

特集「納谷嘉信記念シンポジウム」

Nayatani-Theoretical表色系とトーン概念

Nayatani-Theoretical Color Order System and Tone Concept

酒井 英樹 Hideki Sakai

大阪市立大学大学院生活科学研究科 居住環境学講座
Osaka City University

納谷先生は、晩年、測光・測色分野とカラーデザイン分野との融合の必要性を説き、そのための“共通言語”として、Nayatani-Theoretical 表色系（以下、NT 系と記す）を開発し、デザインにとって重要な色彩トーンを測光・測色的に定義することに初めて成功しました [1]。本報では、NT 系の妥当性についての検証に一部携わった筆者の立場から、NT 表色系の構造を、Munsell 表色系への簡易変換式と共に示し、NT 系の特徴とその活用方法を紹介します。

1. はじめに^{注)}

NT 系は、Hering の反対色理論 [2] への修正案 [3-6] を経て、Nayatani [7] が 2004 年に提案した新しい表色系である（後に一部変更 [8,9]）。NT 系は、Natural Color System (NCS) [10,11] と同じく、反対色説に基づいた表色系であり、赤、黄、緑、青、白、黒の 6 色を基本色とする点は共通している。しかし、NCS が Hering の反対色理論に従い、

- (1) 赤 - 緑、黄 - 青は反対色とするが、白 - 黒は反対色とせず、
- (2) 白、黒、純色を頂点とする三線座標を採用し、
- (3) (白み w)+(黒み s)+(色み c)=100 として、比率で色を指定する、

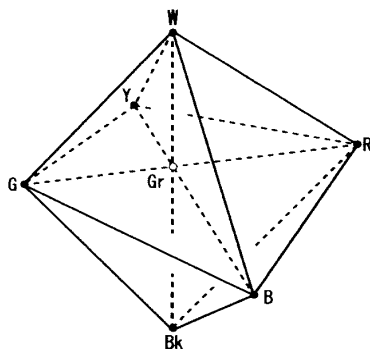


図1 6基本色で構成される NT 表色系の色立体
(原色以外の色相もそれぞれ異なる最大クロマを持ち、
実際には凸凹面で囲まれる)

としているのに対して、NT 系では、Nayatani の修正反対色理論 [3-6] に基づき、

- (1') 基準灰色を導入することで、2つの有彩色軸に加えて、白 - 黒も反対色と定義し、
 - (2') 市街地距離で色空間を定義することにより、反対色系でありながら直交座標を採用し、
 - (3') 色相ごとに異なる最大クロマを設定し、色み量を比率ではなく、強度で表示する、
- としている。

Munsell 表色系や NCS に対する NT 系の最大の特徴は、色の見え空間として、知覚明度、知覚クロマ、色相を独立に取り扱える点である [12]。これにより、色彩トーンを測色的に定義することができるほか、Hunt 効果と Stevens 効果を同一の視覚効果（Nayatani 効果）として扱うことができるなどの利点を有する [13,14]。

2. NT 表色系の構造

NT 系は、基準灰色 Gr が中心に位置し、6 基本色で作られる 3 つの反対色軸、赤 R- 緑 G、黄 Y- 青 B、白 W- 黒 Bk からなる構造を持つ（図 1）。そして、空間内の座標（色属性）は、[白み (w), 黒み (bk), 灰み (gr), クロマ (C), 色相 (H)] で表記される [7,9]。

以下、各属性の設定方法と Munsell 座標系との関係を解説する。

・色相 (NT Hue H)

色相は、NCS と同様に赤、黄、緑、青の成分比とし、赤は R100、黄は Y100、赤と黄が半々であれば、Y50-R50 などと表記する（図 2）。表 1 に NT 色相と Munsell 色相との関係を示す [9]。

・クロマ (NT chroma C),

NT クロマは、Munsell クロマをそのまま用いる。無彩色 C = 0 から、彩度が増すにつれ、C の値が

表1 NT系における色彩強度 CS(H), 最大クロマ, 及び, 2つの NT 座標における Munsell 明度 V(H)

Munsell 色相	NT 色相 H	色彩強度 CS(k1k2; H)	最大クロマ C(H; Max)	NT[w=bk=0,C=10]の Munsell V(H)	NT[w=4,bk=0,C=4]の Munsell V(H)
5P	R50-B50	1.808	36	3.9	6.6
10PB	R37.5-B62.5	1.819	36	3.8	6.6
5PB	R25-B75	1.811	36	3.9	6.6
10B	R12.5-B87.5	1.745	35	4.0	6.7
5B	B100	1.623	32	4.3	6.8
10BG	B75-G25	1.482	30	4.7	7.0
5BG	B50-G50	1.388	28	5.0	7.1
10G	B25-G75	1.329	27	5.3	7.2
5G	G100	1.287	26	5.4	7.3
10GY	G75-Y25	1.172	23	6.0	7.5
5GY	G50-Y50	1.026	21	6.8	7.8
10Y	G25-Y75	0.985	20	7.1	7.9
5Y	Y100	1.000	20	7.0	7.9
10YR	Y75-R25	1.073	21	6.5	7.7
5YR	Y50-R50	1.205	24	5.8	7.4
10R	Y25-R75	1.373	27	5.1	7.1
5R	R100	1.526	31	4.6	6.9
10RP	R87.5-B12.5	1.629	33	4.3	6.8
5RP	R75-B25	1.714	34	4.1	6.7
10P	R62.5-B37.5	1.779	36	3.9	6.7

増加するが, その上限値は, 色相ごとに異なる。黄 (Y100) の最大クロマを $C(Y100; \text{Max}) = 20$ と設定し, 他の色相は, 次式で求める。

$$C(H; \text{Max}) = CS(H) \times C(Y100; \text{Max}) \quad (1)$$

ここで, $CS(H)$ は, 色彩強度 (Chromatic Strength) 関数であり, 20 色相に対する値を表1に示す。20 色相以外の色相については, 線形補間によって求める。

・白み (NT whiteness w), 黒み (NT blackness bk)

完全白 W を白み最大の $w=10$, 完全黒 Bk を黒み最大の $bk=10$ とする (図3)。ここで, NCS の白み, 黒みとは異なり, NT 系の w と bk は排他的であり, w か bk の一方が値を持てば, 他方は 0 となる。 $w=bk=0$ となる中間の灰色 (基準灰色 Gr) の Munsell 明度を $V=5.5$ (近似的に NCS の $w=s=50$) とし, NT 系の白黒軸上の任意の無彩色 (w, bk) の Munsell 明度 V_N は,

$$V_N = 0.450 \cdot w + 5.50, \text{ for } 0 \leq w \leq 10 \quad (2)$$

$$= -0.550 \cdot bk + 5.50, \text{ for } 0 \leq bk \leq 10 \quad (3)$$

とする (文献9の(1), (2)式)。

つぎに, 有彩色は, 表1に示す $CS(H)$ を使って, まず, $C=10$ の Munsell 明度を次式

$$V(w=bk=0, C=10; H) = 1.27 \cdot \{5.50/CS(H)\} \quad (4)$$

で求めた後, 任意のクロマにおける Munsell 明度を,

$$V(w, bk, C; H) = V_N(w, bk) + \Delta V(H) \cdot C/10 \quad (5)$$

で計算する。ただし,

$$\Delta V(H) = V(w=bk=0, C=10; H) - 5.50 \quad (6)$$

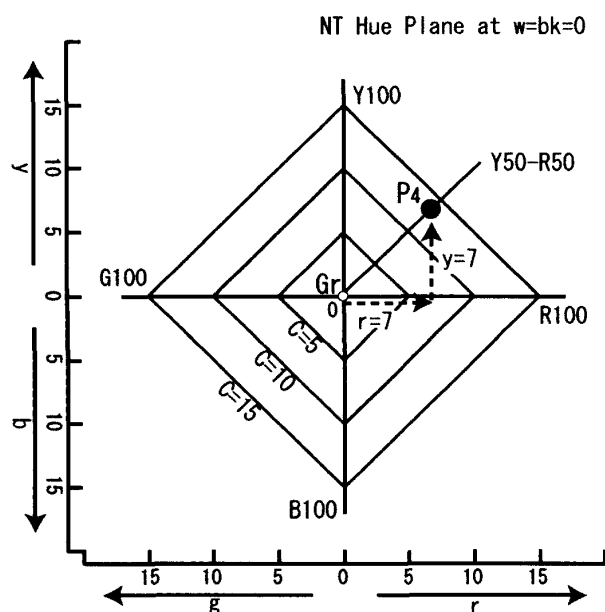


図2 NT表色系の色相-クロマ面

である（文献 9 の (3)-(5) 式）。

・ 灰み (NT grayness gr)

灰みは、基準灰色 Gr で最大値 $gr=10$ を持ち、白み w 、黒み bk 、クロマ C の存在によって減少していく。ある色の灰み gr は、10 から w 、 bk 、 C をさし引いた値とする（ただし、最小は 0）。

$$gr = 10 - (w+bk+C), \text{ for } (w+bk+C) < 10 \quad (7)$$

$$= 0, \quad \text{for } (w+bk+C) \geq 10 \quad (8)$$

このように、灰み gr は、独立した値ではない。

以下、NT 表記の具体例をいくつか示す。

P_1 (図 3) : $[w=4, bk=0, gr=2, C=4, H=R100]$

P_2 (図 3) : $[w=0, bk=0, gr=0, C=10, H=R100]$

P_3 (図 3) : $[w=0, bk=3, gr=0, C=15, H=R100]$

P_4 (図 2) : $[w=0, bk=0, gr=0, C=14, H=Y50-R50]$

NT 系は、市街地距離で色空間を定義しており [5]、例えば、 P_4 は、赤み $r=7$ 、黄み $y=7$ より、合計 $7+7=14$ の色み成分としてクロマ $C=14$ と考える。これは、NT 系は、色知覚の記述を目指した色の見え空間であり、色差の均等性を目的とした CIELAB、CIELUV、CIECAM02 などの均等色差空間ではないことを意味する [1]。この点について、Nayatani は、次のように説明している。

"Suppose there are 7 oranges and 7 apples. Make the number of oranges the abscissa and the number of apples the ordinate. The Euclidean distance between the origin (orange=0, apple=0) and the point corresponding to (orange=7, apple=7) is $(7^2+7^2)^{1/2}=9.9$. This value, however, has no meaning. We have 14 fruits consisting of 7 oranges and 7 apples. However, the case of the city-block metric $7+7=14$ is completely reasonable." (文献 5 の p.176 より引用。ただし、数値は P_4 の座標にあわせて変更した。)

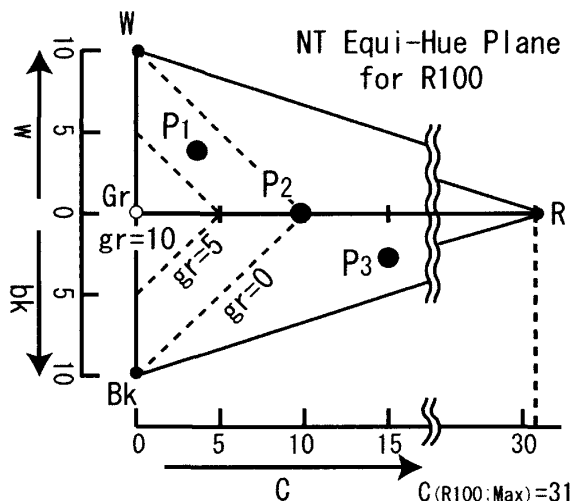


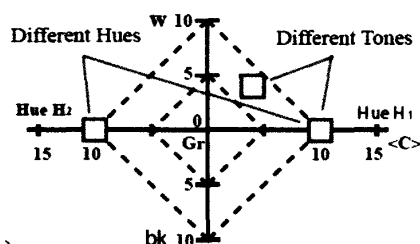
図 3 NT 表色系の等色相面（色相 R100 の場合）

3. NT 表色系による色彩トーンの定義

NT 系では、等白み（等黒み）値を持つ色は、色相によらず近似的に等知覚明度となり [8]、また、等クロマ値を持つ色は、色相によらず近似的に等あざやかさとなっている [14]。さらに、色相・トーンシステムとして広く知られている PCCS の各トーンの色群が、ほぼ同一 NT 座標になることなどから [13]、Nayatani は、色相以外の NT 座標が同一の色群、つまり、白み、黒み、灰み、クロマが同じで色相のみ異なる色群は、同一トーンであると結論付けた [8]。参考までに、図 3 の P_1 、 P_2 と同一トーンと予測される各色相の Munsell 明度 $V(H)$ を表 1 に示す（これら 2 つの色群が色相環としてカラーで印刷されたものが、文献 9 の図 3 に掲載されている）。また、NT 系は、市街地距離を導入することで直交座標を採用しているため、白み、黒み一定のままクロマのみ変更するなど、1 つの色属性を独立に変化させることが容易できる。この特徴は、配色デザインの際の色選定に有用と考えられる [15]。図 4 に NT 系を使って選定した同一トーン配色 (b) と 同一色相配色 (c) の作例を示す。デザインの分野で広く使われているトーンの明確な定義は、これまで存在しなかったが、NT 系は、色相・トーンシステムの基本空間であり、測色分野のみならず、デザイン教育の分野での活用が期待される。

注) 本報は、日本色彩学会誌 34 Suppl.(2010)4-5 の内容をもとに、加筆したものである。

(a) Diagram of combinations



(b) Different Hues (the same Tone)

H1=R100, H2=G100		H1=R25B75, H2=Y100		H1=G50Y50, H2=Y50R50	
w=bk=0, <C>=10, H=H1.	w=bk=0, <C>=10, H=H2.	5R4.6/10	5G5.4/10	5PB3.9/10	5Y7.0/10
				5GY6.8/10	5YR5.8/10

(c) Different Tones (the same Hue)

H=R100		H=G100		H=R25B75	
w=bk=0, <C>=10, H=fix.	w=4,bk=0, <C>=4, H=fix.	5R4.6/10	5R6.9/4	5G5.4/10	5G7.3/4
				5PB3.9/10	5PB6.6/4

図4 NT系を使った配色選定例

参考文献

- 1) Y.Nayatani, H.Sakai: Proposal of a New Concept for Color-Appearance Modeling, Color Res Appl 32 (2007) 113-120
- 2) E.Hering: Outline of the Theory of Light Sense, Harvard University Press (1964) 25-65.
- 3) Y.Nayatani: On Attributes of Achromatic and Chromatic Object-Color Perceptions, Color Res Appl 25 (2000) 318-332
- 4) Y.Nayatani: Some Modifications to Hering's Opponent-Colors Theory, Color Res Appl 26 (2001) 290-304
- 5) Y.Nayatani: A Hue Rectangle and Its Color Metrics in a Modified Opponent-Colors System, Color Res Appl 27 (2002) 171-179
- 6) Y.Nayatani: A Modified Opponent-Colors Theory Considering Chromatic Strengths of Various Hues, Color Res Appl 28 (2003) 284-297
- 7) Y.Nayatani: Proposal of an Opponent-Colors System Based on Color-Appearance and Color-Vision studies, Color Res Appl 29 (2004) 135-150
- 8) H.Sakai, Y.Nayatani: A Comment about the Chroma Scale of Nayatani-Theoretical Color Order System, Color Res Appl 32 (2007) 230-233
- 9) Y.Nayatani, H.Sakai: Predictions of Munsell Values with the Same Perceived Lightness at Any Specified Chroma Irrespective of hues, Color Res Appl 36 (2011) 140-147
- 10) A.Hård, L.Sivik, G.Tonnquist: NCS, Natural Color System-from Concept to Research and Applications. Part I, Color Res Appl 21 (1996) 180-205
- 11) A.Hård, L.Sivik, G.Tonnquist: NCS, Natural Color System-from Concept to Research and Applications. Part II, Color Res Appl 21 (1996) 206-220
- 12) Y.Nayatani: Why Two Kinds of Color Order Systems Are Necessary? Color Res Appl 30 (2005) 295-303.
- 13) Y.Nayatani: Adequateness of a Newly Modified Opponent-Colors Theory, Color Res Appl 28 (2003) 298-307
- 14) Y.Nayatani, H.Komatsubara: Relationships among Chromatic Tone, Perceived Lightness, and Degree of Vividness, Color Res Appl 30 (2005) 221-234
- 15) Y.Nayatani, H.Sakai: An Integrated Color-Appearance Model Using CIELUV and Its Application, Color Res Appl 33 (2008) 125-134