

サイエンスアドベンチャー型教材の開発と実践に関する研究

藤澤隆次

要旨 次期学習指導要領では学習の基盤となる資質・能力として情報活用能力が位置づけられており、様々な教科で横断的に育成していくためのカリキュラム開発が求められている。本研究では「地下水」をテーマとして、教科横断的な教材の検討と開発を行い、その実践を行った。

キーワード 意志決定, 情報活用能力, 教科横断的, 地下水

1. はじめに

(1) 日本の科学教育の現状

21世紀の社会においては、総合的な科学・技術の急速な発展と日常生活への応用が一層顕著になると予想される。科学・技術が複雑化した社会に対応するために、今後の日本での科学教育には、次の①～③の理由で、知識の体系としての純粋科学教育に加え「対話によるリスク評価や意志決定」能力を育成する教育が強く望まれている。

①学校教育の中心的な営みである「授業」だが、現状では知識の伝授で終わってしまっている授業が多い。知識は次々と変化するので、学校の役割として「知識だけでなく学習の方法も教授する」という考え方への転換が必要になっている。

②2015年度の全国学力・学習状況調査（理科）¹⁾では、「観察や実験の結果を分析し、説明する力」に課題があることが浮き彫りになっている。

③2011年福島第一原子力発電所事故以来、科学技術への不信感が日本全土に蔓延している。日本人は科学技術に伴うリスク評価が乏しく、ゼロリスクを求める傾向が強い。日本での科学技術を推進するためには、リスクを正しく認識し冷静に向き合う能力を有する国民を育成することが重要である。

(2) 次期学習指導要領との関連

平成29年3月31日、平成32年度から実施される次期学習指導要領が告示された²⁾。「社会に開かれた教育課程の実現を目指し、学習指導要領を「学びの地図」としてしている。理科の改訂の基本的な考え方をまとめると次の2点になる。1つは、理科で育成を目指す資質・能力を育成する観点から、自然の事物・現象に進んで関わり、見通しをもって観察・実験などを行い、その結果を分析して解釈することなどの科学的に探究する学習を充実することである。もう1つは、理科を学ぶ意義や有用性の実感及び、理科の関心を高める観点から、日常生活や社会との関連を重視することである。後者は「理科と他教科で学習した内容やスキル等の関連を意識した指

導をしたり、地域の自然や施設、人的資源、伝統を取り入れた指導をしたりすることで、知と知をつなげる深い学びを形成することを目指す」と言い換えることができる。

文部科学省が2013年10月～2014年1月に行った情報活用能力調査³⁾では、中学生について、「整理された情報は読み取ることはできるが、複数のウェブページから目的に応じて、特定の情報を見つけ出し、関連づけることに課題がある」とされている。

これらのことから、自分の考えを表現させたり、情報を整理させたり、その情報を伝達させたり、円滑なコミュニケーションを行わせる活動が、いまの中学生には必須である。

(3) 本研究のねらい

これらの背景をふまえ、本研究では、教科書から得る知識だけではなく、受験や進学の前にある、社会や世界で生き抜くために必要な知識や力を備えることを目標に、次の3点を目的とした教材の開発を行うこととした。

①米国のサイエンスアドベンチャー型教材の調査・分析と日本型への最適化

②開発したサイエンスアドベンチャー型教材の中学校現場での応用

③情報および情報手段を主体的に選択し、活用してくための個人の基礎的資質の育成

2. 研究の方法

次の3点に重きを置いて、教材開発していくこととした。

①ある社会で生活している生徒が、直面する社会的課題を解決すべく、仲間や地域の人々と協力しながら、科学的手法で解決策を模索していくなかで主体的・協働的活動を行う。

②グループ・ディスカッションやディベートを行うなかで、社会的課題の解決策についてトレードオフや意思決定の手法を学ぶ。

③実社会に近い場面設定によるロールプレイゲーム

を採用する。

これにより、理科だけではなく社会、数学、英語などの複数教科を横断的に学習できるクロス・カリキュラムを目指した。

3. 開発した教材の概要

筆者は、米国科学教育プログラムSEPUP「有害な廃液」を参考に環境教育における意思決定能力育成プログラムの開発と授業実践を行っている⁴⁾。生徒は環境保全エンジニアという立場で、種々の廃液処理法から、どの方法で処理するかという課題に取り組んだ。日常生活の中の科学や社会とのつながりを意識したSEPUPカリキュラムを行うことで、生徒の多様な考え方や生徒がトレードオフ課題に熱心に取り組む様子を確認できた。

この他にも、米国科学教育プログラムSEPUPについては、種々の先行研究があり、その有用性が報告されている^{5)~18)}。

本研究では、米国科学教育プログラムSEPUP「フルーツヴェール物語」を参考にして、サイエンスアドベンチャー型教材の開発と実践に関する研究を行うこととした。

「フルーツヴェール物語」は、対象学年を小学校6年～高校3年で設計されている。水循環、地下水汚染、地図作成、地図解釈など、地球科学の概念に焦点を当てている。これらの概念は「フルーツヴェール」という架空の都市における地下水汚染の調査に用いられる。生徒は、汚染の発生源、重大性、度合いおよび移動率を考察する。そのために、都市のさまざまな場所から地下水をテストする計画を立て、擬似的に試掘をする。集めたデータを分析、解釈することで、フルーツヴェール村の水道局が村内に供給している水道水のリスクを知るようになる。生徒は汚染された地下水の浄化方法についての一文を読み、フルーツヴェール村にとって、どの浄化方法が適切かを決めるための市民集会に参加する。最後に、浄化方法を選択するとき、どのようにトレードオフをしたのかについて、生徒のデータ分析能力を確認する。

4. 授業実践の概要

実践期間は、2017年5～9月、実践対象は千葉大学教育学部附属中学校の第2学年、選択理科受講者20名である。授業は筆者自身が行った。

地下水は、ほとんどの農村部および多くの都市部にとっての主要な飲料水源である。「フルーツヴェール物語」では、生徒は試掘井戸によって地下水に農薬が混入していることが判明した地域を調査する。生徒は地下水の動きに影響する要因について学び、濃度を「百万分率」で表す方法を学ぶ。生徒は

さらに、模擬試掘井戸を用いて地下水のサンプルを採取してフルーツヴェールの村における地下水汚染源の特定を試みる際に、学習した知識を応用する。グループ活動によって生徒はデータのサンプルを採取して汚染源を特定し、安全に飲める地下水のエリアを確定する。最後に生徒は市民集会をロールプレイングする。汚染地域を浄化するための計画を決定して、フルーツヴェール村議会に、その情報を提案する。

表1に各アクティビティの学習タイトルを示す。

アクティビティ	学習タイトル
1 (1時間)	水の流れ
2 (2時間)	百万分率
3 (1時間)	村での水の不思議
4 (1時間)	地下での汚染の広がり
5 (1時間)	地図の読み取り
6 (1時間)	汚染源を特定しよう
7 (2時間)	タウンミーティング

5. 指導過程と生徒の反応

(1) アクティビティ1「水の流れ」

① 授業展開

このアクティビティでは、土壌物質中を通過する水の動きに影響する要因について調べる。

雨が降ると、地上にたまった水は地中にしみこんでいく。しみこんだ水は、岩石や砂、砂利の層まで到達して、「地下水」としてたまっていることがある。生徒は、岩石、砂、粘土といった個々の土壌を物質を通過する水の動き、ならびに土壌物質が組み合わさった中を通過する水の動きの相違を観察する。次に、地下水のふるまいや動きを予想したり、帯水層と難透水層の一般的特徴を比較するためにこうした観察結果をどのように活用できるかについて話し合う。



写真1 礫・砂・粘土の透水の違いを調べる実験

② 生徒の反応、意見

- ・実験が上手にできて良かったけれど、れきと砂の終わりまでの時間があまり変わらなかったのが驚きました。
- ・同じ千葉県でも地下水の環境が全く違って驚きました。また、地下道にも水の力を受けていることに驚きました。
- ・普段私たちがあまり気にしていない地下水が、すぐ足の下にあるとはびっくりです。また、地下水の流れ方についても少しですがわかったような気がします。

(2) アクティビティ 2 「百万分率」

① 授業展開

このアクティビティでは、百万分率 (ppm) と十億分率 (ppb) の濃度レベルを理解するために、食品着色料の連続希釈を行う。

生徒は食品着色料と水を混ぜて、水による食品着色料の連続希釈を行う、生徒は水をだんだん加えていきながら、溶液の色が徐々に薄まっていく様子を、ついには色がもはや見えなくなるまで観察する。「濃度」と「希釈」の意味とこれらの表し方について生徒が検討する中で、観察と推論の違いを理解する。

次に、生徒はインターネット等を利用して情報収集を行い、身近な百万分率を表現する活動に取り組む。幼児～小学校低学年を対象にしたイラストで表現する。

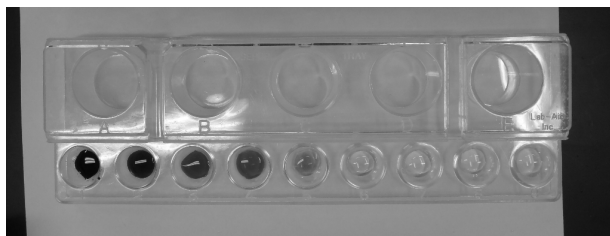


写真 2 食品着色料の希釈実験

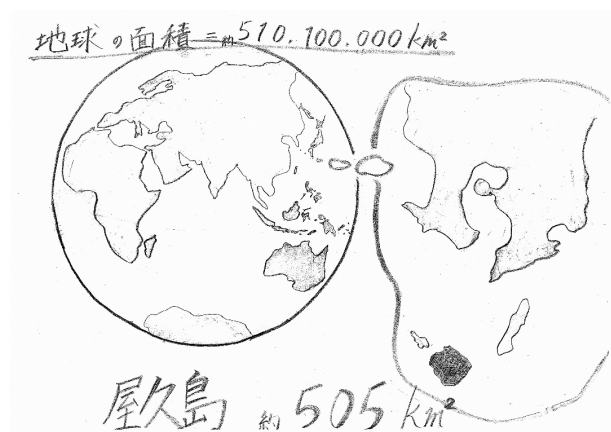


図 1 百万分率をイラストで表現

② 生徒の反応、意見

- ・この実験で、どんなにきたない水でもうすめてしまうと、透明になることがわかった。どのようにして毒のまじった水を見分けたりするのだろう。
- ・たしかにきれいな水と言われても説明しがたい。今回を通して、透明であればきれいは覆ったような気がする。
- ・イラストだけで小さい子にも伝えるのは難しかった。違うやり方でも表現してみたいです。大変でした。

(3) アクティビティ 3 「フルーツヴェール村での水の不思議」

① 授業展開

このアクティビティでは、生徒は架空の村「フルーツヴェール」における水質汚染の報告を受け、それについて検討する。生徒は汚染源について、前時までに身につけた地下水の動きについての理解を応用して、複数の仮説を立てる。手がかりとなる情報を整理し、その情報を用いて仮説を立てる技能を養う。



写真 3 グループで情報を整理している様子

② 生徒の反応、意見

- ・情報があまりなくて難しかったです。思い込みで進めていたので、訳がわからなくなりました。
- ・水を汚す原因とおぼしきものがたくさんある。原因を考えるのは、情報が少なくて難しかった。

(4) アクティビティ 4 「地下での汚染の広がり」

① 授業展開

地下に浸透した水は、簡単に広がる可能性がある。汚染の原因が 1 カ所に集中しているときは点源負荷といい、広範囲に広がっているときは面源負荷という。汚染物質がいったん地下に浸透したら、どのように広がっていくかを汚染の原因とともに調査する。



写真4 汚染の広がりを調査する実験

② 生徒の反応、意見

- ・実験を通して、地上での汚染の広がりだけでなく、地下水の汚染の広がり方が、ある程度わかったのが良かった。
- ・汚染は同心円状に広がっていった。でも、傾斜があると、下に伸びるような感じに広がっていった。
- ・汚染源からどのように汚れが広がるかを調べたところ、自分の予想とかなり違ったので驚きました。

(5) アクティビティ5「地図の読み取り」

① 授業展開

生徒はフルーツヴェール村における地下水汚染問題の物語を読み、それについて話し合う。生徒は地下水の動きについて学んだことを応用しつつ、汚染源を突き止めて汚染の度合いを測定するために、フルーツヴェールの地図を用いて、試掘井戸の掘るべき場所を決定する。

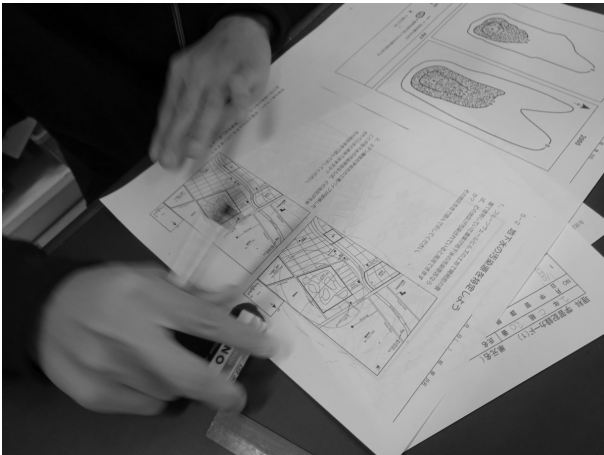


写真5 地図から情報を読み取る様子

② 生徒の反応、意見

- ・地形図からけっこうな情報が読み取れる。
- ・次回の井戸水調査で12カ所選ぶために今回どのような広がり方をするのか予想することができた。
- ・汚染源が分かってもそこからどっちに向かって広がるのか難しかったです。斜面の傾きを考えればわかっていた良かったです。

- ・推測することによって無駄な調査をしなくて済むので、この作業が大切だと思った。

(6) アクティビティ6「汚染源を特定しよう」

① 授業展開

アクティビティ5で立てた個人の井戸試掘計画を、グループで話し合う。生徒はさまざまな試掘井戸の水を試験することでフルーツヴェール村における地下水汚染の実態を明らかにする証拠を集める。生徒は40の試掘可能な井戸が記載された地図を与えられ、今までにフルーツヴェール物語から得た情報と、これまでのアクティビティからの手がかりを用いて、12の試掘井戸を調査する。生徒らは協力して、計画、調査、データの分析を行うとともに、調査計画では技術的および経済的資源の限界を考慮しなければならない点を理解することを知る。

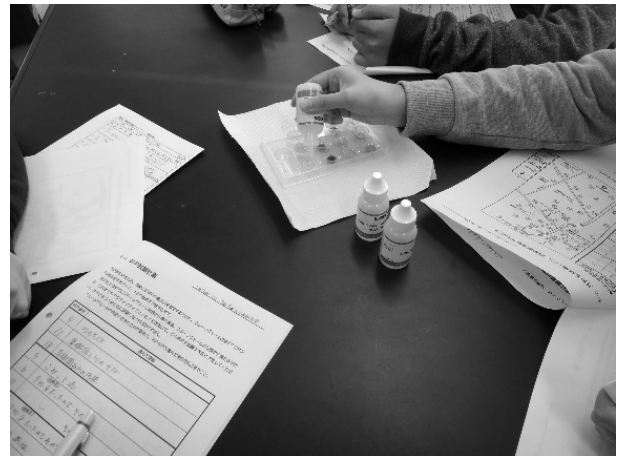


写真6 試掘調査

② 生徒の反応、意見

- ・情報が多くて、整理をしながら考えるのが大変だった。汚染源を調べるのも重要だけど、年月がどのくらい経っているのかもポイントだと思った。
- ・昔からの汚染源の移動や現在の汚染の度合いから、どこから汚染されたのかが推測できる。掘るべき井戸を決めるのは大変だと思った。時間が流れていることも、地下の土壌の様子も考慮したい。
- ・多くの資料から適切な情報を読み取り、まとめて考察することができました。特に、地図と等高線、地形図を同時に見るのはおもしろかったです。

(7) アクティビティ7「タウンミーティング」

① 授業展開

生徒はフルーツヴェール村の住民として、ロールプレイング・シミュレーションに参加し、汚染した地下水の浄化計画を選択するために開かれる市民集会に参加する。生徒は、さまざまな浄化案を提示するパネリストの役、あるいはそのプレゼンテーショ

ンを聞く住民の役を演じる。生徒は、地域社会における同様の問題に関する意志決定プロセスを学ぶ。個人の価値観と意志決定の間の関係やトレードオフの関係を理解する。



写真7 タウンミーティング

② 生徒の反応、意見

- ・自分でロールプレイングをしてみることで、どのくらい大変なのかわかった。どう話せばよいのか考えることができた。いろいろな意見があっっておもしろかった。
- ・とても楽しかったです。相手の話の欠点を探して突っ込むということを繰り返して、いろいろと楽しく学ぶことができました。

6. 研究のまとめと今後の課題

(1) 学習指導要領との関連

「地下水」に関して、学習指導要領との関連でいえば、小学校5年生理科「流水の働き」、中学校1年生理科「地層」、中学校社会（地理的分野、公民的分野）となるが、いずれ地表面の流水についてを扱い、視覚で確認できない地下水については触れることがない。

(2) 「地下水」をテーマとした教材の有用性

福島第一原子力発電所は、2011年の東日本大震災を受け、広範囲に大量の放射性物質を拡散されるという大惨事をまねいた。その後、緊急の危機的状況からは脱したものの、放射性物質を含む地下水や高濃度汚染水が海へ流出する問題が起こるなど、決して安定した状態とはなっていない。そのような状況の中、原子炉内への地下水流入による汚染水の増加を防ぐ目的として凍土壁を完成させた。凍土壁が完成すれば、汚染水の発生量が減り、浄化処理がいっそう推進されることとなる。

築地市場移転問題もまた同様に、豊洲市場における土壤汚染に関係した地下水汚染問題であり、地下水に環境基準を超える有害物質が含まれていたことが明らかとなった。

このように土壤汚染と地下水に関係する問題は、

日本国内に多々ある。これらの諸問題を解決には、その問題ごとに種々の解決法をトレードオフすることになる。地下水に対する知識を備えることはもとより、長所を比べたり、あるいは、短所がより少ない方に着目しながら比較したりするなど、トレードオフ課題を含んだ教材を授業の中で扱い、意思決定能力を習得させる試みが必要になると思われる。

(3) 情報活用能力との関連

次期学習指導要領では、「情報活用能力」は、「言語能力」とともに、「学習の基盤となる資質・能力」と位置づけられている。各教科の学力の上位に位置する力であり、教科を超えた力である「情報活用能力」を育むためには、複数の資料から情報の真意を「判断」し、自分の言葉で「表現」し、自己の主張を「創造」し、相手に対して「発信・伝達」することが求められている。特にアクティビティ5「地図の読み取り」やアクティビティ6「汚染源を特定しよう」では、この流れを意識して、教材開発を行うことで、子どもたちの「情報判断力」や「情報創造力」を、アクティビティ7「タウンミーティング」では、「情報発信伝達力」を鍛えることができた。

(4) SEPUPモジュールの実践

本研究では、SEPUPモジュールの一つである「フルーツヴェール物語」を日本の教育活動に適するように改訂し、実践した。SEPUPモジュールは科学的知識の活用、データの分析や解釈、証拠に基づいた結論の表現、情報の発信・伝達、といった科学的思考力・表現力はもとより、情報活用能力の育成に結びつく活動が重視されている。実践対象となった中学校第2学年の生徒を対象に、すべてのアクティビティ終了後に行ったテストで、解答の記述内容のレベルを上げた生徒が多かったことから、SEPUPモジュールが情報活用能力やトレードオフに基づく意思決定能力の育成に有効であったことがわかった。生徒たちのトレードオフ課題に熱心に取り組む様子が見られたこと、さらにトレードオフに対する生徒の多様な考え方を確認できたことは成果に値する。

目的に応じて様々な情報手段を活用し、自ら情報を収集した上で、その情報を基に考えた新たな情報を表現していく力、つまりは情報活用の実践力の向上につながったのではないかと思われる。

(5) 今後の課題

① 教材開発について

本研究では、生徒が必要な情報を主体的に収集・判断・表現するための教材を開発し、身近な題材で、かつ現行の学習指導要領で扱っていない「地下水」をテーマとしたストーリー性のある教材の開発を行

った。その結果、設定した課題に対して、情報活用の実践力を育成できる教材開発につながった。

教科の系統性などを考慮すると、米国仕様の教材をそのまま利用することは難しい。したがって、これらの教材・プログラムをそのまま使うのではなく、教科横断的なカリキュラムマネジメントを行っていく必要がある。

② 評価について

本研究では教材の開発と実践を行った。実践を行えば、必ず評価が伴う。知識や技能であれば評価テストの得点等で評価可能である。その一方で、トレードオフ課題に対する評価は難しく、評価基準の設定や設定に基づいた評価をどう行うのかという問題がある。公平な評価を行うために、ルーブリック評価の開発をしていきたい。そして、ポストテストでトレードオフできなかった生徒に対しては、課題に対する思考場面でどのようにサポートするかが今後の課題である。

7. 付記

本研究は、JSPS科研費 17H00059の助成を受けたものです。

<参考・引用文献>

- 1) 国立教育政策研究所「平成27年度 全国学力・学習状況調査 報告書・調査結果資料」<http://www.nier.go.jp/15chousakekkahoukoku/>, 2015
- 2) 文部科学省「新学習指導要領（平成29年3月公示）」http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1383986.htm, 2016
- 3) 文部科学省「情報活用能力調査の結果について」http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/1356188.htm, 2015
- 4) 藤澤隆次『環境教育における意思決定能力育成プログラムの開発と実践－米国科学教育プログラムSEPUP「有害な廃液」を使った授業を通して－』, 千葉大学教育学部附属中学校研究紀要（第45集）, 2015
- 5) 荻野正彦「中学理科におけるトレードオフ課題を導入した授業の有効性に関する研究」, 平成16年度埼玉大学大学院教育学研究科修士論文, 2005
- 6) 小森栄治『選択理科における SEPUPの実践』, 理科の教育2002年1月号, 東洋館出版社, 2002
- 7) 百武三郎「選択理科におけるSEPUPの実践」, 教科研究理科169号, 学校図書, 1999
- 8) 山本芳幸「選択理科、こんな教材がほしかった!」, 教科研究理科173号, 学校図書, 2001
- 9) 鈴木勝浩「SEPUP(シーブアップ)有害な廃液のモジュールを使った授業」, 教科研究理科174号, 学校図書, 2001
- 10) 小森栄治「選択理科－生活の中のプラスチック－SEPUP教材の活用」, 教科研究理科175号, 学校図書, 2002
- 11) 百武三郎「ブラックボックスという教材」, 教科研究理科176号, 学校図書, 2002
- 12) 小森栄治「日常生活や社会、職業との関連を教えよう」, 教科研究理科186号, 学校図書, 2007
- 13) 小森栄治「意志決定のできる市民を育てる理科教育を」, 教科研究理科191号, 学校図書, 2010
- 14) 株式会社中村理工工業「選択理科の授業でSEPUPを実践－科学的な判断力を持った市民を育てる－」, 化学と教育第51巻第1号, 日本化学会, 2003
- 15) 藤澤隆次「中学校・選択理科における科学的リテラシーの育成に関する実践的研究－米国科学教育カリキュラムSEPUPの活用を通して－」理科教育学年報第6号, 千葉大学理科教育学研究会, 2004
- 16) 荻野正彦「中学化学分野におけるリスクアセスメントに基づく批判的科学リテラシーの育成」, JSPS科研費19913020, 2008
- 17) 阿部沙耶「埋科におけるトレードオフ教材に関する研究」山形大学大学院教育実践研究科年報第4号, 2013
- 18) 田辺健人「SEPUPモジュール『Investigating Energy from the Sun』を活用した科学的思考力・表現力の育成」, 三重大学, 2014