

中学校理科第3学年「遺伝の規則性」の単元におけるモデル実験の比較調査

Comparative Study of Model Experiments in the "Regularity of Heredity" Unit for the Third Grade of Junior High School Science

桑田 菜々子* 笠原 恵**
KUMEDA Nanako KASAHARA Megumi

中学校理科第3学年では、「遺伝やその規則性」に関連する内容を学習する。近年において発展の著しいバイオテクノロジーや生命科学についてよく理解することは重要であるが、中学校で学習する遺伝やその規則性は、バイオテクノロジーや生命科学を理解する第一歩と言えるだろう。平成29年に中学校の学習指導要領が改訂されたことにより、中学校理科の教科書の内容も改められた。そこで、新学習指導要領にもとづいた教科書5冊における、「遺伝の規則性」の部分のモデル実験、また教材会社のモデル実験をいくつかの項目で比較した。

新学習指導要領に基づいた中学校理科の教科書(啓林館, 大矢ら 2021), (教育出版, 室伏ら 2021), (大日本図書, 有馬ら 2021), (学校図書, 霜田ら 2021), (東京書籍, 梶田ら 2021)の中学校第3学年の「遺伝の規則性」の部分に掲載されているモデル実験、また教材会社から販売されているモデル実験教材をいくつかの項目で比較すると、各比較項目においてそれぞれ共通点、相違点が共に見られる結果となった。それらが実験の結果や生徒の学びにどのような影響を与えるか今後検討する必要がある。

キーワード：中学校, 第3学年, 遺伝の規則性, 比較調査, モデル実験

Key words : junior high school, third grade, regularity of heredity, comparative study, model experiments

I はじめに

バイオテクノロジーや生命科学の進展は著しく近年において、中学生でもそれらに関する基礎知識を正しく身につけることは重要である。中学校第3学年の理科で扱われている「遺伝」に関する内容を正しく理解することは、それらを理解するための第一歩であるといえる。

平成29年の学習指導要領の改定により(文部科学省 2018), 中学校理科の教科書の内容も改められた。また、観察や実験などの探究活動が重視されており、教科書の記述や実験も大きく変化してきた。そのため、中学校理科教科書の実験器具や内容を、指導方法や実験教材の有用性の観点から分析することは必要である。現在、中学校理科の教科書は5社の出版社から出版されているが、学習指導要領に沿った内容に逸脱しない範囲で、それぞれ独自性を有している。このような教科書の内容の違いは、その教科書を使用して指導する教員や生徒にも影響を及ぼすと考えられる。特に、理科においては、取り扱う教材や観察・実験方法の違いなどによって、実験の結果だけではなく、生徒の理解や授業の行いやすさにも影響を与える。また、これまでにICTを用いた独自の遺伝のモデル実験などについての報告はあるが、国内における教科書ごとの実験の比較調査を行った論文はなく、それぞれの実験についての議論はされていない。そこで、今回は異なる5社の出版社から出版されている教科書の中学校第3学年の「遺伝の規則性」の部分に掲載さ

れているモデル実験に注目して比較調査をすることで、それぞれの実験の特徴や有用性、また相違点と共通点を分析することを本研究の目的とした。また本研究では、教材会社から発売されているモデル実験教材についても比較検討、分析を行った。

II 方法

本研究においては、新学習指導要領に基づいた中学校理科の教科書(啓林館, 大矢ら 2021), (教育出版, 室伏ら 2021), (大日本図書, 有馬ら 2021), (学校図書, 霜田ら 2021), (東京書籍, 梶田ら 2021)の第3学年「遺伝の規則性」に掲載されているモデル実験(図1~4), また教材会社から出版されているモデル実験教材「遺伝子ガラガラボン」(ナリカ)(図5), (株)京都科学の「遺伝子のモデル実験器」((株)京都科学)(図6)について分析した。実際にそれらの教材を使って試行回数50回の実験を10セット行い、共通点や相違点、またそれぞれの結果の妥当性を調査した。



図1. 教育出版, 東京書籍の実験



図2. 啓林館の実験

* 兵庫教育大学大学院(専門職学位課程)教育実践高度化専攻理数系教科マネジメントコース

令和5年7月13日受理

** 兵庫教育大学大学院学校教育研究科教育実践高度化専攻理数系教科マネジメントコース 教授



図3. 大日本図書の実験



図4. 学校図書の実験



図5. 遺伝の法則ガラガラ ポン (ナリカ社製)



図6. 遺伝のモデル実験器 ((株) 京都科学社製)

III 結果および考察

学習指導要領に準拠した5社全ての教科書でモデル実験を掲載しているものの、使う材料や試行回数などの詳細は異なっていることがわかった。

遺伝の伝わり方、遺伝子の組み合わせを調べる実験材料を比較した結果を表1に示した。

表1 モデル実験材料の比較結果

実験方法	啓林館	教育出版	大日本図書	学校図書	東京書籍
カードを用いたモデル実験	○	○			○
割り箸を用いたモデル実験			○		
コインを用いたモデル実験				○	
試行回数	指定なし	20回	50回	数十回も	50回

啓林館、教育出版、東京書籍はカードを使ったモデル実験、大日本図書は割り箸を使ったモデル実験、学校図書はコインを使ったモデル実験を掲載していた。

①カードを用いたモデル実験

まず、東京書籍のカードを使ったモデル実験は、2人1組で行う実験であり、図1のようにそれぞれが厚紙で遺伝子カード(Aカード, aカードを各1枚)を作成し、それを中身が見えない袋に入れて2人が同時にカードを一枚取り出し、その結果を記録するものであった。教育出版のカードを使ったモデル実験も、2人1組で行う実験であり、図1のようにそれぞれが厚紙で遺伝子カード(Aカード, aカードを各1枚)を作成し、それぞれ1枚ずつ封筒に入れ、2人が同時にカードを一枚取り出し、その結果を記録するものであった。啓林館のカードを使ったモデル実験は2人1組で行う実験であり、図2のように教科書に付録してあるカード2種(A, a)をそれぞれ1枚ずつ持ち、2人同時にカードを出し合い、その結果を記録するものであった。

②割り箸を用いたモデル実験

大日本図書の割り箸を使ったモデル実験は2人1組で行う実験であり、図3のように割り箸を割ってそれぞれをA, aとして印を付け、それを中身が見えない袋に入れて2人が同時に割り箸を一本取り出し、その結果を

記録するものであった。

③コインを使ったモデル実験

学校図書のコインを使ったモデル実験は、2人1組で行う実験であり、図4のようにそれぞれがコイン(100円玉, 500円玉など)を用意する。そのコインの表と裏をそれぞれA, aとし、それぞれコインを振って出た結果の組み合わせを記録するものであった。

④「遺伝の法則ガラガラポン」(ナリカ)のモデル実験

ナリカの「遺伝の法則ガラガラポン」は図5に示すように、専用の異なる色の小さなビーズ(2色×10)を専用の小さなケースに入れたものを用いて行うものであった。この実験も、2人がそれぞれビーズケースを持ち、同時にビーズを出しその色の組み合わせを記録するものであった。

⑤「遺伝子のモデル実験器」((株) 京都科学)のモデル実験

(株) 京都科学の「遺伝子のモデル実験器」は図6に示すように、100個のマスがついた箱に200個のビー玉(2色×100)を入れ、箱の中でよく混ぜてから100個のマスにそれぞれ2つずつビー玉を入れ、その色の組み合わせを記録するというものであった。この実験は、1人で行うことができるものである。

また、いくつかの教科書では、生徒実験として記載している材料の他にも、使用できる材料を掲載しているものがあつた。東京書籍ではビー玉、啓林館では割り箸と付箋とトランプ、教育出版ではコインと割り箸を紹介していた。また、大日本図書、教育出版では他の実験材料の記載はなかった。

次に、試行回数に関しては、表1に示すように大日本図書と東京書籍では50回、教育出版では20回、学校図書では何十回もとの記載があり、啓林館では特に回数の記載はなかった。また、ナリカの「遺伝の法則ガラガラポン」では30回との指定があり、(株) 京都科学の「遺伝子のモデル実験器」では回数の指定はなかった。

次に全て1セット50回の実験を10セット行った結果、またその結果から(AA + Aa) / aaの値を計算した結果を表2～7に示す。この(AA + Aa) / aaの値が3に近似できていれば、メンデルの遺伝の法則に関する理想値に近い結果を得られていることになる。

まず、東京書籍、啓林館、教育出版の3社で掲載されていた①のカードを用いたモデル実験を行った。東京書籍と教育出版では、カードを袋に入れて行う実験を掲載されており、啓林館では人の手で直接持つて行う実験が掲載されていたので、それぞれのモデル実験の結果を表2、表3に示す。まず、東京書籍と教育出版で掲載されているカードを袋に入れて行ったモデル実験では、(AA + Aa) / aaの値の平均値を少数第2位で四捨五入したところ、4.9という値が得られた。また啓林館のカードを直接持つて行うモデル実験を行って見たところ、(AA + Aa) / aaの値の平均値を少数第2位で四捨五入したところ、3.5という値が得られ、比較的理想値である3に近い結果となった。同じカードを用いたモデル実験で

も、カードを袋に入れて行う実験と手で直接持つて行う実験で結果が異なることがわかった。これは、カードを袋に入れるとカードが混ざりにくく、出るカードに偏りが生まれることが原因だと考えられる。

次に、大日本図書に掲載されている②の割り箸を用いたモデル実験を行った結果が表4である。(AA + Aa) / aa の値の平均を小数点第2位で四捨五入すると、3.4という値が得られ、理想値である3に近い結果となった。割り箸を紙袋見入れてしっかり振ることで、割り箸がよく混ぜることができたことが要因であると考えられる。しかし、1セットごとに見てみると、1.5、6.1のように理想値である3から少し外れた値も得られている。

次に学校図書に掲載されている③のコインを用いたモデル実験を行った結果が表5である。(AA + Aa) / aa の値の平均を小数点第2位で四捨五入すると10.3という値が得られ、理想値である3からは大きく外れた結果となった。この原因として、9セット目の(AA + Aa) / aa の値が49となっており、平均に大きな影響を与えたと考えられる。そして全体的に値のばらつきが大きく、実験の再現性は低いと考えられる。また、9セット目のように大きく値が外れた原因としては、コインを投げてキャッチするという動作が難しく、あまり高く投げられないために実験結果が偏ったことが考えられる。

次に、④のナリカが発売している「遺伝の法則ガラガラポン」で実験を行った結果を表6に示す。(AA + Aa) / aa の値の平均を小数点第2位で四捨五入すると5.5という値が得られた。比較的理想値である3に近い結果となったが、1セットごとに見てみると1.3や9などといった結果もあり、得られる値にばらつきがあることがわかった。

最後に、(株)京都科学が発売している④の「遺伝のモデル実験器」で実験を行った結果を表7に示す。この実験は、1セットで100個の組み合わせができる実験であるため、その結果を示した。(AA + Aa) / aa の値の平均を小数点第2位で四捨五入すると3.6という値が得られ、比較的理想値である3に近い結果となった。また、1セットごとに見てみても、最小値が2.7、最大値が4.2となっており、セットごとのばらつきも小さいことが明らかになった。これらの結果により、大日本図書の割り箸を用いた実験、啓林館の手で直接行うカード実験、(株)京都科学の「遺伝のモデル実験器」、東京書籍と教育出版のカードを袋に入れて行う実験、ナリカの「遺伝の法則ガラガラポン」、学校図書のコインを用いたモデル実験の順に、理想値である3に近い値が得られたことがわかった。

次に、実験にかかる時間について調べた。まず、(株)京都科学の「遺伝のモデル実験器」で行う実験が圧倒的にかかる時間が少なかった。200個のビー玉を一気に混ぜ、100個のマスに入れることで、同時に100個のペアを作ることができるからである。その他の実験は、1セットごと、また操作者によってかなりばらつきが出たが、啓林館の手で直接行うカード実験、大日本図書の割り箸

を用いた実験、学校図書のコインを用いた実験が比較的早く実験結果を得ることができた。ただし、コインを用いた実験に関しては、投げた時にコインをうまくキャッチできず落としてしまうことによってかかる時間には個人差があった。教育出版と東京書籍のカードを袋に入れて行う実験は、カードを袋の中で混ぜるのが難しく、他の実験よりも時間がかかった。またナリカの「遺伝の法則ガラガラポン」も、ケースからなかなかビー玉が出なかったり、出た時に落としてしまったりすることから実験に時間がかかった。

また、実験操作の持つ意味について考えた。まず、学校図書のコインを用いたモデル実験では、1枚コインの表と裏でA遺伝子とa遺伝子を表しているのが特徴である。そして、実験を2人で行うことから、それぞれを

表2. 教育出版と東京書籍のカードを使った実験の結果

カード(袋)	AA	Aa	aa	AA+Aa	aa	(AA+Aa)/aa
1	15	27	8	42	8	5.3
2	10	20	20	30	20	1.5
3	5	19	26	24	26	0.9
4	18	21	11	39	11	3.5
5	7	15	28	22	28	0.8
6	20	28	2	48	2	24.0
7	24	15	11	39	11	3.5
8	19	10	21	29	21	1.4
9	16	6	28	22	28	0.8
10	14	30	6	44	6	7.3
平均						4.9

表3. 啓林館のカードを使った実験の結果

カード(手)	AA	Aa	aa	AA+Aa	aa	(AA+Aa)/aa
1	13	28	9	41	9	4.6
2	17	21	12	38	12	3.2
3	18	24	8	42	8	5.3
4	14	27	9	41	9	4.6
5	17	20	13	37	13	2.8
6	15	19	16	34	16	2.1
7	14	29	7	43	7	6.1
8	10	21	19	31	19	1.6
9	19	18	13	37	13	2.8
10	9	22	19	31	19	1.6
平均						3.5

表4. 大日本図書の割り箸を使った実験の結果

割り箸	AA	Aa	aa	AA+Aa	aa	(AA+Aa)/aa
1	14	25	11	39	11	3.5
2	13	23	14	36	14	2.6
3	15	22	13	37	13	2.8
4	15	20	15	35	15	2.3
5	12	28	10	40	10	4.0
6	11	19	20	30	20	1.5
7	9	22	19	31	19	1.6
8	15	28	7	43	7	6.1
9	18	21	11	39	11	3.5
10	16	27	7	43	7	6.1
平均						3.4

表5. 学校図書のコインを使った実験の結果

コイン	AA	Aa	aa	AA+Aa	aa	(AA+Aa)/aa
1	19	21	20	40	20	2.0
2	15	30	5	45	5	9.0
3	12	15	23	27	23	1.2
4	13	24	13	37	13	2.8
5	9	29	12	38	12	3.2
6	11	35	4	46	4	11.5
7	8	38	4	46	4	11.5
8	13	31	6	44	6	7.3
9	10	39	1	49	1	49.0
10	19	23	8	42	8	5.3
平均						10.3

表6. 遺伝の法則ガラガラボン（ナリカ社製）を使った実験の結果

ナリカ	AA	Aa	aa	AA+Aa	aa	(AA+Aa)/aa
1	19	20	11	39	11	3.5
2	18	21	11	39	11	3.5
3	11	25	14	36	14	2.6
4	14	22	14	36	14	2.6
5	15	19	16	34	16	2.1
6	18	26	6	44	6	7.3
7	10	19	21	29	21	1.4
8	19	28	3	47	3	15.7
9	16	29	5	45	5	9.0
10	16	28	6	44	6	7.3
平均						5.5

表7. 遺伝のモデル実験器（(株) 京都科学社製）を使った実験の結果

京都科学	AA	Aa	aa	AA+Aa	aa	(AA+Aa)/aa
1	19	62	19	81	19	4.3
2	21	58	21	79	21	3.8
3	27	46	27	73	27	2.7
4	24	52	24	76	24	3.2
5	20	60	20	80	20	4.0
平均						3.6

父親役、母親役に見立てることができる。そして、できた遺伝子の組み合わせは、受精卵の持つ遺伝子の組み合わせに見立てることができる。東京書籍、大日本図書、教育出版のカードを用いたモデル実験、また大日本図書の割り箸を用いたモデル実験ではA遺伝子を表すAカードやA割り箸、a遺伝子を表すaカードやa割り箸を2人それぞれが1つつつ持って行うのが特徴である。これらの実験では2人をそれぞれ父親役、母親役に見立て、またその父親と母親のそれぞれがA遺伝子、a遺伝子を持っていることを表すことができている。また、ナリカの「遺伝の法則ガラガラボン」では、2人で実験を行うことによりそれぞれを母親役、父親役に見立てることができるうえ、それぞれがA遺伝子、a遺伝子をそれぞれ10個ずつ持っていることにより、実際の精細胞、卵細胞が無数にあるイメージにより近いといえる。最後に(株)京都科学の「遺伝子のモデル実験器」は、200個のビー玉が、箱についている100マスにすべてぴったり収まってしまいう数であり、実際の無数の精細胞と無数の卵細胞の中からそれぞれ1つつつ選ばれて受精するイメージから少し離れているといえると考えられた。

IV まとめ

今回の実験の結果をまとめたものを表8に示す。この表から、「遺伝のモデル実験器」(株)京都科学の結果が最も理想的であることが読み取られる。しかし、このモデル実験は前述したように、精細胞と卵細胞を表すビー玉とマス数が、実際の遺伝のイメージとは異なるという懸念点がある。また、この教材は現在販売されておらず、購入することができない。また、啓林館のカードを用いたモデル実験や大日本図書の割り箸を用いたモデル実験も、平均は理想値に近い値が得られているが、多少ばらつきがあることが読み取られる。また、今回の研究において、異なる出版社から出版されている教科書は実験内容について多くの共通点、相違点

を有していることが明らかになった。特に、相違点に関しては実験材料、細かい実験操作、実験の試行回数、実験の再現性などにも大きな違いがあり、学習者が学習する内容にも影響を及ぼす恐れがある。平成29年告示の新学習指導要領には、「子や孫の形質に表れる際には規則性があることに気づかせる必要があり、その際にモデル実験を行うことにより、その操作や試行回数、結果が何を意味するかを考え、探究の過程を振り返ることが大切である」としている(文部科学省2018)。よって、できるだけ再現性の高いものを使用する必要があり、実際に予備実験を行なって検討する必要があると考える。今後の課題として、モデル実験を行うことでその操作や試行回数、結果が何を意味するのかを考えることが有効であり、また再現性の高い実験教材を開発していく必要がある。

表8. すべての実験の結果

(AA+Aa)/aa	平均	標準偏差	最大値	最小値
①カード (教育出版・東京書籍)	4.9	6.7	24.0	0.8
②カード (啓林館)	3.5	1.5	6.1	1.6
③割り箸 (第日本図書)	3.6	1.6	6.1	1.5
④コイン (学校図書)	10.3	13.4	49.0	1.2
⑤遺伝の法則 ガラガラボン (ナリカ)	5.5	4.2	15.7	1.4
⑥遺伝のモデル 実験器 (京都科学)	3.6	0.6	4.3	2.7

V 文献

- ・有馬朗人 他70名8(2021)世界の理科3. 大日本図書. 令和2年検定
- ・梶田隆章 真行寺千佳子 永原裕子 西原寛 他131名(2021)新しい科学3. 東京書籍. 令和2年検定
- ・文部科学省(2018)中学校学習指導要領(平成29年告示)解説理科編
- ・室伏さきみ子 養老孟司 他33名(2021)自然の探究 中学理科3. 教育出版. 令和2年検定
- ・大矢禎一 鎌田正裕 他146名(2021)未来へひろがるサイエンス3. 啓林館. 令和2年検定
- ・霜田光一 森本信也 他32名(2021)中学校科学3. 学校図書. 令和2年検定