

わが国と諸外国のサステナブル・レメディエーションへの取り組み

Approaches for Sustainable Remediation in Japan and Foreign Countries

保 高 徹^{*}・古 川 靖 英^{**}・張 銘^{***}

Tetsuo YASUTAKA, Yasuhide FURUKAWA, and Ming ZHANG

はじめに

サステナブル・レメディエーション (Sustainable Remediation) という言葉をご存知だろうか。持続可能性を考慮した土壤汚染の調査や措置、その後の再開発におけるプロセスや意思決定を意味し、2000年代半ばから欧米を中心に提唱されてきた概念である。

サステナブル・レメディエーションに関する初期の国際組織である Sustainable Remediation Forum¹⁾ (以下, SuRF) の White paper (U.S. Sustainable Remediation Forum, 2009) によれば, サステナブル・レメディエーションの概念は, 1990年代の掘削除去・埋立処分や加熱処理等のエネルギーや資源を大量消費する資源投入型の土壤汚染対策や同時期から欧米を中心に普及してきたリスク評価に基づく合理的な意思決定の次のステップとして位置づけられており, 土壤汚染対策の施工や意思決定における持続可能性の評価の枠組作りや実践が進みつつある。

サステナブル・レメディエーションに関しては, ASTM-E2876 (ASTM International, 2013a) や ISO TC190 (International Organization for Standardization, 2016) における規格化も進んでいる。また, イギリスや米国, カナダ等にサステナブル・レメディエーションの概念や適用性を検討する組織である SuRF が立ち上がり, 2017年3月現在, 世界10カ国で設立されている。

一方, 日本では土壤汚染対策法において暴露経路の観点からリスク評価・管理の概念は導入されているものの, 欧米のようなリスク評価結果に基づく合理的な措置に関しては法体系の中で整理はされていない。しかしながら, サステナブル・レメディエーションに関する取り組みは徐々に始まっており, 2014年に土壤環境センターが LCCO₂ 計算ソフト「COCARA (life-cycle CO₂ Calculation tool for Remedial Activities)」(土壤環境センター, 2014; 大村ら, 2012) をリリースし, 2015年には, 東京都環境局と産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門が「土壤汚染対策における環境負荷評価手法ガイドライン」(東京都環境局ら, 2015) を公開, さらに2016年に産業技術総合研究所に事務局を置く Sustainable Remediation コンソーシアム (以下, SR コンソーシアム) が設立され, 同組織が母体となり SuRF-JAPAN が設立されるなど, 持続可能な土壤汚染対策への取り組みが進んでいる。

本稿ではサステナブル・レメディエーションの基本的な概念を説明するとともに, 国内外の動向を紹介する。

1. サステナブル・レメディエーションとグリーン・レメディエーション

1.1 サステナブル・レメディエーションの定義と構成要素

サステナブル・レメディエーションの定義としては, 2009年の SuRF White Paper では, 「限られた資源を賢明に活用することで, 人間の健康と環境の双方の純便益を最大化することをサステナブル・レメディエーションと定義する」とされている (U.S. Sustain-

* やすたか てつお・国立開発研究法人 産業技術総合研究所 主任研究員

** ふるか わ やすひで・竹中工務店 技術研究所 主任研究員

*** ちょう めい・国立開発研究法人 産業技術総合研究所 研究グループ長

able Remediation Forum, 2009)。また、2010年に SuRF-UK が公開した「A Framework for Assessing the Sustainability of Soil and Groundwater Remediation」では、「経済、環境、社会の3つのバランスが成立する状況が持続可能性であり、レメディエーションを行う際にも持続可能性の要因を考慮することが重要だと認識している」と述べられている (Sustainable Remediation Forum UK, 2010)。現在、多くの SuRF での議論や ISO においては、持続可能性を考慮するフレームワークとして、経済、環境、社会の3つの大項目を考慮しているケースが多い。SuRF-UK の経済、環境、社会における評価指標を表1に示す。

これらの指標については、全項目を定量評価するのは難しいことから、まずは当該地の浄化にかかわるステークホルダーにおいて議論を行い、評価対象項目を決定することになる。また、評価対象となった項目について、定性評価 (半定量評価) によりスコアをつけ、さらに各項目の重み付けを踏まえて総合評価を行い、意思決定する運びとなる。

表1 SuRF-UK のサステナブル・レメディエーションの指標例

環境	社会	経済
大気環境	人健康と安全	直接コスト/便益
土壌環境	倫理と平等	間接コスト/便益
水環境	近隣と地域	誘発コスト/便益
生態系	住民参加	雇用と資本
資源消費	不確実性と証拠	プロジェクトの寿命と柔軟性
廃棄物発生量	汚染物質除去	失敗リスク

出典) Sustainable Remediation Forum UK (2010)

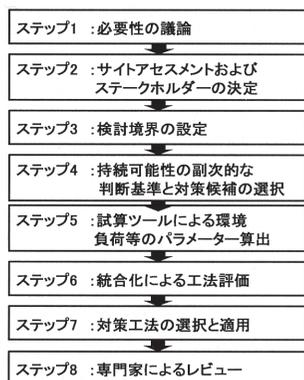


図1 SuRF-UK の評価のフローチャート
出典) Sustainable Remediation Forum UK (2010)

SuRF-UK の評価のフローチャートを図1に示す。

1.2 サステナブル・レメディエーションの評価事例

サステナブル・レメディエーションの適用・評価事例は世界的に見ても多くない。現時点では適用可能性を評価している段階、と位置づけられるが、その中でも、SuRF-UK の1事例を紹介する (Contaminated Land: Applications in Real Environments, 2013)。

当該地は、精油所の跡地であり、再開発における土壌汚染措置方法について、サステナブル・レメディエーションを検討し適用した。

前提条件としては以下のとおりである。

- 重油等の汚染が存在するサイト
- ステークホルダー：土地所有者、地域の環境行政局、立地自治体、近隣住民や施設保有者、食料品生産者、購入予定者が参加した。
- 浄化オプション：熱処理法、ランドファーミング、積極的バイオレメディエーション、土壌洗浄、掘削除去の5種類の工法が評価対象となった。
- 土地利用シナリオ：現状のマスタープラン、無制限の土地利用、現状のマスタープランの改訂版の3つを、浄化期間として18ヵ月以下と5年以上の計6つのシナリオを検討した。
- 結果として、5浄化方法×6シナリオの30ケースが評価対象となった。

評価方法は以下のとおりである。

- Tier 1 評価として、実現可能性と不確実性の観点から、定性評価を行い考慮しないケースが選定された。この時点で30ケース中18ケースが評価対象となった。
- Tier 2 評価として、対象となる各18ケースについて、半定量評価を行っている。ステークホルダーの意見および定量可能性を鑑み、経済2小項目 (直接コスト/便益 [5], プロジェクト寿命と柔軟性 [3], []) は各項目の重み付け点数であり、最大5)、環境2小項目 (大気環境 [5], 天然資源と廃棄物 [5]), 社会3小項目 (人健康と安全 [5], 近隣と地域 [5], 不確実性と証拠 [1]) の7項目を対象として、半定量評価を行った。
- 計算においては、各小項目の点数×重み付け点数を各大項目で合計する。その後、各大項目の最大

合計点数に対して得られた点数の割合を算定する。

- ・最後に、社会、経済、環境の合計スコアを出すために、各スコアを1/3として合計し、最終スコアを算定する。

結果は以下のとおりである。

- ・積極的バイオレメディエーションの点数が最も高く、採用されることとなった。一方、他の対策手法の点数との差も20%以内であり、大きな差は確認されなかった。

これらの評価方法の詳細は参考文献を参照されたい。

1.3 サステナブル・レメディエーションのキー

SuRF-UK では、原則としてサステナブル・レメディエーションのキーとなる以下の6つを挙げている (Sustainable Remediation Forum UK, 2010)。

- 原則1：人の健康と幅広い環境を保護すること
- 原則2：安全性のある浄化作業が行われること
- 原則3：一貫性、透明性、再現性があり、証拠に基づく意思決定がなされること
- 原則4：記録を取り、透明性のある報告がなされること
- 原則5：適切な統治と利害関係者の参加がなされること
- 原則6：適切な科学性に基づいていること

これらの原則からも読み取れるとおり、サステナブル・レメディエーションにおいては、その評価方法もさることながら、透明性、再現性、ステークホルダーの参加、適切な意思決定、が重要なキーワードとなっており、意思決定に重きが置かれていることがうかがわれる。

1.4 グリーン・レメディエーションとの関係

サステナブル・レメディエーションと同時によく使われるキーワードが、グリーン・レメディエーション (Green Remediation) である (たとえば、U.S. EPA, 2008・2009)。グリーン・サステナブル・レメディエーション (GSR) という略語も使われるとおり、サステナブル・レメディエーションの概念と同時期もしくは少し前から発展してきた考え方である。グリーン・レメディエーションでは、サステナブル・レメディエーションにおける環境項目に重点を置いており、資源

と廃棄物、エネルギー、大気、水、土地と生態系等土壌汚染対策による外部環境負荷の低減を目指す考え方である。2000年代初頭より、米国を中心に進められており、実務的に適用可能な評価手法やツールが国内外で複数提示されている。グリーン・レメディエーションの評価方法は、① Best Management Practice (BMP) と呼ばれる環境負荷削減のための適用事例集の採用 (たとえば、U.S. EPA, 2010)、② 外部環境負荷 (CO₂ 排出量や石油、鉄の資源消費等) を定量評価する方法、があり、前者は特定措置工法の外部環境負荷削減に、後者は特定措置工法の外部環境負荷削減だけでなく、工法選定においても使用されている。

これらのグリーン・レメディエーションの考え方は ASTM 等で整備されており、米国スーパーファンドサイト等を中心に実際に評価・適用された事業も多数ある。考え方がシンプルである分、その適用はサステナブル・レメディエーションよりも進んでいる。

2. 国際的な動き

2.1 ISO 規格としての審議状況

サステナブル・レメディエーションにかかわる ISO 規格の審議は ISO/TC190 技術委員会の SC7WG12 において進められている (International Organization for Standardization, 2016)。議長国はイギリスであり、ドイツ、イタリア、オーストラリア、日本が中心となり活動をしている。本規格はおもにサステナブル・レメディエーションのフレームワークについて記載がされており、正式な ISO 化に向けた最終の校正段階にある。より詳細なガイドラインにかかわる規格の必要性についての審議が現在なされている。

2.2 ASTM 規格の発行

アメリカでは ASTM 規格、E2876-13 「Standard Guide for Integrating Sustainable Objectives into Cleanup」が発行されている (ASTM International, 2013a)。この中で、環境側面 (材料と廃棄物、大気環境、水環境、エネルギー、土地と生態系) だけでなく、効率化・コスト削減、地域自治体・地域コミュニティへの経済的影響といった経済的な観点、さらに地域コミュニティの参画、ローカルコミュニティの活力等の項目が Core elements として記載されている。これら

の各項目について、BMP 例や計画立案等が記載されている。

サステナブル・レメディエーションではないが、ASTM からは、E2893-13「Standard Guide for Greener Cleanups」というグリーン・レメディエーションについての規格も発行されている（ASTM International, 2013b）。アメリカの場合、EPA はおもに環境側面の負荷低減を中心としているのに対し、サステナブル・レメディエーションの検討・適用は個別企業が行っている事例が多い。

2.3 SuRF-International

SuRF は、2006年に設立されたアメリカの汚染土壌にかかわる専門家を中心とした自発的な公開討論やそれを行う組織である。参加者はおもに学術関係者や産業界、コンサルタントから構成されている。その後、各国は、自発的に自国でのForum（例：SuRF-UK）を作っており、SuRF-Internationalが各国の活動や動向をまとめてきた。浄化にかかわる調査から再開発、モニタリングにおいて、持続可能な活動を行うことで、経済と自然資源、生物多様性の保護および近隣の生活の質を向上させることを目的としている。現在、日本を含め10カ国に組織があり、各国の代表は年4回のオンラインミーティングを行っている。この中ではSuRF-UKやSuRF-ANZが活発に活動を行っている。2016年4月に開催された会議では、各国の取り組みが報告されるとともに、各国のSuRFをより有機的につなげて活動するInternational Sustainable Remediation Alliance（以下、ISRA）が発足した。

3. 日本での動きと Sustainable Remediation コンソーシアム

3.1 東京都と産業技術総合研究所の取り組み

東京都環境局と産業技術総合研究所は2015年3月に「土壌汚染対策における環境負荷評価手法ガイドライン」（東京都環境局ら、2015）を公表した。このガイドラインはグリーン・レメディエーションの概念を中心とし、外部環境負荷の評価方法を示すものである。ガイドラインでは、土壌汚染の措置に対して、複数の環境負荷を容易に定量評価できるグリーン・レメディエーション評価ツールも合わせて提示している

（Yasutaka *et al.*, 2016）。

また、東京都環境局は環境基本計画2016の施行の方向性の中で、最適な土壌汚染対策を選択する際に「対策実施に係る全ての過程での環境負荷の低減（環境面）とともに、コストの削減（経済面）や近隣住民等の理解促進（社会面）などの視点を踏まえ、事業者による合理的な対策の選択を促すための手法を検討していく」と記載し（東京都環境局、2016）、サステナブル・レメディエーションの概念を進める方向性を提示している。これらの方向性は、都内でも汚染土壌対策の事例の多くで掘削除去が選択されているが、都の環境確保条例や土壌汚染対策法の趣旨である摂取経路を遮断する措置として過剰な場合が多いことも鑑み、措置にかかわるエネルギーの消費や環境配慮の観点から、より合理的な措置が望まれているという背景があると推察される。

3.2 土壌環境センターのサステナブル・アプローチWGの取り組み

土壌環境センターでは、グリーン・レメディエーション評価ツールとして、複数の土壌汚染措置のLCCO₂排出量を評価できるソフトウェアCOCARAを公表している（土壌環境センター、2014）。さらに、「サステナブル・アプローチ部会」の中で、サステナブル・レメディエーションに関する「SR手法調査ワーキンググループ」が発足し、最新情報の取得・整理を行っている。その中で海外動向調査やケーススタディの事例紹介を行い、日本国内に適用できるSR手法を提案していくことを最終目標として活動を進めている（高畑ら、2015）。

3.3 Sustainable Remediation コンソーシアムの設立

上述のとおり、サステナブル・レメディエーションに関して国内でも議論が開始されつつあるが、日本の状況に合わせたサステナブル・レメディエーションの概念の整理、さらには日本での活用可能性についての議論はなされていない状況であった。また、産業界からの意見や事業者、規制省庁・自治体、さらには金融関係者や不動産関係者等の率直な意見を収集、または交換する場が国内でも必要であった。

このような背景のもと、2015年10月には産業界、

金融業界、規制省庁・自治体、学術関係者、不動産関係者、環境コンサルタント、建設事業者等を招いた「持続可能な土壤汚染対策のあり方を考えるワークショップ」を開催し、国内でのサステナブル・レメディエーションのあり方について議論を行った。その結果、2016年2月に産総研コンソーシアムとして「Sustainable Remediation コンソーシアム（会長：保高徹生）」を設立するとともに、同年7月にSuRF-JAPANとしても立上げ、先述のISRAへ加盟した。現在、法人会員14社、個人会員8名で活動を進めている（産業技術総合研究所、2016）。

本コンソーシアムの目的は、日本国内におけるSRの必要性やあり方の議論をする研究会、国際組織への参画・情報交換を目的としている。Sustainable Remediation Working GroupとGreen Remediation Working Groupが立ち上がっており、2016年度は計7回会合が開催されるなど、検討を進めている。

おわりに

本稿では、サステナブル・レメディエーションの概念、世界各国、日本国内での状況について概説をした。ここまで述べてきたとおり、サステナブル・レメディエーションは、現段階では概念的なものに留まっている部分が多いのも実情である。また、サステナブル・レメディエーションに含まれる項目は、日本の環境回復活動においてすでに考慮されてきた項目も多数あるが、全体のフレームワークはまだ存在していない。

土壤汚染対策等の大規模な環境修復においては、本来の目的である当該地の環境回復だけでなく、外部環境影響や地域社会、経済への影響を総合的に考慮したうえで、周辺のステークホルダーを含めた選択・意思決定をすることが望ましい。サステナブル・レメディエーションのフレームワークができることで、難しい意思決定が多い土壤関係の大規模環境修復における意思決定がスムーズになり、結果として、土地所有者や周辺住民も含めたステークホルダー全体の便益が最大化されることが期待される。これらのフレームワーク構築に向けて、わが国においてもSustainable Remediation コンソーシアムを中心として、検討を進めていく予定である。

謝辞：本原稿執筆や構想にあたっては、Sustainable Remediation コンソーシアムの会員からの情報を活用させていただいた。関係者に厚く御礼申し上げる。また、3章は古川ら（2016）の内容をベースに最新の情報にアップデートを行った。

補注

¹⁾ 現在は、International Sustainable Remediation Alliance (ISRA) へ改名されている。

引用文献

- ASTM International (2013a) Standard Guide for Integrating Sustainable Objectives into Cleanup, E2876 -13.
- ASTM International (2013b) Standard Guide for Greener Cleanups, E2893-13.
- Contaminated Land: Applications in Real Environments (2013) SuRF-UK Case Studies and Bulletins Case Study 1 - Sustainability Assessment: Shell Terminal Facility, Madeira. 土壤環境センター (2014) LCCO₂ 計算ソフト「COCARA」. 土壤環境センターホームページ.
- International Organization for Standardization (2016) Soil quality - Guidance on sustainable remediation, ISO/PRF 18504.
- 古川靖英・保高徹生・中島 誠・佐藤徹朗・大村啓介 (2016) 日本におけるサステナブルレメディエーションの取り組み紹介. 第22回地下水土壤汚染とその防止対策に関する研究会講演集.
- 大村啓介・川浪聖志・九石 優・星野隆行 (2012) 土壤汚染調査・対策におけるLCCO₂の算出とその特性. 第18回地下水土壤汚染とその防止対策に関する研究会講演集.
- 産業技術総合研究所 (2016) Sustainable Remediation コンソーシアム. <https://staff.aist.go.jp/t.yasutaka/SRCons/SRConsortium_index.html>
- Sustainable Remediation Forum UK (2010) A Framework for Assessing the Sustainability of Soil and Groundwater Remediation.
- 高畑 陽・佐藤徹朗・大村啓介・日野成雄・サステナブルアプローチ部会 (2015) サステナブルレメディエーションの取り組みと米国での実例紹介. 第21回地下水・土壤汚染とその防止対策に関する研究会講演集
- 東京都環境局・独立行政法人産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門 (2015) 土壤汚染対策における環境負荷評価手法ガイドライン.
- 東京都環境局 (2016) 環境基本計画2016.
- U.S. EPA (2008) Green Remediation: Incorporating Sustainable Environmental Practices into Remediation of Contaminated Sites.
- U.S. EPA (2009) Principles for Greener Cleanups.
- U.S. EPA (2010) Green Remediation Best Management Practices: Soil Vapor Extraction & Air Sparging.
- U.S. Sustainable Remediation Forum (2009) Sustainable Remediation White Paper-Integrating Sustainable Principles, Practices, and Metrics into Remediation.
- Yasutaka, T., H. Zhang, K. Murayama, Y. Hama, Y. Tsukada, and Y. Furukawa (2016) Development of a green remediation tool in Japan. *Science of The Total Environment*, 563-564, 813-821.