

教育展示施設におけるサウンドインタラクティブシステムの提案

佐々木大輔^{†1} 中島武三志^{†2} 菅野由弘^{†1}

近年、水族館や科学館など教育展示施設においてデジタルコンテンツを付加した展示やそのための技術に関する研究が行われているが、その多くが視覚的コンテンツによるものである。一方で教育展示施設のほとんどは目で楽しむ展示を行っており、新しい演出との両立が求められている。そこで本研究では音を使った体験型デジタルコンテンツを提供することで、教育という展示本来の目的を維持しつつエンタテインメント性を付与する方法を提案する。

The Proposal of Interactive Sound Feedbacks Systems in Educational Exhibition Facilities.

DAISUKE SASAKI^{†1} MUSASHI NAKAJIMA^{†2} YOSHIHIRO KANNO^{†1}

Recent years, there are many exhibitions and research for appending digital contents to educational facilities. However, main digital contents appended to these facilities are focus on visual presentation. The compatibility between original exhibitions of facilities and digital contents is required because original exhibitions are mainly present visual information. In this research, we propose interactive digital contents use sound feedbacks to append an entertainment attractiveness and maintain the purpose of education.

1. はじめに

近年、博物館をはじめとした社会展示施設は国内の主要テーマパークや遊園地と並んだ主要レジャー・アミューズメント施設として親しまれている[1]。1980年代からの博物館の現代化によりこれらの施設は人々が楽しめる展示体験を通して地域や学術領域における理解や関心を深めると同時に、コミュニケーションの場としての機能がより重視されるようになった。従来の“見る”、“聞く”といった来館者にとって受け身となる展示だけではなく実際に“触る”、“体験する”など来館者が展示に参加をするハンズオン展示やインタラクティブ展示など体験型展示の実施が進められている[2]。参加型展示や体験型展示、そして解説員らによるツアーなど展示と来館者とのコミュニケーションは展示に対する満足度を向上させるという研究も報告されており[3]、学習面と同時にエンタテインメント性も求められる現代の展示施設において展示のインタラクティブ性は非常に重要な要素の一つであると考えられる。一方で、これら参加型展示の多くは、案内を行う解説員や、参加者の安全はもちろん展示の状態を守るために専門の従業員など、人手を要するものが多い。特に動物園や水族館などで行われている生き物と直接触れ合う様な展示では生体への影響を最小限にし、予期できない事故を防ぐために専門の飼育員の添乗は必須である。一般的に参加型展示を長期的に続けていけば行くほどこれらのコストは高くなってしまふ。そこ

で、近年注目されているのがデジタルコンテンツによるインタラクティブ展示である。タッチパネルやプロジェクションマッピング、Virtual Reality (VR) や Augment Reality (AR) ,Mixed Reality(MR)など、インタラクティブのための技術の発展により、近年様々な展示施設や研究報告において、デジタルコンテンツによる展示演出が扱われている[4][5][6]。また、Personal Device Assistant (PDA) などハンドヘルドデバイスを用いて来館者が鑑賞している展示物に応じて追加の解説やクイズなどのアクティビティを提示するものも報告されている[7][8]。従来のデジタルコンテンツによる展示は映像やパネルなど一方的に情報を提示するものが多かったが、上記のような来館者との双方向性を重視した技術の発達により、インタラクティブ展示としてデジタルコンテンツは博物館などの教育展示施設に積極的に取り入れられている。デジタルコンテンツによる展示は直接展示物に触れることなく来館者に展示とのインタラクティブな体験を提供できるという大きなメリットをもたらす。加えて、宇宙や深海、今はもう直接観察することのできない歴史的な建築物など、実際に来館者が体験することが難しいような展示でも擬似的な体験を提供することには教育的な効果も期待されている[9]。しかし、これらの視覚的なコンテンツによる展示は来館者に一定時間コンテンツの見える場所に滞在して貰う必要があることや、参加型のコンテンツにおいては同時に体験できる人数に限りがあることなど課題も挙げられている[2]。特に、展示空間における来館者同士のコミュニケーションという点では同時にコミュニケーションに参加できる人数の制限や、視線や意識がコンテンツに集中してしまうために非言語コミュニケーション

^{†1} 早稲田大学
Waseda University

^{†2} 東京工芸大学
Tokyo Polytechnic University

ンが取りづらくなってしまふなどの課題が考えられる。来館者同士のコミュニケーションは来館者にとって唯一無二の展示体験を提供し、他者との関わりの中で自ら発見していくという自発的な学習にもつながる重要な要素であると考えられる。

一方で、コミュニケーションの促進や非言語コミュニケーション手段として、音楽を活用した例は多く報告されている[10]。土野は学校教育の中で行う音楽療法の定義の一つとして“対人コミュニケーションを円滑化する”ことをあげており、特に合唱、合奏など他者と音楽を奏でる活動での例が報告されている[11]。このように教育や医療の現場を始めとしてコミュニケーションを促進することを目的とした音楽の活用は多く報告されているが、教育展示施設や展示空間における実用例は少ない。現状の展示における音や音楽の利用は展示の雰囲気演出する BGM としての活用、展示内容の補足や案内を行う音声ほとんどであり[2]、来館者のコミュニケーション促進を目的とした実用例は少ない。幅広い層が訪れる展示施設において、音楽を演奏し、共有することは来館者同士のコミュニケーションを促進し、教育とエンタテインメントの両方から展示体験の充実を図ることが期待できる。一方、これらすべての来館者に対し、演出によって展示空間における音楽を演奏、共有している体験を提供するためには、来館者に対して明確であると同時に、展示に対しても適切なサウンドフィードバックを提示する必要がある。その為、システムの実装には展示の内容や特性、展示が行われる空間によって異なるサウンドインタラクションデザインが求められる。特に、自然科学展示におけるインタラクションデザインは展示の文脈を適切に反映させるために、展示情報をデジタルに変換し、コンテンツの中に適切に導入していく必要がある。

そこで、著者らは以前、水族館での水槽展示を対象としたサウンドインタラクションシステム“*Acube*”を開発し、展示による評価を行った。今後、様々な自然科学分野での展示におけるサウンドインタラクションシステムを開発していくために、本研究では、科学館における天体展示を対象としたサウンドインタラクションシステムを試作した。試作したシステムのサウンドフィードバックによってユーザ自身が音楽を生成している立場にあることを実感できているか評価し、サウンドインタラクションシステムのためのデザインについて考察する。

2. 参考研究

本研究の参考研究として、展示施設において音を使ったコミュニケーション促進システムが挙げられる。Aoki らは従来の展示施設におけるオーディオガイドの利用が来館者を孤立させ、鑑賞体験が個人化してしまっていることに対し、少人数で共有できるオーディオガイドシステム *Sotto Voce* について報告している[12]。Aoki らは *Sotto Voce* がオ

ーディオガイドから流れる音声情報を、一緒に鑑賞している相手と共有することで展示内容に関するコミュニケーションと展示内容への興味関心が促進されたことを報告している。

また、展示施設での音楽を使った研究例として、Bruce らによる水槽の視覚情報を音色や旋律に変換することによって可聴化 (Soniphicate) し、視覚障がい者や年少者も楽しむことの出来る水族館展示に向けた手法が報告されている[13]。この中で Bruce らは複数の展示生物の特徴を音楽パラメータへ変換しており、自然科学分野の展示である水槽中を泳ぐ魚の情報を取得し音のパラメータに変換するという実装の部分は本研究と共通する部分がある。

一方、これらの研究における音の主な機能は視覚的な展示内容を来館者に伝えることである。本研究では来館者が「音を生成する立場になる」ことで来館者同士のやり取りを生み出すことを目的としている。そのため、システムから生成される音楽は基本的に同じ展示空間にいる来館者全員に共有されることを前提としている。また、BGM のように展示全体の雰囲気を演出することと音楽の生成に来館者自身が参加することの両立を図ったデザインを行っている。

3. 「StarBells」のデザインおよび実装

本研究では、科学館での天体展示を想定したサウンドインタラクションシステム *StarBells* を試作した。



図 1 *StarBells* を操作する様子

Figure1 Operation of *StarBells*.

StarBells は天体が持つ情報を元に iPad のタッチ画面上に星空のアニメーションを描画し、描画された星をユーザがタッチすることで星の名前などの視覚的な情報が追加され、同時に星の情報を元に音が生成されるシステムである。以前に著者らが製作したサウンドインタラクションシステムでは生物展示である水槽の特性を活かすために、音の生成のタイミングを水槽中の魚の動きによって決めていた。一方星空の展示は自然科学分野の展示の中でも動きが少ない

ものが多い,そこで,StarBells ではユーザが直接音の生成のタイミングを操作することで,“音楽を生成している”実感を提供できるようなシステムのデザインを試みた.実際の操作の様子を図1に示す.

StarBells はユーザがタッチパネルに表示された星空にタッチし,星に対応した音色を奏でることで,星空展示にインタラクティブ性を付加したシステムである.設定した年月日に東京で観測される星の情報を WebAPI から取得し,タッチパネル上にアニメーション表示する.星をタッチすることで星の位置情報や明るさ等の情報をもとに FM 変調により音色が生成される.システムの概念図を図3に示す.システムの実装は iPad のタッチ画面へ星を描画し,ユーザによるタッチを検出する描画および入力部分と星の情報を使って音源を生成する出力部分の2つに分けられる.以下にそれぞれの実装方法とデザインについて述べる.

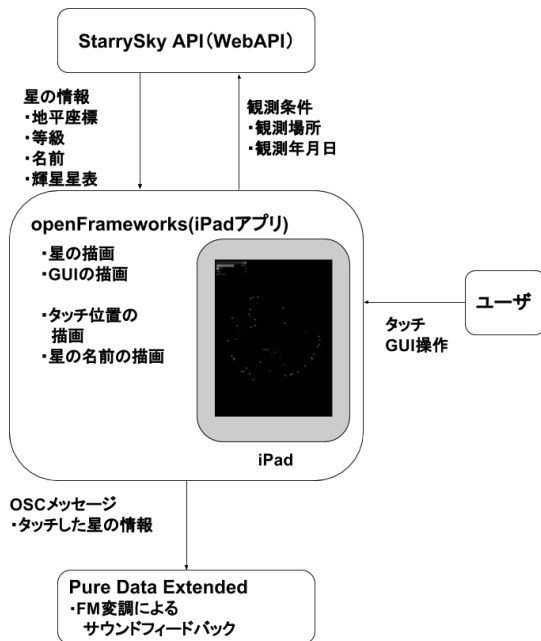


図 2 StarBells のシステム概念図
Figure 2 Conceptual diagram of StarBells.

3.1.1 描画および入力部分の実装

StarBells ではインターフェースとして iPad のタッチパネルを利用し, iPad アプリとしての天体情報の取得や描画などシステムの実装には openFrameworks を利用した.また,星の情報取得には“星空散歩 バーチャル天体情報サイト Starrysky API”を利用した[14]. iPad アプリでは Web API に表示する星空の年月日と観測場所(本システムでは東京)の情報を送信し,指定した観測年月日と観測場所における星の情報を Xml 形式で取得する.また,表示画面に対して描画する星の数が過多にならないよう,2 等級よりも明るい星を取得した.画面上の描画には WebAPI に取得される天体の地平座標を用いた.地平座標とは天体観測に用いる天球座標系の一つで,観測地点を中心とした非常に大きな

球体の内面に天体が位置していると仮定し,観測地点から見える星の位置を方位と高度2つの角度によって表したものである.方位では南を基点(0°)とし西廻りに360°,高度では水平線を起点とし,観測地点の真上(天頂)を90°として表す. StarBells では天球上の天体をタッチパネルの平面に表示するため,地平座標をさらに変換する必要がある.この変換には中村が提案した星空天球表示プログラムにおける任意の天体 Q(方位 A, 高度 h)を平面上に投影するための変換手法[15]を元に,取得した地平座標からタッチパネルの画面上に天体を描画する.天体が描画される画面上の円の半径を r, 表示画面の高さを H, 幅を W とすると任意の天体 Q の座標(Q_x, Q_y)は以下のように表される.

$$Q_x = r \cos h \cos A + W/2 \quad (1)$$

$$Q_y = r \cos h \sin A + H/2 \quad (2)$$

天体は画面上では円として描画される.また,来館者が現在どの時期の星空を見ているのかを理解しやすいように表示中の月と対応して春(3-5月)にピンク,夏(6-8月)を青,秋(9-11月)を赤,そして冬(12,1,2月)を白と季節ごとに色の系統を変化させて表示する.また,表示する星空の年月日を設定するためのスライダーを設置し,来館者は自由に表示する星空の年月日を選択できる.実際の表示画面(2017年2月1日の星空)を図3に示す.そして,視覚的なインタラクティブ性として,来館者が星をタッチしている間,API から取得した星の名前が表示される.しかし,API の天体情報に名前が含まれていない場合は“Unknown”と表示される.また,最大同時タッチ数は4であり,来館者のタッチがシステム側で検出されているかを示すために1番目から4番目までそれぞれ異なる色の円を来館者のタッチに追従して描画する.図3に実際の描画面面を示す.

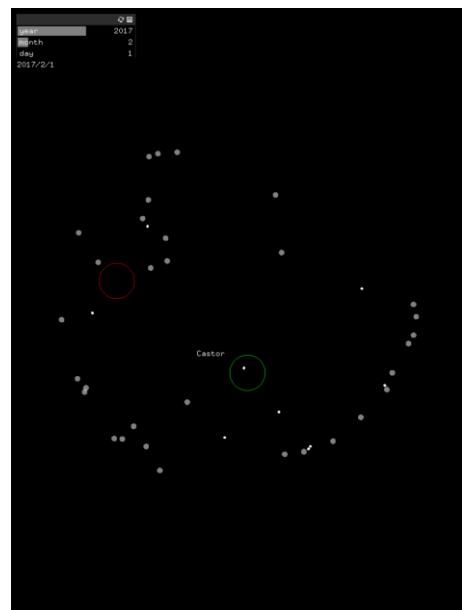


図 3 StarBells の表示画面
Figure 3 The Display Screen of StarBells.

3.1.2 出力部分の実装方法

StarBells の音生成には Pure data Extended を使った FM 変調を用いた。動きの少ない天体展示を対象としているため、タッチ画面上で名前を表示した星から指を離すというユーザの直接的な操作で音を生成している。来館者がタッチ画面上で名前を表示したまま星から指を離すと、iPad アプリのプログラムが API から取得した星の情報を Open Sound Control(OSC)を使って Pure Data 側に送信し、それらをもとに音色を生成する。最大同時発音数は 4 であり、これは最大同時タッチ数と対応している。OSC によって受信された星の情報は FM 変調による音源生成のためのパラメータに用いられ、システム全体で設定されたエンベロープとともに音色が決定される。星に対する興味関心、そして学びを促進するため FM 合成のモジュール周波数 (f_m) を 2 つ用意し、星が個別に持っている輝星星表番号を 1 つ目のモジュール周波数(f_{m1})に、そして、2 つ目のモジュール周波数(f_{m2})と音高を決めるキャリア周波数(f_c)にはそれぞれ描画中の座標 (Q_x, Q_y) を用いて操作画面と対応した音を生成する。生成される音の基本式は以下のように表される[16]。ただし A は音源の振幅、I は変調の深さ(Index)を決定する指数で、今回のシステムでは 2 つの変調に対して同一の値を用いた。

$$y(t) = A \sin(2\pi f_c t + I\{\sin(2\pi f_{m1} t) + \sin(2\pi f_{m2} t)\}) \quad (3)$$

また、“音楽を生成している”ことをユーザに実感してもらうためには、サウンドフィードバックが単なる操作に対する効果音ではなく、音楽的に聴いて楽しめるものである必要がある。サウンドデザインにおいて StarBells は生成される音のエンベロープやリバーブを用いて音楽性を強調した。StarBells は動きの少ない星空の展示を対象としているため、ユーザ側の操作にはより動的なものが必要だと考えられる。そこで、ユーザによるタッチがそのまま音の生成のタイミングとなるようにシステムを実装し、ユーザが打楽器のような感覚で音を生成するサウンドインタラクショナルデザインを目指した。

4. システムの評価

試作したシステムがユーザに対し音楽を生成している実感を提供しているかを検証するために、実験による評価を行った。StarBells によるサウンドインタラクションの有無を条件とした実験を行い、星および GUI への操作回数の集計と質問による印象評価を行った。以下に実験の詳細を示す。

4.1 StarBells の評価実験

StarBells のサウンドインタラクションに対する評価のために被験者実験を行った。二人一組でシステムを前半 2 分後半 2 分の 2 回操作してもらい、片方はシステムによって

リアルタイムに生成された音をスピーカから再生し、もう一方はあらかじめ StarBells を操作した時に生成された音を録音したものをスピーカから再生した。操作に対する慣れによる前後効果をなくすために、前半にリアルタイム音源を提示するグループと後半にリアルタイム音源を提示するグループに分け実験を行った。それぞれの条件で、操作時間中の星へのタッチ回数と GUI の操作回数を集計し、サウンドフィードバックがユーザに対して明確に提示されているか、システムの操作に影響を与えているかを検証した。また、今回の実験ではシステムによるサウンドフィードバックが被験者へ明確に示されたかを検証するために、実験開始時には音の生成については解説を行わず、また操作中は会話をしないように指示した。前半後半 2 回の試行の後、まずは前半後半に音の再生方法に差があったことを知らせずに全体の印象と操作性に関する質問を行い、その後音の再生方法に関する条件を知らせた上で全体の印象と操作性、そして相手ユーザに対する意識の違いの有無を調査した。以下に質問内容を示す。

- ・ 前半と後半でシステムに対する印象の違いがあったか。
- ・ 前半と後半でシステムの操作性に関する違いを感じたか。
(前半と後半の条件の違いを伝える)
- ・ 前半と後半の違いを踏まえて、相手ユーザの操作に対する印象は変化したか。
- ・ 前半と後半の違いを踏まえて、操作性に違いを感じたか。
- ・ 今回のシステムのテーマである星やその名前に対して興味関心は抱いたか。

被験者は 14 名 7 組でそのうち 4 組が前半にリアルタイム生成、後半に録音音源を聞きながらシステムを操作し、3 組が前半に録音音源を、後半にリアルタイム生成された音源を聞きながらシステムを操作した。前半と後半の間にシステム側を条件変更する操作のため、30 秒ほどの待機時間を設けた。

5. 結果

以下に、実験結果を示す。まず、サウンドフィードバックがユーザの操作性や、システムに対する積極性に影響を与えているかを調べるためにリアルタイムに音源を生成しながら操作した場合と予め録音された音源を聞きながら操作した 2 つの条件における StarBells の星のタッチ回数と表示年月日を指定する GUI の操作回数の実験結果を表 2 に示す。尚、前半にリアルタイムの音生成のもと操作した 4 組をグループ A、後半にリアルタイム音生成で操作した 3 組をグループ B とする。以下の実験結果からタッチ回数および GUI の操作回数の 2 群の平均に対し対になる 2 群間の T 検定を行ったところそれぞれ片側確率 $p_1 = 0.298$, $p_2 = 0.087$ となり、5%水準で有意差は見られなかった。

表 1 StarBells の評価実験結果

Figure 1 The Result of Evaluation Experience of StarBells

	リアルタイム		録音音源	
	タッチ(回)	GUI(回)	タッチ(回)	GUI(回)
A1	52	8	50	26
B1	119	3	122	4
A2	44	0	83	6
B2	47	2	59	3
A3	46	0	34	0
B3	65	4	43	6
A4	109	1	120	0
平均	68.86	2.57	73	6.43

また、操作後に行ったシステムの印象に対する質問の主な回答を以下に示す。

- ・ 前半と後半でシステムに対する印象の違いがあったか。
 - ⇒ 後半の方が勝手に音がなっているように感じた。
 - ⇒ 特に感じなかった。
- ・ 前半と後半でシステムの操作性に関する違いを感じたか。
 - ⇒ (録音音源の場合のほうが) 操作へのレスポンスが遅かった。
 - ⇒ (リアルタイム生成の場合のほうが) 操作性が良く感じた。
 - ⇒ (リアルタイム生成の場合のほうが) 操作に対する反応が悪かった。
 - ⇒ 前半後半にかかわらず、タッチが反応しづらかった。

(前半と後半の条件の違いを伝える)

- ・ 前半と後半の違いを踏まえて、相手ユーザの操作に対する印象は変化したか。
 - ⇒ 特に差は感じなかった。
 - ⇒ 前半後半に関わらず、自然とお互いタッチするテリトリーが決まっていた。
 - ⇒ 相手のほうがタッチ操作に関する感覚が良かったように感じた。
- ・ 前半と後半の違いを踏まえて、操作性に違いを感じたか。
 - ⇒ 特に感じなかった。
 - ⇒ 音がタッチに応じてなっている様に感じられなかった。
- ・ 今回のシステムのテーマである星やその名前に対して興味関心は抱いたか。
 - ⇒ 表示する年月日を設定できるので、歴史的な日や、未来の星空に興味があった。

- ⇒ 星の名前が自分の指に隠されてしまって見えなかった。
- ⇒ 有名な星や自分の知っている星を見つけられなくてがっかりした。
- ⇒ 特に興味はわかかなかった。

前半と後半で音の生成方法がリアルタイムと録音で変化していることに気付いた組は 1 組で「後半(録音音源)のほうが勝手に音がなっているように感じた」という回答であった。一方、5 組が操作性に対して違いを感じたと答えたが、どちらの条件の操作性が優れていたかという評価は被験者によって異なっていた。操作中の相手に対する意識としては、前半後半にかかわらず「自分と相手の操作するエリアが暗黙のうちに決まってしまう、相手の目の前にある星にはタッチしづらかった」と、暗黙のうちに相手との間にテリトリーを感じてしまい、相互的に操作をしていたと感じることができなかったという評価が得られた。星の情報や天体そのものに対する興味については、GUI を用いて過去や未来の星空を提示することに興味を抱いたという評価が得られた一方で、ユーザの指に名前の表示が被ってしまうという指摘や、「よく知っている星を見つけることができず、最初から名前を表示して星の名前がわかるようにしてほしい」など、星の名前に対して学習的な興味や学びを促す部分ではシステムのデザインに対する問題が指摘された。

6. システムの改良と考察

以下では実験によって得られたサウンドインタラクシオンデザインに対する評価結果について考察する。

今回の StarBells の評価実験結果からリアルタイムにシステムから生成された音源を聞いた場合と、録音された音源を聞いた場合の間で星のタッチ回数に有意差は得られなかった。これは、印象評価で得られた、操作条件の違いに直接気づいた組が 1 組のみであったこととの対応が考えられ、サウンドインタラクシオンデザインとしてより来館者の操作と音が対応していることを明確に提示する必要がある。また、リアルタイム生成に気づいていた被験者から「音を生成することに集中していたので、星の名前にはそこまで意識が向かなかった」という評価が得られ、今回のシステムでは星の名前を表示している状態でその星から指を話すと音が生成されるというフィードバック手法を採ったが、この方法だと音が生成されているときにはもう星の名前が表示されておらず、星にタッチして情報を見るという操作とサウンドフィードバックの間に乖離性が生じていることがわかった。

また、GUI の操作回数についても有意差は得られなかったが録音音源での操作時に操作回数の増加傾向が見られた。さらにほとんどの組が操作開始からある程度の時間が経ってから GUI の操作を始めており、GUI の操作中は被験者の

両方が星のタッチを一時的に中断する傾向が見られたことから、被験者が星へのタッチを今回のシステム基本操作と認識し、無意識的に重点をおいていた可能性が示唆される。今後、より明確なサウンドインタラクションもとで GUI のような全体への操作がどのように影響されるかを検証する必要がある。

相手の操作への意識に関する質問評価では、それぞれの被験者が自分に近い星はタッチするが、相手の前にある星にはタッチしづらいと感じたという評価が多く得られた。これは、プロトタイプでは iPad のタッチ画面を用いたため、被験者が操作中に動ける範囲が小さくその結果、従来のタッチパネルによる展示のように被験者が暗黙のうちに操作範囲に対してテリトリーを感じてしまい個別に操作する結果となってしまったことが原因として考えられる。今後のシステムの改良点として、表示画面の規模を拡大し、複数のユーザによる自由操作が可能なデザインが求められる。

一方、操作中にユーザが自分のタッチが検出されているかを判断するのにタッチした指に追従する円を指標としている様子が多く見られた。その一方で音のフィードバックは伝わっていなかったことから、視覚的なフィードバックに対し、音のフィードバックを適切に提示するにはより明確で詳細な操作との対応が必要であると考えられる。また、デジタルによる音生成は、幅広いデザインが行える一方で、楽器など実物の音楽演奏に比べて、ユーザの操作と征せれる音の対応付けが不明瞭になってしまう可能性が高い。ユーザが直感的に体感し、音楽を生成する立場にあることを明確に実感するためには、音のフィードバックを物理的、視覚的なフィードバックと結びつけて提示するなど、クロスモーダルなフィードバックの提示が必要であると考えられる。StarBells においては、音の生成に合わせたアニメーションの追加や、タッチパネルの振動など、視覚、触覚に訴えかけるフィードバックの追加が考えられる。

7. おわりに

本研究では、自然科学分野の星空展示を対象としたサウンドインタラクションシステム StarBells を試作した。星空という実際には触ることができない展示に対し、WebAPI から取得した星の情報をもとに iPad のタッチ画面上へ星のアニメーションを描画し、星をユーザがタッチすることで星の名前と取得された星の情報をもとに生成した音を提示するインタラクションを実装した。そして、システムが提示するサウンドフィードバックがユーザに適切に提示され、音楽を生成する立場で展示に参加している実感を提供しているかを評価した。リアルタイムで音源を生成しながらの操作と、録音音源を聴きながらの操作を比較した実験結果からは、星空にタッチするというデザインのコンセプトに対しては評価を得られたものの、現状の星から指を離すと音が生成されるというデザインが星の情報を参照しな

がら音を生成するというシステムの操作と相反しており、ユーザにサウンドフィードバックが明確に提示されていないことがわかった。StarBells は音を生成する操作条件や、生成そのもののプロセスなどサウンドインタラクションデザインの選択肢が複数考えられることから、今後より条件を細分化した被験者実験を行い、擬似的に星に触り音を奏でるという体験にふさわしいインタラクションデザインについて今後研究を行っていきたい。また、条件に関わらず操作性に対する指摘があったことから、システムの安定性についても改良していく必要がある。

今後は、システムのデザインをよりユーザに音楽を生成している実感を提供できるように改良し、音楽体験を通じた教育展示施設における来館者同士のコミュニケーションの実現にむけて研究を進めていきたい。

8. 参考文献

- 1 総合ユニコム株式会社：全国の主要レジャー・集客施設 入場者数ランキング（オンライン），入手先（www.sogo-unicom.co.jp/leisure/image/201608n1.pdf）（参照 2017-06-21）
- 2 木村浩，草刈清人，吉富友恭，高柳康代：展示論-博物館の展示を作る-，日本展示学会，pp25-177(2014)
- 3 中山豊，et al. "利用者の満足度よりみた科学博物館の建築・展示計画に関する研究." 日本建築学会計画系論文集 64.516 (1999): 123-128.
- 4 今井亜湖，and ゼオースキ，スペンス. "RFID を用いたインタラクティブ展示の開発と評価." 日本教育工学会研究報告集 2010.5 (2010): 209-214.
- 5 迎山和司，and 小林真幸. "文化財プロジェクトマッピング：その展示と評価（シミュレーション・プロジェクトマッピング，映像表現・芸術科学フォーラム 2015）." 映像情報メディア学会技術報告 39.14 (2015): 15-18.
- 6 近藤智嗣，et al. "ミクストリアリティによる博物館展示システムの提案." 日本教育工学会論文誌 30.Suppl. (2006): 45-48.
- 7 矢谷浩司，et al. "Musex: 博物館における PDA を用いた協調学習支援システム." 電子情報通信学会論文誌 D 86.10 (2003): 773-782.
- 8 Chivarov, N., et al. "Interactive Presentation of the Exhibits in the Museums Using Mobile Digital Technologies." IFAC Proceedings Volumes 46.8 (2013): 122-126.
- 9 柴田隆史，佐藤和紀，and 池尻良平. "1F4-5 3D 教材を用いた歴史学習の実践と評価." 人間工学 52.Supplement (2016): S246-S247.
- 10 西田正吾，才脇直樹，仲谷美江，et al. "感性協調に基づいたインタラクティブな音コミュニケーション環境の構築." 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM) 2003.88 (2003-CVIM-140) (2003): 147-154.
- 11 篠田知璋，加藤美智子編，"標準 音楽療法入門"，土野研治：学校教育における音楽療法，pp92-pp113，春秋社(1998)
- 12 Aoki, Paul M., et al. "Sotto voce: exploring the interplay of conversation and mobile audio spaces." Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems. ACM, 2002.
- 13 Walker, Bruce N., Jonathan Kim, and Anandi Pendse. "Musical soundscapes for an Accessible Aquarium: Bringing Dynamic Exhibits to the Visually Impaired." ICMC. 2007.
- 14 東条大輔：星空散歩 天体バーチャル情報サイト | Starry Sky API について，星空散歩天体バーチャル情報サイト(オンライン)，入手先(<http://www.walk-in-starrysky.com/aboutApi.html>)（参照 2017-07-22）
- 15 中村泰久. "星空天球を求める：星空天球表示プログラムの作成." 福島大学教育実践研究紀要 24 (1993): 135-143.
- 16 小坂直敏. "サウンドエフェクトのプログラミング C による音の書こうと音源合成"，pp84-pp86，オーム社(2012)