

近代写真測量の発展とその土木工学における役割

丸 安 隆 和*



<講演する丸安博士>

1. 土木計画のシステム化と写真測量

最も効率的な方法として採用した工法が町に騒音を与える結果になったり、最も経済的と考えた廃水処理が河川汚濁の原因になったりすることが多くなった。

従来なら、それほど気にとめなくても、それぞれの事象の間には自然が介在して、その調整能力が働いていた。自然の浄化作用がいわゆる公害をなし崩しに処理していたのである。ところが現在はそうでなくなった。自然の調整能力には、ある臨界点のようなものがあって、それを越えると、もはや調整能力がなくなってしまうのである。

それに、現在の社会機構が高度化して、それぞれ価値観を異にする人達が共存しなければならなくなり、それぞれの利害関係が複雑に入り組んできた。人口の過密化現象が、ますますその傾向を強めている。

このような状況になると、社会全体を一つのトータル・システムと考え、それは多くのサブ・システムからなっていると考えて処理されなければならなくなる。そして、サブ・システムに致命的な打撃を与えない考慮を払いながら、システム全体の最適化をいかにして求めるかという課題に取り組みねばならなくなるのである。

この場合、システム全体を見落しなく捕えるたことが必要となるが、そのためには、十分な量の情報とそれを処理する手段を持たなければならない。土木における情報化時代も、このような背景のもとに始まっているといえるだろう。

情報化時代においては、情報の収集、処理の手段が前提となる。多くの情報を集め、それを使いこなし、それらをうまく組み合わせることによって、最も好ましい結論

を導き出すことができるのである。個々の情報は、それはたとえ新しいものでなくても、複雑な体系として組み合わせることによって、新しい価値が生れてくる。それは“音楽はわずかな音符の組合せでありながら、ある場合は勇壮な、ある場合は静寂な、いろいろ無数のメロデーを次々に提供し、それに新しさを感じさせる”のと同じである。また、情報のつくり出す価値は“見たところ何の変哲もなか泥土でも、巨匠の手によると、数万金をもってしても手に入れることのできない価値はもつ工芸品となる”のに通じている。

土木計画もまさにこの例外ではない。与えられた予算の範囲内で、最善の土木工事が計画されなければならない。従来なら局部局部を最適にすることだけを考えれば全体は最適化できると考えていたが、現在では、前述のように社会機構の変度化によって、そのような考え方が通用しなくなってしまった。河川改修を行なうにしても、本幹川だけを改修しても、それが支派川にかえって悪い影響を与える結果になって、新しいパターンの災害の原因になったりする。

一つの工事計画も、できるだけ広い地域にわたって、できるだけ多くの情報を集め、これに適切な処理を施し、全体をシステムとして考えて最適化を求めなければならなくなったのである。一つの工事にも、これに関連する要因がやたらに多くなり、これらを満たすような解を見出すことはきわめて困難で、個人の“経験”や“かん”や“思いつき”によっては不可能になった。どうしても、電子計算機の助けを借りて処理しなければならなくなった。しかし、この場合コンピュータは、計算という労働からわれわれを解放することはできるが、あくまでも機械である。計算のスピードや正確さにおいては、はるかに人間の能力を上回っているが、人間のような価値判断の能力や創造力は持っていない。命令された通りに正直に計算するだけである。誤まった使い方をすれば、誤まった結果しか出てこない。

* 正会員 工博 東京大学教授二生産技術研究所

計算機に計算をさせ、良い結果を得るためには、質の良い情報を、計算機に適した形にして、入力してやるのが基本的な条件である。

土木工事はその大部分が地球を対象にした仕事であるから、上述のような土木計画をシステムとして取り扱おうとする場合、地球に関する情報は非常に重要な役割を占めることはいうまでもない。地形、地質、土質、水系、植生、土地利用などが、地球に関する情報に含まれるが、われわれは、これらの情報に関して、できるだけ質のよい、できるだけ多くのものを入手したいのである。航空写真測量は、この場合きわめて重要な役割を持つ。従来、ただ単に地図づくりの作業としか理解されていなかった写真測量は、実は、土木計画が近代化され、システム化を考えなければならなくなった現在、その持つ役割に非常に重要さを加えるようになったのである。

2. 近代写真測量の発展

近代写真測量は電子計算機とともに発展してきた。写真測量は写真の持つ情報を抽出し、それを目的に応じて最も適当な方法で表現し、これを処理し意味づけをする技術であると定義づけることができる。従来は、いわゆる図化機を用いて等高線による地形表現を行なうことがその主体となっていたが、電子計算機が利用されるようになってから、地形を数値を用いて表現し、一貫したシステムによって処理することが可能になった。これによって、写真測量は新しい観点に立って見直され、利用されるようになったのである。

普通に用いられるパנקロ写真は、白から黒までの無限の色調差で表現された記録である。航空写真の場合には、非常に広い範囲にわたるマクロな記録であり、撮影時点における正確な記録でもある。この中には、角度に関する情報と色調による情報とが含まれる。前者の情報を抽出する技術を狭い意味での写真測量 (Photogrammetry) と呼び、後者の情報を抽出し、それに専門的な意味づけをする技術を判読 (Interpretation) と呼ぶ。判読においても、基本的な技術の進歩によって、新しい発展を遂げつつある。土木計画にも、その成果を大いに利用することを積極的に考えねばならない時期にきているように思われる。

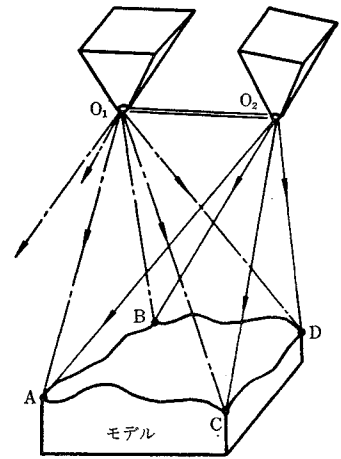
3. 写真情報の抽出と表現方法

(1) 概要

実体写真を用いて被写体上のすべての点の三次元で示される位置を決めるには、内部定位 (写真の主点と画面

距離) が正確にわかっていないければならない。2枚の実体写真を、撮影に用いたと同じ光学的諸元を持つ投影器にかけ、2つの投影器を撮影時のカメラと同じ関係位置に、かつそれぞれの姿勢を撮影時と同じに保って後方から光を送ると、それぞれ対応した点を通る光

図-1 光学モデルの作成



が空間で交会して、もとの地形を再現する。このようにしてつくられた光学モデルについて測定する方法——この方式をアナログ的な写真測量と呼び、従来行なわれてきた写真測量の方法である。写真測量図化機械はこの方式の主体となっている。

図化機械によって取り出された情報は、普通等高線で表現された地形図で示されるが、最近、適当に配置された多数の点の三次元座標で表現する方法が利用されるようになった。すなわち、図化機械には、座標印字機とテープせん孔器が付属し、任意の点の三次元座標が直接測定され、記録される。これを数値地形図 (Digital Terrain Model) と呼ぶ。

写真-1 図化機械と印字装置およびテープせん孔装置



いうまでもなく、図解的に表現すれば、視覚によってただちに概況を判断することができ、数値で表現すれば電子計算機で処理する場合に便利である。図解的な表現と数値による表現とが自由に必要に応じて変換できることが、それぞれの特徴をいかすうえで望ましい。

(2) Digital な表現方法

電子計算機で処理する場合でも、目的に応じていろいろ

ろな表現方法をとるのがよい。そのいくつかの方法と利用の仕方を説明しよう。

a) Digital Terrain Model の基本形

地形を代表する点を選ぶ場合、できるだけ少ない点でできるだけ現地形に近似するようにすることが望ましい。中間点の補間が容易であることも必要である。

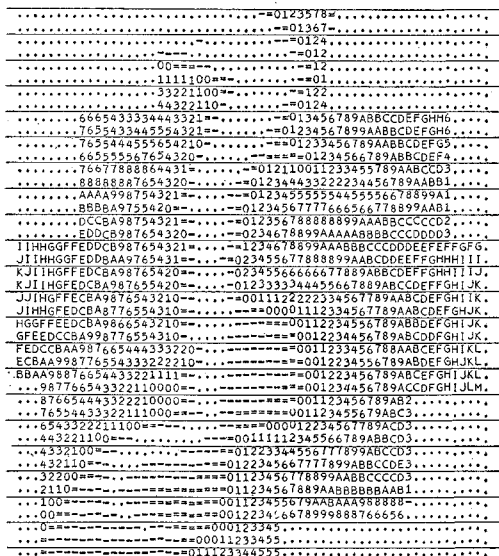
一般に、適当な間隔の方眼で地域をおおい、その格子点の標高を測定するのが便利である。われわれの開発した方法には、隣り合う方眼が互いに連続するように考慮した三次曲面で地形を近似する方法がある。

高速道路の縦横断の決定、これに伴う土工量の算定、等実際には非常に手数を要し、しかも単調な仕事を、計算機に代行させるための基礎資料として、いま世界各国で利用された。

b) 階段的に地形を表現する方法

格子点の高さがわかれば、計算機は近似する三次曲面を決定し、高さの平均値、最大傾斜の大きさおよびその方向等を計算する。もし、高さを 5m ごとに 0, 1, 2, ……A, B, C……等によって階段的に区別するように命令すれば、計算機はすべてのブロックごとの計算を行なって、その結果をラインプリンターによって、きわめて迅速に打出することができる。

図-2 ラインプリンターでつくった地形モデル



斜面の向きを、N, NE, E, SE, ……等にわけたいならば、定められた符号によって、各ブロックごとの斜面の向きを打出することもできる。傾斜の大きさについても同様である。

土地造成が非常な勢いで進められているが、造成計画を、できるだけ経済効果をあげるようにするための設計作業には、このような表現方法はきわめて便利である。

c) ベクトルで地形を表現する方法

格子点の高さから三次曲面が近似されれば、前述のように、その方眼の最大傾斜の大きさや方向が決まる。簡単に求めるには、三次曲面のかわりに回帰平面を求めてそれから計算してもよい。

このようにして求めた斜面の方向と傾斜の大きさをベクトルで表現する。これがベクトル・モデルである。計算機で求めたベクトルは、自動製図機で自動的に図にすることもできる。

ベクトル図は、それぞれの区域に降った雨が、どのような径路をたどって流下するか、その時間経過はどのような形をとるかなどを考慮するのに大変便利である。筆者はこの方法で黒部川第四発電所の流域に積った雪が、融けて貯水池に流入するまでの時間を概算し、等到達時間の線を求めてみた¹⁾。

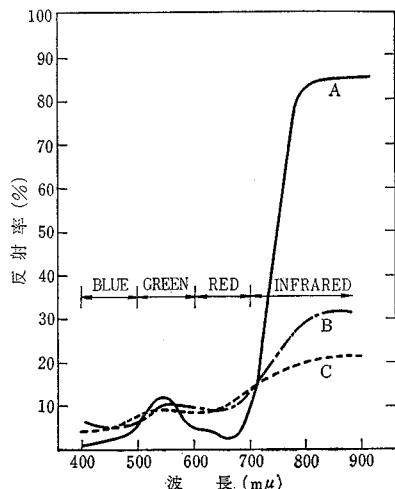
雨に伴って起こる自然災害では、どんな場合でも雨水の流れる径路と時間経過を考えねばならないが、このような場合にもベクトル・モデルは大変役立つものである。

4. 色調による情報の抽出

色調によって示される情報を抽出するには、それぞれの判読者の持つ専門的な知識が必要である。しかし、熟練すれば、非常に多くの情報が写真上から読みとれる。その中には土質、地質、植生、土地利用、等われわれ土木工事の設計、計画にぜひ考慮しなければならない要素が含まれる。普通のパンクロ写真では白黒の色調差が200段階ぐらいに区別されている。さらに細部を表現しようとするれば、カラー写真が有利であることはいうまでもない。

この場合、われわれがいつも眺めているような青、緑、赤の3色によって表現されている景色と違って、その中

図-3 スペクトル反射率 (A:草, B:松, C:緑色ペンキ)



から青色がなくなり、そのかわりに、赤色より先の赤外領域まで見えるようになったら、われわれの周囲は一体どんなふうに見えてくるであろうか。いままでは青色として感受していた情報が感じなくなり、そのかわりに赤外領域の情報が感受されると、見るものすべてが、いままでとずいぶん違った景色になるだろう。

もっと詳しくいえば、いままでの緑が青に、赤が緑に、赤外線が赤に見えるとすれば、いままで同じように見えていたものでも、赤と青のように全く違った色に見えてくることもあるであろう。このような異常な能力を持つことができれば、何か別な有用な情報が引き出せることは疑いない。このような方法が赤外線カラー写真で可能になった。これを False Color とよんでいる。太陽光線のもとでは、緑の葉は太陽光線の内の緑色の光の大部分を反射しているために緑色に見える。図-3に示す曲線Aは若草のスペクトル別の反射率、すなわちおのおの波長別に反射されてわれわれの目に到達する光の相対量を示している。この曲線で緑色のところで小さく盛り上がっているが、この若草特有の緑色をつくっているところである。

この若草が、赤外線領域で反射率が非常に大きくなっていることがわかる。したがって、われわれの目に赤外線感知の能力があれば、若草の色は緑色というよりは、むしろ赤外色がまさっていると感ずるに違いない。若葉のころには、われわれの周囲は桜の花の咲いたように、真赤な世界となるはずである。

この図には緑色ペンキの反射率も示した。同じ緑色に見えてもペンキの場合、赤外線領域では全く反射率もたないので、赤外線カラー写真には青色になる。

植物が栄養が十分に生き生きしているか、土壌が植物の生育に適しているか、などを識別できるし、河や海の汚染を知るうえにも有効な手段となる。

5. 三次元精密測定技術としての 地上写真測量

地上写真測量は地上にカメラをすえて撮影した写真をもとに計測す方法を総称する。写真測量法によって得られる精度は、被写体までの距離と撮影基線の長さとの割合に関係するが、地上にカメラを設置する場合、撮影距離を短くでき、またカメラ位置を正確に保つことができるので、精度を高めることができる。

従来はもっぱら両方のカメラ軸を平行にして撮影し、測定は一級図化機を用いていたが、精度をいっそう高めるには取れん撮影が有効であり、それも約 60° の取れん角が望ましいことが確かめられている。しかも、図化機を用いて測定するより、写真座標をコンパレータを用い

て測定し、解析的に測定結果を導く方がいっそうよい結果が得られることがわかった。

解析的な方法によると、カメラ位置や方向にはほとんど制度を受けずに撮影点が選べるので、一番よい結果の得られる場所にすることが出来る利点もある。

このように、電子計算機の力を借りて解析法を導入することによって、地上写真測量の技術は飛躍的にその測定精度を高めることができた。

ただ、従来から用いられている地上写真測量用のカメラは、すべて図化機を用いて測定することを前提としていた。しかし、いっそう高い精度を追求する解析写真測定法では、カメラ自身にも高い規格が必要であり、例えば、レンズの画面距離や乾板面の光軸に対する直角度など、従来カメラごとにメーカーが示している値より一桁ぐらゐ高いことが必要になり、その解明に新しい研究開発が進められている。

このようにして、いっそう高い精度が得られるようになると、写真測定は測定技術としてさらに多くの利用面が開発され、貢献することになるであろう。

なお、四次元写真測量 (Four Dimensional Photogrammetry) という語がつくられた。もちろん四次元とは X, Y, Z の位置を決定する座標値のほかに、時間を取り入れようとするもので、運動する物体、変形する物体、振動の状況などをフィルムを通して正確に定量化しようとするのである。一対の写真の中に含まれる非常に多くの点の動きが測定できることは、1点1点べつべつに測定し、記録しようとする方法の困難さにくらべれば、いかに有利な方法であるかを理解できると思う。

6. 最後 に

先にも述べたように、写真は撮影時点における状態をそのまま乳剤面に記録したものである。その中に含まれる情報を目的に応じて、いかに正確に抽出するかが写真測量の技術といえる。さらに写真は、視覚による判断がきわめて容易な形で情報を表現している。これが、これからの土木設計が自然環境を考慮したり、審美的な要素を取入れなければならないという時代の要請に答える点でも重要な役割をするようになった。

このように、写真測量は電子計算機の併用が進められてから、土木の計画や設計の面にきわめて重要な位置づけがなされるようになってきたのである。われわれは、第三世代の写真測量技術に発展したのである。image science and technology という新しい学問分野の中で、Holography や Television, Laser などとともに、ますますその内容も充実し発展してゆくであろう。