

高速道路沿いの土壌の鉛汚染—カナダブリティッシュコロンビア州での事例—

Lead Pollution along Highway Side Soils —A Case Study in British Columbia in Canada—

Loretta Y. Li (ロレッタ リー)

ブリティッシュコロンビア大学準教授 土木工学科

大坪 政 美 (おおつぼ まさみ)

九州大学大学院教授 農学研究院生産環境科学部門

1. はじめに

1920年のはじめ、鉛の添加剤によりガソリンの不完全燃焼が改善されることがわかり、鉛を含む燃料用ガソリンが急速に普及しはじめた。その後カナダでは、鉛を含む燃料の生産は1990年までに中止されたが、それまで排出された大量の鉛は道路沿いの土壌に蓄積された。排気ガス中の鉛が道路沿いの土壌汚染の主要な汚染源であることは、鉛同位体比の研究から明らかにされている¹⁾。

鉛は有毒な元素であり、人間が長期間日常的に鉛にさらされると、血液（貧血）、神経系統、血圧、腎臓、ビタミンDの新陳代謝へ影響を及ぼす²⁾。アメリカ環境保護局は、鉛は発ガン物質としての可能性が高いとしている³⁾。

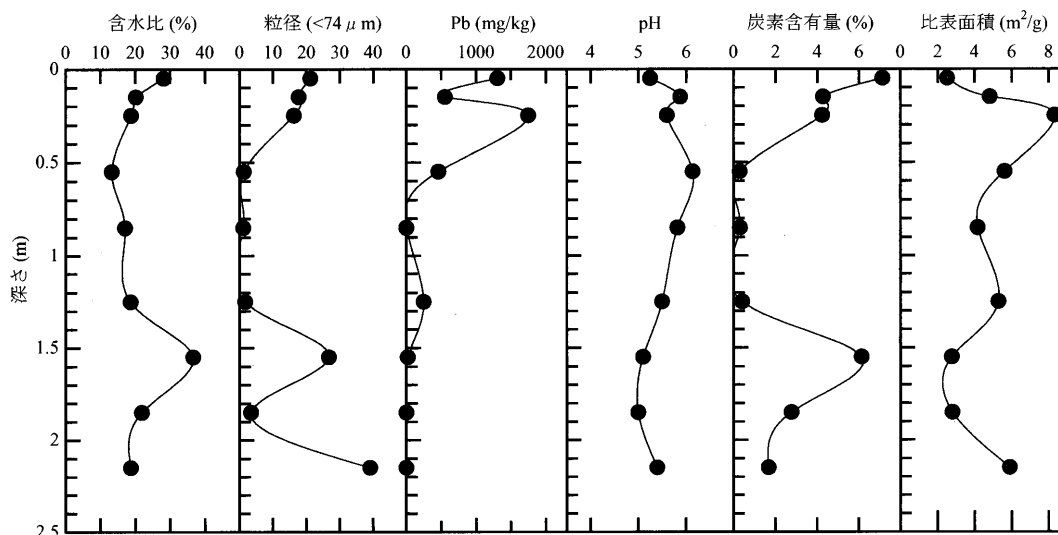
これまでブリティッシュコロンビア州の基準を超える濃度の鉛が、高速道路の建設現場の土壌中に検出されている⁴⁾。州の環境省は現在、運輸道路省の高速道路建設事業に対して汚染用地規準（Contaminated Sites Regulation）⁵⁾を適用している。汚染土壌が乱される可能性があるとき、運輸道路省は規準に従って用地のアセスメントを実施しなければならない。もしある事業において道路建設用地の鉛濃度が基準を超えている場合、運輸道路省は汚染土壌の掘削や移動などの処分によりリスクを軽減する義務がある。しかし、このような方法は、土壌中の

鉛の溶出や移動性を考慮したうえで採用されたものではない。著者の一人である Li⁴⁾は、鉛汚染が著しいと思われる高速道路のインターチェンジ周辺の土について鉛の溶出性を調べ、その結果土壌中での鉛の移動性は低いと結論付けた。これをもとに、鉛の移動性が低い汚染土については掘削や移動のために費用をかけなくてもリスクの軽減という法的な必要条件是満たされると述べている。

本論文では上述の報告をもとに、Willingdon Street and TransCanada Highway Interchange（ウィリントンストリート アンド トランスカナダハイウェイ）の表層土における(1)土層の鉛汚染の程度、(2)バッチ脱着試験による鉛の溶脱能、(3)バッチ吸着試験による鉛の最大吸着能、についての実験結果を述べ、インターチェンジ周辺土壌中の鉛の溶出性を評価した。

2. 結果と考察

調査は38地点で行った。分析用の試料は、道路の縁からおおよそ0.5～3 m離れた緩衝帯で採取した。土壌に含まれる粘土鉱物は、クロライトとイライトであった。地点 L13についての調査結果を図—1に示す。鉛の含有量については、試料に濃硝酸を添加・加熱することにより溶出する鉛を測定した。鉛は0.5 mより上層に高濃度に堆積しており、深さ0.6 mでバックグラウンド値にまで低下した。pH値は5.0から6.5の間で変化した。含水比は表層付近で高く、深さ0.5 m以下で増加した。炭素



図—1 土壌の鉛含有量と物理・化学的性質

含有量は表層で最も高く、深さとともに低下するが、1.5 m 付近で再び高い値を示した。BET 法で測定した比表面積は2.5～8.3 m²/g の範囲にあった。他の地点においても地点 L13 と類似した特性が観察された。このようなデータをもとに L2, L5, L13, L16 の4地点を選び、各地点の pH, 鉛の含有量、鉛の吸着および脱着の試験結果を表—1 に示す。試料の pH は5 から6.5まで、鉛の含有量は100 から1 628 mg/kg まで変化した。このような高い濃度の鉛は、インターチェンジ

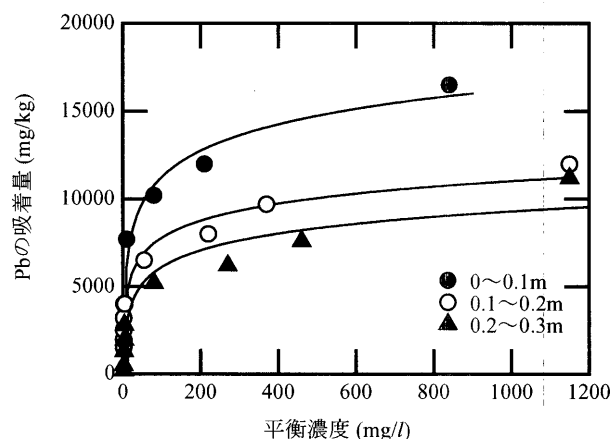
表—1 土壌の鉛含有量とバッチ平衡試験の結果

試料 (深度m)	現場 土壌		Pb添加	蒸留水(pH5.6) による溶出		HNO ₃ 溶液 (pH4.0) による溶出	
	pH	Pb含有量 (mg/kg)	Pb最大吸着量 (mg/kg)	溶出液Pb (mg/l)	平衡 pH	溶出液Pb (mg/l)	平衡 pH
L2 0～0.1	5.82	1397	9784	0.33	5.74	0.34	5.80
L2 0.1～0.2	5.65	755	7958	0.70	5.99	0.35	5.82
L2 0.2～0.3	6.52	100	2469	0.01	6.71	0.15	6.44
L5 0～0.1	5.89	1423	10292	0.41	5.96	0.32	5.91
L5 0.1～0.2	6.31	1170	7367	1.01	6.30	0.61	6.11
L5 0.2～0.3	6.40	279	4174	0.52	6.44	0.33	6.22
L13 0～0.1	5.25	1150	9704	0.01	5.37	0.20	5.35
L13 0.1～0.2	5.88	573	7949	0.61	5.98	0.50	5.98
L13 0.2～0.3	5.73	1628	3940	2.04	5.86	1.29	6.13
L13 0.5～0.6	6.14	460	2461	0.90	6.26	0.96	6.09
L16 0～0.1	4.96	978	5896	0.23	5.10	0.31	5.14
L16 0.1～0.2	6.30	449	4378	1.15	6.40	1.16	6.40
L16 0.2～0.3	5.14	439	4782	0.15	5.53	0.37	5.37

が建設された1963年から現在までの期間、ガソリンの排気ガスから排出されて蓄積したものである。その間1980年代には有鉛ガソリンは禁止されているので、土壌中の鉛は主にそれ以前に蓄積されたものと考えられる。

土壌中に蓄積している鉛は酸性雨により溶出し、水質を悪化させる可能性がある。その可能性を検討するためにバッチ平衡試験により鉛の脱着状況を調べた。この試験により鉛がどの程度強く土に保持されているかを評価できる。鉛を含有する各試料に pH 5.6 と pH 4 の溶液を土壌と溶液の重量比が 1 : 10 になるように加えて土懸濁液を調製し、24時間振とう後上澄み液中の鉛の濃度と平衡 pH を調べた。その結果を表—1 に示す。平衡 pH は添加溶液の pH の影響をほとんど受けなかった。溶出液の鉛濃度は、pH 5.6, pH 4.0 のいずれの溶液についてもほとんどの試料で 2 mg/l 以下であった。この結果から、試料土から溶出する鉛の濃度は、ブリティッシュコロンビア州汚染用地規準の修復基準における飲用地帯の土壌基準（溶出濃度で10 mg/l⁵⁾を下回っていることがわかる。実験では懸濁液を使っており、この場合の土に対する水の割合は自然状態の土に比べてはるかに大きいので、これに対応して溶液に接触する土粒子の表面積も大きくなる。このことから自然状態の土における鉛の溶出量は、バッチ試験で得られた値より低くなると考えられる。このように酸性の状態でも鉛の溶出はきわめて小さいことがわかる。同様な結果はこれまで得られている⁶⁾。

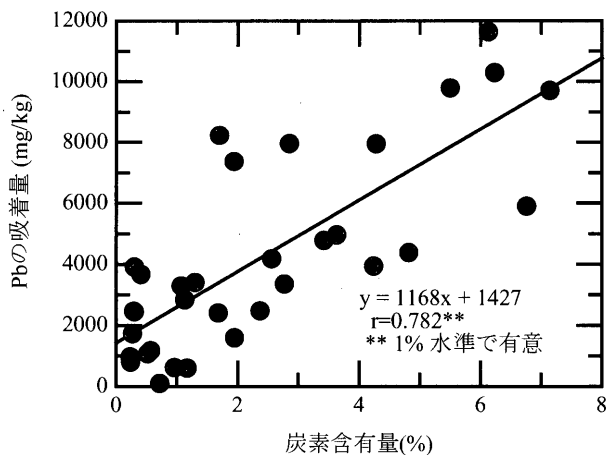
鉛で汚染された土壌（図—1）にさらに車の排気ガスから鉛の供給があると仮定したとき、土壌の吸着能はどのように変化するであろうか。これを調べるために0, 50, 100, 150, 250, 500, 750, 1 000, 2 500 mg/l に調整した鉛溶液40 ml を4 g の試料に加えてバッチ平衡試験を行った。pH は酸性雨を想定して3.6とした。溶液作成には硝酸鉛を用いた。この試験は4地点の土壌、計13試料について行った。図—2 に L5 地点の試料について行



図—2 L5 地点試料についての鉛バッチ平衡試験

ったバッチ平衡試験の結果を示す。いずれの試料についても平衡濃度の増加とともに Pb 吸着量は増加し、ある一定値に漸近する。この図の意味を現場土壌に含まれる Pb 含有量との関係で考えてみる。表—1 によると試料 L5 (0～0.1 m) の現場土壌の Pb 含有量は1 423 mg/kg, 蒸留水による溶出液 Pb 濃度（平衡濃度）は0.41 mg/l である。現場土壌に鉛がさらに負荷されると、溶出液濃度（平衡濃度）と吸着量とはともに図—2 の0～0.1 m の吸着曲線に沿って増大する。汚染用地規準の修復基準における家畜飼育地帯の土壌基準は溶出濃度で100 mg/l となっており⁵⁾, 図—2 の吸着曲線 (0～0.1 m) から平衡濃度が100 mg/l に達したときの吸着量を求めると10 292 mg/kg となる。これは、土壌試料が土壌基準を満たす範囲内で最大10 292 mg/kg の鉛を吸着する能力を有することを意味する。このようにして算定した値をここでは Pb の最大吸着量と呼ぶ。同様の手法により最大吸着量を他の試料について算定すると、その値はおおよそ2 500 から10 000 mg/kg となり（表—1）、現場土壌中の鉛の含有量よりはるかに高いことがわかる。これは新たな鉛の供給があっても、それを吸着するのに十分な

論文



図一 3 炭素含有量と鉛の吸着量の関係

吸着能が土壌に残っていることを意味する。現実には、現在排気ガスからの鉛の排出は非常に少ないことから、土壌による鉛の吸着が飽和に達することはないと考えてよい。

鉛の最大吸着量（表一 1）は、土壌試料の採取地点や深さにより大きく異なっており、これは土の物理的・化学的性質と関連している。炭素含有量を鉛吸着量の支配因子と考えて、鉛の最大吸着量と炭素含有量の関係を図一 3 に示す。両者の間には有意な正の相関が認められる。この理由として、有機物が多いほど土壌の負電荷が多いこと、重金属を特異的に吸着する能力が高くなることが考えられる。この結果は、本土壌と類似した組成をもつ土壌では炭素含有量が鉛の吸着能の指標となることを示している。

3. 周辺環境への影響

一般に地盤汚染によるリスクは、汚染源とその受容体との間に汚染の通過経路が存在するときに生じる。本報告で取り扱っている高速道路の両側、およびインターチェンジの周囲には幅 20 m 以上の緩衝帯がある。また道路やインターチェンジ付近には農地、住宅地、商業地はなく、また汚染に敏感な野生生物は生息しない。そのため通過経路である土と人間の皮膚接触、および作物を通じての経口摂取によるリスクは考えられない。もう一つの通過経路である溶出した鉛の人間への影響については、既に述べたように鉛の溶出量は基準値以下であることからリスクはきわめて低い。以上のことから調査地点については、鉛による汚染土壌を放置することに問題はないと結論できる。

日本を含むアジアの国では土地利用に制限があるため、道路に隣接して多くの農地、商業地、住宅地があり、土壌汚染に伴うリスクは大きい。特に農地に鉛が蓄積され

た場合、鉛は栄養分とともに作物に吸収され蓄積する⁷⁾。土壌溶液中の鉛の量に対する植物に吸収される鉛の割合は、生物学的利用能とよばれる。この指標は、土壌中の鉛が環境へ及ぼす影響を評価する一つの方法として用いることも可能である。

4. ま と め

高速道路インターチェンジ付近の土壌には、最大 1 628 mg/kg という高濃度の鉛が含まれる。にもかかわらず、蒸留水 (pH 5.6) と HNO₃ 溶液 (pH 4) による土壌からの鉛の溶出濃度は 2 mg/l 以下である。これはブリティッシュコロンビア州汚染用地規準の修復基準における飲用地帯の土壌基準を満たしている。

13 の試料土について鉛溶液によるバッチ平衡試験を行った結果、家畜飼育地帯の土壌基準に等しい鉛溶液濃度（平衡濃度）に対する鉛吸着量は 2 500～10 000 mg/kg となる。これは土壌に含まれる鉛の 3～10 倍である。このことは、現在排気ガスからの鉛の排出量が非常に少ないことを考慮すると、鉛に対する土壌の吸着能が飽和に達することはないと考えてよい。

土壌中の鉛の含有量と炭素含有量の間には有意な正の相関が認められる。これは、有機物の含有量が土壌による鉛の吸着能の指標となることを示している。

参 考 文 献

- 1) Alloway, B. J.: Heavy metals in soils, Blackie Academic and Professional, London, 1995.
- 2) ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Toxicological profile for lead (Draft), US Public Health Service, US Department of Health and Human Services. Atlanta, 1993.
- 3) EPA. U.S. Environmental Protection Agency: Integrated risk information system on lead, Environmental Criteria and Assessment Office, Office of Health and Environmental Assessment, Office of Research and Development, Cincinnati, 1993.
- 4) Li, L. Y.: Environmental fate of lead in surface soils along highway corridors at Willingdon and TransCanada Highways #1, PROJECT#02402. Volumes 1 and 2, Research Report to the Ministry of Transportation and Highways, Victoria, B.C. January, 2002.
- 5) Ministry of Environment, British Columbia: Waste Management Act, Contaminated Sites Regulation, B.C.Reg. 375/96, 1996.
- 6) Li, L. Y. and Li, R. S.: The role of clay minerals and H⁺ ion effect on removal of a heavy metal (Pb) from contaminated soils, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 37, pp. 296～307, 2000.
- 7) Jaworski, J.: Effects of lead in the environment -1978, Quantitative Aspects, National Research Council Canada, Ottawa, 1978.

(原稿受理 2003.4.10)