

これからの保存科学の在り方

松井敏也¹⁾

所属 1) 筑波大学 芸術系

1 新たな脅威に備えて

遺跡における脅威は多様化している。遺跡がこれほどまでに人類に活用されるまでは遺跡に生じる劣化は遺跡を構成する材質が本来持つ様々な自然の法則に従ってきた。人類が遺跡を資源として活用すると、その劣化は多くの場合加速されてしまう。現在、これまで遺跡ではあまり考えられて来なかった要因が大きな劣化因子として目の前に表れてきている。たとえばそれには来訪者の増大やそれに伴う交通インフラの変化、来訪者のニーズを満たすべくさまざまなイベントなども当てはまる。もちろん地球規模で進む温室効果や空気汚染なども着実に遺跡を劣化させている。

遺跡を取り巻くこれらの脅威が多様化しているにもかかわらず、これまでの保存科学的手法はこれらの新たな脅威に対応できておらず、古典的、歴史的な手法が用いられていることが多い。これら古典的、歴史的な手法とはたとえば塩類風化などの昔からある脅威に対する手法を指し、遺跡を構成する物質の物理的、化学的变化をどのように抑えるかといった臨床的な視点から構築された手法であり、社会の中で大きく変動する遺跡の有り様に対して誘起される脅威には対応し切れていないのではないだろうか。遺跡には本来これまでの観光客やショーなどのイベントに対して耐えうるだけのポテンシャルがあるのかどうか判断されないままとなっている。保存や修復はこれまで多くの遺跡に適用され、数々の成果を上げている。だがこれから10年、20年後の保存科学が現代と同じように成果を上げるには、これからスタートをしても早くはない。

2 劣化の分類

脅威にさらされた遺産の劣化を診断する場合、観察などで認められた劣化を適切に取り扱う必要がある。

遺産の多くは当初の利用形態から異なった目的で公開、活用されている。現在公開されていない遺産であっても、その多くは活用を目指して整備されていることが多い。たとえば世界遺産であるボロブドゥール寺院遺跡においても当初は宗教的、儀式的に意識されて利用されていたはずであるが、時間が経つにつれその意味合いは薄れ、歴史的なものへと変化し、そして現在では観光の要素も加味され利用されている。近年世界遺産になった旧富岡製糸場も、本来は製糸工場であり、現在展示公開されている東置繭所も繭の保管建物であり、年間数十万人の観光客が利用する目的として建てられた建物でもない。このような利用形態の変遷は修復の在り様も変化させ、それが積み重なって現在の劣化が引き起こされている。

劣化は主に下に挙げる5つに分類できる(図1)。これらの劣化を読み解き、過去の劣化、現存する劣化、潜在的な劣化を判断して診断をする。

- ① 利用形態の変化によって新たに生じた劣化
 - ② 利用形態の変化により止まった劣化。だが劣化した結果は残存する
 - ③ 劣化が継続または促進する場合
 - ④ もともとの劣化は止まったが、新たな生じた劣化
 - ⑤ もともとの劣化に加えて、新たな劣化が加わる場合
- ①は本来の利用形態ではほとんど目立った劣化がなかったが、利用形態が変わることで

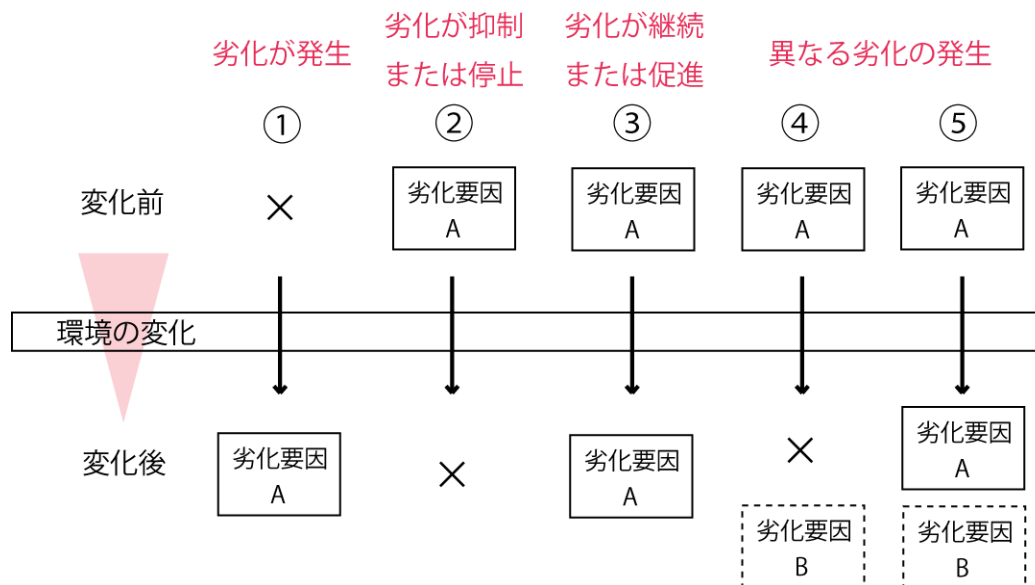


図1 利用形態の変化による劣化の分類

新たな劣化が生み出される場合である。②は使い方が変わったことによりそれまでの劣化現象が止まった場合である。ただ劣化は止まったものの、劣化物（劣化した状態）はそのまま（たとえば視認できる状態）であるのであたかも劣化が今も進行中であるように見える。③は利用形態が変わってもその前後で劣化の原因や仕組みに変化が無く、そのまま同じ劣化が進行している場合である。④はもともとの劣化が止まった代わりに、新たな利用形態によって引き起こされた劣化が出現する場合である。⑤はもともとの劣化が引き続き進行し続けるだけでなく、新たな劣化も起こった場合で、③と④が合わさったケースである。これらをよく見ると全てのケースにおいて目の前には劣化した対象物があることになり、それを自然科学的手法を用いることでどのケースに当てはまるかを考えることになる。もちろん②のように現在進行していない劣化に対しては修復や保存処置を施さないこともあるが、美観を損ねる場合や、その劣化した部分が他の劣化を誘発させることもある場合などは総合的に判断して処置をすることもある。

3 保存処置の考え方

1) 保存処置へのアプローチ

遺産と言うものは、多かれ少なかれ劣化しており、保存科学に求められるものは遺産を劣化したまま保存しなければならないことである。劣化原因を探ることはもちろんだが、劣化してすでに周囲の環境と平衡状態に達した劣化のメカニズムを解明し、いま進みつつある劣化や一見健全に見える箇所の劣化を防ぐ事が保存科学の目的である。

例えば図2のような現象があったとしたらどう考えるであろうか。何らかの劣化によって彫像の顔の部分が剥離し、内側の新鮮な石が見えている。なぜこのような劣化が起こったのかという原因究明も根本的なアプローチではあるが、その原因究明には時間がかかることが多い。図3に石材の劣化要因を挙げた。材料の欠点や施工の要因などその遺産が完成するまでに含まれてしまう劣化因子もあれば、その後の使い方や管理、環境などによって生じる劣化がある。もちろんこれには先にあげたような利用形態の変化による劣化も含まれる。特に空気質や温度湿度などといった要因によるものは長年の観測データがないと判断できないことが多く、劣化原因の調査を一から始めると原因の究明には時間が掛かってしまい、その間にも写真にあるような剥離は進行する恐れがある。したがって、このような長期にわたるデータが必要な調査を進める必要はあるが、一方でこの剥離が進行しないようにする処置が現地では求められている。現地での処置はこうした剥離した部分の処置とまだ剥離していないオリジナルの部分の処置に分けられる。

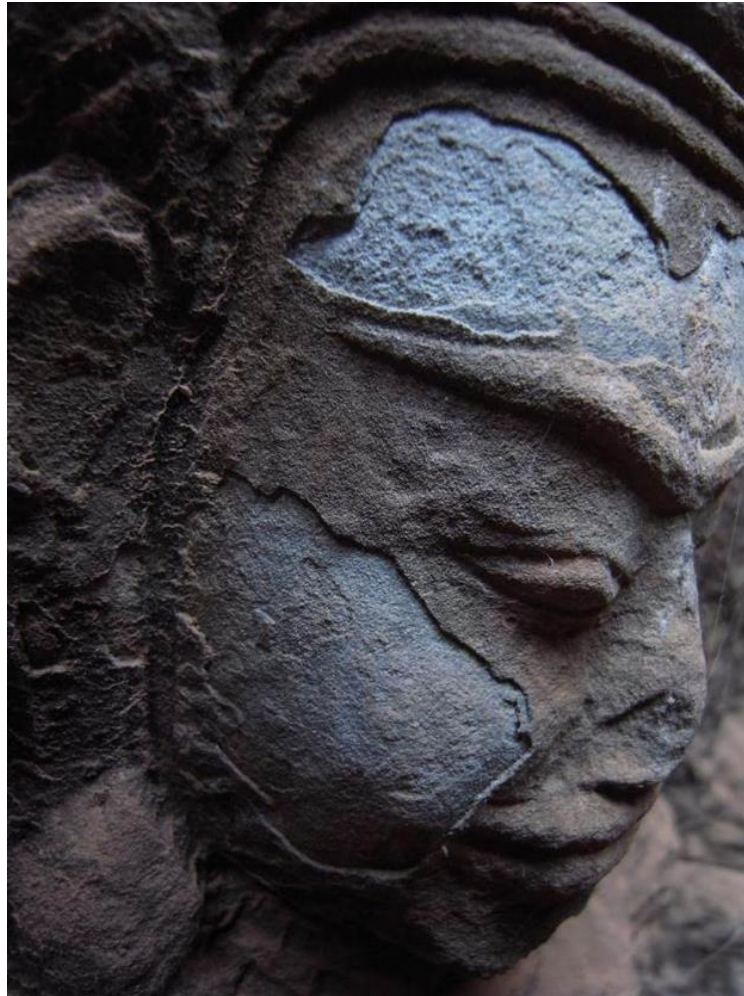


図 2 彫像に生じた剥離現象

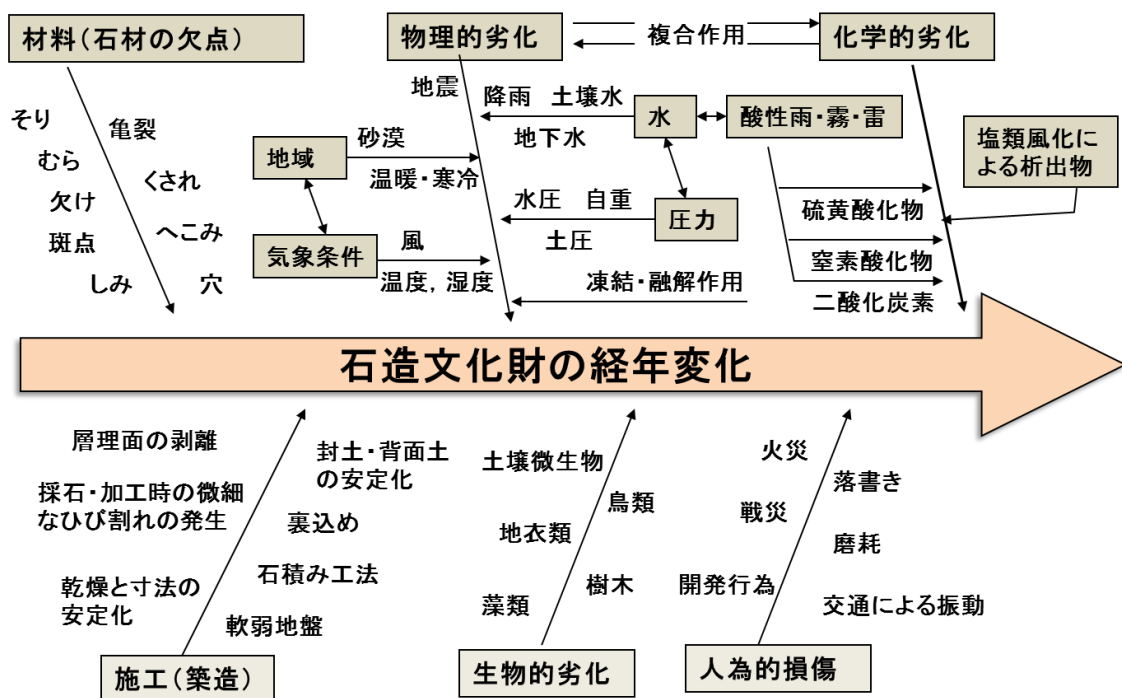


図 3 石造文化財の経年劣化に与える要因(内田昭人 1995 から引用)

2) 多様な処置

剥離した部分の処置とこれから剥離するかもしれない部分に行う処置は同じではない。剥離した部分は剥離という現象によって劣化によるストレスから一時的に開放されているが、まだ剥離していない部分はそのストレスに対して抵抗するだけの体力が残っていると見ることもできる。剥離部分は新鮮な石の表面が見えてしまっており、これまでははく離した表面によりいろいろな環境から守られてきた部分である。この剥離した範囲をそのままにしておくと雨水が隙間に浸透するなどし、まだ剥離していない部分の劣化進行を早める恐れがある。そこでこの剥離部分の充填をすることも保存の対策となるが、剥離部分をすべて修復剤で覆ったほうが良いのか、それとも剥離した境界となる隙間を埋めたほうが良いのだろうか。これまでは前者の方法による修復が多かったが、近年では後者を取ることが多い。また、これと同時にまだ残るオリジナルが損傷しないような処理も必要となる。

しかし、上に述べたように劣化原因が未解明な場合や解明されていてもそれが取り除かれていないことが多い。したがって、オリジナルの部分についてはできるだけ処置をせずにしたいが劣化予防する必要がある場合は劣化のストレスに対抗する体力を付与することがある。

このように1箇所の劣化に対しても、剥離した部分の処置、剥離とオリジナル境界部の充填処置、オリジナルの基質強化などがありそれぞれ使う材料や薬剤は異なる。アンコール遺跡群バイヨン寺院の浮き彫りの修復材料の選定には12種類の様々な処理剤を用いた検討を2007年から実施している。それぞれの薬剤が現地環境下でどのような挙動を示すか調べている。図4は5種類の撥水剤を新鮮な現地の砂岩に塗布しその吸水率の変化を計測したものである。撥水剤の種類によって砂岩に与える撥水効果が様々であることがわかる。この中から最適な撥水剤を選ぶことになるが、最適な撥水剤とは対象箇所の吸水性能をどのように設定するかで変えることになる。

一方、修復処置も時として新たな劣化を生み出すことがある。例えば雨水や漏水などにより繁茂したコケや地衣類の被害を抑制するために遮水処置をしたところ、乾燥化が進み塩類風化が生じる原因になることがある。過去の修復はその当時の劣化に対し最良の策を講じて施していると考えられ、その修復処置はいまの劣化現象がどのようなものであれ正しかったと認識される。不用意に過去の修復を取り除くと過去の劣化が再発しかねないので、劣化診断を行なうときは過去の履歴も重要な判断材料となる。

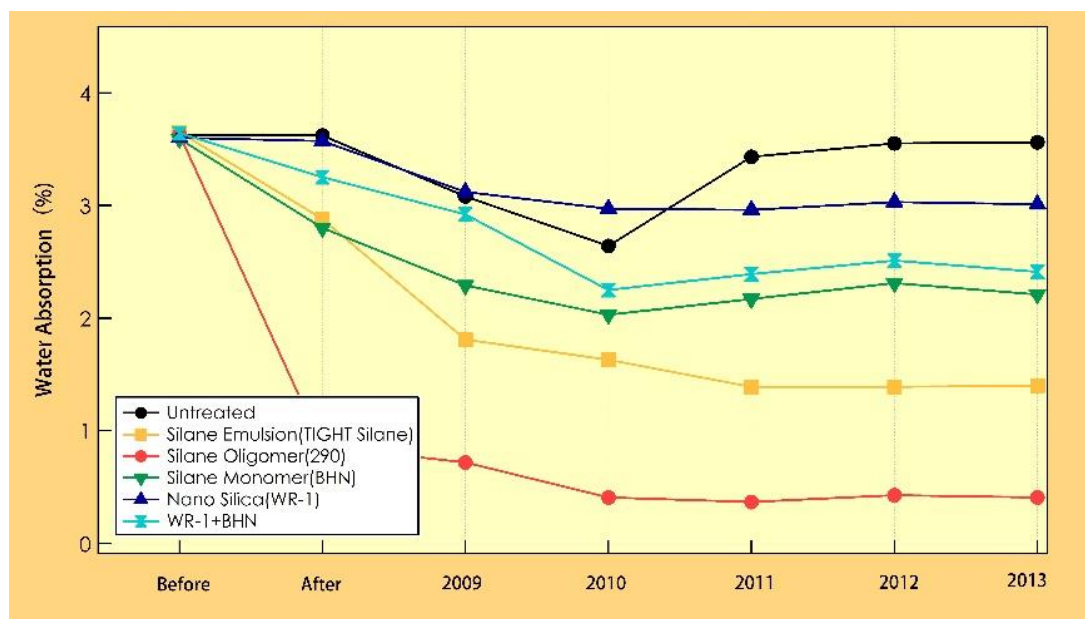


図4 撥水剤処理した砂岩の吸水率変化

4 何を残すのかの判断—痕跡を分類する

さてここで保存処置により残す対象が持つ痕跡について考えてみる。文化遺産や文化財はそれぞれにさまざまな履歴を持つ。そのモノが作られたときは備わっていた形や大きさ、色、物性に、そのモノが使われた時に付いた痕跡（使用方法）が追加される。そしてその後使われなくなってしまうからは、現代まで伝わるまでの間におもに静置環境において付く劣化がある。例えば自転車などは買ったばかりに備わっている装備や機能もあるが、使うにつれて（使い方にも寄るが）サビが出たり、塗装がはげたりすることもある一方でパンクを修理したりと自転車機能の維持するためのメンテナンスによる痕跡が付く。その後、乗らなくなり放置されると使用していた時とは異なる劣化（例えばチェーンがサビたりなど）が顕著になる。これらの痕跡の全てを保存できれば良いが、時として一部を犠牲にせざるを得ない場合も生じる。形や色など本来の姿が大事か、その使い方が大事か、現代まで伝わって来た痕跡が重要ななどと判断を迫られる場合がある。

モノの本来の姿には用途によって決まる大きさや形もあれば、その当時の材料や技術力によって定まる素材や形もある（図5）。特に遺跡から発掘される考古資料の場合はその履歴がわかりにくい。図6に考古資料の一例を示す。

保存処置が行われる時には保存科学の専門家だけではなく、歴史学、芸術学、建築学、文化財学、博物館学、関連諸科学などと協議の上でその修復方針や修復方法が議論され決定される。これらの議論の際には材料史や技術史の研究も重要となる。その時代にその素材があったのか、その技術力が存在したかなどを多くの物証から積み重ねておく必要がある。このような研究も保存科学の重要な研究テーマとなっている。



図5 よく見かけるペットボトル。
大きさや形は用途や使う人間の
サイズなどにより決まる。

5 どのように残すか

我々が遺産や文化財と触れ合う時、それらの情報を得るにはほとんどの場合視覚に頼っている。博物館などでは展示ケース越しに鑑賞し、遺跡などではすこし全体が俯瞰できるような場所から眺めたりする。石は石のように見え、金属は金属のように見えなければ違和感が生じる。修復には修復対象と同じ素材で修理する場合もあれば、修復したことが分かるように敢えて異なる素材で修復することがある。たとえば日本が誇る漆製品などは、日本の場合、漆で修理されることが多い（海外などでは合成樹脂を使うこともある）。だが、ほとんどの文化財は異なる素材で修復される。では違う素材を用いる場合、石を石らしく、金属は金



図6 遺跡から出土した考古資料[馬具の一部]（左：処理前 右：処理後）

属らしく見せなければそれを鑑賞した時に修復した部分に目が留まってしまう。そのためにも石がなぜ石っぽく見えるのか、金属を一見しただけで金属であるとしてどうして分かるのかなど、それぞれの材質が持つ質感がどのような仕組みで生み出されるのか知っていると鑑賞上違和感無く修復ができる。特に石造物など屋外にある遺跡の場合、雨にぬれれば水分を吸収し濡れ色を呈し、晴れの日には湿気を放出し、乾燥した状態にする必要がある。そのためには石の劣化に連動して変化する吸放湿性に合わせた修復材料を調合することになる。石の場合だと岩石粉末と合成樹脂を混ぜて作ることが出来る。すなわち、色をただ単に似ているようにするのではなく、その素材の質感を決めるモノの性質を似せて作ることにより劣化した修復箇所負担をかけずにかつ違和感の無い修復が出来る。

図7には破損した陶器の置物を修理した事例を示す。鶏の鶏冠の部分が破損し、細かく割れてしまっていた。最初に全ての破片の破断面にアクリル樹脂を薄く塗布を行なった。次に仮止めをしながら破片を組み合わせて、欠損部位を明らかにする。仮止めを外し、アクリル系の接着剤を用いて元の位置に破片を戻すことになる。欠損部位がそのままだと鑑賞上の妨げになるので、欠損部位に彩色処理を施したエポキシ樹脂を充填する。文化財の処理には可逆性の修復が理想とされており、この修復も溶剤を使うことでオリジナルに負担をかけることなく、修復前の破片の状態に戻すことが出来るようにしてある。



図7 陶器(鶏の鶏冠)の修復事例
(左：破損した鶏冠と破損パーツ、中央：接合とパテ充填、右：補彩後)

6 日ごろの健康管理

保存修復ではできればやらないほうが良いのは言うまでもない。劣化や損傷などが目に見えて明らかになるとようやく保存科学専門家が呼ばれることになる。時としてもうすこし早く気が付いてくれればと思うこともあるが、劣化現象に見慣れていない現地の担当者には何が劣化でどのくらい深刻であるのかを見定めることは難しい問題である。現地では日常の遺産の健康管理が重要となる。

遺産や文化財の劣化にはその発症の期間により劣化要因を短期、中期、長期に分けることが出来る。短期とは地震による破壊や津波、火災、盗難など瞬間的または比較的短時間で起こる劣化である。作品輸送時の振動なども短期にあたる。中期はおおよそ数ヶ月や1～2年くらいで劣化が起こる現象を指し、虫害や菌害、空気汚染などが該当する。そして温度や湿度、光など数年規模に渡る劣化が長期的劣化因子とされる。短期に急激に起こる劣化は気づき易く、劣化対策も取りやすい。またその対策による効果も比較的すぐに目に見える。中期的に生じる劣化はゆるやかな劣化であり、虫害などは虫の糞や食害などから定期点検時に気づき易く比較的対策も立て易い。一方、空気汚染などによる損傷は症状が目に見えていても、原因が空気だと認識されるまで時間がかかり、かつその原因物質の特定には更に専門的な分析調査が必要となる。長期に渡り影響を及ぼす温度や湿度、光は文化財を活用する上では除外できない因子でありできるだけ影響を少なくするように努めるしかない。

これらの劣化対策としては長期的な要因を管理しつつ、中期的な要因の発生をコントロールかつ点検、観察をしながら、短期的な突発的要因に備える必要がある。日ごろから活用状況に合わせた環境管理が重要となる。活用によってはそれまで想定していなかった劣

化因子が発生することもあり、遺産や文化財を活用する際はそれによる劣化ポテンシャルの増減を十分に把握しなければならない。この劣化ポテンシャルの把握には自然科学的なデータの取得と解析が必要になることが多く、主治医となる保存科学専門家を見つけ協力しながら活用に取り組む必要がある。

2014年に世界遺産に登録された富岡製糸場の日常の取り組みについて紹介する。富岡製糸場では温度湿度の計測を敷地内の20箇所のポイントで2008年から計測を行っている。施設の活用形態の変化による変動もモニタリングしている。これにより各施設の日常の温度湿度管理が行えている。また、活用の有無による二酸化炭素濃度の計測も行っている。二酸化炭素は来館者による影響が大きく、その濃度上昇は温室効果を促し、温度の上昇やそれに伴う乾燥化、物質の膨張などを引き起こす。図8には世界遺産登録前の二酸化炭素濃度の推移を示す。この当時の来館者数では二酸化炭素濃度が翌日まで蓄積しないことが確認できている。さらに敷地内の7箇所で空気中の有機酸、無機酸、アンモニア、アルデヒド類、VOC（揮発性有機化合物量）、浮遊菌の測定を行っている。この他にも空調機による振動影響調査なども実施し、活用における遺産のいわゆる健康状態を把握している。この診断データを元に、なにかしらの劣化や異常が検知されたときには解析を行うことでより迅速かつ的確に原因を突き止めることが可能となる。



図8 活用および未活用施設の二酸化炭素濃度

7 これからの保存科学

冒頭に挙げたように遺跡や文化財における脅威は多様化している。それらの新たな脅威の診断、評価、予防が近年の研究の柱になっている。最後にそれらの研究を紹介したい。

一つ目は振動解析である。博物館や遺跡での環境振動や観光客に伴う振動であり、地震波や常時微動といった建築構造分野などで評価される振動域とはすこし異なる。観光客の増加は地域へのさまざまな恩恵がある反面、周辺交通量の増加や許容量を越える来訪者を管理するための整備などを招き、それらが予期せず遺跡に影響を及ぼしていることがある。これらを解析、評価を行ない、博物館や遺跡などの管理に役立てることを目的としている。博物館では様々な種類の資料を展示しているが、それらのほとんどは展示に耐えうるように何らかの処置（化学的にせよ物理的にせよ）が施されている。しかし、それらの処置は温度や湿度、光、酸素など通常的环境を想定したものであり、人が観覧する影響や立地に起因する影響はそれほど考慮されて処置されることはなかった。遺跡においても同様であり、遺跡を舞台としたコンサートなどの各種イベントはまさにこれまで対策がとられることがなかった。ほかにも観光客に起因する歩行や会話、来訪者のための施設内空調機器の振動音なども測定対象としている。これまでに歩行による振動が遺跡を構成する素材を伝播することがあることや、別の遺跡では壁画の修復材料が携帯電話の着信音（振動）と共

振することも確認している。これらの解析結果から、観光客や周辺の交通振動などを吸収または遮蔽する修復素材の研究を実施している。

二つ目の柱は空気質の調査である。空気質とは通常の大気成分（酸素や窒素など）とは異なり、大気中に存在する有機質や無機質の物質を指す。近年、その空気質による文化財への影響が指摘され、基準値はますます厳しいものとなっている。たとえばアンモニアやアセトアルデヒドは 30ppb、酢酸は 170ppb などと文化財を収蔵保管するうえでの推奨値レベルが設定されている。大型空調施設を整えた博物館や新設の博物館なら問題なく対応できるが、施設の老朽化や空調能力の乏しい旧来の館ではこれらの基準値をクリアするのは年々難しくなっている。さらに、特別展などで館の空調能力を超える来館者もその問題に拍車をかけている。2011 年の東日本大震災以降は被災博物館や被災資料の大気成分も調査を行っており、その結果、被災施設や資料からはこれまで文化財のための大気成分基準因子には挙げられていない成分が検出されたことを明らかにした。そしてそれらのほとんどは人工物に起因する成分であった。これらの成分が文化財に与える影響はまだ明らかになっておらず、新たな指針作りを提案する研究を行なっている。

三つ目の柱は予防に関する調査法の開発であり、我々はアコースティックエミッション（AE）を用いた新たな劣化診断を試みている。この技術は劣化が目に見える前に、遺跡や資料の内部で起きる劣化の極初期の現象を捉えようとするものである。たとえば温度変化を与えたときの劣化岩石内部で生じる鉱物の膨張収縮による音をサンプリングすることで、劣化の予兆を把握できるようになる。また、保存処理した岩石の処理の評価も従来の手法と併せて行なうことで、その精度が高まるであろう。現在はようやく測定条件が整えられて来たに過ぎないが、今後の進展により新たな劣化診断手法になることを期待して研究を進めている。

8 おわりに

遺産や文化財はその地域に所在する地域や風土の中できちんと位置づけられ、現代社会の人々に素直に受け止められるような工夫をすることが重要である。そうすることによって遺産や文化財は守られ、後世に伝えられるようになる。そのためにも目的を明確にした整備や活用の姿勢がなければ、遺跡を取り巻く脅威に備えることもできなければ、劣化に対する修復の方法も確定できない。

しかしながらその一方では地球規模で進む環境の変化のスピードにも対応していかなければならない。これまでの伝統技術による修復や補修ペースを上回るスピードで劣化が進むようになってきている。そのためには新しい技術をうまく取り入れ、新しい伝統技術や修復技術を開発する必要がある。もちろんそこには劣化や損傷を未然に防ぐ予防技術も必要となる。最先端の材料を過信してはならないが、それを活用する眼も持っていなければならない現状である。

参考・引用文献

- ・澤田正昭(1997) 『文化財保存科学ノート』近未来社
- ・京都造形芸術大学(2002) 『文化財のための保存科学入門』飛鳥企画
- ・丹青総合研究所(1990) 『文化財・保存科学の原理』丹青社
- ・馬淵久夫、三輪嘉六、三浦定俊、杉下龍一郎、沢田正昭(2003) 『文化財科学の事典』朝倉書店
- ・神庭信幸(2014) 『博物館資料の臨床保存学』武蔵野美術大学出版局
- ・三浦定俊、佐野千絵、木川りか(2004) 『文化財保存環境学』朝倉書店
- ・内田昭人(1995) 「石像文化財の経年変化」『奈良文化財研究所創立 40 周年記念論文集・文化財論叢 II』奈良文化財研究所