

沿岸海洋, 湖沼調査からバイカル湖へ, そして再び沿岸海洋へ

— 公害・地域環境問題から地球規模環境問題へ, そして再び地域環境問題へ —

井内美郎¹⁾

1. 環境問題との出会い

1974年, 地質調査所に海洋地質部が発足した。その年の4月に私は地質調査所に入所し, 白嶺丸調査に参加するとともに瀬戸内海の底質調査にも参加した。当時は, 各地の閉鎖性海域や湖沼などで水質汚濁が顕著になっていた頃だった。瀬戸内海では毎年赤潮が頻発し, 養殖ハマチの大量死などの被害が発生していた。瀬戸内海の底質調査は, 環境庁の一括計上予算「国立機関公害防止等試験研究費」で実施された, 「汚染底質の調査技術に関する研究」(グループ長: 大嶋和雄主任研究官, 現在茨城大学教授)の一環である。当時は事態の逼迫性にも関わらず, テーマとしては「調査技術」という基礎的なことを目的としていたようだった。行政機関も度量の広いところを見せていたと思う。研究のねらいは汚染底質の分布状況や体積を明らかにするための技術開発であったが, 研究内容としては, 底質の科学的採取方法・音波探査記録との対応, 様々な底質分析方法などの検討が行われた。この中で私は大阪湾などの閉鎖性海域の堆積速度が年間数ミリであること(松本英二, 現名古屋大学教授の研究結果), そして, いわゆる“沖積層”の厚さ(より厳密には, 泥層の厚さ)が音波探査で測定可能なことを知った。それまで底質の分析に当たっては, 「底質は不均質なことが多く, 表層数センチをよくかきまぜて・・・」などという表現があったが, それが堆積速度が明らかになったことで, 場合によっては数十年間の歴史を混合していることが明らかになった。年単位の環境変遷史解明さえ行っている現在からは考えられない「おおらかさ」である。プロジェクトの成果としては, 現世堆積物, とくに泥質粒子と様々な汚染物質が水

域で類似の挙動を示すことが明らかになり, 「現世堆積物の堆積機構解明が水域の汚染機構解明につながる」として次期のプロジェクトに発展した。

2. 瀬戸内海の底質調査

— 海域“沖積層”の層序改訂 —

瀬戸内海のほぼ全域を3年間で調査した結果, 調査海域の底質分布の一般則を明らかにすることができた。それは, 「瀬戸内海では海峡部で底質が最も粗く, とくに岩盤が分布し, 海峡部から離れる方向に向かって扇状に底質が細粒化する」という規則性があることである。そして, 海峡部近傍の砂質堆積物とそこから離れた海域に分布する泥質堆積物は音波探査記録では同じ地層(完新統)に属していた。(多分, このような規則性は, それまでの狭い海域の調査では決して得られなかったものである。)問題は, この分布に至った原因である。今となっては「コロンブスの卵」のようであるが, この分布様式が「潮流による海峡部海底の浸食・浸食された堆積粒子の運搬・流れの収まった海域での堆積」の結果で, 海峡部近傍の砂質堆積物とそこから離れた海域に分布する泥質堆積物は同時異相関係にあることを疑う人はいないであろう。ところが, 当時の地質学的知見ではそうはなっていなかった。海域完新統, いわゆる海域“沖積層”の層序は, 当時(おそらく, 今でも)梅田層と南港層, 有明粘土層と島原海湾層, 有楽町層と七号地層というように, 陸域の層序が「適用」されていた。そして, 後者が海峡部の砂質堆積物, 前者が海峡部から離れた海域に分布する泥質堆積物に相当し, 前者が後者を不整合に覆っているとされていた。海域“沖積層”の調査が困難であった時代に考えられた層

1) 愛媛大学 沿岸環境科学研究センター:
〒790-8577 愛媛県松山市文京町3

キーワード: 環境地質, 第四紀, 堆積, 湖沼, 沿岸, 霞ヶ浦, 琵琶湖, バイカル湖, 瀬戸内海

序であるとはいえ、我々の調査の結果、すでに述べたように、上下関係であると考えられた地層が実は同時異相であることが明らかにされ、古い層序は訂正する必要があることが明らかになった。

海域の底質環境調査はその後も継続された。

3. 霞ヶ浦の歴史—テフロクロロジーの威力—

1979年、地質調査所は川崎市と東京都から筑波研究学園都市に移転した。「何か地元貢献する研究テーマはないのか」、そう言う問題意識が調査所にあった。滋賀県で「石炭条例」といわれた条例が審議された頃で、湖沼の水質浄化への期待が盛んな時期でもあった。私は、霞ヶ浦をフィールドとした研究を提案した。研究予算は環境庁一括計上「国立研究機関公害防止等試験研究費」で、テーマ名は、「湖沼汚染底質の調査技術に関する研究」であった。

その当時、霞ヶ浦のような「浅い湖」の堆積物に環境変遷の歴史が記録されているのかどうか、疑問視する意見が強かった。研究予算を査定する立場の工業技術院の担当者から、「風が吹くと湖水の色が変わると言うが、それは底質がかき混ぜられているせいではないか」と言われて、こちらも確信を持って反論ができなかった。

研究の展望を切り開いたのは、研究開始の前年に企画「調整費」で実施した調査結果であった。当時の地形課の応援を頂き、霞ヶ浦で唯一の観光船、「フリッパー号」を使って採泥・音波探査を実施した。まだGPSが一般化していない時代で、船位測定のために車で船を追いかけ、火の見櫓などに昇ってはトランシットで位置を出すという作業が必要だった。研究メンバーの中で私より若手の方が少ないという年齢構成の中で、年長者の方々に盛り立てて頂いたご恩は忘れられない。この調査によって、いくつかの柱状試料を採取できた。とれた試料は一見何の変哲もない「ヘドロ」であった。しかし、執念が勝ったというか、柱状試料の中に厚さ1ミリ程度の火山灰を発見することが出来た。そして、当時サンプリングのために海洋地質部を訪問されていた都立大学の町田先生を通じて、群馬大学の新井先生に火山灰の鑑定をしていただくことが出来た。その結果、柱状試料に含まれる火山灰

は約200年前に噴火した浅間山の天明3年の火山灰(浅間A; 1783年)であることがわかった。この発見によって2つのことが明らかになった。1つ目は、浅い湖沼の堆積物でも地層累重の法則がほぼ貫かれて、歴史が保存されていると言うこと。2つ目は、湖底堆積物に年代目盛りがうてたことによって、ヘドロ量の見積りが可能になったと言うことである。霞ヶ浦の柱状試料で火山灰が見つかったことによって、霞ヶ浦のヘドロの平均堆積速度や平面的な層厚分布状況も明らかに出来た。さらに、霞ヶ浦では底質中の元素濃度が人為的な原因よりも海水交換の度合いに応じて変化すること、全炭素・全窒素・鉛・銅・亜鉛などの重金属濃度は「公害時代」の1960年代以降ではなく、約200年前からすでに上昇していることを明らかにできた。

浅間山の火山灰や富士山の火山灰が発見されたことによって、研究の可能性は更に開けてきた。霞ヶ浦は関東平野の東部に位置していることから、西方に位置する火山からの火山灰が効果的に挟まれている。霞ヶ浦の湖底ボーリングによって、霞ヶ浦成立以降の1万年間の歴史が様々な火山灰(テフラ)によって克明に解明できる可能性が高まった。日本は火山国である。このことによって日本各地の湖沼でもテフラが有効になるであろうという展望を持つことができた。霞ヶ浦ボーリング試料を用いた霞ヶ浦の発達史は、プロジェクト開始の年に入所された斎藤氏によって立派な成果を挙げた。

4. 琵琶湖の反射面の実態解明

琵琶湖の研究を開始する前年、科学技術庁の内地留学制度を利用して半年間京都大学に滞在した。琵琶湖の底質研究に関する資料収集と、調査船の選定が目的であった。その過程で滋賀県の高島町にあった京都大学理学部付属琵琶湖古環境実験施設を訪問し、当時助手をしておられた太井子氏に琵琶湖のユニブーム音波探査記録を見せていただいたとき、研究の展望が一気に開けた感じがした。それはノイズの少ない非常にきれいな記録であった。そして、その中にははっきりとした3つ以上の反射面が連続的に得られていた。私は、これが鬼界-アカホヤ火山灰(約6,300年前)、隠岐-鬱陵火山灰(約9,300年前)、始良-丹沢火山灰(約2万

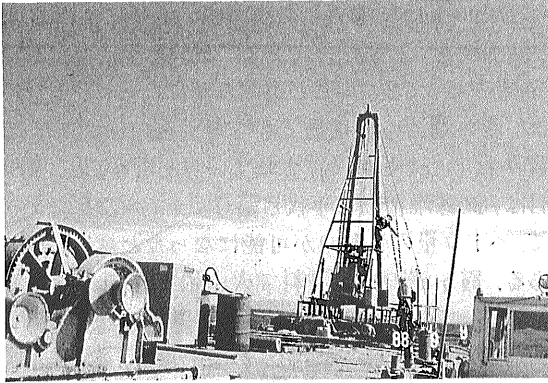


写真1 琵琶湖湖上ボーリング作業風景(今津沖)。

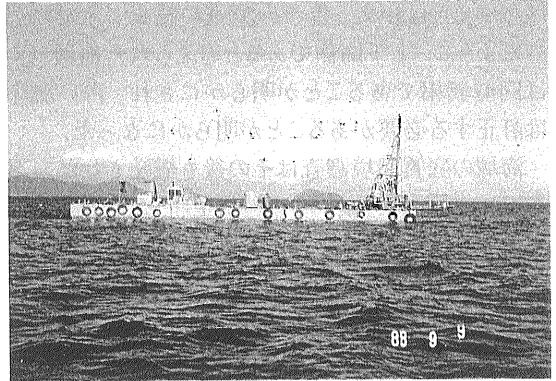


写真2 同じく琵琶湖湖上ボーリング、竹生島を遠望する。

年前)であると直感した。霞ヶ浦では、音波探査は音波散乱層のために有効ではなかった。そのため、1キロメートル毎にメッシュ状に柱状採泥をして層厚分布図を作成した。一方琵琶湖では音波探査が非常に有効で、音波探査によって容易に層厚分布図が描けること、これと表層採泥を組み合わせれば堆積モデルの提案も可能になることが予測できた。

幸い霞ヶ浦での研究成果が評価され、琵琶湖の提案は環境庁に認められた。あとは作業仮説を証明していけば良かった。琵琶湖研究の第1年目、全域の音波探査を実施した。その結果、南湖では反射面が確認できなかったが、北湖のほぼ全域で反射面を追跡でき、正確な層厚分布図が描けた。また、ボーリングによって反射面が火山灰層であることも確かめることが出来た。これは私にとって音波探査記録での反射面の実態を確かめた2つ目の例になった。

5. 古地震計としての琵琶湖の地震性タービダイト

音波探査記録を詳細に検討すると、琵琶湖の西側には火山灰層以外にもかすかな反射面が多数あることがわかってきた。その更に西方には斜面域があり、その手前の麓には乱れた構造を思わせる変形した反射面やコブ状の地形が確認された。日本の湖沼で初めてタービダイトの存在が現実味を帯びた瞬間であった。確認するためには掘って堆積物を取るしかない。掘削地点は音波探査記録をもとに、コブ状地形・音波散乱層・数多くの細かな反射面というセットのそろった今津町の沖合と決まっ

た。採取された掘削試料は、地元の滋賀大学教育学部に持ち込まれた。滋賀大学の中野先生、京都大学の志岐先生、信州大学の公文氏、その他琵琶湖のタービダイトに興味を持つ方々の参加を得てコアの記載、含水率測定、軟X線写真撮影が行われた。コアを記載してみると、予想以上にタービダイト性の堆積物が多く挟まれていることがわかった。それは、色調・含水率・含砂率などで識別できた。

個々のイベント堆積物の年代は、アカホヤ火山灰(約6,300年前)層を基準として重量堆積速度を用いた内挿法で求めた。そのことから大変興味のあることがわかった。個々のイベント層が歴史的な大地震の年代とほぼ一致したのである。さらに、地震カタログ(震源位置およびマグニチュード)をもとに、歴史地震毎の揺れを今津町を基準にして復元したものを作成した結果、ある下限値をもってイベント層の年代と歴史地震とが対応することが明らかとなった。つまり、イベント堆積物が地震計のように歴史地震を記録していたのである。このことから古文書記録のないさらに古い過去のものについても、滋賀県地方である下限値以上の揺れを示した地震の記録が復元できる可能性のあることが明らかになった。

6. バイカル湖の環境変遷史 -国際共同研究-

体制崩壊を目前に控え、先見の明のあるロシアの研究者たちは独自の努力のみではその経済的困難を乗り越えられないということを承知していたようである。1990年頃から、バイカル湖を国際的な研

究者コミュニティに開放し，国際共同研究の導入によって研究費の確保を図る方向が示された。これに対して，米国・EC・日本の研究者組織が応じて様々な共同研究が開始された。とくにヨーロッパからの支援は強力で，真に長期的な展望に立ってロシアの科学者支援のために，NATO資金が科学研究分野にも配分されている。バイカル湖掘削計画(BDP: Baikal Drilling Project)は，そのような状況下で提案され実行された。コラ半島の深層ボーリングの例に示されるように，ロシアの掘削技術は定評がある。バイカル湖の掘削もこの掘削企業体NEDRAが実施した。掘削は冬季に，しかも氷上で実施されるため，準備は周到に行われた。また，掘削システムを予定地点まで曳航できず，予定外の地点で掘削が実施されたこともあった。そのような困難を乗り越えて得られた試料は，研究者たちを満足させるものであった。1996年と1998年にはバイカル湖内のアカデミー湖嶺でそれぞれ200メートル・600メートルのほぼ連続した試料が採取された(推定年代それぞれ約500万年・1000万年)。

研究は国立環境研究所・地質調査所・森林総合研究所を幹事所とし，大学を巻き込んだ研究グループで実施された。このなかで調査所は堆積物の物理量測定を担当した。バイカル湖の湖底堆積物には，温暖期には珪藻が卓越し，寒冷期には鉍物質の粘土が卓越する。珪藻の粒子は比重が小さく，それ以外の堆積物に比べて際だった特徴を示す。そのためバイカル湖の湖底堆積物の密度を測定すると，寒冷期と温暖期の繰り返しが密度の大小として現れることがわかった。約500万年前というと，人類が地球上にあらわれた時期に相当することから，人類が出現して以来経験した気候変動が記録されている可能性がある。寒暖の変化を見ると，前半は温暖な時期が続くが，約280万年前以降寒冷な期間がまとまって出現をはじめ。そして約180万年前以降は寒冷な期間が温暖な期間よりも相対的に長くなる傾向が出て，地球環境がこれらの時期を境に大きく変わった可能性を示している。バイカル湖の掘削試料は，それまでは海洋でしか得られなかった非常に長い期間にわたる地球環境変化の情報が大陸内部でも得られたという意義を持つものであった。そして，密度測定の結果は，古地磁気測定の結果の次に早い時期にあらわれ，そ

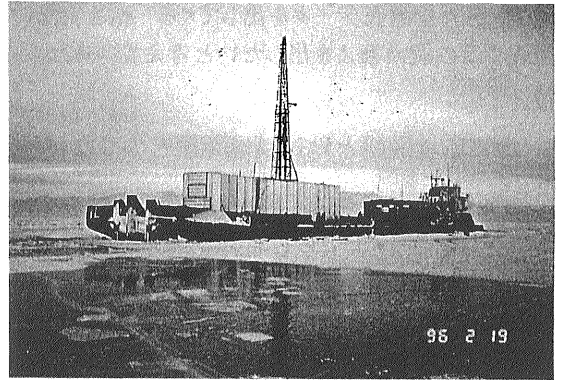


写真3 バイカル湖氷上ボーリング風景。氷の厚さは1m弱。

れまでなに見えるか確信の無かった研究グループ全体に確信を与えた。今後は，バイカル湖の掘削試料の詳細な検討によって，地球規模の気候変動を引き起こした原因のいくつかが明らかにされることを期待している。

7. ふたたび瀬戸内海へ

1997年，私は愛媛大学に移った。地質調査所入所以来24年目にしてふたたび瀬戸内海の底質問題を扱うことになった。それは，24年前に調査効率の関係から調査対象から外された備讃瀬戸やしまなみ海道の砂質堆積物の問題であった。今になってわかるのだが，1974年当時といえば，まだ海砂採取が本格的になり始めた頃でもあった。

研究テーマは，瀬戸内海の研究を一緒に行ったことのある中国工業技術研究所星加室長から持ち込まれた。地質の専門家がいないということで，広島県の海砂採取環境影響評価委員会への参加を要請されたのである。はじめはどのようなたぐいの問題なのか，私自身全く見当がつかなかった。やがてそれは砂堆という環境が集中的にねらわれていることによる環境問題であることがわかった。瀬戸内海の全域に及ぶ堆積学的な研究は，私以降にはなく未だに私のデータが使われていることもわかった。海底砂利は掘り続けても無くならないのか。砂利を取る際に巻き上げられる懸濁物はすぐに沈むのか。これらが主な争点のうちの2つである。問題はまさに堆積学の問題である。知識や常識で判断することは不可能であろう。業界も生き残りに必

死で、色々な調査データを出してくる。私も実際の調査でこの問の答えを出したいと考えている。

8. 地域環境問題と地球環境問題とのつながり

地質調査所に入って「公害」関係の研究を始めた頃、心配だったことは、このような問題はやがて解決して、我々の出る幕はなくなってしまうのではないか、ということだった。事態は残念ながらそのように進まなかった。環境問題は、そのように底の浅い問題ではなかった。また、地球環境問題という新たな「マーケット」も生まれてきた。

「現実問題の中に研究テーマを見つける」、そういうスタイルでもやって行けたことは幸いであった。「公害」という地域環境問題を堆積学および第四紀学的視点から扱ってメカニズム解明を行ってきたわけだが、その視点は地球環境問題を研究する際にも役に立った。堆積物は、ローカルな現象のみならず地球規模の現象も記録しているわけであるの

で、それをうまく識別できれば地域環境問題も地球規模の環境問題でも手法的にはあまり変わらない、というのが私の感想である。

9. おわりに

「何か社会に役に立つことは出来ないか」、そのような発想でテーマを設定してきた。そのようなときに、「そんなに古いことをやって、現在あるいは近未来に役に立つのか」と口に出して言われるかどうかは別として、我々に問いかけられる外からの疑問である。地質調査所は、これからますますこのような疑問に直面することが多くなるように思われる。それに対して我々はどのように研究をすすめるのか。私の短い経験が参考になれば幸いである。

INOUCHI Yoshio (2000) : Geo-environmental studies in the coastal seas and lakes.

<受付：2000年4月7日>