

遺跡保存に関する最近の調査研究の動向

高妻洋成

I はじめに

遺跡の多くは地中に埋蔵されており、発掘調査によりその様相が明らかにされる。しかしながら、発掘調査が終了すると、埋め戻しが行なわれ、その後遺跡の姿を見ることはできなくなる。文化財の保護として史跡に指定されていたとしても、その価値を知るためには発掘調査報告書やその遺跡の調査研究を著した書籍を紐解くしかなく、遺跡の存在を実感することは難しい。遺跡を文化財として保護していくためには、遺構や遺物の保存に加え、遺跡の存在とその価値を周知し、さらにはそれを活用していくことが必要となる。遺跡の存在とその価値を広く周知することを含め、「遺跡の整備」といわれるものである。すなわち、遺跡はその整備を通して保存と活用を行なうことで保護が図られることになるということは一般に語られていることである。

遺跡の整備においては、発掘調査後に遺構を埋め戻して保存し、その上に遺構表示、復元整備、あるいは複製展示を行なう方法と遺構そのものを露出展示する方法がある。これら整備の手法については、奈良文化財研究所が平城宮跡を実験フィールドとして様々な手法を試験的に行ない、その成果を全国に普及させてきた（図1から図4）。現在、全国で遺跡の整備が一般的に行なわれ、多くの遺跡が活用を通して保護されている。

遺構は土と石だけで構成されているものだけでなく、建築遺構として柱材等の木材が含まれることがある。木材は有機質材料であり、通常の湿気を帯びた好気的な環境下では腐朽が進行し、短期間のうちに消滅してしまうものである。発掘調査という作業は、遺跡の重要な情報を引き出すために必要なプロセスであるが、埋蔵環境を激変させるという側面もある。発掘調査後の埋め戻しにより、発掘調査前と同等の保存環境状態になるかどうかについての保証はない。さらに、2012年に長崎県の鷹島神崎遺跡が水中遺跡として初めて史跡に指定されたが、この遺跡には元寇船に関する多種多様な材料でできた遺物が存在しており、これらを水中において保存するのに適した環境をどのように作り出していくかという大きな問題がある。

いっぽうで、遺構そのものを露出させて展示公開することも行なわれてきた。長い年月、地中に埋蔵されていた遺構は、発掘調査により露出した状態となり、そのままでは風雨にさらされることになる。主として土と石で構成される遺構は風雨にさらされることで破壊

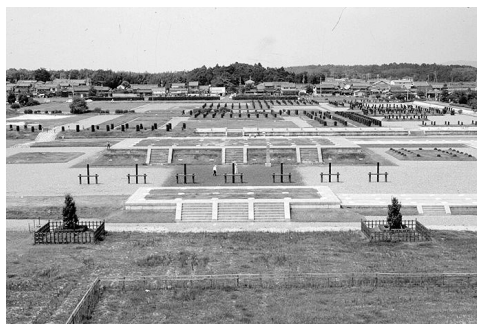


図1 平城宮跡の遺構表示



図2 復元された平城宮大極殿



図3 平城宮宮内省造酒司井戸複製展示



図4 平城宮跡遺構展示館の露出展示

される危険性があるため、遺構の露出展示においては保護覆屋が設置されることが多い。しかしながら、発掘された名勝庭園の場合には、景観的にも保護覆屋を設置するのは適切ではないため、そのまま露出されることが多く、その保存対策には多くの課題が存在している。

本稿では、遺跡の保存と活用においてこれまで取り組まれてきたものの中から、特に埋め戻しと露出展示に焦点を絞り、近年、新たに提示されてきている調査研究の動向について概観してみたい。

Ⅱ 埋め戻しによる遺構の保存

1 遺構の埋蔵環境と埋め戻し

発掘調査後の埋め戻しでは、遺構面と埋め戻しの土との境界を明確にするために砂を遺構面上にまいた後、発掘調査で一旦掘り上げていた土を戻すという作業がおこなわれるのが一般的である。しかしながら、この埋め戻し作業により発掘調査前の埋蔵環境に戻るという保証はない。遺跡は、かつて過去の人々が生きていた時代には地上に存在していたものが、機能を失い、埋もれていったものである。その埋蔵環境は長期間にわたって形成さ

れたものであり、掘り上げた土を戻して締め固めたとしても発掘調査前と同様の環境に戻すことは容易なことではない。

多くの木製遺物や木製遺構が出土する遺跡の特徴として、土壌が水分で飽和されていることと粘土やシルトの細かな粒度の土に埋蔵されているということがあげられる。図5は土壌の空隙と水分含有状況を模式的に表したものである。ある深度よりも下層の土壌は水分が飽和しているのに対し、表層側は水分不飽和の空隙が存在している層となる。最表層においては大気から酸素が

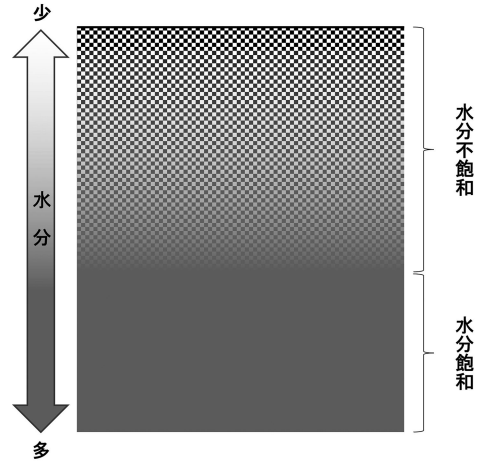


図5 深度による土壌の空隙と水分含有状況模式図

十分に供給されるため、軟腐朽が進行しやすく、比較的短期間で有機質は分解されることになる。大気から供給された酸素は表層付近において微生物によって消費されること、ならびに粘土やシルトのような細かい粒度の土質中では水分の移動は極めて緩慢であることから、表層からある程度の深さになると酸素が存在しない環境となり、好気性微生物の活動はなくなってしまふ。このような酸素のない環境下では嫌気性の微生物やバクテリアしか活動できない。遺跡において有機質遺物が発見される環境のほとんどは、このような水で飽和された酸素のない環境である。逆に言うならば、このような埋蔵環境が有機質遺物の微生物による分解を抑制する環境ということができる。

土壌中における有機質遺物の分解は酸加水分解と酸化分解である。したがって、酸性で酸化還元電位（ORP）が高い環境では有機質遺物の分解が進行するのに対し、アルカリ性でORPが低い環境では分解が緩慢になる^{1,2}。柱根等の木製遺構を含む遺跡を埋め戻す場合、有機質遺物の分解が抑制されている環境になっているかどうかについては、土壌のpH、ORP、含水率、および土壌温度をモニタリングすることで知ることができる。埋蔵環境のモニタリングの事例としては、三瓶小豆原埋没林³と鷹島海底遺跡^{4,5}があげられる。

2 埋蔵環境のモニタリング

(1) 三瓶小豆原埋没林

三瓶小豆原埋没林は、島根県太田市三瓶町多根小豆原集落の水田下で発見された⁶。約4000年前の三瓶山の山体崩壊をともなう巨大な噴火により土石流が発生し、おびただしい流木と立木が地中に埋没した状態となっているものである。この埋没林の一部では発掘調査が行なわれ、2体のスギが三瓶自然館サヒメル内において展示されている他、現在、発

掘調査時に用いられた鋼管矢板を地中壁とする保護覆屋内で露出展示が行なわれている。多くの埋没木は現在でも地中において保存されている。2004年に「火山国でもある我が国を代表する自然現象を表すものとして天然記念物として指定し」⁷保存が図られている。

三瓶小豆原埋没林は土石流で埋没しているが、埋土は火山灰質のシルトである。土石流は谷を埋め尽くした状態となっており、常に上流からの水の供給を受けている。埋没林が発見される以前は水田であったが、この水田の土壌構造はシルト質の土壌の上に粘土質の床土と耕作土が重なっている。春から初夏にかけては湛水しており、耕作土と床土は水で飽和されるとともに大気中から溶け込んだ酸素は耕作土中の微生物によりほぼ消費されるものと考えられる。いっぽう、夏から冬にかけては渇水状態となるが、床土が地中からの水の蒸発と酸素の供給を抑制する。水田が営まれる以前の状況については明らかではないが、草地や林地が形成され、恒常的に落葉等の供給があり、地表面において好気的な酸化分解が起きており、地表面から下層に向かって徐々に酸素が消費され、比較的浅い層においても還元状態の環境が形成されていたと考えられる。

島根県は2019年に三瓶小豆原埋没林保存活用計画を策定した⁸。本計画に基づき、三瓶小豆原埋没林公園では、展示棟内で露出展示されている埋没木の保存（図6）と展示棟外の地中に埋没した状態にある埋没木の保存が実施されている。前者については、揚水ポンプを設置し、展示棟内の地下水位を下げるとともに、現在、トレハロースを含浸させる保存処理が行なわれているところである。いっぽう、後者の展示棟外の保存については、地中に埋没した樹木の直上に池を設置することにより、水で飽和された酸素のない環境を作り出すことを試行しているところである。なお、ガイダンス施設等に近接している場所等では、池を設置することが困難であるため、このような場所については遮水シートを敷くことで、嫌気的な環境と同等の環境を創り出せないか試行されている。遮水シートを敷くことで降雨による地表面からの水の供給は失われるものの、地中からの水の蒸発が抑制されることと大気からの酸素の供給が抑制されることが期待される。現在、三瓶小豆原埋没

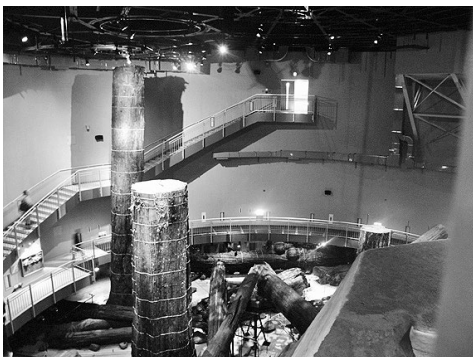


図6 三瓶小豆原埋没林展示棟

林公園では、地下水位、土壌水分、土壌温度および溶存酸素濃度を測定することによる埋蔵環境のモニタリングがおこなわれており、これらのデータの蓄積と解析は遺跡現地における木製遺構の現地保存にきわめて有用な情報を提示するものと期待できる。

（2）鷹島海底遺跡

いっぽう、海底という特殊な環境での木製遺構の埋め戻しによる現地保存の一例と

して鷹島海底遺跡における元寇沈没船の事例を紹介する。鷹島海底遺跡の最初の調査は、1980年から3か年にわたりおこなわれた文部省科学研究費特定研究「古文化財に関する保存科学と人文・自然科学」（研究代表 江上波夫）の一環としておこなわれた調査である。この時の調査では、床波港と神崎港周辺において鎌倉時代の陶磁器が発見され、また同時におこなわれた地元住民への聞き取り調査でパスパ文字で刻まれた「官軍総把印」が採集されていたことが明らかとなり、元寇船が沈んでいることが大いに期待されるようになった。その後、鷹島町教育委員会、長崎県教育委員会、琉球大学等が継続しておこなった水中調査により大型の木製の舵を初めとした船体の部材や多くの遺物が発見された。遺物の詳細な調査から、これらの遺物が1281年の弘安の役で沈没した元寇船の積載品であることが確実となった⁹。2012年、鷹島神崎遺跡は「蒙古襲来という日本史上重大な事件を理解する上で欠くことのできない、きわめて重要な遺跡である」として、水中遺跡として初めて史跡に指定された¹⁰。現在、鷹島海底遺跡では、史跡指定されている鷹島神崎遺跡の史跡範囲の外にあるものも含めて、水中調査により3隻の元軍船が発見されており、海底においてそれらの現地保存が図られている。

発見された元寇船は海底面より約80cmの深さの底泥中に埋蔵された状態にあった。発掘調査ではこの底泥を除去して船体を露出させ、写真撮影や実測による記録が進められた。この船体を覆っていた底泥は1281年の弘安の役以降、およそ700年余りの時間をかけて堆積したものであり、きわめて圧密された状態にあった。海底面表層においては溶存酸素濃度が高く、生物活動も活発であり、木造船等の木材部材はフナクイムシにより容易に食害されてしまう。しかしながら、この圧密された底泥においては、海底面からの溶存酸素の移動がきわめて緩慢な拡散に依存するため、溶存酸素のほとんどは海底面表層において生物活動により消費され、底泥の深層には供給されなくなる^{11,12}。したがって、海底面より約80cmの深さに埋蔵されていた船体の部材はフナクイムシ等の食害のみならず好気的な微生物分解も受けなくなることで残存したものと考えることができる。

発掘調査後に船体等の水中遺跡を海中において同じ底泥を用いて単純に埋め戻したとしても、700年余りもの時間によって圧密されて形成された埋蔵状態を再現することは困難である。鷹島海底遺跡では、発掘調査をおこなった船体を土嚢と酸素不透過性シートを交互に積み重ねることにより嫌気的な埋蔵環境を再現することで、海底において船体等を安定して現地保存する試みがおこなわれた。上述の方法で埋め戻しがおこなわれた鷹島海底遺跡において、埋蔵環境がどのように推移するのかを海底付近の海水中ならびに埋め戻し環境中の温度と酸化還元電位を観測したところ、海水中の溶存酸素濃度が季節変動するのに対し、埋め戻し環境中においては埋め戻し直後から徐々に減少した後、溶存酸素が枯渇した状態が継続することが明らかとなった¹³。この土嚢と酸素不透過性シートを交互に積



図7 鷹島海底遺跡でのモニタリング調査

み重ねる方法が水中における埋め戻し法として効果的であることが明らかになったといえる（図7）。さらに、このモニタリングを継続しておこなうことで、埋め戻された埋蔵環境が船体等の現地保存に適切なものとなっているかどうかを知ることができ、現地保存における管理法として有効であると言える。

上述のとおり、遺跡の現地保存については遺跡に包含される様々な材料がどのような環境で劣化していくのか、あるいは逆にどのような環境下でその劣化が抑制されるのかについての基礎的な研究の集積がなされ、安定して遺跡を現地保存できる環境条件を創出する実践的な研究が進んできた。また、遺跡の現地保存が安定しておこなわれているかどうかをモニタリングする方法も確立されつつある。

Ⅲ 露出展示

1 露出展示のための事前調査

露出展示により保存と活用を図る場合、まず遺跡の状態と遺跡をとりまく環境を把握するための事前調査、露出展示が可能かどうかの判断、遺跡を安定した状態にするための保存対策、ならびに露出展示している遺跡の状態のモニタリングと維持管理の4つのプロセスが必要である。なお、本稿における露出展示に関する論考は、令和4年度庭園学会全国大会の公開シンポジウムで報告した「発掘庭園の保存上の問題」¹⁴の一部を改変したものである。

最初に実施される事前調査では、遺跡を構成している主な材料である土と石の材料科学的調査ならびに遺跡の劣化に大きな影響を及ぼす環境因子の調査がおこなわれる。遺跡の多くはかつてそれが機能を果たしていたなんらかの施設が、その機能を失い廃絶され地中に埋もれていたものである。施設として機能していた時においても、自然界の中にあっても土と石の状態は変化し続けるため、発掘された時には既に劣化している状況にあるといえることができる。遺跡を主として構成している土と石には様々な種類のものがある。土はその粒度によって、大きくは粘土、シルト、砂、礫、石に分類される。石には軟岩と呼ばれる加工のしやすい砂岩や凝灰岩をはじめ、硬質の花こう岩、安山岩、片麻岩等、様々な種類の石がある。

発掘された遺構がどのような状況にあるのかを把握し、その劣化の要因を把握すること

は、その後の保存対策と維持管理を考える上で重要な作業となる。この遺構の状態と劣化要因を明らかにするプロセスが事前調査である。遺構の状態は、それを構成する土や石の種類によって大きく異なることから、その土や石の種類を同定し、物理的性質、力学的性質、化学組成等を材料科学的に調査する必要がある。

遺構が露出展示される場合、その劣化にはそれを取り巻く環境が大きく関与している。特に地表面においてはその影響はきわめて大きく、地中に埋蔵されていた遺構が発掘により地表に暴露されることで、劣化が再び進行し始めることになる。遺構の劣化に大きく影響を及ぼす因子は熱と水分であり、その影響を知るために、気温、湿度、降水量、地中温度、土壌含水率、風向、風速、日射等の環境計測がおこなわれる。気温や湿度、降水量等の気象データはアメダスにより地域のデータを得ることができるが、遺構においては立地条件や周辺環境の違いから地域の観測地点のデータを援用することができない場合もあるため、遺構において気象観測ステーションを設置し、データを収集する必要がある。土壌中の水分には様々なイオンが溶存している。どのような塩類が析出する可能性があるのかを知るために、地下水等をサンプリングし、イオンクロマトグラフィにより分析することも必要である。

遺構が露出展示された場合の劣化現象としては、乾湿の繰り返しによる破壊、塩類風化、凍結破砕があげられる。また、降雨による土の流出も深刻な問題となることがある。これらの劣化現象は単独で生じている場合もあれば、複合して生じていることもあるため、事前調査は露出展示した場合のあらゆるリスクを想定して実施しなければならない。

2 保存対策とシミュレーション解析

露出展示した場合に想定される遺構の劣化現象とその原因を事前調査により把握した後、いよいよ保存対策の検討に入ることになる。現在のシミュレーション解析技術の進展は、コンピュータの発展が大きく寄与している。このような解析技術がなかった時代は、劣化した遺構を強化処理したり撥水处理することが保存対策の主流であった。アクリル樹脂、イソシアネート樹脂、有機ケイ酸エステル、エポキシ樹脂等、多くの樹脂が遺構の強化処置に用いられてきた。このように遺構に樹脂等を含浸させて強化したり撥水性をもたせたりすることは、直接、遺構に介入することになる。このように環境の影響を受けて劣化をさせないように、環境に対して対抗できるように遺構に介入することを「環境対策」とここでは呼ぶことにする。環境対策を目的として樹脂含浸をおこなったとしても、実際には内部まで十分に樹脂を含浸させることは難しく、遺構の表層部に内部と異なる物性をもつ層を形成してしまうことになり、この層の存在が新たな劣化の原因となることもある。したがって、環境対策をおこなう場合には、その効果とリスクについて十分な検討をおこな



図8 宮畑遺跡の露出展示



図9 ガランドヤ古墳石室の保存

う必要がある。

また、遺構の露出展示においては、風雨の影響を除去するために保護覆屋を建てて、その中で遺構を露出させて見せるという方法が多くとられている。これは、風雨にさらされることで進行する劣化を防ぐためのひとつの手段であるが、「風雨にさらされる」という環境を「保護覆屋をかける」ことにより改善を図ることであり、遺構そのものに介入しているわけではない。このように遺構に介入するのではなく、劣化を引き起こしている環境因子を取り除くことを「環境改善」と呼ぶことにする。保護覆屋をかけることにより、風雨による劣化のみならず凍結破碎のリスクも大きく低減させることが可能となる。

いっぽうで、保護覆屋は降雨による地表への水の供給を遮断する効果がある反面、土中から地表面に向かっての水分の移動と地表面での蒸発を促すものとなる。地下水中の溶存イオンの濃度が低くても、常に地表面において水分蒸発が生じる場合、地表面の表層付近への塩類の集積が進行し、やがて塩類風化を引き起こすリスクが高い。保護覆屋内での塩類の析出には、温度と相対湿度が大きく関係している。近年、事前調査で得られる遺構の構成材料の物性値や環境データを用いてシミュレーション解析をおこなうことにより、劣化現象を引き起こす環境因子の検討ができるようになってきている¹⁵。逆に、解析結果を基にして、実験室内で環境を再現し、材料の変化を検証することもできるようになってきた。保護覆屋内での遺構の保存対策を検討する場合、保護覆屋の性能による熱や水分の収支、保護覆屋内の温度、相対湿度等をパラメータとして塩類の析出が生じるか否かをシミュレーション解析することが可能となってきた。

3 露出展示における維持管理

事前調査では遺構の劣化状況と劣化要因の把握をおこなうことは先述した。この事前調査においては、遺構をとりまく環境の影響を知るための調査もおこなわれるが、この環境調査は保存整備後においても継続して実施しなければならない。また、遺構の中でも変化が生じる可能性がある部分を定期的に定点撮影することも重要である。最近では、3次元

レーザー測量だけでなく、多方向から撮影した写真からSfM/MVSにより3次元画像を簡単に構築できるようになっている。保存整備後に3次元レーザー測量で正確な3次元データを計測しておき、定期的に簡易な方法であるSfM/MVSで計測を続けることで、わずかな変位を早期に発見することが可能となる。このように、環境調査だけでなく遺構の経時変化を定期的に追跡することを含めてモニタリングと称している。

モニタリングのデータを事前調査と同様にシミュレーション解析することにより、現在どのようなことが起きつつあるのか、将来、どのような問題が生じるリスクがあるのか等、いわば将来予測をすることが可能となる。これまでは、経時変化を写真等で記録し、問題が発生した場合に対症療法的に対策を講じるのが通常であった。これに対し、シミュレーション解析により将来発生するかもしれないリスクを予測することができるようになったことで、あらかじめ対策を検討しておくことが可能となってきた。

このように露出展示されている遺跡のモニタリングを継続し、常に遺構の状態を観察することで問題を早期に発見し、日常的に小さなメンテナンスを繰り返していくことにより、結果的に露出展示遺構を良好な形で維持管理することができるようになるものと思われる。

Ⅳ 露出展示の手法の転換—強化処置から環境対応型へ—

日本において本格的に遺跡の露出展示がおこなわれるようになってまだ高々50年程度しか経っていない。しかし、この間、遺跡を露出展示させるために様々な方法が試行錯誤されてきた。遺構を劣化させないようにするためのあるいは劣化した遺構の強化処置、劣化原因解明のための調査、環境改善策、環境対策等、多くの実践的な調査研究が展開されてきた。結果的にはうまくいった場合もあれば、残念ながらかえって遺構の劣化を促進してしまった事例もある。しかし、この失敗の事例も含め、50年間の多くの試行錯誤により培われた経験と知見、ならびに科学技術の進展により、遺跡の露出展示は確実に進化しているといえることができる。

遺跡保存の分野では「遺構を固める」という視点から様々な種類の合成樹脂が用いられてきているが、その効果や耐久性については、暴露試験や促進劣化試験によりある程度の信頼性を得ることができるものの、やはり長い年月の検証を待たなければならないという現実がある。近年、大規模遺跡の再整備がおこなわれるようになり、50年前に用いられた合成樹脂の現状を分析することで、その合成樹脂の効果と耐久性を評価できるようになってきた。今後、このような基礎データが蓄積されていくことにより、遺跡保存の分野での合成樹脂の適切な応用がなされていくことが期待できる。

さらに、シミュレーション解析技術の進歩は、遺構を劣化させる原因究明と将来予測を

可能にし、保存対策を検討するにあたって明確な根拠を示すことができるようになってきた。脆弱な部分の強化という目的での合成樹脂の適用は必要であるが、合成樹脂のみで遺跡の露出展示を図ることは困難な場合が多い。今後は、このシミュレーション解析技術のさらなる進展により、これまで重視されてきた強化処置から環境対応型へと露出展示の手法の転換が進むものと考えられる。

註

- 1 Florian, M-L, E., Dynamic Process of diagenesis, Conservation of Marine Archaeological Objects, Butterworths, pp.9-11, 1987
- 2 Retallack, G. J., Fossil soils and completeness of the rock and fossil record, The Adequacy of the Fossil Record, Wiley, 131-162, 1998
- 3 三瓶小豆原埋没林の埋没環境のモニタリングは2019年より開始されている。
- 4 柳田明進・池田榮史・脇谷草一郎・高妻洋成 2017「鷹島神崎遺跡における埋蔵環境の季節変動と堆積物の状態が鉄製遺物の腐食に及ぼす影響」『考古学と自然科学』73号 pp.1-13
- 5 柳田明進・池田榮史・脇谷草一郎・高妻洋成 2017「鷹島神崎遺跡における鉄製遺物の腐食に及ぼす埋蔵環境および共存する木製遺物の影響」『考古学と自然科学』74号 pp.45-55
- 6 公益財団法人しまね自然と環境財団 2013「地底に眠る縄文の森・三瓶小豆原埋没林」『森のことば』
- 7 国指定文化財等データベース (<https://kunishitei.bunka.go.jp/heritage/detail/401/3384>)
- 8 島根県 2019「三瓶小豆原埋没林」『保存活用計画』
- 9 長崎県松浦市教育委員会 2011『松浦市鷹島海底遺跡総集編』
- 10 長崎県松浦市教育委員会 2014『国指定史跡 鷹島神崎遺跡保存管理計画書』
- 11 柳田明進・池田榮史・脇谷草一郎・高妻洋成 2016「鷹島神崎遺跡における埋蔵環境の季節変動と堆積物の状態が鉄製文化財の腐食に及ぼす影響」『考古学と自然科学』73 pp.1-13
- 12 柳田明進・池田榮史・脇谷草一郎・高妻洋成 2017「鷹島神崎遺跡における鉄製遺物の腐食に及ぼす埋蔵深度および共存する木製遺物の影響」『考古学と自然科学』74 pp.45-54
- 13 柳田明進 2020「水中遺跡における沈没船の現地保存法に関する検討」『考古学ジャーナル』735 pp.13-17
- 14 高妻洋成 2022「発掘庭園の保存上の問題」『令和4年度庭園学会全国大会資料集』 pp.51-54
- 15 Kiriya, Kyoko et al, Environmental control for mitigating salt deterioration by sodium sulfate on Motomachi Stone Buddha in Oita prefecture, Japan., Proceedings of SWBSS 2017. Fourth International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures, University of Applied Sciences Potsdam, Germany, 20-22 September 2017, Verlag der Fachhochschule Potsdam, 118-124, 2017

挿図出典

図1～4：奈良文化財研究所撮影

図5：筆者作成

図6、8、9：筆者撮影

図7：松浦市教育委員会提供