

高等学校化学における PBL の教材を導入した授業デザインに関する研究

ーイギリスの教材 ‘Problem Based Practical Activities’ に着目してー

石樽 翔太^{*1}・内海 志典^{*2}

本研究では、石樽・内海 (2020) が明らかにしたイギリスの後期中等段階化学の PBL の教材である ‘Problem Based Practical Activities’ の特徴を、わが国の高等学校化学に導入した授業デザインについて検討することを目的とした。

PBL の教材の特徴を導入した授業デザインについて、「問題の真正性」, 「生徒中心の探究活動」, 「他者との協働」の視座から検討し、具体的な授業を構想した。(1)「問題の真正性」については、身の回りの飲み物におけるビタミン C の含有量に関する調査について、「会話文 (コミュニケーションアプリでのトーク場面)」を設定した。(2)「生徒中心の探究活動」については、「SET シート」を用いて、問題、既存の知識、問題を解決するために調べる必要のあることを整理させる。その後、「問題解決シート」を用いて、主体的に、問いと仮説を設定し、実験計画を立案させる。(3)「他者との協働」について、各探究の過程において、グループで話し合いをさせる。

〈キーワード〉高等学校化学, PBL, 授業デザイン, 教材

1. はじめに一問題の所在と研究の目的一

『高等学校学習指導要領』の理科において、理科の目標として、自然の事物・現象に関わり、理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって観察・実験を行うことを通して、自然の事物・現象を科学的に探究するために必要な資質・能力の育成を目指すことが示されている (文部科学省, 2018)。

『中央教育審議会答申』では、現代社会が抱える様々な課題を解決するためにイノベーションが期待されており、世界的にも理数教育の充実や創造性の涵養が重要視されており、米国などで推進されている STEM 教育の推進はその一例であり、STEM 教育においては、問題解決型の学習やプロジェクト型の学習が重視されていることについて、我が国における探究的な学習の重視と方向性を同じくするものであることを述べている (中央教育審議会, 2016)。

問題解決型の学習やプロジェクト型の学習は、PBL と

して知られている。PBL には、Problem Based Learning と Project Based Learning の 2 つが存在する。

Problem Based Learning は、「問題解決学習」と称される (溝上, 2016)。生徒は、小グループで協働的に取り組み、問題を解決するために、生徒が知るべきことを学習する。一方、教師は、ファシリテーターとしての役割を果たし、① 問題の状況、② 事実を確認する、③ 仮説を立てる、④ 不足する知識を確認する、⑤ 新しい知識を活用する、⑥ 抽象的概念の順で展開される学習のサイクルを通して生徒の学習を指導する (Hmelo-Silver, 2004)。生徒は、それらの学習過程において、計画に基づいて活動を行い、自分で学習を評価、内省し、それを学習にフィードバックする活動に取り組む (湯浅・大島 A・大島 B, 2011)。

他方、Project Based Learning は、「プロジェクト学習」と称され、その学習過程が、① プロジェクト・テーマの設定、② 解決すべき問題や問い・仮説を立てる、③ 先行研究のレビュー、④ 必要な知識や情報、データの収集、⑤ 結果と考察、⑥ 成果物として仕上げる (発表・

*1 岐阜県立山県高等学校

*2 岐阜大学教育学部

Study on Instructional Design Introducing Teaching Materials for PBL in Upper Secondary School Chemistry : Focus on ‘Problem Based Practical Activities’ in the United Kingdom

Key Words: upper secondary school chemistry, PBL, instructional design, teaching materials

リポート等)の順で展開される学習のサイクルである(溝上, 2016)。

これらのPBLの学習過程を踏まえ、石樽・内海(2020)は、イギリスの後期中等段階化学のPBLの教材である‘Problem Based Practical Activities’の分析を行い、その特徴について明らかにし、この教材が「問題解決学習」のサイクルと「プロジェクト学習」のステップの両者の展開を織り交ぜて実施されるハイブリッド型のPBLであることを指摘している。

しかしながら、教材の特徴についての示唆にとどまり、わが国の高等学校化学における授業デザインの検討については行っていない。

そこで本研究では、石樽・内海(2020)で明らかにしたPBLの教材である‘Problem Based Practical Activities’の特徴を、わが国の高等学校化学に導入した授業デザインについて検討することを目的とした。

2. PBLの教材‘Problem Based Practical Activities’の特徴

PBLの教材‘Problem Based Practical Activities’は、イギリス¹⁾のA-レベル(16~18歳)の生徒を対象として作成された教材で、10の教材から構成されている。各教材は、2時間(120分)で授業ができるように設計されている(Smith, 2010)。

教材‘Problem Based Practical Activities’の構造を図1に示す。活動は、「実験前の演習問題(Pre-lab questions)」、「1時間目+2時間目(Hour 1+Hour 2)」、「最終レポート(Final report)」の順に展開される。まず、生徒は、問題演習を通して生徒が活動に関連のある事項について、十分に理解しているかを確認するために、「実験前の演習問題」に取り組む。次に、「1時間目+2時間目」の活動が行われる。ここでは、生徒に、「架空の依頼文」が提示される。次に、3つのグループに分けられ、それぞれのグループに対して必要に応じて追加資料が配布される。生徒は、グループ内で話し合いを行い、「架空の依頼文」に示された問題を解決するために、どのような実験をし、何を調べるのか決定する。話し合いの足場かけとして、図2に示す「SETシート(SET sheet)」が用いられる。生徒は、このシートを用いて、「問題の要約」、「既知の知識」、「調べる必要のあること」の3点

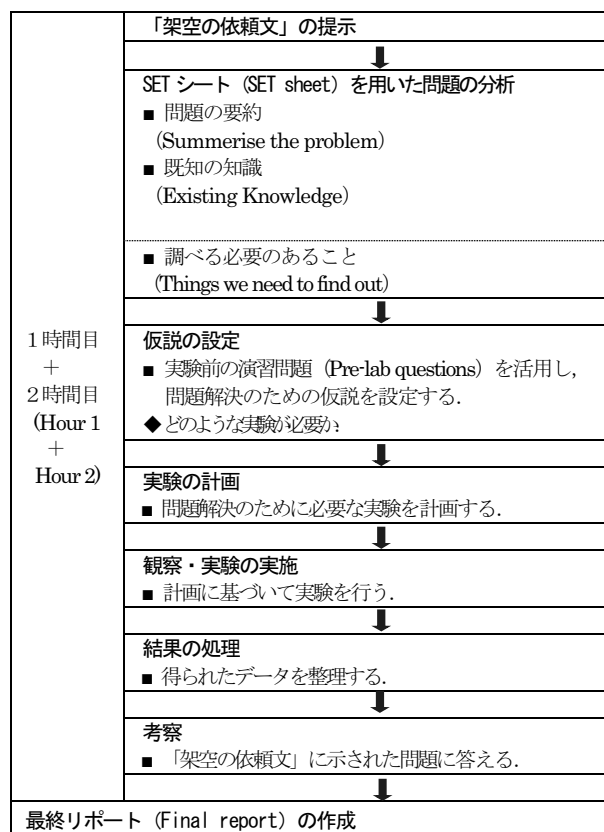


図1 ‘Problem Based Practical Activities’の構造
(石樽・内海, 2020を改変)

問題の要約 (Summarise the problem)	
既知の知識 (Existing knowledge)	調べる必要のあること (Things we need to find out)
~~~~~	

図2 SETシート (Smith, 2010)

を整理する。その後、シートをもとに、話し合いを行い、問題解決のための仮説を設定する。その後、各グループは、問題解決の活動に取り組む。最後に、グループ全員で協力して「最終レポート」を作成する。「最終レポート」

は、生徒の活動をもとにした報告書を完成させるためと、科学的な報告書を作成することに対する生徒の自信を高めるために設定されている (Smith, 2010) 。レポートには、最初に提示された問題のすべてに対する答えを記述する。レポートは、次回以降の活動の備えとなるように、教師によって評価され、次の活動の備えとなるようにフィードバックが与えられる (Smith, 2010) 。

石樽・内海 (2020) が明らかにした教材 ‘Problem Based Practical Activities’ の特徴を表 1 に整理する。

表 1 教材 ‘Problem Based Practical Activities’ の特徴  
(石樽・内海, 2020)

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"><li>(1) 問題演習を通して、生徒が活動に関連のある事項について、十分に理解しているかを確認するために「実験前の演習問題」が設定されている。</li><li>(2) 生徒に問題が、企業や団体からの「架空の依頼文」によって提示されている。</li><li>(3) 生徒に、問題解決のために必要な実験の計画をグループで立案させている。</li><li>(4) 問題解決における学習の足場かけとして、「SET シート」を用いて「問題の要約」、「既知の知識」、「調べる必要があること」の 3 点を整理させている。</li><li>(5) 最後に、問題解決活動の成果として実験方法や結果をまとめたレポートを作成させている。</li></ol> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 3. 研究の方法

石樽・内海 (2020) が明らかにした PBL の教材 ‘Problem Based Practical Activities’ の特徴をもとに、「問題の真正性」、「生徒中心の探究活動」、「他者との協働」の視座から、PBL の授業デザインについて検討し、具体的な授業を構想する。

## 4. 授業デザイン

### 4. 1 カリキュラム開発の視点

PBL の教材 ‘Problem Based Practical Activities’ の特徴を導入した授業デザインについて、「問題の真正性」、「生徒中心の探究活動」、「他者との協働」の視座から検討し、PBL の教材の特徴を導入したカリキュラム開発の視点を導出する。

「問題の真正性」については、教材における問題を「架

空の依頼文」の代替として、「会話文 (コミュニケーションアプリのトーク場面) 【資料 1】」のような形で提示する。会話文として生徒に問題を提示することは、生徒に真正性の高い問題を提示することで、生徒をこれから行う活動に対して興味・関心を喚起させるためである。

「生徒中心の探究活動」では、探究活動がグループで行わせ、問題解決に必要な実験の計画は生徒に立案させるといった生徒中心型の学習形態である。生徒の学習を支援するための足場かけとして、「SET シート」を用いる。最初にこれを用いて問題の分析を行い、以降の活動の見通しがもてるようにする。また、活動の成果を表現させるために、学習の最後にはレポートを作成させる。

「他者との協働」については、探究活動をグループで行い、他者と協働させることで、生徒が主体的・対話的な学習となるようにする。

以上のことから、PBL の教材の特徴を導入したカリキュラム開発の視点として、表 2 に整理する。

表 2 PBL の教材の特徴を導入したカリキュラム開発の視点

- |                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>視点 1 : 生徒に提示する問題は、真正性の高い問題を用い、生徒の興味・関心を喚起させる活動を設定する。</p> <p>視点 2 : 探究活動は、「SET シート」を用いた分析をもとに、生徒を中心に計画させ、学習の最後にレポート等の形で活動の成果を表現させる。</p> <p>視点 3 : 探究活動は、グループで行い、他者と協働させる。</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 4. 2 授業展開

表 2 に示した PBL の教材 ‘Problem Based Practical Activities’ の特徴をもとに、「問題の真正性」、「生徒中心の探究活動」、「他者との協働」の視座から、身の回りの飲み物におけるビタミン C の含有量に関する調査を行う「飲料の成分分析」を事例として、授業デザインした 2 時間の授業の展開を表 3 に示し、この授業で用いるワークシートを資料 1 ～ 5 に示す。

本研究において開発したカリキュラムは、すべて既習内容を活用して問題解決に取り組むことを前提にしている。

第 1 時では、生徒は、授業の導入として、探究活動にお

表3 「飲料の成分分析」の授業の展開 (筆者作成)

		学習活動	教師の指導・援助
第 1 時	導 入	○活動に関連のある内容について、「実験前の演習問題【資料 2】」を用いて復習する。	・生徒の理解が不十分である場合、必要に応じて補足説明を行う。
	展 開	<p>○問題（会話文：コミュニケーションアプリでのトーク場面【資料 1】）を提示する。＜視点 1＞</p> <p>○本時の問題を提示する。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p>＜課題＞ グループ活動を通して、提示された会話文における問題を解決するための観察・実験を立案する。</p> </div> <p>○活動の見通しと注意事項が指示される。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実験を行う飲み物の種類は3種類までとする。</li> </ul> <p>○問題を分析する。＜視点 2＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「SET シート【資料 3】」を用いて問題を分析する。</li> <li>・会話文の「問題の要約」をする。 (会話文にはどのような問題が存在しているのか。)</li> <li>・「既知の知識」を整理する。 (問題と関連のあることで、知っていることは何か。)</li> <li>・「調べる必要があること」を整理する。 (問題を解決するために、調べる必要があることは何か。)</li> </ul> <p>○仮説を設定する。＜視点 2＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「問題解決シート【資料 4】」を用いて問いと仮説を設定する。</li> <li>・ビタミン C を多く含む飲み物について予想する。 ビタミン C が多く含まれる食品を用いた飲み物。 美容目的などで、ビタミン C を添加したことがパッケージに明記された飲み物。</li> </ul> <p>○観察・実験の計画を立案する。＜視点 2＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「問題解決シート」を用いて実験計画を立案する。</li> <li>・ビタミン C はどのように調べられるのか調べる。</li> <li>・実験に必要な器具は何か。</li> <li>・実験に必要な薬品は何か。</li> <li>・実験に用いる飲み物は何か。</li> <li>・どのような手順で実験を行うのか。</li> <li>・実験操作で気を付けなければならないことは何か。</li> <li>・使用する薬品について、その安全性を調べる。</li> <li>・MSDS などを用いて、実験に使用する薬品の危険性や、皮膚についたときの対処法などについて理解を深める。</li> </ul>	<p>・生徒の話し合いを促す発問を行う。＜視点 3＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「SET シート」の記述が適切でない生徒に対しては、「この会話ではどのような疑問が生じているのか。」などの発問を行うことにより、「問題の要約」を最初に考えさせる。また、「問題の要約」をもとに『問題の要約』と関連のあることについて知っていることはないか。』、「問題を解決するために何を調べなければならないか。」といった発問を行う。</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ビタミン C を多く含む飲み物について予想が立てられない生徒に対して、「ビタミン C と聞いてどのような食べ物を連想したか」というように、食べ物から連想させる。</li> <li>・酸化防止剤として添加されたビタミン C に着目した生徒に対しては、「酸化防止剤として添加されたビタミン C の含有量を調べるのに適切な飲み物は何だろうか」といった発問を行う。</li> <li>・実験計画が立案できないグループには、「ビタミン C が還元性を有する。」ということを強調し、酸化還元滴定を用いればよいことに気付かせる。</li> <li>・ビタミン C の定量に適する酸化剤については、インターネットを用いて調べさせる。</li> <li>・指示薬について何が適切であるか考えさせる。</li> <li>・滴定に用いるビュレットについて、滴下する薬品が光によって分解するかどうかにより褐色のビュレットを用いる必要があることを気付かせる。</li> </ul> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>【観察・実験の技能】 ビタミン C が還元性を有するというをもちに、酸化還元反応を用いてビタミン C を滴定する実験を計画している。 (授業シート、グループでの話し合い)</p> </div>
	ま と め	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>＜まとめ＞ ビタミン C は、酸化還元滴定によって定量することができる。滴定に用いる酸化剤としてはヨウ素ヨウ化カリウム水溶液が適している。滴定は、でんぷん水溶液を用いて終点を確かめるか、過剰量のヨウ素ヨウ化カリウムを滴下した後に、チオ硫酸ナトリウムで逆滴定するといった操作が考えられる。グループ活動を通して、提示された会話文における問題を解決するための観察・実験を立案する。</p> </div>	

第 2 時	展 開	<p>○本時の問題を提示する。</p> <div data-bbox="339 322 1394 398" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>&lt;課題&gt; グループ活動を通して、提示された会話文における問題を解決するための観察・実験を立案する。</p> </div> <p>○「問題解決シート」をもとに、実験を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>計画をもとに、飲み物に含まれるビタミン C の含有量を滴定する。</li> </ul> <p>【必要な器具 (例)】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ビュレット                      ・ スタンド</li> <li>クランプ                        ・ 100 mL ビーカー</li> <li>ホールピペット</li> </ul> <p>【必要な薬品 (例)】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>でんぷん</li> <li>ヨウ素ヨウ化カリウム水溶液</li> </ul> <p>【実験方法 (例)】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>生徒が持参した飲み物をでんぷん水溶液に加える。</li> <li>1. の液を、濃度既知のヨウ素ヨウ化カリウム水溶液で滴定する。</li> </ol> <div data-bbox="365 922 818 1296" style="text-align: center;">  </div> <p>○結果を処理する。【資料 5】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>滴定実験の結果から、飲み物に含まれるビタミン C の含有量を求める。</li> </ul> <p>○考察する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>仮説の検証を行う。</li> <li>「どのような飲み物にビタミン C が多く含まれていたのか」、「ビタミン C の含有量の表記がある飲み物において、その値と差はあるか。」等の観点から整理する。</li> </ul> <p>○問題を解決する &lt;視点 2&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>考察をもとに、会話文に示された問題を解決する。</li> <li>どのような飲み物においてビタミン C が多く含まれているか整理する。</li> <li>ビタミン C を摂取するのに適する飲み物について提案する。</li> </ul> <p>○活動成果をグループで共有する。&lt;視点 3&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>実験を行った飲み物と、それに含まれるビタミン C の含有量をグループで共有する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>「問題解決シート」に生徒が記述した実験方法、薬品について問題はないか点検する。問題がある場合は、問題点を指摘し、修正させる。</li> <li>ヨウ素ヨウ化カリウム水溶液を用いた滴定では、ヨウ素でんぷん反応を用いて滴定の終点を判断する方法や、測定する試料に対して過剰量のヨウ素ヨウ化カリウム水溶液を加え、その後、濃度既知のチオ硫酸ナトリウムを用いて未反応のヨウ素を逆滴定する方法がある。必要に応じてヨウ素でんぷん反応について確認を行うなどにより、滴定の終点における色の変化について生徒が意識できるようにする。</li> <li>ヨウ素ヨウ化カリウム水溶液の代替として、ヨウ素を含むうがい薬を用いることもできる。「問題解決シート」において、うがい薬を選択したグループに対しては、うがい薬におけるヨウ素の含有量を求める必要もあることを確認する。</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>1 回の実験の結果からビタミン C の含有量を求めているグループに対しては、その結果が正しい測定結果だと言えるのかどうかについて考えさせる。</li> <li>ビタミン C 含有量の表記がある飲み物の中には、その含有量に幅があるものも存在する。こういった飲み物においては、なぜ幅が設定されているのか考えさせる。</li> <li>飲み物を提案する際には、「どれほどビタミン C を摂取する必要があるのだろうか。」といった一日の摂取目安量に着目させるような発問を行う。</li> </ul> <div data-bbox="861 1675 1378 1834" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>【観察・実験の技能】 実験で得られたデータをもとに、会話文に示された問題を解決し、表現している。 (グループでの話し合い、授業シート、レポート)</p> </div>
-------------	--------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	ま と め	○レポートを作成する。＜視点2＞ ・実験の結果をもとにレポートを作成する。	
		<p>＜まとめ＞</p> <p>【例】ビタミンCを多く含む飲み物として、レモンを含むものやアセロラジュース以外にも、オレンジジュースなどがあることが分かった。成人の一日当たりの摂取目安量が100 mgであることから、オレンジジュースなどでも十分にビタミンCを摂取することができると考えられる。</p>	

注) 下線部は、PBLの教材の特徴を導入したカリキュラム開発の各視点との関連している箇所を示している。

いて既習内容を活用するために、授業で提示される問題に関連のあるビタミンに関する「実験前の演習問題【資料2】」に取り組んだ後、教師が解説・補足説明を行い、既習内容を確認する。

次に、本時に問題解決に取り組むグループを編成し、問題が導出される会話文として、「身の回りの飲み物中のビタミンCの含有量に関するコミュニケーションアプリでのトークでの場面【資料1】」を提示する。生徒は、この会話文から、「SETシート【資料3】」を用いて、問題の分析を行い、探究活動の見通しを立てる。生徒は、「SETシート」への記入を通して、「問題の要約」、「既知の知識」、「調べる必要のあること」の3点を整理する。生徒は、「SETシート」をもとに、「問題解決シート【資料4】」を用いて、「問い」を設定し、「依頼文に示された問題を解決するために、どのようなことを調べ、そのためにどのような実験をしなければならないか」について考え、「仮説」を設定する。その後、生徒は、「仮説」を検証するための観察・実験の計画の立案を行う。計画の立案では、「観察・実験の方法」、「必要な器具」、「必要な薬品」、「実験で注意すること」について考える。ここまでに記述したシートを教師に提出し、記述内容についてチェックを受ける。以上の活動を、授業の第1時で行う。

授業の第2時では、生徒は、立案した観察・実験を行い、その後、得られた結果を「実際の記録【資料5】」に整理し、それをもとにして考察を行う。考察では、立てた仮説の検証を行う。それらをもとに「問い」に正対する「答え」について考える。授業では、グループで活動成果について共有を行い、宿題としてレポートの作成を行う。また、活動に対する振り返りを個人で行う。レポートの作成及び個人の振り返りは、必要に応じて宿題とする。また、作成したレポートは提出し、教師による指導を受け

る。指導では、表4に示す3点から生徒のレポートを評価する。

表4 生徒のレポートの評価基準

- ・「会話文」の問題に適切に答えるための実験が計画できているか。
- ・実験の結果を適切に捉えた上で、考察を行っているか。
- ・問題に対して、根拠を明確にした上で解決策を述べているか。

#### 4.3 指導上の留意点

第1時では、実験に用いる飲み物については、2～3種類の飲み物を対象とすることを注意事項として示す。

これは、実験する飲み物を1種類だけに絞ってしまうと、その食品のビタミンC含有量の測定が目的になってしまうと考えたためである。

問題の分析において予想される分析結果を表5に示す。

分析の終了後、生徒は、問題解決に必要な実験計画を立案する。ここでは、生徒はビタミンCを測定するための実験計画を立案する。その実験として、滴定実験を行うことが考えられる。その方法や、必要な器具について、インターネットや教科書などを活用し、「問題解決シート」

表5 問題の分析において予想される分析結果

<b>問題の要約(Summerize the problem)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・身の回りの飲み物におけるビタミンCの含有量はどの程度か。</li> </ul>
<b>既知の知識(Exist knowledge)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・酸化還元反応において、酸化剤の受け取る電子の量と還元剤の放出する電子の量は等しい。</li> <li>・ビタミンCは還元性のある物質である。</li> </ul>
<b>調べる必要のあること (Things we need to find out)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・飲み物中のビタミンCの含有量。</li> <li>・ビタミンCが豊富に含まれる飲み物は何か。</li> </ul>

表6 実験前に教師の指導が必要な事例

教師の指導が必要な事例	指 導 内 容
実験で用いる薬品について、十分に危険性が把握できていない。	手についたときや目に入った時などのリスク・アセスメントが不十分である。
中和滴定によってビタミンCの含有量を求めようとしている。	中和滴定ではクエン酸とも反応し、ビタミンCの含有量が正確に求めることができないことがある。
滴下する酸化剤が過マンガン酸カリウムなどの強い酸化剤を使用しようとしている。	強い酸化剤を用いると、ビタミンC以外の物質とも反応し、結果としてビタミンCの含有量を正確に測定できないことが予想される。

に整理する。

本時の最後に、生徒から実験計画シートを回収し、必要に応じて指導を行う。この指導は、第2時までに行う。指導が必要な事例としては、表6に示す3点が考えられる。

第2時では、生徒が立案した計画をもとに実験を行う。ビタミンCを滴定する方法として、ヨウ素ヨウ化カリウム水溶液を用いた滴定実験や、インドフェノール色素を用いた実験が考えられるが、本研究では、ヨウ素ヨウ化カリウム水溶液を用いる実験方法を事例として検討する。

実験においてヨウ素ヨウ化カリウム水溶液の代替としてヨウ素を含むうがい薬などの、ヨウ素を含む医薬品を用いることができる。その場合は、それらのヨウ化物イオンの濃度を求める実験なども合わせて必要となる。実験の計画においてこのことに気付いていないグループに対しては、「ヨウ素を含むうがい薬のヨウ化カリウムの濃度はどのように求めるのか。」などの発問を行う。

また、ヨウ素ヨウ化カリウム水溶液を用いる実験では、指示薬としてでんぷん水溶液を用いて、ヨウ素でんぷん反応が見られなくなった時を滴定の終点とすることができる。滴定において、「どのような変化が見られた時を終点とするのか」ということは、すべてのグループに対して事前に確認をしておかなければならない。この際、必要に応じてヨウ素でんぷん反応についても確認を行い、どのような色の変化に着目すればよいか生徒が見通しをもてるようにする必要がある。

## 5. おわりに

本研究で開発した教材「飲料の成分分析」は、身の周りの飲み物におけるビタミンCの含有量に関する調査を行う真正性の高い問題を取り扱い、生徒が解決すべき問

題を設定し、その解決のために他者と協働しながら取り組む教材であり、PBLを導入した授業を通して、生徒の問題解決能力の育成が期待できる教材である。

今後、本研究で検討した授業デザインによる授業実践の効果について検証していく必要がある。また、本研究で設計した授業デザインの単元以外の単元においても、PBLの教材を導入した理科教育の授業デザインを設計し、実践していく必要がある。

## 註

1) 本論文では、イギリスとは、the United Kingdom (グレート・ブリテン及び北アイルランド連合王国) を指している。

## 引用文献

- 中央教育審議会 (2016) 『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等の改善及び必要な方策等について (答申)』 Retrieved from [http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/_icsFiles/afieldfile/2017/01/10/1380902_0.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/_icsFiles/afieldfile/2017/01/10/1380902_0.pdf) (accessed 2018.12.14)
- Hmelo-Silver, C.E. (2004) Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn?. Educational Psychology Review, 16(3), 235-266.
- 石樽翔太・内海志典 (2020) 「イギリスの後期中等教育化学における PBL の教材に関する研究 – ‘Problem Based Practical Activities’ の事例を通して –」 『岐阜大学カリキュラム開発研究』第 37 巻 第 1 号, 20-30 頁, 2020.
- 溝上慎一 (2016) 「アクティブラーニングとしての PBL・探究的な学習の理論」 『アクティブラーニングとしての PBL と探求的な学習』, 東信堂, 5-23.

文部科学省 (2018) 『高等学校学習指導要領 (平成 30 年告示) 』, 東山書房.

Smith, C.(2010) Problem 1 : Carbonate Rocks!, Problem based Practical Activities, Royal Society of Chemistry. Retrieved from [https://www.stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/legacy_files_](https://www.stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/legacy_files_)

migrated/34316-RSC%20problem1%20carbonate rocks%20intro. pdf (accessed 2018. 12. 28)

湯浅且敏, 大島純^A, 大島律子^B (2011) 「PBL デザインの特徴とその効果の検討」『静岡大学情報学研究』第 16 巻, 15-22.

# 資料 1



注) これらの画像は、【画像加工サイト】もじまる-MOJIMARU.COM (<http://www.mojimaru.com/>)

を用いて筆者が作成した。



## 資料2

実験前の演習問題	
年 組 氏名	
1. ビタミンとは何か述べなさい。	
2. 以下のビタミンについて、化学名を答えなさい。 a. ビタミンA    b. ビタミンB ₁ c. ビタミンB ₂ d. ビタミンC	
3. 2で挙げたビタミンについて、その含有量を調べるためにどのような実験が存在するか、例を挙げなさい。	

## 資料3

SET シート	
年 組 氏名	
グループ No.	
・問題の要約（どのような問題が存在しているか？）	
・既存の知識 （問題と関連のあることで、自分たちが知っていることは何か？）	・調べる必要があること （問題を解決するために、調べる必要があることは何か？）

## 資料4

問題解決シート	
年 組 氏名	
グループ No.	
1. 設定した「問い」	
2. 設定した「仮説」	
3. 観察・実験の計画	
観察・実験の手順	必要な器具
	必要な薬品
	実験で注意すること

## 資料5

実験の記録						
年 組 氏名						
グループ No.						
○使用する薬品（とその濃度）及び試料						
○実験の結果						
	試料A		試料B		試料C	
	( )	( )	( )	( )	( )	( )
	滴定前 (mL)	滴定後 (mL)	滴定前 (mL)	滴定後 (mL)	滴定前 (mL)	滴定後 (mL)
1 回目						
2 回目						
3 回目						
○データの処理						
を求める式は						
なので、						
・ 試料AのビタミンC含有量						
・ 試料BのビタミンC含有量						
・ 試料CのビタミンC含有量						