

「動物生理学」授業実践報告

■ 有川 幹彦（理学部理学科生物科学コース）

1. はじめに

理学部理学科生物科学コース必修科目「動物生理学」により平成28年度教育奨励賞を受賞した。本賞に応募の機会を与えてくださった方々、推薦していただいた方々、選考委員の方々、および動物生理学受講生の諸君にこの場を借りて御礼を申し上げたい。本稿では、受賞対象となった動物生理学について、まず授業の概要を述べる。次に実践報告として、授業における取り組みについて、特に学習内容の改善や学習方法の工夫、およびその効果について述べる。最後に、受講生による授業評価アンケート結果の自己分析をもとに、授業および授業での取り組みについて自己評価したい。

2. 授業の概要

平成28年度の動物生理学の受講生は主に1年生で、その数は60名であった。平成27年10月に現職に着任した私にとっては、理学部において初めて担当する科目でもあった。それまでは、高知大学医学部の生理学教室に所属し、長年に渡って医学部2年生を対象とした生理学の授業を担当してきた。そこで講じたのは疾病を診断・治療する、いわゆる医学のための生理学であり、人体の構造や機能、疾患とその原因、あるいは病態など、将来、医者となり患者に対して医術を施すのに必要な基礎知識であった。何故ならば一般に生理学

は、正常な生命過程の機構理解を基盤としてヒトにおける疾患の病因や病態を解明する学問とされるからである。その根底にあるのは、基礎医学は臨床医学の基礎であるという教育理念である。したがって、これまでに医学部で行った生理学の授業では、基礎医学と臨床医学の二元論的な考え方ではなく、生体の正常機能に加えて病態における機能の変化を説明することにより両者のつながりを意識させ、生体の正常な状態を理解した上で、それらの知識を基に思考を組み立てて病態を正しく捉えることができるよう授業内容の工夫に努めてきた。

しかし、理学の学問体系における生理学の位置付けは、医学におけるそれに準ずるとは思わない。元来生理学とは、生物はどのように生きているのか、あらゆる生命現象を機能の側面から研究する生物学の一分野であり、個々の細胞や器官の働きを理解するだけにとどまらず、それらを統御し調節する複雑で美しい機構を論理的に説明することを目指す学問だからである。したがって、理学部で行う動物生理学の授業では、理学部および生物科学コースの基本理念に則り、理学における生理学の位置づけと重要性を理解させ、生命現象に見られる不思議を科学的に説明する能力を身に着けることを到達目標に掲げた。さらには知識の習得にとどまらず、それに裏付けされた科学的思考能力を獲

得させることを目的として、生きる仕組みについて統合的に理解させることを目指した。シラバスにおいては、高校レベルの生物学の知識を履修希望学生に求め、授業全体の概要として「生物では、体内・体外の環境の変化に応じて、生体内部環境の恒常性（ホメオスタシス）が維持されている。恒常性とは動的な平衡状態を意味しており、フィードバック機構や適応など、生体には恒常性を維持するための巧妙な仕組みが備わっている。動物生理学では、この恒常性がどのような機序で維持されているのかを学習し、生きる仕組みについて理解する。」と記した。動物生理学では、90分間の授業のうち、最初の20分程度で前回の学習内容に関する小テストおよびその解答と解説を行い、残りの時間で新しい内容についての講義を行った。講義は、スクリーンにスライドを投射し、それについて説明する形式をとった。受講生にはスライドを印刷したものを資料として配布しており、説明を聞きながら重要と思われる点について資料中に書き込んだり別途メモを取るよう指示した。週に1回の授業で全16回とし、最終回に行う期末試験で60点以上の学生に単位を認定した。

3. 実践報告

ここでは、理学部において動物生理学の授業を行うに当たり、その学習内容について改善した点や教育方法について工夫した点、およびそれらによりもたらされた効果を述べる。

3-1. 医学的要素の排除と理学的要素の強調

上述したように、生理学という学問は医学的側面と理学的側面を持つ。これまでに私が医学部において担当してきた生理学の授業は、主として医師国家試験に合格して医者になるために必要な生物学の知識習得を目指したものであった。人体を構成する様々な器官の構造と機能、それらの連関による恒常性維持機構など、生理学の根幹ともいえる内容に加え、心不全、呼吸器不全、および腎不全などの病態生理学に関する内容や、静脈カテーテル検査、12誘導心電図検査、および肺機

能検査などの臨床検査に関する内容も含んでいた。そこで私は、理学部において動物生理学の授業を行うに当たり、基礎医学的生理学からの脱却を目指して、学習内容から医学的要素を排除した。病態生理や臨床検査に関する知識は理学部の学生には不要と思われる。そして、学生に生理学という学問を身近に感じてもらうために、神経と筋肉の働きによる体が動く仕組みや、栄養と代謝によるエネルギー産生とその利用など、生物が生きていく上で必須の生命現象を重点的に取り上げた。特に、循環器系、呼吸器系、泌尿器系については、個々の器官系の構造や機能について学習するにとどまらず、三つの器官系が協調して細胞外液の量、組成、浸透圧、pHなどを一定に保つことにより、我々のからだを構成する細胞の生育環境の恒常性を維持していることを、時間をかけて分かりやすく説いた。そして、理学における生理学の位置づけを明確にした上で、すなわち、生理学の医学的要素を排除し理学的要素を強調していることを改めて説明した上で、学習内容についての理解と興味を深めることを目的として、関連する疾病の病因と病態を必要に応じて簡単に取り上げた。

3-2. 学習内容への引き込み

一般に、学習内容に対して全ての受講生に興味を持たせることはとても難しい。元々生理学に興味のある学生であるならまだしも、そうでない学生に対して、ある生命現象について興味を持たせ、それを取り上げた生理学の授業をしっかりと聞かせることは至難の業である。そこで私は全ての学生が興味を持つことができるよう、毎回の授業の冒頭で、その日の学習内容に関連のある生命現象について「問い」を提示した。たとえ興味のない事柄であっても、クイズ形式で問いかけると、学生は皆、不思議と惹きつけられるようである。これにより、学生はその「問い」に対するヒントや答えを探しながら私の説明を注意深く聞くようになった。授業の最後に「問い」に対する答えを提示することで、学習内容についての知識が深まり、さらには余談として強く印象にも残る。ひとつの実例を示

す。呼吸の授業の前に「声はどのように作られるのか?」という「問い」を提示した。この「問い」の答えに辿り着くためのキーワードは「気管」「声帯」「呼吸」「呼気」などの呼吸器系の構造と機能を理解する上で重要な語句である。当然、学生は授業の中でこれらの語句についての説明を受ける。そして授業の最後に、声が作られる仕組みについて「声は呼気が声帯を振動させることにより生じる音を声道で共鳴させたものである」と説明すると、学生は「なるほど」という感じですんなりと理解できるようである。おそらく授業前であれば「問い」の答えを聞いても理解できないのではなかろうか。授業後であればすんなりと理解できるのは、授業中に上記キーワードについての説明を受けているからであろうし、その説明を聞き逃さなかったのは授業の冒頭の「問い」により授業に惹きつけられているからであろう。ここではさらに一歩踏み込んで余談を展開した。「声は呼気により作られるため、息を吸いながら声を出すことはできません。試し

にやってみましょう。」と促すと皆言葉に詰まったように声が出てこず苦笑いする。さらには、「声帯の振動により生じた音が声になるためには口の形が重要です。「あ」を発する口の形で「う」を発することはできません。試しにやってみましょう。」と促すと、「あ」とも「う」とも言えない奇妙な声が教室のあちこちから聞こえて非常に面白い。この回の授業を終えて、学生はきっと、呼吸の生理学に関する知識の習得に加えて、声の不思議についても興味を持ったのではないだろうか。そうであれば、この「問い」は大成功である。他にも「血液型占いは正しいのか?」、「心臓が先か血管が先か?」、「腎臓は何故2つあるのか?」などの「問い」を出した。これらの「問い」をきっかけにして、学生が授業中に私の話を集中して聞くようになり、それによって授業や余談の内容が学生の印象に残り、さらにはそれらに対して興味を持ってくれれば嬉しいことである。

a. 講義資料

酸素解離曲線

(mL/100 mL, vol%)
全体の酸素含量
Hbと結合した酸素

Hb 1 gは 1.39 mL の酸素と結合
正常Hb濃度 15 g / 100 mL

酸素容量は 20.8 mL / 100 mL

動脈血 (P_{O₂} 100 mmHg)
酸素飽和度 97%
⇒ 酸素容量 20.1 mL / 100 mL

静脈血 (P_{O₂} 40 mmHg)
酸素飽和度 75%
⇒ 酸素容量 15.6 mL / 100 mL

組織への酸素運搬量
20.1 - 15.6
= 4.5 mL / 100 mL

酸素分圧 低下 ⇒ Hb酸素飽和度 低下 ⇒ 酸素の解離

毛細血管におけるO₂の放出とCO₂の取り込み

CA: carbonic anhydrase
炭酸脱水酵素

血液のpHが下がらないように血漿タンパク質が結合して中和する。
⇒ 緩衝作用

血液中におけるCO₂の3つの形
1) 物理的に溶解 9%
2) 重炭酸イオン 80%
3) カルバミン複合体 11%

b. 小テスト（抜粋）

血液中の酸素は、そのまま溶解できる量はごくわずかであるため、赤血球に含まれる（ 11 ）というタンパク質と結合して運搬される。（ 11 ）の酸素飽和度は酸素分圧が低下するにしたがって（ 12 減少・増加 ）するため、赤血球が末梢組織まで運ばれると酸素を（ 13 結合・解離 ）しやすくなり、その分が組織・細胞へと供給される。抹消組織の細胞内に入った酸素はミトコンドリアに入り、生体エネルギーである（ 14 ）の合成に利用される。その過程で生じる（ 15 ）もまた、血液中にそのまま溶解できる量はごくわずかである（9%）。そこで、大部分（80%）は（ 16 ）イオンの形に変換され、また一部（11%）は（ 11 ）や血漿タンパク質と結合して（ 17 ）複合体を形成し、酸素とは逆の経路をたどって（ 9 ）まで運ばれ、そして呼吸として体外へ排出される。

図1 a. 呼吸の講義において使用したスライド2枚。b. 呼吸に関する小テスト問題の抜粋。

3-3. より効果的な復習方法の検討

動物生理学では毎回の授業において、前回の学習内容に関する小テストを実施した。この小テストは学生に復習を促す効果があるが、その復習による学習効果を高める工夫をしている。私の授業では、スクリーンにスライドを投射し、それについて説明する講義形式をとっている。そしてスライドのほとんどは写真や模式図、グラフである。生体に備わるあらゆる器官や、それを構成する組織あるいは細胞の構造と機能を理解するためには、それらを視覚的に捉え頭の中にイメージを持つことが重要であり、グラフは生命現象を定量的に理解する上で重要だからである。学生にはスライドを印刷したものを資料として配布しており、説明を聞きながら重要な点についてはメモを取るよう指示してある。すなわち、私の授業において、学生は「見る」「聞く」「書く」ことにより生理学を学ぶ。これに「言う」を加えるのが小テストの目的である。もちろん小テストとして学生に何か発言を求めるのではない。私が課する小テストの形式は、ある生理機能について説明をした文章の穴埋め問題である。文章には覚えるべき重要語句のみではなく、生命現象に見られる変化の描写も含まれている。事例として、呼吸の授業において使用したスライド2枚(図1 a)と、翌週に行った呼吸に関する小テストの抜粋(図1 b)を示す。学生は配布資料にある図やグラフを見て、それらについての説明を聞き、重要な点のメモを取り、そして復習する際にはその図やグラフに書かれている語句を覚えるだけでなく、そこに示される生命現象の意味や意義について理解し、さらにはそれを自分の言葉で説明することを目指して復習する。それができて初めて文章の穴埋め問題に答えることができるようになる。この学習方法、すなわち、ある生命現象を見て聞いて書いて、それについて自分の言葉で説明できるように復習することは、生理学を学ぶうえで、単なる知識の詰め込みより遥かに効果的である。

また、初回の授業において、毎回の授業で小テストを行うことを説明しているが、それに加えて、期末試験は小テストをベースに作題することも通知してい

る。したがって、毎回の小テストに対する準備はそのまま期末試験対策にもつながる。そのため、学生は毎回の小テストに対する準備、すなわち学習内容の復習をおろそかにすることなく積極的な姿勢で学習に取り組んでいる。

小テストを実施することにより学生の出欠状況を確認することができると同時に、学生の授業に取り組む姿勢を把握することもできる。毎回の小テストの成績が芳しくない学生がいれば個別に注意することもできる(嬉しいことに注意が必要な学生はいなかった)。また、毎回の小テストの成績は、最終成績判定の際にも利用することができる。例えば、ある学生の期末試験の成績が合格に僅かに達しなかった場合、その学生が普段より頑張って学習に取り組んでいたことが小テストの成績から判断できれば、温情処置により期末試験の成績に小テストの成績を加味して救助することもできる。

このように、動物生理学では小テストを1) 出欠の確認、2) 効果的な復習、3) 授業への取り組む姿勢の評価、4) 期末試験に向けた準備、そして5) 最終成績判定時の調整材料、など多くの場面で活用している。

3-4. 医学的、科学的興味への対応

上述したように、動物生理学においては授業内容を組み立てる際に医学的要素をできる限り排除し理学的要素を強調した。しかしながら、生理学の学問的性質を考えると、やはり医学的要素を完全に排除してしまうことは適切ではない。生理学という学問の主題でもある恒常性とは、正常な状態を維持する能力、すなわち異常な状態にならないための生体制御能力であり、加えて異常な状態から正常な状態への回帰能力でもある。恒常性とは「外乱によって設定値からずれた被制御量をネガティブフィードバック機構により効果器への操作を介して設定値に戻す能力である」と表現される。何らかの原因でその能力が発揮されなければ、外乱による影響が大きくなり、正常ではない異常な状態すなわち病気になる。したがって恒常性について学ぶ

上で病気について全く触れずに正常な状態のみを説明するのは困難である。そこで、授業内容に関連する疾患について余談程度に簡単に説明を加えた。例えば、循環の授業において「心臓の収縮力が低下して末梢組織に十分な血液を供給できなくなった状態が心不全である」、「冠動脈が狭窄し心筋細胞への血流が減少すると狭心症に、さらには冠動脈の閉塞により血流が途絶すると心筋梗塞になる」、呼吸の授業において「肺泡－毛細血管関門の肥厚によるガス拡散障害は動脈血－酸素分圧較差を拡大する」、あるいは腎臓の授業において「血糖値が正常でも尿細管における再吸収能低下により尿中に糖が含まれる症状を腎性糖尿という」などである。詳しい病態については説明しないが、これらの疾患に関する知識はその器官の正常機能を理解する助けとなる。いくつかの疾患については学生も興味を持ったようで、授業終了後に「家族が心筋梗塞に罹患したことがあります」「うちは糖尿病の家系です」など、余談で触れた程度の疾患について、まるで私と共通の話題を見つけたかのように話かけてくるのが幾度もあった。

また、ときには、生理学における最新のトピックスや生理学研究の動向を紹介したり、私が行った研究内容や研究手法を紹介したりした。例えば、オートファジーの仕組みを解明し2016年にノーベル生理学・医学賞を受賞した大隅良典先生の話など、生物科学コースの学生であれば誰もが興味を持っているであろうことや、私が過去に研究していた脳の薬の心臓への効果など、教科書には載っていないような話題を紹介した。その結果、学習内容とは無関係の医学・生理学に関する質問を多く受けるようになった。小テスト用紙の裏に自分が興味のある生命現象について長々と質問を書いてきた学生もいた。最先端の医学・生理学研究に触れさせることにより学生の医学的、科学的興味を引き出すことができたと思う。

3-5. 工夫・改善による効果

基礎医学的生理学からの脱却を狙って学習内容から医学的要素を排除し、さらに理学的要素を強調したこ

とにより、学生は生理学という学問をより身近に感じ、生体に備わった生きるための仕組みやそれに関連する疾病に興味を持ち、そして、それらの理解に向けて努力するようになった。それには、授業毎に提示した「問い」による学習テーマへの引き込みと、穴埋め式の小テストによる記憶ではなく理解を目指した復習が大いに役立っていると思う。また、学習内容に関する質問に加えて、授業で余談程度に触れた疾患や生理学研究についての質問も多かったことから、授業を通じて(医学的側面と理学的側面を合わせた)生理学という学問を面白いと感じてもらえるようになったと思う。

4. 学生による授業評価アンケートの結果に対する自己分析と動物生理学の自己評価

学生による授業評価アンケートは、該当する授業に対する学生の意見を収集し、その結果を教員にフィードバックすることにより、教員に自身の授業を客観的に振り返る機会を与え、さらには自発的授業改善を促すことにより教育の質の向上につなげることのできる意義ある取り組みである。したがって、学生による授業評価アンケートは実施した授業の単なる採点ではなく、その結果を十分にかつ正しく分析し、それをもとに自身の授業をより良いものに改善できてこそ意味を成すものであると考えている。ここでは、動物生理学で行った学生による授業評価アンケートの結果を自己分析し、それをもとに授業を自己評価したい。

図2は、今回行った授業評価アンケートの質問項目とそれぞれの回答における「はい」と「どちらかというとはい」の割合の合計を示したものである。まず、授業評価アンケート結果を全般的に見てみると、嬉しいことに、私の授業は良評価を得ている。Q13には自由記述欄が設けられていたが、そこに書かれていた多くの「わかりやすかった」という意見は、生理学を理解させるという到達目標を達成できていることを示している。次に、個々の質問項目を見てみると、その内容から以下の2つに大別することができる。すなわちQ1～6の「教員自身の教育能力に関する評価」とQ7～12の「受講生の主観や成果」である。Q1～6は

Q1	毎回の授業の目的や課題は、明確にされていますか？	95%
Q2	教員の声の大きさや話し方は、聞き取りやすいですか？	97%
Q3	教員の授業内容の説明は、分かりやすいですか？	97%
Q4	授業の進み方や内容量は、あなたにとって適切ですか？	92%
Q5	配布資料・視聴覚教材・テキストなどは適切に利用されていますか？	97%
Q6	教員は、受講生が質問や意見を述べる機会をつくり、それらに答えていますか？	77%
Q7	授業に対する教員の熱意を感じますか？	92%
Q8	あなたは、この授業に意欲的に取り組んでいますか？	92%
Q9	あなたは、この授業の予習や復習をしていますか？	71%
Q10	あなたは、この授業によってこの分野への学問的興味・関心が高まっていますか？	92%
Q11	あなたは、この授業で身につけることを期待した知識や能力を得ていますか？	97%
Q12	全体としてこの授業にあなたは満足していますか？	97%
Q13	この授業に関して、あなたが感じたことを自由に記述してください。	
	<ul style="list-style-type: none"> 内容も面白くて、毎回小テストも復習ができて良かったです。とても満足しています。 スライドを使っただけの授業でしたが、資料も配布してもらったのでノートを取るよりも解りやすく良かったです。 その日の授業に関係のない質問をしても、毎回真摯に自分の意見を教えてくださってとても面白かった。 動物の様々な生理現象について、興味深いものが多かった。特にインスリンによる血糖値の調節は、高校の内容を発展させたもので、理解が深まった。 わかりやすく丁寧な授業で受講生との会話もほかよりも多いと感じた。 小テストによって講義の復習が適切に行えていたと思う。 毎回先生の話が面白かったし、授業前のテストのおかげで、復習はばっちりでした。ありがとうございました。 分かりやすい授業でした。 小テストの回答を学生が言うのではなく先生が読み上げてくれたらスムーズだと思いました。 資料や説明も適切でとてもわかりやすかったです。 	

図2 授業評価アンケートの質問項目とその回答。右の数字はそれぞれの質問における「はい」と「どちらかというとはいい」の割合の合計を示す。回答は「はい」、「どちらかというとはいい」、「どちらともいえない」、「どちらかというとはいいいえ」、「いいえ」の5つ。Q4のみ、回答は「速すぎる・多すぎる」、「適切」、「遅すぎる・少なすぎる」の3つ。Q4の数字は「適切」の割合を示す。Q13は自由記述。

授業を実施する際に教員が意識することにより、その評価をある程度操作できる。例えば、授業の冒頭に目的や課題を提示し、大きな声でゆっくりと授業を行い、資料をしっかりと準備すれば、これらの項目について良い評価を得ることができると期待できる。もちろん、実際に良い評価を得られていることは、私自身がこれらのことをきちんと意識して授業を行っていたことの裏付けにもなる。比較的評価の低かったQ6「教員は受講生が質問や意見を述べる機会をつくり、それらに答えていたか？」について、今後は、これまでのように、講義終了直前にその日の学習内容について質問を受け付けたり、講義終了後に個別に質問に来た学生に対応するばかりでなく、学生が学習内容を理解で

きているかどうか確認しながら授業を進め、講義の途中であっても質問を受け付けるようにしたい。また、講義の途中でも質問しやすい雰囲気を作る努力も必要であると思う。実際の授業では、言い訳に聞こえるかもしれないが、こちらから質問を促しても手を挙げる学生は皆無である。本当に理解できていて分からないことがないのであれば質問はないであろうが、実際は質問がないのではなく、皆の前で手を挙げて質問をする行為を恥ずかしいと捉えているようである。講義終了後、皆が退室するところに、私のところに来ていくつか質問してくる学生がいる。ひょっとすると他の学生も同じ質問を抱えているかもしれないので、皆の前で手を挙げて質問してもらい、私が皆に対して答える形

で対応するのが理想である。質問しやすい雰囲気作りのための私の努力も必要であろうが、皆の前で手を挙げて質問する学生の積極性にも期待したい。

さて、上述のようにQ 7～12は受講生が授業を通じて得た主観や成果であり、その結果を教員側で操作することが難しい項目である。この中でQ 9「この授業の予習や復習をしたか？」の回答結果を見ると「はい」、「どちらかといえばはい」を合わせた回答は71%にとどまり、「どちらともいえない」が23%を占めた。この結果は授業形態に起因するところが大きい。動物生理学では授業で学習した内容について、翌週の小テストによりその理解度を測っている。この小テストそのものは、Q13の自由記述の回答にも書かれていたように、復習を促す効果もあって大変評価が高い。しかし、次回の学習内容についてはシラバスの授業計画に沿って軽く言及するのみで具体的な学習内容については説明していなかったので予習ができなかったのではないかと思われる。よって学生は、復習はしたが予習はしていないので、Q13はこのような結果になったのではなかろうか。今後は、次回の学習内容について具体的に説明し、予習を促すようにしたい。資料を事前に配布しておくのも一つの手かもしれない。

5. おわりに

教育奨励賞への応募に係る書類作成、教育奨励賞受賞後の授業実践報告会での発表、そして今回の高知大学教育研究論集への寄稿を通じて、改めて自分の授業を振り返り、その良し悪しについて深く考える良い機会となった。医学部教員時代から生理学の授業を担当し、年度ごとにスライドや資料のマイナーチェンジやアップデートを繰り返し、良いものを作ってきたつもりであったが、できあがったものが本当に良いものであるのかどうかの判断をつけることができないでいた。今回、学生による授業評価アンケートにて全体的に良評価を得ることができたが、特にQ 7～12の回答を総括すると「学生は、私の教育に対する熱意を感じ取り、意欲的に学習に取り組んだ結果、生理学に関する興味・関心が高まったので、本科目には十分に満足

している」と言える。教員が回答を操作できない質問項目において良評価を得られたことにより、自分の教育方針が大きくは間違っていなかったことが確認できた。また、授業に対するこのような学生の声は今後の教育活動を行う上での励みにもなる。さらには、私の授業には改善の余地がまだまだあることを知り得たことも大きい。今回の教育奨励賞受賞に満足せず、現状を維持しつつ、アンケートの自己分析を活かしてQ 6やQ 9の回答結果がより良くなるよう授業改善努力を継続することが重要であると考えている。そして、例えば討論やグループ学習、あるいは演習や実験など、講義とは異なる授業形態であっても、今回と同様の、いや今回以上の良評価が得られるよう教育の質を向上させていきたい。