

航空写真を利用した地質構造の調査

—大町トンネル付近を例にとって—

正員 吉 田 登*
正員 西 尾 元 充**

要 旨 わが国では、航空写真の判読を土木工学の分野に応用した実例はきわめて少ない。

本論文は、水力開発計画における航空写真の利用についてのべたもので、特に写真判読による地質構造の研究の例として、黒部川の大町トンネルの工事にさいしてそう遇した破砕帯付近について行なった研究の結果を示した。

すなわち、写真判読によって、この地域の特殊な地形に注目し、各集水区域ごとに水系の頻度と長さをグラフで示して、この水系の方向性が、破砕帯と密接な関係があることを明らかにした。

なお、水系の型が地形によってどのような形態を示すかについて説明し、この分類を明確にした。さらに、一般的に、土木工学における写真判読の応用の具体的な方法について解説を加えた。

1. ま え が き

航空写真を設計や計画や調査に利用することは、従来からかなり広く行なわれてきたことであるが、最近になって普通の白黒写真のほかに、赤外線写真や天然色写真が実用的に使用できるようになってから、航空写真の持つ正確な記録性という特長が一層に高まり、航空写真は非常に有効な科学的手段であることが、あらためて認められるようになってきた。そしてその新しい利用の分野として、航空写真から地質を調査するという学問、すなわち photogeology (写真地質学) がますます発展し、利用の道をひろげつつある。

最近のように、土木工事が段々大規模になって、いままでは特別の人でなければ訪れることができなかつた所にさへも開発の手が伸びるようになると、その工事の前提となる地質調査もまた大変な仕事となるわけである。

このような場合、航空写真を使って調査ができるとなれば、それは労力の上ばかりでなく、費用の点でも非常に利益であるといわなければならない。実際地図を作ることだけに用いられてきた航空写真は、実は利用の仕方によっては、幾人ものエキスパートが、幾日も山野を調査するかわりに、机の上で十分正確な資料を提供してく

れるし、そればかりでなく、歩いただけでは見つけることのできない貴重な情報を提供してくれるのである。しかし地表面には表土があり、樹木が繁茂している。航空写真に写るのはこれらの地表面をおおっているものである。このような写真をもとにして地下にかくされている地質構造を判読、解析しようとするのであるから、航空写真に示されている平面形、色調差、陰影の様子などが一体何を物語っているのかを知らなければならないし、また、航空写真の立体視によって得られる高低起伏の変化が、どのような原因によるのかを判断するだけの知識がなければならない。そのためには、写真判読 (Photo-Interpretation) の技術を習得して、数多くの実例について一つ一つ調べるとともに、ある時はこれらを全体的に眺め、あるいは統計的に処理したりすることも必要である。

外国の文献にも Photogeology に関するものが最近見受けられるようになったが、地質構造の複雑さや、樹木の繁茂していることなどの点で日本における Photogeology には特有のむずかしさがあるように考えられる。

関西電力 KK では、従来からも水力開発計画にさいしては部分的に航空写真を利用してきたのであるが、これらはおもに米軍の航空写真を主体にしたものであったので、特に黒部第 4 発電所の建設にさいしては、関連地域一帯にわたって、航空写真の新規撮影と、それにもとづく大縮尺の地形図の作成を実施したのである。

しかし、その当時 (昭和 30 年) わが国における民間の航空写真測量は、ようやく器材の整備が始まったばかりの状態であったので、航空写真の撮影と、それを図化するものが、その作業の大部分であって、Photogeology の研究や応用までは考えられていなかったのである。

その後、開発計画の進歩にともなって、関西電力 KK 建設部内においても、いろいろな調査に航空写真を直接利用することが考えられ、また東京大学生産技術研究所の丸安教授から、水力開発計画における航空写真の利用方法、特にわが国ではいまままで、実施されたことのない Photogeology の土木工学的応用や、赤外線航空写真の利用などについての助言を頂いたので、それ以後、丸安教授の指導を受けて現在にいたるまで研究を続けている状態である。

しかしながら、これらの新しい技術の研究と開発を始

* 関西電力 KK 建設部長

** 東京大学生産技術研究所 研究員、アジア航空測量 KK 調査課長

めてから痛切に感じたことは、できるだけ多くの事例について経験を積み、写真にあらわれた特性と実際の地質構造との一般的な関連性をつくり上げなければならないということである。

われわれが研究した内容については、すでにその一部を全国電力会社土木部長会議の席上で発表したことがあるが、黒部川流域の各地域について行なった研究作業のうち、その一つの例として、大町トンネル付近の解析を行なった結果をここに報告したいと思う。

大町トンネル付近を例にとったのは、このトンネル工事は、大きい断層破砕帯のために、完成までに非常に苦労した工事であり、すでにこの工事の詳細な報告書がでて、地質構造の状態もよくわかっているから、写真の解析結果との関連性を調べるのに非常に好都合であると考えたからである。

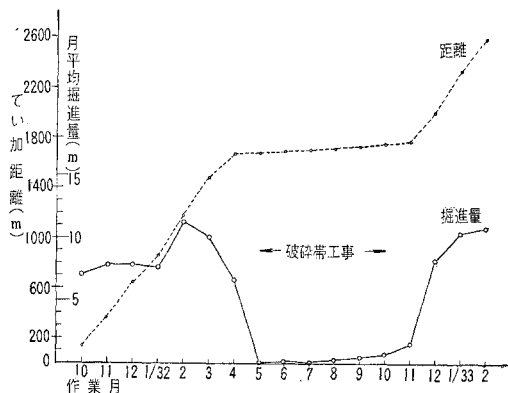
この報告は、地質構造がわかっている地域が、航空写真上いかに表われているかという帰納的な説明の方法をとっているが、研究作業のさいは、むしろ航空写真の解析から地質構造の推定を行なったものである。この報文が、今後航空写真を利用する人々に対して、写真判読における一つの手がかりとなり、また航空写真が—そう土木工事の役に立ち、土木工学のための Photogeology がますます発展するための一助となれば幸いである。

この研究を行なうに当っては、始めにのべたように、東大生産技術研究所の丸安教授に終始御指導を頂いた。また電力中央研究所 地質研究室の田中博士からは現地調査などにさいして種々御指導を受け、北海道大学理学部の佐々教授よりは文献や研究方法などについて貴重な助言を、また東京教育大学の柴田教授からは、この地区についての新しい地質調査の資料を頂いた。これらの方々に対してここに厚くお礼を申上げる次第である。なお研究の資料の整理その他については、関西電力KK建設部水力計画課の門脇慶太郎、錦織達郎の両氏および東大生産技術研究所の津田昌明、アジア航空測量KKの小泉 隆の両氏にそれぞれお世話になった。あわせて感謝する次第である。

2. 大町トンネルについて

大町トンネルに関して

図-1 トンネル掘削工事の進行状況



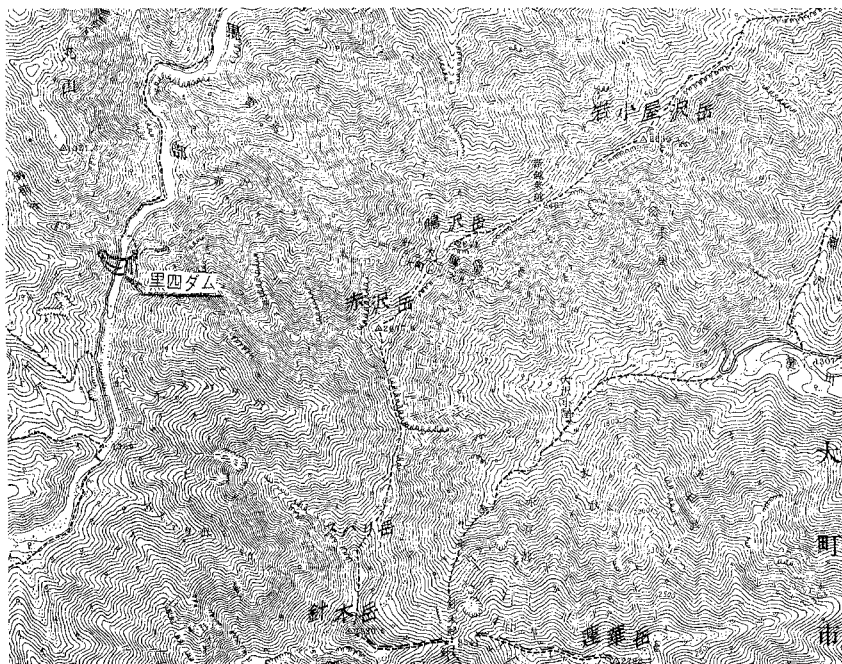
はこの工事を担当した関西電力KKの村山 功氏によってすでに詳細な報告¹⁾が発表されているほか、電力中央研究所の田中博士、ほかによる地質調査報告書²⁾などがある。

この破砕帯工事がいかに難工事であったかは、前記の報告によって明らかであるが、これに引用された資料およびその他の記録から、工事の進行状態をグラフにまとめてみると 図-1 のとおりで、これからもその難工事の状況が察知される。

この原因となった断層破砕帯に関する解析の前に、この付近一帯についての地学的な概況について、主として上記の資料その他にもとづいて紹介したいと思う。

(1) 地形と地質の概況

この大町トンネルが貫通する北アルプスは、黒部川の溪谷をはさんで南北に走る立山・白馬の2つの並列山脈



からなっている飛弾山脈一帯を指すもので、比高が高く風化によって鋭い鋸歯状の尾根が続いている。

トンネルは、大町側の岩小屋沢から、ダム サイト付近に至る 3527 m の距離にわたって、標高約 1550 m の地点を貫通するものである。

図-2 はこの地域一帯を示したもので、この一帯の地学的特徴について、前記の村山氏の報告によると「本トンネルの経過地域は後立山連峰のうち、鉢の木岳、スバリ岳、赤沢岳、鳴沢岳、を連ねるきわめて急峻な高山地帯 (2800~2900 m) の直下を貫通するもので、夏期でも残雪多く、かつほとんど常時密雲に閉ざされて、地質調査には、かなり困難をとまなう地域である。トンネル着手前に専門家により調査されたが、この高山地帯は洪積世の水食地形や、旺盛な隆起による河谷の浸蝕作用により、峰は高く谷は深く、特にトンネル付近は地形的にみて、鳴沢岳—赤沢岳の稜線を境として、その東側(大町側)は N-W 方向の断層に沿った、谷または開口きれつが顕著に発達している。西側は比較的变化が少なく、東側にみられるような方向性をもった谷は顕著ではない。この付近の地質は、前記諸岳を結ぶ稜線およびその両側を構成する岩石の大部分が火成岩類で、わずかに頂上付近に水成岩および変成岩がみられる。

火成岩の大部分が黒雲母カコウ岩で、見かけ上かなり粗粒のものと、細粒で優黒色の捕獲カコウ岩を有するものとあり、前者は主として黒部川溪谷側に、そして後者は主として大町側に分布されている。(以上原文のまま引用)」、ときわめて簡明にのべられている。またこの付近

一帯の地質調査に関して報告されている柴田教授・原喜久男両氏の報文もまた同様で 図-3 の地質図および地質断面図に示すとおりである。さらに電力中央研究所の田中博士らによって行なわれた昭和 30 年以降の調査報告などもあり、これらを総合しても、前記村山氏の結論されるように、工事の開始に当ってトンネル掘削上大きな支障をきたすほどのものでないかと判断されたのは、当然のことといえるであらう³⁾。

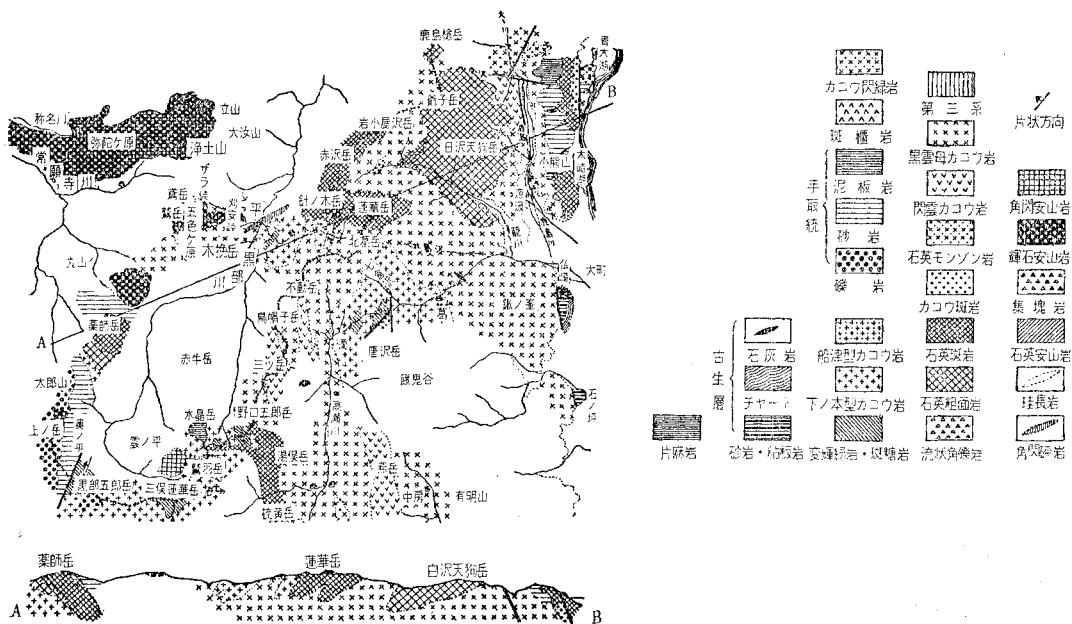
3. 航空写真による調査

すでにのべたように、この地域一帯については、これらの工事が開始される前、すでに航空写真の撮影が行なわれており、さらにこの航空写真をもとにして、精密立体図化機によって、縮尺 1:5000 の地形図が作成せられていたのである。

これらの航空写真は、撮影の時期、航空カメラの種類および撮影飛行高度などの撮影諸元を異にしたいく種類かの写真からなっている。この航空写真に関するデータは 表-1 に示すとおりである。

これらの航空写真を使用して、この付近一帯の地形的な特徴を調査研究するために、立体観察が可能な一連の密着焼航空写真と、さらに調査区域の全般的な状況を知るためにモザイク写真図を準備した。写真-1 はこのモザイク写真を示したものである。これに使用した写真は、いずれも撮影時期の関係から、山稜の一部分に新雪が積り、地表面のデテールを識別するには困難な部分もあるが、地形の特徴をとらえることは十分にできる。反射立

図-3 北アルプス経路地質図
大町トンネル付近の地質および地質断面図
(東京教育大 柴田教授より頂いたもので、発表時よりさらに一部改訂が加えられている)



表一 黒部川流域の航空写真撮影状況

撮年月日	写真縮尺	写真枚数	レンズの種類	その他
30-11-5	1:20 000	35	広角, 焦点距離 15 cm	木 流
"	"	23	普通角, " 21 cm	"
30-11-25	"	73	"	"
30-12-2	"	78	"	"
30-12-3	"	69	"	"
"	"	15	広角, " 11.5 cm	"
30-12-5	"	13	普通角, " 21 cm	"
31-9-3	"	74	広角, " 15 cm	下流(扇状地をふくむ)
31-9-4	"	85	"	"
31-9-5	1:20 000 1:25 000	28	"	"
32-7-29	1:25 000	26	"	"
32-8-17	"	4	"	"
32-8-18	"	5	"	"
33-10-20	1:21 000	64	"	源 流 地 帯
写真枚数の合計		592	編集完了のもののみを計上	

実験用の赤外線写真および天然色写真はふくまれていない。

体鏡を使用して、これらの航空写真を判読した結果、次のようないちじるしい特徴が認められた。

(1) 地形の特徴

大町トンネルを中心とする一帯の地形は、岩小屋沢、鳴沢岳、赤沢岳を連ぬる山稜を中心に、両斜面に発達している浸蝕谷の大部分が、稜線に対してほとんど直角の方向に、規則的な平行状に走り、その谷頭はいずれも山稜において正対している。斜面の形態は、稜線から中腹までは急傾斜をなし、中腹から緩傾斜となり、その間をこれらの谷が深く刻んでいる。

これは山頂から中腹にかけて、さかんな浸蝕作用が現在なお続いており、この浸蝕による碎屑物が中腹以下の斜面に堆積されつつあるものと考えられる。谷の浸蝕はダム サイト側よりも大町側の方が全般的に強く、稜線はこれらの正対する谷によって深くカットされて、一見して非常にけわしい山容をていしている。従って植生もまばらであり、谷の線はいずれもいちじるしい直線性を

写真一 大町トンネル付近のモザイク航空写真



を示している。

このような特徴は、特にこの地域だけについていちじるしいもので、これは中央構造線にとまなう激しい造山運動によってもたらされた地形であり、浸蝕がまず地形の弱線に沿って行なわれるという原則から考えると、これらの直線性の谷は、すべて地形の弱線を表わすものと考えて差し支えないであらう^{(4),(5),(6)}。

トンネルの掘削工事が、破碎帯に遭遇して一時停滞状態にあった頃、電力中央研究所の田中博士は、ヘリコプターによる地形偵察と、その後に行なわれた航空写真の立体観察および 1:10 000 の航測図による地質構造の推定によって、筆者などの所見と全く同様な結論を下しておられる。

このような水系の特異な形態が、どのような状態になっており、また、これがこの破碎帯をともなった断層との間に、どのような関連性があるかという点について、さらにこれらを明確にするために、航空写真をもとにして作成された 1:5 000 の地形図によって、以下にのべるような解析を試みた。

4. 地形図による解析

これに使用した地図は、関西電力KKの依頼によって作られた2色印刷の地形図で、大町側とダム サイト側とをふくんだ大町トンネルを中心とする一部分である。

一応作業の範囲を、大町2号トンネルの全長 3 529 m にわたり、その中心から南北両側にそれぞれ 500 m をとり、巾 1 km の範囲とした。

(1) 集水区域内における水系の状態

この作業区域は、図の中央をほぼ N-40° E の方向に走る主稜線によって、東西の両斜面に分けられるが、この両方の斜面における水系の状態をさらに分類するために、この地形図上において、さらに、これを各集水区域 (Catchment Area) ごとに分け、これを順次 A~E の符号によって分類した。次に航空写真の立体観察と照合しながら、逐次地形図上のすべての谷線を明瞭な線で表わし、水系の状態を明らかにした原図を作成し、さらにこれから水系だけを抽出した水系網図を作った。図-4(a)はこれで、この図から水系だけを抽出したものが 図-4 (b) である。

この図によって、この地域の水系の型 (Drainage Pattern) は、すでにのべたように、平行型でかつ規則的であることが容易に諒解されるであらう。

(2) 各集水区域における水系の頻度

ここで 図-4 に示した水系図につい

図-4 (a) 地形図に記入した全水系を示す

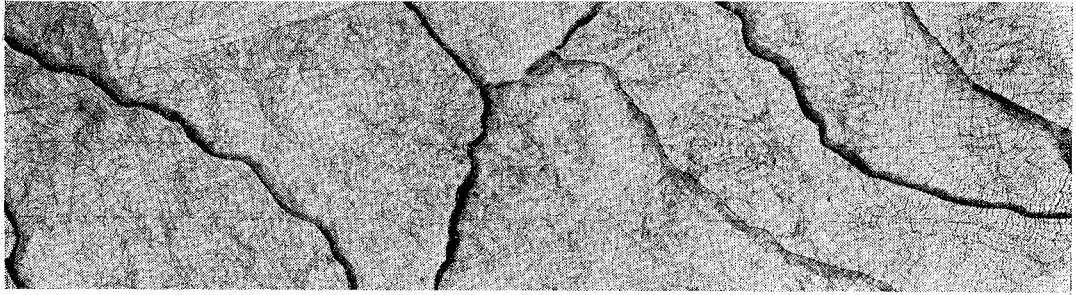


図-4 (b) 大町ルート2号トンネル地域水系網図

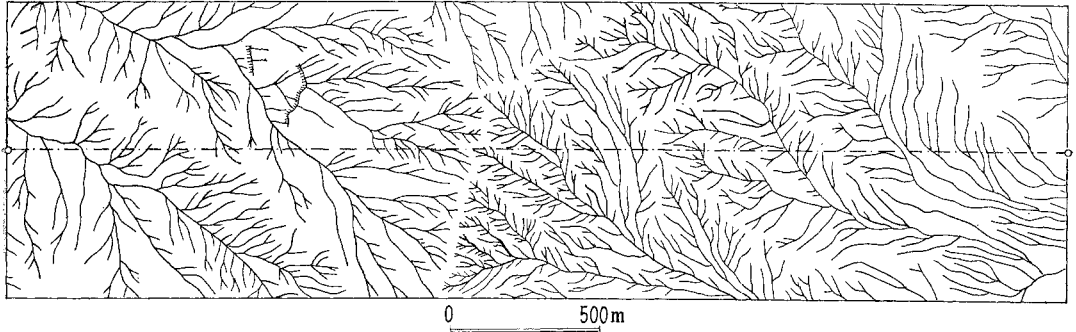
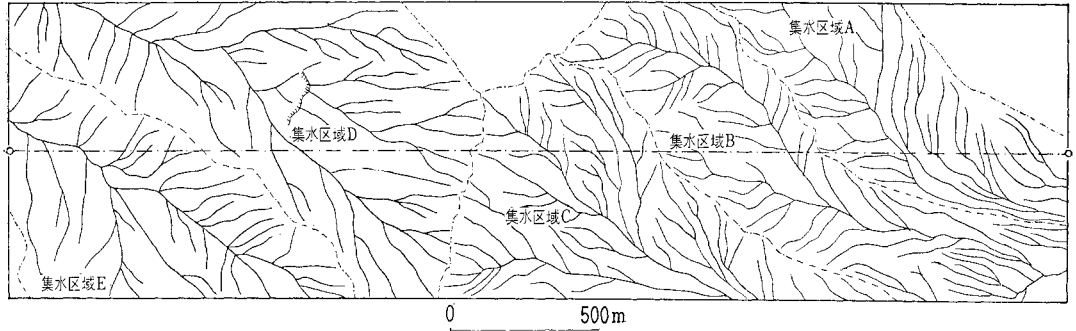


図-4 (c) 図-4 (b) より 100 m 以下の水系をのぞいた状態



て、各集水区域ごとに見られる平行型の Drainage Pattern が、どのような方向の頻度と長さをもった状態であるかを、それぞれの集水区域について対比してみた。われわれは、ここで水系の方向性について考慮することが必要であることを考え、かつ、これを図解的に表現する方法として、従来地形学の分野において使用されてきた方法と違った新しい図示法を試みた。

すなわち、図-4 (b) は全水系を網羅したもので、非常に微細な地形の凹線をもふくんだものである。したがって、水系の長さを一応 100 m 以下のものは、この表現から省略することにした。図-4 (b) よりさらに 100 m 以下を除いた水系図が 図-4 (c) である。

この図をもとにして、各方向ごとに水系の頻度数と、その長さの合計を求めて、これをシュミット網図の上に図示したものが、図-5 (a)~(e) で、全地域についての平均を表わしたものが 図-5 (f) である。このさい水系

の方向角は 10 度ごとのグループにまとめた。

これらの図によって、この地域の各集水区域においては、水系の方向にいちじるしい規則性がうかがわれる。すなわち、この図に表われた水系の最も頻度の多い方向角は、トンネルの内部で実測された断層群の走向と非常によく一致する。この実測資料は、表-2 に示すとおりである。

なお、われわれが実施したこの方法と全く同じ方法を Dr. Melton が発表している。しかし Dr. Melton は、水系の頻度についてのみ測定し、その長さについての測定は行っていないし、また、その目的もわれわれの意図したものとは違ったものである²⁾。

(3) 水系の頻度と密度

本章の各節で、この地域における水系の状態、特にその形態と頻度についてのべたが、一般的に、水系の型によって地質構造を解明することは、すでに明らかにされ

図-5 (a) 集水区域 "A"

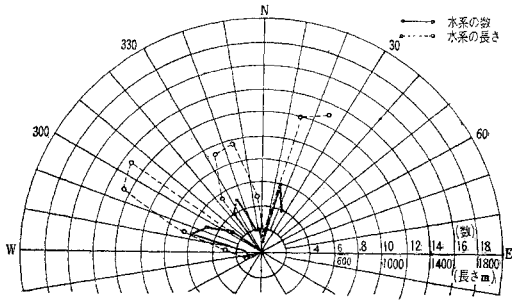


図-5 (b) 集水区域 "B"

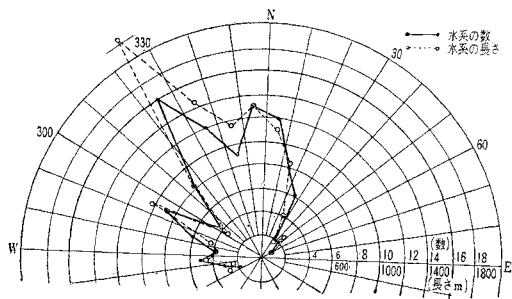


図-5 (c) 集水区域 "C"

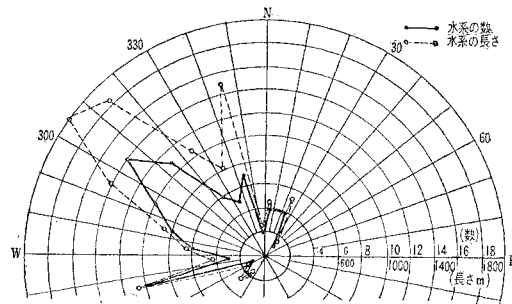


図-5 (d) 集水区域 "D"

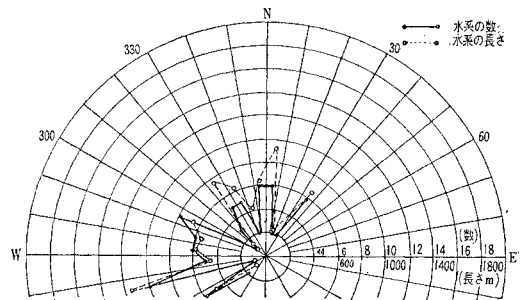


図-5 (e) 集水区域 "E"

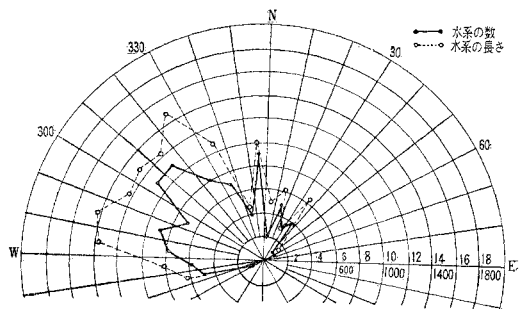
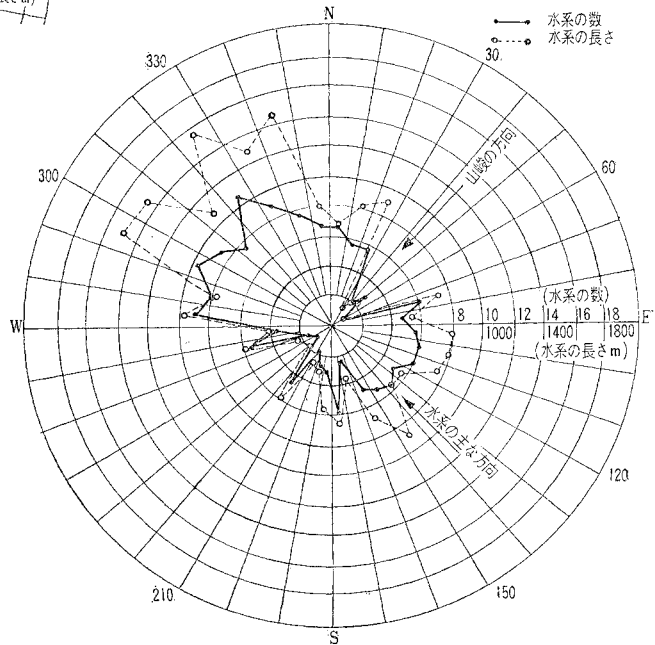


図-5 (f) 各集水区域の平均



ていることであるが、航空写真と地形図を併用する調査によって、地形の定性的な判定を行なう場合には、その地域の水系の型 (Drainage Pattern) が、どのような分類形態に入るものであるかを知るだけでなく、さらに、水系の頻度と密度を知ることが必要である。

従来から、このような谷の状態について、これを数量的に表現するために、水系頻度と水系密度の係数が用いられることがある。水系頻度とは単位面積に対する水系

表-2 断層の実測値

断層の番号	走 向	傾 斜	厚 さ (m)
1	N 30 W	65 E	1.5
2	N 20 W	70 E	4~6
3	"	"	3~5
4	"	69 E	2~3
5	N 32 W	70 E	5~10
6	N 30 W	"	10
7	N 45 W	"	6
8	N 10 W	78 E	5
10	N 20 W	72 E	0.2
11	N 5 W	82 E	0.2
12	N 45 W	65 E	0.6
13	NS	90 E	5
14	N 10 W	66 E	1~2
15	N 2 E	62 E	0.5
16	N 33 W	63 E	0.05
17	N 2 W	50 E	5~10
18	N 50 W	60 E	5
23	N 52 W	49 E	0.4
24	N 28 E	67 E	1
25	N 4 E	39 E	1
26	N 20 W	44 E	2
27	N 16 W	62 E	1
28	N 40 W	50 E	1
29	EW	26 S	1.2

の数、水系密度は単位面積に対する水系の延長で表わされる⁶⁾。

これらの係数を比較することも、また山地の地形の状況および地形とこれを構成する地質との関連性を推測するのに、有効な手がかりの一つとなることはいうまでもない。われわれは、この研究の一端として、これからの研究地域については、それぞれの頻度と密度を測定してこれらと比較してみたいと考え、この集水区域の全部についての係数を測定した。表—3 はこの地域内の係数を示したものである。

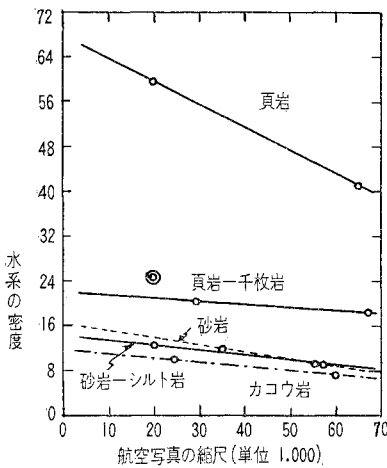
表—3 水系頻度と密度

集水区域 C.A	水系の数 N	水系の長さ Σl	面積 A	水系頻度 $F_s = N/A$	水系密度 $D_d = \Sigma l/A$
A	81	11 685	466 425	173.6	25.05
B	162	19 420	653 275	247.9	29.72
C	260	23 390	633 200	410.6	36.94
D	196	21 090	883 550	221.8	23.87
E	115	14 125	585 325	196.4	24.13
合計	814	89 710	3 221 775	1 250.3	139.74
平均	163	17 942	644 355	252.6	27.84

最近になって、U.S. Geological Survey の W.A. Fischer は、このような水系の密度は、基盤岩の岩質によって変化するもので、多くの例について研究した結果、その関係はほぼ一定であることを発表している⁹⁾。

図—6 はこれを示したもので、これで見れば、頁岩、粘板岩—千枚岩、砂岩、砂岩—シルト岩、カコウ岩などの間にはその水系密度に大きな差があることが認められる。航空写真の写真縮尺との関係

図—6 岩質による水系密度の差と写真縮尺の関係を示す (W.A. Fischer による)



では、頁岩を除いてそれほど大きな変化がみられないようである。

図中に示した二重丸は、この実験地域内の各集水区域ごとに測定した水系密度の平均値をプロットしたもので非常に大きな数を示している。

これはもちろん、日本の地質構造が米大陸と比較して非常に複雑であることを示したものと考えられる。このようにこのグラフに示された数値が、そのまま地質構造の複雑な日本の地形に適用することができるかどうかは

疑問であるが、今後の研究課題の一つとして研究してゆきたいと考えている。

なお、これ以外にも、航空写真を判読するさいの要素となるものがあるが、ここでは、特に本章の始めにふれた水系の型について、解説をしたいと思う。

(4) Drainage Pattern の分類

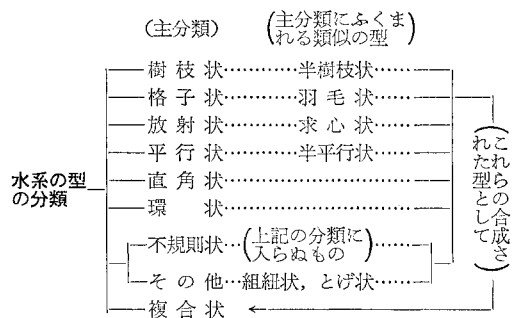
水系の型の基本的な分類については、従来からも発表されたものがあるが、細部の変化について、これをどのような型に分類するかについては、おのおの学者の意見が必ずしも一致しない点があるように思われる。

われわれが、黒部川の開発計画と関連して、Photogeology の土木工学的応用についての研究を、始めてこの黒部川の全流域について始めたい、この Drainage Pattern の分類については、特に日本の複雑な地質構造について独自の考えをもって研究を進めるべきであると考え、従来外国の地形を対象として考えられた特定の意見に偏ることはできないという考え方から、この報文の末尾に掲げた文献およびその他から、今までに発表された多くの分類法を参照して、新しく分類体系をつくり直し、これをもとにして考察を進めてゆくことにした。

この分類の方法については、まだ、その研究の期間も短いことではあり、果たして、これが妥当なものであるかどうかについては疑問の余地がないわけではないので御批判をお願いする次第である。

この分類は 表—4 に示すとおりである。

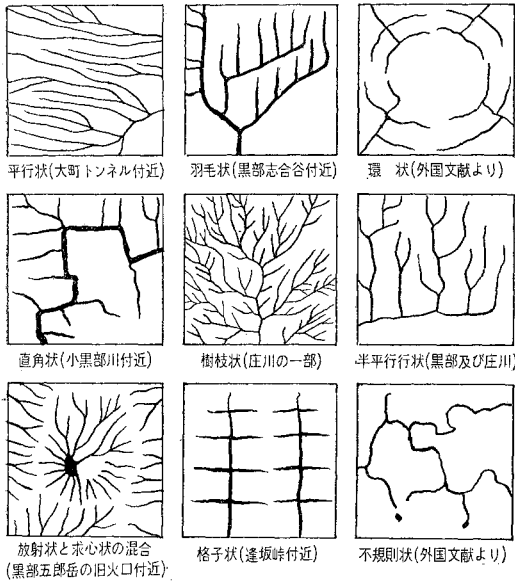
表—4 水系の型の分類



表—4 に示した Drainage Pattern のうち、代表的なものを 図—7 で示した。このように、特異な形態を示す Drainage Pattern は、浸蝕に対する岩石の抵抗性によって、自然発生的に形成される場合や、褶曲作用や断層運動などの地殻変動が、直接または間接的な原因となる場合などによって、それらの形態が定まるものである。

たとえば、円錐形の火山地形に発達する水系は、代表的な放射状の形態を示し、断層地形においては水系が直角に交わる場合が多い。黒部川の十字峽はその最も代表的なものといえるであろう。またドーム状構造の地形の場合に、その水系が環状を示すことなどは、容易に判断されることである。したがって、このような Drainage

図-7 Drainage Pattern



Pattern を航空写真から抽出するか、または正確な地形図から水系網図を作り、これを研究することによって、その地域一帯の構造を推察することができる場合が多いのである。

われわれは、ほぼ黒部川の全域にわたって、この水系図を作ったのであるが、特にこの大町ルート付近の地域一帯にみられるように、Drainage Pattern が平行状であるという、特異な形態を示している地形の生成については、いろいろな要因が考えられる。

Lahee は、このような地形について、構造地質および岩石学の見解から、多くの例を掲げてそのおのおのについて説明しているが、この場合は、Crack や Fracture が平行に起きたために表われた場合の特徴の一例とみて差し支えないであろう¹⁰⁾。

また Lobeck は、このような形態について次のような解釈を下している。すなわち、平行な断層は、ある一定の方向で平行な山稜や谷を作ることがあり、これは並列する岩石の硬さが等しくないために起こり、浸蝕は断層線にそって岩屑を流すので、直線的な谷を刻むものである¹¹⁾。さらに平行か、平行に近い Drainage Pattern は傾斜が一定のはっきりした所に一般

的に発見されることがあるという説もある^{12),13)}。

これを総合すると、この付近一帯の地形が、断層かまたは褶曲運動のような大きな変動を受けたもので、その結果、現在みられるような特徴のある地形となったものであるということが判断される。

5. Stereogram による観察

前節でのべた断層の走向と、水系の方向性との比較はすべてこれらの平面上における相関性を推察するに過ぎない。

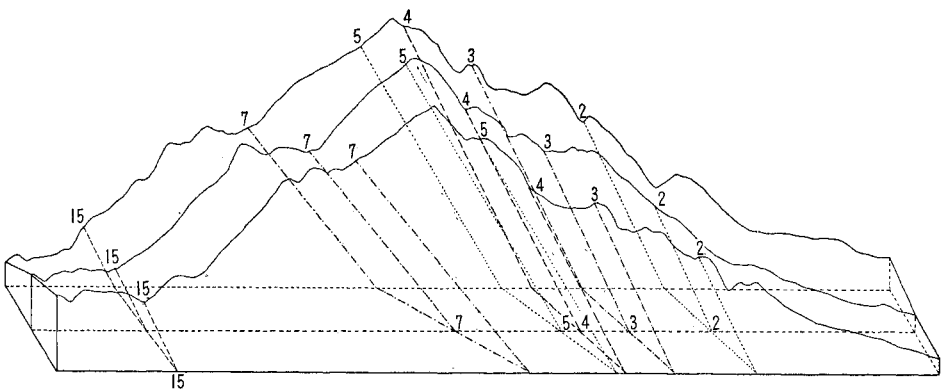
しかしながら、表-2 で示した実測値で明らかのようにこれらの断層はそれぞれ違った傾斜と走向をもって、複雑に交錯している。もし、これらの断層が地表に露出している場合には、地上調査によって確認することができるであろうが、全部のルートを踏査することが非常に困難なことはいまさらいうまでもないことである。

また、航空写真による調査の場合には、写真縮尺の関係や、表層土壌や植生などのために、写真判読を十分な精度で行なうことが困難であると一般に考えられ勝ちであるが、この場合は、トンネル内で実測して得られた断層の走向と傾斜が連続したものと考えて、その実測値をそのまま延長して、その延長線上に相当する地表面の地点付近の微地形を詳細に観察することで、なんらかの徴候を見出す可能性があることは、当然考えられることである。

関西電力 KK で編集した資料には、中心線の縦断面図が作成され、断層の延長の推定線が記入されているのでこれをもとにして、中心線より 100m の間隔で中心線に平行に南北各 5 枚ずつ、計 10 枚の縦断面図を作り、これによって 1 枚の Streogram を作って、断層の走向と傾斜の状態を記入した。

図-8 はこの縮図を示したもので、この図では繁雑を避けるため、中心より南半分の縦断面だけを示し、断層線もおもなものだけにとどめ、多くの要素を省略してある。しかしながら、この方法によって推定した地表面の

図-8 Streogram



位置付近について、航空写真を綿密に判読したが、初めにのべたように新雪によって地表のデテールが失なわれていたために、水系が明瞭に観察されるだけで、明らかに断層の影響であらうと思われる徴候を発見することはできなかった。

その後実施した黒部川の他の地域における調査研究では、このような断層の影響や、さらに地層の境界などを航空写真上で発見することができた実例もあるので、航空写真の撮影の時機については、今後はさらに慎重に考えるべきであるということを感じた。

この方法は、今回のように実際の工事によって、その地質学的資料が豊富であり、実測値が与えられていたので、これらをもとにした帰納法の実験の一例として試みたものであるから、今後未知の地域における調査にさいして、直接この方法を応用することについては、未解決の問題が多いが、現地調査によって、断層の走向、傾斜が測定され、かつその露頭を航空写真上で明瞭にプロットすることができれば、視差測定棒のような簡易な測定器具によって、断層線をトレースすることが可能であるので、今後このような実験作業についても機会をみて発表したいと考えている¹⁴⁾。

6. 斜面の形態と傾斜の分類

山地地形における斜面の形態や、山腹傾斜の状態が、これを構成する地質、特に岩石組織と深い関係があることは、すでに指摘されていることである。斜面形の分類については、航空写真の立体観察によって、斜面を凸斜面と凹斜面に分類するという一つの方法がある。この方法を、多摩川流域で実施した式正英氏などの調査研究によると、山頂部にみられるやや緩傾斜で凸の部分と、山腹の下方に凹形の急斜面があり、山崩れはこの両斜面の変換点から発生していることが明らかにされている。さらに、これらの斜面形の相違は、表層物質の違いとなって現われ、土木工事にも影響があるものと考えられている。すなわち、式正英氏によると「凹斜面上の物質は比較的粗粒の砂および風化角礫からなり、土壌の発達はなく、新鮮な物質で湿性である。車道の敷設などの工作のさいは、いわば不安定の斜面であるから良い条件とはならない」、また「凸斜面の表面は比較的緻密な粘土質で酸化の進んだ土壌におおわれ、表層物質のいちじるしい移動を認めることができない。凸斜面上に植物被覆のある場合は、表層物質の流亡は考えられないが、周囲からの可溶成分の供給が少ないので、植物栄養の点では良好でない。しかし、保全的見地からは安定した斜面といえる（一部中略）」^{15),16)}。

もちろん、複雑な山地の地形が、このような2種類の分類だけでなく、このような考えかたにもとづいて、さらにほかの地形要素を加味して適当な判断が下されるよ

うになり得ることが示唆されている。また傾斜の変換線が、地層の境界を現わす場合もあることも、すでに明らかにされている¹⁷⁾。

これらの考察は、いずれも航空写真の判読によって得られることができるもので、この黒部川流域の研究において行なった地形分類およびこれにもとづく作業を明示すべきであるが、始めに示したモザイク写真などによって、地形の状態が明らかであり、この場合直接的な関連性が少ないと考えたので、次の機会に発表することにして、ここでは省略した。なお、このほかにも、地形図と併用して、地形の傾斜度数に応じて区分する傾斜分布図や、特に断層破碎帯付近を流れるおもな水系について、その河川勾配がどのように変化するかを調べてみたところ、山腹傾斜の地質による変化の状態が明らかにみとめられた。

さらに、地形の全般的な区分、すなわち、台地、砂礫地、崩壊地など、土木工事に関係のある項目に応じて地形分類図などを作成することが望ましいので、本地域でもモザイク写真上に油脂性の色鉛筆でその区分を明らかにして観察した。

このような大地域の地形調査については、すでに経済審議庁国土調査によって、多くの地区についての調査が進められているが、このような作業が、土木技術者の手によって、局部的により精密な精度で実施され、土木工事の計画に実際に利用されるようになることが、これからの計画においては望ましいと考えるのである。

7. 総括的所見について

この実験作業によって、大町ルートの2号トンネルにおいて遭遇した断層破碎帯は、明らかに地表面に現われている独特な地形の徴候、ここでは、水系の平行性とその一定の方向性との間に密接な関係をもつものであることがわかった。

断層の地形的表現については、すでに多くの記述があり、またそれが航空写真上にあらわれる形態についてもいくつかの特徴的な形態をあげることができるが、この地域にみられたような形も、そのような特異なものの一つとみなして差し支えないのである^{18),19)}。

したがって、ここにみられる水系は、すべて地形の弱線を示すものであり、中腹以下の広い面積にわたる砂礫の堆積層が、透水性の地質であるところから、これらの部分およびここから弱線に沿って浸透した地下水が、ほう大な量にのぼるであろうことは容易に想像されるであろう。

しかし、このような地形が常に断層破碎帯をともなうものであると断定することはできない。単に地形のみにとられることなく、広範な地質的情報による総合判断を下すことが肝要である。

従来から行なわれてきた、地質専門家による現地調査を主体とする地質調査と並行して、土木技術者自身が、航空写真を立体的に観察することによって、計画地域一帯の地形の予備的調査を実施し、これらの地域の全体的な地形の特徴を把握するとともに、作業の実施にともなう障害の発生が予想される Weak Point を抽出することは、今後の土木工事の計画をたてる上において、最も必要なことではないかと考えるのである。

われわれは、以前に、東京大学の丸安教授と筆者の一人が発表した報文中で「地質学者が顕微鏡を使って、その微細な結晶の研究をすることと、航空写真を用いて地形のなり立ちその他を大観し、地質構造の大要を知ること、科学的手段としては同じであるに違いない」といったことを、再びここでくり返したいのである。

そのためには、現在行なわれている航空写真の地図化いかえれば航空写真の定測的測定とともに、定性的測定ともいえる航空写真判読の実際的な応用の方法を活用して、航空写真の画像の中に秘められている無限の情報を引き出すことである。

この黒部川の一地域の研究にさいして行なった方法は、そのための一つの手段にすぎないのであって、土木工事の目的と種類によって、最も適当と思われる方法が考えられるべきであらう。

大町ルートの2号トンネルにおける破砕帯工事を、単に難工事の記録として残すだけでなく、ここに示された種々の地学的形態とその性格を、今後の土木工事のための参考にしたいと考えているのである¹⁸⁾。

8. 結 び

この報告は、土木工事に航空写真を応用する一つの例としてとりあげてみたもので、解析の方法その他についても十分とはいえないが、一応土木に関係のある人々にとって、多少とも参考になる点があり、さらに今後ますます作業量の急激な増加が予想される各種の土木工事の計画において、このような応用の方法が実施されて効果を発揮することがあれば幸いである。

Photogeology の土木工学的応用については、その基礎的な部門はもちろんのこと、実際的な応用の分野、特

にわれわれが関係している水力開発計画の部門においても、なお研究を必要とする多くの課題が残されている。われわれはこのような問題について、今後一層実際的な研究を続けてゆくとともに、今までに実施してきた研究の結果について逐次機会をとらえて発表したいと考えている。各方面の御指導と御批判を、お願いする次第である。

参 考 文 献

- 1) 村山 功：大町トンネル破砕帯工事について、土木学会編「トンネルと掘削工法」1959.
- 2) 田中治夫、石外 宏：黒部川第4地点、大町ルート第2号トンネルの地質について、電力技術研究所報告.
- 3) 柴田秀賢、原 喜久男：北アルプスの花崗岩類、地質学雑誌 No. 709.
- 4) 辻村太郎：断層地形論考、古今書院.
- 5) 佐々保雄：断層論に関する講義のテキスト.
- 6) 佐藤 久：日本の断層地形と火山地形の研究、地理 1958.
- 7) Frank A. Melton : Aerial Photographs And Structural Geomorphology (1), Jou. of Geology 1959.
- 8) 中野尊正、吉川虎雄：地形調査法、古今書院.
- 9) R.G. Ray, W.A. Fischer : Quantitative Photography -- A Geologic Research Tool, Photogrammetric Eng. 1960.
- 10) Lahee : Field Geology.
- 11) Lobeck : Geomorphology.
- 12) Thornbury : Principle of Geomorphology.
- 13) Robert Howe : Procedures of Applying Air Photo Interpretation in the Location of Ground water, Photog. Eng. 1959.
- 14) William Donn : Graphical Method in Structural Geology.
- 15) 式 正英：応用地理学の最近の動向—地形分類の発展—、地理 1960.
- 16) 多田文雄：応用地形学の展望、地理 1958.
- 17) 田中治雄：現地調査の際、直接指導による.
- 18) Smith : Aerial Photographic and Their Application.
- 19) Donald R. Lueder : Aerial Photographic Interpretation, McGraw-Hill 1959.
- 20) A.S.P. : Manual of Photographic Interpretation, 1960.
- 21) 丸安隆和・西尾元充：天然色航空写真に関する研究(日英文)土木学会論文集, 東大生産技術研究所々報 1960.
- 22) 丸安隆和・西尾元充：赤外線航空写真とその応用に関する研究(英文), 東大生産技術研究所々報 1960.
- 23) 丸安隆和・西尾元充：黒部川流域における Aerial Photogeology の研究, 1,2,3 部未公刊.

(原稿受付：1960.7.4)