

# 音のデジタル化の概念理解を促進する教材による学習効果 —JavaScript を用いた教材開発とその効果的利用—

## Learning Effects of Educational Material to Aid in the Understanding of the Digitalization of Sound

### -Development and Effective Use of an Educational Material Made with JavaScript -

エバンズ ベンジャミン ルカ<sup>\*1</sup>, 布施 泉<sup>\*2</sup>, 棟方 渚<sup>\*1</sup>, 小野 哲雄<sup>\*1</sup>  
Benjamin Luke EVANS<sup>\*1</sup>, Izumi FUSE<sup>\*2</sup>, Nagisa MUNEKATA<sup>\*1</sup>, Tetsuo ONO<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup>北海道大学大学院情報科学研究科

<sup>\*1</sup>Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

<sup>\*2</sup>北海道大学情報基盤センター

<sup>\*2</sup>Information Initiative Center, Hokkaido University

Email: benjamin@complex.ist.hokudai.ac.jp

**あらまし:**我々は、音のデジタル化に関する学習教材を新規開発し、学部学生約 35 名に利用させた。教材は JavaScript の WebAudioAPI を用いて作成され、利用者が Web ブラウザ内で各パラメータ値を変更し、音のデジタル化の仕組みを直感的に体験できるよう設計された。本紙では、学生に対して行った授業内の小テストの回答内容も踏まえ、教材の利用が学生の理解促進に効果的であったことを確認し、本教材を用いた学習アプローチの更なる改善点などを考察する。

**キーワード:**音のデジタル化, 学習教材, 学習効果, JavaScript

## 1. はじめに

アナログ情報をデジタル情報に変換する手続きはコンピュータシステムの理解において基本的なものであり、情報処理学会一般情報教育委員会では、それを大学の一般情報教育で学ぶべきものの一つとして挙げている<sup>(1)</sup>。我々は音のデジタル化に焦点を当て、その理解を促進するための新たな学習教材を構築した。更に、その教材を学部授業で利用した評価実験の結果から、それが音のデジタル化の概念に対する学習者の理解促進に効果的であり、また発展的知識に対する学生の興味を引き出す効果も見受けられたことを報告した<sup>(2)</sup>。本紙では、教材を用いて授業を行った翌週の授業内小テストの結果を確認し、教材の利用による学生の理解定着を考察する。

## 2. 学習教材概要

学習教材は、実行環境の制約を受けずに利用できるよう Web ブラウザ上で機能することとし、HTML と JavaScript を用いて製作した。特に音の発生機構と発生された音の逐次データ取得機構には、2013 年より W3C によって標準化が開始された Web Audio API<sup>(3)</sup> を利用した。なお、Web Audio API の規格は現在も開発途中にあり、その実装範囲はブラウザによって異なる。本教材は、API 実装が最も進んでいる Chrome ブラウザ上において正常に動作する。

教材は目次と 3 つの章 (合計 4 つの HTML ファイル) から構成され、全体で凡そ 78.3KB のデータ容量となる。授業時には教材を圧縮ファイル (ZIP ファイル) として学習者に配布し、各自の端末で解凍の上、目次ページを開いてもらうことにより利用した。

学習者はページごとに表示されるテキスト入力欄

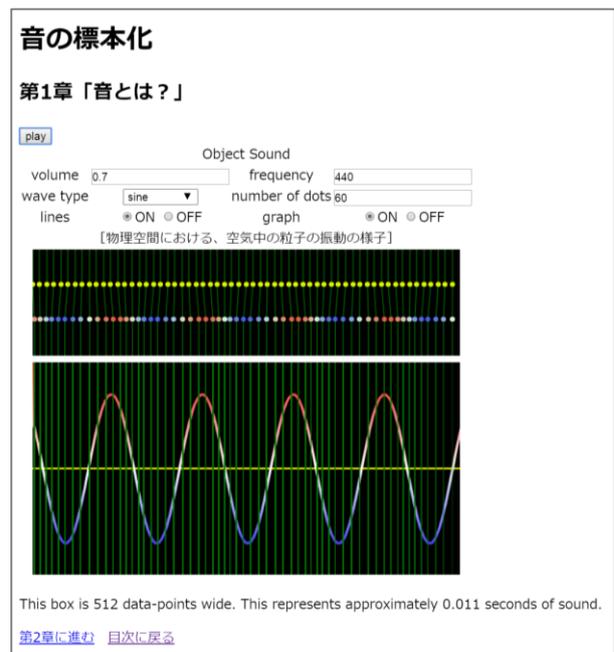


図 1 学習教材実行画面の例

やプルダウンメニューなどで、音量、周波数、波形、描画する粒子数などといった様々な変数を任意に変更可能である。図 1 に、これら変数を調整して音を発生させた際の学習教材の画面の例を示す。

第 1 章では、音が粒子の振動によって生じる物質の疎密の伝搬であることを教えることを目的とした。学習者は周波数や波形を変化させたときの粒子の疎密状態の変化を調べるのが可能である。画面には粒子の移動を示すウィンドウと、粒子の移動距離をグラフとしてプロットするウィンドウの 2 つを配置

し、後者は必要に応じて学習者が表示／非表示を切り替えられるようにした。

第2章では、音が空気中を伝搬する様子を再現し、粒子の疎密が耳に到達することで音が聞こえる現象を提示した。ここでは、連続波の描画の他に単一波の描画を行い、一つの波が空間を伝搬する様子を模式的に表した。

第3章では、音をデジタル化する際の、サンプリング周波数を変化させた場合の再現波のプロット例や聞こえ方を、元の音波と比較して確認できるようにした。画面には元の波と、それを任意の周波数でサンプリングし、線形補間した再現波とが重ねて描画される。また、どちらの波も音声データとして出力し、学習者が実際に聞き比べられるようにした。

なお、その他の教材の詳細については、先の研究報告を参照されたい。

### 3. 学習教材の評価実験とフィードバック

開発した学習教材について、北海道大学の学習者を対象に評価実験を行った。2015年度後期の一般情報教育科目「情報学II」を履修した文系学生34人に対し、音のデジタル化に関する30分程度の講義を、スライドも用いて行った。講義は学習教材の章構成に沿って行い、教材の利用説明や学習者が自由に教材を操作する時間も設けた。実験前後には音に関する基礎知識などを問うアンケートを行い、理解度の変化を確認するとともに教材に関する使用感や感想等を自由記述させた。また、講義の翌週には授業内で小テストを行い、その中で音のデジタル化に関する学習内容の定着状況も確認した。

評価実験時のアンケートからは、周波数の概念や音の標本化に対する学習者の理解の深まりが確認された。また媒体による音の伝搬の違いなどの発展的知識に対して興味を持つ学習者も出た。このことから、本教材の利用は、学習者の音のデジタル化に関する理解促進に効果的であることが示唆される<sup>(2)</sup>。

翌週の小テストでは、標本化、量子化、およびサンプリング周波数の基準を説明する自由記述の設問を設けた。小テストは、前の週の欠席者も含め、36人が受験した。なお、評価実験後も本教材と授業スライドは学生に公開したままにし、小テストに向けて学生が自由に閲覧・利用できるようにした。

サンプリング周波数の基準に関する設問の回答内容を分析した結果の一部を表1に示す。評価実験前後のアンケート結果から、サンプリング周波数に対する学習者の理解が深化していることが確認できる。また、翌週の小テストにおける、人間の可聴域を考慮した具体的なサンプリング周波数とその理由を問う設問では、「周波数の2倍」等に言及している回答者がさらに増えている。学習直後のアンケートと比べ、小テストでの未回答者は増えているが、学習前の「分からない」等と回答した総数よりは少ない。これらのことより、本教材を用いた学習は、学習者の

音のデジタル化に関する理解定着に効果的であったと考えられる。なお、先の人間の可聴域を考慮した具体的なサンプリング周波数を問う設問に対して、1万2千Hzと回答した学習者がいた。その理由として、本教材を用いた実習結果を踏まえ、「この値がちょうど良かったため」と説明していた。教材を用いた具体的な体験に加え、抽象化し概念を理解する学びにつなげる学習過程も必要と考えられる。

表1 音のデジタル化（サンプリング周波数の基準）の理解に関する設問

回答内容 (自由記述)	学習前アンケート	学習後アンケート	翌週小テスト
「周波数の2倍」に言及	0人	11人	15人
設問の意味が分からない	5人	0人	0人
分からない	8人	0人	0人
記入無し	2人	3人	8人

標本化の説明を求める設問に対しては、36人中21人が「信号を一定時間間隔ごとに区切る」等と説明していた。一方、量子化の説明を求める設問に対しては、15人が「振幅の値を一定の値に近似する」等と不正確な回答をしていた。このことより、本教材は音のデジタル化の手続きの中でも、特に標本化部分への理解促進に効果的であったと考えられる。

### 4. 考察と展望

表1から、本教材を用いることにより、学習者のサンプリング周波数についての理解が助長されたことが分かる。また教材の利用が音のデジタル化の概念理解の定着にも効果的であり、音のデジタル化の手続きの中でも、特に標本化の説明に有効であることを確認した。

また小テストの回答内容から、パラメータを自由に調整できる本教材を用いた学習体験が学習者に強い印象を与えた事例なども確認した。

今後は量子化の手順を説明する機構を教材に取り入れるとともに、HTML文書内に音声による解説等を導入することで、本教材を、学習者の自習用教材として利用可能とし、学習効果についての比較を行う予定である。

#### 参考文献

- (1) 情報処理学会一般情報教育委員会: “情報とコンピューティングのシラバス案”, <https://sites.google.com/site/ipsj2010sigge/home> (参照2016.2.14)
- (2) エバンズ ベンジャミン ルカ、布施泉、棟方渚、小野哲雄: “音のデジタル化の概念を理解するためのJavaScriptを用いた学習教材の開発”, 教育システム情報学会2015年度学生研究発表会-北海道(2016)
- (3) W3C – Web Audio API: “W3C Editor’s Draft 05 February 2016”, <http://webaudio.github.io/web-audio-api/> (参照2016.6.17)