

色字共感覚における共感覚色の決定要因の検討
—— 既知文字と未知文字の比較 ——

Determining Factor of Synesthetic Color in Grapheme-color Synesthesia
—— Comparison Between Known and Novel Graphemes ——

永 山 可 奈 子
NAGAYAMA, Kanako
191292

March, 2019

色字共感覚における共感覚色の決定要因の検討 —— 既知文字と未知文字の比較 ——

Determining Factor of Synesthetic Color in Grapheme-Color Synesthesia
—— Comparison Between Known and Novel Graphemes ——

English abstract appended

国際基督教大学教授会提出学士論文

A Thesis Presented to the Faculty of
The International Christian University
for the Baccalaureate Degree

by

永 山 可 奈 子
NAGAYAMA, Kanako
191292

March, 2019

Approved by

直井 望
論文指導審査教員
Thesis Advisor

目 次

序 論	3
実 験 1 : 方 法	9
刺激	
実験参加者	
装置	
手続き	
変数	
分析方法	
実 験 1 : 結 果	14
実験参加者の共感覚状況	
回答された共感覚色	
Total Color Variation V による共感覚色の発生判定	
CVI の算出および 1 サンプル t 検定による分析	
実 験 1 : 考 察	24
F1 : 音声情報なし, ハングル既知	
F2 : 音声情報あり	
F3 : 音声情報なし	
F5 : 音声情報あり	
M1 : 音声情報あり	
M2 : 音声情報なし	
M3 : 音声情報あり	
実 験 2	31
実 験 2 : 方 法	32
実験参加者	
刺激	
装置	
手続き	
変数	
分析方法	
実 験 2 : 結 果	34

共感覚色の回答状況および TCV	
学習条件と統制条件の差に関する分析	
学習条件の書記素とアルファベットの共感覚色の類似に関する分析	
実 験 2 : 考 察	36
考 察 ・ 結 論	39
引 用 文 献	41
付 録	44
付録 1 書記素一覧	
付録 2 刺激提示画面の一例（縮小版）	
English Abstract	45

序 論

人間の知覚は、感覚モダリティがそれぞれに対応した外的刺激を受容することによって構成されている。たとえば文字を知覚した時、視覚モダリティが受容する情報はその文字の形や書かれた色など「見えたもの」だけに限られる。もしくは、ある音を聞いた際にはその音が有する情報を聞こえた範囲でのみ聴覚モダリティが受容する。このように、あるモダリティによって知覚できる範囲はそのモダリティの特性に規定されている。しかし、世の中には見えていない・聞こえてない範囲の情報までを知覚してしまう人が一定数存在する。「文字を見ると色も見える」「ある匂いを嗅ぐと触った感じがする」など、刺激を受容する感覚モダリティと全く関係のない反応も共起するという現象が存在している。このような共起現象を「共感覚(synesthesia)」と呼ぶ。

共感覚は、ある刺激に対して通常関連しないモダリティまでもが反応することで起こる神経学的な感覚現象であると定義されている(Ramachandran & Seckel, 2005; Simner et al., 2006; Tilot et al., 2018)。また、神経学的だけではなく、感覚的な現象でもあると指摘されている(Volberg et al., 2013)。このとき、刺激を引き起こすものを誘引刺激(inducer)、引き起こされた感覚や色などを共起感覚(concurrent)と呼ぶ。共感覚者がどの程度存在しているのかは諸説あり、Simner et al. (2006)は人口の約 4.4 %であるとする一方で、Rich, Bradshaw & Mattingley (2005)は女性では 1150 分の 1、男性では 7150 分の 1 であると報告している。いずれの報告においても、共感覚者が少数であることに変わりはない。

共感覚者は少数であっても、共感覚の種類は非常に多様であり、同じ誘引刺激であっても発生する共感覚は個人差が著しいことが指摘されている(Banissy et al., 2014; Kang, Kim, Shin & Kim, 2017)。Day (2003)は共感覚には少なくとも 60 種類の誘引刺激と共起感覚があるとの見解を示している。たとえば、文字や単語を見ると味覚を感じる共感覚や、聞いた音に対して色を感じる共感覚などが存在している(長田・岩井・津田・和氣・井口, 2003; Beeli, Esslen & Jancke, 2007; Ward & Simner, 2013)。また、これらの共感覚を一人の共感覚者が複数有していることもある(Simner et al., 2006)。

上述の「文字を見ると色も見える」という共感覚は特に色字共感覚と呼ばれ、多様な共感覚の中でも存在割合が比較的多いとされている(Asano & Yokosawa, 2011)。色字共感覚には文字だけではなく数字なども誘引刺激として含み、文字や数字を総称し

て書記素と呼ぶ。色字共感覚の場合、感じる色が個人によって大幅に異なることはもちろんのこと、その色の見え方にも個人差があることが報告されている(Asano & Yokosawa, 2011; Dixon, Smilek & Merikle, 2004; Simner, 2013; Kang et al., 2017)。Simner (2013)によると、誘引刺激となる書記素を見た際、その書記素が書かれた文字色に関わらず共感覚色が実際に塗られているように見えることはプロジェクター型、実際に色は見えていないが脳内で色を見ているような感覚が発生することはアソシエーター型に分類されるという。この分類は色字共感覚で最初に分類がなされたが、のちにほかの共感覚にも適応されるようになり現在では下位分類も存在している(Simner, 2013)。

共感覚体験そのものは 1800 年代から報告がなされてきたが、本格的な共感覚の実験が行われるようになったのはここ数十年のことである(Day, 2003)。色字共感覚もその内の 1 つであり、書記素と色がどのような要因によって結び付けられているかの検討が続いている。

Asano & Yokosawa (2011)は、日本語母語話者の色字共感覚者に対してひらがなとカタカナを呈示し、両者の間でどのような色の傾向があるかを調査した。その結果、すべての参加者においてほとんどの書記素が、両者の形態の類似性に関わらず同じ発音を持つ書記素であれば共感覚色が類似することを明らかにした。漢字とひらがなで比較した Asano & Yokosawa (2012)では、漢字の共感覚色は、その漢字の読みと同じ発音のひらがなの共感覚色によって定まることを指摘している。

共感覚色が音によって定まる傾向が見られるのは同一言語内だけではない。Shin & Kim (2015)では、韓国語、日本語、英語、中国語の書記素と単語に共感覚色を感じる韓国人マルチリンガル共感覚者を対象に実験を行い、発音が共通する書記素は類似性の高い共感覚色を誘引することを明らかにした。たとえば、ひらがなの「な」とハングルで同じ発音をもつ「나」は、どちらも近い共感覚色が回答されたと報告されている。同様に Kang et al. (2017)もマルチリンガルを対象に共感覚色の言語間比較を行い、音声学上調音点(Place of Articulation)や調音法(Manner of Articulation)が同じ分類される音同士(e.g., 日本語の「ら」(/r/)と英語の/r/, /l/)であれば共感覚色が類似すると結論づけた。すなわち、言語間で同じ音を表記できる書記素がない(i.e., 翻字できない)場合であっても、音声要素に依存することで共感覚色を決定することができると主張しているのである。

他方、共感覚色の決定には書記素の視覚的形態が関連していると主張する研究も存在している。Brang, Rouw, Ramachandran & Coulson (2011)では、共感覚の発生モ

デルをもとに共感覚色の決定因は書記素の形であるとし、アルファベットとアラビア数字を用いた色字共感覚実験から似た形態は類似した色を知覚させると指摘した。また、Watson, Akins & Enns (2012)はアルファベットの形態の違いを 11 に分類した上で共感覚色の違いを検討する実験を行った。形態は、任意の 2 つの書記素の類似性を 11 分類に基づいて算出されたユークリッド距離によって評価した。結果、形態の違いは書記素の順序の違いとともに色相の違いに関連することを明らかにした。Blair & Berryhill (2013)内の実験の 1 つでは、英語母語話者の共感覚者は未知の文字に対しても共感覚色を持つことを実験により示した。この時、未知言語において唯一の情報が形態であったことから、形態が共感覚色の決定因としてはたらくと主張した。

また、書記素を目にする頻度や書記素に与えられている順序(e.g., あいうえお順, アルファベット順), その書記素が使用される単語の意味なども影響しているとする研究もある。Beeli et al. (2007)は、共感覚色と書記素の関連付けは後天的な学習によるものであるとした上で、書記素を目にする頻度が決定因であると主張している。彼らはドイツ語を母語とする共感覚者を対象にアルファベットおよびアラビア数字を呈示し、数字は彩度と輝度の両方、アルファベットは彩度のみが頻度の高さに応じて高まることを発見した。前出の Watson et al. (2012)でも、頻度の違いは輝度の違いと関連することを同時に指摘している。また、Asano & Yokosawa (2013)は、日本語母語話者の日本人共感覚者にとって、日本語書記素及びアルファベットにおける共感覚色の決定要因は書記素の音声情報とともに順序が最も強い要因であると報告している。言い換えると、順序内での両者の順番が離れれば離れるほど、共感覚色の類似性がかけ離れていくと主張している。Root et al. (2018)は日本語、英語、オランダ語、スペイン語、韓国語のマルチリンガル共感覚者を対象に調査を行い、多言語間では書記素の順序が唯一共感覚色の決定因としてはたらくと主張した。他方、Rich et al. (2005)は共感覚者と非共感覚者で共通した書記素に対する色を調査し、「R」は赤(red), 「Y」は黄色(yellow)と回答される傾向が両者ともに見られたことを報告した。報告に基づき、Rich et al. (2005)は色字共感覚は幼少期の学習経験がもとになっており、その際どのような単語の中で書記素を学んだかが共感覚色の決定に影響していることを指摘した。Witthoft & Winawer (2013)も、英語母語話者の共感覚色の回答と市販されている子供向けのアルファベット学習教材の文字色が酷似しているとして、学習による直接的影響があることを指摘している。

以上のように、共感覚色の決定因には書記素の音声情報、視覚的形態、書記素の順序、使用頻度、書記素が用いられる単語や文脈の持つ意味、幼少期の学習の影響など

が検討されている。ここで、以上の決定因の特性を検討したい。

意味や学習の影響は直接的に共感覚色を規定する決定因ととらえることができる。たとえば、ある書記素が色の名前を表す単語に用いられていた場合その色が共感覚色となる場合や、幼少期に使用したアルファベット表の色が共感覚色になっているという報告事例が存在している(Rich et al., 2005; Witthoft & Winawer, 2013)。従ってこの 2 つの決定因は、共感覚色を規定するという観点においてかなり強い力を持っているとみなすことができると考え、本論では「直接的決定因」としてグループ化する。一方で、音声情報、形態、順序、頻度は直接色と結びつく要因ではない。そこでこの 4 つを「間接的決定因」とする。この間接的決定因において、書記素の順序と書記素を使用する・目にする頻度は、その言語に親しんでいない限り分からない長期的に獲得された情報である。これに対し、音声情報と形態は比較的短期間で獲得できる情報であるといえる。よって間接的決定因の下位グループとして「長期獲得決定因」と「短期獲得決定因」とする。

ここで、直接的決定因の影響を主張する研究は主に実験対象者の母語の書記素を刺激として用いた実験を行っている(Rich et al., 2005; Witthoft & Winawer, 2013)。一方、間接的決定因の影響を主張するものは母語だけでなく、既知の他の言語や未知言語を用いている。たとえば、上述の先行研究のうち、Blair & Berryhill (2013)は唯一未知言語の書記素を刺激として呈示した研究である。彼らは MC2 という英語話者の共感覚者 1 名に対し、長期的な共感覚色の調査を行うことによって研究を行った。実験は、未知言語学習以前、半年間の留学による未知言語学習後、新たな未知言語の音声情報だけを学習した後の 3 つの段階にわけて実施されていた。なお、3 つ目の実験だけは比較対象のためもう 1 名の共感覚者が参加していた。これらの実験に基づく彼らの結論は、学習当初の意味や音声情報の獲得が共感覚色の決定に多少影響することを認めながら、根本的には短期獲得決定因である視覚的形態が最も強く働くというものであった。このような未知言語書記素の学習を通した共感覚色の決定因の研究事例は稀有である。その一方で、Blair & Berryhill (2013)は 1 名の共感覚者を対象とした縦断的研究であったため、研究意図が MC2 に伝わりバイアスがかかっていた可能性があると自ら指摘している。また、研究の注目は短期獲得決定因の 2 つに絞られており、長期的な研究であったにも関わらず長期獲得決定因や直接的決定因の効果について検討されていない。言い換えれば、検討されていない要因が剰余変数としてはたらいっていた可能性がある。また、Asano & Yokosawa (2012; 2013), Shin & Kim (2015), Kang et al. (2017)は、複数の言語を使用しているという観点から Blair &

Berryhill (2013)と近い研究を行っている。これらは複数の既知言語を刺激として用いており、条件としては Blair & Berryhill (2013)の学習後の実験に類似したものであるといえる。しかし、この 3 者の結論付けた決定因は形態のみでなく、音声情報や順序が含まれていた。

実験環境が類似しているにも関わらず結論が合致しなかった原因の 1 つに、使用した言語の特性の違いがあると考えられる。Blair & Berryhill (2013)では全く未知な言語の書記素を用いていたのに対し、Shin & Kim (2015)をはじめとする複数言語を用いた実験では実験参加者がマルチリンガルであるなど、書記素については十分な理解が進んでいる言語を用いていた。言語との親和性が原因となって結論の違いが発生しているのであれば、親和性に応じてその言語の共感覚色の決定因が異なることが推測できる。先行研究に基づけば、既知言語の書記素の共感覚色は音声情報をはじめとし様々な要因によって規定されと考えられ、未知言語の書記素では形態によってのみ共感覚色が規定される(Asano & Yokosawa, 2011, 2012, 2013; Watson et al., 2012; Blair & Berryhill, 2013; Shin & Kim, 2015; Kang et al., 2017)。未知言語の場合、既知言語と類似した形態を持つ書記素は既知言語の当該書記素と近い共感覚色を感じると考えられる。本論では、短期獲得決定因である音声情報と視覚的形態に絞り、既知言語の書記素の共感覚色が音声情報によって規定されることを仮説 1-1、未知言語の書記素の共感覚色が視覚的形態によって規定されることを仮説 1-2 として検討を行った。

一方、未知言語に形態以外の情報を与えた場合には共感覚色の決定因は変化するのであろうか。Blair & Berryhill (2013)では留学による学習を経て再度実験を行っていたが、前述のとおりこれではどの要因が作用したかが明らかとならない。そこで、未知言語の共感覚色の決定因がもう 1 つの短期獲得決定因である音声情報を与えた場合と与えていない場合で変化するかを被験者間比較で検討した。この検討では音声情報を刺激提示の直前に行うようにしたため、Blair & Berryhill (2013)での未知言語の習得とは異なるレベルである。しかし、被験者間比較とすることで実験の意図が伝わりにくいこと、初見の段階で音声情報を与えたことを加味すると、Blair & Berryhill (2013)とは異なる結果が期待された。これより、音声情報を与えた場合には既知言語の同じ音声をもつ書記素と類似した共感覚色が与えられると予想し、これを仮説 2 とした。

以上の仮説 1 及び仮説 2 について実験を行ったが、音声情報を未知言語に与える際、再生時間・回数が極めて少なかったことや、実験参加者によっては未知言語に対

する色字共感覚がほとんど発生しなかったことにより，仮説 2 が十分に立証されなかった。そこで，仮説 1 と仮説 2 の検討のために行った実験を実験 1 とし，仮説 2 をさらに深く追求するための実験 2 を行った。実験 2 は実験 1 に参加した共感覚者 1 名を対象にした **Single-Subject Design** とした。実験参加者には未知言語の音声情報と書記素の対応を一時的に記憶できるまで学習してもらい，学習の前後で共感覚色の決定因が変化したかを検討した。

実験 1 : 方法

刺激

刺激とする書記素は、ひらがな・カタカナ（以下、「日本語群」とする）、アルファベット、ハングル、アルメニア文字から抽出を行った。アルファベットは日本の義務教育課程の英語で学習しているほか、日常的に目にする日本語以外の言語の書記素である。従って日本語群、アルファベットはいずれも既知言語の書記素として、ハングルとアルメニア文字は未知言語の書記素として呈示した。日本語群とハングルは、どちらも 1 文字で「母音」か「子音＋母音」を表す書記素体系であることから、言語間比較の際は、この 2 つを比較する（日本語群－ハングル間比較）。同様に、アルファベットとアルメニア文字は「母音」か「子音」のいずれかしか表さない体系であるため、これらにおいても言語間比較を行う（アルファベット－アルメニア文字間比較）。書記素の抽出には、それぞれの比較言語間で形態が酷似していないこと、共通の発音を有することを条件とした。その結果、日本語群およびハングルからは 21 文字ずつ、アルファベットおよびアルメニア文字からは 14 文字ずつが抽出された。なお、アルメニア文字の表記形態は大文字の方が重複が少なかったため、アルファベットとアルメニア文字はいずれも大文字表記を採用した。使用した文字の一覧は付録 1 を参照されたい。

パーソナルコンピュータ上で呈示する際は、すべての書記素を表示することができる Arial Unicode MS を使用した。文字色は黒とし、960 x 720 ピクセルの白色画像の中心に表示するよう PsychoPy (Peirce, 2007, 2009) によって設定した(付録 2)。また、白色背景の周囲は RGB 値 128 : 128 : 128 の灰色とした。

また、実験参加者の半数には未知言語書記群の音声情報を与えた。具体的には、ハングルは韓国語母語話者による発音、アルメニア文字は相当するアルファベットの phonetic alphabet の英語ネイティブ音声を書記素呈示前に 1 度だけ再生した。ここで、Phonetic alphabet とは実際に単語の中などで発音される際の発音をさす。たとえば、ローマ字の「A」の書記素の名前の読みは「エー」となるが、phonetic alphabet では日本語の「あ」に近い発音が代表的なものととなる。書記素の名前の読み方が言語間で一致することはほとんどないため phonetic 音を採用した。従って、アルメニア文字を抽出する際の発音に関する条件は、アルメニア文字における phonetic 音と phonetic alphabet が一致することとした。

ハングル発音は韓国語母語話者による発音であるため、日本人にはあまり馴染みのないアーティキュレーションやアクセントを含む 1 秒前後の音声であった。一方、

phonetic alphabet は通常それだけで発音されるものではないため極めて短い 1 秒未満の音声となった。ただし、音声呈示時間の違いに関わらず、音声の再生が終わった 2 秒後に該当する書記素が画面に表示されるように設定した。

実験参加者

色の識別や視覚に日常的に問題のない色字共感覚者を対象とした。また、日本語とアルファベットを既知言語の書記素として扱うため、日本語母語話者で英語を学習したことがあるものを対象とした。加えて、未知言語の書記素として呈示するハングル、アルメニア文字の学習をしたことがないことも研究対象の条件とした。なお、ここでの学習とは、書記素と発音の対応関係が理解できている状態を最低限の既習状態とみなした。募集は大学の授業内および大学ホームページ、知人への告知によって行った。

以上の条件に適した日本語を母語とする日本人男性 3 名、日本人女性 5 名が実験に参加した。参加者は 18 – 24 歳であり、1 名のみ 50 代であった。なお、音声情報の有無で 2 群に分ける際には、男女比が等しくなるよう注意しながら無作為に分けた。

装置

2 台のパーソナルコンピューターを用いて実験を行った。1 台は PsychoPy 3.0.0 (Peirce, 2007, 2009)を用いて刺激となる書記素を呈示するため、Surface 3 (OS Windows 10)を利用した。もう 1 台は共感覚色の回答を収集するために、TOSHIBA Lifebook (AH40/M; OS Windows 8)、及び操作の利便性のためにマウス(富士通, M-U0019-O)を用いた。いずれのパーソナルコンピューターも画面明るさは 70 %に統一した。刺激提示用パーソナルコンピューターは実験参加者から見て左側、回答用パーソナルコンピューターは右側に設置した。

共感覚色の回答にはカラーピッカーの Web サービス (<https://araishi.com/color>) を用いた。接続には Google Chrome を使用した。Figure 1 には画面中主要な部分のみを提示し、説明のため「A」「B」を画面中に挿入している。カラーピッカーでは Eagleman, Kagan, Nelson, Sagaram & Sarma (2007)の The Synesthesia Battery と同様、HSB 空間における H(Hue: 色相)を固定する形式で色画面を表示させた(Figure 1)。実験参加者は、中央の色相バーから該当する色の系統を選択し、左の画面 A で彩度と明度を調節した。選択された色は右上方の画面 B に表示され、該当する 16 進数カラーコードがその下に表示されようになっている。回答したい共感覚色が画面 B に表示されたら、「イイネ」ボタンを押し回答を記録する。記録された回答は色とカラーコードが右

端に蓄積されるようになっている。蓄積されたものはスクロールによって遡ることが可能だが、実験参加者には参照しないよう教示した。また、画面 B の下のカラーコードや各数値も入力可能となっているが、入力して色を作成することがないように伝えた。

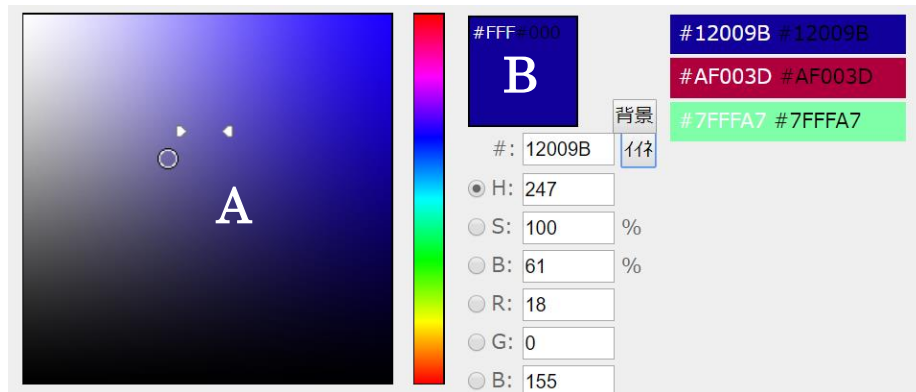


Figure 1. 共感覚色回答用カラーピッカー

手続き

実験開始前に、言語の学習状況や色字共感覚及びそのほかに自覚している共感覚について Google Form により質問調査を行った。質問事項は性別、色字共感覚を自覚した大まかな年齢、色字共感覚を自覚している書記素の種類、色字共感覚以外に自覚している共感覚、既習言語、自身の色覚の状態について質問した。

実験では、日本語群、ハングル、アルファベット、アルメニア文字の順に 1 文字ずつ提示を行った。文字は、共感覚色の一貫性を確かめるため各群の中で同じものを 3 回ずつランダムに提示した。この時、ランダムであるため同じ文字が続いて 2 回出る場合もあり、その旨は事前に実験参加者に通知した。実験参加者はパーソナルコンピュータに文字が表示されるごとに、それとは異なるパーソナルコンピュータに共感覚色を回答した。共感覚色が存在しない場合は、16 進数カラーコードで「000000」（黒色）となるように調整してもらった。また共感覚色が黒色であった場合には、「000000」ではない、肉眼では分からない程度の差異の黒に限りなく近い色を選択するよう教示した。また、色を間違えても修正できないこと、色は常に画面 A のカラーピッカーから選択し、数値やカラーコードの打ち込みをしないこと、蓄積された色のログは参照しないことも併せて指示した。以上の手続きを文字へ進むごとに繰り返し、書記素群の切れ目では適宜休憩を取らせた。

変数

仮説 1 の検証においては、既知・未知の違いを独立変数、文字に対する共感覚色を従属変数とする被験者内 1 要因 2 水準計画とした。また、仮説 2 に対しては、音声情報の有無を独立変数、共感覚色を従属に変数に設定し、被験者内 1 要因 2 水準での分析をもとにした被験者間 1 要因 2 水準計画とした。

分析方法

前処理、分析はいずれも実験参加者ごとに独立で行った。実験参加者が選択した色は 16 進数カラーコードで記録されているため、それらを 10 進数の 0 – 255 で表す RGB 値に変換した。その後、Eagleman et al. (2007)で発表された The Synesthesia Battery での分析と同様、RGB 値を 0 – 1 に収まるよう絶対化し、同じ文字同士の色の類似度を数値化できる Total Color Variation V を求めた。 V を求めるにあたり、文字ごとの Color Variation v_j を算出した。数式 1、数式 2 にそれぞれの算出式を示した。

数式 1 文字ごとの Color Variation v_j

$$v_j = \sum_{c=R,G,B} ||x_1^c - x_2^c| + |x_2^c - x_3^c| + |x_3^c - x_1^c||$$

数式 2 Total Color Variation V

$$V = \frac{\sum_{j=\{\text{書記素}\}} v_j}{(\text{共感覚色のあった書記素数})}$$

Eagleman et al. (2007)では $V \leq 1.00$ となった書記素のみを共感覚色のある書記素と認めていたため、本論でも同様の基準を用い、満たしたもののみを実際の分析対象とした。なお、 V の算出には共感覚色の回答があった書記素の個数で v_j の総和を除算するので、3 回の内「共感覚色なし」の回答が含まれていた場合は、その個数に応じて分母の値を変化させた。

基準を満たした書記素は、Shin & Kim (2015)と同様に、CIE xyY 空間上での数値(xy 値)に変換し文字ごとの平均を算出した。CIE xyY 空間は CIE XYZ 空間がもとになっており、 x, y の 2 変数のみで色空間を指定できるものである。今回は 16 進数をもとに変換した RGB 値であるため、白色点を標準光 D65 とする sRGB 値であると仮

定し変換を行った。以下に sRGB 値から CIE XYZ 空間座標への変換, および CIE XYZ 空間から CIE xyY 空間への変換式を示す (北九州市立大学国際環境工学部 奥田研究室; 裳華房)。

数式 3 sRGB 値から CIE XYZ 空間座標への変換式

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

(白色点が標準光 D65 である場合)

数式 4 CIE XYZ 空間から CIE xyY 空間への変換式

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

文字ごとの平均 xy 値をもとに, 各比較言語間で同じ発音の書記素同士の色空間上の距離である Color Variation Index (CVI) を算出した。以下は CVI の算出式である (Shin & Kim, 2015)。

数式 5 CVI

$$CVI = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2}$$

比較したい書記素間の CVI の平均(mean CVI)と, 有効な書記素同士すべての CVI (以下, baseline CVI とする) を 1 サンプル t 検定により統計的に分析した。分析の結果が有意かつ mean CVI が baseline CVI よりも小さい数値であった時, 比較した書記素同士は色空間上で近い座標にあることになり, 色の類似性が相対的に高いと判断できる。

実験 1 : 結果

実験参加者の共感覚状況

実験開始前に実験参加者に行った事前調査の結果のうち、性別、色字共感覚を自覚している書記素、色字共感覚以外に自覚している共感覚、既習言語を Table 1 に示した。アスタリスク(*)が参加者番号についている参加者は、ハングルとアルメニア文字を提示したときに音声情報も与えた群であることを示す。

Table 1
事前調査結果

参加者番号	性別	色字共感覚を自覚している書記素	色字共感覚以外に自覚している共感覚	既習言語 (母語を含む)
F1	女性	アラビア数字、漢数字、ひらがな、漢数字以外の漢字	12か月の空間認識	日本語、英語、韓国語、タイ語
F2*	女性	アラビア数字、アルファベット、漢数字以外の漢字	音階に対する色聴共感覚	日本語、英語、スペイン語
F3	女性	アラビア数字、ひらがな、	音階に対する色聴共感覚	日本語、英語
F4	女性	アラビア数字、漢数字、ひらがな、アルファベット	なし	日本語、英語、スペイン語
F5*	女性	漢数字以外の漢字	なし	日本語、英語、中国語
M1*	男性	アラビア数字、漢数字、ひらがな、カタカナ、アルファベット、漢数字以外の漢字	なし	日本語、英語
M2	男性	アラビア数字、アルファベット、漢数字以外の漢字	なし	日本語、英語、中国語、イタリア語
M3*	男性	アラビア数字、アルファベット	日付の空間認識	日本語、英語、フランス語、ドイツ語、ラテン語

ほとんどの実験参加者はアラビア数字に対して色字共感覚の自覚がある場合が多かった。一方、実験の刺激として用いるひらがな、カタカナ、アルファベットすべてに自覚のある実験参加者は少なかった。ただし、あくまで自覚しているかどうかの質問であるためこの段階でのスクリーニングは行わなかった。

回答者のうち F1 のみ未知言語として呈示予定であった韓国語を既習していた。F1 によると、独学で韓国語を学び始めてから 8 年程度が経過しており、読み書きが十分できるレベルであるとのことであった。実験の目的として韓国語既修者は対象から除外すべきだが、日本語群—ハングル間比較のデータは既知言語内の共感覚色の決定因の検討に用いることができると判断し実験参加を継続させた。

回答された共感覚色

各実験参加者が回答した共感覚色は Figure 2 - 9 に示した通りである。Figure 2 - 9 は 3 回ずつの呈示でそれぞれ回答された色を左側から順に表示している。Figure 中の半角ハイフン(-)はデータが記録されていなかったことを，スラッシュ(/)は「共感覚色なし」と回答されたことを表している。

Figure 2 - 9 から，個人によって共感覚色となる色に偏りがあることが伺える。F1 は紫や黄色の色が目立っていた。この点について F1 は，書記素の形に対し性格が思い浮かび，その性格に対しての色が書記素に対しての共感覚色になっていると実験後に述べていた。具体的には，「P」「R」などは F1 にとって「ひねくれた性格」の書記素であるため紫色があてがわれているのだという。また，F2 はベージュからオレンジにかけての色，F3 は赤系統の色と黒系が際立って選ばれていた。F4 は共感覚色の回答数が全体的に少なく，回答された色もすべて共感覚色が黒から深緑であった。F4 によると共感覚色を感じるのはコンピューターなどの画面上に表示された文字に対してのみであり，文字の大きさやどの程度はっきり見えているかなどによって同じ書記素に対しても共感覚が変化し，多くの場合黒～深緑，灰色に収束するとのことであった。表示媒体によって共感覚色の発生が異なることを示した先行研究はなく，この観点からは F4 の自覚している色字共感覚が本論で扱う色字共感覚と同一のものであるかが不明である。F5 はオレンジが主立っており，M1 は一部を除きほとんどが黄色であった。F5 は漢数字以外の漢字にのみ色字共感覚があることを事前質問で回答していたが，これは自身で記憶している色字共感覚の経験が漢数字以外の漢字であったためであるとしており，実際にほかの書記素を見ても共感覚色があったと述べていた。M1 については黄色が共感覚色となりやすいことを自覚していた。また，韓国語固有の発音によってハングルは黄色に偏り，アルメニア文字は文字全体の印象として黄色であったことを M1 は実験後に話していた。M2，M3 は共感覚なしと回答しているものが多かったが，回答されたものの中では M2 は赤，M3 はオレンジや黄みがかかった色の傾向があるように見受けられた。参加者の中には，主にひらがなやカタカナなどにおいて提示された書記素を声に数度出しながら回答していることもあった。また，多くの実験参加者は鮮やかな色味が多いのに対し，F2 は比較的淡い色合いに偏っていた。

同一の書記素に対しての共感覚色は実験参加者によって異なるが，いくつかの書記素に関しては実験参加者同士で同じ共感覚色となっているものがあった。ひらがなの「あ」とカタカナの「ア」は F1 と F4 を除き全員が赤と回答していた。同様に，ひ

らがなの「い」およびカタカナの「イ」は M2 以外黄色から白にかけての色合いに集中していた。また、F2 と F3 は揃ってひらがなの「は」と「ふ」に対して淡い青い色を共感覚色として回答しており、2-3 名で共感覚色が共通しているものが複数散見された。

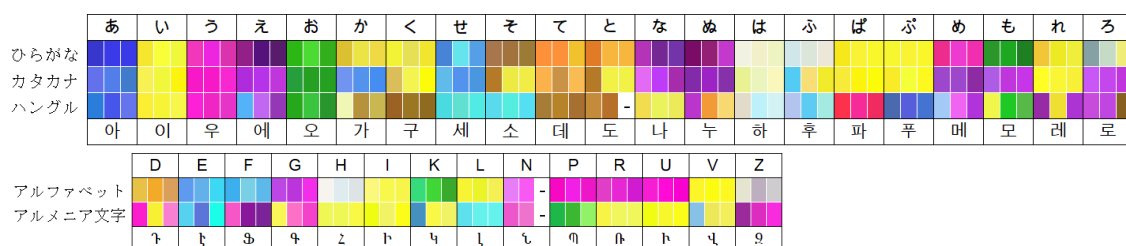


Figure 2. F1 の共感覚色

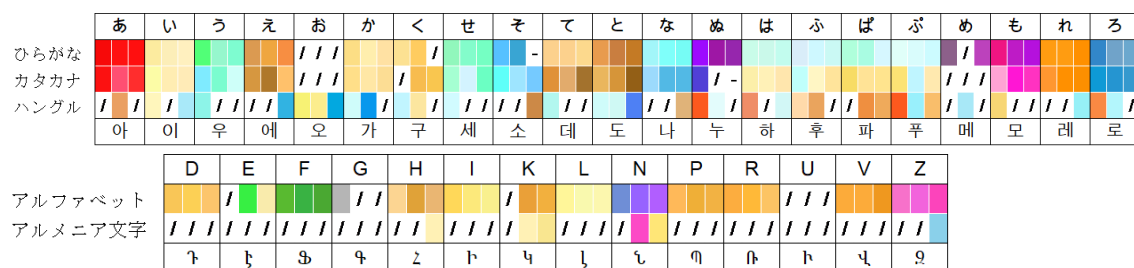


Figure 3. F2 の共感覚色



Figure 4. F3 の共感覚色



Figure 5. F4 の共感覚色

	あ	い	う	え	お	か	く	せ	そ	て	と	な	ぬ	は	ふ	ば	ぶ	め	も	れ	ろ
ひらがな			-					/	/	/	/							/			
カタカナ				/		-						/	/	/	/						
ハングル				/																	
	아	이	우	에	오	가	구	세	소	데	도	나	누	하	후	파	푸	메	모	레	로

	D	E	F	G	H	I	K	L	N	P	R	U	V	Z
アルファベット	/		-				/	/	/	/	/			/
アルメニア文字														
	Դ	Ե	Բ	Գ	Ը	Ի	Կ	Լ	Ն	Ք	Ր	Ս	Վ	Զ

Figure 6. F5 の共感覚色

	あ	い	う	え	お	か	く	せ	そ	て	と	な	ぬ	は	ふ	ば	ぶ	め	も	れ	ろ
ひらがな				-								-									
カタカナ																					
ハングル																					
	아	이	우	에	오	가	구	세	소	데	도	나	누	하	후	파	푸	메	모	레	로

	D	E	F	G	H	I	K	L	N	P	R	U	V	Z
アルファベット				-										
アルメニア文字														
	Դ	Ե	Բ	Գ	Ը	Ի	Կ	Լ	Ն	Ք	Ր	Ս	Վ	Զ

Figure 7. M1 の共感覚色

	あ	い	う	え	お	か	く	せ	そ	て	と	な	ぬ	は	ふ	ば	ぶ	め	も	れ	ろ
ひらがな							/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
カタカナ							/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
ハングル							/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	아	이	우	에	오	가	구	세	소	데	도	나	누	하	후	파	푸	메	모	레	로

	D	E	F	G	H	I	K	L	N	P	R	U	V	Z
アルファベット	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
アルメニア文字	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Դ	Ե	Բ	Գ	Ը	Ի	Կ	Լ	Ն	Ք	Ր	Ս	Վ	Զ

Figure 8. M2 の共感覚色

	あ	い	う	え	お	か	く	せ	そ	て	と	な	ぬ	は	ふ	ば	ぶ	め	も	れ	ろ
ひらがな				-			/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
カタカナ							/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
ハングル							/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	아	이	우	에	오	가	구	세	소	데	도	나	누	하	후	파	푸	메	모	레	로

	D	E	F	G	H	I	K	L	N	P	R	U	V	Z
アルファベット	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
アルメニア文字	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Դ	Ե	Բ	Գ	Ը	Ի	Կ	Լ	Ն	Ք	Ր	Ս	Վ	Զ

Figure 9. M3 の共感覚色

Figure 2 - 9 から読み取れるように、F4 や M3 は共感覚色がないと回答している書記素が多く、そのほかの実験参加者に関しても 3 回の呈示のうち「共感覚色なし」の回答が 1 - 2 回あることがあった。そこで、以下に共感覚色がないと回答された書記素の個数を集計した (Table 2)。Table 2 では、各書記素につき 3 回の試行のうち

「共感覚色なし」と回答された回数、およびその書記素の種類による内訳を記した。

F1 と M1 は 1 度も「共感覚色なし」と回答しなかったのに対し、F4, M2, M3 は提示した書記素 91 種類の過半数で「共感覚色なし」と回答していた。このうち、F4 は既知文字であるひらがな、カタカナ、アルファベットに対しても過半数に対し「共感覚色なし」と回答していた。また、M3 はハングルに対してすべて「共感覚色なし」と回答していた。M2 はハングルとアルメニア文字すべてに対して 1 度以上「共感覚色なし」の回答をし、既知文字に対しても部分的に共感覚色がないとしていた。書記素を提示した 3 回とも「共感覚色なし」と回答されていた場合は TCV を算出することができないため、該当する書記素はこの段階で書く実験参加者のデータから除外した。それ以外の書記素に関しては TCV を算出し、その上でスクリーニングを行うこととした。

Table 2
「共感覚色なし」の回答数

「共感覚色なし」の回答数	音声情報なし				音声情報あり			
	F1	F3	F4	M2	F2	F5	M1	M3
3回答	0	24	34	29	14	2	0	57
ひらがな	0	0	4	6	1	0	0	8
カタカナ	0	0	10	7	2	1	0	10
ハングル	0	18	14	8	0	0	0	21
アルファベット	0	1	6	5	1	1	0	8
アルメニア文字	0	5	0	3	10	0	0	10
2回答	0	5	16	22	12	2	0	5
ひらがな	0	1	6	1	0	1	0	2
カタカナ	0	0	5	1	9	0	0	3
ハングル	0	0	1	12	0	0	0	0
アルファベット	0	0	2	1	1	1	0	0
アルメニア文字	0	4	2	7	2	0	0	0
1回答	0	5	27	8	17	11	0	4
ひらがな	0	1	7	3	2	3	0	3
カタカナ	0	1	6	0	2	2	0	0
ハングル	0	0	6	1	9	1	0	0
アルファベット	0	1	5	0	2	3	0	0
アルメニア文字	0	2	3	4	2	2	0	1
合計	0	34	71	59	43	14	0	66

Total Color Variation V による共感覚色の発生判定

Eagleman et al. (2007) による V を上述の数式 1 及び 2 によって算出した。回答を飛ばしてしまったなどの理由で回答数の欠損がでている書記素もあったが、その場合も同様に算出を行った。Figure 10 - 14 に書記素の種類ごとの V の散布図を示した。横軸は使用した書記素に対応している。また $V=1.00$ に閾値線を記した。

Figure 10 - 14 からわかるように、事前質問の回答で色字共感覚を自覚していない

書記素の種類であってもであっても、 $V \leq 1.00$ となっており色字共感覚が発生していると判断できる場合がいくつか見られた。このことは、色字共感覚の有無は完全に自覚できるものではなく、自覚のない色字共感覚があることを示唆するものであると考えられる。一方で、共感覚を自覚している実験参加者であっても V が閾値を超えている場合もあった。例えば、ひらがなに共感覚があると回答していた F1, F3, F4, M1 のうち、M1 は閾値を超えている書記素が複数あった (Figure 10)。同様の傾向が既知言語であるはずのカタカナ、アルファベットでも発生していることが Figure 11, Figure 12 から読み取れ、色を感じることはあっても一貫性を持っているかどうかは書記素および個人によって差が著しいことが推測できる。また、未知言語として呈示しているハングルとアルメニア文字は全体的に V の値が大きくなっていた (Figure 13, Figure 14)。すなわち、回答された共感覚色が 3 回の中でばらつきがあったということということである。

Eagleman et al. (2007) に則り、 $V \leq 1.00$ を満たした書記素のみを有効な共感覚色のある書記素と判断し、分析を行った。ただし、閾値を超えていた書記素の中には共感覚色がないと回答したことが原因となっている場合があった。TCV による色字共感覚の発生判断は共感覚色が一貫性をもって発生することを前提としているため、本来であれば「共感覚なし」を含む場合は除外されるべきである。しかし、未知言語であるハングルやアルメニア文字に対しては、頻度効果により 3 回の呈示の中で共感覚色が発生した可能性がある (cf. Beeli et al., 2007)。加えて、事前回答で自覚した色字共感覚がないとしていた書記素の種類に対しても共感覚色が回答されていることなどを踏まえると、既知言語であっても頻度効果による共感覚色の発生が考えられる。従って、3 回の呈示のうちすべて「共感覚色なし」の回答でなかった書記素を含めた分析も別途行うこととした。しかし、F4 は既知言語であるひらがな、カタカナ、アルファベットに対しての共感覚色の回答数が非常に少なく、未知言語との比較対象として扱うことが難しい。そのため F4 のみはこれ以降の分析から除外した。

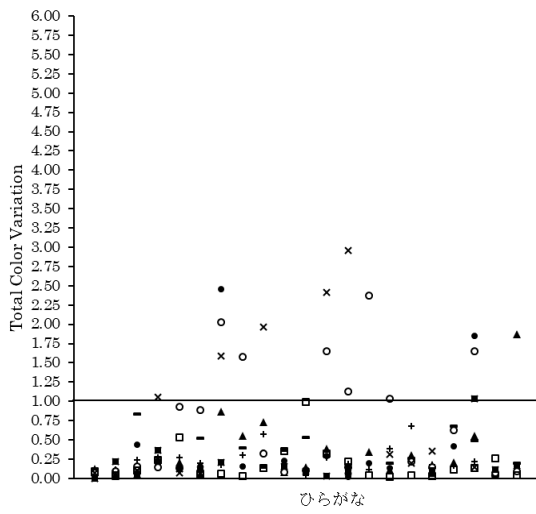


Figure 10. 被験者別ひらがなの TCV

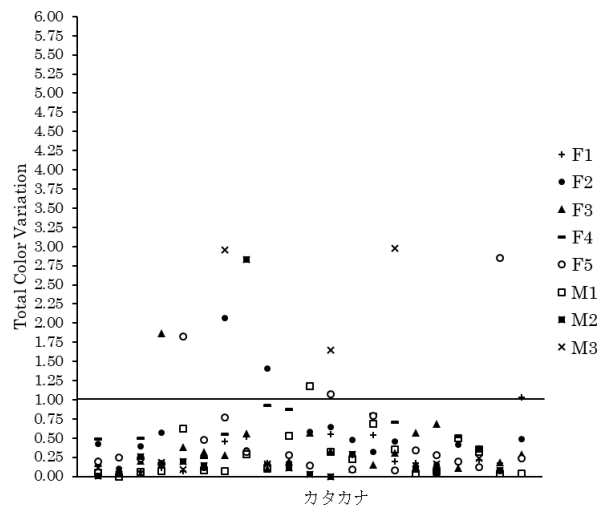


Figure 11. 被験者別カタカナの TCV

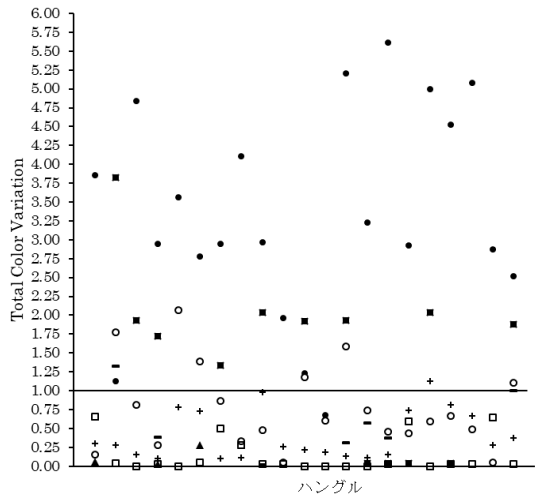


Figure 12. 被験者別ハングルの TCV

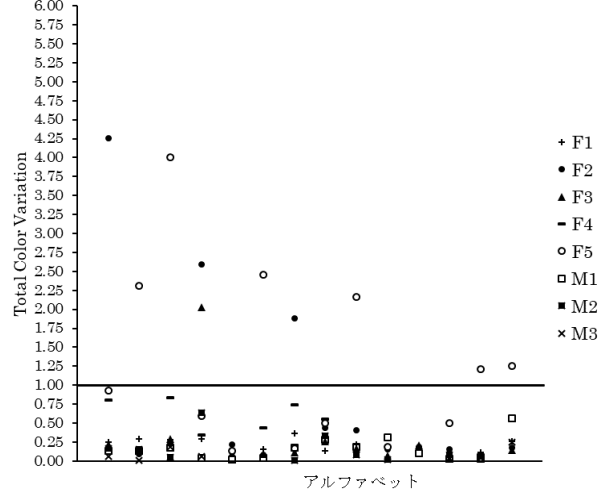


Figure 13. 被験者別アルファベットの TCV

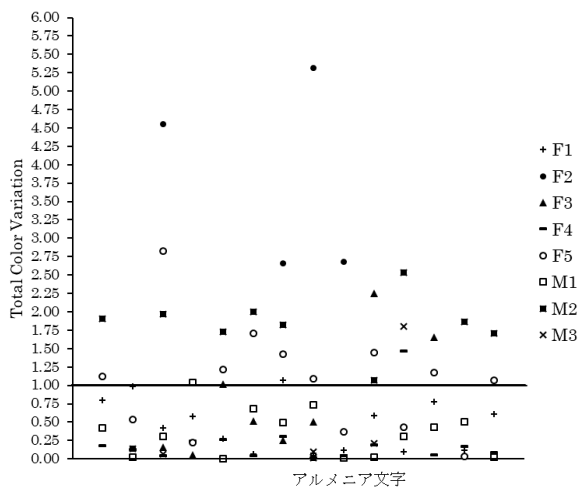


Figure 14. 被験者別アルメニア文字の TCV

CVI の算出および 1 サンプル t 検定による分析

上述の前処理に基づき, 対象となったデータに関して CVI を算出した。算出した CVI は(a)ひらがな—カタカナ間 (b)ひらがな—ハングル間, (c)カタカナ—ハングル間, (d)アルファベット—アルメニア文字間の 4 つである。CVI の算出は共感覚色の回答が 3 回答揃っている場合と, そうでないものを含めた場合で 2 通り行った。今回の分析では発音が一致しているもの同士(e.g., 「あ」と「ア」)の CVI を mean CVI として算出した。M3 はすべてのハングルに対し共感覚色がないと回答していたため, M3 は(a)と(d)の算出のみ行った。以下の Table 3 – 6 に各 CVI の算出結果および分析結果を示す。Table 中では, 共感覚色の回答が 3 つ揃ったものを「部分欠損除外」, 3 つ揃わなかったものを「部分欠損含む」に分けて表記した。分析は SPSS による 1 サンプル t 検定で, 有意確率は両側検定によって行った。

Table 3

(a) ひらがな—カタカナ間 CVI

	部分欠損除外		部分欠損含む	
	baseline CVI	mean CVI	baseline CVI	mean CVI
F1	.136	.050 ^{***}	-	-
F3	.158	.067 ^{***}	.156	.064 ^{***}
M2	.206	.021 ^{***}	.205	.032 ^{***}
F2	.106	.036 ^{***}	.109	.035 ^{***}
F5	.187	.056 ^{***}	.184	.071 ^{***}
M1	.088	.023 ^{***}	-	-
M3	.208	.016 ^{***}	.171	.022 ^{***}

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$, - 該当データなし

Table 4

(b) ひらがな—ハングル間 CVI

	部分欠損除外		部分欠損含む	
	baseline CVI	mean CVI	baseline CVI	mean CVI
音声情報なし				
F1	.126	.072 ^{***}	-	-
F3	.138	.207 ^{***}	.142	.207 ^{***}
M2	-	-	.241	.252
音声情報あり				
F2	.095	.147 [*]	.066	.108 ^{**}
F5	.148	.093 ^{***}	.150	.093 ^{***}
M1	.101	.106	-	-
M3	-	-	-	-

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$, - 該当データなし

Table 5
(c) カタカナ—ハングル間 CVI

	部分欠損除外		部分欠損含む	
	baseline CVI	mean CVI	baseline CVI	mean CVI
音声情報なし				
F1	.133	.091***	-	-
F3	.123	.187***	.124	.187***
M2	-	-	.252	.273
音声情報あり				
F2	.092	.154**	.085	.102***
F5	.142	.104***	.146	.106***
M1	.097	.103	-	-
M3	-	-	-	-

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$, - 該当データなし

Table 6
(d) アルファベット—アルメニア文字間 CVI

	部分欠損除外		部分欠損含む	
	baseline CVI	mean CVI	baseline CVI	mean CVI
音声情報なし				
F1	.127	.119	-	-
F3	.159	.211**	.148	.163
M2	-	-	.187	.191
音声情報あり				
F2	-	-	.083	.059***
F5	.178	.186	.140	.093***
M1	.150	.157	-	-
M3	.103	.036**	.100	.036**

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$, - 該当データなし

まず(a)について Table 3 を参照する。既知言語の書記素同士であるひらがなとカタカナでは、発音が一致している書記素同士の CVI (mean CVI) はいずれも有意に小さかった (Table 3)。この差は部分欠損を含む分析をした F2, F3, F5, M2, M3 であっても有意なままであった。

次に(b – c)日本語群—ハングル間 CVI について Table 4, Table 5 を参照する。このとき F1 にとってのハングルは既知言語であるため他の実験参加者とデータの性質が異なることに留意されたい。F1 は(b)と(c)のいずれにおいても mean CVI は極めて有意に小さな値をとっていることが明らかになった(それぞれ $t(419)=15.54$, $p < .001$, $t(419)=11.21$, $p < .001$)。(b)に関して、音声情報を与えなかった F3 は mean CVI が有意に大きい結果(除外時 $t(53)=-8.09$, $p < .001$, 含有時 $t(62)=-8.54$, $p < .001$)となり、M2 は $t(194)=-1.03$ で *n.s.*であった。しかし、音声情報を与えた群はそれぞれ異なる結果

を示した。F2 の mean CVI は部分欠損を除いた場合 $t(17)=-2.90$, $p<.05$ で有意傾向, 部分欠損を含む場合は $t(379)=-4.91$, $p<.01$ で有意に大きい値をとった。また, F5 は部分欠損に関係なく $p<.001$ 有意に小さい mean CVI であった(除外時 $t(209)=8.17$, 含有時 $t(287)=9.43$)。M1 は $t(440)=-1.33$ で *n.s.* であった。次に(c)では, 音声情報が与えられなかった F3 は, (b)に引き続き部分欠損の有無にかかわらず $p<.001$ で有意に大きい mean CVI となった(除外時 $t(59)=-6.92$, 含有時 $t(62)=-7.20$)。一方音声情報が与えられた F2 は除外時 $t(16)=-4.28$, $p<.001$, 含有時 $t(360)=-5.89$, $p<.001$ となり, 部分欠損の有無にかかわらず有意に大きい mean CVI が得られた。同様に音声情報があった F5 も, 除外時は $t(255)=5.77$, $p<.001$, 含有時は $t(303)=6.77$, $p<.001$ で有意に小さい mean CVI であり, (b)と同様の結果となった。また M1, M2 はともに *n.s.* であった(M1: $t(419)=-1.63$; M2: $t(181)=-1.93$)。

(d)の mean CVI は音声情報の有無で傾向が分かれる分析結果となった(Table 6)。音声情報のなかった F1, F3, M2 は, F3 の部分欠損を除外した場合を除いて *n.s.* であった(F1: $t(181)=1.43$; F3: 除外時 $t(32)=-2.54$, 含有時 $t(95)=0.38$; M2: $t(98)=-0.33$)。F3 で部分欠損を除外した場合の分析では, mean CVI が baseline CVI よりも有意に大きいことが判明した($t(32)=-3.36$, $p<.01$)。一方, 音声情報ありの群のうち部分欠損を含んだ F2 と F5, M3 はいずれも $p<.01$ で有意に小さい mean CVI となった。(F2: 含有時 $t(51)=4.65$; F5: 除外時 $t(34)=-0.45$, 含有時 $t(76)=4.49$; M3: 除外時 $t(17)=3.90$, 含有時 $t(23)=3.88$)。また, M1 は $t(181)=-1.01$ で *n.s.* であった。

実験 1 : 考察

実験 1 では既知言語と未知言語の違いが書記素の共感覚色の決定にどのように影響するのかを検討するため、決定因の中でも短期獲得決定因である音声情報と形態に注目して実験を行った。ひらがな-カタカナ間の比較では、どの実験参加者においても同じ発音の書記素同士が有意に類似した共感覚色が選択されていることが結果に示された。このことから、同じ言語内でなくとも共感覚者にとって既知の言語であれば同じ発音を持つ書記素同士で共感覚色が類似することが明らかになり、視覚的形態よりも音声情報のほうが共感覚色の決定に影響を与えていることが判明した。すべての実験参加者においてひらがな-カタカナ間 CVI の分析で共感覚色が発音によって有意に類似することが示され、Asano & Yokosawa (2011)の結果を再度実証するものとなった。Asano & Yokosawa (2012, 2013)では既知言語間の共感覚には別の決定因の影響もあることが指摘されているが、短期獲得決定因に限った場合では音声情報が強いと結論づけることができるだろう。

加えて、F1 が日本語書記素とハングルの間であっても同じ発音の書記素同士には類似した共感覚色を与えていたことが発見された。F1 は中学生のころから長期間にわたり独自に韓国語を学習しており、そのことが結果に影響したと考えられる。多言語間の色字共感覚については、Shin & Kim (2015)や Kang et al. (2017)がマルチリンガルを対象に研究を展開させている。これらの研究結果は幼少期から多言語に触れていることが言語横断的な共感覚色の類似性に関与していることを推測させた。しかし、F1 の分析結果により幼少期からでなくとも長期的な学習があれば発音に依存した共感覚色の決定が行われることが示唆された。以上の点から、既知言語の書記素の共感覚色には音声情報が影響を与えているとする仮説 1-1 が立証された。

一方、未知言語の決定因に関しては形態が影響を与えていることが示唆されたものの、十分に立証されなかった。日本語群-ハングル間比較、アルファベット-アルメニア文字間比較のいずれでも、発音が一致している書記素同士の共感覚色が有意に類似することはなかったものの、共感覚色が回答されている未知言語の書記素の中では、視覚的形態の類似したものと共感覚色が類似した場合は少数であった。しかし、一部の実験参加者では音声情報の有無に関わらずそもそも色字共感覚が発生しない場合が目立った。この点は書記素の形態が色字共感覚の誘引刺激となるかどうかは共感覚者によって異なることを示唆していると考えられる。また、共感覚の中には図形に対して共感覚色が発生する共感覚が存在しているが、この共感覚と未知言語に対

して共感覚色が発生しなかったこととの関連は検討されるべき点である。従って仮説 1-2 は今回の実験の結果からは十分に検証することができなかった。より多くの実験参加者を募り、未知言語に対しても安定して色字共感覚色が発生する共感覚者を見つけ出したうえでの検討が必要であると考ええる。

音声情報を与えた未知言語の書記素に対しては共感覚色が発音に依存して決定されると予想した仮説 2 について、分析結果では発音の類似した書記素同士の共感覚色は有意に類似したため支持されたといえる。特に音声情報を与えた群におけるアルファベット-アルメニア文字間比較では、4 人中 3 人の参加者で共感覚色の類似が有意であるという結果が得られた。ただし、分析できたデータには部分欠損も多く、十分な信頼性のあるデータを用いたとは言い難い。部分欠損が多く出た原因には音声情報の呈示が 1 度だけであり、既知言語との関連付けや共感覚色を共起させるためには不十分であったことが考えられる。そこで、実験 2 では音声情報と書記素の対応を一時的に記憶するレベルまで学習させたうえで仮説 2 を再度検討することにした。この実験 2 は Blair & Berryhill (2013) の 2 つ目の実験環境に近いものとなる。

ところで、実験 1 では未知言語としてハングルとアルメニア文字を用いたが、アルメニア文字では 4 人中 3 人で有意に共感覚色が発音に関連したのに対しハングルでは一貫した結果を得ることができなかった。特にハングルでは音声情報を与えていても色字共感覚が発生しなかった場合があった。また同じ発音の書記素同士の CVI のほうが有意に大きい値を取ることもあった。このようにハングルとアルメニア文字で結果の一貫性に違いが出た背景として、音声情報として与えた発音の音声データの特徴が考えられる。ハングルの発音音声は韓国語母語話者が発音している音声を容易に入手することができたためそちらを使用した。しかし、ネイティブの発音であるがゆえイントネーションやアーティキュレーションが日本語での発音と解離していたため、うまく聞き取りがされなかったり日本語書記素と結びつけられなかったりした可能性がある。一方アルメニア文字では、アルメニア語母語話者の音声データは入手することができなかったため、アルメニア文字の音声情報の呈示には該当する **phonetic alphabet** を英語ネイティブが発音したものを使用していた。そのためアルメニア語特有の癖がなく、聞き馴染みのある英語の音声 flowed ため、ハングルの場合よりも容易にアルファベットと結びつけることができたのではないかと推測する。なお、**phonetic alphabet** そのものが短い音声であるため聞き取りにくかった可能性もあり、今後どのような音声情報が使用されるべきかについて大いに検討の余地がある。

以下では実験参加者ごとに実験 1 の結果を考察した。

F1：音声情報なし，ハングル既知

F1 はハングルが既知であったため、(a – c)の mean CVI はいずれも有意であった。この結果は既知言語では共感覚色の決定因が音声情報であるとする Asano & Yokosawa (2011, 2012), Shin & Kim (2015), Kang et al. (2017)と合致していた。従って仮説 1–1 は支持された。ただし、3 種類の書記素すべてに対して同系統の共感覚色であったのは「あ」「い」「う」「お」「せ」のみであり、それ以外は 1 種類が異なる系統の共感覚色である場合が目立った(Figure 2)。一方、(d)では有意差がみられなかった(Table 6)。しかしアルメニア文字同士の間では色の一致が見られた。発音が/i/である「Ի」と、/v/である「Ե」は、右側のはねの有無を除くと形態はほぼ一致しており、両者はいずれも黄色系の共感覚色が回答されていた。ただし、このほかにも類似した黄色が回答された書記素があり、「Ի」と「Ե」の共感覚色が類似していることが形態の類似性に起因しているかは断定できない。これ以外には、垂直方向の直線が目立つ「Է」(/e/)と「Լ」(/l/)は水色系統の色が主立って回答されていた。これ以外に水色系統の色が回答されていることはほとんどなく、別の書記素で 3 回答のうち 1 回だけ回答されている場合のみであった。同様の垂直構造を持っているアルファベットの「I」は黄色と回答しており、これについて F1 は/i/という発音に対し黄色の共感覚色を抱いていると語った。事実日本語群、ハングルでも/i/の発音を持つ書記素はすべて黄色と回答していた。アルファベットでは「I」以外にも「L」や「V」が黄色と回答されているため推測に留まるが、F1 は形態に垂直方向の直線構造を持つ書記素には水色系統の色を共感覚色として感じるのではないだろうか。これに音声情報が加わった時、別の色に変化していると推察した。F1 のこの傾向は未知言語に対する共感覚の決定因が形態であるとする Blair & Berryhill (2013)や、特定の形態に対して共感覚色の傾向があるとする Watson et al. (2012)を支持するものであると考える。

F2：音声情報あり

F2 は(a – d)のすべてにおいて有意もしくは有意傾向で mean CVI と baseline CVI に差があった。F2 は部分的に共感覚色なしと回答していた書記素が多く、部分欠損のあるデータを含めるか含めないかによって有意性が異なった。(a)に対しては部分欠損データに関わらず有意に mean CVI が小さい結果となり、発音が似ている書記素同士の色は有意に類似していることが示され仮説 1–1 を支持した。一方(b)および(c)では、部分欠損を含まない場合は有意傾向、含む場合は有意に mean CVI が baseline CVI よりも大きい結果となった。すなわち、同じ発音の書記素同士のほうがほかの任意の組

み合わせに比べて色の違いが大きかったことになる。なお、部分欠損を含んだほうが有意になったのは、ハングルで共感覚色の回答が 3 回答すべてそろっている書記素が 3 つしかなかったことが原因であると考えられる。F2 には音声情報を与えていたため mean CVI のほうが小さい値を取ると予想していたが、結果は予想とは異なっており仮説 2 を支持しなかった。

仮説 2 が支持されなかった代わりに形態に基づく共感覚色の類似がないかを確認したところ、ハングル内での共感覚色の類似もあまり見られなかった(Figure 3)。たとえば、ハングルでの「あ」と「い」にそれぞれ対応する「아」「이」は字母のほとんどが極めて類似しているが、色合いは「아」がオレンジ、「이」はクリーム色や水色が回答されていた。「데」と「도」はそれぞれ「데」と「도」に対応する書記素で共通の字母を一部有しており、「데」は 1 度だけ水色、「도」は水色と青が回答されていた。しかし、「데」は縦割り、「도」は横割りの構造を有しており、形態が合致しているとは言い難い。よって未知言語の書記素の共感覚色が視覚的形態によって決定されるとした仮説 1 - 2 も支持されるものではなかった。F2 の日本語—ハングル間比較に関しては、音声情報は形態だけによる共感覚色の決定を阻んだが、音声情報が決定因に取って代わるほどの影響力はなかったのではないかと推察でき、Blair & Berryhill (2013)の主張に近い結果となった。

アルメニア文字で共感覚色が発生したのは 4 文字だけであり、いずれも部分欠損のあるデータであった。そのうち「H」「K」にそれぞれ対応するアルメニア文字の共感覚色が類似していたため、有意に mean CVI が小さい結果になったと考えられる。そもそも共感覚色がほとんどのアルメニア文字で発生していなかったことから、F2 にとって音声情報が共感覚色の決定に与える影響は小さいのではないかと考える。従って、アルファベットとアルメニア文字の比較では仮説 2 が支持された。

F3 : 音声情報なし

(a)は有意に mean CVI が小さく、仮説 1 - 1 を支持する結果となった。一方、(b - d)ではほとんどにおいて mean CVI が baseline CVI よりも有意に大きくなる結果となった。F3 はハングルについて 3 文字、アルメニア文字について 8 文字の共感覚色の回答があった。ハングルは 3 文字とも毎回共感覚色の回答があり書記素内で極めて高い一貫性が見られたが、色は同じ発音のひらがなとカタカナとは全く異なるものであった。F3 によると、特にハングルについて「아」(/a/)「이」(/i/)は丸い字母によって白色が浮かび、「가」については左側の字母が漢字の「水」を想起させ「水」の共感覚色

と同じ共感覚色になったと述べていた。未知言語の書記素の形態がひらがなやカタカナ以外の形態の影響を受けたことによって mean CVI が偶然大きくなる結果になったのではないかと考える。この体験談は未知言語に対する共感覚色の決定は形態に影響されていることを支持するものであり、Blair & Berryhill (2013)の実験結果とも合致する。また、形態に共感覚色が起因する場合であっても、「아」「이」のように形態そのものから共感覚色が誘引されることもあれば、類似した形態を持つ既知言語の書記素から誘引されることもあることも示した。よって、F3 の(b – c)の結果はデータが不十分ではあるものの仮説 1 – 2 を支持したと捉える。

また(d)については部分欠損を含まない場合は有意に mean CVI が大きく、部分欠損を含む場合は *n.s.*であった。アルメニア文字では 3 文字で 3 回、2 文字で 2 回の共感覚色が回答されたが、同じ書記素に対する回答は極めて類似していた。この時、部分欠損のない 3 文字のうち「t」が黒であり、アルファベット側に共感覚色が黒である書記素が 5 文字程あったことから部分欠損を含まない時 mean CVI が有意に大きくなったと推測できる。この「t」(/e/)について、同様に垂直方向の構造が目立つ「l」とともに黒が共感覚色と回答されており、アルファベットの「I」も黒色を与えられていた。これ以外にも共感覚色が黒の書記素があるため断定はできないが、形態に起因した共感覚色の発生があったのではないかと考えられ、仮説 1 – 2 を支持する結果になったと推測できる。

F5 : 音声情報あり

F5 も(a – d)において mean CVI が $p < .001$ で有意に baseline CVI より小さかった。F5 は音声情報を与えていた群であることから、実験で使用した書記素すべてに関して音声情報を有していたことになる。(a)では同じ発音のひらがなとカタカナの共感覚色が類似していることが明らかとなり、仮説 1 – 1 が支持された。ただし、「ぬ」は色字共感覚がはっきりとあるのに対し、「ヌ」は一切共感覚色が回答されなかった。これと同様の事例は M2 や M3 でも観察されており、この違いが何に起因するのかはさらなる調査が必要であると考ええる。

また、(b – d)分析結果は、発音が示された未知言語は同じ発音をもつ既知言語の書記素と極めて類似した共感覚色となることを示した。また、アルメニア文字では形態の共通性からみた共感覚色の類似性は観察されなかった。しかし、ハングルでは同じ字母を持つ書記素同士で共感覚色が類似した場合が散見された。たとえば母音を表す「아」(/a/)「이」(/i/)など丸い字母を有する母音はオレンジ色が回答されることが多か

った。ほかにも丸い字母はないが共感覚色はオレンジ色と回答している場合もあり、この共感覚色傾向が形態によるものかは定かではない。従って、仮説 2 はアルメニア文字については明白に支持されたと考えることができるが、ハングルに関しては形態が影響した可能性を否定できず支持されたとはいえ難い結果となった。

M1：音声情報あり

M1 の結果で mean CVI と baseline CVI に有意差が見られたのは(a)のみであった。よって仮説 1-1 は支持された。(a)以外で有意差が見られなかった背景には、M1 は共感覚色のほとんどを黄色と回答しており、書記素ごとに共感覚色の違いがほとんどなかったことが挙げられる。そのため、ハングルやアルメニア文字について形態の共通性をもとにした共感覚色の類似性の比較を行うことができなかった。M1 の場合、ハングルという書記素群そのものに対するイメージや曲線が多用されているアルメニア文字に対する共感覚が先行していたようで、音声情報による影響がほとんど見られなかったと考えられる。また、M1 の持つ色字共感覚は短期獲得決定因の影響によって形成されたものではない可能性もあり、Rich et al. (2005)などが主張する直接的要因も含めた様々な決定因の可能性を検討できる実験デザインを構築する必要がある。

M2：音声情報なし

M2 は完全に共感覚色がないとする書記素や部分欠損のあるデータが多く、既知言語の書記素に対しても共感覚色がないとの回答が目立った。そのため、(a)で有意差が見られた以外は部分欠損を含んだ分析であっても有意差が生じなかった。特に未知言語では共感覚色が 3 回答揃うことがなく、ハングルやアルメニア文字内で形態の共通性に基づく比較を行うことができなかった。従って、仮説 1-1 は支持されたものの、仮説 1-2 は支持されなかった。

M3：音声情報あり

M3 は音声情報ありの群であったが、ハングルに対しては全く色字共感覚が発生しておらず(b - c)の比較は行うことができなかった。(a)のみは他の実験参加者と同様に同じ発音のひらがなとカタカナが有意に類似した共感覚色であることが判明したため、仮説 1-1 だけが支持される結果となった。

また、アルメニア文字では 4 文字のみ回答を得ることができ、これらについては 2 回もしくは 3 回にわたりほとんど同じ共感覚色が回答されていた。しかし回答を得ら

れたアルメニア文字に関して，同じ発音に対応するアルファベットで共感覚色があったのは「Z」のみでデータが不足していたため，(d)の分析結果は仮説 2 を十分に支持するものではなかった。また，アルメニア文字で/h/の発音をもつ「z」が，形態が一部似ているアルファベットの「Z」と極めて類似した共感覚色を与えられており，形態が共感覚色の決定に影響した可能性をぬぐえない結果となった。形態が一部類似した両者が実験刺激としてともに含まれてしまったことは実験の不備であったが，音声情報を直前に与えていても形態がある程度共感覚色に影響する可能性を示唆するものとなった。

実験 2

実験 1 では音声情報を未知言語の書記素の呈示の直前に行い，未知言語の共感覚色に対して音声情報が与える影響を仮説 2 として検討した。音声情報ありの群では 4 人中 3 人の実験参加者において同じ発音の既知言語の書記素と類似した共感覚色が未知言語の書記素に与えられたが，そもそも未知言語に対する共感覚色の回答数が少なく，仮説 2 は十分に支持されなかった。

そこで，仮説 2 についてより深い追究を行うべく実験 2 を行った。実験 2 では，音声情報を直前ではなくまとめて学習させ，音声と書記素の対応が一時的に記憶された状態で共感覚色がどのように変化するかを検討した。実験 1 で未知言語に対しても安定して共感覚色を回答していたのが 1 人だけであったため，この実験参加者を対象とした **Single-Subject Design (A – B デザイン)**を採用した。なお，**Blair & Berryhill (2013)**における学習期間に比べると極めて短時間の学習になるため，長期獲得決定因は大きく影響しないことを仮定した。実験 2 では新たに仮説を用意し，音声情報を学習した書記素の共感覚色は学習後変化することを仮説 3 – 1，変化した共感覚色が同じ発音を持つアルファベットと類似することを仮説 3 – 2 として予想した。

実験 2 : 方法

実験参加者

実験 1 に参加した F1 を実験参加者とした。F1 は実験 1 ですべての書記素に対して共感覚色を回答しており，ほかの実験参加者に比べ回答した共感覚色に偏りがなかった。そのため，より比較が行いやすいと判断した。また，F1 が実験 1 に参加してから 1 か月半程度が経過しており，実験 1 で呈示した未知言語の書記素は覚えていないと判断した。

刺激

実験 1 で使用したアルメニア文字 14 文字と，それに対応した phoenix alphabet の音声を刺激として利用した。音声は英語母語話者が発音しているものであった。14 文字のうち，7 文字を学習条件，残り 7 文字を統制条件として利用した (Table 7)。フォントは Arial Unicode MS を用い，960 x 720 の白色背景画像の中心に表示されるよう調整した (付録 2)。

Table 7

アルメニア文字の学習条件と統制条件の書記素

	学習条件							統制条件						
アルファベット	D	F	I	L	P	U	Z	E	G	H	K	N	R	V
アルメニア文字	Դ	Բ	Ի	Լ	Պ	Մ	Զ	Է	Գ	Հ	Կ	Ն	Ր	Վ

装置

実験 1 と同様，刺激提示用のパーソナルコンピュータに Surface 3 (OS Windows 10)，共感覚色回答用のパーソナルコンピュータには TOSHIBA Lifebook (AH40/M; OS Windows 8) を用いた。共感覚色回答用にはマウス (富士通, M-U0019-O) も用いた。また，刺激の呈示は PsychoPy 3.0.0 (Peirce, 2007, 2009)，共感覚色の選択にはカラーピッカーの Web サービス (<https://araishi.com/color>) を用いた。

書記素と発音の対応関係の学習のためにはパワーポイントを使用した。刺激提示の際と同じフォント、大きさになるよう書記素を 1 文字ずつスライドに表示させ，対応する発音が再生されるボタンを画像の左下端に挿入した。

手続き

まず学習を行う前に、F1 には音声情報のないままアルメニア文字の共感覚色を回答してもらった。その後、学習条件の 7 文字をパワーポイントによって自由に学習させた。学習時は F1 のペースで自由に行わせ、覚える順番や書記素の発音を再生する回数などには制限を付けなかった。F1 が 7 文字すべての発音を記憶できたと感じた段階で実験者がテストを行った。テストは実験者がランダムに書記素をコンピュータ画面上に表示させ、その発音を F1 自身に発音してもらった。学習率が 100 % に到達した段階で、再度 14 のアルメニア文字について共感覚色を回答してもらった。

変数

学習条件と統制条件による共感覚色の違い(仮説 3-1)の検討の際は、独立変数を条件の際、従属変数を共感覚色とした。また、実験 1 で計測したアルファベットの共感覚色との類似性の検討(仮説 3-2)の分析には、実験 1 同様 1 サンプル t 検定を行った。

分析方法

得られたデータのうち TCV が $V \leq 1.00$ を満たしたものだけを分析の対象とした。分析の前に、16 進数のカラーコードで取得した共感覚色を CIE xyY 空間の座標に変換した。その上で CVI を算出し、条件間比較は対応のある t 検定、アルファベットの共感覚色との類似性の検討の場合には 1 サンプル t 検定を用いた。算出した CVI は、学習前後のアルメニア文字、実験 1 のアルファベットの共感覚色と学習前のアルメニア文字、アルファベットと学習後のアルメニア文字の 3 種類である。

実験 2 : 結果

共感覚色の回答状況および TCV

F1 が回答した共感覚色を Figure 15 に示した。Figure 15 には、学習を行う前後での共感覚色に加え、実験 1 を行った際の回答も含めた。

	学習条件							統制条件						
	D	F	I	L	P	U	Z	E	G	H	K	N	R	V
実験 1														
学習前														
学習後														
	Դ	Ֆ	Ի	Լ	Պ	Մ	Զ	Է	Գ	Խ	Կ	Ն	Ր	Վ

– データ欠損

Figure 15. F1 の共感覚色回答状況

Figure 15 から、実験 1 と実験 2 の学習前の段階で一部の書記素の共感覚色が変化していることが伺える。紫や黄色が回答されている書記素は共感覚色が変化なく回答されていることが多く、紫や黄色は形態に強く起因する共感覚色なのではないかと推測できる。また、実験 1 の考察で「Է」 (/e/) と「Լ」 (/l/) は垂直構造であるため水色系統の共感覚色となったことを推測したが、実験 2 の学習前の回答で「Է」は茶色がかったオレンジ色、「Լ」は黄色やベージュ色が回答されており、この推測が誤りであることが明らかになった。

実験 2 での学習前後の共感覚色の変化を条件別で比較すると、学習条件は「Ի」以外で共感覚色が大きく変化しているのに対し、統制条件では「Վ」を除いて同系色のままであった。また、アルメニア文字で視覚的形態が極めて類似している「Ի」 (/i/) と「Է」 (/u/) は、学習前はどちらも黄色系統の共感覚色が多かったのに対し、学習後には「Ի」が青色系統に分化する結果が見られた。

また、学習前後で TCV V を算出した。その結果を Figure 16 に示す。ほとんどの書記素で $V \leq 1.00$ を満たしたが、唯一学習後の「Ի」のみ $V > 1.00$ となったため分析から除外した。

ベットの「G」も紫であったためほぼ同じ共感覚色になった。

分析は SPSS による 1 サンプル t 検定を用い、学習前と学習後でそれぞれアルファベットの共感覚色との比較を行った。結果を Table 8 に示す。まず学習条件において、学習前では $t(195)=6.33, p<.001$ で有意に同じ発音のアルファベットと類似した共感覚色であったのに対し、学習後には $t(195)=-1.75$ で *n.s.*であった。一方、統制条件は学習前には $t(195)=-1.75$ で *n.s.*であったのに対し、学習後には $t(195)=5.85, p<.001$ で有意にアルファベットの共感覚色と類似したことが明らかとなった。

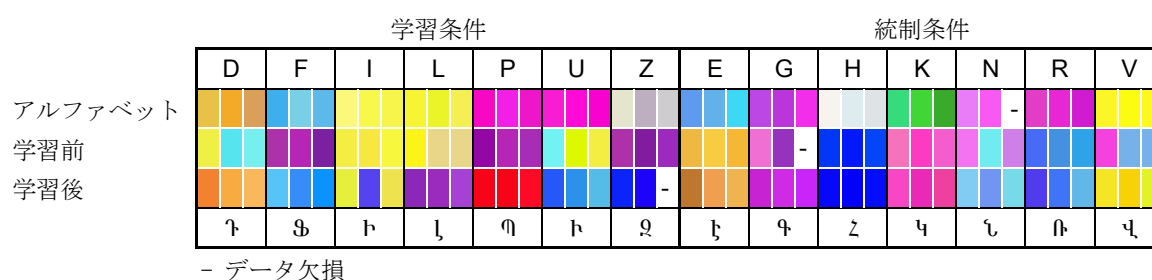


Figure 17. アルファベットと学習前後のアルメニア文字の共感覚色

Table 8

アルファベットと各条件間の CVI 比較

	学習前		学習後	
	baseline CVI	mean CVI	baseline CVI	mean CVI
学習条件	.132	.094***	.162	.155
統制条件	.132	.142	.162	.122***

*** $p<.001$

実験 2 : 考察

実験 2 では、仮説 2 の検討を詳細に行うため、音声情報と書記素の対応を学習させその効果を検討した。まず学習条件と統制条件で比較を行ったところ、学習前後の CVI は学習条件の方が有意に大きかったことから、音声情報の学習によって共感覚色に変化したことが明らかになった。従って、音声情報学習後には共感覚色に変化したとした仮説 3-1 は支持された。このことは音声情報の学習があっても形態によって根本的に共感覚色が決定されるとした Blair & Berryhill (2013) とは異なる結果である。一方、アルファベットとの比較では、学習条件では学習前の共感覚色、統制条件では学習後の共感覚色が対応するアルファベットの共感覚色と有意に類似していたことが分析により判明した。これにより学習後に変化した共感覚色は同じ発音を持つ既知言語の書記素の共感覚色と類似すると考えた仮説 3-2 は分析上支持されなかった。

統制条件は学習前後で共感覚色が有意な変化をしていないにも関わらず、学習後にアルファベットと類似した共感覚色になった点は疑問が残る。そこで回答された共感覚色とアルファベットの共感覚色を個別に比較することにした。Figure 17 を参照すると、学習後にアルファベットの共感覚色と類似した共感覚色が回答されたアルメニア文字は、学習条件・統制条件共にそれぞれ 2 文字であった。学習条件では「Դ」と「Ջ」が変化をしており、これらは学習前後で回答された共感覚色の傾向が全く異なっていた。学習後には学習条件の共感覚色は有意に変化したもののアルファベットと一致したものが少なかったために有意差が見られなかったといえる。アルファベットとの一致が少なかった背景には、学習条件の書記素の共感覚色が音声情報だけに依存したのではなく音声情報と形態の相互作用によって共感覚色が決定されたことが考えられるだろう。もし音声情報だけで決定されているのであれば、「Դ」と「Ջ」だけではなくほかのアルメニア文字もアルファベットの共感覚色に近づくはずである。複数の要因の相互作用による共感覚色の決定は Asano & Yokosawa (2013) や Watson et al. (2012) も主張していることから、音声情報と形態の相互作用も可能性としては十分に考えうる。この点については未知言語に全く共感覚色を感じなかった実験参加者を対象に再度実験を行うことで検証できるだろう。

一方、統制条件では「Գ」は学習前後で変化があり、「Գ」は学習前から同じ共感覚色のままで同じ発音のアルファベットと共感覚色が一致した。実験 1 での「Գ」の共感覚色も回数を重ねるごとに紫に近い色になったことから、「Գ」の共感覚色は紫色に

収束していると考えられる(Figure 15)。統制条件であるはずの「q」が変化した理由は学習時の記憶違いなどが考えられるが、この「q」がアルファベットの共感覚色と類似したことに加え、一貫した共感覚色の「q」が偶然アルファベットと一致したままであったことが学習後統制条件の有意差を生んだと考える。すなわち、F1のアルメニア文字に対する共感覚色はそもそも音声情報がない段階で偶然アルファベットといくつか一致していたため、学習後のアルメニア文字とアルファベットの mean CVI が有意に小さくなったと考えられる。

以上から、仮説 3-2 については支持されなかったものの、実験条件の改善により立証される可能性が残っていると考ええる。

考 察 ・ 結 論

本論は、色字共感覚における共感覚色の決定因が言語の既知・未知の違いによって変化するかを短期獲得決定因に注目し、2つの実験によって検討した。実験1では、第一に既知言語の書記素の共感覚色は同じ発音を持つもの同士で類似することが判明した。従って既知言語の共感覚色は音声情報が強く影響しているといえる(Asano & Yokosawa, 2011, 2012)。また、この既知言語の書記素は同一言語内(e.g., ひらがなとカタカナ)である必要はなく、既知であれば母語と同等に扱えるほど熟知していなくても類似することが明らかになった。この点はマルチリンガル共感覚者を対象にしていた Shin & Kim (2015)や Kang et al. (2017)を補足する結果である。第二に、未知言語の書記素の共感覚色は形態によって決定された場合も見られたが、そもそも未知言語の書記素に対して色字共感覚が発生する実験参加者が少なく、形態が決定因となる可能性は示唆されるにとどまった。従って Blair & Berryhill (2013)の結果は十分に再現されなかった。しかし、実験参加者のうち数名は書記素の形態から直接、もしくは既知言語で類似した形態を持つ書記素を経由して共感覚色を獲得していることを述べていたため、実験参加者を増やすことで追究できるのではないかと考えている。第三に、未知言語に音声情報を与えた場合、その音声情報に基づき未知言語の書記素の共感覚色は同じ発音の既知言語書記素と類似することが明らかになった。しかし、分析に用いた共感覚色の回答は一貫性がないものが多かったため、この点を再度検証するため実験2を行った。

実験2では、Single-Subject Design を用いて、未知言語の書記素と発音の対応を学習した場合における共感覚色の決定因の変化を検討した。学習によって書記素と発音の対応関係が記憶されたとき、共感覚色は有意に変化することがあきらかになったが、既知言語の共感覚色との類似は部分的にしか見ることができなかった。学習させた書記素の数が少なかったことも原因として考えられるほか、学習後の学習条件書記素の共感覚色は音声情報と形態の相互作用によって規定されたとも考えられる。今回実験2には音声情報がないままでも未知言語に色字共感覚が発生する共感覚者に協力を仰いだが、ほとんど色字共感覚が発生しない共感覚者も対象にした実験により2つの決定因が相互作用する可能性を検討できると考えている。

本論の総括として、言語の既知・未知の違いによって共感覚色の決定因は変化することが示唆され、音声情報が与えられている場合はその書記素が未知であっても同じ発音の既知言語の書記素に類似する傾向があることが判明した。ただし、本論の実験

参加者は十分とは言えず、研究の結果を結論付けるには十分なデータが獲得できたとは言えない。特に未知言語に対しては色字共感覚の発生に個人差があったため、すべての実験参加者に対して同じ分析を行うことができなかった。一方で、少数ではあるものの複数の色字共感覚者に対して書記素の共感覚色を CIE xyY 空間および CVI を用いて定量的に調査し、改めて共感覚の多様性を示すことができた(Asano & Yokosawa, 2011; Bannisy et al., 2014; Kang et al., 2017)。これにより、個人の共感覚色を可視化できたことに加え、実験的手法により未知言語の共感覚色を操作できることを示した。すなわち、書記素の有する情報は形態、発音をはじめに多面的であり、それぞれがある割合で共感覚色の形成に関与していることを示唆する。第二言語を獲得している共感覚者を縦断的に研究することで、短期獲得決定因だけでなく長期獲得決定因や直接的決定因の影響まで検討できるのではないだろうか。

引用文献

- Asano, M. & Yokosawa, K. (2011). Synesthetic colors are elicited by sound quality in Japanese synesthetes. *Consciousness and Cognition*, 20, 1816-23.
- Asano, M. & Yokosawa, K. (2012). Synesthetic colors for Japanese late acquired graphemes. *Consciousness and Cognition*, 21, 983-93.
- Asano, M. & Yokosawa, K. (2013). Grapheme learning and grapheme-color synesthesia: toward a comprehensive model of grapheme-color association. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, doi: 10.3389/fnhum.2013.00757.
- Banissy, M. J., Jonas, & Kadosh, R. C. (2013). Synesthesia: an introduction. *Frontiers in Psychology*, 5, doi: 10.3389/fpsyg.2014.01414.
- Beeli, G., Esslen, M. & Jancke, L. (2007). Frequency Correlates in Grapheme-Color Synaesthesia. *Psychological Science*, 18, 788-792.
- Blair, C. D. & Berryhill, M. E. (2013). Synesthetic grapheme-color percepts exist for newly encountered Hebrew, Davenagari, Armenian and Cyrillic graphemes. *Consciousness and Cognition*, 22, 944-954.
- Brang, D., Rouw, R., Ramachandran, V. S. & Coulson, S. (2011). Similarly shaped letters evoke similar colors in grapheme-color synesthesia. *Neuropsychologia*, 49, 1355-58.
- Day, S. A. (2013). Synesthesia: A First-Person Perspective. in *The Oxford Handbook of Synesthesia Ch.44. eds Simner J., Hubbard, E. M., editors*, 903-923.
- Dixon, M. J., Smilek, D. & Merikle, P. M. (2004). Not all synaesthetes are created equal: projector versus associator synaesthetes. *Cognitive, Affective, & Behavior Neuroscience*, 4, 355-343.
- Eagleman, D. M., Kagan, A. D., Nelson, S. S., Sagaram, D. & Sarma, A. K. (2007). A standardized test battery for the study of synesthesia. *Journal of Neuroscience Methods*, 159, 139-145.
- 北九州市立大学国際環境工学部 奥田研究室 RGB から XYZ への変換. Retrieved from <http://vig.is.env.kitakyu-u.ac.jp/etc/rgb2xyz.html.aspx>. 2018. 10. 19
- Kang, M., Kim, Y., Shin, J. & Kim, C. (2017). Graphemes Sharing Phonetic Features Tend to Induce Similar Synesthetic Colors. *Frontiers in Psychology*,

- 8, doi: 10.3389/fpsyg.2017.00337.
- 長田 典子・岩井 大輔・津田 学・和氣 早苗・井口 征士. (2003). 音と色のノンバーバルマッピングー色聴保持者のマッピング抽出とその応用ー. *電子情報通信学会論文誌 A*, 1219-1230.
- Peirce, J. W. (2007). PsychoPy - Psychophysics software in Python. *Journal of Neuroscience Methods*, 162, 8-13.
- Perice, J. W. (2009). Generating stimuli for neuroscience using PsychoPy.. *Frontiers in Neuroinformatics*, 2, doi: 10.3389/neuro.11.010.2008.
- Ramachandran, V. S. & Seckel, E. (2014). Synesthetic colors induced by graphemes that have not been consciously perceived. *Neurocase*, 21, 216-219.
- Rich, A. N., Bradshaw, J. L. & Mattingley, J. B. (2005). A systematic, large-scale study of synaesthesia: implications for the role of early experience in lexical-color associations. *Cognition*, 98, 53-48.
- 裳華房 色度 Figure (Color Diagram). Retrieved from https://www.shokabo.co.jp/sp_opt/spectrum/color3/color-d.htm.aspx. 2018. 10. 19
- Shin, E. & Kim, C. (2015). Both "ㄴ" and "ㄹ" are yellow: cross-linguistic investigation in search of the determinants of synesthetic color. *Neuropsychologia*, 65, 25-36.
- Simner, J., Mulvenna, C., Sagiv, N., Tsakanikos, E., Witherby, S. A., Fraser, C., Scott, K. & Ward, J. (2006). Synesthesia: The Prevalence of Atypical Cross-Modal Experiences. *Perception*, 35, 1024-33.
- Simner, J. (2013). Why are there different types of synesthete?. *Frontiers in Psychology*, 4, doi: 10.3389/fpsyg.2013.00558.
- Tilot, A. K., Kureca, K. S., Vito, A., Asher, J. E., Baron-Cohen, S. & Fisher, S. E. (2018). Rare variants in axonogenesis genes connect three families with sound-color synesthesia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115, 3168-73.
- Volberg, G., Karmann, A., Birkner, S. & Greenlee, M. W. (2013). Short- and long-range neural synchrony in grapheme-color synesthesia. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25, 1148-62.
- Ward, J. & Simner, J. (2003). Lexical-gustatory synaesthesia: linguistic and

conceptual factors. *Cognition*, 89, 237-261.

Watson, M. R., Akins, K. A. & Enns, J. T. (2012). Second-order mappings in grapheme-color synesthesia. *Psychonomic Bulletin and Review*, 19, 211-217.

Witthoft, N. & Winawer, J. (2013). Learning, memory, and synesthesia. *Psychological Science*, 24, 258-265.

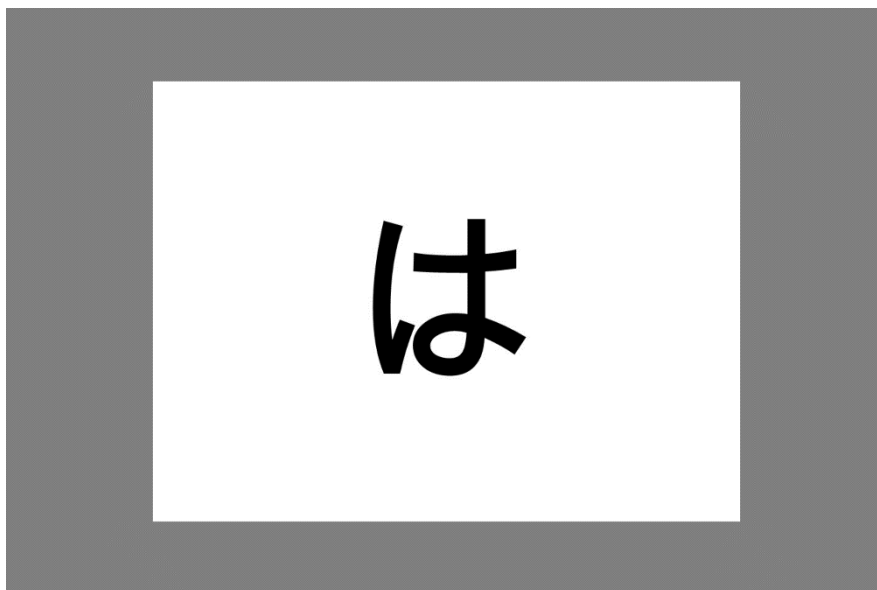
付 録

付録 1 書記素一覧

あ	い	う	え	お	か	く	せ	そ	て	と	な	ぬ	は	ふ	ば	ぶ	め	も	れ	ろ
ア	イ	ウ	エ	オ	カ	ク	セ	ソ	テ	ト	ナ	ヌ	ハ	フ	バ	ブ	メ	モ	レ	ロ
아	이	우	에	오	가	구	세	소	데	도	나	누	하	후	파	푸	메	모	레	로

D	E	F	G	H	I	K	L	N	P	R	U	V	Z
ㄷ	ㄸ	ㅍ	ㅑ	ㅓ	ㅕ	ㅋ	ㄹ	ㄴ	ㅍ	ㄷ	ㅓ	ㅕ	ㄹ

付録 2 刺激提示画面の一例（縮小版）



English Abstract

Previous studies on grapheme-color synesthesia have suggested several determining factors of synesthetic color such as pronunciation, visual shape, ordinance, or frequency; however, almost all of these studies considered known graphemes only. Taking up pronunciation and visual shape from suggested factors, this paper mainly examined the determinants of synesthetic colors of novel graphemes by comparing the colors of known graphemes. In the first experiment, eight Japanese grapheme-color synesthetes answered synesthetic color of Hiragana, Katakana, and Alphabet as known graphemes, and of Hangul and Armenian as novel graphemes. Four of the participants were presented pronunciations of novel graphemes at the same time. The second experiment which was conducted with single-subject design compared synesthetic colors before and after learning pronunciations for novel graphemes. The results showed that synesthetic colors of known graphemes tend to be determined by pronunciation, and of novel graphemes by shape weakly. Also, learning pronunciation made synesthetic colors changed, but the colors did not match with the one of known grapheme of the same pronunciation. These results imply that determinants might be different between known and novel graphemes, and they are not a single factor but the interaction of several factors.

Keywords: grapheme-color synesthesia, learning effect, known grapheme, novel grapheme