

博士学位論文

平成25年度

共感覚の処理過程の解明
：色字共感覚および色聴共感覚

李 珠睨

女子美術大学

1. 序論

第1章	共感覚の現象及び特性	1
1.1.	共感覚の種類および存在率	
1.2.	共感覚の特徴	
第2章	各種の知覚における処理過程	7
2.1.	文字認識の処理過程	
2.2.	聴覚の処理過程	
2.3.	色覚の処理過程	
第3章	色字共感覚と色聴共感覚	16
3.1.	共感覚色を誘発する文字認識の処理段階	
3.2.	共感覚色を誘発する音楽認識の処理段階	
3.3.	各情報により誘発された共感覚色の処理段階	

2. 色字共感覚の処理段階

第4章	予備実験	25
4.1.	形態情報による色字共感覚	
4.2.	単語の意味による色字共感覚	
第5章	形態情報および音韻情報による共感覚色の比較	32
5.1.	形態情報の特徴による共感覚色	
5.2.	形態情報および音韻情報による共感覚色の比較	
5.3.	同音の表音文字による共感覚色	

5.4.	同音の表意文字による共感覚色	
第6章	音韻情報および意味情報による共感覚色の比較	66
6.1.	音韻情報および意味情報による共感覚色の比較	
第7章	文脈による意味情報の共感覚色	73
7.1.	意味情報による表音文字の共感覚色	
7.2.	意味情報による表意文字の共感覚色	

3. 色聴共感覚の処理段階

第8章	音および音楽による共感覚色	85
8.1.	ノイズによる共感覚色	
8.2.	音調および音色による共感覚色	
8.3.	音調およびテンポによる共感覚色	

4. 結論

第9章	総合考察	100
-----	------------	-----

引用文献

和文要旨

序 論

第 1 章

共感覚の現象および特性

1.1. 共感覚の種類および存在率

共感覚に関する最初の学術的報告は 19 世紀 人間の能力及び性格の遺伝的側面を研究する Francis Galton によって行われた (Ramachandran and Hubbard, 2003). この研究では被験者が印刷された数字を見ることや音を聞くことで特定の色を“見る”ことができると報告され (Galton, 1880), これらは今日の「色字共感覚」と「色聴共感覚」に応じる共感覚であると考えられる.

共感覚は 19 世紀の終わりから現在に掛けて様々な種類が紹介されている. そのうち 11 年間様々な媒体を通して得られた 572 の事例を募集した研究では共感覚を 35 種類に分類して共感覚の多様性を示した (Day, 2005). それは表 1 に示す. 共感覚者は一つの刺激に対して必ず一つの感覚を経験するわけではないため, 表 1 で示された百分率は共感覚者が持っていた共感覚の数を調べた数値である. 最も多い比率を占めている共感覚は文字や数字に対して共感覚色が誘発される色字共感覚 (68.8%) であり, これに続き音楽 (18.5%) や一般的な音 (14.3%),あるいは音素 (10.8%) に共感覚色を感じる, いわゆる聴覚により誘発される色聴共感覚 (43.6%) であった. 視覚と聴覚器官以外にも嗅覚や味覚, 痛み (触覚) などの感覚器官を通して共感覚色を経験する比率は非常に高い. これは“色”を誘発する共感覚が刺激に影響を受けず最も多い比率を示すことを意味し, 人間が持つ他の感覚と色知覚の処理過程の間に特別な相互作用が行われていることを示唆する. 色が誘発される共感覚以

外にも聴覚の刺激から味覚を感じる共感覚（5%）や触覚を感じる共感覚（4.3%）がある。これらの割合は色を誘発させる共感覚以外では多いほうであり、これは聴覚器官からの入力により生じる共感覚が高いことを示す。

2005 年の研究に続いて 2009 年に被験者を追加し 1090 の共感覚を分類させた結果、共感覚は少なくとも 61 種類が存在することが確認された。なお視覚や聴覚を通して共感覚を経験する共感覚別の出現頻度には差異がないと述べていた(南, 2010)。しかし最近の研究では色字共感覚と色聴共感覚の比率より多い比率を占める共感覚の種類があると報告されている(Ward, 2013)。

Day (2005) が挙げた共感覚以外でも音を聴くと動きを感じる共感覚(Audio-motor)や痛み
に形態を経験する共感覚(Geometric pain)、そして失明した人が点字の文字や音楽に色
を感じる共感覚(Blindsight)など、多様な共感覚が報告されている(Cytowic & Eagleman,
2009)。またちらつきがある視覚要素やその動きに対して聴覚を経験する共感覚も紹介され
ている(Saenz & Koch, 2008; Hubbard, 2008)。なお話し言葉に味を感じる共感覚者
(Lexical-gustatory) (Ward and Simner, 2003)や音楽の周波数に空間的位置を感じる共感
覚者(Linkovski, 2012)のように近年の研究で新たな共感覚の種類が多く報告されている。
これは世の中にまだ知られていない共感覚の種類が存在する可能性を示す。

表 1 572 事例を分類した 35 種類の共感覚 (Day, 2005)

Type	No. synesthetes ^a	%
Colored graphemes	394	68.8
Colored time units	134	23.4
Colored musical sounds	106	18.5
Colored general sounds	82	14.3
Colored musical notes	62	10.8
Colored phonemes	60	10.5
Colored tastes	43	7.5
Colored odors	40	6.9
Colored pain	36	6.3
Colored personalities	26	4.5
Colored touch	25	4.0
Colored temperatures	15	2.6
Colored orgasms	7	1.2
Smell-synesthetic sound	4	0.6
Smell-synesthetic taste	1	0.1
Smell-synesthetic temperature	1	0.1
Smell-synesthetic touch	4	0.6
Sound-synesthetic smell	9	1.5
Sound-synesthetic taste	29	5.0
Sound-synesthetic temperature	4	0.6
Sound-synesthetic touch	25	4.3
Taste-synesthetic sound	1	0.1
Taste-synesthetic temperature	1	0.1
Taste-synesthetic touch	4	0.6
Temperature-synesthetic sound	1	0.1
Touch-synesthetic smell	2	0.3
Touch-synesthetic sound	2	0.3
Touch-synesthetic taste	3	0.5
Touch-synesthetic temperature	1	0.1
Vision-synesthetic smell	6	1.0
Vision-synesthetic sound	6	1.0
Vision-synesthetic taste	11	1.9
Vision-synesthetic temperature	2	0.3
Vision-synesthetic touch	5	0.8
Personality-synesthetic smell	1	0.1

^a Total of 572 surveyed. Other possible combinations I have not yet found in 572 cases: taste-synesthetic smell ("smelling flavors"); temperature-synesthetic smell ("smelling temperature gradients"); temperature-synesthetic taste ("tasting temperature gradients"); temperature-synesthetic touch ("feeling temperature gradients").

共感覚者の存在率は町の住民 44000 名のうち 22 名（色字共感覚者：18 名、色聴共感覚：4 名），つまり 2000 人に約 1 人の割合で存在すると推測し (Baron-Cohen et al., 1993)，その男女比は 6 : 1（女性：男性）の割合で男性よりも女性に多くみられると報告されていた (Baron-Cohen et al., 1993, 1996; Bailey & Johnson, 1997)。共感覚が女性に多く見られる原因の一説は遺伝子による家族史であった。遺伝学を通して共感覚者の性別比率を検討した Bailey & Johnson (1997)によると X 遺伝子の伴性優性遺伝による影響であると述べ、これは共感覚を所有している女性が子孫の性別を問わず同じ遺伝子を伝えているが X 遺伝

子の比率が 3 : 1 (女性 : 男性) で男性より女性に多いため、女性に現れる共感覚者の頻度率が高くなるということであった (Cytowic, 2002; Smilek et al., 2002). Baron-Cohen ら(1996)も多様な共感覚を持つ 6 家族を調査した結果、第一度近親者 (e. g., 親, 子, 兄弟)の家族内に共感覚が存在する確率は 48.6%であり,有病率は約 0.05%になると報告した.

しかし最近の研究では共感覚者は 200 人に 1 人の割合で存在する (Ramachandran & Hubbard, 2005; Day, 2005)と報告されており, そのうちの男女比率も不均等ではないことが指摘されている (Simner et al., 2006). 共感覚者の存在率に大きな変動が見られたことは, 共感覚という感覚が 20 世紀までネガティブなイメージが強かったため, 恣意的な公開はしていなかったが, 最近では多様な媒体に通じて共感覚が一般の感覚であることが認められているからであると考えられる. なお自分が共感覚者であることに気付いていない場合や申告していない場合を考えると, 共感覚者や共感覚の種類は今まで思われていた数よりかなり多くなるとも考えられる (Simner et al., 2006).

共感覚者の存在率および共感覚の種類が増えるということは 1850 年から 2006 年まで論文審査のある心理的分野に投稿された研究の数からも確認することができる (図 1).

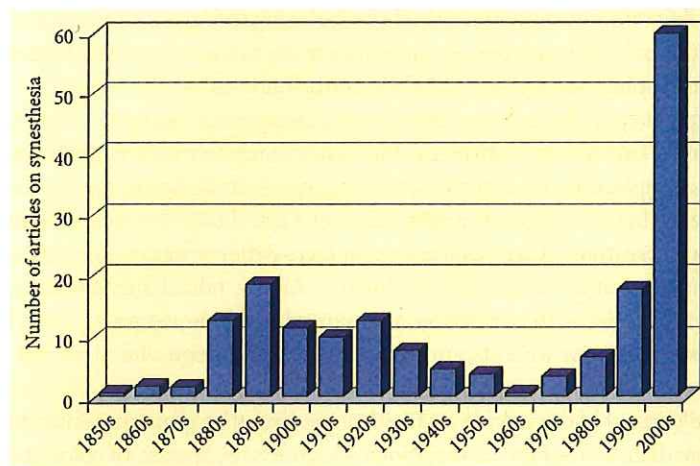


図1 1850 年から 2006 年まで論文審査のある心理的分野に投稿された研究の数 (Simner and Hubbard, 2013).

1.2. 共感覚の特徴

共感覚では数多い種類が存在し、同じ文字刺激に対して共感覚の経験は個人ごとに様々な現象が現れるため、共感覚が想像上の幻覚であるのか、あるいは現実の感覚なのかについては多く議論されてきた。それにもかかわらず共感覚に共通して現れる主要な五つの特徴を Cytowic は記している (Cytowic, 1993)。最初の特徴は、共感覚が自動的で不随意的であるということである。つまり、共感覚は刺激なしに意志の力で発生させることは出来ず、物理的刺激によって発生する。これは共感覚の知覚は自分自身でコントロールすることができないことを意味する。加えて、何かに没頭している時には共感覚があまり目立たないが、リラックスしている時に意図的に注意を向けると共感覚の経験が鮮明になるという点も特徴の一つである。

二番目は、外部世界で生じる空間的特徴である。これは共感覚が文字そのものに色が付くなど、手に実際の手触りを感じるなど身体の中で生じるのではなく外部の空間で知覚されるということである。しかし Dixon らにより外部世界のみならず共感覚者の内で共感覚を経験するタイプもあることが知られている (Dixon et al., 2004)。これら projector と associator に関しては 3.1. で詳細に述べる。

三番目の特徴は、個人内に一貫性を持ち単純で具体的な感覚を経験することである。個人内に一貫性を持つということは、個人間に同じ刺激に対して誘発される共感覚の種類や反応が様々であっても、個人内にある刺激に対して一回誘発された共感覚は生涯続くということの意味する。なお単純で具体的な感覚を経験することは、線、同心円、格子という幾何学的形態や、つるつるした、ざらざらした質感、塩味、甘味など単純で具体的な共感覚を経験することの意味する。Cytowic はこのような現象より複雑な感覚を経験する場合は共感覚ではない可能性があると言った。

四番目の特徴は、記憶と関連性を持つということである。共感覚者は記憶を助ける手段として共感覚を使っていて実際覚えた人の名前や電話番号についての情報は忘れる場合が多いが、その情報から生じた共感覚の経験は記憶に強く残るという。

最後に五番目の特徴は、情動性を持つということである。単に感覚が誘発されるだけではなく、例えば「この字は綺麗な色だ」とか「調和していないので嫌い」というような好き・嫌いまたは快適・不快という情動を伴うことこそが共感覚の特徴である。

これらの特徴の中で幾つは間違いであるとの指摘もあるが、この特徴が共感覚の研究に

において重要な役割を果たしている事は間違いない。

第2章

各種の知覚における処理過程

2.1. 文字認識の処理過程

人間はある言語の読みに熟練すると一度に複数の文字を読み取って単語を認知し、文を読み進めることができる。これを実現するためには、文字の位置、大きさ、変形に関する視覚的な要素の不変性を実現するとともに、認知した文字を記憶済みの単語とすばやく照合する処理過程が必要とされる(牧岡、2010)。

文字認識の処理は色や形態などの視覚情報処理以降の段階から表音文字と表意文字が異なる様式で処理されると報告されている(斎藤, 1981)。表音文字は形態情報と音韻情報しか持たないため、形態情報から音韻情報を獲得して、これらを順序に従い読み上げることで意味がなされるものの、表意文字は象形文字でありながら書字表象に依存しやすいため、表音文字より形態情報における依存度が高いこと(Osaka, 1990; Saito, Inoue & Nomura, 1979)から、表意文字の処理過程は音韻符号化を経ずに直接意味を処理すると報告された(野村, 1978; 小森, 2005; 斎藤, 1981)(図2)。野村や井上らは漢字の音読みと訓読みを比較し訓読みの場合は音読みの場合より被験者の反応が早かったので、対応する単語の意味が検索しやすいという結果を得た(野村, 1978; 井上 et al., 1979)。このことから読み手は訓読みによって漢字の意味情報を得た後に音読みに変換すると考えられ、音読みは意味処理を経由して音韻処理を行なう過程と解釈した。

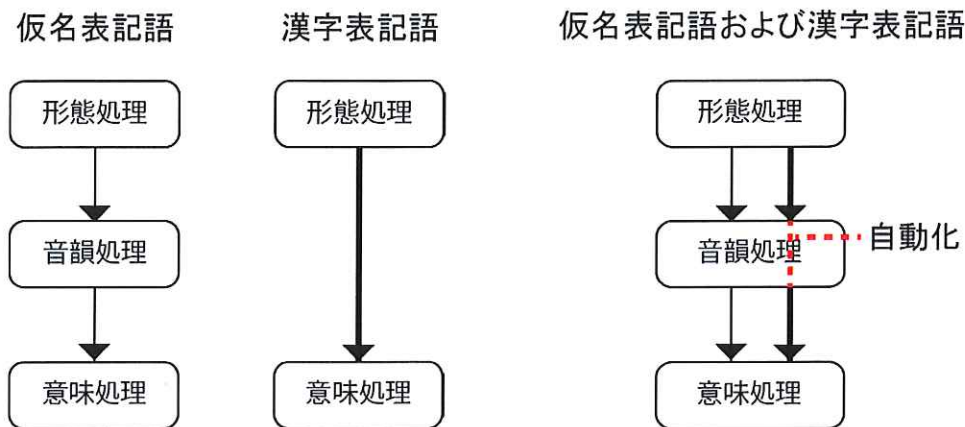


図2 漢字表記語と仮名表記語で異なる処理モデルの簡略（水野りか，1997）

図3 漢字表記語と仮名表記語の処理過程の統一モデル（水野りか，1997）

しかし近年では，表意文字の処理過程も表音文字のように形態情報から音韻情報を得た後意味情報を処理するという報告があり（林，1999；水野，1997）（図3），漢字と仮名の符号化過程における各種失読症の認知神経心理学的研究から，表音文字および表意文字の処理過程は文字の種類による二分法的な考え方ではなく，共通の過程を仮定すべきだとする考え方が一般的となっている（広瀬，2007）。

このような異なる文字体系による認知過程は脳科学の分野でも検討されている．日本語母国語者が平仮名と漢字の文書を読んだ際のメカニズムをfMRIを用いて検討すると，被験者は漢字を読んだ場合，視空間情報を処理する左後側頭部（left hemisphere occipito-temporal lobe）がより発火し，平仮名を読字すると漢字に比べて音韻情報を処理する領域がより強く発火した（Buchweitz et al., 2009）．これは文字体系によって異なる情報処理が行われていることの裏づけになる．

また19の先行研究のメタ分析を通して英語と漢字を音読した際の音韻情報処理について検討した研究（Tan et al., 2005）によると，漢字の addressed phonology を処理する領域は dorsal stream への動きが多く，そのうち left middle frontal gyrus の領域が仲立ちしたが，英語の assembled phonology を処理する領域は ventral stream への動きが多く，left temporoparietal regions が介在したと報告した（図4）．これは組み合わせた各文字の順序により音韻情報が変化する表音文字と単独で音韻情報を持つ表意文字の音韻情報の処理過程が異なることを示し，視覚情報から得た表意文字の音韻情報は表音文字の音韻情

報より高次レベルで処理されることが考えられる。

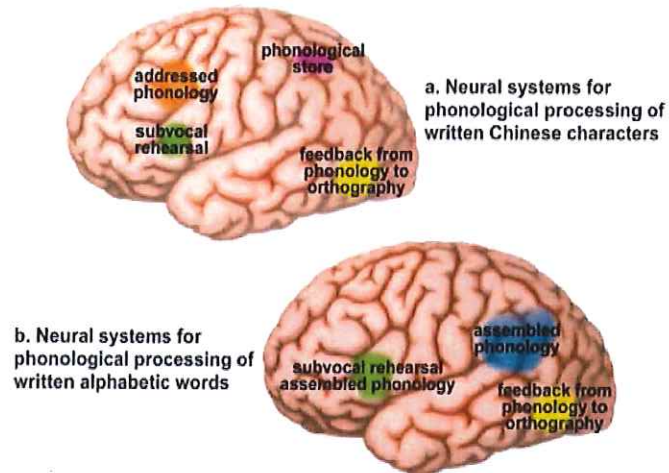


Figure 2.
Neural systems for phonological processing of Chinese characters and alphabetic words.

図4 漢字とアルファベットにおける音韻処理の神経処理 (Tan et al., 2005)

一方 fMRI 手法を用い漢字の形態情報と音韻情報の処理過程を検討すると、形態処理に関する領域は左の dorsal 経路を沿って発火する傾向が見られたことに対し、音韻処理に関わる領域は左の運動野の関連領域やより高次の左の下前頭回、とりわけ語彙処理は左の下前頭回の ventral 部分であると報告された (Kuo et al., 2004)。これは漢字の音韻情報における Tan ら (Tan et al., 2005) の知見と相違があるが、音韻情報の処理が形態情報の処理より高次であることには間違いない。

2.2. 音覚の処理過程

耳に入ってくる音には通常いろいろな周波数成分が含まれているが、蝸牛の基底膜の共振によって周波数成分がある程度分解される。基底膜から大脳に通じる神経網はこの周波数分析結果を保存するようにある周波数帯域ごとに独立した神経束をもっていると考えられる。大脳に入力された音の情報は多段階の処理過程により処理される（図 5）。音の特徴的性質である音の大きさ、音の高さ、音色などは極めて低次段階で処理されることが知られている（Kaas et al. 1999 ; Tramo et al., 2002）。これらの各情報は高次に伝達されることで聴覚のゲシュタルトの処理過程を経ることになる。これはさまざまな音響現象を一定の意味のあるまとまりとして認識する、すなわち異なる音程が連続した音の連なりを“メロディ”として認知することを意味する。

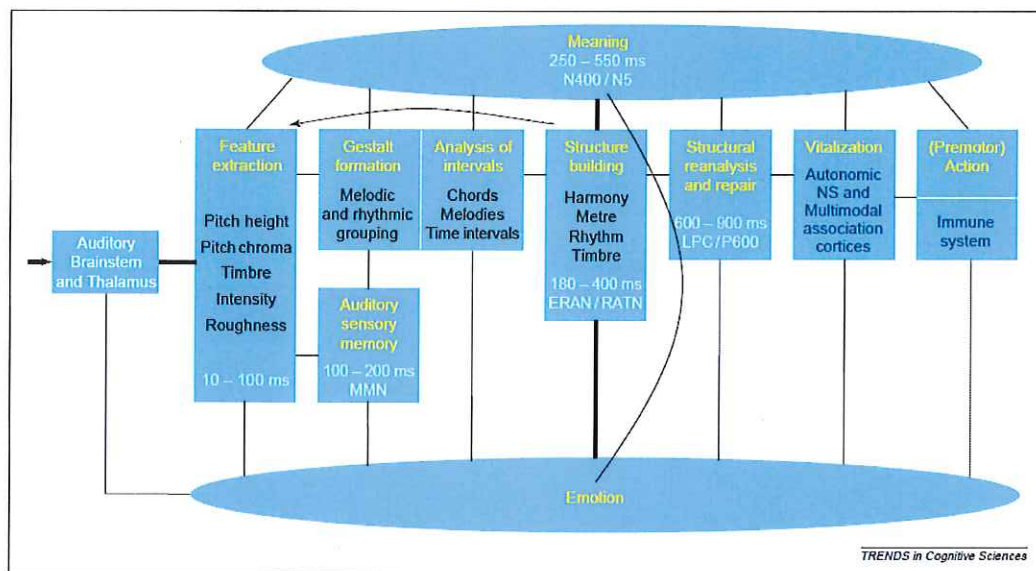


Figure 1. Neurocognitive model of music perception, showing the modules to which different aspects of music perception can be assigned (see text for details).

図 5 音楽知覚における神経認知モデル (Koelsch and Siebel, 2005)。

音楽の認識は音高とピッチクロマ（音名に対応する特有の響き）の二つにより処理される。ピッチクロマは音のパタン（メロディ）の基礎になり、特定の音源には依存しない。一方音高はトーンの分離から音源で分かれるストリームの基礎になると知られている（図 6）。これらの情報を fMRI で検証すると、音の情報は anterior auditory 領域で、特定の音の分離は posterior areas で処理されたと報告された (Warren et al., 2003)。

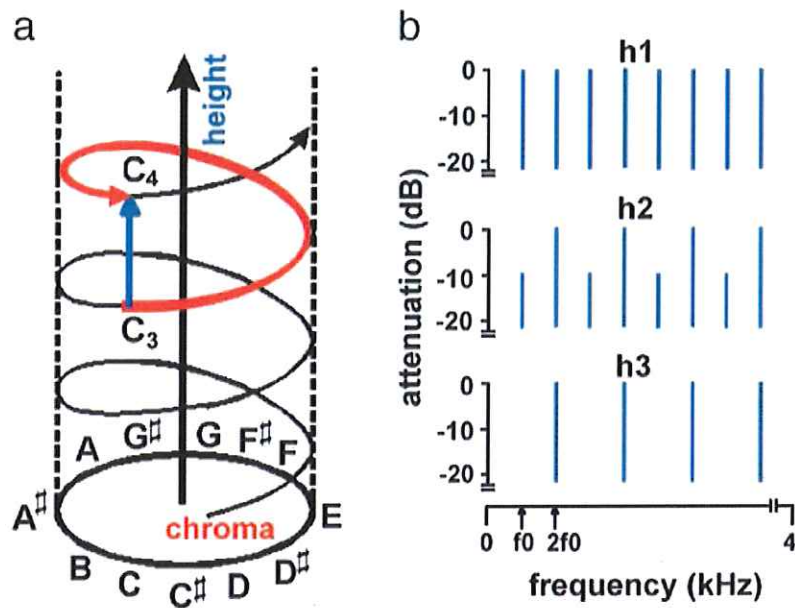


図6 a. 音階の螺旋. 音階はオクターブを示す渦巻きの螺旋に巻き付いている. 音高に相当する変化はクロマの変化と同様である(青). b. 音高による音の例. h1(上)は基音の調波がすべて f_0 に同一である. h2(中央)は奇数調波が 10 dB ほど下がった例で, クロマの変化がない音階は大きく増加するように操作した. h3(下)は奇数調波が完全になくして同じクロマで一つのオクターブが上がった例である ($2f_0$) (Warren et al., 2003).

2.3. 色覚の処理過程

色は光や物体に内在されているのではなく目から受け取る光の信号による人間の内部に生じる心理的現象である。色知覚は網膜の光受容器 (photoreceptor) が光の波長や強度の複合的情報を持つ光子を受容することによって始まる。この過程で光エネルギーは電気エネルギーに変換される。

色覚処理の第一段階は可視光線の長波長域、中波長域、短波長域にそれぞれの分光感度をもつ3つの光応答機構の錐体と桿体により生起され、3つの光応答機構を軸として初期段階の色情報を再現した空間が LMS 色空間である。

錐体の三原色情報から反対色情報に変換される色覚処理の第二段階では、L と M 錐体間の比較情報から L-M の反対色情報が、L と M 錐体の和と S 錐体の比較情報から $S-(L+M)$ の反対色情報が生じて高次に伝達される。錐体直後の情報を受け取る水平細胞 (Svaetichin, 1956) と双極細胞 (Shimno, Toyoda, Kondo, 2000) において反対色応答が確認されたことから、反対色性をもつ色の見えの変化は視細胞以降の網膜段階から既に生じると考えられる。

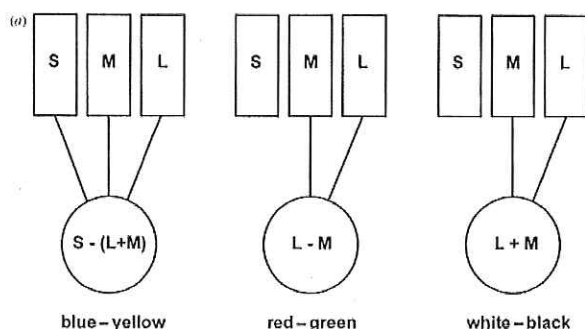


図7 三錐体の比較情報から生じる第2段階モデル (Webster, 1996)。

これらの反対色情報は、さらに神経節細胞の小細胞の処理を経て外側膝状体 (Lateral Geniculate Nucleus: LGN) の小細胞層 (parvocellular layer) に、また三錐体の出力和である輝度情報は神経節細胞の大細胞層 (magnocellular layer) を経て LGN の大細胞層に伝わる。前者の L-M 反対色情報は parvocellular 経路を、 $S-(L+M)$ 反対色情報は koniocellular 経路に分かれ、後者の輝度情報を使える magnocellular 経路とは異なる経路によって LGN から有線領まで交路せずに関節が伝達される (Chatterjee and Callaway, 2003; Mullen, Dumoulin and McMahon, 2007)。その際、異なる経路で伝達された反対色情報は、色の変化方向に選択性を表す独立な二つの機構により処理され、この機構は錐体の分光感度の特性 (Smith & Pokorny, 1975) から求めた L-M 軸と $S-(L+M)$ 軸、すなわち cardinal

axes (基本軸) に対応することが心理物理実験を通じて見出された (Krauskopf et al., 1982). また LGN 神経細胞の応答は基本軸に沿った色情報とよく一致したことから (Derrington et al, 1984), この段階の色情報は基本軸を基準に規定した DKL 色空間で最も適切な再現ができると考えられる. しかしながら基本軸は赤と緑および黄と青の見えを表す軸と一致しないことが報告され, LGN での反対色情報は現象的信息と異なることが示されている (Krauskopf et al., 1982; Derrington et al, 1984; Flanagan et al, 1990; De Valois et al, 2000; Wuerger et al, 2005). 神経科学的研究でも unique hues における LGN と V1 の細胞は異なる軸に現れたことが報告されている (図 8)

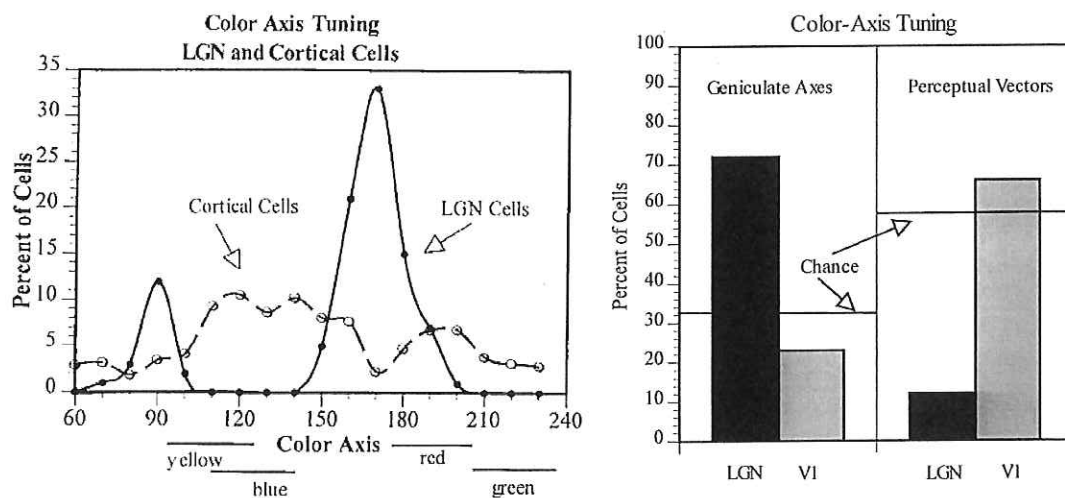


図8 LGNとV1の細胞における色軸の分布 (De Valois et al, 2000) .

最近の研究では LGN における色情報と V1 における色情報が異なるとする知見は一致するが, Unique hue に対する LGN の色情報は Krauskopf らが提案した cardinal 軸と相違があると報告されている (Wuerger, Atkinson, & Cropper, 2005). Unique 赤と Unique 緑に対する応答は異なる反応の量による色覚処理を行うことに対し, Unique 黄と Unique 青に対する応答は同一の量による色覚処理で高次に伝えられると Wuerger らは述べた (図 9).

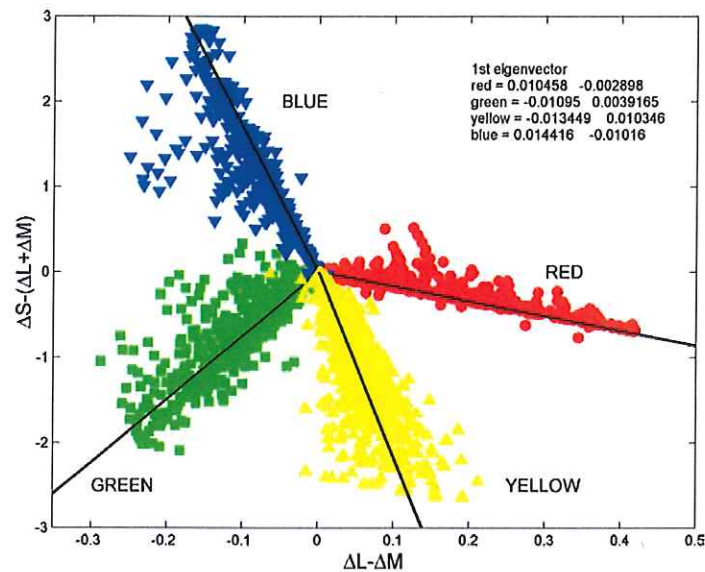


図9 DKL空間における四つのunique-hueであり、各色は1616データポイントである。赤円形は“unique red”, 緑四角は“unique green”, 黄三角は“unique yellow”, そして青三角は“unique blue”を示す。実験はunique hueにおけるeigenvectorを示す。(Wuerger, Atkinson, & Cropper, 2005)

反対色性の情報は脳における低次の色覚処理段階まで保持される。LGNの反対色情報を受け取るV1, V2, そしてV3では基本軸における反対色性のみならず、特定の波長域において様々な色相選択性をもつ細胞が存在することから、脳における低次の色覚処理段階では反対色性の特徴をもつ多軸表現の色情報の処理が行われていると考えられる。V4では前段階の処理過程より狭帯域の波長に応答を現す細胞 (Komatsu et al., 1992) や現象的反対色のピークの選択性に比較的大きく反応する細胞が存在するという報告 (Stoughton and Conway, 2008) から、日常的色経験の基になる連続的な色知覚は比較的高次で処理されることが示唆された。現象的反対色に応じて強い反応を現したこの段階の色情報は、人間の知覚的均等性を重視して設計されたCIE $L^*a^*b^*$ 色空間でよく再現されることが考えられる。

またIT野においては基本色に類似した特定の色カテゴリーに応答する細胞が発見されており (Komatsu et al., 1992), カテゴリーカル色知覚は極めて高次で処理されることがいえる。しかし現象的反対色における判定はV1からV2にわたり処理されるが、その他の色カテゴリー (nonprimary color: Orange, Purple etc) はV1-V4-IT野において処理され、段階的に連続的に形成されていると推測できる。色をカテゴリー的にまとめこれを分類する色空間は知られていないが、カテゴリーカル色知覚の研究には色差を均等に表したOSA色空間がよく

使われていて、色空間内で基本色の領域が求められていると報告されている（鯉田 & 内川, 2000）。

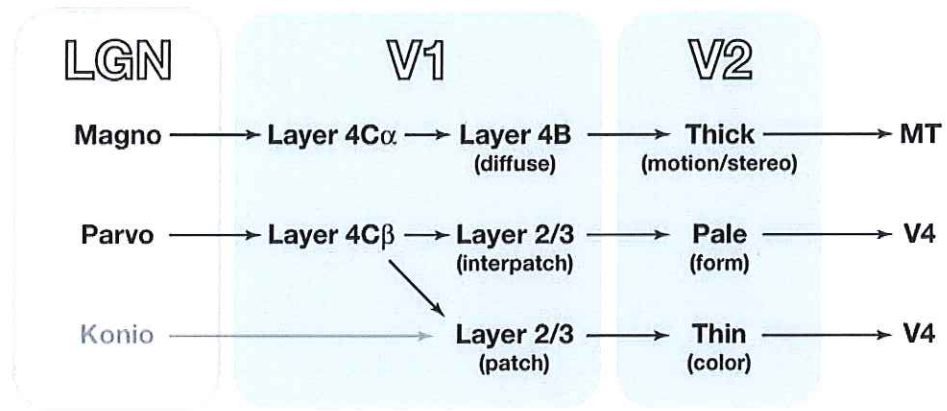


図 10 色覚処理過程 (Ward et al., 2002)

第3章

色字共感覚と色聴共感覚

同じ刺激に対して共感覚の経験は個人ごとに様々な現象が現れるため、共感覚が想像上の幻覚であるのか、あるいは現実の感覚なのかについては多く議論されてきた。今日では Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI), Positron Emission Tomography (PET), Event Related Potentials (ERP) などの手法を用いた神経科学的研究 (Bien, 2011; Ven Leeuwen et al., 2010; Niccolai et al., 2012), そして共感覚の経験により短時間に刺激が構成したパターンの識別が可能となるポップアウト効果、あるいは共感覚色と物理色の異なる二つの情報が干渉し合うストループ効果などを用いた心理物理的研究 (Ramachandran & Hubbard, 2001; Hubbard et al., 2006; Nikolíc, 2007; Ward et al., 2009) によって共感覚が実際に生じる感覚であることが明確になった。ところが共感覚はどのようなメカニズムにより発生する現象なのかについてはまだ明らかになっておらず、さまざまな分野において研究が行われている。これらの研究で報告されている共感覚の発生レベルは、分野を問わず低次レベルによる共感覚と高次レベルによる共感覚の大きく二つに分かれ議論されてきた。

生理学的観点では、前者は側頭葉の紡錘状回 (Fusiform gyrus) という低次レベルでの交絡 (cross-wiring) により処理される共感覚として分類されており、後者は頭頂葉の外側面にある角回 (Angular gyrus) という高次レベルでの相互作用 (cross-activation) により処理する共感覚として分類されていた (Ramachandran & Hubbard, 2005)。低次共感覚は低次レベルの感覚を処理する位置で一方的な影響を受ける強力な共感覚 (strong

synesthesia) であり、高次共感覚は高次レベルの意味を処理する位置で双方向の影響を受ける弱い共感覚 (weak synesthesia) であるが、両者は似ている傾向が見られると報告されている (Martino & Marks, 2001). また Dixon らは共感覚の経験の仕方により共感覚を分類し、身体の中で生じるのではなく外部の空間に知覚されるもの、すなわち物理的な刺激のうえで共感覚を経験するタイプを projector と呼び、心の中で共感覚を経験するタイプを associator と命名した (Dixon, 2004). 前者は低次共感覚と後者は高次共感覚と類似した傾向を持つと報告されている (Ward & Mattingley, 2006). しかしながら最新の研究では、共感覚は複数の要因が絡んで生じた複雑な現象であるという見解が出ている (Smilek et al., 2007; Watson et al., 2012). 今日多くの色字共感覚研究者は共感覚を誘発する様々な言語の文字認識の処理過程を検討する傾向があり (Beeli et al., 2007; Witthoft & Winawer, 2006), 彼らは共通した特徴を持つ刺激に同一あるいは類似した共感覚色が誘導されるのであれば、その特徴が原因であるという考えで検証している.

3.1. 共感覚色を誘発する文字認識の処理段階

3.1.1 視覚的情報による色字共感覚

色字共感覚は文字や数字に対して自動的に色の感覚が引き起こされる現象であり、物理的な光に対する色知覚は非共感覚者の色知覚と大きな差異がないと考えられるが、文字や数字を見た時に物理的刺激と異なる色を知覚することができる.

色字共感覚を誘発させるためには眼を通じて入力される視覚的情報が必要である. この文字は必ず熟知されたものであり (Asano and Yokosawa, 2011), 共感覚色が生じるためには十分な注意の時間を必要とする (Edquist et al., 2006; Ward, 2010). また視覚的情報のうち刺激と背景のコントラストについてはその影響が指摘されており、コントラストが弱くなると共感覚色も弱くなるか、もしくは失われると報告されている (Hubbard et al., 2006). これは文字の認識が行われないと共感覚も生じないことを意味する. このように色字共感覚者における共感覚は刺激の視覚的特徴の認識が重要であることが明確になった. しかし共感覚の類似性を誘導するため必要になる具体的特徴や、文字認識のどのレベルにおいて色情報の処理のどのレベルと交互作用が生じるかについてはまだ論争が続いている.

文字認識のうち視覚的な特徴を処理すると考えられる初期段階では、形態が類似すれば共感覚色も類似するということが知られている。例えば数字とアルファベットのように異なる文字種でありながら幾何学的特徴が類似する「数字 0」と「英文字 O」、「数字 1」と「英文字 I」に対して同じカテゴリーの共感覚色が生じたという報告があり (Day, 2005; Bridgeman et al., 2010), また同じ言語の中で形態特徴 (e. g., 直線, 曲線) が類似すると共感覚色も類似するという報告もある (Brang et al., 2011, Watson et al., 2012). さらに同じアルファベットでも英文字とキリル文字の間で似ている形態を持つ文字では、共感覚色の色相と飽和度において類似した傾向が見られた (Witthoft & Winawer, 2006). これらは同じ言語のみならず異なる言語や文字種においても類似した幾何学的特徴, すなわち文字の形態が共感覚色を生じさせる要因の一つになることを強く示唆している。

ただし Brang らは類似した形態により生じる共感覚色の類似性が projector タイプの共感覚者において強く現れる傾向があると報告し (Brang et al., 2011), associator タイプの共感覚者にはこの影響が小さいことを示した。また形態的特徴が似ている文字を回転や変容 (morphing) により他の文字として認識させた場合の共感覚色は、形態の特徴より被験者の文字認識に強く影響を受けた (Bridgeman et al., 2010). さらに形態の物理的構成要素は全く同じであるが完全な文字の形態は持たない 2 つの文字 (e. g., THE CAT) の共感覚色も被験者の認識, すなわち文字刺激の前後にある文脈効果を受けて共感覚色が決定すると報告されている (Ramachandran & Hubbard, 2001).

3.1.2 音韻情報による色字共感覚

文字認識は形態情報のみで成り立つのではなく、刺激を文字として認識する場合必ず付随する要因の一つとして発音を挙げることができる。

同じ発音を持つ異なる言語の文字 (英語と Russia 語) に誘導される共感覚色を比較した際、飽和度と明るさは異なったが、色相は同じ共感覚色が生じた (Witthoft & Winawer, 2006). これは、共感覚色の類似性が類似した形態情報の特徴のみならず音韻情報によっても生じる現象であることを示唆し、異なる言語にも類似した音韻的特徴をもつ文字であれば共感覚色の類似性は生じることを意味する。この現象はおそらく新たな言語を学習する際に母

国語の影響を受けるからであるだろうと Witthoft が述べている。

母音と子音が組み合わさってできている日本語の平仮名と片仮名に対する共感覚色は 2 つの文字表記における形態情報が異なるにもかかわらず、同一の音韻情報に対する共感覚色は類似しており、さらに同一の子音を含んでいる文字行 (e. g., か行, さ行) に対して類似した共感覚色が生じる確率が高かった (Asano & Yokosawa, 2011)。これは、類似した共感覚色の発生が音韻情報の子音に強く依存していることを意味し、形態情報による影響は有意であることを意味する。またノルウェー語における各文字の共感覚色も母音より子音によって決定される傾向が見られ、子音が共感覚色の類似性に強い影響を与えることを示していた (Svartdal & Iversen, 1989)。この現象は色字共感覚者のみならず word-taste 共感覚においても示されている。Ward らは 400 個以上の刺激を 59 個の味とマッチングさせる実験を行った結果、同じ子音を持つ刺激、例えば /m/ が入っている刺激ではケーキの味が圧倒的に多く、/k/ が入っている刺激ではビスケットや rice krispies の味が多かったと報告した (Bridgeman, Wintero & Tseng, 2010)。これらは類似した共感覚色の発生が共感覚の種類や言語によらず、音韻情報の子音に強く依存していることを意味する。

一方母音の高低と視覚的共感覚の明るさや大きさの関係を検討した研究では高い母音 (e. g. /e/, /i/) に対して明るく小さな、低い母音 (e. g. /u/, /o/) に対して暗く大きな視覚的共感覚が誘導されたと報告された (Marks, 1975, 1978)。これらは共感覚色の子音と母音により異なる影響を受けていることを示唆する。また音の高さにより共感覚色の明るさが変化するという色聴共感覚の研究 (長田ら, 2003; Ward et al., 2006) と同一の結果であり、これは異なるタイプの共感覚の間にも共通したメカニズムが機能している可能性があることを示唆している。

3.1.3 意味情報による色字共感覚

一つの文字に共感覚が生じるだけではなく、喜怒哀楽の感情を表す特定の単語、あるいは本人と関連している人の名前など、意味を持つ単語によって共感覚が生じると報告した

研究もある(Riggs & Karwoski, 1934; Whipple, 1900; Raines, 1909).

Ward は色字共感覚者に対して広範な意味(10のカテゴリ)や感情(肯定的・否定的)に関連した単語を示し、共感覚の有無とその共感覚色について検討した(Ward, 2004). その結果名前に対して、とくにそれが友人の名前であれば高い確率で共感覚が起こり、単語が持つ意味が異なる単語では異なる共感覚色の経験をもたらすこと(ピンク, オレンジ, 黄と茶, 灰, 黒)を報告した. これは友人のキャラクターや単語が持つ異なる意味によって共感覚色の変化が生じること, すなわち共感覚色が意味情報に影響を受けることを示唆する.

意味情報による共感覚色については単文字に意味が内包されている表意文字を用いた研究もある. 色名や物体色を連想しやすい文字刺激(e. g., 血, 桜)に対して全ての被験者が同じ色相の共感覚色を経験したという報告(Asano & Yokosawa, 2011)から考えると, 共感覚は意味情報だけではなく単語から連想されるイメージ色の影響も受けている可能性が示唆される. また共感覚は文字の特徴以外の要因, たとえば幼少時における文字学習の影響(Rich et al., 2005; Watson et al., 2012), または遊び物のような周辺環境(Witthoft & Winawer, 2006)からも影響を受けると指摘されている.

3.2. 共感覚色を誘発する音楽認識の処理段階

3.2.1 音調の認識による色聴共感覚

聴覚の刺激に対して視覚的イメージを経験する視聴共感覚者は、共感覚を誘導する刺激の種類 (e. g., 単音, 音楽) により共感覚の発生の有無が決定される場合が多く, それらの刺激に対する共感覚および処理メカニズムに関する研究は多様性を持っている。

無意味な語や音楽ではない聴覚刺激が視覚的共感覚を生じさせる色聴共感覚者 (Baron-Cohen, 1996; Day, 2005) や日常生活で接している意味のないノイズのような刺激に対して共感覚色が発生する色聴共感覚者 (Myers, 1911) も報告されている。これは刺激の処理が言語や音楽の処理レベルまで至らず聴覚処理の最初の段階である器官により処理されている可能性を意味し, 一定の法則を持っていなくても共感覚的反応が生じるということを示す。Marks は音の密度 (density) と大きさ (volume) が変化した際に生じる視覚的共感覚の経験について検討した結果, 音刺激の密度が変化すると視覚的なイメージの明るさ (brightness) も共に変化し, 音刺激の大きさが変化すると視覚的イメージの大きさも共に変化すると報告した (Marks, 1975)。また音刺激が上昇音型になるにしたがって明るい共感覚色を経験し, 下降音型になるにしたがって暗い共感覚色を経験する, すなわち音の高さの変化によって共感覚色も共に変化すると報告した (Marks, 1978)。これは刺激の変化と共感覚の経験が一对一で対応することを意味し, 共感覚の経験が幾つかの要素で組み合わさった音楽の処理段階より低次で処理される可能性を示す。また楽譜で書かれた音符も共感覚色と直接対応し, 音符の変化と共に共感覚色も変わったと報告された (Rizzo and Eslinger, 1989)。

音による共感覚色は単音のみならず和音にも誘導されると報告されており, 単音と和音のいずれによる共感覚色の明るさも刺激の周波数により変化し, 和音による共感覚色は一つ以上の色が誘導されたと報告されている (Ward et al., 2006)。このように音刺激と視覚的共感覚の経験が対応して変化することは, 刺激の単純な変化が共感覚の経験に直接影響を与えていることを意味する。また音の周波数と共感覚色の明るさが対応する現象は, 2.5 才, 3 才の幼児 (Mondloch & Maurer, 2005) や非共感覚者 (Marks, 1974; 長田ら, 2003; Ward et al., 2006) にも示されている。これは音による共感覚が非共感覚者と同様なメカ

ニズムで処理される可能性を示す。

しかし ERP を用いて音刺激による反応時間 (Goller et al., 2008) や fMRI を用いて音刺激による賦活領域 (高橋 et al., 2006) を検討した研究では、共感覚が実際の感覚であることを示して共感覚者と非共感覚者間での差異を提唱している。これらは共感覚者と非共感覚者に対する感覚が類似することを意味するが、情報を処理するメカニズムは差異があることを示唆する。しかし共感覚者と非共感覚者の情報処理メカニズムが同一であるか否かについてはまだ明らかになっていない。なお Thornley Head は音楽的知識や絶対音感の能力が共感覚の経験に影響を与えるか否かについて検討するため、共感覚者で絶対音感を持つグループと持たないグループ、そして非共感覚のグループに音刺激とこの刺激に対する情報を与え、刺激と刺激の情報に対する一致度を判断させた (Thornley Head, 2006)。その結果、共感覚者は非共感覚者より優秀であったが、絶対音感を持つ共感覚者は絶対音感を持っていない共感覚者より一致度が低かった。このことは音楽に対する経験や知識、絶対音感が共感覚の経験に影響を与えてないことを示し、共感覚の知覚より絶対音感の知覚が優位性をもつことを意味する。これは絶対音感による間違った音判断が共感覚色を選択する際に影響を及ぼしたと考えられる。

3.2.2 音楽的認識による色聴共感覚色

音の高さや大きさが同一であっても音色が変わると異なる音として認識される。

八種類の音色で演奏した短調と長調の音高を変化により共感覚色がどのように変化するかについて検討した研究 (長田ら, 2003) では、共感覚色は調によって規定されたが、音色の違いは共感覚色に影響を与えず、音色が何であっても常に調に固有の色を経験したと報告した。これは調知覚と音色の知覚のうち、調知覚が共感覚色の発生に優先されることを意味する。純音とピアノや弦楽器に演奏した音による共感覚色の場合は、音の高さと共感覚色の明るさが対応して変化し、音色の違いは彩度と対応して変化する傾向が見られたが、音色と彩度における変化が強くなかったと報告された (Ward et al., 2006)。これは多次元的な知覚である音色より音高の知覚が共感覚の発生に優先されていることを意味する。

音楽により誘発される共感覚の視覚的経験についての研究では、音の高さより音色によって共感覚色と形態が強い影響を受けるという報告 (Zigler, 1930) と音高の変化は形態の

大きさや明るさに、音色は形態の特徴に影響を与えるという報告 (Mills et al., 2003) がある。さらに Mills らの研究の共感覚者は音楽のジャンルによっても異なる共感覚の経験をしていた。Classical 音楽による共感覚は混同されていない明瞭で明るい色をもつ幾何学的な形態が現れ、Rhythm and Blues 音楽に対する共感覚は常に煮え切らない感じで主に登場する色相は赤紫、赤、青紫であり、また Techno Dance 音楽に対する共感覚は色とりどりの小さいタイルが登場したと報告した。

音声の音色による共感覚を検討した研究 (Takayanagi, 2008) では、男女の声に対する差異は見られなかったが、怒声に対する共感覚色は暖色であり、やさしく穏やかな声に対する共感覚色は寒色であったと報告された。音楽のジャンルや感情を表す音声は様々な様相が含まれているので明確な要因を調べることは難しいが、音の高さや音色以外の音楽の構成要素または最も高次の感情認知による影響が示されていると考えられる。

3.3. 各情報により誘発された共感覚色の処理段階

物理的な光に対する色字共感覚の色知覚は非共感覚者の色知覚と大きな差異がないことが知られている（図 11）が、文字や数字を見た時に物理的刺激と異なる色を知覚することができる。

神経生理学的研究では共感覚の色覚処理はこれらの段階のうち実際の色刺激において統合的な色処理を担当する V4 (Brang et al., 2010; Nunn et al., 2002; Hubbard et al., 2005; Sperling et al., 2006) 及び fusiform gyrus (Steven et al., 2006; Weiss and Fink, 2009) で行われることが指摘されている。またストループ効果を用いた心理物理的実験でも、共感覚の色知覚は反対色情報の処理を基にする初期段階、すなわち V1 から V4/V8 の間で生じられる可能性が高いと報告されている (Nikolic, Lichti, & Singer, 2007)。これらは共感覚色の処理過程が実際の色処理過程と大きな差異がないことを示唆するとともに、共感覚色を処理するためには必ず色覚処理過程を経る必要があることを示す。しかし幾つかの研究では共感覚の色処理が実際の色処理過程に依存しないことを指摘した。例えば共感覚色の反応は色処理を担当する腹側の後頭葉では表れず、より高次の頭頂葉で発火する (Hupé et al., 2011; Van Leeuwen et al., 2010) か、あるいは色情報を含んだ高次の視覚的情報を処理する左舌状回領域で現れた (Rich et al., 2006) と報告された。

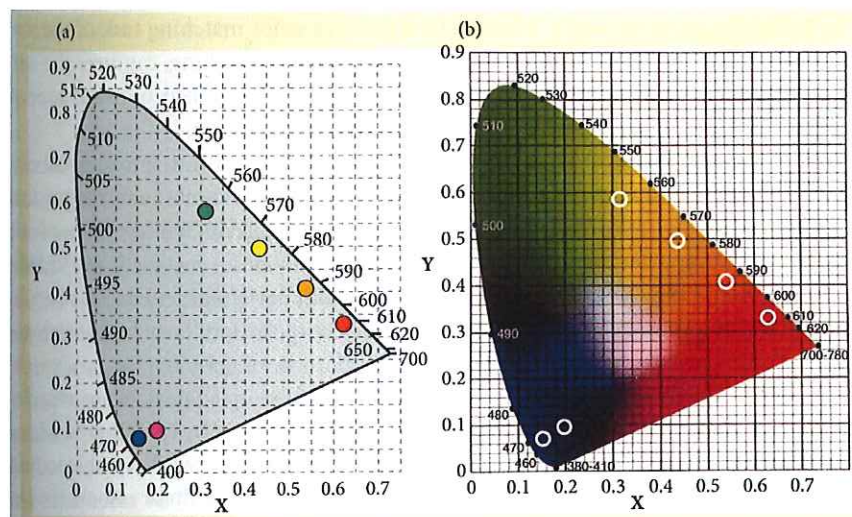


図 11 (a) 共感覚色および(b) 物理的光により生じた色を CIE xy 色度図上にプロットしたもの。二種類における色知覚は同様である (Simner and Hubbard, 2013)

本 論

第 4 章

予備実験

共感覚色は一般の人間の色知覚のように錐体と桿体で光の信号を受け、高次のレベルに上がっていくメカニズムとは異なり、光以外のある刺激の影響で生じている。光刺激以外に色を知覚するという事は、文字知覚や音声知覚のような他の知覚が色の情報処理のあるレベルと相互作用を生じていると考えられる。本研究では共感覚色を経験する異なる感覚様相の共感覚（色字共感覚、色聴共感覚）を検討することで、それぞれの情報処理のどのレベルが色知覚の情報処理レベルと相互作用を生じるのかを明らかにすることを目的とした。

4. 1. 予備実験 1 形態情報による色字共感覚

4. 1. 1 目 的

文字に対する共感覚色は文字の形態知覚が共感覚の誘発刺激として色知覚を生じさせるのか、もしくは読みなどによる文字の認識が色知覚の原因であるのかを検討する。類似した共感覚色が同じ形態や似た形態をもつ異なる文字が類似した色知覚を生じさせるのであれば、文字の形態情報が共感覚の原因であると考えられる。

4. 1. 2 実験方法

被験者 6-7才から色字共感覚を経験している色覚正常な20代の女性1名で(MT)あり、彼女は3種類の日本語表記および数字、そして英語に対して共感覚色を経験していた。なおMTはprojectorと言われる共感覚のタイプを有すると考えられる。

実験装置 実験は暗室内の色検査評価用D₆₅光源ランプの下で行われ、照度は1100lxであった。

刺激 視野角 13.15° × 9.2° (10 cm × 7cm) の白い背景の上に印刷された 4.6° × 6.5° (3.5 cm × 5cm) のゴシックの黒い文字である。

- ① 数字：アラビア数字 0-9 (10 個)、ローマ数字 1-9 (9 個)
- ② ひらがな：48 個
- ③ 英語アルファベット：大文字 A-Z (26 個)

実験手順 被験者はランダムで呈示する刺激に生じた共感覚色と最も近い色をマンセル色票(JIS標準色票)から選択した。刺激中の文字に関する説明はなされなかった。また呈示した刺激の音読みを行い、同じ音韻情報をもつ平仮名を確認した。被験者が刺激と共感覚色とのマッチングを終えるまでは、次の試行に移らなかった。実験は3回繰り返し、各実験間には約1ヶ月の間隔を置いた。

4.1.3 結果

全ての刺激から形態が似ている文字を対にしてCIE $L^*a^*b^*$ 色空間にプロットして、比較する刺激における反応間の距離を求めた。全ての選択された色票はCM-700d(コニカミノルタ社製)により分光反射率を測定した。被験者はほぼ同じ形態を持つ文字同士に対して全く同一の共感覚色を経験した。例えば、数字「0」と英語「0」の刺激に対する共感覚色はN9.5であり(図1の赤の円)、数字「1」と英語「I」の刺激に対する共感覚色は7.5R 5/14であった(図1の青の円)。また類似した形態を持つ文字同士の共感覚色の場合、明度と彩度は異なったが、色相は非常に似ていた。英語アルファベット同士の場合では「C」に対する共感覚色は5Y 8/14の黄色系、「G」に対する共感覚色は5YR 4/6のオレンジ系で暖色系の共感覚色を経験し、「O」に対する共感覚色はN9.5、「Q」に対する共感覚色は7.5B 9/1であり、色空間内では非常に近い距離に位置した(図1の茶色の三角)。平仮名同士の場合では、「る」と「ゑ」の共感覚色は5PB 3/4、また「ゐ」の共感覚色は7.5PB 4/4、さらに「ろ」に対する共感覚色は10B 3/6であり、「る」と類似した形態を持つ文字は青系の共感覚色を共通して経験した(図1の藍の三角)。また「わ」と「れ」、「ね」に対する共感覚色は全て

オレンジ系であり（図1の黄の三角）、「わ」の共感覚色は5YR 4/8、「れ」の共感覚色は5YR 8/6、「ね」に対する共感覚色は10R 9/1であった。なお同じ形態の要素を持つ文字同士、例えば、2本の水平線を持つ「ま」に対する共感覚色は5G 2/2、「も」に対する共感覚色は2.5G 3/1で緑系の共感覚を経験し、水平線の一角を除いてほぼ同じ形態を持つ「は」と「ほ」に対する共感覚色はオレンジ系であり、「は」の共感覚色は10YR 8/4、「ほ」の共感覚色は10YR 9/3であった。

回転対称性の形態を持つ「く」と「へ」の文字に対して、「く」の共感覚色は5YR 6/14であり（図1の緑の円）、「へ」の共感覚色は5YR 8/6でオレンジ系の共感覚色を経験していた。「N」と「Z」の文字同士に対する共感覚色もオレンジ系であり（図1の黄緑の円）、「N」の共感覚色は5YR 5/8、「Z」の共感覚色は7.5YR 8/8であった。なお「M」と「M」を180度回転した「W」に対する共感覚色は5YR 5/8で同一であった。

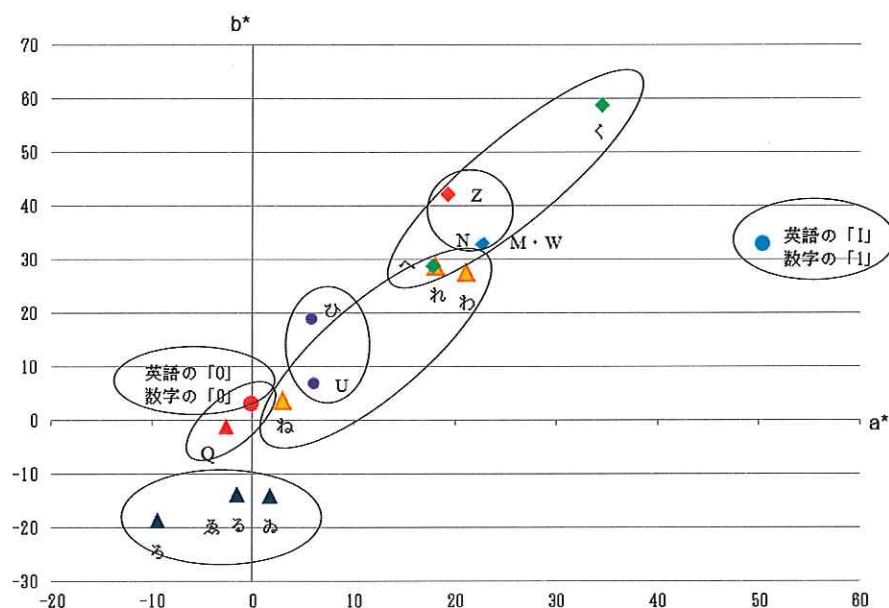


図 11 同じ形態を持つ文字同士（数字「0」と英語「0」：赤の円、数字「1」と英語「1」：青の円、「U」と「u」：紫の円）、類似した形態を持つ文字同士（る・ろ・ろ：藍の三角、わ・れ・ね：黄の三角、O・Q：茶色の三角）、形態の回転対称性を持つ文字同士（く・へ：緑の菱形、N・Z：赤の菱形、M・W：青の菱形）

4.1.4 考察

同じ形態を持つ文字に対する共感覚色は、数字とアルファベットという異なる文字種にも関わらず、「0」と「1」のような単純な直線のみ、あるいは曲線のみで構成されている

文字に対して全く同じ共感覚色を経験することがわかった。また類似した形態を持つ文字や回転対称の文字に対する共感覚色は非常に近い範囲に位置し、低彩度の刺激と高彩度の刺激がそれぞれ存在することがわかった。これは文字の形態的特徴が似ている刺激、あるいは一つの文字から作られたという予測可能な回転対称の刺激に対して似ている文字であると認識し、類似する色相を持つ共感覚色を経験したと考えられる。類似した形態の特徴によって似ている共感覚色を経験するということは、視覚系による情報、すなわち網膜から入力された線の長さや方向による情報処理が共感覚色に影響を及ぼしていると考えられる。また回転性を持つ文字同士が類似した共感覚色を経験したということは、形態として認識によって類似した共感覚色の経験をしたと考えられる。

このように最小の構成要素である文字の場合、低次レベルである幾何学的な形態知覚と文字の形態知覚による文字認識の情報が類似した色知覚の情報処理レベルに影響を与えることで共感覚が生じていると考えられる。

4.2. 予備実験 2 単語の意味による色字共感覚

予備実験 1 の実験で、類似した文字の形態的特徴によって似ている共感覚色を経験することが確認された。これは網膜像に比較的近い低次の情報処理によって共感覚が規定されたことを意味する。そこで本実験では全く同じ形態の文字が異なる意味を持つ単語に含まれた際の共感覚色の変化を検討した。

4.2.1 目的

文字の形態的特徴が同一あるいは類似でありながら文脈によって異なる概念を随伴する 2 つの文字を比較することで、共感覚を生じさせる原因が文字の形態知覚なのか、もしくは、意味の認識によるより高次の情報処理レベルの影響なのかを検討する。単語が持つ意味の影響を受けず同じ形態に同じ共感覚色を経験するのであれば、文字の形態情報が共感覚の原因であると考えられる。

4.2.2 実験方法

被験者 予備実験 1 と同じ被験者 1 名である。

実験装置 予備実験 1 と同様の装置を用いた。

刺激 (A)群と(B)群の 2 種類の刺激を用いた。(A)群の刺激は、異なる意味を持つ単語に含まれている同一の文字であり、(B)群の刺激は同じ形態でありながら文脈により異なる意味や発音を持つ文字が含まれた単語・文章であった。刺激は意味が反対の単語に含まれている同一の文字であった。視野角は $28.93^{\circ} \times 8.54^{\circ}$ (22cm $\times$ 6.5cm) の白い背景の上に印刷された $17.09^{\circ} \times 3.94^{\circ}$ (13cm $\times$ 3cm) のゴシックの黒い文字であり、視距離は 75cm であった。比較する全ての刺激の部分は全く同じ形態のものを使用した。

① like / dislike

② satisfied / sad

③ すき / すさ

④ きらい / きうい

4.2.3 結果

単語の意味や文脈による影響を検討するため、色字共感覚-1と同様に比較する刺激同士を CIE $L^*a^*b^*$ 色空間にプロットし、反応間の距離を求めた。意味が反対の単語（肯定的意味、否定的意味）や文字の順序によって意味を失う単語という 2 つの異なる条件に含まれている同一の文字の共感覚色は、両者とも非常に近い距離に位置し、単独で呈示した刺激の共感覚色とも近い距離に位置していた。

意味が反対の単語に含まれている同一の文字を図 2 に示す。「like」と「dislike」に対する共感覚色の場合、2 つの単語に共通して含まれている「l」、「i」、「k」と「e」に対する共感覚色を比較した結果、2 つの条件とも「k」に対する共感覚色は 10R 5/4、「e」に対する共感覚色は 10YR 8/10 であり、単語に関係なく全く同じ共感覚色を経験した。また、「l」に対する共感覚色はオレンジ系の同じ色相であり、「i」に対する共感覚色は赤系の同じ色相であった（図 2 の藍の菱形：「l」、水色の菱形：「i」、黄緑の菱形：「k」、オレンジの菱形：「e」）。「satisfied」と「sad」に対する共感覚色の場合、共通して含まれている「s」と「a」、「d」は、条件に関係なく「s」の共感覚色は青系の 5B 9/2 であり、「a」の共感覚色は赤系、「d」の共感覚色はオレンジ系の同じ色相の共感覚色を経験した（図 2 の青の三角：「s」、赤の三角：「a」、緑の三角：「d」）。

なお、単語を構成している文字は同一でありながら、文字の順序によって意味を失う単語の刺激（③，④）についての共感覚色を検討した。その結果「すき」と「すさ」に共通して含まれている「す」に対する共感覚色は 10RP 9/2 の赤系であり、「きらい」と「きうい」に共通して含まれている「き」に対する共感覚色は 10YR 8/10 のオレンジ系で、意味の有無に関係なく、2 条件の共感覚色は一致した。なおこれらの共感覚色は単独で呈示した当該の共感覚色（予備実験 I-1）ともほぼ同じであった。

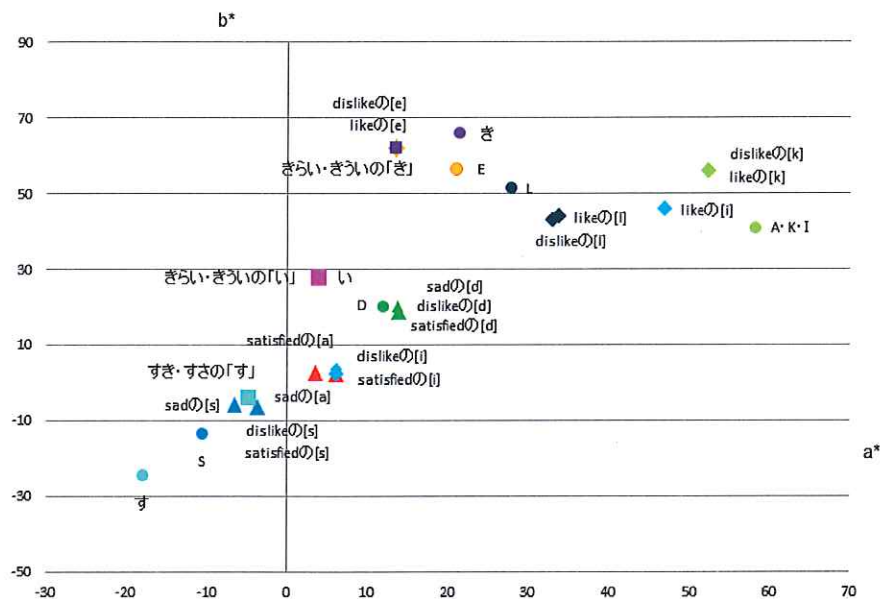


図 12 意味が反対の単語に含まれている同一の文字同士（「l」： 藍の菱形、「i」： 水色の菱形、「k」： 黄緑の菱形、「e」： オレンジの菱形、「s」： 青の三角、「a」： 赤の三角、「d」： 緑の三角）や文字の順序によって意味を失った単語に含まれている同一の文字同士（す： 青緑の四角、き： 紫の四角、い： ピンクの四角）をプロットした a^*b^* クロマ座標（単独で呈示した刺激は円で表示）

4.2.4 考 察

意味が反対の単語に属している同一の文字同士や文字の順序によって意味を失った単語に含まれている同一の文字に対する共感覚色は、単独で呈示した際の共感覚色を含め、ほぼ同じ共感覚色を経験することがわかった。これは、単語が持つ意味の影響を受けず、単語を構成している一つずつの文字知覚の影響によって共感覚色が生じているということを示す。

第 5 章

形態情報および音韻情報による 共感覚色の比較

第 5 章では複数の表記が存在する日本語の平仮名，片仮名，漢字を用い共感覚色に影響することが知られている形態情報および音韻情報による影響を比較することで，色字共感覚は形態情報と音韻情報のうちどちらの情報処理段階に依存して処理されるかを検討し，さらにこの段階は色覚のどの処理段階と交互作用を生じるかについて明らかにすることを目的にした。

5. 1. 実験 1 形態情報の特徴による共感覚色

5. 1. 1 目 的

文字の形態情報が共感覚色を誘発することは知られているが，具体的に形態情報のどのような特徴が共感覚色を誘発するかについてはまだ明らかになっていない．そこで実験 1 では形態情報が類似する異なる文字を刺激として選び，これらにより誘発される共感覚色の分布を検討した．ここでは直線，曲線といった文字要素を幾何学的情報と呼び，回転や左右対称なども含めた情報を形態情報と呼ぶことにする．

5. 1. 2 実験方法

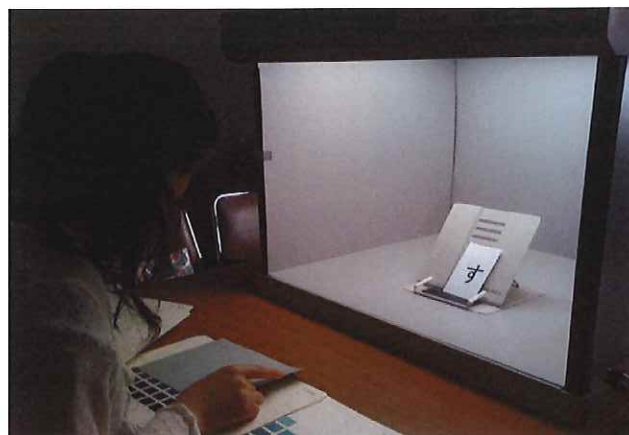
被験者 6-7才から色字共感覚を経験している色覚正常な20-28才の女性3名(IT, MT, AH)であり、彼女らは平仮名、片仮名及び漢字の3種類の日本語表記および数字、そして英語のアルファベットに対して共感覚色を経験していた。なお彼女らのインタビューを基に色字共感覚者のタイプ(Skelton, Ludwig & Mohr, 2009)を分類した結果、ITとMTはprojector, AHはassociatorと言われる共感覚のタイプを有すると考えられた。

実験装置 実験は暗室内にある標準光源ブース(マクベスジャッジ II)の色検査評価用D₆₅蛍光ランプの下で行われた。照度は1100lxであった。観察角度は45°で、観察距離は約75cmであった。

刺激 平仮名、片仮名、アルファベット、そして数字の中で形態情報が類似した以下の36文字を選び、それぞれ単独で呈示した。

- ① 幾何学的特徴が類似した文字同士(0(数字)-0(英文字), 1(数字)-I(英文字), ん(ひらがな)-h(英文字))
- ② 幾何学的特徴が部分的に類似した文字同士(る-ろ, め-ぬ, わ-れ, さ-き, ク-タ, フ-ラ)
- ③ 回転対称性をもつ文字同士(N-Z, へ-く, い-こ, エ(片仮名)-H(英文字), b-q, d-p)
- ④ 左右対称性をもつ文字同士(さ-ち, b-d, p-q)

刺激は視野角 13.15° × 9.2° (10 cm × 7cm)の白い背景の上に印刷された 4.6° × 6.5° (3.5 cm × 5cm)の黒いゴシックの文字であった。なおこれらの刺激作成にあたり、回転、左



右対称などの空間的変換には幾何学的に全く同一の原図を用いた。

手順 刺激に関する説明は被験者にせず、ランダムで呈示する刺激に生じた共感覚色と最も近い色をマンセル色票(JIS 標準色票)から選択させた。また呈示した刺激の音読みを行うことで、類似した形態の文字認識を確認した。被験者が刺激と共感覚色とのマッチングを終えるまでは、次の試行に移らなかった。実験は 3 回繰り返す、各実験間には約 1 ヶ月の間隔をあけた。

5.1.3 結 果

共感覚色の類似性は均等色空間である CIE $L^*a^*b^*$ を使用し、 a^*b^* 色座標上のユークリッド距離 (ab クロマ C_{ab}^*) を基に、また共感覚色の分布は色相角を基に判断した。

全共感覚色における L^* 値は比較的狭い範囲に分布した ($M=60.06$, $SD=23.47$) ため、実験 1 では L^* 値を分析から除外して a^*b^* 値のみを用いた。また各被験者間では同じ刺激に対して必ずしも同じ共感覚色を報告しなかったが、各個体内の変動は小さかったため 3 回の繰り返しのデータを平均して a^*b^* 平面上にプロットした。共感覚色はマンセル色票から選択されたため、実験の観察条件を考慮して $L^*a^*b^*$ 値へ変換した。

1) 共感覚色の類似性

形態情報の類似性による共感覚色への影響を検討するため、条件①から条件④の各条件の結果を図 13～16 に示した。

各条件において形態情報が類似した文字刺激による共感覚色間の距離とそれ以外の文字刺激、すなわち形態情報が類似していない文字刺激による共感覚色間の距離を求め、条件間における一元配置の分散分析を行った。その結果いずれの条件においても有意差は見られなかった (条件①; $[F(1, 52)=3.15, n.s.]$, 条件②; $[F(1, 52)=0.78, n.s.]$, 条件③; $[F(1, 52)=0.04, n.s.]$, 条件④; $[F(1, 52)=0.47, n.s.]$)。また被験者毎に一元配置の分散分析を行ったが、やはり有意な傾向は見られなかった (AH; $[F(1, 52)=0.28, n.s.]$, IT; $[F(1, 52)=0.76, n.s.]$, MT; $[F(1, 52)=2.03, n.s.]$)。

2) 共感覚色の分布

類似した形態情報による共感覚色を結んだ直線の傾きは、幾何学的情報の空間的変換により異なる傾向が見られた。条件③と条件④に対する分布の場合、前者は黄緑方向と紫方向を結ぶ負の傾きに分布する傾向があり（図 15）、後者はオレンジ方向と青緑方向を結ぶ正の傾きに分布する傾向が見られた（図 16）。一方比較する文字刺激の形態情報が同じであった条件①の共感覚色は黄と青を結ぶ方向のみに分布する傾向が見られた（図 13）。

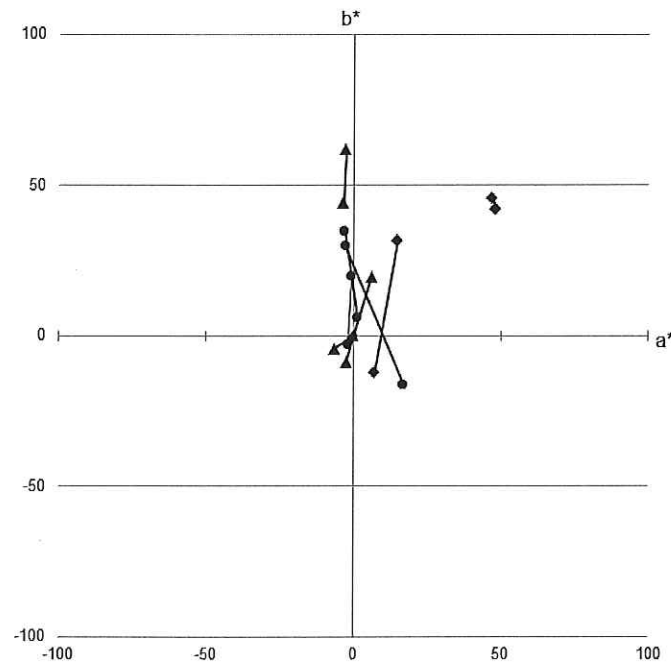


図 13 幾何学的特徴が類似した文字同士の共感覚色を示した全員の分布。比較する刺激対は直線で結んである（AH：●，IT：▲，MT：◆）。 a^* 軸は赤と緑を表し， b^* 軸は黄と青を表す。

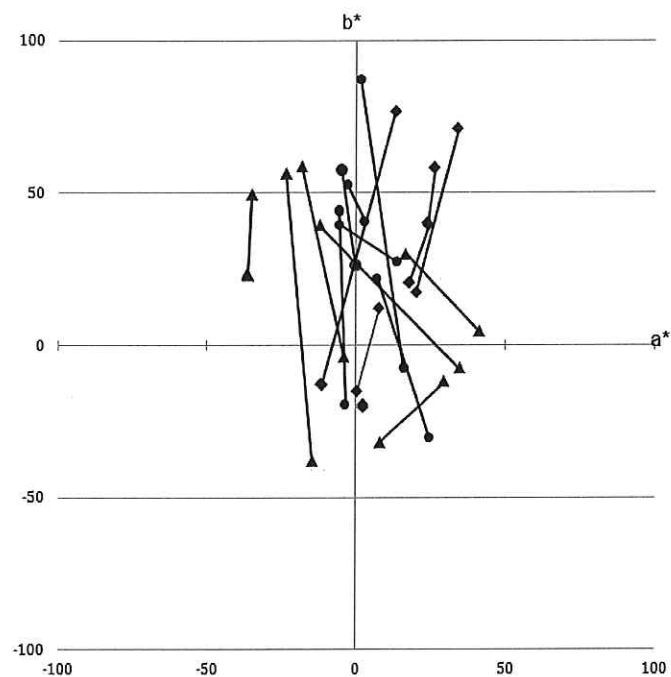


図 14 幾何学的特徴が部分的に類似した文字同士の共感覚色を示した全員の分布. 比較する刺激対は直線で結んである (AH : ●, IT : ▲, MT : ◆). a^* 軸は赤と緑を表し, b^* 軸は黄と青を表す.

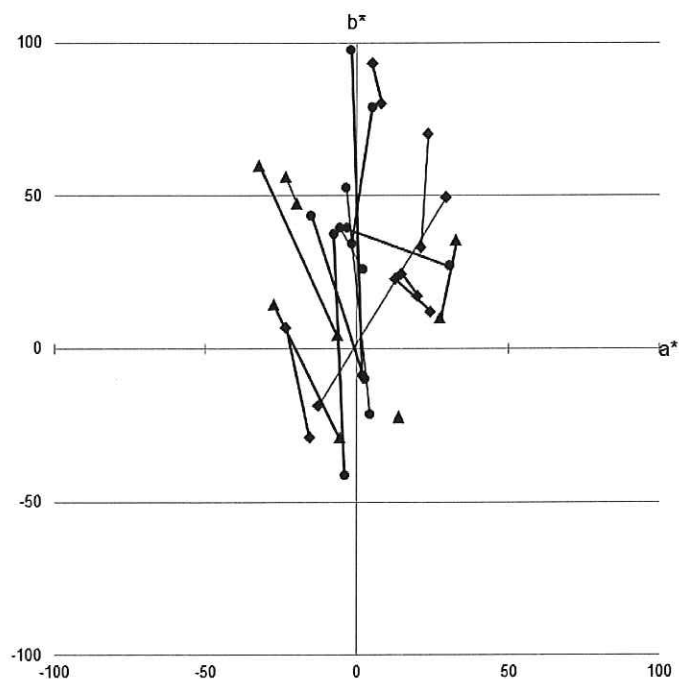


図 15 回転対称性を持つ文字の共感覚色を示した全員の分布. 比較する刺激対は直線で結んである (AH : ●, IT : ▲, MT : ◆). a^* 軸は赤と緑を表し, b^* 軸は黄と青を表す.

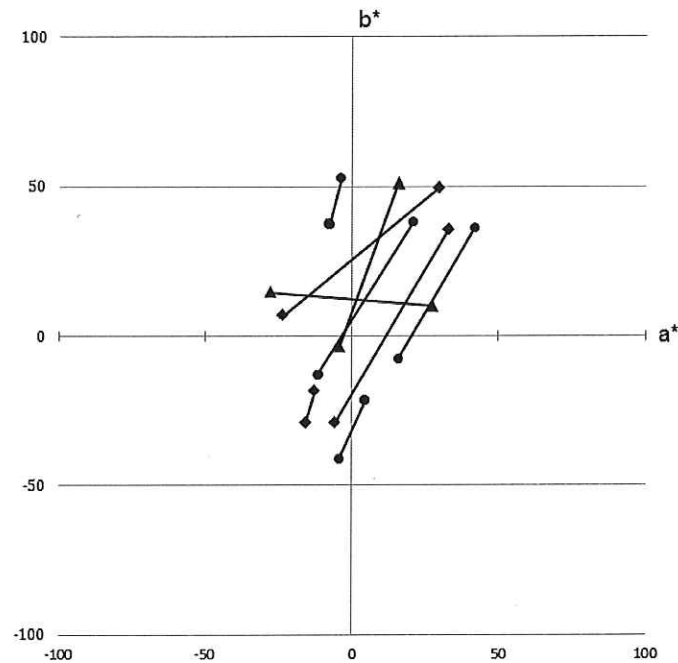


図 16 左右対称性を持つ文字の共感覚色を示した全員の分布. 比較する刺激対は直線で結んである (AH : ●, IT : ▲, MT : ◆). a^* 軸は赤と緑を表し, b^* 軸は黄と青を表す.

このような各条件における色相分布の傾きを定量化して検討するために, メトリック色相角 h_{ab} を用いた. 色相角は 2 点のうち原点に近い方の座標を基準として求めた. 条件①から④の色相角 h_{ab} の分布は図 17~20 に示す. 比較する二文字の共感覚色が 90 度の色相角になるということは b^* 軸方向のみ分布することを示す. 条件①の共感覚色では無彩色があったため (IT: ん (平仮名), MT: 0 (数字), 0 (英文字)), 色相角の分析から排除した.

幾何学的情報が一致する条件①の最頻値は幾何学的情報が部分的に類似した条件②の最頻値と同じ $80 \leq h_{ab} < 100$ であったが, 条件①に対する共感覚色の色相角はほぼ $60 \leq h_{ab} < 120$ であった (図 17) ことに比べ, 条件②に対する共感覚色の色相角は $40 \leq h_{ab} < 160$ に満遍なく位置していた (図 18).

一方条件③における共感覚色の色相角は $80 \leq h_{ab} < 140$ で, 最頻値は $100 \leq h_{ab} < 120$ であるのに対し (図 19), 条件④における共感覚色の色相角は $20 \leq h_{ab} < 80$ の間に分布して最頻値は $60 \leq h_{ab} < 80$ であった (図 20). 空間的変換の特徴による共感覚色の変動を検討するため, 一つの条件における色相角とそれ以外の色相角とでそれぞれ一元配置の分散分析を行った. その結果条件④の色相角とそれ以外の色相角のみ有意な差が認められた.

$[F(1, 50)=7.16, p=.010]$.

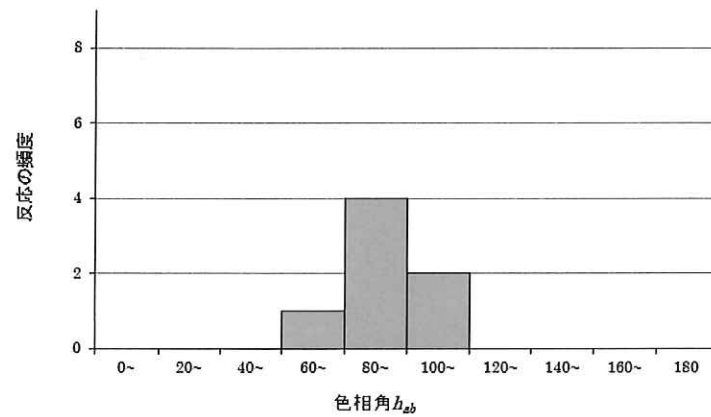


図 17 幾何学的特徴が類似した文字同士の共感覚色における全員の色相角 h_{ab} の度数分布 (20 度間隔)

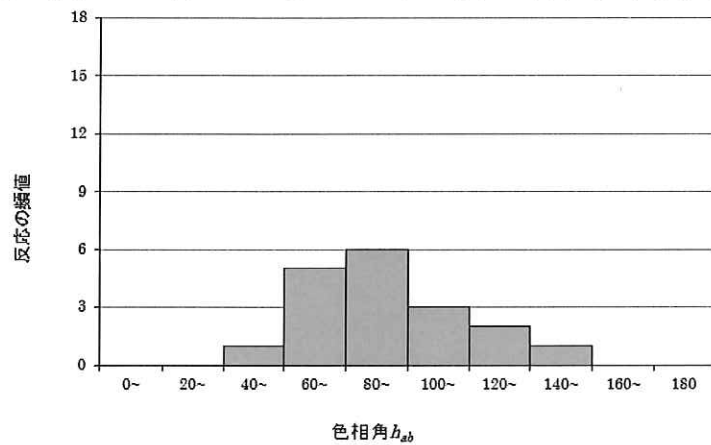


図 18 幾何学的特徴が部分的に類似した文字同士の共感覚色における全員の色相角 h_{ab} の度数分布 (20 度間隔)

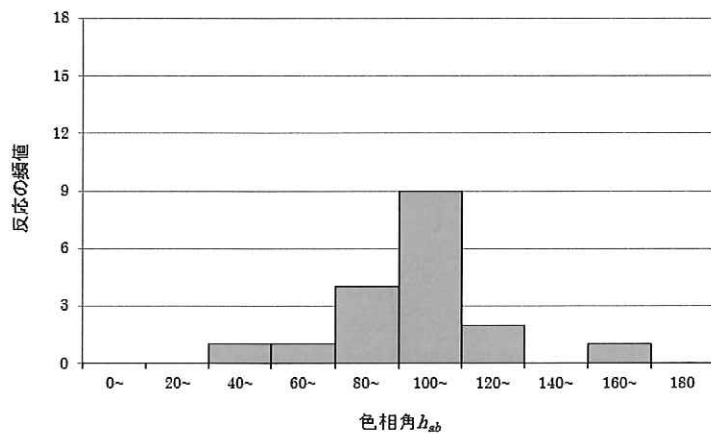


図 19 回転対称性を持つ文字の共感覚色における全員の色相角 h_{ab} の度数分布 (20 度間隔)

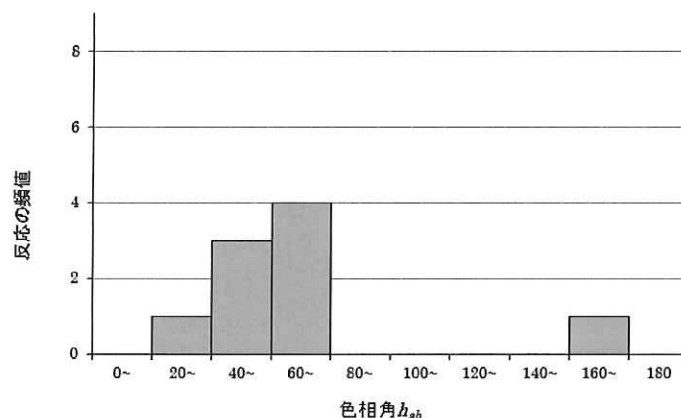


図 20 左右対称性を持つ文字の共感覚色における全員の色相角 h_{ab} の度数分布 (20 度間隔)

形態情報による共感覚色が色カテゴリーにより特徴的分布を示すかを確認するため、図 13~16 に示した共感覚色を JIS 基本色名で区分した CIE xy 色度図にプロットした。その結果形態情報による共感覚色は色名ごとに集まる傾向は見られなかった (図 21)。

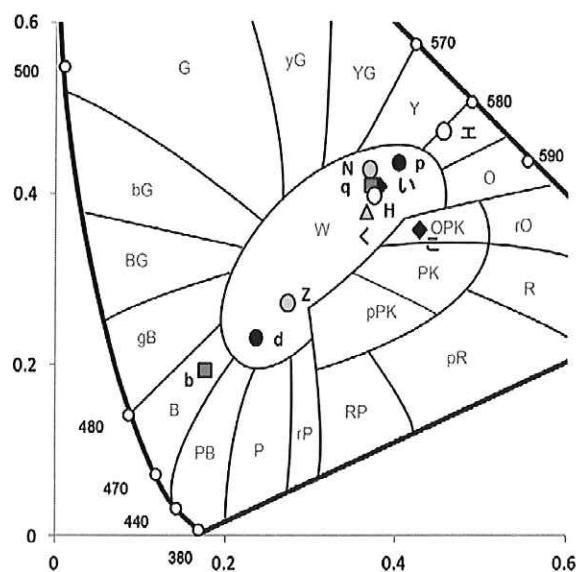


図 21 JIS 基本色名ごとに区分した CIE xy 色度図上にプロットした条件③の共感覚色 (AH)

5.1.4 考 察

形態情報が同一又は類似であるにも拘わらず、回転などの物理的変換によって他の文字と認識されると、多くの場合異なる共感覚色が生じた。これは共感覚色が形態以外の要因による文字認識によって強い影響を受けたといった報告 (Bridgeman et al., 2010) と一致

する。

しかしながら各条件における共感覚色は反対色の見えを基準とする CIE $L^*a^*b^*$ 空間内で体系的な動きを示すことがわかった。共感覚の色知覚の処理過程が反対色性を示すという結果は、物理的な色と共感覚色の干渉効果であるストループ課題を用いた研究でも報告されており、刺激と共感覚色が反対色の場合 (i. e. red vs green) の方が、そうでない場合 (e. g., red vs blue) よりも反応時間が短かった (Nikolić et al., 2007)。このような現象は共感覚色が一般の色知覚メカニズムと同様の処理を経た結果であることを示す。

共感覚色の分布は条件①から④の各条件によって異なった。このうち条件①と②における共感覚色は他の条件と比べて「黄-青」反対色に沿った分布を多く示した。これは幾何学的情報が類似した文字どうしでは「赤-緑」反対色軸に対する変動が見られなかったことを意味する。一方幾何学的情報がほぼ同一であるにもかかわらず空間的変換を行った条件③と④の共感覚色では、「黄-青」反対色軸と「赤-緑」反対色軸の両方が同時に、なおかつ同一の方向に変化した。 a^*b^* の両軸において同方向の変動が現れたことは、幾何学的情報の処理が「赤-緑」反対色の処理過程に、方向や対称性などの幾何学以外の情報処理が「赤-緑」、「黄-青」方向の反対色の処理過程に関係していることを示唆する。

「赤-緑」の反対色知覚と「黄-青」の反対色知覚は独立した処理メカニズムを経ていると報告されている (Chatterjee and Callaway, 2003; Krauskopf et al., 1982)。これは色知覚の弁別力において現れ、例えば ADHD や Parkinson のような特定の疾病を持っている人々は「黄-青」反対色の色弁別が一般人に比べて顕著に劣るという報告がある (Banaschewski et al., 2006; Tannock et al., 2006)。「赤-緑」の反対色知覚は parvocellular 経路を、「黄-青」の反対色知覚は koniocellular 経路を経由することが知られており (Hendry et al., 2000; Martin et al., 1997; Sincich et al., 2005), parvocellular を経由した情報は色相のみならず形態の処理にも関与すると報告されている (Livingstone and Hubel, 1988; Van Essen and Gallant, 1994)。このことから本実験で得られた幾何学的情報による共感覚色が「赤-緑」反対色の情報と同一の経路により処理されると考えられることと一致する。

一方網膜から皮質に至る階層的処理の各段階における反対色軸は、現象的反対色と異なることが報告されている。LGN の反対色軸 (cardinal axes) はマゼンタとシアンおよび黄

緑と紫によると考えられる (Flanagan, Cavanagh, & Favreau, 1990) 二つの基本軸であり, E. Hering (Hering, 1876) や Hurvich and Jameson (Hurvich and Jameson, 1957) により提唱された現象的反対色と 10 度から 50 度ずれていることが報告されている (De Valois, De Valois, & Mahon, 2000). 以上のことから形態情報により生じた共感覚の色知覚は LGN での色情報処理より高次の反対色情報の処理段階によって処理されると考えられる.

また形態情報による共感覚色が現象的反対色の処理段階より高次のカテゴリカル色知覚によって処理されるのであれば類似した形態情報による共感覚色は同じ色カテゴリーに分類されなければならない. しかし本実験の結果では比較する共感覚色が色カテゴリーごとに分類される場合はほとんど見られなかったことから, 共感覚の色知覚はカテゴリカル色知覚の処理段階に依存していないと考えられる.

このように文字の形態情報により誘発される色字共感覚色は形態情報の処理段階と, 反対色を処理する段階からカテゴリカル色知覚の処理段階以前までの間で行われる交互作用によって生じると考えられる.

5.2. 実験2 形態情報および音韻情報による共感覚色の比較

5.2.1 目的

色字共感覚において、異なる言語の表音文字体系間では形態の情報が影響すると報告されていることに対し、同一言語内では音韻情報が影響すると報告されている。しかし色字共感覚における形態情報と音韻情報の優位性はまだ明らかになっていない。これを明確にするためには同一言語内に形態が同一で音韻の異なる文字と音韻が同一で形態の異なる文字がある言語が必要になり、この言語を母国語とする共感覚者も必要である。そこで本研究では複数の表記が存在する日本語のうち同一の形態で異なる音韻を持つ片仮名および漢字、およびこれらの文字と同音の平仮名を刺激として選び、日本人の共感覚者について調べた。共感覚色に影響することが知られている形態情報と音韻情報による影響を比較することで、色字共感覚は形態情報と音韻情報のうちどちらの情報処理段階に最も依存して処理されるかを明らかにすることを目的とした。

5.2.2 方法

被験者 6-7才から色字共感覚を経験している色覚正常な20-28才の女性3名(IT, MT, AH)であり、彼女らは平仮名、片仮名及び漢字の3種類の日本語表記および数字、そして英語のアルファベットに対して共感覚色を経験していた。なお彼女らのインタビューを基に色字共感覚者のタイプ(Skelton, Ludwig & Mohr, 2009)を分類した結果、ITとMTはprojector、AHはassociatorと言われる共感覚のタイプを有すると考えられた。

実験装置 実験は暗室内に設置された標準光源ブース(マクベスジャッジII)の色検査評価用D65蛍光灯の下で行われ、照度は1100lxであった。観察条件は0°入光45°観察で、観察距離は約75cmであった。

刺激 表2)文章①から④に含まれた形態情報が同一の片仮名と漢字であり、加えてそれぞれの読みに対応した平仮名も呈示させた。漢字は音読と訓読があるため、計20文字であった。表3)一つの文字を中心に形態情報が類似した文字と音韻情報が同じ文字をそれぞれ選出した。刺激は計30文字であった。

表 2 同じ形態で異なる音韻の文字が含まれた文章

- ① これは私が工夫して作ったエビフライ。
- ② ローソンで口紅を買った。
- ③ イタリアの夕焼けはすばらしい！
- ④ アメリカと協力する。

表 3 形態が類似した文字の対と音韻が同一の文字の対

	形態	音韻		形態	音韻
①	さ-ち	ち-チ	⑦	ン-ソ	ソ-そ
②	こ-い	い-医	⑧	h-ん	ん-ン
③	0-0	0-尾	⑨	エ-エ	エ-え
④	之-え	え-エ	⑩	タ-タ	タ-た
⑤	カ-カ	カ-か	⑪	ロ-ロ	ロ-ろ
⑥	b-d	d-D			

表 2 の刺激は $22.8^{\circ} \times 4.94^{\circ}$ (30cm×6.5cm) の白い背景の上に印刷された $13.68^{\circ} \times 2.28^{\circ}$ (18cm×3cm) の黒い文字であり、表 3 の刺激は $13.15^{\circ} \times 9.2^{\circ}$ (10 cm×7cm) の白い背景の上に印刷された $4.6^{\circ} \times 6.5^{\circ}$ (3.5 cm×5cm) の黒いゴシックの文字であった。なお表 2 で示した刺激①から④で含まれた片仮名および漢字は物理的に全く同一の図形を使用した。

手順 被験者はランダムで呈示する刺激に生じた共感覚色と最も近い色をマンセル色票 (JIS 標準色票) から選択した。刺激中の文字に関する説明はなされなかった。また呈示した刺激の音読みを行い、同じ音韻情報をもつ平仮名を確認した。被験者が刺激と共感覚色とのマッチングを終えるまでは、次の試行に移らなかった。実験は 3 回繰り返し、各実験間には約 1 ヶ月の間隔を空けた。

5.2.3 結 果

共感覚色の類似性を判断するため現象的反対色知覚に対応し均等色空間である CIE $L^*a^*b^*$

色空間を使用し、 a^*b^* 色座標上のユークリッド距離 (ab クロマ C_{ab}^*) を求めた。全共感覚色における L^* 値は比較的狭い範囲に分布した (AH; $M=77.29$, $SD=14.9$, IT; $M=60.57$, $SD=15.68$, MT; $M=52.58$, $SD=20.61$,) ため、実験 1 では分析から L^* を除外して a^*b^* 値のみを用いた。また被験者間では、同じ刺激に対して必ずしも同じ共感覚色が報告されなかったが、各個体内の変動は小さかったため 3 回の繰り返しデータを平均して a^*b^* 平面上にプロットした。反応はマンセル色票から選択されたため、 $L^*a^*b^*$ 値への変換は実験の観察条件を考慮して行った。被験者 IT は漢字「口」に対して共感覚色が生じないと報告したため、IT の分析から刺激②を除外した。

形態情報が色字共感覚に影響するかを検討するため、刺激①から④において形態情報が同一の文字による共感覚色を被験者ごとに図 22-1, 図 22-2, 図 22-3 に示した。実線は同じ形態の文字による共感覚色を表す。

形態が同一で音韻が異なる文字刺激による共感覚色間の距離と形態および音韻の両方が異なる文字刺激による共感覚色間の距離を求め、一元配置の分散分析を行った。その結果本研究の条件では被験者全員の共感覚色において形態情報は色字共感覚に影響しなかった (AH : $[F(1, 106)=1.13, p=.28]$, IT : $[F(1, 92)=1.26, p=.26]$, MT : $[F(1, 106)=0.7, p=.4]$).

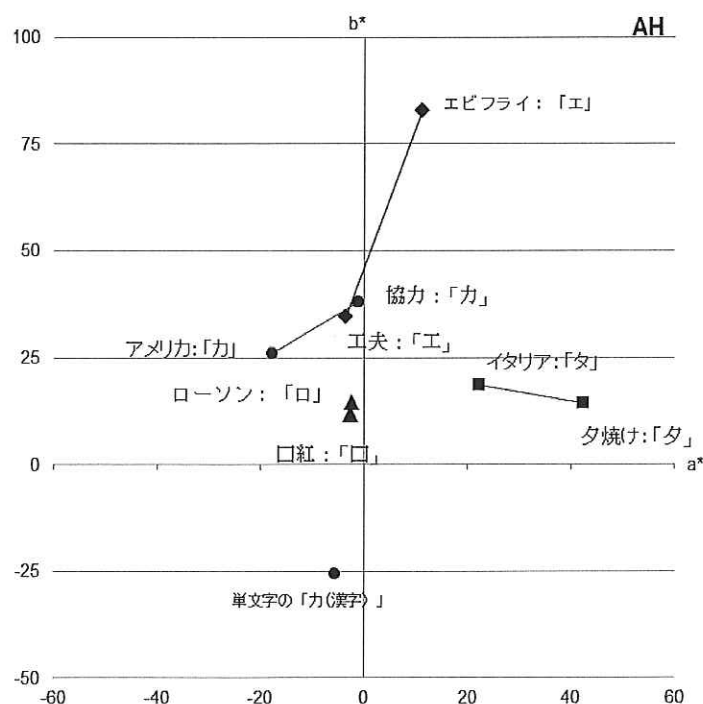


図 22-1 同じ形態で異なる音韻の片仮名と漢字による共感覚色の分布 (AH)

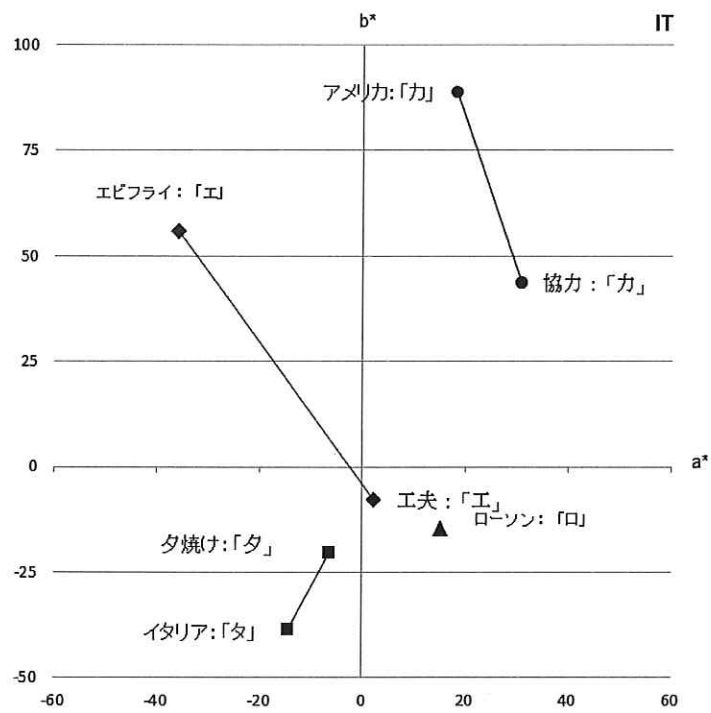


図 22-2 同じ形態で異なる音韻の片仮名と漢字による共感覚色の分布 (IT)

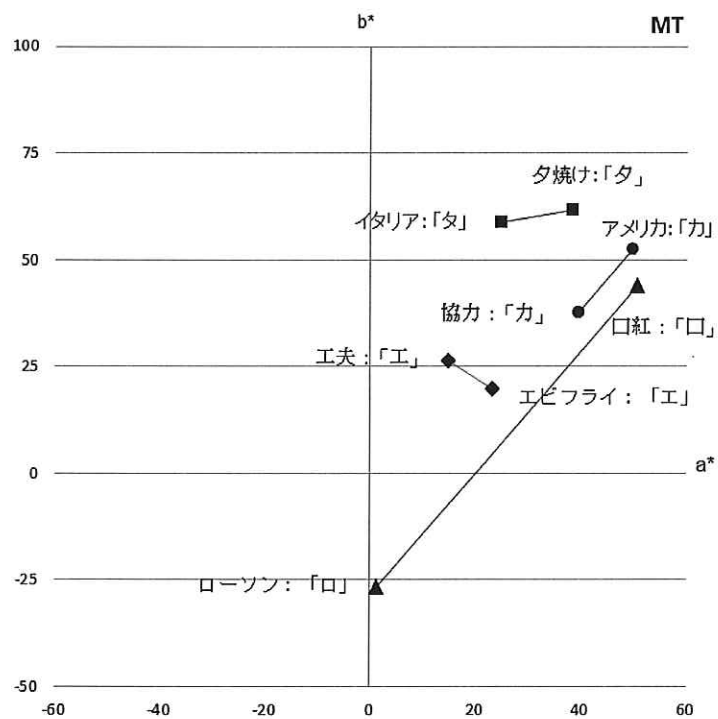


図 22-3 同じ形態で異なる音韻の片仮名と漢字による共感覚色の分布 (MT)

音韻情報が色字共感覚に影響するかを検討するため、刺激①から④において音韻情報が同一の文字による共感覚色を被験者ごとに図 23-1、図 23-2、図 23-3 に示した。実線は同音の文字による共感覚色を表す。音読と訓読の両方の平仮名を用いた漢字の場合、二つの音のうち距離が近いものを結び、また漢字が二つの音節をもつ場合は最初の音を使用した。また同一の音韻で異なる形態の文字刺激による共感覚色間の距離と形態および音韻が異なる文字刺激による共感覚色間の距離を求め、一元配置の分散分析を行った。その結果被験者 IT の共感覚色において音韻情報は強く影響することが明らかになった。また被験者 AH と MT の共感覚色ではその傾向が見られた (IT: $[F(1, 99)=13.5, p<.001]$, AH: $[F(1, 114)=4.73, p<.05]$, MT: $[F(1, 114)=4.09, p<.05]$)。

さらに表音文字による色字共感覚には音韻情報が影響するという報告を基に、同音で異なる形態の文字のうち、表音文字の対による共感覚色と表音文字と表意文字の対による共感覚色を検討した結果、IT と MT の共感覚色においては有意な差が見られた (AH: $[F(1, 6)=1.37, p=.28]$, IT: $[F(1, 4)=9.95, p<.05]$, MT: $[F(1, 6)=15.04, p<.01]$)。

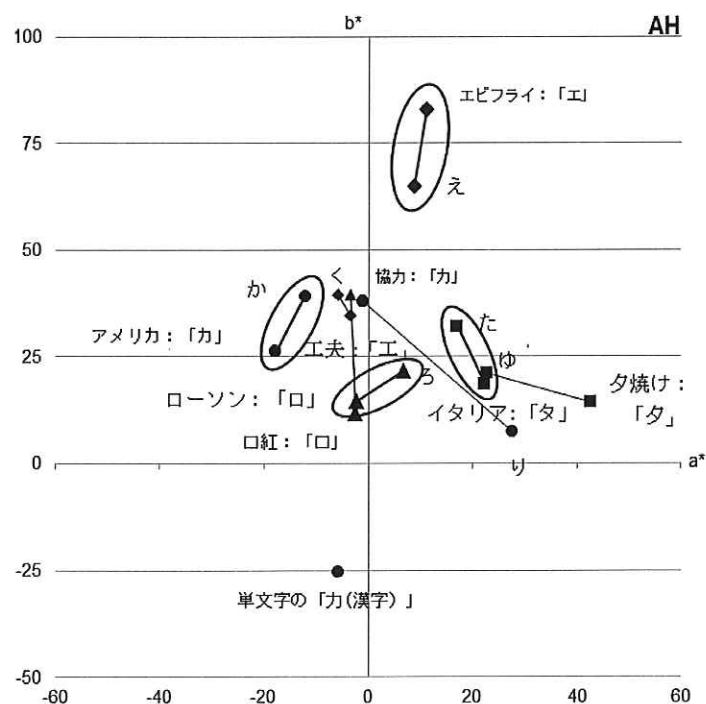


図 23-1 同音で異なる形態の片仮名および平仮名と漢字および平仮名による共感覚色の分布 (AH)。○実線は片仮名と平仮名による共感覚色である。

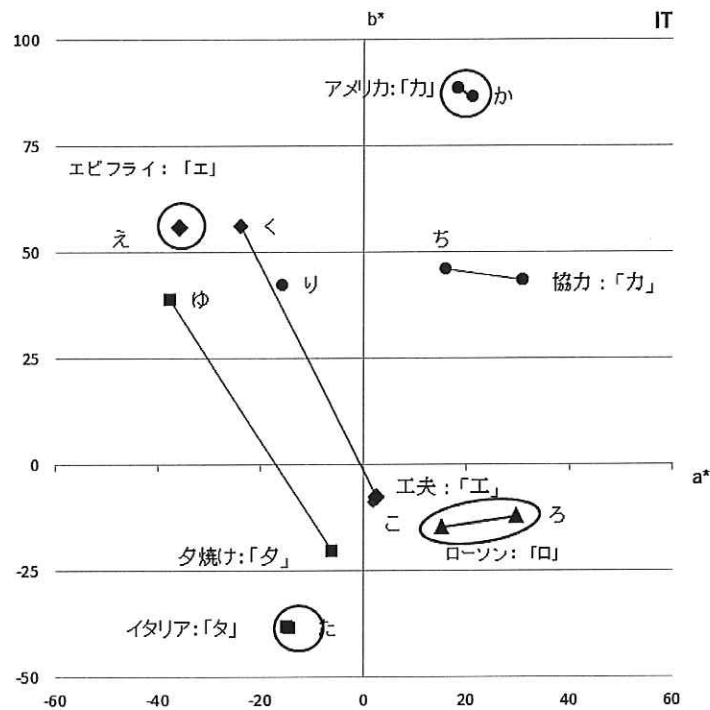


図 23-2 同音で異なる形態の片仮名および平仮名と漢字および平仮名による共感覚色の分布 (IT). ○実線は片仮名と平仮名による共感覚色である.

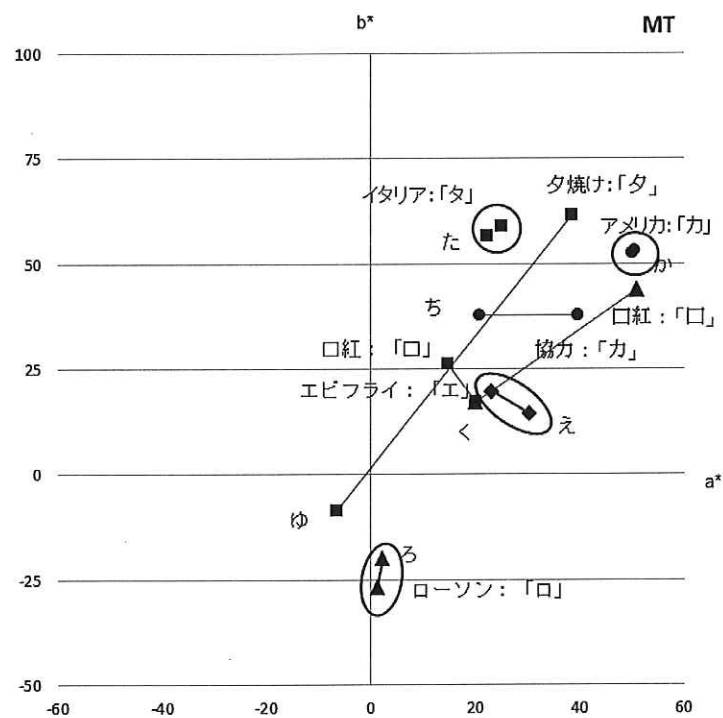


図 23-3 同音で異なる形態の片仮名および平仮名と漢字および平仮名による共感覚色の分布 (MT). ○実線は片仮名と平仮名による共感覚色である.

また形態情報と音韻情報のを比較するために、一つの文字において類似した形態情報による共感覚色間の距離と同じ音韻情報による共感覚色間の距離を求めて比較した。その結果被験者 3 名の共感覚色において形態情報より音韻情報が強く影響することが明らかになった (AH: [F(1, 9)=18.28, $p=.002$], IT: [F(1, 8)=21.25, $p=.001$], MT: [F(1, 9)=6.00, $p=.03$]) (図 24-1, 図 24-2, 図 24-3).

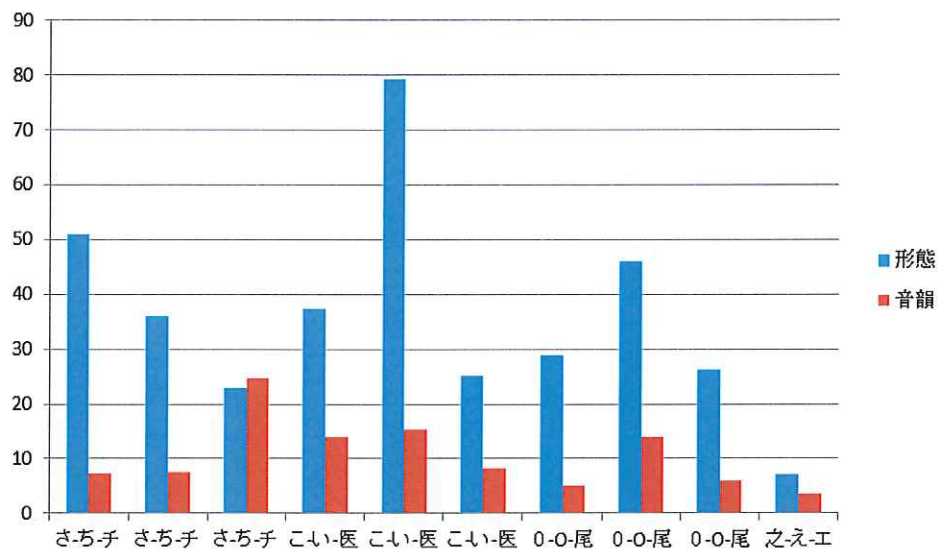


図 24-1. 形態情報が類似した文字同士と音韻情報が同じ文字同士における共感覚色の色差 (青棒：形態情報, 赤棒：音韻情報) (被験者 AH)

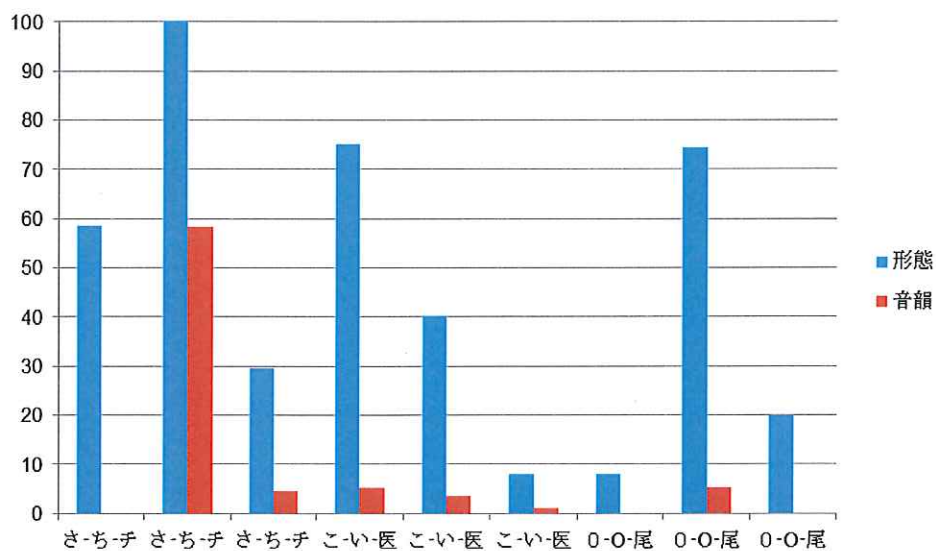


図 24-2. 形態情報が類似した文字同士と音韻情報が同じ文字同士における共感覚色の色差 (青棒：形態情報, 赤棒：音韻情報) (被験者 IT)

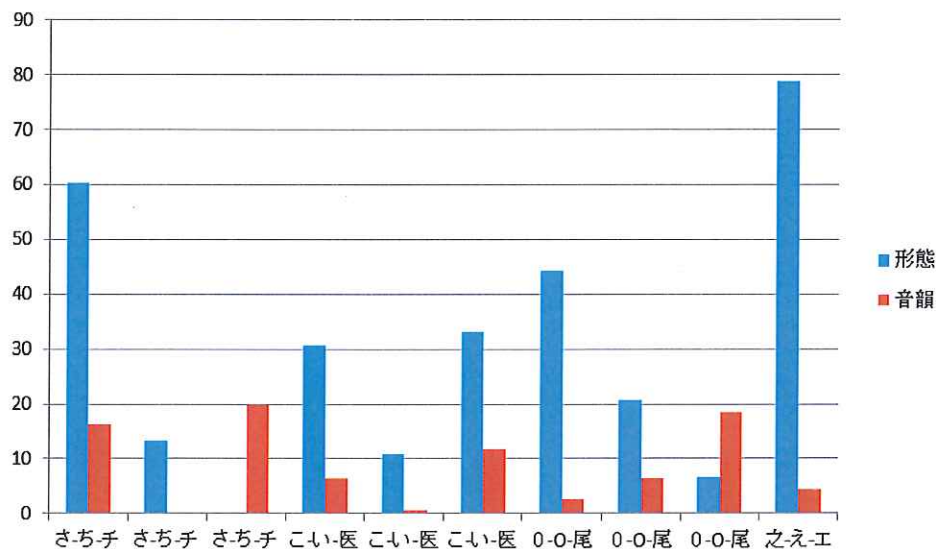


図 24-3. 形態情報が類似した文字同士と音韻情報が同じ文字同士における共感覚色の色差 (青棒：形態情報，赤棒：発音情報) (被験者 MT)

5.2.4 考察

形態が同じで音韻が異なる文字のうち，英文字「0」と数字「0」には同じカテゴリーの共感覚色が生じる傾向が見えたが，他の場合は異なる色カテゴリーの共感覚色が生じることがわかった．これは色字共感覚が形態情報の処理段階によって処理されるものの，他の情報処理段階と色覚の処理段階との間で行われる交互作用により強い影響を受ける可能性が高いことを示唆する．この結果は色字共感覚が形態以外の情報の影響を受けたとする報告と一致する (Bridgeman et al., 2010; Ramachandran and Hubbard, 2001)．

また色字共感覚は形態情報の処理段階より，高次で処理されと考えられる音韻情報の処理段階によって優位に処理されることが示唆されている．この結果は形態情報が異なるにも拘らず同一の音韻情報が色字共感覚に影響したとする報告と一致する (Ramachandran and Hubbard, 2001; Asano and Yokozawa, 2011)．さらに音読みおよび訓読みを持つ漢字による色字共感覚は，文字刺激を文中に配置して文字認識を明確にしていたのにも拘らず，提示した文とは異なる読みの影響も受けていることがわかった．これは色字共感覚が文脈により活性化された音韻情報の影響より，単文字に含まれていた音韻情報の影響を比較的強く受けたことを意味する．

これらのことから色字共感覚は形態情報および音韻情報を処理する二段階，特に低次の

処理段階より高次の処理段階で色覚の処理段階と交互作用が行われることによって誘発される現象であると考えられる。

ただし表音文字による色字共感覚は表意文字による色字共感覚より音韻情報の影響を強く受けることが示された。これは表意文字による色字共感覚が形態や音韻以外の情報の影響を受けている可能性を示唆する。本実験ではAHの漢字「力」による共感覚色が文章に含まれた際の共感覚色（i. e. 黄系）と単独に呈示した際の共感覚色（i. e. 青系）に相違があることが示された（図 22-1）。これは色字共感覚が単文字における形態と音韻の処理段階より文脈効果によって規定される言語的処理段階によって影響を受ける可能性を示唆する。

5.3. 実験3 同音の表音文字による共感覚色

共感覚色は形態情報のみならず、より高次で処理されると考えられる音韻情報による影響も受けることが知られている。そこで実験3では音韻情報を用いて共感覚色の処理過程を検討した。

5.3.1 目的

共感覚色における色相の類似性は子音の影響を受け (Asano & Yokosawa, 2011; Svartdal & Iversen, 1989), 明るさは母音の影響を受けると知られている (Marks, 1975, 1978). 日本語は母音のみ, もしくは母音と子音を組み合わせた文字であるため, 共感覚色の色相と明るさを同時に検討する際に適切な言語であると考えられる。本実験では同じ文字としての認識が生じる表音文字の平仮名と片仮名を刺激として選び, 共感覚色が音韻情報の影響を強く受けるかを明らかにすることと, 子音と母音により誘発される共感覚の色知覚がどのような色空間軸に基づいて分布するのかを検討することを目的とする。

5.3.2 方法

被験者 6-7才から色字共感覚を経験している色覚正常な20-28才の女性3名(IT, MT, AH)であり, 彼女らは平仮名, 片仮名及び漢字の3種類の日本語表記および数字, そして英語のアルファベットに対して共感覚色を経験していた。なお彼女らのインタビューを基に色字共感覚者のタイプ (Skelton, Ludwig & Mohr, 2009) を分類した結果, ITとMTはprojector, AHはassociatorと言われる共感覚のタイプを有すると考えられた。

実験装置 実験は暗室内に設置された標準光源ブース (マクベスジャッジII) の色検査評価用 D₆₅ 蛍光ランプの下で行われ, 照度は 1100lx であった。観察条件は 0° 入光 45° 観察で, 観察距離は約 75cm であった。

刺激 表4と表5で示した46文字であり, それぞれ単独に呈示した。

表 4 同一の音韻情報をもつ文字の対

	同じ音韻		同じ音韻		同じ音韻		同じ音韻
①	い・イ	⑤	え・エ	⑨	か・カ	⑫	ろ・ロ
②	た・タ	⑥	ち・チ	⑩	そ・ソ	⑬	H・h
③	ゆ・ユ	⑦	ん・ン	⑪	D・d		
④	B・b	⑧	お・オ				

表 5 同じ母音および子音をもつ文字

	同じ子音の文字					
①	あ	い	う	え	お	同じ母音 の文字
②	か	き	く	け	こ	
③	さ	し	す		そ	
④	た	ち	つ	て	と	
⑤	な	に	ぬ	ね	の	
⑥	ら	り	る	れ	ろ	

刺激は視野角 $13.15^{\circ} \times 9.2^{\circ}$ (10 cm×7cm)の白い背景の上に印刷された $4.6^{\circ} \times 6.5^{\circ}$ (3.5 cm×5cm)の黒いゴシックの文字であった。

手順 刺激に関する説明は被験者にせず、ランダムで呈示する刺激に生じた共感覚色と最も近い色をマンセル色票(JIS 標準色票)から選択させた。また呈示した刺激の音読みを行うことで、類似した形態の文字認識を確認した。被験者が刺激と共感覚色とのマッチングを終えるまでは、次の試行に移らなかった。実験は 3 回繰り返し、各実験間には約 1 ヶ月の間隔をあけた。

5.3.3 結 果

1) 同一の音韻情報をもつ文字の対による共感覚色

異なる形態情報で同音の文字による共感覚色を CIE $L^*a^*b^*$ 色空間にプロットし、反応間の距離を求めた。同音の文字（日本語（ひらがな・カタカナ）、英語（小文字・大文字））に対する共感覚色は両者とも最も類似であるか、ほぼ同じであった（図 25）。なお‘お’と‘そ’、‘ろ’のような「お行」の刺激は大部分が $b^*<0$ の寒色系に位置し、‘か’と‘た’、‘ち’のような「あ行」と「い行」の刺激は $b^*>0$ の暖色系にプロットされたものが多かった。

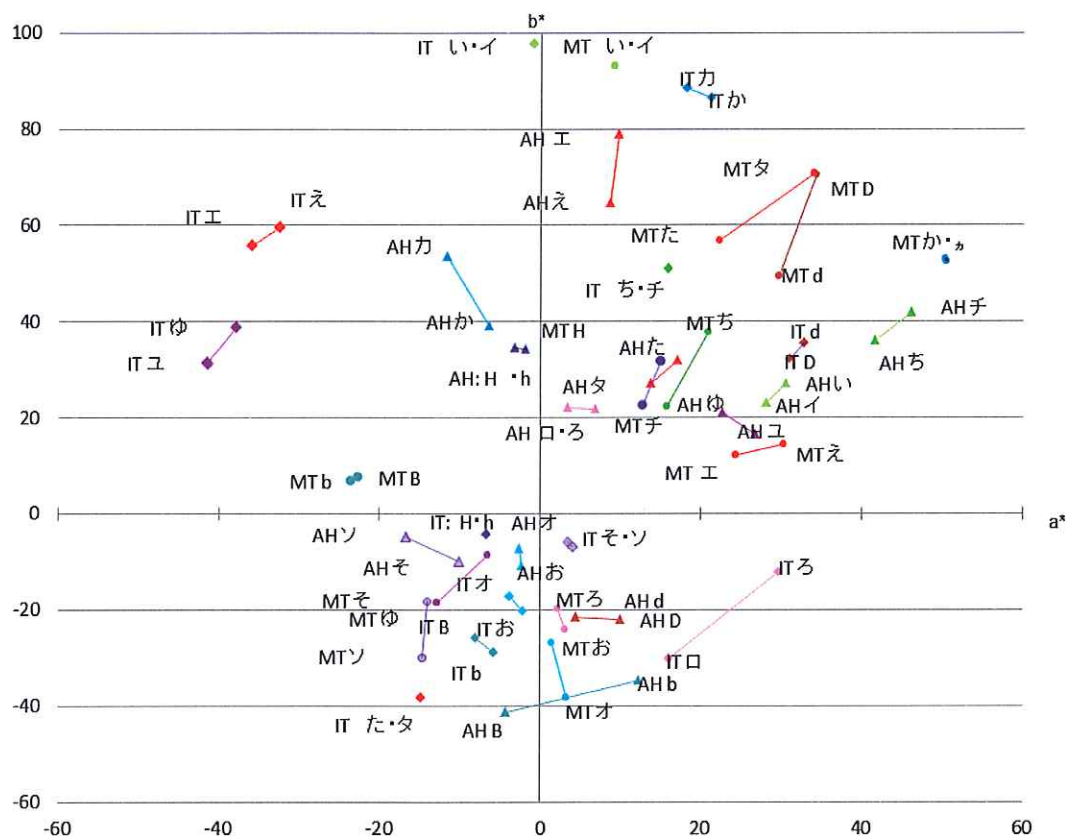


図 25 同一の発音を持つ文字同士における全員のデータ（日本語・英語）（AH：三角、IT：菱形、MT：丸）

2) 同じ母音および子音をもつ文字による共感覚色

同一の子音どうしと同一の母音どうしに対する 3 回繰り返した結果の平均値を CIE $L^*a^*b^*$ 色空間にプロットして反応間の距離を求めた。 L^* 値は母音と子音により誘導された共感覚色において有意差が見られなかった（母音； $[F(4, 10)=1.14, ns]$ ，子音； $[F(5, 12)=2.25, ns]$ ）ため、共感覚色は実験 1 と同様に $a^* b^*$ 色座標上のユークリッド距離を基に判断した。

各刺激による反応を色空間にプロットした結果、同一の母音によるグループと同一の子音によるグループの二種が存在することがわかった。母音により誘発されたと考えられる共感覚色の群は図 26~28 で破線に表示し、子音により誘発されたと考えられる共感覚色の群は実線で表示した。同じ子音により誘発される共感覚色を検討するため、同一の子音による共感覚色間の距離とそれ以外の子音による共感覚色の距離を求め一元配置の分散分析を行った。なおこの際同じ子音による共感覚色のうち明らかに母音の影響を受けたと考えられる共感覚色は同一子音における分散分析から除外した (e. g., IT の「こ」, MT の「れ」)。これは各行最高で一文字であった。その結果同一の子音により誘発される全員の共感覚色はその他の子音による共感覚色より集まっていた (AH; $[F(1, 188)=10.61, p=.0013]$, IT; $[F(1, 169)=48.78, p<.001]$, MT; $[F(1, 251)=19.84, p<.001]$)。

一方同じ母音により引き起こされた共感覚色も子音の分析と同様に同一の母音による共感覚色の距離とそれ以外の母音による共感覚色の距離を求め一元配置の分散分析を行った。この際同じ母音による共感覚色のうち明らかに子音の影響を受けたと考えられる共感覚色は同一母音における分散分析から除外した (e. g., AH の「し」, MT の「さ」)。これは各段最高で一文字であった。その結果同一の母音による全員の共感覚色は異なる母音による共感覚色より集まっていた (AH; $[F(1, 188)=7.937, p=.0053]$, IT; $[F(1, 274)=9.55, p=.0022]$, MT; $[F(1, 251)=19.84, p<.001]$)。

なお各要素により誘発された共感覚色は色空間の中で特徴的な分布を示した。例えば同一の子音による共感覚色の場合、AH の「な行」と「た行」、そして「さ行」は a*軸に沿った分布が多く (図 9 の実線)、IT の「か行」と「な行」も同様であった (図 10 の実線)。これに比べて同一の母音による共感覚色は同一の子音による共感覚色ほど明確な傾向が見られなかったが、そのうち「い段」は b*軸に沿った分布が多く、「お段」は原点の周辺に分布している傾向が見られた。

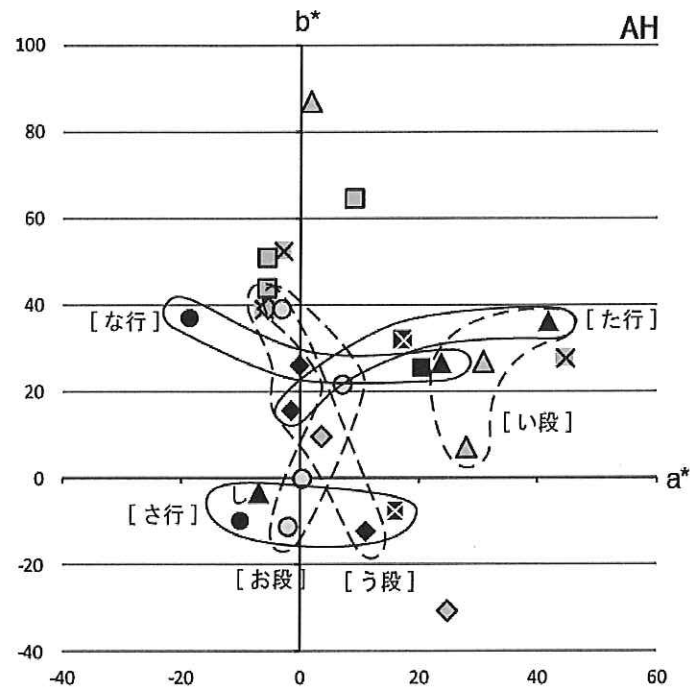


図 26 各要素により誘発された共感覚色. 実線は子音による群であり, 破線は母音による群である (あ段: ㊦, い段: △, う段: ◇, え段: □, お段: ○).

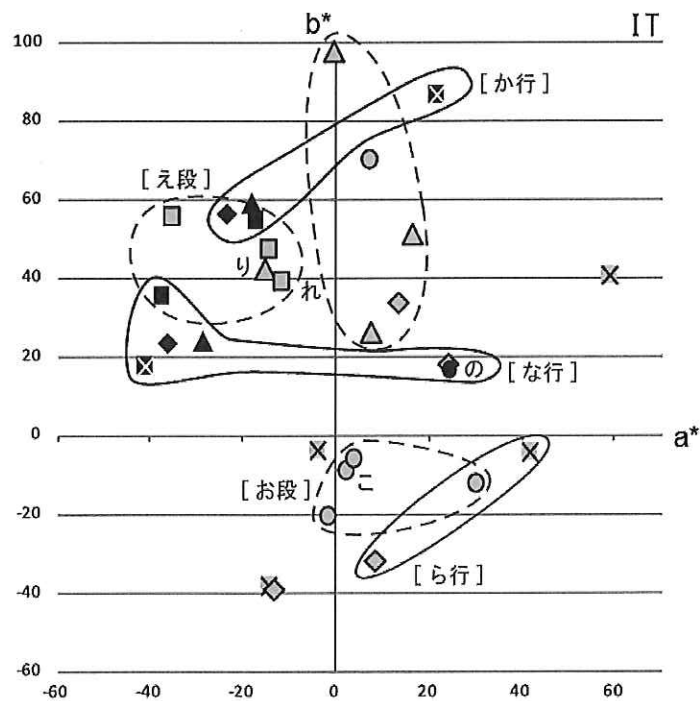


図 27 各要素により誘発された共感覚色. 実線は子音による群であり, 破線は母音による群である (あ段: ㊦, い段: △, う段: ◇, え段: □, お段: ○).

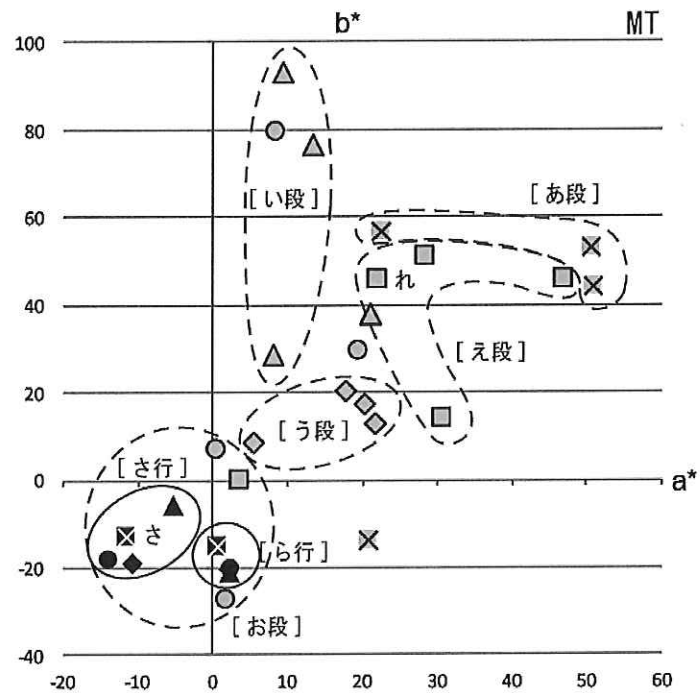


図 28 各要素により誘発された共感覚色。実線は子音による群であり、破線は母音による群である（あ段： $\square$ ，い段： $\triangle$ ，う段： $\diamond$ ，え段： $\square$ ，お段： $\circ$ ）。

これらの分布が色カテゴリーにより分類するかを確認するため図 9～11 に示された共感覚色を JIS 基本色名に区分した CIE xy 色度図にプロットした。その結果同一母音および同一子音による共感覚色は必ずしも同じ色カテゴリーにわけではなかった（図 29）。

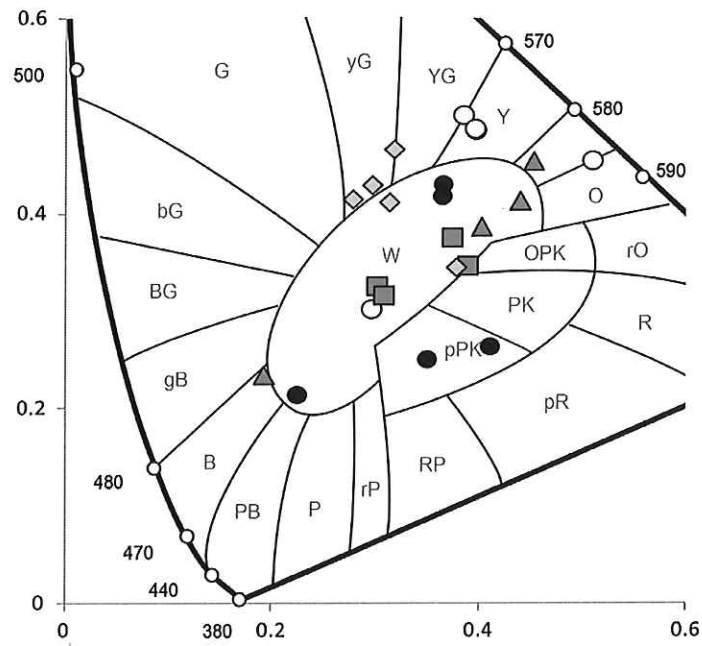


図 29 CIE xy 色度図における同一の子音による共感覚色 (IT) (か行：○，さ行：■，な行：◆，た行：▲，か行：●)

5.3.4 考 察

同一の子音を持つ文字は異なる子音を持つ文字より類似した共感覚色を誘導することがわかった。これは子音が共感覚色の類似性に強く影響を及ぼすといった報告 (Asano and Yokosawa, 2011; Svartdal and Iversen, 1989) と一致する。

なお子音により誘導された共感覚色は CIE $L^*a^*b^*$ 色空間内で「赤-緑」軸に沿っては広く分布したのに対し、「黄-青」軸に沿って分布した範囲が狭かった。これは同じ子音による共感覚色が「黄-青」の反対色軸に対してほとんど変化していないことを意味する。

一方母音は共感覚色の明るさに影響を及ぼすことが知られているが、子音と母音の組み合わせで構成される日本語の仮名の場合、同一の母音を持つ文字は類似した共感覚色を誘発するだけで明るさに対する差異はほとんどないことがわかった。これは母音が共感覚色の明るさより共感覚色の色みに強い影響を及ぼしていることを示す。

なおかつ色空間内で母音によって誘発される共感覚色の分布は子音によって誘発された共感覚色の分布ほど明瞭でなかったが、特定の段に対して特徴的分布を示した。例えば「い段」の共感覚色は「赤-緑」反対色軸に沿った分布より「黄-青」反対色軸に沿った分布が

多く、「お段」における共感覚色は無彩色が多かった。

以上のように音韻情報の類似性により分類された色字共感覚色は色空間内で特徴的な分布を示し、さらに母音と子音により誘発された共感覚色の各分布は異なる傾向を示していた。これは刺激の変化による共感覚色の変化が現象的反対色において最も単純に表れることを意味し、現象的反対色のレベルで生じる感覚であることを強く示唆する。

二つの反対色チャンネルの色知覚メカニズムは脳内での処理経路が異なり、「赤-緑」反対色の見えを担当する parvo cells は ventral 経路の情報処理に (Merigan and Maunsell, 1993), 「青-黄」反対色の見えを担当する konio cells は ventral 経路のみならず運動や時間情報を処理する dorsal 経路にも関与する (Casagrande, 1994; Hendry and Reid, 2000) と言われている。文字の音韻情報処理は dorsal 経路により処理されると知られていることから (Hickok and Poeppel, 2004; Kinsey et al., 2006), 子音により誘導された共感覚色は「青-黄」反対色の見えを処理する過程に関連されている可能性が考えられる。

一方同一母音および同一子音による共感覚色は必ずしも同じ色カテゴリー範囲に集まるわけではなかったことから、音韻情報による色字共感覚色は色カテゴリーの処理に至る前に文字の音韻情報処理段階と交互作用を行うことで生じると考えられる。

5.4. 実験4 同音の表意文字による共感覚色

5.4.1 目的

表音文字による色字共感覚には音韻情報が影響することが知られており、実験2および実験3でもその影響を確認された。実験2では表意文字による色字共感覚が音韻情報の影響を受けていたが、その影響は表音文字による色字共感覚ほどではないことしか確認できていなかった。そこで本研究では意味を持つことで音韻情報の影響が弱まると考えられるため、意味のある表意文字を刺激として選び、表意文字の場合には色字共感覚は音韻情報の影響を受けるかを確認することを目的にした。

5.4.2 方法

被験者 6-7才から色字共感覚を経験している色覚正常な20-28才の女性3名(IT, MT, AH)であり、彼女らは平仮名、片仮名及び漢字の3種類の日本語表記および数字、そして英語のアルファベットに対して共感覚色を経験していた。なお彼女らのインタビューを基に色字共感覚者のタイプ(Skelton, Ludwig & Mohr, 2009)を分類した結果、ITとMTはprojector、AHはassociatorと言われる共感覚のタイプを有すると考えられた。

実験装置 実験は暗室内に設置された標準光源ブース(マクベスジャッジII)の色検査評価用D₆₅蛍光ランプの下で行われ、照度は1100lxであった。観察条件は0°入光45°観察で、観察距離は約75cmであった。

刺激 漢字7文字を使用し、これらはそれぞれ単独に呈示した。

刺激は視野角13.15°×9.2°(10cm×7cm)の白い背景の上に印刷された4.6°×6.5°(3.5cm×5cm)の黒いゴシックの文字であった。

表6 音韻情報が同一の表意文字どうし

音韻	刺激			
く	苦	句	九	
こう	工	高	校	光

手順 刺激に関する説明は被験者にせず、ランダムで呈示する刺激に生じた共感覚色と

最も近い色をマンセル色票(JIS 標準色票)から選択させた。また呈示した刺激の音読みを行うことで、類似した形態の文字認識を確認した。被験者が刺激と共感覚色とのマッチングを終えるまでは、次の試行に移らなかった。実験は 3 回繰り返し、各実験間には約 1 ヶ月の間隔をあけた。

5.4.3 結果

音韻情報と意味情報が同一の文字どうしに対し 3 回繰り返しの返しデータの平均値を CIE $L^*a^*b^*$ 色空間にプロットして反応間の距離を求めた。全共感覚色における L^* 値は比較的狭い範囲に分布した ($M=66.58$, $SD=23.07$) ため、分析から L^* を除外して a^*b^* 値のみを用いた。本実験では幾つかの漢字 (IT:「校」, MT:「苦」「句」「校」) に対して 2 色あるいは 3 色の共感覚色が生じるという報告があったため、被験者のアンケートで最も強い反応を示した共感覚色を一つ選択してもらい分析の対象とした。

表意文字を用いた色字共感覚が音韻情報の影響を受けるかを検討するため、各文字刺激による共感覚色を被験者ごとに図 30～図 32 に破線で示した。なお同音の文字刺激による共感覚色間の距離と異なる音韻の文字刺激による共感覚色間の距離を求め、一元配置の分散分析を行った。その結果色字共感覚は音韻情報の影響を受けていたと考えられるが、その影響は弱かった (AH: $[F(1, 22)=0.17, p=.68]$, IT: $[F(1, 22)=5.58, p=.027]$, MT: $[F(1, 22)=0.01, p=.89]$)。

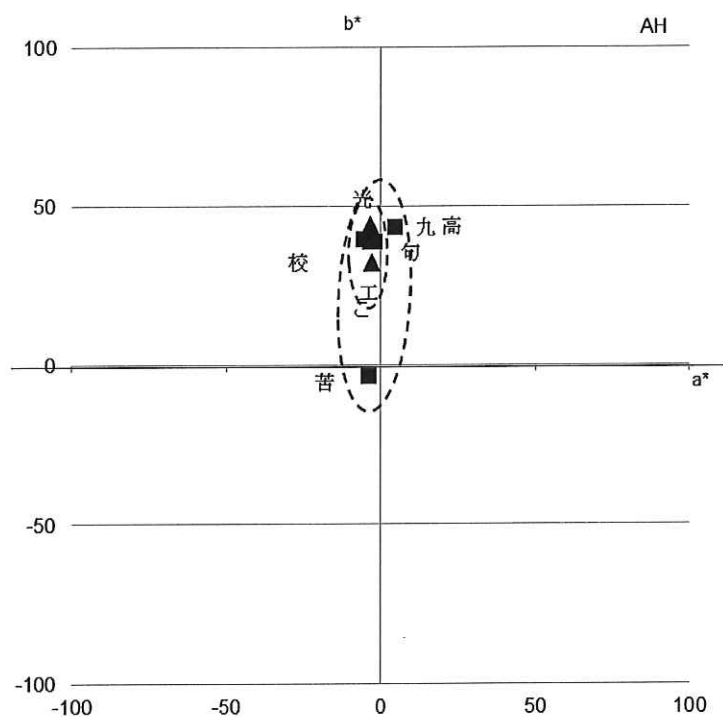


図 30 同じ音韻情報をもつ表意文字による共感覚色の分布（「く」：■，「こう」：▲）（被験者 AH）

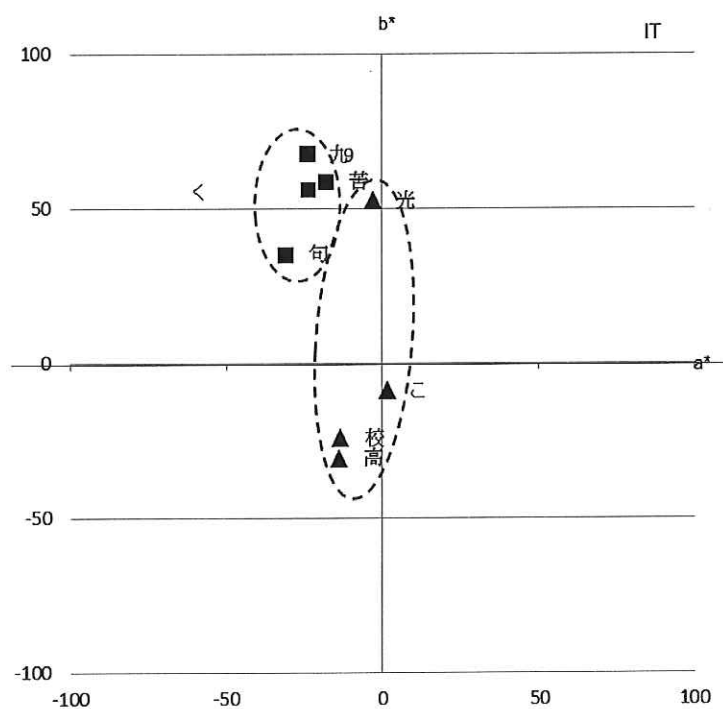


図 31 同じ音韻情報をもつ表意文字による共感覚色の分布（「く」：■，「こう」：▲）（被験者 IT）

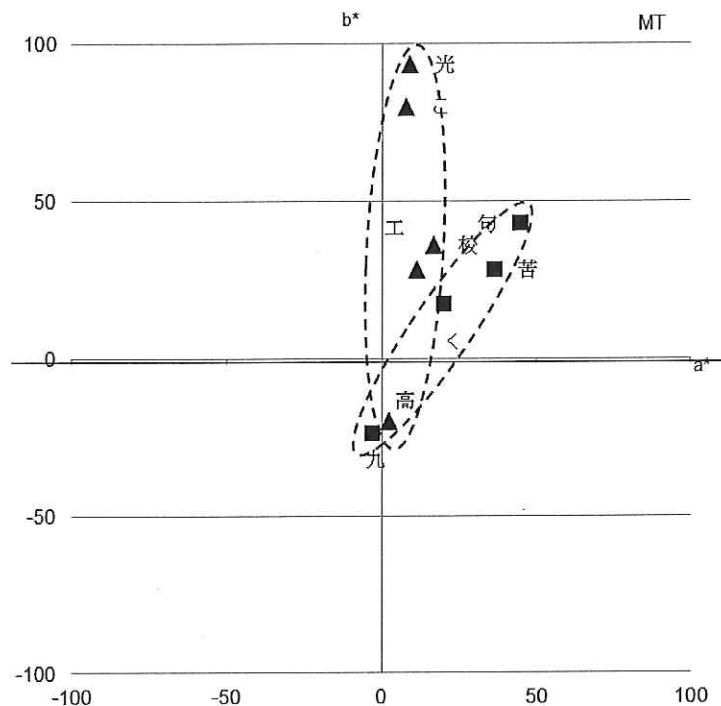


図 32 同じ音韻情報をもつ表意文字による共感覚色の分布（「く」：■，「こう」：▲）（被験者 MT）

5.4.4 考 察

表意文字どうしによる色字共感覚は音韻情報の影響をほとんど受けていなかった。これは表意文字どうしによる色字共感覚に音韻情報が強く影響するとしている報告と異なる結果であって、表意文字による色字共感覚が音韻以外の情報に優位的な影響を受ける可能性を強く示唆している。なお二つの音韻情報により誘発された共感覚色は同じカテゴリーの共感覚色を生じる場合が多かった。これは本実験で呈示した二つの音韻情報が両方とも「か行」にある音韻であったため生じた現象であると考えられる。表音文字による色字共感覚は子音の影響を強く受けると報告（Asano & Yokozawa, 2011）されていることから、表意文字による色字共感覚も表音文字による色字共感覚と同様に子音の影響を強く受けると考えられる。

一方同じ音韻情報により誘発された共感覚色は現象的反対色の見えを基準とする CIE $L^*a^*b^*$ 空間内で体系的な分布を示めた。これは共感覚の色知覚が二対の現象的反対色知覚に基づいて処理されることを示唆する。とくに音韻情報による共感覚色は「黄-青」反対色に沿った分布が多いことがわかった。これは音韻情報の文字において「赤-緑」反対色にそ

った分布がほとんどないことを意味する。反対色チャンネルは独立した処理メカニズム経ていると知られており、これは等色実験や色順応実験（島倉，坂田，2009）により検証されている。反対色チャンネルにおける色覚の処理過程は脳内での処理経路が異なり、「赤-緑」反対色の見えを担当する parvo cells は ventral 経路の情報処理に、「青-黄」反対色の見えを担当する konio cells は ventral 経路のみならず運動や時間情報を処理する dorsal 経路にも関与すると言われている。

形態情報から得た音韻情報の処理は表音文字や表意文字のいずれも大脳の ventral occipital-temporal で feedback されると知られており（Hickok and Poeppel, 2004），この領域は ventral 経路を経ていると考えられる。このことから音韻情報により誘導された共感覚色は「赤-緑」反対色の見えを処理する過程に関連されている可能性が考えられる。このことから表意文字による色字共感覚は音韻情報の影響を強く受けず、音韻以外の情報の影響を受ける可能性があると考えられる。

結 論

本研究では色字共感覚色の類似性を引き起こすことが知られている形態情報と音韻情報を手がかりとして、色字共感覚のメカニズムを検討した。

共感覚色は似ている形態情報により必ずしも類似していなかったが、被験者や刺激によっては類似した共感覚色が生じた。また音韻情報によっても影響を受け、子音のみならず母音も強い影響を持つことがわかった。これらは共感覚色が単一の情報によって誘発される現象ではなく、文字認識の多段階において誘発される現象であることを示唆する。

一方共感覚色は形態情報と音韻情報のいずれにおいても CIE $L^*a^*b^*$ 色空間の二軸に沿った特徴的な分布を示した。これは共感覚の色知覚が二対の現象的反対色知覚に基づいて処理されることを示唆する。RGB 色空間を用いた研究では均等に感覚量を検討できる CIE $L^*a^*b^*$ 色空間の方が共感覚色の解明において適切であると報告されている (Thornley, 2006)。このように色字共感覚は現象的反対色による色知覚であると考えられ、反対色の特性に基づく一般的な色知覚と同様のメカニズムにより処理されることが考えられる。

反対色メカニズムは網膜から皮質に至る色知覚の階層的情報処理により形成され、各段階における反対色信号は異なることが報告されている。共感覚の色知覚が三錐体の出力による拮抗型細胞の反応に依存して生起されるのであれば、共感覚色は各視細胞の分光感度のピークに相当する波長の色を中心に偏ると推察される。視細胞の入力による LGN の反対色軸 (cardinal axes) は現象的反対色軸と一致しないことが知られている (Krauskopf et al., 1982; Derrington, Krauskopf & Lennie, 1984; Wuerger et al., 2005; Webster et al., 2000)。共感覚の色知覚が LGN における反対色情報処理に依存して生起されるのであれば、共感覚色は 2 つの現象的反対色と異なる色情報に沿った分布が示されることが考えられる。大脳の低次段階における色知覚は LGN より狭い範囲の色に特化して応答し (De Valois et al., 2000)、反対色性の情報は維持される (Mullen et al., 2007)。この処理過程に対応する生理学的領域は V1 のみならず V2, V3 にわたる広い範囲である (De Valois et al., 2000; Lennie et al., 1990; Kiper et al., 1997)。V4 が損傷した macaque を用いてカテゴリー色知覚を検討した研究 (Merigan et al., 1993) では赤、緑、黄、青の 4 色における色の分類 (color categorization) が可能であったことが報告されており、現象的反対色情

報が V4 以前の段階において処理されることが考えられる。これらのことから共感覚色の色知覚は脳の初期段階における反対色情報処理に依存し、少なくともこの段階以降から文字情報の処理過程と交互作用が生じていると考えられる。

一方本研究で得られた結果では形態情報や音韻情報のいずれによる場合でも共感覚色は色カテゴリーに依存していなかった。我々の日常の色経験のもととなる連続的な色知覚及びカテゴリカル色知覚は反対色情報が融合する脳の高次段階において処理され、この生理学的領域は V4 と V8、そして IT（下側頭皮質）であることが知られている（Hadjikhani et al., 1998; Komatsu et al., 1992; Yoshioka et al., 1996）。V4 は同じ波長のみに対応する特徴があること（Komatsu et al., 1992）から連続的な色知覚が処理されると考えられ、IT 細胞は色相と彩度の狭い範囲に反応する色選択性の特徴を持ち（Hanazawa, 2000）その活動が色知覚と高い相関を示すことから、IT ではカテゴリカル色知覚を処理すると推察される（Komatsu, 1998）。さらにカテゴリカル色知覚を含んだカテゴリー判断は IT のみならず、より高次の aIT（下側頭皮質前部）や PF（前頭前野）によっても処理される（鯉田, 2010; Roberson and Davidoff, 2000）。

fMRI や PET を用いて共感覚の色知覚を検討した研究においては、一般的色知覚の見えるを担当する V4 領域の発火が報告されている（Bien, 2011; Ven Leeuwen et al., 2010; Niccolai et al., 2012; 高橋 et al., 2006; Rich et al., 2006）。さらに共感覚色の応答は V4 や V8（高橋 et al., 2006; Nunn et al., 2002）を包含した ventral-occipital 色領域のみならず色の情報を含んだ高次の視覚的情報を処理する Left medial Lingual gyrus（左舌状回）（Rich et al., 2006）も発火した。本研究の結果が得られた考察はこれらの結果と一致する。

以上のことから色字共感覚は文字認識の処理過程と色知覚のうち V1, V2, V3, V4, V8 などの多段階にわたる交互作用によって生じる現象であると考えられる。共感覚の色知覚は非共感覚者の色知覚と同様なメカニズムにより処理されており、現象的反対色を処理する脳の低次段階からカテゴリカル色知覚を処理する段階以前の間で文字認識の処理段階と交互作用を生じることにより誘発される現象であると考えられる。

第 6 章

音韻情報および意味情報による 共感覚色の比較

第 6 章では色字共感覚において音韻情報の影響は強いが意味情報は排除できる表音文字と、意味を持つことで音韻情報の影響は弱まるが意味情報の影響は強くなると考えられる表意文字を刺激として選び、表意文字の場合には色字共感覚は音韻情報の影響より意味情報の影響を優位に受けることを明らかにすることおよびこれらの情報によって誘発された共感覚色が色覚のどの処理段階と交互作用を生じるかについて明らかにすることを目的にした。

6.1. 実験 5 音韻情報および意味情報による共感覚色の比較

6.1.1 目的

表音文字による色字共感覚には音韻情報が影響することが知られており、実験 2 および実験 3 でもその影響を確認された。実験 2、実験 3、実験 4 では表意文字による色字共感覚が音韻情報の影響を受けていることを確認したが、音韻情報を弱める他の情報が強く働くことも示唆された。表意文字は意味情報を持っているため、表意文字による色字共感覚に影響する他の情報として意味情報が考えられる。意味情報が共感覚色に影響するとしてい

る報告では、単語の意味が単語 - 色共感覚に及ぼす影響や、文脈効果によって色字共感覚が影響を受ける例、および文字の意味から連想されたイメージが色字共感覚に及ぼす影響などが知られている。そこで本研究では色字共感覚において音韻情報の影響は強いが意味情報は排除できる表音文字と、意味を持つことで音韻情報の影響は弱まるが意味情報の影響は強くなると考えられる表意文字を刺激として選び、表意文字の場合には色字共感覚は音韻情報の影響より意味情報の影響を優位に受けることを明らかにすることを目的にした。

6.1.2 実験方法

被験者 6-7才から色字共感覚を経験している色覚正常な 20-28 才の女性 3 名 (IT, MT, AH) であり、彼女らは平仮名、片仮名及び漢字の 3 種類の日本語表記および数字、そして英語のアルファベットに対して共感覚色を経験していた。なお彼女らのインタビューを基に色字共感覚者のタイプ (Skelton, Ludwig & Mohr, 2009) を分類した結果、IT と MT は projector, AH は associator と言われる共感覚のタイプを有すると考えられた。

実験装置 実験は暗室内にある標準光源ブース (マクベスジャッジ II) の色検査評価用 D₆₅ 蛍光ランプの下で行われた。照度は 1100lx であった。観察角度は 45° で、観察距離は約 75cm であった。

刺激 平仮名、片仮名、漢字、そして数字の 13 文字を使用し、これらはそれぞれ単独に呈示した。

表 7 同音で意味が異なる文字の対と同意で音韻が異なる文字の対

音韻	Q-9	く-紅	に-二
意味	9-九	紅-焼	二-2

表 8 同音で同意の表音文字と表意文字

表意文字	青	赤
表音文字	あお	あか

刺激は視野角 13.15° × 9.2° (10 cm × 7cm) の白い背景の上に印刷された 4.6° × 6.5° (3.5 cm × 5cm) の黒いゴシック文字であった。

手順 刺激に関する説明は被験者にせず、ランダムで呈示する刺激に生じた共感覚色と最も近い色をマンセル色票(JIS 標準色票)から選択させた。また呈示した刺激の音読みを行うことで、類似した形態の文字認識を確認した。被験者が刺激と共感覚色とのマッチングを終えるまでは、次の試行に移らなかった。実験は 3 回繰り返し、各実験間は約 1 ヶ月の間隔をあけた。

6.1.3 結果

音韻情報と意味情報が同一の文字どうしに対し 3 回繰り返しの返しデータの平均値を CIE $L^*a^*b^*$ 色空間にプロットして反応間の距離を求めた。全共感覚色における L^* 値は比較的狭い範囲に分布したため、分析から L^* を除外して a^*b^* 値のみを用いた。

色字共感覚における音韻情報の優位性を検討するため、結果を図 33～図 35 に示した。なお同音で意味が異なる文字刺激による共感覚色間の距離と音韻および意味が異なる文字刺激による共感覚色間の距離を求め一元配置の分散分析を行った。その結果被験者全員の共感覚色において音韻情報と意味情報との間に有意な差は見られなかった (AH: $[F(1, 22)=0.17, p=.67]$, IT: $[F(1, 22)=0.07, p=.79]$, MT: $[F(1, 22)=1.47, p=.2]$)。

色字共感覚における意味情報の優位性を検討するため、分布を図 33～図 35 に実線で示した。なお同意で異なる音韻の文字刺激による共感覚色間の距離と音韻および意味が異なる文字刺激による共感覚色間の距離を求め一元配置の分散分析を行った。その結果被験者 IT と MT の共感覚色において意味情報の優位性は強く影響することが明らかになった。また被験者 AH の共感覚色ではその傾向が見られた (AH: $[F(1, 22)=4.5, p<.05]$, IT: $[F(1, 22)=11.7, p<.005]$, MT: $[F(1, 22)=10.51, p<.005]$)。

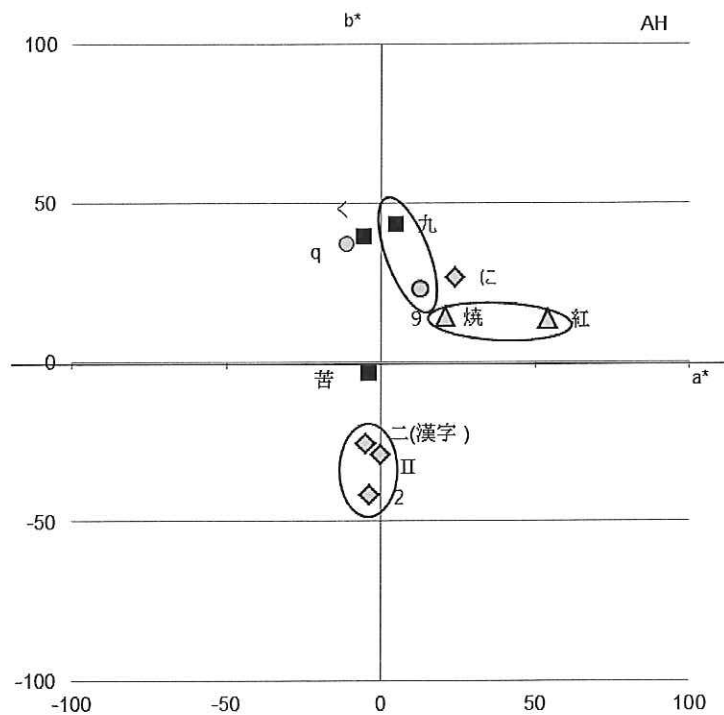


図 33 同音で意味がない文字による共感覚色と同意で異なる音韻の文字による共感覚色の分布 (「2」: ◆, 「9」: ●, 「紅」: ▲) (被験者 AH)

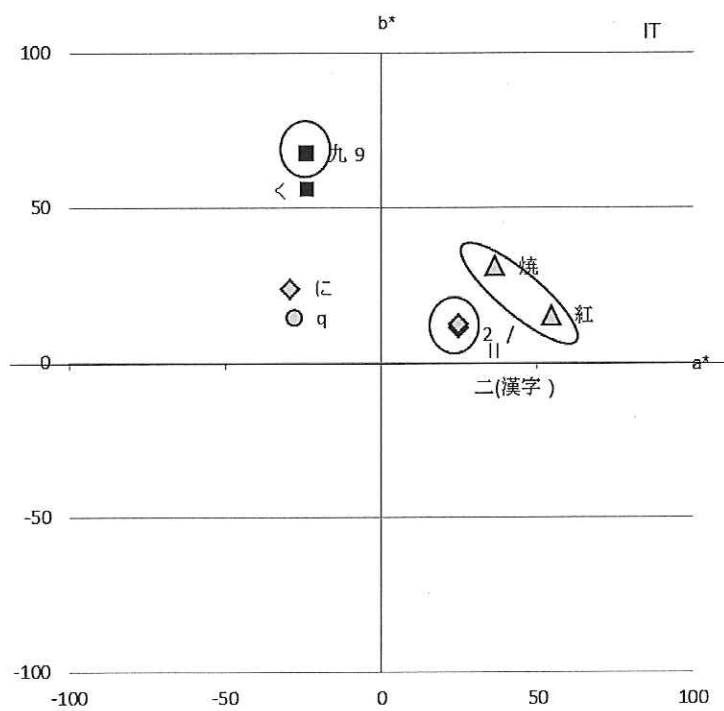


図 34 同音で意味がない文字による共感覚色と同意で異なる音韻の文字による共感覚色の分布 (「2」: ◆, 「9」: ●, 「紅」: ▲) (被験者 IT)

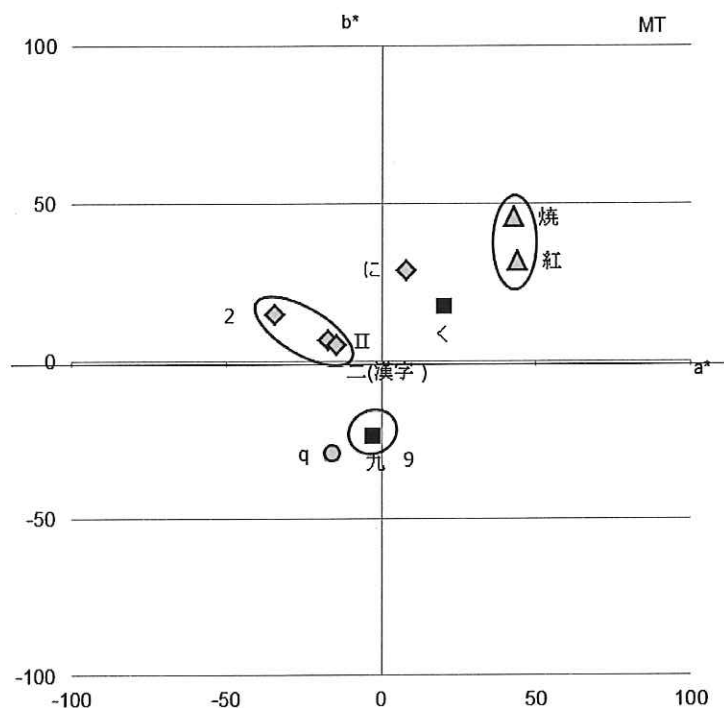


図 35 同音で意味がない文字による共感覚色と同意で異なる音韻の文字による共感覚色の分布 (「2」: ◆, 「q」: ●, 「紅」: ▲) (被験者 MT)

また表音文字および表意文字で表記した同じ色名の文字刺激には、一つの文字ごとに一つの共感覚色が生じた。表音文字による色字共感覚は被験者全員とも各文字を単独で呈示した際に生じた共感覚色とほぼ同じであり、二つの刺激に含まれている「あ」の共感覚色も意味情報により変化せず、同様な共感覚色が生じた (図 36)。一方表意文字による色字共感覚は各文字が表わすその色が生じて被験者全員とも「青」には青系の共感覚色を、「赤」には赤系の共感覚色を経験していた (図 36)。また全員において「紅」による共感覚色は赤系の共感覚色が「光」による共感覚色は黄系の共感覚色が誘発された (図 33~35)。

一方音韻情報による表意文字の色字共感覚は CIE $L^*a^*b^*$ 色空間内で特徴的分布を示した。同一の音韻情報による被験者全員の共感覚色は黄と青を結ぶ b^* 軸の方向に広く分布したことに對し、赤と緑を結ぶ a^* 軸の方向に沿って分布した範囲は狭かった。

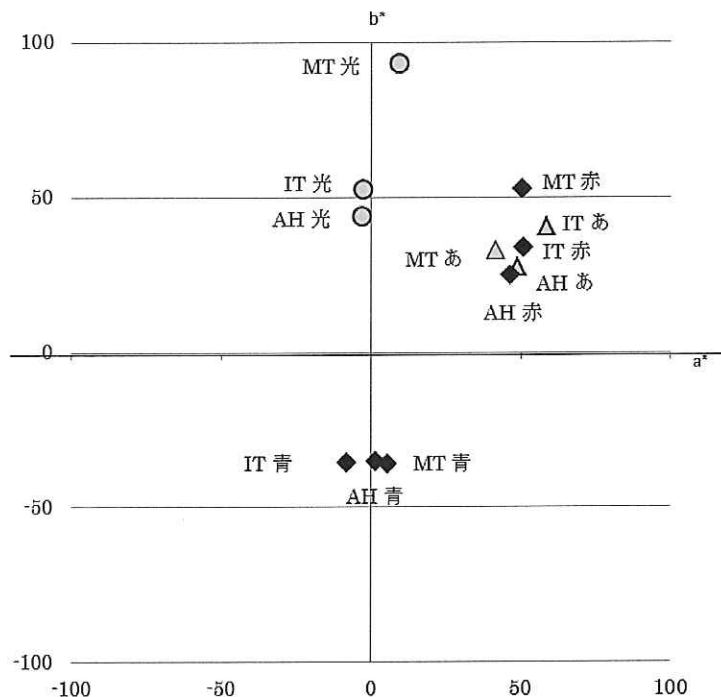


図 36 全被験者における意味情報による共感覚色の分布

6.1.4 考 察

同一言語内に同音で意味が異なる文字に対しても音韻情報の影響はほとんど見られなかった。これは表音文字と表意文字による色字共感覚が音韻情報の影響が弱かった実験 2 の結果と一致する。しかし同意で異なる音韻の文字に対してはほぼ同じ共感覚色が生じ、表意文字による色字共感覚は意味情報の優位的影響を強く受けていることが示された。これは文字に意味が含まれていると色字共感覚が単語 - 色共感覚と同様に意味情報の影響を強く受けることを示唆する。

また同じ色名を表した表音文字と表意文字による共感覚色は各文字体系によって優先して処理される情報が異なった。例えば表意文字による共感覚色は最初の音が同一にも拘わらず、各刺激に生じた共感覚色は異なった。これは表音文字と表意文字による共感覚色が異なる処理過程によって処理される可能性を示唆する。表意文字による共感覚色の場合は直接に色を示す色名以外でも被験者全員が同様の共感覚色を経験しており、「光」は黄系の共感覚色が、「紅」は赤系の共感覚色が誘発された。これは色名以外でも文字の意味から連

想されるイメージにより影響を受けるとしている報告と一致する (Asano and Yokozawa, 2012). また感情を表す文字に対し肯定的意味には暖色を否定的意味には寒色の共感覚色が生じると述べた AH は「苦」の刺激に青系の共感覚色を経験した. これらのことから表意文字による共感覚色は文字がもつイメージや感情が明確な刺激のみに対して意味情報が優先に処理され则认为られる.

第 7 章

文脈による意味情報の共感覚色

第 7 章では色字共感覚において表音文字および表意文字による共感覚色が文脈による意味情報の影響を受けるかについて検証した。

7.1. 実験 6 意味情報による表音文字の共感覚色

7.1.1 目的

表音文字による色字共感覚には音韻情報が優位に影響することが知られているが、単語に含まれると単語の意味情報を受けるという報告と、単語の意味情報を受けないという報告が知られている。そこで本研究では表音文字による色字共感覚が表意文字による色字共感覚のように意味情報を持つことになれば、前後の文脈による意味情報の影響を受けるかについて検討した。

7.1.2 方法

被験者 6-7 才から色字共感覚を経験している色覚正常な 20-28 才の女性 3 名 (IT, MT, AH) であり、彼女らは平仮名、片仮名及び漢字の 3 種類の日本語表記および数字、そして英語のアルファベットに対して共感覚色を経験していた。なお彼女らのインタビューを基

に色字共感覚者のタイプ (Skelton, Ludwig & Mohr, 2009) を分類した結果, IT と MT は projector, AH は associator と言われる共感覚のタイプを有すると考えられた。

実験装置 実験は暗室内にある標準光源ブース (マクベスジャッジⅡ) の色検査評価用 D65 蛍光ランプの下で行われた。照度は 1100lx であった。観察角度は 45° で、観察距離は約 75cm であった。

刺激 平仮名、片仮名、漢字、そして数字の 13 文字を使用し、これらはそれぞれ単独に呈示した。

表 9 意味が異なる単語に含まれた同一の表音文字

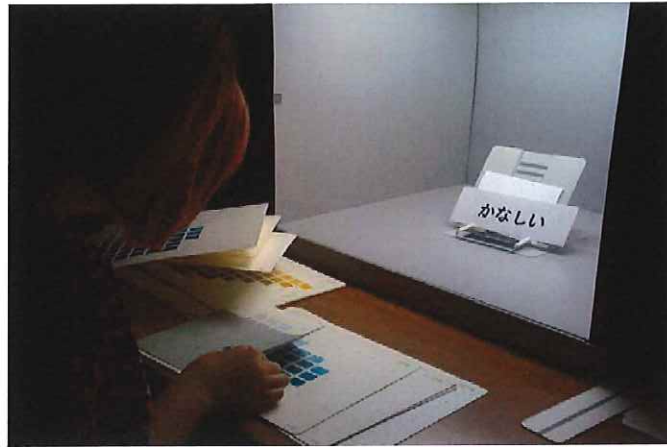
	表意		表音
①	こ <u>う</u> かい	③	く <u>う</u> こう
②	つ <u>う</u> ふ <u>う</u>	④	き <u>い</u> ろ <u>い</u>

表 10 意味をもつ単語と意味を持たない単語における表音文字

	意味有り	意味無し		意味有り	意味無し
①	うれしい	うしれい	②	かなしい	なかしい

刺激は視野角 28.93° × 8.54° (22cm x6.5cm) の白い背景の上に印刷された 17.09° × 3.94° (13cm x3cm) の黒いゴシック文字であった。

手順 刺激に関する説明は被験者にせず、ランダムで呈示する刺激に生じた共感覚色と最も近い色をマンセル色票 (JIS 標準色票) から選択させた。また呈示した刺激の音読みを行うことで、類似した形態の文字認識を確認した。被験者が刺激と共感覚色とのマッチングを終えるまでは、次の試行に移らなかった。実験は 3 回繰り返す、各実験間には約 1 ヶ月の間隔をあけた。



7.1.3 結 果

単語に含まれた各表意文字に対し3回繰り返しデータの平均値を CIE $L^*a^*b^*$ 色空間にプロットして反応間の距離を求めた。全共感覚色における L^* 値は比較的狭い範囲に分布したため、実験1と同様に分析から L^* を除外して a^*b^* 値のみを用いた。

表音文字による色字共感覚が文脈の意味情報を受けるかを検討するため、異なる意味の単語に含まれた表音文字が誘発した共感覚色を図37に示す。なお同じ文字による共感覚色間の距離と異なる文字による共感覚色間の距離を求め、一元配置の分散分析を行った。その結果被験者全員における共感覚色は意味情報の影響を受けていなかった (AH : $[F(1, 24)=1.13, p=.28]$, IT : $[F(1, 24)=1.26, p=.26]$, MT : $[F(1, 24)=0.7, p=.4]$)。

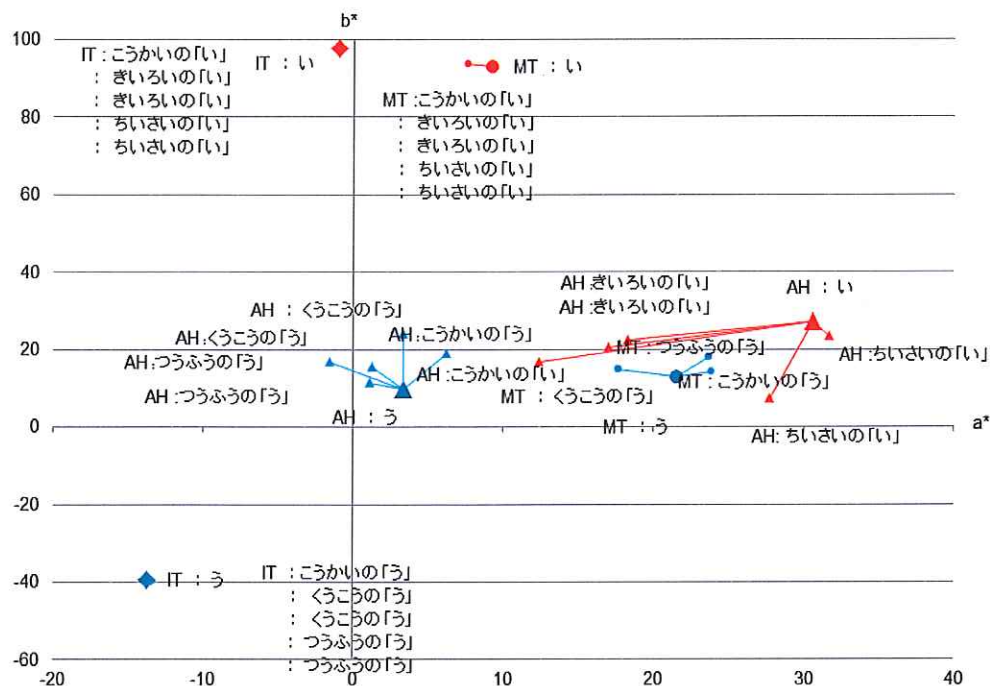


図 37 異なる意味の単語に含まれている表音文字による共感覚色の分布（「い」：赤、「う」：青あ）（AH：三角、IT：菱形、MT：丸）

一方表音文字による色字共感覚が文脈による意味情報を受けるかを検討するため、意味をもつ単語および意味がない単語に含まれた表音文字による共感覚色を図 38 に示す。各単語に含まれた同じ文字による共感覚色間の距離と異なる文字による共感覚色間の距離を求め、一元配置の分散分析を行った。その結果被験者全員における共感覚色は意味情報の影響を受けていなかった（AH: $[F(1, 24)=0.17, p=.68]$, IT: $[F(1, 24)=1.58, p=.27]$, MT: $[F(1, 24)=0.01, p=.89]$ ）。

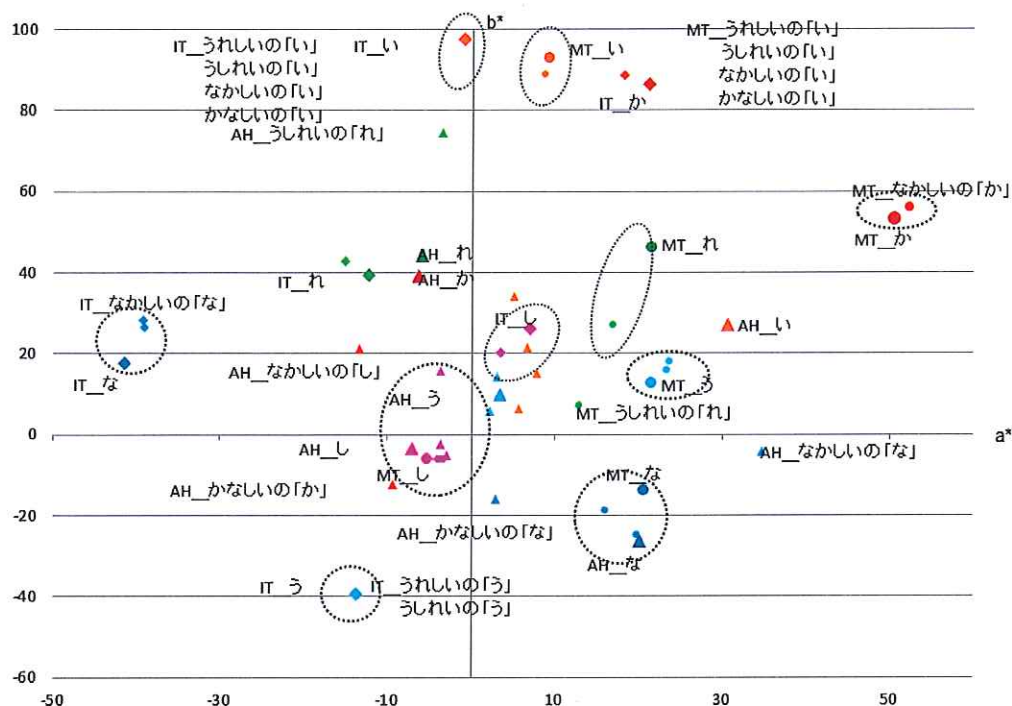


図 38 意味がある単語および意味がない単語に含まれた表音文字による共感覚色の分布 (AH: 三角、IT: 菱形、MT: 丸)

7.1.4 考察

表音文字による色字共感覚が文脈による意味情報の影響を受けないことを明らかにするため、異なる意味の単語および意味がある単語と意味がない単語を用い単語に含まれている各表音文字による共感覚色を検討した。

異なる意味の単語に含まれた表音文字による共感覚色は、前後の文字や文字の順番に影響を受けず、単独で同じ刺激を呈示した際の共感覚色（実験 3）とほぼ同じ共感覚色を誘発することがわかった。これは単語を一つの「まとまり」として認識する前の段階、すなわち個々の文字の認識により共感覚色が生じていることを意味する。また意味がある単語および意味がない単語に含まれた表音文字による色字共感覚も、意味の有無の影響を受けず、さらに単独で呈示した同じ文字による共感覚色と同様であった。これは意味を受け取ってから構成文字を観察する top-down 処理ではないことを示唆する。これらのことから表音文字による色字共感覚は意味の影響を受けずに誘発されていると考えられる。

7.2. 実験 7 意味情報による表意文字の共感覚色

7.2.1 目的

表意文字による色字共感覚には意味情報が優位に影響することが知られている。しかし文脈による意味情報の影響を受けるかについて検討した研究はほとんど知られていない。そこで本研究では表意文字が含まれた単語を刺激として選び、意味情報の影響を優位に受ける表意文字による色字共感覚が文脈による意味情報の影響を受けることを明確にすることを目的にした。

7.2.2 方法

被験者 色覚正常な 20-28 才の女性 3 名 (IT, MT, AH) であり、彼女らは平仮名、片仮名、漢字の 3 種類の日本語表記および数字、そして英語のアルファベットに対して共感覚色を経験していた。

実験装置 実験はオンライン上で教示し、各自が最も明るいと考ええる白熱ランプの下で行った。

刺激 表 11 に示した感情を表す表意文字の単語 20 個を使用した。

手順 刺激に関する説明は被験者にせず、各単語に下線を引いた文字に生じた共感覚色と最も近い色を P. C. C. S. 色票 (新配色カード 199b) から選択させた。

表 11 感情を表す単語に含まれた表意文字

	文字刺激		文字刺激		文字刺激
1	こころ <u>心</u>	7	きり <u>切</u>	15	あい <u>愛</u> する
2	しん 安 <u>心</u>	8	き <u>切</u> る	16	かな <u>悲</u> しい
3	しん <u>心</u> 配	9	せつ 大 <u>切</u>	17	この <u>好</u> ましい
4	こころ <u>心</u> 苦しい	10	せつ <u>切</u> 望	18	から <u>辛</u> い
5	こころ <u>心</u> 強い				つら <u>辛</u> い
6	こころ <u>心</u> 地よい	11	かん <u>感</u>	19	せつ <u>切</u> ない
		12	かん <u>感</u> 謝	20	うれ <u>嬉</u> しい
		13	かん 悲 <u>感</u>		
		14	かん <u>感</u> じる		

7.2.3 結 果

単語に含まれている表意文字による共感覚色は実験条件を揃えていなかったため、各被験者の回答を表 12 から表 18 に示す。

肯定的感情および否定的感情を表す単語に含まれた表意文字による色字共感覚は単語が表す感情により変化した。被験者全員において肯定的感情を表す単語には暖色系の共感覚色が、否定的感情を表す単語には寒色系の共感覚色が誘発される傾向が見られた。なお形態情報のみが同一の二つの文字刺激に対し、異なる共感覚色が生じていた。特に「辛い (つらい)」による共感覚色は暖色系の色が生じる傾向があった。

表 12 肯定的感情を表す単語に含まれた表意文字による共感覚色 (AH)

	文字刺激		色相	トーン
--	------	--	----	-----

2	安心	4	4:r0	soft
5	心強い	2	2:R	strong
6	心地よい	4	4:r0	pale
9	大切	black	black	
12	感謝	8	8:Y	light
15	愛する	4	4:r0	soft
17	好ましい	8	8:Y	light
20	嬉しい	8	8:Y	light

表 13 否定的感情を表す単語に含まれた表意文字による共感覚色 (AH)

	文字刺激		色相	トーン
3	心配	18	18:B	light grayish
4	心苦しい	18	18:B	grayish
8	切る	20	20:V	deep
10	切望	10	10:YG	light
13	悲感	10	10:YG	pale
16	悲しい	16	16:gB	light grayish
18	っら 辛い	18	18:B	light grayish
19	切ない	18	18:B	light grayish

表 14 肯定的感情を表す単語に含まれた表意文字による共感覚色 (IT)

	文字刺激		色相	トーン
2	安心	20	20:V	Light grayish
5	心強い	18	18:B	Soft
6	心地よい	18	18:B	Soft
9	大切	10	10:YG	Vivid
12	感謝	6	6:y0	Pale+
15	愛する	24	24:RP	Vivid
17	好ましい	2	2:R	Light+
20	嬉しい	24	24:RP	Bright

表 15 否定的感情を表す単語に含まれた表意文字による共感覚色 (IT)

	文字刺激		色相	トーン
3	心配	10	10:YG	Soft
4	心苦しい	18	18:B	Soft
8	切る	11	11:yG	Bright
10	切望	10	10:YG	Light+
13	悲感	8	8:Y	Pale+
16	悲しい	18	18:B	Light grayish
18	辛い (つらい)	8	8:Y	Deep
19	切ない	10	10:YG	Light+

表 16 肯定的感情を表す単語に含まれた表意文字による共感覚色 (MT)

	文字刺激		色相	トーン
2	安心	2	2:R	light
5	心強い	2	2:R	light
6	心地よい	2	2:R	light
9	大切	20	20:V	dark
12	感謝	Gy-7.7	Gy-7.7	
15	愛する	2	2:R	light
17	好ましい	2	2:R	light
20	嬉しい	21	21:bP	grayish

表 17 否定的感情を表す単語に含まれた表意文字による共感覚色 (MT)

	文字刺激		色相	トーン
3	心配	2	2:R	light
4	心苦しい	2	2:R	Light grayish
8	切る	20	20:V	dark
10	切望	20	20:V	dark
13	悲感	19	19:pB	dark
16	悲しい	18	18:B	Light grayish
18	つら 辛い	18	18:B	dull
19	切ない	20 18	20:B	dull

表 18 形態のみが同一の表意文字による共感覚色

AH				
18	から 辛い	7	7:rY	soft
	つら 辛い	18	18:B	light grayish
IT				
18	から 辛い	8	8:Y	Deep
	つら 辛い	4	4:r0	Deep
MT				
18	から 辛い	2	2:R	strong
	つら 辛い	18	18:B	dull

7.2.4 考 察

表意文字による色字共感覚は文脈による単語の意味情報に強く影響を受けていることが示唆された。これは表音文字による色字共感覚と異なる結果であり、同じ文字としての認識より前後の文脈により得られた言語的意味による影響を優位に受けていることを示唆する。色字共感覚は同じ文字刺激に対する共感覚色が個人ごとに様々である。それにも拘らず、被験者全員において形容詞の刺激および色を連想させやすい刺激による共感覚色が類似したことは、単独で一つの表意文字を呈示した際に誘発された色字共感覚のように文字認識の処理過程上で最も高次の段階で処理されることを示唆する。

第 8 章

音および音楽による共感覚色

8.1. 実験 8 ノイズによる共感覚色

8.1.1 目的

音に対する共感覚の経験は、物理的な音刺激そのものにより発生する現象なのか、あるいは、音刺激で構成されるメロディーや音色などの認知的要因により生じる現象なのかを検討した。すべての周波数を含むノイズによって共感覚色が生じるのであれば、音刺激そのものが重要な要因であると考えられる。一方、共感覚色が生じない、もしくは弱い共感覚を経験するのであれば、より高次の認知的要因が重要な要因であると考えられる。

8.1.2 実験方法

被験者 6-7 才から色聴共感覚を経験している色覚正常な 43 才の女性 1 名 (TD) であった。

装置 Apple MacBook Pro Laptop (MA897LL/A) で刺激音はヘッドフォンを用いて呈示した。

刺激 特定の音は持たないが一定の規則性を持つ 2 つのノイズ (ホワイトノイズ ($1/f^0$) : スペクトルの全域にわたって、1 Hz 当たりの成分の強さが一定であり、あらゆる可聴周波数帯域の周波数成分が含まれているノイズ、ピンクノイズ ($1/f$) : 1 Hz 当たりの成分の強さが周波数に反比例し、あらゆる可聴周波数帯域が均等な音圧で含まれているノイズ) を使用した。

実験手順 被験者は音楽の刺激を聞くと共感覚色がしばらく見え続けるので、共感覚色を取り消すため、同一の刺激を 3 回繰り返しの返しで呈示し、各刺激の間は 100 ms の間隔を置い

た．刺激に対する共感覚の評価は、全体イメージを視覚化するために色彩や形態、動きそして位置の項目に切り分けて描かせ、詳細な説明も記述させた．

8.1.3 結 果

被験者は全ての周波数を含むホワイトノイズとピンクノイズの両者の刺激において鮮明な共感覚を経験しないことがわかった．そうであっても、2つの刺激に対する共感覚の経験は相違であり、ホワイトノイズに対する共感覚の場合、黒い背景に複数の無彩色（白や灰色）の直線が重なって動いている単純なイメージの共感覚であった．一方ピンクノイズに対する共感覚の場合、薄い赤色の半円（曲線）は時間の経過と共に徐々に上昇しながら大きくなるイメージの共感覚であった．

8.1.4 考 察

異なる特性を持つ2つのノイズに対してどちらのノイズにおいても顕現する共感覚を経験させることはできなかったものの、両者の刺激において単一な形態および反復的な動きなど似たイメージの共感覚が生じた．共感覚の経験は弱いながらも刺激に対して反応が得られたので、これは被験者がスペクトログラムの時間軸方向においての変化を明確に認識していることを意味する．また両者の刺激において類似した視覚イメージを経験したということは、ノイズが持つ共通の特徴による現象であると考えられる．

ノイズは不規則な性質を持つ未分化の音であり、スペクトルが明確な振動数成分をもたない刺激であるため、その特徴が似ている共感覚のイメージを生じさせたと考えられる．なお両ノイズ間に現れた異なる視覚要素（ホワイトノイズ：左右の動きを持つ直線、ピンクノイズ：上下の動きを持つ曲線）は各刺激が持っている物理的変化の特徴と非常に似ているイメージであった．このことは刺激が持っている周波数の異なる強度、すなわち低次の処理過程も共感覚の発生に影響を与えていることを示唆する．このようにノイズによる共感覚の発生は、周波数の変化や時間的要素を総合している高次の音楽的知覚の情報処理レベルおよび波長の物理的変化による低次の周波数の知覚による情報処理レベル、すなわちマルチ情報処理レベルと色知覚の情報処理レベル間で強い相互作用が行われて生じる現象であると考えられる．異なるイメージが現れたのは周波数の影響であり、同じイメージが現れたのは周波数以外の情報による影響であると考えられる．

8.2. 実験 9 音調および音色による共感覚色

実験 8 では時間的要素の知覚および周波数の知覚によって類似した共感覚の経験が生じ

ることを確認した。これは音（音楽）が持つ基礎的要素が共感覚の発生に強い影響を与えていることを意味する。そこで本実験では音楽を構成している多様な要素のうち、どの構成要素が共感覚の経験を規定するのかをさらに詳細に調べるため、同一のメロディーを用いて音色と転調が共感覚の経験にどのような影響を与えるかを検討した。

8.2.1 目的

音楽は時間軸を持つメロディーを始め様々な構成要素が含まれている。本実験では曲の全体的なストーリーを表現するメロディーを固定したうえ、同一の音でも異なる音色で演奏するとそれぞれ違う音として知覚されるという独特な特徴をもつ音色と、周波数の高さである調を変化させることで、どの要因が共感覚の発生に強く影響を与えているかを検討した。同じメロディーの曲を異なる楽器で演奏した場合、刺激に対して異なる共感覚を経験するのであれば、楽器の音色の知覚が共感覚の経験に強い影響を与えると考えられ、類似した共感覚を経験するのであれば、メロディーの知覚が強い影響を与えると考えられる。

なお同一の楽器で演奏された曲を転調させた刺激に対して、異なる共感覚を経験するのであれば、転調の知覚が共感覚の原因であると考えられ、同じ共感覚を経験するのであれば、より高次のメロディーや音色の知覚処理が共感覚の原因であると考えられる。

8.2.2 実験方法

被験者 6-7 才から色聴共感覚を経験している色覚正常な 43 才の女性 1 名 (TD) であった。

装置 Apple MacBook Pro Laptop(MA897LL/A)で刺激音はヘッドフォンを用いて呈示した。

刺激 被験者が普段強い共感覚を経験する曲（キラキラ星: C 長調 (4th octave C)）を用いて 2 つの要素（音色・調）を変動させた。同じメロディーの曲を① 異なる 4 楽器（ピアノ、ギター、ブラス、オーケストラ）で演奏した刺激、② 各楽器に演奏した刺激（①）を 3 水準（A 長調 (3rd octave A)・C 長調 (4th octave C)・E 長調 (4th octave E)）に転調させた刺激、合計 12 個の刺激を使用した。刺激のサンプリング周波数は 44.1kHz、16bit のステレオであり、呈示の持続時間は 35sec であった。

実験手順 被験者は音楽の刺激を聞くと共感覚がしばらく見え続けるので、共感覚を取

り消すため、同一の刺激を3回繰り返して呈示し、各刺激の間は100 msの間隔を置いた。刺激に対する共感覚の評価は、全体イメージを視覚化するために色彩や形態、動きそして位置の項目に切り分けて描かせ、詳細な説明も記述させた。

8.2.3 結果

同じメロディーを転調した刺激に対する共感覚の経験は、線の種類や太さの変化など音色ごとに少しずつ異なる経験が見られたが、全体的に類似したイメージが得られた。とりわけ、C長調の刺激に対する共感覚は、左右の中心に横線が継続的に位置することやバブルのような丸い模様が出たり消えたりすることを繰り返すことなど4つの音色に対して最も類似した共感覚のイメージを持っていた（表19-22のC長調）。さらにE長調の刺激に対する共感覚の場合も音色の影響を受けず、全体的に鮮やかな暖色系が背景として登場し、縦線が均等な間隔で並んで不規則的な動きを現している（ギター以外）など共通のイメージであった（表19-22のE長調）。A長調の刺激に対する共感覚の場合は、ギターやピアノの音色に対して共通的共感覚のイメージが得られ、視野面積の右の半分は暗く、左の半分は明るい背景で分断されていることや登場する線の位置が下段であることなどがイメージの共通点であった（表19-22のA長調）。

同じメロディーを異なる楽器で演奏した刺激に対する共感覚の経験は、4つの楽器のうちギターとブラスの音色に対して特徴のあるイメージが得られた。これは表19と表20に示す。ギターの音色に対する共感覚は明るい色彩を持ったアーチ状の曲線や丸い模様であり、これらはC長調とE長調の刺激に登場した共通点である。ブラスの音色に対する共感覚はA長調とE長調の刺激で共通の共感覚のイメージが得られ、それは、色みがない光のような縦線が主に登場し、左右の面積が明るさで分担されることであった。併せて特徴を持った二つの音色は共感覚の経験で現れた色彩の項目と、転調させた刺激は共感覚の経験で登場する形態の位置が密接な関係にあった。

まず、音色と共感覚の色彩に関わる特徴の場合、ギターの音色における共感覚色は模様ごとに有彩色と無彩色が分離して登場し（表19で色彩の項目）、ブラスの音色における共

感覚色は全ての模様に対して無彩色（光）が現れた（表 20 で色彩の項目）。そしてオーケストラ形式の音色では多様な共感覚色が登場した（表 22 で色彩の項目）。転調させた刺激と登場する形態の位置の関係に関して最も特徴を現した刺激はギターで演奏した曲であり、共感覚の経験で現れた線の位置は転調の高さと共に下段から上段に移動していた（表 19 で位置の項目）。

表 19 ギターの音色に対する共感覚の経験

調	A		C		E	
形態	Line	Bubble	Line	Bubble	Line	Bubble
	横線	螺旋状	アーチ状の 曲線	○	横線とアーチ 状の曲線	○
厚さ	一定		一定			
動き	左右に動く		縄跳びをして いるように 見える	出ては消える を繰り返す	出ては消える を繰り返す	出ては消える を繰り返す
色彩	青	黄	赤、黄	光	赤、黄、緑	光
位置	下段	全体的に 出てくる	左右の中心	全体的に出て くる	上段	左右の端
面積の分担	左:明るい	右:暗い	×		×	
背景色			黒		明るい色	

表 20 プラスの音色に対する共感覚の経験

調	A		C		E	
形態	Line	Bubble	Line	Bubble	Line	Bubble
	縦線	×	横線の直線と 緩やかな波線	○	縦線	×
厚さ	一定		薄い	ギターより 大きい	一定	
動き	振動している ように見える		出で消える動 きが早く、揺れ ているように 見える		雨が降るよう に上から出て くる	
色彩	黄		強い光	光	光	
位置	上下の中心		左右の中心	左右の端	上下の中心	
面積の分担	左:明るい	右:暗い	×		左:明るい	右:暗い
背景色			黒			

表 21 ピアノの音色に対する共感覚の経験

調	A		C		E	
形態	Line	Bubble	Line	Bubble	Line	Bubble
	横線	○	横線	○	縦線	×
厚さ	細い		一定の細い線			
動き	走っているように見える	ゆっくり移動する	位置を変えて交互に出てくる	徐々に変化する	不規則的動き	
色彩	光	明るい光	光	赤、黄	光	
位置	下段	全体的	上下	左右の中心(同心円)	全体的	
面積の分担	×		×		×	
背景色	暗い		薄い色		赤っぽい色(途中から出る)	

表 22 オーケストラに対する共感覚の経験

調	A		C		E	
形態	Line	Bubble	Line	Bubble	Line	Bubble
	×	○	横線と緩やか波線	×	縦の線で節目(カーテンのような)	×
厚さ			多様			
動き		出て消えるを繰り返しながらゆっくり移動する	明るい線、暗い線が交互に出てくる		左右に不規則な順番で動く	
色彩		明るい色と暗い色	茶色、黒		赤、黄、緑、青	
位置		全体的	上下		全体的	
面積の分担			×			
背景色			白にクリーム色が混ざっている			

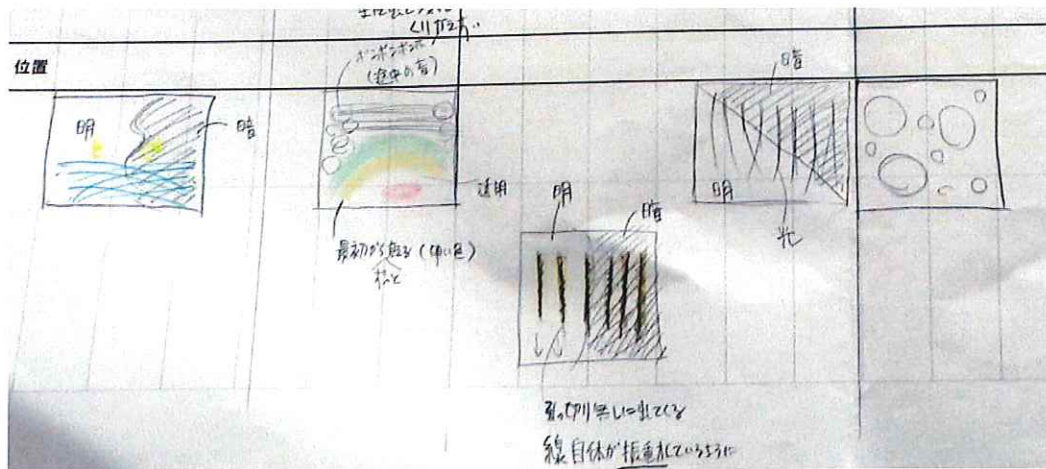


図 39 被験者が経験した共感覚の見え方

8.2.4 考 察

同一のメロディーを用いて音色と調の要素を変化させた刺激のうち、異なる楽器で演奏した刺激よりも調を変動させた刺激に対してより類似した共感覚を経験することがわかった。これは演奏音の周波数および音の振幅スペクトルの周期的変化の複合的特徴によって生じる音色の知覚よりもメロディーを構成している各々の物理的音の処理が共感覚を発生させるのに強い影響を与えることを示唆する。転調させた 3 つの刺激のうち大部分の項目において共通的な共感覚を経験させた刺激は C 長調の曲であり、これは被験者が音楽に対してあまり興味を持ってなかったのにも拘わらず原曲に近い調の影響による現象であると考えられる。なお転調は共感覚の経験で現れた形態の位置の項目と相対的な関係があった。調の変動が形態の位置と相対的な関係を持つということは音の物理的特徴である周波数の高さと空間的位置のマッピングによる影響であると考えられる。音高と空間的位置の相対的な関係は musical pitch-space 共感覚者でも見られ、音刺激と空間的位置に関する stroop 効果の実験を行った結果、応答時間は音刺激が呈示される画面の位置と一致すると早くなり、その位置は音の高さと比例したと報告されている (Linkovski, 2012)。また非共感覚者でも同一な現象がみられると報告されている。例えば音の高低は音譜上の垂直関係として視覚的に表現されるため空間的な上下関係になぞらえて把握されると報告される (佐藤,

2007)。また運動性を持つ視覚刺激の場合、刺激の高さが音の高さと一致すればするほど高さの調和感が生じると報告される（金，2009）。このことは聴覚系からの情報と視覚情報が統合され、音空間知覚（音源定位）が成立していることを示唆する。

また音色の変化において類似した共感覚の経験を生じさせた刺激はギターとブラスで演奏した曲であり、この2つ音色は共感覚の経験のうち色彩（共感覚色）と相対的な関係であることがわかった。音色と色彩が相対的な関係を持つということは音の揺れの強弱と周波数の振動頻度による影響であると考えられるひとつと、音を発生させる方法の差異、すなわち弦の揺れで音が発生する撥弦楽器と空気の振動によって音が発生する管楽器の違いにより生じる現象であると考えられる。またギターとピアノの音色に対して共通的イメージの共感覚を経験（同一の太さを持つ横線や赤と黄色のような暖色が登場すること）する比率が高かったのも、弦の揺れで音が発生する楽器の特徴で現れた現象であると考えられる。

このように音色と転調の組み合わせの変化に対する共感覚は同一のメロディーを用いたのにも関わらず、各条件により異なる共感覚を経験した。これは音色など同一の特徴を持つ隣り合う音同士で密着度が高くて生じる全体的な統合的知覚、すなわち音の連結性（ゲシュタルト法則）によるメロディー知覚は共感覚の発生に強い影響を与えていないことを示す。なお音色と転調の両者の変化にも類似した共感覚を経験する傾向は見られたが、より類似した共感覚の経験を生じさせる要素は音色より転調であった。これは音楽により生じる共感覚の場合、周波数の変化と音の振動の変化による融合的知覚、すなわち音色の知覚の情報処理レベルも色知覚の情報処理レベルに影響を与えているが、色知覚の情報処理レベルとより強い相互作用が行われているのは音楽の基礎要素である単音、すなわち周波数の変化による調知覚の情報処理レベルであることを示唆する。

8.3. 実験 10 音調およびテンポによる共感覚色

実験 9 ではメロディー知覚や音色知覚を処理する情報処理レベルよりも低次である調知覚の情報処理レベルが共感覚の発生に強く影響を及ぼしていることが確認された。これは 3 つの情報処理レベルのうち、最も高次な情報処理レベルであるメロディー知覚を中心に高次への情報処理レベルよりも低次への情報処理レベルが共感覚を生じさせるのに強い影響を与えることを示す。そこで本実験では共感覚の発生に強く影響を与えた要因の転調と各々の音の維持時間によるテンポの二つの要因を変動することで、どの要因が共感覚の経験の規定するのかを検討した。

8.3.1 目的

共感覚の発生に影響力が弱かったメロディーを一定にしたうえ、転調とテンポの要因を変動することで、共感覚を生じさせる原因が転調知覚による影響なのか、あるいは、テンポ知覚による影響なのかを検討する。音楽の全体的持続時間に影響を受けず類似した共感覚を経験するのであれば、調の知覚が共感覚の発生要因と考えられ、音の転調による影響を受けず類似した共感覚を経験するのであれば、テンポ知覚が共感覚の発生要因と考えられる。

8.3.2 実験方法

被験者 6-7 才から色聴共感覚を経験している色覚正常な 20 才の女性 1 名 (IH) であった。

装置 Apple MacBook Pro Laptop (MA897LL/A) で刺激音はヘッドフォンを用いて呈示した。

刺激 本研究の被験者は特定の音楽のみに共感覚を経験しているため、実験の刺激は普段共感覚を経験している曲を用いた。変動させる両条件は原曲 (転調 : E major、テンポ : 120 bpm) を中心にして上下に、転調は 9 水準、テンポは 7 水準に分け、合計 63 個の刺激を使用した。刺激のサンプリング周波数は 44.1kHz、16bit のステレオであり、呈示の持続時間は 40sec であった。

実験手順 予備実験を通じて被験者は音楽刺激が終わってもしばらく共感覚色を経験することがわかった。それ故ひとつの刺激は原曲と刺激曲をひとつの対にして呈示し、刺激間の間隔は100msであった。共感覚の経験は共感覚色、共感覚色の鮮明度、共感覚色が占める面積、そして共感覚色が動く活発性の4項目に分類して評価した。共感覚色は被験者が経験している色と最も近い色をPCCS色票でマッチングさせ、共感覚色以外の項目はマグニチュード測定法で測定した。そして全ての項目における測定は原曲による共感覚の経験を基準にした。実験は2回繰り返し、実験間は2週間の間隔を置いた。

8.3.3 結果

ひとつの音楽刺激はひとつ以上の共感覚色を誘発した。現れた共感覚色は v1(vivid purplish red), v17(vivid blue), v19(vivid purplish blue), b12(bright green, b16(bright greenish blue), lt18(light yellow)の6色で限定であった。共感覚色の面積以外では特徴的分布を現れなかったため、本実験では共感覚色の面積を中心に分析した。音楽刺激によった誘発された共感覚の経験は図40に示す。大部分の刺激で現れたv1の共感覚色は刺激条件により特別な影響を受けていなく、b12とb16の共感覚色は全面積の0.3%しか占められなかったため、3つの共感覚色は分析から除外した。一方音調とテンポ条件に特徴的な変化を示した共感覚色はv19とlt18であったため、本実験ではこの二つの共感覚色を中心に分析を行った。また同一の刺激によって固体内の変動は少なかったため、二つの実験から選ったデータは平均した。

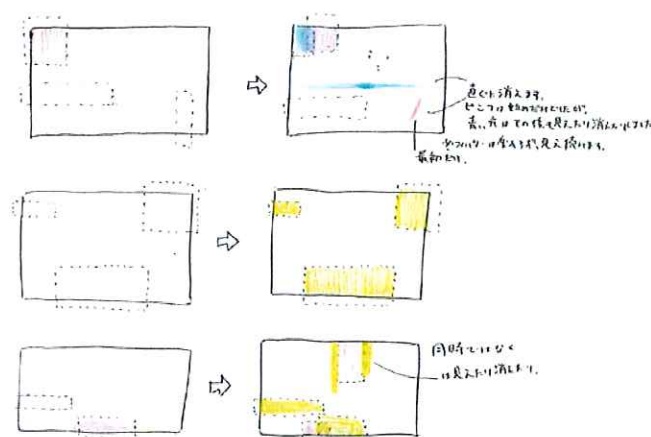


図40 音楽の刺激に対して被験者が経験する共感覚

まず音の高さが共感覚の面積に与える影響を検討するため、v19 の共感覚色と 1t8 の共感覚色における面積の平均値を図 41 と 42 に示す。その結果二つの共感覚色は音調により異なる様子が示された。v19 の共感覚色は下降音型になればなるほど占める面積率が増加したことに対し、1t8 の共感覚色は上昇音型になればなるほど面積率が増加した。また音調条件では短調と長調に分類されたいが、調性による影響は見られなかった。

一方曲の速さを変動させた刺激の場合、共感覚色の変化は特に見られなかったが、原曲より速さが遅くなる刺激 (e. g., 90bpm) に対して v19 の共感覚色は上昇音型になっても消えず見え続け (図 43), 原曲より速さが速くなる刺激に対して 1t8 の共感覚色は下降音型になっても見え続けた。

同一の音調にテンポが異なる刺激の v19 の面積率と、音調とテンポの両者が異なる刺激の v19 の面積率を用いて二次配置の分散分析を行った。その結果音調は v19 の面積に影響を与えることが確認された ($F(8, 63)=19.92, p<.001$)。なお v 19 と同一の方法用いて 1t8 についても二次配置の分散分析を行った。その結果音調は 1t8 の面積に影響を与えることが確認された (1t8; $F(8, 63)=11.19, p<.001$)。しかし共感覚色の面積はテンポ条件により特徴的分布を現れなかった。

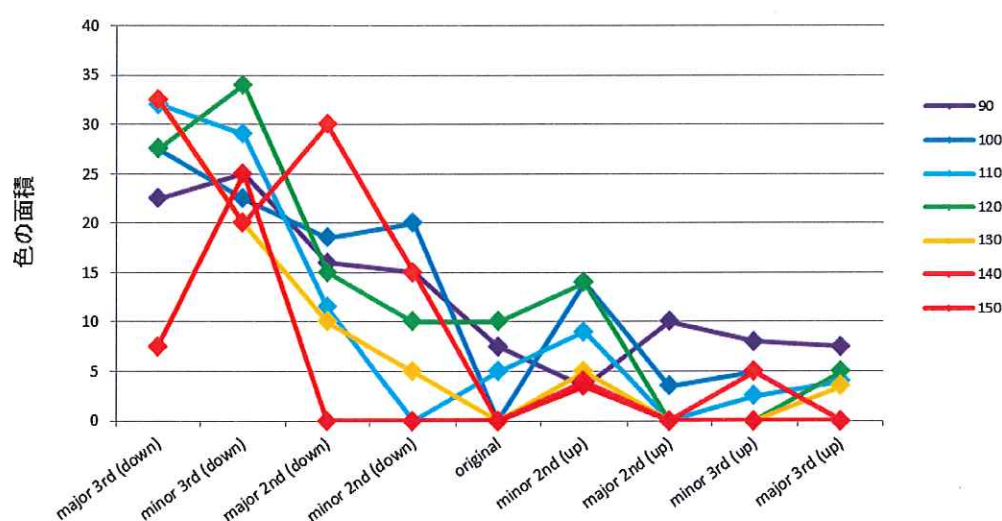


図 41 音の転調による v19 の変化

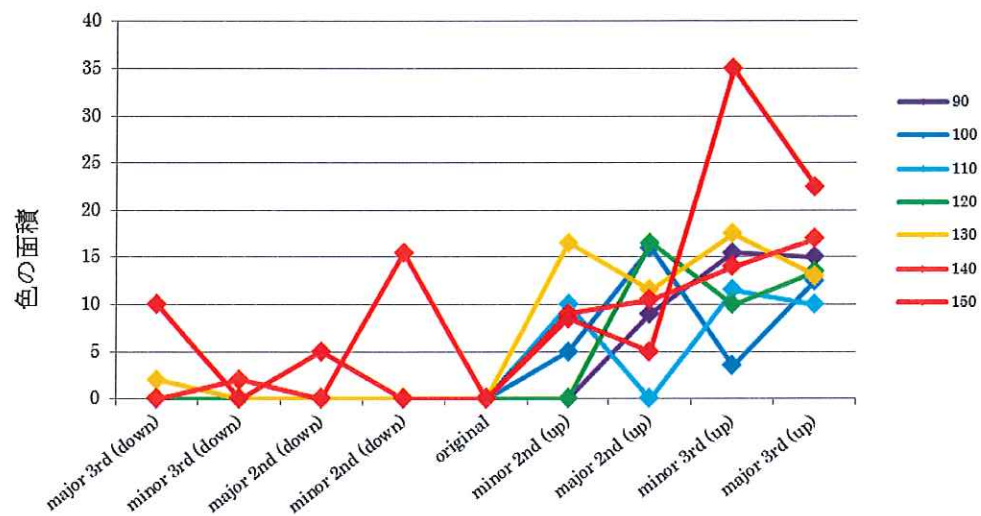


図 42 音の転調による 1t8 の変化

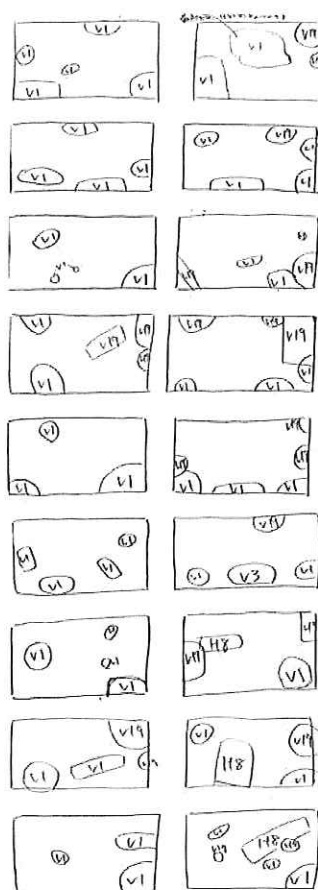


図 43 テンポ 90 に対する共感覚の経験

8.3.4 考 察

音楽の刺激に対して現れた 2 つの共感覚色の面積はテンポを変動させた刺激に対して有意な差は見られなかったが、転調を変動させた刺激に対する共感覚色は音の高さの変動と共に暗い青色から明るい黄色までトーンと色相、両方の要素が変化した。暗い色から明るい色へのトーンの変化は音の高さの変動と線形的対応による現象であると考えられ、青から黄に変わった色相の変化は反対色応答の色覚モデル、いわゆるお互いに共在しない青と黄のユニーク色の変化に対応する現象であると考えられる。

本実験ではメロディーを固定させたにも拘わらず、調と速度の変動に対して共感覚色の変化が現れたことはメロディー知覚による影響は弱いことを示し、テンポの変動による共感覚色の変化より転調による共感覚色の変化に対して有意差が得られたことは、共感覚を生じさせる要因として速度により決定されるメロディーの維持時間の変化であるテンポ知覚の情報処理レベルより、メロディーを構成している各音の周波数の変化による調の知覚の情報処理レベルが色知覚の情報処理レベルに強い影響を与えていることを示唆する。この結果は刺激が下降音になるほど暗い色を経験し、上昇音になるほど明るい色を経験するという研究 (Ward, 2006) と一致する。さらに、この研究では共感覚者のみならずコントロールグループでも同じ傾向がみられたと報告し、これは音と色の相互関係において両者が似ているメカニズムを使用する可能性があるということを示す。

なお、全ての刺激のうち、特徴的な 2 つの共感覚色を経験させない刺激は 1 段階下降する短調へ転調されたテンポ 110 とテンポ 150 の刺激であった。そこで、これらの刺激は 2 条件が変動しているという事前情報を被験者に知らせたうえで再実験を行ったが、経験する共感覚における変化はみられなかった。このことからわかることは 2 点であり、ひとつは、テンポの情報がいくら異なっても転調の情報が同様であれば類似した共感覚色を経験する比率は高くなること、すなわちテンポの情報処理よりは転調による情報処理が共感覚の発生に強く影響を与えているという結果を支持するものである。もう一つは、被験者に事前情報を与えたにも関わらず共感覚の経験に変化が見られなかった点であり、これは原曲の全体的文脈の理解、すなわち、曲における知識の有無や音楽の文脈であるメロディー知覚など音楽の刺激における統合的認知が行った以降に曲の構成要素を分析する top-down 処理に基づく処理過程ではなくて、構成要素を知覚した後に全体の文脈を知覚する bottom-up 処理の過程により共感覚が生じていることを示唆する。

このように、共感覚の経験を生じさせる要因は、テンポの情報処理レベルよりも、より低次レベルと考えられる調の情報処理レベルと色知覚の情報処理レベル間で相互作用が生

じていることを示唆する。これは色聴共感覚の処理が刺激開始の後、早くとも 122ms で Left posterior inferior temporal regions(PIT)と fusiform gyrus (v4) で発火することで、高次から低次への逆行処理である top-down 処理過程で共感覚が生じることではないという見解 (Beeli et al., 2008)と視覚と聴覚の初期感覚野で相互作用 (early cross modal interactions) が行われているという見解 (Afra et al., 2009) に一致する。

第9章

総合考察

本研究では共感覚色に影響することが知られている各情報を用いて共通な共感覚色を生じる色字共感覚および色聴共感覚を検討することで、二種類の共感覚が各情報の処理過程と色覚の処理過程のどの処理段階において交互作用を行っているのかを明確にした。

色字共感覚には形態、音韻、意味の各情報が影響することが知られていたが、本研究の結果では色字共感覚は三つの情報の処理段階、すなわち文字認識の処理過程における多段階にわたり影響を受けていることがわかった。これは色字共感覚が文字認識における一つの処理段階のみでは生じにくい現象であることを示唆するとともに、符号や熟知していない言語の文字に対しては生じにくいとしている報告（Ramachandran and Hubbard, 2001; Nikolić et al., 2007）と一致する。また色字共感覚に影響する優位的情報は文字認識の処理過程上の低次段階で処理される情報より高次段階で処理される情報の影響が強いことがわかり、この優位的情報は文字に含まれている情報、すなわち文字の文字体系によって相違が見られることを確認した。これは色字共感覚が文字の認識処理過程に最も依存していることを意味するとともに、文字としての認識より言語としての認識により強い影響を受けることを示唆する。

一方各情報により誘発された共感覚色は現象的反対色を示す CIE $L^*a^*b^*$ 色空間内で特徴的分布を示すことで、共感覚の色知覚は非共感覚者の色知覚と同様な処理過程により処理されていることが示唆された。なお色字共感覚は共感覚色を誘発する各情報の処理段階によ

り相違が見られ、例えば形態情報による色字共感覚は赤と緑の反対色情報処理に、音韻情報による色字共感覚は赤と緑の反対色情報処理、あるいは黄と青の反対色情報処理の影響を受けることが確認された。これは文字認識における各情報の処理過程が色覚情報の処理段階に影響していることを強く示唆し、色字共感覚が比較的高次の反対色処理段階に依存していることを示す。また音韻情報による色字共感覚は母音および子音、特に表音文字の子音による色字共感覚と表意文字の子音による色字共感覚が色空間内で異なる分布を示した。これは表音文字と表意文字における音韻情報が異なる処理段階を経るため、その影響が色覚の処理過程に影響を与えたと考えられる。

色聴共感覚には音色および音調のような音楽の構成要素が影響することがわかったが雑音のようなノイズも関与していることが確認できた。これは規則的な雑音による色聴共感覚が単なる物理的現象としての音の知覚より時間的認知による高次の音楽的知覚に強く影響を受けていることを示唆する。なお音楽の各構成要素は色聴共感覚に与える影響の優位性が異なり、音楽による色聴共感覚には時間上の文脈であるメロディー情報よりメロディーの維持時間の変化であるテンポ情報および非周期的振幅スペクトルをもつ音色情報が優位に影響し、さらにこれらの情報より各音の周波数の変化による音調情報の影響がより強いことを確認した。これは色聴共感覚が高次処理段階で処理される情報より低次処理段階で処理される情報によってより強い影響を受けることを示唆する。一方これらの情報のうち音調による色聴共感覚は共感覚色と最も密接な関係にあることが示され、音調の情報は黄と青の反対色情報に影響していた。これは共感覚の色知覚が非共感覚者の知覚と同様なメカニズムにより処理されていることを示唆する。また音調の情報は共感覚色の色相のみならず明るさにも影響することがわかり、これは非共感覚者にも同様に現れるという現象 (Ward, 2006) であった。

これらのことから共感覚は非共感覚者と同様の処理過程を経て生じる現象であり、本来の感覚と相違がない一種の感覚であることが明らかになった。なお共通に共感覚色が生じる色字共感覚と色聴共感覚は、各情報により影響を受ける共感覚色が V1, V2, V3, V4 を経てカテゴリカル色知覚を処理する IT までの広い段階にわたり依存していることが本研究で得られた。

引用文献

- Asano, M. and Yokosawa, K.: Synesthetic colors are elicited by sound quality in Japanese synesthetes. *Consciousness and Cognition*, 20(4), 1816–1823, 2011.
- Asano, M. and Yokosawa, K.: Synesthetic colors for Japanese late acquired graphemes. *Consciousness and Cognition*, 21(2), 983–993, 2012.
- Bailey, M.E.S. and Johnson, K.J.: Synaesthesia: is a genetic analysis feasible. in *Synaesthesia: Classic and Contemporary Readings* Eds S Baron-Cohen, Harrison, J.E. (Oxford: Basil Blackwell), 182-210, 1997.
- Banaschewski, T., Ruppert, S., Tannock, R., Albrecht, B., Becker, A., Uebel, H., Sergeant, J., & Rothenberger, A.: Colour perception in ADHD. *J Child Psychol Psychiatry*, 47, 568-572, 2006.
- Baron-Cohen, S., Burt, L., Smith-Laittan, F., Harrison, J., & Bolton, P.: Synaesthesia: prevalence and familiarity. *Perception*, 25, 1073-1079, 1996.
- Baron-Cohen, S., Harrison, J., Goldstein, L.H., & Wyke, M.: Coloured speech perception: Is synaesthesia what happens when modularity breaks down?. *Perception*, 22(4), 419 – 426, 1993.
- Beeli, G., Esslen, M. and Jäncke, L.: Frequency correlates in grapheme-color synaesthesia. *Psychological Science*, 18(9), 788-792, 2007.
- Bien, N., Ten, O.S., Goebel, R., & Sack, A.T.: The sound of size: crossmodal binding in pitch-size synesthesia: a combined TMS, EEG and psychophysics study. *NeuroImage*, 59(1), 663-672, 2012.
- Boynton, R.M. and Olson, C.X.: Locating basic colors in the OSA space. *Color Research & Application*, 12(2), 94–105, 1987.
- Brang, D., Hubbard, E.M., Coulson, S., Huang, M., & Ramachandran, V.S. :

- Magnetoencephalography reveals early activation of V4 in grapheme-color synesthesia. *NeuroImage*, 53(1), 268–274, 2010.
- Brang, D., Rouw, R., Ramachandran, V.S., Coulson, S. : Similarly shaped letters evoke similar colors in grapheme–color synesthesia. *Neuropsychologia*, 49, 1355–1358, 2011.
- Bridgeman, B., Wintero, D., Tseng, P. : Dynamic phenomenology of grapheme-color synesthesia. *Perception*, 39, 671–676, 2010.
- Buchweitz, A., Mason, R. A., Hasegawa, M., & Just, M. A.: Japanese and English sentence reading comprehension and writing systems: An fMRI study of first and second language effects on brain activation. *Bilingualism: Language and Cognition*, 12, 141–151, 2009.
- Casagrande, V.A.: A third parallel visual pathway to primate area V1. *Trends Neurosci*, 17(7), 305–310, 1994.
- Chatterjee, S. and Callaway, E.M.: Parallel colour-opponent pathways to primary visual cortex. *Nature*, 426(6967), 668–71, 2003.
- Cytowic, R.E., Eagleman, D.M.: *Wednesday Is Indigo Blue: Discovering the Brain of Synesthesia*. MIT Press, Cambridge, MA, 24–36, 2009.
- Cytowic, R.E.: *Synesthesia: A union of the senses*. MIT Press Cambridge, MA, 2002.
- Cytowic, R.E.: *The man who tasted shapes*, Putnam, New York, 1993.
- Day, S.A.: Some demographic and socio-cultural aspects of synesthesia. In L. C. Robertson, & N. Sagiv(Eds.), *Synesthesia: Perspectives from cognitive neuroscience*. New York: Oxford University Press, 11–33, 2005.
- De Valois, R.L., De Valois, K.K., & Mahon, L.E. : Contribution of S opponent cells to color appearance. *Proceedings of the National Academy of Science*, 97(1), 512–517, 2000.
- Derrington, A.M., Krauskopf, J., & Lennie, P.: Chromatic mechanisms in lateral geniculate nucleus of macaque. *The Journal of Physiology*, 357, 241–265, 1984.
- DeValois, R.L., Cottaris, N.P., Elfar, S.D., Mahon, L.E., & Wilson, J.A.: Some transformations of

- color information from lateral geniculate nucleus to striate cortex. *Proc Natl Acad Sci USA*, 97, 4997-5002, 2000.
- Dixon, M. J., Smilek, D., & Merikle, P. M.: Not all synaesthetes are created equal: Projector versus associator synaesthetes. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 4(3), 335-343, 2004.
- Edquist, J., Rich, A.N., Brinkman, C., Mattingley, J.B.: Do synaesthetic colours act as unique features in visual search?. *Cortex*, 42(2), 222-231, 2006.
- Flanagan, P., Cavanagh, P., & Favreau, O.E.: Independent orientation-selective mechanisms for the cardinal directions of colour space. *Vision Research*, 30(5), 769-778, 1990.
- 古井貞熙: 音声の知覚. 大山 正, 今井省吾, 和気典二 (編): 文字の知覚、新編 感覚・知覚心理各ハンドブック, (株) 誠信書房, pp.1118-1128, 1996.
- Galton, F.: Visualised numerals, *Nature*, 22, 494-495, 1880.
- Hadjikhani, N., Liu, A.K., Dale, A.M., Cavanagh, P., & Tootell, R.B.H.: Retinotopy and colour sensitivity in human visual cortical area V8, *Nature Neuroscience*, 1(3), 235-241, 1998.
- Hanazawa, A., Komatsu, H., & Murakami, I.: Neural selectivity for hue and saturation of colour in the primary visual cortex of the monkey. *Eur J Neurosci* 12: 1753-1763, 2000.
- 林龍平: 日本語の単語認知における表記差効果, 風間書房, 1999.
- Hendry, S.H.C. and Reid, R.C.: The koniocellular pathway in primate vision. *Annu. Rev. Neurosci.* 23, 127-153, 2000.
- Hering, E.: *Outlines of a Theory of the Light Sense*. Cambridge, Massachusetts. Harvard University Press, 1876.
- Hickok, G. and Poeppel, D.: Dorsal and ventral streams: a framework for understanding aspects of the functional anatomy of language. *Cognition*, 92, 67-99. 2004.
- 広瀬雄彦: 漢字および仮名单語の意味的处理に及ぼす表記頻度の効果 心理学研究, 55, 173-176, 1984.

- 広瀬雄彦: 日本語表記の心理学 単語認知における表記と頻度. 北大路書房, 2007.
- Hubbard, E.M. and Ramachandran, V.S.: Neurocognitive Mechanisms of Synesthesia. *Neuron*, 48(3), 509–520, 2005.
- Hubbard, E.M., Arman, A.C., Ramachandran, V.S., & Boynton, G.M.: Individual differences among grapheme-color synesthetes: brain-behavior correlations. *Neuron*, 45(6), 975–985, 2005.
- Hubbard, E.M., Manohar, S., & Ramachandran, V.S.: Contrast affects the strength of synesthetic colors. *Cortex*, 42(2), 184-94, 2006.
- Hupé, J. M., Bordier, C., & Dojat, M.: The neural bases of grapheme-color synesthesia are not localized in real color-sensitive areas. *Oxford Journals*, 22(7), 1622-1633, 2012.
- Hupé, J. M., Bordier, C., Dojat, M. : The neural bases of grapheme-color synesthesia are not localized in real color-sensitive areas. *Oxford Journals*, 22(7), 1622-1633, 2012.
- Hurvich, L.M. and Jameson, D.: An opponent-process theory of color vision. *Psychological review*, 64, 384-404, 1957.
- 井上道雄, 斉藤洋典, 野村幸正. 漢字の特性に関する心理学的 研究—形態・音韻処理と意味の抽出—. *人文論究*, 29, 122-138, 1979.
- Kaas, J.H. and Hackett, T.A.: 'What' and 'where' processing in auditory cortex. *Nature Neuroscience*, 2, 1045-1047, 1999.
- 片山一郎: 色覚特性がカテゴリーカル色知覚に与える影響. *Memoirs of the Faculty of Biology-Oriented Science and Technology of Kinki University*, 26, 79-85, 2010.
- Kinsey, K., Hansen, P. C., & Chase, C. H.: Dorsal stream associations with orthographic and phonological processing. *Neuroreport*, 17, 335–339, 2006.
- Kiper, D.C., Fenstemaker, S.B., & Gegenfurtner, K.R.: Chromatic properties of neurons in macaque area V2. *Vis. Neurosci.*, 14, 1061–1072, 1997.
- Koelsch, S. and Siebel, W.A.: Towards a neural basis of music perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(12), 578-584, 2005.

- 鯉田 孝和: 色覚中枢の場所と情報表現: 下側頭皮質と色のカテゴリー性. *Vision*, 22(1), 41-48, 2010.
- 鯉田孝和, 内川恵二: 色空間の分類数に応じて現れる階層的なカテゴリーカル色知覚. *照明学会誌*, 84(5), 302-311, 2000.
- Komatsu, H., Ideura, Y., Kaji, S., & Yamane, S.: Color selectivity of neurons in the inferior temporal cortex of the awake macaque monkey. *Journal Neuroscience*, 12, 408-424, 1992.
- Komatsu, H.: Mechanisms of central color vision. *Current Opinion in Neurobiology*, 8, 503-508, 1998.
- 小森和子: 第二言語としての日本語の文章理解における第一言語の単語認知処理方略の転移—視覚入力と聴覚入力の相違を中心に—, *横浜国立大学留学生センター紀要*, 12, 17-39, 2005.
- Krauskopf, J., Williams, D. R., & Heeley, D. W.: Cardinal directions of color space. *Vision Research*, 22(9), 1123-1131, 1982.
- Kuo, W.J., Yeh, T.C., Lee, C.Y., Wu, Y.T., Chou, C.C., Ho, L.T., Hung, D.L., Tzeng, O.J.L., & Hsieh, J.C.: Frequency effects of Chinese character processing in the brain: an event-related fMRI study. *NeuroImage*, 18(3), 720-730, 2003.
- Kuo, W.J., Yeh, T.C., Lee, J.R., Chen, L.F., Lee, P.L., Chen, S.S., Ho, L.T., Hung, D.L., Tzeng, O.J., & Hsieh, J.C.: Orthographic and phonological processing of Chinese characters: an fMRI study, *Neuroimage*, 21(4), 1721-1731, 2004.
- Lennie, P., Krauskopf, J., & Sclar, G.: Chromatic mechanisms in striate cortex of macaque. *J. Neurosci.*, 10, 649-669, 1990.
- Linkovski, O.: Is it for real? Evaluating authenticity of musical pitch-space synesthesia. *Cognitive Processing*, 13(1) Supplement, 247-251, 2012.
- Livingstone, M.S. and Hubel, D.H.: Segregation of form, color, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception. *Science*, 240, 740-749, 1988.

- MacLeod, D.I.A. and Boynton, R.M.: Chromaticity diagram showing cone excitation by stimuli of equal luminance. *JOSA*, 69 (8), 1183-1186, 1979.
- 牧岡省吾: 漢字仮名混じり語における単語優位効果. *神経心理学*, 16(1), 66-72, 2000.
- Marks, L.E.: On colored-hearing synaesthesia: Cross-modal translations of sensory dimensions. *Psychological Bulletin*, 82 (3), 303-331, 1975.
- Marks, L.E.: The unity of the senses: Interrelations among the modalities. New York: Academic Press, 257-275, 1978.
- Martin, P.R., White, A.J.R., Goodchild, A.K., Wilder, H.D., & Sefton, A.E.: Evidence that blueon cells are part of the third geniculocortical pathway in primates. *Eur. Journal Neuroscience*, 9, 1536-1541, 1997.
- Martino, G. and Marks, L. E.: Synesthesia: Strong and weak. *Current Directions in Psychological Science*, 10, 61-65, 2001.
- Merigan, W.H. and Maunsell, J.H.R.: How parallel are the primate visual pathways?. *Annual Review of Neuroscience*, 16, 369-402, 1993.
- Mills, C.B., Innis, J., Westendorf, T., Owsianiecki, L., McDonald, A.: Effect of a Synesthete's Photisms on Name Recall. *Cortex*, 42(2), 155-163, 2006.
- 南憲治: 共感覚についての最近の知見. *帝塚山大学現代生活学部紀要*, 6, 67-77, 2010.
- 水野りか: 漢字表記語の音韻処理自動化仮説の検証. *心理学研究*, 68(1), 1-8, 1997.
- Mondloch, D. & Maurer, C.: Neonatal synesthesia: A reevaluation. In Robertson, L.C. & Sagiv, N. (Eds.), *Synesthesia: Perspectives from cognitive neuroscience*. New York: Oxford University Press, 193-213, 2005.
- Mullen, K.T., Dumoulin, S.O., McMahon, K.L., de Zubicaray, G.I., & Hess, R.F. : Selectivity of human retinotopic visual cortex to S-cone-opponent, L/M-cone-opponent and achromatic stimulation. *European Journal of Neuroscience*, 25, 491-502, 2007.
- Myers, C.S.: A case of synaesthesia. *British Journal of Psychology*, 4(2), 228-238, 1911.

- 長田 典子, 岩田 大輔, 津田 学, 和気 早苗, 井口 征土: 音と色のノンバーバルマッピング
グ: 色聴保持者のマッピング抽出とその応用. 電気情報通信学会論文誌, J86-A (11),
1219-1230, 2003.
- Niccolai, V., Jennes, J., Stoerig, P., & Van Leeuwen, T.M.: Modality and variability of synesthetic
experience. *The American Journal of Psychology*, 125(1), 81-94, 2012.
- Nikolić, D., Lichti, P., & Singer, W.: Color opponency in synaesthetic experiences. *Psychological
Science*, 18, 481-486, 2007.
- Nunn, J.A., Gregory, L.J., Brammer, M., Williams, S.C., Parslow, D.M., Morgan, M.J., Morris, R.G.,
Bullmore, E.T., Baron-Cohen, S., & Gray, J.A.: Functional magnetic resonance imaging of
synesthesia: activation of V4/V8 by spoken words. *Nature Neuroscience*, 5(4), 371-375,
2002.
- Osaka, N.: Spread of visual attention during fixation while reading Japanese text. In R. Groner, G.
d'Ydewalle, & R. Parham(Eds.), *From eye to mind: Information acquisition in perception,
search, and reading*, 167-178. Amsterdam: North-Holland, 1990.
- Paulesu, E., Harrison, J., Baron-Cohen, S., Watson, J.D.G., Goldstein, L., Heather, J., Frackowiak,
R.S.J., Frith, C.D.: The physiology of coloured hearing A PET activation study of
colour-word synaesthesia. *Brain*, 118(3), 661-676, 1995.
- Raines, T.H.: Report of a case of psychochromesthesia. *Journal of Abnormal Psychology*, 4,
249-260, 1909.
- Ramachandran, V.S. and Hubbard, E.M.: Synaesthesia: A window into perception, thought and
language. *J. Consciousness Stud.*, 8, 3-34, 2001.
- Ramachandran, V.S. and Hubbard, E.M.: The emergence of the human mind: Some clues from
synesthesia. Robertson, C. L. & N. Sagiv (eds.), *Synesthesia: Perspectives From Cognitive
Neuroscience*. Oxford University Press, 147-190, 2005.
- Ramachandran, V.S. and Hubbard, E.M.: The Phenomenology of Synaesthesia. *Journal of
Consciousness Studies*, 10(8), 49-57, 2003.

- Rich, A.N., Bradshaw, J.L., & Mattingley, J.B.: A systematic, large-scale systematic study of synesthesia: Implications for the role of early experience in lexical-color associations. *Cognition*, 98, 53–84, 2005.
- Rich, A.N., Williams, M.A., Puce, A., Syngeniots, A., Howard, M.A., McGlone, F., & Mattingley, J.B.: Neural correlates of imagined and synaesthetic colours. *Neuropsychologia*, 44(14), 2918–2925, 2006.
- Riggs, L.A., & Karwoski, T.: Synaesthesia. *British Journal of Psychology*, 25, 29–41, 1934.
- Rizzo, M. and Eslinger, P.J.: Colored hearing synesthesia: An investigation of neural factors. *Neurology*, 39(6), 781–784, 1989.
- Roberson, D.M.J. and Davidoff, J.: The “categorical perception” of colors and facial expressions: The effect of verbal interference. *Memory & Cognition*, 28, 977–986, 2000.
- Rouw, R., and Scholte, H.S.: Increased structural connectivity in grapheme-color synesthesia. *Nature Neuroscience*, 10(6), 792–797, 2007.
- Saenz, M. and Koch, C.: The sound of change: visually-induced auditory synesthesia. *Current Biology*, 18(15), 650–651, 2008.
- Saito, H., Inoue, M., & Nomura, Y.: Information processing of Kanji (Chinese characters) and Kana (Japanese characters): The close relationship among graphemic, phonemic, and semantic aspects. *Psychologia*, 22, 195–206, 1979.
- 齋藤 洋典 : 漢字と仮名の読みにおける形態的符号化及び音韻的符号化の検討, 心理学研究, 52 (5), 266-273, 1980.
- 齋藤 洋典: 文字の知覚. 大山 正, 今井省吾, 和気典二 (編) : 文字の知覚、新編 感覚・知覚心理各ハンドブック, (株) 誠信書房, pp.973-978, 1996.
- 島倉 瞳, 坂田 勝亮: 長時間順応により高次過程で生じる色残効の反対色特性. 日本色彩学会誌, 33(1), 14-25, 2009.
- Simner, J., Glover, L., & Mowat, A.: Linguistic determinants of word colouring in grapheme-colour

- synaesthesia. *Cortex*, 42, 281-289, 2006.
- Sincich, L.C. and Horton, J.C.: The Circuitry of V1 and V2: Integration of Color, Form, and Motion. *Annu. Rev. Neurosci.*, 28, 303–326, 2005.
- Skelton, R., Ludwig, C., & Mohr, C.: A novel, illustrated questionnaire to distinguish projector and associator synaesthetes. *Cortex*, 45(6), 721-729, 2009.
- Smilek, D., Carriere, J.S., Dixon, M.J., & Merikle, P.M.: Grapheme frequency and color luminance in grapheme–color synaesthesia. *Psychological Science*, 18(9), 793-795, 2007.
- Smilek, D., Dixon, M.J., Cudahy, C., & Merikle, P. M.: Synesthetic Color Experiences Influence Memory. *Psychological Science*, 13(6), 548-552, 2002.
- Smilek, D.; B. A. Moffatt & J. Pasternak et al.: Synaesthesia: A case study of discordant monozygotic twins. *Neurocase* 8, 338-342, PMID 12221147, 2002.
- Smith, V.C. and Pokorny, J.: Spectral sensitivity of the foveal cone photopigments between 400 and 500 nm. *Vision Research*, 15(2), 161–171, 1975.
- Snowden, R., Thompson, P., & Troscianko, T.: Basic vision: An introduction to visual perception (2nd Ed.). Oxford university press, 2012.
- Sperling, J.M., Prvulovic, D., Linden, D.E.J., Singer, W., & Stirn, A.: Neuronal correlates of colour-graphemic synaesthesia: A fMRI Study. *Cortex*, 42(2):295-303, 2006.
- Steven, M.S., Hansen, P.C., & Blakemore, C.: Activation of color-selective areas of the visual cortex in a blind synesthete. *Cortex*, 42(2), 304-308, 2006.
- Stoughton, C.M. and Conway B.R.: Neural basis for unique hues. *Current Biology*, 18(16), 688-689, 2008.
- Svartdal, F. and Iversen, T.: Consistency in synesthetic experience to vowels and consonants: Five case studies. *Scandinavian Journal of Psychology*, 30, 220–227, 1989.
- 高橋理宇眞, 藤澤隆史, 長田典子, 杉尾武志, 井口征士: fMRI による共感覚の計測: 色聴者の音楽聴取時の脳活動. 情報処理学会研究報告 [音楽情報科学], 90, 105-108, 2006..

- Takayanagi, K.: Colored-hearing synesthesia. *Japan-hospitals : the Journal of the Japan Hospital Association*, 27, 51-56, 2008.
- Tan L.H., Laird, A.R., Li, K., & Fox, P.T.: Neuroanatomical correlates of phonological processing of Chinese characters and alphabetic words: A meta - analysis, *Human Brain Mapping*, 25(1), 83-91, 2005.
- Tannock, R., Banaschewski, T., & Gold, D.: Color naming deficits and attention-deficit/hyperactivity disorder: a retinal dopaminergic hypothesis. *Behavioral and Brain Functions*, 2(4), 2006.
- Thornley Head, P.D.: Synaesthesia: Pitch-color isomorphism in RGB-space?. *Cortex*, 42, 164-174, 2006.
- Van Essen, D.C. and Gallant, J.L.: Neural mechanisms of form and motion processing in the primate visual system. *Neuron*, 13(1), 1-10, 1994.
- Van Leeuwen, T.M., Petersson, K.M., & Hagoort, P.: Synaesthetic colour in the brain: Beyond colour areas. A functional magnetic resonance imaging study of synaesthetes and matched controls. *Plos One*, 5(8), e12074, 2010.
- Walsh, V., Kulikowski, J.J., Butler, S.R., & Carden, D.: The effects of lesions of area V4 on visual abilities of macaque: colour categorization. *Behavioural Brain Research*, 52(1), 81-89, 1992.
- Ward, J. & Mattingley, J.B.: Synaesthesia: An overview of contemporary findings and controversies. *Cortex*, 42, 129-136, 2006.
- Ward, J. and Simner, J.: Lexical-gustatory synaesthesia: linguistic and conceptual factors. *Cognition*, 89, 237-261, 2003.
- Ward, J., Jonas, C., Dienes, Z., & Seth, A.: Grapheme-colour synaesthesia improves detection of embedded shapes, but without pre-attentive 'pop-out' of synaesthetic colour. *Proceedings of the Royal Society B*, 277(1684), 1021-1026, 2009.
- Ward, J.: Synesthesia. *Annual Review of Psychology*, 64, 49-75, 2013.
- Warren, J.D., Uppenkamp, S., Patterson, R.D., & Griffiths, T.D.: Separating pitch chroma and pitch

- height in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(17), 10038–10042, 2003.
- Watson, M.R., Akins, K. A., & Enns, J.T.: Second-order mappings in grapheme-color synaesthesia. *Psychonomic Bulletin & Review*, 19, 211–217, 2012.
- Webster, M.A., Miyahara, E., Malkoc, G., & Raker, V.E.: Variations in normal color vision. II. Unique hues. *Journal of the Optical Society of America*, 17, 1545–1555, 2000.
- Webster, M.A.: Human colour perception and its adaptation. *Network: Computation in Neural Systems*, 7(4), 587-634, 1997.
- Weiss, P. H. and Fink, G. R.: Grapheme-colour synaesthetes show increased grey matter volumes of parietal and fusiform cortex. *Brain*, 132(1), 65–70, 2009.
- Whipple, G.M.: Two cases of synaesthesia. *American Journal of Psychology*, 11, 377–404, 1900.
- Witthoft, N. and Winawer, J.: Synesthetic colors determined by having colored refrigerator magnets in childhood. *Cortex*, 24, 175–183, 2006.
- Wuerger., S. M., Atkinson, P., & Cropper, S. : The cone inputsto the unique-hue mechanisms. *Vision Research*, 45, 3210-3223, 2005.
- Yokoi, K. and Uchikawa, K.: Color category influences heterogeneous visual search for color. *Journal of the Optical Society of America*, 22(11), 2309-2317, 2005.
- Yoshioka, T., Dow, B.M., & Vautin, R.G.: Neuronal mechanisms of color categorization in areas V1, V2 and V4 of macaque monkey visual cortex. *Behavioural Brain Research*, 76, 51–70, 1996.
- Zhang, X. and Wandell, B.A.: A spatial extension of CIELAB for digital color: image reproduction. *Journal of the Society for Information Display*, 5(1), 61–63, 1997.
- Zigler M.J.: Tone Shapes: A Novel Type of Synaesthesia. *The Journal of General Psychology*, 3(2), 277-287, 1930.

共感覚の処理過程の解明 ：色字共感覚および色聴共感覚

李 珠眠

女子美術大学大学院 美術研究科 芸術文化専攻 色彩学研究領域

共感覚はある一つの感覚様相の刺激が異なる感覚様相を自動的に引き起こす現象であり (Richard E. Cytowic, David Eagleman, 2009), 本来刺激がもたらすべき感覚と異なる感覚を随伴する。色字共感覚は文字や数字に, 色聴共感覚は音楽や話し言葉に対して自動的に色の感覚が引き起こされる現象であり, 物理的な光に対する色知覚は非共感覚者の色知覚と大きな差異がないと考えられるが, 文字や数字を見たり音を聞いたりした時に物理的刺激と異なる色を知覚することができる。

僅か10年前までは共感覚の発生レベルについて研究分野を問わず, 低次レベルによる共感覚と高次レベルによる共感覚に二分して提唱されていた (Dixon, Smilek, Merikle, 2004; Martino & Marks, 2001; Ramachandran & Hubbard, 2005; Ward & Mattingley, 2006)。しかしながら最新の研究では共感覚は一つの要因で誘発される現象ではなく, 複数の要因が絡んだ複雑な現象であるという見解が出ている (Smilek et al., 2007; Watson et al., 2012)。今日多くの研究者は共通した特徴を持つ刺激に同一あるいは類似した共感覚色が誘導されるのであれば, その特徴が原因であるという考えで検証している (Beeli et al., 2007; Witthoft & Winawer, 2003)。

色字共感覚は同一の言語 (Brang et al., 2011, Watson et al., 2012) のみならず異なる言語 (Witthoft & Winawer, 2006) でも形態が類似すれば共感覚色も類似するということが知られている。例えば異なる文字種でありながら幾何学的特徴が類似する「数字0」と「英文字0」に対して同じカテゴリーの共感覚色が生じたという報告がある。文字認識は形態情報のみで成り立つのではなく, 刺激を文字として認識する場合必ず付随する要因の一つとして発音を挙げることができる。平仮名と片仮名のように同じ発音を持つ異なる形態の文字 (Asano & Yokosawa, 2011) や同じ発音を持つ異なる言語の文字 (Witthoft & Winawer, 2003) に対して類似した共感覚色が誘導されるということは形態的情報より音韻的情報によって共感覚色が決定されることを示唆する。た

だし単文字に意味が内包されている表意文字の場合、色名や物体色を連想しやすい文字刺激 (e. g., 血, 桜) に対して全ての被験者が同じ色相の共感覚色を経験したという報告 (Asano & Yokosawa, 2012) から考えると、共感覚は意味の影響も受けている可能性が示唆される。

色聴共感覚は非言語的なノイズ (Myers, 1911) や話す言葉 (Baron-Cohen, 1987) のみならず、同一の周波数を持つ純音 (Goller, 2008) によっても誘導される。和音により誘導される共感覚色は単音の共感覚色に比べて共感覚色の種類が増加し (Ward et al., 2006), 共感覚色の明るさは音階の高さと共に変化した (Marks, 1978; Ward et al., 2006)。刺激の物理的変化によって特定の共感覚色の見えが変化したことは、共感覚色が相対的に低次レベルの影響を強く受けることを示唆する。このように共感覚色は様々な特徴により生じる現象であるが、共感覚色の類似性がどの要因により誘導されるかについては特徴ごとに研究者間で見解が異なっている。

本研究では共通した共感覚色を経験する異なる2つの感覚様相の共感覚 (色字共感覚、色聴共感覚) を調べ類似した共感覚色が誘導されると知られている要素の情報を比較することで、共感覚の色知覚が誘導刺激のどの情報処理レベルで相互作用を生じるのかを明らかにすることを目的とした。

(1) 色字共感覚の被験者は色覚正常である女性3名 (IT, MT, AH) であり、彼女らは3種類の日本語表記および数字、そして英語に対して共感覚色を経験していた。なお共感覚の経験における分類 (Dixon et al., 2004) によると IT と MT は外部の空間に知覚する projector のタイプ、AH は文字から色を連想するように共感覚を経験する associator のタイプである。

実験は暗室内にある標準光源ブースの色検査評価用 D₆₅ 蛍光ランプの下で行われ、被験者にランダムで呈示する刺激に生じた共感覚色と最も近い色をマンセル色票 (JIS 標準色票) から選択させた。実験は3回繰り返し、各実験間には約1ヶ月の間隔をあけた。

色字共感覚のメカニズムを検討するため文字における主要な3つの情報 (形態、発音、意味) を手がかりとして表音文字と表意文字におけるそれぞれの情報を比較した。

表音文字による共感覚色は、形態情報によって必ずしも誘導されることではないが、形態情報より音韻情報によって強い影響を受け、母音と子音の両方が共感覚色の知覚に関与していた。

しかし異なる情報による共感覚色の色知覚は E. Hering モデルの現象的反対色を軸にした CIEL^{*}*a*^{*}*b*^{*} 色空間で特徴的な分布が示した。英文字「0」と数字「0」のように形態情報が同一である (条件①) 共感覚色は他の刺激条件と比べて「黄-青」反対色に沿った分布が多いことをわかった。これは幾何学的情報が類似した文字において「赤-緑」反対色に沿った分布がほとんどないことを意味する。

一方幾何学的情報がほぼ同一であるにもかかわらず物理的変換を行った条件②と③の共感覚色には、「黄-青」反対色に沿った分布のみならず「赤-緑」反対色に沿った分布も示された。*a*^{*}*b*^{*} の両軸において分布が現れたことは条件②と③では形態以外の異なる情報による文字認識が共感覚色に影響を与えることを意味する。これらの結果から考えるとおそらく形態情報の処理は「赤-緑」反対色の処理過程、方向や対象性などの形態以外の情報処理は「黄-青」反対色の処理

過程に関与すると考えられる。

表意文字による共感覚色も、形態情報により必ずしも類似していないことがわかった。これは共感覚色の類似性が形態情報だけではなくより高次で処理される文字情報によって影響を受けることを示す。また表意文字による共感覚色は音韻情報による類似性も見られたが、音韻情報より意味情報によってより強い影響を受けていた。これは表意文字による共感覚色が単語一色共感覚色と同様に意味情報に依存していることを示す。共感覚色が音韻情報より意味情報の優位性をもつ場合は色名や感情などの普段色との連携性が明確な刺激においてであった。これらの刺激では全被験者が同一の共感覚色を経験するほど、意味情報と共感覚の色知覚間では密接な関係が示された。一方音韻情報や意味情報による共感覚も表音文字による共感覚色と同様に CIEL*a*b*色空間で体系的分布が示され、音韻情報による共感覚色は「黄-青」反対色に沿った分布が多いことがわかった。これは音韻情報の文字において「赤-緑」反対色にそった分布がほとんどないことを意味する。

反対色チャンネルの色知覚メカニズムは脳内での処理経路が異なり、「赤-緑」反対色の見えを担当する parvo cells pathway は ventral 経路の情報処理に (Merigan and Maunsell, 1993), 「青-黄」反対色の見えを担当する konio cells pathway は ventral 経路のみならず運動や時間情報を処理する dorsal 経路にも関与する (Casagrande, 1994; Hendry and Reid, 2000) と言われている。形態情報から得た音韻情報の処理は表音文字や表意文字のいずれも大脳の ventral occipital-temporal で処理されることが知られており (Thetae et al., 2010), この領域は ventral 経路を経ていると考えられる。このことから音韻情報により誘導された共感覚色は「赤-緑」反対色の見えを処理する過程に関連されている可能性が考えられる。

(2) 色聴共感覚の被験者は色覚正常である女性 2 名 (IH, TD) であった。TD は聴覚による大部分の情報に、IH は特定の音楽のみに対して共感覚を経験した。そのため被験者に合わせた同じ条件の異なる刺激を用いて実験を行った。

音楽における主要な 3 つの情報 (転調、テンポ、メロディー) を用いてそれぞれの情報を比較した結果、色聴共感覚はテンポより転調の変化によって共感覚の経験が大きく変化することがわかった。例えばオリジナル曲に対して下降音型になるほど vivid blue が占める面積は全刺激で増加したものの、上昇音型になるほど light yellow が占める面積は原曲を中心に増加し、vivid blue の共感覚色は消えていた。

色聴共感覚も刺激の変更により反対色相の「黄」と「青」に変動が現れたことから、共感覚色の色知覚は心理現象における色知覚のうち反対色を処理する段階以降であると考えられる。

このように色字共感覚と色聴共感覚の色知覚は CIEL*a*b*色空間の 2 軸に沿った体系的分布を示した。これは共感覚の色知覚が 2 対の現象的反対色知覚に基づいて処理されることを示唆する。CIEL*a*b*色空間は共感覚色の解明において適切であるという提案もある (Thornley, 2006)。

このように共感覚は E.Hering モデルを基にした色知覚の現象であると考えられ、反対色の特

性に基づく一般的な色知覚と同様のメカニズムにより処理され则认为られる。

反対色メカニズムは網膜から皮質に至る色知覚の階層的情報処理により形成され、各段階における反対色信号は異なることが報告されている。

共感覚の色知覚が3錐体の出力による拮抗型細胞の反応に依存して生起されるのであれば、共感覚色は各視細胞の分光感度のピークに相当する波長の色を中心に偏ると推察される。視細胞の入力によるLGNの反対色軸(cardinal axes)は脳の現象学的反対色相軸(phenomenological color-opponent axes)と一致しないことが知られている(Krauskopf et al., 1982; Wuerger et al., 2005; Webster et al., 2000)。共感覚の色知覚がLGNにおける反対色情報処理に依存して生起されるのであれば、共感覚色は2つの現象的反対色と異なる色情報に沿った分布が示されると考えられる。脳の低次段階における色知覚はLGNより狭い範囲の色に特化して応答し(DeValois et al., 2000)、反対色性の情報は維持される(Mullen et al., 2007)。この処理過程に対応する生理学的領域はV1のみならずV2, V3にわたる広い範囲である(DeValois et al., 2000; Lennie et al., 1990; Kiper et al., 1997)。V4が損傷したmacaqueを用いてカテゴリーカル色知覚を検討した研究では赤、緑、黄、そして青の4色における色の分類(color categorization)が可能であったと報告され(Walsh et al., 1992)、現象的反対色情報がV4以前の段階において処理されることを示めている。これらのことから共感覚色の色知覚は脳の初期段階における反対色情報処理に依存し、少なくともこの段階以降から文字情報の処理過程と連携していると考えられる。

しかし本研究で得られた結果では形態情報や音韻情報、そして意味情報のいずれによる場合でも共感覚色は色カテゴリーに依存していなかった。我々の日常の色経験のもととなる連続的な色知覚及びカテゴリーカル色知覚は反対色情報が融合する脳の高次段階において処理され、この生理学的領域はV4とV8、そしてIT(下側頭皮質)であることが知られている(Hadjikhani et al., 1998; Komatsu et al., 1992; Yoshioka et al., 1996)。V4は同じ波長のみに対応する特徴があること(Komatsu et al., 1992)から連続的な色知覚が処理され则认为られ、IT細胞は色相と彩度の狭い範囲に対応する色選択性の特徴を持ち(Hanazawa, 2000)その活動が色知覚と高い相関を示すことから、ITではカテゴリーカル色知覚を処理すると推察される(Komatsu, 1998)。さらにカテゴリーカル色知覚を含んだカテゴリー判断はITのみならず、より高次のaIT(下側頭皮質前部)やPF(前頭前野)によっても処理される(鯉田, 2010; Roberson and Davidoff, 2000)。

fMRIやPETを用いて共感覚の色知覚を検討した研究においては、一般的な色知覚の見えるを担当するV4領域の発火が報告されている(Bien, 2011; Leeuwen et al., 2010; Niccolai et al., 2012; 高橋 et al., 2006; Rich et al., 2006)。さらに共感覚色の応答はV4やV8(高橋 et al., 2006; Nunn et al., 2002)を包含したventral-occipital色領域のみならず色の情報を含んだ高次の視覚的情報を処理するLeft medial Lingual gyrus(左舌状回)も発火したと報告され(Rich et al., 2006)、本研究の結果が得られた考察はこれらの結果と一致する。

以上のことから色字共感覚は文字認識の処理過程、色聴共感覚は音楽認知の処理過程と色知覚の処理過程との間の多段階にわたる交互作用によって生じる現象であると考えられる。

共感覚の色知覚は非共感覚者の色知覚と同様なメカニズムにより処理されており, 文字認識の処理段階と交互作用を行う色処理段階は LGN 以降で現象的反対色を処理する大脳の低次段階からカテゴリーカル色知覚を処理する段階以前の間に処理されることが明らかになった.

付録

■ 色字共感覚

これは私が工夫して作ったエビフライ。

ローソンで口紅を買った。

アメリカと協力する+

イタリアの夕焼けはすばらしい！

図1 本実験で使用した刺激で，被験者 AH が経験している共感覚色

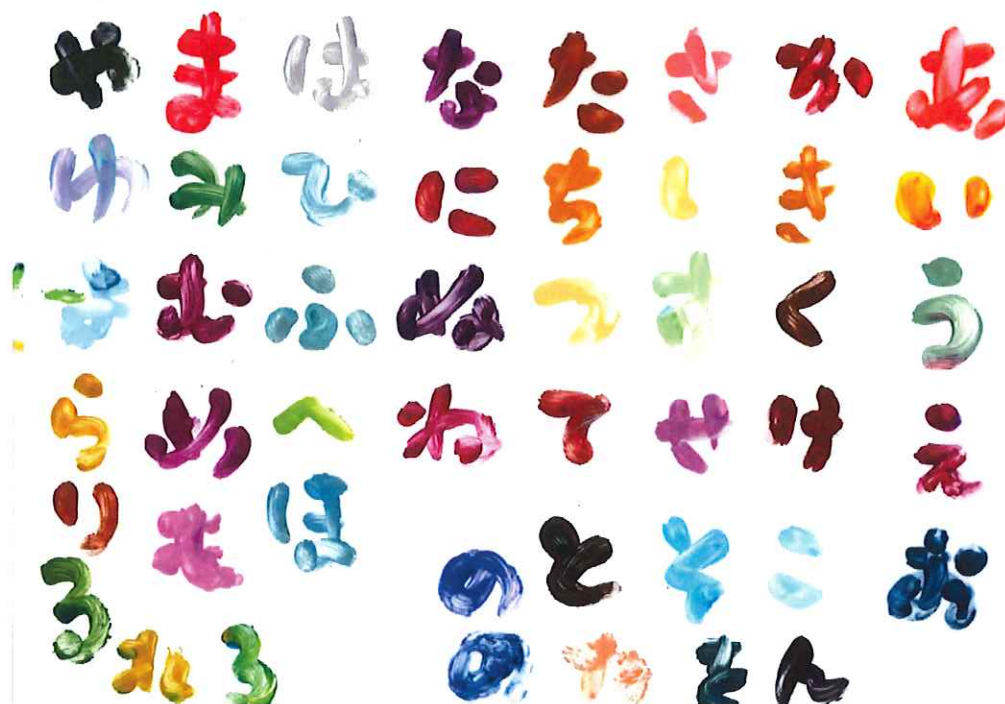


図2 平仮名に対する被験者 IT の共感覚色

■ 色聴共感覚

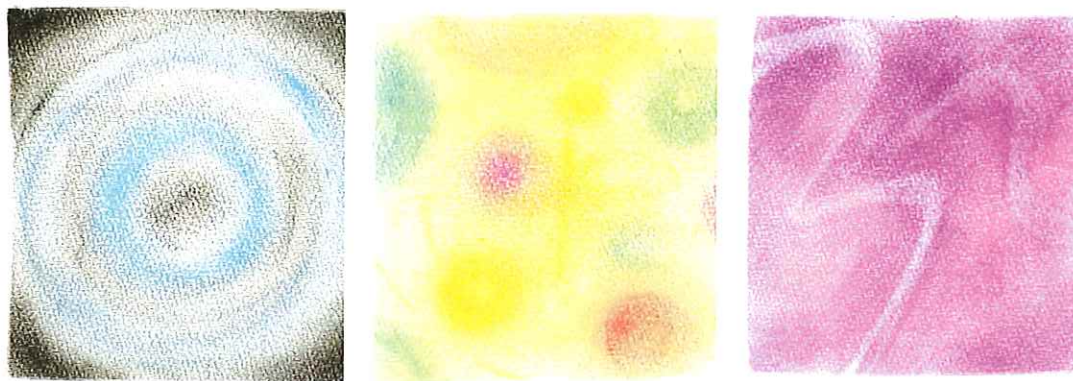


図3 被験者KTが経験している共感覚を絵描いたもの(地下鉄を載った際に見えた共感覚(左), ‘sound resonance’ という音楽を聞いた際に見えた共感覚(色々な球が中から外側へ広がっていく)(中), 音楽を聴いたり, お風呂でリラックスしている時に多く見る共感覚(右))

実際の映像



見えた色を含めた映像



図4 少し眠くなりながらぼうっと聴いていたところ, 紫色が見えた. ベースの音に集中する程, 紫が見やすくなった(被験者 IS の interview).