

# 個体生物学の新たな学習マトリックスとその関連学習コンテンツ (高校生物の学習内容構成論の構造化に向けて)

A new “learning matrix” of biology education and its related “learning contents”:  
Toward structuration for a leaning content construction in high school.

○羽曾部 正豪\* ・ 吉村 成弘\*\*

\* HASOBE Masahide \*\* YOSHIMURA Shigehiro

\*東京海洋大学 海洋科学部、\*\*京都大学大学院 生命科学研究所

\*Tokyo University of Marine Science and Technology, \*\*Kyoto University, Graduate School of Biostudies

**[要約]** 本邦の生物教育では「器官系」や「階層性」の学習を軽視する傾向にあり、その結果、学習項目や用語の単離浮遊化といった現象が散見される。左記2項目の意味意義の理解は生物学習の基本であり、「独自に考える力の基盤」であるが、その必要性を具体化するには学習内容構成論に向けた構造化、並びに、それらを補完する新たな学習コンテンツや実験教材の導入が必要であろう。そこで、本研究では、その現状・経緯に言及しながら、新たに構築した個体生物学の「学習マトリックス」を解説し、具体化された関連学習コンテンツとの連立連携から「生物領域における卓越性の科学教育」に寄与することを図る。

**[キーワード]** 生物学習内容構成論、学習マトリックス、構造化、細胞培養実験、魚類マクロ組織

## 1. はじめに(背景と目的)

本研究は本会 H24・25・26 年既報の継続研究(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。

ところで、既報(羽曾部 2012)のように、「生物」受験者が約7割を占める大学新入生(118 名)に「器官系 10 又は 11 区分の名称を列記せよ」と求めた場合、その正解率平均は 27 点であり、「生物は得意」を自認する対象者(40%)であっても 33 点となる。生殖器や感覚器がその区分にあることを自ずと気づく学生は極めて少ない。更に、体構造の基本的視点「階層性9区分をその順列から列記せよ」ではほぼ壊滅的という状況を見る。

その理由は「高校では習わないから」が大多数であり、高校教師に尋ねると「器官系は中学の扱い」というもっともな意見を見る。その事実を生物系研究大学教員に尋ねると「心配は無い、大学専門を通じて自ずと理解する」という達観に収束する。なお、学生が意識する生物(受験)学習の要点には「繰り返し確認・暗記」という意見が多数を占める。

つまり、受験対策とは別次元において「用語・項目の単離浮遊化」が顕在している。従って、この現状への考察や対応策(論)は不可欠と考える。

そこで本報告では、試論として新たに構成した「3軸構成の学習マトリックス」について言及し高校生物の学習内容構成論に向けた構造化を試みる。

また、これまでに開発した学習コンテンツや実験学習教材について、その後の経緯も含め、学習マトリックスの補完のため、その概要を解説する。

つまり、生物教育の理念「実体と概念の連立連携」に対し、基幹的な枠組み「学習マトリックス」とその具体的な学習コンテンツから、生物学習内容の構造化に寄与すること図る。

<課題/要素/用語・・・の視座視点:BioMTX>										
考察の基本 (視点9項目) [Y軸]	体構造の基本:階層性(X軸)									学習領域 の区分 [W軸]
	1 個 体	2 器 官 系	3 器 官	4 組 織	5 細 胞	6 小 器 官	7 巨 大 分 子	8 分 子	9 元 素	
1	部位	<3軸構成の学習マトリックス>							解剖	1
2	形状	構造とは「要素の配置とその繋がり」							組織学	
3	形態	*** 掘り下げる ***							生理 生化学	2
4	名称	<課題考察型学習>								
5	繋がり	(独自に考える筋道がある)								
6	区分	例えば「小腸・DNA」を考察の基本							発生 遺伝学	3
7	役割	視点9項目から取り上げてみよう								
8	仕組	その他								
9	由来	1.境界, [2.受容, 3.伝達, 4.実施],[5.吸収, 6.運搬, 7.排出], 8.調整, 9.他 (外皮、[感覚、神経、筋・骨格]、[消化・呼吸、循環、泌尿・生殖]、内分泌)								
役割の補完:動物生理・細胞生理の基本(2系6要素・器官系11区分)[Z軸]										

図 1. 個体生物学の学習マトリックス(BioMTX)

## 2. 学習マトリックスと学習内容の構造化

自然科学の目標は対象とするものことの「起源・構造・運動・変化の法則性」を明らかにすることと言われるが、科学「生物」においても同様の枠組み(視座視点)の設定により学習課題や対象の論理的考察や本質的な話合いが可能となると考える。

つまり、個体は構造体であり「構造とは要素の配置とその繋がり」という平素な前提に従った場合、学習対象(要素)には、第1の視座[主軸]、構造レベル「階層性」が配置される(図 1)。なお、動物体の構成要素とは一義的にはその階層レベル下位の集合体であり、また上位により限定されるため、

その成り立ちに対し直裁的な判断を可能とする。  
 更に、その学習対象(要素)は、通常、**形・役割・仕組み・由来**(形態・機能・原理・起源)、専門的には解剖組織学・生理生化学・発生遺伝学という視点で扱われることから、**副軸として第2の視座「考察の基本」**が成り立つ。なお、「形・形態」は実体としての重要性から「**部位・形状・名称・繋がり・区分(構成)**」で補完する。

個体生物学/動物体/用語「*」の視座視点一覧 <なに・なぜ・どうして・どのようにして:それ本当?>		
#	視点	事例:「DNA」に対する視点・疑問
0	階層レベル	DNAとは「どの階層レベル」のこと?
1	部位	DNAは「どこ」にあるのか?
2	形状/色調	DNAとは「どんな形」か?
3	名称	なぜ、そんな「名前」なのか?
4	繋がり	DNAは どこに「繋がって」いるのか?
5	区分/構成	DNAは どんな「部品」でできている?
6	役割	DNAは どんな「役割」を持つのか?
7	仕組/物性	DNAは どんな「仕組み」で働くのか?
8	由来	DNAは どのようにして「できてくる」?
9	その他	DNAに類似な物には何があるのか?

図2.考察の基本(視点9項目)の事例

また、役割(機能)は重要な学習課題であることから、その補完には**第3の視座「役割の補完」**の設定が求められる。これには古典的なロジック「**動物生理の基本:2系6要素・器官系11区分**」を導入する(器官系区分の意味意義・配置が自ずと論理的に理解される)。この観点は、階層「細胞」下位のいわゆる分子レベルの学習「細胞生理(機能)の基本:細胞自身は何をしているか」においても有効であり、その基本的な解説・考察法を与える。

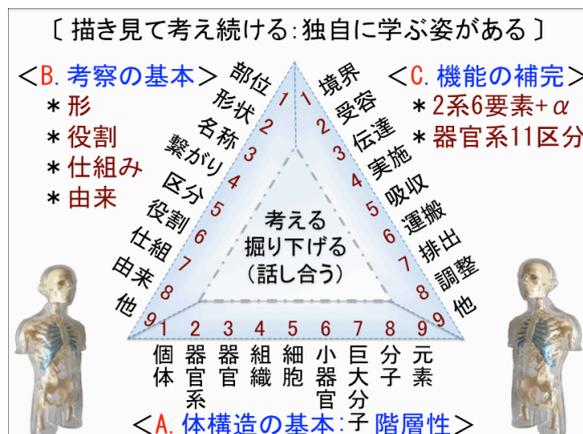


図3. 生物学習の枠組み「学習マトリクス」

つまり、上記から成り立つ「**3軸構成の学習マトリクス:BioMTX**」は生物学習の最小必須要素と考えるが、同時に「**独自に考える力の基盤**」ともなる。

その結果、実践学習の場においては「**課題考察型学習**」を可能とし、同時に「**学習内容構成論の構造化**」にも寄与すると考える。例えば、生物学習における必須用語(基幹的な用語)の選定や定義にその筋道を与えると考える。

ところで、しかし、高校生物学習の現状では、前述の通り、その基本をとなる「階層性、考察の基本、動物生理の基本(器官系区分の意味意義の解説)」自体が学習対象として不明瞭であること、または、学習概論として取り上げていないことから、「学習マトリクス」の必要性の是非は今後の議論に委ねられる。

**補足:**なお、上記に従い大学新生に学習マトリクスの構成概論を行った場合、学生は当然のごとくそのロジックを容易に理解する。また、器官系区分や階層性について「中学・高校・大学のどの修学期で扱うべきか」を問うとその大多数は中学あるいは高校と回答する。大学とする者の理由は「試験(受験)勉強で忙しいからロジックは大学入学後に」という素直な回答を得る。

### 3. 学習マトリクスを補完する実践学習コンテンツ

実践学習の場に対する学習マトリクスの導入には、前述のような概説に加え、その実効性を保証する具体的コンテンツによる補完を必要とする。

既報(羽曾部 2013)では「生物系のロジカルシンキング トレーニング」として一連の演習講義資料(いわゆるワークブック形式の学習コンテンツ)を作成し、更に Web テキスト化を図っている(文末関連サイトを参照)が、ここでは前述の学習マトリクスに強く関連する項目を改めて俯瞰する(下記 3a. 生物系のロジカルシンキング トレーニング)。

また、生物教育の理念は「実体と概念の連立連携」であり、学習内容の構造化においても実験学習教材によるバックアップは必要である。

例えば、階層性の基幹的な要素「細胞」とその上位・下位に関わる実験学習システム(実験教材)は、今現在その対応例が脆弱であることから、その充実は不可欠な課題と考える。既報(羽曾部 2014)では「細胞実験キットの導入」の観点からその概要を示したが、本編ではその後の経緯・検証・改良から更に実践的な実験学習キットとした。ここでは、表題「はじめの一步の細胞実験」して取り上げ、その状況を下記 3b. に概説する。

また、細胞培養実験の意味意義は、階層レベルとの連続性(発展展開)に求めることも可能であり、既に作製したインターネット組織観察の経緯・検証の結果から、新たに「魚類マクロ組織のポスター画像に基づく組織器官の考え方」を作成した。下記 3c に取り上げ、その状況を概説する。

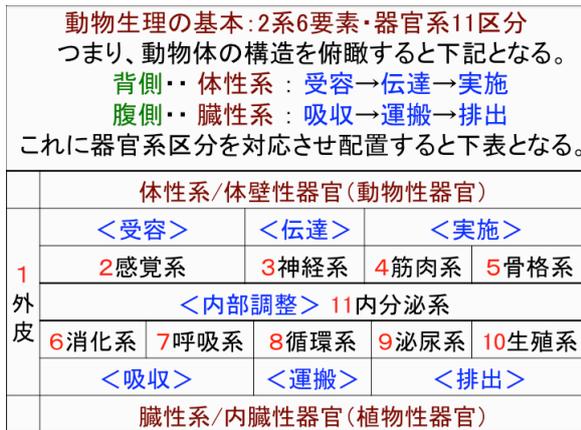


図 4.器官系区分の順列配置とその概念

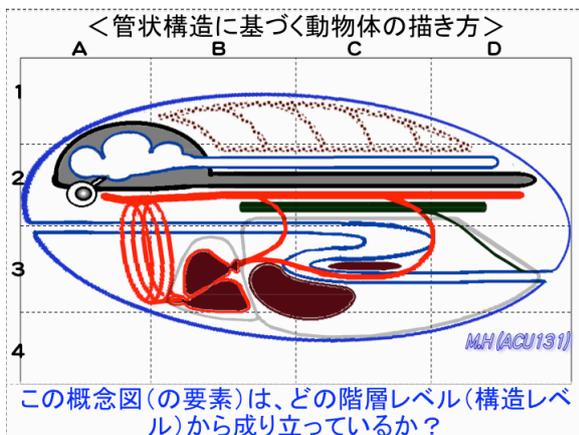


図 5.「2系6要素・器官系11区分」に基づく「体内構造の描き方/概念化(動物体の側面俯瞰図)」

<細胞機能(細胞生理の基本)の考察法>  
(動物生理の基本「2系6要素・器官系11区分」との対応)

2系6要素・器官系	#	細胞機能系	事例:要素・キーワード
外皮	1	境界膜系	脂質2重層、多機能性
吸収	2	膜輸送系	能動/受動/共同/浸透、通路
運搬	3	内呼吸系	解糖/TCA/電子伝達・ATP
排出	4	物質代謝系	代謝系:糖/アミノ酸/脂質/核酸
	5	分泌分解系	修飾/分泌/分解、小胞体輸送
	6	自己複製系	遺伝子DNA複製、細胞分裂
受容	7	膜受容体系	レセプター(膜貫通受容体)
伝達	8	情報伝達系	シグナル伝達、リン酸化、2次伝達
実施	9	細胞運動系	細胞接着装置、アクチン線維/微小管/中間径線維、膜系
調整	10	細胞骨格系	
	11	遺伝子発現系	遺伝子発現:DNA-RAN-蛋白、

図 6.考察の自己相似性に基づく細胞機能の理解

3a.生物系のロジカルシンキング トレーニング

前述「背景」の経緯に基づき、また学習マトリックスの実践的な理解に向けて、現状の高校生物において導入すべき学習項目は、1.器官系区分の意味意義(動物生理の基本)、その補完として2.体内構造のマクロ的概念化、3.細胞機能(細胞生理の基本)、の理解であり、加えて 4.左記(3)に基づく

細胞構造の概念化、と考える。

左記の項目 1, 2, 3.の概要は、その概念・配置図(図 4, 5, 6)により容易に理解が可能であると思うが(4.は紙面の都合から省略)、その詳細は Web コンテンツとして確認が可能である(文末 Web 資料を参照)。実践的にはプロセス重視「連続スライドによるワークブック形式」として利用する。

3b. 実験キットによる「はじめの一步の細胞実験」

開発した細胞実験キットの詳細は既報又は Web テキストの参照により可能であるが、本編に関連し特に付記すべきは下記2項目である。なお、本編の続報(中川ら)では、表題「はじめの一步の細胞実験:その方法と効果」の観点から、その具体性と実証評価を取り扱う(当該論文を参照)。

1)細胞培養実験の必要性(その意味意義)

培養細胞とは生体の組織細胞に由来し維持管理される細胞のこと。細胞培養とは生体組織の細胞が生きるその様式(微小環境)をシャーレなどに再現すること。具体的には、固相・液相・気相(細胞培養3要素+α)の設定により成り立つ。その結果、培養細胞は生体細胞の基本的性質を少なからず顕示する(足場依存性と細胞シートの形成)。従って、細胞実験の方法・経過・結果は、生体との類似性や相関性から考察すべき対象である。

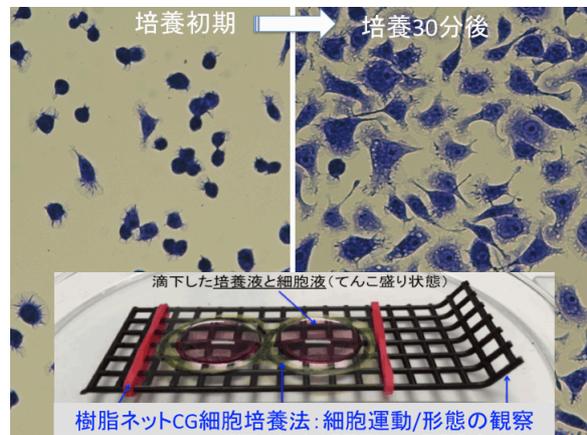


図 7. はじめの一步の細胞実験:培養法と結果(染色細胞の顕微鏡観察像)

2)「はじめの一步の細胞実験」の特徴と結果

本実験は実験キットの導入に特徴を置くが、その実技操作は「迅速・簡便・確実・低コスト」を付帯条件としてシステム化され、時・人・場所・設備を問わない。つまり、実験器具・設備の充実が伴わない高校であっても、図 7 が示す平易な細胞培養法(カバーガラス上に細胞液を滴下し細胞培養を行う)が可能である。これまでに例を見ない実験系ではあるが、その結果は、細胞構造、細胞運動、組織と

の類似性など、細胞に関わる多くの情報を容易に提供する。それらは数多くの学習項目とも連携する(実体と概念の連携)。実践調査においても高校生の積極性を生み出す状況が確認されたことから、生物教育の構造化に深く寄与すると考えられる。

### 3c. 魚類マクロ組織ポスター:組織器官の考え方

高校生物における「動物組織」の取扱いは極めて希薄である。いわゆる「用語項目箇条書き:暗記もの」の回避にあるが、「組織の理解」はロジカルシンキングの典型でもあり、また、個体発生・形態形成にも関連するため、組織に基づく動物体の理解はUp-To-Dateな基幹的な位置付けにもある。

本研究によるその対応は「インターネット地図のように拡大縮小が可能なバーチャル顕微鏡 Web システム」の製作とその実践利用として展開しているが、その後の経緯から図 8 のようなポスター画像の利用の有効性も実証されつつある。

つまり、実物標本は 2cm 程度のプレパラートであるが、提供するポスター画像(図 8)のサイズは 1m x 2m であり、圧倒的な迫力で生徒を魅了する(した)。例えば、学校内に展示されたポスターは、生徒と教師との自発的・自発的な話し合いの場を提供する。現在その効果を下記メッセージの付記により検証中であるが、期待できる新たな学習コンテンツであることに多くの教師の疑念は生じない。

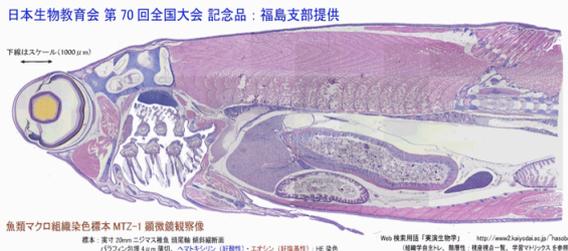


図 8. 魚類マクロ組織の特大大ポスター (2m x 1m)

#### 〔卓越性に向けたポスター画像の話し合いのヒント〕

1) 組織学はヒストロジー、ヒストリーのように綴られた体の中身の考察法。 2) 組織はティッシュ、薄く織り込まれたように見えるもの(組織標本)。 3) 体の薄切り、赤青 2 色で染めたらどうなるか?(染色原理とその特徴)。 4) チューブやボールを切った面、どんな形が現われる?(体断面の基礎)。 5) 「有る」は「無い」との境界線(面)、形を書いて確認しよう(体の形・描いた線 とは何?)。 6) 細胞は体の基本単位、体は細胞と(細胞が生み出す)細胞間物質でできている、体は一粒の細胞からできてくる。(細胞説)。 7) 細胞の基本的な性質は「足場依存性と細胞シートの形成」(はじめの一步の細胞実験)。 8) 体の表面・体腔管腔その壁面、

どこが表面・どこにある。 9) 上皮組織とは、オモテ側の細胞層(細胞面)。 10) 外皮・表皮・真皮、上皮・中皮・内皮、何が同じでどう違う。 11) 体の中身と方向性(極性)、体外・体内、何がオモテでウラはどこ。 12) 薄くて弱い細胞層(上皮組織)、そのウラ側には何が必要・何がある。 13) ウラの話は由来や起源(中胚葉由来の結合組織:細胞と物質7項目)。 14) カルシウムを除いた「骨」の形、どんな様子で残るのは何?(骨切り実験)。 15) 骨と軟骨、何が違う・染めるとどう見える。 16) 筋線維は筋細胞、細胞骨格がその主成分、簧巻きになって仲間と一緒に束になる。 17) 神経・感覚・内分泌の細胞、どれもこれもパラニューロンと「細胞くん」。 18) サカナの縦縞・四肢・尻尾、他の動物と何が同じでどう違う?(ヒトもサカナも基本は同じ)。 19) 構造レベルは「階層性」、考察の視点は基本4項目「形・役割・仕組み・由来」、役割の補完は「2系6要素・器官系11区分(動物生理の基本)」。3軸構成の学習マトリックスで考えよう。 20) 組織学、その成り立ちと理解はロジカルシンキング(独自に考える視座視点):描き・見て・考えよう。

重複するが、これらは教師と生徒との「自律的な話し合いの場」を支援する枠組み・共有命題であり、平素な視点による学習内容の構造化に向けた試みである。必ずしも解答を求めるものではない。

#### 4. 終わりに

iPS 細胞などが社会現象となる現状において、生物学のロジックに触れる事は修学者の喜びであり、考えるに適した学齢期への適切な対応と考える。卓越性のためには「フェアな且つロジカルな学習フィールドの整備と提供」が不可欠と考える。

#### 文献

1. 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 36:189-192.
2. 羽曾部正豪(2013) 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 37:230-233.
3. 羽曾部正豪・吉村 成弘(2014)「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、日本科学教育学会年会論文集 38:229-232.
4. Web 資料「実演生物学」(羽曾部制作)  
本編に関わる Web 検索用語「学習マトリックス、生物系ロジカルシンキングトレーニング、はじめの一步の細胞実験、魚類マクロ組織ポスター」により参照可能である。なお、[3]の学習コンテンツは「描き・見て・考える」の一覧表示から当該サイトへ移動参照とする。