

色の進出現象と膨張現象との関係に関する 実験的検討

高橋 啓介

An Experimental Approach to the Correlation between Color
Advancement and Color Expansion.

Takahashi Keisuke

Abstract: This study investigates the effects of hue and brightness on a color advancement and color expansion using the method of paired comparison with a pairs of different stimuli colors. The stimulus colors used are red (5R4.5 / 10.0), orange (5YR6.0 / 10.0), yellow (5Y8.0 / 10.0), green (5G5.5 / 10.0), blue (5B3.5 / 10.0), and purple (5P3.5 / 10.0). The color stimuli were made by mounting two different colors with a size of 25mm × 50mm for each color, on a gray (Gy6.5) sheet measuring 120mm × 175mm from side to side. Therefore the fifteen color stimuli were made according to the spatial order of color.

The chosen subjects were ten adult females with normal visual acuity and normal color vision. Half were to judge the apparent advancement between two different stimulus colors present in pairs. The other half were to judge the apparent expansion of the same pairs.

The colors which were constructed mainly by long light waves indicated high frequencies of advancement and expansion, while colors which were constructed mainly by short light waves indicated low frequencies of advancement and expansion. There was a significant positive correlation between frequencies of advancement and expansion, but the correlation between those phenomena and the main wavelength of stimulus colors was not linear. This suggests that those phenomena can not be attributed to the only color aberration.

Key words: color advancement, color expansion, method of paired comparison, color aberration

問 題

色の進出・後退現象については、従来、刺激の明るさの要因と、色相の要因とについて多くの検討がなされてきた（江草，1977）。明るさの要因については、単眼視，両眼視のいずれにおいても認められており（Ashley, 1898; Couls, 1955），一般的に、背景との明るさの差が大きい刺激ほど進出して見えるとされている（Ashley, 1989; 元木・大山，1975; 高崎・加藤，1974; Fry, *et al.*, 1949; Mount, *et al.*, 1956）。しかし、特に単眼視においても明るさによる進出・後退現象が生じることが、この現象の機序の解明を困難なものにしており、これらの現象を統一的に理解するための、その機序に関する仮説は提出されていない。

一方色相の要因についてであるが、単眼視においては、現象それ自体の存在が明確ではない（江草，1977）。これに対して、両眼視における色の進出・後退現象におよぼす色相の効果は多くの研究者によって確認されている（江草，1977; 長谷川・博田，1995; Ishak, *et al.*, 1969; Katz, 1935; Kishto, 1965; 増田・元木，1975, 1976; 高崎・加藤，1974; Vos, 1960, 1966）。そしてその機序については、視軸の瞳孔中心からのずれ、眼の媒質の色収差、スタイルス・クロフォード効果の3要因によって決定される視差に基づく両眼立体視であるとするのが、もっとも有力な仮説となっている（江草，1977; Vos, 1960, 1966）。この仮説によれば、刺激の主波長と進出・後退現象との関係、およびこの現象の現れ方の個人差について統一的な説明が可能である（江草，1977）。

しかし、こうした両眼視による色の進出・後退現象における色相の効果を否定する所見も他方で得られている。たとえば元木・大山(1975)は、単色透過光面を刺激として用い、調整法による距離判断を被験者に行わせ、その結果から、色相の効果を否定している。また、Oyama & Yamamura(1960)は、色覚健全者と色盲者との間で、色の進出・後退現象を比較し、両被験者間で、進出色の傾向が異なることから、この現象を光の強度や網膜の受容器特性とは無関係な色収差で説明することには問題があるとしている。江草(1977)はOyama & Yamamura(1960)の追試実験を行い、彼らの結果においては、刺激布置に基づく図一地知覚の影響によって、色相の効果が埋没している可能性を指摘している。

以上、色の進出・後退現象に関する先行研究を概観してきたが、両眼視における色の進出現象の主要な機序は色収差に基づく立体視であるが、刺激布置等の刺激属性以外の要因によって強く影響される現象であると考えられる。

この色の進出・後退現象と類似の現象として経験的に知られているものに、色の膨張・収縮現象がある。この現象については若干の実験的検討もなされているものの、色の進出・後退現象ほどには十分なデータの蓄積が果たされておらず、その現象が心理物理的なものとして存在するのか否かも明確ではない。もし、この現象が明らかに心理物理的現象として成立するならば、その機序はいかなるもので、それは、色の進出・後退現象とどのような関係にあるのだろう

うか。空間知覚において知られている、size-distance invariance 仮説に基づくと、色の進出・後退現象と色の膨張・収縮現象との間には、密接な相互関係が成立していると仮定することができる。

そこで本研究では、同一の色刺激を用いて、進出・後退現象と膨張・収縮現象とを一対比較法によって各現象個別に測定し、各現象におよぼす色相の効果および明度の効果を比較することによって、両現象の関係について検討する。

方 法

刺激

刺激色は、Table 1 に示した Vivid Color 6 色を用いた。色材は、PCCS201 系に準拠したマツト調の印刷インクで制作された色票（「新配色カード175」：(株)日本色研事業）を用いた。それを25mm×50mmの大きさに加工し、2色ずつを総当たりで組み合わせ、左右一対に配色し、120mm×175mmの灰色台紙（Gy6.5）の中央に貼付した刺激色カード15種を作成した（Figure 1）。

Table 1 Stimulus Color.

Stimulus Color	PCCS Code	Munsell Code
Red	2R 4.5-9S	5R 4.5/10.0
Orange	50 6.0-9S	5YR 6.0/10.0
Yellow	8Y 8.0-9S	5Y 8.0/10.0
Green	12G 5.5-9S	5G 5.5/10.0
Blue	17B 3.5-9S	5B 3.5/10.0
Purple	22P 3.5-9S	5P 3.5/10.0

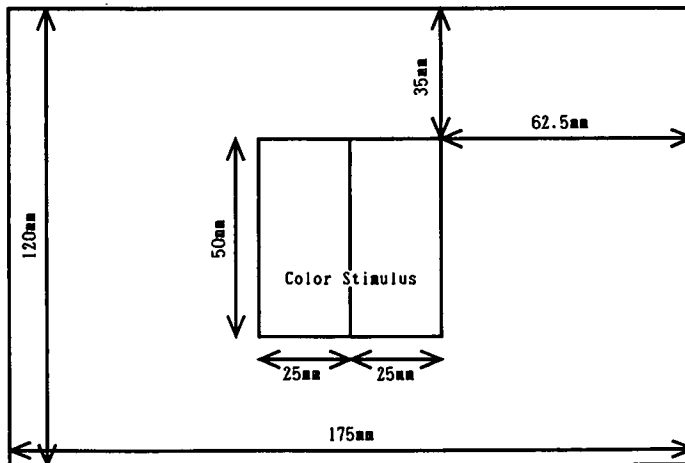


Figure 1 Stimulus.

被験者

視力、色覚ともに健常な成人女性10名（平均年齢19.8歳）を、ランダムに5名ずつの2被験者群に分け、一方の被験者群には、「色の進出判断」を行わせ、他方の被験者群には「色の見かけの大きさ判断」を行わせた。

手続き

実験は、完全暗室内で、Figure 2 に示した状況下で実施された。

Figure 2 に示すとおり、刺激色カードを、被験者の眼から前方約1000mmの机の上に呈示した。したがって、被験者は刺激色カードを約33°上方から観察したことになり、刺激色紙のおおよその大きさは、各色視角で1.4°×2.9°であった。刺激色カードの照明には、500W/100VのFlood lamp（フォトリフレクタランプ：(株)東芝）2灯による昼光色光（D₅₅）を用いた。刺激色カード表面の平均照度は約6770lxであった。

刺激色カードは、15対の刺激色紙の空間順位を入れ替えた計30種類で、それらをランダムな順序で1カードずつ被験者に呈示し、両眼で観察させた。被験者は、対呈示されている2色のうち、いずれがより手前に進出しているように見えるか、あるいは、いずれが見かけ上、より大きく見えるかについて判断することが求められた。2色のいずれもが同様の見えであった場合には、「同じ」と回答させた。

刺激の露出時間は、3sec.とし、刺激色カード全種類（30種）の判断を1setとし、各被験者に5setの判断を行わせた。すなわち、被験者は各刺激対に対して1空間順位について5回の判断を行い、各刺激色については、1空間順位につき25回の判断を行ったことになる。

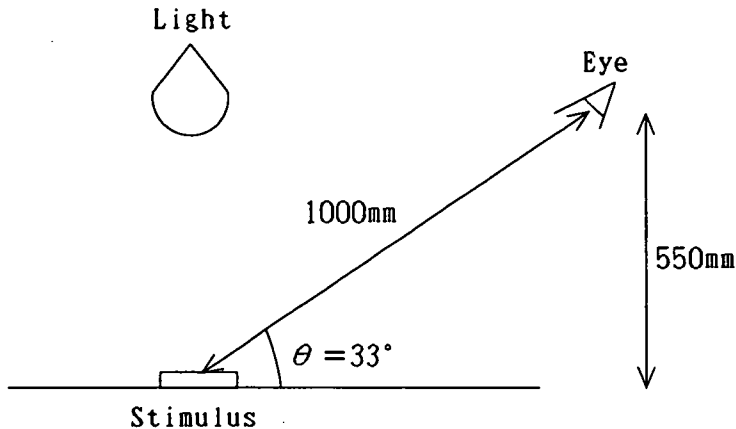


Figure 2 Experimental Situation.

結 果

(1) 刺激色紙の空間順位の効果

各空間順位における各刺激色の判断回数は、1被験者当たり25回となる。そのうち、当該刺激色に対呈示された刺激色より「進出している」、あるいは「大きく見える」と判断された頻度を基礎資料とし、各空間順位における各色の「進出頻度」と「膨張頻度」とについて、被験者間平均を算出し、進出判断、および大きさ判断に及ぼす、刺激色の呈示空間順位の効果について検討した。

Figure 3には、各空間順位において、各刺激色の進出頻度の被験者間平均を示した。また Figure 4には、同様に、各空間順位において、各刺激色の膨張頻度の被験者間平均を示した。

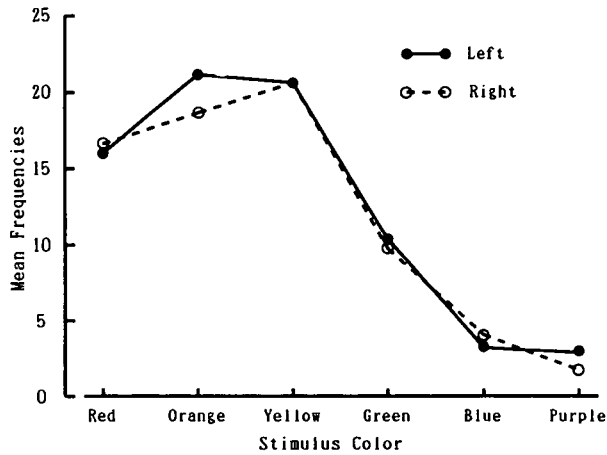


Figure 3 Mean frequencies of advancement of the stimulus color in each spatial order.

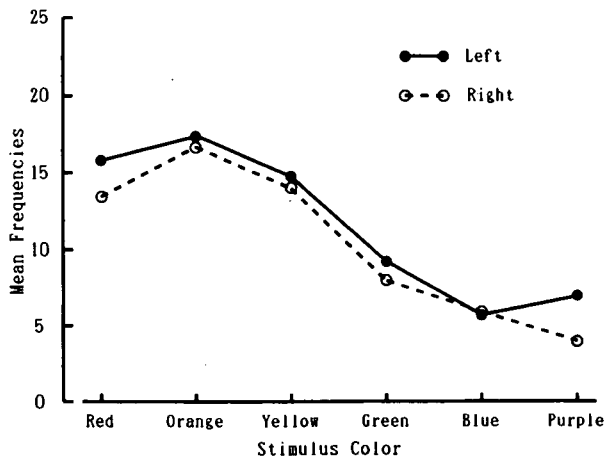


Figure 4 Mean frequencies of expansion of the stimulus color in each spatial order.

Figure 3, Figure 4 いずれにおいても、各色の進出頻度や膨張頻度には、空間順位による顕著な差は認められなかった。各色の平均進出頻度および平均膨張頻度について、それぞれ空間順位（2水準：within subjects）×刺激色（6色：within subjects）の2要因分散分析を行ったところ、進出頻度（ $F_{5,20}=44.79$, $p<.005$ ）、膨張頻度（ $F_{5,20}=7.01$, $p<.005$ ）ともに、刺激色の主効果が有意であり、空間順位の主効果および両要因の交互作用はともに有意ではなかった。

このことは、両眼視においては、色の進出現象、膨張現象は刺激色の呈示される空間順位には影響されないことを示している。そこで、以下の項目においては、空間順位を相殺した資料を基礎資料として、色の進出現象、膨張現象における色相の効果と、これら2現象の相互関係について検討を進める。

(2) 色刺激の進出現象と膨張現象との関係

Figure 5 に、各色刺激の平均進出頻度と平均膨張頻度とを色の組み合わせを潰して、刺激色ごとに示した。Figure 5 によると、中波長色から長波長色では、進出頻度の方が膨張頻度よりも高く、短波長色ではその関係が逆転している。また長波長色では、進出頻度における赤、橙、黄の関係と膨張頻度におけるそれらの関係とは逆転が生じている。すなわち、進出の判断では、3色のうち黄が最もよく進出すると判断された色であるのに対して、大きさ判断では、黄が3色のうちで最も小さいと判断されている。

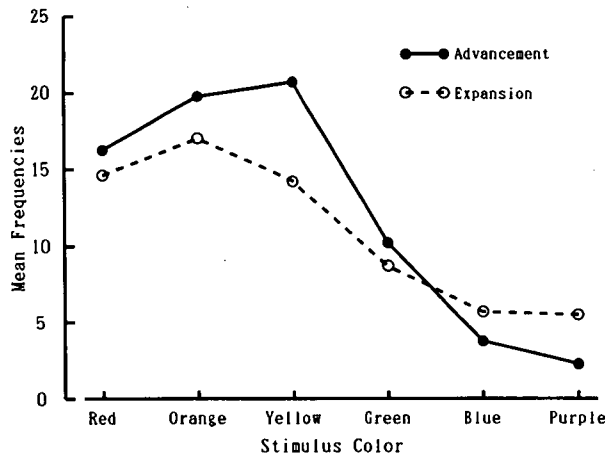


Figure 5 Mean frequencies of advancement and that of expansion in each stimulus color.

進出と膨張の平均頻度について、判断（2水準：進出判断—大きさ判断：between subjects）×刺激色（6水準：within subjects）の2要因分散分析を行ったところ、色の主効果のみが有意であった（ $F_{5,40}=22.85$, $p<.005$ ）。

次に、標準刺激ごとに各刺激色について進出頻度と膨張頻度の平均値を求め、2変数の関係を示す散布図を Figure 6 に示した。色の進出頻度と膨張頻度との間には、有意な正の相関関係が認められた ($r_{28} = .671$, $p < .05$)。

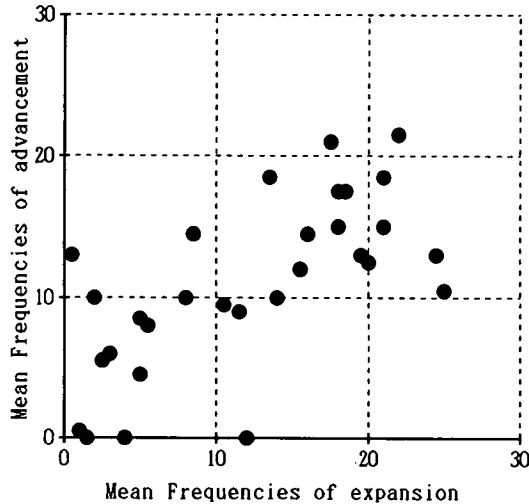


Figure 6 Correlation between mean frequencies of advancement and that of expansion.

(3) 刺激色の組み合わせと進出・膨張現象

Figure 7 には、組み合わせの対象となる刺激色（比較刺激色）によって、各色の平均進出頻度と平均膨張頻度とがどのように変化するかについて、各刺激色（標準刺激色）ごとに示した。

これらの Figure によると、まず進出現象については、緑、青、紫の中波長色および短波長色では、標準刺激色より長波長の比較刺激色との組み合わせでは進出頻度が相対的に低く、標準刺激色より短波長の比較刺激色との組み合わせでは、進出頻度が相対的に高い傾向が認められる。他方、赤、橙、黄の長波長色では、いずれも中・短波長色との組み合わせでは、進出頻度が高く、長波長色同士の組み合わせでは、相対的に進出頻度が低くなるが、橙、黄では、その差は中・短波長の標準刺激ほどには大きくない。また、長波長色同士の組み合わせでは、中・短波長色で認められた、標準刺激色よりも長波長の比較刺激色との組み合わせによって、進出頻度が低下するという傾向は認められず、赤は、橙、黄と組み合わせられると、進出頻度が低下するが、橙、黄は、長波長色と組み合わせられても、それほど顕著な進出頻度の低下は認められず、どの色と組み合わせられても、進出頻度は相対的に高く保たれていることが認められた。

膨張現象については、赤、黄を除いて、進出現象において認められたのとほぼ同様の傾向が認められた。赤では、黄、青との組み合わせで進出頻度と膨張頻度との間に差が生じており、黄では、赤、紫との組み合わせで、進出頻度と膨張頻度との間に差が生じた。

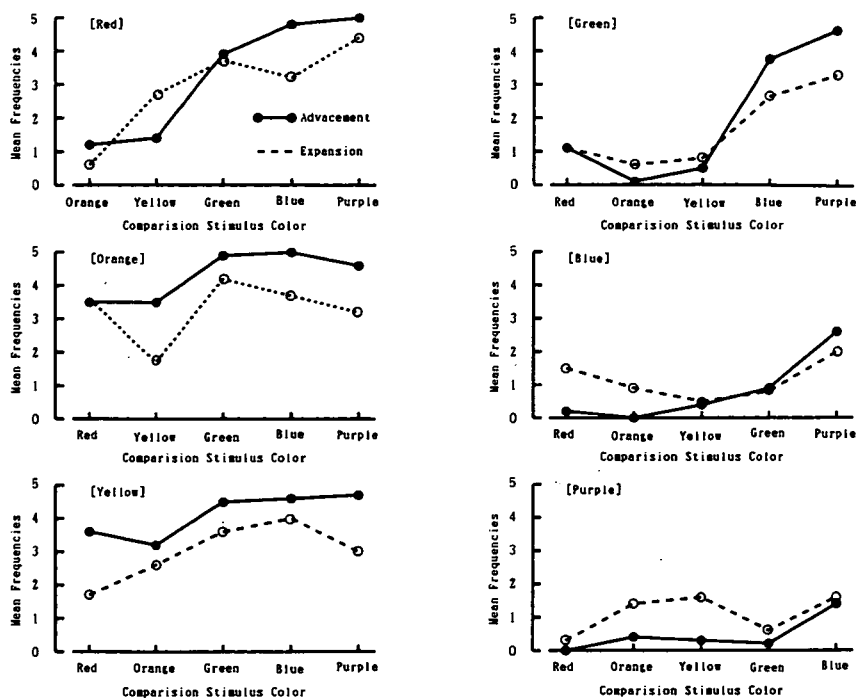


Figure 7 Mean frequencies of advancement and expansion in each pair of stimulus colors.

これらの平均頻度に対して、判断（2水準：between subjects）×比較刺激色（5水準：within subjects）の2要因分散分析を各標準刺激色ごとに行ったところ、いずれの標準刺激色においても、比較刺激色の主効果が有意であった（赤： $F_{4,32}=27.51$, $p<.005$ ；橙： $F_{4,32}=12.15$, $p<.005$ ；黄： $F_{4,32}=4.42$, $p<.01$ ；緑： $F_{4,32}=26.59$, $p<.005$ ；青： $F_{4,32}=12.13$, $p<.005$ ；紫： $F_{4,32}=3.11$, $p<.05$ ）。また、黄においては、判断の主効果も有意であり（ $F_{1,8}=6.02$, $p<.05$ ）、赤では判断と比較刺激色との交互作用が有意であった（ $F_{4,32}=3.11$, $p<.05$ ）。

討 論

(1) 進出現象

色の進出現象については「問題」で述べたとおり古くから報告されており、本研究の所見もこの現象の存在を確認するものであった。すなわち、本研究で用いた6色の内では、黄、橙、赤、緑、青、紫の順に進出頻度が高く、主波長成分が長波長の色が進出しやすく、主波長成分が短波長の色は進出し難かった。

明るさの効果については、一般的に、背景の明るさとの差が大きい刺激ほど進出して見えるというものであり、本研究のように中明度の灰色（Gy6.5）が背景の場合、背景よりも明度の高い刺激においては、高いものほど、明度の低い刺激においては、低いものほど進出すること

が知られている (Mount, *et al.*, 1949)。しかし本研究では、明度のもっとも高い黄の進出頻度をもっとも高かったということだけが、これらの先行研究の所見と対応しているのみであり、他の結果は先行研究の所見と一致しなかった。このことが、色の進出現象における明るさの効果を否定するものであるか否かについては、今後さらに十分な検討を必要とするが、少なくとも、色の進出現象において、明るさの効果が必ずしも優位ではないということを示唆している。

次に、色相の効果については、その存在を否定する所見も報告されているが、多くの先行研究がその存在を示唆する報告を行っている。これらの所見から、一般的には、黒い背景の場合には、主波長成分が長波長の刺激が進出し、白い背景の場合には、主波長成分が短波長の刺激が進出することが知られている。そしてこれらは、視軸の瞳孔中心からのずれ、眼の媒質の色収差、スタイルス・クロフォード効果による明るさの分布、の3要因によって決定されると理解されている (江草, 1997; Vos, 1960, 1966)。この仮説に従うと、スタイルス・クロフォード効果における明るさの分布は個人によって異なるため、色の進出現象には、顕著な個人差が生じることが予測される。ただし、本研究の実験場面のように、刺激面の明るさのレベルが高い場合には、瞳孔が収縮しているため、スタイルス・クロフォード効果の影響は小さく、無視できると考えられる。瞳孔が収縮している場合には、立体視に対して有効な像の位置を決定する光線が瞳孔を通過する位置は、瞳孔中心と見なすことができる。視軸は一般に瞳孔中心よりも鼻側にあるため、主波長成分が長波長の刺激が進出することになる。本研究の結果は、大雑把にみると、従来のこの仮説を支持するものであると考えられるが、刺激色の主波長成分について詳細に検討すると矛盾点も指摘できる。すなわち、本研究では、主波長成分をもっとも長波長である赤よりも黄・橙の進出頻度が高かった。また、青と紫は、短波長を主波長としている点では同様だが、紫は青に較べて長波長成分が相対的に強く、したがって、青より紫の進出頻度が高くなることが理論的には予測されるが、本研究の所見はこの予測に矛盾する。

長谷川・博田 (1995) は、色の進出現象について、mode (色紙・CRT)、刺激配列、背景明度 (黒・灰)、色相 (赤, 黄, 緑1, 緑2, 青, シアン, マゼンダ, 白)、明度、の各要因の効果について検討し、色の進出現象は、modeの影響を受けず、赤が優位ではあるが、主波長順に進出するという通説は、黒背景においてのみ認められるもので、したがって、色の進出現象は、色相以外の要因に強く影響される、単純には記述できない現象であるとしている。本研究の所見も、色の進出・後退現象が色の属性によって規則的に決定されるものではないことを示しており、その点で長谷川・博田 (1995) の考察を支持するものである。

江草 (1977) が論じるとおり、現時点では、色の進出現象の機序の説明としては、色収差に基づく両眼立体視がもっとも有力であり、本研究の所見もいくつかの矛盾点が認められるものの、この仮説を否定し得るものではない。したがって、長谷川・博田 (1995) の所見や本研究の所見が色収差仮説と矛盾している点が、色収差の個人差に帰属させことができるか否かについて、今後さらに検討を進める必要があるだろう。この点について指摘しておかなければならないことは、実験の計画や現象測定法に関わる問題である。すなわち、色の進出現象に関する

多くの報告は、色刺激の諸属性、刺激呈示方法、刺激面の照度、測定法（主に、推定法か比較法）、背景条件、などが様々であり、その点がこの現象に対する考察を複雑なものにしている。したがって、これらの諸要因を組織的に操作することによって、仮説検証的な実験データを蓄積することが、今後の最重要課題であると考えられる。

(2) 進出現象と膨張現象との関係

色の膨張・収縮現象については、印象が鮮烈な色刺激が、いわゆる膨張色として見かけ上大きく見え、印象が弱い色刺激が、いわゆる収縮色として見かけ上小さく見えるとされる現象として一般に知られている。しかしこの現象に関しては、従来、十分な検討が豊富に行われて来たわけではなく、その機序の解明はもちろん、現象それ自体が、心理物理的な事実として成立するのか、あるいは、単に、色刺激の強度の印象を反映するものであるかについても十分に明らかにされているとは言い難い。

本研究の結果は、色の膨張現象は、色の進出現象ほどには顕著なものではないものの、刺激属性にある程度対応する形で、明確に成立するものであることを示唆するものであると考えられる。さらに、色刺激の属性に対する色の進出現象の傾向と比較的高い相関関係にあることも見いだされた。本研究のこれらの所見から、色の膨張現象の機序を十分に説明し得る仮説を導き出すことは困難だが、この現象の機序に関与していると考えられるいくつかの可能性については言及することが可能だろう。

まず第一に、色の進出現象が優位で、その結果として、進出色の見かけ上の大きさが過大視される可能性である。色の進出と膨張との間の因果関係については、本研究のデータから考察することは不可能であるが、色の進出現象の程度と膨張現象の程度との関係は、上記の可能性を示唆しているのではないと思われる。

第二に、本研究での刺激付置のように、2色の色紙を左右に接する付置で呈示する場合、刺激間に十分な明度差がなければ、2色の境界線の検出が不明確になる。このことが色紙の形態の知覚を不安定にし、それが見かけの大きさの知覚に影響を与えている可能性があるだろう。

これらの可能性を踏まえ、今後の十分な検討の蓄積が必要であろう。

引用文献

- Ashley, M. L. 1898 Concerning the significance of intensity of light in visual estimates of depth, *Psychological Review*, 5, 595-615
- Couls, J. 1955 Effect of photometric brightness on judgement of distance. *Journal of Psychology*, 50, 19-25
- 江草浩幸 1977 色の進出後退現象について *心理学評論*, 20(4), 369-386
- Fry, G. A., Bridgman, C. S., & Ellerbrock, V. J. 1949 The effects of atmospheric scattering on binocular depth perception. *American Journal of Optometry and Archives of American Academy of Optometry*, 26, 9-15
- 長谷川敬・博田尚代 1995 色の進出・後退と透明視の関係 *日本色彩学会誌*, 19(supplement),

84-85

- Katz, D. 1935 *The world of colour*. London, Kegan Paul.
- Kishto, B. N. 1965 The colour stereoscopic effect. *Vision Research*, 5, 313-329
- 増田直衛・元木正典 1975 色の進出・後退現象 その2 日本心理学会第39回大会発表論文集, 127
- 増田直衛・元木正典 1976 色の進出・後退現象 その4—両眼視差の検討— 日本心理学会第40回大会発表論文集, 397-398
- 元木正典・大山正 1975 色の進出・後退現象 その1 日本心理学会第39回大会発表論文集, 126
- Mount, G. E., Case, H. W., Sanderson, J. W., & Brenner, R. 1956 Distance judgement of colored object. *Journal of General Psychology*, 55, 207-214
- Oyama, T. & Yamamura, T. 1960 The effect of hue and brightness on the depth perception in normal and color-blind subjects. *Psychologia*, 3, 191-194
- 高崎宏・加藤正明 1974 色による進出・後退現象 光学, 3, 360-366
- Vos, J. J. 1960 Some new aspects of color stereoscopy. *Journal of The Optical Society of America*, 50, 785-790
- Vos, J. J. 1966 The colour stereoscopic effect. *Vision Research*, 6, 105-106

謝辞

本研究のデータの取得および整理において、愛知淑徳短期大学コミュニケーション学科1997年度入学生、水谷妃里氏の協力を得た。記して感謝の意を表す。