

パルテノン神殿の円柱の視覚的効果に関する研究 (その1)

—コンピュータ・グラフィックスによる視覚実験—

A STUDY OF VISUAL EFFECTS OF THE PARTHENON COLUMN DESIGN (1)

—A visual experiment by using computer graphics—

伊藤重剛*, 下川 弘**, 須田清隆***

Juko ITO, Hiroshi SHIMOKAWA and Kiyotaka SUDA

The columns in classical architecture take especially important roles for their visual effects. The authors show through experiments by simulation of computer graphics how tapering, fluting and entasis of the Parthenon columns effect on visual perception. As a result, they have found that the upward tapering of the columns gives the strongest influence on the visual impression of the building compared with other two. The entasis, which is very subtle in the Parthenon, also gives the visual effects in fact, although it looks almost unrecognizable.

Keyword: Parthenon, Refinement, Visual effect, Ancient Greece, Greek Temple

パルテノン神殿, リファインメント, 視覚的効果, 古代ギリシア, ギリシア神殿

1. 研究の目的

古代ギリシアの神殿において、円柱はとくに重要な建築的要素である。それは、この円柱を外周の全面に並べた周柱式神殿が、ギリシア神殿の中でも最も発達した形の神殿形式であり、建築として最も格式の高いものであることから分かる。したがって、ギリシア神殿の意匠評価において、この円柱そのものの形状がいかに重要な役割を果たしているかは自明のことと思われる。しかしながら、ギリシア神殿において、実際に円柱の形状が、神殿全体の意匠評価に及ぼす影響ないし視覚効果について、どの程度に重要な役割を果たしているのか測るのは非常に難しいものである。なぜなら、建築の意匠的な評価というものは、観察者の審美眼や、そのときの心理状態、環境条件、あるいは個人的な好みなどによって大きく左右されるからである。

もとより、ギリシア神殿の意匠的な評価が、円柱の形状だけによるものではなく、シンメトリアと呼ばれる部分と部分、あるいは部分と全体の比例関係にあるのは当然である。また、通常、リファインメント (refinement) と呼ばれる基壇やアーキトレヴの極くわずかのむくりや、

円柱の中央部に施されたエンタシスと呼ばれるほんのわずかの膨らみなどの微妙な曲線、そして円柱のテーパ (上細り) や内側への非常にわずかな傾斜など、意識しなければ目につかないような微妙な建築的工夫もなされておられ、これらがギリシア神殿の評価に大きな役割を果たしているとも言われている。

本研究では、以上のような建築的意匠評価の難しさや、その評価要因の絡み合いの複雑さはあるけれども、問題を単純化するために、円柱の形状のみに着目して、ギリシア神殿の最高傑作として賛辞を惜しまれないアテネのパルテノン神殿 (紀元前447-432年) について、円柱のフルーティングや、上細り、わずかの膨らみなどが、本当に効を奏しているかを調査し、その美しさないし高い評価の秘密に迫ろうと試みるものである。

本研究では、コンピュータ・グラフィックス (CG) によって、円柱の形状を変えたパルテノン神殿のヴァリエーションを3次元的に表現し、それを被験者に見せて印象を質問し、円柱の形状変化によってパルテノン神殿の外観に対する印象がどのように変わるのか、意匠的な評価を行なった。注1)

* 熊本大学工学部建築学科 助教授・工博

Associate Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Kumamoto Univ., Dr. Eng.

** ハザマ 技術・設計第1部 研究員・工修

Chief Designer, Engineering & Design Department, Hazama Corp., M. Eng.

*** ハザマ 技術・設計第1部 主任

Head manager, Engineering & Design Department, Hazama Corp.

2. 円柱の形状に関する従来の研究

ここで取り上げるバルテノン神殿に代表されるドリス式神殿の円柱の形状には、主に三つの建築的工夫がなされている。一つはテイパーがあること、二つはフルーティングと呼ばれる縦溝が彫られていること、三つは柱身部にエンタシスと呼ばれるごくわずかの膨らみがあること、である。円柱の形状におけるこれらの工夫は、地理的にも年代的にも変化があるものであるが、一般的に述べれば、後の時代になればなるほど、テイパーの程度もエンタシスの程度も小さくなり、全体としては鈍重で素朴な円柱の形状から軽快で洗練された形状へと変化する。ただフルーティングについては、とくに顕著な変化は見られない。

テイパー（上細り）については減減率として、フルーティングに関してはその輪郭線の決定方法について、またエンタシスに関してはその膨らみの量や輪郭線の決定方法についてなど、従来いくつかの研究がなされている。注2) しかしながら、それらはいくつかの研究が主であり、その視覚的効果については、それらに基づいた著者の解釈ないし見解が表明されているのみである。したがって、円柱の形状が、その円柱に対してあるいは建物全体に対して、どのような視覚的効果を及ぼすのかを科学的に論じているわけではない。エンタシスについては、ベンローズが、円柱の膨らみがなく真直ぐであれば柱の中央部が凹んで見えてしまうので、それを防ぐための視覚的矯正を目的としたものである、と述べており、以来その説明が繰り返されてきた。注3)

しかしながら、本研究で問題にしているのは、実際にこれらの円柱の形状が、神殿全体の印象に対してどのような視覚的効果を及ぼすのか、ということであり、円柱自体がどのように見えるかということではない。こうしたことを調べるには、実物の神殿の円柱を様々な形状に作り、これを被験者に見せて、その印象を調査する方法が最も妥当かもしれないが、実際問題として、例えば、バルテノン神殿の円柱を様々な形のものに作り、入れ替えて、このような調査をすることは不可能である。したがって本研究では、CGを利用してまずバルテノン神殿の3次元モデルを作り、次にその円柱の形状を変えた神殿モデルの出力図を作成し、これを利用して調査を行なった。

3. 研究全体の流れ

本研究では、図-1に示すように大きく2段階の調査を行なった。まず、バルテノン神殿の形状を基礎にして円柱形状を変化させた一般的な神殿のCGによる正面図を用いて、第1次・第2次の予備調査を行ない、その結果から1次評価と問題点の抽出を行なった。次の本調査では、バルテノン神殿の3次元的な画像を作成し、円柱形状の変化による神殿の印象の違いを、第1回から第4回に分けて調査・分析し、それらの結果に基づいて、バル

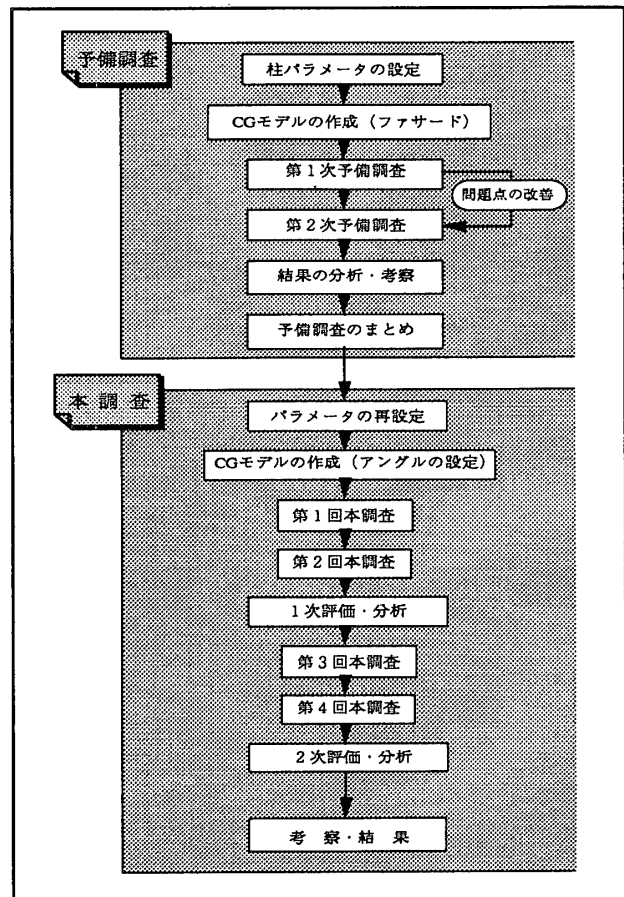


図-1 研究の流れ

テノン神殿の円柱の視覚的効果を評価するものとした。具体的な調査方法については各項でそれぞれ詳述する。本稿では予備調査までの分析結果についての報告を行ない、次稿以下で本調査の分析結果について報告する。

4. 予備調査

4-1. 予備調査の目的

予備調査の目的は、エンタシスやフルーティングなどの効果を一般的に捉えることと、CGモデルの作成法、調査の方法・評価などについて、研究の方向づけを行なうことにある。

4-2. 予備調査の方法

神殿の形態は大きく分けてエンタブラチャー（アーキトレイヴ・フリーズ・コーニス）、円柱、基壇（スタイロバート・クレピス）の3つの部分から構成される。基礎調査では、円柱の形態について4つの要素（テイパー・直径に対する高さの比・エンタシス・フルーティング）をパラメータとして、実測値による仮定に基づき数値（変化量）を設定する。基壇部分とエンタブラチャーの寸法はベンローズ、ディンズムア、及びオランダスの実測値から理論値を推測し、これを用いて神殿のファサードを作成した。注4) 次にCGによるこれらのアウトプット（A4サイズ）を被験者一人ずつに見せ、その印象についてのコメントを聞き取っていく方法でヒアリング調査を行なう。予備調査では、まず第1回予備調査

と第2回予備調査に分け、第1回予備調査によって評価に使用される言葉を抽出し、評価の理由などを聞き取り、問題点を第2回予備調査へ展開することでヒアリング調査の充実を図った。以下モデルの作成方法と具体的な調査について述べる。

4-3. モデル作成

(a) 円柱形状パターンの設定

前項で示したように円柱の形態を決定する4つの要素のうち、テイパーについて3形状、下部直径と高さの比について3形状、エンタシスについて3形状、フルーティングについて2形状を設定し、(図-2) それぞれの組み合わせによる神殿ファサードのモデル54パターンを作成した。なお、記号の意味は以下の通りであり、要素別のパラメータ数値設定は、次頁目の中で述べる。

- UD: 上部直径 (フルーティング先端での直径)
- LD: 下部直径 (フルーティング先端での直径)
- MD: 柱中間部直径 (フルーティング先端での直径)
- UD': フルーティング底部での上部直径
- LD': フルーティング底部での下部直径
- MD': フルーティング底部での柱中間部直径
- H: パルテノン神殿の周柱の柱身高さ
- H': 柱頭を含む柱の高さ
- h: パラメータとしての柱身高さ
- H/LD: 下部直径と高さの比
- Δe : $h/2$ でのエンタシスの膨らみ量 (遠心方向を正とする)
- $\Delta e'$: $h/2$ でのフルーティング底部のエンタシス膨らみ量
- ΔfU : 柱上部のフルーティングの深さ
- ΔfL : 柱下部のフルーティングの深さ
- ΔfM : 柱中間部のフルーティングの深さ

各形状は、A1~D2の以下の記号の組み合わせで表示する。

- A1:UD<LD A2:UD=LD A3:UD>LD
- B1:h<H B2:h=H B3:h>H
- C1: $\Delta e<0$ C2: $\Delta e=0$ C3: $\Delta e>0$
- D1:フルーティング無し D2:フルーティング有り

(b) パラメータ数値の設定

(i) 上部直径(UD)・下部直径(LD)

テイパーにおけるパターンの設定は、下部直径(LD)を固定し、上部直径(UD)を変化させることによってできる3つのパターン(A1,A2,A3)を作成する。パルテノン神殿における柱の上部直径(UD)・下部直径(LD)の実測値は、実測者によって測る柱がまちまちで若干異なる。下部直径については、ここではディンズムアによる正面柱の下部直径1.905mをとり、これに根拠を与えるために、想定したドリス尺0.327mで理論値1.9008m(5 13/16尺)に換算した値を、下部直径として設定した。上部直径の実測値については、オランダスの隅柱の上部直径UD=1.4155~1.512mしかないもので、それに対応する下部直径LD=1.942~1.944mとの比を0.75と近似して計算することとした。注5) したがって上細りの柱の上部直径と下部直径の比を3:4、テイパーなしの柱を4:4、上太

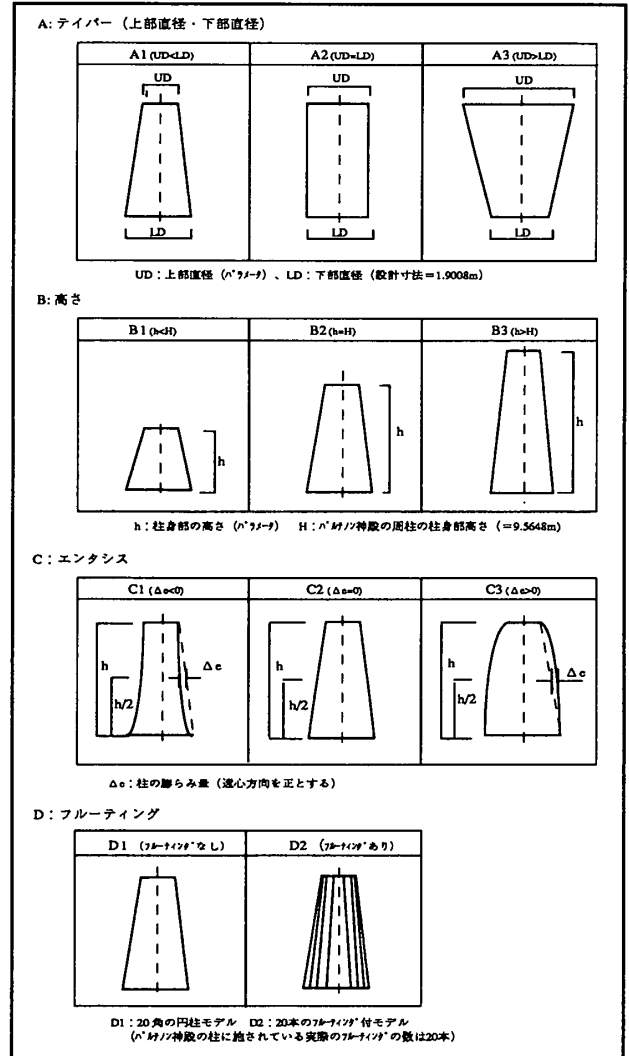


図-2 柱パラメータ設定図

りの柱の比を逆に5:4と仮定し、A1,A2,A3のそれぞれのパターンを以下の寸法に設定した。

- A1: UD=0.75×LD=1.4256 (m)
- A2: UD=1.00×LD=1.9008 (m)
- A3: UD=1.25×LD=2.3760 (m)

(ii) 下部直径(LD)と高さ(H)の比

ドリス式円柱の下部直径と高さの比(H/LD)は、年代と場所により異なるが、一般的に年代が下がるにつれて細くなり、その比は4.0~6.0の間で変化する。例えば、同じドリス式神殿で紀元前540年に建てられたコリントのアポロ神殿の比は4.15、紀元前468年のオリンピアのゼウス神殿の比は4.64である。さらに、紀元前460年に建てられたバエストウムのポセイドン神殿の比は4.20である。パルテノン神殿における下部直径と高さの比(H/LD)は、5.48である。注6) このように他のドリス式神殿と比較するとパルテノン神殿の柱は随分細長いものであることが分かる。図-2において、B1の形状を作成するにあたっては、その下部直径と高さの比(H/LD)をバエストウムのポセイドン神殿の比と同じに仮定した。

つまり、

(ポセイドン神殿の比) / (パルテノン神殿の比) = 4.20 / 5.48 ≈ 0.75
 なので、パルテノン神殿の柱高さ(H)にこの係数を乗じることで、パラメータとしての柱高さを得た。また、B3のパターン(h>H)では、B1と対照的なプロポーションとする為に係数を1.25に仮定し、以下の寸法を求めた。ただし、後述するが、今回のモデリングでは、上部直径に応じて柱頭の大きさも変化させた為、柱高さの設定が非常に煩雑になるので、柱身部の高さ(H)のみにこれらの比を適用し、その高さ(h)を設定した。注7)

- B1: $h=0.75 \times H=7.1736$ (m)
- B2: $h=1.00 \times H=9.5648$ (m)
- B3: $h=1.25 \times H=11.9560$ (m)

(iii) エンタシス

エンタシスとは、柱身部に施された膨らみのことである。パルテノン神殿のエンタシスの曲線はベンローズによれば双曲線の一部であり、ディンズムアによれば円弧といわれている。いずれにしても微妙な膨らみであるが、これがないと柱の中央が窪んで見えるという説や、曲線であることで弾力性や生命感を感じさせるという説がある。注8) そのエンタシスの作成方法については、オランダスのエンタシス設計法がよく知られている。注9) そのオランダスによるエンタシス設計法の手順は、

- (1) まずLDの値を直径とする円を描く。
 - (2) 上半円部分でLDと平行に線を引き、その弦の長さがUDの値になるように移動する。
 - (3) UDとLDで切り取られる円弧を柱高さhに引き伸ばす。
- 以上がエンタシスの曲線を作成する方法である。ところが、テイパーのあるA1のケースについては上記の設計法を用いることとするが、A2、A3のケースについてはこれが当てはまらない。従って、UD>LDであるA3のケースは、UDを直径とする円を基準に、LDの長さの弦とによって切り取られる円弧を引き伸ばすことでエンタシスを作成し、UD=LDであるA2のケースは円弧が発生しないことから、さらに改良した新たな設計法を仮定した。(図-3)

- (1) UD=LDの直径をもつ2つの円を直径で接する様に配置する。
 - (2) 線分UD、LDの両端を通る円を描き、UD、LDによって切り取られる円弧を求める。
 - (3) オランダス設計法と同様、hの高さまで円弧を引き伸ばす。
- 以上で求めた各ケースの曲線について、UDとLDを直線で結んだ線分の中点からの水平距離をエンタシスの膨らみ量(Δe)とする。以上によって求めたΔeを表-1に示す。また、オランダスの実測値から計算して求めたパルテノン神殿のエ

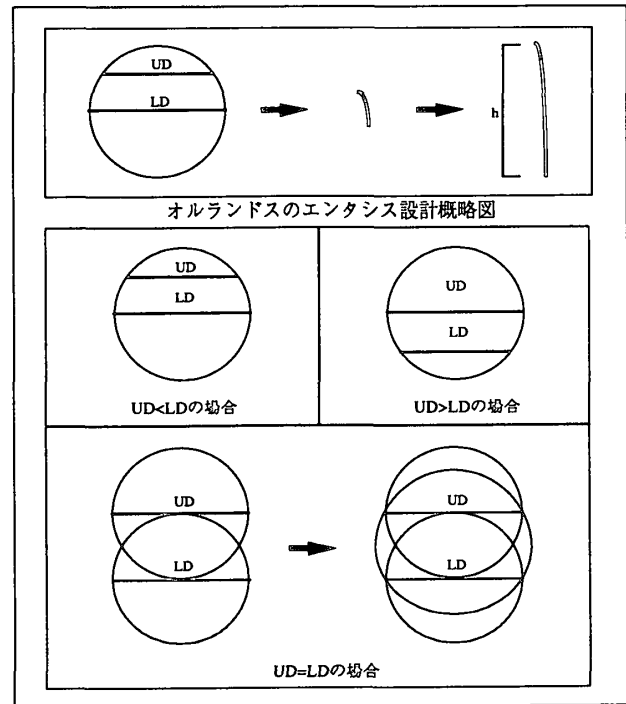


図-3 エンタシス作成のための円弧抽出法概略図

表-1 エンタシス量Δeの値

	上部直径UD (mm)	下部直径LD (mm)	エンタシス量Δe (mm)
A1-C1	1,425.6	1,900.8	-60
A1-C3	1,425.6	1,900.8	+60
A2-C1	1,900.8	1,900.8	-120
A2-C3	1,900.8	1,900.8	+120
A3-C1	2,376.0	1,900.8	-64
A3-C3	2,376.0	1,900.8	+64

ンタシス最大値は柱によって少し異なるが、16.31(mm) < Δe < 19.76(mm)である。注10)

(iv) フルーティング

フルーティングは柱身部に彫り込まれた縦溝のことであり、パルテノン神殿には1つの柱に20本の溝が施されている。この設計においてもエンタシスと同様、オランダスのフルーティング設計法(注11)を基本とした。

(図-4) その設計法によると、柱上部と下部では作図法が異なり、それぞれのフルーティング先端での直径(UD、LD)が決まればその作図法によって、フルーティングの深さが求まる。ここでは、柱身部の中間点でのフルーティング深さ(Δfm)の求め方について述べる。

(図-5)

- (1) まず、柱中間点でのフルーティングの深さ(Δfm)は以下の式により求められる。

$$\Delta fm = (MD/2) - (MD'/2) \quad \dots \dots (1)$$

$$MD = \{((UD/2) + (LD/2))/2 + \Delta e\} \times 2 \quad \dots \dots (2)$$

$$MD' = \{((UD'/2) + (LD'/2))/2 + \Delta e'\} \times 2 \quad \dots \dots (3)$$

- (2) オランダスのフルーティング設計法に従い、柱上部

と下部のフルーティング深さ ΔfU 、 ΔfL を求め、その値からフルーティング底部での上部直径(UD')と下部直径(LD')を求める。

(3)前項のエンタシス設計法を用い、UD'、LD'の値を当てはめるとフルーティング底部でのエンタシス量($\Delta e'$)が求まる。

(4)上述の計算式(1)~(3)によって、柱中間部でのフルーティング深さ(ΔfM)が求まる。

(V) 柱頭

神殿の柱の上端部には、エキヌスとアバクスからなる柱頭が置かれている。本研究において、この柱頭はパラメータとして取り扱っていないが、前述の上部直径(UD)がパラメータとして変化する為、それに従って、パルテノン神殿の柱頭をもとに高さと幅を比例倍した。

以上の柱モデル作成の為のパラメータ数値は表-2の通りである。尚、基壇部分とアーキトレイヴ・ペディメント・屋根の部分の形状は変化しないものとした。これらのパラメータを組み合わせてできる54パターンの神殿ファサードをもとにヒアリング調査を行なうこととした。(図-6)

4-4. 第1次予備調査

(1) 調査の目的と方法

第1次予備調査は、第2次予備調査の前段階として調査の進め方、問題点の把握を目的に行なった。調査の要点は、神殿のファサードに対して、被験者がバランス感、スケール感、威圧感、好き嫌いなどの点で、どのような印象を受けるかということである。

調査場所としては、会議室、大学の研究室、教室などを使い、時間帯は原則として日中に行なった。被験者は男性10名、女性4名の合計14名で、建築を専門としている、いないに関わらず、アトランダムに一般社会人と学生を抽出した。

被験者へのモデルの見せ方は、被験者一人に対し、54枚のモデルパターン図を1枚ずつ見せながら、それから受ける印象について自由な回答とその理由を求めた。モデルを見せる順序は任意である。

(2) 調査の結果と問題点

第1次予備調査によって得られた被験者の様々な回答、意見の中から21項目の形容詞対にまとめて整理した

ものが表-3である。これにより、被験者がどのような観点で判断しているのかが大まかではあるが読み取れる。しかし、印象を表現する言葉が同じであるような場合でも、個人個人でその評価尺度が異なることが判った。また、調査方法については、被験者一人に対する調査時間が当初の計画より大幅に長くなり、被験者の集中力という点から再検討する必要がでてきた。

4-5. 第2次予備調査

(1) 調査の目的と方法

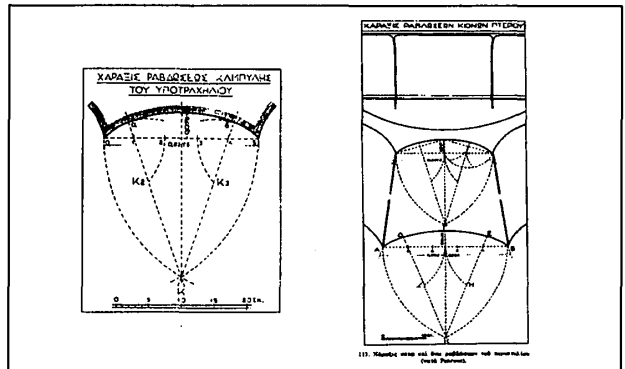


図-4 オランダスのフルーティング設計法

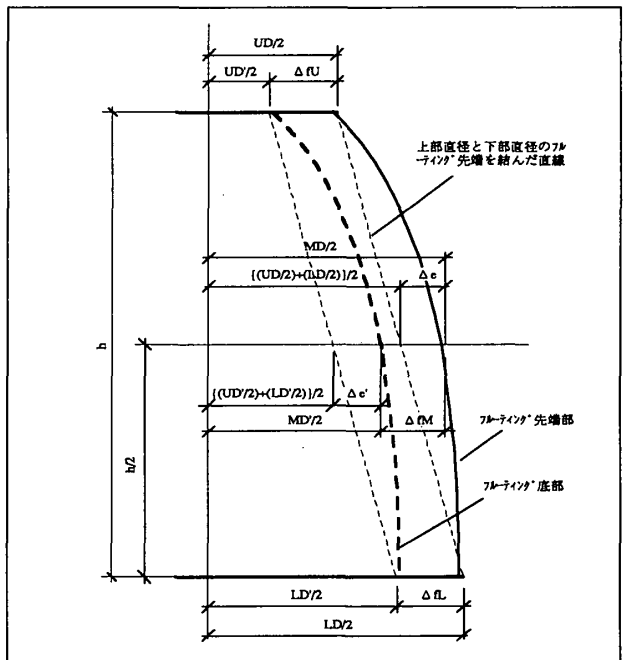


図-5 フルーティング ΔfM の求め方の図

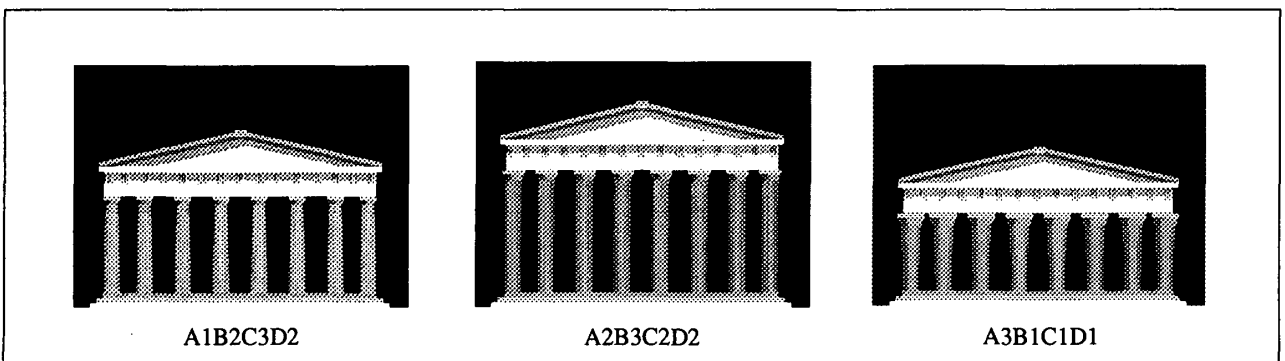


図-6 ファサードモデル図 (一部)

第2次予備調査は第1次予備調査の結果と考察をもとに、調査の進め方や問題点を改善し、実際のヒアリングデータを収集することを目的とし、本調査の準備段階として位置付ける。

以下に具体的調査の方法を示す。

a) モデルパターン図のグループ化

被験者一人に対し、すべてのモデル(54パターン)を見せ、調査する事が望ましいが、第1次予備調査の結果から調査時間がかかりすぎる事、被験者の集中力が低下する事などの問題点が考えられる為、モデル図全体を6つのグループに分け、一人の被験者には9パターンのモデル図を見せることとした。これにより6人の被験者のデータが集まって全パターンデータのデータ1ケース分が収集されることになる。(表-4)

b) ヒアリング項目(評価項目)

第1次予備調査で得られた21のヒアリング項目(表-3)を分類・整理し、最終的に以下の5項目に絞り込んだ。これにより、ヒアリングにかかる時間を短縮することとした。

- 好き-嫌い
- 美しい-醜い
- 女性的-男性的
- 洗練された-素朴な
- バランスが良い-バランスが悪い

c) ヒアリング

モデルの印象をヒアリングする際、前に見せたモデルとの比較や影響によって対象モデルを評価したりすることが考えられるが、これらの問題を避けるために以下の方法をとった。

(i) モデルのグループ化を行なう時、パラメータの変化が1つに集中しないようにする。

(ii) 前に見せたモデル図と比較しないように、事前に注意を与える。

(iii) 調査の判断基準をできるだけ一定にするため、被験者の回答を聞いて、調査員がヒアリング項目の5段階評価を行う。

(iv) 調査結果を定量的に捉えるために、5つのヒアリング項目についてSD法に似た5段階評価を行なう。SD法では直接被験者がランクづけするのに対し、この調査では、ヒアリングを進めていく中で、被験者ではなく調査員がその評価項目のランクづけを行なう。従って、繰り返しの調査は行なわなかったが、聞き取りという部分では、デルファイ法的要素が強い調査である。

d) 被験者

被験者は、合計120名である。これらの内訳は、有知識者60名(建築を専門にしている者)、非知識者60名(建築を専門にしていない者)である。それぞれ10人ずつの計20人からなるグループを6つ作った。その人数の割合は表-5に示す通りである。また男女の割合は男性

表-2 柱モデルのパラメータ数値一覧

	A	B	C	D
1	UD=1,425.6 LD=1,900.8	h=7,173.6	A1: Δe=-60 A2: Δe=-120 A3: Δe=-64	A1 ΔDM=45.3 ΔDM'=45.8 Δfo =40.3
2	UD=1,900.8 LD=1,900.8	h=9,564.8	A1: Δe=0 A2: Δe=0 A3: Δe=0	A2 ΔDM=60.4 ΔDM'=43.8 Δfo =53.1
3	UD=2,376.0 LD=1,900.8	h=11,956.0	A1: Δe=60 A2: Δe=120 A3: Δe=64	A3 ΔDM=64.9 ΔDM'=44.7 Δfo =59.9

(単位: mm)

表-3 第1次予備調査による評価項目抽出結果一覧

魅力がある	-	魅力がない
整然とした	-	雑然とした
快い	-	不快な
好き	-	嫌い
美しい	-	醜い
安定感がある	-	不安定な
落ち着きがある	-	落ち着きがない
秩序がある	-	無秩序な
一体感がある	-	一体感のない
暖かい感じ	-	冷たい感じ
広々とした	-	狭苦しい
柔らかな	-	固い
斬新な	-	古めかし
大きな感じ	-	小さな感じ
重厚な	-	軽快な
女性的な	-	男性的な
印象的な	-	インパクトのない
洗練された	-	素朴な
威圧的な	-	親近感のある
遠近感がある	-	平面的な
バランスが良い	-	バランスが悪い

表-4 モデル図のグループ分け一覧表

	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6
1	A2-B3-C1-D1	A2-B3-C2-D2	A2-B2-C2-D2	A2-B3-C1-D2	A2-B3-C2-D1	A2-B2-C2-D1
2	A3-B1-C3-D2	A3-B1-C1-D2	A3-B1-C2-D1	A3-B2-C1-D1	A3-B2-C2-D2	A3-B3-C1-D1
3	A1-B3-C3-D2	A1-B3-C1-D2	A1-B3-C2-D1	A1-B1-C1-D2	A1-B1-C2-D2	A1-B1-C3-D1
4	A2-B1-C2-D2	A2-B1-C3-D2	A2-B1-C1-D1	A2-B2-C3-D2	A2-B2-C1-D2	A2-B1-C1-D2
5	A1-B1-C1-D1	A3-B3-C3-D1	A3-B2-C3-D2	A3-B1-C3-D1	A3-B1-C1-D1	A3-B2-C3-D1
6	A3-B3-C2-D1	A1-B1-C2-D1	A1-B1-C3-D2	A1-B3-C3-D1	A1-B3-C1-D1	A1-B3-C2-D2
7	A2-B2-C3-D1	A2-B2-C1-D1	A2-B3-C3-D1	A2-B1-C2-D1	A2-B1-C3-D1	A2-B3-C3-D2
8	A3-B2-C1-D2	A3-B2-C2-D1	A3-B3-C1-D2	A3-B3-C2-D2	A3-B3-C3-D2	A3-B1-C2-D2
9	A1-B2-C2-D1	A1-B2-C3-D1	A1-B2-C1-D2	A1-B2-C2-D2	A1-B2-C3-D2	A1-B2-C1-D1

表-5 6つのグループ人数表 (単位: 人)

	有知識者		非知識者		計	
	男	女	男	女	男	女
G-1	10	0	1	9	11	9
G-2	9	1	0	10	9	11
G-3	9	1	0	10	9	11
G-4	9	1	1	9	10	10
G-5	8	2	0	10	8	12
G-6	7	3	2	8	9	11
小計	52	8	4	56	56	64
合計	60		60		120	

表-6 ヒアリング調査結果人数集計一覧表 (一部)

	好き-嫌い				美しい-醜い				女性的-男性的				洗練された-素朴な				バランスが良い-悪い								
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
A1B1C1D1	6	5	0	5	4	4	7	1	4	4	9	5	1	4	4	3	8	0	5	4	2	7	0	2	9
A1B1C1D2	10	5	1	2	2	11	4	2	3	0	14	4	0	2	0	6	5	1	4	4	12	5	1	2	0
A1B1C2D1	12	2	2	2	2	12	1	3	4	0	6	5	3	1	3	6	4	0	8	2	10	7	0	3	0
A1B1C2D2	10	2	1	3	4	12	1	2	2	3	9	3	1	4	3	7	3	0	5	5	10	2	0	5	0
A1B1C3D1	4	7	2	4	3	4	5	5	4	2	4	1	1	10	4	3	3	6	3	6	7	0	5	2	1
A1B1C3D2	10	4	1	4	1	12	3	4	1	0	7	4	2	0	7	5	3	1	4	4	11	6	0	2	1
A1B2C1D1	9	5	2	3	1	10	6	2	2	0	7	8	2	3	0	7	7	0	3	3	7	0	6	0	0
A1B2C1D2	15	1	0	1	3	14	2	0	3	1	12	6	1	1	0	13	3	0	2	2	12	4	0	3	1
A1B2C2D1	13	5	1	0	1	13	5	2	0	0	6	7	3	1	3	10	6	1	3	0	15	2	0	3	0
A1B2C2D2	18	1	0	1	0	17	2	1	0	0	11	5	2	1	1	13	4	0	2	1	12	5	0	3	0
A1B2C3D1	12	3	1	2	2	14	6	0	0	0	11	4	1	1	3	10	6	0	3	1	13	6	0	1	1
A1B2C3D2	15	3	0	2	0	16	3	1	0	0	10	3	5	1	1	12	5	0	1	2	14	4	0	2	1
A1B3C1D1	9	6	1	1	3	10	7	0	2	1	13	3	1	0	3	10	4	2	1	3	7	2	1	4	6
A1B3C1D2	8	0	3	4	3	10	3	3	2	2	10	6	1	2	2	6	4	0	7	3	3	4	1	5	7
A1B3C2D1	8	7	1	3	3	12	3	1	3	1	14	3	0	2	1	8	7	1	3	9	6	0	4	1	1
A1B3C2D2	11	5	0	2	2	8	8	0	4	0	8	6	4	1	1	9	6	1	4	1	10	3	0	5	2
A1B3C3D1	14	2	1	2	1	15	4	0	1	0	14	5	0	1	0	13	2	0	3	2	10	4	0	4	2
A1B3C3D2	16	1	1	1	1	13	6	1	0	0	10	2	4	0	4	15	3	0	1	1	9	2	0	2	7

56名、女性64名であった。(表-5)

(2)調査の結果

第2次予備調査における5段階の評定尺度の人数集計を各パターン毎に行なったものを表-6に示す。次に各パターンを相対的に比較する為に、度数に置き換えることとした。例えば、『好き-嫌い』の項目において、非常に好き(2点)、やや好き(1点)、どちらでもない(1点)、やや嫌い(-1点)、非常に嫌い(-2点)として、人数との積を求めそれぞれを合計する。(式-4)このようにして、各パターンに対しての評価を数値で示し、重みづけをした。5つの評価項目で『好き』『美しい』『女性的』『洗練された』『バランスが良い』をプラスの評価とした。その結果が表-7である。

$$(O \times 2) + (P \times 1) + (Q \times 0) + (R \times (-1)) + (S \times (-2)) \dots (4)$$

O:非常に好き P:やや好き Q:どちらでもない
R:やや嫌い S:非常に嫌い

次に上記の方法で得られた度数をグラフ化することで、各パターン毎の傾向とパラメータについての評価・考察を行なうこととした。しかし、すべてのデータを1つのグラフに表わすのは困難であるため、1つのパラメータについてまとめ、評価項目別に5つのグラフで比較検討することにした。

4-6. 考察

(1)モデル別レーダーチャート図(図-7)

各モデルについて評価項目別度数をレーダーチャート図にした。54個のうち特徴的なものについて述べると、A1-B2(上細り、柱身高さパルテノンと同じ)に属するものは全体的に評価が高い。その中でも特に、

A1B2C2D2, A1B2C3D2は『好き』『美しい』の項目で、度数40近くあり、他の3項目でも度数30前後ある。ところが、これらに対して、A3(上太り)に属するものは、全体的に評価が低く、その中でもA3B1C3D2, A3B2C2D1, A3B3C2D1等は特に評価が低い。

このレーダーチャート図から、『柱の上細りの有効性』と『高さバランスが人の評価判断に大きく影響すること』が判った。これらの関係についてさらに詳しく評価項目別で検討することとした。

(2)評価項目別折れ線グラフ(図-8)

縦軸に度数をとり、横軸にパラメータの組み合わせでできるパターンを順に並べる。度数の高い方が評価が高い、あるいはその評価項目の傾向が強いという判断が得られることになる。まず下部直径に対する上部直径の変化(A1, A2, A3)について、それぞれ折れ線グラフを描くものとする。横軸にはパラメータ(B, C, D)の組み合わせでできるパターンを順に並べる。折れ線の高さ位置によってA1, A2, A3の比較が可能となり、また横軸の左から6つ目までは、柱高さB1についての傾向が、真ん中6つ

表-7 モデル別度数表 (一部)

	好き-嫌い	美しい-醜い	女性的-男性的	洗練された-素朴な	バランスよい-悪い
A1B1C1D1	4	3	14	1	-9
A1B1C1D2	19	23	30	5	27
A1B1C2D1	20	21	6	4	24
A1B1C2D2	11	17	11	2	11
A1B1C3D1	5	5	-9	-3	10
A1B1C3D2	18	26	4	7	24
A1B2C1D1	18	24	19	12	15
A1B2C1D2	24	25	29	23	23
A1B2C2D1	29	31	12	23	29
A1B2C2D2	36	36	24	26	26
A1B2C3D1	21	34	19	21	30
A1B2C3D2	31	35	20	24	28
A1B3C1D1	17	23	23	17	0
A1B3C1D2	2	17	21	3	-9
A1B3C2D1	16	22	27	16	18
A1B3C2D2	21	20	19	18	14
A1B3C3D1	26	33	31	21	16
A1B3C3D2	30	32	14	30	4
.
.
.
.

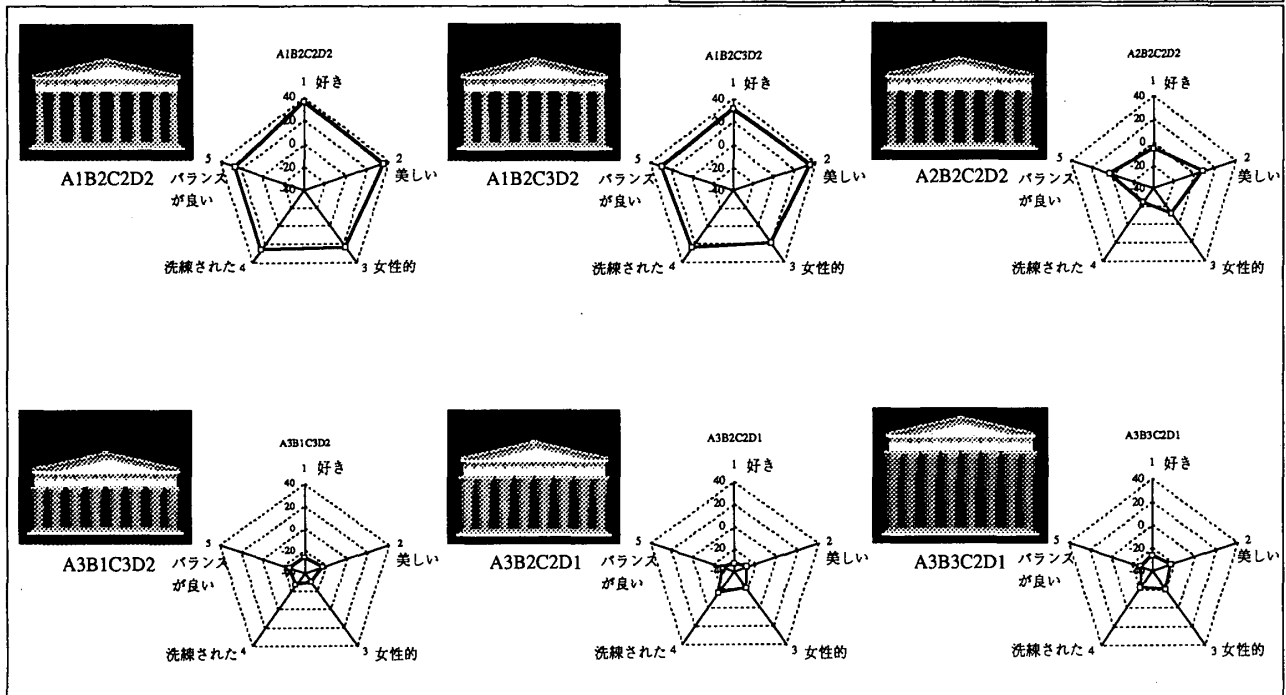


図-7 モデル別レーダーチャート図 (54パターンの内特徴的なものを掲載)

がB2、右から6つがB3の傾向を把握することができる。

5つの評価項目において、どの評価項目もA1,A2,A3の順で、評価が低くなっているのが判る。つまり、レーダーチャート図の考察で示したように、上部直径が、下部直径より小さい（テーパーのある）方が評価が高いことが明らかである。特に《好き》《美しい》のグラフでは、その差が明確に表われ、《バランス》のグラフでは上太り(A3)の評価はどのパターンも極端に低いことが判る。また、横軸の6つずつのグループ（高さ別）の比較では、それぞれのA1の折れ線の中ではB2のグループがどれも評価が高いことも判断できる。これに対して、B1、B3はその評価の高いものもあれば、低いものもあり、他の評価要因が絡んでいる様に思われる。結果として、テーパーがあり、かつ柱高さが極端でないものの評価が高いということが言えるようである。

(3) パラメータ別レーダーチャート図 (図-9)

パラメータ別については上述の比較分析と異なり、人数集計の段階で、1つのパラメータに関するパターンを全て合計し、それに重みづけを行なった。次にそれらをパラメータ別のレーダーチャートにグラフ化したものが図-9である。

Aのチャート図からは、評価項目別折れ線グラフでもその傾向はつかめたが、あらためてA1,A2,A3の各評価の違いがはっきりでている。つまり、上部直径が下部直径より小さいもの(A1群)は、《バランス》《好き》などの面で好ましいと判断され、これに対し、上部直径が大きいもの(A3群)はその逆である。そして、上部下部が等しいもの(A2群)はその中間である。

Bのチャート図では、全体的にB1の評価が他に比べて低いが、《バランス》の項目だけはB3の評価が最も低く逆転している。これは、柱がスマートに高くても必ずしもバランスが良いとは限らないという事であろう。又、《女性的》《洗練性》の項目では、B1,B2,B3の評価の差が大きい。つまり、下部直径に対して高さの低い柱をもつB1群は洗練性には欠けるが、男性的である。これに対し、これより細長い柱のB2群、B3群は女性的で洗練性に富んでいることがわかる。

Cのチャート図では、C2群が美しいと判断しながらも、《女性的》《洗練性》は低い。つまり、素朴であるが、シャープなラインが男性美を表わしていると評価されているようである。

Dのチャート図では、《バランス》の項目以外、D2群の方が評価が高く、被験者の印象に対するフルーティングの有効性が認められる。

5. まとめと課題

パルテノン神殿の柱形状を基本に、柱の4つのパラメータ（テーパー、柱身部高さ、エンタシス、フルーティング）の組み合わせでできる全54パターンの神殿ファサードモデルをCGを使って作成し、研究の予備調査とし

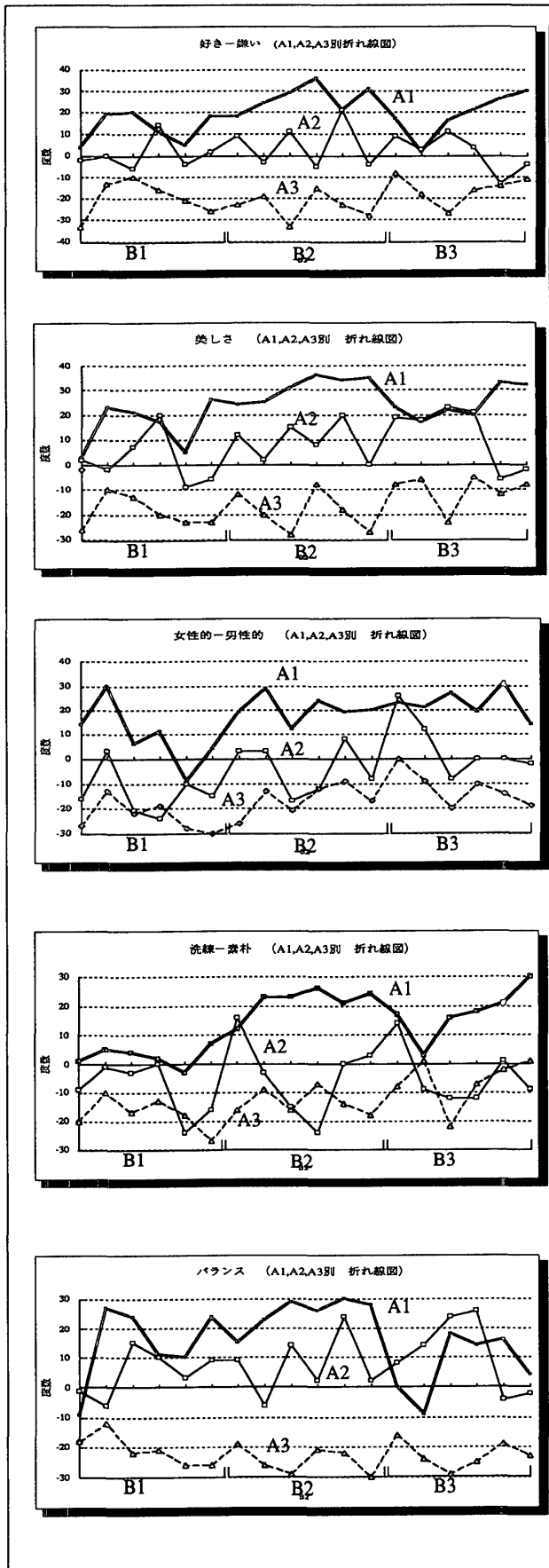


図-8 評価項目別折れ線グラフ

て120名の被験者から20のサンプルデータを収集した。これらのデータを度数に加工し、単純集計を行ない、得られた結果をまとめると、以下ようになる。

(1)柱の形状変化によって捉えられるイメージ評価には、上部直径(UD)の変化と柱高さが大きく影響を及ぼす。特に、A1-B2のグループつまり柱の上細り(テイパー)があり、且つ柱身部高さがパルテノン神殿と同じものは、全体的に評価が高い。

(2)エンタシスやフルーティングは、その曲線的な柔らかさやエッジの強調などによって、影響を与える若干の評価に補助的な役割があることが判った。

(3)上部直径以外のパラメータの評価では、その効果が複雑に影響しあって、各モデルの判断、評価につながっているようである。

以上のように、ギリシア神殿の円柱は単純な形状ながら、そのデザインは全体のイメージにかなり大きく影響を及ぼすことが明らかになった。とくに円柱のテイパー(上細り)は重要であり、従来エンタシスやフルーティングのような工夫だけが注目されがちであったが、円柱そのものの基本的な形状としてのテイパーは、パルテノン神殿のみならずギリシア神殿の意匠的特徴としてもっと評価されてもよいだろう。またパルテノン神殿に見られるようなほんのわずかなエンタシスも、本研究で見ることができ、必ずしも黒田のいうような徒労だったわけではなく注12)、実際には微妙な視覚的影響を及ぼしていることがわかった。

同時にこの予備調査によって以下のような方法論上いくつかの改善すべき点も明らかになった。

a).出力図の精度：モデリング精度に対する出力図の精度が粗い。

b).視点の設定：ファサードではなく、人の目の高さから見た立体的な神殿の見え方の検討が必要である。というのは、人間が実際の神殿を見るのは、立面図ではなく地面に立った時の目の高さで見えるからである。また、パルテノン神殿をはじめとするギリシアのアルカイック時代からクラシック時代の神殿は、神域の入り口が神殿に対して斜めに配置されており、神殿の正面と側面が同時に見える、立体感の強い見え方になっているからである。

c).調査条件：ヒアリング時の環境条件を一定に保つことが必要である。今回の調査ではA4サイズのCG出力図を直接被験者に見せたが、調査員が被験者の所に出向き、その研究室など適当と思われる場所でヒアリングを行った。しかしながら、環境条件の違いが調査結果に微妙な違いを及ぼすことも考えられ、この点の改善が必要と思われる。

d).調査データの分析手法：単純集計による評価だけでなく主成分分析や因子分析などの分析手法の検討を行なう。

そこで、第2稿では、これらの問題点に対して修正・改良を加えて本調査(第1回~第4回)を行ない、さらにその分析結果について報告する。

最後になるが、今回用いたCGについて建築史研究の立場から述べておこう。本研究では、パルテノン神殿の意匠的评价を行うのに、最近飛躍的に発展しているCGの技術を用いた。CGでは三次元の立体をコンピュータ

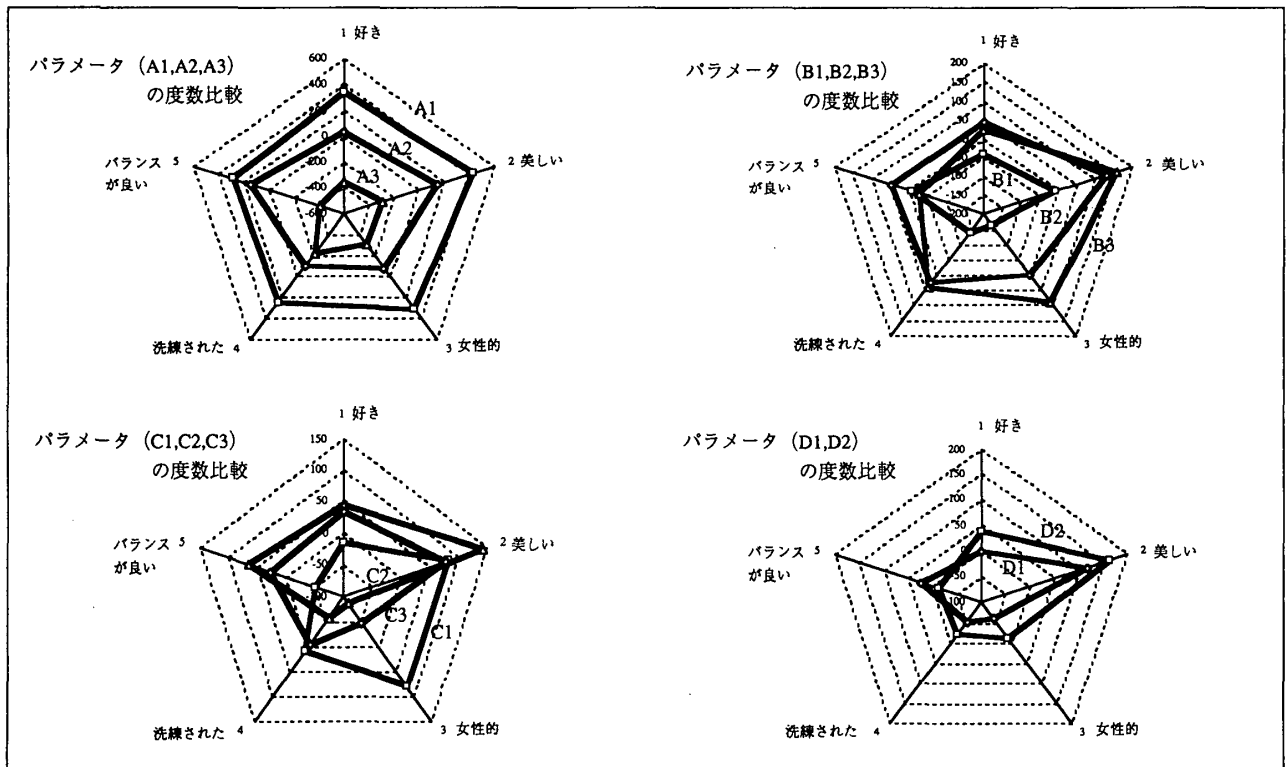


図-9 パラメータ別レーダーチャート図

内で作成（モデリング）し、表面加工（レンダリング）をすることによって、実際の建物と同じ形状やテクスチャーを再現できるし、今回の研究のようにその形状を変えることさえ容易である。また、とくに古代の建築は、パルテノン神殿のように建築遺構が建設当時の外観をまだとどめている場合はともかく、そのほとんどが柱や壁の失われた遺跡になっている場合が多く、形状情報としては、遺構の写真と復元された平面図や立面図あるいは特定の視点から描かれた透視図程度である場合が多い。そのような時、CGによって三次元的に復元された建物の画像は、建物の持つ意味や視覚的効果、あるいは周囲の環境の中におけるその建物の景観の特徴などを評価する場合に大いに役立つものと思われる。その意味で、CGは今後の建築史研究にとって、現在考えられる以上に便利で重要な道具になるものと考えられ、建築史研究に新たな道を開くことになるものと思われる。

謝辞

本研究に協力頂いた、熊本大学名誉教授堀内清治氏、熊本大学工学部建築学科教授三井宜之氏、同修士課程安川智君（現（株）梓設計）、山口誠二君（現（株）佐藤工業）、熊谷秀和君、同建築学科4年井上寛君に感謝の意を表します。

なお、本研究は、熊本大学とハザマによる共同研究『コンピュータ・グラフィックスによる古代ギリシア建築の復元およびその構造特性の評価』（平成2年～4年文部省研究区分A）の一環として行なわれた。

注

1) 本研究は、伊藤重剛、下川弘、他2名「地中海古代都市の研究(62)」、(63)日本建築学会九州支部研究報告 第33号・3 計画系 1992年3月 pp.345-352 をまとめ、これにその後考察した新たな知見を加えたものである。

2) 一般的なギリシア建築のリファインメントに関しては、グッドイヤーによる Goodyear, William Henry "Greek Refinement" Yale Univ. Press, 1912 がよく知られており、基壇の傾斜、円柱の傾斜とエンタシス等について述べられている。

円柱の形状に関しては、19世紀のペンローズの研究をはじめ、ディンズムア、オルランドスなどの研究がある。特にペンローズの研究は、精密な実測調査に基づいており、エンタシスやフルーティングの曲線の形状を分析し、理論的な曲線を提案している。ペンローズ以後、ギリシア・ローマ建築に使用されている曲線の形状や、その効果などに関する研究はいくつも行なわれてきた。これらの文献に関しては、Dinsmoor, W.B. "The Architecture of Ancient Greece", New York, 1975, rep. of 3rd ed., の後注に詳しいので参照されたい。

最近の知見では、ハーゼルベルガーによるディディマのアポロ神殿で発見された円柱の設計図に基づいた研究が目される。Hazelberger, L. "Werkzeichnungen am Jungeren Didymion" IstMitt 30, 1980, pp.191-215; "Bericht über die Arbeit am Jungeren Apollontempel von Didyma" IstMitt 33, 1983, pp.90-123;

"Werkzeichnungen des Naiskos im Apollontempel von Didyma" in 'Bauplanung und Bauphysik der Antike', Deutsches Archaeologisches Institut, Berlin, 1983. pp.11-119.

日本での最近の研究では、視覚の恒常性の研究を背景にした黒田正巳の「ギリシアの修整 (refinement)の視知覚的解析」

(日本建築学会計画系論文報告集 第416号,1990年10月, pp.135-143.)があり、ギリシア建築のエンタシス以外のリファインメントの大半は徒勞ではなかったかと述べている。

3) Penrose, F.C. "An Investigation of the Principles of Athenian Architecture", Washington D.C., 1973, rep. p.39. ; Orlandos, A.K. "Architektonike tou Parthenonos" Athens, 1977, p.148. ; Dinsmoor, W.B. "The Architecture of Ancient Greece", New York, 1975, rep. of 3rd ed., p.338.

4) パルテノンの部材寸法については、ペンローズ、ディンズムア及びオルランドスの実測寸法があるが、同じ部分の実測寸法にわずかではあるが違いがある。したがって、これらの違いを検討した上で、部材寸法の理論値を用いた。理論値の誤差はいずれの場合も、最大2cm程度であり、かなり精度の高い数値である。

5) Dinsmoor, ibid. p.338, Orlandos, ibid. p.148, 193.

6) Dinsmoor, ibid. p.338の実測寸法から、柱高をH' 下部直径をLDとして、柱高/下部直径 (H'/LD) を求めると、コリントのアポロ神殿:

$H'=7,240\text{mm}$, $LD=1,744\text{mm}$ (正面), $H'/LD=4.15$

オリンピアのゼウス神殿:

$H'=10,430\text{mm}$, $LD=2,250\text{mm}$ (正面), $H'/LD=4.64$

パエストゥムのポセイドン神殿:

$H'=8,880\text{mm}$, $LD=2,112\text{mm}$ (正面), $H'/LD=4.20$

アテネのパルテノン神殿:

$H'=10,433\text{mm}$, $LD=1,905\text{mm}$ (隅以外), $H'/LD=5.48$ となる。

本研究でのモデリングでは、柱高/下部直径の比率を求めるのにこれらを参考とした。

7) これについては、Dinsmoor, ibid. p.338の実測寸法から、柱頭の高さを除く柱身部の高さ(H)を29 1/4ftつまり9.5648mとした。ただし、1ft=0.327mである。

8) Penrose, ibid., p.41; Dinsmoor, ibid., p.168

9) Orlandos, ibid, p.164

10) 伊藤重剛、近間久美子「地中海古代都市の研究(61) - 古代ギリシア建築の円柱におけるエンタシスの作図法-」1992年3月, 日本建築学会九州支部研究報告第33号pp.341-344を参照。

11) Orlandos, ibid, p.176-177

12) 注2で取り上げた黒田の前掲書を参照されたい。

(1994年9月1日原稿受理, 1995年3月22日採用決定)