

原著論文

日常室内環境での均一床色における色の面積効果

篠森 敬三, 船江 彰

高知工科大学工学部情報システム工学科

CHROMATIC-AREA EFFECT ON HOMOGENEOUS COLOR OF A ROOM FLOOR IN NATURAL INDOOR ENVIRONMENT

Keizo SHINOMORI and Akira FUNAE

Department of Information Systems Engineering, Kochi University of Technology, 185 Miyanokuchi, Tosayamada-town, Kami-city, Kochi 782-8502, Japan

Abstract : Chromatic-area effect is a phenomenon by which color appearance of a chromatic surface changes when a size (visual angle) of it increases without any physical change of the surface. Lightness and saturation of a large chromatic area generally increase compared to a smaller chromatic area. We investigated this chromatic-area effect on homogeneous color of a room floor under light environment in the day (white daylight) and in the night (a fluorescent lamp). Observers performed color matching between a sheet of paper on the floor (2.5m×2.5m) and a color square field in 2 degree presented on the CRT display. The result indicates that even in natural indoor environment, saturation tend to be increased by the chromatic-area effect both light environment conditions, and color variation by the effect is generally larger in the night condition. On the contrary, hue is not changed and brightness (lightness) does not show any systematic change. When the data of matched color are plotted on the coordinates of normalized chromatic-opponent channel axes (r-g chromatic axis and y-b chromatic axis), the influence of the chromatic-area effect for saturation is almost constant for all 8 hues used in this research.

Keywords : Color appearance, Color impression, Influence of illumination, Size effect

1. は じ め に

色を持っている領域（面）の大きさが変化するとその色の見えが影響を受けること（effect of field size）[1] は昔から良く知られており、色デザインなどにおいて考慮しなければならない要因の1つである。

そこで本研究では、特に次章で述べる目的のため、日常室内環境での均一な床面の色における色の面積効果に焦点をあてて調べた。実験は一般的な部屋で日中（白色昼光下）と夜（蛍光灯下）のそれぞれの照明下で行い、被験者は、カーペットのように床に敷き詰めた2.5m×2.5mの色紙（大色票）刺激と同じ色になったと思うまで、ディスプレイ上に呈示されたテスト（小色票）刺激の色を調節してカラーマッチングを行った。調節では色相、彩度、明度の全てを調節し、床の色紙として、8つの有彩色あるいは灰色の9色を用いた。

被験者4人の結果をxy色度座標とu*v*色度座標上にプロットした。xy色度図では結果において面積効果によって彩度が上昇することは必ずしも明確ではなかったが、u*v*色度座標上でのプロットにおいては、昼光・蛍光灯下とも面積効果により、有彩色ではおおむねどの色もクロマ値（彩度）が増えていた。全体的に蛍光灯下の方が面積効果による色の変化が大きいことが判明した。

面積効果の影響をより明確にするため、マッチング結果の色度と輝度より標準被験者の仮定の下に錐体刺激値L, M, Sを計算し、その値よりさらに輝度正規化錐体刺激値l, m,

sを求めた。この輝度情報を除いた結果を、錐体刺激値を用いた反対色信号量の軸（r-g軸, y-b軸）にプロットし、さらに、プロットした大色票データと小色票データのそれぞれに近似楕円をフィットして結果を検証した。その結果、本研究で用いた8色の条件では、輝度変化の影響を除去すると、どの色も彩度に対する面積効果の影響が同程度であることが判明した。

2. 従来研究と本研究の目的

刺激のサイズを変えることによる色の変化は、実験室的には良く調べられている。標準刺激サイズのひとつである視角2度からサイズを小さくした場合には、いずれの色相でも彩度が低下する[2]。さらに小さくしていくと、S錐体が中心窩に存在しない[3]ことから、S錐体混同色線上的の色弁別が悪化する[4]とともに3型2色覚と同様の見え（小視野トリタノピア）になる。つまり黄青反対色応答が微弱になり、青だけではなく黄色の見えも大きく減少して白の見えに置き換わっていく[5]。

一方、刺激サイズを2度より大きくした場合にも色覚が変化する。例えばレイリーマッチ（Rayleigh match）において色刺激サイズを大きくすると一致点（mid point）が変化する。これはマッチングにおける面積効果であるところの「色合わせの面積効果（color-match-area effect）」[6-9]として昔から良く知られている。この一致点は赤緑混色色刺激領域と黄色標準色刺激領域との間での錐体外節における光

量子吸収量の比を一致させる点である。一致点のばらつき (match width) は (S/N 比の観点から) 錐体数、錐体信号の利得 (gain) や網膜以降の処理過程の影響を受けるかもしれないが、それらは光量子吸収比には影響しない [9]。一方、光量子吸収比で決まる一致点そのものは、錐体における視物質光学濃度 (optical density) や水晶体による分光吸収、あるいは視物質の分光吸収率によって影響を受けるかもしれないが、それらは一致点のばらつきには影響を与えない [9]。水晶体の分光吸収や視物質の分光吸収率は刺激サイズ変化によっては影響されないことや、桿体の寄与の影響は色の見えにはあるが一致点には影響しないこと [6] を考慮すると、色合わせの面積効果は、網膜の領域によって錐体視物質の実効光学濃度が変化すること [10] を反映していると考えられている [6, 9]。

このように刺激サイズ変化の影響は様々に調べられている。しかし、色や色デザインに対する感性応答を検討する感性工学の観点からすると、実験室的な刺激呈示であり視覚刺激が極めて限定された中でのある狭い面積範囲内での実験結果だけでは、依然として面積効果についてのいくつかの疑問は解消されていないと考えなければならない。

まず第 1 に、色合わせの面積効果と色の見えに対する面積効果との関係である。感性工学的な観点からは、単なるマッチング一致点 (色合わせ) の変化ではなく、色の見えが色刺激領域の面積によって変化することにより興味がある。そこで、本研究をはじめににあたっては、色の見えをカラーネーミングなどで評価することも検討した。しかし、面積効果が比較的微小であった場合に、感度が高くないカラーネーミング法では検出できない可能性を考慮しなければならなかった。そこで、カラーマッチングの変化を測定することとしたけれども、上記先行研究のようなテスト刺激と参照刺激の両方の刺激サイズを同時に変化させることで刺激の色の見えから離れた実験とはしなかった。その代わりに、参照刺激を大きな面積を持つ刺激とし、テスト刺激を視角 2 度の刺激として、刺激の色の見えの完全なマッチング (メタメリックマッチ) を行うことによって、大きな領域の見えを間接的に取り出すこととした。この手法は第 1 著者のいくつかの先行研究によって有効であることが確かめられている [11-13]。このため、本研究で調べる面積効果は、色合わせの面積効果 (color-match-area effect) よりもむしろ一般的な色の面積効果 (chromatic-area effect) ということになる (以降、色の面積効果あるいは単に面積効果と称する)。

第 2 に、刺激サイズ変化の影響が、一般的な視環境の場合にも起こりうるのかという疑問である。色恒常性の場合では、視野内にある程度の数の色刺激がある方が、単に灰色背景上色刺激が 1 色しかない場合と比べてはるかに強い色恒常性を示すことが知られている [14]。このことから日常視環境においては、高次脳機能により実験室的な条件で見られた色の面積効果がうまく補正されて、生じない、あるいは日常生活では問題にならない程度に微小になっている可能性も考えられる。そのために、日常視環境においても色の面積効

果が生じるかどうかを検証する必要がある。

第 3 に、刺激サイズ変化の影響は、赤緑 (RG) あるいは L 錐体、M 錐体による色応答の場合にのみ生じるのか、あるいは他の色 (色相) の場合や S 錐体による色応答の場合にも生じるのか、という疑問である。前述の先行研究では、赤緑の単色光や赤緑スペクトル線上での単色光による混色光 (Rayleigh match) による実験であったため、他の色相における面積効果は不明である。実際問題として、面積効果の主要因が、刺激対応網膜領域の増大に伴う錐体の光学濃度の連続的变化に由来する [6, 9] のであれば、中心窩に存在せず密度も疎である S 錐体については同様の面積効果が発生しない可能性も考えられる。もしそうであれば、S 錐体信号を利用する黄青色応答については、刺激サイズ変化の影響が、赤緑色応答とは異なる可能性が考えられる。そこで、幅広い波長分布を持つ色表面を用い、また赤緑線上以外の色相を用いて他の色相における面積効果を検証する必要がある。

第 4 に、面積効果と日常の照明環境との関係はどのようなになっているのかという疑問である。より具体的には、大面積の色領域の全ての領域に対して必ずしも均質ではない日常室内環境における昼光や蛍光灯による照明環境下では、同じ表面 (物体) と考えられる連続的な領域においては、同じ色を持つはずであるという認知的な処理が行われることが考えられる。つまり不均質照明が認知的処理の中で表面属性ではないものとして処理される過程の中で、網膜上での光学濃度の変化も表面属性ではないものとして処理される可能性もある。その結果、日常室内環境においては面積効果が観察されない可能性も考えられる。そこで、日常室内環境で一般的な照明条件下での刺激サイズ変化の影響を測定する必要がある。さらに、照明光自体の色が変化してもそれが日常起こりうる色恒常性範囲であれば問題無く面積効果が生じることを確認する必要がある。

本研究では、以上の疑問に答えるために、(1) 刺激サイズの異なる刺激間でのマッチングを実施、(2) 日常室内環境における実験、(3) 赤緑線上以外の色における面積効果の検証、(4) 一般的な照明環境下での測定と照明変更の影響を検証、を行うことを目的とした。

3. 実験方法

3.1 実験装置

実験で利用する部屋は一般的な部屋を用い、1 台の PC に接続された実験者専用液晶モニタとテスト刺激呈示用 CRT ディスプレイ (SONY CPD-G220)、机、椅子を部屋に設置した。実験操作用液晶ディスプレイと刺激呈示用 CRT は同じ PC に接続されて画面上も繋がっている。部屋の床面には刺激として色が印刷された紙を窓際に敷き詰めた。実験を行う部屋の照明環境として、日中は白色昼光 (自然太陽光)、夜は部屋の蛍光灯を利用した。被験者は部屋に設置された椅子に自由な姿勢で座ってもらい実験を行った。図 1 に実験室の概略図を示す。

3.2 被験者

実験に参加した被験者は、色覚正常な男性4名である。KI、KAは20歳、AFは21歳、KYは22歳であった。色覚特性は石原式色覚検査表とパネルD-15により確認した。

3.3 実験刺激

実験に用いた刺激は、大判(A0)インクジェットプリンター(Canon iPF700)で作成した、2.5m×0.84mのサイズの紙を色ごとに3枚印刷し、2.5m×2.5mのサイズになるように床に並べた。これを大色票とする。大色票の色は、Adobe Photoshop(5.0.2J)で使用されているHSBモデルを利用して設定した。このモデルでは、色相は0度～360度までの角度で表されている。彩度は0%～100%までで表され、数値が上がるほど彩度が上昇する。明度も0%～100%で表され、数値が上がるほど明度が上昇する。大色票として、色相0度(赤)～315度(紫)までの45度おきの8色と、無彩色として灰色の全9色を用いた。色相45度おきの8色は設定上で明度を50%、彩度を50%に固定し、灰色は色相0度、彩度0%、明度50%とした。PCアプリケーション上の設定によって作成したこれら色刺激は、被験者にとっての彩度や明度という観点からは必ずしも正確ではない。しかし、本設定は妥当な実験刺激色を決めるためのものである。実験において等明度や等彩度であることを仮定していないことと、データ値としてはそれぞれの照明下における直接測光値を用いるため、本設定を用いることは実験の精度には影響を与えない。実験における照明環境として、昼光条件は外よりの白色昼光(自然太陽光)により床面を照明し、夜間照明条件では部屋の蛍光灯により照明した。

マッチングを行うテスト刺激は、Adobe Photoshop(5.0.2J)で作成した。サイズは視角2度×2度(画面上サイズ4cm)の正方形色票とし、これを小色票とする。小色票の周囲には、明度50%の灰色を出した。CRTディスプレイの色温度は6500Kに設定した。

本実験は、太陽光と蛍光灯という日常照明環境における面積効果を測定するものであり、面積が同じであれば、マッチ

ングにより同じ輝度と色度が求められるはずである。ところが、それぞれの照明環境における照度が異なるため、床面に置いた標準白色面の持つ輝度も異なる。面積効果を測定する観点からは、大色票と小色票とのマッチング時において、小色票を呈示する画面輝度と大色票の輝度との間の輝度の差が、異なる照明条件下で異なっていると、同じ面積でも同じ色度でマッチングしない可能性もあり、かつ照明条件の差違を評価することも難しくなる。そのため、毎回の照明環境下において床面9カ所に置いた標準白色面(CS-A5、コニカミノルタ)の表面輝度を測定し、その輝度とディスプレイの作る標準白色(R、G、Bを全て255に設定、色温度6500Kはディスプレイにより設定)の輝度を可能な範囲で合わせた。設定後に、大色票と小色票それぞれの輝度を測光した。測光には色彩輝度計(CS-200、コニカミノルタ)を用い、基準白色の輝度測光結果は表1の通りである。本研究は日常室内環境での実験のため実験を行う度に環境が変化するので、実験を行うたびに基準となる白色を測光した。

3.4 実験手順

床面に敷き詰めた大色票とCRTディスプレイ上の小色票とのカラーマッチングを行った。実験開始前には、被験者に判断条件(「同じ色に見えた」と思うまで調節する)について説明した。カラーマッチングは、HSBモデルを利用し、同じ色になったと思うまで、色相(Hue)、彩度(Saturation)、明るさ(Brightness)(見えとしては明度)の全てを調節し行った。

実験は両眼自然視で行い、実験時間は日中と夜に行った。照明環境として、日中は白色昼光(太陽光)、夜は蛍光灯を利用した。被験者4人にそれぞれ9色のカラーマッチングを日中と夜に対して3回ずつ行い、被験者ごとに平均を取った。カラーマッチング後、大色票と小色票とを比較するため、床面に敷き詰められた大色票とCRTディスプレイ上の小色票とに対し、上記色彩輝度計を用いて測光を行った。大色票の測光は紙の9箇所(大色票を同じサイズの9枚に分割したと考えたときの中心位置)で計測し、平均値をその実験の測光値とした。測光により得られたデータをxy色度図とu*v*色度図にプロットした。

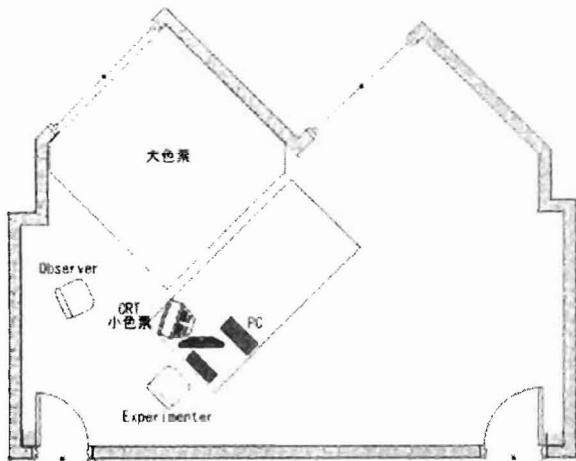


図1 実験室の概略図

表1 各照明条件および実験回における床大色票面標準白色輝度(各箇所平均測光値)およびCRT表示小色票白色輝度(調整値)
(単位 cd/m²)

	実験回	床面標準白色板輝度 (大色票白色)	CRT表示基準白色輝度 (小色票白色)
昼光条件	1	79.7	78.7
	2	51.1	54.8
	3	65.7	65.7
夜間照明条件	1	108.2	108.7
	2	111.8	111.1
	3	111.8	111.1

4. 結果

4.1 CIE xy 色度図表示の結果

本章では、マッチング実験で得られた実験結果を示す。呈示した床の大色票とCRT上小色票とのマッチング結果をそれぞれ測光器で測定し、得られた L （輝度）、 x 、 y の値を xy 色度図にプロットした。マッチングを行った小色票データに関しては、3試行分の L 、 x 、 y 値より三刺激値 X 、 Y 、 Z の平均値を計算してから xy 色度図上にプロットした。

図2に昼光条件での結果を、図3に夜間照明条件での結果を被験者ごとに示す。各図の横軸は x 値で縦軸は y 値である。また図内に表示されている三角形の線分は、ディスプレイに表示される色の範囲であり、一部の大型色票データが三角形の外に位置するのは、印刷物である紙の色度座標がディスプレイ表示範囲の外にあることを意味している。大型色票のデータ点より外側に小色票のデータ点が位置していることは、大型色票が小面積の小色票よりも鮮やか（高彩度）に見えていることを示している。逆に、小色票のデータ点が内側にあると大型色票は小色票ほど鮮やかではないということを示す。

昼光条件と比べて夜間照明条件の場合に、大型色票および小色票のデータは全体的に黄色方向に移動している。これは主に照明（蛍光灯）の効果だと考えられる。全ての被験者の結果は類似しており、一部の色では必ずしも明確ではないものの、ほとんどの刺激色で小色票が大型色票より外側にプロットされており、大型色票の方が、高彩度に見えていることを示唆している。全体的に夜間照明の方が面積効果の影響による色の変化が大きい傾向が見られる。特に、昼光条件と比べて夜間照明条件の場合に、青色付近の色の彩度上昇が大きい。ただし、図において昼光条件の場合はシアン方向の色、夜間照明条件の場合は黄色方向の色の彩度が上がっていないように見える。夜間照明条件におけるシアン方向の色の变化および昼光条件における黄色方向の色の变化より推定すると、おそらく被験者に見えた色がより高彩度であっても、ディスプレイで表現できる色の範囲より外に位置するため、データとして表現されなかった可能性が考えられる。

4.2 CIE u^*v^* 色度図表示の結果

前節では、被験者4人の結果を xy 色度座標にプロットしたが、結果において面積効果によって彩度が上昇することは必ずしも全ての色相で明確ではなかった。これは面積効果によって生じる明るさの変化が、マッチングでは輝度変化として発生するため、単純な xy 色度図では明確に表示されないことが原因であるかもしれない。そこで、結果の L 、 x 、 y 値から L^* 、 u^* 、 v^* を求める計算をし、 xy 色度図と同様に大型色票と小色票の u^*v^* 値をプロットした。計算においては、大型色票データについては、床面に一時的において測光した標準白色板の輝度値においてルミナンス・ファクター（ Y ）を100とし、小色票データについては、CRT上の標準白色（ $(R, G, B) = (255, 255, 255)$ ）の作り出す白色）の輝度値において Y を100とした。つまり表1の輝度で Y を100とした。

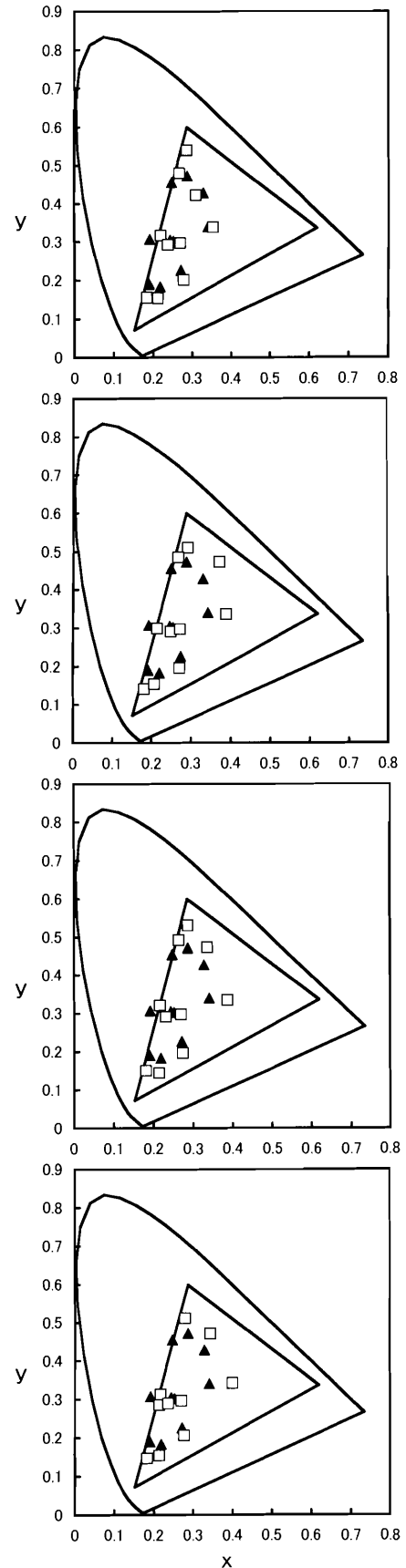


図2 昼光条件における大型色票の xy 色度座標（▲）とマッチングした小色票の xy 色度座標（□）。上のパネルから被験者AF, KY, KA, KIの結果。図中の三角形はCRT上の画面表示色範囲を示す。

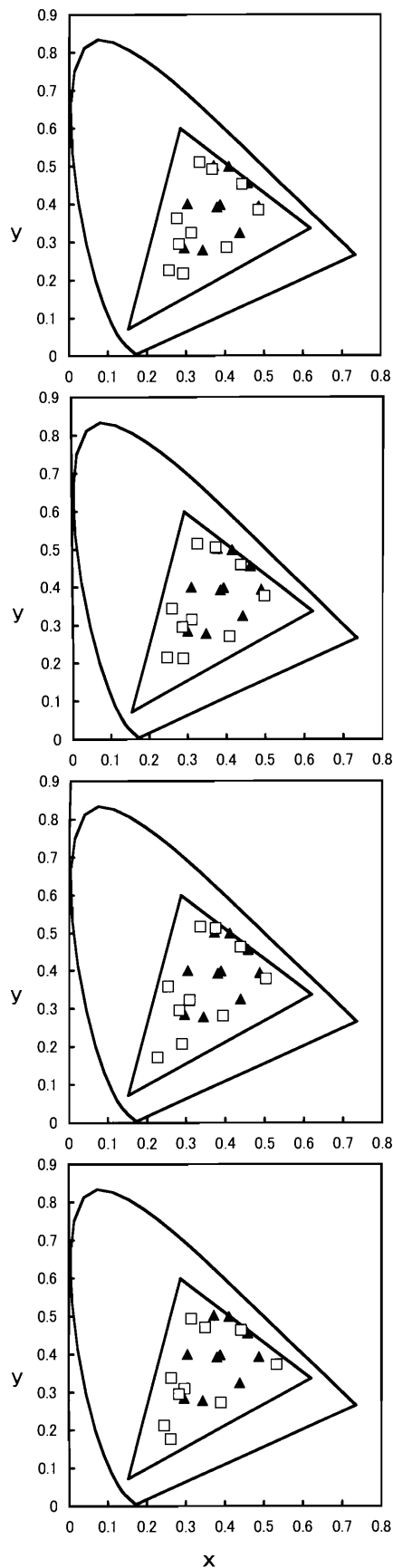


図3 夜間照明条件における結果。
他は図2と同じ。

また同様にそれら白色の u^*v^* 色度を基準白色値とした。 u^*v^* 色度図では、横軸に u^* 値を縦軸に v^* 値を取った。また、図内に表示されているいびつな三角形の線分は、ディスプレイに表示可能な色の範囲である。

図4に昼光条件における、図5に夜間照明条件における第2回目のセッションの実験結果を被験者ごとに示す。 u^*v^* 色度図の場合はルミナンス・ファクター（すなわち輝度）をデータ点に含むため、日常室内環境という輝度の変化が大きい条件でのデータは3回の実験の平均は取らず、実験ごとに結果をプロットしたものである。他の2回分のデータも同様な傾向である。 u^*v^* 色度図の場合には、大色票のデータ点が形作るデータ点環よりも小色票のデータ点環の方が直径が大きく、特にこの傾向は夜間照明条件で顕著である。しかし、夜間照明条件の場合は、データ点環の中心部が u^* プラス、 v^* プラス方向である朱色方向（いわゆるYellow-Red (YR) 方向）にシフトする傾向が強く見られる。よって、色の面積効果によって彩度が上昇している傾向が見られるものの、この表示方法によっても彩度上昇は必ずしも明確ではない。よって考察において別のデータ処理を行い、彩度上昇についてあらためて検証することとする。

5. 考察とまとめ

5.1 色の面積効果による彩度の変化

色の面積効果による彩度上昇について明確にするとともに、面積効果と錐体応答量との関係調べるために、測光値より3錐体の錐体刺激値 L, M, S を求めた。この計算においては、標準被験者の仮定を導入しており、水晶体濃度などの個人別の調整は行っていない。ただし錐体刺激値 L, M, S は強度（輝度）情報を含んでいるため、彩度に対する影響が明確にならない。そこで、測光で得られた輝度値を用いて、輝度情報を省いた輝度正規化錐体刺激値 l, m, s を求めた。 $l = L/(L+M), m = M/(L+M), s = S/(L+M)$ である。そのデータを基に、反対色応答の式に基づいて値を図にプロットした。ここでは横軸にRed/Green応答量として $l-2m+0.05s$ の値を取り、縦軸にBlue/Yellow応答量として $s-(l+m)$ の値を取った。この座標系における大色票と小色票のプロット点の位置関係により、輝度情報を省いた色信号の強さ、つまり彩度に対する面積効果の影響を調べることができる。ここでは大色票データと小色票データのそれぞれに近似円を書き、近似円の中心点の座標、長軸短軸の長さ、傾きなどを参考にして面積効果の影響を調べた。

図6は昼光条件の、図7は夜間照明条件の結果を示す。図のデータ点は刺激色ごとにプロットしており、内側の楕円は大色票データに対する近似を、外側の楕円は小色票データに対する近似を行っている。楕円近似においては全てのデータ点を用い、楕円のパラメータに関してCRT画面表示色範囲による制限等は行っていない。その結果、昼光条件と夜間照明条件のいずれにおいても、近似楕円の中心座標があまり変化せずどの色（色相）でも面積効果の影響はほぼ同じであった。

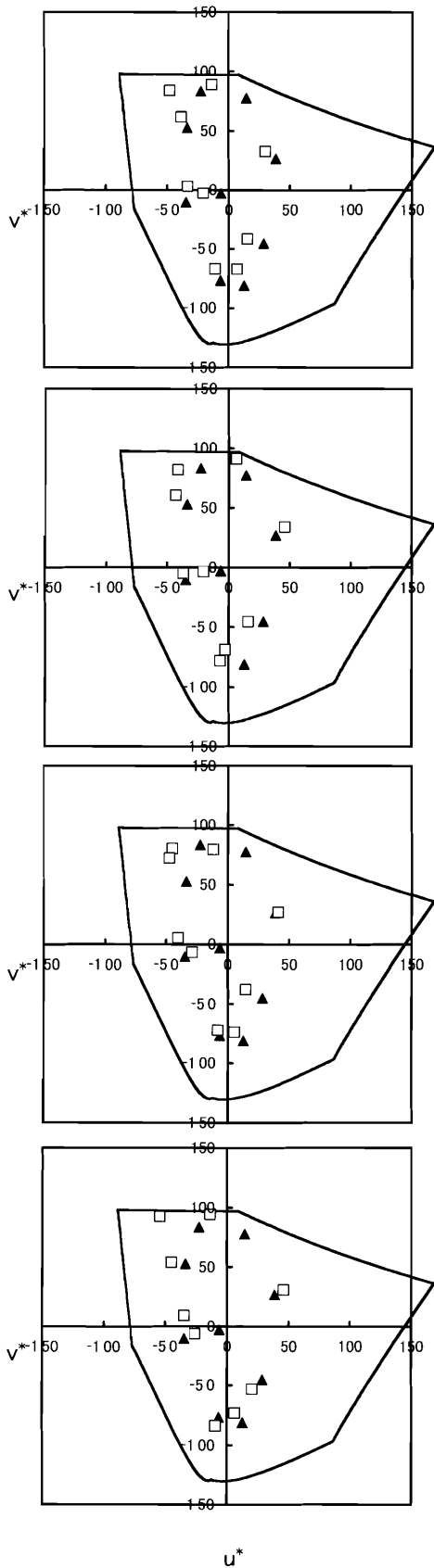


図4 昼光条件の第2セッションにおける大色票の u^*v^* 色度座標(▲)とマッチングした小色票の u^*v^* 色度座標(□). 上のパネルから被験者AF, KY, KA, KIの結果. 図中の曲線図形はCRT上の画面表示色範囲を示す.

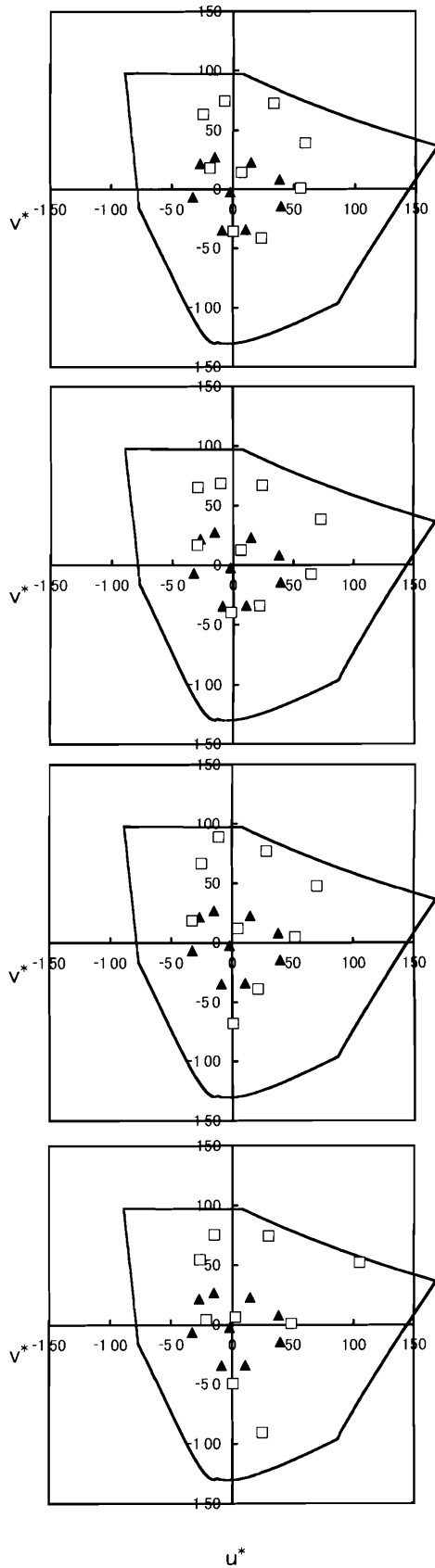


図5 夜間照明条件における結果.
他は図4と同じ.

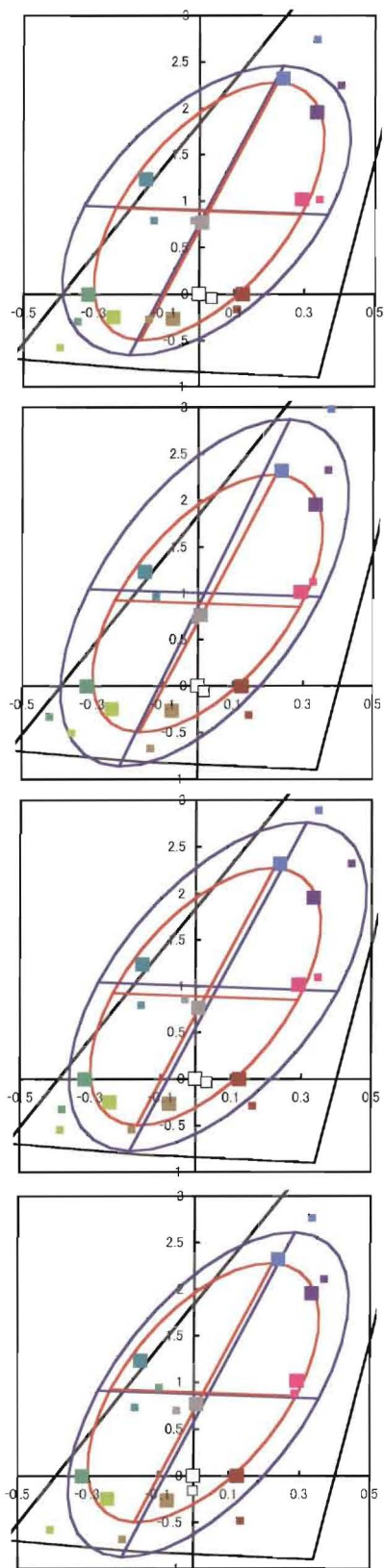


図6 正規化色信号空間座標（横軸： $l+0.05s-2m$ ，縦軸： $s-(l+m)$ ）にプロットした昼光条件における大色票（■）と小色票（■）のデータ。シンボル色はおおよその刺激色に対応する。図中の外側と内側の楕円はそれぞれ小色票と大色票データに対する近似。上のパネルから被験者AF, KY, KA, KIの結果。

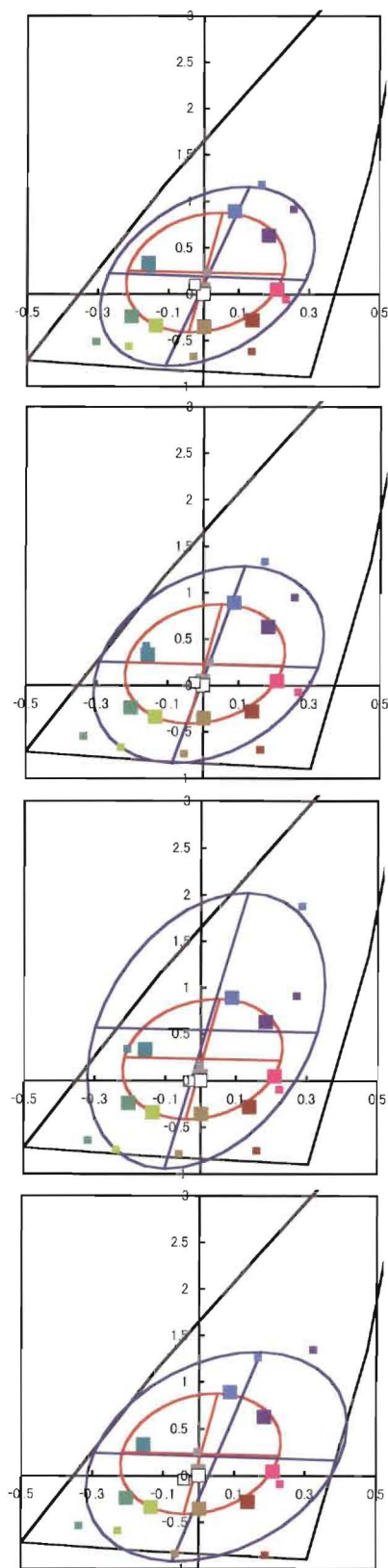


図7 夜間照明条件における結果。
他は図6と同じ。

更に、近似楕円中心を原点とした時の大色票のデータ点および小色票のデータ点のなす角度より、面積効果による色相の変化を調べることができる。図から明らかなように、左斜め上（おおよそ図中で135度方向）に位置するシアン（シアン）のデータ点を除いては、両者にはほぼ角度差はなく、面積効果は色相にはほとんど影響しないことが判明した。シアンのデータ点において色相差が大きいのは、CRTの色再現領域があるため、被験者が色を再現できず、色相に差が出てしまったためだと考えられる。

5.2 色の面積効果による明度（明るさ）の変化

一般的には、面積効果の影響で明度（明るさ）が上昇するといわれている。そこで、本研究のような環境において明度が上昇するのかを調べるため、大色票と小色票の測光データより求めた前述の錐体刺激値 L 、 M をプロットした。図8に1名の被験者における昼光条件と夜間照明条件の結果の例を示す。この座標系では、横軸に L の値を、縦軸に M の値を取っており、右上方向がマッチングにおける輝度の上昇を、左下方向が輝度の減少を示す。この座標系でのデータ点より面積効果の影響により明度が上昇するかを検証することが出来る。

図中の点は各色のデータであり、同じ色の大色票と小色票を線で繋いでいる。

図からわかるように、いずれの場合も本実験刺激においては、むしろマッチング時の輝度が下がる傾向が見られた。この結果は、従来言われている面積効果によって明度が上昇して見えるという知見に反するように見える。しかし、大色票にもCRTを用いた第1著者の先行研究[11-13]では、面積効果によって明らかに明度が上昇している。今回の実験では、CRT上小色票の周辺灰色の明度（輝度）が、相対的に大色票そのもの、あるいは大色票の周辺環境よりも低かったために、低輝度でも周辺が暗ければ明るく見えるという明るさ対比が生じることにより、結果としてマッチング時の輝度が下にシフトした可能性が考えられる。また、錐体刺激量（輝度）の変化量自体も様々であり、現時点では明度への影響を量的には予測することはできていない。さらにいくつかのパラメータを導入した実験を行う必要があると考えられ、今後の課題である。

5.3 今後の実験の展開

今回の実験では、床に置いたプリンター印刷の色とCRTディスプレイ上の色とのマッチングを行った。実際の照明環境における色の面積効果を測定するという目的を達成することはできたが、より現実 に即した実際の使用状況における色の面積効果について考察するためには、今後、さらに2つの点について、より高度な実験手法を用いて検証する必要があるだろう。

1つには、実際に使用するマテリアル（毛足の長い絨毯など）を用いた実験を行うことである。マテリアルの表面形状やそれによる表面の陰影などが実験結果に影響を及ぼす可能

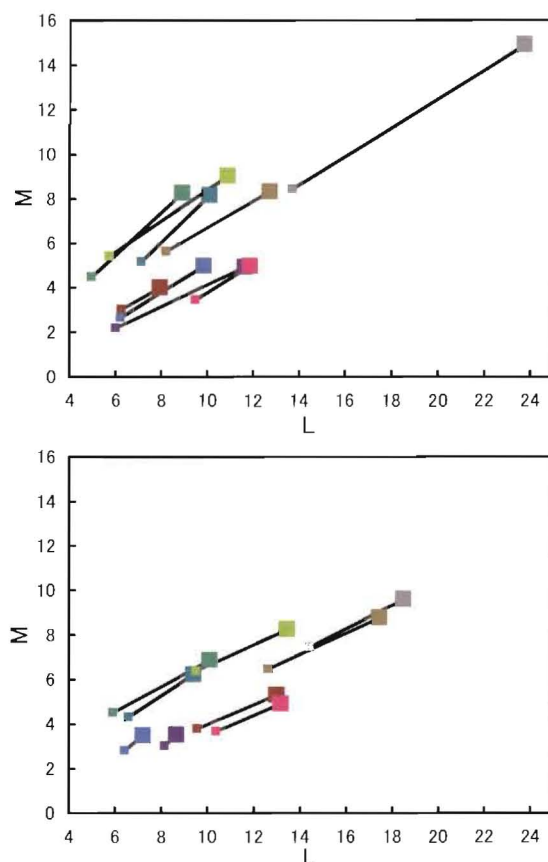


図8 錐体刺激値空間（横軸： L 、縦軸： M ）にプロットした昼光条件（上）および夜間照明条件（下）における大色票（■）と小色票（■）のデータ。シンボル色はおおよそ刺激色に対応し、同一色を黒線で結んでいる。被験者AFの結果。

性を検証する必要があるからである。

もう1つには、実験で使用するマッチング手法の影響を把握することである。今回のように片方をPCの画面とする方法は確かに測定作業の効率は高いが、異なる素材によるマッチングとなることで、被験者の作業難易度を上げてしまっている可能性も考えられる。マッチングについても同じ素材でのマッチングとなるように片方を色票セットや実際のマテリアルによる色見本セット（絨毯色見本セットなど）にする実験を行って、マッチングの容易さなどを含めてその影響を測ることも重要である。

またこれに関連して、床面全体の色を1つのマッチングで行う今回の手法の難しさについても、例えば、床面を細かなメッシュに切って、その領域それぞれについてマッチングを行う手法が考えられ、時間はかかるが被験者の作業難易度を下げる方法として検討に値する。

5.4 本研究による知見

2章で述べた本研究の目的に対応して、本研究によって得られた知見について述べる。

まず、色合わせの面積効果と色の見えに対する面積効果との関係については、実験室的厳密性で求められる色合わせの

面積効果だけではなく、色の見えに対する面積効果も存在することが明らかとなった。

また本研究で採用した異なる刺激サイズ間での色マッチング手法によって、色の見えの面積効果を測定可能であることも併せて示された。ただし明度の測定においてマッチング時の輝度が下がる傾向が見られたことは、今回用いたマッチング手法において、大色票そのもの、あるいは大色票の周辺環境を考慮してそれらと等価な小色票周辺条件を定義することの困難さを示している。今後この実験手法を周辺環境条件の統制が難しい日常環境下で用いる場合には、同じサイズにした場合に同じ輝度でマッチングするように周辺灰色の輝度を調整する必要がある。ただしこの実験における被験者の内観から考えると、別の方法であるカラーネーミング法により面積効果を検出できるかどうかはやや疑問があり、少なくとも単一命名法（1つの色のみを答える）では難しいのではないかと考えられる。

刺激サイズ変化の影響が、一般的な視環境の場合にも起こりうるのかという疑問、および、必ずしも均質ではない日常室内環境における昼光や蛍光灯による照明環境下でも起こりうるのか、という疑問については、少なくとも本実験刺激ぐらい面積が異なれば、明確に色の違いがわかるほど色の見えの面積効果が強く生じるという解答が得られた。日常では視距離（よって視角も）は変わりうるものの、4cm角の色サンプルの色から2.5m角のカーペットの色を決めることの難しさが経験的に良く知られており、このことをあらためて検証したことになる。この例からも判るように、色の見えの面積効果は、照明光の変化や不均一照明の影響のように色恒常性などで除去される性質のものではなく、あたかも表面（材料）の属性（この場合は色）が異なっているかのように知覚されることが判る。照明の差については、輝度正規化色信号ベースでみると、もとの物理的な色の分布（データでは大色票のデータ点）に影響を与えるのみであり、色の面積効果には照明の違いは特に影響しないことも明らかとなった。

また、本実験の結果は、輝度で正規化したRed/Green応答量およびBlue/Yellow応答量空間において面積効果に特に異方性が見られない、つまり色相の影響は見られないこと、および（近似楕円の中心で表される）中性色と呼ぶべき色中心がほとんど移動しないことを示した。これより、刺激サイズ変化の影響は、赤緑（RG）あるいはL、M錐体による色応答の場合にのみ生じるのか、あるいは他の色（色相）の場合やS錐体による色応答の場合にも生じるのか、という疑問に対し、色の見えの面積効果の発生は赤緑（図6の水平方向）やL、M錐体に限定されるものではないという解答を与える。つまり、他の色相の場合やS錐体による色応答の場合にも生じること、および輝度を正規化したときの色信号ベースでみると色の面積効果は色相にほとんど依存していないこと、が明らかとなった。

さらに、色中心がほとんど移動しないという結果は、実験室的に行われた先行研究の結論であるL、M錐体の実効光学濃度の変化によるL、M錐体応答量比の変化が面積効果（実

験としては色合わせの面積効果）の要因であるとする考えの延長上で、実際の大量面積における色の見えの面積効果を説明できないことを示している。なぜなら錐体応答量比の変化がすなわち面積効果であるなら、面積効果とはこの空間座標上での色中心のズレによる色シフト（図6、図7では2つの近似楕円の中心のズレのみがサイズ変化による色変化であることに対応）ということになるからである。さらにS錐体が中心窩にほとんど無いのにBlue/Yellow応答量方向（正確には図6、図7の近似楕円の縦方向軸に対応）でも同程度の面積効果が存在することも、同様にL、M錐体応答量比では本実験刺激での面積効果を十分に説明できないことを示すものである。

このことと、5.2節で述べたように明度の変化を定量的に予測できないこともあって、本研究の結果から、面積効果を生じさせる視覚科学的な要因自体は逆に不明確になったとも言える。このため、感性工学的な応用については、現時点では次節のまとめで述べるような定性的理解に基づくものに限定されることになろう。また本研究では均一色で実験が行われたが、複数の色の混在や模様がある場合などにおける色の面積効果の影響については、今後実験を行ってデータの蓄積をまず行う必要がある。

5.5 ま と め

今回の実験で用いたような幅広い分光放射輝度分布を持つ色票を用いた場合に、一般的な視環境の場合でも、色の面積効果は明確に色の違いがわかるほど強く起こる。色の変化としては、色相の変化はほとんどない一方で、輝度（見えとしては明度あるいは明るさに対応）で正規化すると、どの色相でもほぼ同程度の彩度の上昇が生じる。この彩度上昇については、RG、YBの応答量空間における楕円近似で予想可能である。ただし、明度の変化量については一定の傾向は見いだせず、色相によってランダムに明度変化量が変化しているように観察された。

謝 辞

本研究の一部はJST「平成19年度シーズ発掘試験」および科学研究費補助金(B 20300081)の支援を受けてなされた。

参 考 文 献

- [1] 中嶋芳雄：面積効果〈色彩用語事典（日本色彩学会編）〉、東京大学出版会、pp.462-463、2003。
- [2] Middleton, W.E.K., Holmes, M.C.: The apparent color of surfaces of small subtense - A preliminary report, Journal of the Optical Society of America, 39, pp.582-592, 1949.
- [3] Curcio, C.A., Allen, K.A., Sloan, K.R., Lerea, C.L., Hurley, J.B., Klock, I.B., Milam, A.H.: Distribution and morphology of human cone photoreceptors stained with anti-blue opsin, Journal of Comparative Neurology, 312, pp.610-624, 1991.

- [4] MacAdam, D.L.: Small-field chromatic discrimination, Journal of Optical Society of America, 32, pp.247-274, 1942.
- [5] Alpern, M., Kitahara, K., Krantz, D.H.: Perception of color in unilateral tritanopia, Journal of Physiology, 335, pp.683-697, 1983.
- [6] Pokorny, J., Smith, V.C.: Effect of field size on red-green color mixture equations, Journal of the Optical Society of America, 66, pp.705-708, 1976.
- [7] Pokorny, J., Smith, V.C., Starr, S.J.: Variability of color mixture data-II. The effect of viewing field size on the unit coordinates, Vision Research, 16, pp.1095-1098, 1976.
- [8] Burns, S., Elsner, A.: Color matching at high illuminances: the color-match-area effect and photopigment bleaching, Journal of the Optical Society of America, A, 2, pp.698-704, 1985.
- [9] Swanson, W.H., Fish, G.E: Age-related changes in the color-match-area effect, Vision Research, 36, pp.2079-2085, 1996.
- [10] Elsner, A.E, Burns, S.A, Webb, R.H.: Mapping cone photopigment optical density, Journal of the Optical Society of America, A, 10, pp.52-58, 1993.
- [11] Shinomori, K., Hashimoto, M., Okada, M.: Color appearance change with the effect of larger size of chromatic area, Proceedings of NEINE' 05 (the International Conference on Next Era Information Networking, Shanghai, China, 4-5, September, 2005), pp.438-441, 2005.
- [12] Shinomori, K., Kakimoto, Y., Hashimoto, M., Okada, M.: Influence of are-divided presentation to area effect of color, Proceedings of NEINE' 06 (the International Conference on Next Era Information Networking, Kochi, Japan, 17-19, September, 2006), pp.333-336, 2006.
- [13] Shinomori, K., Okada, M.: Color appearance change with the effect of larger size of chromatic area, Abstract book of Asia-Pacific Conference on Vision 2008, (Brisbane, Australia, 18-21, July, 2008), pp.52-53, 2008.
- [14] 篠森敬三：色の恒常性と色順応〈視覚I（内川恵二，篠森敬三編），第7章第4節〉，朝倉書店，pp.167-175，2007。

篠森 敬三（正会員）



1992年東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報工学専攻博士後期課程修了（工学博士）。1992-97年コロラド大学ボルダー校心理学科研究員・大学院教員。1995-96年フライブルグ大学生物物理学研究所客員研究員。

1997年高知工科大学工学部情報システム工学科助教授。2000年よりカリフォルニア大学デイビス校眼科学教室客員教授。2003年より高知工科大学工学部情報システム工学科・大学院工学専攻科基盤工学専攻教授。視覚の時間応答，色覚，視覚の加齢効果，色弱，感性工学等の研究に従事。日本感性工学会，日本視覚学会，照明学会，電子情報通信学会，映像情報メディア学会，アメリカ光学会，国際色覚学会（ICVS）など会員。

船江 彰（非会員）



2008年高知工科大学工学部情報システム工学科卒業。卒業研究において視覚，特に色覚に興味を持つ。2008年（株）島津ビジネスシステムズ入社。現在はシステム開発に従事。