

文字の印象（力学的状態に注目して）

平 俊 男 辻 政 範*

A Study of Typeface Impression
(Consideration from the Aspect of Solid Mechanics)

Toshio HIRA and Masanori Tsuji*

It is obvious that the impression of letter is varied with its typeface. Thus, the letter could notify not only literal information but also sensory one by selecting an appropriate typeface. In this article, we attend to the shape of several typefaces and consider the relation of the evaluations based on solid mechanics and on human-sense. For the evaluation by means of solid mechanics, the letter is assumed as physical object on the gravity field and the stress field is analyzed by finite element method. In the sensory aspect, some principal components are analyzed from the impression gathered through questionnaire survey. From these analysis, it is exemplified that the correlation between the standard deviation of stress throughout the letter and the impression in terms of "light" and "deep". This result suggests that the impression of typeface could be controlled by arranging the stroke uniformity.

1. はじめに

人間が文字から受ける印象は、たとえば「暖かい」「硬い」「上品な」など多岐にわたって形容されている。つまり、文法的意味の伝達を本来の目的とする文字に対して、書体を変更することで、印象といった感性的意味を付与することが可能となる。このことは、広告デザインや書籍の組み版など、様々な場面でフォントの選択が重視されている⁽¹⁾⁻⁽³⁾ことから明らかである。

文字の形状の物理的特性と人間の感性評価との関連については、パターンの「良さ」及び「印象の強さ」に注目し、視覚の誘導場を利用する試み⁽⁴⁾がみられる。また、構造物の視覚的印象には、構造形態の力学的状態との関連がみられることが指摘されている^{(5), (6)}。

本研究では、文字の形状に対して、弾性力学的に評価される力学的状態と印象の形容語との関連を明らかにすることを目的とする。力学的状態の定量的な評価指標としては、文字全体での応力分布のばらつきをとりあげる。また、文字に対する感性評価は、書体に対する形容語についてアンケートを行い、多変量解析の一種である主成分分析⁽⁷⁾によって整理する。

ここでは、5つの書体について8つの形容語対を用いて33名の被験者に印象を評価させた場合と、7つの書体について16の形容語を用いて34名の被験者に印象を評価させた場合について、書体の力学的評価と感性評価の関連付けを試みる。このような関連付けによって、文字に対する印象を要求として与えた場合の、新たな書体創成の指針を得ることが可能となると考えられる。

2. 文字形状に対する力学的評価

2.1 有限要素解析による応力解析

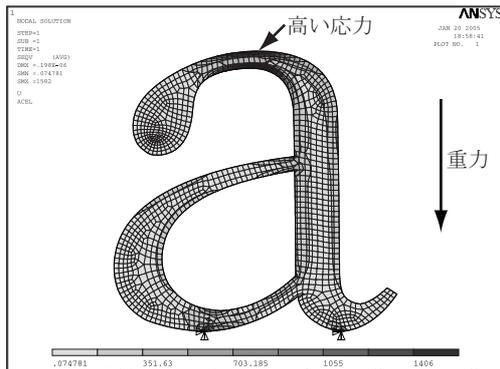
文字形状に対する力学的評価を得るために、文字が密度を持つ3次元物体として重力場において水平面上に直立した状態を仮定する。物体内部には自重により応力場が生じることになり、その分布に注目する。対象とする文字は「あ」「こ」「日」「a」などの連続した単一の領域で構成されるひらがな、カタカナ、漢字、アルファベットとする。

文字内部に生じる応力の解析にあたってはまず、文字の輪郭曲線データをもつアウトラインフォントから文字の形状を得る。このデータを幾何学的形状表現の標準的形式であるIGESフォーマットに変換した後に、汎用

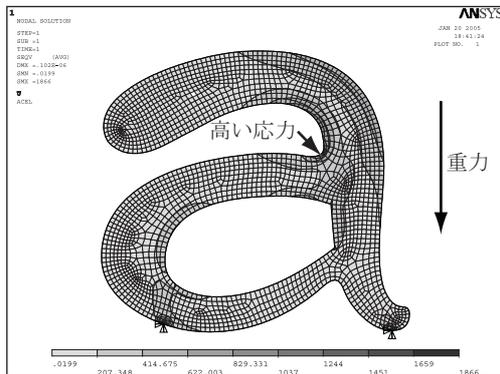
*本校卒業生、徳島大学工学部



図1 対象とする書体



(a) 平成明朝体



(b) 流隸体

図2 文字形状に対する解析例

有限要素解析ソフトウェアANSYS(Rev.5.7, ANSYS Inc.)に読み込む。この輪郭曲線に基づきサーフェスを構成し、要素分割を行う。要素サイズは文字高さに対して100分の1程度である。材料の縦弾性係数は仮想的に230GPa、密度は1kg/m³を与え、下向きの重力加速度9.8m/s²を与える。ここでは、形状内部に生じる応力分布の相対的な傾向を議論するので、これらの数値及び得られる応力値には絶対的な意味はない。また、境界条件としては、文字下端の2点での変位拘束を与える。この物体は奥行き方向に一様厚さをもつと仮定し、2次元の平面応力状態で解析を行う。

2.2 応力解析に基づく力学的評価

ここでは、解析対象として市販のフォントセット Dyna Font (ダイナコムウェア(株))から7つの書体、「平成明朝」、「特太ゴシック」、「太丸ゴシック」、「流隸体」、「優雅宋」、「角POP」、「綜藝体」をとりあげる(図1)。図2に、前述の条件により有限要素解析により得られた文字内部の相当応力の分布例を示す。これらの2つの書体「平成明朝」と「流隸体」では、変位拘束点で最大応力となることは共通するものの、応力分布の様子は異なる。たとえば、文字太さの変化が顕著な「平成明朝」では文字の上部の片持ち梁状の部分の水平に近い場所で大きな応力が生じ、文字太さが比較的一様な「流隸体」では、片持ち梁状の根元の部分で大きな応力が生じている。

このような有限要素解析により、各書体、各文字の全節点における平均応力、標準偏差を求め、自重(面積に比例)により正規化したものを表1に示す。相対的な比

表1 各書体・文字に対する力学的評価

書体 文字	応力指標 S^* (上段), 偏差指標 D^* (下段)						
	平成 明朝	特太ゴ シック	太丸ゴ シック	流隸体	優雅宋	角POP	綜藝体
あ	3.6 6.2	0.0 0.0	0.1 0.2	0.2 0.3	1.8 5.2	0.4 0.5	0.3 0.3
A	0.6 0.6	0.2 0.3	0.2 0.3	1.0 0.9	0.4 0.7	0.3 0.8	0.2 0.3
コ	2.6 2.5	0.6 0.6	0.6 0.7	0.4 0.5	5.8 13.0	1.1 0.9	2.0 1.6
月	1.6 1.7	0.5 0.8	0.1 0.1	0.3 0.5	2.3 3.8	0.2 0.3	— —
a	1.8 2.3	0.3 0.5	0.5 0.4	1.0 0.9	1.0 1.3	0.5 0.5	0.2 0.3
く	6.3 12.9	1.7 18.0	2.5 15.6	1.6 23.6	8.1 35.0	2.6 5.9	1.7 4.7
日	0.8 1.4	0.1 0.2	0.2 0.2	0.4 0.4	0.4 0.4	0.4 0.4	0.2 0.3
ろ	5.9 8.4	0.8 0.9	1.0 1.4	2.9 4.1	3.4 3.9	2.0 2.5	2.1 2.5
土	3.0 6.5	0.7 1.1	0.4 0.6	0.7 1.0	4.2 9.4	0.7 0.9	0.8 1.2
平均	2.9 4.7	0.5 2.5	0.6 2.2	0.9 3.6	3.1 8.1	0.9 1.4	0.9 1.4

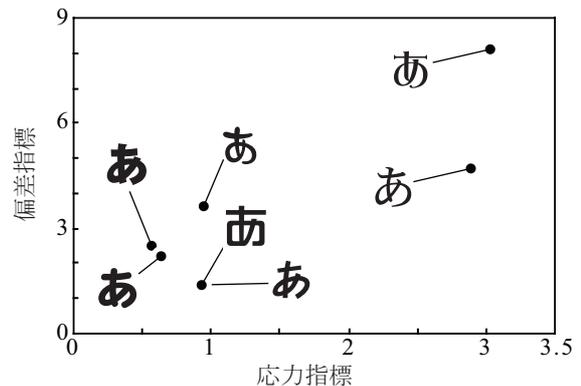


図3 各書体に対する力学的評価

表2 印象を表す感覚的形容語

感覚的形容語	
• 暖かい	• 冷たい
• 重厚	• 軽快
• 下品	• 上品
• 女性的	• 男性的
• 落ちついた	• 躍動的
• 弱々しい	• 力強い
• 素朴	• 洗練された
• モダン	• クラシック

較に用いるこれらの値を、それぞれ応力指標 S^* 、偏差指標 D^* と呼び、以後無次元量として扱う。なお、「綜藝体」では、文字「月」が、単一の領域では構成されないデザインのために解析は行っていない。図3は、書体ごとに応力指標、偏差指標の平均をとり、プロットしたものである。応力指標と偏差指標が最も高かったのは「優雅宋」で、2番目が「平成明朝体」である。これらは他の書体に比べると文字のストロークの太さの変化が大きいため、場所による応力値のばらつきが大きく偏差指標が高くなったものと考えられる。応力指標については、文字のストロークが細く、自重が小さくなっていることが現れていると考えられる。また、「特太ゴシック」と「太丸ゴシック」は文字のストロークが全体的に太いため自重が大きく、応力指標が小さくなっている。また、応力指標値がほぼ等しい「角POP」と「流隸体」の偏差指標が異なることから、偏差指標は文字ストローク太さの非一様性を表せることがわかる。

3. 感性評価の収集と主成分分析

3.1 アンケートによる感性評価の収集

感性評価の収集には、感性情報の集計に広く用いられているSD法によってアンケートを行う。SD法は、評価対象に対して意味的に対になる形容語の組を複数個用意し、その間を5段階または7段階に分割した尺度の上で、評価対象から受ける印象がどこに位置するのかを選択させる手法である。アンケートは被験者の集団を変えて2度行った。それぞれをケース1、ケース2とし、ケース1では形容語対を5段階SD尺度で評価させ、ケース2では1つの形容語それぞれに対して5段階で評価させた。これは、アンケートの形容語対のSD法による評定尺度と被験者の感覚尺度が必ずしも一致しないと考えられたためである。

ケース1では5つの書体それぞれについて8つの形容語対を用いて33名の被験者(19歳, 20歳の男性)に印象を評価させ、ケース2では7つの書体それぞれについて16の形容語を用いて34名の被験者(15~20歳の22名の

男性と12名の女性)に印象を評価させた。表2に、感性を反映するフォントの自動作成に関する報告⁸⁾を参考に用いたケース1での形容語対を示す。ケース2ではケース1で回答の少なかった「素朴」「洗練された」「クラシック」「モダン」を掲載せず、代わりに「やわらかい」「硬い」「現代的」「レトロ」を用いた。また、ケース2では形容語対として評価はさせないが、アンケート用紙上では左右に対となる形容語を配置している。また、アンケートの際には、被験者ごとに書体の評価順序を並べ替え、惰性や疲労による評価の質の劣化を避けるように配慮した。

3.2 主成分分析

書体に対する感覚的印象の表現に用いられる多数の形容語には、重複や類似の概念がみられると考えられる。これらを除き、より少数の本質的な概念を得るために主成分分析を用いる。まず M 個の書体のうち、 m 番目の書体 ($m=1, 2, \dots, M$) に対して、 L 個の形容語を使って表した被験者による得点 $s_1^m, s_2^m, \dots, s_L^m$ を用いた線形結合により得られる合成変量 f_k^m

$$f_k^m = s_1^m w_{1k} + s_2^m w_{2k} + \dots + s_L^m w_{Lk} = \sum_{i=1}^L s_i^m w_{ik} \quad \dots\dots\dots(1)$$

ただし w_{ik} は感覚主成分 F_k に対する重みを感覚主成分軸 k に関する書体 m の主成分得点とする。また、被験者による得点 s_i^m を観測得点と呼び、全書体、形容語に関する感覚評価を \mathbf{S} ($=\{s_i^m\}$, M 行 L 列) とすれば、感覚主成分 F_k に関する主成分得点 \mathbf{f}_k ($=\{f_k^1, f_k^2, \dots, f_k^M\}^T$) は、感覚評価 \mathbf{S} に重み \mathbf{w}_k ($=\{w_{1k}, w_{2k}, \dots, w_{Lk}\}^T$) を乗じた

$$\mathbf{f}_k = \mathbf{S} \mathbf{w}_k \quad k = 1, 2, \dots, K \quad \dots\dots\dots(2)$$

と表せる。ここで、重みベクトルの成分 w_{ik}^m を因子負荷量と呼び、以下のように求める。全書体に対する感覚評価 \mathbf{S} から得られる共分散行列 \mathbf{V} (L 行 L 列の対称行列)

$$\mathbf{V} = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \dots & \sigma_{1j} & \dots & \sigma_{1L} \\ & \ddots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \sigma_{ij} & \dots & \sigma_{iL} \\ & & & \ddots & \vdots \\ \text{sym} & \dots & & & \sigma_L^2 \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots(3)$$

ただし

$$\text{平均} \quad \bar{s}_i = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M s_i^m$$

$$\text{分散} \quad \sigma_i^2 = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (s_i^m - \bar{s}_i)^2$$

$$\text{共分散} \quad \sigma_{ij} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (s_i^m - \bar{s}_i)(s_j^m - \bar{s}_j)$$

から、この固有値 λ_k に対応する固有ベクトルを求める。一般に、固有ベクトルは L 個存在するが、そのうち、固有値の小さな軸は全体的な感性評価 S の説明にわずかしき寄与しない。したがって、全固有値の和に対する感覚成分 F_k の固有値 λ_k の比率を寄与率とし、第1成分から第 K 成分までの寄与率の和、累計寄与率を考え、これがあるしきい値 θ より大きくなるとき、すなわち

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k / \sum_{k=1}^L \lambda_k > \theta \quad \dots\dots\dots(4)$$

を満たす K 番目までの軸を感覚主成分 F_k とし、対応する固有ベクトル w_k を因子負荷量として用いる。

3.3 アンケート結果の主成分分析と整理

3.3.1 ケース1 5つの書体について8つの形容語対を用いて33名の被験者に印象形容語を評価させた。5段階で評価された形容語対をもとに、各形容語のそれぞれの得点を16の形容語に対する3段階の評価として取扱い、1・5段階目をそれぞれ1点、2・4段階目を0.5点、3段階目を0点とし、全被験者に関するこれらの合計得点をその形容語に関する観測得点 s_k^m (表3)とする。

これに対して主成分分析を行った結果、第1軸 F_{11} が67%、第2軸 F_{12} が29%の寄与率を持ち、96%の累積寄与率を占めていたので、これらを感じ覚主成分と解釈する。図4に、感覚主成分 F_{11} と F_{12} に関して、各形容語の因子負荷量 w_k をプロットしたものを示す。「軽快」・「弱々しい」・「女性的」や「上品」・「冷たい」・「洗練された」・「モダン」などが近接しており、これらは類似の概念を持つ形容語であることがわかる。また、「力強い」・「男性的」・「重厚」の形容語も同様である。

これらの2つの主成分軸に関して、 F_{11} 軸では正の向きに対して「軽快」、負の向きに対しては「重厚」などが支配的である。一方、 F_{12} 軸では正の向きに「暖かい」、負の向きに「上品」・「冷たい」などが支配的であり、これらの概念が本質的であると解釈できる。

感覚主成分に対して、各書体の主成分得点 f_k^m を図5に示す。 F_{11} 軸に関しては「優雅宋」が正の大きな値を示し、「特太ゴシック」が負の大きな値を示している。また、 F_{12} 軸に対しては「流隷体」が正の大きな値を示しており、「平成明朝」が負の大きな値を示している。

これらより、「優雅宋」には「軽快」・「弱々しい」・「女性的」な印象が、「特太ゴシック」には「重厚」・「力強い」・「男性的」な印象が強いことがわかる。また、「流隷体」には「暖かい」印象、「平成明朝」には「上品」・「冷たい」印象が強いことがわかる。

3.3.2 ケース2 被験者群の異なるケース2では、主

表3 各書体に対する観測得点(ケース1)

書体形容語	平成明朝	特太ゴシック	太丸ゴシック	流隷体	優雅宋
冷たい	10.5	3.5	1.0	3.0	7.0
暖かい	2.0	8.5	16	10.5	2.0
軽快	7.5	1.0	3.0	12	14
重厚	4.0	17	11	1.5	0
上品	12	2.5	2.5	2.0	10.5
下品	1.0	4.5	3.5	11	6.0
男性的	5.5	14.5	6.5	1.0	0.5
女性的	4.5	1.5	7.0	10	15.5
躍動的	4.0	2.5	2.0	9.0	9.0
落ちついた	8.0	8.5	5.0	3.0	4.0
力強い	6.0	13	11.5	1.5	0
弱々しい	6.0	1	3.0	15	11.5
素朴	5.0	6	5.5	10	2.5
洗練された	7.5	1.5	2.0	1.5	7.5
クラシック	8.0	4.0	2.0	3.5	5.5
モダン	2.5	4.5	3.5	7.5	9.0

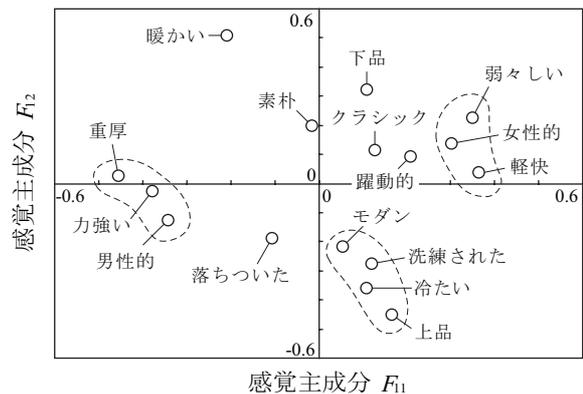


図4 形容語に対する因子負荷量(ケース1)

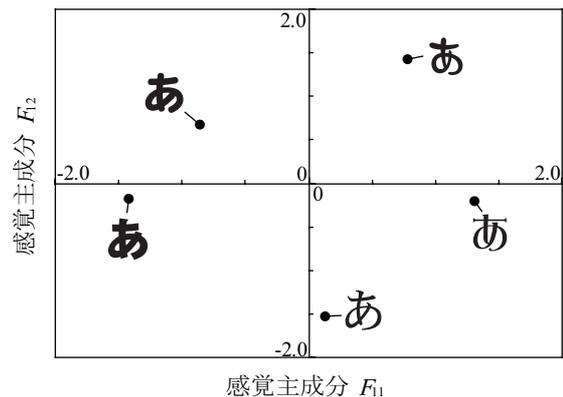


図5 書体に対する主成分得点(ケース1)

成分分析により、寄与率55%、26%の2つの感覚主成分を得た。図6に、これら2つの主成分 F_{21} と F_{22} に関する因子負荷量を示す。このケースでも「力強い」・「重厚」などが近接しており、類似の概念を持っていることがわかる。一方で、最も大きな寄与率を持つ F_{21} 軸に関

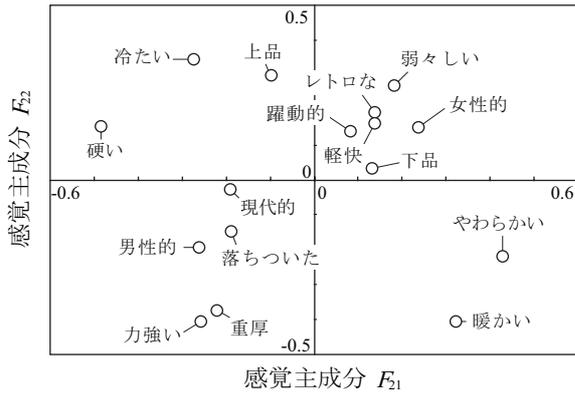


図6 形容語に対する因子負荷量（ケース2）

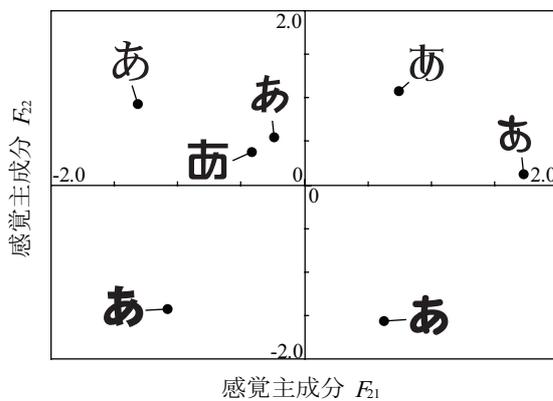


図7 書体に対する主成分得点（ケース2）

する形容語の因子負荷量を見ると、正の向きに対しては「やわらかい」など、負の方向に対しては「硬い」などが支配的であり、ケース1とは異なった結果が得られている。F₂₂軸に対しては、正の向きに「冷たい」・「上品」・「弱々しい」、負の向きに「力強い」・「重厚」・「暖かい」であり、正負の符号は異なるものの、ケース1と同様の傾向である。

各書体の感覚主成分軸 F₂₁ と F₂₂ に関する主成分得点を図7に示す。感覚主成分軸 F₂₁ に関しては「流隸体」が正に大きな値を示し、負の範囲では「平成明朝体」、「特太ゴシック」がみられる。F₂₂ 軸に関しては「平成明朝」、「優雅宋」が正の大きな値を示し、負の範囲では「太丸ゴシック」、「特太ゴシック」がみられる。

これらより、「流隸体」は「やわらかい」、「平成明朝」、「特太ゴシック」は「硬い」に象徴される印象を持つことと、「平成明朝」や「優雅宋」には「冷たい」・「上品」・「弱々しい」に、「太丸ゴシック」、「特太ゴシック」には「力強い」・「重厚」・「暖かい」に象徴される印象が強いことがわかる。

表4 感性評価と力学的評価との相関係数

	主成分得点			
	ケース1		ケース2	
	F ₁₁	F ₁₂	F ₂₁	F ₂₂
応力指標	0.69	-0.66	-0.11	0.74
偏差指標	0.82	-0.33	0.24	0.49

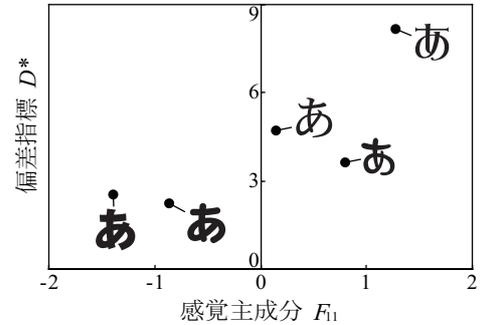


図8 主成分得点と偏差指標（ケース1）

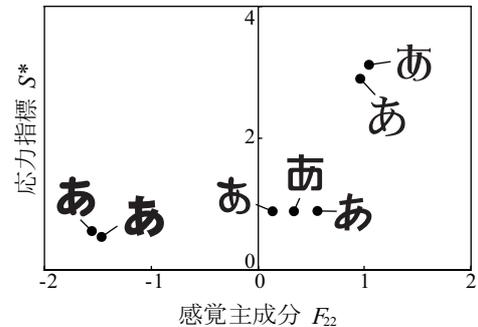


図9 主成分得点と応力指標（ケース2）

4. 力学的状態と感性評価の関連

文字の形状に関して、2章で得た力学的評価と3章で得た感性評価との関連について調べる。表4に、各書体に対する応力指標、偏差指標とケース1、2で得た4つの感覚主成分軸に関する主成分得点との相関係数を示す。これらより、ケース1のアンケートにより得られた「軽快」と「重厚」に象徴される感覚主成分軸 F₁₁ は、応力指標及び偏差指標と相関を持ち、特に偏差指標との相関が強いことがわかる。また「暖かい」と「冷たい」に象徴される主成分軸 F₁₂ は、応力指標に相関を持っている。

最も相関係数の高かった、各書体に対する偏差指標(図3)と、ケース1で得られた第1感覚主成分 F₁₁ に関する主成分得点(図5)のプロット(図8)からは、偏差指標の最も高い「優雅宋」と低い「特太ゴシック」「太丸ゴシック」の順序関係が、主成分得点でも類似の傾向を示していることがわかる。これより偏差指標、すなわち文字内部の応力のばらつきが大きい書体が「軽快」な印象を

もち、小さい書体が「重厚」な印象をもつことがわかる。

被験者群の異なるケース2では、「柔らかい」と「硬い」に象徴されると考えられる第1感覚主成分については、ここでとりあげた力学的評価との明確な相関はみられなかった。一方、「冷たい」・「上品」・「弱々しい」と「力強い」・「重厚」・「暖かい」に象徴されると考えられる第2主成分 F_{22} については、力学的評価のうち応力指標との相関がみられた。各書体に対する応力指標(図3)と、ケース2で得られた第2主成分 F_{22} に関する主成分得点(図7)のプロット(図9)からは、応力指標の高い「優雅宋」,「平成明朝」と低い「特太ゴシック」「太丸ゴシック」の順序関係が、主成分得点でも同様の傾向を示していることがわかる。これは文字内部の応力が高い書体が「冷たい」・「上品」・「弱々しい」印象をもち、応力の低い書体が「力強い」・「重厚」・「暖かい」印象をもつことがわかる。

ただし、ケース1でみられた応力指標の高い書体に「軽快」、低い書体に「重厚」な印象をもつ傾向と、ケース2でみられた応力指標の高い書体に「弱々しい」、低い書体に「力強い」印象をもつ傾向については、我々の直観に反する部分がある。これらの結果については、

- 1) 構造形態に余裕があり、その結果として応力が低くなるものに「力強い」や「重厚」な印象をもち、逆に構造形態に余裕(無駄)がなく応力が高くなっているものに「軽快」や「弱々しい」印象をもつ。
- 2) 応力指標は、文字に生じる応力の平均値を自重で割ったものであることから、文字のストロークの太いものについては応力指標が低くなる。被験者は単純に文字のストロークの太い書体に対して「力強い」や「重厚」な印象を受け、細い書体に対して「軽快」や「弱々しい」印象を受けており、応力指標との相関が偶然にでている。

の2通りの解釈ができ、さらに詳細な検討の余地を残している。

また、主成分分析の結果では、感覚主成分を象徴する形容語には、重さなどの物理量との対応が比較的とりやすいものが現れている。一方で、「素朴」、「クラシック」「落ちついた」などの物理量との対応がとりにくい形容語については、被験者毎に解釈が異なっているために観測得点が相殺され、主成分分析の結果にはあらわれにくい。このような形容語の取扱いについても、今後検討の余地があると考えている。

5. おわりに

書体によって変わる文字の印象をとりあげ、文字を物

理的実体としてとらえた力学的評価と、印象に基づく感性評価との関連について考察を行った。文字形状の力学的評価には、自重によって生じる内部の応力をもとに応力指標と偏差指標をとりあげた。感性評価については、印象を記述する形容語について、SD法によるアンケート調査を行い、主成分分析により感覚主成分を求めた。また、それぞれの形容語の因子負荷量、書体の主成分得点によって、「軽快」、「重厚」、「力強い」、「弱々しい」、「やわらかい」、「硬い」及び類似の形容語が文字の印象を構成する主成分であることを明らかにした。

力学的評価と感性評価との比較より、文字の印象は、ストロークの太さや均一性に影響を受け、特に文字内部に生じる応力のばらつきの大きな書体には「軽快」な印象をもち、文字内部に生じる応力が一様に近い状態の書体には「重厚」な印象をもつ傾向がわかった。これは、新たな書体の創成における指針となるものである。また、それぞれ別の視点からの評価である感性評価と力学的評価に関連がみられたことで、人間が、その形状に関する物理的特性を視覚的に受容していることが確認できた。

今後の展望としては、文字の形状に対する定量的評価として、ここでとりあげた応力指標、偏差指標の他に、輪郭曲線に注目し、複雑さなどの取扱いを検討している。

文 献

- (1) 勝井三雄・田中一光・向井周太郎, 現代デザイン辞典2004年版, (2004), pp.112-113, 平凡社.
- (2) 佐藤卓ほか, 頼れる文字の魔術師30人の作業, 日経デザイン5月号, (2004), pp.34-77, 日経BP社.
- (3) 板谷成雄・大橋幸二, 実践レイアウトデザイン, (2004), pp.22-47, オーム社.
- (4) 長石道博, 視覚の誘導場における感性評価, 認知科学, Vol.10, No.2, (2003), pp.326-333.
- (5) 平 俊男・田中正夫, 概念設計における視覚的思考に関する一考察, NCP研究会・機械の強度と形態研究懇話会(日本機械学会関西支部)第21回シンポジウム, (1997), pp.75-76.
- (6) 長谷川明, 構造形態と人間感覚に関する考察, 土木学会構造工学論文集, Vol.42A, (1996), pp.463-470.
- (7) 林知己夫・駒沢 勉, 数量化理論とデータ処理, (1983), 朝倉.
- (8) 村山浩之・萩原将文, 感性を反映できるひらがなフォント自動作成システム, 感性工学研究論文集, Vol.2, No.1, (2002), pp.73-78.