

# 土壌汚染と地下水汚染

## Soil and Groundwater Pollution

小 松 登志子 (こまつ としこ)

広島大学助教授 大学院工学研究科社会環境システム専攻

### 1. 土壌汚染・地下水汚染とは

土壌汚染とは、重金属、農薬、有機塩素化合物などの有害化学物質が土壌に浸入し、土壌内に留まることである。それらの汚染物質が土壌内を浸透して地下水に達すれば、地下水汚染を招くこととなる。

日本における土壌汚染の代表的な例としては、公害の原点といわれる渡良瀬川流域の農地の重金属汚染（足尾鉍毒事件）や、悲惨なイタイイタイ病を引き起こした神通川流域のカドミウム汚染などがあげられる<sup>1),2)</sup>。地下水汚染については、アメリカ、カリフォルニア州のシリコンバレーにおけるテトラクロロエチレンなどの有機塩素化合物による地下水汚染が有名である<sup>3)</sup>。

地下水汚染という場合、汚染されているのは地下水のみでなく、地下水帯の土壌も汚染されていると考える必要がある。また、同様に土壌が汚染されている場合にはその一帯の地下水も汚染されている可能性が高い。このように土壌汚染と地下水汚染は密接な関係にあり、まとめて土壌環境の汚染と考えることができる。

### 2. 汚染源と汚染物質

土壌への有害化学物質の浸入には、図—1に示すようにいろいろな場合がある。農地やゴルフ場に散布された農薬の土壌への浸透、ガソリンスタンドや工場などの地下オイルタンクからの漏れ、廃棄物埋立地からの有害物質の漏出、半導体産業やクリーニング業からのトリクロロエチレンなどの漏出、地下鉄工事などにおける地盤安定化のための薬液注入などである。不法に廃棄・埋立て

された有害物質による汚染もある。ダイオキシンやPAHs（多環芳香族炭化水素類）などのようにごみ焼却場や工場、自動車等から排出された有害物質が降下粉じん、降雨などによって運ばれて土壌に入ってくる場合もある。

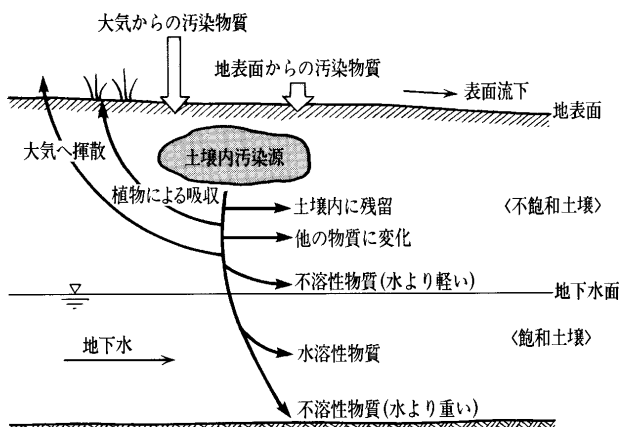
汚染物質の種類も、テトラクロロエチレン、トリクロロエチレンなどの揮発性有機塩素化合物、農薬、重金属、ガソリン、オイル、ダイオキシン、PCB、PAHs、放射性物質など、さまざまである。施肥や排水の土壌浸透処理などに由来する硝酸性窒素、亜硝酸性窒素は地下水中に検出される率が最も高い汚染物質である<sup>4)</sup>。

### 3. 汚染物質の土壌内での挙動

土壌内に入ってきた汚染物質は図—1に示すように、水や空気の流れとともに移動したり、どこかに留まったりする。揮発して大気中へ出ていく場合や、植物に吸収される場合もあり、また微生物の働きなどにより他の物質に変換されることもある。最近では、微細な土壌コロイド粒子に汚染物質が吸着して移動するという経路についても研究が進められている。汚染物質のこれらの挙動は、その物質の性質や土壌の特性などによって大きく左右される。

土壌は固相（土粒子）、液相（土壌水）、気相（土壌内空気）の三つの相からなっており、汚染物質はその性質によって、いろいろな相に存在する。図—1の飽和土壌とは、土壌内の間隙が水（液相）で満たされており、空気（気相）のない状態をいう。不飽和土壌とは土壌内の間隙に水と空気がある状態をいう。

一般に汚染物質は土壌内の間隙を水や空気の流れとともに移動するが、ベンゼン、トルエンのような石油系炭化水素やテトラクロロエチレンなどの揮発性有機塩素化合物のように水に不溶性の液体（NAPL; Nonaqueous Phase Liquid）は、それ自体で土壌内を移動する。特にテトラクロロエチレン、トリクロロエチレンなどの揮発性有機塩素化合物は、粘性が低いいため土壌内を浸透しやすく、地下水層に達すると、水に溶けにくく比重が水より大きいので地下水層の底部にまで浸透する。またこれらの有機塩素化合物は非常に揮発性が高いため、土壌間隙内で揮発し、気体として大気中へ揮散していくという経路もある。



図—1 土壌内における汚染物質の挙動

表一 1 地下水環境基準（平成9年3月13日環境庁告示第10号）

| 項 目                                                               | 基 準 値         | 項 目            | 基 準 値        |
|-------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|--------------|
| カドミウム                                                             | 0.01 mg/l以下   | 1,1,1-トリクロロエタン | 1 mg/l以下     |
| 全シアン                                                              | 検出されないこと      | 1,1,2-トリクロロエタン | 0.006 mg/l以下 |
| 鉛                                                                 | 0.01 mg/l以下   | トリクロロエチレン      | 0.03 mg/l以下  |
| 六価クロム                                                             | 0.05 mg/l以下   | テトラクロロエチレン     | 0.01 mg/l以下  |
| 砒素                                                                | 0.01 mg/l以下   | 1,3-ジクロロプロペン   | 0.002 mg/l以下 |
| 総水銀                                                               | 0.0005 mg/l以下 | チウラム           | 0.006 mg/l以下 |
| アルキル水銀                                                            | 検出されないこと      | シマジン           | 0.003 mg/l以下 |
| PCB                                                               | 検出されないこと      | チオベンカルブ        | 0.02 mg/l以下  |
| ジクロロメタン                                                           | 0.02 mg/l以下   | ベンゼン           | 0.01 mg/l以下  |
| 四塩化炭素                                                             | 0.002 mg/l以下  | セレン            | 0.01 mg/l以下  |
| 1,2-ジクロロエタン                                                       | 0.004 mg/l以下  | 硝酸性窒素および亜硝酸性窒素 | 10 mg/l以下    |
| 1,1-ジクロロエチレン                                                      | 0.02 mg/l以下   | フッ素            | 0.8 mg/l以下   |
| シス-1,2-ジクロロエチレン                                                   | 0.04 mg/l以下   | ホウ素            | 1 mg/l以下     |
| 備考                                                                |               |                |              |
| 1.基準値は年間平均値とする。ただし、全シアンに係る基準値については、最高値とする。                        |               |                |              |
| 2.「検出されないこと」とは、測定方法の欄に掲げる方法により測定した場合において、その結果が当該方法の定量限界を下回ることをいう。 |               |                |              |

#### 4. 日本における土壌・地下水汚染の現状と環境基準

環境白書（平成13年版）によれば<sup>5)</sup>、農地の土壌汚染とともに、近年、有害物質の不適切な取り扱いや漏洩による市街地等の土壌汚染が顕在化している。汚染物質としては、鉛、ヒ素、六価クロム、水銀、カドミウムに加え、金属の脱脂洗浄や溶剤として使われるトリクロロエチレン、テトラクロロエチレンによる汚染事例が多いと報告されている。

地下水汚染については、平成11年度地下水測定結果から、地下水の環境基準（表一1）を超えて検出された割合（超過率）が高かった物質を順にあげると、硝酸性窒素および亜硝酸性窒素、ヒ素、フッ素、テトラクロロエチレン、トリクロロエチレン、などとなっている<sup>4)</sup>。

土壌・地下水に関してはそれぞれ環境基準が定められているが、ここでは地下水の環境基準を表一1に示す。

#### 5. 汚染された土壌・地下水の浄化方法

汚染された土壌・地下水の浄化方法を簡単に要約する

と、汚染現場で浄化する方法（原位置浄化）、掘削して処理する方法（掘削除去・処理）、現場で汚染土壌を固めてしまう方法（原位置封じ込め）などがある<sup>6)~8)</sup>。原位置浄化法には、非常に揮発性が高いテトラクロロエチレンなどの有機塩素化合物汚染に適用される、土壌ガス吸引法がある。これは土壌内（不飽和土壌）の空気を吸引・抽出することによって、揮発しやすい有機塩素化合物を気体として引き抜き、地上で処理する方法である。そのほか、汚染地下水を揚水して処理する地下水揚水法や、微生物を利用して汚染物質を分解するバイオレメディエーション（bioremediation）などもある。

#### 6. 土壌・地下水の保全

土壌汚染・地下水汚染は、直接眼に見えず、地下水の流速が小さいため、汚染が判明しにくく、汚染が顕在化したときにはすでに広範囲に広がっている場合が多い。また、いったん汚染されると汚染が長引き、浄化も困難である。したがって、まず汚染を防止することが何より重要である。

水道水源の98%以上を地下水に依存しているデンマークでは、地下水保全のため、自治体が農地を買い上げて農家に貸与し、農薬を使わず、最小限の有機肥料を使う有機農業をさせるというプロジェクトが進められている<sup>9)</sup>。将来にわたって安全な地下水を確保するため、莫大な費用をかけた長期的な対策が講じられているのである。

「土壌環境」は、すべての生物にとってその生存の基盤となるものである。それを汚染しないことに最大限の努力が払われるべきであり、また汚染された土壌環境に対しては緊急かつ十分な対策を講じる必要がある。

#### 参 考 文 献

- 1) 木暮敬二：地盤環境の汚染と浄化修復システム、技報堂出版、pp. 25~26, 2000.
- 2) 日本地盤環境浄化推進協議会監修：土壌・地下水汚染の実態とその対策、オーム社出版局、pp. 1~3, 2000.
- 3) 藤縄克之：汚染される地下水、共立出版、pp. 1~3, 1990.
- 4) 環境省編：平成13年版環境白書、p. 186, 2001.
- 5) 文献4) pp. 202~203.
- 6) 文献1) pp. 129~191.
- 7) 文献2) pp. 78~92.
- 8) L. Pepper, C. P. Gerba and M. L. Brusseau: Pollution Science, Academic Press, pp. 151~167, 1996.
- 9) 小松登志子：デンマークの地下水汚染とその対策、水、Vol. 43-8, No. 613, pp. 24~31, 2000.