

研究課題番号	5-1905
研究課題名	「汚染土壌からの揮発量ポテンシャルの予測手法と揮発による摂取リスク評価」
研究実施期間	令和元年度～令和3年度
研究機関名	東北大学
研究代表者名	駒井 武

1. 研究開発目的

本研究では、揮発性の高い物質として、大気環境基準や指針値が設定されているトリクロロエチレン（TCE）、ベンゼン及び水銀を取り上げ、汚染土壌から揮発経由の摂取リスク評価及びその対策の必要性を判断するための揮発量ポテンシャルを評価することを目的とする。さらに、汚染土壌中の揮発による移動や大気への移動（以下、揮発フラックスという）の測定実験を実施するとともに、汚染土壌からの揮発フラックスの予測モデルを構築することにより、これまで各国で提案されている地上空気中の濃度を予測評価するモデルを比較検討し、わが国の汚染サイト特性や土壌・地下水環境に適した地上空気の吸入による健康リスク評価の手順やモデルを提案する。これにより汚染土壌に対する覆土や遮蔽材の被覆効果についてもリスク管理の観点から評価する。

2. 研究目標

【全体目標】

本研究では、揮発性の高い物質の汚染土壌から揮発経由の摂取リスク評価及びその対策の必要性を判断するための揮発量ポテンシャルの評価法を確立し、土壌汚染評価の指標として適用可能にする。また、汚染土壌中の揮発による移動の測定実験を実施し、汚染土壌からの揮発フラックスの予測モデルを構築して、汚染土壌からの揮発成分の定量的な評価を可能にする。

これまで各国で提案されている地上空気中の濃度を予測評価するモデルを比較検討し、わが国の汚染サイト特性や土壌・地下水環境に適した地上空気の吸入による健康リスク評価の手順やモデルを提案する。また、汚染土壌に対する覆土や遮蔽材の被覆効果についてもリスク管理の観点から評価する。

【サブテーマ①】

トリクロロエチレン、ベンゼン及び水銀を対象として、土壌ガスの拡散を含めた揮発フラックスの各種パラメータを現場で取得し、予測モデルと実測値による検証を実施して、さらに地上大気、室内も含めた濃度予測モデルを新規に構築する。

また、揮発フラックスの推定では、サブテーマ③と連携して諸外国の濃度予測モデルの検討結果を評価してモデルの高精度化を達成する。

【サブテーマ②】

濃度レベルが異なる3種類の汚染土壌を敷き詰めた土層実験を行い、表層土壌における土壌ガスの挙動と土壌からの揮発フラックスを求める。土壌水分や温度など環境条件を変化させて、土壌ガスの挙動並びに大気への揮発フラックスを求め、土壌揮発量ポテンシャルの評価手法を確立する。またサブテーマ③とも協働して、実験土層を用いて、覆土や遮蔽剤など被覆効果を実験的に解明する。

【サブテーマ③】

土壌・地下水中の汚染物質の地上拡散による健康リスクの予測評価モデルについて、国内外の代表的なものの評価方法を比較検討し、わが国独自の予測評価手法を構築する。

トリクロロエチレン及びベンゼンを対象に、土壌カラム試験を行い、既往研究で提案されている不飽和土壌中の汚染物質の拡散モデル式の妥当性を評価する。

実汚染サイトにおける調査で採取された汚染土壌を収集し、土壌揮発量ポテンシャルと土壌溶出量、土壌全含有量の関係を把握する。

3. 研究の進捗状況

【全体目標】

全体目標に対して、汚染土壌から揮発経路の摂取リスク評価及びその対策の必要性を判断するための揮発量ポテンシャルの測定方法の確立、汚染土壌からの揮発フラックスの予測モデルの作成、地上空気のリスク評価手法の枠組みの構築などの基本部分を達成し、中間評価までの研究計画は順調に進捗している。

【サブテーマ①】

サブテーマ①では、水銀及びベンゼンの土壌ガスの挙動観測に基づき、拡散予測モデルと実測値による検証を行った。また、地上大気、室内も含めた濃度予測モデルを構築するため、地上大気、室内を想定したパラメータの選択及び重要な要素の抽出を行い、新規に揮発フラックスに関する数値解析手法を確立した。

2019 年度にサブテーマ①で実施した土壌ガスの挙動特性を把握するための実験や実環境の土壌を用いた水銀フラックスの測定などの試験は、基礎的な条件や様々な条件において再現性が確認されたため、中間報告までの研究計画に対して 90%程度の進捗状況を示している。さらに、拡散予測モデルの基礎理論の構築、モデルの作成および検証もほぼ完了し、当初の研究計画を越える進捗状況である。

今後は、実験条件やモデルの精度を向上させるとともに、サブテーマ②やサブテーマ③との連携を中心にモデルの精度向上していく必要がある。

【サブテーマ②】

汚染土壌からの揮発フラックスを評価するとともに、表層土壌(0～5 cm)一定量を密閉容器に入れ、平衡時の気相濃度を土壌の揮発量ポテンシャルとする評価方法を検討した。気相と固相の比、温度条件や濃度が一定になる時間等を検討する。併せて現場にて取り扱いの容易な密閉容器の検討を行った。

サブテーマ②で実施している揮発フラックスと土壌の揮発量ポテンシャルの各種試験の進捗は、おおむね順調である。中間評価まで予定していた検討項目の 90%程度まで到達できており、サブテーマ①やサブテーマ③で実施しているモデルの検証に必要な情報を得ることができている。なお、アドバイザー会合において、試験条件に関して改善に向けての意見があったが、今後の計画において実施可能である。

【サブテーマ③】

トリクロロエチレン及びベンゼンを対象として、国内外の代表的なリスク評価モデル(BOX モデル型)で採用されている汚染土壌から地上空気への揮発フラックス及び地上空気の吸入による健康リスクの評価方法について比較検討を行い、わが国の汚染サイト特性や土壌・地下水環境に適したリスク評価の手順やモデルを提案した。リスク評価モデルの比較検討においては、サブテーマ①の揮発フラックスモデルによる計算結果及びサブテーマ②で取得される各種実験データも活用し、本サブテーマで開発するリスク評価モデルで算定される地上空気への揮発フラックスの値がどの程度の安全率をもって評価されるのかを検討するとともに、本サブテーマにおいても土壌の種類・条件(密度、温度、水分状態等)による地上への拡散フラックスの違いを把握し、開発したリスク評価モデルの検証用データを得るための土壌カラム試験を実施して、サブテーマ②で検討される土壌揮発量ポテンシャルを入力値として取り入れた吸入リスク評価のモデル及びその有効性について検討した。また、実汚染サイトでの土壌汚染調査で採取された汚染土壌を使用し、リスク評価モデルの入力値候補である土壌揮発量ポテンシャルと土壌溶出量、土壌全含有量との関係を把握し、リスク評価モデルの入力値の選定を行った。

わが国の汚染サイト特性や土壌・地下水環境に適したリスク評価の手順やモデルに関して、十分な検討を行うことができている。また、サブテーマ②で検討された揮発量ポテンシャルの実験結果

の精査も、計画通りに進んでいる。実汚染サイトにおけるデータ取得（2020 年度実施予定）の進捗の一部に遅れが出ている。これは、調査地域の選定によるもので、研究計画を修正する必要はなく、現時点の研究計画の中で、中間評価までの進捗状況としてはほぼ 100%達成できている。

4. 環境政策への貢献(研究代表者による記述)

揮発性の高いトリクロロエチレン、ベンゼン及び水銀に関して、土壌ガスに着目し、土壌中での挙動、大気への揮発フラックスを評価し、地上空気の吸入による健康リスクを定量的に評価するとともに、覆土などリスク管理対策の効果も評価することで、揮発リスクを考慮した土壌汚染対策制度の構築に貢献できる。本研究では上記の 3 物質を対象としているが、揮発性の高い第 1 種特定有害物質にも適用可能と考えられる。また、本研究で提案する揮発量ポテンシャル（対策の必要性の有無を判定する）、揮発フラックスの評価手法や予測モデルにより、汚染現場における摂取リスクの評価や掘削工事の影響を見積ることができる。また、作業従事者、近隣住民への影響を抑えるための工法の開発や効果的な被覆シール材の開発など、環境産業への活用に大きく貢献できる。さらに、前述した土壌汚染対策法改正の付帯決議に記された揮発経路の摂取リスクの解明により、土壌環境基準の改定やガイドラインの改正等、今後の土壌環境施策の改善に直接的に寄与できる。

環境政策への貢献の詳細は、政策決定者向けサマリーに記載するとおりである。担当する土壌・環境課との間で定期的に連絡会を開催して、指摘された課題などは研究内容に反映している。

5. 評価者の指摘及び提言概要

揮発性物質について土壌中の揮発性物質のポテンシャル、さらに揮発性物質のフラックスを測定し、わが国に合った揮発性物質の暴露経路や暴露量について定量化が期待できる。特に土壌からの揮発による暴露量の評価は、土壌汚染対策法の喫緊の課題であり、行政上の貢献も大きい。汚染土壌から揮発してくる VOCs、水銀などについて摂取リスクを評価し適切な対応、対策をしていくために必要な研究が計画通り進められている。今後、現場調査等のデータを集積し、精度の良い土壌揮発ポテンシャルの評価法を確立し、どのような土壌が人への暴露リスクがあり、行政的な対応が必要なのかを明らかにすることが望まれる。揮発量ポテンシャルについては簡便で有効な方法を開発し、土壌環境基準への反映を行政とともに検討してほしい。

6. 評点

評価ランク：A