

物理地形学と災害科学の関連について

奥 田 節 夫

ON THE RELATION BETWEEN PHYSICAL GEOMORPHOLOGY AND SCIENCE OF NATURAL DISASTER

By *Setsuo OKUDA*

Synopsis

The need of new branch of geomorphology "Physical Geomorphology" was stressed in order to promote a more complete study on geomorphic cycle from the point of view of physical science and system analysis, which can lead more reasonable mankind action to landform change. As a transitional stage of evolution of physical geomorphology, the progress of dynamic and quantitative geomorphology was described.

The effective application of physical geomorphology to disaster prevention research was shown with some examples.

この表題にかかげた「物理地形学」Physical Geomorphology という言葉は、いままでの自然地理学あるいは地球物理学の分野では用いられたことのない用語であるが、地形土壌学災害部門の研究を進めるに際して、どうしても従来の地形学の概念では包括しきれない行動理念が生じて来たので、あえて「物理地形学」という言葉を用いてその目的を表明し、関係諸分野の諸賢の御批判を仰ぐ次第である。

いまさら地形学の定義をふり返ってみる必要もないと思うが、話の順序として簡単にとりあげてみると、「地表面の形態とその変化」をとり扱う学問と云うことが出来よう。

この地表面 (Land surface) は下方では地殻を構成する岩石圏 (Lithosphere) およびそれから生じた土壌圏 (Pedosphere) をカバーし、上方には水圏 (Hydrosphere), 大気圏 (Atmosphere) および雪氷圏 (Criosphere) をのせており、これらの諸圏が複雑な形で相互に接触する場所で、そこに人間活動の場が存在している。

むしろこれらの諸圏の接触面であるからこそ、広汎な種類の生物活動が盛んであり、またさまざまな型の人間活動が可能であると云えよう。

そして地表の形態は地球内部からの内因的作用 (たとえば造山運動), 外部からの外因的作用 (たとえば水による浸食, 運搬, 堆積), および人間活動 (大規模な土木工事) によって不断の変化をつづけている。

このような地表の形態とその変化の実態からみて、地形学は「地球誕生以来の地形変化の歴史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」を持たざるを得ないであろう。

地形学の歴史的発展過程については多くの教科書で論じられており、とくに日本における地形学の輸入とその後の発展経過については中野尊正氏の著書「日本の地形」に詳述されているので浅学の著者が論じる余地はないが、とくに日本においては Davis 地形学の影響が支配的であったと云えよう。

Davis の考え方は日本の多くの地理学の教科書で説明されており、とくに水山高幸, 守田優の両氏によって最近原著が翻訳出版 (大明堂) されているのでいまさら紹介の必要はないが、地形の進化を cycle (輪廻と訳されている) としてとらえ, Structure, Process, Stage の三要素をもとにして地形 (Landform) の成

立を統一的に説明記述しようとするものである。

最近になって実際の地形発達に Davis の唱えているような典型的な cycle のみで説明し得るのか、他の重要な要因（たとえば気候変動）を考慮せざるを得ないのか、などの論争が盛に行われていることは科学の発展の段階として当然のなりゆきであろう。

しかしながらそのような地形学の発展の段階を外から眺めていると、広義の地球科学が調査、分類、記述の初期から出発して、分析、演繹の時期を経て総合化し、システム科学的手法をとりつつある時期にさしかかり、地球物理学、地球化学、地質学などの境界がうすれつつある現時点においては、地形学の進歩もさらに新しい観点で省みる必要が感じられる。

たとえばある流域の上流にダム群が築造され、下流の沿岸がすべて堅固な被覆でおおわれるとき、あるいは大規模な山のきりとり工事や海面の埋立工事が進められるとき、このような自然のプロセスにくらべてはるかにテンポの早い人為のプロセスが地形変化の cycle にいかなる影響を及ぼすであろうか。

さらに一般的には人間がもっとも効果的に地形を利用し、さらに進んで地形をコントロールするためには、われわれは地形変化に対するどのような情報を積極的に求めてゆくべきか。このような根本的な問題に対して従来の地形学は答え得る資格を持ち、答えようとする姿勢を持つていたであろうか。

このような問題に対する基本的な態度としては、対象とする地形単位（一つの流域）をエネルギーおよび物質の出入する Open system とみなし、地形はその系の一つの物理的特性とみなし、システム工学的手法を適用することであろう。具体的な手順としては各種の作用（単位プロセス）が地形変化に及ぼす影響を物理的法則として求め、つぎにシステム全体の総合特性を明らかにし、システムの cycle を確認した上で、個々のプロセスに変化を与え、cycle の対応を調べてゆき、必要とあらば Simulation によって最適条件のための人間活動のあり方を求めてゆかねばならない。

現実の問題としては現在の地形学の発展段階から、一足とびにこのような system 解析、新しい cycle の定量的表現に到達することは不可能であり、多くの研究者の長期にわたる努力によって過渡的に目標に近づくべきであろう。しかし現時点でも、上述のような目的意識の下に、地形変化を Open system の cycle としてとらえ、その表現を出来るだけ物理科学的（狭義の物理学的ではない）に完全にしてゆこうとする努力はすみやかに開始されるべきであり、そのような観点に立って地形学を研究する分野をあえて「物理地形学」と名づけたい。

このような意味では「物理地形学」は従来の地形学の知識を物理的な法則で表現整理する段階にとどまるものではなく、ましてや数値物理学の演習問題として地形変化を利用するものではない。また新しい観点に立てば人間活動と地形変化の相互関連性は「純地形学」の卑俗な応用面としてではなく、地形 cycle のより完全な理解に重要な情報を提供する実験のプロセスとして活用されねばならない。

このような著者の発想は決して新しい独創的なものではなく、「物理地形学」の言葉こそ用いられていなくてもしばしば出版物に発表されている考え方である。

とくに竹内均・島津康男両氏の共著「現代地球科学」（筑摩書房）では自然をシステム工学的にとらえようとする立場で統一的な地球科学のあり方が提唱されており、その中には地形 cycle の例としてデルタ形成の cycle が記載されている。（同書 p. 118）もちろん cycle の Flow Chart が示されているが、定量的な計算方式や現地の係数が与えられない限り、具体的なデルタの形成過程を表現することは出来ないが、このようなプログラムが考えられるようになったこと自体が新しい地形学の必要性を告げるものであろう。

この例ほど直接にシステム工学的な手法を意識してはいなくても、このような目標に近づく過程として今世紀後半になって急速に発展した近代的地形学の分野としては Dynamic Geomorphology（動的地形学）と Quantitative Geomorphology（定量的地形学）があげられよう。

Strahler によって唱えられた Dynamic Geom. は流域を Open system の場としてとらえ、物理学とくに力学と流体力学の原理にもとづいて地形の形態を論じようとするものである。具体的には地表を構成する

物質がその変形、移動をもたらそうとする力 (Stress) の作用を受け、その物質の性質 (Property) によってさまざまな歪、破かい、流動が起りその結果として地形変動が生じる過程を物理的に追究するもので、Strahler は20に近い Stress の要素をあげてほとんどすべての型の地形変化を包括している。

このような考え方はとくに指摘されなくても物理科学に関連した分野の研究者なら当然実行するはずで、すでに防災研究所の多くの部門でさまざまな Stress に対応する岩石、土じょうの変形、流動に関する実験的研究が進められており、多くの成果が発表されている。

しかしながら現在の研究段階では対象があまりにも局所的な地形変動の微視的考察に限られすぎる傾向があり、広がった地域の地形形態の考察には必ずしも効果的ではないと云えよう。

一方これに対して Horton のグループは主として Hydrologist に必要な地形の定量的情報を提供することを目的として、ある流域の幾何学的形状やその流域内の水系発達のパターンに関する巨視的定量的な研究を行ない、Quantitative Geom. のグループを育てた。

その対象は地形変化に対する個々の営力の影響を物理的に解明するのではなくて、それらの結果として現われた巨視的な量の相互間の関連性を表現してその法則性を見出そうとするものである。

とくに巨視的な量としては水系のパターンに関するものがとりあげられ、それらの量間の統計的法則性が見出される例が多いが、防災研究所においても水系の分岐等に関する法則性の研究が進められている。

さらに最近では熱力学における Open system 系の entropy の概念を流域の地形発達に適用して流域における most probable な高度分布を考察するようなところも進められている。

ただし非常に一般的かつ統計的な法則性が確認されても、局所的な短期間内の現象の予知やコントロールには有効でない場合も生じてくる。

たとえてみれば火災という非可逆現象によってある系のエントロピーが増大するという事実がいかに理解されても、個々の火災の予防あるいは消防にはあまり役に立たないことに対応しよう。

このような段階では地形変化の物理的なプロセスの解明に重点をおく Dynamic Geom. と地形発達の結果を stochastic に表現してゆく Quantitative Geom. はともに「物理地形学」の大きな柱として互いに相補い、調和しながら地形変化の cycle をより正確に認識するために発展すべき分野と云えよう。

すでに Hydrology の分野では上述の二つの考え方に対応したような Parametric と Stochastic な分類が以前から行われており、両者を総合して Hydrologic cycle に対するシステム工学的とり扱いがかなり具体的に進められているようである。

それにくらべると地形 cycle の研究はかなり遅れた段階にあることは否定出来ないが、その理由としては Geomorphic cycle は Hydrologic cycle, Geochemical cycle, Rock cycle および Tectonic cycle を総合して成立するものであり、Hydrologic cycle (水の循環は長くても10年以内位で閉じている現象が多い) 以外はその cycle のテンポが遅くて数世紀程度の期間の科学的観察ではその実体が極めて把握し難いことがあげられよう。

しかし地球科学の最近の発展は著しく、それぞれの cycle が近代的手法によって部分的ではあるが解明されつつあるから、「物理地形学」も関連科学諸分野と密接な連絡をとって、総合的な地形 cycle の解明に寄与しなければならない。

とくにこのような新しい「物理地形学」を推進するためには現在の日本の研究教育体制からみて、実験、数値解析の面で経験の豊かな地球物理学あるいは土木工学分野の研究者と野外観察と巨視的考察の面ですぐれている自然地理学分野の研究者との積極的協力が必要であろう。

つぎに上述のような「物理地形学」の発展がいかに災害科学、防災科学に寄与し得るかについて簡単に述べてみよう。

「物理地形学」の終局の目標が地形変化の cycle をできるだけ物理科学的に表現し、Simulation によって地形の利用、地形のコントロールに対する最適条件を求めることにあるとすれば、当然災害科学、防災科

学の諸問題に綜括的に寄与することになるであろう。

しかしこのような目標に到達出来るのは遠い将来であるとしても、過渡的な段階でも災害の予知、抑制にかなりの寄与が可能であろう。その寄与のしかたは次の三種類が考えられる。

第一は直接に地形変化にもとづく災害の研究に関するものである。たとえば山くづれ発生の物理的条件を明らかにしたり、あるいは発生危険域の統計的分布を正確に求めれば、直接に崩壊災害の予防乃至は被害防止に役立つであろう。

第二は地形形成の過程と災害発生条件の関連を明らかにすることによって災害防止に間接的に寄与することが出来る。たとえばデルタの形成過程が定量的に解明されれば、その地下構造の物理的特性はより完全に求められ、軟弱地盤の震動災害、地下水利用にともなう地盤沈下、地下水塩水化などの災害の防止軽減に役立つであろう。

第三は「物理地形学」の進展にともなう研究手段の進歩が関連分野を通して寄与する可能性である。Aerial photo (空中写真), Space photo (宇宙衛星写真)あるいは熱写真(地表あるいは水面の温度分布を写真に示す)の積極的利用あるいは開発は、単に地表の幾何学的形状をとらえるのみでなく、地表の物質(物性)分布、物質移動の状況を解析する有効な手段になりつつあるが、その成果は災害発生の記録、(たとえば赤外線写真による浸水域の確認)あるいは予知(たとえば火山噴火口付近の高温分布域の検出)に役立つであろう。また化学的風化のメカニズムを対象とする地球化学的研究は風化度の定量的表現、崩壊予想域の推定に役立つであろう。

以上の説明で理解されるように「物理地形学」の発想は必ずしも目新しいものではなく、すでに多くの研究者によって部分的に研究が進められており、その有効性も断片的には認められている。

しかし自然界に対する人間活動のテンポが加速度的に増大しつつある現時点で、とくに地球科学の諸分野と手をたずさえて地形変化の cycle を総合的にとらえ、人間活動の合理的方向づけをするための「物理地形学」の発達を積極的に主張するものである。

この稿を草するに当って積極的な討論によって著者の考えを批判、検討していただいた防災研究所地形土壌災害部門の諸氏に感謝する。

参 考 文 献

本文中に記した文献以外に下記の図書を参考にした。

- 1) 渡辺 光：自然地理・応用地理，第1巻地理学，古今書院，1967.
- 2) Thornbury, W.D.: Principles of Geomorphology, John Wiley & Sons, 1954.
- 3) Leopold, Wolman, Miller: Fluvial Processes in Geomorphology, Freeman, 1964.
- 4) Scheidegger, A.E.: Theoretical Geomorphology, Springer-Verlag, 1961.
- 5) Fairbridge, R.D.: The Encyclopedia of Geomorphology, Reinhold Book corp., 1968.