

「卓越性の生物教育の実践」に向けた新たな動物細胞実験キットの導入とその論理的背景
Practical approach to introducing a new animal cells experiment kit for developing biology
education for excellence and its logical background.

○羽曾部 正豪* (東京海洋大学 海洋科学部)・吉村 成弘** (京都大学大学院 生命科学研究科)

* HASOBE Masahide Tokyo University of Marine Science and Technology

** YOSHIMURA Shigehiro Kyoto University, Graduate School of Biostudies

[要約] 分子生物学に関連した高校生物の学習は漸進的增加傾向にあり、担当教諭らの戸惑いでもある。つまり、生物学習構成論は重要な課題である。既報(H25本会)では、現行生物教育において軽視傾向にある「階層性」を論点に新たな表記解説を加え、その必要性和有効性を実証した。本報告ではその経緯から、体の基本単位「細胞」に関わる新たな実験学習法を提案する。つまり、実体と概念の連携「動物細胞実験の必要性和導入法」である。実験系は魚類株化細胞とその実験キットの構成であり、実践的にも迅速・簡便・実効性を示し、その効果は「卓越性の生物教育実践」に沿うと期待された。

[キーワード] 生物教育、階層性、動物細胞、細胞小器官、培養細胞実験キット

1. はじめに

本研究はH24・25年会既報の継続研究(科研費基盤 A「卓越性の科学教育」代表.銀島文)であり、卓越性を志向した生物教育実践のコンテンツとカリキュラム開発を目的としている。

前報(羽曾部 2012)では、現行の生物教育において軽視されがちな古典的ロジックの必要性(器官系の意味意義:2系6要素)とその有効性(細胞機能との対応性)を明示すると同時にアンケート調査などに基づく実証を行なった。

続報(羽曾部 2013a)では、同様な傾向にある体構造の考え方の基本「階層性:動物体の階層構造」を再考し、新たな解説も加え学習者に必要な「視座視点一覧」として表記した。更にその実践導入法を「脊椎動物の構造をモデルとした生物系のロジカルシンキングトレーニング:ワークシート形式演習講義」として報告した。

上記概要はその間に担当した実践講義(SPP,SSH)や教員研修(羽曾部 2013b)、そのWeb 資料を通じ公開した結果、少なからず高校生物教師の賛同の枠内にある(と考えている)。

ところで、個体生物学の基本的な視点は「形・役割・仕組み・由来」であるが、分子レベル(いわゆる遺伝子、DNA、巨大分子、など)に基づく生命現象の理解は今や一般的であり、「仕組み重視・分子生物学」への取り組みは高校レベルにおいても必要な課題となっている。しかし一方、「仕組み偏重・分子生物学」と言った意見も聞かせる。例えば「新しいカリキュラムの問題はDNAを重視するあまり先端的な知見の単なる羅列に陥ってしまっていることにあると思います

(高校教諭からの私信)」などがあることも事実であり、分子レベルの学習が孤立することなく個体生物学の論理的必然性の枠内にあることが求められる(と考える)。つまり、高校生物の「学習構成論」は今後も必要であろう。

しかし、個体生物学を考察するに不可欠な前提あるいは基軸となる概念「階層性」、階層構造性:動物体の構造を成す構成要素の連続的・段階的な区分)、が学習対象(概念)として教科書的に不明瞭、あるいは重要視されていない現状において、その取り組みは困難を極めると考えられる。

そこで本研究では、いわゆる分子レベルの学習とは階層性の下位(細胞レベル:分子・巨大分子・細胞小器官)に関わる事象であることから、その総体として取扱いが可能な体の基本単位「細胞」に関わる新たな実験学習法を提案し、「論より証拠・されどロジックも必要」という立場からその対応を試みる。つまり、生物学の理念「実体と概念の連携」という観点から、動物細胞の培養実験(細胞培養実験)の導入を試み、その必要性、方法、効果について論議する。

なお、培養細胞実験の取り組みには専門性(技術や設備)を必要とするが、本研究に用いた実験系(下記)は、Ready-To-Useを念頭に開発された、魚類株化細胞(名称 FHLS)とその実験キット(必要物品の構成セット)の構成である。その結果、実践学習の場においてもこれまでに例を見ない「利便性・実用性・発展性」の提供を可能とした。つまり、「いつでも・どこでも・誰でも」利用可能な細胞実験キットの導入である。

2. 動物培養細胞実験の特徴とその必要性

はじめに、動物培養細胞実験、いわゆる「細胞培養技術」に関わる基本的な考え方(要点)を新たに取りまとめ、以下に列記する。その経緯から、高校生物(あるいは大学基礎)レベルにおけるその実験学習の必要性を提案する。

.....

1) 「培養細胞」とは、生体組織から摘出されシャーレなどで人為的に維持管理される細胞のこと。2) 「細胞培養」とは、生体組織の細胞が生きるその存在様式(微小環境)を人為的にシャーレなどに再現することである。なお、3) 動物細胞の基本的な性質は「足場依存性」であり、「細胞シートの形成」を基本とする。4) よって、一般的な動物細胞は、培養容器(培養フラスコなど)に「3層構造」として維持管理される。つまり、「固層、液層、気層」を必要とする。

5) 「固相」とは、細胞が接着基質とする容器底面であり、生体においては基底膜や細胞外マトリックス(ECM)などに相当する。6) その接着細胞を覆う「液層」とは「培養液・培地」であり、いわゆる生体基本分子(無機塩、糖、アミノ酸、ビタミン、血清、あるいは細胞増殖因子・ホルモン)の混合液、つまり、生体物質代謝の成分に相当する。7) 「気相」とは培養容器の液層上部に位置する空気層であり、気相-液層-細胞層としてガス交換、つまり「内呼吸・エネルギー変換」などに関与する。

8) つまり、培養細胞が生きるに必要な基本条件とは「接着基質、基礎培地、必須添加物(増殖因子やホルモンなど)」の3要素の充足であり、その他として「培養温度、無菌性、pH 維持、細胞の継代維持」などを必要とする。

9) その結果、細胞培養を開始すると細胞は容器底面上で、接着・伸展、移動・配列、分裂・増殖、接触阻害などの基本現象を示し、多くの培養細胞は「単層細胞シート:上皮様形態」を形成する。必要に応じて機能分化の様態に変換することも可能である。10) よって、細胞培養実験とその経過・結果は生体組織細胞との類似性から考察すべき対象となる。

.....

上述から俯瞰する細胞培養実験とは、いわゆる「動物代替実験系」であると同時に、その構成要素・様態の詳細は、「細胞の分子生物学」に関わる状況・現象そのものである。

つまり、仮に「細胞培養実験」が実践学習の場においても容易に導入が可能な対象(実験教

材)であるなら、その学習と考察のベクトルは必然的に無理なく「分子レベル」に向かうと考えられる。例えば、「細胞自身は何をしている・どのようにして生きている」といった簡単明瞭、且つ極めて重要な共有命題の提示がはじめて可能となる。つまり「細胞機能とその仕組み」といった分子レベルの学習であり、細胞実験は学習者へ具体的且つ統合的な視座視点の提供を可能とすると考えられる。共有命題に基づく優れた考察への道筋に明確な起点を与えると考えられる。

よって、現象理解に対する学習姿勢やその程度に歯止めは必要としないが、実際には学習の場に与えられた時間的な制約から自ずとその最小必須学習項目の選出が必要となる。生物学習構成論の基盤・枠組みは自ずと形成されることになる(と考える)。

3. 細胞実験キットの特徴:その利便性・実用性

動物細胞の培養技術は一般的に専門的(各種の機器・器具・知識・技法・計画性などが必要)なため、現状の学校設備や状況ではその実施は困難を極める。そこで本研究では、魚類に由来する株化細胞(名称FHLS細胞)と関連する器具一式からなる細胞実験キットを具体的・実践的な観点から構成した。なお、細胞実験キットとその実験学習法に関わる詳細は Web テキスト「実演生物学(羽曾部制作)」の「細胞実験」の項を参照とする。

概説すると、用いた魚類細胞FHLSは、基質に対する強い接着伸展活性を保持するが、同時に無血清-浮遊攪拌培養が可能な株化細胞であることを特徴とする。その結果、その細胞液をガス透過性フィルムバッグ(ポリエチレン製ビニール袋)に収容すると、細胞は1週間程度の保存に耐える。魚類由来の細胞であるため温度管理も必要としない(温度管理により有効期限の変更も可能となる)。よって、宅配輸送などによる提供も容易に可能となる、を特徴とする。

実践の場に向けた「実験教材」としての最大の特徴は、フィルムバッグ内の細胞 FHLS は非接着状態(静置浮遊状態)であるため、通常の細胞培養技術では不可欠な操作「接着細胞の酵素的分散処理(いわゆるトリプシン消化などによるディスペーズ操作)」を必要としないことである。更に、開封したバッグ内の細胞液を培養シャーレなどに加えると、細胞は室温30分程度でその形態を著しく変化させる。つまり、生きるに必要な

な自律性(細胞機能)を安定的に発揮し、接着伸展運動などを示す。固定染色すると個々の細胞の形態に加え、可視的な任意の「形:絵文字など」として細胞シート(上皮組織様の形態)を形成することも可能となる。

以上の実験操作は全て通常の学習室において可能である(専門機器を必要としない)。また、いわゆるオモシロ実験「仮称 動物細胞によるお絵描き実験」という形式も可能である。つまり、現状の生物教育教材にはない動物細胞に関わる「動的・機能的・形態的」な実験学習を可能とする。よって、本細胞実験システムの利点は、時間的・設備的な制約が付帯する学習の場に対して、これまでに例を見ない迅速性・簡便性を与え、計画的な実験学習の導入を可能としたことにある(と考える)。

なお、上記に基づく実践評価(高等学校への提供と実践学習)をこの3月に実施した(協力高校の所在地は北海道、茨城、愛知、三重)。宅配輸送により提供し、担当教諭の自主的な計画に基づき生徒を対象とした集団実験学習「細胞培養実験」を依頼した。詳細は紙面の都合から省略するが、本実験キットとその実験学習の導入に対する評価(アンケート調査)は、教師・生徒の双方から高い評価を得ることができた。

なお、実験方法(詳細)などの情報はWebテキストとして既に詳細に公開済みであるため、そのサイト資料の参照により実施された。

4. 生物学学習構成論(叩き台としての試論)

パターン	I型(日本)	II型(欧米)
志向型	知識の蓄積	創造力の開発
教師	操作 Teaching 教育	Education 開智
	目的 教える	才能を引き出す
学生	操作 Learning 学習	Study 考究
	目的 覚える	掘り下げて考える
特徴	① 既成の枠内にいる	枠外に出て考える
	② 物知り・模倣上囚	独創力が養える
	③ 類題解き屋に終る	発明発見する。
(川上正光:元東工大学長 1963 郵政省資料)		

上記(表1)は、銀島研究班資料(木村捨雄氏の提供)であるが、生物教育において「創造力の開発・掘り下げて考える」に必要な枠組みとは何かを、上記の経緯を踏まえ、個体生物学・分子生物学に関わる観点から以下に論考を加える。

生物学学習は確かに複雑系であり、その基準は現行教育過程であるが、その構成論に明確な論理を見出すことは難しいかもしれない。つまり、その実践的な構成は結果論的には担当者に一任される。しかし、受講者が考えるに適した(を欲する)学齢期にあることは生物教育においても平等な前提である。そのため、「掘り下げて考える」に必要な論理的且つ具体的な学習項目は常に必要である。

例えば、前出の「動物体の階層性」に基づく学習者の考察の新たな視点(学習課題)について、筆者(羽曾部 2013a)は階層上部(器官系を中心に)を対象にその学習課題を方法論とともに具体的に提示し、その有効性を実証した。そこで、本編では階層下位に位置する細胞レベル・分子レベルの学習をその観点から考察すると以下のような学習課題と論点が生じる。

体構造の階層性は、1)個体-2)器官系-3)器官-4)組織-5)細胞-6)細胞小器官(オルガネラ)-7)巨大分子(マクロモリキュール)-8)分子-と表記される。つまり「個体」と「細胞」は基本単位であり、連続性(構造的)の考察の「起点・要」として不可欠である。また、細胞を基準として上位(個体～細胞)・下位(細胞～分子)の2分割が可能となる。つまり、下位は上位の繰り返しと見ることも可能となるが、そこに疑問を示す受講者は少なくない。つまり、なぜ細胞と小器官の間に「細胞小器官系」、つまり上位の「器官系」に相当するものが存在しないのか、という平素な疑問である。返答としては「生物学の教えるところではそうなっている」となるが、それでも「掘り下げて考える」に資する話題ではないだろうか。

つまり、この観点が本論の課題である。研究者は実際には「オルガネラ」を種々の「装置」として捉えていることも事実である。つまり、機械論(仕組み重視)に基づく生物理解は現代生物学の常であり、その観点を導入するからこそ「生命や生命科学」の尊厳は維持されていると考えられる。

異論はあると思うが、筆者は「細胞小器官系」という学習視点は必要であると考えている。具体的な学習項目として標記すると「細胞自身は何をしている・細胞はどのようにして生きている:細胞機能とその仕組み」となる。この解説は世界的な教科書「細胞の分子生物学」そのものとなってしまうが、それでも平素に考える道筋は確かにあると考えている。

つまり、前述のように「器官系」の意味意義は、

知識確認の対象ではなく、生物学の基本的なロジック「動物生理の基本:2系6要素と器官系11区分の配列・配置」にあり、そのロジックやベクトルは、同様に、細胞レベルの学習へも向かう。つまり、分子生物学の前提という学習課題「細胞生理の基本:細胞の構造と機能」が表出される。

つまり、「細胞小器官」の学習は既に生物学の必須課題であるが、それらはやはり単なる知識確認の対象としてだけではなく、「細胞内装置とその系統」、つまり「細胞小器官系」という観点から取り扱う必要があると考える。但し、「仕組み偏重・分子生物学」とならないための方策も必要であることは言うまでもない。

循環論法になってしまうが、よって「実体と概念の連立・連携」は不可欠である。その方策が本編の「細胞培養実験の必要性とその論理的背景」にあると考える。

なお、上記「階層性」の区分「巨大分子 マクロモリキュール」という要素は、区分「分子」に含まれることもあるが、以上の経緯から考察すると不可欠な階層区分と筆者は考える。

.....

高校生物学は知見の進展・累積により改訂されるが、以上の経緯から考察する時があれば、やはり「基本的なロジック」の導入も必要ではないだろうか。つまり、個体生物学に関わる基本的な用語の取扱いであり、最低必須要約も必要であると考える。例えば、筆者は下記のようなことを考えている。

生物は「遺伝子」の継承に基づく構造体である。その構造は形態と機能という観点から理解され、それらは物質代謝(生理代謝)により維持・管理・継承される。それら生理現象の詳細は、体構造の階層性(レベル)に応じた形態と機能と仕組みという観点から説明される。つまり、個体生物学の基本的視点とは、発生・遺伝の観点も加え、「形・役割・仕組み・由来」となる。

上記には「遺伝子」という特定用語も含まれるが、その他8項目(下記)はいわゆる概念用語であり、その意味するところは本質的な考察の起点となるものと考えられる。

1) 構造:その要素の配置と繋がり。2) 形態:役割・仕組みを示す形。3) 機能:役割・働き、物質代謝の結果効果。4) 代謝:物性に基づく物質変換の状況と経路。5) 生理:生物が保持する基本的な現象・機能。6) 階層性:体構造の段階的な

構成区分、いわゆる「ツリー構造」。7) 仕組み:対象とする現象・状況が成り立つ具体性。あるいは、その現象が成り立つ原理の解説。8) 由来:起源・発生学の視点、「継承される」という遺伝学的な視点も含まれる。

本研究では「細胞・分子レベル・仕組み・階層性」などのキーワードから個体生物学に関わる学習構成論について言及したが、上記の基本用語で最も大切としたい概念は「構造:その要素の配置と繋がり」である。要素とは「形態と機能」を具備するものであり、「繋がり」とはその「系統・代謝・仕組み」などである。つまり、学習者がその平素な用語「構造」を、意図して考察の起点とする、ことは必要であろう。ちなみに、そのカウンターパートが実験学習である。

よって、個体生物学における基本的な視座視点とは「階層構造性の理解に基づく構成要素の配置と繋がり」となる。縦軸には「階層性区分」、横軸に平素な視点「形・役割・仕組み・由来・他」が配置されるが、より具体的には「部位・形状・名称・繋がり・区分(構成)・役割・仕組み(物性)・由来(継承)・その他」という9項目の設定であろう。必要に応じて、その第3軸は「解剖組織学・生理生化学・発生遺伝学」となるが、それらには「細胞生物学」という統合的な視座・観点が与えられる。細胞生物学の必要性であり、学習進度に基づく「階層性の取り扱い」である。

【文献】

羽曾部正豪・中川優子(2012) 卓越性を志向した論理性に基づく高校生物の実践に向けて. 日本科学教育学会年会論文集 vol.36: p189-192.

羽曾部正豪(2013a) 脊椎動物の構造をモデルした生物系のロジカルシンキング トレーニング. 日本科学教育学会年会論文集 vol.37: p230-233.

羽曾部正豪(2013b) 細胞シートからの形態形成:基礎実験と授業実践への応用法. 日本生物教育会全国大会教員研修資料集 J-12.

Web 資料「実演生物学」(2013 羽曾部制作). URL <http://www2.kaiyodai.ac.jp/~hasobe> 本編で扱った「階層性」は、TopPage 表示の文字列「視座視点一覧」から、「培養細胞実験」は同様に文字列「細胞実験」から当該サイトへ移動し参照する。