

## 固定発生源周辺のアンチモン汚染と健康リスク評価

大同工業大学大学院 学生員 山中慎弥  
大同工業大学 正員 堀内将人

1. **はじめに** 当研究室では2年前から、PRTRのデータを参考に、愛知県内におけるアンチモンの固定発生源周辺の土壌・水質調査を行っている。その結果、固定発生源である工場敷地境界のアンチモン濃度が他の周辺地域に比べて数十倍高いことを示した<sup>1)</sup>。本年度は工場敷地境界の土壌を中心に、汚染の状況についてさらに詳細に検討した。また、胃腸管を模擬した生理学的抽出実験を実施し、アンチモンを高濃度に含む土壌の摂取による人の健康リスクを評価した。

### 2. 土壌中アンチモン濃度の分析

2-1 **試料の採取** 試料採取地点を図-1に示す。工場敷地境界の～の地点では表層土壌として深さ0～1cm（表層）、2～5cm（中層）、公園土壌の～の地点は表層、中層、10～20cm（下層）を5地点混合法により採取した。また～の地点については工場排水が流入する河川の底質および河川水を採取した。土壌試料は60℃で48時間乾燥させ2mm網ふるいに通し、分析試料とした。

2-2 **分析方法** (1) 1N塩酸抽出法：平成15年2月15日に施行された土壌汚染対策法において定義された含有量基準の公定抽出法。(2) 精製水抽出法：溶出基準の公定抽出法。(3) 中性子放射化分析：土壌が含有する元素の全量分析法。京都大学原子炉実験所にて中性子照射を実施した。(4) APCDT抽出法：精製水で抽出した土壌溶液に含まれるアンチモンを酸化数別に分離定量するための抽出法<sup>2)</sup>。Sb(Ⅲ)とTotal Sb(全アンチモン)を分離して抽出することができる。(5) 生理学的抽出実験：胃腸管を模擬胃液した反応器に土壌を添加することで、体内への有害物質の吸収量を評価する方法。本研究ではRuby等<sup>3)</sup>の研究を参考に実験条件を設定した。模擬胃液は精製水に、ペプシン・クエン酸・リンゴ酸・乳酸・酢酸、腸液は模擬胃液に胆汁末とパンクレアチンを添加し調整した。胃のpHは1.3、2.5、4.0と3つの場合を設定した。pH1.3は人の空腹時、pH2.5は通常時、pH4.0は満腹時に対応する。腸のpHは7.0で、液固比は0.01g/mlとした。

2-3 **測定方法** 2-2の(1)(2)(4)(5)で得た抽出液中の重金属濃度をICP質量分析器(YOKOGAWA、HP-4500)を用いて測定した。(3)では、照射試料から放出されるγ線をGe半導体検出器(EG&G社製ORTEC Hp-Ge Ge COAXIAL DETECTOR)により測定した。

### 3. 実験結果および考察

3-1 **土壌中アンチモン濃度と自然界値の比較** (a) 1N塩酸抽出法：1N塩酸抽出法による土壌中アンチモン濃度を図-2に示す。日本の土壌中アンチモンの自然界値(6N塩酸加熱浸出による抽出)は0.37mg/kg、最大自然界値は0.91mg/kgである<sup>4)</sup>。地点～において最大自然界値を超えていた。特に地点～の表層では最大自然界値の約10倍、中層では約30倍の高濃度を検出した。このように工場敷地境界や工場近辺で高濃度を示す一方で、工場敷地境界から数十mから数百m離れている～の公園では特に高いアンチモン濃度は検出されなかった。アンチモン濃度が自然

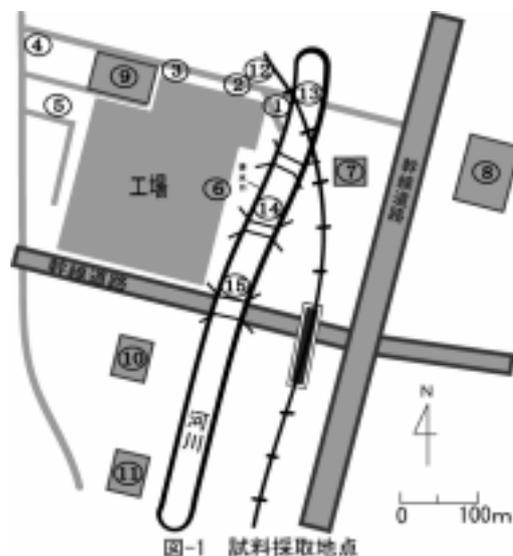


図-1 試料採取地点

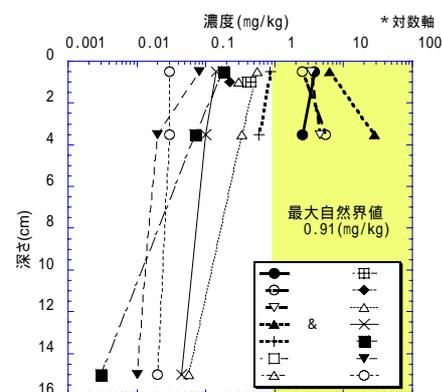


図-2 1N塩酸抽出法による土壌中アンチモン濃度

キーワード アンチモン、固定発生源、土壌汚染、生理学的抽出実験、健康リスク評価

連絡先 〒457-8532 名古屋市南区白水町40 大同工業大学工学部 TEL 052-612-5571

界値を大きく超えた原因として、工場から排出されるばい煙の影響が大きいと考えられるが、影響範囲が狭いため、アンチモンで汚染した土壌または排水が直接付加された可能性も否定できない。ただし地点は敷地外にもかかわらず高濃度であったため、今後の詳細な調査が必要である。(b) 中性子放射化分析法：図-3に示す通り、全ての採取場所で最大自然界値を超えていた。特に、工場敷地境界では最大自然界値の約48倍の高濃度であった。工場から離れるほど濃度は明確に低くなっている。

公園での土壌中のアンチモン濃度は、深くなるにつれて濃度が低下していく傾向を示した。以上のことから、工場から排出されるばい煙中に含まれるアンチモンが周辺地域に降下し、表層部に蓄積している可能性が高い。

**3-2 Sb(Ⅲ)とSb(Ⅴ)の割合** 多くの地点では、より毒性の低いSb(Ⅲ)が支配的であったが、底質では50%がSb(Ⅴ)である。地点の河川水は、毒性の高いSb(Ⅴ)の割合が最も高いが、それでも1.9 $\mu\text{g/L}$ 程度(環境基準要監視項目の指針値の約1/10)であり、人への健康影響は大きくないと考えられる。しかし、河川水は日々変化するため、さらに高濃度のアンチモンが排出された場合には人体や生態系への影響が懸念される。

**3-3 生理学的抽出実験** 生理学的抽出実験の結果を図-4に示す。胃のpH1.3の場合、pH2.5やpH4.0よりも全体的に溶出濃度が高い。1NHCl抽出法とPBET法での溶出濃度を比べると、pH1.3とpH2.5で1NHCl抽出法を超える溶出量が検出された。

**4. リスク評価** 重金属類の耐容一日摂取量(TDI)は、いくつか提案されている。本研究では、それらのうちの一番低い値であるWHOのTDIと、土壌の直接摂取によるアンチモンの体内吸収量を比較した<sup>5)</sup>。表-1にTDIと工場敷地境界、公園の土

からの重金属摂取量の推定値を示す。人が土壌を経口摂取する量は大人で100mg/day、子供で200mg/dayと推定されている<sup>6)</sup>。生理学的抽出実験の結果は、胃と小腸における最大溶出濃度を用い、溶出したすべてのアンチモンが体内に吸収されると仮定した<sup>6)</sup>。生理学的抽出実験の溶出量が一番多い工場敷地境界pH1.3の場合でも、土壌摂取に伴うアンチモンの体内摂取量はTDIの約1/20であり、安全なレベルと考えられる。しかし、TDIは大人(体重60kg)を対象とした値である。TDIが大人との体重差に比例すると仮定すると、2~3才の幼児のTDIは大人の1/4~1/5、すなわち2.0~2.5 $\mu\text{g/day}$ となる。幼児の土壌経口摂取量は大人の倍(200mg/day)と推定されていることから、日本エステル敷地境界の土壌を幼児が摂取した場合、最大約1.0 $\mu\text{g/day}$ のアンチモンを体内に摂取する可能性がある。この値は幼児のTDIの約1/2に相当する。土壌以外の経路からの摂取もあるため、アンチモンによる幼児の総合的な健康リスクは無視できないレベルにあると言える。

**5. おわりに** 工場敷地境界の土壌中アンチモン濃度は、最大自然界値を1N塩酸抽出法で最大30倍、中性子放射化分析法で最大48倍という高濃度を検出した。アンチモンの健康リスクは、工場敷地境界土壌を摂取した場合、TDIの約1/2に達する可能性がある。

**参考文献** 1) 山中慎弥他：第59回土木学会全国大会( ) pp551-552(2004) 2) W.M.Mok and C.M.Wai ; Anal.,Chem.,Vol.59,pp.233-236,1987 3) Michael V.Ruby et al., : Environ. Sci.Technol.,Vol.30, pp422-430, 1996 4) 日本土壌肥料科学雑誌 第59巻 第2号 pp198(1988) 5) 坂内修他：環境衛生工学研究 第16巻 第3号 pp.86-89(2002) 6) 土壌の含有量リスク評価検討会 土壌の直接摂取によるリスク評価等について(2001)

**謝辞** 分析でご協力頂いた京都大学原子炉実験所の福谷哲助手、大同工業大学の剛迫大輔氏、森田成靖氏に感謝の意を表します。

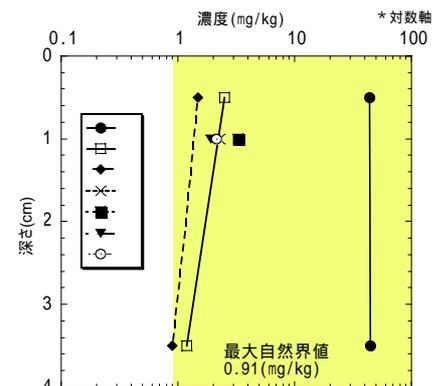


図-3 中性子放射化分析法におけるアンチモン濃度

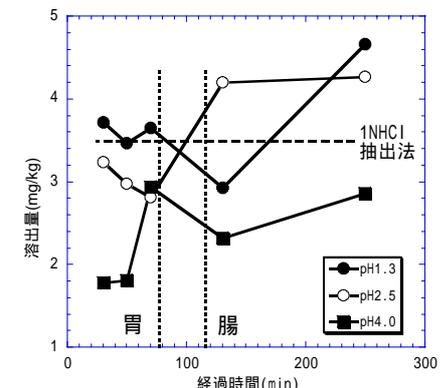


図-4 土壌における生理学的抽出実験の結果

表-1 アンチモンによるTDI(経口摂取のみ考慮)比較表 ( $\mu\text{g/day}$ )

地点	TDI	pH 1.3	pH 2.5	pH 4.0
工場敷地境界	10.0	0.466	0.427	0.294
公園	10.0	0.045	0.003	0.018
公園	10.0	0.084	0.039	0.021