

# イギリスの後期中等化学教育における PBL の教材に関する研究

## － ‘Problem Based Practical Activities’ の事例を通して －

石樽 翔太<sup>\*1</sup>・内海 志典<sup>\*2</sup>

本研究では、イギリスの後期中等段階（A-レベル）の化学教育における PBL の教材である ‘Problem Based Practical Activities’ の分析を行い、その特徴を明らかにした。その結果、教材の特徴として、次の 5 点が明らかとなった。(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。(2)生徒に問題（課題）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。(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。(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」、「調べる必要のあること」について 3 点を整理させている。(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リポートを作成させている。加えて、この教材は、「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。

〈キーワード〉後期中等化学教育, PBL, 教材, イギリス

### 1. はじめにー問題の所在と研究の目的ー

『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）。

『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）』（以下、『中央教育審議会答申』とする）では、高等学校については、観察・実験や探究的な活動が十分に取入れられておらず、知識・理解を偏重した指導となっているなどの指摘があると述べている（中央教育審議会, 2016）。さらに、『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 教育がその一例であり、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）。

また、『高等学校学習指導要領（平成 30 年告示）解説 理科編 理数編』では、高等学校基礎科目の例として、資質・能力を育むために重視すべき学習過程のイメージが、図を用いて示されている（文部科学省, 2019）。この図の中から、学習過程（以下、「探究の過程」とする）について示されたものを図 1 に示す。

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 に関する先行研究としては、高等学校の理科教育における PBL の実践事例として、奥村・熊野（2017）による高等学校生物において女子生徒を対象に花壇の生態系を作ることを題材とした PBL を実践し、女子生徒の理科に対する興味・関心の視点や学習の特徴を明らかにした研究や、奥村（2018）による高等学校生物において女子生徒を対象に Instagram を活用して植物栽培を題材とする PBL を行い、その結果から、得られた学びについて明らかにした研究が見られる。しかしながら、国立情報学研究所（NII）が提供している学術

<sup>\*1</sup> 岐阜県立山県高等学校      <sup>\*2</sup> 岐阜大学教育学部

Study on Teaching Materials for PBL in Upper Secondary School Chemistry : Based on an Analysis of ‘Problem Based Practical Activities’ in UK

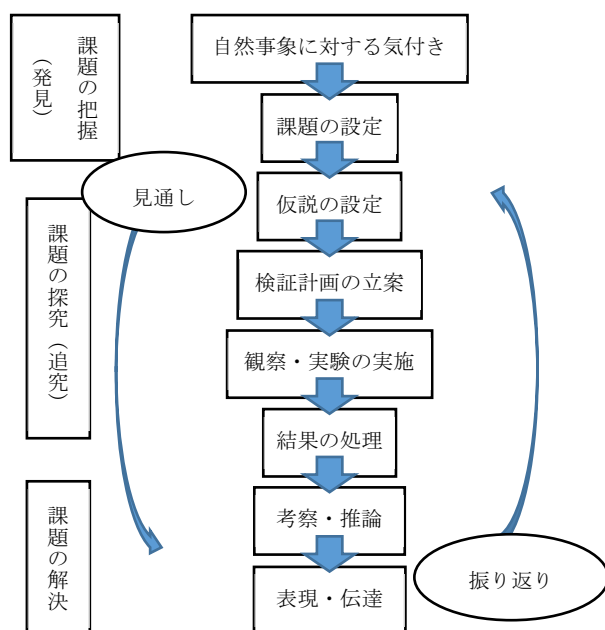


図1 資質・能力を育むための探究の過程  
 (文部科学省, 2019 をもとに作成)

論文情報検索サービスである CiNii Articles において、「Problem Based Learning」,「Project Based Learning」または「PBL」を検索ワードとして検索したもののからは、高等学校化学における実践事例は見られなかった。

そこで、本研究では、高等学校化学における探究的な活動を実践するための示唆を得るために、イギリス<sup>1)</sup>の後期中等段階 (A-レベル) の化学教育における PBL の教材である ‘Problem Based Practical Activities’<sup>2)</sup> の分析を行い、その特徴を明らかにすることを目的とした。

## 2. 研究の方法

PBL について、Problem Based Learning と Project Based Learning の違いについて概観する。その後、イギリスの STEM 教育を推進するために設立された National Learning Centre<sup>3)</sup> の e-Library から収集した PBL の教材である ‘Problem Based Practical Activities’ について分析し、教材の特徴を明らかにする。次に、‘Problem Based Practical Activities’ と「探究の過程」の関係、及び PBL との関係について考察する。

## 3. PBL

PBL には、Problem Based Learning と Project Based Learning の2つが存在する。それぞれについて、溝上 (2016) や湯浅・大島<sup>A</sup>・大島<sup>B</sup> (2011) をもとに概観する。

### 3.1 Problem Based Learning

Problem Based Learning では、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、図2に示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)。

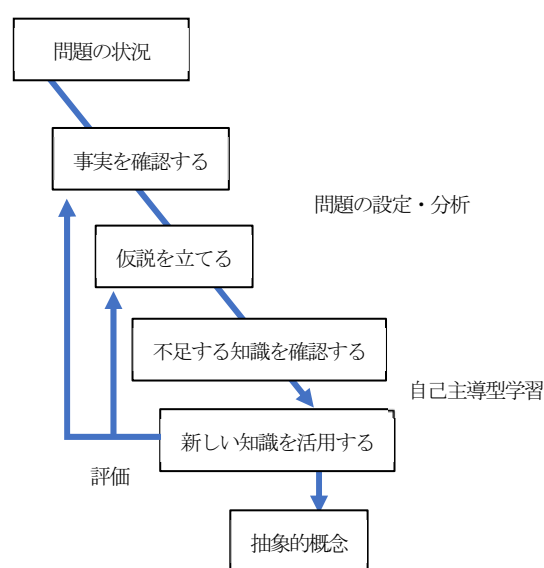


図2 問題解決学習のサイクル  
 (Hmelo-Silver, 2004)

溝上 (2016) は、Problem Based Learning を「問題解決学習」と称し、以下のように定義している。

「問題解決学習」とは、実世界で直面する問題やシナリオの解決を通して、基礎と実世界を繋ぐ知識の習得、問題解決に関する能力や態度等を身に付ける学習のことである。

また、湯浅ら (2011) は、その学習過程について、以下のように述べている。

学びをスタートさせる問題には、現実的で不良構造<sup>4)</sup>を持つものが選ばれ、この問題に取り組むために

は、新しい知識の獲得や問題を解決する方略を推論することが必要とされるようデザインされている。

(中略)

まず、グループで問題の状況から把握できる事実を洗い出し、そこから導かれる問題解決のアイデアや、アイデア実現のために何を学べば良いのか、具体的に何を行う必要があるのかをグループで話し合う。その後、計画に基づいて活動を行い、自分たちで学習を評価、内省し、それを学習にフィードバックする活動に従事する。

溝上 (2016) による「問題解決学習」の定義、「問題解決学習」のサイクルを示した図 2 及び湯浅ら (2011) の「問題解決学習」の展開についての指摘から、本研究では、「問題解決学習」を「現実的な問題から学習が始まるものであり、グループで問題を分析し、問題解決のために必要な活動について計画し、その計画に基づいて活動を行った後、それらの活動に対する自己評価を行い、活動にフィードバックするというサイクルが見られる学習」と捉える。

### 3.2 Project Based Learning

溝上 (2016) は、Project Based Learning を「プロジェクト学習」と称し、以下のように定義している。

「プロジェクト学習」とは、実世界に関する解決すべき複雑な問題や問い、仮説を、プロジェクトとして解決・検証していく学習のことである。

溝上 (2016) は、「プロジェクト学習」の展開について図 3 を示し、その学習過程について、以下のように述べている。

プロジェクトテーマ、解決すべき問題や問い、仮説を立てて、先行研究のレビューを行う。問題解決に必要な知識や情報を調べ学習で収集し、多くの場合調査や実験等によってデータも収集する。調べ学習やデータ分析した結果をふまえて考察を行い、最後は成果物として仕上げるために発表を行ったりレポートを書いたりする。

溝上 (2016) による「プロジェクト学習」の定義やその展開を示した図 2 及び展開についての指摘から、本研

究では、「プロジェクト学習」を、「実世界に関する問題から、問いと仮説を立て、問題解決のためのデータを収集し、それらの分析をもとにして考察し、最後にレポートや発表などの成果物を作成する学習」と捉える。

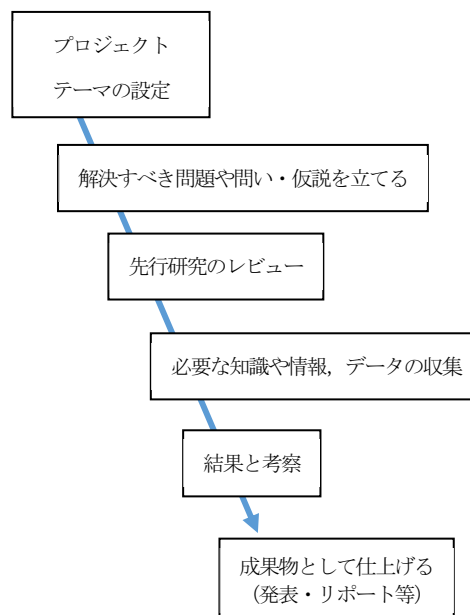


図3 プロジェクト学習のステップ  
(溝上, 2016)

### 3.3 「問題解決学習」と「プロジェクト学習」の相違点

本章 3.1 節や 3.2 節に示した記述をもとに、「問題解決学習」と「プロジェクト学習」の相違点として、以下に示す点が挙げられる。

まず、「問題解決学習」では、生徒に問題が与えられているのに対して、「プロジェクト学習」ではプロジェクトテーマのもとで、生徒が自ら問題を設定する点が異なる。つまり、「『問題解決学習』では、解決する問題が教師によって設定されるが、『プロジェクト学習』では解決する問題が生徒によって設定される。」といった点において異なっている。

また、「問題解決学習」では、図 2 に示すように問題解決における学習過程を振り返り、評価するサイクルが見られるが、「プロジェクト学習」には見られない。しかしながら、「問題解決学習」では学習の成果をまとめることにとどまっているのに対して、「プロジェクト学習」では学習の成果を成果物として仕上げることを最終目標としている。つまり、「『問題解決学習』では学習の過程に重点が置かれるのに対し、『プロジェクト学習』では成果

物に重点が置かれる。」という点において異なっている。

「問題解決学習では、解決する問題が教師によって設定されるが、プロジェクト学習では解決する問題が生徒によって設定される。」という点と、「問題解決学習では学習の過程に重点が置かれるのに対し、『プロジェクト学習』では成果物に重点が置かれる。」という点が、「問題解決学習」と「プロジェクト学習」における 2 つの相違点として挙げられる。

#### 4. ‘Problem Based Practical Activities’

‘Problem Based Practical Activities’ は、10 の教材から構成されている。それらの教材の概要を表 1 に示す。この教材は、A・レベル（16～18 歳）の生徒を対象として作成された教材である。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, 2010a）。

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）」の順に進行される。まず、生徒は「実験前の演習問題」に取り組む。「実験前の演習問題」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用意さ

れている。次に、「1 時間目 + 2 時間目」の活動が行われる。ここでは、生徒にはまず「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 4 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 点を整理させている。その後、シートをもとにした話し合いをし、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、自分たち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, 2010a）。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、次回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, 2010a）。評価やフィードバックの詳細については言及されていなかった

表 1 ‘Problem based Practical Activities’ の概要（筆者作成）

活 動 名	活 動 内 容
問題 1：炭酸塩の岩石！ (Problem 1：Carbonate rocks!)	生徒には、4 種類の炭酸塩の岩石のサンプルが与えられる。それらを加熱した時の質量の変化や色の変化から、岩石に含まれる成分を特定する活動を行う。
問題 2：小さな気体 (Problem 2：A little gas)	生徒は、コンピュータによるシミュレーションを用いて 2 種類の重さの気体の同定を行う。
問題 3：洗浄液 (Problem 3：Cleaning solutions)	生徒には、3 種類の漂白剤とその価格が与えられる。過酸化水素と漂白剤の反応から、各漂白剤中の次亜塩素酸ナトリウムの濃度を決定する。また、価格との比較から、その漂白剤がお値打ちかどうか判断する活動を行う。
問題 4：アルコールの調査 (Problem 4：Alcohol detective)	生徒には、2 つのウォッカのサンプルが与えられる。生徒はそれらを分留し、含まれるアルコールを取り出す。その後、分留した時の沸点の値や、重クロム酸やヨードホルム反応の結果から、そのアルコールを特定する活動を行う。
問題 5：コースワークの難題 (Problem 5：Coursework conundrum)	生徒には、不純物が含まれている安息香酸のサンプルが与えられる。生徒は薄層クロマトグラフィーによってそのサンプルに不純物が含まれることを確認し、その後、サンプルを精製するために適する溶媒を探し、再結晶法によってサンプルを精製する活動を行う。
問題 6：酸による腐食 (Problem 6：Acid erosion)	生徒は、オレンジジュースなどの飲み物に含まれる酸の濃度と pKa の値を求めるために、滴定実験を行う。
問題 7：ヨウ化の調査 (Problem 7：Iodination inquiry)	生徒は、アセトンのヨウ化における律速段階を特定するため、時計反応における濃度を変化させたときの反応時間を調べる実験を行う。
問題 8：合成物の混乱 (Problem 8：Compound confusion)	生徒には、6 つの正体が分からないサンプルと、化合物のスペクトラムのデータが与えられる。生徒は、それらのデータと融点測定によって得られた融点から、サンプルとデータの照合を行う。
問題 9：冷たい飲み物 (Problem 9：Cool drinking)	生徒には、塩化アンモニウムと硝酸アンモニウムの溶解度及びそれらの価格が与えられる。生徒は食品に対する安全性、価格などからどちらを使用するか判断する。その後、使用する薬品について、その質量を決定するために実験を行う。
問題 10：患者の予後 (Problem 10：Patient prognosis)	生徒には、患者の尿のサンプルが与えられる。これに対して、グルコースの定性実験、サリチル酸鉄 (III) 錯体の比色実験を行う。それらの結果と血中アルコール濃度に関するガスクロマトグラフィー分析の解釈から、患者が気絶した理由を特定する活動を行う。



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

図4 SETシート (Smith, 2010a)

が、「架空の依頼文」に示された問題が適切に解決されているかどうかなどの点から評価・フィードバックが与えられると考えられる。

以下では、「Problem Based Practical Activities」の活動の内容について、表1から事例として3つ取り上げ詳細に分析する。

#### 4.1 「問題1:炭酸塩の岩石！」の分析

この教材では、「実験前の演習問題」として、「ナコライト、石灰岩、ロードクロサイト、スミソナイトの主成分」、「金属の炭酸塩を加熱した時の安定性と、熱分解するときの反応式」、「炭酸亜鉛、炭酸マンガン、炭酸銅を加熱した時の見た目の変化」、「炭酸鉛の熱分解の反応式」といった演習問題が出題されている。

次に、生徒には「架空の依頼文」が提示される。この依頼文ではまず、地質学の学会からの依頼であることが示される。学会は、次の3点を生徒に依頼している。1点目は、ナコライト、石灰岩、ロードクロサイト、スミソナイトの4つの岩石を、各岩石のサンプルを用いて識別することである。2点目は、ロードクロサイト、スミソナイトにおいて、その純度を求めることである。3点目は、どのような方法で岩石を調べ、また岩石の純度を求めたのかについてのレポートを作成し、提出することである。

生徒は、この依頼文に対して、4つのサンプルからナコライト、石灰岩、ロードクロサイト、スミソナイトを見分け、ロードクロサイトとスミソナイトにおいては純度も求める活動を行う。そのための実験方法を立案するため

に、生徒は「実験前の演習問題」を活用する。生徒は「実験前の演習問題」において、「ナコライト、石灰岩、ロードクロサイト、スミソナイトの主成分」について調査する。この調査によって、ナコライト、石灰岩、ロードクロサイト、スミソナイトがそれぞれ炭酸水素ナトリウム、炭酸カルシウム、炭酸マンガン、炭酸亜鉛を主成分とするという知識を得る。また、「炭酸マンガン、炭酸亜鉛を加熱した時の色の変化」や、「炭酸水素ナトリウム、炭酸カルシウムの熱に対する安定性」などの知識は、「実験前の演習問題」を通して復習している。これらの知識から、生徒は各サンプルを加熱し、その時に質量の変化や色の変化に着目することによって岩石が見分けられるという仮説を設定する。また、ロードクロサイトやスミソナイトの純度について、熱分解によって生成した二酸化炭素の質量をもとに求めることができるという仮説を設定する。その後、生徒は実験を行い、実験に用いた方法、実験の結果、ロードクロサイトやスミソナイトの純度や計算方法をまとめたレポートを作成し、提出する。

#### 4.2 「問題3:洗浄液」の分析

この教材では、「実験前の演習問題」として、「塩素、塩化物イオン、次亜塩素酸イオンなどにおける塩素の酸化数」、「塩素と水酸化ナトリウムから次亜塩素酸ナトリウムが生成するときの反応式」、「次亜塩素酸ナトリウムと過酸化水素の反応」といった演習問題が出題されている。特に、「次亜塩素酸ナトリウムと過酸化水素の反応」についての演習問題では、「過酸化水素と次亜塩素酸ナトリウムが同じ物質で反応すること」、「過酸化水素と次亜塩素酸ナトリウムの反応では酸素が生じること」などの知識を活用する演習問題が出題されている。

次に、生徒には「架空の依頼文」が提示される。この依頼文ではまず、企業における新しい洗浄液の広告作成のために、生徒と契約がされたことが伝えられる。企業は自社の洗浄液と他社の洗浄液の洗浄能力を比較するために、次の3点を依頼している。1点目は、他社の洗浄液を含む3つの洗浄液について、それらに含まれる次亜塩素酸ナトリウムの濃度を求めることである。2点目は、広告のために、洗浄液1gあたりに含まれる次亜塩素酸ナトリウムの価格を試算することである。3点目は、実験に関するレポートを作成し、提出することである。「架空の依頼文」

には、依頼内容以外にも他社の洗浄液を含む 3 つの洗浄液とその価格、内容量が記載されている。

生徒は、この依頼文を受け、洗浄液中に含まれる次亜塩素酸ナトリウムの濃度を求める活動を行う。そのための実験方法を立案するために、生徒は「実験前の演習問題」を活用する。生徒は、「実験前の演習問題」において、「過酸化水素と次亜塩素酸ナトリウムが同じ物質で反応すること」、「過酸化水素と次亜塩素酸ナトリウムの反応では酸素が生じることを」復習している。実験ではこの知識を活用し、過酸化水素による滴定実験を行う。そして、発生した酸素の体積を測定し、洗浄液に含まれる次亜塩素酸ナトリウムの濃度を求める。次に、求めた濃度と洗浄液の内容量から、洗浄液に含まれる次亜塩素酸ナトリウムの質量を求める。その後、その値と洗浄液の価格から、洗浄液 1 g における次亜塩素酸ナトリウムの価格について試算する。最後に、生徒はこれらの内容を実験の手順、実験結果とともに記述したリポートを作成し、提出する。

#### 4.3 「問題9:冷たい飲み物」の分析

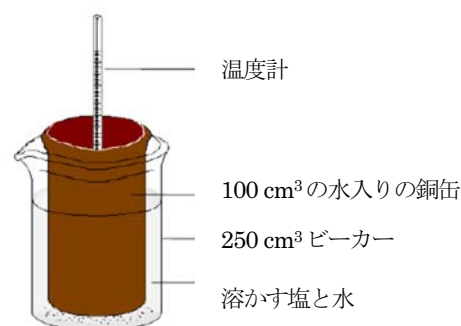
この教材では、「実験前の演習問題」として、「溶解エンタルピー、格子エネルギー、水和エンタルピーの定義」、「塩化アンモニウムや硝酸アンモニウムの溶解エンタルピーの算出」、「 $210\text{cm}^3$ の水の温度を $40^\circ\text{C}$ 上昇させるために必要な熱量」といった演習問題が出題されている。特に、「 $210\text{cm}^3$ の水の温度を $40^\circ\text{C}$ 上昇させるために必要な熱量」を求める演習問題では、酸化カルシウムの溶解エンタルピーが与えられ、その値をもとにして、「 $210\text{cm}^3$ の水の温度を $40^\circ\text{C}$ 上昇させるために必要な酸化カルシウムの質量」を求めさせている。

次に、生徒には「架空の依頼文」が提示される。この依頼文ではまず、ある企業の新しい製品を設計するために、生徒と契約がされたことが伝えられる。次に、企業が求める製品が、「5 分以内に $100\text{cm}^3$ の飲み物の温度を $5^\circ\text{C}$ 下げることができる飲み物の容器」であること、「容器は、吸熱反応を用いて飲み物を冷却する」ことが伝えられる。また、その反応に使用される薬品が健康面や安全面を考慮した時に適切なものであるかどうかを検討する必要があることが伝えられる。企業は、製品の設計のために次の 2 点を依頼している。1 点目は、反応に用いる薬品とその使用量の決定である。2 点目は、反応に用いる薬品を決定

した理由と、実験のデータを記したリポートを作成し、提出することである。「架空の依頼文」では、依頼内容以外にも、冷却に用いる薬品の候補として塩化アンモニウムと硝酸アンモニウムがあること、それぞれの水に対する溶解度、価格が記載されている。

生徒は、この依頼文に対して、塩化アンモニウムと硝酸アンモニウムのどちらを反応に用いるべきなのかを決定し、また、その反応における薬品と溶媒（以下では水とする）の量を求める活動を行う。まず、生徒は塩化アンモニウムと硝酸アンモニウムのどちらを用いるのか決定する。そのために、生徒はそれぞれの薬品の安全性や健康への影響について調査する。活動では、CLEAPSS<sup>5)</sup> のハザードカードを使用させている。調査の結果をもとに使用する薬品を塩化アンモニウムに決定した後、生徒は必要な薬品の質量と水の体積を決定する。まず、生徒は効率よく容器を冷却するために必要な水の体積を決定する。この操作に関する記述は見られなかったが、実際に塩化アンモニウムを溶解させる実験を繰り返すことによって、効率よく容器を冷却するために適切な水の体積を生徒が見出すことができると考えられる。また、実験装置は、次の図5に示すものが用いられている。次に、生徒は「実験前の演習問題」を活用する。生徒は「実験前の演習問題」において、酸化カルシウムを事例として、温度を $40^\circ\text{C}$ 上昇させるために必要な熱量や、そのために必要な酸化カルシウムの質量を求めている。生徒はこの問題と同様にして、飲み物の温度を $5^\circ\text{C}$ 下げるために必要な熱量と、そのために必要な塩化アンモニウムの質量を求める。

次にその理論値について、検量線の作成を通して確かめる。ここでは、まず理論値の付近において、溶解させた



ビーカーは綿ウール、ホイルなどでさらに断熱することができます。

図5 実験装置 (Smith, 2010i)

塩化アンモニウムの質量を横軸に、5分後に測定した温度を縦軸にしてグラフを作成する。その後、5分後に飲み物の温度を5℃下げるために必要な塩化アンモニウムの質量をグラフから読み取る。最後に、生徒はレポートを作成し、提出する。

## 5. 考察

‘Problem Based Practical Activities’について、分析をもとにその教材の特徴について整理し、‘Problem Based Practical Activities’と資質・能力を育むための探究の過程の関係、及びPBLとの関係について考察する。

### 5.1 ‘Problem Based Practical Activities’の特徴

第4章における分析から、‘Problem Based Practical Activities’の特徴について整理する。

‘Problem Based Practical Activities’では、まず初めに「ナコライト、石灰岩、ロードクロサイト、スミソナイトの主成分」、「溶解エンタルピー、格子エネルギー、水和エンタルピーの定義」などを問う「実験前の演習問題」が設定されている。これは、問題演習を通して、生徒が活動に関連のある内容について、十分に理解しているかどうかを確認するために設定されている。次に、生徒には「架空の依頼文」が提示される。この依頼文は地質学協会といった団体からの調査依頼や、企業からの商品開発の依頼といった内容になっている。このように提示された問題を解決するために、生徒はグループで活動に取り組み、実験が必要であれば、実験の計画を立案する。問題解決の活動の足場かけとして、「SETシート」を用いて「問題の要約」、「既知の知識」、「調べる必要のあること」の3点を整理させている。問題解決の活動の最後には、「最終レポート」の作成が課せられている。このレポートは、実験方法や結果など、「架空の依頼文」に示された問題のすべてに対応するものでなければならない。

以上の点から、‘Problem Based Practical Activities’の特徴として、以下の5点が指摘できる。

- ・生徒に問題（課題）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。
- ・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。
- ・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」、「調べる必要のあること」の3点を整理させている。
- ・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。

### 5.2 PBLと資質・能力を育むための探究の過程の関係

‘Problem Based Practical Activities’とPBL及び「探究の過程」の対応関係について考察する。これらの対応関係を図6に示す。

「探究の過程」における「自然事象に対する気づき」に対応するものとして、教材では「架空の依頼文の提示」といった活動が設定されている。ここでは、生徒に対して企業や団体からの「架空の依頼文」という形で生徒に問題を提示している。PBLとの関係では、問題解決を図ることが求められている問題が設定されている文脈が提示されていることから、「問題解決学習」のサイクルにおける「問題の状況」に相当すると考えることができる。

「探究の過程」における「課題の設定」に対応するものとして、教材では、「SETシート（SET sheet）を用いた問題の分析」といった活動が設定されている。ここでは、提示された「架空の依頼文」に対して、生徒は、「SETシート」を用いて「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）」の3点から分析し、「架空の依頼文」に示された解決すべき問題を特定させている。PBLとの関係では、「SETシート」の「問題の要約」において何が問題となっているかについて確認させるとともに、「既知の知識」において、生徒の既知の知識を確認していることから、「問題解決学習」のサイクルにおける「事実を確認する」に相当すると考えることができる。また、「SETシート」の「調べる必要のあること」において、「架空の依頼文」の中から解決すべき問題を確認していることから、「プロジェクト学習」のステップにおける「解決すべき問題や問いを立てる」に相当すると考えることができる。

Problem Based Practical Activities		PBL との関係	探究の過程	
1 時間目 + 2 時間目 (Hour 1 + Hour 2)	「架空の依頼文」の提示	問題の状況 (「問題解決学習」)	自然事象に対する気づき	課題の把握 (発見)
	↓	↓	↓	
	SET シート (SET sheet) を用いた問題の分析 ■ 問題の要約 (Summarise the problem) ■ 既知の知識 (Existing Knowledge)	事実を確認する (「問題解決学習」)	課題の設定	
	■ 調べる必要があること (Things we need to find out)	解決すべき問題や問いを立てる (「プロジェクト学習」)		
	↓	↓	↓	課題の探究 (追究)
	仮説の設定 ■ 実験前の演習問題 (Pre-lab questions) を活用し、問題解決のための仮説を設定する。 ◆ どのような実験が必要か。	仮説を立てる (「問題解決学習」 / 「プロジェクト学習」)	仮説の設定	
	↓	↓	↓	
	実験の計画 ■ 問題解決のために必要な実験を計画する。	不足する知識を見定める (「問題解決学習」)	検証計画の立案	
	↓	↓	↓	
	観察・実験の実施 ■ 計画に基づいて実験を行う。	必要な知識や情報、データの収集 (「プロジェクト学習」)	観察・実験の実施	
	↓	↓	↓	
	結果の処理 ■ 得られたデータを整理する。	結果と考察 (「プロジェクト学習」)	結果の処理	
	↓		↓	
	考察 ■ 「架空の依頼文」に示された問題に答える。		考察・推論	課題の解決
	↓	↓	↓	
最終レポート (Final report) の作成		学習の成果をまとめる (「問題解決学習」)	表現・伝達	

図6 ‘Problem Based Practical Activities’ と PBL 及び「探究の過程」の対応関係 (筆者作成)

「探究の過程」における「仮説の設定」と同様に、教材においても「仮説の設定」といった活動が設定されている。ここでは、「実験前の演習問題 (Pre-lab questions)」で確認した知識をもとに、必要な実験について仮説を設定させている。PBL との関係では、問題解決のための仮説を立てることから、「問題解決学習」のサイクルと「プロジェクト学習」のステップの両者における「仮説を立てる」に相当すると考えることができる。

「探究の過程」における「検証計画の立案」と同様に、

教材においても「検証計画の立案」といった活動が設定されている。ここでは、問題解決に必要な実験について、グループで立案させている。PBL との関係では、問題解決のための必要な知識や情報、データを収集するために、不足する知識を補うための検証をする観察・実験の立案をすることに該当することから、「問題解決学習」のサイクルにおける「不足する知識を見定める」に相当すると考えることができる。

「探究の過程」における「観察・実験の実施」と同様に、



教材においても「観察・実験の実施」といった活動が設定されている。ここでは、生徒が立案した検証計画をもとに観察・実験を行っている。PBLとの関係では、観察・実験を実施することで、問題解決のための必要な情報やデータ等を収集していることから、「問題解決学習」のサイクルにおける「問題解決のための必要な知識や情報、データの収集」に相当すると考えることができる。

「探究の過程」における「結果の処理」と同様に、教材においても「結果の処理」といった活動が設定されている。ここでは、実験によって得られた数値などのデータをもとに、問題解決に必要な値(問題1における岩石の密度など)を求めることが行われている。「探究の過程」における「考察・推論」に対応するものとして、教材では、「考察」といった活動が設定されている。ここでは、実験から得られた値をもとに、「架空の依頼文」に示された問題を解決している。PBLとの関係では、観察・実験を実施して得た結果から考察をしていることから、「プロジェクト学習」のステップにおける「結果と考察」に相当すると考えることができる。

「探究の過程」における「表現・伝達」に対応するものとして、教材では、「最終レポートの作成」といった活動が設定されている。ここでは、実験や考察をもとに、それらをレポートにまとめている。PBLとの関係では、研究の成果をレポートにまとめていることから、「問題解決学習」のステップにおける「学習の成果をまとめる」に相当すると考えることができる。

このように、「Problem Based Practical Activities」は、「探究の過程」に沿って授業が展開されることから、一定の対応関係が見られる。また、「Problem Based Practical Activities」は、「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であるといえる。

## 6. おわりに

「Problem Based Practical Activities」は、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、「問題解決学習」のサイクルと「プロジェクト学習」のステップの両者を織り交ぜて実施されるハイブリッド型の

PBLの活動を通して、生徒の問題解決能力の育成を目指している。

## 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。
- 2) 分析に用いたPBLの教材である‘Problem Based Practical Activities’は、以下のものである。

Smith, C. (2010a) . 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\\_migrated/34316RSC%20problem1%20carbonaterocks%20intro.pdf](https://www.stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/legacy_files_migrated/34316RSC%20problem1%20carbonaterocks%20intro.pdf) (accessed 2018.12.28)

Smith, C. (2010b) . Problem 2: A Little Gas, *Problem based Practical Activities*, Royal Society of Chemistry. Retrieved from [https://www.stem.org.uk/system/files/elibraryresources/legacy\\_files\\_migrated/34317RSC%20problem2%20a%20little%20gas%20intro.pdf](https://www.stem.org.uk/system/files/elibraryresources/legacy_files_migrated/34317RSC%20problem2%20a%20little%20gas%20intro.pdf) (accessed 2018.12.28)

Smith, C. (2010c) . Problem 3 : Cleaning Solutions, *Problem based Practical Activities*, Royal Society of Chemistry. Retrieved from [https://www.stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/legacy\\_files\\_migrated/34318-RSC%20problem3%20cleaning%20solutions%20intro.pdf](https://www.stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/legacy_files_migrated/34318-RSC%20problem3%20cleaning%20solutions%20intro.pdf) (accessed 2018.12.28)

Smith, C. (2010d) . Problem 4 : Alcohol Detective, *Problem based Practical Activities*, Royal Society of Chemistry. Retrieved from [https://www.stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/legacy\\_files\\_migrated/34319-RSC%20Problem%204%20alcohol%20detective.pdf](https://www.stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/legacy_files_migrated/34319-RSC%20Problem%204%20alcohol%20detective.pdf) (accessed 2018.12.28)

Smith, C. (2010e) . Problem 5 : Coursework Conundrum, *Problem based Practical Activities*, Royal Society of Chemistry. Retrieved from [https://www.stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/legacy\\_files\\_migrated/34320-RSC%20Problem%205%20coursework%20conundrum%20intro.pdf](https://www.stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/legacy_files_migrated/34320-RSC%20Problem%205%20coursework%20conundrum%20intro.pdf) (accessed 2018.12.28)

Smith, C. (2010f) . Problem 6: Acid Erosion, *Problem*

- based Practical Activities*, Royal Society of Chemistry. Retrieved from [https://www.stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/legacy\\_files\\_migrated/34321RSC%20Problem%206%20acid%20erosion%20intro.pdf](https://www.stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/legacy_files_migrated/34321RSC%20Problem%206%20acid%20erosion%20intro.pdf) (accessed 2018.12.28)
- Smith, C. (2010g) . Problem 7 : Iodination Inquiry, *Problem based Practical Activities*, Royal Society of Chemistry. Retrieved from [https://www.stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/legacy\\_files\\_migrated/34322RSC%20Problem%207%20Iodination%20inquiry%20intro.pdf](https://www.stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/legacy_files_migrated/34322RSC%20Problem%207%20Iodination%20inquiry%20intro.pdf) (accessed 2018.12.28)
- Smith, C. (2010h) . Problem 8: Compound Confusion, *Problem based Practical Activities*, Royal Society of Chemistry. Retrieved from [https://www.stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/legacy\\_files\\_migrated/34323-RSC%20Problem%208%20Compound%20confusion%20intro.pdf](https://www.stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/legacy_files_migrated/34323-RSC%20Problem%208%20Compound%20confusion%20intro.pdf) (accessed 2018.12.28)
- Smith, C. (2010i) . Problem 9 : Cool Drinking, *Problem based Practical Activities*, Royal Society of Chemistry. Retrieved from [https://www.stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/legacy\\_files\\_migrated/34324RSC%20Problem%209%20Cool%20drinking%20intro.pdf](https://www.stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/legacy_files_migrated/34324RSC%20Problem%209%20Cool%20drinking%20intro.pdf) (accessed 2018. 12.28)
- Smith, C. (2010j) . Problem 10 : Patient Prognosis, *Problem based Practical Activities*, Royal Society of Chemistry. Retrieved from [https://www.stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/legacy\\_files\\_migrated/34325RSC%20Problem%2010%20Patient%20prognosis%20intro.pdf](https://www.stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/legacy_files_migrated/34325RSC%20Problem%2010%20Patient%20prognosis%20intro.pdf) (accessed 2018. 12.28)
- 3) National Learning Centre の ウェブ ページ (<https://www.stem.org.uk/>) には, 英国王立化学協会 (Royal Society of Chemistry) やギャッビー科学強化プログラム (Gatsby Science Enhancement Programme) などが公開するSTEM関連の教材が収集されている.
- 4) 目標 (goals), 解決すべき経路 (path to solution), 解決すべき障害 (obstacle to solution) が与えられた情報から明確となっている問題が「明確な問題 (well-defined problems)」と称されるのに対して, 解決すべき明確な経路が欠けている問題は「明確でない問題 (ill-defined problems)」と称される. 「不良構造」とは, 「明確でない問題」において, 解決すべき明確な経路が欠けている構造を指している (Pretz, Naples and Sternberg, 2003) .
- 5) CLEAPSS (<http://science.cleapss.org.uk/>) は, 科学における質の高い効果的な実践的研究を促進するために大ロンドン市議会 (Greater London Council) によって創設された機関である. 薬品の健康や安全に関する情報や教材などが提供されている.
- ### 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.
- 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.
- 文部科学省 (2019) 『高等学校学習指導要領 (平成30年告示) 解説 理科編 理数編』, 東京書籍.
- 奥村仁一 (2018) 「高等学校生物のPBLでのSNSを利用した観察についての実践的研究ージェンダーの視点によるInstagram活用についての考察ー」『科学教育研究』第42巻, 第3号, 180-200.
- 奥村仁一・熊野善介 (2017) 「高等学校生物での女子によるPBLの特徴とその有効性についての実践的研究」『科学教育研究』第41巻, 第3号, 303-314.
- Pretz, J. E., Naples, A. J., and Sternberg, R. J. (2003). Recognizing, Defining, and Representing Problems. in Davidson, J. E., & Sternberg, R. J. (Eds.), *The Psychology of Problem Solving*. Cambridge University Press, 3-30.

Smith, C. (2010a) . 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\\_migrated/34316RSC%20problem1%20carb  
onaterocks%20intro.pdf](https://www.stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/legacy_files_migrated/34316RSC%20problem1%20carbonaterocks%20intro.pdf) (accessed 2018.12.28)  
Smith, C. (2010i) . Problem 9 : Cool Drinking,  
*Problem based Practical Activities*, Royal Society

of Chemistry. Retrieved from [https://www.  
stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/legacy  
\\_files\\_migrated/34324-RSC%20  
Problem%209%20Cool%20drinking%20  
intro.pdf](https://www.stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/legacy_files_migrated/34324-RSC%20Problem%209%20Cool%20drinking%20intro.pdf) (accessed 2018.12.28)  
湯浅且敏, 大島純<sup>A</sup>, 大島律子<sup>B</sup> (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.