

が広がっていたのだらうと思います。

《網曳き跡》

網曳き跡は、線状(J)と円形状(K)の2種類がみとめられます。それらはいずれも、サイドスキャンソナーでは引っ掻き傷のような白い条痕として記録され、アトラス・デソ20の記録では凹凸が確認できません。

円形状のものは直径10m以下で、2～5重に刻まれています。これは、シジミなどの貝曳きの跡でしょう。舟のかじを一定にして同じところをぐるぐる回るので、円い跡が残されるわけです。

線状の網曳き跡は、浚渫域を除いて南湖のほぼ全域にみとめられますが、とくに西部と南部に密集しています。

《線状の凹地形と凸地形》

線状の凹地形(H)は、深さ10～30cm、幅は数m～10mで、数100mの長さにならってスジ状に延びています。網曳き跡の一種と思いますが確証を得ていません。

線状の凸地形(I)は、高さ20～70cm、幅は数m前後、長さは100～400mで、主として南端の砂泥～砂礫質のところに分布します。網曳き跡の地形なのか、浚渫され残りの地形なのか、はっきりした確証が得られませんでした。

《漁業施設など》

琵琶湖の定置網の一つとしてよく知られている「えり」(N)は、航空写真ともあわせて判読し、約20ヵ所で確認されました。それらはいずれも、湖岸部が自然湖岸となっているところに設けられています。

養殖施設(O)は、主として淡水真珠の養殖場で、北東岸の守山市下寺町の湾状になった湖岸部にみられます。

記録例で(S)としてあるのは沈水植物で、水深が約3mより浅い地域でみられます。湖岸のほぼ全域にみとめられますが、とくに北西岸で多く、雄琴や唐崎付近では水草が密集しております。

《南湖の湖底状況図から》

だいたい以上が、南湖の湖底状況のあらましです。ふつう湖では、水の動きによって湖底の砂質部分には、うねり模様の微地形がつくられているのですが、そうした自然の営力で形成された微地形は、南湖では全くみられず、見られるのものは、人為によって攪乱された地形だけです。

私たちは、通常は湖の底を見ることができないので、人間によって湖底がかきまわされているのを予想はできますが、それがどの程度かというのは誰にも分かっておりません。し

かし、南湖の湖底の状況を見ていただければ、ここでは、人為によって、湖の底がいかに攪乱されているか、そのすさまじさに驚かれるのではないかと思います。

10mもの深さで矩形状に掘られている深掘型の浚渫跡などは、湖底に大きな凹地ができています。ここから、汚濁物質を含んだ新しい堆積物の多くは、この凹地につもってしまいます。ここでは、周りの堆積速度の10倍以上の速さでヘドロ状の堆積物がつもり、夏には無酸素の還元泥になっています。

⑤堆積物の層厚分布調査と堆積速度の算定

—琵琶湖北湖のケース—

次に堆積物の厚さですが、これを調べる音波探査機にはいろいろのものがあつて、いま述べたアトラス・デソ20もその一つです。海の方では、従来からスパーカーやエアガンなどがよく使われていましたが、10年程前から、ユニブームというコンパクトで性能の非常にいい探査機ができましたので、湖ではこれがよく使われます。これも、音波を下向きに発信させ、その反射をハイドロフォンという水中マイクがうけるもので、測線の地層断面が記録されます。

《ユニブーム記録の強い反射面》

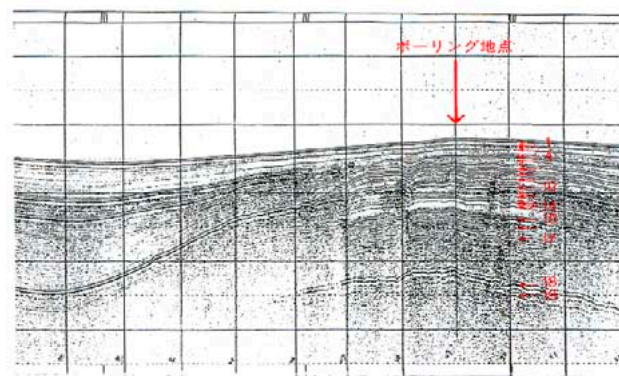
図4は、琵琶湖北湖の高島沖、北湖の湖盆を2分する鞍部地形のところで行ったユニブームによる音波探査記録です。この水深は63m、泥質堆積物の分布する地域です。

図には、1、3、4、10、15、18などの顕著な反射面が認められます。このうち1は湖底の反射面ですが、これら以外にも10数枚の反射面が記録されています。このように、ユニブームの音波探査記録上には多くの反射面がみられるのですが、では、これらの反射面は何を意味しているのかというと、そのことが意外とわかっていなくて、多分、地層の境界、つまり時代の境目が反射面として表われるのではないかと、といわれていたわけです。

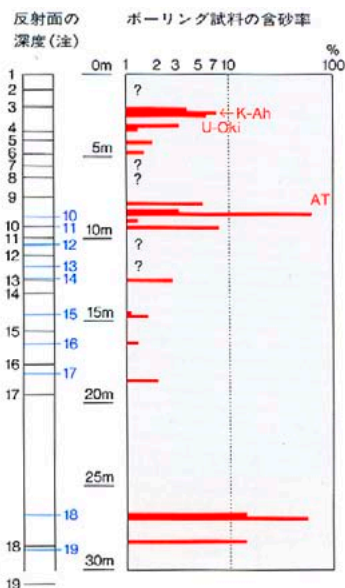
それで私は、その実態を確かめるために、この測線上の一点でボーリングして、これらの反射面が何を示すのか、湖底の堆積物を実際

図4—ユニブーム記録の反射面深度と含砂率との対応

琵琶湖北湖高島沖の鞍部付近の音波探査記録



(注)クロ線は音波速度を1500m/秒と仮定、アオ線は1400m/秒と仮定したもの



に調べてみました。そうしますと、図4の右側の図に示したように、これらの反射面と、砂のパーセントが1%を超える部分の深さとが一致していることが分かりました。ですから、これらの反射面は、時代の境目を示すのではなくて、物の違いを示しているのです。しかも、砂のパーセントが3%を超える部分をよく調べてみますと、これがすべて火山噴出物なのです。すなわち、3の反射面は、約6,300年前に九州の鬼界カルデラから飛んできたアカホヤ火山灰「K-Ah」。4の反射面は、約9,300年前に釧路島から飛んできた火山灰「U-0ki」。10の反射面は、約22,000年前の始良Tnという火山灰「AT」であることが分かったわけです(図4)。

このようにユニブームでは、火山噴出物が強い反射面として記録されることが分かったのは、じつは、たいへん意味のあることなんです。というのは、琵琶湖のように広くて深い湖では、多くの箇所でボーリングして堆積物を調べるのは、費用的な面もあって現実には不可能なんです。それが、強い反射面が火山噴出物と対応しているということになれば、火山噴出物の年代から堆積物のつもった年代がわかり、堆積物の層厚分布はもちろん、それらの堆積速度まで、比較的容易に求めることができるからです。

《過去約6,300年間の堆積物の層厚分布》

さて琵琶湖の底では、アカホヤ火山灰が約2cmほどの厚さがあって、北湖のほぼ全域に追跡できます。それで、この火山灰層を基準にして、北湖での堆積物の層厚分布を調べました。つまり過去約6,300年間に北湖では、どの場所では、どのくらいの厚さの堆積物がつもったかを調べたわけで、それが図6です。この図から分かるように、約6,300年間に堆積した泥質堆積物の厚さは、0mから16mです。これを、図5の湖底地形図と比べてみますと、層厚と水深とは、だいたい似た関係になっています。ただし、湖底地形が急変する付近では層厚も薄くなります。また琵琶湖東岸の彦根市や長浜市の沖には、水深が40mより浅い地

域で、相対的に堆積物の厚いところが見られます。

《6,300年間の堆積速度》

ところで堆積物は、一般に堆積した後、それ以後につもった堆積物の重さによって、間隙水がしぼりだされ圧密します。ですから、ある地点の6,300年間の堆積物の厚さが分かっても、それだけでは、堆積物の圧密過程が考慮されていないので、堆積速度が求められません。堆積物の圧密状態は、含水率に反映されていますから、実際に深さ16mまでの含水率の鉛直分布を調べ、乾燥重量に直して堆積速度を算定します。

図7が、こうして算定された過去6,300年間に北湖全域の堆積速度の水平分布図です。この図を、図5の湖底地形と比べてみますと、細かい点ではいろいろな違いがでてきますが、大きくみれば、堆積速度の大きいところは水深が深く、湖岸に近づくほど堆積速度が小さくなっています。

以上のように最近では、音波探査機を中心にした調査によって、現世堆積物の堆積速度まで推定できるようになりました。

《音波探査機の散乱層とメタンガス》

琵琶湖の北湖では、このようにユニブームが大活躍してくれたのですが、じつは私が最初

に調べた震ヶ浦では、ユニブームでは良い記録がとれなかったのです。というのは、湖底のすぐ下で音波が反射して、堆積物の層が記録に反映されないのです。これを散乱層といっていますが、これが出てきますと、音波探査機ではもう調べようがありません。

散乱層ができるのは、水深が浅いかどうかということではなくて、湖底堆積物に含まれる有機物の分解の進み具合にあるんだろーと思います。有機物の分解が進むと、いろいろなガス、特にメタンガスが発生してきますが、このガスが邪魔をして音波を通さない、それで散乱層ができてしまうのだろー。琵琶湖の南湖でも、さきの図3を見て頂ければ分かるように、散乱層がでて記録がとれていません。

⑥湖沼用の「押し込み式」柱状採泥器

散乱層がでた震ヶ浦の場合には、柱状採泥器によって表層の湖底堆積物を採取しました。湖底の堆積物は、ふつう下から上へ、古いものから新しいものへと整然と重なっていますから、これを乱さずに、堆積物を垂直的に採取するのが柱状採泥器です。

海の方では、以前から、深い海洋底の堆積物でも乱さずに採泥できる「重力式」の柱状採泥器が開発されています。これは、錘りを使って海底の泥に突き刺して採泥します。それ

図5ー琵琶湖湖底地形の概略図
<等深線の単位m>

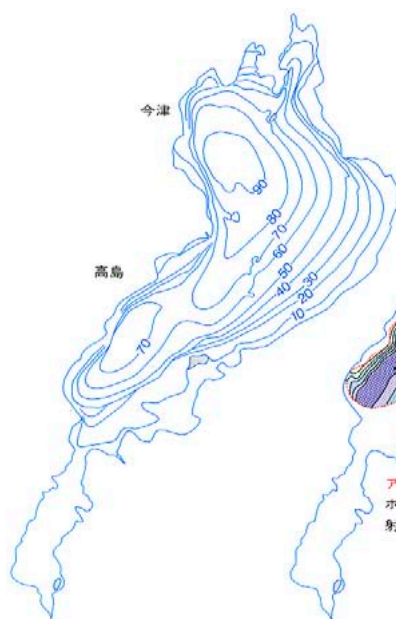


図6ー過去約6,300年間の堆積物層厚分布図<単位m>

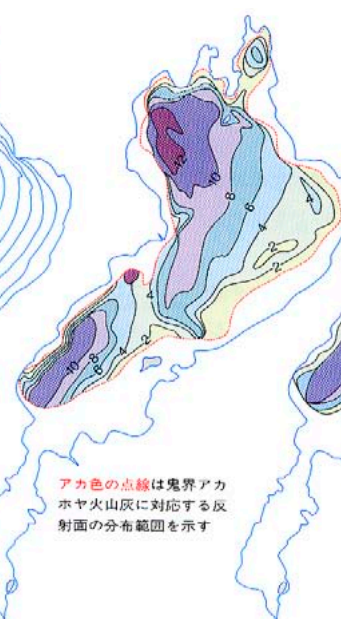


図7ー過去約6,300年間の堆積速度分布図<単位mg/cm²/年>



で、錘りを重くしないと十分に刺さらないので、非常に重いんです。海の方では立派な船を使いますから、こうした重い採泥器でもロープやワイヤーを使って容易に取り扱えますが、湖の方では、そんな立派な船は使えませんから、この重い採泥器の扱いには大変苦労しますし、また上手に採泥できません。

それで、湖でも使えるような軽い採泥器をつくらうということで、私どもが工夫して新しくつくったのが、「押し込み式」の柱状採泥器です。これは、人間の力で湖底の泥のなかに採泥器を押し込んでしまう。それで「押し込み式」といっているわけですが、パイプを継ぎ足しながら、泥のなかにグサッと刺しこんでしまうので間違いなくとれます。

琵琶湖のように水深100mとなると無理ですが海跡湖のように10mより浅い湖では、これが一番いいんです。径は6cmで、水深20mぐらいまでは十分に採泥できます。実際に現場に持って行って改良をかさねましたから、今では10m以下の水深のところなら、1箇所採泥に約5分ぐらいしかかかりません。

霞ヶ浦では、この「押し込み式」柱状採泥器を使って、湖底表層の堆積物を全域にわたってくまなく採泥しました。つまり最も確実な方法で調べたわけです。その結果、1783年に噴出した浅間山の火山灰「浅間A」が全域で発見され、これを基準層にすることができました。それで、過去200年間という歴史時代の中でも非常に新しい時代の層厚分布と堆積速度が分かりました。この湖の堆積速度は、湖底地形とは余り対応しておりません。

⑦放射性鉛(^{210}Pb)などによる堆積速度の算定

編集 基準になる火山灰層がないときは、どういう方法を用いるんですか。

井内 やはり、放射年代の判明したものを基準にします。湖底堆積物に測定可能な貝化石や植物化石などがあれば、放射性炭素(^{14}C)による年代測定ができます。ただこの方法では、放射性炭素の半減期が5,730年ですから数千年から数万年前の年代を知るにはよいのですが、百数十年前というようなごく新しい時期

の年代を知ることはできません。

それが最近では、放射性鉛(^{210}Pb)を使って湖沼堆積物の堆積速度を求める方法が開発され、各地の湖沼で用いられています。放射性鉛の半減期は22.3年なので、この方法では、百数十年前ぐらいまでのごく新しい時代の環境変化を知ることができます。

また放射性元素セシウム(^{137}Cs)を利用した方法もあります。これは、1963年には非常に多くの核実験が行われたので、この年には ^{137}Cs の降下量が最も多く、それを利用したものです。過去30年間ぐらいの環境変化を知るには、有効な方法です。

それともう一つ、過去30年間ぐらいの湖底での堆積状況を知る方法として、国土地理院から発行されている「湖沼図」を使う方法もあります。日本の主な湖沼を対象に、1960年頃から国土地理院が作成している縮尺1万分の1の「湖沼図」には、当時の湖底地形が正確に記されています。ですから現在の湖底の水深を精密に測定して、この「湖沼図」と比較すれば、当時から現在までのおよその堆積状況が分かるわけです。

⑧堆積物のCTスキャナー画像

柱状採泥器で採取した堆積物については、従来から、この試料に透過力の弱いレントゲン(軟X線)をかけて写真撮影することが行われています。軟X線写真では、肉眼では見えないものが写しだされてくるからです。

ただ堆積物を軟X線写真で撮るのは、実際には大変に手間がかかり、また必ずしも上手に撮れるとは限らないのです。軟X線写真の場合には、まず試料をプラスチック製のケースに入れますが、これが大変に手間のかかる仕事で、熟練しないとなかなか入らない。苦労してケースに入れた後、いよいよX線で撮影するわけですが、このX線の強さや透過時間をきめるのがまた大変で、頼りにするのは自分のカンだけなんです(笑)。

それで以前から、もっと効率の良い方法がないかと考えていたのですが、そうしたときに建設省土木研究所の稲崎さんが、堆積物の含

水率をCT値を使って求める研究をされておりました。それで、稲崎さんとの共同研究として、日光湯の湖の堆積物をCTスキャナーにかけてみたわけです。そのCT画像が写真1で、湯の湖の洪水堆積物が、赤っぽい色の画像となって見事に映しだされています。

CTスキャナーの良いところは、カラー画像ができるのも利点の1つですが、それよりも何よりも、手間がかからず効率がよく、失敗がないということです。CTスキャナーの場合には、軟X線写真のように、試料をケースに入れる必要がありません。また、画像がデジタルで入手でき、あとで必要なだけコントラストをつけることができます。

じつは軟X線写真については、私には苦い経験があるんです。琵琶湖南湖の浚渫跡のヘドロをみたとき、黒いところと普通の色をした泥とが互層をなしている。これを軟X線写真で写しだそうとしたんですが、何回撮ってもうまくいかず、結局はあきらめてしまったわけです。ところが後になって、X線をもっと弱くし、透過時間をぐんと長くすればコントラストがつくことを聞きました。しかし、その時には試料は乾燥し、ひび割れてしまって手遅れだったんです。そういう意味でも、これからは堆積物は、CTスキャナーにかけるのが良いように思います。

⑨洪水・地震・津波と湖底堆積物

《日光湯の湖の洪水堆積物》

編集 いまのCTスキャナーによるカラー画像では、湯の湖の洪水堆積物が映しだされているとのことでしたが、洪水時の堆積物を見分けることができるんですか。

井内 最近では、歴史時代の洪水・地震・津波などの痕跡が湖底堆積物に記録されている例がいくつか発見されています。というのも、1990年からIDNDR(国際防災の10年)がスタートして、様々な災害研究が国際的に取り組まれています。その一環として日本でも、災害発生の規則性を明らかにしようということで、こうした記録がよく保存されている湖底堆積物の調査が始められているわけです。いまの

湯の湖というのは、栃木県の中禅寺湖の少し北、日光市湯元にある山の中の小さい湖で、水域は約0.35km²ほどです。

この湖の表層堆積物は、泥質、砂質、軽石粒のものからなっています。軽石粒の堆積物は火山灰層ですが、その火山灰層は3層準あって、表層から3番目のものが1108年の浅間山の噴火で降ってきた「浅間B」です。泥質堆積物には、黒色、褐色～茶褐色、明灰色のものがみとめられますが、このうち黒色のものは、湯の湖の通常の堆積物です。ここは、山間の小さな湖なので、ふだんはこういった細かい泥しかたまらないわけです。

次に、褐色～茶褐色の泥質堆積物を調べてみますと、その含水率が非常に違います。それで、湖のなかのこの層の分布を調べると、河口で非常に厚くて、河口から離れるほど薄くなっていく。CT画像では、この層が赤っぽい色に映しだされたわけです。こうしたことから、この褐色～茶褐色の泥質堆積物は、大量に雨が降ったときに、いちどきに大量に湖に運ばれてきた泥、つまり洪水時の堆積物であることが分かります。

一方、この湖での堆積物の堆積速度は、火山灰の「浅間B」の深度を基準にして求められますから、これらの洪水起源の泥質堆積物の年代を算定してみます。そしてこれらの年代を、

歴史上の文献に記されている利根川や日光周辺で発生した洪水の年代と比べてみますと、図8のような結果になって、両者の年代が一致しました。

《琵琶湖の湖底地すべりと地震》

琵琶湖の北湖を調査したい、音波探査機の記録から、北西部の今津町沖にはコブ状の地形があって表層部に音波散乱層のあること、この散乱層は沖合に向かって顕著な反射面として連続し、やがてその沖合で消滅してしまうことが分かっておりました。つまり、この周辺の堆積物は、北湖の通常の泥質堆積物ではなく、湖底地すべりのときの堆積物、いわゆるタービダイトではないかと考えられたわけです(図9)。

それでこの周辺域をボーリングして、これらの堆積物を改めて調べてみました。そうしますと、コブ状の地形は砂礫からなっていること、沖合のボーリング地点では何枚かの薄い砂層が確認されるが、それぞれの深度は強い反射面の深度と一致すること、さらにその沖合では砂層が消滅することが分かり、これらが湖底地すべりのときの堆積物であることが分かったわけです。さらにユニブームによって砂層の平面分布を調べ、地すべり堆積物の範囲をみると、図9のようになりました。

一方、北湖では、さきに述べたように堆積速

度が求められていますから、これにもとづいて地すべり層の堆積した年代を算定してみました。そしてこれらの年代を、近江周辺を襲った古記録上の歴史地震と対比してみますと、正中2年(1325)、寛文2年(1662)、文政2年(1819)などの地震と対応していることが分かりました。

《十三湖の津波による堆積物》

東北大学の箕浦先生と弘前大学の中谷先生とは、青森県の日本海側にある十三湖とその周辺の湖沼を調べられておられますが、これらの湖沼では、通常は泥質の堆積物がつまっているのに、ところどころに砂質の堆積物が挟まれているのを見出されました。そしてお2人は、これらの砂質堆積物の堆積年代とその性質から、これらは、過去の津波のときに湖に運び込まれたことを明らかにされました。津波は、地震の発生に伴って押し寄せるものですから、これは、過去の日本海側の地震活動の研究とも結びついているわけです。

このように、湖底堆積物にはごく新しい時代の記録がよく残されていますから、その調査・研究は、災害や環境の問題とも関連して、いま非常に重要になってきているのです。

写真1ー湯の湖洪水堆積物のCTスキャナー画像

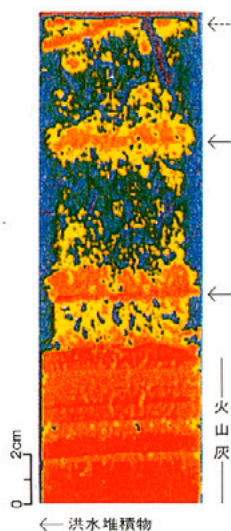


図8ー湯の湖洪水堆積物の堆積年代

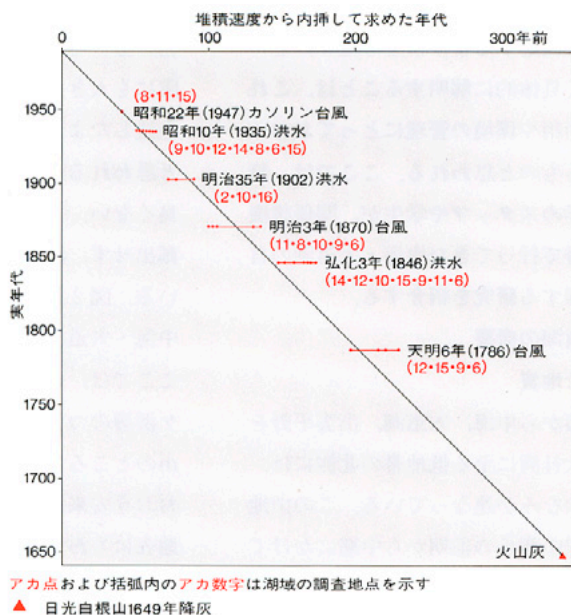


図9ー琵琶湖今津沖の「こぶ」状地形と地すべり堆積物

