきっかけになることもある。しかし問題となるのは、テストで点が取れないために興味を失ってしまったり、理解して面白さが感じられるまでの時間が足りず、わからないことがさらに興味を奪うという悪循環が生じることである。学べる時間との闘いが理科嫌いを生む源泉になっているのではないか。国立教育政策研究所の調査によれば、初等教育における児童の理科への関心は高いが、小学校5年生以降では、学年の進行に従い急激に理科好きの割合が低下し、中等教育終了時には40%程度にまで落ち込むことが示されている3)。OECDが実施している15歳児を対象とした科学的リテラシーに関する調査によれば、日本の生徒は学力面では上位に位置するものの、「科学について学ぶことに興味がある」などの項目が国際的にみても低いという現状が明らかにされている4)。

受験のために勉強すること、それは現実に起きていることであるし、行き過ぎた面を否定する意見もあるだろうが、プラスの面についても理解をしておく必要がある。生徒が志望校合格という明確な目標を持ち、それを達成するために時間をかけて準備を進めるといった経験を持つことは大事である。「差別は悪」としながら、教育においても人をしっかりと合理的に「区別」している欧米と異なり、日本では大学進学への門戸がすべての人に等しく開いていて、平等な学びを継続的に提供できる。これは日本の分厚い優秀な中間層を生み出す源泉になっており、受験システムがその底上げに寄与していると考えられる。受験のために学ぶべき内容は、指導要領に沿った最新かつ必須で網羅的な知識となっていて、そのレベルは世界的に見ても高い。生物学でいうと、日本の高校生物はマサチューセッツ工科大学など米国の有名大学を含む多くの大学で採用されている『LIFE』という教養課程初学年の教科書内容とほぼ同じレベルの内容を網羅している5)。また近年では知識偏重への反省から、「考える力」をつけることの重要性が指導要領にも盛り込まれ、これに沿って試験問題も変化してきている。一方、受験システムのマイナス面も明確にしておきたい。受験が目的化することで、興味を持っていることを自ら学ぶ時間が制約される、知識偏重に陥りがちになる、履修しない科目がでてくる、本来は終わることのない生涯続く「学び」が分断されがちとなるなどの点は、受験システムの弊害と言えよう。また、「考える力」を問う試験問題がいくら増えても、用意された問いに答えを素早く導く力が重視されるようになる事には変わりはない。社会に出て重要となる、自ら「問い」を発し、「課題を見いだし」、「学びなが

ら解決していく」というアプローチは軽視されがちになる。

逆説的になるが、大学受験を終えた大学生への教育においては、受験勉強で培われたプラスの部分を活用しながら、受験勉強では達し得ない部分を補い、学びの本来の姿に戻していくことが課題となっていく。その方法としては、好奇心を持って学ぶマインドへのリセット、教科書を基本とした社会で役立つ知識、そして体験を通じたスキルの習得が重要となる。

3. 生化学の学習内容と学ぶ意義

生命現象の多くは生体を構成する分子の動きで説明が可能であり、生化学の知見は遺伝学から分子生物学、農学から栄養学、薬学、医学まで多くの分野で用いられている。生化学にはこうした実学という面があり、医療や医薬品、食品産業や農業など様々な産業を支えている。生化学は生命現象について深く学ぶ科目であるが、人が毎日食べ物を食べ、消化し、栄養素を体に取り込み、エネルギーを得、身体を構成、維持し、頭脳を働かせ、五感を駆使し、体そして臓器を動かし、子孫を残す、といった、生きる上で起こる事象を対象とする。そして細胞レベルでは、その仕組みのほとんどは地球上に存在する生物が共通して活用している驚くべき精緻なシステムであることを学ぶ。

健康に生きることの基礎は生化学的な現象の上に成り立っている。人が生きることを自然科学の立場から正しく理解することは重要である。中高年の人気テレビ番組の筆頭に健康情報番組がある。日本人の健康への関心の高さとテレビ番組等で学んだ知識、用語の普及ぶりは世界的にみても目を見張るレベルの高さを誇る。しかし残念ながらメディアで紹介される情報には誤りが含まれることも少なくない。生化学を適切に学ぶことで、巷の誤った情報を疑い、正しい答えを導く基礎ができるはずだ。科学リテラシーに通じる教養的な生化学の知識は、バイオテクノロジーやバイオインフォマティクスをはじめとした生化学の進歩が加速し、生活への応用が一段と進みゆく現在、そして将来においても重要性を増していくものと思われる。病気になることもまた生命現象であり、医療や治療・予防に用いられる医薬品は、生化学を土台として開発が行われている。病院で薬を与えられれば、そこには生化学の知識の応用、社会での技術の実装に思いをはせることができる。

生化学は誰が学ぶべき科目と言えるだろうか。世の中

には、生化学を生活中で意識せずに暮らせる一般の生活者、生化学の基礎があることが仕事に役立つ職業人やその候補者、そして生化学の基礎がないと仕事にならない専門家およびその候補者の3つがタイプの人がいる。専門家やその候補者にとって生化学が必須なのは自明であるが、他の人はどうだろうか。米国の一部の大学では、生物の教科書 LIFE が大学教養課程での必須の教科書となっているが、その理由として、一般教養を高めて人間としての奥行きを広げる、その学生が専門とする学間に生物学の考え方、知識を導入して発展させる可能性や、文系の学生も将来官界や財界のトップに立ったときにバイオテクノロジーの最先端の研究者の意思疎通を容易にし、同分野の発展促進に繋がる期待がある、といった考え方がされている⁵⁾。洋の東西を問わず、生化学は生活者の知恵の基盤として、また技術立国の礎としても重要な領域と言える。本学においても、教職課程や臨床検査技師養成コースの学生に限らず、生化学は教養として広い学生層に学んでもらいたい科目といえる。

高校生物そして化学の学習項目は、内容の深さという点を除いては、生化学の初歩で学ぶべき項目をほぼ網羅している。生化学で学ぶべき内容を高校生物(表2)及び高校化学(表3)の教科書の項目からリストを作成した。生化学は分野が広く、新しい知見が年々増え、日進月歩が著しい領域である。筆頭著者が学生時代に生化学を最初に学んだ約30年前の時点では存在しなかった内容に下線を付けてみた(表2)。科学は進歩していくものであり、現時点で使用されている教科書はあくまで生化学の入り口であり通過点である。そうした新しい発見のための営みや進歩を知ることにも生化学を学ぶ上での醍醐味になるかもしれない。理科科目は低学年で学んだ領域を高学年でもなぞり、深く掘り下げながら繰り返し学んでいく。生物を例に取れば、光合成や食べ物の消化は中学校で学ぶが、高校になると化学物質名や代謝経路の名称などにまで掘り下げられてた形で再び出現する。大学の生化学では、化学物質としての構造や酵素の役割、代謝回路の実際やその制御といった内容で、現象をさらに深く説明していく。小中学校の教科書や高校の教科書あるいは資料集は、科学を身近に感じてもらうための工夫が満載されているため、大胆に小中高で習った内容を反芻することも、生化学を身近に感じてもらうひとつの手法となるかもしれない。

4. 生化学を学ぶ手法

本学の生化学の講義で取り入れるべき手法について論じたい。そこでキーワードとなってくるのが「好奇心」「世の中ごと」「体験」である。本学では高校での生物や化学を受験に資するレベルで習得している学生は多くないことが予想される。しかし、これを逆手に取り中学高校レベルの知識から学習させることで、生化学の入り口となる生命現象を、より新鮮な内容として学ばせることができるかもしれない。これまで抜けていた学習内容は、生命現象を学ぶ生化学に必要な知識として学び直せば良いのだ。そこには受験のための窮屈な学びではなく、面白いから学ぶという本来的なマインドを醸成しやすいのではないか。難しい化学式の暗記や代謝系の理解も、記憶して試験をパスすることのみを目的とせず、生命現象を理解するツールのひとつとして基本から学んでいけることは、受験が終わった学生の大いなる利点である。資格のための網羅的な勉強が必要になるケースもあるが、特に大学初年度での講義は、徹底的に興味を持たせることに集中することで、学生が本来もつ好奇心を引き出すことが必要であると考えられる。「見えない」テーマの入り口としては、例えばNHKスペシャル人体シリーズのような、具体的で事実即し、ドラマがあり話題性十分の構成、カラダの仕組みを見える化してくれる映像は「好奇心」を呼び覚まし、講義の導入にはうってつけの教材となる。番組には難しい化学式はあまり出てこないのも、そこから生化学の教科書の出番である。相手は生命現象なので、工夫次第で面白い内容にできるはずである。こうした映像素材だけでなく、実は中高の教科書や資料集には、実社会で起きている「世の中ごと」との接点を示す多くの内容が含まれている。

実験演習に限らず、「体験」は、学習のモチベーションを上げて自発的に学ぶマインドを醸成し、そして何らかのアクションをとるスキルを身に付けるためにも威力を発揮すると考える。人間は承認欲求が強い生き物である。受験というシステムは、承認欲求をうまく捉えて学生に勉強することのモチベーションを与えている側面がある。受験が終わった学生に、今度は単位を取らせるというモチベーションを与えて勉強をさせるのもまたひとつの策ではある。しかし、人が生涯続ける学びに通じるモチベーションを与える手段としては、単位やテストの成績だけでは本質的なものとは言い難い。企業の人事研修でよく用いられるツールに、人の行動特性を4類系にまとめたDiSC理論というものがある^{6,7)}。意思が強く行動的

なD（主導傾向）タイプの方は、自身の成果への評価がモチベーションに繋がりがやすい。社交的なi（感化傾向）タイプの方は、成果そのものより人からの承認を受けることが、またS（安定傾向）タイプの方はルール通りに遂行することが、C（慎重傾向）タイプは分析的で正確にできたという評価が、モチベーションにつながるとされている。日本人においてはDiSCの各タイプは順に1割、2割、4割、3割を占めると言われている。勉強ができるようになったという成果は皆に等しく強いモチベーションになるとは限らず、多くの日本人は成果そのものより他人から評価されたこと自体や、整然と物事が進んだこと等に喜びをより感じやすいということが起こる。この点で、グループワークによる「体験」をうまく織り交ぜた講義は大いにポテンシャルを持っている。教科書の内容が理解できた、あるいは問題が解けたという達成感に加え、仲間と物事をうまく進められた、仲間から認められたといった、別のモチベーションを与えることができれば、より多くの学生にとって面白いと感じるチャンスを増やせるのではないかと考える。

少々話が脱線するのをお許しいただきたい。筆頭著者は、ネスレというグローバル企業のスイス本社 of 研究所に3年間勤務し、当時3人の小中学生の子どもを英国系のインターナショナルスクールで学ばせる経験を持った。この学校の生徒はスイスのレマン湖畔に住む世界の富豪の子息と、スイス本社に長期あるいは短期雇用されたエリート社員の子息が約半数ずつで構成されていた。学校行事には保護者として関わりを多く持ったが、その中で多くの気付きがあった。英語（国語）は別として、日本で学んできた各教科の内容は、外国勢の同学年の生徒よりも総じて進んでいて、特に、計算などの基礎学力は圧倒的に日本人が強いという印象をもった。ところが、外国勢は学校が繰り出す、社会に関わるテーマに取り組み、問いを発し、それなりに答えを出し、プレゼンテーションなどで大人顔負けの表現をしていくのだった。善し悪しは別として、細かいことをきちんとできることへの期待は捨て、アウトプットを出すための力をつける合理的な教育が行われているように感じた。プロジェクトと呼ばれるテーマ学習が実施され、個人やグループワークで実施されることもあるが、学校まるごとのイベントとして、あるテーマについての学びを行うという場合もあった。思い出深いのは、テューダーウィークと称したプロジェクトがあり、全学年の生徒が1週間にわたって英国テューダー朝をテーマとした学びを行い、我が子たちは保護者が作ったテューダー朝時代風の衣装を身につけて

学校へ通った。

プロジェクト式の課題遂行という手法を生化学の講義の一部として取り入れることは、生化学の講義を面白く、実のあるものにするための有効な手段になると考える。プロジェクトは、生化学の学びに好奇心を持って接し、実社会の事項、「世の中ごと」と結びつけ、体験する場を提供できると思う。テーマ設定には工夫が必要だが、例えば、「解糖系を中学生に面白く教える教材開発」というようなテーマでグループワークをさせるというのはどうだろうか。イノベティブに社会に向けたアウトプットを創っていく経験は、なぜこれを学ぶのかを考える機会を与え、理解を深めるためにも役立つはずだ。指導要領のいう「主体的な学び」「対話的な学び」「深い学び」に通じると考える。

表2. 中学校理科・高校生物基礎及び生物の教科書における生化学領域の記載

高校生物での単元	高校生物で取り上げる主な事項		高校生物基礎、科学と人間生活*、中学理科** においても取り上げる事項
	物質（グループ）	構造、反応、その他	
1. 細胞と分子			
生体を構成する物質	生体膜、タンパク質、核酸、炭水化物（○単糖類）		ヌクレオチド、アミノ酸、タンパク質
タンパク質の構造と性質	○アミノ酸、○ペプチド結合、ジスルフィド結合、シャペロン	高次構造、変性、失活	
酵素のはたらき	△カタラーゼ	活性部位、活性化エネルギー、競争阻害 フィードバック調節、アロステリック効果	消化酵素(アミラーゼ、ペプシンなど)*,**
細胞の構造	クロマチン、DNA、アクチンフィラメント、チューブリン、リン脂質、（接着タンパク質、カドヘリン）		体内環境としての体液（ヘモグロビン、フィブリン）
物質輸送とタンパク質	輸送タンパク質、アкваポリン、グルコース輸送体、Na-K ATPアーゼ、キネシン、ダイニン、ミオシン	チャネル、モータータンパク質	腎臓と肝臓による調節（Naポンプ）
情報伝達・認識とタンパク質	情報伝達物質、レセプター、イオンチャネル型受容体、TLR、サイトカイン、 インターロイキン、（HMC抗原、HLA遺伝子）（N-アセチルガラクトサミン）	シグナル	
2. 代謝			
代謝とエネルギー	ATP、ADP、NADH、FAD、（リンゴ酸脱水素酵素）、ピルビン酸、アセチルCoA クエン酸、α-ケトグルタル酸、コハク酸、フマル酸、リンゴ酸、オキサロ酢酸 エタノール、アセトアルデヒド	□解糖系、□クエン酸回路、□電子伝達系 酸化的リン酸化、△酸化還元反応、□β-酸化、 脱アミノ酸反応、□乳酸発酵、△アルコール発酵	エネルギーと代謝（ATP、酵素） 乳酸/アルコール発酵*
光合成/窒素同化	クロロフィル、カロテン、キサントフィル ルビスコ、ホスホグリセリン酸、グリセルアルデヒドリン酸、リブロースニリン酸	□電子伝達系、光リン酸化 □カルビン・ベンソン回路、□窒素固定	光合成**と呼吸（ATP、クロロフィル、NAD、 グルコース、ピルビン酸）
3 遺伝情報の発現			
DNAの構造と複製	ヌクレオチド、○アデニン、○チミン、○グアニン、○シトシン、デオキシリボース		遺伝情報とDNA**
遺伝子情報の発現	DNAポリメラーゼ、DNAヘリカーゼ、DNAリガーゼ、RNA RNAポリメラーゼ、mRNA、tRNA、rRNA、△インスリン	岡崎フラグメント	RNAポリメラーゼ、DNAポリメラーゼ、テロメア クラスタリン、アクチン、ケラチン、インスリン
遺伝子の発現調節	アクチン、クリスタリン、オペロン、ラクトース、ガラクトース、アラビノース （生殖腺ホルモン、糖質コルチコイド、アドレナリン、cAMP）	（RNA干渉）	
バイオテクノロジー	制限酵素 （GFP、アンピシリン）	プラスミド、ベクター、DNAマイクロアレイ （ゲノム編集、ノックアウト）	遺伝子組み換え*
4 生殖と発生			
細胞の分化と形態形成	ノーダルタンパク質、BMP、（カドヘリン）		
5 動物の反応と行動			
ニューロンとその興奮	GABA、（ドーパミン、コカイン）		アドレナリン*、アセチルコリン*
刺激の受容	ロドプシン、レチナール、（TRPV1）		インスリン*、グルカゴン*、チロキシン*
刺激への反応/動物の行動	アクチン、ミオシン、ATPアーゼ、トロポミオシン、トロポニン、クレアチンリン酸、セロトニン		バソプレシン*、糖質コルチコイド*
6 植物の環境応答			
発芽の調節	アブシシン酸、ジベレリン、アミラーゼ、フィトクロム		
成長の調節	オーキシン、インドール酢酸、フィトトロピン、ブラシノステロイド、エチレン、サイトカイニン		
環境の変化に対する応答	ジャスモン酸、サリチル酸、フロリゲン		
7. 生物群集と生態系			
	ヘモグロビン、（ベルオキシダーゼ）		
8. 生命の起源と進化			
9. 生物の系統			
	（ペプチドグリカン、ヒストン、エステル脂質、エーテル脂質） クロロフィル、フコキサンチン、フィコエリトリン、カロテン		
0. その他			五大栄養素*、ビタミンD*

*高校「科学と人間生活」で登場、**中学理科でも登場

○は分子式あり、□回路図示あり、△は実験要素あり、下線は1985年以降の発見、（）は参考として記載

表3. 高校化学基礎及び化学の教科書における生化学領域の記載

単元	化学基礎・化学で取り上げる内容	
化学基礎		
物質の構成		イオン、電荷 分子式、共有結合、構造式、二重結合、水素結合、(クロマトグラフィー)
酸と塩基の反応		酸、塩基、水素イオン、水酸化イオン、平衡状態、pH
酸化還元反応		酸化、還元
化学		
1.物質の状態	4.溶液	浸透圧、(人工透析)、ミセル
4.有機化合物	1.有機化合物の分類と分析	脂肪族、芳香族、飽和、不飽和、アルキル基、官能基 メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、メチレン基、ビニル基、フェニル基 ヒドロキシ基、エーテル基、アルデヒド基、カルボニル基、カルボキシル基 エステル結合、ニトロ基、スルホ基、アミノ基
	2.脂肪族炭化水素	構造異性体、二重結合、シス・トランス異性体
	3.アルコールと関連化合物	アルコール、アルデヒド、ケトン、カルボン酸、ヒドロキシ酸 パルミチン酸、ステアリン酸、オレイン酸、リノール酸、リノレン酸 フマル酸、不斉炭素、鏡像異性体、エステル、(界面活性剤)
	4.芳香族化合物	フェノール基、アミド結合
	まとめ	(サリチル酸メチル、アセトアミノフェン、サルファ剤、抗生物質) (グルコース、フルクトース、スクロース、マルトース、デンプン、セルロース) (α -アミノ酸、グリシン、アラニン、必須アミノ酸)
5.高分子化合物	1.高分子化合物の性質	単量体、重合体
	2.天然高分子化合物	
	単糖・二糖	単糖、二糖、多糖、グルコース、デンプン、 α -グルコース、 β -グルコース、環状構造 フルクトース、ガラクトース、還元糖、アルコール発酵、スクロース、グルコシド結合 インペルターゼ、転化、マルトース、アミラーゼ、ヘミアセタール、ホルミル基 マルターゼ、セロビオース、セルラーゼ、セロビアーゼ、ラクトース、ラクターゼ
	多糖	アミロース、アミロペクチン、 α -1,4-グリコシド結合、1-6結合、デキストリン 難消化性デキストリン、シクロデキストリン グリコーゲン、 β -1,4-グリコシド結合、(トレハロース)
	アミノ酸・タンパク質	ペプチド、ジペプチド、トリペプチド、ポリペプチド、一次~四次構造 α -ヘリックス、 β -シート構造、ジスルフィド結合、システイン、イオン結合 高次構造、単純タンパク質、複合タンパク質 アルブミン、グロブリン、グルテニン、ケラチン、コラーゲン、フィブロイン ムチン、ヘモグロビン、カゼイン 球状タンパク質、繊維状タンパク質、親水コロイド、加水分解、変性 酵素、基質、活性部位、反応特異性、補因子、補酵素、酵素阻害剤、失活 ペプシン、トリプシン、ペプチダーゼ、リパーゼ、ウレアーゼ、DNAアーゼ オキシダーゼ、カタラーゼ、DNAリガーゼ
	核酸	核酸、ヌクレオチド、ヌクレオシド、アデニン、アデノシン、ポリヌクレオチド ATP、リボース、DNA、RNA、二重らせん構造 mRNA、tRNA、rRNA、複製、転写、翻訳
巻末		グルタミン酸、L-バリン、抗ウイルス薬、シニグリン、アリルイソチオシアネート

5. カフェインを題材にした教育手法の可能性

生化学で学ぶ上で壁となる、目に見えない、体感もできない、概念が抽象的で身近に感じられない、どう役立つのかわかりにくいといった問題を取り除き、身近な化学

物質を題材にした体感可能な学習を成り立たせることができれば、生化学をより面白いカリキュラムに変貌させることができるのではないか。ここではカフェインを題材とした場合の可能性について述べる。

カフェインは植物が産生するアルカロイドというグル

ープに属する化学物質であり、植物は病虫害などに対する防御物質として利用しているが、人などの動物に対しては、中枢神経刺激作用をもたらす物質となる（図1）8）。人はコーヒーや茶の飲用習慣を文化として持つようになって以来、数百年以上の食経験をもち、身近な物質として接してきた。カフェインは栄養素以外の単一の化学物質としては最も多く摂取されてるもののひとつと言える。植物の二次代謝産物であり、動物の生体成分ではないため、生化学の教科書での登場機会はほとんどなく、核酸の類似物質として紹介があるか、あるいは鉄の吸収への影響が触れられる程度にとどまっている。カフェインを知らない人はほとんどおらず、おそらく生化学に登場する数々の化学物質の中でもその知名度は高い。一方、エナジードリンクの流行によりその摂取量が増えており、カフェイン中毒のニュースが流れることもある。カフェインを正しく理解し、付き合い方を知ることは、生活者の知恵として重要となっているが、その学習機会の場はほとんど設けられていないのが実情である。

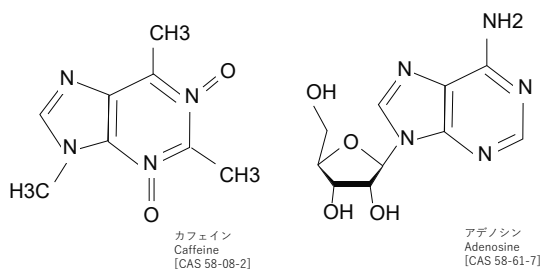


図1. アデノシン（右）とそのアンタゴニストとなるカフェイン（左）の化学構造

表4にカフェインの特徴と生化学における学習領域についてまとめました。カフェインは誰もが知っているだけでなく、実は目で見ることが出来る化学物質である。濃いめに抽出したアイスティを冷蔵庫で冷やすと、ミルクを入れたわけでもないのに白く濁ってくる。これはクリームダウンといわれる現象で、カフェインとタンニンが結合することによって起こる。カフェインは熱に強く昇華性があり、この性質を利用することで容易にカフェインの針状結晶を作ることができる（図2）。またカフェインは苦味を呈する。実験で析出させたカフェインの観察により、化学を視覚的にまた味覚的に体感できる。

表4. カフェインに関するファクトと生化学的な学びに繋がる要素

カフェインの特徴	生化学的な学びに繋がる要素
化学構造、アデノシン受容体阻害	核酸類の構造、化学構造がもたらす作用
易結晶性、苦味	単離・結晶化実験、呈味実験
覚醒作用、集中力の向上	脳機能と睡眠の役割、認知機能実験
交感神経刺激作用	自律神経の仕組み、ストレス
利尿作用	体水分調節機能、腎臓の働き
血糖値の上昇	血糖コントロールの仕組みと糖尿病
時計遺伝子への影響	時間生物学
感受性の遺伝子多型	分子遺伝学、薬物代謝系
植物での代謝、合成経路	植物の二次代謝
持久運動能力の向上	運動生理学



図2. カフェインの単結晶

前茶（緑茶葉）を茶香炉で熱すると178°Cのカフェインの昇華温度に近づき、数時間でカフェインの針状の単結晶が成長し、目視することが可能となる。

カフェインはマイルドな中枢神経刺激作用を持ち、いわゆる覚醒作用として眠気を飛ばす力があることは誰もが体験していると思う。知覚できる作用がある化学物質は、生化学の教科書にはなかなか登場しない。カフェインは睡眠物質としても知られるアデノシンと構造が類似し、睡眠を誘発するアデノシンが受容体と結合するのを阻害するアンタゴニストとして働く。この受容体阻害作用により、グルタミン酸やドーパミンといった興奮性の神経伝達物質の放出を抑制するアデノシンの働きが抑えられ、交感神経の刺激、アドレナリンなどを介した抗ストレス応答や異化応答を起こす。その結果、心拍数、心拍量、血圧、血糖値などの一過性の上昇を起こす。コーヒーや茶の飲用レベルのカフェイン量で引き起こされるような応答は軽微で、通常の生活において問題になることはないが、カフェイン感受性の高い人では心拍数の増大を感じることもある。カフェインの作用を知ることで、こう

した多くの生体反応を身近な話題として学ぶことができる。

コーヒー1杯程度のカフェイン(75mg)の急性摂取は認知能力のひとつである注意力を向上させる。EUにおける厚生労働省的な役割を持つ、欧州食品安全機関(EFSA)は、カフェインの注意力向上作用は科学的根拠が十分にあり、機能性表示(ヘルスクレーム)が可能であるという評価をしている⁹⁾。注意力の向上は単純反応時間の短縮で確認できるが、この効果はPCやスマホのアプリでも簡単に計測ができる。カフェインの効果は実感できるだけでなく、身近な実験方法で確認できるのである。生化学というよりはやや生理学的な手法にはなるが、身近な物質の生理効果について実験を組んで証明できるのは、カフェインが持つ性質ならではであり、学生の関心を引きつけながらカリキュラムを進めるのに役立つと考える。

またカフェインの感受性は遺伝的な影響を受けることが知られている。人間の全遺伝子配列が明らかにされて久しいが、ゲノムワイドプロジェクトが明らかにしたところでは、コーヒー摂取量を変化させる遺伝子多型がいくつかが存在し、そのひとつがカフェインを代謝する酵素シトクロムP450をコードする配列にあることが知られている¹⁰⁾。EFSAが認めているカフェインの機能性のひとつに持久運動能力の向上があるが⁹⁾、遺伝子多型によってその作用の大きさが異なる可能性が出てきている¹¹⁾。欧米ではカフェインのスポーツパフォーマンスへの影響に関する研究はとて進んでいるが、日本ではほとんど語られることがないという不思議な状況が続いている。カフェインは分子遺伝学という生化学の一分野での話題を身近な課題として提供する。健康科学やスポーツ科学を学ぶ学生にとっての学ぶべき内容と強く繋がっている。

日本人のカフェインの摂取量に関する研究は限定的であり、英文での報告が1報あるのみである¹²⁾。筆者らはポリフェノール含有量のデータベースを開発し、日本人のポリフェノール摂取量をはじめ明らかにしてきたが¹³⁾、カフェイン含有量の精緻なデータベースは未だ開発されていない。喫茶習慣とカフェイン摂取は密接な関係があり、その歴史や文化的な理解もまた、文理融合型の研究テーマのひとつとして取り組むべき課題となると考える。喫茶の世界的な歴史をまとめた和書として最も詳細な資料である「年表 茶の世界史」¹⁴⁾の著者、松崎芳郎は大東文化大学の出身である。カフェインを題材としたテーマは講義内容を豊かにするだけでなく、そこから発した「問い」をもとに、卒論などの研究テーマと

して総合的に発展させうる可能性も秘めていると考える。

6. 終わりに

理科科目では、知識のみならず、マインドやスキルを学ぶ事が重要であると強調される。その背景には、科学は学ぶものであると同時に、創っていくものであり、それを支える研究活動という本質的な役割があるからである。科学者は、科学的な手続きに則って「研究」を行い、新規性のある知を得、これを論文という形で世に問い続ける。こうした知の蓄積が科学であり、研究による知識の創出は日々進行し、時には新しい発見によりそれまでの知識は変更されていく。何が新しいのかを知り、新しいことに取り組んでいく態度や活動そのものは、科学に限らず、イノベーションが求められる社会において極めて重要となっている。科学論文を書いたことのある人、とくに査読付きの科学雑誌にて自らの研究を公表したことがある人は、新規性、すなわち世界で最初となる何かしらの発見をして、そこから世界を俯瞰し論じた経験を持った人ということになる。「論文を書く」という体験は、高等教育で学生の到達点として極めて重要であると考えられる。それは、指導要領にある「主体的な学び」を高いレベルで履行することでもある。

IT技術が進化した現在、検索すれば知りたい情報は即座に入手することができるようになり、以前にも増して世界はすべてわかっていることで完結しているという錯覚に陥りやすくなった。研究に携わる経験を持つと、ひとつのことがわかっても必ず次のわからないことが出現し、その探求は決して終わりが無いという事実と直面する。科学の本質はわかっていることを知ることもさることながら、わからないことへの取り組みにある。世界がわからないことだらけであることを知ることは、人がおごりを捨て、自然への畏敬の念が生まれるきっかけにもなる。人類がかつてない規模で世界中を行き来する時代に起こった新型コロナウイルスのような問題に直面したとき、生化学を学び、あるいは研究活動を体験した人は、おごらずに自身の行動を振り返り、メディアやSNSなどで飛び交う疾患やウイルスに関する情報を正しく理解して行動し、医療や薬の開発現場に思いを至らせることができるようになるのではないかと。無知の知と、科学的に取り組むマインド、自ら出した答えをその限界を知って表現する術、そうして表現された論文を読む力、そしてこれから世の中で起こる未知の事態に遭遇した時に自分で正しい答えを導く力は、学生に身につけてもらいたい

スキルである。

生命現象を化学的に表現する学問である生化学は、それを専門とするかどうかに限らず、大学生に学んで欲しい重要な科目である。多くの化学物質名や複雑な代謝の仕組みが登場し、難解な面もある。しかし、具体的目に見える実社会にある事項との関連付けを行い、知識を学ぶのと並行して、グループで行うプロジェクト形式のアクティブラーニングを体験させるなど、好奇心やモチベーションを醸成する工夫をすることで、好奇心を持って「主体的な学び」を通じた「見方・考え方」を身につける科目にできる可能性がある。コーヒーや茶に含まれる食品成分カフェインは、身近な化学物質で、実際に目に見て体で感じることができる生理活性物質であり、教材として活用でき、また将来的には研究対象として発展させていける可能性がある。学生が大学における真の学びを得る基礎となりうる生化学のカリキュラムを充実させるために、本稿の考察が一助として役立つことを願う。

参考文献

- 1) イアン・レズリー(著), 須川綾子(訳). 子どもは4000回質問する. 光文社. 2016
- 2) 文部科学省. 高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説、理科編、理数編(平成30年7月). 2018.
- 3) 長沼祥太郎. 理科離れの動向に関する一考察-実態及び原因に焦点を当てて-. 科学教育研究 2015; 39(2): 114-122.
- 4) 小倉康. OECD生徒の学習到達度調査(PISA), 日本理科教育学会編「今こそ理科の学力を問う: 新しい学力を育成する視点」12-17, 東洋館出版社. 2012
- 5) D. サダヴァー(著), 石崎泰樹, 丸山啓(監訳・翻訳). カラー図解 アメリカ版 大学生物学の教科書 第1巻 細胞生物学. 2010.
- 6) 佐藤英郎. プレイニングマネージャーのための新図解 コーチング術. アーク出版. 2010
- 7) Marston WM. Emotions of normal people. Int Library Psychol Philosophy Sci Met. 1928. Kegan Paul, Trench Trubner & Co. Ltd. (London)
<https://archive.org/details/emotionsofnormal032195mbp/page/n7/mode/2up>
- 8) 福島洋一, 栗原久. コーヒーの飲用の歴史と健康効果〜カフェインの注意力向上効果と安全性を中心に〜. 日本ポリフェノール学会誌 2020 (; 9:39-46.)
- 9) EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to caffeine and increased fat oxidation leading to a reduction in body fat mass (ID 735, 1484), increased energy expenditure leading to a reduction in body weight (ID 1487), increased alertness (ID 736, 1101, 1187, 1485, 1491, 2063, 2103) and increased attention (ID 736, 1485, 1491, 2375) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA J 2011; 9(4):2054.
- 10) Coffee and Caffeine Genetics Consortium et al. Genome-wide meta-analysis identifies six novel loci associated with habitual coffee consumption. Mol Psychiatry. 2015; 20(5):647-56.
- 11) Guest NS, Horne J, Vanderhout SM, El-Sohemy A. Sport Nutrigenomics: Personalized Nutrition for Athletic Performance. Front Nutr. 2019;6:8.
- 12) Yamada M, Sasaki S, Murakami K, Takahashi Y, Okubo H, Hirota N, Notsu A, Todoriki H, Miura A, Fukui M, Date C. Estimation of caffeine intake in Japanese adults using 16 d weighed diet records based on a food composition database newly developed for Japanese populations. Public Health Nutr. 2010;13(5):663-72.
- 13) Fukushima Y, Tashiro T, Kumagai A, Ohyanagi H, Horiuchi T, Takizawa K, Sugihara N, Kishimoto Y, Taguchi C, Tani M, Kondo K. Coffee and beverages are the major contributors to polyphenol consumption from food and beverages in Japanese middle-aged women. J Nutr Sci 2014; 3: e48.
- 14) 松崎芳郎. 茶の世界史. 八坂書房. 2012