

実験地形学の最近の動向と災害科学との関連性

奥 田 節 夫

1. 実験地形学に関する国際的組織化の経過

最近地形学関連分野の会合で「実験地形学」という言葉がしばしば用いられ、1975年以来国内でこの名称を付した研究会も開かれているが、その内容は従来物理学分野でよく用いられている「理論」と「実験」のような明確な対比、区分的意識にもとづくものではなく、「実証、実験を中心的手法にとり入れた地形学を積極的に育ててゆこう」とする意識的な運動の表現と考えられよう。

このような意識の高揚は単にわが国の内のみでなく、国際的にみても1976年のモスクワにおける第23回国際地理学会 (I. G. C.) 以来活発になってきた風潮である。

1976年の I. G. C. プレコングレスの一環として Present-day Geomorphological Processes の Field Symposium がキエフで開かれ、「異なる気候地形帯における現行の地形変化諸過程、その研究方法と応用地形学的研究」が主題としてとりあげられ、30編近くの論文が発表されているが^{1) 5)}、その後モスクワの総会においてこのシンポジウムの成果にもとづいて国際地理学連合 (I. G. U.) の一つの Commission “Field Experiments in Geomorphology” (地形学における野外実験、今後本文中で F. E. G. と略記する) の発足が承認されるに至った。

この F. E. G. の委員会は1978年以後毎年一回国際的なシンポジウムを開催しているが、その場所、主要なテーマは下記の通りである。

1978年、パリ、斜面における地形学的実験

1979年、クラカフ、アルプス山系の幼年期山地における野外実験

1980年、京都、F. E. G. の最近の動向、流域実験での測定法、斜面・河川での諸実験

1981年、エクゼター、河川地形学における流域実験

著者は1978年以降毎年これらのシンポジウムに参加しているが、個々の会合に対する報告はすでに日本地形学連合会誌「地形」^{2) 3) 4)} に発表されているので省略し、本稿では F. E. G. の Commission の目的とその目的に沿った研究の動向を紹介する。

2. Field Experiments in Geomorphology の目的と最近の研究

1976年のモスクワで F. E. G. の Commission が承認されたとき、その目的はつぎのようにまとめられている⁵⁾。

- (i) 異なった環境下に設けられた field station で地形変化モニター用の諸器械を利用し、また開発して、地形学的諸過程の速さと影響に関する研究を促進する。
- (ii) 地形学的諸過程を測定し、解析するために現在用いられている方法また新開発の方法を比較、検討することを目的とした実験を組織的に行なう。
- (iii) 野外実験の結果を公表したり、経験の交流を図るためにシンポジウムを開く。

その後4年の活動期間を経て1980年に京都でシンポジウムを開いたときに Olav Slaymaker (現 F. E. G. 委員会委員長) が F. E. G. のあり方について論じた講演⁶⁾ では、「F. E. G. とは地形変化の普遍的な法則性を認識し、これを定量的に表現することを目指して、ある制御された現地条件のもとで行われる一連の計測行動である」としており、その考えでは単なる観測およびその結果の記述は F. E. G. の目的とする研究の範ちゅうには入らず、現行の地形研究のうちではこのような目的意識をもったものは数が少ないと述べている。

また F.E.G. の生みの親とも云うべき J. Dresch (フランス) はたびたびの会合で、「F.E.G. は地形発達モデル、仮説をつくり、これらを検証する立場から現地で観測、測定を行なうことを目指すべきである」と述べている。

ただ上述のような目的を聞かされた場合に、他の自然科学分野に属する多くの研究者にとっては、「何をいまさらそのようなことを改めて考える必要があるのか。仮説、法則の実証性は自然科学の本質そのものではないか」という感じをもたれるであろうが、これについては地形学の歴史的発達過程をふり返ってみる必要がある。

地形学の発達経過をたどると 18 世紀頃から地理学・地質学の接合分野として幾多の輝かしい業績が上げられてきたが、その研究者の多くは natural historian の色彩が強く、experimenter 的な性格は少なかった。これは物理、化学分野のように人為的に純粋な条件を設定して、くり返し実験が行われ得る対象と異なり、地形学分野では多くの自然因子が複雑にからみ合い、地形の時間的変化を追跡するのに個人の一生をかけても足りないような自然現象そのものを対象とすることからくる特異性とも云えよう。したがって綿密な自然の観察と鋭くて深い洞察によって、地形変化の法則性を定性的に把握し、これを概念的な文章として記載する面では立派な成果があげられてきたが、さらにその法則性を定量的に表現し、現地での測定によってその法則性を厳密に検証しようとする面では他の科学分野にくらべて遅れているところが処々に見受けられる。

しかしながら技術革新にともなう最近の研究手法のいちじるしい進展は、従来不可能と思われていた測定あるいは定量的解析を可能にしつつある。たとえば肉眼観察では到底捕捉できなかった地形の微小、緩慢な変形が正確に長期にわたって記録され、また微分方程式の解析解では到底求められ得なかった多くの項をふくむ非線形方程式の数値解が電算機によって得られるようになるなど、地形変化の定量的な把握と解析に格段に有効な手法が提供されるようになってきた。

このような時代を迎えて、精密に地形変化の実態を把握し、その法則性を定量的に表現し、またその法則性を計測、解析によって検証したり、さらにはまたさまざまな外的条件に対する地形変化の予測を行うなど、新しい現代科学の一分野としての地形学の発展が期待され、その方向に向かっての研究活動が国際的に開始されたのも当然のことと云えよう。

このような過程を経て、F.E.G. の目的に沿った研究が次第に世界各国で実施されるようになっていくがその現状について O. Slaymaker は国際的なアンケートの集計結果にもとづいてつぎのように報告している⁷⁾。

まず F.E.G. の目的に沿った研究 (I.G.U. の Commission が発足する以前から同種の研究はすでに行われていた) が着手されたのは Table. 1 に示すようにヨーロッパであり、また現行の研究件数も最も多く、国際的な活動の中心となっている。

つぎに O. Slaymaker は F.E.G. のタイプを次に記すように 3 種類に区分してその分布を調べている。

Table. 1. Chronology of Geomorphic field experiment initiation (after O. Slaymaker⁷⁾)

	Africa	America	Asia	Australasia	Europe	Total
1945-49	—	—	—	—	1	1
1950-54	—	1	—	—	3	4
1955-59	2	1	1	—	2	6
1960-64	—	—	—	2	4	6
1966-69	—	4	4	2	8	18
1970-74	2	6	3	—	13	24
1975-79	7	9	3	3	23	45
	11	21	11	7	54	104

Type 1「地形発達過程をシミュレートするために自然の条件に意識的に制御を加えるもの」

具体的には自然条件の調制, エネルギーと物質の出入, そのフラックスの測定, 物質の性質の定量化, 物質とエネルギーの収支計算がふくまれる。

Type 2「一つの地形をえらんで, 外力の作用に関連し, その時間的変化をモニターするもの」

具体的には形態変化のモニター, 気候・水文パラメータの選定, 事件(event)の大きさ(magnitude)と頻度の分布, ある事件の前後の形態の比較研究がふくまれる。

Type 3「目的に応じた地形(landscape)の区分と, 外力の作用に応じて同じ時間経過の間に別々の区分域に生じる変化をモニターするもの」

具体的には地形の区分, 気候・水文パラメータの空間的また時間的差異, 地形システムの構造, 一組のまたは隣接した複数の流域の比較研究がふくまれる。

さらに実験場のスケールについてもつぎのような区分を行っている。

Scale 1; $<0.01 \text{ km}^2$, Scale 2; $0.01 \sim 1 \text{ km}^2$, Scale 3; $1 \sim 100 \text{ km}^2$, Scale 4; $>100 \text{ km}^2$,

このような Type と Scale による分類で F.E.G. の実施状況をみると, Fig. 1 のような頻度分布が認められた。

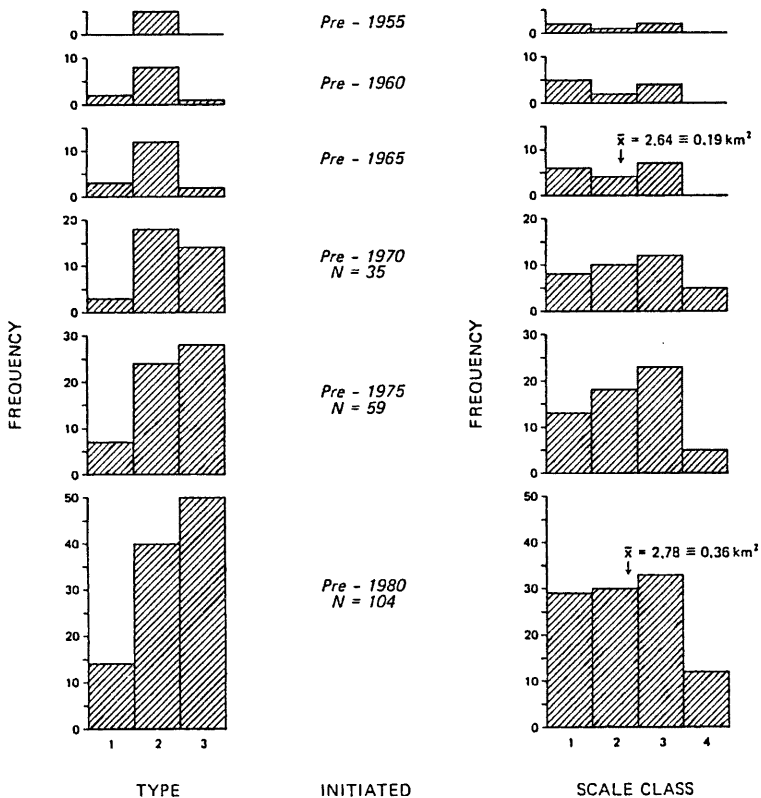


Fig. 1. Type and scale class of field experiments (after O. Slaymaker⁷⁾)

これによると初期には Type 2 の研究が多かったのに、その後次第に Type 3 が相対的に増えてきており、Scale の方では Scale 4 以外は大体同じように増えてきている。

そして 1965~74 年の間に行われた I. H. D. (International Hydrological Decade 国際水文学 10 年計画) の期間に、国際的に多くの test field が設けられ、それが F. E. G. の発展に大きく寄与したことが指摘されているが、このことは世界の多くの地域で地形変化と水文環境の間に密接な関連性があることを示すものである。

さらに現行の F. E. G. の研究について、より具体的な内容を示すために、1980 年の委員会（東京で開催）で認められた F. E. G. の重点研究課題 (task force projects) を記してみると⁸⁾、

- (1) 風化と溶出, (2) pipe flow, (3) 表面侵食, (4) ゆるやかな mass wasting, (5) 速い mass wasting, (6) 河道, (7) 集水域

があげられており、それぞれの課題について報告書をまとめ、とくに開発途上国での災害や環境の問題解決に F. E. G. の研究の成果を役立たせようとしている。

この課題のなかで日本に期待されているのはテーマ (5) の研究であって、とくに委員が日本を訪れてみて (5) に関連の深い崩壊災害の研究が日本で重要であり、かつこの分野での先進的経験が豊かな国であることが国際的に認識されたようである。したがってこの分野で活発な研究を行い、その業績を国際的に防災面で役立てることが、F. E. G. 委員会の希望であると同時にわれわれ日本のメンバーの努力目標でもあると云えよう。なお最近 (5) の報告書は日本の委員が中心となってまとめることが決定された。

3. 実験地形学と災害科学の関連性

前節の終りに記したように F. E. G. の委員会できちんとあげている重点研究課題はいずれも災害科学に関連が深いものであることは明らかであるが、本節ではさらに F. E. G. の手法が災害科学の研究にいかにより有用であるかについて説明する。

災害現象のなかで土石の移動に関係の深い洪水害、崩壊災害については、その発生、被害状況が地形的特性に支配される面がきわめて大きく、また逆にこれらの災害現象自体が大きく地形の変化をもたらすこともよく知られている⁹⁾。とくに山くずれ、地すべり、土石流等の崩壊災害は、地形学分野でのいわゆる Rapid Mass Movement の現象そのものときわめて関連が深い。

古くから地形変化について、斉一説 (Uniformitarianism) と天変地異説 (Catastrophism) とがあり、地形変化の過程、自然の法則性については昔も今も変ることなく「現在は過去の鍵である」という斉一説の代表的表現は永遠の真理を伝えるものであらうが、地形変化の速さについてとくに人間活動のタイムスケールからみると、大規模な地形変化はほとんど突発的な異常現象にともなって生じており、その意味では現象論的には「天変地異説」のセンスは否定できないであらう。

したがって地形変化予測それ自体が災害をもたらす自然現象の発生の予測に直接につながる面がきわめて大きいのが、地形変化を記載し、分類し、概念的に法則性を表現する段階の古典的な地形学では災害の予測に必要な地形変化の定量的予測は到底困難な対象であった。

しかしながら地形変化を実測し、その変化過程をモデル化して数値的に解析し、さらにはシミュレートしようとする実験地形学では「地形変化の定量的予測」は一つの重要な研究目標そのものであり¹⁰⁾、したがって災害科学とは密接な関係にあると云えよう。

しかし予知の年代的あるいは空間的範囲については、どのくらいを対象にするか、また現在の手法で可能かの問題が残されている。この問題については、新しい地形学の発展を目指している日本地形学連合で「地形変化の定量的予知に関する総合討論」¹¹⁾を開いた際に活発な意見交換が行われた。その際のまとめによると現在の関連学問分野のカバーできそうな範囲は大体 Fig. 2 に示される範囲であり、わが国での自然と社会の両側面からみて従来見通しが欠けている $10^2 \sim 10^3$ 年程度の時間スパンについては既存の学問分野ではあまり得意とするところがなく、新しい地形学あるいは災害科学の分野の将来の奮起が望まれる状態である。

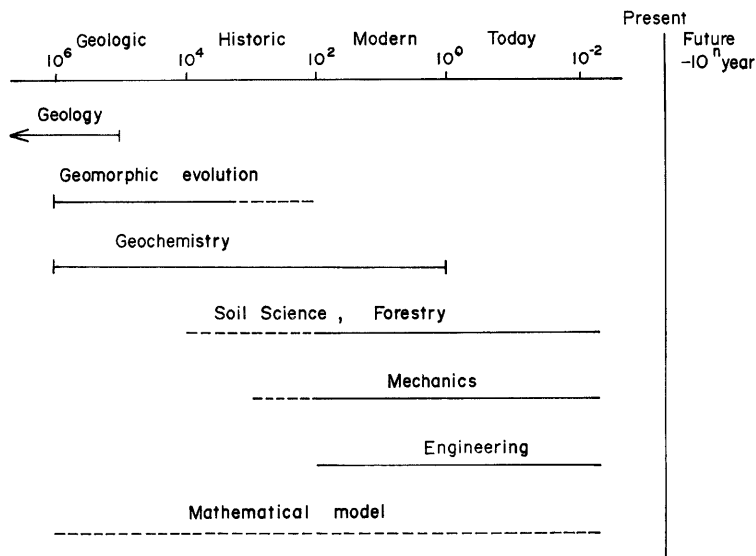


Fig. 2. Schematic representation of research methods and corresponding time span for chronological study (cited from "Chikei" Trans. Japanese Geomorphological Union¹¹⁾)

ちなみに外国の例をみると、世界最大の地形学研究グループ（1980年で会員数600名以上）である British Geomorphological Research Group（略称 B. G. R. G.）では1976年に国際シンポジウムを開いて“地形学—現在の問題と将来の予想”のテーマで討論を行い、現在もっとも重要な研究課題は $10^3 \sim 10^4$ 年のタイムスパン内での種々の営力の作用や形態の発展に関する情報を集めて検討することであるという結論に達している¹²⁾。

このような地形学の発展の現状にかんがみ1981～82年度にわたる文部省科学研究費 総合研究「地形変化の定量的予測に関する研究」（代表者 水山高幸）には災害科学に関係する研究者も多数参加しており、斜面地形、河川地形、海岸地形、火山地形、構造地形、沖積および段丘地形、風化現象および方法論の各グループ別に研究が進められているが、その成果は災害科学とくに災害発生の予測に寄与するところが大きいものと期待されている。

以上「実験地形学」を中心とする新しい地形学が地形変化の定量的予測を通じて災害科学に関連の深いことを述べてきたが、つぎに具体的な研究例として著者をふくむグループが扇状地での自然災害を対象として、F. E. G. の考え方に沿って進めている現地実験をとりあげて紹介する。ただしこの研究の大部分の内容については、すでに防災研究所年報¹³⁾ によって詳しく報告し、また近く文部省科学研究費 特別研究 自然災害「扇状地における洪水・土砂災害の発生とその防止・軽減に関する研究」（代表者 京大防災研 芦田和男、1979～81年度）の報告書に総合的に報告する予定なので、本稿では研究例としてその概念を紹介するにとどめる。

4. 扇状地災害に関する実験地形学的研究の具体例

4.1 目的と手法

地形土じょう災害研究部門では、山麓における顕著な地形変化をとまなう災害に関する研究として土石流が頻発する谷およびその出口にある扇状地において、土石流の流動態とその侵食、堆積作用による地形変化

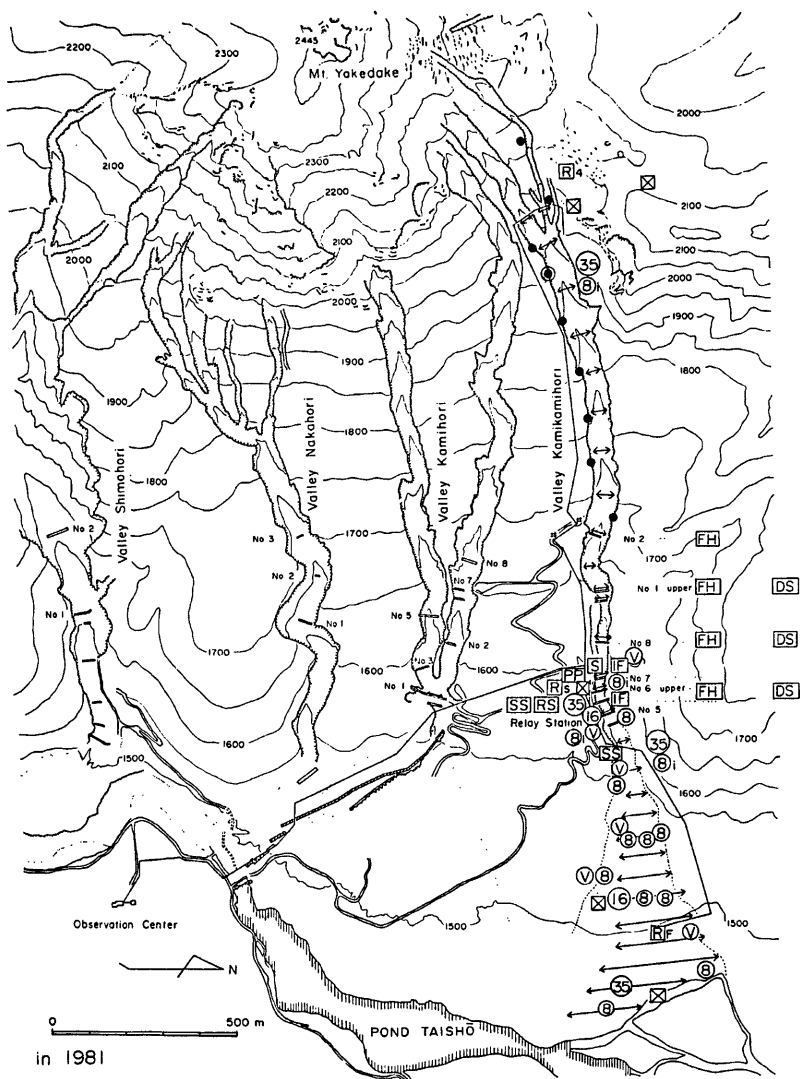


Fig. 3. Location of observation system at the eastern slope of Mt. Yakedake in 1981

[X]: relay station, [R]: rain gauge, $\leftrightarrow$: wire sensor, [SS]: spatial filter speedometer, [RS]: radar speedometer, [PP]: bottom pressure gauge, [IF]: impact pressure gauge, [S]: seismometer, 35: 35 mm interval shot camera, 16: 16 mm cinecamera, 8: 8 mm cinecamera, 8i: 8 mm interval shot camera, V: video camera, [FH]: measurement of flow height, [MS]: mud sampler, [DS]: debris sampler, No.: number of dam, ●: observation point for valley wall erosion, ○: observation point for valley wall and bed erosion.

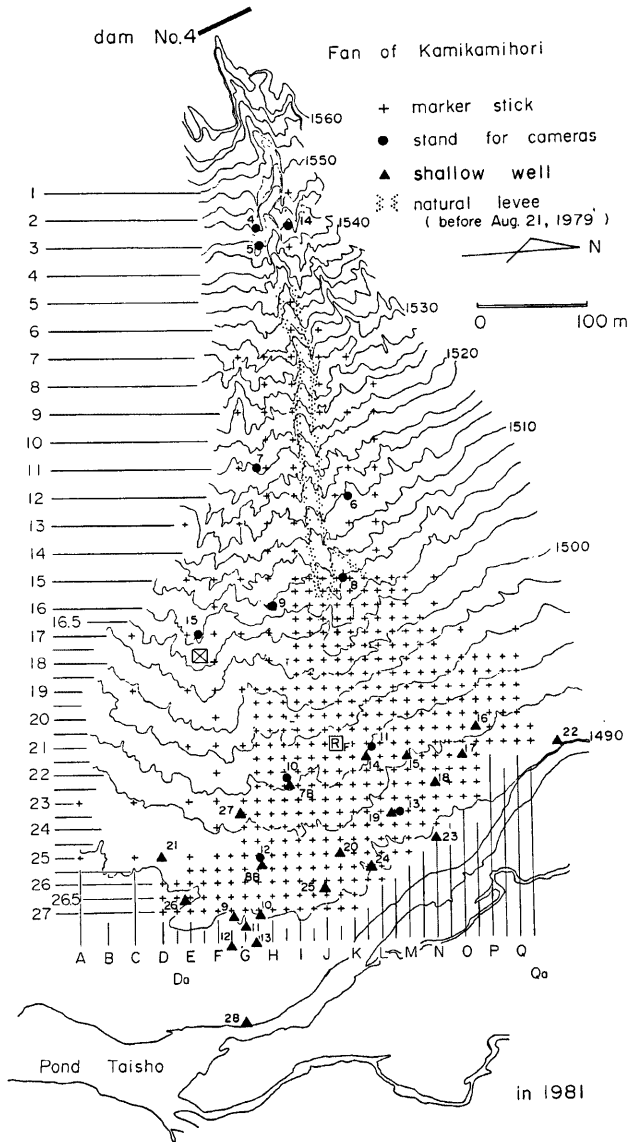


Fig. 4. Arrangement of observation network at Kamikamihori fan in 1981

の関連性を調べるために、焼岳東麓上々堀沢扇状地を対象として 10 年をこえる 長期間にわたって 現地実験を継続してきた。

当初の目的は上々堀沢の源流域から下流扇状地までにわたって土石流の発生、流動、停止の過程を一貫して追跡し、観測、記録することであったが、最近はとくに人間生活に関連が深く災害発生場になりやすい扇状地に重点をおいて現地計測システムを整備している。

上々堀沢全体にわたる器機類の配置図は Fig. 3 に、またとくに扇状地における観測網については Fig. 4 に示されているが、その内容についてはすでに防災研年報において報告しているので省略する。

図に示した器機類によって土石流の動態を撮影、計測するほかに、定期的または臨時的（とくに土石流発生直後）に地形測量をくり返して行ない、土石流あるいは土砂流による地形変化の実態を正確に把握するように努めている。

とくに扇状地での現地実験の主目的は、どのような物質がどのような流動態をとって扇状地に到達すると、どのあたりまで流下してどのような形態をとって堆積するか、また逆に、過去の土石の堆積によって造り出された微地形的特性は新しく流下してくる土石流の流動態、流動コースにどのような影響を及ぼすかをなるべく定量的に把握して、流動物、流動態、堆積形態の相互の関係を調べて法則性を見出そうとするものである。

そのためにはまず扇状地へ到達する直前の土石流の状態を初期条件に当るものとして正確に把握する必要があり、Fig. 3 の砂防ダム No. 5~7 の付近に多数のカメラ群、流速計、流動物採取装置等を集中的に配置している。また扇状地における土石流の減速、停止の過程を追跡するためには土石流の流下コースを予測してそのコース沿いに観測器機類を配置しなければならないが、後述のように土石流の流下コースは扇頂近くの微地形変化に大きく左右され、正確なコースの予測はきわめて困難であり、ある程度複数のコースを予想して限られた個数の器機類を面的に分散配置せざるを得ない。

したがって幸いにどのコースかに沿って土石流の動態が捉えられたとしても、かなり粗い網にかかった部分的な記録をつなぎ合わせて全体的なイメージを作り上げている現状である。

なお国際的な F.E.G. の委員会においても、野外での観察、計測のための新しい器機類の開発を推進し、その経験の国際的交流をはかることが重要な課題になっているが、すでに実用的な商品として販売されている器機類でも、野外現地において、強い日射、豪雨、強風などにさらされながら一定の性能を維持させるためには、特別な工夫を加えたり保守点検にかなりの努力を費す必要があり、現地での貴重な教訓をお互いに伝え合うことが研究の発展に意外に貢献するものと思われる。

以上の現地地上での観察、計測のほかに空中写真の撮影、またこれを利用した判読、図化は扇状地の地形的特性、土石堆積物の形態と分布、流水路の形態等を面的に把握するうえで欠かすことのできない重要な手法である。Fig. 5 は空中写真を図化して 1970~79 年の間に上々堀沢に堆積した土石流堆 (lobe) の分布状況を示すもので、これを利用した成果については次節で述べるが、とくに短期間に大きな変化の生じる扇状地の地形学的研究には空中写真のくり返し撮影とその利用はきわめて有効な手法と云えよう。

4.2 主要な成果

一般的な扇状地の地形学的研究の成果についてはすでに成書があり¹⁴⁾¹⁵⁾、また扇状地発達に対する模型実験的研究¹⁶⁾や土石流の扇状地に及ぼす影響の水理学的研究の¹⁷⁾の論文も最近発表されつつある。

しかしながらとくに土石流の動態と扇状地の微地形特性との関連の解明を目指した野外実験的研究は現在ほとんど見当たらないので、ここではとくに土石流災害に関係の深い事象に限定して今までに得られた成果を概括的に報告する。

(i) 扇状地の形成

現地観測、測量および空中写真図化 (Fig. 5 参照) の結果によると土石流は谷を出て扇状地にさしかかっても一挙に拡幅はせず、細長い形を保ちながら流下し、岩塊群をふくむ先頭部は集塊的に停止して舌状の土石流堆 (lobe) を形成する。したがって同心円状の等高線をもつ扇状地の概形は個々の土石流が面的に拡がっ

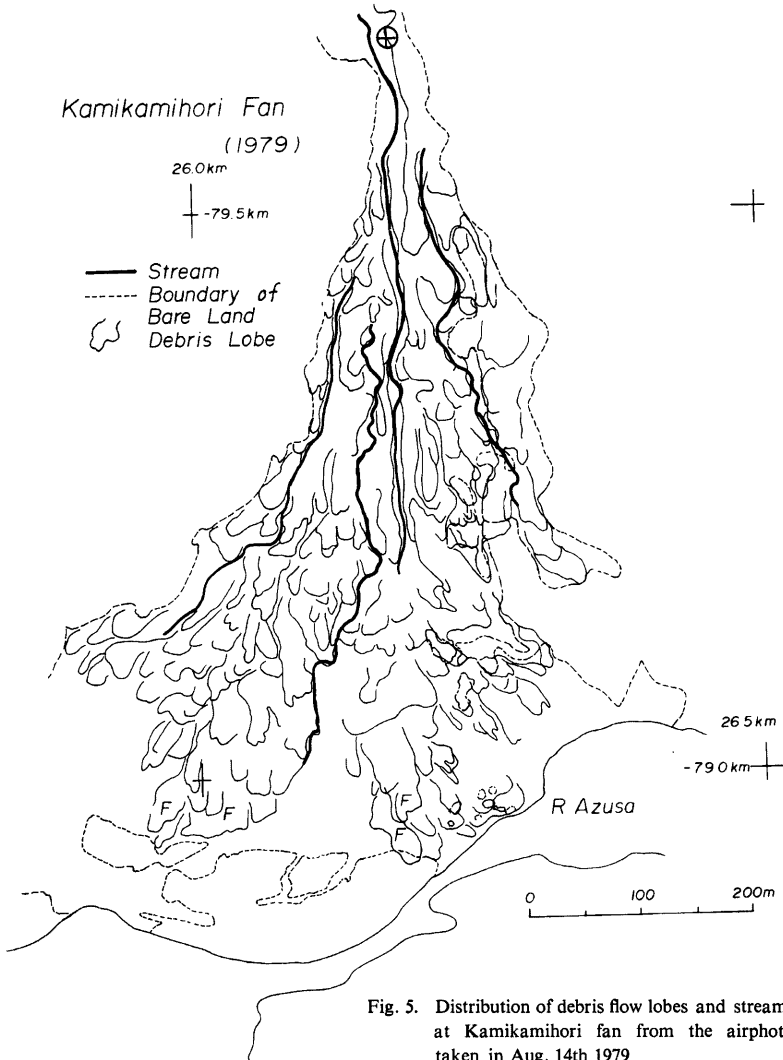


Fig. 5. Distribution of debris flow lobes and streams at Kamikamihori fan from the airphoto taken in Aug. 14th 1979

て形成されたものではなく、多数の細長い lobe が長年の間にランダムにあらゆる方向に流下し、堆積してゆく結果として形成されたものである。

それゆえに短期間の土石流堆積では同心円状の地形は形成されず比較的狭い円頂角の範囲内に細長い盛り上り部が放射状に延びる場合が多い。

(ii) 土石流堆積形態の差異

土石流の集塊の堆積形態は一ようではなく、岩塊群が直接にかみ合って集団的に盛り上ったままで停止したいわゆる「かまぼこ型」の lobe と、岩塊群が砂礫の間に分散して平べったくなって停止したいわゆる「せんべい型」の lobe とに区分される。「かまぼこ型」の lobe は扇状地の上流域に多く分布し、「せんべい型」の lobe は下流域に多く分布し、その分布域の境界はある程度明らかである。(Fig. 4 横 line 16 付近)。微地形特徴としては扇状地の横断方向の断面形を計測すると、「かまぼこ型」lobe の分布域では微起伏が大きく、「せんべい型」lobe の分布域では微起伏が小さい^{13c)}。今までの他地域の土石流被災地での観察の経験によると、「かまぼこ型」の lobe が存在するような領域では、もし家屋がそこにあれば完全に破かいされるが「せんべい型」の lobe の域では家屋があると破損はしても倒壊までには至らないことが多い。これは二つの流動態の間に衝撃力の大きな差異があることによるものと考えられる。したがって「せんべい型」の lobe が存在するような地域は土石流到達範囲ではあるが、ある程度の力学的防衛物で被害が防止できるであろう。

なおこのような堆積形態の差異が何によってもたらされるかについてはいまだ十分な答は得られていない。空中写真によれば 1962 年の焼岳噴火直後に発生した土石流の lobe は数は少ないが下流まで到達して非常に広い「せんべい型」になっているが、これは当時の調査記録からみて泥流に近い流動態であったことに起因していると思われる。

しかし最近の流動態の観察によると、扇頂直上流では同じような流動組成、流動態を呈しているにもかかわらず、あるものは「かまぼこ型」で、あるものは「せんべい型」で堆積しており扇状地に入ってから何らかの影響（とくに先頭の巨岩塊群の流下中のふるいおとし）による差異と思われるが、結論を得るまでには、さらに現地観測のデータの積み上げが必要である。

(iii) 洗掘と堆積の場合

一般に扇頂付近ではしばしば大きな洗掘が生じるが、このいわゆる「扇頂下刻」現象については、土石流によるという説と洪水流による説とがあった。しかしわれわれの直接の観察によって扇頂下刻が大土石流発生時に起ることは明らかになったが、土石流先頭部の通過時に生じるのか、その後続の泥流、洪水流に近い状態のときに生じるのかについては今後の研究をまたねばならない。

扇状地全般について堆積が進行していることは明らかであり、この扇状地ではまず下流に大土石流による堆積があると、その後この堆積域から次第に上流域にさかのぼって堆積が進行する傾向が認められる。

(iv) Intersection Point と小溪流の変遷

とくに土石流の側方氾濫の開始地点に相当する Intersection Point については、前述の扇頂下刻域と扇面堆積域との接触部に位置するために土石流の出現によってその位置がかなり移動することがある。したがって土石流の氾濫域予測にこの Point の位置を利用するときには、しばしば現地観察をくり返してその最近の状態を確認する必要がある。

また自然の扇状地にある小溪流は普通は潤れ川で大雨時にのみ流水が生じるものが多く、また一回の土石流の流下によって旧水路の閉塞、新水路の出現がもたされることが多いので小溪流の分布と現状から豪雨時の流出コースを判断することは難しい。

(v) 土砂流と土石流の洗掘・堆積パターンの差異

豪雨あるいは融雪によって土石流までは発生しないが、かなりの表流水が扇状地面を流下することはしばしばあり、この場合にも砂礫の掃流は生じている。

しかしこのような土砂流では扇状地下流域にまだら状に洗掘域と堆積域とが隣接して出現し、土石流による集塊的な堆積域とその間の線的な流路洗掘とが起る場合と全くパターンが異なっている。

(vi) 土石流堆積物の断面構造

土石流堆積域でピットを掘って lobe の堆積構造を調べてみると¹⁸⁾、lobe の表層、先端部に近いところほど大きな岩塊の割合が多く、grain flow の水理学的特性として示されている傾向と一致している。「かまぼこ型」lobe の表層は岩塊が直接にかみ合って matrix を欠いているように見えるが、そこでも少し下層（地

表から 0.5m 以深）では砂、泥粒子によって岩塊間は充填されている。なお、下流（Fig. 4 横 line 22 の付近）での掘削調査では土石流堆積層の間にはさまれて lamina の明瞭な薄い掃流堆積層が何層か見出されたが、厚さの割合は土石流堆積層の方がはるかに大きく、上々堀沢扇状地の大部分は直接の土石流堆積物によって覆われているものと考えられる。

(vii) lobe 群の分布と等価摩擦係数の算定

上々堀沢扇状地の空中写真を利用して 1956 年から 79 年の間にここに堆積した土石流 lobe の分布図を描き、扇頂点（Fig. 5 に⊕で示す）からの距離（100m おき）と方向別（10°おき）に区分された Fig. 6 に示されるような区分領域ごとに、そのなかに存在する lobe の面積密度（1ha 当りの lobe 数）を計算すると同図に階級別に記したような結果が得られる¹⁹⁾。これによると大体扇頂から 600m 付近までは土石流の頻繁に到達する領域であり、この領域内では「かまぼこ型」の lobe の割合が多く、前述のように甚大な被害の生じ得る土石流に対する最高危険域とみなすことができよう。

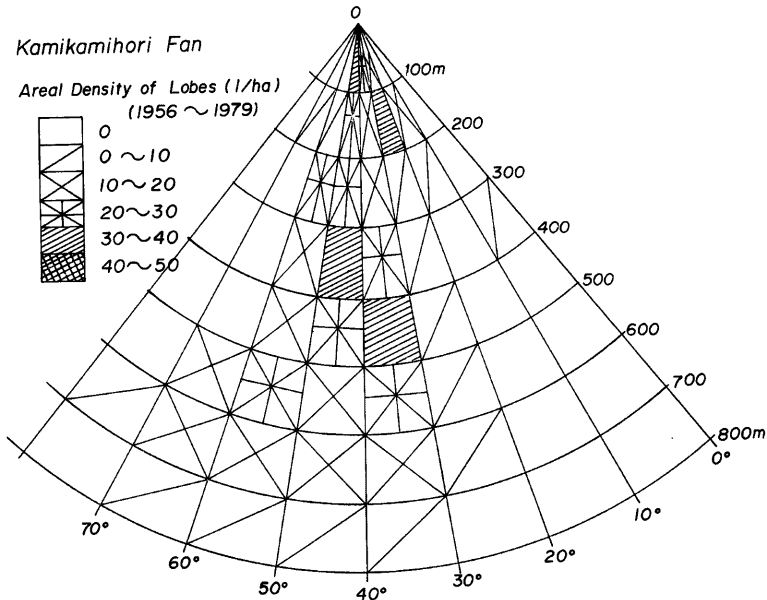


Fig. 6. Distribution of areal density of debris flow lobes which had settled at Kamikamihori fan from 1956 to 1979 (cited from the report of field observation by Matsumoto Sabo¹⁹⁾)

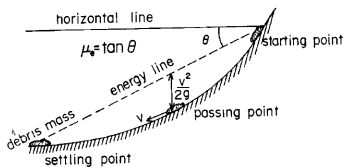


Fig. 7. Calculation of equivalent friction coefficient from a race course of debris mass

崩かい土石の流走距離を量的に考察する物理的なパラメータとして Fig. 7 に示すような土石の流動開始地点または速度の分っている通過地点から土石の停止地点までを見通したエネルギーラインの俯角の tangent を土石の流動に対する平均的な動摩擦係数とみなして等価摩擦係数（equivalent friction coef. μ_e と記す）と称し、大規模な崩かい災害例についてこの値を比較することが行われている^{20) 21)}。

そこで土石の運動状態と流走コースの分っている上々堀沢について、扇頂点から上述の危険域境界までの範囲の μ_e を求めてみると 0.09 の値が得られるが、この値は筆者が土石流先端の岩塊群を質点とみなして、その減速過程から運動学的に計算した動摩擦係数の値 $0.09 \sim 0.10^{22)}$ にきわめて近い値となっている。

なお同様な方法で空中写真を用いて隣接する上堀沢扇状地での lobe 群の分布から求めた μ_e の値は 0.11 くらいであり、流動物の組成、流動状況、流走域の地形が類似の場合には、 μ_e の値も比較的に近い値をとるものと思われ、このようなデータは類似の扇状地での土石到達範囲の予測に有効に利用されるであろう。

ただし相当摩擦係数がさらに一般的に適用できるかどうかを確かめるためには、さらに多くの崩壊い例について、現地調査、空中写真判読等をつみ重ねて、さまざまな崩壊い現象別、土石の流動形態別、また流走範囲の地形、土地利用状態別に係数がどのような値をとるかについて経験的な情報を収集し整理することが必要であろう。

また一方相当摩擦係数の物理的意義を明確にして、土石の運動形態、地表の状態とこの係数との関係を理論的、実験的に考察し、係数の範囲の推定、その係数を適用できる条件の限定等の研究が必要であるが、この場合にも単なる模型実験のみでなく、原型スケールでの F. E. G. の手法がきわめて有効であろう。

なおこの他の扇状地における野外実験的研究対象としては、土石流が扇状地に到達してからの水と土石の分離、側方への拡がり、土石流による自然堤防の形成と消滅等の諸過程が、とくに災害科学に関連の深い事象としてとりあげられるべきであろう。

5. む す び

以上述べてきたように地形学の近代科学としての発展を図るためには、地形変化の諸過程に対する現地計測、定量的法則性の現地検証など実験的な手法を積極的にとり入れる必要があり、その方向に向っての努力は国内的にも国際的にも活発につづけられている。

そして新しい地形学の目標の一つに地形変化の定量的予測がとりあげられているが、これは災害科学とくに崩壊い災害を対象とする分野では非常に重要な課題であり、協力して研究を推進する必要がある。

とくに山麓での崩壊い災害に対する危険域の予測に関しては、被害の生じる過程の解明や、土石流走範囲の定量的予測に野外実験の手法が必要であり、有効であることを実例によって示した。

なお実験の手法を地形的にとり入れ、とくに災害科学に役立つ成果を上げるためには、水文学、水理学、土質力学、地球化学等の関係科学諸分野との交流、協力が必要であり、その意味で学際的な研究の推進が望まれる。

本稿を草するに際して、国内外の地形学分野の学会活動に関しては、日本地形学連合の諸委員より最新の情報を御教示いただき、また桃岳東麓における現地実験に関しては、防災研究所地形土壌災害部門の諸氏の長年にわたる研究成果をまとめて整理し、引用させていただいた。ここに明記して謝意を表する。

引 用 文 献

- 1) 水山高幸：現代地形研究法シンポジウム，地理，Vol. 21，No. 12，1978，pp. 118-120.
- 2) 奥西一夫・諏訪 浩：「地形学における野外実験」シンポジウム参加報告，地形，Vol. 1，No. 1，1980，pp. 96-99.
- 3) Anders Rapp and Olav Slaymaker: Report on the 3rd Meeting of the Commission on Field Experiments in Geomorphology, International Geographical Union (Japan, 1980), 地形，Vol. 1，No. 2，1981，pp. 172-174.
- 4) 奥田節夫：1981 年 IGU Commission, Field Experiments in Geomorphology シンポジウム参加報告，地形，Vol. 3，No. 1，1982，pp. 75-79.
- 5) Olav Slaymaker: Objective of the Commission on Field Experiments in Geomorphology, 1st Circu-

- lar of I. G. U. Commission on F. E. G. 1977, p. 5.
- 6) Olav Slaymaker: The Nature of Field Experiments in Geomorphology, Proc. of the 3rd Meeting of I. G. U. Commission on F. E. G. 1981, pp. 13-19.
 - 7) Olav Slaymaker: Geomorphic Field Experiments-Inventory and Prospect, ditto, pp. 1-12.
 - 8) Olav Slaymaker: Progress Report on Task Forces of F. E. G., 8th circular of I. G. U. Commission on F. E. G., 1982, p. 3.
 - 9) 水谷武司：防災地形，古今書院，昭 57.
 - 10) 鈴木隆介：地形学の最終目標，地理学と地理教育—その背景と展望，古今書院，1981，pp. 117-129.
 - 11) 文部省科学研究費，総研 (B)「地形変化の数量的予知」研究班：地形変化の 数量的予知に関する 総合討論，地形，Vol. 2, No. 1, 1981, pp. 139-148.
 - 12) 小池一之：British Geomorphological Research Group の活動について，地形，Vol. 3, No. 1, 1982, pp. 67-71.
 - 13) 奥田節夫ほか：土石流の総合的観測
 - a. (その 5) 1978 年焼岳上々堀沢における観測，京大防災研年報，No. 22, B-1, 1979, pp. 157-204.
 - b. (その 6) 1979 年 " " 全上 No. 23, B-1, 1980, pp. 357-394.
 - c. (その 7) 1980 年 " " 全上 No. 23, B-1, 1981, pp. 411-448.
 - 14) 矢沢大二・戸谷 洋・貝塚爽平：扇状地—地域的特性 古今書院，1971.
 - 15) Andrzej Rachocki: Alluvial Fans — An attempt at an empirical approach, John Wiley & Sons, 1982.
 - 16) R. Leb. Hooke and W. L. Rohler: Geometry of Alluvial Fans — Effect of Discharge and Sediment Size, Earth Surface Processes, Vol. 4, No. 2, 1979, pp. 147-166.
 - 17) 高橋 保：土石流の停止・堆積機構に関する研究 (2) — 土石流扇状地の形成過程，京大防災研年報，No. 23, B-2, 1980, pp. 443-456.
 - 18) 諏訪 浩・奥田節夫：焼岳上々堀沢扇状地における土石流の堆積構造，京大防災研年報，No. 25, B-1, 1982, pp. 307-321.
 - 19) 奥田節夫ほか：「昭和 56 年度焼岳土石流観測および解析」土石流調査関係資料集 VII，建設省北陸地建松本砂防工事事務所，昭 57. 3, pp. 4-63.
 - 20) Kenneth J. HSÜ: Catastrophic debris stream generated by rockfalls, Geol. Soc. Amer. Bull. Vol. 86, No. 1, 1975, pp. 129-140.
 - 21) A. E. Scheidegger: Catastrophic landslides, Physical Aspects of Natural Catastrophes, Elsevier, 1975, pp. 137-140.
 - 22) S. Okuda and H. Suwa: Some relations between debris flow motion and micro-topography at Kamikamihori Fan, Northern Japan Alps. Geo Books edited by B. G. R. G. (in preparation).

RECENT DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL GEOMORPHOLOGY AND ITS EFFECT ON DISASTER PREVENTION SCIENCE

By *Setsuo OKUDA*

Synopsis

The need of experimental study in Geomorphology was asserted to promote the advance of Geomorphology as a branch of Earth Science and the international activities of I. G. U. Commission on "Field Experiments in Geomorphology" were introduced showing the purpose of the Commission and some statistical results on the type and scale of the experimental studies. The quantitative prediction of topographic change using experimental method is very useful for the Disaster Prevention Science, especially for the study on slope failures, landslides and debris flows which have a deep connection with rapid mass wasting. Our study on the motion of debris flows and its effect on topographic change in fan was described as an example for a field experiment in our country, the result of which is applied to prediction of a dangerous region of debris flows.