

六甲山系の湖沼堆積物の粒度組成の変動と崩壊環境

著者	柏谷 健二, 大井子 宏和, 川谷 健, 沖村 孝
著者別表示	Kashiwaya Kenji, Taishi Hirokazu, Kawatani Takeshi, Okimura Takashi
雑誌名	地形
巻	9
号	3
ページ	193-200
発行年	1988
URL	http://doi.org/10.24517/00053682

六甲山系の湖沼堆積物の粒度組成の変動と崩壊環境

柏谷健二*・太井子宏和**・川谷 健***・沖村 孝***

Grain Size Variation of Pond Sediments and Landslide Environment in Rokko Mountains

Kenji KASHIWAYA*, Hirokazu TAISHI**, Takeshi KAWATANI***
and Takashi OKIMURA***

Abstract

There have been several severe natural hazards caused by landslides and debris flows in Kobe district for 100 years. The landslides and debris flows have occurred in and around Rokko Mountains by heavy rainfall. Analysis of pond sediments in Rokko Mountains shows that coarser grains flowed into the ponds in the year of severe landslides. Undated sediments of one pond can be cross-dated to dated sediments of another pond by using layers of the coarser grains and filtered trend curves of grain size variation.

Key Words: *Grain size distribution, Pond sediment, Landslide, Cross-dating, Rokko Mountains.*

1. はじめに

豪雨や森林の伐採等による地表環境の変化は、土砂の侵食・運搬を通して湖底や海底の堆積物に影響をおよぼす。短期的には、例えば森林の伐採にともなう流出土砂量の増加 (Robinson and Blyth, 1982) や大洪水による堆積異常が湖底堆積物に観察される (太井子ほか, 1987)。長期的にも気候変動にともなう侵食力の変化が湖沼への土砂の流入に変動をもたらし、その影響が堆積物の粒度組成に現れる場合がある (山本ほか, 1984; Yamamoto et al., 1985; Kashiwaya et al., 1987a)。いずれにせよ地形等の地表の物理的環境の変貌が湖底堆積物に反映している可能性が示されており、それを復元するためにも湖底堆積物の研究は有効な手法の一つであると考えられている (Kashiwaya, 1986, 1987)。

崩壊や地べり・土石流等は地表変動の顕著な例であり、地形発達の一過程であるがその発生の時刻・場所・規模によっては災害となる可能性が大きい地形変化である。なかでも豪雨等に起因する崩壊には周期性の認められるものもあり (下川ほか, 1984; 柏谷ほか, 1986)、過去数

1987年11月9日受付, 1988年2月25日受理

* 神戸大学自然科学研究科, ** 京都大学防災研究所, *** 神戸大学工学部

* The Graduate School of Science and Technology, Kobe University, Nada, Kobe 657, Japan.

** Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Uji, Kyoto 611, Japan.

*** Faculty of Engineering, Kobe University, Nada, Kobe 657, Japan.

百年間の崩壊を復元することは 10^8 年間の地形変化の復元という観点のみならず今後数十年から数百年程度の期間における崩壊やそれに伴う災害の予知・予測という観点からも必要である。一般にこのような地形の変化はそれを構成する材料の物性とそれに作用する侵食力の規模に規定されるが、地形を構成する材料の物性にあまり変化がない期間・場所では、崩壊等の規模は、侵食力の規模を表す場合が多い。とりわけ、崩壊可能な物質が十分存在している場所では、豪雨等の侵食力の規模が崩壊の規模に反映している場合が多い。従ってその変動の大小を比較的正確に反映している資料を入手することは侵食力の変動や規模、そしてそれに関係する各種の地表変動の規模や時期を推定するための第一歩となる。このような資料は風化層等の移動可能な物質が十分に存在する流域の湖沼に保存されている可能性がある。従って、地形変化を促す侵食力の編年を進めるためには、年代的に明らかな過去の地形変化の痕跡あるいは土砂災害の痕跡が湖沼堆積物中に存在しているかどうか、そして存在するならばどのような物理量に反映しているかを検討することが先ず必要であろう。

以上の観点より本研究では過去の豪雨にともなう土砂災害の研究が比較的進められ（例えば、田中, 1977; 柏谷ほか, 1984）、過去の地表変動が樹木の情報等に反映されており（柏谷ほか, 1986; Kashiwaya et al., 1987b）、降水量を含めた他の地表の情報との対比が比較的容易である六甲山系の山頂部付近に位置する湖沼を選んで検討を加えた。

2. 調査対象地域

六甲山系の多くは花崗岩の風化が深層まで及んでおり（藤田・笠間, 1983）、表層部はマサ化が進んで、いわば崩壊可能な物質が十分に存在している。従って一定の地域を対象とすれば、そこでの土砂の移動の大小は豪雨等の侵食力の規模を反映している場合が多い。また経年的な変化に対応する解像度の良い時系列資料を得るためには、年代を決定する資料が存在するとともに、一時的に大量の土砂が流入するような湖沼よりも比較的緩慢な土砂の流入を示す湖沼の方が解析の対象としては望ましい。今回対象として選んだ長谷池および瀬池は、昭和 13 年の阪神大水害時および昭和 42 年 7 月豪雨災害時の最大の降雨域付近に位置し（広瀬・下村, 1969）、かつ山頂部に近く流域面積も比較的小さいため、流入土砂量が他地域に比べれば少なかったと考えられる（Figs. 1 と 2）。長谷池は緩やかな斜面に囲まれており、流域面積がおよそ 25 ha で昭和 17 年に完成した森林植物園内に立地している。その周囲の整備や管理が比較的進んでおり、豪雨時に多少多めの土砂流入が考えられる程度である。この池では 1941 年（昭和 16 年）に改修工事が行われたため、今回のボーリング地点での堆積開始時の年代はこのときと考えられる。ここでの流域内起伏量はおよそ 60 m である。一方、瀬池の流域面積は 28 ha、そして流域内起伏量は 70 m と長谷池に比べて多小大きく、池の西側は急峻な崖に囲まれている。この池は過去にため池として利用されていたようであり、昭和 13 年頃に手が増えられた可能性があるという未確認の情報が得られているが（神戸市関係者談）、改修等の記録は残されておらず、堆積開始時の年代は確認できない。しかしながら池の東岸には小規模のデルタが認められ、大まかにいえば瀬池の方が多少多めの土砂量の流入が期待できそうである。

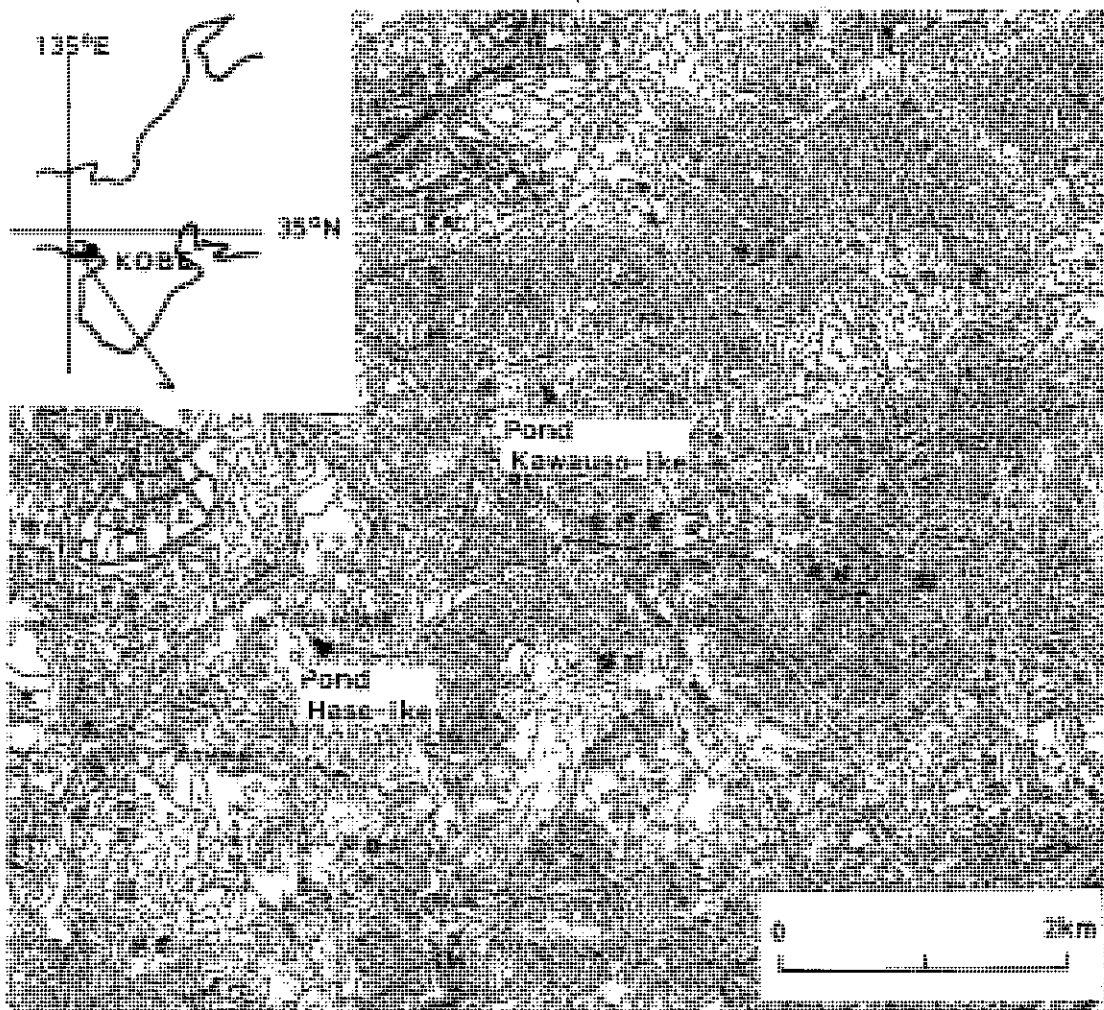


Fig. 1. Location of the study area. Map is a part of the 1:50,000 topographic map KOBE, published by Geographical Survey Institute. Contour interval is 20 m.

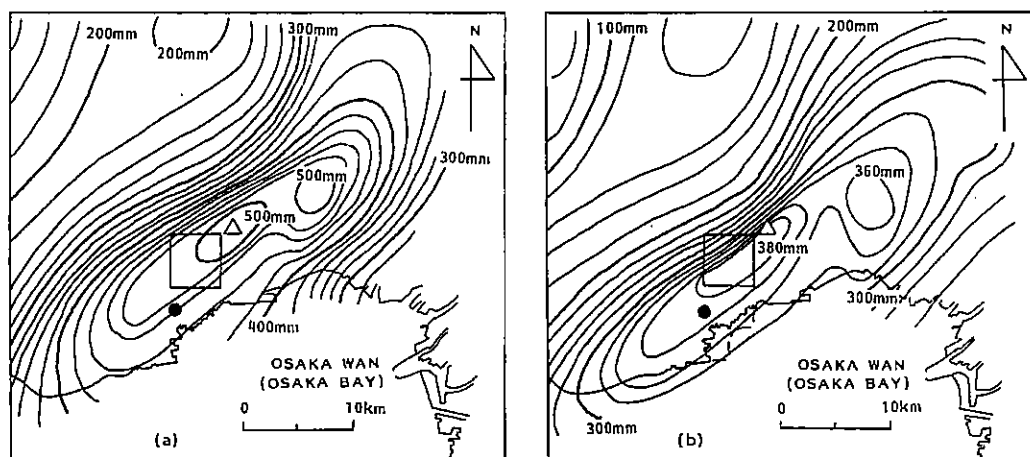


Fig. 2. Distribution map of total rainfall of (a) July 3-5, 1938, and (b) July 7-9, 1967. ●: Kobe Marine Observatory, △: Mt. Rokko-san. (cf. Hirose and Shimomura, 1969). Squares show study area.

3. 試料の採取および分析

試料の採取は、長谷池では1986年3月、瀬池では11月に湖沼の最深部と思われる地点 (Fig. 1) で、内径 5 cm、長さ 100 cm の円筒型重力式採泥器を用いて行った。採泥器はいずれの場合でも貫入抵抗が著しく大きくなる基部層の部分 (長谷池で 24 cm、瀬池で 40 cm) まで挿入された。

採取された試料は 1 cm 毎に切断され、各種の分析に用いられた。粒径分布の測定は、 $63 \mu\text{m}$ 以上の粒子については篩分け法を用い、それ以下の粒子については X 線透過法を用いた沈降分析法 (マイクロメトリクス社製セディグラフ 5000) によって行った。粒子密度はオートピクノメータで測定した。また、含水率の測定も行なった。

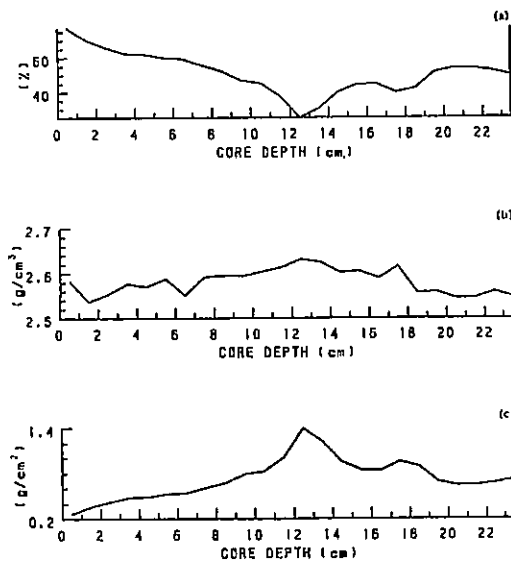


Fig. 3. Depth plot of (a) water content (w_i), (b) grain density (ρ_{si}) and (c) dry mass thickness (ΔX_i) in Hase-ike Pond.

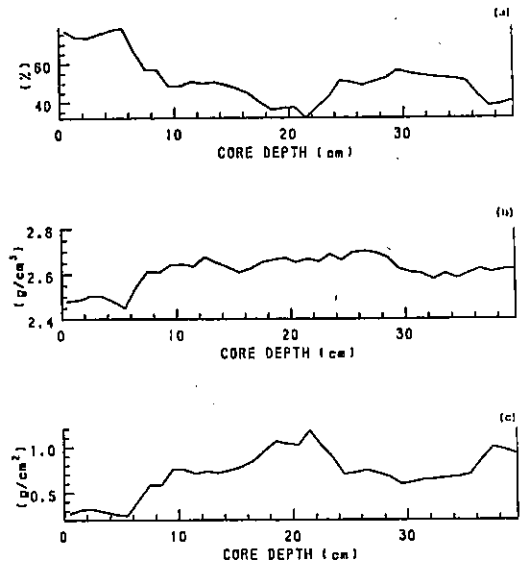


Fig. 4. Depth plot of (a) water content (w_i), (b) grain density (ρ_{si}) and (c) dry mass thickness (ΔX_i) in Kawauso-ike Pond.

含水率と粒子密度の測定結果は各々 Fig. 3, Fig. 4 に示す。これらの図における湖底からの深さを示す座標 (横軸) は単純に湖底表面からの厚さを示したものである。しかしこの深度尺度では堆積層の圧密の度合の影響を受けるのでここでは、これに代わる深度尺度として、次式に示す単位面積当りの堆積物の乾燥質量 (dry mass thickness; ΔX_i) を採用した (太井子ほか, 1987)。

$$\Delta X_i = (1 - w_i) \rho_{B_i} \Delta z_i$$

但し、 w_i は湖底面から i 番目の層準の含水率、 ρ_{B_i} は i 番目の層準のかさ密度、 Δz_i は i 番目の層準の厚さである。かさ密度は

$$\rho_{B_i} = \rho_{S_i}(1 - n) + \rho_W n$$

であり、 n は空隙率を示し、

$$n = \rho_{S_i} w_i / \{ \rho_{S_i} w_i + \rho_{W_i} (1 - w_i) \}$$

で、 ρ_{S_i} は粒子密度、 ρ_{W_i} は水の密度、 w_i は含水率で

$$w_i = (m_{w_i} - m_{d_i}) / m_{w_i}$$

で表わされる。但し、 m_{w_i} は湿潤質量、 m_{d_i} は乾燥質量である。ここでの解析では $\Delta z_i = 1$ cm、 $\rho_{W_i} = 1 \text{ g/cm}^3$ として計算を行い、乾燥質量で表す深度値の平均を1ステップ（瀬池では極端に小さな部分を除いた 8 cm 以深の平均）として相対的な時間軸を作成した。以下の解析はこの相対的な時間軸に基づく。また、各ステップの種々の値は内挿法によって求めた。

4. 解析と結果

粒度分布のうち中央粒径と標準偏差（積算統計法）の変動を先に述べた相対的な時間尺度を用いて図示すれば、長谷池および瀬池のそれらは各々 Fig. 5 および Fig. 6 のようになる。長谷池の中央粒径の変動曲線はステップ 12-13 において著しい粗粒化を示す。また、標準偏差の曲線ではこの時期に特別の変動を認めることはできないが比較的大きい値となっている。即ち、その時期には中央粒径が極めて大きく淘汰度の悪い粒子が流入したと推定される。長谷池での堆積開始は早くても 1941 年（昭和 16 年）であるから、採取時点である 1986 年（昭和 61 年）までの半ばぐらいの時期に最大の土砂流入があったものと考えられる。Fig. 7 に土砂流入等をもたらす崩壊に関係すると考えられる 100 mm 超過雨量を示す（柏谷ほか、1986 参照）が、その期間における最大の超過雨量は 1967 年（昭和 42 年）の 7 月豪雨災害時である。従って、Fig. 5 に示す相対的な時間尺度のステップ 12-13 を 1967 年の 7 月豪雨時前後に対比することはそれほど無理な推定ではないと思われる。

中央粒径曲線における同様の顕著な変動は、瀬池の曲線のステップ 15-19 にも認められる。また、この時点の標準偏差曲線は極めて小さな値をとる。即ち、この時期には比較的粒径の揃

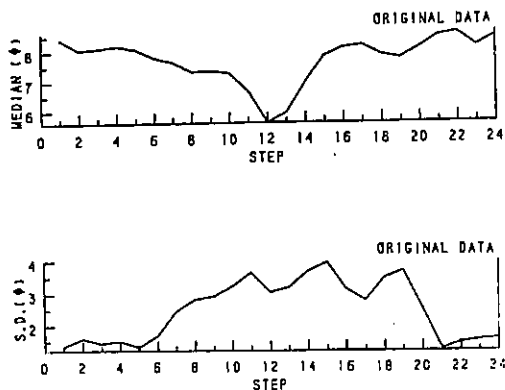


Fig. 5. Variations in median and standard deviation (S.D.) of grain size distribution of Hase-ike Pond.

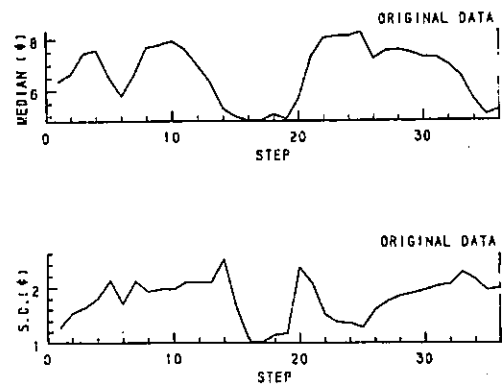


Fig. 6. Variations in median and standard deviation (S.D.) of grain size distribution of Kawauso-ike Pond.

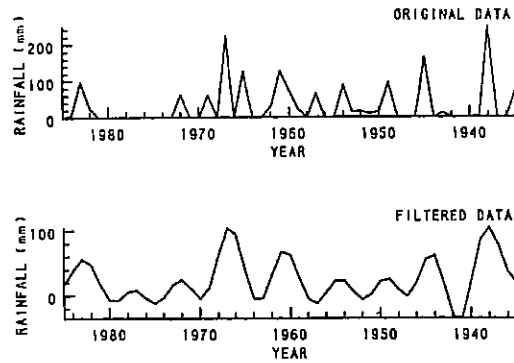


Fig. 7. Variations in annual excess rainfall (annual summation of excess quantity over 100 mm/day).

った粗い粒子の流入が認められるのである。これが先の1967年の7月豪雨時前後に対応するものかどうかを次に検討しよう。

変動の基本的な動向を調べるために長谷池及び瀬池それぞれの分析結果の相対的な時系列にバンドパスフィルターをかけ、周波数が極めて短いものと長いものを除いた。そして元の変動曲線とフィルターをかけたものとの対比を行なった。また、その相対的な時系列にスペクトル

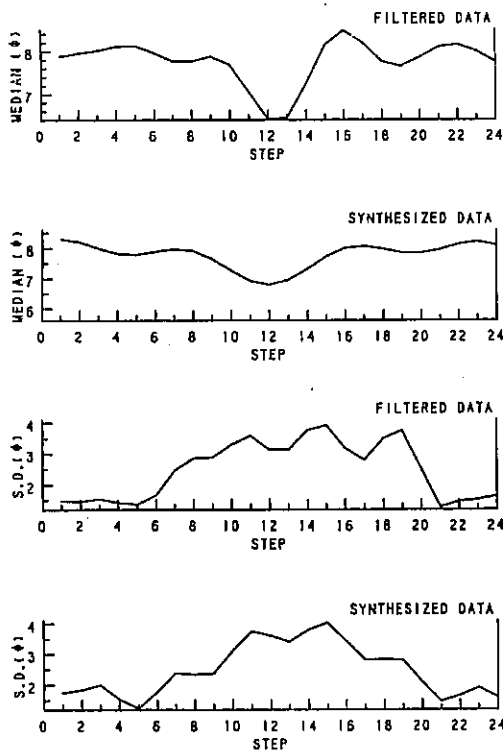


Fig. 8. Filtered and synthesized curves of median and standard deviation (S. D.) of grain size distribution of Haseike Pond.

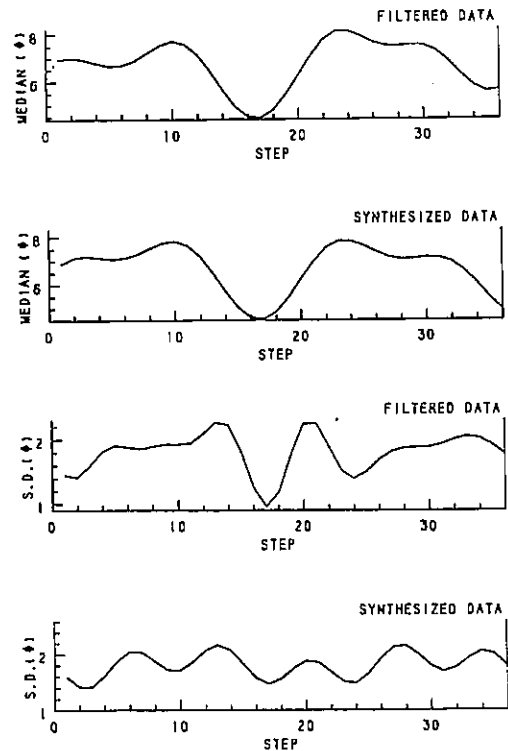


Fig. 9. Filtered and synthesized curves of median and standard deviation (S. D.) of grain size distribution of Kawauso-ike Pond.

解析を適用し、卓越周期を求めた。そしてそれを利用して調和解析を実行してそれに対応する曲線を求め、粒度分布の元の変動曲線、そしてフィルターをかけた曲線とを対比し、基本的な変動パターンについて検討した。結果はそれぞれ Fig. 8 と Fig. 9 で表されるが、長谷池および瀬池の中央粒径については、いずれも同様の変動パターンを示す。このことは、どちらの湖沼もおおまかにみれば似かよった堆積環境下、換言すれば侵食環境下にあったことを示唆している。即ち、これらの地域では崩壊等をもたらす豪雨による侵食力が基本的には同様の変動パターンであったことを意味している。更にこの事実、長谷池の 12-13 ステップと瀬池の 15-19 ステップが対応することも意味している。これは神戸地域における 1967 年の 7 月豪雨時前後の土砂災害がいずれの湖底堆積物にも‘刻印’されていることを示唆している。これ等の事実は先に示した‘昭和 13 年 (1938 年) 頃に手が加えられた可能性がある’という情報とも調和的で、瀬池の堆積物試料の最下部はおおよそ昭和 10 年から 13 年との推定を可能にする。

また、標準偏差曲線における相違、特に長谷池の 12-13 ステップと瀬池の 15-19 ステップにおける相違は地形環境と調和的である。即ち、瀬池では東岸に小規模なデルタの形成にも認められるように、比較的急峻な斜面が存在し、粒径の揃った多量の粗い粒子の流入が示す、例えば密度流的流れの想定が可能であるが、長谷池では周囲がかなり緩やかな斜面であり、周囲の整備も進んでいるため、このことの想定は困難である。更に堆積時間から見積られるそれぞれの相対的な堆積速度も、長谷池は約 5 mm/yr、瀬池は約 8 mm/yr とこれらの地形環境と極めて調和的な値であり、1967 年の 7 月豪雨頃の対比とは矛盾するものではない。従って、ここでの結果は、このような粗粒の堆積物の比較から相互編年が可能であることを示すと同時に粗粒堆積物の存在およびその様式は堆積環境を表しているだけでなく、地表状態の変化を表わす指標になることを示している。

以上の解析結果から、湖底堆積物の粒度組成の分析を行なうことにより崩壊等によって地形に変化をもたらす豪雨の痕跡を追跡することは可能であることがわかった。また、粒度に関する特定の物理量に各種の統計解析を適用すれば相互編年 (cross-dating) が可能であり、それほど隔たっていない地域の堆積環境、侵食環境の推定が可能であることがわかった。このことは 10² 年程度の期間における地形変化を論ずる上で極めて重要であり、今後更に資料の拡張等を通じて地形の変化を促すいわば侵食力の関数関係への展開が望まれる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、多くの方々の御助力を賜った。試料の採取および現地調査に関しては神戸市土木局公園緑地部の関係各位に多大の便宜をはかって頂いた。また試料の分析や解析には神戸大学工学部の田中茂喜氏 (現パシフィックコンサルタント) のご協力をお願いした。ここに記して深く謝意を表したい。

引用文献

- 藤田和夫・笠間太郎 (1983) 5万分の1地質図「神戸」: 地質調査所.
- 広瀬勉也・下村行男 (1969) 兵庫県下の大雨について (第2報)——六甲山系周辺の大雨——: 神戸海洋気象台彙報, 第181号, 80-92.
- 柏谷健二・沖村 孝・平野昌繁・奥田節夫 (1984) 六甲山系南西部における崩壊と地形特性及び雨量特性の変遷: 京都大学防災研究所年報, 27B-1, 397-408.
- Kashiwaya, K. (1986) A mathematical model of the erosional process of a mountain: Trans. Japan. Geomorph. Union, 7, 69-77.
- 柏谷健二・沖村 孝・川谷 健 (1986) 六甲山系再度山地域における年輪情報と崩壊雨量特性: 地形, 7, 281-290.
- Kashiwaya, K. (1987) Theoretical investigation of the time variation of drainage density: Earth Surface Processes and Landforms, 12, 39-46.
- Kashiwaya, K., Yamamoto, A. and Fukuyama, K. (1987a) Time variations of erosional force and grain size in Pleistocene lake sediments: Quaternary Research, 28, 61-68.
- Kashiwaya, K., Okimura, T. and Kawatani, T. (1987b) Critical precipitation conditions for landslide and tree ring responses in Rokko Mountains, Kobe, Japan: in Solomon S. I., Beran M., and Hogg, H., eds, *The Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources*, 191-197.
- Robinson, M. and Blyth, K. (1982) The effect of forestry drainage operations on upland sediment yields: a case study: Earth Surface Processes and Landforms, 7, 85-90.
- 下川悦郎・地頭菌 隆・谷口浩幸・堀 与志郎 (1984) 山崩れの周期性・免疫性について: 昭和59年度砂防学会研究発表会概要集, 54-57.
- 田中 茂 (1977) 山くずれと地質・地形構造の関連性に関する研究: 文部省科学研究費自然災害特別研究研究成果, 135 p.
- 太井子宏和・奥田節夫・五十棲泰人・横山康二 (1987) 琵琶湖湖底表層における堆積速度の見積りと突発的気象変動による堆積異常: 滋賀県琵琶湖研究所報告, No. 86-A04, 91-97.
- 山本淳之・柏谷健二・福山 薫 (1984) 琵琶湖底200mコアサンプルにおける粒度変動の周期性: 地形, 5, 345-352.
- Yamamoto, A., Kashiwaya, K. and Fukuyama, K. (1985) Periodic variations of grain size in Pleistocene sediments in Lake Biwa and earth-orbital cycles: Geophysical Research Letters, 12, 585-588.