

変数を制御しデータを解釈する能力を高める生物授業の工夫 — プロセス・スキルズに基づいて作成したチェックリストを活用して —

広島県立呉宮原高等学校 大野 佑二郎

研究の要約

本研究では、プロセス・スキルズに基づいてチェックリストを作成し、探究活動で活用することで、生徒の資質・能力を高めることをねらいとした。本研究で高める資質・能力は「変数を制御しデータを解釈する能力」とし、高等学校理科「生物」の「生命現象とタンパク質」の単元において、酵素の性質を明らかにする探究活動で実践した。また、チェックリストを活用するパフォーマンス課題を設定した。

実践結果として、ワークシートの記述内容が変数を明確に示したものになっていたり、「大学入学共通テスト」試行調査問題のデータを解釈する能力を測る問い合わせの正答率が全国正答率を上回ったりするなど一定の成果が現れた。このことから、プロセス・スキルズに基づいて作成したチェックリストを活用して授業を行うことは、変数を制御しデータを解釈する能力を高めることに有効であることが分かった。

I 主題設定の理由

高等学校学習指導要領（平成30年）における理科の目標には、「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などを通して、自然の事物・現象を科学的に探究するために必要な資質・能力を育成することを目指す」¹⁾とあり、探究の過程を通じて資質・能力を育成するように指導を改善することの必要性が示された。

しかし、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）（平成28年、以下「答申（平成28年）」とする。）には、「観察・実験の結果などを整理・分析した上で、解釈・考察し、説明することなどの資質・能力に課題が見られることが明らかになっている」²⁾とある。所属校でも実験結果に関係している変数を制御することや、グラフや表の示すデータを解釈することに課題がある。

そこで本研究では、変数を制御しデータを解釈する能力を高めることを目標とし、主題を設定した。

II 研究の基本的な考え方

1 変数を制御しデータを解釈する能力について

(1) 変数を制御する能力

本研究では、変数を制御する能力を「実験に関係する変数を明らかにし、変化させる変数と変化させ

ない変数を区別する能力」とする。

いろいろな値をとって変わる数量を表している事柄を変数という。理科実験で着目すべき変数には独立変数と従属変数がある。独立変数は、実験者が操作できる変数である。従属変数は、実験者によって測定され、独立変数に依存して変わる変数である。一般に、独立変数は条件として示され、従属変数は、測定値として示されることが多い。大島竜午（2015）は独立変数と従属変数を「『子どもによって変化されること（独立変数）』と『測定あるいは観察されるかもしれないこと（従属変数）』」³⁾と示している。制御とは、変化させる条件と変化させない条件を区別することであり、制御される条件は独立変数である。

(2) データを解釈する能力

本研究では、データを解釈する能力を「実験で得られたデータを整理して結論を導く能力」とする。

データとは、判断や立論のものになる資料や情報のことである。探究活動で用いる資料や情報は、実験により得られた測定値（従属変数）を基にすることが多い。解釈とは、物事について自分なりに意味や内容を解きほぐして明らかにすることである。武村重和（1993）はデータの解釈を「データを整理することとそれから結論を導くこと。」⁴⁾としている。

(3) 変数を制御しデータを解釈する能力

上述のことから、本研究では、変数を制御しデータを解釈する能力を「実験で得られたデータを整理して結論を導く能力」とする。

タを解釈する能力を「実験に関係する変数を明らかにし、変化させる変数と変化させない変数を区別して実験を行い、そこで得られたデータを整理して結論を導く能力」とする。

宮本直樹（2015）は「データ解釈指導法において、特に重要なことは、独立変数と従属変数を踏まえて児童・生徒にデータを解釈させることである」⁵⁾と述べている。独立変数と従属変数を踏まえるとは、変数を制御するに該当する。大島（2015）は、変数制御の指導が、実験の測定回数や頻度、表やグラフの種類の決定に直結することを示唆している。

のことから、変数制御の指導が、物事を科学的に見る場面で重要になると考える。変数を制御することは、探究活動全体に関わる視点を与えることになり、その後の探究活動の見通しをもたらせる。その視点はデータを解釈することにも使われる。よって、変数を制御する指導とデータを解釈する指導を関連付けて行うことで、データを解釈する能力をより高く育成できると考えた。

2 指導の工夫

（1）プロセス・スキルズに基づいて作成したチェックリストについて

ア プロセス・スキルズと探究の過程

プロセス・スキルズとは、探究の過程を項目ごとに示したものである。アメリカ科学振興協会は、1963年（昭和38年）に“Science-A Process Approach”という初等理科コースを開発した。その初等理科コースについて教師向けに作成した解説書である Science-A Process Approach Commentary for Teachers に、プロセス・スキルズが掲載されている。プロセス・スキルズは、八つの基礎的プロセスと五つの総合的プロセス（表1）のもとに、合計57の目標が設定されている。

表1 プロセス・スキルズ

「基礎的プロセス」		「総合的プロセス」	
1 観察する		9 変数を制御する	
2 時空の関係を用いる		10 データを解釈する	
3 分類する		11 仮説を設定する	
4 数を使う		12 操作的に定義する	
5 測定する		13 実験する	
6 伝達する			
7 予測する			
8 推論する			

また、「答申（平成28年）」には資質・能力を育成するために重視すべき探究の過程（図1）が示されている。プロセス・スキルズと「答申（平成28年）」で示された探究の過程は共通点が多くあり、探究の

過程における目標を、生徒が細かく理解するのにプロセス・スキルズは効果的である。

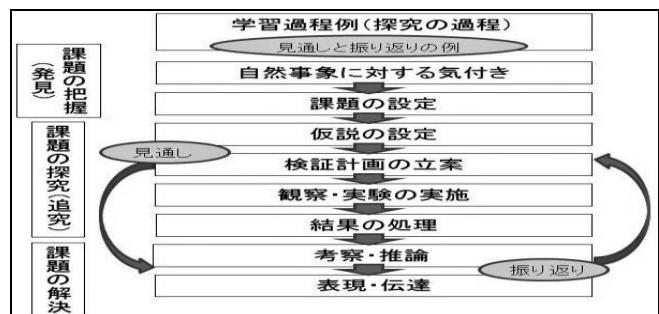


図1 資質・能力を育成する探究の過程

イ チェックリストの有効性

プロセス・スキルズの習得を目標に設計された教師用指導資料は英米に多く存在しており、国内でもプロセス・スキルズに着目した研究が進められている。大島（2015）は、英国の科学的探究プロセスの認知的側面に焦点を当てた教材の特質を明らかにした。その上で、日本では、変数とその値の違いなどに焦点を当てた指導方法については十分に議論されてこなかったことに触れ、「今後は、明確な変数概念を導入した指導方法や、変数の連続性の違いを強調した指導方法を検討するなど、生徒実験活動改善の一助となる具体的な改善策を考案する必要があるだろう」⁶⁾と述べている。

これらのことから、英米の教師用指導書にあるようにプロセス・スキルズの各項目と探究の過程に焦点を当て、具体的な生徒実験活動補助教材があるとよいと考えた。そこで、プロセス・スキルズをチェックリストにして、生徒に提示することとした。チェックリストでプロセス・スキルズの項目ごとの目標を具体的に示せば、生徒に探究の過程で着目すべき新たな視点を与えたり、生徒がすでにもっている視点を整理したりできる。その視点に焦点化して探究活動を行えば、学習がより深いものになると考える。

ウ チェックリストの内容

プロセス・スキルズは、教師用指導書に記載されているために、生徒にとって具体性に乏しく、そのまま示しても理解しにくい。そこで、生徒が理解しやすい表現に書き改め、生徒が経験済みの実験内容を具体的に示した。

最初に、「変数を制御する」に関するチェックリストの見出しを「実験の条件制御」とした。プロセス・スキルズの「変数を制御する」の項目に設定されている目標を次頁表2に、それを基に作成したチェックリストを次頁図2に示す。

表2 プロセス・スキルズに設定されている目標

「変数を制御する」	
1	物理的あるいは生物的システムの振る舞いや性質に影響する可能性のある変数を明らかにすることができる。
2	研究や実験において、操作したり、変化に応答したり、一定に保ったりする変数を明らかにすることができる。
3	ある変数を一定に保つ条件と一定に保たない条件との違いを認識することができる。
4	ある従属変数に対して、1つ、あるいはいくつかの独立変数の影響を明らかにするための分析を構成することができる。
5	変数が全ての処理で異なったり、またはランダムであったりするけれども、ある調査の記述の中で、一定に保たれない変数を識別し、命名することができる。

「実験の条件制御」	
条件探し	自己評価(できる…5, まあまあできる…4, ふつう…3, あまりできない…2, できない…1)を記入 ↓ 実験者が操作して変えることができる条件を何個かあげられる a 実験者が操作して変える数や条件を「独立変数」と呼ぶ。 (例:水を熱す時間、温度上昇を調べる場合、実験者が操作して変えられる「火の強さ」、「水の量」、「時間」などが独立変数に該当する。)
条件探し	b 実験者が操作して条件を変えた結果、変化するものをあげられる 実験者によって測定され、独立変数を変えると、それに影響を受けて変化するものを「従属変数」と呼ぶ。 (例:水の温度上昇を調べる場合、独立変数に依存して変える「温度」が従属変数に該当。)
条件設定	c 変化させる独立変数を一つだけ決められる (例:水の温度上昇を調べる場合、「時間」だけを変化させ、「火の強さ」、「水の量」を変えずに一定にする。)
条件設定	d 変化させない独立変数の値を決め一定にできる (例:水の温度上昇を調べる場合、「火の強さ」を200W、「水の量」を100mLで一定にする。)
予想	e 独立変数を変化させると、従属変数がどのように変化するか予想を述べられる (例:水を熱す時間(独立変数)が長くなる(変化させる)、温度(従属変数)が上がる(どのように変化する)だろう。)

図2 「変数を制御する」に関するチェックリスト

表2の1を図2の「条件探し」に反映させ、独立変数と従属変数が明確に区別できているかを問う項目a, bを設定した。表2の2と3を図2の「条件設定」に反映させ、独立変数の具体的な扱いを問う項目c, dを設定した。表2の4を図2の「予想」に反映させ、変化の見通しができているかを問う項目eを設定した。表2の5は本研究では扱わなかった。

次に、「データを解釈する」に関するチェックリストの見出しを「データの解釈」とした。プロセス・スキルズの「データを解釈する」の項目に設定されている目標を表3に、それをもとに作成したチェックリストを図3に示す。

表3 プロセス・スキルズに設定されている目標

「データを解釈する」	
1	データの表やグラフの示す情報を簡潔な文章で表現することができる。
2	1つの表やグラフの示す情報から、いくつかの推論や仮説を構成することができる。
3	平均値、中央値、分布の範囲、度数分布を用いて、データの種類を明らかにし、この情報から推論、予測、仮説などを構成することができる。
4	線形・非線形の関係を区別することができる。
5	グラフの傾斜によって与えられる情報を説明できる。
6	線形関係のグラフの傾斜を発見するためのルールを採用することができる。
7	三次元グラフのある点の座標を命名できる。
8	与えられた3つの数から、立体的なグラフを作図できる。

「データの解釈」	
自己評価(できる…5, まあまあできる…4, ふつう…3, あまりできない…2, できない…1)を記入 ↓	独立変数に依存して変わる従属変数の関係を読み取っている (例:水を熱す時間(独立変数)が長くなる(どのように変化したら)、温度(従属変数)が上がった(どのように変化した。))
a 途中でグラフが変化した場合、変化したところから (例:100℃になった後は水を熱す時間(独立変数)が長くなる(どのように変化したら)、温度(従属変数)は変化しなかった(どのように変化した。))	b データの決まりを見付けられ、変化の特徴を読み取っている (例:液体の水は加熱すると時間経過とともに100℃まで上昇するが、100℃になると温度が上がりず100℃で一定になる。)
一般化	a 水を熱す時間が長くなると、温度が上がり100℃になった。 b 100℃になった後は水を熱す時間が長くなても、温度は変化しなかった。 c 液体の水は加熱すると時間経過とともに100℃まで上昇するが、100℃になると温度が上がりず100℃で一定になる。

図3 「データを解釈する」に関するチェックリスト

表3の1を図3の「グラフの読み取り」に反映させ、グラフから縦軸と横軸を関係付けて読み取ることができるかを問う項目a, bを設定した。

表3の3と5を図3の「一般化」に反映させ、表やグラフから事実を読み取り、読み取った事実から推論して一般化できるかを問う項目cを設定した。表3の2, 4, 6, 7, 8は本研究では扱わなかった。

生徒は探究活動前後に、チェックリストの項目内容が完全に身に付いた場合を5として捉えて、生徒自身が1～5の5段階で自己評価する。

(2) チェックリストを活用する単元について

大学などの研究機関は、定量的実験で測定したデータを読み取る機会が多く、それに関連した能力を必要としている。また、「大学入学共通テスト」試行調査問題や大学入試は、定量的実験によるデータ読み取り問題を積極的に採用している。

しかし、高等学校の「生物」で行われる実験は、「定性的実験」が多く、「定量的実験」が少ない。「定性的実験」は対象の質的な側面に注目する実験で、「定量的実験」は対象の量的な側面に注目し数値を用いた記述や分析を伴う実験である。

「生物」の「生命現象とタンパク質」で取り扱う「酵素」は、最適pHや最適温度などを「定性的実験」で明らかにする授業が多く行われている。しかし、「酵素」の内容は、基質濃度や酵素濃度、温度、pHなどの条件を設定すれば、「定量的実験」として実施することに適している。

そこで、この「生命現象とタンパク質」の単元でチェックリストを活用した探究活動を行い、変数を制御しデータを解釈する能力を高める授業を計画した。

III 研究の仮説及び検証の視点と方法

1 研究の仮説

プロセス・スキルズに基づいて作成したチェックリストを活用して授業を行えば、変数を制御しデータを解釈する能力を高められるであろう。

2 検証の視点と方法

チェックリストの活用が有効であるか検証する視点と方法を表4に示す。

表4 検証の視点と方法

検証の視点		方法
1	変数を制御する能力を高められたか。	ワークシート、ノート、
2	データを解釈する能力を高められたか。	プレテスト・ポストテスト

3 プレテスト・ポストテストについて

能力の高まりを測るために、プレテストとポストテストは難易度が同程度とみなした問題を採用し、内容は研究授業を行う单元以外から出題した(表5)。

表5 プレテスト・ポストテストに採用した問題

	プレテスト	ポストテスト
変数を制御する能力を測る問い合わせ	平成30年度 センター試験 追試験 第1問	平成28年度 センター試験 本試験 第7問
データを解釈する能力を測る問い合わせ	平成30年度 センター試験 追試験 第3問	平成29年度「大学入学共通テスト」 試行調査問題 第6問

「大学入試センター試験」を「センター試験」と表示

第1問は、変数を制御する能力を測る問い合わせとし、複数の実験に関わる条件と結果を比較して解答する問題を採用した。

図4はポストテストの第1問である。

第1問	
セイヨウミツバチ（以後、ハチとよぶ）の女王バチは雄バチと交配し、雌のワーカー（働きバチ）を多数産んで、高度に組織化されたコロニーを形成する。(a) ワニカーナの個体間では、巣の掃除や幼虫の世話をする内役と、巣から出て顎を採集する外役とに、役割の文化が生じる。ワーカーは、内役、外役に関わらず生殖を行わない。	下線部(a)に関して、この役割の分化が生じるしくみを調べるために、まだ役割が決まっていない羽化後4日齢のワーカーを用いて、次の実験1～3を行った。
実験1 この羽化後4日齢のワーカーを単独で飼育した場合、11日齢になった時点での外役に分化していた。	
実験2 この羽化後4日齢のワーカーは、より若いワーカーとともに飼育した場合、11日齢になった時点での外役に分化していた。	
実験3 この羽化後4日齢のワーカーは、より老いたワーカーとともに飼育した場合、11日齢になった時点での内役に分化していた。	
問1 実験者が操作して変えることができる条件を実験1～3の文章から探し、全て答えよ。	
問2 実験者が操作して条件を変えた結果、変化するものを実験1～3の文章から探し、全て答えよ。	
問3 問1の条件のなかで、他の実験と比べた時に変化している条件を実験ごとに答えよ。	
問4 実験1～3で共通している条件を全て答えよ。	
問5 実験1～3の結果から導かれる考察として適当なものを、次の①～⑥のうちから二つ選べ。ただし、解答の順序は問わない。	
① 役割の分化は、個体間の相互作用に影響される。	
② 役割の分化は、日齢のみに影響される。	
③ 役割の分化は、個体間の相互作用にも日齢にも影響されない。	
④ より若いワーカーの存在が、ワーカーの外役への分化を抑制する。	
⑤ より老いたワーカーの存在が、ワーカーの内役への分化を抑制する。	
⑥ より老いたワーカーの存在が、ワーカーの外役への分化を抑制する。	

図4 変数を制御する能力を測るポストテスト

選択問題1問(問5)に加え、実験から独立変数と従属変数を見付け出し記述する問題を4問(問1～4)出題した。問1～5は、チェックリスト(図2)の項目a～eの定着を測るものとなっている。

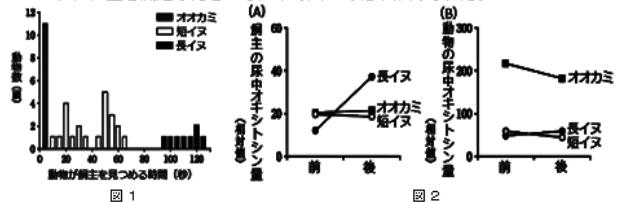
第2問は、データを解釈する能力を測る問い合わせとし、データから読み取った変数の違いを比較して解答する問題を採用した。

図5はポストテストの第2問である。

第2問

オオカミを祖先とするイヌは、オオカミとは異なり、1万年以前から人間との絆を形成している。この絆は、見つめ合い行動によって形成される。見つめ合い行動と視床下部で産生されるオキシトシンというホルモンの分泌との間に、互いに効果を強め合う関係があるという仮説を立てて、次の実験1・実験2を行った。なお、オキシトシンは、血液中に分泌され作用し、最終的に尿に排出される。

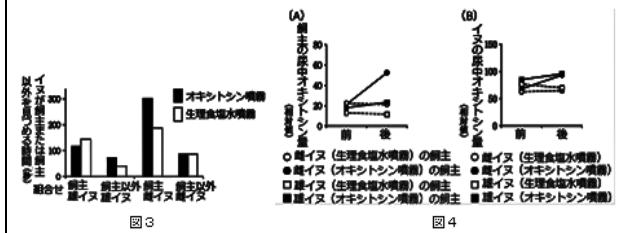
実験1 家庭で飼われているイヌまたは飼育されて人間によく馴れたオオカミと、それぞれの飼主とをペアで実験室に入れ、30分間にわたって行動を観察した。まず、実験開始後の5分間ににおける行動を観察したところ、次の図1のよう、イヌには飼主を見つめる時間が長いイヌ(長イヌ)と短いイヌ(短イヌ)がいる一方で、オオカミは飼主を見つめないことがわかった。次に、飼主と動物のそれぞれから、30分間の行動観察の前後に尿を採取し、尿中のオキシトシン量を測定したところ、下の図2の結果が得られた。



問1 上の図2の実験結果の記述として最も適当なものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。また、選んだ根拠を述べよ。

- ① 飼主を見つめると、イヌもオオカミも、尿中オキシトシン量が増加する。
- ② 尿中オキシトシン量が多い動物ほど、飼主を見つめる時間が長い。
- ③ 飼主の尿中オキシトシン量は、イヌに見つめられる時間の長い方が多い。
- ④ イヌの尿中オキシトシン量は、飼主に見つめられる時間の長い方が少ない。
- ⑤ オオカミの尿中オキシトシン量は、飼主に見つめられる時間の長い方が多い。

実験2 オキシトシンと見つめ合い行動との因果関係を調べるために、家庭で飼われているイヌ、その飼主、およびこのイヌにとって初対面の人間(以下、飼主以外とよぶ)が一緒に実験室に入った状況で、30分間の行動を観察した。この実験では、行動観察の直前に、同じ量のオキシトシンまたは生理食塩水をイヌの鼻粘膜に噴霧した。オキシトシンは鼻粘膜から速やかに吸収され、イヌの血中オキシトシン濃度を上昇させる。そのうえで、実験1と同じく、飼主およびイヌのそれそれから、行動観察の前後の尿を採取し、尿中のオキシトシン量を測定したところ、次の図3・図4の結果が得られた。



問2 実験2の結果から導かれるオキシトシンの効果として最も適当なものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。また、選んだ根拠を述べよ。

- ① 雄イヌが飼主を見つめる時間を、増加させる。
- ② 雌イヌが飼主以外を見つめる時間を、減少させる。
- ③ 飼主を見つめる雄イヌの尿中オキシトシン量を、減少させる。
- ④ 飼主を見つめる雌イヌの尿中オキシトシン量を、増加させる。
- ⑤ 飼主以外を見つめるイヌの尿中オキシトシン量を、減少させる。

図5 データを解釈する能力を測るポストテスト

選択問題2問(問1、問2)に選択の根拠を問う記述問題を加えた。問1、問2の根拠を問う記述問題はチェックリスト(図3)の項目a、b、cの定着を測るものとなっている。

IV 研究授業について

1 研究授業の内容

- 期間 平成30年6月19日～平成30年6月28日
- 対象 所属校第3学年（26人）
- 単元名 生命現象と物質
- 目標

変数を制御して実験を行い、得られたデータを解釈して科学的に考察し、導き出した考察を的確に表現する力を育成する。

- 指導計画



2 研究授業の概要

(1) チェックリストの活用について

一次実験開始前にチェックリストを配付し、1回目の記入を行わせた。その後、一次実験のパフォーマンス課題後に2回目の記入を、二次実験のパフォーマンス課題後に3回目の記入を行わせた。また、チェックリストは自己評価が目的であることを説明し、2回目以降は前回と比較して記入させた。

(2) 予備実験について

パフォーマンス課題の準備として、酵素濃度や基質濃度、温度などの条件制御をして予備実験を行った。ここで様々な実験データを集めて表やグラフを作成した。ワークシートの実験指示は最小限にして、記入欄にはパフォーマンス課題で設定した条件や工夫を書くものとした（図6）。ノートと方眼紙を班ごとに配り、実験データの記入やまとめを自由に行わせ、活動内容を制限しないようにした。一方で基本的な実験方法や実験器具の正しい使用法についての助言を行い、目標の活動に集中できるように配慮した。一次実験のパフォーマンス課題の前に2時間、二次実験のパフォーマンス課題の前に1時間の予備実験を行った。

この予備実験は、生徒が主体的に探究活動を行い、試行錯誤する中で、変数を制御しデータを解釈する能力等を身に付けたり、高めたりすることをねらいとしている。

予備実験で試したこと。		検証計画の立案	観察・実験		
酵素液(20%)	ガラス管(5%)	温度			
① 2.5mL	3.5mL	40℃	② 3mL	4mL	40℃
気体をピッタリ発生させましょう！！		結果			
目標気体量[11.4]mL		[11.2]mL			
結果の処理		反省			
条件： 酵素液(20%) 3mL 温度 40℃		空気の出方が悪くて微調整してこの結果だ。たゞ、安定して気体が出現するまでに時間がかかる。			
捕集時間[4分]		工夫： 温度を一定に保つこと			

図6 ワークシートの記述例

(3) パフォーマンス課題について

チェックリストの各項目を確認しながら活用することによって、変数を制御しデータを解釈する能力を高めるためのパフォーマンス課題を設定した。

酵母（ドライイースト）のアルコール発酵で、目標として設定した量（体積）の二酸化炭素を発生させることを課題とした。さらに、実際に発生した量との差を各班に競わせることで、課題解決に向けたモチベーションを高めさせた。なお、一次実験と二次実験でのパフォーマンス課題は同じ手順であるが、目標気体量を変えて実験を行わせた。ルールを表6に、パフォーマンス課題の授業の進行を図7に示す。

表6 パフォーマンス課題のルール

・目標気体量は1mL～20mLの間で当日に発表。目標気体に近い量（±で近い量）を発生させた班が勝利。
・各班は目標気体が溜まるのに要する時間（5分以内）を宣言して実験を行う。
・気体の測量は20mLメスシリンダーを用いた水上置換法を用いる。

学習活動	活動内容
1 目標気体量 告知 (5分)	<ul style="list-style-type: none"> ・目標気体量を告知する。 ・目標気体量を 一次実験は8.4mL、二次実験は11.4mLとした。
2 実験準備 (15分) 観察・推論	<ul style="list-style-type: none"> ・予備実験のデータから、 酵素濃度、グルコース濃度、温度等を決定し、 気体捕集時間を導き出す。 ・実験装置を準備する。
3 課題本番 (10分) 実験	<ul style="list-style-type: none"> ・アルミニウム箔でメスシリンダーに目隠しをする。 ・気体捕集は以下の①～②～③の順番で全班が同時に実行。 ・気体捕集の制限時間5分間を計る。
4 結果発表 (15分) 表現・伝達	<ul style="list-style-type: none"> ①スタートの合図と同時に メスシリンダーに 気体を集める。 ②目標気体量に達したと 判断した時点で 捕集をやめる。 ③目隠しをしたままで 結果発表まで 水中に放置。
5 まとめ (5分)	<ul style="list-style-type: none"> ・班ごとに発表する。 発表手順 <ul style="list-style-type: none"> 1 以下の内容を説明する。 ○ 設定した条件 ○ 捕集時間 ○ 工夫した点 2 目隠しを剥がし、捕集気体量を発表する。 ・チェックリストを記入する。 ・改善策を考える。

図7 パフォーマンス課題の授業の進行

V 研究授業の分析と考察

1 変数を制御する能力を高められたか

(1) ワークシートとノートによる分析

ワークシートとノートの「変数を制御する能力」に関する記述の分類を表7に、一次実験のパフォーマンス課題後と二次実験のパフォーマンス課題後における記述の変化をクロス集計表で表8に示す。

表7 ワークシートとノートの記述の分類

段階	記述の分類	第1問				
		問1	問2	問3		
		実験1	実験2	実験3	問4	問5
III	複数の独立変数の影響を分析し、目的に合った条件を設定している。	0.0%	36.0%	20.0%	24.0%	24.0%
II	一つの独立変数の影響を分析できている。	80.0%	96.0%	96.0%	96.0%	96.0%
I	独立変数の影響を分析できていない。	76.0%	60.0%	88.0%		

表8 一次・二次実験における記述の変化

二次	III	II	I	計(人)
一次				
III	0	0	0	0
II	10	0	0	10
I	11	0	5	16
計(人)	21	0	5	26

今回の実験における独立変数は、酵素濃度（ドライイースト濃度）、基質濃度（グルコース濃度）、温度で、従属変数は二酸化炭素発生量である。

段階Iの生徒5人は、温度を常温と設定しており、温度を一定にできていなかった。

しかし、二次実験後の反省で「今日の水の温度が前回よりもやや高かったので、水温を正確に測ればよかったです。」とあり、今回の授業を通して温度を一定にすることの意義に気付いており、変数の制御に関する意識の向上が見られた。

段階Iから段階IIIになった生徒のワークシートの記述内容を図8に示す。

一次実験	二次実験
条件：グルコース 0.2g ドライイースト 2.0g 0.2 + 2.0 + 水 = 15mL	条件：ドライイースト液 200g 3mL = 6mL グルコース液 500 3mL 温度 40°C
一次実験では温度を設定せず、ドライイーストやグルコースを質量(g)で設定している。	
二次実験では温度を設定し、ドライイーストやグルコースを濃度(%)で設定している。	

図8 段階Iから段階IIIに変化した生徒の記述内容

一次実験では設定できていなかった温度が二次実験では設定できていた。また、ドライイーストとグルコースを二次実験では濃度で設定できており、実験の精度が上がっていた。

(2) プレテスト・ポストテストによる分析

変数を制御する能力を測る第1問の正答率を表9に示す。

表9 変数を制御する能力を測る第1問の正答率

	問1	問2	問3			問4	問5
			実験1	実験2	実験3		
プレテスト	0.0%	36.0%	20.0%	24.0%	24.0%	76.0%	60.0%
ポストテスト	80.0%	96.0%	96.0%	96.0%	96.0%	96.0%	88.0%

問1～問4は問題文から該当の変数を抜き出す記述問題である。プレテストでは独立変数と従属変数が区別できていなかったが、ポストテストでは区別して解答できており、正答率が上昇している。

(3) チェックリストの記録について

チェックリスト「実験の条件制御」の項目a～eの自己評価の平均値を表10に示す。

表10 「実験の条件制御」各項目の自己評価の平均値

	a	b	c	d	e
1回目	3.44	2.36	3.24	3.12	2.28
2回目	4.04	3.83	4.04	4.00	3.83
3回目	4.65	4.70	4.57	4.57	4.39

できる…5、まあまあできる…4、ふつう…3、あまりできない…2、できない…1

1回目から自己評価は高く、2回目にはbの従属変数を明らかにする項目と、eの独立変数と従属変数の変化の関係を予想として表現する項目以外の項目が4に到達していた。3回目には全ての項目が4以上まで上昇した。

(4) 考察

ワークシートやノート、プレテスト・ポストテストの結果から「変数を制御する能力」が高まったことが認められた。学習前の生徒は条件制御の重要性を認識しており、変数の同定はある程度できていたが、独立変数と従属変数の区別が不十分であった。

しかし、学習後のポストテストでは独立変数と従属変数を区別して表現できていた。これは、チェックリストを使用することで、独立変数と従属変数の区別や変数の関係性に対する視点を身に付けさせることができたからだと考える。

また、チェックリストの自己評価の上昇が短期間で起こったことから、チェックリストは変数を制御する能力を一から身に付けさせたのではなく、生徒がもっている変数を制御する能力を生徒自身に明確に認識させ、その能力を実際に活用できるように強く働いたと考える。

2 データを解釈する能力を高められたか

(1) ワークシートとノートによる分析

ワークシートとノートの「データを解釈する能力」に関する記述の分類を表11に、一次実験のパフォーマンス課題後と二次実験のパフォーマンス課題後における記述の変化をクロス集計表で表12に示す。

表11 ワークシートとノートの記述の分類

段階	記述の分類
III	独立変数と従属変数をX軸Y軸にとってグラフを作成しており、発生気体量と発生時間を正確に読み取っている。
II	独立変数と従属変数をX軸Y軸にとってグラフを作成しているが、発生気体量と発生時間を正確に読み取れていない。
I	グラフを作成せず、正確にデータを読み取るための手立てが不十分である。

表12 一次・二次実験における記述の変化

二次	III	II	I	計(人)
一次				
III	0	0	0	0
II	5	0	0	5
I	10	5	6	21
計(人)	15	5	6	26

二次実験後で段階Iの生徒6人は、グラフを作成していないが、作成した複数の表から比例関係を考慮して気体発生の時間を導き出そうとしていた。

したがって、表11の基準では一次実験後から二次実験後にかけて段階Iから変化していない生徒も含めて、全員のデータを解釈する能力の高まりを見ることができた。

(2) プレテスト・ポストテストによる分析

データを解釈する能力を測る第2問の正答率を表13に示す。なお、ポストテストの問1、問2は平成29年度「大学入学共通テスト」試験調査問題から改編していないため、平成29年度「大学入学共通テスト」試験調査問題の全国正答率も合わせて示す。

表13 データを解釈する能力を測る第2問の正答率

	第2問			
	問1	根拠	問2	根拠
プレテスト	52.0%	8.0%	32.0%	16.0%
ポストテスト	96.0%	80.0%	76.0%	60.0%
「大学入学共通テスト」試験調査問題	65.9%		56.5%	

プレテストに比べてポストテストは、根拠を述べる記述問題の正答率が大幅に上昇している。ポストテストの問1、問2は平成29年度「大学入学共通テスト」試験調査問題と同じ問題を出題している。問1は約30%、問2は約20%全国正答率を上回った。

(3) チェックリストの記録について

チェックリスト「データの解釈」の項目a～cの自己評価の平均値を表14に示す。

表14 「データの解釈」各項目の自己評価の平均値

	a	b	c
1回目	2.32	2.32	2.12
2回目	2.75	2.67	2.63
3回目	4.57	4.30	4.35

できる…5、まあまあできる…4、ふつう…3、あまりできない…2、できない…1

項目a～c全ての値が上昇していた。1回目から2回目は平均0.43上昇、2回目から3回目は平均1.72上昇しており、後半の上昇幅が大きかった。

(4) 考察

ワークシートやノート、プレテスト・ポストテストの結果から「データを解釈する能力」が高まったことが認められた。加えて、学習前後でチェックリストの項目に含まれていないが、データの解釈を行う上で効果的な行動が見られた。具体的には、データを表だけではなくグラフで表す行動や、データ解釈で得た複数の情報を比較する行動である。

また、チェックリストの自己評価は学習の前半にはあまり変化がみられなかったが、後半に上昇した。このことから、データを解釈する能力は、チェックリストで視点を与えただけでは高まらず、繰り返しチェックリストを使用して視点を定着させ、得た視点に焦点化し、試行錯誤を繰り返す活動を行うことで高まるのではないかと考える。

3 変数を制御する能力とデータを解釈する能力の関係についての分析と考察

(1) 分析

最初に、ポストテストの不正解者についてデータを示し、分析する。ポストテストの記述問題で正答率が低かった問題は、変数を制御する能力を測る問題では、第1問・問1で不正解者5人であった。データを解釈する能力を測る問題では、第2問・問2の根拠記述で、不正解者7人、無解答者3人であった。変数を制御する能力を測る問題を間違えた5人のうち4人がデータを解釈する能力を測る問題も不正解だった。

このことから、変数を制御する能力が低い生徒はデータを解釈する能力も低い傾向があることが読み取れる。

次に、データを解釈する能力を測る第2問の記述内容の変化を次項図9に示し、分析する。なお、図

9はポストテストの第2問・問2の根拠記述問題を正解した15人のうち1人を抽出しているが、他の生徒も同様の記述内容であった。

アトロヒを持った野生型の赤色光照射下で 繁殖しているが		独立変数
図4の(B)の雌性の2つを見ると、生理食塩水噴射の 独立変数		
尿中オキシントン量はほとんど増加しないのにに対し、オキシントン噴射の 従属変数		
比較 独立変数		
尿中オキシントン量は大きく増加しているから 従属変数		

図9 プレテスト(上)、ポストテスト(下)の記述内容

プレテストでは独立変数に触れているが、従属変数として何が変化するか述べておらず不十分な解答である。一方、ポストテストでは複数の独立変数について述べており、それぞれの独立変数に対する従属変数の変化について比較して述べている。

このことから、データの解釈を記述で表現する場合、チェックリスト「実験の条件制御」の項目で取り上げた独立変数や従属変数などの変数を制御する視点を活用して解答していることが読み取れる。

最後に、チェックリストの項目全体の平均値を表15に示し、分析する。

表15 チェックリストの項目全体の平均値

	変数を制御する項目	データを解釈する項目
1回目	2.89	2.25
2回目	3.95	2.68
3回目	4.57	4.41

できる…5.まあまあできる…4.ふつう…3.あまりできない…2.できない…1

変数を制御する項目が2回目の3.95の時、データを解釈する項目は2.68に留まっている。しかし、変数を制御する項目が3回目の4.57まで上がった時は、データを解釈する項目は4.41まで上昇している。

このことから、変数を制御する項目の自己評価が「まあまあできる」程度に上がると、その後にデータを解釈する項目の自己評価が上昇する傾向があることが読み取れる。

(2) 考察

データを解釈する能力を高めるには、変数を制御する能力を高める指導を同時に行なうことが効果的である。これは、変数を制御する場面で得た独立変数と従属変数の概念を使って事象をとらえ、データを解釈するからである。特にデータを解釈した内容を表現する場面では、独立変数と従属変数に着目して

考えをまとめることで、科学的かつ簡潔に表現できるようになる。また、高校生は、変数を制御することの重要性はある程度認識しているが、活用できる生徒は少ない。活用させるためには、「まあまあできる」程度の自信がつくまで、変数を制御する能力を高めておくことが必要であり、それがデータを解釈する能力の上昇にもつながると考えられる。

そこで、チェックリストを活用すれば、次に示す効果が期待できる。まず、生徒がもっている変数を制御する能力の使い方が明確に整理され、高められて定着する。そして、チェックリストで得た変数を制御する視点に焦点化して試行錯誤を繰り返す活動を行うことで、データを解釈する能力が高められる。また、生徒が主体となって学習が進むため、教師による一方的な教授ではなく、生徒の主体的な活動の中で、目的としている能力を高めることができる。

VI 研究のまとめ

1 研究の成果

プロセス・スキルズに基づいて作成したチェックリストを活用して授業を行うことは、変数を制御しデータを解釈する能力を高めることに有効であることが分かった。

2 研究の課題

- 定性的な実験でのチェックリストの実践ができるないので、定性的な実験における有効性を確認する必要がある。
- 変数を制御しデータを解釈する能力以外の資質・能力を高める取組におけるチェックリストの有効性を確認する必要がある。

【引用文献】

- 1) 文部科学省(平成30年) : 『高等学校学習指導要領』 p.129
- 2) 文部科学省(平成28年) : 『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)』 p.145
- 3) 大鳩竜午(2015) : 「英国の科学的探究能力育成教材における変数同定の指導方法の特性—認知的活動の促進という観点からの分析—」『理科教育学研究Vol.55No.4』 p.408
- 4) 武村重和(監訳)(1993) : 「理科学習の心理学 子どもの見方や考え方をどう変容させるか。」東洋館出版社 pp.230-231
- 5) 宮本直樹(2015) : 「小・中学校理科におけるデータ解釈能力を育成するための指導法—サイエンスプロセス・スキルに着目して—」『科学教育研究Vol.39No.2』 p.184
- 6) 大鳩竜午(2015) : 前掲書p.413

【参考文献】

- 小林辰至(2017) : 『探究する資質・能力を育む理科教育』 大学教育出版