

# 論文要旨 Dissertation Abstract

平成 30 年 03 月 13 日

専攻 環境リスクマネジメント	学 籍 番 号 15TF901	氏 名 グエンティランビン (NGUYEN THI LAN BINH)
論文題目 Dissertation Title	大気から沈着した重金属等による土壌汚染可能性の評価手法 (A Method for Evaluating the Possibility of Surface Soil Contamination with Atmospheric Heavy Metal Deposition)	
<p>環境省の土壌汚染調査結果によれば、人間活動による土壌汚染の原因として、「①事業所による汚染原因物質の漏えい」、「②廃棄物の処理・不法投棄」、「③排ガス、排気中の汚染原因物質の降下、沈着等」、「④原因不明」などが挙げられるが、土壌汚染の 65% は原因不明である。さらに、基準不適合事例の 71% が重金属等による汚染であり、鉛が最も件数が多い。一般に土壌を汚染する鉛等の重金属は、水に溶けにくく、土壌に吸着されやすいため、表層土壌に留まり深部まで拡散しないことが多い。そのため、鉛は表層土壌汚染をする可能性が高いと考えられる。そして、土壌汚染は水や大気と異なり、人が直接摂取することは少ないため、被害が見えにくく気が付かないうちに深刻化することも多い。また、一度汚染された土壌は自然には浄化されにくい。汚染を放置して、広がると、対策にはより大きな費用や労力を費やすことになるため、汚染原因を詳細的に解析し、土壌汚染未然防止ための対策が重要である。したがって、原因不明となり得る汚染原因に注目することが重要であり、上記の①や②の土壌汚染原因では、多くが過去に生じたものと考えられ、現在は同様の汚染の再発を防ぐため、治体や事業者などが様々な対策を実施する管理も厳しく、事業者も十分注意を払うようになっているため、新たな土壌汚染は毎年減っていると考えられる。また、③大気に排出された物質の沈着のようは気づきにくい経路で、現在ほとんど配慮されておらず、土壌汚染した可能性が考えられる。また、日本では、一般廃棄物焼却施設周辺の土壌から、高濃度のダイオキシン類が検出される事例が判明した。この汚染経路として、大気からの沈着が想定された。同様に、重金属等についても、排出源から大気に排出されて沈着することによる土壌汚染が生じる可能性も考えられるが、現在はあまり重視されていない。</p> <p>そのため、以上のことより、原因不明の土壌汚染の中で未対策のため現在も汚染が進行している可能性がある汚染原因の 1 つとして、③の大気に排出された有害物質の沈着が考えられる。また、土壌には様々な種類があり、共存物質も多く存在するため、同じ重金属類であっても、土壌汚染も様々な形態で存在する。土壌中の環境条件（土壌の種類、土壌 pH、共存物質等）の違いによっても、重金属等の土壌中での存在形態および移動の挙動が異なると報告されているが、大気からの沈着した重金属等について以上の土壌環境を考慮し、土壌中での重金属等の汚染挙動を明らかにした研究が乏しいという課題もある。</p> <p>本研究では、排出源近傍の重金属等による土壌汚染の状況の調査して、土壌への年間沈着量を推算する。そして、その 2 つの調査実測と推算結果との比較・解析をして、大気に排出された重金属等の沈着による土壌汚染の可能性を評価・解析することとした。また、沈着後、土壌の様々な環境条件等による重金属等の土壌浸透深さを推定して、土壌表層への留まりやすさを評価することとした。そして、以上の結果より、大気への排出量の多い事業所における、土壌汚染物質の種類毎に大気排出量基準を提案・検討して、重金属の沈着による土壌汚染の可能性を評価するための考え方を整理して、評価手法を提案することとした。</p>		

(続葉) (Continued)

本研究では、以下に示すように5章で構成されている。

第1章において、研究の必要性に関わる背景や研究目的、本論文の校正についてまとめた。これまで日本環境省が「土壌汚染対策法の施行状況及び土壌汚染調査・対策事例等に関する調査」行ってきたが、土壌汚染原因の不明なものが多いため、本章では、土壌汚染事例を収集し、詳細的な汚染原因を抽出すること共に、今後土壌汚染未然防止のため、現在の土壌汚染原因中で“原因不明”となりやすいものを解析した。最後は本研究の目的と構成を記した。

第2章では、現在、大気に排出された重金属等の沈着による土壌汚染の可能性の評価はまだ足りていない。一方、大気からの沈着による土壌汚染を予測計算するための専用ソフトウェアはない。ただし、曝露・リスク評価大気拡散 ADMER モデルでは、大気濃度の予測のために、大気からの沈着量の分布を推算できるが、このモデルを用いて、土壌汚染の可能性を評価するという研究はない。そのため、ADMER モデルを用いて、大気に排出された重金属等の沈着による土壌汚染の可能性の評価を行った。まず、大気に本章での対象物とした鉛を排出する事業所周辺の鉛土壌汚染の状況を実測し、また ADMER モデルを用いて、大気に排出された鉛の土壌への年間沈着量分布を推算した。そして、鉛汚染状況と沈着量の推算結果とを比較して、分布が一致するかを確認し、大気からの沈着による土壌汚染の可能性を評価した。ADMER モデルでの推算年間沈着量が多い地点では、実測の鉛含有量が高く、排出源から離れるほど、沈着量も土壌中含有量も小さくなる傾向が見られた。推算年間沈着量と土壌中含有量の実測値の分布は良く一致し、事業所からも離れており漏洩等による土壌汚染原因の可能性が低い地点でも基準を超過しており、大気に排出された鉛の沈着が含有量基準超過の原因となることが示唆された。また、ADMER モデルを用いて、土壌への沈着量を推算する際のパラメータでは、結果に大きく影響すると考えられる要因として、鉛粒子の粒径や年間の気象変動による土壌への沈着量の違いを解析することや、土壌中の実測の結果に影響すると考えられる要因としての土壌種類、土壌 pH による違いを解析した。

第3章では、沈着後の重金属等の土壌への吸着性は、土壌種類（黒ぼく土、関東ローム、砂質土）や土壌 pH によって異なり、土壌中の鉛の含有量と溶出量との関係が変化することが報告されている。さらに、沿岸部の土壌のように、高塩濃度の土壌でも重金属等による土壌汚染事例があって、塩濃度も吸着に影響を及ぼすことが想定される。そのため、第2章で確認した大気からの沈着後の鉛を例として、土壌の様々な環境条件等（土壌種類、土壌 pH、土壌 EC）により、鉛が、何年間で、どのくらいの深さに到達するか計算して、表層土壌への留まりやすさを評価した。本章では、土壌の種類や pH、EC が変化した時の鉛の表層土壌への留まりやすさを算出したが、鉛の表層土壌への留まりやすさは、土壌の種類や土壌 pH に比較すると EC 変化の影響は小さかった。特に、本研究の計算条件では、pH=7~9 ではいずれの土壌でも、沈着した鉛は土壌への吸着性が高く表層に留まりやすい。50年経っても、表層土壌 1cm のみに留まることが確認できた。また、pH=5 においても、沈着が続いている間は、表層 1cm の濃度が最も高く、その浸透も砂質土で 7cm までしか地下浸透しないことが分かった。

第4章では、2章と3章の結果より、事業所は鉛の大気への排出基準を遵守して操業しても、大気に排出された鉛粒子は土壌表層に沈着し、鉛は土壌への吸着性が高く、地下浸透しにくい性質であるため、長年の沈着により表層土壌に蓄積され、その汚染された表層土壌による事業所周辺での健康リスク（表層土壌の汚染による吸入や摂食による経口摂取）が高くなることが懸念される。そのため、第2章・3章での事業所 A の調査結果等を参考にして、「大気からの粒子の沈着による土壌汚染」が生じない鉛の大気排出量を検討・提案した。基準サイト（基準地域）とした事業所 A では、鉛の沈着による土壌汚染を生じさせない大気排出量基準は 250 kg/year 以下であると求められた。同

じ環境条件で同程度の鉛を排出する事業所では、現在の汚濃度レベルは小さくても、これ以上排出すると、数 10 年後には沈着による土壤汚染が生じる可能性がある。また、多様な事業所や物質の沈着による土壤汚染をスクリーニングするため、物質が異なる場合には、物質毎の毒性の違い（基準値等）や地下浸透深さの違いを考慮して補正し、事業所が異なる場合には、立地する地域の気象（平均風速）の違いや、事業所の煙突高さの違い、粒径の違いを考慮して補正することにより、大気排出量スクリーニング基準を設定することができた。

第 5 章では、得られた新たな知見を総括し、当該分野における今後の研究課題を展望した。有害物質を取扱う事業所が、土壤汚染未然防止ために、「大気からの重金属等の沈着を考慮した大気排出管理手法」を行い、各事業所では、周辺の土壤汚染状況を把握することで、大気排出を管理することは環境保護への取り組みだけでなく、事業所近傍に住んでいる人々を安心させることができ、都市の持続性を確保されると考えられた。

最後に、今後大気から沈着した重金属等による土壤汚染の未然防止のため、以下のよう提言する。

- ① 重金属等による土壤汚染原因の詳細的な解析
- ② 「大気からの重金属等の沈着を考慮した土壤汚染未然防止ための大気排出管理手法」の日本国内外での応用