関西自然保護機構会誌 25（2）：63－69，2003

ため池堆積物から過去の自然環境の解読
－過去約100年間の環境汚染史

大阪市立大学大学院理学研究科　吉川周作・稲野伸哉
京都大学生態学研究センター　槻木玲美

Decoding of environmental changes during the last 100 years recorded in reservoir sediments.
Shusaku Yoshikawa, Shinya Inano (*Graduate School of Sciences, Osaka City University*) & Narumi Tsugeki (*Center for Ecological Research, Kyoto University*)

はじめに

環境の汚染は，産業革命以降の近代産業の発展とともに19世紀後半から顕著になってきた。わが国では明治維新以降，急激な産業の近代化が行われ，それが自然環境に大きな影響を与えてきた。この産業の近代化にともなう汚染の実体を歴史的に解析することは環境科学的に極めて重要な課題である。しかし，汚染物質の動態は様々な環境因子によって支配されるため，その解析は容易でない。水域に沈積した堆積物は外的要因によって乱されていなければ，過去から現在までの汚染の歴史を解析するのに適している。従来の多くの研究では，湖沼や内湾などの堆積物によって汚染状況の歴史的解析が行われてきたが，生物による攪乱現象などが問題とされてきた。筆者らの研究グループは，生物攪乱の影響が少なく，極めて閉鎖された小水域であるため池や堀の堆積物に注目して研究を進めている。ここでは，大阪市および周辺域のため池と堀について，それらの堆積物の環境地質学的研究（内山ほか，1997；吉川ほか，1997；山崎ほか，1998；狭山池地質研究会，1999；井上ほか，1999；吉川ほか，2000；槻木ほか，2002；山崎ほか，2002；吉川ほか，2002）の一部，主に，堆積物の化学分析や珪藻分析から解読された過去百年間の重金属汚染・水質汚濁の歴史について述べる。

ため池・堀の堆積物の特徴

ため池は，潅漑に利用する目的を持って雨水・河川水などを貯留するために造られたもので，稲作農業と深く結びついて築造されてきた。ため池の歴史は古く，すくなくとも古墳築造などの土木技術が進歩した4～6世紀頃から大阪や奈良でため池が造られはじめたとされる。その後，各地で造られるようになったが，17世紀頃（江戸時代）からの水田農業の発展とともに各地で盛んに造られるようになり，昭和の中頃には，全国のため池総数は20万以上になった。一方，堀（濠）も，古墳築造に関連して造られはじめたと考えられ，水路や城など多様な用途の人工的な堀が現在でも数多く残されている。とくに，大規模な城の堀は江戸時代のはじめに多く造られた。

このようなため池や堀の底には，築造以降に堆積した厚いシルト～粘土が存在し，その細粒堆積

関西自然保護機構業績　第329号

物は自然環境の変化，とくに，築造以降に生じた周辺域の農業・工業・都市化の盛衰などの人間活動の変化，それに伴う水域の生態系変化などの人為的環境変化を良く記録している。そして，ため池・堀はその築造が4～6世紀以降，多くは17世紀頃からであることから，堆積物に記録された歴史は短いが，現在につながる過去数百年間の細粒堆積物が厚く堆積していて，堆積物の年代は，^{14}C年代測定や^{210}Pb・^{137}Csなどの他に，歴史文書や考古遺物との関連から詳細に検討できる特徴がある。このような特徴を有するため池・堀堆積物は，過去数百年の人為的環境変化を高精度・高時間分解能で解析する上で，最適の研究対象である。

ため池・堀堆積物の地質学的研究から見た重金属汚染の歴史

大阪府下にある4つのため池と大阪城の堀を研究対象とした（図1）。大阪市内にある長池と高槻市内の小寺池は都市域にある「皿池」で，大阪狭山市の狭山池と柏原市の畑大池は「谷池」である。それぞれの池・堀底から深度約1～3mの堆積物を採取した。各堆積物は，主にシルト～粘土からなる細粒堆積物で，厚さ2～3cmの分析用試料を採取した。堆積物の主成分と微量成分の21元素は環境標準試料Estuarine Sediment（NIST SRM 1646）を標準物質として使用する蛍光X線分析法で定量した。また，堆積物の年代はGe半導体検出器を用いるγ線スペクトロメトリーによって堆積物中の^{210}Pb・^{137}Csの鉛直分布を測定することで特定した。

ため池堆積物のPb，Zn，Cu濃度変化

長池・小寺池・狭山池・畑大池堆積物の化学分析結果によると，Si，Al，Na，K，Ca，Fe，Mg，

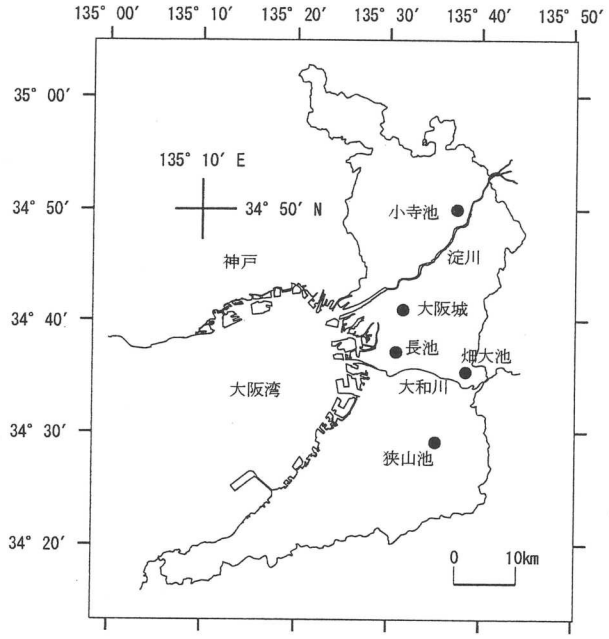


図1． ため池・堀堆積物の試料採取地点図.

Tiなどの主要元素に関しては，鉛直的な濃度変化は明瞭ではないが，Pb，Zn，Cuは顕著に変化する（吉川ほか，2000）。これら3つの重金属は，産業活動に伴う大気汚染物質（降下ばいじん，浮遊粉じんなど），自動車の排ガスなどと密接に関連する元素である。とくに，Pbに関しては多くの研究があり，主な人為汚染源として自動車ガソリンに添加された有機鉛が指摘されている。

図2を見ると，いずれの池（長池堆積物下部を除く）でも，Pb，Zn，Cu濃度は堆積物上部で高くなる。とくに1930年代から徐々に高くなり，1950～60年頃に急激に高くなる傾向を示す。その後，狭山池・畑大池では重金属濃度は徐々に高くなるが，長池・小寺池では1970年代前半にピークとなり，徐々に低くなる。この重金属濃度変化パターンの違いは，汚染物質量や汚染源からの距離，池への堆積物供給量（堆積速度）や水の出入りに関連する可能性がある。Pb－ZnとCu－Znの関係を図3に示す。各ため池堆積物試料の値は，長池堆積物下部を除き，良い相関を示し，汚染源の類似性を示唆する。また，この図は水の出入りの良い谷池（狭山池・畑大池）と水の出入りの少ない皿池（長池・小寺池）で，Pb，Zn，Cu濃度が数倍～10倍以上の違いがあることを示している。極めて閉鎖された水域である皿池（小寺池・長池）堆積物は，重金属汚染の歴史を高感度に記録している。なお，近畿地方にある内湾・湖沼堆積物，大阪湾（松本・横田，1976）と琵琶湖（Takamatsu *et al.*, 1980）のPb，Zn，Cu濃度は，谷池である狭山池・畑大池の値と類似している。

大阪城外堀堆積物のPb，Zn，Cu濃度変化

図2と図3には，大阪市内にある大阪城の外堀堆積物の分析結果も示してある。大阪城は2代将

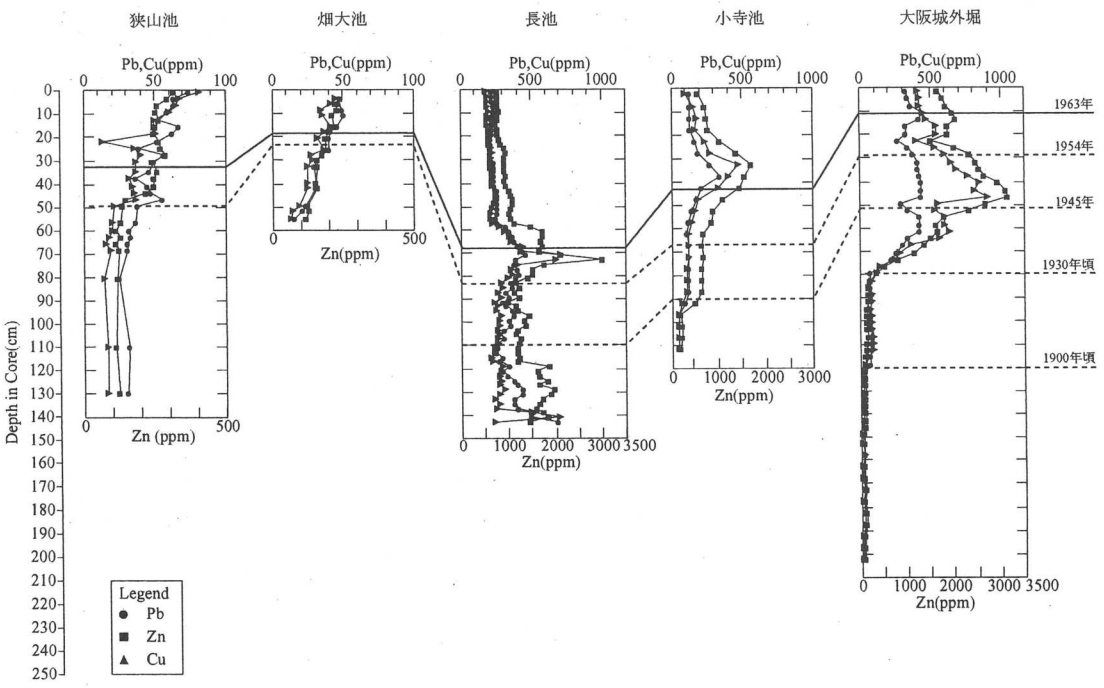


図2． ため池・堀堆積物のPb，Zn，Cu濃度変化.

軍秀忠によって大改修され，外堀も 1628 年頃に新たに掘削された。外堀堆積物の Pb，Zn，Cu 濃度の変化を見ると，各重金属元素濃度は堆積物下部で低く，堆積物上部で高くなる。明治時代の 1900 年頃から徐々に高くなり，その後急激に上昇し 1930 年から第二次大戦中まで高濃度を示す。とくに，高濃度となるのは 1945 年頃で，大阪大空襲の影響と考えられる。戦後はしばらく減少傾向を示し，その後徐々に高くなり，1960 年～1970 年頃に再度ピークを示す。この外堀堆積物

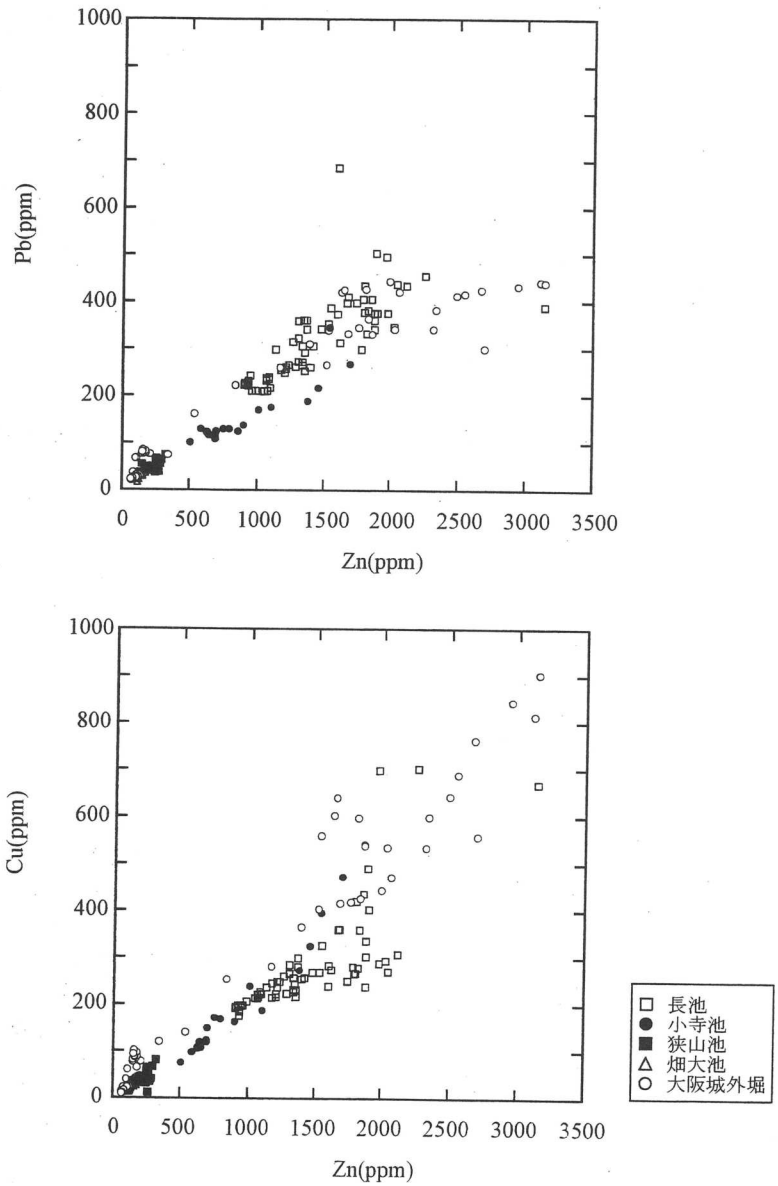


図 3． ため池・堀および湖沼・内湾堆積物の Pb－Zn, Cu－Zn 図.

の重金属濃度変化パターンは，戦後の変化に関しては，皿池である長池・小寺池の濃度変化と類似している。しかし，1945年以前，明治時代頃までは，特徴的にPb, Zn, Cuが高濃度である。これは明治初期に大阪城に隣接して設置され終戦まで稼働していた巨大な陸軍砲兵工廠に関連すると考えられる。すでに述べたように大阪市内の長池でも戦前の時期にPb, Zn, Cuが比較的高濃度であることは，大阪市内の一部地域では，戦前から重金属汚染が起きていたと考えられる。

ため池堆積物から見た水質汚濁の歴史

小寺池堆積物の珪藻分析の結果（槻木ほか，2002）を図4に示す。深度170 cmを境に産出する珪藻殻数・群集は変化する。深度170 cm以深（珪藻分帯IV）では，全体的に殻数は少なく，貧栄養性の多様な種が低い頻度で産出する。一方，深度170 cm以浅（珪藻分帯III～I）では，産出殻数が比較的多く，高い頻度で産出する種が顕著に急激に入れ替わる。とくに，1955年頃（深度約

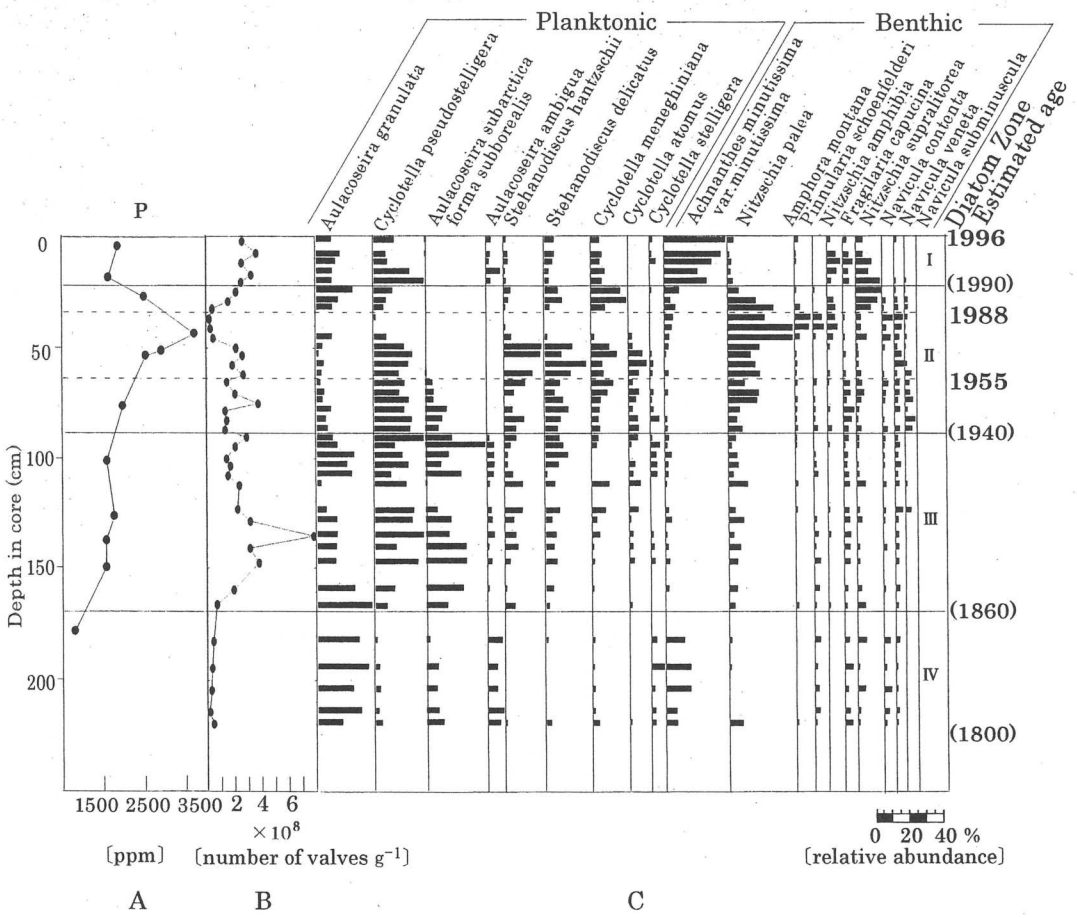


図4． 小寺池堆積物の珪藻殻数および珪藻群集組成変化（槻木ほか，2002）．A: 燐の濃度．B: 珪藻殻数．C: 産出した珪藻群集組成．

65 cm）より栄養塩類の指標となるリンの濃度が大幅に増え，珪藻群集が短期間で段階的に，*Aulacoseira subarctica* f. *subborealis* から *Stephanodiscus delicates, S. hantzschii,* さらに *Cyclotella meneghiniana* と変化する。また，底性・付着性種においても，重金属汚染や有機汚染をうけた河川に生息する *Nitzschia palea* が急増する。皿池である小寺池の珪藻分析結果によると，水域環境は1860年頃（深度170 cm）から，富栄養化が始まり，1955年頃に急速に富栄養化が進行し，1990年頃から，水質に改善が見られる。一方，谷池である狭山池堆積物の分析結果（槻木ほか，1998）によると，1955年頃までは，珪藻殻数が少なく，貧栄養性の多様な種が低い頻度で産出するが，1955年以降は，産出殻数が多く，富栄養性の種が高い頻度で急激に入れ替わることが明らかにされている。この富栄養性の珪藻種の入れ替わりは，小寺池と類似した傾向を示している。両ため池の水質悪化の時期は，周辺域の人口増加や食料増産のための肥料・農薬の大量使用，さらに産業活動の活発化の時期に一致する。

あとがき

明治に入って，日本では急速な近代化，工業化が進んだ。その負の遺産である人為的環境汚染は，大阪市内のため池・堀堆積物に鮮明に残されている。とくに戦後の1950年代前半からの重金属汚染や水質汚濁が，市内及び周辺のため池・堀に記録されていた。この1950年代は，日本で重化学工業化が急激に進み，都市が拡大する時期で，1960年代の高度経済成長期に入ると大気汚染・水質汚濁などの公害問題が顕在化する。全国にある膨大な数のため池・堀，それらの堆積物には，過去数百年間の人為的環境変化が記録されている。今後，各地のため池・堀堆積物について各種の地質学的研究が行われることによって，過去から現在にわたる詳細な人為的環境汚染史の解明が期待される。

引用文献

井上淳・田中美沙子・吉川周作. 1999. 大阪市長池堆積物の重金属分析と炭化片分析による人間活動の変遷. Proceedings of the 9th Symposium on Geo-Environments and Geo-Technics, 277－282.

松本英二・横田節夫. 1976. 東京湾・大阪湾における重金属汚染の歴史. 科学, 46：182－184.

狭山池地質研究会. 1999. 狭山池の堆積物. 狭山池論考集, 195－244, 狭山池調査事務所.

Takamatsu, T., Kawashima, M. and Koyama, M. 1980. Elemental Concentrations of 200 and 1000 Meter Long Cores with Special Reference to the Present Bottom Surface Short Cores from Lake Biwa. Paleolimnology of Lake Biwa and the Japanese Pleistocene, 8：187－221.

槻木玲美・後藤敏一・吉川周作. 1998. 狭山池堆積物に記録されている1950年以降の水域環境変化. 第四紀, 30：37－46.

――・吉川周作・後藤敏一. 2002. 溜池堆積物に記録された過去200年間の水域環境変遷史―大阪府高槻市小寺池の例―. 第四紀研究, 41：161－170.

内山高・兵頭政幸・吉川周作. 1997. 溜池堆積物の古地磁気年代測定. 第四紀研究, 36：97－111.

山崎秀夫・合田四郎・三谷明恒・内山高・吉川周作. 1998. 放射性核種から見た大阪狭山市狭山池堆積物の特性. 第四紀, 30：29－35.

――・澤田収俊・坂口裕子・稲野伸哉・井上淳・

吉川周作. 2002. 江戸末期から現在までの大阪市街地における重金属汚染の歴史トレンドとその動態. 第11回環境化学討論会講演要旨集, 122－123, 日本環境化学会.

吉川周作・三田村宗樹・長橋良隆・内山高・槻木玲美・Edy Sunardi・里口保文・橋本定樹・山本岩雄・田中里志・山崎博史・佐藤隆春・市川秀之. 1997. 大阪狭山市狭山池堆積物における液状化跡. 地質学雑誌, 103：982－989.

――・田中美沙子・槻木玲美. 2000. ため池地質学―過去約100年間の人為的環境汚染史―. 月刊地球, 22：186－190.

――・山崎秀夫・稲野信哉. 2002.大 阪市および周辺域における過去200年間の重金属汚染の歴史. 人工地層と自然地層の境界＝人自不整合問題シンポジウム「重金属を含む有害地層と重金属による汚染地層の境界問題」, 日本地質学会環境地質研究委員会, 49－53.