

イメージしづらい学習單元における イメージ創成のための指導法の検討 ー理科分野でのエネルギーに関連した学習單元ー

教育学研究科 教育実践創成専攻 教育実践開発コース 教師力育成分野 東佳吾

1. 研究の背景

1-1. 日本の子供たちの理科学習への意識

現在、子供たちの理科教育への興味関心が低下していることが報告されている。図1は、国際数学・理科教育動向調査(TIMSS)の2003年から2019年の日本の小中学生の理科教科に対する意識調査をまとめている。日本の小学生で、理科教育について楽しいと感じている生徒、また理科教育を得意であると感じている生徒は、国際平均を上回っている。しかし、中学生になると両項目とも国際平均を下回っている。さらに、同調査で中学生を対象に、理科を勉強すると日常生活の役に立つか、また将来理科が使うことが含まれる職業

に就きたいか、というアンケートが実施された。いずれも日本の中学生の回答は国際平均を下回っている。この結果から、小中学生の理科教科に対する学習意欲が低下しており、さらに年齢が上がるにつれて理科学習が疎遠になっていることが伺える。若者の理科離れは、将来の優秀な技術者が減少する要因になり、日本の経済を支えてきた「ものづくり」の基盤を揺るがすことになる。

中山(2003)の先行研究では高等学校理科において、特に物理科目では「難しくて分からない教科」の意識が強いことが述べられている。それらの苦手意識の原因として、大宮・奥村(1994)の先行研究では「実際の物理現

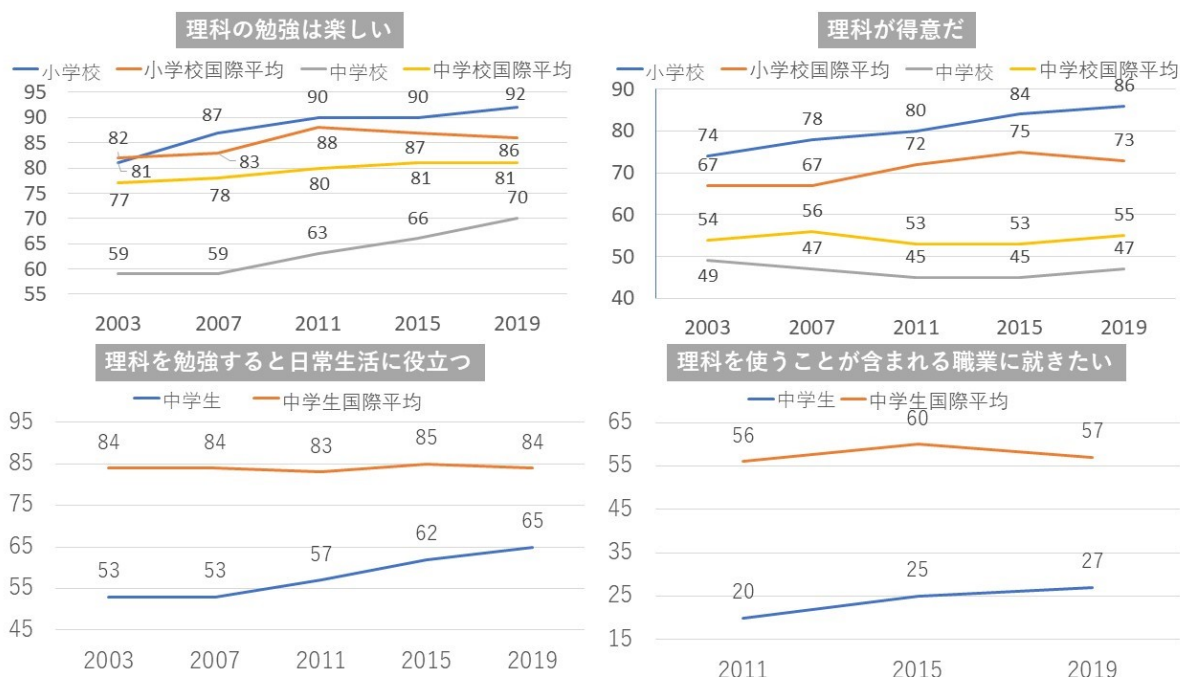


図1: TIMSS の調査結果

象や公式が目に見えないこと」, 「暗記しなければいけない計算や公式がたくさんあること」, 「単元内に出てくる内容や用語が難しいこと」などが挙げられると分析している。また, 自身が工学部の学生であった時の学習において, 特に電磁気といった分野では, 物理現象が目に見えず公式上でしか状態を判断できないため苦手意識を抱いたことを覚えている。

1-2. 学習指導要領からの視点

平成30年度学習指導要領では, 理科教科の見方・考え方を「自然の事物・現象を, 質的・量的な関係や時間的・空間的な関係などの科学的な視点で捉え, 比較したり, 関係付けたりするなどの科学的に探究する方法を用いて考える」としている。この前半部分の「自然の事物・現象を, 質的・量的な関係や時間的・空間的な関係などの科学的な視点で捉え」が, 先程の苦手意識の要因として挙げられていた, 「実際の物理現象や公式が目に見えないこと」を解決する手立てになるのではと考えた。よって, 物理科目における物理現象や物理概念を, 視覚といった感覚的なイメージを掴ませることによって, 苦手意識の改善や学力向上を図れるのではないかと考えた。

1-3. ホワイトの7つの記憶要素

ホワイト(1990)の研究では, 子供たちは科学概念をストリング, 命題, イメージ, エピソード, 知的技能, 運動技能, 認知方略の7つの記憶要素で構成していると唱えた。その中でイメージを「感覚についての心的表象」とし, 「学習者自身によって, 映像, 言語, 記号等を伴って構成された記憶の一要素」と規定している。さらにイメージの創成は, 個人によって用いられる感覚が違うことも唱えている。しかし, 個人に多少の差はあれど, ほぼすべての人間がある程度の視覚的と, わずかに他の感覚に基づくイメージを持っていることも報告されている。よって, イメージ創成の大部分を占める視覚的感覚に注目し, 実際の物理現象や物理概念の視覚的なモデルを「イメージ」とし, イメージを思い描く能力

の育成を目指すことを, 問題解決の手立てとした。

2. 演習問題から得られた課題と研究目的

2-1. 運動量保存則から

図2は実際の観察実習中にて, 生徒が取り組んでいた演習問題であり, 単元は運動量保存則である。この問題では, 燃料を積んだロケットが, 燃料を燃焼, 逆噴射し, ロケットと燃料の作用反作用を利用して, ロケットが加速する状態を取り上げている。運動量は質量と速度の積であり, 燃料噴射前後においてロケットと燃料それぞれの運動量は保存されるため, 加速前のロケットの運動量と, 加速後のロケットと逆噴射した燃料の総運動量が等しいことを利用して, 噴射後のロケットの速度を求めることができる。この問題を解答時間中に, 生徒から「ロケットはどういう風に動いているのか分からない」という質問を受けた。この事例から, ロケットと燃料が作用反作用の関係であることが見抜けないこと, またその後ロケットがどのように加速するのかが分からないといった, 物理現象が実際の運動にどのような影響を及ぼしているのかをイメージすることができないことが伺える。

2-2. 電気と磁気の分野から

電気と磁気の分野における演習問題でも, 生徒がイメージすることができない例が見られた。図3は等電位線作図の問題である。点電荷による電位は, 点電荷からの距離が等しい地点ではすべて等しい。そして, 正の電荷と負の電荷のどちらからも等しい距離の地点

ロケットの作用反作用

速さ V [m/s]で進んでいた質量 M [kg](燃料含む)のロケットから, 質量 m [kg]の燃料を地上で静止している人から見てロケットの進む向きと反対の向きに速さ v [m/s]で噴出した。噴射後のロケットの速さ V' [m/s]を求めよ。

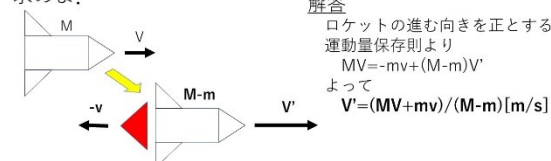


図2: 運動量保存則の演習問題

等電位線の作図

次の図点Pを通る等電位線を図中につけ。正負2つの点電荷がつくる電場中（点Pは2つの電荷を結ぶ線分の中点）

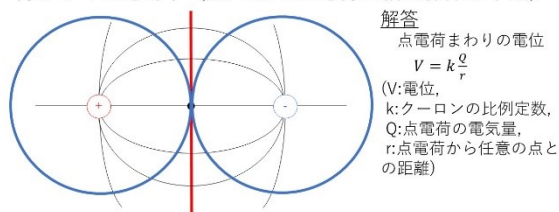


図3：電気と磁気の分野の演習問題

では、電位が互いに打ち消し合い 0 になる。よって、正の電荷と負の電荷を結んだ線分の中点である点 P の電位は 0 であり、点 P を通る等電位線、すなわち電位 0 となる電位線は、この線分の垂直二等分線（赤線）となる。この問題では、点電荷を中心として点 P を通る二つの円を作図する誤答（青線）がみられた。原因として、一つの電荷がある地点に及ぼす電位の関係は理解しているが、複数の電荷がある地点に影響を及ぼすとき、その地点の電位がどのような影響を受けるかがイメージできないと考えられる。この例からは、ある物理概念が、空間の中で観測対象にどのような影響を与えるのか、生徒がイメージできないことが分かった。

2-3. 研究目的

以上の二つの演習問題の例から 2 つのイメージ能力が欠けていることが分かった。一つが、実際の物理現象や運動をイメージする能力であり、もう一つは、物理概念がどのような影響を及ぼすのかをイメージする能力である。またこれらのイメージ能力は、時間的空間的な観点で捉えることが求められる。本研究では、こちらの 2 点の能力向上を目指す。

3. 研究内容

3-1. 実践授業概要

イメージ創成を目指して、実際に県内の公立高校にて授業実践を行った。対象は文理選択前の第 1 学年 40 名である。教科は物理基礎のエネルギーに関連した分野である。表 1 に授業時間と取り扱った内容についての概略を

表 1：全 4 時間の授業内容

時間	取り扱う内容
1	運動エネルギー
2	位置エネルギー
3	力学的エネルギーの保存
4	実験

示す。また前の 3 時間は座学による授業を行い、最後の 1 時間で単元のまとめとして実験を行った。

3-2. 座学授業について

前 3 時間分の座学授業での授業計画を表 2 に示す。最初の 5 分ほどを導入として前時の振り返りを行い、その後展開①にてその時間で取り扱う内容を授業で講義した。講義時間終了後、事前に用意した演習プリントを班ごとに進め、その間に質問等を受け付け、各問題の模範解答への補足説明を行った。最後にまとめとして、その時間の簡単な振り返りと OPP シートの記入を行った。これらの授業は、事前に担当の先生と相談し、できる限り普段の授業構成と大きく変わらないように配慮して計画した。授業ごとに必ず演習プリントによる演習時間を設けているのはそのためである。イメージ創成のための授業工夫は、座学講義中である展開①に取り入れた。

表 2：座学授業での授業展開

導入	前時の時間の振り返り
展開①	本時で取り扱う内容を授業で取り上げる
展開②	演習プリントを班ごとに解き進め、授業中の疑問点をクラスメイトと相談しながら明らかにする
まとめ	本時の簡単な振り返り、OPP シートの記入

3-2-1. 1 時間目「運動エネルギー」

1 時間目では運動エネルギーについて取り扱った。本時の目標は、運動エネルギーの概念を理解することが目的となる。運動エネル



速度(km/h)	衝撃の大きさ	ビルの高さ換算
40	高さ約3メートル	2階
60	高さ約14メートル	5階
80	高さ約25メートル	8階

図4：1時間目での授業工夫

ギーは、「ある物体が他の物体に仕事をする能力を持っているとき、その物体は『エネルギーを持っている』という」とされている。なお、前時にて仕事について学習しているため、仕事の概念は理解していることを前提に進行した。

ここでは、運動エネルギーと仕事は表裏一体の関係である概念を理解することが大切になる。そのため、車の衝突規準に関する記事から、図4に示した車の衝突写真を抜粋し、速度による衝撃の大きさについて取り上げた。これにより、運動する物体（ここでは車を指す）が、他の物体に仕事をする（他の車や壁に衝突した際に押し出したり変形させたりすること）様子を視覚的に表現した。また速度上昇によって衝撃が累乗倍されることから、運動エネルギーと速度の関係を視覚的に表現した。

3-2-2. 2時間目「位置エネルギー」

2時間目では位置エネルギーについて取り扱った。本時の目標は、位置エネルギーの概念を理解することが目的となる。位置エネルギーは、運動エネルギーに変換され仕事を行うことができる能力を持っていることで、エネルギーを持っている状態であるとされている。位置エネルギーが運動エネルギーに移り変わり、仕事を行うことを表現するために、ここでは、中国電力のHPに掲載されている水力発電の仕組み（図5）を取り上げた。高い位置にある水が、流れ落ちる過程で速度を持ち、タービンに流れ込むことによって仕事をする様子を説明した。タービンに仕事をする

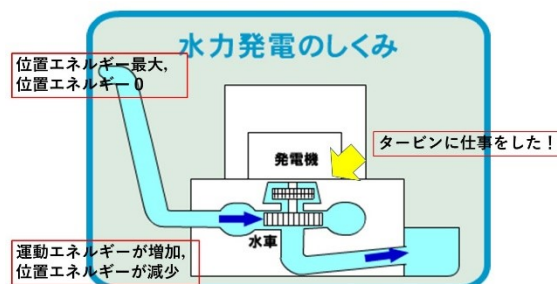


図5：2時間目での授業工夫

能力を持っていた水は、流れ落ちる前の状態からエネルギーを持っていたことを視覚化することがねらいであった。

3-2-3. 3時間目「力学的エネルギーの保存」

3時間目は力学的エネルギーの保存について取り扱った。力学的エネルギーとは、運動エネルギーと位置エネルギーの和を指す。力学的エネルギーは重力以外の外力を受けない限り一定に保たれることが、力学的エネルギーの保存である。

この時間が、この単元に関する最終の座学授業であったため、単元を通してのまとめ的な位置づけとなる。そのため、ここまでの授業中での生徒の反応や演習時間中にあがった質問を反映し、授業に工夫を加えることとした。生徒は、力学的エネルギーと仕事の関係についての理解度が低いことが伺えた。そのため、ここでは図6のようにして、斜面の高いところからボールを転がし、元の高さまで斜面を駆けあがる運動を考える。各場面での力学的エネルギーの総量をゲージ、運動エネルギーと位置エネルギーのそれぞれ

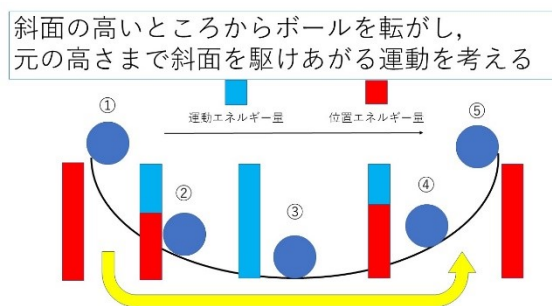


図6：3時間目での授業工夫

が、力学的エネルギー内で占める割合をメーターとして説明を行った。図では青ゲージを運動エネルギー、赤ゲージを位置エネルギーとした。この図では、ボールの運動の各局面で、力学的エネルギー内の二つのエネルギーが時間的にどのような遷移をしているかを視覚モデル化すること心がけた。さらに、二つのエネルギーの割合が変化したことと仕事をしたことは同義であるため、「仕事をした」ことも同時に視覚モデル化することもねらいとした。

3-3. 実験について

3-3-1. 実験時間概略

実験の時間の授業展開の概略図を表3に示す。導入には今単元の振り返りを行い、実験内容と装置の説明を行った。その後各班に分かれ、実験装置を組み立て、測定を開始した。測定が終了した班から計算を行い、黒板に板書する。その後全体で結果の共有と考察を行い、最後に実験の振り返りとOPPシートの記入を行った。ここまでの育成したイメージを、実験によって得られた結果と比較することで、モデルのイメージの整合性や実際の現象と理想モデルのイメージとの相違点などのつながりを感じ取らせることを目的とした。

表3：実験時間の授業展開

導入	今単元の大まかな振り返り、実験内容、実験装置の説明する
展開①	班ごと、実験器具を組み立て、測定を開始する
展開②	班ごと得られた結果を板書し、他の班と見比べながら実験の成否、その要因について考察を行う
まとめ	本時の簡単な振り返り、OPPシートの記入

3-3-2. 実験内容

実験装置の略図を図7に示す。鉄球をつるした振り子の運動の最下点での速度と、最高点の高さを測定し、運動エネルギーと位置エ

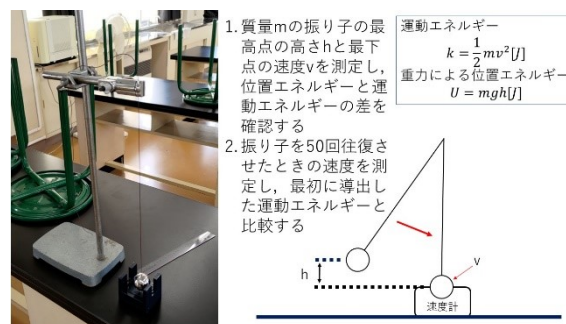


図7：実験装置図

ネルギーを導出する。また、振り子の往復回数を重ねることによって、低下した振り子の速度を測定する。これにより、力学的エネルギーが外力によって減少させられる様子を導出する。この実験には、実際に運動する中で運動エネルギーと位置エネルギーが互いに交換される様子を視覚的に認識すること、また実際には様々な外力によって力学的エネルギーは保存されないことを認識することをねらいとしている。

3-3-3. 実験結果の様子

実験は難航した班が多かった。実験装置をうまくセットできない班や、実験器具の可動部分等を理解していなかったため、開始が遅れた班が多かった。また往復を重ねる実験では、測定装置に振り子をぶつけてしまう班があったため、生徒たちの実験装置の熟知度を考慮して実験内容を決める必要がある。

実験結果の板書を図8に示す。縦軸は左からそれぞれ、振り子の質量、位置エネルギー導出値、最初に最下点を通じたときの振り子の速度、最初に最下点を通じた時の運動

高さ	質量	位置エネルギー	初速度	運動エネルギー	初速度	運動エネルギー	
0.05	1	0.291	0.14257	0.98	0.1377382	0.84	0.1026648
0.04	2	0.227	0.08994	0.94	0.9789	0.96	0.0923=
0.08	3	0.271	0.22194	1.26	0.2507958	1.23	0.2202695
0.05	4	0.227	0.22	1.47	0.11	1.30	0.08
0.045	5	0.23	0.10193	0.98	0.110746	0.93	0.097635
0.055	6	0.29	0.14	0.98	0.13	0.74	0.07
0.045	7	0.2405	0.12	1.12	0.18	0.93	0.12
0.08	8	0.227	0.11	1.08	0.13	0.89	0.09
0.05	9	0.29	0.1421	0.97	0.1364	0.72	0.0752
0.05	10	0.28474	0.19726	1.10	0.15217	0.87	0.1052103

図8：実験結果の板書

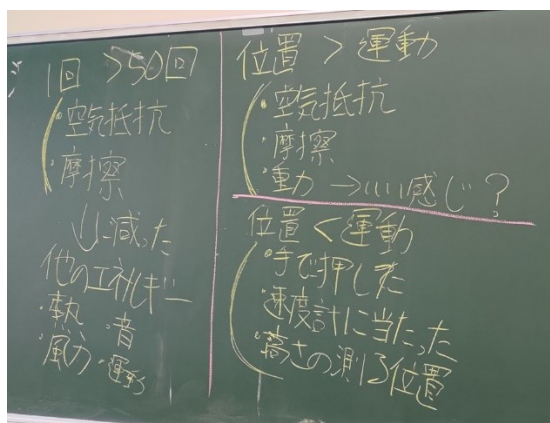


図9：考察内容の板書

エネルギーの導出値，50回往復時の振り子の速度，50回往復時の運動エネルギーの導出値である。表の欄外には，開始時の高さを板書している。黄線が引かれた1班，6班，9班の実験結果の位置エネルギーと運動エネルギーの項目を比較すると，位置エネルギーが運動エネルギーに変換される様子を確認することができる。また，最初に最下点を通過したときの運動エネルギーと50回往復時の運動エネルギーを比較すると往復回数を重ねることで力学的エネルギーが損失する様子も確認することができた。しかし，線が引かれていない3班，5班，8班，10班は，運動エネルギーと位置エネルギーの大小関係が逆転している。さらに，赤い丸がついている2班，4班は明らかに単位ミスや計算ミスによる結果が導出されているなどの問題も発生した。

次に考察内容を板書したものを図9に示す。ここでは実験の成否から始まり，力学的エネルギー現象の原因を考察するなどの意見が交

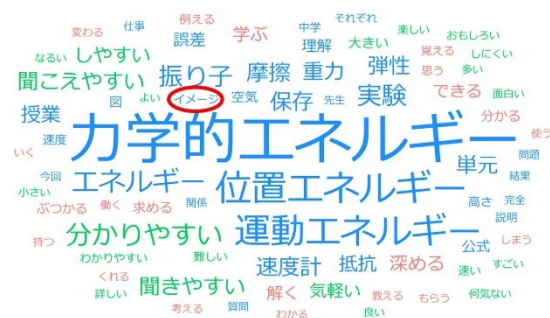


図10：感想シートのテキストマイニング

わされた。考察の意見を述べる際，実験の理想条件に近づくための条件を考えた生徒や，現実条件が加わった際の考慮しなければいけない点を考えた生徒が現れた。これは，実際の物理現象をイメージする能力が身に付いたがゆえに，考察することができたのではと考える。

4. 結果・考察

4-1. 感想シートの全体分析

今回の授業実践で行った内容について，生徒全員に対して自由記述形式の感想シートを記入してもらった。

図10は感想シートの内容をテキストマイニングによって図表化したものである。図で大きく表現されている文字は，感想シート内で頻繁に用いられた単語であり，逆に小さい文字は出現頻度が低くなっている。なお，「今日」や「思う」といった，ごく一般的で重要でない単語に関しては，意図的に小さく表示される処理が施されている。図10では力学的エネルギーや位置エネルギーといった単元特有の単語が高い出現頻度であることが分かる。ここから授業で取り扱った内容が強く印象に残っていることが分かる。しかし，今回の研究のキーワードとなる「イメージ」という単語を赤丸で囲んだが，出現頻度は低く，40人のうち6人が感想シート中に記述する程度に収まった。全体としては，全授業を通して，イメージすることを習慣づけることや意識づけることができなかったのではないかと考察する。

4-2. イメージについての感想の分析

ここで，イメージについての記述があった感想シートを抜粋する。図11に抜粋した感想にはイメージについての記述に加えて，青い丸で囲っている「分かりやすい」，「よかった」，「面白かった」等の学習を前向きにとらえる単語がセットに記述されていることが多い。これらの感想から，物理現象，物理概念のイメージをすることにより，物理科目の学習の興味関心を引き出すことができると考察する

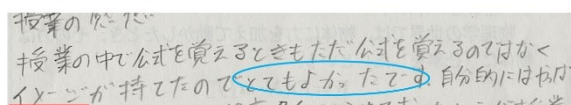
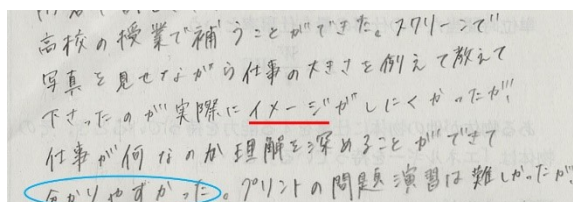


図 11：イメージに関連した前向きな感想

ことができる。また「分かりやすく」なることによって、演習やテストにおける学力向上が見込めると予想される。

さらに図 12 に示した別の感想シートでは、授業実践前にはイメージする能力が欠如していた旨の記述もあった。授業実践を通して、イメージ創成の能力の向上を実感できたという記述があるが、その実感は黄色線のように、座学授業後ではなく実験授業後であったと推察される。研究計画時点では、イメージ創成は座学授業によって、脳内に仮想のモデルを作ることが重要であると思っていたが、実験活動といった体験的な経験の方が効果的である、または座学授業と実験授業の連携をもってイメージ創成能力が養われると推測される。また今回の感想シートから、物理現象についてのイメージ創成の言及はあったものの、物理概念のイメージ創成の言及は見られなかった。

5. まとめと今後の課題

今回の研究では、計 4 回の座学授業及び実験授業を通じて、物理現象、物理概念のイメージ創成能力の育成を目指した。授業実践の成果として、イメージ創成能力の向上が、物理科目への興味関心を引き出すことができることが確認できた。またイメージ創成能力の育成にあたって、座学授業よりも実験といった体験的な活動の方が効果的である、また座学授業と実験活動との連携が重要であることがわかった。

研究の課題として、授業実践でイメージ創

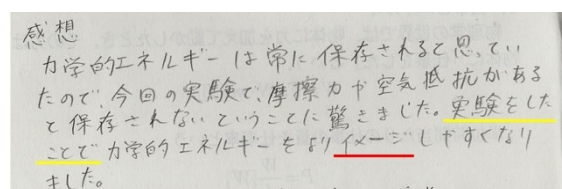


図 12：イメージ創成能力の向上を実感できた生徒の感想

成を意識させること、イメージ創成能力の向上させることが、クラスの一部の生徒にしかな行えなかったことが挙げられる。また今回の研究は学力向上もひとつの目的であったが、評価方法に学力の変化についての内容を取り入れるまでに至らなかった。

生徒の意識調査の点では、感想の内容を誘導しないよう自由記述としたが、イメージ創成に関連した感想があまり得られなかったことから、ある程度の質問要綱を設けた方が、イメージ創成に対する生徒の意識が明確に判別可能であった可能性もある。さらに、授業実践前に物理科目についての意識調査を行わなかったため、授業実践前後での意識の変化を確認することができなかったことも課題として挙げられる。

今後の展望として、今回の研究にて明らかになった課題点から研究計画の見直しを行うことが必要である。また実験がイメージ創成に重要な要因になり得ることが分かったため、授業計画に実験を多く取り入れることも挙げられる。もしくは、体験的な授業経験として、座学時間中にも簡易的な実験を取り入れるなど、授業計画の形を工夫することも必要である。

引用・参考文献

- ・古川賢一 (2020) 「20 年前と現在の衝突規準。車のつぶれ方は、こんなに違う！」, CarMe HP, <https://car-me.jp/articles/10874> (2023.2.20 最終閲覧)
- ・国際教育到達度評価学会 (IEA) (2019) 「国際数学・理科教育動向調査 (TIMSS2019)

のポイント」

- ・ 文部科学省（2018）「学習指導要領（平成30年告示）」, pp. 103-112
- ・ 中川生一・狩野勉・山本健治（1995）「物理概念イメージと創造性」, 日本科学教育学会年会論文集 19, pp. 329-330
- ・ 中山敬也（2000）「高等学校物理における生徒の学習意欲を高める指導方法の研究-生徒が物理を好きになる授業の在り方を探る-」
- ・ 大宮輝雄・奥村清（1994）「高等学校における物理嫌いの要因についての一考察」, 科学教育研究 Vol.18, No. 4
- ・ 佐々木智謙（2022）「理論と実践をつなぐ理科教育学研究の展開」, 東洋館出版社, pp. 234-239
- ・ 中国電力 HP「発電所ではどうやって電気を作っているの？」
<https://www.energia.co.jp/kids/kids-ene/study/qa/elect.html> (2023.2.20 最終閲覧)
- ・ White, R. T., 堀哲夫・森本信也（訳）（1990）「子供たちは理科を以下に学習し, 教師はいかに教えるか-認知論的アプローチによる授業論-」, 東洋館出版社, pp. 40-64