

空中写真のための 感光材料とフィルター

磯山 功

はじめに

科学が著しく進歩し 人間が宇宙を旅行したり 月の地形や地質の研究が写真を媒介として行なわれるようになってきている現在 わが国では地上の地質調査さえその大半が旧来の方法に依存し 酷寒 酷暑の天候に災いされながら 多くの日数と大きな労力をついやして 山野を踏査しているのが現状である。このようなときに 写真を媒体として地質調査を行なうのが写真地質学である。従来は空中写真測量のためや 軍事偵察用に撮影された多くの写真を地質調査に利用してきたが このような写真は 地表の特徴が390 m μ ~760 m μ の光線を記録して できるだけ均一な階調で再現されるように考案されたものが多い。しかし 地表の構成物質間では光線に対する反射率はそれぞれ異なっており〔地質ニュース97号 P.25 右下図 参照〕また スペクトルのどの部分が波長の光を記録するかによっても反射率がそれぞれ変わってくる〔地質ニュース 97号 空中写真講座(3) 23 24 25図参照〕。したがって 地質調査のためには 地表の構成物質(とくに岩石 土質)の違いが できるだけ強調されるようなコントラストの強い写真が偉力を発揮することになるのである。すなわち地質調査を目的とする空中写真撮影のために あらかじめ各岩石ごとの分光反射率の測定を行ない 特定の岩石を強調したり 岩石ごとの区別を写真のコントラストの違いとしてハッキリととらえるためには どのような波長の光線を選択して記録すればよいかが決まされなければならない。

写真というものは 撮影レンズや使用フィルム さらに現像処理がその成果に重大な影響を及ぼすことはもちろんであるが とくに写真地質学の場合においては 使

用するフィルムとフィルターの組み合わせが非常に重要な条件となるのである。以下 感光材料とフィルターとの関係について解説することにする。しかし これらの専門的な事項については 科学写真便覧等を参照してもらうことにして ここではきわめて一般的な事項について述べるつもりである。

(1) 太陽光線について

プリズムを通る太陽光線は 紫から赤にいたる7色に分離されることはよく知られているが 可視光線はきわめて範囲がせまく その領域は390 m μ ~760 m μ の間であって 395 m μ より短い波長のほうが紫外線 760 m μ より長い波長のほうが赤外線である。これを図示したのが〔第1図〕であって これによって光の波長と色の関係がわかる。紫外線にあつては 波長が だいたい 13.6 m μ ~395 m μ までで 紫外線の中には x線 γ 線 α 線 β 線 宇宙線などがあり それらの作用には それぞれ特徴がある。また 赤外線のほうは 波長がだいたい 760 m μ ~500,000 m μ までであるといわれているが 実際に写真での取り扱いの限界は だいたい 1,400 m μ までといわれている。したがって 写真で取り扱うことのできる範囲としては 紫外線 可視光線 赤外線を通じて180 m μ ~1,400 m μ くらいまでと思われる。

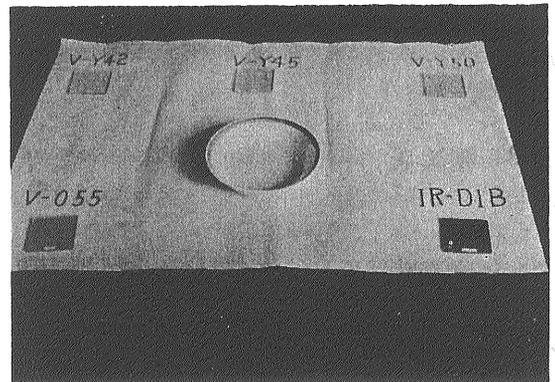
(2) フィルターとは

フィルターとは 光源から発し また物体の表面から反射する分光エネルギーの一部 または 大部分を種々の程度に吸収 あるいは 透過するものであり 主として撮影光学系に装着して撮影の目的を達成させるために供されるものである——と書くとき非常にむずかしく感じ



波 長	
赤	6 7 7 m μ 紫 4 0 0 m μ
黄	5 8 0 " 3 9 5
緑	5 3 5 " 3 9 0
青	4 7 7
"	4 3 6

第1図 光の波長と色



第2図 各種標準フィルター

るが わかりやすくいえば 被写体を有効に再現するために使用されるものである。つまり われわれが一般に用いる場合は 被写体をできるだけ肉眼で見た場合の感じに近づけるために使用するものである。ところで フィルターにはどんな種類があるだろうか。それを使用目的上から分類すると

- 1) 撮影用 2) 投影用 3) 暗室用
- 4) 照明用 5) 透視用

に分けることができる。これらのうち 撮影用は 撮影する感光材料の違いによって

- 1) パンクロ・フィルム用
- 2) 赤外線フィルム用
- 3) カラー・フィルム用

に分類される。また これらのフィルターを用途から分類すると

- 1) 整色フィルター
- 2) 色光強調用フィルター
- 3) 色光分割用フィルター
- 4) 色光補正用フィルター
- 5) 偏光フィルター
- 6) 濃度フィルター
- 7) 特殊フィルター

に分けることができる。

使用フィルムとの関係

フィルムとフィルターとの関係 つまり 各種感光材料に対して それぞれのフィルターを使用することによって どのような現象がおこるか簡単に述べてみよう。

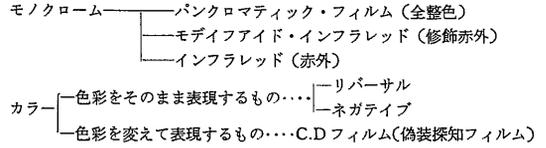
1) パンクロ写真

われわれが普通に使用するカメラとフィルムについて考えてみる。いま フィルターなしで撮影したとすると むかしのいわゆる感色性色素が使用されていなかった時代と異なり 現在では感光材料が非常に改良されて色感の再現は肉眼のそれにだいぶ近づいてきているけれども まだまだ紫外域から青にかけての波長の光線をや断したりあるいは制御することは困難である。と



第3図 a. フィルターなし

第1表 感光材料の種類



※ 外式	リバーサル	(1) コダクローム (2) フジカラー・フィルム (3) さくら天然色フィルム
内式	リバーサル	(1) アグファカラー・リバーサル (2) アンスコカラー (3) ゲバカラー・リバーサル (4) エクタクローム (5) 航空エクタクローム (6) オリエンタルカラー・リバーサル
	ネガティブ	(1) アグファカラー・ネガフィルム (2) イーストマンカラー・ネガフィルム (3) フジカラー・ネガフィルム(映画用) (4) フジカラー・ネガフィルム(ユニバーサル) (5) オリエンタルカラー・ネガフィルム (6) ユニカラー・ネガフィルム

※ 外式の場合は フィルムメーカーによって現像が行なわれる

いうことは オルソクロマティック (富士ネオクローム・さくらコニパン) パンクロマティック (さくらパンクロF・富士ネオパンF) スーパー・パンクロマティック等の感光材料 があらわれて 黄や赤に対して感ずるようになって も 紫外域——紫——青の光線に対する感光性を制御しないと 肉眼の色感に近い色彩の再現は難しい。したがって このような感光材料に対して 一般に Y₁ Y₂ Y₃ 等の記号であらわされた黄色のフィルターが用いられるのは 前述の紫外域から青にいたる波長の光線を遮断または制御して肉感の色感に近づけるためである。たとえば 晴天の野外において遠距離にある被写体をフィルターを用いなくて撮影した場合は 紫外域から青にかけての光線が空中のモヤや水滴 塵埃等によって散乱させられ印画は モヤ状に白くボケて軟調な写真となってしまう (この現象を haze という)。このような場合に 紫外線しゃ断用のフィルター UV または 淡黄色 Y₀



第3図 b. 濃黄色 (Y₃) フィルター使用

Y₁ Y₂ 場合によっては濃黄色 Y₃ のフィルターを使用すれば紫外線から青にかけての光線はしゃ断されて われわれの肉眼の色感に近い印画が得られるのである。

また 大空に浮かぶ白雲をフィルターなしで撮影した場合 印画にはこれが消えてしまうことがある。これも紫外線が散乱するためであって 青空に浮かぶ入道雲をハッキリと撮影するためには この紫外域 およびこれに近い波長の光線をしゃ断する濃黄色等のフィルターを使用しなければならない(第3図 a b)。

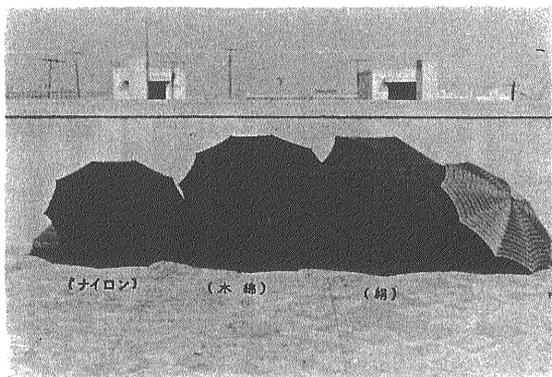
空中写真は 500m~12,000m という高空から撮影し 地形 地物等を明りょうに写さなければならない。このために途中の空気中のモヤや水滴 煤煙 塵埃等によって散乱させられる光線を除去して 良好な印画を得るために黄色 濃黄 橙色 赤色等のフィルターが それぞれその状況に応じて用いられるのである。

露 光

フィルターの種類によって違いが フィルターを使えば 光線の一部が吸収されることになるから それだけ露出時間を延ばしてやらなければならないことは 写真機を扱うものは誰でも知っていることである。がしかし 露光の関係は フィルムの感色性によって違うということとは案外と軽視されがちである。すなわち同じ

Y₁ のフィルターを使用しても オルソフィルムとパンクロフィルムでは露出倍数が違うということに注意すべきである。また フィルターを使用しても露光の過不足で思わぬ失敗を招くことがあるから これも撮影の際は慎重にすべきである。せっかくフィルターを使用して効果を出そうとしても 露光が多過ぎるとその効果はあらわれてこないし 不足すれば強すぎる結果となり フィルターを使用した意味がなくなるので 撮影の際はとくに適正な露出を決定しなければならない。この倍数については 各フィルターの説明書にくわしくでているはずである。

紫 外 線 写 真



第 4 図 a ネオパンFフィルムで撮影したもので 左から ナイロン・木綿・絹・柄物の順であるが フィルターに左右されず だいたい同じトーンにうつっている。

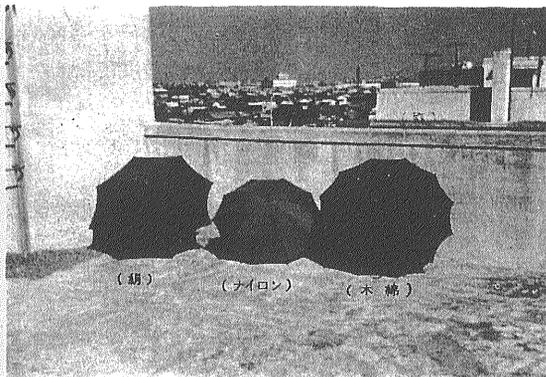
紫外線写真の応用面としては 紫外線による鑑定 紫外線は赤外線のように遠距離到達性がないから その利用面は 主として近距離のものに限られる。紫外線により蛍光を発するような物質 たえば ウラン鉱などの鉱石の鑑定には有利に使用できる。紫外線顕微鏡 紫外線により蛍光を発する物質の天然色写真撮影なども最近行なわれている。

赤 外 線 写 真

前述したように 赤外線は波長が760m μ ~500,000m μ までであるといわれているが 実際に写真での取扱いの限界ははじめに述べたとおり およそ 1,400 m μ までである。この応用面としては いろいろの鑑別等に使用されるが ことに野外においてはモヤを透過する性質があるので 望遠撮影 空中写真等に適するほかに医学上の撮影 繊維類の区別 あるいは絵画等の鑑定 その他最近では犯罪捜査等にも種々の応用面が開拓されている。

余談ではあるが ナイロン系の暗幕で赤外線フィルムの装填を行なったところ フィルムに「ガブリ」を生じてしまったそうであるが その原因を調べたところ ナイロン系の暗幕は赤外線を透過させることが判明したそうである。そこで ちなみに木綿とか絹とか あるいはナイロン系のいろいろな種類の生地の洋傘を 実験的に赤外線写真(一般に市販されているもので厳密には赤フィルムと称した方が適当かも知れない)とパンクロ写真と比較するため撮影したものが(第4図 a b)であって ナイロン系の洋傘は 他の洋傘に比較して白っぽく写り これによってナイロン系の暗幕は赤外線を透過させるので装填には不相当であることが証明づけられたそうである。また 赤外線は水に吸収されることから 地表における水分の含有量の差の識別に有効なことが知られている。

すなわち 普通の空中写真でも湿地帯は黒く 乾燥地帯は白っぽく写るが 撮影高度が高くなるにつれて 大気中の散乱光が影響して 画像は全般的に同じ調子 (tone=トーン)の濃度となり 判読が困難になる場合が



第 4 図 b 赤外線フィルムを使用して撮影したもので 左から 絹・ナイロン・木綿の黒の洋傘 中央のナイロン系洋傘は 両者に対して白っぽい。

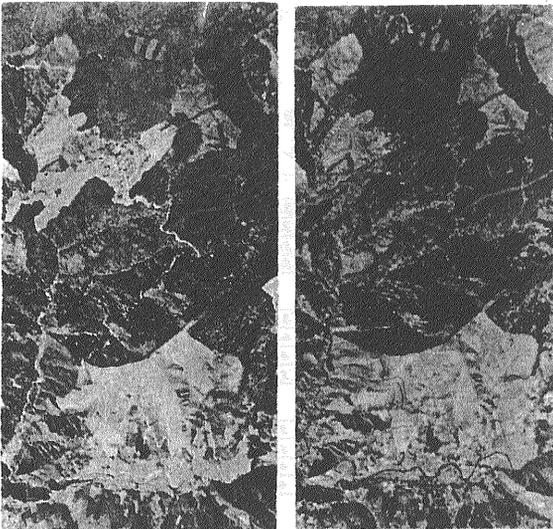
ある。しかし赤外線用フィルムの空中写真(赤外線用レンズ構成をもつ専用カメラとくに有効で精度が高い)の場合は撮影の障害となるモヤの影響が少ないので比較的鮮明な画像が得られるのである。

純赤外線フィルムは赤外線にのみ感光されるもので厳密に精度の高い撮影をする場合はこれに使用するカメラも波長の長い赤外線専用のものが設計されわが国においても某航測会社において3~4年前から活用されている。またこれに使用されるフィルターは680m μ 以上のもので輝く太陽を透して見てもその形さえ見ることができないような赤黒色を呈している。

純赤外線用フィルムの取り扱いについては赤外光線(不可視光線)に対する注意が必要でしかもその有効期限が短いので一般に市販されていないのであろう。また市販の赤外線フィルムは赤外の範囲のフィルムでこれに用いられるフィルターとしては520m μ ~640m μ 以下をシャープに吸収するR₁ R₂等の赤系統のフィルターが適当である。

天然色写真

今日天然色写真(カラー・フィルムで撮った写真)が大変普及してきて誰でも容易に撮影できるようになってきた。これはカラー・フィルムが量産できるようになり値段も適当だし現像も直接製造会社で処理してくれしかも得られた写真が満足できるようになったからである。カラー写真の利点をあげれば黒白の違いで表現されるパンクロ写真よりもはるかに多くの情報が得られることである。そこで地質構成解析の一方法として直接印画を使用する場合とフィルムとフィルターとの組合せを適当に選んだ比色法が用いられるがこの方法については別の機会に述べることにする。



第5図 天城山附近空中写真

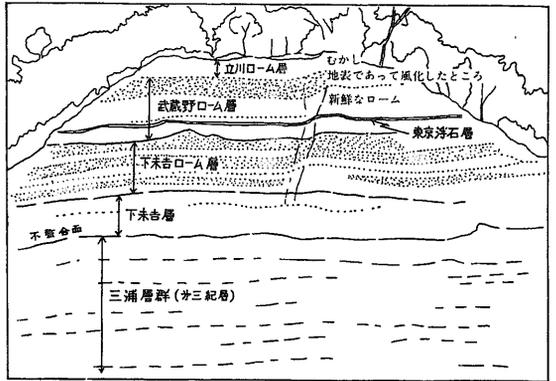
a. パンクロ

b. 赤外

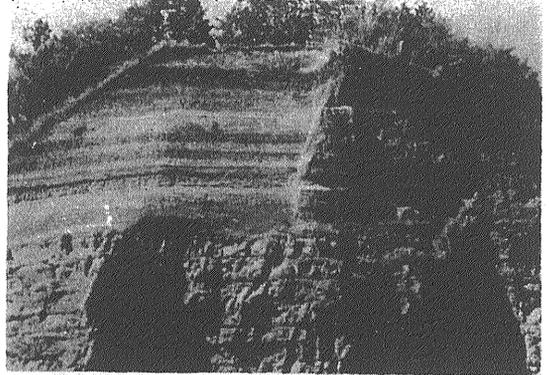
赤外線写真の利点と欠点

赤外線空中写真は戦時中に偵察用として利用されたと聞いているが現在では林野関係で樹種の判別等に利用されまた普通写真(パンクロ)と併用して植生土質 土壌 田畑の耕作物の判別等に利用されている。また最近ではこれらのほかに地質の判読等にもかなり広く利用されだしている。

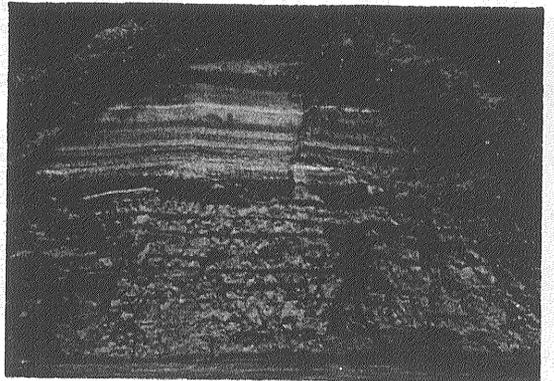
赤外線写真は普通写真(パンクロ)に比してコントラストが強いと葉緑効果 水分の含有量の差 色彩の違い等によって反射率が敏感に変化することからこれらの特徴の識別が容易である。したがってこれらの情報の解析によって被覆物の下の地質および地質構造の推



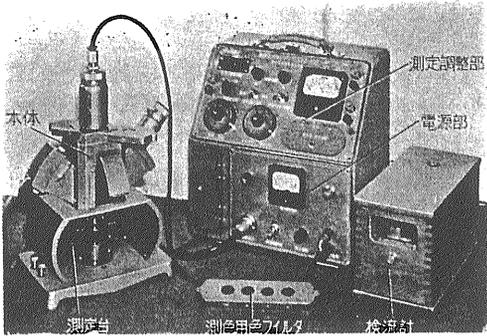
第6図 a, b のスケッチ



第6図 a



第6図 b



第7図 精密型光電色沢計

察ならびに解明に利用する研究が進められている。
この赤外線写真の利点としては

- 1) 樹種の判別
- 2) 田畑の境界や耕作物の判別
- 3) 水系 流水の伏流状態の判読 汀線の決定 含水量の比較 含水混雑物の濃度比較等
- 4) 太陽光線に対する陰影が薄い
- 5) haze (もや)の影響を受けることが少ないので写真が鮮明に写る

ことなどがあげられる。また これらの欠点としては
1) 感光度が低い 2) 有効期間が短かくいつでも入手できるとは限らない 3) 道路などは黒っぽく写り 川と平行している場合など区別し難い 4) 川 湖沼などは黒く写り 底が見えない等があげられる。次に実例によって パンクロ写真と赤外線写真とを比較してみよう(第5~6図)。

第5~6図中 左側(a)はパンクロ写真で 右側(b)はともに赤外線写真である。両者を詳細に比較検討してみると 以下の点が特徴としてあげられる。

赤外線写真では概して道路が黒っぽく写るので 樹間に入ると道路の判別が困難となってくるが 例外として(第5図a b)のように樹間の小径でも草などが繁茂している場合は 赤外線の葉緑効果によって白っぽく表現される場合もある。川は第5図a bを比較すること

によってもわかる通り 水分の関係で黒っぽく写るので パンクロ写真に比べて水系の判読が容易である。植生も樹種により写真のトーンが違うのは衆知のことであるが 赤外線写真においては 葉緑効果があることがさらに顕著にあらわれ 特有の透過性により その判読目的によってはさらに効果が増大する。

第6図a b cは 川崎市末長付近の露頭写真とそのスケッチであるが 赤外線によるほうが 岩質の差が写真のトーンの差にはっきりとあらわれ 細部がよくわかる

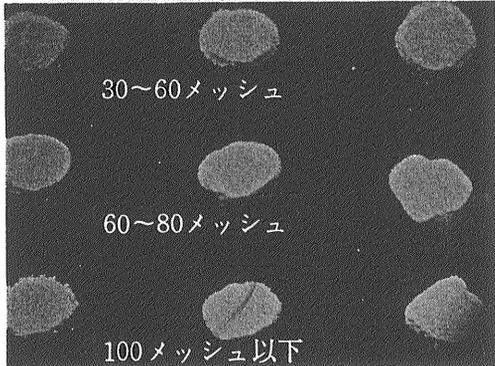
フィルターの応用

物体面の色(表面色)光沢の測定は 今までは永年の経験と勘によってなされていたが 現在では 各種の光電色沢計が考案されて 精密で しかも正確に測定 数値化することができるようになった。すなわち あらゆる物の明度(明るさ) 色度(いろ) 光沢度(つや)ならびに透過色が精密に測定できるようになったのである。精密形光電色沢計(第7図)による鉱石の色度の測定は はじめての試みであって この結果によって 直ちに判定を下すことは危険であるが 一応フィルターを取り換えることによって色度が変わってくるのが判明したのでその結果を簡単に記してみる。今回の実験には 石灰石 ドロマイトの鉱石についてとりあげてみた。上部石灰石 中部ドロマイト 下部石灰石の3種を それぞれ30~60 60~80 80~100 100メッシュ以下の4つの粒度にふるい分け(第8図)して色沢計によって反射率を測定した結果が第2表である(測定は東芝電気KK理化学測定課による)。

以上のように同じ石灰石でも 上層部と下層部と あるいはドロマイトの間では 反射率が異なっていることが—肉眼鑑定では困難—色沢計による測定ではっきりわかる。その差は短い波長の光線ほど大きく これらの違いを空中写真上でトーンの差としてとらえるには赤に近いほう すなわち 長い波長の線をしゃへいするフィルターを用いれば可能となることが予想される。

また (第6図)はRフィルターの測定値を100として

上部石灰石 中部ドロマイト 下部石灰石



第8図 上部石灰石 中部ドロマイト 下部石灰石の測定試料

正石部	試料	X				R G B			x y		
		X1	X2	Y	Z	R	G	B	x	y	
石灰石	30~60	4.5	24.2	31.0	35.0	30.65	28.25	28.2	0.303	0.31	
	60~80	6.7	30.0	38.5	42.45	38.1	35.2	32.5	0.313	0.32	
	80~100	10.1	42.95	55.0	61.7	54.0	50.5	48.5	0.312	0.32	
	100~	10.35	43.75	56.05	62.9	54.75	51.5	49.0	0.312	0.32	
平均										0.31	0.32
(中)ドロマイト	30~60	6.3	26.35	34.15	38.1	32.95	30.9	28.25	0.313	0.32	
	60~80	7.79	32.39	41.65	47.95	46.82	43.83	41.8	0.314	0.32	
	80~100	9.85	39.8	52.3	63.1	49.9	47.6	45.2	0.311	0.32	
	100~	9.9	41.0	52.55	60.4	51.3	48.8	46.8	0.311	0.32	
平均										0.307	0.32
(下)石灰石	30~60	4.26	21.8	27.2	27.55	28.1	25.9	23.7	0.322	0.33	
	60~80	4.85	25.6	31.65	31.1	32.55	29.6	27.1	0.327	0.33	
	80~100	6.76	34.2	42.6	42.2	43.55	40.6	38.2	0.326	0.33	
	100~	7.25	35.9	46.1	45.7	49.15	46.2	43.5	0.32	0.33	
平均										0.326	0.33

* ()内の数字はRを100としたときの各々の割合を示す

第2表 石灰石 ドロマイト 測色値

G, B フィルターによる測定値を換算したもので (第9図)によると この場合 G フィルターよりも B フィルターによる測定のほうが いっそう区別しやすいようである。同種の鉱石でも 含有成分などによって色度がこのように変化するので 異種の鉱石においてはさらに測定差が明りようになり 数値的にこれを区別することが可能である。

最後に 赤外線写真とパンクロ写真とを比較検討してみると それぞれ一長一短がある (第3表)。したがって そのおのおのの長所を把握して効果的に利用すれば これからの写真判読の分野で非常に有力な武器となることは疑いのないところである。また 同一被写体をパンクロ 赤外線 天然色写真と三者併用撮影し それらを比較観察するなり あるいは 光電色沢計や Micro-Photo-Densit-Metor などを利用して写真のトーンの差を定量的に測定すれば 肉眼では区別できない微妙なトーンの差を区別することができ さらに多くの情報が得られ 今後の地質学の研究にも大いに役立つことと思う。

写真があらゆる方面に進出してきた現在 各種フィルムの使用とともに 各被写体に対する使用フィルターの選定も重要課題の1つとなってきたので たとえば 野外調査に際し 同一被写体に対して特定のフィルムを用い フィルターを目的に応じて変えることによる表現の変化に加えて カラー 赤外線 パンクロの3種のフィルムで同時に撮影し これらを比較検討することによって多くの情報をキャッチする場合とがある。しかしながら 同一被写体に対して 前者はカメラ1台 後者はカメラ2~3台使用することになるので 一般の地上撮影の場合は経費の点で また 空中写真の場合は機上でカメラの交換は不可能に近いという致命的な問題がある。そこで安易に考えられるのは 前者のフィルターの組み合わせと交換ということであって 今後の大きな研究課題である。また 写真から各種の情報を得るためには 感光材料の吟味はもちろんであるが 現像処理過程もおろそかにすることはできない重要な要素である。なぜならば 写真は白黒の濃淡(トーン)によって地物

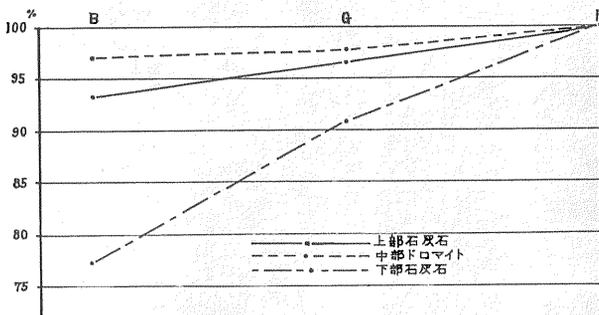
第3表 赤外線・パンクロ写真の比較

	赤外線写真	パンクロ写真
樹木	樹種判定が容易 葉緑効果によりはっきり区別がつく	はっきりしない
道路	黒っぽく写りに樹間の道路は判読困難	白っぽく写る
耕地	作物の反射率により各々toneが異なるので境界等はよくわかる	はっきり区別できない
家屋	色彩家屋によって異なるもおおむね黒っぽく写る	白っぽく写るがだいたい見当がつく
河川	純度によって濃淡あるも 水分のある所は黒く写る	白っぽく写る
湖沼底	黒一色で見えない	条件によっては水面下20m位まで地形々態がわかるとされている
橋梁	白い色彩を施したものでも 黒っぽく写り 判読しにくい	白い色彩は白く写るが赤いものは黒く写る
竹林草地	全体に白っぽく写り 区別がつかない	だいたい区別がつく
土壌	水分の多いところは その透過性により黒く写る	同じtoneに写る
スモッグ	やや鮮明に透過される	はっきりしない
	天候に支配されることが少ない	晴天以外は撮影不可能
黒布地	木綿 絹 ナイロン 赤外線を透過するので白く写る	三者共黒く写る

を表現していて すべての情報はトーンの差によって専門的な立場から必要とする要素を判断しなければならぬからである。

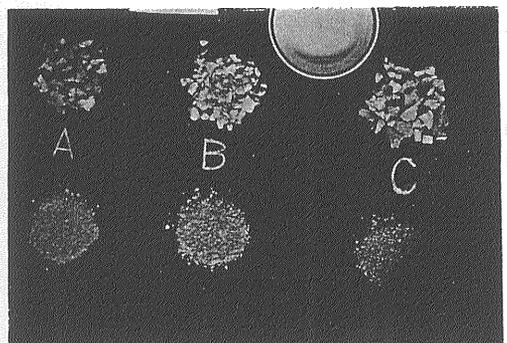
実際に自分で現像してみてもわかる通り 現像時間のわずかな延びや 温度のわずかな変化によっても トーンに直接影響してくるからである。したがって 今後写真の研究を進める上には どうしても 現像処理をする場合に熟練の度合いによる個人の感じ方に頼ることなく 機械的に処理される装置が必要で 個人差や 各葉ごとの変化を除き 均等の写真を得ることにつとめなければならない。はじめに述べたように 世の中が進歩し 科学の発達が進めば 現在 地質調査にたずさわるわれわれとしては 上に述べたように 写真が旧来の調査法によっては不可能なことを可能にし また きわめて困難なことを容易にしてくれることを念頭において 効果的に写真を用い 地質の調査研究の能率化をはかるべきである。

(筆者は技術部測量課)



* Rを100としたときのQ, B. 各々の比反射率を示す。

第9図 色度測定



第10図 上部石灰石(A) 中部ドロマイト(B) 下部石灰石(C)の試料