

Title	行動変容を生む音の身体化のデザイン
Sub Title	Design for embodied sound to change behavior
Author	村田, 遥人(Murata, Haruto) 南澤, 孝太(Minamizawa, Kōta)
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2018
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2018年度メディアデザイン学 第635号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002018-0635">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002018-0635</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文 2018年度（平成30年度）

行動変容を生む音の身体化のデザイン

慶應義塾大学大学院  
メディアデザイン研究科

村田 遥人

本論文は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に  
修士(メディアデザイン学) 授与の要件として提出した修士論文である。

村田 遥人

審査委員：

南澤 孝太 准教授 (主査)

奥出 直人 教授 (副査)

石戸 奈々子 教授 (副査)

修士論文 2018年度（平成30年度）

## 行動変容を生む音の身体化のデザイン

カテゴリー：デザイン

### 論文要旨

私たちの動きにはリズムがあり、その身体のリズムを自由に変えることであれば、毎日をより充実させることができるはずである。本論文では、日常生活で行われる動作に対し、音を身体化する Rhythmic Wear のコンセプトを提案する。Rhythmic Wear は、身体の動きが持つリズムと音のリズムを同期させることにより、音と身体の動きを結びつける。これにより、音を変えることで、身体の動きを意図的に変化させることができるようになると考えた。今回は、このコンセプトを歩行に適用した Walk-In Music の開発を行い、その有効性を検証した。Walk-In Music は一歩一歩の歩行のリズムを元にリアルタイムで音楽を生成するシステムである。実験の結果、歩行と音楽のリズムを同期したのち、音楽のリズムを変えることで、体験者の歩行のリズムや歩行感覚が変化することがわかった。これにより、歩行のリズムから音のリズムを生成することによって、音を身体化することができ、その身体化した音を変えることで歩行の動きを意図的に変化させられることを示した。Walk-In Music の実装と評価を通して、音を身体化することで身体の動きを変える Rhythmic Wear のコンセプトが歩行に対して有効であることを示した。

キーワード：

身体性メディア, 身体動作, リズム, 音

慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科

村田 遥人

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2018

## Design for Embodied Sound to Change Behavior

Category: Design

### Summary

If we can change the rhythm of the body freely, we should be able to enrich every day. In this thesis, we propose the concept of Rhythmic Wear, which embodies the sound for actions in everyday life. By synchronizing the rhythm of the body movement and the rhythm of the sound, Rhythmic Wear can connect the sound and the movement of the body. By doing so, we can change the movement of the body intentionally by changing the sound. This time, we developed Walk-In Music applying this concept for walking and verified its effectiveness. Walk-In Music is a system that generates music in real time based on the walking rhythm step by step. Then we can synchronize music and walking with each step and control music. Experimental results show that synchronization of walking and music rhythms leads to active walking. Then, by changing the synchronized rhythm of the music, it is possible to change the walking rhythm and walking sensation of the experiencing person. This showed that by generating the rhythm of the sound from the rhythm of walking, the sound can be embodied and the movement of walking can be changed by changing the embodied sound. Then, we confirmed that the concept of Rhythmic Wear, which changes the movement of the body by physicalizing the sound, is effective for walking.

### Keywords:

Embodied Media, Body Movement, Rhythm, Sound

Keio University Graduate School of Media Design

Haruto Murata

# 目 次

<b>第 1 章 序論</b>	<b>1</b>
1.1. 日常生活の中のリズム . . . . .	1
1.2. 音のリズムによる行動変容 . . . . .	1
1.3. 本論文の目的 . . . . .	2
1.4. 本論文の構成 . . . . .	2
<b>第 2 章 関連研究</b>	<b>3</b>
2.1. リズムに対する身体同期のメカニズム . . . . .	3
2.2. 身体感覚を変容させるテクノロジー . . . . .	4
2.3. 身体運動に連動した視覚情報を用いた行動誘導 . . . . .	5
2.4. 身体運動に連動した聴覚情報を用いた行動誘導 . . . . .	7
2.5. 身体のイメージを利用した行動誘導 . . . . .	8
2.6. 2章のまとめ . . . . .	9
<b>第 3 章 Rhythmic Wear</b>	<b>10</b>
3.1. 身体化した音を身につける . . . . .	10
3.2. 音の身体化がもたらす効果 . . . . .	11
3.3. 実現方法 . . . . .	14
3.4. Rhythmic Wear が生むインタラクション . . . . .	14
3.5. 本章のまとめ . . . . .	16
<b>第 4 章 音が身体化する歩行体験</b>	<b>17</b>
4.1. 日常における音楽の役割 . . . . .	17
4.2. 研究体制 . . . . .	18

---

4.3. アイディエーション . . . . .	18
4.3.1 第1回アイディエーション . . . . .	18
4.3.2 第2回アイディエーション . . . . .	19
4.3.3 第3回アイディエーション . . . . .	22
4.3.4 第4回アイディエーション . . . . .	23
4.3.5 第5回アイディエーション . . . . .	24
4.3.6 第6回アイディエーション . . . . .	25
4.3.7 アイディエーションまとめ . . . . .	26
4.4. Walk-In Music . . . . .	26
4.4.1 Rhythmic Wear の歩行への適用 . . . . .	26
4.4.2 Walk-In/Walk-Shift . . . . .	26
4.5. 歩行検出 . . . . .	27
4.6. 音楽生成 . . . . .	28
4.7. システム設計 . . . . .	29
4.8. 実装 . . . . .	30
4.9. 検証実験 . . . . .	32
4.9.1 実験方法 . . . . .	32
4.9.2 実験結果：歩行速度の変化 . . . . .	33
4.9.3 実験結果：歩行感覚の変化 . . . . .	36
4.10. 共同研究先でのデモンストレーション . . . . .	37
4.11. 考察 . . . . .	39
4.11.1 不快感の軽減 . . . . .	39
4.11.2 音のリズム変化による擬似触覚 . . . . .	40
4.12. 本章のまとめ . . . . .	40
<b>第5章 結論</b>	<b>42</b>
<b>謝辞</b>	<b>44</b>
<b>参考文献</b>	<b>45</b>

関連発表	49
国際会議 . . . . .	49
国内学会 . . . . .	49

# 目次

2.1	チンパンジーが音と同期してキーボードを叩く様子 . . . . .	4
2.2	Meta cookie . . . . .	5
2.3	Visual-Haptics . . . . .	6
2.4	変化した自分の足音をフィードバックされる被験者 . . . . .	8
3.1	身体化した音と身体との関係 . . . . .	11
3.2	身体化した音によるモチベーション操作のイメージ . . . . .	12
3.3	身体化した音による空間設計のイメージ . . . . .	12
3.4	身体化した音のリズム共有による相互理解のイメージ . . . . .	13
3.5	様々なスキルをリズムで習得するイメージ . . . . .	13
3.6	実現方法のイメージ . . . . .	14
3.7	行為を選ぶイメージ . . . . .	15
4.1	アイデアスケッチ . . . . .	19
4.2	アイディエーションの様子 . . . . .	21
4.3	アイディエーションから生まれたスケッチ . . . . .	21
4.4	アイデアの分類 . . . . .	21
4.5	「音楽を聴きながら歩く行為」の体験デザイン . . . . .	22
4.6	「鏡を見る行為」の体験デザイン . . . . .	23
4.7	音楽を聴きながら歩くことで起こるインタラクション . . . . .	24
4.8	プロトタイプデバイスの体験 . . . . .	25
4.9	Walk-In/Walk-Shift . . . . .	27
4.10	足の蹴りによって生じる波形 . . . . .	28
4.11	Walk-In の生成 . . . . .	29

4.12	Walk-Shift の生成 . . . . .	29
4.13	システム図 . . . . .	30
4.14	プログラムの流れ . . . . .	30
4.15	作製したデバイス . . . . .	31
4.16	デバイスの装着 . . . . .	31
4.17	実験の様子 . . . . .	32
4.18	実験シーケンス . . . . .	32
4.19	被験者 a の shift time=-+20 msec のときの実験結果 . . . . .	34
4.20	Shift time と bpm 変化の関係 (全被験者平均) . . . . .	34
4.21	Shift time と bpm 変化の関係 (個人) . . . . .	35
4.22	デバイスイメージ . . . . .	37
4.23	デバイス装着イメージ . . . . .	37
4.24	Sony 社内における Walk-In Music の体験風景 1 . . . . .	38
4.25	Sony 社内における Walk-In Music の体験風景 2 . . . . .	38
4.26	変化のさせ方 . . . . .	40

# 表 目 次

4.1	各試行における Shift time . . . . .	33
-----	------------------------------	----

# 第1章 序

# 論

## 1.1. 日常生活の中のリズム

私たちは、身体を通して様々なリズムを感じている。耳から聞こえてくる音楽、目の前を通りすぎる車や電車の振動など、意識しているものから、意識していないものまで、見ているもの、聞いているもの、触っているものなどからリズムを受け取っている。そんな環境のリズムの影響を受けながら生活をしている。なぜなら、私たちの身体もリズムを持っているからである。それは、心臓の鼓動から歩く、切る、文字を書くなど、明確に身体の動きを伴うものまで様々である。そして、日常の中で、身体のリズムが環境のリズムにつられていくことがある。つまり、私たちの身体には、あらゆるリズムに身体を合わせてしまう習性があるのである。そして、何かのリズムが同期しているときに、人は心地よさを感じ、そのリズムに合わせて振る舞いを変えてしまう。そうだとすると、身体のリズムと環境のリズムを使うことで、日常の行為をより楽しく、より充実させることができるはずである。

## 1.2. 音のリズムによる行動変容

身体は、五感を通してあらゆる刺激を受け取り、その刺激を通してリズムを受け取っている。そして、視覚、聴覚、触覚、嗅覚、味覚の中でも、音楽や音などの聴覚のリズムに対して、身体の動きは合いやすい。それは、小さい頃から、音楽に合わせて歌を歌ったり、ダンスを踊ったりを繰り返していくうちに、聴覚のリズムに対して身体のリズムを合わせるような学習を受けてきたからである。

しかし、何よりも音と身体が合うことに対して私たちは気持ち良さを感じるため、自然と合わせてしまうのである。そのため、聞こえてくる音楽を口ずさんでみたり、聞こえてくる音のリズムに合わせて歩いたりする。すると、どんどん気持ちよくなり、いつの間にかに、音によって自分の身体をコントロールされているような気持ちになる。リズムが同期したものが変化するとそれに合わせて、身体の動きも変わっていく。友達とリズムよく会話をしているとき、おしゃべりに夢中になっていると、友達が興奮して早口になるとその声のリズムに合わせて、自分も早口になってしまう。このように、身体は同期している音に対してつられてしまうのである。つまり、身体のリズムと同期したリズムを持つ音を使えば、人の振る舞いを変えることができるのである。

### 1.3. 本論文の目的

日常の行為のリズムと同じリズムを持つ音を変えることで、行為を変化させられると考えられる。しかし、身の回りには多くの音は、自由に変化させることができない。そこで、本論文では日常の行為に対して、音のリズムを同期させ、その音を使って身体の動きを変えることのできる Rhythmic Wear を提案する。それにより、身体のリズムを音によって楽しくコントロールすることが可能となり、理想の毎日を実現することができるようになると考えられる。

### 1.4. 本論文の構成

第1章では、生活の中のリズム、リズムが行動や行為に与える影響などを具体的な例をもとに紹介し、本論文での目的を示した。第2章では、人のリズムの同期、身体感覚の変容、聴覚や視覚を利用した、身体感覚の変容による行動誘導に関連した研究を示し、本論文の立ち位置や貢献を示す。第3章では、音を身体化する Rhythmic Wear のコンセプトを提案する。第4章では、Rhythmic Wear のコンセプトを歩行に適用した Walk-In Music を提案する。最後に、5章で本研究のまとめと、今後の展開可能性について述べる。

## 第2章

# 関 連 研 究

### 2.1. リズムに対する身体同期のメカニズム

人間は、外のリズムに対して自発的に同調することで、人とのつながりを強め、集団としての秩序を保つことができる。McNeil [9] は、軍隊などの人同士のグループで、ダンスや行進などの身体的な動きを同調が行われるのは、一体感を高めることだと主張している。さらに、Haidt ら [2] も、身体的な動きの同期は、互いに同じ時間を過ごすときに、個人と集団との壁を弱めることで、互いに好意的な感情を抱くようになると主張している。そして、Wiltermuth ら [19] によって、はじめに他の人に合わせるような振る舞いをすると、そのあとのグループワークで、協力する姿勢が見られるようになることが報告されている。

リズムを同調させることができるのは、幼少期の学習のおかげである。Silver ら [14] により、幼少期の頃に、ビートなどの動きをリズムカルなパターンとして認識するようになることがわかっている。その能力のおかげで、聞こえてくる音や音楽のリズムパターンと身体の動きを合わせられるようになるため、歌を歌ったり、ダンスができるようになるのである。私たちの外のリズムに対して身体の動きを同調させていく能力は、集団で生きる人間にとって、必要不可欠なものなのである。人間にとって集団で行動することは、自分の命を守ることであり、その能力は、本能的なものである。Hattori ら [3] は、外の音に対して身体の動きを同調させる現象がチンパンジーに対しても見られることを報告している。キーボードを自由に叩いているチンパンジーに一定のリズムを音で与えると、キーボードをタップするリズムが音のリズムに同期していくのである。

これまでも、Anderson ら [1] により、チンパンジー同士が相手の表情を真似す

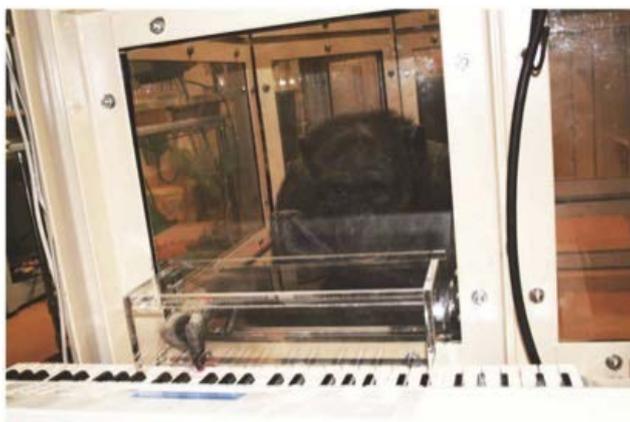


図 2.1: チンパンジーが音と同期してキーボードを叩く様子 (参考文献 [3] から抜粋)

るような同調動作は確認されていた。しかし、身体と全く関係のない音に対して、自分の身体を同調させる様子は観察されていなかった。これは、チンパンジーが身体と関係ないものであっても、リズムを見いだそうとし、そのリズムに対して自分の身体と同じように同期させる能力を持っているということである。つまり、私たちが外の環境に対してリズムカルなパターンを認識し、自発的に身体の動きを同期させようとするのは、とても原始的な振る舞いなのである。だからこそ、環境のリズムに身体のリズムを合わせてしまうことは、無意識下で行われる。よって、普段意識しないうちに、周りの環境のリズムに身体があってしまうのである。

## 2.2. 身体感覚を変容させるテクノロジー

環境からリズムを受け取るにも、そのリズムに身体を合わせるのにも、あらゆる身体感覚が伴う。身体とリズムとの間にも身体感覚が生じていると考えられ、身体感覚を変えることでリズムを変化させられる。そこで、身体感覚を変えるテクノロジーについて述べていく。VR/AR の分野では、身体感覚を変えるテクノロジーが盛んに研究されている。笠原ら [5] は、HMD を装着したユーザーに自分の後方にあるドローンの映像を見せることでこの、自分の身体から幽体離脱したような感覚を生み出すことに成功した。南澤ら [11] は振動触覚を与えることによりコップの中に何かあるような感覚を提示できる TECHTILE TOOLKIT を開発し

た。さらに、味覚の分野においても身体感覚を変える研究は行われており、中村ら [12] は電気刺激を与えることで、塩味を提示することに成功している。

このように、五感に与える情報を変えることで、身体感覚を変える研究が行われている。その一方で、複数の感覚の刺激を同時に変えることで、身体感覚を変える研究も行われている。これをクロスモーダル現象という。鳴海ら [13] は、HMDを用いてクッキーの見た目を変え、チューブで与える匂いを変えることにより、プレーン味のクッキーに味がついているような感覚を与えることができる Meta cookie を発表している。



図 2.2: Meta cookie(参考文献 [13] から抜粋)

このように、身体に与える情報を変えることにより、あらゆる身体感覚を作り出すことができる。そして、人はそれらの身体感覚をもとに行為を行うため、身体と結びついている情報を変えることによって行動を誘導できる。

### 2.3. 身体運動に連動した視覚情報を用いた行動誘導

身体運動に関連する視覚情報の変化によって身体感覚を変えることで、行為を変容させる研究が行われている。對間ら [22] によると、HMDをつけてダンベルを上げ下げする運動をしているときに、そのダンベルの上下の運動量を視覚的に

変えることで、ダンベルの重さの感じ方が変わることが知られている。これは、Psudeo-Haptics という現象を利用している。Pseudo-Haptics は身体の運動量に対して、視覚的に刺激の変化量を変えることで、擬似的に触覚を与えることができる現象のことである [8]。これらの研究では、ダンベルを持つ手というすでに身体の一部となっている視覚情報を変化させることによって、擬似触覚を与えている。その他に身体の一部でないマウスカーソルの動きに関する視覚情報を変えることで擬似触覚を生むことに成功したのが Visual-Haptics である。渡邊ら [18] はマウスカーソルの動きの変化量を変えることで、マウスに重量感や粘着感を提示したり、ディスプレイに凹凸感を提示することに成功している。これは、マウスカーソルが身体の一部となっているから起こった現象である。

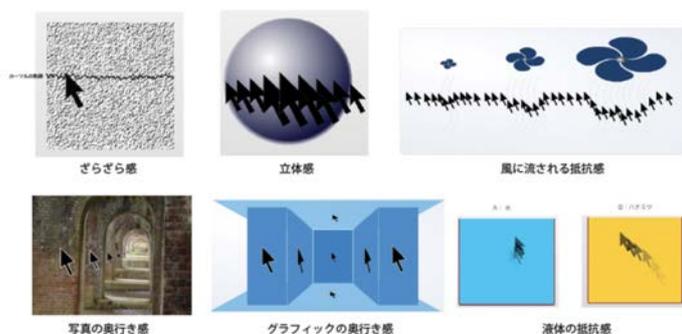


図 2.3: Visual-Haptics(参考文献) [18] から抜粋)

つまり、元々は身体の一部でなくても、身体の一部であると認識している対象であれば、その情報を変えることで、擬似触覚を与えることができると考えられる。そして、身体の一部でないものを身体の一部として認識させるためには身体の動きと連動させることが大切である。笠原ら [4] は、自らの身体の動きと同じ動きをしていたアバターの動きを早めることにより、視覚情報を変えることによって身体が軽く感じることを報告している。これは、アバターの動きとユーザーの動きを連動させることで、アバターを自分の身体の一部であると認識させている。そして、身体の一部となった情報につられて、身体感覚が変化したのである。

## 2.4. 身体運動に連動した聴覚情報を用いた行動誘導

視覚情報だけでなく身体と関連した聴覚情報を変化させることで行動に影響を与える研究が行われている。

歩行時の足音は、身体の一部となっている情報である。足音から、自分の身体の動かし方を認識することができる。Menzer ら [10] により、その歩行時の足の音を遅延させ、音としてフィードバックすると歩行速度が減少することが報告されている。耳から聞こえてくる足音を自分の実際の足音だと認識し、その音に合うように身体を動かしてしまうのである。そのため、遅延させれば、させるほど歩行速度の減少幅は大きくなる。しかし、遅延させすぎると歩行への効果が見られなくなる。これは、提示している音を自分のものだと認識しなくなったからである。足音を遅延させてフィードバックしたときの歩行への影響は他にも行われており、松尾ら [23] は、足音を遅延させることによって歩行のどの周期に影響を与えるのかを検証し、歩行時間・立脚期・遊脚期が増減することを報告している。他にも身体から生じる音を拡張させてフィードバックする研究が行われている。金ら [24] は、鉛筆から生じる筆記音を拡張してフィードバックすると、単純な作業へのモチベーションが向上することを報告している。これは、筆記音が拡張されることで、実際に筆記している量よりも多く自分が書いているような気持ちになっているからである。そして、筆記音は足音と同じように身体の一部となっている情報である。このように、身体の一部となっている音が変化させることで、擬似的な触覚を与え、身体の動きを変えることができるのである。

音に身体の動きがと連動している音は、自らの動きを把握し、正確な身体の動かし方に導くことができる。つまり、身体の動きと連動した聴覚情報は自発的な身体運動の改善を促す可能性がある。木村ら [7] は、身体の動きによって生じる筋電に音の周波数をマッピングし、スポーツにおける身体の動きを可聴化し、それによって技術獲得がしやすくなることを報告している。長谷川ら [15] は、スキーにおいて重要な重心の位置を可聴化することによってスキー技術が向上する可能性を報告している。これは、音に対して素早く身体との関係性を見出し、音を自分の身体の動きの認知として取り入れているのである。つまり、身体の運動と連動している音は、身体の一部として取り入れやすいと考えられる。

## 2.5. 身体イメージを利用した行動誘導

身体感覚を変えることで、身体像を変化させることで行動を誘導させる他に、見た目や音から受けるイメージを利用することで振る舞いを変える研究も行われている。Jimenezら [16]により、自分の足音の低音をカットし、高音を強調してフィードバックすると、足取りが軽くなることが知られている。これは、足音が高くなることで、その足音に合うように自分の身体イメージを痩せ型にしているからである。同様に、高音をカットし、低音を強調してフィードバックすると、足取りが重くなる。



図 2.4: 変化した自分の足音をフィードバックされる被験者 (参考文献 [16] から抜粋)

吉田ら [20] は、人は悲しいから泣くのか、泣くから悲しいのかという心理学領域における問いから、覗き込むと自分の顔が泣いているように見える鏡を開発し、悲しくなくても、悲しい自分の顔を見ていると悲しくなるということを報告している。これは、泣き顔というイメージから、自分は悲しいのだと勘違いさせているのである。そして、辻田ら [17] は、笑顔にならないと開かない冷蔵庫を開発し、日常の中で笑顔になる機会を増やすことよりコミュニケーションが促進することを報告している。Kilteniら [6] は、ドラムを叩いているときの見た目を VR 空間内で黒人と白人に変えることによってドラムを叩くリズムが変わることを示した。これは、肌の色に対するイメージが振る舞いを変えているのである。白人よりも、

黒人の方がリズムカルな動きをするというイメージがあるのである。このようなイメージが行動に影響を与える現象は、実際の日常生活の中でも見られ、吉田ら [21] は、服のデザインや色から受けるイメージが着用時の意識を変え、歩行動作に対してその服にあった振る舞いが生まれることを報告している。つまり、イメージのついたものを身につけるだけで、自分の振る舞いを変えることができるのである。

## 2.6. 2章のまとめ

身体のリズムが環境のリズムに対して同期する現象は、原始的で生理的なものである。そして、互いのリズムが同期することによって、身体と環境が結びつき、身体の一部として認識される。そのようにして、身体の一部として認識された視覚、聴覚の情報を変化させることにより、身体の運動を変えることができる。これは、多くの場合無意識のうちに行われる。また、人の振る舞いは身体と関連するもののイメージによっても変わる。それは、意識的なものであり、そのイメージと身体に身につけるという意識が大切である。これにより、身体に身につけ、身体の一部となる情報を自由に変えることができれば、人の振る舞いも自由に変えることができると考えられる。そこで、リズムを持つもの同士は互いに同期し、身体の一部となっていくため、身体のリズムと身につけるというイメージを組み合わせることで、人の振る舞いを変えられると考えた。

## 第3章

# Rhythmic Wear

### 3.1. 身体化した音を身につける

私たちに日常行為にはリズムがあり、そのリズムを変えることで理想的な毎日を実現することができる。そのリズムは洋服や音楽など、身につけるものを変えることで変えることができる。私たちは、身につけているものの見た目や身体との触れ合いに対して常にリズムを感じ、それに影響を受けながら生活をしているからである。しかし、その無意識のうちに感じているリズムをコントロールすることは難しい。そこで、身体の音をリズムとして可聴化し、身体のリズムと音のリズムを同期させる Rhythmic Wear を提案する。身体のリズムと音のリズムが同期すると音が認知の一部となる。音が認知の一部となっている状態のことを音が身体化していると呼ぶことにする。音が認知の一部になっているとき、音から身体の動きを認知することができる。何故ならば、身体の動きと音の変化との間に一定の関係性ができているからである。そこには、身体と音との相互関係があるため身体の動きが変化すると、音も変化し、音が変化すると身体の動きも変化する。

身体のリズムと音のリズムが同期すると、音の身体化が起こる。同じ身体の動きのタイミングで、同じ音になるため、身体の動きと音の変化との関係がリズムによって結ばれていく。外部の音に対して、身体のリズムを同期させようとする習性によりるものであり、無意識下で行われる。

音が身体化しているとき、その音のリズムが変化すると、身体のリズムは音のリズムと同じように変化しようとする。その結果、身体動作の変容が起こる。身体のリズムは身体の動きによって、生じるものであり、身体のリズムを変えるた

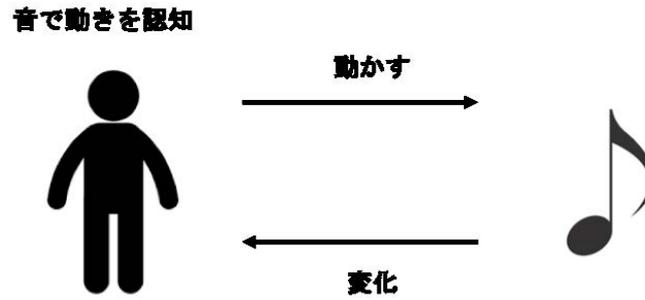


図 3.1: 身体化した音と身体との関係

めには身体動作が必要だからである。これは、音のリズムが変化したことにより、実際の身体の動きと音の変化との関係性が変わったからである。そして、身体化の過程で作られていく身体運動と音の変化との関係と実際の身体の動きと音の変化との関係性を無意識に埋めようとするため、身体動作の変容が起こる。

### 3.2. 音の身体化がもたらす効果

身体化した音は常に身体のリズムと同期しており、リズムが同期しているとき身体は気持ち良さを感じる。それにより、その行為のモチベーションを高めることができる。そして、リズムを使って行動を変えることによってもモチベーションを高めることができる。人は、モチベーションが高いとき、身体が常に動き、一定のリズムを刻んでいる。そこで、モチベーションが下がっているときに、身体化した音によって身体動作のリズムを早める。すると、身体の動きから自分のモチベーションが高くなったような気分にする事ができる。

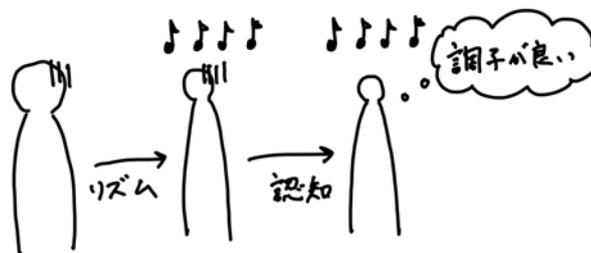


図 3.2: 身体化した音によるモチベーション操作のイメージ

身体化した音はイメージを変えることができると考えられる。身体化した音は認知の一つになるため、同じ空間であっても、音のリズムによって空間に対するイメージが変わる。狭い場所でも、動きに対しての音の変化量を変えることで広く感じさせられると考えられる。

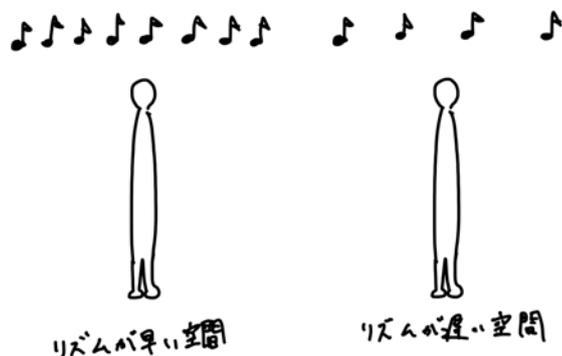


図 3.3: 身体化した音による空間設計のイメージ

リズムによって音を身体化することができると、他の人の体験をリズムによって共有することができると考えられる。他人のリズムと自分のリズムの差を身体を持って知り、他者のリズムに自分の動作が近づいていくことで、直感的な理解を得ることができると考えられる。

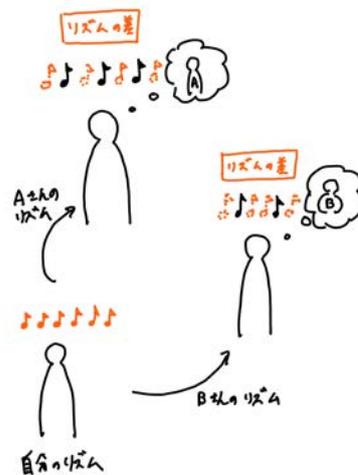


図 3.4: 身体化した音のリズム共有による相互理解のイメージ

あらゆる行為には一定のリズムがある。そのため、スキルの高い人の身体の動きを全て真似するのではなく、リズムだけ取り出し、それを共有することにより難しい動きであっても直感的に理解することができると考えられる。さらに、身体動作も高いスキルの人のもので無意識のうちに近づけることができるため、頭で混乱することなくより身体を通してスキルを会得できると考えられる。

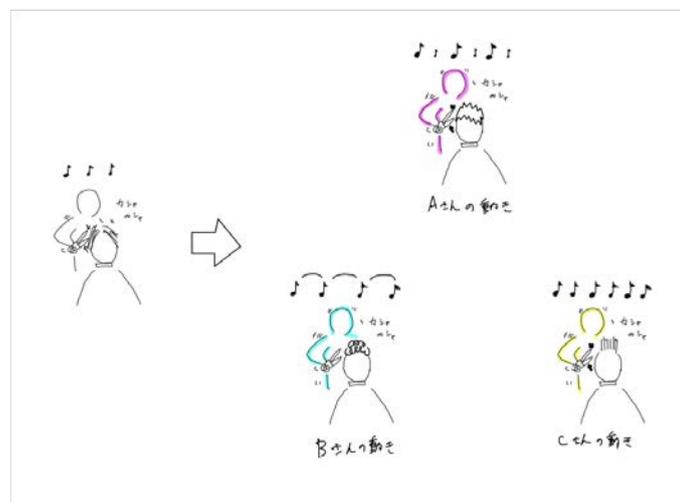


図 3.5: 様々なスキルをリズムで習得するイメージ

### 3.3. 実現方法

身体のリズムと音を同期させるために、身体のリズムから音をリアルタイムで生成し、フィードバックする必要がある。身体のリズムを取得するために、服や靴など日常生活の中で常に身体と触れ合っているものに注目した。それらとマイクや加速度センサーを組み合わせることでいつものように衣類を身につけているだけで、身体のリズムを取得できるようにする。取得した身体のリズムを音に反映させるために、リズムを持ったオリジナルの音を生成する。身体のリズムを算出し、そのリズムから音を生成することで身体のリズムと音のリズムを同期させることができる。その音はヘッドホンやスピーカーなどによってフィードバックする。



図 3.6: 実現方法のイメージ

### 3.4. Rhythmic Wear が生むインタラクション

Rhythmic Wear は音が身体化することにより、思うように身体を動かしたり、いつもと違うリズムで歩いたり、いつもと違う野菜の切り方をすることができる。

気分や好みで服や靴を選び、身体を動かし始めるとその動きのリズムに合うように音が生成されていく。すると、いつの間にかにその行為にとって心地よいリズムに誘導されていく。料理ならシェフの服、髪の毛のカットなら白いシャツ、筋トレならTシャツなど行為に合った服を選ぶことで、それに合ったリズムを手に入れることができると考えられる。会社の日には革靴を履くと、疲れないように一定のスピードで歩くように誘導してくれ、OFFの日に出かけるためにスニーカーを履くと、早く目的地に着くために、早めのリズムで歩けるように、散歩をするためにサンダルを履くと、のんびり景色を楽しめるようにしてくれる。このように、身体化した音で行動変容させることにより、日常の行為をもっと自由に選べるようになると考えた。

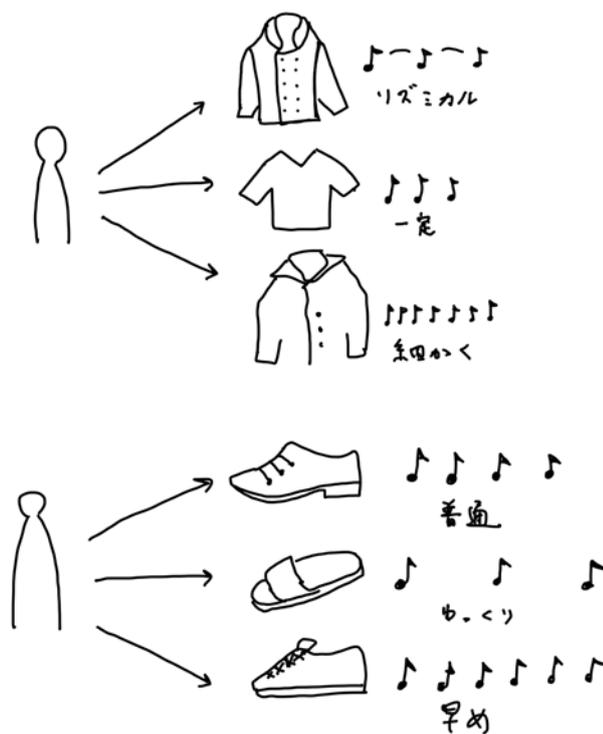


図 3.7: 行為を選ぶイメージ

### 3.5. 本章のまとめ

身につけるだけで、日常行為に音を身体化する Rhythmic Wear のコンセプトを提案した。身体のリズムを取得し、そのリズムから音を生成することにより音を身体化する。身体化した音は、身体の認知の一部となり、その音のリズムが変化するとそれに合わせて身体のリズムが変化していく。身体のリズムは、日常生活の中で私たちが身体に身につけている服や靴などの衣類から取得する。これによって、身につけるものを選ぶように好きなリズムを身につけることができるようになり、好きな行為を選べるようになる。次の4章では、Rhythmic Wear のコンセプトを歩行と靴に適用する。

## 第4章

# 音が身体化する歩行体験

### 4.1. 日常における音楽の役割

音楽は私たちの生活をより充実させてくれる。音楽を聴きながら歩いているとき、その音楽のリズムと歩行のリズムが合っていると世界が変わったように気持ちよくなる。近年、spotify, googlemusic, apple music などクラウドミュージックが登場している。クラウドミュージックの価値は、新しい音楽に出会える、そのときの気分にあった音楽を聴けるという点にある。こうすることで、気分を変えたいときは新しい音楽に出会うことができ、気分をもっと盛り上げたい、維持したいときはその状況にあった音楽を選ぶことができる。ライブが人気復活してきているのも、音楽を聴くことではなく、音楽に乗って周りの観客などとの一体感が求められてきているからである。そして、そんなライブ体験は日頃のストレスを解消してくれ、毎日のモチベーションとなる。好きな音楽を聴きたいという価値観から、思い通りの気分や身体感覚を得るために音楽を利用するような価値観に変わってきているのである。そのためか、音楽は何かの作業をしているときに一緒に利用されることが多くなってきている。そんな中、歩きながら音楽を聴く人は多い。それは、職場や学校に向かうための準備であり、音楽はそこに向けて気分を高めたり、変えたりするものである。つまり、音楽は気分だけでなく、日常の中で行われるあらゆる行為をよりポジティブで理想的なものにするためのパートナーとなっていてきていると考えられる。

## 4.2. 研究体制

Walk-In Music は 2016 年 4 月 1 日～2017 年 3 月 31 日の期間におけるソニー株式会社との共同研究の一環として行われた。この共同研究の目的は、次世代のエンターテインメントの開発である。日常生活に潜む人の暗黙的な行為に着目し、人の行為に無意識的に介入し働きかける「Implicit interaction（暗黙的インタラクション）」によって、日常生活の行動の中で、人の技能習得や行動誘導を誘発する手法について検討と試作を行うことを目的としていた。

## 4.3. アイディエーション

道順を意識しなくても家にたどり着く、料理の手順を考えなくても自然に手が動くなど、人の日常生活において、さまざまな行為が無意識のうちに行われている。今回はこのような日常生活における無意識的な行為に着目し、そのような行為に対してユーザが気づくことなく介入する Implicit Interaction を設計することを目的とした。そのために、SONY メンバーと KMD メンバーとの合同でのアイディエーションを合計 6 回行った。

### 4.3.1 第 1 回アイディエーション

日時 : 2016 年 5 月 13 日 (金)

場所 : 日本科学未来館

参加者 : Sony : 梨子田, 三上

KMD : 稲見, 南澤, Liwei Chan, 柳原, 加藤, 村田

日常生活に馴染み込むインタラクションという観点から、図 2.1 に示すような、さまざまなアイデアをもとに議論を行った。今回のアイデアは、部屋の中や車の中などの限られた空間におけるインタラクションに注目したアイデアが多くあった。Sony において現在行われている Life Space UX などの取り組みもふまえ、生活に馴染んだデザインに落とし込みたいという共通認識を得た。



図 4.1: アイデアスケッチ

### 4.3.2 第2回アイディエーション

日時 : 2016年6月9日(木)

場所 : ソニー本社(品川)

参加者 : Sony : 梨子田, 三上, 唐澤, 鈴川, 鈴木

KMD : 稲見, 南澤, 柳原, 加藤, 村田

Implicit Interaction というテーマのもとでどのような経験のデザインが可能かをテーマにアイディエーションを行い [図 4.2], アイデアスケッチ [図 4.3] を描いた。そして、アイデアの分類 [図 4.4] を行なった。

1) 無意識のパーソナライズ個人の好みや状況に応じて提示情報を変化させることにより、ユーザに意識させることなく環境やインタフェースがパーソナライズされる。それによって常にユーザにとって快適な環境を提供するだけでなく、個人の行動を誘導し、全体としての最適化を図ることもできる可能性がある。

2) 未来の自分に対するインタラクションユーザの行動から一步先の行動を予測し、その未来の行動を変化させるように情報を提示することで、人の行動を無意識的に誘導することができる。

3) 一体感の設計多人数の集団が同じ対象に注意を向けることにより、個人個人は直接的にコミュニケーションしていなくても全体としての一体感が感じられる。

4) 個人の潜在的情報の可視化集中度合いや喜怒哀楽など、普段明示的には伝わらない感情や生理的情報にもとづいて環境を変化させることにより、本人の行動を誘発したり、第三者がその人の状態を認識できるようにする。

5) 外界環境の体感的伝達時間によって変化する光や気温など屋外環境を実際の体感としてユーザに提示することで、時間の感覚や季節の感覚など、普段何気なく捉えているような外界の環境情報を体感として肌で知覚することができる。

これらの分類により、情報の提示の仕方を工夫することにより、Implicit Interaction を実現できる可能性が示唆された。人の行動誘導には「Indicate (指示)」「Enforce (強制)」「Induce (誘発)」の3つのアプローチが存在する。「Indicate (指示)」は標識など、強制力はなく従うか従わないかは見た人に委ねられる方法である。「Enforce (強制)」は物理的な力により従わざるを得ない状況をつくることである。これに対して「Induce (誘発)」は人の持つ性質を利用することで強制力がないにも関わらずいつのまにか意図されたようにユーザが動いていたという状況を作り出すことである。このような議論を踏まえ、人にどのように情報を提示するかということが Implicit Interaction の実現の重要な要素になることがわかった。



図 4.2: アイディエーションの様子

図 4.3: アイディエーションから生まれたスケッチ

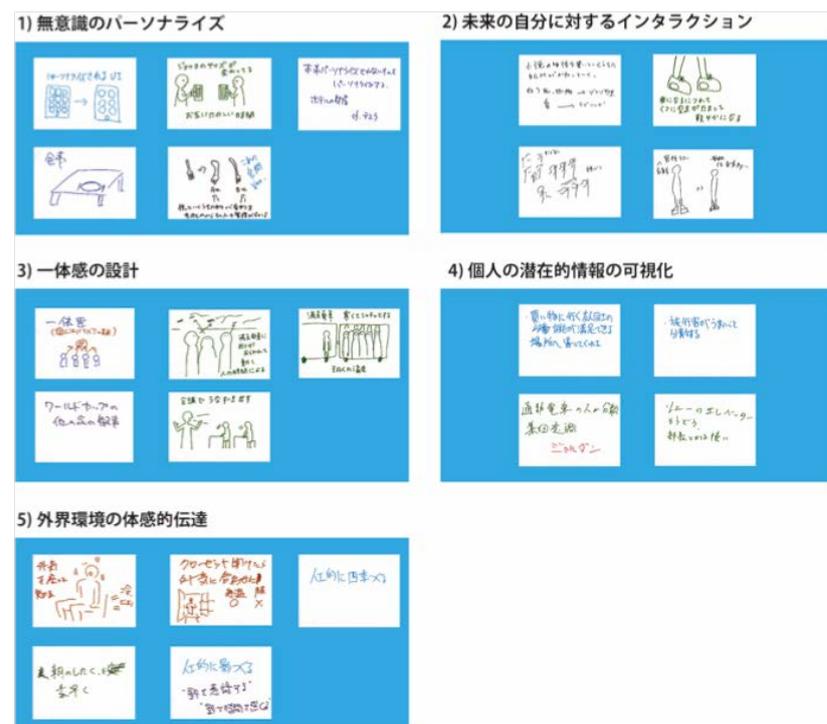


図 4.4: アイデアの分類

### 4.3.3 第3回アイディエーション

日時 : 2016年6月24日(金)

場所 : 日本科学未来館

参加者 : Sony : 梨子田, 三上, 唐沢, 鈴木

KMD : 稲見, 南澤, 柳原, 村田

これまでのアイディエーションをもとに Implicit Interaction に基づく体験の試作を進める具体的なシチュエーションとして、「鏡を見る行為」と「音楽を聴きながら歩く行為」の方向性が示された。それぞれの状況設定におけるより具体的な体験デザインについて議論を行い、「音楽を聴きながら歩く行為」については、従来のように既存の音楽に合わせて歩くのではなく歩行動作に合わせて音楽を奏でることにより、ユーザが常に音楽に「ノっている」状態を生み出す、「音楽にノリに街に出よう」というコンセプト [図 4.5] を提案した。「鏡を見る行為」については既存の鏡にはない「Angle」「Zoom」「Time」といった機能を搭載することなど鏡のメタファーを使ったインタラクションにより、アビリティアップに役立つような鏡をつくること [図 4.6] を提案した。



図 4.5: 「音楽を聴きながら歩く行為」の体験デザイン

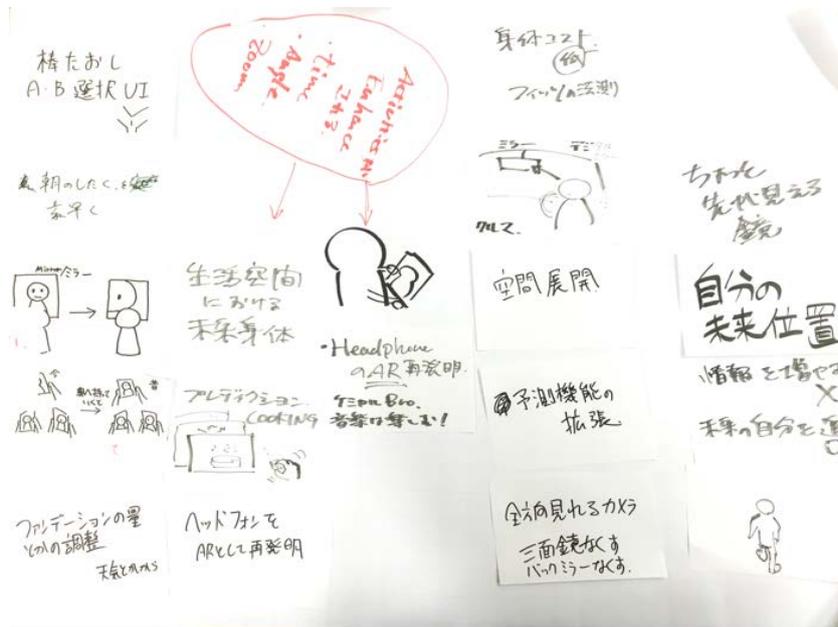


図 4.6: 「鏡を見る行為」の体験デザイン

#### 4.3.4 第4回アイディエーション

日時：2016年7月19日（火）

場所：東京大学 工学部1号館 4F 405 稲見研究室

参加者：Sony：梨子田，三上，唐澤，鈴木

KMD：稲見，南澤，柳原，加藤，村田

それぞれのプロジェクトに関して、今回のプロジェクトで実現していく体験を明確にするためのミーティングを行った。歩き始めると、いつの間にかに音楽のリズムに乗り始め、スムーズに街を歩けるようになり、気持ちよくなっていつもと違う道を歩いたら満月がちょうど見えたという音楽と歩行とのインタラクションを提案した [図??]。このアイデアを元に、道を音で捉えるようになれば、ナビゲーションの仕方も変わるかもしれないということやその音楽を求めて外に出ることで歩くモチベーションを高めることができないかといった意見があり、これまでの音楽の聴き方を変えるようなインタラクションデザインに関して話し合った。

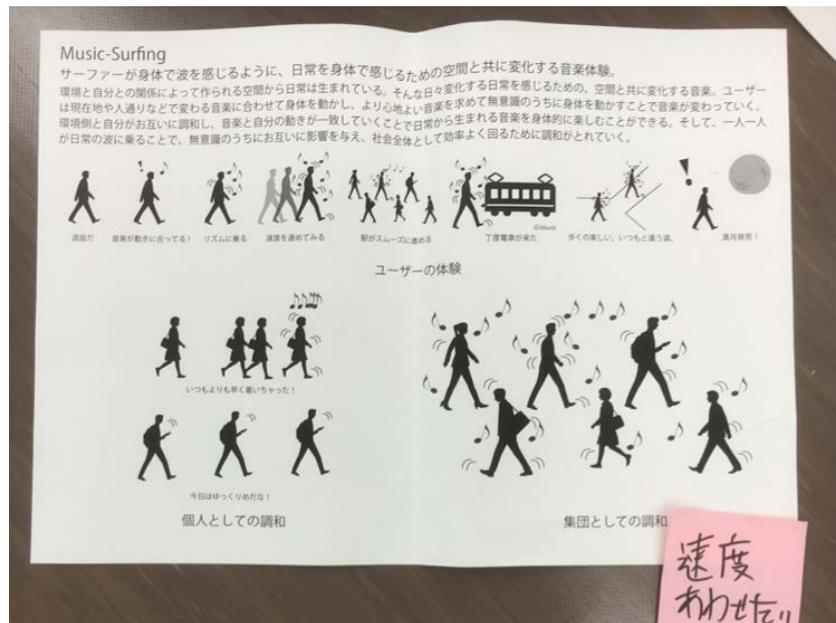


図 4.7: 音楽を聴きながら歩くことで起こるインタラクション

#### 4.3.5 第5回アイディエーション

日時：2016年8月4日（木）

場所：ソニー本社（品川）

参加者：Sony：梨子田，三上，唐澤，鈴木，鈴川 KMD：南澤，柳原，加藤，村田

「鏡を見る行為」に関して、応用先をキッチンにするというアイデアが提案され、毎日のように使用しているキッチンでいつのまにか料理のアビリティアップが達成される鏡を作ることを決定した。「音楽を聴きながら歩く行為」では、音楽のテンポを今の自分の歩みより少し早いテンポにしてみるとどうなるか、といったことや、街の新しい見方につながるようなインタラクションデザインにできないかといったアイデアが出された。

### 4.3.6 第6回アイディエーション

日時：2016年8月19日（金）

場所：ソニー本社（品川）

参加者：Sony：梨子田，三上，鈴木

KMD：稲見，柳原，加藤，村田

プロトタイプをメンバーで体験しながら，中間発表に向けて各グループの訴求すべき点に関して詳細を詰めた [図 4.8. 「鏡を見る行為」に関しては，「アビリティの獲得ができるようになれば面白い」「アフィニティ（親近感）を感じる体験を作りたい．例えば誰かと一緒に料理するような感じ」「早く切れるとかではなく，母のように料理ができるとか，プロの料理人のように切れるとかを実現できないか」がいつのまにかわれわれの行動をサポートしてくれたらどのような体験になるか」といった意見があり実装に向けてのヒントとなった．「音楽を聴きながら歩く行為」に関しては，「音を使って気持ちよくなれるようなインタラクションの設計をどのようにしていくか」「気持ち良さのパラメータをしっかりと考える必要がある」「位置と音楽を使ってできることまだまだある」「屋外に出たくなるデバイス」といったアイデアを話し合った．



図 4.8: プロトタイプデバイスの体験

### 4.3.7 アイディエーションまとめ

Implicit Interaction を設計するためにたくさんの議論を交わした。「音楽を聴きながら歩く行為」については、「気持ちよさの設計」と「音楽のテンポを変える」という二つの要素を組み合わせることで、Implicit Interaction を設計する方向性を見いだした。つまり、音楽に常にのっている気持ちの良い状態を生めば、音楽のリズムを変えることで、行為を変えることができる。これを実現することで、「街の見方が変わる」や「街に出たくなる」といったポジティブに毎日を過ごせるようになる効果が得られると考えた。

## 4.4. Walk-In Music

### 4.4.1 Rhythmic Wear の歩行への適用

アイディエーションによって歩行と一体化する音楽によって歩行行為を変化させるというアイデアが生まれた。これを実現するために Rhythmic Wear のコンセプトを歩行と靴に適用した Walk-In Music を提案する。Walk-In Music は靴をはき、靴紐を結ぶように靴にデバイスを装着し、歩き始めると、身体のリズムと音楽のリズムが同期し始める。音楽のリズムを通して、自分の歩行のリズムを感じ取り続けているといつの間にかに音楽と一体化した感覚になる。そして、音楽によって身体を動かされることでいつもより早く歩いたり、遅く歩いたり、一定のペースで歩くことで、歩行のあらゆるリズムを楽しむようになる。

### 4.4.2 Walk-In/Walk-Shift

身体のリズムと音楽のリズムを同期し、足が地面につくタイミングと音楽のビートが常に一致する状態を Walk-In と呼ぶことにする。この状態では、音楽との一体感を感じ、気持ち良さを維持するように歩行する。この Walk-In を実現するために、足が一歩ごとに地面につくリズムを抽出し、そのリズムを元に音楽を生成

する。一步ごとに音楽に反映するため、早く歩くと音楽も早くなり、音楽と歩行が常に一体化している。

Walk-Inによって、音楽と一体化しているときに、足が地面につくタイミングと音楽のビートがずれる状態を Walk-Shift と呼ぶことにする。この状態では、音楽との一体感を感じながらも、音楽が自分よりも前に行ったり、後ろに行く感覚になる。これによって、音楽に引っ張られるような力を感じる。

Walk-In と Walk-Shift(図 4.9) を組み合わせることで、音楽と一緒に歩く感覚と音楽に引っ張られて歩く感覚を自由に組み合わせることができる。これにより、リズムを維持したり、リズムを意図的に変えたり、いつの間にか変わっていたりする。つまり、歩行のリズムをコントロールすることが可能になる。

#### 歩行と音楽との同期による一体化(Walk-In)



#### 歩行と音楽との差による変化(Walk-Shift)



図 4.9: Walk-In/Walk-Shift

## 4.5. 歩行検出

歩行リズムを算出するために、足の接地を検出する必要がある。Walk-In Musci では靴の紐の位置に装着するウェアラブルデバイスで行う。足が地面に接地した際の衝撃を取得する図 4.10。足が地面に接地した時には、足の動きによって得られる波形よりも周波数の高い波形が生じる。周波数の高い波形のみを検出するた

めに、サンプリング周波数を高くし、その傾きに閾値を設けることで接地タイミングを検出し、その接地タイミングから歩行間隔を算出する。

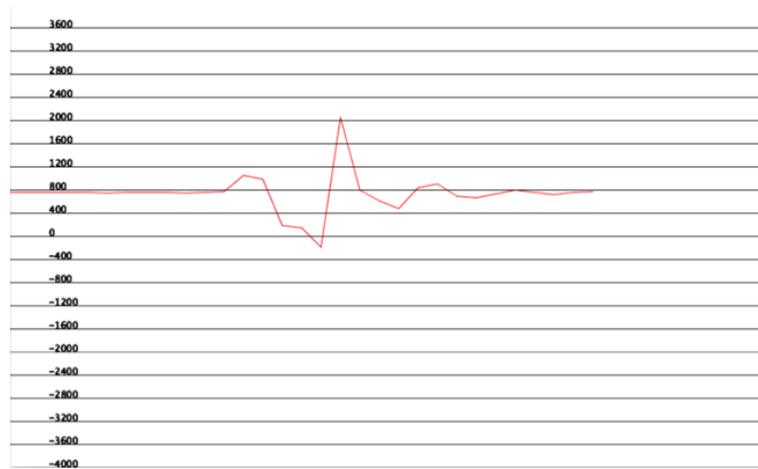


図 4.10: 足の蹴りによって生じる波形

## 4.6. 音楽生成

4拍子で構成される音楽のドラム音と歩行動作における地面への蹴りタイミングが常に一致するように設計することで、音楽のリズムと歩行のリズムを同期させる。ベース音と蹴りのタイミングを同期させるために、MIDI音源を用いて歩行間隔をリアルタイムで反映させる。MIDI音源を用いることで、再生スピードを変えても音程は変化しないため違和感なく楽曲を聴くことが可能となる。歩行間隔を動的に反映させているため一歩前の歩行が次の歩行タイミングに反映され、二歩以上歩くことでMIDI音源と足の接地のタイミングが一致する [図 4.11]。よって、歩行が遅くなると楽曲のテンポが遅くなり、歩行が早くなると楽曲のテンポが早くなるため、歩行テンポと音楽テンポを同期させることができる。

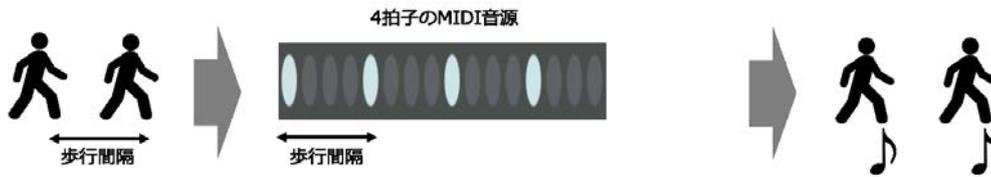


図 4.11: Walk-In の生成

一歩毎の歩行間隔をそのまま音楽生成に反映させることで音楽と歩行を同期させることで、Walk-In を実現する。その状態で実際の歩行間隔に対して  $\Delta \times \text{msec}$  ずらした値を MIDI に反映させてから、音楽を生成する [図 4.12]。これにより、歩行テンポと音楽テンポの間にズレを生むことができる。これにより、Walk-Shift を実現できる。

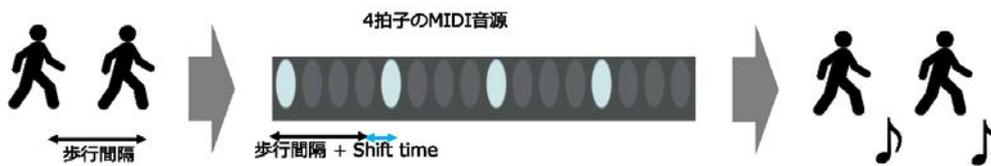


図 4.12: Walk-Shift の生成

## 4.7. システム設計

歩行者の足にセンサーをつけて歩行を検出し、そのデータを元に音楽を生成することで、歩行と音を連動させる。Walk-In Music の全体システム概要を図 4.13 に示す。ユーザの靴に装着するセンサーにより歩行間隔を算出し、音楽を生成することで一歩一歩の歩行動作と音楽が同期する。

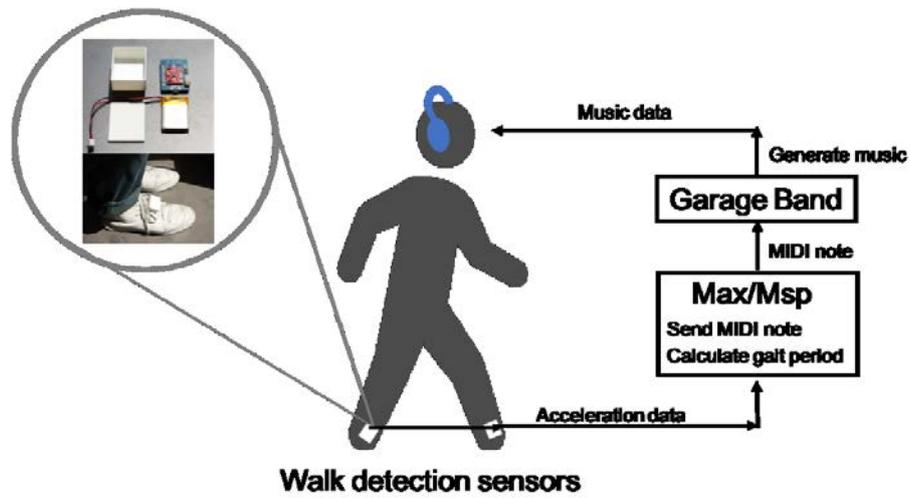


図 4.13: システム図

## 4.8. 実装

データ受信から楽曲生成までの流れを図 4.14 に示す。

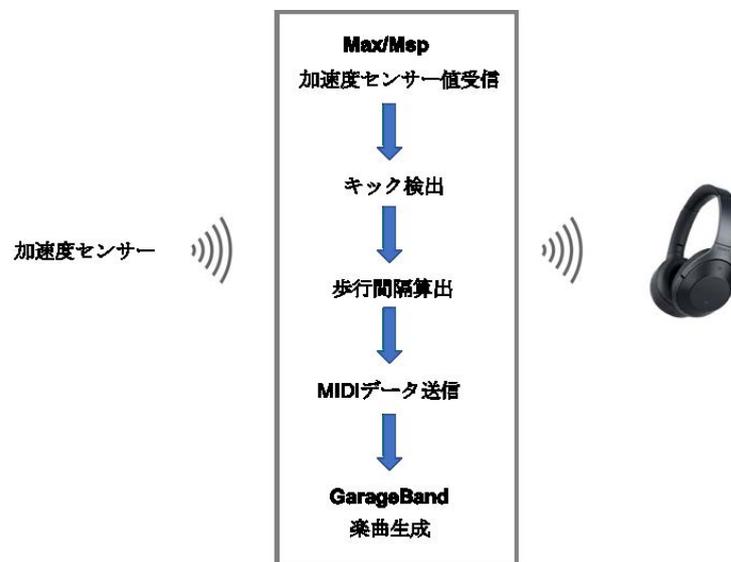


図 4.14: プログラムの流れ

加速度センサーは慈溪博瑞テクノロジー株式会社の ADXL345 を用いた。センサー値を取得して Wifi 経由で PC に送るためのマイコンとして、スイッチサイエンス社の ESP-WROOM-02 を使い、これらを組み合わせることで歩行取検出用のデバイスを作成した [図 4.15, 4.16]。Wifi ルーターは ASUS 社の RT-AC85U DUAL-band Wireless Gigabit Router を使用した。

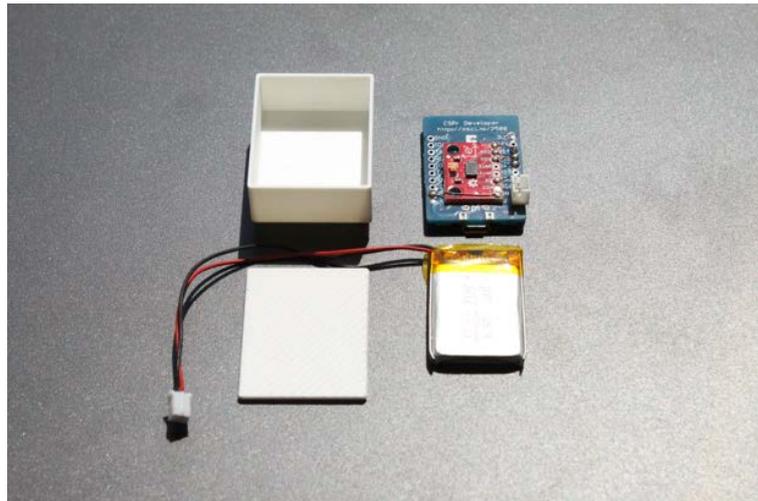


図 4.15: 作製したデバイス



図 4.16: デバイスの装着

## 4.9. 検証実験

Walk-In Music のシステムによって、歩くだけで乗れる音楽を生み出し、その音楽を変えることで、歩行をコントロールできるかの検証を行う。

### 4.9.1 実験方法

Walk-In Music のシステムが歩行に与える影響を調べるために、a, b, c, d, e, f, g の7人の参加者（5人の男性と2人の女性）について実験を行った。被験者には靴にデバイスを装着してもらい、図4.17に示すように生成された音楽を聞きながら廊下を歩くように指示した。この際、被験者は図4.18に示すような予備歩行、Walk-In 状態、Walk-Shift(+shift, -Shift) 状態を1試行の中で連続的に体験する。ユーザが歩き始めると足の接地のタイミングでドラム音が聞こえ始め、そのドラム音にメロディーが聞こえ始める。



図 4.17: 実験の様子



図 4.18: 実験シーケンス

そして、歩行テンポと音楽テンポが一致した状態が続いた後に、音楽が歩行に対して早くなり、その後遅くなる。このときの被験者のアンケートによる定性評価と歩行 bpm 測定による定量評価を行うことにより、Walk-In と Walk-Shift による効果を検証した。1 試行ごとに Shift time の値を変更して図 4.18 のシーケンスで 6 回行なった ( $\pm 0$ 、 $\pm 20$ 、 $\pm 40$ 、 $\pm 60$ 、 $\pm 80$ 、 $\pm 100$ msec)。その後、+Shift と -Shift を切り替えて再び 6 回行なった。よって、被験者ごとに 12 回の試行を行なった。各試行における、Shift time を表 4.1 に示す。

表 4.1: 各試行における Shift time

試行回数	Shift time1	Shift time2
1	0	0
2	20	-20
3	40	-40
4	60	-60
5	80	-80
6	100	-100
7	0	0
8	-20	20
9	-40	40
10	-60	60
11	-80	80
12	-100	100

#### 4.9.2 実験結果：歩行速度の変化

被験者 a の実験結果 ( $\pm 20$  msec) を図 4.19 に示す。図 4.19 より、+shift の範囲で Walk-In の範囲に比べて急に bpm が減少し、-Shift の範囲では増加していることがわかる。これにより、被験者 a については Walk-Shift によって歩行が変化していると考えられる。

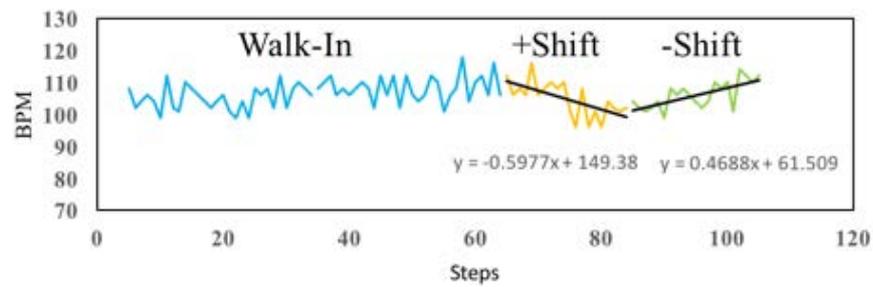


図 4.19: 被験者 a の shift time=+20 msec のときの実験結果

次に、全体の傾向を見るために、7人の被験者の14回の試行における+Shift及び-Shift領域における各ステップのbpm変化の平均値を計算した結果を図4.20に示す。

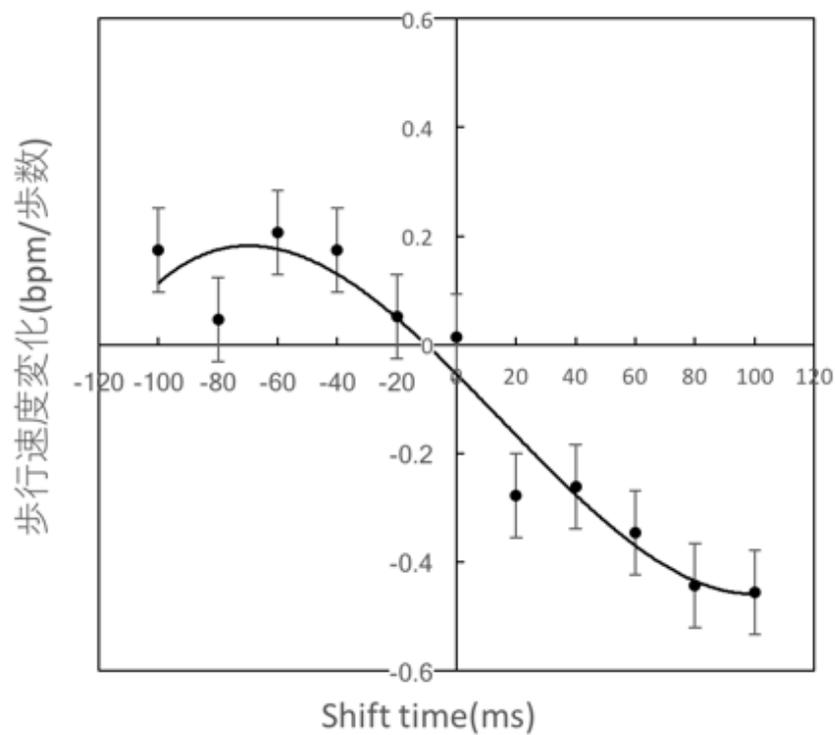


図 4.20: Shift time と bpm 変化の関係 (全被験者平均)

縦軸は図 4.19 のように一歩毎の bpm 変化に対して近似直線を引いたその傾き、横軸は Shift time(ms) を示している。図 4.20 より、Shift time の値が正のとき傾きが負に、Shift time が負のときは傾きが正になっている。これより、実際の歩行間隔よりも音楽を遅くすると、歩行 bpm が減少し、早くすると歩行 bpm が増加していることがわかる。そして、その変化が原点付近を通る S 字曲線になっていることがわかる。このことから、Shift time の値を変化させることにより、ユーザの歩行速度をコントロールできる可能性が示唆された。しかし、その一方で、Shift time の値の大きさには 80ms 前後に限界値があることもわかった。さらに、Shift time が負のときに比べて正のときの方が曲線の傾きが大きいことがわかる。これにより、楽曲を早くするよりも、遅くする方がより歩行に与える影響が大きいということがわかる。被験者毎の効果を見るために各被験者の Shift time と bpm との関係を図 4.21 に示す。

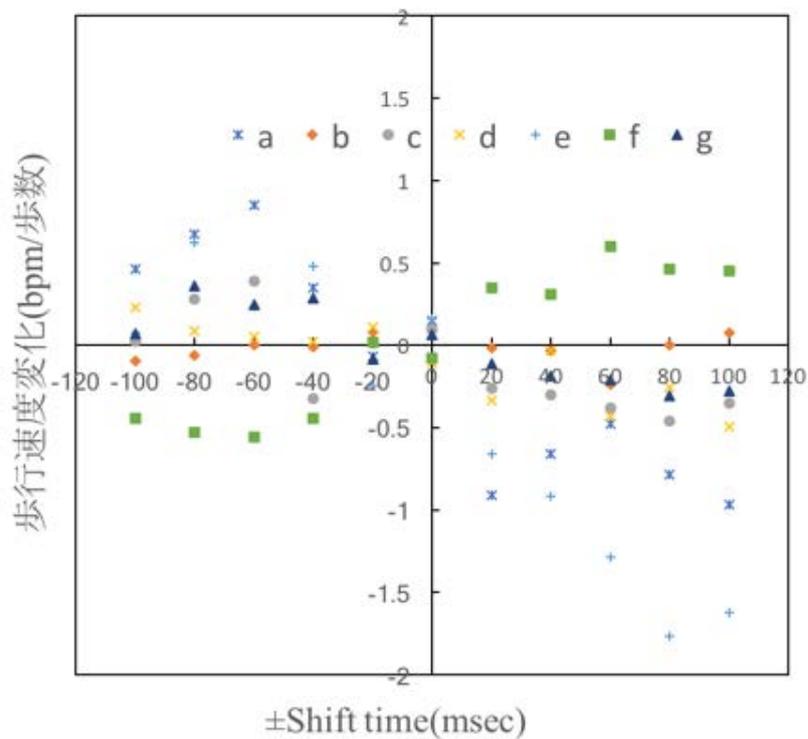


図 4.21: Shift time と bpm 変化の関係 (個人)

図 4.21 より、被験者 a, c, d, e, g については Shift time が正のとき傾きが負に、Shift time が負のときは傾きが正になっていることが読み取れる。しかし、被験者 b についてはほとんど変化しておらず、被験者 f については、被験者 a, c, d, e, g と真逆の現象が起きていることがわかる。実験後に被験者 f より、「自分の気持ちいいテンポに音楽を保とうとしたので、音楽が早くなったときは足取りを遅くして音楽のテンポを戻そうとした」というコメントを得ることができた。このコメントより、被験者 f については、Walk-In による音楽と身体との一体感が不十分だったため音の身体化が起きず、歩行と音楽を別のものと捉えていたと考えられる。被験者 b についても、被験者 f と同様に音の身体化が行われず、音楽に乗っているのではなく、ただ音楽を聴いている体験になってしまったと考えられる。

### 4.9.3 実験結果：歩行感覚の変化

次に被験者のコメントを以下に示す。

- ・「歩いてる、歩いてる」って感じがした。
- ・合っているときは気持ちよくて、思わず上半身が動いてしまった。
- ・最初の段階は気持ち良かった。
- ・最初の方は自分のテンポを保とうとしていた気がする。
- ・音楽のテンポが変わる前と後で、歩行への意識と無意識が切り替わった気がする。
- ・合うと気持ち良いが、音楽がずれたときは気持ち悪い。
- ・遅くなる方は気がつくけれど、早くなる方は気がつきにくい。
- ・遅くなるときはあいづらい。
- ・12 回中 5 回くらいは何も感じなかった。
- ・音楽と音色を増やして欲しい。

これらのコメントより、Walk-In Music によって歩行に気持ち良さを生み、能動的な身体動作を促していることがわかった。その一方で、不快感を感じてしまうユーザも存在した。ユーザは shift time の幅が大きすぎる時に音楽に対して合わない状態が続いたことで音楽自体に不快感を感じてしまったと考えられる。

## 4.10. 共同研究先でのデモンストレーション

日常生活の中で、音を身体化し、その音を使って歩行を変化させる製品プロトタイプとして Walk-In Music を提案した。Walk-In Music によって、これまでの音楽と人との関係のような人が音楽を選ぶのではなく、常に歩行に乗る音楽を実現することで、好きな身体の動きや行為を選ぶために音楽を選ぶという新しい音楽体験を提案した。



図 4.22: デバイスイメージ



図 4.23: デバイス装着イメージ

Sony 社内でのデモンストレーションでは、歩行を音楽によってコントロールされる体験をしてもらった。ユーザの目標 bpm をこちら側で設定し、歩行をコントロールすることを狙いプログラムを作製した。Walk-In のために、歩行と音楽を同期させた後、目標 bpm より早いと+shift 段階、遅いと-shift 段階に切り替わるように実装した。そのときの様子を図 4.24, 4.25 に示す。



図 4.24: Sony 社内における Walk-In Music の体験風景 1



図 4.25: Sony 社内における Walk-In Music の体験風景 2

その場の雰囲気から体験者の足取りは第三者から見てもはっきりと変化していることが見受けられた。そして、複数の体験者において目標 bpm への誘導をすることができた。体験者からは「走ると気持ちいい」、「音楽がついてくる」、「歩きにくくなった」、「歩行は変わったが無意識ではなかった」などのコメントを得ることができた。このデモンストレーションでは、+shift の時 (目標 bpm よりも歩行が早いとき) は  $\Delta t = +60$  msec, -shift の時 (目標 bpm よりも歩行が遅いとき) は  $\Delta t = -60$  msec で行なったため、歩行への影響は大きかった一方で、無意識の誘導のためには  $\Delta x$  が大きすぎたと考えられる。以上のことより、Walk-In Music によって、歩行において音楽に乗る気持ちいい体験を作れることと同時に、楽曲のパラメーターを変えることで歩行スピードを制御することができることがわかった。

## 4.11. 考察

### 4.11.1 不快感の軽減

Walk-In Music によって、歩行速度を変えることができた。その一方で、不快感などを感じるユーザーもいた。この不快感は今回の実装では shift time の幅を固定して行ったため、歩行に対して大きすぎるズレを生んでしまったことにより、この不快感が生じたと考えられる。被験者によっては音楽に変化を加えたことに気づかない被験者もいたことから無意識に歩行に影響を与えられる shift time の範囲があると考えられる。よって、図 4.26 のように、shift time の幅を一步一步の歩行に対して徐々に変えていくことで、気持ち良さを保ったまま歩行を誘導することができると考えられる。

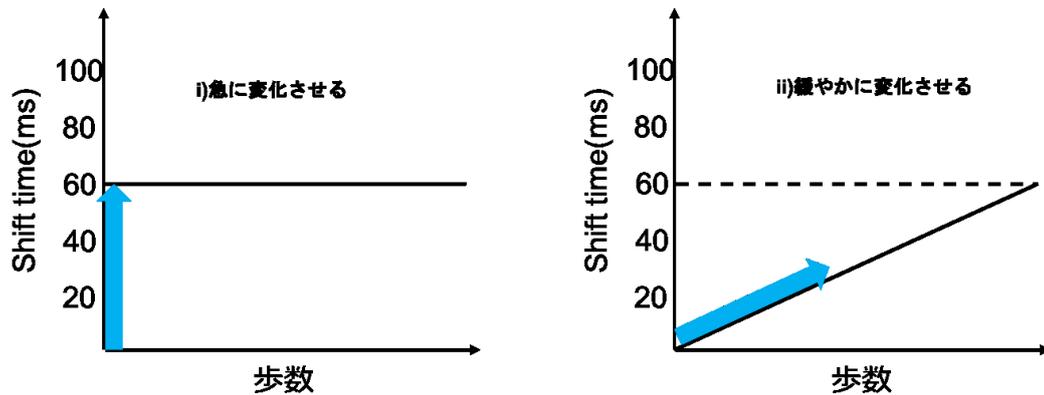


図 4.26: 変化のさせ方

### 4.11.2 音のリズム変化による擬似触覚

歩行のリズムと音楽のリズムが同期している状態で、音楽のリズムを変えることで、歩行速度が変化する。これは、身体化した音のリズム変化により、擬似触覚を身体に感じているからではないかと考えられる。擬似触覚は、身体運動と連動した視覚情報を変えることによって生じる。そして、擬似触覚を感じているときには、身体の動きも変化する。Walk-In Musicでも、実際に歩行速度が変化しているため、身体の動きが変化している。さらに、実験以外での体験者の中のコメントに「坂道を歩いているような感覚になった」というものがあった。このことから、音楽のリズムによって、身体が擬似触覚によって引っ張られたり、押される。その結果、歩行スピードが変化したのではないかと考えられる。

## 4.12. 本章のまとめ

ソニー株式会社との共同研究の一環として、Walk-In Music を作製した。Walk-In Music は 3 章で示した Rhythmic Wear のコンセプトを歩行と靴に適用したものである。Walk-In Music は歩行と音楽のリズムを同期させることで、音を身体化する。実装したシステムを用いた検証実験の結果、歩行から音楽を生成し、音

楽との一体感を高めることで能動的な歩行を生み出すことができた。そして、この状態において音楽のリズムを変えることにより身体感覚を変え、歩行速度を変えることができた。Walk-In Musicの実装により、音楽のリズムと身体運動のリズムを同期させることによって運動動作を誘導できることを示した。さらに、音楽のリズムを変えることで、音のリズム変化による擬似触覚を与えていたと考えられる。このシステムを共同研究先に製品プロトタイプとして提案し、デモンストレーションを通して、身体運動と連動する音楽によって、歩行が変わる体験をしてもらった。このシステムを応用することで、音楽に乗れることで普段の歩行自体を楽しくするだけでなく、歩行感覚を変えることにより坂道や階段など地形に応じて歩き方を変えることが期待できる。また、無意識の歩行誘導によるランナーのペースコントロール、さらには、個人ではなく集団の一体感の創出などへの応用も考えられる。

## 第5章

# 結 論

第1章では、日常生活におけるリズムと身体の関係について述べ、本研究の目的を示した。日常生活の身体行為を変容させるために、無意識に行われるリズムへの同期とそれによる行動誘導に着目した。

第2章では、リズムの同期、身体感覚の変容、視覚情報や聴覚情報を用いた行動誘導についての先行研究を紹介した。私たちが本来持つリズムへの同期能力を始め、なぜ身体のリズムを周りのリズムに同期させてしまうのかについて紹介した。さらに、身体運動を行うために必要な身体感覚を変えるテクノロジーと、身体感覚を変えることによって、行動変容を促す研究について紹介した。

第3章では、日常行為に音を身体化する Rhythmic Wear のコンセプトについて述べ、これにより私たちの日常がどう変わるのかとその実現方法を示した。日常生活において音を身体化することができると、その日に合った服や靴を選ぶように行きも選べるようになる。

第4章では、Rhythmic Wear のコンセプトを靴と歩行に適用し、その有効性を検証した。そのために歩行と連動する音楽を生成する Walk-In Music の提案、実装、評価、考察を行った。Walk-In Music は足にクリップ型のセンサーを付けて歩行のリズムを算出し、そのリズムに合った音楽をリアルタイムに生成することで、歩行のリズムと音楽のリズムを同期させることができた。これにより、Walk-In を実現した。音楽と歩行との一体感を高めたあと、音楽のリズムを歩行に対して早めたり、遅めたりすることで、Walk-Shift を実現した。この Walk-In と Walk-Shift が歩行に与える影響を調べるための実験を行なった。その結果、Walk-In では歩きたくなるなどの意見があり、能動的な歩行を促すことができた。Walk-Shift では音楽と歩行の間にずれを生むことで、歩行速度を早めたり、遅めたりすること

ができた。これにより、身体のリズムを取り出して、そのリズムから音を生成することによって音を身体化することができ、その音を変化させることにより、歩行を変容させることができたと言える。その一方で、効果がみられない被験者や音楽が遅くなることに対する違和感を感じた人もいた。この問題を解決するためには、音楽の変化のさせ方や音色について検討する必要がある。

本論文では、身体化した音を身につける Rhythmic Wear のコンセプトを提案し、歩行と靴に対して有効であることを示した。今回は歩くという行為や靴に注目したが、髪を切る、野菜を切る、洗濯物をたたむ、畑を耕すなど他の行為に対しても応用できると考えられる。どんなに複雑な行為であっても、うまく身体を使うときや気持ちの良いときには必ずリズムが介在しているはずである。つまり、日常のあらゆる行為がリズムによって促され、その行為の連続が日常を作り上げていく。身体化した音楽を生成する服や靴などがあれば、行為を自由に変えたり、他の人のスキルを受け取ったりすることができる可能性がある。すると、好きなリズムを取り込むことで、行為だけでなく、日常をデザインできるようになるのである。また、個人でなく集団の調和にも使用することができる。朝の通勤ラッシュ時に人が同じリズムで歩くことによって、効率的な移動を実現することができる。チームスポーツなどでは、誰かのリズムを全員で共有することで互いの理解をより深めることができる。また、今だけでなく、過去と未来をリズムによってつなぐことができる。物に身体のリズムを記録し、使用者がその物を使うと、過去に使ってた人のリズムを行為を行うことで取り出すことができるようになる。これにより、言葉にすることの難しいものを身体の記録として残すことができるようになる。身体運動とリズムには、可能性があり、今後は、より広い行為へ応用するために音の換え方や音色の検討、リズムを取得するデバイスの検討を行い、新しいインタラクションを考案していく。

# 謝 辞

本研究の指導教員であり、幅広い知見からの的確な指導と暖かい励ましやご指摘をしていただきました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の南澤孝太准教授に心から感謝いたします。気の散りやすい私を根気強く指導していただきました。

研究指導や論文執筆など数多くの助言を賜りました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の奥出直人教授に心から感謝いたします。私の質問にも丁寧に答えてくださり、たくさんの刺激をいただきました。ありがとうございました。

研究内容についての鋭い指摘やアドバイスを賜りました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の石戸菜々子教授に心から感謝いたします。

共同研究させていただきました SONY 株式会社の皆様には大変お世話になりました。梨子田辰志様、三上真範様、唐澤英了様、鈴木亜弥様、鈴川弘幸様には、たくさんの知見を提供していただき、本論文の元となる議論をしていただきました。東京大学大学院情報理工学系研究科の稲見昌彦教授には、物事の考え方や研究に対する姿勢や多くの本論文において知見を提供していただきました。ありがとうございました。

研究を共に行ってくくださった、産業技術大学院大学金箱淳一助教、Loft Work 柳原一也さん、Bouzarte Youssef 君には、実装、音楽制作、体験設計、実験デザインなど幅広いところでお世話になりました。困難もありましたが、ここまでできたのは皆様のおかげです。ありがとうございました。KMD9 の同期の皆様、楽しい学生生活をありがとうございました。特に、EM の同期にはお世話になりました。

最後に、ここまで自分のやりたい分野を自由に学ぶことができたのは、両親、兄と祖母のおかげです。本当にありがとうございました。

## 参 考 文 献

- [1] J. R. Anderson, M. Myowa-Yamakoshi, and T. Matsuzawa. Contagious yawning in chimpanzees. volume 271, page S468–S470. THE ROYAL SOCIETY, 2004.
- [2] J. Haidt. The new synthesis in moral psychology. *Science*, 316(5827):998–1002, 2007.
- [3] Y. Hattori, M. Tomonaga, and T. Matsuzawa. Spontaneous synchronized tapping to an auditory rhythm in a chimpanzee. In *SCIENTIFIC REPORTS*, page 1556. nature, 2013.
- [4] S. Kasahara, K. Konno, R. Owaki, T. Nishi, A. Takeshita, T. Ito, S. Kasuga, and J. Ushiba. Malleable embodiment: Changing sense of embodiment by spatial-temporal deformation of virtual human body. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 6438–6448, Denver, Colorado, USA, 2017. ACM.
- [5] S. Kasahara and J. Rekimoto. Jackin: Integrating first-person view with out-of-body vision generation for human-human augmentation. In *5th International Conference on Augmented Human (AH2014)*, 2014.
- [6] K. Kilteni, I. Bergstrom, and M. Slater. Drumming in immersive virtual reality:the body shapes the way we play. *IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS*, 19(4):597–605, 2013.
- [7] T. Kimura, T. Mochida, T. Ijiri, and M. Kashino. Real-time sonification of motor coordination to support motor skill learning in sports. In *- icSPORTS*,

- INSTICC, SciTePress, 2014.
- [8] A. Lecuyer, S. Coquillart, and A. Kheddar. Pseudo-haptic feedback : Can isometric input devices simulate force feedback? *In Processings of the IEEE Virtual Reality 2000 Conference*, pages 83–90, 2000.
- [9] W. H. McNeill. Keeping together in time: Dance and drill in human history. Harvard University Press, 1995.
- [10] F. Menzer, A. Brooks, P. Halje, C. Faller, M. Vetterli, and O. Blanke. Feeling in control of your footsteps: Conscious gait monitoring and the auditory consequences of footsteps. *Cognitive Neuroscience of Consciousness*, pages 184–192, 2010.
- [11] K. Minamizawa, Y. Kakehi, M. Nakatani, S. Mihara, and S. Tachi. Techtile toolkit: a prototyping tool for design and education of haptic media. *Proceeding VRIC '12 Proceedings of the 2012 Virtual Reality International Conference*, 2012.
- [12] H. Nakamura and H. Miyashita. Controlling saltiness without salt: evaluation of taste change by applying and releasing cathodal current. *a*, pages 9–14, 2013.
- [13] T. Narumi, T. Kajinami, T. Tanikawa, and M. Hirose. Meta cookie. *Proceeding SIGGRAPH '10 ACM SIGGRAPH 2010 Posters*, (143), 2010.
- [14] J. Phillips-Silver and L. J. Trainor. Feeling the beat: Movement influences infant rhythm perception. *Science*, 308(5727):1430–1430, 2005.
- [15] H. Shoichi, I. Seiichiro, K. Fumihiro, M. Hironori, and S. Makoto. Realtime sonification of the center of gravity for skiing. *In Proceedings of the 3rd Augmented Human International Conference, AH '12*, pages 11:1–11:4, New York, NY, USA, 2012. ACM.

- [16] A. Tajadura-Jiménez, M. Basia, O. Deroy, M. Fairhurst, N. Marquardt, and N. Bianchi-Berthouze. As light as your footsteps: Altering walking sounds to change perceived body weight, emotional state and gait. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 2943–2952, 2015.
- [17] H. Tsujita and J. Rekimoto. Smiling makes us happier: enhancing positive mood and communication with smile-encouraging digital appliances. In *Proceedings of the 13th international conference on Ubiquitous computing*, pages 1–10, Beijing, China, 2011. ACM.
- [18] K. Watanabe and M. Yasumura. Visualhaptics:generating haptic sensation using only visual cues. In *Proceedings of the 2008 International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE '08)*, pages 405–405, 2008.
- [19] S. S. Wiltermuth and C. Heath. Synchrony and cooperation. volume 20, pages 1–5. APS, 2009.
- [20] S. Yoshida, T. Tanikawa, S. Sakurai, M. Hirose, and T. Narumi. Manipulation of an emotional experience by real-time deformed facial feedback. In *Proceedings of the 4th Augmented Human International Conference*, pages 35–42, Stuttgart, Germany, 2013. ACM.
- [21] 吉田宏昭, 大皿知可子, and 上條正義. 衣服着用時の意識が歩行動作に与える影響. 日本感性工学会論文誌, 2017.
- [22] 對間祐毅, 伴祐樹, 鳴海拓志, 谷川智洋, and 廣瀬通孝. Pseudo-haptics を用いた空間内での力作業支援. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 19(4):533–540, 2014.
- [23] 松尾良馬 and 宮下芳明. 足音遅延フィードバックを用いた歩行周期への介入. Technical Report 6, 明治大学大学院理工学研究科新領域創造専攻デジタルコンテンツ系, 明治大学総合数理学部, feb 2017.

- [24] 金ジョンヒョン, 橋田朋子, 大谷智子, and 苗村健. 筆記音のフィードバックが単純な筆記作業に及ぼす影響の検討. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 17(3):289–292, 2012.

# 関 連 発 表

## 国際会議

1. Haruto Murata, Youssef Bouzarte, Junichi Kanebako and Kouta Minamizawa, “ Walk-In Music: Walking Experience with Synchronized Music and Its Effect of Pseudo-gravity ”, In Proceedings of the 30th Annual Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '17), pp. 177-179, Québec City, Canada, 2017.10.

## 国内学会

1. 村田 遥人、ブザート ユーセフ、金箱 淳一、南澤 孝太, ”歩行と連動した音楽による歩行動作変容の基礎検討”, 第22回日本バーチャルリアリティ学会大会, 徳島, 2017.9.