

琵琶湖西岸における過去の崩壊に関連した 湖底地形調査（その2）

太井子 宏 和・奥 田 節 夫
平 野 昌 繁・横 山 康 二

BOTTOM TOPOGRAPHIC SURVEY ALONG WESTERN COAST OF LAKE BIWA FOR STUDY ON THE PAST COAST FAILURE (II)

By Hirokazu TAISHI, Setsuo OKUDA,
Masashige HIRANO and Koji YOKOYAMA

Synopsis

A sub-bottom acoustic profiling in Lake Biwa and a soil survey with a drilling stick on the coastal zone have been carried out to obtain direct evidences on coastal or underwater slope failure caused by past large earthquakes in a western coast of Lake Biwa. The results and findings are as follows.

From the acoustic profiling, 1) a disturbed layer (Layer D) is found at a depth of 1-2 m below the lake-floor spreading onshore in a flat and shallow area of water depth less than 15 m, 2) another disturbed layer is found in sedimentary layers in the lower part of underwater slope of water depth 15-50 m, and the layer is presumed to have been formed as a result of underwater slope failure caused by a past large earthquake, and 3) faults or other structures are presumed to exist beneath the steep underwater slope.

Next, from the drilling survey, 4) a dark brownish, humic clayey layer (Layer C), underlaid by the recent shore sediments, is found at a depth of 1 m below the mean water level of the lake in the western part of the surveyed zone; the same layer is discovered also at a point of farm area, which is located near to the shore area of the thickest Layer C, and 5) if Layer C is assumed to show a broken farm due to land subsidence along the coastal zone accompanied by the large earthquake in 1662, it is possible to interpret that the sediments in Layer D was brought by a slope failure at the time.

Further investigations are needed to check these findings and presumptions more clearly.

1. は じ め に

琵琶湖周辺では、歴史時代に内陸型の大地震が多く起こっている¹⁾。これらの災害状況や、地震によって生じたと考えられる地文・水文環境の変化について、われわれは古文書などから、その一端をうかがい知ることができる。そのようななかで、最大級の災害規模をもつ寛文2年（1662）の地震は、湖の西岸沿いに大規模な陥没を生じさせたと言われている²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。同様な湖岸の被害は、寛文以外の地震でも記録されている¹⁾。このような地震時の被害状態を実証的な証拠に基づき復元することは、災害史の研究上きわめて重要な意義をもつと考えられる。

地震による湖岸陥没は、それに伴う崩壊に関連した地形を湖底に残す可能性が高い。われわれは、このような湖岸陥没の痕跡を探るために、1985年に音波探査機を用いて、琵琶湖西岸域の湖底地形調査を実施した。その結果、地震時の湖岸陥没に結びつく湖底崩壊の直接的な証左は得られなかったものの、それを示唆する湖底急斜面の異常な凹凸を伴う地形が見つかった⁶⁾。さらに、これらの内陸型地震発生の主因と考えられる活断層の構造についても、湖岸沿いの一部分の湖底域で明らかになった⁶⁾。

以上の成果を踏まえ、われわれは地震時の湖岸陥没の証拠をより直接的に得るために、寛文2年の地震に関する古文書等がよく伝え残されている琵琶湖西岸の明神崎から鴨川河口にかけての湖岸および湖底に調査域を絞った (Fig. 1 参照)。そこで、平面的により細密な湖底の音波探査を実施するとともに、湖岸線沿いにおいても検土杖による土層調査を行なったので、その結果について報告する。

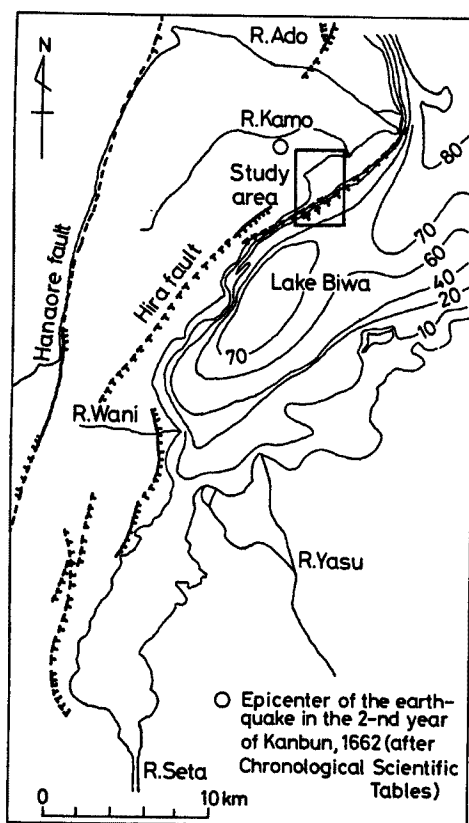


Fig. 1 Location map of the study area (in the rectangle) and the distribution of faults (after Hagiwara, 1982) in Lake Biwa and the surrounding area. Contours indicate water depth in meters.

2. 調査域・調査方法

本調査の湖底域は、沖合い約 1 km まで水深が 15 m 以浅であり比較的平坦である (Fig. 2 参照)。それより沖合い側 1 km 足らずの間は、水深 50 m 前後まで急に深くなっており、いわゆる“湖底段丘”⁷⁾ 崖を形成する。さらに沖側は湖盆底周辺部であり、湖底は緩斜面になる。

大溝港の入り江から鴨川河口にかけての湖岸は、西部が萩野浜、東部が近江白浜と呼ばれているように、砂浜である。湖岸線は、鴨川河口の湖側への突出により東の方で強く湾曲する (Fig. 2 参照)。砂浜の陸側では幅 100—200 m 程度の小規模な浜堤が発達する (Fig. 10 参照)。さらにその陸側は田畑として利用されているが、浜堤に近いところで高度が最も低い。

音波探査機による湖底調査の測線は、できるだけ湖岸線近くから湖盆底周辺部までを覆うように配置した。

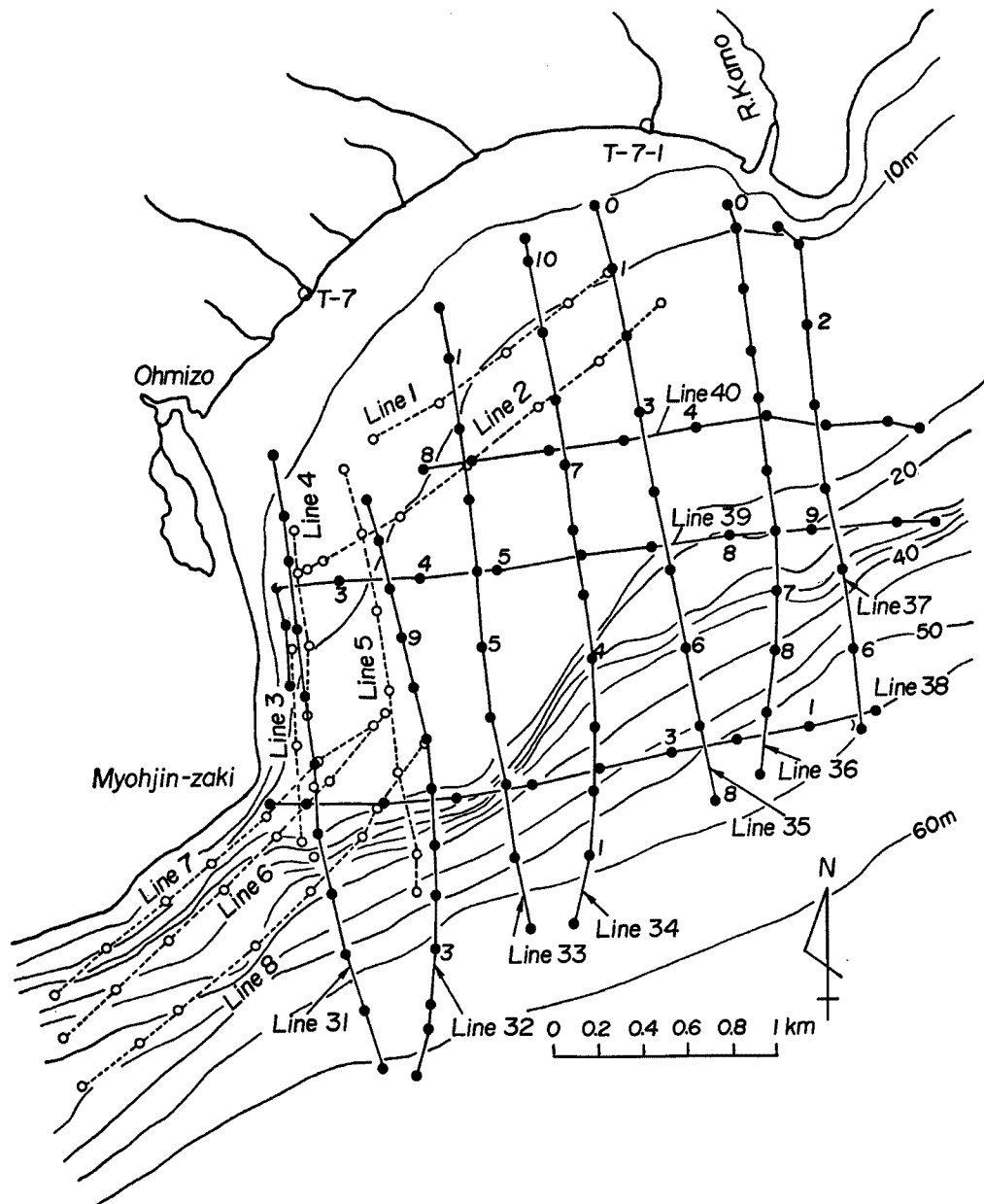


Fig. 2 The distribution of survey lines of sub-bottom acoustic profiling using "Uniboom". Broken lines show the previous survey lines⁶⁾.

その分布図を **Fig. 2** に示す（前回の調査測線についても同図に破線で示す）。音波探査に用いたのはユニブーム地層探査機であり、これによる湖底調査は1986年11月29日に実施した。その方法は前回⁶⁾と同様なので省略する。

湖岸線沿いの土層調査は、長さ 2 m の検土杖を用いて18地点で実施し（**Fig. 7** 参照）、必要と思われる箇所では試料を採取した。本調査の実施時（1986年11月28-30日）は、琵琶湖の水位が約 80 cm 低下していた時期であり、より深部までの土層を調べるのに好都合であった。また、浜堤脇の低湿な田畑においても 4 地点で同様な土質調査を行なった（**Fig. 9** 参照）。

3. ユニブーム地層探査機による湖底調査結果

前節で述べた調査域の湖底地形の特徴に従って、以下では便宜的に水深 15 m 以浅の湖底平坦部、水深 15-50 m の湖底急斜面部、水深 50 m 以深の湖底緩斜面部に分けて、ユニブーム記録を見ていくことにする。

湖底平坦部のユニブーム記録の例として、Line 40 を **Fig. 3** に示す。湖底表層部 2 m 以浅に注目すると、図中に印した地点 P を境にして、その東側では湖底面にほぼ並行した反射面が現れるのに対して、西側では反射面が著しく乱されている（これを D 層とする）ことが分かる。また、ほぼ地点 P を境にして、下位の反射面記録がよく現れる東側と、それが不明瞭になる西側とに分かれる。このような記録は、ほかに Line 1、Line 35 (**Fig. 4** 参照)、Line 2、Line 8 でも得られる。つぎに、境界 P の平面分布を示すと **Fig. 6** のようになり、現湖岸線、とくに鴨川河口の張り出し状況とは無関係である。

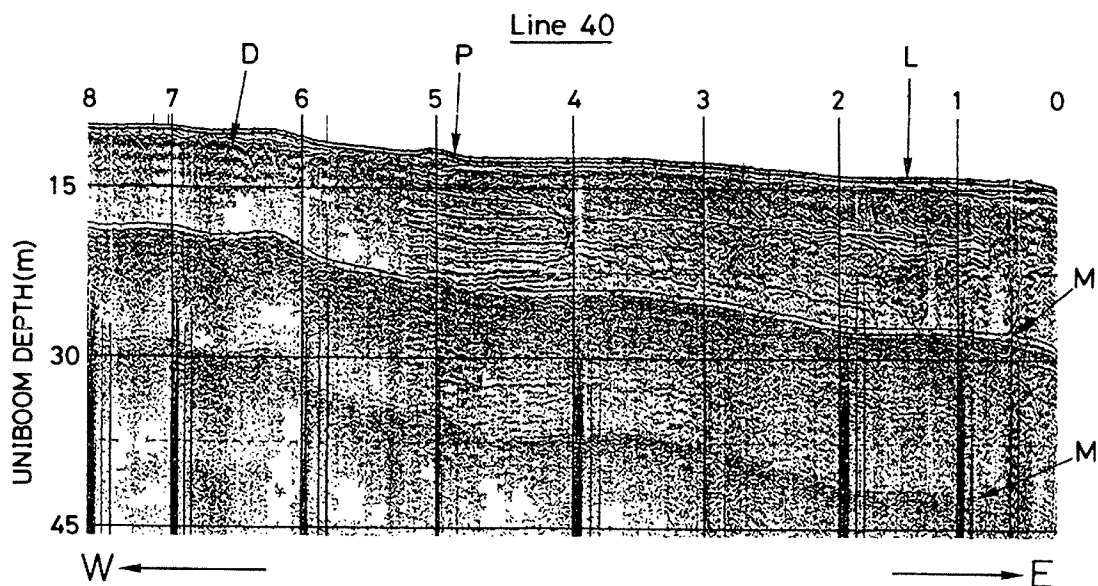


Fig. 3 Uniboom record along Line 40. D (Layer D): a disturbed layer found at 1-2 m depth below the lake-floor in the onshore side of the boundary point P; L: lake-floor; M: multiple reflectors.

湖底平坦部におけるもう一つの特徴的な記録は、**Fig. 4** に示した Line 35 の地点 Q (35-1~35-2間) より陸側でみられる。ここでは、徐々に層厚を減じながら陸側の地層が、それより沖側の湖底面上に覆いかぶさっている（その先端が境界 Q を表わす）。このような記録は他の測線でもみることができ（たとえば **Fig. 5** の Line 32）、その平面分布はほぼ現湖岸線に並行する (**Fig. 6**)。

以上に述べた二種類の記録は、**Fig. 4** に示されるように、前者の方が下位にあり古い時代のものである。また、**Fig. 6** に示した P と Q の平面分布も考え合わせると、境界 Q によって区切られる陸側の部分は、鴨川の流出によって形成された、相対的に粗粒な物質の堆積域を示すものと推定される。これに対して、境界 P の陸側に分布する D 層は、湖底崩壊の跡を示す可能性が強い。また D 層は湖底面下に埋積されているので、古い時代に形成されたものである。しかし現在のところ、残念ながら D 層の年代を推定し得る資料がない。

Fig. 4 に示した Line 35 のユニブーム記録をみると、湖底急斜面は二つの段状地形からなることが分かる（上位より T_1 、 T_2 、 T_3 とする）。 T_1 は T_2 の上位に累重しており、両者の間には断層等地質構造的な境界はみられない。 T_2 と T_3 の境界については、この記録だけから断層が存在するか否かを定めることはできないが、何らかの地質構造 (F_1) が存在する可能性が高い。 T_3 の地層記録をみると、湖水面下約 55 m の深度で地層の反射特性が変化していることが分かる。このうち下位の地層は湖盆底域へ少しはみ出しており、

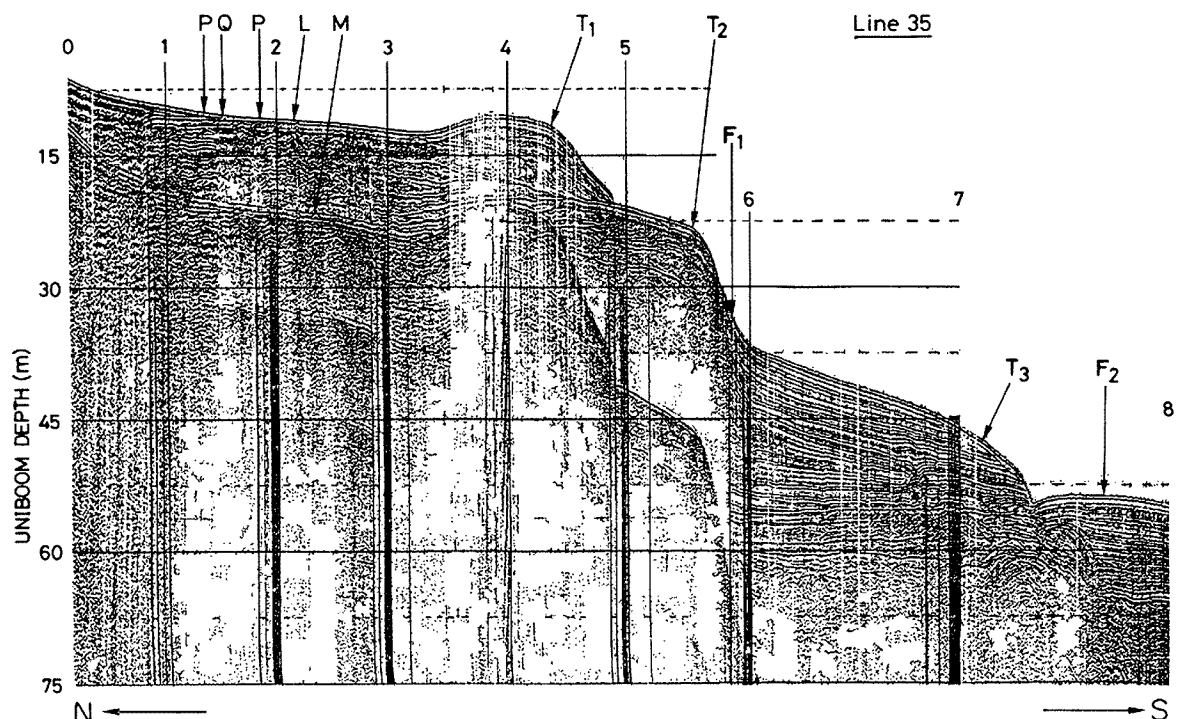


Fig. 4 Uniboom record along Line 35. Q: the boundary point at the offshore side of the bottom sediments from coast spread on the previous lake-floor; T₁, T₂ and T₃: terrace-like topographies in the zone of steep underwater slope; F₁ and F₂: faults or other structures. For P, L and M see Fig. 3.

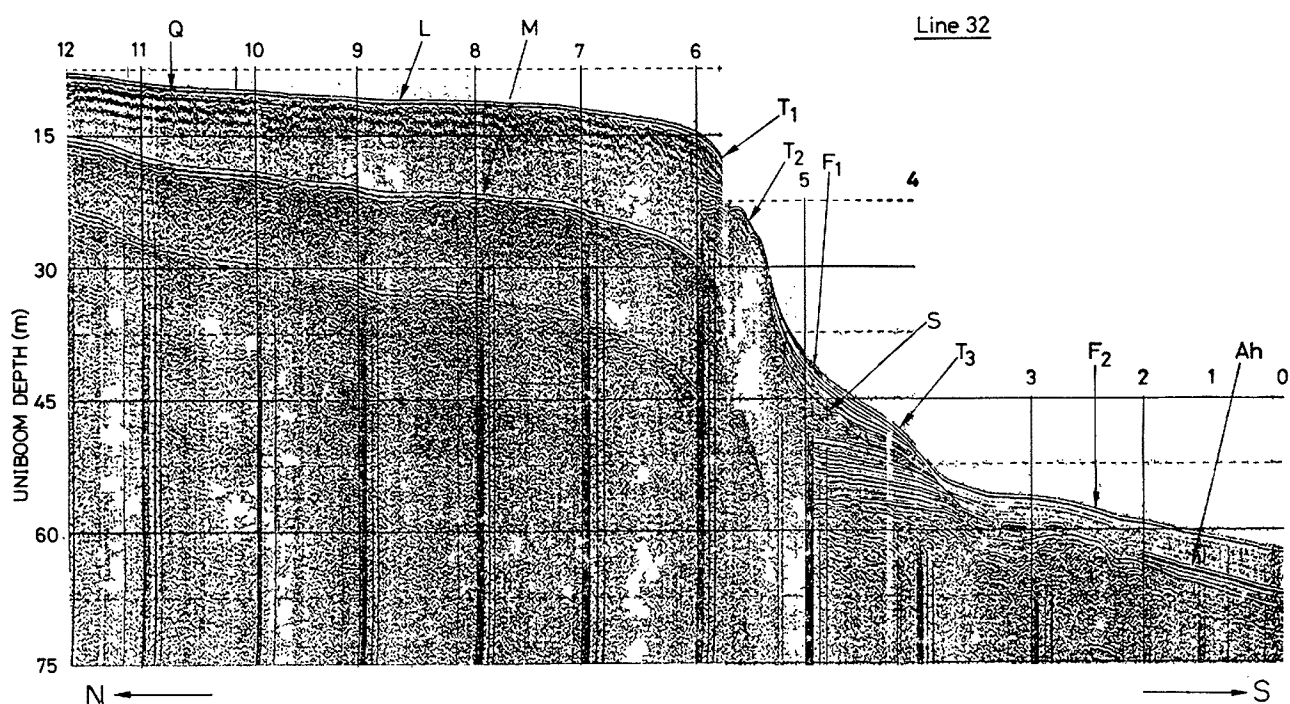


Fig. 5 Uniboom record along Line 32. S (Layer S): a disturbed layer buried below the sedimentary layers in the lower part of steep slope; Ah: acoustic reflector corresponding to ash layer Ah. For L and M see Fig. 3. For Q, T₁, T₂, T₃, F₁ and F₂ see Fig. 4.

その先端部は湖盆底域の地層と明瞭に区別される。この境界も、 $T_2 \cdot T_3$ 境界の場合と同様、何らかの地質構造 (F_2) である可能性が考えられる。

以上推定した地質構造 F_1 と F_2 の平面分布を **Fig. 6** に示す。 F_1 と F_2 はともに Line 32 付近で水平方向が変化し、それより西側では、前回の調査で推定した断層の方向⁶⁾ にそれぞれ一致する。また Line 32 より北側における $F_1 \cdot F_2$ の位置や方向は、萩原 (1982) に図示されている二つの断層 (**Fig. 1** 参照) にはほぼ一致する。なお **Fig. 6** に示したように、Line 38 の西端部で二つの断層記録が確認できたが、このうち

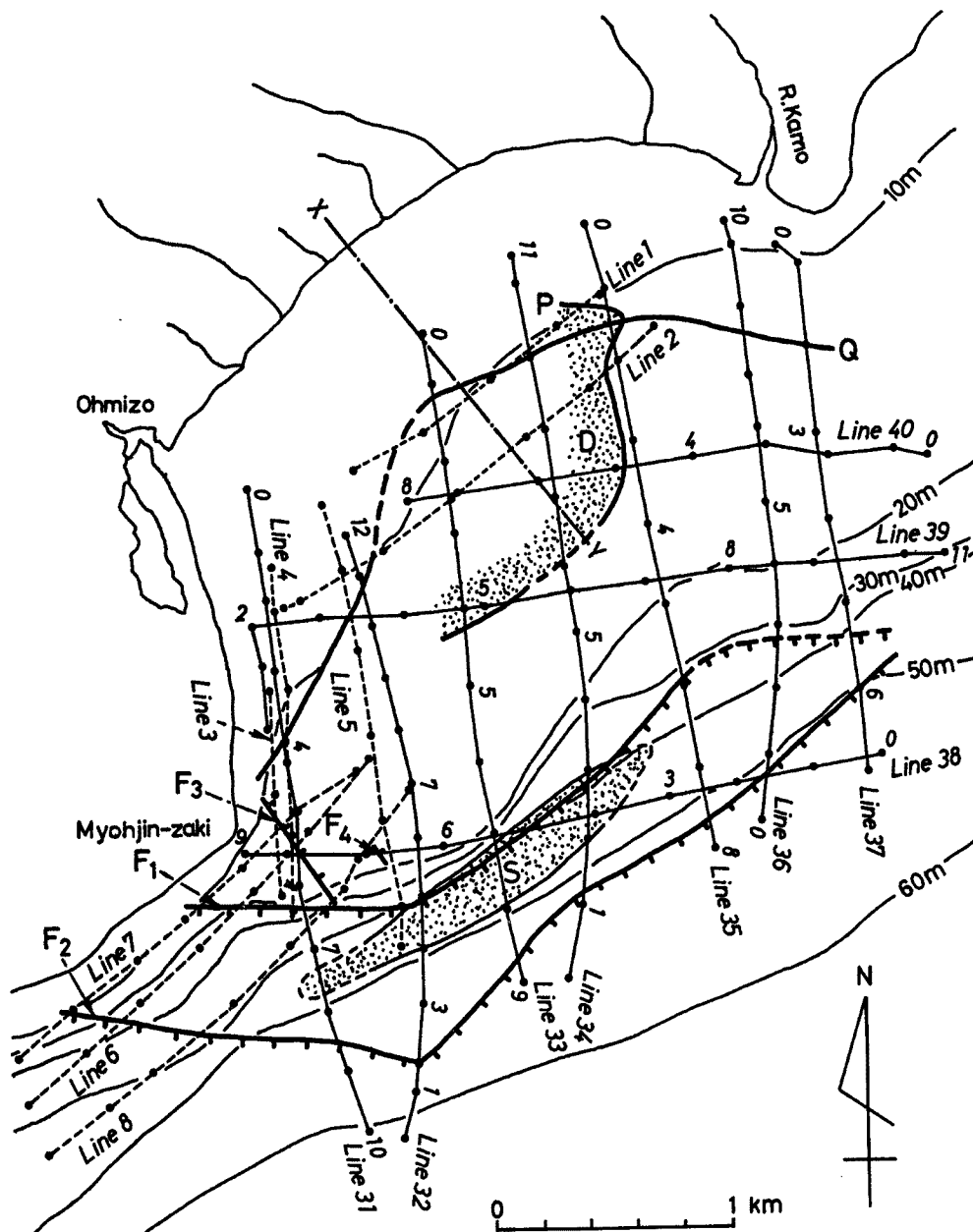


Fig. 6 Areal distributions of the characteristic sedimentary layers and structures obtained from sub-bottom acoustic profiling. F_3 and F_4 : faults. For D and P see Fig. 3. For Q, T_1 , T_2 , T_3 , F_1 and F_2 see Fig. 4. For S see Fig. 5.

F₃ は前回で推定した断層⁶⁾ の延長線上のものである。

このように前回および今回の調査の結果、琵琶湖西岸湖底域における断層等に関する資料がかなり豊富になったと言えよう。いっぽう琵琶湖周辺にも活断層が多数発達しており⁴⁾⁸⁾ (Fig. 1 参照)、これらの活断層と地震との関係が、地質学的・地形学的証拠に基づいて明らかにされつつある⁵⁾。今回推定された湖底下の断層等についても、音波探査にとどまらず、今後より実証的な調査を行なうことが重要な研究課題になると思われる。

湖底急斜面の T₃ では、前述した反射特性の違いによって分けられた上位の地層中に、乱れた層準 (S 層) がはさまっているのが認められる (Fig. 5)。S 層は T₂ の急斜面上で発生した崩壊による崩落物質からなる地層であると考えられる。S 層の平面分布は Fig. 6 に示したとおりであるが、とくに T₁ や T₂ の傾斜が急な Line 31 から Line 34 にかけて見られる。このような湖底崩壊が発生したと考えられる時期については、以下のように大雑把に見積ることができる。琵琶湖湖心域の湖底堆積層中には、連続性のよい三ないし四つの顕著な音波反射面が存在し、そのうち最上位のものはアカホヤ火山灰層 Ah (6,300 yr B. P.) に対応する⁹⁾¹⁰⁾。Fig. 5 の Line 32 では、その南端部に Ah による反射面が認められる。いま T₂ においても湖盆底緩斜面とほぼ等しい堆積速度を仮定すると、S 層と Ah との堆積深度から、S 層の年代は 3,000-4,000 yr B. P. 程度と推定することができる。最近、本調査域から北へ 15 km ほど離れた高島郡今津町の縄文・弥生遺跡の発掘現場において、縄文時代晩期前半代の中期に発生したと考えられる大地震(約 3,000 yr B. P.) による噴砂跡が確認された¹¹⁾。本調査で見つかった崩落物質の地層は、上記の推定年代から判断して、この時の地震に関連づけられる可能性が考えられる。

4. 湖岸域の土層調査結果

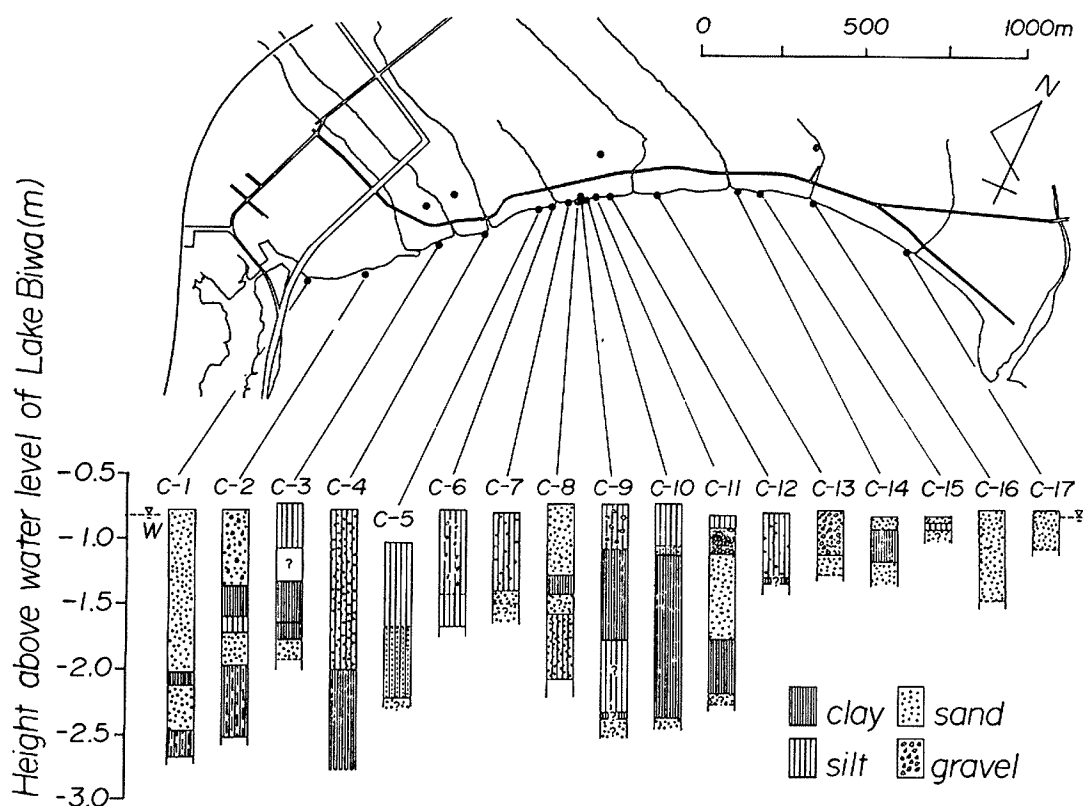


Fig. 7 The result of soil survey using a drilling stick along the shore line. The clay layer is named Layer C in this report. W: water level of Lake Biwa under the survey.

湖岸の検土杖による土層調査結果を **Fig. 7** に示す。最上部は、砂・シルト・レキを構成物とする現在の湖岸堆積物によって、厚さ 0.5 m から 1.5 m までが覆われる。C-11より西部では、その下位に茶褐色の腐植質粘土層（C層）がみられ、層中に多数の植物片を含む。C層がとくに厚いのは、C-9およびC-4付近である。C層の厚い地域がどの程度の広がりをもつかを確かめるために、まずC-9近辺の4地点で同様な

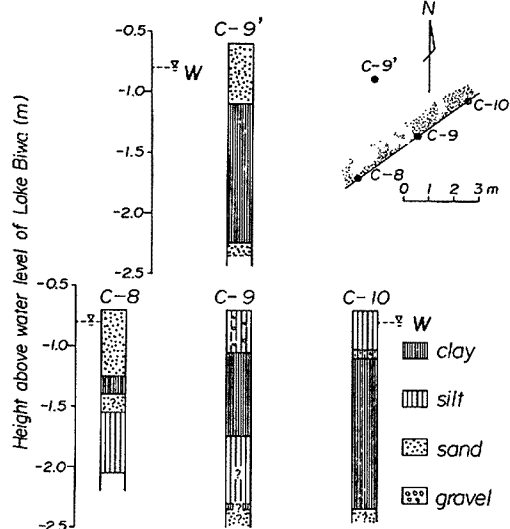


Fig. 8 The result of soil survey using a drilling stick at the portion of the thickest Layer C. For W see Fig. 7.

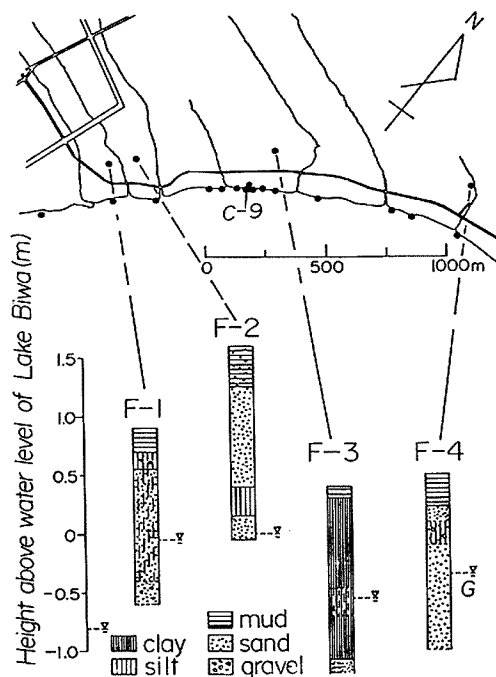


Fig. 9 The result of soil survey using a drilling stick in the farm area. Layer C is found only at the point F-3 near to the area of the thickest Layer C. G: ground water level under the survey. For W see Fig. 7.

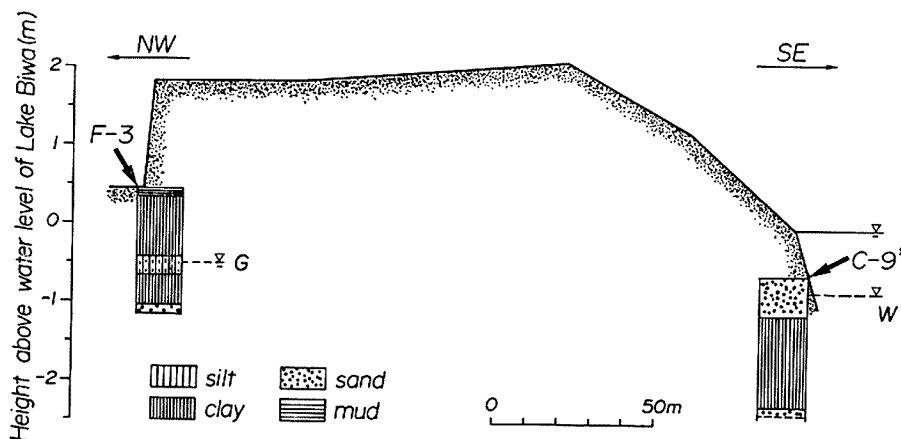


Fig. 10. Change in the height of Layer C along a line perpendicular to the shore line in the area of the thickest Layer C. For W see Fig. 7. For G see Fig. 9.

土層調査を行った（Fig. 8）。つぎに、C層のさらに陸側への広がりを調べるために、浜堤脇の低湿な田畑地においても、4地点で同様な土層調査を行った（Fig. 9）。以上の結果から、C層の厚い地域の一つが、少なくともC-9からF-3にかけて分布していることが確認できた。

C層の上限高度を湖岸沿いにみていくと、現在の平均湖水位（T.P.+84.6 m）より約 1 m ほど低く、またC層が厚いところほどそれが高いという傾向が認められる（Fig. 7）。つぎに、C層の上限高度を湖岸と田畑地とで比較すると、後者のほうが約 1.5 m 高くなっている（Fig. 10）。

以上のような特徴をもつC層の由来については、かつての水田かあるいは湿地という可能性が考えられる。もしC層がかつての水田であるならば、これは寛文2年の地震による湖岸陥没を示す証拠である可能性がきわめて高いと考えられる。C層の由来を一応湖岸陥没に起因させると、前節の湖底調査結果から推定したD層は、陥没による湖底崩壊の崩落層であると解釈することができる。なお、これらの土層の上限高度を Fig. 6 の測線X-Yに投影すると Fig. 11 のようになる。

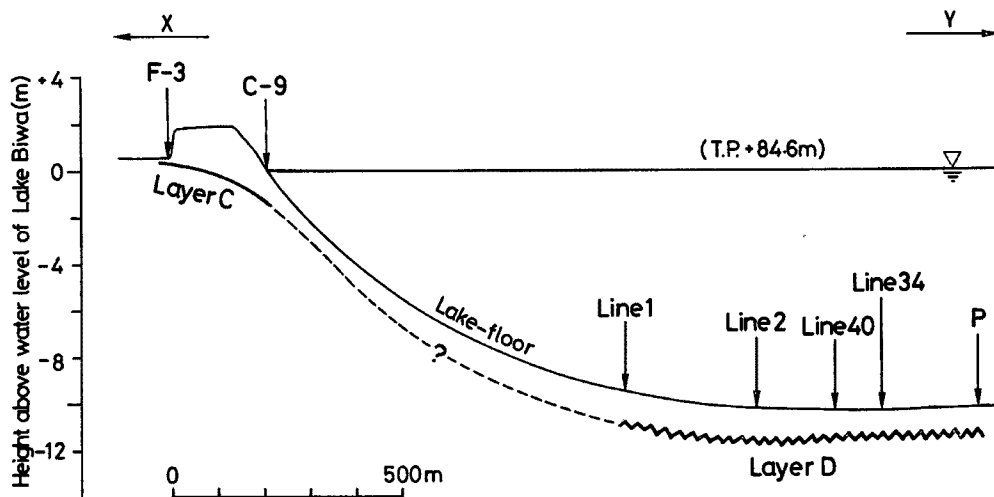


Fig. 11. Vertical section of Layers S and D along the line X-Y (see Fig. 6).

5. お わ り に

地震による湖底崩壊の証拠をより直接的に得るために、琵琶湖西岸の明神崎から鴨川河口にかけての湖底および湖岸において、湖底の音波探査および湖岸線沿いの土層調査を実施し、以下の知見を得た。

湖底調査結果からは、1)水深 15 m 以浅の湖底平坦部の陸寄りのところで、底面下 1-2 m の深度に乱された地層（D層）の分布域が確認された、2)湖底急斜面域（水深15-50 m）下部において、崩落物質からなると考えられる乱された土層が堆積層中に埋積されているのが見つかり、この土層の推定年代から、この時の湖底崩壊は縄文時代晩期に発生した大地震（約 3,000 yr B. P.）による可能性が強いと推定された、3)湖底急斜面域中・下部において、断層もしくは何らかの地質構造が推定され、その一部分は従来から推定されている断層にほぼ一致することが分かった。つぎに湖岸域の土層調査結果からは、4)暗褐色腐植質粘土層（C層）の存在が、湖岸西部域の水面下約 1 m の深度で確認され、とくにこの層が厚く分布するところでは、浜堤より陸側の低湿な農耕地からも同じ土層が見つかった、5) C層を過去の地震、たとえば寛文2年の地震による湖岸陥没に伴う水田跡であると仮定すると、湖底調査結果から推定された湖底平坦部におけるD層は、この時の崩落跡を示すと解釈することが可能である。

今後は、さらに実証的な調査・研究に基づき以上の知見や推論を発展させることが重要である。筆者らは、C層の由来に関する確かな証拠を得るために、すでに地点F-3においてトレンチカットを行っており、

さらにC層およびその上・下位層の詳細な解析とともに、C層に含まれている植物化石の分析を実施・計画中である。また本調査域付近では、これまで数カ所の遺跡発掘調査が行なわれてきたが、それらの資料との突合せも重要である。これらの研究成果については、つぎの機会に発表の予定である。

謝 辞

本研究の実施に際して、ユニブーム地層探査機の利用に積極的な御援助をいただいた京都大学理学部教授・堀江正治氏、湖岸域の土層調査結果に対して有益な御助言をいただいた大阪市立大学理学部教授・粉川昭平氏、高島町付近の古地図・遺跡等について専門的な情報を提供していただいた滋賀県教育委員会・丸山竜之氏、高島町歴史民族資料館館長・横田三千太郎氏、同学芸員・白井忠雄氏、本調査を手伝っていただいた京都大学防災研究所大学院生諸君に感謝いたします。なお本研究の一部は、文部省科学研究費：自然災害特別研究・昭和61年度研究「史料に基づく古災害の復元に関する研究」(代表者・角屋 睦, 課題番号61020023)の援助を受けて行なわれた。

参 考 文 献

- 1) 滋賀県・彦根気象台：「滋賀県災害史」地震編，滋賀県，1976.
- 2) 古川与志継：にほの浜変貌 琵琶湖水位の変動をめぐって，近江郷土史研究，1，1973，pp. 42-57.
- 3) 内藤 登：湖西の古絵図 湖岸地形の変化を見る，文化財教室シリーズ，46，(財)滋賀県文化財保護協会，1981，p. 4.
- 4) 萩原尊禮編著・藤田和夫・山本武夫・松田時彦・大長昭雄：古地震，東京大学出版会，1982，pp. 203-219.
- 5) 寒川 旭・佃 栄吉：琵琶湖西岸の活断層と寛文2年(1662年)の地震による湖岸地域の水没，地質ニュース，第390号，1987，pp. 6-12.
- 6) 奥田節夫・平野昌繁・太井子宏和・横山康二：琵琶湖西岸における過去の崩壊に関連した湖底地形調査(序報)，京都大学防災研究所年報，第29号B-1，1986，pp. 355-365.
- 7) 小谷 昌：琵琶湖の湖底地形およびその環境，琵琶湖国定公園学術調査報告書，滋賀県，1971，pp. 125-175.
- 8) 活断層研究会：日本の活断層，東京大学出版会，1980，p. 363.
- 9) 太井子宏和・井内美郎・目黒鉄雄：琵琶湖北湖湖底表層のユニブーム音波探査 堆積層の構造と顕著な音波反射面の由来，北海道大学地球物理学研究報告，第49号，1987，pp. 251-268.
- 10) 井内美郎：音探堆積速度算定法 音波探査で求めた琵琶湖の堆積速度，地球科学，41，1987，pp. 231-241.
- 11) 寒川 旭・佃 栄吉・葛原秀雄：滋賀県高島郡今津町の北仰西海道遺跡において認められた地震跡，地質ニュース，第390号，1987，pp. 13-17.