

カラー写真画像からの三次元復元化法

河野 俊彦[#]

The Method of Three - Dimensional Reconstruction from the Color Picture

Toshihiko KOUNO

ABSTRACT

This research focuses on the extraction of the amount of sensitization through the color photo - film which is previously taken. This photo is taken so that the origin of the light in far sight is the object in point of light.

The measurement of the distance from the object to the point where the photo is taken can be done by analyzing the amount of light as components of R.,G.,B.(Red, Green, Blue). The ratio of these three components in light can give us the information about the distance. The light which is emitted from the point of object spreads in the air to all the directions, thus results in the decrease in the amount of light by the time the light gets to the observation point. The rates of decreased amounts differs from component to component. By looking at the ratio of R.,G.,B. which is obtained in the observation point, the distance between the object and the observation point can be estimated.

As the use of this method, the color picture as two - dimensional data of the lightning path road is reconstructed to real path road as three - dimensional data.

Keywords: Image Processing, Three-Dimensional Reconstruction,
Color Picture, Lightning Path Road

キーワード: 画像処理、三次元復元化、カラー写真、雷道

[#] 情報処理工学科

1. まえがき

写真を用いた距離計測技術はリモートセンシング技術と共に衛星通信とコンピュータによる手法が確立され、活用が目覚ましい。本研究は従来からのこの手法とは別に、光の波長毎に異なる大気中の吸収・散乱による減衰係数に着目して、この原理を用いた新しい距離計測手法である。また、本手法の開発目的は、雷道写真の解明の必要に迫られて、開発するものである。自然現象としての雷はその発生時間と場所を特定することすら困難であって、観測は極めて希に成功するといったものであって、雷を理解するのに必要なデータはまだまだ少なく、貴重である。もっとも、近年ロケット誘雷の成功があって、冬季雷についてはかなり多くのデータを得ている。また、自動化装置を持つカメラが設置されるようになって、この写真データも多く得られるようになった。がしかし、雷が発生する時は多くの場合悪天候であって、得られたせっかくの写真も鮮明なものは少ない。更に、それらの写真画像の解析手段が十分ではなく、それらから得られる必要な雷データは真に乏しい状況にある。

本論文では、遠方における発光体をカラーフィルムに撮影し、フィルム上に記録されたデータをコンピュータによる画像処理によって解析し、この貴重な写真画像から、少しでも多くの有効な雷についての情報を知ろうとするものである。

更に、本手法は雷のみではなく、被写体が遠方の発光体であれば何であっても適用されるものである。

2. 写真フィルム上の画像データ

まず、遠方の発光体を撮影した写真フィルム上での画像について、考察しなければならない。

それには良く知られているように、次のように考えられる¹⁾。被写体からカメラまでの距離を r 、カメラレンズからフィルム面までの距離を b とすると、フィルム上でピントが合っていれば倍率は、 $m = b / r$ である。即ち、被写体の大きさは $1 / m$ に縮小されてフィルムに記録される。勿論、レンズの焦点距離を f とするならば倍率は、 $m = f / (r - f)$ であるが、レンズの焦点深度は被写体が k m 程度に十分遠方であれば被写体の位置 (a) がかなりの範囲で異なってもフィルム上では十分にピントが合うことになっている。カメラのレンズでは常にレンズの実像を記録するものであるからこの倍率 m を持って倍率の代表とするが、この m は横倍率と言われるものである。この場合、光軸方向の倍率を縦倍率と言いそれは横倍率の二乗として、 $m' = m^2$ である。この関係がピント合せの時のレンズの動きに現れる。しかし、フィルム上での単位面積当たりの被写体の縮小率を得る場合、雷道のように奥行きが薄い被写体においては横倍率 m のみを用いれば良く、従って、この場合の縮小率 (m) は上式により被写体とレンズとの距離 r の逆数によって異なる。即ち、レンズを固定して遠方被写体を撮影した場合、焦点深度を考慮して被写体のレンズとの距離 r の違いによって、フィルム上の縮小率は上式のようなになる。例えば、 $f = 50$ mm のレンズを用いて雷道の発光部の直径を 0.1 m とし、距離 $r = 5$ km の場合と $r = 4$ km の場合とでは、 $f \ll r$ であるので、フィルム上では、 $1.0 \mu\text{m}$ と $1.25 \mu\text{m}$ の幅の違いになって写ることになる。即ち、雷道の発光量は一定であるとするなら、この効果によるフィルム上での単位面積当たりの光量は、より遠方の 5 km の場合の方が狭い範囲に凝縮されて密度が高いことになる。従って、遠方の場合の方が

フィルムの黒化度は高いことになる。但し、一方では、被写体が発光体である場合、カメラ内のフィルム上に到達する光量（受光量）は立体角によって、距離 r の二乗に反比例して減少する。よって、5 km からの場合を 1 とすれば 4 km では $25/16 = 1.5625$ 倍だけ多い光量がフィルム上に到達することになる。

両者の効果を考慮すれば、0.1 m の幅の雷道はフィルム上 $1 \mu\text{m}^2$ の単位面積当り（縮小率の二乗当りとなる）の光量として、

$r = 5 \text{ km}$ では、

$$\begin{aligned} & 1 / (1.0 \times 10^{-6})^2 / (10^{-6})^2 \\ & = 1.0 \end{aligned}$$

$r = 4 \text{ km}$ では、

$$\begin{aligned} & 1.5625 / (1.25 \times 10^{-6})^2 / \\ & (10^{-6})^2 = 1.0 \end{aligned}$$

この両距離の場合において、黒化度に関する 1 画素当りの光量は同等になる。

即ち、被写体である発光体と同じ光量 (I) であるなら両者の効果を受けて、ミクロンオーダーの 1 画素当りの受光量 (I') は距離に無関係な式として次式で表わせる。

$$\begin{aligned} I' &= I / r^2 \text{ m}^2 = I / r^2 (f / r)^2 \\ &= I / f^2 \end{aligned}$$

3. 光の減衰係数と距離算出式

遠方の発光体からの光は、ディテクターとしてのカメラに到達するまでには、点光源の発散による減衰の他に、媒体である空気によって吸収・散乱を受けて減衰する。その減衰率は、光の波長によって異なるので、光の 3 要素である R、G、B に分けて考えれば、フィルム上での受光光量はそれぞれ異なってくる。発光体から発光される光のエネルギー（波長）別強度分布が解っていれば R、G、B それぞれの強度 R_0 、 G_0 、 B_0 を用いて、それぞれの減衰係数 α_R 、

α_G 、 α_B によって減衰されるものとするれば、距離 r だけ離れたカメラによってディテクとされる光量によって得られるフィルム上の各黒化度、 R_r 、 G_r 、 B_r は次式で表わされる。

$$\begin{aligned} R_r &= R_0 (1 / f^2) \cos \theta \cdot \\ & \quad \exp(-\alpha_R r) \cdot \beta_R \\ G_r &= G_0 (1 / f^2) \cos \theta \cdot \\ & \quad \exp(-\alpha_G r) \cdot \beta_G \\ B_r &= B_0 (1 / f^2) \cos \theta \cdot \\ & \quad \exp(-\alpha_B r) \cdot \beta_B \end{aligned}$$

なお、上式中の β_R 、 β_G 、 β_B は光の 3 要素 R、G、B それぞれに対するフィルムの黒化感度を表わしている。また、 θ はレンズ軸に垂直な面と発光体のなす角度であって、フィルム面で光が斜めに入射した時の単位面積当たりの光量を得る係数として、 $\cos \theta$ を掛けることになる。

上式は光の各要素毎のフィルムに記録される黒化の程度を絶対値として表わしたものであるが、これらの相対比較をする事によって、被写体のカメラまでの距離 r を求める式を導出する事が出来る。即ち、 R_r に対する G_r および B_r の比を P_G 、 P_B とすれば次のようになる。

$$\begin{aligned} P_G &= G_r / R_r \\ &= (G_0 / R_0) \cdot (\beta_G / \beta_R) \cdot \\ & \quad [\exp \{(\alpha_R - \alpha_G) r\}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_B &= B_r / R_r \\ &= (B_0 / R_0) \cdot (\beta_B / \beta_R) \cdot \\ & \quad [\exp \{(\alpha_R - \alpha_B) r\}] \end{aligned}$$

この 2 式から更に、距離 r を求める式を導出すれば、次のように求まる。

$$\begin{aligned}
 r &= \{1 / (\alpha_R - \alpha_G)\} \cdot \\
 &\quad \{\ln P_G - \ln(G_0 / R_0) - \ln(\beta_G / \beta_R)\} \\
 &= \{1 / (\alpha_R - \alpha_B)\} \cdot \\
 &\quad \{\ln P_B - \ln(B_0 / R_0) - \ln(\beta_B / \beta_R)\}
 \end{aligned}$$

以上により、理論的にはフィルム上の黒化度の比の対数値が画像処理によって求めれば被写体までの距離を算出する事ができる。なお、比を取る事によって上式が示す通り、カメラの倍率 m やカメラへの斜光入射角 θ には関係しなくなる。従って、黒化度の比の他には、発光体そのものの光のエネルギー（3要素R、G、B）別の強度の比、フィルムのエネルギー（3要素R、G、B）別の黒化感度の比、および、空気のエネルギー（3要素R、G、B）別の減衰係数の差が分かれば求まるものである。

これにより、3次元空間に分布して存在する発光体の2次元のカラーフィルム上に記録された写真画像から、その画像データをコンピュータによって画像解析して、3次元情報を引き出すことが出来たことになる。

4. コンピュータによる写真画像処理

上記のようにカラー写真フィルム上に記録された情報を解析するためには、次のような画像処理を必要とする。

まず、発光体の象が得られたカラーフィルムをフィルムスキャナー（ μm 程度の画素を分解できる高分解能であること）にかけて、デジタルデータ化する。この時、R、G、Bの各波長毎の黒化度として得るために、フィルターを替えて、同じフィルムから3通りのスキャンをする必要がある。このようにして得られたフィルム上のある一点におけるR、G、Bのそれぞれの黒化度の強度比を求める。これらの比を上

記3)に示した $r =$ の式に当てはめて、発光体とカメラ（観測点）までの距離を算出する。

5. 雷道解析への応用

前述の3.項で開発した原理を用いれば、雷道の様に3次元空間を線状に屈曲しながら、観測点（カメラの位置）から見て前後・左右にながった発光体の屈曲角を3次元の角度として知ることが出来て、2次元に記録された写真から立体構造を知る事が出来る。

この事は雷道写真等の解析にとって、画期的なことである。

即ち、本画像解析手法を用いれば、これまで計測困難によって不明であった、雷道の屈曲によって区切られた、雷進展のステップ長の実寸が写真画像から計測出来ることになる。雷道進展のメカニズムを知る上ではこの情報は無くしてはならないものであり、雷道の解明に大きな貢献をなすものとなるであろう。

但し、実際問題としては、必要な既知であるべきデータをどのように得るかと言う点から、次のような問題点がある。

その1つ目は、空気の状態によって異なる波長毎の減衰率（ α ）を如何に与えるかと言う事である。一般的には、各種気象条件、あるいは、田園地帯、都会地帯、はたまた、スモッグ汚染地帯などの空気条件の違いによる減衰係数が実測されていて、その文献²⁾、³⁾を参考にする事が出来る。しかし、雷が発生する時にはほとんどの場合に湿度は100%近くで大雨すら降っている場合が多く、吸収・散乱が多くて、減衰係数をどのように用いるかが不明である。従って、このような条件下で、波長毎（少なくとも、R、G、B毎）の減衰係数を予め測定して置く必要がある。

2つ目の問題点は、発光体である雷の光成分

は、その波長毎の強度分布がどうであるかが分かっていないことにある。但し、現状では雷道のどの部分に於いても同じ波長成分を持った発光があるものと仮定して取り扱うことにする。

その3つ目の問題点は、用いたフィルムの波長別黒化感度が明らかでないといけないことにある。この点については、フィルムメーカーではっきりしたデータを持ち合わせているであろうから、そのデータを調べればしっかりした形で処理出来るものである。

6. おわりに

写真から三次元化を行うには、従来では、少なくとも2方向から同時に撮影された2枚以上の写真を持って解析されていた。しかし、本法では一枚のカラーフィルムのみを用いて。コンピュータ画像解析を行って三次元化を行うものであり、画期的な手法の開発である。但し、いろいろな条件の下での、光の三要素であるR、

G、Bそれぞれの減衰係数を予め、知っておく必要がある。この点に関しては、既に計測されたデータを集めた文献があるが、更に、雷道解析への応用を実用化するためには雷が発生するような気象関係でのデータを採集する必要がある。

本論文では原理的説明に止めたが、減衰率の差の程度がどのように距離計算に係わり、且つ、スキャナーの感度が数値的にどう係わって来るかについて、更に、実用化の検討を加える必要があり、目下検討中である。

【参考文献】

- 1) 林一男、他「カメラ及びレンズ」、共立出版(1967)
- 2) John E. Estes, et. al., 「Manual of Remote Sensing」、pp.1335-1345, Sheridan Press
- 3) 早川一也、他「エアロゾルテクノロジー」、井上書院(1985)