

Development of Scientific Inquiry Activity Using the Passive Walking Paper Toy for Junior High School Students

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2022-12-22 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 古田, このみ, 松永, 泰弘 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00029262

中学生を対象とした受動歩行模型を用いた科学的探究活動の開発

Development of Scientific Inquiry Activity Using the Passive Walking Paper Toy
for Junior High School Students

古田 このみ¹, 松永 泰弘²

Konomi FURUTA and Yasuhiro MATSUNAGA

(令和 4 年 11 月 30 日受理)

ABSTRACT

In recent years, we have faced so many global-issues, and significant changes in society due to the rapid development of technology. In such a society, it has been required to improve the students' scientific inquiry ability in the course of study of all subjects. However, to enhance inquiry activities, we have been faced with the problem that there are no developed effective activities that can be easily implemented. In this study, we discuss an inquiry activity using a quadrupedal passive walking toy. We developed the inquiry activity, worksheets, and assessments, for the toy. We practiced the developed inquiry activity for junior high school students, and we clarified the effect on scientific inquiry skill by analysis of students' worksheets and reports in this activity. From the analysis of the students' worksheets, it was clarified that a description of scientific rationale was improved by conducting a self-assessment. From the analysis of the students' reports, it was clarified that the analysis skill of multiple perspectives and graphs were improved by repeating this activity.

1. 緒言

地球温暖化などの世界規模の課題が山積しており、テクノロジーの急速な進展により激しく社会が変化する中で、そうした社会に生きるために課題解決の力を育成する必要性が高まっている。日本ユネスコ国際委員会¹⁾は、このような社会を生きる子どもたちに対し、知識を一方的に教え込む教育を続けていても課題解決に必要な資質・能力を十分に育成することはできないとしている。文部科学省教育企画特別部会²⁾においては、育成すべき資質・能力の一つとして「知っていること・できることをどう使うか」を挙げ、「問題を発見し、その問題を定義し解決の方法を決定し、解決方法を探し計画を立て、結果を予測しながら実行し、プロセスを振り返って次の問題発見・解決につなげていく」等の科学的探究の力を示している。また、2008年の中央教育審議会答申³⁾では、「探究的な学習活動を充実する方向で改善する」ことが示された。

2019年の学習指導要領の改訂では、各教科において深い理解を伴う知識の習得に向けて「習

¹ 愛知教育大学・静岡大学大学院教育学研究科共同教科開発学専攻(技術教育系列)

² 技術教育系列

得・活用・探究」という学びの過程が重視された⁴⁾。これは、「生徒が持つ知識を活用して思考することにより、知識を相互に関連付けてより深く理解したり、知識を他の学習や生活の場面で活用できるようにしたりするための学習」とされ、知識を活用して探究する学習の充実が求められている。また、「総合的な探究の時間」⁵⁾や「理数探究」⁶⁾等の教科にみられるように、知識の深い理解のための探究ではなく、探究の力を育成する活動としての探究も重視されてきている。特に高等学校理数科は、「将来、学術研究を通じた知の創出をもたらすことができる人材の育成を目指し、そのための基礎的な資質・能力を身につけることができる科目」とされ、科学的探究の力を育成することを目指している。

各教科の学習指導要領解説⁷⁾では、探究的な活動として取り組むべき活動の方向性や活動の一例は示されているものの、具体的に行うべき活動は示されていない。取り組む活動は各教員に委ねられており、学校や生徒、地域の実態に応じて自由に活動を展開できる一方で、指導方法や指導内容の共通認識ができないなどの課題も存在する⁸⁾。

科学的探究の力については、比較する力(小学校3年)、仮説を立てる力(小学校4年)、仮説を検証する方法を考える力(小学校5年)、多面的に分析する力(小学校6年)、課題を見出す力(中学校1年)など、小学校3年から中学3年までの学習を通して科学的探究の力の各要素を子どもの発達に応じて個別に習得していく^{9)・10)}。そのうえで高等学校では理数探究に取り組むこととなる。高等学校理数科へのスムーズな移行のために、小学校や中学校の学習の中に科学的探究の各要素のつながりを意識できる活動、習得した科学的探究の力を未知の課題に応用する活動を、小学校や中学校の学習の中に少しずつ取り入れることが必要と考えられる。

科学的探究活動を実施する上では、容易に実施可能な実践事例の不足が課題として挙げられている。村上^{11)・12)}は、学習者自身によって課題を解決する活動を実施し、科学的探究の力の育成について一定の教育効果を上げている一方で、著者以外による実践が困難であることを指摘している。小暮・小倉¹³⁾は、単元の導入において自由試行活動を取り入れ、疑問・発見を見出す力の育成に効果があることを明らかにした一方で、教員が有効な自由試行活動を構想することが容易でないこと、教材準備に時間がかかるなどの課題を指摘している。

そこで本研究では、科学的探究活動の教材として受動歩行模型を取り上げる。受動歩行とは、モータなどの動力を使用せずに位置エネルギーを運動エネルギーに変換して斜面を歩行するものであり、子どもの興味を引き出すことから、古くから玩具の機構として使用されてきた。松永・前田¹⁴⁾は、材料に紙を使用し、はさみとのりのみによって製作が可能な紙製4足受動歩行模型を開発した。松永・古田^{15)・16)}は、幼児から大学生を対象として本教材を用いた実践を行い、幼児や小学生でも製作可能な教材であることを明らかにしている。小学生を対象とした実

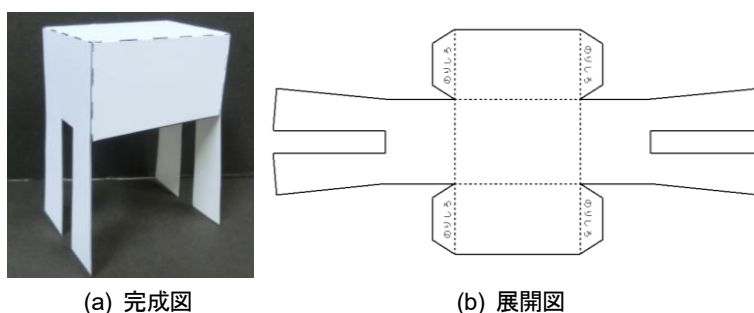


図1 4足受動歩行模型¹³⁾

践では、模型の動作原理を「左右に揺れる仕組み」、「脚を踏み出す仕組み」、「エネルギー源」に着目して多角的に分析していた。大学生を対象とした実践¹⁷⁾では、脚の形状・足底の形状・模型の重さ・斜面の角度・斜面の材質など、様々な条件を変えて比較実験している様子が見られた。紙でできていること、構造が単純であることから、学習者が変更可能なパラメータが多く存在することを明らかにした。本研究では、教員が紙製4足受動歩行模型を用いた科学的探究活動を容易に実施するために、活動のワークシート・評価基準の開発を行う。また、中学生を対象に探究活動を実施し、自己評価や活動を繰り返し行うことの効果や、開発した活動やワークシートの学習効果を明らかにする。

2. 受動歩行模型を用いた科学的探究活動の開発

中学3年生は科学的探究の各要素を学習した段階である。そこで本章では、高等学校理数へのスムーズな移行を目指し、中学3年生を対象とした科学的探究活動の開発について述べる。

2.1 活動の開発

開発した活動に沿ったワークシートの項目を表1に示す。開発した活動では、活動のすべてを生徒自身により行った。まず初めに模型を製作し、製作した模型とじっくりと関わる時間を設けた(自由試行活動)。ここでは、模型を自由に動かし、模型や模型の動きを観察する中で感じた疑問や見つけた発見をワークシートの1)に書き出す。書き出すことにより、学習者自身の思考を十分に表出できるものとした。2)では「疑問に思ったことを基に探究のテーマを決めよう」と記載することで、生徒自身が感じた疑問を基に課題設定することを意識させた。3)では、探究のテーマに関わる独立変数と従属変数を抽出させ、何をどのように探究するかイメージを持たせる。またここでは、「影響すると考えた根拠を学習内容や生活経験を基に書こう」と記載することで、根拠を考えることを意識させること、根拠として適したものを理解することを目的とした。4)では、3)の内容を基に仮説を設定する。3)で独立変数・従属変数・根拠を書き出すことで4)においてスムーズに仮説を立て、探究の見通しをより具体的に持つことを期待した。5)では、実験の計画を立てる。②において言葉・数・図を用いて変更する条件・変更しない条件

表1 活動におけるワークシートの項目

活動	項目
自由試行活動	1) 動きを観察して疑問に思ったことや見つけたことを詳しく書き出そう。
課題設定	2) 疑問に思ったことを基に探究のテーマを決めよう。
仮説設定	3) 実験条件を考えよう。 ①知りたい内容に影響する条件を書き出そう。
	②影響すると考えた根拠をこれまでの学習内容や生活経験を基に書こう。
	4) 3)を基に仮説を立てよう。
実験計画	5) 実験計画を立てよう。 ①実験に必要なものを全て書き出そう。
	②実験条件を言葉・数・図を用いて詳しく書こう。
	③知りたい内容を明らかにするために、何を・どのように・何回計測するか詳しく書こう。
実験	6) 実験計画に沿って実験を行い、自由にメモしよう。
振り返り	7) 探究を振り返り、良かったと思う点を記述してください。
	8) 探究を振り返り、課題点・改善すべき点を挙げ、どのように改善すべきか記述してください。
課題設定	9) 探究を終えて疑問に思ったことを基に次の探究のテーマを決めよう。
	※ 以下4)~6)と同様の活動を行う。

を書き出すこと、③において計測対象や計測方法を具体的に記述することで、実験のイメージをより具体的に持つことを期待した。その後、生徒自身が立てた計画を基に実験を行っていく。十分に実験を行った後、論文と同様の形式でレポートを作成する。以上の活動を繰り返し行う。

小暮・小倉¹³⁾による研究では、課題設定のみに着目した活動の実施・検証、小林・永益¹⁸⁾による研究では、仮説設定のみに着目した活動の実施・検証が行われている。科学的探究活動の一部に焦点を当てている先行研究が多く存在する。また、村上^{11), 12)}は一連の科学的探究活動を学習者が実施可能な活動を開発しているが、活動が繰り返し行われておらず、活動を実施するためのワークシートの開発も行われていない。本研究で開発した活動は、科学的探究活動の一連の活動を学習者が実施するものである。また、教材の製作が容易であり構造が単純であること、学習者が変更可能なパラメータが多く存在することから、活動を繰り返し実施することが期待される。さらに、活動の流れ・ワークシートを提示することで、著者以外の実践を可能とすること、指導内容の共通認識が図られることが期待される。

2.2 評価基準の開発

評価基準の開発に際し、*Science - a process approach commentary for teachers* におけるプロセス・スキル¹⁹⁾を参考にした。プロセス・スキルは、科学者の研究における思考を抽出したものであり、評価基準ではない。そこで、プロセス・スキルの中から、開発した科学的探究活動で想定される内容を抽出し、教員が生徒の活動を評価するための評価基準を作成した。評価基準を表2に示す。生徒のワークシートは評価項目①～⑦によって評価し、レポートは評価項目⑧～⑮によって評価する。

[ワークシートの評価：評価項目①～⑦]

項目①は、生徒が感じた疑問と探究テーマのつながりを評価する項目である。

項目②、③は、独立変数と従属変数が記述できているかどうか、定量的・定性的な記述となっているかどうかを評価する項目である。また、独立変数の変化による従属変数への影響を予測・推測できているかを評価する項目である。「推論」、「予測」、「条件制御」の力を評価する。

項目④は、仮説の根拠が生活経験や既習内容を基に記述できているかを評価する項目である。「仮説」の力を評価する。

項目⑤～⑦は、計測方法を評価する項目である。項目⑤は、一条件に対する実験の試行回数や歩行確率を出す際の計算方法など、数値を用いて評価を定量化しようとしているかを評価する項目である。項目⑥は、誤差を考慮した計測方法を立案できているかを評価する項目である。項目⑦は、計測の対象や計測方法を具体的に記述できているかどうかを評価する項目である。「計測」、「条件制御」の力を評価する。

[レポートの評価：評価項目⑧～⑮]

項目⑧は、誤差を考慮した計測となっているか、計測したデータから平均値を求めることができるかを評価する項目である。「数的関係の認識」、「データ解釈」の力を評価する。

項目⑨は、実験データが具体的に記述できているかを評価する項目である。他者にわかりにくい○・×等の記号による評価や、観察された内容のみの記述をおおむね満足とした。「記録・伝達」の力を評価する。

項目⑩は、実験データの多面性を評価する項目である。「測定」、「実験」の力を評価する。

項目⑪は、条件が異なる実験の結果についてその特徴や違いに関する記述ができているかを

表2 ワークシート・レポートの評価基準

	番号	十分満足(2点)	おおむね満足(1点)	努力を要する(0点)
ワークシート	①	疑問に思ったことを基に探究のテーマを記述できる。	探究のテーマを記述できる。	探究のテーマを記述できない。
	②	独立変数を定性的な言葉や具体的な言葉を用いて明確に記述できる。	独立変数を記述できる。	独立変数を記述できない。
	③	独立変数の変化による従属変数への影響を定性的な言葉で記述できる。	独立変数の変化による従属変数への影響を記述できる。	独立変数の変化による従属変数への影響を記述できない。
	④	学習者自身の生活経験や既習内容を基に仮説の根拠を記述できる。	仮説の根拠として自分の考えを記述できる。	仮説の根拠を記述できない。
	⑤	計測方法を具体的な数値を用いて記述できる。	計測方法を記述できる。	計測方法を記述できない。
	⑥	実験の誤差を考慮した実験計画を立てられる。	実験の誤差について言及のみでできた。	実験の誤差について気づくことができない。
	⑦	計測の対象を記述でき、何によって計測するかを明らかにできる。	計測の対象もしくは何によって計測するかを明らかにできる。	計測の対象と何によって計測するかをどちらも明らかにできない。
レポート	⑧	複数回の実験データを測定し、その平均を求めることができる。	複数回の実験データを測定できる。	複数回の実験データを測定していない。
	⑨	具体的な数値を用いて実験データを記述することができる。	実験データとして○×△や観察した内容を記述できる。	実験データを記述することができない。
	⑩	実験データを2種類以上計測し、計測したデータから2つ以上の情報を組み合わせて歩行速度・歩幅・歩行周期などのデータを算出できる。	実験データを2種類以上計測した、もしくは、計測したデータから2つ以上の情報を組み合わせて歩行速度・歩幅・歩行周期などのデータを算出できる。	実験データを1種類計測した、もしくは、実験データを計測できていない。
	⑪	条件が異なる実験を比較し、それぞれの特徴・違いを記述できる。	条件が異なる実験を比較し、それぞれの特徴もしくは違いを記述できる。	条件が異なる実験を比較し、それぞれの特徴・違いを記述できない。
	⑫	具体的な数値や定性的な言葉を用いて観察事項を記述できる。	観察事項を記述できる。	観察事項を記述できない。
	⑬	実験から得られたデータを表とグラフによって示すことができる。	実験から得られたデータを表、もしくは、グラフのみによって示すことができる。	実験から得られたデータを表またはグラフどちらにも示すことができない。
	⑭	グラフから読み取れる情報から関係や傾向を説明できる。	グラフから読み取れる情報を説明できる。	グラフから読み取れる情報を説明できない、もしくは、グラフを作成できない。
	⑮	実験結果から推測でき、その根拠となる観察事項や実験結果を記述できる。	実験結果から推測できる。	実験結果から推測できない。

評価する項目である。「観察」、「記録・伝達」の力を評価する。

項目⑫は、実験において観察された内容を他者にわかりやすく定性的・定量的な言葉で説明できているかを評価する項目である。「観察」、「記録・伝達」の力を評価する。

項目⑬は、実験から得られた結果を表やグラフにまとめる力を評価する項目である。「記録・伝達」の力を評価する。

項目⑭は、グラフの読み取りの力を評価する項目である。「記録・伝達」、「データ解釈」の力を評価する。

項目⑮は、実験結果から推測する力、推測の根拠を記述する力を評価する項目である。「推論」、「予測」、「データ解釈」の力を評価する。

3. 中学生を対象とした実践

本章では、中学生を対象に行った実践の概要と分析方法について述べる。

3.1 実践の概要

実践の概要を以下に示す。

[日 時] 2021年12月～2022年3月 15回(各50分)
 [授業者] 第一著者
 [対 象] 静岡サレジオ中学校3年生 18名
 [授業名] 数学

中学3年生を対象に受動歩行模型(図1)を用いた探究活動を実施した。科学的探究の力の各要素を理科や数学において、個別に習得した段階であり、理科と数学の複合的な数学的探究活動として実施した。活動内容を表3に示す。表1の項目に沿って作成したワークシートを使用し、ワークシートに沿って活動を実施した。第1時から第9時において1回目の探究活動を実施し、第10時から第14時において1回目の探究活動の振り返りと2回目の探究活動を実施した。1回目、2回目の活動の最後には、それぞれ論文と同様の形式でレポートを作成した。第15時では、研究した内容を発表する活動を実施した。学習者は、課題設定から実験の実施、レポートの作成まで全ての活動を自身で行う。

本実践では、2.2節において開発した評価基準を中学生でも理解可能な文章に書き替え、生徒が使用可能な自己評価シートを作成した。課題設定から実験計画の立案を行った後(第4時)、

表3 活動内容

時	活動内容		時	活動内容	
1	事前学習	研究倫理に関する学習	8	レポート・	1回目レポートを作成
	製作	模型を製作手順に沿って製作	9	評価・修正	レポートを自己評価・修正
2		自由試行活動・課題設定	自由試行活動を行い、疑問・発見を抽出・記述	10	振り返り
	仮説設定	自身の疑問を基に課題を設定	課題・仮説・実験計画		課題を設定 仮説を設定 実験計画の記述
3	実験計画	独立変数・従属変数の抽出と根拠の記述	11	実験	実験用模型の製作
		仮説を設定	12		自身の立てた計画に沿って実験を実施
使用するものの記述 変更条件・固定条件の設定 計測方法の記述	13				
4	評価・修正	ワークシートを自己評価・修正	14	レポート	2回目レポートを作成
	角度設定の学習	三角比を用いた角度の設定方法の学習	15	まとめ・発表	1人2分で自身の研究の概要について発表
5	実験・評価・修正	実験用模型の製作	計15回の活動を実施		
6		自身の立てた計画に沿って実験を実施			
7		実験を自己評価・修正			

表4 活動に対する4件法アンケート項目

活動	項目
自由試行活動 ・ 課題設定	1) 観察により疑問を見つけた
	2) 観察による発見があった
	3) 観察の大切さを感じた
	4) 疑問を基にテーマを決定した
	5) 友達との活動で発見があった
仮説設定	6) 仮説を立てる際に自由試行活動の内容を生かした
	7) ワークシートにより仮説をスムーズに立てられた
	8) 仮説を立てることで探究の見通しが立った
自己評価	9) 仮説を立てることの必要性を感じた
	10) 自己評価することで新たな気づきがあった

実験を実施した後(第6時)、レポートを作成した後(第9時)の計3回、自己評価シートに沿って自身の活動・レポートを評価する機会を設けた。さらに、自己評価後には修正する時間、再度活動を実施する時間を設けた。これにより、教員の介入なしに学習者が自身の活動を修正できると共に、科学的探究活動において求められている内容を理解することが期待される。

3.2 分析方法

生徒が活動で使用したワークシートとレポートを質的に分析し、生徒の活動を詳細に明らかにする。また、ワークシートとレポートを表2に示す評価基準によって評価する。1回目の探究活動で使用したワークシートを自己評価前と自己評価後で評価し、自己評価による影響を明らかにする。また、1回目と2回目の探究活動で作成したレポートをそれぞれ評価・比較することで、活動を繰り返すことによる科学的探究の力の変化を明らかにする。

活動に対する感想を、4件法アンケートと自由記述によって回答した。活動において使用した4件法アンケートの項目を表4に示す。4件法アンケートを量的に分析し、自由記述を質的に分析し、活動における生徒の思考過程を明らかにする。

4. アンケート及びワークシートの分析

本章では、生徒のアンケート及びワークシートの分析について述べる。

4.1 自由試行活動・課題設定の活動の分析

第2時(表3参照)の自由試行活動・課題設定についてアンケート及びワークシートの分析を行う。

[自由試行活動・課題設定のアンケートの分析]

自由試行活動・課題設定に関する4件法のアンケート(表4アンケート項目1)~5))の集計結果を図2に示し、アンケートにおける生徒の感想の自由記述を表5に示す。

アンケート項目「1) 観察することで疑問が見つけれられた」、「2) 観察することで発見があっ

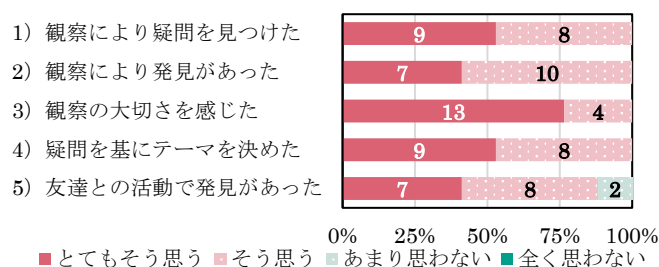


図2 自由試行活動・課題設定に関するアンケート項目の集計結果 [n=17]

表5 自由試行活動・課題設定に関する感想(自由記述)の分類及び記述内容 [n=17]

分類：記述内容	件数
観察の大切さ ：「観察をすることで疑問や発見など多くのことを学べるとも価値のある行動だと感じました」	1
他者との関わり ：「私の歩行ロボットはみんなのと比べて、横に大きく揺れて少しずつ進みます」、「友達と一緒に動かして動かなくなったら一緒に考えるのも楽しかったです」、「友達と活動することで、友達のは動くけどなぜ自分のは動かないのか、なぜ友達の方が速いのか等様々な疑問を持つことができ」	5

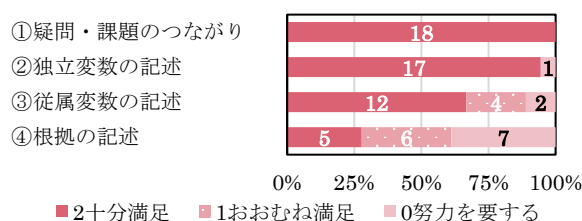
た」, 「3) 観察することの大切さを感じた」, 「4) 疑問を基にテーマを決めた」について, 全ての生徒が肯定的な回答をしている。実際にワークシートには, 自由試行活動の中で感じた疑問, 見つけたことを全ての生徒が記述できていた。また, 感想には「観察することで疑問や発見など多くのことを学べるとても価値ある行動だと思いました」という記述も見られた。自由試行活動の時間を設け, ワークシートに疑問・発見を記述する欄を設けることで, 観察により様々な疑問・発見が抽出できることを実感したことが予想される。

アンケート項目「5) 友達と活動することで新たな発見があった」については 88%の生徒が肯定的な回答をした。感想には, 「観察することで他の人がつくった歩行ロボットとの違いも見つけることができおもしろかったです」, 「クラスメイトと一緒に考えることによって異なる点なども知ることができたので良かったです」という記述が見られた。他者との交流の時間を設けることで, 新たな疑問・発見につながる事が明らかとなった。

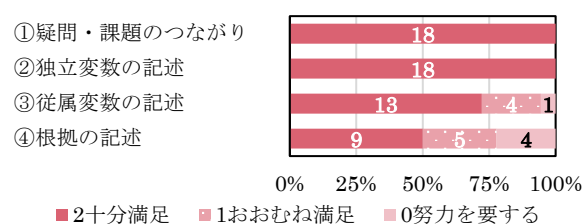
[自由試行活動・課題設定のワークシートの分析]

第4時(表3参照)には自己評価を実施し, 自己評価前後のワークシートをそれぞれ評価基準(表2)に沿って評価した結果を図3に示す。また, 自己評価前後で「十分満足」に該当する人数が増加したか, 「努力を要する」に該当する人数が減少したかを明らかにするために, それぞれについて χ^2 値を算出し, 表6に示す。さらに, 生徒のワークシートの記述を表7に示す。

評価項目「①疑問・課題のつながり」は自己評価前後において全ての生徒が「2:十分満足」に該



(a) 自己評価前



(b) 自己評価後

図3 自己評価前後のワークシートの評価結果 [n=18]

表6 1回目のレポートに対する2回目のレポート評価の χ^2 値 [n=10]

評価項目	χ^2 値	
	(十分満足) (おおむね満足, 努力を要する)	(十分満足, おおむね満足) (努力を要する)
①疑問・課題のつながり	—	—
②独立変数の記述	1.06	1.06
③従属変数の記述	0.250	0.563
④根拠の記述	4.43*	2.10

* $p \leq 0.05$ ** $p \leq 0.01$ $df=1$

表7 自由試行活動・課題設定における生徒のワークシートの記述 [n=17]

生徒A	疑問	進むことに自分の落とし方は関係するのか
	課題	進むことに自分の落とし方は関係するのか
生徒B	発見	足(足底)の角度が大事である
	疑問	足のここ(足底)の角度が大きくなると、または小さくなると歩き方、速さ、振り方、振れる大きさは変わるのだろうか
生徒C	課題	足のここ(足底)の角度が大きく、または小さくなるとどのような変化があるのか
	発見	歩行のスピードが小刻みでゆっくりだった(友達の中には1歩が大きくスピードが速い場合があった)
生徒C	疑問	ロボットによって歩く速さがどうして違うのか
	課題	ロボットによって歩く速さがどうして違うのか

当した。生徒Aは疑問として記述されていた内容をそのまま課題として設定したことがわかる。ワークシートに、「2) 疑問に思ったことを基に研究のテーマを決めよう」と記載したことで、自身が感じた疑問と課題設定のつながりを意識して活動できたことが予想される。生徒Bは、模型の歩行を観察する中で足底に角度がついていることが歩行するために必要であることに気づいた。この発見から、足底の角度が実際に歩行にどのような影響をもたらすか疑問に思い課題設定へとつなげている。生徒の課題設定の方法について分析した結果、自身が感じた疑問から課題設定につなげており、自由試行活動において疑問・発見を共に書き出すことが有効であることがわかる。生徒Cは、自由試行活動の中で友達の模型と比較し、歩幅や歩行スピードに違いがあることに気づいた。この発見から、歩行スピードに影響する要因に疑問を持ち、課題設定へとつなげている。友達の模型と比較する活動が気づきを促し、課題設定につながったことがわかる。

以上より、学習者自身による主体的な課題設定を引き出すためには、自由試行活動において、疑問・発見をワークシートに記述すること、ワークシートに沿って活動すること、他者との交流の時間を設けることが効果的であることがわかる。

4.2 仮説設定の活動の分析

第3時(表3参照)の仮説設定についてアンケート及びワークシートの分析を行う。

[仮説設定のアンケートの分析]

生徒の仮説設定の一例を表8に示す。「歩幅は何に関係しているか」という課題を設定しており、課題設定の時点では歩幅に影響する条件を明らかにできていない。その後、影響する条件と根拠を書き出した上で、「斜面の角度を大きくすると歩幅が大きくなる」と仮説設定した。影響する条件と根拠を書き出す過程により、調査する内容や根拠が具体化したことがわかる。

仮説設定に関する4件法のアンケート(表4 アンケート項目6)~10))の集計結果を図4に示し、アンケートにおける生徒の感想の自由記述を表9に示す。

アンケート項目「6) 仮説を立てる際に自由試行活動の内容を生かした」について、全ての生徒が肯定的な回答をした。自由試行活動において感じた疑問や発見が、変数の抽出や仮説の設定にもつながることがわかる。アンケート項目「7) ワークシートにより仮説をスムーズに立てられた」について、93%の生徒が肯定的な回答をした。生徒の感想には、「ワークシートに沿って書いたから、意外とすらすらと書けた」という記述が見られた。ワークシートに沿って活動することで仮説設定の過程がわかりやすく、スムーズに活動できることが期待される。アンケート

表 8 仮説設定の過程の一例

課題	歩幅は何に関係しているか	
影響する条件と根拠①	足の長さ	(直角三角形において)斜辺を足の長さと考え。斜辺が長いほうが高さ(移動距離)は大きくなる
影響する条件と根拠②	斜面の角度	スキー場などで経験できる通り、斜面が急な方がスピードが速くなる。力を分解したときに角度が急な方が斜面に沿った力が大きい→よく進む→歩幅が大きい。
影響する条件と根拠③	横の揺れ	斜面の角度が等しい時、片足が上がっている時間が長いほうが大きく進む
仮説	斜面の角度を大きくすると歩幅が大きくなる。 その理由は斜面の角度が大きいくほど、斜面に沿った力は大きくなり、上がっている反対側の脚は斜面に平行な力によって前へ進むからである。	

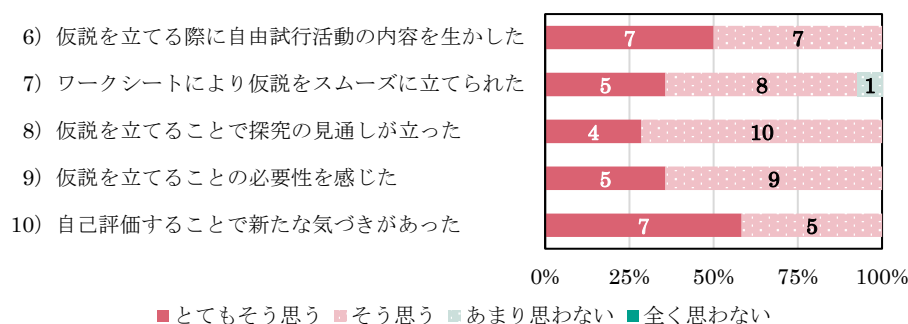


図 4 仮説設定に関するアンケート項目の集計結果 [n=14]

表 9 仮説設定に関する自由記述 [n=14]

分類：記述内容	件数
ワークシートの使用：「仮説を立てる，ということは初めて行った。一見，難しい作業だと思ったけれど，ワークシートに沿って書いたから，意外とすらすらと書けた」，「仮説や実験の条件をすらすらと書くことができよかったです」	2
見通し：「ワークシートを順番に進めていったことで自分のやりたいこと・求めたいことをしっかりと定めることができうれしかった」	1
課題の変更：「昨日考えた探究とは違うのをやろうと思いました。なぜなら，データ化するのが少し難しいと考えたからです」，「いざ仮説を立てようとしたら，計画を練ろうとしたらすると，自分が決めた探究テーマではなかなかうまくいかなくて，行ったり来たりしていたけど，その繰り返しが実は具体的に仮説を決められたと思う」	3

項目「8) 仮説を立てることで探究の見通しが立った」，「9) 仮説を立てることで必要性を実感した」について，全ての生徒が肯定的な回答をした。感想には，仮説を立てたことに対し「自分のやりたいこと・求めたいことをしっかりと定めることができ」という記述が見られた。実際に活動の中で仮説を立てたことにより，仮説を立てる意味・必要性について理解したことが期待される。

[仮説設定のワークシートの分析]

自己評価前と自己評価後の仮説設定のワークシートを評価基準に沿って評価した結果を図 3 に示す。また，自己評価前後で「十分満足」に該当する人数が増加したか，「努力を要する」に該当する人数が減少したかを明らかにするために，それぞれについて χ^2 値を算出し，表 6 に示す。

表 10 仮説設定の過程で課題を変更した生徒

	変更前	変更後
生徒 E	右脚を後ろにし、左脚を前にするのはロボットの動きや速さに関係あるか	足の先が少し斜めになっているが、この足の先の角度を急にしたらどうなるか
生徒 F	足をどのように曲げると滑らかなところでもきれいに歩くのか	足をどのような素材にすると滑らかなところでもきれいに歩くのか
生徒 G	この装置が動く原因として板の材質は関係しているか	この装置が動く速さと板の材質は関係しているのか

評価項目「④根拠の記述」について、「1 おおむね満足、0 努力を要する」に該当する人数に対し、「2 十分満足」に該当する人数が増加し、有意な差が認められた。自己評価前は、仮説の記述として、独立変数の変化に対する従属変数の変化のみを記述した生徒が 39%と最も多かった。しかし、自己評価後には生活経験や既習内容を基に、根拠を記述できた生徒が 50%と最も多い結果となった。自己評価を行うことで、根拠の記述を意識することや、根拠の記述として適しているものを理解することが期待される。

生徒 D は「使用する紙を柔軟な素材にするときれいに歩ける」という仮説を立てた。仮説に対する根拠として、「半紙は比較的薄く、柔軟な紙です。画用紙の性質と大きく違うので別の結果になると思ったからです」、「足を曲げると動くからである」という 2 点が記述されていた。生活経験を基に同じ紙でも柔軟性が異なることを根拠として記述できている。ワークシートの項目に「影響すると考えた根拠をこれまでの学習内容や生活経験を基に書こう」と記載したことにより、根拠を記述できたことが予想される。

仮説設定をする中では、課題を変更する様子が見られた。課題を変更した例を表 10 に示す。変更前の課題は「足をどのように曲げると」というように数値化が困難なものや根拠を考えづらいものであることがわかる。感想には「いざ仮説を立てようとしたり、計画を練ろうとしたりすると、自分が決めた探究テーマではなかなかうまくいかなくて」とあり、仮説や実験計画を立てる段階において困難さに直面したことがわかる。変更後の課題は「足の先の角度を」、「足をどのような素材にすると」というように、数値化しやすいものや根拠を考えやすいものとなっている。仮説を立てる際に変数や根拠を意識することで、検証可能な課題に修正されることが期待される。

しかし一方で、自己評価後も仮説の根拠を記述できず「努力を要する」に該当した生徒が 4 名いた。また、自己評価したものの、根拠を既習内容や生活経験を基にした記述に修正できない生徒もいた。他者による評価やグループでのディスカッションを取り入れることや、生活経験や既習内容に基づく根拠を例示するなどの改良によって、客観的な評価につながり、根拠の記述が修正されていくと考えられる。

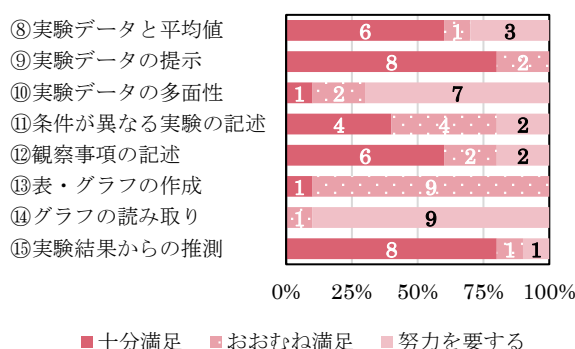
5. レポートの分析

本章では、生徒が作成したレポートの分析について述べる。ここでは、1 回目、2 回目のレポートが共に回収できた 10 名について分析する。

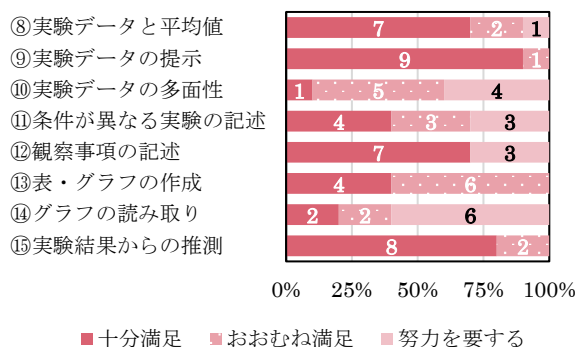
1 回目、2 回目に作成したレポートの評価結果をそれぞれ図 5 に示す。また、活動を繰り返し行いレポートを作成する中で「十分満足」に該当する人数が増加したか、「努力を要する」に該当する人数が減少したかを明らかにするために、それぞれについて χ^2 値を算出し、表 11 に示す。

評価項目「⑩実験データの多面性」について、「0 努力を要する」に該当する人数に対し、「2 十分満足、1 おおむね満足」に該当する人数が増加し、有意な差が認められた。図5より、2回目のレポートでは、「1 おおむね満足」に該当する人数が増加していることがわかる。1つの条件につき、歩行距離と歩行時間を計測するなどの2種類のデータを計測した生徒や、歩行距離と歩行時間から歩行速度を算出するなどの、計測したデータを組み合わせて新たなデータを算出できた生徒が増加した。

評価項目「⑬表・グラフの作成」について、「1 おおむね満足、0 努力を要する」に該当する人数



(a) 1回目レポート



(b) 2回目レポート

図5 2回目レポートの評価結果 [n=10]

表11 1回目のレポートに対する2回目のレポート評価の χ^2 値 [n=10]

評価項目	χ^2 値	
	(2), (1,0)	(2,1), (0)
⑧実験データと平均値	0.417	1.90
⑨実験データの提示	0.625	—
⑩実験データの多面性	0.00	4.29*
⑪条件が異なる実験の記述	0.00	0.625
⑫観察事項の記述	0.417	0.625
⑬表・グラフの作成	10.0**	—
⑭グラフの読み取り	—	10.0**
⑮実験結果からの推測	0.625	1.00

* $p \leq 0.05$ ** $p \leq 0.01$ $df=1$

に対し、「2 十分満足」に該当する人数が増加し、有意な差が認められた。2 回目のレポートでは、実験から得られたデータを表とグラフ両方に示すことができた生徒が増加した。

評価項目「⑭グラフの読み取り」について、「0 努力を要する」に該当する人数に対し、「2 十分満足、1 おおむね満足」に該当する人数が増加し、有意な差が認められた。2 回目のレポートでは、グラフから読み取れる情報を記述できた生徒や、そこから紙の厚さだけが歩行速度に影響するわけではない等の、関係や傾向を読み取り記述できた生徒が増加した。

以上より、活動を繰り返し実施したことで、データを多面的に分析する力、実験データを表とグラフの両方に示す力、作成したグラフから情報・関係・傾向を読み取る力などが育まれたことが期待される。

しかし、前出の評価項目⑩、⑬、⑭及び「⑪条件が異なる実験の記述」について「2 十分満足」に該当する生徒が少ないため、これらの力を育むための手立てが必要と考えられる。

6. 結言

本研究では、中学生を対象とした科学的探究活動を開発した。開発した活動の特徴、期待される内容を以下に示す。

- ・ 課題の設定からまとめ・表現までの一連の科学的探究活動を学習者自身で実施することが可能である。
- ・ 教材の製作が容易であること、構造が簡単であること、学習者が変更可能なパラメータが多く存在することから、活動が繰り返し実施される。
- ・ 活動の流れ・ワークシートを提示することで、著者以外の実践を可能とすること、指導内容の共通認識が図られる。

さらに、開発した科学的探究活動を中学生対象に実施し、以下の内容を明らかにした。

- ・ 自由試行活動を行い、疑問・発見を書き出すこと、ワークシートに沿って活動を行うことで、課題や仮説の設定を生徒自身が考え設定することができた。
- ・ 自己評価を取り入れることで、生徒自身が仮説の根拠の記述に不備があることに気づき、修正することができた。
- ・ 探究活動を繰り返すことで、評価項目「⑩実験データの多面性」、「⑬表・グラフの作成」、「⑭グラフの読み取り」の結果が有意に上がり、力が育まれた。

今後は、自己評価や活動を繰り返すことによる変化が見られなかった項目について、活動や自己評価シートを修正し改善していく。

謝辞

本研究は、公益財団法人中山隼雄科学技術文化財団 2021 年度助成金の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 日本ユネスコ国際委員会：ESD(持続可能な開発のための教育)推進の手引き(2018)
- 2) 文部科学省：教育課程企画特別部会(2015)
- 3) 中央教育審議会答申：幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要

領の改訂について(答申)(2008)

- 4) 文部科学省：中学校学習指導要領(平成 29 年告示)解説総則編(2017)
- 5) 文部科学省：高等学校学習指導要領(平成 30 年告示)解説総合的な探究の時間編(2018)
- 6) 文部科学省：高等学校学習指導要領(平成 30 年告示)解説理数編(2018)
- 7) 文部科学省：中学校学習指導要領(平成 29 年告示)解説数学編(2017)
- 8) 中村琢：高等学校における理数の探究活動と効果－中学校・高等学校の理数課題研究の取組と探究能力調査から－，日本科学教育学会研究会研究報告，Vol.33, No.8, pp.47-50(2019)
- 9) 文部科学省：小学校学習指導要領(平成 29 年告示)解説理科編(2017)
- 10) 文部科学省：中学校学習指導要領(平成 29 年告示)解説理科編(2017)
- 11) 村上忠幸：小学校理科を活性化するための教材・プロセス開発，京都教育大学教育実践研究紀要，第 9 号，pp.29-38(2009)
- 12) 村上忠幸：理科の探究学習の新展開－messing about とコミュニケーション－，京都教育大学教育実践研究紀要，第 10 号，pp.91-100(2010)
- 13) 小暮建宏・小倉康：単元の導入で自由な試行活動を行うことが問題発見・設定する力の育成に及ぼす効果，理科教育学研究，Vol.59, No.1, pp.49- 57(2018)
- 14) 松永泰弘・前田耕典：みらい創造科教材としての紙製 4 足受動歩行模型の開発，静岡大学教育学部研究報告(人文・社会・自然科学篇)，第 65 号，pp.165-179(2015)
- 15) 古田このみ・松永泰弘：こども園における動くおもちゃものづくり探究活動-紙製 4 足受動歩行模型と紐を伝う木製模型-，第 38 回日本産業技術教育学会東海支部大会 講演論文集，pp.1-4(2020)
- 16) 松永泰弘・古田このみ：紙製 4 足受動歩行模型を用いた小学生対象の授業実践，日本産業技術教育学会誌，第 63 巻，第 2 号，pp.207-214(2021)
- 17) 松永泰弘・古田このみ：紙製 4 足受動歩行模型を用いた大学生ものづくり探究活動，日本産業技術教育学会誌，第 61 巻，第 1 号，pp.35-42(2019)
- 18) 小林辰至・永益泰彦：社会的ニーズとしての科学的素養のある小学校教員養成のための課題と展望－小学校教員志望学生の子ども頃の理科学習に関する実態に基づく仮説設定のための指導法の開発と評価－，科学教育研究，Vol.30, No.3, pp.185-193(2006)
- 19) Commission on Science Education of American Association for the Advancement of Science(eds.), Science – a process approach commentary for teachers, AAAS/XEROX Corporation, pp.122-131 (1963)