

[別紙 2]

論文審査の結果の要旨

申請者氏名 西脇 淳子

本論文は、ガソリンや油、有機溶剤等の難水溶性溶液 (NAPL ; Non-Aqueous Phase Liquids) による地下水・土壌汚染問題に関して、汚染領域と汚染量の正確な把握に有効とされる Partitioning Interwell Tracer Test (PITT) 手法の推定精度、有効性、および問題点を、実験的に検討したものである。PITT 手法における NAPL 量推定には、クロマトグラフィーの原理、すなわち、NAPL への分配トレーサーのブレイクスルーカーブが、非分配トレーサーのブレイクスルーカーブから遅延を起こす現象の解析原理を用いている。

第 1 章では、研究の背景を述べ、既往の研究のレビューを行い、研究の目的を設定した。すなわち、PITT ではトレーサーの NAPL への分配は平衡状態であると仮定されるが、この仮定が現場では必ずしも成立しない恐れがあるので、①NAPL が不均一に分布することの影響評価、および、②トレーサーの移動速度による影響評価、が重要であるとの課題を設定した。

第 2 章では、本研究で用いる各種トレーサーの選択、それらトレーサーの NAPL および土壌への分配係数を、文献値に頼らず、直接バッチ試験で求めたことを記述した。まず、汚染物質である NAPL としてトリクロロエチレン (TCE) を用い、非分配トレーサーはイソプロピルアルコール (IPA)、分配トレーサーは 4 メチル 2 ペンタノール (4M2P) および 5 メチル 2 ヘキサノール (5M2H) を選び、土壌としては豊浦砂および立川ロームを選択した。バッチ試験の結果、IPA の TCE への分配はほとんど 0、4M2P と 5M2H の TCE-水分分配係数はそれぞれ 6.51、27.51 であることを確認した。

第 3 章では、NAPL が不均一に分布することの影響評価のため、NAPL がいろいろな塊サイズで不均一分布している状況を作成し、PITT 手法の適用性を検討した。そのために、2mm 以下、2~5mm、5~15mm という 3 種類のサイズのカオリナイト多孔質体の塊を準備し、これをナゲットと呼ぶことにした。すなわち、これらカオリナイト多孔質ナゲットに NAPL である TCE を飽和させ、これを豊浦砂を充填したカラム内に適宜埋め込んで、NAPL の不均一分布状態をモデル的に再現した。その結果、ナゲットサイズが小さいとき (5mm 以下)、分配トレーサーと非分配トレーサーのブレイクスルーカーブの分離 (遅延) が明瞭となり、PITT 法が有効に適用できること、ナゲットサイズが大きくなると、その分離 (遅延) は不明瞭となることが示された。なお、ピーク分離 (遅延) だけでなく、そのカーブの減衰勾配が、トレーサーの分配と非分配を区別する重要な指標であることを示唆した。

第 4 章では、トレーサーの移動速度による影響評価のため、分配トレーサーと非分配トレーサーの流量を変え、PITT 法の有効性との関連を調べた。NAPL としては、TCE とペンタノールを用い、TCE に対する非分配トレーサーは IPA、分配トレーサーは 4M2P と

5M2H、ペンタノールに対する非分配トレーサーは臭化カリウム (KBr)、分配トレーサーは酢酸とした。供試土壌は豊浦砂であり、NAPL はカラム内に均一に存在するように設定した。実験の結果、トレーサー速度が小さいほうがブレイクスルーカーブの分離（遅延）が明瞭となり、したがって、PITT 法の適用性が高いこと、トレーサー速度が大きいと、ブレイクスルーカーブの分離（遅延）は明瞭でなくなることが示され、現地への PITT の適用に当たってもトレーサー移動速度を小さくとる必要があることが示唆された。なお、この実験で、分配係数の小さいトレーサーを用いることは適切ではないことも指摘された。

第 5 章では、移流分散方程式(CDE)と two-region の Mobile -Immobile water Model (MIM) を用いて、トレーサーの移動および分配現象を解析した。解析ソフトには公開されている CXTFIT を用いた。第 3 章、第 4 章のモデル実験結果では、トレーサー物質のブレイクスルーカーブの遅延（分離）と共に、カーブの上昇勾配、下降勾配において様々な特性が現れたので、その原因を解明するために、上記モデルのパラメータを逆解析した。その結果、無次元物質輸送係数と遅延係数を適切に選ぶことで、実験的に得られたブレイクスルーカーブを精度良く再現できることを確かめた。以上より、分配トレーサーが NAPL 内へ分配される際の移流分散移動現象を正しく捉えることの重要性を指摘した。

第 6 章では、実験結果と理論解析を総合し、NAPL が不均一に存在する場合に精度が低下すること、流速が小さい場合に精度が良好なこと、5M2H より 4M2P を分配トレーサーとした方が精度は良いことを確認した。続く第 7 章では、結論を述べた。

以上要するに、本研究は、PITT という新しい手法の信頼性と問題点を、精密な室内実験と最新の解析手法を用いて明らかにしたものであり、学術上、応用上貢献するところが少なくない。よって、審査委員一同は、本論文が博士（農学）の学位論文として価値あるものと認めた。