立体角比と心理的負荷の相対性による黄金分割に関する考察

GOLDEN SECTION BY THE RELATIVITY BETWEEN SOLID ANGLE RATIO AND PSYCHOLOGICAL STRESS

荻谷 哲朗*

Tetsuro KARIYA

The information system constructed as an visual cognition model through solid angle ratios shows the results below.

1. If the schemata is constructed by the perceptual circulation through the process of education and experience, solid angle ratios 1 : golden proportionⁱ (= 1 : 0.61803399ⁱ) can be corresponded to psychological stresses 1: 2ⁱ.
2. By the design works, psychological stress can be set to any plus proportion, so that relativity between solid angle ratio and psychological stress can be controlled to explain orders such as Greek on the same system above.

Keywords : *proportion, solid angle ratio, golden section
entropy, value, efficiency*

プロポーション, 立体角比, 黄金分割, 平均情報量, 評価, 効率

1. はじめに

プロポーションに関連しては、ル・コルビュジェによるモデュールの理論^{文1)}、ジェイ・ハンピッジによるダイナミック・シンメトリー^{文2)}、エルンスト・モーゼルによるクライス・ジェオメトリ^{文2)}などが著名であるが、日本に於ても、丹下^{文3)}、池邊^{文4)}をはじめ、多くのモデュール研究が行われた。柳は西洋のみならず建築を含む美術作品について規準線と黄金比による分析をしている^{文2)文5)}。最近の建築立面に関する黄金分割の研究としては、ミース・ファン・デル・ローエの作品を取り扱った一連の佐野の研究があり^{文6)文7)}、また、ル・コルビュジェの作品を取り扱った一連のプラダンと浅野による研究があげられる^{文8)文9)}。いずれも立面が黄金比に分割される建築があることを明示しているが、黄金分割を人間の知覚システムや情報システムの問題としてはとらえていない。

ここに於て、本論文の目的は、人間の視覚情報システムを立体角比と人の直接的な印象評価によらない心理的負荷(評価値_{負荷})を通じてモデル化し、情報システムの中での問題として扱い、モデル上での立体角比と評価値_{負荷}との相対性から導き出される黄金分割につい

での検証にあり、メディアとしての建築の、面情報の黄金分割による制御に関するコードの提案である。

2. 基本的用語の定義

① プロポーション, シンメトリーとハーモニー

ウィトルウィウスの建築書では、建築的構成に於て、「……ギリシア語でアナログアといわれる比例から得られる。比例とは、あらゆる建物において肢体および全体が一定部分の度に従うことで、これからシュメトリアの理法が生まれる」ものとして、シュメトリアが示されている^{文10)}。これは、「建物各部の寸法の比が簡単な数字であらわされることである」^{文11)}。部分の形態の決定に於てそれを取り巻く部分との相対的關係が重要であり、また、一方で、部分の意味や評価により決定・微調整されるべき事が述べられている。そうした均衡状態の追及の結果としてシュメトリアの達成に繋がる事が、具体的な例を示しつつ述べられている。

「プロポーションは、審美的に見て特定の対象の不等の部分と全体との関係が一致ないしは調和している事をいう。シンメトリーが

* 空間・計画研究所 建築家・博士(工学)

Architect, SPAN: Space Planners, Urbanists and Architects, Dr. Eng.

図1 プロポーションとハーモニーの関係

図2 黄金比数列の定義と二項対立関係の図式

同一平等の部分と部分の関係を意味し、全体との関係より部分相互の関係を強調するのに対し、プロポーションはその逆の関係を重視する。また量的な関係を重んずる点で、質的な関係を重んずるハーモニーと区別される。「ハーモニーはそれぞれ性質を異にする二つ以上の各部分が、一つの全体的統一を形成して、しかもそこに美的な均衡が見いだされる場合をいう」^{文12)}。

即ち図1に示される様に、全体 the whole X_n を、1本の遮蔽縁 occluding edge で、部分 portion X_{n+1} と X_{n+2} に2分割する事ができるとすれば、プロポーションとハーモニーを成立させる遮蔽縁は、形態的に全体を分割する結果として、それぞれの部分の持つ重要性 magnitude としての意味 m_{n+1} と m_{n+2} の相対的關係を調和させる様に規定する事になる。

プロポーションとハーモニーは図3のように、同じ幅をもつ2つの長方形の関係を考える事ができる。こうした2つの部分の關係は、特にその部分の幅が0に近似されるときには、図4のように2線分の長さの關係となる。これにより、2つの長方形の面積の關係としてプロポーションとハーモニーを考えられる。これを更に発展させると任意の2つの部分の面積關係、または立体角(比)の關係になる。建築的要素の全てを線分や長方形に帰することは不可能であり、また建築には様々な装飾がありえ、矩形以外の形態も存在することを考えると、任意の2つの部分の面積又は立体角の相対的關係においてプロポーションを考察する事には意義があろう。

② 衝撃性眼球運動と滑動性眼球運動

人間の網膜の一部は視神経の密度が高く特別に解像力が良くなっており、視線の半径2.6度以内を中心窩、0.7度以内を中心小窩と言う。視覚的に対象を探索するとき、興味ある地点に向けて視線をつぎつぎに無意識にジャンプさせている。このような運動を衝撃性眼球運動 saccade と言う。また、中心窩のみが視覚に有用なのではなく、視覚情報の統合には、視力の劣る網膜周辺部からの周辺視も役割を果たしているようである。対象物がゆっくり動いているときは、対象を中心窩に捉えて、その動きに合わせて眼を無意識に滑らかに回転させて追跡している。滑らかな眼球の運動を滑動性追跡眼球運動 smooth pursuit eye movement という^{文13)}。中心視は、中心窩における、中心精密視の機能をもった衝撃性と滑動性追跡眼球運動の連続により短期記憶に蓄えられるものである。短期記憶に残りやすい視覚的情報の構造としては、こうした眼球運動上の2項間の關係であり、プロポーションが理解されるのは、主としてこの

図3 評価値 ϕ^n の異なる2長方形の場合

図4 評価値 ϕ^n の異なる2線分の場合

図5 立体角比、評価値 ϕ^n と効率分布

衝撃性と滑動性追跡眼球運動する中心視の領域であると考える。

③ 黄金比数列

黄金比はギリシア時代の外中比分割 division in extreme and mean ratio に由来するが^{文14) 文15) 文16) 文17) 文18)}、黄金比をモジュール体系として用いるには数列にすることが望ましく、黄金比数列として以下のように定義できる。

・等比数列 geometric progression :

$$a_n = \phi a_{n-1}; 1 > \phi > 0, a_0 > 0, n = 1, 2, 3, \dots$$

・フィボナッチ数列 Fibonacci sequence :

$$a_{n+1} = a_n + a_{n-1}$$

従って、両者を満たすとき、

$$\forall n, a_{n+1} = a_n + \phi a_n = (1 + \phi) a_n = (1 + \phi) \phi a_{n-1}$$

$$\therefore 1 = \phi + \phi^2$$

$$\phi = (\sqrt{5} - 1) / 2 = 0.61803399 \dots$$

また、黄金比数列の定義と二項対立関係を図示すると図2になる。

④ 知覚の許容誤差

アレキサンダーによれば、人間の知覚の特性の1つに弁別閾というものがあり、長方形に関しては2辺の比が6%変化してもそれを区別することはできない^{文19) 文18)}。従って黄金比0.61803399...に対して、0.58095195... (94%) ~ 0.61803399... (100%), 0.61803399... (100%) ~ 0.65511602... (106%)の間等は区別はできず、知覚の許容誤差となる。現実の建築の設計条件では、ディテールの意匠の効果で補正する他、建築全体側からのトップダウン処理的な黄金比等の適用と、建築のディテール側からのボトムアップ処理的な調整と葛藤の中で、最終的なプロポーシオンの均衡状態が上記程度の範囲において決定される。従って、本論文においても、上記の知覚の許容誤差に対する考慮がなされるものとする。

⑤ 立体角比

ギブソンは立体角を有する人間のまわりの包囲光について論じてきているが、写真は包囲光の一標本を記録したものであり、頭部で見ているものに類似すると言う^{文20)}。即ち立体角写影の魚眼レンズで撮影した写真でなくとも、写真で撮られたような包絡線で囲むことができる画像は近似的に立体角を有するとみなすことができる。

本論文では、全球 (4π sr, 720°) 上の任意の立体角の設定領域 $X = \bigcup_{k=1}^m x_k$ (100%) に占める部分領域 x_k の割合として立体角比 (%) を定義し分析する^{文21) 文22)}。

⑥ 評価値_{負荷}と図式

評価値_{負荷}というものは意味に属する。即ち、評価値_{負荷}というもの

図6 立体角比、評価値_{負荷}と最大効率

は、知覚循環^{文23)}により生じる、世界を認知したり外界に働きかけたりする土台となる人間の内的な枠組である予期図式 schemaの上に組立てられた心理的負荷であり、経験の産物である。評価値_{負荷}として、貨幣価値のようなものを設定した場合には、ほとんどの人に共有される図式を形成しやすいが、建築を含む情景の印象などの場合には、全ての人々が同じ経験をする事が不可能なため、個体差を考えるまでもなく、共通な図式の形成には限度があると予想できる。従って建築に関する基礎的素養がある水準に至っている被験者の場合においてはじめて、比較的共通の認知や評価に至る事を期待できる。評価値_{負荷}の基盤となる図式の形成は、十分な経験或は教育と、わかり易い情報の構造に依存していると考えられる。プロポーシオンが比較的わかりにくいのはプロポーシオンという言葉自体の意味が理解できないためにわからないケースが多いと考えられる。ここでは一定の建築的教育や経験を積みプロポーシオンに関する図式が形成された人々を対象として、そのプロポーシオンの認知モデルを考察するものであり、瞬間的にプロポーシオンの善し悪しが理解出来る水準に至っている人々の場合をモデルとして想定する。

⑦ テクスチャとレイヤー

境界が設定できない程意味が曖昧なもの同士は、そもそも2項対立の図式にのるとは言えず、そうした関係に於ては本論文におけるプロポーシオンは定義されない。この曖昧な状態を、2項に限らず、一般的な立体角を有する面にまで拡張して考えたときには、個別の面として識別されず、個別の遮蔽縁が識別されない部分についての問題であり、このような部分の状態を本論文ではテクスチャと呼ぶ。テクスチャは、形態的に曖昧で、内部構造のアイデンティティや構造がはっきりしないだけでなく、同時に、各部分の部分としての意味も曖昧な状態である。このような部分内部に関しては部分と全体との関係は生じない。建築の立面的構成を観察する視点は限り無いが、その全ての可能な視点において、内部のアイデンティティが生ぜずテクスチャとみなされる部分は、部分と全体との関係において重要度が低い。そして、より多くの視点から見てテクスチャとなりにくい部分は、よりアイデンティティが高く、重要度の階層構造においてより高い階層、すなわちより重要なレイヤー(層)に属すると考えることとする。

⑧ 平均情報量 (エントロピー)

立体角比は想定された視野全体に占める着目された部分の割合である。従って、中心視の範囲で視野を想定する時、瞬間的な眼球運動により想定された視野全体がスキャンされると仮定できるならば、その時注目された部分が人間の短期記憶に記録され、その部分の全体に対する比率が、全体に於て選択される確率、即ち生起確率に相当すると考える。また、一般的なアイデンティティの定義である「対象物を他のものから見分けている事、独立した実態として認めている事」は要するに「知覚 (認知) の対象物たるにふさわしい特性」であり、情報路として認知システムを設定している場合には、「対象物の認知という事象の生起特性」である。このアイデンティティの特性を最も単純に表現するものとして、1次元的に表現するならば、情報理論における認知という事象の生起確率である立体角比である^{文21) 文22)}。従って、シャノンの情報理論により、平均情報量 (エントロピー) を求めることができる。ここに於て、平均情報量は、与えられた対象の全ての部分々々が均質であればある程大き

なることから、与えられた対象の均質性の指標となる。

3. 立体角比と心理的負荷の相対性のモデルによる検証

① 1 因子情報路モデル^{注1) 文24)}

シャノンの情報理論では価値や意味を対象としていない。シャノンの情報理論が扱っているのは、形態的な情報(情報の物理的特性)である。これに対し価値や意味の一種である評価値_{負荷}をあわせて扱う1因子情報路モデルにおいて、記号の数 m を2項に限定した場合を検討してみると、注2)、図5、図6のようになる。特に図5を見るとわかる通り、2項についての評価値_{負荷}が等しいとき、即ち、 $I_1 = I_2$ ($v_0 = 1$) の時には、効率は平均情報量の事である。そして、この時更に2項についての生起確率が等しければ、効率=平均情報量は最大となる。記号同士の評価値_{負荷}が異なるほど、最大効率が低下し、また、最大効率即ち均衡状態を与える生起確率が大きくなる。注2)により2項の場合、評価値_{負荷}が $I_1 : I_2 = 1 : 2$ ($v_1 = 2^1$) のときには、効率が最大となる均衡状態における生起確率が、黄金比 ϕ になる事がわかる。本論文では、プロポーシヨンの視覚的情報処理のモデルとして、この2項のみの関係に着目した1因子情報路モデルをあてる事にする。ここで黄金比系列(比例定数 ϕ , $n = 1, 2, 3, \dots$)にある任意の2項 a_n, b_n について、大きいほうの項 a_n と、2項の大きさの和 $a_n + b_n$ の比を求め、注2)で求めた、評価値_{負荷} $1 : v_n$ の異なる2つの面から効率良く選択させる生起確率系列 p^*_n と、表1に於て比較すると、 $n = 0$, および、1, については、注2)により、両系列の完全一致が確認される。それ以上の n については、表1により誤差1%未満で一致する事が本論文において確認された。このように記号数2つの情報路における平均評価値_{負荷}をできるだけ小さくし平均情報量をできるだけ大きくする様な均衡状態における生起確率分布は、2項間の評価値_{負荷}の比 v_i が1:2である場合に丁度 $1 : 1 + \phi = \phi = 0.61803399\dots$ になるばかりでなく、一般に、2項間の評価値_{負荷}の比 v_i が1:2'の場合には、誤差1%未満で、 $1 : 1 + \phi^i = 1 / (1 + 0.61803399\dots^i)$ となる事が本論において確認された。

この2項(線、および、面)のみの関係に着目し情報路として設定された人間の視覚的認知システムモデル上では、評価値_{負荷}とは心理的負荷のことと言えるから、各記号ごとの心理的負荷が与えられているときに、「平均評価値_{負荷}をできるだけ小さくし平均情報量をできるだけ大きくする様な均衡状態に於ける生起確率分布」とは、「2項による平均心理的負荷をできるだけ小さくしつつ、2項の立

体角比をできるだけ均等にする均衡状態」である。従って、教育や経験により図式の形成ができるならば、「2項間の心理的負荷が均等であると認知できるとき、2項による平均心理的負荷をできるだけ小さくし、2項間の立体角比をできるだけ均等にする均衡状態にすると、2項間の立体角比は均等に2分割される」、また、「2項間の心理的負荷の2倍差が認知できるとき、2項による平均心理的負荷をできるだけ小さくし、2項間の立体角比をできるだけ均等にする均衡状態にすると、2項間の立体角比は黄金比に分割される」のみならず、「2項間の心理的負荷が2倍単位の等比級数的に認知されるならば、2項による平均心理的負荷をできるだけ小さくし、2項間の立体角比をできるだけ均等にする均衡状態では、2項間の立体角比が誤差1%未満で黄金比系列にのる」事を示している。

② 逆1因子情報路モデル^{注1) 文24)}

逆1因子情報路モデルを利用する事で、記号の数 m が2項に限られた場合では、情報源 $X = \{x_1, x_2\}$ の生起確率分布 $\{p_1, p_2\}$ が与えられているとき、そのような条件の下で、できるだけ平均評価値_{負荷}を小さくすると同時に、平均情報量をできるだけ大きくするような均衡値を与える情報路における評価値_{負荷}分布 $\{I_1, I_2\}$ を求める事ができる。

即ち、1因子情報路モデルの場合とは逆に、「2項間の立体角比が均等に2分割されるとき、2項による平均心理的負荷をできるだけ小さくする均衡状態にすると、2項間の心理的負荷が均等であると認知できる」、また、「2項間の立体角比は黄金比に分割されるとき、2項による平均心理的負荷をできるだけ小さくする均衡状態にすると、2項間の心理的負荷の2倍差が認知できる」のみならず、「2項間の立体角比が誤差1%未満で黄金比系列にのるとき、2項による平均心理的負荷をできるだけ小さくする均衡状態では、心理的負荷が2倍単位の等比級数的に認知される」事がモデル上で確認された。即ち、本論文における人間の視覚的認知システムでは、黄金比系列の分割の状態(立体角比 $1 : \phi^i (= 1 : 0.61803399\dots^i)$) が与えられるならば、そのようなプロポーシヨ(均衡値)を与える心理的負荷として、 $1 : 2^i$ が与えられ得る事が確認された。

従って、知覚循環的に1因子情報路モデルと逆1因子情報路モデルの結果をあわせて考察すると、黄金分割に従った建築を繰り返して経験したときには、 2^i で代表されるような、はっきりとした心理的負荷の差として記録され易くなることが期待できる。この事は、黄金分割が、わかりやすさや図式の形成しやすさと強い関連をもつ事を示すものであり、また知覚循環の結果として黄金分割に至る事を

表1 評価値_{負荷}の異なる2つの面から効率(単位評価値_{負荷}あたりの情報量)良く選択させる生起確率(立体角比)系列と、黄金比系列の比較

評価値 _{負荷} と効率=情報量/評価値 _{負荷} を極大にする生起確率		基準単位と、黄金比系列項との二項関係 $\phi = (\sqrt{5}-1)/2$			黄金比系列と、評価値 _{負荷} 毎の生起確率との対応関係		
v_n	p^*_n	a_n	b_n	$a_n + b_n$	$a_n / (a_n + b_n)$	$(a_n / a_n + b_n) / p^*_n$	error
記号の評価値 _{負荷}	記号の生起確率	基準単位	黄金比系列項	二項の和	基準単位項/二項の和	比例	誤差
$v_0 = 2^0 = 1$	$p^*_0 = 0.499999999$	1	$\phi^0 = 1.000000000$	$1 + \phi^0 = 2.000000000$	$1/(1 + \phi^0) = 0.500000000$	1.000000002	0.00%
$v_1 = 2^1 = 2$	$p^*_1 = 0.61803399$	1	$\phi^1 = 0.61803399$	$1 + \phi^1 = 1.61803399$	$1/(1 + \phi^1) = 0.61803399$	1.000000000	0.00%
$v_2 = 2^2 = 4$	$p^*_2 = 0.72449195$	1	$\phi^2 = 0.38196601$	$1 + \phi^2 = 1.38196601$	$1/(1 + \phi^2) = 0.72360680$	0.99877824	0.12%
$v_3 = 2^3 = 8$	$p^*_3 = 0.81165232$	1	$\phi^3 = 0.23606798$	$1 + \phi^3 = 1.23606798$	$1/(1 + \phi^3) = 0.80901699$	0.99675313	0.32%
$v_4 = 2^4 = 16$	$p^*_4 = 0.87716687$	1	$\phi^4 = 0.14589803$	$1 + \phi^4 = 1.14589803$	$1/(1 + \phi^4) = 0.87267800$	0.99488253	0.51%
$v_5 = 2^5 = 32$	$p^*_5 = 0.92300175$	1	$\phi^5 = 0.09016994$	$1 + \phi^5 = 1.09016994$	$1/(1 + \phi^5) = 0.91728818$	0.99380979	0.62%
$v_6 = 2^6 = 64$	$p^*_6 = 0.95326419$	1	$\phi^6 = 0.05572809$	$1 + \phi^6 = 1.05572809$	$1/(1 + \phi^6) = 0.94721360$	0.99365277	0.63%
$v_7 = 2^7 = 128$	$p^*_7 = 0.97235549$	1	$\phi^7 = 0.03444185$	$1 + \phi^7 = 1.03444185$	$1/(1 + \phi^7) = 0.96670489$	0.99418876	0.58%
$v_8 = 2^8 = 256$	$p^*_8 = 0.98398126$	1	$\phi^8 = 0.02128624$	$1 + \phi^8 = 1.02128624$	$1/(1 + \phi^8) = 0.97915742$	0.99509763	0.49%
$v_9 = 2^9 = 512$	$p^*_9 = 0.99086975$	1	$\phi^9 = 0.01315562$	$1 + \phi^9 = 1.01315562$	$1/(1 + \phi^9) = 0.98701521$	0.99610994	0.39%
$v_{10} = 2^{10} = 1024$	$p^*_{10} = 0.99486509$	1	$\phi^{10} = 0.00813062$	$1 + \phi^{10} = 1.00813062$	$1/(1 + \phi^{10}) = 0.99193496$	0.99705474	0.29%

意味している。即ち、仮に一度黄金分割が好ましいと評価されると、図式が形成されやすいために、知覚循環の結果として、再び黄金分割に従った対象を経験したときには、好ましいという評価を誘発しやすい事を支持している。フェヒナーはどんな比率をもつ長方形が最も美しく感じられるかを実験的方法により研究し、近似的に見ると350名の男女の被験者の75.6%が黄金比に近い長方形を美しいとしたという^{文14)文18)}が、このことはまた上記の結果を支持している。

また、この関係は心理量の判断に関するパワー法則 (Stevens の法則, 1957, 1961) ^{文25)},

$$J = k I^p$$

(J : 心理量の判断, I : 物理的強度, p : べき乗, k : 任意の定数) を満たしていることが注3)に示される。

4. 建築の黄金分割の事例分析

以下においては今までの議論が、一体、現実の建築的環境のなかでどの様に現象するかについて検討する。

3次元としての建築空間には、古典的には基本的に矩形をベースとする建築が多かったために、主として各々の立面を正面から見た場合の姿がその立面的印象を決定づけていたとみなすことができ、黄金分割も基本的な構成としてはその面上で考察することが適していた。しかるに、矩形の立面であっても様々な凹凸があるのが普通であり、アイレベルからの見上げの効果を考慮する必要がある場合が多く、一方現代では必ずしも矩形をベースとしない建築が増えていることもあり、3次元に適した黄金分割に類するプロポーションや美的効果を考慮することに意義があるようになった。そこで、将来を見据えて必ずしも矩形をベースとしなくともよい方法論として、立体角比を採用したわけである。しかしながら、本論文においては、まだ導入段階であるということで、わかりやすさのために矩形や線形に限定して分析を進めている。

① 比例関係と心理的負荷の関係

図7には、左側の黄金比長方形に対して、右側に黄金比系列で幅のみ調整した長方形が接した、2長方形の組合せが描かれている。更に、右側の黄金比系列の長方形は、逆1因子情報路モデルに基づく均衡状態における心理的負荷の表現方法として、ここでは技術的限界からモノクロームの濃度変化で表現する。心理的負荷としては、他には、たとえば、重量感、剛性、硬度、閉鎖感、色彩感、リズム感、安心感、安全性、安定性、公共性、...等、様々な意味の尺度が想定できる。そこでここで心理的負荷として、具体的に何を想定するかは、色々に考えられるが、ここでは類似の事例はないので、左側の黄金比長方形を白としたために、黒さの強度について検

討するのが適当と考えた。もし、左側の黄金比長方形が黒の場合には、右側を相対的に黒から白へと変化させることで、明度の強度についての検討にすることもできると考えられる。

- (1) 一番左の組合せでは左右の長方形の形態が同じで、かつ濃度が同じであるので、2長方形の関係は明らかに対等・並置である。
- (2) これに対し一つ右の組合せでは、立体角比が低減した分について濃度が増加されている。果たしてこの関係が調和のとれたものであるかは、人により判断が完全には一致しないだろう。しかしながら、濃度が全く同じ状態を想定してみると、濃度の加減により、少なくとも調和感が異なる事は多くの人が認め得るであろう。
- (3) もし、左から一つ右の組合せが、濃度が全く同じ状態のものよりは、調和感が高いとすれば、一連の組合せにより示されている様に、立体角比が低減した分について濃度を増加する事により、調和感が高まる事になる。定量的な濃度の加減については、全ての人が納得する保証はないが、こうした定性的な傾向については、多くの人が納得するものであろう。そして、こうした操作により調和が成立するならば、プロポーションは、立体角比で代表されるような、形態的特性のみにより決定されるのではなく、少なくとも、濃度の評価が重要な役割を担い得るのであり、おそらくは、心理的負荷が、何らかの形で重要な役割を果たしている事になる。

② ギリシア建築のオーダー

現実の建築の構成要素は複雑であり、全て矩形で考えられるようなものではない。しかしながら、図8～図13に示されたギリシア建築のオーダーのような場合には、近似的に、矩形で構成されていると考える事ができよう。また、ウィトルウィウスの建築書で示されたシュムメトリアは、一見、本論文における人間の視角的認知システムのように黄金比系列の分割の状態を示していないように見える。しかしながら、上記のシステムは、対立する関係にある2項間の心理的負荷の比例の2の指数系列と、2項間の立体角比の比例の黄金比系列が対応するというのであり、実は、デザイン・ワークとは心理的負荷を任意の正の比例に意図的に設定することである。このように、立体角比と心理的負荷の相対性に着目すると、ギリシア建築のオーダーのようなものも、同じシステムの尺度上で語ることができるのである。

図8d～13dのドーリア式 Doric Order, 図8i～13iのイオニア式 Ionic Order に従った古典的建築の立面の部分で検討してみると、特に、列柱廊 colonnade で構成される中間部については、前項①で検討されたような、心理的負荷の立体角比に与える効果、即ち、プロポーションに与える効果が見られる。

- (1) 図8d/図8i 屋根や梁などの上部構造を支持するものとして

図7 心理的負荷の異なる2長方形を効率良く知覚・認知させる比例関係の図式

の柱は、上部の加重を担っているが、ドーリア式の柱の柱身に比べて、イオニア式の柱の細身の柱身の意匠は靱性が高く、シャープな心理的負荷を与えるとすれば、列柱廊の部分の柱と開口部の立体角比は、イオニア式の方がドーリア式よりも柱の割合が少ないときに心理的負荷との均衡状態に近づくことになる。

(2) 図9d/図9i 独立柱で想定するとき、柱身が細身になると軸方向加重による曲がり、即ち、柱身の座屈強さの心理的負荷が弱くなると考えられるが、これは、支持力の心理的負荷が弱くなると言う事もできる。従って、エンタブレチュアと列柱廊の組合せとしての柱身の安定性に関しての心理的負荷としては弱くなる事になる。従って、立体角比との均衡状態を成立させるためには、柱身が細身のイオニア式の方が、ドーリア式に比べて、エンタブレチュアに対する列柱廊の部分の心理的負荷が弱い傾向にある事になり、即ち、エンタブレチュアの立体角比が減少傾向になる事になる。

(3) 図10d/図10i エンタブレチュアの立体角比が減少傾向にある事、即ち、細身でありながら、エンタブレチュア内部の立体角比との均衡状態を成立させるためには、エンタブレチュアの内部のアーキトレーブが、積載加重と自重による曲げ応力に抗するのに十分な靱性の心理的負荷を与える意匠でなければならない事になる。

(4) 図11d/図11i 柱身が細身であるときには、基壇が受ける軸方向加重に対する抵抗力の心理的負荷が少なくてよいと考える事ができる。従って、上家と基壇の組合せとしての安定性に関しての基壇の心理的負荷としては減少傾向になる事になる。従って立体角比との均衡状態を成立させるためには、柱身が細身のイオニア式の方が、ドーリア式に比べて、上家に対する基壇の部分の心理的負荷が減少傾向、即ち、基壇の立体角比が減少傾向でよい事になる。

(5) 図12d/図12i 基壇の立体角比が減少傾向にある事、即ち、薄身でありながら、基壇内部のプロポーションを成立させるためには、基壇が積載加重による曲げ応力に抗するのに十分な靱性の心理的負荷を与える意匠でなければならない事になる。

(6) 図13d/図13i 柱身が細身で、靱性の心理的負荷が大きい意匠のときには、上部構造との接点である柱頭や、基壇との接点である柱礎の意匠は弾力性の大きい心理的負荷が与えられるような意匠を要求される事になる。従って、逆に、柱身が太身のドーリア式の方がイオニア式に比べ、柱頭が弾力性の心理的負荷の少ない意匠でよい事になり、また柱礎が省略された意匠でよい事になる。

この様にして、立体角比と、その組合せである構造を通じて伝達される意味や心理的負荷の調和と相対性により、ギリシア建築のオーダーが構成されている様子を説明する事ができるであろう。

また、様々な構成要素が伝達する意味や心理的負荷の組合せにより、プロポーションが成立しハーモニーを感じさせる均衡状態が相対的、あるいは、相互浸透的に微妙に変化するために、仮にブラインド・スケールとしての黄金比との均衡状態に強い関連があるとしても、単純図形の様には完全な黄金分割は表には見えてこないで、一見色々な比例関係があるかの様にダイナミックに現象する事が想定される。しかしながら、もとより、全ての事例について説明する事は不可能であるし、定量的に特定はできないが、定性的には知覚循環を前提とする2項に関する1因子情報路モデルと逆1因子情報路モデルの考え方で説明ができる例がある事が明かになった。

③ 黄金比と黄金分割の関係の建築設計方法論的適用

ところで現実の建築設計のなかでは、一体、全体のなかのどの部分に対し、モジュールのような物を当てはめるのが有効であり、どういう部分に当てはめても無効であるかという選別が必要である。即ち、部分と全体の関係を分析する必要が生じて来るわけである。言い替えると、識別できないような部分、即ち、アイデンティティのない部分に関しては、そのようなものは適用しても無駄である。つまり、建築を観察する視点は限りなくあるが、その全ての可能な視点に於て、テクスチュアとみなされる部分については、モジュールの適用は無意味である。そして、より多くの視点から見てテクスチュアとなりにくい部分は、よりアイデンティティが高いわけであり、プロポーションのコントロールがより有意義であり、重要度の階層構造においてより高い階層、即ち、レイヤーに属している事になる。

アイデンティティそのものが知覚循環に基づき図式との照合により生起するものであり、また、プロポーションに関して、部分と部分の関係や、部分と全体との関係に配慮した途端に、知覚循環による図式の上に構築される意味や心理的負荷を参照する事になる。

しかしながら、現実の条件の中で、重要なレイヤーから順にトップダウン处理的に黄金分割を適用していくと、詳細部分のレイヤーに至るまでもなく、寸法の収まりに破綻をきたす事になる。また、より重要なレイヤーのプロポーション関係より、下位のレイヤーのプロポーション関係のアイデンティティが高いとすれば、識別される意味や心理的負荷、または、重要度が意図したものとは異なる事になるのでそうした取り扱いとは本来原則的ではない。しかしながら、5. 建築と黄金分割①②、における検討により、プロポーションを成立させる調和感は、上位や同じレイヤーに含まれる部分や全体との関係だけではなく、建築設計上の操作で本来下位のレイヤーに含まれていた部分が強調されアイデンティティを持ち始めるとその影響を受け、その故に、下位のレイヤーに含まれる部分の意匠によりプロポーションの補正やコントロールが可能である事がわかる。

この事は、現実の設計に於ては、上位のレイヤーから順にプロポーションを設定し、トップダウン的にとりあえず処理し、下位のレイヤーの状況に応じて、下位のレイヤーから意匠的な補正やコントロールを施して行くことになり、例えば下位のレイヤーにおける既製品や詳細設計の寸法の収まりに問題が生じるときにはボトムアップ的にプロポーションの逆補正をしていけば良い事になる。

設計途中におけるプログラム変更に於ても、直接関係するレイヤーを中心に、必要に応じ、ボトムアップ、あるいは、トップダウン的に、補正を波及させていけば良いことになる。

6. まとめ

以上の検討により以下の様な2つの結論を得、今後の研究に2つの方向性を与える。

① 本論文における人間の視覚的認知システム

教育や経験による知覚循環的図式の形成により、黄金比系列の分割の状態(立体角比 $1 : \phi^i$ ($= 1 : 0.61803399^i$)) が与えられるならば、そのようなプロポーション(均衡値)を与える心理的負荷として、 $1 : 2^i$ が対応し得る事がモデルとして示された。

② ブラインド・スケールとしての黄金比系列

上記のシステムは、対立する関係にある2項間の心理的負荷の比

図 8d／図 8i 柱と開口部の比例

図 9d／図 9i エンタブレチュアと列柱廊の比例

図 10d／図 10i エンタブレチュア内のアーキトリーブの比例

図 11d／図 11i 柱身と基壇の比例

図 12d／図 12i 基壇内の比例

図 13d／図 13i 柱頭と柱礎の意匠

図 8～図 13 (d: Doric, i: Ionic) 立体角比と心理的負荷の相対性によるギリシア建築のオーダー分析 [図版は©文 26)を元に加筆修正]

例の2の指数系列と、2項間の立体角比の比例の黄金比系列が相対的に対応するというのであり、実は、デザイン・ワークとは、心理的負荷を任意の正の比例に意図的に設定することでもある。このように、立体角比と心理的負荷の相対性に着目すると、ギリシア建築のオーダーのようなものも、同じシステムの尺度上で語ることができる事が示された。

注

注1) ① 1因子情報路モデル^{文24)}
 制約条件として、情報源 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ の評価値_{情報}分布 $\{I_1, I_2, \dots, I_m\}$ についての、記号あたりの平均評価値_{情報}、即ち、

$$L = \sum_{i=1}^m I_i p_i$$
 をできるだけ小さくする(条件Ⅰ)と同時に、目的関数として、記号あたりの平均情報量、即ち、

$$H = -\sum_{i=1}^m p_i \log_2 p_i$$
 をできるだけ大きくする(条件Ⅱ)のために、効率(単位評価値_{情報}あたりの平均情報量)、即ち、

$$E = H/L$$
 の最大値を与えるような情報路における生起確率分布 $\{q_1, q_2, \dots, q_m\}$ を求める問題。
 また、これに関連して以下の定理が成立している。
 (定理) 1因子情報路モデルに於て生起確率 p_i が、

$$p_i = W_i^{-1/2}, i = 1, 2, \dots, m$$
 によって与えられるための必要かつ十分な条件は(条件Ⅰ)、(条件Ⅱ)の成立する事である。ここに W_i は方程式

$$W^{-1/2} + W^{-1/2} + \dots + W^{-1/2} = 1$$
 の正根である。

② 逆1因子情報路モデル^{文24)}
 1因子情報路とは逆に生起確率を与えて評価値_{情報}を求めるという問題。1因子情報路モデルと同じ定理が成立する。
 注2) 評価値_{情報}の異なる2つの記号を効率良く生起させる生起確率通信路(知覚・認知過程)に於て、2つの記号(面): x_1, x_2 を通信(注視)するものとする。各々の生起確率(選択比率; 立体角比)は、 $p_1 = p, p_2 = 1 - p; 0 \leq p \leq 1$, で与えられ、各記号の評価値_{情報}(因子)の比率を、 $I_1, I_2 = v I_1; v \geq 0$, であるとする(cf.1因子情報路)。このとき、
 ・記号あたりの平均情報量:

$$H = p_1 h_1 + p_2 h_2 = -p \log_2 p - (1-p) \log_2 (1-p)$$
 ・記号あたりの平均評価値_{情報}:

$$L = I_1 p_1 + I_2 p_2 = I_1 p + I_1 v (1-p)$$
 ・効率(単位評価値_{情報}あたりの情報量): $E = H/L$
 1因子情報路では、一般に「評価値_{情報}の違う記号を経済的に(効率良く)生起させる時、各記号の担う情報量;i.e. h_1, h_2 , は評価値_{情報}: i.e. $I_1, I_2 = v I_1$, に比例する」から、効率を最大にして、「選択の自由度をできるだけ確保しながら、負荷はできるだけ少なくしたい。」とすれば、そのときの生起確率: p^* は、

$$\log_2 p^* : \log_2 (1-p^*) = h_1 : h_2 = I_1 : I_2 = 1 : v$$

$$\log_2 p^* = \log_2 (1-p^*)$$

$$p^* v + p^* - 1 = 0$$
 で与えられる。従って、 $v = 2^p - 1$ のとき、

$$p^* v + p^* - 1 = 0$$

$$p^* = 0.5$$
 また、 $v = 2^1 - 1 = 1$ のとき、

$$p^* v + p^* - 1 = 0$$

$$(p^* + 1/2)^2 = 1 + (1/2)^2 = 5/4$$

$$p^* = (\sqrt{5} - 1)/2 = 0.61803399 \dots (= \phi : \text{黄金比})$$

一般の v については、図5に示す様に、コンピュータにより生起確率0.01毎に逐次計算した上で、図6に示す様に、極大値近傍について小数点以下10桁まで計算し、小数点以下8桁まで求めた。
 注3) 心理量の判断に関するハワー法則(Stevensの法則,1957,1961)^{文25)},

$$J = k I^p$$
 (J : 心理量の判断, I : 物理的強度, p : べき乗, k : 任意の定数)において、(J : 2項の心理的負荷同士の比率, I : 2項の立体角比同士の比率)とすれば、立体角比が同じとき、

$$J_0 = 1, I_0 = 1$$
 であるから、

$$1 = J_0 = k I_0^p = k 1^p = k$$

黄金分割のとき、

$$J_1 = 2, I_1 = \phi$$

であるから、

$$2 = J_1 = I_1^p = \phi^p$$

$$1 = \log_2 2 = p \log_2 \phi$$

$$p = (\log_2 \phi)^{-1}$$

従って、

$$J = I^{(\log_2 \phi)^{-1}}$$

でなければならない。

一般に、黄金比系列にのるときには、

$$J_i = 2^i, I_i = \phi^i, i = 0, 1, 2, 3, \dots$$

であるから、

$$2^i = J_i = I_i^{(\log_2 \phi)^{-1}} = (\phi^i)^{(\log_2 \phi)^{-1}}$$

$$\forall i: i = i \log_2 2 = (i \log_2 \phi) / \log_2 \phi = i$$

となるから、これはパワー法則を満たしている。

引用・参考文献

- 文1) ル・コルビュジェ, 吉阪隆正訳, モデュロールⅠ, Ⅱ, 鹿島出版会, 1967
- 文2) 柳亮, 黄金分割—ヒラミッドからル・コルビュジェまで—, 美術出版社, 1965
- 文3) 丹下健三, 現実と創造 丹下健三 1946-1958, 美術出版社, p.242, 1966
- 文4) 池邊陽, デザインの鍵—人間・建築・方法—, 丸善株式会社, p.124, p.150, 1979
- 文5) 柳亮, 続黄金分割—日本の比例— 法隆寺から浮世絵まで—, 美術出版社, 1977
- 文6) 佐野潤一, ミース・ファン・デル・ローエの新国立ギャラリーの立面におけるプロポーションについて, 日本建築学会計画系論文集 No.504, pp.261-268, 1998-2
- 文7) 佐野潤一, ミース・ファン・デル・ローエによるレイク・ショア・ドライブ・アパートメントのファサードのプロポーションにおけるダブルスクエアと黄金比, 日本建築学会計画系論文集 No.537, pp.319-324, 2000-11
- 文8) ブラダン・ジャヤ, 浅野捷郎, ユニテ・ダビタシオンの建築形態と比例について—ル・コルビュジェの建築形態と比例の研究, 日本建築学会計画系論文集 No.535, pp.291-296, 2000-9
- 文9) ブラダン・ジャヤ, 浅野捷郎, メゾン・スイスの建築形態と比例について—ル・コルビュジェの建築形態と比例の研究, 日本建築学会計画系論文集 No.544, pp.303-308, 2001-6
- 文10) 森田慶一訳, ウィトルウィウス建築書, 東海大学出版会, pp.1-15, pp.69-180, 1979
- 文11) 井上充夫, 建築美論の歩み, 鹿島出版会, pp.33-40, 1991
- 文12) ド中弘編, 哲学事典, 平凡社, 1971
- 文13) 藤田昌彦他, 岩波講座 認知科学 4 運動, 岩波書店, p.108, 1994
- 文14) Huntley, H.E., The Divine Proportion—A Study in Mathematical Beauty—, Dover Publications, Inc., pp.23-34, pp.62-65, 1970
- 文15) 上垣渉, ギリシア数学のあけぼの, 日本評論社, pp.162-173, 1995
- 文16) ユークリッド原論, 中村幸四郎, 寺坂英孝, 伊東俊太郎, 池田美恵訳, 共立出版株式会社, p.117, 1971
- 文17) スチュアート・ホリングデール, 数学を築いた天才たち (上), 岡部恒治訳, 講談社, pp.63-86, 1993 (原典 1989)
- 文18) 高橋應志, 黄金比とその周辺, 日本建築学会編, 第2版 建築学便覧Ⅰ計画, 丸善, pp.216-661, 1980
- 文19) Alexander, C., Perception and Modular Co-ordination, RIBA Journal, pp.425-429, 1959-10
- 文20) Gibson, J.J., The Ecological Approach to Visual Perception, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., pp.237-291, 1986
- 文21) 刈谷哲朗, 長澤泰, 高橋應志, 建築的情景により伝達される情緒の意味に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集 No.535, pp.147-154, 2000-9
- 文22) 刈谷哲朗, 建築的情景を構成する立体角比の特性に関する考察, 日本建築学会計画系論文報告集, 2001-8
- 文23) ウルリック・ナイサー, 認知の構図—人間は現実をどのようにとらえるか—, 古崎敬, 村瀬受訳, サイエンス社, pp.20-24, 1978 (原典 1976)
- 文24) 国沢清典, ORライブラリー 14 エントロピー・モデル, 日科技連, pp.37-64, 1975
- 文25) P.H.リンゼイ, D.A.ノーマン, 情報処理心理学入門Ⅰ—感覚と知覚, 中溝幸夫, 箱田裕司, 近藤倫明訳, サイエンス社, pp.264-265, 1983 (原典 1977)
- 文26) Stratton, A., The Orders of Architecture, Originally Published by B.T. Batsford Limited, 1931, Plate III, Plate VIII, Copyright Studio Editions, 1986

(2000年12月4日原稿受理, 2001年8月20日採用決定)