

[技 術]

「生物育成の技術」の学習における「技術ガバナンスレビュー学習」 のカリキュラムデザインと学習評価規準 ーゲノム編集技術を教材にしてー

水野頌之助*

1 はじめに

本研究の目的は、STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics) 教育推進のために、2017 (平成29)年告示の中学校学習指導要領解説技術・家庭 (以下、技術科) 編「B生物育成の技術」の学習において、ゲノム編集技術を教材とした「技術ガバナンスレビュー学習」のカリキュラムデザインと、学習評価規準のAとBの判別基準の提案である。2018年6月5日の中教審教員養成部会配付資料8-3「Society5.0に向けた学校ver.3.0」¹⁾では、STEAM重視のプログラムによる他者との協働、新たな価値創出のための体験を伴う学び、苦心してモノを作り上げる力、言語 (ランゲージアーツ) 能力の語彙、読解力と、数理・データサイエンスに関する学力の充実が強調されている。

2013年～2015年に開催された国立教育政策研究所科学研究費助成事業シンポジウム (以下、シンポジウム) において、技術ガバナンス能力は、「科学技術革新の成果が広く深く社会と生活に浸透した21世紀において、国民が自ら技術の光と影に対して理解し、判断・発言・行動できる能力」と概念規定した。谷田ら²⁾は、2019年開催のシンポジウムにおいて、技術ガバナンスレビュー学習について、『すでに普及している既存の技術が開発・創造された過去に遡り、技術が評価、選択等される「技術ガバナンス」から、新たな技術を構想・創造する「技術イノベーション」へと至る経緯を検討する学習』と規定した。

水野ら (2020)³⁾の先行研究では、STEAM教育連携重視の視点から、技術科における問題解決の前段階で、既存の育成生物や技術システムの開発過程と、技術を社会との関わりから捉えて、「植物工場」をテーマにした生物技術ガバナンスレビュー学習を展開するためのカリキュラムをデザインし、授業実践と評価による効果を検証した。先行研究では、(1)動物飼育、水産生物の育成技術を包括するテーマ設定の必要性、(2)ガバナンスレビュー学習と概念的知識・学習方略の理解との両立が、課題として残された。

他方、山崎ら⁴⁾は、ゲノム編集 (以下、GEと表記、ただし、ワークシート、板書事項や生徒記述は、原文通りに表記) 技術を技術科で教材として取り上げる必要性を提案した。GE技術応用食品及び、添加物の食品衛生上の取扱要領が定められ、2019年10月1日から同要領に従い、GE食品が取り扱われ、2021年9月15日からGE食品販売が開始されている。GEゲノム編集技術は、STEAM教育の共通テーマであるSDGsとの親和性が高い。

本研究では、学習評価規準において、各教科等の基盤となる言語能力育成を重視するために、OECDのPISA調査の読解力概念を援用する。B基準を「情報の取り出し」、つまり、テキストの中から一つまたは複数の情報を取り出すこととする。A基準は、「統合・推論・解釈」、つまり、各種情報を関連付けて統合し、推論による解釈によるテキストの意味理解及び (あるいは)、熟考・評価、すなわち、自らの知識や考え方や経験に関連付けてテキストを熟考し、評価しているかを判断基準とした。

2 研究方法

研究対象は、2020年度J市立J中学校1学年 (男子78人、女子75人の計153人) 技術科 (授業者は男性教諭、教職経験17年) の「B生物育成の技術」の題材名「コマツナ類のLED照射による野菜工場に挑戦しよう (計16時間)」である。3～4時間目/16時間に、技術ガバナンスレビュー学習①「GE技術」を充てた。全体の指導計画と学習評価規準を、表1に示す。

本指導計画では、5回の技術ガバナンスレビュー学習 (①GE技術、②品種と知的財産、③肥料の選択、④農薬の必

*上越市立城北中学校

要性, ⑤SOS! 豚熱とアフリカ豚熱) を設定した。これらの学習内容は, 先端技術と伝統技術の各々の利便性とリスクを理解し, 技術を評価, 選択, 管理・運用する力の育成に適切な教材と考えた。本稿では, 特に技術ガバナンスレビュー学習①「GE技術」に焦点を当てて, 「生物育成の技術に込められた工夫を読み取り, 生物育成の技術が最適化されてきたことについて考えている」を目標とした。

表1 「技術ガバナンスレビュー学習」を含む指導計画

時数	学習活動	評価規準【学習指導要領の指導項目と評価観点】
1	生物育成の技術とは?	・作物, 動物及び水産生物の成長, 生態などについての科学的な原理・法則を説明できる【B(1)知識・技能】
2	バイオエタノール技術	・進んで生物育成の技術に関わり, 主体的に理解し, 技能を身に付けようとしている【B(1)主体的に学習に取り組む態度】
3・4	技術ガバナンスレビュー学習①「GE技術」	・生物育成の技術に込められた工夫を読み取り, 生物育成の技術が最適化されてきたことについて気付くことができる【B(1)思考・判断・表現】
5	栽培計画を立てよう	・生物の育成環境を調節する方法などの基礎的な技術の仕組みを説明できる【B(1)知識・技能】
6	技術ガバナンスレビュー学習②「品種と知的財産」	・自分なりの新しい考え方や捉え方によって, 解決策を構想しようとしている【B(2)主体的に学習に取り組む態度】
7	技術ガバナンスレビュー学習③「肥料の選択」	・生物育成の技術が環境に及ぼす影響に関する課題について考えている【B(2)思考・判断・表現】
8	土作りと種まき	・育成計画に沿い, 観察や検査の結果を踏まえ, 安全・適切に育成環境の調節や, 作物の管理・収穫ができる【B(2)知識・技能】
9~12	生物育成環境を管理する方法	・自らの問題解決の工夫を, 生物育成の技術の見方・考え方に照らして整理するとともに, 課題の解決結果を記録したデータに基づいて評価しようとする【B(2)主体的に学習に取り組む態度】
13	収穫をしよう!	・自らの問題解決とその過程を振り返り, よりよいものとなるよう改善・修正しようとしている【B(2)主体的に学習に取り組む態度】
14	技術ガバナンスレビュー学習④「農薬の必要性」	・これまでの学習を踏まえ, 生物育成の技術の役割や影響, 最適化について説明できる【B(3)知識・技能】
15	技術ガバナンスレビュー学習⑤「SOS! 豚熱とアフリカ豚熱」	・よりよい生活や持続可能な社会の構築を目指して, 生物育成の技術を進んで工夫し, 創造しようとしている【B(3)主体的に学習に取り組む態度】
16	生物育成技術を振り返ろう	・よりよい生活や持続可能な社会の構築を目指して, 生物育成の技術を評価し, 適切な選択, 管理・運用の在り方について提言について考えている【B(3)思考・判断・表現】

これらの目標達成のために, 技術ガバナンスレビュー学習の展開では, 知識構成型ジグソー法⁵⁾を取り入れる。知識構成型ジグソー法とは, 学習者同士が協力し合い, 教え合いながら学習を進めていく方法の一つであり, 大きく5つの活動で構成されている。指示された問いについて学習者がまず一人で答えを出し, 自分の最初の考えを確かめる。次に, 問いの答えを出すためのヒントを小グループに分けて担当するエキスパート活動を行う。エキスパート活動では, 生徒は, 自分のiPadを使って, インターネットで調べ学習を行う。さらに, それぞれが異なるヒントを担当したメンバーが集まってその内容を交換・統合して問いに対するよりよい答えをつくり上げるジグソー活動を行う。その後, 各グループの答えを教室全体で共有・比較吟味する。最後に, もう一度問いに対する答えを納得いくまで一人で思考する。生徒一人一人が責任をもち, 他者に伝える, 発信する活動である知識構成型ジグソー法を取り入れることで, 目標の達成を図る。

3 授業の実際

各授業は, 川路 (2019)⁶⁾を参考に, 授業の計画・実践を行った。4時間目の授業展開の計画を表2に示す。

表2 授業展開の計画

段階	学習内容・学習活動	□指導上の留意点 ☆評価【評価方法】
導入 (5分)	<ul style="list-style-type: none"> ・前時の復習として、品種改良の目的や方法について確認する。 ・GE技術について、知っていることを共有し、普及していくべきかについて発表を行う。 	<input type="checkbox"/> 品種改良の目的には、病害虫への対応、食味を良くすること、生産量の確保などがあることを確認する。遺伝子組み換え技術にも触れることで技術には、光と影があることを再認識する。
展開Ⅰ (30分)	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">ゲノム編集技術が普及した背景には何があったのか？</div> <ul style="list-style-type: none"> ・GE技術の普及要因A, B, C, Dに分かれて、エキスパート活動を行う。 A: GE技術が活用された食物はどんなものがあるのか？ B: GE技術はなぜ必要なのか？ C: GE技術と遺伝子組換え技術とは何が違うのか？ D: GE技術のルールや安全性はどのようなものがあるのか？ ・エキスパート活動を通して分かったことをホームグループに伝え、ワークシートの「社会からの要求」欄に記入する。 	<input type="checkbox"/> 事前に知識構成型ジグソー学習についての役割分担をしておく。 <input type="checkbox"/> 用語や内容の理解が難しい場合には、机間支援を行う。 <input type="checkbox"/> ワークシートには、社会からの要求以外の安全性、環境負荷や経済性について記入したものを準備する。
展開Ⅱ (12分)	<ul style="list-style-type: none"> ・GEゲノム編集技術の普及が進む社会的背景や関連要因を踏まえ、GE技術について、技術の見方・考え方からプラスとマイナスを比較・検討する。 ・今後GE技術が普及していくことについての最適解と理由を、ワークシートに記入する。 <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> <p>ワークシートの記述例（アンカー例）</p> <p>○収穫量の多いイネや肉量の多い魚などを作ることは、飢餓を減らすことにつながると思うからです。しかし、未知のリスクがあるというデメリットを今後の技術の進歩のために適切に利用していくことが必要だと思います（B基準）。</p> <p>○収穫量の多いイネや肉量の多い魚などを作ることは、飢餓を減らすことにつながると思うからです。しかし、未知のリスクがあるというデメリットを今後の技術の進歩のために適切に利用していくことが必要だと思います。また、現在は、研究開発段階なので生産時のコストが高く、価格も高くなることが予想されます。このデメリットについてもゲノム編集技術が普及していくことで解決すると思います（A基準）。</p> </div>	<input type="checkbox"/> 単に賛成、反対を問うだけでなく、賛成の場合はマイナス面をどのように扱っていくのか、反対の場合は安定した食料供給のための方策を考えさせる。 <input type="checkbox"/> 最適解を支える理由と根拠についてのルーブリックを提示する。 ☆思考・判断・表現【ワークシート】 B基準：GE技術に込められた工夫を読み取り、生物育成の技術が最適化されてきたことに気付き、賛成もしくは反対の意思決定をしている（情報の取り出し）。 A基準：B基準に加えて、社会情勢の変化への対応や食料危機の解決に向けて、GE技術を用いて、自分なりに持続可能な社会を支える一人として理由と根拠を明らかにしている（解釈、熟考・評価）。
振り返り (3分)	<ul style="list-style-type: none"> ・ゲノム編集技術について学習した内容を確認するとともに、次回の技術ガバナンスレビュー学習では、「品種と知的財産」について学習することを確認する。 	

導入では、前時の復習として、品種改良の目的や方法について確認した後、現段階においてどの程度ゲノム編集技術について知っていることを共有し、普及していくかどうかについて、相互に発表を行わせた。

技術ガバナンスレビュー学習「ゲノム編集」

すでに普及している技術が開発・創造された過去にさかのぼり、技術がどう評価・選択され、改良・運用されてきたか経緯を検討する学習

ID: _____ 名前: _____

1. ゲノム編集技術が普及した背景には一体、何があったのか？（ホームグループ活動時に書く）

社会からの要求	A: ゲノム編集技術が活用された食物はどんなものがある？	B: ゲノム編集技術はなぜ必要なのか？
	C: ゲノム編集技術と遺伝子組換えとは何が違う？	D: ゲノム編集技術のルールや安全性は？

2. ゲノム編集技術のプラスとマイナスについて、理解しよう！

	ゲノム編集技術	
	プラス	マイナス
社会的側面 ・健康 ・安全 ・倫理 ・文化	・狙った遺伝子(ゲノム)を編集できるので効率が良い。 ・短期間で品種改良が可能	・目的外の遺伝子を壊す(オフ・ターゲット)場合があり、人の健康や環境に影響があるかもしれない。 ・いずれにしても未知のリスクがあるかもしれない
環境的側面 ・環境負荷 ・省エネルギー ・エコ	・自然界でも起こりうるものなので、人の健康や環境に対して影響を与える可能性が低い。	・以前、除草剤耐性をもった作物と野生種が自然交配してしまい環境に影響を与えた例もある。
経済的側面 ・性能に見合った価格 ・生産時のコスト	・短期間で素晴らしい品種を作り出せるので、生産者にとって利益がある。	・まだ研究開発が進んでいる段階なので、生産時のコストが高くなる。価格が高い。

3. これからの日本を支えていく上でゲノム編集技術は本当に必要なものなのでしょうか？学習資料のプラスとマイナスを比較し、結論を導きましょう。またその理由と根拠を明確にして書きなさい。

わたしは、これからの日本を支えるためにゲノム編集技術は

だと思います。

なぜなら

図1 技術ガバナンスレビュー学習①「GE技術」にて使用したワークシート

展開Ⅰでは、知識構成型ジグソー法を用いて、GE技術が普及した要因について学習を進めた。4人から構成されるホームグループで、GE技術が普及した要因として予め設定した「A：ゲノム編集技術が活用された食物はどんなものがあるのか?」「B：ゲノム編集技術はなぜ必要なのか?」「C：ゲノム編集技術と遺伝子組換え技術とは何が違うのか?」「D：ゲノム編集技術のルールや安全性はどのようなものがあるのか?」についてエキスパート活動として、自分のiPadを使ってインターネットで調べ学習を行った。ホームグループに戻った後、エキスパート学習で分かったことを説明し合うことで、各自が理解を深めた。また、ワークシート（図1）の「社会からの要求」欄に記入させた。

展開Ⅱでは、各学習者は、GE技術の普及が進む社会的背景や関連要因を踏まえ、GE技術のプラス（光）とマイナス（影）について、安全性、環境負荷や経済性などいわゆる技術の見方・考え方の視点から比較・検討した。その上で、「あなたはゲノム編集技術を普及していくことに賛成ですか？反対ですか？」と問い掛け、最適解を見いださせた。ここでは、単に賛成、反対を問うだけでなく、賛成の場合はマイナス面をどのように扱っていくのか、反対の場合は安定した食料供給のための方策を考えさせることでディベート学習に陥らないように留意した。

4 「技術ガバナンスレビュー学習」の評価

指導計画（表1）の3・4時間目の評価規準「生物育成の技術に込められた工夫を読み取り、生物育成の技術が最適化されてきたことに気付くことができる」を踏まえ、「思考・判断・表現」を評価観点とした評価規準を、各教科等の基盤学力であるPISA型読解力を育成するために設定した（表3）。

表3 本時の評価規準

判定	評価規準	PISA型読解力との関連
A基準	B基準に加えて、社会情勢の変化への対応や食料危機の解決に向けて、GE技術を用いて、自分なりに持続可能な社会を支える一人として理由と根拠を明らかにしている。	解釈、熟考・評価
B基準	GE技術に込められた工夫を読み取り、生物育成の技術が最適化されてきたことに気付く、賛成もしくは反対の意思決定をしている。	情報の取り出し
C基準	B基準に達していない。	該当なし

ワークシート（図1）の3「これからの日本を支えていく上でゲノム編集技術は本当に必要なものでしょうか？学習資料のプラスとマイナスを比較し、結論を導きましょう。またその理由と根拠を明確にして書きなさい」の回答記述からは、「ゲノム編集技術に込められた工夫を読み取り、生物育成の技術が最適化されてきたことに気付く、賛成もしくは反対の意思決定をしている」が身に付いているか、また、ジグソー学習で理解を深めた社会情勢の変化への対応や環境問題の解決に向けて、技術の発達が必要不可欠であり、その上で自分なりに持続可能な社会を支える一人として理由と根拠を述べているかを判断した。評価結果と各評価におけるワークシートの記述例を表4に示す。記述の中には、他教科との関連性を示す記述や既習事項を活用したと見られる記述があった。例えば、社会科と関連して、自然環境や地理的要因を踏まえて、日本は災害時には甚大な被害が出ることを想定していた。他にも、飢餓を減らすことにGE技術が貢献できることについて言及することでSTEAM教育の共通テーマであるSDGsとの関連も見ることができた。これらの記述からは、STEAM教育を中核としたカリキュラム・マネジメントの学習効果が生徒の記述に反映したと推察する。評価規準に沿って、育成すべき資質・能力が身に付いているかを検討した結果、A基準に該当した生徒は、73人（47.7%）、B基準に該当した生徒は、61人（39.9%）、C基準に該当した生徒は19人（12.4%）であった。このことから、おおむね満足できることを示すB評価以上の生徒が85%を上回っており、ほとんどの生徒が目標の達成を図ることができた。一方、A基準該当生徒が半分近くに留まり、PISA型読解力の「統合・推論・解釈」と「熟考・評価」を育成する学習指導の充実を図るカリキュラムデザインの改善が、今後必要である。

表4 技術ガバナンスレビュー学習「ゲノム編集技術」の評価結果と記述例

評価	記述例	人数(割合)
A評価	・短期間で素晴らしい品種を作り出せるので、台風などの影響でもものが売れなくなったりすることが減ると思いました。減ったら、収穫量が増えると思うので、安定し、より多くの方が栄養の高いものを食べられるようになると思いました。また、切るだけなので、自然界でも起こりうることなら、良いと思いました。ゲノム編集でより良い品種をすることにより、たくさんのものが収穫できると思うので、安くおいしいものが手に入るようになると思いました。また、良い品種で収穫量が増えれば、貧困で苦しんでいる人にもおいしいものが手に入りやすくなり、飢餓が少なくなるかもしれないと思ったからです。ただ、安心とは言い切れないので、食品にゲノム編集をしたと分かるようにした方が、安心・安全につながると思いました。	73 (47.7%)
B評価	・ゲノム編集により、していないものよりも病気に強く安く売ることができます。買う人にもうれしいし、売る人もうれしいと思います。でも少しだけ危険かもしれません。遺伝子を切ってそれを食べたから病気になるかもしれないからです。でも研究などでマイナスなものをプラスにできるかもしれません。それができたら、暮らしも良くなると思います。なぜなら、虫にも強く病気にも強くなれば、農家さんの損失も少しだけになるのではないかと思います。そうすれば、買う人も安く買えるし、売る人もたくさん売れるからです。	61 (39.9%)
C評価	・環境に重大な影響はなく、人に影響を与える可能性も低いから。野菜とかをおいしくしてくれるからいいと思った。	19 (12.4%)

5 今後の展望

本実践による評価結果や記述例から、今後、各学年の発達段階に応じて、技術ガバナンスレビュー学習の実践を着実に積み重ねることで、STEAM教育の本質である文章や情報を正確に読み解くこと、各種情報を比較・統合する力、論理的な数理思考、創造的思考の育成に迫ることができると考える。

6 謝辞

本研究の実施と原稿執筆にあたり、終始熱心なご指導をいただいた愛知教育大学教育学部磯部征尊准教授、上越教育大学大学院学校教育研究科山崎貞登教授に感謝の意を表します。また、研究構想や研究の方向性に関しては、国立教育政策研究所上野耕史教育課程調査官からご指導いただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

7 参考文献

- 1) Society5.0に向けた学校ver.3.0 https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/002/siryu/_icsFiles/afieldfile/2018/06/20/1406021_17.pdf (URLの最終閲覧日2021年9月16日)
- 2) 谷田親彦・森山潤・上野耕史:「技術科における技術ガバナンスレビュー学習の提案－数学科, 理科, 社会科の見方・考え方を教科横断的に働かせて－」『国立教育政策研究所科学研究費助成事業シンポジウム冊子』, 2019, 5～8 pp
- 3) 水野頌之助・山崎貞登・磯部征尊「生物育成の技術の学習における技術ガバナンスレビュー学習の実践」『国立教育政策研究所科学研究費助成事業シンポジウム冊子』, 2020, 28～43 pp
- 4) 山崎貞登・水野頌之助・東原貴志・岡島佑介・大森康正:STEAM教育からのゲノム編集技術をテーマとした技術分野のカリキュラムと学習評価の提案, 第62回全国大会(静岡)講演要旨集, 2019, 65 p
- 5) 東京大学CoREF: <https://coref.u-tokyo.ac.jp/archives/5515> (URLの最終閲覧日2021年9月16日)
- 6) 川路智治「エネルギー変換の技術の学習における技術ガバナンスレビュー学習の実践」『国立教育政策研究所科学研究費助成事業シンポジウム冊子』, 2019, 17～41 pp