

学位申請論文

高等学校生物「遺伝子とその働き」を題材とした
授業設計の支援に関する研究

2020年3月

内山 智枝子

目次

本博士論文の基礎となった学術論文	i
謝 辞	ii
論文要約	iii
1 章 序論	
1-1 背景	1
1-1-1 はじめに	1
1-1-2 学校教育における遺伝の学習	5
1-1-3 高等学校生物基礎における「遺伝子とその働き」	6
1-1-4 授業の状況と構成要素	9
1-2 先行研究	13
1-2-1 学習者の「遺伝子とその働き」の理解に関する研究	14
1-2-2 「遺伝子とその働き」の理解を目的とした教材や学習活動に関する研究	15
1-2-3 授業における学習評価に関する研究	16
1-3 研究目的	22
2 章 授業の目標設定	24
2-1 高校生を対象としたアンケート調査方法	24
2-1-1 アンケート作成	24
2-1-2 高校1年生「生物基礎」履修者を対象とした調査	25
2-2 高校生の「複製」と「転写」の理解に関する調査結果	25
2-2-1 調査結果	25
2-2-1-1 「複製」の理解	
2-2-1-2 「転写」の理解	
2-2-2 分析	31
2-2-2-1 アンケート回答の特徴	
2-2-2-2 DNA と RNA の役割を区別できない要因	
2-3 結果と示唆	34
3 章 授業の内容と方法の選択	35
3-1 高校生を対象とした調査方法	35

3-1-1	DNA の構造を示す教材	35
3-1-2	質問紙とワークシートの作成	39
3-1-3	検証授業の実施	39
3-2	調査結果	40
3-2-1	相補性に関する問題への回答の変化	41
3-2-2	DNA の複製に関する問題への回答の変化	43
3-2-3	塩基の相補性の回答と DNA の複製の回答の関連	45
3-3	結果と示唆	48
3-3-1	相補性の認識	48
3-3-2	相補性の認識と複製の認識の関連	49
4章	学習評価の設定	51
4-1	中学校・高等学校理科を担当する授業者を対象としたアンケートおよび インタビュー調査方法	51
4-1-1	ウェブアンケートによる学習評価方法の現状把握	51
4-1-1-1	学習評価方法に関するウェブアンケートの作成	
4-1-1-2	学習評価方法に関するウェブアンケートの実施	
4-1-2	インタビュー調査による現状把握	53
4-2	ルーブリックの活用の実態	54
4-2-1	ルーブリックの活用の目的	54
4-2-1-1	調査結果	
4-2-1-2	分析	
4-2-2	複数の授業者でのルーブリックの活用	59
4-2-2-1	調査結果	
4-2-2-2	分析	
4-2-3	ルーブリックの活用による負担感・多忙感	63
4-2-3-1	調査結果	
4-2-3-2	分析	
4-3	結果と示唆	67
5章	結論	68
6章	付論 「遺伝子とその働き」 の理解を目的とした授業案	72
7章	引用文献	76

資料	1. ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針	85
	2. ヒトの遺伝病と母体保護法	86
	3. 遺伝用語の改訂について	87
	4. 学習指導要領の改訂に伴う遺伝分野の枠組みの変遷	88
	5. 学習指導要領改訂の考え方	89
	6. 高校生を対象としたアンケート	90
	7. DNA 教材の活用効果を調査するための質問紙とワークシート	91
	8. DNA の研究史を通して DNA の特徴を見いだすためのワーク	93
	9. パフォーマンス課題配布資料	94
	10. パフォーマンス課題 提出用紙	95

本博士論文の基礎となった学術論文

内山智枝子・武村政春 (2018). DNA と RNA の役割の違いは、なぜ区別されにくいのか？
生物教育, 第 59 巻 第 3 号, pp.167-172. (Reviewed)

(主として, 2 章 2-1, 4 章, 6 章を構成している.)

内山智枝子・伊藤稔 (2018). ルーブリックのアセスメント機能を授業設計に活かすためには
-中学校・高等学校理科における実態調査を通して-. 科学教育研究, 第 42 巻第 1 号, pp.7-47.
(Reviewed)

(主として, 2 章 2-3, 5 章, 6 章を構成している.)

本博士論文に関する主な学会発表

内山智枝子・武村政春 (2014). セントラルドグマの理解を目的としたアクティブ 3D 教材の開発
と授業実践. 日本生物教育学会第 98 回全国大会 (筑波大学) 口頭発表. (Non-Reviewed) 下泉
賞受賞.

内山智枝子・伊藤稔 (2017). ルーブリックのアセスメント機能を活かすためには -中学校・高
等学校理科における実態調査を通して-. 日本科学教育学会第 41 回年会(サンポート高松) 口
頭発表. (Non-Reviewed)

内山智枝子・伊藤稔 (2018). セントラルドグマの理解を目指した DNA 模型の活用
日本理科教育学会第 68 回全国大会(岩手大学) 口頭発表. (Non-Reviewed)

謝辞

本研究を遂行し学位論文をまとめるにあたり、多くのご指導・ご支援を承りました。

指導教員である伊藤稔教授には、修士課程2年間、博士後期課程3年間だけでなく、基礎工学部にて教職科目を履修していた24年前から今日に至るまで、研究に関するご指導のみならず、中等教育に携わる教育者としての在り方をご指南いただきました。また、現職の教員として研究を続けられたことは、伊藤稔教授のご理解とご支援があったからこそ成し遂げることができました。ここに深くお礼申し上げます。

修士課程、博士課程を通して、武村政春教授には生物教育の研究内容に関しまして多大なご支援、ご指導を賜りました。副査としても多大なご助言をいただいただけでなく、日々の忙しさや研究が思うように進まず挫けそうになった時にはいつも励ましていただき、深く感謝しております。

東京学芸大学教職大学院の渡辺貴裕准教授のご指導・ご支援により、現職の教員が研究する意義と、授業方法論の視点を学ぶことができました。ここに深く感謝申し上げます。

本研究遂行にあたり、質問紙調査やインタビュー調査にご協力いただいた中学校・高等学校の先生方および生徒の皆様に改めてお礼申し上げます。また、生物教育の実践者として多大なご指導・ご支援いただいた、東京都立淵江高等学校の白石直樹主任教諭に心よりお礼申し上げます。

本論文作成にあたり、副査を引き受けていただくとともに多くのご助言いただきました、松田良一教授、井上正之教授、太田尚孝教授、高崎健康福祉大学の片山豪教授に感謝申し上げます。

また、研究の相談のみならず、学生生活を支えてくださった武村研究室の深谷将さん、青木啓太さん、武村研究室および伊藤研究室の皆様に深くお礼申し上げます。

最後に、私自身の現職教員としての業務と研究生活の両立を支え、常に励まし続けてくれた夫に感謝の意を記します。

論文要約

近年の遺伝子関連技術の急速な発展によりゲノム編集が可能となった今日、この技術により、これまで人類が克服できなかった病気の治療など、多くの可能性が期待されると同時に、遺伝に関する科学的リテラシーを習得した上で、自己決定することが求められるようになった。科学的リテラシーを必要不可欠な用語や概念の理解とした場合、遺伝に関する科学的リテラシーには、親の形質が子や孫に伝わる“heredity”(遺伝)と同種個体間の形質に見られる違い“variation”(多様性)の両方に着目する必要があると考えられる。時間軸の“heredity”と空間軸の“variation”を総合的に捉えることが人間を含んだ生物学にとってきわめて重要であり、空間的な広がりがある初めて客観的な把握が可能になることから、“variation”の概念が広い見通しのために不可欠である。この“variation”の概念は、高等学校で習得することが現行の学習指導要領で設定されているが、“variation”の概念を習得する入り口であり基本となる、「遺伝子とその働き」の理解を目的とした授業は、どのように設計することが適切なのだろうか。

そこで1章序論の1-1では本研究の背景を示し、1-2では、授業を構成する要素が「目標」「内容」「方法」「評価」であることに着目して、それぞれの要素で何が課題となっているのか、先行研究を調査することにより浮かび上がらせた。1-2-1では、「遺伝子とその働き」の理解を目的とした授業の「目標」を設定する際、重点的に育成を目指す資質・能力は何かを明らかにするために先行研究を調査したところ、「DNAとRNAのはたらきの混同」、「DNAがRNAに変化する」「mRNAは転写が起こる前から存在している」といった概念の存在等が明らかになったため、セントラルドグマの理解に不可欠な、「複製」と「転写」におけるDNAとRNAの役割を高校生が区別しているかどうか、その現状を調査すること、そして、先行研究と同じ混同が確認できるようであれば、その原因を追究することを、本研究における一つの課題として設定した。

次に1-2-2では、授業の構成要素「内容」と「方法」を検討するために、「遺伝子とその働き」の理解を目的とした教材や学習活動に焦点を当てた先行研究を調査した。先行研究では、「遺伝子とその働き」に関する授業ではDNA模型の活用によって分子サイズで起こる現象を可視化する工夫が報告されていたが、高校生が活用することによる学習効果は明らかになっていないことが分かった。そこで、DNA模型は活用によって高校生が「遺伝子とその働き」の理解に不可欠なDNAの特徴を見いだし、塩基の相補性とDNAの複製を関連付けて理解することを支援するツールとなり得るのかを検討する。そして、支援するツールとなり得る場合は、

どのような模型の活用が効果的なのかを明らかにすることを、本研究における二つ目の課題として設定した。

さらに1-2-3では、「教育のパラダイム変換」を背景に変化が求められている授業の構成要素「評価」について先行研究を調査した。「遺伝子とその働き」の理解には「知識・技能」の習得だけでなく、「思考力・判断力・表現力」も必要であるため多面的・多角的な評価が求められ、ルーブリックの活用効果が期待されている。しかし、このような評価の実施には、授業者が課題を抱えていることが推測される。授業者が継続してルーブリックの持つアセスメント機能を活用することが可能で、授業者のニーズに合った信頼性のあるルーブリックをどのように作成するのが適切なのか、また、授業設計をする上で、どのようにルーブリックを位置付ける必要があるのかを、本研究における三つ目の課題として設定した。

以上のような先行研究から浮かび上がった課題から、授業者が「遺伝子とその働き」の理解を目的とした授業を設計する時に直面することが予想されるがこれまで解決していない三つの課題を解決することで、授業者がより効果的に「遺伝子とその働き」の理解を目的とした授業を設計することを支援することを研究目的と設定し、1-3に示した。この3つの課題は、2章、3章、4章で解決を目指すこととした。

まず、2章では、「遺伝子とその働き」の理解を目的とした授業の「目標」を設定する際に向き合う必要がある課題1の解決を目指した。最終的な目標である「遺伝子とその働き」の理解に不可欠な「複製」と「転写」におけるDNAとRNAの役割を、高校生が区別しているかどうか現状を把握し、その原因を追究することを目的として、高校1年生「生物基礎」履修者を対象に質問紙調査を実施した。質問紙調査の結果、「複製」と「転写」におけるDNAとRNAの役割を区別していない生徒の存在と、どのように混同しているのかその実態が明らかになり、記号や模式図、岡崎フラグメント、相補的結合が起こる鎖の数、「複製」や「転写」の必要性に対する誤った理解が、混同の要因となっていることが示唆された。このことから、提示するメカニズムの内容と使用する記号や模式図を生徒の実態に合わせて検討すること、「複製」や「転写」の必要性を強調し相補的結合に関する知識の転化を促すように学習環境や授業デザインを工夫することが、生徒の混同の解決につながるのではないかと考える。

次に3章では、「内容」および「方法」を設定する際に必要となる課題2の解決を目指した。先行研究で報告されているようなDNA模型の活用効果が、高校生が活用した場合でも同じよ

うに得られるのかをまず調査し、さらに、どのような DNA 模型の活用が効果的に学習者の理解を促すのかを検証した。その結果、DNA 模型の活用によって「遺伝子とその働き」の理解に不可欠な塩基の相補性と、複製の理解が促されることが示唆された。また、DNA のパーツを組み合わせた時、正しい組み合わせの塩基対しか作らない構造の模型であることが、提示する教材として必要な条件であることも明らかになった。

最後に4章では、「評価」を設定する際に必要な課題3を解決するために、中学校・高等学校理科におけるループリック活用の実態を把握し、効果的な活用方法を模索するためにウェブアンケート調査とインタビュー調査を実施した。調査の結果、ループリックを活用している教員にとって、ループリック作成のためのキャリブレーションやモデレーションは困難を感じる作業であり、評価するための時間が不足していることが明らかになった。調査を通して、ループリックのアセスメント機能を授業設計に活かすためには、目的の明確化、形態の検討、活動の価値の確認、他者の視点の4つが必要な要素として示唆された。

以上の結果から、これからの時代を生きていくために必要な遺伝に関するリテラシーの習得に不可欠な「遺伝子とその働き」の理解を促すために、授業の「目標」、「内容」と「方法」、「評価」を設計する上で検討が必要な要素が明らかになった。「目標」の設定とも関連するが、塩基の相補性はセントラルドグマの要である。相補的結合に関する知識の転化を促すためには、学習者の実態を把握したうえで、DNA の塩基配列の違いが RNA の違いおよび合成されるタンパク質の違いとして実感できる「内容」「方法」を検討し、授業者にとって持続可能な「評価」を設定することが、授業設計を検討するうえで必要であると考えられる。

1 章 序論

1-1 背景

1-1-1 はじめに

近年の遺伝子関連技術の急速な発展によりゲノム編集が可能となった今日、この技術により、すでに生産者及び消費者のニーズに合わせた農作物の開発に応用され、ゲノム編集された食品が食卓に並ぶ日も遠くはない。また遺伝子関連技術の対象はヒトにも向けられることにより、これまで人類が克服できなかった病気の治療など、多くの可能性が期待されると同時に、ヒトの遺伝に関する様々な課題と向き合うことを我々は求められている。その課題の一例として、医療の枠を超えて消費者へ直接宣伝販売される「遺伝子検査ビジネス」市場の拡大により、消費者は自らの遺伝情報を手軽に知ることができる一方、科学的、教育的、倫理的に課題があるとされている（福田ら、2018）。また、ビジネス目的であるか否かに関わらず、遺伝子の解析には人間の尊厳の尊重や個人情報の保護の徹底だけでなく、事前の十分な説明と自由意志による同意（インフォームド・コンセント）が基本指針として求められており（資料1）、自己決定が重要視されている。つまり、クライアント自身が遺伝子検査の結果を理解することが求められているのである（山内、2014）。しかし、クライアントは、不確かな情報の中で、しかも時には他者を巻き込む自己情報に関して意思決定を行わなければならない状況にあり（宇都木、2014）、これからの時代を生きていくためには、遺伝に関する科学的リテラシーを習得した上で、自己決定することが個人に求められているのではないだろうか。

科学的リテラシーとは、リテラシー（literacy）を日本で定着している「識字」と語訳すると科学的な読み書き能力と言い換えることができる。この能力について清水（2008）は、「多種多様に定義がなされている科学的リテラシーではあるが、どの視点からも、「必要不可欠」な構成要素が存在する。それは、科学において用いる用語や概念の理解である。「意思決定」にせよ、「科学の本性」にせよ、科学についての正しい理解がなければ、科学的に正しい「意思決定」をすることや、正しく「科学の本性」を理解することは不可能で

ある」と述べ、「科学において用いる用語や概念の理解」が科学リテラシーの必要不可欠な構成要素として挙げている。また、清水（2008）は、Miller et al.（1997）の適応する場面ごとに分類した3種類の科学的リテラシーを表1のように示し、実践的、文化的、市民的のいずれの科学的リテラシーにおいても、「～必要な科学的（の）用語や概念の理解」で結ばれており、「科学的リテラシー」の中核部分であるととらえることは妥当であると考えを述べている。

表1 Miller et al.（1997）による科学的リテラシーの分類 （出典）清水（2008）

(1)実践的科学的リテラシー

食品パッケージの栄養表示を読んだり、車の修理を行うなど日常生活上で必要な科学用語や概念の理解

(2)文化的科学的リテラシー

ハッブル望遠鏡からの新しい映像をみるなど科学を行う上で必要な科学の用語や概念の理解。

(3)市民的科学的リテラシー

たとえば、新聞や雑誌の記事を読んだり、論争中の対立する論の本質を理解したり、科学を理解するのに必要な科学的用語や概念の理解

それでは遺伝に関する科学的リテラシー、遺伝に関して必要不可欠な用語や概念の理解とは何を指すのだろうか。遺伝相談外来でカウンセリングを行っている玉井（2008）は、「医療機関での遺伝相談の場面で問題になる遺伝リテラシーは、遺伝形式や遺伝的リスクについて、一般論を超えて、われとわが身、あるいは家族や血縁者との関連で理解し、医療上の、そしてときには人生における、必要な意思決定能力」とまとめている。また、神崎・松永（2015）は、「人々の遺伝や遺伝性疾患などに関する知識」を「遺伝リテラシー」と定義し、染色体遺伝子検査学、臨床遺伝学の理解を促している。同じく神崎（2015）は看護教育の観点から、ヒトの遺伝病や母体保護法（資料2）について、最低限の「遺伝リ

テラシー」として義務教育で教えてはどうかと提案している。また、分子生物学の視点では、大藤ら（2017）は「遺伝学的検査や個別化医療において市民が重要な意思決定をする際には、ゲノムリテラシーが必要になってくる」と述べた上で、市民に向けたワークショップでの PCR-電気泳動解析などの実験を含む教材を用いた「ゲノムリテラシー」教育の実践を報告しているように、立場によって想定する「遺伝に関して必要不可欠な用語や概念の理解」に差がみられる。例えば、玉井が事例として挙げる劣性遺伝形式をとる疾患に関する相談は、“heredity”に着目しているのに対して、大藤がワークショップで扱う内容は、主に“variation”に着目している点で異なる。和訳すると“heredity”は「遺伝」、 “variation”は資料3のように、「変異」や「多様性」と表記される。そしてこの“heredity”と“variation”は、表2のように説明されている。

表2 “heredity”（遺伝）と“variation”（変異・多様性） 出典

“heredity” (遺伝)	親の形質が子や孫に伝わること 親の形質が、環境の作用や教育訓練によってではなく、また感染によってではなく、細胞に存在する遺伝物質（核酸）によって子孫に伝えられること。	岡村・藤嶋ら, 2017. 日本動物学会・日本植物学会, 1998.
“variation”※ (変異・多様性)	同種個体間の形質に見られる違い。 自然個体群中あるいは個体群間の個体間にみられる差異のこと。	浅島ら(2012) 日本動物学会・日本植物学会, (1998)

※ 浅島ら（2012）は「変異（variation）」と表記し、日本動物学会・日本植物学会(1998)は「変異」で表記している。

この“heredity”と“variation”について池内(2012)は、“genetics”（遺伝学）と関連づけて次のように述べている。

“genetics”という用語の名付け親は、「連鎖」という現象を見いだしたことでも有名な W. Bateson(1905)である。メンデルの遺伝の法則が再発見されて間もなくのことで、その語源は“genesis”（「創成」、「起源」、「生成」）であり、“heredity”と“variation”を研究対象とする学問と定義された。

以上のことから、遺伝に関する科学的リテラシー、つまり、遺伝に関して必要不可欠な用語や概念の理解には、“heredity”と“variation”の両方に着目する必要があるであろう。

この“heredity”, “variation”と“genetics”という3つの用語の相対使用頻度は、1800年代から現在までに図1のように変化している。ただし、“variation”には遺伝以外の内容も含まれるため、“genetic variation”で検索した。

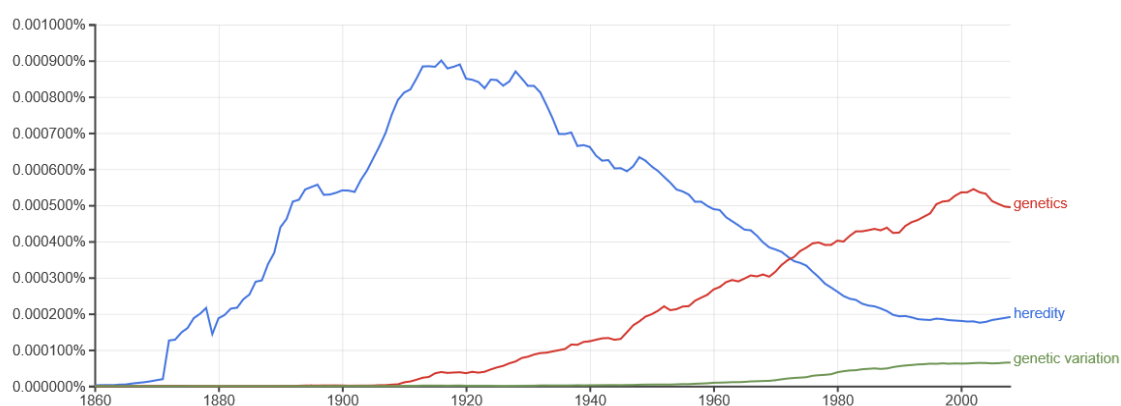


図1 “heredity”, “genetic variation”, “genetics” の用語の使用頻度の変遷
(出典) Google Books Ngram Viewer. (<https://books.google.com/ngrams>) 2019.11.22 閲覧

グラフから、1900年頃を境に“genetics”という用語が使用頻度を高め、1920年ごろをピークに“heredity”の使用頻度が低下していることが分かる。鎌谷(2012)によると、日本に“genetics”を導入した人々は、東京大学農学部の外山亀太郎など、育種を専門とした研究者であり、動植物の育種が種目であったため、“variation”の重要性はそれほど理解されず、“heredity”のみが対象と捉えがちな「遺伝学」と訳され今日に至っている。さらに鎌谷(2012)は、時間軸の“heredity”と空間軸の“variation”を総合的に捉えることが人間を含んだ生物学にとってきわめて重要なことを述べた上で、空間的な広がりがあった初めて客観的な把握が可能になることから、“variation”の概念が広い見通しのために不可欠であるが、日本では“variation”の概念が欠けているため、時間軸のみで自分自身の遺伝学を捉えれば、親の情報が子に伝わり、孫に伝わるという知識だけで、上下のみ見えて周りが見えない状況で

あり、「煙突の中の人間のようなもので、恐怖心ばかりが先に立つ」とたとえている。さらに鎌谷（2012）は、このような状況から、日本社会が「遺伝」や「遺伝学」に対して暗く怖いイメージを持ったり、遺伝子組換え食品¹に対して激しい拒否反応を示したりするのではないかと考えを述べている。

それでは、技術の急速な発展と刻々と更新される情報があふれる中で、“heredity”と“variation”，特に日本社会で不足していると考えられる“variation”に関するリテラシーをどのように育ていけば良いのだろうか。この遺伝に関するリテラシーは未成年にも必要な力であり、「遺伝に関するリテラシーを育成する場は基本的には学校教育にある」と池内（2017）が述べていることから、遺伝の基礎的な知識や理解を習得する場が設けられている学校教育が果たす役割は大きいと考える。そこでまず、学校教育における遺伝の学習とその具体的な内容を1-1-2，1-1-3で、学校教育で主要な活動である授業について1-1-4で、現在、置かれている状況を整理した。

1-1-2 学校教育における遺伝の学習

前節でも触れたように、“genetics”(遺伝学)は、“heredity”(遺伝)と“variation”(多様性)を研究する学問として出発した。日本では、“genetics”が遺伝学として翻訳されたため、遺伝の仕組みに重点が置かれ、多様性が軽視されがちになったと池内（2012）は指摘している。メンデルの法則をはじめとした“heredity”を扱う時期は、中学校と高等学校と移行を繰り返してきた（資料4）が、現行の中学校学習指導要領（文部科学省 2008）において“heredity”は中学校理科で扱われている。一方、“variation”に関する用語と概念を習得するためには、同一種内でもゲノムが多様であることや遺伝子の発現の調節に関する理解が必要であり、その入り口となる「遺伝子とその働き」の学習において、DNAの特徴や、「複製」・「転写」・「翻訳」といった遺伝情報の流れに関する学習は、主に高等学校での学習として位置付け

¹ 食品の場合は「組み換え」と表記されることもあるが、ここでは引用文献の表記に合わせている。

られてきた。「複製」・「転写」・「翻訳」に関する学習は、平成 21 年告示の高等学校学習指導要領（文部科学省 2009）から大幅に扱いが変更され、それまでの選択科目で扱う内容から、基礎科目として設定されている「生物基礎」で扱う内容に変更された。近年の生命科学分野の急速な発展を考えれば、高校生の 9 割以上が履修する「生物基礎」で、「DNA が複製され分配されることにより、遺伝情報が伝えられること」や「DNA の情報に基づいてタンパク質が合成されること」の理解といった「遺伝子とその働き」の理解を学ぶ機会が設定されたことは、科学技術の進歩に合わせた流れであり、遺伝に関するリテラシー、その中でも“variation”に関する用語と概念をこれまでよりも多くの高校生が学ぶ機会が得られることは望ましい変化なのだろう。この改訂について、現代生物学の流れや国民的教養としての妥当性を強調する教員がいる一方、内容の難しさやメンデル遺伝の重要性を強調しつつ、「遺伝子学習」への特化に否定的である教員がいることが報告されている（徳永・坂本，2014）。またこの変革の流れは、平成 30 年告示の高等学校学習指導要領（文部科学省，2018a）でも変更されることはなく、引き続き大多数の高校生が、「生物基礎」にて「遺伝子とその働き」を理解することが求められている。

1-1-3 高等学校生物基礎における「遺伝子とその働き」

DNA の構造を解明した研究者の一人であり、「複製」「転写」「翻訳」すなわち、セントラルドグマ（central dogma）の概念について提唱したフランシス・クリックは、自叙伝（クリック，1989）で次のように記している。

いわゆるセントラルドグマとは、情報の流れがどの方向には起こりえないかを予測した基本的な仮説だ。図 2 の矢印のない所が情報の流れがないところだ。通常の流れは実線で、まれな流れは点線で示してある。蛋白質からは矢印が出ていないことに留意してほしい。（図番号は修正している）

まれな流れのうちで、RNA $\sim\sim$ >RNA の流れはインフルエンザウイルスや小児麻痺ウイルスなどにみられる。RNA $\sim\sim$ >DNA の流れ（逆転写）はいわゆる RNA レトロウイルスで使

われている。その一例はエイズウイルスだ。DNA→タンパク質の流れは通常みられない。試験管の特殊な条件下で、一本鎖の DNA が、メッセンジャーになるが、これはおそらく自然では見られないだろう。

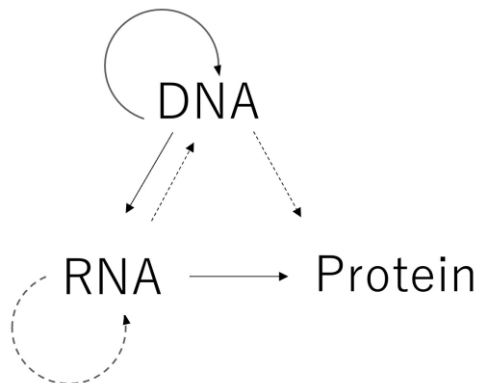


図2 セントラルドグマを図示したもの。矢印は情報の流れを示す。実線は通常の流れ、点線はまれにしか起こらない流れである。蛋白質から出る矢印がないことに注意。
(出典) クリック, 1989 をもとに筆者が作成。

このクリックの示すセントラルドグマ(図2)の中で、通常とされる流れを図3に示す。



図3 セントラルドグマを示す図 (出典) J. D. Watson, et al. (1995) をもとに筆者が作成。

DNAを取り巻く矢印は、DNAが自己複製の鋳型になることを示している。染色体のDNAがRNAの鋳型となり、そうしてできたRNAが細胞質に移動してタンパク質のアミノ酸配列を決定する。DNAからRNAへの矢印は、RNAの合成(転写)がDNAの鋳型によって指令されていることを示している。同様に、タンパク質の合成(翻訳)はRNA鋳型によって指令されている。重要なことは、これらの矢印が一方向を向いていることである。また、セントラルドグマを示す図として、図4のように、DNAの複製を含めず、DNAの情報をもとにRNAが合成され、タンパク質が合成されるまでの流れのみを示すものもある。



図4 DNAの複製を含めないセントラルドグマを示す図
(出典) Reece, et al. (2013) をもとに筆者が作成.

それでは高等学校「生物基礎」において、セントラルドグマに関連する項目がどのように置かれているか、学習指導要領を確認したところ、表3のように位置付けられていた。

表3 学習指導要領におけるセントラルドグマに関連する項目

平成21年告示高等学校学習指導要領 理科編 理数編 (文部科学省, 2009)	平成30年告示高等学校学習指導要領 理科編 理数編 (文部科学省, 2018a)
<p>(1) 生物の特徴</p> <p>イ 遺伝子とその働き</p> <p>(ア) 遺伝情報とDNA</p> <p>遺伝情報を担う物質としてのDNAの特徴について理解すること。</p> <p>(イ) 遺伝情報の分配</p> <p>DNAが複製され分配されることにより、遺伝情報が伝えられることを理解すること。</p> <p>(ウ) 遺伝情報とタンパク質の合成</p> <p>DNAの遺伝情報に基づいてタンパク質が合成されることを理解すること。</p>	<p>(1) 生物の特徴</p> <p>(イ) 遺伝子とその働き</p> <p>㊦ 遺伝情報とDNA</p> <p>DNAの構造に関する資料に基づいて、遺伝情報を担う物質としてのDNAの特徴を<u>見いだして理解するとともに、塩基の相補性とDNAの複製を関連付けて理解すること。</u></p> <p>㊧ <u>遺伝情報とタンパク質の合成遺伝情報の発現に関する資料に基づいて、DNAの塩基配列とタンパク質のアミノ酸配列との関係を見いだして理解すること。</u></p>

セントラルドグマという言葉そのものは使用されていないが、「複製」「転写」「翻訳」を含む内容が示されている。平成21年度告示の学習指導要領に基づく検定済の教科

書では、次のように記述されている。

遺伝情報の発現の流れには、DNA の塩基配列を写し取った mRNA が作られ、mRNA の塩基配列をもとにアミノ酸配列が指定されてタンパク質が合成されるというように方向性がある。この考え方はセントラルドグマとよばれ、遺伝情報の発現の大原則と考えられている（本川・谷本ら, 2014, 本文）。

DNA→RNA→タンパク質の順に一方向に遺伝情報が流れる原則を、セントラルドグマという（浅島ら, 2016, 本文）。

DNA からタンパク質への遺伝情報の一方向への流れはすべての生物に共通するもので、クリックは、これを生物学のセントラルドグマとよんだ（嶋田ら, 2016, 欄外）。

このように教科書ではセントラルドグマという言葉の扱いに差が見られる。本研究で理解を求める「遺伝子とその働き」は、表 3 「(1) 生物の特徴 イ 遺伝子とその働き」の単元の内容であり、具体的には DNA の特徴や「複製」「転写」「翻訳」といった遺伝情報の流れについての学習である。また、表 3 下線部で示したように、平成 30 年告示の学習指導要領では新たに、「資料に基づいて特徴や関係を見いだす」ことや、「関連付けて理解する」ことを表記している。この変化は、授業者に資料の提示や学習内容の関連付け、つまり学力の 3 要素である「知識・技能」だけでなく、「思考力・判断力・表現力」の育成を含めた授業設計の変更を暗に促していると考えられる。

1-1-4 授業の状況と構成要素

それでは遺伝の学習に限らず、学校教育の中心となる授業は、現在、どのような状況に置かれているのだろうか。

生命科学分野のみならず科学技術の急速な発展は、「工業社会」から、知識が社会・経済の発展を駆動する基本的な要素となる「情報社会」への変化をもたらし、現在は「創造社会」への変化が求められている（日本経済団体連合会, 2019）。現在の情報社会における教育では、単にひたすら暗記すればよいという単純なものではなく、幅広い知識・柔軟な思考力・創造性など新しい時代の資質・能力（コンピテンシー）の育成が重視される（森本ら, 2017）。また、次期高等学校学習指導要領（文部科学省, 2018）では、資料6のように「何を教えるか」から「何ができるようになるか」への能力観・学習観の転換、そのために「何を学ぶか」「どのように学ぶか」を変えていく必要性が示されている。このような変化を求められる背景には表4のような「教育のパラダイム変換」が大きく関係している（森本ら, 2017）。表4が示すように、「知識観」「学習観」が、知識は普遍的に真なるものであり、伝達されるものと捉えられていたパラダイムから、知識は社会的な営みの中で構成するものであり共同体の社会的な営みを通じた内化するものと捉えられるように変化した。また、学習の「主体」は、教員中心から学習者中心、つまり **Teaching** から **Learning** へと変化し、「学習」の変化に応じて、「評価形態」や「評価方法」といった「評価」も必然的に変化し、筆記テストによる客観的な評価だけでなく、学習者のパフォーマンスに着目した学習者の成果物等の主観的な評価も行われている。このような「教育のパラダイム変換」により、多くの授業者は自らの授業を再設計することを求められている。そしてこの変換は、経験豊かな授業者だけに求められているのではない。授業者としての経験がほとんどない授業者であっても、本人が児童・生徒として体験した教育観からの脱却が求められているのである。

表4 教育のパラダイム変換 (出典) 森本(2008)

		行動主義	認知主義	構成主義	社会構成主義
学 習	主な理論家	スキナー	ガニエ	ピアジェ	ヴィゴツキー レイブとウィンガー
	特徴	学校化された学習		真正な学習	
	知識観	知識は普遍的に真なるもの		知識は一人一人が 自ら構成するもの	知識は社会的な営 みの中で構成する もの
	学習観	知識伝達		学習者の事前知識 から事後知識への 質的な変化	学習者の事前知識 から事後知識への 質的な変化(共同 体の社会的な営み を通じた内化)
	主体	教員中心		学習者中心	
	学習者の態度	受動的		能動的	
	学習課題	学校化された課題		真正な課題	
	教員の役割	知識の提供者		学習のファシリテーター	
	情報システムへの適応	CAI ティーチン グ・マシン	知的CAI 知的チュータ リング・シス テム エキスパー ト・システム	LEGO マインドストーム	CSCL eラーニング
評 価	特徴	学校化された評価		真正な評価	
	評価期間	ある時点		継続的/ライフロング(生涯)	
	評価形態	テストの客観的な評価		学習者のパフォーマンス (学習成果物などの)の主観的な評価	
	評価される対象	テストの点数を重視		学習活動のプロセスを通じた学習成果 物や記録を重視	
	評価の在り方	学習と切り離された評価		学習に埋め込まれた評価	
	評価方法	テスト		ポートフォリオ	
	能力測定	学習プロセス同定と診断的評価	自己評価	相互評価 他者評価	

授業者が授業を設計もしくは再設計する際に、意識にあるいは無意識のうちに検討しているであろう授業を構成する要素について、阿部・伊藤（2017）は、藤岡（1989）の先行研究をもとに、「教育内容（何を教えるか）」「教材（どういう素材を使うのか）」「教授行為（子どもにどのように働きかけるか）」「学習者（それによって子どもの状態はどうか）」と紹介した上で、「学習者」レベルでの研究およびその成果の周知が、まだ十分になされていないと述べている。この4つの観点は学習者ではなく主として授業者の目線で構成されているのに対して、教育のパラダイム変換を背景に改訂された次期学習指導要領は、表5に示すような6点にわたってその枠組みの改善が目指されているように、その目線は主に学習者のものとなっている。

表 5 次期高等学校学習指導要領総則に記された改善のポイントとなる6点の枠組み
(文部科学省 2018b)

-
- ①「何ができるようになるか」（育成を目指す資質・能力）
 - ②「何を学ぶか」（教科等を学ぶ意義と、教科等間・学校段階間のつながりを踏まえた教育課程の編成）
 - ③「どのように学ぶか」（各教科等の指導計画の作成と実施、学習・指導の改善・充実）
 - ④「子供一人一人の発達をどのように支援するか」（子供の発達を踏まえた指導）
 - ⑤「何が身に付いたか」（学習評価の充実）
 - ⑥「実施するために何が必要か」（学習指導要領等の理念を実現するために必要な方策）
-

その中の「③『どのように学ぶか』」では、主体的・対話的で深い学び（「アクティブ・ラーニング」）の視点からの学習過程の改善が示され（資料5）、松下・石井（2016）は著書「アクティブラーニングの評価」の中で、教授・学習プロセスが「目標」「内容」「方法」「評価」という構成要素で成り立つこと、この考え方は、20世紀半ばの「タイラーの原理」まで溯ることを示している。西岡ら（2015）によると、タイラーは1920年代のアメリカで起こっていた、能力は生得的で固定的な量として捉え、いわゆる客観テストによって測る「測定（measurement）」運動を、子どもの能力をねぶみするものとして厳しく批判した。

そしてタイラーは、カリキュラム編成を行う際の流れを表 6 のように提唱したと記している。

表 6 タイラーの原理 (出典) 西岡ら(2015)に基づき筆者が作成。

-
- ①達成すべき「教育目的」を設定
 - ②目標の達成に役立つ学習経験を選択
 - ③効果のある指導のために学習経験を組織
 - ④学習の効果を評価
-

また、この評価（エバリュエーション）について西岡ら（2015）は、タイラー（1978）の考えに基づいて次のように記している。

この「タイラーの原理」においては、「エバリュエーション」が「教育目標が、カリキュラムや学習指導のプロセスによって、実際にどの程度実現されているのかを判定するプロセス」として定義されることとなった（タイラー, 1978, p.137）。

授業者が教員養成課程や研究授業等で作成する学習指導案の項目は大学や自治体により異なっているが、「目標」「内容」「方法」「評価」の項目は含まれていると考えて問題ないだろう。以上のことから、一授業者が授業を設計する際に検討が必要と考える授業の構成要素として表 6 のように考える。次章では、遺伝に関するリテラシーの習得に不可欠であるセントラルドグマの理解を目的とした授業を設計する際に待ち受けていると考えられる課題を、授業の構成要素と照らし合わせながら、1-2-1では「目標」、1-2-2では「内容」及び「方法」、1-2-3では「評価」について先行研究より浮かび上がらせていく。

1-2 先行研究

1-2-1 学習者の「遺伝子とその働き」の理解に関する研究

「遺伝子とその働き」の理解を目的とした授業の「目標」を設定する際、重点的に育成を目指す資質・能力は何かを明らかにするために先行研究を調査したところ、次のような4つの課題について報告されていた。

第一に、欧米において、理科を学習する多くの学生が DNA と RNA のはたらきを混同していることが報告されており、「複製」「転写」「翻訳」のうち、とりわけ同じ核酸合成に含まれる「複製」と「転写」のしくみは混同されやすいことが示唆されている (Rode, 1995; Balgopal, 2010)。第二に、国内で実施された大学生に対する質問紙調査において、「複製」における岡崎フラグメントと「転写」における mRNA が混同されやすいことが報告されている (倉林・武村, 2014)。第三に、国内の教科書にも見られるセントラルドグマを示した図 (図3) を用いた調査において、一部の学生が「DNA が RNA に変化する」「mRNA は転写が起こる前から存在している」といった概念を有していたとする報告がなされている (Wright et al. 2014)。同じ図を見ている国内の高校生が、この図の影響を受けていないと言い切れない。第四に、高等学校1年生がグループごとに作成したコンセプトマップの分析調査により、「DNA や RNA の構造や構成成分に関する概念構築が曖昧であったり、遺伝子の発現過程に関する概念の精緻化がなされていないグループが複数存在した (高山・大貫, 2013, p.393)」と報告がなされている。

以上の先行研究より、「複製」「転写」「翻訳」、特に「複製」と「転写」における DNA と RNA の役割を区別することは、高校生にとって容易ではなく、両者を混同していることが示唆されている。この混同の存在が事実であれば、授業の「目標」を設定する上で重点的に扱う必要があると考えられる。「遺伝子とその働き」の理解に不可欠な、「複製」と「転写」における DNA と RNA の役割を高校生が区別しているかどうか、その現状を調査すること、そして、先行研究と同じ混同が確認できるようであれば、その原因を追究することが、本研究における一つ目の課題である。

1-2-2 「遺伝子とその働き」の理解を目的とした教材や学習活動に関する研究

授業の構成要素「内容」および「方法」を検討するために、「遺伝子とその働き」の理解を目的とした教材や学習活動に焦点を当てた先行研究を調査した。その結果、分子サイズで起こる現象を可視化する工夫が報告されており、大きく2つに分けると、分子生物学実験の導入と模型等の活用によるシミュレーションに関する報告でなされていた。

分子生物学実験では、片山ら（2012）がコムギ胚芽無細胞タンパク質合成系を用いて、GFP 遺伝子を導入することにより転写・翻訳を可視化する教材を開発しており、その教材を活用した高等学校における実践とその教育的効果が奥村（2018）によって報告されている。肉眼で観察できない理論的な概念は理解することが難しい（Lawson et al., 2000）ことから、こうした実験を導入することにより可視化することの効果을期待できる。このような分子生物学実験の導入以外で報告されている模型の活用では、立体的な模型であるペーパークラフト模型や粘土模型、単純化されたヌクレオチド等のパーツを組み立てる ZOOM 模型があり、その活用による核酸の構造や転写のメカニズムの理解等の活用効果の報告がなされている（Altıparmak & Nakiboglu Tezer, 2009 ; White, 2016 ; Mulligan, 2017）。また、立体模型以外にも、カードを使用したシミュレーション（Rode, 1995）や、ロールプレイング（Balgopal, 2010 ; Takemura & Kurabayashi, 2014）が報告されている。手に取って操作できる模型の使用は、空間能力が低い学習者に役立つこと（内山ら, 2013）や、「遺伝子とその働き」の理解には学習者の空間能力が影響するという報告がなされている（Olimpo et al., 2017）ことから、模型等の活用は学習者の理解を促す方法として有効であると考えられる。模型等の活用によるシミュレーションに必要なツールや場所等の準備はそれぞれ異なるが、分子生物学実験の実施と比較すれば、実施できる高等学校は多くなるだろう。

以上より、「内容」と「方法」を検討するためには可視化がキーワードとなると考えられるが、授業を実施する高等学校の状況によって選択できる内容や方法は必然的に限られる。例えば、片山（2012）が行った分子生物学実験に必要な実験設備の現状や実験の実施状況の調査結果、分子生物学実験では欠かせないマイクロピペットは、調査対象となった 30 校

のおよそ7割が保有せず、オートクレーブやインキュベーターは7割で保有、PCR実験に使われるサーマルサイクラーは1割の学校で保有していることが明らかにされた。この結果について片山(2012)は、「学校間での設備備品の充足度に大きな隔たりがあり、高額な機器はあるがマイクロピペットといった数を揃えなければならない機器が不足している」と述べていることから、分子生物学実験を実施するハードルは低くはないことは容易に想像できる。また、そもそも日本の高校教育は、学校単位のトラッキング(学力などを基準にして生徒を異なる教育プログラムに振り分けること)という際立った制度的特徴を持つことが指摘されている(松岡, 2019)。「目標」や「評価」と照らし合わせながら、分子レベルの現象を可視化でき、且つ授業実施校で活用可能な財(予算)と材(資材・人材)を考慮した上で「内容」や「方法」を選択することが、授業者には求められている。そこで本研究では、分子生物学実験よりも実施が容易だと考えられる模型の活用によって分子レベルの現象を可視化する方法に着目した。立体模型の活用に関する Altiparmak & Nakiboglu Tezer (2009) や Mulligan (2017), White (2016) の報告で使用されている DNA 模型は、組み立てるために守るべき複数のルールが存在すること、アデニンとチミン、シトシンとグアニンといった正しい塩基の結合以外の結合も可能な場合もあることなどの問題があり、さらにこれらの報告は大学生を対象とした調査であって高校生を対象としたものではない。したがって DNA の構造について初めて学習する高校生が活用した場合、同じように効果が得られるとは限らない。このことから、DNA 模型の活用によって高校生が「遺伝子とその働き」の理解に不可欠な DNA の特徴を見いだし、DNA 模型が塩基の相補性と DNA の複製を関連付けて理解することを支援するツールとなり得るのかを検討すること、そして、支援するツールとなり得る場合は、どのような模型の活用が効果的なのかを明らかにすることを、本研究の二つ目の課題として設定した。

1-2-3 授業における学習評価に関する研究

授業の構成要素である「評価」についても、「教育のパラダイム変換」を背景に変化が求

められている。「遺伝子とその働き」の理解には、その複雑さと先行研究で報告される課題の多さから、学力の三要素である「知識・技能」の習得だけでなく、「思考力・判断力・表現力」を働かせることが必要だと考えられる。しかし、「思考力・判断力・表現力」は知識量のようにペーパーテストで正誤を明確に区別することは困難であり、中学校・高等学校では、教員が「思考・判断」に関する評価を難しく感じていることが報告されている（日本システム開発研究所, 2009）。また、文部科学省（2015）の論点整理には、高等学校における学習評価が客観テストのような知識量のみを問う特定の活動に偏重していると懸念が示されている。授業の構成には「目標」とする力に応じた「評価」方法も併せて充実させることが不可欠であるにも関わらず、現状では知識量と「思考力・判断力・表現力」の評価のバランスが取られていないのである。このような指導と評価の一体化を図るために多面的・多角的な評価が必要とされた背景から、図5に示した図のようなさまざまな評価方法が開発されてきた。この図5に示した縦軸は、学習者や授業者にとってその評価方法に必要な作業が「単純」か「複雑」かを示し、横軸は評価の重点が「筆記」にあるのか「実演」にあるのかを示している。

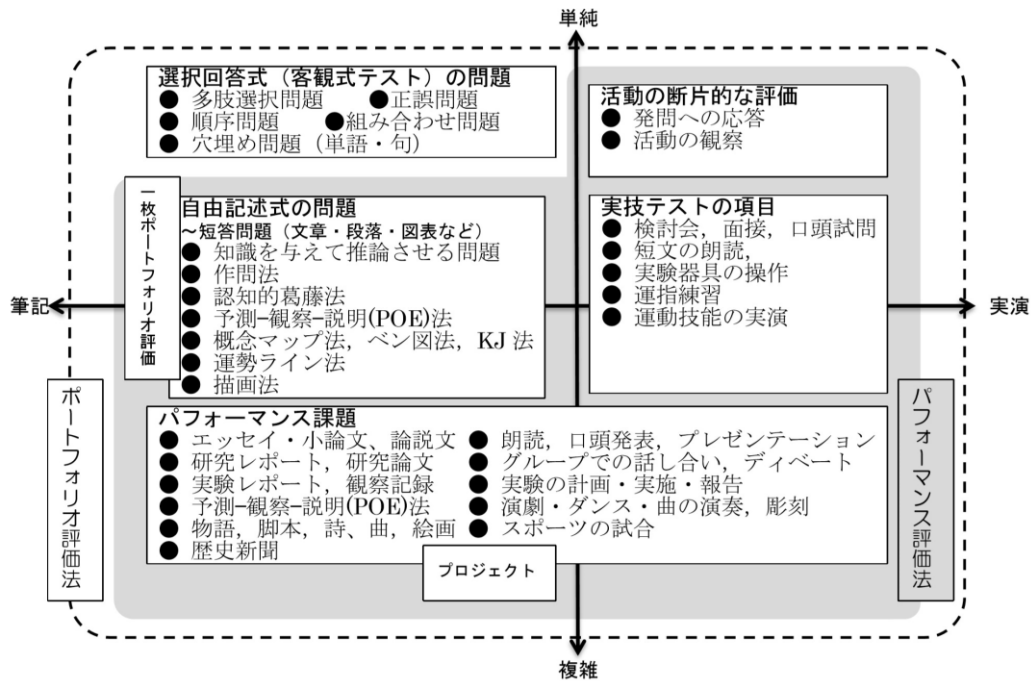


図5 さまざまな評価 (出典) 西岡・田中 (2009) に基づき筆者が一部改変。

図 5 に示した図では、「選択回答式の問題」や「自由記述式の問題」のような記述による成果物に対する評価方法はどちらかというところ「単純」で「筆記」に分類され、「実演」を評価する方法として、「面接」や「ディベート」などのパフォーマンスを評価する方法が含まれている。このパフォーマンスを評価することについて山田ら（2015）は、「従来のテスト法では可視化されづらい知識構成の過程や高次のパフォーマンスを評価するための 1 つの方法として、ルーブリックが注目を集めている」と述べている。ルーブリックとは表 7 を例として示すような、「成功の度合いを示す数レベル程度の尺度と、それぞれのレベルに対応するパフォーマンスの特徴を記した記述語からなる評価基準表（西岡ら, 2015）」であり、ルーブリック活用には表 8 のようなメリットがあると報告されている。

表 7 ルーブリックの例 （出典）カ久(2015)に基づき筆者が作成

	A	B
望遠鏡のしくみについて	望遠鏡の像を凸レンズのしくみ、実像、虚像を用いて、図と文章で、拡大して見える理由を説明している。	望遠鏡の像を凸レンズのしくみ、実像、虚像を用いて、図で説明している。
設計図について	凸レンズの焦点距離から、対物レンズ、接眼レンズを選択した理由を明らかにし、その考えをもとに筒の長さを決定することができている。	凸レンズの焦点距離から、対物レンズ、接眼レンズを選択し、筒の長さを決定することができている。
制作した望遠鏡について	製作した望遠鏡が、見る物体を拡大して見ることができ、より見えやすい工夫をしている。	製作した望遠鏡が、見る物体を拡大して見ることができる。

このルーブリックは、中学校第 1 学年「光の性質」の授業で使用されたルーブリックである。

表8 ルーブリック活用のメリット

①スティーブンス・レビ (2014)

- ◆ タイミングの良いフィードバック
- ◆ 学生による詳細なフィードバックの活用
- ◆ 批判的思考力のトレーニング
- ◆ 他者とのコミュニケーション活性化
- ◆ 教員の教育技法の向上
- ◆ 平等な学習環境作り

②文部科学省(2016)

- ◆ 目標に準拠した評価のための基準作りに資するものである。
 - ◆ パフォーマンス評価を通じて思考力、判断力、表現力等を評価することに適している。
 - ◆ 達成水準が明確化され、複数の評価者による標準化がはかれる。
 - ◆ 教える側(評価者)と学習者(被評価者)の間で共有される。
 - ◆ 学習者の最終的な到達度だけでなく、現時点での到達度、伸びを測ることができる。
-

(出典) ①スティーブンス・レビ(2014) ②文部科学省 (2016) に基づいて筆者が作成。

このように、多面的な性質を持つ学力に光を当てるための「評価」にルーブリックは欠かせない存在であろう。しかし、初等中等教育におけるルーブリックの活用について、「毎回の授業や授業内の学習活動で効果的に提示あるいはフィードバックされているとは言い難い(沖, 2014)」と指摘があるように、現場での活用には課題があると思われる。では、授業者が「知識・技能」のみならず、多面的・多角的な「評価」を目的としてルーブリックを作成し、授業で効果的に活用しようと考えた時、どのような問題を乗り越える必要があるのだろうか。

第一の問題は、何のためにルーブリックを作成して用いるのかという評価の目的の設定によっては、生徒の学びを阻害してしまう可能性があるということである。セングラ(2014)は、教員の権威に基づいて判定される等級評価ではなく、学習のための評価や学習としての評価の必要性を示唆している。等級評価とは生徒の学習が A・B・C 等の等級で表現されるものであり、調査書や通知表には評定として記載される。一方、学習のための評価や学習としての評価は発達支援的なものであり、アセスメントと表記されることが多い。教育におけるアセスメントは表9のように分類され、それぞれのアセスメントにはその学習

集団に応じた適切な実施時期と頻度があると考えられる。

表9 教育におけるアセスメントの種類 (出典) 西岡ら (2015) をもとに筆者が作成

	～1990 年前後	1990 年前後～
診断的アセスメント	学習開始前に実施 学習適性やレディネスを把握	
形成的アセスメント	学習の途中に実施 子どもの学習や教師の授業方法 などの活動を改善	学習や指導改善の支援 「学習のための評価」 「学習としての評価」
総括的アセスメント	単元末・学期末・学年末に実施 等級評価（評定）づけや教育計画 の有効性の検討	資格や選抜、 アカウンタビリティ 「学習の評価」

ルーブリックは多様な学習活動に活用可能なアセスメント機能を持つツールであり、形成的アセスメントと評定につながる総括的アセスメントのどちらも可能である。そのため、学習活動の中で何のためにルーブリックが活用されているか評価の目的が意識され、どのように学習者に提示し、結果をどのように扱うかのバランスを図ることの必要性は高いと考えられる。しかし、実際に授業を担当する教員がどのように評価を捉えているかは明らかになってはいない。

第二の問題は、通常の授業において、複数教員で共通のルーブリックを活用することが実際に可能かという点である。ルーブリックを作成する時には、その信頼性を高めるために複数の評価者間でのキャリブレーション（基準合わせ）やモデレーション（評価過程や評価結果の調整作業）が推奨されている（松下・石井 2016）。しかし、学校規模や同一科目の展開クラス数による配属教員の人数だけを考慮しても、教科担任制である中学校や高等学校においては実現が容易でないことが予想される。また、配属人数は十分でも、ルーブリックは選択回答式の問題のように正答と誤答をはっきりと区別できる問いを扱うわけではないため、教員によって判断に差が生じ、複数教員で共有することは難しいかも知れない。複数教員で活用し、ルーブリックに信頼性を持たせるためにはどのような条件を整える必要があるのだろうか。

第三の問題は、継続してルーブリックを活用することで浮かび上がってくる学習評価そ

のものに対する課題でもある教員の苦労や負担感である。学習評価に対する意識調査（日本システム開発研究所，2009）の結果，教員は評価規準や評価結果の妥当性の確保，教員間の共通理解に苦労している実態が明らかになっているからである。また，小学校・中学校では観点別学習状況の評価への負担感などの課題が報告されていることから（文部科学省，2010），現場で活用するためには一工夫が必要であることが示唆されている。

このように，授業者が実際にルーブリックを活用し，生徒の学びを多面的・多角的に評価することは容易ではない。では，継続してルーブリックの持つアセスメント機能を活用するためには，授業者のニーズに合った信頼性のあるルーブリックをどのように作成することが望ましいのだろうか。また，授業設計をする上で，どのようにルーブリックを位置付ける必要があるのだろうか。本研究では三つ目の課題としてその解決を目指していくこととした。

1-3 研究目的

以上に示したように、これからの時代を生きていくために必要な遺伝に関するリテラシーの習得には「遺伝子とその働き」の理解は不可欠であり、その基礎的な内容を学ぶ高等学校での遺伝の学習が果たす役割は大きい。しかし、授業者にとって「遺伝子とその働き」の理解を目的とした授業の設計は容易ではなく、次のような三つの課題があると考えられる。

第一の課題は、授業の「目標」設定で何を重点的に扱うかを明確にすることである。先行研究より、「複製」「転写」「翻訳」、特に「複製」と「転写」における DNA と RNA の役割を区別することは、高校生にとって容易ではなく、両者を混同していることが示唆されている。

第二の課題は、授業者が直面すると考えられる、授業で扱う「内容」および「方法」の選択である。先行研究では、「遺伝子とその働き」に関する授業では DNA 模型の活用によって分子サイズで起こる現象を可視化する工夫が報告されていたが、高校生が活用することによる学習効果は明らかになっていない。

第三の課題は、授業者が直面すると考えられる、授業の「評価」設定である。「遺伝子とその働き」の理解には「知識・技能」の習得だけでなく、「思考力・判断力・表現力」も必要であるため多面的・多角的な評価が求められ、ルーブリックの活用効果が期待されている。しかし、このような評価の実施には、授業者が課題を抱えていることが推測される。

以上のことから、研究目的と解決すべき課題を次のように設定した。

研究目的

授業者が「遺伝子とその働き」の理解を目的とした授業を設計する時に直面することが予想されるがこれまで解決していない三つの課題を解決することで、授業者がより効果的な「遺伝子とその働き」の理解を目的とした授業を設計することを支援する。

課題 1

「目標」設定に関する課題の解決を目指して、「遺伝子とその働き」の理解に不可欠な、「複製」と「転写」における DNA と RNA の役割を高校生が区別しているかどうか、その現状を調査する。そして、先行研究に見られるような混同が確認できるようであれば、その原因を追究することにより、授業の「目標」設定で何を重点的に扱うかを明らかにする。

課題 2

「内容」および「方法」設定に関する課題の解決を目指して、DNA 模型の活用によって高校生が「遺伝子とその働き」の理解に不可欠な DNA の特徴を見だし、塩基の相補性と DNA の複製を関連付けて理解することを支援するツールとなり得るのかを検討する。そして、支援するツールとなり得る場合は、どのような模型の活用が効果的なのかを明らかにする。

課題 3

「評価」設定に関する課題の解決を目指して、授業者が継続してループリックの持つアセスメント機能を活用することが可能で、授業者のニーズに合った信頼性のあるループリックをどのように作成するのが適切なのか、また、授業設計をする上で、どのようにループリックを位置付ける必要があるのかを明らかにする。

本論文では、課題 1 を 2 章、課題 2 を 3 章、課題 3 を 4 章で述べる。

2章 授業の目標設定

「遺伝子とその働き」の理解に不可欠な、「複製」と「転写」における DNA と RNA の役割を高校生が区別しているかどうか、その現状を調査するために、以下に示すような高校生対象のアンケート調査を実施した。

2-1 高校生を対象としたアンケート調査方法

2-1-1 アンケートの作成

質問紙は、倉林・武村（2014）が大学生対象に実施した質問紙調査を基に作成した（資料 6）。回答者には、「複製」と「転写」を示すモデル図として正しいものを 12 の選択肢（資料 6 ならびに図 6）から選ばせ、選んだ理由を記述することを求めた。

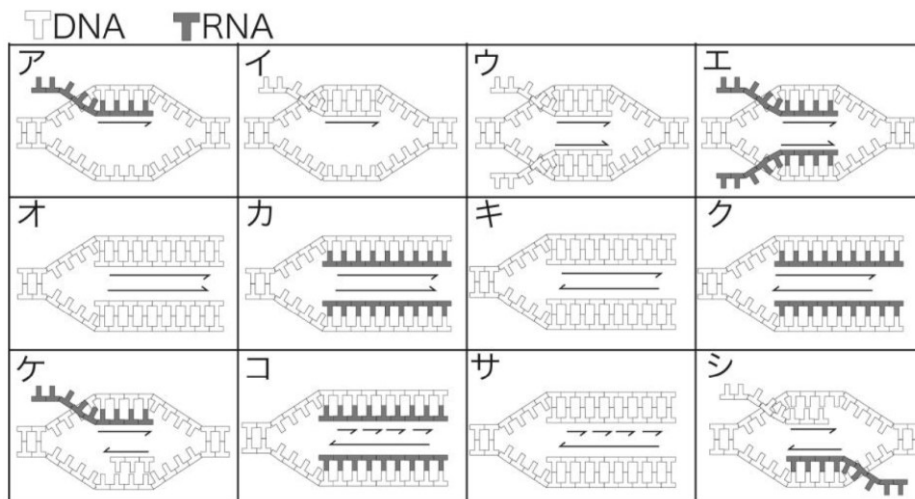


図 6 アンケートの選択肢

「生物基礎」では「複製」や「転写」におけるヌクレオチドの向きや、岡崎フラグメントの理解は求められていない。しかし、これらの内容は教科書で記述がなくても資料集等で情報を得やすい状態であり、教科書で発展の内容として扱われている「翻訳」の内容は塩

基配列の向きを意識させる内容となっている。このため大学生対象の調査で明らかになった混同が高校生でも起こる可能性はあり、その原因を突き止めるためには岡崎フラグメントやヌクレオチドの向きを示す選択肢が必要だと考え、資料 6 ならびに図 6 のような選択肢を設定した。なお、実際のアンケート調査では、本研究とは関係しない他の調査も合わせて行ったが、資料 6 からはその項目は除外してある。

2-1-2 高校 1 年生「生物基礎」履修者を対象とした調査

調査は、2015 年 2 月から 3 月にかけて、東京都立 X 高等学校 40 名、東京都立 Y 高等学校 82 名、東京都立 Z 高等学校 135 名、計 257 名の生徒を対象に実施した。対象とした 3 校の生徒は、いずれも高等学校 1 年生で、生物基礎を履修し、遺伝に関する分野の学習は、X 校と Y 校は 2014 年 6 月から 7 月にかけて、Z 校は 2015 年 1 月から 2 月にかけて実施している。また、X 校と Z 校は「複製」「転写」「翻訳」の順に、Y 校は「転写」「翻訳」「複製」の順に授業を展開し、3 校とも岡崎フラグメントに関しては授業で取り扱っていない。調査は、各校生物基礎授業担当者がアンケートを配布し、10～15 分程度で生徒に回答させ、その後回収した。なおアンケート調査を実施する前に、「目的は教材開発に活用することであり、それ以外では使用しないこと」「結果は成績に関係しないこと」を、担当者を通じて生徒に伝えた。

2-2 高校生の「複製」と「転写」の理解に関する調査結果

2-2-1 調査結果

2-2-1-1 「複製」の理解

回答の傾向を把握するために、質問紙（資料 6）の図および図 6 の選択肢を図 7 のように分類した。a)～c) 行は鎖の形状の変化、1)～3) 列は新たに結合する核酸の種類で分類した。

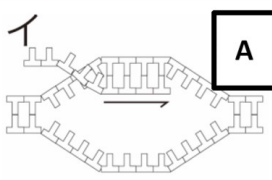
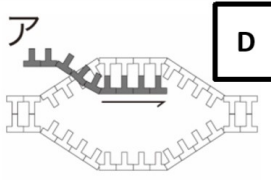
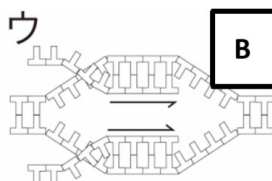
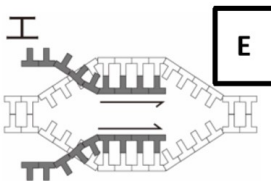
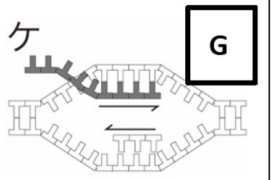
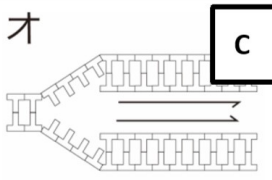
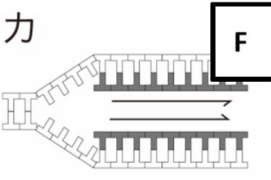
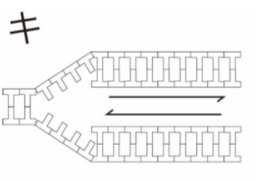
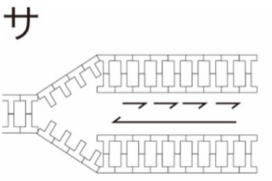
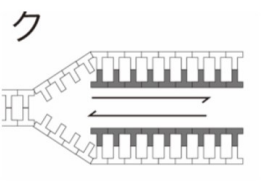
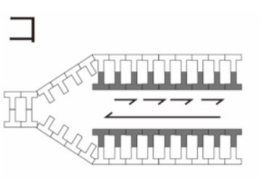
	1) DNAのみ	2) RNAのみ	3) DNAとRNA
a) 片側の鎖で結合が起こり、鋳型はもとに戻る。	イ  A	ア  D	
b) 両側の鎖で結合が起こり、鋳型はもとに戻る。	ウ  B	エ  E	ケ  G
c) 両側の鎖で結合が起こり、新たな鎖が合成される。	オ  C	カ  F	キ 
	サ 	ク 	
		コ 	

図7 選択肢の分類

分類ごとの回答結果を図8に示した。選択をせずに理由を記述した無回答者はいなかった。3校の合計値をカイ二乗検定した結果、選択された回答には有意な差がみられた ($\chi^2(7) = 118.440, p < .01$)。また、多重比較の結果は表10のようになり、これ以外の組み合わせに有意な差は見られなかった。大学生対象の調査では正答とされたキとサを含む分類Cの回答数は、F類の選択以外の回答と無回答と比較して多く、257名中77名(30.0%)が選択していた。続いて分類Fの回答数はC類以外の回答と比較して回答数が多く、55名(21.4%)と続いた。また、各学校の回答数をカイ二乗検定した結果、選択された回答に

は有意な差がみられた ($\chi^2(7)=94.882, p<.01$). 残差分析の結果, C類はX校, Y校で回答数が多いがZ校で少なく, 無回答はZ校で多くX校, Y校では少ない結果となった ($p<.01$).

「複製」の図としては誤りである分類Fの回答者は, 「複製」を示す図にこれらを選んだ理由として, 「複製はDNAのコピー鎖を作ることだから」, 「岡崎断片があるから」, 「RNA 2本できるから」などの理由を挙げた. これら生徒の回答を表11にまとめた.

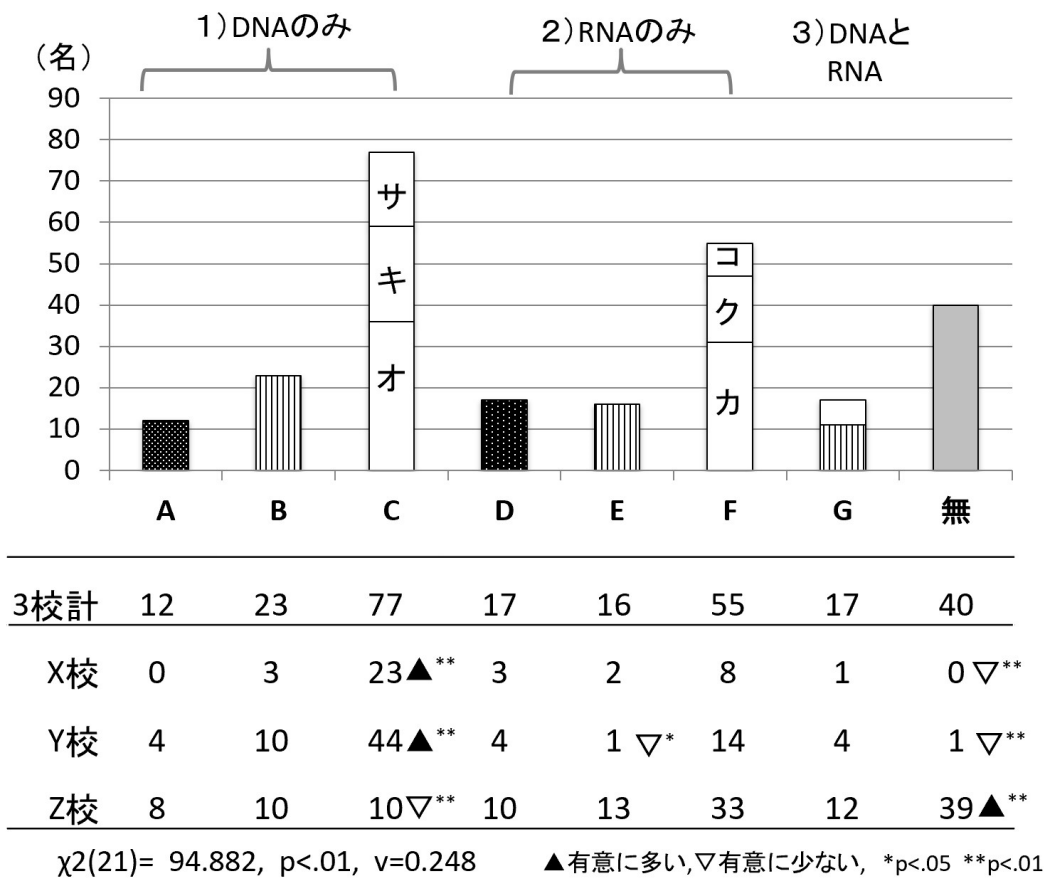


図8 「複製」を示す図の回答

表 10 「複製」を示す図の回答に対するライアンの名義水準を用いた多重比較

比較する分類	名義水準	臨界比	自由度	有意確率
C 類:A 類	0.00179	6.78	7	p<.0002
C 類:E 類	0.00208	6.22	7	p<.0002
C 類:D 類	0.0025	6.09	7	p<.0002
C 類:G 類	0.0025	6.09	7	p<.0002
C 類:B 類	0.00417	5.3	7	p<.0002
C 類:無	0.00625	3.33	7	p=.0008
F 類:A 類	0.00208	5.13	7	p<.0002
F 類:E 類	0.0025	4.51	7	p<.0002
F 類:G 類	0.00313	4.36	7	p<.0002
F 類:D 類	0.00417	4.36	7	p<.0002
F 類:B 類	0.00625	3.51	7	p=.0004
無:A 類	0.0025	3.74	7	p<.0002
無:E 類	0.00313	3.07	7	p=.0020
無:D 類	0.00625	2.91	7	p=.0036

有意水準を $\alpha = 0.05$ とする.

表 11 「複製」を示す図として分類 F を選んだ理由(原文ママ)

<「複製」を説明>

- ・複製は DNA のコピー鎖を作ることだから
- ・2本鎖が2本できているから
- ・最後まで2つに分かれているから

<岡崎フラグメント>

- ・岡崎断片があるから. RNA が二方向に流れているから.
- ・DNA の鎖の一方が開き, そこからそれぞれの鎖の向きの逆方向 mRNA が翻訳していき複製されるから (片方の鎖は断片的につくられる)
- ・2本の鎖が反対方向に複製されるとき, DNA と反対なものはとぎれとぎれで複製されるから

<複製は RNA が2本, 転写は RNA が1本結合> (※カッコ内は「転写」選択の理由)

- ・RNA 2本できるから
(RNA は1つしかなく, DNA も出てこないから)
- ・ヌクレオチドの2重鎖がほどけた各鎖に RNA が通過しているから (ヌクレオチド2重鎖がほどけた一方に RNA が通過しているから)
- ・DNA の鎖に1本ずつ RNA が異なる方向に進んでいるから (DNA と RNA の鎖がともに一本ずつなのはアだけであるから)

2-2-1-2 「転写」の理解

「複製」と同じ方法で選択肢を分類し(図7), 分類ごとに「転写」の回答をまとめたところ図9に示した結果となった。理由を記述した無回答者はいなかった。3校の合計値をカイ二乗検定した結果, 選択された回答には有意な差がみられた($\chi^2(7) = 177.397, p < .01$)。また, 多重比較の結果は表12のようになり, これ以外の組み合わせに有意な差は見られなかった。正答であるアを含む分類Dの回答数は, F類の選択以外の回答と無回答と比較して多く, 257名中84名(32.7%)が選択していた。続いて分類Fの回答数はD類以外の回答と比較して回答数が多く, 62名(24.1%)と続いた。また, 各学校の回答数をカイ二乗検定した結果, 選択された回答には有意な差がみられた($\chi^2(7) = 94.882, p < .01$)。残差分析の結果, D類はX校, Y校で回答数が多いがZ校で少なく, 無回答はZ校で多くX校, Y校では少ない結果となった($p < .01$)。回答数がD類に続いて多かったF群では, Z校での回答数が多くY校での回答が少なかった($p < .05$)

「転写」の図としては誤りである分類Fの回答者は, 「転写」を示す図として分類Fの図を選んだ理由として, 「DNAの情報を読みとって, RNAができるから」, 「DNAにRNAがついていて一方方向に進んでいるから」(原文のママ)などの理由を挙げた。これら生徒の回答を表13にまとめた。

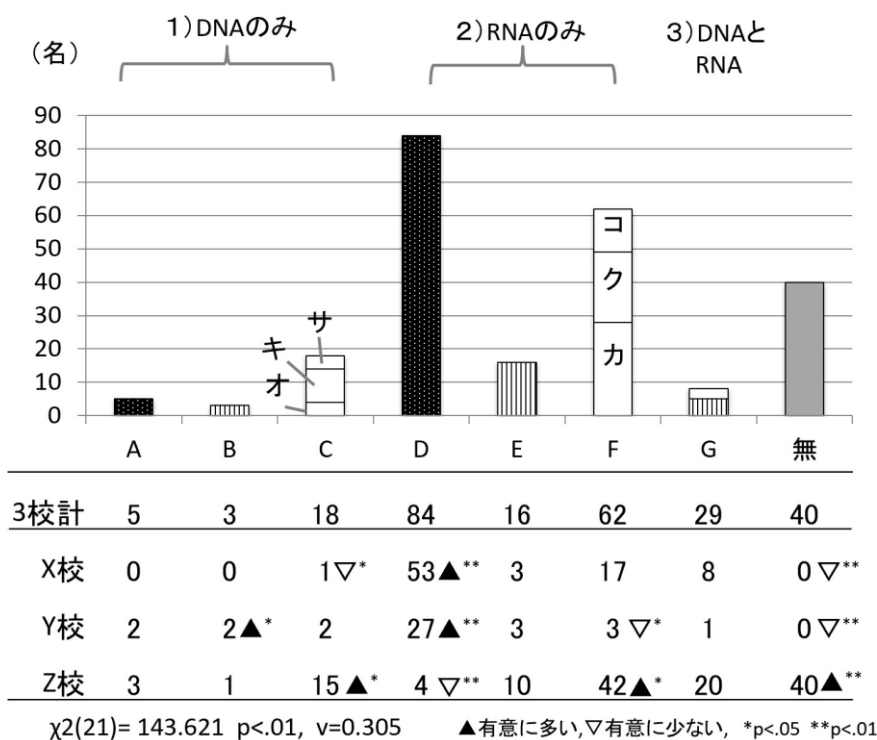


図9 「転写」を示す図の回答

表12 「転写」を示す図の回答に対するライアンの名義水準を用いた多重比較

比較する分類	名義水準	臨界比	自由度	有意確率
D類:B類	0.00179	8.58	7	$p < .0002$
D類:A類	0.00208	8.27	7	$p < .0002$
D類:E類	0.0025	6.7	7	$p < .0002$
D類:C類	0.00313	6.44	7	$p < .0002$
D類:G類	0.00417	5.08	7	$p < .0002$
D類:無	0.00625	3.86	7	$p < .0002$
F類:B類	0.00208	7.19	7	$p < .0002$
F類:A類	0.0025	6.84	7	$p < .0002$
F類:E類	0.00313	5.1	7	$p < .0002$
F類:C類	0.00417	4.81	7	$p < .0002$
F類:G類	0.00625	3.35	7	$p = .0008$
無:B類	0.0025	5.49	7	$p < .0002$
無:A類	0.00313	5.07	7	$p < .0002$
無:E類	0.00417	3.07	7	$p = .0020$
無:C類	0.00625	2.76	7	$p = .0058$
G類:B類	0.00313	4.42	7	$p < .0002$
G類:A類	0.00417	3.94	7	$p < .0002$
C類:B類	0.00417	3.06	7	$p = .0022$
E類:B類	0.00625	2.75	7	$p = .0058$

有意水準を $\alpha = 0.05$ とする.

表 13 「転写」を示す図として分類 F を選んだ理由(原文ママ)

<DNA から RNA への情報の流れ>

- ・ DNA の情報を読み取って, RNA ができるから.
- ・ DNA の情報を RNA にうつすから
- ・ DNA の情報を転写しているから
- ・ 転写は DNA から RNA にうつされることだから
- ・ 転写は DNA のコピーを作ることだから

<DNA と RNA の結合,方向>

- ・ DNA に RNA がついていて一方方向に進んでいるから
 - ・ 両方の DNA に RNA が同じ数くっついているから
 - ・ DNA ポリメラーゼで2つに分かれ RNA に RNA がくっついている様子が確認できたから
 - ・ DNA のヌクレオチド鎖は向きの異なる 2 本鎖で, DNA のヌクレオチドに対応して RNA に転写されるから
 - ・ RNA が DNA へ向かっているから
 - ・ 同じ方向に進んでいるから
 - ・ お互いに違う方向へ行くので形が合うものだけくっつくから
-

2-2-2 分析

2-2-2-1 アンケート回答の特徴

「複製」は DNA 二本鎖の相補的な結合が解離し, それぞれを鋳型として新たな DNA が結合することで, 2 本の二本鎖 DNA に情報が分配される過程である. 分類 C に含まれる選択肢は, 形状が「c) 新たな鎖が合成」され, 新たに結合する核酸は「1) DNA のみ」であることを示しており, 3 校全体としては「複製」を示す図として最も多く回答された(図 8). この結果は, 現行の学習指導要領で求められている内容に即しており, 授業実施後の結果としては妥当であると考えられた. 「生物基礎」では DNA の方向性や, 岡崎フラグメントの理解までは求められていないが, 分類 C の選択肢キ, サも「複製」として選択されていることから, DNA の方向性や岡崎フラグメントを正しく認識している生徒の存在が示唆された. また, 「転写」は二本鎖 DNA の相補的な結合が解離し, 一方の鎖を鋳型として RNA が合成される過程であり, DNA は元の形状に戻る. ヌクレオチドの方向性を

考慮しなければ分類 E の選択肢を正答とみなす生徒が多くなるかも知れないが、「生物基礎」では、「転写」は DNA の二本鎖のうち一方を鋳型とすると教えるため、分類 D の選択者が一番多い結果となったと言える（図 9）。これも「複製」の結果同様、学習指導要領で求められている内容に則しており、妥当であると考えられた。

ここで特筆すべきことは、これらに続けて回答が多かった選択肢として、「複製」「転写」とともに分類 F が選択されたことであろう。分類 F の選択肢は、「複製」を示す図としては、新たに結合する核酸がすべて RNA であることが不適切である（図 7）。そして「転写」を示す図としては、分類 D、E と比べると、「転写」終了後に RNA は DNA に結合したままで mRNA として働かず、DNA が再び二本鎖に戻っていないこと、岡崎フラグメントのような RNA 断片が多数合成されることが不適切である（図 7）。これらは、DNA はその本来の役割である遺伝情報の保持、RNA はその本来の役割であるタンパク質合成を果たすことができない選択肢であるとも言え、分類 F の回答者は、「複製」と「転写」における DNA と RNA の役割を明確には区別していなかったことが示唆された。また、各学校で比較した場合、「複製」と「転写」の選択ともに無回答者が多かった Z 校において、「複製」では正答である C 類を、「転写」では正答である D 類の回答数が少なかつただけでなく、「転写」における F 類の回答数が多かったことから、F 類が選択された理由に着目する必要があると考える。

2-2-2-2 DNA と RNA の役割を区別できない要因

それではこの分類 F の選択者を増やした要因は何だろうか。第一に、岡崎フラグメントに関する断片的な知識が何らかの影響を及ぼしているのではないかと考えられた。表 11 <岡崎フラグメント>に関する記述は、すべて選択肢コを回答した X 校の生徒によるものであった。この生徒らが mRNA の動きや「とぎれとぎれ」「断片的」といった形状に言及していることから、倉林・武村（2014）が示唆したように、この生徒らが岡崎フラグメントと mRNA を混同している可能性がある。

第二に、「複製」と「転写」の違いは、新たなヌクレオチドの結合が DNA 二本鎖の両側で起こるのか、それとも片側のみで起こるのかだけが違っていると、生徒が思い込んでいた可能性が挙げられる。「複製」で分類 F を選択した生徒の一部は、表 10<複製は RNA が 2 本、転写は RNA が 1 本結合>のように、「複製」と「転写」の選択理由を RNA 鎖の本数の違いで表現していた。このことから、新たに合成された核酸の種類よりも、両側でそれが起こるのか、片側のみで起こるのかという、メカニズムとより強く結び付けて考えていた可能性がある。

第三に、「複製」や「転写」それぞれの現象が何故起こるのか、その必要性を認識していない可能性が挙げられる。表 11<複製は RNA が 2 本、転写は RNA が 1 本結合>の記述の中には、DNA と RNA を明確に区別した上で、二本鎖が 2 本できることを表現するものが含まれていた。その場合、元の DNA 二本鎖と、複製後に合成される一方の鎖が RNA でできた物質は、別の物質になるはずである。回答者はその事実に気づいていないか、そもそも「複製」がどんな時に、どのような目的で起こる現象か、その必要性そのものを意識していなかった可能性がある。「転写」に関しても、分類 F の図は「転写」終了後に mRNA は合成されず、DNA の鋳型は元の二本鎖に戻っていない図であるため、鋳型である DNA に RNA が結合したのち、合成された RNA 鎖がどうなるのかにまで意識が及ばず、そもそも「転写」がどんな時に、どのような目的で起こる現象か、「複製」と同様にその必要性そのものを認識していなかった可能性がある。

第四に、質問紙の選択肢の図を含む、表示方法が挙げられる。表 10<「複製」を説明>に関する生徒の回答によると、回答者は一切 RNA に言及せずに「複製」を説明しようとしていることがうかがえた。そのため、生徒は単純に DNA を示す記号と RNA を示す記号を区別していなかった可能性がある。また、X 高校の授業担当者は、「複製」を説明する際、鋳型鎖と新しく合成される鎖を区別するための工夫として「チョークの色を変える」授業を展開していた。この色の使い方が、DNA と RNA の区別に影響を与えていた可能性もあり、説明時の色の使い方にも配慮が必要であると考えられた。

2-3 結果と示唆

授業の「目標」設定で何を重点的に扱うかを明確にするために実施したアンケート調査により、高等学校「生物基礎」を履修する高校1年生の中に、「複製」と「転写」におけるDNAとRNAの役割を区別していない生徒の存在が確認された。この生徒たちは、記号や模式図、岡崎フラグメント、相補的結合が起こる鎖の数、「複製」や「転写」の必要性に対して誤って理解しており、それが混同の要因となっていることが示唆された。このことから、提示するメカニズムの内容と使用する記号や模式図を生徒の実態に合わせて検討すること、「複製」や「転写」の必要性を強調し相補的結合に関する知識の転化を促すように学習環境や授業デザインを工夫することが、生徒の混同の解決につながるのではないかと考えられた。

3章 授業の内容と方法の選択

DNA 模型の活用によって高校生が「遺伝子とその働き」の理解に不可欠な DNA の特徴を見だし、DNA の模型が塩基の相補性と DNA の複製を関連付けて理解することを支援するツールとなり得るのかを検討して、支援するツールとなり得る場合に、どのような模型の活用が効果的なのかを明らかにするために、以下の調査を実施した。

3-1 高校生を対象とした調査方法

3-1-1 DNA の構造を示す教材

提示する DNA 教材として、1 種類のイラストと 3 種類の模型を新たに作成した(表 14)。

表 14 DNA 教材とその特徴

DNA 教材の種類	塩基パーツの形状	A-T・C-G 以外の組合せ	二重らせん組立
a.イラスト	—	不可(固定)	不可
b.ペーパークラフト A	対称形	全て可	可
c.ペーパークラフト B	非対称形	一部可	可
d.レゴ&磁石	非対称形	不可	一部可

(1) イラスト

イラストは、平面ではあるが DNA の立体構造を伝えるために最も提供しやすいことから本研究の対象とした。これは DNA の構造を示す図がプリントされた紙がカードケースに入れられた、平面的な資料である(図 10)。図には塩基対間の水素結合を介して互いに結合する DNA の二本鎖を描いた。この教材を受け取った生徒は、イラストを見るだけであり、物理的な操作によって塩基対をつくることはできない。

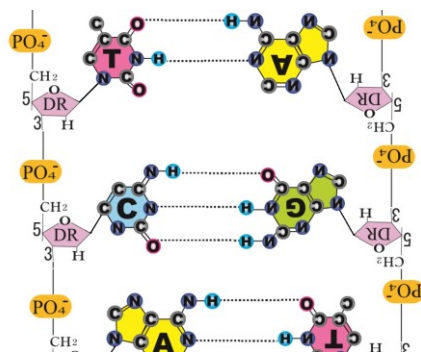


図 10 イラスト教材

(2) ペーパークラフト

ペーパークラフトは、準備がしやすく、複数の「生物基礎」の教科書に掲載されていることから本研究の対象とした。用意した2種類のペーパークラフトは、どちらもヌクレオチドごとのパーツに分かれており（図 11a, 図 11c）、それぞれ両面にヌクレオチドを印刷し、一方には鏡像を印刷した。塩基間の切込み同士を差し込むことで塩基対が作られるように設計しており、主鎖部分を組み立てると二重らせん構造となるように作成した（図 11b, 図 11d）。ペーパークラフト A と B の違いは塩基間の切り口の違いであり、ペーパークラフト A は4種類の塩基全てが同じ切り口で対称であるため、全ての組み合わせで結合させることができる。これに比べてペーパークラフト B は切り口が異なり非対称であるため、アデニンーチミン、グアニンーシトシンの正しい塩基対が結合し、アデニンーシトシン、グアニンーチミンの結合はできない。ただし、アデニンーグアニンが結合する等、本来の組合せ以外でも結合する組み合わせもあるが、鎖部分の距離が変わってしまう。

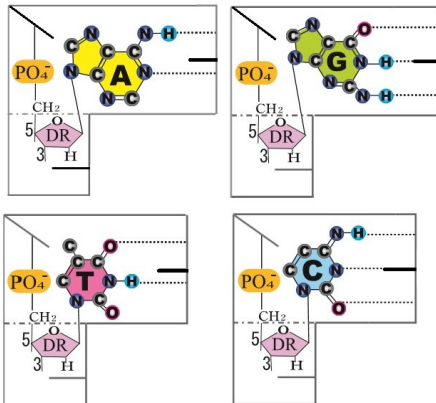


図 11a

ペーパークラフト A の 4 種類のヌクレオチド
実線はカットライン，点線は山折りを示す。

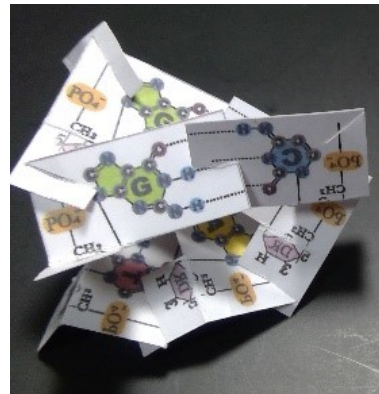


図 11b

ペーパークラフト A を組み立てた様子

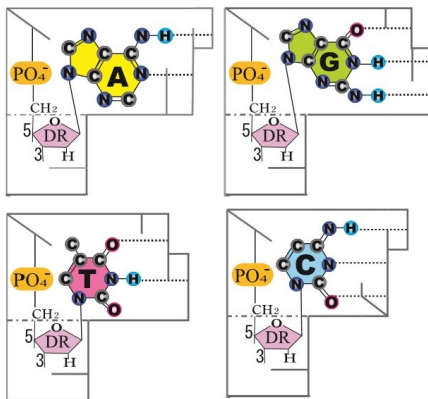


図 11c

ペーパークラフト B の 4 種類のヌクレオチド
実線はカットライン，点線は山折りを示す。

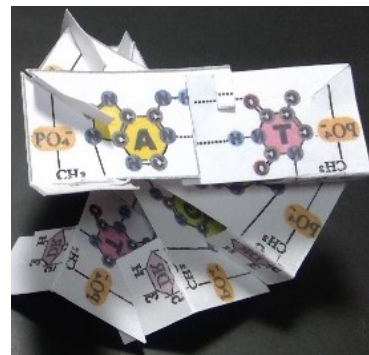


図 11d

ペーパークラフト B を組み立てた様子

図 11 ペーパークラフト教材

(3) レゴ&磁石

レゴ&磁石は、リン酸と糖を描いたシールを側面に貼った Lego[®]ブロックに、ヌクレオチドを描いた厚紙を差し込み、厚紙にはネオジウム磁石を取り付けた(図 12a). 厚紙には、それぞれ両面にヌクレオチドを印刷し、一方には鏡像を印刷したものである。塩基の形を記した厚紙のカットラインをアデニン-チミン塩基対とグアニン-シトシン塩基対で差

をつけ(図 12b), さらにそれぞれ非対称形にすることにより, 正しい塩基の組合せ, 且つ, 厚紙の裏表も正しい向きでのみ結合させることができるものとした. 対となる塩基は, 図 12b の星印(☆)部分に付けたネオジウム磁石(丸型用 φ1.5mm×0.8mm)によって結合し, アデニン—チミン間は 2 個, グアニン—シトシン間は 3 個とその結合力が異なるようにした. さらに磁石は図 12a のように磁石の N・S 極を配置することにより, プリン塩基—ピリミジン塩基の組み合わせであっても, 正しい組み合わせでないと反発してしまうようにした. またこのレゴ&磁石は, 組み立てることにより 2 重らせん構造の一部を作ることも可能となるように設計した(図 12c).

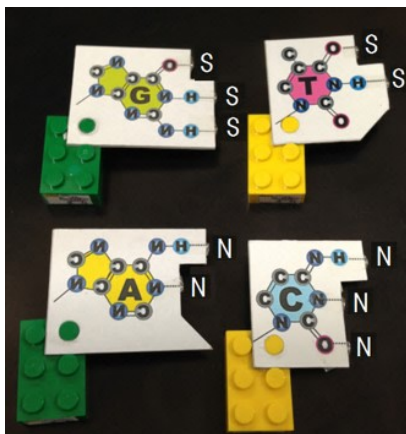


図 12a

レゴ&磁石教材の 4 種類の塩基

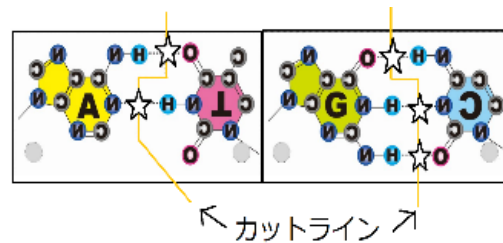


図 12b

塩基を示す厚紙の形状

☆のーに磁石が取り付けられている.



図 12c

二重らせん構造の一部を組み立てた様子

図 12 レゴ&磁石教材

3-1-2 質問紙とワークシートの作成

DNA 教材の活用効果を調査するための質問紙（資料 7-1）と、検証授業で用いるワークシート（資料 7-2）を作成した。質問紙は学習者が塩基の相補性と DNA の複製に対する認識の変化を調査するために作成し、検証授業の前後で同じ内容の質問紙（資料 7-1）を用いて事前テスト・事後テストとして実施した。質問紙では、ヌクレオチドの構造（資料 7-1 質問[1]）、塩基の相補性（資料 7-1 質問[2]（3））、複製後の塩基配列（資料 7-1 質問[2]（4））の 3 点に焦点を当てた。質問[1]は、ヌクレオチドの構造を問うことによって、対象となる生徒のレディネス（学習が成立するために前提となる知識や経験）の確認を目的とした。塩基の相補性に関する質問[2]（3）は、アデニンが A、グアニンが G といった名称・記号を記憶した上で、塩基の相補性を正しく認識しているかどうかの確認を目的とした。質問[2]（4）は、DNA 複製時に塩基配列がどのように保たれるのかを正しく推測できているかを確認することを目的とした。DNA の複製に関する説明文の通りに考える場合には、塩基の相補性を意識することが必要になると考えられる。なお、質問[2]では、図や選択肢を用意することにより、回答者の表現力の違いに影響を受けにくいように設定した。

ワークシートには、調査の対象となる生徒がどのような学習をすれば良いのかについての手順を示した（資料 7-2）。体験した DNA 教材に丸を付け（資料 7-2[0]）、次に DNA 資料を見ながらヌクレオチドの成分を確認し（資料 7-2[1]）、最後に、DNA 教材に触れて自由に操作し、観察したことを記入するように促した（資料 7-2[2]）。このワークシートは、授業担当者の指示や助言等の介入なしで使用できるように設計した。

3-1-3 検証授業の実施

検証授業は、2017 年 9 月に、参加の同意が得られた都立 A 高等学校普通科の高校 1 年生 203 名を対象に実施した。対象者は生物基礎を履修する 6 クラス（30~37 名/クラス）の生徒であり、筆者が授業を担当した。検証授業は対象となる生徒が「遺伝子とその働き」

の単元を全く学習していない状態で実施した。

検証授業は、図 13 のような流れで実施した。まず、「目的は教材開発に活用することであり、それ以外では使用しないこと」「結果は成績に関係しないこと」を説明した後、事前テストとして資料 7-1 の質問紙に回答し、5 分後に質問紙を回収した。その後、生徒にワークシートと DNA 教材を配付し、ワークシートの指示に従って学習させた。4 種類の DNA 教材はランダムに配付し、生徒は各自 1 種類のみ DNA 教材を通して学習した。配付時には、イラスト以外の教材はそれぞれパーツがバラバラの状態に袋に入れた。生徒は自分のペースで進めることができるが、本研究では生徒同士で意見を交換せず個人で取り組むことを求めた。この時、2 種類のペーパークラフトを受け取った生徒が、正しく塩基を組み合わせているかは確認できなかったが、レゴ&磁石教材を受け取った生徒は全員、図 14 のように正しく塩基が組み合わせていることを机間巡視で確認することができた。イラスト教材を配付された生徒は眺めているだけであったが、ペーパークラフトやレゴ&磁石教材を受け取った生徒は熱心に組立てようとし、教材を操作していた。ワークシートの質問[2]まで記入をするためには時間が不足していたが、検証授業に参加した生徒の中には、5 分以上の個人の活動に集中することが難しい生徒も含まれていたため時間を区切る必要があった。学習活動を 5 分間実施後、DNA 教材とワークシートを回収し、事後テストとして新たに配布された資料 7-1 の質問紙に回答する時間を 5 分間設けた。なお、検証授業の終了後、生徒全員が検証授業では使用しなかった DNA 教材もすべて体験する時間を設けた。

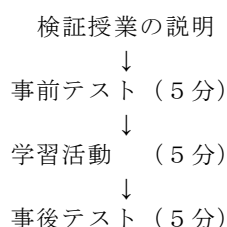


図 13 検証授業の流れ



図 14 レゴ&磁石教材
相補的に結合した様子

3-2 調査結果

事前テストおよび事後テストは、提出の同意が得られた 203 名から回答を得た。対象者に、高等学校入学前に「遺伝子とその働き」について既に学習している生徒や、教科書を読んで予習している生徒の存在を確認するために、事前テストの質問[1]の回答内容を確認したところ、203 名中 13 名が記入し、他は無記入であった。また、質問紙1のヌクレオチドの各部分の名称の確認では、「組織」や「胃」といった回答や、架空の毒物名などが回答され、正答はなかった。(2)の塩基について知っていることの記入を求める質問では、「細胞をつくる」「アデニンは聞いたことがある」など 7 名が記入し、そのうち 1 名の生徒が「それぞれが DNA の核の部分であり、二つ一組で成り立っている」と回答した。この生徒は、塩基の相補性について学習した可能性が考えられたが、(1)ヌクレオチドの各部分の名称の確認では未記入であったことから、調査の対象とすることにした。DNA 教材ごとの使用者人数は、イラスト使用者 49 名、ペーパークラフト A 使用者 50 名、ペーパークラフト B 使用者 51 名、レゴ&磁石使用者 53 名であった。

3-2-1 相補性に関する問題への回答の変化

質問紙[2](3)の鎖②の空欄に、塩基の相補的な結合を示す A-T と C-G を全て正確に記入されている回答を正答とし、それ以外の回答を誤答とした。事前テストと事後テストにおける正答者と誤答者および未記入者の変化を、使用した DNA 教材群ごとに図 15 に示した。

(1) イラスト使用群

事前・事後テストの正答者数の変化(図 15a)を McNemar 検定した結果、その漸近有意確率は $p=0.000$ であり、有意な差が見られた。したがって、事前テストよりも事後テストの方が、相補性に関する問題に多く正答していたと考えられた。

(2) ペーパークラフト A 使用群

事前・事後テストの正答者数の変化(図 15b)を McNemar 検定した結果、その漸近有意

確率は $p=.016$ であり、有意な差が見られた。したがって、事前テストよりも事後テストの方が、相補性に関する問題に多く正答していたと考えられた。

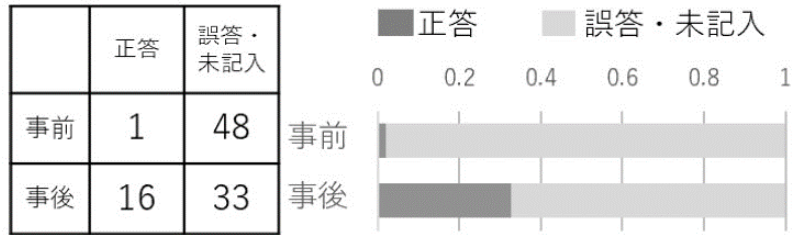
(3) ペーパークラフト B 使用群

事前・事後テストの正答者数の変化（図 15c）を McNemar 検定した結果、その漸近有意確率は $p=.016$ であり、有意な差が見られた。したがって、事前テストよりも事後テストの方が、相補性に関する問題に多く正答していたと考えられた。

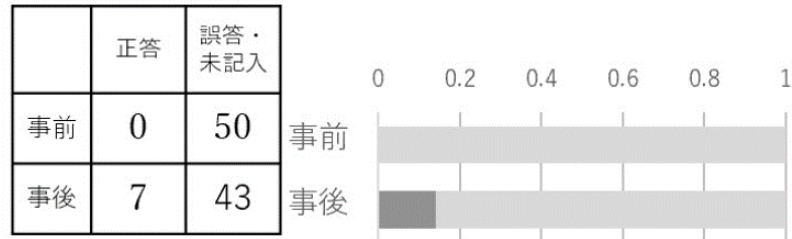
(4) レゴ&磁石使用群

事前・事後テストの正答者数の変化（図 15d）を McNemar 検定した結果、その漸近有意確率は $p=.000$ であり、有意な差が見られた。したがって、事前テストよりも事後テストの方が、相補性に関する問題に多く正答していたと考えられた。

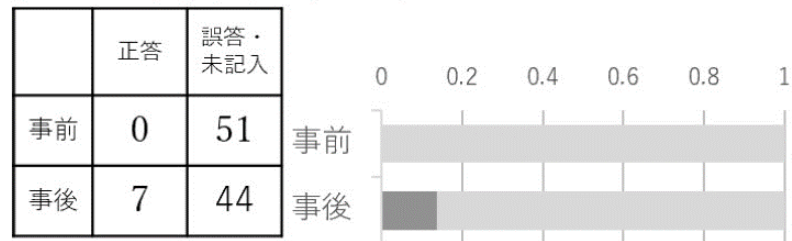
a. イラスト (N=49)



b. ペーパークラフトA (N=50)



c. ペーパークラフトB (N=51)



d. レゴ&磁石 (N=53)

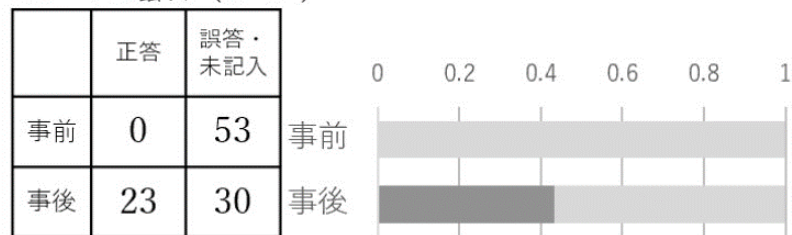


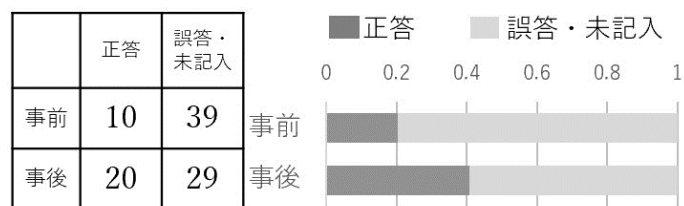
図 15 相補性に関する問題への回答の変化

表の数値は、事前テスト・事後テストにおける質問[2] (3) の正答者数と誤答または未記入者の人数を示す。グラフは、事前・事後テストそれぞれにおける正答者の割合の変化を示す。

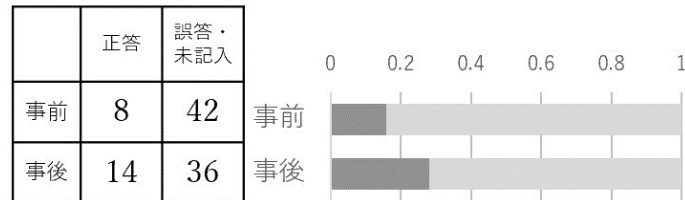
3-2-2 DNA の複製に関する問題への回答の変化

質問紙（資料7-1）の[2](4)で、1）の回答として③と⑤を選択し、且つ2）の回答として④と⑥を選択した回答を正答とし、それ以外の回答を誤答とした。事前テストと事後テストにおける正答者と誤答者および未記入者の変化を DNA 教材群ごとに図 16 に示した。

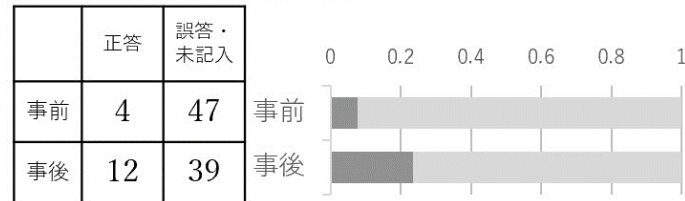
a.イラスト (N=49)



b.ペーパークラフトA (N=50)



c.ペーパークラフトB (N=51)



d.レゴ&磁石 (N=53)

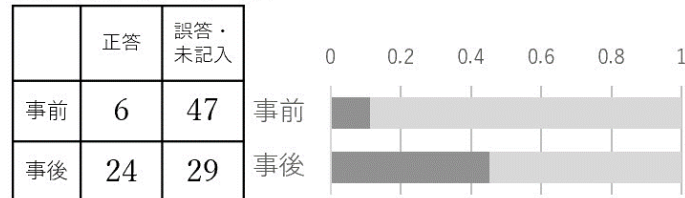


図 16 DNA の複製に対する回答の変化

表の数値は、事前テスト・事後テストにおける質問[2]（4）の正答者数と誤答または未記入者の人数を示す。グラフは、事前・事後テストそれぞれにおける正答者の割合の変化を示す。

(1) イラスト使用群

事前・事後テストの正答者数の変化(図 16a)を McNemar 検定した結果, その漸近有意確率は $p=.021$ であり, 有意な差が見られた. したがって, 事前テストよりも事後テストの方が, 複製に関する問題に多く正答していたと考えられた.

(2) ペーパークラフト A 使用群

事前・事後テストの正答者数の変化(図 16b)を McNemar 検定した結果, その漸近有意確率は $p=.180$ であり, 有意な差は見られなかった.

(3) ペーパークラフト B 使用群

事前・事後テストの正答者数の変化(図 16c)を McNemar 検定した結果, その漸近有意確率は $p=.039$ であり, 有意な差が見られた. したがって, 事前テストよりも事後テストの方が, 複製に関する問題に多く正答していたと考えられた.

(4) レゴ&磁石使用群

事前・事後テストの正答者数の変化(図 16d)を McNemar 検定した結果, その漸近有意確率は $p=.000$ であり, 有意な差が見られた. したがって, 事前テストよりも事後テストの方が, 複製に関する問題に多く正答していたと考えられた.

3-2-3 塩基の相補性の回答と DNA の複製の回答の関連

本研究で用意した DNA 資料を利用することで, 塩基の相補性と DNA の複製を関連づけて認識した可能性のある生徒の存在を確認するために, 事前テストで塩基の相補性に関する問題と DNA の複製に関する問題のどちらも正答していなかった生徒の変化に着目した. 対象となる生徒が, 事後テストで塩基の相補性と DNA の複製をどのように回答したかを DNA 教材ごとに調査したところ, 図 17 のようになった.

(1) イラスト使用群

事前テストの結果, どちらの問題も正答しなかった生徒は 38 名だった. この生徒を対象としたイラスト使用後の事後テストの結果(図 17a)から, 「相補性(正答): 正答 8 名,

誤答および未記入 2 名」「相補性（誤答・未記入）：正答 5 名・誤答および未記入 23 名」で直接確率計算を行った結果、その有意確率は、 $p=0.001$ （両側検定）であり、有意水準 1% で有意だった。また、相補性（正答）群の相補性（誤答・未記入）群に対するオッズ比は 18.40 であり、95%信頼区間（両側）は 2.96～114.31 と推定された。したがって、相補性に関する問題に正答した生徒の方が、正答できなかった生徒に比べ、複製に関する問題により正答していたと考えられた..

（2）ペーパークラフト A 使用群

事前テストの結果、どちらの問題も正答を回答しなかった生徒は 42 名だった。この生徒を対象とした、ペーパークラフト A 使用後の事後テストの結果（図 17b）から、「相補性（正答）：正答 2 名、誤答および未記入 3 名」「相補性（誤答・未記入）：正答 8 名・誤答および未記入 29 名」で直接確率計算を行った結果、その有意確率は、 $p=0.577$ （両側検定）であり、有意な差は見られなかった。

（3）ペーパークラフト B 使用群

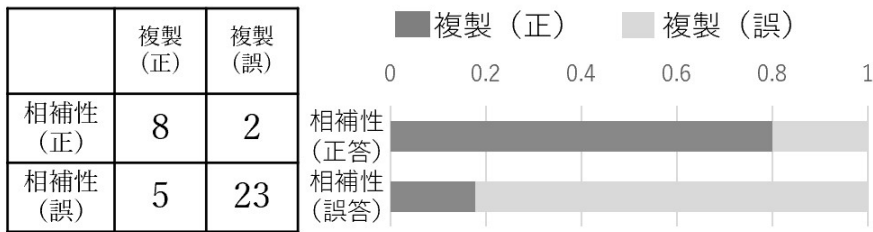
事前テストの結果、どちらの問題も正答を回答しなかった生徒は 47 名だった。この生徒を対象とした、ペーパークラフト B 使用後の事後テストの結果（図 17c）から、「相補性（正答）：正答 6 名、誤答および未記入 2 名」「相補性（誤答・未記入）：正答 6 名・誤答および未記入 35 名」で直接確率計算を行った結果、その有意確率は、 $p=0.014$ （両側検定）であり、有意水準 5% で有意だった。また、相補性（正答）群の相補性（誤答・未記入）群に対するオッズ比は 11.67 であり、95%信頼区間（両側）は 1.74～78.44 と推定された。したがって、相補性に関する問題に正答した生徒の方が、正答できなかった生徒に比べ、複製に関する問題により正答していたと考えられた..

（4）レゴ&磁石使用群

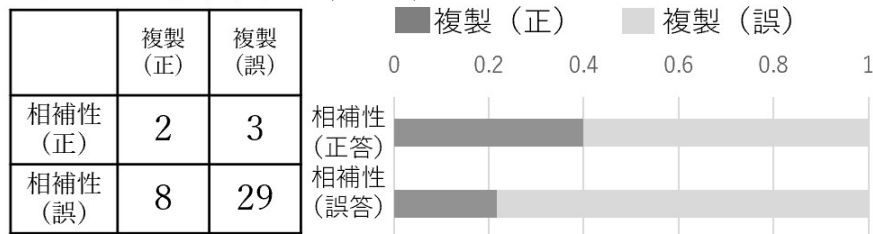
事前テストの結果、どちらの問題も正答を回答しなかった生徒は 47 名だった。この生徒を対象とした、レゴ&磁石使用後の事後テストの結果（図 17d）から、「相補性（正答）：正答 11 名、誤答および未記入 7 名」「相補性（誤答・未記入）：正答 7 名・誤答および未記入 22 名」で直接確率計算を行った結果、その有意確率は、 $p=0.016$ （両側検定）であり、

有意水準 5%で有意だった。また、相補性（正答）群の相補性（誤答・未記入）群に対するオッズ比は 4.94 であり、95%信頼区間（両側）は 1.38～17.65 と推定された。したがって、相補性に関する問題に正答した生徒の方が、正答できなかった生徒に比べ、複製に関する問題により正答していたと考えられた。

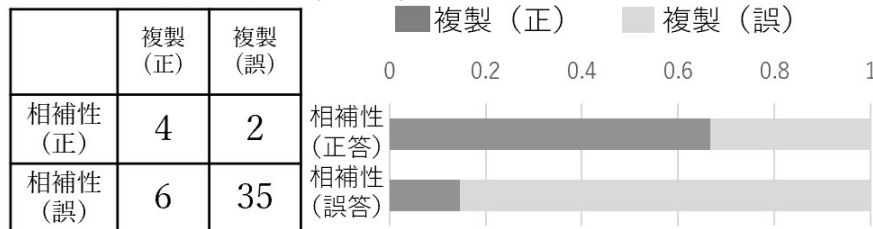
a.イラスト (N=38)



b.ペーパークラフトA (N=42)



c.ペーパークラフトB (N=47)



d.レゴ&磁石 (N=47)

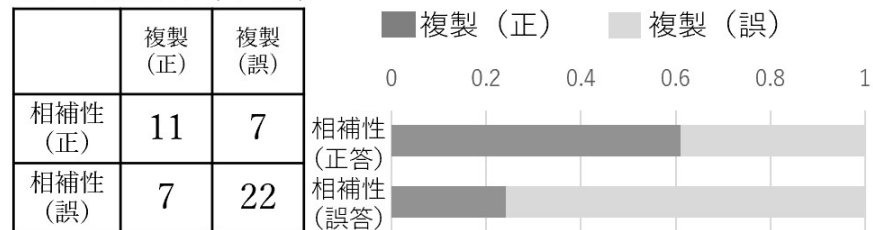


図 17 相補性と複製に対する回答の関連

表の項目にある (正) は正答者数を, (誤) は誤答または未記入者を示す. 対象者は, 事前テストにおいて質問[2](3)および質問[2](4)いずれも誤答もしくは未記入だった生徒である. 対象者を, 事後テストで相補性に関する質問[2](3)の正答した生徒の群と, 正答しなかった群に分けてあり, それぞれ複製に対する質問[2](4)に正答・誤答および未記入の人数が示されている. グラフは, それぞれの群における複製に関する問題の正答者の割合を示している.

3-3 結果と示唆

3-3-1 相補性の認識

塩基の相補性に関する問題への回答結果（図 15）より，準備した教材を使用することで正答者数が増加し，その中でも DNA 教材の中でもイラストとレゴ&磁石を提示した場合は，塩基の相補性を正しく認識する生徒の割合が有意に増加することが示唆された．この 2 つの DNA 教材の共通点は，表 14 に示すようにアデニンとチミン，グアニンとチミン以外の結合ができないことであり，必然的に正しい組み合わせの塩基対しかつからない．実際に，レゴ&磁石教材を手にとったすべての生徒は正しく組み合わせていたことから，この特徴は，提示する教材として必要な条件だと考えられる．

3-3-2 相補性の認識と複製の認識の関連

DNA の複製に関する問題への回答結果（図 16）から，イラスト，ペーパークラフト B，レゴ&磁石の使用は，質問紙回答[2]（4）において塩基配列が保存されている DNA 鎖を生徒が正しく選択することを促していたと考えられた．さらに，相補性を正しく認識した生徒群と認識しなかった生徒群で，複製に関する問題への回答を比較した結果（図 17）から，イラスト，ペーパークラフト B，レゴ&磁石をそれぞれ使用したグループでは，相補性を正しく認識した生徒の方がそうでなかった生徒よりも，複製に関する問題に正答する割合が高いことが示された．この相補性と複製の問題の両方に正答した生徒は，塩基の相補性と複製時の塩基配列の保存について関連付けていた可能性が考えられた．また，この複製に関する質問[2]（4）の正答者の中には，相補性の問題に正答していない生徒も含まれていた．統計分析の対象ではないが事前テストで質問[1]（2）の塩基について知っていることの記入を求める質問で「それぞれが DNA の核の部分であり，二つ一組で成り立っている」と回答した生徒は，[2]（4）の複製に関する質問には正答し，[2]（3）相補性に関する問題では，G には T，A には C といったように，誤った組み合わせで規則的に記入していた．この生徒は，相補的な塩基が存在することを認識しながら，具体的な塩基の名称は記憶しておらず，相補性に関する問題では正答できなかったと考えられた．図 16 で相補性に関しては誤答であるが複製に関して正答した生徒のうち 2 名は，相補性に

関する問題で G には T, A には C を回答していた。複製に関する質問[2](4)は、塩基の名称を知らなくても、手順に書かれた文章を読み、DNA の 2 本鎖が解離し相補的な塩基が結合していく様子をイメージすることにより正答することができる問題である。このため、相補性に関する問題では相補的な塩基の名称を記憶せず未記入であったり、G には T, A には C のように誤った組み合わせで記憶していても、相補的な結合の存在を認識していたために、複製に関する問題に正答が可能であったと考えられる。

4章 学習評価の設定

4-1 中学校・高等学校理科を担当する授業者を対象としたアンケートおよびインタビュー調査方法

授業者が継続してルーブリックの持つアセスメント機能を活用することが可能で、授業者のニーズに合った信頼性のあるルーブリックをどのように作成するのが適切なのか、また、授業設計をする上で、どのようにルーブリックを位置付ける必要があるのかを明らかにするために、次のようなアンケートおよびインタビュー調査を実施した。対象者は、高等学校生物を担当する授業担当者だけでなく、観察・実験を通して科学的な見方・考え方を育むことが基本とされる理科を担当し、しかも教科担任制である中学校及び高等学校で理科を担当する授業者を対象に実施した。本調査では、「授業者」は「教員」であり、「学習者」は「生徒」であることを前提に調査を進めており、それぞれ同じ対象者を示す。

4-1-1 ウェブアンケートによる学習評価方法の現状把握

4-1-1-1 学習評価方法に関するウェブアンケートの作成

ウェブアンケートの項目を表 15 のように設定した。表 15B, 「思考力・判断力・表現力」を評価する方法については、図 5(p.17)に示された学習評価方法の分類を参考に質問する評価方法を選択し作成した。アンケートの内容は、現行の学習指導要領で重要視され、授業者にとっても評価が難しいとされる「思考力・判断力・表現力」に関する評価を中心に問いを作成した。

表 15 ウェブアンケート調査による評価方法の現状把握

A, フェイスシート

- 所属, ○担当教科, ○指導年数

B, 「思考力・判断力・表現力」を評価する方法について

- 評価方法のごとの実施頻度

<評価方法の種類>

- ①客観テストや課題の実施(多肢選択問題, 正誤問題, 単語を答えさせる穴埋め問題)
- ②自由記述式のテストや課題の実施(概念マップ法)
- ③自由記述式のテストや課題の実施(描画法)
- ④実技テストの実施(実験器具の操作)
- ⑤パフォーマンス課題の実施(エッセイ, 小論文, 論説文)
- ⑥パフォーマンス課題の実施(研究レポート, 実験レポート)
- ⑦パフォーマンス課題の実施(口頭発表, プレゼンテーション)
- ⑧パフォーマンス課題の実施(グループでの話し合い, ディベート)
- ⑨パフォーマンス課題の実施(ロールプレイング, 演劇, ダンスによる表現)

<実施頻度の選択肢>

- 1) 単元に数回実施
- 2) 単元ごとに実施
- 3) 章ごとに実施
- 4) 年に数回実施
- 5) 実施していない

- ループリックを活用する評価方法ごとの活用形態

<評価方法の種類>

- ①客観テストや課題の実施
(多肢選択問題, 正誤問題, 単語を答えさせる穴埋め問題 等)
- ②自由記述式のテストや課題の実施(概念マップ法・描画法 等)
- ③実技テストの実施(実験器具の操作 等)
- ④パフォーマンス課題の実施
(研究レポート, 実験レポート・ディベート・ロールプレイング等)

<活用形態の選択肢>

- 1) 生徒が自己評価のために活用
- 2) 生徒が相互評価のために活用
- 3) 教員が生徒を評価するために活用
- 4) 実施していない

- 評価基準・規準を検討するときに, 何を参考に行っているか。(記述)

C, 複数教員でのループリック活用

- 複数教員での活用有無, その理由。(選択・記述)
- 複数教員での活用に関わるメリット・デメリット, デメリットを乗り越えるための工夫。(記述)

D, 連絡先

4-1-1-2 学習評価方法に関するウェブアンケートの実施

ウェブアンケートは 2016 年 6 月中旬から 8 月中旬まで 2 ヶ月間公開した。東京都生物教育研究会及び東京都中学校理科教育研究会のメンバーへのメールでの依頼，及び化学教育支援システムを活用することにより，表 16 に示すような 15 都道府県 74 名の中学校・高等学校の理科を担当する授業者から回答が得られた。

表 16 ウェブアンケート回答者

所属校所在地	人数	経験年数	人数
東京	46(8)	3年未満	11(0)
埼玉	9(0)	4～10年	26(4)
神奈川	5(0)	11年～20年	10(4)
岡山	2(0)	21年～30年	17(4)
北海道	2(1)	30年以上	10(0)
その他(10 県)	10(3)	カッコ内は中学校理科担当	

4-1-2 インタビュー調査による現状把握

2016 年 8 月中旬から 9 月にかけて半構造化インタビューを 1 時間程度ずつ実施した。共通する質問項目は「活用のきっかけ」「活用の目的」「活用によるメリット・デメリット」「複数教員で活用する場合のエピソード」である。インタビュー対象者は，アンケート調査の結果からループリックを活用している授業者を校種別に抽出し，その中から複数教員間でループリックを共有している授業者（中学校理科 2 名，高等学校理科 2 名）と，単独で活用している授業者（中学校理科 1 名，高等学校理科 2 名）に依頼し，表 17 に示すような 7 名に協力いただいた。

表 17 インタビュー対象者

授業者	所属校	経験年数
A	公立 H 中学校	7 年
B	公立 I 中学校	3 年
C	公立 I 中学校	20 年
D	公立 J 高校	6 年
E	公立 J 高校	6 年
F	国立 K 高校	30 年
G	国立 K 高校	1 年

D 教諭と E 教諭は、勤務年数は同じであるが、初任校は異なる。

4-2 ルーブリックの活用の実態

ルーブリックの活用の実態を把握するために、まず、中学校・高等学校理科の授業でルーブリックを効果的に活用する際に問題となると考えられる、「活用の目的」「複数教員での活用」「活用による負担感・多忙感」の三つについて、アンケート結果から現状を明らかにした。次に、インタビュー調査からその問題に対する授業者の実践を分析した。

4-2-1 ルーブリック活用の目的

4-2-1-1 調査結果

①ウェブアンケート調査

「思考力・判断力・表現力」を評価するためにルーブリックを活用している授業者は、回答者 74 名中 61 名だった。この 61 名が、どんな目的で活用しているか、その目的を明確に区分けすることは難しいと考え、アンケートでは活用の形態に着目し、表 15B「ルーブリックを活用する評価方法ごとの活用形態」を集計した（図 18）。中学校と高等学校での回答を比較すると、自己評価では「中学校：活用する 4 名、活用しない 5 名」「高等学校：活用する 28 名、活用しない 24 名」で直接確率計算を行った結果、その有意確率は、 $p=0.7242$ （両側検定）であり、有意な差は見られなかった。相互評価では「中学校：活用す

る5名、活用しない4名」「高等学校：活用する17名、活用しない35名」で直接確率計算を行った結果、その有意確率は、 $p=0.2625$ （両側検定）であり、有意な差は見られなかった。評価では「中学校：活用する6名、活用しない3名」「高等学校：活用する33名、活用しない19名」で直接確率計算を行った結果、その有意確率は、 $p=0.10000$ （両側検定）であり、有意な差は見られなかった。また、中学校と高等学校の集計値をカイ二乗検定したところ、評価形態ごとの回答には有意な差がみられた（ $\chi^2(2)=9.576, p<.01, v=0.229$ ）。残差分析の結果、相互評価を「活用する」は少なく「活用しない」が多く回答され（ $p<.01$ ）、教員による評価を「活用する」は多く「活用しない」は少ない結果となった（ $p<.05$ ）。

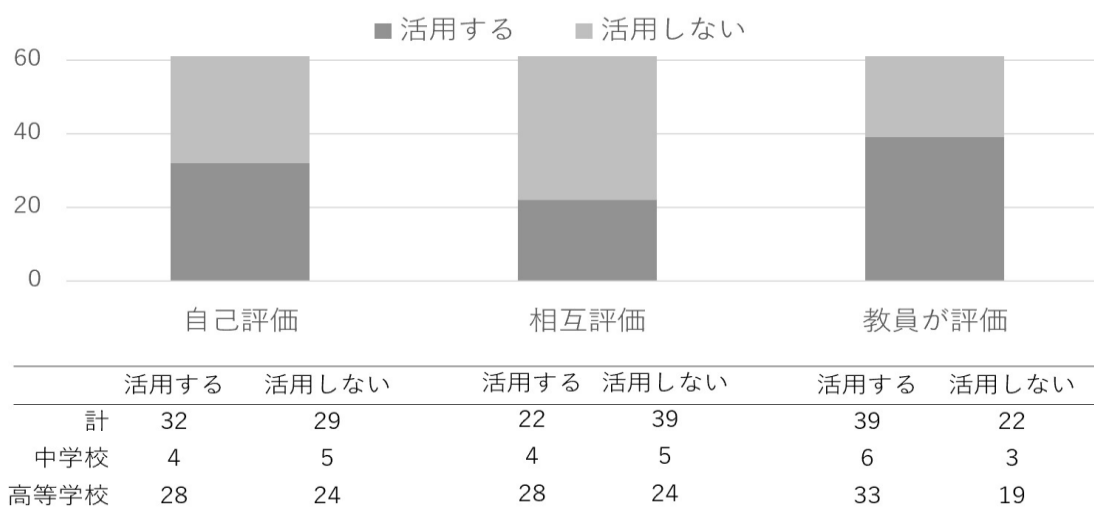


図 18 形態別ルーブリック活用人数（人）

②インタビュー調査

インタビューに協力いただいた7名は、いずれも教員による生徒の評価にルーブリックを活用し、得られた結果をそれぞれ評定の算出に用いていた点で共通していた。しかし、ルーブリックを活用する目的に関するインタビュー時の回答内容はそれぞれ異なり、傾向が2つに分かれた。1つは図19の1-1から1-5のような総括的アセスメントに相当する「評定・成績付け」「説明責任」に関する内容であり、もう1つは1-6から1-9のような形成的アセスメントに相当する「生徒の学習意欲喚起」「授業の改善」に関する内容であった。インタビューで得られた発言は、内容に影響がない範囲で一部修正を施した。

<総括的アセスメントとしての実施>

「評定・成績付け」

1-1 励ましてはなくて、成績のため評価。だけど、その成績のための評価が、一応①統一しましょう、と言っている評価な訳であって、実験に対して、それでいつもAを取りたがるから、子供達はわかりやすいから、Aを取りたい子はAを取れるようにするにはどうしたら良いんだろうって考える。(授業者C)

1-2 (考查点が)0の子もいたりするから、単位が取れる という意味では、②1 (評定)を取らせないというセーフティゾーンという考えもあります。(授業者D)

1-3 うーん、それ(ルーブリック)を評定に使っているの、そう考えると、やっぱりグレーディングとか、エバリュエーションみたいそっちの方になっている感じがしますね。僕がやっていることは。(授業者A)

「説明責任」

1-4 若い教員が増えていくなかで、例えば俺のプリントを使って全員が同じようなプリントを使ってやりましょうってやらざるを得ない、そうしないと違うことやっているって言われるしね。でも今それをやらなくて済んでいるのはこれがあるから。評価は③統一しているからって、この観察シートで評価しているから、それぞれの先生が違うから、違うプリントを使うことに対してそれが説明責任になるよって、④統一の評価をしていますよって説明責任。(授業者C)

1-5 高校の特色としては、ほとんどの子が推薦で行きます。で、その子たちは⑤4 (評定)か⑥5しかもらいたく無いんです。⑦3はすごくいい数字なんですけど、⑧3がついた途端に何でなの?となります。親も出てくることもあるそうです。私はまだ受けたことがありません。なので、その時の対処でもあります。(授業者D)

<形成的アセスメントとしての実施>

「生徒の学習意欲喚起」

1-6 実験やる以上は、⑨実験のモチベーションを上げさせたいし、良い報告が書けるようにやっぱりしていくことが、多分、どっちかっていうと、座学で聞いて、知識を蓄えることは誰でも頑張ればできるけれども、実験で手先を動かして、しかもそれをまとめていくという作業は、そういう機会を与えないとできないと思うので、それように動機づけとか、モチベーションを上げるってことでいうと、そういう風にさっき言ったもの(ルーブリック)をやるのは大切なんじゃないかと感じていて(授業者F)

1-7 自分自身、生徒自身の、学習を促すって意味と、あとは授業に参加ですね。興味関心態度というか、生徒の参加具合を評価しているといえば評価しているのかなと。あとはまあ、生徒がこうなんていうの、⑩つまりきとか多分あると思うんで、ま、そこをどういう風にアドバイスしていったらいいのか、とか、一体どういようなアドバイスをすれば、ま、生徒がワンランク上に上げられるのかっていうことを、個別にこう考えることができると思うので、より細かく指導ができるのかなと、は(授業者E)

1-8 どうすればAの評価をした生徒に関しては、⑪どうしたらこの子がAOになるのかっていうのが、返されて分かるように書こうっていう意識はすごくあって、それをやらなかったら、あんまり意味がないだろうと思うので、そういう意識でつけています。(授業者B)

「授業の改善」

1-9 1 (基準) だったら2、2だったら3に、3だったら4、というような、⑫まあ、指導っていうか自分の授業を変えていけばいいな、っていう考えです。けど、やっぱり、こう生徒って多種多様なんで、そこが難しいとこですよ。 (略) 個別指導を今後していく上では、ルーブリックで評価して行って、常にチェックしていくっていうか確認していくのは、かなり有効だなって。(授業者E)

図 19 ルーブリック活用の目的に関するインタビュー

4-2-1-2 分析

図 19 下線部②，⑤から⑧のような評定の等級に関する言及が目立った授業者 D にとって、ルーブリックは主に評定を算出するためのツールとして役割を果たしているようだった。ルーブリックは質的な達成度を数値化できる性質を持つため、客観テスト式の問題の解答とその採点結果と同じように扱われることが分かった。また、授業者 C は下線部①，③，④のように「統一」について強調し、共通問題である定期考査と同じように一つの学年全員に実施し、評定を決定する材料として位置付けていようだった。このことから、授業者 D と授業者 C はルーブリックを総括的アセスメントとしての活用を主たる目的として用いていたと考えられる。

一方授業者 F は、下線部⑨のように実験のモチベーションや、良い報告書を書くことを生徒に期待し、授業者 E は下線部⑩のように生徒のつまずきに対して個別に対応すること話っていた。この内容から、授業者 F と授業者 E は「生徒の学習意欲喚起」を目的としていたと考えられ、下線部⑪のような発言をする授業者 B も形成的アセスメントを目的としてルーブリックを活用していたと思われる。この授業者 B は授業者 C と同じ I 中学校に所属し、担当者間の取り決めでルーブリックによる採点結果は評定の算出のために用いられているが、インタビューでは形成的アセスメントを示すような発言が強調されていた。また授業者 A も 1-3 の発言から、最終的にはルーブリックは総括的アセスメントとして用いているが、その過程では使用目的を明確に意識していなかったと予想される。形成的アセスメントとして他の活用例として、授業者 E は下線部⑫のように自身の授業改善に役立てようとしていた。

調査を通して、ルーブリックはその使い方によって、総括的アセスメントと形成的アセスメントの両方に目的を置くことが可能であり、実際に中学校理科・高等学校理科双方で用いられ、しかも常に目的を明確に意識して活用されているわけではないことが明らかになった。それでは、学習者である生徒のアセスメントの受け止め方によって、どのような影響が生徒に及ぶのだろうか。

ウェブスター（2013）が、自尊感情を高めるためには「子どものやる気を引き出すごほうびを使用する」ことが有効であることを示唆していることから、「評定・成績付け」のような総括的アセスメントを動機付けとして用いた場合も、同じような効果が得られるかもしれない。一方、デシ・フラスト（1999）は、このような動機付けによって生徒は学習活動への興奮や熱意を奪われ、手っ取り早く最短のやり方を選択してしまう危険性や、一度成績という報酬を使い出したら、報酬が与えられた時しか行動しなくなってしまうことを危惧している。

このように動機付けとして総括的アセスメントを用いることは諸刃の剣であり、意識せずを用いることで生徒の学習意欲を消失させている可能性もあるため、授業で導入する上で配慮が必要である。それならば、リスクを抱えながら動機付けとしての総括的アセスメント機能を活用するよりも、形成的アセスメント機能を重視した方が生徒の学習をより促すのではないだろうか。しかも、例えば図 20 のような 6 種類の形成的アセスメント（OECD 教育研究革新センター，2008）を重視したルーブリックの活用へと移行する試みは、それほど難しいことではないと考える。何故ならば、授業者 A が評価の目的についてインタビュー中に戸惑っていたように、ルーブリック使用の目的はもともと正確に二分されるものではないからである。同一中学校で同じ実験内容、同じルーブリックを使用していた授業者 B と授業者 C の求めるものが大きく異なっていたように、ルーブリックそのものは形成的にも総括的にも活用の方角性を変えることが可能である。

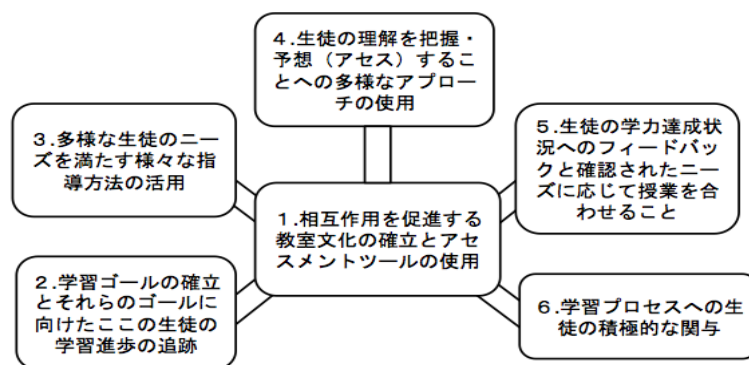


図 20 形成的アセスメントの 6 つの主要な要素

(出典)OECD 教育研究革新センター（2008）を基に著者が作成。

また、今回の調査においては教員によるアセスメントが主流であり、例えば図 20 の「6. 学習プロセスへの生徒の積極的な関与」のような、生徒の相互評価や生徒自身の自己評価などの「学習としての評価」が充実していないことが明らかになった。生徒の相互評価は生徒同士の関わりの中から新たな気づきを得ることを、生徒自身の自己評価はメタ認知能力を、それぞれ育むことを可能とする。このように、形成的アセスメントは、今後、活動を充実させる余地があるアセスメントである。しかし総括的アセスメントも指導要録や通知表の作成上、必須である。授業担当者は総括的アセスメントのリスクを意識した上で、ルーブリックの活用目的を設定していく必要があると考える。

4-2-2 複数の授業者でのルーブリックの活用

4-2-2-1 調査結果

①ウェブアンケート調査

複数教員でルーブリックを活用していると回答した授業者は、中学校理科担当者では7名、高等学校理科担当者では14名であった。複数教員で活用する理由と活用しない理由について表 18 のような回答が得られた。

表 18 複数教員でのルーブリックの活用

<活用する理由>

【研究目的】

学校の研究テーマとして、ルーブリックによる評価を進めようとしているため。
自校の研究発表のため。

【統一性】

評価に対する意識の統一、学校としての体制を外に示すため。
活用しない場合、評価に偏りがでるため。

【その他】

ルーブリック自体を作成する際に複数の教員が関与しているため。
複数のクラス混合で行う場合、共有する。

<活用しない理由>

【配属の問題】

1人で行なっている講座だから。 / 生物専門の教員が自分しかいないため。

【評価方法の違い】

評価材が教員によって異なるため、具体的な評価基準を共有するのが難しい。
評価方法が教員によって異なるため。 / 評価の基準が共有化されていない。
個々に成績を出しており、それぞれの評価方法について議論することがないため

【評価以外の考え方の違い】

進度が異なる。 / 話題を共有できていない。 / シェアする雰囲気でない。
マインドの違いによる。多様な教員がいてもよいと互いに思っているから。擦り合わせる内容が生徒にとって必ずしも最であるとはいえなさそうであるから。
成績には反映していないから。またルーブリックに対する考え方、パフォーマンス評価についての考え方が異なるから。

②インタビュー調査

複数教員での活用について、複数教員でルーブリックを共有する際の学習内容に関する語りと、教員間の関わりに関する語りを得られた。

ルーブリックで評価の対象とする学習内容について、中学校理科の担当者は図 21 の 2-1 から 2-3 のようにルーブリックを活用する授業内容の共通性について語っていた。この内容からは、中学校理科の担当者においては意見が食い違っている様子は伺えない。一方、ルーブリックを 3 名の高校教員で共有している授業者 F からは、2-4 のような複数教員で活用が可能となる条件が語られ、高校でルーブリックを単独活用する授業者 E は、共有しないことのメリットを 2-5 のように語った。

<学習内容について>

2-1 大体教科書に載っている実験をやるので、大体、同じになってしまうというか同じにしています。テストは一緒です。(授業者 A)

2-2 そんなに細かくしていないし、あの、真つ当なことが基準になっているかなとは思っている。(授業者 B)

2-3 実験自体は同じことをやっていて、大事にしていることもきっと一緒。だってもともと教科書の内容だからさ。教科書用の指導書のやつをベースにしているわけだから。(授業者 C)

2-4 長年同じメンバーでいるので、まあ、そういうところに意思疎通をした上で、テストは共通にしましょうってところの約束で、話し合いをする過程で、一応みんなで話し合いをする土壌はできています。(略) 僕らの学校では実験に関する共通認識は、プリントは別々であっても、まあ、ほぼ同じ認識であるから。だからなんだろう、少なくとも、多分、同じ実験をやるうとか、同じことを何かやろうと言うことができないと、全員の中で、同じようなルーブリックを書くことはできない可能性は高いですよ。(授業者 F)

2-5 あの、教員それぞれが、あの、自由にできるって。創意工夫をできるっていうのは、結構大きいんじゃないかと思っています。(授業者 E)

<教員間の関わりについて>

「協議の場」

2-6 一人でやるよりもあの、若手ばかりだったわけなので、研修として巻き込んでやっちゃおうって。で、ホントにそれで、(ベテランの教員の)感触とか、あの、実際に加わった人たちの意見としても、研修になっている、だから一つのメリット (B 授業者)

2-7 たたき台はそれぞれ作って来て、でも、これ、協調性は正直言ってあんまり入れたくなかったんですけど、まあでも、そういうことをおっしゃる方がいて、(略) そういうものも入れてみようとか、はい。(F 授業者)

「教科指導の指針」

2-8 ルーブリックは、ほんと、初任で一人の時、どう評価するか分からなかったから(既存のルーブリックに)頼った感じで(授業者 A)

2-9 1年目の時にこれがあつたおかげで、これですごく授業がやり易かつたんですよ。初めてやる授業で、生徒をどこまでこの実験で持っていければいいのか、最低限どこまでが到達度目標なのか、どうしてしまうと、そのちょっと意欲がない生徒が出てきてしまうのか、というのがすごく分かりやすかつた。ので、これは、むしろ、これからやられていく先生とかに、すごく助けになるなと僕は思う。(授業者 B)

2-10 F 先生の授業を見学させていただいて、初めてルーブリックを知りました。教員として何も知らない時に、これが入ってきたから、まあ、すっと入つたんだろうなと思います。(授業者 G)

「若手支援」

2-11 例えば講師で初めて授業を持つ若手は、こういうのがあつた方が、同じ評価でできるし、同じ観点でできるし、文句言われなくて済むんじゃないかな?(授業者 C)

2-12 やっぱり、若い先生と組んでもそうですけど、やっぱり年上の人間が説明はしてあげないと、勝手にやってよ、っていったらそりゃできないので、むしろ、新しい人だとよく分からないから、まあ、どうやったらいいのっていうのは知りたいところだと思うので。こういう風にしてこういう風にして、っていうのを、ちょっと時間かかっても説明すれば、できるようになる。(授業者 F)

図 21 複数教員でのルーブリック活用に関するインタビュー

ルーブリックの活用による教員間の関わりについて、2-6, 2-7 のような「協議の場」が新たに生じているという話が得られた。また、経験年数の差により、若手教員にとってルーブリックは2-8 や2-10 のように、「教科指導の指針」として役割を果たし、経験が長い教員の立場でも2-11, 2-12 のように、「若手支援」の資料として活用していると考えられた。

4-2-2-2 分析

2013年に実施されたOECD国際教員指導環境調査(TALIS)の結果、では、日本の中学校教員は組織的に学習評価に取り組むことが重要だと考えていること、自ら評価方法を開発して実践する教員が参加34カ国の中で最も低いことが報告されている(国立教育政策研究所, 2014)。この報告より、もともと組織的に学習評価を実施する意識が中学校の教員にはあることが分かる。さらに、今回のインタビュー調査では、中学校理科の担当者が教科書に記載された実験に対してルーブリックを活用していた。このことから中学校理科においては、内容に関してもある程度共通認識を図りやすく、複数教員でルーブリックを共有しやすいことが予想される。共通認識については授業者Fが2-4のような指摘をしたように、同じ実験のような授業での共通実施内容が既に定まっている場合に、複数教員で共通のルーブリックの活用が可能なのである。表18の複数教員で活用しない理由では、授業者Aのように単独で授業を担当するという配属の都合も回答された。その配属の都合よりも、活用しない理由として多く挙げられた内容は、「マインドの違い」に示されるような教員それぞれが授業で実施する内容や評価する項目に差があることを示すものであり、ルーブリックの活用以前に要因があった。

この差は、ルーブリックを複数教員で作成し、キャリブレーションして信頼性を高めようとした時はデメリットと成り得る。しかし、ウェブアンケートで得られた「多様な教員がいてもよいと互いに思っているから。擦り合わせる内容が生徒にとって必ずしも最善であるとはいえないさそうであるから」という回答や、授業者Eが2-5のように「創意工夫」といったメリットを話していることから、内容や項目の差は授業実施においては肯定的に

受け止めることもできる。

また、ルーブリックはその作業工程で「協議の場」を生じ、インフォーマルな研修の場を作るきっかけと成り得ることが分かった。さらに、他者が作成したルーブリックが「教科指導の指針」や「若手支援」の役割を果たし、OJT(On-the-Job Training)のきっかけとして働くことも期待できる。スティーブンス・レビ（2014）がルーブリック活用のメリットとして、「他者とのコミュニケーション活性化」を挙げている。「他者」とはティーチング・アシスト等、学習者に関わる全ての教員のことであるが、今回調査した I 中学校や K 高等学校においても、ルーブリックを介してコミュニケーションが実際に促されていた。

以上のことから、高等学校において複数教員で共通のルーブリックを用いて評価を行い、その信頼性を担保しようとするのは難しいと考える。しかし、それぞれの授業者がそれぞれのルーブリックを授業にて活用していても、ルーブリックを複数教員で検討し同意を得る場を設けることで、主観的でありながら恣意的・独断的ではないルーブリックの作成を可能とし、その信頼性を担保することは可能である。たとえ「評定・成績付け」「説明責任」といった総括的アセスメントが主目的であっても、検討し同意を得る場が設けられていけば、授業内容を統一し同じルーブリックを共有して授業で活用することは必須ではないからである。また、無理に共通のルーブリックを作成し評価を画一化するよりも、授業者それぞれの創意工夫や多様性を活かした方が、指導に応じた評価が実施されやすいのではないかと考える。単独配置の教員であっても、他学年や他校の担当者との検討は可能である。さらに、作成されたルーブリックそのものにコミュニケーションを促す要素があるのならば、たとえそのルーブリックが担当授業で使用しない表だったとしても、複数教員での検討を促す効果が見込まれるからである。その上、OJT の促進や授業設計のブラッシュアップも期待できる。この方法であれば、単独配置の学校や授業設計の自由度が高い高等学校においても、ルーブリックの複数教員による活用は実施可能であると考えられる。

4-2-3 ルーブリックの活用による負担感・多忙感

4-2-3-1 調査結果

①ウェブアンケート調査

「思考力・判断力・表現力」を評価するために実施している評価方法とその頻度を図 22 に示した。実施が多い順に「研究レポート・実験レポート」と「客観テストや課題」が回答され、実施が少ない順に「エッセイ・小論文・論説文」と「ロールプレイング・演劇・ダンスによる表現」が回答された。

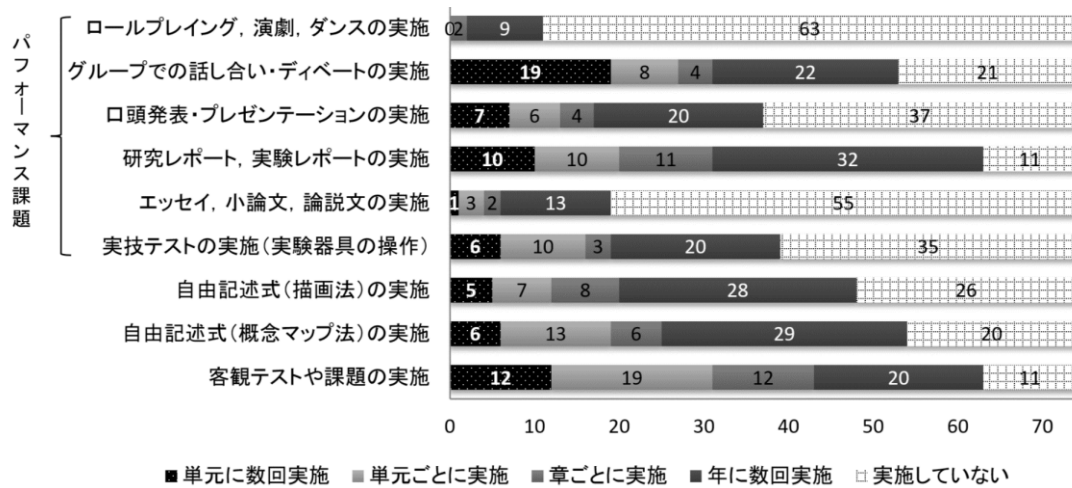


図 22 実施されている評価方法とその頻度

②インタビュー調査

インタビュー結果でも、評価に要する時間に対して、図 23 の 3-1 から 3-3 のような時間不足や負担感について語られた。また、ルーブリックを使って評価している実験について、B 授業者は 3-4 のように教科書の記述内容について語っていた。

3-1 たとえば実験やって、考察して書くじゃないですか。でBですみたいに返して、それを直すタイミングっていうのが、あんまりまず物理的に時間が取れない。(授業者A)

3-2 いや、ほんとすごい量になっちゃって、2年目、1年目は副担任だったのでまだ、余裕があったんですが、2年目の時とかは、4クラス持っていて、16クラス分ぐらい、4授業分ぐらいちょっと溜まっちゃったことがあったんですね。林間とかがあって、その時は実験シートの採点のプレッシャーで、すごくまいったことがあって、絶対、溜めちゃだめだって(授業者B)

3-3 それだけそこにかかる時間が増える訳ですよ。つまり評価する方というか、確認する方に。そうすると、同時に開発しなくては行けないから、そのほんとは開発にもう少し時間かけた方がいいのかなって思いながらも、評価に結構時間が取られちゃって、で、開発がイマイチ完結しない段階で、実施してしまう。(授業者E)

3-4 新しい教科書が、実験の次に結果のまとめと、考えられることという項目があって、考察がズバリ書かれている教科書になったので、生徒とからしたら、それを見てしまうと、書き方、どうい結果から何が言える実験なのか、すごくわかりやすい教科書になっているので、見せちゃうとみんな写すか、語尾を変えれば書けるので(授業者B)

図 23 ルーブリック活用による負担感・多忙間に関するインタビュー

4-2-3-2 分析

スティーブンス・レビ(2014)は、ルーブリック活用のメリットとして「タイミングの良いフィードバック」を挙げている。しかし、今回の調査では、タイミングよくフィードバックするために教員が時間に追われるというデメリットにも成り得る現状が浮かび上がった。図 22 の結果はルーブリックを活用しない評価も含まれているが、「単元に数回」「単元ごと」に実施するとの回答がどの項目も多いことから、毎週、複数クラス分の評価を実施していることが推測される。しかも、アンケート結果は「思考力・判断力・表現力」の評価のみの回答であるため、実際にはさらに多くの時間を評価に費やしていることが示唆された。インタビューでは4名から評価にかかる時間を負担に感じていることを語られた。しかし、その評価の実施頻度や内容に対して疑う語りは得られず、いかに評価作業を効率化するかという点に重きが置かれていた。4名中3名は中学校理科の授業者であり、教科書で示された実験を忠実に実施し、主としてルーブリックはその実験に対して活用していることが分かった。授業者が抱く負担感・多忙感の問題に関して田代(2011)は、「詳細なルーブリックの検討を行えば行うほど、忙しい現場の実践には向かなくなる」と述べた上で、ルーブリックの基準を簡便化して設定することを推奨している。ところが、簡便

化されたルーブリックの活用は対症療法的な解決策であり、時間がない・負担があるという問題の症状の根本的な解決策にはならず、問題がすり替わっている。さらにこの対症療法的な解決策によって問題が緩和されていることで慣れが生じ、評価の頻度を見直す等、計画を立てるといふ根本的な解決策の検討を妨げているのではないだろうか（図 24）。

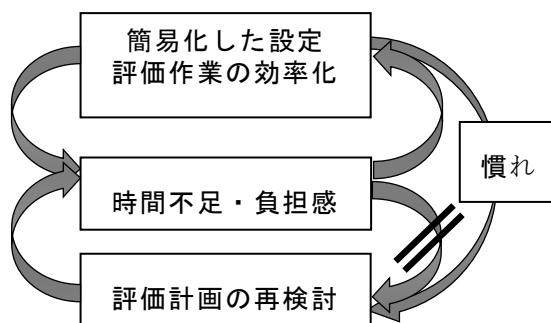


図 24 評価に関する問題のすり替わり

それでは、評価計画をどのような視点で再検討すれば良いのだろうか。まずは、ルーブリックというツールが適切であるかという視点である。ルーブリックは質的で段階的な度合いを示すことが可能な点がその特徴である。正誤問題やできる・できないが明確に区別できる内容にも活用できないことはないが、その場合はルーブリックではなくチェックリストの方が、効率良く作成・実施できるであろう。次に評価の目的を見直すという視点である。形成的アセスメントを目的としているのならば、自己評価・相互評価の実施も考えられ、毎時間の回収は必須にならないかも知れない。ルーブリックは単なるツールであり、ルーブリックを使うことを目的にしてしまったら本末転倒である。

そして最も重要だと感じることは、評価する内容を吟味するという視点である。例えば、中学校の教科書の記述に関し授業者 B が図 23 の 3-4 のような指摘をしたように、教科書はページをめくると求められている結果が掲載されている構成である。この既に記載されている結果の記述をルーブリックによって評価することが、果たしてどれだけの意味を持っているのだろうか。評価の対象となる学習内容を再検討することで、不要に感じる評価が出てくる可能性も十分にある。ウィギンズ・マクタイ（2012）が「網羅」という伝統的な

授業設計の過ちに陥ることなく、優先される学習を注意深く厳選することを求めている。また鈴木（2011）が、丁寧な添削による生徒へのフィードバックが必ずしも学習意欲を向上させるわけではないことを示唆しているように、効果の見込みが少ない評価を繰り返すことは、熱心であればあるほど、授業者の負担感・多忙感を助長させているのではないか。高等学校理科での実験内容については、本研究におけるインタビュー調査では明らかにならなかったが、ルーブリックの活用は研究レポート・実験レポートに多いことから、もしかしたら同じような傾向にあるのかも知れない。負担感・多忙感を解消するためには、何を学習し評価する必要があるのか厳選し、1時間分の授業計画でなく単元以上の長いスパンで評価を含めた授業計画を立てることが求められているのではないか。指導と評価の一体化を図るためには、指導が「網羅」から脱却するだけでなく、評価も同じように「網羅」からの脱却が必要なのだと考える。

4-3 結論と示唆

「遺伝子とその働き」の理解には「知識・技能」の習得だけでなく、「思考力・判断力・表現力」も必要であるため多面的・多角的な評価が求められ、ルーブリックの活用効果が期待されている。しかし、ルーブリックを活用するためには、いくつかの問題を乗り越えないと効果的な活用は望めないと考え、中学校・高等学校理科におけるルーブリック活用の実態を把握し、効果的な活用方法を模索するためにウェブアンケート調査とインタビュー調査を実施した。調査の結果、ルーブリックを活用している授業者にとって、ルーブリック作成のためのキャリブレーションやモデレーションは困難を感じる作業であり、評価するための時間が不足していることが明らかになった。調査を通して、ルーブリックのアセスメント機能を授業設計に活かすためには、目的の明確化、形態の検討、活動の価値の確認、他者の視点の4つが必要な要素であることが示唆された。

5章 結論

これからの時代を生きていくために必要な遺伝に関するリテラシーの習得にはセントラルドグマの理解は不可欠であるが、授業者が「遺伝子とその働き」の理解を目的とした授業を設計する時に困難に直面することが予想される。教授・学習プロセスが「目標」「内容」「方法」「評価」という構成要素で成り立っていると考えた時、これまで解決していない三つの課題があった。

本研究における第一の課題は、授業の「目標」設定で何を重点的に扱うかを明確にすることである。本研究により、現行の高等学校学習指導要領の下で生物を学ぶ高校生のうち、「遺伝子とその働き」の理解に不可欠な「複製」と「転写」における DNA と RNA の役割を区別していない生徒が少なからず存在することが明らかとなった。では、この問題を解決するためにはどのような点に注意すればよいだろうか。

まず、混同の原因の一つであると考えられた岡崎フラグメントに関して、X校では授業で扱わなかったにも拘らず生徒の回答中に言及があったのに対して、岡崎フラグメントについて記載されている資料集を活用しない授業を展開していたY校では、F類の回答数が少ない結果であった。このことから、岡崎フラグメントのメカニズムは高校生にとって印象深く記憶に残りやすく、その結果として、中途半端に触れてしまうと誤ったままの認識を保持してしまう可能性があることが明らかになった。また、X校とZ校は「複製」「転写」「翻訳」の順に、Y校は「転写」「翻訳」「複製」の順に授業を展開していたことから、「転写」のメカニズムを先に学ぶことで、DNAとRNAの区別が促されていた可能性も考えられる。「複製」はDNA二本鎖の相補的な結合が解離し、それぞれを鋳型として新たなDNAが結合することで、2本の二本鎖DNA鎖に情報が分配される過程であることを生徒が明確に認識した上で学習しなければ、生徒がラギング鎖のメカニズムを説明することは難しいと考える。学習する生徒の実態を把握し、詳細なメカニズムの理解を求めることが難しい生徒であれば岡崎フラグメントに触れる機会をできる限り無くし、メカニズムの理解を見込むことができる生徒であればDNAとRNAが混同されやすいことを提示し区別

を促すようなコラム等を提示するといったように、生徒の状況によって内容を精査する必要があると考える。

また、記号や模式図等の表示方法にも十分に注意が必要である。分子生物学分野は実物を手にとったり目で観察したりできないものを対象とすることがほとんどであり、多くの場面で記号や模式図が用いられる。単なる DNA と RNA を示す記号の区別の問題だけでなく、記号や模式図が意味するものを生徒がどのように捉えているかは、これまであまり議論されて来なかったが故に、より細かく配慮すべきである。本研究により、DNA と RNA の役割が混同されている生徒の存在は明らかで、たとえば「転写」に関して誤った図を選んだ理由として「RNA が DNA へ向かっているから」（表 13）などのように、矢印の意味することを正確に読み取れなかった生徒がいる可能性が、Wright ら（2014）と同様に明らかになっている。

こうした混同を防ぐためには、「複製」や「転写」それぞれの現象がいつ起こるのか、何のために起こるのか、その必要性を強調した授業設計を行うことが重要であろう。また、DNA の構造の単元で学習する相補的結合に関する知識が、生徒の中で「複製」「転写」「翻訳」の理解を助ける方向へと転化されるように工夫することも必要であろう。「複製」や「転写」の目的が、「遺伝情報の分配」や「タンパク質合成」にあると、生徒が単に文字列としては認識していても、塩基の相補性とそれによる相補的結合に関する知識がなければ具体的にどのように情報が伝えられているか、生徒はイメージできないであろう。改めて言うまでもないが、塩基の相補性は遺伝情報を伝達するための要である。授業者にとっては当たり前の認識が、学習者である生徒には活用しきれていない可能性がある。相補的結合に関する知識の転化を促すためには、DNA の塩基配列の違いが、RNA の違いおよび合成されるタンパク質の違いとして実感できる、新たな教材の開発が必要ではないかと考える。

本研究における第二の課題は、授業者が直面すると考えられる、授業で扱う「内容」や「方法」の選択である。授業者にとっては当たり前の認識が、学習者である生徒には活用しきれていない可能性があるため、まずは学習者の実態を把握することが必要である。そ

して設備等の学習環境を最大限に生かしつつ、DNA やタンパク質といった分子の動きを「可視化」することが重要である。立体模型を活用することで分子レベルの現象を可視化し、塩基の相補性を正しく認識するためには、イラストのような既に対となっている塩基の図を5分間、見るだけでも有効であることが示唆され（図15）、また、イラストやレゴ&磁石のような、塩基の相補性を確実に示すことのできる教材が有効であり、ペーパークラフトA、Bのような塩基の相補性が確実に再現できない（誤った塩基対をつくる可能性が高い）模型はふさわしくないと考えられる。さらに、塩基の相補性とDNAの複製の関連については、イラストやペーパークラフトB、レゴ&磁石のようなDNA教材の提示により、関連付けが促されている可能性はあると考えられるが、ただDNA教材を提示するだけでなく、例えば、DNA教材を使って複製を説明する手順の提示のような、別の学習プログラムも必要ではないかと考える。検証授業は、DNA教材使用による効果を測定するために、生徒同士の話し合いや授業担当者による説明等、授業の参加者による相互作用を起こらない環境を設定した。実際の授業では、模型を通して対話する時間や、担当者と生徒、生徒間で起こるアセスメントも授業設計に組み込むことが可能なことから、DNA教材の活用の効果はさらに期待できると考えている。

本研究における第三の課題は、授業者が直面すると考えられる、授業の「評価」設定である。本研究の結果、「遺伝子とその働き」の理解を目指した授業で実施する「評価」で活用する、信頼性のあるルーブリックを作成し、継続してルーブリックのアセスメント機能を授業設計に活かすためには、次の4点が必要な要素であると考えられた。

まず、第一に、ルーブリックの活用の目的を調査した結果から、何故、その評価を行うのか、総括的アセスメントとして実施するのか、形成的アセスメントとして実施するのか、目的を明確にすること、第二に、どのような形態でその評価を行うのかを検討することが考えられる。次に、ルーブリック活用による負担感・多忙感を調査した結果より、第三としてその学習活動を評価する価値があるのか否かを十分に吟味してから授業で取り入れることが挙げられる。この過程は、ルーブリックを継続して活用するツールとして位置付けるためには欠かすことができない。第一、第二の要素が中学校理科・高等学校理科双方

において、明らかになった要素であるのに対し、この第三の要素は中学校理科担当者への調査で浮かび上がったものである。

最後に第四として、作成したルーブリックが対象の生徒にとって適切か、また第一から第三の要素が適切に設定されているか、他者の視点から確認することが考えられる。自分が持つ前提認識に一人で気づくことは難しいため、他者の力を借りることが重要である。この他者の視点から確認する過程は、複数教員によるルーブリック活用の実態を調査した結果より、中学校理科担当者間では無理なく実施が可能であり、高等学校理科担当者間でも実施可能であると考えられる。また、他者の視点を得るための対話を通して、ルーブリックの信頼性を担保するとともに、OJTの促進や授業設計のブラッシュアップも期待できる。

これら4つの要素は、教員対象の調査から教員の視点で浮かび上がらせたものであり、この要素を考慮した授業設計を行った場合に学習者である生徒にどのような影響を及ぼすかは、本研究では明らかにできない。学習者である生徒の視点で、ルーブリックのアセスメント機能を活かすための検討が今後の課題である。

また、本研究を通して、4つの視点は、ルーブリックの活用に限らず他の評価のツールを活用する際にも役立つのではないかと考えられた。なぜなら、これまで提案されてきた生徒の学習を促すツールは、研究のために整えられた環境での研究成果であることが多いからである。授業者が日常の教育活動に取り入れるためには、それらの先行研究が切り取られた日常であることを意識し、そのツールを1年間担当する自らの授業実践の中でどう位置づけるのか明確にする必要がある。怠れば図24に示すような時間不足や負担感のような問題を新たに生じる可能性があるからである。また、新たにツールを提案する場合には、何故そのツールが必要なのか、どのようにそのツールを活用するのか、具体的に何をするのかを、1年間の教科指導という視座を持って提示することが望ましいのではないだろうか。その視座がなければ、授業者の時間不足や負担感を増長させるツールとなる恐れがあることを忘れてはならない。

第6章 付論 「遺伝子とその働き」の理解を目的とした授業案

これまでの結果を踏まえ、「遺伝子とその働き」の理解を目指して次のような授業を例として提案する。授業案の(1)では、第2章で浮かび上がったDNAの特徴の理解についての課題の解決を目指し、第3章より示唆された分子レベルの現象を可視化する方法で塩基の相補性に焦点を当てた、授業案の(2)では、第4章「転写」と「翻訳」における遺伝情報の流れについて、第5章で示唆された学習課題・学習方法を考慮して計画した。

1. 目標

(1) 遺伝情報を担う物質としてのDNAの特徴を見いだして理解するとともに、塩基の相補性を理解する。

(2) DNAの塩基配列をもとにアミノ酸配列が決まり、タンパク質が合成されること(「転写」「翻訳」)を理解する。

2. 内容

(1) DNAの構造解明までの研究史、DNAを構成するヌクレオチドの構造と塩基の相補性を扱う。

(2) 米の品種であるミルキークイーンとコシヒカリの比較を通して、遺伝子の違いが形質の違いに影響することを題材として扱う。

3. 方法

(1) DNAモデルを用いた学習活動

①DNAモデルの準備

3章で比較したレゴ&磁石モデルをベースに、厚紙をジグソーパズルのピースのようにカットすることにより(図25)、塩基の相補性を再現した(図26)。大きなブロックは糖を、小さなブロックはリン酸を、厚紙は塩基を示している。配布するA(アデニ

ン) -T (チミン) と G (グアニン) -C (シトシン) のパーツの数をそろえ、グループにより A-T と G-C の数の割合を変えることにより、生徒がシャルガフの法則に気づくことを期待した。また、厚紙に数個のレゴブロックを接着した土台の上に、DNA のパーツを組み立てると、2重らせん構造を作ることができる (図 27)。

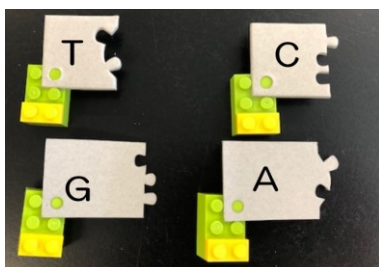


図 25 4 種類の DNA 模型のパーツ

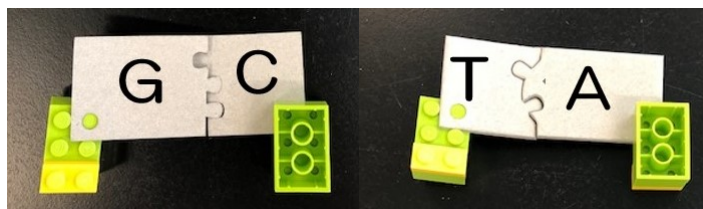


図 26 相補的に結合した様子

※配布されたパーツに塩基名は記入されていない。



図 27 2重らせん構造に組み立てた様子

②授業の流れ

- 1) ワークシート「DNA の構造解明までの流れ」(資料 9) を配付
- 2) 教科書を読み、DNA の研究史を確認する。
- 3) グループごとに DNA の模型を 24 パーツ受け取る。この時、グループによって A-T と G-C のパーツの数が異なる。
- 4) ワークシートの指示を読みながら各グループで DNA の二重らせん構造の組み立てを目指す。この時、気づきを記入し、関連する内容を生物基礎の教科書(吉里ら, 2017) や資料で調べる。

(2) 米の品種の比較を題材としたパフォーマンス課題

①提供する情報の準備

1) 米の形質の違いを体感するための試料や試薬.

- ・炊いたコシヒカリ ・炊いたミルキークイーン
- ・コシヒカリ (精米) ・ミルキークイーン (精米) ・ヨウ素液

2) 米の遺伝子の違いと形質の違いを考えるための資料

- ・アミロースとアミロペクチンの構造に関する資料 (長野ら, 2009)
- ・米のアミロース含有量に関する資料(日本植物生理学会)
- ・ワクシー遺伝子に関する説明資料 (長野, 1999)
- ・ミルキークイーンの紹介資料 (農研機構)
- ・コシヒカリとミルキークイーンのワクシー遺伝子の違い (資料 9)

②授業の流れ

1) 課題とループリックを提示する.

【課題】

ミルキークイーンはコシヒカリを改良した品種であり、1995 年に水稻農林 332 号として登録されたうるち米です。コシヒカリに比べ粘り気が強く、炊飯直後の触感を長く保持することが可能であり、おにぎり・弁当および冷蔵米飯の原料米としての適性が高いことが知られています。

この2種類の米の食感はなぜ違うのかを題材にして、3 節「遺伝情報とタンパク質合成」のまとめとして教科書 71 ページの後に掲載するコラムを執筆してください。

【ループリック】	充分 ←————→ 不十分
遺伝情報の流れについて説明されている.	5 ・ 4 ・ 3 ・ 2 ・ 1
DNA の塩基配列の違いと合成されるタンパク質の違いについて関連づけて説明されている.	5 ・ 4 ・ 3 ・ 2 ・ 1
合成されたタンパク質と生物の形質について関連づけて説明されている.	5 ・ 4 ・ 3 ・ 2 ・ 1
コラムとして適切に説明されている.	5 ・ 4 ・ 3 ・ 2 ・ 1

2) 準備された試料や資料から情報を収集し, 指定の用紙(資料 10)にコラムを作成する.

4. 評価

(1) 選択回答式(客観式テスト)の問題

例) 資料 7-1 のような選択問題.

(2) パフォーマンス評価

例) ループリックに基づいた生徒同士の相互評価及び授業担当者による評価.

コラム作成後, 自分自身のコラムをループリック使って評価する.

その後, コラムを交換し, 他者のコラムを, ループリックを使って評価する.

他者が評価したループリックを参考にコラムを修正, 授業担当者に提出する.

7章 引用文献

阿部学・伊藤晃一(2017). 授業づくりをまなびほぐす ここからはじまるクリエイティブ授業論. 静岡学術出版, 11-39.

Altiparmak, M. and Nakiboglu Tezer, M. (2009). Hands on group work paper model for teaching DNA structure, central dogma and recombinant DNA. *US-China Education Review* 6, 19-23.

浅島誠ほか24名(2016). 改訂生物基礎. 東京書籍. p.73.

浅島誠ほか20名(2012). 生物. 東京書籍. p.408.

Balgopal, M. M. (2010). Trail mix genetics: protein synthesis in two acts. *Science Activities*. 47, 22-28.

デシ, E. L.・フラスト, R.著, 桜井茂男訳(1999). 人を伸ばすカー内発と自律のすすめ. 新曜社, 59-76.

フランシス・クリック著, 中村桂子訳(1989). 熱き探究の日々—DNA二重らせん発見者の記録. TBSブリタニカ. 252-254.

藤岡信勝(1989). 授業づくりの発想. 日本書籍.

福田令・福嶋義光・高田史男(2018). 「遺伝子検査ビジネス」に関する実態調査. 北里医学, 48(1), 19-26.

Google Books NgramViewer. <https://books.google.com/ngrams> (2019.11.22 閲覧)

Reece, J. B., Urry, L.A., Cain, M.L. Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., Jackson, R. V. 著, 池内昌彦・伊藤元己・箸本春樹監訳 (2013). キャンベル生物学 原著 9 版. 丸善出版. p.395.

池内達郎 (2012). 「遺伝的多様性」と「ヒトの遺伝」に理解を. 遺伝, 66(3), 275-282.

池内達郎(2017). 日本の中学校・高等学校における「遺伝教育」—現状と課題. 遺伝, 69(3), 166-170.

倉林真理緒・武村政春(2014). 「複製」と「転写」の誤理解もしくは混同に関する考察～旧課程で学んだ大学生に対する質問紙調査の結果から～. 生物教育 54 (3) , 40-47.

片山豪・林秀則・高井和幸・遠藤弥重太(2012). セントラルドグマを体感する高等学校生物実験の開発と実践 —コムギ胚芽無細胞タンパク質合成系を用いて転写, 翻訳を可視化する—. 生物教育 52(4), 165-178.

鎌谷直之(2012). 近未来の「個人ゲノム時代」の到来を見据えた遺伝学教育. 遺伝, 66(3), 283-288.

国立教育政策研究所(2014). 教員環境の国際比較-OECD 国際教員指導環境調査(TALIS) 2013 年調査結果報告書. 明石書店, p.171.

Lawson, A. E., Alkhoury, S., Benford, R., Clark, B. R., Falconer, K. A. (2000) . What kinds of scientific concepts exist? Concept construction and intellectual development in college biology. *Journal of Research in Science Teaching*. 37, 996-1018.

松岡亮二(2019). 教育格差—階層・地域・学歴. 筑摩書房, 199-230.

松下佳代・石井英真(2016). アクティブラーニングの評価. 東信堂. 3-25.

Miller, J.D., Pardo, R. and Niwa, F. (1997). Public Perceptions of Science and Technology, *BBV Foundation Press*.

https://www.fbbva.es/wp-content/uploads/2018/06/1997_li_000049_mil_pub.pdf(2019.11.1 閲覧).

本川達雄・谷本英一 ほか 16 名(2014). 生物基礎. 啓林館. p.75.

文部科学省 (2008) . 中学校学習指導要領解説 理科編, 東山書房.

文部科学省 (2009) . 高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編, 大日本図書.

文部科学省(2010). 児童生徒の学習評価の在り方について(報告).

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/gaiyou/attach/1292216.htm

(2019.11.10 閲覧).

文部科学省 (2015). 論点整理.

http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2015/12/11/13611

10.pdf(2019.11.10 閲覧).

文部科学省(2016).学習評価に関する資料.

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/061/siryo/_icsFiles/afieldfile/2016/02/01

/1366444_6_2.pdf (2019.11.10 閲覧).

文部科学省 (2018a) . 高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編, 東京書籍.

文部科学省(2018b). 高等学校学習指導要領総則解説.

http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2019/03/28/1407073_01_1_1.pdf(2019.11.9 閲覧)

森本康彦(2008). e ポートフォリオの理論と実際. 教育システム情報学会誌, 25(2), 245-263.

森本康彦・永田智子・小川賀代・山川修編著(2017). 教育工学選書Ⅱ第2巻 教育分野における e ポートフォリオ. ミネルヴァ書房, 1-25.

Mulligan, E. A. (2017). Building ZOOB Models to Help Students Learn about Nucleic Acid Structure and Function. *The American Biology Teacher* 79, 294-300.

長野敬・牛木辰男ほか8名(2009). 増補四訂版サイエンスビューー生物総合資料. 実教出版. p.44.

長野宏則(1999). 遺伝子：最近の話題から. 北海道大学農学部技術部研究・技術報告. 北海道大学農学部技術(6), 12-17.

西岡加名恵・石井英真・田中耕治(2015). 新しい教育評価入門一人を育てる評価のために一. 有斐閣. 3-7, 59-60, 150.

西岡加名恵・田中耕治(2009). 「活用する力」を育てる授業と評価 中学校-パフォーマンス課題とルーブリックの提案. 学事出版. p.9.

日本動物学会・日本植物学会(1998). 生物教育用語集. 東京大学出版. p.7, p.163.

日本経済団体連合会(2019). Society5.0 ―ともに創造する未来―.

https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/kenkyu_innovation/pdf/008_03_00.pdf (2019.11.9 閲覧).

日本システム開発研究所(2009). 学習指導と学習評価に対する意識調査報告書.

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/siryo/_icsFiles/afieldfile/2010/02/19/1289879_1.pdf(2019.11.10 閲覧).

日本植物生理学会, 植物 Q&A お米のアミロース含量,

https://jspp.org/hiroba/q_and_a/detail.html?id=3084&key=%25E3%2581%2586%25E3%2582%258B%25E3%2581%25A1%25E7%25B1%25B3&target=full (2020.1.17 閲覧).

農研機構, 図説: 東北の稲作と冷害 品種解説:「ミルキークイーン」.

<http://www.reigai.affrc.go.jp/zusetu/milkyqueen.pdf> (2020.1.17 閲覧).

奥村仁一(2018). 高等学校生物における科学技術の発展を踏まえた実験の在り方についての実践的研究. 理科教育学研究 59 (1) , 11-25.

OECD 教育研究革新センター編著, 有本昌弘ほか 3 名訳(2008) . 形成的アセスメントと学力 人格形成のための対話型学習をめざして. 明石書店. p.55.

沖裕貴(2014) . 大学におけるルーブリック評価導入の実際 ―公平で客観的かつ厳格な成績評価を目指して―, 立命館高等教育研究 14, 71-90.

岡村定矩・藤嶋昭 ほか 49 名(2017). 新編 新しい科学 3 . 東京書籍. P88.

Olimpo, J. T., Quijas, D. A., Quintana, A. M. (2017). A focus on polarity: Investigating the role of orientation cues in mediating student performance on mRNA synthesis tasks in an introductory cell and molecular biology course. *The International Biochemistry and Molecular Biology Education*. 45, 501-508.

大藤道衛・丹生谷博・佐々義子(2017). ゲノムリテラシー教育教材の開発と一般市民向けワークショップパッケージ「私たちの DNA」のデザインと実践. 遺伝, 71(3), 269-278.

力久茂昭(2015). 科学的に探究する力を高める授業づくりについて : 中学校第 1 学年「光の性質」の授業分析を通して. 佐賀大学教育実践研究 32, 301-309.

Rode, G. A. (1995) . Teaching protein synthesis using a simulation. *The American Biology Teacher* 57(1), 50-52.

Sato, H., Suzuki, Y., Sakai, M., Imbe, T. (2002) . Molecular Characterization of Wx-mq, a Novel Mutant Gene for Low-amylose Content in Endosperm of Rice (*Oryza sativa* L.). *Breeding Science*, 52(2), 131-135.

センゲ,P.M., キャンブロン=マッケイブ,N., ルカス,T., スミス,B., ダットン,J., クライナー,A.著, リヒテルズ直子訳 (2014) . 学習する学校. 英治出版, 332-348.

嶋田正和 ほか 14 名(2016).改訂版新編生物基礎. 数研出版. p.56.

清水欽也(2008). 日本人の科学的リテラシー分析. 科学, 78(3), 305-306.

神崎秀嗣・松永充博(2015). 医療専門職は「遺伝学教育」から「ヒト遺伝学教育」へ. 遺伝, 69(3), 223-229.

神崎秀嗣 (2015). 看護師への「ヒト遺伝学教育」の必要性 —生命倫理を熟知し遺伝看護サービスの向上へ—. 遺伝, 69(3), 218-222.

スティーブンス, D.D.・レビ, A.J., 佐藤浩章監修(2014). 大学教員のためのルーブリック評価入門, 玉川大学出版部. p.22.

鈴木雅之(2011). ルーブリックの提示による評価基準・評価目的の教示が学習者に及ぼす影響:—テスト観・動機づけ・学習方略に着目して—. 教育心理学研究, (59)2, 131-143.

高山真記子・大貫麻美 (2013) . 単元「遺伝子とその働き」における言語活動の充実を図った協同的な振り返り活動 —コンセプトマップ法の導入を通して—. 日本理科教育学会全国大会要項 63, 393.

Takemura M, Kurabayashi M. (2014). Using analogy role-play activity in an undergraduate biology classroom to show central dogma revision. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 42 (4), 351-356.

田代直幸(2011). 理科におけるパフォーマンス課題とは. 理科の教育 60, 591-594.

玉井真理子(2008). 遺伝相談外来での遺伝リテラシー. 科学, 78(3), 333-334.

徳永聖一・坂本憲明(2014). 生物領域の学習に関する一考察 ―高等学校「生物基礎」に関する教員向けアンケート結果より―. 福岡教育大学紀要, 63(3), 127-133.

タイラー, R. W., 金子孫市監訳 (1978). 現代カリキュラム研究の基礎, 日本教育経営協会. p.137.

内山智枝子・山野井貴浩・伊藤稔 (2013) 胚発生の単元における 3D 教材を用いた授業実践 : 生徒の空間能力の違いを考慮した学習効果の検討 生物教育 54(1), 2-15.

宇都木伸(2014). 遺伝子診断の受診にかかる意思決定に際して. こころの科学 遺伝子診断の未来と畏, 88-92.

Watson, J. D., Hopkins, N. H., Roberts, J. W., Steitz, J. A., Weiner, A. M. 著 松原謙一, 中村桂子, 三浦謹一郎 監修 (1995). ワトソン 遺伝子の分子生物学 第 4 版 [上]. トップラン. p.81

ウェブスター―ストラットン著, 佐藤正二, 佐藤容子監訳 (2013). 認知行動療法を活用した子どもの教室マネジメント. 金剛出版.

White, P. J. T. (2016) Molecular Sculpting: Active Learning of Subcellular Systems & Processes. *The American Biology Teacher* 78, 482-491.

ウィギンズ, G.・マクタイ, J. 著, 西岡加名恵訳(2012). 理解をもたらすカリキュラム設計―「逆向き設計」の理論と方法. 日本標準, 1-14.

Wright, L. K., Fisk, J. N., Newman, D. L. (2014) . DNA → RNA: What Do Students Think the

Arrow Means? *CBE Life Sciences Education*, 13 (2) , 338–348.

山内泰子(2014). 遺伝学的検査の結果をどう解釈し, 伝達するか. *こころの科学 遺伝子診断の未来と罨*, 48-52.

山田嘉徳・森朋子・毛利美穂・岩崎千晶・田中俊也 (2015), 学びを活用するルーブリック評価に関する方法論の検討. *関西大学高等教育研究* 6, 21-30.

吉里勝利 ほか 20 名(2017). *改訂高等学校生物基礎*. 第一学習社.

<資料 1 > ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針

平成 13 年 3 月 29 日
(平成 16 年 12 月 28 日全部改正)
(平成 17 年 6 月 29 日一部改正)
(平成 20 年 12 月 1 日一部改正)
(平成 25 年 2 月 8 日全部改正)
文部科学省
厚生労働省
経済産業省

第 1 基本的考え方

1 基本方針

本指針は、遺伝情報が得られる等のヒトゲノム・遺伝子解析の特色を踏まえ、全てのヒトゲノム・遺伝子解析研究に適用され、研究現場で遵守されるべき倫理指針として策定されたものである。本指針は、人間の尊厳及び人権が尊重され、社会の理解と協力を得て、研究の適正な推進が図られることを目的とし、次に掲げる事項を基本方針としている。

- (1) 人間の尊厳の尊重
- (2) 事前の十分な説明と自由意思による同意（インフォームド・コンセント）
- (3) 個人情報の保護の徹底
- (4) 人類の知的基盤、健康及び福祉に貢献する社会的に有益な研究の実施
- (5) 個人の人権の保障の科学的又は社会的利益に対する優先
- (6) 本指針に基づく研究計画の作成及び遵守並びに独立の立場に立った倫理審査委員会による事前の審査及び承認による研究の適正の確保
- (7) 研究の実施状況の第三者による実地調査及び研究結果の公表を通じた研究の透明性の確保
- (8) ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する啓発活動等による国民及び社会の理解の増進並びに研究内容を踏まえて行う国民との対話

出典：

<https://www.mhlw.go.jp/general/seido/kousei/i-kenkyu/genome/0504sisin.html>(2019.11.14 閲覧)

<資料 2> ヒトの遺伝病と母体保護法

ヒトの遺伝病

遺伝病とは、血友病のように、親から子に病気の原因が伝わっていく病気であり、遺伝病と遺伝子病は厳密には異なる。遺伝子病は遺伝子の変異が原因となって起こる病気であり、遺伝子病の中には突然変異が生じたことによる病気も含まれているからである。病気によって比率は異なるが、神経線維腫症では 50%が突然変異によるものと言われている。

一つの遺伝子の変異が原因となって起こる病気として、ハンチントン病、フェニルケトン尿症、鎌状赤血球症、デュシェンヌ型筋ジストロフィーが、単一遺伝子病の例として挙げられる。

母体保護法

1996年に改正された法律で、第一章総則の第一条には「この法律は、不妊手術及び人工妊娠中絶に関する事項を定めること等により、母性の生命健康を保護することを目的とする」記されている。この法律は、1940年に公布された「国民優生法」を母体とした「優生保護法（1948）」を改正したものである。改正前は、第一章に「この法律は、優生上の見地から不良な子孫の出生を防止するとともに、母性の生命健康を保護することを目的とする」と記されているように、戦前の強制的優生断種の性格を持つものが残っていたといわれている。

出典：

垂水雄二(2010). 生命倫理と環境倫理 ―生物学からのアプローチ―. 八坂書房. 141-143 (ヒトの遺伝), 97-98. (母体保護法) を基に筆者が要約.

<資料 3 > 遺伝用語の改訂について

2017 年 9 月，日本人類遺伝学会から，遺伝用語の改訂が提案された．表はその一部を示す．

主な用語改訂

説明番号	英語	旧来の訳語	新たに改訂された訳語
1	dominant	優性	顕性
2	recessive	劣性	潜性
3	haploid	半数体	単数体
4	allele	対立遺伝子	アレル(対立遺伝子)*
5	mutation	突然変異	[突然]変異**
6	variation	変異，彷徨変異	(1)多様性(2)変動 ***
7	diversity	多様性	(1)多様性(2)分岐 ***
8	color blindness	色覚異常，色盲	color vision variation 色覚多様性****
9	centromere	動原体	セントロメア
10	kinetochore	キネトコア	動原体(キネトコア)*

* 訳語の意味が同じものは () 内に片方を記

** 省略可能な部分は[]で括る

*** 訳語の意味や用法の異なるものは，(1)(2)等を付す

**** 用語改訂というよりは，概念の導入（提唱）

出典：

https://gsj3.org/wordpress_v2/wp-

[content/themes/gsj3/assets/docs/pdf/revisionterm_20170911.pdf](https://gsj3.org/wordpress_v2/wp-content/themes/gsj3/assets/docs/pdf/revisionterm_20170911.pdf)（2019.11.9 閲覧）

<資料 4> 学習指導要領の改訂に伴う遺伝分野の枠組みの変遷

○：一遺伝子雑種 ◇：二遺伝子雑種 □：転写・翻訳（遺伝情報の発現）

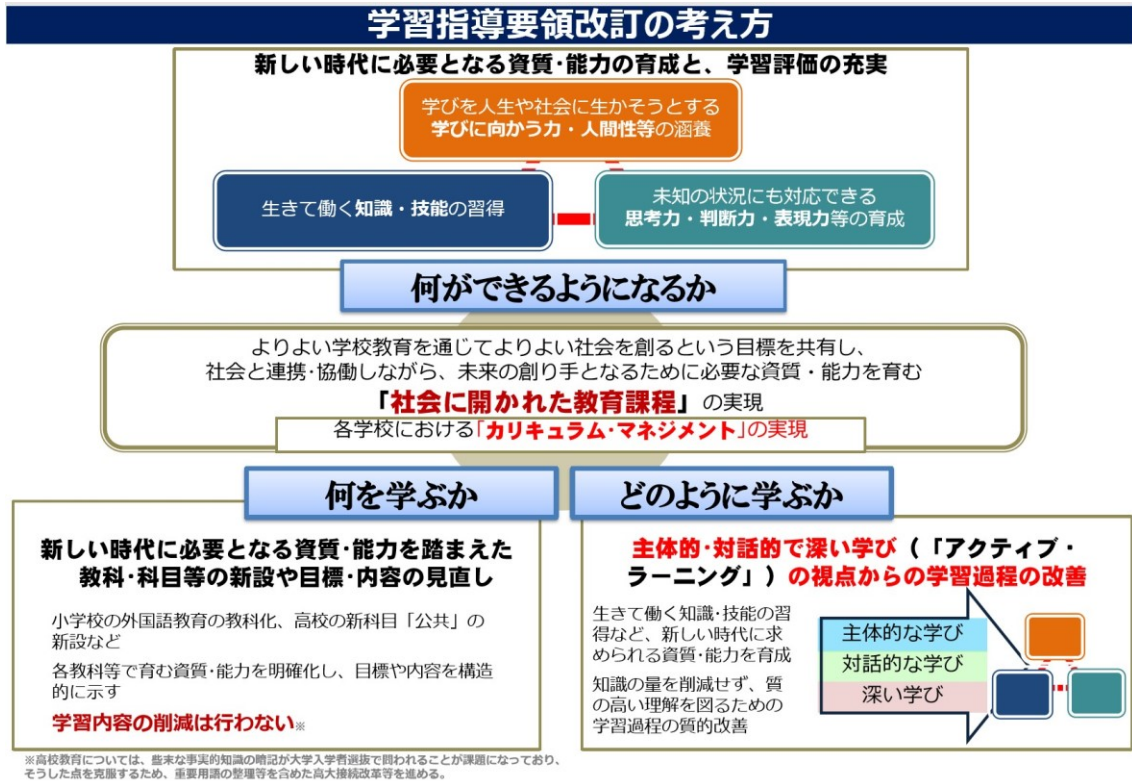
○◇□は必修または選択必修，●◆■は選択科目を示している。

高等学校学習指導要領 告示年（実施年）	中学校理科	高等学校生物
第二次 1960 年(1960)	○ ◇	○◇□（生物）
第三次 1970 年(1973)	○	○◇□（生物Ⅰ）
第四次 1978 年(1982)		○◇（理科Ⅰ） ◆■（生物）
第五次 1989 年(1992)	○	●◆（生物ⅠA） ●◆（生物ⅠB） ■（生物Ⅱ）
第六次 1999 年(2003)		●◆（理科総合 B） ●◆（生物Ⅰ） ■（生物Ⅱ）
第七次 2009 年(2012)	○ ◇	■（生物基礎） ●◆■（生物）※
第八次 2018 年(2022)	○ ◇	■（生物基礎） ●◆■（生物）※

※「生殖と発生」で扱うことになっている。

参考資料：学習指導要領データベース <http://www.nier.go.jp/guideline/>（2019.11.8 閲覧）

<資料 5> 学習指導要領改訂の考え方



出典：

http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2019/09/30/1421692_6.pdf

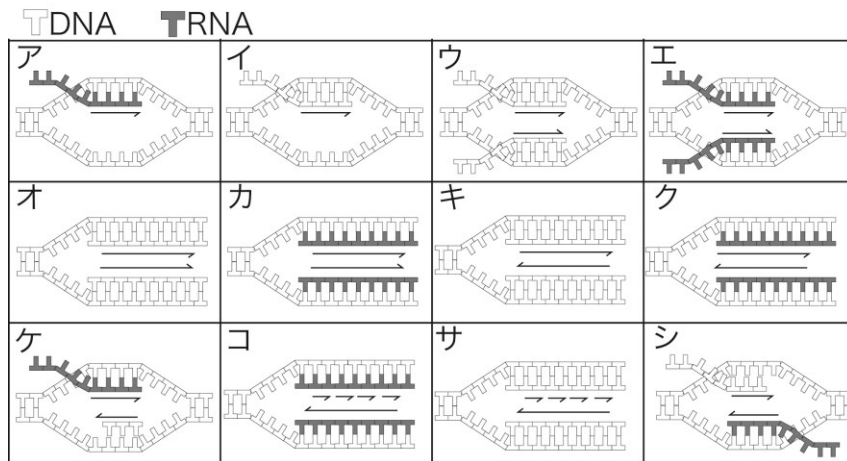
(2019.11.9 閲覧)

<資料 6> 高校生を対象としたアンケート

遺伝情報とその発現

それぞれの過程を示すものを下のア～シ図の中から1つ選び、理由を記入してください。

(矢印は DNA や RNA がつながっていく方向を示しています。頭に浮かんだことを記入してください。)



1) 「複製」の過程を示すもの。

2) 「転写」の過程を示すもの。

1)	2)
----	----

<資料 7> DNA 教材の活用効果を調査するための質問紙とワークシート

(7-1) 質問紙

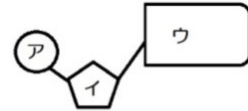
それぞれの質問に答えてください。分からない場合は空欄で構いません。

[1] DNA の構造について

(1) 図は DNA を構成するヌクレオチドの構造を示した模式図です。

アからウの名称を記入してください。

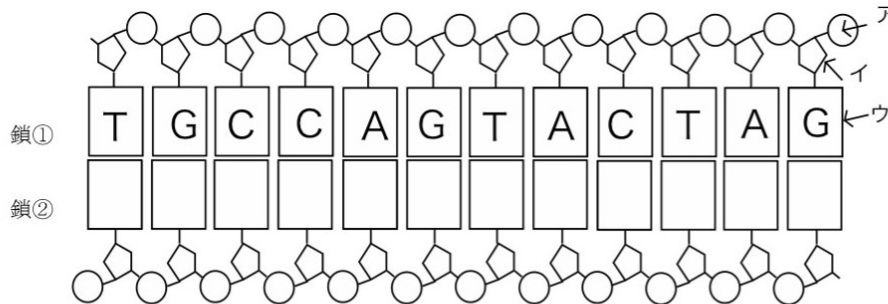
ア () イ () ウ ()



(2) 図のウには、アデニン (A)、グアニン (G)、シトシン (C)、チミン (T) の 4 種類があります。この 4 種類のウについて、知っていることを記入してください。

[2] DNA 鎖について

(3) DNA 鎖はヌクレオチドがつながってできています。DNA の 2 本鎖の片側の鎖①が下の図のようにつながっているとき、もう一方の鎖②はどのようにつながるでしょうか。ウの空欄に A,G,C,T のいずれかを記入してください。



(4) DNA の 2 本鎖がコピーされる (複製) 手順は次の通りです。

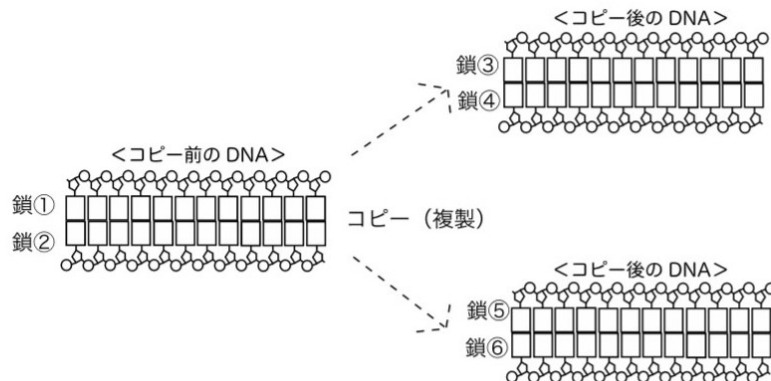
手順 1 DNA の 2 本鎖がほどける。
 手順 2 ほどけた DNA の 1 本鎖のウと結合するウをもつヌクレオチドが並び、新たな DNA の 2 本鎖ができる。ただし、コピー (複製) する時に上下の位置は変わらないものとします。

1) 下図の鎖①と同じ並びの DNA の鎖を全て選び、丸をつけましょう。

② . ③ . ④ . ⑤ . ⑥

2) 下図の鎖②と同じ並びの DNA の鎖を選びましょう。

① . ③ . ④ . ⑤ . ⑥

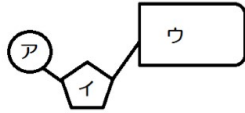


(7-2) ワークシート

[0]配布された教材の種類に丸をつけてください。 A ・ B ・ C ・ カードケース

[1]DNA 鎖は、4 種類のヌクレオチドがつながってできています。

1) 下の図と配布された教材を見比べ、ア「リン酸」、イ「糖」、ウ「塩基」を確認しましょう。



自己チェック

2) 「塩基」にはアデニン (A)、グアニン (G)、シトシン (C)、チミン (T) があります。確認しましょう。

自己チェック

[2]袋から教材を取り出し、自由に触ってみましょう。

1) 「塩基」について気づいたことをできるだけ記入しましょう。

2) その他、気づいたことをできるだけ記入しましょう。

<資料 8> DNA の研究史を通して DNA の特徴を見いだすためのワーク

DNA の構造解明までの道のり

HR No. 氏名

- 1865年 メンデル・・・()を発見
- 1928年 グリフィス・・・()を発見
- 1944年 エイブリー・・・()の解明
- 1952年 ハーシー&チェイス ()の証明

○2019年 ()・・・DNA の分子構造の解明

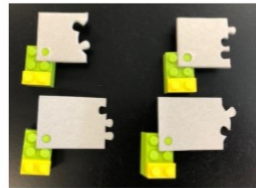
課題①：2種の生物から得られたヌクレオチド+ α （後で配布）を観察し、発見したことを記録しよう。

課題②：①で発見した内容は、すでに発見されているか教科書や資料集でどうか確認しよう。

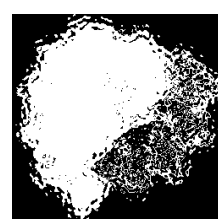
(注意点) ①配布されたヌクレオチドがバラバラになってしまった場合は、写真のように差し込んでください。

②全生物でヌクレオチドは共通です。この実習では、生物Aは青、生物Bは黄緑、生物Cは黄色のブロック(3×2ポッチ)で示されています。

③他の班のブロックと混ぜないようにして下さい。



課題① 発見	課題② 確認 (新発見かも知れません)



+ α として提供した写真

<資料 9> パフォーマンス課題配布資料

コシヒカリとミルクークイーンの ワクシー遺伝子の違い

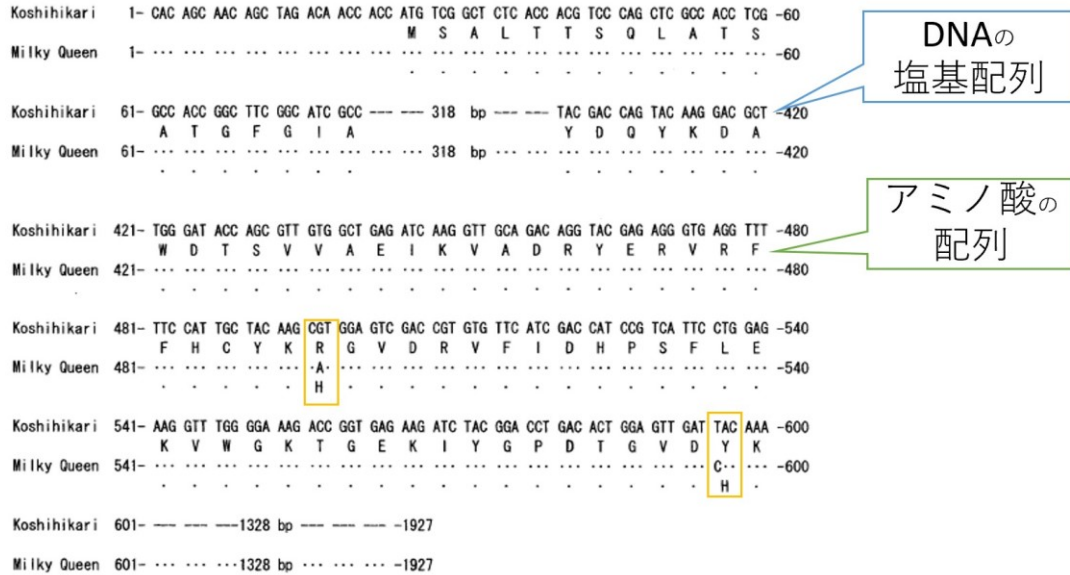


Fig. 1. Nucleotide sequences and deduced amino acid sequences of *Wx-mq* (DDBJ Acc. No. AB066093) and its wild type-allele (DDBJ Acc. No. AB066094) from Milky Queen and Koshihikari, respectively. Dots denote the same nucleotide and amino acid as those of Koshihikari. The position of the W1 primer is indicated in parenthesis.

出典：

Sato, H., Suzuki, Y., Sakai, M., Imbe, T. (2002). Molecular Characterization of *Wx-mq*, a Novel Mutant Gene for Low-amylose Content in Endosperm of Rice (*Oryza sativa* L.). *Breeding Science*, 52(2), 131-135.

p.133 Fig.1 に筆者が加筆した.

<資料 10> パフォーマンス課題 提出用紙

課題

ミルキークイーンはコシヒカリを改良した品種であり、1995 年に水稲農林 332 号として登録されたうるち米です。コシヒカリに比べ粘り気が強く、炊飯直後の触感を長く保持することが可能であり、おにぎり・弁当および冷蔵米飯の原料米としての適性が高いことが知られています。
この2種類の米の食感はなぜ違うのかを題材にして、3 節「遺伝情報とタンパク質合成」のまとめとして教科書 71 ページの後に掲載するコラムを執筆してください。

執筆締め切り 月 日 ()

【MEMO】

【評価】	充分 ←————→ 不十分
遺伝情報の流れについて説明されている。	5 ・ 4 ・ 3 ・ 2 ・ 1
DNA の塩基配列の違いと合成されるタンパク質の違いについて関連づけて説明されている。	5 ・ 4 ・ 3 ・ 2 ・ 1
合成されたタンパク質と生物の形質について関連づけて説明されている。	5 ・ 4 ・ 3 ・ 2 ・ 1
コラムとして適切に説明されている。	5 ・ 4 ・ 3 ・ 2 ・ 1

【ワンポイントアドバイス】

COLUMN
コラム

HR
No.
氏名