

神戸大学・自然科学 ○柏谷健二

神戸大学・工学部 沖村 孝

## 1 はじめに

崩壊現象というまでもなく地形変化を促す主要な作用の一つであり、地形発達過程を考察する上で不可欠の現象である。従って、崩壊現象をいわば地形環境の変化としてとらえるためには、地形発達過程での正確な位置付けが必要である。

一般に崩壊現象は、いわゆる侵食力（地形形成営力）と抵抗力（地形構成材料の性質や植生が関係）の相互作用に規定される。このことは、崩壊現象も含めた地形発達過程をモデル化するためには侵食力および抵抗力を導入しなければならないことを意味している。これまでも多くの崩壊現象と地形条件等を考慮したモデルが提出されてきているが、時刻を刻んだ資料が少ないせいもあり、侵食力や抵抗力そのものの経時的变化を考慮したモデルは極めて少ない。しかしながら、崩壊の周期性や免疫性を論ずる場合には、これらの導入は本質的なことである。そこで、本稿では崩壊と崩壊環境の変遷を地形発達過程のなかで明らかにするために、一つの手掛かりとして、上述の侵食力や抵抗力の経時的变化をも考慮した第一近似的モデルを提案する。

## 2 モデル化

崩壊等による山体の侵食過程をモデル化するために次の仮定を導入する。

a) 山体の変化速度はその時の山体の体積自体に比例する（図-1参照）。これは、

$$V(t+\Delta t) = V(t) + \alpha(t)V(t)\Delta t + (\Delta t)^2 \quad (1)$$

$$\frac{dV(t)}{dt} = \alpha(t)V(t) \quad (2)$$

但し、 $V(t)$ ；時刻  $t$  の山体の体積、 $\alpha(t)$ ；比例係数。

b) 比例係数は侵食力と侵食されるべき物質の大きさによって決定される。すなわち、

$$\alpha(t) = \begin{cases} -\beta(t)\{V(t) - V_c(t)\}/V(t) & \text{for } V(t) > V_c(t) \\ 0 & \text{for } V(t) \leq V_c(t) \end{cases}$$

ここで、 $\beta(t)$  は時刻  $t$  における侵食力、 $V_c(t)$  は侵食不可能な部分（例えば基岩部に相当）の体積（故に、 $V(t) - V_c(t)$  は侵食可能な部分の体積）である。従って、(2)式は、 $V(t) > V_c(t)$  の場合には

$$\frac{dV(t)}{dt} = -\beta(t) \{1 - V_c(t)/V(t)\} V(t) \quad (2)'$$

となる。初期条件として  $V(0) = V_0$  とすれば

$$V(t) = \exp\{-\int_0^t \beta(\tau) d\tau\} \cdot (\int_0^t \beta(\tau) V_c(\tau) \exp\{\int_0^\tau \beta(\kappa) d\kappa\} d\tau + V_0) \quad (3)$$

となる。そしてこの式が侵食力および山体を構成する材料等の経時的変化を考慮した山体の変化を示す一般式ということになる。

### 3 検討

次に侵食力および山体を構成する材料等の経時的変化を示す  $\beta(t)$  および  $V_c(t)$  を適当な関数で近似し数値的な検討を加えてみよう。

1)  $\beta(t) = \beta(\text{const.})$ ,  $V_c(t) = V_c(\text{const.})$ , このとき (3) 式は

$$V(t)/V_0 = \exp(-\beta t) (1 - V_c/V_0) + V_c/V_0 \quad (4)$$

となる。計算結果の一例を図-2に示すが、侵食不可能な物質の大きさ ( $V_c$ ) が侵食の限界を規定し、侵食力の大小が山体の減少速度を左右していることがわかる。

2)  $\beta(t) = \beta(\text{const.})$ ,  $V_c(t) = V_c \exp(-\gamma t)$ , (3) 式は

$$\begin{aligned} V(t)/V_0 &= \exp(-\beta t) (\beta V_c/V_0 t + 1) && \text{for } \beta = \gamma \\ V(t)/V_0 &= \exp(-\beta t) + V_c/V_0 \{ \exp(-\gamma t) - \exp(-\beta t) \} \beta / (\beta - \gamma) && \text{for } \beta \neq \gamma \end{aligned} \quad (5)$$

となる。図-3が  $\beta \neq \gamma$  の場合の一例であるが、発達過程の初期には、山体の変化は侵食力に規定される (erosion-limited condition) が、やがて侵食可能な物質の大きさに従う (weathering-limited condition) ようになる。

3)  $\beta(t) = p \sin q t$ ,  $V_c(t) = V_c(\text{const.})$ , (3) 式は

$$V(t)/V_0 = \exp\{-p/q(1-\cos qt) - \gamma t\} (1 - V_c/V_0) + V_c/V_0 \quad (6)$$

侵食力が周期的に変動し、侵食可能な物質の量が一定の場合であるが、図-4にその例を示すように、山体の変化は侵食可能な物質がなくなるまでは侵食力の変動に対応して変化する。

4)  $\beta(t) = p \sin q t$ ,  $V_c(t) = V_c \exp(-\gamma t)$ , (3) 式は

$$\begin{aligned} V(t)/V_0 &= V_c/V_0 \exp(-\gamma t) + (1 - V_c/V_0) \exp\{-p/q(1-\cos qt) - \gamma t\} \\ &+ \gamma V_c/V_0 \exp\{-p/q(1-\cos qt) - \gamma t\} \int_0^t \exp\{p/q(1-\cos q\tau) + \gamma\tau - \gamma\tau\} d\tau \end{aligned} \quad (7)$$

となる。計算結果の一例が図-5に示されるが、侵食されるべき物質の生産速度が大きい

いとか初期の侵食されるべき物質の量が多いというように侵食されるべき物質が十分に存在する場合には山体の変化は侵食力の変動に支配されるが、その量が十分でないときには、山体の減少は侵食されるべき物質の量そのものに 対応することがこのモデルから与えられる。すなわち、これまでに指摘されてきた崩壊等の発生に関する周期性や免疫性は侵食力の周期性と侵食可能な物質の生産速度に関係する。

それでは侵食（崩壊）可能な物質が十分存在する場合について考えてみよう。例えば六甲山系再度谷流域付近での昭和13年阪神大水害時と昭和42年7月豪雨時の方眼内（600m X 600m）の崩壊面積を比較してみると（図-6）、昭和13年時に崩壊面積の大きかった方眼は昭和42年時にも大きく、侵食を受けやすいところは約30年後でも同様に侵食を受けやすいところとなっていることがわかる。また、全体的な崩壊面積の大小は雨量特性（侵食力に関係）に関係するものと考えられるが、この時の総雨量はそれぞれ 461.8 mm（昭和13年7月3日～5日）、371.2 mm（昭和42年7月7日～9日）であった。

また、下川他(1984)が指摘している崩壊物質としての表層土の再形成を必要としないA<sub>2</sub>型の崩壊や過去の崩壊の隣接部に発生するB型の崩壊（いずれも崩壊可能な物質が存在するとみられる）の周期は上述のモデルにおける侵食力の周期的変動に対応し、表層土の再形成を必要とするA<sub>1</sub>型は侵食（崩壊）可能な物質の生産速度に関係すると考えれば、ここでの議論と調和的である。

以上のように、崩壊現象を地形環境の変遷の中に 位置付けるためには侵食力に対応する量の適切な定義（例えばどのような雨量特性が適切かというような議論）が必要であり、また崩壊（侵食）可能な物質の生産速度をどのようにして求めるかという検討が必要である。そしてこのことは崩壊現象の発生に関する長期的な予測とも結びつく可能性があり、十分な考察が今後の課題であろう。

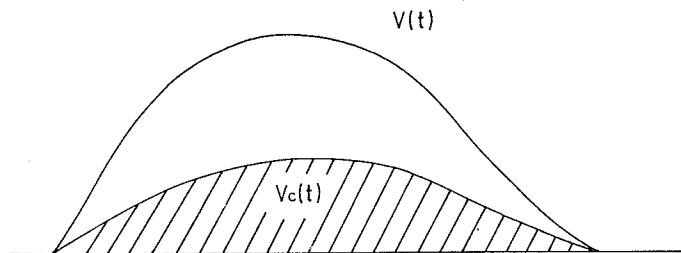


図-1 理想的な山体。斜線部は侵食不可能な部分（基岩部に相当）

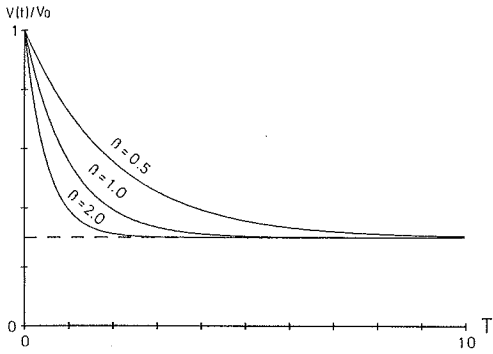


図-2 全山体の体積変化（実線）、破線は基岩部の体積を示す [1] の場合]

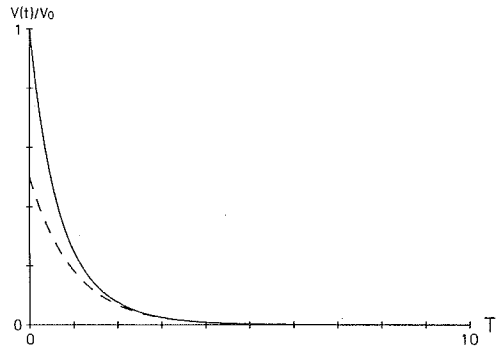


図-3 全山体の体積変化（実線）および基岩部の体積変化（破線） [2] の場合]

図-4 全山体の体積変化（実線）および基岩部の体積変化（破線） [3] の場合]

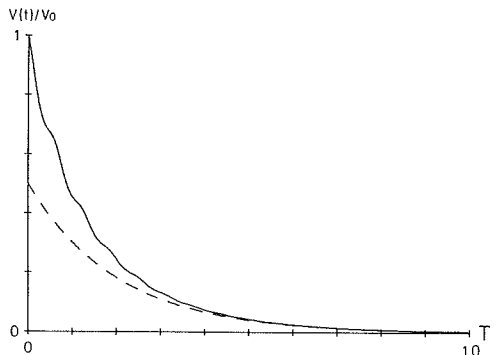
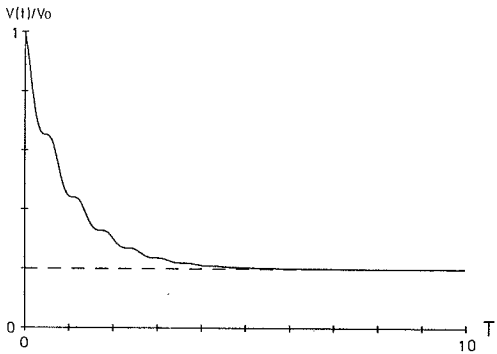


図-5 全山体の体積変化（実線）および基岩部の体積変化（破線） [4] の場合]

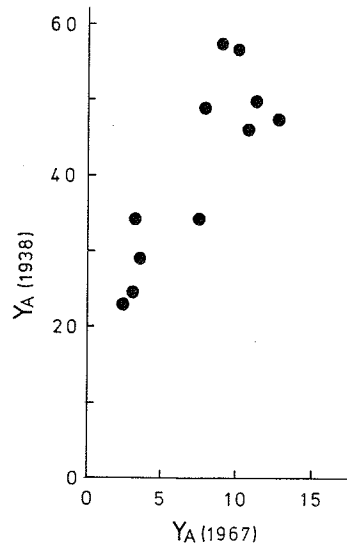


図-6 昭和13年阪神大水害時と昭和42年7月豪雨時の崩壊面積の比較