

# 歴史的考察から得られるギリシア・パルテノン神殿の耐震性能低下の可能性とミュオグラフィによるその評価について

青木真兵、田中宏幸、大城道則

はじめに

1987年にUNESCOの文化遺産に指定されているパルテノン神殿は、世界遺産に登録されて以降、世界中から年間100万人（公益社団法人日本ユネスコ協会連盟HPより<http://www.unesco.or.jp/isan/issue/>（2014年1月12日閲覧））の観光客が訪れるアテネのアクロポリスに建つ古代ギリシア文明の栄光の象徴となっている。現在のパルテノン神殿は、紀元前6世紀末に建造された古パルテノン神殿が紀元前480年にペルシア軍によって破壊された後の紀元前447年に着工され、紀元前432年に完成したものであるが、パルテノン神殿が建てられる以前の紀元前6世紀半ば、その場所にはアクロポリスで初めてとなる巨大なドーリス式神殿が建立されていたと推測されている（周藤・澤田 2004、61頁）。パルテノン神殿は、ドラムと呼ばれる高さ87cmの円柱状大理石の中心部に110×110mm<sup>2</sup>、深さ70mmの穴を掘り、その中に木製ダボ（檜の木で作成されていて、上下2個のブロックとそれを繋ぐ直径50mmのピンで構成）を入れ込んで積み上げることで、高さ10.43メートル、直径1.9mのドーリス式円柱を形成している。古来ギリシアは第一級の地震国として知られているが、現在でもパルテノン神殿はその形状を比較的よく保存している。

パルテノン神殿は、中世になるとキリスト教の教会へと転用された。その後オスマン帝国の影響下に入るとイスラームのモスクへと姿を変えたが、基本的にはほぼ原型をとどめていた（周藤・澤田 2004、61頁）。しかし17世紀にヴェネツィア軍がアテネに侵攻した際に激しく破壊されたことが知られている。オスマン帝国の火薬庫として用いられていたパルテノン神殿は1687年、ヴェネ

ツィア共和国の攻撃により爆発炎上した。オスマン帝国軍はヴェネツィア軍の撤退後、アクロポリスを要塞化し、崩壊したパルテノン神殿の中には小さなモスクを建設した（ヨキレット 2005、91-92頁）。この大火災の熱で柱の一部の表面が溶融している状況が現在でも確認できる（図1参照）。

もしこの熱が柱の内部にまで伝わり、木製ダボを焼失させているとすると、その時点から柱の耐震強度は著しく低下していることになる。1834年に大規模な修復がダボ孔に鉄材を入れて補強することでなされたが、そのときに使用した鉄材が錆びて膨張し、大理石のいたるところでひび割れを起こしている。そのため新たな修復が1986年から行われている（森谷 2010、310頁）（図2参照）。ところが、1687年の大火災の熱で溶融した柱については木製ダボの有無が分からないことから、修復が進んでいないのが現状である。いまだ柱の構造強度が分からず、分解、補強、再組立ての作業の実行が困難であることがその原因である。



図1：大火災の熱で表面が溶融している石柱

ギリシアは日本と同じ第一級の火山・地震国である。古代から幾度となく、大地震に見舞われ、1999年のアテネ地震では、マグニチュード5.9が記録されている。今後大きな地震が発生すると、火災損傷を受けた柱からパルテノン神殿が崩壊する危険がある。本論では世界的に知られたギリシアのパルテノン神殿を主な考察対象に取り上げ、歴史学が明らかにする建造物の強度的損傷の考察、組積造建造物の構造解析技術、そして巨大建造物の内部構造を非破壊



図2：耐震工事中のパルテノン神殿

で探査可能な新技術ミュオグラフィの三つを組み合わせることで、歴史的建造物の耐震評価法の可能性を探るものである。その事により、我々は歴史学の新たな可能性を引き出すことも目的とする。本論文の構成は以下の通りである。第1章ではパルテノン神殿の柱の損傷に対する歴史的考察を行ない、続く第2章ではパルテノン神殿の耐震強度評価をレビューし、そして第3章においてははまだ十分に修復が進んでいない焼損したパルテノン神殿の石柱のミュオグラフィ技術による内部構造探査のモデリングを簡単な計算により試みる。

## 1. パルテノン神殿の柱の損傷に対する歴史的考察

本章では（人災、天災問わず）パルテノン神殿が経験した災害について、特に神殿の損傷に注目しながら歴史学の立場から論じてみたい。その過程おそらく我々が得た新しいツールであるミュオグラフィの必要性と可能性とが明確になるであろう。

パルテノン神殿は古代ギリシアの都市アテナイの守護神であるアテナ女神を祀った神殿であり、処女神（パルテノス）であるアテナにちなんでこう呼ばれた。この神殿が建設されたのはアクロポリスという、海拔156m、周囲から70mの高さにある石灰岩の丘の上であった。この丘は東西の長径270m、南北の最大幅は156mで、新石器時代から集落が営まれており、歴史時代に入るとアテナイのもっとも重要な聖域として発展した場所であった（図3参照）。

紀元前489年、前年のマラトンの戦いにおいてアケメネス朝ペルシアに勝利したアテナイは、アテナ女神に感謝すべくアクロポリス南側に基壇を構築し、総大理石製のモニュメンタルな建築物の工事にとりかかった。南北6本、東西16本という、当時のドーリス式神殿としては異例の規模で設計されたこの神殿は古パルテノンと呼ばれている。しかし紀元前480年、アケメネス朝ペルシア軍の侵略に際して未完のまま破壊された。

紀元前6世紀から紀元前5世紀初めは「初期古典時代」と呼ばれ、木材に代わって石材が使用されるようになり、木材で作られていた部材が新たな材料で作られるようになった時期であった。そしてパルテノンが建設された紀元前5世紀半ばに、古代ギリシアの建築は頂点を迎えたのである。「黄金時代」と呼ばれるこの時代に多く建てられたドーリス式神殿の特徴は、前の時代よりも円柱が高く細身になり、柱間が広がっていたことにある（図4参照）。

紀元前449年にアケメネス朝との講和条約が成立すると、アテナイの政治家ペリクレスが、破壊されたまま工事が中断していた古パルテノンの再建に着手した。新パルテノンが着工されたのは紀元前447年で、古パルテノンより幅2本分、奥行き1本分拡張されて建設され、最終的に破風彫刻まで完成したのは紀元前432年のことであった。その結果、基壇上部の幅30.88m、長さは69.53mを誇り、円柱は高さ10.43mに達した（周藤・澤田 2004、54-59頁）。

またパルテノン神殿は、その3分の2が岩盤に積み上げられた基礎の上に建っていることがわかっている。神殿の西南角の下には基礎として粗石灰岩の切石が12層に積み上げられ、5.5mの深さで自然岩盤に達していた。南側には22層に石が組まれ、深さ10.77mに及ぶ基礎が構築されていた。パルテノンの南側テラスの岩盤は、急勾配で落ち込んでいたために巨大な石組みの基礎工事が施

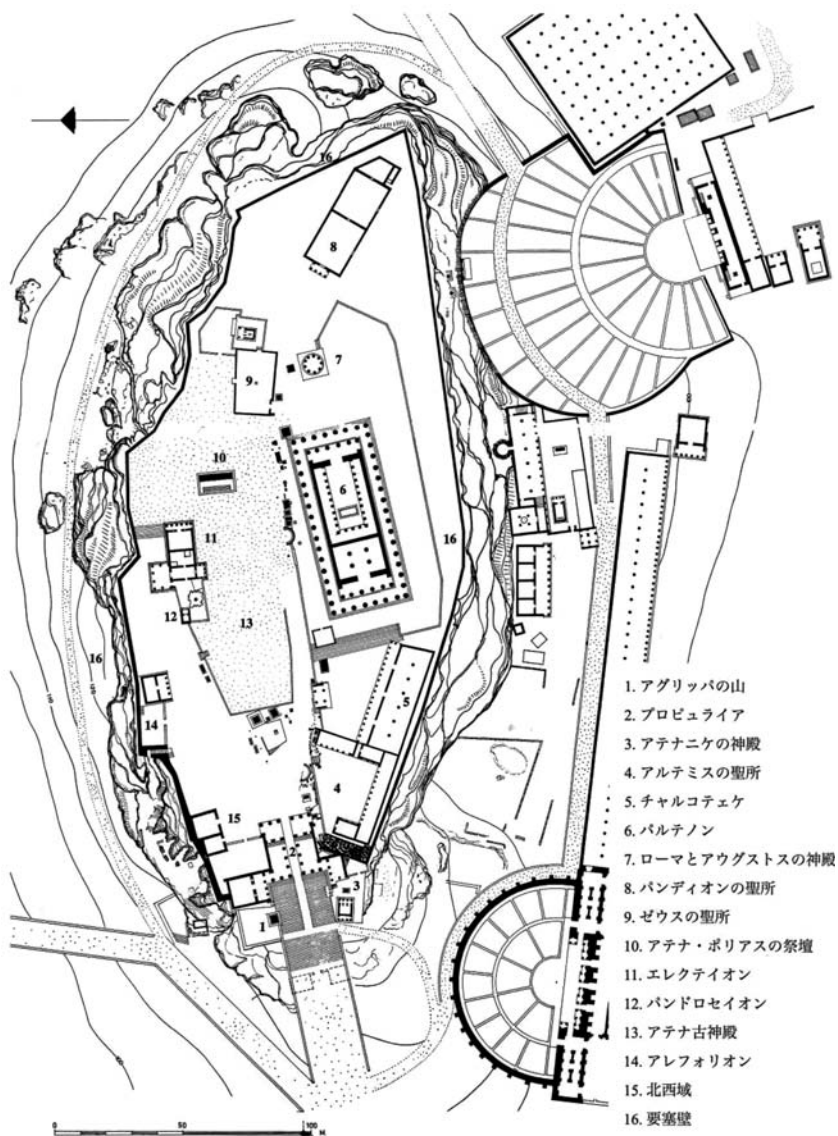


図3：アクロポリスの図面：池浩三『パルテノンの世界 その建築システムの復元的考察』中央公論美術出版、2008年、144頁



図4：リビアのキュレネ遺跡近郊のドーリア式ゼウス神殿

されていたのである（関 1996、20-21頁）。

パルテノン神殿の建設から1世紀が経過すると、マケドニアのアレクサンドロス大王によってアテナイの独立は失われ、その後はローマ帝国に組み込まれていく。後267年にはゲルマン人のヘルリア族がスカンジナビアから黒海沿岸を経てギリシアに侵入し、数日にわたってアテナイを包囲した。また396年には、アラリック麾下の西ゴート族がアテナイを包囲する。どちらの包囲によってかは定かではないが、おそらく267年の包囲の際、パルテノンには放火によって甚大な被害を受け、木製の梁や天井は焼け落ち、大理石の表面は焼けてしまった。4世紀におそらくユリアヌス帝によって神殿は修復されたが、建設当初の姿に戻されたわけではなく、天井は内陣にのみかぎられ、柱もヘレニズム期のものが用いられた。

やがて5世紀になると、アクロポリスの宗教的機能は衰退し、アテナ・パルテノス像はキリスト教徒によって運び去られたと考えられている。その結果6世

紀か7世紀には、神殿の建物自体がキリスト教教会に改築された。正面であった東側の入り口は封鎖され、内陣を二つに分けていた壁には通路がつくられた。12世紀には、東側の壁にマリアのモザイクで飾られたアプス（至聖所）がつくられ、螺旋階段の見張りの塔が南西の角に立てられ、それはやがて鐘楼になったのである。

13世紀から15世紀において、フランク人とフィレンツェの支配下におかれたアクロポリスは、中世の城塞の一部に組み込まれ、タスカンの塔がパルテノン神殿と並んでアテナイのランドマークとなった。1456年に、コンスタンティノポリスの陥落からまもなくアテナイを手中にしたオスマントルコ帝国は、アクロポリスを要塞化するとともに、パルテノンをモスクとした。壁面のキリスト教的なフレスコ画は塗りつぶされ、鐘楼はミナレットに取って代わられた。

1687年、教皇に支持されたヴェネツィア軍がオスマントルコの支配下よりギリシアを奪回しようとしてアクロポリスを包囲した際、ヴェネツィア軍がこの古代の遺跡を尊重するだろうと期待したオスマントルコ側はパルテノンに火薬と女性・子供たちを隠した。しかし9月26日におこなわれた合戦で、ヴェネツィア軍の砲弾はパルテノンの天井を貫通して火薬を直撃し、神殿を破壊したのである（栗原 2001、99-100頁）。

上記の歴史過程と各時代のギリシアの建築技術の解説は歴史的文献及び建造物の外観から得られる情報から構築されたものである。もし、これ以外に建造物の内部構造に関する情報が得られれば、考察すべき資料の次元が増え（文献、遺跡外観の2次元に加えて内部構造の次元）、より詳細な歴史過程の再構築を行うことが可能である。これがミュオグラフィを使用することによって獲得可能と想定される。

## 2. パルテノン神殿の耐震強度評価のレビュー

アクロポリスの発掘・修復が正式に始まったのは1834年のことである。当時ギリシアを治めていたバイエルン国王、ルートヴィヒ1世の宮廷建造物監督官レオ・フォン・クレンツェによってパルテノン保護・修復の基礎がつくられた。

彼はパルテノンの建設方法に興味を持ち、その作業の質や非常に精密な接合法を賞賛し、鉄製の錠かすがいは地震に対する保護を目的としたものと考えていた（ヨキレット 2005、144-151頁）。

とはいえ、基本的にパルテノン神殿はダボ（接合するための木片）を用いて単純に積み重ねた構造が用いられていた。このことから、振動のエネルギーを吸収することで、地震に強い構造を持っていることが知られており、建造後25世紀の間地震で大きな被害を受けた記録がない。その基礎的な振動特性を明らかにする目的で1990年代に、花里利一らによるパルテノン神殿の常時微動、および地震観測が行われた（Mabuchi et al. 1993）。その後、花里らの解析的研究の妥当性を検証する目的で、花里らは2008年から地震計を神殿の基壇と屋根に設置して、地震モニタリングを実施している（花里他 2009）。また、2008年及び2009年には神殿とアクロポリスの丘の常時微動測定が行なわれた。神殿の常時微動測定の結果は面外方向の振動モードの解析から（①西側柱列）両端の拘束効果のため、柱列中間部が膨らむ形状を示すこと、（②東側柱列）南側柱列の欠損により拘束力が弱くなっている影響で振動モードが南東に向かって膨らむことが分かった。また、隣り合う2つの柱列構面が直行する隅角部では柱列の挙動に一体性が見られ、耐震性の向上性に寄与していることが確認された（Mouzakis et al. 2010）。加えて、花里らにより、アクロポリスの丘の地形効果による増幅特性が常時微動記録を用いて検討された。丘の麓と頂上の測定から伝搬関数が求められ、 $\sim 12\text{ Hz}$ にピークが見られ、花里らによるモデリング結果 $\sim 10\text{ Hz}$ と調和的であった（花里他 2009）。ただし、常時微動は測定点近傍の局所効果を強く受けるため、地震観測による評価が必要である。

さらに、歴史的地震による地震動レベルの推定が行われた。地震記録が得られている1981年のコリンス地震、1999年のコリンス地震に対して、花里らによる距離減衰式の適用を行い、パルテノン神殿近傍での振動加速度を推定した。その結果、パルテノン神殿が建造されて以来25世紀の間で $0.2\text{ G}$ を超えた振動を受けた可能性は少ないと結論が出された（小柳津他 2011）。



### 3. ミュオグラフィ技術による

#### パルテノン神殿の柱の内部構造モデリング

パルテノン神殿のような歴史的建造物の耐震診断、補強を行う目的で構造調査を行う場合、文化財としての価値を損なわないようにするため、原則として非破壊調査を行うことが求められる。しかし、歴史的組積造建造物は多くの場合、空間分解能、透過能力の観点から既存の非破壊検査法を適用することができないのである。そのため高い透過力と空間分解能を持つミュオグラフィは、歴史的組積造建造物の構造調査における唯一の手法となり得る。

これまで、組積造建造物のミュオグラフィ観測は溶鉱炉を対象として、行われたことがある。溶鉱炉は炉壁と炉底が耐火煉瓦で築かれているが、超高温環境下で炉壁・炉底は徐々に損耗するため、年々構造強度は下がっていく。これまでに、炉底レンガと炉内を透過したミュオン強度から、測定時点でのレンガの損耗レベルを推定するミュオグラフィ観測が行われている (Nippon Steel News, No.370, December, 2008)。歴史的組積造建造物では、著者 (田中) を含むグループが2006年5月のジャワ島中部地震において被害を受けた世界遺産であるプランバナン寺院群 (図5参照) の中でサイズが最大のシヴァ祠堂 (高さ47m) のミュオグラフィ観測を2013年から行っている (図6参照)。シヴァ祠堂の内部構造は資料や図面は残っておらず不明であるため、正確な応力度分布を計算できないからである。しかしながら、内部構造をミュオグラフィによって明らかにできれば、建造物の耐震評価の精度をあげられる。

#### (1) ミュオグラフィの技術的原理

ミュオグラフィは宇宙線と大気原子核との反応で発生する素粒子ミュオン (以下単にミュオンと呼ぶ) のエネルギーが幅広いスペクトルを持つ事と、ミュオンの透過性が優れている事を利用して行う巨大物体のイメージング技法である。物質中でのミュオンのエネルギー損失は化学組成にあまりよらず、物体入射前のミュオンスペクトルの形状と物質の密度がよくわかっているならば、物質中で止まる (つまり通り抜けられない) ミュオンの数を決定できる。逆に物質中



図5：ジャワ島のプランバナンの寺院群



図6：ミュオグラフィ観測装置

で止まったミュオンの数が分かれば、物質の密度を計算できるのである。ミュオンの到来方向が分かれば、到来方向毎の物質内部の密度分布のマッピングが可能である。ミュオンをとらえる検出器の角度分解能が良ければ、得られるミュオグラフィ画像（ミュオグラフ）の解像度があがる。

ミュオンは宇宙から降り注ぐ高エネルギー一次宇宙線と大気原子核との反応によって生成される。地上でミュオンを観測してみると、天頂～水平方向からミュオンが飛来することが分かる。これは地球に入射する一次宇宙線が等方的であるからである。ミュオンの透過力を調べるために、坑道を利用した実験がこれまでに数多く行なわれてきた。坑道上の分厚い岩盤を利用して、ミュオンの等価量を正確に測ることが目的である。地上でのミュオンのエネルギースペクトル<sup>(2)</sup>はよくわかっているため、ミュオンのエネルギー損失の関係式

$$dE_{\mu}/dX = [1.88 + 0.77 \ln(E_{\mu}/M) + 3.9E_{\mu}] \times 10^{-6} (\text{TeV g}^{-1} \text{cm}^{-2}) \quad (1)$$

を用いると、異なる深さでのミュオンフラックスを見積もることができる。ここで、 $X$ はミュオンの経路に沿った物質質量で、(経路長) × (経路に沿った平均密度) に等しい(これを密度長と呼ぶ)。 $E_{\mu}$ はミュオンのエネルギー、 $M$ はミュオンの質量でもよくわかっているため、岩盤の厚みと密度の値を与えることで、エネルギー損失の積分値を(1)を用いて計算できる。逆にエネルギー損失の積分値と岩盤の厚みが分かれば、ミュオン経路に沿った平均密度を計算できる。

ミュオグラフィはミュオン検出器を用いて行う。ミュオン検出器はプラスチックシンチレータと呼ばれるミュオンを感知する部分とプラスチックシンチレータにより変換された微弱な光子をとらえる光電子増倍管の組み合わせでできている。細長いプラスチックシンチレータを縦横に並べる事で、ミュオンが検出器のどこを通ったかを縦横それぞれから出るミュオン信号の組み合わせで決める事が可能である。従って、シンチレーターの幅とミュオンの位置決め精度は相関している。プラスチックシンチレータを並べて作ったXY座標面を位置敏感平面 (position sensitive plane; PSP) と呼ぶ。PSPを2枚以上組み合わせ

る事で、ミュオン到来方向を決定できるのである。2枚以上使う理由は環境背景雑音を取り除くためであるが、本報文の目的を逸脱するので、ここで深くは立ち入らない。

## (2) 測定対象・検出器の選定

鉛直方向のミュオンの飛来強度は $70 \text{ sr}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ <sup>(3)</sup>である。この数は手のひらに毎秒1個の強度に一致する。ミュオグラフィを行う際、対象物体のサイズの大小により、透過量は異なってくる。一方、ミュオグラフィの解像度は角度分解能 $(\Delta\theta, \Delta\phi)$ に入るミュオン数のみによっている。一方、 $(\Delta\theta, \Delta\phi)$ に入るミュオン数は検出器の面積 $S$ 、立体角 $\Delta\Omega = \Delta\theta \Delta\phi$ 、そして計測時間 $t$ のみによる。つまり、この3つのパラメータはミュオグラフィ観測にとって、トレードオフの関係にある。測定対象、検出器を選定する際には、この関係を常に考えておかなければいけない。

## (3) 得られるデータの解釈方法

方程式(1)から分かるように、ミュオグラフィが直接描き出す事ができる構造はミュオンの経路に沿った物質質量、つまり、(経路長)×(経路に沿った平均密度)である。経路長は地形図や設計図などから正確に見積もる事ができれば、ミュオン経路に沿った平均密度の分布を描き出す事が可能である。しかし、経路上に異なる密度構造の領域が複数存在すると、それらはすべて重なって表現される事に注意が必要である。これはX線レントゲン写真撮影法と同じである。この問題は異なった方向から撮影(ステレオ撮影と呼ぶ)する事である程度解決する事が可能である。

## (4) パルテノン神殿の柱を透過するミュオン強度

本節では高さ10.43 m、直径1.9 mのドーリス式円柱と断面積 $110 \times 110 \text{ mm}^2$ 、深さ70 mmのダボ穴の有無を、厚み1.9 m、密度 $3 \text{ g/cm}^3$ の大理石平板が1.83 m及び1.79 mに厚みに減少するという形にモデル化する。ここで、厚み1.9 mの大理石平板はダボ孔がつぶれている場合、厚み1.83 mは木製ダボ(密度 $1 \text{ gcm}^{-3}$ )が入っている場合、1.79 mの厚みは木製ダボが消失している場合にそれぞれ対応する。そして、モデルに対する透過ミュオン強度の変調を異なる仰角に対して検討する。従って、たとえば、仰角30度方向ではそれぞれのモ

デルに対して、密度長は、6.1 m.w.e. (meter water equivalent)<sup>(4)</sup>、5.8 m.w.e.、5.7 m.w.e.となり、仰角80度方向ではそれぞれ33 m.w.e.、32 m.w.e.、31 m.w.e.となる。

方程式 (1) を用いて、以上の密度長を透過できるミュオンの最低エネルギーを計算すると、仰角30度に対しては、各々1.11 GeV、1.06 GeV、1.04 GeV、仰角80度に対しては、6.59 GeV、6.38 GeV、6.16 GeVであることが分かる。これらのエネルギー以上の積分ミュオンフラックスの違いがそれぞれの条件に対するミュオグラフィのコントラストを決定する。結果、仰角20度方向に対しては、 $9.32 \text{ sr}^{-1}\text{s}^{-1}\text{m}^{-2}$ 、 $9.35 \text{ sr}^{-1}\text{s}^{-1}\text{m}^{-2}$ 、 $9.36 \text{ sr}^{-1}\text{s}^{-1}\text{m}^{-2}$ の透過ミュオンフラックス、仰角80度方向に対しては $51.7 \text{ sr}^{-1}\text{s}^{-1}\text{m}^{-2}$ 、 $52.1 \text{ sr}^{-1}\text{s}^{-1}\text{m}^{-2}$ 、 $52.6 \text{ sr}^{-1}\text{s}^{-1}\text{m}^{-2}$ の透過ミュオンフラックスをそれぞれ得る。

#### 4. 結果と議論

パルテノン神殿のドーリス式円柱の内部構造を調査する際には、鉛直方向のミュオンを利用するほうが効率的に調査できることが分かった。これは、高仰角のミュオン強度が高くなる効果と円柱の実効的な厚みが上昇する効果による。ダボ穴の有無によるミュオグラフィのコントラストは仰角20度方向に対しては0.4%にとどまるのに対して、仰角80度方向に対しては1.7%に上昇する。このコントラストを68%、95%の統計的有意度で検出するのに必要なミュオン数は仰角20度方向に対してはそれぞれ、62500イベント、250000イベント、仰角80度方向に対してはそれぞれ、3457イベント、13830イベントである。

ところが、実際の測定の場合、検出器とダボ穴の距離が仰角によって変わるので、ダボ穴を見込む角度 (立体角) が変わる。つまり、ダボ穴が離れるほど、ダボ穴を通ってくるミュオン数は減り、結果として、より長い測定時間が必要となる。上記の議論を実際のパルテノン神殿のドーリス式円柱の測定に当てはめてみたい。ダボ穴は柱表面から1 m (仰角20度方向)、5 m (仰角80度方向) 離れることから、見込む立体角はおおよそ $0.11 \times 0.14 \text{ rad}^2$  (仰角20度方向)、 $0.022 \times 0.028 \text{ rad}^2$  (仰角80度方向) である。1平米の検出器を想定すると、上記

イベント数をとらえるのに必要となる時間は仰角20度方向に対してはそれぞれ、5.04日、20.2日、仰角80度方向に対してはそれぞれ、1.26日、5.03日となる。

木製ダボの有無によるコントラストは、各々0.1%（仰角20度方向）、1%（仰角80度方向）であるので、コントラストを68%、95%の統計的有意度で検出するのに必要なミュオン数は仰角20度方向に対してはそれぞれ、1000000イベント、4000000イベント、仰角80度方向に対してはそれぞれ、10000イベント、40000イベントである。これらのイベント数をとらえるのに必要となる時間は仰角20度方向に対してはそれぞれ、80.6日、323日、仰角80度方向に対してはそれぞれ、3.63日、14.5日となる。

結論として、ダボ穴が検出器から離れる効果を考慮しても、パルテノン神殿のドーリス式円柱の内部構造を調査する際には鉛直方向のミュオンを利用するほうが効率的に調査できることが分かった。

これまで、パルテノン神殿のドーリス式円柱内部のダボの存在を非破壊で知る方法は存在しなかった。柱をドラムに分解して内部の調査を行うことはできるが、ダボの有無が分からない状態でそのような作業を行うことはできない。文化遺産保護の観点からも柱に横からドリルで穴をあけて、岩石コアを取り出すといった破壊検査も無理である。結論として、ミュオグラフィによる木製ダボの有無、あるいはダボ穴の有無の調査は以下の2つの事項の推定に役に立つだろう：(1)ヴェネツィア軍の砲弾によるパルテノン神殿炎上の規模、及び(2)パルテノン神殿の耐震強度の推定である。まず、(1)であるが、柱が木製のダボが焼失する程度の炎につつまれたのかどうかを（ダボの焼失温度、大理石の熱電導度、及び大理石の直径から）科学的に分析することが可能となる。つまり、もしダボ穴が消失していれば、柱がより高い温度に長時間晒されたことになるのである。当時オスマントルコ軍が保管していた火薬の量の推定にもつながり、当時の軍事情勢の推定など歴史学にフィードバックできるだろう。(2)は貴重な世界遺産の保護という観点から重要である。今後未来へ向けて、貴重な文化遺産を第一級の地震国ギリシアで残していくためには、耐震補強が必須である。柱の中のダボ穴存在の有無は耐震補強の指針を与える上で極めて重要

な情報である。

## おわりに

地震学と歴史学とをつなげる新しい要素を見つけることができれば歴史学者の存在意義もこれまで以上に高まるであろう。皮肉なことに我が国を襲った未曾有の大災害がそのひとつの契機となるかもしれない。2011年3月11日に東日本大震災が我々にもたらした様々な問題のひとつに建造物の耐震構造の問題がある。一見、歴史学とは無縁のように思えるこの問題は、四千年以上ほぼ原形を保っているエジプトのギザにあるピラミッド群やアテネのアクロポリスの丘にあるパルテノン神殿などの巨大な石造りの歴史建造物がなぜ幾度も大地震を経験したにもかかわらず崩壊を免れ長期間持ち堪えたのかという問題へとフィードバックされる(1687年にパルテノン神殿はヴェネツィア共和国軍によって爆破され崩壊しているが、それは人為的なものである。またギザのピラミッドの外装石の喪失も他の建造物への建材の転用などが原因である)。

もしこれら長い歴史を持ち世界遺産にも指定されているほどの巨大な石造建造物の詳細な内部構造を非破壊で知ることができれば、歴史学は新技術のサポートを受け、いわゆる「役に立つ学問」へと進化することができよう(これまでそのような問題は建築学の立場から論じられることが多かった。エジプトのサッカラにあるネチェリケト王の階段ピラミッドの調査を長年行ったフィリップ・ロエール(Lauer, 1994, 183-194; ロエール, 1973)にしても、近年のギザの大ピラミッドに関する螺旋構築仮説で知られるジャン・ピエール・ウーダン(Brier & Houdin, 2008)にしても建築家であったため、部分的な仮説の提案に留まり、その先にあるべき文化論を提案するまでには至っていない)。これまで歴史学は過去から学んだことを現在そして未来の我々の生活・活動に活かすことをひとつの役割であると主張してきた。今後さらに他分野からの新しい技術が歴史学に対して積極的に提案されるであろう。その最たるものがミュオグラフィなのである。

- 130 青木真兵、田中宏幸、大城道則 歴史的考察から得られるギリシア・  
パルテノン神殿の耐震性能低下の可能性とミュオグラフィによるその評価について

## 謝辞

貴重な情報を提供していただいた三重大学の花里利一先生には文末ながら記してお礼申し上げます。

## 註

- (1) スペクトルの幅が狭いと、すべてが通り抜けられるたり、すべてが通り抜けられなかったりするので、透視画像のコントラストが出にくい。
- (2) エネルギーごとのミュオン強度
- (3) srはステラジアンとよび立体角の単位
- (4) 水換算での厚み
- (5) ギガエレクトロンボルト、ギガ電子ボルト

## (参考文献)

- Lauer, J. P., "Les édicules en forme de D du complexe monumental de la Pyramide à degrés", *Hommages à Jean Leclant* 4 (1994), pp.183-194
- Mabuchi, Y.; Hanazato, T.; Watabe, M. Static shear friction tests on the model marble columns of the Parthenon for the aseismic retrofitting, *Structural repair and maintenance of historical buildings III* edited by C. A. Brebbia, R. J. B. Frewer, Southampton, United Kingdom (1993), pp. 475-482
- Mouzakis, H.P., A.Miltiadou, M.Ioannidou, T.Hanazato, Y.Uekita, et.al. Dynamic Performance of Greek Temple in Comparison with Japanese Timber Pagoda, *Proc. of 13th Japan Earthquake Engineering Symposium* (2010), pp. 1436-1443
- 小柳津 菜都美, 大村 真理子, 花里 利一 「海外の地震国における世界遺産組積造建築物の耐震性に関わるモニタリング調査: その3 パルテノン神殿における地震動と被害に関する調査(海外の組積造, 構造IV)」『学術講演梗概集. C-2, 構造IV, 鉄筋コンクリート構造, プレストレストコンクリート構造, 壁構造・組積構造』2011, 945-946頁
- 栗原麻子「アテネ: パルテノン 歴史のなかの存在」奈良大学文学部世界遺産コース編『世界遺産と都市』風媒社、2001年、91-102頁
- 周藤芳幸、澤田典子『古代ギリシア遺跡事典』東京堂出版、2004年
- 関隆志『パルテノンとギリシア陶器』東信堂、1996年
- 花里 利一, 上北 恭史, 箕輪 親宏, 中川 貴文, 富永 善啓, 西岡 聡, 松井 敏也, 小野 邦彦, 是澤 紀子, 種市 麻衣, 飛田 ちづる, 神田 洋子, 稲葉 信子 「海外の地震国にお



- ける世界遺産組積造建築物の耐震性に関わるモニタリング調査: その1 ギリシャ・パルテノン神殿とインドネシア・プランバナナ寺院の調査概要」『学術講演梗概集・C-2, 構造IV, 鉄筋コンクリート構造, プレストレストコンクリート構造, 壁構造・組積構造』(2009), 923-926頁
- ボブ・ブライアー、ジャン＝ピエール・ウーダン著、日暮雅通訳『大ピラミッドの秘密—エジプト史上最大の建造物はどのように建築されたか—』ソフトバンククリエイティブ、2009年 (B. Brier & J-P. Houdin, *The Secret of the Great Pyramid* (New York, 2008))
- 森谷公俊「講義録—パルテノン神殿の政治学」『帝京史学』第25号、2010年、307-354頁
- J. P. ロエール著、酒井傳六訳『ピラミッドの謎』法政大学出版局、1973年 (Lauer, J. P., *Le Problème des Pyramides d' Egypte* (Paris, 1952))
- Nippon Steel News, No.370, December, 2008, Published monthly by Public Relations Center General Administration Div. Nippon Steel Corporation,  
<http://www.nssmc.com/en/company/publications/monthly-nsc/pdf/2008122418550227497.pdf>
- ユッカ・ヨキレット著、益田兼房監修、秋枝ユミイザベル訳『建築遺産の保存—その歴史と現在』アルヒーフ、2005年。
- 池 浩三『パルテノンの世界—その建築システムの復元的考察』中央公論美術出版、2008年。