

発掘調査現場における断面実測図作成に関する実験

- 深見遺跡 2019-1 作図方法の検討 -

高村 勇士・目取眞 有香

1. はじめに

本稿は、大阪府茨木市に所在する深見遺跡の発掘調査（深見遺跡 2019-1）において行った、断面実測方法に関する実験の報告である。

ここで実験するのは、実測図における線の描画についてであり、主に調査補助員等が実施する作業に焦点を当てる。そのため、断面の観察や分層の作業、断面情報の注記などの調査員が微細な点を実見して書き入れる作業については考慮していない。実験の対象物は、B区南東部の調査区東壁約5mである。この対象について、①遺構くんの多点補正という機能を使用した実測（以下、①という。）、②SfM-MVSを使用した実測（以下、②という。）、③手実測（以下、③という。）の3種類の実測方法を用いそれぞれ実測を行い、その実測方法や成果を比較する（註1）。なお、③については、実測者の経験や技能が大きく左右されると考えられるため、①発掘調査経験18年の実測者（以下、実測者①という。）、②発掘調査経験4年目の実測者（以下、実測者②という。）、③発掘調査経験1年目の実測者（以下、実測者③という。）の3名によって行った。また、実測者②は①及び②の実測者と同一である。したがって、手書きとデジタルトレースという違いがありながらも、断面情報の理解度やその表現方法という点では、③の実測者②の実測図と①及び②の実測図の間には差がないと想定できる。また、実測図の精度を評価するうえで、5点の検証点を任意で設けた。この検証点は別にトータルステーション（以下、TSという。）で座標値を測定し、①、②の実測では描画のための測点としないこととする。

近年、デジタル技術を活用した遺構実測方法が急速に広まってきたことを背景に、手実測などの従来の手法に拘泥せず、三次元計測等を活用し、より適切な手法を選択すべきことが指摘される（金田 2017）。その一方で手実測の有用性が説かれる事もある（渡部 2020）が、いずれにしても現実的には必ずしも常に最適な手法が選択できるとは限らず、調査は様々な制約を受ける。このように考えた時、実際の発掘調査現場において、ど

れほどデジタル技術を活用する価値があるのか、必ずしも明確になっていないと思われる。このことから、深見遺跡 2019-1における最良の実測方法の選択にあたり、明確な根拠を得ようと考えた。これが本実験の動機である。そして、本稿のねらいは、実際の行政発掘の現場においてデジタル技術を活用した実測方法と従来の実測方法を実見し比較することにより、デジタル技術を活用する価値を、一つの事例を示すことにより可視化することである。

2. 実測図作成実験

実測図作成実験は、深見遺跡 2019-1のB区において、2020年8月19日の11時より行った。天候は快晴であった。対象は上記のとおり、B区南東部の調査区東壁約5mである。

ア ①の作業実験

まず、①を実測者②が1人で行った。実測の手順は以下のとおりである。

- 1 対象物の周囲に対標6点を設置する。
- 2 対標の座標値をTSによって測量する。
- 3 天端5点と底端9点を測量し、遺構くんにより線を描画する。
- 4 コンパクトデジタルカメラを調査区壁面と平行に構え、対標が全て入る写真を撮影する。予備で3枚撮影する。

以上の1から4まで外業工程を約18分で終えた。なお、実測者②はこの実測方法について、十分に経験している者である。

内業は実測者②が現場事務所で行った。この作業は、現場以外でも実施可能であるが、発掘調査を効率的に行うためにも、環境が許せば即座に確認できる方が望ましいため、通常は現場事務所で行うことが多いと想定される。作業の手順は以下のとおりである。

- 1 取得した対標の座標点を遺構くんの機能で写真に入力し、コンパクトカメラで撮影した写真の歪みを補正する。同時に、対標の座標値よりスケールを取得する。
- 2 歪み補正された写真を基に遺構くんデジ

タルトレースする。

上記の作業を約 52 分で終えた。外業と内業を合わせて、約 70 分で実測図が完成した。この過程で検証及び再編集のために保存すべきデータは、補正前の写真画像、デジタルトレースを行ったデータなど合わせて 29.5MB である。

イ ②の作業実験

2020 年 8 月 21 日 15 時 30 分より実測者②が②を実施した。この日も快晴であった。外業の作業工程は、以下のとおりである。

- 1 Metashape 用の対標「マーカー」5 点を対象物に設置する。
- 2 マーカーの座標値を TS によって測量する。
- 3 天端 5 点と底端 9 点を測量し、遺構くんに

より線を描画する。

- 4 写真 36 枚を、角度を変え、かつ撮影範囲が重複するように撮影する。

以上の 1 から 4 までの外業工程を約 16 分で終



写真 4 ②マーカーの設置



写真 1 ①対標の設置



写真 5 ②マーカー座標値の測量



写真 2 ①対標座標値の測量



写真 6 ②写真撮影



写真 3 ①写真撮影



写真 7 ②写真撮影（マーカー接写）

えた。

次に内業として以下を実施した。この作業には、高性能で一定の処理速度を持つPC（以下、高性能PCという。）が必要なため、現場事務所で全てを実施するのは困難である。少なくとも、以下の1及び2については、高性能PCが所在する場所で行う必要がある。

- 1 写真を高性能PCに取り込んで、Metashapeで処理をかけ、3Dデータを作成する。
- 2 3Dデータ上でマーカーに座標値を入力し、3Dデータに座標軸とスケールを持たせる。
- 3 OBJ形式で書き出す。

以上の1から3までの作業は約12分かかった。なお、Metashapeの精度は実用的な中程度の精度とした（註2）。このデータ容量は、OBJ形式で33.5MBである。この他、素材の写真36枚、Metashapeデータ、合計743MBが検証及び再編集のために保存しておくべきデータである。この後は、一般的なPCで編集可能な以下の作業を行った。

- 4 CloudCompareを使用し、OBJ形式のファイルからオルソ画像（JPEG）を作成する。
- 5 遺構くんに入力してスケールを取得し、そのデータと4のデータをデザインソフトに貼り付け、デジタルトレースを行う。

上記4及び5の作業には、約38分かかった。

1から3の作業と合計して約50分である。

ウ ③の作業実験

2020年8月19日13時よりレベルを用い、対象物にT.P.+10.4mと9.8mの位置に釘を打ち込み、水糸とエスロンを張るなど、③のための設定を行った。

15時より③を開始した。1番目は実測者①である。この時、①の他1人が実測の補助を行った。WBGT31℃を超える酷暑のため、実測作業中に数度の休憩を挟み、作業は日をまたぎ、2020年8月20日11時に終了した。実測時間は実働で約2時間であった。

次に、実測者③によって11時30分より③を開始した。この時、実測者③の他1人が実測の補助を行った。この日も酷暑であり、多くの休憩を取らざるを得なかった。そのため、実測作業は

2020年8月21日15時30分まで及んだ。実測時間は実働で約5時間30分であった。

次に、実測者②によって2020年8月24日10時30分より③を開始した。実測作業は休憩を挟みながら、その日の15時45分に終了した。実測時間は実働約2時間30分であった。

3. 実測図作成実験結果の分析

ア 実測図の精度

①、②、③の3種類の方法で実測図を作成したが、その成果について検討を加える。まず、事前にもうけた検証点との誤差を以下の表1によって比較したい。この誤差が少なければ、実測図として正確であると言える。

表1において、もっとも検証点における誤差が少ないのは②である。実寸で最大12.806mm、平均6.144mmの誤差である。S=1/20の実測図では最大0.6403mmの誤差であり、これは方眼紙における1目盛もズレておらず、ほぼ正確な実測図と言えるであろう。これに対して、①は実寸の平均誤差は20mm、S=1/20の実測図で最大2.2mmの誤差があり、①と②はいずれもPCを利用した実測方法ながら、その手法やベースとして使用する写真の枚数に差があるためか、歴然とした差が生じ



写真8 断面実測のための設定



写真9 ③-①断面実測

ている。①はNo. 3とNo. 5の誤差が大きいことが注目できる。図1のとおり、No. 3の位置は対象とした断面のほぼ中央であり、No. 5の位置は対象とした断面の右隅である。No. 3については、撮影者のほぼ正面に位置し、通常の写真であれば歪みをもっとも少ない位置であると思われる。しかしながら、今回の実験においてTSで取得した座標値と他の検証点と比較してやや誤差が大きかったことは、補正のために使用した天端と底端の点（以下、補正点という。）からの距離が他の検証点より遠かったため、本来歪みの大きな対象の端が補正点に引き付けられた結果、中心に位置するNo. 3の誤差が大きくなってしまったと考えられるのではないだろうか。また、No. 5については、写真10を見ると、調査区壁面は、崩落の危険を回避するため大きく傾斜をつけて掘削しているが、向かって右下端の方だけ断面の角度が垂直に近くなっているように見える。すなわち、右下の端だけ削りすぎてしまって局所的に角度が大きく異なっていたということである。これに対して、遺構くんの多点補正という機能が処理しきれなかったことが、誤差を大きくした原因と考えられる

表1 検証点照合表

実測方法	検証点	S=1/20	実寸	Max	min	average
①	No.1	0.8	16	44	6	20
	No.2	0.6	12			
	No.3	1.1	22			
	No.4	0.3	6			
	No.5	2.2	44			
②	No.1	0.6403	12.806	12.806	1.684	6.1444
	No.2	0.4933	9.866			
	No.3	0.2237	4.474			
	No.4	0.0946	1.892			
	No.5	0.0842	1.684			
③-①	No.1	0.9366	18.732	39.816	13.028	24.502
	No.2	1.9908	39.816			
	No.3	1.5971	31.942			
	No.4	0.6514	13.028			
	No.5	0.9496	18.992			
③-②	No.1	1.4667	29.334	29.334	21.606	26.7488
	No.2	1.4518	29.036			
	No.3	1.2521	25.042			
	No.4	1.0803	21.606			
	No.5	1.4363	28.726			
③-③	No.1	0.5051	10.102	374.9	10.102	89.6188
	No.2	18.745	374.9			
	No.3	1.5631	31.262			
	No.4	0.5378	10.756			
	No.5	1.0537	21.074			

※単位は全てミリメートルである。

のではないだろうか。以上の憶測が的を射ているものであるならば、天端と底端以外に中心についても補正点を設けること、調査区壁面の傾斜をできる限り均一にすることなどの対策をとることによって、①の手法においても誤差を抑えることができるのではないだろうか。

このように、今回の実験においては①の手法において、やや誤差が生じたが、従来の手実測と比較すると、その誤差に大差はない。③の場合、経験の豊富な実測者①であっても、実寸の平均誤差で24.502 mm、S=1/20の実測図で最大1.9908 mmの誤差である。

イ 実測図作成にかかる手間と時間

③の場合、設定も含めると最低2人は必要である。これに対し①や②は、自動追尾機能のある

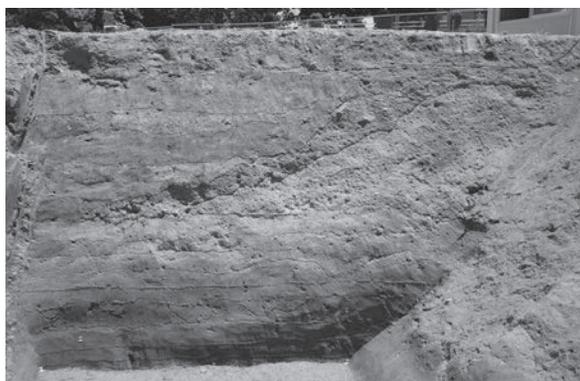


写真10 ①補正前写真



写真11 ①補正後写真

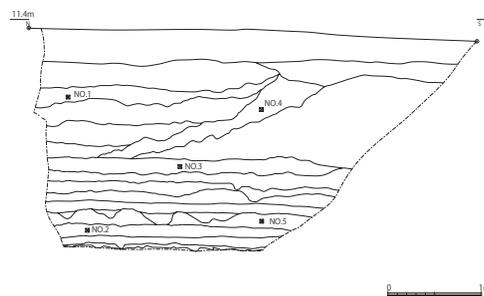


図1 ①図化

TSを用いることにより、全てを実測者1人で終わることが可能である。また、設定自体も①や②はTSと対標の設置のみであるのに対し、③はレベルの設置と任意の高さに釘を打ち込み固定し、水系やエスロンを張るといった作業が必要となる。対象物が調査区の壁断面等のように大きければ設定する箇所も増え負担は増大する。また、①や②は天候や気候などの影響を大きく受ける外業にかかる時間は18分と16分であり、③と比較すると非常に少なく、実測者の負担も大きく削減されると想定できる。また、内業はどのような天候、気候であっても、環境が許すならば、たとえ深夜や早朝であってもフレキシブルに作業が可能であるうえ、現場で取得したデータを送信して、別の整理作業場で実測者とは別の担当者が実測図を作成するなどの分業も可能である。

実測図作成にかかる時間については、表2を見れば一目瞭然である。①や②は実働時間で70分と66分に対し、③は経験豊富な実測者①であっても約120分かかる。しかも、この120分は実働時間であって、実験日のような酷暑であれば休憩を数度挟む必要があり、天候や気候などによって実際にかかる時間はさらに多くなり、日をまたぐこともあった。

表2 実測所要時間比較表

実測方法	外業時間	内業時間	合計時間	保存容量
①	18分	52分	70分	29.6MB
②	16分	50分	66分	743MB
③-①	120分	-	120分	2.3MB(PDF)
③-②	150分	-	150分	2.3MB(PDF)
③-③	330分	-	330分	2.1MB(PDF)

ウ 実測図の利用と保管

③は現場で方眼紙に手描きするため、その成果品は実測された方眼紙である。現在は、報告書を作成する際にデジタルデータとすることがほとんどであるため、その方眼紙をスキャンし、デザインソフトによりデジタルトレースをする必要がある。一方、①や②は、デジタルデータにより生成され、ダイレクトに報告書等の編集に利用できる。また、②の実測図作成方法はその過程に3Dモデルを生成する。これをAR(拡張現実)等の素材として提示するなど、普及啓発事業にも転用可能である(註3)。

これらの実測図の保存について鑑みると、③は

方眼紙そのものを図面ケース等に収納し保管する。このため、図面を収納する適切な場所の確保が必要となる。今後増加し続ける遺物を含めた資料保管場所の問題は非常に切実であるが、埋蔵文化財の破壊と引き換えに得られた重要な資料であるため、原図の永年保管は避けられない。また、大規模災害による水損や焼亡、経年劣化等に備えて、デジタルデータ化し保存することも検討しなければならない。

一方、①や②については、生成されたデータを保管するほか、資料保存における冗長性を確保するために、必要であればプリントアウトして紙でも保存可能である。ただし、根本的には生成されたデータを更新しながらデータ自体を長期に保存可能な仕組みを作る必要があるのは言うまでもない。

4. むすび

調査区壁面や遺構断面の実測図作成について、③は時間がかかるうえに、誤差を生じさせる要因が多く、釘や水系、エスロン等の設定や、天候や暑さ、寒さなどの自然環境、傾斜が大きい・高さがあるなどの対象物の条件、さらに実測者の技能や性格、体調、疲労、焦りなど多様である。これらの誤差を生じさせる要因は、個々に解決することが容易ではないため、これまで等閑視されてきた、若しくは諦められてきたきらいがある。これに対して、①や②は、外業における時間の消費が少ないだけでなく、図化までの外業内業を合わせても実働時間が圧倒的に少ない。これは、実測者の負担を大きく削減するのみならず、効率的な発掘調査現場運営に大きく貢献する。実測作業により掘削作業が中断されることが少なからずあるが、その中断時間が少なく、次の掘削作業に移ることができる。確かに、確実に記録されているか、図化し得るかの確認作業が必要ではあるが、そのための保険的な記録を取得するなどの工夫をしたうえで、先に進むことは可能であろう。また、②は、高性能PCがなければ効率的ではないため、一旦発掘調査現場を離れる必要が出てくるといった難点もあるが、①ならば現場において、その日のうちに補正された写真ないしは図化が確認できる。対象物等によって、①と②を選択できる環境を作ることが、今回与えられた環境の中では最良と言える

るであろう（註4）。

さらに重要なことは、①や②は記録に要する時間が少ないことにより、脆弱な資料が持つ情報や、自然環境の中で変化する土色などの断面情報を新鮮な状態で記録することができることである。出土資料は、出土後すぐに微細ながらも劣化が始まり、徐々に情報が失われていく。具体的には、外気に触れることや、掘削、記録前の精査などにおいても劣化する。記録に日をまたぐほど時間がかかってしまえば、シート養生すら劣化の原因となる。出来る限り出土後時間をおかずに記録することにより、当該資料から最大限の情報を引き出すことができるのである。

以上のように、断面情報の記録作業における従来の方法である③と、近年急速に普及している①や②を比較した時、後者の方が圧倒的に実用的であることは明らかである。ただし、後者の場合は、TSはもちろん、遺構くんやMetashapeなどのソフトや高性能PCなど初期的な投資が多く必要であり、今すぐにすべての発掘調査現場で実用できるものではないかもしれない。また、機材やソフトがあってもそれに習熟した人材も必要となる。全ての発掘調査現場で実用できるまでには、まだ一定の時間を要するであろうが、それであっても、①や②の有用性は非常に高く、有用性の実証や積極的な活用などを含めた上記の障害を取り除く努力が必要であろう。

付記 本稿における実験においては、茨木市企画財政部市民会館跡地活用推進課及び、株式会社島田組並びに、同調査室の丹生泰雪、永田紀博、中瀬真奈の諸氏の協力を得た。記して感謝したい。

註

1) 断面実測で主に使用していたソフトと機材は以下のとおりである。

《ソフト》

ア 遺構くん 2019 Fタイプ … TSと連携させて使用した電子平板ソフト。

イ Metashape Pro 版 … 多数の画像から3Dデータを作成し、座標（スケール）を与えるソフト。

ウ CloudCompare … Metashape Proで作成した3Dデータから、オルソ画像（JPEG）を作成する際に使用。フリーソフト。

エ AdobeIllustrator … オルソ画像トレースの際に使用。

《機材》

ア TOPCON Geodetic Total Station GT-1000 シリーズ … 遺構くんと連携させて使用したトータルステーション。自動追尾機能が搭載されている。

イ RICOH GR III … Metashape用の写真撮影に使用したデジタルカメラ。現場での三次元計測のため、JPEGで撮影・処理を行った。

ウ 高性能PC … メモリ 256GB、CPU Xeon、グラフィックボード GeForce RTX2080 Ti × 2枚を搭載したPCを使用した。

2) 現場での記録図化作業（3Dデータ→線描画変換）は、作業効率を考慮して3Dデータを作成している。ただし3Dデータの元となる写真画像については、APS-Cサイズのセンサーを持つデジタルカメラを使用し可能な限り高画質・高精細な画像の取得を実施している。

Metashapeを用いた解析手順はおもに、①写真のアライメント→②高密度クラウド構築→③メッシュ生成→④テクスチャのマッピングとなる。今回の実験で使用した36枚の写真でのモデル作成では①写真のアライメントについては「高」で実施した。その後の処理である、②高密度クラウド、③メッシュ生成を「低」「中」「高」で行った場合の時間を比較すると（PCのスペックにより処理時間が大きく変わるため具体的な時間を示すことは避ける）、「中」を1とした場合「低」では0.34、「高」で3.33となり3倍程度の違いが見られた。「低」で処理したものに、テクスチャを貼り付けたものでも図化作業の素図として十分耐え得るものだが、後の検証や細部のディテールの表現を行う必要があれば「中」以上での処理が必要である。

生成されるファイルデータのサイズについては、ファイル形式の種類にもよるが、「高」で処理したものは「中」で処理したものに比べ約5～8倍程度データ量が大きくなる。遠隔地や異なる作業員へのデータ受け渡しを考慮すると、現環境において「高」で処理したデータを扱うことは現実的ではない。よって「中」での処理が、後のワークフローに乗せやすく現段階では実用的であると判断する。

大前提として、Metashapeでの処理は撮影した写真の精度に大きく左右される。そのため文化財の記録写真同様、ブレが少なくピントの合った精度の高い写真を撮影するよう心がけなければならない。Metashapeに用いる画像は、現段階ではJPEGでの撮影を行って

いるが、重要遺構に対してはRAWでの撮影・処理を行うなど、臨機応変な対応が求められる。

3) 実際に深見遺跡の発掘調査では、井戸遺構のたち割り部分について、実測図作成のために作成した3DデータをARの素材として活用した。具体的な方法として、作成した現地説明会リーフレット等の写真をARアプリで読み込むことにより、3D化した井戸遺構たち割りのモデルを手持ちのスマートフォンやタブレットで見る事が可能となり、各自がスケールや角度を自在に操作できるような仕掛けにした。仕掛けがあることやアプリについての周知に関する問題や、アプリによって埋め込めるデータ容量に制限があるなどの問題が表出したが、コロナ禍において、機材を共有することがなく、各自が自身の所有する機材で見ることができるという利点は大きいと思われ、今後も工夫を重ねて活用していきたいと考えている。

4) 深見遺跡 2019-1 においては、記録作成を要する断面のうち、その対象が大きいもの、すなわち調査区壁面等については、②によって断面情報を記録した。遺構断面等の小規模なものについては、以下の追加実験を実施した。

追加実験は、小規模な遺構断面に対象を変え、再度①、②、③の手法でそれぞれ断面図を作成した。この実験については、任意で設定した検証点3点との誤差と、TSを立てることや、水系の設定等を含めた外業と内業の所要時間を計測した。その結果、表3のとおり、①平均誤差(実寸) 2.82833 mm、所要時間 22分、②平均誤差(実寸) 1.247 mm、所要時間 43分、③平均誤差(実寸) 4.025 mm、所要時間 26分であった。なお、これは全て実測者②が行った。

この結果を検討すると、精度については、対象の大きなものと同様に②→①→③の順で高いと考えられるが、その所要時間については、①→③→②の順で早く、

表3 追加実験比較表

実測方法	検証点	S=1/10	実寸	Max	min	average	所要時間
①	No.1	0.27	2.7	3.359	2.7	2.82833	22分23秒
	No.2	0.2426	2.426				
	No.3	0.3359	3.359				
②	No.1	0.6403	2.35	2.35	0.545	1.247	43分6秒
	No.2	0.0545	0.545				
	No.3	0.0846	0.846				
③-②	No.1	0.3342	3.342	6.923	1.18	4.025	26分40秒
	No.2	0.181	1.81				
	No.3	0.6923	6.923				
※単位は全てミリメートルである。							
※所要時間は機器等設定を含めた外業と内業の合計時間である。							

②と③の序列が入れ替わる。しかも、②については、①の2倍近くの時間を要していた。

精度についてさらに詳細に表3を見てみると、①については、確かに②に劣るように見えるが、その誤差は、実寸で最大 3.359 mm であり、調査区壁面の実測図において②の実寸最大誤差である 12.806 mm をはるかに下回り、①についても、小規模な対象であればその精度は非常に高いものであると考えられる。これに加えて、①②③のうち最も所用時間が少ないことを考えれば、数多くの遺構の断面情報を記録することを思うとき、小規模な遺構の断面情報を記録する手段として①が妥当であると判断できる。

これに加え、遺構くんの描画機能で遺構断面図を作成することも実験した。TSの設定から結線作業までにかかる時間は、約19分と最も少ない。また、計測作業自体も①や②と異なりマーカー等の設置が不要で簡便である。ただし、TSで測量した点を入力するもので、その点自体は問題ないが、実測者がどれほど経験を積んでいるか否かに関わらず、よほど測量点を増やさない限り、分層線がやや簡略化されており、微細なところで多くの違和感が残る。

これらの追加実験の結果を踏まえ、深見遺跡 2019-1 においては、掘り方以外に分層線が見えないようなやや「簡単」な遺構等は、遺構くんの結線機能により描画し、分層線を多く描き入れる必要のある小規模なもの①、調査区壁面など規模の大きく分層線も多く描き入れる必要のあるものや、中に遺物が多く見えるものなど「複雑」なものは②によって断面図を作成した。

深見遺跡 2019-1 で採用した手法が成功しているのか、悪手であったのか(断面実測図作成方法が同一調査の中で区々であることは、再検証する際に影響はないだろうかと危惧してはいる)は、保存された図面を検証する未来の人が判断されるであろうが、このように、調査員や実測図作成者が、対象や環境によって最も適切なものを選択するために、新しい技術を積極的に勉強し取り入れ選択肢を増やしていくことが肝要であると自分を納得させている。

参考文献 (五十音順)

金田明大 2017 「遺跡・遺構の計測」『季刊考古学』第140号 雄山閣 pp.46-49
 渡部展也 2020 「考古学・文化財におけるデジタル計測と情報活用の現状」『経済史研究』第23号 大阪経済大学日本経済史研究所 pp.57-87