

発掘調査から報告書公開までのデジタル技術

水戸部秀樹（公益財団法人山形県埋蔵文化財センター）

Using Digital Technology: From Excavation to Site Report
Mitobe Hideki (Yamagata Prefectural Center for Archaeological Research)

- ・ 高性能パソコン／High performance personal computer
- ・ デスクトップパブリッシング／DTP・三次元写真計測／Photogrammetry
- ・ ドローン／Drone・データ保管／Data storage

1. デジタル技術の導入

私の所属する公益財団法人山形県埋蔵文化財センター（以下、山形埋文という）は、遺跡の発掘と報告書作成を主たる業務としている。これらの業務を効率的に行うため、さまざまなデジタル技術・機材の導入を進めてきた。今後もその姿勢は変えないつもりである。本稿では山形埋文において令和元年時点で導入しているデジタル技術について紹介する。

（1）デジタル技術と機材

新たなデジタル技術を導入するということは、新たな機材を調達することとほぼ同義だと言える。どのような機材を選び、どのように調達し、どのように運用するのか、この3点を軸に考えることになる。

山形埋文では、数多くのデジタル技術を導入している。ただし、今のところその全てを全職員が十分に使いこなしているとは言い難い状況でもある。新しい技術に習熟するためには、ある程度の時間が必要となるのは仕方ないことだろう。

事務的なものでは、メール・スケジュール管理・施設管理・ファイルサーバーとしてのクラウドサービスや経理専用のサーバー、作業員の労務管理を行うクラウドサービス、図書管理用データベースなどがある。施設に関するものでは、庁舎内のどこでも使える無線LANネットワーク、および有線LANネットワーク、発掘調査事務所に設置する光ファイバー回線、または携帯電話回線を用いたルーターな

どがある。山形埋文の本部と発掘調査事務所の間でのデータや情報のやり取りが、スムーズに行えるようネットワークやクラウドサービスの利用に重点を置いている。

発掘調査・報告書作成業務のために導入しているものは以下のとおりである。本稿で詳しく紹介するのは、これらの技術・機材に関するものとなる。

- ① 高性能パソコン及び各種ソフト
- ② DTPによる報告書作成
- ③ デジタルカメラとデータ保管
- ④ デジタルカメラによる三次元写真計測
- ⑤ ドローンによる空撮

（2）導入の財源とその方法

財源については、発掘調査の委託者に負担を求めている。国土交通省や山形県県土整備部などが主な委託者である。山形埋文は、人件費を含む事業費のほぼすべてを委託者より頂いて運営されているため、ほかに財源はない。

「使用料・賃借料」の項目に計上しており、必要な機材はリースやレンタルによって調達している。仮に購入によって調達してしまうと、発掘調査報告書が刊行され当該事業が終了した後も山形埋文に財産が残ることになってしまい、委託者側としては好ましくないことになるようだ。必要なものは借りて使うようにと指導を受けている。

長期間（複数年）賃借するものはリース、短期間（1年以内）賃借するものはレンタルとしている。

リースとレンタルは混同されがちだが、全く違うものである。リースでは必要な機材を自由に選択できるが、レンタルでは原則としてレンタル会社の在庫の中から選ぶことになる。また、リースでは保守・修繕費用はユーザー側の負担となるが、レンタルでは特殊な場合を除いてレンタル会社が負担する。ただし、リース契約に動産保険も含まれていれば、破損した機材の修理費用をまかなえる。ほかにも、レンタルでは途中解約ができるが、リースでは残金を支払わなければならないという違いもある。なおいずれの場合も固定資産税をユーザー側が負担することはない。一般的に、新製品や値崩れしていない物品を借りるにあたっては、同じものであってもリースの方が安価となる。

山形埋文では、導入する機材に応じてリースとレンタルを使い分けているが、リースを利用することが多い。どちらを利用しても月額費用は一定で、かつ目立つような金額になることはないが、購入ではイニシャルコストが大きくなることは避けられない。常に必要な機材は借り続けることになるので、ほぼ固定費のような扱いとなってる。

リース期間が終了し機材を返却する際には、新しいものをリースし直すので、常に最新の機材を使うことが可能となる。同額程度の機材をリースしたとしても、技術の進歩によってその性能は大幅に向上しているので、より快適に使用することができている。

リース期間は、パソコン関係は3年、デジタルカメラ関係は5年としている。ちなみに法人税法に照らして適正だとされるリース期間は、パソコンでは2年以上、デジタルカメラでは3年以上とされている。

山形埋文で行っている発掘調査及び整理作業は、それぞれの遺跡（事業）ごとに独立した予算によって実施されている。各事業の委託者が異なることや、たとえ同じ委託者であっても別々の事業が調査原因となるためである。よって、共同で使用するものにかかる経費などは、各事業に按分して振り分け

ることになる。一部の事業だけで特殊な機材を使用する場合は、当該事業の予算にだけ計上している。結果として事業ごとに特徴のある予算が作成されることになるが、それぞれの遺跡の性格、調査の条件などに適した調査方法を選択しているはずであり、特に問題はないと考えている。

現在運用している技術・機材以外にも過去にさまざまなものを試行してきたが、取捨選択されて最も使いやすいものだけが残った。今後も試行錯誤は続けられていくだろう。

2. デジタル技術の導入例

先に列挙した各デジタル技術について、導入した機材とその運用方法を中心に説明する。

（1）高性能パソコン及び各種ソフト

① 調査員用のパソコン

発掘調査を経てその報告書を作成するに当たっては、どのようなデジタル技術を用いたとしても、最終的なアウトプットはパソコンでの処理を経由することになる。印刷会社へ入稿する文章、図、写真の全てがデータ化されたためである。よって性能の低いパソコンでは、どうしても処理に時間がかかることになり、業務の遂行に支障をきたすことになる。

山形埋文では、全職員にパソコンを貸与している。中でも調査員用のものは特に高性能なものを選んでいく。その基準は、DTP（デスクトップパブリッシング）で報告書を作成するのに十分な性能をもっていることである。使用するソフトは最も普及している「Adobe Creative Cloud」（アドビ システムズ 株式会社）で、このソフトが快適に動作するために表1に示した仕様のノート型パソコンを調達している。同じ価格帯であれば、デスクトップ型パソコンの方が性能は高いが、発掘調査事務所にも持ち出して使用するために、ノート型を選択している。また、データのバックアップ用として外付けハードディスクも併せて貸与している。

表1に示したパソコンの仕様は、事務的な作業（文書作成や表計算、プレゼンテーション作成など）

表1 調査員に貸与しているノート型パソコンの仕様（令和元年度）

OS	Windows 10 Pro
CPU	インテル製Core i7シリーズ
メモリ	32GB
GPU	NVIDIA 製 GeForce シリーズ
SSD	512GB
HDD	2TB
画面サイズ	15.6 インチ
画面の解像度	1920 × 1080

をするだけなら、明らかにオーバースペックだが、DTPを行うに当たっては適切なものだと考えている。なお、3年後のリース期間終了時まで快適に動作するように余裕を持たせた性能である。

「CPU」や「メモリ」はもちろん大事だが、特に気を配っている項目は、「GPU」、「SSD」、「画面の解像度」の3点である。GPUはグラフィックス プロセッシング ユニットの略称で、画像処理に特化した演算装置のことである。安価なパソコンの場合はCPU（セントラル プロセッシング ユニット）に統合されており、十分な性能とは言えないが、独立したものを設置することで、DTPに関するソフト（特にIllustrator）の利便性を上げることができる。また、後述する三次元写真計測に使用した場合も大きな力を発揮する。

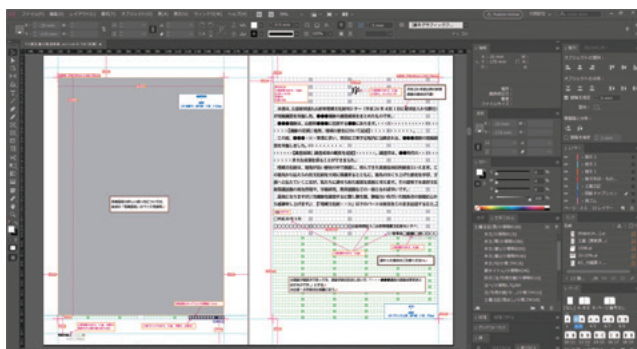
SSD（ソリッドステートドライブ）はHDD（ハードディスクドライブ）と同じく記憶装置であるが、HDDのようにディスクを回転させて読み書きを行うのではなく、不揮発性メモリを使用しているため、非常に高速な読み書きが可能となっている。ソフトの起動や動作、データの読み出しが大幅に速く

なるため、DTPソフトを使用する場合はぜひとも用意したい装置と言える。しかし、今のところ容量の大きなSSDは価格が高いため、大容量でも比較的安価なHDDも併せて装備している。一台のパソコンにSSDとHDDの二つの記憶装置を装備し、SSDにOS（オペレーティングシステム）とソフトを入れ、HDDに写真や図面などのデータを入れての運用としている。

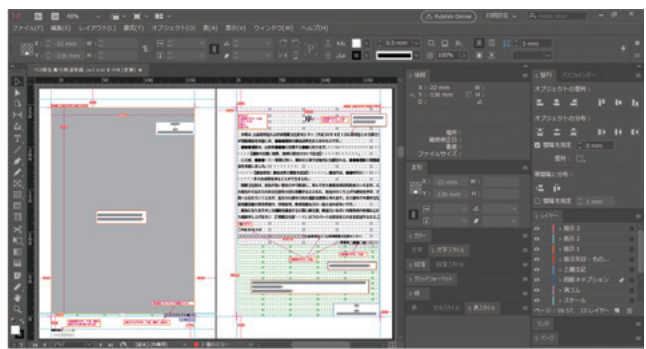
画面の解像度とは、画面に表示する情報量の大きさを表す（図1）。同じ大きさの画面でも解像度が高い方が、情報の密度が高いということになる。DTPソフトでは操作に必要なパネルを多数表示しながら作業を行うことが多いため、解像度が高い方が作業しやすい。最低でも1920 × 1080は確保しておきたい。より高い解像度でも良いのだが、表示される文字等が全て小さくなってしまうことが問題となる。画面の大きさとのバランスを考慮すると15.6インチの画面サイズの場合は、1920 × 1080くらいが適切だと考えている。デスクトップ型パソコンの場合は、より大きな液晶画面を用意して、さらに高い解像度で表紙させれば作業はさらにはかどるだろう。

このような仕様のノート型パソコンは、既成品ではなかなか見当たらないので、各部品を選んで発注するBTO（ビルト トゥ オーダー）によって調達している。山形埋文では、全保有台数のおよそ三分之一を毎年入れ替えているので、職員数の増減には対応できている。3年間のリース契約なので、3年で全てのパソコンが入れ替わることになる。

一日中パソコンを使用していることも多い。少し



高解像度(1920×1080)



低解像度(1366×768)

図1 解像度の違いによるモニターの見え方

でも処理の速いパソコンであれば、作業時間は間違いなく短縮されているだろう。

② 整理作業員用のパソコン

整理作業員用のパソコンはレンタルで調達している。整理作業に必要な台数は、遺跡の内容と、作業の進行状況によって毎年大きく変わるので、複数年契約となるリースで調達するのは適当ではない。よって月額費用は割高にはなるが、必要な期間だけ借りることができるレンタルの方が適切だと言える。

レンタルの場合、レンタル会社の在庫から機材を選ぶことになるため、調査員用のような特殊な仕様のものは選ぶことができない。よって控えめな性能のパソコンを借りているが、不具合は無いようだ。用途はDTPであるが、中でも軽い負荷の作業に使うことが多いためである。

③ 各種ソフト

DTPと三次元写真計測用のソフトは後述するが、これら以外にデータベース用のソフトとしてFileMaker Pro Advanced(クラリス・ジャパン株式会社)を導入している。遺構・遺物のデータを管理するための様式などを作成して業務の効率化を行っている。

遺構・遺物を観察した結果、計測値などをまとめておくことで、原稿執筆時に参照することができる。また、計測値などを表形式で出力すれば遺構・遺物観察表などを瞬時に作成することが可能だ。

ほかにクラウドサービスとしてオフィス 365(日本マイクロソフト株式会社)を導入しているので、事務系ソフトのほかにデータ共有用のクラウドストレージ(全体で1TB)、各ユーザー用のクラウドストレージ(各自1TB)などが利用可能となっている。

山形埋文のような小さい組織では、機材やデータの保守に専属の職員を配置する余裕はない。所内サーバーからクラウドサービスに移行したことによって、これらにかけてきた労力は激減したと言える。

(2) DTPによる報告書作成

必要なものは、パソコンとDTPに必要なソフトをひとまとめにしたAdobe Creative Cloudである。中でもよく使うソフトはIllustrator(図の作成)、Photoshop(画像の調整)、InDesign(レイアウト)の3本である。さらに印刷に適した高品位なフォント(モリサワや小塚など)も多数そろっており自由に使用することができる。購入することはできず、ライセンス契約を結び、年間利用料を支払って使用することになっている。山形埋文では調査員用のパソコンと、整理作業員用のパソコンの全台数分のライセンスを取得し、毎年更新している。

① DTPの流れ

Illustratorで作成した図面と、Photoshopで調整した写真をInDesignで作成された報告書のテンプレート(図2)に貼り付け、さらに原稿を執筆するという流れとなる。原稿を直接InDesignで執筆するので、常に完成した紙面を見ながら作業を進めることが可能となり効率も良い。

② Illustratorでの作業

主に遺構・遺物の実測図をトレースする作業(図3)に用いる。また、調査区全体図の作成や遺物の編年図、地形分類図、遺跡位置図など、ほとんどの図はこのソフトで作成している。

手作業で行うトレースでは、熟練度によって仕上がりにばらつきが見られるが、Illustratorでは、常に同じ品質に近いものを作成できる。また、同じ図を縮尺と線幅を変えて複製したり、以前使用した図を元に新たに図を作成したりすることも容易だ。手作業でトレースを行った場合、印刷用台紙に貼り付けてレイアウトを行うことになるが、この作業は非常に神経を使うものであり時間もかかる。

Illustratorを使用することの最大のメリットは、線がきれいに引けるということよりも、多少の修正は必要だとしても、失敗ややり直しが無くなること、拡大縮小、複製も容易になることだと言える。

遺構・遺物の実測図を作成するには、手描きの原図をスキャンすることから始める。以前は単体のス

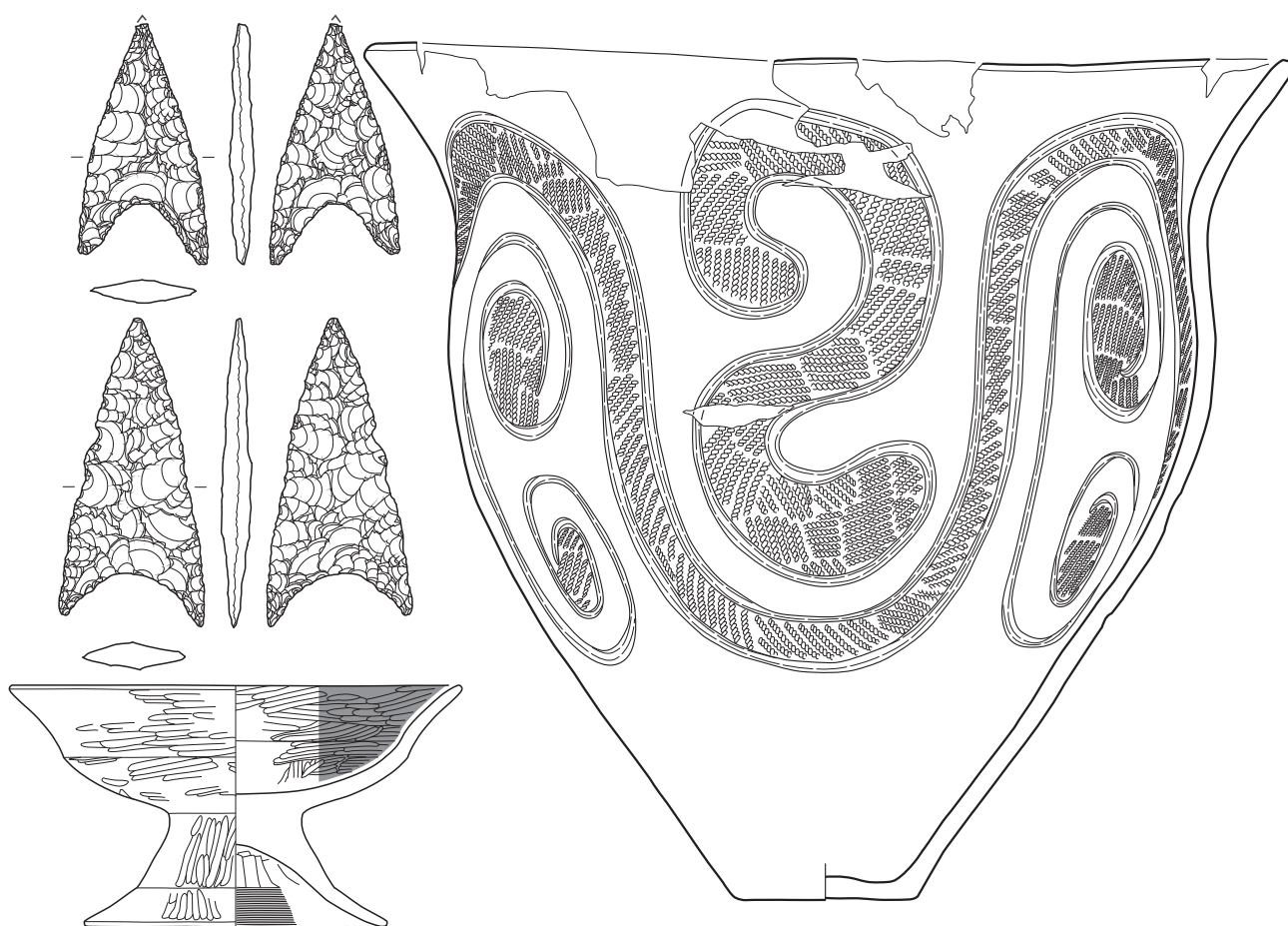


図3 Illustratorでトレースした遺物実測図

キャナーを使用していたが、最近は複合機（いわゆるコピー機）を使うことが多くなった。複合機はネットワークに接続されており、スキャンした原図はファイルサーバーに転送される。山形埋文には、A2版の複合機を設置しているので、発掘現場でよく使われるB3版の方眼紙も一度で読み取ることが可能である。

次に、スキャンした原図をIllustratorに配置し、原図をなぞって線を引く。着色・網掛けも容易である。画面上で大きく拡大して作業するので、細かいところまで正確にトレースできる。だとしても元が手描きの図なので、正確さを期するあまり手ぶれまで拾う必要はない。

石器などの実測図では、表面の外形をトレースしたら、裏面の外形をトレースする必要はない。反転コピーしたものを配置するだけで済む。

同じように土器の復元実測図の場合は、断面図さ

え実測できていれば、左側の外面部分は省略できる。トレース時に反転コピーを配置すれば作成できてしまうからだ。このように工夫しだいで効率化ができるところもIllustratorの便利なところだと言える。

③ Photoshopでの作業

デジタルカメラで撮影した写真の調整や、遺物写真の切り抜き、スキャンした拓本の画像データの調整に使用することが多い。あくまで写真の調整に用いるのであって、写真の改変を行うことはあってはならない。

遺構・遺物の写真の調整は、簡素な方法で行っている。山形埋文の「整理作業マニュアル」に記載されている項目は次のとおりである。

1. 「16bit/チャンネル」へ変換（画像の劣化を最小にするため）。
2. 「レベル補正」でコントラストと明るさを調整。



調整前の拓本



調整後の拓本

図4 Photoshopで調整した拓本

3. 「カラーバランス」で色合いを調整（必要であれば行う）。
4. 「画像の回転」で角度を調整（必要であれば行う）。
5. 「8bit/チャンネル」へ戻す。
6. 「CMYK カラー」に変換。

特にコントラストの調整は重要で、これを行うと画像はとても鮮明になる。

同じく、マニュアルに記載された拓本画像の調整方法の要点は次のとおりである。この調整を行わないとぼやけた感じの画像になってしまうため、必ず行わなければならない（図4）。

1. 拓本を最低でも1200dpiの解像度（縮小後）になるようにスキャンする。
2. 「画像の回転」で角度を調整。
3. 「トーンカーブ」で拓本が薄くなりすぎない範囲で背景が真っ白に近づくように調整する。
4. 「アンシャープマスク」を最大量かける。
5. 「2階調化」で拓本がきれいに見えるよう調整する。
6. 「モノクロ2階調」に変換する。

上記のほか、拓本本体だけを切り抜いたり、不要なデータ（ゴミやしわ）を消したりもするが、丁寧に行ったとしても見た目に大きな違いはなく、目立つものだけ処理すれば良い。なお、拓本だけではなく、地図や手描きトレース図、印刷された図面などをスキャンした場合も同様の作業を行うことで、見やすい画像データを作成することができる。

遺物写真の切り抜きには、単純に背景を消してし

まう方法と、「クリッピングパス」を使用する方法がある。いずれにしても遺物の撮影時に背景が真っ白になるようライティングを行わなければ処理に時間を要することになる。背景と遺物の境界を自動認識させることで作業の効率化が可能となるからだ。

④ InDesignでの作業

図や写真などを報告書のテンプレート（図2）に配置し、本文を執筆する作業を行う。「凡例」や「調査要項」、「目次」、「報告書抄録」などといった体裁が決まったページは、整えられたレイアウトに各遺跡の内容を入力するだけになっている。また、フォントの大きさ・種類や章立てなども決められているので、全ての報告書は同じ体裁で刊行される。

このテンプレートは、印刷会社に報告書の見本として提供していたものだったが、いつの間にか調査員によって直接編集されるようになったという経緯がある。ページ毎の紙の銘柄まで指定されているのはその名残である。

InDesignでの編集作業は、これまで印刷会社が行っていた作業を内製化したものと言える。印刷費の削減になる一方、調査員が行う作業が増えることも事実だ。それでも、編集済みのデータを入稿することになるので、入稿後に行う校正の手間が減ることや、工期の短縮にもつながることは間違いない。編集作業が進むたびに各ページがその場で完成していくので、とても効率が良い。

校正済みで、印刷を待つばかりのInDesignデータがあればPDF形式に出力するだけで、奈良文化財研

表2 山形埋文で使用しているデジタルカメラ関係の機材

機材	機種	メーカー	用途
デジタル一眼レフカメラ	EOS 5Ds R	キヤノン	遺構・遺物撮影用
コンパクトデジタルカメラ	STYLUS TG-4 Tough	オリンパス	メモ写真用
ズームレンズ	EF24-70mm F4L IS USM	キヤノン	主に遺構撮影用
マクロレンズ	EF100mm F2.8L マクロ IS USM	キヤノン	遺物撮影用
ストロボ	スピードライト 430EX III-RT	キヤノン	遺構写真用
SDカード (128GB)	エクストリーム プロ SDXC UHS-I カード	サンディスク	記録用
外付けHDD (2TB)	HD-PZNU3	バッファロー	各遺跡のバックアップ用
NAS (8TB)	TeraStation TS5400D	バッファロー	全遺跡のバックアップ用
外付けHDD (4TB)	HD-LDS4.0U3	バッファロー	上段NASのバックアップ用
カラーマネジメントモニター	ColorEdge CG2420	EIZO	写真の現像用

究所がインターネット上で公開している「全国遺跡報告総覧」にアップロードするデータを得られる。

山形埋文では印刷会社に提示する仕様書に、PDF形式で出力された報告書のデータも納品するよう明記している。通常、製版機（CTP）に送信するデータはPDF形式の場合が多い。印刷工程上、必然的に作成されるものであるため、別途大きな費用が発生するものではないと考えている。印刷物とPDF形式の報告書が同時に納品され、「全国遺跡報告総覧」へも速やかにアップロードできている。

なお印刷会社から納品されるPDFデータは、製版用の高精細なものである。これのデータ量を軽くしたものが全国遺跡報告総覧用となる。ちなみに、山形埋文が刊行した発掘調査報告書は、すべて掲載済みとなっている。山形県内の自治体が刊行した報告書もある程度掲載されており、県内の事例を参照する場合には、この上ない利便性を感じている。アップロードした者が、最も恩恵を受けるシステムではないだろうか。

(3) デジタルカメラとデータ保管

デジタルカメラ関係の機材は、前述のとおり期間5年のリースで調達している。現在使用している機材は表2にまとめた。デジタルカメラ導入時は、モノクロフィルムを装填したカメラと併用していたが、現在はデジタルカメラだけを使用している。データ保管は、作成したマニュアルに従って全ての発掘調査で統一した方法で行っている。

デジタルカメラの使用方法やデータの保管方法な

どは、文化財写真保存ガイドライン検討グループ（日本写真学会と文化財写真技術研究会の共同活動）が作成した『文化財写真の保存に関するガイドライン ～デジタル画像保存の実情と課題～』（2012年5月制定）や、『文化財写真研究』（文化財写真技術研究会）の各号などを参考に、山形埋文内に設置したデジタルカメラ検討委員会が策定してマニュアルを作成した。

① デジタル一眼レフカメラ関係

デジタル一眼レフカメラについては、画像センサーの大きさがフルサイズと呼ばれるものを搭載した機種を選んでいる（図5）。画像センサーの大きさは、35mmフィルムとほぼ同じである。比較的大きなサイズであるため、小さいサイズの画像センサーを搭載したカメラより価格は高いが、画質が良く、レンズの種類も豊富であり最も実用的だと言える。価格は年々下がってきている。より大きいサイズの画像センサーを搭載したカメラもあるが、カメラ自



図5 デジタル一眼レフカメラ



図6 デジタル一眼レフカメラでの遺構撮影



図7 パソコンを使ったリモートコントロールによる遺物撮影

体が大きく重いことや、レンズの種類が少ないこと、価格が非常に高いことなどから、手が届く状況ではない。

カメラの操作方法、各種設定については、マニュアルを作成して、調査員に周知している。特にピンぼけやブレの無い写真が撮影できるよう注意を払っている。ピント合わせは「ライブビュー」機能を使用して画像を拡大して行うこと、三脚を使用することは特に重要である（図6・7）。

発掘現場用のレンズはズームレンズを使用している。土ぼこりの多い発掘現場でレンズ交換を行うことは避けたいと考えたからである。画質は単焦点レンズのほうが優れているというが、ズームレンズの中でも上級クラスのものを使用しているので、大きく劣ることはないようだ。

② 発掘現場で撮影した写真のデータ保管について
発掘調査では一つのカットにつき、3種類の写真を撮る。遺跡名や遺構名、日付、方角などを記した

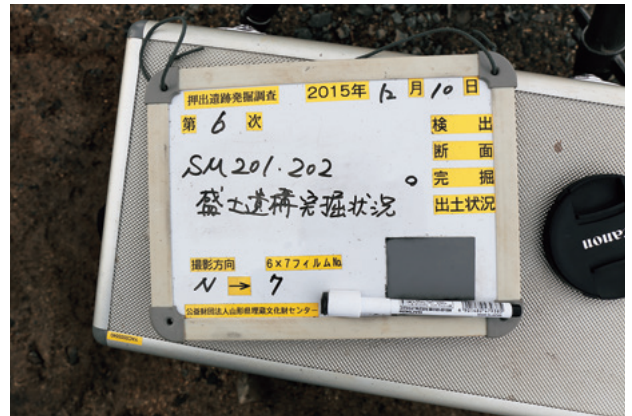


図8 撮影内容を記したホワイトボード



図9 グレーカードを写し込んだ遺構写真

ホワイトボード（図8）、撮影対象とグレーカード（図9）が一緒に写っている写真、撮影対象のみが写っている写真の3種類である。また、写真データは、RAW形式とJPEG形式で記録されるように設定している。

撮影した写真はカメラ内のSDカードのほか、外付けHDDにもコピーを取りバックアップとする。また、調査員に貸与したパソコンにもコピーを取ることによってデータを保護している。

ここまでは発掘調査事務所で行い、調査終了後には次のような方法でデータ保管を行っている。

まずは不要な写真を取り除かなくてはならない。デジタルカメラを使うとどうしても撮影枚数が増えてしまう傾向がある。同じカット、類似したカット、露出を変えたカットなどを取り除き、最低限必要なものを残す。保存できる容量、現像処理を行う時間にも限りがあるので、欠かせない作業と言える。

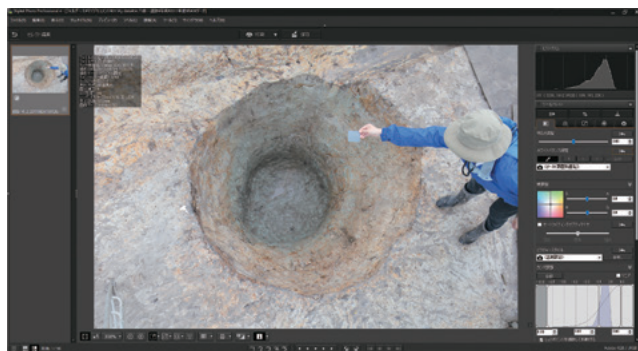
次に、最終的に保管するデータ形式である TIFF



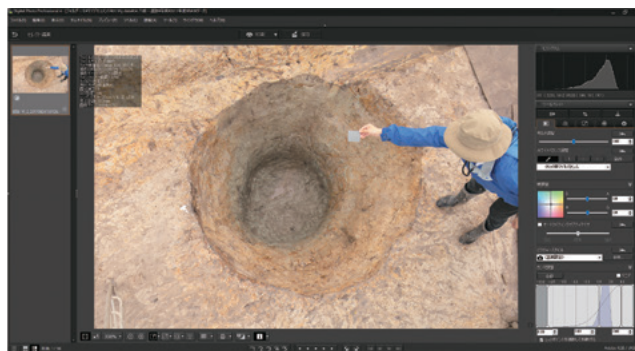
図10 キャリブレーション中のカラーマネジメントモニター

形式に変換するため、RAW 形式の画像データの現像処理を行う。現像するのは、撮影対象のみが写っている写真だけである。ソフトはカメラに付属している「Digital photo Professional 4」を使用している。さらにカラーマネジメントモニターである「ColorEdge CG2420」に写真を映し出して作業を行う。このモニターは、データが本来持っている色のデータを正確に映し出すことができるので、現像した写真を確認するためには欠かせないものである。発色も自動で校正してしまうので、色温度・輝度の経時変化にも対処できる。(図10)。

現像処理では、原則として「ホワイトバランス」と「明るさ」を調整する(図11)。山形埋文では、グレーカードを用いたホワイトバランスの調整を基本としているが、発掘現場で撮影した写真の場合、やや赤味が強く現像されてしまう傾向が見られる。対処法としてカラーチャートを用いた現像方法などを検討しているが、やや手順が複雑なため今後の課題となっている。



調整前



調整後

図11 RAW形式画像の現像(ホワイトバランスの調整)

現像処理も、画像データが大きいためパソコンに対する負荷も重くなる。ここでも性能の高いパソコンが力を発揮している。現像を終えた画像データは1枚で約150MBもの容量があるためだ。

ホワイトボードの写真とグレーカードを一緒に写した写真は JPEG 形式、撮影対象のみが写っている写真は TIFF 形式とし、1カットにつき3つの画像データが保管されることになる。また、ファイル名は、「遺跡名の略称」、「調査回数」、「撮影年月日」、「撮影時刻」をつなげたものに変更している。例示すると「OD_6_20151120_090442.tif」のようになる。具体的な撮影内容は台帳にまとめ CSV 形式で保存している。ファイル名の変更は Adobe Creative Cloud に含まれる「Adobe Bridge」というソフトを用いるとまとめて行うことが可能である。

これらの作業は発掘調査終了後に速やかに行い、NAS (ネットワーク アタッチド ストレージ) にコピーを取り保管用とする。NASはネットワークに直接つながっている HDD のことで、複数のクライアントから同時にアクセスすることができる。報告書作成のために使用するデータは、調査員が手元に保管しているものを使用するため、NASに保存されたデータを扱うことはない。万が一調査員の手元のデータが失われた時は、NASからデータを取り出すことができるが、それ以外では担当者を除いてはアクセスしないことになっている。

NAS は山形埋文内の有線ネットワーク内に2台設置している(図12)。NASには RAID 機能があり、もし内蔵している HDD が故障した際でもデー



図12 サーバルームに設置した2台のNAS

タが消滅しない仕組みである。1台のNASには4基のHDDが内蔵されており、そのうち2台が故障してもデータを復元できる。故障したHDDはどの組み合わせでも良いことになっている「RAID6」というモードである。さらに外付けHDDにバックアップを取っている。

このように万が一にでもデータが失われないように工夫しているが、そのため、2台のNASで合計16TBもの容量があるのに、実際に保存できる容量は8TBとなる。発掘調査で使用するカメラをデジタルカメラへ移行したのは平成25年度からで、これ以降に撮影した全現場の全ての写真が収納されている。画素数の多いデジタルカメラを調達したために、予想より早く容量が不足しそうな状況である。

NASもデジタルカメラと一緒に期間5年のリースで調達しているので、リース期間が終了すれば、新しいものに交換する予定である。機材を更新することでより多くの保存容量を確保でき、なおかつ故障によるデータの損失を回避できるだろう。データの保存形式は汎用性の高いTIFF形式としているので、データが開けなくなったことはない。それでも今後、別の保存形式が主流になった場合は、全てのデータを変換する必要があることになる。

③ 報告書で使用了写真のデータ保管について

発掘調査報告書の刊行後には、使用した写真をページごとに一つのフォルダにまとめて、同じくNASに保存している。保存形式はやはりRAW形式から現像して変換したTIFF形式である。遺構の写

真は発掘調査後にNASに保存したものと同じものも含まれるため重複する写真もある。

遺物の写真も遺構と同様にグレーカードを写し込んで撮影し、カラーマネジメントモニターを用いてホワイトバランスなどを調整している。遺構写真のように赤味が強くなる傾向はなく、適正な色合いで現像できている。

ファイル名は、「報告書の集番号」、「写真図版の頁番号」、「遺物番号あるいは写真番号」をつなげたものにしており、例示すると「0227_042_047-2.TIF」のようになる。ページごとにまとめているので、報告書そのものが台帳の役目を果たすことになる。写真の貸出依頼などは、報告書に掲載した写真から指定されることが多いので、このように整理しておくことで簡単に探し出すことができる。

④ 移管するデータ

全ての画像データは報告書刊行後に、出土遺物とともに山形県教育委員会に移管することになっている。画像データをDVD-Rに書き込み、表面にタイトルを印刷しているが、遺跡によっては数十枚にもなることがある。さらに、報告書に掲載した遺構写真と主要な遺物の写真については、プリントも一緒に移管している。これは、万が一にでもデジタルデータが失われたときのためのものである。

(4) デジタルカメラによる三次元写真計測

① 導入の経緯とメリット

三次元写真計測（フォトグラメトリ）は、2004年頃から数年の間実施していた経緯がある。遺跡で撮影したデジタルカメラの画像から3Dモデルを作成し、さらにオルソ写真（正射投影画像）を出力して、遺構の平面図や断面図の下図を作成するというもので民間会社に委託して行っていた。現在主流の三次元写真計測用のソフトは、かなりの部分が自動化されているため、作業はとても簡単であるが、当時のものは手作業で操作する部分が多かった。

三次元写真計測を考古学に応用しようとする試みは、多方面で繰り広げられており、今後も発展していくだろう。しかし、山形埋文では、新たな事実の



通常の写真（中心投影画像）



オルソ画像（正射投影画像）

※1 オルソ画像内の遺構の上端、下端、井戸枠をなぞれば、図面が作成できる。

※2 直径 1.7m、深さ 2.4mの井戸であり、底面からは井戸枠も出土した。湧水量も多く、壁面の崩落が始まっていた。手作業での平図面作成は危険な上、技術的にも困難な状況であったが、デジタルカメラでの撮影は中に降りることなく数分で終了した。

図 13 オルソ画像と通常の写真の違い

究明や研究方法の開拓に利用するよりも、まずは現在行っている業務の効率化を目指して使っていきたいと考えている。よって、三次元写真計測を用いていることは、遺構実測図、遺物実測図作成用のオルソ画像出力(図13)、等高線の生成などといったの報告書作成に必要なものに限られている。

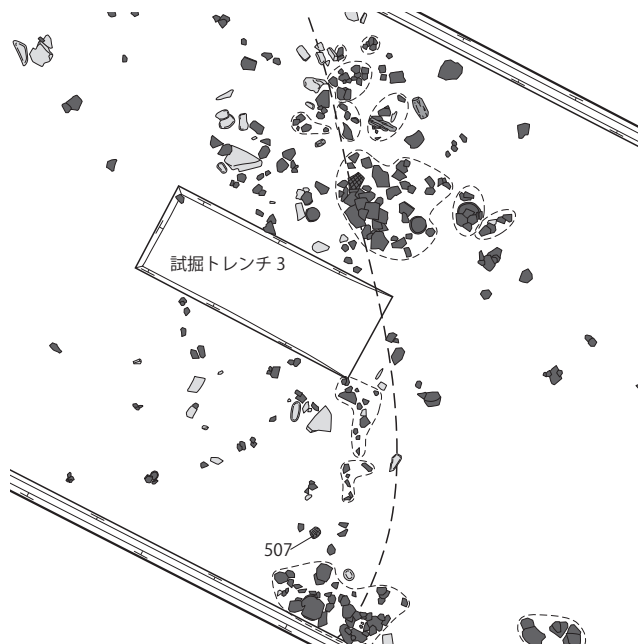
三次元計測には、レーザースキャナーを用いる方

法などもあるが、デジタルカメラを用いる方法であれば、高価な機材を用意する必要もなく、手軽に行えることがメリットとして挙げられるだろう。デジタルカメラは一眼レフタイプでも良いし、コンパクトデジタルカメラでも十分である。

精度は、適切な写真が必要数用意できていることと、適切な処理が行われていることが前提である



オルソ画像



オルソ画像から起こした平面図

※ 多数の土器が出土した平面図も、発掘現場での所要時間は 30 分程度だった。

図 14 オルソ画像から起こした遺物出土状況の平面図



漆塗り土器のオルソ写真



オルソ写真から起こした実測図

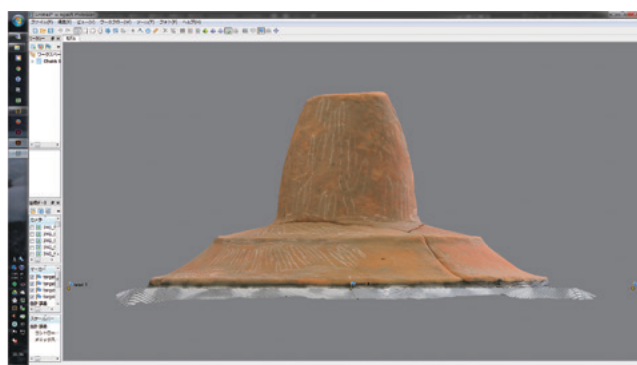
図 15 オルソ画像から起こした漆塗り土器の実測図



土師器の写真撮影

※ 撮影対象の下にはランダムな模様の下敷きを置いた方が解析しやすい。

図 16 3次元写真計測用の写真と生成した3Dモデル



土師器の3次元モデル

が、非常に高いと言える。手作業の実測とは比較にならず、レーザースキャナーにも匹敵するほどと言われている。また、色彩情報の質は、レーザースキャナーより良くすることも可能だ。ある程度の性能を持つデジタルカメラであれば、レーザースキャナーに搭載された画像センサーより良質のデータを得られるからである。また、レーザースキャナーは設置した場所から動かさないため、逆光などの悪条件を回避することが難しい（味岡2015）。

効率化の面で言えば、最も有効なのは遺構の平面図・断面図作成（図14）だと言える。どれほど複雑な遺構であろうと、単純な遺構であろうと現場で

の手間は変わらない上、デジタルカメラの台数が多ければその分だけ作業を速く進められる。写真を撮るだけなので一つの遺構につき数分から数十分もあれば十分である。もちろん発掘調査時の手間と所要時間が減るだけで、後に解析処理とオルソ画像を基に図を起こす作業は残る。それでも発掘調査時の負担が大幅に減少し、作業時間が短縮されることのメリットの方が大きいと考えている。

遺物の場合は、手間がかかるものについては有効（図15）だが、簡単なものについては従来の手実測のほうが速いだろう。遺物によって使い分けた方が良さそうである（図16）。



図 17 遺構の周囲に4点のマーカを設置した状態

② 必要な機材やソフトについて

デジタルカメラ、トータルステーション（遺物の場合は不要）、専用ソフト、パソコンが必要である。デジタルカメラは特別なものである必要はないが、撮影には気を配りたい。トータルステーションも使い慣れたもので構わない。ソフトは最も普及している「Metashape」（Agisoft 社）を使用している。パソコンはできるだけ高性能なものでないと処理に時間がかかるので、専用のパソコンを別途用意している。なお、Metashape と専用のパソコンの調達方法

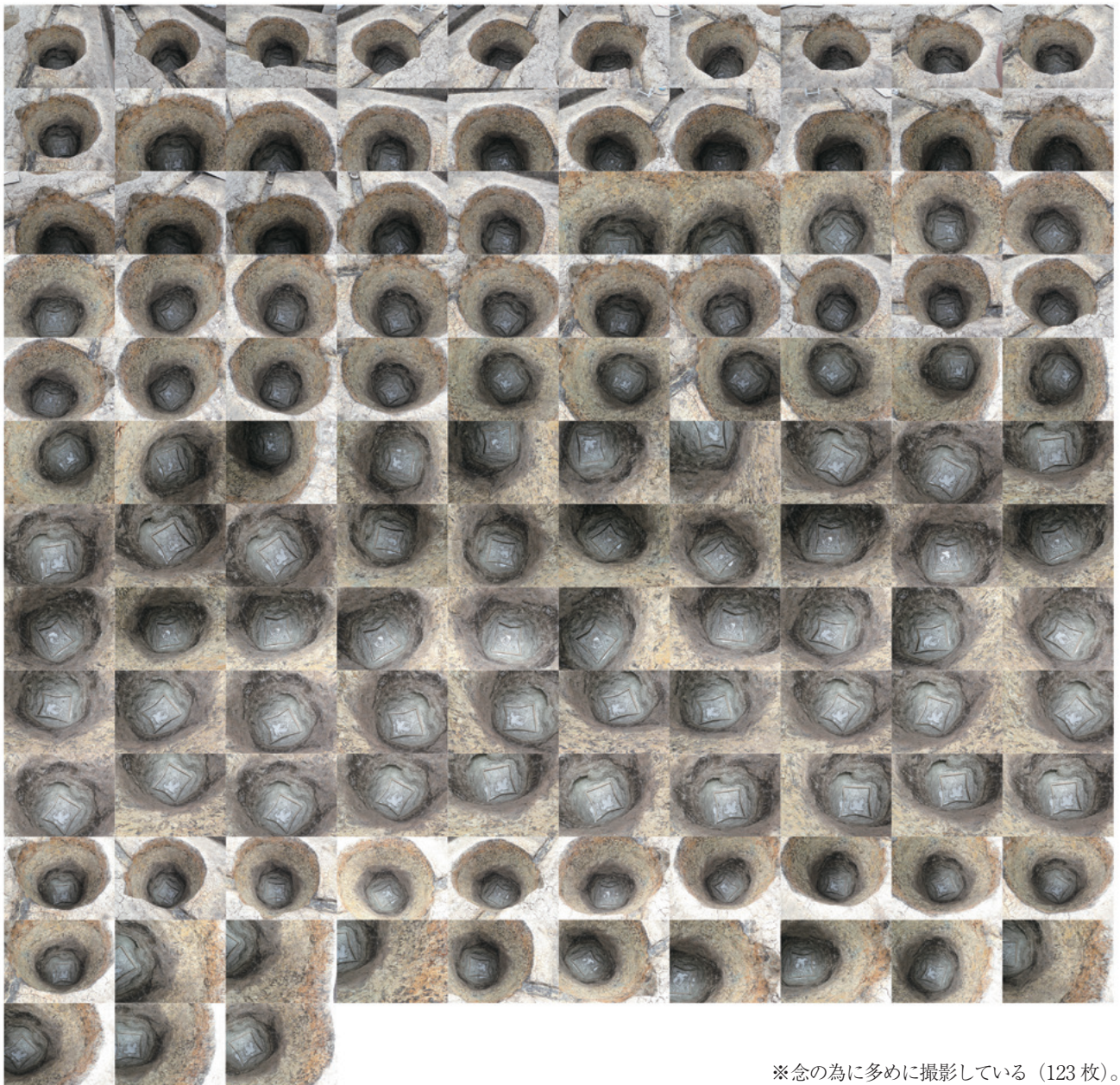


図 18 図 13 の井戸の 3 次元写真計測に使用した写真

※念の為に多めに撮影している（123 枚）。

はリースとしている。

調査員に貸与しているパソコンも GPU を搭載しているので、Metashapeを動かすのに十分な性能はあるが、解析対象が多い時や、精度の高い処理では時間がかかり過ぎる。

③ 三次元写真計測の流れ

ここでは、遺構を対象とした三次元計測の手順を簡単に説明する。まずは、遺構の周囲に4点以上のマーカーを設置する(図17)。遺構断面の撮影ならば、断面の延長上にマーカーがあった方がよい。このマーカーの座標値が必要であるが、測量は撮影の前でも後でも構わない。

次にデジタルカメラでの撮影を行う。その際、図に起こしたい部分が必ず複数の写真に写っていないといけない。遺構をあらゆる角度から撮影するた

めに、写真の枚数は百枚以上になることもあるが、小型のものなら数枚で済む。調査終了後に図を作成することになるので、不足する写真が無いよう多めに撮影したほうが無難である(図18)。

断面の場合は、土層注記をメモしておくことで、撮影終了後すぐに完掘作業に取り掛かることも可能である。(図19)。ただし、適切な撮影が行われていないと解析に失敗することもあり得る。撮影方法を会得するまでは、完掘する前に低精度の解析作業を行って確認しておいた方がよいだろう。

最後はパソコン上での解析作業と図化作業となる。写真を取り込み、マーカーの座標の入力などを行ったら処理を開始する。写真の枚数や求める精度によって所要時間は変わる。図面作成の下図用であれば、写真が数枚なら数分、数十枚なら数十分程度であろう。

解析処理が終わって完成した遺構の3Dモデル(図20)を元に、オルソ画像を出力(図13)する。このオルソ画像をIllustratorに配置し、トレースして遺構図を作ることになる。

3Dモデル自体は、利用する場がないのでオルソ画像を出力できれば不要となる。将来的にはソフトの性能が向上することで、より精度高い3Dモデルが短時間で作成できるようになるだろう。解析に用いた写真はできるだけ保管するよう努めたい。

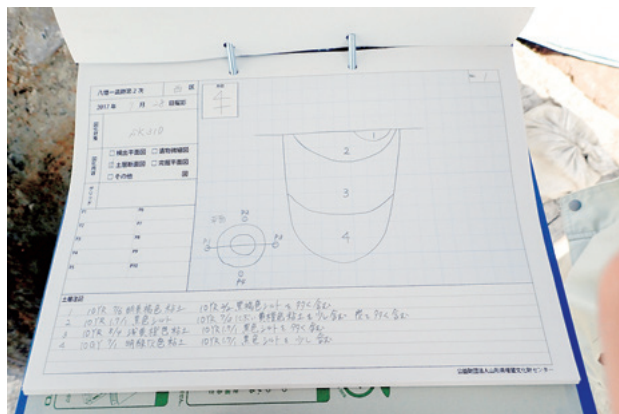
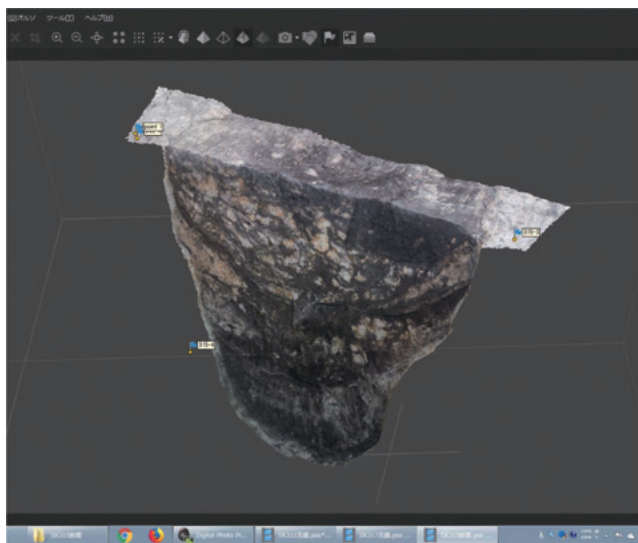
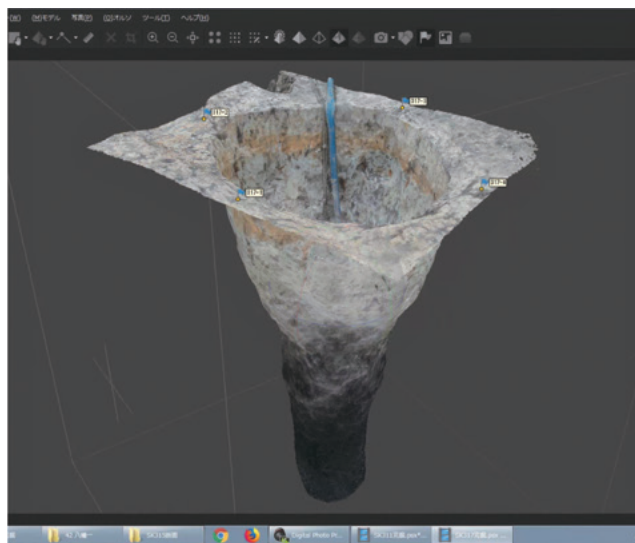


図19 土層注記などをメモした台帳



土坑断面の3Dモデル



完掘した井戸の3Dモデル

図20 完成した遺構の3Dモデル



図21 ドローンでの撮影状況



図23 ドローンで撮影した調査区とその周辺



図22 ドローンで撮影した調査区

これまで、山形埋文では調査員同士の勉強会の開催、奈良文化財研究所からの講師招聘などをおして三次元写真計測について理解を深めてきた。この技術は発掘現場での図面作成作業や遺物実測作業を省力化できるので、調査員や作業員の人手不足への対策としても有効だと考えており、更に普及を図っていくつもりである。

(5) ドローンについて

調査区全体の空中写真撮影は、ラジコンヘリを用

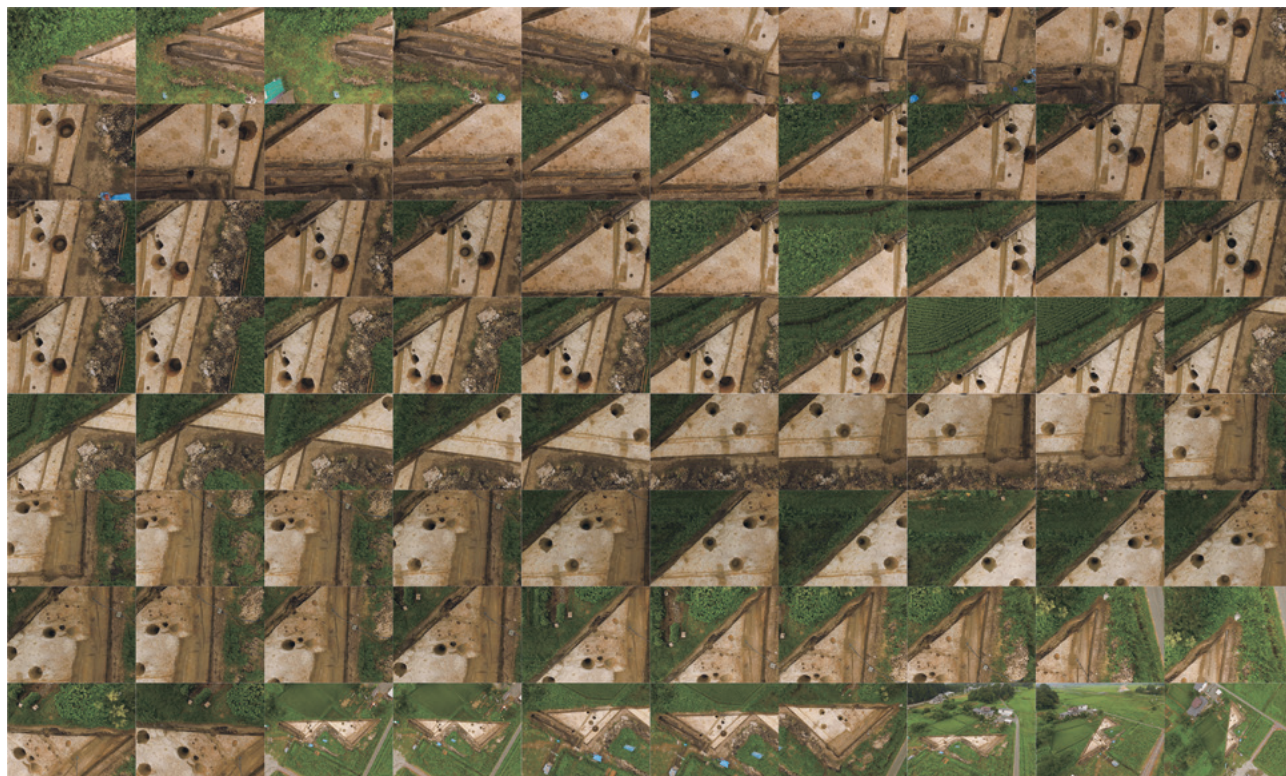


図24 3次元写真計測用にドローンでラップ撮影した写真（80枚）



図25 図24の写真をもとに作成した3次元モデル



図26 図25の3次元モデルから生成したオルソ写真

いた業務委託によって実施しており、ドローンの利用はまだ限定的である。レンタルで調達したこともあるが、ほとんどは調査員が所有するドローンを借用しているのが現状である。

業務委託による空撮写真は、フルサイズの画像センサーを搭載したデジタルカメラで撮影されてい

る。仕様書にもそのように記載しており、遺構写真と同一レベルの写真が納品されている。撮影回数は、調査終了直前に1度限りという場合がほとんどである。費用も発生する上、発注に係わる事務手続きを経る必要があるので、急ぎの撮影に対応することは難しい。

一方、ドローンは所有者の都合さえつければ撮影することが可能となり、調査終了直前だけでなく、さまざまな局面で空撮写真を得ることができる。(図 21・22・23)。また、撮影した写真(図 24)と Metashape を用いて調査区全体の 3D モデル、オルソ画像(図 25・26)、または平面図を作成することも容易である。遺構検出時の調査区全体図などを作成すれば、調査の進行管理などにも活用できるだろう。

ドローンの操作は難しくはないが、多少の訓練は必要である。間違っても頭上に落下させるようなことがあってはならない。短期間だけレンタルした実績もあるので、今後は個人所有のドローンに頼ることなく操作の訓練、遺構の撮影に広く利用していきたいと考えている。

3. 今後の課題

(1) マニュアルの作成と改訂

DTP やデジタルカメラの使用法についてはマニュアルを整備しているが、三次元写真計測とドローンについては未整備である。今は各自が作業を行いながら、ノウハウを蓄積している。機材は常に更新されるので、同時にマニュアルの改訂も行わなくてはならない。より使いやすく、適切な内容のものに改訂するためにも、他県の調査組織等とも情報を共有しながら進めていくべきだろうと考えている。

(2) データの保管

デジタル技術の導入によって、これまで紙やフィルムで記録されていたものが、どんどんデジタルデータに置き換わっている。発掘調査中、方眼紙を一切使わないこともあった。山形埋文で保持しているデータについては、できる限りの対策を施して保管できるよう努めているが、それも当組織が存続している場合に限る。公益財団法人に永続性は担保されていない。

写真のデータについてはコピーを山形県教育委員

会に移管しているが、DVD-R に記録されたままの状態である。DVD-R はいずれ劣化によって再生できなくなる。また、DVD-R を再生できる機器もいずれ無くなるだろう。TIFF や JPEG 形式が保存形式として使われなくなる日が来る可能性もある。たとえ HDD にデータを移したとしても、その HDD が数年ごとに必ず更新されるような仕組みが無ければ同じことである。

報告書が刊行されたとしても、その元となったデータの保管もおろそかにしてはならない。データを保管し維持していくためには、恒常的な財政負担が生じる。現状では、調査を行った自治体や組織が負担しているようだが、保管方法や将来的な継続性まで見据えれば大変心細く感じる。さらにデータの幅広い活用はまだ目を向けたときには、やはり全国の発掘調査によって得られたデータを一括して保管し、閲覧可能とするアーカイブセンターを立ち上げ、そこに集約するのが最適解のような気がする。

夢物語だと言われそうだが、筆者が夢にまで見た発掘調査報告書のアーカイブは、全国遺跡報告総覧としてすでに現実のものとなった。次世代に埋蔵文化財の調査データを確実に残す方法を、真剣に検討しなければならない時期に来たと言えよう。

財政規模の小さい自治体を間近に見ている者としては、人や予算が十分に整う状況は想像も付かない。おそらく小さな市町村では、担当者が異動、あるいは退職したときなどにデジタルデータは散逸・消失の危機にさらされるだろう。デジタルデータが消失するのは一瞬である。その瞬間に気づくことすらしない。データを確実に残すための議論は、できるだけ早く始めなければならない。

【参考文献】

味岡 収 2015 「古代ローマ都市遺跡における 3 次元計測技術の実践と活用」九州大学学術情報リポジトリ