

完全なる記録保存を 目指して

— 遺跡調査における 三次元計測技術 —

宮原 健吾 kengo@kyoto-arc.or.jp
京都市埋蔵文化財研究所
研究職員



● はじめに

このところ日本では「デジタルアーカイブ：Digital Archive」という造語が流行っているが、残念ながら海外ではまったく通用しない。海外の調査担当者と意見を交換した筆者の経験（あまり多くないが）によると、よく似たニュアンスとして使われるのは、「Heritage Recording」や「Documentation」である。内容的には「貴重な文化財をデジタル化することにより劣化や破損などから守り、さらに一般社会において文化財の活用を促す」といった意味では同じだが、日本の「デジタルアーカイブ運動」のように、情報技術を全面に打ち出した、産学官共同の巨大なプロジェクトは世界にも類例がない。もしこのプロジェクトが成功し、国際的に一般化すれば、「デジタルアーカイブ」という言葉もグローバルな世界共通語になるかもしれない。

国内に話を戻そう。有形文化財は、絵画や工芸品など、持ち運ぶことの可能な「動産文化財」と、史跡・名勝や遺跡、歴史的建造物のように地域や土地・建物そのものが文化財である「不動産文化財」の2つに大きく分けられる。筆者の専門である考古学は後者に属し、発掘調査で出土した遺物も、遺跡に付随した資料ということで、一部に例外があるものの後者に分類される。

現在国内では1万件程度の発掘調査が行われており、実にその95%以上は遺跡の破壊を前提とした「緊急発掘調査」である。つまり、古い遺跡を掘るには新しい遺跡を破壊する必要がある。さらに発掘が終われば遺跡は消滅してしまうのであるから、我々はもう2度とその遺跡を見ることができなくなる。そこで、「その場所に遺跡が存在したという記録」を後世に残し、将来の学術研究に役立てるために、遺跡を図面や写真などの「記録（Documents）」として保存（Archives）する「記録保存（Heritage Recording）」が行われる。当然ながら、その記録には客観性と恒久性が求められており、結果としてデジタル化への関心は高い。

1995年には、考古学、情報科学、統計科学の3つの分野が融合した「日本情報考古学会」が創立され、各分野における最新の研究成果とマルチメディア、コンピュータグラフィクスなどのテクノロジーを応用した先進的研究も始まっている。

ここでは筆者のフィールドである発掘調査（遺跡）を例にあげながら、これまでに使われてきた、そして最近使われ始めた遺跡の三次元における記録技術を紹介することにする。

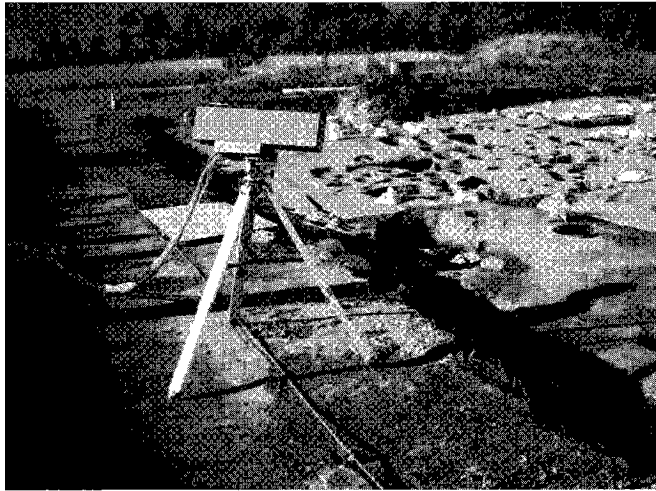


図-1 遺跡とレーザスキャナ
(写真提供：佐賀県教育委員会)

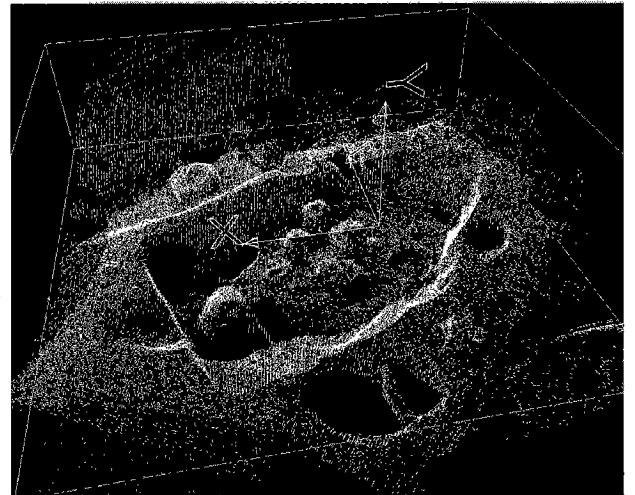


図-2 計測した点群データを表示した例
(写真提供：日立エンジニアリング株式会社)

● これまでの方式

これまで使われてきた三次元の計測方法は、人間の認識の元に、計測対象物の等高線や特徴部を、点や線として記録してゆく方法が主である。その代表は土木測量で幅広く使われている、写真測量と電子平板である。

写真測量

国内で初めての航空写真測量を用いた大縮尺図が平城京跡において作成された経緯もあって、写真測量と文化財はかなり古い付き合いがあり、非接触式の三次元計測技術として長い間使われ続けている。これは国際的にも共通しており、ICOMOS (International Council on Monuments and Sites) というユネスコ公認の非営利団体も、ISPRS (国際写真学会) と共同で、CIPA という文化財保護を目的とする委員会を構成しており、その中には、考古学と写真測量の研究を専門的に行うワーキンググループもある。ただし、欧米では遺物や建造物を近接写真測量により計測する、応用写真測量が発達したが、日本では主に遺跡の平面図を書くための航空写真測量に特化して発達してきた。

電子平板式(トータルステーション)による計測

トータルステーション(光波測距儀)とは土木測量に使われる計測機器で、測角(水平・鉛直)と測距が同時に可能で、測定点の三次元位置が求められる。1987年頃から遺跡の調査に導入された。電子平板式とは、そのトータルステーションとCADソフトを組み合わせで遺跡の

記録に利用する方法である。この方法は今でも広く使われており、最新式では反射点に使うプリズムミラーの動きをトータルステーションが自動的に追跡する「自動追尾式」や、100m程度の近距離の測距ならプリズムミラーが必要ない「ノンプリズム式」が開発された。この方法は各測定点における測定精度が高く、信頼度が確実ではあるが、遺跡全体を被うような高密度測点群を得る作業には向いていない。

● これからの方式

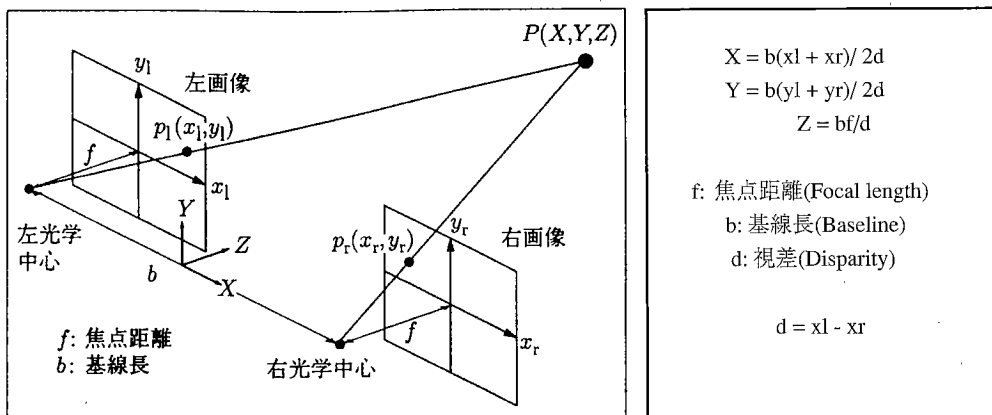
遺跡の再構築という観点から三次元計測法を考えると、非常に高い密度での測点が必要である。しかし、電子平板をはじめとする従来からの計測方法では、計測精度は優れているものの、密度の高い測点群を得ることは困難だった。しかし、米ソ冷戦の終結により、いままでも軍用でしか使われなかった(使うことのできなかつた)技術が民生用に転換され、高速かつ高密度な三次元計測の技術が一般的に利用できるようになった。

現在、実験的に遺跡の形状計測に使われ始めている三次元計測技術は、レーザスキャナに代表される能動的測定法(Active Method)とステレオ視(Stereo Vision)に代表される受動的測定法(Passive Method)である。

能動的測定法

計測対象物に参照光を当てて、返ってきた結果により対象物の三次元形状を測定する能動的測定方法としては、光切断法;モアレ法、照度差ステレオ法などがあるが、

ステレオ視の基本的な配置



奥富 正敏、第4回画像センシングシンポジウム チュートリアル基礎コーステキストより

図-3 ステレオ視 (Stereo Vision) の基本的な配置

遺跡のような屋外で比較的大きなものを昼間でも計測できる方法となると意外に選択肢は少なく、現在期待されているのは、レーザパルス方式とレーザ走査方式を使った「レーザスキャナ」(図-1)である。前者はレーザパルスを発振した角度と計測対象物に当たって返ってくる時間差から三次元の形状を計測する技術であり、後者はスポットレーザ光を走査しながら目的物に照射し、その反射光を CCD ラインセンサで読みとり、三角測量の原理から各点の三次元位置を計測する方法である。両者とも後に述べる受動的測定法と比べると、確実かつ均一な精度の点群データが短時間に得られるのが特長である。

しかし、海外のような立体的な構造物が多い遺跡と比べると、日本国内の遺跡は木の文化圏に属しているため、かつて存在した構造物はほとんど消滅して、柱穴などの平面的な凹状遺構が残っているだけである。このような遺跡はレーザスキャナが苦手とする部類に入り、したがって、国内の遺跡調査では、橋や城郭・石垣、古墳の石室などの立体的な構造物に適用されている例が多い。

能動的測定法で得られるのは、膨大な三次元形状の点群データから作成された距離画像 (Range Image) (図-2) だけであり、それだけで遺跡を再構築するのは困難である。それには別に撮影された写真と三次元のモデルを使って、遺跡の色彩やテクスチャなどの表面情報と三次元形状を合成する必要があるのだが、現在のところそれらをトータルに扱えるシステムは少ない。

受動的測定法

受動的測定法とはステレオ視 (Stereo Vision)、つまりステレオ画像と三角測量をベースにした形状測定方法である。原理は至って簡単で、同一の対象物を異なる視点から撮影したステレオ画像を用い、撮影に使用したカメラの特性とそれぞれの画像上の幾何学的関係から対象点の三次元位置を求めようとするものである (図-3)。前述の通り、遺跡調査には昭和30年代から「写真測量」という形で導入されてきており、現在においても一般的に使われている計測方法である。しかし、その多くは「ポロ・コッペの原理」を応用した「光学・機械式図化機」を専門のオペレータが操作して図面を作成してゆく古典的な方式であり、遺跡を面的に三次元の形状として計測し記録しているわけではない。

しかし、最近では「デジタル写真測量システム (Digital Photogrammetric System)」と呼ばれる画像処理機をベースにしたデジタル図化機の時代が到来し、今までオペレータが手作業で対象物の特徴部や等高線を追いかけて描いていた三次元の形状を、高速かつ (半) 自動的に得ることが可能になった。計算機によるステレオ画像における対応点の探索は「ステレオマッチング (Stereo Matching)」と呼ばれている。

受動的測定法の利点は、必要とする目的や精度に合わせて、計測に使用する機器と撮影方法が自由に選べる柔軟性と、形状と同時に対象物表面の色彩やテクスチャなどの情報が記録できることである。

さらにもう1つの大きなメリットは、計測対象物の大



図-4 ステレオマッチングで作成した鬼瓦のオルソ画像
(正射投影画像)上に1mm間隔の等高線を発生させた例

きさを選ばないことで、筆者は同一のデジタル写真測量システムを用いて、数十センチ程度の遺物の完全複製を作り(図-4)、さらに人工衛星(SPOT)からのステレオ画像を利用して、中国の砂漠地帯において60キロ四方に及ぶ遺跡地図を作製している。

点群処理

最近登場した計測技術は、完璧ではないが十分実用域に達しており、今後両者の特長を生かして利用すれば、さらに適用範囲を広げることができるだろう。しかし、あくまでも我々が得られるのは何の意味づけもされていない未整理の膨大な三次元点群データである。実際にそのデータを編集したり、光造形法(Stereolithography)やCG/VRのデータとして利用するには、点群データからポリゴンモデルやNurbus曲面に代表されるサーフェイスモデルを作成しないと使えない。そこで必要とされているのは膨大な点群データを効率よく高速にハンドリングできるソフトウェアである。ここが最終的に三次元計測のトータルな結果(効率、品質)を左右する重要なポイントになることは想像に難くない。しかし、日本ではハードの普及が著しいわりに、このような基本的であるがしっかりと使えるソフトが充実していないのは残念である。

● 今後の展開

コンピュータが日本の考古学の世界で使われ始めたのは1982年頃かと思われる。その頃はコンピュータ利用に関して分からないことだらけだったので、考古学関係

者と情報工学関係者はさまざまな場を設けて会合を持ち、いろいろな問題を話し合ったものである。しかし、PCの普及と汎用的なアプリケーションソフトの登場により、そのようなことも減ってきて、以前のような協力関係はみられなくなったのは誠に残念である。しかし、インターネットの普及など、当時とは位相がまったく違う展開もあり、以前よりもっと本質的な部分で、お互いに協力体制を築いてゆく必要があるのは自明である。

考古学はあくまでもフィールドワークを基盤におく学問であり、研究の質はフィールドワークで決まる部分が多い。今後両者のコラボレーションを深めてゆくためには、若くて元気な情報系の人たちが、もっとフィールド(分かりやすくいうと発掘現場)に入ってきて、ワークフローを理解したうえで、協力体制を築いて欲しいというのが筆者の個人的な願いである。

参考文献

- 1) 東京国立博物館による動産文化財の検索サービス:
<http://www.tnm.go.jp/doc/Srch/s00.html>
- 2) 奈良国立文化財研究所による不動産文化財データベース:
<http://www.nabunken.go.jp/Nabunken-Doc/data.html>
- 3) 国際的な文化財保存機関へのリンク集:
<http://www.tobunken.go.jp/~kokusen/japanese/links.html>
- 4) CIPA (The ICOMOS/ISPRS Committee for Documentation of Cultural Heritage) のホームページ: <http://cipa.uibk.ac.at/>

【情報考古学】

- 1) 堅田 直: 発刊にあたって、情報考古学, Vol.1, No.1 (1995).
- 2) 堅田 直: 情報考古学, ジャストシステム (1996).
- 3) 日本情報考古学会ホームページ: <http://saikaku.ism.ac.jp/jsai/>

【電子平板】

- 8) 山田幸弘: 発掘調査における3次元測量データのデジタル化について、情報考古学, Vol.1, No.1 (1995).

【写真測量】

- 9) 奈良国立文化財研究所: 写真測量の手引き (1982).
- 10) 宮原健吾: 京都市埋蔵文化財研究所における写真測量の現状、日本情報考古学会第6会発表要旨 (1998).

【能動的測定法】

- 11) 小特集レーザーセンサによる三次元計測、写真測量とリモートセンシング, Vol.39, No.2 (2000).
- 12) 地上型3Dスキャナーの利用、測量, 2000.9, 日本測量協会, pp.13-20 (2000).

【受動的測定法】

- 13) カール・クラウス: 写真測量, 技術書院 (1993).
- 14) 動体計測研究会: イメージセンシング, 日本測量協会 (1997).
- 15) 日本写真測量学会: 解析写真測量, 日本測量協会 (1983).
- 16) 奥野正敏: ステレオ視 (Stereo Vision), 第4回画像センシングシンポジウムチュートリアル基礎コーステキスト, pp.34-48 (1998).
- 17) 宮原健吾: デジタル写真測量と光造形を用いた遺物の複製, 情報考古学, Vol.4, No.2 (1998).
- 18) 宮原健吾, 内田賢二: 日中共同尼雅遺跡学術調査報告書, 日中共同ニ雅遺跡学術調査隊, pp.33-37 (1999).
- 19) 服部 進, 岡本 厚, 大谷仁志: デジタル写真測量での標定と計測、写真測量とリモートセンシング, Vol.32, No.6 (1993).
- 20) 高地伸夫, 大谷仁志, 伊藤忠之: 遺跡発掘調査での非接触三次元計測, 光ライアンス, 1999.1, pp.23-26 (1999).
- 21) Atkinson, K.B.: Close Range Photogrammetry and Machine Vision, Whittles Publishing Services (1994).
- 22) Miller, S.B. and Paderes, Jr.F.C.: A Stewart Walker: Automation in Digital Photogrammetric Systems, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B2, Vienna, pp.250-255 (1996).

- 23) 国際写真測量学会ホームページ: <http://www.isprs.org/>

- 24) 日本写真測量学会ホームページ: <http://isprs.iis.u-tokyo.ac.jp/>

(平成12年11月17日受付)