帯関数を用いたパネルの比較判別能力の分析

鳥海 不二夫*・高山 潤也*

大山 真司*・小林 彬*

Analysis of Panel's Inspection Abilities Using Band Function Model

Fujio TORIUMI*, Jun-ya TAKAYAMA*,
Shinji OHYAMA* and Akira KOBAYASHI*

Sensory evaluation can be broadly classified to analytic methods and a preference surveys. In the analytic methods, especially, since the panels are used as measuring instruments, sufficient inspection abilities are required to panels. The inspection abilities of a panel depend on various external factors or panel's attributes such as sex, age, etc. Then it is important to consider the attributes which have influence to the panel's inspection abilities. After we analyzed them, it is able to select appropriated panel to examination. The characteristics of panel's appear as the shapes of judgment characteristic functions. Therefore, by analyzing the shapes of judgment characteristic functions of the panels, it is able to evaluate the inspection ability of the panels. In this study, we focus on the difference of judgment characteristic function among panels. Then, we propose the method to evaluate obtaining panel's inspection abilities. Two kinds of evaluation indexes, "the judgment dispersion" and "the resolution" are defined from panel's characteristic functions of judgment. Simulation shows the validities of these evaluation indexes. Consequently, it may be clear that it is able to evaluate the inspection abilities of panels by the proposed evaluation indexes. Then, the evaluation indexes are applied to two actual experiments. From the first experiment, comparison of chroma saturation, we changed information which given to each panels, to analyze the difference of inspection abilities of panels. This experiment shows that the selection of suited information for experiment becomes easier by using proposed evaluation indexes. In the second experiment, the comparison of likeness of pearl, we analyzed the influences of sex and given knowledge of panel. This experiment shows the possibility to classify panels that have suitable inspection abilities, easily by using proposed evaluation indexes.

Key Words: paired comparison, sensory evaluation, panel, inspection ability

1. はじめに

人間の感覚による計測, すなわち官能検査に関連する尺度付けの手法の一つに一对比較法がある。一般に, この一对比較法は比較的曖昧な量の尺度づけを行なう場合に利用されるが, 一对比較を行なうパネルは, 尺度付けすべき対象(量)としての刺激に関する十分な知識をもたない場合が多く, さらに, 対象とする刺激に関する説明が不十分なために, 検査者の意図とは異なるイメージの刺激についてパネルが比較判断することもある。このような場合, パネルの判断結果に含まれる曖昧さはより増大し, 得られたデータをそのまま用いると, 求めたい刺激についての尺度づけから離れた結果が得

られてしまう可能性がある。この意味で, パネルが適切な検査能力を持っているかどうかを確認することは重要である。

一方, パネルの検査への適性は, さまざまな外的要因やパネルの持つ属性(性別や年齢など)によって変化する。したがって, パネルの持つ属性や環境などが与える検査への影響を分析する必要もある。このとき, パネルを属性や実験環境によっていくつかのグループに分け, それぞれのグループごとの検査能力を調べることであれば, 検査に適した環境およびパネルの属性を明らかにすることが可能となる。つまり, より精密な尺度づけを行なうためには官能検査を行なう各パネルの持つ検査能力を適確に把握することが求められる。

さて, 一对比較法においては一意性と一致性の観点からパネルの検査への適性が評価されることが多い¹⁾。このうち一意性は, 主にパネル個人の検査能力を調べるのに用いられる。また, 一致性はパネル相互間の判断に関する一致の度合いを調べるのに用いられる。しかし, これら二つの手法は,

* 東京工業大学大学院理工学研究科・東京都目黒区大岡山 2-12-1

* Graduate School of Science and Engineering, Tokyo
Institute of Technology, Meguro-ku, Tokyo

(Received December 19, 2002)

(Revised April 24, 2003)

多く一対比較データの直接的分析に基づいてパネルの検査能力を測定するという手法をとっているため、検査への適性の有無のみを判断する方法であり、パネルの検査能力の程度を数量的に評価することはできない。

これに対し、本研究ではパネルがどの程度の刺激差に対してどのような比較判断を示すか、すなわち、どのような判断特性を持っているかを、帯関数モデル型一対比較法 (BMPC 法) に基づいて明らかにしつつパネルの検査能力の測定を行なう。BMPC 法^{2),3)}では、パネルの判断特性関数のモデルとして、帯関数モデルが提案されており、この帯関数に基づいてパネルの検査能力を分析する手法について以降考察する。一般に、官能検査を行なううえでパネルに求められる検査能力は、判断基準の安定性、鋭敏さなどである¹⁾。そこで本論文では、パネルの検査能力を示す新たな二つの評価指数、すなわち、判断基準のばらつきの評価指数および分解能の評価指数を帯関数から求める手法を提案し、これらの評価指数を用いることで、簡便かつ数量的にパネルの検査能力が分析できることを明らかにする。また、これら二つの評価指数を用いて実問題のデータの分析に適用し、「彩度判定実験」では、実験時にパネルに行なう説明の仕方の相違によるパネルの検査能力の違いから、実験により適した説明はいずれかを容易に選ぶことができることを明らかにする。また、「真珠らしさの判定実験」では、評価指数によってパネルの検査能力を分析し、実験に適した実験条件やパネルの属性を明らかにし、適正なパネルの選別が可能であることを示す。

2. 帯関数モデルの概要^{2),3)}

2.1 帯関数の定義

まず、各試料 $X_i (i = 1, 2, \dots, n)$ があるとき、それぞれが持つ尺度値を $m_i (i = 1, 2, \dots, n)$ とし、 X_i の X_j に対する比較判断結果を φ_{ij} とする。これにより、 X_i, X_j の刺激差 $\mu_{ij} = m_i - m_j$ に対する φ_{ij} より、パネルの判断特性関数を得ることができる。このとき、外乱の影響などからパネルの判断は同一の刺激差に対して常に一定ではなく、ある程度幅を持つ範囲に収まるばらつきを持つと考えられる。したがって、パネルの反応 φ_{ij} と刺激差 μ_{ij} の関係は Fig. 1 に示すような二つの関数 $f_d(x), f_u(x)$ を用いて、

$$f_d(\mu_{ij}) \leq \varphi_{ij} \leq f_u(\mu_{ij}) \quad (1)$$

と表わすことができる。この場合、刺激差が大きくなれば大きくなるほどパネルの反応も大きくなると考えられるため、 $f_d(x), f_u(x)$ は単調増加関数となる。この二つの単調増加関数に囲まれた帯状の領域を帯関数と呼び、パネルの判断特性はこの帯関数によって表わされる。

2.2 帯関数の近似的導出

帯関数を求めるということは、二つの単調増加関数 $f_u(\mu), f_d(\mu)$ を決定することである。しかし、実際の検査では刺激差 μ_{ij} は離散的なものとなるため、 $f_u(\mu), f_d(\mu)$ を全域的に求めることはできない。そこで、まず、一対比較デー

Fig. 1 Band function model

タを処理して $m_i (i = 1, 2, \dots, n)$ を求めることになる。ある刺激差 $\mu_{ij} = m_i - m_j$ を持つ比較対を比較したときのパネルの反応 φ_{ij} は、一対比較実験によって与えられるので、この結果に対応して Fig. 1 の $\mu - \varphi$ 平面上の一点を定めることができる。同様にすべてのデータが定まると、それらすべての点 (μ_{ij}, φ_{ij}) は (1) 式の関係と定義より、帯関数の内部点集合となる。

離散的な点集合から帯関数を推定する手法としては、膨張操作による手法⁴⁾などがあるが、ここでは簡単のため、すべての点 (μ_{ij}, φ_{ij}) を挟み込み、かつ帯幅 $w(x) = f_u(x) - f_d(x)$ が最小となるように点と点を直線によって結んで得られる領域から、二つの単調増加関数 $f_u(\mu), f_d(\mu)$ を求めることにする。

3. 評価指数の導入

3.1 判断のばらつきの評価指数 I_d

一対比較実験において、パネルは同一の刺激差 (比較対) に対しては同一の反応を示すことが望ましいが、そのような場合には、そのパネルの持つ判断特性は幅をもたない一本の単調増加関数で表わされる。しかしながら、一般的にパネルは同一の刺激差に対して安定な反応を示すわけではなく、判断にばらつきが生じることが多い。パネルの判断にばらつきが生じる場合、パネルの判断特性は、同一の刺激差に対して幅を有する帯関数で表わされる。判断特性関数が幅を持つとき、与えるべき尺度値の差の大小関係とパネルの判断結果の大小関係との間に矛盾が生じる場合が現れる。ここで Fig. 2 に示す刺激差が μ, μ' である二つの一対比較判断の関係について考える。このとき、 $\mu' < \mu$ であるとし、 μ' に対するパネルの反応は φ' である。 $f_u(\mu), f_d(\mu)$ は刺激差が μ となる二つの試料を比較対としたときのパネルの反応の最大値、最小値を意味することを考慮すると、 $\varphi' < f_d(\mu)$ ならば、

$$\begin{aligned} \varphi &> \varphi' \\ \Leftrightarrow \mu &> \mu' \end{aligned} \quad (2)$$

が成り立つ。しかし、Fig. 2 に示すように、 $\varphi' > f_d(\mu)$ ならば、必ずしも $\varphi > \varphi'$ とはならず、本来与えるべき刺激差の

Fig. 2 Contradiction case on μ and φ Fig. 3 Band width: $\omega(\mu)$

関係 $\mu > \mu'$ とパネルの反応の大小関係が矛盾した、 $\varphi < \varphi'$ となることがある。この傾向は帯幅が広がるほど大きくなるため、帯幅が極端に広い判断特性関数を持つパネル、すなわち判断にばらつきが多いパネルの回答には矛盾が多く含まれることになる。したがって、ばらつきの程度はパネルの検査能力を示す重要な指標である。

そこで、帯関数の帯幅からパネルの判断のばらつきについて評価する。帯関数は Fig. 3 のように二つの単調増加関数 $f_u(x)$, $f_d(x)$ に囲まれた領域として表わされるため、ある刺激差 $\mu = m_i - m_j$ に対する帯幅 $\omega(\mu)$ は

$$\omega(\mu) = f_u(\mu) - f_d(\mu) \quad (3)$$

で与えられる。一般に、帯幅は刺激差によって異なるため、帯関数全体についての平均帯幅を、パネルの「判断のばらつき」の評価指数として考える。刺激差の最大値を μ_{max} 、最小値を μ_{min} とすると「判断のばらつき」の評価指数 I_d は、

$$I_d = \frac{1}{\mu_{max} - \mu_{min}} \int_{\mu_{min}}^{\mu_{max}} \omega(x) dx \quad (4)$$

によって表わされる。評価指数 I_d はパネルの判断のばらつきの程度を示しているため、 I_d が小さいパネルほど検査能力は高いといえる。

3.2 分解能の評価指数 I_r

一対比較法では、二つの試料を比べたときの違いを判断しているが、2つの刺激を区別する上で必要な最小の刺激差が分解能であるといえるので、これを弁別閾の大きさと表わすこととする。分解能の小さいパネルからは、分解能が大きいパネルでは区別できないような微妙な試料間の刺激差に対

しても十分に信頼できる回答を得ることができ、小さい分解能を持つパネルは優れた比較判断能力を持つといえる。

パネルの違いを正しく区別できる最小の刺激差をそのパネルの持つ分解能と考え、試料間の刺激差とパネルの反応の関係について以下考察する。まず、試料 X_i と X_j を比較したときの反応を考える。一般的に、パネルの反応は、試料間の刺激差が十分に大きいとき、すなわち、

$$|m_i - m_j| \gg 0 \quad (5)$$

ならば、パネルは二つの試料の違いをまちがいに区別できる。一方、試料間の刺激差が小さくなるほどパネルの反応は小さく曖昧なものとなる。最終的に二つの試料間の刺激差が、

$$\mu_t > |m_i - m_j| \quad (6)$$

となったときパネルは二つの試料を正しく区別することができなくなり、二つの試料からの刺激を同程度と判断することになる。このような知覚可能な最小の刺激差は弁別閾と呼ばれるが、この弁別閾の大きさをパネルの持つ分解能の指数とする。

つまり、一対比較においては、どちらの試料の刺激が大きいかを正確に判断できるということは、二つの試料の違いが正しく弁別されていると考えることができる。すなわち、ある刺激差 $\mu_{ij} = m_i - m_j$ に対するパネルの判断

$$f_d(\mu_{ij}) < \varphi(\mu_{ij}) < f_u(\mu_{ij}) \quad (7)$$

において、パネルが二つの試料の刺激が全く同じであると感じたときの判断を、 φ_{mid} とすると、

$$f_d(\mu_{ij}) > \varphi_{mid} \quad (8)$$

または、

$$f_u(\mu_{ij}) < \varphi_{mid} \quad (9)$$

ならば、パネルは m_i, m_j のどちらの刺激が大きいかを明確に区別しているといえる。順序効果がない場合、帯関数は $(0, \varphi_{mid})$ に対して点対称になるはずであるから、Fig. 4 に示されるような、 $f_d(\mu_t) = \varphi_{mid}$ なる μ_t を用いて

$$I_r = \mu_t \quad (10)$$

ただし、 $f_d(\mu_t) = \varphi_{mid}$

とし、 I_r をパネルの「分解能」に関する評価指数と定義する。評価指数 I_r は、パネルが区別できる最小の刺激差を示しているため、 I_r が小さいパネルほど検査能力は高い。

4. シミュレーションによる評価指数の有効性の確認

本章では、評価指数の有用性を確認するために行なったシミュレーションについて述べる。

4.1 シミュレーション方法

シミュレーションを行なうためには、任意の検査能力を持つパネルに相当するデータを人工的に作成する必要がある。すなわち、各パネルが比較判断を行なったことに対応する一

Fig. 4 Evaluation index of resolution : I_r

対比較表を人工的に作成し、この表につき各パネルの検査能力を提案した評価指数を用いて評価する。さらに得られた評価指数値とパネルに想定した検査能力とを比較し、正確にパネルの能力が評価できているかどうかを検証する。

具体的には、まず、ある刺激差 $\mu_{ij} = m_i - m_j$ に対するパネル P_n の反応 φ_{ij} を以下の手順によって決定する。

パネル P_n のもつ判断のばらつきを d_n 、分解能を r_n と想定したとき、まず、パネルの中心的判断特性関数 $f_n(x)$ を、単調増加性を考慮して、

$$f_n(x) = s|x|^t \cdot \text{sgn}(x) \quad (11)$$

$$s, t > 0, \quad (12)$$

とする。ただし、分解能の定義より $|x| > r_n$ ならば、

$$\text{sgn}(\mu_{ij}) = \text{sgn}(\varphi_{ij} - \varphi_{mid}) \quad (13)$$

を満たさなくてはならないので、 $\mu_{ij} > r_n$ のとき、

$$f_n(\mu_{ij}) + \frac{d_n}{2} > \varphi_{mid} \quad (14)$$

となるように (s, t) の値を決定する。

このような $f_n(\mu_{ij})$ を利用し、刺激差 μ_{ij} を受けたときのパネル P_n の反応 φ_{ij} を、

$$\varphi_{ij} = R(f_n(\mu_{ij}), (d_n/2)^2) \quad (15)$$

によって決定する。ただし、 $R(a, \sigma^2)$ は、平均が a 、分散 σ^2 を持つ正規分布に従う正規乱数である。

以上の操作をすべての i, j の組み合わせについて行ない、一対比較表を作成する。

つぎに、このようにして作成した一対比較表から帯関数を導出し評価指数を求めることによって、パネル P_n の検査能力を評価する。

4.2 判断のばらつきに関するシミュレーション結果

前節の方法に従い、判断のばらつき d_n を一定にし、分解能 r_n をランダムに定めたパネル 1000 名分のデータを作成して、判断のばらつきの評価指数値 I_d を計算し、その平均を求めた結果を Fig. 5 に示す。横軸が設定した判断のばらつき d_n 、縦軸がシミュレーションによって得られた評価指数値 I_d の平均値である。このグラフから、設定した判断のばらつきとシミュレーションによって得られた評価指数値はほぼ一致していることがわかる。

Fig. 5 Simulation result : Dispersion I_d Fig. 6 Error of simulation result : Dispersion I_d

一方、Fig. 6 にシミュレーション結果と実際に設定した値との誤差を示す。これから、判断のばらつきが 0.5 以下であれば誤差は 0.05 以下であり、検査能力をほぼ正しく評価できていることがわかる。

4.3 分解能に関するシミュレーション結果

他方、分解能 r_n を一定にし、判断のばらつき d_n をランダムに定めたパネル 1000 名分のデータを作成し、分解能の評価指数値 I_r の平均を求めた結果を、Fig. 7 に示す。また、実際の分解能とシミュレーションによって得られた評価指数値との誤差を示したものが Fig. 8 である。

Fig. 7 より、実際の分解能に比べ評価指数値は大きくなる傾向があるが、Fig. 8 よりその誤差は 0.08 以下に抑えられており、評価可能といえる範囲に納まっている。

4.4 シミュレーションからの結論

以上のシミュレーションに示したように、判断のばらつきおよび分解能の評価指数値の想定値との誤差が小さいことから、判断のばらつき評価指数 I_d 、分解能の評価指数 I_r 共に、パネルの検査能力の評価に活用できることが確認された。

5. 彩度判定実験：パネルに提示する情報の評価

3章で提案した評価指数を、彩度判定の実験結果に適用した。本章では実験時にパネルに提示する情報が、比較判断のばらつきに及ぼす影響について考察する。

5.1 実験内容

官能検査を行なう上で、パネルに何が問題にしたい刺激な

Fig. 7 Simulation result : Resolution I_r Fig. 8 Error of simulation result : Resolution I_r

のかを正確に伝えることは重要な作業である。問題にしたい刺激に関する説明が不十分であると、パネルは実験者の意図と異なった観点から回答を行なう可能性がある。一方、問題にしたいことを正確に伝えることができれば、パネルが比較判断する際の曖昧さは減少し、より正確な判断が行なえるようになる。しかし、どのように説明すれば問題にしたいことをパネルに正確に伝えることができるかの判断は難しい。

そこで、本実験では、パネルに与える情報の内容を変えることに伴う検査能力の変化を、提案した評価指数によって評価する。この場合、検査能力が向上した場合には、実験者の与えた情報によってパネルは問題とする刺激内容をより正しく理解したと考える。

5.2 実験方法

本実験では、彩度値の異なる色見本の対を提示し、その鮮やかさをパネルに比較させる一対比較実験を行なった。

このとき、パネルを 1 グループ 10 人前後のグループ四つに分け、それぞれのグループに彩度に関する説明を異なる方法で行ない、検査能力の違いを評価指数によって評価した。それぞれのグループに行なった説明の仕方は以下のとおりである。

- グループ 1: 説明は行なわない
- グループ 2: 言葉のみによる説明
- グループ 3: 色彩表のみによる説明
- グループ 4: 色彩表と言葉による説明

試料の色見本は全 9 種類で、それぞれ異なる彩度値の色見本を用意した。色の鮮やかさは、PC 上で任意の数値を持つ

Table 1 Used colors' chroma saturation

No.	Chroma saturation
0	1.00
1	0.90
2	0.80
3	0.70
4	0.60
5	0.50
6	0.40
7	0.30
8	0.10

色を作成することが可能で、用いた色の彩度値を Table 1 に示す。なお、この数値は PC 上で作成できる最も大きい彩度の色 0 の彩度を 1 として、規格化したものである。

実験は、液晶プロジェクタによってスクリーンに比較対を同時に表示し、二色の色についてどちらが鮮やかに見えるかをパネルに判定してもらった。

5.3 実験結果と分析

それぞれのグループごとに実験を行ない、再構成された帯関数を Fig. 9～Fig. 12 に示す。縦軸にパネルの判断を、横軸に Table 1 に示した彩度の値の差をとっている。また、Table 2 には各グループの評価指数値を示す。

Table 2 より、鮮やかさについて説明を受けなかったグループ 1 の評価指数値 I_d , I_r はともに最も大きく、すなわち検査能力が最も低いということがわかる。つまり、パネルは実験前には鮮やかさについての正しい知識を正確には持っていなかったことが推察される。したがって、全く説明を行わずに実験を行なった場合、得られた結果の信頼性は非常に低いものとなる。

つぎに、言葉によって鮮やかさの説明を行なったグループ 2 と色彩表を用いて鮮やかさの説明を行なったグループ 3 を比較する。Table 2 より、色彩表を見るよりも、言葉によって説明を受けたほうが検査能力は高いことがわかる。また、言葉によって鮮やかさを説明した場合の帯関数 (Fig. 10) は、早い段階でパネルの判断が飽和しているのに対し、色彩表のみによって説明した場合についての帯関数 (Fig. 11) では、彩度が大きく異なる試料同士、すなわち μ_{ij} の絶対値が大きい領域においても帯関数は飽和していない。以上のことから、鮮やかさの理解してもらうには、具体例を示すよりも、概念的な説明のほうが効果は高いといえる。

一方、色彩表と言葉の両方によって鮮やかさの説明を行なったグループ 4 は、グループ 2 よりもさらに高い検査能力を示している。これは、言葉によって鮮やかさの概念を理解し、さらに色彩表により具体的な彩度の違いを確認することによって、より理解が深まったためであると解釈できる。

ここで、鮮やかさに付いて全く説明を行なわなかったグループ 1 と、色彩表と言葉によって説明を行なったグループ 4 について比較してみる。まず、ばらつきの評価指数値 I_d はグループ 4 についてはグループ 1 の半分以下なっている

Table 2 Evaluation index value : each groups

Group No.	I_d	I_r
1	0.469	0.600
2	0.315	0.267
3	0.384	0.300
4	0.218	0.179

ることがわかる。これは、すなわち説明を受けることによって判断に生じるばらつきが半分以下になったことを示している。一方、分解能の評価指数値 I_r を比較すると、説明を行わない場合が 0.600 であるのに対し、説明を行なった場合は 0.179 と大幅に減少している。すなわち、グループ 1 は彩度の差が 0.600 なければ、つまり、Table 1 の試料 0 と試料 6 を比較してはじめて正確にどちらの彩度が高いかを判断できるようになるのに対し、グループ 4 は彩度の差が 0.18 程度、つまり試料 0 と試料 2 を比較しても正確に判断できている。

また、Fig. 13, Fig. 14 に、それぞれグループ 1, グループ 4 についてのデータを BMPC 法^{2), 3)}によって処理し、得られた尺度値の結果を示す。説明を受けていないグループ 1 では実際の彩度の大きさの順と尺度づけされた結果が逆転している場合が多く見られるが、色彩表と言葉によって説明したグループ 4 では、逆転はほとんどなく、正確に鮮やかさを評価できているといえる。

以上の結果から、鮮やかさを比較する実験を行なう際には、言葉によって鮮やかさの概念を説明するとともに、色彩表により彩度の違いの具体例を提示することによって、検査能力の飛躍的な向上が望めると解釈でき、このような事情が提案した評価指数 I_d , I_r で分析可能となった。

6. 真珠らしさの判定実験：パネル選別への適用

つぎに、提案した評価指数を用いて、長田らにより公表されている真珠らしさの判定実験のデータについて分析を行なった⁵⁾。この実験においては、未知の心理的尺度である「真珠らしさ」について尺度づけするため一対比較実験が行なわれている。この場合、パネルは「真珠らしさ」に対する明確な概念を持っていることが前提となるが、この点、本章では、この実験に参加したパネルの検査能力の分析を行ない、優れた検査能力を持つパネル、すなわち「真珠らしさ」について明確な概念を持ったパネルの選別を行なうことを試みる。

6.1 評価指数値の決定手順

文献 5) によれば、真珠の拡大写真から、それぞれ異なる部分の 7 つの写真が切り出されたものが用意され、そこから二つを採り出しては「どちらがより真珠らしいか」を比較判断させている。この場合、比較のため実物の真珠を見せながら評価してもらう場合と見せずに評価してもらう場合の二通りの実験を行なっている。また、真珠を見せた場合、見せなかった場合のそれぞれについて男女別パネルのデー

Fig. 9 Band function about group 1

Fig. 10 Band function about group 2

Fig. 11 Band function about group 3

Fig. 12 Band function about group 4

タもある。そこで、これら一連の一対比較データについて BMPC 法を適用し、それぞれの真珠の部分写真に「真珠らしさ」の尺度値を与え、さらに得られた尺度値を真の尺度値と見なして帯関数を構成した。

Fig. 13 Determined scale value : Group 1

Fig. 14 Determined scale value : Group 4

Table 3 Evaluation index value : all groups

Pearl indication	I_d	I_r
With indication	0.134	0.043
Without indication	0.191	0.174
All	0.188	0.036

それら帯関数に基づいて求められた評価指数値が Table 3 に示されている。また, Fig. 15 にパネル全体につき集計した一対比較データに関する帯関数を示す。なお, 各パネルの回答から求めた各真珠の心理的尺度値 $m_i (i = 1, 2, \dots, N)$ は,

$$\sum_{i=1}^N m_i = 0 \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^N m_i^2 = 1 \quad (17)$$

となるように規格化してある。

6.2 検査能力の分析と考察

まず, 本物の真珠を見せた場合, パネルは本物の真珠を見ることが「真珠らしさ」について予備知識を持つことになる。この結果, 部分写真を見て「真珠らしさ」を判断するときに「本物の真珠」を基準にすることができるため, どちらがより真珠らしいかの判断が容易になることが考えられる。この点, Table 3 よれば, 確かに本物の真珠を見せたパネルの評価指数は, 判断のばらつき, 分解能, とともに本物の真珠を見せていない場合に比べ小さくなっている。すなわち, 本物の真珠を見せたパネルが行なった「真珠らしさ」の比較において, 回答のばらつきは小さく安定しており, また, 真珠

Fig. 15 Band function about all panel

Table 4 Evaluation index value : detailed analysis

Pearl indication		I_d	I_r
With	female	0.151	0.069
	male	0.163	0.154
Without	female	0.150	0.038
	male	0.242	0.201

らしさにあまり差がない場合でも, どちらがより真珠らしいかを的確に判断できているといえる。

つぎにさらに詳しく実験条件による検査能力の違いを見るため, 男女それぞれに関し実物の真珠を見せた場合と, 実物の真珠を見せていない場合の評価指数値を Table 4 に示す。

この Table 4 より, 男性のパネルは, 実物の真珠を見せることによって「ばらつき」の評価指数値が 0.242 から 0.163 となり, 判断のばらつきが小さくなっている。「分解能」の評価指数値も 0.201 から 0.154 となり, 真珠を見せた場合は, 尺度づけられた「真珠らしさ」の差が小さくても明確に区別して回答していることがわかる。一方, 女性のパネルは, 実物の真珠を見た場合でも見ていない場合でも, 検査能力はほとんど変化していない。

以上のことは, 男性は実物の真珠を見ることによって「真珠らしさ」の概念が明確になり検査能力が向上するが, 女性はもともと「真珠らしさ」の概念が明確であるため, 実物の真珠を見せても, ほとんど検査能力に変化が起こらないと考えられる。

6.3 パネルの選別について

以上の結果から, 「真珠らしさ」の尺度づけを行なうについで,

- (1) 男性のパネルには実物の真珠を見せながら比較してもらったほうがよい
- (2) 女性のパネルには実物の真珠を見せなくてもその回答には信頼性がある

といえよう。この二点を考慮し, 実物の真珠を見ながら比較を行なった男性パネルの回答, および, すべての女性パネルの回答を集計した一対比較表を作り, このデータにつき同様な分析を行なった。Fig. 16 が, 選別されたパネルによる結果から得られた帯関数である。Fig. 15 の帯関数と比べ, 帯幅が小さく, パネルの回答についてのばらつきが減っている

Fig. 16 Band function about selected panel

ことがわかる。これは、「真珠らしさ」に対し明確な概念を持たないパネルを排除したことによって、全体の回答についてのあいまいさの程度が減少したためであると考えられる。

7. 結 論

本研究ではパネルの判断の質が異なれば判断特性を表わす帯関数が異なるものになることに注目し、それぞれのパネルの検査能力を評価する方法について検討した。

すなわち、帯関数の帯幅の広さからパネルの持つ判断のばらつきを評価する指数を、また、パネルが試料からの刺激の程度の違いを正しく弁別できる刺激差からパネルの持つ分解能力を評価する指数を提案した。

つぎに、これら二つの評価指数の有用性を検証するため、人工的につくった一対比較表を用いてシミュレーションを行ない、これらの評価指数によってパネルの検査能力を評価することが可能であることを明らかにした。

さらに、提案した二つの評価指数を「彩度判定実験」に適用し、パネルに与える情報の効果について評価し、その結果、求めるべき刺激をパネルに正確に伝えることのできる説明方法の判定が可能となることを示した。

また、これら二つの評価指数を「真珠らしさの判定実験」にも適用し、パネルの属性および、実験条件による検査能力の違いの分析を行なった。その結果、検査に適したパネルと実験条件を明らかにし、信頼性のあるパネルを分類できることを確認した。

なお、最後に「真珠らしさ」の実験の詳細なデータを提供していただきました三菱電気(株)の長田典子氏、大阪大学大学院井口征士教授に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 日科技連官能検査委員会:官能検査ハンドブック, 日科技連出版社 (1973)
- 2) 小林, 坂本:帯関数モデル型一対比較法のための数値処理法とその解領域, 計測自動制御学会論文集, **18**-4, 377/384(1982)
- 3) 鳥海, 曹, 大山, 小林:BMPC法における解領域と解領域更新新アルゴリズム, 計測自動制御学会論文集, **37**-9, 886/892(2001)
- 4) 小林, 坂本:順序効果がある一対比較結果の処理, 計測自動制御学会論文集, **21**-8, 771/777(1982)

- 5) 長田, 宇佐見, 眞鍋, 井口:品質評価のためのビジュアルシミュレーションによる真珠の表現, 電子情報通信学会論文誌, D-11 Vol.J80-D-11-1, 206/214(1997)

[著 者 紹 介]

鳥 海 不二夫 (学生会員)

2001年, 東京工業大学大学院理工学研究科制御工学専攻修士課程修了, 同年同大学院理工学研究科機械制御システム専攻博士課程入学, 現在に至る。

高 山 潤 也 (正会員)

1998年, 東京工業大学大学院修士課程修了. 同年日産自動車(株)入社. 2000年, 東京工業大学大学院理工学研究科機械制御システム専攻助手, 現在に至る. 高度能動計測系としての信号場の理論とその応用などの研究に従事。

大 山 真 司 (正会員)

1984年, 東京工業大学大学院修士課程修了. 同年(株)日立製作所日立研究所入社. 90年, 東京工業大学工学部助手, 現在, 同学大学院理工学研究科助教授. 計測工学, 計測システム構成論等の研究, 教育に従事. 86年度本学会論文賞受賞. IEEE, 電子情報通信学会の会員(博士(工学)).

小 林 彬 (正会員)

1969年, 東京工業大学大学院博士課程修了. 同年東京工業大学助手. 87年同教授, 現在に至る. 計測用空間フィルタ, 感覚計測, 解領域法による信号処理, 信号場, 高SN比計測法などの研究に従事. 73, 80, 86年度本学会論文賞受賞. 96年フェロー(工学博士).