

Share of Ambient: オーディオヴィジュアルズを利用したコミュニケーションシステムの効果

浅井 睦^{1,2,a)} 木村 優太^{3,b)} 奥脇 陽介^{3,c)} 鈴木 宣也^{1,d)}

概要: 音楽制作などに代表されるような表現活動に伴う創造的なコミュニケーション行為においては、高い専門性が必要とされる。本研究では様々な高い専門性を持った人や今までの価値観では関連性がないと考えられていた人を、対等な立場でコミュニケーションできる場を設けることで、新たな価値を創造することができるのではないかと仮定した。参加者のジェンダーや思想、表現のためのポキャブラリーの知識、対話術等の技術に依存することなく、感覚的情報を用いた新たなコミュニケーションの形を探るためのシステム”Share of Ambient”を開発し、その効果と展開についてを述べる。

1. はじめに

日常的に人々の間で交わされるコミュニケーションは発話によるコミュニケーションを主として行われる。発話コミュニケーションは時間軸を起点とした事象の文脈や周辺状況などの詳細な情報を取り交わす事ができる。一方でグルーブ感と言われる音楽聴取時に音楽に合わせて身体を動かしたくなる感覚 [1] を発話コミュニケーションで伝え、共有することは困難である。こういった背景から新しいコミュニケーションの形を模索する上で発話コミュニケーションでは取り扱うことが難しい、グルーブ感のような感覚的情報を中心に扱う状況に新しいコミュニケーションシステムとしての可能性があるのではないかと着目した。

発話外でのコミュニケーションを行う試みとして音楽的側面からアプローチをしているドラムサークルという活動がある。ドラムサークルとは打楽器を用いて複数人で行う即興演奏行為であり、人種、年齢、性別の違いや、音楽経験、そして障害の有無に関係なく参加することができる特徴を持ち、リズムを奏でる行為、強弱や音の大小によって表現することは、コミュニケーションや自己表現能力の向上、感情表出にも効果が期待されている [2]。この効果より、身体動作によって表現される感覚的情報を取り扱うコミュニケーションにおいては従来の発話コミュニケーション

ンでは発現しない、以下のような現象の発生が予想される。

聴覚情報を持つ視覚的な印象には一定の共通性があるとされ、心理学現象として曲線で構成された図と直線で構成された図を被験者に見せたときに、ブーバを曲線、キキを直線と回答する効果があり、これをブーバキキ効果 [3] と言う。言語体系を超えて人間の聴覚情報から想起される形状認識には一定の共通認識があることが明らかになっている [4]。ブーバキキ効果については、クロスモーダル知覚が発生するメカニズムの要因とされる感覚間一致として、聴覚情報と視覚情報には感覚的な結びつきがあり、多くの人が持つ認知処理特性として「弱い共感覚」として取り扱われている [5]。これらの効果を参考に、身体的な動作から発せられる音の「弱い共感覚」を視覚情報化し、聴覚情報に紐づく映像を共有化するという手法を取り扱ったコミュニケーションシステムを構築することとした。

弱い共感覚を取り扱ったコミュニケーションを行った際に現れる効果の予想については、複数のモーダルによって発生する知覚においては、クロスモーダル知覚とマルチモーダル知覚の2つが現象論的に発生していることが多いことから、マルチモーダル情報処理についても参照した。マルチモーダル情報処理の特徴として、単一の感覚(ユニモーダル)の出力の単なる和がマルチモーダル出力と等価とならないことが挙げられる [6]。つまり、ドラムサークルでは聴覚情報によって引き出されるコミュニケーション・自己表現能力の向上、感情表出などの効果について、聴覚情報を視覚情報に変換するオーディオヴィジュアルズの手法を活用し聴覚情報の視覚情報化を行いモーダルを増やすことによりその効果は増大が期待できる。

Share of Ambient は 3-4 名のグループを対象とした聴覚

¹ 情報科学芸術大学院大学

² Metalium 合同会社

³ 株式会社リコー

a) mutsushi-asai23@iamas.ac.jp

b) yuuta.yk.kimura@prism.ricoh

c) yosuke.okuwaki@prism.ricoh

d) zuckey@iamas.ac.jp

情報を視覚情報に変換するオーディオヴィジュアルの手法を利用したコミュニケーションシステムである。閉じた空間中に天井を除く5面へ映像を投影し、発話以外の方法で約15分間参加者同士でコミュニケーションを試みる体験コンテンツに参加する。体験詳細については後述する。体験後、発話しないコミュニケーションがどのような印象・感想・体験に繋がったかを参加者へインタビューし、感覚的情報によるコミュニケーションを行うことによって発現が期待されるコミュニケーション・自己表現能力の向上、感情表出などの効果と可能性その展開について考察する。

2. Share of Ambient 概要

2.1 システム概要

Share of Ambient は、立法空間中の聴覚情報をステレオマイクにより集音し、その音声から心理音響解析で使われる指標である loudness, sharpness を計算し、その指標に基づき演算を行った投影用オブジェクトを天井を除く空間中の面へ投影するオーディオヴィジュアルシステムである。図1では実際に実装を行った実験環境の模式図を示す。

オーディオビジュアルシステムの開発環境には TouchDesigner (2022.31030) を使用しており、描画レートは 60 FPS に設定している。システムへの音声入力を行うためのステレオマイクには AnkerWork M650 Wireless Microphone を使用しており、音声のサンプリングレート 44.1 kHz である。

弱い共感覚によって参加者へ共通の視覚情報と聴覚情報を取り扱ったコミュニケーションを促すために、投影される映像は全て同一の映像となっている。参加者が空間内のどの位置からヴィジュアルを観測しても同様の変化を観察することができるようにすることで、空間内の聴覚情報の均一なヴィジュアル表現とした。投影システムには株式会社リコーが開発した RICOH PRISM^{*1}の投影システム(図1)を使用し、均一な投影環境を実装した。

システム稼働中における体験参加者の動作の特徴などを分析するための映像収録及び、ステレオマイクから集音されたデータを同時収録する。また、オーディオヴィジュアルを行った際の映像出力を再現可能なように、映像出力用の音源解析ソースデータを CSV ファイルとして保存することで実験時にどのような映像が出力されていたか検証を行えるようにした。

また、本稿で行った実験や開発システムを元にデモ用の実機を制作した。(図2) 投影システム以外のシステムは実験環境と共通化しており、スクリーンが5面ではなく単一の投影面であることが大きな相違点である。実機数を調整することで実験環境と近い環境を構築することができる。

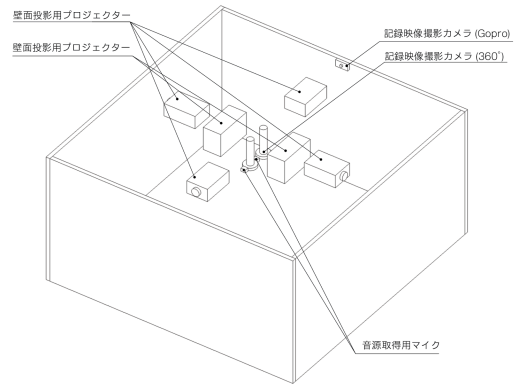


図1 Share of Ambient system 実験環境模式図

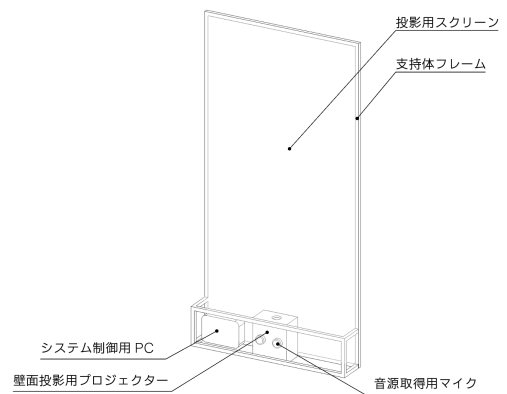


図2 デモ用ポータブル型環境模式図

2.2 オーディオヴィジュアルシステムの概要

空間中の聴覚情報をソースとして視覚情報に変換を行うオーディオヴィジュアルについて、ブーバキキ効果にて使用される2つの図形をモチーフに形状を設計した。

空間内の聴覚情報を、心理音響解析を参考にリアルタイムに解析し、形状情報として投影した。loudness とは音の主観的な大きさに対する指標であり、sharpness とは主観的な音の鋭さや甲高さに対応する指標である。それぞれの指標における算出方法は様々な方式で示されているが、体験参加人数の不特定さや計測環境を一定化することなど、リアルタイムでの計測・解析のための厳密な条件を設定することが困難である。また、算出された値がソフトウェアによって異なるという指摘がされている [7] などその取扱を厳密に定量化することは困難である。今回は開発環境としている TouchDesigner を使用し演算を行う上でも同様のことが言えるため、TouchDesigner 上で実装可能な簡易的な loudness, sharpness の取扱いに留めた。オーディオヴィジュアルの役割を、下記に記す。

loudness は耳に到来する音の物理特性によって引き起こされる主観量であり、音が小さい、大きいという感覚的な量感を表すものである [8]。つまり loudness は音の大きさ、db 値であり純粋に音がどれくらい聞こえているかという

*1 <https://www.prism.ricoh/>

ことを示している。オーディオヴィジュアルズにおけるオブジェクトの色彩変化の指数として利用し、loudness の変化値によって青、緑、黄、赤の順に変化するようになっている。変色する色彩のモチーフは有彩心理4原色 [9] に由来しており、それぞれが原色であることを利用し視覚情報として知覚しやすくしている。

sharpness は音の loudness の周波数分布の重心から算出される指数であり、高周波成分が高い状態において高い値を示すものである。音印象として鋭い印象を与えることに起因することから、投影オブジェクトの尖り具合の変化を解析した数値によって変化するようにしており、sharpness が高い状態であれば尖り、低い状態であれば丸くなるように調整をしている。形状のリファレンスとしてはブーバ・キキ効果で使用された図をモチーフにし、形状の設計を行った。

図 3 は、上記の指標にて演算され実際の投影オブジェクトの変化を示したものである。loudness と sharpness はそれぞれ連動する傾向にあり、図の左側はそれぞれ小さい状態であり右端がそれぞれが最大の状態における投影オブジェクトの形状である。

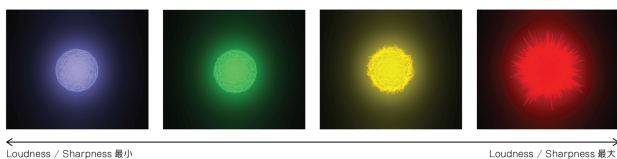


図 3 投影オブジェクト変化図

3. 評価実験

3.1 実験目的

Share of Ambient によって弱い共感覚情報を取り扱ったコミュニケーションを行った際、聴覚情報だけの場合と比較してコミュニケーション・自己表現能力の向上、感情表出効果について効果が增大することが期待できるとして、Share of Ambient 稼働させた空間にて 15 分間の体験を設計し、体験後参加者グループに対してグループインタビュー法によるインタビューを行い、収集したインタビューデータを定性分析することで期待される効果が発現しているか、また予期されていない事象が発生していることへの検証を行うことを目的に実験を実施する。また、オーディオヴィジュアルズシステムの妥当性を検証する目的で、収録音源データをもとに心理音響解析を行い、実験中の解析結果に齟齬がないことの確認も併せて行う。

3.2 実験概要

本実験では 3 4 名のグループを対象に Share of Ambient を稼働させた空間で約 15 分間、発話以外での方法でコミュ

ニケーションを実施するものである。体験者については職種・年齢・性別について制限をせず 3 4 名のグループを組成し、体験を実施した。

3.3 実験環境

実験環境には株式会社リコーが開発した RICOH PRISM を使用した。体験中は入場口を閉めることで独立した閉鎖空間となり、外部からの聴覚情報及び視覚情報を遮断することができ、それによる影響がない環境となっている。また天井を除く 5 面にプロジェクターによって映像を投影することが可能であり、参加者はどの位置からでも映像を見ることが出来る環境で実験を行った。

3.4 実験条件

実験は以下の体験によって構成されており、主に入室前説明、Share of Ambient、インタビューの 3 つの要素によって構成されており、下記にてそれぞれの要素を詳細に説明をする。

3.4.1 入室前説明

実験室への入室前の事前説明、係員によって入室前説明を実施する。実験空間では発話行為が禁止であることを伝えると同時に、雰囲気可視化された空間で発話外でのコミュニケーションを試行錯誤してもらうことを伝える。

3.4.2 Share of Ambient

入室説明後、体験者は体験場所へ移動し体験コンテンツを実施する。コンテンツ進行時、空間内には係員はおらず実験環境に隣接する部屋よりモニターするとともに、コンテンツの進行を手動コントロールにて実施する。Fig. 6 は実際の実験中のモニター映像であり、体験中は常に参加者の動作、実験空間の音の状態、音に反応して投影されるオブジェクトがモニターされている。参加者にはモニターされていることによる身体的・精神的な影響が出ないようにモニターされていることは参加者には体験終了まで知らされないため、モニターされているという印象を持たずに体験に集中することができる。また、本コンテンツでは体験者が徐々に感覚的な情報を取り扱う手法を手に入れられるように、導入アナウンス・準備運動を実施する。準備運動では 1: 様々な拍手 2: 床や壁を叩く 3: 全ての人とハイタッチの 3 つの内容をアナウンスで指示を行い、各 30 秒で体験者に実施をしてもらう。準備運動完了後、10 分間の発話外コミュニケーション Share of Ambient を開始する。Share of Ambient 終了後、発話行為を許可しどのような体験であったかを参加者同士で 5 分間ディスカッションをし Share of Ambient は終了する。

3.4.3 インタビュー

インタビューでは、本研究の仮説であるコミュニケーション・自己表現能力の向上、感情表出などの効果について定性的な分析を行うために、以下の要点にてインタビュー

条件を設定し、体験者グループに直接インタビューを行いインタビューデータ収集を行った。インタビュー条件として、1対1の個人インタビューではなく同様な体験を共有する人々に集まってもらい、同時に話を聴くことで、参加者の間の相互作用によって、個人が言語化していなかった体験を言語化することを促進するグループインタビュー法を採用した [10]。定性的な分析を行うためのインタビューデータ収集を目的としたため、グループインタビューを実施する上で、モデレーターによる進行には以下のような3つのインタビューガイドを設定した。

- (1) 体験中印象的なシーンや出来事はありましたか?
 - (2) 入る前と後でどんな変化がありましたか?
 - (3) 雰囲気の有視化ということについてどう感じましたか?
- また、想定外とされる現象や効果を収集するために半構造化インタビュー構成を参考にインタビューガイド外の話題についても積極的に収集を行う。インタビューでは普段行わない感覚的なコミュニケーションを行ったことによる体験記憶が新鮮なうちにインタビューを実施することで印象的な内容や、感じたことの聞き出しを優先する理由で、体験後に移動はせずその場でインタビュー実施することとした。

3.5 オーディオビジュアルシステムの妥当性の検証

Share of Ambient では、loudness の算出には ISO532-1 で標準化されている Zwicker 法 [11] を、sharpness の算出には DIN 45692 で標準化されている算出方法 [12] (以下、DIN 法) を参考に、独自の loudness, sharpness の算出アルゴリズムを実装している。この実装を行った理由は、既存の標準化されている loudness, sharpness の算出アルゴリズムでは計算処理が重く、リアルタイムでのオーディオリアクティブなシステムの実現が困難であり、より軽量なアルゴリズムで標準化されている loudness, sharpness 様の変動を見せる指標を実装する必要があったためである。本節では、この独自アルゴリズムの妥当性を検証する。まず、独自の loudness, sharpness の算出アルゴリズムをそれぞれ式 (1)、式 (2) に示す。

$$L(t) = \frac{\max_{i=1}^n \left(10^{\frac{x_{1_i}(t)}{20}} \right) + \max_{i=1}^n \left(10^{\frac{x_{2_i}(t)}{20}} \right)}{2} \quad (1)$$

- $L(t)$ loudness (無次元量)
 n 単位時間あたりのサンプル数. サンプリングレート / 描画レートで計算される.
 $x_{1_i}(t)$ ステレオマイクのチャンネル 1 からの i 番目のサンプルのデシベル値 [dB]
 $x_{2_i}(t)$ ステレオマイクのチャンネル 2 からの i 番目のサンプルのデシベル値 [dB]

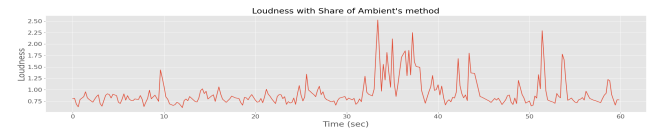
$$S(t) = \max_{i=1}^n \frac{|F_{HP}(10^{\frac{x_{1_i}(t)}{20}})| + |F_{HP}(10^{\frac{x_{2_i}(t)}{20}})|}{|F_{LP}(10^{\frac{x_{1_i}(t)}{20}})| + |F_{LP}(10^{\frac{x_{2_i}(t)}{20}})|} \quad (2)$$

- $S(t)$ sharpness (無次元量)
 n 単位時間あたりのサンプル数. サンプリングレート / 描画レートで計算される.
 $x_{1_i}(t)$ ステレオマイクのチャンネル 1 からの i 番目のサンプルのデシベル値 [dB]
 $x_{2_i}(t)$ ステレオマイクのチャンネル 2 からの i 番目のサンプルのデシベル値 [dB]
 F_{HP} 1000Hz の High Pass フィルタ関数
 F_{LP} 1000Hz の Low Pass フィルタ関数

次

に、Zwicker 法、DIN 法を実装しているオープンソースソフトウェア MOSQUITO [13] を使用し、本論文における独自の loudness, sharpness の算出アルゴリズムと MOSQUITO による同指標の算出アルゴリズムの結果を比較することで、本論文における loudness, sharpness の算出アルゴリズムの妥当性を検証する。

妥当性の検証には、実験環境下で収録した 1 分の音声データを利用する。loudness を時系列に算出した結果の比較を図 4、sharpness を時系列に算出した結果の比較を図 5 に示す。比較対象のアルゴリズムのグラフの形状から、Share of Ambient 独自の算出アルゴリズムにより Zwicker 法、DIN 法と同様に loudness, sharpness の算出、特にピークの検出ができていることが見られ、loudness, sharpness それぞれの独自アルゴリズムと標準化されているアルゴリズムの類似性が認められる。したがって、本論文の独自の loudness, sharpness の算出アルゴリズムは妥当であると考えられる。

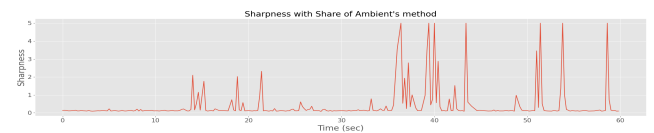


(a) 独自の算出アルゴリズム

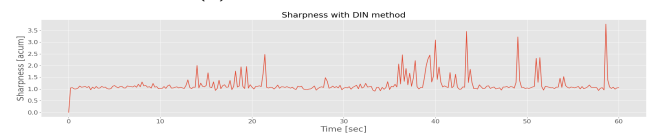


(b) Zwicker 法

図 4 loudness の算出



(a) 独自の算出アルゴリズム



(b) DIN 法

図 5 sharpness の算出

3.6 結果

評価実験を行い、インタビュー結果を以下に示す。

実験には、各34名からなるグループにて計5組の参加者(内訳は20代女性4名、20代男性8名、30代女性2名、30代男性5名、40代男性1名の合計20名)に協力いただいた。表1にグループごとの属性をまとめ、表2にインタビュー結果を抜粋にてまとめる。

表1 実験グループ属性

グループ	人数	被験者属性 (○, △は互いに知人)
1	3	20代女性/20代女性○/20代男性○
2	3	20代男性○/20代男性○/20代男性○
3	4	20代男性○/20代女性○/30代女性△/40代男性△
4	3	30代男性○/30代男性○/30代男性
5	4	20代男性/20代男性/20代女性/30代男性
6	3	20代男性○/30代女性○/30代男性○

4. 考察

期待された効果について

(a) コミュニケーション能力に対しての効果

オーディオビジュアルライズによって投影したオブジェクトによるコミュニケーション能力への効果について、グループ3のインタビュー結果に示唆があった。オブジェクトを媒介とした他者意識へ注意を向けることについて言及されており、オブジェクトの動きによって他者の動きを認知することで発話コミュニケーションの特徴である1対1の関係性に限定されないコミュニケーションの形が促進されることへの示唆がある。

(b) 自己表現能力に対しての効果

グループ5において一定にオブジェクトの状態を保つという動作をオブジェクトに対して投げかけることで、他参加者がそれに続くことで、意図が伝わり、合意をしたという状態となった。ここで重要になってくる点が、コミュニケーションにおける投げかけと応答についての関係である。発話コミュニケーションにおける投げかけと応答は、大体的場合、発信者が目標を定め発声による呼びかけを行うことで対象者からの発声応答によってこの関係性は成立する。一方で感覚的情報でのコミュニケーションにおける投げかけはまず、その発信先に明確な個別の対象者を持たず、広くグループに対して情報を発信することから始まる。グループに流布した情報に対してグループ内の誰かが応答することによって成立する。このように明確な個別を対象としない情報の投げかけという性質によって1対1での関係性は発生しづらく、合意が取られるプロセスは一人一人の合意を重ねていくようなものではなく、個別に応答する

表2 インタビューデータのまとめ

(a) コミュニケーション能力(協調性・社会性)に関する回答

No	回答内容	グループ
1	自分対オブジェクトの1on1からオブジェクトを媒介にして他者を感じるようになった。オブジェクトを見てこれ誰の音だなんて意識をした。2人だったらそうはならなかったと思う。	3

(b) 自己表現能力(自分がやりたいこと、言いたいことが言える能力)に関する回答

No	回答内容	グループ
1	オブジェクトを介したコミュニケーションをやらなきゃと思い、できた感じもあった。一定に色を保つ動作をやったら続いてくれるかなと思っていたらやってくれた	5
2	やってみようのハードルが下がった。やっちゃえみたいな感覚になった。今もこの感覚が継続している。	6

(c) 感情表出(他の人の感情がわかりやすくなっている状態)に関する回答

No	回答内容	グループ
1	声が出せないとき、個性がさらけ出された状態(内面丸出し)に放り出されるのではと感じた。声を出せばキャラクターを繕ってしまう。	1

(d) その他の回答

No	回答内容	グループ
2	(オブジェクトによる)意識の逃げ道があった。	2
3	(オブジェクトによる)視線のホームポジションがあるのは楽だった。	3

流れの中に合意形成がされていくプロセスが介在していると考えられる。

このような合意プロセスによって得られる効果がグループ6から提示されており、”やってみようのハードルが下がった”という感想の通り、自ら情報を発信することに対する抵抗が減ることによる自己表現能力の向上が見込まれる。

(c) 感情表出に対しての効果

グループ1から”声が出せないとき、個性がさらけ出された状態(内面丸出し)に放り出されるのではないか”という回答を得たことから、体験者の内情が表面上にまで浮き上がっているという感覚が得られていることが言える。発話におけるコミュニケーションには無意識的に自分自身をその場その場に相応しいと思われる、もしくは相手に望まれていると感じられる個性へと変えるため自分自身で個性

を編集し、感情的な情報を表出させることを抑えている状態であると考えられる。強制的に素の状態にならざる得ないという状態であれば、発話コミュニケーションでの状態と比較した際に、感情を表出させやすい状態になっていると言える。

(d) その他の回答における可能性の考察

グループ2及び3にて回答を得た投影オブジェクトによる視線と意識の向け先についてである。通常の発話コミュニケーションであれば、コミュニケーション対象者との関係性は直接的な関係で繋がるが、今回の投影オブジェクトがある空間におけるコミュニケーションにおいては、自身の行動が反映されてオブジェクトも反応するが、同時に複数人の行動による反応を観測することもできる。つまり発話コミュニケーションとの明確な違いは、その意識の向かう先であり、一度自分の意識をオブジェクトに向けることで同じ空間に居ながらも間接的にコミュニケーションを行うことにある。意識をまずは投影オブジェクトに投げかけることで、全体の雰囲気を感じ取りながらも、投影オブジェクトを通してメンバーと感情的な情報をやり取りをする状況に、新しいコミュニケーションの姿のヒントに繋がると考える。

グループにおける関係性の違いによる効果の差

表1より、各グループではそれぞれ知人関係や全く面識がなかったグループがあり、その違いによる結果の差が現れた。最も大きな違いが出たのは、グループ5とグループ6である。グループ5は全員が初対面であり全くの無面識状態で体験に参加した。その結果発話コミュニケーションができないことによるシチュエーションに苦しみを感じたというインタビュー結果を得た。体験者同士が初対面という状況において、発話できない条件では当初期待されていた効果の発現は見られなかった。

対症的に、グループ6は全員が知人関係であり、体験中最も活発な動作が見られた。インタビュー結果からも発話できないことに対するイメージをポジティブに捉え、むしろ感覚が研ぎ澄まされ普段気が付かないことにも意識が働くようになったと言う。こちらも参加者のパーソナリティが影響していることもあるが、既にある程度関係性がある状態においてより強く期待する効果が現れる。

5. まとめ

以下に考察を行った結果についてまとめる。

- 弱い共感性が発生する発話以外のコミュニケーションには特別なスキルセットを要せず、技術的な優劣がない状態となるため、背景の違う人々の間で意思疎通を

行うための表現を行うことにつながる。

- 意識の先がオーディオヴィジュアルライズされたオブジェクトに向くことで、直接的な情報のやり取りが関係者間においては強く発揮されず、オブジェクトが媒介となり空間中全員の感情的な情報の伝達を行っている可能性がある。オブジェクトを通じて他者の感覚を得ることができる。
- 情報発信源が一人に集約されず、同時多発的な情報発信を行う中に同調が発生し、独特な合意形成が発生する。この独特な合意形成のプロセスに新しいコミュニケーションの形のヒントを得ることに期待できる。

参考文献

- [1] Madison, G.: Experiencing groove induced by music: Consistency and phenomenology. *Music Perception*, 24, 201-208 (2006).
- [2] 狩谷美穂: "コミュニティー音楽療法の一環としてのドラムサークル実践の可能性: 音楽で地域社会をつなぐために。" 広島文化学園大学学芸学部紀要 1: 53-62 (2011).
- [3] Ramachandran, V.S., Hubbard, E.M.: Synaesthesia: A window into perception, thought and language., *Journal of Consciousness Studies*, 8 (12): 3-34 (2001).
- [4] Ćwiek, A., Fuchs, S., Draxler, C., Asu, E. L., Hiovain, K., Kawahara, S., . Paul, J.: The bouba/kiki effect is robust across cultures and writing systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 377, 20200390 (2021).
- [5] 伴祐樹: クロスモーダルインタラクション最前線: 電子情報通信学会誌 Vol.104 No.12 pp.1271-1278 (2021.12).
- [6] 鳴海拓志: クロスモーダル知覚のインタフェース, 応用映像情報メディア学会誌, 2018年72巻1号 p. 1-7 (2018).
- [7] 高田正幸: 音質評価指標の計算法と適用事例, 日本音響学会誌, Vol.75 No.10 p.582-589 (2019).
- [8] 鶴木祐史, 新しいラウドネス計算法・ISO 532-2:2017 Moore-Glasberg method, 日本音響学会誌, 77巻, 12号, p. 790-797 (2021).
- [9] 坂田勝亮: 光から色彩へ, 色材協会誌, 88巻, 11号, p. 395-400 (2015).
- [10] 村上道夫, 大沼進, 柴田侑秀, 高田モモ, 小林智之, 後藤あや, 保高徹生: 対象者の協力を必要とする調査に関する注意事項と対応方法について, リスク学研究, 32巻, 3号, p. 243-249 (2022).
- [11] ISO 532-1: "Acoustics – Methods for calculating loudness – Part 1: Zwicker method." International Organization for Standardization (2017).
- [12] DIN 45692: "Measurement Technique for the Simulation of the Auditory Sensation of sharpness." German Institute for Standardization (2009).
- [13] R.SanMillán-Castillo, E.Latorre-Iglesias, D.JiménezCaminero, J.M. Álvarez-Jimeno, M.Glessler, and S.Wanty: "MOSQUITO: An open-source and free toolbox for sound quality metrics in the industry and education," in *Proceedings of Inter-Noise 2021* (2021).