

湖沼堆積物の調査技術に関する研究

昭和57年度調査研究報告

井内美郎 (海洋地質部)・湖沼堆積物研究グループ*
Yoshio INOUCHI

1. はじめに

昭和56年度からスタートした 国立機関公害防止等試験研究の「湖沼堆積物の調査技術に関する研究」は3年計画の第2年度を終了しようとしている。

昨年度の調査研究では 湖底堆積物の採取技術を確立し 採取した試料の中に堆積年代を示す恰好の火山灰層を3枚発見した。そしてその火山灰層を基準にして各湖水域における過去約200年間の堆積物層厚分布を求めた。さらにその結果を用いて堆積物の濃集域の図示や「ヘドロ量」の試算などを行った(井内 1982)。

本年度は霞ヶ浦の環境変遷史をその誕生時にまでさかのぼって明らかにするために 完新統(沖積層)のオールコアボーリングを湖内の5地点で実施した。また湖底環境区分図作成の基礎となる湖底微地形探査や 全湖水域を1km²毎に1点の割合でカバーする採泥調査を完了した(7月中旬に開始した野外調査研究は 10月上旬までの約70日間に及んだ)。

そして これらの調査研究と併行して昨年度採取した試料の分析も行い 流入物質の移動・堆積に関する仮説的モデルを設定した。

今回はこれらの調査研究の内容と得られた成果の主なものについて紹介する。

2. 研究の目的

本研究の目的は 水質汚濁の一要因である底質汚染について そのメカニズム解明をはかるため 湖沼堆積物の調査研究手法を確立することにある。そしてその研究のモデルフィールドを霞ヶ浦に設定している。

昨年度の調査研究では 湖沼堆積物の「静」的な実態把握 つまり様々な性状を示す湖底堆積物の採取技術及び様々な底質の水平分布を明らかにする手法を確立した。しかしながら底質汚染のメカニズムを解明する手法 つまり「動」的な実態把握を行う手法は未だ確立されていない状況である。

そこで今年度は水理環境の変化とそれに対応する霞ヶ浦の底質の変化に焦点をあて研究を行うことにした。

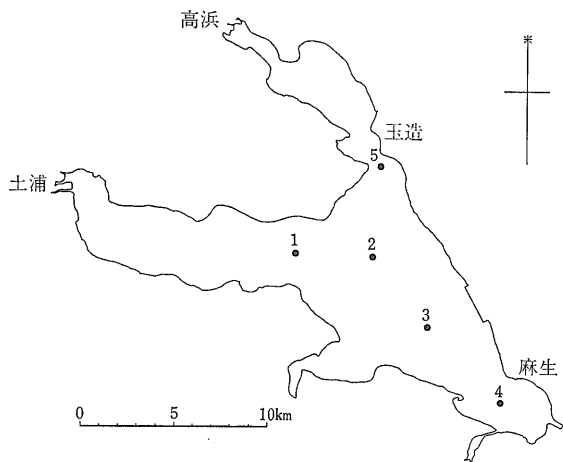
第1表 調査項目

ボーリング
●トランシット法によるボーリング地点決定
●青木式コア回収装置を使ったオールコアボーリング
音波探査
●電波(トリスポンダー)による船位測定
●新型サイドスキャンソナー-SMS960型による湖底微地形探査
●精密水深測定機アトラスデソ20による湖底地形・堆積層探査
採泥
●平板及び光波測距儀による船位測定
●打ち込み式採泥器(1m)による採泥
●エクマンバージによる採泥

第2表 調査員及び作業分担

ボーリング
井内美郎 現場・室内(軟X線写真撮影)
大嶋和雄 現場・室内(貝類同定)
斎藤文紀 現場・室内(火山灰同定・含水比測定)
横田節哉 室内(化学分析)
小野寺公児 ボーリング地点決定
橋本知昌 //
渡辺和明 //
斎藤英二 //
宮崎純一 //
羽坂俊一 //
青木市太郎 ボーリング試料回収装置試作
音波探査
木下泰正 湖底微地形探査
村上文敏 湖底地形・堆積層探査
採泥
井内美郎 総括・堆積
小野寺公児 撮影・記録
横田節哉 堆積・化学分析
斎藤文紀 堆積・火山灰同定・含水比測定
木下泰正 堆積
大嶋和雄 堆積・貝類同定
青木市太郎 調査機器調整
斎藤英二 船位決定
宮崎純一 //
羽坂俊一 //

* 大嶋和雄・小野寺公児・横田節哉・木下泰正・村上文敏・斎藤文紀(海洋地質部)
青木市太郎・橋本知昌・斎藤英二・渡辺和明・宮崎純一・羽坂俊一(技術部)



第1図 ボーリング地点図
数字は地点番号 (斎藤英二原図)

3. 調査の概要

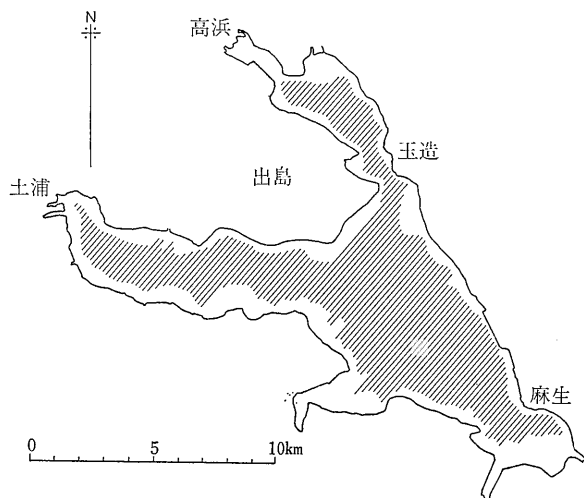
調査項目を第1表に 作業分担を第2表に示す。

霞ヶ浦の環境変化の歴史は湖底堆積物に順序正しく記録されている。霞ヶ浦の水理環境の変化と底質の変化との対応関係を湖の誕生 (およそ1万年前) にさかのぼって明らかにするために 湖内の5地点で完新統の基底に達するオールコアボーリングを実施した (第1図)。

掘削深度は第3表に示す通りである。

作業には砂利運搬用に使用する双胴型の台船を用い 昨年度採泥作業に用船した第1 幸栄丸を連絡用の通船とした。作業は京浜調査工事株式会社が実施した。

湖底堆積物に残された最近の湖沼環境の記録は 主と



第2図 サイドスキャンソナー及びアトラスデソ20探査域
斜線の部分が探査域

第3表 ボーリング深度

No.	位置	掘削深度(m)	コア数量
1	土浦入	28.54	12
2	湖心	39.71	20
3	浮島沖	41.75	24
4	麻生沖	47.78	52
5	玉造沖	29.98	24
合計		187.76	132

して明治時代以降の湖内の生産活動で乱されている場合があることが最近の音波探査の結果判明している (木下ほか 1981)。その主なものは トロールなどの漁労作業・砂利採取・ヘドロの浚渫などである。過去の情報を正しく堆積物から読みとるためには これらの人為的な活動の影響の度合を正確に評価する必要がある。

霞ヶ浦ではサイドスキャンソナーを用いることによって トロール漁の跡や笹浸しなどの漁具・砂利採取跡などが識別されており (地質ニュース320号参照) それらの分布範囲も明らかにできる。本年度も昨年度と同様に水郷汽船所属のふりっば一号を用船し 新型サイドスキャンソナー SMS 960 型を用いて湖底微地形探査を アトラスデソ20を用いて堆積層探査を行った。調査は9月13日から27日までの15日間で昨年度の調査域と合わせて探査可能な水域をすべてカバーした (第2図)。

湖沼の実態を簡単に統計的に把握するには格子状の調査測点を設けると便利である。昨年度の採泥作業では調査船の吃水深度の関係から水深2メートル以下の湖水域で採泥を行わなかった。本年度は主としてこの残った水域で採泥を行い 主として砂質の堆積物を採取した。その結果霞ヶ浦で 1km 毎の格子状に採取した地点の数は合計 155 点に達した (第3図)。

4. 調査研究方法

ボーリング位置決定：ボーリング調査の準備は調査予定地点の選定及び標識の設置からはじまった。霞ヶ浦の完新統の層厚は最大で40~50メートルであることが運輸省港湾技術研究所の資料 (藤下ほか 1967) などで判明している。霞ヶ浦には後氷期の海進に伴って侵入した海水面に堆積した泥が分布しており より深い所の試料ほど長い歴史が記録されていることになる。それゆえボーリング地点は昔の谷筋をねらうことにしたが 昔の谷筋ではあっても下流側の麻生の沖では堆積物は砂質となり 環境の復元は困難になる。そこでできるだけ長い柱状試料が得られ しかも堆積物が泥質であると考え

られる地点を第1候補とし 環境復元に適した5地点をボーリング地点として選定した。これには前述の資料(藤下ほか 1967)が大いに役立った。

次にボーリング地点への標識の設置であるが これにはトランシットとトランシーバーを用いて船を誘導する方法を用いた。これは標識を載せた船をトランシットで一定方向に誘導しながら 別の地点から投入予定点をトランシットでのぞいておき その点に達した時標識を投入するものである。標識にはブイに旗をおおくりつけロープとチェーンで錨につないだものを用いた。しかしながら一昨年の調査時の様にブイは流されてしまう可能性がある。

そこでブイに近い所に竹ザオを湖底にさしておくことにした。水深を考慮して約7メートルの長さの竹ザオを2人がかりで押し込むと 竹ザオは簡単に泥の中にささった。湖面上には多数の竹ザオがあるため 竹ザオには赤と白の布でできた旗を念のためつけておいた。

ボーリング: ボーリング用の機械や資材は双胴型の台船に積み込み 第1幸栄丸で現場に曳航した。台船の四隅からそれぞれ約50メートル離れた所に約200kgのアンカーを配置しワイヤーとウインチで台船を固定した。

コア採取には青木式の試料防失装置を使ったコア回収装置を用い その中には昨年度の採泥の際に用いたインターチューブを装てんした。またこのコア採取作業はほとんど押し込みで行い 泥炭層や砂層・礫層の場合に

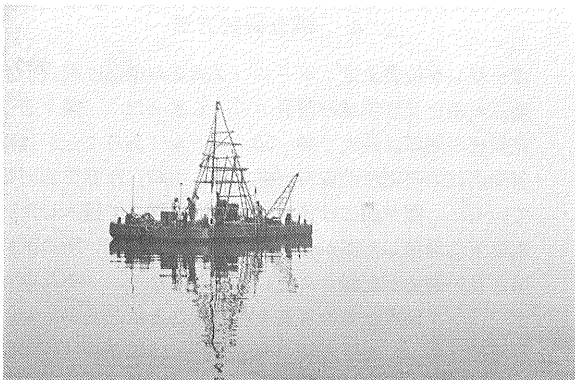
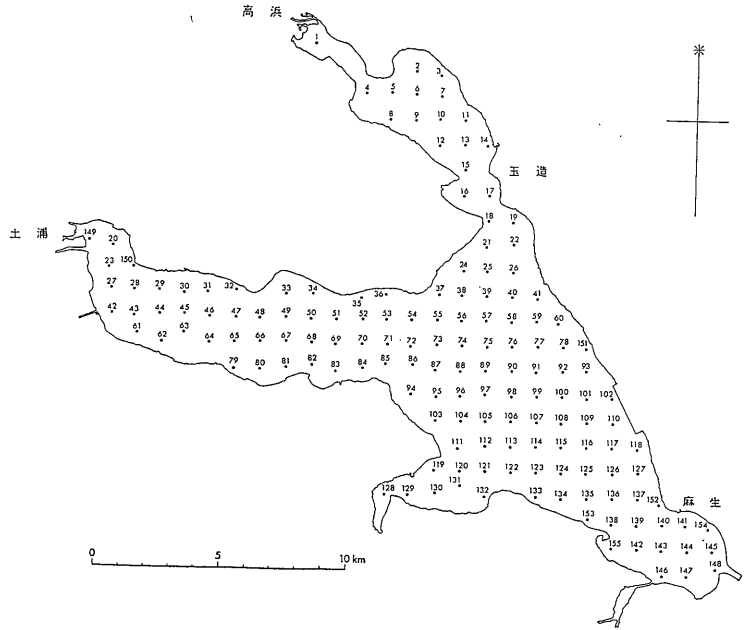


写真1 ボーリング台船と水質監視塔(うしろ)
湖心のボーリング地点(No.2)での作業



第3図 採泥点分布図
数字は地点番号(斎藤英二・渡辺和明・羽坂俊一・宮崎純一原図)

限って回転させながら押し込んだ。

ボーリングコアの回収時には毎回回収率を確認し 貫入長の95パーセントを下回った場合には湖底面から掘り直した(砂の場合は60パーセント)。採取した試料は1メートル毎に切ってアクリル製のキャップをかぶせ ビニールテープをまいて乾燥を防いだ後 コア箱に入れた。コアキャッチャーの部分はビニール袋に天地を書き込み

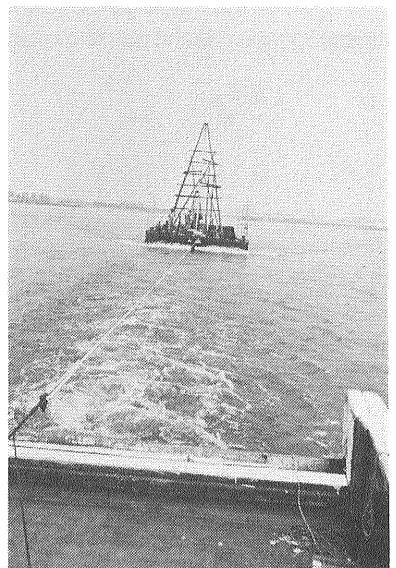


写真2 ボーリング台船の移動
台船は第1幸栄丸で曳航した

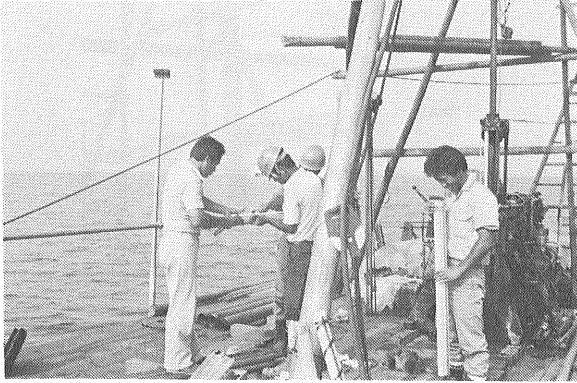


写真3 インナーチューブの組み立て
インナーチューブのゆがみをチェックし ビニールテープで接着する

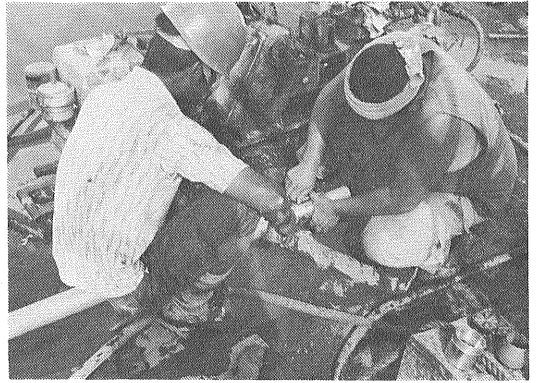


写真4 採泥器の組み立て
右下に分解したコアキャッチャーがみえる

雨といの中に入れて持ち運んだ。

採取した試料には 外側に天地と採取深度を書き 毎日作業終了後に筑波の庁舎にもち帰った。

室内分析：庁舎では原則として前日の作業で採取した試料について処理をした。その内容は 断面記載 含水比測定 軟X線写真撮影・化学分析・粒度分析用試料作成および堆積残留磁気測定用試料作成である。室内作業には常時4～5人が必要であった。実際には土曜日・日曜日の採取試料が月曜日に処理しきれず残ってしまった事も多く 柱状試料の処理は9月中旬頃までかかった。

音波探査：本年度は昨年度の未調査域を中心として西浦全域の湖底微地形探査を行った。船位測定には電波測位を用い 音波探査には新型サイドスキャンソナーSMS 960型 及びアトラスデソ20を使用した。調査基地は麻生町に置いた。

採泥：水郷汽船株式会社所有の筏を第1水郷丸で曳航し

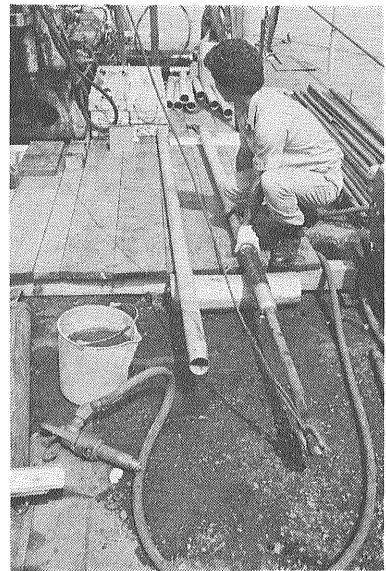


写真5 投入前の試料採取装置
回収コア長約2メートルの採泥器
左側は長さ3メートルのパイプ

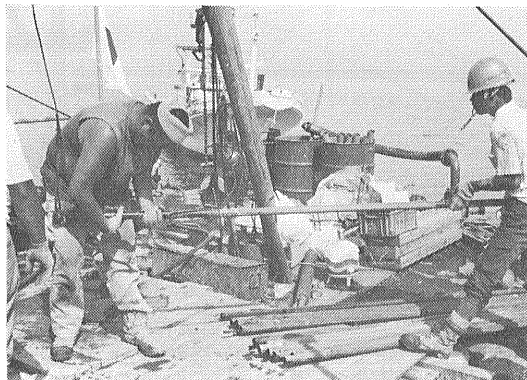


写真6 ロッドの組み立て
長さ3メートルのロッドをつるすために金具に連結する

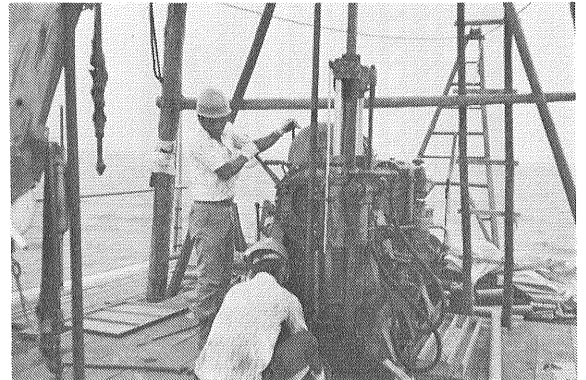


写真7 ロッドの降下(1)
ロッドは1本ずつ連結しておろしていく

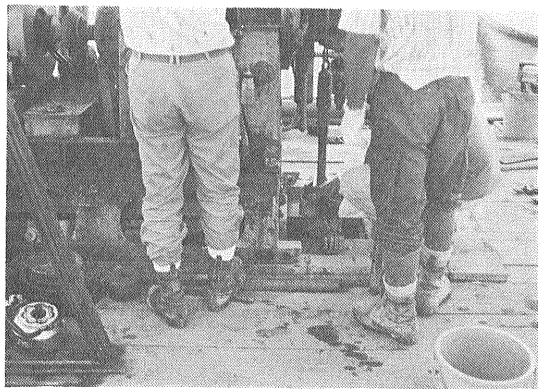


写真8 ロッドの降下(2)
ロッドをはさんで固定した後 その上に新しい
ロッドを連結する

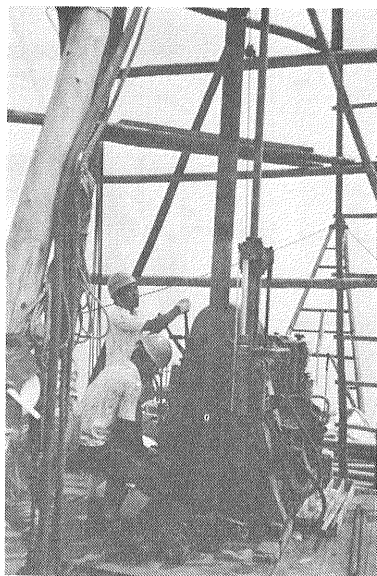


写真9 ケーシングの降下
コア壁の崩れを防ぐために コア回
収後の孔に押入れる

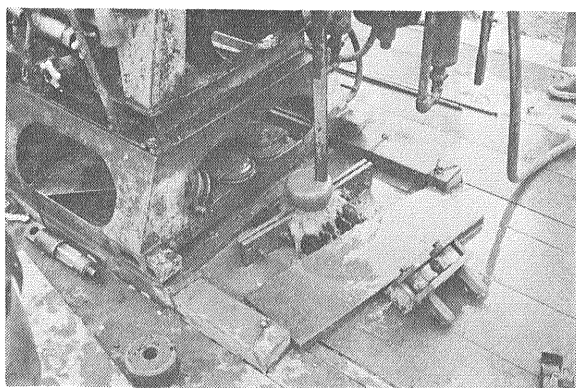


写真10 コア壁の水洗い
ケーシング中のスライムを洗い流す

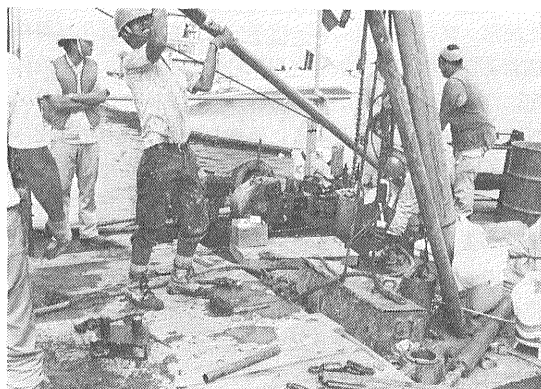


写真11 ボーリング試料採取装置の回収

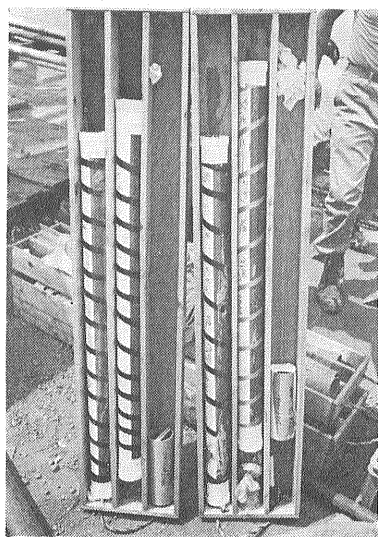


写真12 試料箱に入ったボーリング試料
回収した試料は1メートル毎に切
ってコア箱に入れる

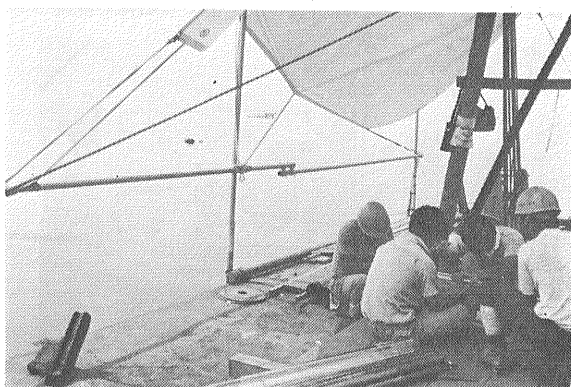


写真13 昼食の休憩
暑く風のない昼間にはシートを張って休憩する

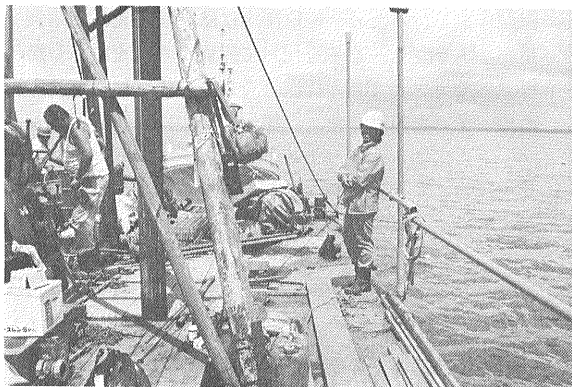


写真14 強い日ざしの下でのボーリング作業
ボーリング作業に協力してくれた高松君



写真15 見学者の訪門
土浦港から約1時間 船にゆられて現場に到着する



写真16 庁舎の実験室に持ち帰ったボーリング試料
試料のまわりの黒いテープは圧密開放による膨張防止用 白いテープはインナーチューブの接着用とキャップ止め用

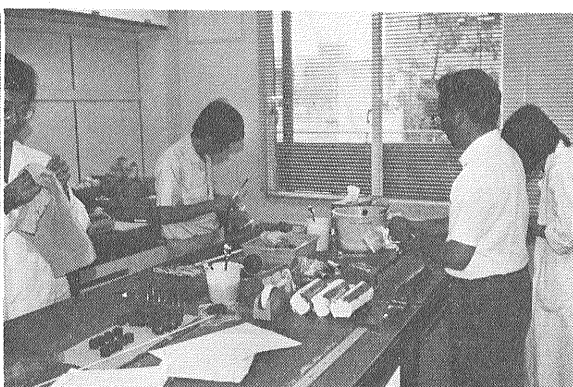


写真17 ボーリング試料の処理作業
室内にもち帰った試料は断面記載・軟X線写真撮影用試料作成・化学分析用試料作成・粒度分析用試料作成・堆積残留磁気測定用試料作成などの作業を経る

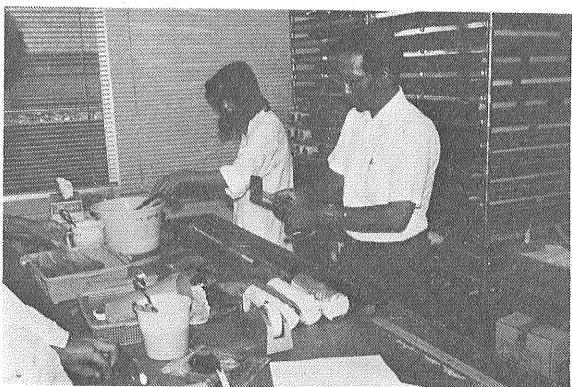


写真18 軟X線写真撮影用の試料作成
試料を25センチのケースに入れ軟X線写真撮影用の形に整える

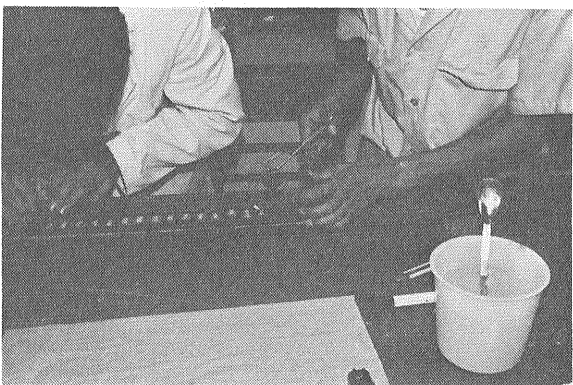


写真19 堆積残留磁気測定用のサンプリングー1
1辺2.5センチのサイコロ状のケースを上から押し込む

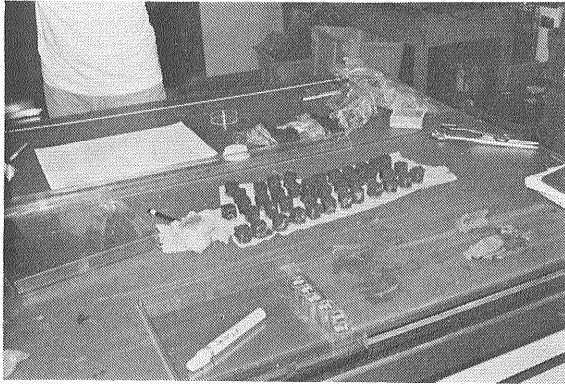


写真20 同上
ケースをとりだしたところ

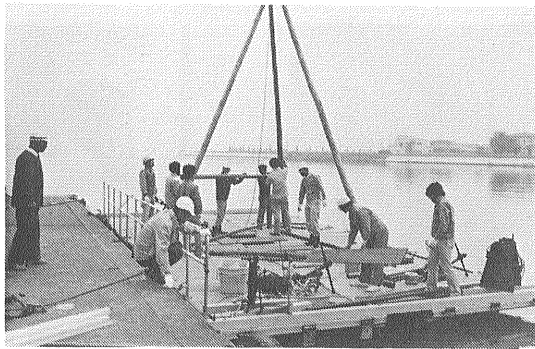


写真21 採泥作業用の筏の機装-1
筏の上に三脚の柱を固定する

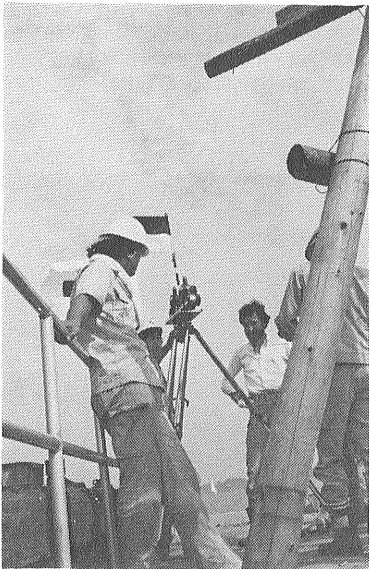


写真23 光波測距儀の反射鏡
陸上から光波を發し プリズムを
使った鏡で光を反射させ距離を測
定する
旗の下にあるのが反射鏡

採泥作業を行った。船位測定には平板と光波測距儀を用い トランシーバーを使って陸側から船を誘導した。採泥にはコア長 1m の採泥管を用い それに打ち込み用の鉄パイプを連結した。採泥管の中には長さ25センチメートルに切ったインナーチューブを4個ビニールテープで接着したものを装着した。打ち込みが不可能な地点ではエクマンバージを用いて採泥した。

5. 主な成果

以下では本年度の研究の結果明らかになった事項について代表的なものを紹介する。

堆積物層厚分布：浅間A (1783年噴出)を基準にした最近約200年間の堆積物層厚分布図は昨年度の報告(井内 1982)ですでに示した。しかし浅水域での採取試料がなかったため また湖底地形を考慮に入れてなかったため 堆積物の全体的な様子を知るには少々不満が残っていた。本年度は新たに浅い水域にも採泥点を配置したので堆積

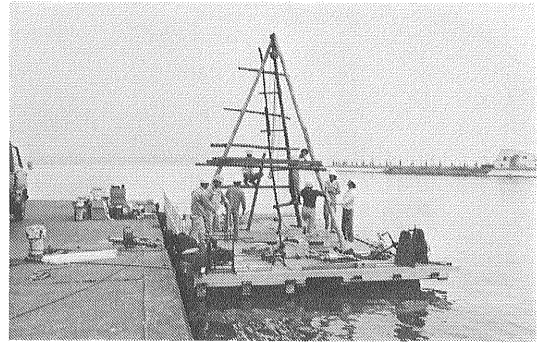


写真22 同上
三脚にはしごを取り付けヤグラを作る



写真24 出発に先立って御祓を受ける
これも毎年恒例の儀式になった



写真25 第1水郷丸で筏を曳航する筏と第1水郷丸の間の連絡も陸上と同じくトランシーバーを使った

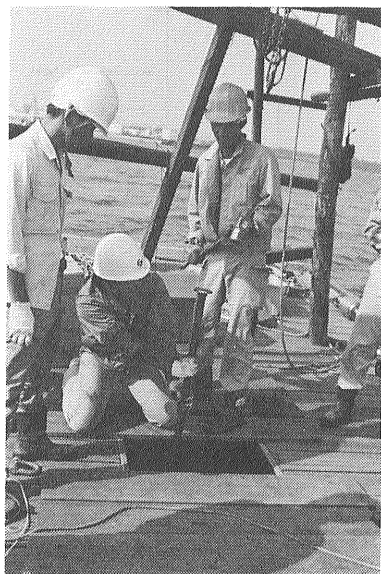
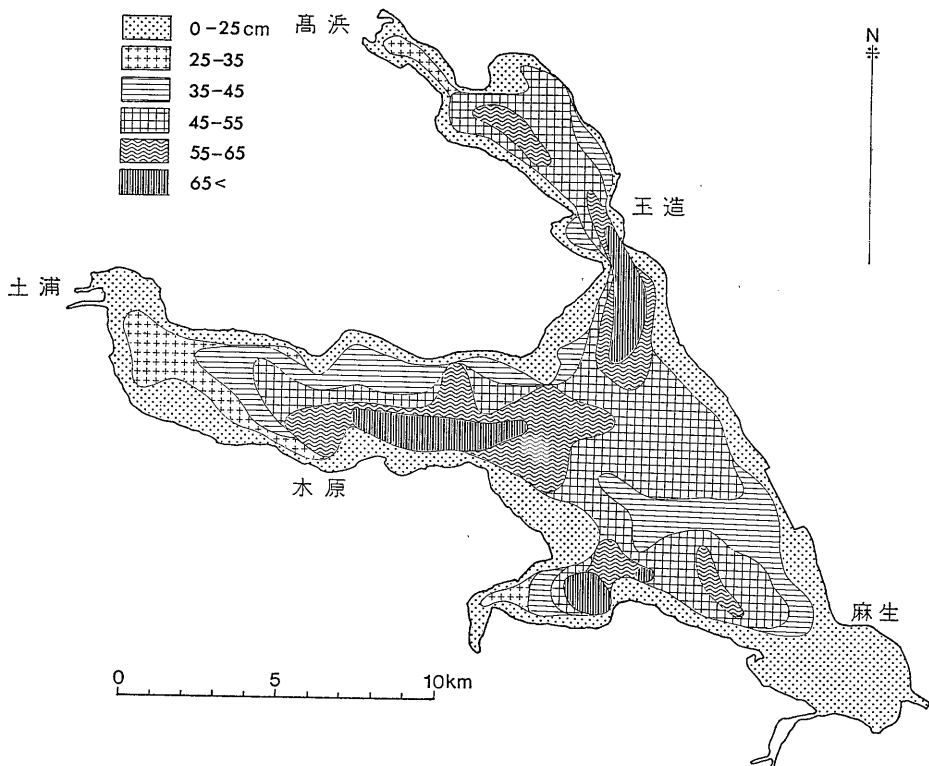


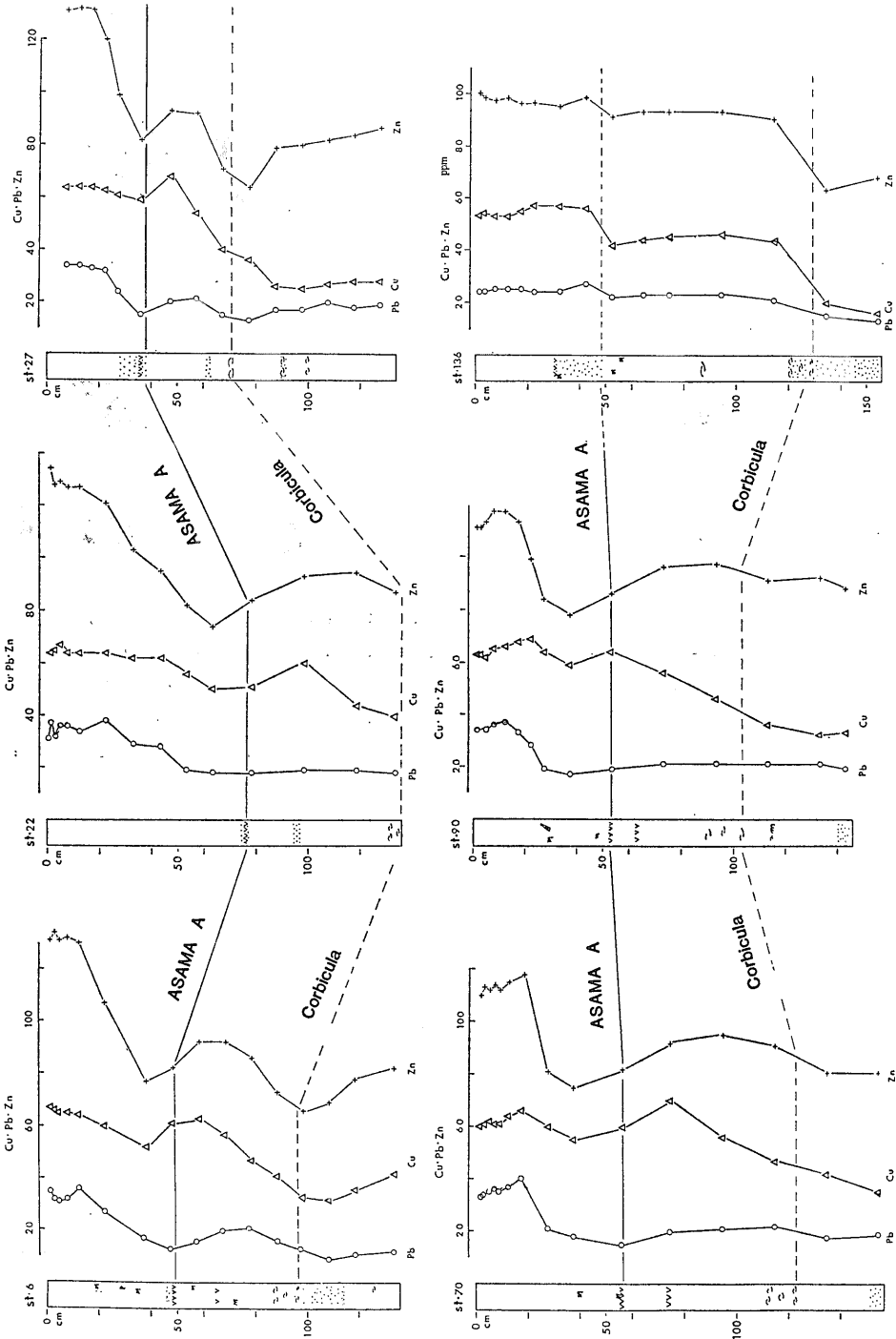
写真26 打ち込み式の柱状採泥 1人がパイプを支え もう1人が鉄製のハンマーで打ち込む

物の分布様式は一層わかりやすくなった(第4図)。それによれば堆積物は土浦入や高浜入・江戸崎入の入口付近に厚く堆積しており 各湾入部の奥にむかってはかえって層厚を減じていることがわかる。

重金属濃度垂直変化: 霞ヶ浦の湖底堆積物中の重金属濃度は一般に低く 汚染はないと言われている。実際多くの重金属はクラーク数の3倍以下の濃度である。この湖底堆積物の柱状試料について重金属濃度の垂直変化を示したのが第5図である。昨年度の報告(井内 1982)



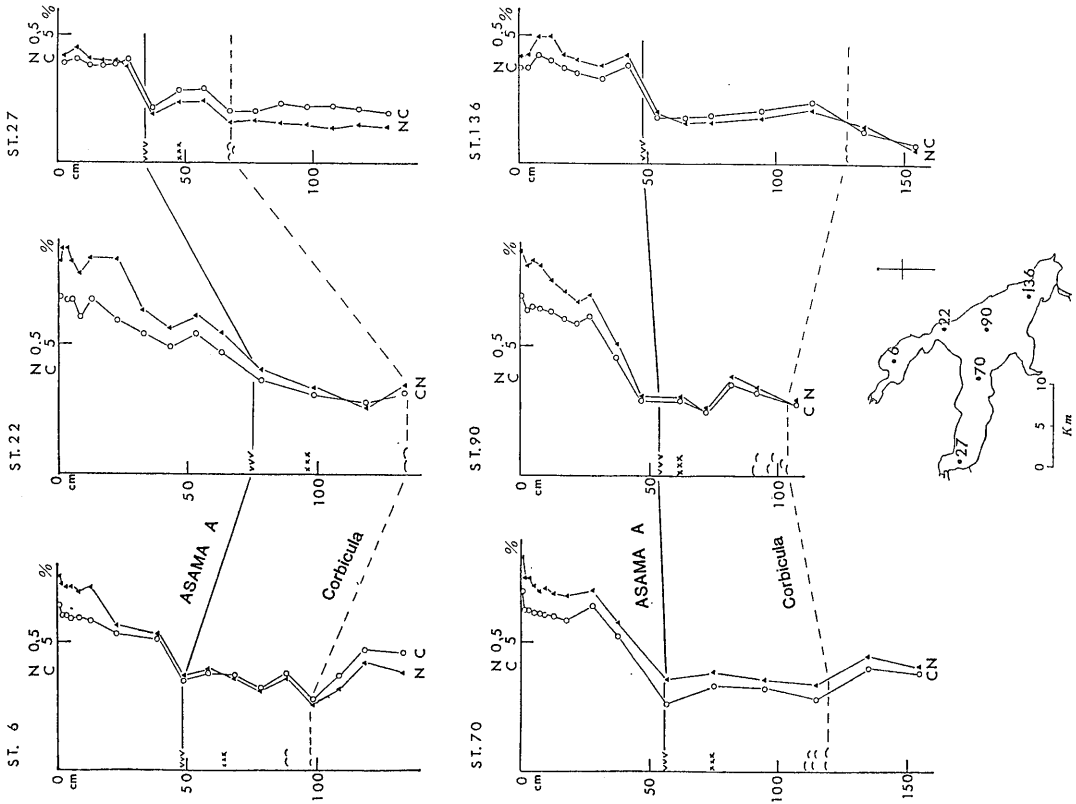
第4図 浅間A(1783年)以降の層厚分布図 (斎藤・井内・横田原図)



第5図 重金属濃度垂直分布図
銅・鉛・亜鉛の垂直濃度変化 単位はppm
(横田節哉原図)

でもすでに述べた様に 霞ヶ浦の表層堆積物中には一般に3枚の火山灰層が挟まれている。それらは上から浅間A(1783年噴出)・富士宝永(1707年噴出)・浅間B(1108(?)年噴出)である。また富士宝永と浅間Bの間にはヤマトシジミの密集した部分があり この年代は火山灰の

年代から15世紀頃と考えられる。これらのうち浅間Aとヤマトシジミの密集部分を堆積年代の目じるしにして各地点の重金属濃度の垂直変化をみると どの地点のものにも共通した濃度変化の曲線がえがけることがわかる。共通した濃度変化とは以下の様なものである。 1. 重金



第6図 全炭素・全窒素濃度垂直分布図 (斎藤文紀原図)
単位はパーセント

属 (この場合は銅・鉛・亜鉛である) 濃度は大局的にはヤマトシジミの層準から現在にむかって増加している。 2. しかしながら途中の浅間Aの層準付近で一般に減少している。 3. 同様にヤマトシジミの層準付近もそれ以前の泥中の濃度に比べ減少しているらしい。 4. 1~3の現象は霞ヶ浦の奥(土浦入や高浜入の奥)ほど顕著で 出口付近(麻生付近)に近いほどはっきりしない。

上で述べた現象は現在までのところ銅・鉛・亜鉛にのみ認められており 他の重金属(たとえば鉄・マンガン・クロムなど)では確認されていない。

全炭素・全窒素濃度垂直変化: CN コーダーを用いて堆積物中の全炭素及び全窒素の濃度を求めた。 全炭素(C)及び全窒素(N)の垂直濃度変化を第6図に示す。 それによればCとNの濃度変化の様子はそれぞれの地点では非常によく似ていることがわかる。 またこの垂直変化の様子は上で述べた銅・鉛・亜鉛濃度の増加・減少の様式とも非常によく似ている。 ただしC・Nの濃度の垂直変化は重金属の場合にくらべ少々はっきりしない面もある。

C・Nの濃度分布には上で述べた他に以下の様な特徴がある。 1. 一般にC/N比は10に近いが 表層部では

C/N比が10より小さく 下部では10以上である場合が多い。 2. C/N比が下に向かって増加し 10を越える層準は柱状試料によって異なり 規則性はない。

重金属(銅・鉛・亜鉛)及び全炭素・全窒素濃度の垂直変化の原因について: 上に示される様な重金属やC及びNの垂直濃度変化の原因は何であろうか? 現在考えられるものとしては以下の4つの場合がある。

- イ. 人為的な「汚染」が加わったため それが底質に反映した。
- ロ. 低濃度のバックグランド値を示す「昔」の泥と人為的「汚染」によるごく「最近」の泥とが生物等のかくはんによって混合したため 柱状試料の下ほど濃度が低く 上で高くなっている。
- ハ. 底層水と堆積物中の酸化還元電位の違いなどの物理化学的条件によって元素が移動している。
- ニ. 湖沼環境の閉鎖性の進行による自然な水中濃度上昇が底質に反映した。

以下ではこれらについて検討する。

イ. 人為的な「汚染」の反映と考えるならば 「汚染」は約 500 年も前から始まったと考えねばならない。また 浅間 A 付近の濃度減少をどの様に考えればよいであろうか。現在この様にデコボコする人為「汚染」を考えるのは困難である。また約 500 年も前に重金属の消費量や C・N の流出量が多くなりだしたとも考えられない。

ロ. 泥が生物等のかくはんによって混合しているとすれば 重金属や C・N の濃度上昇は各地点とも湖底からほぼ同じ深さのところから始まっていなければならない。なぜなら今回分析した試料の粒度組成や水理環境には大差がないので 生物はどこでも同じ様な深さにまで潜ると考えられるからである。その場合濃度変化の様式は堆積年代とは無関係になるはずである。ところがこの様な事実はない。また「イ」の場合と同様に浅間 A の層準付近の濃度減少については説明できない。

ハ. 重金属その他の元素が堆積物の表層部に濃集するという現象は マンガン・ヒ素及びリンについて報告されている(川嶋ほか 1978)。しかしながら 銅・鉛・亜鉛ではこの様なことは知られていない。また「イ」の場合と同様に浅間 A の層準付近の濃度減少については説明できない。

ニ. 霞ヶ浦の柱状試料に含まれる珪藻や貝化石の分析結果から 霞ヶ浦は 15 世紀頃から汽水湖へと変化し始め 17 世紀の中頃には淡水化が始まったと考えられている。この原因は霞ヶ浦の水と海水が出入する潮来付近の水域で土砂による堆積作用がすすみ 湖水と海水の交換が悪くなったためとされている。霞ヶ浦の淡水化は決して単調な変化ではなかったであろうし 汽水化した湖が一時的に海水化したことも考えられる。現在のところそれを確かめる資料はなく 我々は早急にこの環境変化の歴史を確かめたいと考えている。以上のことから消去法的ではあるが 他の考え方が成り立たない以上 霞ヶ浦の底質に含まれる重金属の垂直濃度変化の原因は霞ヶ浦自身の水理環境の変化に求める他はなさそうである。

6. おわりに

本年度実施した湖上調査研究の結果と主な研究成果について紹介した。

これまで環境汚染について論じられた時 一般にバックグランド値は 100 年～200 年前の堆積物の分析値がほぼそのまま用いられてきた。そして最近の堆積物の分

析値がそれを上回っている場合 その原因は単純に人為汚染にあるとされてきた。しかしながら霞ヶ浦の様に最近になって水理環境が大きく変化した水域では バックグランド値自身が大きく変化している可能性がある。

もちろん人間の生活による影響は全く無いというわけにはいかないだろう。しかし霞ヶ浦では 15 世紀以降の変化は最近数十年間の変化に較べるとかなり大きい。

ところで霞ヶ浦の環境変化の歴史は霞ヶ浦の全域で 2 メートルの柱状採泥をしてはじめて明らかにすることができたものである。霞ヶ浦の湖底堆積物を対象に研究を始めた頃 「現在の汚染を研究するのに千年も前の泥を取っても意味がないのではないか?」という質問を受けた事がある。今回の成果の紹介でこれには充分答えられたものと思う。

本年度の湖上調査研究で音波探査及び採泥作業については一応西浦全域をカバーできた。来年度は最終年度として湖沼環境の季節的变化を明らかにし 「動」的モデルの完成をめざしたい。また湖沼堆積物調査マニュアルを作成し 北浦でその有用性をチェックする予定である。また 3 年計画のまとめの年でもある。来年度も本年度に劣らず忙しい年になりそうである。

本稿を終えるにあたって 本年度の調査研究に御協力頂いた下記の方々に対し記して感謝の意を表したい。

水資源開発公団 霞ヶ浦開発事業建設部次長 三島誠氏・建設省関東地方建設局 霞ヶ浦工事事務所 調査課長 福島民也氏・霞ヶ浦漁業協同組合連合会会長 城取清之助氏・茨城県内水面水産試験場 環境部長 赤野誠之氏・出島村漁業協同組合 理事長 貝塚茂氏・筑波大学学生 高松宏行氏。

文 献

- 藤下利男・松本一明・堀江宏保・小川富美子 1967: 霞ヶ浦の土質調査および湖底土の土性について 港湾技研資料 No. 27 1—66.
井内美郎 1982: 霞ヶ浦の湖底をさぐる(2)——火山灰層を使って堆積物に年代の目盛りをうつ——地質ニュース 第331号 56—63.
川嶋宗継・中川利宏・中嶋美栄子・塩田晃・谷口孝敏・板坂修・高松武次郎・松下録治・小山陸夫・堀太郎 1978: 琵琶湖堆積物における種々の元素の鉛直分布と化学的性質 滋大紀要 自然 第28巻 13—29.
木下泰正・村上文敏・渡辺和明 1981: 霞ヶ浦湖底の微地形分布 第7回産業公害研究総合推進会議資料 95—96.