

物理地形学と災害科学

奥 田 節 夫

1. ま え が き

この拙論は著者が25年にわたって勤めさせていただいた防災研究所を去るにさいして、災害科学に貢献しようとする新しい地形学の発展を企図して、試行錯誤を繰返しながらささやかな努力を試みてきた経過をまとめたものである。まとめの途中で、多くのかたの支援をいただきながらこれだけのことしかできなかったのかという自責の念が先にたって筆が進まなかったが、マイナスの面も含めて自分の仕事の足跡をのこしておくこともそれなりに意義があろうと思い直して、敢えてこの記録をまとめあげた。

本稿はこのような意図のもとに、1970年および1982年に防災研究所年報に掲載した「物理地形学と災害科学の関連について」および「実験地形学の最近の動向と災害科学との関連性」の続きと総括のつもりで纏めたものである。したがって地形土壌災害研究部門の業績を一覧的に紹介するものではなく、個々の研究の目的や成果についてはほとんど触れていないことをお断りしておく。

2. 新しい学問との出会い

著者が物理地形学の勉強を志したのは1962年に故 速水頌一郎先生（当時京都大学理学部教授）に新しい地形学の必要性、有用性を教えていただいたときから始まった。先生は当時出版後間もない A. E. Scheidegger の著書 “Theoretical Geomorphology” の本を示されて、我が国でもこのように地形変化の諸過程を物理科学的観点から究明して、地形変化を総合的・定量的に解析するような新しい地形学の発展が必要であり、このような学問の成果は我が国の災害科学の進展に大きく寄与するであろうということを、パイプの煙をくゆらせながらお話しになった。そして、もし防災研究所にそのような研究をする部門が設立されるようになったら、それをやってみないかとお誘いをいただいた。

当時、岡山大学理学部物理学教室で地球物理学的な仕事はしていたものの、地形学には直接縁のなかった著者にとっては先生から新しい学問の存在を教えられたばかりで、未知の問題に対する憧れと恐れと錯綜した複雑な気持ちのままに「考えてみます」とお答えした。その後、物理系の先輩や同僚に相談しても、「そんな学問分野は聞いたことがないし、物理系の出身者にそんな学問ができるのか」といった悲観的な言葉が多く返ってきた。そして再び速水先生にお目にかかって自分なりに新分野に挑戦したい野心と挑戦能力の欠如に対する心配とが入りまじった気持ちを正直に訴えたところ、先生からは「新しい学問をやろうとするときには誰でもそれくらいの悩みはある。要はやってみようという決意だ」とのお言葉をいただき、その場で「それではやってみます」とお答えした。

年が変わって1963年4月に防災研究所に「地形土壌災害研究部門」が新設され、速水先生には併任教授としてご指導をいただきながら、宇治構内の古い建物の一室を借りて新しい学問の勉強を始めた。

新部門の発足直後には、まず国内の関連分野の学問の現状を知るために他大学や研究機関を訪問したが、故 多田文夫先生、谷津栄寿先生、水山高幸先生からは格別な励ましと助言を頂き、新しい地形学の発展には多くの方が期待を寄せられ、また同じような研究を目指される同志が方々におられることを知って非常に心強く思った。

国外の情報についてはとりあえず“Theroretical Geomorphology”の輪読を始めたが、どうせ読むなら邦訳書出版までやろうということで、学外からも同志に来ていただいて、丹念に引用文献まで調べた。その過程で物理系の者はあまりにも従来の地形学用語を知らないで、水山高幸先生や平野昌繁、石井孝行などの諸氏に大変お世話になった。

3. 物理地形学と災害科学の関連

前節のような経緯を経て発足した地形土壌災害研究部門のその後の研究内容およびその成果については、防災研究所年報あるいは関連学会誌に発表しているので説明を省略するが、とくに物理地形学と災害科学との関連性についてスタッフの仲間でもどのように考えているかを簡単に紹介する。

まず部門発足後7年経過した1970年の段階で、我々の指向する目標とその効果について年報Aに「物理地形学と災害科学の関連について」という小論文を発表している。そのなかで地形学には「地球誕生以来の地形変化の歴史的過程を対象とする歴史科学的な面」と「地表に分布する物質の変化と移動を対象とする物質科学的な面」とが共存し、両者が相補ってゆく必要性を認めたとうえで、敢えて後者について「物理地形学」という言葉を用いている。具体的には地形単位（一つの流域）をエネルギーおよび物質の出入りする open system と見なし、各種の単位プロセス（外部営力による作用）が地形変化に及ぼす諸過程を物理科学的法則性で表現し、さらにシステム全体の総合特性を明らかにしたうえで個々のプロセスの地形変化に及ぼす影響を総合的に調べることを目指している。

なお1970年の論文のなかで上述のような物理地形学の研究がどのように災害科学に寄与しうるかについて述べているが、その要点は次のようにまとめられる。

- (1) 山崩れや地すべりのように地形変化過程そのものが自然災害の直接的原因になっている場合が非常に多いので、地形変化過程の研究が災害発生の原因究明に直結することが多い。
- (2) 過去の地形形成過程がもたらした現在の地形や表層物質の分布が災害発生の素因になっていることが多いから（例えば地盤沈下や地震時の地盤液化化など）、地形形成過程の物理科学的研究によって災害の発生可能な地域の特徴が把握できる。
- (3) 物理地形学における新しい研究手法によって災害科学に必要な情報を提供することができる。（例えば土石流の動態の計測手法の開発によって土石流の運動状態が定量的に記録できるようになる）。

このような面からの災害科学への寄与の程度は、災害の種類、発生状態によって異なるので、その評価はなかなか難しいが、一般的にはすでに多くの研究例によって物理地形学の災害科学への寄与は実証されている。

4. 国内および国外における新しい地形学の発展

次に「物理地形学」の研究の進展に関連して、その成果を発表し必要な情報を入手するための学術的交流の場について述べたい。

従来、地形学は地理学の一分野とされており、その発表は国内ではふつう日本地理学会で行われていた。しかしながら新しい地形学を目指す研究者には地理学以外の分野、たとえば地球物理学・地球化学・砂防学・土木工学などの出身者が少なからずおり、地理学の一分科というよりも、地球科学の新分科として学際的な研究を促進し、その成果を防災や環境の諸問題に積極的に活用していきたいという希望者が多くなってきた。そして新しい地形学の発展を望む研究者の熱意によって、地形学プロパーの新学会「日本地形学連合」が1979年10月に設立された。この新学会の設立の経緯については同学会の会誌「地形」(Transactions, Japanese Geomorphological Union)の創刊号(1980)に掲載されているが、発足当時は150名ほどであった会員数が現在(1988年4月)600名を超えている。ちなみに地形学連合の事務局は発足以来、防災研究所地形土壌災害研究部門に設置されている。

なおこのような新しい地形学の発展を志向するグループが従来の地理学の分科から独立して新しい学会を設立しようとする傾向は日本だけでなく、イギリスにおいては1976年に British Geomorphological Research Group 略称 BGRG が発足し、会誌 “Earth Surface Processes and Landforms” が発行されている。このグループの指向するところは同誌の表題の通り地表面態を変化させる諸プロセスの究明とそれを総合した地形形成過程の考察であり、まさにわれわれの目指す新しい地形学のありかたと一致している。なお同学会は外国会員も含めて約900名の会員を有する世界最大の地形学プロパーの学会であるが、その次に会員数が多いのは日本地形学連合である。

われわれが国際的な学术交流の場として最初に接触したのは International Geographical Union の “Commission on Field Experiments in Geomorphology” (略称 FEG) の組織であった。このコミッションとの交流については1982年に防災研究所年報に「実験地形学の最近の動向と災害科学との関連性」という小論を掲載しているので詳述は略するが、1976年に Moskow の第一回国際シンポジウム (Present Day Geomorphology) の際に発表されたこの委員会 (前身) の目的とするところは下記の通りであった。

- (1) 異なった環境下に設けられた野外観測所で地形変化をモニターする諸機器を利用し、また開発して、地形学的諸過程の速さとその影響に関する研究を促進する。
- (2) 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行う。
- (3) 野外実験の結果を発表したり経験の交流を図るためにシンポジウムを開く。

このコミッションの1980年の国際シンポジウムは京都で開催され、テーマは FEG の動向、流域実験での測定法、斜面・河川での諸実験であった。なお excursion では六甲山、焼岳などを案内して我が国における rapid mass movement の研究の重要性を理解してもらった。

このシンポジウムで委員長の Olav Slaymaker (カナダ、ブリティッシュコロンビア大学教授) は「FEG 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」と述べているが、これはわれわれの物理地形学の目的、手法にきわめて近い考えかたと言えよう。さらにまた、FEG の課題として風化と溶出、パイプ流、表面浸蝕、slow および rapid な mass wasting、河道の変遷などがとりあげられた。その成果を報告書にまとめて、とくに開発途上国での災害や環境の問題解決に役立たせようとする意図があったが、とくに日本には rapid mass wasting の研究面での寄与が期待されている。

FEG は1985年に一応活動期限を終え、IGU のコミッションとしては新しく “Commission on Measurement, Theory and Application in Geomorphology” (略称 COMTAG) が引き続き発足した。この新コミッションの委員長は A. P. Schick (イスラエル・エルサレム大学教授) である。

前にのべた国内において地形学連合が地理学会から独立したのと同じような考え方で IGU (国際地理学連合) から独立して新しい地形学独自の国際学会を創立しようとする努力が前述の BGRG を中心にして進められ、1986年には第一回国際地形学会議が Manchester で開催され、約600人 (日本から20人) の参加者があった。その大会の様子は水山高幸氏によって「地形」7巻1号 (1986) に紹介されている。

このように、国内・国外において、地球科学の分科としての新しい地形学の発展を目指す研究者の運動が、期せずして1970年代後半から80年代前半にかけて盛上ってきたと言えよう。

5. 地形土壌災害研究部門における研究の概要

以上に述べたような物理地形学の研究を指向して、国内外の新しい研究組織と連携をとりながら進めてきた地形土壌災害研究部門の研究の概況について以下に説明する。

当部門の研究方針については、発足の当初からスタッフの間で十分検討を重ね、「地表物質の変質・移動の過程とそれによって発生する災害の防止・軽減」を目標にして、具体的には風化・侵蝕・土石の流動・堆

積を当面の課題としてスタッフがそれぞれの個性を生かすとともに相互に協力しながら研究を進めてきた。

最近の各課題別の研究内容は次の通りである。

(1) 風化

地質学・鉱物学の立場とは異なり、災害科学の観点から風化を研究することの重要性を指摘されたのは速水先生であった。この研究のためには地球化学的手法を取入れる必要があり、最初は北野 康先生（当時名古屋大学理学部教授）に非常勤講師としてご協力いただき、その後は先生の門下生の吉岡龍馬に引継いで、小流域での水の化学成分濃度と流量からその流域における風化の進行速度の推定を行っている。なお風化のプロセスを定量的に調べるために岩石からの溶出の室内実験も行われている。風化の現地研究では斜面における水の循環・移動の実態を知ることが重要であり、そのために最近 Isotope Hydrology とくに stable isotope の分析による研究手法が導入されている。

(2) 斜面の浸蝕——崩壊現象をふくむ広義の浸蝕

我が国では水田農業のために耕地の浸蝕は深刻な問題になっていないが、山地斜面の浸蝕は谷への岩屑供給の原因となり、ひいては土石流の発生をもたらす。また広義の斜面浸蝕の形態ともみなされる落石・斜面崩壊・土石流などの rapid mass movement の諸現象は、我が国ではもっとも多くの死傷者をもたらす土砂災害の要因である。

谷沿い斜面からの落石・小崩壊については、諏訪 浩によって焼岳上々堀沢において現地研究が行われ、土砂の供給と流出の季節的变化と谷地形の変遷過程の関係が調べられている。大規模な斜面崩壊については、顕著な被害をもたらした最近の崩壊現地での研究が奥西一夫によって行われ、とくに崩壊発生と水文条件の関係が究明されている。また土石流の発生に関しては建設省松本砂防工事事務所の協力を得て焼岳東麓において十数年にわたる現地研究が諏訪 浩・奥田節夫・奥西一夫によって行われ、とくに谷の源流域での降水・表面流・地下水流と土石流発生の関係が定量的に調べられている。

また琵琶湖北部の石田川、姉川の流域からの溶解物および土砂の流出の季節的变化、とくに降雪・融雪の影響の調査が奥西一夫・吉岡龍馬によって行われている。

(3) 土石の流動

顕著な災害をもたらすような土石の流動はそのほとんどが斜面崩壊や土石流の発生にともなうものであり、流動形態・流速・到達距離に関する定量的研究は災害の防止・軽減の計画のために極めて重要な意義を有する。この問題に対しては防災研究所内の水関係部門でも土砂水理学的研究が活発に進められており、これと協力して当部門では諏訪 浩が焼岳上々堀沢において土石流の動態の計測を行い、現実の流れのデータを提供するとともに、とくに巨岩塊の先端集中現象について、模型実験をふくめて総合的な研究を行っている。

(4) 土石の堆積

流動する土石が緩勾配にさしかかると減速して最終的に停止するが、土石がどのような範囲にどのような状態で堆積するかを研究することは土砂災害の防止・軽減のために極めて重要である。

この問題に関して奥田節夫・諏訪 浩は焼岳上々堀沢扇状地において、土石流・土砂流による土石の堆積状態の特徴とその分布範囲を明らかにし、堆積特性と扇状地発達に関連性を調べている。さらに奥田節夫・奥西一夫は国内外の過去の大規模な崩壊地における土石の堆積状況に関する資料を収集し、崩壊土石量と土石の広がり範囲の関係を定量的に調べている。それから得られた統計的・経験的な法則性は直ちにその物理学的な裏付けを与えることは難しいが、防災的な土地利用計画にとって重要な資料となるであろう。なおこの様な災害史的研究としては、学外の研究者（平野昌繁大阪市立大学教授・藤田 崇大阪工業大学教授・石井孝行大阪教育大学教授）の協力も得て、近畿地方の過去の崩壊地を対象にした現地研究が進められている。

一方、湖沼での土砂の堆積は直接に人命を脅かすような災害をもたらすことはないが、水底の地形変化、

底質・水質間の相互作用を通して生活環境に大きな影響を及ぼしている。奥田節夫は滋賀県琵琶湖研究所と協力して、琵琶湖内の堆積速度と水文、水理条件との関係を調べている。また奥田節夫、太井子宏和は大地震による湖岸の陥没状況を調べるために高島沖でユニブームを利用した堆積層調査を行ない、最近の地震ではあまり大規模な陥没は生じていないことを示している。また底泥中の Cs-137, Pb-210 の鉛直分布から表層近くの堆積速度を調べ、伊勢湾台風のような大きな台風によって、湖内に異常な浸蝕、堆積が生じることを指摘している。

以上述べてきたように当部門の研究はその多くが現地計測あるいは現地調査に基づいて進められており、そのためには、絶えず新しい技術の導入、測器の開発が必要である。この分野においては、横山康二技官は土石流計測システムの構築、扇状地の地形測量、また自動採水器、採泥器、水中ステレオカメラの開発などの特殊な作業において独特の発想と勝れた技術力を発揮して、当部門の多くの研究に対して極めて大きな貢献をしている。

6. あとがき

以上、著者が防災研究所に就任してから今日に至るまで、災害科学に直接貢献できるような新しい地形学の在り方を模索しながら、地形土壌災害研究部門のスタッフとともに努力してきた研究の経過を述べて来た。もちろん、限られたスタッフによる努力の限界は明らかであり、そのために地理学、地質学、地形学など関連科学分野の多くの先輩、同僚の暖かいご指導、ご援助をいただきながら何とか現在の研究レベルに到達出来たことを振り返り、ここに改めて深甚な謝意を表したい。

なお、今までの研究の経過を謙虚に反省して、さらに進んだ研究を続けるための具体的な展望を自分なりに披歴する義務を感じているが、これについては1988年4月に著者の退官を記念して開いていただいたシンポジウム「災害地形学最前線」において、著者の発言も含めて「災害科学に結び付いた新しい地形学の在り方」が活発に論じられており、近い将来その内容を整理した報告が印刷、配布される予定になっているので、本稿へは記載しなかった。

PHYSICAL GEOMORPHOLOGY AND DISASTER SCIENCE

By *Setsuo OKUDA*

Synopsis

Outline of progress of studies on geomorphology in connection with natural disaster science is reviewed to introduce the works of the section of Applied Geomorphology during the recent 25 years.

The demand for a new organization for modern geomorphology as a branch of geoscience has an appearance recently in Japanese and international academic societies. We have developed our studies in cooperation with these new organizations.

Our main subjects are the processes of weathering, erosion, debris transport and deposition which control rapid topographic changes and sometimes bring about serious hazards in Japan, and the results of our studies have been applied effectively for prevention of natural disasters.