

## 【技術ノート】

# TVカメラとマイコンを利用した 標高計測システムに関する一考察

Height Measuring Systems by TV Camera and Micro-Computer

北島 彰夫 \*  
Akio KITAJIMA  
越後 滋 \*\*  
Shigeru ECHIGO

## 1. まえがき

近年のエレクトロニクス関連技術、特にコンピュータおよび画像処理関連の技術の発展には目覚ましいものがある。コンピュータ関連としては第5世代を目指す汎用の超大型機から、高性能超小型機、あるいは各種機械に組込まれる自動制御用のいわゆるワンチップマイコンと呼ばれるものまで枚挙にいとまがない。また画像処理技術としては放送局等の業務用はもちろんのこと、現在の各家電メーカーの目玉商品となっているビデオ機器等の一般向けのものもあるが、さらに生産工場におけるロボットの眼としての機能の開発もかなりの速度で進歩しているようである。このような場合には、画像と言えども当然コンピュータがその中枢となって働いている。

これらの分野の急速な進歩が、エレクトロニクス技術の革新による材料・部品・機器の性能の向上、小型化、低価格化に起因していることは言うまでもない。例えばTVカメラの心臓部である画像を電気信号に変換するものとして、業務用では一般に光導電効果を利用した真空管の一種である撮像管(ビジコン、サチコン等)が用いられているが、最近では半導体を用いた固体撮像素子(CCD)を用いたカメラが数多く開発されている。この固体撮像素子は、光を感じる微細な半導体素子を格子状に並べたもので、画像のひずみがなく、高解像度が得られ、耐振・耐衝撃性に優れ、外部の電気的ノイズにも影響されない等の特徴をもつたため、工業用には最適のものと言える。

一方、建設業界においては、施工技術の発達にともない工事が大型化しており、その工事を安全に正確に遂行するための施工管理は繁雑なものとなりつつある。このような施工管理に電算機を導入し、迅速に正確に管理を行い、しかも省力化を図ろうという試みは以前よりなされているようであるが、最近では測量関係にも前述の画像処理技術を導入しようという例が見られる。

当社においても、TVカメラと超小型電算機(いわゆるマイコン)を利用して標高計測システムを採用しようと試み、その可能性について技術的に検討したので、そ

の概要について以下に紹介する。

## 2. 測定原理

ここでは、次に述べるような2つの方法について検討した。

## 2-1 TVトランシット(A案)

## 2-1-1 原理

この方法は、従来のトランシットにより鉛直角変化を測り標高を求める方法と同じであり、トランシットの代わりにTVカメラを用いようとするものである。

すなわち、鉛直および水平軸まわりの回転軸を持つTVカメラで測点を視準し、モニター上で測点が画面上の中央点にくるようカメラをコントロールし、その時のカメラの仰角または俯角を電気信号としてマイコンに読み込み、水平距離との正接から求めるものである。(図-1)

$$H_2 = H_1 + L \cdot \tan \theta \quad \text{--- (1)}$$

システムの装置としては、図-2のようにTVカメラとモニター、カメラを駆動し角度を読み取る機構部と、それをコントロールするインターフェースおよびマイコンで構成される。

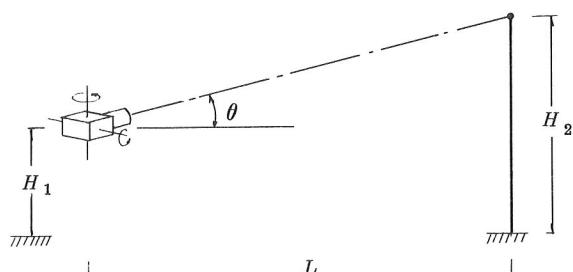


図-1 A案測定原理

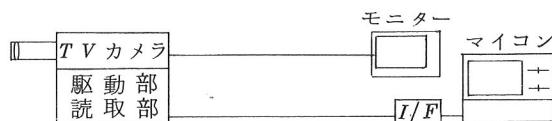


図-2 A案システム構成図

## 2-2 デジタルTV (B案)

これは標高の既知な2定点が視準できるような1つの回転軸をセットしたTVカメラによって測点を視準し、画面上の測点像の位置関係から実際の標高を用める方法である。

### 2-2-1 基本原理

いま、図-3に示すようにある測点を視準し、その画像がスクリーンで $\Delta y$ なる座標値をとったとすれば、測点の標高 $H_2$ は、

$$\begin{aligned} H_2 &= H_1 + h \\ &= H_1 + L \cdot \tan(\theta + \Delta\theta) \\ &= H_1 + L \cdot \frac{\tan\theta + \tan\Delta\theta}{1 - \tan\theta \cdot \tan\Delta\theta} \quad \text{--- (2)} \end{aligned}$$

但し  $\tan\theta = h' / L$ ,  $\tan\Delta\theta = \Delta y / f$  --- (3)

ここで $H_1$  : カメラの標高

$L$  : カメラと測点の水平距離

$f$  : カメラレンズの焦点距離

$\Delta y$  : 測点のスクリーン座標

$h'$  : 測点位置におけるカメラ視準面(カメラの光軸が作る平面)とカメラの標高差

で表わされるが、このうち $H_1$ ,  $L$ ,  $f$ は既知であるとし、 $\Delta y$ は2-2-2で述べる方法により求められ、また $h'$ は視準平面の式  $z = ax + by + c$  がわかれば(2-2-3で決定方法を述べる)測定の平面座標値を代入して求めることができる。

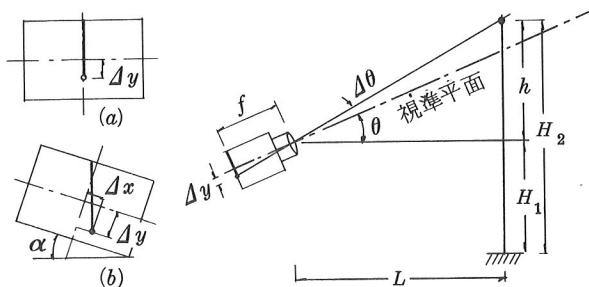


図-3 B案基本原理図

図-3(a)ではスクリーンが水平である場合を例示しているが、図-3(b)のように傾いていたとしても、

$$\Delta y = \Delta y' \cdot \cos\alpha + \Delta x \cdot \sin\alpha \quad \text{--- (4)}$$

但し $\alpha$ はスクリーンの傾斜角で、2-2-4の方法で求められる。

として $H_2$ を求めることができる。

### 2-2-2 スクリーン座標の読み取り方法

TVカメラにより撮影された測点を含む画像に対し、その映像信号をA・D変換してデジタルメモリーに記憶し、この記憶したデジタル量(スクリーンを $n \times m$ の画素に分割し、1つの画素が何段階かの明るさに関する情報を持っているものとする)をマイコン側に入力し、画像処理することによって測点のスクリーン上での位置を求める。この時、測点に相当する画素を他の一般の画素と判別するには、明るさの情報を用いる方法が考えられる。すなわち、測点として高輝度の電球を用いる等して、その画像を微分処理すれば電球像のほぼ中心が画素の $x-y$ 座標として求められる。(図-4)

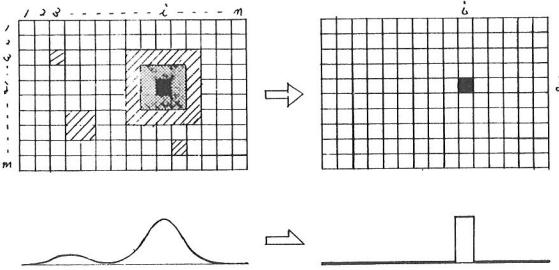


図-4 スクリーン上の位置決め

### 2-2-3 カメラ視準平面の決定法

カメラ視準平面を決定するには、標高および平面座標の既知な2つの定点 $A$ ,  $B$ を視準することにより、以下のようにして求めることができる。

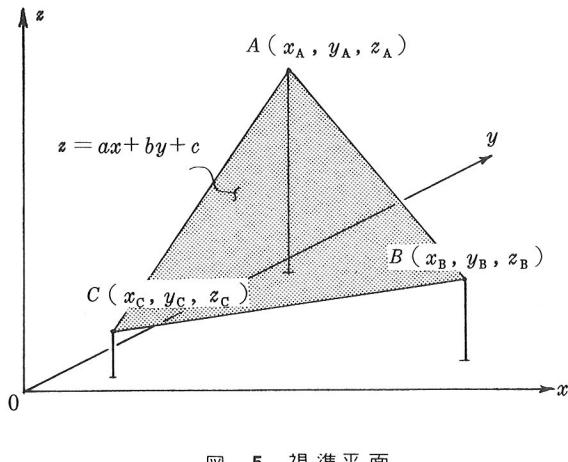
いま視準平面(空間平面)の式を

$$z = ax + by + c \quad \text{--- (5)}$$

とし、2定点 $A$ ,  $B$ が視準平面上にあるとすれば

$$\left. \begin{array}{l} Z_A = ax_A + by_A + c \\ Z_B = ax_B + by_B + c \\ Z_C = ax_C + by_C + c \end{array} \right\} \quad \text{--- (6)}$$

但し、( $x_c, y_c, z_c$ )はカメラの空間座標を解くことにより、(5)式は決定される。



しかしながら、 $A$ 、 $B$ 両定点が常に視準平面上にあるとは限らないので、まず空間平面を仮定し、それに基づいて $A$ 、 $B$ 点を視準して各々の標高を計算し、その結果が既知の標高と一致するまで収束計算を行うことを考える。すなわち、 $A$ 点を視準した場合を例にとると(図-6)， $A$ 点における視準平面上の点 $A'$ の高さ $Z_{A'}$ を $Z_A$ と仮定し(同様に $Z_{B'} = Z_B$ )、⑥式を解いて⑤式を決定し、視準した $A$ 点の標高を計算した結果が $Z_{AC}$ であったとすれば、 $A$ 点は( $Z_{AC} - Z_A$ )だけ視準平面の上方にあるとの結果を得たことになる。しかし実際の $A$ 点の標高は $Z_A$ であるから、 $A'$ の標高は $Z_A - (Z_{AC} - Z_A)$ の近傍にあるはずである。そこで新たに $Z_A' = Z_A - Z_{AC} + Z_A$ と置いて同様の計算を $Z_{AC} = Z_A$ 、 $Z_{BC} = Z_B$ で収束するまで繰り返せば良い。

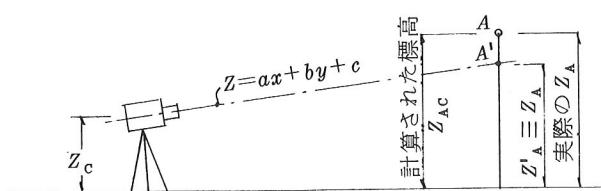


図-6 視準平面の決定

**2-2-4 スクリーンの傾きを求める方法**  
いま簡単のためにカメラを空間座標の原点におき、2定点 $A(x_A, y_A, z_A)$ 、 $B(x_B, y_B, z_B)$ を通る視準面を形成し、視準点 $M'(x_M, y_M, z_M')$ を視準したとすると(図-7)，平面 $O-A-B$ は、

$$\left. \begin{aligned} ax + by + cz &= 0 \\ \text{但し } a &= y_B \cdot z_A - y_A \cdot z_B \\ b &= z_B \cdot x_A - z_A \cdot x_B \\ c &= x_B \cdot y_A - x_A \cdot y_B \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

と表わされ、これから

$$z_M' = -(ax_M + by_M)/c \quad (8)$$

となる。また、これらの結果より立体幾何的に解くと、スクリーン座標の $x$ 軸( $x_s$ )の方向余弦( $l$ 、 $m$ 、 $n$ )は

$$\left. \begin{aligned} l &= c \cdot y_M - b \cdot z_M' \\ m &= a \cdot z_M' - c \cdot x_M \\ n &= b \cdot x_M - a \cdot y_M \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

スクリーン面が水平面となす交線 $r$ の方向余弦( $l'$ 、 $m'$ 、 $n'$ )は

$$\left. \begin{aligned} l' &= y_M \\ m' &= -x_M \\ n' &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

となり、これら2直線のなす交角 $\alpha$ が求めるスクリーンの傾きであり、

$$\cos \alpha = \frac{l \cdot l' + m \cdot m' + n \cdot n'}{\sqrt{l^2 + m^2 + n^2} \cdot \sqrt{l'^2 + m'^2 + n'^2}} \quad (11)$$

で与えられる。実際にマイコンでこれを計算する際には、BASICには $\arccos$ 関数がないこと、符号の正負が定まらないこと等があり、座標変換などの若干の処理が必要である。

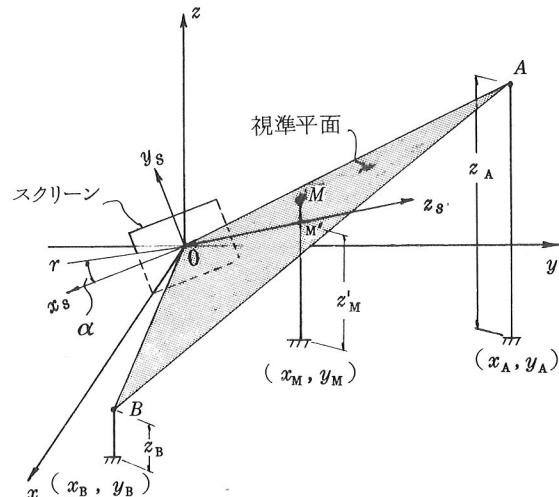


図-7 スクリーンの傾き

## 2-2-5 計算処理のフローチャート

以上の処理をまとめると、図-8のフローチャートのようになる。

これに従ってBASICでプログラムを作成し、テストデータによる処理を試みた結果、視準平面の決定には約5~7回の繰返しで0.1%の精度に十分収束した。

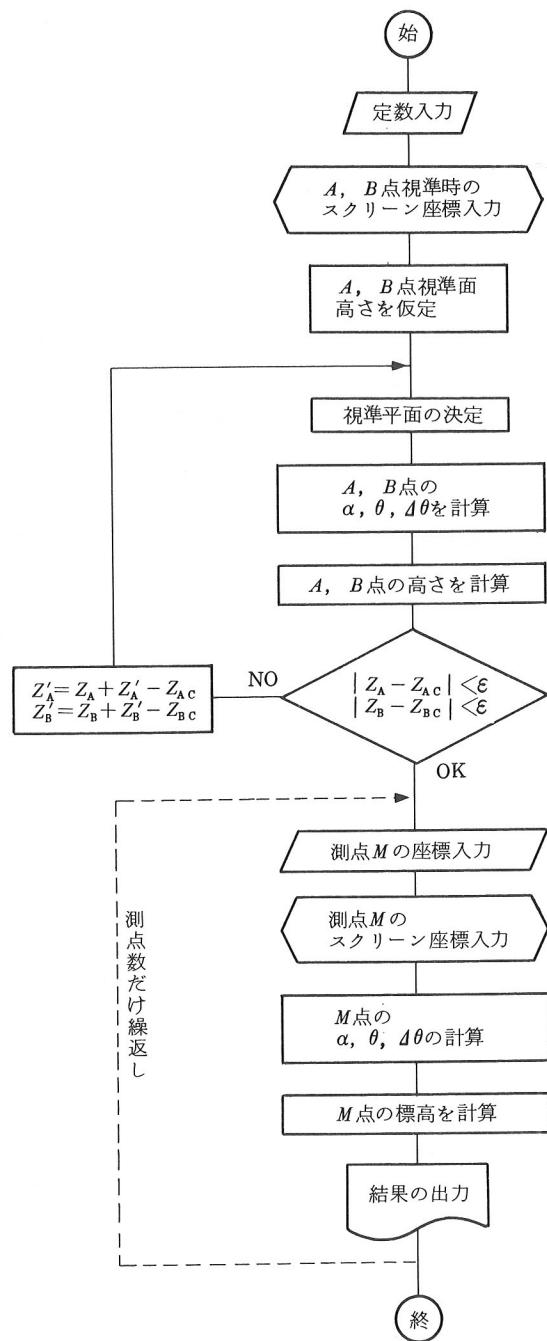


図-8 処理のフローチャート (B案)

## 2-2-6 装置のシステム構成

B案の装置の構成としては、TVカメラとその駆動部、および画像信号の処理を行うコントロール部とデジタルメモリー、それらの信号とマイコンとの仲立ちをするインターフェース等がある。(図-9)

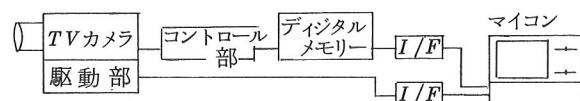


図-9 B案システム構成図

## 3. 両案の特徴

以上、A B 両案の原理を述べてきたが、ここに各々の特徴について考えてみると以下のようである。

### 3-1 A案

#### (1) 長所

- a) 原理および機器の構成が非常に簡単である。
- b) レンズにズームを用いれば、初めは広角で視準し順次ズームアップしながら視準する等、能率的な作業が可能である。
- c) B案のように測点に特殊なものを用いる必要がない。
- d) 標高のみでなく、一般の測量にも使える。

#### (2) 短所

- a) 通常のトランシットのセッティングのように、カメラの回転軸をできるかぎり鉛直および水平に設置する必要がある。
- b) 回転角を電気的に読み取る方法には、ポテンショメータ、光素子を用いる等々が考えられるが、十分な精度のものがない。
- c) カメラの駆動装置には、微小角度の回転や任意点での停止、ガタのない機構など高い精度のメカニズムが要求される。

### 3-2 B案

#### (1) 長所

- a) 測点はカメラの視野内に入れば、あとはソフトで処理可能であり、A案のように微調整で視野の中央にあわせる等の操作が不要である。
- b) 回転軸は必ずしも鉛直・水平である必要はない。

## (2) 短 所

- a) 画像の分割数  $n \times m$  により精度が抑えられる。
- b) デジタルメモリーが高価である。
- c) レンズの周辺ひずみにより、測点が画面周辺部に視準された時には精度が落ちる可能性がある。
- d) レンズの焦点距離を計算に用いるので正確な値が必要であり、ズームレンズの使用は困難である。
- e) スクリーン上で測点を判別させるための方法が必要である。例えば前述のように電球を用いるとすれば、各測点にセットしなければならない。

ュータ) 1981. 2

- 8) 「第12回画像工学コンファレンス'81 国際画像機器展出品各社カタログ」 1981. 11

## 4. あとがき

以上述べたように、2つの案について検討してみたが原理的にはどちらも可能であるが、実現する際にはいずれの場合もメカニックに高度の技術が要求されることがわかった。

例えば最小分解能を5"とした場合、通常の歯車等を用いた機構では温度変化による歯車の体積変化だけでもそれ位の誤差が生じてしまう。B案についても、一旦カメラをセットした後は回転の精度さえ保てれば良い訳であるが、これも5"という目標はなかなか困難である。

このような訳で、これらの案を実現するまでには到らなかつたものの、現在の技術の進歩の度合から考えれば必ず近い将来実現が可能であると思われる。

## 参考文献

- 1) 「コンピュータ管理手法によるフィルダムの建設」  
(松浦他) 土木学会誌 1979. 5
- 2) 「施工管理におけるコンピュータ導入の事例」  
(西野他) 第3回電算機利用に関するシンポジウム  
1978. 11
- 3) 「海洋工事におけるミニコンピュータを利用した施工管理と高深度計測について」(大塚他)  
第6回電算機利用に関するシンポジウム 1981. 10
- 4) 「長大橋架設時のレーザーによる諸計測」  
(中山他) 橋梁と基礎 1982. 1
- 5) 「宇部カントリークラブP C斜張橋の設計と施工」  
(小原他) 橋梁 1981. 1
- 6) 「月夜野大橋の設計と施工」(中村他)  
橋梁 1982. 7
- 7) 「Amst TECH NEWS」(アマストコンピ