

# 歌声合成技術を題材としたキャリア教育の授業開発 —ICT を用いた「音」の数学的处理と開発者の仕事に着目して—

遠藤 剛

千葉大学大学院教育学研究科修士課程

中学校において、「音」は主に理科で扱われるが、オシロスコープが高価である等の理由から、従来、「音」は十分に扱われてこなかった。しかし、ICT 機器の発達により「音」を扱うことは以前に比べ容易となり、機器の使用用途も広がってきている。また、「音」を厳密に扱うことは高度な数学的处理が要求されるため、中学校段階では ICT 機器なしでは扱うことが困難な分野である。ICT 機器が普及してきている一方で、こうした高度な数学的处理を行う仕事に焦点をあてた研究は管見する限り見当たらない。そこで、本研究では、声の波形を数学的に処理する「歌声合成技術」を題材とした授業プランおよび教材を作成した。開発した授業を中学校の選択数学にて実践し、教材および授業プランの有効性と課題を検証した。研究の結果、授業プランの細かな修正や教材の更なる改良といった課題は残るものの、作成した授業プランおよび教材は一定程度有効であることが明らかになった。<sup>1</sup>

**キーワード：**中学校、数学科、キャリア教育、ICT 教育、デジタル教材、歌声合成

## 1. 問題の所在

### 1.1. 「音」に着目した授業を行う意義

振動、光、音などの波動に関する研究が 20 世紀以降盛んになってきている。波動に関する研究のもととなる微積分学の理論は、17 世紀頃のニュートンとライプニッツにより、基本定理が整えられた。その後、ヨハン・ベルヌーイ、ダニエル・ベルヌーイなどをはじめとする数多くの数学者により、解析学における厳密さが追求され、発展してきた経緯がある。中でも、波動に関する研究は、フーリエの研究業績が大きい。フーリエは微積分学の先行業績をふまえ、熱伝導に関する研究を行い、フーリエ解析と呼ばれる理論を展開した。フーリエ解析は、現在でも光や音、振動の分野などで応用されている。

一方、学校教育においては、波動を扱う授業は主に理科で行われている。特に「音」の分野においては、目に見えない現象を扱うことからオシロスコープを用いて可視化することが望ましいが、そうした機器は高価であり<sup>2</sup>、機器の調達という点で扱いづらい分野になっている。しかし、近年の ICT 技術の急速な発達により、オシロスコープは非常に身近なものとなった。コンピュータのアプリケーションソフト（以降、アプリ）がオシロスコープ機器と同様の役割を担っている。現在では、コ

ンピュータのみでなく、スマートフォンやタブレットのアプリをオシロスコープ機器として代用することが可能となっている。このようなアプリの開発により、機器の調達という点においては、「音」を扱うことが困難ではなくなってきた。このように、現代では ICT 機器等のデジタル技術が発達する以前には扱うことができなかった単元や題材をより明瞭に扱うことができるようになってきている。そのため、キャリア教育においてもデジタル技術の発達した社会に対応した内容を扱うことが必要であると考ええる。

### 1.2. デジタル技術の発展と「音」への応用

デジタル技術の発達により、記録メディアが大きく変化した。1980 年の 3.5 型マイクロフロッピーディスクでは 1 MB 程度しか記録することができなかったが、現在（2017 年）の HDD 等では、その約 1000 万倍にあたる 10TB の容量を記録することもできるようになった（表 1）。このような記録媒体の発達により、大容量のデータを容易に扱うことができるようになってきている。

表 1 記録媒体の容量の変化<sup>3</sup>

| 年代     | 記録媒体               | 容量       |
|--------|--------------------|----------|
| 1980 年 | 3.5 型マイクロフロッピーディスク | 1MB 程度   |
| 1986 年 | CD-R/RW            | 650MB 程度 |
| 2001 年 | DVD-R/RW           | 4.7GB 程度 |
| 2003 年 | Blu-ray Disc       | 27GB 程度  |

Tsuyoshi ENDO : Development in Career Education lesson based on Singing Synthesis Technology : Focusing on mathematical processing of “sound” using ICT and working of developer  
Graduate School of Education, Chiba University

|        |                        |         |
|--------|------------------------|---------|
| 2017 年 | HDD、SSD 等 <sup>4</sup> | 10TB 程度 |
|--------|------------------------|---------|

また、「音」においては、1877（明治 10）年にエジソンが蓄音機を発明した。蓄音機の発明以前は、コンサートホールや会場まで直接足を運ばなければ、音楽を鑑賞することはできなかったが、蓄音機の発明により、こうした空間的制約が無くなったことで、音楽はより身近なものとなった。さらに、ソニーとフィリップス<sup>5</sup>の共同開発により、1982（昭和 57）年に CD が開発された<sup>6</sup>。CD により音楽がデジタル化されると同時に、インターネットの普及、コンピュータ性能の向上により、現在では、インターネットからダウンロードするような形が主流になりつつあり、音楽の流通方式も変化してきている。

一方で、音楽を聞くということばかりでなく、「音」を作るということについてもデジタル技術の発展により、非常に容易になっている。音楽制作ソフトウェアの開発により、実際に楽器を演奏することなく、コンピュータ上で全て作ることが可能となってきている。また、他人の制作した楽曲を加工するというのも非常に簡単にできるようになってきており、制作物を YouTube<sup>7</sup>等の動画配信サイトにアップロードするという共有方法もでてきた。このように、様々な人が趣味的にも業務的にも「音」を様々な扱えるようになり、自由にイメージした「音」を作り出すということが可能になってきている。

このように、「音」を扱うことは、デジタル技術の発展により大きく変化し、その応用範囲は広がってきていると言える。記録容量の増加とデジタル技術の発達により、「音」を扱うことが以前に比べ容易になり、音楽の鑑賞形態も変化してきたことから、デジタル技術の発展により、社会も大きく変化していることが分かる。

以上のことをふまえると、社会の変化に対応したキャリア教育を展開するためには、近年、デジタル技術が発達することにより、明瞭に扱うことができるようになった「音」を題材としたキャリア教育の授業を行う必要があると言える。

### 1.3. 歌声合成技術を題材として授業を行う意義

デジタル技術が発展するとともに、「音」の応用範囲が広がっていることは前述した通りである。このように「音」の応用範囲が広がることで、「音」に関する職業も大きく変化してきているものと思われる。本節では、こうした音を扱った職業に着目し、歌声合成技術を扱う意義について述べる。

「音」がデジタル化されたことで、「音」の波形を数学的に処理することが可能となってきた。そのため、音を数学的に処理する職業は、デジタル技術とともに発展

してきたといっても過言ではない。波形は関数として表現することができるが、この関数に数学的な処理を施すことで、新たな「音」を作り出すことや「音」を処理することが可能となっている。

ヤマハ株式会社の剣持秀紀らによって開発された歌声合成技術は、まさに波形に数学的な処理を施したものであり、予めサンプリングされた歌声を用いて、数学的に「音」をつなぎ合わせることで人工的に歌声を作り上げる技術である。デジタル技術が発展する前では、歌声合成技術で用いられる「音」の数学的な処理を学校教育において扱うことは、困難であった。なぜならば、フーリエ変換のような高等数学で扱われる高度な計算が必要となってくるためである。計算自体も非常に複雑であり、中学校や高等学校の数学的知識のみでは、「音」の解析を行うことすらできない。つまり、こうした「音」を扱うことは、大学等で専門的に学ぶことしかできなかった領域であったと言える。

現在では、デジタル技術が発達することで、音声を入力するだけでフーリエ変換を行ってくれるようなアプリが誕生した。アプリは非常に複雑な計算を瞬時に処理し、解析を行っている。こうしたアプリを使用することで、波形を数学的に扱うことが以前に比べ容易になった。ICT 機器の使用により、波形を視覚的に扱うことが可能となり、様々な実践が試みられている現代においては、以前には扱うことができなかった職業についても扱うことができるようになってきているのではないだろうか。歌声合成技術のように声を数学的に処理することは、計算で処理することは難しいが、波形を視覚的に扱うことができる現代においては、十分に扱うことが可能であると思われる。そのため、歌声合成技術を題材とした授業を行うことで、従来は扱うことが困難であった数学的な処理を要する職業についても学ぶことが可能であると推察される。

### 1.4. 先行研究および先行実践の検討

#### (1) アナログとデジタルの違いについて扱った先行研究

デジタル技術に着目した授業開発として、塩田・竹谷（2009）<sup>8</sup>がある。これは、主に工業高校の生徒を対象とした授業開発であるが、アナログとデジタルの違い等が扱われており、本研究と関係する部分も大きい。

CD の仕組みを例に「音」のデジタル化について扱った先行研究と言えるだろう。これらの点においては、本研究との関連も深く、「音」をコンピュータで数学的に処理するには、「音」がデジタル化されている必要がある。したがって、「音」がどのようにしてデジタル化されているのかについては、十分に参考としたい先行研究である。

## (2) 関数グラフソフト「GRAPES」を用いた三角関数の先行実践

次に、関数グラフソフト「GRAPES」を用いた三角関数の先行実践<sup>9)</sup>についてである。関数グラフソフト「GRAPES<sup>10)</sup>」は、大阪教育大学の友田勝久が開発したフリーソフトウェアである。関数によるグラフや軌跡を描くことができるソフトとなっている。このソフトを使用した様々な授業実践が行われており、その中に「音」を扱った先行実践がある。この先行実践は、「音とグラフ」という題名で、2008 年に大阪教育大学附属高等学校池田校舎にて、友田勝久によって、高等学校数学Ⅱの三角関数の単元内で行われている。数学Ⅱで登場する三角関数は、これまでの関数と全く別の性質を持つため、何を学んでいるのかが捉えにくいと考え、「音」という身近な素材から波形と音色の関係を「音」で捉える授業である。最終的にクラリネットの波形を模倣したグラフを「GRAPES」を用いて合成し、「音」を再生することで、三角関数で「音」を作り出すことができることについて学習する内容となっている。

「音」を数学的に考えるという点で、本研究との関連性が強い先行実践である。

### 1.5. 先行研究および先行実践の到達点と課題点

本節では、前節で述べた先行研究および先行実践の到達点と課題について述べる。

まず、到達点についてである。塩田・竹谷 (2009) の実践では、「生徒にアナログとデジタルの違いや CD の仕組みについて理解させるとともに、ものづくりに興味をもたせることに寄与した」とある。塩田・竹谷 (2009) が開発した授業・教材において、アナログとデジタルの違いについて十分に理解させ、開発した授業・教材の有効性を検討できたことが到達点として挙げられる。関数グラフソフト「GRAPES」を用いた三角関数の先行実践では、「GRAPES」を使用することによって、波形を作り出し、「音」を再生するところまで扱われている。クラリネットの波形を数学的に求めることで、いかなる「音」でも三角関数を用いて作り出すことができることを示した点が、この先行実践における到達点である。

次に、これらの先行研究及び先行実践の課題について述べる。塩田・竹谷 (2009) の実践では、デジタルとアナログの違いについて扱っているものの、2009 年当時に行われた授業開発であるため、現在では、こうしたデジタル技術ももう少し進歩していることが考えられる。デジタル化にとどまることなく、デジタル化を利用した取り組みが数多くなされている。例えば、新たなデジタルエフェクターの開発<sup>11)</sup>もその一つとして考えることができる。このような中で、アナログとデジタルの

違いに留まらず、「音」がデジタル化されたことで、可能となった技術を扱った授業開発が必要である。

関数グラフソフト「GRAPES」を用いた三角関数の先行実践では、関数の合成により波形を作り出す内容が扱われているが、クラリネットの波形を目測で計量化し、フーリエ係数が求められており、倍音についても 10 倍音までしか再現することができないため、波形の再現性としても課題が残る<sup>12)</sup>。現在では、デジタル技術の進歩により、アプリが「音」を感知すると、自動的にフーリエ変換を行ってくれるアプリがあり、目測による計量化よりも、正確にフーリエ変換を行うことができるようになっている。アプリの使用により正確にフーリエ変換が行えるようになれば、もっと多くの倍音まで扱うことができ、より再現性の高い波形を作り上げることができる。以上のような課題をふまえ、楽器の波形より複雑である声の波形についても扱うことができるように改善することで、「音」を数学的に扱うことの可能性が広がると考えられる。

## 2. 研究の目的と方法

### 2.1. 研究の目的

本研究の目的は、波形の関数変換に関する教材とその発展的な数学的处理を学習するためのデジタル教材を用いた授業開発を行い、音と関数の数学的関係及び音と数学に関する職業について扱った授業を中学校で実践し、その考察を行うことで、作成した教材及び授業計画の有効性と課題を明らかにすることである。特に以下の 3 点を中心に有効性と課題を明らかにしたい。

1 点目は、開発したデジタル教材の内容とレベルが妥当かどうかについてである。主に、本研究で開発した教材が、数学的に波形を作り出すことについての理解を可能としていたかを検討する。また、計算で波形を作り出すことができることについて、生徒に関心を持たせることができるものとなっていたかを検討する。

2 点目は、波形を数学的に扱うことについて、内容とレベルが妥当かどうかについてである。主に波形を数学的に扱うことの可能性について検討する。

3 点目は、波形を数学的に扱う仕事に対する興味・関心を高めることができたかについて検討する。

### 2.2. 研究の方法

研究方法について述べる。開発した授業は選択教科(数学)にて中学 3 年生を対象に実施する。授業中の生徒の様子、授業中に生徒が書いたプリント、生徒の発言、事前アンケート及び事後アンケートの記述を中心に取り上げることで、授業の考察を行い、開発した教材及び授業計画の有効性と課題を検討する。

### 3. 授業・教材の開発

#### 3.1. 授業実施校と選択教科について

本授業は、千葉大学教育学部附属中学校第3学年選択教科（数学）「ドラマチック数学」にて、4時間で実施する。本節では、選択講座「ドラマチック数学」について記述する。

2016（平成28）年度3年生前期選択教科（数学）「ドラマチック数学」（以下、選択数学）では、1コマ45分の授業が全14回設けられている。選択数学を選択した生徒は全4名で男子0名、女子4名である。選択数学は全14回実施される授業を通して、ドラマチックな体験をするという大枠がある。全14回の授業は大学院生1名（筆者）及び学部生3名（多田、古林、小牧）が担当した。全14回実施される選択数学は大きく3つの題材により構成されている。1つ目は数学史を題材とした授業であり全5回、2つ目は映像の中に出てくる情報を整理し、最適手段を計算する内容の授業で全3回、3つ目は筆者が担当する「音」を題材とした全4回の授業により構成されている。これらの12回の授業に加え、選択教科の説明会であるオリエンテーション、講座の決定を行う調整回の各1回を含め、全14回の構成となっている（表）。本授業は、「音作りの物語」の単元で実施した。

表2 「ドラマチック数学」授業担当者と単元

| 回     | 授業担当者    | 単元        |
|-------|----------|-----------|
| 1     | 遠藤、古林    | オリエンテーション |
| 2     | 遠藤、古林    | 調整回       |
| 3     | 古林       | 数学史       |
| 4・6   | 多田、小牧、古林 | ドラマと数学    |
| 7・10  | 古林       | 方程式の物語    |
| 11・14 | 遠藤       | 音作りの物語    |

#### 3.2. 授業で取りあげる題材の検討

音の中でもより複雑な波形を示す人の声に着目する。人の声は、音叉が示すようなきれいなsinカーブをしたものではなく、とても複雑な波形をしている。この声の解析を行う数学的な手法が、フーリエ変換である。フーリエ変換では解析を行うことで、解析した人の声を作り出すことが可能である。また、このフーリエ変換を応用した技術も誕生している。それが、サンプリングした歌声をベースとして、歌声を周波数領域で接続、加工し、自然な歌声を作り出す歌声合成技術である。しかし、こうした数学的な処理は膨大な量の計算を要するため、と

ても手計算で行うことはできない。つまり、記録容量の変化に伴い、コンピュータの性能が向上した現代において開発された技術であると言える。この歌声合成技術の開発は波形を数学的に処理するという点で数学との関わりが非常に強い。そのため、歌声合成技術の開発を本研究で取り上げることにした。

#### 3.3. 教材の開発

##### (1) 簡易CD再生機器および簡易CD

1つ目は、「簡易CD再生機器」と「簡易CD」である。本研究で新たに開発した教材ではなく、塩田・竹谷（2009）で使用された教材と同じである。簡易CD再生機器は、NPO法人企業教育研究会<sup>13</sup>がソニー株式会社と提携し、開発された教材であり、CDの仕組みについて理解することを目的として開発された。簡易CD再生機器にはセンサーが仕込まれており、簡易CDに塗られた明暗を感知し、予め割り当てられた音を再生する。

##### (2) 重複順列を考えるカード教材とワークシート教材

2つ目は、「重複順列を考えるカード教材」である。1時間目では、デジタルによる信号の表現として2進法を学習する。その際に、重複順列の思考が必要となるが、中学校段階では、未習の事項であるため、視覚的に学習ができるカード教材を開発した。カード教材は、片面が白色であり、もう片面が黒色になっている。

##### (3) 関数の合成を考えるワークシート教材

3つ目は、「関数合成を考えるワークシート教材」（図）である。「音」という題材のため、sin波を扱うことになるが、三角関数を学習していない中学校段階でも視覚的に合成を行うことができるように、2つの波形を記入したワークシートである。その2つの波形の座標を合成することにより、合成後の波形が得られる教材である。

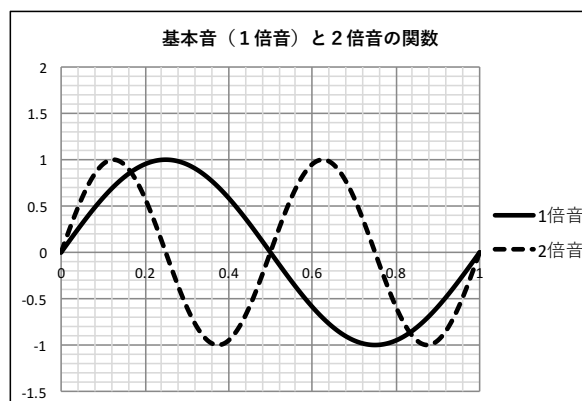


図1 関数合成を考えるワークシート教材

##### (4) 表計算プログラム教材1

4 つ目は、「表計算プログラム教材 1」(図)である。本教材は、「関数合成を考えるワークシート教材」を用いて行った波形の合成を表計算ソフトで処理するデジタル教材である。ワークシートを用いた計算を助ける役割りを担った教材である。

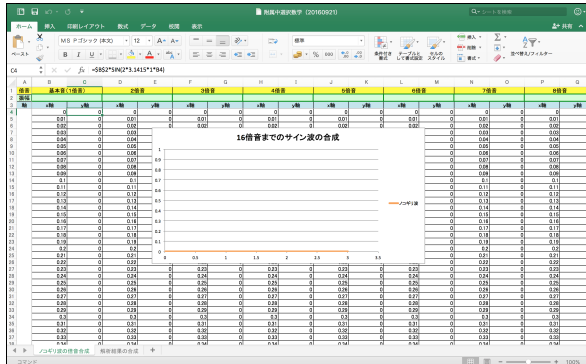


図 2 表計算プログラム教材 1

#### (5) 表計算プログラム教材 2

5 つ目は、「表計算プログラム教材 2」(図)である。本教材は、「表計算プログラム教材 1」を基本として作成した。「表計算プログラム教材 1」との違いは、新たに周波数を入力するセルを設けた点である。高速フーリエ変換アプリを用いて解析した結果を入力することで、アプリに記録された波形と同様の波形を本教材によって算出する。なお、使用した高速フーリエ変換アプリは、「おんかいくん 1.40」である。

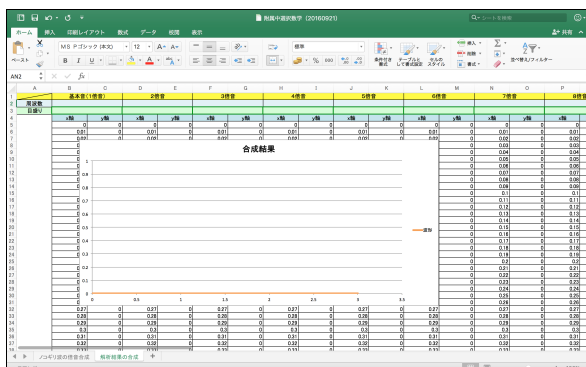


図 3 表計算プログラム教材 2

#### (6) 開発者へのインタビュー教材

6 つ目は、開発者へのインタビュー教材である。本教材は、歌声合成技術 (VOCALOID) の研究・開発を行っているヤマハ株式会社のエンジニアへのインタビュー映像を授業での使用を目的に編集したものである。教材として用いるインタビュー映像は、「VOCALOID の紹介」、「VOCALOID でできること」、「VOCALOID の数学的關係」、「開発者が考える数学の面白み」、「仕事の

やりがい・魅力」、「仕事の苦勞する部分」である。

#### 3.4. ICT を用いた音声解析におけるアプリの選定と位置づけ

「おんかいくん (1.40)」は、マイクを用いて音声を入力し、リアルタイムで波形グラフを周波数スペクトルに変換してくれる (図)。更に、倍音トラックバーには、入力した音声の倍音の成分が表示される。この機能を使用してある瞬間を切り取り、その波形に含まれる倍音の周波数及び、その強弱を倍音トラックバーから読み取る。その読み取ったデータを表計算プログラム 2 に入力し、関数の合成を行い、波形グラフを計算により導く。「おんかいくん (1.40)」は波形グラフを計算により導く際に必要なデータを音声解析により算出する教材として位置づけている。

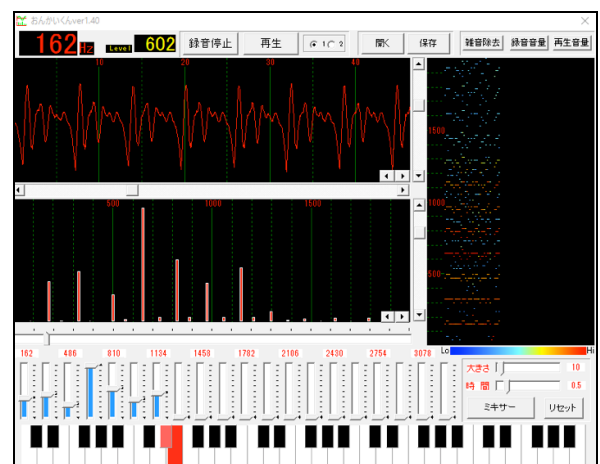


図 4 おんかいくん (1.40) の画面

#### 3.5. 授業プランの作成

まず 1 時間目の授業では、音楽をどのような媒体を通じて、聞いているのかについて考え、過去の音楽鑑賞の形態と現在の音楽形態の相違点について学習する。次に、音楽が流通するにあたり、主流な媒体として普及してきたレコード及び CD に着目し、その音楽の記録方法の違いについて学習する。

続いて、現在使われているデジタルの記録方法に着目する。コンピュータは ON、OFF の 2 種類の信号しか認識することが出来ないため、2 種類の信号で全ての事象を表現しなければいけないことを把握し、白と黒の 2 つしかない条件の下でドレミファソラシドの 8 通りを表現する方法を簡易 CD の作成を通じて学習する。簡易 CD の作成及び再生を通して、CD の再生、記録の仕組みについて理解する。

2 時間目では、音が波形で表されることを確認するとともに、波形を変換することにより、音も変化することについて学習し、計算により波形を導く。音が変わると

波形が変わる現象と波形が変わると音が変わる現象の2つを扱う。その後、倍音合成により、より複雑な波形であるノコギリ波を計算により作り出す活動へと入る。しかし、ノコギリ波を作成するためには、相当数の計算が必要となってくるため、2つの波形を手計算（ワークシート教材）にて合成し、合成の仕組みを理解したところで、残りの合成は、開発した表計算プログラム教材1を用いて行う。

3時間目は、人の声を解析し、その解析結果から、再び計算によって波形を導き出す。人の声は複雑な波形を描くため、その波形を導くためには、周波数ごとのスペクトルに分解をするフーリエ変換を行う必要がある。このフーリエ変換には、「おんかいくん（1.40）」を使用する。そこで割り出した周波数スペクトルの値を開発した表計算プログラム教材2に入力し、波形を数学的に導き出す。

4時間目では、複雑な波形をコンピュータによる計算によって処理することが可能となった歌声合成技術に着目する。歌声合成技術はコンピュータの性能の向上及び数学によって支えられる技術であり、これらの開発者へのインタビュー教材を通して、数学の面白みや社会における数学の応用例、歌声合成技術に用いられる数学的手法について、実際に開発を行っているエンジニアの方へのインタビュー教材を通して学習する。

ここまで記述した授業計画を表に示す。

表3 授業計画

| 時間 | 主な学習活動                                                                                |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | アナログとデジタルの音の記録方法の違い<br>○レコードとCDの観察<br>○簡易CDの作成                                        |
| 2  | 関数の計算とノコギリ波の作成<br>○ワークシートを用いた2つの波形の合成<br>○表計算ソフトを用いたノコギリ波の作成                          |
| 3  | 関数の計算を用いて「声」の波形を作成<br>○高速フーリエ変換アプリを用いて「声」を解析<br>○解析結果から表計算ソフトを用いて、アプリで解析を行った「声」の波形を作成 |
| 4  | VOCALOIDの開発者の仕事<br>○開発者による製品の紹介<br>○VOCALOIDで簡単な楽曲制作<br>○インタビュー映像で開発者の仕事を学習           |

## 4. 授業の実践とその考察

### 4.1. 授業実践の概要

2016（平成28）年7月から10月にかけて、本授業

を千葉大学教育学部附属中学校第3学年選択教科（数学）で実施した（45分×4時間）。生徒は女子4名であった。授業者は筆者（遠藤）である。

授業の実際は、ビデオ映像を中心とした授業記録をもとに分析を行い、授業プラン及び教材の妥当性を検討した。また、事前・事後アンケートを実施し、その記述内容から妥当性を検討した。

授業記録では、授業者（筆者・遠藤）の発言はTで示し、生徒の発言については、実名を出せないため、それぞれ生徒A、B、C、Dで示すこととする。

### 4.2. 授業の実践とその考察

#### (1) 1時間目

本時の目標は、アナログとデジタルの違いについて学習し、CDの仕組みを例にデジタルの数学的处理について理解することである。導入部分において、現在の音楽の鑑賞方式についての発問を行った。以下のような発言が見られ、現在の音楽の鑑賞方式について考えることができていたことから、導入における現在の音楽の鑑賞方式についての発問は適切であったと思われる。

T：じゃあ、最初みなさんに質問です。普段何を通じて音楽を聞きますか？音楽聞きますか？  
生徒A：めっちゃ聞きます。  
T：おお。めっちゃ聞きます。（繰り返して）  
T：（他の生徒を指名して）聞くみんな？  
T：お。聞きます。それは何で聞くんですか？携帯とかですか？  
生徒A：YouTubeとか。あの一はい。聞くってそういうことですか？ヘッドホンとかのことですか？  
T：あ、いやいや、そのどういう手段で聞くのかなって思っ  
T：（他の生徒に発言を求めて）何で聞きますか？  
生徒B：YouTube。  
生徒C：アプリとか。  
T：それはどういうアプリ？  
生徒C：いろんなのが聞けるアプリ。  
T：いろんなのが聞けますよっていうアプリか。  
生徒C：iTunes。iTunes。  
生徒D：iPod  
T：iPod。iPodにはどうやって音楽入れてるの？ネットで買って？  
生徒D：YouTubeから。

次に、年代の変化とともに音楽がどのように鑑賞され、現代の鑑賞方式へと至ったのかについて説明を行い、主流な媒体であったレコードとCDをピックアップし、その記録方法の違いについて扱った。レコード、CDとも

に観察を行いながら違いを比較することができるよう、実物を用意した。レコードの観察においては、4 名とも「ザラザラしている」ことを挙げており、レコードの仕組みについて気づくことができていた。実物を用意したことで理解を助けることができたものと思われる。一方、CD の観察においては、CD を割ったり、傷つけたりすることを許可し、観察を行った。生徒 D が「何層にもなってるのこれ？」という発言をし、切断をした断面を観察したことで、層になっていることに気づいた。また、生徒 A と生徒 B は CD がなぜピカピカしているのかについて疑問を持った。実際に、CD を用いて、詳細に観察することで、生徒が疑問をもって授業に参加することができていた。CD の仕組みについて決定的な回答は得られなかったものの、実物を観察して疑問を持ちながら活動を行うことができており、CD を詳細に観察する活動は様々な角度から観察することへとつながった。その後、CD の記録方法について映像を用いて、説明を行い、光の明暗により、音を表現していることを確認した。

次に、その記録方法を応用し、簡易 CD を作成する内容へ入った。ここで、開発したカード教材とワークシートを用いた。まず、白を黒の 2 色でドレミファソラシドの音を表現するためには、何枚のカードが必要であるかという問題を出題した。生徒 A は、カード教材のみで考えていた。しかし、混乱している様子が見られ、本講座の担当である附属中学校の教諭が支援を行った。カード教材のみの使用では、表現した記録が残らないため、重複が生じてしまい、その結果、混乱が生じていた。このような状況から、カード教材やワークシート教材を単体で使用するには限界があることが判明し、2 つの教材を組み合わせる必要性が示唆された。

全員が回答を導くことができたところで、簡易 CD を作成し、再生する活動へと入った。白と黒で塗った簡易 CD を作成し、再生することで、CD の仕組みについて実感を持って活動に取り組むことができていた。しかし、簡易 CD の制作時間を十分に確保することができなかったという課題が残った。十分に制作活動の時間を設けることで、より CD の仕組みを実感することができたものと思われる。簡易 CD の再生を行ったところで 1 時間目を終了した。本時の目標であったデジタルの数学的処理について理解することは概ね達成することができたものと思われる。

## (2) 2 時間目

本時の目標は、音が関数で表現されることを学習するとともに、関数を変換することで音も変換されることを学習することである。はじめに、前時の復習を行い、本時の内容へと入った。本時では、音が波形で表されることを確認するため、オシロスコープを用いて音叉の波形

の観察を行った。波形を記録するワークシートにはいずれの生徒も綺麗な sin 曲線が書かれており、十分に観察を行うことができていた。次に、波形が変わると音に変化することを学習するために、理科ねっとわーくの学習アプリ「発音」を用いて、同じ高さの音の波形を変化させた場合、聞こえ方がどのように変化するのか体感する活動を行った。その際の様子を授業記録から引用する。

生徒 A：ああ、でもなんか。全部同じに聞こえる。  
あ、ちょっと高くなった？  
生徒 D：(C に対して) 何が違う？  
生徒 C：(笑う)  
生徒 B：え、なんか。  
生徒 A：なんか小さくなってる？  
生徒 D：え、なんか、あれみたいだね。マリオ。  
生徒 C：(笑う)  
生徒 A：マリオ。マリオじゃない。(笑う)  
生徒 C：ちょっと高くすればね。  
生徒 D：そう。  
生徒 A：え、それちょーうるさいんじゃない？  
生徒 B：(笑う)  
生徒 D：あーこれが一番落ち着く。  
生徒 C：落ち着く。なんか寝る前に聞きたい。(笑う)  
T：何が一番落ち着く？  
生徒 D：サイン波。  
生徒 A：これ？  
生徒 B：うん。  
生徒 A：これが一番落ち着く？  
生徒 A：サイン波が一番落ち着く。  
T：サイン波が一番落ち着く？一番うるさいのは何だった？  
生徒 A：三角もまあ。  
生徒 B：三角もまあ。  
生徒 A：え、あれがうるさい。階段 (波)。  
生徒 B：階段 (波)。  
T：あー階段。  
生徒 A：あーうるせーこれ。うるせー。  
T：これかな。  
生徒 A：うん。

以上のような様子から生徒は、波形を変えると音の聞こえ方が変化することに気づくことができていたものと思われる。しかし、ここでは、波形のみを変化させているが、音の高さに関する発言が見られたため、音の高低については強調して説明する必要があった。生徒 A、生徒 B のペアは階段波と呼ばれる波形が最も耳障りであることを示唆していた。

波形が変わると音に変化することを確認できた後、今

回使用したアプリの中にもあったノコギリ波を数学的に作成する課題を出した。はじめは、計算ではなく、同じ理科ねっとわーくの倍音合成を行うアプリを使用し、ツマミを上下させるだけで、波形を変化させ、ノコギリ波を作り出す活動を行った。生徒は手探りでノコギリ波になるようにツマミを調整していた。生徒 C、D のペアは、ツマミを全て上げると、ノコギリ波に近づくことに気づくことができていた。生徒 A、B のペアも生徒 C、D のペアの様子を観察し、ノコギリ波を作成していた。正しい回答は出なかったものの、ここでは、ツマミを調整することで波形がどのように変化するのかについて理解することが目的であるため、ここでの目的は十分に達成することができた。

次に、正しい合成方法について説明を行い、それをふまえて、計算にてノコギリ波を作成する活動へと入った。この活動において、「関数合成を考えるワークシート教材」を用いた。2つの関数の合成を行うにあたり、2つの座標の計算を省略するため、コンパスも準備したが、コンパスの使用は計算の原理を理解することができないまま使用すると混乱を招くことが分かった。生徒 A、C は途中でやり方が変わってしまい、やり直す場面が見られた。この活動の時間を十分にとり、原理を十分に理解した後、コンパス等を使用することが望ましいと思われる。

ここまで、手計算にて 2 つの波の合成を行ったが、ノコギリ波を作成するためには、15 程の波を合成する必要があるため、残りは、「表計算プログラム教材 1」を用いて合成を行うところまで、本時で扱う予定であったが、時間となってしまったため、本時はここで終了となった。

アプリを通して、波形の変化と音の変化について気づくことができており、本時の目標は概ね達成することができた。

### (3) 3 時間目

本時の目標は、人間の声が描く複雑な波形を FFT<sup>14</sup>アプリを用いて解析し、解析した結果から再び関数(波形)を合成し、表すことで、人の声などの複雑な波形も sin 波の合成により成り立っていることを再確認するとともに、声のように複雑な波形も数学の力を用いて作り出すことができることを学ぶことである。

授業の冒頭では、前時に扱うことのできなかつたノコギリ波の合成から入った。いずれのペアもノコギリ波の合成を行うことができており、ノコギリ波の作成については十分に理解することができていたものと思われる。

次に、本時の内容に入る。おんかいくん (1.40) を用いて声の分析を行う。おんかいくん (1.40) では、オシロスコープと同様に波形を観察することができる機能

が存在する。生徒は、「あ」や「い」などの音を記録し、その波形を観察することができていた。音により波形が大きく異なり、前時で観察した音叉の波形よりも非常に複雑な波形であることを確認することができていた。次に、おんかいくん (1.40) の FFT 結果を抽出し、表計算プログラム教材 2 にその値を入力し、記録した波形を数学的に求める活動へと入った。波形を求めた際の様子を授業記憶から引用する。

生徒 B：これが私の波形でーす。

生徒 A：綺麗だね。

T：どう？さっきのは入れた？全部数値。

生徒 B：はい。

T：さっき記録した波形と同じような形になった？あ、閉じちゃったんだね。比較しようと思ったんだけど…。

生徒 AB：あ〜。でも同じような感じだったよね。

生徒 B：うんうん。

生徒 A：なんかああいう感じだった気がする。

おんかいくん (1.40) のオシロスコープ機能を用いて観察した波形と計算にて求めた波形を比較し、考察する予定であったが、アプリを終了してしまっており、正確に考察することができない状態となってしまった。しかし、生徒 A、B のペアは似たような波形になったことを示唆していた。同じタブレット PC でおんかいくん (1.40) と表計算プログラム教材 2 を使用したため、FFT 結果抽出後アプリを終了してしまっていた。おんかいくん (1.40) と表計算プログラム教材 2 を別のタブレット PC を使用する工夫やアプリを終了しないよう、注意を促す必要があった。もう一度、記録を行い、計算を行おうとしたが、授業終了時刻となってしまったため、本時はこの活動までで終了した。

本時の目標は、人の声などの複雑な波形も sin 波の合成により成り立っていることを再確認するとともに、声のように複雑な波形も数学の力を用いて作り出すことができることを学ぶことであったが、上記の授業記録から、声の波形を数学的に求めたことを実感することができた可能性は僅かにあるものの、十分ではなく、本時の目標を十分に達成できたとは言い難い。そのため、4 時間目にも再度この活動を取り入れることにした。

### (4) 4 時間目

本時は、3 時間目の目標を十分に達成することができなかったことから、前時の復習を含め、おんかいくん (1.40) と表計算プログラム教材 2 を用いて、波形を数学的に求める活動から入った。今回は、ペアでの活動ではなく、全体で行うことにした。今回は、生徒 A の「い」

という音を記録し、波形を求めることになった。記録したおんかいくん (1.40) の波形と計算にて求めた波形を比較することができるよう、今回はそれぞれ別のタブレット PC を使用した。その際、おんかいくん (1.40) 記録した波形が図 5 であり、表計算プログラム教材 2 を用いて導いた波形が図 6 である。

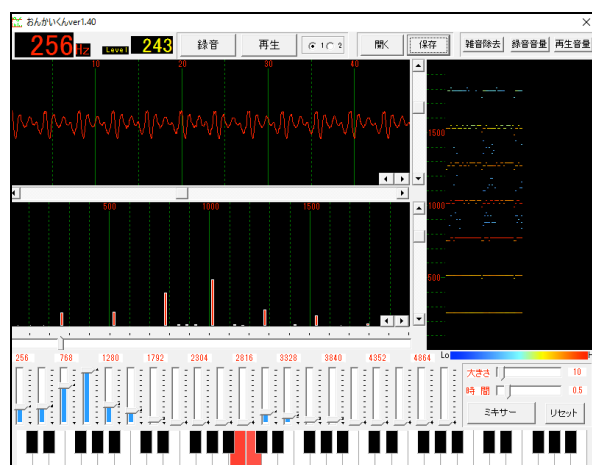


図 5 生徒がアプリに記録した「い」の波形

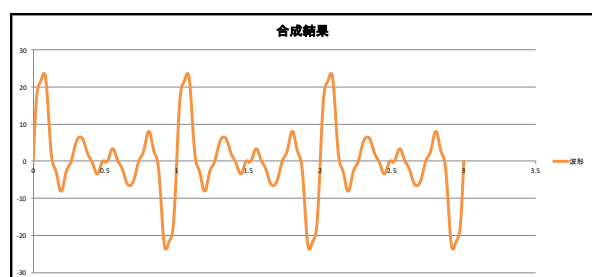


図 6 表計算プログラム教材 2 で導いた波形

ワークシートには、記録した波形と計算で導いた波形が似ているか、似ていないかに丸をつける欄を設けたが、生徒は 4 名とも似ていると回答しており、肯定的な意見が得られた。このことから、声のように複雑な波形も計算にて数学的に求めることができることを実感することができたものと思われる。次に、この表計算プログラム教材 2 の計算式について紹介を行った。ここでは、2 時間目に行ったノコギリ波の計算と同様の手順で合成されていることを紹介した。しかし、計算式が複雑に入っていることもあり、生徒は理解しがたい様子であった。ここでは、波の足し算によって計算していることを示したかったため、最終的な足し算を行うセルの作成はあえて生徒に行わせることで、計算の内容について理解することができたものと思われる。これまでの声の波形を作る内容と歌声合成技術の関連性について扱い、VOCALOID にフォーカスをあてた。VOCALOID について、ヤマハ株式会社のエンジニアの方の映像 (インタビュー教材) を用いて、学習する。インタビュー教材の

内容については、3.3. に示した通りである。インタビュー教材を見る際には、ワークシートにメモ欄を設け、そこに内容を記述するようにした。ワークシートの記述を見ると、生徒は的を射た内容を記述しており、内容を十分に理解することができていた。インタビュー内容をふまえ、本時までのまとめを行い、授業を終了した。

### 4.3. 事前・事後アンケートの考察

#### (1) 事後アンケートの考察

事後アンケートは、4 時間目 (最終回) 終了後に実施した。「数学が使われた仕事について興味や関心が高まりましたか？」という設問では、3 名 (生徒 A、B、D) が「とても高まった」と回答し、1 名 (生徒 C) が「やや高まった」と回答している。全員が肯定的な回答をしており、数学が使われた職業について、程度は異なるものの、授業プランや教材は、興味や関心を高めることに繋がったと思われる。また、「音を作り出す仕事に興味や関心が高まりましたか？」では、全ての生徒が「とても高まった」と回答している。授業プランや教材は、十分に生徒の興味や関心を高めることに繋がったと思われる。以上のアンケート結果から音と数学に関する職業に関する興味・関心を一定程度高めることができたと言える。

#### (2) 事前・事後アンケートの比較

事前・事後アンケートで「あなたは日常の中で数学が使われていると感じることはありますか？」という共通項目を設けたところ、表 4 のような結果となり、事前アンケートでは、「あまり感じない」と回答していた生徒が事後アンケートでは肯定的な意見へと変化する様子が見られた。

表 4 事前・事後アンケートの比較

| 選択肢      | 事前  | 事後  |
|----------|-----|-----|
| ①よく感じる   | 1 名 | 1 名 |
| ②やや感じる   | 2 名 | 3 名 |
| ③あまり感じない | 1 名 | 0 名 |
| ④全く感じない  | 0 名 | 0 名 |

## 5. 研究のまとめ

### 5.1. 研究の成果と課題

本研究の成果と課題を述べる。研究の目的で示したように、主に以下の 3 点について述べる。

- (1) 開発したデジタル教材の内容とレベルの妥当性
- (2) 波形を数学的に扱う授業内容とレベルの妥当性
- (3) 数学を用いた仕事に対して興味・関心を持てたか

(1) については、内容は概ね妥当であったと言えるが、一部改善の余地がある。生徒は、表計算プログラム教材を用いて、波形を導くことができていると、授業の様子やアンケートを見ると、表計算ソフトに入力された関数についても理解することができていると思われる。しかし、入力した関数が複雑であるため、計算過程については理解しがたい様子であった。そのため、入力した関数の扱いについては検討する余地がある。また、本教材は波形を作成するところで終わってしまっているが、作成した波形を音として再生することができるよう、教材を更に改善する余地がある。本教材のレベルについては、概ね妥当であったと言える。授業の様子やアンケート結果から波形を合成する計算過程は理解できているようであった。全生徒がノコギリ波、記録した声の波形ともに作り出すことができている、本教材のレベルとしては概ね妥当であったと言える。

(2) については、概ね妥当であったと言えるが、一部検討の余地がある。波形を数学的に変換させることは、非常に高度な数学的知識が必要であるが、ICT 機器を用いることで、波形を計算にて導くことができていた。アプリを使用し、波形を再合成する活動においては、記録した波形と計算で導いた波形を比較することで、互いが似た波形であることを生徒全員が示唆しており、波形を数学的に求めることができていたと言える。しかし、アプリによる解析は便利である反面、数学的な処理を隠してしまう側面があることから、アプリが波形に対して、どのような数学的処理をしているのかについては丁寧に扱う必要があると思われる。以上のように一部検討の余地があるものの、波形を数学的に扱うことは中学校の学習段階においても、十分に可能であり、内容とレベルは概ね妥当であったと言える。

(3) については、概ね妥当であったと言える。アンケートの結果では、VOCALOID と音を作る仕事を扱った授業について全員が「とても面白かった」と回答しており、インタビュー教材は、生徒の興味・関心を高めることができたと言える。また、数学が使われた仕事について興味や関心が高まったかという質問においては、4名の生徒とも肯定的な回答しており、数学が使われた職業に対する興味・関心を高めることに寄与したものと思われる。しかし、インタビュー教材の内容と第3回までに学習してきた内容についての関連が薄いことは課題として挙げられる。生徒が第3回まで学習してきた内容に関連した数学的処理を専門家から学ぶことで製品化された VOCALOID についての興味・関心を、より高めることができたものと思われる。

以上をふまえると、本研究は、授業計画や教材について、細かい課題は残るものの、開発した教材及び授業計画は一定程度有効であったと結論づけることができる。

以下に本研究をふまえた今後の展望を挙げる。

## 5.2. 今後の展望

以下に本研究をふまえた今後の展望を挙げる。

- (1) 作成した波形を再生できるよう改良すること
- (2) 波形を数学的に扱った他の題材での検討
- (3) 30名から40名の人数での授業の実施について

以上の点を中心に再度検討し、授業・教材の開発を進める必要がある。

<sup>1</sup> 本論文は、筆者の平成28年度千葉大学大学院教育学研究科修士論文「歌声合成技術を題材としたキャリア教育の授業開発—ICTを用いた「音」の数学的処理と開発者の仕事に着目して—」の内容を抜粋し、再構成したものである。

<sup>2</sup> オシロスコープを扱っているTektronix社のホームページに掲載されている製品にて価格を調査したところ、最も安価なモデルでも50,000円程であった。Tektronix社は1945年から創業しており、現代まで長く製品を扱っているため、Tektronix社の製品を基準として記述した。

<http://jp.tek.com/oscilloscope> (2017.1.9 閲覧)

<sup>3</sup> 「ソニー株式会社公式ホームページ」>「メディア記録の歴史」

<http://www.sony.jp/rec-media/history/index02.htm> (2017.1.9 閲覧)

<sup>4</sup> ここでは、現在において主流であり、大容量の記録が可能な記録媒体の例としてHDD、SSDを挙げている。

<sup>5</sup> フィリップス：オランダのアムステルダムに拠点を置く、家電メーカー。

<sup>6</sup> 「ソニー株式会社公式ホームページ」>「企業情報」>「第8章レコードに変わるものはこれだ！コンパクトディスク」

<http://www.sony.co.jp/SonyInfo/CorporateInfo/History/SonyHistory/2-08.html#block5> (2017.1.9 閲覧)

<sup>7</sup> YouTube：YouTubeとは、YouTube,LLCが運営する動画共有サービスのことである。

<sup>8</sup> 塩田真吾・竹谷尚人(2009)「定時制工業高校における情報技術基礎の授業開発」,授業実践開発研究第2巻, pp.53-57

<sup>9</sup> 「大阪教育大学 関数グラフソフト GRAPES7.18」>「指導案」

<http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~tomodak/grapes/> (2017.1.9 閲覧)

<sup>10</sup> 詳しくは、以下参照。

<http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~tomodak/grapes/> (2017.1.9 閲覧)

<sup>11</sup> デジタルエフェクターは、1983年頃には既に開発され、リリースされていた。しかし、ここでは、デジタル技術が発達し、新たに現在でも開発が進んでいるデジタルエフェクターを指している。

<sup>12</sup> 「GRAPES ホームページ」>「指導案」>「「音色と波形」を題材として、三角関数が音と深くかかわっていることの授業を行いました。」

<http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~tomodak/grapes/> (2017.1.9 閲覧)

<sup>13</sup> 詳しくは以下参照。 <https://ace-npo.org/>

<sup>14</sup> FFT (Fast Fourier Transform) とは、高速フーリエ変換を示す。

## 謝辞

本授業及びインタビュー教材を作成するにあたり、ヤマハ株式会社の方々にご協力頂きました。ご協力頂きましたヤマハ株式会社の方々に感謝申し上げます。