

Title	明度関数の合理的選択
Sub Title	On the nature of the lightness scale
Author	伊田, 政司(Ida, Masashi)
Publisher	慶應義塾大学大学院社会学研究科
Publication year	1980
Jtitle	慶應義塾大学大学院社会学研究科紀要：社会学心理学教育学 (Studies in sociology, psychology and education). No.20 (1980. ), p.65- 70
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	論文
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN0006957X-00000020-0065">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN0006957X-00000020-0065</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

# 明度関数の合理的選択

## On the Nature of the Lightness Scale

伊 田 政 司  
Masashi Ida

It is investigated that the nature of the psychophysical lightness scales. There are two types of lightness scales, the one is the logarithmic function, and the other is the power function. It is difficult to decide which of the two is proper purely on the empirical ground. Thus, the theoretical analysis is necessary to solve the problem. The formulation made by R. D. Luce (1959) is applied. The difference between the two appears in the predictions of the sensation difference, when the illuminating conditions change (Indow, 1973). The experimental examination of these predictions was put into practice.

物体の視感反射率  $Y$  と、それに対応する心理量を明度 (lightness)  $V$  とする。この二つの間には、或る関数形が成立し、それを心理物理関数と呼ぶ。この心理物理関数の形は、いろいろな研究者によって調べられているが、経験的には次の二つの関数形が得られている。

- I. 対数関数
- II. ベキ関数

I の対数関数は、心理尺度を弁別閾に立脚して構成した場合に得られ<sup>(1)</sup>、このグループに属する尺度は、オストワルド系及び DIN 系の明度尺度として採用されている。

II のベキ関数は、Munsell 表色系、CIE 表色系等で採用されている。その尺度は、刺激となる色標間に感じられる感覚上の“差”の程度に対する人間の判断を基礎にして構成される。即ち、個々の刺激を  $i, j, k$  と書く事にすると、刺激対  $(i, j)$ 、 $(j, k)$  各々の組の間に感じられる差の大きさの同等性についての判断を基礎とし、そのとき尺度値は、

$$u(i) - u(j) = u(j) - u(k)$$

となるように与えられている。この方法に含まれる心理物理的方法の代表的なものは、bisection, equisection である。

bisection の場合には、刺激  $i$  を白、 $k$  を黒とすると、明度の上で丁度それらの中間、即ち、 $i, k$  から等距離の差が感じられるような  $j$  を選ぶ事である。また、標準刺激として  $i, j$  を与えておき、それらの感覚的な差の大きさを、 $j, k$  との間の差と等しくなるような刺激  $k$  を選択するようにしてもよい (Torgerson, 1958)。以上のような手続きで、白から黒へ至る、等しい感覚差をもって変化する一連の色標が得られる。このように、感覚的に等歩度に変化してみえるような一連の色標を均等明度尺度 (uniform lightness scale; ULS) という。

現在用いられている各種の明度関数は、上に述べた 2 つのグループに大別されるのであるが、それらの間には、適合度の上からも、各種の明度関数を比較した福田 (1973, 図3.2) に示されるように、特に決定的な差はみられない。しかし、尺度のもつ性質を明らかにする事により、現象に即して両者を合理的に選択できる可能性があり、それが本稿のテーマである。

心理量としての明度を、視感反射率  $Y$  (%) の関数とみた場合、尺度の分類<sup>(2)</sup>に従うと、 $Y$  は ratio scale であり、ULS は感覚上の等間隔性を保持しているという意味で、interval scale とみなせる。尺度間の関係についての研究によると、独立変数が ratio scale で、従

属変数が interval scale の場合、両者の間に可能な関数形としては、対数関数か、ベキ関数しかない事が証明されている (Luce, 1959)<sup>(43)</sup>。

また、照明条件 (照度) が変化した場合にも、等間隔性を保存しうる尺度を与える心理物理関数は、やはり、前記の二つに限られる事が示されている (Krantz, 1972, p 675)<sup>(44)</sup>。

さて、理論的にも、経験的にも、上の 2 つの候補が現われている事は興味深い、それでは、どちらを選択すればよいであろうか。これは結局、人間が刺激対に対して感ずる lightness についての感覚上の差のもつ性質を調べて決めるほかない。

上述の二つの可能性の何れを選択するかによって若干異なる予測が与えられている (Indow, 1973)<sup>(45)</sup>。即ち、いま、照度  $L$  の下での刺激  $i, j$  の間に感じられる明度“差”の大きさを、 $\Delta u(i, j | L)$  と書くと、

1° 対数関数を選択した場合、

$$\Delta u(i, j | KL) = \Delta u(i, j | L)$$

つまり、照明の強さが  $L$  から  $KL$  へ変化しても、刺激間に感じられる差の大きさは変化しない。但し、 $K$  は実数の、或る定数とする。

2° ベキ関数を選択した場合、

$$\Delta u(i, j | KL) = (K^\beta) \Delta u(i, j | L)$$

但し、ここで、 $\beta$  はベキ関数のベキ指数で、実定数。 $K$  は 1° と同じ。つまり、照明条件が変化すれば、それに応じて差の大きさも変化する。

以上の印東の予想をめぐって、それらを実験的に検討するのが、本稿の目的である。如何にして上述の差を測定するかという事と、その大きさを如何に比較するかという事が問題となる。

## 手 続

### 実験 I

両眼独立に刺激を呈示できるように左右の視野を分離し、各々の眼に与えられる照明の強度を変化できるように装置を作り (両眼比較箱)、同一刺激対の差の大きさについて同時比較を行なう。

#### (I-1) 装置 // 両眼比較箱

内部は黒色の wool paper をはりつめ、内面反射を防ぐ。刺激呈示面は、被験者の前方 65 cm で、視角はおおよそ  $30^\circ \times 21^\circ$  である。この呈示面は、プラスチックの板につや消しの黒色塗装をしたもので、水平面に対し  $110^\circ$  の傾きをもつ。

照明強度の調整は、光源として用いたタングステン電

球によって行ない、呈示面での照度は、 $L=2.39 \times 10^2$ 、 $KL=5.10 \times 10^2$ 、 $K'L=1.72 \times 10^3$  (Lux) の 3 種類とした。

#### (I-2) 刺激

Munsell value color sheets から切り抜いた、大きさ  $1.0 \times 1.0$  cm の chip で、同じサイズの鉄板で裏打ちしてある。Munsell value 6.5, 5.5, 4.5 の 3 つ組 (Triad) を 2 組用意した。各 chip は、1 cm の間隔をあけて、被験者から見て、左から右へと value の値が小さく (白く) なるように並べる。

#### (I-3) 照明条件

3 種類の照明条件  $L, KL, K'L$  について、右眼側に  $L$ 、左眼に  $KL$  の場合を  $(KL, L)$  とかく。実験を行なったのは、 $(L, KL)$ 、 $(L, K'L)$  及び  $(KL, L)$ 、 $(K'L, L)$  の 4 条件について、刺激 triad に対する lightness の相対的關係についての判断を求める。照明は、両眼間で異なるが、呈示される triad は同一のものが、左右に各々呈示されている。この事は、被験者には知らせない。

#### (I-4) 教示

lightness が、感覚上だいたい等歩度に変化して見える刺激ボタン (Cornsweet, 1970, p 227, Fig. 11-4) を見せながら、刺激間に感じられる lightness の関係を棒グラフの高さで表現するように、という教示を与える。評価の規準は、弱い方の照明を与えられる眼に呈示される triad のうちの、左側の pair に感じられる差の大きさとする。即ち、 $\Delta u(i, j | L)$  と  $\Delta u(i, j | KL)$  を直接比較し、それらの相対的關係を移調法的に棒グラフの高さで、 $\Delta u(i, j | L)$  を単位として表現する。3 つの刺激を呈示したのは、lightness の差についての判断を助ける目的である。

#### (I-5) 被験者

心理学専攻の大学生 4 名 (女性 1 名) である。

#### (I-6) 結果

観察者の画いた棒グラフの高さの差を測る。規準とするように指定された方の眼に与えられた triad を構成する刺激 chip を、 $i, j, k$  とかき、他方の眼に与えられている triad を一応区別して、 $i', j', k'$  とかく。照明条件  $L$  の下での  $i$  と  $j$  に対する lightness の表現としての棒グラフの高さの差を  $\Delta u(i, j | L)$  とかく。 $\Delta u(i, j | L)$  が異なる照明条件下 ( $KL$ ) でどう見えているか、即ち、 $\Delta u(i, j | KL)$  と比較する。 $\frac{\Delta u(i', j' | KL)}{\Delta u(i, j | L)}$  を各観察者について求め、照明条件に対してプロットした。

各観察者の結果を見ると、照明水準が上がるにつれ

表 1 実験 II 実験で用いた色標の測定値

色票基準値		色票実測値		
Vy †	Y (%)	Vy	Y (%)	D
9.50	90.01	9.38	87.27	0.06
9.25	84.19	9.23	83.63	0.08
9.00	78.66	9.01	78.97	0.10
8.75	73.40	8.75	73.44	0.13
8.50	68.40	8.58	70.01	0.15
8.25	63.63	8.33	65.11	0.19
8.00	59.10	8.04	59.84	0.22
7.75	54.78	7.78	55.34	0.26
7.50	50.68	7.50	50.72	0.29
7.25	46.77	7.28	47.20	0.33
7.00	43.06	7.02	43.34	0.36
6.75	39.54	6.78	39.89	0.40
6.50	36.20	6.50	36.24	0.44
6.25	33.04	6.25	33.07	0.48
6.00	30.05	6.01	30.14	0.52
5.75	27.23	5.78	27.58	0.56
5.50	24.58	5.54	24.98	0.60
5.25	22.09	5.29	22.48	0.65
5.00	19.77	5.03	20.01	0.70
4.75	17.60	4.77	17.80	0.75
4.50	15.57	4.54	15.87	0.80
4.25	13.70	4.29	13.97	0.85
4.00	12.00	4.05	12.31	0.91
3.75	10.43	3.80	10.76	0.97
3.50	9.00	3.55	9.29	1.03
3.25	7.71	3.31	8.00	1.10
3.00	6.56	3.01	6.60	1.18
2.75	5.52	2.79	5.69	1.24
2.50	4.61	2.48	4.54	1.34
2.25	3.82	2.28	3.92	1.41
2.00	3.13	2.06	3.27	1.49
1.75	2.53	1.81	2.67	1.57
1.50	2.02	1.48	1.99	1.70
1.25	1.58	1.26	1.60	1.80
1.00	1.21	1.08	1.32	1.88
0.75	0.88	0.84	0.99	2.00
0.50	0.58	0.43	0.50	2.30

† Vy が NVS 値に対応する。本文中では色票基準値を引用している。

日本色彩研究所 37段階無彩色明度標準 解説書より。

ステップで 4.00 まで、11 刺激を図 3(a) のように並べて呈示する。これらは、13.5×24 cm の NVS 7.0 相当の台紙にマウントされる。SS<sub>2</sub> シリーズは、9.0 及び

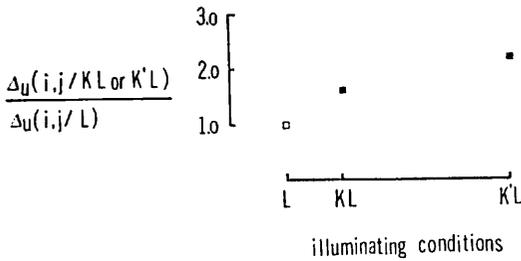


図 1 実験 I の結果 (4 名の幾何平均)

て、刺激差を大きく見積った者が 3 名で、1 名は条件 L と KL の間では増加傾向を示したが、KL と K'L では増加は見られなかった。

平均値 (幾何平均) でみると、図 1 に示されるように、照明水準の増加に伴って刺激差が大きく見積もられている様子がわかる。

ここで、心理物理関数としては、予想 2<sup>o</sup> の性質をもつべき関数の方が、単なる当てはまりの良さという観点からでなく、式の中に色差のもつ性質を多く含んでいるという意味で、表色の定式として適当であると言えよう。

実験 II

実験 II では、実験 I の結果を踏まえ、色差 (明度差) の評価法として、“差” についての同等性の設定によって、照明条件が変化した場合の明度差の変化を調べる。即ち、或る照明条件 (KL) 下における 2 刺激間 (l, m | KL) に感じられる明度差を、規準となる照明条件 (L) 下における 2 刺激 (i, j | L) と比較し、i, j, l を固定し、明度差 Δu(i, j | L) = Δu(l, m | KL) となるような m を観察者が選択する事により、異なる照明条件下における明度差についての同等性 (matching) を設定する。

(II-1) 装置

実験 I で用いた両眼比較箱

(II-2) 刺激

日本色彩研究所 Neutral value scale 37 (0.5 (黒) ↔ 9.50 (白), 0.25 step, 37 段階) を用いた。各色標は、直径 2.5 cm の円形で、各 value (以下 NVS 値と呼ぶ) に対応する視感反射率は、表 1 に示される。

標準刺激対は、value 差 1 をもつ 3 種類である。図 2 にその構成を示す。各 pair は、4.8×6.8 cm の台紙 (NVS 7.0 相当) にマウントする。

選択用刺激セット (CS) は、次の 2 種類を用意した。SS1 シリーズでは、NVS 値で 1.0 及び 1.5 から、0.25

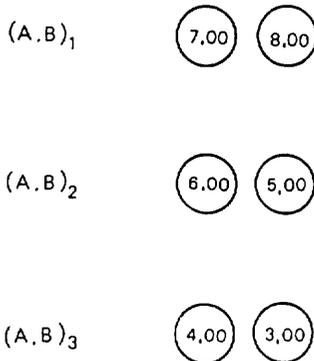


図 2 標準刺激対 (A, B)<sub>i</sub>; i=1, 2, 3  
数値は NVS 値

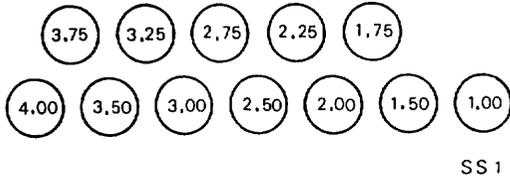


図 3(a) 選択用刺激セット SS<sub>1</sub> シリーズ  
数値は NVS 値

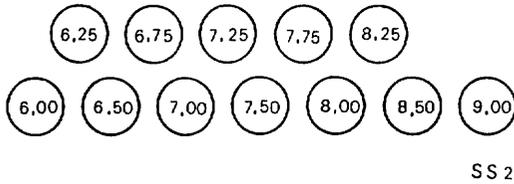


図 3(b) 選択用刺激セット SS<sub>2</sub> シリーズ  
数値は NVS 値

8.5 から 0.25 ステップで、6.0 までの 11 の色標を、図 3 (b) のように並べたものである。その他の点は、SS<sub>1</sub> シリーズと同じである。

(II-3) 照明条件

照明は、左右の視野ともタングステン電球で行ない、光量の調節は ND フィルター (KODAK WRATTEN GELATIN FILTER No. 96)、ND 0.3 及び ND 0.6 (透過率は各々 50%, 25%) を、観察者の眼前、两眼比較箱のゴーグルに取り付けて行なう。刺激呈示面での照度は左右共 10.2×10<sup>8</sup> lux であった。照明条件は、この ND 0.3, 0.6 及び filter なしの 3 水準で、これらは表 2 に示されるように組み合わせられる。表中のアンダーライン側に SS<sub>i</sub> シリーズ (i=1 or 2) が呈示される。

(II-4) 教示

観察者に求める判断は、測定対象 (A, B)<sub>i</sub>; i=1, 2, 3

表 2 照明条件 (実験 II)

	Left eye	Right eye
1	<u>0.6</u> †	0.6
2	<u>0.6</u>	0.3
3	<u>0.6</u>	—
4	0.6	<u>0.6</u>
4	0.3	<u>0.6</u>
6	—	<u>0.6</u>

† 0.6, 0.3, — はそれぞれ、ND フィルターの番号およびフィルターなしを示す。  
アンダーライン側に SS<sub>i</sub> シリーズ i=1 or 2 が呈示される。

に感じられる差の程度を SS<sub>1</sub> シリーズの NSV=1.0 (或いは、SS<sub>2</sub> シリーズの NVS=9.0) を規準とした時に、どの程度の大きさであるかを、各々、SS<sub>1</sub> シリーズ (or SS<sub>2</sub> シリーズ) の刺激の中から選択する事である。即ち、感覚上、 $\Delta u(A, B)_i = \Delta u(SS_1 (NVS=1.0), SV_i)$  (または、SS<sub>2</sub> (NVS=9.0), (SV<sub>i</sub>)) なる関係を充たす SV<sub>i</sub> (または SV<sub>i</sub>) を、SS<sub>1</sub> (or SS<sub>2</sub>) シリーズの中から選択する事である。

各刺激は、図 3 に示されるように、視感反射率の大小順に並べてあるので、SV<sub>i</sub> (or SV<sub>i</sub>) として、それらの中間のものが好ましい場合には、そのように指定してもらおう。

(II-5) 被験者

大学院学生 3 名、助手 1 名の計 4 名で、何れも心理学専攻の男子で、lightness についての scaling の経験のある者である。

(II-6) 結果

表 2 に示される照明条件の各組み合わせにおいて得られたデータは、種々の照明水準における (A, B)<sub>i</sub>=1, 2, 3 の色差を、標準となる照明水準における SS<sub>1</sub> シリーズ (or SS<sub>2</sub> シリーズ) を用いて、測った (matched) ものである。即ち、 $\Delta u(A, B | KL) = \Delta u(SS_1, SV_i | L)$  (or  $\Delta u(SS_2, SV_i | L)$ )、この条件の成立している時の、SS<sub>1</sub>, SV<sub>i</sub> の NVS の差 (SV<sub>i</sub>-SS<sub>1</sub> (NVS=1.0) or SS<sub>2</sub> (NVS=9.0)-SV<sub>i</sub>) を求める。各条件で、SS<sub>i</sub> シリーズと (A, B)<sub>i</sub> の位置をカウンターバランスしているので、それらの平均値を求め、各被験者の結果を図 4 に示す。

図 4 でみると、用いた刺激列系による差、及び個人差が大きく、はじめに述べた目的に対し、クリアーカットな結論を出す事はできない。予想 2° を支持 (即ち、照

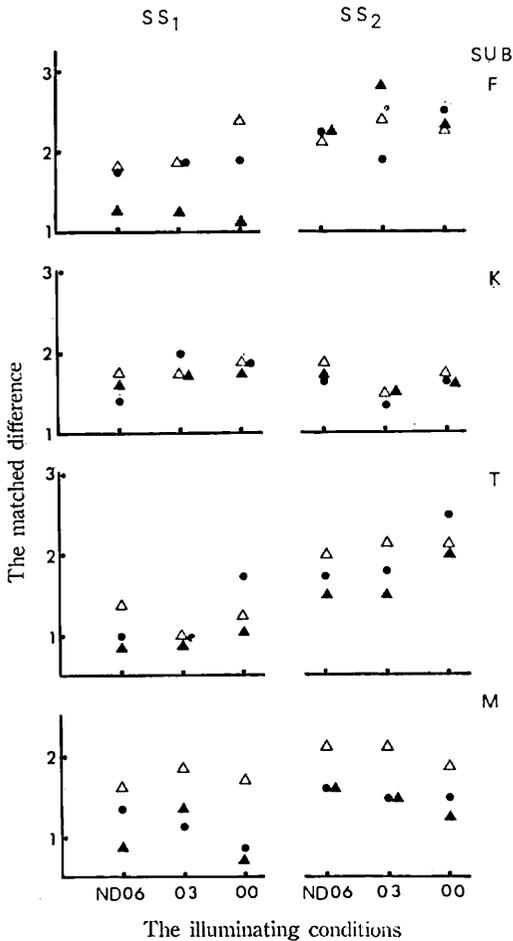


図 4 実験IIの結果

SS<sub>1</sub>, SS<sub>2</sub> は matching に用いた選択用刺激セットを示す。  
 ND 06, 03, は、それぞれ、用いた ND フィルターの番号で、00 はフィルターなしである。  
 △●▲はそれぞれ (A, B); i=1, 2, 3 を用いた場合の結果を示す。

明条件に応じて明度差が大きく感じられるという予想する結果 (Sub. T, Sub. F), 予想 1° を支持する結果 (Sub. K, Sub. M) との 2 つに分かれている。

以上の結果から、先の問題の解決の為には、次の二点の再検討が必要である。

- (1) 個人の明度関数と色差の関係を調べること。
  - (2) 被験者間で、色差の受け取り方、即ち判断内容に斉一性が存在していたか否かのチェックの必要性。
- (1) に対しては、もっとオーソドックスな尺度構成法を用いる事により、照明水準の効果をそのスロープでみた

方が良いと思われる。一方、(2) に対しては、因子分析の応用 (印東・松島, 1969) によって解決できるものと思われる。

註

- (1) 尺度構成法に特有の関数形が存在するわけではなく、あてはまりの良さだけを問題にするなら、I, II ともかなりよくあてはまる。また、ある関数形を選択したとして、そのパラメーターは、実験条件における最適値が定まるであろうが、当報告では、比較的大距離の明度差の判断についての関数形のみを問題とする。
- (2) S.S. Stevens による認容変換 admissible transformation の観点からの分類である (Stevens, 1946; 印東, 1977)。
- (3) これは、関数方程式を解くという形で定式化された。関数方程式というのは、“未知数”が、関数形である方程式のことである。たとえば、独立変数  $x$  は Ratio scale, 従属変数  $u(x)$  は interval scale の場合 ( $x$  を刺激値,  $u(x)$  を心理尺度値と考えればよい)  $x$  の認容変換は単位をとりかえるだけであるが、 $u(x)$  の方は、その線形変換までゆるされるから、

$$u(kx) = K(k)u(x) + c(k) \quad k > 0, K(k) > 0$$

という関数方程式がたてられる。この関数方程式をみたす連続解  $u(x)$  は、

$$u(x) = \nu \log x + \alpha$$

$$u(x) = \nu x^c + \alpha \quad x > 0, c \neq 0, \nu \neq 0$$

の二つに限られることが示されている。

- (4) Krantz の関数方程式。

照明レベルに独立に、等間隔性を保存する関数形を求める。すなわち、 $x, y, z$  を刺激値、 $\phi(x), \phi(y), \phi(z)$  をそれらに対応する心理尺度値とするとき、

$$\phi(x) - \phi(z) = \phi(z) - \phi(y) \dots\dots\dots (1)$$

また、照明条件が変化しても等間隔性は保存されるとすると、(1) は、

$$\phi(tx) - \phi(tz) = \phi(tz) - \phi(ty) \dots\dots\dots (2)$$

$$(1) \text{ より, } \phi^{-1}\left(\frac{\phi(x) + \phi(y)}{2}\right) = \phi^{-1}\phi(z) = z \dots (3)$$

$$(2) \text{ より, } t \cdot z = \phi^{-1}\left(\frac{\phi(tx) + \phi(ty)}{2}\right) \dots\dots\dots (4)$$

(3), (4) より

$$\phi^{-1}\left(\frac{\phi(tx) + \phi(ty)}{2}\right) = t\phi^{-1}\left(\frac{\phi(x) + \phi(y)}{2}\right) \dots (5)$$

(5) を満たす連続解は、

$$\phi(x) = a + b \log x$$

or  $\phi(x) = a + bx^{\beta}$  のみ (Aczél, 1966, p 152)。

ただし  $x > 0, \beta \neq 0, b \neq 0$ 。

- (5) 刺激  $i$  の視感反射率を  $Y(i)$  とし、 $L$  は照度、 $K$  を

正定数とする。

(1°) 対数関数  $u(i) = a \log Y(i) + b$  を選択した場合、照度  $L$  の下では、

$$\Delta u(i, j | L) = a \log(LY(i)) - a \log(LY(j))$$

照度  $KL$  の下では、

$$\begin{aligned} \Delta u(i, j | KL) &= a \log(KLY(i)) - a \log(KLY(j)) \\ &= a(\log K + \log LY(i)) \\ &\quad - a(\log K + \log LY(j)) \\ &= a \log(LY(i)) - a \log(LY(j)) \end{aligned}$$

$$\therefore \Delta u(i, j | L) = \Delta u(i, j | KL)$$

(2°) ベキ関数  $u(i) = \alpha(Y(i))^\beta + \gamma$  を選択した場合、照度  $L$  の下では、

$$\Delta u(i, j | L) = \alpha(LY(i))^\beta - \alpha(LY(j))^\beta$$

照度  $KL$  の下では、

$$\begin{aligned} \Delta u(i, j | KL) &= \alpha(KLY(i))^\beta - \alpha(KLY(j))^\beta \\ &= K^\beta[\alpha(LY(i))^\beta - \alpha(LY(j))^\beta] \\ &= K^\beta[\Delta u(i, j | L)] \end{aligned}$$

$$\therefore \Delta u(i, j | KL) = K^\beta[\Delta u(i, j | L)]$$

#### 引用文献

- Aczél, J., 1966, *Lectures on functional equations and their applications*. Academic Press.  
 Cornsweet, T.N., 1970, *Visual Perception*. Academic Press.  
 福田 保, 1973, 色差と UCS 表色系, テレビジョン学

会編, 測色と色彩心理. chap. 3, 45-73, 日本放送出版協会.

伊田政司, 1978, 明度関数の合理的な選択, 明度差に及ぼす照明水準の影響を手がかりとして. 日本心理学会第42回大会発表論文集, p 244-245.

伊田政司, 1979, 明度関数の合理的な選択, 明度差に及ぼす照明水準の影響を手がかりとして (2). 早大東工大慶大三大学視覚系情報処理研究会発表 (於東工大)

Indow, T., 1973, Colour atlases and colour scaling. In Hunt, R. W. G., (Ed.), *Colour '73*, Adam Hilger, 137-152.

印東太郎, 1977, 識別, 比較, 選択, 印東太郎 (編) 心理測定・学習理論. chap. 3, 199-282, 森北出版.

印東太郎, 松島恵子, 1969, 因子分析による諸色差公式および人間の判断の比較. 東洋理化学 Technical News, No. 34, 1969, 5, 4-7.

Krantz, D. H., 1972, Visual scaling. In Jameson, D., & Hurvich, L. M., (Eds.), *Handbook of sensory physiology* VII-4, Springer Verlag, Chap. 26, 660-689.

Luce, R. D., 1959, On the possible psychophysical laws. *Psychological Review*, 66, 81-95.

Stevens, S. S., 1946, On the theory of scales of measurement. *Science*, 103, 677-680.

Torgerson, W. S., 1958, *Theory and method of scaling*. John Wiley.