〈調査報告〉

児島湖底泥の含有汚濁物質の濃度分布とその特性

鷹 野 洋* 吉 岡 敏 行* 小 川 鷹 子*
荻 野 泰 夫* 森 忠 繁*

Concentration Distributions and Characteristics of Pollutions Containing in Sediment Samples in Lake Kojima

Hiroshi TAKANO*, Toshiyuki YOSHIOKA*, Takako OGAWA*,
Yasuo OGINO* and Tadashige MORI*

* Okayama Prefect. Inst. of Envir. Sci. Publ. Health, Uchio 739-1, Okayama 701-02 Japan

Abstract

The distributions of nutrients and heavy metal concentrations in sediment samples taken from Lake Kojima were surveyed, and the results of these studies were as follows:

- 1) Samples taken from the sediment which had accumulated around the lumberyard, contained rich organic compounds, nitrogen, sulphide, titanium and chromium with low density and small particle size.
- 2) Phosphorus, cadmium, lead, iron and manganese were found to have accumulated at the mouths of the two rivers.
- 3) The sediment samples from the center area had higher densities and larger particle size, and contained a small quantity of organic compounds, nutrient salts and heavy metals.
- 4) The sedimentary quantity and speed were also estimated; quantity and speed were $4.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ and $16 \text{ mm} \cdot \text{y}^{-1}$, respectively.
- 5) Results were calculated using the principal component analysis of 20 items which showed that the 1st component contributed 70.0% of the original data, pointing out the general pollution index in sediments. The 2nd component contributed 10.8% of the original data pointing out the difference of sedimentation.

Key words: Lake Kojima, sediment, nutrients, heavy metal, distribution of pollutants

1 はじめに

児島湖は、昭和34年に児島湾最奥部を締め切って造られた人工の淡水湖である。岡山市西部を流れる笹ヶ瀬川、倉敷市中心部を流れる倉敷川を主たる流入河川とし、流域面積544km²、流域人口62万人、湖面積8.2×10⁶m²、貯水量1.8×10⁷m³、平均水深1.6mである。湖水のCODは年平均で10mg・l⁻¹と汚濁の極めて進行した湖である¹⁾。

児島湖は河口湖であるため、湖内の底泥は流域河川

から流入した土砂、汚濁物質が沈降堆積したと推定される。底泥の性質は、底泥からの溶出による水質汚濁への影響、浚渫の際の環境影響に大いに関連している。しかし、児島湖の底泥に関する報告は少なく、わずかに熊城ら^{2),3)}、青山ら⁴⁾の報告があるのみである。

筆者らは児島湖全域の底泥について、栄養塩、重金属等の20項目について分析を行い、その濃度分布を明らかにし、主成分分析によって堆積底泥の分布特性を解析したので報告する。

* 岡山県環境保健センター 〒701-02 岡山市内尾739-1

2 試料採取および分析方法

Fig. 1 は児島湖の概略と試料の採取地点を示している。湖内を約300m 間隔で網目状に45地点、笹ヶ瀬川3地点、倉敷川5地点、計53地点を設定した。

試料はエックマンバージ式採泥器により表層から5cmの底泥を採取した。採取した試料は一晩5℃以下の低温室中に静置し、上澄液を除去後、よく混合して分析用試料とした。また試料の採取と同時に、10cmごとに目盛りをつけたポールによって水深を測定した。

分析項目は、乾燥減量（水分）、強熱減量（IL）、化学的酸素要求量（COD）、総窒素（T-N）、総リン（T-P）、硫化物、カドミウム（Cd）、鉛（Pb）、亜鉛（Zn）、鉄（Fe）、マンガン（Mn）、銅（Cu）、ヒ素（As）、コ

バルト（Co）、水銀（Hg）、チタン（Ti）、クロム（Cr）、ニッケル（Ni）、密度、粒度分布の計20項目である。

分析方法はJIS-A-1202（土粒子の密度試験方法）、JIS-A-1204（土の粒度試験方法）、T-Nは熊城ら⁵⁾の方法、その他は底質調査方法⁶⁾に従った。

水分の測定は105℃、2時間乾燥器中で乾燥、ILの測定は600℃、2時間電気炉中で強熱した後、それぞれ前後の重量の減少差から求めた。T-Nはケルダール分解後T-N計により、T-Pは硫酸、硝酸分解—モリブデンブルー比色法による。CODと硫化物は滴定法によって求めた。

Hgは硝酸、過マンガン酸カリ分解後、還元気化水銀計によって測定した。Crは過酸化ナトリウム融解後、溶媒抽出（トリオクチルアミン—酢酸ブチル）—原子吸光法による。Asは硫酸、硝酸、過塩素酸分解後、ジエチルジチオカルバミン酸銀吸光光度法による。

Cd、Pbは王水分解後、溶媒抽出（酢酸ブチル）—原子吸光法によって測定した。Zn、Fe、Mn、Cu、Co、Ti、Niは王水分解後、直接原子吸光法によって測定した。密度の測定にはピクノメーターを用い、粒度分布は標準網ふるいと浮標を用いた沈降分析結果から求めた。

3 結 果

3.1 栄養塩類等の分布

Fig. 2 は水分、IL、COD、T-NおよびT-Pの分布を示している。底泥の水分は28.2%~80.9%を示し、木材団地周辺は80%以上、湖心部は50%以下であった。

Fig. 1 Location of sampling points in Lake Kojima

Fig. 2 Distribution of a) Water contents, b) IL, c) COD, d) T-N and e) T-P

Fig. 3 Distribution of a) Cd, b) Pb, c) Zn, d) Fe and e) Mn

IL と COD の分布は似ており、それぞれ1.4～12.4%，0.8～36.5mg・g⁻¹の範囲で、木材団地周辺と笹ヶ瀬川河口部が高濃度(IL 10.0%以上，COD 30mg・g⁻¹以上)を示し、湖心部は低濃度(IL 5.0%以下，COD 10mg・g⁻¹以下)であった。

T-N は0.37～4.77mg・g⁻¹の範囲で、木材団地周辺、笹ヶ瀬川河口、阿部池沖が3.0mg・g⁻¹以上を示し、湖心部は1.0mg・g⁻¹以下であった。T-P は0.28～5.45mg・g⁻¹の範囲で、笹ヶ瀬川、倉敷川で2.0mg・g⁻¹以上を示し、湖心部は0.5mg・g⁻¹以下であった。硫化物は0.03～1.88mg・g⁻¹の範囲で、木材団地周辺が0.3mg・g⁻¹以上、湖心部は0.1mg・g⁻¹以下であった。

3.2 重金属の分布

Fig. 3 は Cd, Pb, Zn, Fe および Mn の分布を示している。

Cd は0.13～1.28mg・kg⁻¹、Pb は9.9～68.1mg・kg⁻¹の範囲で、類似した分布を示した。笹ヶ瀬川、倉敷川は Cd 1.0mg・kg⁻¹以上、Pb 50mg・kg⁻¹以上であったが、湖心部は Cd 0.5mg・kg⁻¹以下、Pb 20mg・kg⁻¹以下であった。

Zn は63～344mg・kg⁻¹の範囲で、笹ヶ瀬川と倉敷川の河口部に一部300mg・kg⁻¹以上を示した地点もあったが、調査地域の大部分が100～300mg・kg⁻¹の範囲であった。

Fe は14.0～43.1g・kg⁻¹の範囲で、湖南部の一部、木

材団地周辺、倉敷川が40g・kg⁻¹以上の高値を示した。

Mn は408～1,933mg・kg⁻¹の範囲で、木材団地から湖南部周辺、倉敷川、阿部池沖に1,200mg・kg⁻¹以上の地域が存在した。

その他、Cu, As, Hg はそれぞれ7.7～97.9mg・kg⁻¹、2.79～10.45mg・kg⁻¹、0.04～0.45mg・kg⁻¹の範囲で、Cd, Pb と同じような分布であった。Cr は15.5～48.6 mg・kg⁻¹の範囲で、Zn と同じように一様な分布であった。Ni は11.9～31.0mg・kg⁻¹、Co は6.5～15.0mg・kg⁻¹、Ti は1,340～4,010mg・kg⁻¹の範囲であり、この3種は木材団地周辺と笹ヶ瀬川、倉敷川が高濃度であった。

3.3 底泥粒子の分布

底泥粒子の大きさは重金属、栄養塩等の含有量に大きく影響する^{7)～9)}。底泥粒子の密度、50%粒径の分布を測定し、結果を Fig. 4 に示している。湖北東部から倉敷川河口の南部にかけて密度2.60以上、50%粒径0.1 mm 以上の地点が広がっていた。反対に、密度2.50以下の地点は木材団地周辺に、50%粒径0.01mm 以下の地点は木材団地から締切堤防周辺に広がっていた。

4 考 察

4.1 栄養塩類

木材団地周辺では T-P を除いた栄養塩類等が高い濃度を示している。この周辺は水深約6.5m と湖内で

Fig. 4 Distribution of a) Density and b) 50% particle size

最も深く、湖水の流下経路の最下流でもある。IL, COD, T-N の値が高いことから有機性汚濁物質の多い、比較的比重の小さな粒子が運搬された結果と考えられる¹⁰⁾。また、底泥堆積量が最も多いことは、児島湖に流入する土砂は比較的微細な粒子が多いことを示していると思われる。

一方、湖心部では栄養塩類は低濃度であり、土砂の粒径は比較的大きなものが多かった。一般に、停滞水域に流入した土砂は比重の大きなものから順次堆積すると考えられるが、湖心付近にはもともと湖底丘陵が存在していた¹¹⁾ため、流入した土砂がせき止められるように堆積したと考えられる。この中から比重の小さな粒子は湖内流によってさらに下流へと運搬され、結果として湖心付近には栄養塩、重金属含有量の少ない比較的比重、粒径の大きな粒子が残り、堆積したと考えられる。

T-P は他の栄養塩類とは分布が大きく異なっている。湖内の平均 $0.82\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ に対して、河川部の平均が $2.82\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ と笹ヶ瀬川、倉敷川の底泥が高濃度である。これは両河川の上流から運ばれてくる生活雑排水中のリンが、河口部で懸濁物質、金属等と凝集反応を起こして、沈降・堆積するためと考えられる¹²⁾。他の湖沼では、手賀沼¹⁰⁾では上沼 $6\sim 8\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ に対して下沼 $1\sim 2\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ であり、宍道湖¹³⁾では河口部 $1.0\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ に対して湖内 $0.4\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ と、いずれも流入部の T-P が高濃度であり、停滞水域への流入部にリンが堆積している。

ところで、河川から児島湖へ流入する汚濁負荷の総量は T-N $2,250\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$ 、T-P $440\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$ であるが、未処理の生活雑排水に由来するのは T-N 44.8%、T-P

64.0%であり、下水、し尿処理水に由来するのは T-N 14.7%、T-P 22.3%とされている¹⁴⁾。このように、生活雑排水が負荷の大部分を占め、下水、し尿由来の負荷と併せて、生活系の汚濁負荷が極めて多い状態にある。これらの汚濁物質は流入河川をとおして児島湖へ負荷されており、底泥中の汚濁物質を削減するには河川への流入負荷を減少させることが重要であることを示唆している。

4.2 重金属

人為的な重金属汚染の指標となる¹⁵⁾Cd, Pb は最高値が Cd $1.28\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、Pb $68.1\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ である。これを他の湖沼と比較すると、手賀沼¹⁶⁾での Cd $0.36\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、Pb $16.7\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ より高く、中海¹⁷⁾の Cd $1.8\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、Pb $118\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ よりは低い傾向である。

また、平均濃度は Cd $0.58\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、Pb $33.4\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ である。児島湖に隣接する児島湖流域下水道浄化センター（以下浄化センター）の下水汚泥中には平均濃度として Cd $1.30\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、Pb $31.2\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ が含有されている¹⁸⁾ことから、児島湖の Cd, Pb は生活雑排水由来と考えられる。

Zn は Cd, Pb と同様に人為的な汚染の指標となる¹⁵⁾。児島湖での濃度範囲は $63\sim 344\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ であり、他の湖沼では手賀沼¹⁶⁾が $90\sim 220\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、中海¹⁷⁾が $100\sim 150\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ であり、これらよりも高い傾向がみられる。浄化センター汚泥中に Zn は平均 $530\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 含有されている¹⁸⁾。児島湖の平均値 $179\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ はこの値の約33%であり、下水汚泥よりも少ない値を示している。Zn は下水汚泥中に濃縮されやすい傾向があり²⁰⁾、児島湖への流入過程の用水、河川底泥中に沈殿、濃縮されていると考えられる¹⁷⁾。

児島湖浄化の一方法である浚渫によって発生する汚泥は農地への還元も考えられるが、汚泥の農地等への還元に係る指針では Zn の暫定許容基準は $120\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ とされている²¹⁾。これまでの児島湖調査²⁾⁻⁴⁾から、児島湖では一部地域が暫定許容基準を超えると考えられていた。しかし、今回の調査によって湖全体の80%の地点で基準を超過することが明らかとなり、浚渫汚泥を農地へ還元する事は困難と考えられる。

Fe, Mn は平均値でみると手賀沼¹⁶⁾とほぼ同じで、中海¹⁷⁾と比べると Fe がやや高く、地域的には倉敷川が高い傾向にある（倉敷川：Fe $40.0\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、Mn $1,580\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全平均：Fe $31.8\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、Mn $1,050\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ）。Fe, Mn を高濃度に含有するし尿^{20), 22)}を含む生活雑排水が倉敷川上流に負荷されていることも一因と考えられるが、Fe, Mn は自然賦存量が多いため外部負荷の影響がとらえにくい傾向にある¹⁰⁾。

4.3 底泥の堆積

児島湖の水深は浅い(平均水深1.6m)ので、ポールを用いた方法によって ± 5 cmの誤差範囲で測深が可能であった。そこで、昭和42年の奥田の報告¹¹⁾を基準として、水深の差から堆積土砂の分布を求め、堆積量と堆積速度を推定した。なお、水深は樋門の管理を行っている児島湖土地改良区の資料に基づいて補正を加えた。Fig. 5に堆積量の水平分布を示す。木材団地周辺が最も堆積量が多く、24年間で3 m以上も水深が浅くなっていた。ついで、湖南から樋門にかけてと湖心周辺が2~3 m、河川部が笹ヶ瀬川の一部を除き1~2 m堆積していた。観測結果をもとに堆積量と堆積速度を推定すると、堆積量は $4.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、堆積速度は $16 \text{ mm} \cdot \text{y}^{-1}$ であった。

一般に堆積速度は集水域が湖沼面積に比べて大きな場合早くなる傾向がみられる。例えば、琵琶湖の集水域は湖沼面積の5.7倍、堆積速度は $1.5 \text{ mm} \cdot \text{y}^{-1}$ である^{23),24)}が、集水域が湖沼面積の40倍の諏訪湖の堆積速度は $12.0 \text{ mm} \cdot \text{y}^{-1}$ である²⁵⁾。児島湖の集水域は湖沼面積の66倍であり、堆積速度は諏訪湖よりも早くなっている。山岳地帯を集水域とする諏訪湖は流入河川の勾配が急峻で土砂の供給量が大いと考えられている²⁵⁾が、平野部に位置する児島湖は大きな集水域からの土砂の供給によって堆積速度が速くなっていると考えられる。

4.4 主成分分析

底泥の汚染は単独物質による場合は少なく、複数の汚染物質が複雑に絡み合っているものである¹⁷⁾。そこで底泥汚染を総合的に把握するために、測定した20項目を変数とする主成分分析による解析を行った。寄与率は第1主成分70.0%、第2主成分10.8%、第3主成分4.0%であり、第1主成分と第2主成分に全体の80.8%の情報が集約された。解析結果をTable 1に、第1主成分(Z1)スコアと、第2主成分(Z2)スコアの分布をFig. 6に示している。

Z1スコアの分布(Fig. 5, a)では、笹ヶ瀬川、倉敷川と湖東南部が+2.0以上を示し、湖心部周辺が-

2.0以下を示した。また、項目別では(Table 1)密度と50%粒径が負の値を示し、その他の項目は正の値を示すことから、第1主成分は底泥粒子表面に吸着されている⁴⁾汚染物質の総合指標と考えられる。

第2主成分で正の大きな値を示した項目は河口部に沈降・堆積しやすいT-P、Cd、Mnであり、負の大きな値を示した項目は湖内での再移動を受けやすいと思

Table 1 Results of Principal Component Analysis of twenty items

Eigen value	14.70	2.23	0.84
Contribution	0.700	0.106	0.040
Accumulation	0.700	0.806	0.846
Eigen Vector	(Z ₁ , xi)	(Z ₂ , xi)	(Z ₃ , xi)
Item			
Cd	0.231	0.254	0.030
Pb	0.249	0.134	-0.004
Zn	0.214	0.135	0.191
Cu	0.237	0.173	0.060
Fe	0.253	-0.020	-0.003
Mn	0.203	0.247	-0.070
Ni	0.252	-0.040	-0.010
Co	0.233	0.050	-0.050
Ti	0.184	-0.338	-0.241
As	0.224	0.208	0.111
Hg	0.231	0.171	0.001
Cr	0.235	-0.205	-0.118
T-N	0.243	-0.134	-0.050
T-P	0.144	0.476	0.129
Sulphid	0.070	-0.367	0.767
COD	0.211	-0.336	0.030
IL	0.250	-0.116	0.030
Water content	0.248	-0.126	0.020
Density	-0.222	0.050	0.126
50% particle size	-0.210	0.126	-0.130

Fig. 5 Distribution of sedimentary quantity

Fig. 6 Distribution of a) Z1 and b) Z2 score

われる有機物成分の硫化物、COD と微小粒子の粘土質に多い Ti^{2+} である。したがって、第2主成分は河口部で一次堆積するものと湖内流でさらに運搬されて二次堆積するものとの堆積性の違いを表す指標と考えられる。

Z1スコアとZ2スコアの分布から調査地域を、河川下流から河口部の地域(河口部ブロック)、木材団地から締切堤防にかけた地域(湖東南部ブロック)、両地域の間位置する湖心を中心とした地域(湖心部ブロック)の3ブロックに分類できる。

- 1) 河口部ブロックの底泥は外部負荷による有機物、栄養塩、重金属などの含有量が大きく、最も頻繁に沈降・堆積を繰り返している。
- 2) 湖心部ブロックは栄養塩、重金属の含有量が少なく、比較的粒子の大きい砂を主体とした底泥である。
- 3) 湖東南部ブロックは微細な粒子の底泥であり、T-N、硫化物等を高濃度に含んだ還元状態のヘドロである。

5 ま と め

児島湖全域の底泥について栄養塩、重金属等の20項目を分析し、その濃度分布と主成分分析による解析結果から次のような結論を得た。

- 1) 木材団地周辺の底泥は有機物、窒素、硫化物、Ti、Cr を多量に含み、密度が低く、粒径の小さなものであった。
- 2) 河口部の底泥はリン、Cd、Pb、Fe、Mn が高濃度に含有されていた。
- 3) 湖心部の底泥は密度が高く、粒径の大きな底泥であり、有機物、栄養塩、重金属等の含有が少なかった。
- 4) 過去25年間の児島湖底泥の堆積量は $4.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、堆積速度は $16 \text{ mm} \cdot \text{y}^{-1}$ と推定された。
- 5) 分析した20項目を変量とした主成分分析の結果では、第一主成分は寄与率70.0%で底泥粒子表面に吸着されている汚染物質の総合指標を表し、第二主成分は寄与率10.8%で堆積性の違いを表す指標と考えられた。

本調査の要旨は第26回日本水環境学会年会(1992)において発表した。

(原稿受付 1994年1月6日)

(原稿受理 1994年4月16日)

参 考 文 献

- 1) 岡山県環境保健部水質保全課(1987)児島湖の現状と浄化対策。

- 2) 熊城一男, 山本弘捷, 清水光郎, 畑宏(1983)底質中の栄養塩の挙動に関する調査研究, 岡山県環境保健センター年報, 7, 120-122.
- 3) 熊城一男, 鷹野洋(1989)児島湖底質中の重金属及び栄養塩類の調査, 岡山県公衆衛生学会雑誌, 1, 52-58.
- 4) 青山勲, 西崎日佐夫(1981)湖沼における重金属の分布と動態, 生態化学, 4, 61-73.
- 5) 熊城一男, 大西昇, 清水光郎, 片山靖夫, 畑宏(1982)化学発光法による底質中全窒素の分析について, 岡山県環境保健センター年報, 6, 77-79.
- 6) 環境庁水質保全局水質管理課編(1988)改訂版底質調査方法とその解説, 日本環境測定分析協会, 東京.
- 7) 吉永雅篤, 下濃義弘, 杉山邦義, 松田義彦, 杉村宏(1990)河川底質中重金属の評価法について, 水質汚濁研究, 13, 499-506.
- 8) 坂井宏光(1990)河川における重金属の挙動と環境汚染評価方法, 水処理技術, 31, 7-18.
- 9) 菊池正行, 佐竹武典, 関敏彦, 角田行(1987)底質調査における粒度試験の意義, 全国公害研会誌, 12, 17-21.
- 10) 小林節子, 楠田隆(1985)手賀沼の底質, 用水と排水, 27, 150-158.
- 11) 奥田節夫(1971)児島湖底の微地形変化, JIBP-PF 児島湖群集生産研究経過報告, 4, 48-52.
- 12) 亀田泰武, 木下正明(1978)閉鎖性水域底質中の栄養塩類について, 公害と対策, 14, 852-857.
- 13) 葛原美紀雄, 森本直知, 川上誠一, 安田幸伸, 木村俊博(1977)宍道湖の底質調査, 鳥根県衛生公害研究所報, 19, 129-134.
- 14) 中西弘(1984)主要10湖沼の汚濁の現状と保全への提言—児島湖, 公害と対策, 20, 986-990.
- 15) 日本土壤肥料学会編(1980)下水汚泥, 193pp, 博友社, 東京.
- 16) 本橋敬之助, 鈴木尚(1991)浸透効果の評価における問題点, 水処理技術, 32, 489-495.
- 17) 近藤邦男, 清家泰, 伊達啓夫(1986)汽水湖中海底質中の重金属および有機物の分布特性, 水質汚濁研究, 19, 215-224.
- 18) 岡山県下水道公社(1991)平成2年度児島湖流域下水道維持管理年報.
- 19) 岡田昌四郎, 石沢肇, 高橋理之, 川田賢治(1985)流入水中の重金属類等の由来と特性に関する調査, 下水道協会誌, 22, 51-69.
- 20) 山根靖弘ほか訳(1986)環境汚染物質の生体への影響17 亜鉛, 48pp, 東京化学同人, 東京.
- 21) 環境庁水質保全局長通知(1984)農用地における土壌中の重金属等の蓄積防止に係る管理基準.
- 22) 森忠洋, 森山清, 荒屋敷秀俊, 森泰, 斉藤寛, 中野篤浩, 茅野充男(1987)家庭から下水へ排出される重金属の源単位, 水質汚濁研究, 10, 415-422.
- 23) 平田静子, 谷本照巳, 星加章, 安田秀一(1993)琵琶湖柱状堆積物中の元素の鉛直分布, 中国工業試験所報告, 41, 33-48.
- 24) 寺島滋, 井内美郎, 斉藤文紀, 宮田雄一郎, 片山肇, 寺島美南子(1991)湖沼浸透域の底質における元素の鉛直分布と化学的性質, 地質調査所月報, 42, 387-407.
- 25) 寺島滋, 井内美郎, 宮田雄一郎, 片山肇, 斉藤文紀, 安田聡, 渡邊和明, 吉川秀樹, 稲崎富士(1992)諏訪湖底質中の重金属等11元素の地球化学的研究, 地質調査所月報, 43, 549-564.
- 26) 小山忠四郎(1982)水質・底質化学分析法, 108pp, 成文堂, 東京.