

# セメント工場周辺における重金属による環境汚染について (第2報, 土壌中の鉛, 亜鉛, 銅, ニッケル)\*

高塚 美和・島 洋久・山田 幸延  
白井 宣一郎・内藤 良三・長井 喜久  
仲 邦熙・松林 万行・垣野 隆一  
村田 元秀

## 1. はじめに

セメント工場周辺における重金属特にカドミウムによる環境汚染が各地で問題となった<sup>1,2,3)</sup>。三重県においても県北西部の藤原町を中心とした西員弁地域のセメント工場周辺においてカドミウム汚染が問題となり、筆者らは土壌を対象に調査研究を行い、工場周辺地域土壌中のカドミウムは表層土に高く下層土に低い。また表層土のカドミウム濃度は工場からの距離により減少し、表層、下層の濃度差は小さくなる。土壌 pH は工場周辺部においては表層土に高く下層土に低い、表層土 pH と工場からの距離の間には逆相関がみられるなどから、工場周辺部では明らかにセメント工場からの粉じんによる汚染がみられるとしたが、一部の地域(大貝戸・坂本地域)において異常な高濃度のカドミウムが検出され、その原因については検討を要すると報告した<sup>4)</sup>。

今回はカドミウム以外の重金属、鉛、亜鉛、銅、ニッケルについて土壌の汚染状況の調査を行ったので報告する。

## 2. 試料の採取地点および採取方法

試料の採取地点は前報<sup>4)</sup>のカドミウムの採取地点と同地点で、工場を中心に半径 5 km の範囲内で66カ所において、表層土、下層土に分け採取を行い、一部の地点では中間の層も採取した。採取方法も前報と全く同様である。

## 3. 分析方法

前報同様、王水分解—ジチゾンクロロホルム抽出—原子吸光法<sup>4,5)</sup>で分析を行った。なお、鉛については2828 Å, 亜鉛2133Å, 銅3237Å, ニッケル2314Åの波長を用いた。

## 4. 結 果

表1に鉛、亜鉛、銅、ニッケルの分析結果を示した。地域の分類は前報同様工場を中心に北西1.5km, 南東5 km で員弁川左岸を除いた地域を工場周辺地域、北西1.5km以遠で真川右岸地域を大貝戸・坂本地域、員弁川右岸と真川の間地域を真川左岸地域ならびに員弁川左岸地域の4地域に分割した。

### 4・1 鉛について

表1に示したように鉛は前報のカドミウムと同様な結果を示し、鉛による汚染もみとめられた。

すなわち、工場周辺地域においては表層土で29~400 ppm と下層土の15~97ppm の2倍以上の値を示している。工場からの距離と表層土鉛の関係をみると図1のよ

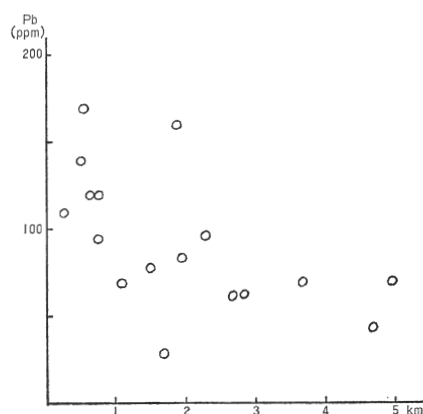


図1 工場からの距離と表層土鉛との関係

\*Environmental Contamination by Heavy Metals around the Cement Factory. Part 2. Lead, Zinc, Copper and Nickel Concentration in Soil.

Y. Takatsuka, H. Shima, Y. Yamada, S. Shirai, R. Naito, Y. Nagai, K. Naka, K. Matsubayashi, R. Kakino, M. Murata. (三重県環境科学センター). The Environmental Science Institute of Mie Prefecture

表 1 分析結果

| 地域                              | 採取地点  | Pb (ppm)     |              |              | Zn (ppm)      |               |               | Ni (ppm) |       |        | Cu (ppm)   |        |        |
|---------------------------------|-------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------|-------|--------|------------|--------|--------|
|                                 |       | 表層           | 中層           | 下層           | 表層            | 中層            | 下層            | 表層       | 中層    | 下層     | 表層         | 中層     | 下層     |
| 工場<br>周辺<br>地域                  | 14    | 130          |              | 97           | 230           |               | 200           | 50       |       | 49     | 70         |        | 65     |
|                                 | 15    | 400          | 110          | 60           | 450           | 120           | 120           | 29       | 42    | 35     | 38         | 57     | 46     |
|                                 | 16    | 97           | 19           | 28           | 110           | 41            | 54            | 14       | 9.0   | 16     | 15         | 9.7    | 9.9    |
|                                 | 17    | 120          |              | 20           | 180           |               | 50            | 11       |       | 13     | 20         |        | 15     |
|                                 | 18    | 140          |              | 15           | 380           |               | 140           | 40       |       | 51     | 68         |        | 70     |
|                                 | 22    | 29           |              | 48           | 170           |               | 130           | 89       |       | 52     | 72         |        | 52     |
|                                 | 23    | 95           |              | 63           | 170           |               | 190           | 36       |       | 50     | 48         |        | 56     |
|                                 | 24    | 110          |              | 25           | 310           |               | 180           | 57       |       | 62     | 66         |        | 56     |
|                                 | 25    | 170          |              | 61           | 340           |               | 170           | 44       |       | 44     | 56         |        | 52     |
|                                 | 26    | 120          |              | 45           | 270           |               | 240           | 55       |       | 51     | 73         |        | 74     |
|                                 | 27    | 69           |              | 46           | 220           |               | 240           | 57       |       | 81     | 87         |        | 95     |
|                                 | 28    | 78           |              | 57           | 170           |               | 170           | 36       |       | 44     | 40         |        | 47     |
|                                 | 29    | 160          |              | 57           | 260           |               | 160           | 40       |       | 43     | 53         |        | 50     |
|                                 | 30    | 84           |              | 44           | 200           |               | 150           | 40       |       | 52     | 51         |        | 42     |
|                                 | 31    | 62           |              | 60           | 190           |               | 180           | 37       |       | 41     | 66         |        | 88     |
|                                 | 32    | 97           |              | 57           | 230           |               | 220           | 47       |       | 61     | 65         |        | 81     |
|                                 | 33    | 63           |              | 46           | 130           |               | 110           | 37       |       | 39     | 35         |        | 36     |
|                                 | 34    | 70           |              | 61           | 150           |               | 160           | 33       |       | 37     | 54         |        | 75     |
| 37                              | 70    |              | 20           | 270          |               | 150           | 26            |          | 34    | 77     |            | 37     |        |
| 38                              | 44    |              | 23           | 140          |               | 110           | 42            |          | 34    | 110    |            | 87     |        |
| 範                               | 囲     | 29<br>~400   |              | 15~97        | 110<br>~450   |               | 50<br>~240    | 11~89    |       | 13~81  | 15<br>~110 |        | 9.9~88 |
| 員<br>弁<br>川<br>左<br>岸<br>地<br>域 | 9     | 16           |              | 21           | 56            |               | 94            | 16       |       | 29     | 17         |        | 19     |
|                                 | 10    | 37           |              | 21           | 140           |               | 71            | 16       |       | 6.4    | 25         |        | 17     |
|                                 | 11    | 14           |              | 14           | 59            |               | 44            | 8.7      |       | 9.6    | 6.1        |        | 6.7    |
|                                 | 12    | 25           |              | 16           | 79            |               | 53            | 13       |       | 12     | 14         |        | 11     |
|                                 | 19    | 44           |              | 11           | 81            |               | 56            | 12       |       | 13     | 17         |        | 10     |
|                                 | 20    | 16           |              | 21           | 53            |               | 70            | 16       |       | 21     | 12         |        | 17     |
|                                 | 21    | 34           |              | 21           | 120           |               | 80            | 21       |       | 21     | 30         |        | 18     |
|                                 | 35    | 45           |              | 30           | 110           |               | 93            | 22       |       | 31     | 24         |        | 23     |
| 36                              | 12    |              | 13           | 42           |               | 41            | 7.6           |          | 10    | 6.0    |            | 7.2    |        |
| 範                               | 囲     | 12~45        |              | 11~30        | 42~140        |               | 41~94         | 7.6~22   |       | 6.4~31 | 6.0~30     |        | 6.7~23 |
| 大<br>貝<br>戸<br>坂<br>本<br>地<br>域 | 39    | 110          | 50           | 41           | 310           | 160           | 150           | 48       | 53    | 45     | 52         | 44     | 36     |
|                                 | 40    | 99           | 93           | 51           | 260           | 180           | 220           | 57       | 61    | 62     | 52         | 57     | 51     |
|                                 | 41    | 360          | 350          |              | 640           |               | 680           | 78       |       | 100    | 66         |        | 74     |
|                                 | 42    | 170          | 96           | 120          | 310           | 190           | 310           | 55       | 62    | 77     | 50         | 54     | 60     |
|                                 | 43    | 390          |              | 310          | 860           |               | 600           | 61       |       | 57     | 91         |        | 87     |
|                                 | 44    | 260          |              | 150          | 380           |               | 280           | 42       |       | 48     | 84         |        | 74     |
|                                 | 45    | 890          | 1,100        | 1,900        | 930           | 1,000         | 1,300         | 44       | 58    | 55     | 160        | 240    | 230    |
|                                 | 46    | 930          |              | 1,100        | 950           |               | 1,200         | 46       |       | 53     | 160        |        | 220    |
|                                 | 47    | 330          | 430          | 160          | 520           | 520           | 230           | 22       | 43    | 26     | 140        | 170    | 100    |
|                                 | 48    | 1,200        | 1,100        | 1,300        | 1,000         | 1,100         | 1,400         | 52       | 52    | 54     | 140        | 180    | 200    |
|                                 | 49    | 930          | 1,000        | 1,200        | 920           | 1,100         | 1,000         | 48       | 59    | 52     | 160        | 210    | 200    |
|                                 | 50    | 1,000        | 1,400        | 1,300        | 1,100         | 860           | 610           | 54       | 64    | 56     | 190        | 250    | 250    |
|                                 | 51    | 700          | 820          | 830          | 670           | 620           | 720           | 49       | 54    | 56     | 100        | 130    | 130    |
|                                 | 52    | 1,000        |              |              | 1,000         |               |               | 52       |       |        | 210        |        |        |
|                                 | 53    | 1,200        | 2,100        | 2,200        | 1,100         | 2,000         | 2,100         | 42       | 71    | 69     | 200        | 360    | 390    |
|                                 | 54    | 1,400        |              | 2,100        | 1,500         |               | 1,800         | 71       |       | 81     | 260        |        | 310    |
|                                 | 55    | 1,400        |              | 1,200        | 1,600         |               | 1,400         | 80       |       | 60     | 250        |        | 240    |
|                                 | 56    | 1,200        |              | 1,300        | 1,300         |               | 1,400         | 63       |       | 62     | 240        |        | 250    |
| 57                              | 1,200 |              | 1,300        | 1,400        |               | 1,400         | 55            |          | 61    | 220    |            | 250    |        |
| 58                              | 1,400 |              | 1,700        | 1,500        |               | 1,800         | 65            |          | 76    | 220    |            | 300    |        |
| 59                              | 1,300 |              | 1,500        | 1,300        |               | 1,200         | 58            |          | 69    | 190    |            | 280    |        |
| 60                              | 1,200 | 1,700        | 1,300        | 1,100        | 1,300         | 1,200         | 51            | 65       | 57    | 220    | 220        | 260    |        |
| 61                              | 600   | 750          | 690          | 660          | 780           | 1,100         | 27            | 36       | 48    | 99     | 120        | 160    |        |
| 62                              | 500   |              |              | 580          |               |               | 19            |          |       | 110    |            |        |        |
| 63                              | 1,200 | 820          | 660          | 1,500        | 830           | 640           | 62            | 43       | 46    | 260    | 130        | 100    |        |
| 64                              | 360   |              |              | 430          |               |               | 25            |          |       | 80     |            |        |        |
| 65                              | 420   |              | 400          | 300          |               | 320           | 22            |          | 30    | 60     |            | 65     |        |
| 66                              | 210   |              | 220          | 290          |               | 250           | 39            |          | 39    | 69     |            | 65     |        |
| 範                               | 囲     | 99<br>~1,400 | 50<br>~2,100 | 41<br>~2,200 | 260<br>~1,600 | 160<br>~2,000 | 150<br>~2,100 | 19~80    | 36~71 | 26~100 | 52~260     | 44~360 | 36~390 |
| 真<br>川<br>左<br>岸<br>地<br>域      | 1     | 50           |              | 17           | 130           |               | 130           | 45       |       | 50     | 83         |        | 53     |
|                                 | 2     | 56           | 27           | 25           | 89            | 68            | 78            | 27       | 40    | 39     | 41         | 62     | 58     |
|                                 | 3     | 110          | 30           | 27           | 170           | 81            | 100           | 30       | 37    | 39     | 50         | 72     | 67     |
|                                 | 4     | 110          | 82           | 36           | 250           | 200           | 110           | 31       | 40    | 45     | 34         | 42     | 44     |
|                                 | 5     | 440          |              | 310          | 510           |               | 390           | 43       |       | 35     | 84         |        | 74     |
|                                 | 6     | 54           |              | 44           | 130           |               | 97            | 40       |       | 36     | 43         |        | 53     |
|                                 | 7     | 290          | 55           | 52           | 390           | 120           | 98            | 44       | 51    | 44     | 57         | 58     | 55     |
|                                 | 8     | 69           |              | 22           | 120           |               | 83            | 27       |       | 38     | 44         |        | 64     |
| 13                              | 200   | 190          | 70           | 260          | 240           | 140           | 31            | 42       | 44    | 40     | 55         | 53     |        |
| 範                               | 囲     | 50~440       |              | 17~310       | 89~510        |               | 78~390        | 27~45    |       | 35~50  | 41~84      |        | 53~74  |

うに工場からの距離により鉛の減少がみられ、表層、下層土の鉛の濃度差も少なくなる傾向がみられ、セメント工場の影響によりカドミウム同様表層土のみに汚染現象がみられる。

工場より北西 1.5km 以遠に位置する大貝戸・坂本地区は、表 1 にみるごとく工場周辺地域およびその他の地域に比べ異常な高濃度で鉛が検出された。すなわち表層土では 99~1,400ppm、中層土 50~2,100ppm、下層土 41~2,200ppm と普通土壌の鉛量よりはるかにその濃度は高く、また一般的に表層土より下層土に濃度がやや高いという現象がみられる。このような高濃度汚染は、工場周辺地域でみられたような大気からの降下物による影響のみでは下層土（表層下 30~100cm）にまで汚染がおよぶことは考えられず、他の要因による汚染と思われる。

真川左岸地域は全般に近接する大貝戸・坂本地区よりその濃度は低く、表層土 50~440ppm、下層土 17~310ppm と、表層土は下層土に比べ濃度はやや高いが工場周辺地域ほどの差はみられず、工場からの降下物による影響よりも他の要因により汚染を受けた大貝戸・坂本地区の影響も大きく受けているものと考ええる。

員弁川左岸地域は他地域と異なり、鉛濃度は普通土壌の濃度と大きな差はなく、カドミウム同様汚染はみられない。

#### 4・2 土壌 pH と鉛との関係について

当地域の土壌は地質上石灰石を多く含んでいるため、土壌 pH は他地域より全般に高いと考えられ、降下するアルカリ金属を多量に含むセメント粉じんもその pH は高く、土壌 pH から汚染状況の把握を行い、pH とカドミニウム濃度の間には地域により異なった現象がみられた<sup>4)</sup>。

そこで、前報で報告した KCl 法で測定した土壌 pH と鉛濃度との関係について検討した。図 2 に表層土における pH と鉛の関係を示したが、工場周辺地域では pH が高くなるにつれ鉛濃度が高くなり、工場に近くなるほど pH も鉛濃度も高くなり、工場粉じんが影響をおよぼしていることを示している。

大貝戸・坂本地区のうち大貝戸地区についてみると、表層土 pH は 7 前後に集中しており、鉛濃度も 600ppm 以上と明らかに他地域より異なっており、坂本地区は大貝戸地区よりさらに北西、工場よりはるかに 4~5 km の位置にあり、セメント粉じんの影響を受ける割合は少ないが、鉛濃度はカドミウム同様工場周辺部より高く、pH も大貝戸地区に類似している。

員弁川左岸地域は土壌 pH も鉛濃度も低く汚染はみら

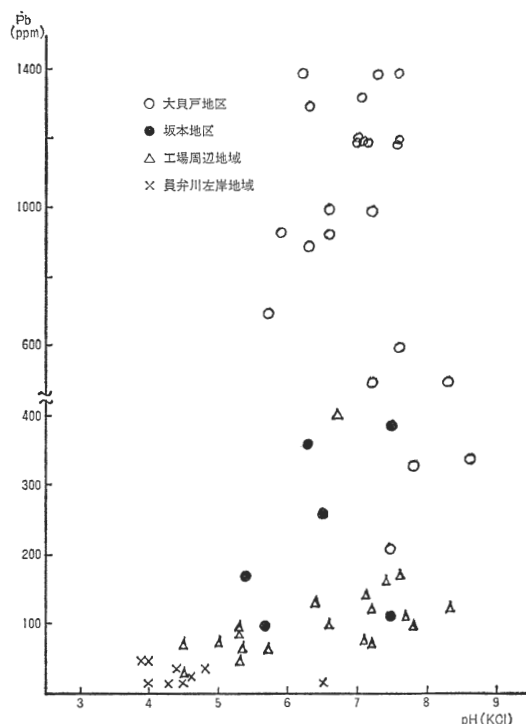


図 2 pH と鉛の関係（表層土）

れず、員弁川を境にして地質的にも異なっており、工場よりの汚染も受けていない。

下層土 pH と鉛との関係を図 3 に示す。工場周辺地域は表層土とは異なり pH に関係なく鉛濃度は低く、汚染のみられない員弁川左岸地域とほぼ同じ値を示しており、汚染はみられなくなっている。大貝戸・坂本地区は表層土と同じ分布を示し、表層、下層とも鉛汚染が高いことを示している。

#### 4・3 亜鉛について

表 1 に示したように工場周辺部表層土 110~450ppm、下層土 50~240ppm と表層土に濃度は高いが、カドミウム、鉛ほどその差は顕著でなく、工場からの距離と表層土亜鉛濃度との関係はカドミウム、鉛と同じように距離により亜鉛の減少がみられ、亜鉛による汚染もみられる。

大貝戸・坂本地区の表層土は 260~1,600ppm、中層土 160~2,000ppm、下層土 150~2,100ppm と工場周辺部よりはるかに高く、表層、下層に濃度差はみられず、カドミウム、鉛と全く同じ傾向を示しており、工場周辺部とは汚染の違いを現している。

その他の地域の土壌亜鉛は、カドミウム、鉛と同じ挙動を示している。

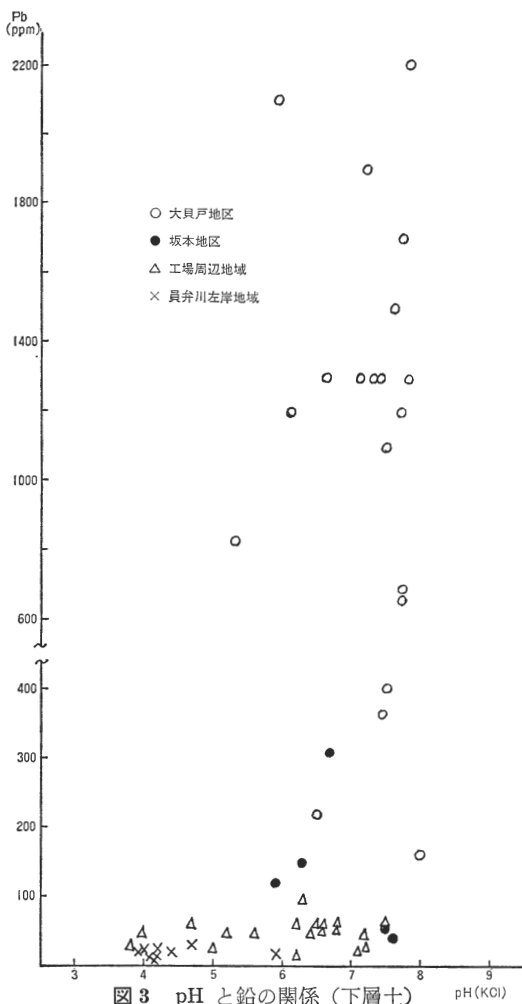


図3 pH と鉛の関係 (下層土) pH(KCl)

#### 4・4 ニッケル、銅について

ニッケルについては表1にみるごとく、員弁川左岸地域はやや低い値を示すが、他地域にはそれほど濃度差はみられず汚染はみられなかった。銅は、大貝戸・坂本地区は他地域より濃度は高く、高濃度に銅を含有している。

## 5. 考 察

板野ら<sup>6)</sup>は当西員弁地域において調査を行い、カドミウム、鉛、亜鉛により土壌は汚染されており、その原因はセメント工場より排出される重金属を高濃度に含むセメント粉じんであると報告している。

大気からの降下物に含まれる重金属で土壌が汚染を受ける場合、その汚染は表層土のみで下層土にまでその影響はおよばないと思われる。熊城<sup>7)</sup>は道路周辺土壌の鉛汚染の調査を行い、鉛は表面のみに吸着され土壌下層には浸透しにくいとしている。また、農業として鉛を多量

に施用した場合、鉛は表層土壌に著しく蓄積される<sup>8)</sup>。当地域は交通量は少なく、また土壌の採取場所としてなるべく人為が加わっていない地点を選んでいるので、交通排ガス、農業による影響は考えられず、このような現象から考え、前報のカドミウム同様、鉛、亜鉛の汚染も工場周辺部においては板野らのように明らかにセメント工場粉じん由来の汚染と考えられる。

しかし、大貝戸・坂本地区の鉛、亜鉛はカドミウム同様下層土にまで高い濃度を示し、大気からの降下物すなわち工場からの粉じんのみでは前にものべたごとくこのような現象は考えられず、また土壌 pH と鉛、亜鉛の関係をみても明らかに工場周辺地域とは異なった分布を示しており、当地域の異常な高濃度の重金属による土壌汚染は地質に由来する自然汚染ではないかと考えられ、大貝戸・坂本地区に大きな影響をおよぼすと考えられる藤原岳について調査を行った。その結果については次報で報告する予定である。

## 6. ま と め

セメント工場周辺部における重金属のうち前報のカドミウムに続き鉛、亜鉛、ニッケル、銅について土壌汚染を調査した結果、

1. 工場周辺地域においては、カドミウム同様、鉛、亜鉛による汚染がみとめられる。
2. 汚染の原因は表層、下層土の濃度差、工場からの距離によりその濃度は減少することより、セメント工場に由来すると考える。
3. 大貝戸・坂本地区特に大貝戸地区土壌はカドミウムと同じように、鉛、亜鉛濃度が異常に高く、表層、下層に濃度差がなく、工場に由来するよりも地質に由来する汚染の方がより大きいのではないかと考えられる。

本研究の要旨は第2回環境保全・公害防止研究発表会(1976, 東京)において発表した。

稿を終るに当り試料採取に御協力賜った藤原町役場産業課の諸氏に謝意を表します。

### — 参 考 文 献 —

- 1) 東京都公害局：日の出村におけるカドミウム汚染調査結果，1974。
- 2) 早川友邦他：第1回環境保全・公害防止研究発表会講演集，25～26，1974。
- 3) 田島隆俊他：第2回環境保全・公害防止研究発表会講演集，p. 47，1975。
- 4) 村田元秀他：全国公害研誌，1，39～45，1976。
- 5) 山田幸延他：三重県公害センター年報，第3号，58～62，1975。
- 6) 板野義太郎他：科学，44，487～491，1974。
- 7) 熊城一男：日本公衛誌，19，633～636，1972。
- 8) 環境庁水質保全局土壌農業課編：「土壌汚染」，p. 197，白亜書房，東京，1973。