

# 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

## A logical thinking training based on the structure of vertebrate in biology education.

羽曾部 正豪 (東京海洋大学 海洋科学部)

HASOBE Masahide, Tokyo University of Marine Science and Technology

**[要約]** 本研究は、H24年度科研基盤A(一般)『イノベティブ人材を醸成する「卓越性の科学」の教育課程の開発に関する実証的研究』(代表 銀島文)の生物系分担課題(コンテンツ開発)における成果の一部である。本稿はH24年度本会報告「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」の継続研究であり、本編では表題とする観点から実践学習の場に対応する学習コンテンツの開発を目的とする。そのため、脊椎動物の体構造に対する論理的一貫性に向けた「視座:階層構造に基づく視点一覧」を設定し、また、関連するWebコンテンツやバーチャル顕微鏡観察システムに基づき、4段階6課題の構成からなる学習プログラムを作成した。以上に基づき実践的な生物系の学習モデルを提案する。また、生物系の古典的ロジックの再考と卓越性に向けた生物教育の方法論を考察する。

**[キーワード]** 生物教育、階層性、器官系、2系6要素、魚類マクロ組織、バーチャル顕微鏡観察、

### 1. はじめに

知識確認型学習を方法論とする学習領域において、対象とする用語や用語群の意味意義(根拠や論理性)の取扱いは一筋縄ではない。筆者(羽曾部 2012)は、生物学習における「基本的なロジックの必要性」の観点から、動物体制(構造)に対する視点「器官系」を題材に基本的用語に関わるアンケート調査を行い、その用語群の取扱いに関わる課題とその対応について一部論考を試みた。その観点は「古典的ロジックの再考」である。

本研究では前報に引き続き、生物系の「考える学習」に対する試論の観点から、その対応策として具体的な学習モデルを提案する。

本モデルは高等学校あるいは大学基礎レベルを対象とし、生物学習の根幹となる「動物体の構造」に関わる基本的な知識や理解を確認しながら、現状では学習対象外とされる生物系の基本的なロジックの必要性や有効性について考察することを目的としている。なお、学習実践の場における標題は「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」である。

### 2. 研究方法

本モデルの基本構想は、学習者が既知とする動物体構造に関わる基本用語を取り上げ、更に関連する概念図の解説や作図作業(ワークシート学習)などを通じた一連の演習講義である。その特徴は、新たに設定した「脊椎動物体制の階層構造に対する基本的な視座:視点一覧」である(表1)。つまり試論的ではあるが、動物体に与えられた階層性に準じ、体構造の理解に関わる幾つかの「視点」を新たに加え、それらに内在する「要

素あるいは考え方」を列記した。その目的は、学習者が必要とする視点(考えてもよいこと)とその連続性に関わる「基準」の表出である。

以上に基づき学習コンテンツの開発を進めたが、その構成と概要は「3.結果」に示す。最終的には、散在する用語やその用語群の本質的な意味意義の確認を目的とした。いわゆる生物系の古典的ロジックの再考である。あるいは、付加的に設定した発展的な課題に対し、学習者自身が検証考察を加え、表1に記す「考え方」に到達することを目標とした。よって、本モデルの運用は学習者集団の状況から2区分(便宜的に Type A.知識確認型、Type B.考察展開型)の設定である。

以上の経緯は表1に付記した視点 B.「現実実体の枠組み:配置図」の A 系列に視点を置く。つまり、生物学習では基本的に実在する対象物の「A1.現象/状況」の断面(例えば図譜/模式図など)を教材として実践の場に提供するが、それらは例えば複数の「用語」により構成され「A2.実体/実在」として認知共有される。更に、実際には多様な実体実在であってもその類型をその成り立ちや学理から考察すると「A3.本質/原型」として統合的な視点を与える。以上の観点は、結果的に A 系列に対する「基本的なロジック」として学習者に連続性に基づく視座を与える(と考えられる)。なお、現行の生物教育では「A3」に関わる積極的な解説は不問とされている(気がする)が、「多様性と共通性」という枠組みは設定されている。

### 3. 結果

構築した学習モデル(実践コンテンツ)の概要を記す。本モデルの構成は4工程(Step1から

表 1. 脊椎動物体制の階層構造に対する基本的な「視座：視点一覧」

#	視点	動物体は複雑であるが「体制の基本」としてその「要素」を抽出すると
1	階層性	-- 個体-器官系-器官-組織-細胞-細胞小器官-巨大分子-分子 --
2	個体 (最大単位)	< 体の成り立ち・多様な形態・統合的な見方 > (ex. 下記一覧、骨格系、系統発生)
3	1次体型区分	< 1) 体部位、2) 体軸、3) 体断面、4) 体内腔、5) 体節分節 >
4	2次体型区分	< 1) 体性系(体壁性器官)：背側 >      < 2) 臓性系(内臓性器官)：腹側 >
5	動物生理の基本 (2系6要素+α)	**命題1. ネコの前にサカナを置いたらどうなるか？** < A: 1) 受容→2) 伝達→3) 実施 >    < B: 4) 吸収→5) 運搬→6) 排出 > < C: 7) 調整、8) 境界/保護 >
6	器官系 (11区分/配置)	< A: 1) 感覚系、2) 神経系、3) 筋系、4) 骨格系 > < B: 5) 消化系、6) 呼吸系、7) 循環系、8) 泌尿系、9) 生殖系 > < C: 10) 内分泌系、11) 外皮系 >
7	器官 (機能単位)	主要器官(形態的に周囲と区分され独自の機能を示す組織集合体)の理解 < 部位・形状・名称・繋がり・区分・役割・仕組み・由来・その他 > (補足：区分は構成、役割は物性と同義)
8	体腔管腔その壁面 (形の連続性)	< 体腔管腔は基本3種(腸管導管、体腔、血管系) > その内壁は「上皮組織」と総称され、その所在から「上皮・中皮・内皮」。 「管腔-上皮組織」の極性は体内に「オモテ側/ウラ側」の基準を与える。
9	組織 (構造単位)	**命題2. 体の薄切り2色で染めたらどうなるか？** < 4大組織：1) 上皮組織、2) 結合組織、3) 神経組織、4) 筋組織 > (特定の細胞と細胞間物質の集合体、各領域は基底膜で分別される)
10	構造の由来 (所在の根拠)	< 受精卵・・・1) 外胚葉、2) 内胚葉、3) 中胚葉・・・咽頭胚の各部位 > (発生段階での所在に基づく区分、シート構造の変化に基づく様式)
11	細胞の 基本的性質 (検証考察)	**命題3. 細胞をシャーレに入れたらどうなるか？** < 基本的性質は「足場依存性」であり「細胞シートの形成」と考える > (発生過程：細胞シート→(脱シート化→移動→再シート化)→分化)
12	細胞 (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：細胞説 > (細胞構造と機能の基本、細胞と細胞外マトリックス、ヒト細胞は約300種)
13	細胞小器官 (構成要素)	< 1) 細胞構造の基本、2) 膜系構造体とその由来 > (形・役割・仕組み・由来・その他)
14	細胞生理の基本 (概念化の論理)	**命題4. 細胞自身は何をしている？** 2系6要素-器官系11区分の配置との対応(細胞の分子生物学)
15	分子 (生体分子/元素)	**命題5. ウンが草を食べたら牛乳ができた** < 5大栄養素と物質代謝/循環 > (糖、窒素、脂質、補酵素、生体微量元素、核酸)
A	動物体に対する 一般的な視座	< 形・役割・仕組み・由来・その他 > 解剖組織学・生理生化学・発生遺伝学：細胞生物学 (なに・なぜ・どうして・どのようにして・それ本当?)
B	現実実体の 枠組み (配置図)	A1. 現象/状況・・・ A2. 実体/実在・・・ A3. 本質/原型 (科学)・・・      ↑↓                      ↑↓                      ↑↓                      ・・・・(技術) B1. 役割/働き・・・ B2. 機能/仕組・・・ B3. 性質/物性

Step4)である(下記参照)。その最低必須項目は Step1.導入(状況確認)とStep2.演習(動物生理の基本:2系6要素)であるが、発展的な設定を求める場合は Step3.考察(実体と概念の連立)が可能であり、更に加えて Step4.発展(古典的ロジックの有効性:細胞の分子生物学)の設定などを予定する。本報告では基本とする Step1 から Step3 についてできるだけ具体的に解説を試みる。Step4 は補足としてその概要を付記とする。

<Step 1. 導入:状況確認>

本工程では「器官系」に関連した平素な用語や話題を取り上げる。命題(課題文)は下記3項目であるが、学習者はそれらを通じて「知識」の自己状況を意識する(確認する)を目的とする。

【課題 1】動物体制を支える器官系(器官系統)は一般に 10 区分あるいは 11 区分とされる。それらの名称を所定の欄に記入せよ(漢字をど忘れているときはカタカナ書き、順不同で良い)。

【課題 2】器官系の名称を作業欄に示す(図 1)。それぞれの繋がりを一連の順列として示したい。「用語」を線分でつないでみよう(納得できる範囲で用語と用語を線分で結ぶ)。ただし、1用語に繋がる線分は 2 本までとする。

【課題 3】作業欄(図 2)の模式図(作図ひな形)は脊椎動物の側面図である(とする)。ヒトとサカナは何が同じでどう違うかを考えながら「ひな形」に沿って「動物体の概念図」を描いてみよう。

\* 工程実践に関わる補足. 課題 1, 2 はアンケート式演習として実施する。課題 3 (作図作業)はそれらの補足であり、作図プロセスは Web コンテンツとした連続スライド(文末「文献」を参照)を用い、解説を加えながら体構造のイメージ化を図る(便

宜的に本演習講義の基本概念図する)。本工程は、引き続き実施する Step2(演習)に向けた前提であり、課題に対するいわゆる「解答」は必要としない。

<Step 2. 演習:動物生理の基本 2系6要素>

本工程は Step1(導入)の継続課題であり、前出の課題 3 項目の経緯に基づき実施する。つまり、「なぜ器官系の名称が思い出せないのか」、また「描いた概念図(図2)は器官系とどのような関係になっているか」について考察する、を目的とする。本工程で用いる命題(課題文)は下記である。

【課題 4】動物の体構造には階層性(構造)という区分が設定されている。では、Q1. 「器官系」という階層レベルは何を意味しているか/説明しているのか、また、Q2. 各器官系に一連の繋がりがあるとする場合、それら器官系は課題3で作図した概念図(図 2)においてその配置や位置関係はどのようになっているか。以上に基づき「動物体構造に対する基本的な見方や考え方」を導きだしてみよう。つまり、最終的には図3に示す作業欄の空所に用語を与える。またその経緯を説明してみよう。ネコの前にサカナを置いたらどうなるか?

\* 工程実践に関わる補足. はじめに、課題 1, 2 に対する感想や意見を学習者に求める。その上で、Type A では課題 4 に対する考え方と解答を与える。なお、その補足資料は「表1」であり、関連する視点の解説を与える。Type B では、グループ学習などを通じ独自に考察協議を行うが、その途中で「表1」を与え結論を導き出す(方向性を取る)。

<Step 3. 考察:実体と概念の連立>

上記 Step2(演習)により、学習者は「動物体の成り立ち」を統合的に考察する基本的な視点(論

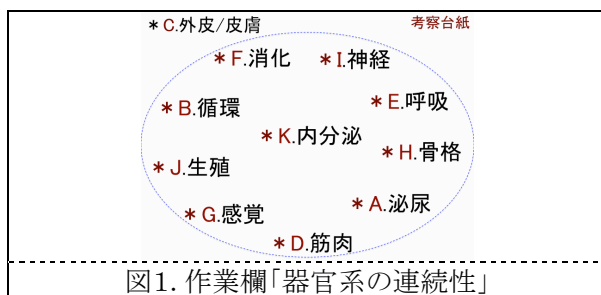


図 1. 作業欄「器官系の連続性」

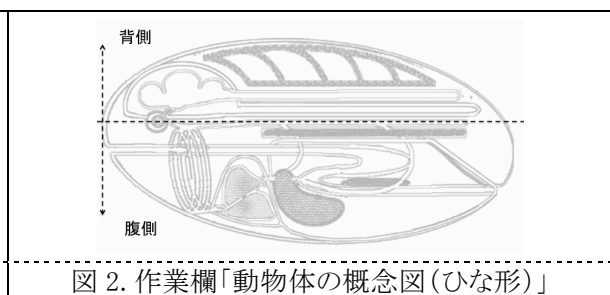


図 2. 作業欄「動物体の概念図(ひな形)」

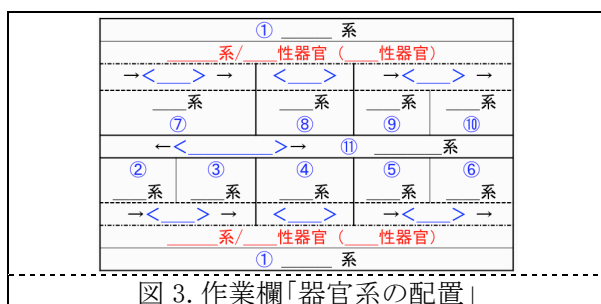


図 3. 作業欄「器官系の配置」

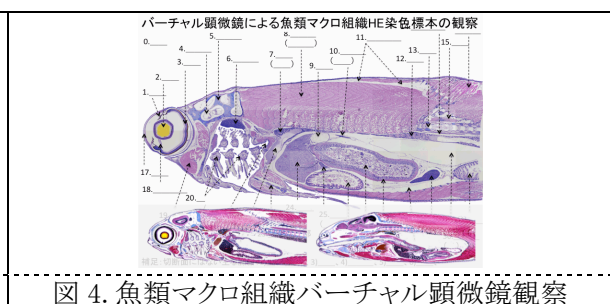


図 4. 魚類マクロ組織バーチャル顕微鏡観察

理性)があることを自覚する(実感する)。新たな経験値とするが、生物学習の理想は「実体と概念の連立」であり、この補完は生物教育のターニングポイントでもある。その成否は学習者の「考える学習」に奥行きと自立性をもたらす。そこで、本工程では課題3, 4に基づき新たな課題を提供する。本工程で取り上げる命題(課題文)は下記である。

【課題 5】課題3(作図)では動物体を概念図として扱ったが、生物(動物)とは実体である(抽象的な対象ではない)。では、概念図として描いた「線あるいは形」とは何であろう。これを探求するためパソコンモニター上でバーチャル顕微鏡観察を行う。つまり、図4に示すサケ稚魚の縦断面(組織染色標本像)を観察し、Q1.描いた「線や形」は何からできているか、また、Q2.どのような様態を示しているか、検証考察してみよう。

\*工程実践に関わる補足. Web コンテンツ「魚類組織標本のバーチャル顕微鏡観察」とは、いわゆる「インターネット地図」の様式であり、モニター上ではその組織像は「マクロ」な全体像から「ミクロ」な細胞レベルの拡大像まで自由自在に且つ連続的な観察を可能とする。

上記課題 5 において学習者に期待する解答は、『観察結果から考えると、描いた線(つまり「形」の境界)とは、体の基本単位「細胞」が平面的に途切れることなく繋がった細胞構造である。皮膚や体の隙間(体腔管腔)の壁面は細胞シートからできている』である。なお、この観点は表1の「視点 8」であり、体構造の連続性から更に「視点 12. 細胞」に対する学習の必然性に繋がる。発展的には隣接した視点への配慮が必要となる。

<Step 4. 発展: 古典的ロジックの有効性>

上記3工程により学習者は表1の「視点 12. 細胞」に至る主要な概念を経験する(体の基本単位「細胞」を考察する視点へ到達する)。本工程では、それら「古典的ロジック」が「生物系の論理的考察」としてより高度な学習レベルに対応するか否かを考察する。つまり、大学レベルの生命科学の基本「細胞の分子生物学」の主要な項目に対応するかを課題する。本工程で取り上げる命題(課題文)は下記である。

【課題 6】細胞は体の基本単位であり、細胞自体も活動している。細胞のいわゆる「生理機能」である。では「細胞自身は何をしているか」を箇条書にしてみよう。その参考資料は「細胞の分子生物学」の目次であり、またこれまで考察してきた「動物生理の基本: 2系6要素-器官系 11区分とその配置」である。つまり、本課題では細胞の生理機能を「器官系区分の意味意義」に対応させ考える。作業欄に基づき考察してみよう。

\*工程実践に関わる補足. 本工程は上記のような経緯から実施するが、上記課題に対する概要は既報(羽曾部 2012)としたので本稿では省略する。ただし、高度な学習レベルにおいても考える筋道は確かにあることへの配慮が必要である。つまり、「疑問は大切に」を共有命題としたい。

### 3. 考察

本稿の学習モデルは、筆者が担当してきた教員研修やSPP, SSHなどの科学教育事業を通じた実践的な試行と修正に基づく内容を基盤としている。今現在、本モデルは基本的に実践的な運用の前段階までに達していると考えているが、本稿で取り上げた課題(内容)は現行の生物教育の対象外にある(らしい)。しかし、生物学の理念には「実体と概念の連立」があり、それを補完する方策は、例えば本稿で取り上げた「バーチャル顕微鏡観察」などにより、実践学習の場においても可能となりつつある。時代的な要請であり、生物学習の指針も変化しつつあると考える。

いずれにしても実践学習の場が必要とする教材とは「その場・その時・その課題」に対し「無理なく・素早く・繰り返し・再現する」が可能な形態を旨とする。Web コンテンツの利用はその任を果たす。本稿で取り上げた課題(例えば課題3.動物体構造の作図)は、実践的には既に多数のWebコンテンツから補完されている。それらに基づく本モデルの運用は、本報で取り上げた生物系のロジックとその修正とともに、卓越性に向けた実践的な学習科学の一部として新たな展開に繋がると考える。学習者の主体的「なに・なぜ・どうして・どのようにして: それ本当?」が発揮される学習フィールドの整備を期待して。

### 【文献】

- ・羽曾部正豪(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」.
- ・中村佳子 松原謙一 監訳(2004) 細胞の分子生物学、Newton Press.
- ・Web コンテンツ(制作は羽曾部). URL <http://www2.kaiyodai.ac.jp/~hasobe>、TopPage 表題: デジタル実演生物学、サイト「実験講義 2」、「デジタル顕微鏡観察」などを参照.

### 【謝辞】

本研究は首都圏の高校生物担当教諭の協力に基づくものであり、記して謝辞とする。野村浩一郎、白石直樹、菅野治虫、鍋田修身、原由泰、小滝藍、中川優子(敬称略)