

# 航空写真の判読による土石流の流走範囲 の推定について (その I)

横 山 康 二

## ESTIMATION ON RUNOUT EXTENT OF ROCKY MUDFLOW BY THE USE OF AIRPHOTOGRAPHS (PART 1)

By *Kōji* YOKOYAMA

### Synopsis

Rocky mudflow often occurs in the mountainous regions in our country by heavy rains, but many problems on mudflow have remained unsettled, for an example, the process of starting and stopping of mudflow.

Recently airphotographs of damaged district by mudflow have been taken for protection planning.

By the use of these photos starting and stopping point of mudflow can be found and the runout extent of rocky mudflow can be estimated.

Utilized airphotos are white and black pictures and the scale of photos are 1/6000, 1/8000 and 1/10000.

From airphotos of damaged districts at Amakusa. in Kumamoto, at Tsubeta in Niigata, Kumano and Owase city in Mie, starting and stopping points of mudflow were plotted on topographic maps.

At the same time, flowing path of mudflow was divided into two parts, in the valley and fan.

The starting point of mudflow was decided as a place where side erosion was clearly recognized and stopping point was decided as a point where large stones stopped collectively.

Runout distance of rocky mudflow estimated from above mentioned method has no direct relation with the altitude of starting point, but there exists a relation between valley length and runout distance at fan as shown in Fig. 6.

And empirically the runout distance from fan head to stopping place seems to be 40% -60% of flowing down distance along valley.

### 1. はじめに

我が国の山麓では台風、集中豪雨により山崩れ、土石流等の多くの崩れ災害が発生している。とくに土石流は、最近の天草上島などで見られるように広い地域に甚大な被害をもたらしている。

従来の土石流の研究は主として水理学的な模型実験に重点がおかれ、実際の土石流の発生条件、流動状態、停止条件等に関しては多くの問題が残されている。

とくに土石流災害を防止軽減するためには幾多の方法が考えられようが、もっとも現実的な方法としては土石流走範囲を科学的に調べてこの中に人が住まず、また豪雨時には立ち入らないようにすることであろう。

著者はこの考えにもとずいて、実際に発生した土石流はどのような場所で停止するかを空中写真を使用して判読し、土石流の流走範囲の推定をこころみたのでここに報告する。なお判読に使用した空中写真は災害直後の状態が撮影されたもので、その内比較的的自然状態に近い形で停止した土石流をえらんで判読の対象とした。

### 2. 判読対象土石流

今回判読の対象とした土石流は昭和42年の羽越豪雨で発生した新潟県安田郡ツベタ地区のもの、(Photos. 1,

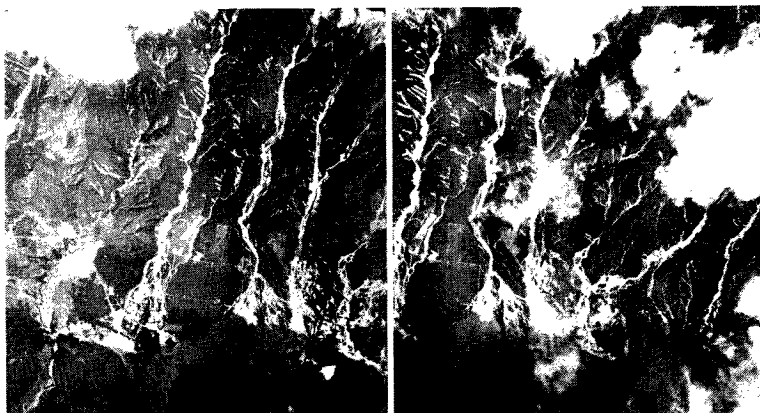


Photo. 1 A pair of stereo airphotos showing damaged district at Tsubeta

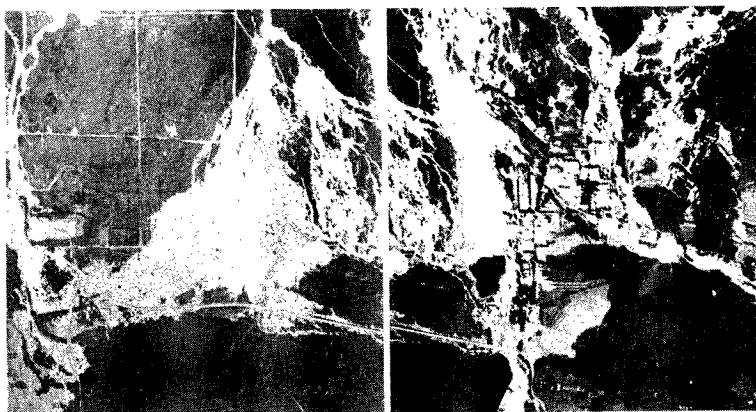


Photo. 2 Vertical airphotos showing damaged district in a fan at Tsubeta

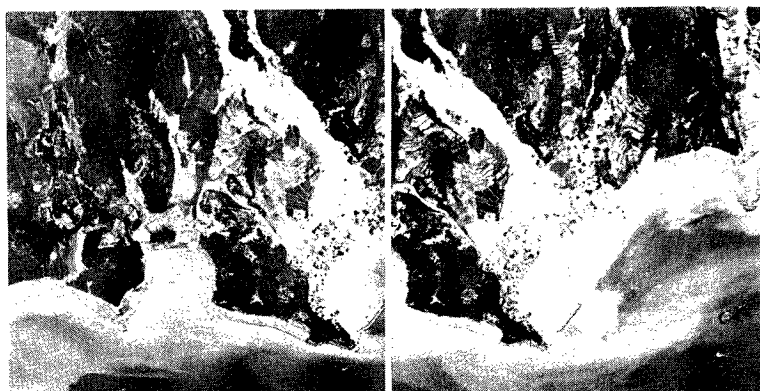


Photo. 3 A pair of stereo airphotos showing damaged district at Owase

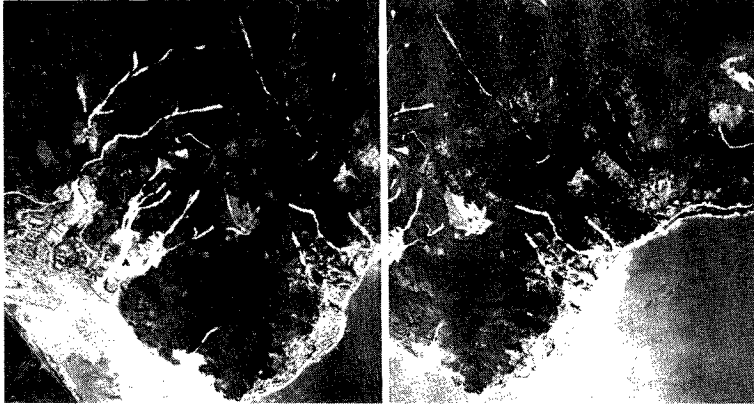


Photo. 4 A pair of stereo airphotos showing damaged district at Amakusa

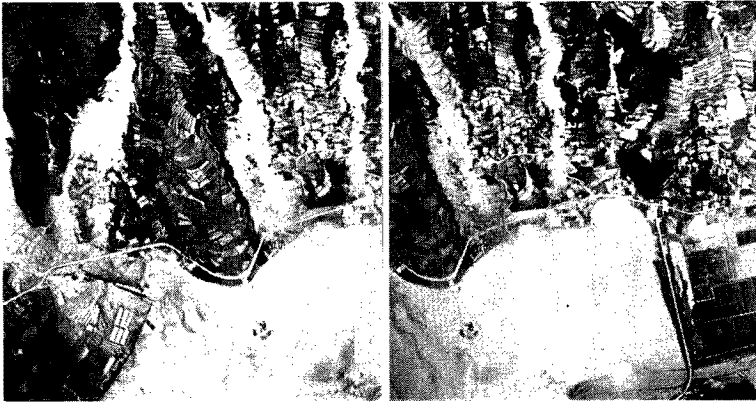


Photo. 5 A pair of stereo airphotos showing damaged district at Amakusa

2), 昭和46年三重県尾鷲, 熊野市一帯に発生した土石流, (Photo. 3), 昭和47年に発生した天草上島の土石流 (Photos. 4, 5), および焼岳東麓の沢の土石流を判読対象とした。その他昭和42年神戸六甲山, 及び呉, 三原, 西湖, 河口湖, 昭和43年の立山, 黒部川上流の土石流, 昭和47年に発生した愛知県小原村, 藤田村一帯のもの等の土石流を判読対象としたが, 土石流が直接に海, 本河川に流入したり, 撮影写真縮尺が小さかったりして土石流の発生点, 又は停止点が判読出来ずその結果, 今回報告出来るものは土石流被撮影件数約400例中29例にしかならない。

### 3. 判読方法

前述の判読対象地域の土石流を撮影した空中写真(密着陽画焼)を使用して, 立体視して土石流発生点及び停止点を判読した。またそれらを三級図化機(ガリレオ, サントニーマイクロメーター)にかけ, 相互標定, 対地標定を行ない, 発生点及び停止点を地形図上に転写した。標高, 及び水平距離は地形図より計測したものである。使用した空中写真は縮尺1/6,000, 1/8,000, 1/10,000の白黒写真である。又地形図は縮尺1/25,000の国土地理院発行の地形図, とくに尾鷲, 熊野市一帯については縮尺1/10,000の都市計画図を利用した。土石流発生点は災害発生前後の空中写真の比較判読を行ない, 写真中にて溪流の側岸が明らかに側方浸食されている

上流点を発生点とみなし、崩壊箇所等を発生点とはしていない。停止点は判読出来る巨礫の停止点、また土石流の最も顕著な特性である土石流先頭部の盛り上がりによって出来た高低差、さらに現地調査の結果を付け加えて停止点を判読した。しかし土石流の発生点の決定についてはまだ疑問があり、停止点についても直径50cm程度以下の礫は判読不可能なため実際の土石流の停止点とは多少異なるとも考えられる。しかし土石流の被害の大部分は土石流の先頭部を構成する巨礫によって生ずるものと考えられるので今回の判読は大部分の巨礫の停止点をもって土石流の停止点と仮定したものである。

土石流の発生点、停止点の判定の問題の他に使用した地形図より生ずる誤差及び空中写真図化の段階で生ずる誤差もあるが、前述の目的からみてこれ以上の精度を要求する必要はないものとする。

Photo 1~5 は判読及び図化に利用した空中写真の一部である。次節で述べるが、発生点、停止点の判読と共に、土石流の流走範囲を谷部と扇状地の部分に分類した。扇状地と谷との区別は災害前後の空中写真の比較判読によって行なったが勾配の急緩ではなく横方向への広がり度で判読を行なった。

#### 4. 判読結果

前述の方法によって判読し、地形図へ図化機により転写し計測した土石流流走範囲を図にしたものが **Figs. 1~5** の縦断面図である。

この図に示されているように、土石流の流走距離は、400m程度の短いものから5,000mにいたる長いものまで多種にわたっているが、しかしその流走距離の変化に比較して発生点と、停止点との比高差にはそれほど

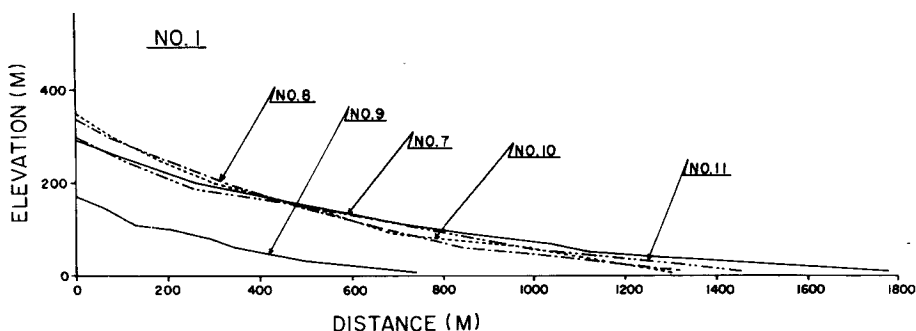


Fig. 1 The longitudinal profiles of valley bed at Amakusa where mudflow occurred in 1973

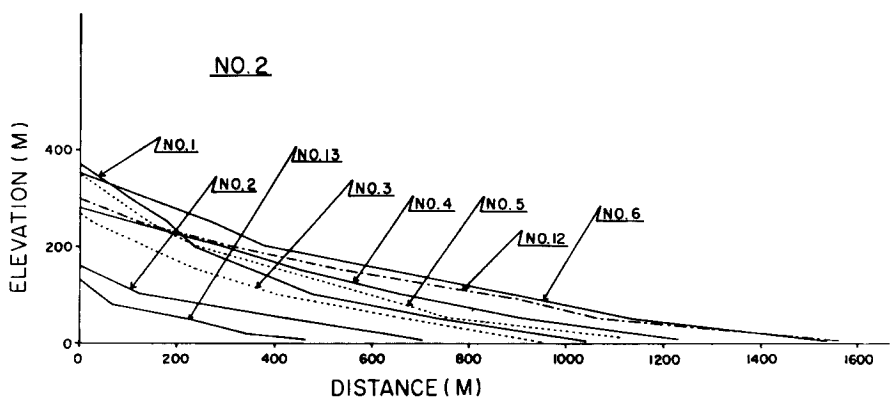


Fig. 2 The longitudinal profiles of valley bed at Amakusa where mudflow occurred in 1973

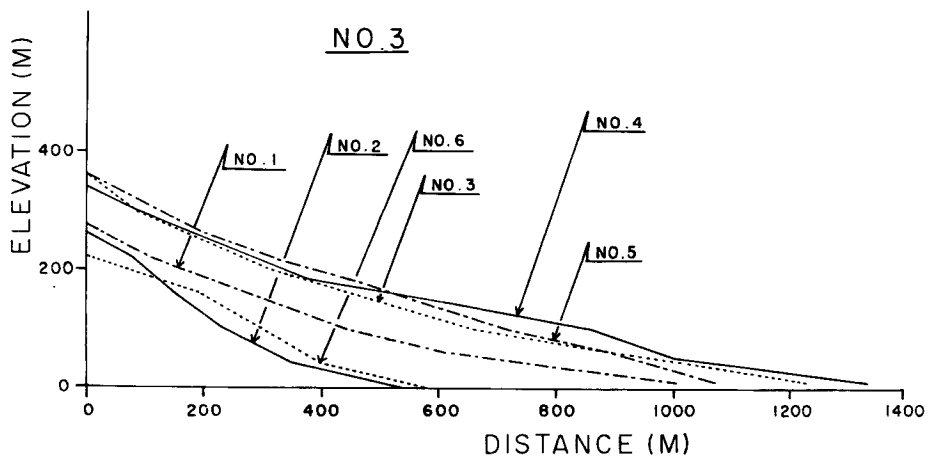


Fig. 3 The longitudinal profiles of valley bed at Owase and Kumano where mudflow occurred in 1971

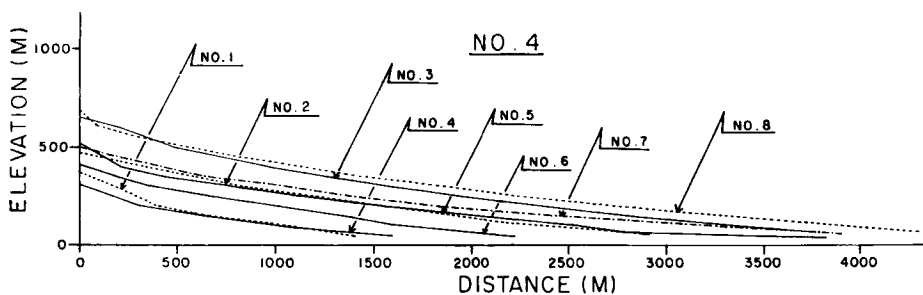


Fig. 4 The longitudinal profiles of valley bed at Tsubeta where mudflow occurred in 1967

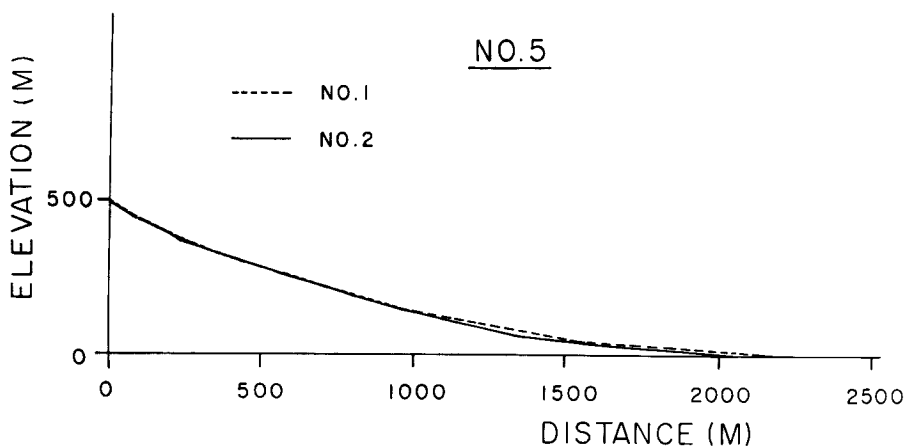


Fig. 5 The longitudinal profiles of valley bed at Yakedake where mudflow occurred in 1962

Table 1 Relationships between flow-down distance of mudflow ( $=l_2$ ) along valley and runoff distance ( $=l_1$ ) in a fan

Fig. No.	No.	districts	$L_1$ (m)	$h_1$ (m)	$\theta_1$ (deg)	$l_1$ (m)	$L_2$ (m)	$h_2$ (m)	$\theta_2$ (deg)	$l_2$ (m)	$l_1/l_2$
Fig. 1	No. 7	AMAKUSA	510	30	3	511	1280	250	11	1304	0.39
	No. 8	AMAKUSA	480	50	6	482	845	280	19	898	0.53
	No. 9	AMAKUSA	240	25	6	241	500	140	16	519	0.46
	No.10	AMAKUSA	305	55	10	310	910	245	15	942	0.32
	No.11	AMAKUSA	480	50	6	482	975	290	17	1018	0.47
Fig. 2	No. 1	AMAKUSA	315	45	8	319	725	320	23	785	0.40
	No. 2	AMAKUSA	270	25	5	271	420	100	14	433	0.62
	No. 3	AMAKUSA	310	15	3	311	660	250	21	706	0.44
	No. 4	AMAKUSA	320	40	7	323	908	230	14	937	0.34
	No. 5	AMAKUSA	365	40	6	367	745	300	22	803	0.45
	No. 6	AMAKUSA	410	40	6	412	1125	300	15	1165	0.35
	No.12	AMAKUSA	480	45	5	482	1070	250	13	1099	0.43
No.13	AMAKUSA	115	15	7	116	340	110	18	365	0.32	
Fig. 3	No. 1	KUMANO	390	50	7	393	610	205	19	643	0.61
	No. 2	OWASE	190	40	12	194	350	260	37	436	0.44
	No. 3	OWASE	400	60	9	404	830	290	19	879	0.45
	No. 4	OWASE	340	40	7	342	1000	290	16	1040	0.32
	No. 5	KUMANO	390	50	7	393	750	300	22	815	0.47
	No. 6	OWASE	180	40	12	184	400	180	24	436	0.42
Fig. 4	No. 1	TSUBETA	360	60	9	365	1065	270	14	1099	0.33
	No. 2	TSUBETA	705	60	5	708	2170	350	9	2199	0.32
	No. 3	TSUBETA	945	80	5	949	2830	500	10	2876	0.32
	No. 4	TSUBETA	510	40	4	512	1090	220	12	1112	0.46
	No. 5	TSUBETA	985	30	2	986	2800	450	10	2837	0.34
	No. 6	TSUBETA	545	60	5	548	1690	300	10	1717	0.31
	No. 7	TSUBETA	960	60	4	962	2955	380	8	2979	0.32
	No. 8	TSUBETA	1240	70	3	1242	3090	520	10	3134	0.39
Fig. 5	No. 1	YAKEDAKE	710	70	6	714	1340	430	18	1408	0.50
	No. 2	YAKEDAKE	625	50	5	627	1555	450	18	1632	0.38

の変化は見られない。このことは土石流の流走距離は比高とはあまり関係がないことを示していると思われる。

土石流の減速、停止の過程についてはつぎのように想像される。土石流はその最大の特長として土石流の先頭部に盛り上った巨礫を持ち流動進行するが、扇状地へ流出するとそれまで谷の側壁で止められていた水、土砂、小礫は横方向への流出が可能になり、一方巨礫は慣性力が大きいため直進する。そのため水、土砂等が横方向へ広がるにしたがい、巨礫に対する推進力が減少し、脱水によって底摩擦が増加して停止にいたるのではないかと考えられる。そこで前述のように写真判読にて、土石流の流走範囲を谷部と扇状地とに分類した。Table 1 にその結果が示されている。Fig. 6 の下部はその Table 1 の  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $l_1$ ,  $l_2$  を説明したものであり、同じ図の上部は土石流流走範囲を谷部における流下距離を  $l_2$  とし、扇状地における流走距離を  $l_1$  とし、縦軸に  $l_1/l_2$ 、横軸に  $l_2$  をとりその関係を図にしたものである。この中に示されてあるように、今回判読した土石流では  $l_1/l_2$  の比が 0.6 をこえるものは非常に少く、流走範囲の長短に関係なくほとんどが 0.3 から 0.5 の間に入っている。又前述の数々の誤差を合せ考えると、ほとんどの土石流は谷部での流下距離の 30% から 60% 程度の距離を扇状地内で流下して停止するものと思われる。

一方土石流とは異なるが非常にその流動状態が類似性を持つ雪崩は斜面勾配が  $35^\circ$  から  $45^\circ$  の範囲で発生することが知られている(長田氏による<sup>1)</sup>)。Fig. 7 は土石流の発生点と停止点付近の勾配を図にしたものであるが今回判読した土石流は  $12^\circ \sim 45^\circ$  までわたる勾配点で発生している。又崩壊現象にともなう土砂流動の現象についても、崩壊の場合の土砂流動距離は崩壊の高さの 2 倍から 3 倍程度<sup>2),3)</sup> と云われており、これらは土石流が雪崩れや崩壊と大きな違いがあることを表わしているものと思われる。また停止点における Fig. 7 の

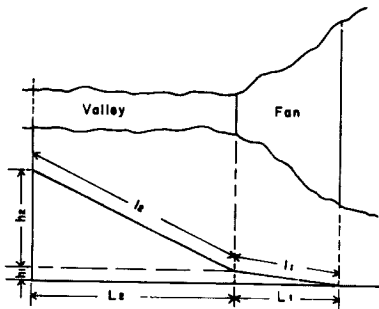
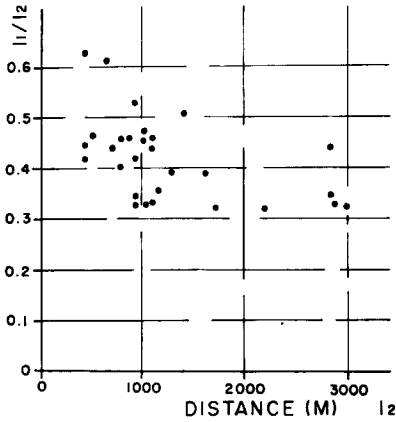


Fig. 6 Relationships between flow-down distance of mudflow along valley and runout distance in a fan

勾配であるが、これは土石流がこの勾配で多く停止することを示しているのではなく、今回判読した土石流扇状地がたまたまこのような地形であったにすぎず対象例が増加するにしたい変ってくる可能性がある。

### 5. む す び

土石流が発生し谷を流下して扇状地で停止する過程において、今回は比較的自然状態で流動停止した土石流をえらび写真判読を行なったが、しかしほとんどの土石流はなんらかの障害物にぶつかりながら流動し停止している。そこで自然状態で停止した今回のような判読例を増加すると共に障害物にあたって停止した土石流をも判読し比較検討をすることも必要であろう。さらに土石流の減速、停止の過程を明らかにするために、土石流の扇状地内での流走範囲と横方向への土石流の広がりとの関係の検討も必要だと考えている。

今回判読した土石流はすべて扇状地内にて停止したものをえらんだのであるが、実際には山間部、海岸部等で発生した土石流はほとんどが扇状地を通過しないで直接に本川、又は海へ流入しているものが多い。また現実の問題として多くの扇状地で谷の出口扇頂付近ないしは谷の中まで居住地域が入りこんでいる場合が多くこのような居住域の形態が土石流の被害を増大させているのは深刻な問題である。著者はさらにこのような研究を続けて行くことにより安全な居住域の選定に役立てたいと考えている。

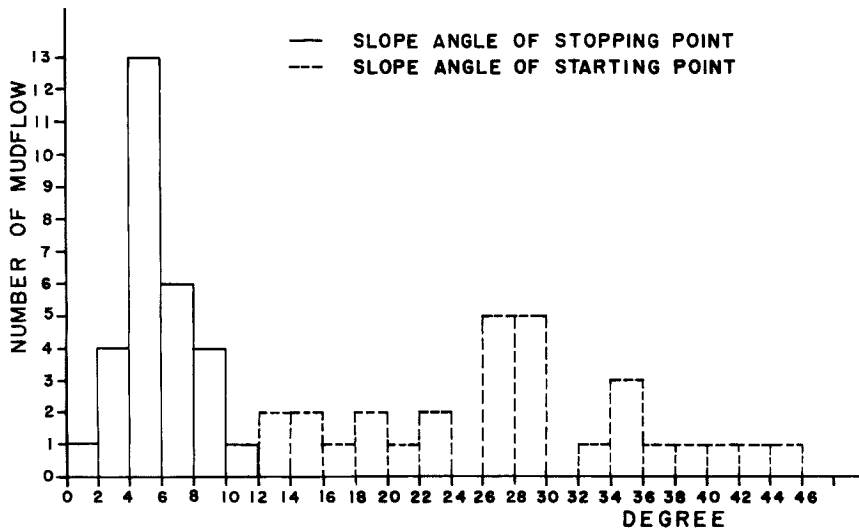


Fig. 7 Frequency distribution of slope angles at starting and stopping points of mudflow

最後にこの研究にあたり多大の御指導をたまわりました当研究所、奥田節夫教授に深く感謝するものであります。

#### 参 考 文 献

- 1) 黒岩大助：雪の科学，共立出版，1972，pp. 147-159.
- 2) 奥田節夫・柳瀬訓・横山康二：崩壊災害の地形的特性(1)，京都大学防災研究所年報，第11号 B，1972，pp. 657-667.
- 3) 吉川秀夫・福岡捷二：山崩壊土砂の到達長さについて，「昭和46年台風25号による千葉県下災害の実態調査」報告書，1972，pp. 17-23.
- 4) 奥田節夫他：土石流の現地調査について，京都大学防災研究所年報，第16号 A，1973，pp. 53-69.