

土壌地下水汚染浄化技術のリスクーコスト評価

名古屋大学 正会員 ○井上 康

名古屋大学 正会員 片山 新太

1. はじめに

土壌汚染対策法の改正により、原位置浄化技術の適用促進が必要となっている。原位置技術の方が低コスト、低環境負荷であるが、長期間を要し、一方で土壌掘削・搬出を伴う技術は短期間で済むが、コスト・環境負荷が大きいと言われている。しかしながら、これらが定量的に示されることはほとんどない。環境基準の遵守を条件とした浄化対策では、さして実質的にリスクが大きくない汚染サイトを非常に大きなコストとエネルギーを投入して対策処理することがしばしば問題視される。そこで本研究では、対策技術によるリスク低減の効果に対して、必要な対価であるコストが手法によって、どのように異なり、またそれらがバランスを取っているのかどうかを定量的に示すことに焦点を当て、リスクおよびコストを構成指標とした包括的な技術評価手法の構築を行うことを目的とし、その概念を示し、汚染および浄化シナリオによる検証を行った。

2. 評価手法の概念

我々は土壌地下水汚染の浄化にかかる汚染物質由来のリスクと浄化技術適用のコストを評価軸とした包括的指標 RN_{SOIL} による浄化技術評価手法を提案してきた (Inoue and Katayama, 2004)。コストはいわゆる浄化費用を指すだけでなく、浄化技術を実行する際の負担や負荷、つまりエネルギー消費量や環境負荷、環境影響によっても表すことが出来ると考えている。ものさしの異なる、つまり単位の異なる指標を直接的に比較することは出来ないため、包括的指標 RN_{SOIL} においてはリスク指標およびコスト指標の積で表現されると定義し、その値は単なる指標値として扱った。このような定義により、各技術は Fig.1 に示すようなリスク指標およびコスト指標を軸とした領域で、設定されたベンチマーク技術を基準としたプロットの位置関係により優劣評価がなされる。ここで縦軸は浄化技術適用時のリスク指標を示しており、浄化によっても低減しきれない残留リスクを表現している。図中の直線が RN_{SOIL} 一定を表しており、 RN_{SOIL} 値が小さいほど、優れた技術である。ベンチマーク技術に対しては、図中の白い領域に位置する場合、優れていると判定される。

上述の定義では、 RN_{SOIL} により技術間の比較評価は可能であるが、トレードオフとなっているリスク低減と環境負荷の増加のバランスは評価出来ない。リスクおよびコスト指標を同一の単位で表現して、その大小関係を調べることで、リスクーコストのバランスから見た浄化対策の妥当性も評価可能となる。

3. シナリオによる検証

提案した評価手法を検証するために、仮想的な汚染および浄化のシナリオを構築し、指標値を算出し、技術間比較を行った。汚染シナリオは農用地表層土壌における農薬の一種であるディルドリン汚染（濃度 1.0mg/kg-soil 、面積 $1,000\text{m}^2$ 、深度 0.5m ）とした。また、浄化シナリオは掘削除去処分場廃棄、高温熱脱着法、バイオパイル、ランドファーミング（前者2技術はオフサイト、後者2技術はオンサイト）の4種の浄化処理技術の適用を想定した。汚染物質の暴露による人間健康に対するリスク評価は、多媒体輸送・暴露評価モデル CalTOX (DTSC, California EPA, USA) を用いて行った。実質的なリスクの大きさを表現するために、一日許容摂取量 (Acceptable Daily Intake; ADI) を超過する暴露人口あるいは人間健康の影響を表す指標として用いられている DALYs (Disability-Adjusted Life Years; 障害調整生存年) によって定量化した。暴露量から DALY への換算は平井(2005)の方法を参考にした。ここでは、発ガン影響 (肝臓ガン) のみを考慮し、汚染物質による DALYs を式(1)によって求めた。この方法により、浄化しない場合および各技術で浄化した場合に残留するリスクを DALY として求めた。

キーワード 土壌地下水汚染、浄化技術、リスク、コスト、環境負荷、LCA

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学エコトピア科学研究所 井上 康 TEL: 052-789-5858

一方で LCA により、技術適用による影響を定量化した。ライフサイクルインベントリ分析を行い、費用、二酸化炭素排出量あるいは DALYs をコスト指標として算出した。システムは汚染調査後の浄化開始から浄化後の土地機能回復終了までとし、各技術の構成プロセスのインベントリを求めた。国土交通省積算基準および米国海軍技術資料などを利用して、費用を算出し、CO₂ 排出原単位は主に産業連関表に基づく 1995 年(399 部門)(I-A)⁻¹ 型環境負荷原単位表(南齋ら、2002)から、使用資材、機器等に最も近いと考えられる部門の値を便宜的に用いた。環境影響の大きさとして、LIME2(産業環境管理協会、2006)を利用して、CO₂ 排出量に人間健康への被害係数(=1.67×10⁻⁷ [DALY/kg])を乗じて DALYs を求めた。

ここでは最終的な結果である各技術適用の汚染物質および CO₂ によるインパクトを DALYs として定量化したもののみを Fig.2 に示した。リスク低減量は、「浄化なし」の DALYs から各シナリオの DALYs を差し引いて求めた。リスク低減分に対して CO₂ 排出によるリスク増加分は十分に小さい値となった。このシナリオにおいては、低減されるリスクに比べて、浄化が及ぼす環境影響が十分に小さいと言うことを示している。懸念されたような大きな環境影響の増加は生じていないと考えられ、浄化措置の実行が妥当であると言える。ここでは、バイオパイルが技術選択上でより優位であると判断出来た。

4. おわりに

本研究では、土壤地下水汚染浄化技術の包括的評価手法である RN_{SOIL} を提案し、その概念とシナリオによる有効性の検証を行った。トレードオフの関係にあると考えられるリスクとコストを評価軸とした評価指標を定義し、それぞれをリスクアセスメントおよびライフサイクルアセスメントにより DALYs として定量化し、リスクとコストのバランスにより技術評価が可能であることを示した。提案した指標を判断基準にすることにより、現場では適用可能技術の評価・選択による原位置技術の適用促進、あるいは技術者にとっては開発中技術の改善すべきポイントを定量的に明らかに出来ることなどが期待される。今後、実例を用いたケーススタディーを通じた検証を重ね、それぞれの指標の定義としてどのような形式が適切かを決定する必要がある。

参考文献

Inoue, Y. and Katayama, A. (2004), Application of the rescue number to the evaluation of remediation technologies for contaminated ground, *J. Material Cycles & Waste Management*, 6, pp.48-57., 平井 (2005) : リスク評価とライフサイクルアセスメントの比較 クロルデン汚染廃木材の再利用と焼却処理の事例研究、第 1 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、pp.36-37., 南齋ら(2002) : 産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID) -LCA のインベントリデータとして-, 国立環境研究所地球環境研究センター, 産業環境管理協会(2006) : “製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発成果報告書”、第IV編インパクト評価研究活動結果

$$DALYs = E_{ave} \times OSF \times D_s \times P \quad (1)$$

E_{ave} : 日平均暴露量 [mg/kg/day], OSF : 経口摂取による発ガンの Slope Factor [case/(mg/kg/day)](=16.0), D_s : 疾病毎の総 DALY [DALY/case](=14.1), P : 暴露を受ける人数 [人]

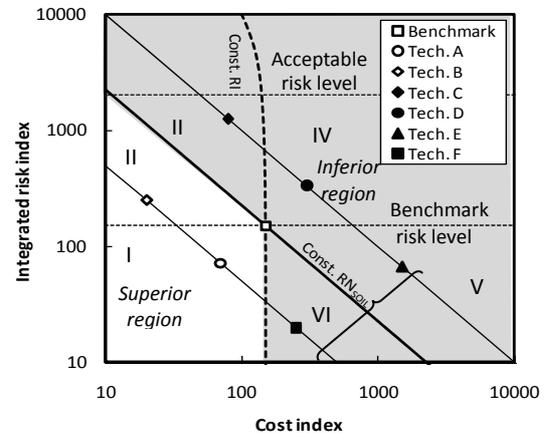


Fig.1 RN_{SOIL} 評価手法概念図

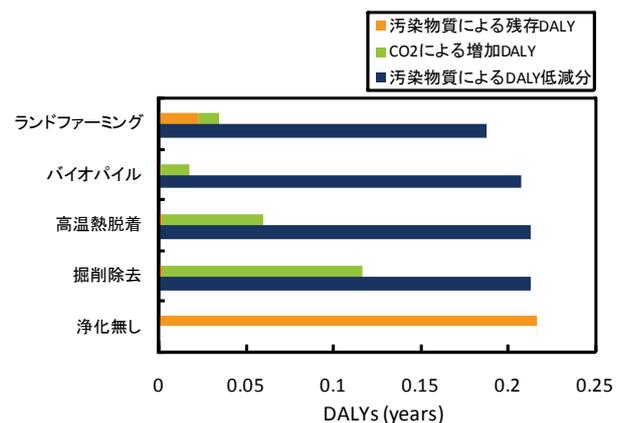


Fig.2 DALYs 表示による各技術の比較