

## 中海湖底表層堆積物の磁氣的性質と重金属等の溶出特性について

吉田充夫（島根大学汽水域研究センター客員研究員）

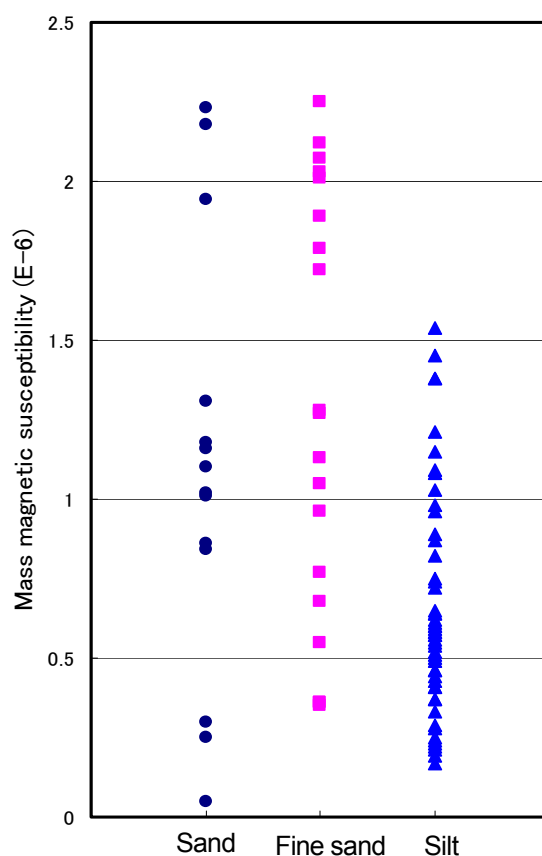
鄭 重（総合開発株式会社地球科学事業部）

新谷加代（株式会社阪神コンサルタンツ）

高安克己（島根大学汽水域研究センター）

### 1. はじめに

島根県中海の湖底には、「ヘドロ」と総称される未固結泥質堆積物が分布している。これらは、生活廃水や産業廃棄物による環境汚染を受けている可能性があるが、その実態は明らかではない。本報告ではこの「ヘドロ」の環境磁気学（Environmental Magnetism）的研究についての成果、とくに「ヘドロ」の磁氣的性質と重金属等の溶出特性の関係について検討を行った結果を報告するものである。なお、鄭ほか(1998)が本テーマでの第一報として中海本庄工区の堆積物について報告したが、本報告は第二報として中海本体の堆積物及び宍道湖と美保湾の若干の堆積物について検討した結果を報告するものである。



**Figure 1:** Magnetic susceptibility variation of bottom sediments in Nakaumi and surrounding areas.

Circle: sand, square: fine sand, triangle: silt (so-called “Hedoro”)

## 2. 試料

研究に用いた試料は、1997年7月28日～8月4日に島根大学汽水域研究センター他が実施した中海、美保湾、宍道湖での船舶上からのGrabサンプラーによる底質サンプリングによって採取された攪乱試料87点である。試料は、採取後2週間余り風乾し、そのまま測定・分析試料とした。肉眼観察によれば多くは黒色（風乾後は暗褐色）のシルト質泥（いわゆる「ヘドロ」）であるが、細粒砂及び中粒砂試料（87点中33点）も含んでいる。

## 3. 初帯磁率測定及び磁性鉱物の検討

初帯磁率（initial magnetic susceptibility）の測定は、試料をポリカーボネート製の10cm<sup>3</sup>容器に入れた状態で、Bartington/MS-2帯磁率計（測定周波数4.8kHz（HF）及び0.48kHz（LF））にて行った。この測定結果についてもTable 1に一括した。全体として初帯磁率は、10<sup>-6</sup>～10<sup>-7</sup>（SI単位系のmass magnetic susceptibility, LF）の値を示し、粗粒（砂質）の堆積物のほうが、大きな初帯磁率を示す傾向がある。例えば初帯磁率の平均をとってみると、中粒砂が1.1×10<sup>-6</sup>、細粒砂が1.3×10<sup>-6</sup>、シルト質泥が0.64×10<sup>-6</sup>である（Figure 1）。また、測定周波数による変化はほとんど認められない。こうした特徴は本庄工区の堆積物（鄭ほか,1998）と同様である。

堆積物中の磁性鉱物を検討するために、代表的な試料（シルト質泥のサンプルとしてN-6、砂のサンプルとしてM-1を抽出）についてMMPM-10パルス磁化装置による等温残留磁化（IRM）獲得実験（最大磁場3T）を行った。この結果、いずれの試料についても0.3T以下の低外部磁場下でIRMのほとんどが獲得され、高外部磁場下（0.3～3T）においては外部磁場の増大に従って非常に緩やかに飽和に達する傾向が認められた。また、飽和等温残留磁化（SIRM）の逆方向磁場による消磁はいずれも40mT～50mTで達成することができた（Figure 2）。これらの実験結果からいずれの堆積物も、主たる磁性鉱物は磁鉄鉱（magnetite または titanomagnetite）であると考えられる。また高外部磁場（>0.3T）でのIRMの緩やかな飽和現象は、赤鉄鉱（hematite）もしくは針鉄鉱（goethite）に由来するものと考えられる。しかし、堆積物全体の初帯磁率にとって、これらの赤鉄鉱や針鉄鉱の寄与する程度は磁鉄鉱のそれに比べて小さい。従って、初帯磁率の変化（増大）は、磁鉄鉱の存在（その量的変化）に由来すると結論できる。

## 4. 溶出試験

各堆積物の重金属等の溶出特性を検討することを目的として以下の手順で溶出試験を行った。すなわち、風乾した試料25gを100mlの0.3%シアン化ナトリウム（NaCN）溶液に投入し1時間攪拌し強制的に溶出させ、その上澄みをろ過して分析用検体とした。化学分析は26元素Ag, Al, As, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Sb, Sr, Th, Ti, U, V, W, ZnをICP-ES法によって、AuとHgの2元素を原子吸光光度法によって行った。

この溶出試験の結果、Pb, U, Th, Sb, Bi, V, La, Cr, Ba, Ti, B, Wの12元素については、検出限界以下ないし検出限界前後の極めて微量の溶出を示すものがほとんどであり、検討

の対象とはならなかった。また、採取水域別に見ると、境水道～美保湾及び大橋川～宍道湖の試料において Ca, Sr, Mn, Mg, K の溶出量が相対的に小さいという傾向が認められた。また、堆積物の種類別にみると、Al を除く全ての元素の溶出量がシルト質泥（ヘドロ）において相対的に大きく、砂質（粗粒）になるに従って溶出量は低下する。Al についてのみ逆の傾向（砂質であるほど溶出量が増加）を示す(Figure 2)。溶出量の粒度別比較（中粒砂での溶出量を 1.0 としたときの各元素毎の溶出量比）を Figure 3 に示す。

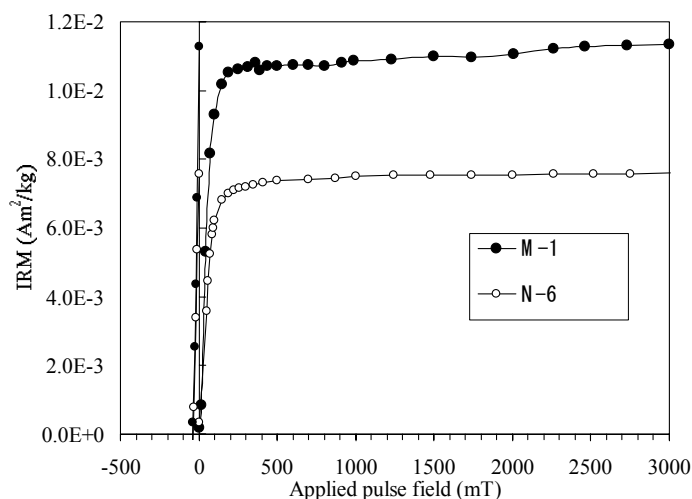


Figure 2: IRM acquisition curves of M-1 (sand) and N-6 (silt, “Hedoro”).

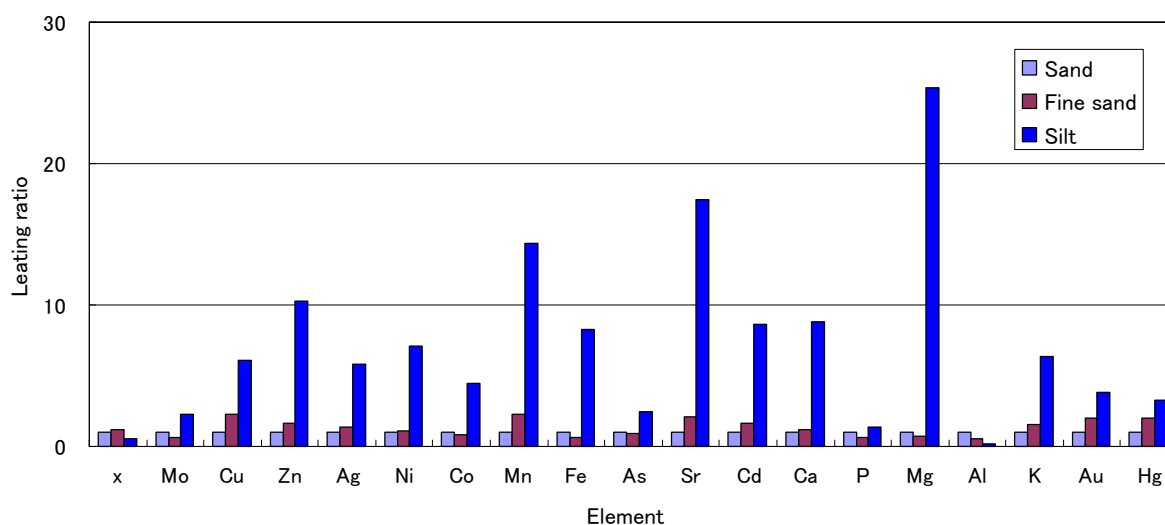
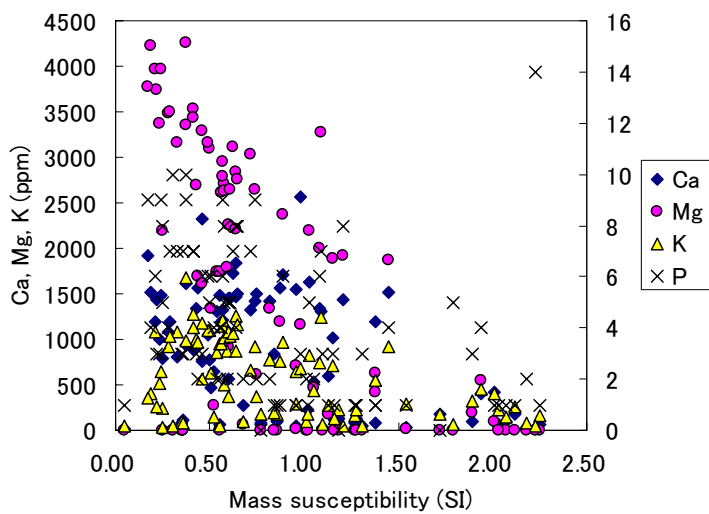
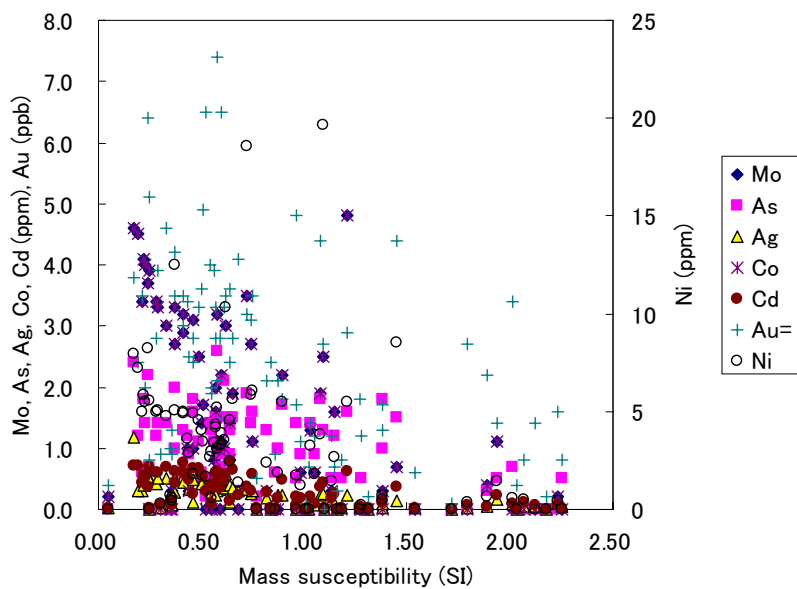
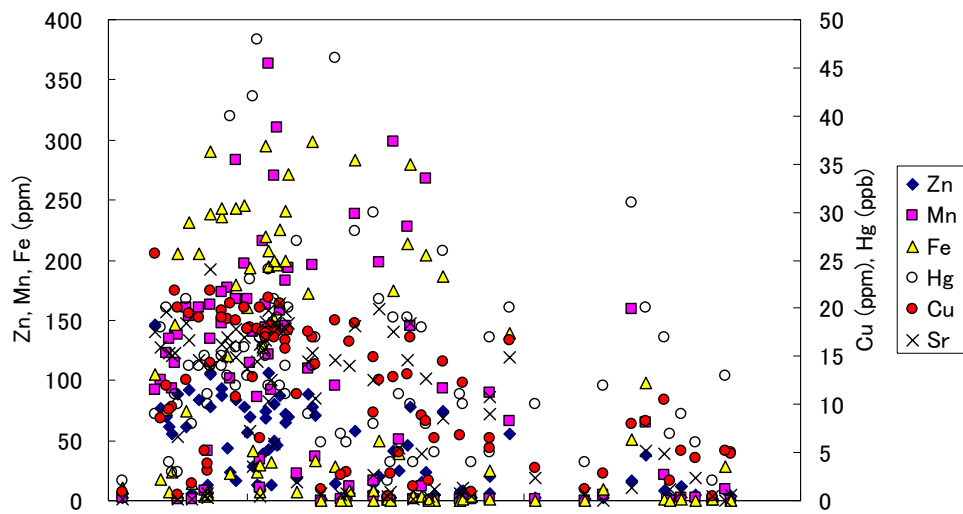


Figure 3: Elemental variation of leaching in different sediment-type. Each leaching is normalized by the leaching from sand (=leaching ratio). The “x” means mass magnetic susceptibility.

## 5. 溶出量と初帯磁率の相関

有意の溶出量の認められた 16 元素について、初帯磁率と溶出量の比較を行った。その結果を Figure 4 に示す。初帯磁率の小さい試料ほど重金属の溶出量は大きく、初帯磁率と溶出濃度は負の相関を示す。これは、中海本庄工区で認められた傾向と同様である。



**Figure 4:** Leaching concentration vs. mass magnetic susceptibility.  
 Upper: Zn, Mn, Fe, Hg, Cu, Sr  
 Middle: Mo, As, Ag, Co, Cd, Au, Ni  
 Lower: Ca, Mg, K, P

## 6. 考察

一般に初帯磁率の変化は、含有する磁性鉱物の量・種類に依存する。IRM 獲得実験の結果にもとづけば、初帯磁率を規定する主たる磁性鉱物は磁鉄鉱である。初帯磁率の増加は磁鉄鉱含有量の増加と対応すると考えられる。

一方、重金属等の溶出量は細粒（ヘドロ状のシルト質泥）の堆積物において大きくなる傾向を示す。この原因として、粘土鉱物を含む微細粒子の影響、磁性鉱物に代表される鉄鉱物の影響、の二つが考えられる。すなわち、前者の考え方によれば、細粒粒子や粘土鉱物の吸着によって一次的に捕らえられていたイオンが容易に遊離するため、溶出実験においてこうした細粒堆積物（ヘドロ）からの溶出量が大きくなるという解釈である。X線粉末回折の結果によれば、こうしたヘドロの様相を呈するシルト質泥にはしばしばスメクタイト、緑泥石、雲母類、カオリン鉱物が含まれており、これらによる一次的な吸着と遊離が溶出に寄与しているものと考えられる。磁鉄鉱は重鉱物であるため粗粒堆積物に濃集する傾向が強く、よって粗粒堆積物（砂）において初帯磁率は大きく、粘土鉱物を相対的に多含するヘドロなど細粒堆積物で小さい傾向がある。このため見かけ上、初帯磁率の相対的に小さい（細粒の）ヘドロがより大きな溶出量を示す、ということである。後者の考え方では、より積極的に磁性鉱物が重金属等の吸着に積極的に関与しているのではないか、という考え方である。この場合、磁鉄鉱の風化・変質生成物として想定される非晶質の水酸化鉄（iron hydroxides）が重金属イオン等を吸着固定し、溶出そのものを阻止するという考え方である。この場合、初帯磁率の大きい磁鉄鉱を多く含む堆積物ほど溶出量が小さくなることになる。

初帯磁率の測定は極めて簡便かつ迅速であり、現場で直ちにデータを得ることができるという長所がある。そのため、今回明らかとなった「溶出量と初帯磁率の負の相関」をもとに、環境汚染調査の概査段階のパラメータとして応用することが期待される。今後は粒度毎の吟味や鉱物学的検討等を通じて、「溶出量と初帯磁率の負の相関」を規制するメカニズムを検討していく必要がある。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、東京大学名誉教授湊秀雄博士からはご助言をいただいた。また、和田信彦、松原誠の両氏には研究の初期段階で便宜をはかっていただいた。記して感謝する。

## 引用文献

鄭 重・吉田充夫・湊 秀雄・高安克己(1998) 島根県中海底質ヘドロの磁気特性. 第8回環境地質シンポジウム論文集 (大阪市立大学), 313-318.

**Relationship between initial magnetic susceptibility and metal leaching  
in bottom sediments of Lake Nakaumi and its surrounding areas**

*Mitsuo Yoshida\**, *Zheng Zhong\*\**, *Kayo Shintani<sup>#</sup>*, and *Katsumi Takayasu<sup>##</sup>*

Abstract

We found negative correlation between initial magnetic susceptibility and its leaching concentration in bottom sediments collected from Lake Nakaumi, Lake Shinji, and Miho Bay, coastal region of Sea of Japan. The negative correlation may be due to weak adsorption by clay-size particles and clay minerals in silty sediments (“Hedoro”), which generally show low initial magnetic susceptibility. Another cause is owing to strong adsorption of poorly crystallized iron hydroxides that are expected to be abundant in high magnetic susceptibility sediments. The unique relationship between initial magnetic susceptibility and metal leaching is potentially useful for assessing environmental pollution of lake or lagoon bottom sediments such as “Hedoro”.

*Keywords:* Magnetic susceptibility, Leaching, Heavy metals, Bottom sediments

---

\* Research Fellow, Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, Matsue (contact address: 1402, Kameari 3-28-1, Katsushika, Tokyo. e-mail: myoshida@mtci.ne.jp)

\*\* Geoscience Division, Sogo Kaihatsu Co.,Ltd., Sanko-II Bldg., Nishikoiwa 1-30-16, Edogawa-ku, Tokyo (e-mail: z\_zheng@kd5.so-net.ne.jp)

# Hanshin Consultants Co.,Ltd.,Osaka

## Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, Nishikawatsu-cho, Matsue