シニア世代を主対象とする生涯学習教育としての 分子生物学実験・実習の実践と工夫

Molecular Biology Laboratory-class as Life-long Education for the Students, Most of Which Are in Elderly Generations.

内田 英伸 $^{1)\,2)\,*}$, 松崎 素道 $^{3)\,4)\,5)}$, 佐藤 剛 $^{2)\,3)\,6)}$, 内田 美重 $^{1)}$, 朽津 和幸 $^{7)}$, 永田 典子 $^{8)}$, 奥野 誠 $^{9)}$, 井上 和仁 $^{2)\,6)}$, 森 義仁 $^{3)\,10)}$

Hidenobu Uchida, Motomichi Matsuzaki, Takeshi Sato, Yoshie Uchida, Kazuyuki Kuchitsu, Noriko Nagata, Makoto Okuno, Kazuhito Inoue, Yoshihito Mori

要旨:この20年あまり、文部科学省は多くの大学に生涯学習体制の整備を進めるよう促してきた。しかしながら、分子生物学の教育を生涯学習教育の一環としてとらえ、その授業の構成と内容を十分検討した例はほとんどなかった。本報文では分子生物学の実験・実習の授業を通信教育機関である放送大学において3年間実践し、シニア世代を含む受講生に対しアンケートを行い、それを基に授業を工夫し、それをフィードバックした授業を提示する。さらに国の科学技術の政策決定に積極的に参画するべく、分子生物学に関する素養を身に着けることが求められている現代のシニア世代に分子生物学を教えることの重要性について考察する。

Abstract: In these twenty years, The ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology in Japan has adopted various policies to activate life-long education of Japanese citizens, such as promoting universities to give lectures to the general public. In spite of these policies, fewer numbers of university-level biology classes have been accessed enough to attract elderly students. In this paper, the authors report development of a molecular biological laboratory-class in response to comments from students, most of which are in elderly generations. The authors also discuss the importance of teaching molecular biology to elderly civil citizens, who are expected to be involved in the evaluation of morality in government's science policy in modern society.

キーワード:シニア世代、生涯学習教育、通信教育、分子系統樹、分子生物学実験

Key words: elderly students, life-long education, correspondence education, molecular phylogenetic tree, molecular biology course

1. 緒言

平成4年発行の文部省学制百二十年史の「生涯学習概念の系譜」によると、昭和62年臨時教育審議会は「生涯学習体系への移行の考え方と生涯学習体制の整備の具体的方策」を答申した¹⁾. 平成24年の文部科学白書は、「生涯学習社会の実現と教育施策の総合的推進」のため、「大学における公開講座の実施や放送大学の充実・整備」、「高齢社会への対応」、「現代的な課題への対応」などの「生

涯学習振興施策」を進めるとした2).

これらの教育施策の一方、生涯学習教育の一環としての分子生物学の教育はほとんど具体的な検討がなされてこなかった。今日、我々は日常生活において遺伝子組み換え・ゲノム編集を施した食品、また、生殖医療、遺伝子診断など、分子生物学的な研究成果に接するとともに、それとともに派生した食の安全・安心や生命倫理などの課題にも直面している。これらの、いわゆる"現代的課

所属: ¹⁾ 名古屋文理大学健康生活学部フードビジネス学科, ²⁾ 神奈川大学総合理学研究所, ³⁾ 放送大学東京文京学習センター, ⁴⁾ 国立感染症研究所寄生動物部, ⁵⁾ 理化学研究所革新知能統合研究センター, ⁶⁾ 神奈川大学理学部生物科学科, ⁷⁾ 東京理科大学理工学部応用生物科学科, ⁸⁾ 日本女子大学理学部物質生物科学科, ⁹⁾ 中央大学理工学部生命科学科, ¹⁰⁾ お茶の水女子大学理学部化学科*コレスポンディングオーサー

貢献内容:研究の企画・構想(内田(英),奥野,朽津,井上,永田),授業・実験の遂行(内田(英),森,松崎,佐藤,永田),実験・授業データの取得・解析(内田(英),内田(美),森),原稿執筆(内田(英),内田(美))

題"に我々はどのように対処するべきかを考える必要がある。

生涯学習教育は幅広い世代を対象とした教育機関で行 われるものであり、その担い手として通信教育は重要で ある. 現在, 社会人が主な対象となる通信教育の分子生 物学の実験実習には、例えば、法政大学通信教育部のス クーリング科目「生物学3」³⁾ が挙げられる. ここでは 遺伝子と DNA の関係、 DNA の二重らせん構造に関する 座学と DNA 分子の模型の作成、植物細胞の核・染色体 の顕微鏡観察、ブロッコリーからの DNA 抽出という実 験実習、レポート作成が行われている. 日本女子大学家 政学部食物学科の通信教育課程の夏季スクーリング科目 には、「微生物学」と「微生物学実験」が開講されてい る4). 慶応大学の通信教育課程のスクーリング科目では, DNA の抽出実験, DNA の分子模型作り, 細胞の観察が 行われている⁵⁾. しかしながら、これらの実験実習科目 では DNA が細胞の核内に存在し、2重らせん構造をも つ核酸の1種であることは理解できるが、食品の改変、 がんの予防, 胎児の遺伝障害の診断などの基礎となる, DNA の塩基配列の収集や DNA の実験操作を経験するこ とは難しい. そこで、本報文では、通信教育機関のひと つである放送大学東京文京学習センターにおいて,座学, 分子生物学実験、分子系統樹構築実習を取り入れた「分 子生物学入門」という授業科目(面接授業)を3年度に わたり実践した結果について報告する. 本科目の受講生 にはシニア(本報文においては60歳以上を「シニア」, 60歳未満を「若年者」と呼ぶ)が多く含まれていたため、 特に、シニアに対する授業支援の在り方について検討す る.

2. 授業の立案

(1) カリキュラム

通信教育のために設立された放送大学のスクーリング会場の一つである東京文京学習センターにおいて面接授業のひとつである「分子生物学入門」という科目の授業を実践した。面接授業の科目は難易度に応じ基盤,導入,専門に分けられる。生物の科目は「自然と環境」に区分される。「分子生物学入門」は「専門」科目であり、同学習センターで開講される基盤科目の「初めての生物学実験」、「一歩進んだ生物学実験」よりも難易度を高く設定した。

(2)授業概要

本授業では分子生物学の研究が現代社会に及ぼした影

響を理解させ、DNA 組換え、ゲノム編集の基礎となる DNA 実験を経験させることを目的とした。全体の流れは、受講生の班分け、DNA 実験、パソコン (PC) 実習、レポートの執筆、アンケートへの回答であった (表1).

授業の最初に受講生の班分けを行った. DNA 実験では、まず、プリント教材を用い一連の実験の原理、操作手順を確認した. その後、非組換え大腸菌を用いた培養方法として、LB 培地の調製、オートクレーブによる滅菌、クリーンベンチでの大腸菌の移植、培養を学ばせた. 次に、予め用意したサンプルからプラスミドを含む核酸を抽出した. 抽出した核酸を用い、DNase、RNase、制限酵素の各酵素の基質と、熱安定性を比較した. 制限酵素は単一または複数の酵素を用いた. これらの酵素処理を行った核酸をアガロースゲルで電気泳動し、ゲルを染色、写真撮影(以降、ゲル写真撮影と記載)をした. さらに、RNase 処理、制限酵素処理を行ったプラスミド粗抽出液の電気泳動像から当該プラスミドのマッピングを行った.

PC 実習では、プリント教材により実習概要を説明した後、PC のセットアップを済ませ分子系統解析へと進んだ。分子系統解析では、インターネット経由で相同性のある DNA 塩基配列群を検索、ダウンロードし、これらのアラインメントを行った後、分子系統樹を構築した。その後、所定のレポートを執筆し、アンケートに回答をしてもらった。

表 1 授業概要

班分け					
DNA実験	テキストでのDNA実験の手順の解説(座学)				
	大腸菌の培養				
	LB培地調製				
	オートクレーブ滅菌				
	クリーンベンチでの移植				
	培養				
	核酸の抽出				
	各種ヌクレアーゼ処理				
	熱安定性の検定(1年目のみ)				
	RNaseの処理				
	制限酵素の処理				
	核酸の電気泳動				
	ゲルの染色・写真撮影				
	プラスミドのマッピング				
PC実習	ゲノム解析とは(座学)(3年目より)				
	テキストでのPC実習の手順の解説(座学)				
	PCのセットアップ				
	インターネットへの接続				
	ソフトウエアのインストール				
	分子系統解析				
	DNA塩基配列のダウンロード				
	相同性検索				
	アラインメント				
	分子系統樹の構築				
レポートの執筆					
アンケートへの	回答				

(3)授業実践

1年目は3日間で、第2時限から授業を開始し、第 1時限はその日の準備を行った。第1日目全日,第2・ 3日目午前にDNA実験を行い、第2・3日目の午後に PC 実習を行った. 授業1日目にプラスミド抽出, 核酸 の電気泳動, ゲル写真撮影, 抽出核酸の RNase 処理と 単一制限酵素処理を開始,翌週までインキュベートした. 翌週土曜日の第2日目午前に RNase, DNase, EcoT14I (制 限酵素の1種)の熱安定性実験を行い、昼休み前に、前 週のサンプルとともに電気泳動,午後にかけてゲル写真 撮影をした.翌日の第3日目午前に複数の制限酵素処理, 電気泳動を行い、午後にゲル写真撮影をした. 大腸菌培 養の実験は2日目午後から翌日にかけ行った、授業の待 ち時間を省略するため、LB 培地調製、オートクレーブ 滅菌、クリーンベンチ・安全キャビネット内での大腸菌 の移植、振とう培養など、時間のかかる実験は教員が予 め実施したものを用意しておき、その結果を見せながら 受講生に実験操作を行わせた. 授業の進行が遅れて午後 に食い込んだ DNA 実験は、PC 実習と並行して行った.

PC 実習では、2日目午後から制限酵素の認識配列と

マッピングについて座学で説明した。さらに 2 日目から 3 日目にかけての午後に相同性検索,アラインメント,分子系統樹の構築などの実習を行った。全体の概要を理解させるため,実際の進行工程($\mathbf{k}2$)を示すとともに,シラバス⁶⁾ に提示した「DNA 相同性検索」,「DNA 配列アラインメント」,「分子系統樹」,「RNase 処理」,「DNase 処理」,「制限酵素処理 - その 2-」,「制限酵素処理 - その 2-」,「マッピング」という各テーマ名の文字のスライドも各実習・実験の前に映写し,内容の切り替わりを示した。

(4) シラバス

ウェブに公開されるシラバス⁶⁾ には、難易度、担当教員、授業内容、学習テーマ、実施日時、会場、配布教材、受講者が用意するものについて記述した。本科目の受講前に、関連する基礎科目を前もって受講しておいてほしかったため、本科目のシラバスにおいて「一歩進んだ生物学実験」の科目を受講済みの方を対象とする、と記した。

時限	第1日(第1週日曜日)	第2日(第2週土曜日)	第3日(第2週日曜日)	
1 時限				
	出欠・班分け	熱安定性実験	培養結果の観察	
		(RNase,DNase,EcoT14I)	複数の制限酵素処理	
2 時限		LB培地調製	(BamHI,EcoRI,EcoT14I,SphI)	
	プラスミド抽出 [#]	オートクレーブ滅菌	電気泳動	
		電気泳動	电风冰到	
昼休み				
	電気泳動	ゲル写真撮影	ゲル写真撮影	
		クリーンベンチ	マップの作成	
3 時限	ゲル写真撮影		アラインメント	
	RNase・単一の制限酵素処理	マッピングとは	分子系統樹	
4時限		大腸菌培養*	レポート	
		DNA相同性検索	アンケート	
			片づけ	

表2 授業の進行表(1年目)

[#] 学外施設で培養、凍結・不活化した組換え大腸菌より.

^{*} 非組換え大腸菌.

(5) 受講生が個人で準備するもの

老眼鏡、蛍光ペン、電卓、白衣、ノートパソコン(エクセルがインストールされたもの)、昼食の弁当、学生教育研究災害傷害保険への加入、蛍光ペンはマッピングする制限酵素断片、実験解説書の中のキーワード(例えば BamHI、EcoRI、認識配列など)のマーキングに使用した。

(6) 電子教材

PC 実習で使用するファイルを USB メモリーに保存, 授業当日に各班に1つずつ手渡した. DNA 断片のサイ ズの計算に必要な塩基配列のデータと分子系統解析の解 答例を用意した. 解答例はフォルダーの中に入れ,原則 として授業終了まで見ないように指示した.

(7)授業準備

授業の数週間前より学外で生物材料を用意,学内で試薬・機器類の準備を行った。第1日目の前日に集中的に実験室のセットアップを行った。また,授業日の朝に準備状況の再確認を行った。これらの具体的な準備内容は以下の通りである。

・全体で使用したもの(オートクレーブ, クリーンベン チ,シェーカ,恒温培養庫,製氷機,ゲル写真撮影装 置,映写機,マイク,ポインター,コピー機)

- ・班ごとに用意したもの (アルミキャップ付き試験管, チップ,マイクロピペット (P20, P200, P1000各 2本), 微量遠心機,電気泳動槽,ボルテックス,予備のノート PC (各班に 1 台用意,自分の PC を持参するよう シラバスで依頼したが持参しない受講生もいるため), LAN ケーブル (WiFi が設置できるまで))
- ・個人ごとに用意したもの(冷凍して不活化した組換え 大腸菌サンプル(プラスミド抽出用),LB寒天培地 (シャーレ入り),LB液体培地(試験管入り))
- ・教員とティーチングアシスタント(以降 TA と記す) との授業の打ち合わせ(プラスミド抽出プロトコール, スライドのプリント,授業進行表,反応組成表,電気 泳動サンプルのローディング位置を記した表の再確 認,受講生の座席配置,レポートの模範解答,酵素の 種類と使用予定量)

(8)参加者とスタッフ

授業に参加した受講生数は13名であった. 受講生の年齢層は授業後に提出された無記名アンケートから判定した. 60歳代は3名,70歳以上は2名,年齢を申告しない受講生は1名であった. 教育スタッフは教員1名,TA3名であった.

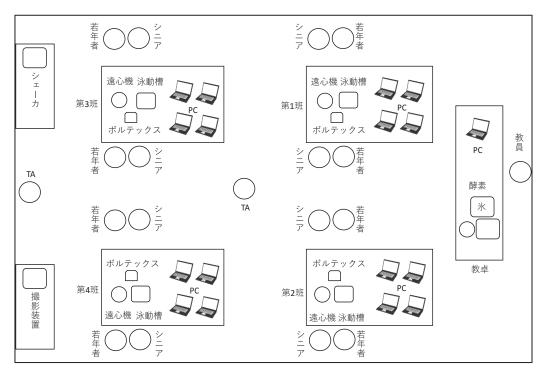


図1 座席と機器の配置.

4つの実験机のあるウェットな実験室で DNA 実験と、パソコン実習を行う。教員は主に教卓でスライドを映写する。TA は受講生の操作をアシストする。

(9) 班分け

授業1日目の最初に、実習の班分けを行った. 班の構成については、2名で1ペア、2ペアで1班とし、各班に1つずつ実験ベンチを配した. ペアはなるべくシニアと若年者の組となるようにし、シニアは教室の中央側に集まるように座らせた(図1). 教室に入ってきた順に受講生の外観を見てシニアと若年者を判別、順次ペアを作り、授業開始後、全員が揃った時点で年齢差のばらつきが無くなるようペアを組みなおした. TA は主に教室の中央部に詰め、適宜、実験機器の取り扱いや、PCのセットアップ、キーボードのタイピング、ソフトの操作を受講生に指導した. PC 実習は DNA 実験と同じベンチ上で行った.

3. 授業アンケート

(1) 受講生

授業に参画した受講生は、2年目9名、3年目14名であった(**表3**). 2年目は60歳代2名、70歳以上2名、3年目は60歳代7名、70歳以上0名、年齢未申告者2名であった。両年とも再履修者はいなかった。

(2) アンケートの結果

3年度にわたり授業を実践し、アンケートを行った. 途中で所定のアンケート用紙が変わり、文言が変わった ところがあるものの、ほぼ同内容の質問内容であったた め、3年間のコメントの中で、シニアからの主要な意見・ 感想をピックアップし、それらに対応して授業に工夫を 施した(**表4**). さらに、授業の良かった点に関するシ ニアのコメントなど、授業の工夫が不必要なものや、若 年者からの主なコメントについては表にせず、本文に提 示した.

1年目のアンケートでは、年齢(何歳代)などの他、 授業評価に関する評価項目、意見(よかったと思う点、 改善を希望する点、授業に関連してさらに学びたい分野 やより基礎的な科目の開設希望、その他自由記入)を書 いてもらった。

2年目・3年目のアンケートでは、学生の種別、コースまたは旧専攻名、年齢(何歳代か)などの他、授業評価に関する項目、感想(良かった点、悪かった点、わかりにくかった点、その他(面接授業で今後学びたい内容、面接授業に対する要望など))を書いてもらった。

アンケート用紙は授業の最後に配布,受講生が封筒に 入れて回収し,教員経由で事務に提出した.受講生のコメント中に明らかな誤字・脱字がある場合は著者の判断 で加筆・修正を行い,それを掲載した.

・この科目を受講してよかったと思う点(1年目)

以下の各コメントに付した番号は**表4**に続く番号である. (1-12) (70歳以上) 指導が実務的で大変理解しやすかったです. 分子生物学の講義が理解しやすくなります.

表3 授業内容の変遷

1年目~3年目の主な変更内容を示す.

* 学校の都合で変更.

授業内容		1 年目	2年目	3 年目	
授業体制	授業日	第1週1日,次週2日	連続する週末2日	連続する週末2日	
	シニア/受講者	5人/13人	4人/9人	7人/14人	
	スタッフ*	教員1名+TA3名	教員1名+TA2名	教員2名+TA1名	
	座席配置	図 1	図 1	図 1	
印刷教材	配布	授業初日の朝 授業初日の朝		前もって郵送	
授業概要説明	スライド	授業テーマ	授業テーマ	授業テーマ, 1日目 の流れ, 2日目の流 れ, プラスミド抽出 操作, PC実習の流れ	
	ゲノム解析とは	_	_	あり	
座学講義	DNAアルカリ変成の説 明図	_	あり	あり	
PC実習	分子系統樹	距離行列法(UPGMA 法·近隣結合法), 最大節約法	距離行列法(UPGMA 法・近隣結合法), 最大節約法	距離行列法(UPGMA 法・近隣結合法), 最尤法, ベイズ法	
	LANへの接続	LANケーブルのみ	LANケーブルとWiFi	WiFiのみ	
	小型LED灯	_	l	あり	
DNA実験	熱安定性実験	RNase, DNase, <i>Eco</i> T14I	l	_	
	プラスミド抽出	精製度確認なし	精製度確認あり	精製度確認あり	
	複数の制限酵素・マップの作成	EcoRI, BamHI, SphI, EcoT14I	EcoRI, BamHI	EcoRI, BamHI	
レポート	提出方法*	紙質	紙質	メイル添付	
	メイル送信の練習*	_	_	あり	

表 4 受講生のコメントに対する工夫

受講生の意見・感想に関してフィードバックが必要と思われたもの に対応し工夫をした点,受講生の対処が必要な点についての一覧.

コメント番号	受講者年代	コメントの内容	研究で工夫した点・受講生の対処が求められる点		
改善すべ	べき点				
1年目			- と、一つの味に並伝来を向と共る項目構造し」 ナル 終星しニューエンが、		
1-1	70歳以上	議論.	・シニアの隣に若年者を座らせる遊員様成とし、また、教員とティーチング・アシスタントを教室内に傷らないように配置した(図1).		
1-2	70歳以上	データベース検索実習ではパワーポイントのスライド映写の関係で部量が暗 く教材の字が小さく入力が困った.	 ・暗い中でもプリントの字が見えるよう各実験ペンチに手元灯を配置した。 ・老眼に配慮し、反応液の組成表の行を色分け、組成試薬の各成分を色付け、マイクロチューブに同色のカラーテーブを貼った(表6)。 		
			スライドの文字サイズを振ね28ポイントにした。		
1-3	60歳代	全体概要の説明を最初にやって欲しかった。	・各授業日の開始時にその日の実験・実習の流れをスライドで提示した(表 5). ・プラスミド抽出実験の工程をフローチャートで示した(図3).		
1-4	60歳代	さらに発展的に学習するためには、どのような資料(本、Web上のデータベース議畫)があるのかご教示いただければ、さらに良かったと思います。	・参考文献7),8),9),10),11)以外に、新たに12),13),14)を加えた.		
048		SAMPLE N. M. D. D. A. M. C. D. L.			
2年目					
2-1	70歳以上	コンピュータのセッティングが面倒あらかじめ準備してもらうとペター.	- 学習センターの僧品のデスクトップPC、ノートPCには必要なソフトウエアのインストールが困難であった。シラパスで受講生にノートPCを持参するよう依頼したが、日常生活でノートPCを使用しない受講生がおり、ソフトウエアをインストールしたPCを教員が各班に1台程度用意した。		
2-2	60歳代	授業についてゆくのがむずかしかったもう少し分かり易く教授できるのでは?	・DNA実験では、熱安定性の実験を取りやめ、使用する制限酵素の数を減らした(表3). また、プラスミド精製の原理をポンチ絵で理解させ(図2)、 純度が高まる工程を電気泳動で確認させた(図4).		
2-3	60歳代	実験操作を記した手順書を当日もらったので、いまどこの操作をしているか	・ 教材のプリントを事前に受験者に郵送するようにした.		
		を聞きながらやっていたので、前もって操作手順書がほしい.			
3年目			・予算の都合で新たに買い足すことはできなかった.		
3-1	60歳代	パソコン操作不足であった(自分が). 授業の待ち時間が長い. 電気泳動の 装置が1つしかなかった. 2つあればはやい. (2人で1つ)	・電気泳動の待ち時間が長いのは受講生のピペット操作が遅いためでもあったため、予備の1台を教卓に設置し、ローディングの練習専用とした.		
		SER 1 500 50 57. 2 500 100 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	・ピペット操作の確認と試料のローディング練習を行い、素早くDNAサンプルのアプライをしてもらえるようにした.		
3-2	60歳代	予備知識がないと何をやっているか理解できないのは時間的にしかたがない かも知れませんが、内容がパラエティに富んでいるのでもう少しマトをし ぼった授業でも良いのかも知れません.	・教材のプリントを事前に受講者に郵送するようにした. ・熱安定性の実験を取りやめ、使用する制限酵素の数を減らし、DMA実験の内容を単純にし、基本的な実験操作を理解させるようにした。		
3-3	60歳代	説明の部分をかみくだいて説明下さると良かったと思います.	・プラスミド精製の原理をポンチ絵で理解させ(図2),純度が高まる工程 を電気泳動で確認させた(図4).		
3-4	60歳代	実験の先が見えなかったため、理解が遅れてしまった。道すじが事前に見え ているとよかった.	・名景楽日の朝一香にその日の実験・実習の流れをスライドで提示した(表 5) ・プラスミド抽出実験の精製工程をフローチャートで示した(図3).		
その他.	要望など				
1年目					
1-5	70歳以上	タイトルは入門であったが、内容は高度であった. 先生の敷が多く (TA含 め) 充実していた.	DNA実験では、熱安定性の実験を取りやめ、使用する制限酵素の敷を減らした(表3) 事務的な都合のため一度設定した授業科目名を更新することが困難で、「人門」の字を削除できなかった、難暴度の低い「一歩進んだ生物学実験」		
			を前もって履修するようシラパスで受講者に促した。		
1-6	60歳代	事前学習のための資料があるとよいと感じました.	・教材のプリントを事前に受講者に郵送するようにした.		
1-7	60歳代	実験室の中にWiFiなどのインターネットを利用できる環境があれば、各自が 持ってきたノートパソコンを用いて、今回の授業内容を授業中に確かめるこ とが出来て良かったと思います.	・LANケーブルへの接続から順次WiFiへの接続に切り替え、ルーターの通信速度も上昇させた。		
1-8	70歳以上	分子生物学、動物の科学、植物の科学、	- 分子生物学が現代社会に及ぼす影響について解説するため、「ゲノム解析とは」というテーマの塵学を新設した(表3).		
	70歳以上 60歳代	細胞生物学. PCR実験.	- 「PCR実験」, 「動物科学」, 「植物科学」, 「細胞生物学」は関連科目の 「一歩進んだ生物学実験」で取り扱っている. そのため, 本科目ではこの科 目を前もって履修するようにシラバスに配載している.		
	60歳代	系統衡の作成方法は、生物の系統分類の一番基本的なところだと思いますの で、ソフトの利用方法や基礎的な理論等もう少し解説していただく授業があ れば、ぜひ受験したいと思います。			
2年目		- 	ı		
	70歳以上	生命人間科学、減数分裂と外部環境の関連の可能性。	・ヒトに関する生命科学のうち、分子生物学が現代社会に及ぼす影響について解説するため、「ゲノム解析とは」というテーマの産学を新設した(表 3).		
3年目					
		各広域エリア(北海道、関西、九州など)に拠点の学習センターでこのような実験授業があると、地方の受験生としては嬉しい。 もちろん程度の差はあって良いが.			
	60歳代	この次の段階の授業があれば受講したいと思います.	- 事務的な都合で,別科目の開講は困難であった.		
良かった	に息				
	60歳代	数少ない (?) 実験の授業であったが、講師、TAの方々のおかげで大変有意義な授業となった.入門ということで、受講生はしかれたレールの上を走る (それでも途中脱縁脱落してしまう)だけであったが、先端科学の入り口は 見えたと思う、今後も努力を続けていきたい、少人数なので遅れた生徒にも マンツーマンで付いていただいたので非常に良かった.	・シニアの隣に若年者を座らせる班員構成とし、また, 教室とティーチングア シスタントを教室に偏らないように配置した(図1).		
3-8	60歳代	分子単位(DNA)での生物のしくみがわかった。ルーターが実験室に入ったので削FIがすぐに使えた。(テザリングの必要なし。)他でも個人のパソコンではなく、大学のパソコンを使用できるようにしてほしい。	・学習センターのパソコン室のPCには分子系統衡構築に必要なソフトウエアをインストールすることが困難であったため使用しなかった。		
3-9	60歳代	遺伝子・ゲノムの実験、研究方法等のアウトラインが分かった。これはとても役に立ったのと、先に進むための基礎づくりの意味ではとても良かったと思います。ただ、予習がまったくできていなかったので、授業中は内容がまったくフォローできていなかった。テキストを再度読んで実験等の意味を把握する必要があると思いました。	・教材のプリントを事前に受講者に郵送するようにした.		
	1		I		

- (1-13)(70歳以上)実習を中心に質疑応答が良く出来 ました。TAとの質疑が大変良かった。
- (1-14) (60歳代) 実際に、実験を体験できました。
- (1-15)(60歳代)分子生物学実験の初歩的技術について学べたことは最大の効果である.
- (1-16)(60歳代) DNA 塩基配列の取得方法, アラインメント,系統樹の作製方法を具体的に学ぶことが出来, 自分でもやってみることが出来るようになりました.

これらシニアからのコメントに対し、若年者からは「分子生物学と実験の初歩を楽しく勉強できた」、「電気泳動の実験、プラスミドの使い方を知ることができた」、「普段出来ない実験を体験できた」、「自分が好きな生物の遺伝子比較に使える」というコメントと、「対応が親切だった」、「先生が熱心で丁寧」というコメントがあった.

・この科目で改善を希望する点(1年目)

シニアからのコメントは**表 4** に掲載. 若年者からは「実験前に目的、概略を説明してほしい」、「前もって実験の流れを説明してほしい」、「バッファーの情報など実験を再現する詳細な情報がほしい」、「持参したパソコンが使えるインターネット環境」というコメントがあった.

・その他, 自由に記入してください. (1年目)

シニアからのコメントは**表 4** に掲載. 若年者からは「楽 しかった」,「相同性検索は難しすぎた」というコメント があった.

・この授業に関連して、さらに学びたい分野やより基礎的な科目の開設希望があれば記してください。(1年目)シニアからのコメントは表4に掲載。若年者からは「テーマを絞ってじっくり実験をしたい」、「更に応用した深い内容の授業を受けたい」というコメントがあった。

・良かった点(2年目)

- (2-5)(70歳以上)丁寧な説明でした. 特にアシスタントがすばらしかった. (○○様)
- (2-6) (70歳以上) 電気泳動は、知識として知っていたが、実際に実験できたのは、よかった.
- (2-7) (60歳代) DNA 検索という全く未知の分野についての知識を得ることができた.
- (2-8) (60歳代) 実験・実習ができたのが良かった.

これに対し、若年者から「教員・TAが親切」、「DNA 抽出を具体的に知ることができた」、「貴重な実験ができた」というコメントがシニアと同様に得られた。さらに、 「連続シリーズを受けるたびに理解が深まる」,「前の授業を前提とし、advanced な内容で知的好奇心を刺激された」というコメントがあった.

・良かった点(3年目)

シニアからのコメントの一部は表4に掲載.

- (3-10)(60歳代)事前に資料が配付され、準備が出来 たこと、先生及びTAの方が細かく指導していただけ たこと、
- (3-11)(60歳代)実習なので理論だけでなく実践にて 確認できましたので良かった.
- (3-12)(60歳代)プラスミド抽出を実際に行って苦労 したが、楽しかった.
- (3-13)(60歳代)とてもわかりやすかった。今後自分でいろいろやってみたいと思った。分子系統樹など他PCを使って勉強を続けていきたいと思います。

これに対し、若年者からは2年目と同様に「本学では継続性のある授業が少ない中「一歩進んだ生物学」の後続講義としてうれしい」とするコメントがあった。また、「専門的な一連の手順を学ぶことが出来た」、「教科書に載っていない講師の実務経験がためになった」、「制限酵素処理、相同性検索・MAFFT・Jalview が体験できた」、「今までやったことのない DNA 抽出、酵素処理が体験できた」というものがあった。

・悪かった点、分かりにくかった点(2年目)

シニアからのコメントは**表**4に掲載. 若年者の1人からは、相同性検索に用いる「ウェブサイトの使用方法が分かりづらい」というコメントがあった.

・悪かった点、分かりにくかった点(3年目)

シニアからのコメントのうち対応したものは表4に掲載。

(3-14) (60歳代) 特にありません.

これに対し、若年者からは「ボリュームがあるので事前学習のためテキストの送付をもっと早めにしてほしい」、「実験一座学という順で行われたが、順序を逆にして実験操作の意味を先に理解したい」、「資料の字が小さく見づらい」というコメントがあった.

・その他、<面接授業で今後学びたい内容、面接授業に 対する要望など> (2年目)

シニアからのコメントは**表 4** に掲載。若年者からは 「医療統計学」,「生物学と医学の間の授業」,「分子生物 学 II を期待する」,「さらに分子生物学の授業を増やしてほしい」,「ステップアップ方式でさらに advanced な内容として,シークエンシング,そのデータベース解析,バイオインフォマティクス」というコメントがあった.

・その他、<面接授業で今後学びたい内容、面接授業に 対する要望など> (3年目)

シニアからのコメントは**表 4** に掲載。 若年者からは「8時限の科目ではなく16時限の授業があってもよいのでは」というコメントがあった。

4. コメントを基に工夫した授業内容

(1)授業日数の短縮

1年目に遠隔地から参加した受講生(年代不詳)から、2週にわたる授業は移動と宿泊に伴う肉体的・経済的負担が大きいので1週に収めてほしいと口頭で指摘された。そのため、2年目以降は連続する週末2日間に授業を行うよう変更した(表3)。

(2) DNA 実験の簡略化

3年目は2年目と同じく連続する2日間で行った.「内容が高度」という70歳以上の受講生のコメント(1-5),

表5 工夫後の授業内容

学外施設で培養、凍結·不活化した組換え大腸菌より. * 非組換え大腸菌.

時限	第1日(土曜日)	第2日(日曜日)	
1時限	空メイル送信	添付メイル送信	
	出欠・班分け・授業概要説明	出欠・授業概要説明	
	プラスミド抽出 #	RNase処理・複数の制限酵素処理 (<i>Bam</i> HI・ <i>Eco</i> RI)	
2時限	電気泳動	電気泳動	
	ゲル写真撮影	ゲル写真撮影	
昼休み 3時限	大腸菌培養*	培養結果観察	
	Terapad, Java動作確認	マップの作成	
	ゲノム解析とは	レポート	
4時限	DNA相同性検索	レポート	
	アラインメント		
	分子系統樹	アンケート	
	万丁术机倒	片付け	

があったため、2年目からは、DNA 実験の内容を以下のように簡略化した。すなわち、酵素の熱安定性実験を取りやめ、使用する制限酵素の数を4種類から2種類に減らし、酵素の熱安定性実験を取りやめた(表3,表5)。

(3) 視覚支援

1年目から DNA 実験において、老眼の受講生が反応 液の組成を見分けられるよう試薬組成表の各成分の横に カラーで色付けしたものを用意、1行おきに行の背景を 色づけし(表6)、また、ベンチ上のクラッシュアイス に刺した灰色のプラスチックチューブが見分けられる よう、チューブのフタにも各成分の色のラベルを貼り付 けたが、コメント(1-2)から、PC 実習時において もシニアの視覚支援が必要であると感じ、3年目からに なったが、実験ベンチに小型 LED 灯を各班1台用意し た(表3).

(4) 教材プリントの事前郵送

コメント (1-6), (2-3), (3-2), (3-9) に対応し、3年目からになったが、教材プリントを事前に受講者に郵送するようにした。その結果、コメント (3-10) のように、授業前に予習ができよかったと評価されるようになった。

(5) LAN 接続

コメント(1-7)に対応するため,LAN への接続はWiFi ルーターを 2 年目, 3 年目と順次容量を上げたものを用意した. 2 年目は小容量 WiFi ルーター(NEC 社AtermWG1200HP 867Mbps), 3 年目は大容量ルーター(NEC 社Aterm WG2600HP2,実効スループット1430 Mbps,接続 PC 台数 18台)である.その結果,教室の床にはわせていた LAN ケーブルが無くなっていき,歩行の安全も確保できるようになった.

(6)授業内容の再検討

1年目のテキストに参考文献^{71,81,91,101,111} を提示したが, コメント (1-4) に対応し, 3年目からになったが, 新規に文献¹²¹・資料^{131,141} を追加した. コメント (1-11) に対応し, 3年目には, さらに最尤法とベイズ法の解説 を加えた (表3). 1年目に70歳以上のシニアからコメント (1-8) を受け, また, 2年目に60歳代のシニア からヒトの生命科学に関する情報を求められたため, ゲノム解析の進展状況、ゲノム情報の活用, 社会への影響 について解説することが重要性だと考え, 3年目から「ゲ

表6 酵素反応液の組成表

左端の色分けと同じ色のビニールテープをマイクロチューブのキャップに貼り付ける. 行の背景に, 1列おきに淡青色をいれる.

*TA に入れてもらう.

100 μ g/ml.

	φ	RNase	Bam HI	Bam HI/Eco RI	Eco RI
Plasmid	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
K Buffer	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
dw	20.0	18.0	17.5	17.0	17.5
RNase *#	-	2.0	2.0	2.0	2.0
Bam HI *	-	-	0.5	0.5	-
Eco RI *	-	-	-	0.5	0.5
合計	25 μΙ	25 μΙ	25 μΙ	25 μΙ	25 μΙ

ノム解析とは」という座学を新設した(表3).

また、コメント(1-5)で「内容が高度であった」と指摘されたため、プラスミド抽出実験について工夫を試みた、コメント(1-14)、(1-16)を見ると、60歳代のシニアは実験を自分で行うことに本授業の良さを感じていると思われたので、自分の実験操作の原理を理解させるよう工夫した。1年目は精製操作で純化した後のプラスミドを電気泳動で確認していただけだったが、2年目からは、プラスミドの精製過程のDNAの形態変化をポンチ絵(図2)で示し、精製の各工程(図3)のサンプル(S1、S2、S3ppt、S3sup、Ste)も電気泳動し、純化を確認させた(図4)。

(7) 概要の説明

コメント(1-3)に対応し、1年目から実施していた当該年の学習テーマのスライドによる提示に加え、3年目からになってしまったが、授業開始時に表5を提示しながら、その日の授業の流れを説明した。さらに、プラスミド抽出実験とPC実習それぞれの流れについても、当該内容を事前にスライドで説明した(表3).

(8) パソコンのセットアップガイド

実習で用いるフリーソフト、ウェブソフトをダウンロード、インストールする手順を示したものを用意し、各ページ2枚のパワーポイント配布資料として印刷した. 使用していた Jalview のウェブソフトが3年目以降, java の最新バージョンを要求するようになったため、java の更新方法の説明を追加した.

(9) 実験解説書

1年目からのスタイルを踏襲し、実験・実習の背景、目的、原理(**図2**)などの解説、実験プロトコール、反応組成表、参考文献を記述した資料をプリントした¹⁵⁾.

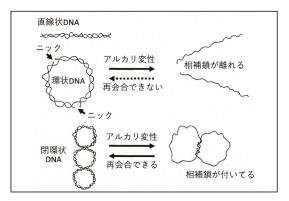


図2 環状プラスミドのアルカリ変成・中和処理の原理. 中山と西方(1995)¹⁰⁾を参照した.

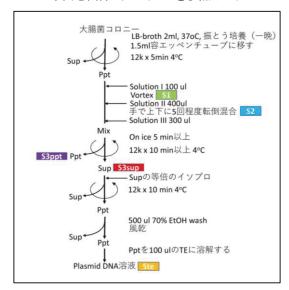


図3 プラスミド抽出過程における精製核酸の分取. 抽出工程をフローチャートで示し、電気泳動解析用に分

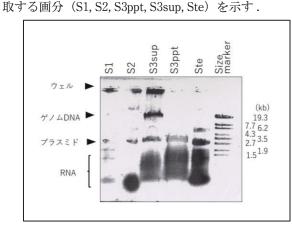


図4 プラスミド精製の各工程のサンプルをアガロース ゲル電気泳動により解析した例.

アガロース電気泳動後、GRR-500で染色、撮影した写真を白黒反転し示した。サイズマーカーはラムダ DNA/EcoT14I. 精製が進むにつれゲノム DNA の混入が減り、プラスミドの濃度が上昇するのが分かる。Ste のレーンのクローズドサーキュラーのプラスミドのバンド(最下段の矢じり)の上に検出されるものはオープンサーキュラーのプラスミドと思われる。本報告の精製法ではプラスミドに混入する RNA は除けない。

さらに、プラスミド抽出実験の操作工程も詳述した。実験手順はフローチャートにして示した(図3). 2年目から行った DNA 実験における精製画分の選定にあたり、キアゲン社キットの英文プロトコール¹⁶⁾ を参照した。本プロトコールに従い行った実験結果の1例を図4に示す。

(10) ピペット操作の確認

コメント (3-1) に対応するためには、電気泳動の ローディングの待ち時間を減らすことが重要であった. 電気泳動のサンプルをマイクロピペット(ピペットマン Gilson)でロードする際、シニア受講生はサンプルを チップからゲルのウェルにうまく入れられないことが多 かった. これは授業実践を行った3年間の間毎年見られ た. そのため、本番前にその操作を練習するように工夫 した. ローディングがうまくゆかない理由はシニア受講 生の指先が震えること、受講生がピペットマン操作に慣 れていないことであったと考えられる. 前者の対策とし て,プラスミド試料のローディング前に,教卓に設置し た予備の電気泳動槽にて BPB 溶液をゲルにロードする 練習を行わせた. また、後者の対策として、3年目から マイクロピペットの使用方法をテキストに記載し、使用 経験のない受講生には、まず、それを熟読するよう伝え た. 新たに記載した内容は以下の通りである.

・ピペット操作の確認

- 1. ピペットマンの使用経験のない人は、経験者とペアを組み、2名1ペアで以下の確認をする.
- 2. ピペットマン P20, P200, P1000の目盛を, それぞれ15 μ l, 150 μ l, 250 μ l にセットする. チューブラックに立っているイエローチップを P20, P200の先端に押しはめ,チップをピペットマンに装てんする. 同様に, 灰色チップを P1000に装てんする.
- 3. 各ピペットマンを握り、ピペットマンのシリンダーを押し、硬く半止まりになるところまで押してみる。 そこまでが設定液量の排出操作となる。さらに、強く押してみる。これは、排出しきれずチップ先に残った液を確実に吐き出す操作となる。
- 4. 各ピペットマンを握り、ファルコンチューブのフタ を開け、BPB 溶液を所定量取り出し、パラフィルム の上に吐き出す.

5. 事務的な都合により2年目以降に変更したこと (1) スタッフ

1年目の教育スタッフは教員1名, TA 3名であったが、予算の都合で2年目の教育スタッフは、教員1名, TA 2名になった。3年目は前年 TA だった1名も教員となり、全体で教員2名, TA 1名となった。

(2) レポートの提出方法

レポートの回収と講師への受け渡しに伴う事務作業を 軽減するため、3年目からレポートの提出方法を紙媒体 からメイルでの添付送信に変更した.

6. 考察

本研究の授業実践では、2年目以降、スタッフの数が4名から3名になったが(表3)、班分け・教育スタッフの配置(図1)を工夫しシニア受講生とスタッフのコミュニケーションを密にすることで、授業に満足してもらえたのではないか(コメント(1-13)、(2-5)、(3-7)、(3-10))。教員・TAと受講生のコミュニケーションに関するコメントは70歳代から2件(1-1)、(1-5)、60歳代から1件(3-7)出ている。既報¹⁷⁾に指摘された通り、本授業実践でもシニア受講生は教師との個人的で直接的な人間的触れ合いを求める傾向があった。

60歳代のシニアの中には、分子生物学の知識を以前から持ち、コメント(1-4)、(1-11)、(1-16)を出す受講生がいた.一方、コメント(1-2)、(1-5)、(2-1)を見ると分子生物学の授業は多くのシニアには高度な内容で、特に70歳以上のシニアには PC によるゲノム DNA の検索などは面倒なものであったようである.70歳以上の世代には DNA の塩基配列に代表される分子生物学は縁遠いものであるのかもしれない. DNA の塩基配列の決定法は1977年にサンガーらにより世界で初めて報告されたが¹⁸⁾、これは当時の生物学の世界に大きな衝撃を与え、これ以降、高等学校・大学の生物教育に分子生物学的な内容が取り入れられるようになった.このことを考えると、70歳以上のシニア世代は学校で分子生物学について学ぶことがほとんどなかったのではないだろうか.

コメント (1-6), (2-3) に対応し、3年目から、授業前に資料を受講生に郵送した。この後にもコメント (3-2), (3-9) が出たが、これは事務からの発送の時期が開講日に迫っていたためであり、今後はさらに早めに郵送してもらうべきである。発送完了の日時を事務から教員に連絡してもらい、それをもとに受講生の

事前予習のレベルを推測し、それに応じて授業での概要 説明の時間を調整するべきであろう。既報¹⁹⁾ によると、 シニアの学習支援では学習者のペースで学習をさせ、経 験に関連させた学習内容を提示することが大切である との指摘がある。多くのシニアには時間的なゆとりが あると思われるので、ビデオ教材を作成し、ICT 教材や YouTube などにアップロードし、プリント教材の郵送時 にその閲覧方法を提示し、繰り返し予習してもらうとよ いのではないだろうか。

WiFi ルーターの設置を望むコメント (1-7) に対し、2,3年目にかけて徐々に対応を進め(表3)、これらは受講者に概ね好評であった (3-8). セットアップした PC を学校で用意してほしいというコメント (2-1)、(3-8) は、事務的な都合から対応が困難であった.

シニアの視覚支援に関しては、1年目からプリント教材のうち反応組成表、マイクロチューブなどに色付けを施すなどの作業を行った。3年目からは、手元灯も用意した。3年目には、シニアより1年目のコメント(1-2)のような指摘が見られなかったことを考えると、授業に改善がなされた可能性がある。3年目に若年者から「資料の字が小さく見づらい」というコメントがあったが、これは40歳代の受講生からのものであったので、この人も老眼あるいは近視であったかもしれないし、シニアの人の意見を代弁した可能性もあったかもしれない。

1年目に新幹線で遠隔地から授業に来た受講生から授業の日数を短縮するよう依頼された.2年目にも航空機で遠隔地から受講した受講生がいた.3年目のコメント(3-5)も遠隔地からの受講生からであったと推測される.残念ながら,1,2年目の受講生がシニアか否か判別できないが,本授業実践の3年の間,受講生が遠方より来ていたことを考えると,授業期間を2日に短縮し,移動・宿泊に伴う時間的・経済的負担を減らしたことは,シニアにとって良かったのではないだろうか.

授業の難易度に関し、コンピューターのセッティングの面倒さ(2-1)、授業の難しさ(2-2)を指摘したコメントがあった。また、授業内容が多い(3-2)、かみくだいた説明が欲しい(3-3)という指摘もあった。その一方、これらとは対照的にコメント(2-5)、(2-6)、(2-7)、(2-8)、(3-8)、(3-9)、(3-11)、(3-12)、(3-13)に見られるように、授業のレベルに肯定的なコメントもあった。以上を考え合わせると、2年目から減らした内容をさらに減らすべきかの判断は難しいが、DNA 実験を単純にし、基本的な実験操作を理解させることに主眼を置いて工夫を施したことは評価できる

のではないだろうか. 今後, 内容を減らさない方向でさらに授業を改善するのであれば, 例えば, 希望する受講生に放課後も実験・実習の続きを行わせることも考えられる. しかしながら, これは事務手続き上難しかった. 本授業実践では, 表5をスライドで提示した際に関連する項目ごとに同じ番号を付して説明していたが, それらの関連性が十分受講生に伝わっておらず, また, 分子生物学の通常の作業工程の順序も伝わっていなかったと考え, 表5の各項目をまとめる大項目を設定し, これらの階層性が分かるようにし,全体を時系列で示した(表1). この表も表5とともに授業の全体概要の説明に活用してゆくべきであろう.

コメント (3-6) に指摘があったように、事務的な条件が許されるのであれば、多くの実習・実験を1科目に詰め込むより、今後は2科目にするのがよいと思われる。若年者の指摘にもあった通り「分子生物学 II」など、さらにレベルアップしたものを開講し、「分子生物学入門」と2本立てにすると良いのではないか。既報²⁰⁾によると、科学技術に関するシニアの知識・理解度は加齢による正の効果(知識量の増加)が見られるという。このことを考えると、基盤科目の「初めての生物学」、「一歩進んだ生物学」に続き、専門科目の「分子生物学入門」、「分子生物学 II」の4本立ての構成が望ましいのではないだろうか。これとともに、難易度の低い他科目の履修登録を「分子生物学入門」の受講の条件として徹底させるシステムを導入することも重要であろう。

本授業実践では、その他の通信教育の生物教育で行われている、座学と DNA 実験の組み合わせに、さらに PC 実習を加え、手を動かして経験してもらう要素を増やした。このような授業に対し、シニアからはコメント(1-13)、(1-14)、(1-16)、(2-6)、(2-7)、(2-8)、(3-11)、(3-12)のような好意的な反応が得られた。既報²¹⁾によると、成人学習者には情報伝達型学習より経験的学習が効果的であるという。本授業実践におけるシニア受講生においても同様な傾向が観察され、座学だけではなく実習・実験の操作を連動させることが重要であると分かった。

今日,国民は国の科学技術政策について意見や要望を 聴取される対象から「対話」「協働」「共創」する主体で あると位置付けられている²²⁾. また,分子生物学は著し く進歩しているため、科学政策の中でも,この分野にお ける国民参加が特に重要になると思われる. 遺伝子組み 換えやゲノム編集がなされた食品を身近に見るようにな り、また、生殖医療、遺伝子診断によるガン予防なども 実施され、これらの安全性や妥当性を判断する際に高度な倫理観が求められている。これらの現代的課題を解決するには、人生経験の豊かなシニアの意見が求められるのではないだろうか。そう考えるとシニアを中心とした分子生物学の生涯学習は今後ますます重要となるであろう。

6. 謝辞

授業実践を行うにあたり、駒澤大学の大槻凉博士、東京大学大学院の竹下毅博士にはTAとしてご参画いただいた. 神奈川大学理学部生物科学科の鈴木祥弘准教授には資料の解析と原稿執筆の際にご支援いただいた. さらに、放送大学東京文京学習センターの岡野達雄前所長にはご指導とご協力をいただいた. この研究は、2021年度の、「名古屋文理大学」の学長裁量枠 I(908001))と「物質・デバイス領域共同研究拠点」の共同研究プログラムの助成を受けたものである. また、日本女子大学理学部物質生物科学科、東京理科大学理工学部応用生物科学科、武蔵野大学工学部環境システム学科、お茶の水女子大学非常勤講師室、放送大学東京文京学習センターには、ご支援をいただいた. この場を借りお礼を申し上げる.

引用文献

- 1) 文部省,学制百二十年史編集委員会,学制百二十年 史,ぎょうせい,271-295 (1992).
- 2) 文部科学省,生涯学習社会の実現と教育施策の総合 的推進.平成24年度文部科学白書,日経印刷,87-116 (2012).
- 3) 法政大学,通信教育2021年スクーリング科目生物学 3.
 - https://syllabus.hosei.ac.jp/web/preview.php?no_id=2124288&nendo=2021&gakubu_id= 通信教育部 (スクーリング) &gakubueng=TKS&t_mode=pc より2021年8月1日検索
- 4) 日本女子大学,家政学部通信教育課程夏季スクーリング科目.
 - http://www.jwu.ac.jp/content/files/ccde/schooling/ 2021summer.pdf より2021年8月1日検索
- 5) 慶応大学,通信教育課程. https://www.tsushin.keio.ac.jp/study/schooling/class. htmlより2021年8月1日検索
- 6) 放送大学 東京文京学習センター 面接授業一覧. https://www.sc.ouj.ac.jp/center/bunkyo/school/schooling.html より2021年8月1日検索

- 7) 根井正利,分子進化遺伝学 Molecular Evolutionary Genetics,五條堀孝,斎藤成也(訳),培風館,247-287 (1990).
- 8) Sambrook J, Fritsch EF, Maniatis T, Molecular Cloning a Laboratory manual, 2nd edition, Cold Spring Harbor Laboratory Press (1989).
- 9) 五條堀孝,菅原秀明, DDBJ の利用法 一配列データの登録・検索・解析一,共立出版,(2005)
- 10) 中山広樹, 西方敬人, 細胞工学別冊 目で見る実験 ノートシリーズ バイオ実験イラストレイテッド② 遺伝子解析の基礎, 秀潤社, (1995)
- 11) Nakayama T, Watanabe S, Mitsui K, Uchida H, Inouye I, The phylogenetic relationship between the Chlamydomonadales and Chlorococcales inferred from 18S rDNA sequence data. Phycol Res, 44, 47-55 (1996).
- 12) 仲田崇志, はじめてのけいとうじゅ (2008). http://www2.tba.t-com.ne.jp/nakada/takashi/phylogeny/hajikeju2.html より2021年8月1日検索
- 13) TaKaRa 制限酵素 Online データベース. http://catalog.takara-bio.co.jp/product/basic_info. php?unitid=U100007773より2021年8月1日検索
- 14) ライフサイエンス統合 DB センター『統合 TV』, MAFFT を使ってマルチプルアラインメントを行う (2015).http://togotv.dbcls.jp/20150413.html より2021年8月1日 検索
- 15) 内田英伸, 松崎素道, 佐藤剛, 放送大学 分子生物 学入門 (東京文京学習センター面接授業テキスト), (2019).
- 16) QIAGEN, Plasmid Purification Handbook, QIAGEN Plasmid Mini, Midi, Maxi, Mega, and Giga Kits (2003).
- 17) 岩永雅也,現代の生涯学習,放送大学教育振興会, 232-248 (2012).
- 18) Sanger F, Nicklen S, Coulson AR, DNA sequencing with chain-terminating inhibitors. Proc Natl Acad Sci USA, **74**, 5463-5467 (1977).
- 19) 堀薫夫, 高齢者の学習と支援. 小池源吾, 手打明敏 (編), 生涯学習社会の構図, 福村出版, 57-71 (2009)
- 20) 清水欽也, 我が国の理科カリキュラム改訂による一般成人の科学技術理解に対する効果-コーホート分析による「理科離れ」及び「学力低下」の検証ー, 科学教育研究, 28-3, 166-175 (2004).
- 21) 岩永雅也, 現代の生涯学習, 放送大学教育振興会,

21-38 (2012).

22) 内田隆, 科学技術社会の未来を共創する理科教育の研究-生徒の意思決定・合意形成を支援する授業-, 風間書房, 13-27 (2018).