

高等学校生物基礎におけるPBL (Project-Based Learning) の デザイン研究

— IQWST の枠組みを視点として —

西井 陽一

金沢大学大学院教職実践研究科

【概要】本研究では、高等学校生物基礎におけるPBLをデザインし、授業実践を通してその有効性を検証することを目的とする。研究方法は、(1)生物基礎全体のカリキュラムをIQWSTの枠組みを参考に再編成し、(2)生徒が問い合わせを生成し、問題解決や統合された知識の形成プロセスを分析することである。主な研究成果として、(1)については、生徒の個性や思考を可視化し、自ら学びを深める生物基礎の新しい指導の枠組みと方法をデザインした。(2)については、生徒が生物学的な問い合わせを立て、他者の思考を取り入れながら独自の視点で探究する姿勢が見られ、また、探究の過程で「主体的に学習に取り組む態度」をもとに、生命に関する事物や現象について統合された知識を形成する生徒が観察された。本研究を通して、高等学校生物基礎でのPBLの授業は、現実世界の重要な課題に対して自ら「問い合わせ」を立て、独自の視点で考察し、主体的・探究的に問題解決し、責任ある行動をとる能力である「エージェンシー」の育成に寄与しうることが示唆された。

I 問題と目的

1. 問題

(1) 研究の背景

変化の激しい現代社会では、自ら課題を見出し、主体的・探究的に問題解決することが求められる。このような能力は「エージェンシー (Agency)」とよばれ、OECD Learning Compass 2030においても中心概念として位置づけられている。「エージェンシー」とは、『変化を起こすために目標を設定し、振り返りながら責任ある行動をとる能力』(OECD, 2019: 6)と定義される。

高校の理科教育では、学習内容が高度化・抽象化され、教員が知識の伝達に偏重する傾向があり、生徒の興味や主体的な学びが見落とされがちである。このため、従来の教育モデルは、知識伝達中心で脱文脈的な性格が強く、他の生徒との関係を編み直す機会も希薄となり、「学びの疎外状況」が形成されている。

「エージェンシー」を育成するためには、生徒が主体的・探究的な問題解決を通して、有意義で柔軟な知識のつながりを持てるような学習内容と方法を検討することが必要である。

(2) 統合された知識

主体的な学びを支える基盤となるのが、「統合された知識」である。統合された知識とは、生徒が科学的知識と実践を応用して、現実世界の現象を適切な科学的アイディアで説明したり、複雑な問題に対する解決策を提案したり、必要に応じてさらに新しいアイディアを学んでいくことを可能にするものである (Krajcik, 2022:5)。本研究では、統合された知識を『「知識・技能」「思考力・判断力・表現力」「学びに向かう力、人間性」を結び付けたもの』と定義する(図1)。



図1 統合された知識

このことに関して、クレイチェックが主宰した IQWST (Investigating and Questioning our World through Science and Technology) では、統合された知識を身につけるために、「核となるアイディア (core idea)」「横断的な概念 (crosscutting concept)」と「実践 (practice)」を結びつけることを重視している（図2）。



図2 学習内容と実践を結びつける

「横断的な概念」とは、すべての科学分野に共通し、現象を考察するための異なる見方を提供する重要な考え方である (Krajcik, 2022: 15)。例えば、「エネルギーと物質 (energy and matter)」「原因と結果 (cause and effect)」などが含まれ、これらの概念を通じて、学習者は科学現象の関連性に気づき、分野の違いを超えた理解を深める。「状況的学習論」の視点では、学習者は現象を説明するために「核となるアイディア」を発展させ、適切な科学的アイディアに適用させる実践に参加する必要がある。授業では、科学的な考え方を学ぶことと実践を組み合わせ、パフォーマンスベースの学習目標を作成し、生徒と共有する(図3)。

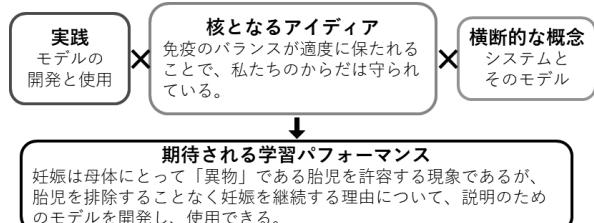


図3 パフォーマンスベースの学習目標

(3) IQWSTにおけるPBL

生徒に、教科の重要な考え方や実践について、統合された知識を身につけさせる取り組みの1つが PBL(Project-Based Learning)である。クレイチェックは、科学教育の新しいスタンダードとカリキュラムの設計を目指し、ミド

ルスクールでのプロジェクトである IQWST を主宰した。IQWST における PBL には以下の 6 つの特徴がある (Krajcik, 2022:75-76)。

- ① 単元を貫く問い合わせ (学習を駆動させる問い合わせ)
 - ② 学習目標 (上述) の焦点化
 - ③ 科学的実践への参加
 - ④ 協働 (collaborative activities)
 - ⑤ 学習支援へのテクノロジツールの活用
 - ⑥ 駆動質問に対するアーティファクト
- このうち駆動質問の設定が、PBL 全体の品質を保証する上で最も重要なものになる。優れた駆動質問は、①実行可能、②価値あるもの、③文脈化、④意味あるもの、⑤持続可能、⑥倫理的なる特徴を有する (大貫, 2015: 43)。

2. 本研究の目的

本研究では、高等学校生物基礎のカリキュラムを、IQWST の枠組みを参考とし、筆者自身のオリジナルな工夫を加えて PBL 仕様にデザインし、実践する。そして、この PBL の実践が、生徒が自ら生物学的な問い合わせ (Q)を見出し、問題解決に主体的に取り組み探究する (I) 姿勢や統合された知識の形成にどのような影響を与えるかを分析する。これらを総合して、PBL の有効性を検証することを目的とする。

II 研究方法

1. 研究方法

生物基礎全体のカリキュラムを、ミドルスクール向けの IQWST の枠組みを参考に再編成する。本研究では、科学的な問い合わせの生成に焦点を当て、単元全体を貫く文脈を駆動質問によって設定し、各単元の内容が「探究を通して学び」を促す構造となるようデザインする。そして、生徒が問い合わせを生成するプロセスや問い合わせに対してどのように取り組むかを観察・記録し、駆動質問に対する答えから、知識がどのように統合されているかを分析する。

生物基礎は 1 ~ 4 章で構成されている。ここでは、3 章をもとに PBL 仕様にデザインされた単元構成イメージを説明する (図4)。3

章では、「さまざまな環境に対応するために、体内は生物にどのように作用するのか？」を駆動質問として与える。この駆動質問について、授業での問い合わせを通して単元全体で探究する。IQWSTに基づいたPBLとして、最も際立つ特徴は駆動質問ボードである。授業において生徒の中に生じた疑問や知識を、駆動質問ボードで拾い上げ、全体共有する。そして、この駆動質問ボードをより豊かにする工夫として、振り返りにおいてOPPシート(One Page Portfolio)を活用する。OPPシートの内容を抽出して駆動質問ボードを作成し、駆動質問ボードから授業での問い合わせにつなげたり、駆動質問間に立ち返ったりする。最終的には、駆動質問に対する答えとなる自身の考えをアーティファクトとして創造する。このように単元全体を通して駆動質問について探究するために、カリキュラムマップを生物基礎全体で作成した(図5)。

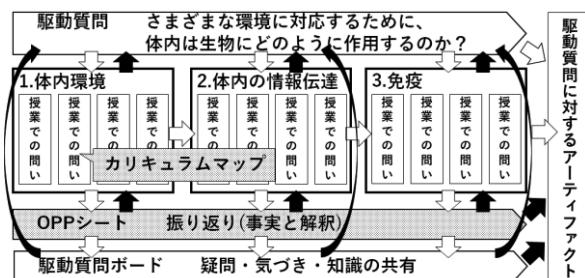


図4 3章のPBL単元構成イメージ

また、教室(生物講義室)前方には、授業と関連するテーマを扱った書籍を配置することで、リーディング環境を整えた。

このように、カリキュラムマップによる単元を通した一貫性を形成することで、生徒は学んだ知識を関連付けて統合しやすくなる。また、OPPシートと駆動質問ボードを組み合わせることで、個々の関心に基づいた学びを実現する。上述の2点は筆者のオリジナルの工夫であり、高校の生物基礎で探究する姿や統合された知識の形成に有効であると考えた。

2. 研究の対象、計画、検証方法

(1) 研究の対象

対象校：県立普通科高等学校

対象科目：生物基礎(2単位)

対象コース：2年生理系(表1)

クラス	生徒数	週時数	期間
21H (特進クラス)	3名	4時間	半期
22.23H合同 (普通クラス)	28名		

表1 研究の対象

(2) 実践研究の期間

生物基礎の全単元でPBL授業を実践する(表2)。ここでは、3章の「ヒトの体内環境の維持」の単元を中心に説明する。

月	単元	駆動質問	時間
4	1章 生物の特徴	生物とは何か？生物をどのように定義するか？	8時間
5	2章 遺伝子とそなはたらき	生物はなぜ、そのような形や性質を持っているのか？	13時間
6	3章 ヒトの体内環境の維持	さまざまな環境に対応するために、体内は生物にどのように作用するのか？	13時間
7	4章		
8	生物の多様性と生態系	多様な生物と環境はどのようにつながり、影響を及ぼしているのか？	13時間
9			

表2 授業計画

(3) 検証方法

授業で使用したワークシート、OPPシート、駆動質問ボード、アーティファクトとともに、PBLの有効性を検証する。

III 実践経過

1. カリキュラムマップの作成

IQWSTに基づくPBLでは、文脈に沿った環境を原則としており、これにより生徒にとっての意味と学問的価値を両立させている。本研究では、意味と価値の両立を図る工夫として、授業における「問い合わせ」を3種類に分類した(表3)。

素朴な問い合わせ	生徒の文脈に結び付け、興味・関心を高める問い合わせ。生徒にとっての意味。
生物学的な問い合わせ	文化的な価値のある学問的問い合わせ(教科書レベルの内容)。
つなぐ問い合わせ	生徒にとっての意味と学問的価値をつなぐ問い合わせ(深い学習)。日常や社会とのつながりを考える。深い学習に必要なのは、学習者が新しいアイディアや概念を既存知識や先行経験と関係づけることである(ソーヤー, 2018)。

表3 問いの分類

駆動質問をもとに、3種類の問い合わせ、科学的実践、目標となる学習パフォーマンスを取り入れてカリキュラムマップを作成した。図5は、3章のものである。こうした作業により、既存の生物基礎のカリキュラムを解体せずにPBL仕様への組み換えが可能となった。

生物基礎をPBL仕様に組み替える際に、本研究で最も意を注いだのは、生物基礎全体が一貫性を持つようにすることである。生物基礎では、「多様性と共通性」の視点から生命に関する自然の事物・現象を理解し、分子から生態系までの階層性を学ぶ。生物基礎の各単元の学習内容は生物学の学問的な視点において一貫しているが、科目全体の学習内容の一貫性は十分に保障されていない。本研究では、科目全体の文脈を形成するために、1章で扱う「生物の特徴」を他の章の単元の学習にも明示的に位置づけつつ、各単元の学習内容の接続をはかり、科目全体を通して「生物の特徴」の素朴な観念が段階的に洗練されるよう工夫した（表4）。

単元	生物の特徴
1章	・細胞でできている ・エネルギーを利用する
2章	・DNAを持つ ・自分と同じ構造を持つ個体をつくる
3章	・体内を一定の状態に保つ ・変化への受容と反応
4章	・変化への受容と反応

表4 科目全体の一貫性を生み出す

本研究では、学習内容のみならず、授業の流れにおいても、3種類の問い合わせにより一貫性を持たせた（図6）。

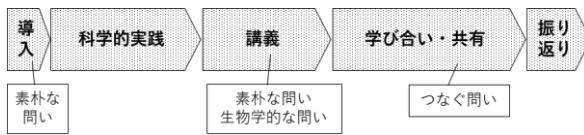


図6 問いによる授業の流れの一貫性

まず、導入において、素朴な問い合わせをして投げかけ、生徒の文脈に結びつけることで興味・関心を高める。これを受け、授業では、生物学的な考え方を学ぶことと実践を一体とした活動（科学的実践）を重視し、素

朴な問い合わせと生物学的な問い合わせを往還しながら、核となるアイディアを含む生物学的な考え方を学ぶ。科学的実践では、実験・観察に加えて、資料をもとに考察する活動を取り入れた。また、グループでの協働として学び合いを行い、「つなぐ問い合わせ」について探究することで、未知の学習内容を既存知識や先行経験と関係づけながら、新しいアイディアの開発につなげるようとした（図7、8）。



図7 学び合いにおける生徒の様子



図8 学び合いにおいて考えを共有する

2. OPPシートの作成

毎時間の授業後、生徒は事実と解釈に分けてOPPシートに学習履歴を記入する。（表5、図9、10）。

事実	<ul style="list-style-type: none"> ・どんなことを学んだか？ ・あなたは何をしたか？ ・印象に残った発言、出来事は？ ・不思議に思ったことは？
解釈	<ul style="list-style-type: none"> ・あなたはどのように捉えているか？ ・あなたが1番大切だと思ったことは？ ・それはどんな意味があるか？ ・なぜそこに注目したのか？

表5 OPPシートにおける事実と解釈

日付	6月1日	6月1日	6月1日
事実	植物に根や茎葉などの構造が存在している。根葉下部から葉が広がっている。ホウズキの葉が大きい。	根葉下部から葉が広がっている。ホウズキの葉が大きい。	インスリンが血糖値を下げている。汗液に尿素が混じる。
解釈	根葉下部から葉が広がっている。ホウズキの葉が大きい。	根葉下部から葉が広がっている。ホウズキの葉が大きい。	汗液に尿素が混じる。
日付	6月2日	7月1日	7月1日
事実	植物の根や茎葉などの構造が存在している。根葉下部から葉が広がっている。ホウズキの葉が大きい。	微生物は細胞に作用する。ナチュラルライターやリサイクルで使うこと。	汗液に尿素が混じる。
解釈	根葉下部から葉が広がっている。ホウズキの葉が大きい。	微生物は細胞に作用する。ナチュラルライターやリサイクルで使うこと。	汗液に尿素が混じる。
日付	7月1日	7月1日	7月1日
事実	微生物は細胞に作用する。ナチュラルライターやリサイクルで使うこと。	汗液に尿素が混じる。	汗液に尿素が混じる。
解釈	微生物は細胞に作用する。ナチュラルライターやリサイクルで使うこと。	汗液に尿素が混じる。	汗液に尿素が混じる。

図9 OPPシートの全体イメージ

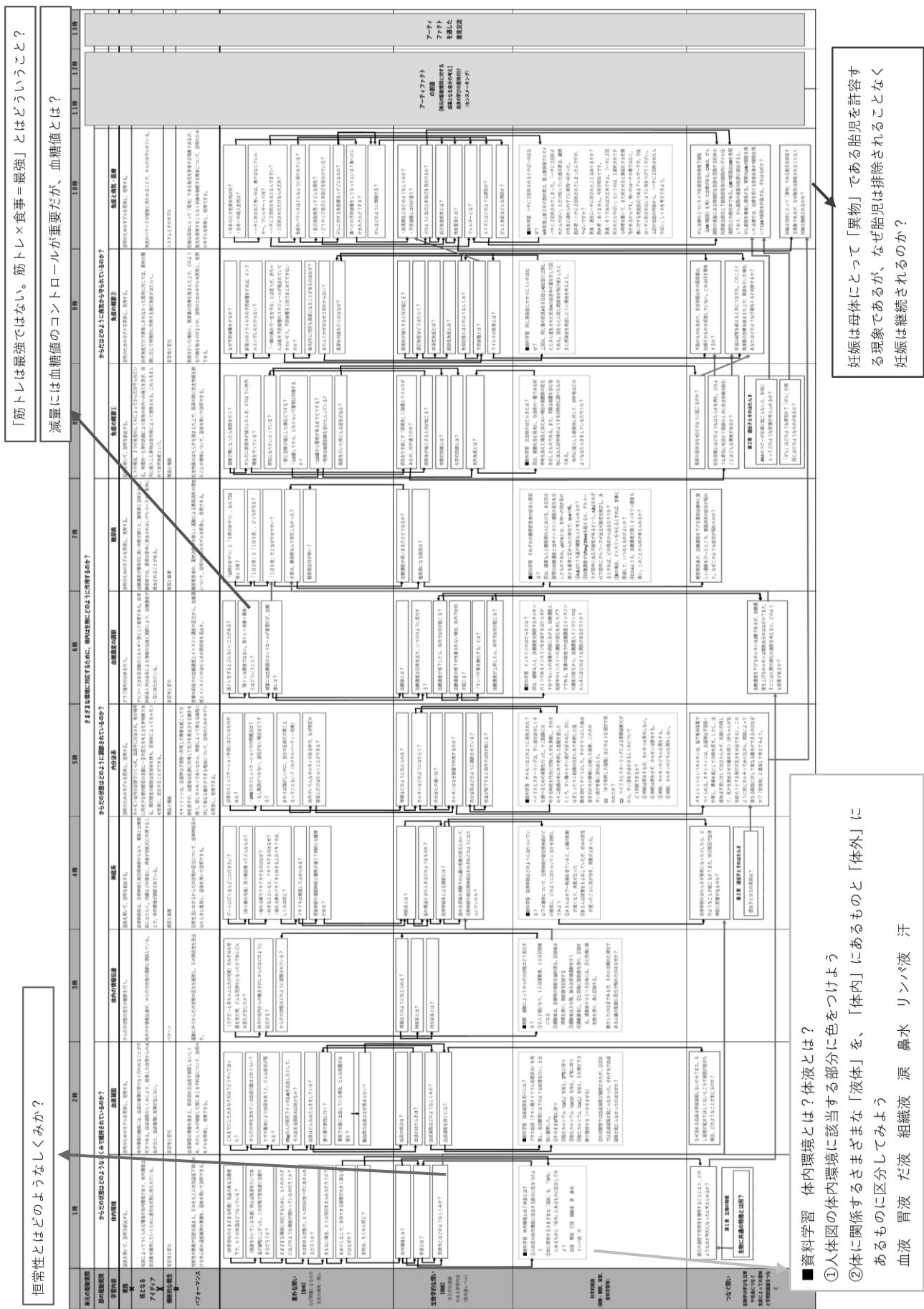


図5 3章のカリキュラムマップ 素朴な問い合わせ（左上）、生物学的な問い合わせ（左下）
つなぐ問い合わせ（右上）、科学的実践（右下）の一例を示す

■ 資料學習 体内環境とは？体液とは？

- ①人体の体内環境に該当する部分に色をつけよう
②体に関係するさまざまな「液体」を、「体内」にあるものと「体外」に
あるものに区分してみよう

日付	6月17日
事実	身体的・精神的なストレスにより自律神経が乱れる。交感神経は恋する乙女の気持ち、副交感神経は5限の授業
解釈	試合前にあった尿意が試合中に気にならない理由がわかった。交感神経は人それぞれで発動される時間に差があるのかきになった

図 10 OPP シートの記入内容例

OPP シートはスプレッドシートで作成し、全生徒と共有されている。授業後に、筆者がフィードバックのコメントを書き込んだ。

なお、以降 OPP シートの記入内容を示す際は、余白を削除して掲載している。

3. 駆動質問ボード

授業において、生徒の中に生じた知識や疑問、気づきを、駆動質問ボードに拾い上げ、全体共有する。OPP シートの内容を付箋に書き写して、ホワイトボードに貼り、駆動質問ボードを作成した（図 11）。その際、3色の付箋を用い、内容のつながりを矢印で表現した。

- ①講義で獲得した知識（ピンク色）
似た内容はまとめる。
- ②自分で導き出した知識（黄色）
- ③疑問・感想（薄水色）
疑問はすべて記載する。

また、遡及的考え方（青色）として生徒自身による書き加えも、2章以降追加した。遡及的考え方とは、過去の自分・他者の疑問に答えたり、考えを訂正したりするものである。

授業は生物講義室で行われ、作成した駆動質問ボードは教室内に常に配置されている。



図 11 3 章の駆動質問ボード (22.23H)

4. アーティファクトの創造

单元末には、駆動質問に対する答えとなる自身の考えを、アーティファクトとして創造する。アーティファクトとは『授業を通じて

構成した知識を外的に表象したもの』である。生徒は、OPP シートを見返したり、駆動質問ボードを眺めたりしながら（図 12）、学びの過程を振り返り、それぞれで課題となる問い合わせを設定し、探究を行った。



図 12 駆動質問ボードを眺める生徒

文献や ICT を用いて調べ、クラスの友人と議論しながら、Google スライドを用いて成果をまとめた。

そしてアーティファクトの発表会を行い、生徒それぞれがループリックを用いて相互評価を行った。なお、21H ではクラス全体で発表会を行い、22.23H ではクラスを 3 グループに分け、発表会を行った（図 13）。



図 13 22.23H の発表会全体の様子

5. アーティファクト評価用ループリック

学習目標の達成度を判断するため、【評価の観点（規準）】と、観点の尺度を 4 段階に分けて文章で示した【評価の基準】からなるアーティファクト評価用ループリックを作成した（図 14）。ループリックは、2 章以降、生徒に事前提示を行い、目指すべき方向性を共有した。また、ループリックの作成にあたっては、生物専門の同僚 D 教諭と相談しながら評価ごとに修正を加え、生徒の実態に応じたものへと改善していった。このループリックについては、本研究の対象外である 2 年生文系の生徒（200 名程度）が創造したアーティフ

アクトの評価や生徒間の相互評価に用いることで、信頼性と妥当性を高めている。

評価の観点	観点について	S	A	B	C
テーマ設定					
知識・理解					
意見の提示					
根拠					
駆動質問に対する答え					
論理的構成					
創造力					

図 14 評価用ルーブリックの概要

6. 抽出生徒について

ここでは、クラス全体での学びのプロセスを分析するとともに、個人の活動の様子や変容にもズームインしながら分析を行う。

(1) 抽出生徒について

①抽出生徒 A

成績は上位に位置し、授業中はじっくりと考察し、自身の考えを丁寧に記述する。また、自身の考えを積極的に発言し、他者と活発に意見交換を行う。OPP シートには自身の理解や新たな気づきを積極的に記入し、学習内容への内省的な姿勢がうかがえる。

②抽出生徒 B

成績は中位に位置し、授業中は自らの考えを試行錯誤しながら短く簡潔に記述する傾向が見られる。理解が難しい内容については相談する姿勢があるものの、自身の考えを積極的に発言する場面は少ない。OPP シートには、素朴な疑問も積極的に記入する。

③抽出生徒 C

成績は下位に位置するが、授業中には自分の考えをじっくりと検討しながら記述する姿勢が見られる。ただし、考えをうまくまとめることには課題がある。一方で、理解が難しい内容については積極的に相談し、自身の考えを述べる場面も観察される。OPP シートには素朴で安直な疑問を記入することが多いが、質の高い疑問を記入することもある。

(2) 抽出生徒 A の授業での様子

①OPP シート

1 章の学習では、「〇〇が分かりました」という単純な表現が多かったが（図 15）、徐々に学習内容について自分がどう捉えたかを丁寧に表現するようになった（図 16）。

日付	4月17日
事実	眠っていてもエネルギーが消費していることを初めて知りました。ATPはエネルギーを受け渡すときに働くと分かりました。
解釈	ATPはあらゆる生物がエネルギーの元として持っている物質で、ATPがあるということはそこに生物がいることを示すと分かりました。

図 15 生徒 A の 1 章の OPP シート

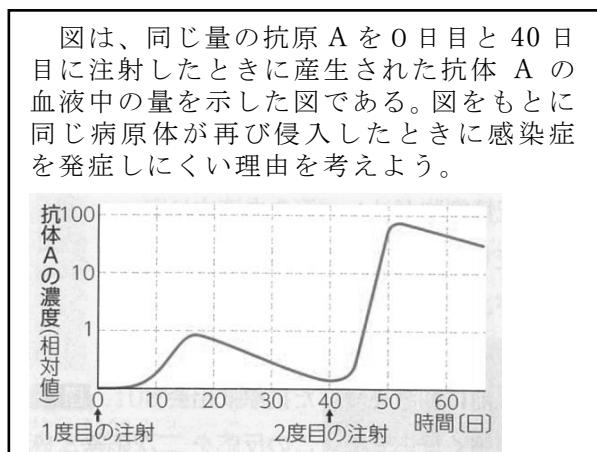
日付	6月19日
事実	風邪で熱が出るのは免疫細胞を活性化して細菌を殺すために炎症反応が起こるから。風邪の症状は異物を体内から出そうとして起きる。
解釈	病原微生物に感染した場合は抗生物質による治療が必要になるが、ウイルス感染には抗生物質は必要ない。だから、風邪を引いたときに抗生物質を飲んでも効果がない。

図 16 生徒 A の 3 章の OPP シート

初期には単なる事実的知識を記述しているが、次第に自分が経験する事象を、生物学的な根拠や因果関係に基づき論理的に理解しようとする主体的な学習姿勢へと変容している。

②科学的実践（資料学習）

資料学習については、9 時の授業において、グラフをもとに同じ感染症にかかりにくい理由を考察した活動を説明する。



抗体 A の濃度が「高く、
2度目の方が」「
感染してから作用するまでの時間が
短くなるから。」

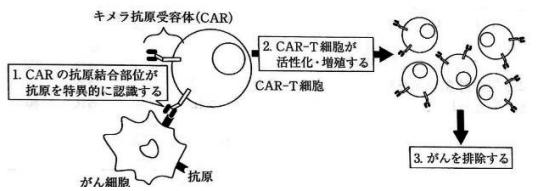
図 17 生徒 A の資料学習の記述

抗体の量と時間に着目して分析し、証拠を用いて説明できている（図 17）。生徒 A は自身の考えを説明することで、問題の解決に参加し、責任を果たしていた。

③つなぐ問い合わせ

10 時の授業において、社会とのつながりを考える目的で、最新の研究を題材として扱う大学入試問題をソースとした、つなぐ問い合わせについて説明する。

がん治療の 1 つにキメラ抗原受容体発現 T 細胞 (CAR-T 細胞) 療法がある。CAR-T 細胞は、T 細胞を遺伝子組み換えして作製され、CAR を発現している。CAR-T 細胞はがん細胞の表面にある特徴的な抗原を認識して結合すると、がん細胞を傷害し排除する。実際の CAR-T 細胞療法では、治療を受ける患者自身の T 細胞を用いて CAR-T 細胞を作製するが、それはなぜか？《2023 大阪大改》



他人と自分で MHC が違うため受け入れられずCAR-T 細胞がはかられてしまうから。

図 18 生徒 A のつなぐ問い合わせの記述

本時の学習内容との「共通性」から MHC に着目し考え、グループで話し合いながら、説明のためのモデルを開発した（図 18）。

（3）抽出生徒 B の授業での様子

①OPP シート

1 章の頃から疑問に思うことを積極的に記述していたが（図 19）、徐々に自ら調べたり、自身の文脈や先行経験に結び付けて考え、気づきや疑問を表現するようになった（図 20）。

日付	4/16
事実	脊椎ができた原因、目的を知ることができた。それについてインターネットを使って調べることができた
解釈	祖先が脊椎いいな、と思ったから脊椎を持った子供を増やしたのかなと思った。どうやってその特徴を受け継がせたのか不思議だと思った。

図 19 生徒 B の 1 章の OPP シート

日付	6/13
事実	運動をすると心拍数が上がると同時に息切れや、体が熱くなってくる。
解釈	運動したときもそうだけど、緊張したときにも心拍数が上がるのはなんでなんだろうと思った。

図 20 生徒 B の 3 章の OPP シート

学習内容を自分事として捉えるだけでなく、日常生活における事象を、生物学的な根拠や因果関係に基づいて再解釈しようとする視点を身に付けた。

②科学的実践（資料学習）

グラフをもとにした考察。

2 回目の方がはやく多くの抗体がつくられる。

図 21 生徒 B の資料学習の記述

抗体の量と時間に着目して分析し、証拠を用いて説明できている（図 21）。グループでも、他者からの共感を得られると、自分なりの考えを提示し、問題の解決に参加していた。

③つなぐ問い合わせ

大学入試問題をソースとした探究。

体に異物とみなされ拒絶反応が攻撃されないようになりますため。

図 22 生徒 B のつなぐ問い合わせのメモ

生徒 B は、早々に答えに近いメモをまとめていた（図 22）。筆者も驚いたため、理由を聞くと、「2 章で iPS 細胞を調べて、iPS も自分の細胞で作らないといけないので、同じ理由かと思いました。」と答えた。2 章で探究した内容と未知の内容を結び付け、「共通性」を見出し、説明のためのモデルを開発した。また、グループの考え方として自身の考えをホワイトボードにまとめることで（図 23）、問題の解決に参加し、責任を果たしていた。

自分の細胞を使うことで MHC が同じ CAR-T 細胞ができる、体に異物とみなされず攻撃されないため。

図 23 生徒 B のグループのホワイトボード

(4) 抽出生徒 C の授業での様子

①OPP シート

1 章の頃から素朴で安直な疑問を積極的に記述していたが（図 24）、次第に学習内容を自分なりに深く咀嚼し、既存の知識と関連付けた疑問を明確に表現するように変容している（図 25）。

日付	4月16日火曜日
事実	すべての生物は共通の祖先が進化した
解釈	全世界の人は何かしらの共通点があるのか疑問に思った

図 24 生徒 C の 1 章の OPP シート

日付	7月4日
事実	アレルギーは自分自身の免疫が過剰に反応することで起きてしまうもの。
解釈	アレルギーは大人になるにつれて治るものもあると聞いたことがあるが、治るものと治らないものの違いは何なのか疑問に思った。

図 25 生徒 C の 3 章の OPP シート

②科学的実践（資料学習）

グラフをもとにした考察。

1回目の注射と2回目の注射とのときに
つかわされた抗体の量と比べると1回目は少なくて1回目時間かけてそれがまだ
つかわるけど、2回目は矢印時間でタマの抗体がつかれましたこの
3回目には病原体が入りこむとしても、早く、タマの抗体がつかれましため、
同じ感染症にかかりにくい。

図 26 生徒 C の資料学習の記述

抗体の量と時間の 2 つに着目して分析し、証拠も示しているが、問われている内容に対して的確に答えることはできていない（図 26）。グループ内で、自信が持てない点でも自分なりに考えを提示することで、問題の解決に参加していた。

③つなぐ問い合わせ

大学入試問題をソースとした探究。

自分がもつMHC抗原と異なるMHC抗原が一斉にいたると、飛んで来たCAR細胞がもつてもMHC抗原に攻撃されてしまうから。

図 27 生徒 C のつなぐ問い合わせの記述

生徒 C は、現象を説明する正しいモデルの開発には至らなかったものの、本時の学習内容との「共通性」から MHC に着目し、知識

を活用して考察していた（図 27）。

IV 考察

1. OPP シート

1 章では、生徒に生じた疑問には、直接答えないようにコメントを返していたが（図 28）、2 章以降はすべての疑問に答えてコメントをするように変更した（図 29）。

日付	4月22日
事実	生物は共通して ATP をもっている 金属などの生物以外は持たない
解釈	細胞にも発生するという点は体内に潜伏したり 感染しているときにエネルギーを消費しているんだと思う マラソンランナーや10種競技の人たちは電池「ATP」の容量が多いと思った

西井陽一 13:21 4月22日 ✓ :

ATP の容量が多いのだろうか？調べてみると面白そうだね

図 28 1 章の OPP シートの筆者コメント

日付	7月4日
事実	母体の幼児が守られるのは免疫機能が働くから アレルギーは免疫の強さで決まる
解釈	個体特有のタンパク質である MHC 抗原が人によって形が異なる理由が気になった

西井陽一 10:36 7月5日 ✓ :

私たちの細胞の表面には、MHC という糖タンパク質がたくさん発現しています。ヒトにおける MHC のことを HLA (Human Leukocyte Antigen; ヒト白血球抗原) といいます。HLA はヒトの中でも最も個人差があると言われています。HLA を発現させる遺伝子は 1 万種を超える型が知られています。その遺伝子の組み合わせにより、HLA 分子の構造が変わるために、非常に多様性に富んでいます。

図 29 3 章の OPP シートの筆者コメント

コメントの仕方を変えたことにより、OPP シートの対話機能が向上し、生徒がより疑問や気づき、自身の文脈に結び付けた内容を記入するようになった。この変化は、生徒一人ひとりの疑問に丁寧に向き合い、尊重する姿勢が、生徒の安心感に寄与したと考えられる。OPP シートは探究のための「問い合わせ」の生成のもとになる疑問や気づきの表出に有効であることが示唆される。また、OPP シートは常に共有されているため、休み時間などにコメントを確認する生徒が多く見られるようになった。OPP シートにより、生徒が授業時間外にも生物学の学びに関心を示すようになった。

2. 駆動質問ボード

駆動質問ボードを簡略化し、再編成した図を示す（図 30）。図では、獲：講義で獲得した知識、導：自分で導き出した知識、疑：疑問・感想、遡：遡及的考え方、数字は付箋の枚

数を示すものとする。クラス全体で知識や疑問、気づきのネットワークが形成され、その可視化を通して学びが促進されている。全体として疑問や気づきが多く見られるが、特に学習内容が生徒自身の文脈に結びついた際に疑問や気づきが増加する傾向がある。また、駆動質問ボードは、複数の生徒の生々しい声が重層的に組み込まれ、関係が編み直されて生成し、対話的性格も備えて機能している(図31)。その結果、ある生徒の疑問や気づきが、他の生徒の「思考の道具」として利用されている。生徒たちは休み時間にも駆動質問ボードを眺めて議論しており、自らの学びに関わる責任感や主体性が身についている。

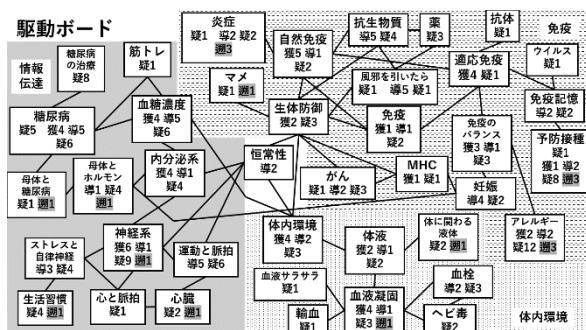


図 30 駆動質問ボード簡略図



図 31 駆動質問ボードを通した対話

(1) 生徒が探究において立てた「問い合わせ」

図32は、1章で生徒が探究の過程で立てた「問い合わせ」についての割合を示している。また、「問い合わせ」の具体的な例を以下に示す。



■駆動質問 生物とは何か? ■ウィルスは生物か?

■生命のはじまり

■酵素

■ATP

□その他

図 32 生徒が 1 章で探究した「問い合わせ」

- ・生物とは何か?
- ・ウィルスは生物か?
- ・生物はどうやって生まれたか?
- ・ATP は何に役立つか
- ・ヒトの体内酵素について など

駆動質問そのものや授業のつなぐ問い合わせについて探究した「ウィルスは生物か?」について、探究する生徒が多かった。すなわち、与えられた他人事の「問い合わせ」を、筆者の作った枠の中で探究している生徒が多いということである。その他の「問い合わせ」についても、素朴で安直なものが多く、自身の文脈に結びついているものは少ない。

図33は、3章で生徒が探究の過程で立てた「問い合わせ」についての割合を示している。また、「問い合わせ」の具体的な例を以下に示す。



■駆動質問

□花粉症

■神經

■アレルギー

□インスリン

□その他

■予防接種

□駆動質問への問い合わせ

図 33 生徒が 3 章で探究した「問い合わせ」

- ・さまざまな環境に対応するために体内は生物にどのように作用するのか?
- ・アレルギーが人によって違うのはなぜ?
- ・ワクチンによって接種頻度や回数が違うのはなぜ?
- ・花粉症を治す方法
- ・インスリン分泌量をコントロールする方法
- ・生物が体内に働きかけることはできるのか
- ・恋と神経
- ・断食と免疫
- ・妊娠とホルモン など

注目したいのは、学習初期には授業で与えられた「問い合わせ」を探究するだけだった生徒が、次第に多様な「問い合わせ」を設定し、筆者の作った枠を飛び出して探究するようになったことである。また、「問い合わせ」そのものも、自身の文脈に結び付いており、具体化された自分事の「問い合わせ」となったものが多い。そして、「問い合わせ」は多様化しているが、それぞれで探究する過程で、駆動質問に立ち返り、答えとなる自身の考えもまとめている。

(2) 駆動質問ボードの影響

河原井、宮本(2018)は、「気付き」、「疑問」を「集約・類型化」することで、生徒が「問い合わせ」を生成することが可能になる、としている(図34)。本研究では、「問い合わせ」を『授業における状況において、科学的に探究することができるもの』と定義する。駆動質問ボードでは、クラスという学びの共同体において、「知識の構築や変換」を行いながら、学びを深めている。アーティファクトの創造においては、生徒それぞれが、「疑問」から課題となる「問い合わせ」を設定しており、駆動質問ボードが生徒の「問い合わせ」の生成に有効であることが示唆される。



図34 「問い合わせ」の生成プロセス

3. アーティファクトの創造

「問い合わせ」を生成することや、「問い合わせ」に対する一定の見方・考え方を創意工夫することなどに関して、生徒が自分らしさを持って参加している(図35)。また、生徒は「問い合わせ」と向き合い、自ら考え抜くことで、学びに責任を持っており、そのような社会的規範がクラスに構成されている。さらに、生徒は、素朴な疑問を生物学的「問い合わせ」として明確にし、理解した知識をもとに問題解決し、新たなアイディアを学んでいる。



図35 アーティファクトの創造

4. 抽出生徒の探究過程と統合された知識の形成

(1) 3種類のコンセプトマップ

抽出生徒A～Cの学びについて、3種類の

コンセプトマップを作成し、3つの視点から思考や変容を分析した。

① OPP マップ

生徒がOPPシートに記入した内容を言葉に分解し、内容の近い言葉同士をつないで作成した(図36)。このOPPマップの作成を通して、同じ題材で学んでいた生徒たちの中にどのようなストーリーが存在しているかに注目し、「知識の関係づけ方」や「関心の度合い」を可視化した。なお、小単元ごとに背景を網掛けして示すものとする。

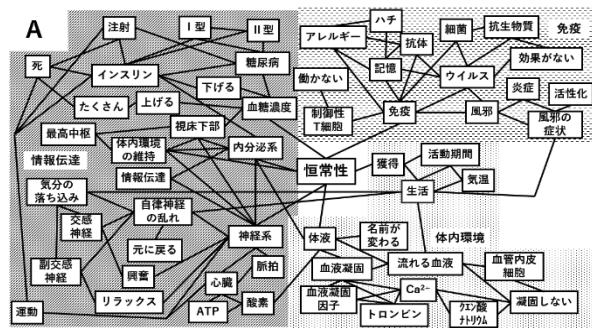


図36 生徒AのOPPマップ

② 駆動質問マップ

アーティファクトと駆動質問ボードを照らし合わせ、個人のOPPシートでは見られず、かつ、駆動質問ボードに存在する言葉を抽出した。この抽出された言葉は、ある生徒の知識や疑問、気づきを、「思考の道具」として利用したものである。この言葉を、色を変えてOPPマップに組み込み、アーティファクト創造の過程における、生徒自身の思考と他者の思考のつながりとしてまとめた。(図37)。

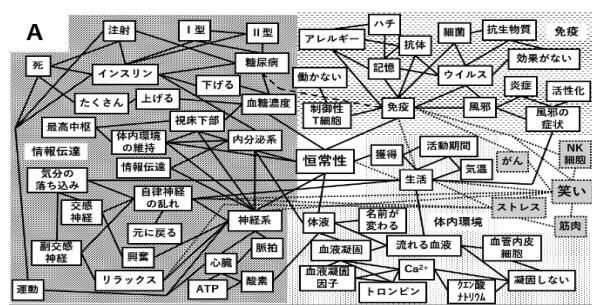


図37 生徒Aの駆動質問マップ

③ アーティファクトマップ

アーティファクトの内容を言葉に分解し、内容が近い言葉同士をつないで作成した(図

38)。これは、どの分野に关心を持ち、どのような点に重点を置いて探究を行ったかを示すものである。また、文献等を通じて、教室という枠を超えて新たな知識をどのようにネットワークに結び付けたかも示している。

灰色塗りつぶしの点線枠は駆動質問ボードの他者の言葉、白色塗りつぶしの点線枠は文献等由来の言葉を示すものとする。

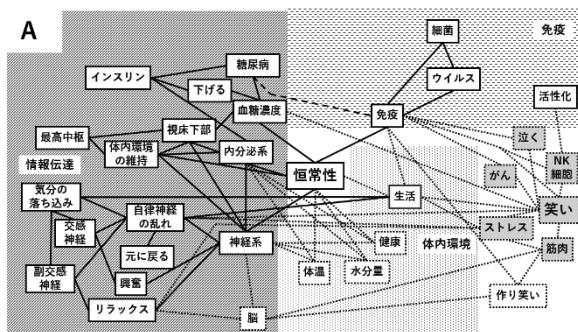


図 38 生徒 A のアーティファクトマップ

本研究で考案した 3 種類のマップは、① PBL の価値、②生徒一人ひとりの探究の姿勢や統合された知識に関する 2 つの目的を媒介するものである。これらのマップを総合的に活用することで、PBL の有効性を検証する。

(2) 抽出生徒 A

生徒 A が 1・3 章のアーティファクトの創造で探究した「問い合わせ」(表 6) と、アーティファクトの観点ごとの評価(図 39)を示す。

	駆動質問	探究した「問い合わせ」
1章	生物とは何か？生物をどのように定義するか？	生命のはじまり
3章	さまざまな環境に対応するために、体内は生物にどのように作用するのか？	生物が体内に働きかけることはできるのか

表 6 生徒 A が探究した「問い合わせ」

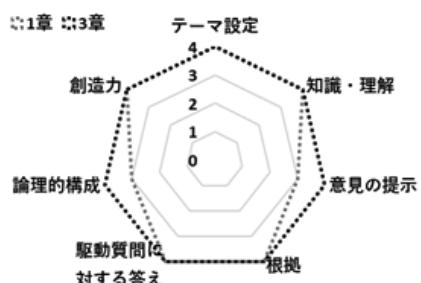


図 39 生徒 A のアーティファクトの評価

OPP マップ(図 36)では、単元の核となるアイディアである「恒常性」を中心に、小単元の内容がすべて結びついたネットワークが

形成されている。ここから、駆動質問ボードを活用して他者の思考を取り入れることで、さらに複雑なネットワークを構築した(図 37)。駆動質問ボードとの対話では、「ストレスと自律神経」のまとまりに関心を示し、それを自身の OPP シートに記入した「気分が落ち込む日があるのも自律神経の乱れが原因か」との文脈に結び付けて、独自の視点で考案を深めていた。思考の変容のきっかけは、「問い合わせ」の生成に悩む中で、教室に配置されている『中西孝之(2010)』なぜ、体はひとりでに治るのか—健康を保つ自然治癒の科学—技術評論社を読み込んだことである。文献から「笑い」が焦点化され、「笑い」を中心として体内の変化に関する問題を明確に持ち、駆動質問へ問い合わせするような問題意識を醸成しながら、駆動質問を超える「問い合わせ」を生み出した。そして、文献等の内容を取り込みながら、小単元の内容をすべて結びつけたアーティファクトを創造した(図 38)。

駆動質問に対する答えとして、「多様な環境や変化に対して健康を維持する仕組み」を自身の考えとしてまとめている(図 40)。健康維持の基礎として、生物の特徴である「恒常性」について理解を深めており、考案やまとめでは、「多様な」人間活動が体内に働きかける「共通性」を見出そうと、生物学の視点で捉えて調べ、考案している。(図 41)。

動機

駆動質問に対する答え「さまざまな環境に対応するために体内はホルモンや自律神経によって体温や水分量を調節したり、免疫機能によって病原体を排除したりして生物の健康を保っている」

体内が生物に作用して健康を保っているなら、生物の行動が体内に働きかけることができるのか。

図 40 生徒 A の駆動質問に対する答え

まとめ

生物が体内に働きかけることは可能だと分かった。
笑うと NK 細胞が活性化するので免疫が高まる。作り笑いでも脳が勘違いするので免疫力を高めることができる。笑うことで交感神経から副交感神経に切り替わり、安心感や安らぎを感じられるのでストレス軽減にも効果がある。

笑いの他にも体内に作用させることができると行動はあるのか。
笑うと免疫力が上がるということは泣くと免疫力が下がるのか。

図 41 生徒 A のアーティファクトのまとめ

「多様性と共通性」という生物学の視点に基づいて問い合わせ(Q)を立て、他者の思考を取り入れながら独自の視点で深く探究する(I)姿勢が見られた。また、探究の過程において、自身の意見を要点ごとに整理し、論理的な順序で構成できるようになった(図39)。生徒Aが探究する姿勢や授業での様子、マップ(図37、38)から、統合された知識を形成したことが示唆される。

(3) 抽出生徒B

生徒Bがアーティファクトの創造において探究した「問い合わせ」(表7)と、アーティファクトの観点ごとの評価(図42)を示す。

	駆動質問	探究した「問い合わせ」
1章	生物とは何か？生物をどのように定義するか？	生物と無生物の違い
3章	さまざまな環境に対応するために、体内は生物にどのように作用するのか？	花粉症の症状とその原因

表7 生徒Bが探究した「問い合わせ」

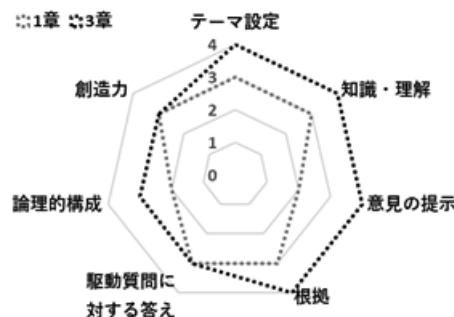


図42 生徒Bのアーティファクトの評価

OPPマップでは、小単元ごとに知識を結び付けてネットワークを構築している(図43)。アーティファクトの創造では、駆動質問ボードをもとに他者の思考を道具として活用し、自身の思考と結びつけている(図44)。生徒Bは、自身が花粉症やアレルギー(ほこり・ハウスダスト)を持っていることから、その発症メカニズムに興味を持ち、「花粉症」について「問い合わせ」を立て探究を行った。花粉症の症状については、授業で考察した風邪の症状との「共通性」を見出そうと考察している。また、花粉症になる人とならない人というテーマでは、「多様性」という視点から調査を行い、その際に、自身のOPPシートに記入した「ス

トレスを感じて自律神経が乱れていた」との文脈に結び付けて、独自の視点で考察を深めていた。このように探究を行い、知識のネットワークを再構築しながら、小単元の内容を統合したアーティファクトを創造した(図45)。アーティファクトは、自身の文脈と強く結びつけた免疫の小単元を中心とした構造になっている。

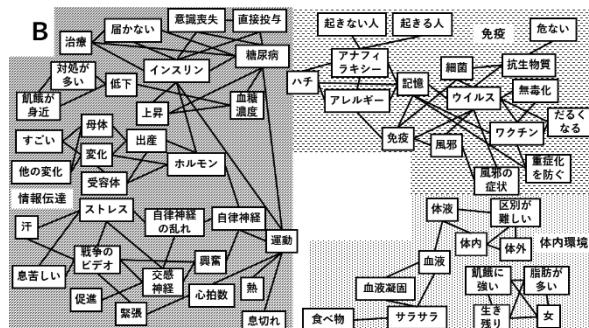


図43 生徒BのOPPマップ

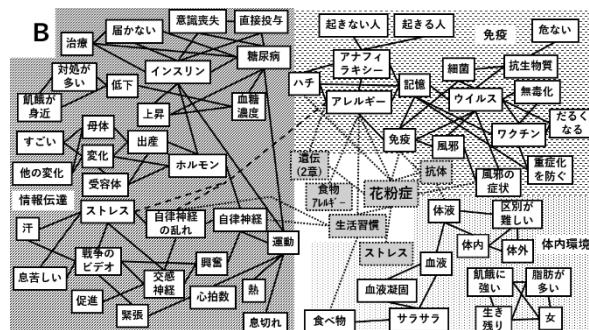


図44 生徒Bの駆動質問マップ

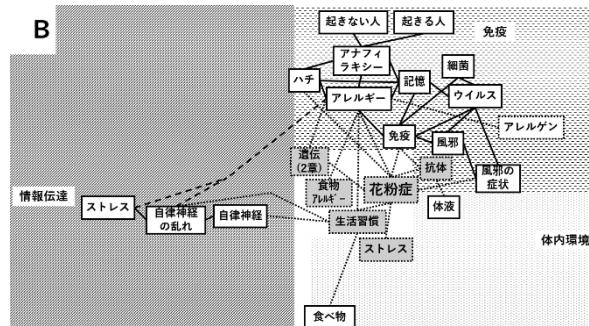


図45 生徒Bのアーティファクトマップ

駆動質問に対しては、「花粉」を自身の文脈と強く結びついた環境要因として設定し、免疫の小単元の内容と関連づけながら、自分の考えを簡潔にまとめている(図46)。駆動質問に対する答えとしてはやや限定的であるが、全体の構成を考えると、「花粉症」というテーマに沿った一貫性が形成されている。

駆動質問に対する答え

わたしたちは花粉に対応しようと免疫を作ったが、その免疫が過激に反応しそうなため、わたしたちの体に花粉症として影響が出た。

図 46 生徒 B の駆動質問に対する答え

考察では、授業で探究したハチに対する免疫反応と花粉症について、生物学の視点で捉えて「共通性」を見出しており、免疫の小単元において深い理解が生じている（図 47）。

考察

花粉症は、一度花粉が入って免疫ができたあとにまた入ると免疫反応が過激におきてアレルギー反応を起こしてしまう。これは蜂に刺されたときのアレルギー反応と同じだと思った。どちらも、免疫反応によるものなので基本的な仕組みは同じだと考えた。

図 47 生徒 B のアーティファクトの考察

「多様性と共通性」という生物学の視点から問い合わせ（Q）を立て、他者の思考を取り入れつつ、自身の視点を深める形で探究する（I）姿勢が見られた。また、探究の過程で、アーティファクトの各評価規準での評価が大幅に向上了している（図 42）。さらに、未知の問題に対しても過去の探究内容と結びつけ、説明のためのモデルを開発している（図 22、図 23）。生徒 B が探究する姿勢や授業での様子、マップ（図 44、45）から、免疫の小単元を中心に統合された知識を形成したことが示唆される。

（4）抽出生徒 C

生徒 C がアーティファクトの創造において探究した「問い合わせ」（表 8）と、アーティファクトの観点ごとの評価（図 48）を示す。

	駆動質問	探究した「問い合わせ」
1章	生物とは何か？生物をどのように定義するか？	生物とは
3章	さまざまな環境に対応するために、体内は生物にどのように作用するのか？	花粉症を治す方法

表 8 生徒 C が探究した「問い合わせ」



図 48 生徒 C のアーティファクトの評価

OPP マップでは、小単元ごとに知識を結び付けてネットワークを構築している（図 49）。アーティファクトの創造では、駆動質問ボードをもとに他者の思考を道具として活用し、自身の思考と結びつけている（図 50）。生徒 C は、自身が花粉症で、毎年花粉の時期に憂鬱になることから、花粉症の治療法や改善策に関心を示し、探究を行った。自身の OPP シートに記入した「アレルギーは大人になるにつれて治るものもあると聞いたことがあるが、治るものと治らないものの違いは何なのか」

（図 25）との文脈に結び付けて、花粉症は完治しないが症状を抑える適切な治療や食事管理が効果的であると、独自の視点で考察を開いている。その際に、1章で自身が探究した「乳酸菌による免疫機能の向上」と「共通性」を見出して関連づけ、乳酸菌が腸内環境を整え、正常な免疫機能を促進する可能性を提案している。このように探究を行い、知識のネットワークを再構築しながら、小単元の内容を統合したアーティファクトを創造した（図 51）。アーティファクトは、自身の文脈と強く結びつけた免疫の小単元を中心とした構造になっている。

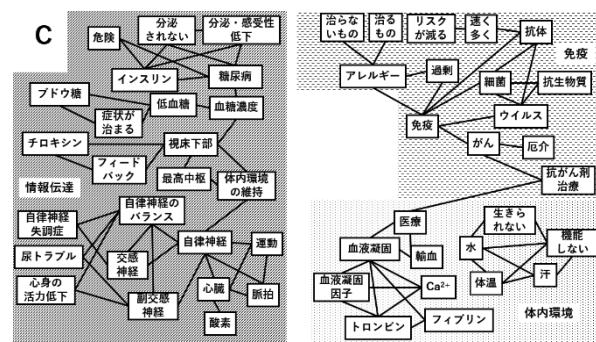


図 49 生徒 C の OPP マップ

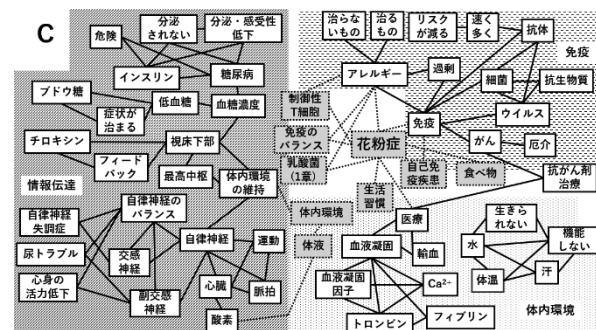


図 50 生徒 C の駆動質問マップ

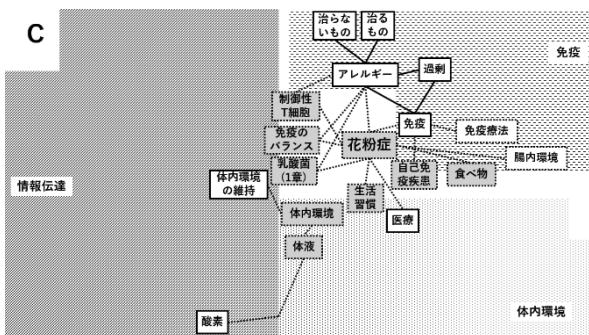


図 51 生徒 C のアーティファクトマップ

駆動質間に対しては、単元の内容をすべて結びつけ、「多様性」という生物学の視点から捉えて答えようとしている（図52）。

駆動質問に対する答え

多細胞の動物の体内環境では、細胞は血液、組織液、リンパ液の体液で満たされている。血液が全身の細胞へ酸素や栄養分を送ることで、細胞は活動することができる。体外環境から生体を守るために、異物の侵入を阻止したり、侵入した異物を白血球などが除去したりする生体防御という仕組みが作用する。また、生体が異物を非自己認識して、その異物を排除する仕組みを免疫といい、免疫が過剰に反応すると自己免疫疾患を起こすこともある。

図 52 生徒 C の駆動質問に対する答え

考察では、花粉症について他者の思考を組み込みながら、自身の文脈に結びつけて考察し、統合的な理解が形成されている（図 53）。

考察

花粉症は完治させることはできないが、その人にあった適切な治療方法を行えば症状を抑えることができる。治療の一種であるアレルゲン免疫療法は制御性T細胞の誘導や制御性B細胞の誘導が期待できる。また、花粉症に効果的な食べ物はあるがこれはあくまでも免疫を高めるものであって、根本的にアレルギーを治すわけではないので各々の対策を考える必要があると考えた。

図 53 生徒 C のアーティファクトの考察

「多様性と共通性」という生物学の視点から問い合わせ(Q)を立て、他者の意見を取り入れつつ自身の視点を深める形で探究する(I)姿勢が見られた。また、探究の過程でアーティファクトの各評価規準での評価が大幅に向上している(図48)。生徒Cは、自身の関心のある分野について深く探究し、その内容を自身の文脈や過去の探究内容と結び付けることで、特化したネットワークを構築し(図50、51)、統合された知識を形成している。ただし、生徒AやBと比較すると、統合された知識の達成度としては、知識ベースで差異が見られる。

(5) 一人ひとりが探究することの大切さ

3名の生徒はいずれも探究的姿勢を備え、

主体的に学びへ関わり、各自の関心を意識的に表出しながら、学びを駆動し、深めていた。その中で、生徒 A は生物学に対する高い関心と豊富な知識を有しており（図 36）、従来の教育モデルでも理想的な学びを実現すると考えられる。注目すべきは、従来の教育モデルでは、生物学を学ぶ意義や自己の居場所を見出せない生徒 C の事例である。生徒 C は、素朴な思いから始まり、自身の興味に基づいて自律的に学びを進め、関心のある分野で統合された知識を形成している。これは評価すべき成果であり、すべての生徒がそれぞれのペースで、個々の興味に基づいて有意味で柔軟な知識の統合を進めることを示唆している。

(6) PBL 授業の持つ学びを駆動する力

「エージェンシー」の育成を目的とした教育内容と方法について、探究を通したその生徒なりの有意味で柔軟な知識のつながりを持てる学習方法の検討の必要性を論じる。

教員は、しばしば自身の知識伝達に注力しがちで、生徒の興味や学びを見落としがちである。しかし、生徒がワクワクする瞬間や学びのきっかけを可視化することは、生徒自らが学びを深めるプロセスを促進する。PBLは、生徒の問い合わせを引き出し、それをアーティファクトとして表現することを重視する。本研究では、OPPシートや駆動質問ボードなどのツールが、生徒の個性や思考を可視化し、学びを支援する効果があることが示唆された。

日本の従来の教育モデル、特に生物学の授業では、用語の暗記や知識の詰め込みが強調されがちである。一方で、PBL は生徒中心のアプローチであり、教員はガイド役として導きつつ、生徒が自身の文脈で学びを具現化するプロセスに価値を置いている。これにより、生徒の個性や興味に応じた学びを支援できる。このような柔軟なアプローチは現代の教育において重要であり、PBL は効果的な手法としてその役割を果たすだろう。授業を通して生徒が学びを実感し、自分の居場所を見つける

環境づくりは、より深い学びの促進につながると考えられる。

研究成果として、以下の3点が挙げられる。

(1) 生徒の個性や思考を可視化し、生徒自らが学びを深める生物基礎の新しい指導の枠組みと方法としてPBL授業をデザインした。

(2) 生徒が、自ら生物学的な問い合わせ(I)を立て、他者の思考を取り入れながら独自の視点で深く探究する(I)姿勢が見られた。(3) 探究の過程で「主体的に学習に取り組む態度」を基盤とし、「知識・技能」「思考力・判断力・表現力」が相互作用しながら、結びつける分野やレベルの違いはあるものの、生命に関する事物や現象について統合された知識を形成する生徒が見られた。

PBL授業の有効性は、生徒が最新の研究や現実世界で議論されていることについて「問い合わせ」を立て、独自の視点で考察し主体的に学びを進める姿に現れている。また、高等学校生物基礎でのPBLの授業は、現代社会で重要な能力である「エージェンシー」の育成に寄与しうることが示唆される。

V まとめと今後の課題

本研究では、アメリカのミドルスクールで実施されているIQWSTの枠組みを参考にし、生徒の学びをより豊かにするための種々の工夫を加え、PBL仕様の生物基礎のカリキュラムをデザインし、授業を実施した。本稿で取り上げた3名の生徒は、各自の興味・感心にもとづき、自ら問い合わせを立て、探究を進めながら、それぞれに固有の中心をもつ統合された知識を構成していった。PBLの授業により、生徒たちは自分らしく生物基礎を学び、学びの意味や自分の居場所を実感できているようであった。高等学校においてPBLがもつ可能性、特に「学びの疎外状況」を本質的に改善しうる可能性を今後も探究していきたい。

引用・参考文献

- 1) IQWST(2021). *LIFE SCIENCE: Why Do Organisms Look the Way They Do?* Teacher Edition.
- 2) OECD(2019). *OECD Future of Education and Skills 2030 Conceptual learning framework Concept note: OECD Learning Compass 2030.* Retrieved March 20, 2024, from https://www.oecd.org/education/2030-project/teaching-and-learning/learning-compass-2030/OECD_Learning_Compass_2030_concept_note.pdf
- 3) 大貫守(2015). J.S.クレイチックの科学教育論に関する検討－「プロジェクトに基づく科学」に着目して－.日本教育方法学会, 教育方法学研究, 41, 37-48.
- 4) 河原井俊丞, 宮本直樹(2018). 理科授業における科学的に探究可能な「問い合わせ」の生成モデル構築に関する基礎的研究.日本科学教育学会, 日本科学教育学会研究会研究報告, 32(7), 5-10
- 5) K.ソーヤー(2018). イントロダクション：新しい学びの科学. K.ソーヤー 学習科学ハンドブック, 第二版, 第1巻：基礎／方法論(1-13). 北大路書房
- 6) Krajcik, J.(2022). Designing Science Classroom Environments to Promote Useable Knowledge. Paper presented at ISDDE Conference, University of Nottingham. Retrieved May 14, 2023, from <https://www.nottingham.ac.uk/education/events/2022-23/isdde.aspx>.
- 7) Krajcik, J., S., Shin. N. (2022). Project-Based Learning In R., K., Sawyer (ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (71-92). 3rd. ed. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108888295>
- 8) クレイチック, J. S., シン, N. R. (2016). 課題解決型学習. K.ソーヤー(編), 学習科学ハンドブック, 第二版, 第2巻: 効果的な学びを促進する実践/共に学ぶ (17-35). 北大路書房.
- 9) 西井陽一(2024). 高等学校生物基礎におけるPBL(Project-Based Learning)のデザイン研究—IQWSTの枠組みを視点として－.日本理科教育学会全国大会発表論文集, 23, 400.
- 10) 山口悦司, 出口明子(2011). ラーニング・ログレッショズ—理科教育における新しい概念変化研究－.心理学評論, 54(3), 358-371.