

STEAM 教育の方法による「ゲーム的要素をもたせた楽器」の制作

芳賀均¹⁾（正会員） 森健一郎（正会員）²⁾

1) 北海道教育大学旭川校 2) 北海道教育大学釧路校

Creation of ‘Musical Instruments Having Game-Like Elements’ Using STEAM Education Method

Hitoshi Haga¹⁾(Member) Kenichiro Mori²⁾(Member)

1) Hokkaido University of Education Asahikawa Campus

2) Hokkaido University of Education Kushiro Campus

haga.hitoshi@a.hokkyodai.ac.jp

アブストラクト

本研究は、STEAM 教育の方法による「ゲーム的要素をもたせた楽器」の制作が、芸術的な領域と科学的な領域との関連・融合や、教育的にどのような効果をもっていたかを検証することを目的としている。大学教員と教員養成課程の学生が協働で楽器制作の活動に取り組み、活動に参加した学生の実践後における振り返りの記述を分析した。その結果、STEAM 教育の方法による「ゲーム的要素をもたせた楽器」の制作によって、芸術と科学の関連・融合がもたらされたことや、創造性が引き出されたり、音楽への深い理解がもたらされたりする教育的な効果をもっていたことが示唆された。

Abstract

This study used the Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM) education method to create ‘musical instruments having game-like elements’ for the purpose of investigating the connections and fusion between the arts domain and the sciences domain and to verify the educational effects of said creation. University instructor) and students in the teacher training course cooperatively engaged in instrument-creation activities, and statements of reflection that were recorded by students after their practical training via participation in these creation activities were analyzed. Via the creation of ‘musical instruments having game-like elements’ using STEAM education method, the following educational effects were obtained: Connections and fusion were successfully made between the arts and sciences, student creativity was fostered, and students deepened their understanding of music.

1. はじめに

学校の音楽科では、音高を階名や音名といった言語的なラベル（例えば「ドレミ……」）に置き換え、それらを用いて音楽の活動を行うことが多い。しかし、そのことによって、子どもが音高の相対的な関係性を感じ取ったり認識したり、音そのものに注目したりすることを阻害する可能性があると考えられる。

また、「音楽」は一般に楽曲的なものが想起されがちだが、学習指導要領では平成20年に「児童が身の回りの音に親しむようにし、児童の生活の中でよく耳にする音や音楽とのかかわりを大切に」[1]することが目指された。「音や音楽」という形で示され、自然音や環境音をも考慮した指導の工夫が求められた[2]。続く平成29年の学習指導要領では、生活や社会の中の音や音楽と豊かに関わることでできる人を育てることが目指されている[3][4]。このように「音や音楽」と明記されるのは、音そのものへの関心や創作・鑑賞活動が十分でなかった現状[5]を踏まえたものである。

参考に理科では「音」について、小学校3年生と中学校1年生で扱われる。しかし、振動数と振幅のみに着目するため、音色を聴き分けたり、感受したりすることはない。

そこで、筆者は未来の学校教育を担う教員養成課程の学生とともに、実感を伴いながらこれからの時代に求められる活動づくりを経験する必要があると考えた。それは学習者が実感を伴って音そのものと深く関わり、音と音楽とが密接に結びついて音楽に対する考え方が拡張されることである。具体的に音を扱いながら理論的・抽象的な理解も伴うことで迫りたい。これが本研究の動機である。

2. 本研究の目的・意義

本研究は、STEAM教育の方法による「ゲーム的要素をもたせた楽器」の制作が、芸術的な領域と科学的な領域との融合や、教育的にどのような効果をもっているかを検証することを目的とする。その検証で得られる示唆は、芸術的な領域と科学的な領域との融合を図る上での具体的なアプローチを見いだすことにつながる。また、学習者の音楽知識への深い理解、楽しさや音や音楽への興味・関心・愛好心の向上、物理法則への気付き、制作行為への興味・関心の向上や達成感の享受、表現という行為についての認識の深化といった、芸術や科学と関連づいた教育的な効果を得るための具体的な題材を見いだすことにつながると考えられる。少人数の参加者による詳細な記録と分析を通じて、STEAM教育の活動がもたらす学びや気付きの具体的なプロセスを明らかにする点に、本研究の質的事例研究としての意義がある。

なお、本稿では上記「科学的な領域」について、〈4.1〉において詳述するSTEMに該当する理系的な領域とする。

3. 先行実践および先行研究

本研究に関連のある研究としては、ライブ演奏中のカスタマ

イズ可能なインターフェイスとパフォーマーのインタラクションについての研究[6]、アーケードゲームにおける音と音楽の使われ方がプレーヤーの感情にとって重要であることにも触れられたもの[7]、確率関数が構成構造やピッチ、持続時間を決定するアプローチで、学生がアルゴリズムによる構成や真のランダム性の美的効果を探索できるようにしたもの[8]、コード内の確率的要素を考慮することによって装飾の不確定性と演奏の変動性について学生に教えるもの[9]がある。STEAM教育に係るものとしては、科学・技術・工学・芸術・数学を音楽活動を通じて組み合わせ、学習者が創造性を伸ばすことができるとしたもの[10]、音程や和音をプログラムするツールにより、学習者が計算的思考を行いながら楽譜を物理的に表現できるようになるとしたもの[11]、学生がリサイクル素材を使って楽器をデザイン・制作する形でスキル分野間の新たなつながりを築く取組[12]、音楽の数学的構造を分析し、歴史的背景を探索することで創造性と批判的思考が高まることを述べたもの[13]がある。

しかし、教育的観点から、音そのものと音楽を架橋し、かつ「ゲーム的要素をもたせた楽器」を学校で制作するという実践は管見の限り見当たらない。また、その活動をSTEAM教育の方法で行うことで学習者が音そのものと深く関わり、芸術的な領域と科学的な領域との融合や、音楽に対する新たな考え方の拡張につながるかどうかは、具体的な方法として検証されていない。

題材として取り上げる「ゲーム的要素をもたせた楽器」には、狙った音を得られる「意図性」と、どのような音が発せられるか偶然に委ねられる「偶然性」、風鈴のように予め設定された音が定常的に発せられる「持続性」を備えることを企図する。バグパイプのように「意図性」と「持続性」を備えた楽器は存在するが、意図性・持続性・偶然性の3つの側面を同時に備え、かつゲーム的要素をもたせた楽器は、管見の限り見当たらない。それを、音楽の複雑な性質を理解するためのアプローチとすることに、新規性があると考えられる。音楽における意図性・持続性・偶然性といった3つの側面を体験的に学ぶ機会を提供でき、音楽教育に新しい視点をもたらすことが期待される。本楽器の設計においては、意図性・持続性・偶然性と（意図性・偶然性に伴う）ゲーム的要素を明確に意識している。意図性については、フリッパーやシューターを操作して狙った弦やボルトに鉄球を当て、演奏者が自らの意図に基づいて音を発生させることができるように設計する。学生は盤面の設計や打球角度を工夫し、目標とする音を出すための戦略的な操作を体験する。持続性については、3本の弦あるいは多数のボルトで閉じられた部分に鉄球をセットすることで、弦やボルトに断続的に当たり続けて音が持続して鳴る構造とする。これは風鈴やオルゴールのような「持続的な音響体験」を取り入れたものである。偶然性については、盤面の傾きや部品配置によっても音の出方が変化し、鉄球の動きや跳ね返りが完全には制御できず、予期しない弦やボルトに当たることで偶発的な音の組み合わせや音色の変化が生まれるように設計する。このように、意図性・持続性・偶然性の3要素を意識的に設計することで、楽器制作とゲーム性を伴う使用を通じて学生がそれぞれの要素を体験的に学べるよう考慮した。その際、「ゲーム的要素をもたせた楽器」として、ピン

ボール様の具体物を題材として物理的な仕組みを活用することで、デジタルゲームと異なった、触覚的なフィードバックも伴うため、物理的インタラクションを重視した学習体験が提供できる。これは、STEAM教育の方法による理系領域と芸術を融合させた学際的なアプローチとして、革新的な試みといえる。

4. STEAM教育の方法によるゲーム制作

4.1 STEAM教育について

STEAM教育は、Science (科学), Technology (技術), Engineering (工学), Arts (芸術), Mathematics (数学) の、いわば理系的な領域と芸術の領域の5つの領域を総合的・統合的に扱う教育の方法であり、音楽は主にArts (芸術) の領域に位置づけられる。米国発祥のこの教育では、Art[14]を創造性の源泉として重視し、理系と芸術の融合による学びが今後のカリキュラム研究にも資すると考えられる。現実社会の課題は教科ごとに分かれていないため、総合的・統合的な学び(図1. 参照)が重要であり、STEAM教育の有効性が期待される。



図1. 領域を総合的・統合的に捉えるSTEAM教育[15]

以下にS・T・E・A・Mそれぞれについて整理する。

まず、S (Science) とT (Technology) である。SとTは、「ともに知識基盤を形成し、それに基づいた創造的『発明』としての知識が獲得される」[16]という性質をもつが、Sは「理論・法則を探究する」[17]性質、Tは「最適化・システム化」[18]という異なる性質をもつ。

続いて、TとE (Engineering) であるが、『Webster's Third New International Dictionary』[19]ではTを「実践的な目的のための知識・知見の適用についての科学」[19] (p.2348.)とし、Eを「物質の性質やエネルギーの活用を有用にするための構造・機能・生産についての科学」[19] (p.752.)としている。どちらもSの一分野とされつつも、Tは「応用」、Eは「有用」に重点が置かれている。

そして、それらを数字・記号を使って説明したり思考したりする方法やベースがM (Mathematics) である。

さて、そうした理系的な領域では事実に基づいて合理的、論理的に思考するが、A (芸術) では、審美的、直感的に判断する[20]。理系的な領域の含むイメージとして「収束的思考、客観、正しさ、論理、制御、control、転移しやすい」という語句が、一方の芸術的な領域には「拡散的思考、主観、納得、直感、制御できない、uncontrol、転移しにくい」といった語句が当てはまる

と考えられる。

それらを端的に整理すると、次のようになる。

S=科学的に理論化・法則化・公式化をする

T=Sによって仕立てた具体的な事物を限界まで究める

E=実用性や効率性を究めた運用方法を整える

A=豊かに発想・表現したり直感的に納得したりする

M=S・T・Eを数字・記号を使って説明したり思考したりする

上掲の整理を、〈6〉および〈7〉において、分析の項目（タグ）として用いる。S・T・E・A・Mといった、それぞれの領域が活動において網羅的に現れる（図1. 中のS・T・E・A・Mに位置する）ことで、それらに総合的に触れたSTEAM教育の実践であったと見なすことができる。

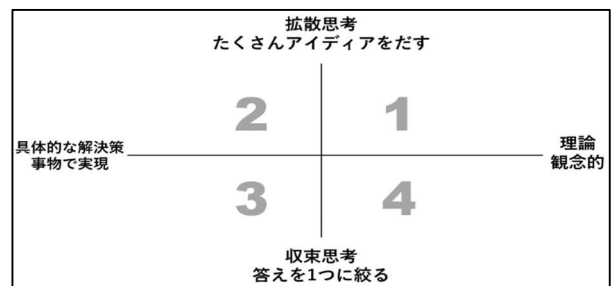


図2. STEAM教育の四象限評価軸

また、STEAM教育の評価方法である「四象限評価軸」[21] (図2. 参照) は、図1. におけるS・T・E・Aの間に位置（すなわち合わさった、統合された）する、1~4の各象限が表す学習者の思考や活動の様態を視覚的に把握することができる。このことにより、統合的な活動としてのSTEAM教育を捉えることができる。それも併せて〈6〉および〈7〉において、分析の項目として用いる。

音楽の授業では通常、正しさと具体的なサウンドを伴って正確に演奏することを目指す「第3象限」や、創造的、かつ、具体的に自分なりの工夫を加えてサウンドで演奏する「第2象限」に偏りがちだが、本研究ではSTEAM教育の総合的・統合的な視点から活動や思考のバランスを考慮する。社会の成熟期には抽象的思考が不可欠である[22]。そこで図1. および図2. 中の右方（「S」や、第1・4象限）を含めて網羅する活動を、理系領域と芸術の総合・統合を志向するSTEAM教育によって実践することが意味をもつ。理系に偏る・芸術に偏るといった、特定の領域や象限に偏る形に留まっては、その活動は「公式を知らなくたって、楽器を演奏できなくたって生きていける」といわれるように、断片的な技能・知識となり、ひいては学校では不必要な学習を行っているということになる可能性がある。活動中における音や音楽に関わる様々な思考が、総合的・統合的に現れることを目指すのである。

4.2 音や音楽とゲームとの関わり

教育において「楽しい」ということは、それを目的としたとき、継続していくために思考力や、実行していく技能や知識が生み出されたり活用され続けたりしなくてはならない[23]こと

からも重視されるべき視点である。楽しさということに関してはゲームが挙げられる。

音や音楽とゲームとの関わりとしては、ゲームにおける音の重要性について、ゲームであれば、音のある／なしでそのプレイの戦略や体験も変わってきてしまう」[24] (p.iv) という松村の指摘がある。そして、「目には見えないけれど確実に作用を及ぼすメディアとして、音は非常に興味深く、それを形作るサウンドデザインの世界もまた興味深い、光を当てるべき存在である」[24] (p.iv) という。

実際のゲームの例としては、まず、ピンボール[25]を例に挙げることができる。「電気がマグネットの力でボールをはじき、フリッパーの二本の腕がそれを投げ返す、ピンボールは、スコアや筐体の揺さぶりに対する反則、様々なルールが生まれたことによって「ある種の呪術性をさへ帯びるようになった」と説明される[25]、ゲーム性の高いものである。

また、ガラス玉や鋼球を射出・打撃してねらった位置に入れる「スマートボール」や機械仕掛けのゲーム機「エレメカ」、実際の駒や球等でなく画面上で楽しむ「ビデオゲーム」等に対しては、「さまざまな制約の中、とにかく楽しく遊びたいと言う思いの詰まったゲーム機はまさに人間の遊びに対する情熱を伝えていくもの」[26]という指摘がある。そうした楽しく遊ぶゲーム機には、多くの場合音や音楽を発する機構が組み込まれており、それらは密接な関係にあるといえる。

なお、子どもを乗せて音や音楽を発しながら動く乗り物「ムーバー」やパチンコは、それに身を委ねることによる一本道の娯楽となることから、本研究では参考としないこととする。「ゲームではプレイヤーの行動と選択によって場面が展開したり、分岐して別のルートに進んだりする場合がある。時間軸とシナリオが1本だけではなく複数存在することによるゲームサウンドの変化がある」[24] (p.3.) ことを考慮する。

4.3 「ゲーム的要素をもたせた楽器」制作上の意図

〈4.1〉〈4.2〉を踏まえたとき、楽器の制作においては、以下に述べる〈4.3.1〉～〈4.3.3〉の3点について意図を反映させることを考慮する。

4.3.1 楽譜について

楽譜は一時的な音楽的形象を純粋な時間経過から解放し、永続的なものに成し得る[27] (p.175.) 存在である。メロディによって規定される音楽に留まらず、以前には中心的ではないと思われた「音色」「騒音」などが前面に押し出されているものまで含めた自由な発想による音楽を記譜する上では、五線譜に囚われない多様な方法が求められる。「変形された、あるいは新しい方法による記譜法は、恣意的な形体としてみるべきではなく、音楽そのものの変化によって直接影響を受けたもの」[27] (p.175.) で、学習者が新しい形式の楽譜をつくるとするならば、彼らのつくる音楽が新しい要素を重視したことで適応できなくなったからで、音楽表現と楽譜とは不可分であるといえる。

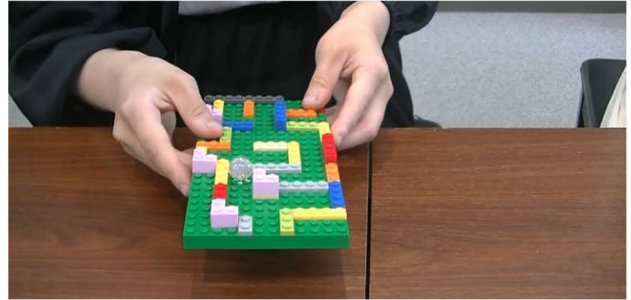


図3. ビー玉を使用した動く楽譜

オルゴールは楽譜的な物体自体が音を出す、「ゲーム的要素をもたせた楽器」に設置される音源としてのボルトは、その配置を見た際にサウンドが想起されることも起こりうるため楽譜的な要素ももつ。それは、実践に参加する学生が過去の実践において、音や音楽と不可分である「立体図形楽譜づくり」という、いわば楽譜と楽器とを架橋する具体物を含む[28]制作に取り組んだ経験をもつことを考慮したことによる。そこでは、立体図形楽譜上でガラス玉を転がし、ビー玉が当たった楽譜上の部品に対応した音を発する表現方法(図3.)[28]も見られた。

4.3.2 楽器や音や音楽に係る道具について

楽器は「音楽を演奏するために使う器具の総称」[29]とか「音楽演奏のために用いる器具」[30]、「音楽を演奏するために用いる器具」[31]というように、音楽演奏の器具であるとされる。ただし、大砲が楽器として使われたチャイコフスキーの《序曲1812年》や、正弦波発振器による正弦波を音素材として使ったシュトックハウゼンの例を挙げた上で、それらを「楽器と呼ぶ人はいないだろう」という指摘[32]もある。楽器が「音楽の演奏のために音を出すことを意図して作られたもの」であり、「単に『音を出せるので音楽にも使えるもの』は『楽器として使えるが、必ずしも楽器とはいえない』と考え」つつ、そうであるならば「メトロノームが楽器になってしまう」[32]と、その定義の難しさが理解できる。本研究では、〈4.2〉で触れた「楽しい」ということを考慮して、楽器を創造的に音や音楽を楽しむためのものと捉える。

そうしたことを踏まえ本研究では、その制作過程を研究対象とする。そこに、音環境に彩りを添える風鈴様(「演奏される曲は文字通り風まかせ」といわれる、エオリアンハーブ[33]様の要素をもつ)の道具も視野に入れ、〈3〉で触れた「意図性・持続性・偶然性の3つの側面を同時に備えた楽器」の制作を行う。

4.3.3 用いる音組織(音階)について

ピンボール様の「ゲーム的要素をもたせた楽器」を制作することのみを踏まえた上で、学生とともにホームセンターで素材探しを行った。その結果、木製の板とボルトを用いることになった。様々な素材を叩いて検討した結果、ボルトの音色に対する支持が最も高かったためである。

ボルトは、いわゆるピアノの調律における音高と一致しなかったが、むしろ、〈1〉で指摘したように、音名のようなラベルに依ることなく、音と振動数という数値との結び付きを感じ取

りながら活動すれば一層音そのものに注目し、響きを味わう音楽科の活動につなげることができるのではないかと考えた。

音組織としては、ボルトで表現することのできる音階がどのようになるか不明である状況からの制作であるため、事前に確定することは不可能であった。ただし、〈4.3.2〉で触れた「音楽演奏の器具」という側面も満たし、メロディ的な表現も可能とするため、例えば五音音階といった音階が設定できれば望ましいと考えて制作に臨んだ。

5. 研究の方法

本研究は、STEAM教育の実践における具体的な活動記録と参加者のリフレクションを質的に分析した事例研究である。少人数の協働的な実践を通じて得られた個別的な学びや気づきを捉えることを目的としている。芸術的な領域と科学的な領域との融合や、教育的にどのような効果をもっているかを検証することを目的とする本研究の方法は次の通りである。

大学教員と教員養成課程の学生とが協働でSTEAM教育の方法によって「ゲーム的要素をもたせた楽器」制作の活動を実践し、活動に参加した学生の実践後における振り返りの記述（コメント）を分析する。また、活動中の様子も検討する。それら进行分析・検討する項目としては、〈4.1〉で触れた「S・T・E・A・Mの各領域」、さらに、「S・T・E・Aの間に位置する1~4の各象限」を設定し、その該当状況の確認を行う。その上で、芸術的な領域と科学的な領域との融合や、学習者が音そのものと深く関わり、音と音楽とが架橋されたり、音や音楽に対する考え方が拡張されたりしたといった教育的な効果の読み取れる記述を確認し、本実践の効果を明らかにする。

なお、参加学生から振り返りの記述を分析資料とすることから、結果の恣意性を回避するため、実践に取り組む際、および、振り返りの記述を得る際には、本研究の趣旨を伝えずに、ただ「ゲーム的要素をもたせた楽器」制作に取り組む旨を伝えて実践・調査を行う。さらに、恣意的な解釈を回避するために、構想から実践に関与していない第2著者が先に学生の振り返り記述を分析し、後から第1著者がそれを確認するという手順で各項目への該当状況を分析する。先述の分析・検討項目（S・T・E・A・M・1~4）にタグ付けする際、まず各要素・象限の定義・特徴を事前に明確化した。次に記述内容を反復精読し、記述内に現れる行動・思考・気づきが、どの定義や特徴に該当するかを検討した。タグ付けは記述の文脈や表現の意図を考慮しながら、複数のタグが該当する場合は重複して付与した。分析者間でタグ付け結果を照合し、解釈のずれが生じた場合は根拠となる記述や先行研究の定義に立ち返って協議して最終的なタグを決定した。

6. 実践の記録と検討

6.1 実践の概要

実践は、2024年10月から2025年1月にかけて、北海道教育大学旭川校の教員養成課程「音楽教育演習」において全10回実施し

た。加えて12月17日10:00-11:00に学生1と教員とで別件の作業（〈6.4〉で後述）が行われた。全工程に参加したのは、必要な単位を修得済みで発展的な学習のために履修している音楽教育専攻3年生の学生1・学生2・学生3の3名であり、主に管楽器演奏を学んでいる。音楽理論の学習は演奏に必要なものに限られる傾向がある。

本実践において、教員は必要に応じて知識的な内容を提供したが、方法的な指示は控えて学生の試行錯誤を促す立場をとり、学生とともに開発に取り組むメンバーの一人として活動した。

実践の様子を記録した動画（14分弱に編集）は、以下の図4.に示すQRコードまたはURLからアクセス可能である。



<https://youtu.be/WQp3qZJOgS0>

図4. 「ゲーム的要素をもたせた楽器の制作」へのリンク

6.2 制作過程の概要

本実践は、まず「ゲーム的要素をもたせた楽器」の構想を練る段階から始まった。過去に実践した団子やブロックを用いた図形楽譜のアイデア[34][28]や、ピンボールといったゲーム要素を参考にしながら、楽器の素材となる材料の探索と選定が行われた。実際に釘やボルト等を叩いて音色を聞き比べ、最も美しい音が出る素材の組み合わせを模索した。

結果的に後掲の図13・図14に示す楽器になるが、どのような完成形になるか予想は不可能だった。当初からの目論見は「盤上には弦やボルトといった部品を設置する」「フリッパーやシューターで打ったり盤を動かしたりして金属球を操り、弦やボルトに当てて狙った音を鳴らす」「金属球が盤上から逸脱しないように弦を張る」「サークル状に多くのボルトを設置し、その内側に金属球を入れておくことで持続的に音が鳴るようにするセクションを設ける」ことであった。なお、別件の作業（〈6.4〉で後述）となった図13の楽器については、盤を動かして操る金属球をボルトに当てて狙った音を鳴らすこととした。

基本設計と制作の段階（図5.および図6.）では、ドリルで穴を開ける作業を行い、盤面のデザインを検討した。ボルトやギターのペグを取り付けて盤面の構造を組み立て、弦を張る等の作業を進めた。さらに音高の調整や調律を行うため、ボルトをソ・ラ・ド・レ・ミといった音階に調整し、音高測定機械（HUAWEI MediaPad T1 7.0LTEにフリーソフト「音声スペクトルモニター（v.1.1.9）」をインストール）を使用して正確な音程を確認した。その際、ボルトから得られる音高（振動数）の範囲の制約により、自然倍音列に基づいた整数倍の振動数を算出して設定した。すなわち、ピアノの各鍵盤に対応する音高とは異なる独自の音高の組み合わせとした。音高の調整を繰り返し、ボルトの巻き



図5. 盤面にドリルで穴をあける 図6. ボルトの振動数を測定

具合（締める位置・ネジの段数）による微細な変化にも注意を払いながら、5種類の音が均等に響くように盤面全体を調整した。

楽器が完成すると、実際に使用して演奏しながら、音の響きや質を確かめた。鉄球を使って音を鳴らし、鉄球の寸法による音質の違いを確認したり、楽器の特性を探ったりした。（それらの制作過程に関する細部は〈6.4〉で後述する）。

最後に、授業全体を振り返り、活動を通じて得られた経験や気づき、感想について振り返りを記述してもらった。振り返りについては、特に視点などは示さず、活動全体を振り返って、自分がいいたいことや考えたことを記述してもらった。

6.3 振り返りの分析と結果

本研究では、STEAM教育の方法による「ゲーム的要素をもたせた楽器」の制作が、芸術的な領域と科学的な領域との関連・融合にどのように寄与するか、また教育的にどのような効果をもつのかを検証するため、紙幅の都合上〈付録資料〉に示す、3名の学生による振り返り記述を質的に分析した。そのために、〈4.1〉で述べたS・T・E・A・Mといった、それぞれの領域の活動や、1・2・3・4といった「四象限評価軸」の各象限が表す学習者の思考や活動の様態によるコーディング（タグ付け）を個人ごとに行った。学生の振り返り記述の文章は原文ママの全文であり、そこに【S】【T】【E】【A】【M】【1】～【4】という形で筆者が付記した。

結果は以下ようになった。鉄球を打つたびに異なる音が鳴るという仕掛けや、狙い通りの音が出たときの達成感、学生に“楽しい”という感想をもたらした。学生1は「音を狙って打つことができる必然性に近いものがある」「試行錯誤していき少しずつ完成していく過程を楽しめた」と述べており、意図性や偶然性が学習のモチベーションや興味を高めていることがうかがえる。さらに鉄球の動きを予測し、盤面やボルトの配置を工夫する過程で学生たちは何度も設計や調整を繰り返した。「どのようにしたら理想の音が出るか」「ボルトの長さや配置を変えることで音色がどう変わるか」といった試行錯誤はゲーム的な“挑戦”や“戦略性”によって促進され、楽しさとともに主体的な学びを支えていた。なお、紙幅の都合上、ここには学生1の記述の一部のみを掲出し、3名の学生の記述および分析結果の全ては〈付録資料〉に掲出する。

学生1の記述の一部

活動全体に対して、制作を通して、音や音楽への興味が深まった【A】【1】。音を狙って打つことができるという必然性に近いものがある【T】【3】、かつ偶然性があるということに基づいてゲーム制作を行ってきたが【A】【2】、対義語の

ような存在が並行して存在できるのが音楽では成立するのではないかとゲーム制作で感じて【A】【1】、興味が深まった。（——後略——）

6.4 制作中の様子に関する分析と結果

制作中における場面について、〈6.3〉と同様にコーディング（タグ付け）を行う。

課題設定の場面としては、「ボルトの音色や音高が思った通りにならない」という課題に直面した際、学生はまずボルトの長さや振動数の関係を理論的に検討し（【S】【M】【4】）、その後、実際に複数のボルトを叩いて比較しながら最適な組み合わせを探すという試行錯誤を行った（【E】【T】【2】）。

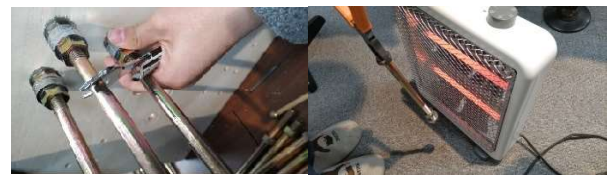


図7.ボルトの振動数の範囲の調査 図8.温める等の試行錯誤

図7および図8は、〈6.1〉にアクセス先を示した動画の1:47-4:15に関連する10月4日～11月1日における実践の様子である。110mm～360mmの15種のM12ボルトのうち、音色や音高の判別がしやすい等の理由で楽器制作に好適であると判断【A】【E】【2】した165mm～240mmの5種類がもつ振動数の範囲が、購入した各5本×5種については216Hz～360Hzであった。盤上に出るボルトの長さの調節やワッシャを複数設置する等の工夫を行い、5つの音高を216Hz (240mm)・234Hz (225mm)・288Hz (210mm)・324Hz (195mm)・360Hz (165mm)とした（カッコ内はボルトの寸法）。 $n=18\text{Hz}$ として、それぞれ第12・13・16・18・20倍音（ $n*12 \cdot n*13 \cdot n*16 \cdot n*18 \cdot n*20$ ）に該当させ【E】、ソラドレミの各音とした【1】。図9aおよび図9b.に示すように、当初、学生はボルトの長さや振動数の関係を関連付けようと試みていた【S】【M】【4】。そのことにより楽器制作のレシピ【T】【3】を確立しようとした。しかし、ボルトのばらつきが判明してからは、1本1本の音高を測定して用いたりワッシャを設置して調整を試みたりする等によって、ねらった音高を得る【E】という方針に転換した。「ボルトの音高調整を理論的に行おうとした場面」は抽象的な仮説検証（第4象限）に該当し、科学（S）と数学（M）の要素が強く現れている。一方、「実際にボルトを叩いて音色を比較し、最適な組み合わせを選ぶ場面」は具体的な課題解決（第3象限）であり、工学（E）と技術（T）の要素が中心となっている。

また、ボルトを盤面に垂直方向（縦）に設置した場合、叩く（鉄球が当たる）面によって音高が異なることが判明した。そのことにより、ボルトを盤面と並行（横）に設置するというように設計を変更した（図10a・図10b.および既述の動画の4:35-6:27に関連する11月15日の実践の様子）。その際、学生は科学的な法則の存在を予感【S】して解決策を見いだしたい【T】と感じつつも、そもそもばらつきのあるボルトを素材としているこ

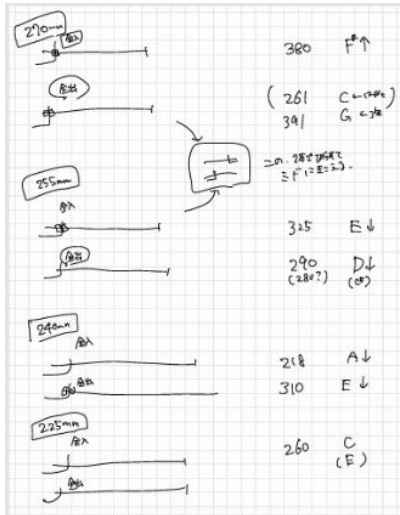


図9a. 学生3のノート(1)

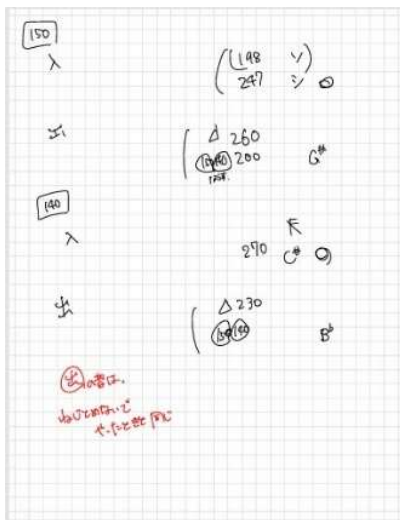


図9b. 学生3のノート(2)

とから、現実的な対応【E】としてボルトを横向きに設置(図11.)する形で制作を続行した。

ボルトを盤面に垂直に設置した場合、叩く面によって音高が異なる」という問題が発生した際、学生は科学的な法則の存在を予想し(【S】), 最終的には現実的な解決策としてボルトを横向きに設置する変更を行った(【E】【T】【3】)。これは具体的な課題解決(第3象限)に該当する。

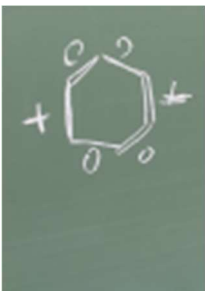


図10a. 学生による板書メモ

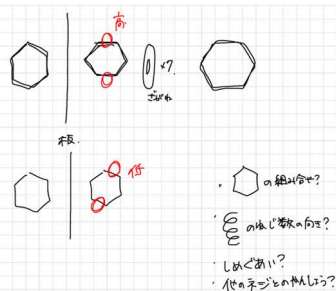


図10b. 学生3のノート

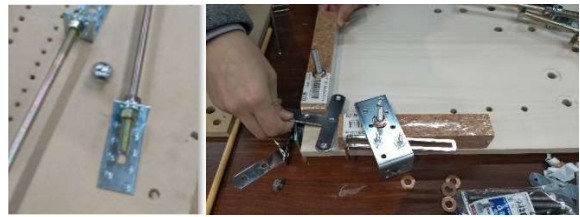


図11. 横向きのボルト 図12. フリッパーの設置



図13.1時間で制作した2号機(円盤直径400mm)



図14. ゲーム的要素をもたせた楽器(1号機)の完成

打球機構(フリッパーおよびシューター)の設置は12月6日から取り組み、打球の射出角【E】【M】と使用感【A】に関して、実際のピンボールマシンを参照【T】しながら試行錯誤を繰り返した(図12・および既述の動画の11:08-13:13に関連する実践の様子)。

また、本実践は3名の学生と教員とで全工程に取り組むとしていたところ、12月17日に学生2・3が都合により欠席したため、学生1と教員の2名で別件の作業を行った。それまでに得られていた知見を活用【T】し、「2号機」(図13.参照)を制作【E】したが、作業時間は1時間であった。学生1は「刺激を求めて出席したが、1台完成して【3】嬉しい」と語った。

以上のような経緯をたどり、「ゲーム的要素をもたせた楽器」は1月24日に一応の完成を見た(図14.参照)。「一応」としたのは、改善の余地が永遠に存在【E】【T】【A】する本実践には、学生2の「発展の余地はたくさんあるように感じた」という記述

が示す通り、ゴールが存在しないことを教員も学生自身も感じていることと、授業期間が終了したことによるためである。

7. 考察

「学生の振り返り記述」および「制作中の様子」には、タグが網羅的に出現した。従ってSTEAM教育の方法による実践であったと見なすことができる。

なおタグ付けの根拠については、例えば「音を狙って打つことができる」という必然性に近いものがある」という記述は、楽器の操作性や仕組みへの着目が見られるためTechnology (T) およびEngineering (E) に該当すると判断した。また、「偶然性があることをベースにゲーム制作を行ってきた」という部分は、個々の発想や予測不能な要素を受け入れる態度が表れているためArts (A) および第2象限(拡散的思考×具体的課題解決)に該当すると解釈した。

記録に基づき、まず芸術的領域と科学的領域の関連・融合について検証すると、参加者たちは音響学的な知識を実践的に学びながら、それを芸術表現と結びつける体験をしている。例えば、学生3は「音の重さと実際の重さ(重量的なもの)が比例のような関係になっていることがわかりました」と述べており、物理的特性と音楽表現の関係性を発見している。また「もっと重く演奏して」や「そこはもっと軽く演奏するんだよ」などの抽象的な音楽表現と物理的な重さとの関連についても「今回の活動で得た重さについての感覚が生かされるのではないかと述べており、科学的知識と芸術表現の架橋を実感している。実感という面では学生2の「音の高さが周波数によって変わることは知っていたが、今回の活動を通して、打ち込んだボルトの調律を丁寧にすることで、音の高さと周波数の関係をより肌で感じて理解することが出来た」という記述が象徴的である。

さらに科学的理解の深化については、学生3が「距離によって聞こえる音が違うことがある(具体的には、倍音が減り基音? が聞き取りやすくなる)」(筆者注: 複数の倍音が聞こえることにより和音のように感じられる現象が見られたが、音源から離れることによって倍音が弱まったように感じられ、基音が目立って聞こえた)「人によって聞こえやすい音・倍音がある」、学生2が「音の響きが壁や人、近くの部品など何に反射して、どう響いているのかを以前よりも考えるきっかけになった」「特に倍音のなり方(筆者注: 鳴り方)によって、自分と他の人が同じ音を聞いて、一番聞こえる音の高さが違う体験はとても新鮮だった」ということに気づき、音響学的現象を体感している。

「音の響きが壁や人、部品など何に反射してどう響いているかを考えた」という学生の記述は科学的探究(S)と芸術的感性(A)が交差する場面であり、拡散的思考と収束的思考が往還するプロセスと捉えられる。また、音程の数学的側面についても学生3が「音が変わる(1度の)幅が全て同じ幅ではなく、比率で変わっているため」と述べているように、音楽の背後にある数理的構造への理解が深まっている。

技術工学的側面については、学生1が「5種類の音のボルトが均等に当たるようにゲーム盤を作成していくのが音や音楽が他

の領域(技術、工学)と関連していると感じた」と、音楽制作における工学的要素の統合を認識している。学生3は「音程を測定する機械を使用したり、ピアノで音を鳴らし自分が聞こえている音や他の人が聞こえている音を比較して音程を調節したり」と、科学技術を活用した音楽制作の実践について言及している。

教育的効果としては、まず多様な学習様式の促進が見られる。学生3は「繰り返し活動を行い感覚的な部分を養うことも大切なのではないかと、論理的思考と感覚的理解の両面を活用する重要性を認識している。また、探究的な学習への主体的な取り組みについて、「ネジの調整は感覚的にやっていたのですが、どうしたらどのくらい音程が変わるのかや個体差はどのくらいあるのか、他の素材のネジではどうなるのかなどもっと時間があれば調べてみたいくらい興味深い」と、活動が学習意欲を喚起したことがわかる。

理解の深化については、学生3が「音そのものを作り出す、音楽の原点に触れるような活動ができたのではないかと述べたように、音楽の本質的な理解が促進されている。学生1は「音を使った教育は音楽よりも簡易であって子どもたちが音楽の授業に取り組みやすい」という教育的視点からの気づきを得ている。学生2は「ゲームやテレビの音や自然から出る音や環境音に対して、いい音だなと感じることが多くなったように感じた」と、音や音楽の捉え方の変容があったことを述べている。偶然性を含む音の発生や物理的な仕組みを自分で設計・調整する経験を通じて、「音の高さが周波数によって変わることを肌で感じて理解できた」「音楽の原点に触れるような活動ができた」といった記述が見られ、理論的理解や音楽観の深化につながっている。

アクセシビリティとエンゲージメントに関しては、学生1が「ゲームを作るつもりがいつの間にか音楽を学んでいた」ということが「音楽が苦手と感じている子どもにとって音楽との壁を取り除くことも可能である」と述べ、ゲーム的要素が音楽学習への抵抗感を軽減する効果を示唆している。学生2の記述「様々な部品を組み合わせ、どれが一番きれいな音が出るかを探したり、ボルトをたたいたときの音程を調律することによって自分たちが出したい理想の音を求めたりなど、とにかく地道に作業し、問題解決をしようとした」からは、本実践の主体的な学習態度の涵養の効果が読み取れる。学生3は今回のゲームと休符の関係について「どうして休符は休んじやダメなのか、準備の時間と言われるのはなぜかというのが視覚的にも感覚的にもわかりやすく、子供達にとっても理解しやすいものになるのではないかと述べており、抽象的な音楽概念の理解を促進する効果を認識している。

学習の転移については、学生3が「自分の演奏してる楽器の構造をもっと知ってみたいと思ったり、楽譜と作曲者の意図や曲でその音色を選択した意図などより深く曲の理解をしたい」と述べ、本実践が他の音楽学習への関心を深める効果をもたらしたことを示唆している。また「科学的な面や理屈を理解しながら音楽をするというのは面白く、今までよりも音楽をする際の工夫や表現の幅が広がる」という記述からは、科学と芸術の融合による表現力の拡大が示唆されている。

なお、本研究で得られた知見は、参加した学生の個々の経験

や背景に強く影響されており、必ずしも他の集団や異なる教育環境にそのまま当てはめられるとは限らない点に留意が必要である。

8. 結論と今後の展望

以上から、ゲーム的要素をもたせた楽器の制作活動は、芸術的領域と科学的領域の関連・融合を促進し、多様な教育的効果をもたらしたことが確認できる。参加者たちのリフレクションからは、STEAMの各要素が有機的に結びついた学びの過程、そして芸術的な領域と科学的な領域との融合の実現が読み取れる。「自分がどうしたいかというのをしっかり持っていないとゴールを見失ってしまうので、どうしたら良いかと常に考えながら音楽を作るというある意味自分の中で新しい感覚の音楽をすることが出来た」という学生3の記述に代表される、創造的な問題解決過程を通じた深い学びも実現された。それらのことから、研究目的は達成されたと判断できる。なお、本研究の結果は、特定の学生グループの事例に基づくものであり、他の教育現場や集団に一般化する際には慎重な検討が求められる。

本研究における実践は大学教員と大学生によるものであった。今後の展望としては、このような実践が小学校～高等学校等の教育現場で試みられることが望まれる。それは(4.1)で触れた、先行きの不透明な時代を生き抜いていく力を児童生徒が培うことのできる教育活動の実現に資するものとなると考えられる。

今後も、個々の学習者の経験を丁寧に記述・分析する質的事例研究の積み重ねによって、STEAM教育がどのような学びや発見を促すのか、その具体像をさらに深めていくことが重要である。またその際には、より多くの参加者を対象とした大規模な実践や、量的なデータを用いた研究によって、STEAM教育の教育的効果の一般化や再現性の検証が求められる。

附記

- ・本稿は、芳賀均、野口愛莉、加藤優菜、中川創、松山歩叶、新しい活動のアイデアを考える 提案)音や音楽に関わるゲーム兼楽器づくり、2025.2.11、令和6年度日本学校音楽教育実践学会 第18回北海道支部例会(北海道教育大学旭川校、対面およびオンライン開催。配布資料なし)における話題をもとに再構成および大幅な加筆を行って文章化したものである。
- ・本研究は科研費(23K02473, 24K05958)の助成を受けた。
- ・本実践に際し、北海道教育大学旭川校の授業「音楽教育演習」受講者の5名の学生(野口愛莉・中川創・加藤優菜・松山歩叶・盛田祥史の各氏)および大学院生(原田友翔氏)の協力を得た。実践参加は野口愛莉・中川創・加藤優菜の3名である。なお、映像および写真、氏名や発言内容の掲載に関する許諾を受けている。
- ・本研究に際し、半澤雄一氏(小牧ハイウェイ企画 日本ゲーム博物館事業部)に数多くの示唆をいただいた。感謝申し上げる次第である。
- ・本研究は、(3.)の第2・3段落および(6.3) (7.)を主に森が

担当し、(4.1)は共同研究のため分別部可能である。その他の部分は主に芳賀が担当した。作稿においては、(7.) (8.)を主に森が担当し、(6.2)は共同研究のため分別部可能である。それ以外の部分と全体の調整は主に芳賀が担当した。

参考文献

- [1] 文部科学省. 小学校学習指導要領解説 音楽編. p.6, 2008.
- [2] 文部科学省. 中学校学習指導要領解説 音楽編. p.80, 2008.
- [3] 文部科学省. 小学校学習指導要領(平成29年告示)解説 音楽編. p.126, 2017.
- [4] 文部科学省. 中学校学習指導要領(平成29年告示)解説 音楽編. p.103, 2017.
- [5] 筑波大学附属小学校音楽科教育研究部. 音楽の力×コミュニケーションでつくる音楽の授業. 東洋館出版社, p.9, 2016.
- [6] John Bowers, Nicolas Villar. Creating Ad Hoc Instruments with Pin&Play&Perform. In *Proceedings of the 2006 International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME06)*, pp.234-239, 2006.
- [7] Christopher L. DeLeon. ARCADE-STYLE GAME DESIGN: POSTWAR PINBALL AND THE GOLDEN AGE OF COIN-OP VIDEOGAMES. In *Georgia Institute of Technology*, 2012.
- [8] Reiko Yamada, Samuele Grandi, Gorka Muñoz-Gil, Luca Barbiero, Albert Aloy, Maciej Lewenstein. Applications of Quantum Randomness: From Rabi Oscillations to Fourier Axis Controlling the Musical Timbre. In *International Journal of Music Science, Technology and Art*, 3(2), pp.17-25, 2021.
- [9] Eita Nakamura, Nobutaka Ono, Shigeki Sagayama, Kenji Watanabe. A Stochastic Temporal Model of Polyphonic MIDI Performance with Ornaments. In *Journal of New Music Research*, 44(4), pp.287-304, 2015.
- [10] Zeynep Özer, Rasim Erol Demirbatır. Examination of STEAM-based Digital Learning Applications in Music Education. In *European Journal of STEM Education*, 8(1), pp.1-11, 2023.
- [11] Judith BELL, Tim BELL. Integrating Computational Thinking with a Music Education Context. In *Informatics in Education*, 17(2), pp.151-166, 2018.
- [12] Elissa Johnson-Green, Christopher Lee, Michael Flannery. A Musical Perspective on STEM: Evaluating the EcoSonic Playground Project from a Co-equal STEAM Integration Standpoint. In *International Journal of Education & the Arts*, 21(14), 2020.
- [13] Ashley Danielle Gilbert. The Framework for 21st Century Learning: A First-rate Foundation for Music Education Assessment and Teacher Evaluation. In *Arts Education Policy Review*, 117(1), pp.13-18, 2016.
- [14] SoonBeom Kwon, et al. The Effects of Convergence Education based STEAM on Elementary School Students' Creative Personality. In *Proceedings of the 19th International Conference on Computers in Education*. 2011.
- [15] 芳賀均. STEAM教育の評価方法の活用. 日本音楽教育学会

第55回全国大会シンポジウム配布資料. 2024.

- [16] 村田純一. 技術の哲学. 岩波講座 現代思想 13 テクノロジーの思想. 岩波書店, pp.3-44, 1994.
- [17] Ian D. Beatty, William J. Leonard, William J. Gerace, Robert J. Dufresne. Question Driven Instruction: Teaching Science (Well) With an Audience Response System. In *Audience response systems in higher education: Applications and cases*, pp.96-115, 2006.
- [18] Next Generation Science Standards (NGSS). Problems with Problems: Improving the Design of Problem-Driven Science and Engineering Instruction. <https://www.nextgenscience.org/sites/default/files/resource/files/Problems%20with%20Problems.pdf> [2025.3.10.11:17.閲覧]
- [19] Gove, Philip Babcock, ed. Webster's Third New International Dictionary of the English Language, Unabridged. Springfield, MA: Merriam-Webster, 1981.
- [20] 芳賀均, 森健一郎. 総合的な学習としてのSTEAM教育の実践—音や音楽を題材とした活動—. 幻冬舎, p.51, 2023.
- [21] 森健一郎, 芳賀均. 教育課程におけるSTEAM教育のフレーム構築と評価軸の開発. 日本科学教育学会研究会研究報告, 37(6), 2023.
- [22] 細谷功. 具体と抽象 世界が変わって見える知性のしくみ. dZERO, p.3, 2014.
- [23] 芳賀均. 改めてつくる音楽の授業. 幻冬舎, p.164, 2023.
- [24] 松村誠一郎編著. サウンドデザイン. コロナ社, 2024.
- [25] 村上春樹. 1973年のピンボール. 講談社, p.30, 1980.
- [26] 安部理一郎編集. 日本ゲーム博物館 所蔵品カタログ, 1, 小牧ハイウェイ企画, p.46, 2021.
- [27] ヴァルター・ギーゼラー著, 佐野光司訳. 20世紀の作曲 現代音楽の理論的展望. 音楽之友社, 1988.
- [28] 芳賀均, 森健一郎. 立体図形楽譜づくりを題材とした個別最適かつ協働的な学びの試み. 臨床教科教育学会会誌, 24(2), pp.13-24, 2025.
- [29] 北原保雄. 明鏡 国語辞典. 大修館書店, p.318, 2002.
- [30] 林大監修. 国語大辞典 言泉. 小学館, p.444, 1986.
- [31] 松村明, 佐和隆光, 養老孟子監修. 辞林21. 三省堂, p.400, 1993.
- [32] 日本音響学会. 楽器の音. コロナ社, p.1, 2024.
- [33] 後藤真孝編著. 音楽情報処理. コロナ社, p.26, 2023.
- [34] 芳賀均. 新しい活動のアイディアを考える 食べられる立体図形楽譜の活用の可能性を探る—STEAM教育を考慮した「音楽づくり」の活動—. 2024.2.17, 令和5年度日本学校音楽教育実践学会 第17回北海道支部例会における発表 (動画). <https://youtu.be/ki4C6zNiFws> [2025.3.10.13:41.閲覧]

芳賀 均



1994年文教大学教育学部初等教育課程音楽専修卒業. 2012年明星大学大学院人文学研究科教育学専攻博士後期課程修了. 博士 (教育学). 2014年北海道教育大学旭川校芸術・保健体育教育専攻音楽分野講師. 現在准教授, および, へき地・小規模校教育研究センター員. 理系領域と芸術の融合したSTEAM教育の実践と研究に, 音や音楽を題材に取り組む. へき地をはじめとする地域における活動を重視している. 芸術科学会, 他会員.

森 健一郎



1994年北海道教育大学教育学部釧路校中学校教員養成課程卒業. 同大学院教育学研究科教科教育専攻修士課程修了. 2022年日本体育大学大学院教育学研究科実践教科教育学専攻博士後期課程修了. 博士 (教育学). 2013年北海道教育大学大学院高度教職実践専攻高度教職実践専修 (教職大学院・釧路校) 准教授. 現在教授, および, へき地・小規模校教育研究センター員. 地域の教員養成, 学校教育に貢献することをライフワークに各種研究活動を進めている. 芸術科学会, 他会員.

