

## 原著論文

# SD 法による心理計測および近赤外分光法による生理計測にもとづく 打楽器音楽の感性評価

亀井 且有\*, 青山 美由夏\*\*, 木下 雄一朗\*\*, クーパー・エリック\*, 星野 孝総\*

\*立命館大学情報理工学部, \*\*立命館大学大学院理工学研究科

## KANSEI EVALUATIONS OF PERCUSSION MUSIC BASED ON PSYCHOLOGICAL MEASUREMENTS BY SD METHOD AND PHYSIOLOGICAL MEASUREMENTS BY NEAR-INFRARED SPECTROSCOPY (NIRS)

Katsuari KAMEI\*, Miyuka AOYAMA\*\*, Yuichiro KINOSHITA\*\*, Eric W. COOPER\*, and Yukinobu HOSHINO\*

\* College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

\*\* Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

**Abstract:** In modern societies, people feel much psychological stress and require ways to relieve their stress. There is the music therapy by music appreciations as one of the ways. However, there are few research reports objectively describing a relationship between the effectiveness of music appreciation and the characteristics of the music. To clarify the relationship scientifically, it is very important to obtain subjective evaluations of the music through the psychological measurements and objective evaluations of the brain activity through the physiological measurements.

This paper describes *Kansei* evaluations of percussion music based on psychological measurements by SD method and physiological measurements by NIRS (near-infrared spectroscopy). First, we classify the percussion instruments into two types such as the idiophone and the membranophone and describe the characteristics of them. Secondly, we conduct a *Kansei* evaluation survey by SD method and show the six kinds of *Kansei* adjectives distributed on Soft-Warm factor space. Thirdly, we measure oxidized hemoglobin (oxyHb) of the frontal lobe using NIRS and propose a signal processing method for NIRS data. Finally, we construct qualitative models of changes of oxyHb for the six kinds of *Kansei* adjectives and clarifies the relationship between the subjectivity of *Kansei* and the brain activities.

**Keywords:** *Kansei* evaluation, Psychological measurements, Physiological measurements, NIRS

## 1. は じ め に

ストレスを感じることが多い現代社会において、身近で簡単なストレス解消法として音楽鑑賞がある。現在、主に西洋音楽を対象として、受動的音楽療法の視点から、人間に及ぼす音楽鑑賞の効果に関する科学研究が進められており、音楽鑑賞により不安やストレスの緩和がされ、症状の改善に良い結果をもたらしているという事例報告も多い [1]。このような研究においては、脳波解析等の指標をもとに音楽聴取の心理、生体に及ぼす効果が論じられている。しかしながら、音楽聴取の効果と感性との関係について、科学的視点から客観的に実証し、体系化された研究事例は非常に少ない [2], [3]。

人間は外部からの刺激を感覚受容器で受けとると、その刺激は脳に送られ、そこで処理された後、言語などの高次な情報、すなわち感性として表現される [4]。このように、外部からの情報を受け取ってから人間の内部でその情報が変換されているため、主観評価による心理計測と中枢神経活動や自律神経活動の連続計測による生理計測は音楽聴取時の感性を客観的に捉えるための有効な方法の 1 つと考えられる。

本論文では、打楽器音楽の SD 法による心理計測にもとづ

く感性評価 [5] と脳機能計測の一つである近赤外分光法 (NIRS) による生理計測にもとづく脳活動分析 [6-10] との関係性を明らかにする。まず、SD 法と因子分析による感性評価結果を簡単に示す。次に、NIRS により取得された酸素化ヘモグロビン (oxyHb) 濃度変化結果のデータ処理法を示す。さらに、oxyHb 濃度変化の定性的モデルを提案する。最後に、提案モデルを用いて打楽器音楽聴取時の心理計測にもとづく主観的感性と生理計測にもとづく客観的な脳活動との関係を明らかにする。

## 2. 感性情報の計測

### 2.1 感性情報の流れ

人間は自分の周りに存在する物理的・化学的刺激の情報を眼、耳、鼻、舌、皮膚などの感覚器官により収集する。入力された刺激は、感覚受容器により生理的变化を表す電気信号に変換され、感覚神経を通して中枢神経系に送られ処理される。処理された情報が運動神経や自律神経により筋・腱、内臓器官などに伝えられ、言語、行動など適切な反応を生起させる。反応の一部は再度感覚器官に戻され、最適な結果が得られるまで制御情報としてフィードバックされる [4]。このように、感性情報は言語等による心理反応として捉えるこ

とができ、主観性、多義性、あいまい性、状況依存性という性質をもつ [11]。そのため、解明すべき感性情報に適した計測法を用いる必要がある。そこで、感性情報を定量化するための計測には、心理学的計測法と生理学的計測法が用いられている。

## 2.2 心理学的計測

心理学的計測法は、調査票や質問紙を用いて、言語を媒介として意識内容や意識状態を被験者に問い、得られた回答結果を数量化することによって統計的推論のためのデータを収集する方法である。代表的な手法として Osgood らが提唱した SD 法 (Semantic Differential Technique) がある。その他の手法として、感覚判断の重みを測定する ME 法、対象を比較する一対比較法などが有益である [12]。このような方法から得られた感性情報は多変量解析などの処理によって、感性情報の心理的構造解明や解明された心理空間への刺激の位置付けなどが行われる [4]。

## 2.3 生理学的計測

生理学的計測法は、感性情報を受け取った人間の体の反応を測定し、得られた計測値によって、感性情報を表す方法である [11]。また、外部刺激を受けて発生する感性情報を自律神経反射や脳波などで生理学的に測定する方法である [13]。中枢神経系 (脳) に驚き、感動、不快、不安、ストレスなどの情報が発生すると交感神経が活動し、心身のバランス保持のために効果器は活発に反応をし始める。したがって、効果器に取り付けたセンサによって生理的变化を表す電気信号を測定することにより、脳で発生した感性情報を推定できると考えられる。計測方法として、脳波、心電図 (心拍)、血圧、血流、呼吸、焦点調節、瞳孔反応、眼球運動、瞬き、筋電図、皮膚電位、皮膚温度、ストレスホルモン等々、非常に多種の方法が存在する。この計測法は、感性情報をより客観的なデータとして捉えることで、心理現象を脳や神経の機能と関連づけできる。また、感性情報を言語という高次な情報に変換することなく、ほぼリアルタイムで計測できる。このような利点から、感性の新しい計測法として試みられている [4]。

## 3. 打楽器音楽

現在、我々が楽器を演奏する方法は、「叩く」「こする」「吹く」の3つである。これらの楽器の奏法にもとづいて、エーリヒ・M.v. ホルンボステルとクルト・サックスは、何千種類とある楽器を分類するために、楽器分類法を提唱した [14]。この分類法により、全ての楽器を体鳴楽器、膜鳴楽器、弦鳴楽器、気鳴楽器、電鳴楽器に分類することができる。これらの楽器の中で、打楽器は体鳴楽器、膜鳴楽器の2つに分類される。体鳴楽器は木や金属などの振動によって音を出す楽器である。膜鳴楽器は空洞の胴などに張られた膜の振動によって音を出す楽器であり、ドラム・太鼓全般を指す。

打楽器は最も原始的な楽器であり、構造が単純であるため、容易に音を出すことができる。そのため、古代から祭りや労働の現場で、人間の感情を表現する道具として発達し、文化や土地の違いによって多種多様に作られてきた楽器である。世界各国に数百種類とあり、楽器固有の奏法や音色がある。メトロフォンやゴングなどの青銅打楽器は、東南アジアで発達した体鳴楽器である。青銅打楽器を主に太鼓・弦楽器等で構成された大アンサンブルのガムランは、100kHz を超える高周波が含まれ、持続する共鳴音が特徴的であり、神秘性や陶酔性を感じさせる音楽といわれている [11]。膜鳴楽器に分類されるドラムは、多種の民族がいるアフリカで数多く発展してきた。ドラムの低音は、精神の高揚とともに人間が足に地をつける安心感を表現し、高音は、前進する気持ちとある種の苛立ちにも似たような「あおり」の感覚を伴っている。そして、高音の連打は人間の戦意を高揚させる役目を果たしている [15]。また、木琴や親指ピアノなどの体鳴楽器も多く作られてきた。以上より、打楽器音楽は原始的な演奏であるにもかかわらず、人間の感性に直接訴えかける音楽であり、音楽の感性研究の対象として、適した音楽の一つと考えられる。

## 4. SD 法による感性評価

音楽を対象とした感性の研究は、井口らをはじめ多くの研究者により行われ、数多くの報告がされている [16-21]。したがって、本稿では、紙面の関係もあり、SD 法による心理計測にもとづく感性評価については、実験方法と感性評価結果を簡単に述べることに留めたい。

### 4.1 実験方法

20 代前半の学生 47 名 (男性 37 名女性 10 名) を被験者とし、1 回の実験につき約 4 人の被験者で実験を行った。評価対象の楽曲には、打楽器が特徴的に使われているソロ演奏やアンサンブル演奏の楽曲を収集し、1 曲 30 秒程度に編集した楽曲を用いた。楽曲の特徴を表 1 に示す。楽曲の試聴順番による実験結果への影響を抑えるため、実験毎に合計 20 楽曲をランダムに流した。

被験者は各楽曲を 2 回聴き、1 回目の聴取後から、5 段階の SD 法によるアンケートに回答した。アンケート項目は表 2 に示す 15 対の形容詞表現とした。これらは形容詞辞典 [22] や片岡らの打楽器演奏時の感情表現に関する調査 [23] を参考に、打楽器音楽のイメージを表現するのに適当と思われる 30 対の形容詞で予備実験を実施し、その因子分析結果より、以下の (1) ~ (3) に該当する形容詞対を削除した結果の形容詞である。

- (1) 共通性が 0.8 以下の形容詞対 3 例
- (2) 因子負荷量が 0.78 以下の形容詞対 6 例
- (3) 被験者の意見から不適当と判断される形容詞 6 例

表 1 評価対象楽曲一覧

No.	演奏形態	使用楽器分類	使用楽器名
1	ソロ	膜鳴楽器	和太鼓
2	ソロ	膜鳴楽器	相撲太鼓
3	アンサンブル	膜鳴楽器と体鳴楽器	和太鼓, すり鉦
4	アンサンブル	膜鳴楽器と体鳴楽器	和太鼓, 鉦
5	アンサンブル	膜鳴楽器と体鳴楽器	チャング, ブク, チン, ケンガリ
6	ソロ	膜鳴楽器	ムリンダンガム
7	アンサンブル	体鳴楽器	青銅鍵盤打楽器, ゴング
8	アンサンブル	体鳴楽器	青銅鍵盤打楽器, ゴング
9	アンサンブル	膜鳴楽器と体鳴楽器	太鼓, マラカス, ギロ
10	アンサンブル	膜鳴楽器	太鼓
11	アンサンブル	膜鳴楽器と体鳴楽器	太鼓, 鉦
12	アンサンブル	体鳴楽器	スチールパン
13	アンサンブル	膜鳴楽器と体鳴楽器	コンガ, カウベル
14	アンサンブル	膜鳴楽器と体鳴楽器	太鼓, ベル
15	アンサンブル	膜鳴楽器	太鼓
16	アンサンブル	体鳴楽器	ムビラ, ガラガラ
17	アンサンブル	膜鳴楽器	太鼓
18	アンサンブル	膜鳴楽器	木太鼓
19	ソロ	膜鳴楽器	ボウドラ
20	アンサンブル	膜鳴楽器と体鳴楽器	ボンゴ, マリンバ, グロッケン

表 2 心理計測実験に用いる形容詞対項目

No.	形容詞対
1	明るい ⇔ 暗い
2	現代的な ⇔ 古典的な
3	のどかな ⇔ 緊迫した
4	潤いのある ⇔ 乾いた
5	楽しい ⇔ つまらない
6	勇ましい ⇔ か弱い
7	丸みのある ⇔ 角張った
8	力強い ⇔ 弱々しい
9	生き生きした ⇔ 生気のない
10	軽快な ⇔ 重々しい
11	男性的な ⇔ 女性的な
12	単純な ⇔ 複雑な
13	うれしい ⇔ 悲しい
14	落ち着いた ⇔ 騒々しい
15	陽気な ⇔ 沈んだ

## 4.2 心理計測にもとづく感性評価結果

感性評価実験のアンケート結果を [-2, 2] に数値化し、各形容詞における全被験者の平均データを標準化して因子分析を行った。各形容詞対についての因子負荷量の絶対値にもとづいて並び替えた結果を表 3 に示す。本実験結果から 3 因子が抽出され、多くの形容詞対が因子 1 と因子 2 で説明されることがわかる。

因子 1 として、No.2, 3, 4, 6, 7, 8, 11 の形容詞対が該当する。この因子で説明される形容詞は、「丸みのある⇔

表 3 因子負荷量

No.	形容詞対	因子負荷量			共通性
		因子 1	因子 2	因子 3	
7	丸みのある ⇔ 角張った	0.960	0.162	0.140	0.967
6	勇ましい ⇔ か弱い	-0.955	0.032	0.259	0.981
8	力強い ⇔ 弱々しい	-0.917	0.106	0.195	0.890
11	男性的な ⇔ 女性的な	-0.900	-0.065	0.380	0.959
4	潤いのある ⇔ 乾いた	0.894	0.245	0.122	0.874
3	のどかな ⇔ 緊迫した	0.841	0.480	0.029	0.938
2	現代的な ⇔ 古典的な	0.721	0.264	-0.217	0.636
13	うれしい ⇔ 悲しい	0.127	0.976	0.079	0.975
15	陽気な ⇔ 沈んだ	0.252	0.951	-0.157	0.992
1	明るい ⇔ 暗い	0.241	0.938	-0.174	0.968
5	楽しい ⇔ つまらない	0.364	0.917	-0.110	0.985
9	生き生きした ⇔ 生気のない	-0.434	0.860	0.028	0.928
10	軽快な ⇔ 重々しい	0.186	0.832	-0.345	0.845
14	落ち着いた ⇔ 騒々しい	0.525	-0.631	0.532	0.958
12	単純な ⇔ 複雑な	-0.316	-0.221	0.845	0.863
固有値		6.380	5.856	1.522	13.758
累積寄与率 [%]		42.54	81.58	91.72	

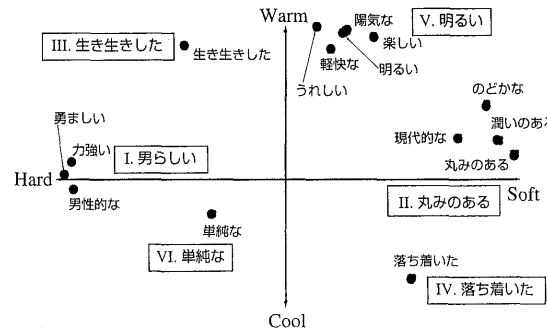


図 1 因子負荷量の分布

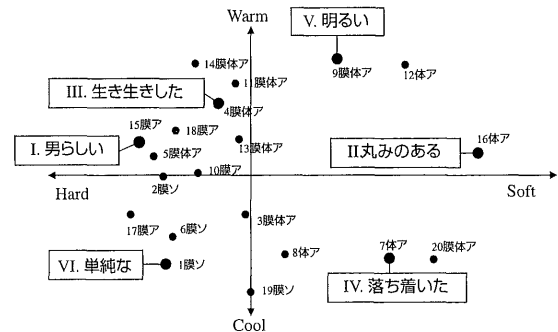


図 2 楽曲の因子得点の分布

角張った」「勇ましい⇔か弱い」「力強い⇔弱々しい」といった強弱を表現している。ここで、因子 1 をカラーイメージスケール [24] を参考にして、「Hard ⇔ Soft」を表現する因子とする。

因子 2 として、No.1, 5, 9, 10, 13, 14, 15 の形容詞が分布された。この因子で説明される形容詞は、「うれしい⇔かなしい」「陽気な⇔沈んだ」「明るい⇔暗い」といった感情を表現している。これも因子 1 と同様に因子 2 をカラーイメージスケールを参考にして、「Warm ⇔ Cool」を表現する因子とする。

因子 3 として No.12 の「単純な⇔複雑な」の形容詞が該当する。したがって、因子 3 は複雑さを表現する因子とする。

これら因子分析結果から、打楽器音楽のイメージを表現する形容詞は寄与率の高い因子 1 と因子 2 で説明できると考えられる。上記の因子分析結果にもとづき、横軸に「Hard ⇔ Soft」を表現する因子 1 軸、縦軸に「Warm ⇔ Cool」を表現する因子 2 軸とした形容詞の因子負荷量の分布を図 1 に示す。また、因子 1 と因子 2 を軸とする因子空間上に、サンプル楽曲の因子得点の分布を図 2 に示す。ただし、図中の番号は表 1 に示した楽曲を表す。

因子 1 軸の正方向にはメロディ楽曲、負方向にはリズム楽曲が分布していた。また、因子 2 軸の正方向には高音を奏でる楽器を含むアンサンブル演奏による楽曲、負方向には低音を奏でるソロ演奏による楽曲が分布していた。これより、以下のように因子 1- 因子 2 空間における各象限に特徴ある楽曲が配置されていることがわかる。

第 1 象限には楽曲 No.9, 12, 16 が分布された。これらは多種類の体鳴楽器演奏による長調のメロディ楽曲であり、「陽

気で丸みのある」と表現される。

第2象限には楽曲 No.4, 5, 10, 11, 13, 14, 15, 18 が分布された。これらは多種類の膜鳴楽器と高音を奏でる体鳴楽器演奏によるリズム楽曲である。No.10, 15, 18 は高音を奏でる体鳴楽器を含まない太鼓によるアンサンブル演奏であるが、リズムの速さが影響して「生き生きした」というイメージを受けた被験者が多かったと推測される。このような楽曲は「生き生きした力強い」と表現される。

第3象限には楽曲 No.1, 2, 3, 6, 17, 19 が分布された。No.3 を除くすべての楽曲は、一種類の膜鳴楽器演奏によるリズム楽曲である。因子2軸の負領域には、低音を奏でる楽器による演奏曲が分布されている。No.3 においては、楽器の中に鉦が含まれているが、基本リズムとなる太鼓が評価されたため、鉦の音は評価に影響しなかったと推測できる。このような楽曲は、「重々しく力強い」と表現される。

第4象限には楽曲 No.7, 8, 20 が分布された。これらは多種類の体鳴楽器演奏による独特な音階で演奏されているメロディ楽曲であり、「潤いのある落ち着いた」と表現される。

以上より、2因子軸を境界とする4象限において、打楽器演奏による楽曲の特徴と感性表現との関係が示された。

## 5. 近赤外分光法 (NIRS) による感性評価

### 5.1 感性と脳科学

感性情報処理へのアプローチの一つとして、脳科学からのアプローチがある。これは人間の持つ感性や感情といったものを生み出す脳機能を明らかにしようとするアプローチである。感性を脳の情動系神経回路に起こるプラス反応、あるいは、脳の報酬系神経回路の活性化プロセスと捉え、そうした反応を脳に引き起こさせる刺激としての感性情報と脳活動との関連を工学的に分析することは今後の感性研究において重要である [11]。

近年、脳の活動に伴う脳内の血流の変化や磁気の変化などを光や磁気のセンサを用いて測定し、身体を傷つけずに脳の機能を計測する技術が急速に発達している。このような非侵襲脳機能計測の発展により、情動に関する研究は知覚、注意、記憶、学習、行動などの側面との関連から、多くの成果をあげている。しかしながら、前頭前野機能を中心とした人間らしさの基盤となる複雑で高次の情動機能や感性については、未解明の点も多い。

人間の感性は多岐のパラメータが融合した極めて複雑な精神活動である。感性を形成するさまざまな要素を分類し、その特徴を詳細に記述できない限りは、脳科学のみによるアプローチには限界がある [25]。日本感性工学会感性脳機能部会は、ここの一側面としての「感性」について、脳の高次機能を解明する立場から、様々な研究を行っている [26]。このような自然科学的方法と人文科学的方法をつないだ新しいアプローチは、未知の心的生命現象に科学的論拠を与え、ここが繰り返る多様な機能に対して具体性や論理性のある説明を可能にすると信じる。

### 5.2 NIRS による脳機能計測の特徴

NIRS は脳内の酸素化ヘモグロビン (oxyHb) と脱酸素化ヘモグロビン (deoxyHb) 双方の濃度変化を計測することにより脳機能計測を行う非侵襲脳機能計測装置である [7]。fMRI や PET と比較すると小型・可搬型の装置で実現でき、誰にでも比較的容易に脳活動を観察できる。被験者は光ファイバを装着したキャップを冠るだけでよいので拘束性が少なく、自然な日常環境下で計測できる。なお、自然な検査環境とは、狭い空間に閉じ込められない、ある程度動くことができる、騒音がないなどの点である。特に、本研究のように音楽聴取をしながらの脳機能計測には、最適な計測装置である。空間分解能は PET 以下の水準 (20 ~ 30mm) にとどまるが、時間分解能は 10 画像/秒であり、リアルタイムに画像表示ができる特徴がある。

### 5.3 実験方法

被験者は健康な 20 代前半の男性 3 名で、事前に実験内容を説明し、参加への同意を得た上で実験を開始した。音楽の聴取方法は心理計測実験と同様とした。ただし、外的ノイズを避けるために、被験者には実験時は閉眼してもらった。

脳活動計測のために、近赤外光イメージング装置 NIRStation [27] を使用し、被験者の前頭前野部位に図 3 のように赤外光ファイバを取り付けて、ファイバ間の全 17 チャンネルの oxyHb, deoxyHb, totalHb の変化量を計測した。

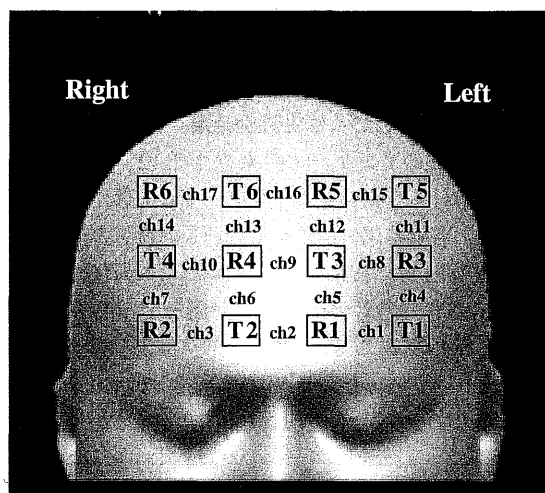


図3 光ファイバの配置とチャンネル

図1および図2にもとづき、楽曲を表4に示すI~VIのグループに分類し、その中から1曲を選定した。以降、ここで選定された楽曲を楽曲I~VIと呼ぶことにする。また、選定した楽曲を図2に示す。

被験者は実験データのばらつきとノイズやアーチファクトをおさえるために、1試行中に60秒間の安静の後、30秒間の聴取を4回繰り返した。また、被験者は十分な休息を取りながら、楽曲ごとに1試行を実施し、合計6試行の実験を行った。ただし、4回の聴取回数に関しては、これが最適とは言えないが、実験時間や被験者の疲労等を考慮し、4回

と決定した。結果的には、4回の聴取実験から相関係数 0.7 以上を示すデータがすべての被験者と楽曲に対して得られたことから、ある程度信頼性の高いデータが得られたと考えられる。

表 4 分類した形容詞項目

分類 No.	形容詞	楽曲 No.
I	力強い, 勇ましい, 男性的な	15 膜ア
II	現代的な, のどかな, 潤いのある 丸みのある	16 体ア
III	生き生きした	4 膜体ア
IV	落ち着いた	7 体ア
V	明るい, 楽しい, 軽快な うれしい, 陽気な	9 膜体ア
VI	単純な	1 膜ソ

#### 5.4 実験結果および考察

NIRS から得られる 17 チャンネルの Hb 濃度変化時系列データにおいて、乱雑な振幅がある場合は、毛髪などの外的要因から生じるノイズと判断し、削除した。測定結果の一例を図 4 に示す。ただし、本実験では、サンプリング周波数は 1 [Hz] とした。

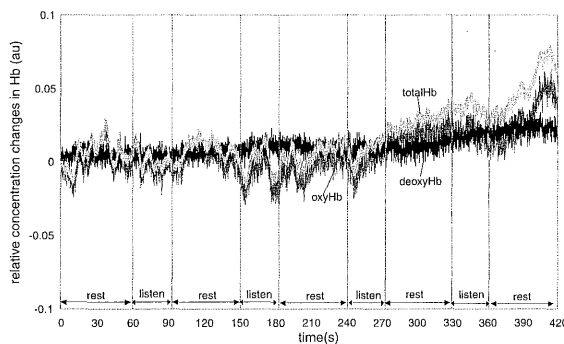


図 4 Hb 濃度変化 (被験者 3, ch6, 楽曲 I)

全ての被験者において、楽曲によって oxyHb が deoxyHb を上回る場合と下回る場合が観測された。oxyHb が deoxyHb を上回る時は、測定部位に血流が増加し、その部位の脳活動が活発になっていることを意味する。また、oxyHb が deoxyHb を下回る時は、測定部位への血流が減少し、その部位の脳活動が抑制されているといえる。したがって、前頭前野の活動が楽曲によって異なることがわかる。各被験者の特徴は以下の通りである。

**被験者 1:** 安静時の oxyHb が大きく変化している状態があり、安静時と聴取時の脳活動変化の見分け方が困難であるが、聴取を開始した時点で oxyHb の変化が起こり、一定の傾向を示している場合が多かった。

**被験者 2:** 安静時と聴取時に関わらず、oxyHb の変化量が少なく、楽曲聴取による前頭前野の脳活動への影響が他の被験者に比べて少ないといえる。

**被験者 3:** 各安静開始後 30 秒付近で oxyHb が deoxyHb と

同じ濃度になる傾向が見られた。さらに、安静開始後 30 秒付近から聴取開始までに oxyHb が増加する傾向があった。これは、被験者が次の曲がいつ流れるかを待ち構えたり推測したりして、緊張状態になっていたためと考えられる。

#### 5.5 データの前処理

NIRS で計測されるのは、oxyHb, deoxyHb および両者の和として totalHb である。大脳皮質の神経細胞活動と局所血行動態は密接にリンクしており、神経細胞による脳血流増加は、血流速度の増加と血管床面積の増加という 2 つのメカニズムにより生じる。このメカニズムにおいて、deoxyHb の挙動は非常に複雑であり、totalHb は血流変動とほぼ対応するが、その変動幅が小さい時には信頼できない。一方、oxyHb は常に血流変動を反映しているため、脳血流変化を示す信頼できる指標と考えられる [10]。また、NIRS による計測データは、短時間の単純課題に対しては、多数回加算平均することによりアーチファクトを最小限にすることが可能であるが、認知課題による前頭部の反応に対しては基線の揺れをはじめとして、さまざまなゆらぎが混入し、どれが生理反応によるものであるかの解釈が難しい [9]。

以上を配慮して、本研究では、解析対象を oxyHb 濃度変化データとし、1 試行における 4 聴取データ間の相関にもとづき、下記の手順に従って、測定チャンネルと oxyHb 濃度データを決定し、脳活動を解析するためのデータ (解析データ) を作成する。

##### 5.5.1 平滑化処理

これまでの経験にもとづき、9 点の重み付き移動平均の平滑化処理を行った。

##### 5.5.2 ベースライン補正処理

NIRS による計測データは、modified Lambert-Beer の法則に基づいて、ヘモグロビン濃度の相対的変化を算出したデータである。したがって、目的に応じて何を測定するかを明確にし、ベースラインの設定などのパラメータの決定をする必要がある [10]。本実験では、聴取期間における NIRS データの基線の揺れを直線と見なして、データの補正処理を以下のように行う。

- [1] 聴取前後の安静時 60 秒間の平均 oxyHb 濃度変化をそれぞれ聴取開始前 30 秒時点での oxyHb 濃度変化値および聴取終了後 30 秒時点での oxyHb 濃度変化値と仮定する。
- [2] それら 2 点の平均 oxyHb 濃度変化値を結ぶ直線を決定する。
- [3] 直線と oxyHb 濃度変化との偏差を補正処理された oxyHb 濃度変化とする。

平滑化および補正処理を行った Hb 濃度変化の一例を図 5 に示す。

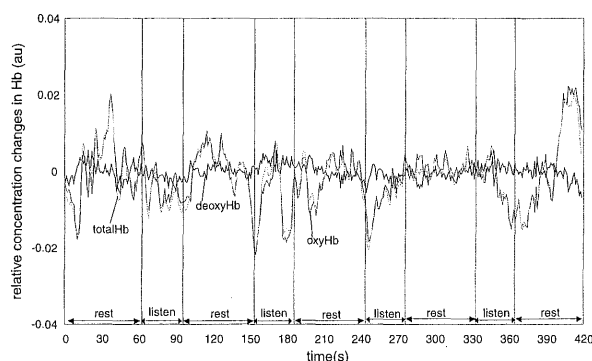


図5 平滑化および補正処理された Hb 濃度変化  
(被験者 3, ch6, 楽曲 I)

### 5.5.3 解析データの作成

被験者  $s$ , 楽曲  $m$ , チャンネル  $c$ , 時刻  $t$  における oxyHb 濃度変化データ  $x_i^{smc}(t)$ ,  $y_i^{smc}(t)$ , ( $i=1, \dots, 4$ ) を図 6 のように定義する。被験者  $s$  において、すべての  $m$  および  $c$  に対して 2 聴取データ間の再現性の高さを表す相関係数  $r_{x_i^{smc}}, r_{y_i^{smc}}$  にもとづいて最適な測定チャンネルと最適な 2 聴取データを選出し、以降の解析に用いるデータ（解析データ）を作成する。ここで、安静時を含めた oxyHb 濃度変化の相関係数  $r_{y_i^{smc}}$  をも考慮した理由は、後述する oxyHb 濃度変化の定性的モデル構築において、楽曲聴取時血流量から安静時血流量を減した血流量の変化が重要な指標となるためである。具体的な計算手順は以下の通り

- [1] 4 回の聴取における脳への血流変化の遅れのバラつきを考慮して時間遅れ  $\tau$  を導入し,  $x_i^{smc}(t)$  と  $x_j^{smc}(t+\tau)$ , ( $i \neq j; i, j=1, 2, 3, 4; \tau=-2, -1, \dots, 4, 5$ ) の相関係数, 計 48 個 ( $i$  と  $j$  の組み合わせ数 6 と  $\tau$  の数 8 の積)の中から最大値を与えるデータ対 ( $x_i^{smc}, x_j^{smc}$ ) の相関係数を  $r_x^{smc}$  とする. 同様に,  $y_i^{smc}(t)$  と  $y_j^{smc}(t+\tau)$  の相関係数のの中から最大値を与えるデータ対 ( $y_i^{smc}, y_j^{smc}$ ) の相関係数を  $r_y^{smc}$  とする.
- [2] 相関係数  $r_x^{smc}$  が  $\geq 0.7$  以上且つ, 相関係数  $r_y^{smc}$  が  $\geq 0.7$  以上の中から,  $r_x^{smc}$  が最大となるチャンネル  $c_s^*$  を被験者  $s$  における最適な測定チャンネルとする.
- [3] 最大相関係数  $r_x^{smc}$  を与える oxyHb 濃度変化データ ( $x_i^{smc}, x_j^{smc}$ ) を ( $x_s^a, x_s^b$ ) とし, その平均値を以降の脳機能解析に用いる解析データ  $x^{sm}$  とする.

測定結果より、最適測定チャンネルは、被験者 1 および 2 では  $c_1^*, c_2^* = \text{ch9}$ 、被験者 3 では  $c_3^* = \text{ch6}$  となった。

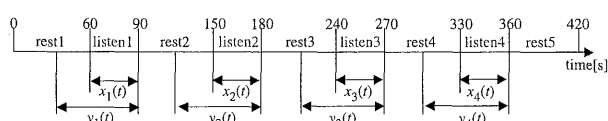


図 6 oxyHb 濃度変化データの定義

$$c_s^* = \{c \mid r_x^{smc}, r_y^{smc} > 0.7, \max \{r_x^{smc}\} \text{ for } \forall m, c\} \quad (1)$$

$$(x_a^{sm}, x_b^{sm}) = \left\{ (x_i^{smc_s^*}, x_j^{smc_s^*}) \mid \max \{r_x^{smc_s^*}\} \right\} \quad (2)$$

$$x^{sm} = \frac{x_a^{sm} + x_b^{sm}}{2} \quad (3)$$

ただし、

$$r_x^{smc} : (x_i^{smc}(t), x_j^{smc}(t + \tau)) \text{ の最大相関係数,}$$
$$r_y^{smc} : (y_i^{smc}(t), y_j^{smc}(t + \tau)) \text{ の最大相関係数,}$$
$$i \neq j; i, j = 1, 2, 3, 4; \tau = -2, -1, \dots, 4, 5$$

## 6. 感性評価における心理・生理計測結果の相互関係

## 6.1 oxyHb 濃度変化の定性的モデル

被験者  $s$  楽曲  $m$  における楽曲聴取の脳活動への影響度を表す指標  $S^{sm}$  および聴取開始から終了までの脳血流変化の傾向を表す指標  $D^{sm}$  を次式で定義する (図 7 参照)。すなわち、 $S^{sm}$  は楽曲聴取時血流量から安静時血流量を減した血流量の変化であり、 $D^{sm}$  は楽曲聴取開始時血流量から終了時血流量を減した血流量の変化である。

$$S^{sm} = (S_{lp} - S_{ln}) - (S_{rp} - S_{rn}) \quad (4)$$

$$D^{sm} = \frac{H_e - H_s}{T_i} \quad (5)$$

$$\bar{S}^m = \frac{1}{3} \sum_{s=1}^3 S^{sm} \quad (6)$$

$$\overline{D}^m = \frac{1}{3} \sum_{s=1}^3 D^{sm} \quad (7)$$

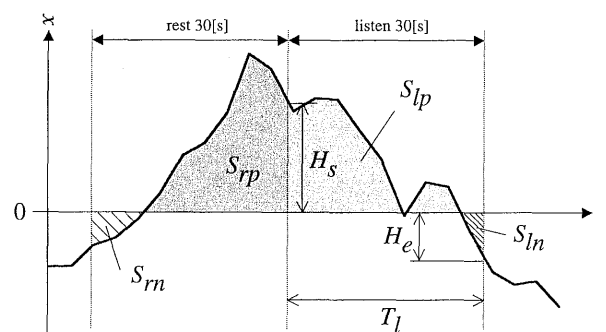
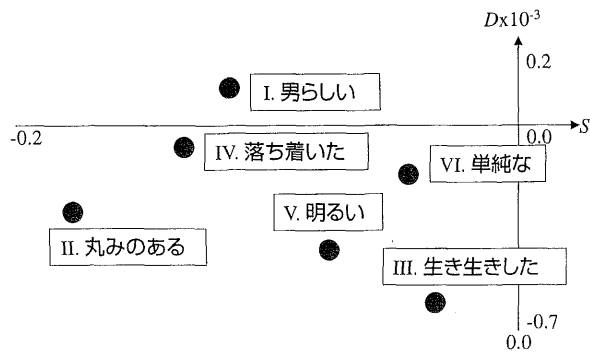


図7 指標  $S$  および指標  $D$  の定義}

平均的な前頭前野の脳活動傾向を見るため、図8に3名の平均値にもとづく $\bar{S}^m - \bar{D}^m$ 平面における各楽曲を示す。楽曲分類番号の後に表記した形容詞は、心理計測より明らかとなった楽曲のイメージを表現した感性語である。ここで、 $S$ の絶対値が大きいほど、楽曲聴取の脳活動への影響度は高く、これが小さいほどその影響度が少ない。また、 $D$ が正の場合は測定部位への血流が増加し、負の場合は血流が減少している。したがって、音楽聴取の過程で前頭前野の脳活動が抑制されることが多いと言える。このことは、音楽聴取時に前頭前野の血流低下が認められたという先行研究結果と一致している [25]。

図8が示すように、全ての楽曲において、 $\bar{S}^m < 0$ となった。また、楽曲Iは $\bar{D}^I > 0$ となり、その他の楽曲は、 $\bar{D}^m < 0$ となった。図8にもとづいて各楽曲の定性的特徴を表5に示す。

図8  $\bar{S}^m - \bar{D}^m$ 平面における各楽曲の相対関係

+は数値が正を, -は負を表し, その個数は大きさを表している. 表5に示した $\bar{D}^m$ および $\bar{S}^m$ の定性的特徴(わずかに減少, 減少, 非常に減少, わずかに増加)にもとづいてoxyHb濃度変化の定性的モデルを以下のように構築し, その変化の挙動を図9に示す.

表5 楽曲に対するoxyHb濃度変化の定性的特徴

楽曲 m	$\bar{S}^m$	$\bar{D}^m$
I	--	+
II	---	---
III	--	----
IV	--	-
V	-	--
VI	-	-

**楽曲 I** 表5より聴取終了時のoxyHb濃度変化は+ (わずかに増加) かつ全体としてのoxyHb濃度変化量は-- (減少) である. すなわち, oxyHb濃度変化が聴取終了時にわずかに増加しているにもかかわらず, 全体としてのoxyHb濃度変化量は減少しているということは, 聴取開始時の変化は減少すると推測することができる. したがって, 図9-(a)に示すようにoxyHb濃度変化は始めは減少し, 全体としての変化量が減少となる適当な時点で増加に転じ, 最終的にはoxyHb濃度変化が増加で終了する定性的モデルを考えることができる.

**楽曲 II** 表5より聴取終了時のoxyHb濃度変化は-- (減少) かつ全体としてのoxyHb濃度変化量は--- (非常に減少) である. すなわち, oxyHb濃度変化は聴取開始時から減少を始め, 終了までそれが続くと推測することができる. したがって, 図9-(b)に示すようにoxyHb濃度変化は始めから減少を始め, 全体としての変化量が非常に減少まで減少し, 最終的にはoxyHb濃度変化が減少で終了する定性的モデルを考えることができる.

**楽曲 III** 表5より聴取終了時のoxyHb濃度変化は--- (非常に減少) かつ全体としてのoxyHb濃度変化量は- (わずかに減少) である. すなわち, oxyHb濃度変化が聴取終了時に非常に減少しているにもかかわらず, 全体としての変化量はわずかな減少で済んでいるということは, 聴取開始時のoxyHb濃度変化は増加していると推測すること

ができる. したがって, 図9-(c)に示すようにoxyHb濃度変化は始め増加し, 全体としての変化量がわずかに減少となる適当な時点で減少に転じ, 最終的にはoxyHb濃度変化が非常に減少で終了する定性的モデルを考えることができる.

**楽曲 IV** 表5より聴取終了時のoxyHb濃度変化は- (わずかに減少) かつ全体としてのoxyHb濃度変化量は-- (減少) である. すなわち, oxyHb濃度変化の傾向は楽曲IIと同様であるが, その変化は楽曲IIより少ないと推測することができる. したがって, 図9-(d)に示すようにoxyHb濃度変化は始めから減少を始め, 全体としての変化量が減少まで減少し, 最終的にはoxyHb濃度変化がわずかに減少で終了する定性的モデルを考えることができる.

**楽曲 V** 表5より聴取終了時のoxyHb濃度変化は-- (減少) かつ全体としてのoxyHb濃度変化量は- (わずかに減少) である. すなわち, oxyHb濃度変化の傾向は楽曲IIIと同様であるが, その変化は楽曲IIIより少ないと推測することができる. したがって, 図9-(e)に示すようにoxyHb濃度変化は始めは増加し, 全体としての変化量がわずかに減少となる適当な時点で減少に転じ, 最終的にはoxyHb濃度変化が減少で終了する定性的モデルを考えることができる.

**楽曲 VI** 表5より聴取終了時のoxyHb濃度変化は- (わずかに減少) かつ全体としてのoxyHb濃度変化量も- (わずかに減少) である. すなわち, oxyHb濃度変化の傾向は楽曲IIや楽曲IVと同様ではあるが, その変化は楽曲IVよりもさらに少ないと推測することができる. したがって, 図9-(f)に示すようにoxyHb濃度変化は始めから減少を始め, 全体としての変化量がわずかに減少まで減少し, 最終的にはoxyHb濃度変化がわずかに減少で終了する定性的モデルを考えることができる.

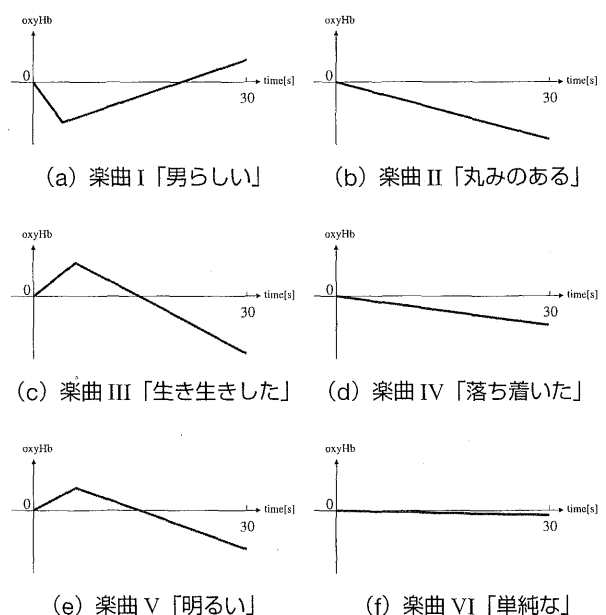


図9 楽曲に対するoxyHb濃度変化の定性的モデル

## 6.2 定性的モデルと心理計測結果

楽曲Ⅰを聴取している時は、図9-(a)に示すように測定部位の血流は初め減少し、聴取の過程で徐々に血流が増加する。すなわち、前頭前野の脳活動が一旦は抑制された後、活性化されていく状態が「男らしい」というイメージに繋がると言える。この楽曲Ⅰは膜鳴楽器によるアンサンブル演奏であり、膜鳴楽器の連打によって人間を高揚させるという特徴を示す。

楽曲Ⅱと楽曲Ⅳを聴取している時は、図9-(b)および(d)に示すように測定部位の血流が徐々に減少する。すなわち、前頭前野の脳活動が徐々に抑制されていく状態が「丸みのある」や「落ち着いた」というイメージに繋がると言える。これらの楽曲は体鳴楽器のアンサンブル形態で演奏されたメロディ楽曲である。楽曲Ⅱはメロディを認識しにくい楽曲であり、楽曲Ⅳは独特な音階ではあるが、楽曲Ⅱと比較するとメロディを認識しやすい楽曲である。すなわち、メロディの認識しやすさと楽曲聴取による脳活動の抑制効果には正の相関関係があると考えられる。

楽曲Ⅲと楽曲Ⅴを聴取している時は、図9-(c)および(e)に示すように測定部位の血流は初めは増加し、楽曲の聴取によって徐々に減少する。すなわち、前頭前野の脳活動が一旦は活性化した後、抑制されていく状態が「生き生きとした」や「明るい」というイメージに繋がると言える。これらの楽曲は膜鳴楽器と体鳴楽器のアンサンブル形態で演奏されている。楽曲Ⅲはリズム楽曲、楽曲Ⅴはメロディ楽曲である。楽曲Ⅴは長音階のメロディ楽曲であり、他のメロディ楽曲である楽曲Ⅱ、楽曲Ⅳと比較すると、一般的に長音階のメロディ楽曲は被験者が聞き慣れているため、メロディを認識しやすい。ここでもメロディを認識しやすい楽曲は脳活動を抑制する効果があることが確認できる。

楽曲Ⅵを聴取している時は、図9-(f)のように、測定部位の血流はほとんど変化しない。すなわち、前頭前野の脳活動がほとんどない状態が「単純な」というイメージに繋がると言える。この楽曲は膜鳴楽器によるソロ演奏であり、複雑な音楽要因が少ないという特徴を示す。

以上より、打楽器音楽の聴取時に抱く感性和脳活動状態との間には固有の関係が存在することがわかった。

## 7. お わ り に

本研究では、SD法による心理計測とNIRSによる生理計測にもとづき打楽器音楽の感性評価を行い、感性イメージと脳活動との関係を明らかにした。

今後の課題として、より多くの被験者を対象としたNIRSによる脳機能計測を行い、提案モデルのより詳細な検証が必要と考える。また、前頭前野の脳活動が音楽聴取に起因する現象であることを証明するため、聴覚野の脳活動計測や自律神経系の活動と連動させた計測も必要である。さらに、今回の実験結果より楽曲のメロディと脳活動との関係も示されたので、今後は楽曲のリズムやメロディなどの音楽要素と生理

計測結果との関係を明らかにしたい。

## 参 考 文 献

- [1] 櫻林仁：音楽療法入門，芸術現代社（1988）
- [2] 畠山英子，宮崎良文：生命科学を基礎とする感性和音楽環境の相関に関する研究，感性福祉研究所年報，Vol.3，pp.89-90（2002）
- [3] 片寄晴弘：音楽における没入感に関する検討－技能の拡張と身体性の視点から－音楽とエンタテインメント，日本バーチャルリアリティ学会誌，No.9，Vol.1，pp.10-14，2004
- [4] 飯田健夫：感覚情報処理の解明とその社会的貢献，計測と制御，Vol.41，No.10，pp.692-695（2002）
- [5] 青山美由夏，Eric W. Cooper，星野孝総，亀井且有：因子分析法による民族打楽器音楽の感性評価，第6回日本感性工学会大会予稿集2004，p.284（2004）
- [6] 岡田英史：NIRS測定の工学的シミュレーション，臨床精神医学，Vol.33，No.6，pp.735-740（2004）
- [7] 小泉英明，牧敦，山本剛：NIRSによる機能画像の基礎，臨床精神医学，Vol.33，No.6，pp.723-732（2004）
- [8] 江田英雄：光計測で脳活動を見る，臨時別冊・数理科学2003年6月 脳の謎に挑む，pp.44-57，サイエンス社（2003）
- [9] 松尾幸治，加藤進昌，加藤忠史：NIRSにおける機能画像と気分障害／PTSD，臨床精神医学，Vol.33，No.6，pp.779-786（2004）
- [10] 福田正人，亀山正樹，山岸裕，上原徹，伊藤誠，須藤友博，井田逸朗，三國雅彦：精神疾患の生理学におけるNIRSの意義，臨床精神医学，Vol.33，No.6，pp.787-798（2004）
- [11] 辻三郎：感性の科学－感性情報処理へのアプローチ，サイエンス社（1997）
- [12] 長町三生：第一回 感性工学入門，ヒューマンインタフェース学会誌，Vol.3，No.4，pp.3-10（2001）
- [13] 長沢伸也：感性をめぐる商品開発－その方法と実際，日本出版（2002）
- [14] 柘植元一，塚田健一：はじめての世界音楽，音楽之友社（1999）
- [15] みつとみ俊郎：音楽はなぜ人を幸せにするのか，新潮選書（2003）
- [16] 長町三生：感性工学，海文堂出版（1989）
- [17] 井口征士：感性情報処理，オーム社（1994）
- [18] 長町三生：感性工学のおはなし，日本規格協会（1995）
- [19] 文部省科学研究費補助金重点領域研究平成4年～6年度成果報告書「感性情報処理の情報学・心理学的研究」（1995）
- [20] 篠原昭，清水義雄，坂本博：感性工学への招待，森北出版（1996）
- [21] 原島博，井口征士：感じる・楽しむ・創りだす 感性情報学，工作舎（2004）

- [22] 飛田良文, 浅田秀子: 現代形容詞用法辞典, 東京堂出版 (1998)
- [23] 片岡智嗣, 中村敏枝, 長岡千賀, 河瀬諭, Maria Draguna: 打楽器演奏における感情の表現と伝達, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2003 論文集, pp.449-452 (2003)
- [24] 小林重順: カラーイメージスケール, 講談社 (2001)
- [25] 川島隆太: 感性のブレインマッピング, 第6回日本感性工学会大会予稿集 2004, pp.41-45 (2004)
- [26] 五十嵐浩也: 部会報告「脳機能部会」, 感性工学 KANSEI (学会誌), Vol.4, No.1, pp.48-51 (2005)
- [27] 島津製作所社製近赤外光イメージング装置 NIRStation (ニルステーション), <http://www.med.shimadzu.co.jp/application/other/t05.html>



亀井 且有 (正会員)

1983年立命館大学大学院博士課程後期課程修了(工学博士)。同年立命館大学理工学部助手, 1998年教授を経て, 2004年より情報理工学部知能情報学科・教授, 現在に至る。ソフトコンピューティング技術を応用した知能システム, 感性システム, ヒューマンインタフェースに関する研究に従事。1987年度日本自動制御協会(現システム制御情報学会)榎本記念賞奨励賞受賞。1990年米国カリフォルニア大学バークレイ校客員研究員, 1996年カナダ・ブリティッシュコロンビア大学客員研究員, 2000年中国・湖南大学客員教授, 中国・湘潭工学院客員教授。システム制御情報学会, 日本ファジィ学会, ヒューマンインタフェース学会, 計測制御学会, 電子情報通信学会, 情報処理学会, 感性工学会, IEEEなどの各会員。



青山 美由夏 (正会員)

2006年3月立命館大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。在学中に感性工学に興味を持ち, 音楽に関する感性をテーマとして研究に従事。「打楽器音楽の感性評価とNIRSによる生理計測」にて第7回日本感性工学会大会優秀発表賞を受賞。現在, 東芝ソリューション(株)に勤務。日本感性工学会会員。



木下 雄一朗 (学生会員)

2002年立命館大学理工学部情報学科卒業。現在, 立命館大学大学院理工学研究科一貫制博士課程フロンティア理工学専攻在学中。感性のモデル化, 個人の嗜好の可視化などに興味を持つ。このほか, ヒューマンインタフェース, ヒューマンファクターに関する研究に従事。日本感性工学会, ヒューマンインタフェース学会, システム制御情報学会, IEEE, ACM SIGCHI 各会員。



クーパー・エリック (正会員)

1992年 Maryland Institute College of Art, General Fine Arts 卒業。1998年立命館大学大学院理工学研究科情報システム学専攻博士課程前期課程修了。2002年立命館大学博士(工学)学位取得。2006年立命館大学情報理工学部情報システム学科・助教授, 現在に至る。色彩配置支援システムをはじめに, 色彩工学, ヒューマン・コンピュータインタラクション, デザイン支援, ソフトコンピューティングなどに関する研究に活動。日本感性工学会, ヒューマンインタフェース学会, システム制御情報学会, ACM 各会員。



星野 孝総 (正会員)

1995年米国 Westmar university, Department of Computer Science and Mathematics 卒業。1998年立命館大学大学院理工学研究科情報学専攻博士前期課程修了。2001年立命館大学大学院理工学研究科総合理工学専攻博士後期課程単位取得退学。2002年立命館大学博士(工学)学位取得。2002年立命館大学理工学部情報学科講師。2006年高知工科大学電子・光システム工学科助教授, 現在に至る。ソフトコンピューティング, 画像処理, 感性工学, ヒューマンインタフェース, RoboCup, 進化計算, 知識獲得, 強化学習, ゲーミングの研究に従事。日本感性工学会会員, 日本知能情報ファジィ学会会員, ヒューマンインタフェース学会会員 システム制御情報学会会員, 計測自動制御学会会員, IEEE 会員。