

Changes in Erosional Environment and Pond Sedimentation in the Rokko Mountains, Kobe, Japan-a Preliminary Discussion on Environmental Change due to the Kobe Earthquake, 1995

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2021-07-19 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00053733

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



六甲山系の侵食環境の変遷と池沼堆積物

—兵庫県南部地震による環境変化に関連した予察的検討—

柏谷健二*・沖村 孝**・八藤仁美***

Changes in Erosional Environment and Pond Sedimentation in the Rokko Mountains, Kobe, Japan—a Preliminary Discussion on Environmental Change due to the Kobe Earthquake, 1995

Kenji KASHIWAYA*, Takashi OKIMURA** and Hitomi YATSUFUJI***

Abstract

Changes in hydro-erosional environment and pond sedimentation during past 100 years in Kobe district are discussed with precipitational data and pond sediment information. Analyses of precipitational data show that the years when erosional phenomena, such as landslides, debris flows etc., happened were related to excess amount of critical daily rainfall (annual summation of excess amount over 100 mm/day and 50 mm/day). There are some dominant periods (80, 25, 15, 10 and 7 years) in the excess rainfall datasets.

Analyses of physical properties of core samples from the two ponds in the Rokko Mountains show that there are rapid coarsening in the heavy rainfall times, especially in 1967 when severe natural disaster happened due to landslides, debris flows and floods. Comparing the sedimentation rate before the Kobe earthquake inferred from the core sample from Kawauso-ike with one after the earthquake from sediment traps in the same pond shows significant increase in the rate after the earthquake.

Key Words: *Precipitational condition, Sedimentary process, Kobe Earthquake.*

1. はじめに

1995年1月に発生した兵庫県南部地震は地震動による“タイム・ラグのない”直接的な大災害をもたらすと同時に土砂移動環境の素因にも大きな影響をもたらした，“タイム・ラグのある”

1996年12月30日受付, 1997年5月6日受理

* 金沢大学理学部地球学教室

** 神戸大学都市安全研究センター

*** 大阪府池田土木事務所

* Department of Earth Sciences, Kanazawa University, Kakuma, Kanazawa 920-11, Japan.

** Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University, Nada, Kobe 657, Japan.

*** Ikeda Public Works Office, Osaka Prefectural Government, Ikeda, Osaka 563, Japan.

自然災害のポテンシャルも高めた。震災後の梅雨時や台風時の豪雨が関係者によって懸念された理由の一つには山体表層部を構成する材料の構造的な変動、つまり素因の変化が崩壊等の土砂移動の活発化につながる可能性があるという経験的な知見に基づく（例えば、安江・中野, 1979）。当然のことながら地震動が直接原因となった山腹の亀裂や崩壊が、豪雨によってさらに拡大するのではないかという直接的な土砂移動災害の問題が懸念の大きな理由である。

それではこの素因がどの程度変化したのかということになるが、現在のところ何を測定すればよいかという問題も含めて定量的な知見は得られていない。しかしながら風化の進行も含めた地形構成材料の変動に関する知見は、侵食力に関する知見とともに地形の変化を考察するうえで本質的である（例えば、Kashiwaya, 1986; 1994）。地形構成材料の変動の影響が表層部から顕著になるものとするれば、崩壊や地すべり等の微地形の変化にはその影響が、豪雨等の侵食環境の変動に対応して直接的に現れる可能性がある。

本稿では上記の観点から過去 100 年における六甲山系の侵食環境の変動、即ち侵食に関する雨量特性の変動と過去の土砂移動災害、そして地震による素因の変動を明らかにする手掛かりの一つとして池沼の堆積物情報分析の試みを報告する。

2. 雨量特性の変動

観測時代に入ってから六甲山系周辺部での豪雨による土砂移動災害はいくつも報告されているが（例えば、建設省, 1974）、1938 年のいわゆる阪神大水災や 1967 年の 7 月豪雨災害が人的・物的な被害の大きさとという点で極めて顕著である（例えば、神戸市, 1939; 建設省, 1974; 柏谷ほか, 1984; Kashiwaya・Okimura, 1990）。これらの災害時の気象特性については広瀬・下村 (1969) に詳しいが、筆者等も侵食環境の変動という観点からいくつかの分析を行ってきた（柏谷ほか, 1986; Kashiwaya et al., 1989）。

ここではまずこれまで得られている知見を概括するとともに、その後得られた資料を含めた分析結果について考察する。

Fig. 1 は過去約百年の神戸海洋気象台で観測された年間降水量の変動を示す (1995 年まで)。冬季の積雪量は限られているので、ここでは降水量を雨量として議論を進める。この図からも明らかなように、1938 年や 1967 年の豪雨災害の痕跡はこの雨量特性には認め難い。即ち、微地形の変化、土砂移動を促すような雨量特性は年間降水量では表現されにくいことを示唆して

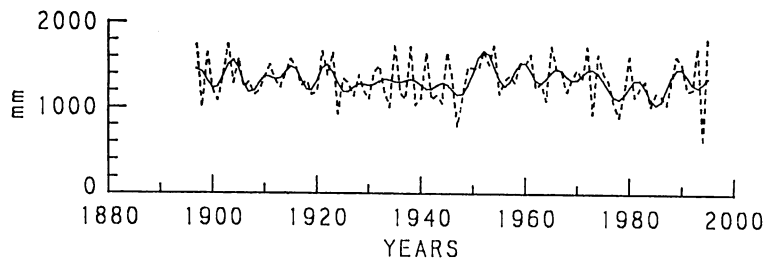


Fig. Changes in annual precipitation.

いる。但し、年間降水量の経年的変化に関する一般的傾向としては、1920年—1940年にかけて全国的な傾向であった小雨期(気象庁, 1989)が、フィルタ操作を行った結果(図中実線部)に認められる。また、この雨量に関するスペクトル解析結果は Fig. 2 に示されるが、卓越周期には黒点周期に近い約 10 年の周期や月一太陽潮汐の周期 18.6 年(例えば, Currie, 1991 に詳しい)に近いものが顕著であり、太陽活動や起潮力との関係を伺わせ興味深い。

一般に、物質移動を考えると、ある種の閾値を想定することは合理的であり、例えば河

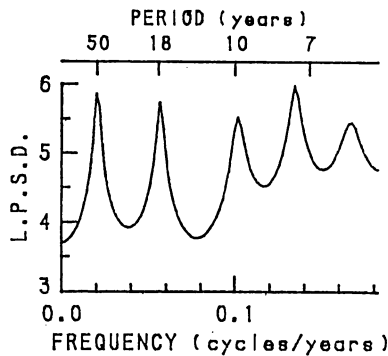


Fig. 2. Dominant periods in annual precipitation.

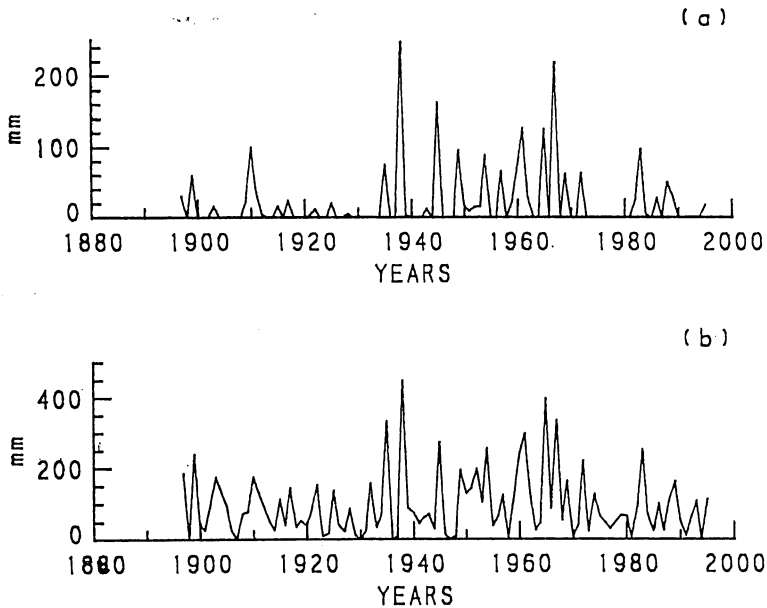


Fig. 3. (a) annual 100 mm excess rainfall (annual summation of excess amount over 100 mm/day), (b) annual 50 mm excess rainfall (annual summation of excess amount over 50 mm/day).

床上の物質の移動は限界掃流力で表現されるが、斜面上の物質移動の発生も閾値の存在が考えられる。間隙水圧の増加による表層部の抵抗力の減少によるものであれ、地表流の発生による侵食現象が関与するものであれ、ある程度以上の雨量が必要であることはあらためていうまでもない。六甲山系の崩壊に関しても各種の雨量特性が考察されており、タンクモデル等を利用して個々の崩壊に対する説明が行われている(例えば、鈴木ほか, 1979)。短期的な水文現象と崩壊の関係を明らかにするためには、詳細な資料の検討が必要であるが、長期的な水文条件と地形変化を考慮する場合には精度以上に長期的な試・資料へ結びつくような雨量特性の検討が必要になる。ここではこのような観点から神戸海洋気象台の大雨洪水警報および注意報の基準であった日雨量 100 mm および 500 mm について考えることにする(柏谷ほか, 1986; Kashiwaya et al., 1989 等参照)。それぞれの雨量特性の超過分が土砂移動に寄与するものと考へて、経年変化を考察する場合には、それぞれの超過量の年間総和を対象として議論する(100 mm 超過年間雨量, 50 mm 超過年間雨量)。

Fig. 3 はそれぞれ過去約 100 年の 100 mm 超過年間雨量, 50 mm 超過年間雨量の変動を示したものである。いずれも基本的には同じような傾向を示しており、1938 年の阪神大水害や

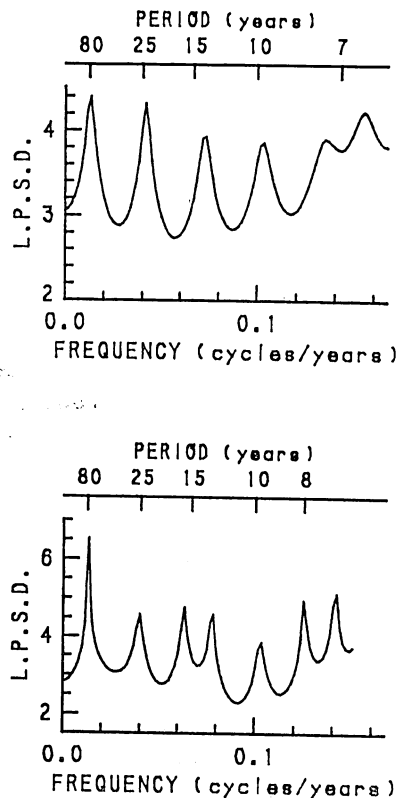


Fig. 4. Dominant periods in (a) annual 100 mm excess rainfall and (b) annual 50 mm excess rainfall.

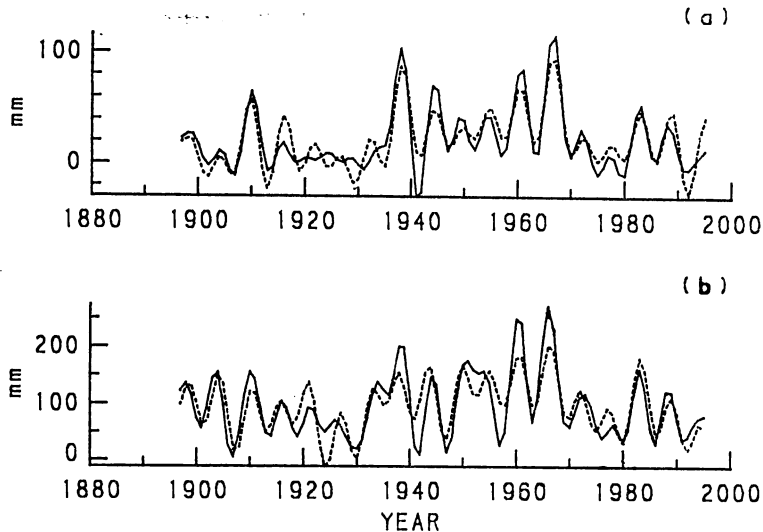


Fig. 5. Harmonic analyses using the dominants periods in Fig. 4, (a) annual 100 mm excess rainfall and (b) annual 50 mm excess rainfall.

1967年の7月豪雨災害との対応のみならず、1910年の大水害、1945年の豪雨災害、1961年の6月豪雨災害との対応が明らかである。両者を比較すれば、100 mm 超過年間雨量と豪雨災害の対応がより明瞭である。いずれにせよこの種の雨量特性は土砂移動の経年的変化を促す侵食力を表現する一つの方法として有効であることが示唆される。これらの雨量特性に認められる周期については既に指摘しているが(柏谷ほか, 1986; Kashiwaya et al., 1989), その後の資料も加えて分析した結果を Fig. 4 に示す。いずれの雨量にも80年, 25年, 10-15年, 6-7年の周期が認められる。これらの周期を用いて調和解析した結果が Fig. 5 であるが、資料との対応がよくこれらの周期の存在を支持している。

3. 池沼堆積物と豪雨災害

流域内における雨量が関係する崩壊や土石流等の土砂移動は下流の湖沼の堆積過程に影響を及ぼすものと推定され、過去の長期的な水文環境の復元等に湖沼堆積物は利用されてきている(例えば, Yamamoto, 1976; Kashiwaya et al., 1991, 1995a). 近年の豪雨に関しても湖沼堆積物に堆積異常としてその痕跡が刻印されていることが明らかになっている(例えば, Taishi et al., 1991). 六甲山系の池沼でも豪雨による土砂移動の痕跡が池沼堆積物に残されていることが示されている(柏谷ほか, 1988; Kashiwaya et al., 1955b). さらに、流域の土砂生産の経年的な変化が池沼堆積物の情報から入手できれば、誘因(雨量特性)の考察とともに、土砂移動環境(植生・土壌を含めた素因)の変化を推定する一つの手掛かりを得ることが可能になる(柏谷, 1996). そこでここでは池沼堆積物情報から得られる過去の豪雨による土砂移動に関するいくつかの知見についてまとめる。

六甲山系の池沼における池沼堆積物のコア試料は1986-1988年と阪神大地震後の1995年の5月に採取された。採取はいずれも重力式コアサンプラーを用いて行われた。1986-1988年に採取された試料は二つの池沼(瀬池, 長谷池)から採取されたものである。その分析結果の一部については既に報告している(柏谷ほか, 1988; Kashiwaya et al., 1995b)が、まずこの大地震前のこれらの池の試料について議論する。

Fig. 6は採取した湖沼の位置と1967年の豪雨災害時における総雨量分布図である。長谷池は1940年に形成された人工池であるので、その堆積開始年代は明らかである。柱状コア試料の物理量分析結果はそれぞれFig. 7(瀬池), Fig. 8(長谷池)に示す。いずれの池沼堆積物の鉛直方向の中央部に認められる粗粒化(瀬池では池床から14-20cm, 長谷池では12-15cm)は ^{137}Cs 濃度の分析から1967年の豪雨災害の痕跡と推定されている(Kashiwaya et al. 1995b)。物理量の変動は平均粒径に最も顕著に現れているが、密度、含水率の値にも、それ程明瞭ではないにせよ、読み取ることができる。含水率の低下には空隙率の低い堆積構造(粗粒にマトリックスが充填された)を反映しており、豪雨時の土砂移動・堆積の様式を示唆している。さらに、瀬池の資料下部に見られる顕著な再粗粒化に関しては、時期的には1988年の阪神大水害に対応すると推定することも可能ではあるが、詳細な議論については年代軸の考察を含めたさらなる試・資料が必要である。

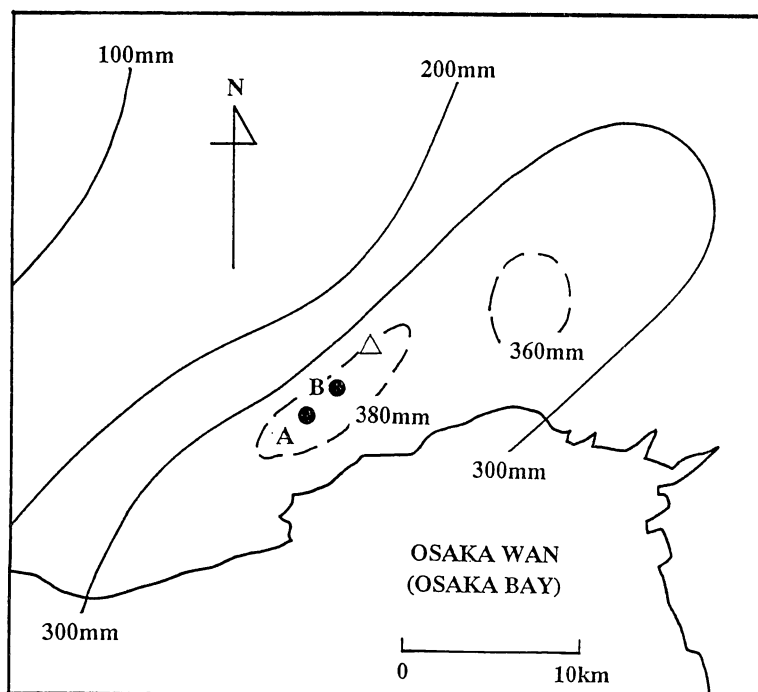


Fig. 6. Location map of sampling points (solid circles) in Kawauso-ike (B) and Hase-ike (A) and distribution of the total rainfall of July 7-9, 1967. \triangle ; M. Rokkosan. (cf. Hirose and Shimomura, 1969).

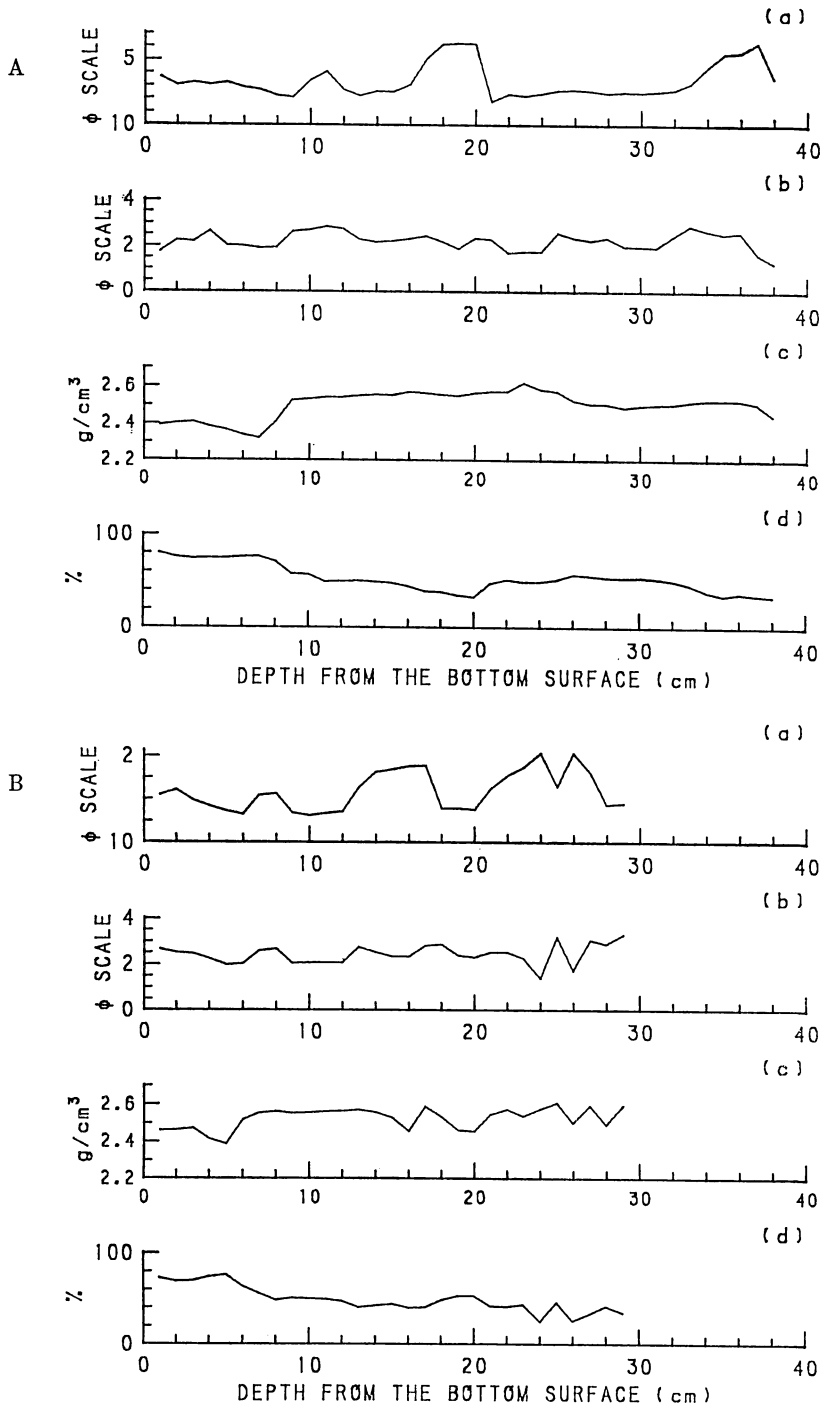


Fig. 7. Some physical properties of two core sample from Kawauso-ike, A; KA and B; R6, (a) median, (b) standard deviation, (c) grain density and (d) water content.

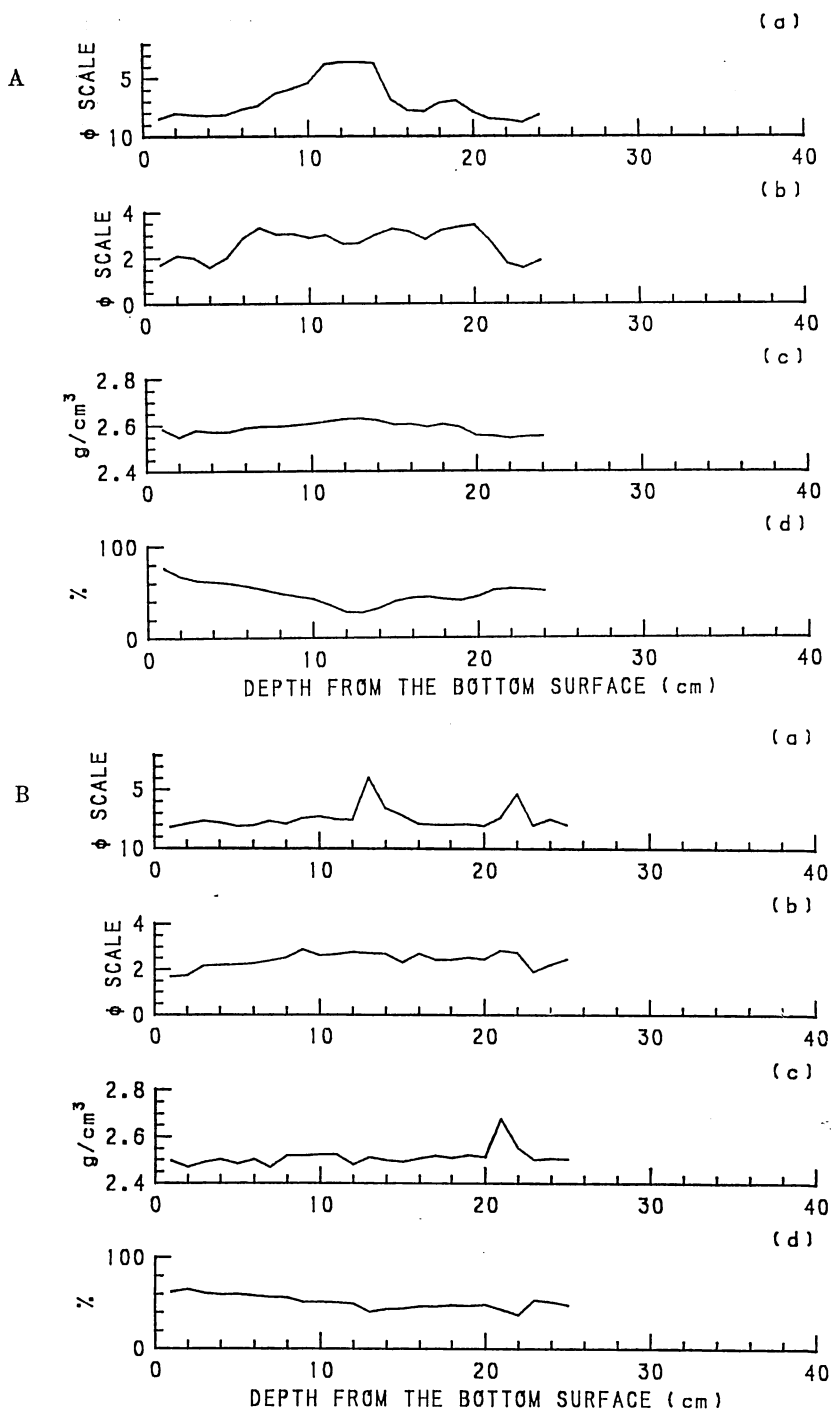


Fig. 8. Some physical properties of two core sample from Hase-ike, A; R3 and B; R5, (a) median, (b) standard deviation, (c) grain density and (d) water content.

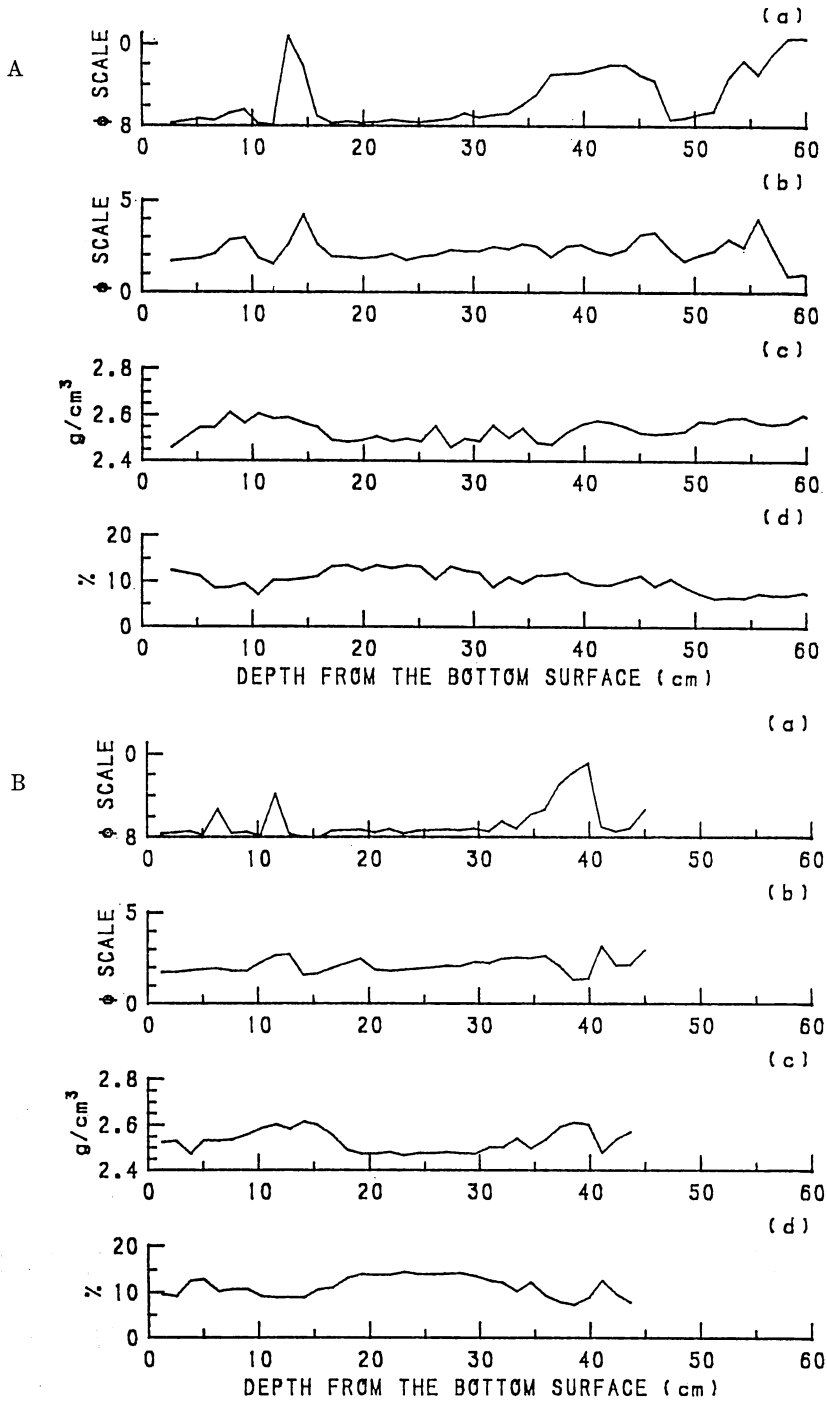


Fig. 9. Some physical properties of core samples from Kawauso-ike, A; KW3 and B; KW5, sampled in 1995 after the Hanshin Earthquake. (a) median, (b) standard deviation, (c) grain density and (d) loss on ignition.

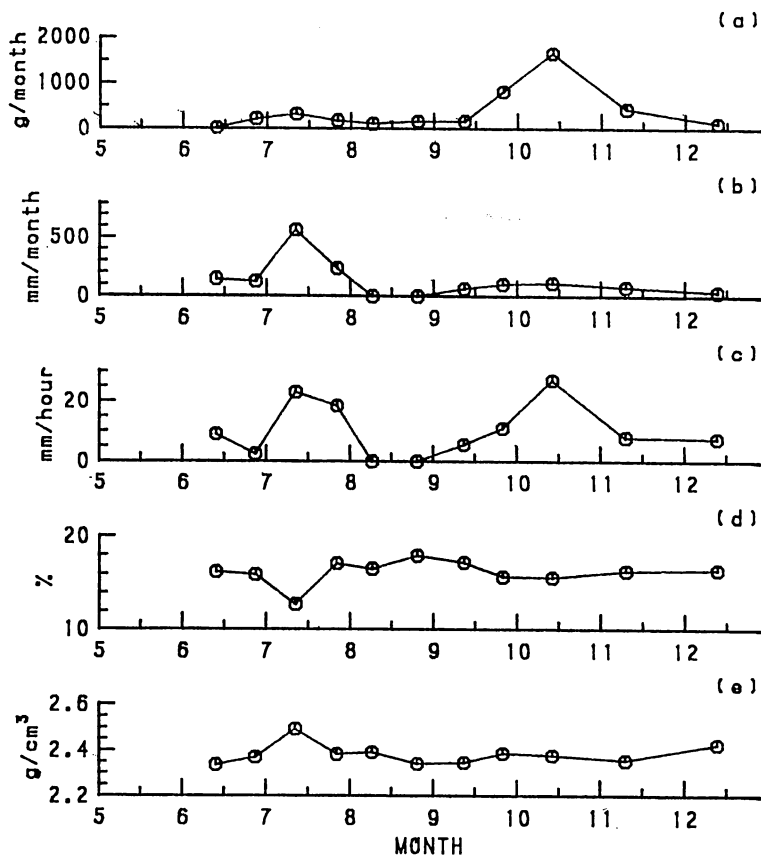


Fig. 10. Some analytical results (averaged) for sediments sampled with sediment traps, (a) sedimentation rate (g/month), (b) maximum hourly rainfall (mm/hour), (c) loss on ignition, and (d) grain density (g/cm³).

次に阪神大地震後の1995年5月に瀬池で採取した試料について議論しよう。試料の採取は池の何ヶ所かで行われたが、ここでは1986-1988年の大地震以前に採取した地点に近い二つのコア試料を取り上げる。いくつかの物理量に関する分析結果はFig. 9に示される。両者の分析結果に認められる池床から鉛直下部方向11-15cmの粗粒化は1967年の豪雨災害に対応すると思われる(¹³⁷Cs濃度の測定結果もこれを支持している)。ここでの結果はさらに標準偏差の増加や密度の増加等を示している。また、これらの試料に対して測定した強熱減量の減少も認められる。

また、両者の37-40cm, 38-45cmに認められる再粗粒化は先の試料でも触れた1938年阪神大水害を推定させるが、これだけの資料ではこれ以上の議論はできない。これらの再粗粒化の部分でも11-15cmの粗粒部と同様に、密度の増加、強熱減量の減少等が認められる。

このように1967年7月豪雨災害は池沼堆積物の物理量に明瞭な痕跡を残していることが、

いくつかのコア試料から明らかであるが、いくつか議論すべき点がある。その一つは1986-1988年に採取した試料と1995年に採取した試料において1967年以降の堆積量が異なることである。即ち、堆積厚がより大きいはずの1995年採取の試料のいずれもが1986-1988年採取のものより小さいという結果になっている。採取地点が厳密に特定できないので、局所的な相違とも考えることはできるが、全試料に共通する1967年以降に見られる大きくはないが明瞭な粗粒化(1955年採取の試料では5-8 cm, 7-9 cm, 1986-1988年採取の試料では6-8 cm, 9-11 cm)の存在を考えれば、それ以降の堆積厚の相違について議隔の余地がある。もちろんのこと、表層部のことであるから、堆積厚のみで議論するわけにはいかないで、深度尺度として単位面積当たりの堆積物の乾燥質量に基づいた検討も行っているが、堆積深度にそれほどの相違はなく、相互の相対的な関係に変わりはない。

この全試料に共通する小さな粗粒化以降の堆積速度に関する解釈としては、1) 堆積速度が極度に減少した、2) なんらかの原因で堆積物が再移動した、そして先にのべた3) 局所的な堆積速度の相違、等が考えられる。1) は完全に否定することはできないが、Fig. 1より明らかのように、この十数年の雨量がそれまでに比べて極端に減少しているわけではないし、流域の環境が著しく変化したという事実もないので積極的に支持はできない。2) については、豪雨時の流出量が増大した時期や、地震による振動が著しく大きな時には、大きな湖沼の乱泥流の発生ほどの規模ではないにしても、表層部の不安定層が移動するということは十分に想定できる。それでは、この堆積速度の減少が阪神大地震の大きな振動に起因する池底の表層物質の移動に関係するののかということになるが、現在のところこれを裏付けるような他の積極的な証拠がないので、断定することはできないが、一つの解釈として考えられる。

4. 阪神大地震以降の池沼の堆積

地震動が崩壊等土砂移動の素因に何等かの影響を与えたかどうかを調べるための一つの方法としては、地震前後における流域からの土砂流出量、池沼への堆積量を検討することである。そこで、ここでは大地震以前の資料として、先に検討したコア・サンプラーで得られたものを検討の対象とし、大地震後の資料としてはここで紹介する瀬池の池床に設置されたセディメント・トラップで採取されている資料(現在も継続中)について議論する。

セディメント・トラップは池沼のほぼ中央部で今回コア・サンプラーで試料を採取した地点の近傍およびそれよりも少し上流部の二ヶ所に、1995年5月末、設置した。堆積物試料の回収は雨量の多い夏季には月2回、少ない冬季には1回行っている。詳細な議論は試料がある程度蓄積されるまで(少なくとも数年)困難であるが、ここでは1995年末までに得られた試料に限定して予察的な議論を行う。

Fig 10は堆積量(比較のために月間堆積量に換算)、設置期間の総雨量(月間雨量に換算)、最大1時間雨量(ここでは便宜的に旬間の最大1時間雨量を使用している)、強熱減量、粒子密度を示したものである。雨量特性と堆積量の関係等については今後詳細な議論が必要であるが、おおまかには対応関係は存在する。また、一般に雨量の大きいときは、強熱減量が減少し、粒子密度が大きくなるという傾向があるようであり、そのときの流域からの土砂の流入、池沼内

Table 1. Sedimentation rate in Kawauso-ike

	kg/m ² /yr
core samples bored before the earthquake (after Kashiwara et al., 1995)	12.0
core samples bored after the earthquake (averaged value)	4.5
sediment trap	43.9

での密度の小さい有機物等の堆積の相対的減少が示唆されている。

次に、資料は限定されるが、流出土砂量（堆積量）の変化について考えてみよう。大地震前の堆積量については、先に少し触れたが、大地震後に採取したコアサンプルの表層部は振動による移動等の変動を受けている可能性があるため、1986-1988年に採取したコアサンプル（Fig. 7 参照）が地震前の堆積量の見積もりとしては無難であろう。参考として地震後に採取したコアサンプルについても堆積速度の推定を行ってみた。地震後の堆積速度についてはセディメントトラップで採取した試料を1年間に換算して、その見積もりを行った。結果は Table 1 に示す。

セディメントトラップで採取した試料から推定した堆積速度とコアサンプル試料から推定した堆積速度を単純に比較はできないが、セディメントトラップによる大地震後の堆積速度はコアで採取したそれ以前の堆積速度と比べてかなり大きくなっている。既に触れているように雨量特性と堆積量に関する詳細な議論はさらに必要である。1995年の雨量特性についていえば、崩壊をもたらすような雨量はなかったが、年間降水量は平年に比べて多かったことが多少影響を及ぼしていると考えられる。この多少の影響がより顕著に堆積量の増加に反映している、即ち顕著な堆積量への反映は地震に関係すると考えることはそれほど矛盾のある解釈ではない。これらの解釈は現在のところ推測に過ぎないが、このような増加が今後どのように推移していくかは、水文環境の変化とともに植生条件等の流域環境の変化を含めた、土砂移動環境の変遷という観点からも興味のあるところである。これらの事柄については、現在継続している観測から得られる新たな知見も含めて別の機会に報告したい。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、多くの方々のご助力を賜った。試料の採取・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。試料の採取・分析には原田貴司氏（現西松建設株）を始めとする神戸大学土地造成工学研究施設の諸氏の助力をお願いした。ここに記して謝意を表したい。

引用文献

- Currie, R. G. (1991) Luni-solar 18.6-year signal in tree-rings from Argentina and Chile: *PA-GEOPH.*, **137**, 281-300.
- 広瀬迪也・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, **181**, 80-92.
- Kashiwaya, K. (1986) A mathematical model of the erosional process of a mountain: *Trans. Japan. Geomorph. Union*, **7**, 69-77.
- Kashiwaya, K. (1994) A quantitative expression for external force in Kirkby, M. J., ed., *Process models and theoretical geomorphology*, John Wiley & Sons, Chichester, p. 39-46.
- 柏谷健二 (1996) 流域における地形環境の変動と湖沼の堆積過程: *地形*, **17**, 265-274.
- Kashiwaya, K., and Okimura, T. (1990) Reconstruction of past erosional force from tree ring information around the Rokko Mountains, Japan: *Quaternary Research*, **34**, 240-248.
- Kashiwaya, K., Okimura, T., and Kawatani, T. (1989) Tree ring information and characteristic rainfall for landslides in the Kobe district, Japan: *Earth Surface Processes and Landforms*, **14**, 63-71.
- Kashiwaya, K., Fukuyama, K. and Yamamoto, A. (1991) Time variations in coarse materials from lake bottom sediments and secular paleoclimatic change: *Geophy. Res. Lett.*, **18**, 1245-1248.
- 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.
- 柏谷健二・太井子宏和・川谷 健・沖村 孝 (1988) 六甲山系の湖沼堆積物の粒度組成の変動と崩壊環境: *地形*, **9**, 193-200.
- Kashiwaya, K., Masuzawa, T. Morinaga, H., Yaskawa, K., Yuan, B., Liu, J., and Gu, Z. (1995a): Changes in hydrological conditions in the central Qing-Zang (Tibetan) Plateau inferred from lake bottom sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, **135**, 31-39.
- Kashiwaya, K., Okimura, T., Kawatani, T., Aoki, T., and Isozumi, Y. (1995b) Landslide environment and pond sediment information: *In* Slaymaker, O., ed., *Steepland Geomorphology*, John Wiley and Sons, Chichester, p. 63-71.
- 気象庁 (1989) 「近年における世界の異常気象と気候変動」: 433 p.
- 建設省六甲砂防工事事務所 (1974) 「六甲30年史」: 635 p.
- 神戸市 (1939) 「神戸市水害誌」: 1368 p.
- 鈴木雅一・福嶋義宏・小橋澄治・武居有恒 (1979) 土砂災害の危険雨量: *新砂防*, **110**, 1-7.
- Taishi, H., Okuda, S., Shiki, T., and Kashiwaya, K. (1991) A sediment anomaly and the related sedimentation process in Lake Biwa, Japan: *Ziet. Geomorph., S. B.* **83**, 241-249.
- Yamamoto, A. (1976) Paleoprecipitacional change estimated from the grain size variations in the 200-m long core from Lake Biwa: *Paleolimnology of Lake Biwa and Japanese Pleistocene*, **4**, 179-203.
- 安江朝光・仲野公章 (1979) 地震に対する急傾斜地の危険度評価: *土木技術*, **34**(8), 68-74.