

G5-04

高等学校物理における物理概念の 形成を促す学習指導に関する研究

研究の概要

一般に、難解であると言われている高等学校の物理の授業を改善するために、物理の原理・法則の理解を容易にし、生徒の物理概念の形成を促すための授業の在り方に関する研究を行った。具体的には、観察・実験、モデル（アナロジー、比喩などを含む）、数式を三位一体でとらえ、これらの三つを有機的に関連付けながら、物理現象を多面的に考察する授業を展開する。実践事例を通して得られた授業改善の視点を提供する。

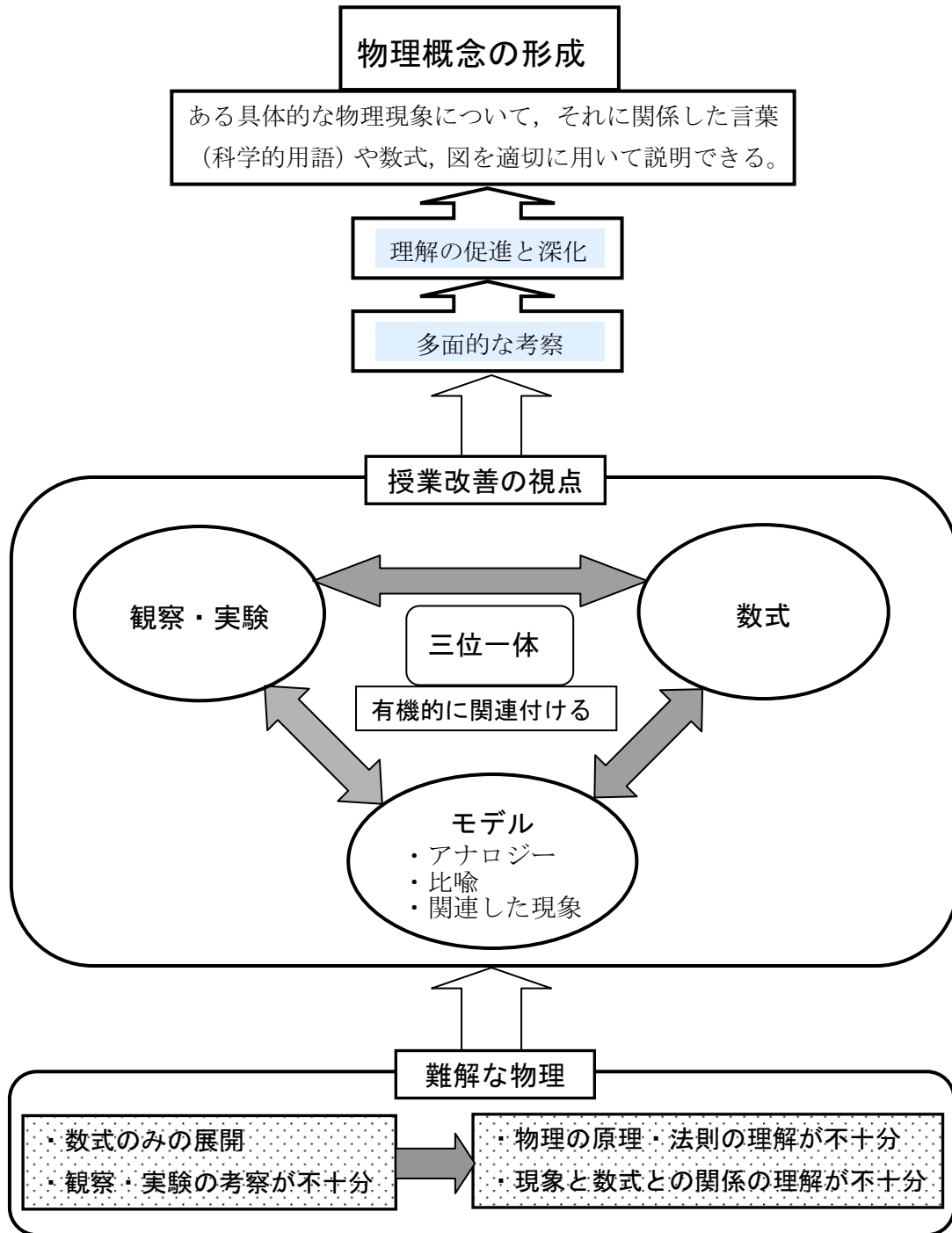
キーワード

物理, 高等学校, 授業改善, 観察・実験, モデル, アナロジー, 数式

目 次	
I はじめに ……………1	2 実践事例2（光波） ……………10
II 研究の目的 ……………1	(1) 実践事例2の構想と授業計画 ……10
III 研究の内容 ……………1	(2) 授業の流れ ……………11
1 物理に対する生徒の意識調査 ……1	(3) 成果と課題 ……………12
2 本研究で取り上げた物理概念と 授業実践を行った単元 ……………3	3 実践事例3（電磁気） ……………15
3 三位一体の基本的な考え方 ……4	(1) 実践事例3の構想と授業計画 ……15
4 物理概念の形成とその検証方法 ……4	(2) 授業の流れ ……………16
5 実践事例（授業実践）の概要 ……5	(3) 成果と課題 ……………17
IV 実践事例 ……………6	V 本研究で明らかになったこと ……19
1 実践事例1（熱力学） ……………6	1 三位一体の詳細なイメージ図 ……19
(1) 実践事例1の構想と授業計画 ……6	2 質問紙調査から明らかになったこと ……………20
(2) 授業の流れ ……………7	VI おわりに ……………21
(3) 成果と課題 ……………8	

研究構想図

高等学校物理における物理概念の形成を促す学習指導に関する研究



高等学校物理における物理概念の 形成を促す学習指導に関する研究

I はじめに

平成20年1月17日に中央教育審議会から出された「幼稚園、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領の改善について」(答申)の中で、教育内容に関する主な改善事項の一つとして理数教育の充実が挙げられている。この中で、「科学技術の成果が社会全体の隅々まで活用されるようになっている今日、国民一人一人の科学に関する基礎的素養の向上が喫緊の課題となっている」「学校教育においては、科学技術の土台である理数教育の充実が求められている」と述べられている。こうした状況の中、高等学校において物理教育に携わっている教員には、物理の基礎的な素養を生徒に身に付けさせることとともに、将来の日本の科学技術を支える人材を育成することも求められていると言える。

科学の素養を持ち、科学的な見方や考え方でできる一般社会人や、科学技術を支える人材を育成する上で、高等学校では授業の中で基本的な科学概念を確実に定着させることが大切であると考えた。そこで、本研究では、高等学校の物理の授業において、物理概念の形成を促すための効果的な学習指導の方策を探り、授業改善の視点を明らかにすることとした。

なお、本研究の「物理概念」とは、「振り子の運動では、位置エネルギーと運動エネルギーの和が常に一定に保たれる」という考え方の根拠となる「力学的エネルギー保存則」などの基本的な物理の原理・法則についての概念とする。

II 研究の目的

一般に、難解であると言われている高等学校の物理の授業を改善するために、物理の原理・法則の理解を容易にし、生徒の物理概念の形成を促すための授業の在り方に関する研究を行う。具体的には、観察・実験、モデル(アナロジー、喩などを含む)、数式を三位一体でとらえ、これらの三つを有機的に関連付けながら、物理現象を多面的に考察する授業を展開し、物理概念の形成を促すための方策について研究を行う。

III 研究の内容

1 物理に対する生徒の意識調査

生徒にとって物理Iで学習する内容について、どの単元が分かりやすいか、また逆に分かりにくいのか、さらに、一般に物理が難しいと言われる理由は何か、物理を学習してよかったと思ふときはどのようなときかについて意識調査を行った。「分かりやすい」「分かりにくい」の質問項目については、それぞれ三つまで挙げてよいこととした。調査は、本研究の協力委員の高等学校3校で物理を履修している第3学年の生徒を対象に、平成19年9月に行った(表1)。

3校ともに、「(3)運動とエネルギー」の運動や力学的エネルギーに関する項目では「分かりやすい」という回答が多く、逆に電気の分野や、波の「(エ)光の回折と干渉」では「分かりにくい」という回答が多い。物理IIでも同様な調査を行った結果、力学が分かりやすく、電磁気が分かりにくいという、物理Iと同じ傾向が見られた(物理IIの結果は省略している)。この調査結果から、実際に目に見える力学の現象については比較的理解しやすく、目に見えないものを扱うことが多い電磁気は理解しにくいのではないかと考えた。

表1 「物理Ⅰ」についての生徒の意識調査の結果

調査年月はいずれも平成19年9月で、数値は選択した生徒の数を表している。						
調査を実施した高等学校	A高等学校		B高等学校		C高等学校	
調査対象	第3学年38名		第3学年103名		第3学年27名	
平成11年告示の高等学校学習指導要領に示されている項目から	分かりやすい	分かりにくい	分かりやすい	分かりにくい	分かりやすい	分かりにくい
(1) 電気	—	—	—	—	—	—
ア 生活の中の電気	—	—	—	—	—	—
(ア) 電気と生活	2	3	21	6	1	2
(イ) モーターと発電機	1	5	9	15	1	4
(ウ) 交流と電波	0	7	0	31	1	8
イ 電気に関する探究活動	0	0	0	0	0	0
(2) 波	—	—	—	—	—	—
ア いろいろな波	2	0	11	22	5	7
イ 音と光	—	—	—	—	—	—
(ア) 音の伝わり方	2	0	7	24	5	1
(イ) 音の干渉と共鳴	0	1	7	7	9	8
(ウ) 光の伝わり方	0	1	5	22	3	8
(エ) 光の回折と干渉	0	6	4	73	2	12
ウ 波に関する探究活動	1	0	0	0	0	0
(3) 運動とエネルギー	—	—	—	—	—	—
ア 物体の運動	—	—	—	—	—	—
(ア) 日常に起こる物体の運動	1	0	15	22	5	1
(イ) 運動の表し方	15	0	61	2	9	4
(ウ) 運動の法則	6	5	34	25	7	4
イ エネルギー	—	—	—	—	—	—
(ア) エネルギーの測り方	2	0	16	2	2	0
(イ) 運動エネルギーと位置エネルギー	4	1	46	9	17	1
(ウ) 熱と温度	1	10	32	11	6	3
(エ) 電気とエネルギー	0	0	5	6	4	5
(オ) エネルギーの変換と保存	0	0	3	11	0	3
ウ 運動とエネルギーに関する探究活動	0	1	0	0	0	0

*複数回答を可能としているため、数値の合計は人数とは一致しない
 *A高等学校、B高等学校、C高等学校は、いずれも岡山県内の高等学校である。

物理が難しいと言われる理由を記述させたところ、表2のように、公式の難解さを挙げた記述が最も多く、次いで物理現象がイメージしにくいことを挙げた記述が続いた。

また、物理を学習してよかったと思うときとして、表3のように、「日常生活で経験する物理現象が理解できたとき」を挙げている記述が多く見られた。また、「友達に自然現象を物理で説明できたとき」など、第三者への説明ができたときを挙げた生徒が各学校に数名いた。その他に、学校によっては授業で取り上げられた具体的な実験が印象に残ったことや、演習で問題が解けたときを挙げた記述も多く見られたが、表3では3校に共通して見られる特徴を挙げている。

表2 物理が難しいと言われる理由（主な回答）

記述の内容	A高等学校 記述数 (記述総数36)	B高等学校 記述数 (記述総数106)	C高等学校 記述数 (記述総数27)
「公式が多い」「公式が難しい」など、公式に関する記述	17	59	13
「イメージがしにくい」など、物理現象のイメージに関する記述	3	13	8

表3 物理を学習してよかったと思うとき（主な回答）

記述の内容	A高等学校 記述数 (記述総数31)	B高等学校 記述数 (記述総数74)	C高等学校 記述数 (記述総数23)
「日常生活で疑問に思っていたことが理解できたとき」など、物理現象の理解に関する記述	10	51	9
「友達に自然現象を物理で説明できたとき」など、学習内容を他の人に伝えることに関する記述	3	2	3

2 本研究で取り上げた物理概念と授業実践を行った単元

生徒の意識調査の結果を踏まえ、本研究では生徒の苦手意識の高い電磁気、光波（光の回折と干渉）、そしてA高等学校で苦手意識の高かった熱力学（熱と温度）の三つの単元でそれぞれ授業実践を行うことにした。それぞれの実践事例（授業実践）で形成を促したい物理概念は次のとおりである。

実践事例（単元）	形成を促したい物理概念
実践事例1（熱力学）	熱力学におけるエネルギー保存の概念（熱力学第1法則の概念）
実践事例2（光波）	光波における干渉の概念（光の干渉の概念）
実践事例3（電磁気）	コンデンサーにおける電気量保存の概念（電気量保存の概念）

3 三位一体の基本的な考え方

生徒の意識調査の結果を示した表2から、物理を難解にしている原因として、数式のみで展開で終始したり、観察・実験は行うが、なぜそのような現象が生じるのかなどについての十分な考察が行われなかったりする授業場面も多いことが考えられる。その結果として、現象の中に潜む物理の原理・法則が十分に理解できなかつたり、実際の現象がイメージできなかつたりするために、現象と数式との関係が分からないまま終わり、物理を難解なものにしてしまっている。

また、実際の物理学研究においても、ある物理現象を研究の対象とする場合、まずその現象を詳細に観察した上で、その現象をうまく説明できるモデル(仮説)をつくり、その妥当性を物理法則に基づく計算を行って検証していくというスタイルが一般的である。この場合も、観察・実験、モデル、数式という三つの要素を互いに関連させながら研究が進められていく。本研究では、高等学校の物理の授業においても、観察・実験、モデル、数式の三つを互いに有機的に関連付けた授業展開を行い、それぞれについての理解の促進と深化を図ることが物理概念の形成を促す上で有効であると考えた(図1)。

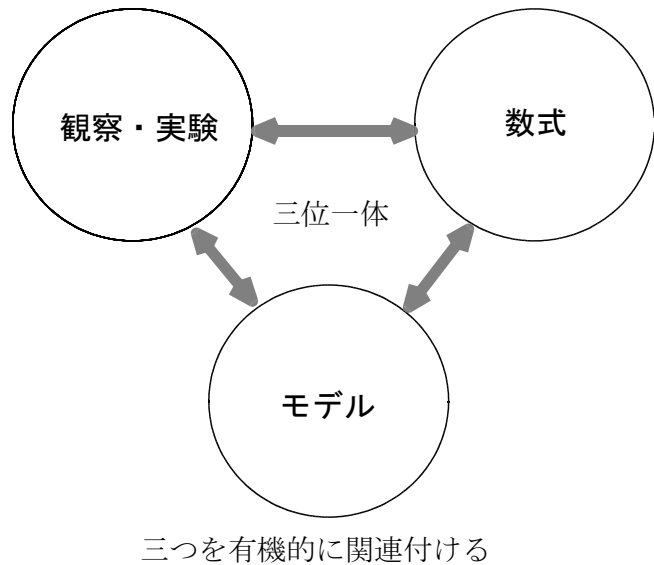


図1 三位一体の基本的な考え方のイメージを図で表したもの

4 物理概念の形成とその検証方法

本項では、物理概念が良好に形成された状態とはどのようなものかについての考察を行う。生徒の意識調査の結果を示した表3で、物理を学習してよかったときとして「友達に自然現象を物理で説明できたとき」という回答に着目した。第三者に説明できるということは、物理概念が良好に形成されているからこそ可能であることと考えた。また、「概念」の哲学的な意味として、大辞林(三省堂)では、「(2) [哲] [英concept, (ドイツ) Begriff] 事物が思考によって捉えられたり表現される時の思考内容や表象、またその言語表現(名辞)の意味内容。」とあり、本研究では、数式や図も物理概念を表現する手段と考え、物理概念が形成された状態を次のように定義した。

【物理概念が形成された状態とは】

ある具体的な物理現象について、それに関係した言葉(科学的用語)や数式、図を適切に用いて説明できる。

物理概念が良好に形成されたかどうかを検証するために、授業実践の後に質問紙調査(「学習振り返りシート」)を行った。質問項目としては、(ア)観察・実験、(イ)モデル、(ウ)数式の三つが、それぞれ物理現象を理解する上でどのように役立ったかを記述させた。また、物理現象を理解する上で役立ったと思われる項目を(ア)～(ウ)から複数挙げさせてその理由を記述させた。これらの質問から、物理概念を形成する上で(ア)～(ウ)がそれぞれどのように寄与したか、また、それぞれが互いにどのように関連しているかを質的にも見ていくことにした。最後

に、授業実践で取り上げた物理現象について、言葉や数式、図を用いて第三者（物理を選択していない友達を想定）に分かりやすく説明する項目を設けた。この項目については、言葉や数式が文脈の中で適切に使われているかどうか、図が適切であるかどうかなどについて、A～Fまでの6段階の尺度からなる評価基準表（ループリック）を作成し、これを基にして物理概念の形成の程度を検証することにした。この評価基準表のD以上の生徒の割合が80%以上であれば、概ね良好に物理概念が形成されたと考えることにした。

5 実践事例（授業実践）の概要

本稿では、以下（ア）を「観察・実験」、（イ）を「モデル」、（ウ）を「数式」とする。また、それぞれの実践事例について、（ア）～（ウ）は次のとおりである。

実践事例（単元）	（ア）「観察・実験」	（イ）「モデル」	（ウ）「数式」
実践事例1（熱力学）	熱力学第1法則に関する実験	代謝モデル（比喩）	熱力学第1法則の公式
実践事例2（光波）	ヤングの実験（光の回折・干渉）	水面波、音波による回折・干渉（関連した現象）	干渉条件の式
実践事例3（電磁気）	コンデンサーのつなぎかえの実験	水位のモデル（アナロジー）	コンデンサーの基本公式

実践事例1では、気体の定積変化・定圧変化・等温変化・断熱変化の四つの状態変化を実験装置を用いて実際に観察させ、与えた熱と気体の内部エネルギーの変化量、気体が外部にした仕事の三つの物理量の間になり立つ関係式（熱力学の第1法則の公式）についての授業を行った。この公式は広い意味でのエネルギー保存則を表したものとなっている。これらの三つの物理量の間になり立つ関係（エネルギー保存則）をイメージしやすくするために、食べたものがエネルギーとなり、仕事（基礎代謝を含む）に使われたり、体重の増加につながったりするというモデル（比喩）を導入した。

実践事例2では、光波の回折・干渉の基本的な実験として、ヤングの実験を扱い、類似の関連した現象で、既習事項である水面波と音波の回折・干渉の現象をモデルとして再提示することによってイメージをしやすくした。

実践事例3では、電池と二つのコンデンサーを用い、一方を充電した後に電池をはずし、このコンデンサーをもう一方の充電していないコンデンサーに接続する実験を行った。この実験では、最終的に二つのコンデンサーの電圧が同じになるまで電荷が移動する。授業では、このことが説明でき、コンデンサーの基本公式を用いて定量的に扱うことができるようになることを目指した。この授業では、電荷の移動がイメージしやすくなるように水位のモデルを導入した。この水位のモデルは、コンデンサーをタンクになぞらえ、タンクの中に蓄えられた水をコンデンサーに蓄えられた電荷であるとしたアナロジーである。

それぞれの実践事例の詳細と成果と課題について、次の第IV項で詳述する。

IV 実践事例

1 実践事例1 (熱力学)

実践事例1では、A高等学校の普通科2年次の生徒を対象に、物理Iにおける熱力学の重要な法則である熱力学の第1法則に関する授業を行った。

(1) 実践事例1の構想と授業計画

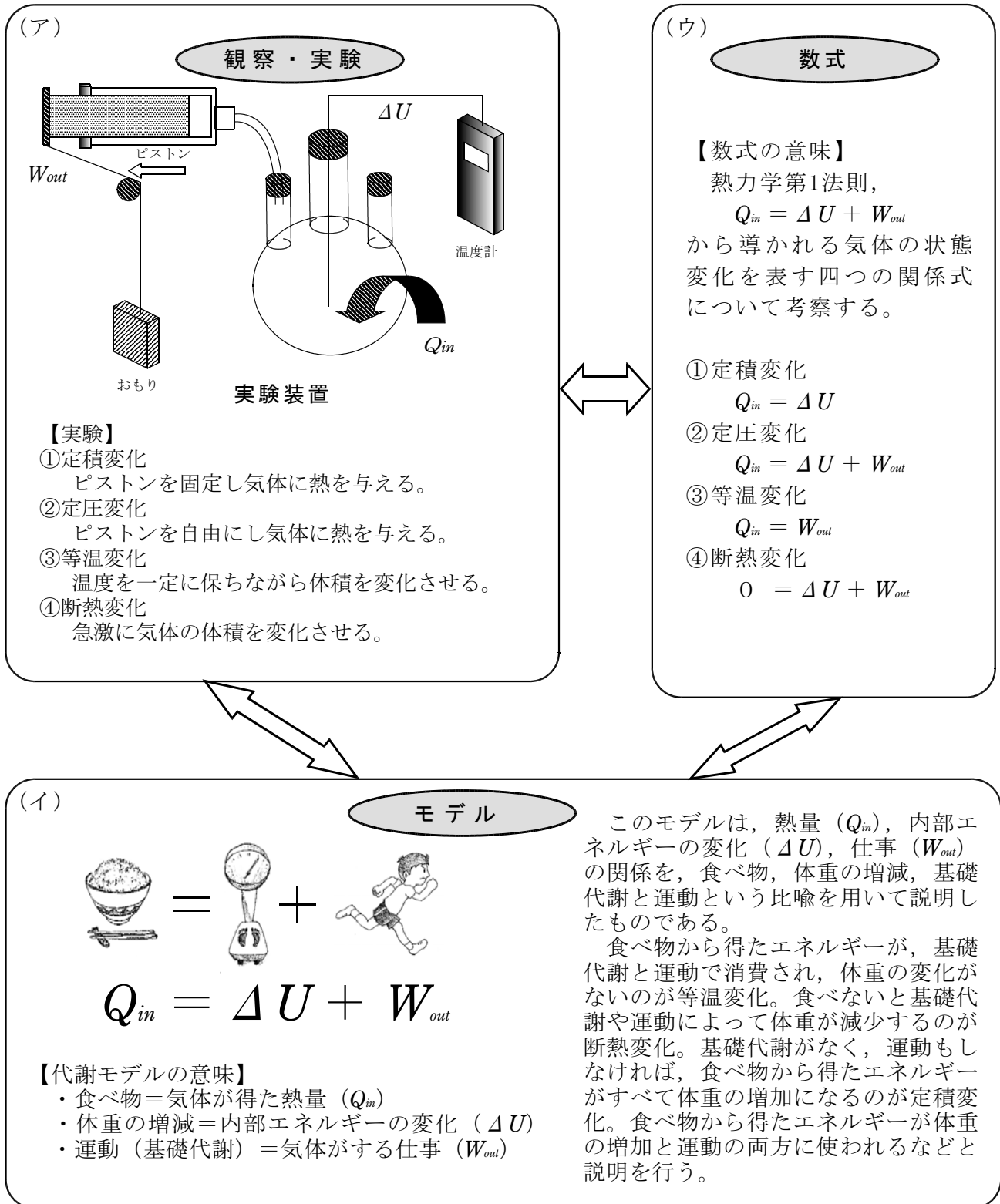


図2 実践事例1の構想図

図2は実践事例1に関する構想図である。熱力学第1法則 $Q_{in} = \Delta U + W_{out}$ によって説明される気体の四つの状態変化（定積，定圧，等温，断熱）の関係式について，実験とモデルを相互に関連付けながら熱力学第1法則の概念が形成されるよう指導を行った。

実際の授業の流れは，次の表4のとおりである。計6時間の授業実践を行い，熱力学第1法則の概念の定着の程度を確認した。

表4 実践事例1の授業計画

時	学習項目	授業の概要
第1時	<ul style="list-style-type: none"> 熱力学第1法則の概念についての事前アンケート 温度 熱量保存則（理論） 	熱・温度・仕事・エネルギーについての概念について，事前にアンケート調査を行い，生徒の理解度を把握する。温度を「熱運動の激しさ」と定義し，熱量保存則の考え方の定着を図る。また，比熱についてその意味を説明する。
第2時	<ul style="list-style-type: none"> 熱量保存則（実験） 	2種類の金属の比熱を求める実験を行う。
第3時	<ul style="list-style-type: none"> ボイルの法則（実験） シャルルの法則（実験） 	簡易真空容器を用い，ボイルの法則について定性的な実験を行う。シャルルの法則については液体窒素を用いた演示実験を行う。
第4時	<ul style="list-style-type: none"> 断熱圧縮（実験） 熱力学第1法則 熱力学第1法則の実験装置 代謝モデル 	圧縮発火装置を用いた断熱圧縮の演示実験を行う。熱・内部エネルギーの変化・仕事の三つの物理量を感覚的にとらえることのできる演示実験を行うことにより，熱・内部エネルギーの変化・仕事との関係式である $Q_{in} = \Delta U + W_{out}$ を導入する。さらに，この法則の意味を「代謝モデル」という比喻で説明する。
第5時	<ul style="list-style-type: none"> 気体の四つの状態変化 	定積変化，定圧変化，等温変化，断熱変化の四つの状態変化について前時で学習した熱力学の第1法則の式を基に考察を行う。
第6時	<ul style="list-style-type: none"> 演習 熱力学第1法則についての質問紙調査 	熱力学第1法則に関する演習を行い，理解を深める。最後に質問紙調査（「学習振り返りシート」）を実施し，熱力学第1法則の概念の形成の程度を確認する。

(2) 授業の流れ

まず，熱・温度・仕事・エネルギーという物理量の概念について，生徒がどの程度理解しているか事前にアンケート調査を行った。その結果，「熱は温度のもと」「エネルギーは〇〇する力」など熱と温度を同じものであると誤解したり，エネルギーと力の概念が区別できなかつたりする生徒が多く，熱力学に関する物理量の関係式を学ぶ以前に，これらの物理量の概念一つ一つが明確でない生徒がほとんどであることが明らかになった。そこで授業では，熱力学に関する実際の現象をできるだけ多く体験させ，これらの現象について実感を伴った理解ができるようにした。

また，図2に示した観察・実験，モデル，数式を相互に有機的に関連付けながら熱力学第1法則の概念が形成されるよう指導した。図3は第4時で使用した「熱力学第1法則の実験装置」で三叉フラスコを加熱器で温めると温度センサの値が上昇するとともに連結されたピストンが移動する仕組みになっている。この装置を用いることで熱力学第1法則の熱量，内部エネルギーの変化（温度変化），仕事の関係を，視覚に訴えながら理解させた。



図3 熱力学第1法則の実験装置

(3) 成果と課題

第6時で質問紙調査（「学習振り返りシート」）を実施し、生徒の熱力学第1法則の概念の定着の程度を確認した。対象とした生徒は、この授業を受けた第2学年の25名である。次の表5はそのアンケート調査の質問項目である。

表5 「学習振り返りシート」の質問項目

熱力学第1法則についての学習を振り返って、次の1～4の各質問に答えなさい。思ったこと、感じたこと等も含め、できるだけ多くのことを記述しなさい。
5については、物理を選択していない友達に尋ねられたという想定で、できるだけ分かりやすく記述しなさい。
1 熱力学第1法則（気体の状態変化【定積、定圧、等温、断熱】）の観察・実験において、理解が深まったのはどのようなことですか。感じたこと、思ったこと等も書きなさい。
2 代謝モデルにおいて、理解が深まったのはどのようなことですか。感じたこと、思ったこと等も書きなさい。
3 熱力学第1法則から導出された四つの関係式を学習したことによって理解が深まったのはどのようなことですか。感じたこと、思ったこと等も書きなさい。
4 熱とエネルギーの単元を学習するにあたり、熱力学第1法則についての理解を深めるのに、次の（ア）～（ウ）のうちのどれが役に立ちましたか。複数の項目を答えてもかまいません。また、その理由を書きなさい。
（ア）熱力学第1法則に関する実験 （イ）代謝モデル （ウ）熱力学第1法則の公式
5 熱とエネルギーの現象を、この単元で学習したことを基に、第三者に分かりやすく説明しなさい。文字だけではなく、できるだけ図や数式も用いること。なお、必ず「熱」「内部エネルギー」「温度」「仕事」の四つの語を用いること。

項目5については、次の評価規準を定め、表6の評価基準に基づいて分析を行った。

【評価規準】

熱とエネルギーに関する現象について、熱力学第1法則に基づいて説明している。

表6 評価基準表と評価結果（計25名）

A（5点） 1名	言葉に加えて図やグラフなどを効果的に用い、熱力学第1法則に基づいて身近な現象を第三者にも分かりやすく正確に説明している。
B（4点） 9名	言葉に加えて図やグラフなどを効果的に用い、熱力学第1法則に基づいて授業で学習した気体の四つの状態変化すべてについて説明している。もしくは熱力学第1法則の公式の各項の意味を正確に記述している。
C（3点） 3名	言葉に加えて図やグラフなどを効果的に用い、熱力学第1法則に基づいて授業で学習した気体の四つの状態変化のうちの幾つかを説明している。
D（2点） 9名	言葉もしくは数式で、熱力学第1法則に基づいて授業で学習した気体の四つの状態変化すべてについて説明している。もしくは熱力学第1法則の公式の各項の意味を正確に記述している。
E（1点） 2名	言葉もしくは数式で、熱力学第1法則に基づいて授業で学習した気体の四つの状態変化のうちの幾つかを説明している。
F（0点） 1名	記述がないか、意味のない言葉や図を記述している。

項目1の観察・実験についての質問からは、「板書や説明だけでは理解できないので、実験のときには集中して見るようにした」「実際に説明しながら見せてくれると分かりやすく面白かった」「定積変化と定圧変化の区別がはっきりついた」「熱を加えると体積が増えることがよく分かり、実際に目で見ることによってそれぞれの変化がよく分かった」などの記述が見られ、観察・実験を通して実感を伴った理解が深まり、「定積変化」「定圧変化」など、科学的用語の意味を明確に理解できるようになったと考えられる。実験装置も与えられた熱が気体の温度上昇と仕事に使われるという仕組みになっており、「 $Q_m =$ 」の形で記述された熱力学第1法則の公式を理解する上でも役だったと考えられる。

項目2の「代謝モデル」については、「食べた分だけ体重が増えるという喩えは分かりやすかったし、面白かった」「公式だけで理解するよりは頭に入りやすかった」「イメージしやすかった」などの記述が多く見られ、熱力学第1法則の公式の意味を理解する上で有効な手段ではないかと考えられる。

項目3の熱力学第1法則の公式に関する質問では、「それぞれの状態変化での計算がしやすくなった」「気体の状態変化を定量的に考えるとき公式で簡単に解ける」「in や out などの添字が理解しやすい」など、式を使うことの利便性についての記述が最も多かった。また、「たった一つの数式が四つの気体の状態変化すべてに変化するのが不思議だ」「普段の生活の中で利用されていることを探りたい」などの記述もあり、公式の持つ普遍性に気付いた様子がうかがえた。

項目4では、(ア)の観察・実験のみを回答した生徒が25名中9名、(イ)のモデルのみが5名、(ウ)の式のみが5名であった(表7)。

(ア)のみを回答した生徒の多くは「装置の状態から想像して公式を覚えやすくなった」「公式と一緒に頭の中で実験の様子がかんた」などと他の項目と関連付けて記述していた。表8の延べ回答数においても(ア)が15件と最も多くなっている。このことから、実際の観察・実験を通して、実感を伴った理解を深める大切さを改めて確認することができた。また、(ア)～(ウ)の3項目のうち二つを選択した生徒は4名で、そのうち(ア)と(ウ)を選択した生徒が3名と最も多くなっている。この3名のうちの1名は、「演習問題を解くときに実験風景が頭に浮かび、それと式を合わせることで解きやすくなった」と記述している。このことから

表7 項目4についての回答数

回答項目	回答者数
(ア)のみ	9名
(イ)のみ	5名
(ウ)のみ	5名
(ア)と(イ)	1名
(イ)と(ウ)	0名
(ア)と(ウ)	3名
(ア) (イ) (ウ)すべて	2名
合計	25名

表8 項目4についての延べ回答数

回答項目	延べ回答数
(ア)	15件
(イ)	8件
(ウ)	10件
合計	33件

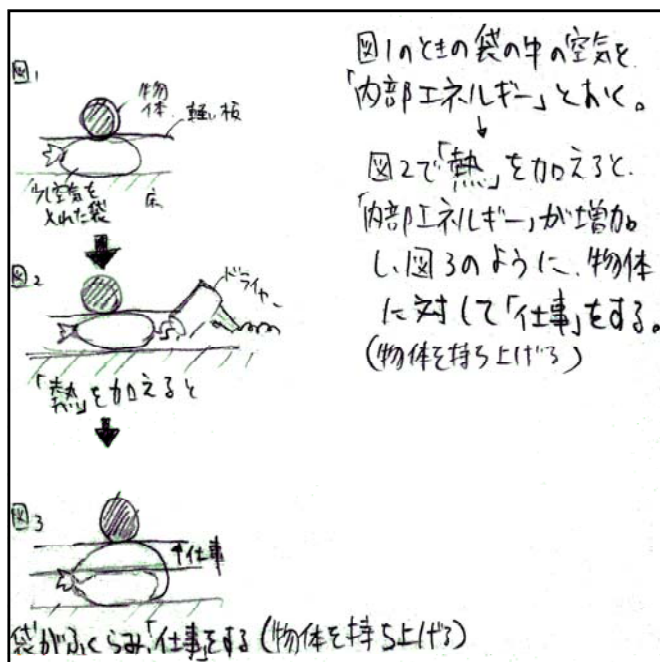


図4 項目5の生徒の記述

観察・実験と式とが頭の中で結び付いている様子がうかがえる。さらに3項目すべてを選択した生徒は2名で、そのうちの一人は、「(ア)を見ることで(ウ)の意味が分かってきて、さらに(イ)を聞いて(ウ)の意味をより分かりやすく考えられるようになった」と記述しており、熱力学の第1法則の意味を理解する上で実験とモデルが相互補完的に役立っていると考えられる記述が見られた。

熱力学第1法則の概念の形成の程度を見る項目5の回答では、図4のように、熱を利用して気体が仕事をする過程について、授業では扱っていない独自の設定で分かりやすい図を用いて説明した生徒もいた。「袋の中の空気を『内部エネルギー』とおく。」という記述は正確さを欠くが、熱機関の応用を想像させる創造性豊かな記述である。また、「気体が熱を得たり仕事をされることによって内部エネルギー(温度)が上昇すること」と図や数式の説明はないものの、熱力学に関するエネルギー保存則の本質をとらえた簡潔な記述のみの生徒もいた。その反面、「体積の増加が仕事である」など、温度・体積・圧力という気体の状態を表す物理量と、熱・内部エネルギー・仕事というエネルギーを表す物理量との二つの間の違いを厳密に意識せず混同している記述も見られた。このことは、熱力学で扱う物理量の数が多いため、それぞれの物理量について十分な整理ができないまま指導を行っていることに原因があると考えられる。今後は、物理量の違いも意識できるような指導の工夫や丁寧な説明が必要であると考えられる。

項目5の評価に関しては、表6の人数で示している。Fの段階の1名を除いてほぼ正確に熱力学に関する現象を説明している。図やグラフを用いている生徒は25名中13名とおよそ半分となっている。また、D以上の評価は25名中22名(88%)となっており、この調査結果から、生徒の熱力学第1法則の概念の形成がおおむね良好に形成されたと考える。

2 実践事例2(光波)

実践事例2では、B高等学校の普通科第2学年の生徒を対象に、物理Iの波動分野の中で苦手意識を持つ生徒が多いヤングの実験を題材に、光の干渉に関する授業を行った。

(1) 実践事例2の構想と授業計画

次ページの図5は実践事例2に関する構想図である。ヤングの実験の現象を、強め合いの干渉条件の式 $dx/l = m\lambda$ と水面波の干渉との比較、ヤングの実験の演示の三つを相互に関連させながらそれぞれの理解を深め、光の干渉の概念が形成されるように授業を行った。

実際の授業の流れは、次の表9のとおりである。3時間の授業実践を行い、「光」分野全体の学習終了後、ヤングの実験に関する概念の定着の程度を確認した。

時	学習項目	授業の概要
第1時	・波の干渉の復習 ・ヤングの実験と干渉条件の式の導出	水面波の干渉・音波の干渉を観察し、干渉の起こる仕組みと干渉条件について復習する。その後、ヤングの実験を演示し、その理由と仕組みについて考えさせ、その意義を紹介する。最後に三平方の定理を用いて経路差と干渉条件を導く。
第2時	・ヤングの実験の原理の確認 ・回折格子の紹介	再度ヤングの実験の干渉縞を観察させ、干渉条件について検証する。ヤングの実験の原理を確認した後、回折格子による干渉を演示し、強め合いの干渉条件の式 $d\sin\theta = m\lambda$ を導く。最後にヤングの実験の干渉条件と比較し、同一であることを確認させる。
第3時	・ヤングの実験に関する演習	ヤングの実験についての問題演習を行う。波長による明線の移動、白色光などの場合について、演習の過程で演示を交えながら考察させ、理解を深めさせる。

表9 実践事例2の授業計画

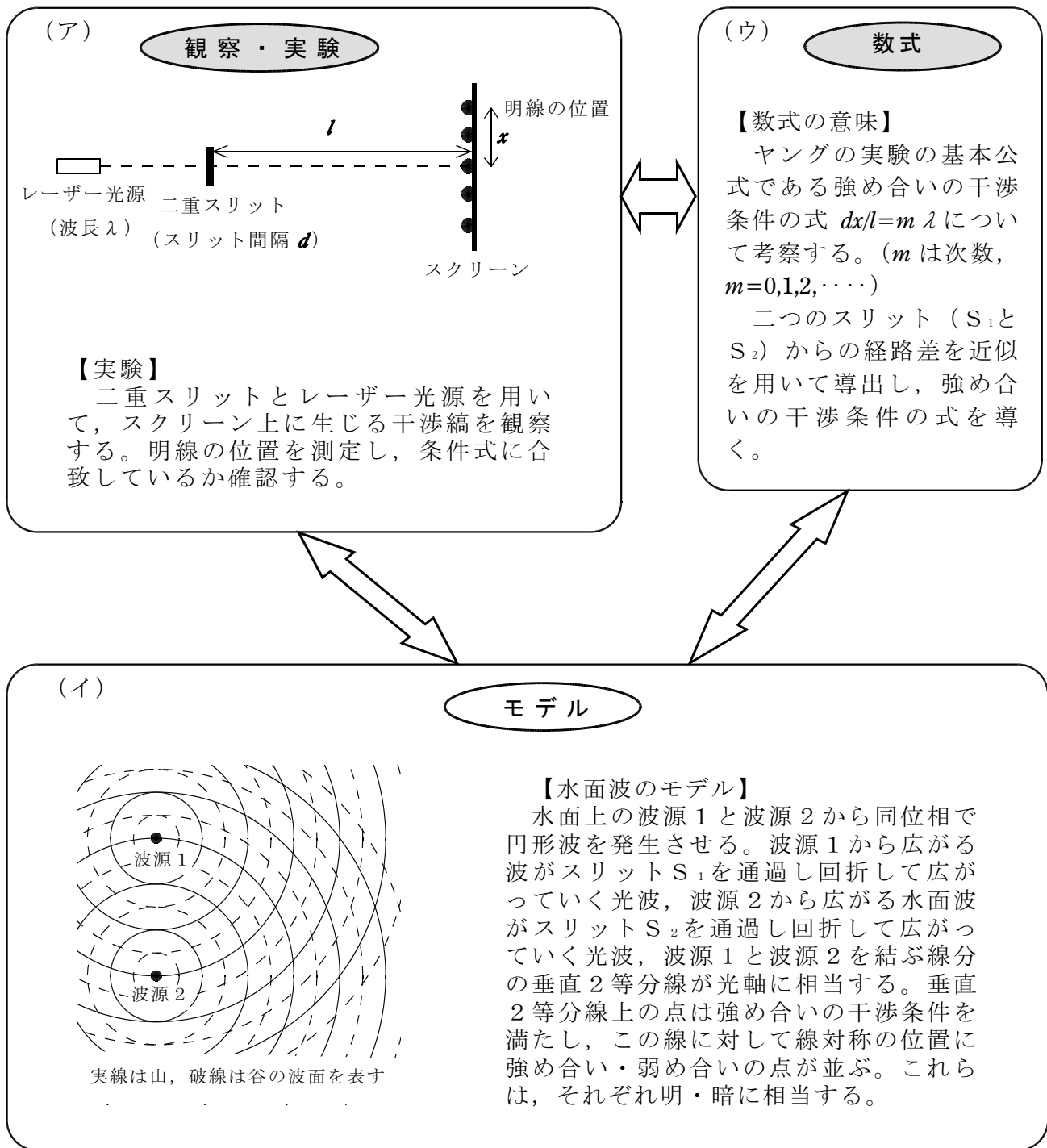


図5 実践事例2の構想図

(2) 授業の流れ

平成19年度の第3学年を対象に物理 I に関する意識調査を実施したところ、光の干渉について最も苦手とする生徒が多く、「根本的に何が起きているのか分からない」などの感想が多く見られ、中には「この現象を学習する意義が分からない」というものまであった。光の「波の山や谷」を直接見ることができないため、既習事項である水面波や音波の干渉との関連付けが難しく、このことが理解の妨げになっており、さらには学習の意義を見いだせない原因であると考えた。

そこで、ヤングの実験に入る前にもう一度、水面波の干渉と音波の干渉を演示して観察させ、干渉の仕組みと干渉条件を再確認した。その後、これが光だったらどうなるか、光でも干渉が

生じるかなどと問いかけながら、レーザー光源と二重スリットによるヤングの実験を行った。

第2時は、ヤングの実験における経路差を計算し、強め合いの干渉条件の式を導出した。その後、再度ヤングの実験を行い、強め合いの干渉条件の式に当てはめ、一致していることを確認した。また、関連して回折格子による干渉の観察を行い、強め合いの干渉条件の式を導き、ヤングの実験における強め合いの干渉条件の式との比較を行った。さらに、CDの表面からの反射光が虹色に見えることなど、身の回りで見られる光の干渉を紹介した。第3時はヤングの実験と回折格子の問題演習を行った。単色光による明線間隔、白色光の場合の明線の位置など、干渉条件の式を活用し予想した後、実際に観察を行って実際の現象と数式との関連付けを図った。

(3) 成果と課題

普通科第2学年66名について、光波全体の学習終了後、質問紙調査（「学習振り返りシート」）を実施し、光の干渉の概念がどの程度形成されたかを確認した（表10）。

表10 「学習振り返りシート」の質問項目

<p>ヤングの実験についての学習を振り返って、次の1～4の各質問に答えなさい。思ったこと、感じたこと等も含め、できるだけ多くのことを記述しなさい。</p> <p>5については、物理を選択していない友達に尋ねられたという想定で、できるだけ分かりやすく記述しなさい。</p>	
1	ヤングの実験の単元で行った観察・実験において、理解が深まったのはどのようなことですか。感じたこと、思ったこと等も書きなさい。
2	水面波の干渉や音の干渉と比べることによって、理解が深まったのはどのようなことですか。感じたこと、思ったこと等も書きなさい。
3	ヤングの実験の数式 $dx/l=m\lambda$ を学習したことによって理解が深まったのはどのようなことですか。感じたこと、思ったこと等も書きなさい。
4	この単元で学習した「ヤングの実験」についての理解を深めるのに、次の（ア）～（ウ）のうちどれが役に立ちましたか。複数の項目を答えてもかまいません。また、その理由を書きなさい。 （ア）ヤングの実験 （イ）水面波のモデル （ウ）光の干渉条件の式
5	「ヤングの実験」の光の干渉の現象を、この単元で学習したことを基に、第三者に分かりやすく説明しなさい。文字だけではなく、できるだけ図や数式も用いること。なお、必ず「波の干渉」「重ね合わせ」「 $dx/l=m\lambda$ 」の三つを用いること。

表11 評価基準表と評価結果（計66名）

A（5点） 7名	言葉に加えて図などを効果的に用い、光の波動性に基づいて現象と数式の内容を第三者にも分かりやすく正確に説明している。
B（4点） 14名	言葉に加えて図などを効果的に用い、光の波動性に基づいて現象と数式の内容を正確に説明している。
C（3点） 20名	言葉に加えて図などで、光の波動性に基づいて現象又は数式の内容を正確に説明している。
D（2点） 14名	言葉や数式、図などで、現象を説明している。
E（1点） 5名	言葉や数式、図などで、現象を部分的に説明している。
F（0点） 6名	記述がないか、意味のない言葉や図を記述している。

項目5については、次の評価規準を設け、表11の評価基準表に基づき分析を行った。

【評価規準】

ヤングの実験の光の干渉の現象を、光の波動性に基づいて説明している。

項目1の観察・実験についての質問からは、「光も波であり、強め合いや弱め合いがあるのだと分かった」「光が波であることが一発で理解でき感激した」などの感想が多く、実際に目で見ることによって、光が波であるために干渉という現象が起こっているという事実を、実感を伴って理解することができたものとする。

項目2の水面波の干渉のモデルについての質問からは、「波でも音でも光でも強め合ったり弱め合ったりしていると思った」「イメージをよくつかむことができ、それによって公式の成り立ちなども理解できた」などの感想が見られ、実際に目で見ることでできない光の波面の重ね合わせという現象を、水面波というモデルを通して具体的にイメージすることができたとする。

項目3の数式についての質問からは、「実際に式で表すことで説明できたので光の干渉がよく分かった」「強め合ったり弱め合ったりしているのが計算で導き出せ、なるほどと思った」など、計算によって、表面的な理解にとどまらず、現象をより深く理解できたことを示した回答が多く見られた。光以外の波の干渉条件との共通性に気付いたり、計算結果だけにとどまらず、実験結果とも関連付けて光の波長と色の関係や明線の位置などに言及したりする回答も見られ、数式が現象をより深く理解する上で役立っていることがうかがえた。

項目4では、生徒全体で見ると表12、表13のように、(ア)の実験と(ウ)の数式が役立つとする生徒がほぼ同数で、この二つがほとんどを占める。(イ)のモデルが役立つとする生徒は少数である。(ア)のみを回答した生徒からは「実験で現象が理解しやすくなる」「自分でやった実験はよく覚えている」などの回答が多い。(イ)のみを回答した生徒からは「式をいじったり面倒な実験をしたりするより、単純で分かりやすかった」などの感想が見られた。(イ)のみを回答した生徒は少数であったが、(イ)を選択していない生徒の感想からもモデルがイメージを作る上で役立つとする回答が多く見られ、概念を形成する上で、効果があったことが推察される。これらのことから、モデルは光の干渉の概念を形成する上で、観察・実験と数式を支えているという図式が明確になった。(ウ)のみを回答した生徒からは「実際に計算で答えを出すことで理解しやすくなる」「数式に当てはめながら確認することで簡単に理解できた」など、実際に数式を活用する過程で現象の理解が深まっている様子が見られた。また、数学の得意な生徒にとっては実験よりも数式の方が理解しやすいのではないかと考えられる記述も多かった。物理現象の理解においては、観察・実験や定性的な説明だけでなく、数式を活用して計算することも理解を深める上で重要であるとする。(イ)と(ウ)の二つを回答した生徒からは「図から数式を思い出して演習問題も解けた」というものがあり、イメージが数式の理解を助け、光の干渉の概念を形成する上で役立っていることを示唆している。(ア)と(ウ)の二つを回答した生徒からは「音も光も波だと分かった」など、干渉条件の式を通して波の現象の共通性や数式の普遍性

表12 項目4についての回答数

回答項目	回答者数
(ア)のみ	26名
(イ)のみ	3名
(ウ)のみ	25名
(ア)と(イ)	0名
(イ)と(ウ)	3名
(ア)と(ウ)	6名
(ア) (イ) (ウ)すべて	0名
無回答	3名
合計	66名

表13 項目4についての延べ回答数

回答項目	延べ回答数
(ア)	32件
(イ)	6件
(ウ)	34件
合計	72件

に気付いた様子うかがえた。また、無回答の生徒の中にもモデルについて「イメージはよくつかむことができた」と回答している生徒がおり、理解することが難しかった生徒にもモデルが多少とも役立っていることがうかがえる。

全体の傾向として、(ア)～(ウ)のうちの一つのみを選択した生徒も、観察・実験、モデル、数式の三つともに理解が深まった様子うかがえる感想を述べている場合が多く、これらの三つを有機的に関連付けた指導が光の干渉の概念を形成する上で有効であることが確認できた。三つの要素を有機的に関連付けることにより、数式が観察・実験の理解を深めたり、逆に観察・実験が数式の理解を深めたりするなど、相互補完的に理解が深まっている様子うかがえた。また、生徒によっては、「数式が分かりやすい」「実験の方が分かりやすい」などの個人差も見られ、一つの要素に偏ることのない指導も必要であると考えられる。さらに、項目4の結果(表12, 表13)に示すとおり、数値の上ではモデルの比重は低い、数式と現象とを連結する接着剤としての役割を果たしていることがうかがえる。モデルには、観察・実験と数式とを連結する「車の両輪を結び付けている車軸」としての効果があると考えられる。

項目5に対する回答では、日常的に使われる言葉で補うなどの工夫をせず、指定した言葉をそのまま使うなど、第三者へ説明することが意識できていない回答が多かったものの、現象の意味と内容、式の説明を多数の生徒が正確に回答していた。また、水面波や音波を引き合いに出してヤングの実験における干渉を説明している生徒も多く、第三者に説明する上で、モデルの効果は大きいと考えられる。表11に示したとおり、光の波動性を用いて説明できている生徒が66名中41名と60%程度を達成している。図6で示した生徒の記述例では、回折によってスリットから波が広がっていく様子や、二つの波が干渉する様子が的確に示されており、光の干渉の概念が良好に形成されていると考えられる。生徒66名のうち、D以上が55名と全体の83%を占めており、光の干渉の概念の形成がおおむね良好に達成されたのではないかと考えられる。

① ↓スリット

②

波長 λ の光を①のところにスリットをとおして、スクリーンにうつす。実際は②のように(矢印は λ)、A, B からでた光はそれぞれ干渉する。干渉した光がそれぞれ光重なり合、弱め合、たより強め合、たよりして行く。スクリーンのところでは強め合、たより光が、明な点になって行く(②の点 P, O, A)

→ ①で λ は長 P と A, B を結ぶと、A, B から長 P まで λ のキ、リ正来た。AP, BP の差が、波長の整数倍 n のとき、明な点 λ になる。②

$$|AP - BP| = m\lambda$$

$$|AP - BP| \approx \frac{d\Delta x}{L}$$

$$\frac{d\Delta x}{L} = m\lambda = \text{波長変形すると}$$

$$\Delta x = \frac{d\lambda}{L} \text{ と表すことができる。}$$

図6 項目5の生徒の記述

3 実践事例3（電磁気）

実践事例3では、C高等学校の普通科第3学年の生徒を対象に、物理Ⅱにおける電磁気の重要な考え方である電気量保存の法則について、コンデンサーのつなぎかえを題材にした授業を行った。

(1) 実践事例3の構想と授業計画

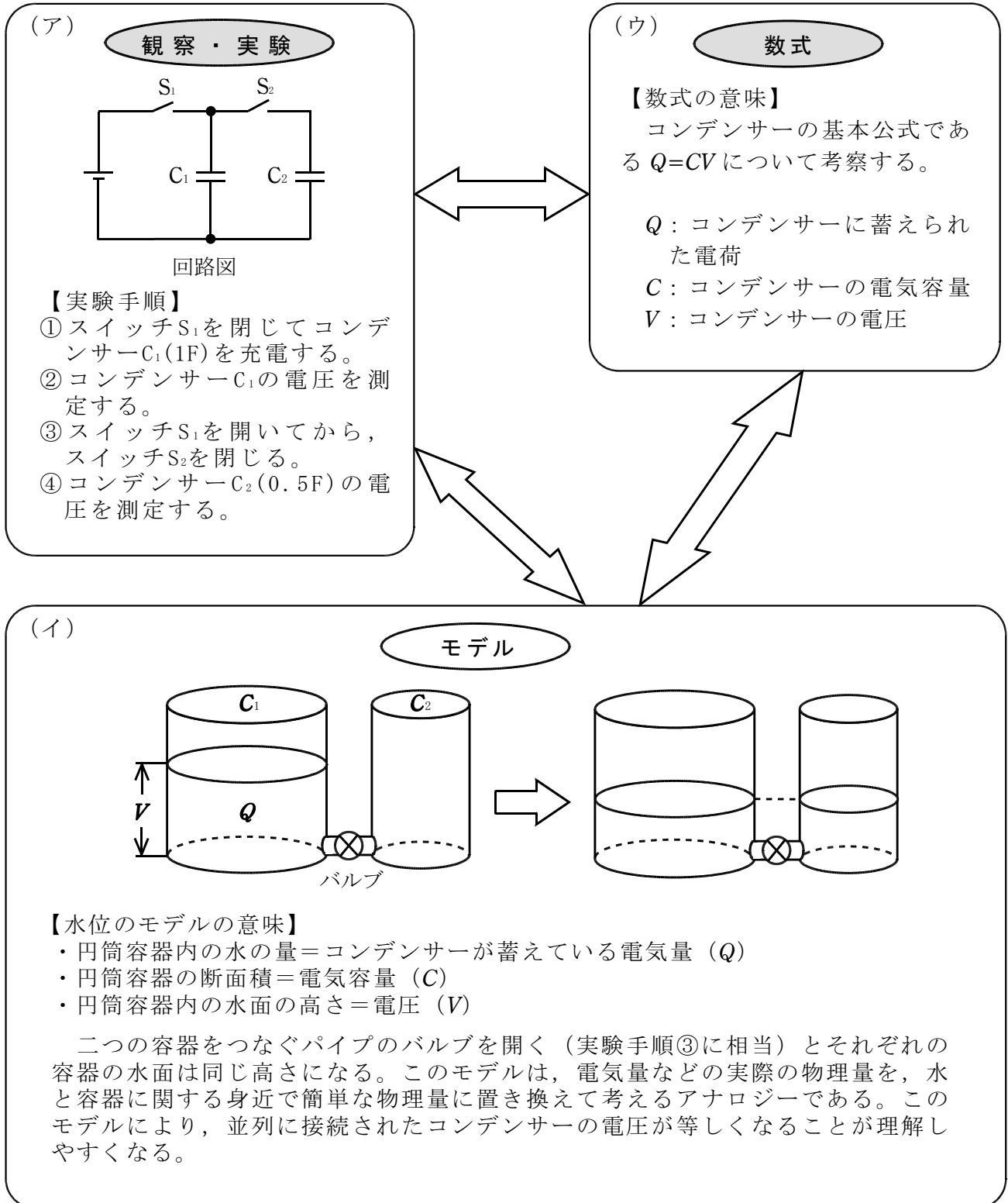


図7 実践事例3の構想図

図7は実践事例3に関する構想図である。コンデンサーの基本公式である $Q=CV$ と二つのコンデンサーと電池を用いた実験及び水位のモデルを相互に関連付けながら電気量保存の概念が形成されるよう指導を行った。

実際の授業の流れは、次の表14のとおりである。計6時間の授業実践を行い、コンデンサーのつなぎかえの実験を通して電気量保存の概念の定着の程度を確認した。

表14 実践事例3の授業計画

時	学習項目	授業の概要
第1時	・コンデンサーの充電と放電 ・電気容量 ・平行板コンデンサー	平行板コンデンサーについて、 $Q=CV$ の基本式を導出する。また、電気容量が極板の面積に比例し、極板間の距離に反比例することを説明する。
第2時	・電気容量と誘電体 ・コンデンサーの耐電圧	コンデンサーの極板間に誘電体を挿入すると、電気容量が増加することを説明する。
第3時	・コンデンサーの接続 ・電気量保存の法則	並列接続と直列接続についてコンデンサーの合成容量の求め方を説明する。
第4時	・コンデンサーのつなぎかえ(実験)	0.5Fと1.0Fを用いて、コンデンサーのつなぎかえの実験を行う。この実験の意味を水位のモデルというアナロジーで説明する。
第5時	・静電エネルギー(実験)	充電するとコンデンサーにエネルギーが蓄えられることを説明し、充電したコンデンサーでモーターを回転させる演示実験を行う。
第6時	・演習 ・電気量保存の概念についての質問紙調査	コンデンサーについての演習を行う。最後に質問紙調査(「学習振り返りシート」)を実施し、電気量保存の概念の形成の程度を確認する。

(2) 授業の流れ

平成19年度に、物理Ⅱの学習を終えた第3学年の生徒に対して行った質問紙調査で、コンデンサーについて「抽象的でイメージがわからない」「コンデンサーは難しい。想像しにくい」など抽象的であることが理解を妨げている可能性があることが分かった。

そこで授業では、図7に示した観察・実験、モデル、数式の三つを相互に有機的に結び付けながら、コンデンサーのつなぎかえの実験を通して電気量保存の概念が形成されるよう指導を行った。

第4時のコンデンサーのつなぎかえの実験では、コンデンサーが蓄えている電気量、電気容量、電圧の関係を水位のモデルというアナロジーでイメージさせた。また、実験結果と水位のモデルとを比較することによって、抽象的な概念と具体的な事象とを結び付けながら指導した。図8は実験で用いたプリントである。

実験 コンデンサーのつなぎかえ

【目的】
充電したコンデンサーをつなぎかえ、電気量保存の法則が成り立つことを確認する。

【準備】
コンデンサー (1.0F, 0.50F)、直流電圧計、電源装置、リード線

【方法】

- コンデンサーに電荷が蓄えられていないことを確認する。
- 図のように、回路をつなぐ。(スイッチは閉じたまま)
- スイッチをaにつなぎ、1.0Fのコンデンサーを3.0Vで充電する。
- スイッチを開いてから、コンデンサーの極板間の電位差を測定する。

極板間の電位差 V

- スイッチをbにつなぎかえる。
- スイッチを開いてから、コンデンサーの極板間の電位差を測定する。

極板間の電位差 1.0F V 0.50F V

質問1 スwitchをaにつないだとき、コンデンサーに蓄えられた電荷はいくらか。

C

質問2 スwitchをbにつなぎかえたとき、それぞれのコンデンサーに蓄えられた電荷はいくらか。

質問3 コンデンサーのつなぎかえで、電気量保存の法則が成り立っているといえるか。

【感想】

組 番 氏名

図8 実験プリント

(3) 成果と課題

第6時で質問紙調査（「学習振り返りシート」）を実施し、コンデンサーのつなぎかえの実験を通して電気量保存の概念がどの程度形成されたかを確認した。対象とした生徒は、この授業を受けた第3学年の36名である。次の表15はそのアンケート調査の質問項目である。

表15 「学習振り返りシート」の質問項目

<p>コンデンサーのつなぎかえについての学習を振り返って、次の1～4の各質問に答えなさい。思ったこと、感じたこと等も含め、できるだけ多くのことを記述しなさい。</p> <p>5については、物理を選択していない友達に尋ねられたという想定で、できるだけ分かりやすく記述しなさい。</p> <p>1 コンデンサーのつなぎかえの観察・実験において、理解が深まったのはどのようなことですか。感じたこと、思ったこと等も書きなさい。</p> <p>2 水位のモデルにおいて、理解が深まったのはどのようなことですか。感じたこと、思ったこと等も書きなさい。</p> <p>3 $Q=CV$ の式を学習したことによって理解が深まったのはどのようなことですか。感じたこと、思ったこと等も書きなさい。</p> <p>4 この単元で学習したコンデンサーのつなぎかえについての理解を深めるのに、次の（ア）～（ウ）のうちのどれが役に立ちましたか。複数の項目を答えてもかまいません。また、その理由を書きなさい。 （ア）つなぎかえの実験 （イ）水位のモデル （ウ）$Q=CV$ の式</p> <p>5 コンデンサーのつなぎかえを、この単元で学習したことを基に、第三者に分かりやすく説明しなさい。文字だけではなく、できるだけ図や数式も用いること。なお、必ず「電荷」「電気容量」「電位差」の三つの語を用いること。</p>	
---	--

項目5については、次の評価規準を設け、表16の評価基準表に基づき分析を行った。

【評価規準】

コンデンサーのつなぎかえについて、「電荷」「電気容量」「電位差」の三つの物理量に基づいて説明している。

表16 評価基準表と評価結果（計36名）

A（5点） 7名	言葉に加えて図や数式などを効果的に用い、「電荷」「電気容量」「電位差」の三つの物理量に基づいて分かりやすく正確に説明している。
B（4点） 11名	言葉に加えて図や数式などを効果的に用い、「電荷」「電気容量」「電位差」の三つの物理量に基づいて簡単に説明している。
C（3点） 8名	言葉に加えて数式を用い、「電荷」「電気容量」「電位差」の三つの物理量に基づいて簡単に説明している。
D（2点） 4名	言葉もしくは数式を用い、「電荷」「電気容量」「電位差」の三つの物理量に基づいて簡単に説明している。
E（1点） 1名	言葉だけで、「電荷」「電気容量」「電位差」の三つの物理量のうち二つ以下の物理量に基づいて簡単に説明している。
F（0点） 5名	記述がないか、意味のない言葉や図を記述している。または質問内容に合っていない説明をしている。

項目1の観察・実験についての質問からは、「実際にやってみると、問題文の『スイッチをつなぎかえた』がイメージしやすくなった」「つなぎかえの観察や実験をすることで、板書を写したり計算する以上に理解が深まった」などの記述が見られた。このことから、電気量保存の概念に対して観察・実験を通して実感を伴った理解が深まり、つなぎかえによる電荷の移動を電圧の変化を通して明確に理解できるようになったと考えられる。

項目2の水位のモデルについては、「水位のモデルで、その水が同じ高さになるまで他方に入るとというのが、つなぎかえで Q が底面(C)の比に分かれるということを知りやすくしていると思う」「水位のモデルを使った視覚的な説明のおかげで、公式だけよりも、イメージしやすかった」などの記述が見られた。このことから、観察・実験と $Q=CV$ の式の意味を理解するのに水位のモデルが具体的なイメージとなり、有効な手段として機能したのではないかと考えられる。

項目3の $Q=CV$ の式に関する質問では、「コンデンサーに蓄えられている電気量は電位差 V に比例しているということが公式を見るだけで分かり、それ自体も簡単なので、とても使いやすかった」と感じた」などの記述が最も多く、式を使うことの利便性や公式の普遍性に気づき物理現象に隠された法則性のより深い理解を助けていると考えられる。

項目4では、表17のように(ア)の観察・実験のみを回答した生徒が36名中6名、(イ)のモデルのみが15名、(ウ)の式のみが3名であった。

(イ)のみを回答した生徒の多くは「容器と水とその体積という身近にある物を使うことによってイメージのしにくかった電荷の移動や $Q=CV$ の比例定数 C のイメージを伝わりやすく分かりやすいものにしたから」「言葉だけではよく分からないコンデンサーだったが、図に表すことにより Q 、 C 、 V との関係性がよく分かり $Q=CV$ に対する理解が深まった」などと他の項目と関連付けた記述が多かった。表18の延べ回答数においても(イ)が27件と最も多くなっている。このことから、コンデンサーのつなぎかえの実験による電気量保存の概念の形成過程において、水位のモデルによるイメージのしやすさが理解を助けることを確認することができた。また、(ア)～(ウ)の3項目のうち二つを選択した生徒は10名で、そのうち(ア)と(イ)を選択した生徒が6名と最も多くなっている。「実際に実験をやることは、やはり理解を深めるのに一番の基本だと思うし、イメージがわきやすくなった」などの記述が見られ、実験とイメージとが頭の中で結び付いている様子がうかがえる。

さらに3項目すべてを選択した生徒は2名で、そのうちの1名は、「まず授業で $Q=CV$ について学び、その中で水位のモデルを使った説明を聞くことで電荷の量的な関係を頭の中でイメージすることができた。さらにつなぎかえの実験によって実際に電荷がどのように移動しているのかを確かめることができ、より深く理解することができました」と記述しており、電気量保存の概念を形成する上で観察・実験、モデル、数式の三つが相互補完的に役立っていると考えられる記述が見られた。以上のことから、水位のモデルによるイメージが中心となり、観察・実験とモデル、数式とモデルの結び付きが行われ、電気量保存の概念の形成を促すことができるということが分かった。

表17 項目4についての回答数

回答項目	回答者数
(ア)のみ	6名
(イ)のみ	15名
(ウ)のみ	3名
(ア)と(イ)	6名
(イ)と(ウ)	4名
(ア)と(ウ)	0名
(ア)(イ)(ウ)すべて	2名
合計	36名

表18 項目4についての延べ回答数

回答項目	延べ回答数
(ア)	14件
(イ)	27件
(ウ)	9件
合計	50件

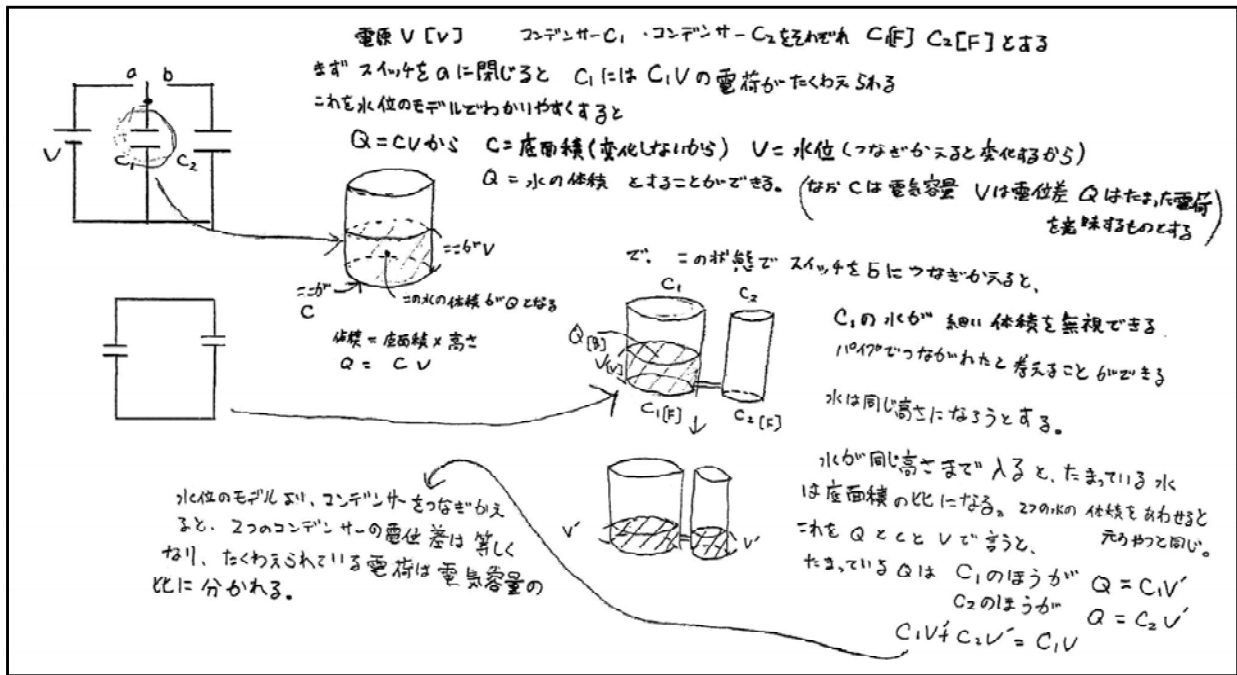


図9 項目5の生徒の記述

項目5の回答では、図9のように回路図と水位のモデルを組み合わせた記述も見られた。項目4で(イ)のみを回答した生徒が36名中15名と最も多かったが、項目5で水位のモデルを用いて説明した生徒は36名中6名にとどまっている。モデルを用いて物理現象を説明するためには、その現象に対するより確かなイメージと理解が必要になる。このことは、自分自身の理解を深めるのに役立つ方法が必ずしも第三者への説明に使えるとは限らないことを示唆している。また、 $Q = CV$ が成り立つこと、電気量が保存すること、並列接続では電圧が共通になることの三つを中心に多くの生徒が同じような記述をしており、授業で扱った内容を越える独創的な記述はあまり見られなかった。このことは、日常生活でコンデンサーを扱ったり、電気量を定量的に扱ったりすることはほとんどないことも原因の一つと考えられる。表16の評価基準表のFの段階の5名を除いてほぼ正確にコンデンサーのつなぎかえについて説明している。図や数式を用いている生徒は36名中18名となっている。また、この18名中6名が水位のモデルを用いて説明している。表16の評価基準表に基づく分析の結果では、D以上(36名中30名)の生徒が83%になり、電気量保存の概念の形成が概ね良好に達成できたと考える。今後は、物理現象を第三者に分かりやすく表現する力を身に付けさせるような指導方法の工夫・改善も必要であると考えられる。

V 本研究で明らかになったこと

本項では、三つの実践事例において、授業実践後に実施した質問紙調査(「学習振り返りシート」)の分析から明らかになった成果について考察を行う。

1 三位一体の詳細なイメージ図

それぞれの実践事例で、(ア)～(ウ)のうち、理解の役に立ったと回答のあった数で重み付けを行い、三位一体のより詳細なイメージ図を作成した(図10, 図11)。実践事例1及び実践事例2では、観察・実験と数式が強く結び付いており、モデルがベースとなり、両者をイメージで支えているという図式が成立する。また、実践事例3では、モデルが中心となりその土台の上に観察・実験と数式が乗っているという図式が成立している。図10は、キツネの顔に似ていること

から、Fox型と名付けた。また、図11は熊の顔に似ていることからBear型と名付けた。電気など、目に見えない現象を扱う場合には、モデルが重要なウエイトを占めるものと考えられる。また、ある現象を数式で理解するとき、観察・実験と数式とをモデルを媒介として結び付けることにより、その現象をより深く理解することができるものと推察できる。これらのことから、モデルについても十分に吟味し、適切に設定することが大切であると言える。

本研究では3事例のみを扱ったが、扱う単位によっては（ア）～（ウ）のウエイトの大きさが異なり、Fox型やBear型以外にも多様なタイプのイメージ図が考えられると推測できる。

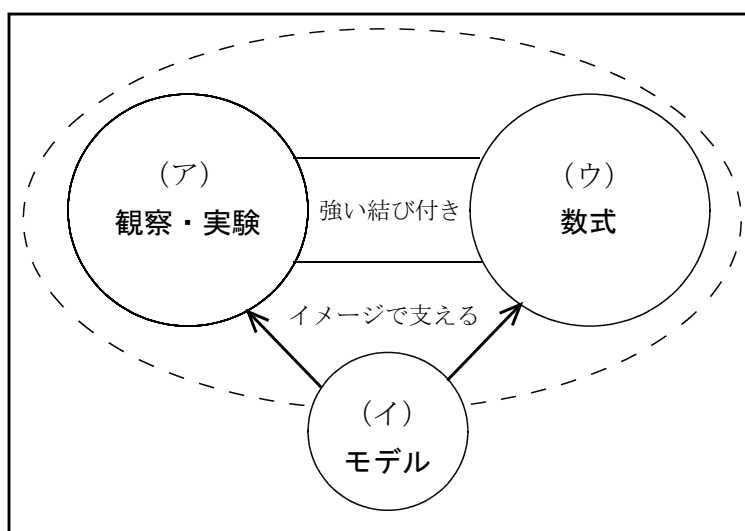


図10 実践事例1（熱力学）、実践事例2（光波）
における三位一体のイメージ図（Fox型）

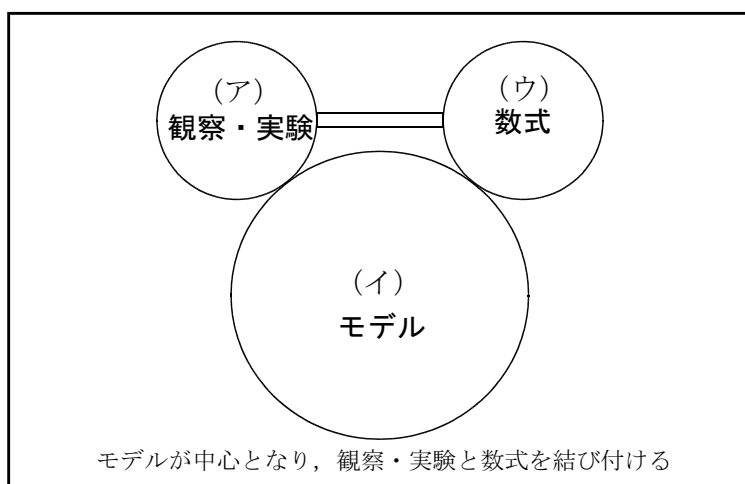


図11 実践事例3（電磁気）における三位一体の
イメージ図（Bear型）

2 質問紙調査から明らかになったこと

授業実践後の質問紙調査から明らかになったことを述べる。本研究において、物理概念の形成に向けて観察・実験、モデル、数式が果たした役割はそれぞれ次の①～③のとおりである。

① 観察・実験の果たす役割

物理現象について実感を伴った理解を深めることができる。

② モデルの果たす役割

観察・実験と数式とを結び付けたり、目に見えない現象の原理・法則に関する理解を具体的なイメージで支えたりする。

③ 数式の果たす役割

公式などが様々な物理現象に適用できることを知ることで、公式などの普遍性に気付き、物理の原理・法則のより深い理解を助ける。

最終的な結論としては、観察・実験、モデル、数式の三つを有機的に関連付けた授業を展開することで、相互補完的に物理現象への理解が深まり、物理概念の形成を促すことができたと考えている。

VI おわりに

本研究では、観察・実験、モデル、数式の三つを有機的に関連付けた授業を展開することが、物理概念の形成を促す一手法となり得ることを明らかにした。このことは、高等学校の物理の授業改善の視点ともなり得ると考えている。生徒の理解が十分でないと感じたときには、数式や抽象的な表現が多い授業になっていないかどうか、また、観察・実験を通して現象に対して実感を伴った理解が実現できているかどうかなど、一般的な物理学研究の手順を想起し、観察・実験、モデル、数式のバランスを考慮した授業を展開することが大切だと考える。

○参考文献

- ・ 松原静郎 (2007) 「持続可能な発展に関する教材の開発」 国立教育政策研究所
- ・ 佐野正之 (2000) 「アクション・リサーチのすすめ 新しい英語授業研究」 大修館書店

平成19・20年度岡山県総合教育センター所員研究
「高等学校物理における物理概念の形成を促す学習指導に関する研究」
協力委員会

協力委員

岩本 恭治 岡山県立西大寺高等学校教諭

坪井 民夫 岡山県立津山高等学校教諭

原田 信彦 岡山県立新見高等学校教諭

仲達 修一 岡山県総合教育センター教科教育部指導主事