

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 ——

井内 美郎 (海洋地質部)
Yoshio INOUCHI

1. はじめに

昭和56年度から 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」がスタートし 9月16日から10月5日の20日間にわたって湖上調査研究を実施した。昭和55年度には 本研究に先立って霞ヶ浦を対象にした予備調査が実施され 4日間の湖上調査研究を行った。その成果や「霞ヶ浦の歴史」については本誌319・320号で述べたので 本稿ではその後の調査研究の結果 明らかになった主な成果について述べる。

2. 研究の目的

水資源の重要性については今さら述べる必要もないと思うが 豊富だと思われてきた我が国の水資源にも赤信号が点滅するようになってきた。その上開発の波は水源地にまで及んでおり 最近水質の汚染も問題化されてきている。その中でも 湖沼域は元来汚染に弱いとされている上に 近年様々な廃水が湖沼中に流れ込み 環境白書の中でも水質汚染の改善がみられない水域のトップにあげられている。

この湖水域の汚染の原因としては 搬入物質による一次汚染の他 底質の再移動に起因する二次汚染も重要な因子の一つにあげられており 汚染のメカニズムを解明するためには 底質を含む物質移動のメカニズムを解明することが先決課題とされている。

今回 霞ヶ浦を対象に上記の課題を研究する上での前提となる 湖沼堆積物の調査技術に関する研究 を開始

した。それは 湖沼域においては湖底堆積物を採取する技術や調査方法自体がまだ確立されていない状況にあるからである。

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。

調査には水郷汽船株式会社の“ふりっばー”号及び第1幸栄丸を用船した。

この研究は霞ヶ浦(西浦)をモデルフィールドとして行っている。そして西浦全域を対象とした調査測点及び調査測線を設定しており 3年間で全域をほぼカバーする計画である。本年度は調査船の吃水深度・航行能力を考慮して 採泥点は水深約2m以上の湖水域を対象に 1km²に1点の割合で設定し 音波探査はサイドスキャンソナーを用いて水深2m以上の湖底のうち土浦入を中心とした湖底を対象とした(第1図・第2図・第3図)。

その結果 138地点で採泥作業を行い 119本の柱状試料を得た。残りの19地点は 非常に少量ながら採取された試料から判断すると 底質は固結岩又は砂礫であり 重力式柱状採泥器では一般に採取が困難なものであった。採水作業は採泥地点で同時に行い 表層水と底層水を採取した。音波探査は予定通り土浦入についてほぼ完了した。

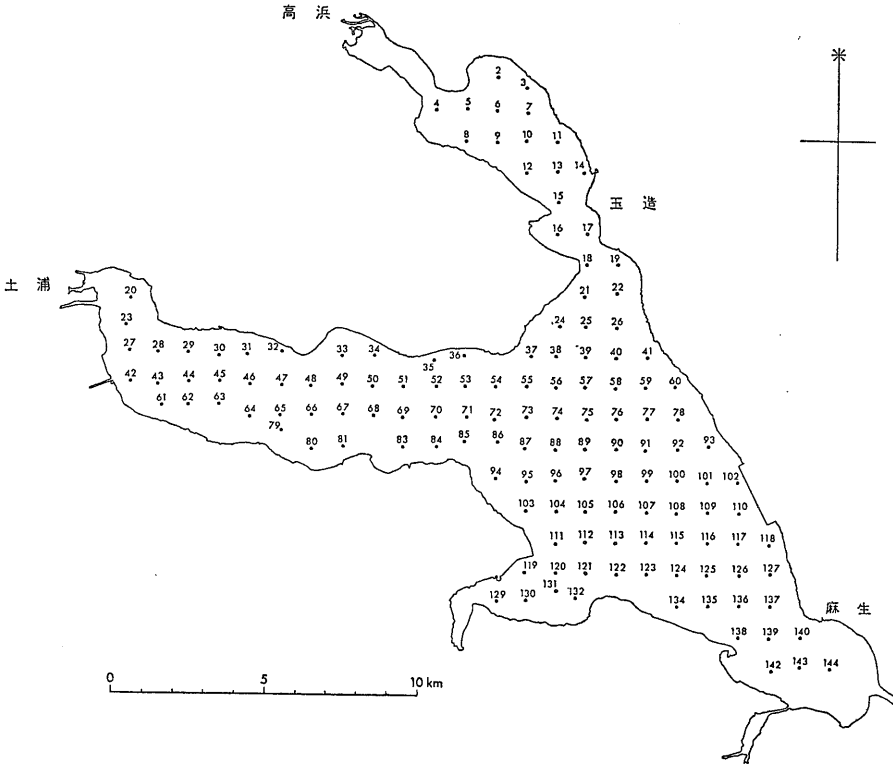
今回新たに湖沼堆積物調査用に開発した柱状採泥器は上記の成功率からも明らかのように 非常に有効であ

第1表 調査項目

電波(トリスポンダー)による船位測定
採泥・採水
・重力式柱状採泥器(2m)による採泥
・大口径柱状採泥器(1m)による採泥
・ナンセン式採水器による底層水の採水
流速計 MTCM-6型による湖水流測定
水温測定 「浅海用曳航センサ」による水温連続測定
音波探査
・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による地形・堆積層探査

第2表 調査員及び作業分担

総括・堆積	井内 美郎
採水・撮影	小野寺公児
堆積・火山灰分析	斉藤 文紀
堆積・化学分析	横田 節哉
堆積・化石	大嶋 和雄
調査機器調整	青木市太郎
堆積・湖底微地形	木下 泰正
地層探査	村上 文敏
湖底地形・堆積層	岡村 行信
水温測定・機器開発	西村 清和
地形・記録	渡辺 和明



第1図
採泥・採水点図
数字は測点番号を示す
(渡辺原図)

った。詳細は後で述べるが 霞ヶ浦では約1.5mの柱状試料によって 約900年間の環境変遷史を明らかにする事が可能であり 汚染史の解明には十分と考えられる。昨年度使用して浅い水域での探査の有効性が確認されたサイドスキャンソナーは 測線方向に帯状の探査が行えるため 測線間隔を探査できる巾よりやや狭めに設定することによって 湖底面の全域を探査する事ができる。本年度はこの方式を用いて土浦入の湖底「音波写真」を作成した。本年度は新たにクルップ社のアトラスデノ20を用いて精密測深及び堆積層探査を行った。この装置は 異なった周波数の音波2種類を同時に送受信できるものである。今回の調査の結果 音波が両方とも湖底で反射する不透明層と 音波のうち低い周波数のものが湖底面下数10cmで反射する透明層がある事が明らかとなった。

この他 表層水温計を試作し 湖水表層の水温の連続測定を行った。

4. 調査研究方法

船位測定：昨年度の調査で トランシーバーが使用できない事がわかったので トランシットを用いる方法はやめ 電波測位を用いた。これは陸上の2局から発信した電波を船上で同時に受信し 位置を決定するものであ

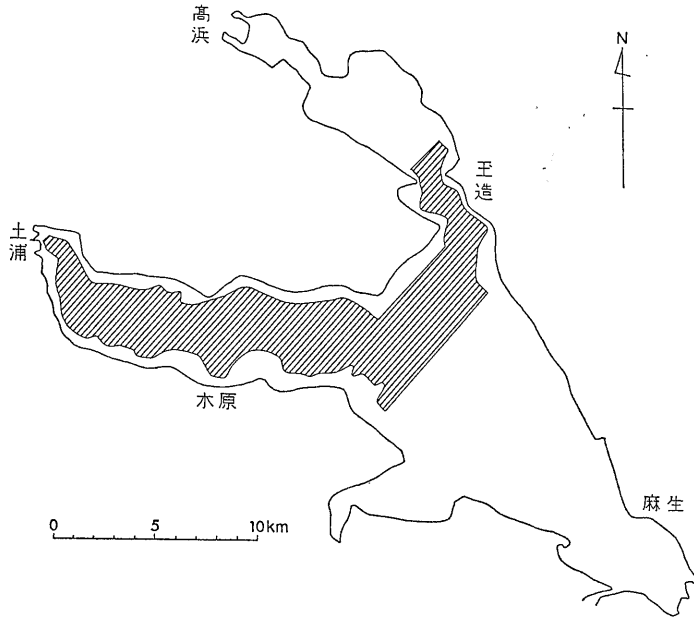
る。霞ヶ浦のほとんどの地点で筑波山は見える。そこで陸上局の1局は筑波山頂にすえ付けた(これは国土地理院の方々のアイデアによるものである)。他の局は調査水域に応じて湖岸を移動させた。

この方法を用いると船の位置はたちどころにわかり 調査は非常に能率的であった。なお この方法による誤差は3mである。

採泥：昨年度はコアの長さ1mの柱状採泥器を用いたが本年度は2mとした。それは堆積速度を正確に求めるために 火山灰層を確実にとらえる必要があったからである。結果的には 火山灰層(浅間A:1783年噴出)はほとんどが湖底下1m以内にあり 多くの試料中にはより下位の浅間B(1108年?)が発見できた。

この採泥器は パイプがアルミ製で ステンレス製のおもりが付いており アクリル製チューブ(内径60mm)を内装するようになっている。インナーチューブは長さ1mの円形をしており ビニールテープで接着し2mの長さにして使用した。

採取した試料は 立てたままにして水を上からくみだした後 1mずつに切って保存した。持ち帰った試料は 縦に半割りにし 断面を記載し 一方を含水率測定や化学分析等のサンプリング用に 他方を軟X線写真撮



第2図 サイドスキャンソナー調査域
斜線の範囲が調査域

影用とし 残りは5cm 毎に区切って 粒度分析用とした。 今回の調査で得た資料は すでに分析したものを除いて すべて5cm 毎に区切って冷凍保存した。

採水：すべての採泥地点で採泥作業と並行して表層水と底層水を採取した。 表層水はバケツを用いて 底層水は転倒式の採水器を用いて採取した。 塩分濃度の分布は表層水と底層水とでほとんど変わりはない。 試料は懸濁物粒子の測定を コールターカウンターを用いて行った。

航走観測：サイドスキャンソナーは曳航体の両側100~400mを探索する事が可能であり これを曳航することによって帯状の湖底域の微地形を明らかにすることができる。 この探索域が少しずつ重なる様に船を操船し できた記録を貼り合わせると 平面的な探索記録を得る事ができる(グラフィア参照)。 今回の調査で土浦入については このような記録をほぼ完成することができた。

アトラスデソ 20 精密水深測定機は 30 kHz と 210kHz の音波を同時に送受信することが可能であり 一方のみの送受信も可

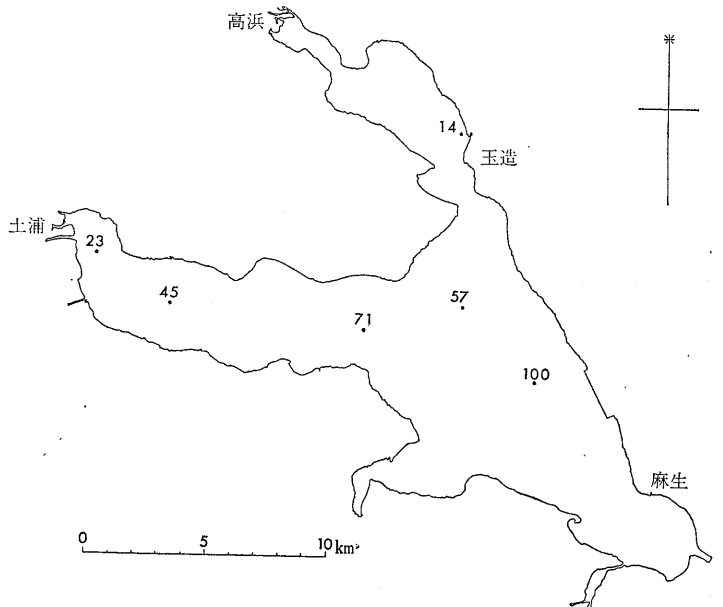
能である。 今回の調査の結果 210kHz の音波は必ず湖底面で反射するが 30kHz の音波は一部の水域で湖底より下で反射する事が明らかになった。 この様な場合 記録には透明な堆積層が現われ その下には他の水域と同じく黒い不透明な堆積層が確認できた(第4図)。 この原因は明らかではないが 透明層と不透明層との区分は SMS 960 型でも平面的な広がりをもつことが明らかにされており その対応関係を解析することによって 音波探査記録解析手法が開発されると期待される。

5. おもな成果

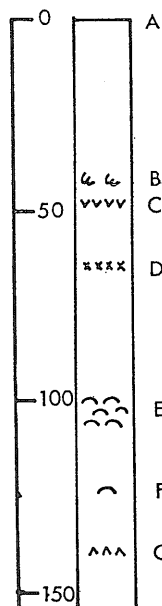
本年度の調査研究での大きな収穫の一つは霞ヶ浦の全域で堆積年代を決定できる火山灰層が3枚発見された事である。 この火山灰層を年代の目盛りとして使う事によって 堆積速度の算定・ヘドロ量の推定・霞ヶ浦の物質収支のうち湖底への年間負荷総量の算定など様々な事が可能になった。 以下では この火山灰層を含む霞ヶ浦の湖底泥について述べた後

いくつかの試算を行うことにする。

柱状試料：第5図に霞ヶ浦の一般的な柱状断面図を示す。 霞ヶ浦湖底泥中には 湖底面から約2m 以内に少く

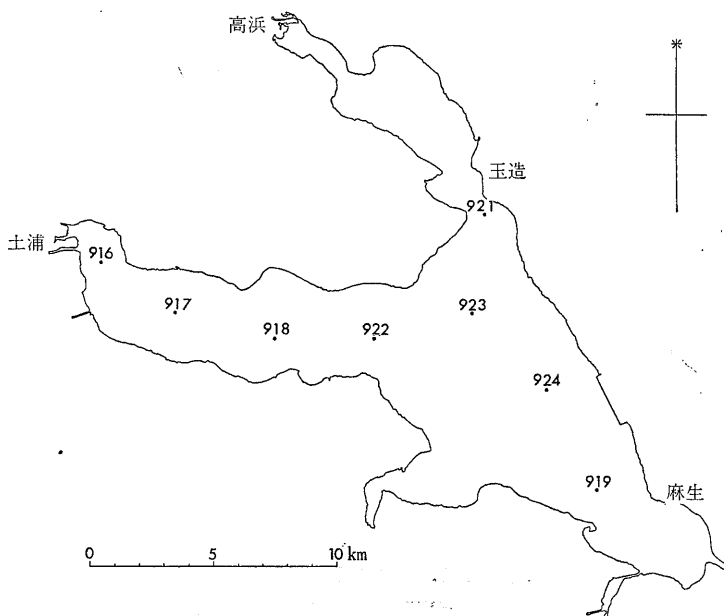


第3図-① 流速計投入位置及び 大口径コア採取点図
3桁の数字は流速計投入位置
2桁の数字は大口径コア採取点

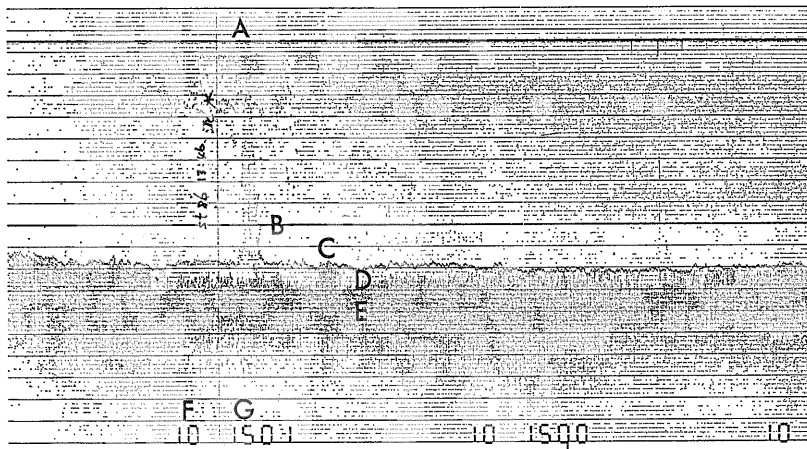


第4図 霞ヶ浦底質模式柱状図
 左側はスケール(単位はcm)(St. 66の例)
 A:湖底 B:ユスリカ幼虫 C:浅間A火山灰層
 D:富士宝永火山灰層 E:ヤマトシジミ
 F:シラトリガイ G:浅間B火山灰層

も3枚の火山灰層があり 堆積年代を示す非常に有効な指標となっている。その火山灰層とは 新しい方から浅間A(1783年噴出)・富士宝永(1707年噴出)・浅間B(1108



第3図—②



第5図 アトラスデソ20記録例
 A:発振線 B:水深5Mの線 C:湖底 D:透明層 E:不透明層
 F:記録紙レンジ(10m) G:音波の水中速度

年(?)噴出)の順である。昨年度の調査では上部の2枚の火山灰層が多く柱状試料で確認されていたが 今回採泥器の長さを1mから2mに伸ばした事により 新しく約900年前の火山灰(鑑定は群馬大学の新井先生に依頼した)が確認できたうえそれが霞ヶ浦全域に分布する事がわかった。

今回3枚の火山灰層が確認された事により 理論的には1ヶ所の柱状採泥で3つの時代の堆積速度を測定することが可能になった。実際には3枚目の火山灰層まで達していない所もあるため 全域では少なくとも2つの時代の堆積速度がわかることになった。上部2枚の火山灰層は18世紀のものであるが霞ヶ浦は17世紀に淡水化したと言われていたので 淡水湖となった霞ヶ浦での物質移動を明らかにする上では非常に有力な鍵を手に入れたことになる。

霞ヶ浦の柱状試料には この火山灰層の他 ヤマトシジミやマシジミなどの汽水~淡水棲の貝殻層や アカガイ・ムカドツノガイなどの海棲の貝殻層があり これらの貝殻層の出現順序と火山灰層との関係は 湖内のどの試料をとってみても同じで 霞ヶ浦の水理環境の変化を示す重要な指標となっている。昨年度の調査では 海水が入り込んでいた時代があるはずだということで 柱状試料の珪藻化石を分析し その最下部で海水棲の

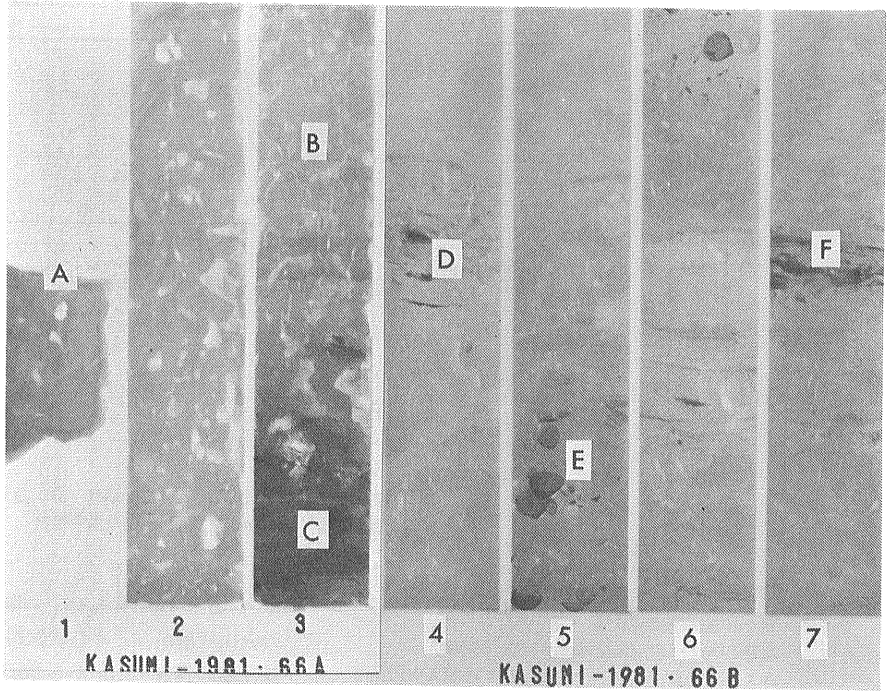


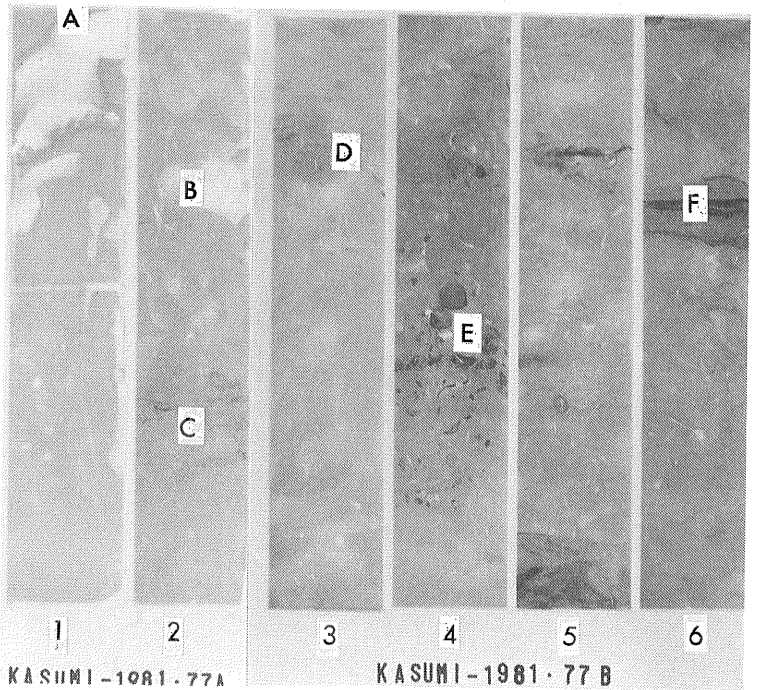
写真1 霞ヶ浦柱状試料の軟X線写真

A:湖底 B:ユスリカ幼虫のはい跡 C:浅間A火山灰層 D:富士宝永火山灰層 E:ヤマトシジミ貝殻 F:浅間B火山灰層
(試料は一連のものを25cmずつに切って撮影したものである)

珪藻化石を確認していたが 今回は顕微鏡がなくても誰にでもはっきりそれとわかる貝化石という証拠を得たことになる。

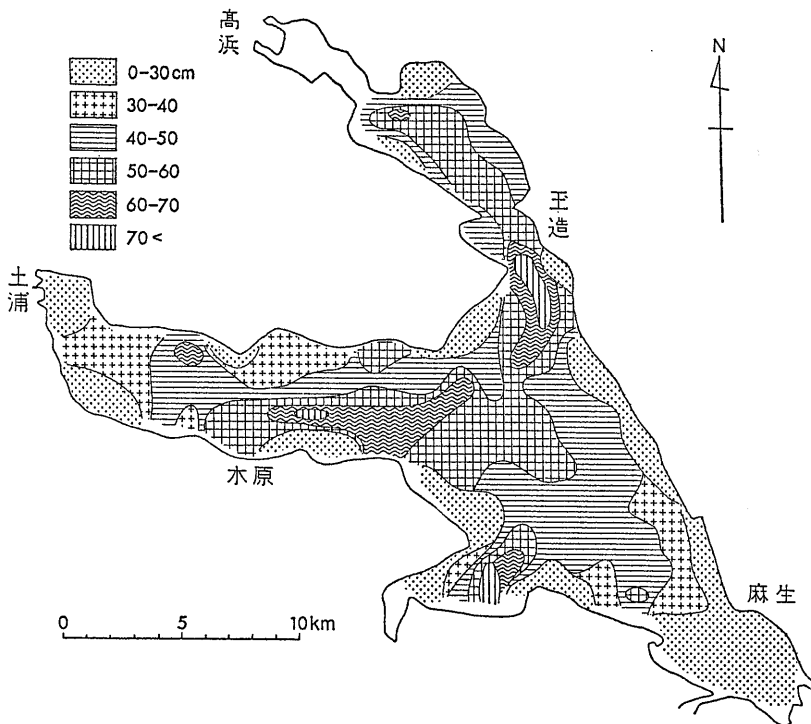
霞ヶ浦のいわゆる「ヘドロ」の中には ユスリカの幼虫 (通称アカムシ) がいて 「ヘドロ」を食うと言われている。 今回の採泥の結果 この幼虫はほとんどの柱状試料にも見いだされた。 それらの生息深度は湖底下数10cmにも及び 試料採取後数日たっても生きていた。 この幼虫が動き回った跡は細いトンネルとして残っておりほとんどの試料の軟X線写真で確認できた (写真1)。

なお あとでも述べるが このユスリカの幼虫の生息する堆積物をすべて「ヘドロ」とすると 100年以上も前に当時のきれいな霞ヶ浦の底にたまった泥も「ヘドロ」ということになり 厳密な「ヘドロ」の定義が必要なることがわかる。



水内を移動し 一部は系外に流出し 残りはやがて湖底に堆積する。 このうち湖水域に流入した堆積粒子の移動結果は層厚分布として表現される。 第6図に浅間A (1783年噴出)以降堆積した泥の層厚分布図を示す。こ

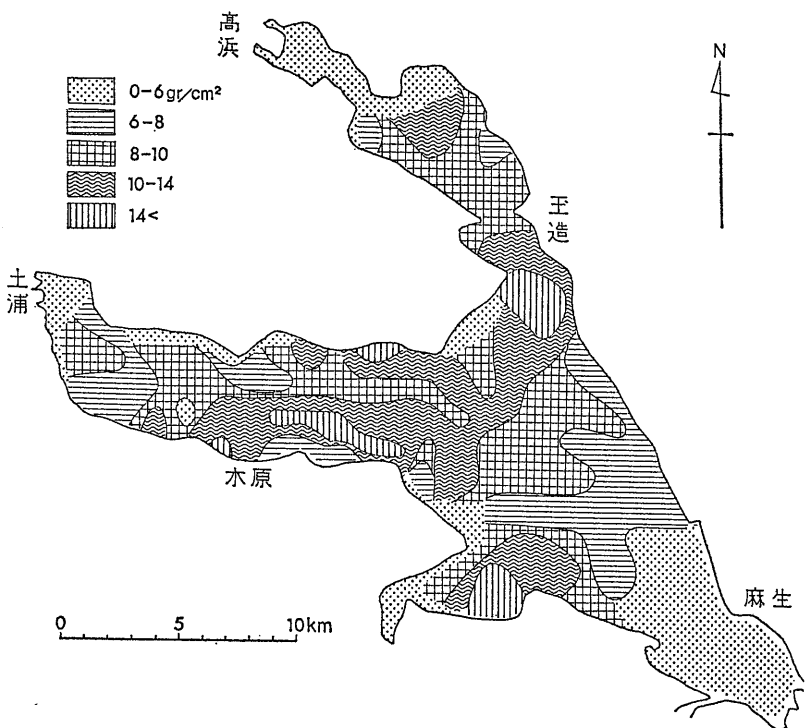
堆積物層厚分布:湖水域に流入した富栄養化物質や重金属・堆積粒子は それぞれの物理化学的特性に応じて湖



第6図 浅間A (1783年) 以降の層厚分布図 (斉藤・井内・横田原図)

れによれば 1783年以降に堆積した堆積物は 土浦入の入口付近 高浜入の入口 江戸崎入の入口付近に厚く堆積している。堆積物の供給源となる主な河川はそれぞれの湾入部の奥にあることから 主な河川を通じて湖水域に流入した堆積粒子は 河口付近にはあまり多くは堆積せず 湖水流や波浪によって湖心の方へと移動し その過程で堆積していると考えられる。

なお堆積物の分布を表現するもう一つの方法として 特定の時代以降に堆積した堆積物の乾燥重量で表わす方法がある (第7図)。この方法による堆積量分布図は重量で表現できるため あとで年間の総負荷量を算定するのに有効である。



第7図 浅間A以降の堆積物乾燥重量図 (斉藤原図)

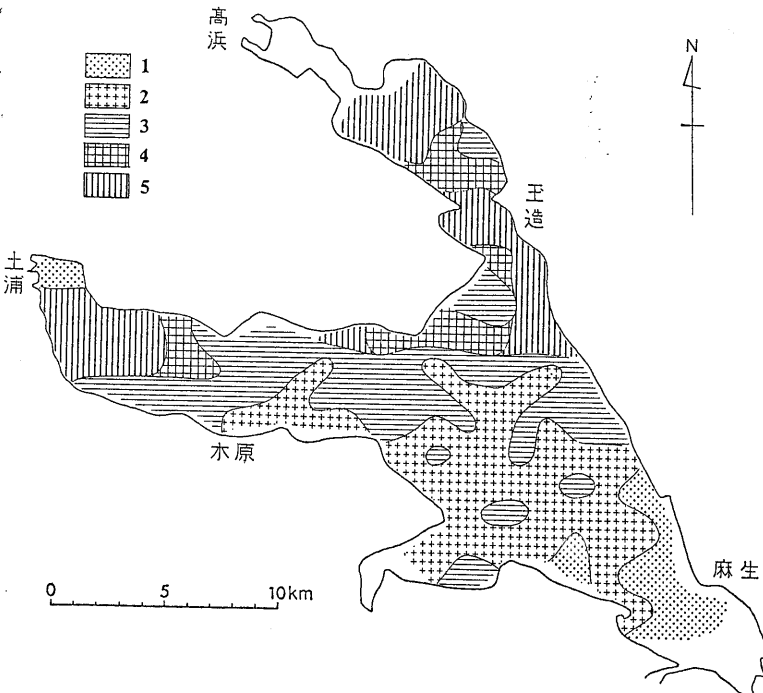
ヘドロ量の算定: 第6図を用いて「ヘドロ」量を見積る事が一応可能である。「一応」というのは「ヘドロ」量を見積るためにはいくつかの前提が必要であるからである。その第1は「ヘドロ」の定義が明確でなく 霞ヶ浦でもはっきりしていないということである。すでに述べたようにユスリカの幼虫がいるからと言っても 100年以上も前の美しく澄んだ霞ヶ浦に堆積した泥をヘドロと呼ぶ人は誰もいまい。ここでは「人間の生活に伴って湖水域に流入し自然では浄化しきれないほどの有機物その他の成分を含む泥」を「ヘドロ」と考えることにするが そうすると現在湖底表面に分布する泥も そのうち何割かは「ヘドロ」ではなくなるであろう。今回は「ヘドロ」量の予想最大値を求めるといことで よごれが目立ちだした昭和40年以降の泥の量を見積ることとする。第2には 層厚分布から「ヘドロ」量を計算す

第3表 天明3年(1783年)以降の堆積物層厚頻度分布

層厚	代表値(cm)	点数
30cm以下	15	38
30~40	35	15
40~50	45	36
50~60	55	30
60~70	65	15
70cm以上	75	6

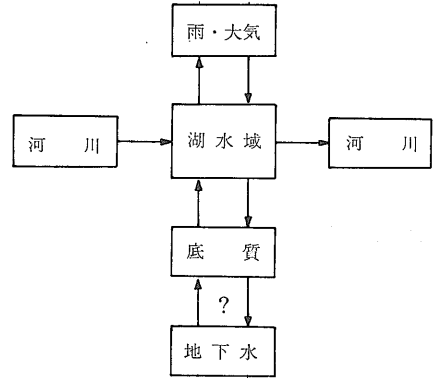
るため 圧密による下部の泥の体積の減少を無視し 浅間A堆積以降の泥の体積を堆積年代で割って 年平均の泥の体積を求めることにする. 第3に 各採泥点が代表する水域の面積は一律に 1km² とする. ここでは採泥点を 1km² 毎に 1点とした利点が生かされるが 数点はそのメッシュの上でない. 今回はこの様な点も正しくメッシュの上にあるものとして計算する.

第3表によれば 天明3年(1783年)以降 霞ヶ浦に堆積した土砂の量は約 5,800万m³ で年間約 29万m³ となる. これに昭和41年以降の16年間をかけると 464万m³ となり 含水率等を考慮すると約500~600万トンということになる. この値は現在 4,000万トンと言われているへ



第9図 亜鉛濃度分布図
単位はppm (横田原図)

1. ~102 2. 102~108 3. 108~120
4. 120~126 5. 126~



第8図 湖水域の物質収支を示すダイアグラム

ドロ量よりひと桁少ない. もし 4,000万トンものヘドロが霞ヶ浦に存在すれば 約100年以上も前の泥まで「ヘドロ」という汚名を着せられていることになる.

霞ヶ浦の物質収支: 湖沼域の汚染を議論する場合 物質の移動・循環のプロセスとともに重要なのが 物質収支である. 湖水域の物質収支は 大きくみると第8図に示す様な 6つの系を考えればよい. 大気とのやりとりは一般に小さいと考えられるので 湖水中の物質収支を考

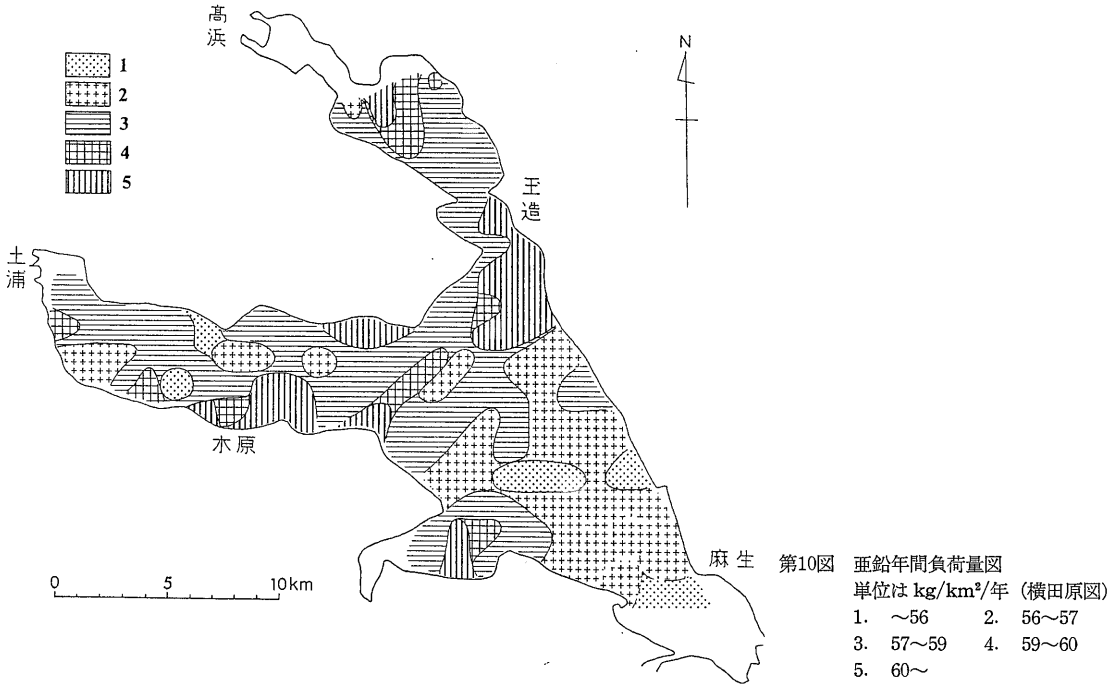
えるためには 河川をつうじての出入と底質をつうじての収支を考えればよいことになる. 河川をつうじての物質の出入は 流入・流出の水量と水質をたんねんに測定すれば解明できるはずであり 最も困難なのは底質を通じての物質の出入である.

今回底質の分析値が 底質を通じての出入の結果であるという前提に立って年間の負荷総量を計算した.

ある元素の年間負荷総量

$$= \sum_j \sum_i (a_{ij} \times b_{ij} \times c_{ij})$$

ただし a_{ij} : (i,j) 点の堆積速度 (mg/cm²/年)
 b_{ij} : (i,j) 点の泥の元素含有率 (g/g)
 c_{ij} : (i,j) 点が代表する面積 (cm²)
 ただし霞ヶ浦では $c(i,j) = 1\text{km}^2$



たとえば亜鉛の底質中の濃度分布は第9図に示される。これに年間の堆積量をかけ 各点での年間負荷量を示したのが第10図である。霞ヶ浦では1km²に1点の割合で採泥しているので 各点での値を1km²毎の負荷量とし それを合計したものが霞ヶ浦の年間総負荷量に近いものとなる。このようにして求めた亜鉛の年間総負荷量は6.10トンであり 同様に鉛1.54トン・銅2.90トン・クロム1.93トンという値が求められる。これらの量の重金属で立方体を作ると 亜鉛95cm・鉛52cm・銅68cm・クロム65cmとなり 量の多いのに驚くむきもあろうが 実際にはほとんどがクラーク数の3倍以下で重金属の汚染はほとんどないようである。

今後は富栄養化問題に重要なリンや窒素でも同様な推定を行う予定である。

6. おわりに

本年度行った調査研究の概要及び本年度に調査した火山灰層を用いた堆積年代算定法を使った様々な例について述べた。地質学において火山灰層はこれまではなれ

た場所にある地層を対比するのに用いられてきた。今回はそれをさらにすすめて 堆積速度を乾燥重量で表わし 他の分野の研究にも生かせるようにしたものである。

火山の多い我が国には様々な時代に多くの火山が噴火しており 日本の湖沼にはまだ多くの火山灰層が眠っているものと予想される。今後多くの湖沼で物質移動や物質収支を研究する基礎資料として堆積年代の資料が求められるであろうが 本技術は十分にこの要求に応えられるものとなるであろう。

次に 本年度の成果の多くは昨年度の予備調査の結果得られた見通しを証明したことになる。たとえば火山灰層が霞ヶ浦の全域で確認できたのも昨年度の試料採取のおかげであるし 海水域から淡水域への環境の変化も昨年度の調査の段階では単なる見通しであったものが本年度の調査の結果かなりリアルな像を描けるようになってきている。なお スペースの関係で本年度実施した音波探査の成果についてはあまりふれることができなかったが 別の機会に紹介することにした。