

1996年 5月

APA No. 64-4

財団法人日本測量調査技術協会

# デジタル平板システム「SUN-MAP」による墳丘測量

金久保 豊  
榎本光男

## 1.はじめに

デジタル平板システムは、トータルステーション(以下 TS と略す)とパソコンを接続し、TS からのデータを画面上にて結線しながら確認し観測していくシステムである。同様のシステムは、測量会社や測量機器メーカーによる開発競争が行われ、制御機器としてノートパソコンやペンパソコン、携帯型ペンツール等の違いはあるものの、各システムとも実用化にはば達しているのが現状である。これらの現地測量システムの出現により従来の平板測量は姿を消しつつあるといっても過言ではない。

当社では、TS とパソコンが直接つながるこの機能にいち早く着目し、1991年にデジタル平板のプロトタイプを完成させ、平板 CAD システム「SUN-MAP」と命名した(写真1)。

当初データ取得のみを可能とした SUN-MAP は、その後の開発で各種オフセット、断面図検討作成、面積測定、割込、メモ等々の機能を追加して、使用者の要望を満たしていく。またデータは、レイヤや線種を個別に持ち、本格的デジタル地図データとして各種システムへの移行を可能としている。

ここではこの SUN-MAP の利点を最大限に生かし、現地測量の省力化、デジタル化に効果をあげた一例として、古墳のセンター図を作成した作業を紹介する。

## 2.概要

作業地域は、千葉県印旛郡栄町の房総風土記の丘にある「浅間山古墳」である。房総風土記の丘は、1 km 四方の広さの中、古墳資料館を中心にして 5 m ~ 20 m の大小さまざまな古墳が点在している。ほとんどの古墳は芝に覆われきれいで整備されており、県民



写真1 当社デジタル平板「SUN-MAP」

の休息の場として一般にも公開されている。本古墳はその中でも飛び抜けて大きいが、公園のはずれに位置している(図1)ため、古墳としては最も整備が遅れている。今回整備事業の一環として古墳の形状の測量を行う事になったが、本古墳の状況は下草がおいしげり、大木に覆われていて鬱蒼としているので(写真2)、空中写真測量のための航空写真はもとより、クレーンによる写真の撮影も不可能であった。

## 3.目的と方法

対象とする古墳の大きさは、縦80 m × 横50 m 程(面積4,000 m<sup>2</sup>)の縦長の前方後円墳であるが、測量する

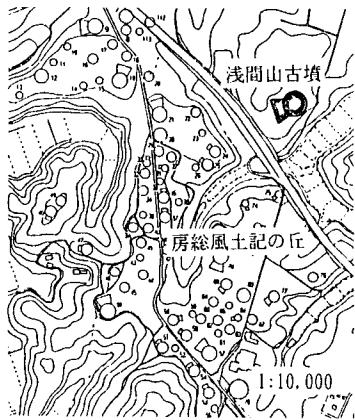


図1 浅間山古墳位置図



写真2 古墳全容（西側より）



図2 単点観測により作成したセンター図<sup>(1)</sup>と拡大図

範囲は、周りの濠跡（周溝）や、古墳が盛り土された旧地形まで表現することが必要なため、縦138 m×横106 m（面積14,628 m<sup>2</sup>）にもなる。地形表現は主曲間隔20 cmで古墳のセンター図を1/200の図面に現すことが求められている。

実測による地形の測量では、全体に標高単点を細かに観測し、そこからセンターを描く手法が一般にとられるが、この方法では微妙なセンターの変化が現れず、古墳のセンター図としては「不合格」となる。同じ古墳をこの方法で行った図面（図2）を着手前に見たが、古墳図としては、見た目にきれいなセンター図でなく、現地の地形を忠実に再現したものではなくてはならないと考えられた。そこで測量は、デジタル平板システム「SUN-MAP」を現地にて使用し、センターを一本一本追う直接測定方法で行うこととした。精度は下

草や落葉の厚み等の現地状況を考慮して等高線間隔の1/2以内（10 cm以内）と決定した。

#### 4. SUN-MAPによる測量

##### 4.1 観測方法

古墳の周囲に12点の4級基準を設置し、標高を4級水準測量により求め、高さの基準とした。そこから補助基準点を放射法により、SUN-MAPで求める。実際の地形観測は、これらの放射点で視準可能な2点にそれぞれTSとミラーを置き零方向を決定する。その後、TSの望遠鏡を水平に固定する。この状態で高さの分かっている点に標尺を立てその標尺の目盛を読定する。これによりその点での器械の標高が決まる。また、その目盛から、観測したい標高値はどの目盛に当たるかを計算により求め、その求めた目盛に反射板(5

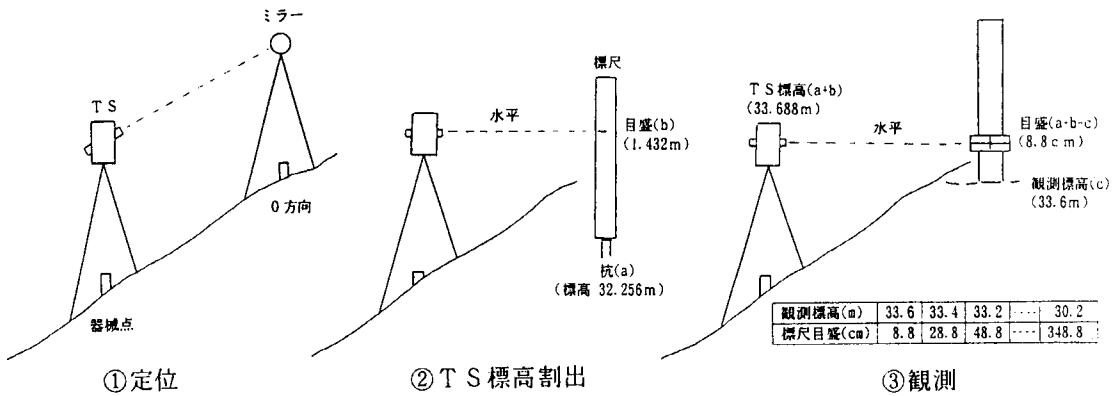


図3 観測方法

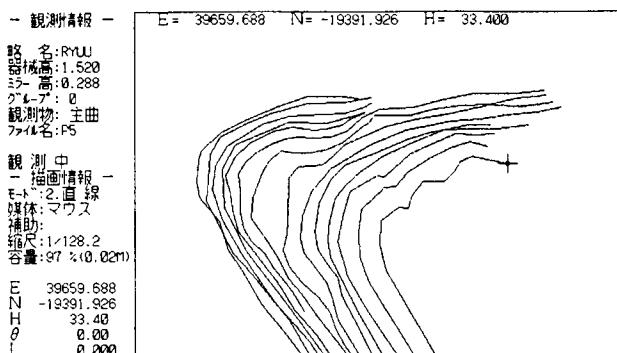


図4 SUN-MAPの画面(1ファイル分表示)

cm幅)を付け、反射板が中心に来るよう標尺を誘導する(図3)。TSは水平に固定されているので、常に同じ高さの点が観測されることになる。同一コンターの観測間隔は古墳の頂上部など地形が複雑なところで0.5m、古墳本体からはずれた等傾斜地では約2mで実施して、微妙な地形の変化を見逃さないことを心掛けた。

#### 4.2 処理

観測した点は順次SUN-MAPにより同時処理され、画面上で結線されていく(図4)。結線されていく線は計曲線、主曲線、補助曲線と線種・レイヤ分けされ、標高も表示される。測量済み範囲の確認や接合の確認は画面上で行う。

1つの基準点で観測できる範囲は、1)見渡せる、2)標尺高が達する、の2点を満たす範囲である。この範囲全てを観測し終わるとデータ保存して次の点に移る。1基準点で1ファイルとし、移動前に全ファイルを表示して、観測エリアの確認と脱落のチェックを

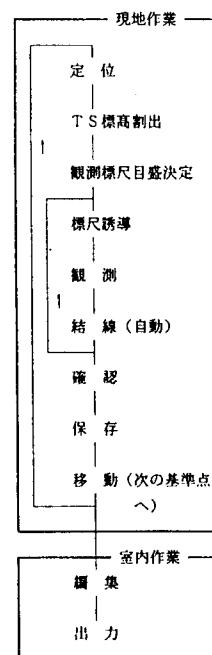


図5 処理フロー

する。最終的な合成は編集作業で行うこととした。

#### 4.3 精度

今回の測量方法は、TS でセンター位置を求める、および観測用の補助基準点を SUN-MAP 内で求める、というところが特徴である。この方法による最大誤差を測量実施前に計算により求めてみた。

高さの誤差は、補助基準点誤差、センター観測誤差が考えられる。これらを累積したものが高さにおける最大誤差である。TS の高度角定数は自主点検の結果より最大 $20''$ であった。最長 $20\text{ m}$ の距離を観測することでその高さ誤差は定数から最大 $2\text{ mm}$ と算出できる。放射により基準点を次々作成する作業を 4 回繰り返し、その 4 回目の基準点から観測を行ったとして、約 $5\text{ mm}$ (a)の誤差を生じることになる。

距離の誤差も高さへ影響する。距離の誤差は放射観測の誤差と標尺を立てる誤差が考えられる。

TS の距離精度は $\pm(3\text{ mm}+2\text{ ppm})$ である（器械取扱説明書より）。最大の観測距離が $20\text{ m}$ とすると観測誤差は $3\text{ mm}$ となり、これが 5 回で約 $7\text{ mm}$ (b1)になる。標尺を立てる誤差は使用した標尺の気泡管の誤差 $20'$ より求められる。これは $5\text{ m}$ 伸ばして $30\text{ mm}$ (b2)の水平方向誤差を生じる精度である。これらの考えられる水平誤差の最大値は $37\text{ mm}$ (b')となり、この距離の誤差を高さにすると、最大傾斜約 $35^\circ$ の場所で $26\text{ mm}$ (b)になる。



写真 3 観測の様子

こうして求めた a と b により約 $27\text{ mm}$ (c)が計算上の最大誤差であり、これはセンター間隔( $20\text{ cm}$ )の $1/2$ 以内である。そして実際には、突き出しによる連続で基準点を求めるのを 2 回まで、また観測距離を最長で $15\text{ m}$ 、標尺の延長も最長 $3.5\text{ m}$ （標尺 1 回伸ばし分）に制限して作業を実施した。現地の諸条件を加味しても誤差は倍の約 $54\text{ mm}$ に入ると思われ、今回の地形測量の要求する測定精度は十分保てると考えた。

(式)

$$\begin{aligned} a &= \sqrt{2^2 \times (4+1)} = 5 \text{ (mm)} \\ b_1 &= \sqrt{3^2 \times (4+1)} = 7 \text{ (mm)} \\ b_2 &= \sin(20') \times 5 = 30 \text{ (mm)} \\ b' &= b_1 + b_2 = 37 \text{ (mm)} \\ b &= \tan(35^\circ) \times b' = 26 \text{ (mm)} \\ c &= \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{5^2 + 26^2} = 27 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

#### 5. 結果

観測データより割り出した結果は、センターの観測総延長 $9,763\text{ m}$ 。観測点数 $7,435$ 点。観測区間数 $6,818$ 区間で横方向の平均観測間隔は $1.43\text{ m}$ になる（表 1）。これは $1/200$ の図面上約 $7\text{ mm}$ になり、単点観測による図面（図 2）と比べると細部まで表現されたことが分かる（図 6）。図の○印のように古墳の微地形が正確に描画されており、考古学的な研究の資料として価値のあるものが作成された。SUN-MAP による観測作業（観測準備を含む）の総時間は、 $96$ 時間かかり、1 時間当たり $77$ 点観測していることになる。TS 側から標尺を導く事によって観測点を決める今回のやり方としては、かなり効率よく出来たと思われる。

全観測後、室内で観測データの編集作業を行った。各基準点での観測データを 1 つに合成する、つまり、線と線を接合し、1 本化したものを一括処理でカーブモードにする。これによりセンターが滑らかな曲線で描かれるようになる。

表 1 観測結果データ

面積	延長(a)	点数(b)	区間数(c)	総時間(d)	4 級基準点	放射基準点
$14,628\text{ m}^2$	$9,763\text{ m}$	$7,435$ 点	$6,818$ 区間	$96$ 時間	12 点	34 点

平均観測間隔(a/c) = 1, 4 3 m

時間当たり点数(b/d) = 77, 4 点/時間

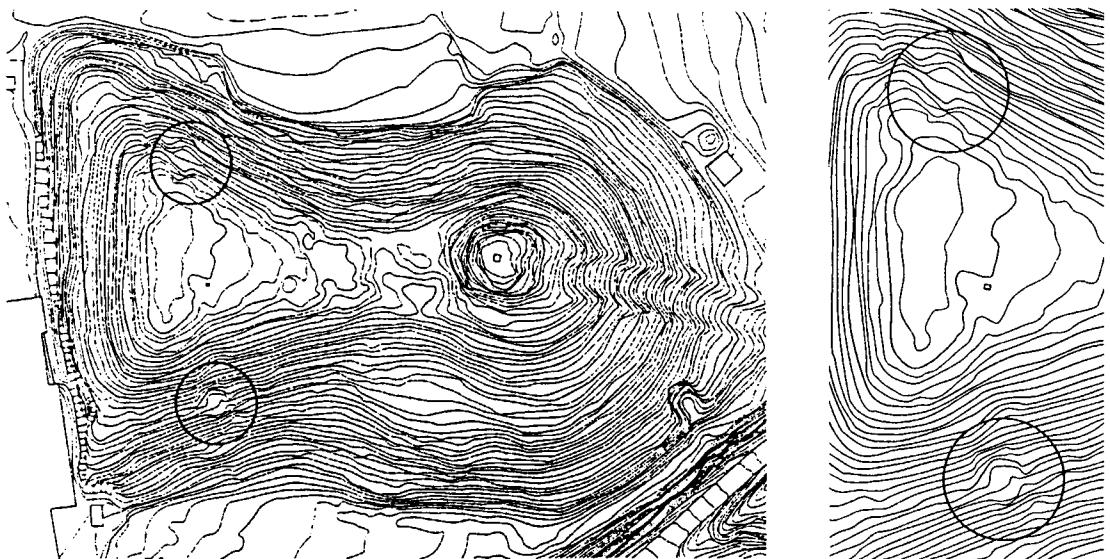


図6 今回の墳丘測量図<sup>(2)</sup>と同拡大図

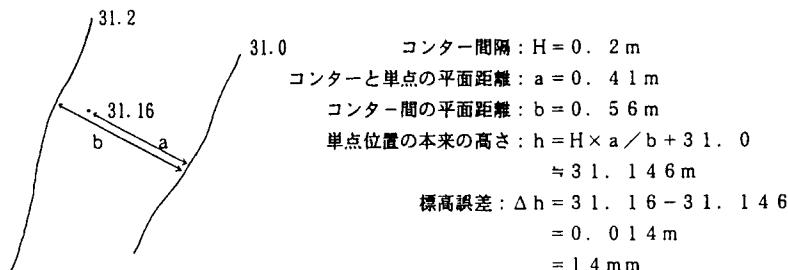


図7 誤差の検証（例）

## 6. 検証

作業後、誤差について実際に検証を行った。4級基準点にTSを設置し、そこから標高単点を無作為に50点観測した。この単点データと今回観測したセンターデータと一緒にSUN-MAPの画面に表示し、その単点位置の本来の高さを計算により求め、単点高との標準偏差を求めた（図7）。これにより誤差は37.2mmであり、下草や落葉など現地の諸条件がある中でも目標精度を十分満たした測量結果が得られた。

（式）

$$\text{観測数} : n = 50$$

$$\text{分散} : \sigma^2 = \sum \Delta h^2 / n$$

$$\text{標準偏差} = \sqrt{\sigma^2} \approx 37.2 \text{ mm}$$

## 7. SUN-MAPによる効果

今回は従来の平板測量でセンターを描く方法をSUN-MAPによって行った。通常の平板測量と比べて、テープを張っての距離計測が不要であり、1点毎の観測は早い。測量作業者も2人で観測可能である。前述したように観測用の補助基準点も、観測中に自由に設けることができる。

SUN-MAPにより、観測時の省力化の効果も大きいが、デジタルデータを取得できるということは、別の多くの付加価値を得る。たとえば、取得データを自由な位置で切り、断面図を表示させることが出来る。また、同じデータから鳥瞰図（図8）の作成や面的認識によるレンダリングモデル（図9）の作成をして、様々な方向からの表示が可能である。地形を立体表現することによって、古墳の形式学的研究や原地形復元の手がかりを擱むのに役立てることができる。

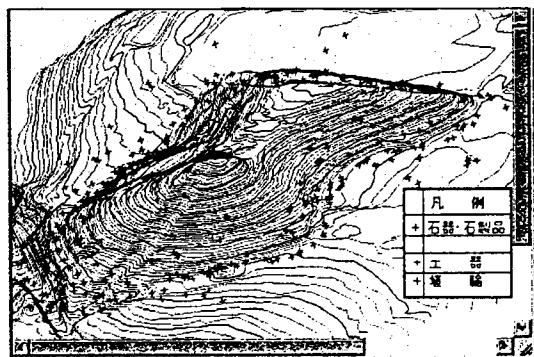


図8 鳥瞰図（デモ的に遺物を配置）



図9 レンダリングモデル

## 8. おわりに

デジタル平板システム「SUN-MAP」の今回の応用例では、微妙な地形表現を行うために大量のデータ取得が必要であったが、観測中も、後処理も、極めて短時間かつ高精度の測量を実施することができた。特に今回は、高さを求めるレベルを TS で代用し、観測中に放射点を作成するという独自の方法を採用した。これらの方法の精度的確認ができたことは、デジタル平板システムの利用範囲が1つ広がったことになる。

SUN-MAP の機能には多くの地図表現機能を加えている。一般の現況図作成にも、地籍や区画整理等の用地測量においても、自由に現地で評価出来ることは、リアルタイム化などの新しい測量形態への一歩といえよう。

## 参考文献

- (1) 千葉県教育厅文化課 竜角寺古墳群測量調査報告書 1982. 3
- (2) 千葉県 千葉県史研究第4号 印旛郡栄町浅間山古墳測量調査報告 1996. (投稿中)

(アジア航測株式会社)