

## 鹿児島大学高隈演習林に対する空中写真の撮影と写真諸元の計算

著者	長 正道, 馬田 英隆, 前田 利盛, 井之上 俊治, 松元 正美, 野下 治巳, 松野 嘉昭
雑誌名	鹿児島大学農学部演習林報告
巻	23
ページ	101-111
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10232/1039">http://hdl.handle.net/10232/1039</a>

# 鹿児島大学高隈演習林に対する空中写真の撮影と写真諸元の計算

長 正道・馬田 英隆・前田 利盛・井之上俊治  
松元 正美・野下 治巳・松野 嘉昭  
(演 習 林)

## The Taking of Aerial Photographs and Charactric Features Calculation of Photographs in Kagoshima University Forests at Takakuma.

Masamichi CHYO, Hidetaka UMATA, Toshimori MAEDA, Toshiharu INOUE,  
Masami MATSUMOTO, Harumi NOSHITA and Yoshiaki MATSUNO  
(Kagoshima University Forests)

### はじめに

森林の経営管理は時間的規整と空間的管理が重要である。すなわち森林という広大な空間において、その森林あるいはそこに成立する林木が時間的に成長し、また伐採・造林その他による更新や枯損・開発等による消失がどのように変化しているかを把握することが経営上重要な要因の一つとなる。これらを把握する方法としてはサンプリング調査や連続調査法（Continuous Forest Inventory：略称CFI）その他いろいろな方法があるが、経年空中写真の利用も有力な方法の一つである。

空中写真は広範囲に亘り利用が可能である。その中で森林を対象とする場合は、林相や地形の判読、蓄積・成長量の推定、面積測定、林分構造・地形の解析、施業・経営・砂防治山工事・造林・保育・伐採・搬出（林道・集運材架線・土場）等の計画、山地崩壊・風害・雪害・山火等の被害調査と予防計画、森林の遷移の状態にもとづく森林環境の変化の推定、森林の公益的機能の推定、等々がある。わが国の森林は多くの場合、樹種や林齢、疎密度、蓄積度等のそれぞれが異なる多種多様の林分構造を呈するのが常であり、また複雑な地形とあわせ急傾斜地も少なくない。これらに加えて近年における山林労務事情の窮迫化もあって、とくに森林調査では空中写真の有効適切な利用は不可欠となっている。しかしそのためには利用条件に合った、また可能な限り新しく撮影された空中写真の存在が望まれる。

たまたま鹿児島大学高隈演習林は1993年7月7日、8月2日、8月9日、および9月3日の4回に及ぶ記録的な豪雨や大型台風が襲い、そのため演習林全域で風倒木や崖崩れ、林道崩壊等の大きな被害が随所に発生した。また本演習林は第10次経営案の編成期にきていることもあって、この機会に被害調査や森林調査を目的として空中写真の撮影を計画した。そして高隈演習林全域（面積3067.92ha）を対象に1994年5月16日、カラー空中写真の撮影を実施した。

ここでは、カラー空中写真の撮影に際して行った撮影計画の検討と、これにもとづいて撮影された空中写真に対する写真縮尺および基線長等の諸元の計算を行ったので、記録を兼ねてその結果を報告する。

## 空中写真の撮影

### 1. 既存の空中写真

高隈演習林が撮影されている既存の空中写真で現在本演習林が所有しているものは下記に示す6組がある。それらの明細は次のとおりである。

- (1) 1947年米・極東軍撮影, VV 9 PRS, CW13・14, 広角写真 (レンズ焦点距離  $f = 152.70 - 154.00$  mm), 撮影高度  $H = 15500 - 26000$  ft (4700 - 7880m), 撮影縮尺  $S = 1 / 40000$   
M549/48-50: 3枚, M552/24-27: 4枚, M553A/23-27: 5枚 (以上3コース/12枚)
- (2) 1970年国土地理院撮影, KU-70-5 X, 広角写真,  $S = 1 / 20000$   
C 3/12-14: 3枚, C 4/12-14: 3枚, C 5/8-13: 6枚, C 6/3-7: 5枚, C 7/5-7: 3枚 (以上5コース/20枚)
- (3) 1974年国土地理院撮影, CKU-74-14, 広角写真 ( $f = 152.46$ mm), カラー,  $S = 1 / 8000$   
C 5/3-6: 4枚, C 6/3-5: 3枚, C 7/3-6: 4枚, C 8/4-8: 5枚, C 15/15-21: 7枚, C 31/1-11: 11枚, C 16A/4-15: 12枚, C 17/6-14: 9枚, C 18A/11-13: 3枚 (以上9コース: 58枚)
- (4) 1980年鹿大演習林撮影, 普通角写真 ( $f = 208.29$ mm), カラー,  $S = 1 / 10000$   
C 1/1-5: 5枚, C 2/1-5: 5枚, C 3/1-6: 6枚, C 4/1-7: 7枚, C 5/1-12: 12枚, C 6/1-12: 12枚, C 7/1-6: 6枚 (以上7コース/53枚)
- (5) 1984年垂水市撮影, 広角写真 ( $f = 153.76$ mm),  $S = 1 / 8000$   
C 3/12-14: 3枚, C 4/11-16: 6枚, C 5/11-17: 7枚, C 6/13-20: 8枚, C 7/17-29: 13枚, C 8/15-31: 17枚, C 9/16-29: 14枚 (以上7コース/68枚)
- (6) 1988年鹿児島県撮影, 広角写真 ( $f = 153.12$ mm),  $S = 1 / 12500$   
E 4 C/3-6: 4枚, E 5 C/3-5: 3枚, E 6 C/4-7: 4枚, E 7 C/5-12: 8枚, E 8 B/4-11: 8枚, E 9 B/8-10: 3枚 (以上6コース: 30枚)

### 2. 撮影計画の検討

高隈演習林に対する空中写真の撮影は写真縮尺 (S) を下記の基準にもとづいて決定し, これにより撮影高度 (H), および撮影基線長 (b), 撮影コース間隔 (c) 等をそれぞれ次のとおり算定した。

#### (1) 写真縮尺 (S) の決定

写真縮尺はその使用目的により異なる。一般には下記の基準をもとにして決定される。

縮尺の区分	縮尺の範囲	備考
超 大 縮 尺	1/100 - 1/500	ヘリコプター, 気球, 搭等より撮影 一般に使用される空中写真
大 縮 尺	1/600 - 1/2000	
中 縮 尺	1/5000 - 1/10000	
標 準 縮 尺	1/10000 - 1/20000	
小 縮 尺	1/30000およびそれ以下	
超 小 縮 尺	1/100000 - 1/250000	宇宙空間より撮影

通常、森林地帯や奥地山岳林等を対象とする農林水産省林野庁（国有林）では普通角写真（ $f = 210\text{mm}$ ）による  $1/20000$  の写真縮尺で撮影するケースが多い。これに対し都市部やその周辺、田園部、都市近郊林、国有林以外の民有林等を対象とするケースが多い建設省国土地理院や県、市等では広角写真（ $f = 150\text{mm}$ ）による  $1/8000 \sim 1/20000$  の写真縮尺で撮影されるのが一般である。因みに高隈演習林に対し過去に撮影された空中写真は、1980年に演習林が計画し撮影したカラー空中写真以外はその殆どが広角写真である。

広角写真は対象地域の比高差が少ないことが撮影条件の一つとなる。高隈演習林の場合、標高が最も高いところは鷓岳（びしゃごだけ）の  $885.0\text{m}$ 、逆に一番低い部分は北部に位置する37林班西方のおよそ  $100\text{m}$  である。したがってその比高差は  $785\text{m}$  である。この程度の比高差の場合、一定の撮影高度が保たれば広角写真で被害調査や森林調査等の使用目的は十分に達することが可能である。なお、写角は普通角写真の  $62^\circ$  に対し、広角写真は  $93^\circ$  と大きく、それだけ写真の撮影枚数が軽減されることからコストの面では有利となる。

これらのこと等から、高隈演習林に対する空中写真の撮影は広角写真によることとした。また写真縮尺は被害調査と共に森林調査を主とした使用目的とすることから、撮影基準面における密着写真の撮影計画縮尺は  $1/20000$  とした。森林調査のための樹種や立木本数、樹冠直径、樹高等の判読測定に際しては2倍引伸写真を使用する予定であり、したがってそのときの写真縮尺は概略  $1/10000$  となる。また実際に判読測定を行うときは反射鏡式実体鏡（Mirror stereoscope）の拡大双眼鏡（レンズの倍率：約3倍）を使用するため写真像の可視縮尺は更に大きくなることになり、十分なサイズであるとの判断にもとづくものである。

### (2) 撮影高度（ $H_p$ ）の計算

写真縮尺（ $S = 1/20000$ ）および写真の種類（広角写真： $f = 150\text{mm}$ ）が決定すれば、これにより撮影高度（ $H_p$ ）は次式により計算で求められる。

$$\begin{aligned} H_p &= S \cdot f \\ &= 20000 \times 0.15 = 3000 \text{ (m)} \end{aligned}$$

ただし  $S$ ：写真縮尺の分母数（20000）

$f$ ：使用カメラのレンズ焦点距離（ $0.15\text{m}$ ）

$H_p$ ：撮影高度

すなわち写真計画縮尺  $S = 1/20000$ 、使用カメラのレンズ焦点距離  $f = 0.15\text{m}$  から、空中写真の撮影高度  $H_p$  は  $3000\text{m}$  となる。ただし撮影の対象地域に比高差を有する場合は写真像の歪みを最小限にとどめるためその比高差の  $2.5 \sim 3.0$  倍、通常3倍の撮影高度を保つ必要がある。高隈演習林における比高差は前述のとおり最高部が鷓岳の  $885.0\text{m}$ 、最低部が37林班西方のおよそ  $100\text{m}$  であることから、その比高差は  $885.0 - 100 = 785.0\text{m}$  である。したがって写真像の歪みを消去するための撮影高度  $H_p$  は最低限

$$H_p = (885.0 - 100) \times 3 = 2355 \text{ (m)}$$

となる。したがって上記の計算で求められた撮影高度  $H_p = 3000\text{m}$  はこの条件を十分にカバーしていることになる。

### (3) 撮影基線長（ $b$ ）と撮影コース間隔（ $c$ ）の計算

撮影基線長（base line： $b$ ）は連続撮影における1枚目の写真の撮影点から次の2枚目の写真の撮影点までの距離をいい、次式により計算で求める。なお、隣接する写真相互間の重複度（Over lap： $Ol$ ）は60%をとる。

$$b = a \cdot S \left(1 - \frac{Ol}{100}\right) \\ = 0.23 \times 20000 \times \left(1 - \frac{60}{100}\right) = 1840 \text{ (m)}$$

ただし a：密着写真の1辺長の長さ (0.23m)

S：基準面の写真縮尺の分母数 (20000)

Ol：オーバーラップ (60%)

Sℓ：サイドラップ (30%)

すなわち1枚目の写真の撮影点から次の2枚目の写真の撮影点までの距離つまり撮影基線長 (b) は計算結果では1840mとなる。

次にコース間隔 (course interval : c) は1飛行コースから次の飛行コースまでのコース間の間隔 (距離) をいい、次式により計算される。なお、コース間の重複度、つまりサイドラップ (Side lap : Sℓ) は通常30%をとる。これによりコース間隔 (c) は

$$c = a \cdot S \left(1 - \frac{S\ell}{100}\right) \\ = 0.23 \times 20000 \times \left(1 - \frac{30}{100}\right) = 3220 \text{ (m)}$$

つまり3220mとなる。

#### (4) 連続撮影された写真1枚の有効面積

1コース上で60%のオーバーラップ、およびコース相互間のサイドラップ30%で撮影された場合、基線長  $b = 1840\text{m}$ 、コース間隔  $c = 3220\text{m}$  から、連続撮影された空中写真1枚の有効面積 ( $Q_n$ ) は次のとおりとなる。

$$Q_n = b \cdot c \\ = 1840 \times 3220 = 592.48 \text{ (ha)}$$

これにより撮影対象地である高隈演習林の全面積  $A = 3067.92\text{ha}$  に対する写真撮影枚数 ( $n$ ) は次のとおりとなる。ただし実際は周辺部に対する余裕等をみて若干の安全率をみるのが普通である。安全率は通常30%を見込む。

$$n = \frac{A}{Q_n} \times 1.3 \\ = \frac{3067.92}{592.48} \times 1.3 = 6.73 \div 7 \text{ (枚)}$$

すなわち高隈演習林に対しては空中写真は計算上は7枚の撮影が必要となる。

#### (5) 撮影方法

空中写真の撮影は通常は対象地域に対し東西 (E-W) 方向にコースをとって撮影される。これを表面撮影という。しかし高隈演習林は北東方向から南西方向に細長く南下した形状を呈しており、その距離は11km余となっている。また1~8林班および17, 18林班が位置する南部は広がっていておよそ7kmの幅を有する。そのため通常の表面撮影では写真枚数が必要以上にふえることになる。このような場合は対象地の地形に沿って線状に撮影すれば効率的である。また演習林の形状が上述のように南部で幅が広がっているため1コースのみでは南部がカバーできない。したがって今回は高隈演習林に対し、その形状に沿って2コースの線状撮影を行うこととした。

### 3. 撮影の実施

前項により検討された撮影計画にもとづき、高隈演習林 (面積3067.92ha) 全域を対象とするカラー空中写真の撮影は下記のとおり実施した。

#### ①撮影計画機関：鹿児島大学演習林

- ②撮影機関：太平洋航業株式会社
- ③撮影年月日：1994年5月16日
- ④撮影計画縮尺：1 / 20000
- ⑤撮影高度：3000m
- ⑥撮影時刻：14<sup>h</sup>35<sup>m</sup>00<sup>s</sup> - 14<sup>h</sup>43<sup>m</sup>11<sup>s</sup>
- ⑦使用カメラ：WILD 15 / 4 UAG
- ⑧レンズ焦点距離：f = 152.75mm (レンズNr. 13038)
- ⑨密着写真の画面サイズ：23cm×23cm (広角写真)
- ⑩写真枚数：2 コース / 11枚

#### 4. 成 果 品

以上により撮影されたカラー空中写真はその成果品として評定図、密着空中写真、2.0倍引伸空中写真、および4.0倍引伸空中写真が撮影機関より納入された。

##### (1) 評 定 図

評定図は撮影された空中写真の主点（中心点）を対象地域の地形図上に図示したもので、これにより写真相互の位置関係を明瞭に把握することができる。図1は高隈演習林におけるカラー空中写真の評定図を示したものである。

図1の評定図から各写真間の基線長（b）は平均1695mとなっており、計算上の基線長（1840m）より若干短くなっている。したがって重複度（Over lap）はそれだけ大きくなっていることになる。この重複度の大きさ、および2コースの撮影によって写真の撮影枚数は11枚となった。因みにコース間隔（c）は計算値（3220m）に対し実際はおよそ3500mとなっており、逆にやや長くなっている。

##### (2) 空中写真

カラー空中写真は密着空中写真、2.0倍引伸空中写真、および4.0倍引伸空中写真の3種類、各11枚の納入を受けた。

密着空中写真は画面サイズ23cm×23cm、写真縮尺1 / 20000である。2.0倍引伸空中写真は密着写真を2倍に引伸したもので、写真の画面サイズ46cm×46cm、写真縮尺は概略1 / 10000となる。反射鏡式実体鏡の使用による樹種の判読や立木本数・樹冠直径・樹高等の主要判読測定要因の判読測定に用いるためのものである。4.0倍引伸空中写真は画面サイズ92cm×92cm、写真の概略縮尺1 / 5000である。したがって基本図とほぼ対応した縮尺となる。主として林班毎の各種の検討や各地域単位の計画、観察等に用いることを目的とするものである。

### 空中写真の諸元の計算

#### 1. 写真縮尺の計算

高隈演習林を対象に撮影された空中写真は前述の撮影計画の検討の項において撮影計画縮尺が決定され、これにより撮影高度や撮影基線長、撮影コース間隔等が計算された。そしてこれらにもとづいて写真縮尺1 / 20000により撮影が実施された。しかし実際には撮影高度つまり撮影時の飛行高度は計算値（ $H_p = 3000\text{m}$ ）とは若干の差異を生じるのが常である。そのため撮影縮尺も若干の差異を生じることになる。また対象地域の標高は最低100mから最高885m（鷓岳）となっており、比高差は785mを有している。したがって標高の違いにより縮尺はそれぞれに異なる。つまり、撮影点からの距離に近い



ところ（標高が高いところ）は大縮尺となり、逆に遠いところ（標高が低いところ）は小縮尺になり、これが地図とは基本的に異なる、空中写真が有する特性の一つでもある。

空中写真を用いて面積や樹高、樹冠直径（胸高直径に対応）、樹冠疎密度（立木本数に対応）等の主要判読要因の判読測定を行う場合、その測定対象地点における写真上の縮尺が必要不可欠となる。しかしその縮尺が場所（標高）によりそれぞれに異なるため、当該地点の縮尺はその都度求めなければならず極めて煩雑な作業となる。しかし同一条件で連続撮影された空中写真の場合、標高と縮尺の間には一定の関係（1次式による回帰関係）が成り立つことが知られている。その関係を事前に求めておけば、測定地点の標高を地形図上で読み取ることにより対応する写真上の縮尺は計算で簡易に求めることが可能となる。したがって標高と写真縮尺の関係について高限演習林を対象に以下のとおり行った。

まず①写真上顕著な個所を選んでA点（標高の低い地点：標高は $H_2$ ）およびB点（A点よりも標高が高い地点：標高は $H_1$ ）を決定しその長さ（ $g$ ）を測定する。次に②対応する地図上のA点、B点間の距離（ $G$ ）を測定（地図は1/25000地形図を使用）。③地図上でB点の標高（ $H_1$ ）、および④同じくA点の標高（ $H_2$ ）を読み取る。⑤ $H_1 - H_2$ により標高差（ $\Delta H$ ）を求める。⑥写真中心（Principal point：PP）からB点までの長さ（ $R$ ）を測定。⑦写真概略縮尺（ $1/S'$ ）を $G/g$ により求める。⑧撮影高度（概略）（ $H'_G$ ）を $f \cdot e \cdot S'$ により計算（ $f=0.15275\text{m}$ ：レンズ焦点距離、 $e=2.0$ ：写真引伸率）。⑨標高修正量（ $d$ ）を $R \cdot (\Delta H/H'_G)$ により計算。⑩ $(R-d)$ の地点を $B'$ とし写真上 $\overline{AB'}$ の長さ（ $g'$ ）を測定。⑪A点を基準面とする写真縮尺（ $1/S$ ）を $G/g'$ により求める。⑫同じくA点を基準面とする撮影高度（ $H_G$ ）を $f \cdot e \cdot S$ により求める。⑬標高0mからの撮影高度（ $H_p$ ）を $H_G + H_2$ により求める。

以上は対象地域の高限演習林内で可能な限り標高が低い地点から高い地点に跨るようにして計11個所のA点を取り測定と計算を行った。表1はその結果を一覧表として示したものである。

表1において⑬の $H_p$ つまり標高0mにおける撮影高度は3623mから3687mの幅を生じ、全体の平均値は3649.3mとなった。 $H_p$ は本来は同じ数値になるべきものである。しかし実際は写真上のA点、B点と地図上のA点、B点との対応の微妙なズレや地図上での標高の読みの精度が影響しているものと思われる。しかし平均値に対する差異の範囲は（-）26.3mから（+）37.7mにとどまっており、最大で（+）1.03%の差異に過ぎないので、求められた $H_p$ の値は何れもそのまま用いて差支えないと判断した。なお、空中写真による判読測定に際しては測定地点の標高（ $h_M$ ）を地形図等で読み取り、これを上述の $H_p$ にプラスして測定対象地点からの撮影高度（ $H_G$ ）を求めることになる。

いま、表1における11地点の各A点の標高（ $H_2$ ）を独立変数 $h_M$ とし、その各A点に対応する写真縮尺（ $1/S$ ）を従属変数 $S$ とにおいて、標高と写真縮尺の回帰式およびその相関係数（ $r$ ）を求めたところ次式がえられ、相関係数（ $r$ ）も極めて高い値となった。

$$\begin{aligned} S &= b_0 + b_1 \cdot h_M \\ &= 12031.7677 - (3.4673 \cdot h_M) \\ &\quad (r = -0.992) \end{aligned}$$

参考までに上記の回帰係数に対する分散分析を試みた結果は表2に示すとおりとなった。すなわち分散分析の結果、常数項（ $b_0$ ）、 $h_M$ の回帰の項（ $b_1$ ）ともに99%レベルで有意であった。

以上の結果にもとづいて、標高とそれに対応する写真縮尺の関係について標高をx軸にとり、また写真縮尺をy軸にとってグラフに示したのが図2である。これより主要判読要因等の判読測定対象地



表1 写真縮尺・写真撮影高度の測定と計算結果一覧

No. (写真No.)	1 (4775)	2 (4775)	3 (4777)	4 (4777)	5 (4777)	6 (4777)	7 (4778)	8 (4778)	9 (4780)	10 (4781)	11 (4781)
① g (cm)	7.79	14.15	21.35	16.40	13.19	15.51	28.85	22.70	12.90	16.00	14.65
② G (m)	800	1400	2125	1580	1208	1425	2812	2125	1400	1627	1575
③ H <sub>1</sub> (m)	708	708	885	885	885	885	885	885	493	563	563
④ H <sub>2</sub> (m)	449	539	403	576	632	734	280	495	213	234	336
⑤ ∠H (m)	259	169	482	309	253	151	605	390	280	329	227
⑥ R (cm)	10.30	10.30	10.35	10.35	10.35	10.35	17.35	17.35	12.30	13.60	13.60
⑦ 1/S'	1/10270	1/9894	1/9953	1/9634	1/9155	1/9188	1/9747	1/9361	1/10853	1/10156	1/10751
⑧ H' <sub>G</sub> (m)	3137.4	3022.6	3040.6	2943.2	2796.9	2806.9	2977.7	2859.8	3315.6	3102.7	4811.9
⑨ d (mm)	8.50	5.76	16.40	10.90	9.36	5.60	35.30	23.70	10.39	14.43	2.87
⑩ g'(cm)	7.69	13.85	19.81	15.80	12.30	15.00	25.41	20.35	12.31	14.65	14.50
⑪ 1/S	1/10403	1/10108	1/10727	1/10000	1/9817	1/9500	1/11067	1/10442	1/11373	1/11092	1/10862
⑫ H' <sub>G</sub> (m)	3178	3088	3277	3055	2999	2902	3381	3190	3474	3389	3318
⑬ H <sub>p</sub> (m)	3627	3627	3680	3631	3631	3636	3661	3685	3687	3623	3654

表2 回帰係数に対する分散分析

要 因	平 和 (SS)	自 由 度 (DF)	平方平均 (MS)	分 散 比 (F)
常 数 項	1210462080.20	1		189116.38**
h <sub>M</sub> の 回 帰	3440895.25	1		537.59**
誤 差	57605.55	9	6400.62	
全 体	1213960581.00	11		

点における標高を空中写真と地形図を対応させて読み取ることにより、その標高に対応する写真縮尺はグラフ上で概略が把握され、また回帰式により正確に求めることができる。

## 2. 修正基線長の計算

空中写真上で物体の高さ、標高、あるいは樹高等を求める場合、左右1対の空中写真を立体視しながら視差測定尺 (Parallax bar) または樹高測定板 (Parallax wedge) を使用して視差々を測定し計算でその高さを求めることになる。ここで必要となってくるのが修正基線長 (b) である。

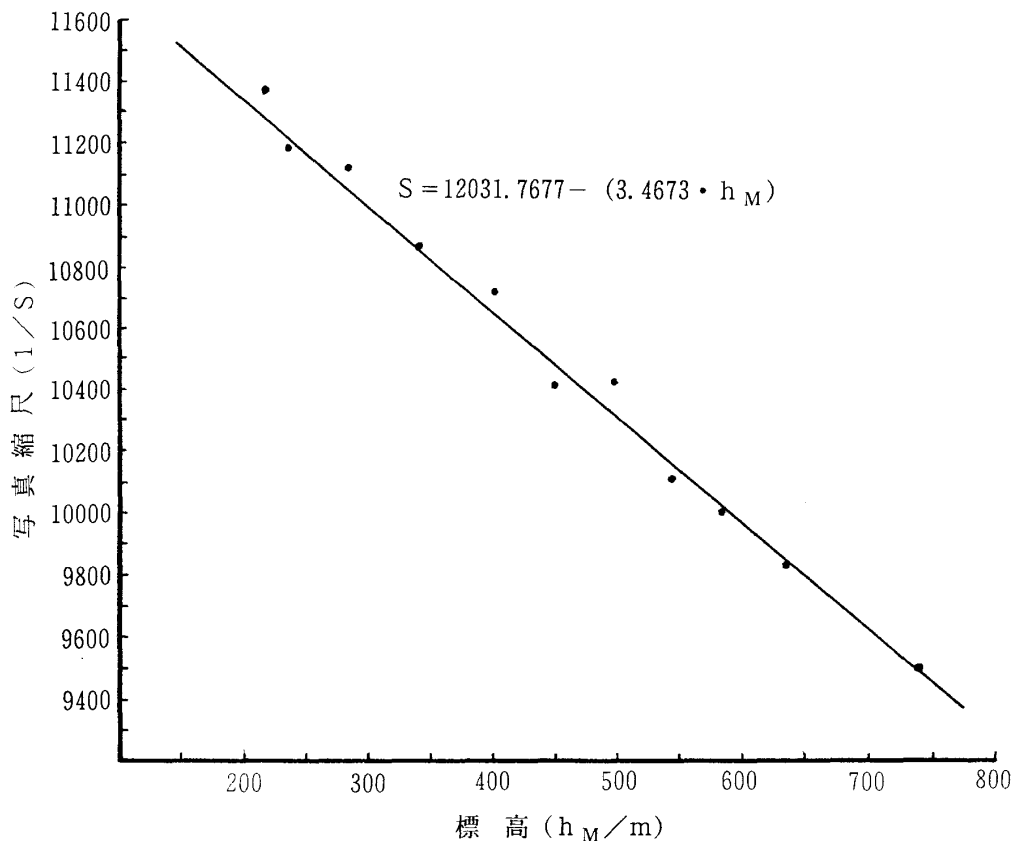


図2 標高 (h<sub>M</sub>/m) と写真縮尺 (1/S) の関係

前に撮影計画の検討で計算された基線長は撮影基線長で、これにもとづいて空中写真が撮影されている。しかし樹高その他の高さを求める場合は、測定地点の標高が場所によってそれぞれに異なるため、写真縮尺もその標高によってそれぞれに異なっている。と同時にここに適用する基線長  $b$  も標高によって異なってくる。したがってそれぞれの標高に対応する基線長を事前に求めておく必要がある。これを修正基線長という。

修正基線長は標高が高くなるにしたがって長くなる。しかしその変化量 (長さ) は僅かであるため、通常は100m単位で基線長修正量  $K$  を計算で求める。

なお、それぞれの空中写真は連続撮影されているが、その撮影対象地域は少しずつ移動しており、そのため各空中写真の中心標高もそれぞれに異なっている。これに伴って、当然、各写真の基線長も異なってくる。したがって修正基線長は測定対象地域をカバーする空中写真に対し、同一コースで隣接するすべてのペアつまり組み合わせについて求める必要がある。今回、高隈演習林に対して撮影された空中写真は全体で2コース11枚である。したがって修正基線長は空中写真の1コースの1枚目と2枚目、同2枚目と3枚目、といった同一コースの隣接する写真の組み合わせ (2コース目も同じ) による9ペアのそれぞれに対する計算が必要である。ここではその中で演習林のほぼ中央部が撮影されている空中写真No.4778とNo.4779の1ペアのみを対象に計算例を示すにとどめた。なお、実際の修正基線長はここでは標高50m単位で計算した。

写真No.4778 (左写真) とNo.4779 (右写真) に対する左写真基線長 ( $L_b$ ): 138.2mm, 右写真基線長 ( $R_b$ ): 152.9mm, 右写真中心標高 ( $R_{h_M}$ ): 200.0m, 左写真中心標高 ( $L_{h_M}$ ): 565.0mとなった。

これより標高50m単位の基線長修正量Kは次式のとおりとなった。

$$K = \frac{Lb - Rb}{Rh_M - Lh_M} \times 50$$

$$= \frac{138.2 - 152.9}{200.0 - 565.0} \times 50 = \frac{-14.7}{-365.0} \times 50 = 2.014 \text{ (mm)}$$

ただし Lb : 左写真基線長

Rb : 右写真基線長

Rh<sub>M</sub> : 右写真中心標高

Lh<sub>M</sub> : 左写真中心標高

すなわち標高50m毎の基線長修正量Kは2.014mmとなった。このK=2.014mmから各標高に対応する修正基線長は表3に示すとおりである。

表3 標高に対応する修正基線長

標 (h <sub>M</sub> /m)	高	修正基線長 (b/mm)	
Lh <sub>M</sub> +300	865.0	Rb + 6 K	165.0
Lh <sub>M</sub> +250	815.0	Rb + 5 K	163.0
Lh <sub>M</sub> +200	765.0	Rb + 4 K	161.0
Lh <sub>M</sub> +150	715.0	Rb + 3 K	158.9
Lh <sub>M</sub> +100	665.0	Rb + 2 K	156.9
Lh <sub>M</sub> + 50	615.0	Rb + 1 K	154.9
Lh <sub>M</sub>	565.0	Rb	152.9
Lh <sub>M</sub> - 50	515.0	Rb - 1 K	150.9
Lh <sub>M</sub> -100	465.0	Rb - 2 K	148.9
Lh <sub>M</sub> -150	415.0	Rb - 3 K	146.9
Rh <sub>M</sub> +200	400.0	Lb + 4 K	146.3
Rh <sub>M</sub> +150	350.0	Lb + 3 K	144.2
Rh <sub>M</sub> +100	300.0	Lb + 2 K	142.2
Rh <sub>M</sub> + 50	250.0	Lb + 1 K	140.2
Rh <sub>M</sub>	200.0	Lb	138.2
Rh <sub>M</sub> - 50	150.0	Lb - 1 K	136.2
Rh <sub>M</sub> -100	100.0	Lb - 2 K	134.2
Rh <sub>M</sub> -150	50.0	Lb - 3 K	132.2

(注) 写真No.4778 (左写真) とNo.4779 (右写真) による

## おわりに

高隈演習林を対象に撮影されたカラー空中写真に対する撮影計画の検討、およびこれにもどづいて撮影された空中写真の写真縮尺、修正基線長(一部)等の写真諸元は以上のとおり計算された。これにより空中写真を用いて樹種や林相判読による林型区分、傾斜度・傾斜方向等の地形区分、林小班等の面積測定、蓄積推定のための立木本数・樹冠直径・樹高・樹冠疎密度等の判読測定を行うための準備作業は一応整ったことになる。なお、その場合、判読測定に用いる空中写真が密着写真の何倍に引

伸したものを使用するかを決定する必要がある。引伸率については前に述べたとおり通常は2.0倍引伸写真が写真縮尺や実際の判読測定作業上からも最も適している。したがってここで行った写真縮尺や修正基礎長の計算は何れも2.0倍引伸写真を対象にした。これにより、たとえば面積(A)や立木本数(N)、樹冠直径(CD)、樹高(H)、樹冠疎密度(CC)等の主要判読要因に対する判読測定やその計算等はそれぞれの測定法および計算式にもとづいて行うことになる。なお、これらは何れもペアになった左右1組の空中写真による立体視下のもとに行わなければならない。

空中写真に対する判読測定はその研究目的や調査の内容によってそれぞれに異ってくる。高度3000mの上空から光学機器によって撮影され、各種の情報がその被写体と共に感光材料であるフィルム上に記録され空中写真像として印画紙上に表現されていることから、これらを如何に有効適切に活用するかはこれを実際に使用するユーザーの問題である。

### 謝 辞

今回、高隈演習林に対しカラー空中写真の撮影を計画し実施するにあたり、演習林長の石井弘教授および演習林総務係の吉満義照前係長、東條秋男係長、小山朋彦事務官、山元ひろみ事務補佐員、高隈演習林の中濱計佐吉前事務係長、日高安美事務係長の各氏に種々の便宜をいただいた。また空中写真の撮影計画の検討ならびに本稿の取り纏めに際し空中写真の諸元の計算について、生物生産学科森林資源学講座(森林計画学研究室)の吉田茂二郎助教授に指導や助言等をいただいた。ここに記し深謝の意を表する。

### 参 考 文 献

F. LOETSCH and K. E. HALLER (1964): Forest Inventory (Volume I: Statistics of Forest Inventory and Information from Aerial Photographs), Blv Verlagsgesellschaft Munchen Basel Wine, p. 299-417.

片岡秀夫(1959): 近代的森林調査法の実務, 日本林業調査会, pp. 289.

中島 巖(1961): 森林航測概要, 地球出版, pp. 226.

林野庁監修・日本林業技術協会編(1970): 森林航測ハンドブック, 日本林業技術協会, pp. 499.

T. E. AVERY (1970): Interpretation of Aerial Photographs (Second Edition), Burgess Pub. Co., pp. 324

渡辺 宏(1993): 最新・森林航測テキストブック, 日本林業技術協会, pp. 264.