

2-6 人為的攪乱による湖底微地形および底泥堆積構造の変化

Disturbance of Micro-topography and Bottom Sediment Structure of the South Basin of Lake Biwa Affected by Human Works

Abstract

An experimental study was performed to test the disturbance of sediments by scratching for shellfish-gathering and run of boats at full speed. It has been noted by Geological Survey of Japan that paired and single lines appear on sonic side-scan records of the almost whole areas of the South Basin of Lake Biwa. As a result of this experimental study the lines were assigned as tracks of scratching for shellfish-gathering. Bottom surface of the experimental area was observed by diving also before and after the experimental scratchings and runs.

Comparative studies were made on X-ray CT scanning pictures and ordinary radiographic pictures of the cores obtained from the scratched places and the non-affected distant places in the experimental area. Depth of the scratched sediments was several centimeters from the surface. Full-speed runs of the fishing-boat did not affect the micro-topography and structure of the bottom surface.

1 はじめに

琵琶湖の、とくに南湖では、浚渫、網曳き（貝曳きその他）などによる底泥の人為的攪乱が広範に行われている。また、観光船やモーターボートの航走が、湖底に何らかの影響を与える可能性も考えられる。このような人為的攪乱の影響を評価することは、湖底での物質輸送、あるいは物質収支、ひいては環境問題、資源問題を考えるために必要である。

すでに、工業技術院地質調査所では、琵琶湖全域の湖底微地形・状況調査を行う中で、南湖底におけるこれら人為的攪乱域の分布を明らかにしている（村上・井内、1986）。

我々は、今回、このような結果をもふまえつつ、貝曳きおよび小船の疾走の湖底への影響について実験的研究を行ったので報告する。

本研究に当たっては、操船に琵琶研サービス社村上泰三氏、潜水観察、採泥にレークダイビング社大村仁氏、サイドスキャン・ソナー調査に日本海洋調査株式会社戸田雅文氏の御協力を得た。また、CTスキャン写真撮影については、株式会社東芝府中工場の御世話になった。これらの諸氏、および調査船「たかしま」の使用を許可された琵琶湖古環境実験施設堀江正治教授に厚く御礼申し上げる。

2. 実験・研究事項および機器

実験に用いた調査船は村上泰三氏所有の漁船および京都大学琵琶湖古環境実験施設の調査船「たかしま」（14トン）である。前者によって貝曳き、および航走を行い、それによる湖底状況変化を、後者から、地質調査所所有のサイドスキャン・ソナー（後述）を用いて調査した。また、潜水して攪乱前後の湖底を観察したほか、アクリル性チューブを差し込んで各種各所の底泥柱状試料を採取した。得られた試料については、X線透過写真（いわゆるレントゲン写真）、一部、CTスキャン写真を撮って柱状試料内部の構造を観察、比較検討した。後者は、医療用検査で言う”断層

撮影写真”（トモグラフィー）である（志岐ほか、1986）。

湖底調査の際の船位は、「たかしま」上から湖岸目標物を使い、六分儀により決定した。精度は誤差10m程度である。また、水深は「たかしま」にクルップ社製音響測深儀アトラスデソ20を搭載して測定した。

サイドスキャン・ソナーは、曳船式の送受波器から、進行方向に対して直角に、鋭い、扇状に広がる超音波を送信し、海（湖）底面から（散乱音の強・弱に応じた濃・淡をもったスキャンラインとして）戻ってくる反射波を航走しながら受信し、記録紙に描かせる装置である。今回の研究に用いたものは、地質調査所所有のEG&G社製SMS960であり、すでに同所によって琵琶湖全域の調査に使用されている。

3. 湖底攪乱実験

人為的攪乱による底泥のまきあげや湖底微地形の変化などを実験的に調べるためには、その場所がこれまでに人為的攪乱を蒙っていないという条件が必要である。また、水深が浅く、底質が泥であり、さらに水草が少ないことが望ましい。既存の資料と、サイドスキャン・ソナーによる予備調査結果に基づき、このような場所として南湖守山市の琵琶湖ゴルフセンター南端沖を選び、実験地とした。

まず、ここに、ほぼ東西に長さ100mの基線を取り、その両端と中央にブイを設置して、それらのブイの設置地点を、1、2、3とした（Fig. 2-6-1）。また中央のブイの直下と、そこから南北にそれぞれ約5mの点から、無攪乱の底泥のコア試料を潜水によって採取した。次に、底泥への影響をみるため、基線に沿って漁船を走らせた。その際、貝曳き基線の北側に限って行い、南側では何も付けずに船を全速疾走（約18ノット）させて、両者の影響が重ならないようにした。

このようにしたうえで、ブイをつなぐ線の両側でこれに並行して、あるいはこれを横切って、「たかしま」を走らせ、サイドスキャン・ソナー観測を実施した。また、基線両側の数地点におい

て、潜水による湖底の観察および採泥を行った。

4. サイドスキャン・ソナー観測

サイドスキャンソナーの記録によれば、貝曳き前の実験域の湖底はほぼ平坦であり、ところどころに水草が散在することが認められた (Fig. 2-6-2)。このことは、潜水調査によっても確認された。貝曳きの後は、基線の北側域にのみ、記録上に1~3筋の線状あるいは孤状の條線が現れた (Fig. 2-6-3)。一方、漁船を疾走させたのみで貝曳きを行わなかった南側域には、何の新しい筋も模様も現れなかった。この違いから、北側域に現れた條線は、貝曳きによってつけられたものと考えられる。貝曳きによる條線は、ところにより3筋ほど現れたところと、1筋も記録されなかったところがある。貝曳きが湖底を離れた場合には当然のことながら跡はつかないが、それだけでなく、船が貝曳き跡の真上または近すぎる場所を通ったため、ソナーの死角にそれが入って記録に現れなかった場合もあると思われる。

なお、貝曳き跡には、鉄道の軌道のように2條の線が組をなしで並走するものと、1條だけの場合とがある。貝曳き用の“タモ”が傾かず曳かれれば、削られた底泥が両側で盛り上がるため、線は2條になる。これに対し、タモが傾いたときには、片側だけに明暗の條線が現れることになると思われる。條線が直線状でなく孤状のときに、1條だけになる傾向があることも、この考えを支持している。

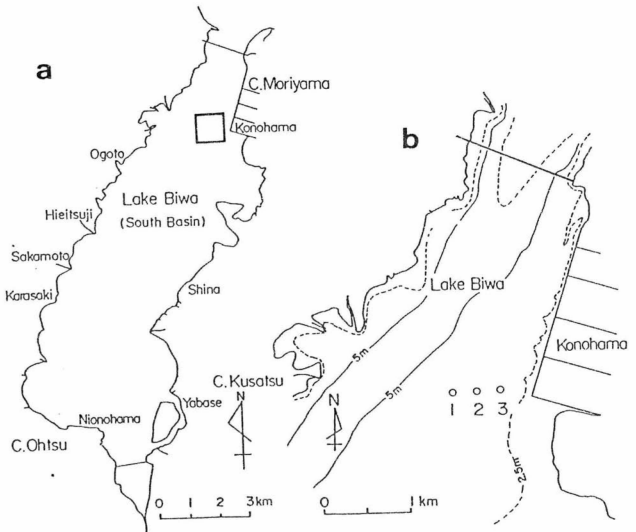


Fig. 2-6-1 琵琶湖南湖実験的研究実施域
 a : 実験実施域 (□の範囲)、
 b : 実験実施域拡大図。○1、○2、○3
 ブイ設置地点およびその番号。
 a: Experimental study area (square).
 b: Buoy stations and their numbers.

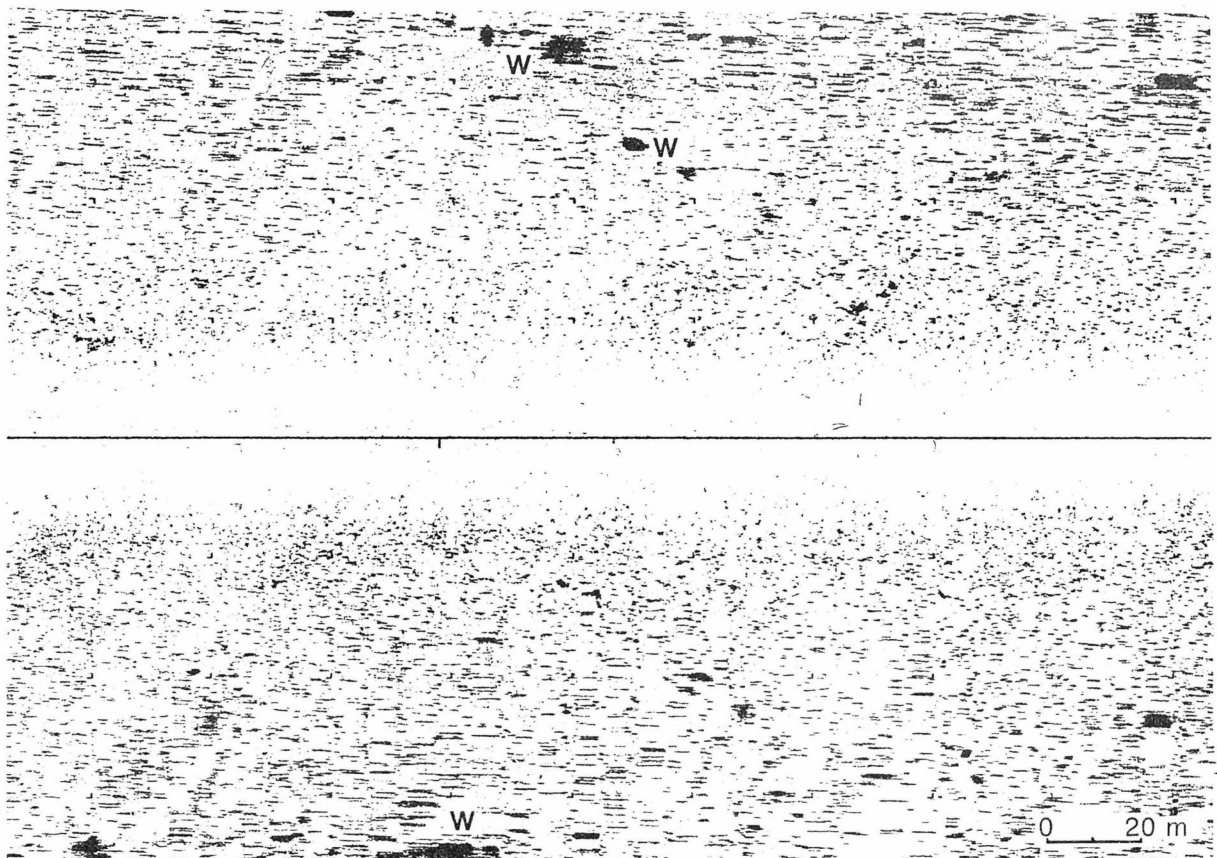


Fig. 2-6-2 実験実施前のサイドスキャン・ソナー記録。W : 水草。
 Sonic side-scan records taken before the experiment. W : water grasses.

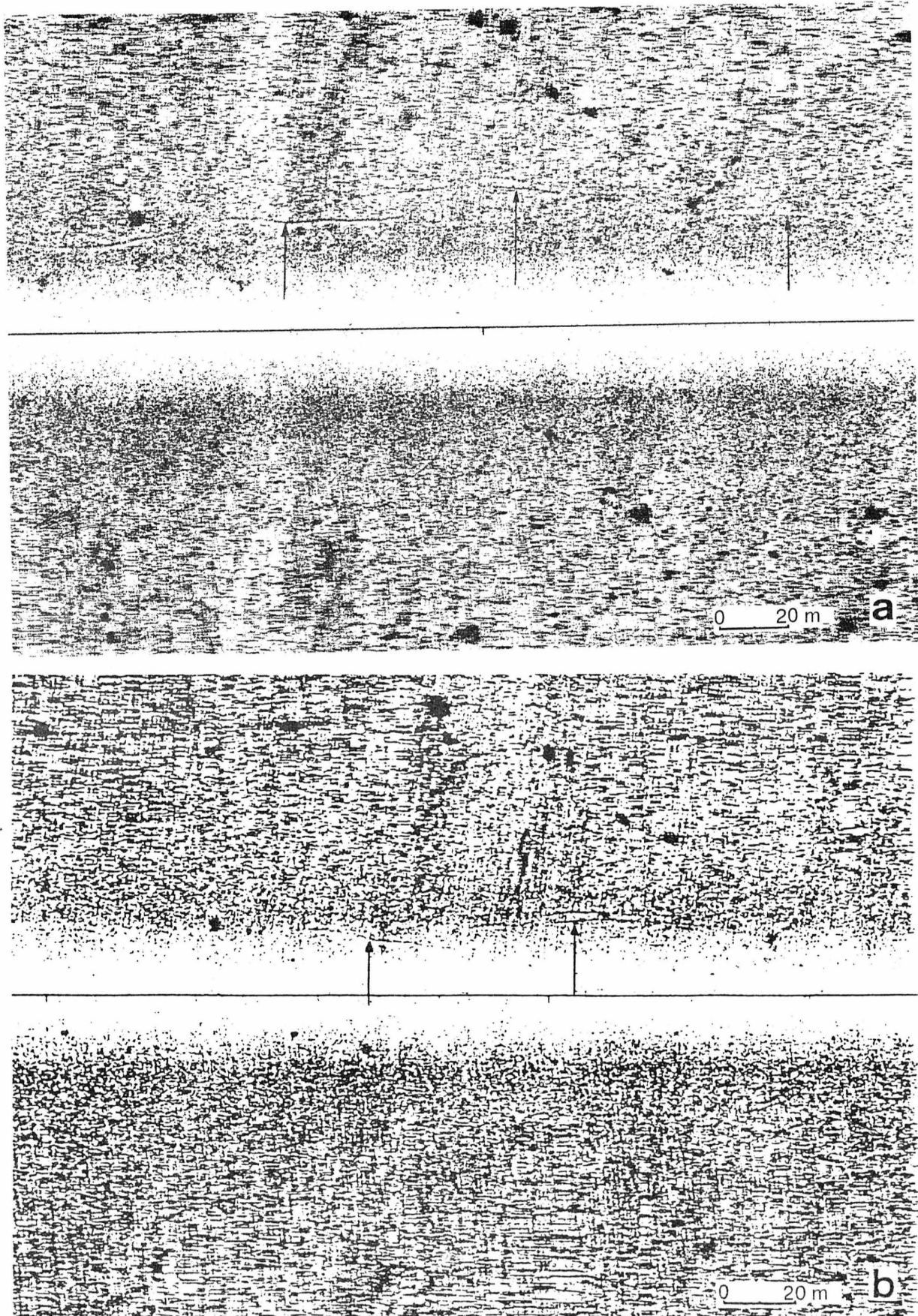


Fig. 2-6-3a,b 貝曳き実験後のサイドスキャン・ソナー記録。条線が現れている。
Sonic side-scan records taken after the line scratching for shellfish gathering. Note tracks as paired lines.

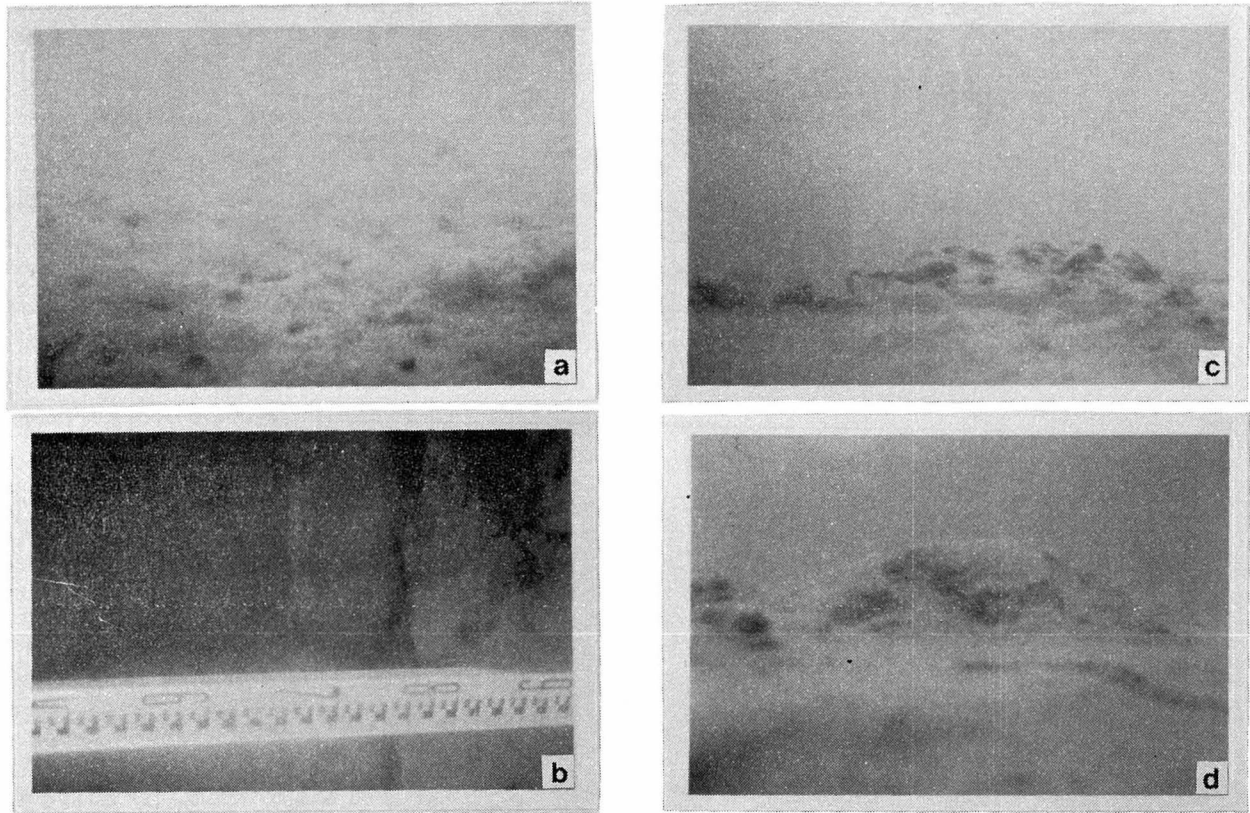


Photo. 2-6-1 湖底写真。

a : 貝曳き前の状況。

b : 貝曳き跡の微地形。上方から写す。右寄り縦につながる暗色部が貝曳きにより削られてできた壁。その右側が底泥盛り上げ部、左側が削り跡（中央縦に見える淡色部は底質の違いによるもの）

c, d : 貝曳き跡、底泥盛り上げ部。横から写す。

Photograph of the bottom.

a : Before the scratching.

b : Micro-topography on the scratch. Longitudinal dark belt: wall by scratching. Right side one fourth: piled up muds. Left side three quarters: scratched part,

c, d : Side views of the piled up muds.

以上のような、サイドスキャン・ソナーによる観測結果は、潜水による観察で、ほぼ確かめることができた。比高数cmの、長く続く土堤状や溝状の微地形が、基線の北側にだけ見出された。結局、漁船の単なる疾走だけでは、少なくともこの場所では、底泥を削って湖底の微地形を変えることはないものと思われる。

Photo. 2-6-1 (a) ~ (d) に、大村仁氏により撮られた湖底の写真を示す。そのうち(a) は貝曳き前の写真である。湖底はほぼ平坦であり、表面に巣穴のようなものが見える。懸濁物はなく、底泥表面は安定している。(b) は貝曳き跡を上方から撮ったものである。図の右側に縦に黒く見える所が貝曳きにより底泥が削られてできた壁でありそれより左側が削られてやや低くなった溝状凹部に当たる。壁の比高は肉眼観察によれば数cmである。(c)、(d) は貝曳き跡の土堤状凸部を、外側（溝状凹部の反対側）から撮ったものである。土堤状部の比高が場所によりかなり異なることがわかる。その表面の割れ目のようなものの形は、土堤状の微

地形が、ただ盛り上げられただけでなく、スキで田を耕したときのように底泥がかえされてできたものであることを思わせる。

5. CTスキャン・透過X線記録

貝曳きにより削られた溝状部、底泥の盛り上げ部、およびそれらから約1m 離れていて攪乱の影響を受けていないところ、の三つの場から、それぞれ柱状採泥を2~3本行った。

Photo. 2-6-2 (a)に上記試料についてのCT縦断スキャン写真を、また Photo. 2-6-3に透過X線縦断写真を示す。これらの図の1、2、3は Photo. 2-6-2 (c)の1、2、3とともに、それぞれ無攪乱部、盛り上げ部、溝状部からのものである。Photo. 2-6-2 (a)の1、2、3は、それぞれPhoto. 2-6-3の1、2、3と同一の柱状試料の写真である。なお、試料はいずれも周縁部を切り落としてヨーカン型に整形してある。どの図においても、無攪乱部から採られた試料(1)では、表層部7~8

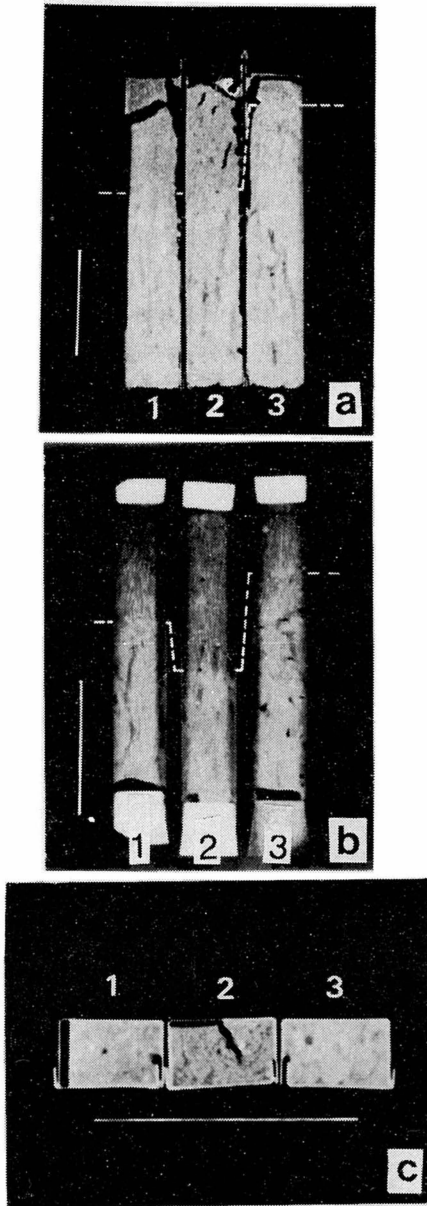


Photo. 2-6-2 貝曳き跡の柱状採泥試料。スケール 10cm
 a : CT縦断写真。1. 貝曳きの影響のないところ 2. 盛り上げ部 3. 削り込み部
 b : 別試料のCT縦断写真。1、2、3 はaと同じ。
 c : aと同一試料を湖底面より8cmの位置で切ったCT横断写真。1、2、3 はa、と同じ。

Inner structure of cores obtained after the scratching experiment. Scale: 10cm.

- a: CT scanning picture, vertical section
 1: piled up part 2: non-affected part
 3: scratched part
 b: Vertical CT scanning picture (an another core) 1, 2, 3: as above (a)
 c: CT scanning picture of the same sample with (a), horizontal section 8 cm below the bottom surface. 1, 2, 3: as above (a)

cmでX線の透過がよく、そこでは続成がほとんど進んでいないことを示すと思われる。それより下位の、柱状試料の下底までは、層理や葉理が見られないという意味では均質な堆積物であるが、成因不明の、垂直方向に延びる筋状ないし縞状の模様が発達している。試料整形の際の引きずり跡ではないことは、縦断写真で暗い筋に見えるところが、横断CTスキャンでは円形の暗色部をなして見えること (Photo. 2-6-2 (c)) から明らかである。生痕であるかも知れないが当面判断を差しひかえたい。同様の上下の2層構造は、今回採取されたすべての無攪乱試料に共通しており、表層 (続成のほとんど進んでいない部分-低密度) の厚さも変わらない。採取柱状試料に同様な2層が見られること自体は、貝曳きによって削られて溝となった部分でも、盛り上げにより凸部となったところでも変わらない。しかし、"表層"の厚さには変化がある。Photo. 2-6-2 (a)、Photo. 2-6-3の例について見れば、削られて溝となったところの試料では、低密度部の厚さが他の試料にくらべて約5~6cm薄い。また、Photo. 2-6-2 (b)の例では、柱状試料による"表層"の厚さの違いは約3~7cmである。これらの値は、潜水によって観測された溝の深さ、あるいは凸部の高さとよく合っている。この点から見て、柱状試料の"表層"の厚さの違いは貝曳きによる削り取り、あるいは盛り上げの結果であることが確かである。言いかえれば、貝曳きによる底泥の攪乱は、その表層数cmを削っているだけで、それより下位のやや続成の進んだ部分には及んでいない。

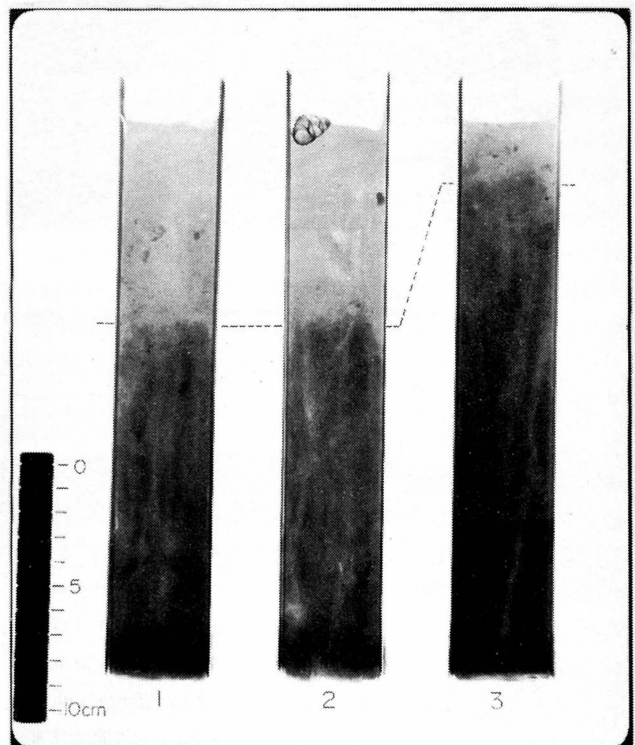


Photo. 2-6-3 透過X線写真。Photo. 2-6-2 a、c と同一試料。ただし裏側より撮影。1、2、3はPhoto. 2-6-2と同様。

Radiographic picture of the same core with Photo. 2-6-2 a, c (taken from the opposite side).

なお、先に、漁船の疾走による底泥の攪乱や微地形変化は認められなかったことを述べたが、上述のX線による構造の観察結果を考え合わせると、“表層”の続成をほとんど受けていない部分さえも攪乱されなかったことになると考えられる。

6. 人為的攪乱量の評価

今回の実験的研究によって、貝曳きによる底泥の削り取りと盛り上げがそれぞれ数cm程度であること、および、漁船の疾走によって底泥は攪乱されないことが、明らかとなった。この結果から考えれば、モーターボートの疾走による底質の攪乱も、ほとんどないと思われる。ただし、より水深の浅い場所を走った場合とか、より大きな船舶、たとえば観光船が比較的高速で航走した場合とかに底質への影響があることは考えられる。この点は今後の検討課題である。

次に、上述のような人為的攪乱が、琵琶湖全体として、量的にどの程度のものであるかの検討を試みる。

はじめに述べたとおり、浚渫や底曳網（貝曳きを含む）による南湖の底質の攪乱域は、地質調査所によるサイドスキャン・ソナー

調査によりほぼ明らかにされている。また、音響測深器による連続測深記録から、攪乱により生じた凹凸の比高を読み取ることができる（村上・井内、1986）。

これらの結果によれば、浚渫跡は守山市木浜町沖合い、草津市下寺町から志那沖合いその他に分布する。深度の浅いもの、深いものなどさまざまであり、矢橋町西方のものなどは、比高10~11mに及ぶ。一方、網曳き跡は、南湖全域に広く分布しており、とくに雄琴沖より大津沖、草津沖にかけては、べた一面に重なりあってつけられているように見える（Fig. 2-6-4）。また、雄琴沖、坂本比叡沖、唐崎沖、大津におの浜沖などには、径40~60mの円形の網曳跡と思われる筋が発達している。その他、草津市沖や守山市沖には北北東-南南西に延びる線上の凸地形や凹地形が見られる。

浚渫による土砂の採取量については他に資料があると思われるので、ここでは主に貝曳きその他の網曳きによる底泥の攪乱について検討しよう。前記連続測深記録から読み取られる貝曳跡の凹凸の比高は、数cm~数十cmである。この比高は今回の実験貝曳き跡についての潜水観察や試料のX線の観察結果とオーダーとして

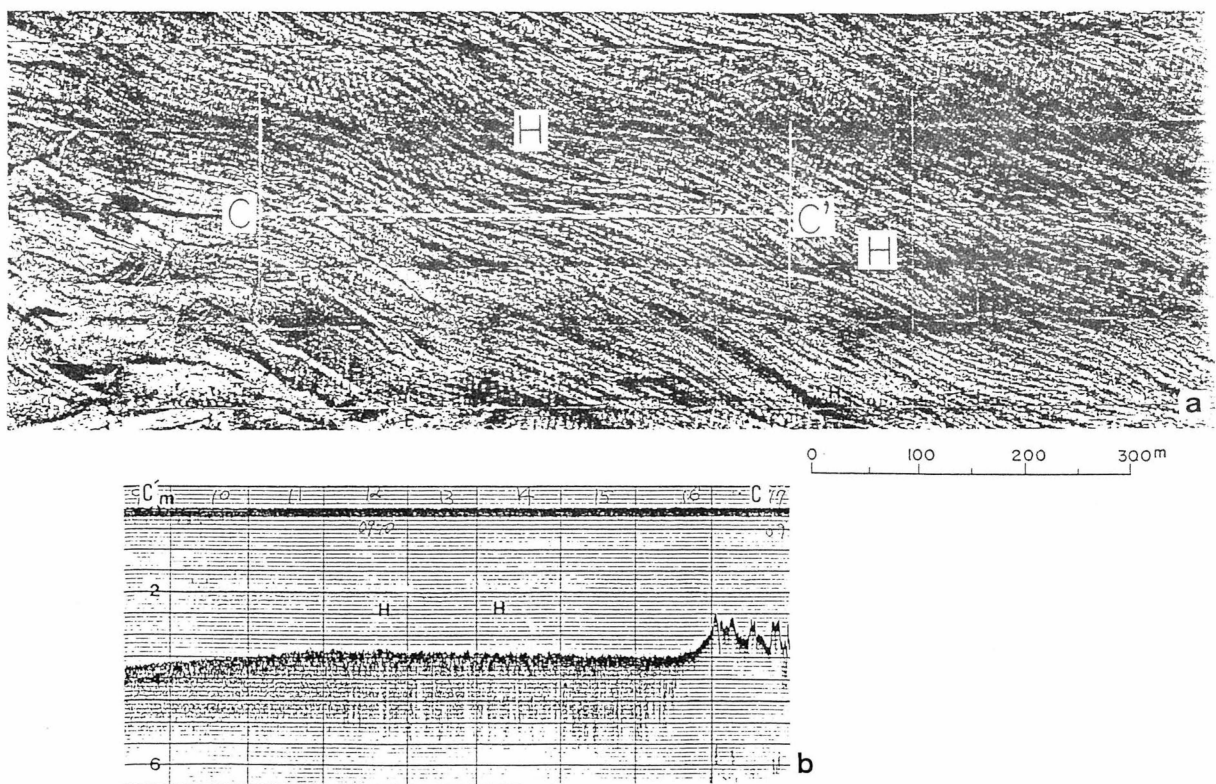


Fig. 2-6-4 琵琶湖西岸網曳き（貝曳き）跡密集状況。村上・井内（1986）より。

a：サイドスキャン・ソナー記録 H：貝曳き跡

c-c'：Fig. 2-6-4b 断面線。

b：a 図 c-c'を通る音響測深記録

貝曳きによる微凹凸が見られる。（a 図と左右反対）

Very dense accumulation of tracks by scratching for shellfish gathering. (From Murakami and Inouchi, 1986)

a: Sonic side-scan record H: accumulation of tracks c-c': section for Fig. 2-6-4b

b: Sonic sounding record

は異なるが、やや大きい(1~2倍)ように思われる。一方、雄琴沖、大津沖などのサイドスキャン・ソナー観測により求められる網曳跡の分布する面積は、琵琶湖南湖の面積にほぼ近いとすれば、約58km²であると見なされる。これらの数値の積を求めても、それだけでは直ちに網曳きによる攪乱量を算出したことにはならないだろう。網曳跡には削られた部分と底泥が盛り上げられた部分とがあり、また他方では何回も繰り返して攪乱されたところがあるからである。しかし、これら2者の効果が相殺していると考えれば、オーダとしては上記積の値10⁷ m³が、琵琶湖南湖における網曳きによる攪乱の総量としてよいものと考えられる。

問題はこの攪乱が、何年間のものであるかであるが、これがなかなか難問である。

南湖西岸よりの網曳き跡密集地から採取した柱状試料をCTスキャンで観察すると、天端(湖底面)より下へ12~13cmの範囲に3ないし4組の明暗の縞が見られる(Photo. 2-6-4)。もしその1組の縞が1回の攪乱の後の堆積粒子の沈降速度の違いによる粗粒から細粒への級化構造であるとすれば、3~4組の縞の存在はそれだけの回数の底泥のまき上げ、再堆積を示すとも考えられる。しかし、ここでも同一底泥の何回ものまき上げをも考慮しなければならず、簡単には結論を下すことができない。一方、文献、あるいは聞き取り調査によって、琵琶湖における貝曳きその他の網曳きが何時頃から行われてきたか、何時頃まで行われていたかの検討も試みたが、地区によって非常な違いがあり、簡単ではない。淡水真珠の貝曳きは近年ほとんど行われていないが、他の網曳きは(例えばシジミ取り)今も行われているとのことである。この点では、どの貝曳き跡が何時頃つけられたものであるとか、削られてからどのぐらい時間がたてば、どのぐらい攪乱されにくくなる

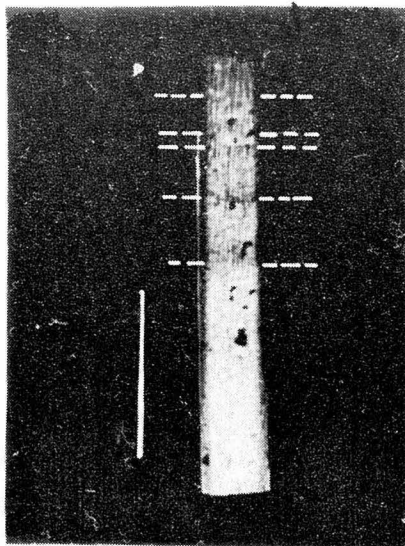


Photo. 2-6-4 琵琶湖西岸網曳き跡密集地からの柱状採泥試料CTスキャン写真。スケール：10cm。
CT scanning picture of a core obtained from a very densely scratched area in the western part of the South Basin.
Scale: 10cm.

といった検討も、今のところ困難である。底泥の年代決定その他を含めた、より詳しい調査・研究が必要である。

7. おわりに

今回の調査により、琵琶湖南湖に無数に見られる條線模様の少なくとも一部(おそらく大部分)が、1條の線からなるものも、2條の並行な線が組をなすものも、貝曳きによってつけられたものであることを確認することができた。また、底泥の柱状試料のX線構造写真やCTスキャン写真による観察から、貝曳きによって削られる部分が、続成のほとんど行われていない底質最表層の数cmに限られることがわかった。

小船舶の単なる疾走によっては、底泥の攪乱は起こらないようである。しかし、より大きな舟が、より浅い所を航走した場合についてはどうかなど、問題は残っている。

人為的攪乱の時空的拡がりについては、資料の不足もあり、今回の研究では解明に至らなかった。今後、底泥を攪乱する人為的要因の種類と攪乱跡との対応関係を一層詳細に確認するとともに、それぞれの跡が、その後の人為的、自然的影響の下で、どのように、何時まで残るものかを知ることが必要であろう。このことと、歴史的資料の検討とを結び合わせる事が出来れば、例えば、南湖のかなり広い部分にべた一面に発達する網曳き跡が何時から何時までの間に形成されたものであるかを明らかにし、その物質輸送にかかわる意義を論ずることが可能になると思われる。

摘 要

琵琶湖南湖における網曳き、ボート疾走などの湖底堆積物への影響を調べるために実験的研究を行った。東岸近くの一部を除く南湖のほぼ全域においてサイドスキャン・ソナー記録に現れる無数の條線は、貝曳きによるものであることが確認された。潜水による湖底観察、柱状採泥試料のCTスキャン写真や透過X線写真の撮影などの結果、貝曳きによる底泥の削りとり側方への盛り上げは、続成の進んでいない最表層(数~10数cm)のうち数cmに限られることがわかった。ボートの疾走だけでは湖底底泥を攪乱しなかった。

文 献

- 村上文敏・井内美郎(1986)：琵琶湖南部湖底状況図(その1、その2)。工業技術院地質調査所。
志岐常正・徐 垣・谷本喜哲(1986)：堆積物試料のCTスキャン観察について-2、3の例。堆積学研究会報、24：27-30。

著 者

- 志 岐 常 正 : Tsunemasa SHIKI
奥 田 節 夫 : Setsuo OKUDA
横 山 康 二 : Koji YOKOYAMA
太 井 子 宏 和 : Hirokazu TAISHI
井 内 美 郎 : Yoshiro INOUCHI