

# 力学的表情に関する一考察

平 俊男

## A Consideration of Expression by means of Mechanics

Toshio HIRA

It is said that the design problem is highly dependent on individual skills and sense of aesthetics in general. However, there are also objective aspects in the design process, such as rationality in terms of mechanics. In order to develop the novel design technique, it is a key to reveal the connection between the sensuous- and the objective-aspects in that process. In this article, we focused on the process generating the impression from the product shape and assumed that the designer intuitively see the spatial pattern of load level (e.g. stress, strain energy) without the structural analysis. Furthermore we proposed a concept of "expression by means of mechanics" that is the spatial pattern perceived by the designer. The term of expression is a metaphor of human facial expression. This virtual expression is regarded as a bridge connecting the sensuous- and objective-aspect. Finally, some methodologies were discussed to find out the model generating the impression from the shape with the virtual expression.

### 1. はじめに

一般にデザインは、いわゆるセンスの問題として属人的に取扱われることが多い。しかしながら、人が製品から受けている印象には、その力学的合理性など、客観的に説明できるものも多い。すなわち、人の感性的側面と物理的現象の客観的側面との接点を明らかにすることが、新たなデザイン方法論の展開の鍵となる。

本研究では、製品の形状から印象が形成される過程において、その製品内部の力学的負荷の空間的分布のパターンが人には力学的表情として認知されているとの仮説をたて、そのメカニズムについて考察する。

### 2. 背景

#### 2.1 人工物に対する感性的側面

工業製品に関する感性的側面の重要性は、機械工学関連分野では1980年代後半の「感性工学」<sup>(1)</sup>の提唱によって広く認識されるようになった。この時代的背景には、工業製品の設計・生産における解析技術や生産技術などの技術水準の向上によって製品の必要機能が比較的容易に満たされるようになり、製品に求められる価値が、機能性だけでなく、楽しさや快適さなどの付加的なものにシフトされてきたことがあげられる<sup>(2)</sup>。また2000年代後半には主にコンピュータ関連技術、情報通信技術の高度化によって、感性的側面に対するさらに多様な工学的アプローチが展開されるようになってきている<sup>(3)</sup>。

一方、土木工学分野においても、公共の利用の対象となる橋梁構造物の設計では、美観などの感性的側面を社会的価値として考慮しなければならないという指摘が1980年代前半に多くみられる<sup>(4)(5)</sup>。これらの指摘は新たな観点からというよりは、古くから「橋梁美学」<sup>(6)</sup>として意識されていたものが、我が国の高度成長期における経済的な要請によりあまり考慮されていなかったことへの反省に基づくものであるといえる。

このような背景のもと、著者らは、工学的設計における感性的側面に対する興味から、主に橋梁構造物を取りあげ、その形態と印象の関連を設計支援に用いるアプローチ<sup>(7)</sup>を示してきた。橋梁構造物は、特に大支間の場合には機能を満たす構造がそのまま形態として表れ、装飾的な要素は設けられないことが特徴である。すなわち機能と形態は不可分な関係にある。また、対象物を属性と属性値といった還元主義的なとらえ方だけではなく、巨視的にとらえる必要を指摘し、橋梁構造物と印象との関連付けを、階層型ニューラルネットワークを用いた誤差逆伝播法によって行うことを試みている<sup>(8)</sup>。

#### 2.2 形態に対する印象形容と力学的要因

人が物を見た際に感じる印象は、それまでに経験した直接的感覚、たとえば火や赤熱している物に対する熱さなどに密接に関連している。このような感覚との関連付けは、色彩に対しては、暖色・寒色などの表現にあるようにすでに確立されている。

一方で、構造物設計の文脈において語られる力学的要因

については、たとえば、

「(美しいと評価される橋梁に対して) 構造形式の力学的性質と、材料の性質をよく理解し、力の流れを把握して、橋梁構造物の中で、強さを強調する部分と繊細な感じを表現する部分とを巧みに組合せ、単純明快な形態にまとめている」<sup>(9)</sup>。

「橋梁各部分が協力して外力に抵抗するように力学及び構造的に周到に検討され、過不足のない最適な経済構成をされた橋梁では各部分が緊張して働いている。外観的には静態でも、内部では寸分の隙もなく外力に抵抗しているわけで、劇的な力の緊張を内在して形態化されるところに力動的な機能美が出現する。(中略)つまり機能美とは、力学理論に従って合理的に検討された、バランスのとれた緊張感に満ちた構造に内在する美しさである」<sup>(10)</sup>。

のように直観的に述べられており、このような記述を直接に解釈して新たなデザインの指針とすることは困難であるように思われる。本研究の目的のひとつには、形態と印象との間に力学的要因を中間的媒介として位置付けることで、それらの関連を再解釈することにある。

構造物の形態と印象の定量的な関連付けの試みのひとつとして、はり構造やトラス構造について、力学的素養のない者を対象に、アンケートにより「安心」や「不安」を調べたものがある<sup>(11)</sup>。ここでは、はり構造の支点の位置をパラメータとして構造内部に蓄える力学的エネルギー(ひずみエネルギー)に基づいた最適解と安心感との関連が考察されているが、それらはともに一次元の指標として扱われており、明確な関連付けには至っていない。しかしながら、この例は、形態に対する印象の説明に力学的要因を用いた先駆的な先行研究として興味深い。

### 3. 力学的表情

#### 3. 1 形状と印象(書体の場合)

一般に印刷物や看板、公共サインにおける書体の選択には、細心の注意が払われている。公共サインの場合には読みやすさが最優先されるが、ブランドのロゴなどでは、そのブランドが演出しようとする高級感などの印象の伝達に書体が重要な役割を担っている<sup>(12)</sup>。ただし、それぞれの書体を与えるとされている印象は、幾何学的な説明が援用されているもの、多くの場合はデザイナーの感性に基づき説明されている。

著者らは、書体形状の印象に「力強い」などの力学的形容がみられることから、印象に影響を与える要因として力学的負荷に注目し、その関連を定量的に示そうと試みた<sup>(13)</sup>。図1は、仮想的な重力場に文字を配置することを仮定し、その文字形状内部に生じる相当応力のばらつきによって印象形容語を整理した例である。この結果からは、物体が視覚のみによって提示されていても、その物体の力学的負荷が人には象的に見えているのではないかという仮説が得られる。しかしながらこの考察では、力学的負荷を平均や分散といった少数の代表値に落とし込んでおり、十分な考察は行っていない。

# あああああ

大 ←力学的負荷のばらつき→ 小  
「力強い」「重厚」←印象→「上品」「軽快」

図1 力学的負荷のばらつきと印象

#### 3. 2 物理的現象に対する「表情」

表情とは「顔や身振りに表れた内部の感情・気分など」<sup>(14)</sup>と説明されている。したがって、その第一の意味では感情をもたない無生物は表情を持つことはない。しかしながら、「街の表情」、「空の表情」といった表現<sup>(15)</sup>にみられるように、本来、感情を持たないものに対しても人は表情を認識し得ることがわかる。

物理的現象に対する「表情」の表現の代表的な例は、景観工学の分野でみられる<sup>(16)</sup>。水辺景観設計でデザイナーによって定性的に考慮されてきた水面表情、流水表情、落水表情などに対し、それらが水理構造物による渦からつくられている物理的現象であることに着目し、数値流体力学とコンピュータグラフィックスの融合によるシミュレーションによって水理的な側面から「ながれの表情」にアプローチしようとする試みがみられる<sup>(17)</sup>。このような Analysis by Synthesis 型のアプローチがとられていることから、物理的現象であるはずの渦や水流を景観デザイナーの感じている「ながれの表情」に関連付けることの困難さが示唆されている。

#### 3. 3 力学的表情の概念

図2は、前出の長谷川の論文<sup>(11)</sup>によって「安心」、「不安」とされたはり構造の支点位置を参考に、著者がはり構造内部の力学的負荷として相当応力の大きさを濃淡で表したものである。これらのはり構造には自重のみが作用している。もちろん、このような濃淡パターンは通常視覚的に認識できるものではないが、2.2節で引用したような「力の流れ」などの観点からは把握されている可能性がある。たとえば「安心」とされたはり構造(a)では、力学的負荷の高い部分がはり構造内部で2つの支点を結ぶようなアーチ状のパターンを形成しており、逆に「不安」とされたはり構造(b)では、はり構造(a)のような明確なパターンは



(a) 最も安心感のある場合



(b) 最も不安感のある場合

図2 支点位置により変化するはり構造の力学的負荷の空間的パターン

みられない。また、図3に示したようなC型クランプは、大きな力で挟み込むという機能的要請に対して、力学的合理性にかなった形状を持っているように思われ、このような「力の流れ」の明快さから実用的な印象を受ける。

以上をふまえ、物体形状に対する印象の要因として、物



印象  
・力強い  
・実用的  
:

図3 C型クランプとその印象形容例

体内部の力学的負荷の空間的パターンを仮定し、そのパターンを心象的な「力学的表情」と呼ぶことを提案する。

#### 4. 力学的表情を明らかにするための方法論

物体形状の印象に影響を与える力学的要因として、物体内部の力学的負荷のパターンに注目し、それを心象的な力学的表情としてとらえることで、形状と印象の関連が明らかにできると考えられる。ただし、従来手法のように力学的負荷や印象を少数の指標で表現すると、平均化の効果によって「強さ」と「繊細さ」のような矛盾する形容は相殺されてしまい、機能美の解釈にみられるような「強さ」と「繊細」の両立といった一見矛盾するような形容の説明は困難となる。この問題に対しては、画像とキャプションを学習データとして特徴量抽出の前処理なしに与えることができると思われる深層学習的アプローチ<sup>(18)</sup>の利用が有効であると考えている。この手法では、画像の識別に対する階層構造が直接的に学習されるため、対象画像の全体と部分のそれぞれの特徴を相殺することなく、印象形成過程を表現できる可能性がある。

一方で、この深層学習的アプローチの成功の鍵は大量の学習データの存在にある。しかしながら、現実には、ネガティブな印象、たとえば「鈍重」と形容されるようなものが敢えてつくられることは少ない。したがって、ネガティブな形容に対する学習データは得ることが難しい。この問題に対しては、進化計算法による多様な形状生成<sup>(19)</sup>によって仮想的な感性サンプルを生成することで解決できると考えられる。感性サンプルの提示にあたっては、図4のようなコンピュータグラフィックスによるものだけではなく、3次元プリンタで作成される実物大模型によるものも検討する必要がある。

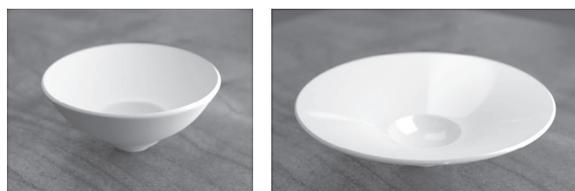


図4 感性サンプルの提示例

力学的負荷については、構造設計においてよく参照される指標値である相当応力、ひずみエネルギー、主応力などのいずれが空間的パターンの表現として適切なのかを明らかにする必要がある。なかでも、物体内部の各部分において引張および圧縮応力が最も大きくなる方向とその大きさを示す主応力は、機械設計の文脈において力の流れとして解釈されることも多い。どのような力学的負荷の空間

的パターンが心象的に想起されているかについては、力学的素養のない者、初学者、実務者の描くスケッチとの対比を通じて明らかにできると考えている。

#### 5. おわりに

物体の形態や形状と印象との中間的媒介として力学的要因に注目し、人には物体内部の力学的負荷の空間的パターンが心象的に力学的表情として想起されている可能性を指摘した。また、それを明らかにしていくための方法論について述べた。ここに示した方法論によって得られる形態や形状と印象との関連付け(印象形成過程モデル)は、これまでのデザイン方法論において述べられていた直観的知識の客観的な再認識につながると考えられる。さらには、属人性をある程度排除した印象形成過程モデルと、優れたデザイン実務者による印象形成過程とを対比することで、創造的行為に必要な本質的属人性を明らかにできると考えている。

#### 謝 辞

本研究の一部はJSPS 科研費 16K12517 の助成を受けた。記して謝意を表する。

#### 文 献

- (1)長町三生, 感性工学 感性をデザインに活かすテクノロジー, (1989), 海文堂.
- (2)下郷太郎, 「感性と機械」小特集号発刊に際して, 日本機械学会誌, Vol.91, No.838, (1988), p.931.
- (3)たとえば, 特集「デザイン×技術=ものづくり」, 日本機械学会誌, Vol.112, No.1093, (2009).
- (4)Leonhardt, F., Brückenブリュッケン(田村幸久監訳), (1998), メイセイ出版.
- (5)土木学会 構造工学委員会(編), 美しい橋のデザインマニュアル, (1982), 土木学会.
- (6)加藤誠平, 橋梁美学, (1936), 山海堂, (土木学会附属土木図書館 戦前土木名著100書収録 <[http://library.jsce.or.jp/Image\\_DB/s\\_book/jsce100/htm/095.htm](http://library.jsce.or.jp/Image_DB/s_book/jsce100/htm/095.htm)> 参照日 2016年10月14日) .
- (7)Hira, T. and Tanaka, M., Personalized Assistant for Conceptual Structural Design, *JSME International Journal, Series C*, Vol.42, No.2, (1999), pp.435-444.
- (8)平俊男, 名古屋朋子, 田中正夫, 構造形態イメージより想起される感覚的印象に関する考察(構造物の概念設計を例として), 日本機械学会 第7回設計工学・システム部門講演会, No.97-69, (1997), pp.64-66.
- (9)海洋架橋調査会(編), 橋と景観, (1992) .
- (10)山本宏, 橋の造形美—歴史的アプローチと造形の考え方—, *JSSC*, 復刊 No.2, (1991), pp.30-34.
- (11)長谷川明, 構造形態と人間感覚に関する考察, 構造工学論文集, Vol.42A, (1996), pp.463-470.
- (12)小林章, フォントのふしぎ, (2011), 美術出版社.

- (13) 平俊男, 辻政範, 文字の印象 (力学的状態に注目して), 奈良高専研究紀要, 第 41 卷, (2006), pp.15-20.
- (14) スーパー大辞林, (2006), 三省堂.
- (15) たとえば, 飛鳥資料館, ひさかたの天 飛鳥資料館 第 6 回写真コンテスト, (2015)  
(<https://www.nabunken.go.jp/asuka/contest/contest06.html>> 参照日 2016 年 10 月 20 日)
- (16) 木村一郎・戸田祐嗣, ながれの表情とアメニティ 特集の企画にあたって, ながれ, Vol.23, (2004), p.68.
- (17) 後藤仁志, 流水表情の数値シミュレーション, ながれ, Vol.23, (2004), pp.79-86.
- (18) Vinyals, O., Toshev, A., Bengio, S., and Erhan, D., Show and Tell: A Neural Image Caption Generator, *arXiv preprint*, arXiv: 1411.4555v2, (2015).
- (19) Hira, T. and Iida, K., An Implementation of Interactive Assistant System for Shape Creation through Genetic Operations, *Proceedings of ICCAS*, (2007), pp.486-489.