

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K03224

研究課題名(和文) 探究的な学習の指導力向上を図る高校理科教師向けのチュートリアル作成

研究課題名(英文) Creating tutorials for high school science teachers to enhance their instructional skills in inquiry-based study in science

研究代表者

日置 英彰 (HIOKI, HIDEAKI)

群馬大学・教育学部・教授

研究者番号：00208737

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：高等学校において、生徒が探究的な学習活動の進め方を理解するためのプログラムを開発した。このプログラムでは「なぜアスピリン腸溶錠が胃で溶けず腸で溶けるのか」を課題とし、生徒たち自身の力で探究の過程を最後までたどらせ、立案した仮説を検証させた。完成したプログラムにもとづいて授業実践を行い、その結果を分析した。

生徒は、課題解決には多様なアイデアやアプローチがあることや、実験結果に基づいて新たな仮説をたてて実験を繰り返すスパイラル的な探究活動の進め方などを理解することができた。また、探究することの楽しさも実感することができた。しかし、このプログラムの教師用指導書の作成までには至らなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現行の学習指導要領では、「主体的・対話的で深い学びの実現」にむけて探究的な学習活動の充実が求められている。探究的な学習の進め方に関しては、成書が出版されているが体験的にそれを学ぶことができる授業プログラムは少ない。本プログラムは2時間程度で一連の探究の過程をたどることができ、生徒が本格的な探究活動を始める前に、探究学習の重要なポイントについて、実感を持って学ぶことができる教材であるといえる。

研究成果の概要(英文)：A program to help high school students understand the process of inquiry-based learning was developed. In this program, the task was to investigate "why enteric-coated aspirin does not dissolve in the stomach but dissolves in the intestines." Students were guided to explore the process on their own and validate their formulated hypotheses. Classroom implementation was conducted based on the completed program and analyzed the results. Students were able to understand that there are diverse ideas and approaches to problem-solving, as well as the iterative nature of inquiry-based learning, where new hypotheses are formulated based on experimental results and further experiments are conducted. They also experienced the joy of inquiry. However, a teacher's guide for this program was not accomplished.

研究分野：理科教育

キーワード：理科教育 探究的な学習活動

1. 研究開始当初の背景

平成 30 年 3 月に高等学校の新学習指導要領が公示され、「主体的・対話的で深い学びの実現に向けた授業改善」が改訂の大きなポイントとしてあげられた。それを受けて「総合的な学習の時間」は「総合的な探究の時間」へと名称変更され、さらに「古典探究」「日本史探究」「理数探究」など、探究的な科目が多く新設された。このように、これからの高校教育は探究活動を通して激しい変化に直面する時代を生きる力の育成を目指すこととなった。

2. 研究の目的

コンピュータのソフトウェアには、解説を読まなくても、仮定の課題を設定して実際に操作しながら使い方を簡単に覚えられるチュートリアル機能を持ったものがある。探究的な学習活動に慣れていない生徒や教師には、このようなチュートリアルが必要不可欠と考え、これを作成することとした。

3. 研究の方法

本研究課題では「アスピリン腸溶錠」を教材とすることにした。アスピリン腸溶錠は、アスピリンの副作用である胃粘膜障害を抑えるため、酸性環境の胃ではフィルムは溶けないが、中性～弱アルカリ性環境である腸において中和反応を起こしてフィルムが溶けるよう設計されている。課題（なぜ胃で溶けず腸で溶けるのか）は授業者が提示するが、それ以外は何も提示せず、生徒自身の力で探究の過程を最後までたどらせ、立案した仮説を検証させる。このとき生徒から出される仮説が一つに定まらないようにすること、そして仮説を証明するための多様な実験方法が生徒から提案されるように工夫する。その上で実験・観察をとおして課題を多面的に考察することにより真実が解明されることを実感できるようにする。

4. 研究成果

(1) 授業プログラムの作成

実施のタイミングは、探究学習の進め方を授業で大まかに学んだ後とし、探究学習全体の流れを体験するものと位置づけた。そのため授業時数は 2、3 時間で完結させることを想定した。

大まかな学習の流れを図 1 に示す。提示された課題について、仮説をたて、実験計画を立案し、それに従って実験を行う。その実験結果を踏まえて仮説の妥当性等を吟味しながらこのサイクルを繰り返して、課題を解き明かす。最後に各班の実験内容と考察を共有する。授業のタイトルは「ドラッグデリバリーシステム」とした。授業実践を繰り返し最終的に完成させたプログラムは以下の通りである。

導入

最初にどことなくすりにも主作用と副作用があり、アスピリンの主作用は解熱鎮痛作用と抗血小板凝固作用で、副作用は胃粘膜障害であること、そして連用する場合には副作用を抑えるためアスピリン腸溶錠が使われていることを説明する。

課題の提示と仮説の設定

ここで本時の課題「アスピリン腸溶錠はなぜ胃を素通りして腸で溶けるのだろうか？」を提示する。生徒はアスピリン錠とアスピリン腸溶錠を観察し仮説をたてる。

実験計画の立案と実施

実験計画を立案するにあたって、アスピリンの確認試験法(塩化鉄(II)水溶液と加熱するとアスピリンのアセチル基が加水分解され紫色に呈色する)を紹介する。生徒はアスピリン錠とアスピリン腸溶錠についてこの確認試験を行って、アスピリン錠は呈色するが、アスピリン腸溶錠は呈色しないことを実験によって確かめる。以後本稿では、この塩化鉄(II)水溶液をアスピリン検出液とよぶ。

生徒は各自でたてた仮説をもとに、班で話し合っって実験計画をたてることにする。生徒の探究活動の思考の過程を次のように予測した。

- (i): アスピリン腸溶錠はコーティングが施されていると考え、錠剤を割ったり削ったりする。
- (ii): 腸溶錠を胃で働く酵素であるペプシン水溶液 (pH 2) と腸で働くリパーゼ水溶液 (pH 9) で処理し、リパーゼ水溶液で処理すると表面のコーティングが溶け出すのを確認する。
- (iii): コーティングが溶けたのは本当に酵素の働きなのか、酵素が入っていない pH 2 の水溶液と pH 9 の水溶液で処理して確認する。(対照実験の実施)

生徒が希望する実験はすべて行えるよう、実験器具や試薬を用意することにした。数回の予備的な授業実践で希望のあった試薬や器具(ハンマー、虫眼鏡、線香、ろ過装置一式、石灰水、pH 試験紙、BTB 溶液など 14 種類の溶液と 25 種類の実験器具など)は全て準備した。

考察と結果の共有

生徒はどのような実験をし、どの実験から何が明らかになったかをまとめ、最後に教室全体で活動内容を共有する。

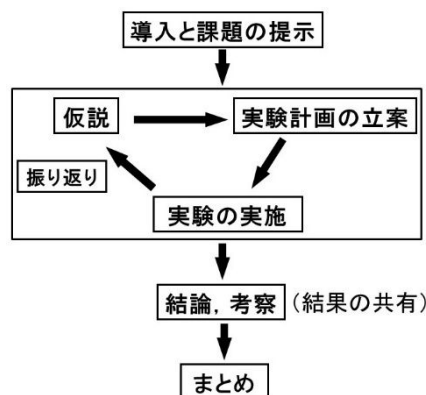


図 1 探究学習の流れ

## まとめ

胃で溶けず腸で溶けるしくみを中学校理科で学習した中和反応に関連させて詳しく解説した後、このドラッグデリバリーシステムが抗がん剤などに応用されていることを紹介する。

## (2) 授業実践の結果と分析

ここからは、公立高等学校普通科1年生128名を対象に1班3~4名として33班に分けて授業を行った結果について述べる。表1に示した構成で、合計120分間の授業とした。

### 仮説の設定

仮説の設定に先立ち、アスピリン錠とアスピリン腸溶錠を観察させ、両者の違いをワークシートに記入させた。表面のちがいが(アスピリン腸溶錠の表面がツルツルしている(101名))、錠剤の大きさの違い(62名)などを指摘する生徒が多かった。次に表面の観察結果踏まえて仮説を立てさせたところ、表2に示すように大きく3つの仮説が立てられた。ほとんどの生徒が腸溶錠に何らかのコーティングが施されていると考えたが、胃と腸の環境の違いについて言及した生徒は半数程度にとどまった。

### 実験計画の立案と実験の実施

ここからは班で話し合うこととし、個人で考えた仮説をもとに班としての仮説をたてて、それを証明するための実験計画を立案させた。「何らかのコーティングがされている」という仮説については、ハンマーで砕く、やすりで削るなどの案が出され実行された。(33班中24班)断面だけが呈色する様子からコーティングの厚さを見積もる班もあった。酵素溶液と処理した班は28班あった。どの班も40℃の恒温槽にいれヒトの体温を再現して実験を行っていた。一方pHの異なる溶液と処理してコーティングが溶け出すか調べる班は18班であった。その他にコーティングを上手にはがして、酵素溶液やpHの異なる溶液と処理している班が9班あった。pH9の溶液は炭酸水素ナトリウムを溶かして調製したため、アスピリンが溶け出すと二酸化炭素が発生する。発生した気体が何であるか特定するために、それを捕集して線香を入れたり石灰水に通したりする班もあった。

多くの班で実施された、割る・砕く、酵素溶液と処理する、異なるpHの水溶液と処理する、の3つの実験について、各班がいくつ実験したのか図1にまとめた。1種類の実験のみが行われたのは2班(6%)のみで、ほとんどの班が2種類(25班,76%)、あるいは3種類(6班,18%)の実験を行っていた。最も多かったのは、割ったり砕いたりして腸溶錠の内側にアスピリンが存在することを確認した後に、錠剤を酵素溶液と処理したというもので、22班(66%)あった。そのうちの6班は、さらにpHが同じで酵素の存在しない水溶液での実験も行っていた。

### 考察の記述

実験後各自が記述した考察を分類したのが図2である。全ての生徒が腸溶錠はアスピリンが何らかの物質でコーティングされていることを明らかにした。一方、どうして胃で溶けず腸で溶けるのかという点に関しては、57%の生徒が酸性の胃では溶けず、液性が弱アルカリ性になる腸で溶けると結論づけ、30%の生徒が腸で分泌されるリパーゼでコーティングは溶けると結論づけた。その他(13%)に分類したものは、「アスピリン腸溶錠は(液性の異なる水溶液や酵素溶液の)どれにも溶けなかった」というように、実験条件が適切でなかったため妥当な結論が得られなかったものである。本授業では処理時間や処理温度などの実験条件も生徒が決定する。アスピリン検出液で呈色を確認できるほどコーティングをはがすためには、腸溶錠をpH9の水溶液に投入して40℃で2,3分よくかき混ぜる必要がある。よく観察していると1分ほどで溶液が少し濁るのが

表1 授業の構成

導入・課題の提示	15分
仮説の設定	10分
アスピリン検出実験	5分
実験の立案	70分
計画に基づいた実験	
考察	
結果の共有	10分
最後のまとめ	10分
合計	120分

表2 生徒の仮説(複数回答あり)

	人数
コーティングがある	121
胃と腸で働く酵素の違い	11
胃と腸の液性の違い	64

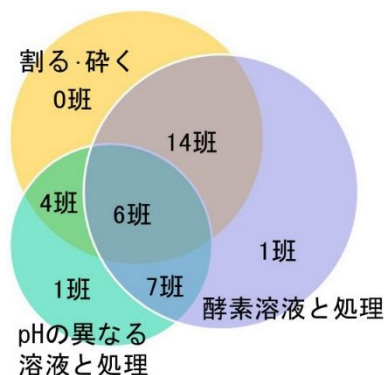


図1 各班が行った実験

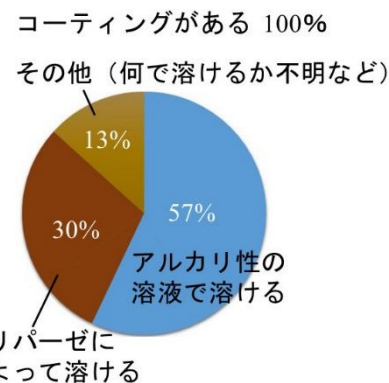


図2 生徒の考察

確認できるので、多くの班は変化の兆しを観察して処理時間を延ばしアスピリン検出液で呈色を確認していた。同じような実験を行っても、実験条件の微妙な違いが結果や結論に大きな違いとなることを最後の意見共有の場面で確認することで、よく観察することや、実験条件を細かく記述することの重要性について生徒は認識することができた。また、リパーゼによって溶けると考えた生徒(30%)の約4分の1(8%)がリパーゼは脂質を分解する酵素であることから「コーティングは脂質でできている」とより踏み込んで考察していた。「アルカリ性の水溶液でとける」と考えた生徒(57%)の約4分の1(14%)は酵素溶液と処理しただけであった。酵素溶液と処理しただけで結論を出した生徒は44%(30%+14%)と約半数にのぼり、対照実験を適切に設定できていないことがわかる。生徒の質問紙調査では「対照実験の重要性を実感したか」との質問に対して94%の生徒が「とてもそう思う」と回答した。(5%が「ややそう思う」と回答)

生徒に対する質問紙調査

(i)実験の難易度

「あなたは設定した仮説を、実験を通して何パーセント証明することができたと思いますか。」との質問に対する回答を5段階に分けて図3に示した。70%の生徒が仮説の60%以上を証明できたと回答し、27%の生徒が80%以上を証明できたと回答した。各場面における難易度について4段階で質問した調査結果を図4に示す。4つの場面の中で最も難しいと感じているのは実験計画の立案の場面であった。4分の3以上の生徒が「難しい」あるいは「やや難しい」と回答した。理科実験では、処理時間や処理温度などが最初から示されていることが多い。図1のように実験を繰り返しながら最適な実験条件を決めていくという方法に慣れていないのであろう。実験操作が難しいと回答した生徒は12%にとどまった。実験操作が難しいと仮説や実験計画は妥当であっても実験技術の未熟さから妥当な結論に導くことができなくなる。本実験は砕く、削る、混ぜる、加温するなど簡単な操作と呈色反応という定性的な実験で結論を導くことができるので、本格的な探究学習を始める前のチュートリアルとして本教材は好適であると考えている。また、「仮説を証明するための実験器具が揃っていたか」という質問に対しては、「きれいにコーティングをはがせる道具がほしい」と答えた生徒がいたがそれ以外はなかった。

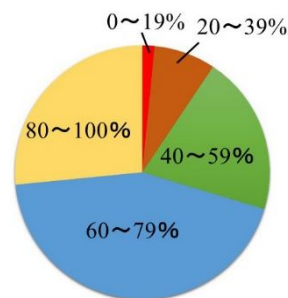
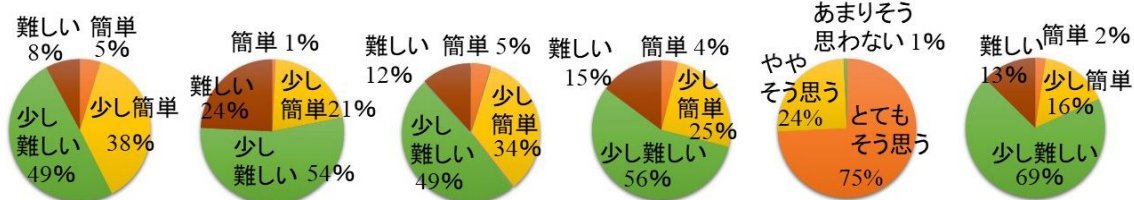


図3 仮説の証明度

総合的な難易度に関する回答を図5に示した。わかりやすかったかとの質問に対して99%の生徒が「とてもそう思う」あるいは「そう思う」と答えたことから、腸溶錠がアスピリンの副作用を抑えるしくみについては科学的によく理解できたといえる。一方、総合評価では69%の生徒が「少し難しい」、13%の生徒が「難しい」と回答した。生徒の感想にも「仮説や実験の内容を自分たちで決めることについては難しいこともありましたが、そのぶん理解を深めることができました」とあった。



(1) 仮説の設定 (2) 実験計画の立案 (3) 実験操作 (4) 考察の記述 (5) わかりやすい (2) 総合評価

図4 各場面における難易度

図5 総合的な難易度

(ii)主体的、対話的で深い学び、科学への興味関心などについて

授業への参加態度に関する質問紙調査結果を図6に示す。生徒の感想でも「班の中でたくさん議論し、自分では思いつかなかったようなアイデアも参考になりました。」「時間がなくて間に合わなかった実験も、他の班と共有できて勉強になった。」といったものが多く、生徒の協働的で深い学びが達成していたことがみとれた。生徒の興味関心について図7に示す。本授業が興味深かっただけでなく、科学への興味、探究することの楽しさについても実感していることがわかる。「日常生活の中で自分の課題を解決したいとき(例えば勉強や部活など)自分で考えていく壁が低くなったように思います。」「今回の学びと答えにたどり着いた時の達成感は一生涯の思い出です」との感想もあった。また、「実験の結果と自分の知識を結びつけて考察を出すのはとても面白く、科学の知識を学んでおくことの大切さを知りもっと学んでみたくなった。」「中学校で学ぶ中和の学習が役立つとわかり、このような場面で学習は役立つのだと思った」といった感想もあり、探究学習を進めることによって、知識・技能の習得の大切さについても生徒が気づくことができた。

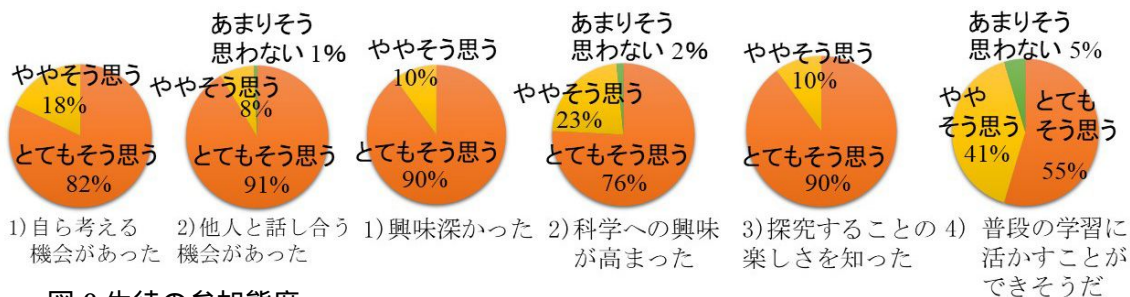


図 6 生徒の参加態度

図 7 生徒の興味関心

### (3) 高等学校理科教員の本授業プログラムの評価

高等学校理科教員 12 名を対象にこの授業を実際に受講してもらい、実施の可能性について評価してもらった。その結果を表 3 にまとめた。プログラムの内容については高評価であった(質問 1)。生徒にとっての難易度(質問 2)に関しては、平均をとると「適当な難易度」であるとの結果になったが、学校によってかなりばらつきがあった。「受け身の生徒にどう考えさせよう取り組ませるかが課題」、「グループワークの利点は大きいがあるが、できる子だけが先にやってしまう」、「仮説や実験計画を立てさせる際にヒントを出すなどある程度誘導しないと難しい」といった感想があげられた。日頃の学習活動がどのように行われているかによって評価が大きく分かれたと感じている。実施の可能性に関する質問 3 と 4 では、学校に実験助手が配置されている学校では問題なく準備ができるとの回答であった。一方で、予算面の確保が難しいとの回答や、120 分では短く、5~6 時間かけて取り組ませたいが時間の確保が難しいとの意見もあった。

表 3 高等学校理科教員の本授業プログラムの評価

質問	評価の平均 <sup>1)</sup>
1. 授業プログラムとして魅力に乏しい。	4.7
2. 生徒にとって難しい。	2.5
3. このプログラムで使用する試薬や器具などの準備が大変である。	2.8
4. 貴校において教材として活用することは可能である。	2.3

1) 「そう思う」を 1, 「そう思わない」を 5 として回答したものの平均値。質問 4 のみ 4 段階評価。

### (4) まとめ

以上本研究課題では、高等学校において生徒が個々のテーマで本格的に探究活動を始める前段階で、探究的な学習活動の進め方を理解するためのプログラムの開発を行った。

各班が行った実験をクラス全体で共有する場面では、様々な実験内容や考察が紹介された。生徒の感想に「他の班の実験を聞いたらとても細かいところまで実験している班があって、なるほどと思いました」とあるように、(たとえば「腸溶錠を砕くのではなく、ヤスリで削ることによってコーティングの厚さまで見積もることができる」など)、実験には様々なアプローチがありそれによって解明される内容にも差が生じることが実感できたようである。「適切な対照実験を行わないと妥当な結論に至らない」、「実験の様子をよく観察し、そこから得られる情報をもとに実験条件を再検討する必要がある」といった感想も多かった。班によって実施した実験内容が異なったり、同じような実験を行っても細かな実験条件の違いによって結果が異なったりしたことが、探究的な学習活動の進め方の深い理解につながったように感じている。また、班によっては「何を調べたいかというのを見失いそうになった」、「やるべき実験がわからなくなってしまった」という感想もあった。クラス全体が同じ実験を行っていたのでは、実験の方向性を常に確認しながら進めることの重要性に気づくことが難しいであろう。

プログラムは一応完成したが、一番の課題は理科教員の評価でも指摘があったように十分な時間の確保である。探究したい実験が残っているにも関わらず時間切れで中止せざるを得ない班が少なからずあった。また、教室内で実験内容や考察を共有する時間が十分確保できず、計画の妥当性や結果の評価について議論することなく、生徒が行った実験と考察の紹介にとどまってしまった。ICT 機器などを最大限活用して効率的に協働的な学びを実現させることを検討する必要がある。

本研究課題では、探究学習の指導が苦手な教師に向けて、本プログラムの教師用指導書の作成を最終目標としていた。コロナ感染の影響でプログラムの作成と検証のための授業実践が計画通り進まず、指導書の作成までは達成することができなかった。研究期間が終了してしまっただが、今後はこれに着手したいと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 日置英彰
2. 発表標題 理数教科における探究の過程を学ぶ 授業プログラムの開発 - アスピリン腸溶錠を教材として -
3. 学会等名 第71回理数教育学会全国大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------