

## (S3-33) リスク評価のためのサイト概念モデル構築手法の調査結果

奥田信康<sup>1</sup>・田中宏幸<sup>1</sup>・白井昌洋<sup>1</sup>・○折茂芳則<sup>1</sup>・横山直由<sup>1</sup>・サステイナブル・アプローチ検討部会<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>土壌環境センター

## 1. はじめに

土壌汚染に起因するヒト健康リスクを対象サイト毎に評価するためには、評価対象サイトの状況を的確に把握することが極めて重要である。現実の汚染問題では、複雑な地盤や汚染状況に加え、周辺環境への影響の有無や現在および将来の土地利用など、具体的な対策案の検討を進める前の前提条件の整理が重要となる。これら個別サイトの種々の問題を整理する上で、サイト概念モデル（Conceptual Site Model：CSM）の構築が有効であり、海外においても様々なアプローチ方法が検討・活用されている。以上の背景より、複雑な日本の土壌汚染問題の解決に寄与するリスク評価の活用手法の確立を目的として、「サイト概念モデル」の構築に関する海外の最新情報の調査を実施した。本発表ではこれらの結果について報告する。

## 2. 諸外国の土壌汚染対策における CSM の位置づけ

諸外国の土壌汚染対策における CSM の位置づけや運用の仕組みを把握するために、ASTM インターナショナル、アメリカ インディアナ州、アメリカ オハイオ州、カナダ、ニュージーランド、オーストラリア北部準州等の土壌汚染対策に関するガイドライン等の調査を行った。これらの国・州等では、土壌汚染問題に対応する場合、最初の段階でサイトの現況を把握するために CSM を構築することが、国や州の公的ガイドラインに明記されている。対象となるサイトにおける土壌汚染問題の経緯、サイト特性・土地利用を把握し、汚染源から受容体への影響を科学的に明らかにして全ての利害関係者間で情報を共有することで、円滑な対策が実現可能となるという考えが共通していた。各国における CSM の定義を表-1 に示す。

表-1 諸外国における土壌汚染対策における CSM の定義

国・州名称	文書種類	CSM の定義
ASTM インターナショナル	国際規格	環境システムおよびシステム内の環境受容体への環境媒体を通して、汚染源からの汚染物質の輸送を決定する生物学的、物理的および化学的プロセスを文書化および図化したもの <sup>1)</sup> 。
アメリカ インディアナ州	州のガイドライン	サイトの特性、および潜在的な汚染物質が汚染源から受容体まで移動する過程について示されたもので、サイトの理解を促進し、サイトの活動状況を整理するのに役立つ、全てのサイトで利用できるもの。CSM の複雑さは、サイトの複雑さにより変化し、サイトの理解が進むにつれ改訂されるべきである <sup>2)3)</sup> 。
アメリカ オハイオ州	州のガイドライン	全てのプロジェクト関係者が容易に理解できる方法で、既知の仮定された現場の諸条件を設定して、図示化された情報と文章による簡潔な組み合わせで構成されたもの。既知の条件と仮定された条件は明確に区別する必要がある <sup>4)</sup> 。
カナダ	国のガイドライン	サイトの物理的、化学的、生物学的なプロセスとヒトや生態系の受容体との関係に関する図示および説明。曝露経路や物質輸送の理解、サンプリングの計画に貢献する <sup>5)</sup> 。
ニュージーランド	国のガイドライン	サイトの全体状況を把握するために、汚染物質、曝露経路および受容体間の関係性を示すもの。調査を設計するため、および調査目的に照らして意思決定プロセスを支援するために用いられる <sup>6)</sup> 。
オーストラリア 北部準州	州のガイドライン	汚染物質の潜在性、性質、輸送、受容体に対する曝露の状況を仮説的に図や表で表現するもので、定期的に更新されるもの <sup>7)</sup> 。

A Survey of Conceptual Site Model Construction Method for Risk Assessment

Nobuyasu Okuda<sup>1</sup>, Hiroyuki Tanaka<sup>1</sup>, Masahiro Shirai<sup>1</sup>, Yoshinori Orimo<sup>1</sup>, Naoyoshi Yokoyama<sup>1</sup> and Study Group of Sustainable Approach Research<sup>1</sup> (1GEPC)

連絡先：〒102-0083 東京都千代田区麹町 4-5 KS ビル 3F 一般社団法人土壌環境センター

TEL 03-5215-5955 FAX 03-5215-5954 E-mail info@gepc.or.jp

カナダの CCME (The Canadian Conference on Medical Education) はリスクマネジメントのプロセスを図-1のように定義している。調査・対策、リスクマネジメント、リスク評価という中項目間において相互に強い関係を有し、これら3つの中項目はサイトの利害関係者との十分なコミュニケーションをふまえて運用するものとされている。ちなみに、調査・対策という中項目を構成する要因の中で、サイトの発見、対策、法令に準拠したモニタリングに並ぶ重要項目として、CSM 構築によるサイト特性評価が位置づけられている。

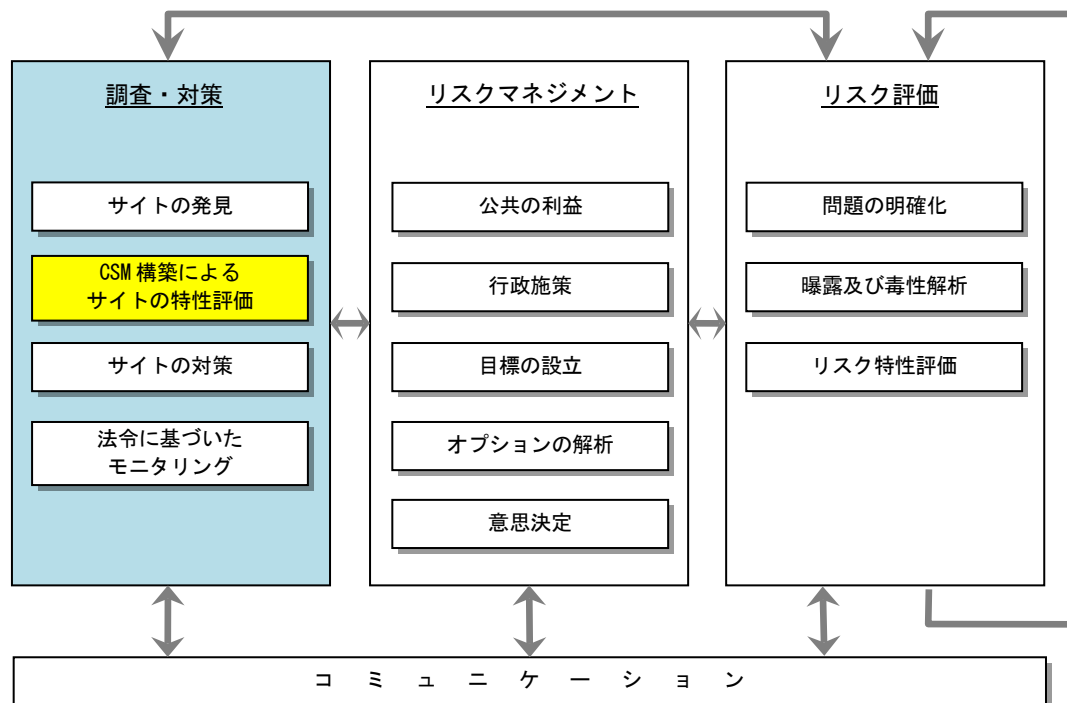


図-1 統合されたリスクマネジメントのプロセス<sup>5)</sup> (CCME (2016) を和訳)

### 3. CSM 構築の基本的考え方

今回調査した各国で CSM 構築の参考とされている「土壌汚染の CSM の作成に関する標準ガイドライン (ASTM E 1684-95(2014))」をベースに、CSM 構築の基本的考え方を以下に整理する。

#### (1) CSM 構築の目標

- 1) シンプルで簡潔な方法で汚染サイトの状況を表現する。
- 2) 汚染源、経路、受容体を明らかにし、汚染物質の輸送を制御するプロセスを説明する。
- 3) 全ての利害関係者に対し、サイトの汚染状況および潜在的な曝露シナリオの共通の理解を促進する。

#### (2) CSM の開発、保守および使用のための留意点

- 1) 修復プロジェクトの全ての段階を通して、体系的計画ツールとして適用されるべきである。
- 2) 反復的に更新する必要がある。初期の CSM は限られたデータで不確実性が高いが、情報や調査結果が収集されるにつれ、データギャップが次第に満たされて CSM はより正確になる。
- 3) プロジェクトの過程で全ての利害関係者がアクセス可能な独立した文書として維持されるべきである。

#### (3) CSM 構築の基本的作業

CSM の目的は、潜在的に存在する複雑な汚染の情報について、過去の事業活動や周辺の自然環境を踏まえた上で要約する環境リスク評価を行い、対応の意思決定を支援することである。プロジェクトの初期段階では、具体的な汚染調査は実施されていないので、既存のサイトデータに基づき潜在的な汚染の存在を前提とした CSM が構築され、潜在的に影響の想定される受容体を推定し、調査すべき潜在的な汚染源や曝露経路の絞り込みに活用される。現地調査を実施し調査結果が得られると、初期の CSM の改善・修正に反映され、CSM の正確性が向上し、それを元に対策案の検討を進めることになる。プロジェクトの状況に応じて、実施事項は変化するが、CSM 構築プロセスの6つの基本要素として、表-2に示す項目が重要となる。

また、このようにプロジェクトの進行に応じて成熟度が進む CSM の開発フローを図-2に示す。

表-2 GSM 開発プロセスの6つの基本要素

基本要素	概要
汚染物質の特定	土壌、地下水、空気、およびその他の媒体に存在する潜在的な汚染物質の種類・濃度レベルを把握する。
発生源の特定	潜在的な汚染の発生源を特定する。
潜在的な汚染物質の移行経路の特定	地下水、地表水、土壌、堆積物、生物相および空気等の環境媒体において、潜在的な汚染物質が発生源から受容体にどのように移動するのかを特定する。
バックグラウンド評価	敷地内の汚染物質の濃度を、敷地内の活動に影響を受けていない類似した近隣地域での濃度と比較し、汚染物質のバックグラウンド範囲を特定する。
受容体の特定	潜在的な汚染の影響を受ける受容体を特定する。
システム境界の決定	CSMの対象範囲の決定または、システム境界を決定する。

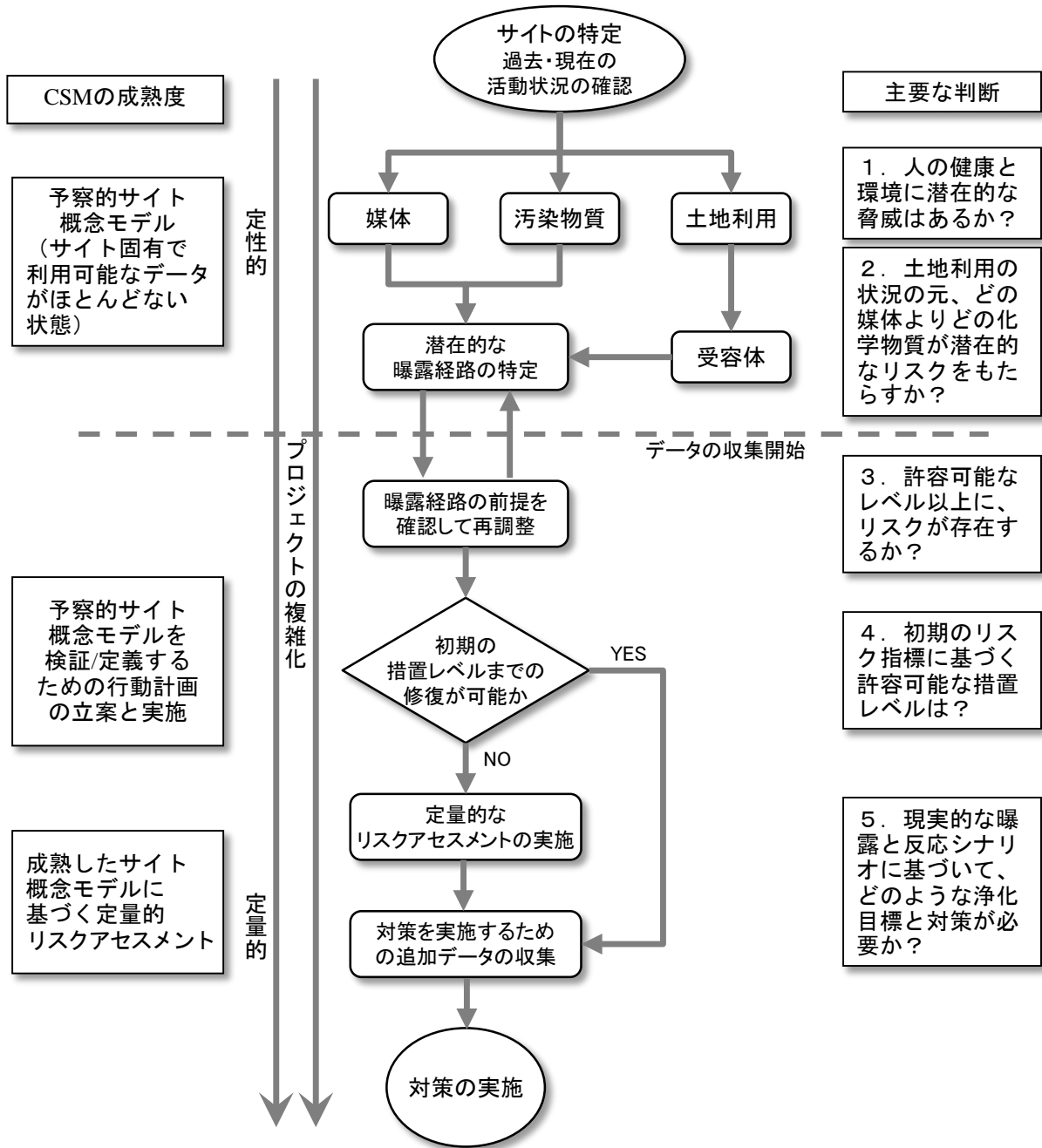


図-2 プロジェクトの状況に応じた GSM の開発<sup>2)</sup>  
(Conceptual Site Model (IDEM TECHNICAL GUIDANCE DOCUMENT) を和訳)

#### (4) CSM の構成要素

CSM を構築するためには、汚染源、曝露経路、受容体に関わる情報に加え、汚染物質の輸送に関するサイト固有の地質学、水文学的な情報、現在および今後の土地利用に関する情報なども収集する必要がある。その他も含め CSM の構築に必要な構成要素を表-3 に列挙する。

表-3 CSM の構成要素<sup>6)</sup>

CSM の構成要素	概要
サイトの特定	サイト名、住所、土地公式表示法、敷地境界、参照地図、地理的座標など
今後の土地利用	現在および今後の土地利用に関する全ての潜在的な曝露経路および受容体
環境設定	地質学、水文地質学および水文学
サイトレイアウト	現在の建物やサービスなどを図示
現在の土地利用	事業内容、使用・保管物質、化学物質の保管・移動・使用・廃棄場所、廃棄物および処理・廃棄方法、漏洩などの事故（含む火災）
サイト周辺の土地利用	サイトへの影響あるいはサイトからの影響がある周辺の土地利用
過去の土地利用	可能な範囲でサイトの最初の操業から現在までの情報
現地調査	現地調査は通常は初期の CSM 構築時に実施
初期サンプリング	初期サンプリングが実施された場合は、初期サイト調査の一部あるいは土壌調査設計の作成前に完了
土壌調査	本ガイドラインでは土壌調査・分析のみに言及しているが、調査目的に応じて空気、地下水、表流水などの他の媒体からの採取・分析も検討
リスクアセスメント	ハザード-経路-受容体モデルを評価するためにリスクアセスメントが必要

## 4. ライフサイクル CSM

### 4.1 ライフサイクル CSM の構成

CSM ガイドライン (ASTM E 1689-95(2014)) に、「CSM は、修復プロジェクトの全ての段階を通して、体系的計画ツールとして適用されるべき」と明記されている。つまり、CSM は、修復プロジェクトの様々な段階に対応した複数の形を有する必要がある。

U.S.EPA では、環境修復の最適管理事例として、環境浄化のステップに対応したプロジェクトのライフサイクル CSM の活用の考え方が提案され、環境修復プロジェクトの進行段階を 6 つのステージに区分し、各ステージに適した CSM の特性や構成事項が例示されている<sup>8)</sup>。各 CSM の使用時期と概要を表-4 にまとめた。

CSM は、検討の目的に応じて変化するものであり、新たな情報を加えることでより実際の現象に近づけ、詳細な検討が可能となるものである。作成者ごとにいろいろな形式が存在することになるが、代表的な場面について必要となる情報を漏れなく収集し、多くの人が理解しやすい形式で図化されると共通の理解が進むことが期待でき、有用な方法であると考えられる。

表-4 CSM ライフサイクルステージ<sup>8)</sup>

環境浄化ステップ	ライフサイクル CSM の名称	解説 (U.S.EPA(2011)を参考に作成)
サイト評価	予察的 CSM	プロジェクトマイルストーンまたは既存のデータに基づく成果物。計画的な取り組みの基礎となる体系的な計画に先立ち開発。
	ベースライン CSM	ステークホルダーの合意あるいは相違を文書化するために使用されるプロジェクトマイルストーンまたは成果物、データギャップ、不確実性およびニーズを特定する体系的な計画の成果。
サイト調査	サイト特性評価 CSM	新しいデータとしての CSM の反復的な改善は、調査作業中に利用可能とし、テクノロジーの選択と是正の意思決定をサポート。
対策方法選定	対策設計 CSM	対策の設計中の CSM の反復的改善。対策設計の基礎と技術的詳細の開発を支援。
対策実施	修復/緩和 CSM	対策実施中の CSM の反復改善。是正措置の実施と最適化の取り組みを支援し、クリーンアップの目標を達成するための文書を提供。
建設後の活動	修復後 CSM	包括的サイト CSM の物理的、化学的、地質学および水文地質学的情報は、再利用計画をサポートする。施設内の管理と現場に残された廃棄物の状況や、主要サイト属性などを文書化する。

6つのステージとは、環境修復プロジェクトの進行の順に実施されるものであるが、まず、サイト評価段階では予察的CSMにより初期段階での汚染状況や評価対象サイトの概要を把握し計画的な取り組みの基礎に活用する。次に既存情報を整理し、ステークホルダー間の合意/相違事項を文書化した体系的計画の成果となるベースラインCSMを構築する。具体的なサイト調査の結果よりサイト特性評価CSMを作成し、汚染源の状態や受容体への影響を評価する。対策設計CSMにおいては、対策方法の設計および選定を、修復/緩和CSMでは、対策実施中の経過評価・対策の最適化検討・浄化目標の達成判断を実施する。この判断をふまえて、修復後CSMを用い、対策完了後にこれまでの調査結果・措置内容をまとめ、土地の再利用計画をサポートする。

#### 4.2 CSMの適用事例

図-3にサイト特性評価CSMの事例を示す。サイト特性評価CSMは、汚染の性質や程度、フェイト（分解・生成）や輸送プロセスを制御する重要な土質/水理の特徴の特定などの主な研究目的に関連するステークホルダーの不確実性の特定と管理を支援し、サイト固有の緊急対応の必要性の有無、ヒト健康リスク、生態系リスクの見積り、対策方法のスクリーニングなどに活用できるものである。

事例では本CSMを作成することで、サイトの汚染物質の種類、発生源、および移動経路が当初理解していたよりもはるかに複雑であり、その後の特性評価の目標に影響を与えることが判明した。そこで、早期の段階でより詳細な現場およびラボ分析データを収集し、対象サイトのリスク特性がより正確に把握できるようになり、CSMの改善が図られ、対策計画立案に必要なデータの収集が明確になった。

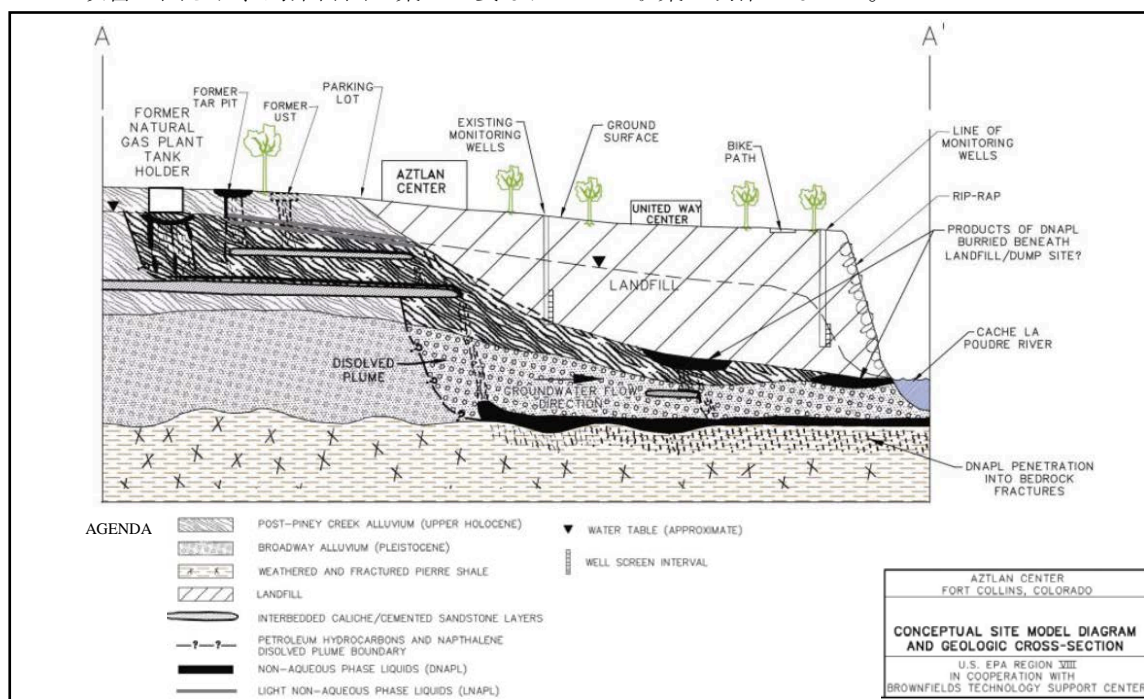


図-3 サイト特性評価CSM（断面図）<sup>8)</sup>，引用元：U. S. EPA (2011)

#### 5. 日本での活用方法

日本では、土壤汚染対策法（以下、法という）や自治体の条例等に具体的な対応方法が示されており、それに基づき調査・対策が進められている。しかし、通常の手続きを超えた事象、例えば、法や条例の規制対象外物質の扱いを求められる場合や敷地境界を超えた地下水汚染の存在が明らかになった場合などは、あらかじめ決まった対応方法は存在せず、状況に柔軟に対応する必要が生じる。これらの場合、汚染の現況を科学的見地から把握し、原因者、自治体担当者、その他の関係者などで情報の共有をはかり、評価・対応方法が合意形成に至ることで解決に向かうものと思われ、CSMは大いに役立つものと想定している。

日本におけるCSMの使いどころとして、まずは法の対象外で対応策の選定が困難となる悩ましい状況がよいのではないかと考えている。例えば、油や法の未規制物質の漏洩などによる土壤汚染問題、建屋内への有害物質を含む蒸気侵入、自然的原因に起因する土壤汚染を含む土地の改変時の周辺影響の評価などが挙げられる。

上記を踏まえ、日本の土壤汚染対策でCSM活用に至る具体的な契機の事例をいくつか想定した（表-5）。なお法・条例の対象外となる物質を含む欄を強調した。規模の大きい土壤汚染や地下水汚染を引き起こすような状況において、CSM構築は、汚染状況の把握・対応策の選定・対策実施の意思決定などに非常に有効なツールとなると思われる。下表以外にも様々な場面は存在すると思われるため、引き続き検討を進める予定である。

表－５ 日本の土壤汚染対策で CSM 活用の契機例

No	事例	物質	汚染範囲	条件および状況
1	ガソリンスタンドでの油漏れ	ベンゼン・ 油(法規制対象外)	中～大	広範囲に汚染が広がっている可能性がある
2	宅地造成	法、条例の規制物質、 法規制対象外物質	大	広大で土壤汚染対策法の調査はすぐわない。規制対象外物質による汚染の可能性はある。
3	建物内の狭隘な中庭での汚染発見	法、条例の規制物質	小	重機が入れず、対策できない(汚染は敷地境界外へは流出していない。)
4	稼働中の工場	法、条例の規制物質	中～大	工場が稼働しており、調査できない。
5	法、条例の規制対象外物質が敷地外観測井戸で確認された	法規制対象外物質	大	現在の法、条例では規制対象外物質の対応について明確な対応方法が記載されておらず。個別の対応判断が求められる。
6	対策コストを低減したい	法、条例の規制物質	中～大	土地所有者はコスト重視で敷地境界から出さない最低限の対応としたいが、自治体・住民の心配大。
7	敷地内に汚染された地下水があることが分かった	法、条例の規制物質	中～大	敷地内の分布状況、今後の対応方法を把握しておきたい。
8	土壤汚染はないが、地下水汚染が見つかった	法、条例の規制物質だが、法・条例には該当していない	中～大	敷地内の分布状況、今後の対応方法を把握しておきたい。
9	自然由来の基準不適合土壤	法、条例の規制物質	大	低濃度の汚染であり、盛土等の対応で十分と思われるが、周囲に農地がある場合などの影響を把握しておく必要がある。

## 6. おわりに

リスク評価を活用して複雑な日本の土壤汚染問題の解決に寄与することを目的として、「サイト概念モデル」の構築に関する海外の最新情報の調査を実施した。各国における土壤汚染対策ガイドライン等での位置づけなどから、CSM 構築の目的は共通であり、ASTM E 1689-95(2014)を参照していることが判明した。CSM 構築の目標を以下に再掲する。

- 1) シンプルで簡潔な方法で汚染サイトの状況を表現する。
- 2) 汚染源、経路、受容体を明らかにし、汚染物質の輸送を制御するプロセスを説明する。
- 3) 全ての利害関係者に対し、サイトの汚染状況および潜在的な曝露シナリオについて共通の理解を促進する。

さらに、具体的な CSM の活用方法としてプロジェクトの状況に応じ成長させるライフサイクル CSM の考え方の把握を行った。今後は、これらの情報をベースに、日本の土壤汚染対策における CSM の使いどころを検討し、有効に活用できる方策の提案につなげていきたいと考えている。

## 参考文献

- 1) ASTM(2014) : Standard Guide or Developing Conceptual Site Models for Contaminated Sites, ASTM E 1689-95(2014),10p.
- 2) IDEM(2014): Indiana Department of Environmental Management Conceptual Site Model,10p.
- 3) IDEM(2012): Remediation Closure Guide,222p.
- 4) Ohio EPA(2015): Conceptual Site Models,9P.
- 5) CANADA CCME(1996): Guidance Manual for Environmental Site Characterization Support of Environmental and Human Health Risk Assessment ,Volume 1 Guidance Manual,343p.
- 6) New Zealand(2016): Contaminated Land Management Guidelines No. 5 Site Investigation and Analysis of Soils (2016 Consultation Draft),78p.
- 7) Austraria NT EPA(2013): Guidlines on Conseptual Site Models,Version 2.0,12p.
- 8) U.S.EPA(2011): Environmental Cleanup Best Management Practices:Effective Use of the Project Life Cycle Conceptual Site Model ,EPA 542-F-11-011.