

バルーンを用いた空中写真の斜面輝度補正 (I)

— 写真上におけるバルーンの色濃度分布 —

長谷川尚史

A modulation method of the brightness on aerial photographs by using balloons (I)
— A photographic density distribution of the balloons —

Hisashi HASEGAWA

要 旨

カラー空中写真の色情報を活用するため、バルーンを色指標とした斜面方位、傾斜による輝度補正を試みた。まず、バルーンを写真に撮影したとき、バルーン上の任意の点が写真平面上のどの点に投影されるかを表現する幾何変換式を導出した。また実際に、白、緑、赤のバルーンを撮影し、その色濃度分布にどのような傾向があるかを分析した。その結果、バルーン上の点の法線と太陽方向のなす角、および法線とカメラ方向のなす角を変数とし、日射状況や画像レベルを4個のパラメータとする推定式により、寄与率74.7~98.7%の精度で、バルーン上の濃度分布が推定された。写真に写し込んだバルーンの輝度分布をこの式に適用し、写真撮影時の日射環境や現像時の色変換の影響を評価することにより、斜面形状に応じた空中写真の輝度補正が可能であることが示唆された。

は じ め に

近年のパーソナルコンピュータの普及に伴い、森林分野においても森林管理などにGISが導入されるなど、森林情報のデータベース化が急速に進んでいる^{1) 7)}。GISに入力される基本的な森林情報には、森林簿の造林履歴や各種図面のほか、既存の森林基本図を元にして生成されたDEM、リモートセンシングデータなどが利用されている。カラー空中写真もオルソフォトマップ化に要する経費が比較的安価になり、地図に重ねる形でGISに取り込まれることも多くなってきた⁵⁾。

ところが、リモートセンシングデータは斜面形状による輝度差が大きく^{8) 10)}、現在もその補正手法に関する研究が行われている^{6) 12) 14) 15)}。空中写真も同様の性質を持っているため、高い費用をかけカラーオルソフォトマップを作成しても視覚上の効果だけが注目され、その大きな利点である色情報を森林情報として活用するには至っていない。その結果、オルソフォトマップ作成費用に対する効用は非常に低くなっている。

空中写真は高解像度が大きな特徴^{8) 10)}であり、ランドサットをはじめとする解像度の低い衛星データからは得られない、詳細な情報を含んでいる。これらのデータを最大限に活用することにより、より詳細な森林管理が可能になると考えられる。例えば、現在の森林管理における最小区分(小班)は樹種や履歴など、複数の要素が含まれた複合体として管理されることが多く、データベース化する際の障害となる。そこで空中写真から得られるより詳細な情報から「条件の均一な林分(立地: site)」¹¹⁾を抽出し、GPSなどの測量技術を併用して小班を再区分、再編成することにより、森

林管理区分をデータベースに適する最小単位に構造化することができる。また、各立地の特徴を生かした森林管理を行う⁴⁾ことで、より多様性を持った持続的森林管理が可能となるであろう。

空中写真における斜面ごとの濃度補正の例としては、筆者²⁾³⁾は太陽方向と周辺を含めた地形条件から算出される斜面の受光量を指標にして、石川⁶⁾は太陽光と斜面のなす角を指標にして、それぞれ補正を試みたが、満足できる結果は得られていない。これは、日射状況により直達日射、散乱日射などの比率が変わる⁹⁾ためであると思われる。すなわち、写真撮影時の日射状況をよりの確に反映する補正法を考案する必要があると思われる。

そこで、バルーンを色指標として用いることにより、空中写真の色情報の不均一性の原因の一つである斜面方位および傾斜度による輝度への影響を評価し、空中写真の色情報を活用できるような形に補正する手法について研究を行った。

本報告では第一報として、撮影された写真におけるバルーン表面の色濃度分布について分析を行い、バルーン上の位置による輝度の差異を評価する色濃度分布推定式を導出した結果を述べる。

方 法

任意の斜面の写真上における輝度は、同じ方位角と仰角の法線ベクトルを持つバルーン上の点の輝度に相当すると考えられる。そこでまず、バルーン上における任意の位置が写真上のどの位置に撮影されるか、その座標変換式を導出した。次に、実際にバルーンを中版カメラで写真に撮影し、写真における任意の斜面方位、傾斜に対応するバルーン上の点の色濃度分布の傾向を分析し、推定式の導出を行った。ここで問題になるのが、写真上の色濃度分布が斜面形状だけでは決定されない点である。色濃度分布は、斜面方位、斜面傾斜のほか、撮影時点における日射状況、撮影フィルムの化学・物理特性、撮影レンズ特性、現像特性、イメージスキャナーの色変換特性など、様々な要因によって決定されており¹³⁾¹⁶⁾、単純には比較できない。そこで本研究ではこれらの要因のうち、斜面形状による要因以外を以下に示すように極力排除した。カメラには、6×4.5cm版一眼レフレックスカメラであるマミヤM645を用いた。使用説明書によると、このカメラはフィルム面の平面性が高いことが特徴としてあげられている。撮影レンズは歪曲収差が少ないやや望遠よりの標準レンズである、マミヤセコールC110mm F2.8（画角35度）を使用した。フィルムには、写真濃度が露光量に比例する範囲が広いネガフィルム¹⁶⁾である、フジカラー-REALA ACE（ISO100）を用いた。また周辺減光の影響を避けるため、バルーンは写真中央部に小さめ（1cm程度）に撮影した。現像の際の幾何的誤差を極力少なくするため、分析には密着写真を使用した。バルーンは気象観測用のもので、白、緑、赤色のものを用いた。このバルーンをコンプレッサーにより約1.5mに膨らませ、位置を変えて距離約18m、俯角約20度の2カ所から撮影した。撮影は1997年6月におこなった。この日の天候は晴れであったが、時々薄雲がかかり太陽光が遮られたため、薄曇りの環境下でも撮影した。カメラとバルーン的位置関係は、事前にコンパスおよび鋼製巻尺により測定した。

現像した写真は、イメージスキャナーにより576dpi（8倍）でパソコンに読み込み、RGB各色256階調の画像にした。この画像から、バルーン座標系から写真座標系への座標変換式を組み込んだ自作プログラムにより、バルーン上の色濃度を方位角（0～355度）、仰角（0～90度）、それぞれ5度刻みで抽出した。この際、バルーンと背景の境界に予め印を付けておき、抽出された色濃度のうち境界の影響を明らかに受けていると思われる濃度値を分析から除外した。

結 果 と 考 察

1. バルーン座標系から写真座標系への座標変換式の導出

バルーンを完全な球体と仮定した場合、バルーンを中心Oを原点とし、東を X_1 軸の正方向、北を Y_1 軸の正方向、天頂を Z_1 軸の正方向とするバルーン座標系 A_1 を考えたとき (Fig.1), バルーン表面の任意の点P (x_1, y_1, z_1) は、原点Oからの方位角 α 、 X_1 - Y_1 平面からの仰角 β 、およびバルーン半径 R によって、次のように表される。

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R \sin \alpha \cos \beta \\ R \sin \alpha \sin \beta \\ R \cos \alpha \end{pmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

このバルーン上の任意の点Pを、点Oに対して方位角 α_c (以下カメラ方位とする)、仰角 β_c (以下カメラ高度とする)、距離 L (以下カメラ距離とする) の地点から写真撮影する場合について考える。

まず座標系 A_1 を、点Oを原点とし、カメラ位置からバルーンを見て右水平方向を X_2 軸の正方向、上垂直方向を Y_2 軸の正方向、カメラ位置を Z_2 軸の正方向となるような座標系 A_2 に変換する。この座標変換は、座標系 A_1 に対して、 Z_1 軸を中心に $-\alpha$ 回転した後、 X_1 軸を中心に β の回転を行い、さらに X_1 軸の向きを反転させ、 Y_1 軸と Z_1 軸を入れ替えたものである。座標系 A_2 における点Pの座標を(x_2, y_2, z_2)とすると、この変換は次式で表すことができる。

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta_c & \sin \beta_c \\ 0 & -\sin \beta_c & \cos \beta_c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \alpha_c & -\sin \alpha_c & 0 \\ \sin \alpha_c & \cos \alpha_c & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

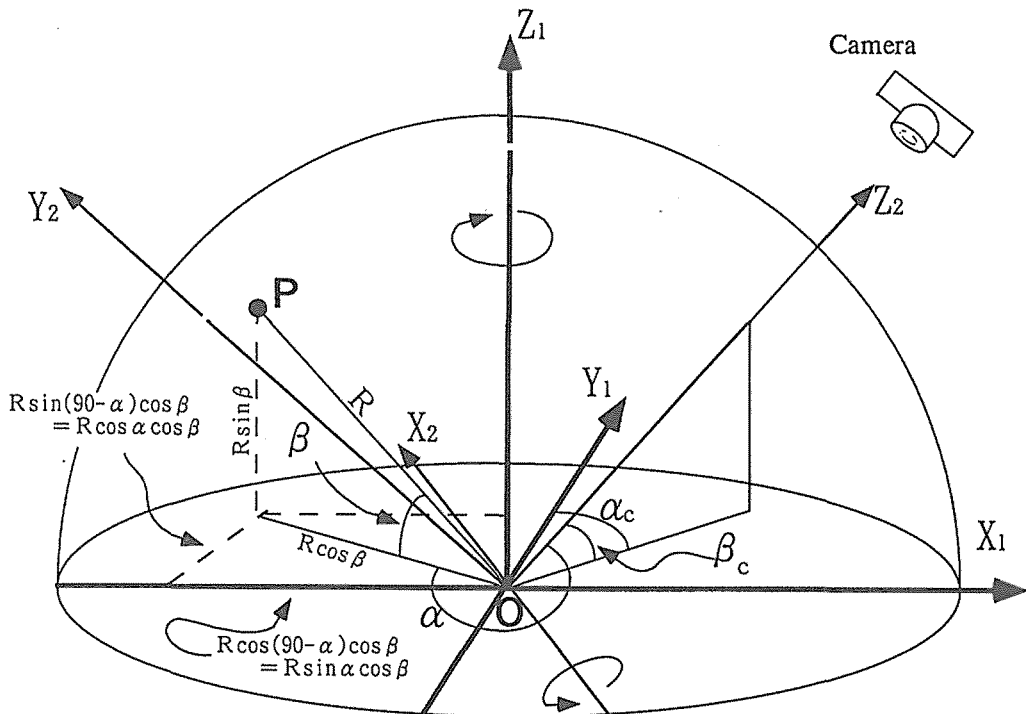


Fig.1 Transformation of the coordinates from A_1 to A_2 .

この行列を展開すると、行列(3)が導かれる。

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} \sin a_c \cos a \cos \beta - \cos a_c \sin a \cos \beta \\ -\sin a_c \sin \beta \sin a \cos \beta - \cos a_c \sin \beta \cos a \cos \beta + \cos \beta \sin \beta \\ \sin a_c \cos \beta \sin a \cos \beta + \cos a_c \cos \beta \cos a \cos \beta + \sin \beta \sin \beta \end{pmatrix} \cdots \cdots (3)$$

ところで座標系 A_2 において、写真上の座標系は、 $Z_2 = L$ の平面に相当すると考えられる。Fig. 2 のように、投影中心を $Q(0, 0, z_0)$ 、点 P の投影点 P' の座標を (x_3, y_3, L) とすると、共線条件により次の式が成り立つ。

$$\frac{x_3}{x_2} = \frac{y_3}{y_2} = \frac{z_0 - L}{z_0 - z_2} \cdots \cdots (4)$$

すなわち、

$$\begin{pmatrix} x_3 \\ y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{(z_0 - L) x_2}{z_0 - z_2} \\ \frac{(z_0 - L) y_2}{z_0 - z_2} \end{pmatrix} \cdots \cdots (5)$$

ここで座標系 A_2 において Z_2 軸を含む平面による断面を考え、角 OHQ が直角となるように点 H をおいたとき (Fig. 3)、以下の等式が成立する。

$$z_0 = \frac{R}{\sin \theta} \cdots \cdots (6)$$

$$z_0 - L = \frac{r}{\tan \theta} (=fE) \cdots \cdots (7)$$

ただし、 r は写真上の見かけのバルーン半径、 θ は角 OHQ 、すなわちバルーンの視角の半分である。なお、 f をレンズの焦点距離、 E をプリント倍率とすると、式(7)のような関係があり、これらの値を用いて変換式を作成することもできるが、ここでは r を用いた変換式について考えることとする。

式(6)および(7)を式(5)に代入すると、

$$\begin{pmatrix} x_3 \\ y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{r x_2 \cos \theta}{R - z_2 \sin \theta} \\ \frac{r y_2 \cos \theta}{R - z_2 \sin \theta} \end{pmatrix} \cdots \cdots (8)$$

ここで、 x_2, y_2, z_2 は R を係数として持つので、

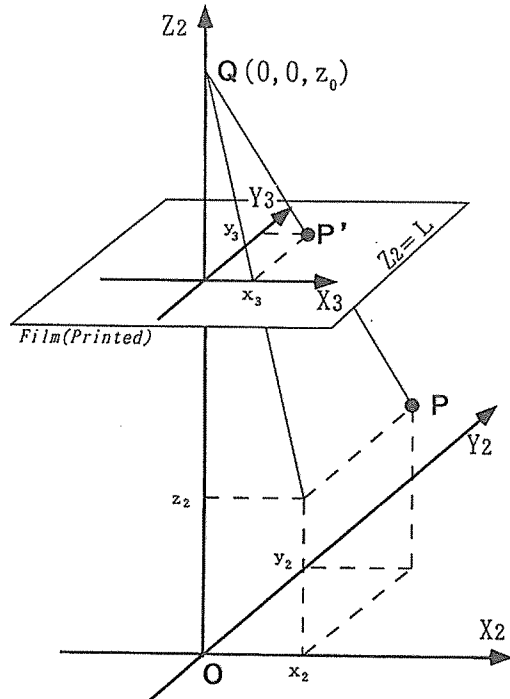


Fig. 2 Collinearity in projecting on the plane of photographs.

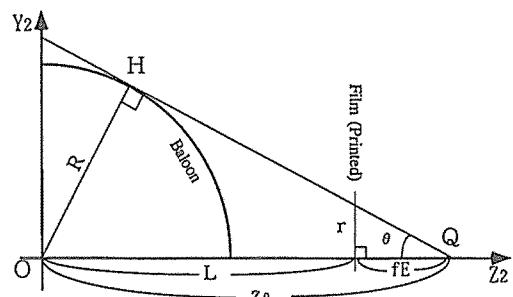


Fig. 3 Profile at the plane $X_2=0$.

$$\begin{pmatrix} x_3 \\ y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r \frac{x_2}{R} \cos \theta \\ 1 - \frac{z_2}{R} \sin \theta \\ r \frac{y_2}{R} \cos \theta \\ 1 - \frac{z_2}{R} \sin \theta \end{pmatrix} \dots\dots (9)$$

が得られる。

また、式(6)(7)において z_0 を消去すると、

$$R - r \cos \theta = L \sin \theta \quad \dots (10)$$

となる。両辺を二乗して $\cos \theta$ について解くと、 $\cos \theta > 0$ 、 $r R < L^2$ なので、

$$\cos \theta = \frac{r R + L \sqrt{L^2 + r^2 - R^2}}{L^2 + r^2} \dots\dots\dots (11)$$

が得られる。

一方、点Qからは、 $PQ < HQ$ となる点しか見えない。

$$PQ = \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + (z_2 - z_0)^2} = \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + \left(z_2 - \frac{R}{\sin \theta}\right)^2} \dots\dots\dots (12)$$

$$HQ = \frac{R}{\tan \theta} \dots\dots\dots (13)$$

この不等式を解いて、その適用条件を求めると、

$$\frac{z_2}{R} > \frac{\sin \theta}{R^2} \dots\dots\dots (14)$$

である。

以上の式(3)(9)(11)(14)は、以下のように整理できる。

方位角 a 、仰角 β の法線を持つ斜面に対応するバルーン上の点は、写真上のバルーンを中心を原点とし、現実の天頂方向、水平面方向をそれぞれ x 軸、 y 軸とする写真上の座標系において、

$$\begin{cases} \frac{a r \cos \theta}{1 - c \sin \theta}, \frac{b r \cos \theta}{1 - c \sin \theta} \\ a = \sin a_c \cos a \cos \beta - \cos a_c \sin a \cos \beta \\ b = -\sin a_c \sin \beta \sin a \cos \beta - \cos a_c \sin \beta \cos a \cos \beta + \cos \beta \sin \beta \\ c = \sin a_c \cos \beta \sin a \cos \beta + \cos a_c \cos \beta \cos a \cos \beta + \sin \beta \sin \beta \\ \cos \theta = \frac{r R + L \sqrt{L^2 + r^2 - R^2}}{L^2 + r^2} \\ c > \frac{\sin \theta}{R^2} \end{cases} \dots\dots\dots (15)$$

の点に撮影される。ただし、

a_c : カメラ方位 β_c : カメラ高度 R : バルーン半径 L : カメラ距離
 r : 写真上の見かけのバルーンの半径

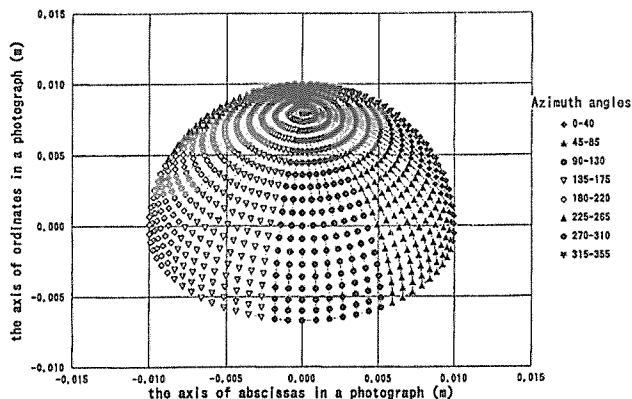


Fig.4 Simulation of a photograph
 $(R=1.0, L=18.0, r=0.01, a_c=120, \beta_c=60)$.

2. バルーン上の色濃度分布推定式の導出

式(15)を用いて、実際に撮影した写真10枚についてバルーン上の濃度値 (Gray, Red, Green, Blue) を抽出した。使用した写真はTable 1の通りである。撮影位置1は太陽側、撮影位置2は太陽と反対側から撮影している。撮影した時点の太陽高度は75度以上になっており、逆光の影響はない。ここで、抽出された濃度に一定の関係を見いだすため、斜面法線と太陽方向との角度 θ_s および斜面法線とカメラ方向との角度 θ_c について考える。これらの角度と α 、 β との関係は、次式で示される。

$$\cos \theta_s = \sin \alpha \cos \beta \sin \alpha_s \cos \beta_s + \cos \alpha \cos \beta \cos \alpha_s \cos \beta_s + \sin \beta \sin \beta_s \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$\cos \theta_c = \sin \alpha \cos \beta \sin \alpha_c \cos \beta_c + \cos \alpha \cos \beta \cos \alpha_c \cos \beta_c + \sin \beta \sin \beta_c \quad \dots\dots\dots (17)$$

(ただし、 α_s : 太陽方位 β_s : 太陽高度 α_c : カメラ方位 β_c : カメラ高度)

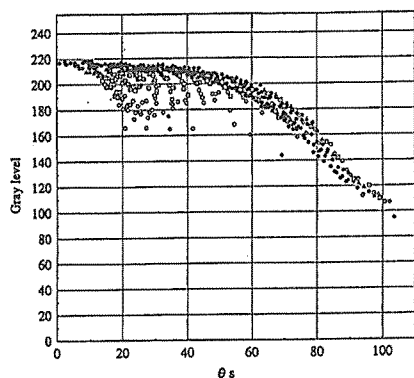


Fig. 5 Photographic density distribution in photo 1wfd(Gray).

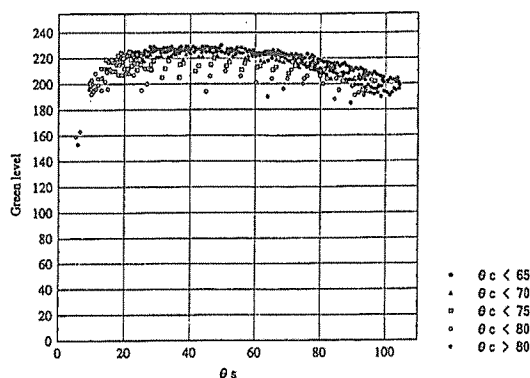


Fig. 6 Photographic density distribution in photo 2wc(Green).

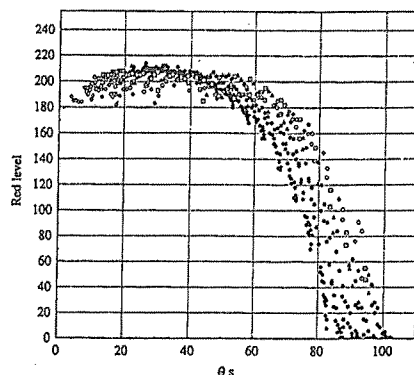


Fig. 7 Photographic density distribution in photo 2gf(Red).

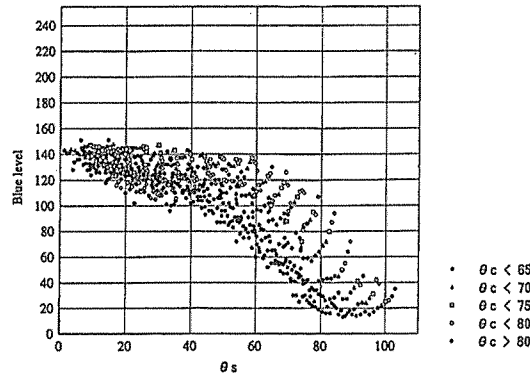


Fig. 8 Photographic density distribution in photo 1rf(Blue).

Table 1 Analyzed photographs.

No	Name	Position of Camera	Color of Balloon	Weather	Exposure
1	1wfd	1	White	Fine	Under
2	1wc	1	White	Cloudy	Correct
3	1gf	1	Green	Fine	Correct
4	1rf	1	Red	Fine	Correct
5	2wf	2	White	Fine	Under
6	2wc	2	White	Cloudy	Correct
7	2gf	2	Green	Fine	Correct
8	2rf	2	Red	Fine	Correct
9	1wfb	1	White	Fine	Correct
10	2rc	2	Red	Cloudy	Correct

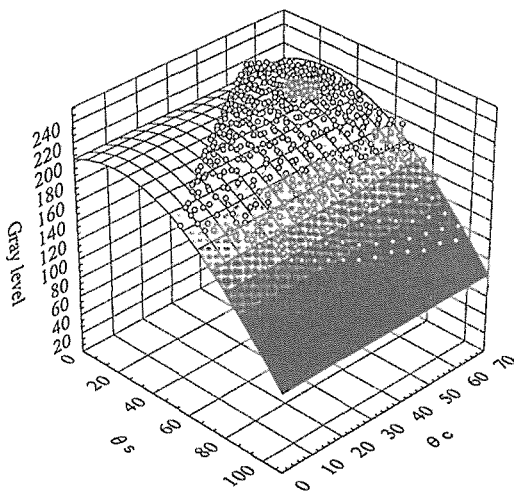


Fig. 9 The estimated curved surface of photo 1wfd (Gray).

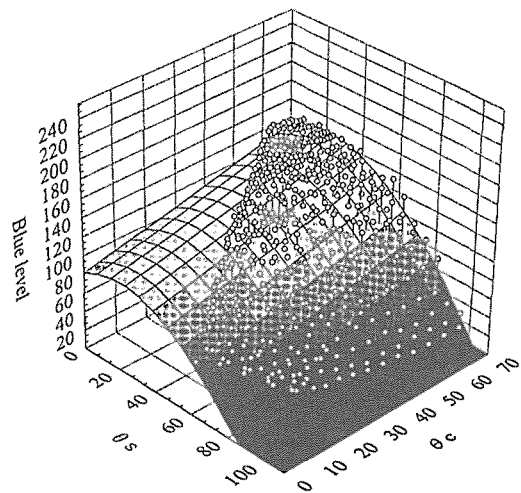


Fig.10 The estimated curved surface of photo 1rf (Blue).

θ_s および θ_c と濃度値との関係はFig. 5～8 のようになる。太陽位置は均時差を元に理科年表から算出した。ここであげた図は特徴的な例で、これら以外のバルーン色、濃度値においてもほぼこの4パターンにあてはまる結果となった。白色のバルーンのはFig. 5, 6に準ずるものが多く、緑色および赤色のバルーンではFig. 7, 8のパターンを示すものが多かった。ここで、各写真の濃度値の推定式(18)を想定した。

$$C = a_1 \cos \theta_s + a_2 (\theta_s - 45)^2 + a_3 \theta_c + a_4 \quad \dots \dots \dots (18)$$

(ただし、 C : Gray, Red, Green, Blueの各濃度値 a_i : パラメータ)

野外において、写真に撮影される色濃度は、対象物における全天日射の受光量とカメラへの反射量、およびフィルム特性によって決定される。全天日射量は直達日射、散乱日射、反射日射の各成分に分けられるが、晴天時や薄曇りの日射環境においては斜面形状の差異にもっとも大きな影響を与えるのは、直達日射量であると考えられる。そこで、推定式の第一項として、斜面が受ける受光量を与えた。また、フィルムには一定以上あるいは一定以下の露光量を受けた場合、露光量と写真濃度が比例せず、濃度の階調が白くとんだり、黒くつぶれるような現象が起こる。すなわち、濃度に上限、下限が生じる。そこで、第二項は、フィルム特性の限界を示す補正項とし、 θ_s の中央、45度にあたる角度からの偏差に関する負の二次関数で表した。さらに、物体は完全拡散面ではなく、一定量の直接反射成分を含む。この直接反射量は θ_c が大きいくほど増大すると考えられるため、 θ_c に関する補正項を第三項とした。なお、 θ_c があまりにも大きくなった場合、背景の色によって物体の色が大きく変調されるため、今回は θ_c が70度を超える点については分析を行わなかった。真上からバルーンを写したとき、 θ_c が70度以上になる斜面は傾斜が70度以上ある斜面であるから、空中写真への適用を考える上では θ_c が70度以上のものを除外しても実用上、問題はない。最後の定数項は、写真自体の明るさに関する成分と、散乱日射および反射日射による濃度への影響を含む。

式(18)における各パラメータを各写真の色別に準ニュートン法によって推定した。推定曲面と実測濃度値との関係を図示したものをFig. 9, 10に、推定式の寄与率、実測濃度値のレンジ、および推定したパラメータの値をTable 2に示す。推定式の適合度を示す寄与率は、低いもので74.7%, 高いものでは98.7%に達した。

一般的にレンジの低い写真、すなわち階調の乏しい写真 (Fig. 6に準ずるもの) において推定精度

Table 2 Results of statistical estimation.

Color	Order	Photo No	Contribution rations	Range	a_1	a_2	a_3	a_4
Gray	1	2wf	98.29%	103	51.81	-0.0166	-0.130	180.74
	2	2rc	97.94%	95	80.00	0.0012	0.308	96.19
	3	2gf	97.17%	127	44.36	-0.0270	0.286	169.11
	4	2rf	96.80%	95	83.08	0.0008	0.252	88.20
	5	1rf	96.13%	62	42.19	-0.0029	0.243	82.87
	6	1wfd	95.56%	107	70.29	-0.0117	-0.001	156.73
	7	1gf	91.92%	113	69.47	-0.0151	0.235	144.51
	8	1wc	91.56%	49	27.14	-0.0047	-0.003	204.47
	9	2wc	90.60%	38	5.81	-0.0075	-0.079	227.97
	10	1wfb	85.18%	49	21.09	-0.0059	-0.062	217.93
Red	1	2rc	98.09%	50	15.04	-0.0087	0.089	215.77
	2	2wf	98.05%	94	48.25	-0.0158	-0.150	193.72
	3	1rf	96.40%	67	42.29	-0.0070	0.107	180.65
	4	2rf	96.38%	59	24.40	-0.0106	0.114	204.40
	5	2gf	96.18%	215	88.41	-0.0423	0.762	98.31
	6	1wfd	95.30%	111	69.79	-0.0131	-0.018	167.97
	7	1gf	92.27%	203	129.69	-0.0295	0.647	58.93
	8	1wc	89.02%	44	20.96	-0.0055	-0.024	217.85
	9	2wc	85.12%	28	0.29	-0.0061	-0.071	236.34
	10	1wfb	74.69%	41	12.69	-0.0054	-0.068	230.48
Green	1	2wf	98.15%	104	50.88	-0.0165	-0.137	179.90
	2	2rc	97.97%	163	114.42	-0.0053	0.697	27.03
	3	2gf	96.88%	116	31.78	-0.0274	0.235	185.93
	4	2rf	96.71%	165	122.74	-0.0065	0.600	14.83
	5	1rf	95.33%	99	72.86	-0.0043	0.641	-15.27
	6	1wfd	95.18%	105	67.61	-0.0110	-0.012	157.25
	7	1wc	90.80%	49	27.26	-0.0044	-0.005	202.60
	8	2wc	90.32%	41	7.83	-0.0072	-0.083	225.47
	9	1gf	90.16%	105	59.72	-0.0141	0.153	162.77
	10	1wfb	85.21%	48	21.66	-0.0057	-0.067	216.15
Blue	1	2rc	98.73%	172	82.75	-0.0161	0.716	82.79
	2	2wf	98.21%	145	66.71	-0.0217	-0.025	159.73
	3	2gf	97.37%	184	54.96	-0.0393	0.524	144.97
	4	2rf	97.31%	189	105.35	-0.0191	0.736	51.48
	5	1wfd	95.86%	134	94.15	-0.0146	0.120	127.58
	6	1rf	95.22%	139	95.70	-0.0131	0.733	12.40
	7	1gf	91.08%	155	90.04	-0.0181	0.354	113.117
	8	1wc	90.52%	67	38.50	-0.0059	0.059	191.75
	9	2wc	90.17%	54	4.02	-0.0118	-0.070	228.11
	10	1wfb	87.29%	76	35.16	-0.0090	-0.024	205.24

が低くなる傾向にある。Fig.11はやや露出がアンダー気味の写真1wfd (Fig.5) とほぼ同時に適正露出で撮影した写真1wfbにおけるGray濃度値の分布であるが、アンダー気味の写真 (Fig.5) と比較するとそのレンジが非常に狭く、濃度値が頭打ちになって階調がつぶれていることがわかる。このような写真では推定精度が悪化するだけでなく、同一写真の中であっても周辺減光による補正が不可能になることも予想されるため、評価には極力使用しない方がよい。レンジ値は100階調以上になるよう、日射条件とバルーンの色によって露出を加減すべきである。特に白色バルーンを用いる際にはアンダー気味に撮影すべきである。非常によい推定結果が得られた写真2wfもかなりアンダーな写真である。空中写真などで撮影時の露出が自由に調整できない状況においては、灰色のバルーンが適しているのではないと思われる。

今回の写真は晴天あるいは薄曇りの天候下であるため日射に直達成分が多く、式(18)のような直達日射量を主眼においた推定式を作成した。実際に空中写真が撮影される状況もこうした晴天下であることが多いが、太陽の位置がわからないほどの曇天下であるならば、鳥瞰図のレンダリングに用いられるような散乱光を主眼においた推定式の方が適す可能性がある。すなわち、天頂方向と斜面法線のなす角を θ_s と置き換えた式(19)が効果があると予想される。

$$C = a_1 \sin \beta + a_2 (\beta - 45)^2 + a_3 \theta_c + a_4 \dots \dots \dots (19)$$

お わ り に

以上、バルーン上の座標系から写真座標系への座標変換式を導出し、それを用いてバルーン上の色濃度分布に対する高精度の色濃度推定式を作成した。この式を写真撮影時の日射環境における斜面形状に対する輝度補正係数式として使用し、周辺減光に対する補正法⁶⁾と併用することにより、写真上の色情報を現実の色濃度により近いものへ補正することができると考えられる。次報では、実際の空中写真とDEMを用いて写真全体の補正を試み、実際の林況の推定精度について報告する予定である。

本研究におけるバルーンの撮影にあたっては、京都大学農学部附属和歌山演習林の職員の方々にご協力いただいた。特に文部技官境慎二朗氏には大変お世話になった。ここに記して感謝の意を表す。なお、本研究は文部省科学研究費 (08876031) により行った。

引 用 文 献

- 1) 地理情報システム学会森林計画分科会 (1996) : 森林GISシンポジウム「期待される森林GIS像」報告書, 京都, 51pp
- 2) 長谷川尚史 (1993) : 写真を用いたスギ人工林の地位判定に関する研究, 京都大学修士論文
- 3) 長谷川尚史・神崎康一・竹内典之 (1993) : 写真を用いたスギ人工林の地位判定に関する研究, 日林論, 104, 881-882

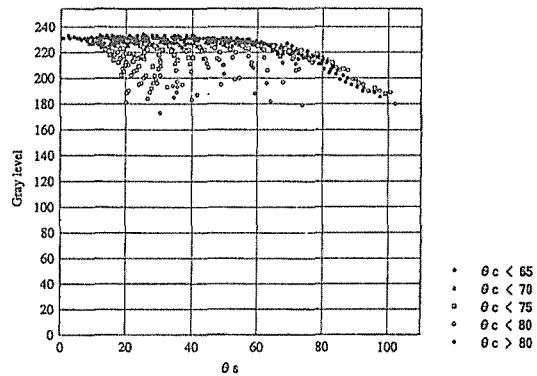


Fig.11 Photographic density distribution in photo 1wfb(Gray).

- 4) 長谷川尚史・境慎二郎・浅野善和・山田幸三・松場輝信・松場京子 (1996) : 和歌山演習林における人工林調査 (Ⅲ) - 固定標準地の標準性と類型化について -, 京大演集報, 29, 69-83
- 5) 石川陽明 (1995) : 地理情報システムを利用した空中写真の活用法の検討, 森林航測, 175, 14-19
- 6) 石川善朗 (1996) : 写真濃度による林分の識別, 森林計画誌, 26, 65-72
- 7) 伊藤達夫 (1995) : 森林GISにおけるデータ検索のユーザーインターフェース, 森林航測, 175, 1-5.
- 8) 加藤正人 (1990) : 衛星リモートセンシングとGISの統合に基づく森林管理の展望, 日本リモートセンシング学会誌, 10 (3)
- 9) 古藤田一雄 (1986) : 直達・散乱成分を考慮した斜面全天日射量の簡易推定法, 農業気象, 42 (3)
- 10) Merle Meyer and Lee Werth (1990) : Satellite Data : Management panacea or potential problem, Journal of Forestry, 9, 10-13
- 11) The National Board of Forestry (1990) : A Richer Forest, Libergraf, 133pp
- 12) 大貫仁人 (1981) : LANDSATデータの地形条件の差による電磁的歪の補正法とその効果, 日林論, 92, 147-148
- 13) 応用物理学会光学懇話会編 (1986) : 色の性質と技術, 朝倉書店, 東京, 202pp
- 14) 齋藤英樹・平田泰雅・沢田治雄・増田義昭 (1994) : リモートセンシングとGISを併用した森林変化の抽出法 (Ⅱ) - DTMを用いたTMデータに与える地形の影響の把握 -, 日林論, 105, 167-170
- 15) 妹尾俊夫・岩浪英二・田中總太郎・杉村俊郎 (1983) : 比演算を施した2季節のランドサットMMSデータによる広域山地の林相区分, 日本リモートセンシング学会誌, 3 (3), 55-65
- 16) 田中益男 (1992) : 写真の科学, 共立出版, 東京, 284pp

Summary

To utilize color information on aerial photographs, a modulation method of the slope brightness on aerial photographs were introduced by means of using balloons as a color index. At first, a formula of geometric transformation from any points on the balloon to the points on the photographs was arrived. Secondly, color balloons were pictured, and a density distribution of the balloon color in photographs were analyzed. In consequence, the photographic density distribution was estimated in good precision. The formula for estimation includes 2 variables which indicates angles from the sun and from the camera to the slope's normal line, and 4 parameters which indicates the condition of insolation and the film condition. Contribution ratios of the formula are 74.7~98.7%.