

## 講 座

### 新 し い 測 量 3.

#### 航 空 写 真 の 判 読

中 野 尊 正\*

#### 1. まえがき

これまで広く広告用ポスターに航空写真を利用してきたのは航測会社くらいのものであった。それが最近では、他の会社でも利用するようになったし、子供の雑誌などにも活用されるようになってきた。また、知事や局長、あるいは会社の社長など、管理職の豪華な部屋にも航空写真が壁にかざられているのをみかけるようになつた。たしかに、航空写真のなかには、それをみているだけでも光と影の美しい傑作が多いし、あわせて関係事業の概観がえられるなど実用上の価値も高いから、今後さらに一般に普及することと思う。

航空写真の数多くの利点のなかには、眼のみえる人ならだれにでも何がしかのことを読みとれるという平易性があるし、地域全体の概観がえられるという利点がふくまれている。そのうえ、一般的地図とちがって、作図者による選択といった人為の影響はうけていないから、利用者の目的に応じて、必要な情報を写真から読みとれるという強味もある。また、判読のための技術それ自体は格別に困難なものではないから、それぞれの専門的知識と技術を持ちあわせた人なら、写真の判読によって、それぞれの専門に関する深い内容を読みとることができる。その内容を形態的なものだけではなく、質的なもの、あるいは土地の形成の歴史といったもの、浅層ないし表層の地質とか地下水の状況などが、地域的展開をもって理解できる点では、野外の徒歩ないし機動力を駆使した調査も、あるいはまた一般的地図類も、くわだておよばない利点である。道路、水路など線状にのびる路線調査を新しい計画のために行なうときには、既存の道路などに支配されることなく調査を実施しうるので有利であるし、森林地帯や低湿地帯などのように、近接の困難な地域の調査

あるいは災害地の調査のように、行動に制限をうけやすい地域の調査では、被災概況を写真に記録できるだけではなく、被害状況の調査を適確かつ短時間に把握し、対策立案を円滑にすすめることができることが困難である。こういった意味で、土木技術者にとって、深く利用するかどうかは二のつぎとして、まず計画地域の空中写真に眼をむけられるようおすすめしたい。

#### 2. どの程度のことが判読できるか

写真-1をごらんいただきたい。この地域は、佐原市北部の利根川と霞ヶ浦の間にひろがる、日本でも最も代表的な低湿地帯の一つである。土地の起伏は1mにみたないから、一般的地形図では等高線は1本もはいらない。したがって等高線を手がかりに土地の高低を判断するわけにはいかない。道路も、横利根川ぞいの1本のほか、北佐原の東を南北に走り、横利根川の堤防にとりつくものと、写真の示す地域内のはば中央を東西に走るもの2本しかない。日常生活の大半は写真にもみられる大小無数の水路づたいに行なわれるから、通常の手段で地図作成を行なうことは、大変気骨のおれる地域であろうと判断される。しかし、写真をみてみると、ほぼ水平に近いこの地域では、起伏にともなう写真像のひずみも小さいであろうから、写真に示された道路、河川、水路、集落の形をそのままトレースすれば、地図ができるのではないかと考えられるであろう。まさしくそのとおりで、いかに航空写真が地図つくりにとって有利であるかが理解できる一つの例といえよう。

ある人はこう考えるかも知れない。これだけ仔細に地表の有様がうつされているのなら、また、起伏によるひずみが小さいのなら、いちいち地形図にかきあらため

写真-1 利根川下流部低湿地帯

(左側の河川は横利根川、右は丸江湖)



\* 正会員 理博 東京都立大学教授 理学部

いで、写真をそのまま地図のようにつかってどうか。この考えは写真図フォトマップの初期的な考え方であり、こうした考えが、オーソフォトグラフないしはオーソフォトセンター マップへ発展し、半自動的にそれらを作成するオーソフォトスコープが開発されてきた。この開発は特に、土木技術の面や軍事面からの要請にこたえてすすめられたようであり、1963年に合衆国では5台製作されたときいている。

しかし、写真-1からでもおわかりのように、写真だけでは地名も方位も、河川名も、また役場など公共施設の所在地も不明であるから、適当な方法で補ない、地図の形をととのえてやらねばならない。こうして作られた写真中心の地図がフォトマップで、その利用は今後、公共事業の進むにつれますますかまることと考えられる。

ところで、以上の説明では形態上ないしは地図の形式上の問題との関連において一、二問題になりそうな点を指摘した。しかし、もうすでに気づかれたかも知れないが、水路の形態が、場所によって異なることに注意していただきたい。水路の形、密度のちがう地域のさかいをそれぞれ色鉛筆でたどっていただきたい。きっと、ためらわずに線をひけるほど明瞭に水路の形や密度がまわりと異なるところと、何となくちがうことはわかるが、実線を引くには多少ためらうところのあるのに気づかれると思う。このような水路のパターンは、一般に、規則正しいものは、計画的に比較的新しい時代に開削されたものであり、不規則なものは、自然発生的に比較的古い時代にひらかれたものか、新しい時代のものであっても、無計画ないしは自然発生的に開削されたものである。こうした一般的傾向にてらして、水路のパターンを手がかりとして、土地開発の新旧を判断することができるわけである。

さてもう一つ注意していただきたいことは、これまで前記の作業を行なっている間に気づかれたことと思うが、写真の濃淡に差のあることであり、かつその濃淡が全く不規則にみられるのではなく、ある程度まで地域的なまとまりをもっており、また、前記の水路のパターンと何らかの関係がありそうにもみえる。そこでそれらの関係をとらえるために、表-1のような表を作成してみた。

表-1 水路の特徴の地域差  
(表示してある内容は任意のもの)

地域	水路		色調	地下水位	表層物質	土地利用
	密度 本/km <sup>2</sup>	形態				
A	<i>n<sub>a</sub></i>	大、正	明	低	シルト	集落あり
B	<i>n<sub>b</sub></i>	小、正	明	高	黒泥土	水田
C	<i>n<sub>c</sub></i>	大、不正	暗	高	黒泥土	水田
D	<i>n<sub>d</sub></i>	大、不正	暗	高	黒泥土	水田、沼
E	<i>n<sub>e</sub></i>	小、不正	暗	高	黒泥土	水田、沼
F	<i>n<sub>f</sub></i>	小、不正	暗	高	黒泥土	水田
G	<i>n<sub>g</sub></i>	大、疎、正	明	低	シルト	集落、畑あり

表示の項目の地下水位は、水路の地表面からのくいこみによって判定するから、実体視による観察を行なわねばならない。表層物質は、写真上の色調は地表物質の反射能によってきまることを念頭において判断するから、写真の性質についての多少の理解を前提としている。土地利用は、写真判読によって理解できる比較的容易な項目であるから多少の訓練によって判断可能になるし、日本のような土地利用の集約化されたところでは、土地の性質を判別する有力な手がかりの一つになる。

このように表示された各項目の特徴の総合によって、A,B 以下の各地域の土地の性質を判定することができる。判定は、判読の目的に応じて、それにふさわしい判定を下すことになる。たとえば、土地改良の難易性、道路建設工法の種類、排水路の建設の要不要などのような総合的判定もありうるし、基盤地盤についてさらに詳細な調査を必要とするといった形の判定もありうる。要は、判読の目的に合った項目を選ぶことであり、選び出された項目が総合判断に対してもつ意義を理解したうえで、目的に合った判定を下すことである。項目として採用しうるものは、地表面の現象であり、かつ、写真に何らかの特徴——色調、陰影、形態など——によってとらえられているものであれば、何でもとり入れができるが、無意のものと有意のものの識別を行なうことが、判読による調査の成果の良否を左右する有力なきめ手になることを知るべきであろう。私たちが、地すべりの素因からみた危険度を判定するために作成した判読表の一例を示しておきたい(表-2)。表-2に示す項目は、判読に難易の差はあるけれども、すべて写真判読の可能な項目である。しかしこの表に記載してある内容は一部、野外調査の結果によっている。

### 3. 判読についての一般的注意

航空写真の判読を習得するに当たって、一般的に注意すべき事項は多いが、そのうちの主要なものについて多少の説明をしておきたい。

#### (1) 写真の性質

普通の写真測量に使用される航空写真は、パンクロマチックのフィルムにマイナス・ブルーのフィルターをつけて撮影したものが多いた。したがって、写真判読の場合にも、こうした基準的写真を利用することが多いし、また経費も安くつく。しかし特別の目的、たとえば林相調査、水害調査、地質調査などに当たって、パンクロ写真のほか、赤外写真が利用されることがある。赤外線フィルムに赤フィルターをかけて撮影された画像は、白黒のコントラストが大きく、特に樹種の判別や水部と陸部の識別、ないしは特定の色調の地質の判別に好都合である。また、最近ではカラー フィルムによる撮影が行な

表-2 吉野川流域の地

番号	分類	形態				位置			斜面形						新旧		きれつの有無	地						
		細長いもの	方形のもの	円形のもの	幅広いもの	山麓	山腹	山頂付近	断面形			浸食形	傾斜角	向き	旧期	新期		表層			岩石	構造		
									上昇	平衡	下向							土砂	岩石	混合				
11571	A <sub>76</sub>				○	○				○	○		70	NW		○		○				GS		
11772	A <sub>76</sub>	○			○				○		○		20	N	○			○				A <sub>1t</sub> GS/Grs		
11982	A <sub>79</sub>		○		○				○		○		40	N		○		○				Grs		
12072	A <sub>79</sub>		○		○				○		○		○	25	SW	○			○			○	G	
20032	A <sub>2</sub>		○		○				○		○		○	30	N	○		○				GS		
20052	A <sub>3</sub>		○		○				○		○		○	25	N		○	○	○			GS	13 W 78 W 45 W 85 NE 17 E 85 E 82 E 55 E	
20622	A <sub>25</sub>		○		○				○		○		○	35	SE	○		○	○			Sds	35 W 82 E	
20712	A <sub>27</sub>		○		○				○		○		○	32	SE	○			○			Sds		
20991	A <sub>45</sub>		○		○				○		○		○	30	N		○	○				Sds	78 E 52 S 15 W 71 E	
21252	A <sub>64</sub>		○		○				○		○		○	35	E	○					○	GS		
21381	A <sub>75</sub>	○			○				○		○		○	50	SE	○			○			Holmfels		
21512	A <sub>86</sub>			○	○				○				○	20	SE	○			○			Grs		
21522	A <sub>87</sub>			○	○				○				○	30	SE		○		○			Sds	EW 55 N N 30 E 50 E	
21862	A <sub>112</sub>	○			○	○							○	30	SE		○	○		○		GS		

われるようになったが、コストの点でまで十分におり合いがつくには至っていない。

写真-2をござんいただきたい。東京西郊の高尾山の一部を示す写真であるが、上の半分はパンクロ、下の半分は赤外写真で同じ場所を同じ時期に撮影したものである。撮影は赤外線写真の利用に関する応用的研究のために行なったが、その結果は二つの写真を見くらべていただくことによってほぼ見当がつけられるかと思う。しかし、注意をうながすためにおもな項目をあげればつぎのようになろう。

- ① 色調のちがい、②コントラストの差、③樹種判別の難易の差、④水体と道路の表現差

この写真の比較検討によって、目的によっては赤外写真を利用することの好ましいことを理解できたであろうが、今ではすでに古典的に有名な写真になった写真-3

をみれば、この点はいっそう深く理解できるであろう。写真-3は、伊勢湾台風による浸水の翌日に撮影されたものであるが、水害地域ならびに、水浸道路、家屋、堤防決済箇所、水没地域などを一望のうちにおさめることができている。水害救助対策、応急復旧計画などの立案のうえで、偉大な力を発揮できるであろうことを力づよくうたえているが、赤外写真の偉力であることも念頭に入れてほしいものである。

## (2) 写真のスケール

航空写真的特徴の一つは概観性である。この特徴をフルに活用するためには、判読調査を必要とする地域ができるだけ小縮尺の写真を一度は眼を通してみることである。そのことによって、調査地域の概観的特徴をとらえ、問題の所在を理解することができる。細部の特徴にこだわって、全体をみうしなうことをさけることもでき

すべり崩壊地調査判読表

質		水理		攻撃斜面	土地利用				移動			現地所見		総合判定		
造		地下水	地表水		水田	畑	建造物	荒地草地	森林	移動過程	移動停止	移動なし	備考	所見	判定	危険度
片理	断破層帶	あやつすまいり	あにまいまいり	あやつすまいり	あにまいまいり	あやつすまいり	あにまいまいり	あやつすまいり	あにまいまいり							
		○	○ ○					○	○	○			節理、変理に沿ってはく離		B	19.2
		○	○ ○							○					C	-7.5
		○	○ ○					○	○						B	-4.6
		○	○ ○							○					C	12.5
		○	○ ○		○					○			表土の匍匐湧泉あり 25年の豪雨で土砂くずれ		C	-2.8
69 W 33 N		○	○ ○		○					○			粘土質 (2~3 cm) きれつ多し 石英脈多		A	-2.5
82 W 42 N		○	○ ○		○					○			表土は砂礫質 粘土 石英脈多		A	-14.4
		○	○ ○ ○							○			棚田発達		C	-10.0
EW 76 S		○	○ ○ ○					○ ○					岩石の風化顕著 35年5月に崩落		C	-10.7
N 60 W 35 S		○	○ ○ ○					○	○						C	-13.2
EW 20 N		○	○ ○ ○					○		○			変理少なく硬い 湧水あり		C	-11.6
		○	○ ○ ○ ○		○					○					B	-2.8
N 45 E 30 S		○	○ ○ ○ ○ ○					○ ○					すべりつつある		A	5.0
		○	○ ○ ○ ○ ○						○				頂部にきれつあり		C	-1.2

地すべり研究グループ

るし、航空写真でなければできない大観的特徴の把握も可能にする。そこで、判読作業によく使用される反射実体鏡では、まず拡大鏡をつけないで観察し、必要地域について、拡大鏡による細部観察を行なうようにするとよい。大観的観察には4~5万の写真が手頃であるが、このスケールのものとしては、国土地理院保有の米軍撮影の写真が全国的に整備されている。内容は古く、写真の質は必ずしもよくないが、なお存在価値をもつものと考えている。

小縮尺の写真は概観をあたえるとともに、森林による地表形態の細部の判読を妨害することを、ある程度までカバーしてくれる。写真-4をごらんいただきたい。この写真は、1年に370日も雨がふるといわれ、うっそうたる森林につつまれている屋久島の一部を示す。縦横に

走る線状の特徴ある地形は、地質構造を反映するものであるが、森林はすこしも邪魔にならないことに気づかれるであろう。乾燥地域にくらべて、日本のような温潤地域、ここに森林におおわれた地域の土地の性状の調査は、意外に困難であるが、全く不可能ではないことも理解できたと思う。

#### 4. 色調とそのパターン

航空写真からの地形図づくりと写真判読の基本的に異なる利用態度は、写真からの地図づくりでは、写真の実体像の形態を追跡するのにとどまるに対して、判読では形態的特徴とならんで色調とそのパターンを追跡することにある。形態的特徴は計測、測定の対照になりやすいが、色調とそのパターンは、計測しにくい。そのため從

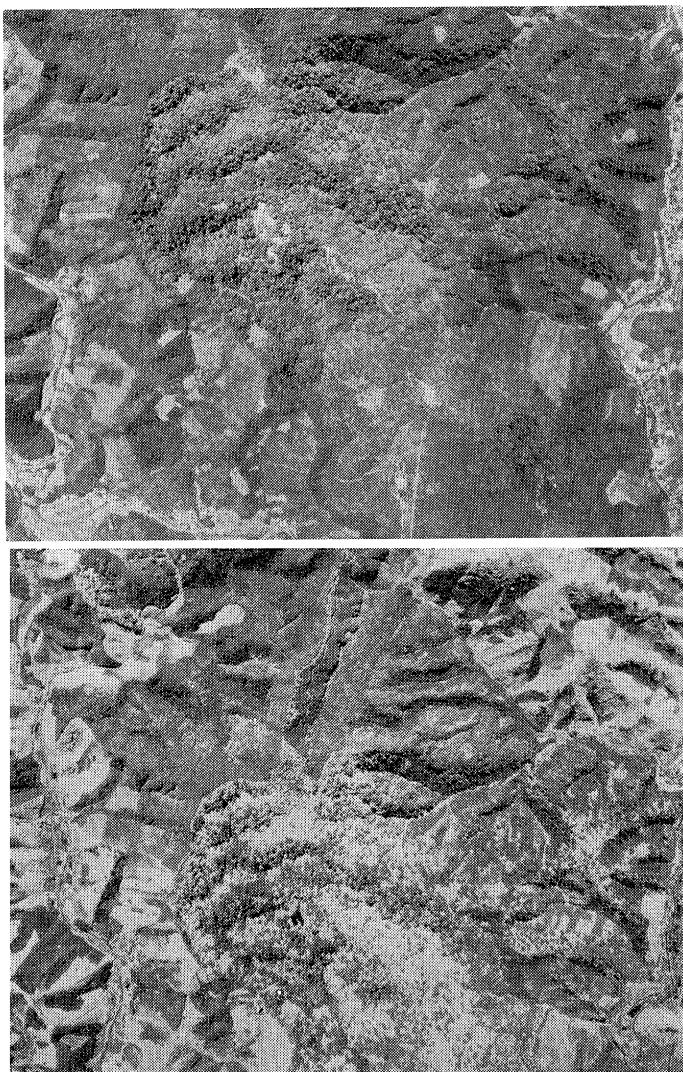
来は、明暗とか、やや明るいなど、定性的区分がとられてきた。前出の写真例でもおわかりのように、写真の明暗には連続的段階がある、"やや"といった表現ではこなしきれない点もある。そこで比色法とか電気法による写真濃度測定を数量的に行なう方法がよく利用されるようになってきた。しかし判読の場合、特に地域的展開をもつ現象の判読の場合、色調だけでなく、そのパターンのもつ意味を考えなければならぬ。写真から土質を判読するエンジニアリング・ソイル・アナリシス法では、微地形とならんで、色調とそのパターンが、土質判定の重要な手がかりに使われている。微地形は形態的特徴であり、色調とそのパターンは写真化学的方法によってとらえた表層物質（表層の水分をふくむ）の特徴であるから、両者つまり微地形と色調とそのパターンを組み合わせて総合判定することによって、土質の判定が可能になる。現在、国土調査法の規定する土地分類調査の地形調査および表層地質調査は、こうした原理にもとづいて作業法がたてられている。

## 5. 専門的知識と地理的常識

すべてに通曉した写真判読の専門家は存在しない。このきわめて簡単な命題が意外に理解されていないのにおどろいているが、このことは別言すれば、土木的判読のためには土木技術者が努力をするか、判読の技術者が土木についてある程度までの専門的知識を身につけることの必要を意味する。具体的にいえば、地質判読の専門家は地形学地質学について理解がなければ成立しないし、土木地質の判読のためには最小限必要な土木的知識を身につけなければならない。と同時に、土木事業がある地域を対象に行なわれるから、その地域についての地理的常識がないと、効果的な判読成果をみちびきにくい。土木的知識のない単なる測量師の判読成果は、土木技術者の側からみればしばしば不満足のものであろうし、こうしたことがたびかさると、判読の成果それ自体をも信頼しなくなる不幸な結果になるおそれがある。そこでこうした点をさけるためには、双方がそれぞれ接近できるよう努力をするとともに、外注に当たって指示を明確に行ない、かつ、成果を検査する方式を確立しておくことがのぞましいであろう。このため、土木技術者の側で、判読についての理解をもつことが現段階ではよりいっそ

写真一2 高尾山付近

上の写真がパンクロ写真、下の写真は赤外線写真



うのぞましいと考えている。また、判読技術者の側では、各自の専門のほかに、隣接分野の専門的知識を吸収するようにつとめることが必要であろう。たとえば土壤判読のためには、地形や地質の知識を、森林生態判読のためには地形、地質、気象、土壤の知識を、といったことである。

## 6. 写真判読の事例——一般的説明

### (1) 地域開発

計画地域のなかでとりあげるべき項目が多岐にわたっているから、必要項目について写真上で検討を加えることになる。社会的経済的条件については写真上で解析できる要素が少ないのであるから、いきおい、自然的条件、技術的条件を中心とすることになる。たとえば、敦賀湾一伊勢

湾を結ぶ日本横断運河について検討を加えるとすれば、写真の協力しうる項目はつぎのようにならう。

a) 運河通過地域および沿線地域の土地利用現況 写真図(1/25 000くらい)を作成するのがよいであろう。必要な諸元をオーバーレーまたはホワイトで写真上に記入する。

b) 主要諸施設の記入 上記写真図を活用し、オーバーレーを利用するのがよい。

c) 開削部および盛土部の記入 同上。

d) 開発予定の用途地域の設定案の記入 同上。

e) 土地条件および水条件の解析 土地条件は写真の実体視を中心にしてすすめ、既存の地質図、ボーリング資料などを補助材料として行なう。水条件は、水系パターン、導水路通過地域については写真中心に解析し、水理関係の資料は別の観測資料を併用する。土地条件では開削にともなう地すべり、山くずれの発生の可能性、特別の工法を必要とするかどうかの予備的調査に主眼をおく。また、エンジニアリング・ソイル・アナリシス法による沿線の土質分布を明らかにし、野外での調査の準備を行なう。軟弱地盤については微地形の特徴からその分布の概観がえられるから、既存ボーリング資料を併用して、問題点をつめておく。

f) 予定用途地域の再検討 e) のデータによって、この計画案を検討し、開発地域の維持、防御(耐震性、水害排除など)のための配慮をする。

g) 主要施設地点周辺の土地条件の細部検討 e) 木の検討結果を前提として、個々の施設予定地点について、予備的検討を加える。

h) 予想される土地利用の変化の写真上での想定 上記の各項の写真上での予察的調査の結果にもとづいて、土地利用変化の想定をたてる。かなり困難ではあるが、開発計画の堅実な達成のためには必要な条件であろう。

i) 上記各項の現地調査用の基図ならびに調査成果を整理するベースマップとしての役割 写真図を活用するとよい。

上記のほかにも活用できる分野があろうと思うが、上記の各項は写真を利用したり、写真判読の活用によって

写真-3 伊勢湾台風被害状況

写真上部白くみえる3本の白線は手前より近鉄線、国鉄東海道本線国道1号線である。写真で黒く写っているのは冠水地帯である。



写真-4 屋久島の一部



より効果的に調査を実施しうる項目と考えている。

## (2) 地域防災

防災活動のなかにも、施設の防災対策、被災者の救助救援活動、破損施設の応急復旧、原形復旧、予防災活動、防災施設計画など多岐にわたる内容がふくまれている。ここではある臨海地域の防災の諸活動について、写真利用の例示をしておきたい。

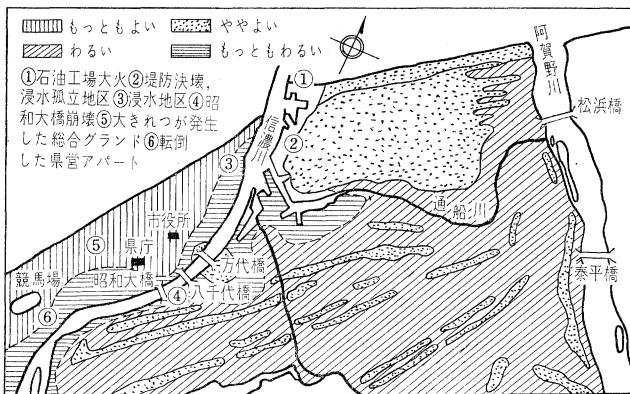
a) 洪水および高潮による水害をうけた場合 水害をうける直前には、天候などの理由から撮影は不可能に近い。しかし、被害をうけた後には、天候が回復することが多いから、とりあえず撮影を行なうことである。斜写真、小縮尺写真、赤外線写真の併用がのぞましい。ヘリコプターによる担当官の視察もあわせて行なうと都合がよいであろう。洪水の場合には、中流部から徐々に数日かかる下流に達するから、毎日1回撮影すると、洪

水の痕跡調査を適確、迅速にすませることができるし、救助救援はもとより、災害復興計画も写真上で行なうことができる。排水後の写真でも、浸水地域と非浸水地域の写真上の特徴が異なるから、道路、橋梁の流出、田畠の流出、埋没、家屋など施設の被害などを把握しやすい。土木技術者のためにはむしろ、排水後の写真のほうが好都合のことが多いかも知れない。

**b) 災害をうけた場合** 臨海地域には軟弱地盤が広く分布するから、建物の倒壊被害、施設の損害、火災と合わせて、津波による水害、0メートル地帯では湛水被害があらわれる。そこで、上記の水害の場合と同様、空中写真による被害調査が有力であり、かつ被害発生と軟弱地盤との関係の分析などに有力である。新潟地震の直後、新潟飛行場を退出した国際航業の撮影機が被災中の写真を撮影しているが、伊勢湾台風直後のアジア航測のそれとともに、防災対策上貴重な資料を提供した例として、関係技術者の忘れることのできない航空写真となつた。

地盤との関係を強く反映する災害であるから、復旧計画のうえでも、地盤の性質の解析を要求されることが多いであろう。この点は、過去の大震災のときにも経験したところであったが、新潟地震では特に、表層の土質が問題になったから、今後しばらくは被害を出しやすい土質の分布を写真上で解析する技術が注目をあびるにちが

図-1 新潟の都市地盤（予察）



いない。筆者が新潟について震災直後に解析した一例は図-1に示すところである。これは空中偵察と一部の現地調査によりまとめたものである。この種の調査は空中写真の利用によるエンジニアリング・ソイル・アナリシス法の適用によってきわめて迅速適確に、予察的成果を提供しうるものである。

### (3) 路線調査

土木関係の事業には、上記のような広域をあつかうケースよりも、道路、鉄道、水路、パイプラインといった線状にのびる工事のための調査が多くふくまれているし、その調査も面的調査とはおのずから方法の細部において異なるものがある。路線調査で効果を發揮するのは空中写真であろう。最近、道路地質や鉄道地質、ダム地質などで写真利用のケースがふえているが、路線調査でみのがせないのは、路線ぞいに土地条件の変化がめまぐるしいということである。このなかには、地すべりのように、路線の維持上、後々までもなやまされる現象もあるから、写真利用によってあらかじめ、こうした問題点をさぐっておくとよい。道路を例にとれば、予定ルートの一つをきめたり、ルートぞいの地質、建設資材の有無の調査、軟弱地盤の存否と確認、地すべりの有無、それをさけるルートないしは工法、カットないしバンクにした場合の隨伴的災害の排除についての予備的配慮、補償のための予備調査など、空中写真によって調査できる項目

は数多い。トンネルの場合には、断層や破碎帶の存在、その規模などが問題になるが、断層など線状現象は写真上で判断しやすい項目の一つであるから、ぜひ一度は写真を読むことをすすめたい。地すべりも判読しやすい項目の一つであるし、路線保持上あらかじめその存否を確認しておくことは、きわめて好都合である。合衆国で地すべり研究に写真が利用されるようになったのは道路建設との関係であったことを考へても、日本のように、今後、山間の道路建設がますます活発化することであろう国では、空中写真はきわめて重要な資料といわねばならないであろう。

## 第19回年次学術講演会講演概要頒布

第I部門	応用力学・構造力学・橋梁等	81編 300円(税込)
第II部門	水理学・水文学・河川・港湾・海岸工学・発電水力・衛生工学等	111編 400円(税込)
第III部門	土質力学・基礎工学・土木機械・施工等	90編 350円(税込)
第IV部門	鉄道・道路・コンクリートおよび鉄筋コンクリート・土木材料・都市計画・空港・測量等	110編 400円(税込)

申込先：仙台市北三番丁124 建設省東北地方建設局内 土木学会東北支部