

## 空中写真簡易測量方法の検討

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
著者	相浦, 英春
巻/号	71巻1号
掲載ページ	p. 15-19
発行年月	1989年1月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## 短 報

## 空中写真簡易測量方法の検討\*

相 浦 英 春\*\*

## I. はじめに

山間地の面積を現場で測量することは、急峻な立地条件や植被などによって困難な場合も多い。こうしたことから面積を把握する簡易な方法として空中写真を利用することはたいへん有力な手段である。しかし、空中写真には中心投影に起因する像のひずみがあるため、面積を測定するにはそれを補正する必要がある。その簡易な方法として図解射線法(3, 6, 8)があるが、測量板上に射線を引いて図化を行うために、手間がかかることも多数の測点を取った場合に作業が煩雑になる。また、崩壊地を対象にした他の補正方法(1, 2)があるが、小面積で大きな誤差を生じたり、作業に熟練を要する。そこで、作業の煩雑さを避けるとともに、小面積を対象とした場合の誤差を小さくするために射線法の原理に基づき、図解射線法において用いられる測量板をパーソナル・コンピュータ内に与えた直角座標に置き換えて、重複撮影された垂直写真に対する空中写真簡易測量を行った。

本報告では、これまでのパーソナル・コンピュータを利用した面積測定と図化の方法(4, 5)を、左右両写真からのデータ入力を独立させることによってさらに簡略化するとともに、標高の測定を試みた。また、この方法によって求められた値と、地形図などから得られた値を比較し、精度について検討した。

## II. 方 法

図解射線法は、空中写真が持つ幾何的な性質を利用して、図解的な方法によって写真上で位置を測量し、これに基づいて面積測量などを行う技術である(7)。その手順は以下のように要約される。

- 1) 立体視によって各々の主点と測点を2枚の写真に与える。
- 2) 地図と空中写真との間で明瞭に対応する点を3点選び、それを基準に写真主点の位置を地図上に移写するとともに、測量板に図化基線を与える。
- 3) 測量板の図化基線を写真基線と写真主点にそれぞれ

一致するようにセットする。4) 左右の写真主点から各測点に放射線を引き交差点を求める。5) 得られた各点を結んで平面図を作成し、その面積を求める。

## 1. 面積の測定と図化

ところで、図解射線法において使用した測量板を、コンピュータ内に与えた直角座標に置き換え、主点および測点をデジタイザーを使って座標値として入力することにより、交差点は座標値として計算によって求められる。

まず、左写真の主点を原点とし、その写真基線方向を  $X$  軸とする直角座標を考えると、左写真における放射線は原点を通る直線

$$Y = aX$$

$a$ : 直角座標における左写真の放射線の傾きとなる。

また、右写真における放射線は、

$$Y = b(X - L)$$

$b$ : 直角座標における右写真の放射線の傾き、 $L$ : 図化基線長

となる。したがって、交差点の座標  $(x, y)$  は2つの放射線の基線からの傾き  $a, b$  と図化基線長  $L$  から求められ、

$$(x, y) = \left( \frac{-b}{a-b}L, \frac{-ab}{a-b}L \right)$$

となる(図-1)。ただし、測点が写真基線上にある場合には、交差点は図化基線を左写真の主点から測点までの距離と、右写真の主点から測点までの距離の比に分割する点になる。

したがって、パーソナル・コンピュータを使った射線法による面積の測定と図化の手順は次のようになる。

- 1) 立体視によって各々の写真主点を相手写真上に移写する。
- 2) 地図と空中写真との間で明瞭に対応する点を3点選び、それを基準に写真主点の位置を地図上に移写し、図化基線長( $L$ )を求める。
- 3) 立体視によって各々の写真上の互いに対応する測点を刺針する。
- 4)

\* Hideharu AIURA: A study of analytical radial triangulation on the stereoscopic photographs

\*\* 富山県林業技術センター林業試験場 Forest Exp. Sta. Toyama For. and Forest Prod. Res. Center, Tateyama, Toyama 930-13

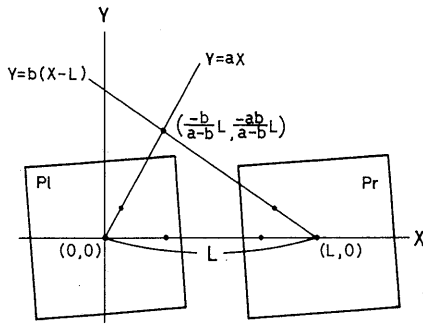


図-1. 交会点の座標

a, 左写真の放射線の傾き; b, 右写真の放射線の傾き;  
L, 図化基線長

デジタル上左写真を乗せ、主点と基線上の点(右写真の主点の移写点)を入力する。5) 左写真のすべての測点の座標を入力し、左写真における放射線の傾き(a)を求める。6) デジタル上の写真を右写真に替えて、右写真の主点と基線上の点を入力する。7) 5)で入力した左写真の図形をディスプレイに表示し、そこに表れる次の入力順を示すマークを確認しながら、それに対応する右写真の測点の座標を5)と同じ順序ですべて入力し、右写真における放射線の傾き(b)を求める。8) 各測点に対するa, bの値およびLの値から、計算によって交会点の座標を求める。9) 交会点の座標を結び、面積を求める。10) 交会点の座標をもとに、XYプロットによって図化する。

ところで建築物、田畑、崩壊地などのように、空中写真上で明瞭に識別できるものを対象とする場合には、ほとんどの測点については手順7)においてディスプレイに表示された左写真の図形と、デジタル上の右写真の写真像を対比することによって、対応する測点を同定できることから、手順3)の立体視による写真への刺針を最小限に省略することが可能となり、測定作業はさらに簡略化できる。

## 2. 標高の測定

各測点の標高( $H_n$ )は次式、

$$H_n = H_0 - (F \cdot L_n / l_n)$$

$H_0$ : 撮影高度,  $F$ : 写真の焦点距離,  $L_n$ : 主点から測点までの実際の距離,  $l_n$ : 主点から測点までの写真上での距離

によって求められる(図-2)。

ところで、 $L_n$ は面積測量で得られた交会点の座標と使用した地図の縮尺より求められる。また、 $l_n$ は面積の測定で入力した主点と各測点の写真上での座標から

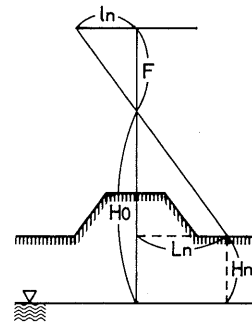


図-2. 測点の標高

$H_n$ , 測点の標高;  $H_0$ , 撮影高度;  $F$ , 焦点距離;  $L_n$ , 主点から測点までの実際の距離;  $l_n$ , 主点から測点までの写真上での距離

求められる。したがって、 $H_0$ と $F$ の値を空中写真に写し込まれたデータから与えることによって、各測点の標高を求めることができる。

また、撮影高度が空中写真に写し込まれていない場合にも、地図と空中写真で照合することのできる2つの測点から求めることができる(7)ことから、その2点を2枚の写真の主点におくと、

$$H_0 = ((F \cdot L \cdot M_s + (h_H - h_L) \cdot r) / l) + h_L$$

$M_s$ : 使用した地図の縮尺の分母数,  $h_H$ : 高い方の主点の標高,  $h_L$ : 低い方の主点の標高,  $r$ : 標高の高い方の主点から測点までの写真上での距離(0または $l$ ),  $l$ : 写真上での主点間の距離によって求めることができる。

ところで、 $L$ は面積の測定において与えられたデータであり、 $l$ は面積の測定で与えた写真上の座標から求められる。したがって、2枚の写真の主点の標高を与えることによって、撮影高度を求めることができる。

以上のように、写真の焦点距離および撮影高度または主点の標高を与えることによって、各測点の標高を求めることができる。

## III. 結果と考察

以上のような方法による面積測定の再現性について検討するとともに、空中写真から測定した面積および標高を地図から測定した値や実測値と比較した。また、本法に従ってXYプロットを使って図化した崩壊地の分布図を、立体視によって地図上に直接図化したものと比較した。

なお、測定にはパーソナル・コンピュータ、日本電気(株)、PC-9801F、入力装置としてグラフテック(株)、マイタレット、DT1000(分解能0.1mm、測定範囲

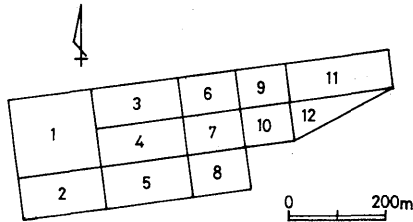


図-3. 対象地1 (富山県氷見市の水田)

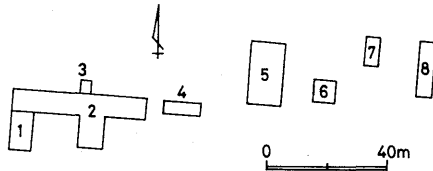


図-4. 対象地2 (富山県林業技術センター林業試験場の建物)

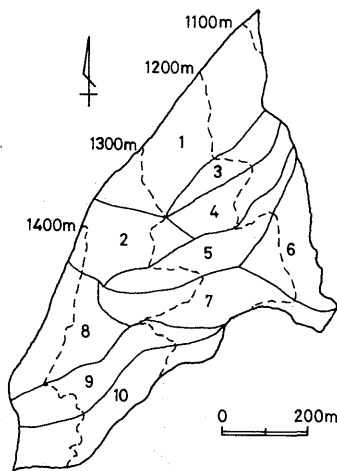


図-5. 対象地3 (富山県利賀村奥山地区)

38 cm×26 cm), 出力装置としてグラフテック(株), マイプロットII, MP 1000(ステップサイズ0.1 mm, 作図範囲 36 cm×27 cm)を使用した。

1. 面積測定の一貫性

富山県氷見市の水田(対象地1, 図-3)を対象に, 空中写真からの面積測定を繰り返し10回行い, その再現性について検討した(表-1)。使用した空中写真は, CB-63-10X, C6-11~12である。

12カ所について測定した結果, 変動係数は最大でも1.59%であり, 測定の繰り返しによるバラツキはきわめて小さい。したがって, 本法による場合, 測定は1回だけで十分であるものと考えられる。

表-1. 面積を10回繰り返し測定した結果の統計量(対象地1)

No.	平均 (m <sup>2</sup> )	標準偏差 (m <sup>2</sup> )	変動係数 (%)
1	27266	150	0.55
2	14626	145	0.99
3	14188	143	1.01
4	14361	91	0.63
5	15170	72	0.47
6	9433	90	0.95
7	9526	58	0.61
8	10387	116	1.12
9	8194	130	1.59
10	8025	83	1.03
11	17382	113	0.65
12	8255	126	1.53

表-2. 空中写真からの測定値と実測値の比較(対象地2)

No.	面積*			平均標高		
	A (m <sup>2</sup> )	B (m <sup>2</sup> )	誤差 (%)	A (m)	B (m)	誤差 (m)
1	108	112	-3.6	239.8	242.0	-2.2
2	447	463	-3.5	240.6	241.7	-1.1
3	17	16	6.3	240.4	241.3	-0.9
4	67	66	1.5	241.8	242.4	-0.6
5	332	327	1.5	242.7	247.4	-4.7
6	56	55	1.8	240.0	242.8	-2.8
7	49	47	4.3	242.3	243.5	-1.2
8	114	117	7.4	244.8	244.0	0.8

A : 空中写真からの測定値

B : 実測値

\* 建物の屋根の面積

2. 測定精度

1) 小面積の対象

富山県中新川郡立山町吉峰にある富山県林業技術センター林業試験場の建物の屋根(対象地2, 図-4)の面積と平均標高について, 空中写真から求めた値と実測値を比較した(表-2)。使用した空中写真は, 山-855, C6-6~7を2倍に引き伸ばしたものである。また, 使用した地形図は2.5万分の1地形図「五百石」である。

本法による場合, 対象が小さいほど測定の同定誤差が面積測定に大きく影響するものと考えられるが, 500 m<sup>2</sup>未満の小面積の対象についても, 面積はほぼ5%程度の誤差で測定できた。また, 標高は5 m以内の誤差で測定できた。よって, かなり小面積の対象について

も比較的よい精度で簡易測量できるものと思われる。

2) 傾斜のある対象地

富山県東砺波郡利賀村奥山地区の、尾根と谷で区切られる地域(対象地3, 図-5)の面積と最高, 最低標高を空中写真と復旧治山事業用の平面図から求めて比較した(表-3)。使用した空中写真は, 昭和57年に富山県が復旧治山事業で撮影したものである。ただし, 写真には撮影高度が写し込まれていなかったため, 測定の標高は写真の主点の標高を使って求めた。

表-3. 空中写真と地図からの測定値の比較(対象地3)

No.	面積			最高標高			最低標高		
	A (m <sup>2</sup> )	B (m <sup>2</sup> )	誤差 (%)	A (m)	B (m)	誤差 (m)	A (m)	B (m)	誤差 (m)
1	72142	71302	1.2	1395	1388	7	1082	1084	-2
2	31644	33003	-4.1	1414	1413	1	1242	1238	4
3	18010	17323	4.0	1295	1300	-5	1087	1095	-8
4	25181	26321	-4.3	1295	1300	-5	1105	1110	-5
5	33405	33864	-1.4	1385	1380	5	1108	1116	-8
6	33692	31078	8.4	1277	1277	0	1109	1116	-7
7	41917	43237	-3.1	1384	1380	4	1157	1162	-5
8	36265	36703	-1.2	1454	1455	-1	1302	1304	-2
9	31891	34124	-6.5	1454	1455	-1	1205	1221	-16
10	44461	42153	5.5	1459	1455	4	1204	1221	-17

A: 空中写真からの測定値  
B: 地図からの測定値

空中写真では被写体の高低差が大きいほど像のひずみも大きくなるため, 面積を測定するための補正がさらに重要になる。対象地は40°前後の急傾斜地を多く含む山間地で, 標高差は約370mありかなり複雑な地形をしているが, 面積は5%程度までの誤差で測定できた。標高は, No. 9, 10の最低標高を除くと, すべて10m以下の誤差で測定できた。したがって, 本法によって地形の複雑な急傾斜地を対象にした場合にも, 比較的よい精度で簡易測量できるものと思われる。

3) 撮影条件の違う空中写真

利賀村奥山地区の、尾根と谷で区切られる地域(対象地3の1~10すべてを含む地域, 図-5)を対象に, 復旧治山事業用の平面図と, 1964, 71, 75, 78, 82年にそれぞれ撮影された空中写真から面積と周囲長を求めて比較した(表-4)。使用した空中写真は, 山-375, C7-21~22(1964), 山-615, C7-19~20(1971), 山-732,

表-4. 撮影条件の違う空中写真からの測定値の比較(対象地3)

地 図	面積(ha)		周囲長(m)		誤差(%)
	面積(ha)	誤差(%)	周囲長(m)	誤差(%)	
平面図	36.65		3038		
空中写真	撮影年				
	1964	37.35	1.9	3089	1.7
	1971	37.00	1.0	3091	1.7
	1975	36.85	0.5	3064	0.9
	1978	36.56	-0.3	3049	0.4
1982	36.83	0.5	3063	0.8	

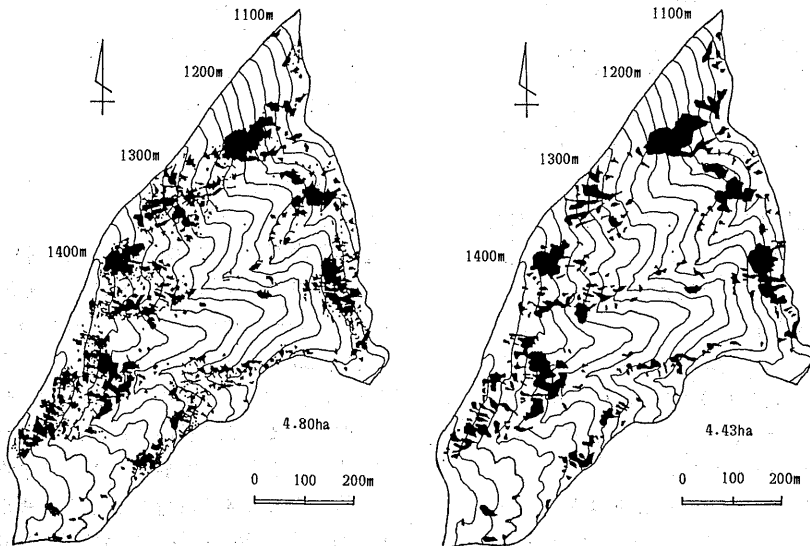


図-6. 利賀村奥山地区の崩壊地の分布図

左, 本法に従ってXYプロットで図化; 右, 立体視によって地図上に直接図化

C7-21~22(1975), 山-817, C6-14~15(1978), および 2.2) で使用した復旧治山事業用のもの(1982)である。

復旧治山事業用の平面図から求めた値に対する誤差は、面積、周囲長とも、どの年の写真においても2%未満であり、撮影条件の違う空中写真からほぼ同じ値が得られた。したがって、同一の地域を対象にした場合に、撮影条件の違う空中写真からほぼ同じ値が得られることから、本法によって崩壊地の拡大などのような時間による面積的な変化を調べることができるものと考えられる。

### 3. 図 化

利賀村奥山地区に発生している崩壊地を対象に、本法に従ってXYプロットによって図化したものと、立体視によって地図上に直接図化したものを比較した(図-6)。その結果、崩壊地の形態はほぼ似通ったものとなり、面積の合計も前者で4.80 ha、後者で4.43 haと近い値を示した。しかし、個々の崩壊地の位置に多少のずれを生じている。これは立体視によって地図上に直接図化する場合に、目測で測点を落としていくために生じる誤差によるものと思われる。この誤差は地形に変化の少ない地域を対象にする場合には、さらに大きくなる可能性がある。本法では、地形に関係なくより正確な位置に測点を落とすことができるものと思われる。また、測点を座標値として計算によって求めていることから、図化する場合の縮尺を自由に変えられるという利点がある。

## IV. お わ り に

以上検討してきたように、本法によって交会点を求

めることが容易になるとともに、交会点を座標値として求めることにより、面積および標高の測量と図化を同時に行うことができ、作業の能率化が図れるものと思われる。また、図解射線法に比べて細部や多数の測点の判読が容易になるとともに、小面積や急傾斜地の測定が比較的高い精度で行えることから、本法は山間地の森林や崩壊地を対象とした多くの用途での簡易測量方法として利用し得るものと考えられる。

## 引用文献

- (1) 安養寺信夫・小野寺弘道：空中写真判読による崩壊地の推移に関する研究。日林北支講 25：90~93, 1976
- (2) 藤原滉一郎：航空写真による林地崩壊に関する研究。北大演報 27：297~345, 1970
- (3) 原田久吉・佐々木辰武・小林喜徳：空中写真と図化図面(1/5,000)を利用した簡単な測量法。森林航測 123：14~19, 1979
- (4) 石川善朗：解析放射法の一手法とその森林測量への応用。写真測量とリモートセンシング 23(4)：15~19, 1984
- (5) ———：空中写真簡易測量について。96回日林論：149~152, 1985
- (6) 渡辺 宏：空中写真からの距離と面積の測定。森林航測 105：12~15, 1974
- (7) ———：新森林航測テキストブック。258 pp, 日本林業技術協会, 東京, 1980
- (8) 依田和夫：現場林業技術者のための空中写真簡易測量法。森林航測 62：8~17, 1967

(1988年4月25日受理)