

STEAM教育からの技術科「生物技術」と理科「生命の連続性」の教科書分析とカリキュラム・マネジメント

山崎 恭平*・山崎 貞登**

(令和4年8月25日受付；令和4年11月18日受理)

要 旨

本研究の目的は、日本発STEAM教育連携の推進の視点から、2017(平成29)年告示中学校学習指導要領解説(以下、解説)技術・家庭編の技術分野(以下、技術科)「B生物育成の技術」に基づき作成された文部科学省検定教科書(以下、教科書)内容及び山崎・山崎(2022)が提案した「生物技術」の内容と、解説理科編の第2分野「(5)生命の連続性」に基づき作成された教科書内容について、技術と科学の双方の文脈性の強弱を調査し、カリキュラム・マネジメントを推進するための教科書編集の在り方を提案することである。調査の結果、技術科教科書の記載内容は、科学の原理・法則に基づく根拠を記述した箇所が極めて少なく、大多数は科学の文脈が弱いことを明らかにした。一方、理科教科書5社の「遺伝の規則性と遺伝子」の内容で、技術科「遺伝子改変技術・育種技術・バイオテクノロジー」に関連する記述箇所を調査した結果、17箇所全てで、技術の文脈が強く包含されていたことを明らかにした。そこで、日本発STEAM教育の充実を図り、両教科連携形態を強化するための教科書編集の在り方を提案した。

KEY WORDS

STEAM教育(STEAM education), 技術科(Technology subject), 生物技術(Biotechnology), 理科(School science subject), 遺伝子(Gene), 教科書(School textbook)

1 はじめに

本研究の目的は、日本発STEAM(Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics)教育¹⁾連携の推進の視点から、2017(平成29)年告示中学校学習指導要領解説(以下、解説)技術・家庭編¹⁾の技術分野(以下、技術科)「B生物育成の技術」に基づき作成された文部科学省検定教科書(以下、教科書)内容及び山崎・山崎²⁾が提案した「生物技術」の内容と、解説理科編³⁾の第2分野「(5)生命の連続性」に基づき作成された教科書内容について、技術と科学の双方の文脈性の強弱を調査し、カリキュラム・マネジメントを推進するための教科書編集の在り方を検討することである。本稿では、技術(テクノロジー)、技巧・技法(テクニク)、技能(スキル)を峻別して用いることとする¹⁾。

本研究では、以下の2点の研究課題を設定する。第1の研究課題は、生活や社会の文脈に繋がるオーセンティック学習を導入することで、カリキュラム・マネジメントの充実を図るための教科書編集の在り方に関する検討である。日本発STEAM教育を推進するには、生活や社会で生じる事象について、社会科学的なニーズ探究ループと実験科学的なシーズ探究ループから問題を見いだし、最適な技術成果(人工物・情報・システム)を創造し、安全に社会実装する「技術的な問題発見・解決プロセスのトリプルループモデル(技術・エンジニアリングデザインプロセス)」²⁾ ⁴⁾を活用した学習指導過程の導入が必要である。山崎・山崎²⁾は、初等中等教育段階における日本発STEAM関連教科を連携させて、技術科「B生物育成の技術」を「生物技術」に再編し、幼稚園から高校までを一貫した技術教育課程基準の構成原理を提案した。生物技術の対象内容知のスコープ(学習範囲)は、「遺伝子操作技術・育種技術・バイオテクノロジー」、「生物環境調節の最適化技術」、「生物成長管理技術」、「生物保護・医療・保健・衛生技術」とし、「作物、草花、樹木を含む栽培植物」、「飼育動物」、「水産生物」、「人間」を学習対象とした。特に、各学年・校種段階における社会科、理科、体育・保健体育科、家庭科との連携内容を明記した。

第2の研究課題は、バスケス⁵⁾が提案し、胸組⁶⁾と山崎⁷⁾が邦訳・紹介したSTEM教育の統合の水準のうち、「教科(等)連携(interdisciplinary)形態」を充実させるためのカリキュラム・マネジメントと教科書編集の在り方の検討である。「教科(等)連携形態」とは、知識とスキルを深める目的で、密接に関連した概念とスキルを二つ以上の教科等で学ぶことである。

なお、本研究で用いる「教科(等)連携形態」と、教科の合科や統合とは、異なる形態であることに留意したい。

1996年、日本学術会議第4部科学教育研究連絡委員会(当時)(以下、科学教育研連)は、理科教育、数学教育、技術教育、情報教育に関して、21世紀を展望する新教育課程編成への提案⁽⁸⁾を行った。さらに、1997年科学教育研連は、日本学術会議第1部教科教育学研連とともに、「21世紀の教育内容」にふさわしいカリキュラムを提案した⁽⁹⁾。科学教育研連の委員会に、第2著者は、日本産業技術教育学会事務局からの依頼を受けて、会議に参加した。同会議で、理科と技術科の合科や統合の議論が出された。第2著者は、各教科のバランス⁽³⁾を図ることの重要性と、継続的で専門職としての専科教員研修の重要性を理由に、理科と技術科の合科・統合には終始反対の立場であった。1996年7月19日には、第15期中央教育審議会第一次答申「21世紀を展望した我が国の教育の在り方について」⁽¹⁰⁾が公表された。同答申のp.38「⑥教科の再編・統合を含めた将来の教科等の構成の在り方」では、教科の再編・統合を含めた将来の教科等の構成の在り方について、早急に検討を着手する必要があることが述べられた。

次に、本稿に関連する先行研究知見について論じる。中学教育3年間の理科と技術科に一貫して工学⁽¹⁾の視点を取り入れる効果については、丸山・中條⁽¹¹⁾の先行研究がある。同論文では、中学校3年間全てに工学的思考を取り入れるために、理科4学系(物理、化学、生物、地学系)と技術科「材料と加工」、「生物育成」、「エネルギー変換」、「情報」の各技術の内容との連携を試みた。さらに授業実践には、ブロック・ユニットシステムと、コース別スクランブル方式によるアクティブ・ラーニングを導入した。ブロック・ユニットシステムとは、A理論、B実験、C考察の各ブロックを組み合わせるユニットを構成する手法である。コース別スクランブル方式とは、複数テーマを同時に並列で走らせ、自分の担当したコースにとらわれずに、テーマ間を相互乗り入れできる方式である。エネルギーに関する一連の学習後に行ったアンケート調査を分析した結果、学習の効果が見られたと述べている。ただし、技術科のエネルギー変換以外の「材料と加工」、「生物育成」、「情報」の各技術内容との連携に関する調査結果は、示されていないかった。

奥村・熊野⁽¹²⁾は、高校理科「生物」の理系選択の3年生6人を対象とし、「生殖と発生」単元「鳥類の発生の観察」の授業に基づき、自動転卵装置と携帯型孵卵装置の開発・製作を実施した。そして、生徒にどのような思考が見られたかについて、理科「生物」の教育目標と米国STEM教育の視点から分析・考察を行った。その結果、「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示唆された(p.129)⁽⁴⁾と述べていた。同論文は、技術・エンジニアリング(TE)ともに機械分野の内容である。機械分野と生物学的内容との融合であり、生物技術と理科との連携形態は見られなかった。

1958年の技術・家庭科設置以来、1998(平成10)年告示版解説技術・家庭編技術科⁽¹³⁾までは、生物技術の中で、作物・草花等の植物あるいはキノコ栽培のみが扱われていた。しかし、2008(平成20)年告示版解説技術・家庭編技術科⁽¹⁴⁾では、作物・草花等の植物やキノコ栽培に限定せずに、動物の飼育、水産生物の栽培のいずれか一つを取り扱うこととなった。さらに、2017(平成29)年告示版解説技術・家庭編技術科⁽¹⁾では、内容「(1)作物の栽培、動物の飼育及び水産生物の栽培のいずれも扱うこと(p.34)」に変更された。また内容(2)については、作物の栽培、動物の飼育及び水産生物の栽培のいずれかの活動を行うこととなった。

上記の学習指導要領の取扱いから、2008年告示解説技術・家庭編技術科⁽¹⁴⁾までは、技術科の作物・草花栽培と、小・中学校段階の生活科、理科、社会科、「総合的な学習の時間」の目標や内容との関連について調査先行研究や実践的な先行研究は数多い。しかし、2017(平成29)年告示解説技術・家庭編技術科⁽¹⁾において、内容「(1)作物の栽培、動物の飼育及び水産生物の栽培のいずれも扱うこと(p.34)」への変更と、我が国におけるSTEM/STEAM教育への関心が幾分高まったことから、山崎・山崎⁽²⁾の先行研究だけではなく、成田・荒木⁽¹⁵⁾と、岩崎ら⁽¹⁶⁾のように、技術科と、生活科、理科、社会科、家庭科、「総合的な学習の時間」だけではなく、さらに教科等の関連の視点から教科書分析を行った先行研究が見られる。

成田・荒木⁽¹⁵⁾の研究では、小学校で使用する全教科書を対象とし、記載植物の分類という手法で小学校教育における栽培学習の取扱いについて検討した。調査の結果、教科ごとに記載数や内容に違いはあるものの、全教科で栽培種の記載がみられ、小学校教育において栽培植物は断片的ながら教科横断的に扱われていることが示された。STEM/STEAM教育では、連携教科間の技術文脈の有無と強弱の程度を検討することが重要であるが、同研究では、各教科の栽培学習に関する技術文脈の有無や程度については、触れられていなかった。

岩崎ら⁽¹⁶⁾の先行研究では、児童・生徒が動物に対して抱く概念を定性的に把握することを目的とし、さいたま市が採択している教科書を対象とした教科書分析を実施した。その結果、教科書には動物に関する16項目の記載意図が存在し、特に「育成」、「生理・生態」、「食料」、「分類」の4項目が主軸となって記載されていることを明らかにした。また、クラスター分析による教科間にみられる動物に関する記載の類似性を明らかにした。山崎・山崎⁽²⁾は、生物技術の対象内容知のスコープ(学習範囲)は、「遺伝子操作技術・育種技術・バイオテクノロジー」、「生物環境調節の最

適化技術」,「生物成長管理技術」,「生物保護・医療・保健・衛生技術」と提案しているが,技術の文脈は,人文社会科学,自然科学,各種芸術的側面と幅広く関わることから,クラスター分析による教科間に見られる動物の記載の類似性に関する知見は興味深い。

2 研究方法

中学校技術科では,解説技術・家庭編⁽¹⁾に準拠して作成された計3社⁽¹⁷⁻¹⁹⁾の文部科学省検定教科書を分析した。引用文献では,会社名ABC正順で掲載した。なお,技術科では,1998(平成10)年告示中学校学習指導要領に準拠した教科書は開隆堂と東京書籍の2社のみの発行であり,教科書採択の公正性を保つために学会発表や論文等においては,研究の中立性から,教科書会社名を原則仮名で表記していた。しかし,2008(平成20)年告示中学校学習指導要領から3社で発行されることになったことから,本論文では教科書会社を全て実名で表記した。

中学校理科では,解説理科編⁽³⁾に準拠して作成された計5社⁽²⁰⁻²⁴⁾の文部科学省検定教科書を分析した。引用文献では,会社名ABC正順で掲載した。

3 結果と考察

3.1 理科の「生物の殖え方」と技術科の育種・繁殖技術に関する学習項目との連携

「1 はじめに」で設定した研究課題1の生活や社会の文脈に繋がるオーセンティック学習と,研究課題2の教科(等)連携形態の視点から,解説技術・家庭編⁽¹⁾の「B生物育成の技術」大項目「(1)生活や社会を支える生物育成の技術」の中項目Aでは,育成する生物の成長,生態の特性等の原理・法則と,育成環境の調節方法等の基礎的な技術の仕組みについて理解することが設定されている。そのため,科学の原理・法則の文脈理解と,技術のしくみの文脈理解は,相互不可分であり,双方が必要である。さらに,大項目(2)では,植物新品種・育成者権をはじめとした知的財産を創造,保護及び活用しようとする態度の育成が明記されている(p.36)⁽¹⁾。科学の原理・法則の公共性ととも

に,技術の知的財産権の尊重と保護を相互不可分な関係で捉えていく必要がある。

解説理科編⁽³⁾の第2分野「(5)生命の連続性」,(ア)生物の成長と増え方,④生物の殖え方では,「生物の殖え方を観察し,有性生殖と無性生殖の特徴を見いだして理解するとともに,生物が増えていくときに親の形質が子に伝わることを見いだして理解すること(p.100)」が明記されている。内容の取扱のイとして,「無性生殖」については,単細胞生物の分裂や栄養生殖にも触れることが記されている。

理科の「生物の殖え方」に関連した,技術教科書3社の育種・繁殖技術の記載内容を,表1に示す。技術科の育種・繁殖技術に関連した,理科教科書5社の「生物の殖え方」の記載内容を,表2に示す。

理科では,生物のもつ性質や特徴を「形質」と表記する。理科と技術との教科(等)連携形態を強化し,科学と技術の両文脈を盛り込むために,品種では科学用語である「形質」を入れた方が望ましい。開隆堂と教育図書では,品種と品種改良(育種)概念に関する用語説明がされていたが,東京書籍では,用語説明がされていなかった。作物と家畜の品種については,3社ともに用途に応じて多くの品種が開発されていることを紹介していた。表2から,理科教科書の無性生殖では,技術科で扱う挿し木,取り木,接ぎ木,球根,塊茎,塊根が扱われ,教科連携の共通用語として注目したい。理科教科書では,学校図書を除く4社は,植物において,体の一部から新しい個体をつくる無性生殖を「栄養生殖」と呼ぶことが記載されていた。技術科の教科書において,無性生殖や栄養生殖の用語を用いると,生徒は理科との関連を意識しながら学習することが可能になる。

表1の東京書籍の技術教科書では,イチゴ品種である「とちむすめ」を種苗法と知的財産保護の解説とともに掲載していた。理科教科書では,有性生殖である育種(品種改良)とランナーによる無性生殖の事例として,啓林館と東京書籍で「とちむすめ」を扱っていた。科学の普遍的原理,法則は公共の知識として共有できる一方,技術の所産は知的財産権を有する。科学と技術の特徴を学ぶとともに,相互依存と共進化の重要性を理解させたい。

2021年2月と3月に全国の技術科教員868人が回答し,全日本中学校技術・家庭科研究会研究調査部が実施したアンケート調査結果⁽²⁵⁾によると,技術科「B生物育成の技術」の履修学年は2学年47.6%,1学年21.0%で,3学年または3学年を含む複数の学年で実施している学校は17.6%であった。一方,理科第2分野「(5)生命の連続性」の履修学年は,3学年である。前述の調査によると,技術科「B生物育成の技術」の平均履修時数は,約12時間であった。作物や草花の栽培,動物の飼育,水産生物の栽培の概念的知識に関する学習が何れも必修であり,いずれかの栽

表 1 技術科教科書 3 社の「育種・繁殖技術」の内容で、理科「生物の殖え方」に関連する記述箇所

開隆堂	教育図書	東京書籍
<ul style="list-style-type: none"> ・ pp.98-102脚注で、品種と品種改良の概念の解説。「同一種の作物や家畜を、農業上の特性の違いによって分類したものを品種という。また、作物や家畜の性質や特徴を人間にとってもっと役立つように改変して、新しい品種を創ることを品種改良という(p.98)」。同頁の本文では、「技術のしくみ」の技術文脈と、「科学的な原理・法則」の科学文脈の双方有 ・ p.99脚注で一代雑種の概念の解説。「遺伝的に異なる品種や系統をかけ合わせて創られた雑種第一代の作物や動物のことである。その性質は一代に限られる。病気に強い作物や収穫量の多い作物ができるなどの利点がある」。メンデルの法則(顕潜の法則)の科学文脈弱 ・ p.100の3図「用途によるトマトの違い」で、用途に応じた品種を解説。科学文脈弱 ・ p.108の14図「牛の品種改良」で乳牛(ホルスタイン種など)や肉牛(黒毛和種など)の解説。科学文脈弱 ・ p.123でミニトマトの接ぎ木栽培(栄養生殖)。科学文脈弱 ・ チューリップの球根の冷蔵処理と定植(栄養生殖, pp.128-129)。科学文脈弱 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 品種概念の解説,「同じ種の作物や家畜の中で、ほかの集団とは明らかに区別できる形や性質を持つ1つの集団のこと(p.82)」, 科学文脈弱。乳牛の品種として,「ホルスタイン種」と「ジャージー種」の図。p.91で聖護院ダイコン(京都府)などの地域の伝統野菜, 家庭分野とのリンク・マーク有, 科学文脈弱。p.97でダイコンとミニトマトの各品種解説, 科学文脈弱。p.89とp.108で白色レグホン種(採卵鶏), p.88とp.109でブタの品種の紹介, 科学文脈無。p.111でマダイの選択育種による養殖の工夫, 科学文脈弱 ・ p.105でチューリップ球根の冷蔵処理と定植(栄養生殖), 科学文脈弱 ・ p.113で「品種改良の技術と知的財産の保護」のコラム, p.114で寒さに強いイネ(北海道)と, 高温でも味のよいイネ(埼玉県)の品種改良技術の紹介, 科学文脈弱 	<ul style="list-style-type: none"> ・ p.89でイネの品種改良(福井県のいちほまれ), p.130でイネの品種改良の説明,「日本では、味が良く、寒さや病気に強く育てやすいイネを開発するために、品種改良が盛んに行われています。違う性質を持った品種を掛け合わせることで作られたイネは、種苗法に基づいて農林水産省に品種登録の出願を行い、審査を通過することで、新品種として登録」, p.96でウシの原種の品種改良で「乳用型」,「肉用型」「役用型」に分化した図の解説, p.109で日本各地の伝統野菜, 科学文脈弱 ・ p.109で、栃木県で開発されたイチゴ「とちおとめ」の紹介, 種苗法と知的財産の保護の解説, 科学文脈弱 ・ p.119で種イモによるジャガイモの栽培(栄養生殖), 科学文脈弱

註：下線が引かれた用語は、筆者が挿入

表 2 理科 5 社の「生物の殖え方」の内容で、技術科「育種・繁殖技術」に関連する記述箇所

大日本図書	学校図書	啓林館	教育出版	東京書籍
<ul style="list-style-type: none"> ・ 無性生殖として、ジャガイモの塊茎、オニユリのムカゴ、チューリップの球根、セイロンベンケイの葉挿し、サツマイモの挿し木、カエデの取り木の栄養生殖の解説(pp.94-97), 技術文脈強 ・ 有性生殖では、違う親どうしを掛け合わせて、優れた特徴を持つジャガイモをつくり出し(品種改良などの技術文脈は弱), 無性生殖の塊茎では、親と同じ特徴をもつ子を多くつくり出す解説(p.105), 技術文脈強 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 無性生殖として、ベンケイソウの葉挿し、ジャガイモの塊茎、イチゴのランナーからの子苗の形成, (pp.85-86), 技術文脈弱 ・ p.96資料で親と子の形質が同じになる無性生殖の応用として、メロンとサクラソボの苗木を病気に強い品種に接ぎ木する技術の紹介, 技術文脈強 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 無性生殖(pp.5-7)として、ベンケイソウの葉挿し、サツマイモの挿し木、ジャガイモの塊茎、ヤマノイモの「むかご」、オランダイチゴのほふく茎(ランナー)、ミカンの接ぎ木, 技術文脈弱 ・ 『人間にとって有益な形質をもつものをつくり出すことを「育種(品種改良)」といいます。例えば、「とちおとめ」というイチゴは、「久留米49号」と「栃の峰」という2つのイチゴを掛け合わせてつくられました。イチゴ以外にも、わたしたちが食べている多くの野菜や果物、肉類は育種によってつくられています(p.26)」, 技術文脈強 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 無性生殖として、ヤマノイモのむかご、ジャガイモの塊茎、サツマイモの塊根、コダカラベンケイの葉に生じた新芽の掲載と、挿し木や接ぎ木が農業や園芸で栄養生殖として利用されているコラムを掲載(pp.78-79), 品種の用語概念が解説, 技術文脈強 ・ 動物の有性生殖として、メダカの受精とふ化など、被子植物の有性生殖の解説では技術文脈弱 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 無性生殖として、サツマイモの栄養生殖、オランダイチゴのランナーの子苗、タケの地下茎と、コダカラベンケイの葉の縁の新芽からの新個体発生(pp.84-85), 技術文脈弱 ・ 無性生殖と有性生殖の両方を行う生物としてジャガイモ(p.92)とイチゴ品種の「とちおとめ」(p.93)が解説。品種の概念が解説されて、技術文脈強 ・ p.106図1「世界各地で栽培されているイネの果実」の解説文は、「種子の数が多い品種、洪水に強い品種、病気に強い品種など、さまざまな種類のイネが開発されている」, 技術文脈強

培・飼育の実践を行うことが必修であると定められているため、授業時数の制約条件は極めて厳しい。技術科の時間で理科の内容について先行して学習することは困難であるために、技術科と理科の両方の教科書において、お互いの関連事項を明示化することで、両者の連携を生徒に認識させることは可能である。教科書への明示化について、文部科学省が指導することが望ましい。

理科と技術科の両教科書への関連事項の明示化とともに、技術の教科書では技術とともに科学の文脈を、理科の教科書においては科学とともに技術の文脈を盛り込むことが大切である。表1では、開隆堂の技術科教科書p.98本文で、「技術のしくみ」と「科学的な原理・法則」の本文記述があり、技術と科学の文脈が強かったが、他の内容については、科学の文脈は弱かった。一方、表2の理科教科書では、科学と技術の両文脈が盛り込まれた記述が多く、学校図書のp.96と東京書籍のp.106で、「技術」の用語を使用した記述が見られた。

3. 2 理科の「遺伝の規則性と遺伝子」と技術科の「遺伝子改変技術・育種技術・バイオテクノロジー」に関する学習項目との連携

「1 はじめに」で設定した研究課題1の生活や社会の文脈に繋がるオーセンティック学習と、研究課題2の教科等連携形態の視点から、解説技術・家庭編⁽¹⁾の「B生物育成の技術」大項目「(3)これからの社会の発展と生物育成の技術の在り方」の中項目アでは、生活や社会、環境との関わりを踏まえて、技術の概念を理解することが設定されている。中項目イでは、技術を評価し、適切な選択と管理・運用の在り方や、新たな発想に基づく改良と応用について考えることが示されている。中項目イの学習では、「長い年月をかけて改良・工夫されてきた伝統的な技術やバイオテクノロジー等の先端技術が、食料や燃料の効率的・安定的な供給や安全性の向上、医療、芸術の発展などに寄与していること(p.39)」などを指導する。

一方、解説理科編⁽³⁾の第2分野「(5)生命の連続性」、(イ)遺伝の規則性と遺伝子、(㊦)遺伝の規則性と遺伝子では、「交配実験の結果などに基づいて、親の形質が子に伝わるときの規則性を見いだして理解すること(p.101)」が示されている。「例えば、メンデルの交配実験の結果を分析して解釈し、子や孫の形質の現れ方には規則性があることを気付かせる。…(中略)…このような学習を通して、分離の法則について理解させるとともに、生物は親から遺伝子を受け継ぎ、遺伝子は世代を超えて伝えられることを理解させる。その際、遺伝子の本体がDNAという物質であることにも触れる。なお、現在、遺伝子やDNAに関する研究が進み、医療、食料、環境、産業など日常生活や社会に関わる様々な分野で、その研究成果が利用されるようになっている。このことについて、文献や情報通信ネットワークなどを活用して、理解を深めることが考えられる。(p.102)」と記述されている。

技術科教科書3社の「遺伝子改変技術・育種技術・バイオテクノロジー」の内容で、理科「遺伝の規則性と遺伝子」に関連する記述箇所を、表3に示す。科学の文脈が強い箇所は、東京書籍p.131の遺伝子組換えトウモロコシが、害虫の食害を少なくするメカニズムについて、害虫の腸管細胞が破壊され、栄養素を吸収できなくなり、餓死すると科学的根拠をもって説明していた。しかし、他の箇所については科学の文脈は弱く、技術と科学の双方の文脈を明確にした教科書づくりが今後の課題である。

理科教科書5社の「遺伝の規則性と遺伝子」の内容で、技術科「遺伝子改変技術・育種技術・バイオテクノロジー」に関連する記述箇所を、表4に示す。5社の全ての箇所で、科学の文脈とともに技術の文脈が強く盛り込まれていた。

4 おわりに

本研究の目的は、日本発STEAM教育¹⁾連携の推進の視点から、解説技術・家庭編⁽¹⁾の技術科「B生物育成の技術」に基づき作成された教科書内容及び山崎・山崎(2022)⁽²⁾が提案した「生物技術」の内容と、解説理科編⁽³⁾の第2分野「(5)生命の連続性」に基づき作成された教科書内容について、技術と科学の双方の文脈性の強弱を調査し、カリキュラム・マネジメントを推進するための教科書編集の在り方を検討することであった。

本研究では、以下の2点の研究課題を設定した。第1の研究課題は、生活や社会の文脈に繋がるオーセンティック学習を導入することで、カリキュラム・マネジメントの充実を図るための教科書編集の在り方に関する検討であった。第2の研究課題は、バスケスら(2013)⁽⁴⁾が提案し、胸組(2019)⁽⁶⁾と山崎(2020:p.10)⁽⁷⁾が邦訳・紹介したSTEM教育の統合の水準のうち、「教科(等)連携・形態」を充実させるためのカリキュラム・マネジメントと教科書編集の在り方の検討であった。

表3 技術科教科書3社の「遺伝子改変技術・育種技術・バイオテクノロジー」の内容で、理科「遺伝の規則性と遺伝子」に関連する記述箇所

開隆堂	教育図書	東京書籍
<ul style="list-style-type: none"> ・生物育成の技術の歴史年表(p.95)で、「1973遺伝子組換え基礎技術の開発, 1984世界初の遺伝子組換え作物の開発(米国), 1996クローン羊の誕生, 2004イネゲノム塩基配列完全解読」, 科学文脈弱 ・p.136本文で、「人間は、長い年月をかけて生物育成の技術に改良・工夫を加えると共に、バイオテクノロジーなどの先端技術を発展させてきました。それぞれの技術は、直接的に食料や燃料の効率的・安定的な供給や安全性の向上, 医療の発展などに寄与しています。」の記述, 科学文脈弱 ・p.136課題で、『「カルタヘナ法」(遺伝子組換え生物等の規制による生物の多様性の確保に関する法律)(平成15年法律第97号)の内容, 意義について調べ, 「生物育成の技術」で利用されている遺伝子組換え技術について考えてみよう。』, 科学文脈弱 ・p.139「生物育成の技術に求められる誠実さ」の解説文は、「…(前略)…近年では、ほかの生物の遺伝子を人為的に組み込む技術(遺伝子組換え)や、ほかの生物の遺伝子を使わず、その生物の遺伝子を改変する技術(ゲノム編集)でも、品種改良が行われています。病害虫に強く、収穫量の多い品種を短期間で得ることができるなど、どちらも食料不足などに対して期待されている技術です。しかし、人工的に遺伝子进行操作するので、その生物やそれを食べ続けた人に対して長期的にどのような影響を及ぼすかということは、まだ十分にわかっていません。新しい技術について理解し、さまざまな考え方をふまえて適切に評価していくことが求められます。」, 科学文脈弱 	<ul style="list-style-type: none"> ・p.113の品種改良と知的財産権で、バイオテクノロジーの用語解説で、「生物が持っている機能を引き出し、効率的に利用する技術」, 科学文脈弱 ・p.115「もっと知ろう」で遺伝子組換え食品は、「別の生物の遺伝子を取り込んだ作物から生まれた食品。従来の品種改良はできない特性を持たせることができる。日本では安全性に配慮し、遺伝子組換えの作物は商業栽培されていないが、食品衛生法で輸入が認められている食品もある。」の記載, 科学文脈弱 	<ul style="list-style-type: none"> ・p.131資料「生物の機能を利用する技術」では、「生物が持つ機能を効率的に利用する技術をバイオテクノロジーといいます。病気の原因となるウイルスを取り除いた草花や野菜の苗を増殖する技術や、遺伝子进行操作して新しい性質を生み出す技術, 高い能力をもった動物と同一の遺伝子を持った個体(クローン)を増殖する技術などがあり, 研究や実用化が進められています。一方、遺伝子进行操作した植物やクローン動物の食材としての安全性, また、本来なら自然界に存在しない生物が自然界に与える影響などについて考える必要があります。新しい技術によって実現することだけではなく、その技術の安全性やほかに与える影響なども考えて技術を評価する必要があります。」の記述, 科学文脈弱 ・p.131図3「特定の害虫に抵抗性のあるトウモロコシ」で、「遺伝子組換えトウモロコシを食べた特定の害虫は、腸管細胞が破壊され、栄養素を吸収できなくなり、餓死する。」の説明, 科学文脈強 ・p.131図4「世界における主な遺伝子組換え農作物の栽培面積とその割合」が掲載, 科学文脈弱

表4 理科教科書5社の「遺伝の規則性と遺伝子」の内容で、技術科「遺伝子改変技術・育種技術・バイオテクノロジー」に関連する記述箇所

大日本図書	学校図書	啓林館	教育出版	東京書籍
<ul style="list-style-type: none"> ・p.116図11「いろいろな形質をもつ金魚」で、「現在の金魚は、遺伝子が増えたものなどを人間が育てて、いろいろなすがたに発展させてきたものなんだ。他にも例はあるかな。」の記載, 技術文脈強 ・p.116図12「青いバラ」で、遺伝子組換え技術で新しい形質(青い色素をつくる)をもつバラの写真, 技術文脈強 ・p.116「遺伝子に関する研究と私たちの生活」で、遺伝子を扱う技術は、食料・環境・医療・産業な 	<ul style="list-style-type: none"> ・p.107本文で、「現在では、DNAをある生物からほかの生物に人工的に移すこともできるようになっている(図23)。このような遺伝子組換え技術が、医薬品の製造や農作物の改良など、日常生活のさまざまなところで用いられている。」, 技術文脈強 ・p.107図23「遺伝子組み換えのしくみ」 	<ul style="list-style-type: none"> ・p.25「DNAや遺伝子の応用」で、「DNAや遺伝子に関する科学技術が進歩するにつれ、わたしたちの生活にも、いろいろな場面でそれらの技術が利用されている。ある生物に別の生物の遺伝子を導入するなどして、生物の遺伝子を変化させる技術のことを遺伝子組換えという。遺伝子組換えは作物に除草剤の影響を受けにくい形質の遺伝子や害虫に強い形質の遺伝子などを導入すること 	<ul style="list-style-type: none"> ・p.104「遺伝子研究の現在と人間生活の応用」の本文では、「近年、DNAや遺伝子についての研究が急速に進展している。人為的にDNAのうちの特定の遺伝子を変更したり、特定の遺伝子を新たに導入したりすることができるようになってきている。これらの技術は、より有用な形質を現す品種をつくることにも利用されている。これを品種改良といい、一般的には、異なる品種どうしを受精させることによって、品種改良を行っている。農作物では、ダイズやトウモロコシ、イネなどの遺伝 	<ul style="list-style-type: none"> ・p.106「第3節遺伝子やDNAに関する研究成果の活用」の「問題発見 レッツスタート!」では、「遺伝子やDNAに関する研究・技術は日常生活とどのようにかかわっているのだろうか」、本文では「近年、遺伝子やDNAに関する研究は、めまぐるしく発展し、農業、食料、医療、環境など、さまざまな分野で、その成果の活用が進みつつある」、技術文脈強 ・p.106図2「青色のバラとカーネーションの花」の解説では、「かつてのバラとカーネーションには、青色の花の品種は存在しなかった。どちらも遺伝子組換えによってつくり出された品種である」、技術文脈強 ・p.106「課題 遺伝子やDNA

<p>ど、あらゆる分野で幅広く応用されていることの記述。DNAを変化させる技術によって、砂漠緑化のための乾燥に強い植物、病気の原因と関わりのある遺伝子を特定し、その治療方法を見つけるための研究、ヒトのもつインスリンの遺伝子を微生物に入れてインスリンを生産し、糖尿病などの治療への活用、ヒトや家畜、農作物について、遺伝子を扱う技術を使って個体を判別するDNA鑑定の記述。</p> <p>「一方で、人類が過去に経験していない新しい技術は、負の側面をもつかもしれない。環境保護、安全性、生命の尊重、個人情報保護など、さまざまな観点から広く議論する習慣をもち、その技術を大多数の人が理解し、納得した上で社会生活に反映させていくことが求められている(pp.116-117)」、技術文脈強</p> <p>・p.117発展「遺伝子技術による発見と応用」で、山中伸弥博士のiPS細胞の作製、本庶佑博士の、免疫チェックポイント阻害因子の発見と応用と両氏のノーベル生理学・医学賞受賞の記述、技術文脈強</p>	<p>で、ヒトの細胞からインスリンの成分に関わる遺伝子を取り出し、酵母に入れて培養し、酵母が薬になる成分を大量に作る技術と、細菌類から、ジャガイモを食べる昆虫にだけ毒となる有機物をつくる形質の遺伝子を取り出し、遺伝子をジャガイモに入れて人工培養技術により、殺虫剤をあまり使わずにすむジャガイモの創出、技術文脈強</p> <p>・p.107脚注で、『遺伝子組換え技術とは、ある生物のDNAを別の生物のDNAに取り込む方法である。「ゲノム編集」も広い意味で遺伝子組換え技術のひとつであり、この技術を用いて、特定の形質を現れないようにした野菜などが開発されている。』、技術文脈強</p>	<p>で、作物を育てる手間を少なくしたり、農薬を減らしたり、収穫量をふやしたりすることなどに利用されている(図28)。また、医薬品となる有用な物質の大量生産にも利用される。遺伝子組換えの技術で得られた生物は、それが環境や人体に与える影響を検討するなど、安全性の確認をした後、さまざまな場面で役立てられている。図28「遺伝子組換えダイズ」では、「遺伝子組換えにより、ある特定の除草剤に強くしたダイズは、その除草剤をまいても枯れずに残り、成長することが出来る。」、技術文脈強</p> <p>・p.27発展「日本人がうみ出した人工多能性幹細胞(iPS細胞)」の本文では、「2007年11月、山中伸弥博士がヒトの皮膚細胞から人工的に幹細胞をつくり出すことに成功した。これが人工多能性幹細胞(iPS)細胞である。iPS細胞を使えば、臓器や組織を人工的につくり出すことが可能になると期待されている。」、技術文脈強</p>	<p>子を操作することにより、特定の除草剤の影響を受けないという形質を現す品種などがつくり出され、農作業の負担軽減、農薬使用量の低減、作物の収穫量の増加が期待されている。医療分野では、ヒトの遺伝子を大腸菌に組み込んで医薬品を製造したり、患者のDNA分析によるオーダーメイド医療が進められたりしている。p.104図13「自然には存在しない青色のバラの花」の解説は、「青色のパンジーの遺伝子を導入した。」、技術文脈強</p> <p>・p.105「活用しよう」では、「遺伝子やDNAに関する研究成果が医療、食料、環境、産業などの日常生活で利用されている例を、文献やインターネットなどを用いて調べてポスターにまとめてみよう」、技術文脈強</p> <p>・p.105「ハローサイエンス 発展 高校生物 iPS細胞の作製」では、「山中伸弥博士は、2007年、ヒトの皮膚の細胞に複数の遺伝子を導入することによって、分化する能力がES細胞と同等の細胞を作製することに成功しました。この幹細胞を人工多能性幹細胞(iPS細胞)といいいます。2012年、山中博士は、iPS細胞の研究によってノーベル生理学・医学賞を受賞しました」、技術文脈強</p>	<p>に関する研究成果は、どのように利用されているのだろうか」の「●農業への応用」本文では、「農作物の品種の開発では、有用な形質を現す品種が得られるまで、何代にもわたって交配をくり返すという方法がとられてきた。しかし、この方法では、有用な形質を現す品種を得るまでに長い時間がかかることもある。近年、異なる個体の遺伝子を導入する遺伝子組換えによって、有用な形質を現す品種をつくり出す研究が進められ、比較的短時間で品種改良を行うことが可能になった」、技術文脈強</p> <p>・p.107図3「インスリン」の解説文は、「ヒトなどの動物の体内でつくられる物質。糖尿病患者の治療薬として用いられており、遺伝子組換え技術の活用によって大量生産ができるようになった」、技術文脈強</p> <p>・p.108「学んだことをつなげよう」では、『右の写真の「四角いスイカ」は、果実ができ始めた後に、強化プラスチックの型枠にはめて育てることによってつくられる。しかし、このスイカの種子をまいて育てると、「四角いスイカ」はできず、「まるいスイカ」ができる。一方、遺伝子組換え技術による品種改良でつくられた、「日もちのよいトマト」の種子をまいて育てると、ほとんどの株からは「日もちのよいトマト」ができる。両者でこのようなちがいが出た理由を、「遺伝子」と「形質」という用語を使って説明してみよう』、技術文脈強</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

技術科教科書3社の「育種・繁殖技術」の内容で、理科「生物の殖え方」に関連する記述箇所を調査した結果、生物の成長と分類、遺伝、生理・生態の原理・法則といった科学の文脈が弱かったことが判明した。理科5社の「生物の殖え方」の内容で、技術科「育種・繁殖技術」に関連する記述箇所を調査した結果、技術の文脈が強い箇所と弱い箇所が見られた。

技術科教科書3社の「遺伝子改変技術・育種技術・バイオテクノロジー」の内容で、理科「遺伝の規則性と遺伝子」に関連する記述箇所を調査した結果、9箇所中8箇所は、科学の文脈は弱かった。1箇所は、科学の文脈が強く、遺伝子組換えトウモロコシを食べた害虫の腸管細胞が破壊され、栄養素を吸収できなくなり、餓死するといった

科学に基づく根拠が記載されていた。理科教科書5社の「遺伝の規則性と遺伝子」の内容で、技術科「遺伝子改変技術・育種技術・バイオテクノロジー」に関連する記述箇所を調査した結果、計5社17箇所全てで、科学と技術の双方の文脈が強いことが明らかになった。

2021年2月と3月に、全日本中学校技術・家庭科研究会研究調査部が実施し、全国の技術科教員868人が回答したアンケート調査結果⁽²⁵⁾によると、「B生物育成の技術」の履修学年は、2学年47.6%、1学年21.0%で、3学年または3学年を含む複数の学年で実施している学校は17.6%であった。一方、理科第2分野「(5)生命の連続性」の履修学年は、3学年である。前述の調査によると、「B生物育成の技術」の平均履修時数は、約12時間と少なかった。授業時数の制約条件は極めて厳しい。このことから、技術科の時間において、理科の内容について先行して学習することは困難であるために、技術科と理科の両方の教科書において、お互いの関連事項を明示化することで、両者の連携を生徒に認識させることは可能である。教科書への明示化について、文部科学省が指導することが望ましい。

本研究の結論として、日本発STEAM教育とカリキュラム・マネジメントを一層推進するために、技術科と理科双方の教科書において、関連事項の明示化するとともに、科学の原理・法則に基づく根拠を示した科学の文脈とともに、技術的な問題発見・解決である技術・エンジニアリングプロセスに必要な内容知・方法知の文脈の両方を盛り込むことを提案する。

今後の課題として、技術科と理科とともに、社会科をはじめとした他教科の教科書調査が必要である。

注

- 1) 日本発STEAM教育とは、各教科等の相互の関係性やSDGsに必要な通教科的・汎用的能力、「ティンカリング(試行錯誤)」といった五感を駆使する「デザイン(設計)プロセス(思考)」などの発想・創造、論理的思考能力を働かせながら、身近な生活と実社会で生じている問題を課題化して解決することで学びの必然性を実感し、「人間力」を基盤とし、「学(サイエンス)」のあるものの探究と、「術(アーツ)」のあるべきものの探求との融合を図る最適解を追求し、学校内外の学びの場の空間軸と、生涯にわたる学びとキャリア発達の時間軸を基軸としながら、学び続ける教育をいう。日本発STEAM教育の詳細は、次の文献①②を参考にされたい。①山崎貞登・磯部征尊・大森康正・岡島佑介：国際技術・エンジニアリング教育者学会の前幼稚園から第12学年を対象とした技術・エンジニアリングリテラシーのための内容標準改定におけるSTEM教育連携強化の影響，科学教育研究，第45巻，第2号，pp.128-141 (2021)，②山崎貞登：STEM, STEAM, エンジニアリング教育概念の比較教育からの論点整理，日本産業技術教育学会誌，第62巻，第3号，pp.197-207 (2020)
- 2) 本稿の「技術・エンジニアリングデザインプロセス」は、引用文献(4)の論文を援用した。人間の欲求やニーズの満足，リスクの軽減のために，技術の人為的成果物やシステムを開発し，安全かつ持続可能な技術として社会実装するために，評価基準と制約条件を明確化しながら，対処し得る選択可能な解決アイデア策を複数考案し，その中から最終的な一つのアイデアを選択するための体系的な問題解決方略を提供する過程である(p.15)。
- 3) 世界の教育課程研究では，①各教科等領域の適正な範囲，②各教科等領域の十分な時間，③各学年間・各校種間の学習系統性，④条件整備の重要性が指摘されている。例えば，McClelland, S. E.: SCOTTISH EDUCATION a parents' guide, HMSO (1991) ISBN 0-11-495156-X のp.1を参照されたい。
- 4) 丸山・中條⁽¹¹⁾と奥村・熊野⁽¹²⁾の論文の表記通り，「工学」を用いた。一方，我が国では，工学教育は高専や短大・大学等といった高等教育機関を対象とした専門教育や職業教育であって，普通教育でないという見解が多い。我が国では，国である科学技術創造立国を支えるために，従来から数学・理科教育の充実が図られてきたが，技術教育や工業教育の意義や社会的役割とともに，初等中等教育段階における普通教育としての工学教育の導入の必要性については，国民各層の社会的理解と関心が高くない。諸外国に比較し，我が国のSTEM/STEAM教育の啓発・普及が遅延している要因と指摘する識者が多い。欧米の初等中等教育段階のエンジニアリング教育は，万人に必要なエンジニアリングリテラシーの育成を目標としている。そこで，筆者らは，日本発STEAM教育の初等中等段階では，工学の用語は用いず，エンジニアリング教育と呼称することを提案している。詳細は，注1)①論文中の注4)などを参照されたい。

引用文献

- (1) 文部科学省：中学校学習指導要領(平成29年告示)学習指導要領解説 技術・家庭編，開隆堂 (2018)
- (2) 山崎恭平・山崎貞登：STEAM教育と連携した「生物育成の技術」から「生物技術」に再編する教育課程基準の構成原理，上越教育大学研究紀要，第41巻，第2号，pp.473-482 (2022)
- (3) 文部科学省：中学校学習指導要領(平成29年告示)学習指導要領解説 理科編，学校図書 (2018)
- (4) 一般社団法人日本産業技術教育学会：次世代の学びを創造する新しい技術教育の枠組み 21世紀の技術教育(改訂版)，日本産業技術教育学会誌，第63巻，第4号別刷，pp.1-23 (2021) https://www.jste.jp/main/data/New_Fw2021.pdf (2022年8月19日最終閲覧)
- (5) Vasquez, J. A., Sneider, C. and Comer, M.: STEM lesson essentials, grade3-8: integrating science, technology, engineering,

and mathematics, Heinemann (2013)

- (6) 胸組虎胤：STEM教育とSTEAM教育－歴史，定義，学問分野統合，鳴門教育大学研究紀要，第34巻，pp.58-72 (2019)
- (7) 山崎貞登(研究代表者)：プログラミング的思考力を育成する技術・情報教育課程基準(課題番号17K01023)，2017年度～2019年度科学研究費補助金(基盤研究(C))第3年次研究成果報告書(2020) <http://hdl.handle.net/10513/00008106> (2022年8月19日最終閲覧)
- (8) 日本学術会議事務局(編集協力)：21世紀を展望する新教育課程編成への提案－理科教育，数学教育，技術教育，情報教育－，財団法人日本学術財団(1996)
- (9) 日本学術会議事務局(編集協力)：「21世紀の教育内容」にふさわしいカリキュラムの提案，大蔵省印刷局(1997)
- (10) 文部省(編集)：21世紀を展望した我が国の教育の在り方について 第15期中央教育審議会第一次答申，ぎょうせい(1996)
- (11) 丸山晴男・中條祐一：中学教育3年間の理科と技術科に一貫して工学的視点を取り入れることの効果，工学教育，第67巻，第6号，pp.96-101 (2019)
- (12) 奥村仁一・熊野善介：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，静岡大学教育実践総合センター紀要，第28巻，pp.125-133 (2018)
- (13) 文部省：中学校学習指導要領(平成10年12月)解説－技術・家庭編－，東京書籍(1999)
- (14) 文部科学省：中学校学習指導要領(平成20年告示)学習指導要領解説 技術・家庭編，教育図書(2008)
- (15) 成田優也・荒木祐二：小学校教育における栽培植物の取扱に関する教科書分析，埼玉大学紀要 教育学部，第65巻，第1号，pp.85-98 (2016)
- (16) 岩崎翼・荒木祐二・山崎淳：小中学校における動物の取扱いに関する教科書分析，日本産業技術教育学会誌，第62巻，第1号，pp.1-9 (2020)
- (17) 竹野英敏ほか118名：技術・家庭[技術分野]，開隆堂(2021)
- (18) 中村祐治ほか47名：技術・家庭 技術分野，教育図書(2021)
- (19) 田口浩継ほか80名：新しい技術・家庭 技術分野，東京書籍(2021)
- (20) 有馬朗人ほか70名：理科の世界3，大日本図書(2021)
- (21) 霜田光一・森本信也ほか32名：中学校 科学3，学校図書(2021)
- (22) 大屋禎一・鎌田正裕ほか146名：未来へひろがるサイエンス3，啓林館(2021)
- (23) 室伏きみ子・養老孟司ほか33名：自然の探究 中学理科3，教育出版(2021)
- (24) 梶田隆章・真行寺千佳子・永原裕子・西原寛ほか131名：新しい科学3，東京書籍(2021)
- (25) 全日本中学校技術・家庭科研究会研究調査部：中学校技術・家庭科に関する第8回全国アンケート調査(2021) <http://www.ajgika.ne.jp/doc/tmp2021datasheet.pdf> (2022年8月19日最終閲覧)

A Study on Textbook Analysis and Curriculum Management of “Bio-related Technology” in Technology and “Continuity of Life” in Science in Japan-oriented STEAM Educational Cooperation

Kyohei YAMAZAKI* · Sadato YAMAZAKI**

ABSTRACT

The purpose of this study is to examine how textbooks should be edited to promote curriculum management from the perspective of promoting collaboration between subjects in Japan-oriented STEAM education. This study investigated the degree to which the scientific and technological contexts concerning the content of school textbooks authorized by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT). This research focused on relationship between educational contents of “(B) Bio-nurturing Technology” in the Technology and Home Economics section for the 2017 revised Course of Study as national curriculum standards in Japan, and contents of “Bio-related Technology” proposed by K. Yamazaki and S.Yamazaki (2022). This study also investigated the content of school textbooks authorized by MEXT content prepared based on the second field “(5) Continuity of Life” in the Science section for CS. The results of the survey showed that technology school textbooks have very few passages describing evidence based on scientific principles and laws, and the scientific contexts were weak. On the other hand, this study investigated whether the content of “Hereditary Regularity and Genes” in school science textbooks published by five different publishers was related to “Genetic Modification Technology, Breeding Technology, and Biotechnology” in the technology course. The results showed that technological contexts were strongly included in all of them. Therefore, this article has proposed a way of editing school textbooks to enhance Japan-oriented STEAM education and strengthen the form of collaboration between school science and technology subjects.

* Karuizawa Kazakoshi School ** Natural and Living Science