

2 東塔基壇および基壇外周の地質調査と 放射性炭素年代測定の成果

A はじめに

薬師寺東塔の保存修理事業にともなって、基壇と基壇外周（平成26・27年度）、および基壇外周のうち南北面階段部（令和2年度）の発掘調査がおこなわれた。その調査の中で、東塔掘込地業内の版築と基壇外装の堆積構造の調査をおこない、また調査の過程で検出した炭化材片9点と炭化種子（イネ種子）1点について、放射性炭素年代を測定した。このうち平成26・27年度の基壇および基壇外周の発掘調査にともなって検出された炭化物7点と炭化種子1点についての測定結果は、『概報』において報告したが¹⁾、本書の作成にあたり内容を精査し改めて掲載する。

堆積構造調査と放射性炭素年代測定の試料や方法、解析・分析の成果については、それぞれの項で記載する。本項では、堆積構造解析と放射性炭素年代測定の成果に関わる留意点と、調査意義について述べる。

まず基本的な調査・分析の指針として、堆積構造や放射性炭素年代は、人間活動（=人為）の関わらない自然堆積体の中で解析や分析されることが基準となる。これは、全くの自然の営力によって形成される堆積物あるいは地層に対し、人為は過去から現在進行中のどの時間軸の、どの環境場面に対しても大小さまざまな影響を与え、本来あった堆積構造やその挟在物に変形をおよぼしていくためである。この基本的な認識は、科学的分析データの評価をする上できわめて重要であり、誤解されやすいが、集落や農耕地、里山といった、直接的に人間の手が入る空間に隣接する自然の営力が支配的な空間や、人によって管理される川辺や水路、空き地（荒地）などの中の、自然の営力によって形成される堆積物や地層も、本来の自然堆積体とは異なる空間として捉える必要がある。

今回の調査・分析をおこなった堆積物やその挟在物は、すべて人為の影響を強く受ける範囲のものであり、調査・分析から得られた構造的あるいは質的結果は、発掘調査においてあきらかとなる人為の中で解釈されなければならない。すなわち本調査における堆積物を構成する粒子は、すべて人為的な造成土の構成材の一部である可能性が高く、部分的にみられる自然堆積も、造成土構成材の再堆積である可能性を前提にする必要がある。これは放射性炭素年代を測定する試料について、堆積物への取り込み経路を十分に考慮する必要があることを意味する。そのため、年代観については、遺構の重複関係からあきらかとなる考古学的な層位学²⁾にもとづく層序編年がもっとも基軸となるといえる。これらの認識をふまえ、堆積構造の調査や放射性炭素年代測定を加える意義は、東塔基壇部やその外周を、いつ、どのように造成したかという問題を細かく検討できる点である。例えば造成土はどのような土壌により構成されているのか、造成時にどのように堆積構築させているのかへの理解が得られ、放射性炭素年代であれば、単純に試料のもつ年代が堆積に関わる年代でなくとも、遺構の編年と丁寧に比較することによって、創建当時とは異なる時期の堆積体であることを確認できるなどの効果がある。

B 基壇および基壇外周の地質調査の成果

i 試料と方法

平成 26・27 年度の調査において、基壇内の東・西トレントと 12 トレントの掘込地業部分の掘削をおこなった。この調査にともない、掘込地業最下部から礎石直下まで堆積物をブロック状に計 19 試料を切り出し、堆積構造の観察をおこなった。また令和 2 年度の南面階段の発掘調査にともない、南区南壁から計 3 試料を同様に切り出し、堆積構造の観察をおこなった。

試料の採取層位は Fig.97・111・115・119 に示すとおりである。試料採取は、基壇内の堆積物に対しては $14 \times 24 \times 4$ cm のプラスチックケース、基壇外周南面の堆積物に対しては $9 \times 18 \times 4.5$ cm のプラスチックケースを用い、土層壁面をそれぞれのサイズにあわせて周辺を削り、堆積構造を乱さないよう突出部にケースを嵌め込むようにして、土層断面を切り出した。試料番号は層下位から昇順に割り振っているため、試料番号の小さいほうが下位の層位となる。切り出した試料は観察面をクリーニングし、層相観察をおこなった上でデジタルカメラを用いて撮影した。撮影後、堆積構造の詳細を観察するために、軟 X 線撮像をおこなった。撮像は奈文研埋蔵文化財センター保存修復科学研究室に導入されているフジフィルム社製 TCX-2700 を使用し、イメージングプレートを用いて画像を取得した。

ii 東塔版築・掘込地業における構造観察

試料の層相と軟 X 線撮像結果について Fig.98 ~ 110、112 ~ 114、116 ~ 118 に示す。全体としては層最下部、すなわち発掘調査最深部付近では氾濫原堆積物が堆積し、その上位に版築がおこなわれた工程が認められた。版築については、発掘調査現場もしくは切り出した試料の表面的な層相観察では、大まかにほぼ全層位を通じて砂泥互層の連続層序として認識され、異なる母材を繰り返し交互に用いることによっておこなわれたと考えられた。しかし、軟 X 線撮像の結果、版築が単純に砂と泥の互層構造の構築過程を繰り返していたのではないかことや、また工事そのものが連続的におこなわれていなかった可能性を示唆する構造が認められた。

まず版築を構成する各土盛層の堆積物の土性は、ほぼ粘土混じりシルトを主体とし、その母材に細礫から中礫の混じる（一部大礫も含む）砂（細～中粒砂主体）が混交する。この砂の混交量が増えると、見た目には全体として砂層のように観察される。また堆積物の大半は直径 1 ~ 8 cm の泥塊の集積によって構成されており、いわゆる偽礫の集積層である。このため一部の版築層を除いて、人為による土層形成であることは間違いない。

この泥塊については、西トレント側線 1-⑧ 4 層 (Fig.99) や 1-⑥ 12 層 (Fig.101) でみられるように、内部にラミナ構造をもつものが多数存在する。これは泥塊の一部は、河岸や沼沢地といったラミナ構造が容易に形成される地域から土壌を切り出して、そのまま土盛りに使用していることを示唆する。一方で、1-⑦ 9 層 (Fig.100) や、1-④ 20 ~ 27 層 (Fig.103) で認められるように、人為性を示す泥塊集積構造と、流水環境を示すラミナ構造が交互に堆積する層位も認められる。現段階では特定することはできないが、これは版築中に周辺から水が流れ込み、その水によって砂利が運搬された可能性を示している。

西トレント側線 1 では、1-① 39 層 (Fig.106) から植物根の痕跡がみられた。細かな泥塊は観察されるが、それらはすべて植物根による根抱え土團である粒団であり、人為性を示す偽礫

水成堆積物
を土盛り

版築は氾濫原上に形成

とは異なる。層相観察からは、還元性を示す青灰色砂混じりシルトが堆積物の主体を構成しており、これらの結果から湿地などの氾濫原堆積物と考えられる。

植物根の痕跡に注目すると、根の入り始めの層が何層かに分かれることが認められた。西トレーンチ側線2では、1～3層上部および4～5層 (Fig.107)、21層 (Fig.110) に痕跡が認められた。これは少なくとも1層、4層、21層より上位で植物が繁殖したことを示し、生育期間中、地表面付近であったことを示す。また、東トレーンチ側線3においても、1層、3～6層で同様の状況が認められる (Fig.112～114)。これは版築工程に停止期間が存在していたことを示唆する。根の張り具合において、水平方向に広がるもの、水平にほとんど広がらず鉛直方向にのびるもの、地下茎のように堆積物中で水平方向に連なるものが観察される。二次元的な観察であ

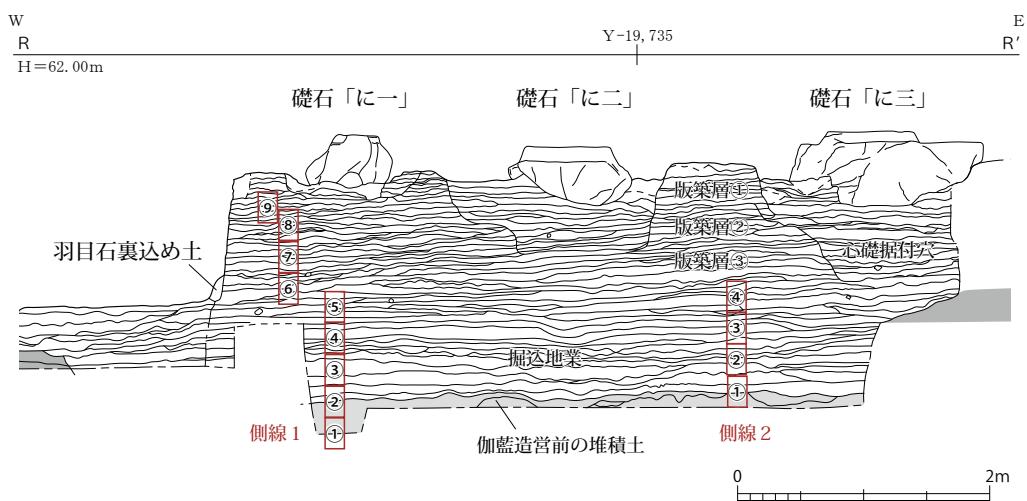
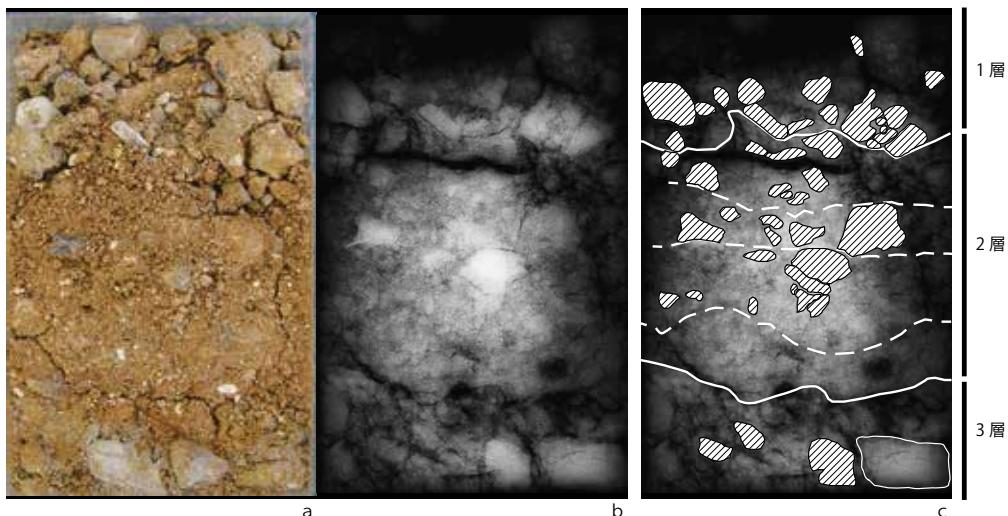


Fig.97 西トレーンチにおける測線1と測線2の試料採取層位 1:60



Fit.98 西トレーンチ測線1-⑨



1: 分層線 (層理面)、2: 補助分層線 (構造上分層も可能だが、明確な層理面ではない。ex. 土盛りの工程など) 3: ラミナ構造、4: 磨、5: 泥塊 (偽礫)、6: 木片、7: 植物根痕跡、8: 加重痕位置

図右下端の記号は、a: 層相写真、b: 軟X線撮像、c: 軟X線撮像に解釈補助線を付記した図。

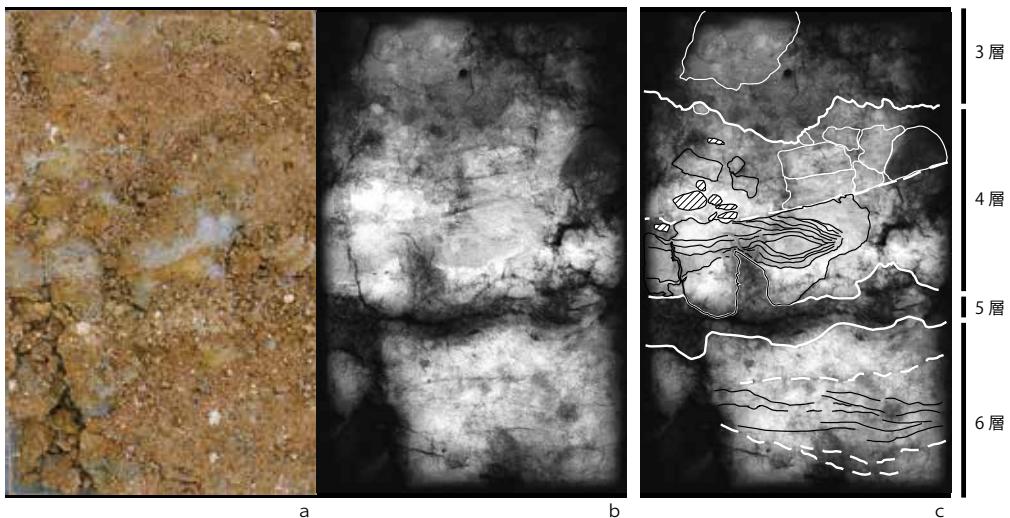


Fig.99 西トレンチ測線1-⑧

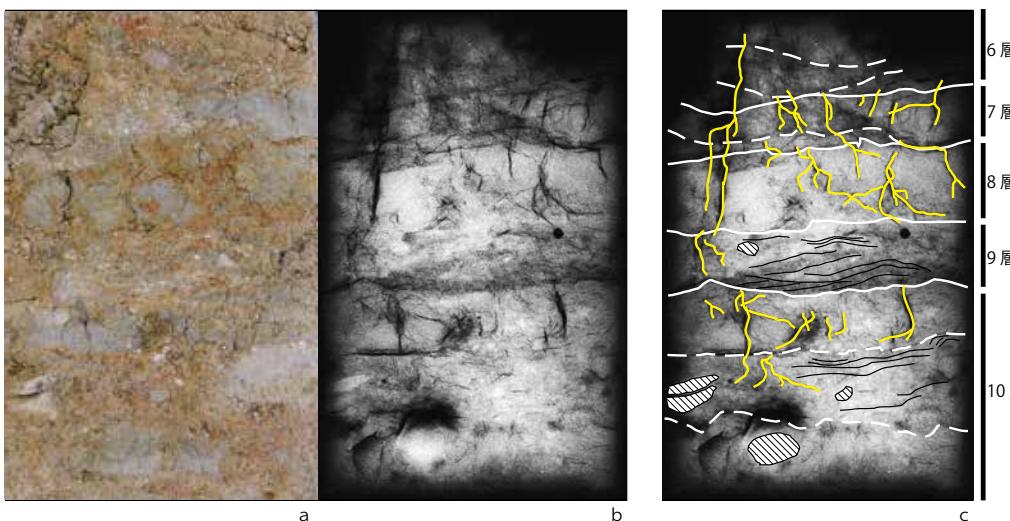


Fig.100 西トレンチ測線1-⑦

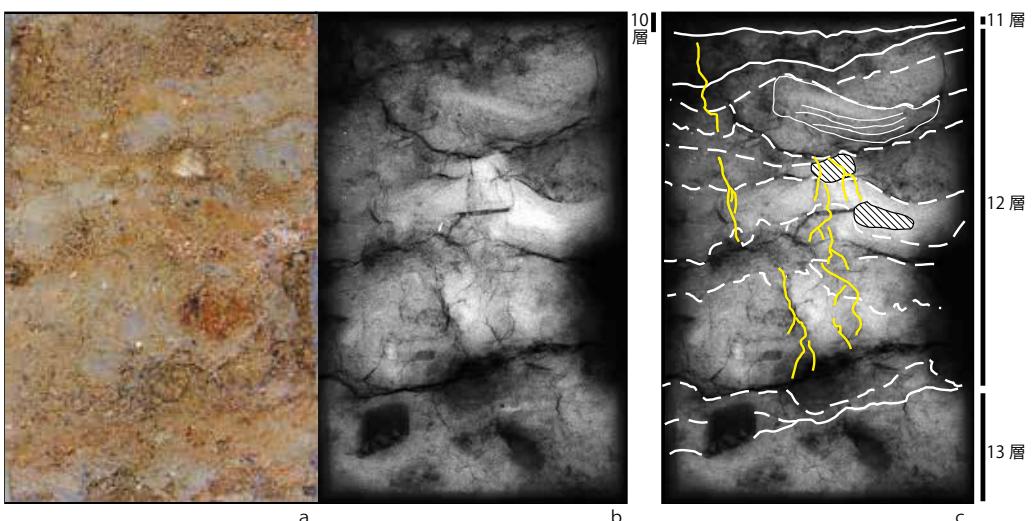


Fig.101 西トレンチ測線1-⑥

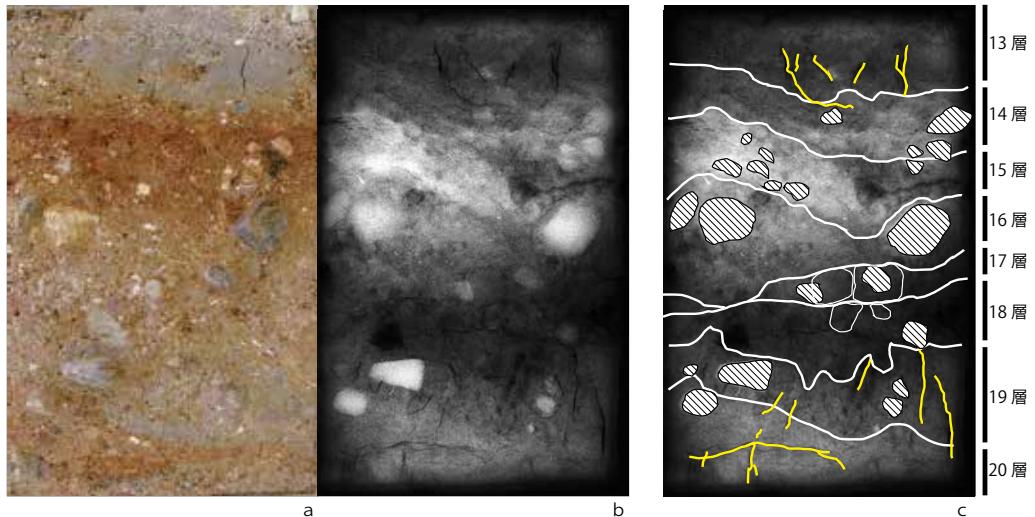


Fig.102 西トレンチ測線 1-⑤

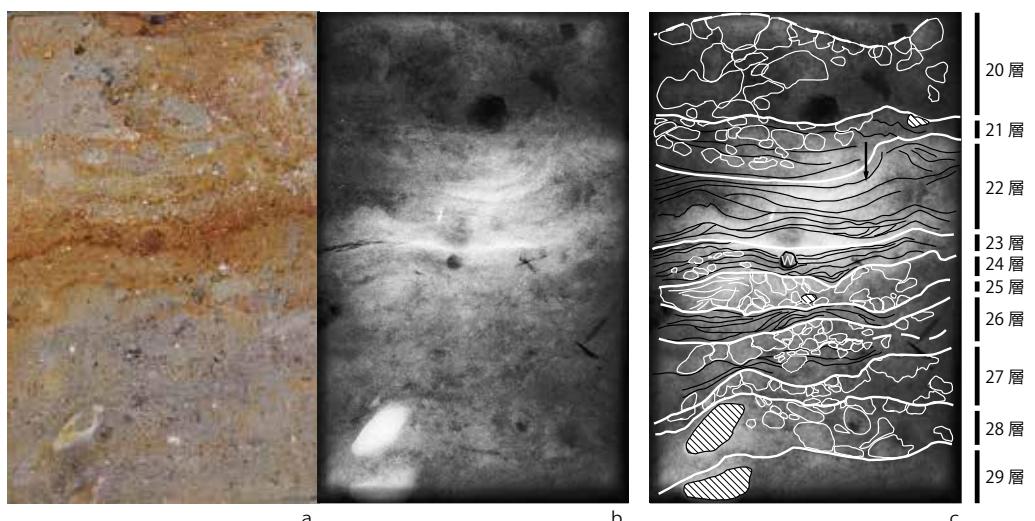


Fig.103 西トレンチ測線 1-④

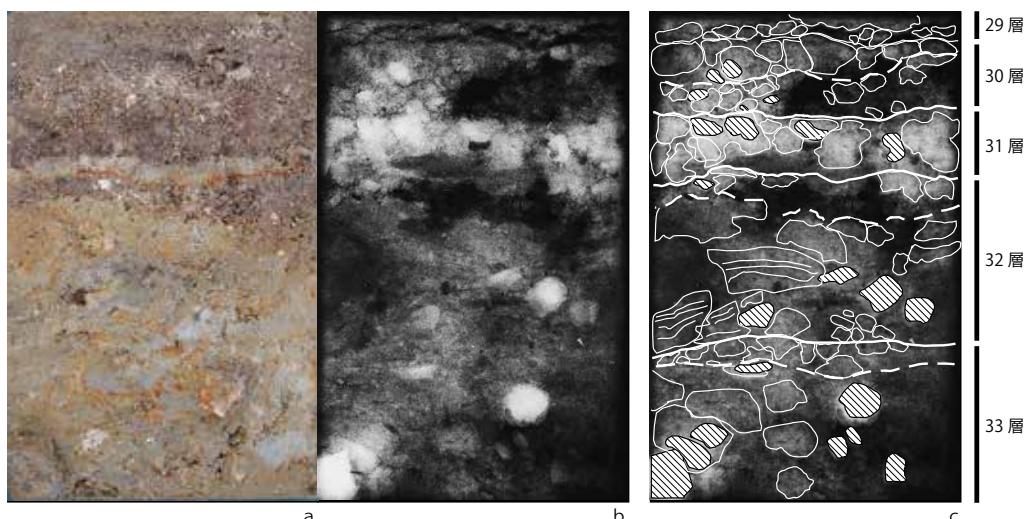


Fig.104 西トレンチ測線 1-③

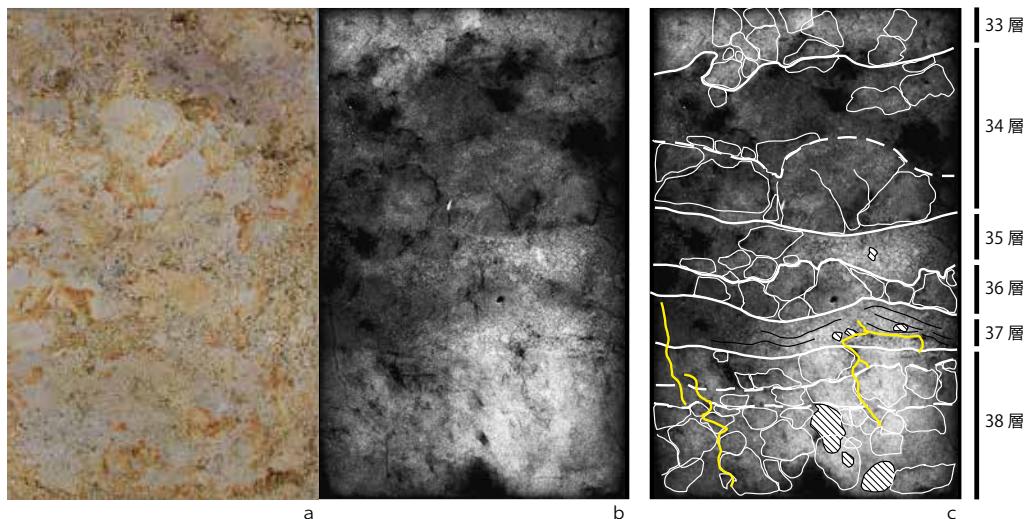


Fig.105 西トレンチ測線1-②

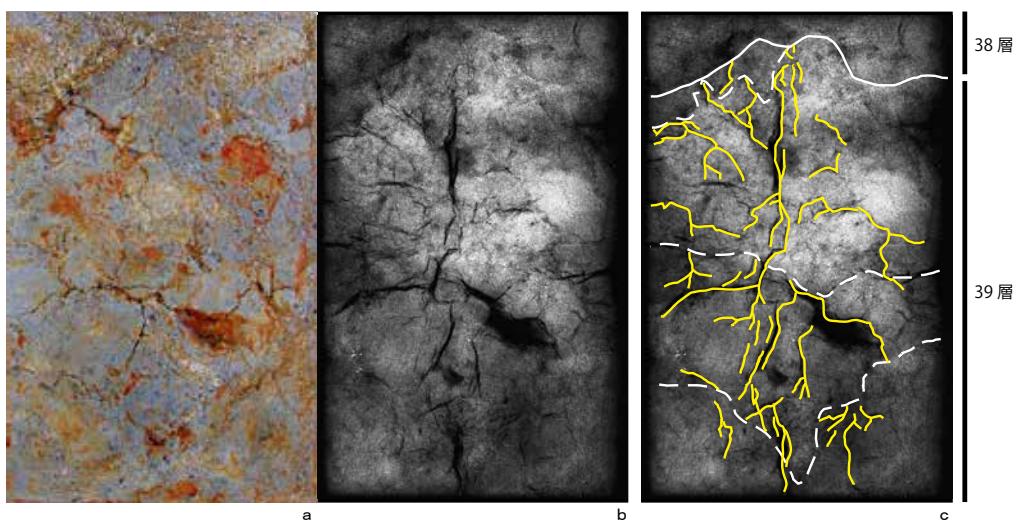


Fig.106 西トレンチ測線1-①

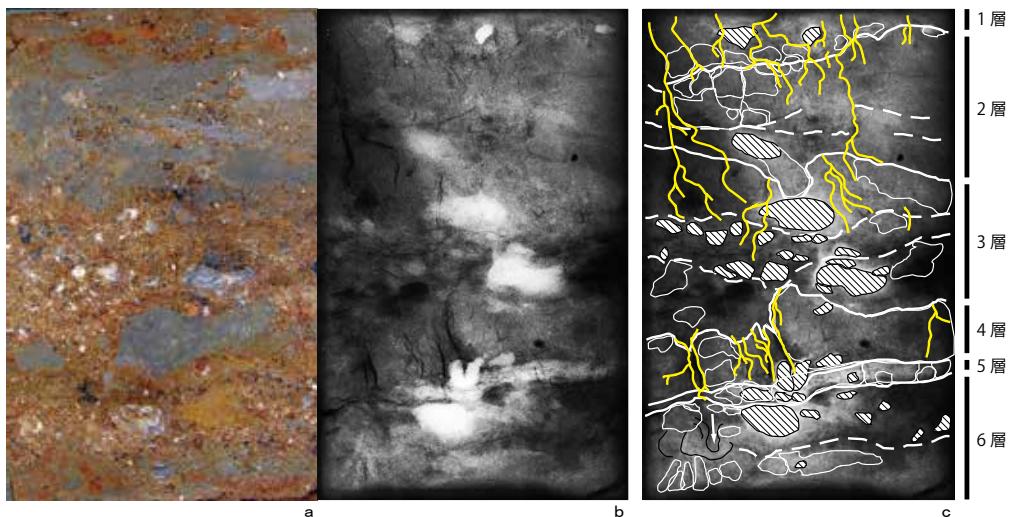


Fig.107 西トレンチ測線2-④

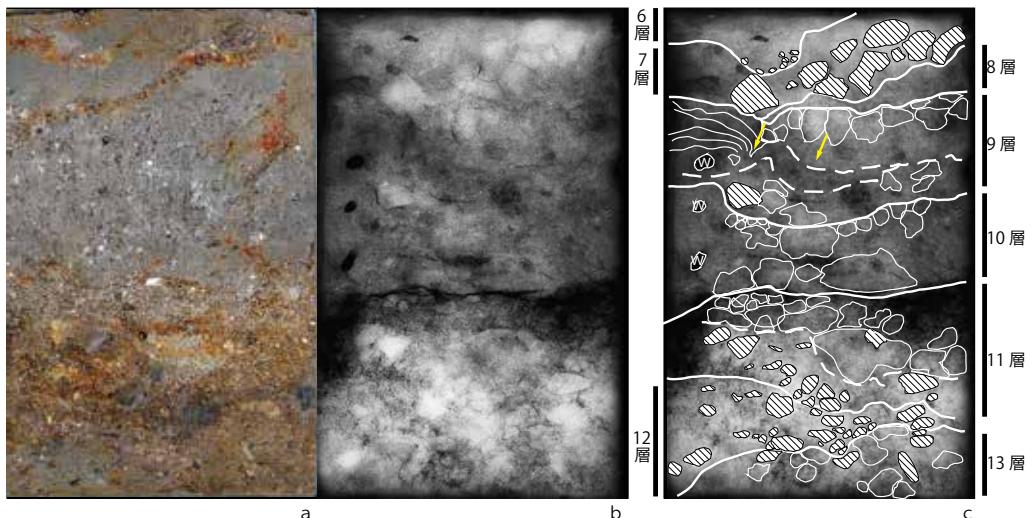


Fig.108 西トレンチ測線2-③

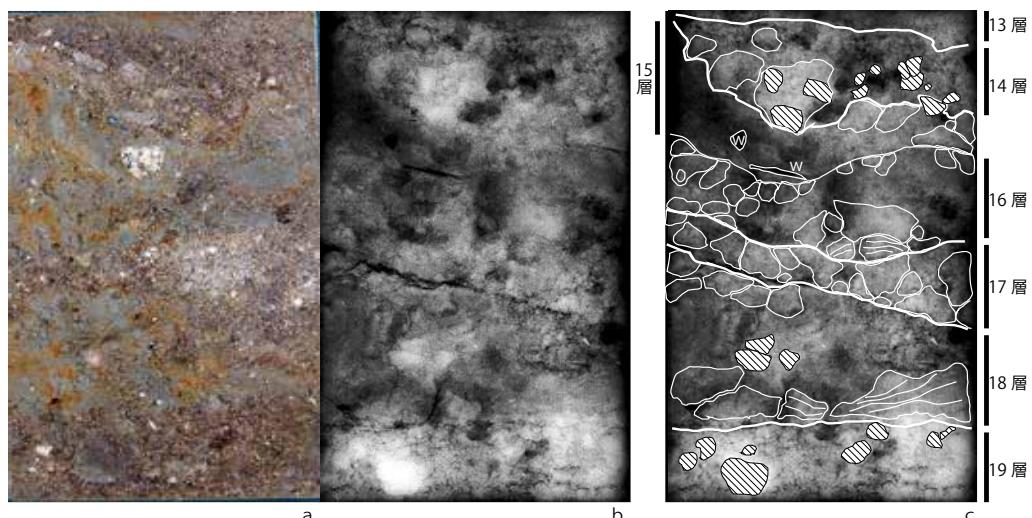


Fig.109 西トレンチ測線2-②

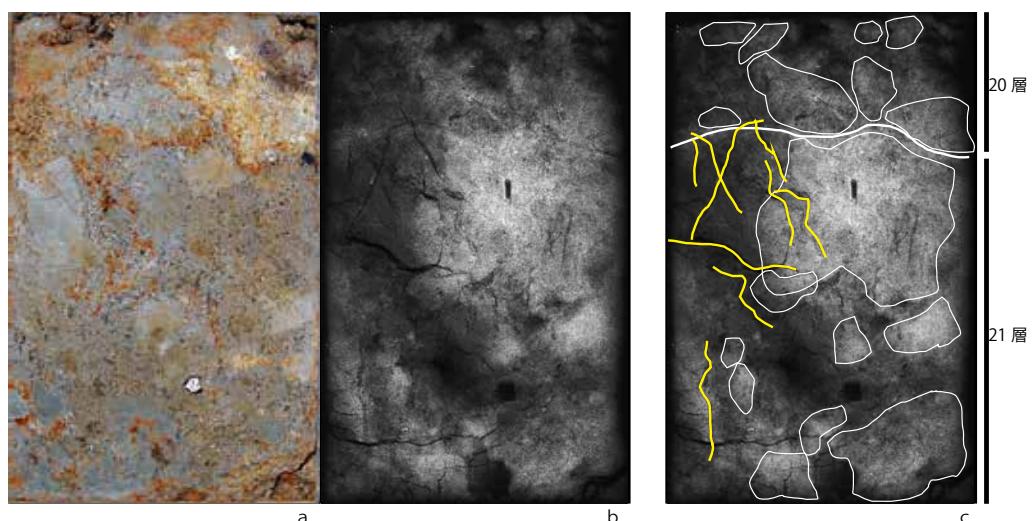


Fig.110 西トレンチ測線2-①

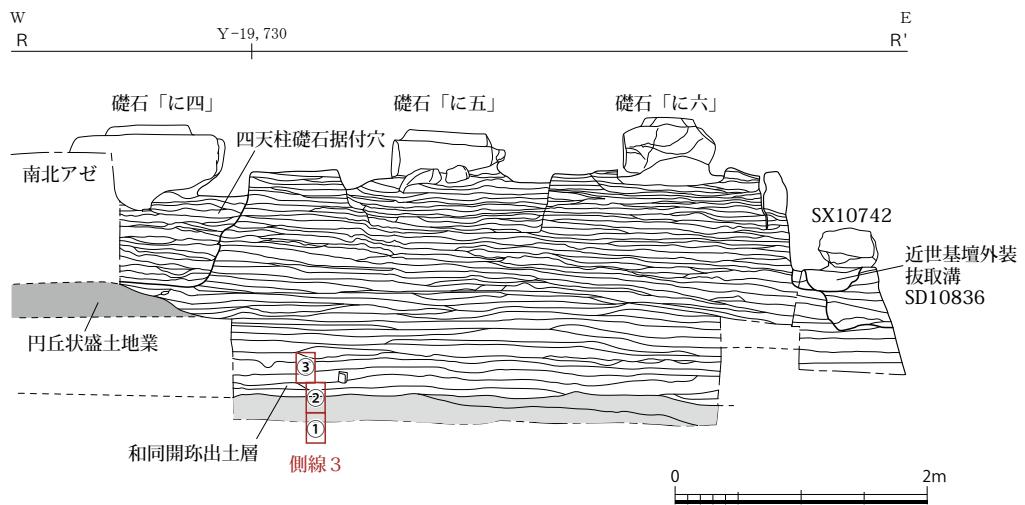


Fig.111 東トレンチ土層における測線3の試料採取層位 1 : 60

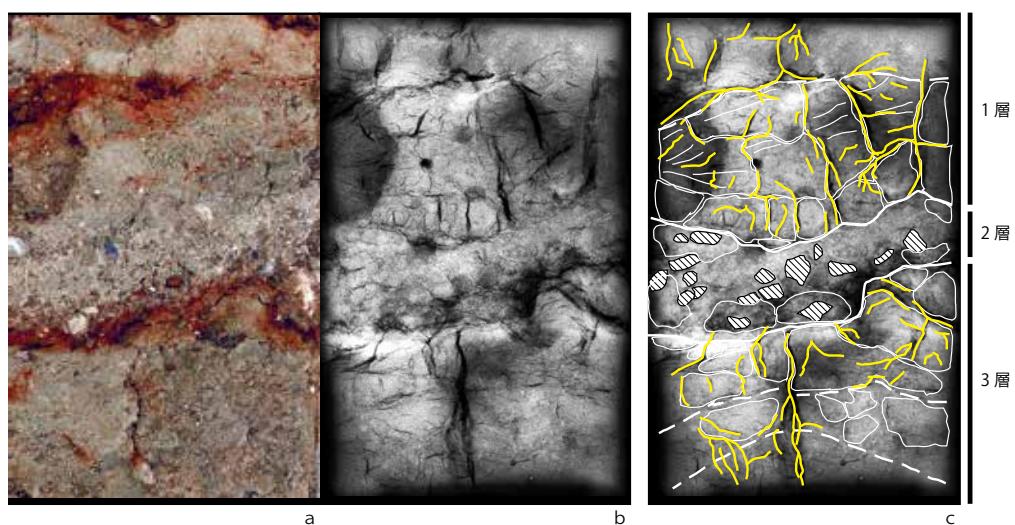


Fig.112 東トレンチ測線3-③

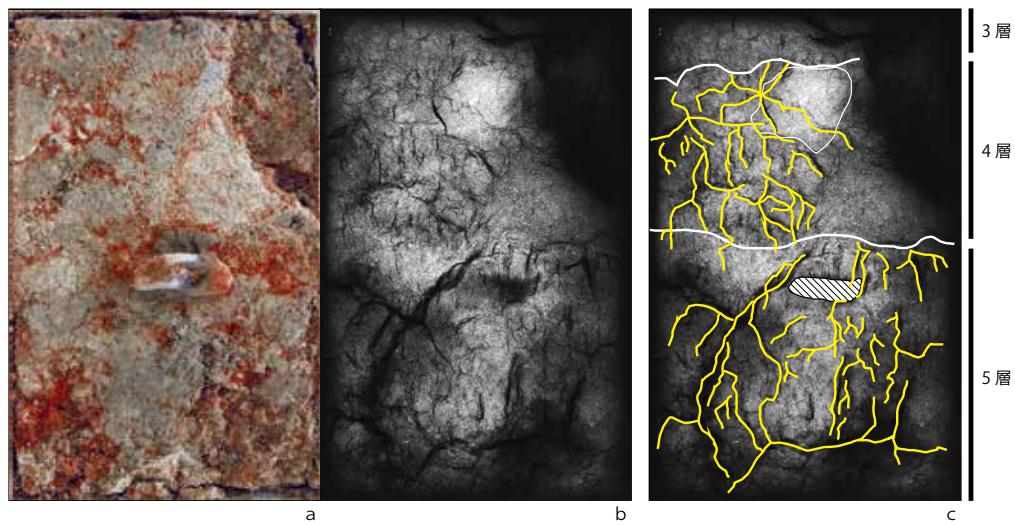


Fig.113 東トレンチ測線3-②

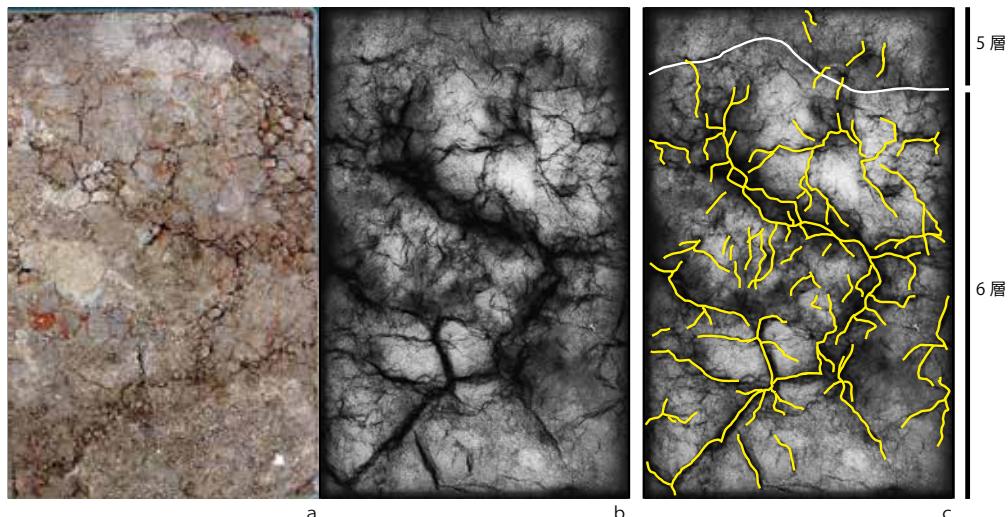


Fig.114 東トレンチ測線3-①

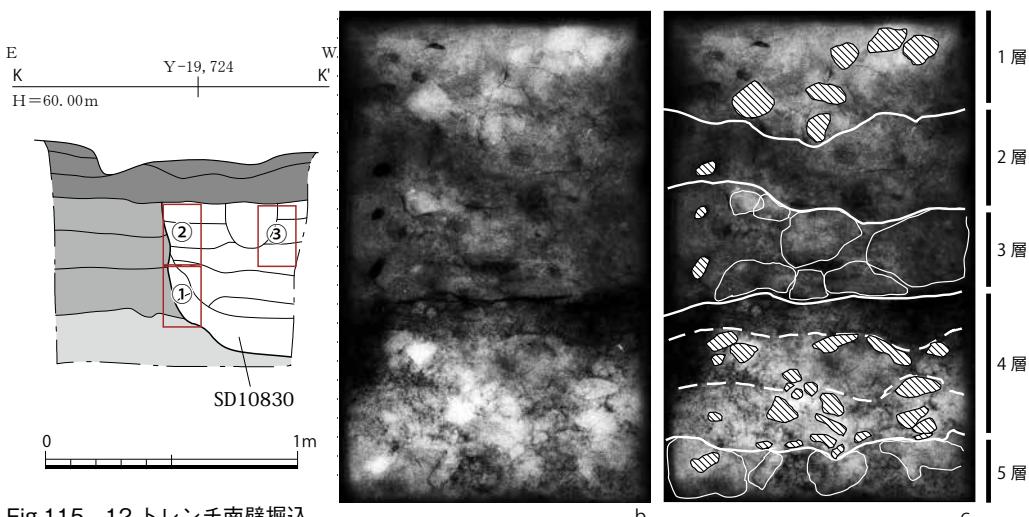


Fig.115 12トレンチ南壁掘込
地業肩部の土層断面と
試料採取層位 1:30

Fig.116 12トレンチ南壁掘込地業肩部③

るため、現段階ではその特性について十分な議論はできないが、根の張り方は植物種によって異なることから、これらの情報について今後も調査を継続することにより、繁殖期間すなわち版築の停止期間について議論する根拠となり得るだろう。

12トレンチ南壁において、掘込地業の肩部の構造を観察した (Fig.115～118)。層構造を明確にするため、Fig.117・118は泥塊などの記載をしていない。結果、発掘調査時の分層とほぼ一致する土層構造が観察されたが、外側に初期の肩部があり、その内側に泥塊を貼りつける工程があることが新たに認められた。

小 結 版築の堆積状況の観察により、基壇の掘込地業および版築の工程において、以下の知見が得られた。

- ①版築は氾濫原の上に形成されている。
- ②版築をおこなう母材は沼沢地や河岸付近などの水成堆積物を利用している。
- ③版築の構造は砂泥互層のようにみえるが、粘土混じりシルトなどの泥質堆積物を母材に、砂礫を混交させた土壤を用いており、この砂礫の混交量によって構築土性が異なってみえ

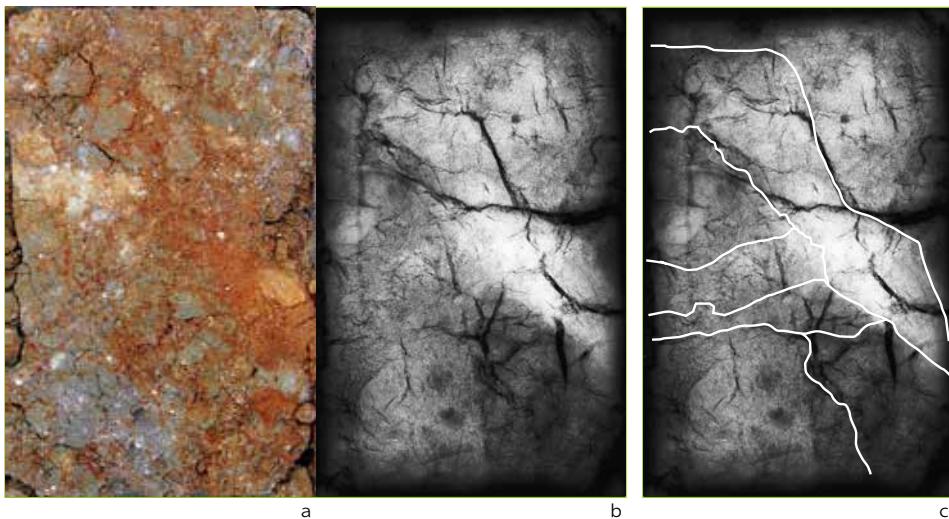


Fig.117 12 トレンチ南壁掘込地業肩部②

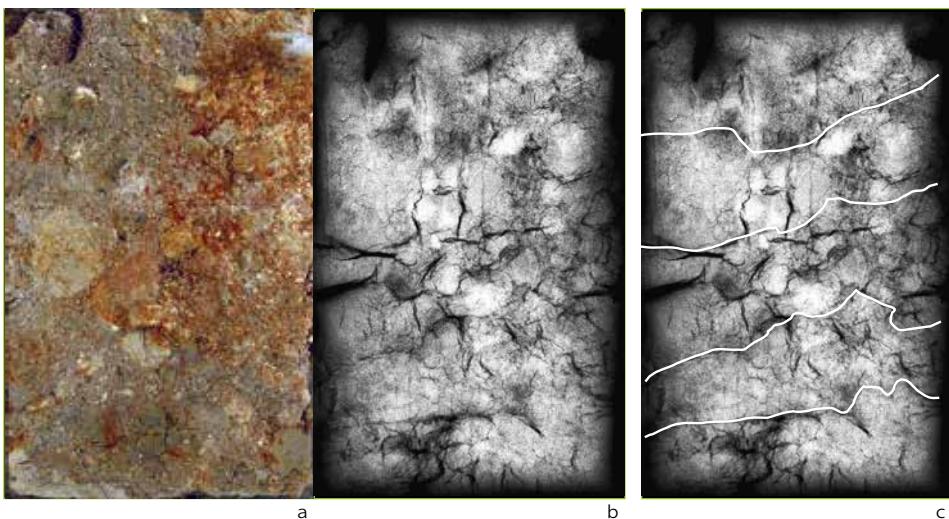


Fig.118 12 トレンチ南壁掘込地業肩部①

ている。

④砂層の中にはラミナ構造が観察されるものがあり、これら版築現場への水の浸入を示す。

⑤版築土の異なる層位に植物根の痕跡が認められ、版築の工程が連続的ではなかったことを示唆する。

⑥掘込地業の肩部には、初期の掘り込みを保護するように法面に泥塊を貼りつける構造が認められる。

iii 基壇外周における堆積物の構造観察

試料の層相と軟X線撮像についての観察結果についてFig.120に示す。掘込地業のように版築構造は確認されなかったが、粘土ブロック（偽礫）や中礫、土器片、瓦片が調査層全体に散在することから、全体として人為層であると認識される。そのため分層は、発掘調査による考古学的層区分を基軸に検討した。結果的に堆積構造から認識される層境界は、考古学的層区分のいずれかの境界面と一致することかあきらかとなった。そこで層名は考古学的層区分にしたがった。堆積構造の観察から区分される層については、その中で細分化し層の下位より順にな

るようアルファベットを割りふった（例えば10a層、10b層）。以下に層ごとに記載する。

近世遺物包含層下層

8層 考古学的層区分の8層（近世遺物包含層下層）に対応する暗灰褐色混礫砂質泥層である。細粒～中粒砂を基質とする径2～4cmの泥塊を主体に層を形成している。団粒構造とは異なるため、おそらく造成に関わる土塊単位を示すものと考えられるが、土締めなどの加重にともなう変形構造はみられない。径2cm程度の土器片や径5mm程度の粘土ブロック（偽礫）を挟在する。

近世遺物包含層中層

7層 考古学的層区分の7層（近世遺物包含層中層）に対応する暗褐色混礫砂質泥層である。シルト～細粒砂を基質とする径5～10cmの泥塊を主体とする堆積物である。層上限付近の泥塊の頂部は、ほかの泥塊と比べると平滑化しており、土締めによる加重変形を反映していると推定される。長径が6cmを超える瓦片を挟在するほか、細かな土器片や炭化した木片を挟在する。

SK10855埋土

10a～c層 本層全体で考古学的層区分の10層（土坑SK10855埋土）にあたる。SK10855は近世遺物包含層中層である7層を掘り込む土坑である。10a、10c層は径1～2cmの粘土ブロック（偽礫）が混入する褐灰色混礫砂質泥層である。シルト～細粒砂を基質とする径5～10cmの泥塊を主体とする堆積物である。団粒に比べると土塊径がはるかに大きく、造成に関わる土塊単位を示すものと考えられる。土締めなどの加重にともなう変形構造はみられない。一方、10b層は10a層を侵食して被覆する平滑ラミナの発達する砂泥層であり、粗粒層には葉片や枝片などの植物遺存体を挟在する。平滑ラミナの形成は、比較的速い流れの存在を示しており、この地域が一時的に水没した可能性を示唆する。ただし逆級化構造はみられず、洪水というよりは降雨による増水などで集水し、水浸しになるような様相であったと推定する。構成する堆積物は10a、10c層のものと同様であり、挟在する粘土ブロック（偽礫）は流水によってやや伸長し紡錘形をおびる。

近世遺物包含層上層

6a・b層 考古学的層区分の6層（近世遺物包含層上層）に対応する灰褐色混礫砂質泥層である。2つの層ともに細粒～中粒砂を基質とし、中礫が混じる。またわずかであるが2～3cmの土器片を挟在する。全体として明瞭な堆積構造はみられないが、径3～5cmの泥塊が散在する。下位の各層とも構造的には異なるが、泥塊の散在や土器片の挟在から人為的な造成土であると考えられる。

明治～昭和遺物包含層

5a・b層 考古学的層区分の5層（明治～昭和遺物包含層）に対応する褐灰色～灰褐色砂質泥層である。2つの層ともにラミナが発達するが、堆積構造はやや複雑でまた大きく異なる。5a層は下位の6層を侵食しつつ下部から中部にかけてクロスラミ

ナが発達し、上部にはやや不明瞭ながら平滑ラミナが発達する。またこの平滑ラミナ上部では粒子径が急激に大きくなり、全体として逆級化構造となる。この粗粒層には炭化物片が散在する。さらに5a層最上部には上位の5b層からの浸食を受けるもの3mm程度の薄い砂質シ

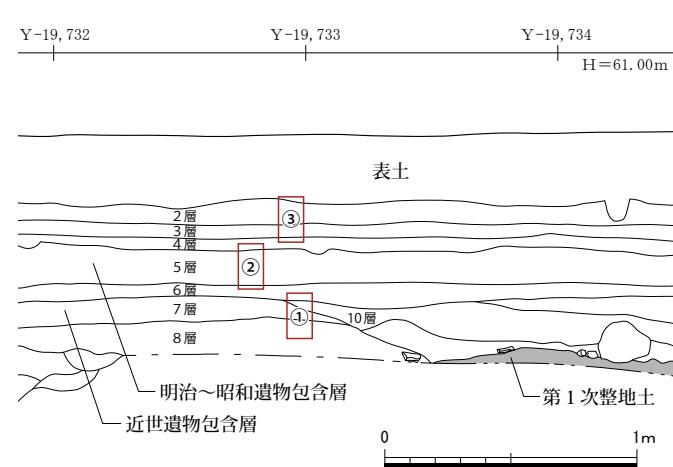


Fig.119 調査区南壁における資料採取層位 1:30

ルト層が堆積していた。この結果、比較的水深のある緩やかな流れ堆積物によって形成された5a層下部から中部の堆積物は、徐々に流速が上昇し流水量も増加し粗粒物質が流れ込み、逆級化構造を形成したと考えられる。この上部堆積物を被覆する砂質シルトは粒径組成としてはやや淘汰に欠けるが、下位の層を構成する基質に比べ大きく細粒化していることから、流速が

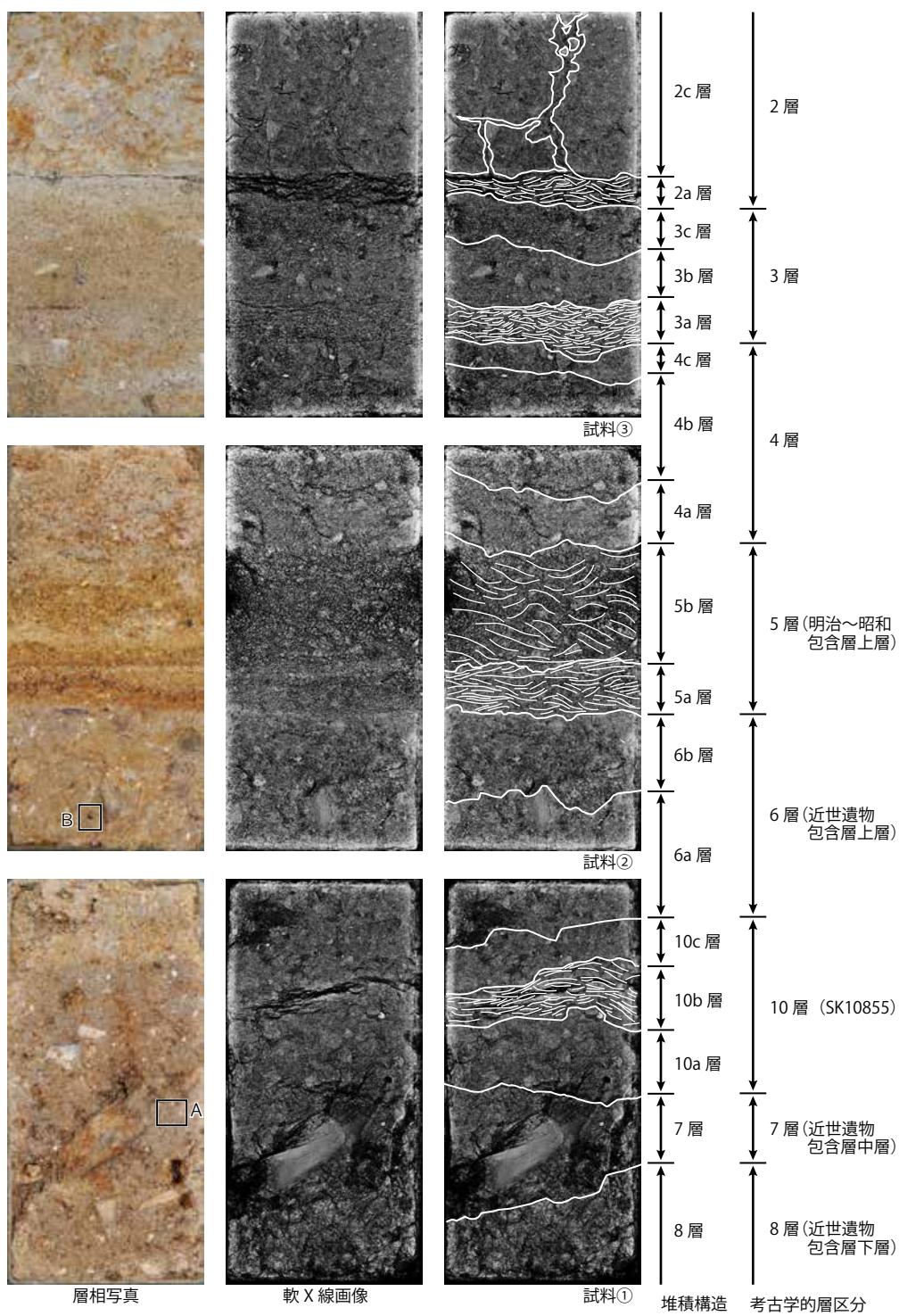


Fig.120 薬師寺東塔基壇外周にみられる堆積構造

急激に鈍りほぼ滯水した状況で堆積したと考えられる。一方、上位の5b層は、粗粒部が細粒～中粒砂を主体としたクロスラミナが層の下部から中部に発達し、5a層の最上部を侵食しつつ堆積する。層上部には皿状構造が発達し、脱水過程を示す堆積構造がみられた。

これらの堆積構造から、5層は全体として水成堆積物と考えられる。まず5a層の堆積以前には、下位の6層を侵食する水流が存在したと考えられる。その後、水深、流速が比較的穏やかになり、クロスラミナを形成する水流に変化する。しかし水深・水流は再び増し、逆級化構造の形成により洪水が発生したことを堆積構造が示唆している。さらにこの洪水が収まった状況を、最上部の砂質シルトがいわゆる溢流堆積物として示していると考えられる。一方、5b層の堆積は、5a層が形成されたのち再び流水環境が形成されたことを示すが、5a層最上部の砂質シルトの堆積を考えると、2つの層の堆積の間には流水環境のない不整合が存在する可能性が高い。再び形成された流水環境は、やや水深のあるものであったことがラミナの大きさからうかがえるが、上部で皿状構造が発達することで、最終的に水位が低下し乾燥した環境になったことがわかる。

昭和修理以降の包含層
4a～c層 考古学的層区分の4層（昭和修理以降の包含層）に対応する褐灰色混礫砂質泥層である。4a～c層は、共通して細粒～中粒砂を基質とし、径1cm程度の砂質シルトからなるブロック（偽礫）が散在する。4a～c層の各層上限付近は平滑化したブロックが目立ち、土締めと考えられる加重変形の結果であると推定される。しかしそれぞれの加重変形の届く深度は各層ともに浅く、硬化面の層厚が1cm厚程度と薄いため本質的な遺構面ではないようにみられ、4a～c層全体として造成土の構築過程を示していると推測される。

3a～c層 考古学的層区分の3層（昭和修理以降の包含層）に対応する明灰褐色混礫砂質泥層である。層相から3a～cの3層にわかる。3a層は、細粒部が砂質シルト、粗粒部が微細～細粒砂を基質とする平滑ラミナの発達した水成堆積物である。3b層は、中礫を挟在する細粒～中粒砂を基質とする砂質泥堆積物である。礫は散在し、全体として構造が見られないことから、人為による造成土と考えられる。3c層は、細礫を挟在する細粒～中粒砂を基質とする砂質泥塊からなる人為造成土である。層の最上部は上位層の浸食を受けるが、わずかに硬化面が認められる。

2a・b層 考古学的層区分の2層（昭和修理以降の包含層）に対応し、下部の平滑ラミナの発達する砂質シルト層である2a層と、中礫を挟在する細粒～中粒砂を基質とする構造のみられない人為造成土である2b層からなる。2b層を構成する粒子間はきわめて密で、かなりの加重によって土締めされたことがわかる。また2a層を基層として鉛直方向へのびる貫進構造が観察された。構造内には羽状構造とロード構造がみられ、液状化による砂脈であると考えられる。2a層は平滑ラミナの発達が確認されるが、液状化が発生している層であることから、このラミナの形成が、流水環境下での水成堆積を反映したものであるか、液状化による側方流動などによる二次的な構造形成によるものかは判然としない。また液状化は、低湿地など地下水位の比較的浅い地下涵養度の高い地域で、震度5弱以上の地震動を受けた場合、発生しやすいとされる。しかしそれでも指摘した通り、2b層はかなりの強度で土締めされた堆積土である。重機などによる鉛直方向からの加重が発生した場合、地震動とほぼ同様の効果があるため、この液状化が必ずしも地震動によるものとは決定しがたい。周辺の自然堆積層などとの比較研究が待

たれる。

小結 基壇外周の堆積状況の観察によって、以下の知見が得られた。

- ①観察された堆積土の多くは粘土ブロック（偽礫）や礫を挟在する砂質泥堆積物で、堆積構造から人為的な造成土であった。
- ②それらの造成土は単純に墨重しているのではなく、10b層、5a・b層、3a層にみられるように、流水環境下で堆積した水成堆積物を間層とすることから、東塔周辺域が容易に水没し、それらを再造造成するために造成土を構築した可能性がある。
- ③とくに5a層にみられるような洪水、5b層にみられるような水位をもった流水性堆積物の存在をみると、この水没は比較的規模が大きかった可能性が考えられる。
- ④2b層には2a層を基層とする液状化にともなう砂脈が観察された。しかし2b層の土締めは、他の堆積層よりも粒子間空隙が小さく密度が高いため、重機による加重が考えられ、必ずしも地震痕跡とは断定しがたい。今後、周辺地域での調査とあわせて再考したい。

C 放射性炭素年代測定の成果

i 試料と方法

炭化木片9点と炭化種子（イネ種子）1点について放射性炭素年代をAMS法によって測定した。このうち8点は、基壇の発掘調査の際に検出した試料で、基壇の上で4点（被熱痕跡SX10827埋土…基壇上1、被熱痕跡SX10826埋土…基壇上2、修理にともなう足場SX10765埋土…基壇上3、心礎東側基壇土…基壇上5）、基壇の下で4点（創建時東面階段南側耳石の地覆石SX10727上の遺物包含層…基壇下1、南面犬走りSX10803上の遺物包含層…基壇下2、創建時南面階段地覆石抜取溝SD10738ア埋土…基壇下3、創建時西面階段最下段の踏石抜取溝SD10833埋土…基壇下4）を採取した³⁾（PLAN 2）。また残りの2点は、調査区南壁において採取した地質切取試料の中から検出した試料で、採取層位は前項の層相写真の中に記した（Fig.120）。

基壇上の試料 まず基壇の上で採取した試料の詳細について記す。採取層位を「基壇上1」「基壇上2」とした炭化物・焼土集中部試料（PLD-28795・PLD-28796）は、部位不明の炭化材である。「基壇上3」とした炭化物を多く含む足場埋土の試料（PLD-28797）は、修理にともなう足場SX10765の柱掘方から採取した部位不明の炭化材である。「基壇上5」とした心礎東側基壇土試料（PLD-28798）は、心礎東側の基壇土中に散在していた部位不明の炭化材である。

基壇下の試料 つぎに基壇の下で採取した試料の詳細について記す。採取層位を「基壇下1」とした東面階段SX10715南側炭化物集中部試料（PLD-28799）は、東面階段南側耳石の地覆石SX10727上に展開し、近世の乱石積基壇SX10742外周に堆積する遺物包含層中の炭化物集中部から採取した最終形成年輪の残る炭化材である。寛永・正保修理にともなう、もしくはそれ以降、明治修理以前までの堆積とみられる。

同様に「基壇下2」とした基壇南面東寄り炭化物集中部試料（PLD-28800）は、SX10742の直下にあたる創建時の基壇南面犬走りSX10803直上に展開する遺物包含層から出土した炭化物集中部から採取した炭化イネ種子である。

「基壇下3」とした南面階段東側試料（PLD-28801）は、南面階段地覆石抜取溝SD10738ア埋土から採取した部位不明の炭化材である。南面階段SX10717は寛永・正保修理時までに撤去

測定試料

されたと考えられている。

「基壇下4」とした西面階段北側試料 (PLD-28802) は、西面階段最下段の踏石抜取溝 SD10833 埋土から採取した部位不明の炭化材である。西面階段 SX10716 は寛永・正保修理時に改修されたとみられる。

基壇外周の試料 最後に、東塔基壇外周南区南壁 (Fig. 7) から採取した地質切取試料 (Fig.120) より検出した試料2点 (Fig.120) について記す。試料は近世遺物包含層上層 (考古層位6層) と、近世遺物包含層中層 (考古層位7層) から採取した。層の下位となる東塔基壇外周部① (PLD-42662) は、近世遺物包含層中層から採取した最終形成年輪以外で部位不明の炭化材である。また層の上位となる東塔基壇外周部② (PLD-42663) は、近世遺物包含層上層から採取した最終形成年輪以外で部位不明の炭化材であった。前者は17世紀初頭までの土器、後者は江戸時代以降の陶磁器を含む。

年代測定の原則 試料の調整と年代測定は、株式会社パレオ・ラボに委託した。年代は、加速器質量分析計 (パレオ・ラボ、コンパクトAMS: NEC 製 1.5SDH) を用い、得られた¹⁴C濃度について同位体分別効果の補正をおこなった後、¹⁴C年代 (yrBP.) を算出している。この¹⁴C年代は、AD1950年を基点にしてそれより何年前かを示した年代であり、その算出には¹⁴Cの半減期としてLibbyの半減期5568年を使用している。また付記した¹⁴C年代誤差 ($\pm 1\sigma$) は、測定の統計誤差、標準偏差などにもとづいて算出され、試料の¹⁴C年代がその¹⁴C年代誤差内に入る確率が68.2%であることを示す。一方、曆年較正は、大気中の¹⁴C濃度が一定で半減期が5568年として算出された¹⁴C年代に対し、過去の宇宙線強度や地球磁場の変動による大気中の¹⁴C濃度の変動、および半減期のちがい (¹⁴Cの半減期5730 \pm 40年) を較正して、より実際の年代値に近いものを算出することである。

曆年較正 ¹⁴C年代の曆年較正にはOxCal4.4.2を用い、較正曲線データとしてIntCal13とIntCal20を使用して演算した。これは2020年度に放射性炭素年代に関わる国際較正曲線データIntCal20が発表されたため、従来のIntCal13の成果と、最新版であるIntCal20のデータ比較をおこなうためである。なお、 1σ 曆年代範囲は、OxCalの確率法を使用して算出された¹⁴C年代誤差に相当する68.2%信頼限界の曆年代範囲であり、同様に 2σ 曆年代範囲は95.4%信頼限界の曆年代範囲である。カッコ内の百分率の値は、その範囲内に曆年代が入る確率を意味する。グラフ中の縦軸上の曲線は¹⁴C年代の確率分布を示し、二重曲線は曆年較正曲線を示す。

ii 結果

試料解釈上の留意点 10点の試料についての放射性炭素年代測定の結果をTab.13に示す。曆年較正值は、IntCal13較正曲線とIntCal20較正曲線を用いた演算結果を併記し、どちらの較正曲線を用いた結果かわかるように表記した。またそれぞれの試料ごとに、2つの曆年較正曲線を用いて演算した曆年代とその確度についてのグラフ (Fig.121)、さらに演算結果を曆年較正曲線上に配置したグラフ (Fig.122～124) を示す。この2つの曆年較正曲線は、IntCal13に福井県水月湖の年縞湖底堆積物から求められた放射性炭素年代測定成果が、IntCal20に日本産樹木年輪から求められた放射性炭素年代測定成果が採用されたことで特徴づけられる。それぞれ北半球の極東域で得られたデータセットが反映されることにより、日本近隣域での曆年較正精度がこれまで以上に上がることが期待されている⁴⁾。ただし International radiocarbon

Tab.13 放射性炭素年代測定 (AMS 法) 成果一覧

試料名 [測定番号]	層位等	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	暦年較正用年代 (yrBP $\pm 1\sigma$)	^{14}C 年代 (yrBP $\pm 1\sigma$)	較正 閾数	^{14}C 年代を暦年代に較正した年代範囲		
						1 σ 暦年代範囲	2 σ 暦年代範囲	
心礎東側 基壇土 [PLD-28798]	基壇 上 5	-27.07 ± 0.26	3417 ± 24	3415 ± 25	A	1747 ~ 1687 calBC (68.3)	1862 ~ 1852 calBC (1.4)	
						1772 ~ 1641 calBC (94.0)		
						1654 ~ 1641 calBC (7.8)	1770 ~ 1626 calBC (91.2)	
炭化物・ 焼土集中部 [PLD-28796]	基壇 上 2	-25.80 ± 0.32	1548 ± 24	1550 ± 25	A	431 ~ 492 calAD (51.3)	426 ~ 567 calAD (95.4)	
						531 ~ 551 calAD (17.0)		
						440 ~ 455 calAD (10.8)	433 ~ 585 calAD (95.4)	
炭化物を 多く含む 足場 [PLD-28797]	基壇 上 3	-25.51 ± 0.25	1274 ± 22	1275 ± 20	A	688 ~ 721 calAD (38.7)	676 ~ 770 calAD (95.4)	
						741 ~ 767 calAD (29.6)		
						682 ~ 710 calAD (29.8)	668 ~ 777 calAD (95.4)	
炭化物・ 焼土集中部 [PLD-28795]	基壇 上 1	-25.08 ± 0.31	1262 ± 21	1260 ± 20	A	691 ~ 750 calAD (60.8)	675 ~ 775 calAD (95.4)	
						761 ~ 769 calAD (7.5)		
						684 ~ 744 calAD (68.3)	673 ~ 778 calAD (86.4)	
西面階段北側 [PLD-28802]	基壇 下 4	-27.25 ± 0.27	1250 ± 23	1250 ± 25	A	693 ~ 748 calAD (57.9)	678 ~ 779 calAD (84.2)	
						762 ~ 773 calAD (10.4)	791 ~ 829 calAD (6.5)	
						687 ~ 742 calAD (50.0)	676 ~ 779 calAD (66.1)	
南面階段東側 [PLD-28801]	基壇 下 3	-26.46 ± 0.29	1044 ± 21	1045 ± 20	A	991 ~ 1016 calAD (68.3)	970 ~ 1025 calAD (95.4)	
						995 ~ 1021 calAD (68.3)	978 ~ 1031 calAD (95.4)	
						1520 ~ 1530 calAD (8.7)	1489 ~ 1603 calAD (75.4)	
南面東寄り 炭化物集中部 [PLD-28800]	基壇 下 2	-25.38 ± 0.25	322 ± 22	320 ± 20	A	1538 ~ 1593 calAD (46.2)	1611 ~ 1643 calAD (20.0)	
						1619 ~ 1635 calAD (13.4)		
						1515 ~ 1531 calAD (12.2)	1494 ~ 1602 calAD (75.9)	
東面階段南側 炭化物集中部 [PLD-28799]	基壇 下 1	-28.37 ± 0.25	177 ± 20	175 ± 20	C	1538 ~ 1590 calAD (43.5)	1610 ~ 1641 calAD (19.5)	
						1620 ~ 1636 calAD (12.6)		
						1660 ~ 1690 calAD (14.7)	1660 ~ 1690 calAD (18.8)	
東塔基壇 外周部① [PLD-42662]	近世 遺物 包含層 中層	-22.75 ± 0.23	381 ± 19	380 ± 20	A	1730 ~ 1810 calAD (43.8)	1720 ~ 1810 calAD (58.9)	
						1930 ~ 1960 calAD (9.7)	1920 ~ 1960 calAD (17.7)	
						1453 ~ 1493 calAD (55.1)	1446 ~ 1522 calAD (74.5)	
東塔基壇 外周部② [PLD-42663]	近世 遺物 包含層 上層	-23.52 ± 0.26	367 ± 19	365 ± 20	A	1602 ~ 1614 calAD (13.1)	1591 ~ 1620 calAD (20.9)	
						1457 ~ 1499 calAD (54.0)	1451 ~ 1521 calAD (69.6)	
						1600 ~ 1615 calAD (14.2)	1585 ~ 1624 calAD (25.9)	
東塔基壇 外周部② [PLD-42663]	近世 遺物 包含層 上層	-23.52 ± 0.26	367 ± 19	365 ± 20	A	1598 ~ 1618 calAD (20.4)	1572 ~ 1630 calAD (35.1)	
						1471 ~ 1512 calAD (41.3)	1456 ~ 1524 calAD (55.8)	
						1592 ~ 1619 calAD (27.0)	1572 ~ 1631 calAD (39.7)	

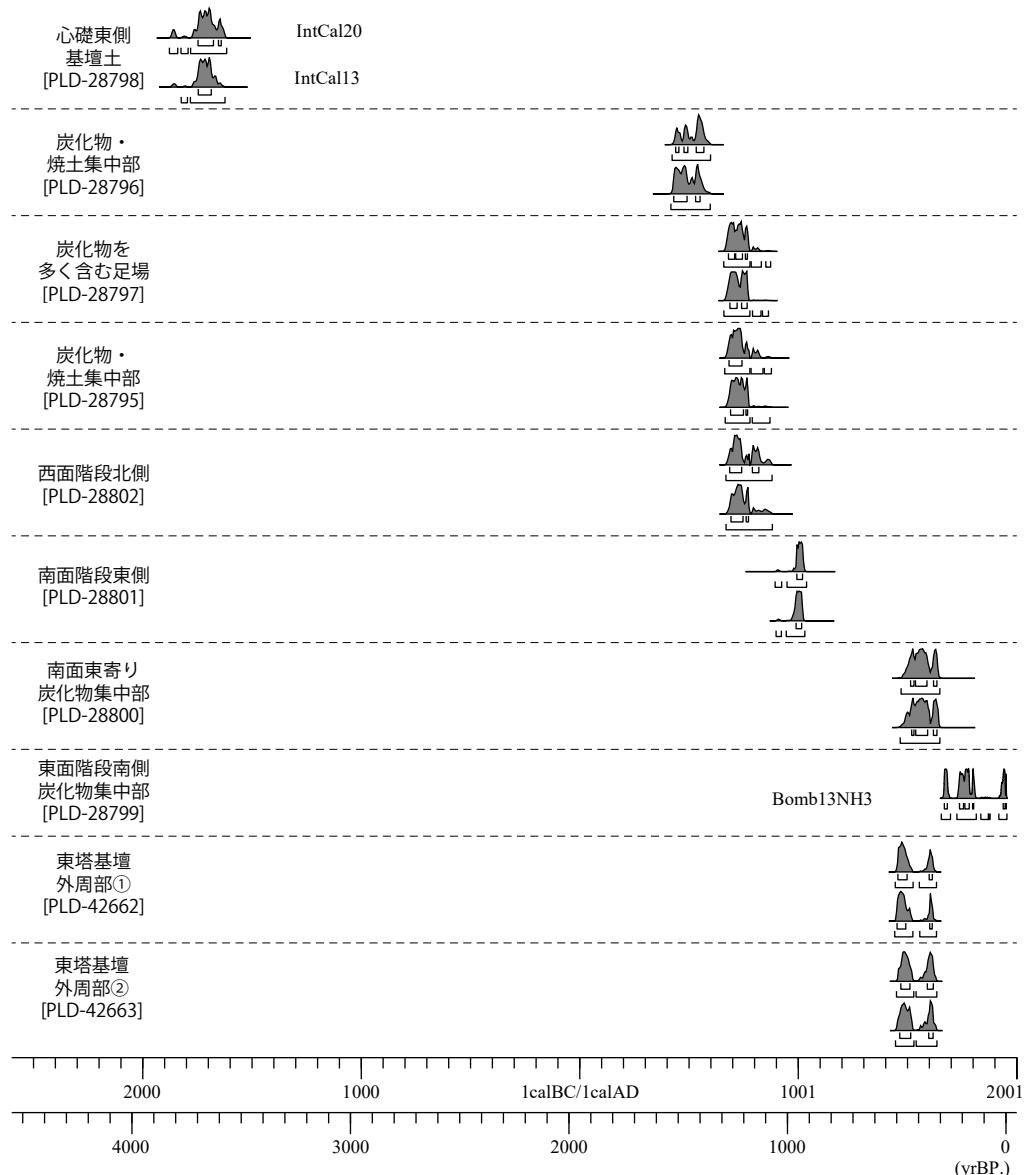
※較正閾数は以下の通り。 A : IntCal13、B : IntCal20、C : Bomb04NH4

calibration curve (IntCal) 研究グループを中心に進められてきたこの ^{14}C 年代暦年較正曲線研究は、北半球の陸上資料において汎用性のある較正曲線の開発を目的としているため、ピンポイントな年代値の演算は本来の目的とは異なっていることに留意がいる。

測定結果について、暦年較正曲線データ IntCal20 から算出された 2σ 暦年代範囲 (確率 95.4%) に着目してまとめる。

基壇上試料の測定結果 まず基壇の上でもっとも古いのは心礎東側基壇土試料 (PLD-28798・基壇上 5) で、縄文時代後期中葉に相当する 1867 ~ 1626 cal BC の暦年代範囲を示した。極端に古いため、基壇版築の時期を示すものではなく、基壇土に元々含まれていた古い炭化材と思われる。暦年較正曲線データ IntCal13 による算出結果と比べると、暦年較正曲線データ

極端に古い
炭化材



※図に示す較正年代は、OxCal4.4 を用いて放射性炭素年代測定値を較正した結果である。

グラフ上段は IntCal20 較正曲線、下段は IntCal13 較正曲線を用いて算出している。
なお、東面階段南側炭化物集中部 [PLD-28799] は、較正年代値が 1950 年を越えるため、Bomb13NH3 較正曲線を用いて算出している。

Fig.121 OxCal4.4 を用いた放射性炭素年代測定値の較正年代一覧

IntCal20 による結果は、わずかに新しい年代範囲を示す。次に古いのは被熱痕跡 SX10826 埋土から採取した炭化物・焼土集中部試料 (PLD-28796・基壇上 2) で、5 世紀前半～6 世紀末の暦年代範囲を示した。これは 8 世紀と考えられている東塔の創建年代に比べて古い。測定試料の状態は、最終形成年輪が残っていない炭化材片であり古木効果の影響が十分あることを考える必要がある。暦年較正曲線データ IntCal13 による算出結果と比べると、暦年較正曲線データ IntCal20 による算出結果は、年代範囲がおよそ半世紀新しい時期まで取り込まれることには注意したい。

古木効果
の影響

被熱痕跡 SX10827 埋土から採取した炭化物・焼土集中部試料 (PLD-28795・基壇上 1) と、修理にともなう足場 SX10765 埋土から採取した試料 (PLD-28797・基壇上 3) は、7 世紀後半～8 世紀後半と、7 世紀後半～9 世紀前半の暦年代範囲を示した。年較正曲線データ IntCal13

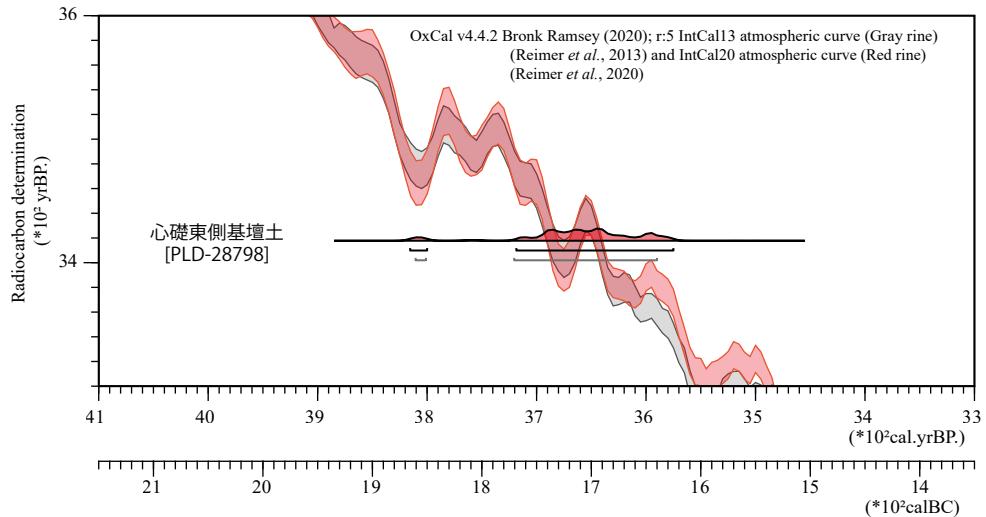
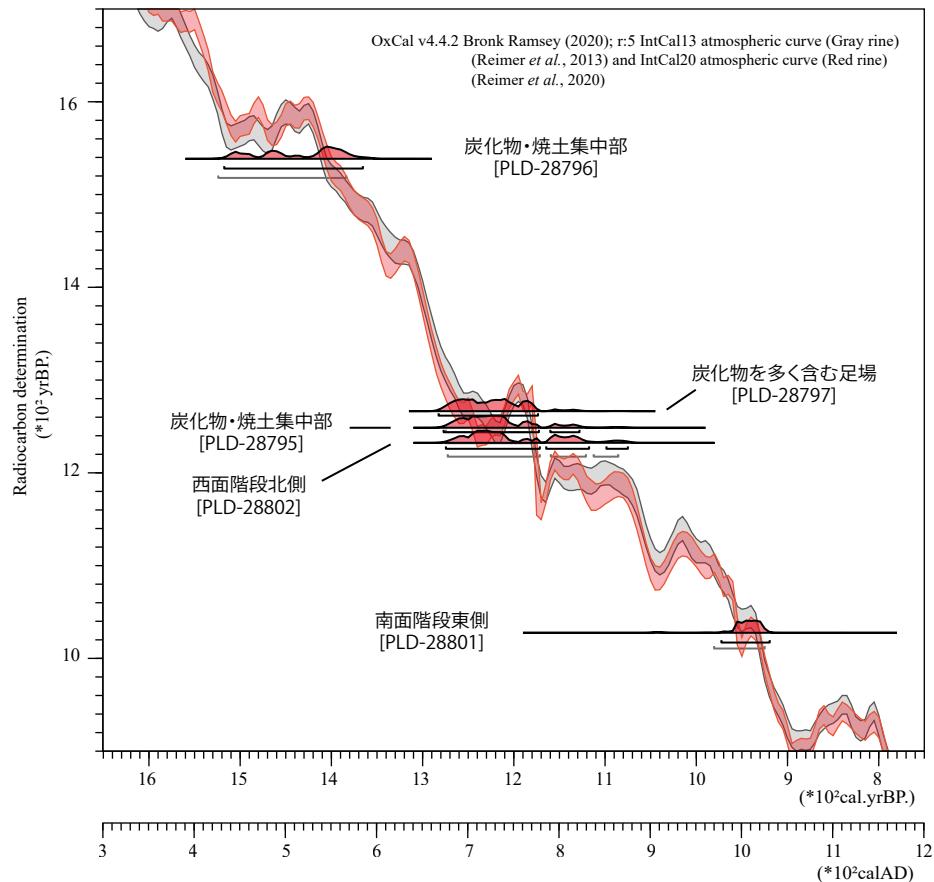


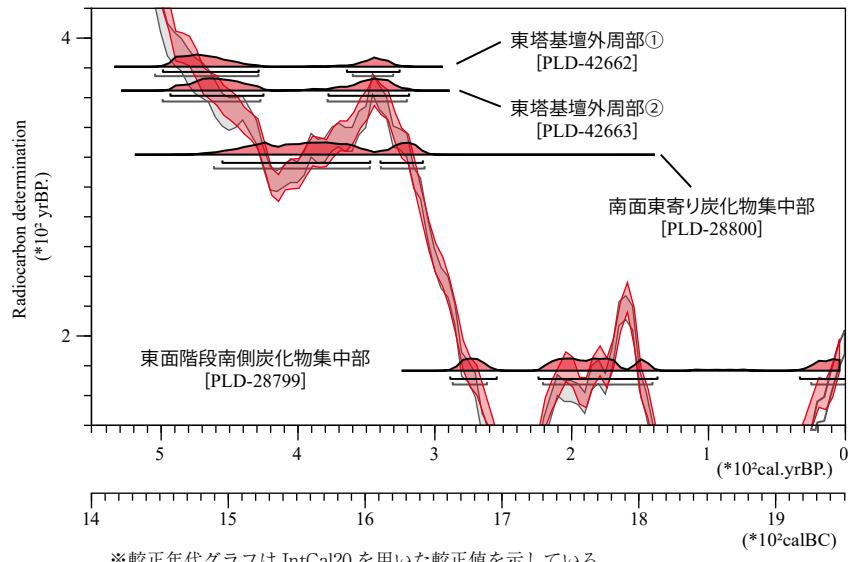
Fig.122 IntCal20 較正曲線（赤色）と IntCal13 較正曲線（灰色）による年代較正値の比較（1）



※較正年代グラフは IntCal20 を用いた較正値を示している。
グラフ下には 2σ (95.4%) 確度の範囲を示す範囲を黒色線 (IntCal20)、
灰色線 (IntCal13) で示した。

Fig.123 IntCal20 較正曲線（赤色）と IntCal13 較正曲線（灰色）による年代較正値の比較（2）

による算出結果では、2つの試料は7世紀後半～8世紀後半の年代範囲でほぼ揃っていたが、曆年較正曲線データ IntCal20 による算出結果では、やや新しい年代範囲を取り込んでいることに注意が必要である。発掘調査の成果では、SX10827 は焚火跡である可能性が指摘され（50頁）、SX10765 は修理時の足場とされている（49頁）。測定された試料の条件は、最終形成年輪の確認ができない部位不明の炭化材片であり、古木効果の影響を考慮する必要があることから、



※較正年代グラフは IntCal20 を用いた較正値を示している。
グラフ下には 2σ (95.4%) 確度の範囲を示す範囲を黒色線 (IntCal20)、
灰色線 (IntCal13) で示した。

Fig.124 IntCal20 較正曲線（赤色）と IntCal13 較正曲線（灰色）による年代較正値の比較（3）

考古所見
を裏づける

年代もほぼその所見を裏づけるものといえよう。

基壇下試料の測定結果 つぎに基壇の下から得られた試料の測定結果についてまとめた。

創建時西面階段最下段の踏石抜取溝 SD10833 埋土である西面階段北側試料 (PLD-28802・基壇下4) が7世紀後半～9世紀後半、創建時南面階段耳石の地覆石抜取溝 SD10738 ア埋土である南面階段東側試料 (PLD-28801・基壇下3) が10世紀後半～11世紀前半を示した。基壇南面犬走り SX10803 上に位置し、乱石積基壇 SX10742 の直下にあたる遺物包含層である南面東寄り炭化物集中部試料 (PLD-28800・基壇下2) が15世紀末～17世紀中頃を示した。創建時東面階段南側耳石の地覆石 SX10727 上に位置し、乱石積基壇 SX10742 外周に堆積する炭化物集中部試料 (PLD-28799・基壇下1) が17世紀後半～20世紀の暦年代範囲を示した。結果として西面階段北側試料 (PLD-28802・基壇下4) を除いて、すべて基壇の上から得られた試料よりも新しい年代範囲を示す。

試料条件についてみると、最終形成年輪を有する東面階段南側炭化物集中部試料 (PLD-28799・基壇下1) と、炭化イネ種子である南面東寄り炭化物集中部試料 (PLD-28800・基壇下2) から測定された年代は、その試料の示す年代として信憑性が高い。東面階段南側炭化物集中部試料 (PLD-28799・基壇下1) は、乱石積基壇 SX10742 外周の包含層であり、発掘所見では寛永・正保修理 (1644～1646) にともなう、もしくはそれ以降、明治修理以前までの堆積とみられる。試料では17世紀後半～20世紀前半の年代範囲を示しており、乱石積基壇 SX10742 構築後のものとみられ、この地点においては基壇裾部の改修などがおこなわれていた可能性も考えられる。

南面東寄り炭化物集中部試料 (PLD-28800・基壇下2) は、乱石積基壇 SX10742 直下の炭化物の集中する堆積物から得られた試料である。発掘所見では、この層は17世紀初頭までの土器を含み、乱石積基壇は寛永・正保修理時までに形成されたものとみている。試料の示す年代は、15世紀末～17世紀中頃であり、発掘調査の所見を支持する。

南面階段東側試料 (PLD-28801・基壇下3) と西面階段北側試料 (PLD-28802・基壇下4) は、

基壇上試料
より新しい

最終年輪の確認できない部位不明の炭化材片である。測定年代として、あらかじめ古木効果の影響を考慮する必要がある。南面階段東側試料（PLD-28801・基壇下3）は、南面階段耳石の地覆石抜取溝SD10738ア埋土から検出した試料である。発掘調査の所見では、この遺構と連続する基壇南面西半地覆抜取溝SD10740からは15世紀第2四半期～16世紀第1四半期の土器が出土しており、南面階段は寛永・正保修理時までには撤去されたと考えられる。試料が示す年代は10世紀後半～11世紀前半であり、調査所見の示す年代と大きな隔たりを示した。本節の冒頭で記述したが、人為の影響下にある堆積層の堆積時期は、考古学的な層位編年の枠組みの中で検討されなければならない。試料の採取された堆積物は、人為による造成土、もしくはその再堆積であることは間違いない、年代測定をおこなった炭化材片の挟在経路も不明である。結果的に、調査所見である15世紀後半～16世紀初頭の時期が支持されるべきである。西面階段北側試料（PLD-28802・基壇下4）は、基壇外周で検出された西面階段最下段の踏石抜取溝SD10833埋土から検出された試料である。西面階段は調査所見から、寛永・正保修理までに改修されたとみられる。試料が示す年代は7世紀後半～9世紀後半で、調査所見の示す年代と大きな隔たりを示した。本試料も抜取溝埋土への挟在経路が不明である。古木効果以上に古い堆積物からの混入は十分考えられる。前述の南面階段東側試料（PLD-28801・基壇下3）と同様、発掘調査の所見が優先されるべき結果である。

調査所見との隔たり

古堆積物混入の可能性

調査区南壁試料の測定結果 最後に調査区南壁から採取した地質切取試料より検出した試料2点についてまとめる。東塔基壇外周部①（PLD-42662）も東塔基壇外周部②（PLD-42663）も、ともに暦年較正曲線データIntCal13、IntCal20でも15世紀半ば～17世紀前半の年代範囲が得られた。試料条件は最終形成年輪以外の部位不明の炭化材であるため、あらかじめ古木効果を考慮する必要がある。発掘調査所見では、7層は17世紀初頭までの土器を、6層は江戸時代以降の陶磁器を含み、近世初頭から明治修理までの包含層とみられる。放射性炭素年代の範囲はその所見を支持する、ないしより古いが、堆積土が人為的な造成土であるため、造成時に使用した土壤中に古い炭化物が混入する恐れは十分ある。これは本節の冒頭で触れた「人間活動」の影響を反映したものであり、発掘調査成果による所見と乖離するものではない。（村田）

註

- 1) 伊藤茂・安昭炫・佐藤正教・廣田正史・山形秀樹・小林紘一・Zaur Lomtadze・Ineza Jorjoliani・中村賢太郎・パレオ・ラボ AMS 年代測定グループ「第V章2 放射性炭素年代測定」『概報』。
- 2) Harris, E. C. (1979). Principles of Archaeological Stratigraphy. Academic Press, London and San Diego.
- 3) 当初、SX10765埋土よりもう1点試料採取し、「基壇上4」としたが、炭化物を含まなかつたため、測定対象から除去した。
- 4) Reimer, P. et al. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kBP). Radiocarbon, 62.