

教員の免許状更新講習における生物領域の講習 —特に新学習指導要領で増加した分子生物学の扱いについて—

Courses related to biology in Teaching Certificate Renewal Courses: focusing on the molecular biology area, which has expanded in the new guidelines for teaching

三宅 崇¹・三宅 恵子²

Takashi Miyake and Keiko Miyake

1 岐阜大学教育学部理科教育講座, 501-1193 岐阜市柳戸1-1

2 岐阜大学大学院連合農学研究科, 501-1193 岐阜市柳戸1-1

要 約

学習指導要領の改訂により, 中学校・高等学校で扱う生物学の内容が大きく変容した。そこで, 学校教員が最新の知識技能を修得する機会の一つである免許状更新講習での生物学関連講習が, このような内容変更に伴う知識技能修得にどう関わっているかを調べるため, 平成25年度の免許状更新講習における生物学関連講習を対象教員, 取扱い内容, 実習の有無や内容などで分類し, 傾向を分析した。生物学関連の講習では, 中学校・高等学校教諭を対象としたものが多く, 遺伝・分子生物学関連が最も多くみられた。遺伝・分子生物学関連の講習のうち実習を行っているものと判断されたものは半分以下で, 実習内容も学習指導要領改訂に伴う分子生物学分野の拡大に十分に対応したものとは言えず, DNA抽出実験にとどまらない内容の拡充が望まれる。

1. はじめに

平成20年および21年にそれぞれ中学校, 高等学校の学習指導要領が改訂された。それにより, 中学校理科における生物分野および高等学校の生物学に関する内容や単元構造が大きく変化した。中学校では, 「種子をつくらない植物の仲間」, 「無脊椎動物の仲間」, 「生物の変遷と進化」, 「遺伝の規則性と遺伝子」などが高等学校から移行してきた。高等学校では, 生物ⅠとⅡから, 生物基礎および生物へと枠組みが変わったことに加え, いわゆる「はどめ規定」が見直されたことにより内容が高度化した。この内容の高度化は, ここ10年20年で様々な進展のあった生物学ではとりわけ顕著である。なかでも分子遺伝学, 分子生物学分野では, 単に大学レベルが高校の教科書で扱われるようになった, という状況ではなく, 高等学校教員が大学に在籍していた頃には存在・確立していなかったであろう実験手法や解析方法が教科書に掲載されるようになってきた。

また, 中学校教員にとっては, 遺伝やDNAと

いった内容は, 自らが中学生であった時には学習項目に含まれなかったため, その後十分に学ぶ機会もないまま教壇に立っていることもあるかも知れない。高等学校で生物学を選択しなかった場合, 大学で必要性に迫られて学習する機会があればよいが, 大学ですら, 中学校理科教員免許に必要な必修講義で, 十分に遺伝学・分子生物学領域を学べるとは言えないのが現状であろう。

平成21年4月から導入された教員免許更新制に伴い始まった免許状更新講習は, 「文部科学大臣の認定を受けて大学などが開設する, 最新の知識技能の修得を目的とする講習」とされている。従って前述した状況の中で, 中学校理科教員や高校生物教員が, 学習指導要領改訂に伴い必要に感じている内容に関する新知見や技術を学ぶ上で, 免許状更新講習は貴重な機会の一つとなっていると思われる。とりわけ, 理科実験のような手法の修得は, 独学だけでは身に付かない作法やコツも多い。そこで本稿では, 免許状更新講習における生物分野の扱いを調べ, 遺

伝子やDNAといった分子生物学，分子遺伝学関連を扱っている講習での実験導入の状況を分析し，課題と改善案を提示する。

2. 教科書にみる中学校および高等学校での遺伝子・DNA関連領域の変更

中学校理科では遺伝の規則性と遺伝子，そしてDNAが新たに扱われることとなった。遺伝に関しては，背後にある減数分裂における染色体の挙動を正しく理解することが必要である（池内 2013）が，現状では減数分裂の仕組みの説明のないまま，結果としての分離の法則のみ扱われている。DNAは遺伝子の本体としての存在であることを教えることになっているが，実際にはそれに加えてDNAを抽出する実験を紹介している教科書も複数みられる。

高等学校の生物（ここでは生物基礎および生物の両方を指す）では，扱う内容が教科書ごとにより異なっている。しかし，ポリメラーゼ連鎖反応（PCR），遺伝子組換え，塩基配列解析，電気泳動法，RNA干渉（RNAi），一塩基多型（SNP），緑色蛍光タンパク質（GFP），オーダーメイド医療，などは多くの教科書で扱われるようになった（表1）。これらの技術的なものは「バイオテクノロジー」の項で扱われることが多いが，その一方で，これまで定番だった組織培養やプロトプラスト，細胞融合などはほとんど見られなくなった。掲載されている実験については，以下の通りである。まずDNA抽出はほとんどの生物基礎教科書で採り上げられている。大腸菌に*lacZ*やGFP遺伝子を導入して発現をみる実験や，PCR，制限酵素切断と電気泳動

表1. 高等学校生物基礎・生物教科書で扱っている分子生物学の項目。黒丸は「バイオテクノロジー」の中で扱っているものを示す。

| 項目 | 生物基礎 | | | | 生物 | | | |
|------------|------|----|----|----|----|----|----|----|
| | A社 | B社 | C社 | D社 | A社 | B社 | C社 | D社 |
| PCR | ○ | | | | ● | ● | ● | ● |
| SNP | | ○ | | | ● | ● | ○ | ○ |
| 遺伝子診断 | ○ | | | | ● | | | |
| 遺伝子治療 | ○ | | | | ● | | | ● |
| オーダーメイド医療 | ○ | | | ○ | ● | | ● | ○ |
| GFP | ○ | ○ | | | ○ | | ● | ● |
| iPS | | ○ | | | | | | |
| ヒストンのアセチル化 | | | | | | ○ | | ○ |
| RNAi | | | | | ○ | ○ | ○ | ● |
| 遺伝子組換え | | | | | ● | ● | ● | ● |
| 電気泳動 | | | | | ● | ● | ● | |
| 塩基配列解析 | | | | | ● | ● | ● | ● |
| ノックアウトマウス | | | | | | ● | ● | |
| DNA型鑑定 | | | | | | ● | | |
| DNAマイクロアレイ | | | | | | | ● | |
| cDNA | | | | | | | ● | |

表2. 高等学校生物基礎・生物教科書で扱っている分子生物学実験。

| 実験内容 | 生物基礎 | | | | 生物 | | | |
|-----------------|------|----|----|----|----|----|----|----|
| | A社 | B社 | C社 | D社 | A社 | B社 | C社 | D社 |
| DNA抽出 | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | |
| DNA模型 | ○ | | ○ | | | | | |
| DNAとRNAの染め分け | ○ | | | | ○ | ○ | | |
| 組換えDNA実験 | | ○ | | | ○ | | ○ | ○ |
| 試験管内での転写と翻訳 | | | | | ○ | | | |
| PCR | | | | | | ○ | ○ | |
| DNAの制限酵素切断と電気泳動 | | | | | ○ | ○ | | |

なども複数の生物教科書で採り上げられている。PCRも単に増幅させるだけでなく、イネの品種判別に用いているものもあった。また、パン酵母を利用した組み換え実験や、試験管内での転写と翻訳といった実験を採り上げている教科書もあった(表2)。

3. 免許状更新講習の分析方法

平成25年度の免許状更新講習の選択領域7354講習について、文科省のホームページより講習一覧をダウンロードした。この一覧には、講習の名称や講習の概要が掲載されている。この2つの項目に関して「生物」「生命」「生き物」という語で検索したところ、398講習がヒットした。しかし、予備的に「細胞」や「遺伝子」という用語も検索対象にしたところ、これらの用語はあるものの「生物」「生命」「生き物」という用語のない講習がそれぞれ9および12あった。そこで、これらもふくめた417講習について、さらに以下のステップをおこなった。

まず、講習の概要を精査し、生物学と関連のないものを除外した。例えば、中学家庭科や技術の教員を対象とした栄養や食の安全、生物育成に関するもの、スポーツ健康科学に関するもの、発達障害や心理について扱ったものなどが該当する。これらは合計79講習あった。次に、同じ講師による同じ講習名のものを除外した。この結果、重複を除いた生物学関連の講習の数は303となった。

この303講習について、概要から内容を判断し、以下の3つの項目について重複を認めながら有無を調べた：(1) 対象教員(幼稚園、小学校、中学校、高等学校教諭)、(2) 取り扱う生物(微生物、植物、動物、ヒト)、(3) 取り扱う内容(顕微鏡観察、野外観察・実験、解剖や形態、生理学、遺伝・分子生物学、進化学、生物の生態、生態系・環境・保全・多様性、分類学、生命倫理)。(2)と(3)は、基本的に講習の概要での関連用語の有無により判断したが、状況により判断される場合も含めた。例えば、微生物の観察という場合は「顕微鏡観察」が含まれると判断した。

次に、上記の(3)で遺伝・分子生物学を扱っ

ていると判断された67講習について、「講習の概要」をもとに実験の有無およびその内容について調べた。多くの場合講習開設者のウェブサイト講習の詳細な内容やスケジュールが公開されているので、可能な限り、講習の概要に加えそれらの情報も参考にした。67講習のうち37講習で、ウェブサイトでの追加情報を得た。

4. 結果

重複を除いた生物学に関する303講習のうち、高等学校教諭を対象に含めるものは241、以下中学校教諭248、小学校教諭167、幼稚園教諭47であった。中学校と高等学校教諭を対象とした講習(中+高)が全体の1/3で、小学校教諭も含むもの(小+中+高)とさらに幼稚園教諭まで含むものをこれに加えると、全体の2/3以上を占めていた(図1)。小学校教諭のみを対象とするもの、中学校教諭のみを対象とするものは、特定の単元に着目した講習、あるいは、ほかの理科学科(地学や物理など)と抱き合わせになったものが多くみられた。高等学校教諭のみを対象とした講習は、当然ではあるが、小学校や中学校では扱わない内容であったり、あるいは高度な知識を要求するものが多くみられた。

取り扱う生物については、講習の概要から判断できないものや遺伝やDNAのようにそもそも具体的な生物を扱ってないものが約1/3(124講習)あった。最も多かったのは植物を扱うもの

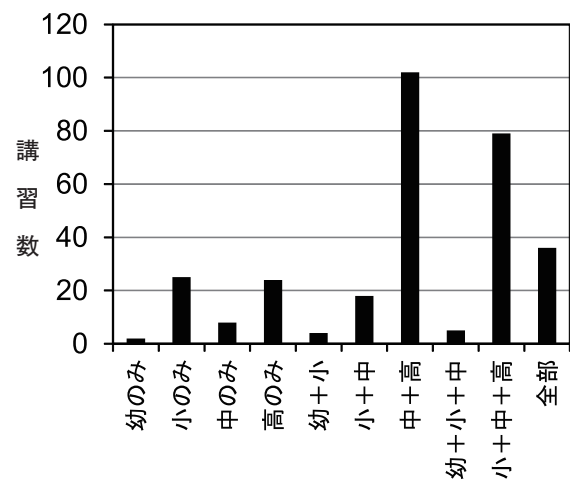


図1. 平成25年度免許状更新講習の生物学関連講習の主な受講対象者の内訳。ただし幼稚園、小学校、中学校、高等学校教諭あるいは理科教諭以外の区分はここでは考慮していない。

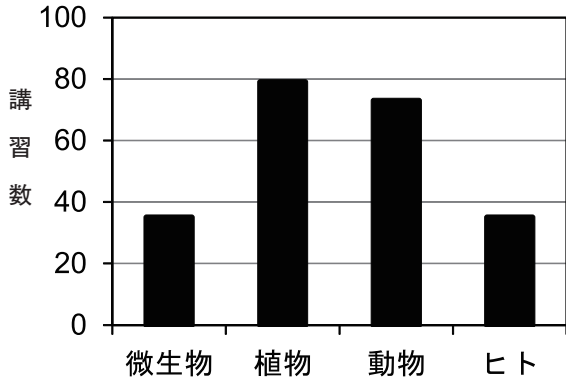


図2. 平成25年度免許状更新講習の生物学関連講習で扱う生物の内訳。

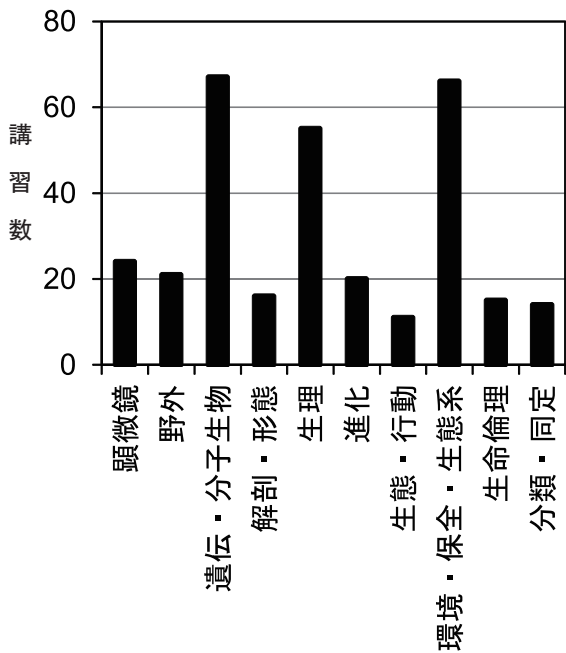


図3. 平成25年度免許状更新講習の生物学関連講習で扱う内容の内訳。

で、取り扱い生物名が判断できたもののうち44%を占めていた(図2)。次いで動物を扱うものが多かった(41%)。微生物とヒトを扱う講習はほぼ同数あり、ともに全体の20%を占めていた(重複があるため、以上の合計は100%を越えている)。

取り扱う内容に関しては、219講習ではなんらかの情報が得られた。それを図2に示した項目で分類すると、遺伝・分子生物学に関するものが最も多く(31%)、ほぼ並んで環境・保全・生態系に関するものがあった(30%)。その次に生理学分野が続く(25%)、これら以外の内容は、

今回の区分では5~10%であった。野外観察は顕微鏡観察とほぼ同頻度でみられ、進化を扱ったものも20講習みられた。

「DNA」および「遺伝子」という語で検索したところ、合計52講習(ただし、同一講師による同じ内容の講習を含めると53講習)が該当した。これらの受講対象者は、小学校教諭対象が18、中学校教諭対象が50、高校教諭対象が51であった。このことから、DNAや遺伝子を扱う内容のほとんどは高校教諭のみならず中学校教諭も対象としていることがわかる。高校教諭が対象でない1講習は、講習名称に「中学校第2分野」が明記されているものであった。また、中学校教諭が対象となっていない2講習は、いずれも実習が含まれており、1つは遺伝子工学を利用した病原菌の診断技術を行うもの、もう1つはリアルタイムPCRを行うものであったことから、このような応用的な実習内容が関係しているものと推測される。

次に、一覧にある「講習の概要」および開設者(開講を行う大学などのこと)のホームページに掲載されている詳細なスケジュールを基に、遺伝・分子生物に分類された67講習における実習(実験)の有無および実習内容について調べた。その結果、DNAや遺伝子に関連していると認められる実習を行っている講義は合計28講習あった。その内容として最も多かったのはDNA抽出で、15講習で行われていた。ヒトのDNAを抽出するものが5講習、植物のDNAが7講習あり、そのうち1講習では両方行っていた。次に多かったのがPCRで、10講習でみられた。どのような領域を増幅しているかについての情報はわからないものが多く、明示されていたのはアルコール脱水素酵素・アルデヒド脱水素酵素多型をみるものが3例、口腔内EBウイルスが1例であった。遺伝子を組み換えた生物を用いた実習(遺伝子発現をも意図したものが多い)を含むものは3講習あり、2例はGFPを用いたもの、1例は一部の高校生物教科書に掲載されているパン酵母を用いたものであった。

実際には明記されていないことによりカウントされていない例もあると思われる。例えば、「お酒が飲める遺伝子のDNA鑑定実験」という

実習では、おそらくはDNAを抽出し、PCRも行っていると思われるが、明記されていないため先の数には含まれていない。というのも、タカラバイオのMightyAmpや東洋紡のKOD FX Neoを用いればDNA抽出を行わずにPCRをすることは可能であり、またPCRを用いずに多型を検出することも可能だからである（伊佐治・松本 2006）。また、PCRを行った場合、増幅確認のため電気泳動も続けて行うことが多いと思われるが、明示されない場合はカウントしなかった。「遺伝子工学を利用した病原菌の診断技術」「遺伝子診断実験」「海藻を用いた遺伝子工学的な手法」といったタイトルの講習なども同様に対応したため、件数は若干過小評価だと思われる。

一方、組織培養や細胞融合、プロトプラストといった教科書から姿を消しつつある項目についても検索したところ、組織培養とプロトプラスト作成がそれぞれ1件ずつみられた。

5. 考察

平成25年度免許状更新講習の生物関連講習のうち、高等学校教諭と中学校教諭を対象とするものはいずれも全体の80%を占めた。特に小学校教諭（および幼稚園教諭）を含まないものが全体の1/3を占めていることは、「最新の知識技能の修得を目的とする」上で、より専門性の高い中高の教諭へ焦点化していることを反映していることを示唆している。また、内容の内訳をみたときに、小学校ではほぼ扱わない「遺伝・分子生物」に該当するものが最も多かったことも、これを支持している。次に多かったのが「環境・保全・生態系」であったことも特筆すべきである。第一に、この分野は幼稚園・小学校の段階から注目されている環境教育と関わりが深い。第二に、高等学校で、これまで生物Ⅱの中でも選択内容だった生態系が、今では生物基礎で扱われており、教科の中で生態系や生物多様性が大きく扱われるようになってきた。これらのことから、「環境・保全・生態系」の最新の知識の修得の重要性は増しており、それに応える形で講習数も増加しているのかも知れない。

一方で、教科書で扱う実験をみてもわかる通

り、分子生物学では最新の知識だけでなく、技能の修得の重要性が増している。しかしながら、その割には、遺伝・分子生物関連の講習の中で実験を行う割合は半分以下で、そのうち最も多かった内容がDNA抽出というのは若干物足りない感がある。というのも、DNA抽出自体は昨今では中学校の教科書でも扱われ、それほど難しい技能を必要としないからである。しかし、もっと重要なことは、DNA抽出が行われ、白いモヤモヤが観察されることで、どのような事実が明らかになるかが不明なことであろう。高等学校のレベルでは、二重らせん構造や、相補的結合、半保存的複製などが重要な内容であると思われるが、白いモヤモヤからはこのどれもわからないのである。これらを理解する上ではDNA模型の方が優れているだろう。おそらくは、分子生物学研究の最初のステップを体験するという目的が達せられるのであろうが、その意味ではPCR（および結果を検出するための電気泳動）まで行われて初めて意味があるように思われる。

片山（2012）による群馬県および周辺の30校の高等学校生物教員からのアンケート回答によると、DNAの電気泳動実験やPCR実験を行ったことのある高等学校はいずれも10%で、植物組織培養実験（38%）やプロトプラスト作成と細胞融合実験（36%）に比べ少ない。その理由の一つに、サーマルサイクラーや核酸用電気泳動槽、マイクロピペットの普及（それぞれ10%、27%、30%）が遅れていることが挙げられる。しかし、前述のように、多くの生物教科書で植物組織培養やプロトプラストが姿を消し、代わって分子生物学関連の内容が増えている現状から考えると、今後分子生物学の実験が盛んになる可能性が高いと思われる（片山 2012）。また、免許状更新講習の受講者は30代～50代であるが、現段階の40代～50代の受講者の多くは、大学に在学時にPCRを行った経験がないと思われるので、その技術修得は有意義であろう。

さらに、もう一步踏み込むなら、何を目的としたPCRを行うかも留意したい。生物教科書で扱いが大きくなっている項目の一つは、SNP、遺伝子診断、オーダーメイド医療、DNA型鑑定といった（多くの場合ヒトの）DNA配列多型で

ある。むろん、DNA配列多型の中には、塩基配列解析装置（シーケンサー）を必要とするものもあるが、多くのDNA配列多型はアレル特異的PCRやPCR産物の制限酵素断片長多型（PCR-RFLP）などにより検出可能である。単に増幅が期待されるPCRで増幅がみられた、というPCRより、PCRにより多型を解析する方が、よほど実用に近い利用法だと思われる。

ただし、注意すべきなのは、前述のDNA配列多型の多くが、ヒトの疾患に関連した文脈で扱われていることである。言うまでもなく、疾患に関連したヒトのDNA多型領域を扱うことは厳禁であり（佐藤・高橋 2013）、現実的に行われている実習の多くはいわゆる「お酒が飲めるか飲めないか」に関連しているアルデヒド脱水素酵素（ALDH2）の多型解析である。表現型自体は包み隠せるものではなく、むしろ遺伝的に飲めない体質なのだとは知ることは、遺伝子と表現型の対応を実感を伴って理解できる実験と言える。ただし、近年ALDH2多型と食道癌リスクの関連が指摘されている（飲めない体質なのに飲んだ場合リスクが上昇する、という結果であり、啓蒙的にはむしろ「飲めないのに飲んではいけない」ことの理由を明確にした結果と言える；Brooks et al. 2009）。

PCRを利用した多型解析は、ウナギやサバなどの魚介類加工品の種判別を調査する際に実際に利用されている（例えば、水産総合研究センター・農林水産消費安全技術センター 2010）。PCR-RFLPを用いたマグロの判別を、意欲的な中高生対象に行っている例（山梨大学 2012）もあり、同様の内容を講習に取り入れることも可能であろう。

多くの講習は一日（6時間の講習）で完結するようになっており、この制約の上では長時間を要する実験を盛り込むことが難しいことも事実である。例えば大腸菌を用いた遺伝子組み換え実験では、形質転換後にコロニーを得るだけでも、10時間程度の培養が必要であり、免許状更新講習の中で扱う上では制約が大きい。実際、遺伝子を組換えた生物を用いた実習のほとんどは、既に組換えられたものが提供されている。このような難しさはあるものの、やはり実習に

は講義にない体験がつきものであり、大学としては現場の中高教諭が求めている実習をくみ取り反映できれば、さらに意義のある講習が可能になると思われる。

6. 参考文献

- Brooks PJ, Enoch M-A, Goldman D, Li T-K, Yokoyama A (2009) The Alcohol flushing response: An unrecognized risk factor for esophageal cancer from alcohol consumption. *PLoS Med* 6 (3): e1000050.
- 池内達郎 (2013) 中等教育で期待される遺伝教育. *理科教室* 56 (5): 36-41.
- 伊佐治錦司・松本省吾 (2006) 遺伝子診断の教材化 : ALDH2 (アルデヒド脱水素酵素2) 遺伝子におけるSNP (一塩基多型) タイピング. *岐阜大学教育学部研究報告 (自然科学)* 30: 21-33.
- 佐藤浩之・高橋重一 (2013) 高校生を対象とした遺伝子多型分析実験の試み. *理科教室* 56 (5): 55-59.
- 水産総合研究センター・農林水産消費安全技術センター (2010) うなぎ加工品の原料魚種判別マニュアル (ジャポニカ種及びアンギラ種) (http://www.famic.go.jp/technical_information/hinpyou/pdf/unagi_manual.pdf). 2013年12月27日確認
- 山梨大学 (2012) 女子中高生を対象とした実験教室【DO!サイエンス】教室 (<http://www.eng.yamanashi.ac.jp/event/1051>). 2013年12月27日確認