

高等学校生物におけるBio-STEM教育を取り入れたPBLによる領域横断的な科学的思考の変容に関する実践的研究

|       |  |
|-------|--|
| メタデータ | 言語: jpn<br>出版者:<br>公開日: 2018-02-28<br>キーワード (Ja):<br>キーワード (En):<br>作成者: 奥村, 仁一, 熊野, 善介<br>メールアドレス:<br>所属: |
| URL   | <a href="https://doi.org/10.14945/00024668">https://doi.org/10.14945/00024668</a>                          |

# 高等学校生物におけるBio-STEM教育を取り入れたPBLによる 領域横断的な科学的思考の変容に関する実践的研究

奥村仁一\*, 熊野善介\*\*

## The Action Research on the Changes of Scientific Thinking with Bio-STEM Education at High School Biology.

Jin-Ichi Okumura, Yoshisuke Kumano

The artificial incubations of eggs were tried for the purpose of confirming to become chicks from egg embryos. Students could recognize importance of life and difficulties of birth of a life. Also the lessons encouraged students to expand students' biological knowledge. When the embryos didn't develop from any at the chicks, all of the students were eager to try the experiment again with PBL (Project Based Learning). They tried to design and made two types of artificial incubators to solve their problems and tried to incubate eggs again by using their incubators.

As a result, to design and to make the artificial incubators, students developed many kinds of generated ideas connected to the STEM fields and also these activities made them think deeper and the cross-cutting scientific ways. Moreover the students were touched and felt the importance of wonder of a life more than ever. Through the experiences with PBL in Bio-STEM, the students were encouraged to form scientific and technological minds and attitudes.

キーワード：Bio-STEM 教育, PBL, 高校生物, 鶏の胚発生実験, デザイン

### 1 はじめに

高等学校理科「生物」の教育目標には創造性の重視や生命・自然の尊重が挙げられている。また教科等を横断した課題解決的な学習や探究的な活動の充実が重要であることが述べられている(文部科学省, 2009)。しかし幼少期より生物体験・自然体験が少なくバーチャルな情報環境に取り巻かれている現代の高校生は実体験に培われる生命観が希薄であり, 探究活動において生物や生命現象を分析的にとらえ総合的・発展的に考察することが苦手で, 取り組みも受け身的でありその後の発展的学習に繋がりにくい傾向が強い(鳩貝, 2001; 土屋, 2009)。

一方, 米国においては NGSS (Next Generation Science Standards: 次世代科学スタンダード) が 2013 年に出され, 科学教育改革が進展しており, STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) 教育が強力に推し進められている。STEM 教育では科学, 技術, 工学, 数学を領域横断的に学習することにより独創的な発想による先端科学技術開発を担う人材を養成することに主眼を置いている(長洲ら, 2016)。そしてその STEM 教育の有効な学習デザイン法として PBL が実践されている。

PBL は, NGSS に示される STEM 教育につながる 3 つの重要な要素(①科学と工学の体験的・経験的活動, ②領域横断的な概念, ③核となる考え・概念)を満たす学習方法であるとして注目されている。そして PBL では学習者が成果物を作成することで, どのような知識を獲得・活用したかや

どのように学びを深めたかを教師は知ることができ, 学習者は成果物を活用して課題解決をしたり発表したりすることで, さらに学びを深めることができるとしている(湯浅・大島・大島, 2011; Krajcik & Shin, 2014)。

これまでも高等学校理科「生物」の授業で教科書に従った「鳥類の胚の発生」についての探究活動を実施してきたが, 「観察胚(孵卵 34 時間, 46 時間)がその後ヒヨコになるとは想像できない」との内容の感想を書く生徒が毎年多数見られた。そこで生徒達は実際に雛が誕生するか確認したいとの Driving question (心をとらえる課題)を見出したため, 奥村・熊野(2016)は孵卵 34 時間, 46 時間の胚観察後も人工孵卵操作を行い, 雛の孵化・誕生を目指した生徒達による PBL を実施した。その結果, 生徒達の実践の目的である鶏雛の孵化・誕生という目的は達成できなかったが, 高等学校理科「生物」における教育目標である生命の連続性や, 発生過程の観察等を通して生命の神秘を体感しただけでなく, 命の重みや命の誕生の難しさなどの生命倫理的学習にも大きくつながったことが示唆された。また米国 STEM 教育の視点からは, 生徒の主体的学習活動から生物学的知識の拡張が起こっただけでなく, 自動転卵装置の開発の想起という更なる STEM 教育における領域横断的に課題解決しようとする思考が湧起されたと考えられた。

しかし, 前段階の実践(奥村・熊野, 2016)においては成果物を作成することにより孵卵途中の卵を観察するという Sub question (二次的課題)を解決する学習は見られたが, 鶏雛の孵化という Driving question の解決のために直接成果物を作成・活用する領域横断的な学習は見られなかった。PBL においては課題解決のために有用な成果物を作成し活用す

\*静岡市立清水桜が丘高等学校

\*\*静岡大学創造科学技術大学院・教育学部

ることが重要視されており、この視点からは前段階の実践で見られた学習活動は PBL の活動条件を十分に満たしているとは言えないと考えられた。また長洲(2016)は日本の生物教科の内容研究において、従来の生物学領域だけでなく STEM 教育の観点に基づいた現代生物学の視点を入れて展開していく必要があることを示し、日本の教育システムの文脈において実証的研究が必要であると述べている。

そして生徒達が孵化実験の再実施を強く希望したため、本実践として雛の人工孵化を目指した PBL を継続実施した。そしてどのように課題解決に主体的に取り組み、その過程でどのような思考が見られたのかについて高等学校理科「生物」の教育目標や米国 STEM 教育の視点から分析・考察を行った。

## 2 実施概要と調査方法

前段階の実践では静岡県内の公立高等学校 平成 26 年度 3 年生の理科「生物」の理系選択生 6 名(男子 2 名, 女子 4 名)を対象とし、第 4 章「生殖と発生」の単元に関連する探究活動 4「鳥類の発生の観察」(高等学校理科用生物, 数研出版 p196-199)の授業に基づく鶏雛の発生・観察実験を実施した。

孵卵準備のための学習は 2014 年 11 月 6 日からの約 2 週間を実施期間として設定したが、放課後に行われる進学補習の予定や学習塾へ行く予定などを考慮して生徒達は放課後の 5 日間を自分たちで決め、計画を立てた。また、日曜日に生徒宅に集合して半日程度の PBL を一度実施した。

孵卵期間は 11 月 20 日～12 月 6 日の 17 日間を設定し、生徒達が計画を立てた。孵卵操作終了後の振り返り学習とまとめは授業時間を 2 時間使い行ったが、それ以外の調べ学習やデザイン、資材調達や準備・作成等は授業外に生徒達が主体的に行った。

全学習活動においてなるべく 6 名全員が参加して活動するよう指示し、実施計画も全て生徒達に立案させたが、進学補習等で放課後の PBL に時折参加できない生徒が見られたり、途中で帰る生徒が見られる場合もあった。教師(授業者)はファシリテータとして生徒達の活動を見守り、必要に応じて生徒達の主体的・能動的で協働的な学習活動を促すようアドバイス等を行った。しかし他の生徒の進路指導や、部活動・会議等で、PBL に常に立ち会えない場面もあった。また日曜日に実施した PBL には、教師(授業者)は参加しなかった。

各活動後に、生徒達には活動記録を書くよう指示した。活動記録用紙には、「活動日」「氏名」「活動内容」「感想」を書く欄を作り、自由に利用できるよう理科室に置いた。ただ記入は強要せず、あくまでも能動的な活動の記録として生徒達の主体性に任せて書かせるようにした。これは生徒達が記録したい内容を自主的に記録し、最終的なデザインに生かせるように使用することを最優先の目的としたためである。

PBL が全て終了した後に、生徒の書いた活動記録の分析

を行った。定性的な分析と併せて、生徒達の全活動記録の「感想」の記述をデジタル化し KH-Coder を用いて計量テキスト分析(樋口, 2012)による定量的な分析を行った。

## 3 実践の状況

本実践開始日の放課後から生徒達は再実験のための改善策についての情報等を調べる事前学習を行った。そして翌日の放課後に、生徒達が調べた内容や改善策について考えたことを話し合った(図 1)。その結果、自動転卵装置と携帯型孵卵装置の開発・製作を行うことを決めた。

生徒達は「創意工夫」をキーワードとして挙げ、全員でアイデアを出し合い装置のデザインを行った。デザインにあたっては、科学的に思考することを促し、各自のアイデアについて提案する理由を科学的に説明すること、クリティカルシンキングを行い意見を出し合うことによってより良いものとするよう努力すること、そして最終的に全員で納得できるものにする事等を伝えた。

また製作に際しては安全面に注意を払うことに加え、材料にはなるべく身近にあるものを活用(リユース)するよう伝えた。これは、材料費をあまりかけず限られた制約の中で生徒自らが工夫していかにより良いものを作成し課題解決につなげるかを考えてほしいとの思いと、身近にあるものの中から目的に適した材料を熟慮して選ぶことによりその素材等の性質に注目するきっかけとしてほしいとの意図があったからである。この学習の視点は STEM 教育にとっても重要な観点であると考えられている。

装置の完成後、4 個を自動転卵装置に、3 個を携帯型孵卵装置に入卵し、孵卵操作を開始した。自動転卵装置による孵卵は、自分たちで作成した当番表に従って、温度・湿度(水)の確認と転卵装置の動作の確認を行った(図 2)。また携帯型孵卵装置は、日中は学校で担当教師が管理(温度・湿度・転卵)し、放課後から翌朝までは発案者でプロジェクトリーダーの生徒が持ち帰り管理を行った。

## 4 結果と考察

### 4-1 計量テキスト分析による定量的分析

生徒達の全活動記録の「感想」の記述について、KH-Coder を用いた計量テキスト分析により定量的に分析し、生徒の感想についての記述内容の全体像を考察した。

全生徒の全自由記述部分の総抽出語数 4,300 語、異なり語数 652 語のうち、頻出語分析により最も多く使われた語

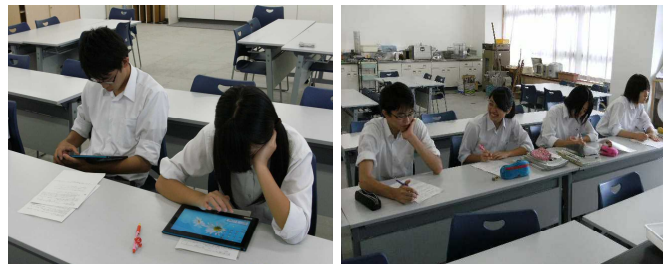


図 1 タブレットを使った調べ学習(左)と学習内容と改善策についての話し合い(右)

| 期日            | 8:00 |        | 10:35 |        | 13:00 |        | 15:45 |        | 18:30 |        |      |
|---------------|------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|------|
|               | 担当者  | 温度(湿度) | 担当者   | 温度(湿度) | 担当者   | 温度(湿度) | 担当者   | 温度(湿度) | 担当者   | 温度(湿度) |      |
| 2日 17月2日(金)   |      |        |       |        |       |        |       |        |       |        |      |
| 3日 17月3日(土)   | 清心   | 34.0   | 0     | 清心     | 37.4  | 60%    | 清心    | 37.4   | 60%   | 清心     | 37.4 |
| 4日 17月4日(日)   | 清心   | 35.0   | 60%   | 清心     | 38.0  | 62%    | 清心    | 38.0   | 62%   | 清心     | 38.0 |
| 5日 17月5日(月)   | 清心   | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0  | 60%    | 清心    | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0 |
| 6日 17月6日(火)   | 清心   | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0  | 60%    | 清心    | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0 |
| 7日 17月7日(水)   | 清心   | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0  | 60%    | 清心    | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0 |
| 8日 17月8日(木)   | 清心   | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0  | 60%    | 清心    | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0 |
| 9日 17月9日(金)   | 清心   | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0  | 60%    | 清心    | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0 |
| 10日 17月10日(土) | 清心   | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0  | 60%    | 清心    | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0 |
| 11日 17月11日(日) | 清心   | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0  | 60%    | 清心    | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0 |
| 12日 17月12日(月) | 清心   | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0  | 60%    | 清心    | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0 |
| 13日 17月13日(火) | 清心   | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0  | 60%    | 清心    | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0 |
| 14日 17月14日(水) | 清心   | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0  | 60%    | 清心    | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0 |
| 15日 17月15日(木) | 清心   | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0  | 60%    | 清心    | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0 |
| 16日 17月16日(金) | 清心   | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0  | 60%    | 清心    | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0 |
| 17日 17月17日(土) | 清心   | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0  | 60%    | 清心    | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0 |
| 18日 17月18日(日) | 清心   | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0  | 60%    | 清心    | 37.0   | 60%   | 清心     | 37.0 |

図2 孵卵管理当番表

句は「思う」(68回)、2番目に多く用いられた語句は「問題」(38回)、3番目が「卵」(36回)であることが分かった。また4番目に使われた語句は「作る」(30回)、5番目が「解決」(26回)、6番目が「回転」(23回)、7番目が「転卵」(21回)、8番目が「転卵器」(21回)、9番目は「考える」(19回)であった(図3)。このことから、生徒達の活動記録には、「卵」の「転卵」に関する「問題」を「転卵器」を「考えて」「作る」ことにより「解決」することについての「思う」ことなどが多く書かれていた可能性があると考えられた。そして特定のものを指し示す名詞以外で多く用いられていた語句が「思う」「考える」と「問題」「解決」であったことから、何らかの問題を見出し解決に向けて考えたり思ったりしたことが推測され、生徒達の課題解決に向けた学習が活発に行われたことが推察された。そこでコンコーダンス分析により「思う」の語句の使われ方を確認したところ、「良い」「生まれる」「難しい」などの文節を形成して使われている場合が多く(図4)、実際の使われ方(図5)では「転卵器を作るのが良いと思う」「調節するのが難しいと思った」などの使われ方をしていた。「考える」のコンコーダンス分析では、「工夫」「位置」「基本」「原因」「作る」「製作」などとの文脈形成が多いことが示され(図6)、「考えて工夫して問題を解決する」「原因を考える」「プーリーの位置を考える」などの使われ方をしていたことが分かった(図7)。したがって「思う」「考える」のいずれも課題やその解決についての記述に使われていたことが確認された。

定量的分析より、生徒達の活動記録の感想の記述の全体像からは、生徒達が考え工夫しながら自分達でアーティファクトをデザイン・作成し、自ら見出した課題(Driving question)の解決につなげようとしていた学習活動が見て取れた。そして再デザインや調整を繰り返しながら完成させ活用したことに関する記述が多く見られたことから、生徒達にとっては工夫しながら課題解決したことが印象に残っている傾向があるものと推察された。

#### 4-2 PBLの経過を踏まえた定性的分析

##### (1) 自動転卵装置の開発・製作による学び

教科書の探究活動「鳥類の胚の発生」の観察を継続実験として行った前段階の実践(奥村・熊野, 2016)では、孵化に失敗した際に生徒達に書かせた感想・まとめで、6名全員が再度の孵化へのチャレンジを希望していた。3名の生徒達

| 抽出語  | 出現回数 | 抽出語  | 出現回数 | 抽出語     | 出現回数 |
|------|------|------|------|---------|------|
| 思う   | 68   | 感動   | 5    | 夜       | 3    |
| 問題   | 38   | 行為   | 5    | 2つ      | 2    |
| 卵    | 36   | 使う   | 5    | いちばん    | 2    |
| 作る   | 30   | 実際   | 5    | すべて     | 2    |
| 解決   | 26   | 親鳥   | 5    | それぞれ    | 2    |
| 回転   | 23   | 製作   | 5    | たくさん    | 2    |
| 転卵   | 21   | 増える  | 5    | キャップ    | 2    |
| 転卵器  | 21   | いろいろ | 4    | スムーズ    | 2    |
| 考える  | 19   | もう少し | 4    | チャレンジ   | 2    |
| 上手い  | 19   | アイデア | 4    | バランス    | 2    |
| 温度   | 18   | 外    | 4    | ベットのボトム | 2    |
| 孵化   | 17   | 完成   | 4    | 安定      | 2    |
| 自動   | 16   | 感じる  | 4    | 違い      | 2    |
| 機械   | 13   | 管理   | 4    | 違う      | 2    |
| 工夫   | 13   | 嬉しい  | 4    | 下がる     | 2    |
| 生まれる | 13   | 協力   | 4    | 壊れる     | 2    |
| 自分   | 12   | 今回   | 4    | 改めて     | 2    |
| 失敗   | 12   | 出し合う | 4    | 滑る      | 2    |
| 調節   | 12   | 生物   | 4    | 頑張る     | 2    |
| 湿度   | 11   | 選ぶ   | 4    | 驚く      | 2    |
| カイロ  | 10   | 適度   | 4    | 繰り返す    | 2    |
| モーター | 10   | 動く   | 4    | 繰り返す    | 2    |
| 装置   | 10   | 摩擦   | 4    | 形       | 2    |
| 分かる  | 9    | 力    | 4    | 経験      | 2    |
| 原因   | 8    | 孵る   | 4    | 検       | 2    |
| 高い   | 8    | ウズラ  | 3    | 見える     | 2    |
| 今    | 8    | ゴム   | 3    | 元氣      | 2    |
| 成功   | 8    | シヨック | 3    | 減る      | 2    |
| 大きい  | 8    | ビー玉  | 3    | 行う      | 2    |
| 大変   | 8    | 意見   | 3    | 今後      | 2    |
| 知識   | 8    | 学ぶ   | 3    | 再度      | 2    |
| 良い   | 8    | 結果   | 3    | 最後      | 2    |
| 1つ   | 7    | 恒温   | 3    | 最初      | 2    |
| 実験   | 7    | 最大   | 3    | 飼う      | 2    |
| 調整   | 7    | 酸化   | 3    | 次       | 2    |
| 難しい  | 7    | 自然   | 3    | 次回      | 2    |
| 不足   | 7    | 小さい  | 3    | 手       | 2    |
| 勉強   | 7    | 人    | 3    | 授業      | 2    |
| 見る   | 6    | 水    | 3    | 重ねる     | 2    |
| 出る   | 6    | 生き物  | 3    | 上がる     | 2    |
| 少し   | 6    | 前    | 3    | 上げる     | 2    |
| 人間   | 6    | 速度   | 3    | 条件      | 2    |
| 台    | 6    | 他    | 3    | 難       | 2    |
| 様々   | 6    | 調べる  | 3    | 成長      | 2    |
| ヒヨコ  | 5    | 直接   | 3    | 素材      | 2    |
| 位置   | 5    | 的    | 3    | 総合      | 2    |
| 課題   | 5    | 当たる  | 3    | 速い      | 2    |
| 回る   | 5    | 入れる  | 3    | 台の下     | 2    |
| 改良   | 5    | 発生   | 3    | 大切      | 2    |
| 開ける  | 5    | 命    | 3    | 誕生      | 2    |

図3 生徒の感想・まとめの自由記述部分の頻出語(部分)

| Node Word                 |         |      |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |        |
|---------------------------|---------|------|----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|
| 抽出語: 思う 品詞: 活用形: ヒット数: 68 |         |      |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |        |
| Result                    |         |      |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |        |
| N                         | 抽出語     | 品詞   | 合計 | 左合計 | 右合計 | 左5 | 左4 | 左3 | 左2 | 左1 | 右1 | 右2 | 右3 | 右4 | 右5 | スコア    |
| 1                         | 良い      | 形容詞  | 6  | 6   | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 6  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0.3000 |
| 2                         | 生まれる    | 動詞   | 5  | 2   | 3   | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 2  | 0  | 1.833  |
| 3                         | 難しい     | 形容詞  | 3  | 3   | 0   | 0  | 0  | 0  | 3  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1.500  |
| 4                         | 転卵      | タガ   | 5  | 2   | 3   | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1.483  |
| 5                         | 問題      | ナ形容  | 5  | 3   | 2   | 1  | 0  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2.1267 |
| 6                         | 自動      | 名詞   | 3  | 0   | 3   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 1  | 0  | 1.250  |
| 7                         | 解決      | サ変名詞 | 4  | 1   | 3   | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 1  | 1.033  |
| 8                         | 改めて     | 副詞   | 1  | 1   | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1.000  |
| 9                         | 嬉しい     | 形容詞  | 1  | 1   | 0   | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1.000  |
| 10                        | 期待      | サ変名詞 | 1  | 0   | 1   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1.000  |
| 11                        | 作る      | 動詞   | 5  | 4   | 1   | 4  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1.1000 |
| 12                        | 不足      | サ変名詞 | 3  | 3   | 0   | 0  | 1  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0.917  |
| 13                        | 1つ      | 名詞   | 2  | 0   | 2   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0.833  |
| 14                        | 小さい     | 形容詞  | 2  | 1   | 1   | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0.833  |
| 15                        | 上手い     | 形容詞  | 3  | 3   | 0   | 0  | 2  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0.833  |
| 16                        | 出る      | 動詞   | 3  | 3   | 0   | 0  | 3  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0.750  |
| 17                        | 転卵器     | タガ   | 3  | 0   | 3   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 2  | 0.733  |
| 18                        | 他       | 名詞C  | 2  | 0   | 2   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0  | 0.667  |
| 19                        | 実験      | サ変名詞 | 3  | 0   | 3   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 2  | 0.650  |
| 20                        | 装置      | サ変名詞 | 3  | 1   | 2   | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0.650  |
| 21                        | 今回      | 副詞可能 | 2  | 0   | 2   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0.583  |
| 22                        | 孵化      | サ変名詞 | 2  | 0   | 2   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0.533  |
| 23                        | PVA     | 未知語  | 2  | 1   | 1   | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0.500  |
| 24                        | 行える     | 動詞   | 1  | 1   | 0   | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0.500  |
| 25                        | 再度      | 副詞   | 2  | 0   | 2   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0.500  |
| 26                        | 真ん中     | 名詞   | 1  | 0   | 1   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0.500  |
| 27                        | 台       | 名詞C  | 1  | 0   | 1   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0.500  |
| 28                        | 発泡スチロール | 名詞   | 1  | 0   | 1   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0.500  |
| 29                        | 卵       | タガ   | 2  | 0   | 2   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0.500  |
| 30                        | 湿度      | 名詞   | 2  | 1   | 1   | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0.450  |
| 31                        | かわいそう   | 形容動詞 | 1  | 1   | 0   | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0.333  |
| 32                        | 原因      | 名詞   | 1  | 1   | 0   | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0.333  |

図4 「思う」のコンコーダンス分析(部分)

が失敗の原因として転卵不足を挙げ、2名は既に再実施を決める前から自動転卵装置の開発を構想していた(図8)。すなわち鳥類の卵の人工孵化という Bio-STEM 教育におけ





に盛り込むことによりデザインをしていた。さらに文章では示されていないが、モーターの動力を平ゴムで伝えることも、生徒達は経験的にゴムの摩擦力が大きい事を知っていて材料を選んでいたことが聞き取り調査によりわかった。KH-Coder による定量的分析からは生徒達にとっては工夫しながら課題解決したことが印象に残っている傾向があるものと推察されたことから、活動記録を定性的に分析したところ、生物学的(STEM教育のS)や工学的(STEM教育のE)、数学的(STEM教育のM)などの発想により自動転卵装置(STEM教育のT)のデザインを行っている可能性があると推察される記述が見られた(図12, 13, 14)。このことからPBLの実践によりSTEM教育の視点における領域横断的な思考の広がりがあった可能性が示唆された。

鳩貝(2004)は体験を通してさらに科学的な学びの必要性を自覚し自主的かつ積極的な学びへと発展することが望ましいと述べている。また熊野(2013)は、STEM教育を内包

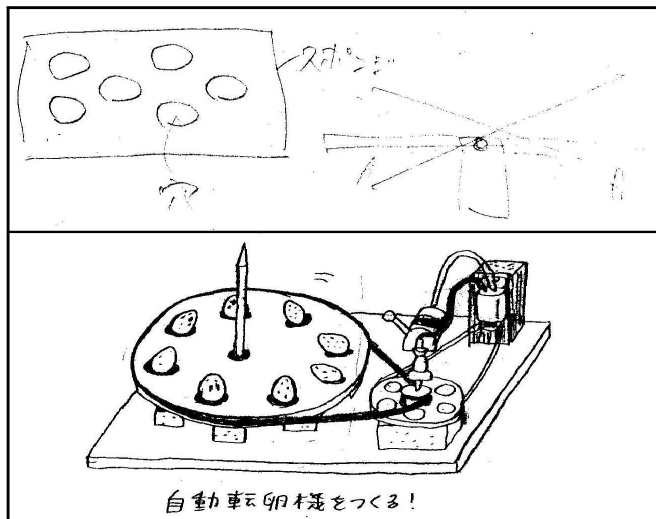


図10 自動転卵装置の2つの方式の案(部分)

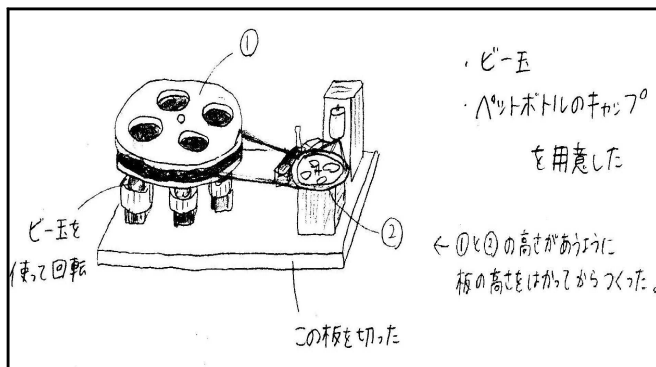


図11 生徒たちが考えた自動転卵装置の決定案(部分)

姐ウズラでも普通のウズラでも転卵できるように卵をのせる穴を大きくした

回転する速度は遅くならいより速くならい方がよい

考えて、いくつものことをからみつけた。

図12 生徒が生物学的に考えたこと(STEMのS)(抜粋)

①と②(図9)の高さが同じに作るようにした。(高さが等しいと回転がスムーズになる) 教員が考えたところではなかった。

ビー玉が転がらないようにハットボトルのキャップを用意した。

卵が回転する板と固定する板を加えた。

複数のプーリーを使用して、モーターの回転数を抑えた。

図13 生徒が工学的に考えたこと(STEMのE)(抜粋)

モーターとプーリーやサイズが違う2種類のプーリーを2つとどめどめの高さや幅などをばかり、教員として出して、質問して、トラブルなく重くするように工夫した。

プーリーと転が卵まの高さをそろえた。

図14 生徒が数学的に考えたこと(STEMのM)(抜粋)

している米国の科学教育の新しいフレームワークには、8つの科学と工学の体験的経験的活動が示されており、「探究活動の計画と遂行」「解決策をデザインする」「科学的証拠に基づいて議論したり評価したりコミュニケーションしたりする」ことが示されていると述べている。自動転卵装置が完成した日の活動記録から、生徒達は体験を通して多くの知識を得たり試行錯誤を繰り返しながら課題解決をしていると推察される記述が見られ、学びの拡張へとつながっている可能性が示唆された。またコミュニケーションを通して課題解決しながら技術(STEM教育のT)に結び付けていく学習活動を評価していると推察される記述も見られた(図15)。

しかし、まだその結果に満足せず、更なる微調整などが

私は今回こういう物を作ったのがいい、プーリーも何だか知りませんでした。何かに取りかかると知識が増える。

プーリーと円盤の高さがあわなくて、回転がうまくできなかったけど、ほとんど工夫を重ねて、回転させた。

一か所つくるのはとても大変

「どうしてこれ」みたいな質問が来たので

完成した時うれしかった。

形から音がとれるようにしてあげた

できるかと思うのが一番の楽しさ

いい思い出にしたい。

図15 自動転卵装置完成後の生徒の感想(抜粋)



必要であると考えられる生徒も見られ、課題解決の意欲が STEM 教育の活動から喚起されていることが推察された(図 16)。これらのことから、Bio-STEM 教育の PBL による学習では「高等学校学習指導要領解説 理科編」に示される科学的に探究する能力や態度の育成につながることを示唆された。

(2) 携帯型孵卵装置の開発・製作による学び

2 回目のデザイン決定報告会で、生徒達の転卵装置作成のための話し合いの過程で恒温器を使わない携帯型孵卵装置のデザインをしていたことがわかった。そもそも孵化が失敗した最大の原因は夜間の転卵の不十分ではないかとの結論に達していたため、孵卵のための加温に学校に設置されている恒温器を使わず別の方法で加温し家に持ち帰り、なるべく深夜や早朝に人手により転卵することにより転卵回数を増やし孵化を成功させるという発想であった。新たな視点での発想を大切に目的意識をもって実践させる目的で携帯型孵卵装置を自動転卵装置の製作と併せて生徒全員にデザインさせた。生徒達は調べ学習及び話し合いにより、加温には鉄の酸化熱を利用した簡易カイロを用いることや、また本体は比較的入手しやすく保温性や衝撃吸収性に優れた素材である EVA(Ethylene-Vinyl Acetate)を使うことなどを決め、デザインを行った。また、保湿や温度調節について各デザインにより様々な工夫が見られた(図 17)。本取組においても STEM 教育に該当する思考が多数みられたと推察され、生徒達の領域横断的な思考が深まった可能性があることが示されたと考えられた。

(3) 孵卵操作後の学び

2 種類の装置の完成後に孵卵を開始した(図 18, 19)。生徒達は自らが作成した当番表(図 2)に従って、温度・湿度(水)の確認と転卵装置の動作の確認を行った。その結果、孵卵 17 日目に恒温器内に入れた自動転卵装置で 1 羽の雛が孵化した(図 19 右)。しかし携帯用孵卵装置では 1 羽も孵化しなかった。

孵卵 23 日目に孵化を停止し、発生中止卵の観察と孵卵の成功や失敗についての原因について考察させた。発生中止卵の卵殻内部の観察の結果、自動転卵装置で孵卵した 4 個のうちの孵化しなかった 3 個について、2 個は発生のごく初期に 1 個は孵化直前に発生を中止したものと思われた。また携帯型孵卵装置に入卵した 3 個の有精卵はいずれも発生の初期で発生中止していたものと観察された。この原因について考えるよう生徒達に指示したところ、温度管理や

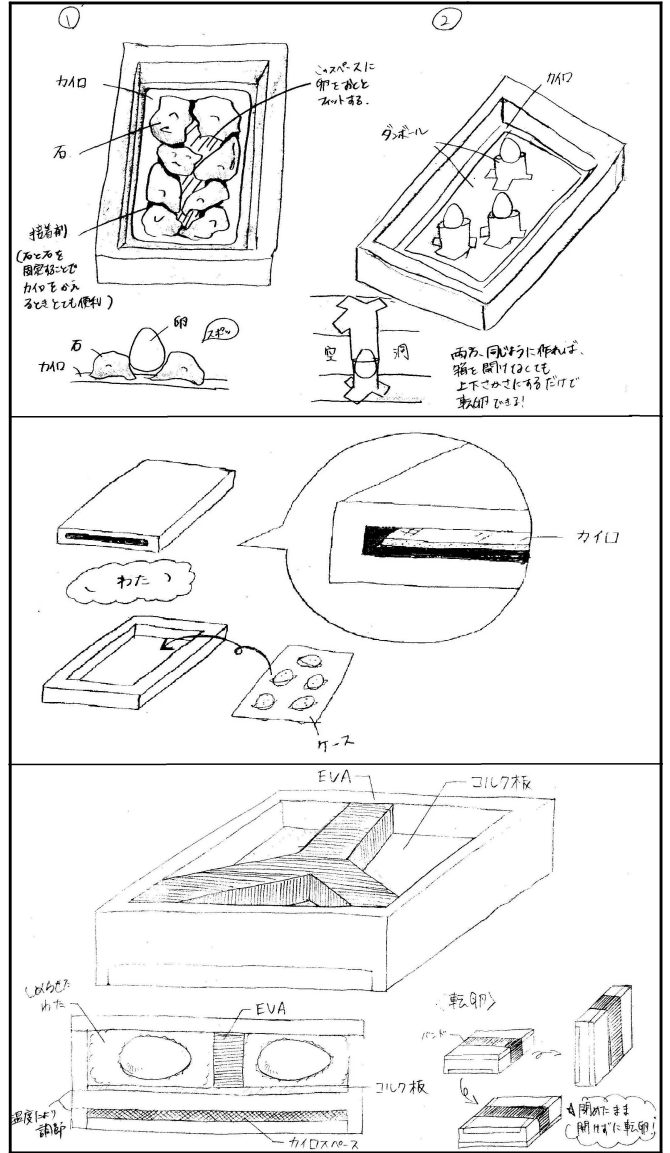


図17 携帯型孵卵装置の開発案(抜粋)



図18 携帯用孵卵装置への入卵(左)と自動転卵装置での孵化(右)

実際に自分達で何もいれこから作ってみると、いろいろバランスの問題で失敗もどかあり、(ほぼ完成に近づいたものの、複数の課題が残るものとみては、改良の余地ありと思う。

図16 課題解決の意欲が生徒自身から喚起されているの推察される記述(抜粋)



図19 完成した自動転卵装置に入卵した状態(左)と雛が孵化した様子(右)

湿度管理の不十分さや有精卵への過剰な振動刺激を原因として挙げた者がみられ、ごく初期に発生中止した卵については未受精卵であった可能性もあることなどを指摘した者もいた。しかし生徒達の記述した感想の大半は、雛の誕生についてと、装置の開発過程についてであった。生徒達にとって、自分たちの調査・学習や創意工夫による試行錯誤の取り組みの結果生み出された成果物が生命の誕生に結びついたことに対して非常に大きな驚きや感動があったことは間違いないものと思われた。そして命の誕生に感動する一方、親鳥の孵卵を人間が人工的に行うことの難しさや自然の営みの緻密さ、偉大さなどを感じていたことが読み取れた。秋山(2009)は知識だけでなく体験が重要であり、体験することが科学的思考の深まりの礎になると述べている。本実践においても、失敗体験やその失敗の克服に向けて自らが体験した苦労や努力により、喜びの感情が増し、生命の神秘や命の誕生の営みの素晴らしさを感じることができたことに気付く感想も見られた(図20)。

知恵を出し合い、孵卵の失敗を「創意工夫」で克服しようと指導していくなかで、生徒達が考え、話し合い、1つのデザインを創造していく過程において、領域横断的なSTEM教育の活用が見られたものと思われた。また生徒自身がそれに気付いていることが示唆された。そしてある生徒は感想に以下のように書いている(図21)。すなわち「**創意工夫**」をしていく中で、生徒同士が意見を出し合い**総合的に**考えて「**総意工夫**」になったと思う、と書いている。

お前のまさかどびっくりしました。とてもうれしい。やはり、生き物は計画通りに行動しなければ、誕生してくれないことが分かった。今回、ヒヨクが生まれてくれてすごくびっくりしたしとてもうれしかった。だけどこの感情は私達が今までやって失敗したからすごくうれしいのだと思います。

最初の感想としては、「感動」であった。かわいらしい外見や鳴声を見たり、聞いたことで、これが、自分たちが失敗や工夫をくり返して求めてきた景色なのだと思う。孵卵成功したことに感動を覚えた。普段の生活やテレビの中で見ると、親鳥たちの何気ない孵卵行為は、正直単純な行為に見えていた。しかし、実際は、自然の呼吸のサイクルに合わせた、物凄く緻密で、人間にはマネできない行為なのだと思う。それは実験をして失敗をくり返したからと分かってくると感動した。そしてその緻密で微妙なバランスを保ちながら行なっている孵卵行為が、鳥の遺伝子には組み込まれていて、本能的にこの行為を行う。自然や、生物産の方は、凄いものだと改めて驚きを感じさせられた。

図20 孵卵プロジェクトを終えての感想(抜粋)

このようないくつかの実験や装置制作における創意工夫は、一人でではなく、仲間と総合的な知識の中で、意見交換やアセシメントをして、トライ＆エラーを通して「総意工夫」になったと思う。

図21 孵卵プロジェクトを終えての感想より、STEMにより科学的態度が培われたと推察できる記述(抜粋)

これはまさにBio-STEM教育のPBLによる実践の中から生徒の科学的態度が培われたことの表れに他ならないと考えられ、また領域横断的に考えることの重要性について生徒自身が認識したものと考えられた。このことから、本実践でのPBLによる学習は高等学校学習指導要領解説編 理科編の教育目標に示されている「創造性の重視」「生命や自然の尊重」につながり「教科等を横断した課題解決的な学習や探究的な活動」であると考えられるのみならず、次期学習指導要領の改訂に向けて検討されている「課題の発見・解決に向けた主体的・協働的な学び」に該当する実践であると考えられた。

#### 4-3 結果のまとめ

奥村・熊野(2016)により示されている前段階での実践では、人工孵化に失敗し発生中止卵の観察を行う体験から、自然の営みの緻密さを体験的に学び命の重みを実感を伴って感じていたことが示された。一方、本実践では人工孵化に成功し生命の誕生に立ち会うことにより、大きな感動があったと思われた。そして前実践での失敗も踏まえ、生命の緻密さをより一層感じ取ったとともに自分達の創造的学習により課題解決に繋げたことに大きな感動があったものと推察された。

PBLの実践という観点からは、前段階での実践ではアーティファクトの作成・活用により孵卵途中の卵の卵殻を割らずに内部の発生状況を確認する等の学習活動は見られたが、鶏卵の孵化という課題(Driving question)自体の解決に直接繋がる成果物の作成・活用等の学習活動は見られなかった。本実践においては、2種類の転卵装置を作成し課題解決に直接的に利用した学習が見られた。PBLでは成果物を作成する過程や成果物の活用・発表が重要視されている(湯浅ら, 2011; Krajcik & Shin, 2014)。従って本実践では前段階での実践(奥村・熊野, 2016)による学習の継続実施によりPBLとしての学びの深まりがあったものと考えられた。そしてその結果、鶏雛の孵化という課題(Driving question)の解決に至った。さらにこの学習過程においてSTEM教育につながる領域横断的な思考と考えられる学びが見られ、その学びの領域も前段階の実践よりも広がりが見られたものと推察された。これは課題(Driving question)解決の過程で生ずる様々な二次的課題(Sub question)を解決していくために、考え工夫することを通じて生徒達の学びが促進されていったと考えられ、本実践のようなPBLは課題解決の過程で学びの連鎖が起こり、さらに発展的で深い学びへと結び



つく学習であることが推察された。

## 5 今後の課題

現行学習指導要領の高等学校理科において新設された「理科課題研究」は、PISA や TIMSS の国際学力調査の結果を踏まえて観察・実験や探究的な学習活動をより一層重視し充実を図る目的で設定された。そして各科目にまたがる内容に対応でき、生徒達の興味関心に応じて課題設定ができるとし、科学的に探究する能力と態度を育てながら創造的な思考力を養うねらいがあるとしている(小林, 2009)。本実践は高等学校理科「生物」の発展学習として実施したが、生徒達の設定した目的に向かって領域横断的に解決する学習を行っていたことからむしろ内容としては「理科課題研究」としての実践の方がふさわしいと思われる。また次期学習指導要領の改訂においては、「子どもたちが知っていることを使ってどのように社会・世界とかかわり、よりよい人生を送るか」という視点から課題の発見・解決に向けた主体的・協働的な学び(アクティブ・ラーニング)などが盛り込まれ生徒の能動的学習やそのプロセスが重要視することも検討されている(中央教育審議会教育課程部会, 2015)。次いで発表された「次期学習指導要領等に向けたこれまでの審議のまとめについて(報告)」(教育課程部会, 平成 28 年 8 月 26 日)では、教科「理科」の「教育内容の改善・充実」として、現代社会の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いることを指摘し、米国等における STEM 教育の推進を一例として示している。そして STEM 教育においては、課題解決型の学習やプロジェクト型の学習が重視されており、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と述べている。さらに熊野(2016)は次期学習指導要領への方向性において PBL の重要性を指摘している。一方、米国においては PBL 等が積極的に実践されており、STEM 教育の実践における中心的手段であることも示されている(Bradley-Levine and Mosier, 2014)。

したがって今後は米国では実践報告としてまだあまりみられない Bio-STEM 教育の実践(長洲ら, 2015)について、「理科」「課題研究」の両科目で更なる Bio-STEM 教育の実践を行い、日本の文脈において科学的思考の育成に有効であるかについて更に実践研究していきたい。

## 引用文献

秋山繁治(2009)「実際に『触れること』が科学的思考を育てる」『理科の教育』平成 21 年 12 月号 通巻 689 号 Vol.58, 22-25.

Bradley-Levine, J., and Mosier, G. (2014). Literature review on project-based learning. University of Indianapolis Center of Excellence in Leadership of Learning. [http://cell.uindy.edu/wp-content/uploads/2014/07/PBL-Lit-Review\\_Jan14.2014.pdf](http://cell.uindy.edu/wp-content/uploads/2014/07/PBL-Lit-Review_Jan14.2014.pdf)

中央教育審議会教育課程部会 教育課程企画特別部会(第 7 期)(2015)「教育課程企画特別部会における論点整理について(報告)」  
[http://www.next.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo3/053/sonota/1361117.htm](http://www.next.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/053/sonota/1361117.htm)

中央教育審議会教育課程部会 教育課程企画特別部会(2016)「次期学習指導要領等に向けたこれまでの審議のまとめについて(報告)」  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/gaiyou/1377051.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/gaiyou/1377051.htm)

鳩貝太郎(2001)「疑似体験世代とカエルの解剖」『予防時報』204, 20-25.

鳩貝太郎(2004)「生命尊重の態度育成に関わる生物教材の構成と評価に関する調査研究」(課題番号 13680219) 国立教育政策研究所.

樋口耕一(2012)「社会調査における計量テキスト分析の手順と実際—アンケートの自由回答を中心に」石田基広・金明哲編著『コーパスとテキストマイニング』共立出版, 119-128.

小林雅之(2009)「新科目『理科課題研究』の登場」『理科の教育』平成 21 年 10 月号通巻 687 号 Vol.58, 50-53.

Krajcik, J.S. and Shin, N. (2014). Project-based learning. In R.K.Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning science*, 2nd edition, New York : Cambridge University Press.

熊野善介(2013)「科学技術ガバナンスと STEM 教育—日本におけるガバナンス論とアメリカにおける新たな科学教育改革からの観点—」『科学技術ガバナンス形成のための科学教育論の構築に関する基礎的研究』(基盤研究 B 研究課題番号 23300283).

熊野善介(2016)「教育の新しい潮流と次期学習指導要領を支えるエネルギー環境教育実践」日本エネルギー環境教育学会編『はじめてのエネルギー環境教育』エネルギーフォーラム, 51-62.

文部科学省(2009)「高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編」  
[http://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_icsFiles/fieldfile/2010/01/29/1282000\\_6.pdf](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/fieldfile/2010/01/29/1282000_6.pdf), 2009.

長洲南海男(2015)「米国の革新的科学/技術・工学/数学教育の解明—日本の教育改革へのビジョン提言—」(基礎研究 C 研究課題番号 24531219)最終報告書.

長洲南海男(2016)「教科と内容構成進ビジョンの解明—米国・欧州 STEM・リテラシー教育との比較より」(基盤研究 B 課題番号 15H03493) 第 1 回中間報告.

奥村仁一・熊野善介(2016)「高等学校生物の胚発生実験での Bio-STEM 発展学習における生徒の生物学的知識の拡張や科学的思考の変容についての実践的研究」『科学教育研究』, Vol.40, No.1, 21-29.

土屋敦(2009)「ドライ・ラボを活用したラットの解剖—外部研究機関との連携を通して」『理科の教育』平成 21 年 12

月号通巻 689 号 Vol.58, 16-18.  
湯浅且敏・大島純・大島律子(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』16, 15-22.