

# PBL を用いた探究的な授業の提案

## Proposition of Exploratory unit plans with Project-based Learning

—中学校「理科」を例として—

In Case of “Science” of Junior High School

木村竜也                      堂本光子                      工藤知草                      谷口進一  
Tatsuya Kimura              Mitsuko Dohmoto              Tomoshige Kudo              Shinichi Taniguchi

金沢工業大学基礎教育部

Academic Foundations Programs, Kanazawa Institute of Technology

<あらまし> 次期学習指導要領では、探究活動が求められており、PBL (project-based learning) は探究活動を実現する手段として適している。本研究では、PBL が成立するための最小要件を専心活動と反省的思考とし、それらの要件を備えた人的・時間的な制約の低減を目指した PBL 授業のミニマムモデルを提案することで、実施の可能性を高めることを示した。さらに、PBL のミニマムモデルの例として、中学校の教科「理科」の1単元程度の単元計画を提案した。

<キーワード> PBL, 専心活動, 反省的思考, ミニマム授業モデル, 教科「理科」

### 1. はじめに

次期学習指導要領は、今後、生徒児童に求められる資質・能力を「何を知っているか、何ができるのか (個別の知識・技能)」、「知っていること・できることをどう使うか (思考力・判断力・表現力)」、「どのように社会・世界と関わり、よりよい人生を送るか (学びに向かう力、人間性等)」としている。このうち「知っていること・できることをどう使うか (思考力・判断力・表現力)」については、問題の発見、問題の明確化と解決の方向性の決定、解決に向けた計画の立案、計画の実行、振り返り、さらに次の問題解決につなげることと説明されている。

また、上記の資質・能力を育むために教師が持つべき授業改善の視点が「主体的・対話的で深い学び」(従来のアクティブ・ラーニング)とされている。今後求められる学びは、知識や技能の習得とそれらの活用に加えて、自らの周囲に解決すべき問題があることに気づき、それを解決していく探究までの過程であると捉えることができる。現行の学習指導要領において強調されている探究活動とアクティブ・ラーニングが、次期学習指導要領においては一層求められているのである。

PBL (project-based learning) の過程は、①学習者が自ら生活の中から問題を設定する (目的を立てる)、②問題解決のための計画を立案する (計画する)、③その計画を遂行する (遂行する)、④その計画によって得られた成果を評価する (批判する) を経るとされている。これは、次期学習指導要領で求められている学習活動の過程と一致しており、PBL はそれを実現するために適していると言えよう。

しかし、学習者の主体的な活動が中心となることから多くの時間を要するために、時間数の限られた中等教育では実施しにくいという側面がある。また、学習活動を効果的にするためには、十分な数の指導者を要するという点でも実施に困難さを伴う。実際に、現在さまざまな教育機関で PBL が実践され成果を上げているが (たとえば京都市立京都工学院高等学校 2017)、いずれも複数の担当者が1つの学期から1年単位で実施する組織的・長期的な取り組みであり、時間的・人的に大規模なものが多く見られる。

PBL にかかる時間的・人的条件を小さくすることができれば、その実施の可能性は拡大するのではないだろうか。本研究では、PBL が成立する最小要件を明確にし、中学校「理

科」を題材として、1 単元程度の授業モデルの構築を試みる。1 単元程度で PBL が実施できることを示せれば、PBL を用いて次期学習指導要領が強調する学びの過程を実現することが容易となるであろう。

## 2. PBL の最小要件

PBL の起源は、Kilpatrick (1918) が提案したプロジェクト・メソッドにあるとされている (Savery 2006)。プロジェクト・メソッドにおいて学習者は、「目的を立てる→計画する→遂行する→批判する」という、学習者が実践的な課題を設定してその探究と解決を目指す活動を行う。PBL においては、最初の段階で学習者がそれを解決することで自らの生活が豊かになるような問題を設定し、それを解決するという目的を持つことが非常に重要であるとされている。Kilpatrick は、これによって始まる活動を専心活動 (occupation) と呼んでいる。

また、Kilpatrick は反省的思考 (reflective thinking) を重視している。反省的思考とは、問題の解決までの諸活動を繰り返し振り返り、自分が求める活動ができているかを確認し、目標を達成するために活動の計画をどのように修正すべきかを検討することである。

Kilpatrick は、これら 2 つの要素を伴う活動が実現した場合、その結果として、実践的な能力・技能が獲得されるだけでなく、社会性や動機づけ、自信、謙虚さなどの性格・人格に関連する要素と規範などが獲得されるとしている。前者のタイプの学習は基本学習 (基本反応)、後者は付随学習と呼ばれている。

PBL は単なる能力・技能の獲得にとどまるものではなく、学習者個人の全体的な成長に関わる要素の獲得を可能とするのである。

PBL の人的・時間的な制約を低減するには、可能な限り単純な形であり、かつ基本学習と付随学習をもたらすモデルを考案する必要があるだろう。そこで、専心活動と反省的思考が行われれば、その結果として、基本学習と付随学習が成立すると考えた。この考えに基づいて筆者ら (伊藤ほか 2016, 木村ほか 2017) は、工業高校において 8 コマ (50 分 × 8) で PBL の実践を行った。この実践で

は、PBL の過程の第 1 段階である「目的を立てる」と第 2 段階の「計画を立てる」の一部のみを高校生に行ったものである。時間を短縮するために、「自校のブランド力アップ」というテーマを示した後、にグループ活動でアイデアを決定するという活動を行った。そのテーマは、生徒たちにとって身近な問題であり、専心活動を導くのに適していると言える。また、授業期間中に 5 回の振り返りのための授業アンケートを実施することによって、反省的思考を促した。その結果、グループ活動やアイデアの創出など基本学習に関する事項で高い自己評価を示し、探究的な活動に対する動機づけなどの付随学習に関して肯定的な反応を示した。この実践から、専心活動と反省的思考が伴えば、効果が得られることが明らかとなった。しかし、生徒に調査などの知識を得る時間を十分に与えなかったため、導き出された解決策の深まりは不十分であった。これらのことから、時間的な制約を低減し、かつ深い学びを実現する PBL のミニマムモデルには、専心活動と反省的思考に加えて知識や技能を習得させることが必要であると考えられる (図 1)。

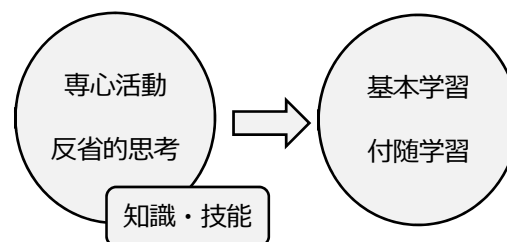


図 1 PBL のミニマムモデル

## 3. 授業モデルの提案

ここでは、PBL のミニマムモデルに基づいた中学校「理科」の化学、生物、物理の各分野の授業モデルを示す。使用した教科書は啓林館「未来へひろがるサイエンス」で、出版社が作成した年間指導計画案 (新興出版社啓林館 2016) が示す 1 単元の時数内で PBL 授業のモデルを設計した。設計の際、知識・技能の「習得→活用→探究」の学習過程を考慮するとともに、専心活動と反省的思考を取り入れることを条件とした。

### 3.1. 化学分野の授業モデル

PBLにおいては、学習者が「生活」の中から問題を設定することが一つの前提とされている。この点は中等教育においては、非常に肯んずることができるものであり、その後の応用や発展的学習への接続にも整合的である。しかしながら、多くの生徒の思考力と観察力の多様性を鑑みると、すべての場合において、日常生活と直結した問題提起を求めることに拘泥することは、PBLの実行をかえって困難にするとも考えられる。また、問題提起に対して、多くの時間と労力が必要となり、実現可能性に支障を生じる場合も想定される。そこで、具体的かつ素朴なモデルから、スタートして漸近的に抽象度を上げ、概念把握の形成を遂げなければならない。しかも、原子・分子の概念は化学分野における中心に位置づけられるものである。このため PBL の題材として、原子・分子の構造について深い学修につながるよう PBL の構成は考察に値する。

ここでは PBL の前提を、学習者が「主体的」に疑問を持ち、熟慮的思考へとつうじるような問題設定を前提とすることに拡張して考えた授業の試案を提示する。

#### 3.1.1. 授業試案：単元計画

単元としては、中学「理科」3年生の化学分野を想定する。表1に単元計画を示す。

この単元を通して、原子・分子のモデルを素朴な球状のものから、高等学校における化学基礎で紹介されるボーアモデルに発展するプロセスを調査・考察する。そして、教科書記載の原子構造に対して、批判的思考を發揮させ、より精緻な原子構造に対する概念形成が生徒に発現することを目的として PBL を進める。

瞥見では原子・分子中心の内容とはやや異なるような分野であるという見解を持たれるかもしれないが、生徒は第1次において、イオンの状態から、通常の電氣的に中性の原子から、電子が脱離または付与により陽イオン、陰イオンが生成することを学習する。さらに、第2次において、酸・塩基の水溶液のモデルでは素朴な球状原子・分子のモデルにより、その働きについて学ぶ。その際、原子の構造は原子核と電子からなることを学ぶ。また、

表1 化学分野における単元計画

学習内容		時間数
<b>第1次</b>	<b>水溶液とイオン</b>	<b>13</b>
1時	水溶液にすると電気を通す物質	1
2時	電解質の水溶液に電流を通した時の変化	2
3時	水溶液中での電解質の粒子	5
4時	電池のしくみ	3
5時	日常生活と電池	2
<b>第2次</b>	<b>酸・アルカリと塩</b>	<b>12</b>
1時	酸性やアルカリ性の水溶液の性質	2
2時	酸性やアルカリ性の正体	3
3時	酸性・アルカリ性の強さ	2
4時	酸とアルカリを混ぜたときの变化	3
5時	イオンで考える中和	2

第1次の3時においては教科書の周期律表中にボーアモデル（有核平面電子軌道構造）が記載されている。従って、生徒に対して、原子核が正の電気を帯び、電子が負の電気を帯びているのであれば、何故、この2者は引力によって結合してしまわないのかを「主体的」に問題視することが期待できる。また、このような「気づき」が発現せずとも、電氣的な引力に注意を喚起すれば、構造に疑問を喚起し、原子構造に関する問題点に注意を向け、「主体的」に調査対象として選択することが期待できる（専心活動）。教員はこの間、授業中の時間をわずかに割いて、ファシリテーターの役割を務め、あくまでも、生徒の主体的メタ認知の発揚による問題点の「気づき」に対する条件を整えることに徹する。このように原子構造に対する小さな疑問・問題点を起点として PBL を開始する。

この方略によれば、PBLの実行には、複数教員の関与のような人的制約を抑えることができる。さらに、PBLは授業の進行と共に進み、生徒の調査学習やグループ学習、討議などにより実行される。従って、授業を軸として構成される PBL であるため、ひとたび起点となる疑問点が発現すれば、教員の提案により生徒が「より確度の高い原子構造を解明する」という PBL の計画を立案することも比較的容易である。加えて、この PBL 方略

によれば、教科書の内容を、そのまま鵜呑みにして暗記するのではなく、批判的思考をとおして、より高次の概念把握に達することも可能となる（楠見ほか 2011, 楠見・道田 2015）。原子モデルを批判的に観察し、生徒各自の現状と比較し、それに対して、より高次の認知状態へと誘導することは可能であると考え。また、明確な解答に到達せずとも、調査・考察を通して、生徒各自の個性に応じた熟慮的思考が発現することは十分可能である。

計画の実行は授業の進行と共に進むため、教員の誘導により、グループ討議により調査学習の結果を議論し、評価することも授業の中に時間を割り、挿入することができる。具体的には、表1において、各時の時間数が多い場所に適宜挿入することにより、順次内省と評価が進行し、PBLの終了時にまとめて全体の評価を行うことも容易となる。

これにより、教員、生徒ともに多大な時間をかけることによるPBLの実現可能性の低下や、通常授業の進行に関わる制約を抑制することができる。さらに、授業の進行に合わせて、生徒各自の到達した原子構造により、授業内容における様々な現象を説明可能かどうか検証することにより、一定の整合性をもつ原子構造の概念把握に至っているかを評価することも可能となる。

以上を総括すると、①教科書の素朴な原子構造のモデルをもとに生徒が、自主的に問題点を設定することができる（専心活動）。②授業進行を支柱としてPBLを進めることができるため、生徒にとって計画立案が用意である。③授業とリンクしながら計画の実行が可能のため、授業の進行を阻害せず、また、授業の学修内容に対する批判的思考をとおした深い学びの発揚が期待できる。④計画によって得られた成果を、授業内容の説明への応用をとおして評価できる（反省的思考）ため、節目における内省を伴う計画的評価が可能であり、かつ、時間的制約も少ない。

### 3.2. 生物分野の授業モデル

生物を理解する上で、実際に異なる種類の生物を観察し、それらの共通点と相違点に生

徒自身が気づくことが重要である。生物の観察は身近な自然においても行えるが、多くのセキツイ動物の観察には水族館や動物園の利用が確実かつ効率がよい。これらの施設を利用し、日本の自然では観察できない動物を実際に見て、教科書の中だけで終わらない教育を目指す。そのひとつとして、動物園での動物観察を中心にした“生徒自身の気づきによる動物の比較”を提案する。

対象とするのは中学2年第2分野の「動物の生活と生物の進化」で、この単元は細胞の構造や物質から進化まで広い。その中から「動物の仲間」を中心に上げる。ここでの学習の目的の一つは、動物のからだのつくりを生活環境と関連づけて考えさせることである。キーワードとして、生活環境・恒温動物と変温動物・草食動物と肉食動物などがある。

#### 3.2.1. 実施内容と流れ

表2に実施内容の流れを示す。まず、教員の指定または生徒の希望により5~6名のチームをつくる。動物園で観察する動物または展示エリアの分担とスケジュールをチームで相談し計画させる。ただし、観察による気づきを重視するために、事前の相談では観察項目を絞り込ませず、観察により気づいた点などを簡単なスケッチとともに記録させる。

その後、チームメンバーを集合させ、チーム内で観察結果を報告し合い詳細に調べる対象を決定させることで専心活動に導く。この

表2 生物分野の授業モデル

段階	学習活動の内容	場所	時数
計画	チーム編成 分担・スケジュールの相談 ↓ ← <b>確認・把握</b>	動物園	0.5
	個人での観察・メモ ↓ 観察結果の報告・比較対象の決定 ↓ ← <b>指導・把握</b> チームでの詳細観察・記録 ↓		1.5 0.5 1.5
調査	調べ学習（宿題） 調査結果のまとめ		
発表	↓ ← <b>指導</b> 発表・評価	学校	1.5
振り返り	↓ ← <b>指導</b> 追加資料の作成		0.5

集合時間も各チームで計画させ、ある程度チームごとに異なる時間にさせると、教員がチームの方向性を把握し指導する時間が取れる。チームごとに異なる対象または異なるアプローチとなるように指導・調整する。観察の第2段階として、チームで決めた対象項目についてメンバー全員で詳細観察を行わせ写真や動画などで記録させる。ここまでの動物園内の活動は計3時間程度とする。

その後、学校において、調査計画と分担を決めさせ、宿題として図鑑・文献・インターネットなどにより観察したことの裏付けやメカニズムなどを調べさせる。調べてきたことを基にチーム内で発表資料を作成させる。発表報告は模造紙などの発表後も掲示できるものにし、説明の流れに沿って写真や図を示し、それを使って説明する口頭発表形式とする。質疑・応答も含めて、他チームからの関心度、発表資料の完成度、生物学的意義の納得度などの項目で評価を受け、学習活動全体に関する反省的思考を促す。質問や評価に対して追加調査し、発表資料に追加添付させる。

### 3.2.2. 比較観察対象の種類とその理由の探究

PBLの第一段階は生徒自身が課題を見つけることにある。動物を観察し異なる点を自ら見つけ出すことで、興味をもてるようになる。したがって、教員側から制約を設けず自由度を高くする必要がある。そこで、観察前に与える助言を表3のようなものとする。

次に、注目した相違点のうち何を掘り下げていくかを決めさせるが、深い観察となるように指導が必要となる。さらに、観察結果が単なる表面的な比較に終わらないように、相違点を持つ意味まで考えさせるよう促し、生徒自身に調査計画を立てさせる。各比較対象についての具体例と指導方向についての案を以下に示す。

表3 観察対象と注目点の例

対象	注目点の例
(1)異種の比較	形態・行動など
(2)同種の比較	時間帯・年齢など
(3)生息域での比較	形態・展示場など

#### (1)種によって異なる点の比較（異種の比較）

教科書では草食動物と肉食動物の目のつき方の違いなどが紹介されているが、観察できる耳の形や付き方、瞳孔の形や足の指など形態的な違いは多くある。足の指の違いを例とすると、ライオンの前足は親指のみが離れた5本であるが、エゾヒグマの指は同じ方向を向いた5本であり、シマウマは1本の蹄である。チームでの観察対象を足のつくりの違いとした場合、草食動物と肉食動物の特徴としてまとめることはできない。指の向きの違いによる利点や異なる蹄数の草食動物の生息場所や走る速さとの関係などへ調査を進ませる指導が必要となる。

また、行動にも違いが見られる。例えば、草食動物は展示場に置かれた鉱塩と呼ばれる石を舐めるが、肉食動物ではこの行動は見られない。食性から鉱塩の必要性を考えさせ、動物に必要な栄養の共通点にも目を向けさせることで、生物の多様性だけでなく共通性の理解にも繋がる。

#### (2) 行動時間帯や親子の比較（同種の比較）

開園直後の肉食動物は活発に動き回り、縄張りの点検とマーキング行動を行う。縄張りをもつ意義やマーキング方法の特徴を調査させ考えさせる指導ができる。また、肉食動物は昼頃には寝ていることが多い。食性と休憩の関係に注目させる指導が必要となる。親と子の被毛の色の違いなども見られる。ある種のサルでは子が目立つ色の被毛をもつ。一方、マレーバクのように細かな柄の被毛をもつ子もある。これらの毛色には成獣による保護や捕食者に発見されにくいなどの理由がある。それぞれの生物の生活形態の違いや生態的地位の違いを調査させ、生物同士の関わりの理解に繋げることもできる。

#### (3) 異なる地域に生息する同類の動物の比較

大きな動物園では生息地域ごとに動物を展示している。同類の動物であっても生息域によって体の大きさや耳などの大きさ、被毛の色や長さなどに違いが見られる。例えば、北極圏に生息するホッキョクギツネは顔の大きさに対して耳が小さいが、日本に生息するアカギツネではやや大きく、サハラ砂漠などに生息するフェネックギツネでは非常に大き

い。突出部分が体温調節にどのような役割を担っているのかを考えさせ、展示場の様子も含め、生息域の気候との関係を導かせることで環境の重要性に繋げる指導ができる。

既に生物分野の教育として動物園や水族館を利用し、飼育員の話聞き飼育スペースを見学する中学校はある。普段聞くことができない話や見るができない裏側を知る貴重な機会であり生徒にとって非常に有意義である。しかし、これらは受け身の体験である。今回提案する PBL による活動は、生徒自身が主体となり何らかの結論を導く能動的なものであり、自ら発見し興味をもった動物の 1 つの相違点から、動物のからだのつくりの理解だけでなく生態系における地位や生息環境まで考えることができる（専心活動）。

さらに、発表により他チームが調査した内容を知り、自身の活動の評価を受けることで活動を振り返り不足を認識できる点も大きい（反省的思考）。発表資料の作成においては完璧な答えを要求するのではなく、生徒自身を考えさせまとめさせることを重視する。観察や調査を十分に行い、根拠を積み上げたうえで、自分たちの考えをもって何らかの答えを出すように指導するのが重要である。

### 3.3. 物理分野の授業モデル

筆者の一人は、高校で 14 年間、物理の授業を担当してきた。その中で、物理嫌いの高校 1 年生が非常に多いことを実感してきた。生徒が楽しみながら身近な現象を観測する実験を取り入れることで生徒の興味を引きつけることが重要である。ここでは、習得→活用→探究の学習プロセスを取り入れた単元「運動とエネルギー」の一部について授業モデルを提案する。表 4 に具体的な内容を示した。知識・理解の習得は板書やアクティブ・ラーニングを取り入れた生徒同士の話し合いにより行う。獲得した知識を活用する能力は生徒が演習問題を解きながら養う。また、実験を実施し、その解析を行うことで、獲得した知識を活用する能力をさらに鍛える。最後に、探究として、PBL を実施する。力学をはじめて学習する中学生にとって、自分で専心活動につながる問題設定をすることはかなり難し

く、さらに時間もかかるため、効率的で時間短縮した PBL ミニマム授業モデルとして、ここではテーマの範囲を限定し、その範囲の中で、生徒に問題設定させることにした。限定したテーマは「ミニカーやボールはどのような運動をするか。また、その運動を変化させるためにはどのような工夫したらよいか」とした。友達と協力してミニカーやボールの運動を楽しみながら観測することで専心活動を導きやすいテーマだと考えられる。また、生徒が自ら、実験（問題設定）を決めて、計画通りの結果が得られないときに反省的思考により行い実験を改善する必要がある。以下で、具体的な PBL の流れを示す。

- ① 問題設定: 4名のグループでブレインストーミングすることで、生徒が自分で考えたアイデアを自由に話し合い、どのような実験（問題設定）を実施するかを決定する。その際、教員は各グループを机間指導し、生徒の意見を肯定し、生徒のアイデア創成

表 4 物理分野の授業モデル

時限	学習活動
1	2力のつり合い〔習得〕
2	・ 力の合成・分解〔習得〕
3	
4	力の合成・分解の演習〔活用〕
5	3力のつり合い〔習得〕
6	・ 2力・3力のつり合い実験〔活用〕
7	
8	平均の速さ・瞬間の速さ・移動距離〔習得〕
9	自由落下運動（等加速度直線運動）〔習得〕
10	等速直線運動・慣性の法則〔習得〕
11	作用・反作用の法則〔習得〕
PBL の実践〔探究〕	
①問題設定	
12	● 全員が実験案を考案し、実現可能かを検証し、意見を集約する。
②計画立案	
13	● 実験計画を立て実験の図を書く。必要な道具をすべて挙げ次週までに準備する。
③計画遂行	
14	● 実験を行い、実験動画を撮影する。
・	● どのような運動かを検証する。
15	● 運動を変化させる要因を見出す。
	● 実験の解析を行う。
④成果評価	
16	● 実験の失敗点、改善点を話し合う。
	● 物体の運動、測定データの評価をする。

を支援する。生徒の専心活動につなげることが重要である。

- ② 計画立案：生徒は、どのような実験を実施するかを決めた後、実験計画をたて、実験の図を描き、必要な道具をすべて列挙する必要がある。また、教員が中学校にあるもので準備可能な実験道具、例えば、バネ、厚紙、段ボール、バネ測りなどを準備する。または、生徒の家にあるミニカーやボールなどの実験道具で準備可能なものを生徒同士で話し合わせる。
- ③ 計画遂行：生徒が自ら計画した実験を行う。このときに、物体の運動の動画を撮影する。物体はどのような運動をしたのか、また、その運動を変えるためにどのような工夫をしたのかについて話し合う。はじめは、計画通りにはいかないことが多いが、改善することで、望んだ結果を得るようになる。ここで、工夫した点や改善点などをノートにすべて記録しておく。
- ④ 成果評価：生徒が、計画通りの実験を行うことができたのかについて話し合う。運動を見つけ、運動を変化させる工夫はできたのかを「反省的思考」によって評価する。また、物理現象の背後に潜む物理量と物理法則について議論する。

### 3.3.1. 実験 (①問題設定) の具体例

中学校3年生の「物体の運動」に関する教科書の内容を踏まえ、実験例(問題設定の例)を示し、その評価方法について解説する。ここでの学習内容は、重力、摩擦力、等速直線運動、慣性の法則、慣性、自由落下などがあり、事前に力のつり合いとベクトルの合成・分解は学習している。教員は、生徒が発案した問題設定に関してファシリテーター役として柔軟に対応し、学習支援する必要がある。

#### 【運動の測定方法】

実験の測定方法を紹介する。生徒は、スマートフォン・パソコン・タブレット・デジタルカメラなどで「動画」を撮影する手法がある。ミニカーやボールの後ろに定規を置き撮影することで1sごとの物体の位置を知ることができる。「記録タイマー」があれば、東日本では1/50s、西日本では1/60sで物体の位置を測定することができる。また、モーショ

ンセンサが1つあれば、図2のようなx-tグラフ、v-tグラフ、a-tグラフを瞬時に得られる。教員が各グループにモーションセンサを持参して測定することで、慣れれば1回の実験を30秒程度で実施できる。そのグラフのbmpやExcelデータは簡単に抽出できるため、生徒に配付し成果評価の際に役立てると効果が高い。

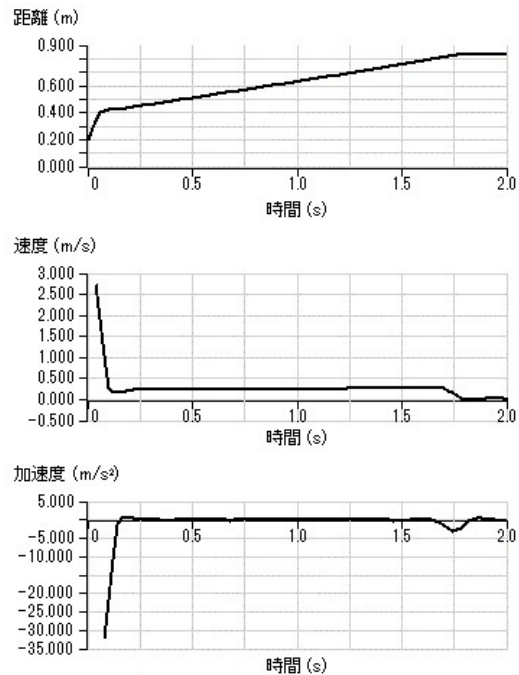


図2 x-tグラフ、v-tグラフ、a-tグラフ

#### 【ボールを落下させたときの運動】

ボールを自由落下させ測定すると、ボールの加速を測定することができる。加速する理由を考えさせ、物体にはたらく重力の存在を生徒自ら見出すことが重要である。

#### 【ミニカーを一瞬押したときの運動 (減速)】

ミニカーを手で一瞬押しても、ミニカーは減速して止まる。その理由を考えさせ、物体の運動を妨げる摩擦力の存在を生徒自ら見出すことが重要になる。実際に測定すると、ミニカーの車輪にはたらく摩擦力の影響がかなり大きい。ここで、等加速度直線運動という運動の名称は知らなくてもよく、減速したことを測定すればよい。

#### 【机を傾けたときのミニカーの運動 (加速)】

机の下に段ボールを置いて、机を傾けると、ミニカーが動き出し、等加速度直線運動する。このとき、斜面の角度が十分大きくなると、



ミニカーの加速も大きくなる。ミニカーにはたらく力として、摩擦力と重力の存在に気がつくことが重要で、生徒自ら重力の方が、摩擦力より大きいとミニカーが加速することに気がつくかどうか特に重要である。

#### 【机を傾けたときのミニカーの運動（等速）】

机の下に段ボールを置いて、机の傾きを調整すると、重力と摩擦力がちょうどつり合い、力の合力がほぼ 0N になるときがある。図 3 のように、机のすぐ横に置いた段ボールにモーションセンサを置くことで、ミニカーの車高が低くても、その運動をモーションセンサで測定することが可能になる。手で一瞬ミニカーを押して、初速度をもたせると、一定の速さで運動する。そのときに、モーションセンサをスタートさせた。図 2 において、初期の時刻についてグラフに少し変動がみられる。ミニカーは等速直線運動した後、障害物に衝突して「静止」する。衝突直前の時刻において、負の加速度が生じて速度が徐々に 0m/s に近づくことが分かる。このように、現実の測定データを評価することで、物理量や物理法則を効果的に生徒自ら見つけ出すことが可能になる。



図 3 ミニカーとモーションセンサ

#### 4. まとめ

本研究においては、時間的・人的な制約が小さく、かつ深い学びを可能とする PBL を構築するために、Kilpatrick のプロジェクト・メソッドに基づいてその成立の最小要件を理論的に検討した。その結果、専心活動と反省的思考が PBL の最小要件であり、加えて知識・技能が必要であると考えられた。これらが備わっていれば、学習者は基本学習と付随学習を行うと考えられる。このことを踏まえて、中学校理科の化学・生物・物理分野の 1 単元程度の授業モデルを示した。

しかし、ここで構築したモデルは仮説であり、それが学校現場で実践可能か、また生徒の基本学習と付随学習をもたらすかは未検討である。実践可能な最小要件の PBL の授業を構築するには、今後、学校現場での実践の検証が求められる。

#### 参考文献

- 伊藤大輔, 木村竜也, 宮崎慶輔, 江村伯夫, 石原正彦, 吉田正就 (2016) 工業高校における PBL 授業の試み—「プロジェクトの授業」を事例として—. 日本工学教育研究講演会講演論文集平成 28 年度, p.2
- Kilpatrick, W. H. (1918) *The Project Method, Teachers College Record*, 19(4) : 319-335.  
(市村尚久〔訳〕 (1967) プロジェクト法. 明玄書房, 東京)
- 木村竜也・伊藤大輔・江村伯夫 (2017) 工業高校における PBL の実践 (1) 2017 年日本教育工学会大会講演論文集, pp.665-666
- 楠見孝, 子安増生, 道田泰司〔編〕 (2011) 批判的思考を育む—学士力と社会人基礎力の基盤形成. 有斐閣, 東京
- 楠見孝, 道田泰司〔編〕 (2015) 批判的思考—21 世紀を生きぬくリテラシーの基盤. 新曜社, 東京
- 京都市立京都工学院高等学校 (2017) 京都市立京都工学院高等学校経営方針.  
<http://cms.edu.city.kyoto.jp/weblog/data/300254/1/d/2289684.pdf> (参照日 2018.02.03)
- Savery, J. R. (2006) Overview of Problem-based Learning: Definition and Discussion. *The Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, 1(1) : 9-20.  
<http://docs.lib.purdue.edu/ijpbl/vol1/iss1/3/> (参照日 2018.02.03)
- 新興出版社啓林館 (2016) 年間指導計画案 (平成 28 年度版中学校教科書理科)  
[http://www.shinko-keirin.co.jp/keirinkan/text/chu/h28textbook/science/data/rika\\_keikaku\\_h28.xls](http://www.shinko-keirin.co.jp/keirinkan/text/chu/h28textbook/science/data/rika_keikaku_h28.xls) (参照日 2018.02.04)