

## V D T 作業における色彩の与える立体感効果に関する基礎的研究

山口有美 (和歌山大学経済学部) 山口晴久 (岡山大学教育学部)

本研究は、V D T (Visual Display Terminals) における人間の学習メディア提示形態に関する基礎的研究としてディスプレイ上に描かれた図形を立体として認識する立体感効果に関して、空間構成と色彩調和効果をパラメータとして視認実験を被験者に行わせた。そして、人間の距離感認知に対して立体面と色彩提示方法の違いが学習者の距離認知心理にどのような影響を及ぼすかを比較分析した。簡単な立体感を構成する図形の壁面色を基準とした対人実験の結果から、距離感、立体感の認識には個人差が大きいこと、それらはいくつかにグルーピングされることなどを統計分析し、実験空間における距離感に関する実験式を導出した。

キーワード：メディア, 立体感, V D T, 4原色, 色彩調和, 壁面構成

### 1. 序論

近年、人間がC R T (Cathode Ray Tube) ディスプレーを見て行う視覚認知作業V D T (Visual Display Terminal) 作業が増えている。コンピューターが普及し、インターネットの重要性が増すにつれて、人間はV D T作業を行う時間数が多くなり、人間の視覚認知活動をより合理的に設計することが求められている。人間は2眼の画像輻輳による差異計算機能により、二次元画面であるディスプレイ上に描かれた空間立体を表そうとする図形を立体として認識することができる。しかし、ディスプレイ上の平面図形から、何故立体を想起し、三次元的構成を持つ物として見えるのか、そのメカニズムは、多くの研究がなされているにも関わらず、解らない事も多いのが現状である。

V D T作業に関するこれまでの諸研究<sup>1)~10)</sup>によると、次のことが言える。V D T作業における、空間の形の知覚の要因について、広がり的大小と、その向きの感覚(すなわち方向感)が決定するとなっている。すなわち、ある空間構成の中である方向を向いているときに、その空間の広がりやどの程度であるか、また、その向きは、視方向として不自然ではないかなどの要因が、空間の形の知覚に大きく関わっていると考えられ、これらが複合的に評価される事によって、空間が知覚される。この時の面の形態認知に影響を与える印象要素の一つに「色彩の違いによる面の見え方の違い」がある。

大山<sup>1)</sup>は著書で、「暖色」に共通する性質として「近い」というイメージがあり、「寒色」に共通する性質として「遠い」というイメージがあると述べている。このことと寺内<sup>11)</sup>の論文の視線誘導研究を組み合わせて、本研究では二次元空間であるC R T

ディスプレイに写る画像を見た場合に、その画像の形から三次元空間を知覚するとき、「立体感」を構成する要因として、ある矩形の「立体壁面構成」と「4原色」を取り上げ、相互の関係を定量的に把握し、人間が行うV D T作業において、C R Tディスプレイ空間に形成される色彩調和の効果が、人間の視覚的認知に、どのような影響を及ぼすかを考察する。

### 2. 色彩心理に関する諸研究

#### 2-1. 色知覚

色はもともと人間の心理過程によって生じる感覚であるため、物理的な定義と知覚内容とが必ずしも一致しない場合が多い。心理現象としての色について、その基本特性から各種現象までを説明する。ドイツの心理学者Katzは色の現れ方(見え方)をModeと呼び、心理学的に次のように分類されるとしている。

#### (1) 面色

テクスチャや陰影が無く均一で、奥行きが曖昧で、ものである感じが無いが色だけが見える状態の色。

#### (2) 表面色

物体の表面に属しているように見える色。

#### (3) 容積色

別名空間色とも呼ばれ、ある程度の容積をもった色。

#### (4) 透明面色

色フィルタや着色透明ガラスを眼から1 m弱離し、これを通して背景の景色を見たときの景色の色。

#### (5) 透明表面色

両眼で対象を注視しながらどちらか一方の目の前

に色紙を置くと、対象の色が色紙の色を帯びて見えることがある。このような色を透明表面色という。

(6) 鏡映色

着色された鏡面に映ったものの色。

(7) 光沢

表面色の一部であるが、光の反射の具合で場所によって表面色が見えなくなっている部分の色。

(8) 光輝

暗室中で薄い白紙や乳白ガラスに背後からスポットライトを照射したとき、光の当たったところは発光面のように明るく見えるそのような色。

(9) 灼熱

光輝と似て発光しているが、その光は内部にまであふれているような色。

彼の時代の色材、照明などは、近年の科学技術の進歩から考えると現代とかなり異なる点が見られるが、人間が本質的に変わらない限り心理学的な分類は大きく変化しないものと思われる。

るものではなく、両者を組み合わせた神経機構が人間には備わっているとする段階説が有力である。その機構を図1に示す。

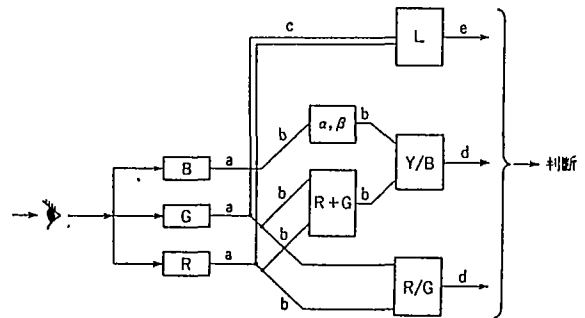


図1 段階説

2-2. 色覚説

我々がどのように色を見ているのかは、長い間論争的であった。人間が色を知覚する仕組みに関する学説を色覚説<sup>10)</sup>という。色覚説には古くから様々なものがあるが、近代の代表的な色覚説に三原色説がある。これは十九世紀の始めにヤング (T.Young) が提唱し、後にこれをヘルツホルム (H.Y.Helmholtz) が完成させたものである。彼らの説によると、人間の視覚システムには、赤 (R)、緑 (G)、青 (B) の三原色に対応する感覚神経機構があり、これがそれぞれ長波長、中波長、短波長の光を受けると興奮し、それぞれの興奮量の比較によって色を知覚するというのである。この説は、非常に完成度が高く矛盾のない理論であったが、実際の現象と合わない点もある。それは黄色の知覚に関する点である。我々は黄色をいくら見てもその中に赤や緑を知覚することができない。この点に関してヘリング (E.Hering) は赤、緑、青、黄 (Y) を知覚的な主要色と考え、このうち現象的に反対色であり同時に知覚できない二色、すなわち、赤と緑、青と黄をそれぞれ一つの神経機構の応答によって判断しているのであるとする説を提唱した。これを反対色説という。しかし、生理学の進歩によって網膜視細胞の解明が進み、三原色説が予言した長波長、中波長、短波長に対応する三種の錐体細胞の存在が明らかになった。このことから現在では両説は相対す

色の信号はR、G、Bの3錐体に入力され、このうちRとGからR/Gユニットへと入力される。また、RとGの入力からYが計算され、Bの反応とともにY/Bユニットへと伝えられる。さらに、RとG錐体の入力は明るさに関するL (輝度) ユニットへも入力され、これら3ユニットから色知覚が生じる。

2-3. 色の錯視

二つの色が隣接して存在する場合に、両者の差が強調されるよう知覚される現象を色対比と呼ぶ。例えば、同じオレンジ色を赤の背景上で見る場合と黄の背景上で見る場合を比較してみると、前者は後者に対して黄みがかって見え、逆に後者は赤みがかって見える。これは同じオレンジ色が赤背景上では赤との差が強調されるよう黄色方向にずれて知覚されるのに対して、黄背景上では同じく背景との差が強調されるよう赤方向に知覚色が変化するためである。このような現象を色相対比と呼ぶ。

3. 実験概要

3-1. 実験の各種設定

本研究では、二次元画像を見て三次元空間をイメージする最も基礎的なモデルとして図2に示す空間モデルを設定した。

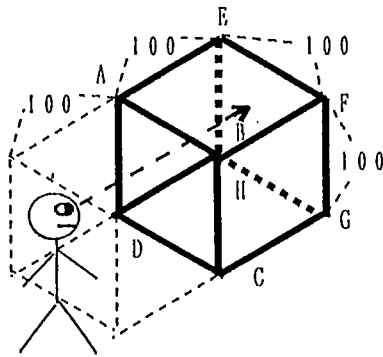


図 2 立体モデル

この立体の形状は立方体で、物理的に本来縦と横の長さとお行きが等しく視覚的な奥行き比較に適することからこれを標準的な空間視認のモデルとする。図2の立体は一辺が長さ100の立方体で、1つの面ABCDだけが欠けた5つの面からなる空間を構成している。以後、ABCDを開口部、EFGHを底面とする。このうち、被験者は底面の一辺の長さが開口部の一辺の長さの理論的にちょうど半分になる距離、つまり開口部の中心から開口部に垂直に100の距離より底面の中心を見ているものとする(図3参照)。

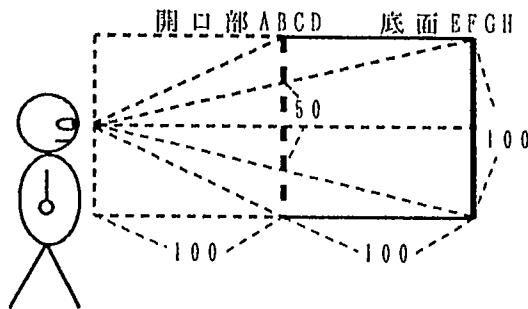


図 3 視認状態

このとき見える立体の正面図をイメージした図を、ディスプレイに白地に黒線で図4のように描いた。以後、この図を基本モデルとし、その各壁面に色をつけた物をカラーモデルとする。開口部、底面共に各辺の長さは100であり、この時、底面が開口部に対してどれほど奥行きがあるように見えるかを実験する。この基本モデルのディスプレイ上での大きさはABCDの各辺を18cm、EFGHの各辺を9cmとし、

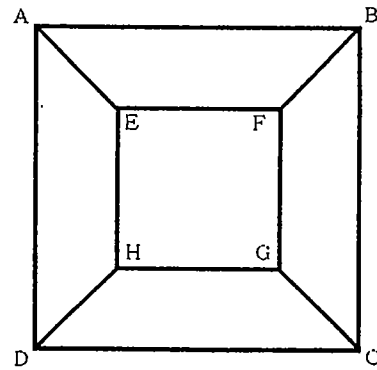


図 4 正面図

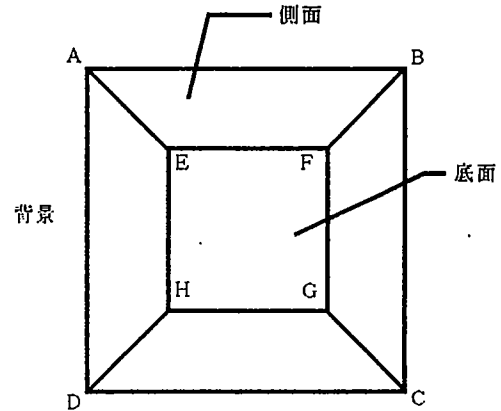


図 5 モデルの各部の名称

図の位置がディスプレイのちょうど中央になるように設定した。図を構成する線の色は黒とし、図を描く線の太さは基準となるものが無いため、被験者5人にこのモデルの線の太さをいろいろに変えた6通りの画像を見せて、どれが一番自然に見えるかを多数決で問い、その結果、線の太さを0.85mmに統一してモデル図形を描いた。各部の名称を図5に示す。なお、色の組合せについては、側面、底面、背景の順に表す。よって、赤青白なら側面が赤、底面が青、背景が白となる。次に壁面の色の選定方法について説明する。色には無限の種類があり、ほとんどの場合は混色、すなわち一つの色ではなく複数の色の混じった色として認識される。しかし、その色から唯一その色しか感じる事の出来ない色、すなわち原色が四色存在する。それは、赤、青、黄、緑の4色である。この4色は他の全ての色を構成する「光の四原色」となっているため、心理四原色と呼ばれている。これより、カラーモデルの側面と底面の色には、

赤、青、黄、緑の4色を用いた4×4の16通りを、背景が白と黒の場合の32通りに基本モデルとその背景を黒に変えたモデルを加えた34通りを使用する。色の組合せを表1に示す。色を表すのに用いられる指標に色相、明度、彩度、及び輝度がある。このうち、輝度とは光源や照明された物体表面などを観察したときの明るさ知覚におもに関連する測光量

である。これまでの直接比較法による視覚に関する実験的研究では、立体感は輝度を中心としてこれに色彩の寄与が加わるものとされているため、本実験では主に輝度を使用し、これと色彩の関係から奥行き感を調べることにする。

なお、各色の設定は、色彩に関する諸研究を参考に表1のように定めることにする。

表1 色の組み合わせ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
背景	白																	赤																
側面	白	黄	黄	黄	黄	緑	緑	緑	緑	赤	赤	赤	赤	青	青	青	青	白	黄	黄	黄	黄	緑	緑	緑	緑	赤	赤	赤	赤	青	青	青	青
底面	白	黄	緑	赤	青	黄	緑	赤	青	黄	緑	赤	青	黄	緑	赤	青	白	黄	緑	赤	青	黄	緑	赤	青	黄	緑	赤	青	黄	緑	赤	青

色相・明度/彩度	輝度 (cd/m <sup>2</sup> )
黒→N-1.5	5.5
白→N-9.5	70
赤→5R4/11	12.7
青→2.5PB4/12	11.1
黄→8Y8/12	52.7
緑→2.5G5/10	17.2

パソコン設置机上の水平面照度	77.2 (lx)
スイッチオフ時のCRT画面輝度	4.5 (cd/m <sup>2</sup> )
スイッチオフ時のCRT画面照度	78.3 (lx)

3-2. 実験方法

次に実験方法について説明する。  
被験者37名に対してパソコンデスク上にあるパソコンセットの17インチCRTディスプレイの前にいす座(OAチェア)に座ってもらい、ディスプレイのほぼ中央に描かれた各図形モデルを画面に垂直方向18cmの距離から見せ、縦横100としたときの開口部から底面までの奥行き距離を答えてもらい、その時の画面の視印象を資料に示した十個の形容詞対に7段階のマグニチュード評価法で各モデルに対して答えてもらった。なお、実際のCRT画面は曲率を持ち、完全な二次元画面とはいえないが、実用で用いられるCRT画面が皆若干の曲率を持つことから、VDT作業における認知感覚を調べるといふ今回の研究目的から考えて、この

画面を二次元画面と考える。

3-3. 図形モデルの分類方法

被験者に見せる図形モデルの色の分類は、背景は白と黒の2種類、側面は赤青黄緑の4種類、底面も同様に4種類とする(表1参照)。

4. 実験結果

被験者の奥行き感にどのような違いがあるかを分類するため、データ数値特性の直接的分類方法であるクラスター分析の最長距離法により、見かけの奥行き距離感ごとの傾向を分類した。分析結果は図6-1の通りである。

なお、この後のデータは37名のうち、自分の感性を正しく表現しているとは考えにくい3名を除いた34名のデータである。34名のデータを、質的データの直接的分析法であるクラスター分析にかけた。結果は図6-2の通りである。

図6-1より、奥行き距離観による分類方法では、奥行き距離が100前後に感じるAグループ(4名)、80~100に感じるBグループ(11名)、50~80に感じるCグループ(9名)、30~50に感じるDグループ(10名)に分けることが出来た。これにより、奥行き距離を大きく感じるグループから小さく感じるグループまで、人によって距離の感覚がかなり異なるいくつかのグループに分けられることが分かる(図7参照)。

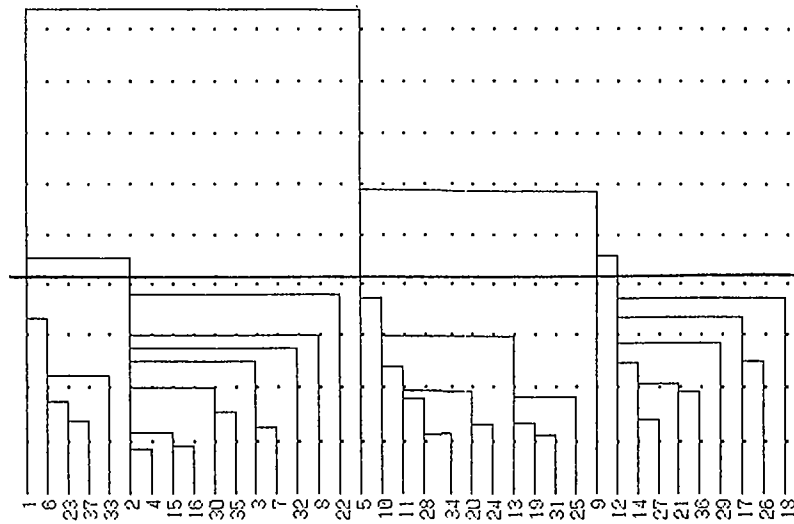


図6-1 37名のデータのクラスター分析

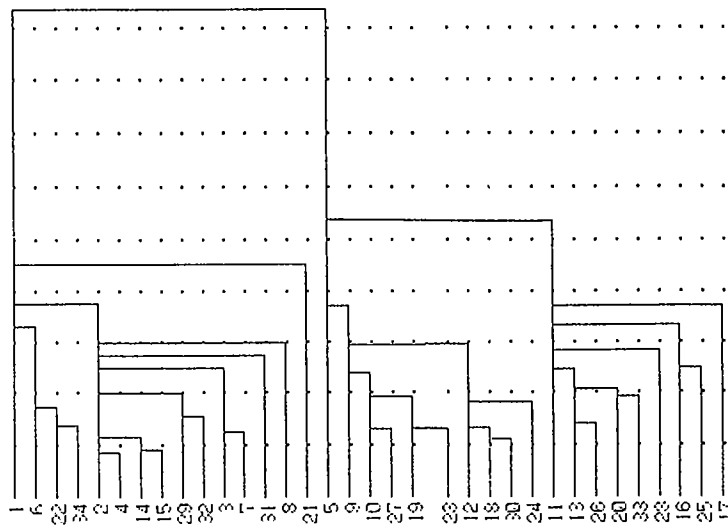


図6-2 34名のデータのクラスター分析

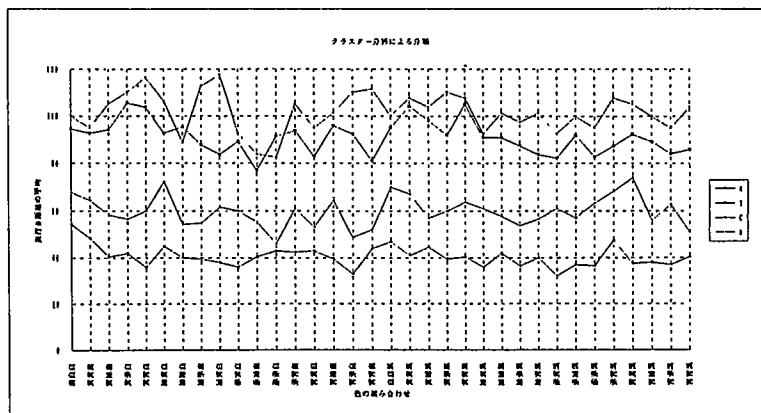


図7 クラスタ分析による4分類

次に背景色の差によってどれくらい奥行き感に差が出るのかを調べるために、背景が白の時の17種と黒の時の17種による背景色による違いを、奥行き距離によるデータ群の値の有意差を検定する統計法である分散分析一元配置と形容詞対のパラメータ値による分散分析二元配置によってそれぞれ解析した。その結果、分散比は有意なF値を越えないため、これら17の壁面全体で比べると、背景色によってほとんど距離感に差が出ない事が分かる(表2-1(データ55)、表2-2(データ66)参照)。

表2-1 奥行き距離による分散分析一元配置

分散比	0.050
危険率	5%
有意なF値	4.149

表2-2 形容詞対による分散分析二元配置

分散比	背景色(白地と黒地)	0.829
	色の組み合わせ	0.678
	交互作用	0.181
危険率		5%
有意なF値		3.872

次に、AからDグループまでのそれぞれごとに、側面の4通り、底面の4通り、背景の2通りの合計10項目が奥行き距離にどれくらい影響を与えるかを調べるために、目的変数に対するカテゴリー要因の重要性を検定する統計手法である数量化理論1類によって調べた。(表3(データ56~59)参照)この表は壁面に対する視認の状態と奥行き感との質的な関係を表しており、偏相関係数の値は、その面が奥行き距離に与える影響の大きさを表している。その結果、以下のことが解る。

1) Aグループでは側面と底面の偏相関係数がほぼ同等に高く背景の値が非常に低くなっている、すなわち、Aグループの人は側面と底面、つまり図形そのものを背景とは別のものとして認識している。

2) Bグループでは、側面の偏相関係数が高く、背景、底面の値が低いため図形の側面を中心に見ている。

3) Cグループでは底面の偏相関係数が高く、背景、側面の値が低いため図形の底面を中心に見ている。

4) Dグループでは、側面、底面、背景、共に偏相関係数に差がなく、図形を平板的に見ているため、距離感を感じにくくなっている。

表3 数量化理論1類による分析結果

		A	B	C	D
偏相関係数	背景	.040	.069	.285	.227
	側面	.592	.711	.220	.279
	底面	.597	.094	.531	.284
重相関係数		.723	.713	.589	.430

表4は各グループごとの壁面の色と奥行き感との規準化カテゴリースコアである。この表から色彩調実験の分析結果として以下のことが解る。

1) Aグループでは側面には黄色が距離感を大きくする特性をもち、赤はそれほど距離感を与えない特性をもつ。また、底面には青が距離感を大きく与える特性を持ち、黄、緑はそれほど距離感を与えない特性をもつ。

2) Bグループでは、側面の中でも特に黄色が距離感を大きく与える特性をもっているが、赤はそれほど距離感を与えない特性をもっている。

3) Cグループでは、底面の中でも特に黄色が距離感を大きくする特性を、赤がそれほど距離感を与えない特性をもっている。

表4 各グループごとの数量化理論一類による規準化カテゴリースコア

		A	B	C	D
背景	白	0.233	0.344	-1.461	0.781
	黒	-0.233	-0.344	1.461	-0.781
側面	黄	5.392	8.573	1.699	1.656
	緑	0.711	-1.758	-0.170	-0.281
	赤	-6.651	-3.918	-0.109	-0.531
面	青	0.549	-2.896	-1.420	-0.844
底面	黄	-3.208	0.049	4.893	-0.031
	緑	-3.508	0.741	-1.630	0.344
	赤	-0.558	-0.447	-3.371	-1.531
	青	7.273	-0.342	0.108	1.219

以上のことより、全体では側面について最も距離感を与える特性をもつ色は黄色であり、距離感を与えない特性をもつ色は赤であると言える。ここで、黄色は壁面の4色のうちで輝度が最も高く、赤は輝度が青に次いで低く、赤は最も輝度の低い青と比べて輝度がほとんど変わらないため、見かけの明るさに関して輝度がほとんど同じ場合に彩度の高い方が明るく感じるという色彩認知の原理からこれら四原色については全体的には黄緑赤青という輝度の強さの順に奥行き感が高いという結果が得られる。

これらの結果から各面の輝度と奥行き距離感データを基準として重回帰分析を用いてA、B、C、D各グループごとの奥行き距離の回帰式Yを背景輝度値 $X_1$ 、側面輝度値 $X_2$ 、底面輝度値 $X_3$ より求めた(データ62~65)。

Aグループ

$$Y = 100.827 + 0.006X_1 + 0.168X_2 - 0.155X_3$$

Bグループ

$$Y = 85.489 + 0.009X_1 + 0.243X_2 - 0.044X_3$$

Cグループ

$$Y = 55.748 - 0.043X_1 + 0.056X_2 + 0.158X_3$$

Dグループ

$$Y = 35.878 + 0.028X_1 + 0.099X_2 + 0.040X_3$$

次に、34名の各個人ごとに奥行き距離の平均値を取り、その値よりも奥行き距離が大きく感じるAグループと小さく感じるBグループに分け、Aグループ、Bグループの各形容詞対の平均値と、全体の平均値とを各色ごとに出した。

5. まとめ

以上のことから本研究によって得られた結論を短くまとめると次の四つの事項になる。

- 1) 奥行き距離を100以上と答える人がほとんどいない事から、奥行き距離は全体に低く感じられる。
- 2) 奥行き距離がどのように見えるかは、定量的に幾つかのグループに分けられる。
- 3) その場合の奥行き感の違いは、色による輝度の違いと人間が背景、側面、底面のどこに重点をおいて見るかという人間の視認方法の違いによって生起する。
- 4) 奥行き距離観は先に示した重回帰式によって表される。

#### 参考文献

- 1) 大山正・今井省吾・和気典二・編：新編 感覚・知覚心理学ハンドブック，誠信書房
- 2) K. T. スペアー・S. W. レムクール・共著：視覚の情報処理 <見ること>のソフトウェア，サイエンス社
- 3) 乾敏郎：視覚情報処理の基礎，サイエンス社
- 4) R. J. ワット：視覚情報処理モデル入門—計算論的アプローチ，サイエンス社
- 5) W. メッツガー：視覚の法則，岩波書店
- 6) 永野俊・梶真寿・森晃徳・著：視覚系の情報処理 心理学・神経科学・情報工学からのアプローチ，啓学出版
- 7) 磯貝芳郎・富田正利・相馬一郎・富家直・千々岩英彰・著：色彩と形態，福村出版
- 8) G. カニツツア：視覚の文法 ゲシュタルト知覚論，サイエンス社
- 9) 財団法人日本色彩研究所編：色彩イメージと配色，日本規格協会
- 10) 大山正・今井省吾・和気典二・編：新編 感覚・知覚心理学ハンドブック，誠信書房
- 11) 寺内伸次：和歌山大学教育学部卒業研究「視線誘導によるVDT空間の知覚認知特性に関する研究」(1995)

(平成13年1月31日原稿受理)

Title: A Basic Study of 3-Dimensional Sense by Colors on VDT Working

Yumi YAMAGUCHI (Faculty of Economics, Wakayama University)

Haruhisa YAMAGUCHI (Faculty of Education, Okayama University)

Abstract: In this paper, we describes the cognitive experiments to the students on acknowledgment of 3-dimensional materials in 2-dimensional sights in VDT working. A model cube whose wall was constructed on the 4 primary colors under various combination was shown to the subjects and the distance from the front wall to the back wall were measured by appearance. And, some human acknowledgment tendency of 3-dimensional materials in 2-dimensional sights in VDT working was classified into 4 types by the statistical analysis. And experimental expression on the distance from the front wall to the back wall of the model cube was formularized.

Keywords: Media, Solidity, Visual Display Terminal, Trichromatics, Color Harmony, Construction of Walls