

9 クロスカリキュラム 物理×数学（SSH 物理Ⅱ）に関する検証

（1）目的

物理と数学の分野融合課題を物理の知識と数学の知識を活用して解決するための科学的思考力・判断力・表現力の基礎を育成する。

（2）仮説

数学Ⅲで履修する微積分学を習熟した状態で、物理と数学の分野融合課題として、直流 RC 回路の電流の過渡現象を扱う際に、電流と電圧の時間追跡を微積分の考え方でとらえる方法を指導するとともに、電子黒板やデータロガーを利用しながらグループディスカッションや発表などの手法を活用することで、数学の課題を物理の知識を活用して解決するための科学的思考力・判断力・表現力を深化させることができる。

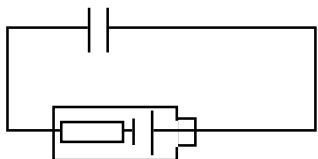
（3）方法

以下のルーブリック並びに指導案を基に、直列 RC 回路における電流と電圧の時間変化を直接測定し、その結果の分析について微積分を用いて考察する活動を行う。具体的な課題は以下の①②である。

- ① （ルーブリック項目 1）コンデンサーに流れ込む電流の時間変化のグラフの妥当性に関する微分による説明
- ② （ルーブリック項目 2）コンデンサーの電圧の時間変化のグラフの妥当性に関する微分またはグラフ分析による説明

活動の際には、以下に示すワークシートを活用すると共に電子黒板とタブレット（データロガー機能付）との連携の取れる WiFi 環境下において、生徒の発表がスムーズに行えるようにした。

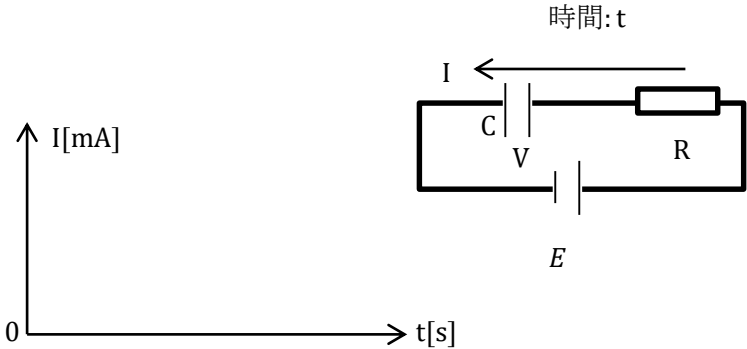
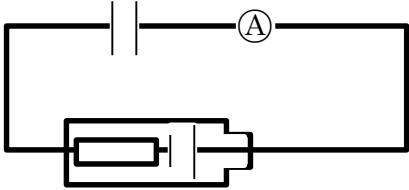
NO	観点	規準	評価			生徒 評価	教員 評価	理由
			4	3	1			
項目1 「回路方程式と実験結果を用いた論証」	思考力	物理の課題を数学の知識・技能と結び付けて思考することができる	<input type="checkbox"/> 回路方程式とt- i グラフの実験結果から、時間に対する電流の関数形を予想し、その関数を表すことができた（表し方を理解できた）	<input type="checkbox"/> 回路方程式とt- i グラフの実験結果から、時間に対する電流の関数形を予想できたが、その関数を表すことができなかった（表し方を理解できなかった）	<input type="checkbox"/> 回路方程式とt- i グラフの実験結果から、時間に対する電流の関数形を予想できなかった（予想の仕方を理解できなかった）			
項目2 「電流の式を用いた電圧の時間変化のグラフの推定」	思考力		<input type="checkbox"/> 時間に関する電流の式と回路方程式から電圧を時間の関数式として表すことができ、電圧と時間の変化のグラフを記述できた	<input type="checkbox"/> 時間に関する電流の式と回路方程式から電圧を時間の関数式として表すことができたが、電圧と時間の変化のグラフを記述できなかった	<input type="checkbox"/> 時間に関する電流の式と回路方程式から電圧を時間の関数式として表すことはできなかった			


実施日時	平成30年6月15日(金)	実施場所	物理講義室
単元(教材)	コンデンサーの充電過程(過渡現象)		
本時のねらい	直流RC回路の電流と電荷の時間変化を測定することによって、理論と実験の整合性を理解する。また、変数の設定による探究の過程を学ぶ。		
	学習内容	学習活動	指導上の留意点
導入	問題の設定(10分)	直流RC回路において、コンデンサーの充電過程にかかる物理量を挙げ、定数・独立変数・従属変数を決定する。その上で、これまでの経験や回路方程式を踏まえて、I-tグラフの概形を予想する。(仮説を立てる)	・独立変数と従属変数の関係を理解させる。
展開	実験の実施(30分)	<p>以下の実験は4人班で行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・前回の授業では乾電池(起電力1.5Vの単3電池)の内部抵抗モデルを実験的に示すと共に、実際の電池の内部抵抗が1Ωオーダーであることを測定している。 ・前回測定した乾電池とコンデンサーを直接つなぎ、コンデンサー(1F)に流れ込む電流の時間変化を測定する。また、コンデンサーの端子電圧も同時測定する。  <ul style="list-style-type: none"> ・1サンプルあたりの測定回数を5回として、実験を行う。 ・測定結果から、I-tグラフの概形と充電完了とみなせる時間を記録する。 ・$E = V + RI$, $I = dQ/dt$ 及び $Q = CV$ を用いて、これらを整理すると、$I = -\frac{1}{RC} \frac{dI}{dt}$ となることを導く。 	<ul style="list-style-type: none"> ・随時、机間指導を行いながら、班の進捗状況を確認する。 ・図の回路を測定していることを意識づける。
	数理モデルを活用した考察(20分)	<ul style="list-style-type: none"> ・数学Ⅲの微分の知識を用いて、$I = I_0 e^{-RCt}$ を見出す。 <p>以上より以下の考察が見いだせる。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 実験結果が指数関数であることが妥当であること ② 時定数$\frac{1}{RC}$の時間で$I = \frac{I_0}{e}$となっていることを実験結果からも確認できること 	・exp関数以外の一般の指数関数を仮定しても初期条件からexp関数となることにも触れる。
まとめ	<p>※次の授業の10分間</p> <p>展望(10分)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・$I = I_0 e^{-RCt}$ を回路方程式$E = V + RI$に代入して電圧の時間変化のグラフを書かると、空気抵抗を受ける物体の速度の時間変化と同じグラフ概形であることに気づく。 ・微分方程式が同型ならば、同じグラフ概形となることから、既知の現象の定式化から未知の現象の予想を行うことが物理の考え方であることを伝える。 	・ルーブリックを用いて今回の活動の自己評価させる。

「RC 直列回路の電流の時間変化測定」

目的

抵抗とコンデンサーの直列回路（RC 直列回路）の電流について、実験と理論を通して時間に対する電流の関数を決定する。

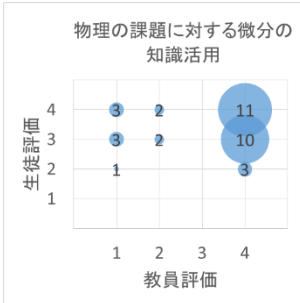
モデリングの手順	ワークリスト
<p>1 仮説 問題を解決するための物理量を設定する</p>	<p>定数：</p> <p>独立変数：</p> <p>従属変数：</p> <p>仮説：</p> 
<p>2 方法 分析手法を選ぶ</p>	<p>以下の回路をつくり、コンデンサーに流れ込む電流の時間変化を測定する。</p>  <p>サンプル数：1（_____Fのコンデンサー）（1.5V, 内部抵抗 1Ωの単3電池） サンプルあたりの測定回数：5回</p>
<p>3 結果 分析する</p>	<p>タブレットと電流センサを用いて I-t 図を作成する。 ※V-t 図も測定しておくが良い。</p>
<p>4 数理モデル モデルを定式化する</p>	<p>RC 直列回路においては、以下のような式が成立する。</p> $E = V + RI$ $I = \frac{dQ}{dt}$ $Q = CV$ <p>これらを整理すると、$I = -A \frac{dI}{dt}$ とできる。ここで、$A =$ _____</p>

<p>5 考察 結果と数理モデルからの解答を考える</p>	<p>3の実験結果と4の理論から電流は時間の関数として以下のように仮定できる。</p>
<p>6 展望 考察を発展させる</p>	<p>5で電流の時間変化が分かったので、コンデンサーの電圧は$V = E - RI$より決定することが出来る。</p> <p>(1) Vをtの関数で表せ。(E, R, C, tを用いる)</p> <p>(2) $V-t$ グラフを示せ。</p> 

(4) 結果・考察

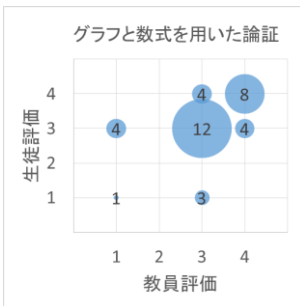
2 学年時におけるルーブリックによる評価と 3 学年時におけるルーブリックを比較すると、同じ微積分をテーマにしたクロスカリキュラムであるが、生徒の達成度が圧倒的に上昇することがわかる。この結果から、クロスカリキュラムはある程度生徒が習熟した状態で実践するならば、効果的になることがうかがえ、教師側がある程度の数学力があれば、一人でも実践が可能であることを示唆すると考える。

<2 年生 クロスカリキュラム物理×数学 (1 回目)>



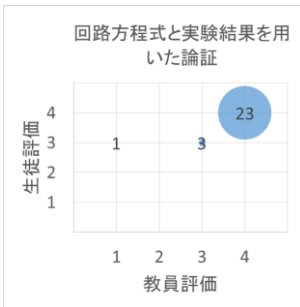
規準	評価			
	4	3	2	1
物理の課題を数学の知識・技能と結び付けて思考することができる	<input type="checkbox"/> 変位・速度・加速度の関係を微分で説明でき、加速度と力の関係を運動方程式で説明できる	<input type="checkbox"/> 変位・速度・加速度の関係を微分では説明できないが、加速度と力の関係は運動方程式で説明できる	<input type="checkbox"/> 変位・速度・加速度の関係を微分で説明できるが、加速度と力の関係は運動方程式で説明できない	<input type="checkbox"/> 変位・速度・加速度の関係を微分では説明できないし、加速度と力の関係も運動方程式で説明できない

<2 年生 クロスカリキュラム物理×数学 (2 回目)>

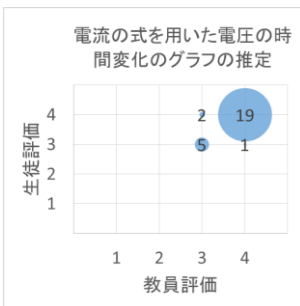


規準	評価			
	4	3	2	1
物理の課題を数学の知識・技能と結び付けて思考することができる	<input type="checkbox"/> 運動方程式とx-tグラフから物体の受ける力を自分の言葉で 数学的に説明できた	<input type="checkbox"/> 運動方程式とx-tグラフから物体の受ける力を自分の言葉で説明したが、 数学的な説明に乏しかった		<input type="checkbox"/> 運動方程式とx-tグラフから物体の受ける力を自分の言葉で 説明できなかった

<3 年生 クロスカリキュラム物理×数学 (2 回目)>



規準	評価			
	4	3	2	1
物理の課題を数学の知識・技能と結び付けて思考することができる	<input type="checkbox"/> 回路方程式とt-Iグラフの実験結果から、時間に対する電流の関数形を予想し、その関数を表すことができた。(表し方を理解することができた。)	<input type="checkbox"/> 回路方程式とt-Iグラフの実験結果から、時間に対する電流の関数形を予想できたが、その関数を表すことができなかった。(表し方を理解することができなかった。)		<input type="checkbox"/> 回路方程式とt-Iグラフの実験結果から、時間に対する電流の関数形を予想できなかった。(予想の仕方を理解できなかった。)



規準	評価			
	4	3	2	1
物理の課題を数学の知識・技能と結び付けて思考することができる	<input type="checkbox"/> 時間に関する電流の式と回路方程式から電圧を時間の関数式として表すことができ、電圧と時間の変化のグラフを記述出来た。	<input type="checkbox"/> 時間に関する電流の式と回路方程式から電圧を時間の関数式として表すことができたが、電圧と時間の変化のグラフを記述出来なかった。		<input type="checkbox"/> 時間に関する電流の式と回路方程式から電圧を時間の関数式として表すことはできなかった。

なお、平成 30 年 6 月下旬までに、クロスカリキュラムを実践し続けてきた SSH クラスに対して育成してきた物理の探究能力がセンター試験の後に、実施される共通テストにおいてどの程度通用するのかを確認するため、平成 29 年度に実施されたプレテストを SSH クラス及び非 SSH クラスに対して実施して比較を行ったところ、図 11 のような結果が得られた。

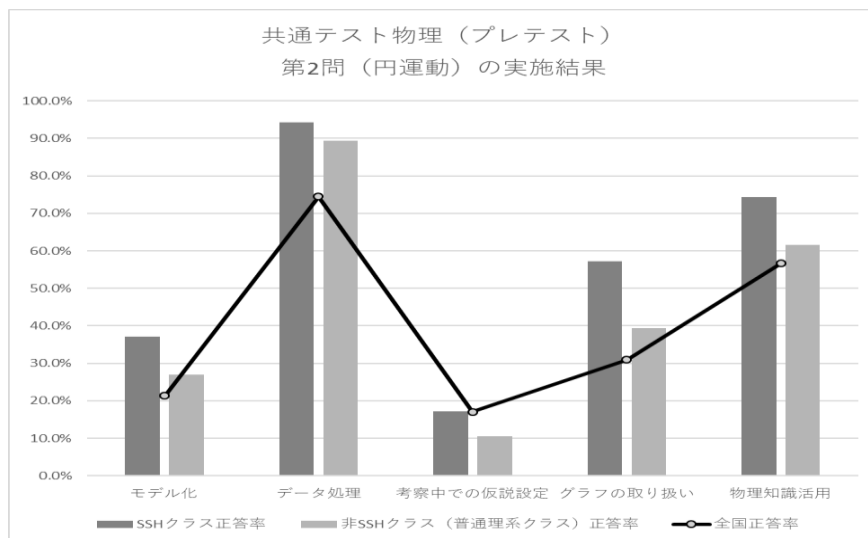


図 11 共通テスト物理（プレテスト）大問 2 における本校 SSH クラスと普通理系クラスの生徒及び全国との平均正答率の比較

<検証結果・考察>

- 図 11 のグラフにおける「考察中での仮説設定」は本校 SSH クラスの生徒の正答率と全国平均正答率が同じであった。このことは、課題研究・SSH 物理の授業において考察の指導を十分行えていなかった可能性がある。しかし、普通理系クラスにおいては平均正答率が全国正答率を下回っている。このことは、本校の平均的な生徒は考察中での仮説設定に関する技能は全国的に低い傾向にあるが、SSH クラスは其中でも課題研究・SSH 物理の授業を通してある程度の能力伸長が望めたと考えることもできる。
- 図 11 のグラフにおける「グラフの取り扱い」においては、SSH クラスの正答率が本校普通理系クラス・全国平均正答率に対して高くなっている。このことは、課題研究・SSH 物理の授業においてグラフ処理を十分に行ってきたことによってどのようにすると適切なデータ処理が可能であるのかを把握できるようになってきた可能性がある。しかし、SSH クラス内の 55% 程度の正答率であるので、実験技能の定着については 4 割程度の生徒が身に付いていないと考えられ、今後の課題と考えられる。
- 図 11 のグラフにおける「モデル化」について、SSH クラスは普通理系クラス・全国平均正答率と比べると高い。しかし、全体として「考察中での仮説設定」の次に低い正答率であり、現実の対象物をモデル化する技能が十分に身につけていない可能性がある。
- 図 11 のグラフにおける「知識の活用」や実験方法を覚えて、一般常識で解くことが可能な「データ処理」については高い正答率であり、探究的な活動において「思考力」「判断力」を要する問題については今までの知識詰め込み型では高い正答率は挙げられないことが改めて分かった。

今後もこのような探究型思考力を問う問題に対応するより高度な学力を育成するべく、数学とのクロスカリキュラムを続けていくとともに、問題の開発とその実践を続けていきたいと考えている。