

B-70 流域に射撃場を持つため池の鉛汚染の起源推定法

○永淵 修*

千葉科学大学環境安全システム学科 (〒288-0025 千葉県銚子市潮見町3番地)

* E-mail: onagafuchi@cis.ac.jp

1. はじめに

上流域に射撃場を持つ農業用ため池の鉛汚染について、その起源を特定する方法を検討した。鉛はその原料となる鉛鉱山によりその安定同位体比が異なることが知られている。そこで、射撃場の土壌、射撃場上流域の土壌、ため池の底泥等を採取し、その鉛同位体比分布を検討した。その結果、射撃場の影響を受けない土壌、堆積物とその影響を受けた土壌・堆積物では鉛同位体比の分布が全く異なっていた。さらに、銃弾に使用されている他の金属（ここでは亜鉛と銅であるが）と鉛の組成比から Distance Index を計算したところ射撃場の影響を受けた地点と受けてない地点では Index の値が大きく異なった。したがって、鉛同位体比は鉛の起源を特定する方法として優れており、さらにそれを補完する方法を用いることでその確度はさらに上昇することを確認した。

2. 方法

調査は平成 13 年 9 月 21 日および 11 月 15 日に行った。調査地点は図 1 及び図 2 に示すとおりである。

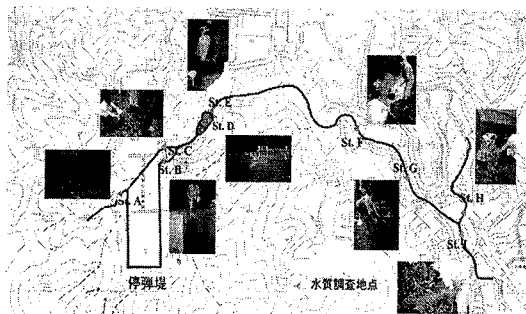


図 1 水試料採取地点

自衛隊の射撃訓練に使用する銃弾は散弾と異なり、鉛弾が真鍮で覆われており（フルメタルジャケット）これら金属も鉛とともに底質を汚染している可能性がある。そこで真鍮の成分である銅と亜鉛も分析し、各調査地点

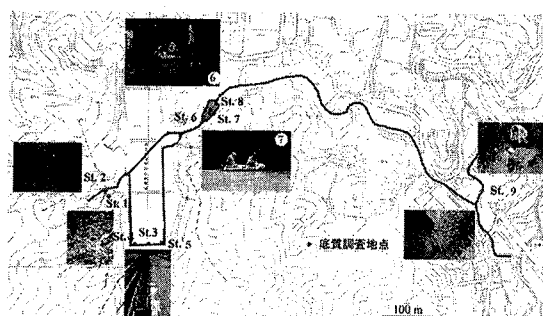


図 2 底泥採取地点

について、3 種の重金属の組成比を検討した。さらに、この組成比から Distance Index (D. I.)^{1),2)}を計算し、調査地点毎の類似性を検討した。D. I. は次式で表される。

$$D. I._{jk} = (\sum (X_{ji} - X_{ki})^2)^{1/2}$$

ここで、X: 3 種の総金属濃度 (Pb+Zn+Cu) に対する各金属濃度の相対組成 (%), i: 各金属成分, j, k: St. No. である。

D. I. とは二つの試料間の類似度を示す値であり、試料間の各金属毎の相対組成比が全く同じであれば D. I. = 0 となる。すなわち、D. I. の値が小さいほど二つの試料が類似していることを表している。

次に、鉛の安定同位体によってその起源の類似性を検討した。安定同位体とは元素に刻印された指紋と見なすことができ、犯人の特定に指紋鑑定が有効であるように物質循環を構成している多様な元素の系はそれらの安定同位体を用いることにより一つ一つ解きほぐすことが可能である。鉛のような放射性起源の安定同位体は岩石鉱物年代決定や成因の研究に広く利用されているが、親元素の放射壊変が極めて遅いため、数年や数百年といった地質学的に短いタイムスケールでは同位体組成変化を事実上無視できる。鉛には 4 種類の安定同位体 (^{204}Pb ,

206Pb, 207Pb, 208Pb) があり, そのうち 204Pb を除きい
ずれも親元素 (238U, 235U, 232Th) が存在する。した
がって, 鉛の場合, いずれの同位体も地質学的に意味を
持っている。地質試料における同位体組成の変化幅は年
代や親元素と娘元素の比などにより変化する。鉛の安定
同位体は, 炭素や酸素のような軽元素安定同位体の組成
変動を支配している同位体効果が無視できる。言い換え
ると, 環境物質に含まれる鉛の同位体組成は異なる同位
体組成を持つ物質の混合によってのみ変化する。二成分
混合の場合, 同位体組成と濃度の逆数の間には線形の関
係が成り立つことが知られ, 混合の割合を定量的に評価
できる。

石炭や鉱石の鉛同位体組成は, それらが形成した地質
環境を反映して一般に異なっている。主な鉱石鉛は海底
堆積物中に層状にはいり胎している大規模鉱床の鉛で, そ
の鉛同位体組成は地質時代と共に規則的に変化すること
が知られている。こうした鉛同位体組成の不均質性を用
いて, 環境鉛の発生源やその変遷などに関する研究がな
されてきている。ここではこの鉛の安定同位体組成の変
化を用いて射撃場周辺の底質中鉛が射撃場由来するの
か否かを検討した。

3. 結果と考察

水質調査及び底質調査結果について表 1, 表 2 並びに
図 3 に示す。鉛濃度はため池から 0.011 mg/L と濃度が
上昇し, ため池の下流域も同程度の濃度 (0.010~0.012
mg/L) であり, この濃度は鉛の環境基準値 (0.010 mg/
L) を僅かであるが超えている。しかし, 他流域からの
溪流 (鉛濃度は < 0.001 mg/L) が合流した後, 鉛濃度
(0.006 mg/L) は環境基準値以下に低下しており, そ
の汚染範囲はため池を含む流域の河川だけであり広範囲
に及んではない。

表 1 水質調査結果

St. No	水温 (℃)	DO (mg/L)	pH	EC (μS/cm)	鉛 (mg/L)
St. A	17.7	8.2	7.2	103	0.001
St. B	21.4	8.9	7.3	82.0	0.004
St. C	17.4	9.8	7.2	106	0.002
St. D	18.8	8.1	7.2	108	0.011
St. E	19.0	9.3	7.4	108	0.012
St. F	18.9	8.2	7.3	177	0.010
St. G	19.2	9.0	7.5	185	0.010
St. H	20.9	9.5	8.1	147	<0.001
St. I	20.4	9.0	7.5	181	0.006

一方, 底質および土壌の鉛濃度は射撃場停弾堤水路
(St. 4, 5, 6) の底質から異常に高くなっており, そ
の下流域に位置するため池の底質 (St. 7, 8, 9) も
非常に高い濃度である。すなわち, St. 1 (射撃場より
上流部付近の土壌) および St. 2 (射撃場より上流部)
の底質の鉛濃度は 3~6 μg/g であり, St. 10 (山家川

表 2 底泥調査結果

	含水率 (%)	強熱減量 (%)	鉛 含有量 (mg/dry kg)	亜鉛 含有量 (mg/dry kg)	銅 含有量 (mg/dry kg)
St. 1	14.8	3.78	6.37	61.5	16.7
St. 2	18.8	1.35	3.90	29.3	6.81
St. 3	31.5	6.85	1930	247	693
St. 4	15.4	1.09	387	—	—
St. 5	17.0	0.85	929	—	—
St. 6	25.6	4.61	122	93.4	65.1
St. 7	46.7	13.4	580	238	183
St. 8	51.8	14.4	924	224	245
St. 9	21.8	1.62	4.17	52.3	12.6

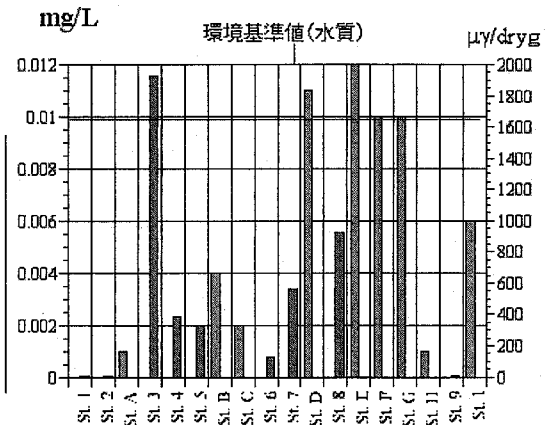


図 3 水・底泥中の鉛濃度

上流部の底質: 射撃場からの影響なし) の鉛濃度も約
4 μg/g である。一方, St. 4~6 の水路底質中鉛濃度は
330~1930 μg/g と高い。また, 射撃場の直下にあるた
め池の底質濃度も 120~900 μg/g と自然界の濃度から
みると異常に高い値を示している。因みに環境汚染が進
んでいる大阪湾底質 (淀川河口付近) の鉛濃度でさえ
70~80 μg/g 程度であることからみても射撃場周辺の
底質中鉛濃度がいかに高いかがわかる。したがって, 射
撃場下流域の鉛汚染は, 何らかの射撃場の影響を示唆し
ている。鉛は土壌中で有機物や土壌鉱物 (主に鉄酸化
物) に強く吸着される。また, 一般的に底質の含水率は
有機物量が多いと高くなる。ここでも表 2 に示したよう
に含水率の高い底質は有機物量も高い。しかし, 射撃場
水路の底質鉛含有量には一般的な事実が当てはまらない。
すなわち, 非常に低い有機物量の底質に対し高い鉛含有
量を示している。これは外部から非常に大きな鉛負荷が
あることを示唆している。さらに, 3 種の重金属 (鉛,
亜鉛, 銅) の組成比を検討してみると, 射撃場とため池
は鉛が主成分 (40~70%) であり, 他の地点は亜鉛が主
成分 (70%) であった。このように組成比からも違いが
認められる。この組成比を用い Distance Index を計算し,
表 3 に示す。表 3 から射撃場及びため池のグループと他
の地点のグループに区別された。これらの結果から射撃
場由来の鉛がため池を汚染している可能性が高くなった

表3 金属組成による Distance Index

	St. 1	St. 2	St. 3	St. 6	St. 7	St. 8	St. 9
St. 1							
St. 2	87.6						
St. 3	87.6	81.9					
St. 6	53.5	47.8	34.1				
St. 7	69.4	63.7	19.2	19.0			
St. 8	81.6	75.9	9.02	29.1	12.2		
St. 9	3.74	9.22	91.0	56.9	72.6	59.9	

が、射撃場水路の底質中鉛濃度が高いこと、さらに、その下流にあるため池の底質中鉛濃度も高いという現象及び地点ごとの重金属組成比が異なるだけでため池の底質中鉛が射撃場由来とは断定的できない。そこで、射撃場水路の底質中鉛とため池底質中鉛の起源が同じであるかどうかを検討するために鉛同位体比を測定した。

鉛同位体比の分布と鉛の growth curve を図4に示す。ため池の底質中に含まれる鉛の同位対比の分布域は射撃場停弾堤水路の底質中鉛の同位体比とほとんど同じ位置に分布している。一方、鉛濃度の低かった地点の鉛同位体比は全く異なった位置に分布している。一般的に鉛鉱山の鉛同位体比は図4に示した growth curve 上に分布するが中には curve 上からはずれるものも存在する。神岡鉱山もその一つであり、中国華北にも存在することが明らかになっている。射撃場の銃弾の鉛が単一の鉱山の鉛でできているのかあるいは銃弾の鉛が混合物により製造されているのかにより分布域は異なってくる。しかし、ここで問題にしているのはため池底質中の鉛が射撃場か

かになった。

参考文献

- 1) Sokal, R. R.: Distance as a measure of taxonomic similarity, *Systematic Zoology*, 10, 71-79, 1961.
- 2) McIntosh, R. P.: An index diversity and the relation of certain concepts to diversity, *Ecology*, 48, 392-404, 1967.

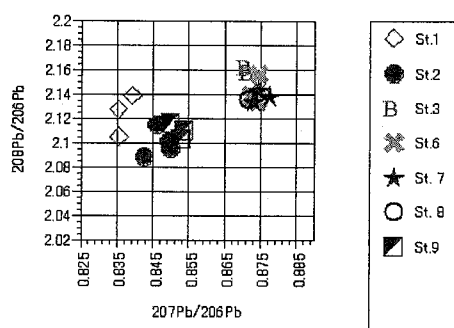


図4 鉛同位体比の分布

ら流出したものであるか否かであり、そのことに関してはこの鉛同位対比からみてかなりの確率で同じものであるといえる。さらに上流域の鉛濃度が非常に低いことから射撃場、ため池への鉛同位体組成への影響は非常に小さく、そのことも結果として明確な鉛同位体比の一致をみたものと考えられる。また、射撃場鉛の影響を受けてない地点の鉛同位体比は我が国の鉛同位体比に非常に近い値を示している。すなわち、鉛同位体比からみた射撃場底質の鉛とため池の鉛は非常に近いことを示しており、上流側、下流側の射撃場から流出する渓流水の影響を受けてない地点の鉛同位体比は全く起源が違うことが明ら