

固定発生源周辺におけるアンチモンの汚染調査と健康リスク評価

大同工業大学大学院 学生員 ○森 俊介
大同工業大学 正 員 堀内将人

1. はじめに

当研究室では、3年前からアンチモンを環境中に放出している事業所として、愛知県内の工場に注目し、周辺の土壌および河川水を採取、分析して汚染の実態を明らかにした^{(1),(2)}。アンチモンは慢性毒性が指摘されており、水質環境基準では要監視項目として指針値 20 $\mu\text{g/L}$ が定められている。本研究では、昨年度の研究を踏まえ、比較的高いアンチモン濃度を示した地点およびその周辺で、さらに採取地点を増やし、より詳細な土壌調査を実施した。また、生理学的抽出実験(以下、PBET法)を実施し、胃腸管内でのアンチモンの溶出挙動についての評価を行うとともに、アンチモンの経口摂取量を推定することにより、比較的高濃度にアンチモンを含む土壌を人が摂取した場合の健康リスク評価を試みた。

2. 土壌の汚染調査

2-1 試料の採取

試料採取地点を図-1に示す。土壌については、図に示す公園および工場敷地境界にて、五地点混合法により試料を採取した。土壌は深さ 0~1cm、2~5cm、10~20cm の三層に分けて採取し、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) 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⁽³⁾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。pH 1.3 は人の空腹時、pH 2.5 は通常時、pH 4.0 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。(1) (2) (4) で得た抽出液中の重金属濃度を ICP 質量分析器 (Hewlett Packard、Agilent7500ce) を用いて測定した。

3. 結果および考察

3-1 土壌中のアンチモン濃度と自然界値との比較

(1) 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昨年度までの結果とともに図-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 0.37(mg/kg)、最大自然界値は 0.91(mg/kg)である⁽⁴⁾。1N 塩酸抽出法は全量分析法ではないにもかかわらず、地点、 、 、 において最大自然界値を超えていた。特に地点 の中層では約 11 倍の高濃度を検出した。最大自然界値を超過した地点では中層の方が表層より濃度が高くなっており、工場周辺の北側と西側にアンチモン濃度が高い傾向が見られた。公園土壌は表層で最大値を示し、下層にいくほど濃度の低下が見られた。アンチモン濃度が自然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、特に敷地境界に関しては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。

(2) 中性子放射化分析法：図-3に示す通り、土壌については全ての採取地点で最大自然界値 0.91(mg/kg)を超過していた。地点 の表層が最も濃度が高く、最大自然界値の約 42 倍(38.2mg/kg)という高濃度であった。

地点キーワード 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 大同工業大学工学研究科 TEL 052-612-5571

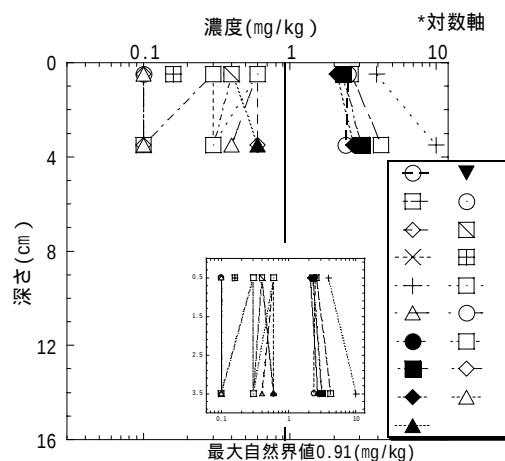
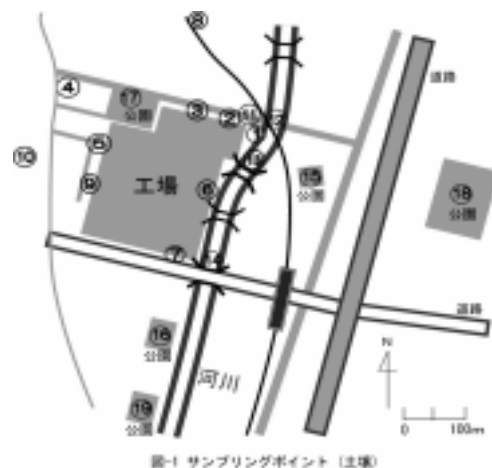


図-2 1NHCl抽出法によるSb濃度

以外の地点では、下層に行くに従っ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が、結論づけるには、ばい煙中のアンチモンと表層土壌中アンチモンとの化学的類似性を調査するなど検討がまだ必要である。

3-3 PBET 法

工場敷地境界表層について PBET 法を適用した。PBET 法による溶出濃度が高かった地点の結果を図-4に示す。胃の状態、腸の状態共に時間の経過につれて溶出濃度が上昇する傾向が見られた。この傾向は全ての土壌で共通していた。pH1.3で最も溶出濃度が高く、空腹時(pH1.3)には満腹時(pH4.0)の約2倍のアンチモンが溶出した。酸が強いことでアンチモンが溶出されやすいことがわかる。地点では、PBET法の結果で経過時間10(min)のpH2.5とpH4.0の以外の溶出量はすべて1NHCl抽出法の結果の(2.3mg/kg)より多い。この結果は、アンチモンの含有量基準を設定するならば、1NHCl抽出法は不適切であることを意味している。1NHCl抽出法の抽出液pHは0とPBET法より強い酸を用いているが、PBET法の方がアンチモン濃度が高いということは胃腸管での溶液成分がアンチモンの溶出に大きく影響していると考えられる。

3-4 PBET 法による健康リスク評価

アンチモンのTDI値(1日耐容摂取量)、およびPBET法による実験結果から推定した土壌摂取に伴うアンチモンの体内摂取量を表-2に示す。PBET法の溶出量が一番多い工場敷地境界pH1.3の場合0.54($\mu\text{g/day}$)で、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、工場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、総合的に見たアンチモンによる幼児の健康リスクは無視できないレベルにあると言える。

4. おわりに

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

1) 工場敷地境界の土壌中アンチモン濃度は、1N塩酸抽出法で最大自然界値の約11倍の高濃度を検出し、中性子放射化分析法で最大自然界値の約42倍と高濃度であった。3) PBET法を実施した結果、胃の状態、腸の状態共に時間の経過につれて溶出濃度が上昇する傾向が見られた。4) 溶出量は胃のpH 空腹の度合いに依存し、空腹時(pH1.3)は満腹時(pH4.0)の約2倍のアンチモンが溶出した。5) 工場敷地境界土壌の健康リスク評価は、幼児の場合、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、総合的に見たアンチモンによる幼児の健康リスクは無視できないレベルにあると言える。

参考文献

(1) 山中慎弥ら、大同工業大学卒業研究概要集、2003年度 (2) 剛迫大輔ら、大同工業大学卒業研究概要集、2004年度 (3) Michael V. Ruby et al., : Environ. Sci. Technol., Vol.30, pp422-430, 1996 (4) 浅見輝男ら、日本土壌肥科学雑誌、第59巻、第2号、pp.197-199、1988

謝辞

本研究の分析において協力していただいた京都大学原子炉実験所の福谷哲助手、大同工業大学の山中慎弥氏に深く感謝の意を表します。

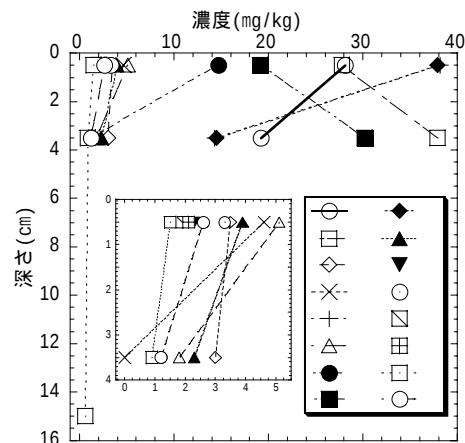


図-3 中性子放射化分析法によるSb濃度

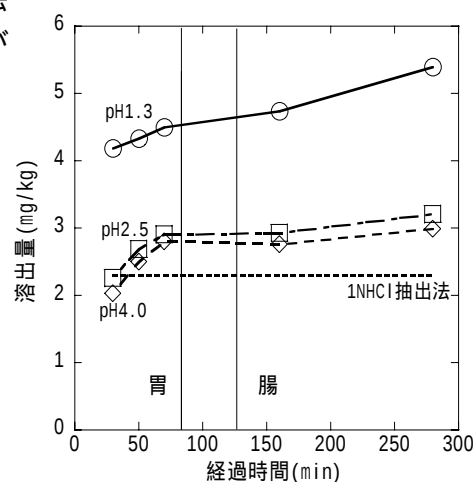


図-4 PBET法による溶出濃度
地点 表層

表-1 Sb TDIの評価(経口摂取のみ考慮) 単位: $\mu\text{g/day}$

地点名	TDI	pH 1.3	pH 2.5	pH 4.0
工場敷地境界 表層	10.0	0.07	0.03	0.02
工場敷地境界 表層	10.0	0.54	0.32	0.30
工場敷地境界 表層	10.0	0.04	0.03	0.02
工場敷地境界 表層	10.0	0.04	0.03	0.01
工場敷地境界 表層	10.0	0.35	0.18	0.13
工場敷地境界 表層	10.0	0.05	0.03	0.02
工場敷地境界 表層	10.0	0.08	0.03	0.02