

Title	MirrorTone : 身体性認知を用いて我流トロンボーン奏者が豊かに響く音を生み出せるプラクティスシステムのデザイン
Sub Title	MirrorTone : design of a practice system for self-taught trombone players to create rich sounds through embodied cognition
Author	村田, 智士(Murata, Satoshi) 奥出, 直人(Okude, Naohito)
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2016
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2016年度メディアデザイン学 第552号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002016-0552">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002016-0552</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 2016年度（平成28年度）

MirrorTone:

身体性認知を用いて  
我流トロンボーン奏者が  
豊かに響く音を生み出せる  
プラクティスシステムのデザイン

慶應義塾大学大学院  
メディアデザイン研究科

村田 智士

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 智士

審査委員：

奥出 直人 教授 (主査)

南澤 孝太 准教授 (副査)

岸 博幸 教授 (副査)

修士論文 2016年度（平成28年度）

MirrorTone:

身体性認知を用いて

我流トロンボーン奏者が

豊かに響く音を生み出せる

プラクティスシステムのデザイン

カテゴリー：デザイン

論文要旨

本論文では身体性認知を用いて我流トロンボーン奏者が豊かに響く音を生み出せるプラクティスシステム「MirrorTone」のデザインについて述べる。本研究でデザインする「MirrorTone」は音楽の専門教育を今まで受けたことのない我流のトロンボーン奏者に正しい奏法を身につけさせ、豊かな響きのある音でトロンボーンを鳴らすことを可能にする。

本研究では「MirrorTone」をデザインするにあたり、エディンバラ大学の Andy Clark が主張する身体性認知を調査と設計に組み込んでいる。身体性認知とは脳・身体・世界が相互作用することで一つの認知システムが形成され、そこから複雑な物理現象が生まれるという概念である。

まず、本研究では身体性認知とセンサーを用いた民族誌調査を組み合わせた「Ethnography of Embodied Cognition」をトロンボーン奏者に行い、豊かな音を生み出すための身体性認知の仕組みを解釈した。その後、「Ethnography of Embodied Cognition」で行った解釈と Andy Clark の身体性認知の概念を元に「MirrorTone」を設計した。

「MirrorTone」はプロトロンボーン奏者の口頭説明と練習の実演が入ったレッスン動画、ユーザーの身体運動をチェックするウェアラブルセンサーとカメラ、物

理現象である倍音成分を可視化するスペクトラムアナライザー、そしてそれを映し出す画面によって構成されている。この設計をもとに「MirrorTone」のプロトタイプを製作し、実際に我流トロンボーン奏者2組に使用してもらい、その有効性を検証した。

キーワード：

演奏, トロンボーン, 身体性認知, Ethnography of Embodied Cognition, デザイン思考

慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科

村田 智士

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2016

MirrorTone :  
Design of a Practice System  
for Self-taught Trombone Players  
to Create Rich Sounds through Embodied Cognition

Category: Design

Summary

This paper describes "MirrorTone", design of a practice system for self-taught trombone players to create rich sounds through Embodied Cognition. It is designed for self-taught trombone players to teach a right way of playing trombone and make their sounds rich. "MirrorTone" is designed based on the "Embodied Cognition" by Andy Clark, Professor of Edinburgh University. Embodied Cognition is united in a circular causation of brain, body, and world and generates complex physical phenomenon. At first, Ethnography of Embodied Cognition is used in order to observe Embodied Cognition of trombone players to interpret mechanism of playing rich sounds. Secondly, "MirrorTone" is designed from interpretation of it and Embodied Cognition by Andy Clark. "MirrorTone" is consisted of a wearable-sensor, a camera, a spectrum analyzer and a display. Finally, Proof of Concept is conducted to two pair of self-taught trombone players.

Keywords:

Musical Performance, Trombone, Embodied Cognition, Ethnography of Embodied Cognition, Design Thinking

Keio University Graduate School of Media Design

Satoshi Murata

# 目 次

第1章 序論	1
第2章 関連研究	7
2.1. 音楽家の身体と脳の働き、そして生み出される音色 . . . . .	7
音楽家の身体動作 . . . . .	7
音楽家の脳 . . . . .	8
音楽家が生み出す物理現象としての音色 . . . . .	9
2.2. 身体性認知の解明 . . . . .	9
デジタル技術を用いた身体性認知の解明 . . . . .	10
2.3. デジタル技術を用いた民族誌調査 . . . . .	11
ウェアラブルカメラを用いた民族誌調査 . . . . .	11
センサー技術を用いた民族誌調査 . . . . .	12
2.4. 身体性認知の概念を用いたデザインの可能性 . . . . .	13
組み込みダイナミクスの制御を用いたデザイン . . . . .	13
外的な足場作りを用いたデザイン . . . . .	13
ことば化による身体のデザイン . . . . .	15
2.5. 本論文が貢献する領域 . . . . .	15
第3章 デザイン	18
3.1. コンセプト . . . . .	18
3.2. 民族誌調査と分析 . . . . .	19
プロトロンボーン奏者の民族誌調査 . . . . .	20
ラポールの構築 . . . . .	20
豊かに響く音 . . . . .	21



トロンボーン演奏に関する民族誌調査と分析 . . . . .	22
プロによる我流トロンボーン奏者に対する指導 . . . . .	25
斎藤氏の教わるメンタルモデル . . . . .	27
加藤氏の教えるメンタルモデル . . . . .	29
コツの言語化 . . . . .	32
3.3. Ethnography of Embodied Cognition . . . . .	33
Ethnography of Embodied Cognition のためのセンサー . . . . .	34
呼吸時の肺の収縮 . . . . .	34
アンプシュア形成時の口輪筋の動き . . . . .	35
スライド操作時の右腕の力加減 . . . . .	36
物理世界の解釈 . . . . .	37
プロトロンボーン奏者に対する Ethnography of Embodied Cog- nition . . . . .	37
ストレッチセンサーとビデオ映像 . . . . .	39
MYO とビデオ映像 . . . . .	42
口輪筋の筋電位とビデオ映像 . . . . .	43
その他のビデオ映像 . . . . .	43
豊かに響く音を出すための身体運動 . . . . .	44
我流トロンボーン奏者に対する Ethnography of Embodied Cog- nition . . . . .	45
3.4. 豊かな響きのある音を生み出すための身体性認知の仕組み . . . . .	46
3.5. 「Mirror tone」 の設計と仕様 . . . . .	50
ペルソナ . . . . .	50
コンセプトスケッチ . . . . .	52
ユースケース . . . . .	53
ストーリーの製作 . . . . .	54
ストーリー . . . . .	54
設計 . . . . .	58

---

<b>第4章 Proof of Concept</b>	<b>68</b>
4.1. Proof of Concept の環境 . . . . .	68
4.2. 我流トロンボーン奏者による検証 . . . . .	68
1組目：2016年12月10日11:30-13:30 . . . . .	70
IさんとKさんが「Mirror tone」を使用している様子 . . . . .	70
2組目：2016年12月10日15:00-17:00 KMDスタジオ . . . . .	74
SさんとKさんが「Mirror tone」を使用している様子 . . . . .	76
4.3. Proof of Concept の中で現れた Andy Clark の身体性認知の価値 . . . . .	79
<b>第5章 結論と今後の展望</b>	<b>82</b>
5.1. 結論 . . . . .	82
5.2. 今後の課題 . . . . .	84
新たなメンタルモデルと身体運動のカップリング . . . . .	84
ウェアラブルセンサーのデザイン . . . . .	84
動画による練習コンテンツのバリエーション . . . . .	85
5.3. 今後の展望 . . . . .	85
<b>謝辞</b>	<b>87</b>
<b>参考文献</b>	<b>88</b>

# 目 次

2.1	MoBI の実験風景 . . . . .	10
2.2	MirrorFugue . . . . .	14
3.1	加藤直明氏のプロフィール . . . . .	21
3.2	フローモデル . . . . .	22
3.3	シークエンスモデル 1 . . . . .	22
3.4	シークエンスモデル 2 . . . . .	23
3.5	シークエンスモデル 3 . . . . .	23
3.6	フィジカルモデル . . . . .	23
3.7	アーティファクトモデル . . . . .	23
3.8	文化モデル . . . . .	24
3.9	メンタルモデル . . . . .	24
3.10	加藤氏の演奏風景 . . . . .	25
3.11	斎藤優介氏のプロフィール . . . . .	26
3.12	プロトロンボーン奏者加藤氏のレッスン内容 . . . . .	28
3.13	プロトロンボーン奏者加藤氏から我流トロンボーン奏者斎藤氏への レッスン . . . . .	30
3.14	プロトロンボーン奏者加藤氏が設定している音のパーツ作り . . . . .	31
3.15	製作したストレッチセンサー . . . . .	35
3.16	筋電位センサーと筋電位を計測する部位 . . . . .	36
3.17	Myo . . . . .	37
3.18	diagnostics.myo.com . . . . .	37
3.19	今回使用するビデオカメラ (Panasonic の HDC - HS 3 0 0) . . . . .	38

3.20	カメラセッティング . . . . .	39
3.21	映像とセンサーデータを統合した Ethnography of Embodied Cognition の画面 . . . . .	39
3.22	センサーセッティング . . . . .	40
3.23	プロトロンボーン奏者の通常時の胸部と腹部のセンサーの値 . . .	41
3.24	プロトロンボーン奏者の吸気時の胸部と腹部のセンサーの値 . . .	41
3.25	プロトロンボーン奏者の呼気時の胸部と腹部のセンサーの値 . . .	42
3.26	スライド操作時の MYO とビデオ映像 . . . . .	42
3.27	低音吹鳴時の口輪筋の筋電位とビデオ映像 . . . . .	43
3.28	演奏時に肩幅ほどに足を開きリラックスして演奏する加藤氏 . . .	44
3.29	演奏時の加藤氏のトロンボーンの構えと姿勢 . . . . .	45
3.30	我流トロンボーン奏者に対する Ethnography of Embodied Cognition	47
3.31	我流トロンボーン奏者の通常時の胸部と腹部のセンサーの値 . . .	47
3.32	我流トロンボーン奏者の吸気時の胸部と腹部のセンサーの値 . . .	48
3.33	レッスンにより認知と身体がカップリングした我流トロンボーン奏者の吸気時の胸部と腹部のセンサーの値 . . . . .	48
3.34	我流トロンボーン奏者のターゲットペルソナ . . . . .	50
3.35	プロトロンボーン奏者のターゲットペルソナ . . . . .	51
3.36	サービスプロバイダーのターゲットペルソナ . . . . .	51
3.37	コンセプトスケッチ 1 . . . . .	52
3.38	コンセプトスケッチ 2 . . . . .	52
3.39	「Mirror Tone」のユースケース . . . . .	53
3.40	装着時のウェアラブルセンサー . . . . .	59
3.41	Arduino Uno で製作した回路 . . . . .	59
3.42	スペクトラムアナライザーで表示された倍音分布 . . . . .	60
3.43	描画された 5 つのセンサーの値 . . . . .	60
3.44	説明フェーズの動画 (正しいブレスのコツ) . . . . .	62
3.45	説明フェーズの動画 (ロングトーンを吹く時のコツ) . . . . .	62
3.46	ロングトーン、リップスラー、タンギングの説明フェーズの内容	63

3.47	ロングトーン、リップスラー、タンギングの実践フェーズの内容	64
3.48	「MirrorTone」の画面1	66
3.49	「MirrorTone」の画面2	67
4.1	Proof of Concept の環境	69
4.2	ウェアラブルセンサーを装着して喜ぶIさん	71
4.3	動画の指示にしたがって手を動かしながら呼吸をするIさん	71
4.4	加藤氏の真似をしてテニスをイメージして身体を動かすIさん	71
4.5	加藤氏のレッスンにたまに笑いを漏らすKさん	72
4.6	MirrorTone で口頭指導と身体のパラメータをチェックするKさん	73
4.7	KさんとMirrorToneを外的な足場として使いながら呼吸の練習をクリアしていくIさん	73
4.8	動画とカメラを参考にIさんの姿勢を直すKさん	74
4.9	悪い癖が出てしまい、楽器を吹く時に力んでしまうIさん	75
4.10	MirrorTone 使用後に癖をコントロールできるようになったIさん	75
4.11	倍音成分の変化 (左) 使用前 (右) 使用後	75
4.12	豊かに響く音に自分の音が近づき、思わずピースするIさん	76
4.13	加藤氏のレクチャーに従って体を動かすSさんとKさん	77
4.14	Kさんがウェアラブルセンサーを着用している姿を撮影するSさん	77
4.15	口頭指導と身体のパラメータをチェックするSさんと実践するKさん	78
4.16	身体の動いていない部分を動かせるようになったKさんのパラメーター	78
4.17	自ら身体の動きを確認するSさん	79
4.18	自分と同じことところでSさんがつまずき、思わず笑いが出るKさん	79

# 表 目 次

# 第1章 序

# 論

幼少期から親の教育の一環でピアノを始める人、中学・高校時代に楽器を始めたいと思い吹奏楽部の門を叩く人、有名ギタリストに憧れてギターを始める人、楽器を始める理由は様々である。しかし、楽器を自分の身体の一部のように扱い、豊かに響く音を生み出せる演奏者は限られている。なぜなら、多くの演奏者は我流の奏法に頼っており、正しい奏法が身につけていないからである。また、プロの先生のもとでレッスンを受講したからといって正しい奏法が身につくとは限らない。なぜなら、その奏法はその先生にとって良い奏法であって、レッスン生にとって良い奏法とは限らないからである。また、先生自身が自分の身体が演奏時にどのように動いているか正確に把握していないことも多く、正しい情報をレッスン生に伝えられていないというケースもある。仮に先生が正確な情報を伝えられたとしても、レッスン生が言っていることを正確に理解できなければやはり正しい奏法を身につけることはできない。

こうした奏法の問題によって演奏活動を挫折することは多い。最悪の場合、無理な奏法によって身体を壊して楽器が演奏できなくなってしまうことや、フォーカルジストニアという手や指を思い通りに動かせなくなる神経系の病気になってしまうことさえある。特に、自らの身体の一部である唇を振動帯として扱い、息のコントロールや右手でのスライドコントロールが要求されるトロンボーンという金管楽器ではこのようなケースが非常に多い。

一方、音楽大学で楽器演奏の専門教育を受けた職業演奏家や、一部のアマチュア奏者は非常に豊かな音を生み出し、人々に感動をもたらすような演奏を実現している。しかし、彼らが特殊な練習を行っているかということ、そういうわけではない。練習内容自体はアマチュアであろうとプロであろうとオーソドックスな練

習を行っている。決定的な違いは、自分に合った正しい奏法を身につけているかどうかであり、優れた奏者はそれができているからこそ楽器を豊かに響かせることができている。

そこで、本研究では我流のトロンボーン奏者でも正しい奏法が身につけられ、豊かな響きのある音を生み出すことができるようになる練習システム「MirrorTone」のデザインを行った。音楽大学や音楽教室で一流の先生のレッスンを受講しなくても、「MirrorTone」を使って練習をすれば自分にあった無理の無い奏法を習得することができる。そして、「MirrorTone」を用いた練習によって豊かな響きを生み出すことができるようになれば、より多くのトロンボーン奏者が楽器を演奏する楽しみを得ることができ、趣味として演奏を続けることが可能になるのではないかと考えた。我流のトロンボーン奏者が「MirrorTone」を使えば正しい奏法が身につけられると考えたのには理由がある。その理由は、Andy Clark が 2004 年の『Natural Born-Cyborgs』の中で述べている身体性認知の概念を用いれば我流トロンボーン奏者でも豊かに響く音を生み出す奏法を身につけられると考えたからである。Andy Clark が述べている「身体性認知」とは、「人間は機械を皮膚や頭蓋のなかに埋め込まなくても、脳・身体・世界を 1 つのシステムとして活用することで自らの能力を拡張している」とする概念である (Clark 2004)。

イギリスのレディング大学のサイバネティクス学科の教授である Kevin Warwick は自らの左腕の皮膚と筋肉の間にシリコンチップを埋め込み、学科周辺に設置されたアンテナを介してコンピューターに無線信号を送信することで Warwick が接近するとドアや照明が反応するというシステムを構築している (Warwick 1998)。しかし、身体に機械を埋め込むことで機能を獲得するという主張は古典的なサイボーグの考え方であり、Andy Clark の主張とは異なる。Andy Clark の主張は機械を身体に埋め込まなくても、人間はある特定の環境の中に埋め込まれた際に、脳と身体がその環境に合わせてカップリングし、複雑な物理現象を生み出すことができるといえるものである。つまり、人間は機械を身体に埋め込まずとも、生まれながらのサイボーグ (Natural Born-Cyborgs) であるというわけである (Clark 2004)。

Andy Clark は『Natural Born-Cyborgs』の中で身体性認知の具体例としてオーストラリア人のサイバーアーティストである Stelarc について述べている (Clark



2004)Stelarc は自らが持つ2本の腕の他に「第3の腕」と呼ばれる電子式の義手を操ってパフォーマンスを行っている。Stelarc は意識を集中することなく第3の腕を自身の左右の腕と同じように操ることができるという<sup>1</sup>。この第3の腕を意のままに動かす原理はまさに身体性認知によって達成されている。Stelarc の肢や腹部には電極が取り付けられており、脳からその電極を配された部位に神経信号を送る。その神経信号に反応して肢や腹部で筋電位が発生し、その筋電位を電極がキャッチして第3の腕が動くという仕組みになっている。つまり、脳からの神経信号、第3の腕を動かす身体、そして物理世界に登場した第3の腕という環境にStelarc は埋め込まれ、脳・身体・世界が1つのシステムとして機能しているからこそ「第3の腕を自由自在に操る」という強烈な物理現象を生み出すことができる。もちろん、Stelarc はこうした一連の流れをわざわざ考えずとも、無意識に第3の腕を動かすというふるまいを達成している。

Andy Clark の身体性認知は Stelarc のような特別な人間だけに適用されるものでなく、我々の日常生活の中でもたびたび見つけることができる。例えば、我々は生まれ持ったバイオリズムではなく前日に設定した目覚まし時計という環境の中で毎朝起きて会社に行くことができる。また、車を運転する際も氷面上で車がスリップしたとしても、トラクションコントロールと自動ブレーキシステムによって、ブレーキを踏むだけで、複雑な仕事を抜きにして車を制御することができる (Clark 2004)。このように、実は我々の脳は仕事や負担を減らすことを得意としており、身体を使って外部環境を操作することでそれを実現している。

同様に、我流トロンボーン奏者も演奏する際に脳・身体・世界を統合することができれば優れた奏者と同じように豊かに響く音が出せるようになるのではないかと考えた。そこで、「Mirror tone」を設計するために1997年に Andy Clark が身体性認知について詳しく述べた『現れる存在一脳と身体と世界の再統合』を参考にした。この本の中で Andy Clark は心は脳の中にあるものではなく、脳と身体と世界（環境）の相互作用から創発するものだとして述べており、具体的な事例をロボティクス、発達心理学、人工生命、神経科学などを交えて説明している (Clark 1997)。

---

1 <http://stelarc.org/?catID=20265>

『現れる存在』の中で Andy Clark は身体性認知の概念として「外的な足場作り」を紹介している (Clark 1997)。外的な足場作りとは、人間の脳は単純なパターン認識しかできないが、外部環境を設定したり操作することで複雑なふるまいを可能にするという考えである。『現れる存在』の中では紙とペンを使った複雑な計算が外的な足場作りの例として挙げられていた。人間の脳は基本的には  $7 \times 7$  に代表されるような単純計算しかできない。しかし、紙やペンといった道具を用いると  $7356 \times 19789$  というような複雑な計算を行うことができる。この時、紙やペンが外的な足場となり、身体を使って計算を行うことで脳がやるべきタスクを外部環境に分散させ、複雑な計算というふるまいを可能にしていると Andy Clark は述べている。

また、外的な足場作りは言語にも展開できると Andy Clark は主張している (Clark 1997)。身体性認知において、言語は行為の調整をしやすくする役割と認知的負荷を減らし制御する役割を担うことができる。その例として、Andy Clark は Paul Maglio らによるテトリス<sup>2</sup>の研究を取り上げている (Maglio 1992)。世界的に有名なゲームであるテトリスは落ちてくるブロックを操作し、得点を競うゲームである。得点上がるほどブロックの落ちてくるスピードは上がるのでテトリスの名人と呼ばれる人たちは高速の意思決定が要求される。この高速のブロック落としを処理するために、名人たちは脳の単純パターン認識だけでなく、言語による足場を作り、自己の行為をコントロールし、認知的負荷を減らしている。具体的には「中央に集めずに、なるべく表層を平らに保つ」や「ピース依存性を避ける」といった言語化されたルールを設定することでふるまいを調整していることが名人たちの報告からわかっている。こうした「外的な足場作り」を用いれば我流のトロンボーン奏者も認知的な負荷を減らし、豊かに響く音で楽器を吹くことができるのではないかと私は考えた。

さらに、Andy Clark は身体性認知の概念を説明する中で、人間は厳密な計算に基づいて身体を動かさなくとも、目標を達成するためのふるまいが可能だと述べている (Clark 1997)。このことは『現れる存在』の中で Esther Thelen らの乳幼児研究を例に挙げて説明している (Thelen and Smith 1996)。乳幼児が物に手を伸ば

---

2 <http://tetris.com/>

す際に、ある乳幼児は手のばたつきを抑えて、ある乳幼児は重力に負けないように手を持ち上げてリーチングという共通の目標を達成するという。この手のばたつきや筋力の弱さという乳幼児の特徴は、個々人によって異なる先天的な身体のダイナミクスを持っていることを示しているが、乳幼児はいちいち力加減や重力を計算しなくとも、無意識にこのダイナミクスをコントロールして目標物をつかむことができる。Andy Clarkはこの現象を「組み込みダイナミクスの制御」と呼んでいる (Clark 1997)。これは乳幼児が脳・身体・世界を一つに統合するために身体のダイナミクスを調整していることを示しており、我流トロンボーン奏者も自らの身体的なダイナミクスの特徴を理解し、コントロールすることができれば豊かに響く音で楽器を吹くことができるのではないかと考えた。

そして、実際に Andy Clark の身体性認知の概念を用いて「MirrorTone」の設計と調査を行った。設計を行うにあたり、まずプロトロンボーンプレイヤーの加藤氏がどのように脳・身体・世界を一つの認知システムとして機能させ、豊かに響く音を生み出しているかを民族誌とセンサー技術を使った民族誌を用いて調査を行った。この調査によって、トロンボーン奏者が豊かに響く音を生み出すための身体性認知の仕組みを明らかにした。また、豊かに響く音を生み出すことができない我流のトロンボーン奏者がプロのトロンボーン奏者のレッスンを受けて上達していく過程の民族誌調査も行った。この民族誌調査ではどのように我流のトロンボーン奏者が豊かな響きのある音を生み出せるようになるか、また、どのようにプロトロンボーン奏者が豊かな響きのある音を我流のトロンボーン奏者に出させるようにレッスンを行っているかという点に注目して調査を行った。本研究ではこれらの民族誌調査の解釈と分析に基づき「MirrorTone」の詳細な設計を行った。また、本研究では調査だけでなく「MirrorTone」の設計にも Andy Clark の身体性認知の概念を組み込んでいる。そのため、「MirrorTone」のコンセプトは身体を計測するウェアラブルセンサー、認知に相当するプロトロンボーン奏者の動画と音声、物理現象である倍音成分を測定するスペクトラムアナライザー、それらを映し出す画面によって構成されている。これらを統合したものが「MirrorTone」のコンセプトであり、身体性認知における物理世界（環境）に「MirrorTone」を設置することで我流トロンボーン奏者は脳・身体・世界を一つの認知システムと

して統合することができる。その結果、我流トロンボーン奏者は物理現象として豊かに響く音を生み出すことが可能になる。

そして、作成した「MirrorTone」のプロトタイプを使用して実証実験を行った。2016年12月10日に「MirrorTone」のプロトタイプを我流トロンボーン奏者に実際に使用してもらった。この実証実験をもとに「MirrorTone」のコンセプトの有用性とAndy Clarkの身体性認知が「MirrorTone」の中でどのように機能し、価値をもたらしたかについて述べる。

尚、本論文は5章構成から成っている。本章に続く第2章では身体性認知やスキル獲得に関連する先行研究を調査し、「MirrorTone」が貢献する研究領域を定義する。第3章では先行研究をもとに、今回行った民族誌調査の詳細と「MirrorTone」のコンセプトの内容及び仕様についてを記述する。第4章では「MirrorTone」のプロトタイプを我流トロンボーン奏者に実際に使用してもらい、「MirrorTone」の実証実験を行う。そして、最後に、第5章では本論文の結論と今後の展望について述べる。

## 第2章

# 関連研究

「MirrorTone」を開発するにあたり、本章ではまず音楽家の身体運動と脳の働きを概観する。次に、センサーを用いた身体性認知の解明とデジタル技術を使った民族誌調査の関連研究について詳しく述べる。そして、最後に身体性認知の概念を用いたデザインの可能性について言及する。これらの関連研究を踏まえた上で、本研究で設計した「MirrorTone」の貢献する領域を明示する。

### 2.1. 音楽家の身体と脳の働き、そして生み出される音色

Andy Clark は『現れる存在』の中で人間は脳・身体・世界を統合することによって複雑なふるまいや物理現象を生み出していると述べている (Clark 1997)。これは音楽家が超絶技巧や豊かな響きのある音を生み出す際にも当てはまり、そのことを示す研究がある。ここではピアニストの身体と脳、そして物理現象としての音色に関する研究を概観することで音楽家と身体性認知の関係性を明らかにする。

#### 音楽家の身体動作

一流のピアニストは Andy Clark が主張する「外的な足場作り」を利用して、身体運動の負荷を減らし、洗練された打鍵動作を実現している可能性がある。2008年に発表された古屋らの研究をまさにそれを証明している (古屋晋一他 2008)。古屋らは一流のピアニストは打鍵動作を行う際に筋肉以外の力を利用して、筋肉の仕事量を減らしていることを発見した。彼らはコンクール入賞歴のあるピアニスト7名とピアノ初心者7名を対象に2次元高速カメラと力センサーを実装した鍵

盤を使って、スタッカートでの打鍵動作を解析した。その結果、一流のピアニストは打鍵動作を行う際、肘と手首関節では初心者より多くの運動依存性トルクを利用し、指関節に作用する反力トルクを軽減することによって、筋肉の仕事量を軽減させているという結論にたどり着いた。このように初心者と上級者の音楽家では明らかに身体運動の違いが見られることがわかっている。その理由は、運動依存性トルクという「外的な足場」を生み出し、身体運動の負荷を減らしているからだと言える。

## 音楽家の脳

2003年ハノーファー音楽演劇大学にある音楽生理学・音楽研究所のBangertらは音楽家の演奏能力の背景にある脳の仕組みを明らかにしている (Bangert and Altenmüller 2003)。彼らは初心者と上級者のピアニストを対象にDC-EEGを用いて被験者の脳の活動変化を計測した。その結果、上級者には音に身体が反応したり、指の動きによって音が想起される特殊な脳の回路が備わっているということが分かった。具体的には、上級者はピアノの音を聞いているときに、音を聞くための神経細胞だけでなく、指を動かすために働く脳部位の神経細胞も同時に活動していることが明らかになった。さらに、上級者に音が鳴らないように細工された鍵盤を弾いてもらったところ、何も聞こえていないにもかかわらず、指を動かしているだけで、まるで聞こえているかのように、聴覚野の神経細胞が活動していたということがわかっている。こうした聴覚と運動の特殊なつながりは演奏経験や教育を通じて獲得されたものだと言われている。さらに、Bangertらはこうした特殊な脳の回路は、初心者でも最短で数十分程度の訓練で作られ始めることを明らかにした (Bangert and Altenmüller 2003)。彼らはピアノ初心者に十分に弾けるようになるまで練習を行ってもらい、徐々に難しい曲を練習していくというトレーニングを課したところ、トレーニングを開始して約20分後には音を聞いただけで指を動かすための神経細胞が反応し始めたという。また、この練習を5週間続けた後の脳活動を調べると、さらにこの脳の働きは強まった。プロの音楽家はこうした脳と身体のカップリングを形成し、それが洗練されたものにするために多くの時間をかけて訓練を行う。しかし、そのカップリングの形成自体

は初心者でも短時間で可能であるということをこの研究は示唆している。

## 音楽家が生み出す物理現象としての音色

2007年、千葉工業大学の鈴木はピアニストの鍵盤のタッチによって音の物理特性が変化することを発見した (Suzuki 2007)。それまで、過去70年間ピアノの音色がタッチによって変化するかについて様々な議論がなされていた。しかし、1990年に鈴木はすでに鍵盤の加速度によってピアノのハンマーのしなりが変化するため音色に変化が生じるという可能性に言及していた (Suzuki and Nakamura 1990)。そこで鈴木は2007年にピアニストが腕に力を入れて打鍵した場合と、腕の力をリラックスさせた状態で打鍵した場合の音色の違いをスペクトラム分析を用いて調査した。スペクトラム分析を用いれば物理現象として倍音成分を調べることができるため、音色が変化しているか判定することができる。調査の結果、比較的高い音域においては腕に力を入れて打鍵した場合の方が、腕の力をリラックスさせた状態で打鍵した場合よりも高い周波数の倍音が多く含まれているということがわかった。さらに、この倍音の違いは人間の耳でも聞き分けられるレベルのものだということもわかっている。この研究から、ピアニストは打鍵という身体運動によって、ピアノのハンマーのしなりを巧みに操り、その結果、物理現象としての音色をコントロールしていることが明らかになった。これはピアニストとピアノの関係が身体性認知における脳・身体・世界からなる一つの認知システムとなり、その結果音色という物理現象を生み出していることを示唆している。

## 2.2. 身体性認知の解明

前節の関連研究より、音楽家は身体性認知を用いて演奏を生み出していることがわかった。本節では、脳・身体・世界を一つに認知システムとしてみなす身体性認知をどのように解明するかについて言及する。

## デジタル技術を用いた身体性認知の解明

2014年、Klaus Gramannらは身体性認知を解明する試みとしてMoBI(Mobile Brain/Body Imaging)<sup>1</sup>というシステムを開発している(Gramann et al. 2014)。MoBIは人間が物理世界で行動する際に脳の状態、身体動作、視線、またその他の生理パラメーターを同時に計測するという実験方法である(図2.1)。従来の神経認知科学では、PETやfMRIなどの脳イメージング技術を用いて人間の認知システムを調査してきた。しかし、こうした技術は頭部を固定するなど人間の動作を制限することになる。そのため、脳・身体・物理世界を一つの認知システムとみなす身体性認知の調査には向かない。



図 2.1: MoBI の実験風景

一方、MoBIは身体性認知の解明を行うために開発された実験である。そのため、被験者が物理世界の中でいつも通りに行動ができるようなセンサーのセットアップで実験を行う。MoBIでは脳の活動をリアルタイムで見るためにEEGを用い、身体運動の計測に用いられるセンサーのセットアップは行動や環境によって異なる。例えば、ダーツゲームの調査には128チャンネルのEEGキャップ、首と腕の筋肉の動きを計測するための電極がそれぞれ64チャンネル、モーションキャ

1 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167876013002535>



プチャ、フォースプレート、ビデオカメラを用いている。MoBIの最大の特徴は、脳・身体・物理世界を同時に調査することで身体性認知を解明するところにある。そこで本研究でもMoBIを参考にし、脳・身体・物理世界を同時に調査することで身体性認知の仕組みを明らかにする。

## 2.3. デジタル技術を用いた民族誌調査

本研究では前節で述べた身体性認知の解明の手法を民族誌に組み込み、設計のための調査を行う。この民族誌調査は対象者の身体性認知を解き明かすために行うため、本研究ではEthnography of Embodied Cognitionという名称で呼ぶ。Ethnography of Embodied Cognitionでは人間の無意識の身体運動をセンサーなどのデジタル技術を用いて観察し、その観察から発見できるパターンから意味を解釈する。本節では、Ethnography of Embodied Cognitionを行うためにデジタル技術を用いた民族誌調査の関連研究を概観する。

### ウェアラブルカメラを用いた民族誌調査

2015年、デルフト工科大学のKatjaらはウェアラブルカメラを用いた民族誌調査に関する研究を公表している(Thoring et al. 2015)。従来の民族誌調査でも録音を行うことはあったが、現在GoPro<sup>2</sup>に代表されるようなウェアラブルカメラが登場し、こうした機器を民族誌調査に活用することで今まで得られなかった洞察やデータを獲得できる可能性があるとしてKatjaらは主張している。彼らは民族誌調査にAutographer<sup>3</sup>というウェアラブルカメラを使用した。Autographerは加速度センサー、パッシブ赤外線センサー、カラーセンサー、磁気センサー、温度センサー、GPSを搭載し、これらのセンサーが環境の変化を感知し自動的に写真を撮影するという仕組みになっている。使用方法はAutographerを首から吊るしたり、衣服にクリップするというだけで済む。これは民族誌調査を行う際に使用者

---

2 <https://gopro.com/>

3 <http://autographer.com/>

が装置の取り扱いを気にせず普段通りの行動を維持できることを意図している。Katjaらはこうして撮影した写真を時系列のスライドショー形式にして観察を行った。実際の調査では、デザインを学ぶ学生に2週間 Autographer を装着してもらい、学生が教室内だけでなく、キャンパス内外の他の場所をどのように自分の作業プロセスに組み込むか、人々や環境とどのようなやりとりをしているかなど学生の実際の行動やワークフローに注目して観察を行ったという。そして、2週間後、撮影された4000枚の写真から教室以外で発生した学生のデザインプロセスの調査を行った。Katjaらはこうしたウェアラブルカメラを用いた民族誌調査に関して日常生活などで研究者が同行できない場面でも観察が行えるという利点を主張している。また、注意点として、単独の写真やデータ自体は特に興味深い物ではないが、それらを他の情報と組み合わせることによって民族誌調査として有意義なものになると述べている。Katjaらのウェアラブルカメラの研究は身体性認知における物理世界を解釈する上で参考にした。本研究では、定点ビデオカメラを複数設置し、Ethnography of Embodied Cognitionの対象者が存在する物理世界の解釈を行う。

## センサー技術を用いた民族誌調査

2010年にYahoo! ResearchのInternet Experience Groupはセンサーキットを用いた民族誌調査としてAugmented Ethnographyという概念を紹介している(Churchill et al. 2010)。彼らは日常の買い物行動について調査するために、センサーツールキットを開発した。ツールキットにはボタンセンサー、圧力センサー、モーションセンサー、光センサー、オーディオセンサー、近接センサー、イメージセンサー、熱センサーの8種類のセンサーが用いられている。そして、彼らはローガーシールド付きArduino<sup>4</sup>を搭載しているショッピングバッグ型センサーツールキットのプロトタイプを開発した。このプロトタイプは非常に軽量かつ安価で、さらに対象者の日常の行動を理解する手助けとして非常に役に立ったと述べられている。こうしたセンサー技術を用いた民族誌調査を参考にし、本研究では身体

---

4 <https://www.arduino.cc>

性認知を解明するためのセンサーを用意した。今回用意したセンサーは呼吸の動きを測定するストレッチセンサー、口輪筋の筋電位を測定する筋電位センサー、右腕の力加減を測定する表面筋電位センサーの3種類である。以上のセンサーを用いて Ethnography of Embodied Cognition を行い、身体性認知における脳・身体・世界、そしてそこから生まれる物理現象を解釈する。

## 2.4. 身体性認知の概念を用いたデザインの可能性

本節に至るまで、音楽家が身体性認知を使って演奏を生み出していることに言及し、身体性認知の解明とそれを民族誌調査に組み込むことで Ethnography of Embodied Cognition を行うという流れについて述べてきた。本節では身体性認知の概念を用いたデザインの可能性について概観する。

### 組み込みダイナミクスの制御を用いたデザイン

2009年、斉田らは声楽の指導のためにストレインゲージを用いた呼吸運動チェックシステムというものを開発している(斉田正子, 斉田正子 2009)。このシステムではユーザーの胸郭と腹部にストレインゲージを配置し、呼吸時にゲージ部分が引き伸ばされると電気抵抗が変わる。その変化をモニター上に表示し、視覚フィードバックによって歌唱時の呼吸運動を改善するというものである。このストレインゲージを用いた呼吸運動チェックシステムは歌唱時の無意識の身体運動を可視化してくれるため、身体の組み込みダイナミクスを理解し、認知と身体のカップリングを引き起こすことができる。つまり、音楽家は脳・身体・世界が統一され、アウトプットとして正しい呼吸による発声を生み出すことができるようになる。

### 外的な足場作りを用いたデザイン

2013年、MIT Media LabのXiaoらはMirrorFugueという録音したピアノ音源のピアニストがそこにいるかのような没入感を生み出すインターフェースを開発している(Xiao et al. 2013)(図2.2)。MirrorFugueは自動で動くキーストロークと

音源のピアニストの手、顔、上半身が実物大で同時に映し出されることで、単なる同期情報ではないピアニストの存在感を生み出している。ピアニストの顔と上半身はピアノ上のスタンドに投影され、手の動きは鍵盤上に正確に投影される仕組みとなっている。また、MirrorFugueは模倣によるスキル獲得に効果があることが示されている。例えば、ピアノの訓練を全く受けたことのない女性がMirrorFugueを使用したところ、プロジェクションされた手と身体の動きをほぼ完璧にコピーすることができたという。

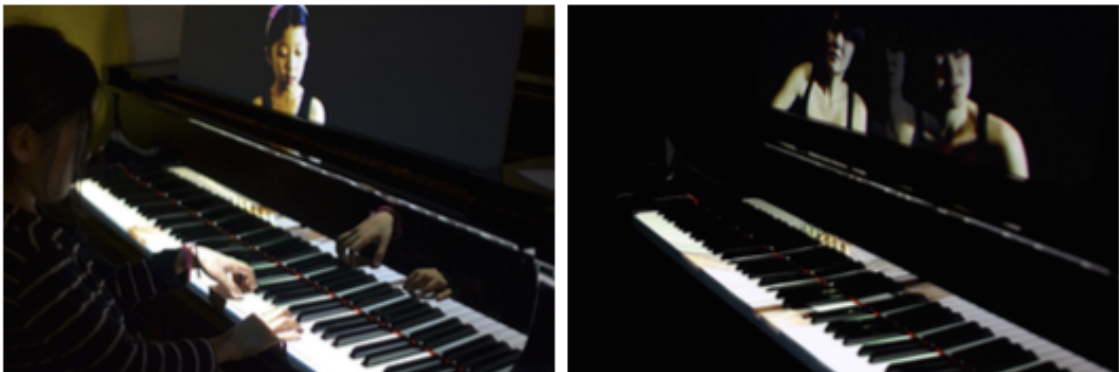


図 2.2: MirrorFugue

このXiaoらのMirrorFugueはAndy Clarkの身体性認知における「外的な足場作り」という概念を活用している。人間は複雑な行為や長期的な計画を実行する際に、「外的な足場作り」を用いて自らのタスクを減らしているというのがAndy Clarkの主張だが、MirrorFugueも同様に、プロジェクションされたピアニストの顔、身体動作、手の動きが「外的な足場作り」となり、その動きを模倣することによって本来は高度なピアニストの身体動作のコピーに成功している。つまり、MirrorFugueはAndy Clarkの身体性認知をデザインにも応用できるということを示唆している。

## ことば化による身体デザイン

Andy Clark は『現れる存在』の中で「外的な足場作り」は言語にも展開できるという主張をしており、言語も身体性認知を用いたデザインの対象になり得ることを示唆している (Clark 1997)。実際に、慶應義塾大学の諏訪らはメタ認知という方法を用いて身体デザインの実践と研究を行っている (諏訪正樹, 諏訪正樹 2010)。メタ認知とは環境と身体に成り立つインタラクションをことば化を通して進化させる行為であると諏訪は述べており、身体をデザインするとは芸や技を磨くことを意味するという。2010年の研究で、諏訪はメタ認知を用いて剣道家が身体をデザインするプロセスについて述べている。このプロセスを経た剣道家は剣のスキルを超えて自身や他者の骨格や神経を感じられるようになったという。身体の為す技や芸は身体単独で成立するものではなく、身体と環境とのインタラクションの中で成立するものだと諏訪は主張する。こうしたインタラクションは我々の意識下で生じるため、意識上で制御できる範囲はごく限られたものだという。諏訪の用いているメタ認知はこうした意識下で生じているインタラクションをことば化という行為によって意識上へと持ち上げる手段である。また、ことば化に関して諏訪は「何を書いてもよい」としている。その理由は、できるだけことばを外化するという行為自体が重要であり、ことば化によってその言葉が環境の一要素になり、身体がインタラクションする対象になるからだと述べている。この研究は Andy Clark の身体性認知における外的な足場作りの要素として言語が使用でき、スキルの獲得にも有効な手段であるということを示している。

## 2.5. 本論文が貢献する領域

2.1 では音楽家の身体、脳、そして生み出される音色について調査を行い、ピアニストが身体性認知を用いて演奏を行っていることを示した。音楽家は「外的な足場作り」を用いて脳と身体が行うタスクを減らし、熟練した音楽家ほど脳と身体運動のカップリングが形成されていることがわかった。また、脳・身体・世界を統合できれば、物理現象として音色の変化を生み出せるということも鈴木の研究で明らかになった。そして、2.2 では身体性認知を解明する方法について調

査を行った。Klaus Gramann らは身体性認知を解明する試みとして MoBI を開発した。MoBI は脳・身体・世界をデジタル技術を用いて同時に調査することで身体性認知の仕組みを明らかにする。本研究は MoBI を参考にし、センサーやカメラなどのデジタル技術を用いて脳・身体・世界を調査し、その後、調査によって得たデータを統合することで身体性認知を解き明かす試みを行った。2.3 では 2.2 で述べた身体性認知の解明を民族誌調査に組み込むために、デジタル技術を用いた民族誌調査の研究を概観した。先行研究によって、センサーやカメラを用いることで通常の民族誌調査ではわからないことを明らかにできることや、デジタル技術によって取得した情報の組み合わせによって民族誌の効果が高まることがわかった。本研究では身体性認知の解明とデジタル技術を用いた民族誌調査を組み合わせることで、Ethnography of Embodied Cognition を行う。本研究における Ethnography of Embodied Cognition は人間の無意識の身体運動をデジタル技術を用いて観察し、その観察から発見できるパターンから意味を解釈する民族誌のことを指す。2.4 では身体性認知の概念を用いたデザインの可能性について述べるため、先行研究を概観した。すでにいくつかの研究では身体性認知の要素を用いてデザインが行われており、その有効性も証明されていることがわかった。しかし、一つ一つの研究は Andy Clark の身体性認知における概念を部分的に用いるまでににとどまっている。また、トロンボーンのように腕、唇、肺など身体全体を使って演奏する楽器において身体性認知が演奏に与える効果は非常に大きいと考えられるが、現在、トロンボーンに代表される金管楽器の分野において身体性認知の概念を用いたデザインや練習システムは存在しない。

本研究は管楽器分野において、未だかつてデザインされていない Andy Clark の身体性認知を用いたトロンボーン練習システム「MirrorTone」をデザインする。また、本研究では Andy Clark の身体性認知を設計だけでなく、調査の段階から組み込み、デザインを行っている。そのため、まずトロンボーン奏者の演奏を Ethnography of Embodied Cognition を用いて観察し、その観察から発見したパターンを分析し、意味を解釈する。そして、その解釈と Andy Clark の身体性認知をもとに、我流トロンボーン奏者が豊かな音を生み出せるようになる練習システム「MirrorTone」をデザインする。続く第 3 章では「MirrorTone」のデザイン

について詳しく述べる。

## 第3章

# デザイン

### 3.1. コンセプト

本研究でデザインした「MirrorTone」は、我流のトロンボーン奏者に豊かに響く音を生み出す正しい奏法を習得させてくれるシステムである。「MirrorTone」はプロトロンボーン奏者の口頭説明と練習の実演が入ったレッスン動画、ユーザーの身体運動をチェックするウェアラブルセンサーとカメラ、物理現象である倍音成分を可視化するスペクトラムアナライザー、そしてそれを映し出す画面によって構成されている。まず、我流のトロンボーン奏者はパーソナルコンピュータにアプリケーション「MirrorTone」をダウンロードする。その後、練習場にてセンサーデバイスを装着して「MirrorTone」を起動し、画面上に提示されていくプロのレクチャー動画を見て練習を行う。その際、画面上にはプロによる口頭指導を含むレクチャー動画と共にプロと自分の身体運動のパラメーター、そして物理現象として音がどれだけ響いているかを示す倍音パラメーターが表示される。ユーザーはその動画とパラメーターを見ながら練習を行い、自分とプロのパラメーターの値の変化を比較しながら倍音が響くように練習を進めていく。正しい奏法を身につけるための練習はロングトーン、リップスラー、タンギングの3種類の練習が用意されている。本研究では「MirrorTone」をデザインするために奥出直人の『デザイン思考と経営戦略』<sup>1</sup>で述べられている民族誌調査とデジタル技術を用いて身体性認知の観点から民族誌調査を実施した。本研究ではこのデジタル技術を使用して身体性認知の観点から実施した民族誌調査を Ethnography of Embodied Cognition を呼ぶ。まず、2016年8月16日に慶應義塾大学 KMD スタジオにてプ

---

1 奥出直人 (2012) 『デザイン思考と経営戦略』, エヌティティ出版



ロトロンボーン奏者の加藤氏とアマチュアトロンボーン奏者の斎藤氏を対象に民族誌調査を行った。この民族誌調査から加藤氏の豊かな音でトロンボーンを響かせるメンタルモデルと斎藤氏の教わるメンタルモデルを抽出した。

次に、2016年9月2日に同じく慶應義塾大学 KMD スタジオにてblankがあるアマチュアトロンボーン奏者である私とプロトロンボーン奏者である加藤氏に Ethnography of Embodied Cognition を実施した。Ethnography of Embodied Cognition については本章の 3.3 で詳しく述べるが、人間の無意識の身体運動をセンサー技術を用いて観察し、その観察から発見できるパターンから意味を解釈するという民族誌調査である。今回、2つの Ethnography of Embodied Cognition を行った。まず加藤氏の認知と身体運動がどのようにカップリングして物理現象として豊かに響く音を生み出しているかという Ethnography of Embodied Cognition を実施した。その後、blankがあるアマチュアトロンボーン奏者である私が加藤氏のレッスンでどのように認知と身体運動がカップリングしていき、豊かな音が出せるようになるかという Ethnography of Embodied Cognition を行った。以上の調査を行うことで、プロトロンボーン奏者が豊かに響いた音を演奏するための身体性認知の仕組み(メンタルモデル・身体運動・物理現象)と豊かに響いた音を演奏するために我流トロンボーン奏者が持つべき身体性認知の仕組みを解釈した。本研究ではこの民族誌調査と Ethnography of Embodied Cognition の分析を行い、その結果から「MirrorTone」のプロトタイプを作成した。

## 3.2. 民族誌調査と分析

「Mirror tone」をデザインするために本論文では奥出 直人の『デザイン思考と経営戦略』にあるデザイン思考の民族誌調査を用いた(奥出 2012)。本論文で述べる民族誌調査は、Contextual Inquiry という現象学的設計論の手法に則して展開されている。この手法では調査対象者を師匠とみなし、観察者自身を弟子と位置づけ、観察と質問を行う。その後、調査内容を濃い記述 (Thick Description) としてまとめ、5 Model Analysis という分析を行い、観察の結果をまとめる<sup>2</sup>(奥出直人

---

2 奥出直人 (2007) 『デザイン思考の道具箱』, 早川書房

2007)。そして、その結果から調査対象者のメンタルモデルを整理した。本論文で述べているメンタルモデルは奥出直人の『デザイン思考と経営戦略』で述べられている人間が世界の中で起こるイベントを理解したり予測するために作る内面的なモデルのことを指している (奥出 2012)。

## プロトロンボーン奏者の民族誌調査

### ラポールの構築

本研究では民族誌調査の対象をプロトロンボーン奏者の加藤直明氏<sup>3</sup>に依頼し、快諾を得ることができた。加藤氏は埼玉県蕨市在住のプロトロンボーン奏者で、東京藝術大学音楽学部器楽科（トロンボーン専攻）卒業後、オーケストラや吹奏楽のエキストラ活動、スタジオワーク、ミュージカル等でも演奏活動を展開している。東京藝術大学管弦楽研究部非常勤講師を経て、現在はソリストとして、また Trio “N” や金管五重奏団 Buzz Five のメンバーとして全国各地を訪問しコンサートを展開している。さらに、近年はアウトリーチという音楽家派遣事業による地域活性化にも力を入れており、自身はコーディネーターとして活躍している。加藤氏のレッスンは基本的に1時間単位で行われ、レッスン料は7000円で引き受けている。レッスンの場所は加藤氏の自宅でも行えるが、希望の場所があれば訪問レッスンを行ってくれる。そのため、全国から仕事やレッスンの依頼が殺到しており、日本で最も忙しいトロンボーン奏者の一人として知られている。今回の民族誌調査が実現した理由に、私が日本トロンボーン協会の会員であったことが挙げられる。加藤氏は日本トロンボーン協会の協会理事を務めており、日本トロンボーン協会<sup>4</sup>のイベントを通して私と2008年より親交があった。協会のイベント以外にもトロンボーンのトレーニング合宿や懇親会を通じて長年交流があり、今回依頼のメッセージを送ったところ快く承諾していただくことができた。また、加藤氏はFacebookの情報を通じて私の大学院での研究に興味を持っており、セン

3 プロトロンボーン奏者加藤直明氏のプロフィール <http://www.proarte.co.jp/japanese/cat114/Kato.php>

4 日本トロンボーン協会のHP <http://www.jat-home.jp/>

サーを装着することや大学院の研究に協力できることに非常に前向きであった。



加藤 直明(40)

プロトロンボーン奏者

埼玉県蕨市在住

埼玉県出身

#### 【Personal Profile】

東京藝術大学卒業。プロのトロンボーン奏者。4人家族で子供が3人。妻もプロトロンボーン奏者。音楽と飲み会をこよなく愛す。さだまさし、池波正太郎「剣客商売」が人生に欠かせない。

#### 【Working Profile】

金管五重奏団 Buzz Fiveをメインに多くの団体に所属。在京オーケストラのエキストラやTV・映画の収録などなんでもこなすスーパーフリーランサー。過去には藝大フィルハーモニアに所属。日本トロンボーン協会の理事も務める。

#### 【Goal】

- ・音楽とトロンボーンの素晴らしさを多くの人に伝えたい
- ・音楽を頑張っている人を応援したい
- ・お金にとらわれずに自分の音楽道を追求したい

図 3.1: 加藤直明氏のプロフィール

## 豊かに響く音

ラポールを構築していく中で、加藤氏は豊かに響く音が出せることはトロンボーンを演奏する上で非常に重要だと述べていた。なぜそれが重要かというと、豊かに響く音、つまり倍音が多く含まれた音を出せることがトロンボーンの演奏を大きく左右することになるからである。倍音成分の多い音は他の音と和音を構成しやすく、セクションで和音を構成することが多い和声楽器であるトロンボーンにおいて豊かに響く音が出せることは非常に重要である。また、オーケストラにおけるトロンボーンの役割は決して多くなく、曲中の要所でアクセントをつける役

割を担うことが多い。しかし、そうしたシーンにおいて壮大なフォルテッシモや美しいピアノッシモで音楽を表現するためには豊かに響く音を演奏できることが前提となってくるのである。しかし、豊かに響く音を出すことはトロンボーンの専門的な教育を受けたことのない人にとっては非常に難しい。豊かな響く音を出すためにはたっぷり息を吸い、アンブシュアを作り、唇を震わせながら直線的に息を楽器に吹き込むのだが、身体はどこにどの程度息を入れ、どのようにアンブシュアを作り、息を吐けばいいのかということはいくつの場合も感覚的に語られる。そのため、我流のトロンボーン奏者は豊かな響く音を出すことができないまま練習を行っているという状態になりやすい。もちろん、良い先生のもとで個人レッスンを受けられれば我流の奏法を矯正して正しい奏法を身につけられる可能性もあるが、多くのトロンボーン奏者が自分にあった良い先生に出会えるとは限らない。

### トロンボーン演奏に関する民族誌調査と分析

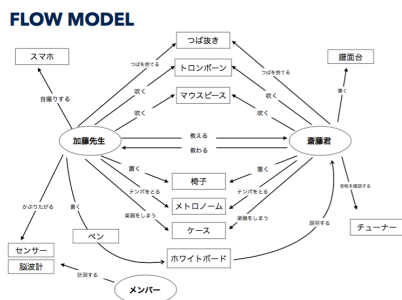


図 3.2: フローモデル

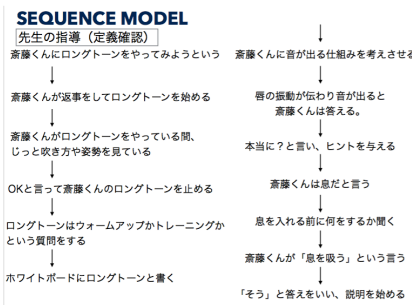


図 3.3: シークエンスモデル 1

2016年8月16日KMDスタジオにて約1時間の民族誌調査を行った。この調査では「どのようにプロトロンボーン奏者が豊かな響く音を演奏しているか」に着目し、プロトロンボーン奏者である加藤氏の調査を行った。加藤氏には日頃行っている練習とこちらで用意したトロンボーンとピアノのための楽曲であるサンド

**SEQUENCE MODEL**

先生の指導（実践編）

100%息を吸ってみようという  
 ↓  
 斎藤くん、言われるがままにやってみる  
 ↓  
 先生が斎藤くんの肩で吸う癖を見抜く  
 ↓  
 なるべくお腹で吸うように。  
 でもお腹には跡はないとイメージを伝える  
 ↓  
 バケツに水を入れると下から水が溜まっていく  
 とさらにイメージを伝える。  
 ↓  
 斎藤くんはそれをイメージしてお腹に手を当てて  
 息を吸う

斎藤くんができるかということ、  
 と合格を出す。  
 ↓  
 なぜこれが大事かという  
 という説明を始める。

図 3.4: シークエンスモデル 2

**SEQUENCE MODEL**

先生の指導（囁らし方編）

マウスピースの繊細な仕組みを伝える  
 ↓  
 マウスピースだけで低い音を出すように指示  
 ↓  
 一緒に先生もマウスピースを吹く  
 ↓  
 マウスピースの息の出口に手を当てて  
 風がでるなという最適な距離を伝える  
 ↓  
 その距離感を伝えて斎藤くん実践させる  
 ↓  
 斎藤くんのマウスピースの息の音が変わる

斎藤君の体の状態を観察し  
 先生は力を抜くように追加の指示を出す  
 ↓  
 斎藤くんのマウスピースの  
 息の音がさらに変わる  
 ↓  
 次は楽器で同じようにやってみる  
 ように指示する。  
 ↓  
 斎藤くんのトロンボーンの音が濃くなる  
 ↓  
 「いいね、濃いね。自分でもわかる？」  
 と先生は伝える  
 ↓  
 斎藤君もハイと嬉しそうに答える

図 3.5: シークエンスモデル 3

**Physical Model**

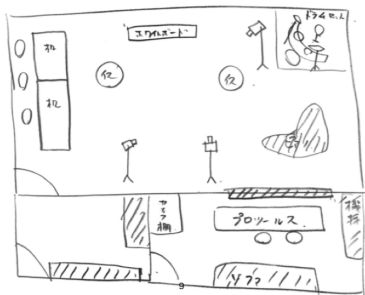


図 3.6: フィジカルモデル

**Artifact Model**



図 3.7: アーティファクトモデル





図 3.10: 加藤氏の演奏風景

- ・アンブシュアを作ると楽器に向けて直線的に息を吹く
- ・1つの音の終わりに差し掛かると素早くスライドを次のポジションに動かす

### プロによる我流トロンボーン奏者に対する指導

同じく2016年8月16日KMDスタジオにてプロトロンボーン奏者の加藤氏がアマチュアトロンボーン奏者の斎藤氏に対してレッスンを行うところを民族誌調査した。この調査では3つの点に注目して民族誌調査を行った。1つ目は斎藤氏が加藤氏からどのようにトロンボーンの奏法を学んでいるか。2つ目は加藤氏がどのように斎藤氏を豊かな響きで演奏できるようにレッスンで導くか。そして、3つ目は加藤氏が斎藤氏に豊かに響く音を伝授する際にどのようにコツを言語化しているのかに注目した。

まずは加藤氏をKMDスタジオに案内し、ウォーミングアップなどの時間を含め30分間準備をしていただいた。準備が済むと早速レッスンを開始した。まず、加藤氏はレッスンを受ける斎藤氏との距離を十分にとり、対面するような形式をとった。斎藤氏も自然な形で加藤氏の指示に従っていた。加藤氏はすぐには楽器



齋藤 優介(22)  
大学院生

綱島在住  
神奈川県出身

### 【Personal Profile】

世田谷学院出身。トロンボーンは高校から始めたが、最近は大学院の研究が忙しく、演奏していない。これまでレッスンなどには行かず、独学でトロンボーンを学んできた。

### 【Working Profile】

慶應義塾大学理工学部の大学院で流体力学の研究を行っている。

### 【Goal】

- ・もっとトロンボーンが上手くなって、いい演奏がしたい
- ・演奏活動を通じて仲間と一緒にいたい

図 3.11: 齋藤優介氏のプロフィール



での練習を始めず、斎藤氏の楽器歴、普段はどういう練習をするか、練習頻度はどの程度かなど簡単なヒアリングから始めた。ヒアリングが終わると「まずはいつも通り吹いてみて」と言い、斎藤氏にロングトーンを行うように指示を出し、斎藤氏もそれに応えるようにいつも通りロングトーンを行った。斎藤氏が吹いている間、加藤氏は立ち位置は変えずに斎藤氏の演奏をじっくり観察していた。ロングトーンが終わると、次に加藤氏は斎藤氏へ「ロングトーンはウォームアップかトレーニングか」という質問を投げかけた。斎藤氏はその質問に対し自分の答えを返していた。レッスンはこうした対話形式で進んでいった。そして、対話が一段落つくと加藤氏はそれを踏まえて斎藤氏に練習を実践させる、時には交互に楽器を吹いて実演するといったことを行っていた。また加藤氏は口頭での説明が困難な時はホワイトボードを使用し音の形を説明したり、テンポが安定しない時はメトロノームをつけるなど積極的に道具を使いながらレッスンを進めていた。レッスンから1時間半後、斎藤氏の音は見違えるほど豊かな響きに生まれ変わっていた。その変化は民族誌調査をその場で行っていたメンバー4人の目からも明らかだった。斎藤氏自身も豊かに響く音が出ていることに満足していたが、まだ継続的にそれが達成できているわけではなかったため、失敗してしまうことも何度かあったが、なぜ失敗してしまったかの原因が自分で理解できているため、自己修正して失敗後にはしっかりと太い豊かな響きを取り戻していた。加藤氏もこのように自身で何が悪いかを理解できている状態が大切だと述べており、レッスン前の斎藤氏は何が悪いかわからず演奏していたという。

### 斎藤氏の教わるメンタルモデル

1つ目のフォーカスポイントとして、斎藤氏が加藤氏のレッスン中どのように教わっているかについて注目した。斎藤氏は先生に質問されると自分で回答を考えて答えていた。また、先生の指示を聞くとその指示に従って演奏をしていた。そして、演奏が終わると先生の次に指示を待ち、指示の内容がわからなければ先生に内容の確認をしていた。

〈斎藤氏の教わるメンタルモデル〉

- ・質問されると答える

## &lt;ブレスの練習&gt;

- 4拍で吸って4拍で吐くように指示する
- 1拍で吸って4拍で吐くように指示する
- 生徒と一緒にブレスをする
- 息を吸う時は手を上に、息を吐くときは手を下に下げる
- 同じことを生徒にやらせる（息を吸う時は手を上に、息を吐く時は手を下に下げる）
- 無理に息を出そうとしないように指示する
- 息を直線的に出すように指示する
- テンポと息と手の動きを一致させる
- 背中の下あたりに息をため込んでいく感じを伝える
- 肺を動かしてみる
- その呼吸の仕方でもBbを吹いてみる（5回）
- BbからAに移る
- できないとBbにもどる
- オクターブ下のBbに移る（響きが残るように）
- マウスピースで音を響かせる（交互に）
- 出したい音にどう呼吸をするか
- 息の吸い方が変わっていないか
- 吸うときに力を入れないようにする
- ゴルフのスウィングのイメージを伝える

## &lt;マウスピースの練習&gt;

- ・バズィングでの息の流れを比較させる
- ・バズィングの音の違いを聞かせる
- ・マウスピースを響かせるように指示する
- ・マウスピースでグリッサンドする練習をする
- ・音域によってマウスピースの位置が変わることを指示する

## &lt;トロンボーンを使った練習 &gt;

- ・音階でロングトーンをやるように示唆する
- ・バズィングで息を入れたような感じと同じように楽器を吹かせる
- ・先に先生が4拍ロングトーンをしてそのあと生徒に4拍ロングトーンをやらせる
- ・上手く鳴らない音をピックアップして一緒に吹く
- ・低音に行けば行くほど音量よりも響きを要求する
- ・生徒と交互にC音階で下のCから上のFまで（無理がない範囲で）ロングトーンをする
- ・マウスピースでの練習が終わると先ほどと同じように楽器を使って交互にロングトーンを行う
- ・曲中、うまくいかない時は同じ音（吹きやすい音）だけで吹いてみるように指示する
- ・次にリップスラーとミディアムタンギングで音の高低を使って演奏させる（なるべく音色のムラが出ないように）
- ・ブレスの練習が終わると同じことを楽器でもやらせる

## その他

- ・まずはいつも通り吹かせる
- ・楽器からどうやって音が出るかを質問する
- ・楽器から音が出るという仕組みを説明する
- ・うまくいくと褒める
- ・密度の濃い息（早い息ではなくてゆっくりなんだけど重量がある）を要求する
- ・声で音を表現する
- ・楽器がちゃんと鳴るか自分でチェックする
- ・自分の楽器がどのくらい鳴るかを教える
- ・練習をする時はメトロノームをつける
- ・上手くない原因を見つけて指摘する
- ・生徒の練習頻度をカウンセリングする
- ・肺の動きを見て肺が稼働していないと指摘する
- ・アンブシュアの形より音が出ることを優先させる
- ・マウスピースへの息の入れ方をホワイトボードを使って説明する
- ・ロングトーンの意味をホワイトボードに書く
- ・できないのは何故できないのかを分解し明確にする（やみくもに練習しない）
- ・音を出す時はカウントをするように指示する
- ・癖を見抜いて指摘する（時間が空くとブレスが浅い）

図 3.12: プロトロンボーン奏者加藤氏のレッスン内容

- ・指示を聞くとその指示に従って演奏する
- ・演奏が終わると先生の指示を待つ
- ・指示の内容がわからなければ先生に確認する

## 加藤氏の教えるメンタルモデル

2つ目のフォーカスポイントとして、加藤氏がどのように斎藤氏にレッスンの中で豊かに響く音の出し方を教えているかに注目した。この分析によって、加藤氏の教えるメンタルモデルと豊かに響く音を出させるために加藤氏は3種類の練習とそれぞれに3つのレイヤーを用意していることがわかった。まず、加藤氏のメンタルモデルについてだが、まず練習を始める際にスマートフォンアプリのメトロノームをテンポ58に設定し4分の4で音を鳴らし始めた。それから、加藤氏は斎藤氏に普段やっている練習をやらせて相手の状態を確認した。そして、その練習の意味を相手に質問していた。相手の答えを聞くと、次に加藤氏なりの練習の意味を相手に教える。例えば「ロングトーンは決められたテンポの中で正しく吸って正しく吐くこと」というような具合である。また、特に大切な概念に関してはホワイトボードに書き言語化していた。そして、レッスンの中で相手の問題点を見つけるとこうした質問をその都度行い、一緒に考えるということを繰り返した。さらに、音や息という見えないものを斎藤氏に伝える際に、何かに例えたり、手の上下でそれを表現したり、楽器やマウスピースで実演することで相手にイメージを伝えることをしていた。また、音や息の違いをわからせるために自分の息の流れと斎藤氏の息の流れを手のひらに当てさせて何が違うのかを伝えていた。こうして、いろいろな手段を試し、斎藤氏が理解して音で表現できると加藤氏は毎回「いいね」などの言葉を使って斎藤氏を褒めていた。また、斎藤氏が音を出すのに失敗しても優しくもう一度やらせて、できるようになるまで丁寧に練習を提示していた。

### <加藤氏の教えるメンタルモデル>

- ・教えるときにホワイトボードにテーマを書く
- ・まずは何も言わずにやらせてみて、生徒の問題点を見つける



図 3.13: プロトロンボーン奏者加藤氏から我流トロンボーン奏者斎藤氏へのレッスン

- ・ 問題点を見つけると練習方法の定義や音の出る仕組みを質問する
- ・ 見えないイメージを伝えるとき何かに例えて伝える
- ・ 手を使って音の高低を表現する
- ・ 生徒と自分の息や音の違いを教えるとき楽器やマウスピースで実演して見せる
- ・ 生徒と自分の息や音の違いを教えるとき息流れを生徒に手で触れさせて違いを伝える
- ・ 生徒がわかっていなそうだと生徒の悪い例を実演して見せる
- ・ 音が良くなると褒める
- ・ 音を出すときはメトロノームをつける
- ・ 実演するとき左手で楽器を支えて吹きながら、右手で音のイメージを表現する
- ・ 音の形を説明するときホワイトボードに音のイメージを書く
- ・ 説明するときトロンボーンの練習をスポーツや料理に例える
- ・ 間違えても優しくもう一度やらせる
- ・ 生徒が楽器を吹くときにパパパピピピピと細かくテンポを刻んであげる
- ・ トロンボーンでうまく吹けないときはマウスピースの練習に立ち返らせる

また、加藤氏は豊かな響く音を出すために3種類の練習とそれぞれに3つのレ

イヤーを設けていた。加藤氏の言葉によれば、練習は豊かに響く音を作るためのパーツ作りだという。それぞれの練習をパーツと見立て、一つ一つのパーツを作ることで豊かに響く音が作られる。まず、1つ目のパーツ作りとしての練習はロングトーンである。ロングトーンの練習では決められたテンポの中で正しく吸って正しく吐くこと、つまりブレスコントロールの安定を目的にしている。また、2つ目の練習であるリップスラーでは二つ以上の音を唇を使って滑らかにつなぐことを目的にしているという。そして、3つ目の練習であるタンギングでは音の頭がしっかりとした発音で出すことを目的にしている。この3種類の練習に対してそれぞれ3つのレイヤーが用意されていた。3つのレイヤーとはトロンボーンで練習する、マウスピースで練習する、何も使わないで呼吸の練習をするというレイヤーである。例えば、加藤氏はロングトーンの練習を教える際、楽器で練習してもうまくいかなない場合は難易度の低いマウスピースでの練習を行っていた。さらに、マウスピースでの練習がうまくいかなければ何も使わない呼吸の練習を行っていた。加藤氏のレッスンにおいてこの3つのレイヤーはロングトーン、リップスラー、タンギングに共通するものだった。

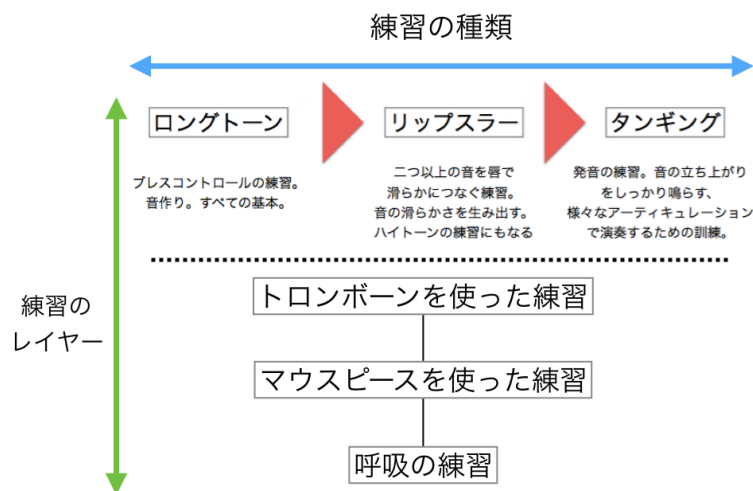


図 3.14: プロトロンボーン奏者加藤氏が設定している音のパーツ作り

## コツの言語化

3つ目のフォーカスポイントは、加藤氏がどのようにコツの言語化を行っているか、つまりどのように加藤氏は豊かな音でトロンボーンを響かせるメンタルモデルを言語化して斎藤氏にそれを伝授しているかに注目した。加藤氏がどのようにコツを言語化しているのかを分析するために、iPhone 6SのPCM録音というアプリ<sup>7</sup>を用いて音声を記録し、それを元に指導内容を書き起こした。加藤氏は自らの持つ豊かな音でトロンボーンを響かせるメンタルモデルを様々な表現や例えを使って斎藤氏に伝えていた。例えば、息の吸い方をゴルフのスイングに例えたり、息の質を密度の濃さで表現したりするといった場面が見られた。さらに、斎藤氏のような初中級者は何がうまくいっている状態で、何がうまくいっていない状態かということが自分で判断できないため、それを自分で判断できるような状態へと導くのが先生の役割だと加藤氏は語っていた。実際に、レッスンが進むにつれて斎藤氏はうまくいかないときに何が良くなかったのかを理解してすぐに修正できるようになっていた。ここから、初中級者が持つべき豊かに響く音を演奏するためのメンタルモデルを抽出した。

〈初中級者が持つべき豊かに響く音を演奏するためのメンタルモデル〉

- ・楽器を持つと肩幅ほどに足を開く
- ・楽器を構えると体の力を抜く
- ・楽器を構えると出す音をイメージする
- ・楽器を構えるとたっぷりと息を吸う
- ・息を吸うとアンブシュアを作る
- ・アンブシュアを作ると楽器に向けて直線的に息を吹く
- ・うまくいかない際になぜがうまくいかなかったか判断する
- ・うまくいったとき際になぜうまくいったか判断できる

---

7 <http://app-liv.jp/439572045/>

### 3.3. Ethnography of Embodied Cognition

本研究では Andy Clark の身体性認知の概念を組み込んだ民族誌調査である Ethnography of Embodied Cognition を行った。Ethnography of Embodied Cognition とは人間の無意識の身体運動をセンサー技術を用いて観察し、その観察から発見できるパターンから意味を解釈するという民族誌調査である。こうしたセンサーを用いた民族誌調査を行うことで通常の民族誌では調査しきれない観察対象者の身体動作を解釈することができる。また、Andy Clark の身体性認知は脳・身体・世界を 1 つの認知システムとして捉えるという概念である。そのため、身体性認知を基に解釈を行うためには、認知、身体運動、物理世界が相互作用し、その結果生み出される物理現象をそれぞれ観察する必要がある。そこで、本研究では認知に対しては奥出直人のデザイン思考の民族誌におけるメンタルモデルと加藤氏の口頭指導の内容を用い、身体運動に関してはセンサーによって取得したデータを使用し、物理世界に関してはビデオカメラで民族誌の様子を多角的に撮影することで調査を行った。さらに、Ethnography of Embodied Cognition では、センサー技術によって取得した情報から身体の動きを記録、描画する必要がある。その後、描画されたセンサーデータと多角的に対象者の身体運動を捉えたビデオを統合する。その後、統合したセンサーデータとビデオを民族誌から抽出してきたメンタルモデルと照らし合わせながら、豊かに響く音という物理現象が生じている時にメンタルモデルと身体運動がどのようにカップリングしているか観察を行った。抽出したデータの 카테고리としては、メンタルモデル、身体運動、達成すべき物理現象にそれぞれ分類した。また、演奏においてブランクがあるアマチュアトロンボーン奏者である私が加藤氏のレッスンでどのように認知と身体運動がカップリングしていき、豊かな音が出せるようになるかという Ethnography of Embodied Cognition も同日に実施した。加藤氏の Ethnography of Embodied Cognition と同じく、統合したセンサーデータとビデオを民族誌から抽出してきたメンタルモデルと照らし合わせながら観察を行い、豊かに響く音を演奏するために我流トロンボーン奏者が持つべき身体性認知の仕組みを解釈した。

## Ethnography of Embodied Cognition のためのセンサー

2016年8月16日の民族誌調査の結果から、今回の Ethnography of Embodied Cognition でセンシングする身体部位を決定した。まず、加藤氏は豊かに響く音の生み出すために、しきりに呼吸に関する指導を行っており、自身の演奏においても正しく吸って正しく吐くという行為を非常に重要視していた。そこで、呼吸の際の肺の収縮、吸気から呼気間のアンブシュアの形成、また、トロンボーン奏者特有のスライドを操る腕の動きをセンシングできるセンサーを用意した。

### 呼吸時の肺の収縮

加藤氏が呼吸時にどのような身体動作を行っているかを測定するために胸腹部に装着するストレッチセンサーを開発した。開発にあたり、齊田らが開発したストレーンゲージを参考にし、胸腹部の収縮をセンシングすることにした<sup>8</sup> (齊田正子, 齊田正子 2009)。齊田らの呼吸運動チェックシステムは胸部と腹部にゲージを取り付け、呼吸運動により引き伸ばされるとゲージの電気抵抗が変化する。その変化した結果がデジタルオシロスコープを模したプログラムによってパソコン上に表示され、リアルタイムで呼吸の分析ができるという。本研究でもストレーンゲージに倣い、2本のストレッチセンサーを開発し、呼吸による胸腹部の筋肉の収縮を計測し、パソコン上に描画した。センサーの開発には Adafruit 社の Conductive Rubber Cord Stretch Sensor<sup>9</sup>と Arduino Uno<sup>10</sup>を用いた。Adafruit 社の Conductive Rubber Cord Stretch Sensor は紐状の伝導性ゴムで、伸縮によって電気抵抗が変化する。今回、電気抵抗の変化を Arduino Uno を用いて読み取り、取得したデータは CSV 形式で保存を行った。

---

8 齊田正子, and 齊田晴仁. "声の分析と臨床: 声楽発声指導者の立場から—リアルタイム呼吸運動チェックシステム (ストレーンゲージ) を用いた歌唱指導について—." 音声言語医学 50.2 (2009): 153-160.

9 <https://www.adafruit.com/product/519>

10 <http://www.arduino.org/products/boards/arduino-uno>



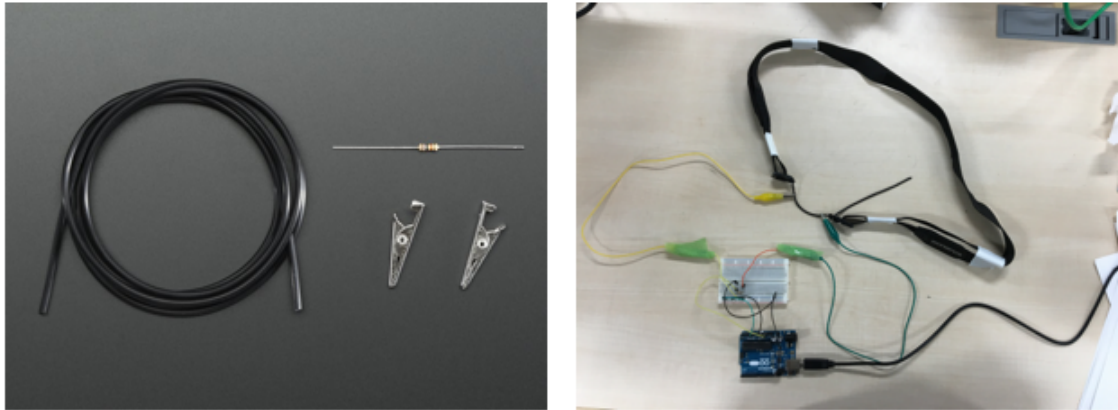


図 3.15: 製作したストレッチセンサー

### アンブシュア形成時の口輪筋の動き

トロンボーン奏者は唇を振動させて楽器を吹鳴させる。その際、トロンボーン奏者はアンブシュアを形成して演奏を行う。アンブシュアとは、管楽器を演奏するために整えられる口唇周辺の形態や筋活動状態のことを指す(小浦方格 2004)。アンブシュアの形は人によって様々だが、アンブシュアによって作られるの息の出口の形(アパチュア)によって、音色や音程は大きく変化する。そこで、本研究では筋電位センサーを用いてアンブシュアを作り出している口輪筋の動きを測定し、解釈を行った。口輪筋の筋電位を測定するために OPEN-BCI 社の 32bit Board Kit<sup>11</sup>と銀塩化銀電極 TDE-020-Y-ZZ-S Electrode 12.55mm<sup>12</sup>を組み合わせる筋電位を測定し、同社が提供する描画ソフト OPEN-BCI GUI<sup>13</sup>を用いて取得した筋電位の保存・描画を行った。口輪筋の測定部位は伊藤らのアンブシュアに関する研究(伊藤他 2011)と 2016 年 8 月 16 日の民族誌調査での加藤氏のアンブシュアの動きを参考にし、図 3.16 に示した 3 点を測定した。

11 <http://shop.openbci.com/collections/frontpage/products/copy-of-r-d-kit-16-channel-32bit-daisy-accessories?variant=28159622851>

12 <https://fri-fl-shop.com/product/tde-020-y-zz-s-electrode-12-55mm/>

13 <http://openbci.com/index.php/downloads>

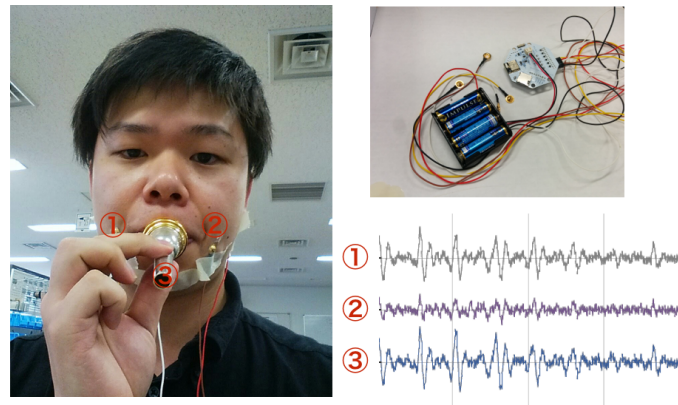


図 3.16: 筋電位センサーと筋電位を計測する部位

### スライド操作時の右腕の力加減

スライド操作時の右腕の力加減に関しては ThalmicLabs 社のウェアラブルデバイス「Myo」の表面筋電位センサー機能を使用することにした。Myo は 93g と軽量であり、輪のサイズも 19-34 cm と伸縮性のある設計になっている<sup>14</sup>。本研究では Thalmic Labs 社が提供する Myo Connect をデスクトップにダウンロードし、Myo 本体とパソコンを Bluetooth で同期させた。そして [diagnostics.myo.com](https://diagnostics.myo.com) という Thalmic Labs 社が公開している Myo 専用のページにて右腕にはめた Myo から読みとった筋電位データを記録した。データの保存は Mac OS X10.10.5 Macbook Pro 15 インチに備わっている QuickTime Player の新規画面収録の機能を用いて、Myo 本体を介してリアルタイムで読み取った [diagnostics.myo.com](https://diagnostics.myo.com)<sup>15</sup>の画面を保存した。

14 Thalmic Labs ' s website <https://www.thalmic.com/myo/techspecs>

15 <http://diagnostics.myo.com>

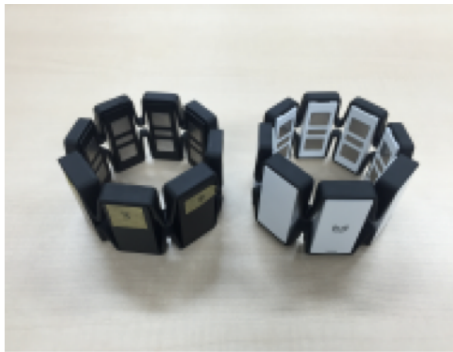


図 3.17: Myo



図 3.18: diagnostics.myo.com

## 物理世界の解釈

Andy Clark の身体性認知は脳・身体・世界の相互作用によって生み出される。したがって、人間が存在する物理世界自体を観察する必要がある。今回、物理世界の解釈のために複数のビデオカメラによる定点多角撮影で対象者が存在する世界の録画を行った。録画には Panasonic の HDC - HS 3 0 0 ビデオカメラ<sup>16</sup>(図 3.19)を使用した。この動画とセンサーデータを統合して Ethnography of Embodied Cognition を行う。

## プロトロンボーン奏者に対する Ethnography of Embodied Cognition

2016 年 9 月 2 日に KMD スタジオにてプロのトロンボーン奏者である加藤氏を対象に Ethnography of Embodied Cognition を実施した。この Ethnography of Embodied Cognition では、プロのトロンボーン奏者が豊かに響く音という物理現象を生み出すためにどのようにメンタルモデルと無意識の身体運動のカップリングを行っているかセンサー技術を用いて測定し、解釈をした。Ethnography of Embodied Cognition の実施にあたり、当日はまずビデオカメラやセンサーのセッ

16 [http://dl-ctlg.panasonic.com/jp/manual/hd/hdc\\_hs300\\_r1.pdf](http://dl-ctlg.panasonic.com/jp/manual/hd/hdc_hs300_r1.pdf)



図 3.19: 今回使用するビデオカメラ (Panasonic の HDC - HS 3 0 0)

ティングから始めた。図 3.20 は今回のカメラのセッティング位置と対象者の関係である。KMD スタジオ内中央を加藤氏が動き回る位置と想定し、それに合わせて 5 方向にビデオカメラを設置した。センサーのセッティングについては、ストレッチセンサーが有線であるため、パソコンに接続する USB ケーブルを延長し、加藤氏の動きがなるべく制限されないよう Arduino Uno を設置した。その後、筋電位センサーを口輪筋の 3 点につけてもらい、Myo Connect のキャリブレーション作業を行った (図 3.22)。Ethnography of Embodied Cognition ではセンサーデータとビデオカメラで撮影した映像を統合し、それらを同じ時間軸で進行する一つの動画にする必要がある。動画の統合には Adobe Premier Pro を使用し、Mac の 27 インチディスプレイを使用して統合した動画の観察を行った (図 3.21)。この動画を見ながら加藤氏の口頭指導と抽出したメンタルモデルとセンサーデータ上の身体の動きを照らし合わせ、記述を行った。統合した動画を観察すると加藤氏は抽出したメンタルモデルに則した身体運動を行っていることがわかった。例えば、楽器を構えるとたつぷりと息を吸うというメンタルモデルに対して、リズムに乗って 1 拍で加藤氏が吸える最大限の息を吸っていることがわかった。また、1 つの音の終わりに差し掛かると素早くスライドを次のポジションに動かすというメンタルモデルに対しては、スライドを動かす瞬間に右腕の筋肉に一瞬力が入ってお

り、それ以外は脱力していることがわかった。息を吸うとアンプシュアを作るといふメンタルモデルに対しても、吸気と呼気の間で口輪筋の筋肉に力が入り、低音になればなるほど、下顎付近の筋肉の筋電位が大きくなっていた。

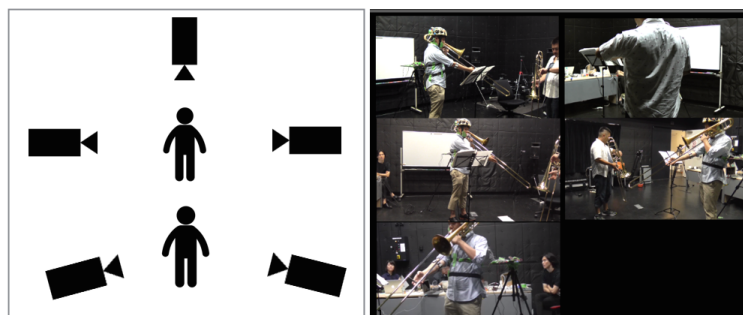


図 3.20: カメラセッティング

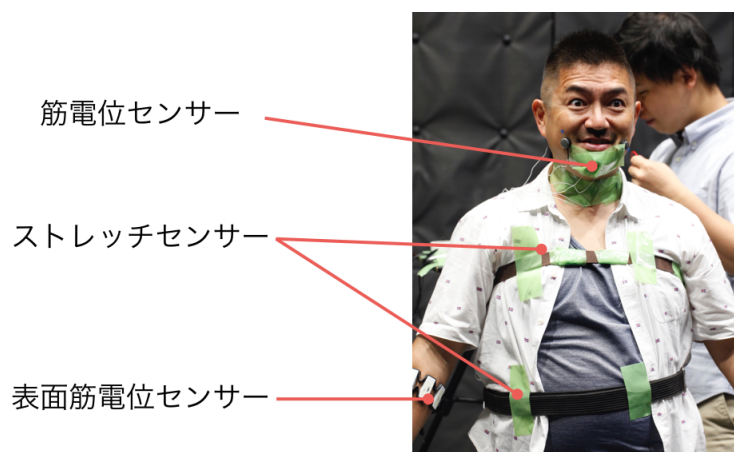


図 3.21: 映像とセンサーデータを統合した Ethnography of Embodied Cognition の画面

### ストレッチセンサーとビデオ映像

加藤氏はフィールドワークの中で息を吸うことに関して「100%息を吸う。なるべくお腹で吸うけど、お腹には肺はない。イメージとしてはバケツに水を入れる

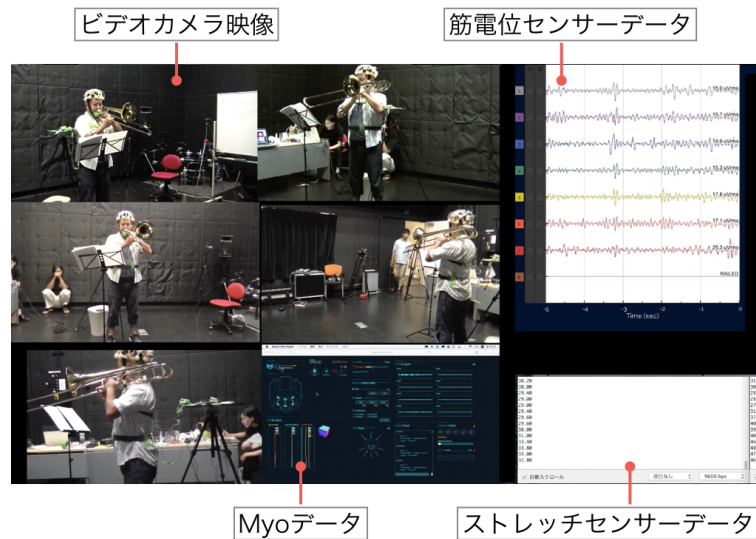


図 3.22: センサーセッティング

と下から水が溜まっていくイメージ」と述べていた。実際に、吸気時の腹部と胸部の動きをストレッチセンサーで測定したところ、たしかに腹部が膨らんでいたが、それ以上に胸部が膨らんでいく様子が数値として確認できた 3.24。これは吸気時に横隔膜が下降し、肺が上下に膨らんだためそれに伴い腹部と胸部の筋肉が引き伸ばされたと解釈できる。したがって、加藤氏は楽器を構えるとたっぷりと息を吸うというメンタルモデルと身体動作がカップリングしていると言える。また、呼気について加藤氏は「全部吐き切るつもりで息を直線的に吐く。ただ、実際に全部吐いてしまうと苦しくなるので、そういう意識で息を吐いていく」と述べていた。呼気についてもストレッチセンサーで胸部と腹部の動きを計測したところ、腹部の筋肉の膨らみは息を吸う前とほぼ同じ状態に戻っていたが、胸部の筋肉の膨らみは息を吐き終わっても完全に元に戻らなかった。これは加藤氏の呼気時の認知と身体の運動が一致していることを示唆しており、加藤氏は呼気時には力が胸部に入らない限界まで息を吐いているのだと解釈した 3.32。

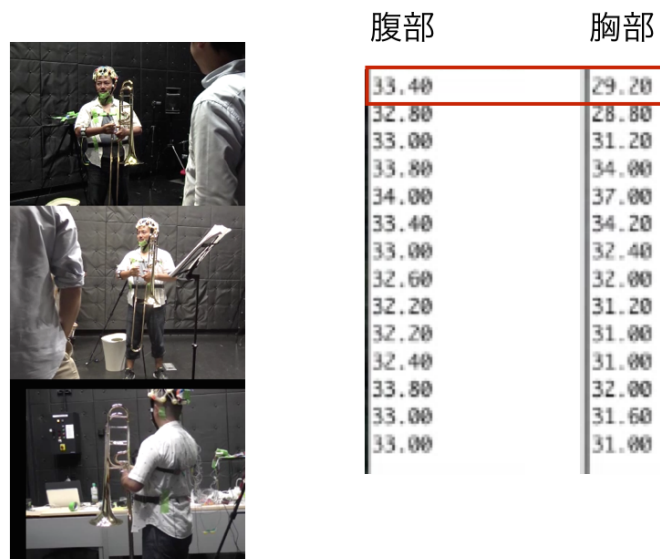


図 3.23: プロトロンボーン奏者の通常時の胸部と腹部のセンサーの値



図 3.24: プロトロンボーン奏者の吸気時の胸部と腹部のセンサーの値



図 3.25: プロトロンボーン奏者の呼気時の胸部と腹部のセンサーの値

## MYO とビデオ映像

加藤氏は「音を吹き終わったらすぐにスライドを動かす。吹き終わりとはほぼ同時か、イメージ上は吹き終わる少し前だけど、実際に吹き終わる前にスライドを動かしてしまうと、間の音が入ってしまう。」と述べていた。そこで、Myo で取得した右腕のスライド操作時の筋電位を見てみると、スライドを動かす前は一切力が入っていなかったが、音が終わる直前で筋電位が一瞬発生し、腕が動き終わりスライドが次のポジションに移るとともに筋電位は収束していった (3.26)。

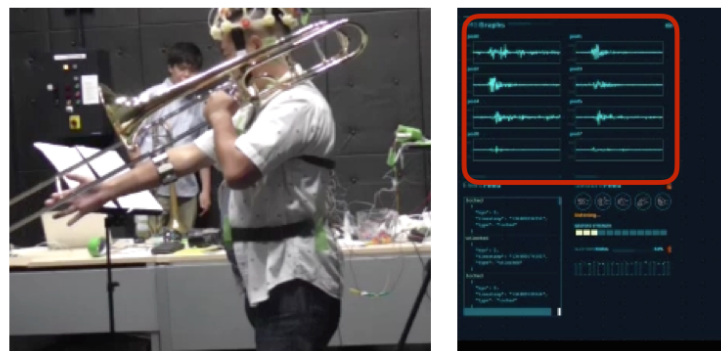


図 3.26: スライド操作時の MYO とビデオ映像



## 口輪筋の筋電位とビデオ映像

加藤氏は「トロンボーンの音色や響きはアパチュアに大きく左右される。中高生でもアパチュアの形がおかしなことになっている子ほど指導するとすぐに音が良くなる」と述べていた。実際に、良いアパチュアと悪いアパチュアでどれだけ楽器の音色が変わるかを吹き分けて表現していた。この際に、アパチュアを構成するアンブシュアの動きを筋電位センサーで計測したところ、低い音になればなるほど下顎付近に配意した電極の筋電位が大きくなっていった。ビデオ映像と合わせて見てみると、加藤氏の下顎は低音になるにつれて下に動いていることがわかった(3.26)。

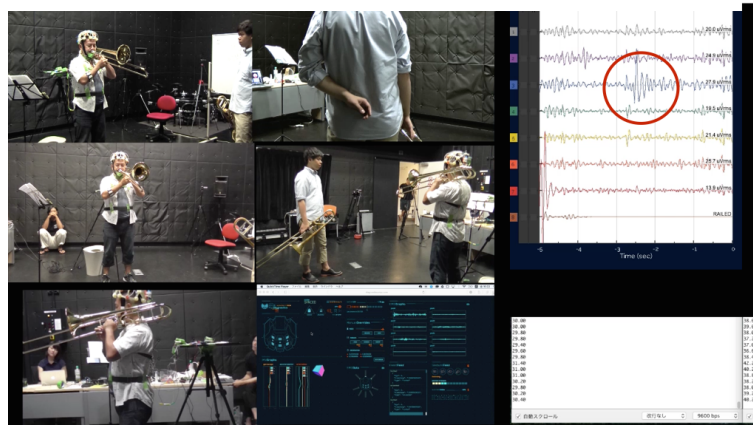


図 3.27: 低音吹鳴時の口輪筋の筋電位とビデオ映像

## その他のビデオ映像

センサーデータ以外にも通常の民族誌では見落としてしまう細かな点を複数のカメラによる多角映像によって解釈した。正面のカメラを映すカメラからは、トロンボーン演奏時の加藤氏は足を肩幅ほど開いて体重をストンと下に向かって落とし、リラックスしていた。また、側面を映す定点カメラから加藤氏の演奏を観察すると、スライドを動かすたびに上半身が若干揺れ動いていた。しかし、トロンボーン本体を支える加藤氏の左手は常にVの字に固定されており、構えが崩れ

ることはなかった。さらに、身体の揺れ動きも丹田を中心とした上半身のみで下半身はしっかりと固定されていた。

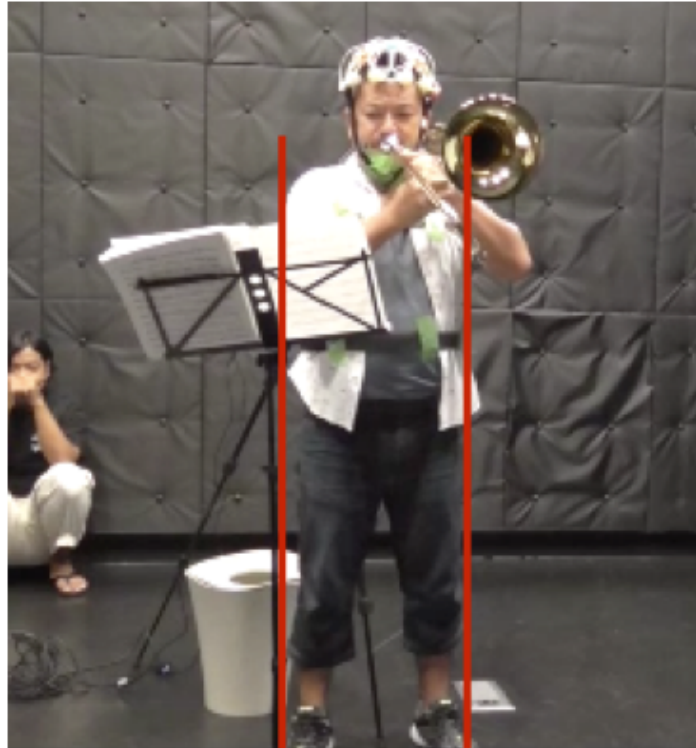


図 3.28: 演奏時に肩幅ほどに足を開きリラックスして演奏する加藤氏

### 豊かに響く音を出すための身体運動

センサーによって取得したデータと動画を分析し、豊かに響く音を出すための身体運動の抽出を行った。

#### <身体運動>

- ・トロンボーン本体を支える左手は常にVの字に固定されている
- ・吸気時に自分が吸える最大限までに息を吸い、肺の動きにより腹部と胸部が引き伸ばされる
- ・吸気と呼気の際に唇の左右両端部と下端部に力を入れアンブシュアを形成する

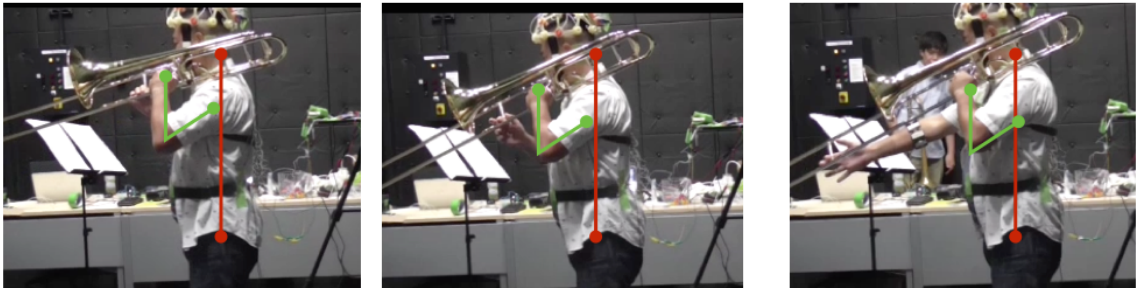


図 3.29: 演奏時の加藤氏のトロンボーンの構えと姿勢

- ・低音になればなるほど下顎が下に引き伸ばされていく
- ・身体の重心は丹田にあり、そこを重心にして身体を微妙に動かす
- ・スライドを動かす時は動かす前に一瞬だけ力を入れる
- ・スライドが次のポジションに移るとともに右腕の力を抜く
- ・呼気時には力が胸部に入らない限界まで息を吐く

## 我流トロンボーン奏者に対する Ethnography of Embodied Cognition

2016年9月2日にKMDスタジオにて、加藤氏に対する Ethnography of Embodied Cognition のあと、我流トロンボーン奏者の私自身を対象に Ethnography of Embodied Cognition を実施した。私自身、趣味としてトロンボーンを演奏しており、個人レッスンは受けたことはあるが、音楽学校などで専門教育を受けたわけではなく、また、半年以上楽器に触れておらず豊かな音を出すことが現在できないため、今回の民族誌調査の対象として自身を選んだ。今回の調査では、加藤氏の口頭指導(言語化されたメンタルモデル)によって豊かに響く音の出し方を体得していく中でどのように私の身体運動が変化していくかを測定する。そして、プロトロンボーン奏者の加藤氏の身体運動との差を観察し、身体運動の重要な要素を検討する。今回の私自身への Ethnography of Embodied Cognition は、プロトロンボーンプレイヤーに対する Ethnography of Embodied Cognition で加藤氏に行っ

たものと全く同様のセンサーとカメラのセッティングで実施した。Ethnography of Embodied Cognition は、センサーデータを PC 上に描画したものを、動画として保存し、ビデオカメラの動画と Adobe Premier を使用して、1 つの動画として統合した。この動画をもとにプロトロンボンプレイヤーの加藤氏の身体運動との差を観察し、身体運動の重要な要素を検討した。レッスンの終盤で私はレッスン前に比べると豊かな響きのある音を出せるようになっており、加藤氏が豊かに響く音を生み出す身体の動きに近づいたことが観察結果からわかった。レッスン序盤、私の胸部や腹部は十分に動いておらず、加藤氏からも「肺が全然稼働していない」という指摘を受けていた (図 3.32)。その後、加藤氏による呼吸法の指導、マウスピースによるバズイング練習によって、加藤氏ほどのダイナミックな動きは無いまでも、レッスン序盤に比べると私の胸部腹部の動きは大きくなった (図 3.33。これは加藤氏と同様に吸気時に横隔膜が下降し、肺が上下に膨らんだためそれに伴い腹部と胸部の筋肉が引き伸ばされたと解釈できる。その他の身体運動に関しては加藤氏と共通する部分が多いことがわかった。例えば、スライドを動かす時は動かす前に一瞬だけ力を入れる、吸気と呼気の際に唇の左右両端部と下端部に力を入れアンブシュアを形成するといった身体運動は加藤氏と比べても遜色はなかった。このことから、加藤氏と私の間には呼吸時の身体運動の差があり、加藤氏の呼吸の指導によって私の音が豊かな響きのある音に変化したことがわかった。

### 3.4. 豊かな響きのある音を生み出すための身体性認知の仕組み

2 つの民族誌と 2 つの深い民族誌の分析結果を用いて、豊かな響きのある音という物理現象を生み出すためのメンタルモデル・身体運動を解釈し、整理した。豊かな響きのある音を生み出すための身体の動きは、大きく分けると 3 つの要素がある。「吸気時に自分が吸える最大限までに息を吸い、肺の動きにより腹部と胸部が引き伸ばされる」、「吸気と呼気の際に唇の左右両端部と下端部に力を入れアンブシュアを形成する」、「呼気時には力が胸部に入らない限界まで息を吐く」であ

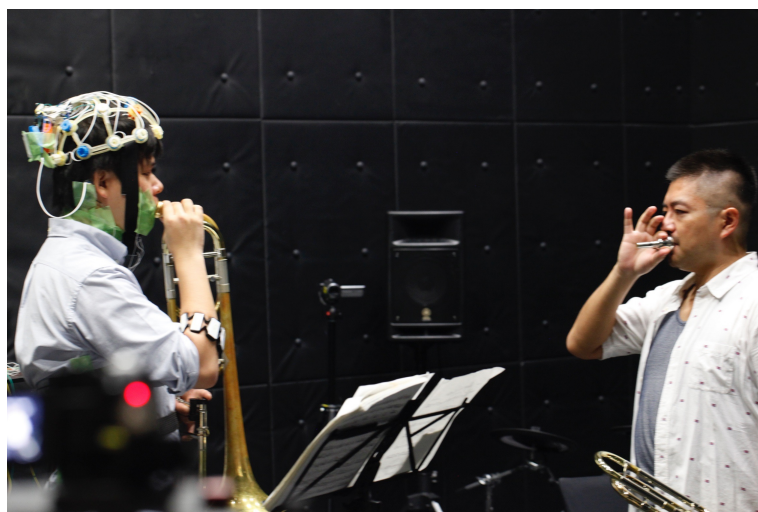


図 3.30: 我流トロンボーン奏者に対する Ethnography of Embodied Cognition

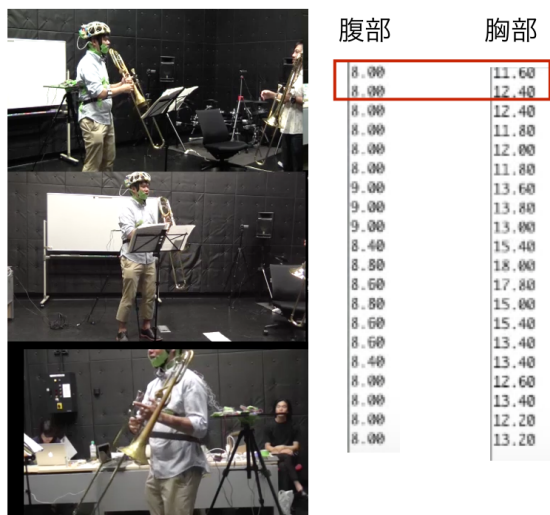


図 3.31: 我流トロンボーン奏者の通常時の胸部と腹部のセンサーの値

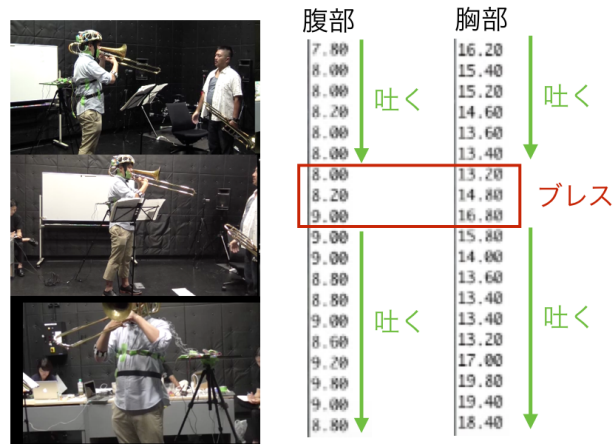


図 3.32: 我流トロンボーン奏者の吸気時の胸部と腹部のセンサーの値

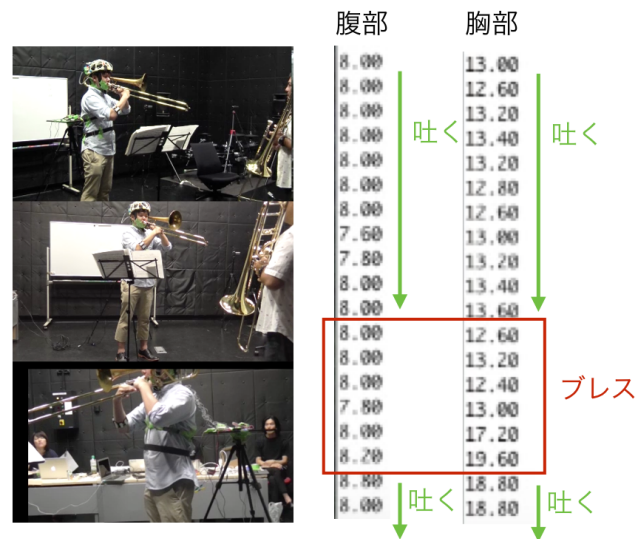


図 3.33: レッスンにより認知と身体がカップリングした我流トロンボーン奏者の吸気時の胸部と腹部のセンサーの値

る。この身体運動に対して、メンタルモデルのカップリングが行われ、物理現象として豊かな響きのある音が生み出される。身体性認知の概念に即して、物理現象、メンタルモデル、身体運動に分けて整理すると以下のようなになる。

<物理現象>

- ・倍音成分が含まれた豊かな響きのある音が出る

<メンタルモデル>

- ・楽器を持つと肩幅ほどに足を開く
- ・楽器を構えると体の力を抜く
- ・楽器を構えると出す音をイメージする
- ・楽器を構えるとたっぷりと息を吸う
- ・息を吸うとアンブシュアを作る
- ・アンブシュアを作ると楽器に向けて直線的に息を吹く
- ・うまくいかない際になぜがうまくいかなかったか判断する
- ・うまくいったとき際になぜうまくいったか判断できる

<身体運動>

- ・トロンボーン本体を支える左手は常にVの字に固定されている
- ・吸気時に自分が吸える最大限までに息を吸い、肺の動きにより腹部と胸部が引き伸ばされる
- ・吸気と呼気の際に唇の左右両端部と下端部に力を入れアンブシュアを形成する
- ・低音になればなるほど下顎が下に引き伸ばされていく
- ・身体の重心は丹田にあり、そこを重心にして身体を微妙に動かす
- ・スライドを動かす時は動かす前に一瞬だけ力を入れる
- ・スライドが次のポジションに移るとともに右腕の力を抜く
- ・呼気時には力が胸部に入らない限界まで息を吐く

## 3.5. 「Mirror tone」の設計と仕様

### ペルソナ

民族誌の調査結果を踏まえて詳細な「Mirror tone」の設計を行うにあたり、まずターゲットペルソナを作成した。ターゲットペルソナとは、民族誌調査により集めたデータから作られた仮想のユーザーモデルである。ターゲットペルソナを立てることによって、ユーザーがどのように考え、どのように行動し、何を達成したいと考えているのか、デザインに反映させることが可能とされている(奥出直人 2007)。本研究では、3人のターゲットペルソナを設定した。一人目は「Mirror tone」を使用して豊かに響く音を体得する我流トロンボーン奏者<sup>17</sup>、二人目は「MirrorTone」の動画に登場するプロトロンボーン奏者<sup>18</sup>、そして三人目は「MirrorTone」のサービスを構築し、供給するサービスプロバイダーである<sup>19</sup>。

**TARGET PERSONA**



稲葉 広樹(22)  
木村 正和(22)

東京都出身  
東京都在住  
大学生  
(アマチュアTrb奏者)

**我流トロンボーン奏者**

**【Personal Profile】**  
一絡の吹奏楽サークルに所属。2人は同期で同じトロンボーンパート。我流でトロンボーンを学んできた。

**【Working Profile】**  
大学に通いながら週2、3でアルバイトをして小遣いを稼いでいる。

**【Mental Model】**

見ると → 指示を待つ 教える      聞くと → 答える 指示に従って演奏する 確認する

**【Goal】**

- ・基礎練習を楽しくやりたい
- ・トロンボーンの豊かな響きを出せるになりたい
- ・自分の音で聞いてくれる人に感動してもらいたい

図 3.34: 我流トロンボーン奏者のターゲットペルソナ

17 [http://www.apollonmusic.com/school/ms\\_class/316/](http://www.apollonmusic.com/school/ms_class/316/)

18 [http://jp.yamaha.com/products/musical-instruments/winds/z\\_express/z\\_artist\\_bank/trombones/eijiro\\_nakagaw](http://jp.yamaha.com/products/musical-instruments/winds/z_express/z_artist_bank/trombones/eijiro_nakagaw)

19 <http://www.joybrass.co.jp/staff.htm>



## TARGET PERSONA プロトロンボーン奏者



### 【Personal Profile】

父は有名トランペット奏者で、幼い頃から楽器に触れてきた。音楽家になるため高校から音楽留学をしていた。

### 【Working Profile】

日米で活躍する日本人トップのトロンボーンプレイヤー。レッスン代は高いが、それに見合うレベルアップが確実に得られる。

### 【Mental Model】

見ると → 正しく吸って正しく吐く  
体の力を抜く  
楽譜をさらう  
実演してみせる  
見つける  
質問する  
例える  
手でイメージを伝える

聞くと → マウスピースの練習に立ち返らせる  
褒める  
もう一度やらせる

中川英一郎(42)

東京都出身  
東京都在住  
プロトロンボーン奏者

### 【Goal】

- ・もっと良い音楽教育のやり方を追求したい
- ・素晴らしいトロンボーンの演奏を提供したい
- ・トロンボーンという楽器の良さを多くの人に知ってほしい

図 3.35: プロトロンボーン奏者のターゲットペルソナ

## TARGET PERSONA サービス提供者



### 【Personal Profile】

中学で吹奏楽部に入り、現在も趣味でサクスをやっている。既婚。2人の子供がいる。

### 【Working Profile】

大手メーカーで勤務していたが、音楽への情熱が忘れられず起業。今までの自分の知見をもとに新しい音楽教育のプロダクトを製作した。

### 【Mental Model】

見ると → 伝える  
売る  
説明する

聞くと → 答える

吉野修造(45)

東京都出身  
東京都在住  
音楽会社経営者

### 【Goal】

- 音楽業界の教育のあり方を根本から変えたい。
- 新しい市場を作って利益を得たい。

図 3.36: サービスプロバイダーのターゲットペルソナ

### コンセプトスケッチ

設定したペルソナと合わせてコンセプトのの全体図をイラストで描き、モデルを作成した。「MirrorTone」を構成する要素はプロトロンボン奏者の口頭説明と練習の実演が入ったレッスン動画、ユーザーの身体運動をチェックするウェアラブルセンサーとカメラ、物理現象である倍音成分を可視化するスペクトラムアナライザー、そしてそれを映し出す画面である。まず、「MirrorTone」を製作するために、サービスプロバイダーはウェアラブルセンサーを装着したプロトロンボン奏者のレクチャーをレコーディングし、口頭指導と実演、パラメーターが入った「MirrorTone」の動画を製作し、それを配信する。その後、我流のトロンボン奏者たちは練習する際に、購入した「MirrorTone」を使用して練習を行う、まず2人1組になり、1人がウェアラブルセンサーをつけ、プロトロンボン奏者の口頭指導と練習フローに沿って練習を行う。もう一人は画面を見ながら口頭指導とセンサーの値の変化をチェックし、メンタルモデルと身体運動の一致が起きていない場合、練習役その内容を伝える。また、動画の再生や巻き戻しもチェック役が行う。このように2人で練習フローを行き来しながらチェックを行い、最終的には豊かに響く音を生み出すメンタルモデルと身体運動の一致をトロンボン演奏時にできるようにすることがゴールになる。

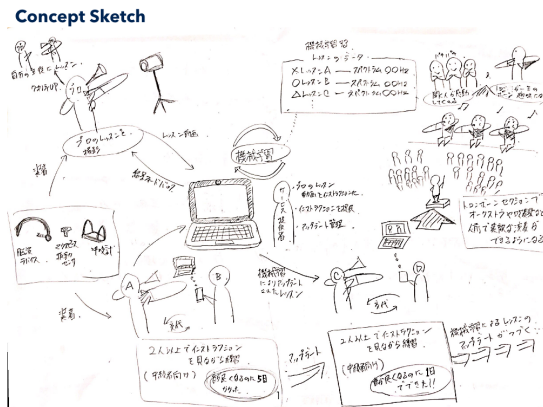


図 3.37: コンセプトスケッチ 1

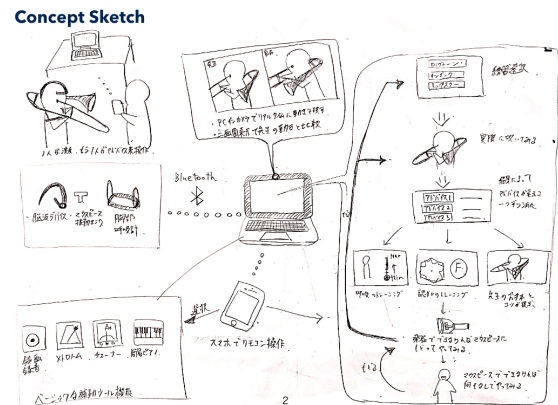


図 3.38: コンセプトスケッチ 2

## ユースケース

「Mirror tone」の構成の詳細を決めるために、ターゲットペルソナをもとにユースケースを書き出した3.39。まず、「MirrorTone」のサービスプロバイダーはプロトロンボーン奏者の身体パラメーターと口頭指導、実演が入った動画を製作する必要がある。そのため、最初にプロトロンボーン奏者を呼び、実際にウェアラブルセンサーをつけてもらいながら、レッスンをしてもらい、そのシーンを撮影する。撮影したレッスンとウェアラブルセンサーから取得したデータをもとにサービスプロバイダーは「MirrorTone」の動画を製作し、配信する。次に「MirrorTone」のユーザーである我流トロンボーン奏者は「MirrorTone」を購入し、練習場にて「MirrorTone」を使用する。使用に際しては、まず演奏役とチェック役に別れる。練習役はウェアラブルセンサーを装着し、動画を介したプロのレッスンに沿って練習を進める。それに対して、チェック役は演奏役の身体と倍音のパラメーターの値をチェックしながら練習時の修正点を演奏役に伝える。練習がうまくいかない時はすでにクリアした練習に動画に巻き戻すといった操作を行うのもチェック役の役目である。

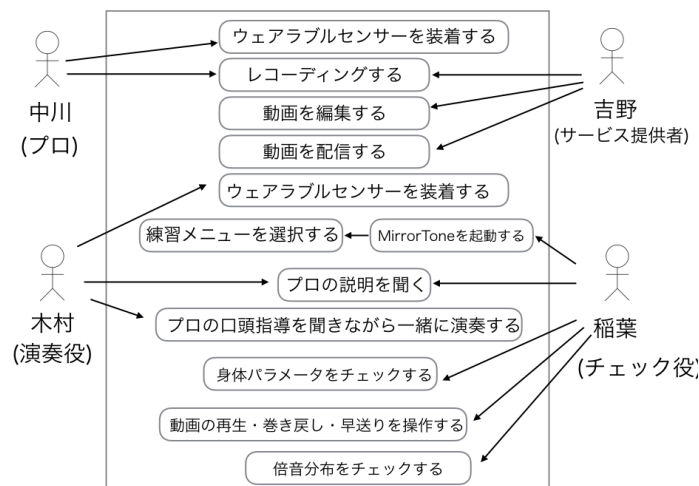


図 3.39: 「MirrorTone」のユースケース

## ストーリーの製作

ユースケースの決定後、より詳細な使い方や、その際のユーザーの体験や動機の確認のため、ユーザーについてのストーリーを製作した。

## ストーリー

稲葉と木村は同じ慶應吹奏楽部に所属する同期だ。2人ともトロンボーンを担当している。毎年年末に定期演奏会があり、週3回授業の後に練習に励んでいる。稲葉は結構トロンボーンオタクで毎日ホームページで楽器やマウスピースなどのアクセサリを検索している。楽器屋に行って何やら変なものを買うこともしばしばあり、木村はそんな稲葉に少し呆れていた。木村はどちらかという道具に頼るのではなく、どんな道具でも奏者の実力でなんとかかなると思うタイプだ。ある日、木村が先に部屋で練習していると稲葉が入っていた。

稲葉「木村、これ一緒に使ってみようぜ。」

木村「なんだ？また楽器屋で怪しいもん買ったのかよ

稲葉「そうじゃないって。でも今回はマウスピースとかじゃないんだよ。きつとお前も気に入るはずだぜ。」

すると稲葉は何やら見慣れない装置みたいなものを取り出した。

木村「なんだそれ？」

稲葉「最近発売した MirrorTone というやつ。なんかちょっとやったけどマウスピースとか買うより全然効果あるんだよ。」

木村「へえー、どうやんの？」

木村はまだこの道具への不信感をぬぐえないが、効果があると言われて試したくなってきた。

稲葉「じゃあ、木村、これつけて」

そう言われると木村は稲葉に言われるままにウェアラブルセンサーを身体につけた。

木村「楽器じゃなくて自分の体につけるのか。確かに今までと違うな」

稲葉「そうそう、呼吸の動きとか見られるみたいね。オッケー、装着完了したな。結構簡単に着れるだろ」

装着自体は結構簡単に完了し、演奏にもそこまで影響がもなさそうだった。

木村「そうしたら、まずどうすればいい？」

稲葉「待って、今アプリを起動するから。」

すると稲葉はパソコンを取り出し、MirrorToneのアプリを起動しパソコンを机の上に置いた。

稲葉「オッケー、準備完了。じゃあまず音出しから始めようか。」

木村は言われるがままに5分ほど音出しを行った。

稲葉「じゃあいつも通りロングトーンから行こう。」

木村「オッケーじゃあいつも通りやるよ」

木村はいつも通りC音階で8拍のロングトーンを行った。ロングトーンが終わるとケータイアプリの画面が変わり、「説明を聞く」と「一緒に練習する」の2つの表示が現れた。今回は初めてだったので「説明を聞く」を選択すると、PCの画面が切り替わり、先生が説明を動画内で始めた。

木村「うわ、すげえ中川英一朗じゃん！」

中川「ロングトーンのコツは…」

中川英一郎といえばトロンボーン界でカリスマ的存在で、木村ももちろん彼の名を知っていた。動画とはいえ、中川英一郎からレッスンをしてもらえるのはかなりテンションがあがる。

木村「なるほど、全然ロングトーンでそんなことを意識していなかったわ。」

稲葉「お手本見る？」

木村「見る見る！」

稲葉が最初に部屋に入ってきた時と木村のテンションが全然変わっていた。2画面表示で中川プロと隣で自分が吹いていてまるで木村と一緒に吹いているみたいに感じた。ただ、画面の左下に呼吸のパラメーターが付いており、中川プロと自分の見えない身体運動の違いが視覚情報で見ることができた。たくさん吸って吐き切るといっても、どのくらい吸ってどのくらい吐ききればいいのかまでわからない。しかし、この数字と一緒に提示されることでその意味がより詳細に理解できた。

稲葉「なんかわかった？」

木村「すげえわかったかも。ちょっとやってみてもいい？」

稲葉「オッケー。じゃあ先生の動画と一緒にやってみよう」

2画面のままメトロノームがなり、1つの画面には先生が、もう一つの画面にはリアルタイムの木村が映し出された。メトロノームの余拍で2人は同時に呼吸の練習を始めた。パソコン上の2人の変化を稲葉はじっと見つめる。すると、木村のプレスが先生に比べて遅く、全然吸えていないことがわかった。身体パラメータを見ても木村の呼吸の量は吸えていないことは明らかにわかった。

稲葉「木村、先生と比べて全然息吸えてないし、吸うのも遅いからプレスの練習もういっかいやろう。この部分が吸えてないみたいよ」

木村「オッケー。」

稲葉「じゃあこれ楽器使わないからちょっと横に置いて、画面の前に来て。」

稲葉はまた「説明を見る」をクリックし、中川プロのレッスンが始まった。  
中川プロ「息をこの手に合わせて吸って …」

とその動画に言われる通り息をする木村、やはりその際に先生の言葉の裏に隠れている身体運動と一緒にあってどのくらい吸うのかが視覚的にフィードバックされて言葉では表せない理解が木村の中に生まれた。すると明らかに木村の呼吸する量が増え、先生の息の変化と数字上で同期していく。どうやらコツをつかんだようだ。

呼吸のレッスンが終わると画面にはマウスピースでの練習が提示された。マウスピースの練習でも木村は問題なく先ほどの呼吸をキープできていた。そしてついに楽器を使って練習をするフェーズに入る。

木村「やっとなんかで吹けるのかー」

稲葉「お、はじまるぞ」

木村はいつも通り息を吸い、ロングトーンを吹いた。しかし、楽器の練習になった途端、木村の呼吸はまた浅くなってしまった。それと同時にあまり倍音も含まれていない音だということがスペクトラムアナライザーから明らかになっていた。それに気づいた稲葉は木村に具体的に吸えていない箇所を伝えて、再度呼吸の練習に戻るよう勧めた。やはり、呼吸だけの練習ならば問題なく深く息を吸えていることが、身体のパラメーターからわかる。

稲葉「木村、今と同じ呼吸で楽器吹いてみろよ。姿勢が悪そうだから、先生の真似した方がいいんじゃないか。先生はそんなに動いてないぞ」

と、稲葉は木村にアドバイスを送った。木村も言われるがままに、姿勢を確認し、先ほどと同じように呼吸をしてロングトーンを何度かしてみた。すると徐々に音

に力みが抜けて倍音成分も多くなっていることがわかった。

木村「いまどんなかんじ？」

稲葉「今かなりいいよ！この調子で行こう！」

木村と稲葉は年末の本番までミラートーンを使い続けた。もちろん、本番ではミラートーンは使えないが、普段からミラートーンで練習していれば感覚が失われることもなかった。もし忙しくて練習ができなくて感覚が失われても、ミラートーンを使えばすぐに回復することができた。

## 設計

ペルソナ、ユースケース、ストーリーを踏まえて、「Mirror tone」の設計を行った。「Mirror tone」の設計はウェアラブルセンサー、表示パラメーター、内蔵カメラ、動画による練習コンテンツ、そしてそれを映し出す画面によって構成される。

### ウェアラブルセンサー

図 3.40 は「Mirror tone」で使用するウェアラブルセンサーを示したものである。今回ウェアラブルセンサーには Ethnography of Embodied Cognition でも使用した Adafruit 社の Conductive Rubber Cord Stretch Sensor と Arduino Uno を用いた。Ethnography of Embodied Cognition では 2 本のストレッチセンサーで腹部と胸部の 2 箇所をセンシングしたが、「MirrorTone」の設計においてはセンシングする箇所をさらに細分化し、前胸部、後胸部、前腹部、後腹部そして呼吸時に動きが生じる頸部の筋肉の動きを測定し、センサーの取得情報を Processing を用いて線形で描画を行った。また、センサーは取り付ける人の体格によって取り付ける位置が変わるため、位置を調整できるようにに図のように Conductive Rubber Cord Stretch Sensor にマジックテープを取りつけた。ユーザーはベルクロ素材のスーツを着用し、このマジックテープ付きのセンサーを貼るだけでセンサーの設置が完了する。



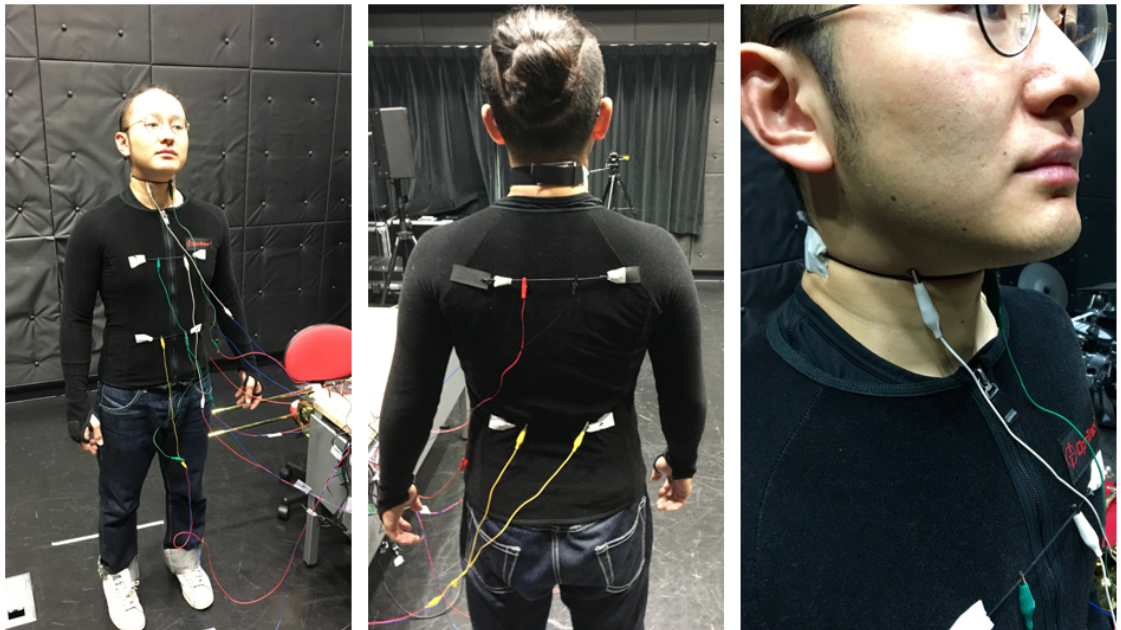


図 3.40: 装着時のウェアラブルセンサー

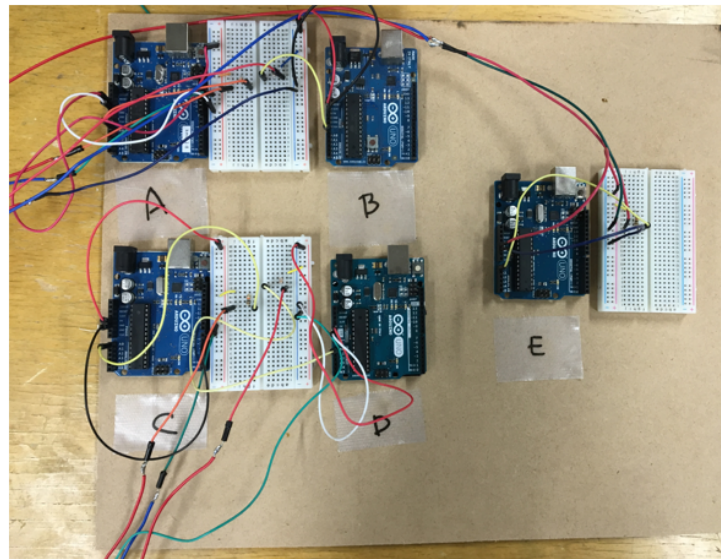


図 3.41: Arduino Uno で製作した回路

## 表示パラメーター

図はウェアラブルセンサーによって測定した身体パラメータと、物理現象としての倍音成分を表示したパラメーターである。倍音成分は Music Paradise 社のスペクトラムアナライザーアプリケーション<sup>20</sup>を用いて描画を行った。

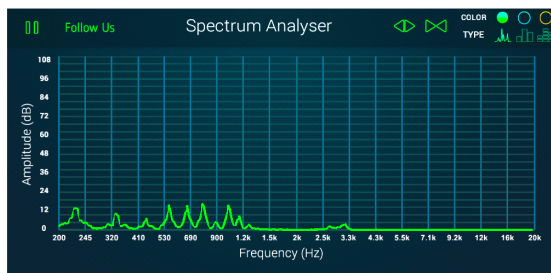


図 3.42: スペクトラムアナライザーで表示された倍音分布

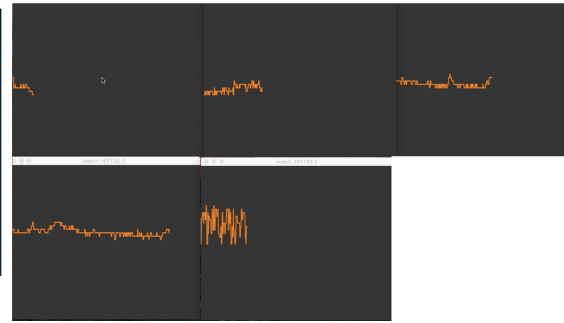


図 3.43: 描画された5つのセンサーの値

## 内蔵カメラ

「Mirror tone」は演奏時の自分の姿をデスクトップ内に映し出し鏡のように見ることができる。映し出された自身の演奏時の姿とプロトロンボーン奏者の姿を比較することで姿勢や動きを修正することができる。自身の姿はデスクトップ内の内蔵カメラを用いて画面の中にリアルタイムで映し出される。今回は MacBook Air 13 インチに搭載されている内蔵カメラと Apple が開発している撮影ソフトウェア「Photo Booth」<sup>21</sup>を用いてユーザーである我流トロンボーン奏者の姿を画面の中に映す。

20 <http://musicparadise.mobi>

21 <http://www.apple.com/ca/macOS/what-is/#photobooth>

### 動画による練習コンテンツとフロー

民族誌調査でもお世話になったプロトロンボーンプレイヤーの加藤氏に再度協力いただき、「Mirror tone」で使う動画を撮影を行った。加藤氏にはウェアラブルセンサーを装着してもらい、カメラに向かって齋藤氏の時と同様の内容のレッスンをしていただいた。撮影はスムーズに行えるように、あらかじめ民族誌調査で行っていたレッスンをもと作成したストーリーボードを作成し、加藤氏に事前に内容を伝えておいた。今回カメラは正面と側面の二つの角度から撮影することで、身体の動きを多角的に見れるようにした。練習内容は大きく分けてロングトーン、リップスラー、タンギングによって構成されている。この3つの練習はプロトロンボーンプレイヤーである加藤氏の民族誌調査を実施した際、加藤氏が我流トロンボーン奏者である齋藤氏に対して豊かに響く音を出すために用意した練習をもとに設計を行った。また、ロングトーン、リップスラー、タンギングそれぞれの練習に対してさらに3つの練習を設定した。その3つの練習とはトロンボーンを使った練習、マウスピースを使った練習、何も使わないで行う呼吸の練習である。この3つの練習も同様に加藤氏が我流トロンボーン奏者である齋藤氏に対して豊かに響く音を出すために用意した練習をもとに設計を行っている。また、練習フローは説明フェーズと実践フェーズに分かれている。まず説明フェーズではその練習の内容、練習をやる理由、練習のメカニズム、良い例と悪い例、比喩、その練習で注意すべきポイントとコツを説明する。この際、口頭でのレッスンが中心となるため、プロトロンボーンプレイヤー加藤氏の動画は正面映像のみを映し出し、その隣には加藤氏が口頭で述べた練習テーマやポイントが図3.44,3.45のように映し出される。

これは Andy Clark が主張する言語を用いた外的な足場作りによってユーザーである我流トロンボーン奏者の行為をコントロールし、認知的負荷を減らす目的がある (Clark 1997)。テトリスの達人が「中央に集めずに、なるべく表層を平らに保つ」というようにコツを言語化してゲームをプレイすることで行為をコントロールしている (Maglio 1992) のと同様に、説明フェーズでは加藤氏の言葉を生かしながら言語化された練習のコツを動画の中に映し出した。その後、実践フェーズへと移り、豊かな響く音を作るための練習を順番に行っていく。加藤氏のレッスン

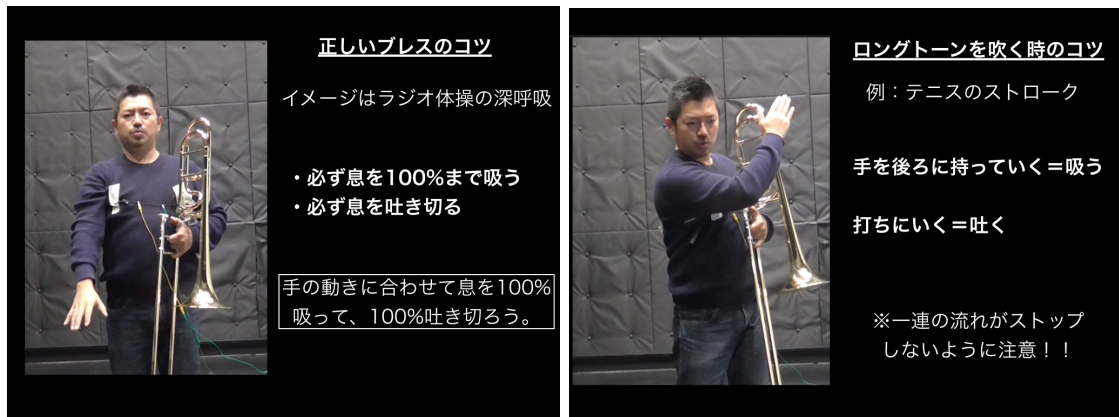


図 3.44: 説明フェーズの動画 (正しいブレスのコツ) 図 3.45: 説明フェーズの動画 (ロングトーンを吹く時のコツ)

では豊かな響く音を作るために呼吸の練習、マウスピースの練習、そして最終的に楽器の練習へ移行していく構成になっていた。「MirrorTone」の実践フェーズの練習フローもこれを参考にし、同様の構成で設計を行った。今回、撮影中にセンサーの不具合が生じたため実践フェーズでは加藤氏の動画は使用せず、再度撮影を別日に撮り直した。加藤氏の予定がつかなかったため、実践フェーズは同じくプロトロンボーン奏者である岡田大和氏<sup>22</sup>に撮影を依頼した。この実践フェーズではデスクトップの画面上にプロトロンボーン奏者の側面と正面の動画、プロトロンボーン奏者とユーザーである我流トロンボーン奏者のセンサーパラメーター、我流トロンボーン奏者の倍音パラメーター、内蔵カメラによるカメラによる我流トロンボーン奏者のリアルタイム映像が映し出され、それと共にプロトロンボーン奏者のレッスン時の音声とトロンボーンの音がデスクトップの内蔵スピーカーから流れる。そして、我流トロンボーン奏者は動画内のプロトロンボーン奏者の指示に従って練習を行う。この際に、もう一人の演奏していない我流トロンボーン奏者が動画内のプロと練習者の身体動作の違いをパラメータと映像を見ながら比較し、チェックを行う。もし、練習時に動いていない筋肉や姿勢の偏りがあれば再度その練習を行い、身体運動を修正していく。このように我流トロンボーン奏

22 <http://bass8bone8.wixsite.com/myway/about>

者は一つ一つ動画の練習をクリアしていくことで最終的に豊かに響く音を獲得できるようにする。図3.46と図3.47に「MirrorTone」の説明フェーズと実践フェーズの内容をまとめた。

### <説明フェーズ>

	イメージ	シーン	説明		イメージ	シーン	説明
1		導入	トロンボーン演奏者の加藤です。よろしくお願ひします。 ロングトーンレッスンを始めたいと思います。	7		リップスラーとは？ なぜリップスラーやるか？	リップスラーの定義を説明。 なぜリップスラーが必要なのか説明。
2		ロングトーンとは？ なぜロングトーンをやるか？	ロングトーンはウォームアップからトレーニングか？ ロングトーンの定義を説明。 ロングトーンはプレスコントロールの練習という説明。 なぜロングトーンが必要なのか説明。	8		リップスラーの メカニズムを説明する	リップスラーの仕組みを説明する。
3		ロングトーンの メカニズムを説明する	楽器による仕組みとロングトーンの仕組みを説明する。	9		リップスラーの 悪い例と良い例を吹く	実際に良くある悪い例と、お手本となる良い例を吹く。
4		ロングトーンの 悪い例と良い例を吹く	実際に良くある悪い例と、お手本となる良い例を吹く。	10		リップスラーを 他の物に例える (ゴルフ、料理など)	ゴルフのスイングやお味噌汁の作り方にリップスラーを 例えて説明する。
5		ロングトーンを 他の物に例える (ゴルフ、料理など)	ゴルフのスイングやお味噌汁の作り方にロングトーンを 例えて説明する。	11		リップスラーで注意すべき ポイント・コツを説明	リップスラーを練習する上で重要なポイントとそれを 実行するコツを説明する。
6		ロングトーンで注意すべき ポイント・コツを説明	ロングトーンを練習する上で重要なポイントとそれを 実行するコツを説明する。				

	イメージ	シーン	説明
12		タンギングとは？ なぜタンギングやるか？	タンギングの定義を説明。 なぜタンギングが必要なのか説明。
13		タンギングの メカニズムを説明する	タンギングの仕組みを説明する。
14		発音の種類を吹き分ける	ノーズ、スタッカート、テナー、アクセントを それぞれ吹き分けて説明する。
15		タンギングの 悪い例と良い例を吹く	実際に良くある悪い例と、お手本となる良い例を吹く。
16		タンギングを 他の物に例える (ゴルフ、料理など)	ゴルフのスイングやお味噌汁の作り方にリップスラーを 例えて説明する。
17		タンギングで注意すべき ポイント・コツを説明	タンギングを練習する上で重要なポイントとそれを 実行するコツを説明する。

図 3.46: ロングトーン、リップスラー、タンギングの説明フェーズの内容

### 「MirrorTone」で扱う音声

「MirrorTone」で扱う音声はプロトロンボーン奏者の口頭指導とトロンボーンの音、そしてメトロノーム音の3つである。これらは全てユーザーが所有するパー

### <実践フェーズ>

	イメージ	シーン	説明		イメージ	シーン	説明
18		一緒にプレスをする (4拍吹く、4拍吐く)	・手を上下に合わせて4拍吹く。 ・メトロノームに合わせて4セット。 ・コツ・注意点を言う。	24		B→Fの移り変わりを MPでやる (バンドの練習)	・チューニングBbからFまでグリッサンド気味に 下るリップスラーを実演する。(F→Bbも) ・コツ・注意点を言う。 ・やってみるように指示する。
19		一緒にプレスをする (1拍吹く、4拍吐く)	・手を上下に合わせて1拍吹く。 ・メトロノームに合わせて4セット。 ・コツ・注意点を言う。	25		B→Fの移り変わりを 楽器でやる (バンドの練習)	・チューニングBbからFまでグリッサンド気味に 下るリップスラーを実演する。(F→Bbも) ・コツ・注意点を言う。 ・やってみるように指示する。
20		マウスピースなしの パズリングの練習をする	・マウスピースのバズィングでマウスピース自体を 動かせるように指示する。 ・4拍交代で行う。 ・コツ・注意点を言う。	26		B→F→B→Fのリップスラー をマウスピースでやる	・B→F→B→FのLSを4セット行う ・コツ・注意点を言う。 ・やってみるように指示する。
21		交互にマウスピース を替かせる練習をする	・アバチュアの形を説明する。 ・4拍交代で行う。 ・コツ・注意点を言う。	27		B→F→B→Fのリップスラー を楽器でやる	・B→F→B→FのLSを7ポジションまで吹く ・コツ・注意点を言う。 ・やってみるように指示する。
22		メトロノームのリズム に乗ってロングトーンする (メトロノームテンポ120)	・手を上下に合わせて1拍吹く。 ・メトロノームに合わせて4セット。 ・コツ・注意点を言う。 ・最後に同じように楽器で吹いてみる。				
23		メトロノームのリズム に乗ってロングトーンをする (メトロノームテンポ60)	・手を上下に合わせて1拍吹く。 ・メトロノームに合わせて4セット。 ・コツ・注意点を言う。 ・最後に同じように楽器で吹いてみる。				

#### ロングトーン

#### リップスラー

	イメージ	シーン	説明
28		カタカナと手の動きで 音を表現する	・ホワイトボードでそれぞれのシラブルをカタカナで 説明する。 ・実演してそれぞれ表現する。 ・それぞれコツ・注意点を言う。 ・やってみるように指示する。
29		楽器とマウスピース なしでタンギングしてみる	・実演してそれぞれ表現する。 ・それぞれコツ・注意点を言う。 ・やってみるように指示する。
27		タンギングをマウスピースでやる	・アバチュアの形を説明する。 ・ノーマル、テヌート、スタッカート、アクセントで行う。 ・コツ・注意点を言う。
28		タンギングを楽器を使ってやる	・ノーマル、テヌート、スタッカート、アクセントで行う。 ・コツ・注意点を言う。

#### タンギング

図 3.47: ロングトーン、リップスラー、タンギングの実践フェーズの内容

ソナルコンピューターのスピーカーを通して流れる。プロトロンボーン奏者の口頭指導は言語化された認知を表している。そのため、チェック役となる人は、この口頭指導と身体パラメーターの一致がプロ奏者はどのように起きているか、もしくは我流奏者はどのように一致していないかをチェックするかがポイントである。レッスン録画時のプロ奏者のトロンボーンの音は今回あえて加工せずそのまま使用した。その理由は、今回PCから出る音が果たす役割は実践フェーズでの音程の手がかりになることと、音のスタートと終わりがわかることだけだからである。音を加工したり、マイクで音を別取りすることで音程や音が始まるタイミングがずれることがあるため、今回は特に音声データには手を加えていない。また、動画のプロトロンボーン奏者とユーザーである我流トロンボーン奏者の吹くタイミングを合わせるため、メトロノームをつけて撮影を行った。そのため、動画の中にはメトロノームの電子音が含まれている。電子メトロノーム音はKORG社のコルトシア<sup>23</sup>に備わっているメトロノーム機能をiphone 6Sのスピーカーを通じて流し、PanasonicのHDC-HS300ビデオカメラ<sup>24</sup>を使って録音した。

### 「MirrorTone」の画面

「MirrorTone」の画面はウェアラブルセンサーとスペクトラムアナライザーによる表示パラメーター、内蔵カメラによってキャプチャされる自身の姿、動画による練習コンテンツを映し出す。内蔵カメラを使って自身の姿勢を映し出す際は、プロトロンボーン奏者との姿勢を比較できる。その場合は自分の映像が映る代わりに、プロトロンボーン奏者の正面映像か側面映像が映らない仕様になっている。

---

23 <http://www.korg.com/jp/products/software/cortosia/>

24 [http://dl-ctlg.panasonic.com/jp/manual/hd/hdc\\_hs300\\_r1.pdf](http://dl-ctlg.panasonic.com/jp/manual/hd/hdc_hs300_r1.pdf)

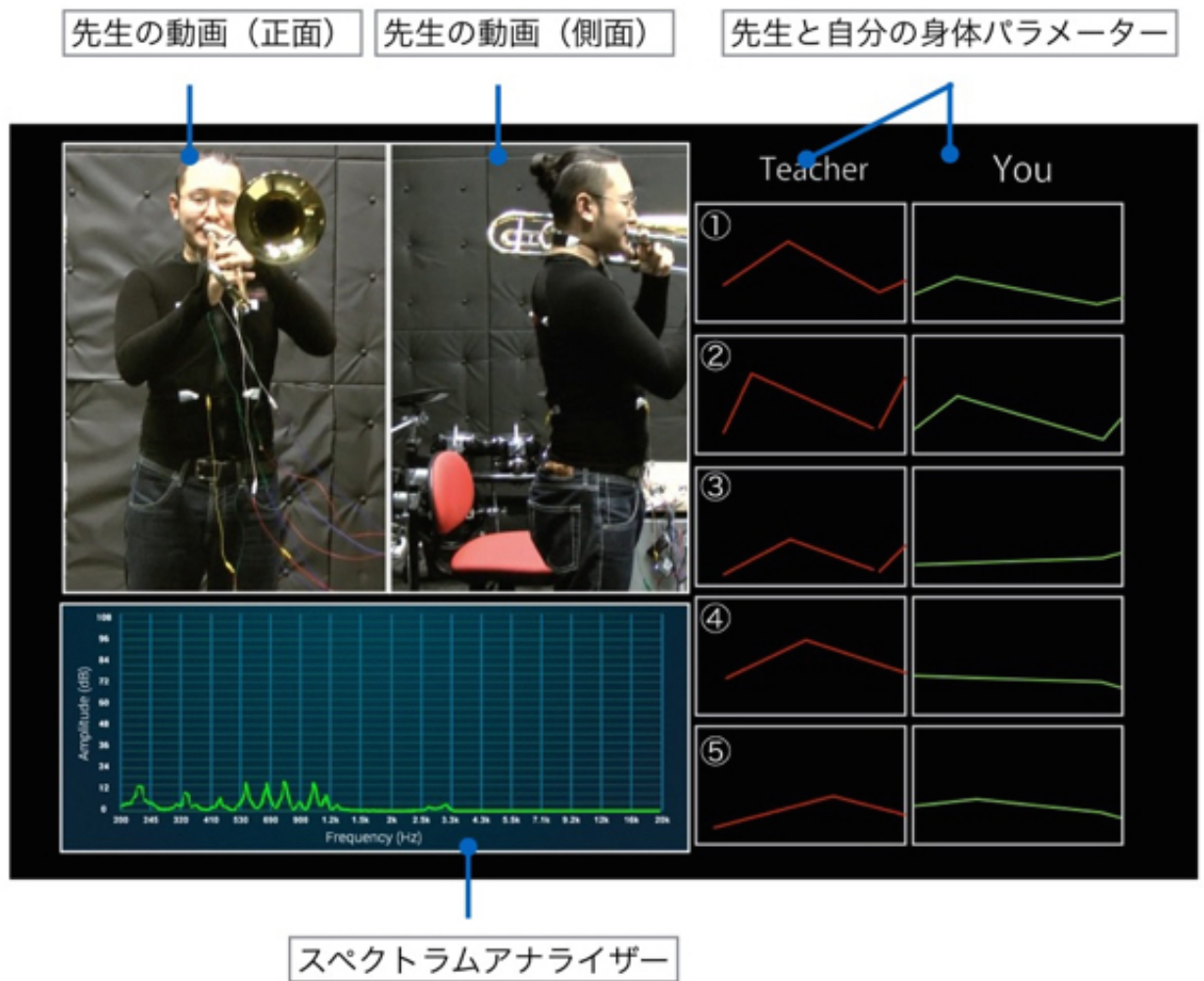


図 3.48: 「MirrorTone」の画面 1



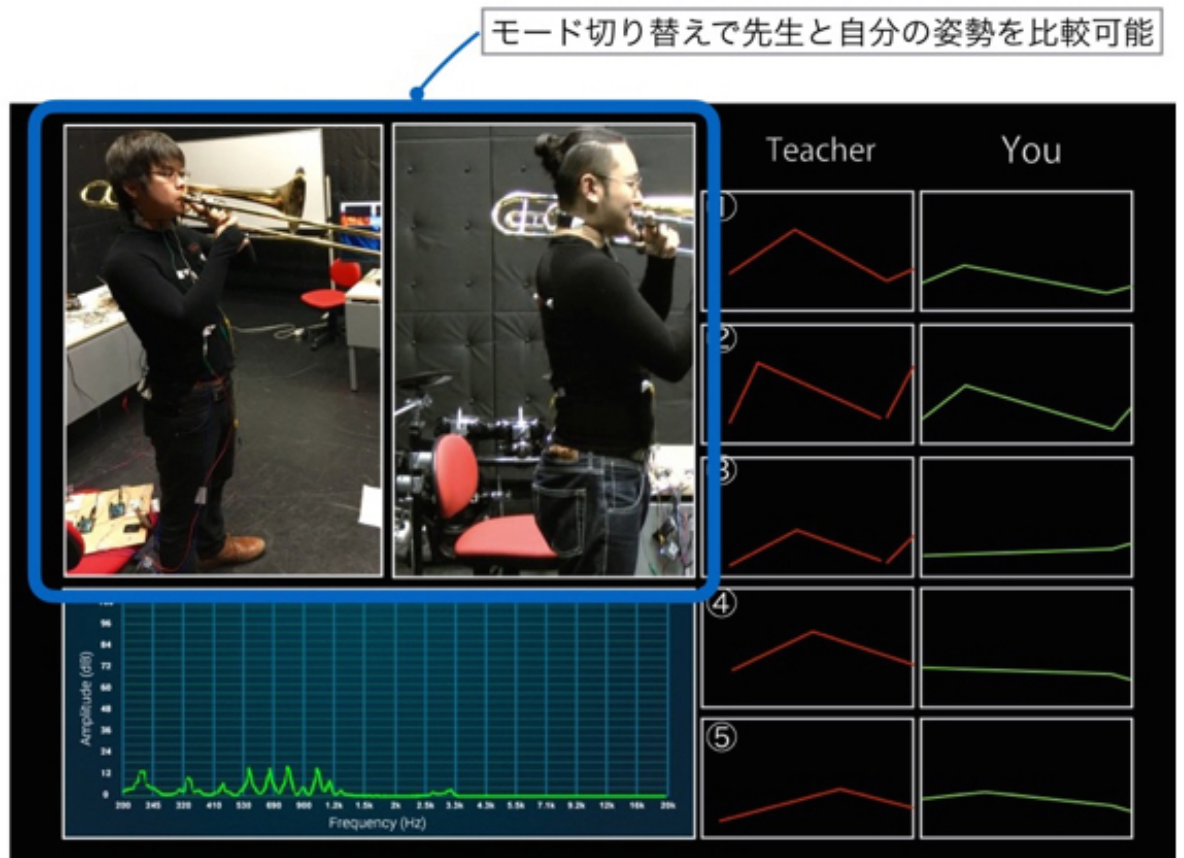


図 3.49: 「MirrorTone」の画面 2

## 第4章

# Proof of Concept

本章では「MirrorTone」を我流トロンボーン奏者に使用してもらい、「MirrorTone」のコンセプトの有効性を実地で検証した。

### 4.1. Proof of Concept の環境

今回、検証の場所は慶應義塾大学大学院 KMD スタジオを使用し、図 4.1 の環境で検証を行った。今回、画面切り替えモードの実装ができなかったため、「MirrorTone」で映し出される全てのコンテンツを 24.0 インチのディスプレイを 2 台に表示した。1 台にはユーザーの身体パラメーターを映し、もう 1 台にはスペクトラムアナライザーと先生の身体パラメーター、そして口頭指導と実演が入った動画を映した。2 台のディスプレイの間には MacBook Air 13 インチを置き、内蔵カメラで演奏役をキャプチャした。

### 4.2. 我流トロンボーン奏者による検証

「MirrorTone」のユーザーは、トロンボーンがうまくなりたいが技術面でつまづいていたり、仕事などで十分に練習時間が確保できず、正しい奏法が身についていない我流のトロンボーン奏者である。上記の条件を満たし、今回の検証に参加してくれたのは、25 歳男性 I さんと 24 歳女性 K さんの友人同士と 19 歳男性 S さんと 22 歳男性 K さんの友人同士の計 2 組 4 名である。

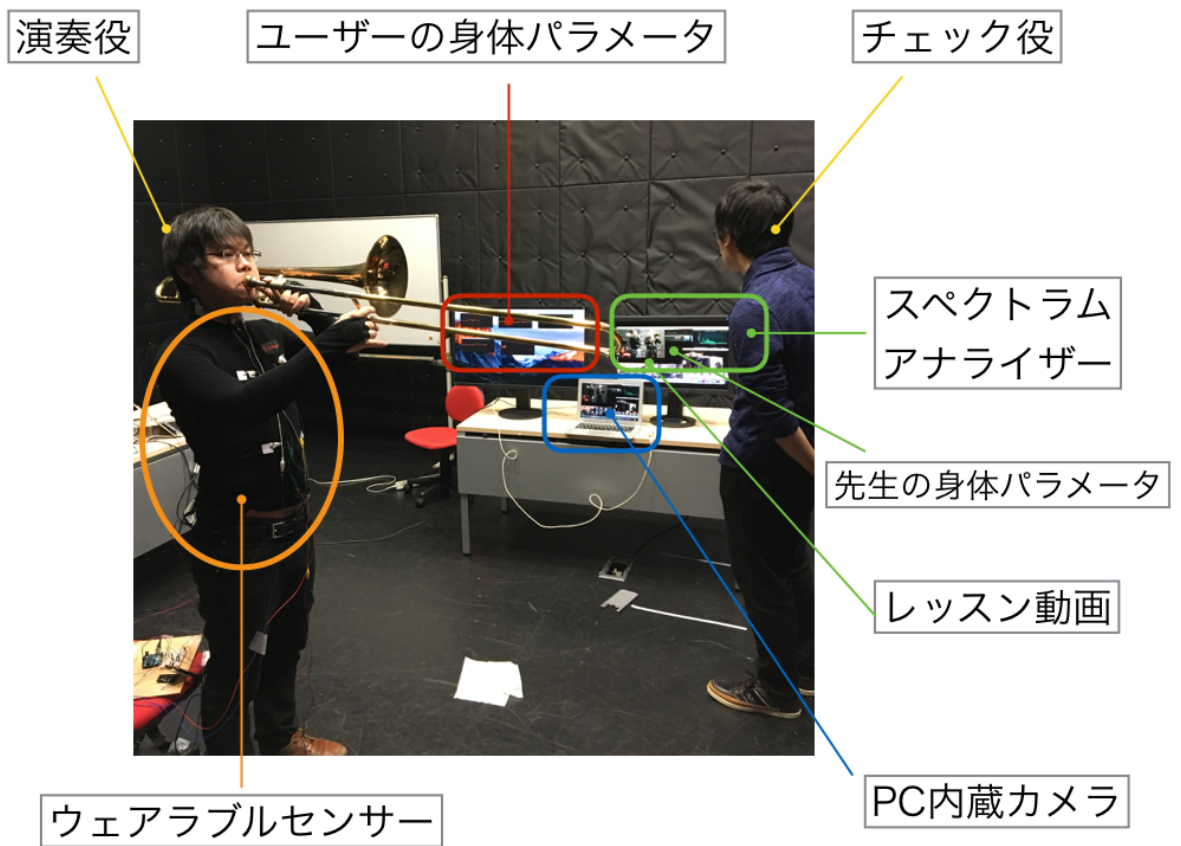


図 4.1: Proof of Concept の環境

## 1 組目：2016 年 12 月 10 日 11:30-13:30

ユーザープロフィール

25 歳男性 I さん

土木関係の会社に勤めている。趣味は庭の整備や植物の世話など。トロンボーンは高校生のとき吹奏楽部に入り始めたが、先輩の指導が中心でプロからきちんとした個人レッスンを受けたことがない。力を入れて吹く癖があり、音にもそれが反映されて力んだ音になっている。現在は年に 1 回 9 月に開催される大学の OB 吹奏楽団に所属しているが、それを除くとほとんど練習をしておらず、今回もトロンボーンを吹くのは約 3 ヶ月ぶりだった。

24 歳女性 K さん

教育・出版関係の会社に勤めている。休日は買い物や食べ歩き、旅行などをしていく。トロンボーンは中学生のとき吹奏楽部に入り始めたが、やはりプロの専門的なレッスンを受けたことがなく、これまで我流でトロンボーンを演奏してきた。I さんと同じ大学の OB 吹奏楽団に所属しており、同様にその活動期間以外は全く楽器に触らないため、技術は落ちる一方だという。

### I さんと K さんが「Mirror tone」を使用している様子

冒頭、私から I さんと K さんへ今回の研究内容や研究目的、「Mirror tone」の使用方法を説明を行った。2 人が趣旨を理解すると、次のステップであるウェアラブルセンサーの着用へと移った。I さんはウェアラブルセンサーをつけることに非常に興味を示しており、センサーをつけられることに喜んでいった (図 4.2)。

次に、いつもやっているようにウォーミングアップをしてもらい、ウォーミングアップが終わったところで「Mirror tone」使用前のチューニング B ♭ 吹鳴時の倍音分布を記録した。その後、プロトロンボーン奏者の加藤氏による説明フェーズの動画を 2 人には見てもらった。動画の中で加藤氏が「それでは、一緒にやってみましょう」と言うと、加藤氏の動きに合わせて呼吸や手を動かしていった (図 4.3, 図 4.4)。

加藤氏がテニスのストロークにロングトーンを例えた際も、I 氏は動画に合わ



図 4.2: ウェアラブルセンサーを装着して喜ぶIさん



図 4.3: 動画の指示にしたがって手を動かしながら呼吸をするIさん

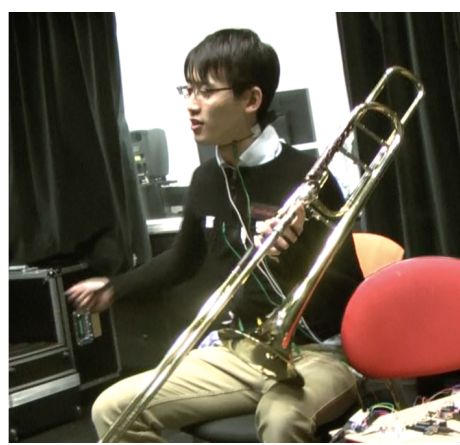


図 4.4: 加藤氏の真似をしてテニスをイメージして身体を動かすIさん

せてストロークを行っていた。Iさんは加藤氏の説明に納得しているようで、笑顔を浮かべながらうなづいている様子が何度も見られた。Kさんは加藤氏の独特の説明と言葉から伝わる物腰の柔らかさから、しばしば加藤氏の説明フェーズで笑いが漏れていた(図 4.5)。



図 4.5: 加藤氏のレッスンにたまに笑いを漏らす K さん

説明フェーズの後、早速ロングトーンの実践フェーズへと移った。Iさんは動画が始まる前のセンサーの動作確認を、Kさんは動画の操作の確認を行っていた。最初の練習である呼吸の練習(4拍吸って4拍吐く)を岡田氏の提示するコツに沿って始めると、早速Kさんがお手本動画の岡田氏とI氏の呼吸の違いに気づいた。岡田氏は吸気の際に4拍かけてゆっくり息を吸っており、それがセンサーの上昇値としても確認できたのに対し、Iさんは最初の2拍分しか息が吸えていないことがわかった。また、岡田氏が後腹部のセンサーが十分に動いているのに対し、Iさんは全く稼働している様子がセンサーからは見られなかった。KさんはこのことをIさんに伝えた所、Iさんはそのことを指摘されるまで全く気づいていなかったという(図 4.6)。そこで、「Mirror tone」によって明らかになった2つの点に注意してIさんは呼吸の練習を4セット行くと、1つ目の問題点であった2拍しか吸えていないという問題はすぐに解決され、4拍分の十分な呼吸ができるようになった。もう一つの問題点である、呼吸時の後腹部が動いていないという点に関しては練習を繰り返すうちに少しだけだが上昇するようになっていたことがセ

ンサーの上昇によってわかった。Iさんは次の「1拍吸って4拍吐く呼吸の練習」も同じ要領でクリアしたが、「リップバズイングの練習」で再度壁にぶつかった。呼吸の練習ではできていた4拍吐くという動きがリップバズイングになった途端に4拍分息が続かなくなっていた。Kさんは身体のパラメーターをチェックすると吸気の際は特に今までと問題なかったが、全体的に呼気の際にセンサーの加工が早くなっていることに気づき、吐く息の量が多くなっているという判断をした。Iさんはそのことを教えてもらい、息の量を調節すると、数回の練習の後に4拍分しっかり保って息をリップバズイングができるようになった。次の「マウスピースの練習」も同じ要領でIさんは難なくクリアしていった(図4.7)。



図 4.6: MirrorTone で口頭指導と身体のパラメータをチェックする K さん



図 4.7: K さんと MirrorTone を外的な足場として使いながら呼吸の練習をクリアしていく I さん

Iさんにとっての最大の難関は楽器を使った練習だった。なぜなら、楽器を持って音を出す練習に入った途端に今までできていた正しい呼吸が崩れてしまったからである。呼吸の瞬間に姿勢が崩れてしまい、それと同時に猫背になり、呼吸にかなり力が入っていた。これは、Iさんが高校生の頃からトロンボーンを吹く中で身につけてしまった悪い癖のようだった。

KさんはIさんの姿勢が悪くなって、呼吸が乱れていることにすぐに気づいたが、吹いているIさん自身は何がかわっているかわからないと述べていた。岡田氏のお手本動画と比べても姿勢が悪くなっており、前胸部のセンサーもほとんど反応が見られなくなっていた。2度目の練習も同様の現象が見られたため、再度呼吸の練習動画に戻り、正しい呼吸のやり方を確認した。Kさんはこの正しい呼

吸のままIさんに息を吸って楽器を吹くように伝えた。また、Kさんの姿勢がなかなか直らないという場面があったが、Kさんが実際にKさんの身体を触って、「ここが先生と違う」ということを伝えていた(図4.8)。



図 4.8: 動画とカメラを参考にIさんの姿勢を直すKさん

Iさん自身にもカメラで姿勢をチェックしてもらい、何度か試行するうちにIさんの姿勢と呼吸の乱れは緩和されていった。それとともに、Iさんの音の力みが少なくなり、最後に行ったロングトーンでは結果的に倍音分布が広がっていた。力みの取れたIさんの音はまさに豊かに響く音になっており、嬉しさのあまり本人も思わずピースが出るほど喜びを得ていた、

## 2組目：2016年12月10日 15:00-17:00 KMDスタジオ

ユーザープロフィール

19歳男性 Sさん

大学1年生で大学の吹奏楽サークルの所属している。高校生の頃からトロンボーンを始めており、現在も週3-4日ほど練習を行っている。個人レッスンなどを受けたことはなく、今まで我流の奏法で演奏を続けてきた。



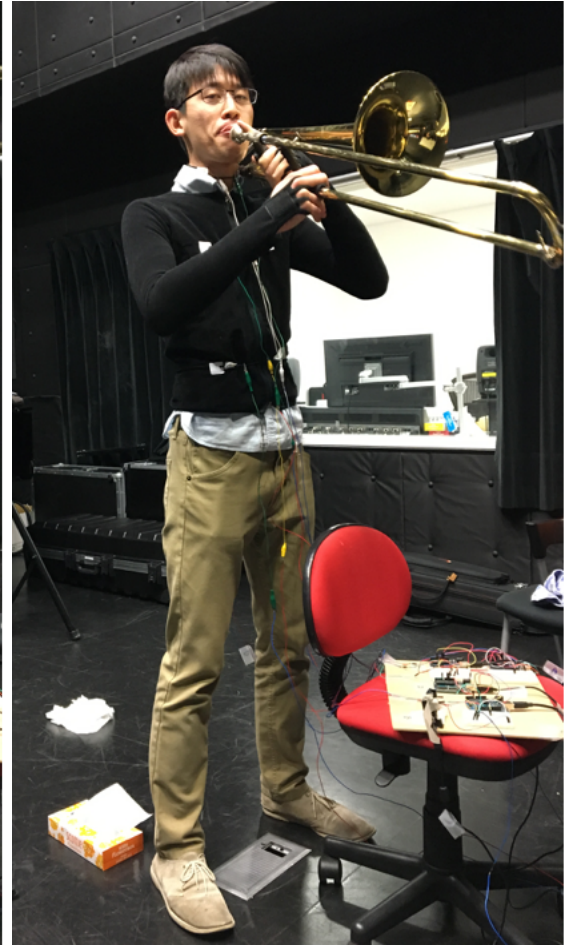


図 4.9: 悪い癖が出てしまい、楽器を吹く時に力

図 4.10: MirrorTone 使用後に癖をコントロール

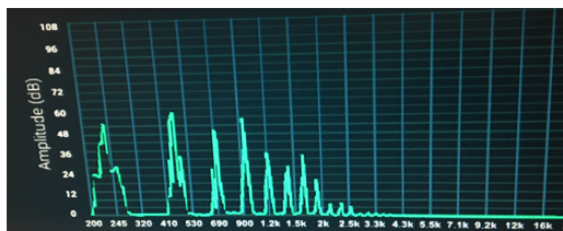


図 4.11: 倍音成分の変化 (左) 使用前 (右) 使用後



図 4.12: 豊かに響く音に自分の音が近づき、思わずピースする I さん

#### 22 歳男性 K さん

S さんと同じサークルに所属する先輩で、同じく週 3-4 日のペースでトロンボーンを吹いている。中学からトロンボーンを始めたがやはり個人レッスンなどを受けたことはなく、今まで我流の奏法で演奏を続けてきた。

### S さんと K さんが「Mirror tone」を使用している様子

今回も冒頭、私から S さんと K さんへ今回の研究内容や研究目的、「Mirror tone」の使用方法を説明を行った。2人が趣旨を理解すると、次に、いつもやっているようにウォーミングアップをしてもらい、ウォーミングアップが終わったところで「Mirror tone」使用前のチューニング B ♭ 吹鳴時の倍音分布を記録した。その後、早速説明フェーズに入ると、二人は加藤氏のレクチャーに従って体を動かして、説明を理解していた。

そして、次のステップであるウェアラブルセンサーの着用へと移った。S さんも K さんもウェアラブルセンサーをつけることに非常に興味を示しており、センサーを調整している間も特にストレスなく過ごしてもらえた。S さんはウェアラブルセンサーに興味があるからか、K さんが着用している姿をスマートフォンのカメラを用いて楽しそうに撮影していた。



図 4.13: 加藤氏のレクチャーに従って体を動かす S さんと K さん



図 4.14: K さんがウェアラブルセンサーを着用している姿を撮影する S さん

実践フェーズに移ると、最初の練習である呼吸の練習（4拍吸って4拍吐く）をお手本動画とKさんのセンサーパラメーターを比較しながらSさんがチェックを行った。Sさんは早速センサーの違いに気づき、Kさんの後腹部の筋肉の動きが少ないことがわかった。Kさんはしんどいですと言いながら呼吸の練習を繰り返すと、後腹部が徐々に動くようになっていった。Kさんはあまりセンサーを見ずに自ら自分の身体の動いていない部分を積極的に発見し、修正するということをしていた。リップバズィングの練習でも自ら「吐ききれない」とつぶやきながら練習を行っていた。それに対して、Sさんは呼吸の練習のときよりもセンサーの山が少なくなっており、吸えていないことを指摘していた。Kさんは吐くということに意識がいていたのに対して、センサーのパラメーターを見ていたSさんは吸えていないことを指摘し、その結果、次の練習ではKさんの呼吸のパラメーターが変化し、しっかりと吸えるようになっていた。また、Kさん自身がお手本動画で気になることがあると、Sさんに頼んで再度再生してもらうように依頼していた。その後は、Kさんは楽器でも同じように正しい呼吸をすることができ、しっかりと響く音を出すことができていた。また、Kさんも今回の練習を通じていつもより息が吸えるようになったと驚いていた。



図 4.15: 口頭指導と身体のパラメータをチェックするSさんと実践するKさん



図 4.16: 身体の動いていない部分を動かせるようになったKさんのパラメーター

次に役割を入れ替えて、Sさんが練習者、Kさんがチェック役になり実践フェーズを行った。Kさんは先生との姿勢の違いをチェックするために体を横にして吹くようにしていた。やはりSさんも後腹部が動いておらず、そのことを二人ともセンサーのパラメーターを見てすぐに気づいた。しかし、Sさんは体の力を抜い

ですぐに後腹部も動くような呼吸に修正してみせた。また、SさんがKさんと同じくリップバズィングで息がうまく吸えないと「うまく吸えないだろ！」と自分の気持ちがわかったかといわんばかりに笑いながら楽しそうにしていた。その後も、Sさんは順調に練習をクリアしていき、その度にKさんはSさんのことを褒めていた。



図 4.17: 自ら身体の動きを確認する S さん



図 4.18: 自分と同じことところで S さんがつまずき、思わず笑いが出る K さん

### 4.3. Proof of Concept の中で現れた Andy Clark の身体性認知の価値

今回の 2 組のユーザーにコンセプトの検証を行い、ユーザーは「Mirror tone」のコンセプトに価値を感じてくれたいた。特に I さんは、一時的にかもしれない

が、「Mirror tone」によって豊かに響く音を生み出せるようになっていた。その理由は「Mirror tone」の設計に組み込まれた Andy Clark の身体性認知の理論が機能し、演奏時の I さんの脳、身体、世界が一つに統合されたからである。まず、I さんは「Mirror tone」の説明フェーズで加藤氏のレクチャーをしっかりと解釈し、加藤氏の提示したコツを言語による外的な足場作りとして活用していることがわかった。これは I さんに今回の感想を聞いた際の「ロングトーンはブレスコントロールだというのはその通りだなと思いました。テニスのストロークの例はとでもわかりやすかったです。それをイメージして呼吸をやったらうまくいきました。」という言葉に現れている。また、実践フェーズでは I さん自身は演奏に集中しており、自分のセンサーや倍音の変化、認知と身体のカップリングのチェックを K さんに完全に任せていた。これは、K さんを外的な足場として使い、自らのタスクをうまく分散させていることを示している。メンタルモデルと身体運動のカップリングに関して、K さんがセンサーパラメーターを見ながら I さんの身体運動のチェックを行い、演奏中に身体が動いていない部分や先生と異なる点を伝えることで、I さんはメンタルモデルと身体運動のカップリングができるようになっていた。例えば、先生の「お腹、胸、肩という順番に下から順番に肺を満たすように吸っていきます」というお手本動画の指示に対して、I さんは2拍分しか吸うことができていなかった。しかし、センサーのパラメーターを見た K さんはすぐに先生の指示と I さんの身体運動がカップリングしていないことに気づくと、4拍分しっかり吸うように伝えて身体運動を修正した。これは「楽器を構えるとたっぷりと息を吸う」というメンタルモデルに対して、身体運動がその通り動くようになったことを示している。同様の現象が S さんや K さんの場合にも確認でき、その結果、ユーザーは「Mirror tone」のコンセプトに価値を感じてくれた。

また、ユーザーの中でも I さんは特に「MirrorTone」のコンセプトに価値を感じてくれており、真剣に「欲しい」、「買いたい」と言ってくれた。その理由は、ユーザーの中で I さんが特にトロンボーンを演奏する上で悪い癖を持っていたからである。I さんは演奏時に「猫背になり力が入ってしまう」という悪い癖を持っていた。それが原因で呼吸が浅くなり、豊かに響く音を生み出すことが難しかった。この悪い癖は I さんが持つ「組み込みダイナミクス」だと言える (Clark 1997)。

1章でも述べた通り、Andy Clark は、人間には「組み込みダイナミクス」という個々人によって異なる身体的なダイナミクスが備わっており、それを制御することで皆が共通の目標を達成できると述べている。Iさんは自分の組み込みダイナミクスを理解すると、次は組み込みダイナミクスを制御するようにKさんという「MirrorTone」のチェック役を外的な足場とみなして練習を行った。そうすることで、Iさんは脳・身体・世界を統合し、「MirrorTone」を使って正しい奏法を身につけ、豊かに響く音を生み出すことができた。だからこそ、Iさんは「MirrorTone」のコンセプトに非常に価値を感じてくれたのだと考えられる。

## 第5章

# 結論と今後の展望

### 5.1. 結論

本研究では我流のトロンボーン奏者でも正しい奏法が身につけられ、豊かな響きのある音を生み出すことができるようになる練習システム「MirrorTone」のデザインについて述べてきた。「MirrorTone」をデザインするために、まず Andy Clark の身体性認知に基づいて調査と設計を行った。調査では奥出 直人の『デザイン思考と経営戦略』にあるデザイン思考の民族誌調査 (奥出 2012) をプロトロンボーン奏者と我流のトロンボーン奏者に行った。この民族誌調査からプロトロンボーン奏者加藤氏の豊かな音でトロンボーンを響かせるメンタルモデル、教えるメンタルモデル、そして我流のトロンボーン奏者斎藤氏の教わるメンタルモデルを抽出した。その後、センサー技術を用いて人間の無意識の身体運動を観察し、その観察において発見できるパターンから意味を解釈する Ethnography of Embodied Cognition を実施した。これも同様にプロトロンボーン奏者と我流のトロンボーン奏者に行い、豊かに響く音を演奏するための身体性認知の仕組み (メンタルモデル・身体運動・物理現象) を解釈した。

次に、このデザイン思考の民族誌調査と Ethnography of Embodied Cognition によって得られたデータと Andy Clark の身体性認知の概念を用いて本研究では「Mirror tone」を設計した。まず、民族誌調査と Ethnography of Embodied Cognition によって得られたメンタルモデルを各ペルソナに組み込み、ユーザー像のモデルとユーザーのゴールを設定した。その後、コンセプトスケッチを描き、「MirrorTone」のコンセプトを明確にした。「MirrorTone」はプロトロンボーン奏者の口頭説明と練習の実演が入ったレッスン動画、ユーザーの身体運動をチェックす



るウェアラブルセンサーとカメラ、物理現象である倍音成分を可視化するスペクトラムアナライザー、それらを映し出す画面によって構成されている。これらの構成要素は我流トロンボーン奏者の脳、身体、世界を一つに統合し、物理現象が生まれる瞬間までをサポートしてくれる。

このコンセプトを検証するために、ターゲットユーザーである我流トロンボーン奏者2組に「MirrorTone」のプロトタイプを使用してもらった。実際に「MirrorTone」のプロトタイプを使用してもらったところ、使用した4名全員が価値を感じてくれていることが使用中の様子からわかった。その理由は、豊かに響く音が出せるようになるとトロンボーンを吹くことが楽しくなるということに尽きる。ユーザーの中でも演奏時に力んだり姿勢が崩れるという特に悪い癖があったIさんは「MirrorTone」を2時間使ったあとは力みが抜けた豊かに響く音を生み出すことができている。豊かに響く音が出ているかは「Mirror tone」の使用前と使用後のIさんのチューニングB♭吹鳴時の倍音分布を確認し、明らかに倍音が増えていることがわかった。そして、倍音が増えた理由は「MirrorTone」を使った練習の中でIさんは豊かに響く音を出すためのメンタルモデルと身体運動を一致させ、脳・身体・世界を統合できたからだといえる。それを証明するシーンは「MirrorTone」の使用中にいくつも見る事ができた。例えば、呼吸の練習の際に、先生のお手本動画の指示と身体パラメータに対して、Iさんの身体はその通りに動いていないという場面があった。その際にチェック役のKさんはすぐにそのことに気づき、Iさんに身体が指示通り動いていないことを伝えて身体運動を修正するという事をしていった。

「MirrorTone」に価値を感じてくれたユーザーはトロンボーンを吹くことに喜びを感じ、欲しい、もっと使いたいという欲求を持つまでになってくれている。特に我流奏法により悪い癖が身についていたIさんは「MirrorTone」使用後に倍音が含まれた豊かな音が出せるようになり、こうした欲求をターゲットユーザーの中で一番持ってくれた。

## 5.2. 今後の課題

今回の Proof of Concept の中で、「Mirror tone」は我流のトロンボーン奏者に正しい奏法を身につけさせ、豊かな音を生み出すことができるという価値を提案することがわかった。しかし、改善点についても同時に明らかになった。

### 新たなメンタルモデルと身体運動のカップリング

本研究では、豊かに響く音を生み出すための身体運動として呼吸の動きに注目したが、今回使用しなかった他の身体部位の動きを測定することができるセンサーを Ethnography of Embodied Cognition に用いれば、豊かに響く音を生み出すためのメンタルモデルと身体運動のカップリングを抽出することができる可能性がある。例えば、舌の動きは呼吸や音の発音、音色などに非常に大きな影響を与えるため、豊かに響く音を生み出すことに影響すると考えられる。もし、今回使用しなかったセンサーを用いて Ethnography of Embodied Cognition を行った結果、新しいメンタルモデルと身体運動のカップリングを抽出できれば設計にも影響を与える。「MirrorTone」に新しい練習を追加できる可能性や新しい身体運動のパラメーターを表示できる可能性がある。実際にターゲットユーザーからも他の身体部位の動きも見てみたかったという声もあり、新たなメンタルモデルと身体運動のカップリングに関しては今後検討する必要がある。

### ウェアラブルセンサーのデザイン

今回、ベルクロ素材のスーツの上にセンサーを配置したウェアラブルセンサーを製作したが、機能性を重視したため、ビジュアルデザインまで行うことができなかった。今回のユーザーの中で1組目のKさんだけが女性のターゲットユーザーだったが、見た目のデザインを欠いたため、ウェアラブルセンサーの着用を断られてしまった。そのため、今回は練習役としてではなくチェック役としてののみ検証に参加していただいた。同じく、センサーを搭載した衣服にオランダのファッ

ションデザイナー Pauline van Dongen が手がけた「Fysiopal」<sup>1</sup>というウェアラブル肌着がある。Fysiopal はスタイリッシュなデザインながらも、スイスの Schoeller 社の協力を得て電子部品を内蔵した生地を使用し、センサー機能が搭載されている。こうしたビジュアルデザインは特に女性ユーザーに影響を与えるため、今後は「Fysiopal」のようなスタイリッシュなデザインを「MirrorTone」にも取り入れる必要があるかもしれない。

### 動画による練習コンテンツのバリエーション

コンセプトの証明を行う中で、他の練習コンテンツや他のプロトロンボーン奏者からの指導もあつたら使ってみたいという感想があつた。今回製作した「Mirror tone」はトロンボーンを使って音を出すことはできるが、豊かに響く音を出すということができない我流のトロンボーン奏者をターゲットユーザーに据えて設計を行っている。そのため、豊かに響く音が出せるようになった中上級奏者にとっては音域を広げる、分散和音を吹く、エチュードを演奏するなど別の練習コンテンツが欲しくなるのは当然である。また、動画コンテンツに登場するプロトロンボーン奏者のバリエーションに関しても、ユーザーとの体格差を考慮し、多様なプロトロンボーン奏者の中から自分の身体的な特徴やダイナミクスにあつた先生を選べる方が、「MirrorTone」を使った練習において認知と身体運動が一致する可能性は高まるだろう。

### 5.3. 今後の展望

本研究でデザインした「MirrorTone」はコンセプトモデルとしてユーザーに価値を与えることができたが、上述の改善点やさらなる展望を求める必要がある。最後に「MirrorTone」の今後の展望を述べて擱筆とする。「MirrorTone」は我流のトロンボーン奏者をターゲットユーザーに据えたため、民族誌調査から Proof of Concept までトロンボーンを対象楽器として研究を進めてきた。しかし、管楽器で

---

1 <http://www.paulinevandongen.nl/project/fysiopal/>

あれば今回の民族誌調査と Ethnography of Embodied Cognition で明らかにした豊かに響く音を出す身体性認知の仕組みが部分的に共通である可能性がある。そのため、他の我流管楽器奏者が「MirrorTone」使用しても豊かに響く音を出すための正しい奏法を身につけられる可能性があると言える。管楽器以外の楽器や声楽などの分野でも民族誌調査と Ethnography of Embodied Cognition を今回と同様の方法で行い、ウェアラブルセンサーでセンシングする身体部位を変更し、その楽器のプロ奏者の口頭指導と実演を動画にすれば、同様のコンセプトで「MirrorTone」の他の楽器への適用が考えられる。今後、トロンボーンだけでなく他の楽器へも「MirrorTone」を展開できれば、「MirrorTone」のコンセプトを用いたより広範なサービスデザインを行える可能性がある。それが2016年現在停滞している音楽産業におけるイノベーションになり、人々の元に音楽を演奏する喜びが行き渡るように、今後も研究を進めていきたい。

# 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奥出直人教授に心から感謝いたします。奥出先生の指導から学問に対する真摯な態度、逃げ出さない精神力、デザイン思考や現象学、クリティカルシンキングといった多くのことを学ばさせて頂きました。本当にありがとうございます。

研究における設計部分に関して暖かい助言や指導を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考太准教授に心から感謝いたします。

ご多忙中、研究に関する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岸博幸教授に心から感謝いたします。

論文執筆中、相談に乗っていただいた慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の佐藤千尋特任助教にも心から感謝いたします。

2年間、OIKOS Music Project で共に過ごした水上さん、古川さん、エリちゃん、リュウさん、本当にありがとうございました。また、この研究のきっかけとなった Andy Clark 勉強会を共に最後までやり抜いた萬崎さん、浦瀬さん、ありがとうございました。コンセプトの設計や民族誌調査を手伝ってくれた児玉さん、ありがとうございました。Ethnography of Embodied Cognition に協力いただいた加藤直明氏、岡田大和氏にも心から感謝いたします。センサーの実装に関して知恵を貸してくださった清水さん、あたたかいアドバイスを送ってくださった羽田さんにも感謝しております。

最後に、大学院進学にあたり経済面で支援をしてくれた家族に心から感謝いたします。

## 参 考 文 献

- Bangert, Marc and Eckart O. Altenmüller (2003) “Mapping perception to action in piano practice: a longitudinal DC-EEG study,” *BMC Neuroscience*, Vol. 4, No. 1, p. 26.
- Churchill, Elizabeth F., Ozzie Gooen, and David A. Shamma (2010) “Augmented Ethnography: Designing a Sensor-based Toolkit for Ethnographers,” in *Proceedings of the 22Nd Conference of the Computer-Human Interaction Special Interest Group of Australia on Computer-Human Interaction, OZCHI '10*, pp. 416–417, New York, NY, USA: ACM.
- Clark, Andy (1997) *Being there: Putting brain, body, and world together again.*: MIT press.
- Clark, Andy (2004) *Natural Born-Cyborgs*: Oxford University Press.
- Gramann, Klaus, Daniel P. Ferris, Joseph Gwin, and Scott Makeig (2014) “Imaging natural cognition in action,” *International Journal of Psychophysiology*, Vol. 91, No. 1, pp. 22 - 29. Towards mobile {EEG}.
- Haas, Roland and Vera Brandes (2010) *Music that works: Contributions of biology, neurophysiology, psychology, sociology, medicine and musicology*. Springer Science & Business Media.
- Koelsch, Stefan (2012) *Brain and music*: John Wiley & Sons.
- Maes, Pieter-Jan, Marc Leman, Caroline Palmer, and Marcelo Wanderley (2014) “Action-based effects on music perception,” *Frontiers in Psychology*, Vol. 4,

p. 1008.

Maglio, P (1992) “Reaction and Reflection in Tetris,” in *Artificial Intelligence Planning Systems: Proceedings Of The First Annual Conference AIPS. San Mateo, CA: Morgan Kaufman. and Maglio, P.(1994).*” *On distinguishing epistemic from pragmatic action,*” *Cognitive Science*, Vol. 18, pp. 513–549.

Merleau-Ponty, Maurice, 竹内芳郎, 小木貞孝 (1974) 『知覚の現象学』, みすず書房.

Miluzzo, Emiliano, Nicholas D. Lane, Kristof Fodor, Ronald A. Peterson, Mirco Musolesi Hong Lu, Shane B. Eisenman, Xiao Zheng, and Andrew T. Campbell (2008) “Sensing Meets Mobile Social Networks: The Design, Implementation and Evaluation of the CenceMe Application,” in *Sensing Meets Mobile Social Networks: The Design, Implementation and Evaluation of the CenceMe Application.*

Shapiro, Lawrence (2010) *Embodied cognition*: Routledge.

Suzuki, Hideo (2007) “Spectrum analysis and tone quality evaluation of piano sounds with hard and soft touches,” *Acoustical science and technology*, Vol. 28, No. 1, pp. 1–6.

Suzuki, Hideo and Isao Nakamura (1990) “Acoustics of pianos,” *Applied Acoustics*, Vol. 30, No. 2-3, pp. 147–205.

Thelen, Esther and Linda B Smith (1996) *A dynamic systems approach to the development of cognition and action*: MIT press.

Thoring, Katja C, Roland M Mueller, and Petra Badke-Schaub (2015) “Ethnographic Design Research With Wearable Cameras,” in *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 2049–2054, ACM.

- Vargo, Stephen L and Robert F Lusch (2014) “Service-dominant logic,” *What it is not, What it is*.
- Vining, David (2008) *What every trombonist needs to know about the body*: Kargarice Brass Editions Denton.
- Warwick, Kevin (1998) *Warwick, Kevin. In the mind of the machine: The breakthrough in artificial intelligence*. Arrow.
- Xiao, Xiao, Paula Aguilera, Jonathan Williams, and Hiroshi Ishii (2013) “MirrorFugue iii: conjuring the recorded pianist.,” in *CHI Extended Abstracts*, pp. 2891–2892.
- 伊藤京子, 平野剛, 能任一文, 西田正吾, 大築立志 (2011) 「金管楽器演奏動作の上達に向けた練習指標の提案」, 『電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌)』, 第131巻, 第10号, 1775-1785頁.
- 奥出直人 (2012) 『デザイン思考と経営戦略』, エヌティティ出版.
- 奥出直人 (2007) 『デザイン思考の道具箱』, 早川書房.
- 古屋晋一 (2012) 『ピアニストの脳を科学する: 超絶技巧のメカニズム』, 春秋社.
- 古屋晋一, 片寄晴弘, 木下博 (2008) 「一流ピアニストによる打鍵動作の上肢運動制御」, *CrestMuse Symposium*, 43–44頁.
- 小浦方格 (2004) 「金管楽器演奏者の口唇周囲筋機能」, 『新潟大学工学部研究報告』, 第53巻, 1–2頁.
- 諏訪正樹, 赤石智哉 (2010) 「デザイン学身体スキル探究というデザインの術」, 『認知科学』, 第17巻, 第3号, 417–429頁.
- 齐田正子, 齐田晴仁 (2009) 「 $i$  声の分析と臨床 $i$  声楽発声指導者の立場から一リアルタイム呼吸運動チェックシステム (ストレインゲージ) を用いた歌唱指導について」, 『音声言語医学』, 第50巻, 第2号, 153–160頁.



藤井完 (2000) 「トランペット奏者・藤井 完 氏に聞くベルカント奏法のすすめ—  
アンブシュアと呼吸法の接点= 喉の使い方を学ぶ」, 『パイパーズ』, 第 20  
巻, 第 3 号, 14-19 頁.