

分解反応モデルを用いた地下水汚染モニタリング結果の解析*

山口県環境保健研究センター

古谷典子・田中克正・下濃義弘
杉山邦義・前田達男

Analysis of Monitoring Data on Groundwater Contamination Using Consecutive Reaction Model

Noriko FURUYA, Katsumasa TANAKA, Yoshihiro SHIMONO
Kuniyoshi SUGIYAMA, Tatsuo MAEDA

はじめに

県では、水質汚濁防止法に基づき、平成元年度から地下水調査を実施してきた。その結果、テトラクロロエチレン (PCE) やトリクロロエチレン (TCE) 等の揮発性有機塩素化合物が地下水質の評価基準を超えて検出された地点が5市3町13地区あり、そのほとんどがPCEによる汚染であった。これらの汚染地区では継続的に年4回のモニタリング調査を行っており、汚染物質濃度の季節変動が観測されると共に、濃度分布に地域差が認められた。

一方、PCEは地下水中で嫌気性微生物によりシス-1, 2-ジクロロエチレン (cis-DCE) に分解されることが明らかになっている (図1)¹⁾。この分解モデルに関して多くの研究が行われ、地下水汚染解析法として有用性が認められている。また、この分解モデルを用いて県内の汚染地区の濃度推移を解析することにより、汚染物質の濃度推移が予測できるとともに、今後のモニタリング計画の終点を知る上で有効な資料となるため、PCEの分解予測を行った。

ング調査データを用いた。

なお、PCE等の分析はパージトラップーガスクロマトグラフィー・質量分析法により行った。

表1 対象地区及び期間

解析地区	期間
田布施町	平成5～9年度
防府市上右田地区	平成6～9年度
防府市田島地区	平成7～9年度

2 PCE分解モデルによる濃度推移の検討

(1) PCE分解モデル

図1のモデルにおいて、PCEの分解は連続一次反応であり、時間tにおける各々のモル濃度は、PCEの初期濃度を a_0 とすると、次式で表される²⁾。

$$[PCE] = a_0 \exp(-k_1 t)$$

$$[TCE] = a_0 k_1 \{ \exp(-k_1 t) - \exp(-k_2 t) \} / (k_2 - k_1)$$

$$[cis-DCE] = a_0 \{ 1 - \{ k_2 \exp(-k_1 t) - k_1 \exp(-k_2 t) \} / (k_2 - k_1) \}$$

しかし、実際の地下水中において汚染濃度の分布は広範囲にわたっており、また季節変動もあることから、PCEの分解を単純にモル濃度で把握することは困難である。従って、PCE、TCE、cis-DCEの濃度比に対する各物質の濃度比 (モル分率) を用いることによって濃度変化を検討した。

(2) 速度定数比の推定

連続一次反応に基づく分解反応モデルでは、濃度分布が異なる複数のケースにおいて各 k_1 , k_2 が異なっても分解速度定数比 k_2/k_1 ($=r$) が同じならば、PCE、TCE、cis-DCEの経時濃度変化は同じパターンをとる。更に r 値はPCE、TCE、cis-DCEの理論上の相互特性図により推定することが可能であり、その r 値から経時濃度変化パターンを求めることができる³⁾。

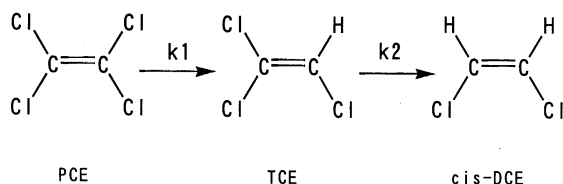


図1 PCEの分解モデル

解析方法

1 解析データ

対象地区は田布施町、防府市上右田地区及び田島地区とした。また、解析には表1に示す期間のモニタリ

*本報告の要旨は、第46回山口県公衆衛生学会 (1999年6月、山口市) 及び第45回中国地区公衆衛生学会 (1999年9月、広島市) において発表した。

そこで任意のr値から求まる3物質の相互特性曲線上に各汚染地区における各モル分率の分布をプロットした。

(3) PCEの濃度推移予測

(2)で推定したr値と(1)の3式より、3物質の経時濃度変化パターンを求めた。更に、これまでの濃度推移との比較により、PCEの分解が終了するまでの時間を予測した。

結果及び考察

1 各汚染地区における推定r値

(1) 田布施町

田布施町A地点の相互特性図ではプロットがr=4の曲線上に集中しており、最適値であると推定された(図2)。同様にしてB地点ではr=2、C地点ではr=1が最適値であると推定された。

(2) 上右田地区

上右田地区では、ほとんどの調査地点でPCEのみしか検出されず分解は進んでいないと考えられる。唯一TCEやcis-DCEが検出されたD地点ではr=8と推定された。

(3) 田島地区

田島地区では汚染物質の検出状況に2つのパターンが認められた。すなわち①汚染物質濃度は比較的低く、3物質のうちcis-DCEの占める割合が高い地点、②汚染物質濃度が比較的高く、3物質のうちPCEの占める割合が高い地点である。これら2つのパターンでは推定r値も異なり、①ではr=1が最適値、②ではr=8が最適値であると推定された。

2 PCEの濃度推移予測

(1) 田布施町

推定r値より得られた田布施町A地点の濃度変化パターンは図3のとおりで、平成5年7月及び平成9年5月におけるモル分率と比較したところ、PCEの分解が終了するまでの時間は約45年と予測された。また、グラフよりこの地点ではPCEの分解が半分程度進んでおり、今後PCE、TCEは徐々に減り、cis-DCEは増加していくと予想される。田布施町の他地点においても同様の結果が得られた。しかし、PCEの分解が進む一方で汚染物質の総和量は増加傾向にあり、汚染源からのPCE等の流出が停止していない可能性が考えられる。

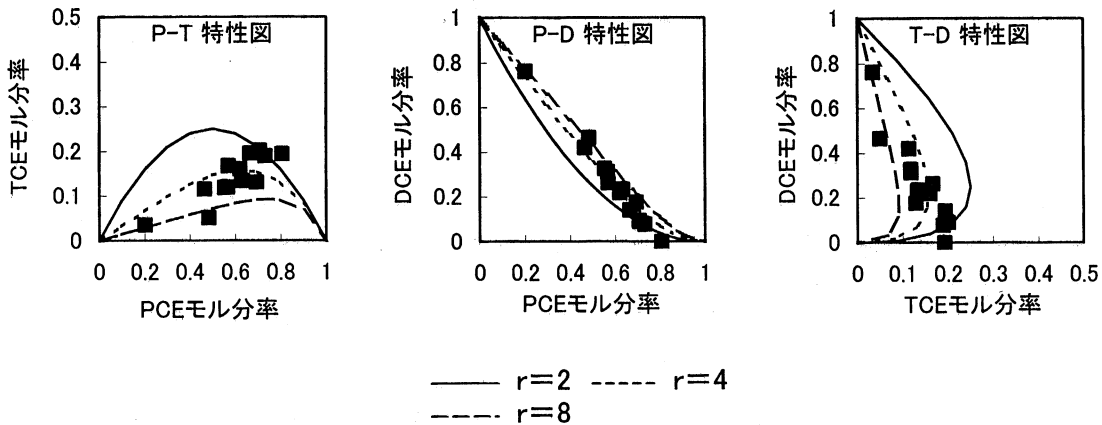


図2 田布施町A地点の相互特性図

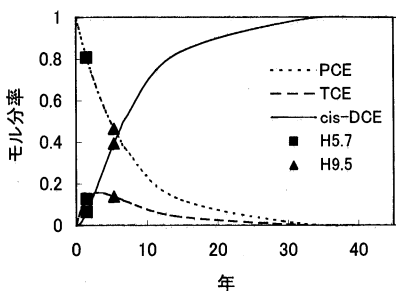


図3 田布施町A地点の濃度推移予測

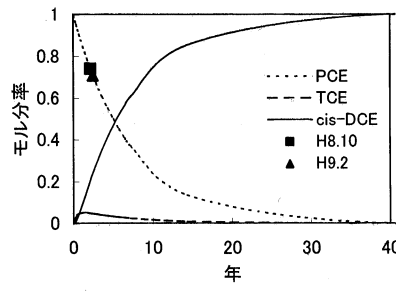


図4 上右田地区D地点の濃度推移予測

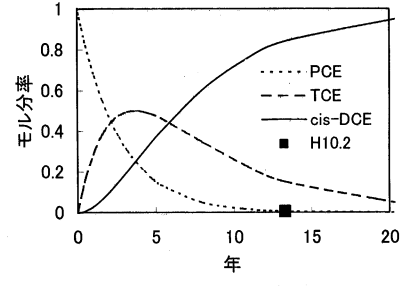


図5 田島地区E地点の濃度推移予測

(2) 上右田地区

上右田地区はPCEしか検出されない地点がほとんどで分解の初期段階にある。分解生成物が検出されたD地点では、推定 r 値より得られた濃度変化パターンよりPCEが分解するまでには約40年を要し(図4)、その他の地点ではそれ以上の時間を要すると予測される。これはこの地区の土壌が砂質であるため嫌気性微生物による分解が進みにくいことが一因として考えられる。従ってPCEの消失は微生物による分解よりも移流や拡散などの希釈効果によって進むと考えられる。

(3) 田島地区

田島地区においては①のパターンを示す地点ではPCEの分解はほぼ終了しており、県内の他地域とは異なるパターンを示した(図5)。これは、この地区の土壌が泥質であり他地域に比べて嫌気性微生物による分解が早いことが原因と考えられる。②のパターンを示す地点は r 値より得られた濃度変化パターンの初期段階にある。しかしこの地点は汚染源のすぐ側にあり、これまでのモニタリング結果よりPCEの流出が停止していないと考えられる。このため微生物による分解が進みやすい環境にもかかわらずPCE濃度が高く、見かけ上分解が進んでいないと推測される。

まとめ

今回、地下水汚染実態調査のデータを解析することによって、県内の3地区において、それぞれに対応したPCEの分解モデルの経時濃度変化パターンを推定することができた。これにより今後の濃度推移を予測することができ、分解産物を含めたモニタリングの有用性が示された。しかし、分解産物であるcis-DCEにも毒性があることが知られており、その分解に関する報告はあまりない。従って、今後も同様な調査を継続していくと共にcis-DCEの挙動についても調査の必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 二宮勝幸ほか：水環境学会誌，15，822-827 (1992)
- 2) 二宮勝幸ほか：横浜市環境科学研究所報，19，61-65 (1995)
- 3) 二宮勝幸ほか：横浜市環境科学研究所報，16，105-110 (1992)