

音と色のノンバーバルマッピング

——色聴保持者のマッピング抽出とその応用——

長田 典子^{†a)} 岩井 大輔^{††} 津田 学^{††} 和氣 早苗^{†††}
井口 征士^{††}

Non-verbal Mapping between Sound and Color

——Mapping Derived from Colored Hearing Possessors and Its Applications——

Noriko NAGATA^{†a)}, Daisuke IWAI^{††}, Manabu TSUDA^{††}, Sanae H. WAKE^{†††},
and Seiji INOKUCHI^{††}

あらまし 従来の感性情報処理では、メディアを構成するパラメータとイメージとの対応関係を、感性語を介して表現していた。これに対し感性語を介さないメディア間の直接的・感性的な対応付けをノンバーバルマッピングと呼ぶ。そして「色聴現象」(音を聴くと色が見える)に着目し、音楽における調・音高・音色のパラメータを変化させた際に色聴保持者が感じる色の対応付け(マッピング)の規則性を、色相・明度・彩度のパラメータを用いて明示的に表現した。次にこのマッピングが色聴をもたない一般人にも受容可能かどうかの検証を行った。まず一対比較法による感覚尺度化を行い、音高と音色に関するマッピングについては一般群に受容されることを明らかにした。次に調同定トレーニングを実施し、調に関するマッピングを利用する試みを行ったところ、一般群にも色聴に似た現象が観察された。この結果、一般群においても音と色のマッピングが潜在的に保有される可能性を示した。

キーワード ノンバーバルマッピング, 感性情報処理, 色聴, 絶対音感, 共感覚

1. ま え が き

音楽と映像を用いた作品制作において、映像のイメージに合う音楽を付加したり、逆に音楽に合う映像を付加することで互いの印象が強調されたりすることがある[1]。このような音楽と映像の関係がどのようなパラメータの結び付きによって成り立っているのかを解明することができれば、「絵を聴く、音を見る」という行為を可能にする手掛りになり、ひいてはホームページなどマルチメディア作品の創作支援システムなどにも応用展開できる。

メディア間におけるイメージの相関については、最近感性情報処理の分野で活発に研究が行われている[2]~[4]。これらの研究では図1に示すように、メディアを構成するパラメータとイメージとの関係を、形容詞(感性語)を介して表現するものがほとんどである。しかしながら直感的な感性(初期感性)の解明では、感性語を介するやり方には限界がある。そこで本研究で

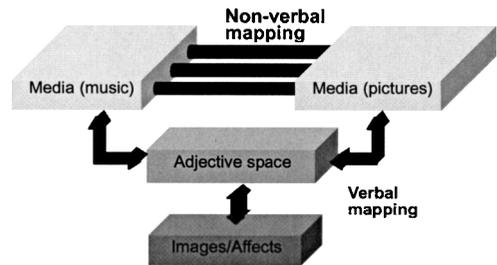


図1 音楽と映像のバーバル/ノンバーバルマッピング
Fig.1 Verbal/non-verbal mapping between music and pictures.

[†] 関西学院大学理工学部, 三田市
School of Science and Technology, Kwansai Gakuin University, Sanda-shi, 669-1337 Japan

^{††} 大阪大学大学院基礎工学研究科, 豊中市
Graduate School of Engineering Science, Osaka University, Toyonaka-shi, 560-8531 Japan

^{†††} 同志社女子大学情報メディア学科, 京田辺市
Department of Information and Media, Doshisha Women's College of Liberal Arts, Kyotanabe-shi, 610-0395 Japan

a) E-mail: nagata@ksc.kwansei.ac.jp

は、メディアにおけるパラメータ間の直接的・感性的対応をノンバーバルマッピングと呼び、感性語を介さない対応関係を明らかにすることを目的とする。

心理学の分野で「共感覚」知覚と呼ばれる現象がある。これは音を聞くと色が見える、または味から物の形が感じられるなど、一つの物理的刺激が本来独立な異なる感覚を誘発することをいう[5]。共感覚保持者は数万人に1人の生起確率で、また圧倒的に女性に多いなどといわれている。以前は共感覚を客観的に測定する手段がなかったことから、非科学的な事例だという批判も多かった。しかし、最近では脳内での共感覚現象が医学的に確認されており[6]、共感覚は実に万人に起こっているがそのうち限られた人にだけ意識にのぼっているという説もある。実際「黄色い声」、「甘い香り」といった表現は、我々が視覚、味覚、嗅覚といった異なる感覚系の中で、何らかの共通した性質を感じとっていることを示唆している[5]、[7]。

共感覚の中で比較的多いのが「音を聴いて色を感じる」現象であり、これは「色聴」と呼ばれている[8]。色聴については、ある楽器の音色を聴くと特定の色彩が喚起される[9]、音の高さに色の明度が対応づけられる[10]、あるいは母音と色が関連している[11]など多くの報告がある。とりわけ色聴の典型的事例として取り上げられるのが調性と色の対応についてであり、メシアン、スクリアピンといった著名な作曲家が、曲の調に対して独自の色彩イメージをもっていたことが知られている[12]。これらの報告例ではイメージされる色彩の内容に共通性が見られず、色聴は個々の感受性や体験の記憶に起因するという見方がされてきた[13]。しかし絶対音感をもつ者の間では色聴に共通性が高いという報告もある[14]。色聴現象の体系化やメカニズムの解明に関しては研究の緒についたばかりである。

以上の流れから我々は、ノンバーバルマッピング研究の第1ステップとして、まず色聴保持者(以下色聴保持群)が感じる対応関係(マッピング)を調べ、次にこれを利用して、色聴をもたない一般の人(以下一般群)がどのように感じているか(色聴保持者と同様のマッピングなのか、異なるとすればそれはどのようなものなのか)を明らかにする。

色聴現象にも種々あり[9]、音刺激に対して色が実在するかのように現れる“可視的色聴”から、音から色を敏感に感じる程度のものにまで分類される。本研究では最終的に一般群にも受け入れられるマッピングを目指しており、音からイメージされる色全般を含む広

義の色聴とする。

そこでまず、色における明度・彩度・色相と音楽における調性・音色・音高を物理的なパラメータとして挙げ、これらを変化させたときに色聴保持者が感じるマッピングの導出実験を行う。次に、一般群にこのマッピングを呈示して、一般群がマッピングを受け入れるかどうかの検証を行う。この実験は以下の仮説に基づいている。色聴保持群は明示的に音と色との対応関係を提示できるのに対し、一般群は自ら提示できなくても、もし同種の感覚を有しているとすれば、色聴保持者のマッピングに応答することは可能であろうという仮説である。仮説を検証するため、二つの実験を実施する。一つは対比較法に基づく感覚尺度化の方法であり、他の一つは調同定トレーニングにおけるマッピングの利用である。

2. 色と音のマッピング導出

音と色の物理的パラメータの間にどのような感性的マッピングが存在するのかを、色聴保持群と一般群のそれぞれを対象に調べる。

2.1 被験者

色聴保持群は23~25歳の音楽大学生または卒業生で、絶対音感^{注1)}・色聴をともにもっている女性4人である。一般群の被験者には義務教育以外に音楽訓練経験をもたない20代前半の男性5人が参加した。なお色聴を保有するかどうかを客観的に評価・測定する方法は確立されていない。そこで色聴保持群の選定には事前アンケート及び予備実験によった。選定基準は、Cytowicの“色聴者を見分ける五つの判定基準”など過去の知見[5]~[7]に基づいて設定した次の4項である。

- ① 色の選択に再現性が見られる。
- ② 幼児期から色を感じた経験をもっている。
- ③ 感じる色が、固有の物の記憶に結び付いていない(色音符による音楽教育経験がないことを含む)。
- ④ 色を感じる際に、好き/嫌い・快/不快といった情動を伴っている。

以上の基準ののっとり「音楽を聴くと色を感じる」と自己申告した8人の中から、最終的に4人を選抜

(注1): なお「絶対音感」とは音高に関する長期にわたる記憶の能力であり、三つのタイプの現象を指す[16]、[17]。Absolute pitchは音名を参照音なしに言い当てる音楽的音高同定(ラベリング)の能力である。Perfect pitchは周波数(調律)の正否を認識できる能力である。またPositive pitchは音を正しい周波数で発声できる能力をいう。本論文で絶対音感とはAbsolute pitchのことを指すものとする。

した。

2.2 音と色のパラメータ

2.2.1 音に関するパラメータ

本研究では音高 (height) [15] と音色 (timbre), 更に色聴との関係が知られる調 (key) を加えた 3 種類のパラメータを使用する。以下に詳細を示す。

(1) 調: 白鍵 (G3 ~ F4) から始まる八~口長調と八~口短調 (旋律的短音階) の 14 種の上昇スケール。また無調性音列として, 乱数をもとに発生させた 30 個の音列 (調性のイメージを排除するため 5 度圏の近親音が連続しないよう配置したもの)。

(2) 音色: 高調波構造の相違のみを考慮し, 以下の 8 種類の音色を使用する。

- 正弦波 (SW): 高調波を含まない純音。
- 倍音 1 (H1), 倍音 2 (H2): 基音から 5 次までの倍音を加えたものを HS1, 基音から 10 次まで加えたものを HS2 とする。なお (SW, H1, H2) の組を倍音系列群と呼ぶ。
- 奇数倍音 1 (UH1), 奇数倍音 2 (UH2): 同様に奇数倍音を 5 次まで付加したものを UH1, 11 次まで付加したものを UH2 とし (SW, UH1, UH2) の組を奇数倍音系列群とする。
- 偶数倍音 1 (EH1), 偶数倍音 2 (EH2): 同様に偶数倍音を 4 次まで付加したものを EH1, 10 次まで付加したものを EH2 とし (SW, EH1, EH2) の組を偶数倍音系列群と呼ぶ。
- ピアノ: MIDI 音源のピアノ音。

図 2(a)~(f) に正弦波とピアノを除く 6 種類の音色の周波数特性を示す。

(3) 音高: 音高 D1, D3, D5 のそれぞれから始まる二長調の上昇スケール。

各音刺激はスピーカを通して 1 音/1 秒 (無調性音列は 2 音/1 秒) のテンポで被験者に提示された。

2.2.2 色に関するパラメータ

色のパラメータは PCCS 表色系 [8] における色相とトーンを基本とし, 下記のような色サンプルを作成する。

(1) 色相: 図 3(a) に示す 24 色からなる色相環のうち偶数番号の 12 色相を用い, 色相番号 (2~24) または色相記号 (R~RP) で表す。

(2) トーン: 図 3(b) に示すように横軸に彩度, 縦軸に明度をとった座標系上に配置される 15 のカテゴリで, トーン記号 (v = vivid, p = pale など) によって表す。トーンは本来色相ごと異なる明度と彩度

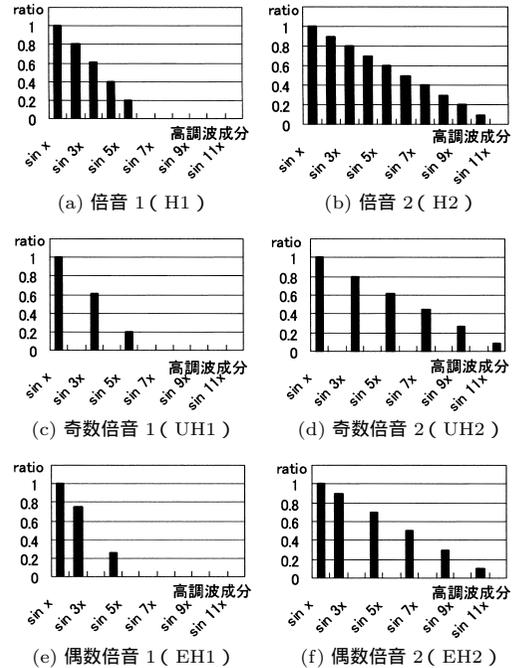


図 2 音色の周波数特性
Fig. 2 Frequency characteristics of tones.

の分布範囲を一致させ, 比較可能とする効果がある。15 トーンのうち実際に用いるのは 11 (無彩色 3 トーンは重複するため他系列として用意, また s = strong はカテゴリのみでほとんどの色相で実存しない)

これに, 無彩色系等でよく用いられる四つの系列 (グレー系 Gy, オフニュートラル系 Off-N, ブラウン系 BR, ピンク系 PI. これらは明度変化のみ) を加える。すなわち色には 12 色相 \times 11 トーン = 132 色とグレー系 3 トーン 9 色, ピンク系 10 色, ブラウン系 8 色, オフニュートラル系 7 色の計 166 色を使用する。

2.3 課題と手順

色聴保持群と一般群のそれぞれに対し, 以下の 3 種類の実験を行った。なお実験はいずれも 2.3.4 に述べる手順に従って実施した。

2.3.1 調性・音色と色のマッピング

長調・短調合わせて 14 種類のスケールを 8 種類の音色でランダムに提示した。被験者は提示された音刺激それぞれに対し, イメージに近い色サンプルを一つ選択した。各音刺激の提示は 1 回ずつであるが, $14 \times 8 = 112$ 回と膨大となるため, 20 回ごとに約 5 分間の休憩時間を設けた。

表 1 調・音色と色のマッピング結果
Table 1 Mapping results of key/timbre and color.

(a) 調と色のマッピング (音色: ピアノ)

	subject A	subject B	subject C	subject D
C major	w [W]	lt18 [B]	p18 [B]	p2 [R]
D major	lt18 [B]	Sf22 [P]	lt8 [Y]	b8 [Y]
E major	v12 [G]	g8 [Y]	sf4 [rO]	dp12 [G]
F major	v10 [YG]	g10 [YG]	sf10 [YG]	p20 [V]
G major	b18 [B]	Dp8 [Y]	d2 [R]	lt18 [B]
A major	v4 [rO]	Ltg6 [yO]	offN-2 [W]	b6 [yO]
B major	dp18 [B]	Ltg6 [yO]	offN-6 [W]	b16 [gB]
C minor	dp24 [RP]	p18 [B]	d20 [V]	sf24 [RP]
D minor	Gy7 [Gy]	g4 [RO]	dk8 [Y]	d8 [Y]
E minor	dp14 [BG]	Sf6 [YO]	b4 [rO]	sf12 [G]
F minor	d6 [yO]	d16 [GB]	dk12 [G]	ltg22 [P]
G minor	lt20 [V]	p22 [P]	BR4 [rO]	ltg18 [B]
A minor	v2 [R]	Dk8 [Y]	sf22 [P]	d8 [Y]
B minor	v22 [P]	Ltg10 [YG]	offN-6 [W]	ltg14 [BG]

(b) 音色と色のマッピング (調: ハ長調)

	subject A	subject B	subject C	subject D	
C major	piano	w [W]	lt18 [B]	p18 [B]	p2 [R]
	SW	offN-4 [W]	lt18 [B]	b18 [B]	lt2 [R]
	H1	offN-2 [W]	lt18 [B]	p18 [B]	PI7 [R]
	H2	w [W]	lt18 [B]	p18 [B]	v2 [R]
	UH1	Gy9 [W]	p14 [BG]	p18 [B]	b24 [RP]
	UH2	Gy9 [W]	p16 [GB]	p18 [B]	b4 [rO]
	EH1	offN-2 [W]	p14 [BG]	p18 [B]	PI4 [RP]
EH2	w [W]	p16 [GB]	lt18 [B]	v2 [R]	
C minor	piano	dp24 [RP]	p18 [B]	d20 [V]	sf24 [RP]
	SW	sf24 [RP]	p20 [V]	lt20 [V]	sf22 [P]
	H1	dp2 [R]	Sf16 [GB]	b20 [V]	dp22 [P]
	H2	dp2 [R]	Dk10 [YG]	d20 [V]	d16 [gB]
	UH1	sf2 [R]	lt10 [YG]	b20 [V]	dp24 [RP]
	UH2	v2 [R]	Ltg14 [BG]	d20 [V]	dp24 [RP]
	EH1	b2 [R]	Sf18 [B]	b20 [V]	sf22 [P]
EH2	v2 [R]	b14 [BG]	b22 [P]	dp24 [RP]	

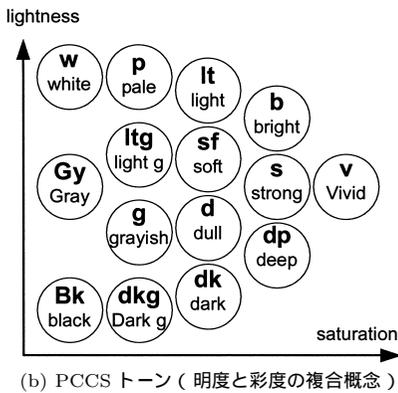
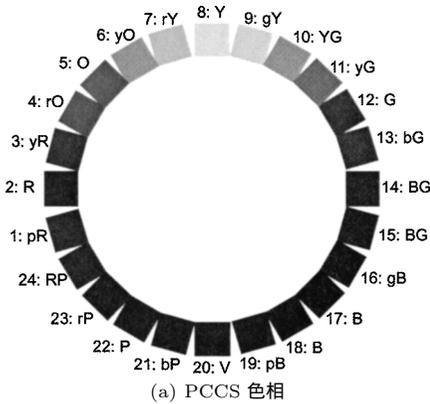


図 3 PCCS 表色系

Fig. 3 PCCS color co-ordinate system.

2.3.2 音色と色のマッピング

上記 8 種類の音色による調性音列に加えて、ピアノを除く 7 種類の音色を無調性音列で提示する実験を行った。各音刺激を 1 回ずつ、計 7 回実施した。

2.3.3 音高と色のマッピング

D1, D3, D5 の 3 種類の音高から始まる二長調のスケールを純音、ピアノの 2 種類の音色で提示した。計 6 種類の音刺激をランダムな順序で提示し、イメージに近い色の一つを選択するよう求めた。

2.3.4 手順

- (1) カラーチャートを見せ、被験者に色の配置を記憶するよう要請する。
- (2) カラーチャートを隠し、音刺激を提示する。
- (3) 音刺激によって喚起された色を頭の中でイメージするよう求める。できるだけ直感的なものとなるように、10 秒間の制限時間を設ける。
- (4) カラーチャートを再提示し、イメージした色に近い色を問う。これについても同じ理由から、10 秒

の制限時間以内とする。

(5) すべての実験終了後に、どのようなルールによって色選択を行ったかをインタビューする。

2.4 実験結果と考察 1 (色聴保持群)

2.4.1 調性・音色と色のマッピング

表 1 にマッピング結果の一例を示す。(a) はピアノの音色の刺激について、各調に対して被験者 A ~ D が選択した色であり、(b) はハ長調とハ短調の音刺激について、各音色に対して選択した色を示している。

表 1(a) で被験者 A を例にとる。ハ長調は白、二長調は水色、ホ長調は緑、ヘ長調は黄緑、ト長調は青、イ長調は橙、ロ長調は濃い紺となっている。このように調と色の間には相関が見られる。次に (b) でハ長調に注目すると、被験者 A は常に白または薄いグレーを選択しており、音色が何であっても常に調に固有の色相を対応させていることがわかる。同様に被験者 B と C はハ長調として青を選択し、被験者 D は赤からオレンジを選択しており、個々の被験者内では調に固有の色相が対応している。

被験者間の共通性については、本実験結果だけから考察すると共通性は薄いという見解になる。しかし先行研究において絶対音感をもつ色聴者には色の共通性が見られるという報告があり、この中で共通性が高いとされている色に関して考察する(共通性の高い順に、八長調：白、ト長調：青、二長調・ホ長調：橙・黄色、イ長調：赤、ヘ長調：緑)[12], [13]。表 1(a)において、色相環に載らない八長調(白)を除く 5 長調 20 データについて比較を行うと、12 色相環上で両隣の 3 色相までを共通とみなせば、10 データ(半数)の色選択が共通することになる。したがって本実験でも、絶対音感をもつ色聴保持者間には、ばらつきを含むがある程度の共通性が見られるという従来の知見に沿った結果が得られているといえる。

マッピングの再現性を確認するため、本実験から約 3 か月後に同様の実験を行った結果、4 人中 3 人からほぼ等しい回答が得られた。よって調と色のマッピングにおいては、調は色相と高い相関をもっており、個人の中では高い再現性をもっていることが確認された。また調と音色のイメージでは調のイメージが優先されることがわかった。

なお本実験で用いた音刺激は、調と音高で 1 対 1 対応をしており、それぞれの要素を分離できていない。今回は第 1 ステップということで、限られた実験設定となったが、調と音高の要素を分離した音刺激の生成方法は今後の課題である。

2.4.2 音色と色のマッピング

調性音列を用いたマッピング結果の一例は表 1(b)に示したとおりである。これに対して無調性音列の音刺激に対する色のマッピング結果を表 2 に示す。色相については、調性音列では音色が変化してもほとんど影響を受けておらず、逆に、無調整音列では変化が大きく共通の傾向が見出せない。そこで色相を除くトーンの情報にのみ着目する。図 4 に調性音列のトーンの変化、図 5 に無調整音列のトーンの変化を示す。

表 2 音色と色のマッピング(無調性音列)

Table 2 Mapping result of timbre and color for non scale sounds.

	subject A	subject B	subject C	subject D	
Non scale	SW	offN-4 [W]	Gy4 [Gy]	dk24 [RP]	Gy4 [Gy]
	H1	sf14 [BG]	b24 [RP]	Gy6 [Gy]	p18 [B]
	H2	v6 [YO]	sf22 [P]	g22 [P]	lt10 [YG]
	UH1	dk8 [Y]	dp4 [rO]	dp18 [B]	dp8 [Y]
	UH2	d14 [BG]	v6 [yO]	g12 [G]	b6 [yO]
	EH1	v4 [rO]	b10 [YG]	b8 [Y]	dp6 [yO]
	EH2	dp16 [gB]	b16 [gB]	dp4 [rO]	lt2 [R]

図 4(a) は倍音系列群の音刺激に対応する色のトーンの変化である。被験者ごとの 2 本の矢印は、音色を SW → H1 → H2 と高調波成分の増える順に並べた際に、選択されたトーンがどのように変化するかを表している。変化がないところは丸印で表している。(b), (c) も同様に奇数倍音系列群、偶数倍音系列群の音色変化に対するトーンの変化を示している。いずれの図でも、変化が左上から右下に向かっていることがうかがえる。すなわち音色の種類によらず、高調波成分が増えたと彩度が上がり明度が下がる傾向にあることを示している。

一方、図 5 でも同様に左上から右下に向かう変化が多く見受けられる。しかし、図 4 と比較するとその傾向は強くない。無調性音列については実験後に、調性感を排除したため逆に不快感や不安感を起こし、それがイメージの妨げになったとの指摘があった。調性を排除しつつ色のイメージを妨げない音刺激が必要である。ただしこれは逆に、調性と色が強く相関をもったことと併せて考えると、色聴という現象が単なる音の断片に対するイメージより、まとまった音の音楽性に対してより強く喚起されるイメージであることを示唆しているといえる。

2.4.3 音高と色のマッピング

結果を表 3 に示す。また前項と同じく音高の変化に対するトーンの変化を図 6 に示す。全般的に音刺激の音高が上がると色の明度も上がることがわかる。

また表 3 において色相に着目すると、被験者間では色相に共通性は見られないが、被験者個人の中では音高・音色にかかわらず表 1 における二長調の色相と一致している。したがって色聴保持者は音高・音色によらず調の影響を大きく受けることがここでも示された。

更に表 3 で同じ音高同士の色を比較する。被験者 C を例にとると、音高 D1 における dkg8 (piano), dkg10 (SW) は色相が隣り合っている。同様に音高 D5 に対する p8, b8 はトーンが一つおいて隣りである。中間の音高 D3 では若干の色の差がある。他の被験者にも同様の傾向があり、同じ音高特に高音・低音に対しては同じ色に対応している。よって音高と音色のパラメータでは音高が優先されると推測される。

2.4.4 色聴保持者の音と色のマッピングルール

以上の結果から、色聴保持者がもつ音と色のマッピングには次の規則性があることが明らかになった。

(1) 調については、色相と極めて強い相関をもつ。ただし個人の中では高い再現性があるが、他の色聴保

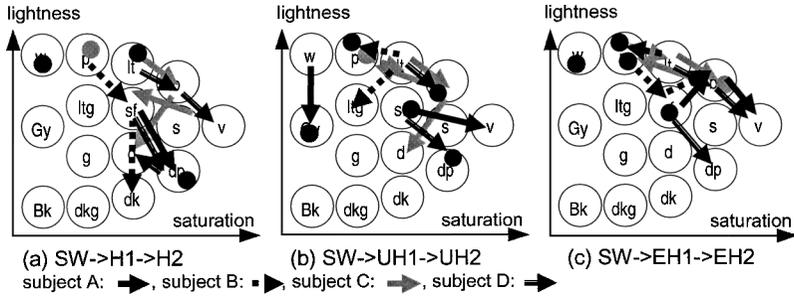


図 4 音色の変化に対応するトーンの変化 (調性音列)
 Fig. 4 The change in tone of colors according to each timbre for scale sounds.

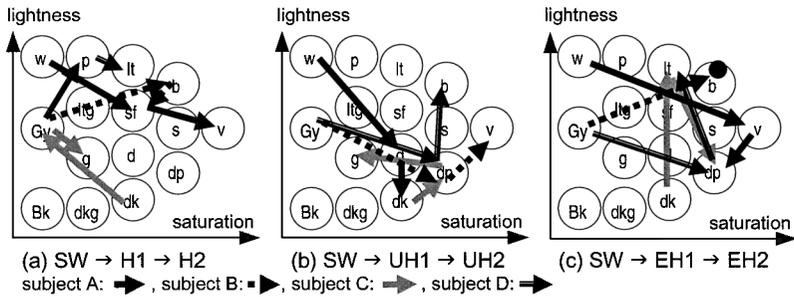


図 5 音色の変化に対応するトーンの変化 (無調性音列)
 Fig. 5 The change in tone of colors according to each timbre for non scale sounds.

表 3 音高と色のマッピング (音色: ピアノ, SW)
 Table 3 Mapping result of height and color in piano and SW timbres.

	subject A	subject B	subject C	subject D
piano	D1 sf16 [gB]	g22 [P]	dkg8 [Y]	dp8 [Y]
	D3 ltg18 [B]	d24 [RP]	dp8 [Y]	d8 [Y]
	D5 p16 [gB]	lt2 [R]	p8 [Y]	b8 [Y]
SW	D1 d16 [gB]	dk2 [R]	dkg10 [YG]	sf8 [Y]
	D3 ltg16 [gB]	p2 [R]	offN-2 [W]	lt8 [Y]
	D5 p18 [B]	PI2 [RP]	b8 [Y]	b8 [Y]

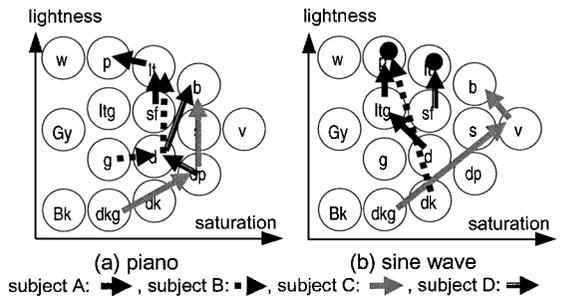


図 6 音高の変化に対応するトーンの変化
 Fig. 6 The change in tone of colors when the height was changed.

持者との間に色相のばらつきがある。

(2) 音色については、高調波成分が増えると選択する色の彩度が上がり明度が下がる傾向がある。

(3) 音高については、音高が上がると色の明度が上がる傾向がある。

(4) 音の優先順位は、調 > 音高 > 音色、である。

2.5 実験結果と考察 2 (一般群)

一般群については、被験者 5 人全員がすべての実験で明確に色を選択できなかった。実験後に行ったインタビューでも、「こんなことが実際にできる人がいるのか?」「カラーチャートを見たときに、最初に目にとまった色が近いイメージをもっているような気になる」

「仮に 1 色選べたとしても、もう一度同じ実験を行ったら別の色を選ぶだろう」といったコメントを得た。

一般群では調の違いそのものの識別ができなかった可能性が高い。しかし少なくとも音高の相違は区別ができたと考えられ、それにもかかわらず具体的な色の選択には至らなかったことから、一般群はマッピングを明示的に示すのは不可能であることが確認された。

3. 一対比較法による感覚尺度化

本章では 1. で述べた仮説に従い、一般群に対して色聴保持者のマッピングを補助的に与えることにより、一般群のマッピング受容可能性を検証する。

3.1 被験者

20代前半の男女46人(絶対音感・色聴などの特殊能力はもたない)が被験者として参加した。

3.2 課題と手順

以下の3種類の実験を3.2.4の手順にて実施した。

3.2.1 調性と色のマッピング

2.4.4(1)のルールによれば、調と色相が対応する傾向にあった。よって、調性情報を含む音刺激を提示すると同時に、色聴保持者が選択した色相とその心理補色の2種類を提示した。色聴保持群が選択した色の色相にばらつきが見られたが、この中で4人中3人が共通して選んだへ長調(YG)・イ長調(rO, yO)、八短調(RP, V)・ト短調(P, V, B)・イ短調(R, Y)の5種類の上昇スケールを音刺激として使用した。5種類の音刺激をランダムな順序で1度ずつ提示するタスクを1セットとし、計3セット行った。

3.2.2 音色と色のマッピング

2.4.4(2)のルールにのっとり、異なる2種類の音色の音刺激を連続して提示すると同時に、明度が高く彩度が低い色と明度が低く彩度が高い色のサンプルを提示した。そして、どちらの音にどちらの色のイメージが近いかの回答を得た。音刺激のペアには、倍音系列群、奇数倍音系列群、偶数倍音系列群の中でそれぞれ3ペア、計9ペアを作り、これらをランダムに1度ずつ提示するタスクを1セットとし、計2セット行った。色サンプルは色相番号 = 12[G]とし、この中で所望の彩度・明度のトーンのパアを作成した。

3.2.3 音高と色のマッピング

2.4.4(3)のルールにのっとり、音刺激として異なる音高のものを2種類連続して提示すると同時に、明度が高い色と明度が低い色のサンプルを提示し、イメージに近い色を選択するよう求めた。音刺激にはD1, D3, D5から始まるスケールを用い、これらの組合せで3ペアを作り、各ペアをランダムに1度ずつ提示するタスクを1セットとし、計3セット行った。色サンプルは色相番号 = 12[G]を用い、所望の明度のトーンのパアを作成した。

3.2.4 手順

(1) 音刺激を提示する。

(2) 音刺激提示と同時に、2種類の色サンプルを同時に並べてプロジェクタで投影する。

(3) 音刺激のイメージに近い色サンプルを選ぶよう求める(音刺激が1種類の場合は色サンプルを一つ選択。音刺激が2種類の場合は各音刺激に色サンプルを一つずつ対応させる)。10秒の制限時間以内とする。

3.3 結果と考察

3.3.1 調性と色のマッピング

5種類の音刺激のうち、3回とも同じ色相を選択した音刺激数を全スケール数5で割った値を再現率とすると、被験者46人中1人が再現率60%に達したのが最高であり、平均は約19%であった。有意差検定では、5%有意水準で再現性があると判断されるためには、再現率80%が必要である[18]。したがって一般群において調と色相の選択には再現性が見られないとの結果を得た。

3.3.2 音色と色のマッピング

倍音系列群、奇数倍音系列群、偶数倍音系列群の各々について、一対比較法による間隔尺度化を行った。ここではThurstoneの比較判断の法則[19]を適用して、3系列の音色と色に対するイメージの尺度値を算出した。

図7(a)~(c)に各系列の尺度値を示す。いずれの組においても高調波成分が多い音色ほど尺度値が大きくなっている。このことは高調波成分が多く含まれる音ほど明度が低く彩度が高い色を対応づけていることになる。したがって音色と色については色聴保持群のもつマッピングが一般群にも受け入れられることが確認された。

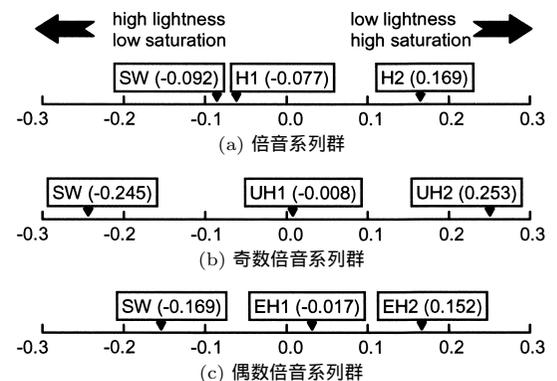


図7 音色に関する感覚尺度値
Fig. 7 The interval scales of timbres.



図 8 音高に関する感覚尺度値
Fig. 8 The interval scales of height.

3.3.3 音高と色のマッピング

同様に三つの音高と色に対して算出した尺度値を図 8 に示す．音高が高い音ほど尺度値が大きくなっていることから，音高が高い音ほど明度が高い色を対応づけているといえる．すなわち，音高と色についても色聴保持群のマッピングが一般群に受容された．

3.3.4 考 察

以上の結果では，音色と色及び音高と色のマッピングについては，色聴保持者と同様の感覚を一般群も有している可能性があることを確認した．しかし調と色に関しては一般群において再現性をもって観測されなかった．

調と色の対応関係には，通常絶対音感という特殊な音楽的能力の介在を必要とする．絶対音感がないから調と色の対応関係をもっていないのか，それとももってはいるが絶対音感がないからわからないのか，現段階では明らかにすることはできない．

そこで次章では調と色のマッピングを利用した全く別の角度からの検討を試みる．

4. マッピングを利用した調同定トレーニング

ここでは一般群に対して，マッピングを利用した調同定のトレーニングを行い，一般群における色と音の対応関係を明らかにする．

4.1 被 験 者

18 歳から 22 歳の男性 8 名女性 7 名が実験に参加した．被験者は絶対音感をもたない，つまり音刺激を聴いても音名または調性が特定できない者とした．男性は全員が現役の合唱団員で，女性も全員が楽器演奏の経験者であり，絶対音感をつけたいというモチベーションの高い集団であった．

4.2 トレーニング手順

調名を明らかにした音刺激を繰り返し聴くトレーニングを実施した．この際に，被験者を A, B2 群に分け，色提示群 (A 群) には音刺激の提示と同時に色聴保持群のマッピングに基づく色刺激を提示し，非色提

表 4 実験に用いた調と色のマッピングの典型例
Table 4 Prototypical mapping between key and color used in the experiment.

C major	white
D major	orange
E major	yellow
F major	green
G major	blue
A major	red
B major	dark blue

示群 (B 群) は音刺激のみを提示した．

音刺激には A3~G4 から始まる七つの長音階を用い，各調ごとに「トニックコード (3 秒) → 上昇スケール (6 秒) → トニックコード (4 秒)」を MIDI 音源のピアノの音色で連続して提示した．

A 群に提示する色刺激はプロジェクタでスクリーンに投影した．調と色相のマッピングには，2. で述べた過去の研究例における典型的なマッピング例をもとに決定した．具体的には表 4 に示す色相を用いた．

被験者は AB 群ともにヘッドホンを着け，照明を落とした部屋で，没入感を増すためスクリーンに約 1m 付近まで接近した位置でトレーニングを受けた．音刺激提示の前後には，調名が 5 秒間表示されるようになっており (例: 次はイ長調です)，被験者が音刺激提示前にあらかじめ音を思い浮かべるようにした．特に A 群に対しては，調名表示文字 (例: イ長調) に該当する色 (例: 赤) を付けて色情報を伝えておき，色から調の響きを思い浮かべるように強く要請した．音刺激の提示と同時に A 群には色刺激がプロジェクタ面に投影され，B 群は黒色表示のままとした．

トレーニングは，ランダムな順序で 7 長調 × 3 回ずつ，計 21 回の試行を行った (約 8 分間)．これを 5 日間にわたって実施した．

4.3 習熟度テスト

トレーニングの習熟度を調べるために調同定テストを併せて実施した．被験者はトレーニング時と同様の環境条件において，トレーニングで使用した 7 調の音刺激をランダムに 1 度ずつ提示され，その調名を回答する．回答は 1 回ごとに 10 秒間の制限時間以内とした．テスト結果は正答数 n ($0 \leq n \leq 7$) で評価する．

テストは全部で 3 回実施した．1 回目は 1 日目初回トレーニング前，2 回目は 5 日目最終回トレーニング前，3 回目は同後である．3 回目のテスト終了後にアンケートを行い，調を聞き分ける際に何を手掛りにしたか，または何をイメージしたかについて質問した．

表 5 習熟度テストの結果
Table 5 Results of tests.

Subject	Correct answers			Effectiveness of training Gaining sAP or sPAP
	1 st day	5 th day		
	1 st test	2 nd test	3 rd test	
A1	4	7	7	sAP gainer
A2	0	7	5	sAP gainer
A3	3	5	5	sPAP gainer
A4	0	5	4	
A5	1	2	4	
A6	1	2	2	
A7	4	2	1	
Av. A	1.86	4.29	4.00	
B1	4	5	7	sPAP gainer
B2	2	5	6	sPAP gainer
B3	0	5	3	
B4	2	4	5	
B5	0	3	2	
B6	2	3	2	
B7	1	3	0	
B8	0	2	4	
Av. B	1.38	3.75	3.50	

テスト結果及びアンケート結果を表 5, 表 6 に示す.

4.4 結 果

まず表 5 から, 1 回目の結果において全員が正答数 4 以下であり, トレーニング前には調同定能力がないことが確認された. 続いて 2 回目の結果では, 1 人を除く被験者全員で正答数の上昇が見られ, 前日まで実施された 4 回のトレーニングによって調同定能力が向上した様子がうかがえる. 3 回目はトレーニング実施直後のテストであったが, 大半の被験者で 2 回目と同様の正答数が得られている.

ここでは調同定能力を判断する材料として 2 回目と 3 回目の結果を併せて考慮する. 2 回目で正答数 7 の者を短期的絶対音感獲得者 (sAP gainer) とし, 2 回目と 3 回目がどちらも正答数 5 以上の者を部分的な短期的絶対音感獲得者 (sPAP gainer) とした.

結果から, sAP が A 群 (色提示群) で 2 人 (被験者 A1, A2), B 群 (非色提示群) で 0, また sPAP が

表 6 調同定に用いた手掛りやイメージに関するアンケート結果
Table 6 Results of questionnaire on cues or images used for key identification.

被験者	ハ長調	ニ長調	ホ長調	ヘ長調	ト長調	イ長調	ロ長調	全体の感想	Aのみ:色が聞き分けに役立ったか
A1 [sAP]	基調となる色・まっさらな白	ハより少し高い不安そう	明るい響き・黄色	澄んだ音・明るい緑	一番高い音・空の色・ケータイの話	一番低い音・重い赤	重厚なイメージ・紺色		ある程度はなる
A2 [sAP]	素直な感じ				澄んだ感じ・空のイメージ				ある程度はなる
A3 [sPAP]		タケモトピアノ						だいたい和音が鳴った時に色がでくる	ある程度はなる
A4	特になにもなし	へほどでないが明るい	少し暗めのイメージ	すごく明るい音というイメージ	特に何もなし	深みのある低さ	イよりも高い音から始まっているがイよりも暗い印象	調によっての印象と色の明暗の度合いが密接に関係している	ある程度はなる
A5				明るい	甲高い	はっきりした・厚い感じ	ぼんやりしている		ある程度はなる
A6								明るい感じや暗い感じが前よりハッキリ浮かぶ感覚があった	ある程度はなる
A7								最後の練習のあとだと自分の中でグチャグチャになってしまった	ほとんどならない
被験者	ハ長調	ニ長調	ホ長調	ヘ長調	ト長調	イ長調	ニ長調	全体の感想	Bのみ:テスト終了後色提示を見て
B1 [sPAP]	基準になる音(青)	へ長調と音階が似ている	高い音でト長調に似ている(白)	ファから始まる(緑)	ソから始まる(ピンク)	低い音でロと似ている(茶黄色)	低い音でイと似ている		思っていた色と違っていたのでショックだった
B2 [sPAP]					空・水色	ワイン・肉・暗い赤		一番低い音がイ長調で、一番高い音がト長調と覚えた	イメージしてた色と一緒に覚えた
B3	広がりのある音		かすみ草	意外と高い音	青い小さい花	バラ	チューリップ	途中から花のイメージをあてはめたが、定着しきらなかった	ト長調とイ長調がイメージ通りの色でびっくり
B4		ハでもホでもないとき	伴奏より低いイメージ	合奏曲の伴奏に似てる	へより高いイメージ	一番ごつい感じ	ハより暗いイメージ	へ長調を基準にした	
B5	基本くさくて明るめの音	タケモトピアノ	二を胡散臭く感じたとき	ゴトウマキ	へ長調より高いかな?	暗めの感じ	イでもハでもないと思った	一番低い音がイ長調で、一番高い音がト長調と覚えた	
B6	白色のイメージがした		オレンジ色のイメージ		高く響く音。青色のイメージがした	低く振動が伝わってきた			
B7	一番しっくりくる音・坂(上り坂)	ラジオ体操の始まり	川・湖	あじさいの花に雨のしずくが落ちる	ぬけるような青空	くぐもったような暗い音	特徴がなかった		
B8	荘厳な感じ	ちよっとだけ荘厳な感じ	適当	適当	白いカーテンみたいなもの	暗い感じ	暗い感じ	一番低い音がイ長調で、一番高い音がト長調と覚えた	

表 7 手掛りのカテゴリ分類と出現頻度
Table 7 Categories and their frequency of cues.

被験者	高さ	明るさ	色	その他のイメージ	主な要因
A1 [sAP]	2	1	6	6	色・イメージ
A2 [sAP]	0	0	1	2	イメージ
A3 [sPAP]	0	0	7	1	色
A4	2	4	2	0	明るさ
A5	1	1	0	2	イメージ
A6	0	3	0	0	明るさ
A7	0	0	0	0	
AV. A	0.71	1.29	2.29	1.57	
B1 [sPAP]	4	0	5	0	色
B2 [sPAP]	2	0	2	2	色・高さ
B3	1	0	4	5	イメージ
B4	3	1	0	1	高さ
B5	3	2	0	2	高さ
B6	2	0	3	0	色
B7	0	1	1	4	イメージ
B8	2	2	1	2	高さ
AV. B	2.13	0.75	2.00	2.00	
AV. s(P)APs	1.60	0.20	4.20	2.20	
AV. Non s(P)AP	1.40	1.40	1.10	1.60	

A 群で 1 人(被験者 A3), B 群で 2 人(被験者 B1, B2) トレーニングにより出現した。

4.5 考察

次に表 6 に示した調同定における手掛りやイメージをもとに、被験者がどのように調同定能力を獲得していったかについて考察する。表 7 は被験者が挙げた手掛りやイメージを、高さ・明るさ・色・その他のイメージ、の四つのカテゴリに分類して出現頻度を調べたものである。

4.5.1 音高に対する依存性

まず表 7 で「高さ」に関する出現頻度の平均値(A 群: 0.71, B 群: 2.13)の比較により、B 群が音の高さへの依存度が大きかったことがわかる。これに対し A 群は色やイメージなど高さ以外を手掛りにしたことがうかがえる。音の高さに関しては、2. でも述べたように、実験に用いた音刺激が音高と調の要素を分離できていなかったという反省がある。実験後に「一番低い音がイ長調で、一番高い音がト長調、というふうに覚えた」というコメントも得ており、音刺激の生成方法は今後の課題である。しかし同じ音刺激にもかかわらず、A 群では高さに対する依存はそれほど大きくない。したがって B 群が音の高さに依存して調を相対的に判断したのに対し、A 群は色提示をきっかけとして高さ以外のイメージを手掛りに調を絶対的に判断したという特徴が挙げられる。

4.5.2 手掛りとしての色の使用

トレーニングに色を使用したことは、A 群の被験者からおおむね好評であった。初日トレーニング後に「絶対音感が付きそう」との感想があり、トレーニング終了後のアンケートでも「色が調同定に役立つか」との問いに 7 人中 6 人が「ある程度役立つ」と回答している。

次に短期的絶対音感を獲得した 5 人に着目すると、全員が調の手掛りとして色に言及している。特に被験者 A3 は「和音が鳴ったときに色がでてくる」と、今回の提示色そのものが手掛りになったと述べている。更に注目すべきは B 群の 2 人の sPAP が、色を提示されていないにもかかわらず、自ら色のイメージを喚起していることである。被験者 B1 は各調ごとの色のイメージを挙げ、調固有の特徴をとらえている。被験者 B2 は実験終了後に色刺激を見て「イメージしていた色と一緒にだった」と色の喚起について語っている。したがって B 群の 2 人についても色が主要な手掛りになっているといえる。これは表で「色」に関する出現頻度の平均値(s(P)AP 群: 4.20, Non s(P)AP 群: 1.10)からも同群の色への依存が明白である。

4.5.3 色相の一致

B 群全体で多くの被験者に色の喚起が見られ、その内容が少なからずマッピングの色相に一致している。実際に B 群全体で申告された色に関する記述のうち、マッピングの色相に一致しているものが約 2/3 (17/25) ある。被験者 B1 は「思っていた色と違っていた」とコメントしたが、実際は青(八長調)が 2. で述べた色聴保持群の回答と共通であるなど、色聴保持者の傾向に沿ったものであると考えてよい。

4.5.4 具体的イメージの喚起

A 群に比べて B 群は「白いカーテン」「川・湖」といった具体的な物のイメージを挙げている例が多い。これは B 群が音の情報のみ与えられたため、懸命にイメージを膨らませようとした結果と思われる。しかし、イメージの膨らみが必ずしも調とのマッピング形成に至っていない。結果的には、種々のイメージ喚起の中で色とのマッピングを試みた 3 人のうち 2 人が効率的に短期的絶対音感を獲得したとも考えられる。

4.5.5 結論

以上の考察から、色を手掛りに調を絶対的に判断しようとした被験者が、高さを手掛りに調を相対的に判断したものや、他のイメージを手掛りにしたものに比べて、効率的に短期的絶対音感を獲得したという結果

を得た。とりわけ非色提示群において、自ら色を喚起し、その色相が色聴保持者のマッピングに少なからず一致した。このことから、一般群にも調と色のマッピングが潜在している可能性があるといえる。

5. む す び

本研究では、メディア間で人が感じる直接的感性的対応をノンバーバルマッピングと定義し、画像の物理的パラメータとして色の明度・彩度・色相を、音楽のパラメータとして調・音色・音高を選び、これらのパラメータ間のマッピングを明らかにする試みを行った。

まずマッピング導出実験では、調・音色・音高と明度・彩度・色相が変化したときに色聴保持者が感じる対応付けの規則性を示し、音のパラメータの優先順位が調 > 音高 > 音色であることを明らかにした。

次にマッピングを自ら明示できない一般群に対して、一対比較法を用いた感覚尺度化の方法によって、音色・音高と色に関して一般群がマッピングを有している可能性を確認した。更に調と色に関しても、調同定トレーニングの過程において、一般群におけるマッピングの潜在可能性を示唆した。とりわけ一般群にも色聴に似た現象が観察できたことは大変興味深いと思われる。

今後は、更に詳細な検討を実施するため、音刺激の生成方法・被験者の選定方法など実験の精度向上を目指す。またノンバーバルマッピングの視点から、画像・音楽メディアのパラメータ、更には触覚・動きといった他の感覚系におけるマッピングの探索などへも展開を図る予定である。

謝辞 実験の遂行にあたり協力頂いた大阪教育大学大学院の成瀬紀子氏、大阪大学大学院の多井堅一郎氏をはじめ大阪大学男声合唱団のメンバ諸氏、同志社女子大学の学生諸氏に感謝致します。

文 献

- [1] 岩宮眞一郎, 音楽と映像のマルチモーダル・コミュニケーション, 九州大学出版会, 2000.
- [2] 長田典子, 亀井光仁, 赤根正樹, 中嶋紘之, “感性計測技術に基づく真珠品質評価システムの開発,” 電学論(C), vol.112-C, no.2, pp.111-116, 1992.
- [3] 上野山努, 櫻村雅章, 小沢慎治, “ドラム音の音色における感性情報と工学的パラメータとの対応付け,” 音響誌, vol.49, no.10, pp.671-681, 1993.
- [4] 鈴木健嗣, 山田 寛, 橋本周司, “ニューラルネットワークによる顔面表情の物理的パラメータと感性的パラメータの対応付け,” 信学技報, HCS2000-47, 2000.
- [5] リチャード E. シトーウィック, 共感覚者の驚くべき日常

形を味わう人, 色を聴く人, 草思社, 2002.

- [6] 山田尚勇, “脳の構造と共感覚および意識,” 日本語をどう書くか—入力法および表記法のヒューマン・インタフェース学入門, 中京大学テクニカル・レポート, 2002.
- [7] ISA (The International Synaesthesia Association) <http://www.psychiatry.cam.ac.uk/isa/frames.html>
- [8] 日本色彩学会, 新編色彩ハンドブック, 東京大学出版会, 2000.
- [9] 三雲真理子, 小谷里美, “管楽器の音色の色彩的イメージ,” 音楽心理学の研究, 梅本堯夫編著, pp.186-222, ナカニシヤ出版, 1996.
- [10] ルードルフ E. ラドシー, J. デーヴィッド ポイル, “共感覚,” 音楽行動の心理学, pp.296-299, 1985.
- [11] T.J. Palmeri, R. Blake, R. Marois, M.A. Flanery, and W. Whetsell, Jr., “The perceptual reality of synesthetic colors,” Proc. Natl. Acad. Sci. USA, vol.99, no.6, pp.4127-4131, 2002.
- [12] 谷口高士, “調・音色の視覚的表象,” 音は心の中で音楽になる, pp.141-142, 北大路書房, 2000.
- [13] 最相葉月, “色を見る人,” 絶対音感, pp.114-119, 小学館, 1998.
- [14] 川村真由子, 大串健吾, “音楽の調性と色彩感,” 音楽心理学年報, p.160, 1990.
- [15] 藤崎和香, 柏野牧夫, “絶対音感保持者の音高知覚特性,” 音響誌, vol.57, no.12, pp.759-767, 2001.
- [16] 緑川 晶, 河村 満, “絶対音感と脳,” JOHNS (J. Otolaryngology, Head and Neck Surgery), vol.18, no.6, pp.1048-1050, 2001.
- [17] D.J. Levitin, “Absolute pitch: Self-reference and human memory,” Proc. CASYS'98, 1998.
- [18] 阿倍 齊, 応用数理統計学入門, 培風館, 1985.
- [19] 田中良久, 心理学的測定法, 東京大学出版会, 1977.
(平成 14 年 8 月 19 日受付, 15 年 5 月 20 日再受付, 7 月 1 日最終原稿受付)



長田 典子 (正員)

1983 京大・理・数学卒。同年三菱電機(株)入社。産業システム研究所などにおいて、色彩情報処理, 感性情報処理の計測システムへの応用に関する研究に従事。1996 阪大大学院基礎工学研究科博士課程了。2003 より関西学院大・理工・情報科学科助教授, 工博・情報処理学会, 電気学会, IEEE 各会員。



岩井 大輔

2003 阪大・基礎工・システム卒。現在, 同大学院博士前期課程在学中。マルチメディアに関する研究に従事。



津田 学

2000 阪大・基礎工・システム卒．2002 同大大学院基礎工学研究科システム人間系博士前期課程了．同年オムロン（株）入社．技術本部コントロール研究所にてファジー推論など知識情報処理の研究に従事．



和氣 早苗（正員）

1992 阪大・基礎工・制御卒．同年日本電気（株）入社，関西研究所にて音響インタフェースの研究に従事．2003 阪大大学院・基礎工・システム人間系専攻システム科学分野博士後期課程了．博士（工学）．2002 より同志社女子大学学芸学部情報メディア学科助教授．聴覚ディスプレイなど，HI における聴覚メディアの利用に関する研究に従事．情報処理学会，ヒューマンインタフェース学会，日本デザイン学会，日本サウンドスケープ協会各会員．



井口 征士（正員）

1964 阪大大学院・工・修士課程了．1965 同大基礎工助手．1984 同大教授．工博．2003 広島国際大学人間環境学部教授（財）イメージ情報科学研究所関西研究センター所長兼任．専門はパターン計測，感性情報処理など．情報処理学会，計測自動制御学会，システム制御情報学会，IEEE 等各会員．著書「三次元画像計測」など．