研究論文：論文

高品位印刷における主観的評価

高品位印刷における視知覚・心理特性の定量化(2)

金子良二*、関卓*、森典彦**

*東京工芸大学芸術学部、**東京工芸大学大学院

PERCEPTUAL EVALUATION OF HIGH DEFINITION PRINTING IMAGES

VISUAL PERCEPTION AND PSYCHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF HIGH DEFINITION PRINTINGS(2)

Ryoji KANEKO*, Takasi SEKI* and Norihiko MORI**

*Faculty of Art, Tokyo Institute of Polytechnics, 2-9-5 Honcho, Nakano-ku, Tokyo, 164-8678, Japan

**Graduate School of Tokyo Institute of Polytechnics, 2-9-5 Honcho, Nakano-ku, Tokyo, 164-8678, Japan

Abstract : The relation between physical measurement of high definition printings and perceptual evaluation was examined. Subjective appraisal was done using the method of paired comparisons, mainly concerning to "vividness", "sharpness", and "contrast" of image characteristics. As the result of study, according to the contents of photo image, the effect of subject evaluation on physical measurement in high definition printing, FM printing evaluation was always not to be the same. And also, we examined the "desirable" printing in multiple correlation analysis. The result was, small object on dot size not always indicated great evaluation either. Refining of high grade printing seems to continue, but there were still many problem occurred. As long as one desire some suitable answer, it is not a long way to find the solution for it in the future.

Keywords : High definition printing, Method of paired comparisons, Analysis of multiple correlation

1. 目的

最新の印刷技術として進出の著しい高品位印刷における高精細およびFM印刷法の測色面からの物理的特性について第1報に報告した。その結果、反射濃度に関するYule-Nielsen式の n 値[注1]の適用性、色度の変動特性等について確認された。また、画像特性を決定する基本要因であるコントラスト、彩度、解像力の向上、また色差値の感覚的表現[注2]での差異が明らかになった。

本報は、これらの高精細およびFM印刷画像の物理的特性が視知覚を通して観察される場合の評価にどのような影響を与えるかを調べることを目的である。

印刷画像試料を一对比較法により視知覚評価し、またこれらのデータを基に多変量解析の重回帰分析により、高精細印刷、FM印刷における〈好ましき〉に対して視知覚評価が与える影響を調べる。印刷物の良否は最終的に視知覚に委ねられることが前提となるので、これらの関係について調べることは意義あることと考えられる。

2. 実験方法

2.1. 高精細印刷、FM印刷試料と評価方法

本実験において使用した印刷画像試料は、絵柄として一

般商業印刷物で使用される頻度の高い[静物]、[機械]、[風景]、[人物]を選定し、オフセット印刷にて4色(Cyan、Magenta、Yellow、Black)インキで印刷したものである。これらを絵柄別に高精細印刷で85、175、300、700lpiの線数間(本来の高精細は300lpi以上である)、FM印刷で40、30、20、12.5 μ mのドット径間での視知覚による比較評価を行なった。

パネルは10名(男5名、女5名)、東京工芸大学のデザイン系の学生、年齢は20~24才で色覚正常、視力は左右共1.0(矯正視力含む)以上の者とした。デザイン系の学生をパネルとしたのは二つの理由による。

- 1) 本実験では視知覚評価にいくつかの評価用語を用いるが、一般人に比べデザイン系の学生は評価用語を使い分けながら画像評価を行うことにおいて習熟している。
- 2) 画像評価の習熟という点では印刷・写真製版等の専門者の者も該当するが、後に続く研究においてこれら専門職による評価を取り上げることを予定しているため、本報では専門知識を全く持たない者の方がよい。

また、照明はD-65標準光源ブース(日本印刷学会標準照明委員会作製)を使用し、照度は1000 $\pm$ 200lx以内とし、光源と観察者の位置はJIS Z 8723[注3]に準じた。

比較判断法としてシェッフエ(Scheffé)の一对比較法を

元にした「中屋の変法（評価の順序効果を無視し、一人の評価者が全部の組み合わせを1回ずつ比較する方式）」[注4]により結果を解析した。

高精細印刷、FM印刷方式ともにスクリーン線数、ドット径は4種であり画像試料の組み合わせ数（P）は

$$P=N(N-1)/2 \quad N=\text{試料数}$$

となる。

本実験での試料数は4種であり、6通りの対を視知覚評価した。

この対の組み合わせとしては

高精細印刷：85-175lpi、85-300lpi、85-700lpi、
175-300lpi、175-700lpi、300-700lpi
FM印刷：40-30 μ m、40-20 μ m、40-12.5 μ m、
30-20 μ m、30-12.5 μ m、20-12.5 μ m

とした。

印刷画像試料の絵柄内容およびサイズを図1に示す。

図1 印刷画像試料の絵柄

評価判定の度合は5段階とし

- ・試料Aは試料Bよりも明らかに良い ----- +2
 - ・試料Aは試料Bよりもどちらかといえば良い --- +1
 - ・どちらも判定できない ----- 0
 - ・試料Aは試料Bよりもどちらかといえば劣る --- -1
 - ・試料Aは試料Bよりも明らかに劣る ----- -2
- の評点を与えた。

評価項目としては、一般に印刷物画像試料を観察し、その評価に影響を与える要素の分類から選択した。この分類を表1に示す。

表1 画像の評価分類と内容

分類	内容	具体的な例
解像性	解像度	シャープさ/ソフトさ
	コントラスト	コントラスト強い/弱い
階調	ディテール	細部の調子出ている
	ハイキー・ローキー	全体的に明るい/暗い
色調	明暗/濃淡	薄い/明るい
	色相	本来の色
	彩度	色の鮮やかさ
リアリティ	立体感	立体感が強調されているか
	遠近感	距離感がでているか
	シズル感	温かさ、冷たさが出ているか
	透明感	素材の質感が出ているか
バランス	色調の統一	色調が揃っているか

これらの分類は印刷・製版時の色校正指定用語であり、主観的なものよりも具体的、客観的な言語[注5]が求められる。本実験の評価項目は次のように決めた。

表1の5個の分類のうち、解像性・階調・色調は印刷の物理的画像特性に関係して画像再現特性の重要な要因であるが、リアリティとバランスはむしろ個々の画像のもつ具体的な意味に依存するところが大きいと思われる。このことを考慮し、解像性・階調・色調を本実験では取り上げ、それぞれの代表的評価用語として

- ・シャープネス（分類/解像性）
- ・コントラスト（分類/階調）
- ・鮮やかさ（分類/色調）
- ・好ましさ（総合評価）

を選定するとともに、総合評価用語として〈好ましさ〉を加えることにした。

また、重回帰分析[注6]により目的変量を〈好ましさ〉とし、説明変量がその他の評価項目（シャープネス、コントラスト、鮮やかさ）とした場合の影響力を調べた。一対比較法「中屋の変法」による値を使用し、各スクリーン線数、ドット径別に目的変量および説明変量を求めた。

高精細印刷の重回帰分析のデータ例を表2に示す。

表2 重回帰分析のデータ算出

測定者	線数 lpi	目的変量 好ましさ	説明変量 シャープネス	説明変量 コントラスト	説明変量 鮮やかさ
1	85	85-175	85-175	85-175	85-175
		85-300	85-300	85-300	85-300
		85-700	85-700	85-700	85-700
		175-85	175-85	175-85	175-85
	175	175-300	175-300	175-300	175-300
		175-700	175-700	175-700	175-700
		300-85	300-85	300-85	300-85
		300-175	300-175	300-175	300-175
	300	300-700	300-700	300-700	300-700
		700-85	700-85	700-85	700-85
		700-175	700-175	700-175	700-175
		700-700	700-700	700-700	700-700
2	5	5	5	5	5

3. 比較評価の結果および考察

3.1. 高精細印刷、FM印刷試料の主効果

視知覚による一対比較法のデータを基に、高精細印刷でのスクリーン線数別の主効果（スクリーン線数間の相対的評点効果）を評価項目別に求めた。

高精細印刷結果を図2～5に示す。

図2 高精細印刷における主効果/静物

図3 高精細印刷における主効果/機械

図4 高精細印刷における主効果/風景

図5 高精細印刷における主効果/人物

高精細印刷における各画像試料での主効果の全体的な特性としては、[静物]、[機械]では主効果の評価域が2.4、[風景]、[人物]ではそれぞれ2.1、1.9となり評価域が異なる。

ここで、〈コントラスト〉〈鮮やかさ〉〈シャープネス〉の各スクリーン線数別の絵柄内容別の平均値を求めた結果を表3に示す。平均値を求めた理由を述べる。前章に述べたように、画像の評価項目には画像再現特性の要因となる上記3項目群の他に、具体的な意味に依存する評価項目群もあるため、総合評価としての〈好ましさ〉はこれら両項目群が影響すると思われる。そこで、上記3項目群の影響について、その詳細は後述の重回帰分析を用いて調べるが、まず群として捉えて大雑把に影響を見るために3項目の平均値を求め、〈好ましさ〉と比較することにした。

表3 高精細印刷における主効果の平均値

高精細印刷	静物平均	機械平均	風景平均	人物平均
700lpi	0.82	1.05	0.52	0.44
300lpi	0.69	0.20	0.78	0.56
175lpi	-0.17	-0.22	-0.20	0.09
85lpi	-1.34	-1.03	-1.09	-1.08

この結果、[風景]と[人物]の評価において700lpiは300lpiより絵柄別の平均値が低くなるが、その他はスクリーン線数が高い程、評価値は高くなった。

一方、〈好ましさ〉は図2～5を見ると[人物]を除き平均値と全く同じ順序になっており、平均値に連動しているといえる。その連動は線数とともに高くなるというものだが、[風景]だけは最も高い線数が最も評価が高いわけではない。

そして、人物だけは連動が見られないが、それは絵柄のもつ意味とそれに対する主観が影響したものと考えられる。次に、各評価項目別に個々の線数との関係を調べる。

図2～5から本来の高精細印刷である300lpiと700lpiは[機械]以外は比較的近似した値となるものが多く、85lpiと175lpiの値は[人物]の〈好ましさ〉を除き300lpi、700lpiよりも低くなった。また、各画像試料での300lpiと700lpiの主効果の特性として

【静物】：700lpiは300lpiと比較し、評価項目の〈鮮やかさ〉は高くなるが、〈コントラスト〉と〈シャープネス〉の差異はない。物理的測定結果では、〈鮮やかさ〉に対応する彩度は700lpiが300lpiよりも5前後高くなるので視知覚評価に反映していることになる。

〈コントラスト〉の物理的測定では再現特性曲線の傾斜 ($\tan \theta$) から700lpiは300lpiの1.15倍のコントラストが認められたが、視知覚評価には差が現われない結果となった。

〈シャープネス〉においても、測定結果では700lpiは300lpiの2.3倍の解像性をもつが、視知覚評価では効果として反映されていない結果となった。

【機械】：スクリーン線数間において〈コントラスト〉〈鮮やかさ〉〈シャープネス〉が物理測定と対応した値となる。絵柄内容が[機械]のようなエッジ部が主体であるものでは物理測定結果と対応すると考えられる。

【風景】：300lpiと700lpiでは〈鮮やかさ〉は同一で、〈コントラスト〉〈シャープネス〉では700lpiは300lpiより低くなり、物理的測定値とは反対の結果となった。測定者にとって[風景]の絵柄に対する主観的な影響が考えられる。

【人物】：300lpiと700lpiでは〈鮮やかさ〉〈シャープネス〉は差がなく、〈コントラスト〉において700lpiは300lpiより低くなった。[風景]と同様に絵柄に対する主観的な影響が考えられる。

また、各絵柄別の〈好ましさ〉では、700lpiは[静物]、[機械]で最も高い値を示したが、[風景]では300lpiが最も〈好ましさ〉を感じている。特に、[人物]では175lpiが高く、肌色などの主観的な好みの強いものでは高精細印刷の特性

が逆効果になる結果となった。

次に、これらの結果の信頼性を確かめるために線数間の分散分析により主効果の検定を行なった。検定基準は

有意水準0.01 (99%) で差がある [**]

有意水準0.05 (95%) で差がある [*]

差があるといえない []

とした。この結果を表4に示す。

表4 高精細印刷での検定結果

高精細印刷	好ましさ	コントラスト	鮮やかさ	シャープネス
静物	[**]	[**]	[**]	[**]
機械	[**]	[**]	[**]	[**]
風景	[**]	[**]	[**]	[**]
人物	[**]	[**]	[**]	[**]

高精細印刷では評価項目すべてにおいて有意であり、スクリーン線数間の差異があることが認められる。

また、FM印刷での結果を図6～9に示す。

図6 FM印刷における主効果／静物

図7 FM印刷における主効果／機械

図8 FM印刷における主効果／風景

図9 FM印刷における主効果／人物

FM印刷の主効果の評価域は0.8～1.6程度となった。12.5 μ mと20 μ mでは[人物]の〈好ましさ〉と〈鮮やかさ〉を除き差は少ない。また、[機械]以外では30 μ mと40 μ mはドット径比に対応した値を示し、主効果値の差が明確なものとなっている。この結果、12.5 μ m～20 μ mと30～40 μ mでは視知覚による影響が異なることが分かる。

〈コントラスト〉〈鮮やかさ〉〈シャープネス〉の各ドット径別における絵柄内容別の平均値を高精細印刷の場合と同様の目的で求めた。

この結果を表5に示す。

表5 FM印刷における主効果の平均値

FM印刷	静物平均	機械平均	風景平均	人物平均
12.5 μ m	0.57	0.19	0.38	0.45
20 μ m	0.41	0.25	0.39	0.61
30 μ m	-0.31	-0.16	-0.23	-0.30
40 μ m	-0.68	-0.29	-0.54	-0.77

絵柄別の平均値は[機械]、[風景]、[人物]の評価において12.5 μ mは20 μ mより低くなるが、その他は高精細印刷と同様にドット径が小さいほど、評価値は高くなっている。

一方、〈好ましさ〉は図6～図9を見ると[静物]は若干異なるが他のものは平均値と同じ順序になっており、平均値に連動している。高精細印刷の場合と違って[人物]も同様である。そして、どの絵柄においても最もドット径の小さいものが最も評価が高いわけではなく、20 μ mあたりに最適値がある。ただし、20 μ mと12.5 μ mの値は近似しており、差が少くない結果となった。次に、各評価項目別に個々のドット径との関係を調べる。

図6～9から各画像試料での主効果の特性とし

[静物]：12.5 μ mと20 μ mの〈シャープネス〉は近似した値となり、物理的測定値と同様な結果となった。

[機械]：ドット径間での主効果の差が非常に少なく、また高精細印刷の[機械]とは特性が大きく異なり、印刷方式自体の濃淡表現の影響が考えられる。

[風景]：12.5 μ mと20 μ mとの差が少なく近似しており、ドット径差が影響していない結果となった。

[人物]：〈鮮やかさ〉において20 μ mは12.5 μ mよりも高い値となる。

各絵柄別の〈好ましさ〉では、20 μ mと12.5 μ mでは[静

物]、[機械]では近似するが、[人物]では12.5 μ mが20 μ mより低くなり、高精細印刷と同様に主観的な好み強さに影響していると考えられる。

ここで、主効果の検定を表6に示す。

表6 FM印刷での検定結果

FM印刷	好ましき	コントラスト	鮮やかさ	シャープさ
静物	[**]	[**]	[**]	[**]
機械	[]	[]	[]	[]
風景	[]	[**]	[**]	[]
人物	[**]	[**]	[**]	[**]

FM印刷では[機械]の評価項目の全てと風景の〈好ましき〉、〈シャープネス〉において個人差が大きく、明確にドット径間の差異が認められない結果となった。

また、高精細印刷とFM印刷における主効果の特性として高精細印刷はFM印刷よりも評価域が広がったが、これは本実験での高精細印刷試料では、851piと700piの同一網点%での網点径を比較すると851piの50%網点径は299 μ m、700piは36 μ mであり8倍の差があるのに対し、FM印刷では40 μ mに対し12.5 μ mであり3.2倍とサイズ比が低いことが理由として挙げられる。

以上の結果、高精細印刷での300piと700pi、FM印刷では各画像試料における評価項目に共通した傾向は少なく、高品位印刷であっても別個な印象を観察者は受けていることになる。両印刷方式の濃淡表現の基本形態が異なることが理由として考えられる。

3.2.主観的評価の重回帰分析

ここで、〈好ましき〉とその変動を規定する要因となる〈シャープネス〉〈コントラスト〉〈鮮やかさ〉との関係を詳細に調べた。前節で3項目をまとめて〈好ましき〉への影響を大雑把に順序関係で調べたが、ここでは項目ごとに定量的に求めることにした。評価項目の〈好ましき〉を目的変数、〈シャープネス〉〈コントラスト〉〈鮮やかさ〉を説明変数とし、〈好ましき〉に対するこれらの影響力を多変量解析の重回帰分析により求めた。

高精細印刷での説明変数の個別の影響を示す標準偏回帰係数を求めた。また同時に説明変数間の相関行列を求めた。それはこの説明変数3項目は平均値をとったとき、前節で調べたように〈好ましき〉に順序関係が連動する場合が多く、従って説明変数相互の従属性が予想されるからである。従属性が強いとき標準偏回帰係数は現実的な意味を持たない。

その結果、FM印刷における[機械]の〈鮮やかさ〉と[風景]の〈シャープネス〉のみが他の変数との相関係数が0.3~0.4と比較的小さく、従属性は少ないので、標準偏回帰係数を意味あるものとして認めることにした。その結果

FM印刷において

[機械]の〈鮮やかさ〉…0.37

[風景]の〈シャープネス〉…0.81

が得られ、それぞれの項目の〈好ましき〉への影響の度合いが分かった。特に、[風景]の〈シャープネス〉が81%の

独立した影響を与えるというのは、FM印刷の場合、[風景]の画像において〈シャープネス〉が単独に重要であることを示している。

以上を除いたその他の説明変数は両印刷方式ともにすべての絵柄において相互の相関係数が0.5以上と大きく、従属的であったので標準偏回帰係数は取り上げない。説明変数が従属的であるということは定性的に言えば3項目が平均値においてばかりでなく、個々の項目においても揃って〈好ましき〉に連動することを意味する。それを定量的に見るために〈好ましき〉に対する単相関係数を示したのが表7~8である。

表7 高精細印刷での単相関係数

	高精細/静物	高精細/機械	高精細/風景	高精細/人物
説明変数 シャープ	0.85	0.83	0.56	0.35
説明変数 コントラスト	0.83	0.74	0.69	0.20
説明変数 鮮やか	0.91	0.80	0.73	0.24

表8 FM印刷での単相関係数

	FM/静物	FM/機械	FM/風景	FM/人物
説明変数 シャープ	0.79	0.65	0.84	0.52
説明変数 コントラスト	0.74	0.38	0.33	0.54
説明変数 鮮やか	0.80	0.62	0.46	0.50

[人物]と[風景]の一部以外は揃って〈好ましき〉に連動する様子が分かる。

説明変数の従属性は前節の考察である程度予想されたことであるが、パネルを選ぶとき、評価用語の使い分けの由来人という観点からデザイン系学生を選ぶという目論見を裏切るものであり、用語の選定あるいは実験の方法についての今後の課題を示している。表7~8を見ると[人物]の数値が必ずしも高くないのは次の重相関係数の低いと関連していると思われる。

ここで、本重回帰分析の精度（当てはまりの具合）を判断するために重相関係数を求めた。

この結果を表9に示す。

表9 高精細・FM印刷での重相関係数

	静物	機械	風景	人物
高精細印刷物	0.92	0.84	0.74	0.36
FM印刷物	0.85	0.73	0.85	0.58

分析精度（当てはまりの具合）の基準を

- ・分析精度が非常に良い 重相関係数 0.9以上
- ・ // やや良い // 0.7以上
- ・ // 良くない // 0.7未満

と一般的な値で判断すると両印刷方式ともに[静物]、[機械]、[風景]では0.7以上を示すが、[人物]では値が低く一概に影響を結論づけることはできない。

また、分散分析により重相関係数の検定を行なった結果を表10に示す。

表10 高精細・FM印刷での重相関係数の検定結果

	静物	機械	風景	人物
高精細印刷物	[**]	[**]	[**]	[]
FM印刷物	[**]	[**]	[**]	[**]

この結果、重相関係数の低かった「人物」を除き分析の信頼性が0.01（99％）で良く、重相関係数は有意で、線形が成り立つことを示した。

以上をまとめると、「人物」を除き〈好ましさ〉への〈シャープネス〉〈コントラスト〉〈鮮やかさ〉3項目の関係は、3項目をセットとして見たとき、正の方向の線形関係がほぼ成り立つ。しかし、FM印刷における「機械」の〈鮮やかさ〉と「風景」の〈シャープネス〉を除くと、3項目の相互の従属性が大きく、個々の寄与を論ずることは無意味である。FM印刷においては「機械」の画像はその〈シャープネス〉や〈コントラスト〉を据え置いて〈鮮やかさ〉を変えること、また「風景」の画像はその〈コントラスト〉や〈鮮やかさ〉を据え置いて〈シャープネス〉を変えることが出来るが、その他においてはどんな画像も3項目の一つを変えたと他の2項目も必然的に同方向に変わってしまうということも上記の結果は示している。

4.まとめ

本実験において評価項目とした印刷画像の〈シャープネス〉〈コントラスト〉〈鮮やかさ〉において、物理的測定特性と主観的評価での主効果の関連性が結果として得られた。

全体的な傾向として、高精細印刷試料ではスクリーン線数の目の粗い85lpi、一般印刷物用の175lpiは本来の高精細印刷である300、700lpiと比較し、明らかに各評価項目の主効果において低い値を示した。すなわち、高品位印刷としての効果が果たされていることになる。しかし、300lpiと700lpiの間では、主効果の値が近似するもの、また700lpiが300lpiよりも低い値を示すものが比較試料の5割あり、両者の差は視覚的には知覚されない場合も多いという結果となった。

FM印刷試料では、高精細印刷と比較しドット径間を小さく設定されているため、主効果の評価域が狭くなった。また、40～30μmと20～12.5μmとの差が「機械」を除き認められた。また、20μmと12.5μmの主効果値は近似したものが多くドット径の微細化での限界を示すものとも考えられる。

また、高精細印刷、FM印刷での物理的な測定からの値に対して、主観的な評価への反映は写真原稿の絵柄内容によって異なることが分かる。その関係を今回用いた4種類の絵柄が持つそれぞれの特性から推測すると次のようにまとめられる。

「静物」：4種類の絵柄の中では比較的物理特性に応じた評価がなされている。ここでは果物等がモチーフであるが、目から適当な距離に静止しているという条件によって評価の上で画像の意味よりも視知覚そのものが支配的に働くからではないかと思われる。

ただ、特に高精細領域での物理特性の違いは目には認識されない。

「機械」：高精細印刷では物理特性に応じた評価がなされていることから、画像がオートバイであれ他の機械であれ固い物質感をもってエッジ部が主体となる画像の場合、そのことがはっきり画像に現れることを望むためと思われる。FM印刷において物理特性に敏感でないのは、金属のツヤなどの表現においてドット密度による濃淡表現が粒状性として高精細印刷ほど適切でないからと考えられる。

「風景」：使用した画像は非常に遠距離である。遠くにあるものが識別しにくい。このような時、識別のために基本的にシャープさを人は望み、あるレベル以上の物理特性が要求される。しかし、レベル以上に対しては必ずしも評価が応じないのはしっとりした感じなど風景の具体的内容によるものかもしれない。

「人物」：最も物理特性と評価評価とが対応しないものである。各評価項目が高精細領域において物理特性と逆にあまり精細でない方が良くなり、さらに各評価項目と〈好ましさ〉の関係も個人の主観が影響して線形とならない。「人物」特有の性質と思われる。

この結果から、絵柄の内容によりスクリーン線数、ドット径の選定を行なうことが必要であり、またこれらに対処べく製版時における入力条件の設定等による補正が求められる。

また、幾つかの評価項目を取り上げ、好ましい画像を作るためには媒介としてどんな評価項目を狙えばいいかについては、FM印刷の一部の絵柄についてだけ有効な指針が得られ、その他については得られなかった。選定した3評価項目が本研究のパネルに関する限り有効に使分けられなかったためと思われる、この点については後にパネルを専門家に換えて再実験することにしたい。

高品位印刷において、〈好ましさ〉をはじめとする視知覚・心理特性を目的とする場合、絵柄によって印刷物の物理特性をどう設定すべきか、ひいては印刷原版の特性としてそれをどう補正すべきかに関して多くの知見が得られた。謝辞

本研究を行うのに当り御協力を戴いた文化堂印刷株式会社 片桐啓悟、岡村印刷工業株式会社 日浦賢治、増田真一各氏に深く感謝致します。

注

- 1) J.A.C.Yule;W.J.Nielsen : Proceedings of the 3rd Annual Technical Meeting TAGA,65,1951
- 2) スガ試験機(株)編：色彩管理法、10,1977
- 3) JIS Z8723 Method of Comparison for Surface Color
- 4) 菅野民郎：アンケートデータの分析、現代数学社、129-132,1998
- 5) 金子良二：色校正における指定と実際、東京工芸大学芸術学部紀要、1,1,51-58,1995
- 6) 株エスミ編：EXCEL多変量解析、株エスミ、59- 61,1997