

古代ギリシャ都市アテネのアゴラにおける画像処理手法を用いた復元的考察 -画像相関及びフラクタル次元解析を用いた建築様式の定量的な評価手法について-

日大生産工(院) ○松枝 朝 日大生産工(非常勤) 木村 敏浩
日大生産工 黒岩 孝 日大生産工 大内 宏友

1. はじめに

2500年に及び続く西洋の建築、都市史上の原点とする見方がある古代ギリシャ都市アテネは、建築、都市を記述する用語の多くがその時代に起源をもつことはよく知られている。古代ギリシャ都市アテネの研究は国際的にも、歴史的にも数多くされてきた。R. E. ウィッチャーリーは「アゴラとは他のどんな都市の公共の広場でも、さまざまな活動がこれほど頻繁に、不断に集中して行われた場所はない。その機能は、公共的広場というよりはむしろ都市の中核地域、その心臓なのである」と表現している⁽¹⁾。都市の諸機能の拡大や、細分化にもかかわらず、アゴラは昔からの雑な機能を実質的に受け継ぎ、その成長は建物の数と質に、その過程を見ることができる。そして建物は時代を経るにつれて様式の変容を伴い、ファサードや空間の用途にそれらは現れている。

一方、建物のファサードの類似性を検討する手法として、「画像照合」を目的とした「画像相関技術」¹⁾が有効であると考えられる。高精度な画像相関¹⁾は、画像センシング、映像信号処理、コンピュータビジョンなどの様々な分野で重要になる基本処理である。

また、個と総体との関係性や物理的収縮を持たないパターンの特徴を扱う科学として、フラクタル理論⁽²⁾は様々な分野に応用されている。自然界は樹木から銀河系に至るまでフラクタル性を持つ形態のカスケード(多層構造)とし、それらの時間的変動もフラクタルとして捉えられる。フラクタル次元²⁾を用いた分析手法は、一見不規則な事象や形状の複雑さを定量的に示すことが可能であることから、建築・都市・地域計画分野の研究にも応用されつつある。

これらの画像処理手法を用いることにより、アゴラにおける各神殿、ストアの様式の定量的な評価手法について、考察を行う。

2. 既往研究のレビューと本研究の目的

我々の既往研究²⁾³⁾⁴⁾では、文献から得られた情報(図1)と現地調査データをもとに、3Dモデルを3つの年代ごとに作成した(図2)。さらに、人の視点場の極座標を光に置き換え、この光の減衰を用い3D陰影画像を作成し、アゴラにおける建築の配置構成を分析し、アゴラの空間的「秩序」の考察を行った。

続く既往研究⁵⁾では、アテネのアゴラの北西部に位置するテイセイオン神殿に光を照射し、アゴラとの関係性を考察した(図3)。

また、既往研究⁶⁾では、各年代のストアと神殿について画像相関を用いて分析した。しかし、これらの神殿・ストア建築のファサードのフラクタル次元については明らかになって

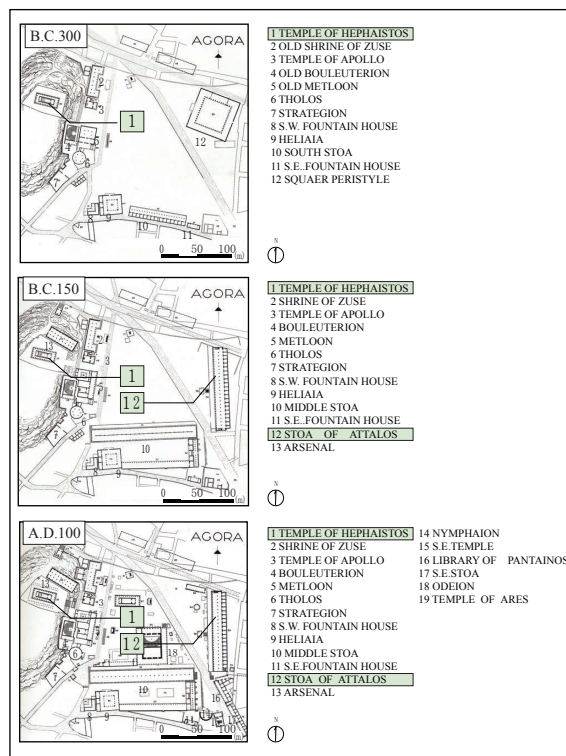


図1 アゴラ配置図

*1 画像相関: 2つの画像の濃度分布から得られる得微量であり、値が大きくなるほど2つの画像の類似性が高く、逆に小さいほど類似性は低い。
*2 フラクタル次元: 自己相似性を定量化した数値であり、相似性をもとにした測度で、異相次元と異なり、非整数値を取ることが特徴である。

Study on Restoring consideration by image processing method
in AGORA of ancient Greece city Athens
-quantitative evaluation method of architectural style using the image correlation and fractal dimension analysis-
Tomon MATSUEDA, Toshihiro KIMURA, Takashi KUROIWA and Hiroto OHUCHI

おらず、分析及び考察の余地があると考える。

以上の成果を踏まえ、本稿ではアゴラの構成要素として最も重点を置かれてきた、神殿建築とストア(柱廊型建築)に着目し、立面図を基とした画像相関とフラクタル次元解析を行う。そして各建築間における相互の類似性を定量的に評価し、経年変化を含む様式の変遷に関する分類手法についての可能性を検討する。

3. 神殿建築・ストアの概要について

資料⁽³⁾⁽⁴⁾を基とした、本稿の対象とする神殿とストアの概要を以下に示す。

3-1. 神殿建築

i) テルモン (TEMPLE OF APOLLO, Thermon)

B. C. 630 頃に建てられたこの神殿は、アルカイック期^{*3}の代表的なもので、遺跡として現存する最古の神殿である。

ii) テイセイオン (TEMPLE OF HEPHAISTOS)

ヘファイストス神殿とも呼ばれ、クラシック期^{*4}よりコロノス・アゴライオスの丘^{*5}の上にありアゴラを見渡すことのできる B. C. 450 頃に建てられた神殿である。アゴラの西側にある建物はこの神殿の可視領域を妨げることのないように設計されており、アゴラに面した神殿の東側のファサードは他の側面よりも豊かに装飾が施されていた。南北 13.708m、東西 31.776m (または 38.24m) の大きさで、短辺は 6 本の、長辺は 13 本 (総数 34 本) の円柱で屋根を支えるドリス様式の建築物である。

iii) ディディマ (TEMPLE OF APOLLO, Didyma)

ディディマのアポロン神殿は B. C. 300 頃のヘレニズム期^{*6}に建設された神殿としては稀に見る巨大な建造物であり、ローマ期の形態の先駆けである。

3-2. ストア

i) バシレイオス (STOA OF BASILEIOS)

B. C. 600 頃に建てられたこのストアは、アルカイック期の代表的な形式をしており、ペンテリック大理石の壁、テラコッタタイルの屋根が象徴的であった。

ii) アスクレピエイオン (STOA OF ASKLEPIEION)

アスクレピエイオンは B. C. 340 頃にテレマコスが建てた木造のストアであり、それが建て替えられ、石造りになったストアである。アクロポリスの南面の神域に建てられ、

クラシック期の代表的形式をしている。

最古の 2 階建てストアとして有名である。

iii) アッタロス (STOA OF ATTALOS)

アッタロスのストアは B. C. 150 頃に建てられたストアである。形態は外側に 45 本のドリス様式、内側に 22 本のイオニア様式の列柱が並ぶ 2 階建てであり、長手方向に 111.96m、短手方向に 19.52m で、高さが 11.42m あった。上層階とテラスの両方は、大規模な人数を収容することができ、アゴラ広場で祝われたコンテストやフェスティバルを見る為の優れた見所を提供した。

4. 画像相関分析

4-1. 画像相関の方法

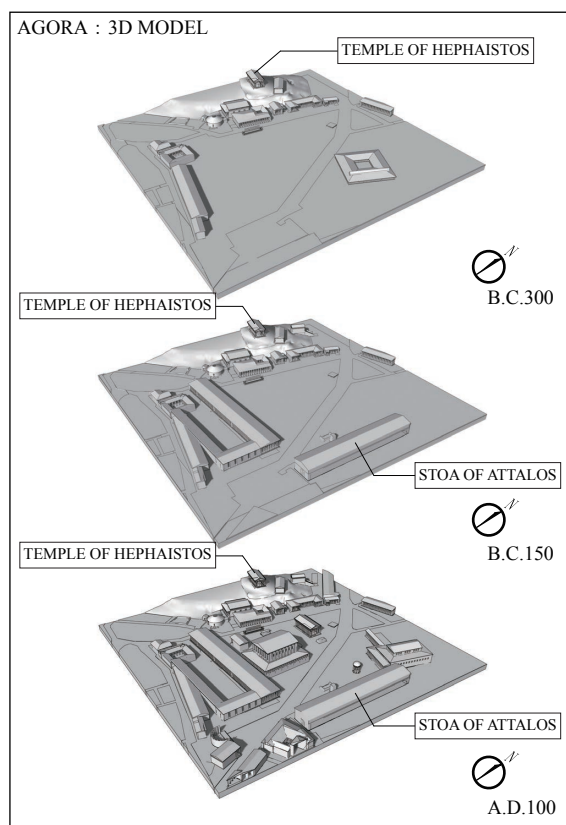


図2 3D広場モデル

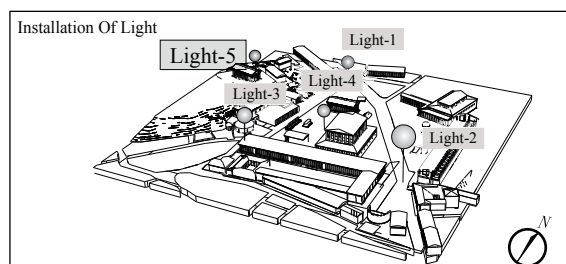


図3 光源の設置

*3 アルカイック期：紀元前7世紀～紀元前6世紀頃

*4 クラシック期：紀元前5世紀～紀元前4世紀頃

*5 コロノス・アゴライオス：アゴラ西部に位置する丘で、ヘファイストス神殿やアテナの神殿が建っている。

*6 ヘレニズム期：紀元前3世紀～紀元前1世紀頃

復元した3D画像を画像相関に用いる画像にするため、グレースケール画像から2値化処理することによって濃度が0または1の2値化画像を作成する。既往研究⁶⁾に基づき、ここでいう2値化照度の15%レベルである値をしきい値として行った。具体的に以下の計算により相関値を算出した。画像がNピクセル×Nピクセルの画像データ $f(i, j)$, $g(i, j)$ ($i, j=1, 2, 3, \dots, N$) が与えられたときそのフーリエ変換を $F(p, q)$, $G(p, q)$ とする(1)(2)式。また、 $F(p, q)$ の複素共役をここでは $F^*(p, q)$ と表す。相関の式に(3)式を用い、(4)式によってフーリエ逆変換を行う。

$$F(p, q) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N f(i, j) W^{-(ip+jq)} \quad \dots\dots (1)$$

$$G(p, q) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N g(i, j) W^{-(ip+jq)} \quad \dots\dots (2)$$

$$H(p, q) = F(p, q) \times G^*(p, q) \quad \dots\dots (3)$$

$$h(i, j) = \frac{1}{N \times N} \sum_{p=1}^N \sum_{q=1}^N H(p, q) W^{(ip+jq)} \quad \dots\dots (4)$$

ただし $\{p, q = 1, 2, 3 \dots N\}$ とする

図4は3D画像相関値を示す。①は画像Kaと画像Kaの相関値(これを自己相関関数 $\Phi KaKa(x, y)$ という)を示し、一方、同図②は画像Kaと画像Kdの相関値(これを相互相関関数 $\Phi KaKd(x, y)$ という)を示す。

①②より $\Phi KaKa(x, y)$ の方が $\Phi KaKd(x, y)$ よりも相関値が高くなっていることがわかる。各画像の相関値を分析する際は、変化したときの相関値の最大値を用いた。

4-2. 神殿建築の画像相関を用いた分析

画像相関を用い、各年代の神殿の類似性について検討した。具体的には、アルカイック期のアポロン神殿(テルモン:B.C. 630頃)、クラシック期のテイセイオン神殿(アテネ:B.C. 450頃)、ヘレニズム期のアポロン神殿(ディディマ:B.C. 300頃)についての画像相関を行った。各ストアのファサードの2値化画像を図5に、相関値の最大値を表1に示す。画像相関による最大相関値より、対象とした神殿建築は相互の相関関係はほとんどないことがわかった。

4-3. ストアの画像相関を用いた分析

画像相関を用い、各年代のストアの類似性について検討した。具体的には、アルカイック期のストア・バシレイオス(アテナ:前6世紀頃)、クラシック期のアスクレピエイオンのス

トア(アテナ:B.C. 340頃)、ヘレニズム期のアッタロスⅡ世のストア(アテナ:B.C. 150頃)について画像相関を行った。

各ストアのファサードの2値化画像を図6に、相関値の最大値を表2に示す。画像相関による最大相関値より以下のことが考察できる。

①アスクレピエイオンとアッタロスは、やや高い相関値を示した(表2)。

③バシレイオスは、アスクレピエイオン、アッタロスともに低い相関値を示した(表2)。

以上のことから、対象としたストアについては、アスクレピエイオンとアッタロスがやや高い相関関係にあることがわかった。

5. フラクタル次元分析

5-1. 分析手法

フラクタル次元解析による分析手法として、本稿では、ボックスカウンティング法を用いる。ボックスカウンティング法は、適切な閾値で2値化処理された陰影画像を用いる必要がある。ここでは、既往研究のデータに基づき、閾値を2.3%($256 \times 0.023 \approx 6$ 階調以上を白とする)とし、一辺1024pixelの白黒2値の画像を作成した。

このように作成した2値化画像を一辺r画素

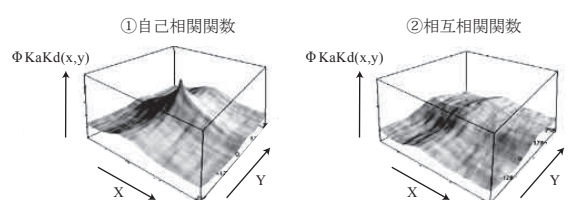


図4 3D相関値画像



図5 神殿のファサード



図6 ストアのファサード

表1 神殿の画像相関値

	THERMON	HEPHAISTOS	DIDYMA
THERMON	1.0000		
HEPHAISTOS	0.1546	1.0000	
DIDYMA	0.1712	0.1235	1.0000

表2 ストアの画像相関値

	BASILEIOS	ASKLEPIEION	ATTALOS
BASILEIOS	1.0000		
ASKLEPIEION	0.2266	1.0000	
ATTALOS	0.2487	0.4179	1.0000

表3 神殿建築・ストアのフラクタル次元解析

	年代	名称	1024pixel	512pixel	256pixel	128pixel	64pixel	32pixel	16pixel
神殿	A	B.C.630頃	THERMON	1.4130	1.3211	1.1569	0.9302	0.7008	0.5688
	B	B.C.450頃	HEPHAISTOS	1.4515	1.3870	1.2378	1.1567	0.9233	0.5316
	C	B.C.300頃	DIDYMA	1.5048	1.4117	1.2948	1.1270	0.9606	0.8405
ストア	D	B.C.600頃	BASILEIOS	1.5450	1.4930	1.3506	1.2748	1.1821	1.1279
	E	B.C.340頃	ASKLEPIEION	1.5752	1.5327	1.4352	1.3023	1.0973	0.8157
	F	B.C.150頃	ATTALOS	1.5885	1.5327	1.4206	1.2638	1.0338	0.7409

の正方形で被覆するとき、対象とする画素値を含む正方形の個数を画素間隔 r ごとに $N(r)$ とすると、次の式が成り立つ。

$$N(r) \cdot r^D = C \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで C は定数であり、このときの D がフラクタル次元となる。また、式 (1) を変形すると、

$$\log N(r) = \log C - D \log Nr \quad \dots \dots \dots (2)$$

となる。フラクタル次元 D は $\log r$ と $\log N(r)$ の直線の傾きであり、最小二乗法により算定することができる。

本稿では、一辺が 2^n pixel となるように、画像の解像度を低下させ、1024、512、256、128、64、32、16 pixel とし、1 pixel あたりのスケールを変化させて、同様にフラクタル次元解析を行った。

5-2. フラクタル次元分析結果

- i) 神殿はストアと比べて、フラクタル次元が低いことがわかる (表3)。
- ii) 1024 pixel において、神殿・ストア共に年代が進むにつれフラクタル次元が増加していることがわかる (表3)。
- iii) 神殿・ストア共に pixel 数が減少するにつれて、フラクタル次元が減少していることがわかる (図7)。

6. まとめ

以上、神殿建築とストアに着目し、画像相関及びフラクタル次元解析を行うことで、それぞれの変遷を分析することができた。画像相関による分析では、神殿の相関値はストアの相関値に比べて比較的低いことがわかった。

また、フラクタル次元分析では、ストアは神殿よりも比較的高いフラクタル次元を有していることがわかり、神殿・ストア共に年代が進むにつれフラクタル次元が増加していることがわかった。

神殿に比べ、ストアの相関値が比較的高いことや、アスクレピエイオンとアッタロスの相関関係、フラクタル次元の値や pixel 数の減少に伴う変動が近似していることから、相関値とフ

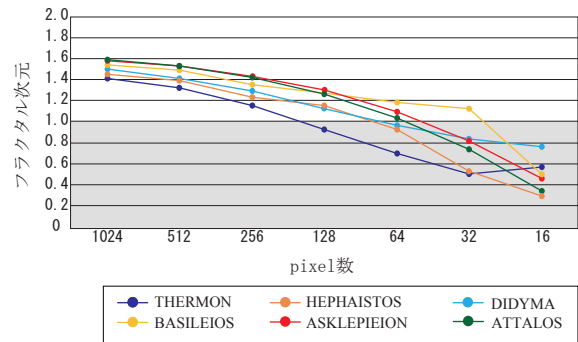


図7 神殿建築・ストアのフラクタル次元

ラクタル次元の値は一定の関係性を有すると推測できる。

以上、画像処理手法により各年代における神殿・ストアの類似性について定量的な評価を行った。以後、神殿・ストアのさらなる分析を行い、相関値とフラクタル次元の関係性について考察を行う予定である。

既発表論文

- 1) 黒岩 孝・佐藤 敏太郎・大内 宏友・松原 三人, 航空写真のフラクタル解析による市街地の形態分類及び変化領域の抽出, 環境情報科学論文集19, pp. 71-76, 2005. 11
- 2) 金岡 正悟・遠藤 庫央・大内 宏友, 都市環境における広場形成のフラクタル性に関する研究, 第26回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp. 133-136, 2003. 12
- 3) Ohuchi, H., Yamada, S., Ouchi, S., Shintani, N., Suzuki, N., and Tao, W. (2007) Study on Changes in Ancient City Agoras Using Fractal Analysis - Using Image Analysis to Describe the Formation of Agora in 300 B.C., 150 B.C., and 100 A.D., - International Symposium on Studies on Historical Heritage.
- 4) Hirotomo Ohuchi・Satoshi Yamada・Toshihiro Kimura・Setsuko Ohuchi・Mitsuhito Matsubara : Study on Changes in Ancient City Agoras Using Fractal Analysis-Using Shaded Image to Describe the Formation of Agora in 300 B.C., 150 B.C., and 100 A.D., Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 10, pp. 359-366, 2011. 11
- 5) 松枝 朝・木村 敏浩・大内 宏友 : 古代ギリシャ都市アテネのアゴラにおけるフラクタル次元解析による復元的考察-ヘファイストス神殿の可視領域の解析によるアゴラ空間の秩序化について- 日本建築学会梗概集, 2017
- 6) 遠藤 庫央・大内 宏友, 古代ギリシャ都市アテネのアゴラにおける画像解析による復元的考察-画像相関技術を用いたアゴラの形成プロセスについて-, 第26回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp. 141-144, 2003. 12

参考文献

- (1) ウィッチャーリー (小林文次訳), 古代ギリシアの都市構成, 相模書房, pp. 72-73, 1980
- (2) カール・ボーヴィル著・三井直樹・三井秀樹 共訳, 建築とデザインのフラクタル幾何学, 1997
- (3) JOHN TRAVLOS, PICTORIAL DICTIONARY OF ANCIENT ATHENS, Thames & Hudson Ltd; y First printing edition, 1971, 6
- (4) JOHN TRAVLOS, BILDLEXIKON ZUR TOPOGRAPHIE DES ANTIKEN ATTICA, Ernst Wasmuth Verlag, 1998. 11
- (5) ウィトルーウィウス (森田慶一訳), ウィトルーウィウス建築書, 東海大学出版会
- (6) ドクシアデス (長島孝一訳), 古代ギリシアのサイトプランニング, 鹿島出版会
- (7) D. S. Robertson, Greek and Roman Architecture Cambridge, 1943.
- (8) W. B. Dinsmoor, The Architecture of Ancient Greece London 1975
- (9) B. ワード=パーキンズ, 古代ギリシアとローマの都市, 井上書院, 1984