

カラー合成写真 (Color Composite Photograph)

～LANDSATのMSS映像データのカラー合成写真処理～

佐藤 真也 (オリエンタル写真工業(株)) 松野 久也 (環境地質部)

はじめに

筆者の1人 松野は一条敏明とともに 本誌第265号に“リモートセンシングにおける写真”と題する小論を發表し リモートセンシングにおける写真ならびに写真処理技術の位置付け その現状 さらに将来の課題について総説を行なった。その中で リモートセンシングの有効な手段の1つである“マルチスペクトル写真”とその“カラー合成”について 簡単に述べた。そしてマルチスペクトル写真には 多くの利点がある一方、処理工程数の増加によるアクセスタイムの増大は避けられないことが もっとも大きな問題であることについて言及した(一条・松野 1976)。

わが国では マルチスペクトル写真が リモートセンシングとしてかなり広く用いられている一方 LANDSATのMSS (Multi-Spectral Scanner) による映像データの白黒フィルムの形のそれ(以下単に“LANDSATデータ”と呼ぶ)が EROS データセンターから購入され 広く利用されている。この場合 データ処理として根本をなすのは写真処理 とくにカラー合成写真処理である。LANDSAT データの場合には 前述のマルチスペクトル写真の処理とは根本的には同じではあるが また別な問題を多く含んでいる。

わが国における LANDSAT データの写真処理についてみると 一部の民間企業およびその研究所において 各々の目的に沿って 個々に行なわれている。これらは その内容は殆んど公開されていない。一方 リモートセンシング技術の研究開発に関連して 国の委託による写真処理に関する技術研究も一部で行なわれているが これらは大学におけるそれらと同様 研究の域を出していない。

しかしながら 現実には LANDSAT データの実際の利用は着々と拡大しつつあるが ともしればカメラ店に持込まれて処理(カメラ店で取次ぎ 実際は大量処理を目的とするカラーラボで処理)されている。この場合利用者が満足すれば問題はないが LANDSAT データの内容が充分に理解されていないことに起因する問題もあって 時によってはマイナスの効果の方が大きい。

マルチスペクトル写真を例にとれば マルチスペクト

ル ビューワーでカラー合成像をスクリーンに投写し これをカラー写真に撮影する方法が かなり広く行なわれている。一部のカラーラボで用いられている合成機による方法 三原色のそれぞれに相当する単色のカラー透明陽面を作成し これらを重ね合わせることによる合成法などがある。これらの方法による処理は比較的簡便であり コストも比較的低廉であって LANDSAT データのカラー合成写真処理にもかなり普及しつつあるものと考えられる。

筆者らは多くの協力者とともに 日本鉱業会の「リモートセンシング利用技術の基礎研究」を始めとして とくに地質・鉱物資源探査に対する利用の面から LANDSAT データの写真処理について 多角的に検討を続けて来た(松野・丸山 1976 松野・田島・星野・山田 1975) LANDSAT データの写真処理中 もっとも一般的なものは カラー合成写真処理であって これは地質・鉱物資源探査ばかりでなく あらゆる分野に共通するものである。この状態は 国内国外を問わず同様であって 高い品質のカラー合成写真を出来る限り低コストで供給することが大きな課題となっている。これは EROSデータセンターにおける重要な問題の1つでもあり 近い将来におけるわが国の LANDSAT データの受信施設の運用にかかわる1つの重要なテーマでもあろう。しかしながら デジタル処理に比べて その報告は殆んどない。

以下 筆者ら——多くの協力者を含めて——が これまでに検討して来たことを基にして LANDSAT データのカラー合成写真処理と関連する問題について記述してみることにする。

合成写真

ここでいう“カラー合成写真 (color composite photograph)”は 通常の写真技術でいう“合成写真 (composite photograph)”とは全く異なるものである。後者は 2つ以上の写真の中から それぞれ異なった被写体を取り出して 1つの写真に合成するものである。このような写真処理技法は 商業写真の分野で 頻繁に用いられている。蛇足であると思われるが その工程を示すと第1図の通りである。例えば「入道雲が浮ぶ

海を背景にした車」のポスターは このようにして製作されるのである。

この場合 次に述べる LANDSAT データのカラー合成処理のように原データの種々の特性を考慮して再現性を重視する必要はなく マスクのコントラストを高めさえすればよいのである。ただし合成に際しては LANDSAT データのカラー合成処理と同様に 厳密なレジストレーションが要求される。

LANDSAT データからのカラー合成写真

・感光材料

一般のカラー写真の場合は $0.4\sim 0.7\mu$ の可視光線をネガカラーフィルムを通してプリント 又はリバーサルフィルムで直接再現する。前項で記した合成写真用に使用する感材も含めて これらは市場で大量に処理されるため 目的に合った各種感光材料が豊富に供給されかつ 利用されている。しかし LANDSAT データを写真処理する際使用するための感光材料は 今のところ初期段階にありかつ消費量も少ないため 目的に合ったものが製造されていない。したがって 使用される感光材料は市場にあるものの中から選択して使用せざるを得ない。一般的にみて LANDSAT データ写真処理には 少なくとも次のような特性をもった感光材料が要求される。

- ① レスポンス関数が高いこと
- ② グラニユラリティーが低いこと
- ③ 寸度安定性がよいこと
- ④ 階調再現性がすぐれていること

合成フォールスカラー

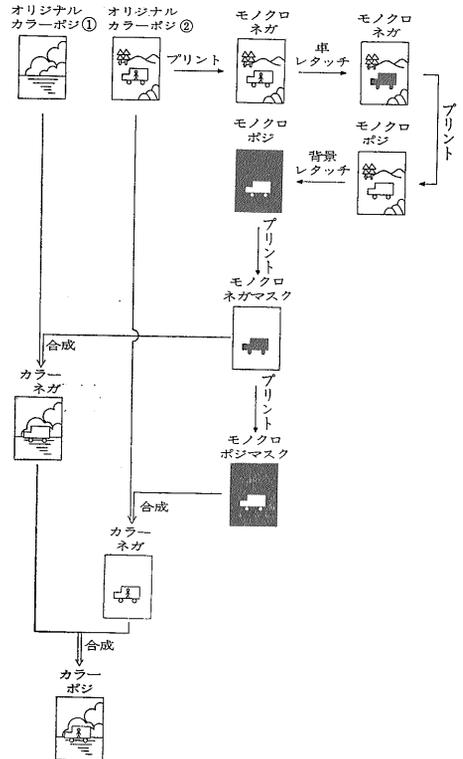
LANDSAT データのカラー合成写真処理について記述する前に “フォールスカラー (false color)” という用語について簡単に触れておくことにする。通常我々が手にするカラー写真は 厳密な意味で天然色写真ではない。例えば 我々が目で見た色が赤・青・緑・黄であるとすると。この場合カラー写真では このような2色以上の色を 見た色と同じく同時に再現することは現実に不可能である。これが可能な感光材料の開発は将来に残された1つの大きな課題である。

さて LANDSAT データからのカラー合成写真は 通常カラー写真が天然色(写真)に近い発色のものであるのに比べて 全く異なった色再現となる。LANDSAT データは $0.5\sim 0.6\mu$ (緑) $0.6\sim 0.7\mu$ (赤) $0.7\sim 0.8\mu$ (近赤外) および $0.8\sim 1.1\mu$ (近赤外) の4バンド(波長領域)の映像データをモノクロームフイ

ルムに変換したものである。すなわち $0.4\sim 0.5\mu$ (青)のバンドを欠いている。これら4バンドのうちの2~3バンドを用い それぞれに適宜任意の色光を与えて合成されるためである。マルチスペクトル写真は 青・緑・赤および近赤外の4バンドからなり 前三者にそれぞれ対応する色光を与えて発色させると 天然色カラー合成写真が得られるのである。これに対して 前述のように LANDSAT データからのカラー合成写真は すべて現実の色とは異なった “フォールス (偽似) カラー発色” となる。

また マルチスペクトル写真からの赤外フォールスカラー合成写真は 赤外カラー写真と同等のものが得られるのに対して LANDSAT データからのそれは $0.7\sim 0.8\mu$ あるいは $0.8\sim 1.1\mu$ の赤外波長領域の何れかを用いて合成され 前二者とは同等のものでない。

したがって LANDSAT データからのカラー合成に当って 発色の仕方が植物被覆が赤系になるそれは “赤外カラー発色型フォールスカラー合成 (IR color like false color composite)” である。一方これが緑系になるような合成の場合 通常カラー写真による写真と似ていることから “自然色発色型フォールスカラー合成 (natural color like false color composite)” と呼ばれる。



第1図 合成写真処理

第1表 オリジナルフィルム (P_0) デュープフィルム (N_1) の濃度表 (香川=1112-01120)

ステップ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
オリジナルフィルム (P_0)	0.42	0.44	0.47	0.50	0.55	0.60	0.66	0.76	0.84	0.94	1.09	1.26	1.50	1.92	2.42
デュープフィルム (N_1)	2.40	2.39	2.37	2.31	2.27	2.22	2.14	2.06	1.96	1.83	1.72	1.51	1.26	0.86	0.39

・処理工程

LANDSAT データのカラー合成のうち もっとも標準的な 4・5・7バンドを使用した赤外発色型のフールスカラー合成写真の作製を例にして その工程を記すと概ね次の通りである (第2図)。

・処理の実際

前項の処理工程図に従って実際の処理ならびに処理における種々の問題点について詳述する。

USGS の EROS データセンターから入手する LANDSAT データは 実際には何度かデュープを経たフィルムである。 CCT (Computer Compatible Tape) を入手して これから直接オリジナルフィルムを作製するのが常道であろうが ここでは EROS データセンタ

ーから入手した70mmモノクロフィルム (ポジ) を オリジナルフィルムとする。

① 密着ネガデュープ (モノクロフィルム)

第1の工程はオリジナルモノクロポジフィルム (P_0) から モノクロ密着ネガフィルム (N_1) を作製する (第2図①)

② 拡大ポジデュープ (モノクロフィルム)

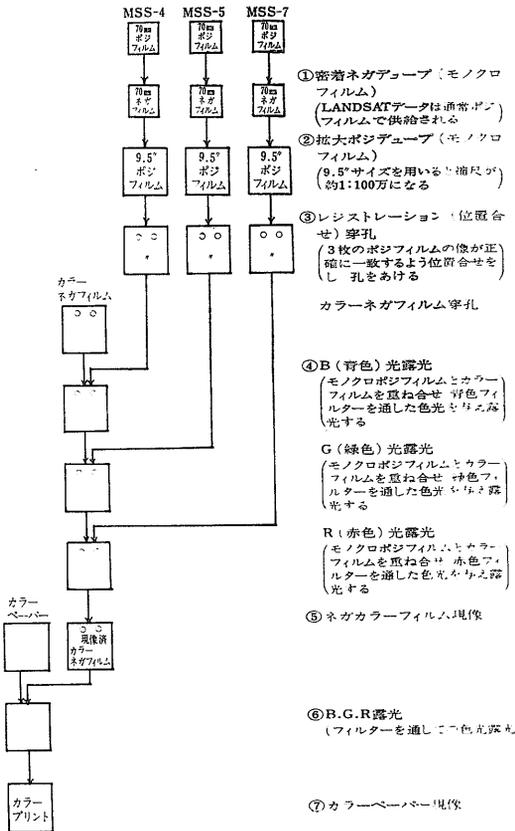
モノクロネガフィルム (N_1) から 拡大モノクロポジフィルム (P_0) を作成する (第2図②)。

これらのデュープ作業における品質管理は すべてデータのフレーム内のグレースケールを基準として実施される。 すなわち オリジナルフィルム (P_0) のグレースケールと デュープされた密着ネガデュープフィルムのそれとを比較し 両者の関係が正反対になるようにする。 この関係の確認の手順は次の通りである。

- (i) 濃度計 (デンシトメータ) によりオリジナルフィルム (P_0) のグレースケールの各ステップの濃度を測定する (第1表)。
- (ii) 各ステップの濃度値 = D をセクションペーパーにプロットする。 このとき Y 軸に濃度を取り X 軸に等間隔に15目盛をとる (第3図)。
- (iii) 密着ネガデュープ (N_1) について (i) と同様にグレースケールの各ステップの濃度測定を行なう (第1表)。
- (iv) (iii) の濃度値を (ii) と同様にセクションペーパーにプロットする。 この場合 第3図のように X Y 座標の第2象限に N_1 の濃度 第3象限に P_0 の濃度をプロットすると両者の比較に好都合である。

ここで X 軸に平行な線をはさんで両者が対称の関係にある曲線となれば P_0 から N_1 のデュープ作業が正しく行なわれたことになる。 第2図の②工程で作成された拡大ポジフィルム (P_0) について 第1象限を利用して上記と同様な手順で濃度曲線をプロットして P_0 のそれとの比較評価を行なう。

拡大ポジフィルムの拡大率は約3.37倍とし 縮尺が約 1 : 1,000,000 となるようにする。 これは LANDSAT データが この縮尺率で使用されることが多く また70



第2図 カラー合成処理工程

mm フィルムデータをそのまま用いてレジストレーションする場合よりトンボ（指標）合せ——後述——がより正確に出来るからである。

③ レジストレーション穿孔

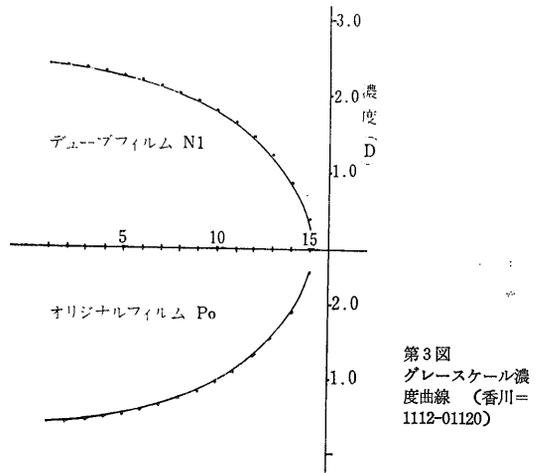
最終カラー合成写真の品質に影響を与える重要なファクターの1つは 合成に用いる各バンドの映像の正確な位置合わせ（レジストレーション）である。ここで次のステップの重ね合わせ露光を正確に行なうために レジストレーション穿孔を行なう（第2図—③）。

- (i) ②の作業で作製した3枚の拡大モノクロポジフィルム(P₂)が 各々同一サイズであるかを確認する。
- (ii) MSS-4及び5を重ね合わせ フレーム内にある4ヶ所のトンボ（指標）を正確に合わせて フィルムの適当な場所に穿孔する。
- (iii) MSS-4及び7を重ね合わせ 上記と同様穿孔を行なう。

④ B(青)・G(緑)・R(赤)露光

このステップは合成ネガカラーフィルム(CN₃)を作製するために 各バンド別にそれぞれの色(B・G・R)光を与え露光する（第2図—④）。

- (i) まず最初に未露光のカラーネガフィルムの任意の位置に穿孔を行なう。
- (ii) MSS-4のポジフィルム(P₂)とカラーネガフィルムを重ね合わせ（この時に穿孔による“孔”を用いて両者を固定する）青(B)の色光露光をする。
- (iii) 次に MSS-5のポジフィルム(P₂)とカラーネガフィルム(B光露光済)をパンチ孔を用いて重ね合せ 固定し 緑(G)の色光露光をする。



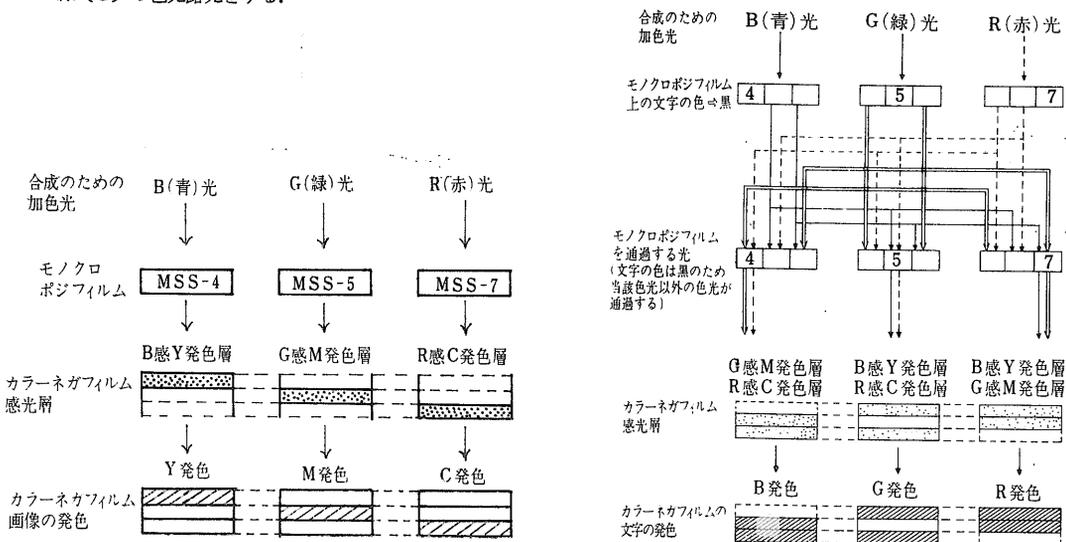
第3図 グレースケール濃度曲線（香川=1112-01120）

- (iv) 同様な作業により MSS-7を使用して赤(R)の色光露光をする。

加色光とカラーネガフィルムの発色の関係は 第4図 a, bに示す通りである。

⑤ カラーネガフィルム現象

露光完了後 ネガカラーフィルム現象を行なう。これがポジ印画作製のオリジナルネガとなる（第2図—⑤）。この通常の処理ステップは次のようになる（第2表）。こうして現象処理されたネガカラーフィルムの品質基準は モノクロームデュープと同様にグレースケールに求める。



第4図 加色光とカラーネガフィルムの発色の関係
a 画像の発色 b 文字の発色

第2表 ネガカラーフィルムの現像処理ステップ

	液 温 度 (°C)	処 理 時 間 (分)	合 計 処 理 時 間 (分)
① 発 色 現 像	24±0.3	14	14
② 停 止	23~25	4	18
③ 硬 膜	23~25	4	22
④ 水 洗	23~25	4	26
⑤ 漂 白	23~25	6	32
⑥ 水 洗	23~25	4	36
⑦ 定 着	23~25	8	44
⑧ 水 洗	23~25	8	52
⑨ 水 滴 除 去	23~25	1	53
⑩ 乾 燥		60	113

第3表 カラーペーパー現像処理ステップ

	液 温 度 (°C)	処 理 時 間 (分)	合 計 処 理 時 間 (分)
① 発 色 現 像	31	4	4
② 漂 白 定 着	30~32	2	6
③ 水 洗	30~32	2	8
④ 仕 上 安 定	30~32	1	9
⑤ 乾 燥	65~80	1	10

種々の組合せによるカラー合成写真

一般には3色のフィルターと4つのバンドのポジフィルムの2~3とを組み合わせることによって 数10種類のフォールスカラー写真が得られる。さらにオリジナルフィルムのもつ特性(第3図に似たグラフで表示される)を変えることによって 無限に発色の異なったフォールスカラー合成写真の作成も可能である。さらにトーンセレーションされた各ステップに任意の色を与えるもの ネガとポジとを組み合わせることによる合成など極めて多様な処理が考えられる。要は対象により また目的によって処理法が決まるのである。

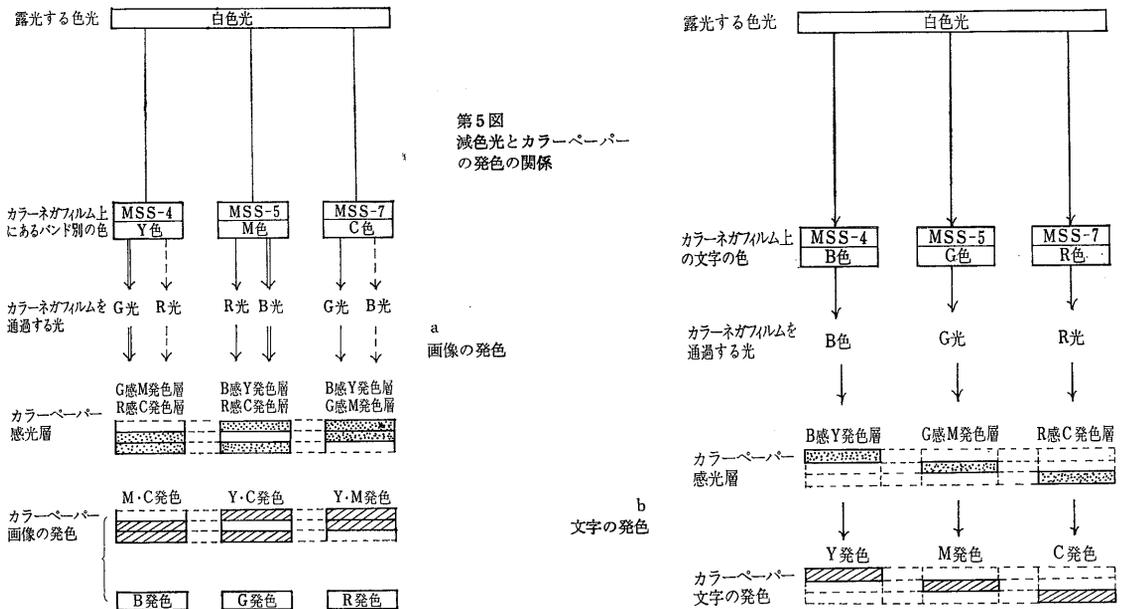
最も一般的に行なわれているフィルターとバンドとの組み合わせによるフォールスカラーの合成写真の4例については 既に本誌 No. 274 号の表紙に掲げられている。ここでこれらを含めて一般的な組み合わせによるフォールスカラー合成写真の色表現の特徴をまとめてみると第4表の通りである。表の例は 画質のよい香川の映像(ID No. 1112-01120)を用いて作成されたものである。

⑥ B(青)・G(緑)・R(赤)の露光

カラーペーパープリント(CP₄)を得るためには カラーネガフィルムに色光を与えて露光する(第2図⑥)。この際フィルムとカラーペーパーのY・M・C感光層の性質が異なるので 白色だけの露光ではグレースケールの再現が不可能であるため B・G・Rのうち2色を与えて露光する(第5図 a b)。

⑦ カラーペーパー現像

カラーペーパーは露光終了後現像される(第2図⑥)。このための通常の処理ステップは第3表の通りである。



オリジナルポジフィルム (P₀) は EROS データセンターから購入し これから作成された拡大ポジデューブを用いて合成されたものである。作業に当って オリジナルフィルムが持つ階調・特性の再現に細心の注意が払われたことはいうまでもない。

写真処理技術

・モノクロフィルムの特性

次に LANDSAT データの写真処理について技術上の問題について述べてみることにする。

以上述べた写真処理過程では モノクロフィルムのデューブ作業が何度か行なわれる。したがって作業内容は勿論であるがその前に 感光材料としてのフィルムの特性を理解する必要がある。

通常感光材料の写真的な特性をもっとも端的に表わすものとして 特性曲線がある。この特性曲線を得るためには まずテストしようとする感光材料に対して ウェッジをネガ (写真1) として露光する。この時の露光量=Eの対数と感光材料にできたポジ画像の濃度との関係をグラフに表わすと第6図のようになる。この曲線を感光材料の特性曲線という。すなわち露光量=Eの対数と濃度=Dとの関係を示す曲線である。このグラフは 露光量を多くした場合の濃度の変化を示している。

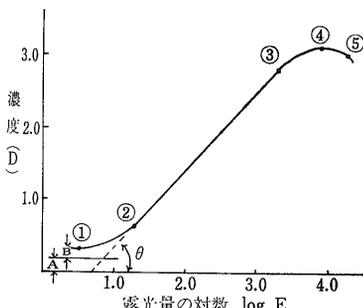
*特性曲線の各部の名称

- A ベース濃度
- B カブリ濃度

- ①~② 足部
- ②~③ 直線部=露光量の対数に比例して濃度が増加する
- ③~④ 肩部=露光量の増加に対して濃度の増加がゆるやかになり 最後は水平になる
- ⑤ ソラリゼーション部=露光量が増加するにも拘らず濃度が低下しはじめる



写真1 階段ウェッジ



第6図 感光材料の特性曲線

第4表 フィルターの組合せによるフォールスカラー合成の色表現

フィルター				赤外反射植物被覆	高密度市街地	水域	耕地
4	5	6	7				
B	G		R	赤茶	青緑	青	薄茶黄
	B・G		R	赤茶	青緑	濃青	薄茶
G	B	G	R	黄茶	青	濃青	薄茶
	W		R	茶赤	青緑	濃緑	薄茶
B・G			R	茶	緑	緑	薄茶
			B	R	G	緑	赤紫
R	B		R	緑	赤紫	濃赤紫	薄黄
			G	青緑	赤茶	濃赤茶	薄緑

- ④ 最大濃度
- ① 最低濃度
- tan θ ガンマ=直線部分とX軸で作る角度のタンジェントで特性曲線の傾斜を示す

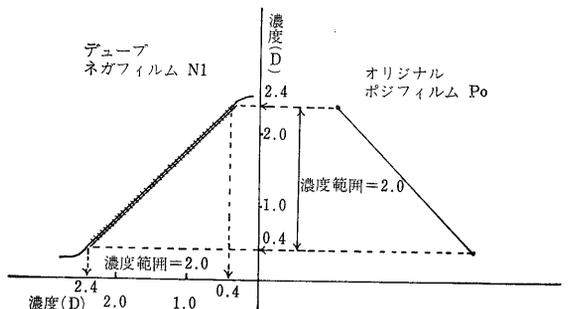
フィルムのデューブ作業をする場合 ガンマ=1の感光材料で直線部を使用する (第7図)。

後述するように LANDSAT データのオリジナルフィルムの特性は

- 最大濃度 (maximum density, D max)=2.4
- 最小濃度 (minimum density, D min)=0.2
- 濃度範囲 (density range, D-R)=2.0
- ガンマ=1.0 である。

これを上記の条件でデューブすると ポジフィルムの最大濃度 2.4 がネガフィルムの最小濃度 0.4 へ ポジフィルムの最小濃度 0.4 がネガフィルムの最大濃度 2.4 におきかえることができる。また濃度範囲も 2.0 を維持できる (第7図)。

これがガンマ=1でなく 1.5にしたデューブの例を示すと第8図の通りとなる。図からも判るようにポジフィルムの最大濃度 2.4 をネガフィルムの最小濃度 0.4 に合わせるとポジフィルムの最小濃度 0.4 はネガフィルムの最大濃度 2.4 にならずに 1.75 になり 濃度の正しいお



第7図 ガンマ=1.0の直線部を利用したデューブ

きかえができない。また濃度範囲も変ってデュープされる。更に直線部を使用しないと おきかえられたフィルム濃度が直線でなくなる。

・モノクロームフィルムデュープ

モノクロフィルムが正しくデュープされたかどうかはグレースケールの再現性の比較によって 調べられる。ここで NASA の DATA USERS HANDBOOK 中に記述されているデュープ再現の項を引用すると第9図に示す方法でデュープ作業をしているとある。

この図についての説明はかなり専門的である。従って これを少し簡単に説明すると次のようになる。

この表は第1象限から第4象限まで順次デュープされた際の特性曲線が描かれている。すなわち

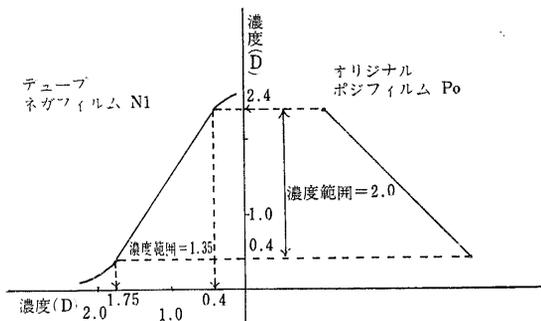
① 第1象限 EBR (Electron Beam Recorder) による映像データオリジナルモノクロポジフィルム (P₁) へのアウトプット

Y軸に濃度 (D) X軸に露光量の対数に相当するセンサーの値をとり オリジナルポジフィルム (P₁) の特性を示している。これによるとオリジナルポジフィルム (P₁) は D-max が2.1, D-min が0.1であり更にガンマ (γ) が1.0であり 濃度範囲が2.0であることが判る。1例としてガンマが異なる モノクロームプリントを示すと写真 2の通りである。

NASA の DPF (Data Processing Facility) では通常このオリジナルフィルム (P₁) は使用せずに 厳重に保管されている。一般に配布されているものは次に述べるワーキングネガフィルムからの成品である。

② 第2象限 オリジナルポジフィルム (P₁) よりワーキングネガフィルム (N₂) へのデュープ

Y軸に露光量を対数で X軸に濃度 (D) をとる。ポジフィルムからネガフィルムへのデュープであるからポジフィルムの D-max がネガフィルムの D-min にポジフィルムの D-min がネガフィルムの D-max にな



第8図 ガンマ=1.0の直線部を利用したデュープ

る (第10図)。図中の矢印がお互に対応している。ワーキングネガフィルム (N₂) は D-max=2.4 D-min=0.4 ガンマ=1.0 濃度範囲=2.0となっている。このデュープ作業において D-max D-min がともに0.3 づつ濃度が上がっているが その理由についての記述がない。

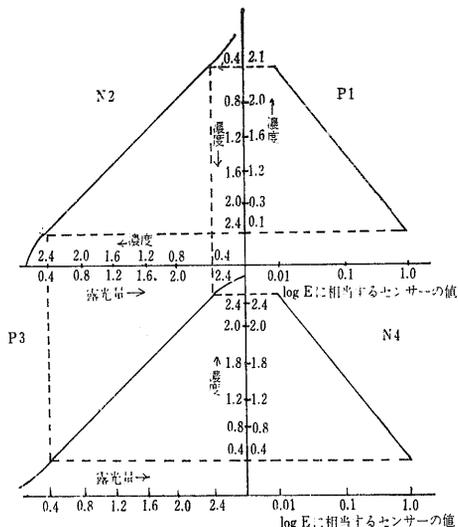
③ 第3象限 ワーキングネガフィルム (N₂) よりワーキングポジフィルム (P₃) へのデュープ

Y軸に濃度 (D) X軸に露光量を対数でとる。ネガフィルムからポジフィルムへのデュープであるからネガフィルムの D-max がポジフィルムの D-min にネガフィルムの D-min がポジフィルムの D-max になる。ワーキングポジフィルム (P₃) は D-max=2.4 D-min=0.4 ガンマ=1.0 濃度範囲=2.0である。

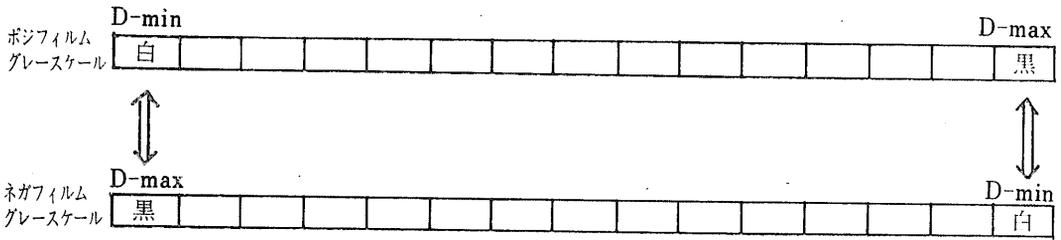
④ 第4象限 ワーキングポジフィルム (P₃) より配布用ネガフィルム (N₄) へのデュープ

Y軸に濃度 X軸に露光量の対数に相当するセンサーの値をとる。配布用ネガフィルム (N₄) は D-max=2.4 D-min=0.4 ガンマ=1.0 濃度範囲=2.0となっている。

我々がよく利用する Eros Data Center では NDFP から EBR よりアウトプットされたポジフィルム (P₁) を取得し このポジフィルムから 各種デュープ作業をしており ネガフィルムは (N₄) を配布し ポジフィルムは (P₃) ないし (P₅) を配布している。本誌ができあがっているころには EDC でも デュープのためのコンピューターシステムが導入され 独自に EBR LBR



第9図 写真処理の調子再現



第10図 グレースケールの濃度の対応

(Laser Beam Recorder) により アウトプットされていると思う。

以上がモノクロフィルムの デュプリケイティング プロセスであるが これはあくまで理論であり現実に我々の手元に入るフィルム (成品) は ほとんどが $D_{max}=2.4$ $D_{min}=0.4$ $\gamma=1$ 濃度範囲 $=2.0$ という基準に合っていない。これはモノクロフィルムが持つ感光材料としての特性が濃度範囲 $=2.0$ の範囲で $\gamma=1.0$ の直線性を維持するのが困難であるからである。なお第1象限の EBR からの出力では 特殊な機器を使用して非直線性を補正したり γ を変更したりしている。従って第2象限以降のフィルムデュプでは デュプ時の許容誤差を定めて最大濃度 2.4 ± 0.12 最小濃度 0.4 ± 0.12 $\gamma=1.0 \pm 0.1$ としてある。とは言え「感光材料」の項で述べたような特性をもち より再現性のよい感光材料の使用 感材処理薬品 処理方法 プロセサーのコントロールなどをうまく組み合わせ オリジナルフィルムが持つ特性を維持させていかなければならない。

グレースケール

上述のフィルム成品の特性を判断するためにはグレースケールが利用される。グレースケールは EBR で画像を作製する時 各画像毎に電氣的に作製しプリントア

ウトする。このグレースケールはセンサーに入射するエネルギー電圧に関係するが EBR では最大放射輝度から放射輝度ゼロまでを 256 段階に分けてインプットする。これをフィルムに記録する際に 15段階に変換しているこの変換を直線的に $1/15$ にしているかどうかは定かでない。第 256 番目のステップが最大放射輝度を持っているが 実際にはある限度以上のセンサ信号電圧がある場合はこれを切り捨てている。

いずれにしても各フィルムの画像下部にあるグレースケールは15ステップであり ポジ画像の最右端は放射輝度ゼロで黒 最左端は最大放射輝度で白となっている。なお各ステップ間の濃度差は MSS のカウント数とフィルム透過率が直線関係になっているため 最大透過量の $1/14$ になっている。但しフィルムの最小透過率がゼロでないため 高濃度部が $\gamma=1.0$ からはずれ コントラストが低下してしまう。

またセンサ電圧と光学濃度の関係では 最大濃度の20%以下は直線関係でなくなり 最小濃度に近づくにつれて γ は低くなる。

以上のように グレースケールは同一シーンでもバンド毎に相違している。例えば同一シーンの MSS-4 と MSS-7 を比較した場合 D_{max} D_{min} γ とともに常に同一となっていない。このことは後述するカラー合成プリントをする時点で重要な意味をもってくる。

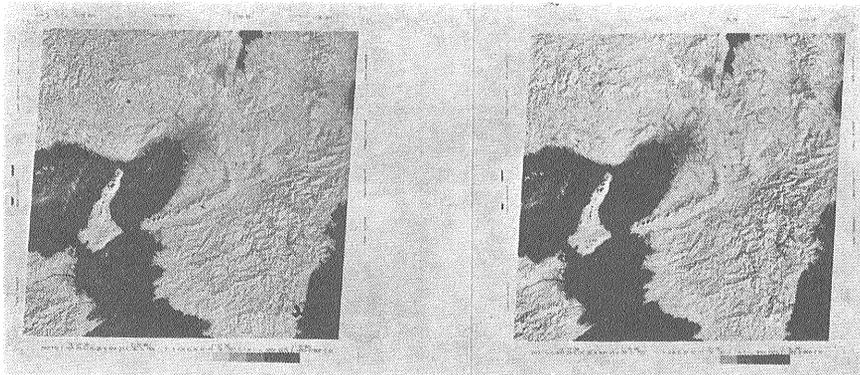


写真2

(左)
 $\gamma=1.0$

(右)
 $\gamma=1.5$

第5表 土佐湾・室戸岬の濃度表 (入手したネガフィルム N₁)

ステップ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	濃度範囲
土佐湾 MSS-4	1.89	1.85	1.80	1.75	1.68	1.62	1.52	1.36	1.23	1.02	0.79	0.53	0.28	0.10	0.07	1.82
土佐湾 MSS-5	2.21	2.19	2.15	2.10	2.06	2.02	1.93	1.82	1.70	1.52	1.28	0.93	0.54	0.19	0.12	2.09
土佐湾 MSS-7	2.20	2.16	2.14	2.09	2.04	1.99	1.94	1.79	1.68	1.49	1.23	0.88	0.54	0.18	0.12	2.08
豊後 MSS-4	2.08	2.03	1.99	1.91	1.84	1.77	1.65	1.51	1.32	1.06	0.77	0.55	0.33	0.16	0.12	1.96
豊後 MSS-5	2.10	2.05	2.01	1.94	1.87	1.78	1.66	1.48	1.31	1.04	0.76	0.53	0.33	0.16	0.12	1.98
豊後 MSS-7	1.97	1.90	1.84	1.76	1.68	1.54	1.42	1.25	1.06	0.84	0.59	0.40	0.24	0.12	0.10	1.87

モノクロフィルム (成品) の特性

・サンプリング

通常 LANDSAT データには前述したような問題が含まれており かついくつかの処理過程を経た数世代目かのモノクロフィルム (成品) を原データとして カラー合成を行なわなければならない。このような条件のもとで作製されるカラー合成プリントでは 色調がシーンによって合わないこと——これだけが原因ではない——をはじめ いくつかの問題がある。以下 このあたりの理由について検討することにする。

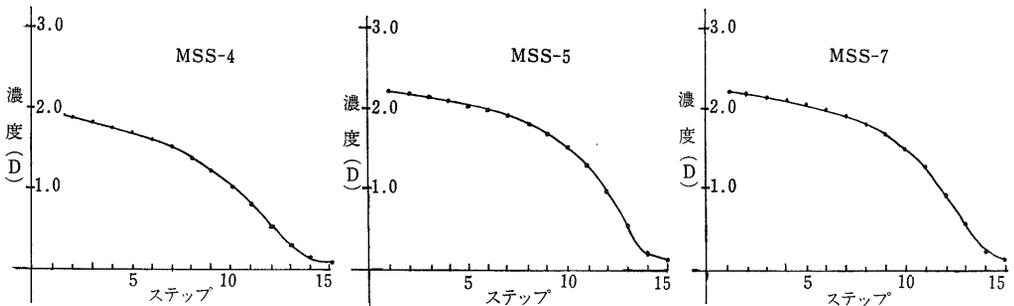
まず入手した70mm のネガフィルムの写真特性を調べてみることにする。ここでサンプリングしたネガフィルムは次の2種である。

- ① 土佐湾 ID-No. 1112-01123 72.11.12撮影
- ② 豊後 ID-No. 1167-01175 73. 1. 6撮影

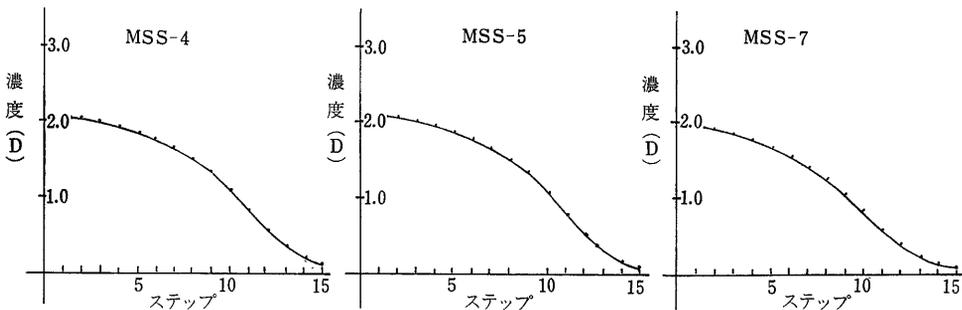
・濃度測定

この2つのシーンの MSS-4~7 バンドのグレースケールの各ステップを濃度測定する。濃度測定は透過濃度計を用い直径1mm のアパーチャーを使用し 15段階に区分されたグレースケールを1ステップづつ測定すると相当する濃度がデジタル表示される。第5表がその測定結果である。

この表に基づいて簡便な濃度ステップカーブを描くと第11, 12図のようになる。すなわちY軸に濃度 X軸に15段階の目盛をとり グラフ化する。このようにしてできたカーブは X軸の目盛をバルクフィルムの15段階に基づいて決めたため いわゆる特性曲線とは異なる。これらのカーブについて土佐湾の MSS-4 と MSS-7 MSS-5 と MSS-7 土佐湾の MSS-7 と豊後の MSS-7 等々を重ね合わせると 各々のカーブがずれているのが判る。すなわちグレースケールの濃度変化が一致していない。



第11図 土佐湾の濃度ステップ曲線



第12図 豊後の濃度ステップ曲線

・ガンマ

LANDSAT データの場合 X軸に相当する log E が公表されていないため 止むを得ず簡便法をとる。すなわち第11, 12図上で濃度範囲を任意に決め どの位のスケール単位が入るかを比較することによって 相対的なガンマの比較を行なう。

以上のように曲線の比較とガンマらしきものの比較を土佐湾と豊後の映像ついて行なった場合 互に異なっている。この両者をカラー合成し プリント表現した場合両者の間で色調や色再現性が異質なものになるであろうということは 容易に想像できると思う。

・フィルム評価

同じ LANDSAT 映像データのフィルム (成品) にはこのようなバラツキがあることを頭に入れておかなければならない。このバラツキは次のような理由から生じるものと思われる。

雪に覆われたシーンは その部分の放射輝度が高くポジの状態では白くなる。画面で白い部分が多いということはグレースケール上で15段階のうち 白に近い部分のスケールのもつ濃度が多いということになる。

このような画面を前に述べた方法でデュープすると雪の部分のコントラストが低下し 非常に見にくい画面となってしまう。即ち画面の濃度がグレースケール濃度の15段階に ほどよく分布されていない場合画面の濃度に片寄りができる。このような場合のフィルムデュープでは 簡単に言えば次のような操作をし 画面の見にくさを救済していると思われる。

この際ガンマ=1を維持することを前提とする。通常このデュープの場合は第13図 a のような実線が得られる。これでは画面のほとんどが白くなってしまい また白い部分もグラデーションがつかないため 露光量を更に多くし グラデーションをつけ画面の調子を整える (第13図 b)。このようにすると全体的に濃度があがり全体としての画面は見やすくなる。しかし最大濃度付近では濃度が頭打ちになってしまい 濃度の高い部分は

見にくくなる。これは濃度2.4を超えて更に直線性をもつ感光材料でないためである。このような状態のグレースケール (ポジ) は 最高濃度及びそれに近いステップでは黒くにじんでいる。入手するフィルムのほとんどにこのにじみが見られる。ということはほとんどのシーンについて ある種の操作をしフィルムデュープを作製しているものと思われる。

カラー合成処理

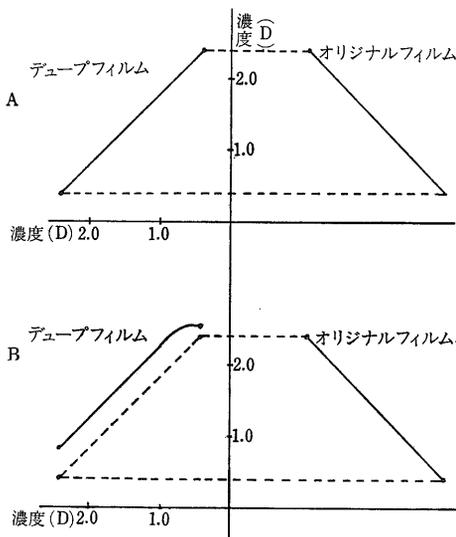
・モノクローム フィルム デュープ

入手した70mm ネガフィルムは第4世代で記号を N_4 と表す。この N_4 より合成用に拡大モノクロポジフィルム (9.5'') を作製する。すなわち70mm の N_4 から 9.5'' の P_5 の作製である。この際入手した70mm がポジフィルム (P_5) の場合は 9.5'' の N_4 を作製し 更に N_4 から密着デュープし 9.5'' の P_5 を作製する。デュープの条件としては前述したように ガンマ=1.0 濃度 $D=0.4$ から 2.4 まで直線部分であることが必要となる。

・デュープフィルムの特性

70mm ネガフィルム (N_4) を 9.5'' ポジフィルム (P_5) に正しくデュープされたかの判断は 次のようにチェックされる。 N_4 及び P_5 のグレースケールの各ステップの濃度を測定する。第7表がその結果であるが ここでは土佐湾 豊後 2シーンの MSS-4・5・7 についての値を表示する。

N_4 から P_5 をデュープするので N_4 のグレースケール



第6表 土佐湾・豊後のガンマ

シーン・バンド	ガンマ
土佐湾 MSS-4	1.0
土佐湾 MSS-5	1.6
土佐湾 MSS-7	1.5
豊後 MSS-4	1.1
豊後 MSS-5	1.2
豊後 MSS-7	0.9

第13図 画面優先のデュープ

第7表 大阪・室戸岬の濃度表(ネガフィルム N₄ デュープポジフィルム P₆)

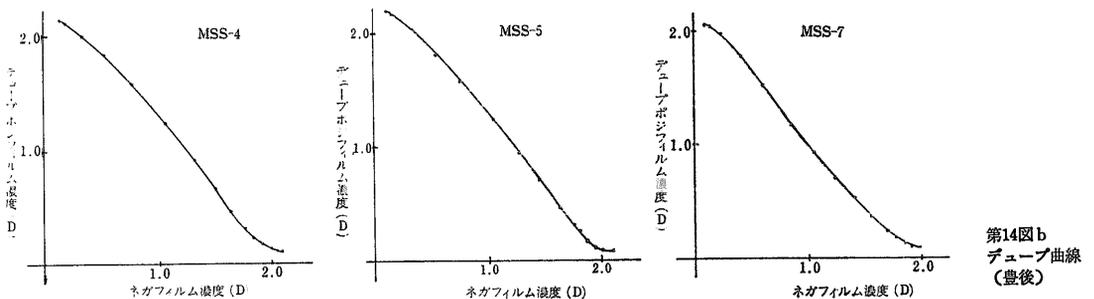
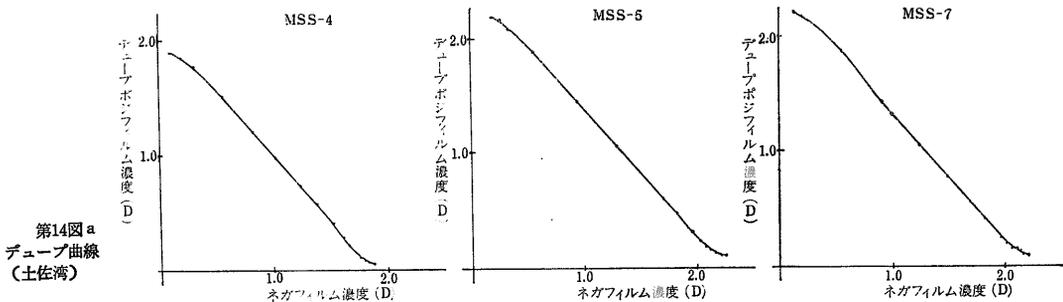
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
土佐湾	ネガフィルム MSS-4	1.89	1.85	1.80	1.75	1.68	1.62	1.52	1.36	1.23	1.02	0.79	0.53	0.28	0.10	0.07
	ポジフィルム MSS-4	0.06	0.07	0.08	0.10	0.22	0.27	0.42	0.58	0.76	0.98	1.19	1.48	1.75	1.87	1.92
	ネガフィルム MSS-5	2.21	2.19	2.15	2.10	2.06	2.02	1.93	1.82	1.70	1.52	1.28	0.93	0.54	0.19	0.12
	ポジフィルム MSS-5	0.09	0.09	0.10	0.13	0.18	0.23	0.32	0.47	0.61	0.81	1.07	1.46	1.89	2.23	2.25
豊後	ネガフィルム MSS-7	2.20	2.16	2.14	2.09	2.04	1.99	1.94	1.79	1.68	1.49	1.23	0.88	0.54	0.18	0.12
	ポジフィルム MSS-7	0.10	0.11	0.12	0.13	0.15	0.19	0.25	0.43	0.57	0.79	1.05	1.43	1.89	2.21	2.23
豊後	ネガフィルム MSS-4	2.58	2.03	1.99	1.91	1.84	1.77	1.65	1.51	1.32	1.06	0.77	0.55	0.33	0.16	0.12
	ポジフィルム MSS-4	0.12	0.15	0.83	0.56	0.78	1.06	1.33	1.50	1.64	1.77	1.85	1.92	1.99	2.03	2.09
豊後	ネガフィルム MSS-5	0.10	2.05	2.01	1.94	1.87	1.78	1.66	1.48	1.31	1.04	0.76	0.53	0.33	0.16	0.12
	ポジフィルム MSS-5	0.09	0.09	0.10	0.12	0.18	0.32	0.48	0.72	0.90	1.25	1.57	1.80	2.06	2.18	2.20
豊後	ネガフィルム MSS-7	1.97	1.90	1.84	1.76	1.68	1.54	1.42	1.25	1.06	0.84	0.59	0.40	0.24	0.12	0.10
	ポジフィルム MSS-7	0.08	0.08	0.12	0.18	0.23	0.36	0.52	0.71	0.92	1.18	1.52	1.78	1.97	2.03	2.04

ルをオリジナルスケールとして 各濃度の数値をX軸にとる Y軸には P₆の各濃度をとる. 第1ステップのX軸の濃度とY軸の濃度の交点を座標として印し 各々を結び曲線を描く. こうして第7表より作製した曲線が 第14図である.

・カラーネガフィルムの特性

カラーネガフィルムの場合も モノクロームの場合と同様にウェッジを使用して露光を与える. 現像処理後

このフィルムに対してB・G・R各々濃度測定をする. このB・G・R3本の特性曲線から 各々感光度 カブリ ガンマ等を算出できるのは モノクロームの場合と同様である. 第15図のように3本の特性曲線の濃度範囲が揃っている場合にはカラーバランスがとれていることをあらわし 1本でもずれているとその色に片寄りがあることになる. この特性と同じ特性を持つ MSS-4・5・7のモノクロポジフィルムを使用して合成すれば理論的にはきれいにグレースケールを再現することがで



きる。しかしこのように3本の特性曲線の濃度範囲がそろっている感光材料は世界中どこを探してもないしまた後述するように通常のケースではその必要もない。

EDC で使用しているネガフィルムの特性曲線が第16図である。最大濃度を見るとB感度が他に比べて低いことが判る。このカラーネガフィルムは航空写真の撮影用に製造されたものであり地上からの反射してくる光のうち紫外線や青色光の短波長域の光量が多いために青感度を意識的に下げているのである。

MSS-4・5・7に各々B・G・Rの色光を与えこのネガフィルム上にプリントした場合たとえモノクロフィルムの特性曲線が3本そろっていたとしてもグレースケールは黒から白への灰色のスケールはできず最大濃度付近ではシアン色が入った灰色となる。この傾向を直すためにはB感度に影響を与えるMSS-4のポジフィルムのガンマを多少1.0以上にし最小濃度をさらに下げて調整される。

カラーネガフィルムはカラープリントを作製するための中間的な存在であるためカラーネガを目視した時必ずしも特性曲線のバランスがとれている必要はない。カラーポジ感材の特性とカラーネガ感材の特性が良く釣り合いがとれていれば良いのである。

・カラーペーパーの特性

カラーペーパーの場合はB・G・Rのフィルターを各々ウェッジを通して露光するとY(イエロー)・M(マゼンダ)・C(シアン)の各々単色の濃度段階を持ったストリップができる。モノクロームの場合と同様に濃度計を用いて濃度測定し曲線を描くと第17図のようになる。

特性曲線の評価はカラーネガフィルムと同様であり理想的な特性曲線は3本のバランスが整っていて直線部分が長いことである。このペーパーに対してグレースケールの各ステップがバランスしているネガでプリントした場合カラーペーパー上にできるグレースケールはカラーネガフィルムと同様に均一な灰色再現はできない。即ちイエロー感度が低いためシアンとマゼン

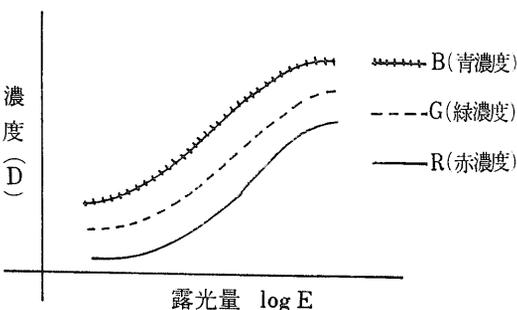
タが混った色(青色系)が最大濃度付近に再現される。これを直すためにはカラーネガフィルムのB感度の足の部分を下げなければならない。更にはMSS-4のポジフィルムの特性を変えなければならない。

・感光材料の制約

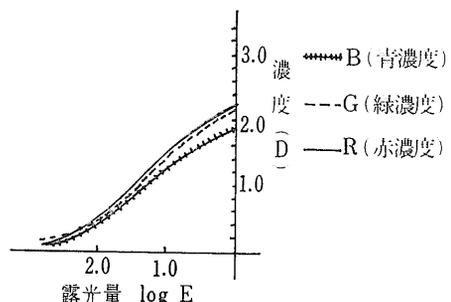
前章でごく簡単にカラー合成を行なうまでのモノクロームデュープ カラーネガフィルムへのプリント カラーペーパーへのプリントについてその特性を記述した。モノクローム感光材料は別としてもカラー感光材料については我々が行なっているカラー合成に適した感光材料が無く止むを得ず既存のものを代用しているのが実情である。カラーネガフィルムに航空撮影用を使用していることは前にも触れたがカラーペーパーについても同様である。すなわち通常のカラーペーパーは一般に使用されているカラーネガフィルム——たとえば35mm—24枚撮のような——の特性に合った特性を持っている。従ってこれを特別に作製することは現在のところ甚だ困難である。通常のカラーネガフィルムのガンマは1.0以下で0.5程度である。これは露光域(log E)を広げることによって適正露出でなくてもきれいに写しこめるように配慮されているからである。従ってカラーペーパーはこれに合わせるためにガンマを1.0以上で2.0程度にしてある。

LANDSAT データのモノクロフィルム(成品)の濃度範囲は2.0と設定されていることは前に記述したがカラーネガフィルム カラーペーパーともこの2.0の範囲で直線性を有するものは残念ながら無い。

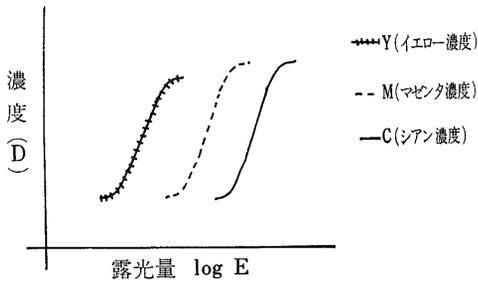
第18図Aがモノクロポジフィルムの簡単な特性曲線の図であり第18図Bがカラーネガフィルムの簡単な特性曲線の図である。第18図Aの濃度0.4から2.4までの直線を第18図Bに入れる(Aのポジフィルムを用いてBのネガフィルムにプリントする)場合第18図Bの直線範囲は1.8から0.4前後であるためすべて直線に入らない。このような状態でのプリントではモノクロポ



第15図 カラーネガフィルムの特性曲線



第16図 カラーネガフィルムの特性曲線(EDC使用)



第17図
カラーペーパーの特性曲線

ジフィルムの高濃度部 低濃度部が圧縮されており 正しく再現されていないこととなる。 カラーネガフィルムとカラーペーパーの場合も同様である。

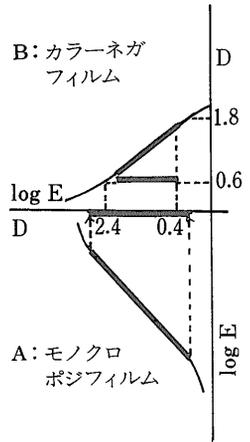
おわりに

LANDSAT データの写真処理 とくにそのカラー合成写真処理について これまでに筆者らが直面した問題との検討結果について述べた。 従来 デジタル処理については多くの記述 研究報告があるが アナログ処理とくに写真処理については その利用範囲が広いにもかかわらず報告は極めて少ない。 したがって この記事が LANDSAT データの利用者 とくに判読の諸分野の方々の参考となれば幸いである。

われわれは LANDSAT データによるカラー合成写真モザイクの色が使用する原データ毎に差がある。 この解決法はないものかということをよく耳にする。 本稿を終るに当たって 1つの例について述べておくことにする。

1676年6月に General Electric 社が “Portrait U. S. A” と題するアメリカ合衆国本土のカラーモザイクを公表した。 これは 同社の Photographic Engineering Laboratory で製作されたものであり 全体で569枚の LANDSAT 映像からなっている。

このモザイクを製作するために 1972年から1975年にわたる 3,500 軌道で収集された晩春から夏を経て初秋までの間の映像データから30,000枚以上が篩分けされた。 これらの中から最終的に雲のない 700 枚が選び出された。 続いて4ヶ月かかって 技術陣はアメリカ合衆国本土を16地区に分けてモザイクを作り上げたのであるが このためのもっともよく色が合い かつ接合線が目につかないようにするよう 8,000 枚のカラープリントが用意されたのである。 16地区のモザイクは写真的に縮小複製の上 接合されて 上述の “Portrait U. S. A” が出来上



第18図
モノクロフィルムとカラーネガフィルムの特性曲線

ったのである。

写真地図作成のためには 上述のような多くのデータから適当なものを選び出し 階調特性の調整された出来る限り同一に近い発色状態のカラー合成写真が必要となる。 一方 リモートセンシングは季節的変化経年変化の把握をも目的とする。 また 対象によっては 故意に常識から逸脱した発色のカラー合成が必要である。 要は目的によってその処理法が決まるのである。

参考文献

- 1) 松野久也・田島大三・星野一男・山田修兵 (1975) : ERTS 映像による地質構造解析 エッジ強調 (edge enhancement) 技法 地質ニュース No. 245 p. 1-13
- 2) 松野久也・丸山欽洋 (1976) : テーマ (主題) 抽出写真処理技法 地質ニュース No. 258 p. 1-7
- 3) 一條敏明・松野久也 (1976) : リモートセンシングにおける写真 地質ニュース No. 265 p. 36-43
- 4) 産業研究所提供 (1976) : LANDSAT データからの合成 フォールスカラー映像 地質ニュース No. 274 表紙および裏表紙
- 5) NASA Goddard Space Flight Center (1971) : Data Users Hand Book



訂 正
地質ニュース No. 280-12月号 の23頁下掲の第17図の
写真説明の 左は 右は に 右は 左は に それ
ぞれ訂正します。