

〔特別講演〕地 形 と 災 害

東京都立大学 中 野 尊 正

1. 地形形成の要因

地形は、組織・営力・時間の3つの要因によって形成される。組織は、地質構造、岩石の特性、原地形などで規定される。営力は、地形の上に外部から作用する外営力（外作用ともいう）と、地球の内部から作用する内営力（内作用）とにわけられる。時間は、地形形成に要する時間と、ある時期の地形を示す時期の概念に用いられている。組織に関する諸研究は、土木・建築など、地形に技術を施す工学と密接な関係をもつ。営力に関する諸研究も、土木・建築など工学に深い関係をもつし、また力学的研究は地球物理学と密接に結びついている。地形を時間の視点で研究する地形発達史の研究は、地史学や先史学、考古学と結びついているが、反面、営力と時間をパラメータとして考える場合には地形の物理学、つまり動的地形学の性格をもつ。

動的地形学の立場が、自然災害、なかんずく起伏のある地形の地域における災害研究の一つの立場である。ここでは、地形の変化が短い時間単位において、外営力や内営力によって進行させられ、その進行速度の速い場合が災害につながるという考え方をとる。この場合、組織の場所によるちがいが、営力の規模、継続時間、速度などに注目する。したがって、古典的な記述的地形学の方法をとらず、地球物理学的観測法や実験の導入などもみられる。

しかし、現存の地形学の主流は、かならずしも動的地形学の立場をとってはならず、史的地形学、形態的地形学などの立場をとり、上記の諸要因の取扱いも定性的であることが多い。

2. 地表形態にみる営力の結果

史的、形態的地形学では、営力の作用した結果が地表形態に反映しているという考え方をとる。地表形態が、その形成に作用した主要な営力をすべて反映しているとはいえないし、関与した営力の軽重、時間的前後関係の識別に困難を伴うこともありうる。しかししばしば、組織・営力・時間、あるいはそれらの何れかについて、きわめて有力な情報を、地表形態が提供してくれる。断層、節理、岩石の硬軟、配列などについて、爾後の詳しい解析を必要とするとはいえ、無視は出来ないであろう。この種の事例を内外の写中写真、地形図の例をスライドで示したい。例示は下記のとおりである。

2-1 屋久島の節理・断層 屋久島は雨の多い島であるが、たまたま快晴の日に赤外フィルムで撮影した例をみると、植被におおわれた地表に特徴的なリニアメントが観察され、その解析を通して、花崗岩質岩体の構造を知ることができる。

2-2 浦河山地の構造 浦河山地は日高山脈の西側を、日高山脈にほぼ平行して発達する。その地質構造の一端を、植被の下に識別できる。

2-3 阿武隈山地の準平原 こまかいテクスチャー、やや幅広い谷、山頂のほぼそろった山地などの特徴をみることができる。岩質、構造を反映しつつも、全体としては地形学的に隆起準平原とよぶ高原を形成している。

2-4 アマゾンの低位準平原 アマゾン河の支流リオ・ブランコの周辺には、南半球の陸塊を代表する Gondwana 陸塊が存在し、地形的には低位準平原を高度的 100 m 前後以下にくりひろげている。花崗質岩体の断層・節理も識別できる。

2-5 ロウレンシア高原と地質構造 カナダのあたらしい 125,000 分 1 地形図は、写真図から編集されており、地形図としては美事に地質構造を表現している。旧期の断層なども識別できる。

2-6 中央構造線と崩壊地形 集中的豪雨によって、山肌をひっかいたような崩壊地形が形成される。中央構造線に沿う特有な地形ケルンゴル、ケルンバットの列も識別できる。

2-7 赤外カラーによる火山地形 赤外カラーなど特殊写真による地形・地質の解析はようやく普及しているが、例示は地形のほか熔岩分布の特色を示す。

3. 地形変化の速さと災害

地形は地形学的年代において変化をつづけているだけではなく、現在も変化をつづけている。この変化の速さは肉眼で識別できるほどのものもあるし、肉眼では識別できないものもある。変化の速い例としては、地震断層による水平、垂直のずれ、豪雨による崩壊、地すべり地形などのほか、火山の爆発ともなう熔岩流、風による砂丘地形などが知られている。地震断層のなかには平常も活動していて、地震時により一層明瞭に変化を示すものもある。有名な例は、カリフォルニア州をほぼ南北に走る San Andreas 断層であり、パロアルトの町の中では水平断層によって、歩道にくいちがいを生じており、日本人町の家が断層線上で被害をうけつつある。この断層は水平断層の相対的速度が 3m/sec 程度で地震時にうごくといわれている。アーツ A の写真例を示しておきたい（後出）。

水平断層による地形変化の例は日本にも知られているが、有名な例は丹那断層である。この断層は北伊豆地震の時にも南北方向にずれているが、地形的には箱根火山のつくる斜面に、南北約 1 km のずれをあたえている。年平均 2 cm 程度のずれということになる。地震時にはずっと速い。

崩壊による地形変化の速さは、千葉県下の崩壊調査によって、18~20 m/sec という数字が最近知られている。上石流についても 6 m/sec 程度という報告がある。

地震断層や崩壊のように、短時間に速い地形変化が生ずると、被害をさげにくい。このあたりに、地震時や崩壊時の災害の特色があるといえよう。

地形変化のうち、ゆるやかな例は、平常の地殻変動に見ることができる。垂直運動の速さは年 3 mm 程度から 5 mm 程度である。この速さは、山地においても平地においても指摘されている。最近の研究によると、フェノスカンジアの氷河性地殻均衡運動の速さは 8~10 mm/year 程度ということであり、日本の 3~5 mm/year よりやや速い。ロウレンシアや Gondwana については不明であるが、これ以下とみてよいであろう。

一方、地下水の過剰揚水、水溶性天然ガスの汲上げによる地盤沈下速度は年間 500 mm ないし 20 mm といった速さであり、あきらかに地殻運動の速さとはことなる。海岸地形に影響を与える海面変化の速さも、場所によってことなるとはいえ、中緯度以下では 20 mm/year 程度であり、速度が速く、現象発生地域の狭い地盤沈下とはことなる。

地形変化の速さは時間とともに変化すると考えるべきであるが、年数が地質学的・地形学的年代学程度に長くなると、平均して小さな値を示しがちである。しかし、100年程度までの年数で考えると、その変化を測定できるし、測定結果では年間速度にある程度のばらつきがあったり、あるいは特徴的な変化を示すことがある。地震予知研究のなかで、測地学的方法が一つの基本になっているのは、水準測量による地殻の垂直変動を年単位で測定することによって、地殻変動の傾向を知ることができること、レーザージオディメーターによる測距の精度と時間の短縮が可能になったことから、距離変化すなわち水平変化を測定でき、その結果から地殻ヒズミ蓄積量を計算できるからである。また、こうした結果を参考にして、傾斜計、伸縮計、検潮器などによる定点観測を強化できるからである。そこで、地形断層のうち、あたらしい時代に活動した証拠をもつものについて、地形変化の速度を計測することは、地震予知のうえでも、防災のうえでもきわめて基礎的かつ重要な研究とされている。

地形変化の速さに注目して、地震、地盤の沈降、復元、地下水の揚水による地盤沈下を識別した事例として高知市周辺の例を示したい。南海地震（1946）の直後の調査から、河角広は地震時に高知市周辺で120cmで沈降したのが、100日間で40cm回復したと報告している。この復元運動はその後にも継続したと判断されるが、1960年から1969年の10年間に、海面以下の地域は約8km²から約10km²に拡大し、高さも60～80cm低くなったことを1/2,500都市計画図は示している。測量の精度に吟味を要する点があるため、1971年に水準測量をおこなった結果、山地部では3～5mm/year程度で隆起に転じ、低地部では若干の沈下を示していることが判明した。

地盤沈下地域の災害としては、洪水や高潮災害が発生しやすくなることが知られているが、日本の各地の例から大阪と東京を例にとって、経済計算した例を示しておきたい。特徴は、地盤沈下による間接被害は、何年もあとになって発生することであり、また沈下した地盤は対策終了後も、上記の自然沈下をつづけ、100年程度の時間では、もとに復元することを期待できないことである。

以上のいくつかの事例で理解できるように、地形災害の研究において我々が注目することの一つは、自然現象としての速さであり、また規模である。この点に関連して、地形変化の速さと規模を、短い時間で把握することが必要になる。また、地形は地域的現象として地域的拡がりをもっているので、地域的展開を考慮にいたった考察をすることになる。

4. 地形変化とその空間的展開の把握——今後の課題

地形災害の研究のためだけではなく、地域的現象の把握のために、地形図や各種の主題図（例えば地質図など）が活用されとともに、各種の空中写真——パンクロマチック、赤外、カラー、赤外カラーなど——が利用される。その利用の可能性の一端は前出の写真や地形図例からも理解できるであろう。最近では、レーダー写真や宇宙空間からの宇宙写真が利用できる。宇宙写真は、人工衛星が生きている間、ある地域の地形情報を送ってくるので、時間系列でみた地形変化を解析できる。大陸の砂丘の移動、洪水流などのほか、海流、氷山、氷河、火山活動、地すべりなどの解析も可能にしはじめている。若干の事例を紹介しておきたい。

4-1 ERTS AのとらえたSan Andreas断層 前出の説明にもあるように活動性の断層である。宇宙映像の解像力もあるので、それを考慮した標識を設定しておけば、断層活動による地形変

形を、リアル・タイムで記録できるようになった。

- 4-2 ベネズエラ山地のレーダー写真 レーダー光の反射が起伏によってことなることを利用すると、地形の特徴をきわめて鮮明に映像にかえることができる。例示はベネズエラの山地の断層、節理などを刻明に示している。この手法は天体の地形学的解析（火星や金星・月など）に対して活用され、すでに美事な映像がとられていることはよく知られているところである。
- 4-3 Gemini4号の地球写真 Gemini4号は、火星の地形解析の予備調査の意味も含めて、地球上の数多くの映像をカラー写真でとらえている。地形の種類の区分などそれほど困難なしに実施できることを示した。

広域の地形把握、地形変化の計測の手段にくらべて、地表上での変化の測定は、計器による方法が支配的であるが、映像方式も可能性があると考えている。しかし実際にはまだ十分には開発されておらず、実験室内におけるステレオ連続写真、モアレ写真の利用など限定されている。

また、地域的情報の数量化と数量化されたデータの自動処理についても、地形学の分野では十分に開発されていない。これらが研究されていけば、地形学の立場から土木・建築・防災の分野に対して、さらに適確な情報を提供できるようになる。ERTS Aの映像解析の技術は、すでにその可能性を約束しているといえる。