

視覚障害者用の携帯型色認識装置の開発（第2報）*

— 色模様認識のための色と音のマッピング —

前川満良** 今井有希子*** 橋爪慎哉† 関 啓明†† 神谷好承††

Development of Portable Color Discrimination System for Visually Impaired
— Mapping between Color and Sound to Discriminate Colored Pattern —

Mitsuyoshi MAEKAWA, Yukiko IMAI, Shinya HASHIZUME, Hiroaki SEKI and Yoshitsugu KAMIYA

Because the visually impaired desire to know not only color of the 1 point but also whole color on the object, we developed a color discrimination system by the presentation of the sound which enable the blind to recognize the color and its change. While the blind scans the surface of a target object with this system, it continuously makes sound corresponding to surface colors. The problem is the mapping between color and sound for the blind to learn easily and to get the color condition shortly. In this paper, we propose the Shepard Tone Method (STM) and the Trio Ensemble Method (TEM) as this mapping.

Key words: color discrimination, colored hearing, shepard tone, trio ensemble, visually impaired

1. はじめに

視覚障害者が日常生活の中で、物体の色や柄が分からず不便を強いられている場面が多い。たとえば、靴下の左右の色合わせや冠婚葬祭での適切な色の選択などである。さらに色覚障害者は色名での会話に苦慮しており、対象物の色を色名で知るとは非常に重要な意義を持つ。

しかし、これまでこの課題に対して、点の色を認識するための研究しかないのが現状である^{1)~4)}。そのため、「面としての色を知りたい」、「どのように色が変化しているかを知りたい」、「色の変化を知ること、物の特定を確実にしたい」といった要望も根強く残っていた。

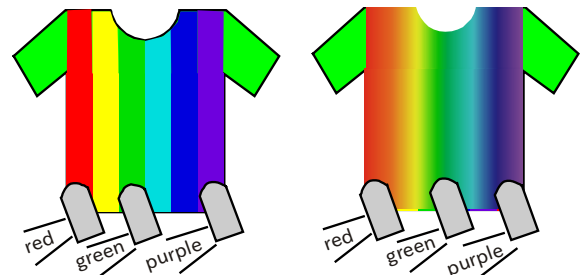
そこでこの課題に対して、色情報を呈示するシステムを対象物に沿ってなぞり、なぞった部分の色を認識することで対象物全体の色を認識する手法を検討した。これにより、(a)色の変化の様子や境界の認識および(b)色の認識が可能となるため、これまで不可能であった以下のことが可能になる。

1) 色模様の認識

点の色を認識するだけでは、図1に示すような縞模様(stripe pattern)とグラデーション(gradation pattern)の違いが分からなかった。しかし、色の変化の様子や境界が分かることで、両者を識別することが可能となる。本研究では、このような色の変化の様子や境界を認識することを色模様認識と呼び、さらに音の種類で色を特定することを色名認識と呼ぶ。

2) 情報の有無探索

FAX やコピーを行う場合に、印刷面を特定する必要がある。しかし、1点の色を認識するだけでは特定は難しく、複数点の色を認識していたが、それでも確実とはいえなかった。しかし、色の変化や境界がわかるので、文字の有無を色の変化として認識でき、印刷面を特定することが容易になる。



[difficult to discriminate stripe and gradation]

Fig.1 Problem of recognizing the color in a point

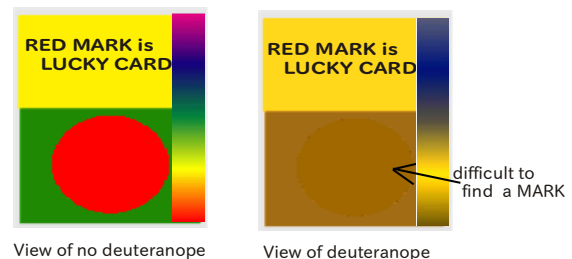


Fig.2 Example of overlooking the information in color blindness

また、色覚障害者には見分けが付きにくい色の組合せがあり、情報を見落とす問題があった。例えば、図2で示すような背景色とマークの色の境界が分からず、当たりマークがあること自体に気づかないこともある。しかし、色の境界が認識できれば、一様な面で情報が無いと思っていたものに対しても情報があることを認識できる。

このように、連続で色情報を呈示し、色の認識を行うためには、以下の技術的な課題を解決する必要がある。

1) 連続測色の安定化技術

連続で測色し、同じ色が同じ結果となる測色の安定化技術

2) 短時間色情報呈示技術

効率よく短時間で色の情報を呈示する技術

この2つの課題に対して、これまで高精度な測色とその結果を色名に変換し、音声で呈示する携帯型の色認識装置を既に開発してきた⁴⁾。さらに短時間での色情報呈示技術の課題に対して、視覚障害者に色の情報を伝える研究について調査した。

* 原稿受付 平成 16 年 1 月 28 日

** 正 会 員 石川県工業試験場（石川県金沢市鞍月 2-1）

*** 金沢大学工学部（石川県金沢市小立野 2-40-20）

† ㈱北計工業（石川県金沢市増泉 3-4-20）

†† 正 会 員 金沢大学工学部（石川県金沢市小立野 2-40-20）

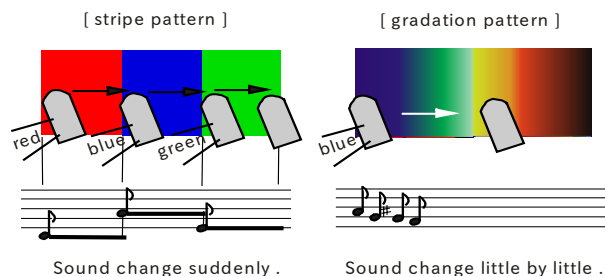


Fig.3 Image to recognize the colored pattern

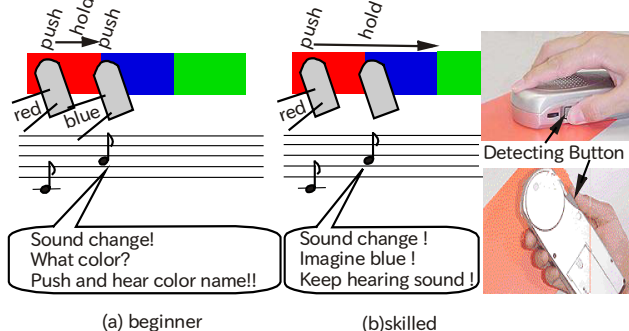


Fig.4 Usage of beginner and skilled person

触覚の利用では、末田らが色の三原色（赤:Red, 緑:Green, 青:Blue）を 3 種類のバースト振動に変換して呈示する方法を研究している⁵⁾。しかし、大多数を占める後天的視覚障害者は、触覚の能力も低下しており、実用的とは考えにくい。

聴覚の利用では、これまで色を色名に変換し、音声で呈示する方法しかなかった^{1)~4)}。しかし、色名を音声で呈示する時間は決して短いとはいえず、連続で色情報を呈示する場合には効率的とはいえない。

そのほかに、視覚障害者を対象にしていないが、色と音の関係については、音響心理学の分野で研究されている。これは色聴(colored hearing)⁶⁾⁷⁾という人間の持つ能力の探究に端を発している。井口らは、映像と音楽のイメージの相乗効果向上を狙って、色聴能力者から音楽と色のマッピングを行っている⁸⁾。しかし、色と音楽のマッピングであり、短時間の音とはマッピングされていない。また、J.L.Caivano は短時間の音としての音階と色相環のマッピングを示している⁹⁾。しかし、色の連続性について考慮されていないため、連続で色の変化を呈示する場合に、色は連続でも音が連続でなくなるという問題がある。このように視覚障害者が連続で色を認識することに関する研究はなく、利用可能な色聴だけを取り上げても、必要となる短時間の音と色をマッピングした研究はない。

本研究では、連続で測色しながら、色の変化を音の変化で呈示すれば効率的な色情報の呈示が可能と考え、図 3 に示すような測色結果を色名や音で呈示する色認識システムを提案する。

本システムの基本的な使用法は、まず測色部を対象に押し当て、検出ボタンを押すと起点の色名が聞く。さらに検出ボタンを押し続けると色に対応した音が鳴るので、使用者が対象物をなぞりながら色の変化を音の変化として聞くことで色模様が認識できるという方法である。色と音のマッピングに慣れない初期段階では、図 4 (a)のように音の変化から色の境界に気づいたときに再度検出ボタンを押し、その都度色名を聞きながら確実に色の変化を認識する方法を想定している。また図 4 (b)のように、習熟することで音だけで色の変化を認識できるようになり、より効率的な色認識が可能になるものと思われる。このためには、覚えやすい色と音のマッピングが必要となる。

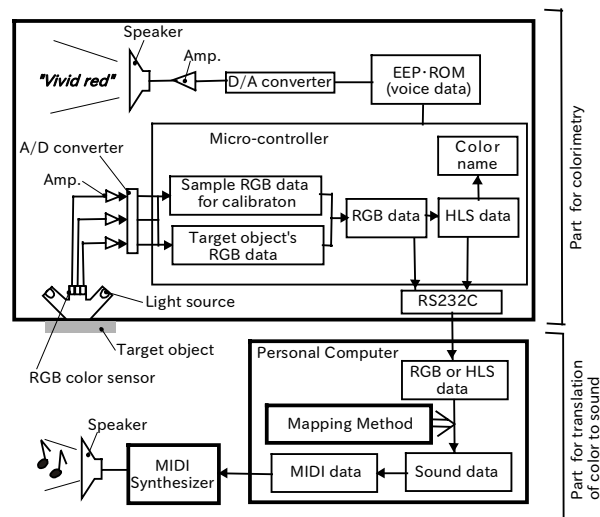


Fig.5 System configuration

2. 色模様認識システムの構成

色模様認識システムの構成を図 5 に示す。連続で測色するためには、測色の安定化が必要となるが、我々は測色時に自動校正機能を作動させ、測色の安定化を図る測色部を既に開発している⁴⁾。この測色部では 0.1 秒以下の測色時間を実現し、短い時間間隔で連続測色を可能とした。測色する間隔は、0.1 から 1.0 秒まで 0.1 秒間隔で変更でき、使用者に合わせて調整可能とした。測色結果は、RGB データまたは色の三属性(色相: hue, 明度: lightness, 彩度: saturation)の HLS データとして RS232C を経由し、PC (Personal Computer)に送信する。PC で受信したデータは、本研究で提案する色-音マッピング方式に従った変換アルゴリズムで音に変換される。色に対応した音は MIDI (Musical Instrument Digital Interface)規格のメッセージとして PC から USB 経由で MIDI 音源に送信し、スピーカから音を再生させる。MIDI 音源にはローランド製 STUDIO Canvas SD-20 (GM2 対応)を使用した。

色を音に変換するためのマッピング方式として、本研究では色の表現方法や音の三要素を考慮に入れ、以下の 2 つの方式を提案する。

3. 無限音階方式の提案

3.1 色相と音のマッピング

色の表現方法で代表的な心理的属性による三属性の基本となる、色相のマッピングについて検討する。

色相は徐々に変化させると環をなすような連続性がある。音でそのような連続性を持つ要素は、C(ド)・D(レ)・E(ミ)といった音階(tone)である。C から次の C までを 1 オクターブ(octave)といい、1 オクターブ高くなると周波数が 2 倍に、逆に低くなると 1/2 になる。この 1 オクターブを 12 の音階で均等に分ける 12 平均律により色とマッピングする方法が考えられる。しかし、1 オクターブ高い C は基点の C と一致せず、環ではなく螺旋構造となるために色の連続性が損なわれてしまう。そこで、この矛盾を解決する方法として、無限音階(shepard tone)⁶⁾⁷⁾によるマッピングを提案し、この方式を無限音階方式(Shepard Tone Method)と呼ぶ。

無限音階は、オランダの版画家 Escher が描いた有名な無限階段のように、数個の音で無限に高くなり続けているように知覚的に感じる音階である。これまで実用性がないと言われてきた

が、本研究では音階の連続性が実現できる点に注目し、色相環と無限音階をマッピングする。

3.2 明度・彩度と音のマッピング

色相を無限音階でマッピングしただけでは 12 種類の色しか表現できない。これでは色数が少なすぎるため、他の属性である明度や彩度に対するマッピングも必要となる。このマッピングを実現するには、色相に対する明度や彩度のように、無限音階という音に変化を付けなければならない。そこで、無限音階に対して可能な音の変化について検討する。まず、無限音階に対する音高の変化は、無限音階自身が音の高低であるため、音階単位の下上では色相の変化と等価になり不適である。しかし、無限音階の周波数分布にはピークがあり、そのピークをオクターブ単位で上下させれば、音高の変化は可能である。次に、音色の変化は、その変化自体が色相の認識に影響を与える危険性がある。そこで、音色を変化させずノイズ(noise)を合成することで音色を変化させることが可能である。以上のように、無限音階を色相とした場合に、明度と彩度にマッピングする音の変化要素の候補は、オクターブ単位でのピーク音階の上下変化とホワイトノイズ(white noise)の付加とする。

3.2.1 明度・彩度と音の相関実験

音の変化要素として、ホワイトノイズの付加とオクターブ単位のピーク音階の上下変化が、明度と彩度のどちらとも相関が強いことを実験により確認した。実験方法は、ホワイトノイズ無し(0dB)、40dB、60dB の 3 種類と、一般的な C (ド)である C4 (261.6Hz)を基準とし、2 オクターブ上の C6 (1046.5Hz)、2 オクターブ下の C2(65.4Hz)の 3 種類の音を組合せた 9 種類の音を再生し、主観評価を行った。音は色模様認識システムを使用し、MIDI 音源よりオーボエの音を鳴らし、スピーカから 50cm 離れた場所で 70dB となるように音量を調整した。ここでホワイトノイズは MIDI 音源に含まれない音であるため、WAV 形式で生成し、同時再生した。

主観評価方法は、明度と彩度をそれぞれイメージするのに適当と考える語句として、「明るい⇔暗い」、「鮮やか⇔くすんだ」を選択し、各音に対して 7 段階評価を行った。被験者は 20 代男性 5 人、女性 1 人、30 代男性 2 人、女性 3 人、50 代男性 1 人の 12 人である。

3.2.2 実験結果と考察

9 種類の音に対する、7 段階主観評価の 12 人の平均値を図 6 に示す。ホワイトノイズ音量は、オクターブを基準として比較すると、彩度に与える影響が大きく、音量を大きくするとくすんだ色に感じることが分かった。オクターブ変化は、ホワイト

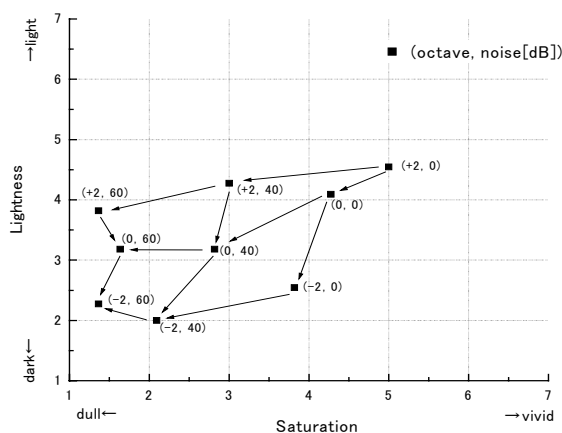


Fig.6 Relation between sound parameter and color parameter

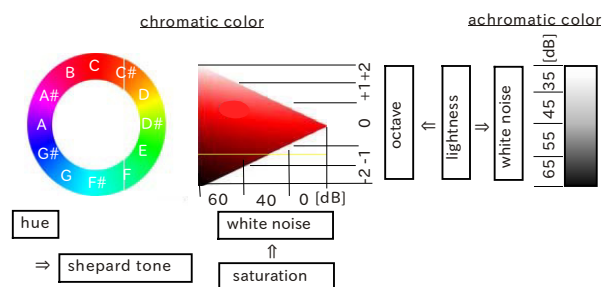


Fig.7 Shepard Tone Method

ノイズ音量を基準として比較すると、明度に与える影響が大きく、オクターブを上昇させると明るい色に感じることが分かった。また、ホワイトノイズを付加するとくすんだイメージが加わり、若干暗く感じるようであるが、ホワイトノイズの音量変化による明度への影響は少ないと思われる。

3.3 無限音階方式の概要

無限音階方式の概要を図 7 に示す。色相は 12 平均律の無限音階にマッピングし、12 分割した。基点となる C(ド)は色聴研究で共通性の高かった赤とした⁹⁾。次に、明度はオクターブの下上(-2,-1,0,+1,+2 の 5 段階)、彩度はノイズの付加 (0,40,60dB の 3 段階) にマッピングした。また、無彩色はホワイトノイズのみの音として、白から黒へ段階的に音量を大きくした。本来、白は無音とすべきであるが、測色状態であることを示すために、35dB 程度の小さい音量とした。この方式に従い、色-音変換アルゴリズムを開発し、184 色に対応した音が生成できる。この音を MIDI メッセージとして MIDI 音源に送信することで音を再生する。

4. 三重奏方式の提案

4.1 RGB と音のマッピング

色は光の三原色である RGB の加法混色により表現することができる。この RGB の各々に楽器音に対応させ、合奏することで色を表現する方式を提案する。必要な楽器音の数が 3 つであることから三重奏方式(Trio Ensemble Method)と呼ぶ。例えば、赤=ピアノ、緑=オーボエ、青=ホルンとした場合に、ピアノだけの音ならば赤で、ピアノとオーボエが同じ音量で規定値の最大であれば黄色となる。

RGB に対応する 3 つの楽器音は、各色をイメージしやすい楽

Table 1 Combination pattern of timbre

ensemble	timbre A	timbre B	timbre C
piano trio	piano	violin	cello
string trio	violin	viola	cello
woodwind trio	flute	oboe	clarinet
brass trio	trumpet	french horn	trombone
string/woodwind/brass	violin	flute	trumpet

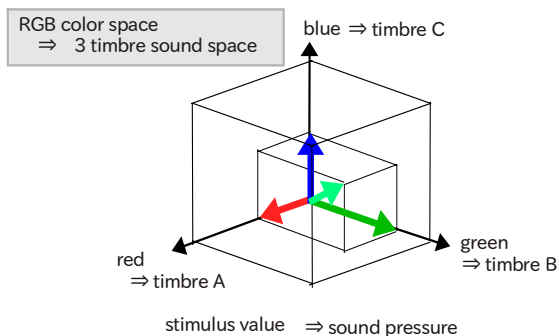


Fig.8 Trio Ensemble Method

器音を選択することが理想的である。しかし、色聴能力は個人差が大きいためから楽器音を特定することは難しい。そこで、楽器音を分離識別しやすく、不快感を与えないように、表 1 に示す 5 種類の三重奏を候補とした。

色は RGB の各刺激量に応じて変化するため、刺激量と音のマッピングが必要となる。マッピングする音の要素として「高さ」と「大きさ」が考えられるが、赤などの三原色自体の音は 1 種類の楽器音だけが聞こえることが望ましいため、自然な形で消音できる「大きさ」にマッピングした。

4.2 三重奏方式の概要

三重奏方式の概要を図 8 のように、RGB に 3 つの楽器を対応させ、RGB の刺激量に各楽器の音量を対応させた。3 つの楽器音は、表 1 の中から好みの組合せを選択可能とした。また、3 つの楽器音が同じ音階よりも各楽器音で音階も異なるほうが 3 音の識別がしやすいと考え、各楽器音に C(ド)・E(ミ)・G(ソ)を割付け、和音とした。

楽器間で音量のバランスが悪いと、イメージする色が偏る。MIDI の実際の音量は、音量を指定する数値が等しくても楽器音によってバラツキがあった。そこで、どの楽器音でも同じ音量となるように、各楽器の MIDI 音量変数に対応した音量を騒音計（リオン製 積分平均型騒音計 NL-04）で計測し、その結果より各楽器の音量補正係数を求めて補正した。音量は 64 段階で変化させた。RGB の各光量を r, g, b ($0 \leq r, g, b < 256$)、3 種類の楽器音の MIDI 音量指定値を V_a, V_b, V_c ($0 \leq V_a, V_b, V_c < 64$) とすると、三重奏方式は以下の式で示すことができる。

$$\begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix} = k \begin{pmatrix} \alpha & 0 & 0 \\ 0 & \beta & 0 \\ 0 & 0 & \gamma \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix} \quad (1)$$

(k :定数, α, β, γ :音量補正係数)

この方式に従い、色一音変換アルゴリズムを開発した。このアルゴリズムで変換された音を生成する MIDI メッセージを作成し、MIDI 音源に送信して音を再生する。これにより、無限音階よりも連続的な音が生成できる。

5. 認識実験

5.1 実験目的

無限音階方式と三重奏方式のそれぞれに対し、以下の 2 種類の能力が獲得できるかを検証することを目的とする。

1) 色模様認識能力

グラデーションと縞模様が識別可能かで検証する。

2) 色名認識能力

色名を段階的に提示しながら、音だけでどれだけ色名が正答可能かで検証する。

5.2 実験手順

色サンプルは図 9 のような 10 種類を用意し、以下の手順に従って実施した。無限音階方式、三重奏方式のいずれも同じ手順で、課題順も同じとする。被験者は 10～30 代の晴眼者 8 人（男性 5 人、女性 3 人）と視覚障害者 2 人（30 代女性、50 代男性）で、晴眼者には目隠しをしてもらい、事前に色相環、三原色、加法混色などの色の概念および音と色のマッピングについて説明した。

(1) 音階テストとして、ランダムに 10 音提示し、音階名を解答してもらう。

(2) 10 枚のサンプルについて①～③の手順を繰り返す。

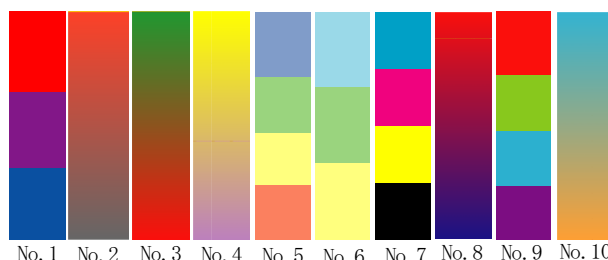


Fig.9 Colored pattern samples

①[第 1 試聴]色名を全く提示せず、色サンプルに沿って測色部を移動させる。移動に伴う音の変化を聞かせ、質問に解答してもらう。

②[第 2 試聴]同じ色サンプルに対して、最初に色名を提示し移動に伴う音の変化を聞かせ、質問に解答してもらう。

③[第 3 試聴]同じ色サンプルに対して、最初と最後に色名を提示し、移動に伴う音の変化を聞かせ、質問に解答してもらう。

手順①～③の質問は共通で、以下の通りである。

(1) グラデーションか縞模様か？

(2) 縞模様なら、色数と色名は？

(3) グラデーションなら、何色から何色への変化か？

5.3 実験結果

5.3.1 色模様認識結果と考察

縞模様とグラデーションの識別結果を表 2、3 に示す。A1～A8 は晴眼者で、B1、B2 は視覚障害者である。被験者の下の[]内の数字は音階テストの結果で、音階同定能力と考える。視覚障害者も同じ手順で実験を行った。10 人の平均正答率は、無限音階方式が 94%、三重奏方式が 98%といずれも高く、音階同定能力の高低によってパターン正答率に差がみられないことが分かった。また、視覚障害があってもパターン正答率が極端に低くなることはなかった。

無限音階方式では、184 色に減色しているために微妙な色の

Table 2 Recognition result by using Shepard Tone Method

Subject [pitch]	A1 [3]	A2 [4]	A3 [6]	A4 [7]	A5 [9]	A6 [9]	A7 [9]	A8 [10]	B1 [4]	B2 [6]	pattern correct rate %
1 stripe	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	90
2 gradation	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	90
3 gradation	×	○	○	○	○	○	×	○	○	○	80
4 gradation	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100
5 stripe	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100
6 stripe	×	○	○	×	○	○	○	○	○	○	80
7 stripe	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100
8 gradation	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100
9 stripe	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100
10 gradation	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100
correct number	8	10	10	9	9	10	8	10	10	10	94

Table 3 Recognition result by using Trio Ensemble Method

Subject [pitch]	A1 [3]	A2 [4]	A3 [6]	A4 [7]	A5 [9]	A6 [9]	A7 [9]	A8 [10]	B1 [4]	B2 [6]	pattern correct rate %
1 stripe	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	90
2 gradation	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100
3 gradation	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100
4 gradation	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100
5 stripe	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	90
6 stripe	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100
7 stripe	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100
8 gradation	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100
9 stripe	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100
10 gradation	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100
correct number	9	10	10	10	10	10	9	10	10	10	98

変化に対して音が変化せず、色サンプル3番を縞模様と誤認識する被験者がいた。逆に、色の境界では測色の僅かなブレや印刷のムラから音が変化し、色サンプル6番で縞模様をグラデーションと誤認識する被験者がいた。これに対し、三重奏方式では、音量の変化により連続性が高くなり、このような問題は生じなかった。以上により、三重奏方式の方が有効と考えるが、無限音階方式も高い正答率であることも忘れてはならない。

5.3.2 色名認識結果と考察

第1試験の音だけを聞いて色名を答えた場合の正答率を表4に示す。また、個人ごとの各試験における正答率の変化を図10、11示す。無限音階方式では、音階同定能力が高いほど、色名正答率が高くなっていった。視覚障害の2人は、音感同定能力で同レベルの晴眼者より高い傾向にあった。絶対音感のあるA8は、ほとんど正解であった。音階が色と直接対応しているために、音階同定能力の高い人ほど、認識しやすかったようである。

三重奏方式では、第1試験で90%を超える被験者はいなかった。しかし、音階同定能力の低い被験者では無限音階方式より高い色名正答率を示しており、音階の同定より楽器音の識別の方が容易であることが分かる。

無限音階方式の思考過程が「音階⇒色名」と直接的であり、音階同定能力の高い人では無限音階方式が分かりやすいという

Table 4 Correct rate of color name when sound only present

Method	Subject [pitch]	A1 [3]	A2 [4]	A3 [6]	A4 [7]	A5 [9]	A6 [9]	A7 [9]	A8 [10]	B1 [4]	B2 [6]
Shepard Tone Method		10.1	21.4	14.3	39.3	53.6	46.4	53.6	96.4	28.6	60.7
Trio Ensemble Method		21.4	32.1	42.3	32.1	39.3	67.9	39.3	78.6	46.4	71.4

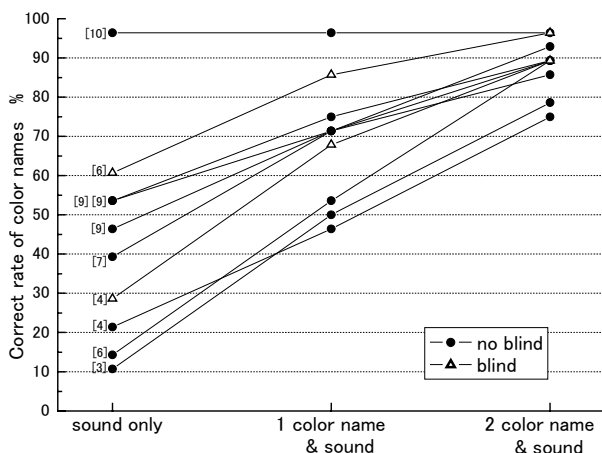


Fig.10 Correct rate of color names by STM

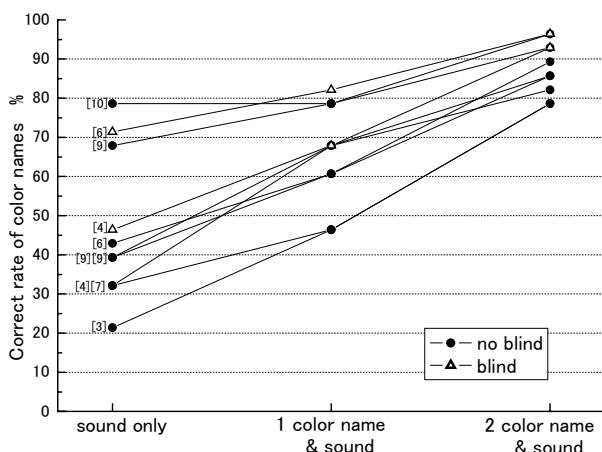


Fig.11 Correct rate of color names by TEM

意見が多かった。それに対して、三重奏方式は「楽器音の認識⇒RGB⇒加法混色⇒色名」と直接的でないが、音階同定能力の低い人は思考過程が複雑でもトリガーとなる楽器音の識別が可能で、有効であったと思われる。ただし、音階同定能力は訓練により一定レベルまで向上するため、学習によって無限音階方式へ移行することも予想される。

加法混色の知識を必要とする三重奏方式、色相環をイメージしたほうが分かりやすい無限音階方式のいずれの方式でも、視覚障害者は晴眼者と比べて極端に色名正答率が低くなることはなかった。

色名正答率の低い初期段階では、必要に応じて色名を呈示させ、確実に色模様・配色を認識できることが確認できた。さらに、学習することにより、色名の呈示回数が減り、効率よく色模様を認識することが可能と思われる。

6. まとめ

色を点としてではなく、面として認識したいという要望に対して、本研究では連続で測色し、時間遅れなく色情報を音として呈示する色模様認識システムを開発した。色を効率よく呈示するために、色と音のマッピングを検討し、無限音階方式と三重奏方式を提案した。さらに、両方式による本システムが色模様認識に有効であることを検証した。検証実験により得られた結果を以下に列挙する。

- ・色模様の識別では、三重奏方式が無限音階方式より有効であった。しかし、無限音階方式も高い識別率であり、非常に有効な方式と考える。
- ・色模様の識別では、両マッピング方式とも音階同定能力による差はなかった。
- ・無限音階方式による色名認識では、音階同定能力が大きく影響し、音階同定能力の高い人ほど正答率が高かった。
- ・音階同定能力の低い人の色名認識では、三重奏方式の方が有効であった。
- ・視覚障害者が本システムにより色模様を認識できることが確認できた。

検証実験後、視覚障害者にタオルなどの色模様を認識していただいた。タオルに引かれたラインとその色を正確に認識でき、自発的に洋服などの認識をはじめた。

今後は、両方式の学習効果を確認する。また、無限音階方式の長所と三重奏方式の長所を組合せた他の方式も開発し、有効性を検証した後に、携帯化する予定である。

参考文献

- 1) F.Furuno et al.:Colour Discriminating Apparatus for the Blind, 1st International Conference on Computer for Handicapped Persons, (1989) 134.
- 2) 月東充：色覚障害者のための色識別システムについての研究，名古屋市工業技術研究報告，**81** (1996) 13.
- 3) 高橋廉：色を音声で読み上げる色センサ，トランジスタ技術，**37**, 78 (2000) 260.
- 4) 前川満良，橋爪慎哉，當間安厚，有谷秀明，一二三吉勝，関啓明：視覚障害者用の携帯型色認識装置の開発—自動校正機能による測色安定性の向上—，精密工学会誌，**69**，11(2003)1648.
- 5) 末田統：バースト振動感覚特性と振動色感覚，第7回感覚代行シンポジウム論文集，(1981)66.
- 6) 日本音響学会編：音のなんでも小事典，講談社(1996).
- 7) 最相葉月：絶対音感，小学館(1998).
- 8) 岩井大輔，長田典子，津田学，和氣早苗，井口征士：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—，音楽情報科学 41-17, (2002)97.
- 9) J.L.Caivano : Color and Sound : Physical and Psychophysical Relations, COLOR research and application, **19**, 2(1994)12.