



## 表面色のカテゴリカル知覚

内川 恵二

東京工業大学大学院総合理工学研究科 〒227 横浜市緑区長津田町 4259

(1988年7月5日受理)

### Categorical Perception of Surface Colors

Keiji UCHIKAWA

Department of Information Processing, Tokyo Institute of Technology Graduate School,  
4259, Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 227

It has been pointed out that eleven basic color names exist in all well-developed languages, and that a color space can be divided into eleven basic categories by these color names. We, however, use many nonbasic color names as well as basic ones to describe perceived colors. In this paper, all color names including basic and nonbasic color names were analyzed in order to know at what degree they satisfy the properties of basic color names by utilizing the data obtained with ten naive Japanese subjects (Uchikawa and Boynton, 1987). It is confirmed by the results that eleven basic color names have high universal validity, low similarity and short response time, although some nonbasic color terms satisfy one of these properties. Some implications for application fields were discussed.

#### 1. はじめに

色は明るさ, 色相, 彩度の3属性をもち, 3次元空間内に表示することができる。このような色表示空間にはマンセル空間, NCS (natural color system) 空間や OSA (Optical Society of America) 空間などそれぞれ特徴のある色空間が定義されているが<sup>1)</sup>, どの色空間を用いても色は連続量として扱われている。これは色の見えが空間内で連続的に変化し, 決して離散的には変化しないからである。

ところが一般にわれわれは色を色名によりカテゴリカルに区分し, 色をあたかも離散的な量のように扱っている。たとえば, “緑” という一つの色名で呼ばれる色には薄い緑, 濃い緑, 黄に近い緑, 青に近い緑など数多くの連続的に変化する“緑”が含まれている。しかし, われわれはこれらの連続した異なる色を, 一つの“緑”というカテゴリにまとめ, 他の“黄”や“青”などのカテゴリと区別している。このような色空間内の領域のカテゴリ化が存在することは視覚系には色を連続的に知覚するだけでなく, 離散的に知覚する機能が備わっていることを表わしている。

Berlin ら<sup>2)</sup> は日本語を含む 98 種の言語を調べ, 発達した言語には共通した 11 個の“基本色名 (basic color names)”があることを見だし, この基本色名により色空間はどの言語でも共通なカテゴリーに分割されていることを指摘した。基本色名は, (1) すべての人の語いに含まれていること, (2) 人によらず使うときによらず一致して用いられること, (3) その語義が他の単語に含まれないこと, (4) 特定の対象物にしか用いられないことがないこと, という特徴を備えている<sup>3)</sup>。日本語では, aka, midori, ki, ao, cha, murasaki, daidai, momo, shiro, hai, kuro が Berlin らの提唱した基本色名となっている。

Boynton ら<sup>4)</sup> は米国人被験者を用いて OSA 均等色空間の色票に対してカテゴリカルカラーネーミングを行わない, 英語では基本色名の特徴を満たす色名は red, green, yellow, blue, brown, purple, orange, pink, white, gray, black の 11 個しかなく, これは Berlin らの基本色名とよく一致することを実験的に明らかにした。Uchikawa ら<sup>5)</sup> は日本人被験者を用いて, カテゴリカルカラーネーミングを日本語で行ない, 日本語の基本色名を実験的に導出した。さらに, その結果を米国人被

験者の結果と比較して、11の基本色名は日本語でも英語でも色空間を共通の領域に分割していることを示した。これは基本色名が言語や文化によらず普遍的であることを示し、基本色名に対応した基本的な色感覚が視覚系の中核レベルに存在することを示唆している。この考えは他の研究<sup>6,7)</sup>によっても支持され、さらに生理学的な根拠も示されている<sup>8)</sup>。

このように色空間は11個の基本的な色感覚によってカテゴリカルに区分されていることがこれまでに示されているが、われわれは通常、基本色名だけでなく非基本色名 (nonbasic color names) も数多く用いる。また、非基本色名の使用頻度には個人差も大きい<sup>6)</sup>。そこで、本論文では、日本人被験者10名のカテゴリカルカラーネーミング実験<sup>9)</sup>の結果を用いて、基本色名と非基本色名を含めた全色名が上で述べた基本色名の特徴をどの程度満たしているかを改めて調べることで、色空間のカテゴリカル知覚の特徴を詳細に解析することを行なった。さらに基本色名と応答時間をもとにして基本的な色感覚の中心位置を OSA 空間内に表示することを試みた。

## 2. 実験方法

### 2.1 刺激

OSA 均等色空間を構成する 424 枚の色票 (1辺 5 cm の正方形) を表面色刺激として用いた。OSA 空間は  $L$  (明度) 軸,  $j$  (黄-青) 軸,  $g$  (緑-赤) 軸をもち、色票を ( $L, j, g$ ) 座標により表示する。この空間内では隣り合うどの色票も色差が等しくなっている。

### 2.2 装置

テスト色票は実験ブース内で被験者に呈示された。被験者の前面のテーブルの中央に1辺 3.8 cm の正方形の開口があり、テスト色票はその開口の後に実験者によって実験ブースの外側から挿入される。テーブルは被験者側に水平面から 20° 傾斜し、色票が見やすいようになっている。テスト色票の呈示は開口上にあるシャッターの開閉によって行なわれる。

テーブルの表面と被験者前面の壁は灰色 (反射率 20 %, マンセル明度  $N=5$ , OSA 明度  $L=2$ ) に塗られている。実験ブース内の照明は被験者の頭上に据えられている1個のランプ (色温度約 3200 K) により行なわれる。テスト色票もこのランプにより間接的に照明され、色票面からのランプの直接の反射光がないようになっている。テーブル面の輝度は 40 cd/m<sup>2</sup> である。

### 2.3 手続き

被験者は呈示されたテスト色票に対して単一の (mo-

nolexic) 色名を用いて応答する。色名として用いられる単語には制限はないが、形容詞の付いた色名 (たとえば薄緑, 深緑) や二つの色名を連結した言葉 (たとえば青緑, 赤紫) は認められない。

424 枚のテスト色票はランダムな順序でまず1回ずつ呈示され、次に順序を逆にしてもう1回ずつ呈示される。したがって被験者は各テスト色票を計2回観測することになる。テスト色票の呈示から被験者が応答するまでの応答時間も測定した。ただし、被験者には応答時間を測定していることを知らせないようにして応答の際のバイアスを除くように考慮した。テスト色票の呈示順の指示、色名と応答時間の記録等はマイクロコンピュータにより行なわれた。

### 2.4 被験者

実験の目的、内容を全く知らないナイーブな日本人被験者 10 名を用いた。Table 1 に各被験者の年齢と性別を示す。全員、実験前に Farnsworth-Munsell 100 ヒューテストにより色覚正常であることを確かめた。

## 3. 実験結果

### 3.1 応答色名

Table 1 の右欄に各被験者が用いた色名数を示す。色名数は被験者により異なり、最小12個、最大50個となっている。Table 2 に応答に用いられた色名すべてと各色名を用いた被験者数を示す。No.1 から14までは Berlin らの示した基本色名に対応している。10人の被験者は合計66個の異なった色名を用いたが、後述するように、daidai と orange, momo と pink, hai と gray をそれぞれ同一のカテゴリに属するものとする、10人の被験者すべてに用いられた色名は基本色名と

Table 1 Age and sex of subjects and number of color names used by the subjects.

Subject	Age	Sex	Number of color names
S U	4	Female	12
K U	68	Male	15
M I	39	Male	16
S S	28	Male	22
Y K	31	Female	24
N K	31	Male	30
K H	34	Female	30
T I	37	Male	32
H Y	40	Male	32
K M	39	Female	50

**Table 2** Color names and number of subjects using each color name.

No	Color names	Number of subjects	No	Color names	Number of subjects
1	aka	10	34	wine	2
2	midori	10	35	botan	2
3	ki	10	36	cocoa	2
4	ao	10	37	moegi	2
5	cha	10	38	karashi	2
6	murasaki	10	39	khaki	2
7	daidai	8	40	toki	1
8	orange	7	41	kulenai	1
9	momo	5	42	macha	1
10	pink	10	43	zouge	1
11	shiro	10	44	navy	1
12	hai	9	45	wakaba	1
13	gray	4	46	kaba	1
14	kuro	9	47	enji	1
15	mizu	10	48	olive	1
16	hada	8	49	lavender	1
17	cream	8	50	violet	1
18	oudo	7	51	kaki	1
19	yamabuki	7	52	sumire	1
20	kon	6	53	canary	1
21	ai	6	54	blue	1
22	kusa	6	55	green	1
23	sora	6	56	bara	1
24	azuki	6	57	mikan	1
25	shyu	5	58	chocolate	1
26	uguisu	5	59	permint	1
27	beige	5	60	coffee	1
28	lemon	3	61	sakura	1
29	cobalt	3	62	namari	1
30	nezumi	3	63	akane	1
31	fuji	3	64	milk	1
32	gunjou	3	65	almond	1
33	renga	2	66	hi	1

mizu の 12 色名だけであり、この 12 色が基本色名の特徴(1)を完全に満足していることになる。ただし、kuro は被験者 HY に用いられなかったが、これは OSA 色票のなかに良い kuro が含まれないためである<sup>4)</sup>。HY が通常用いる色名のなかに kuro があることは予備実験で確かめたので、この 12 色名はすべて HY の語にも含まれているといえる。また、3 人以上の被験者により共通に使われた色名は 32 個であった。

Table 1 の被験者のうちから、用いた色名数が最小から最大までの被験者 4 名を選び、その用いた色名を

OSA 空間内プロットした (Fig. 1(a)~(d))。図中、色名の番号は Table 2 の番号に対応している。各図、上側は  $j$ - $g$  面、下側は  $j$ - $L$  面を表わし、各点はその色名で呼ばれた色票の平均位置を示している。ただし平均位置の計算は色票の座標 ( $L, j, g$ ) に応答数の重みを付けて行なった。Fig. 1 中、大シンボルが基本色名、小シンボルが非基本色名を表わしている (基本色名の決め方は後述する)。Fig. 1(a)から(b)と色名数が増大していくと、色空間がその数だけ細分化されていくことがわかる。

### 3.2 基本色名

Table 2 をみると、No.1~14 の基本色名のなかで daidai と orange のように、一般に同一色を表わす色名が日本語と英語の両方で使われている場合があることがわかる。もし日本語と英語の二つの色名が同一色を表現していて、被験者は単に両方を区別なく用いていたならば、これら二つの色名は一つにまとめを扱うのが適当と考えられる。そこで、Table 3 に日本語と英語の両方の色名が用いられた場合を被験者別に示す。表中の数字は少なくとも 1 回その色名で呼ばれた色票の数を示し、カッコ内の数字は両色名で呼ばれた色票の数を示している。たとえば、被験者 YK は 11 個の色票を daidai, 42 個の色票を orange と呼び、このなかで 11 個の色票は daidai と orange の両方でオーバーラップして呼ばれていることになる。ここではこのような色名のオーバーラップをもとにして日本語と英語の二つの色名 a, b が同じ色を表わしているかどうか判断した。色名 a の色票数が色名 b の色票数のうちの 1/2 以上とオーバーラップしているならば色名 a は色名 b を含むとする。Table 3 中、\*印の付いた色名がこの判断基準により対の一方を含んでしまう色名である。この場合、\*印の色名が基本色名となる。

一方が他方を含まない色名対については被験者は両者を区別して用いていたと考えられる。たとえば、被験者 HY の daidai と orange のような場合である。この場合は、基本色名の特徴(2)人によらず一致して用いられること、に基づき対の二つの色名のうち OSA 空間内の位置が全被験者の色名の位置により一致しているほうを基本色名とした。このようすを Fig. 2 に示す。図中、このような色名対をもつ daidai (■) と orange (□), momo (▲) と pink (△), ao (■) と blue (□) の位置がプロットされている。上記の方法で、基本色名を選ぶと、図中、実線で囲まれた点となる。Table 3 の ●印がこのようにして決められた基本色名を示している。

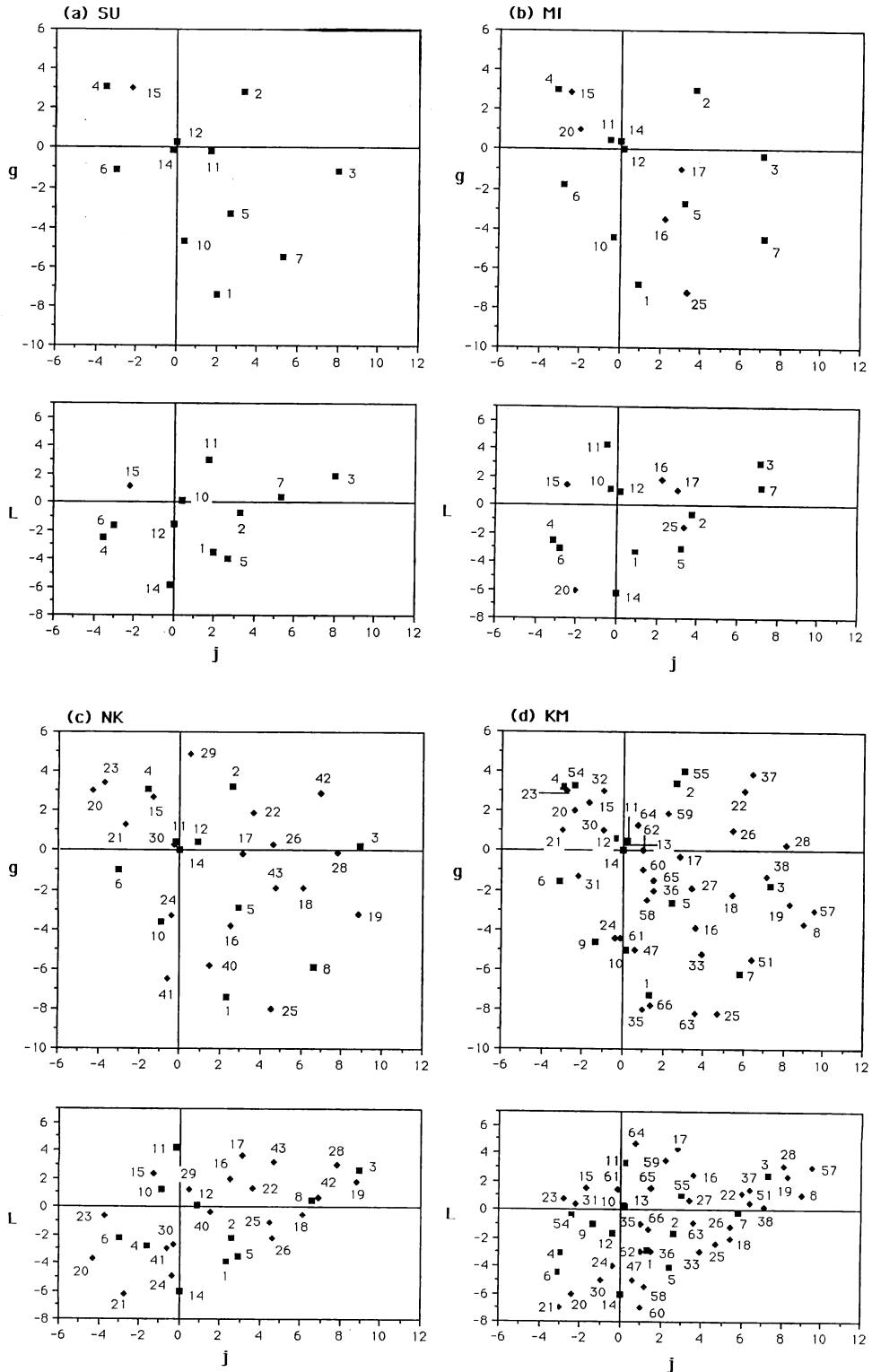
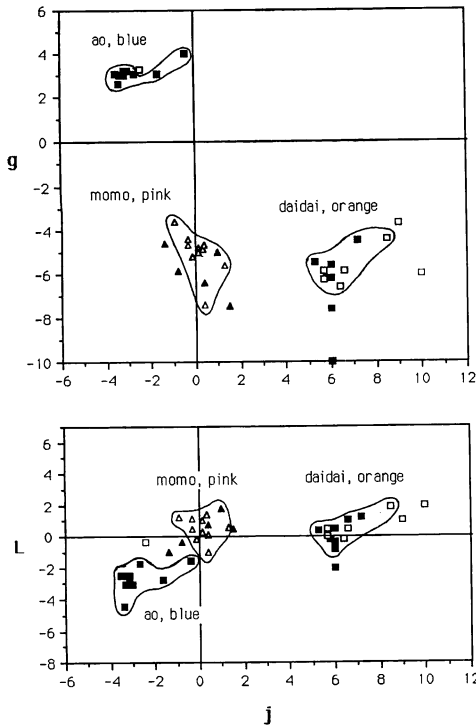


Fig. 1 Average positions of basic (■) and nonbasic (◆) color names in the OSA color space. Numbers at each point correspond to color numbers shown in Table 2.

**Table 3** Numbers of color chips named Japanese and English color names.

Color names	Subjects									
	SU	KU	MI	SS	YK	NK	KH	TI	HY	KM
daidai	60	39	39	0	11 (11)	0	● 30 (0)	18 (7)	1 (0)	● 19 (0)
orange	0	0	0	35	*42 (11)	24	1 (0)	● 26 (7)	● 22 (0)	3 (0)
momo	0	0	0	5 (4)	0	0	5 (4)	13 (6)	2 (0)	5 (4)
pink	56	59	28	*44 (4)	55	36	*30 (4)	● 31 (6)	● 11 (0)	*35 (4)
hai	14	12	42	13	13	13	*23 (1)	7 (4)	0	*10 (4)
gray	0	0	0	0	0	0	2 (1)	*12 (4)	7	6 (4)
midori	121	75	113	64	57	53	94	81	24	*63 (1)
green	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 (1)
ao	34	37	42	31	30	35	26	51	18	● 24 (8)
blue	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25 (8)

Numbers in parenthesis show numbers of color chips named both two names.



**Fig. 2** Distribution of the three pairs of the basic color names having both Japanese and English names in the OSA color space. Daidai (■) and orange (□), momo (▲) and pink (△), ao (■) and blue (□). Points inside the solid curves are represented as basic color names.

**Fig. 2** 中の実線内の基本色名をまとめて代表するときには、それぞれ Daidai, Pink, Hai と大文字で始まる単語を使うことにする。

以上の手続きにより、各被験者の基本色名が決まった

が、全被験者の基本色名を OSA 空間内に表わしたのが **Fig. 3(a)** である。 **Fig. 3(b)** には非基本色名を示した。図から明らかなように、基本色名は色空間内でクラスターをつくり、どの被験者もほとんど同じ領域を同じ色名で呼んでいるが、非基本色名のほうは色空間内にはばらばらに分布していて、クラスターは見られない。

### 3.3 色名の一致性

ここでは基本色名の特徴 (2) 人によらず、使うときによらず一致して用いられること、を各色名がどの程度満足しているかをみる。一つの色名のもつ一致度 (% coincidence) を次式より定義した。次式は、被験者 1 人と全被験者それぞれに対して計算できるが、使うときによらない一致性を見るときには被験者 1 人に対する一致度を、人によらない一致性を見るときには全被験者での一致度が指標となる。

$$\text{一致度} = \frac{(\text{その色名を用いた全色票での 1 色票当りの色名の応答回数の平均値} - 1)}{(\text{その色名の 1 色票当りの応答回数の最大可能値} - 1)}$$

各被験者は 1 色票当り 2 回応答したので、その色名を用いた全色票での 1 色票当りの応答回数の平均値は、被験者 1 人では 2 から 1 までの値、10 人全被験者では 20 から 1 までの値をとる。その色名の 1 色票当りの応答回数の最大可能値は被験者 1 人では 2、10 人全被験者では 20 である。分子、分母で 1 を引いたのは、応答数の最小値の 1 を引き、一致度が 0 から 1 までの値を取るようにしたためである。

**Fig. 4(a)** に被験者別の一致度を No. 32 までの色名に対して示す。実線は被験者間の平均値である。一致度は No. 14 までの基本色名と mizu (No. 15), hada

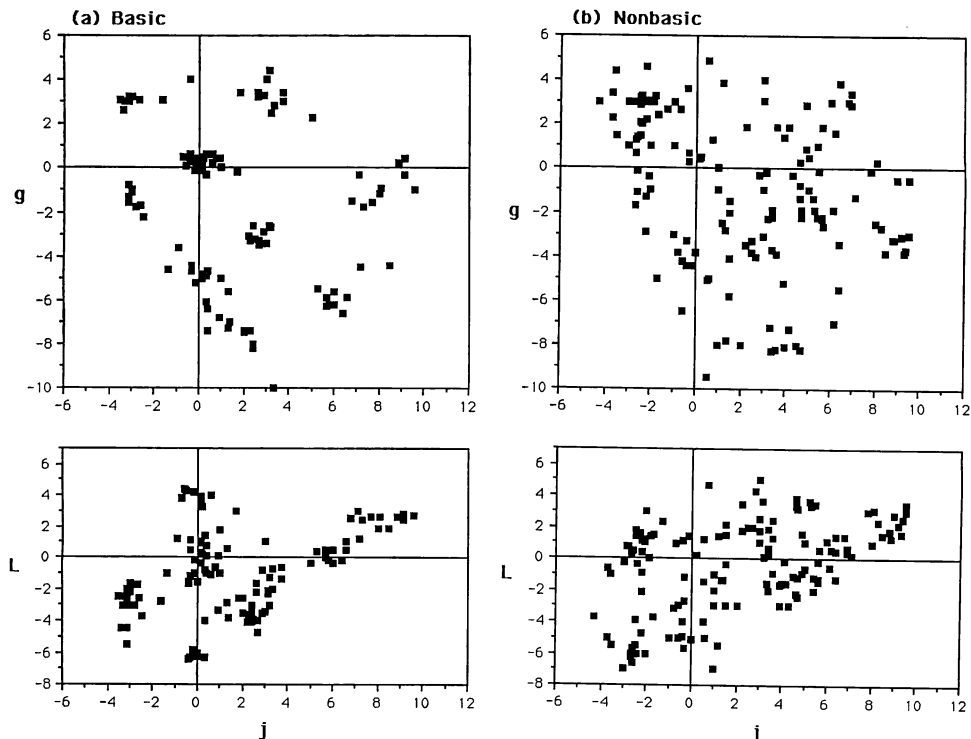


Fig. 3 Distribution of all basic color names (a) and all nonbasic color names (b) in the OSA color space for all subjects.

(No.16), fuji (No.31)で大きな値を取り、それ以外の非基本色名では小さい値になっている。したがって、基本色名と mizu, hada, fuji は使うときによらず一致して用いられるという基本色名の特徴をよく満たすが、他の非基本色名はほとんど満たしていないことがわかる。

次に、Fig. 4(b)に全被験者での一致度を示す。この場合は、被験者10人の結果をまとめて、前述した方法で計算した。被験者別の一致度と同様に、基本色名と mizu, hada はここでも一致度がよく、人によらず一致して用いられるという基本色名の特徴を満たしている。しかし、fuji は全被験者での一致度は悪く、各被験者がそれぞれ異なった領域を fuji と呼んでいることがわかる。したがって、基本色名以外で特徴(2)を満たすのは mizu, hada であり、それ以外の非基本色名は一致度が小さいことが示された。

### 3.4 色名の類似性

基本色名の特徴(3)その語義が他の単語に含まれないこと、について、各色名を調べるために色名の類似性を見る。類似性はここでは一つの色名が他の色名とどの程度オーバーラップして用いられたか、というオーバーラップ割合(% overlap)で表わす。3.2項で述べたよう

に、色名 a, b で呼ばれた色票数をそれぞれ  $N_a$ ,  $N_b$ , 両方の色名で呼ばれた色票数を  $N_{ab}$  として、色名 a の b に対するオーバーラップ割合を  $N_{ab}/N_b$  と定義する。 $N_{ab}/N_b$  が1に近いほど、色名 b は色名 a に類似していることになる。たとえば、 $N_{ab}/N_b=1$  ならば、b と呼ばれた色票は必ず a と呼ばれていることになり、色名 b は色名 a に含まれることになる。

Fig. 5(a)に基本色名間のオーバーラップ割合を示す。各基本色名はそれ自身とのオーバーラップ割合が高く、1色票が2回ともその色名で呼ばれる場合が多いことがわかる。しかし、どの基本色名でも他の基本色名とのオーバーラップ割合はおよそ20%以下と小さく、基本色名間の類似性はきわめて低いことがわかる。これに対して、Fig. 5(b), (c)に示されるように、非基本色名は少なくとも一つの基本色名とオーバーラップしていて、そのオーバーラップ割合は大きい。各非基本色名に対して、それとオーバーラップ割合が最も高い基本色名を取り出し、20%以上のものをまとめると、Table 4 のようになる。Table 4 の非基本色名はそれぞれの右欄にあげた基本色名と類似性が高く、その基本色名のもつ色感覚の領域の一部を表わしていると考えられる。

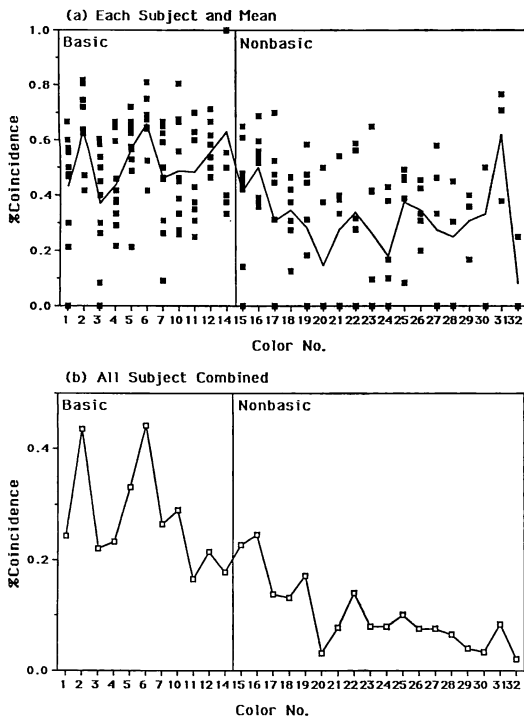


Fig. 4 (a) % Coincidence of basic and nonbasic color names calculated for each subject. Each symbol represents the results for each subject and the solid line the mean result. The number on the abscissa corresponds to the color number in Table 2. (b) Same as (a), but for the data combined from all subjects.

Table 4 Pairs of nonbasic and basic color names which have the greatest % overlap.

Color names		% overlap
Nonbasic	Basic	
mizu	ao	26.7
yababuki	Daidai	26.4
kon	ao	48.6
ai	ao	46.8
kusa	midori	30
azuki	murasaki	33.7
shyu	Daidai	23.9
uguisu	midori	25.5
beige	cha	22.7
lemon	ki	39.3
nezumi	Hai	50
gunjou	ao	75

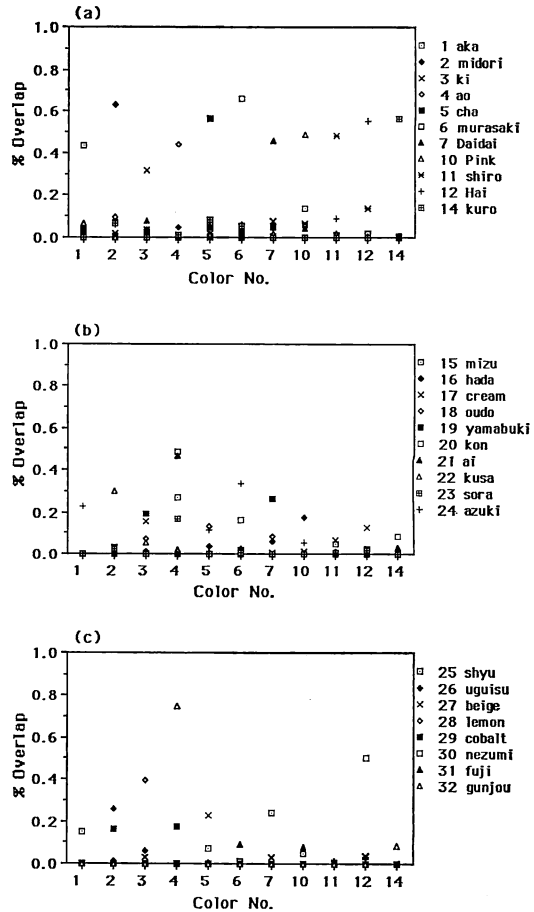


Fig. 5 % Overlap between (a) basic, (b) nonbasic (No. 15-24), and (c) nonbasic (No. 25-32) and basic color names. The number on the abscissa corresponds to the color number in Table 2.

### 3.5 応答時間

Fig. 6 に各色名に対する応答時間を示す。被験者間の差は大きい、平均値 (图中折線) では基本色名 (No. 1~14) の応答時間はほとんどの非基本色名の応答時間よりも短くなっている。基本色名だけの平均応答時間は 2.24 秒、非基本色名では 2.55 秒となり、基本色感覚は非基本色名に対応した複合色感覚よりも 0.31 秒速く応答していることが示されている。基本色名のなかで、比較的応答時間が長いものは、Daidai, Pink, Hai であり、これらの色名は、非基本色名のなかの mizu, hada, cream, kusa, sora, fuji と同程度の応答時間をもつ。

### 3.6 基本色名の中心位置

各色名に対して最小の応答時間を与える色票の被験者

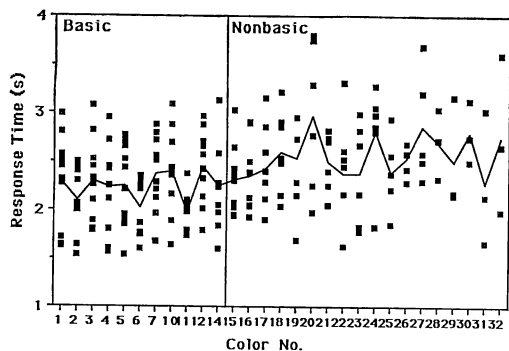


Fig. 6 Response time (s) of basic and non-basic color names. Each symbol represents each subject and the solid line the mean. The number on the abscissa corresponds to the color number in Table 2.

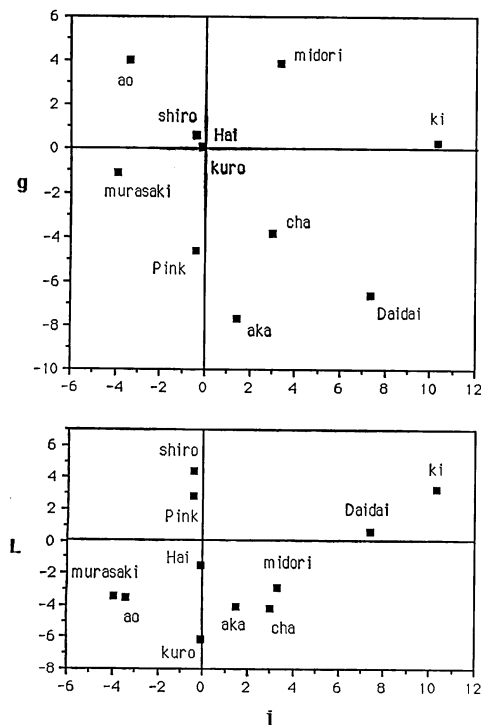


Fig. 7 Focal positions of basic colors shown in the ORA color space.

間の平均位置を Fig. 7 に示す。これは応答が最も速い色感覚をもたらす色票の位置であり、基本色感覚の中心位置といえる。Fig. 1 の基本色名の平均位置と比較すると、shiro, hai, kuro 以外のほとんどの基本色の中心位置は色空間の外側へシフトしていることがわかる。色空間の外側は彩度がより高くなるので、最も純粋な基本色感覚は彩度が高い色であるといえる。

#### 4. 考 察

表面色のカテゴリカル知覚には基本色と非基本色が用いられ、両者により色空間は分割されている。基本色は使う人、使うときにかかわらず一致して用いられ、他の色との類似性が低く、独立していて、さらに応答が速いという特徴を備えている。これに対し、非基本色は少なくとも一つの基本色と類似性が高く、用いられ方に一致性がなく、応答時間も長い。これは基本色により分割された色空間の基本的な領域内の色の見えを非基本色によりさらに細分化して、小さい色差も表現しようとする視覚系の機能のためであると考えられる。しかし、その細分化は被験者により異なり、また時間もかかることから、基本色感覚をさらに合成するような色覚メカニズムが働いていることが示唆される。

本研究で用いた単一色名によるカテゴリカルカラーネーミング法はこれまでに表面色と開口色の区別<sup>9)</sup>、光源の違いによる色の恒常性の測定<sup>10)</sup>、第1および第2色覚異常者のもつ色空間メカニズムの解明<sup>11)</sup> などにも有効であることが示されている。この方法は、さらに、CRT 色と印刷物の色との比較のように、異なった媒体間の色を測色値ではなく表面色の特徴を取り入れた方法で合わせたい場合などにも役立つ方法である。また、多少色みが変わっても赤は赤、青は青と呼べるならば許容される色呈示条件を求めるときにも、カテゴリカルカラーネーミングはよい方法である。たとえば、道路や駐車場の低レベル高効率照明において赤い車が“赤”であると認識できるランプの分光放射条件の設定などが考えられる。

基本色名が特徴(1)~(4)をもっていることは、色を用いて情報を誤りなく伝達したい場合、たとえば、色による指標、信号、標識の考案や複雑なパターンによる塗り分けなどの際に有効な指針を与える。このような、色による安定した情報のコード化には11の基本色の中心位置の色を用いるのが最も適当であると考えられるからである。

#### 5. お わ り に

表面色の表示には、色の見えを細かく分けて、それを順番に並べた空間(マンセル, NCS 空間), 色差を均等に表わす空間(OSA, CIELUV, CIELAB 空間)などがこれまで提案されてきたが、どの空間も色の見えの“差”を基にして作られたものである。色をカテゴリー的にまとめてそれを表示しようとする試みはこれまでほ



とんどなかった。われわれは色の小さい差も知覚できる一方、大きく色を分類する能力もある。日常生活での色の活用には、この色のカテゴリカル知覚のほうがより多く利用されているように思える。本論文で調べた色のカテゴリカル知覚は、色の見えだけにとどまらず色を認識してそれをを用いるという立場からの色表示法の基礎を与えるものとしても意義があると考えられる。

#### 文 献

- 1) G. Wyszecki and W. S. Stiles: *Color Science*, 2nd ed. (John Wiley & Sons, New York, 1982).
- 2) B. Berlin and P. K. Kay: *Basic Color Terms, Their Universality and Evolution* (University of California Press, Berkeley, 1969).
- 3) T. D. Crawford: "Defining "basic color terms,"" *Anthropol. Linguist.*, **24** (1982) 338-343.
- 4) R. M. Boynton and C. X. Olson: "Locating basic colors in the OSA space," *Color Res. Appl.*, **12** (1987) 94-105.
- 5) K. Uchikawa and R. M. Boynton: "Categorical color perception of Japanese observers: comparison with that of Americans," *Vision Res.*, **27** (1987) 1825-1833.
- 6) E. R. Heider: "Focal areas and the development of color names," *Dev. Psychol.*, **4** (1971) 447-455.
- 7) E. R. Heider: "Universals in color naming and memory," *J. Exp. Psychol.*, **93** (1972) 10-20.
- 8) F. Ratliff: "On the psychophysiological bases on universal color terms," *Proc. Am. Philos. Soc.*, **120** (1976) 311-330.
- 9) H. Uchikawa, K. Uchikawa and R. M. Boynton: "Influence of achromatic surrounds on isolated surface color perception," *Vision Res.*, (accepted).
- 10) K. Uchikawa, H. Uchikawa and R. M. Boynton: "Partial color constancy of isolated surface colors examined by a color naming method," *Perception* (submitted).
- 11) E. D. Montag and R. M. Boynton: "Rod influence in dichromatic surface color perception," *Vision Res.*, **27** (1987) 2153-2162.