

技術開発におけるポートフォリオ構成と社会実装

— GERASの開発と普及に向けての新たな展開 —

駒井 武

さまざまな技術体系や要素技術の融合を必要とする複雑な技術開発を対象に、構成学的手法を用いて要素のポートフォリオ分析を実施し、重点化すべき要素や脆弱な要素を明確にしてシステム設計および社会実装を可能にした。題材として、土壌汚染診断のための地圏環境リスク評価システムGERASを取り上げ、その研究構想から社会への普及に至るまでの構成学的なプロセスを解析するとともに、震災復興等の新たな視点からの技術開発の展開について論じた。

キーワード: 環境リスク、リスク評価、土壌汚染、構成学、ポートフォリオ

Portfolio structuring and social implementation in the development of complex technology

– Case study of the development of GERAS and its evolution –

Takeshi KOMAI

A portfolio analysis of composing elements using a synthesesiological method has been carried out for complex technology development, which involves fusion of various technology systems and elemental technologies. To assess the method's effectiveness, a case study was conducted on GERAS (Geo-environmental Risk Assessment System), a system for soil contamination diagnosis. The analysis spanned the entire development phase, from the generation of research ideas to the dissemination of results to society. The benefit of using this method was greater ease in system design and social implementation, through the analysis of critical components in the developmental process. I also discuss applying this method to novel areas, such as the development of technology for reconstruction after The Great East Japan Earthquake Disaster.

Keywords: Environmental risk, risk assessment, soil contamination, synthesesiology, portfolio structure

1 はじめに

シンセシオロジー Vol.1 No.4 (2008 年) に掲載した地圏環境リスク評価システム GERAS (Geo-environmental Risk Assessment System) に関する研究論文^[1]には、4 年余り経過した現在でもさまざまな反響が寄せられている。直接的には、GERAS を企業や自治体の環境対策に活用したいとの要望が強くあり、社会的な普及に大いに役に立っている。リスク評価の研究分野では引用されるケースも多い。しかし、より本質的な議論としては、GERAS 開発に至るプロセスや構成学的な考え方を定着させ、普及させるための方法論に関わる意見が数多くあった。また、一連のコメントの中では、このような複雑な技術開発を推進する上での最適なシナリオの選定や要素技術の融合のあり方等、建設的な提案や新たな視点も示されている。

環境技術のほとんどは多種多様な技術要素の集合体であり、膨大な情報を解析・処理して製品や社会システムとして実現するものである。技術要素の研究開発は数限りな

く存在するが、それらをつなぎ合わせるテクニックが不足している。最終的には、これらをインテグレートして社会経済学的な観点を視野に入れて社会に定着させることも必要である。2011 年 3 月の東日本大震災以降では、環境技術を早期に社会に普及させて震災復興支援に寄与するといった新たな展開も期待されている。

この論文では、このような背景の中で、GERAS をさらに発展させ、産業界に普及させていくための科学的、社会的な方策について論じる。特に、複雑な技術要素の組み合わせや融合が重要であることから、研究開発における全体シナリオの描き方、システムにおける脆弱性の改善、さらにはポートフォリオの構築と社会実装といった新たな視点で議論を進める。また、著者は現在大学の環境科学専攻に所属しており、主として学の立場から技術開発における産官学の役割と連携のあり方について基本的な考え方を述べてみたい。

東北大学大学院 環境科学研究科 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-20
Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University 6-6-20 Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai 980-8579, Japan E-mail: komai@mail.kankyo.tohoku.ac.jp

Original manuscript received May 10, 2013, Revisions received June 18, 2013, Accepted June 19, 2013

2 技術開発の現状と展開

GERAS の開発では、これまで約 10 年をかけてさまざまなタイプの解析モデルを作成して、実際の環境汚染問題に適用してきた。我が国では、すでに 1,500 を超える企業や機関で活用され、標準的なリスク管理ツールとして定着している。ユーザーからの意見として、環境リスクの評価に加えて経済リスクの評価も可能にしてほしい、土壤環境に係わる社会システムやできれば法制度にもリスク評価を組み込んでほしい、などの将来展開の要望が多い。このため、次のステップとして浄化対策のコストや費用対効果の定量化を目指した経済モデルの開発を進めている。また、土壤汚染対策の生活環境への影響や生態系への影響に関するサブモデルも開発しているところである。これらの新たな展開の中では、リスクベースの意思決定や環境経済的な検討も必要であることから、文理融合の方法論の導入が必須であると考えられる。そこで、社会系の人材活用を積極的に進めるため、産官学の取り組みがきわめて重要となる。特に、自治体の環境部署や公設研究機関との間で数多くの共同研究等を実施して、産総研内では対応が困難な社会経済的な問題に取り組んでいる。また、大学機関では社会系、環境系の人材が豊富であることから、リスク評価を専門とする学術分野の結集も重要である。大学との連携講座や共同研究、企業とのイノベーションスクール等の制度を活用して土壤汚染リスク評価の研究を実施したところ、これまでにはなかった複合的な成果が得られた。具体的には、大学との間で放射性物質のリスク管理や新規の数値統計手法に関する共同研究が進められている。また、GERAS の活用と普及に関するアンケート調査を通じて、真に必要とされる評価システムの機能や各種データのフィードバックの方法、評価結果の信頼性確保の方法等の多くの知

見（ノウハウ）が集積された。

3 開発のシナリオとポートフォリオ分析

3.1 ポートフォリオの構成

短期間で研究目標を達成して効率的に製品化し、さらには社会実装を実現するためには、研究開発のシナリオの設計や個別要素に関わるポートフォリオの構成を行うなどの工程管理が最も重要と考えられる。そもそも、単一の技術あるいは技術体系により製品化を実現できることはきわめて希であろう。複数の技術要素を組み合わせ、融合することにより目的を達成できるケースが圧倒的に多いのではと思う。そのシナリオの中で、技術開発に必須の要素技術は何か、いかなる技術の組み合わせが最適か、チーム内で不足している要素は何か、などのポートフォリオ分析を事前実施することが成功の鍵となる。

GERAS の開発において必要とされた技術要素（研究課題）のポートフォリオを描いてみると図 1 のようである。この図は、研究開発と社会（市場）の成熟度に関する定性的な関係を示したものである。双方が上向きのベクトルを示すことが技術開発の目標であるが、土壤調査、化学分析、環境修復、リスク評価、情報解析、物理探査等のさまざまな技術要素の向上に加えて適切な融合が重要である。例えば、土壤の汚染情報はいずれの要素にも深く係わるものの、「リスク」の観点からこれらをかかんに有機的に繋げるかが融合の成否を決めると言ってもよい。加えて、津波堆積物や放射性物質等の社会的な要請に対応する必要もあった。すなわち、図の凡例に表記した基礎研究や製品化研究のみならず、社会要請に基づくニーズ対応研究の組み合わせと統合化も重要なポイントとなる。実を言えば、開発の当初からこのような明確なイメージがあった訳ではなく、

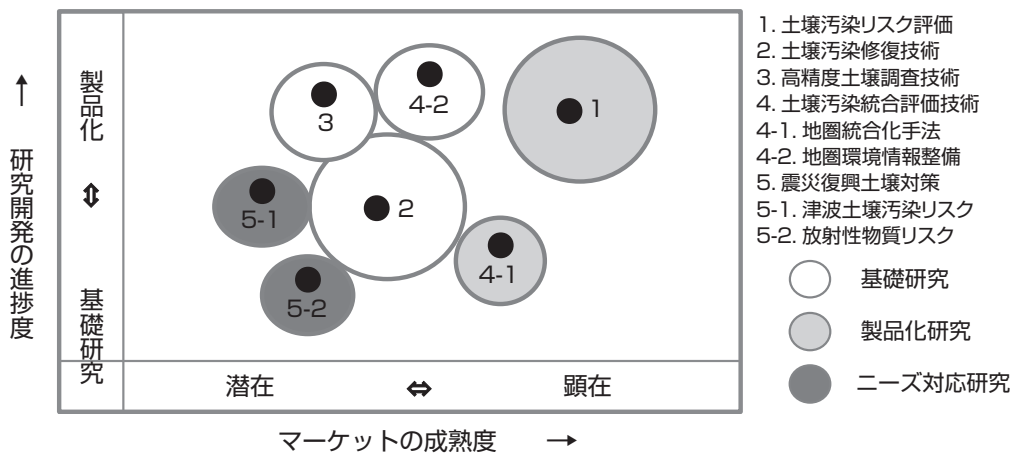


図 1 GERAS 開発におけるポートフォリオ分析
GERAS を構成するさまざまな技術要素について、研究開発の進捗度と土壤汚染対策市場の成熟度の観点から各要素の位置付けを図示。

一部の技術要素とその位置付けを明示した程度であった。しかし、開発の中途において、おそらく「死の谷」に至る段階で開発を加速させるための方法として思いついた次第である。ここで議論したように、ポートフォリオの構築は、達成目標を明確にして技術を融合・統合させるために重要な示唆を与えてくれる。核となる技術要素の高度化に加えて、新たに参画すべき技術や加速すべき技術の動態を明示することができる。

3.2 要素技術の脆弱性とその強化

研究開発において陥りがちな大きな間違いは、優位性の高い技術要素だけに重点的に取り組み、その周辺の技術に目を向けないことである。我が国の研究開発の欠点とも言えるかもしれないが、開発すべき技術体系の俯瞰的な分析が欠落するケースが多い。全体システムの特性をよく分析した上で、伸ばすべき技術開発の重点化に加えて、システム内で最も脆弱な技術要素を見極めることが重要である。一つの優れた技術が完成しても、関連する周辺技術やその連関性が保証されなければ、使えないシステムになってしまう可能性が高い。GERASの開発において、当初重点的に取り組んだ研究は土壌調査、土壌汚染修復および数理解析手法の開発であり、主に工学分野の研究者が担当した。その後、チーム内で脆弱と考えられた曝露評価やシステム開発を強化し、さらには物理探査や地球化学等の異分野の研究者も加わり、約10年をかけてGERASの完成にまでこぎつけた。すなわち、分野融合の研究展開と研究開発のリーダーシップが重要と考えられた。

もう一つの重要なポイントは、GERASにおいて必要不可欠なデータベースや解析パラメータの構築である。モデ

ル作成者と使用者による双方向のリスク評価を可能にするためには、現場の汚染データや地質・地下水の実測データの取得が欠かせない。産総研のみでこれらのデータをコンパイルすることは不可能に近いと、大学、自治体や民間企業との共同研究等を通じて現場の貴重なデータや地質情報を収集することができた。これらの産官学の連携では、産業技術連携推進会議の土壌汚染研究会（著者が会長を務めた）が果たす役割が大きかった。例えば、北海道地質研究所と共同で自然由来重金属の調査・分析を実施、東京都環境科学研究所と共同で有機化合物のリスク評価を実施、山形県環境科学研究センターと共同でVOC（揮発性有機化合物）による地下水汚染を解明、東北大学環境科学研究科と共同で地圏環境インフォマティックシステムを開発、などの特筆すべき成果を得ている。

3.3 技術開発の融合と一気通貫

それでは、GERASの開発段階において、いかなる手法により複数の要素を構成して要素間を融合させたのか、いくつかの構成案（図2）で示してみる。まず、既往の環境地質あるいは地質汚染のみの分野では、リスク評価の実用に供し得ないことは自明の理である。そのため、次の段階（Ⅱ）では地球化学や環境科学（生物学、生態学等）の分野を導入して、評価結果をより科学的に解釈できるように融合化をはかった。さらに、全体システムにおいて曝露解析や数値シミュレーションの手法開発がボトルネック（あるいは脆弱な要素）であることが判明したので、リスク科学の知見を取り入れて、曝露・リスクを統一の尺度として技術の融合化を試みた。幸運にもこれらの各要素は相性がとてもよく、段階（Ⅲ）では要素間を繋ぐ糊の機能として情

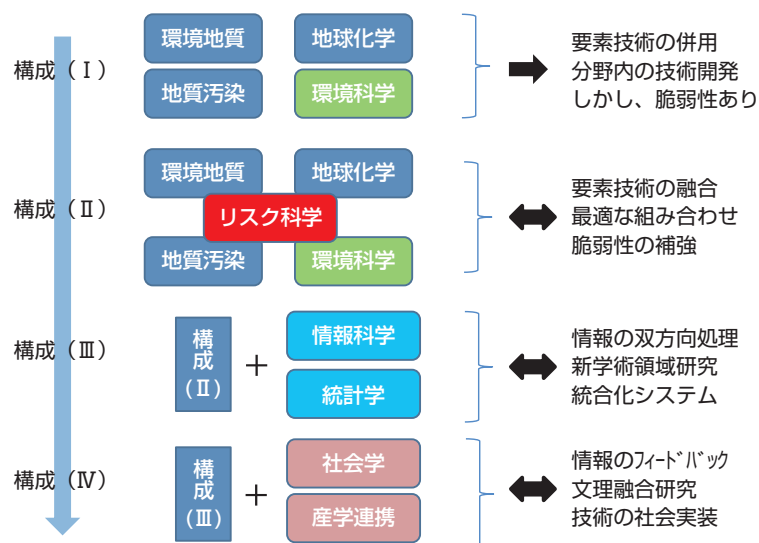


図2 GERAS開発における構成の変遷イメージ
GERASの開発に必要な研究分野とそれらの構成について、開発当初から中途、成熟した4段階における構成の特徴を示す。技術開発に加えて、社会実装の最終段階が重要である。

報科学や統計学を基礎とした情報処理の新手法も重要な役割を果たした。さらに、技術の社会実装のためには、社会学や後述の産学連携の取り組みが不可欠であった。すなわち、技術開発の構成段階に加えて、社会実装の最終段階（Ⅳ）を組み込むことが最も重要であった。いずれを欠いても、全体システムを構成することは不可能であり、最適なシステム設計をなし得なかったと考えている。リスク（事象の発生確率）といった尺度で要素間を一気に連結させたことが成功の一つであり、また副産物としては地質と医療（健康）を結びつける社会地質学（著者が学会会長を務める）の創生にも貢献した。

4 開発技術の普及と社会実装の実現

4.1 社会、産業との連携とフィードバック

開発したさまざまなタイプの GERAS を産業や社会に普及させるための仕掛けも重要な要素である。前述の土壤汚染研究会の対外活動をはじめとして、地質汚染や社会地質に関する学術活動、自治体における審議会や研究会等の委員会活動、民間企業を取り込んだ土壤調査や環境修復等の事業に積極的に取り組んだことは、GERAS をアピールするよい機会となった。最も力を入れた取り組みは、実際に使用しているユーザーからの評価データのフィードバックである。通常、GERAS のリスク評価は入力データに基づくフォワード解析であるが、逆に汚染状況の実データからのバックワード解析を同時に実行することが可能である。これらの双方向の操作を繰り返すことで、評価結果の信頼性が高まるだけでなく、システムの効率的な改善が可能となった。さらに、利害関係者

とのコミュニケーションにおいてもよい結果をもたらす。つまり、仮想的な環境下でリスク評価を行うのではなく、現実的な条件で実施することにより、リスク認知と評価結果の理解が得やすくなるといった社会的な利点がある。このため、ベイズ統計のスパースモデリング¹⁾を駆使して、リスクの事前分布と事後分布の最適化をはかるなどの新学術領域の研究を進めている。

4.2 技術の公的活用と標準化

技術を普及させるための仕掛けとして、政府や自治体等の公的機関を活用することも有効な手段である。GERAS-1,2 のバージョンは、2008 年に公開されて以来、200 を超える自治体や政府機関で活用されている。この知名度を生かして、土壤汚染対策を管轄する主要な官庁の関係者に機会ある毎にアピールしたところ、以下のような公的採用が実現した。経済産業省では、用地診断を目的とした認証制度であるサイトアセッサで使用可能なリスク評価手法として GERAS-1,2 が採用された。また、国土交通省では建設工事で発生する土壤や土砂のリスク評価ツールとして、GERAS-1,2 を改良した新バージョンが採用された。この他、環境省や東京都においても、リスク評価の方法論をもとにした GERAS の考え方が導入されている。最近、東京都環境局との共同研究を通じて、LCA を加味した GERAS の新バージョンの開発も進行中である。浄化対策のリスク評価では、環境負荷のみならず環境エネルギーの観点から、個々のライフサイクルに対して包括的な評価手法を確立することが重要である。そのため、図 3 に示すように周辺環境や生態系への影響、外部環境負荷（CO₂ 排出）等を含めたトータルとしての環境影響を総合評価し

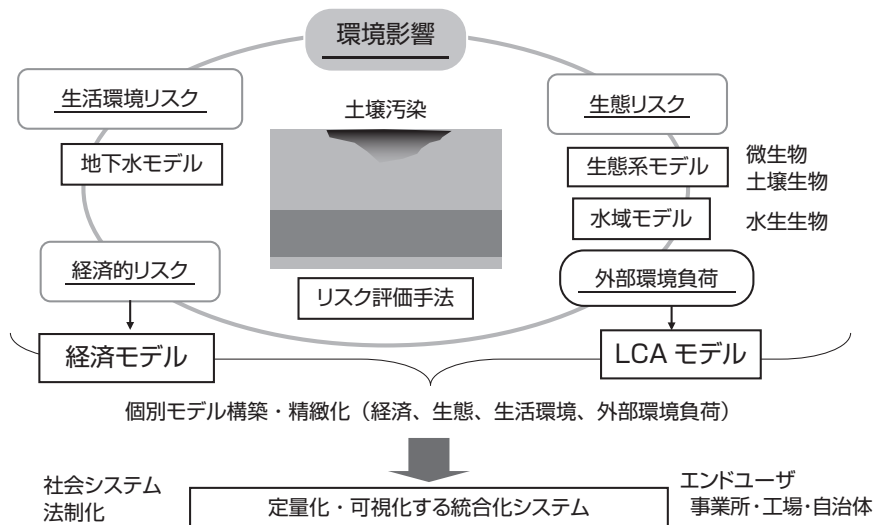


図3 GERAS 開発における統合化システムの構成
 土壤汚染リスクや環境負荷の評価に加えて、経済モデルをはじめ地下水モデル、生態系モデル、LCA モデル等の統合化システムを開発する。

ている。すなわち、これまでの土壤汚染リスクに加えて生活環境や生態系へのリスクを評価するため、具体的には地下水モデル、生態モデルおよび水域モデルの開発を進めている。

さらに、土壤汚染のリスク評価手法について国際標準化を目指す動きも始まっている。GERAS はアジア諸国だけでなく先進国でも広く使用されているため、国際標準機構 ISO に新たな枠組みを作って、GERAS 等で導入されている曝露・リスク評価の方法論を標準化あるいは規格化するというものである。また、国際標準を見据えた国内のリスク評価技術の標準化も重要であり、各省庁に働きかけて JIS 等の標準化に向けた横断的な取り組みを進める。今後、世界に向けて研究成果を発信して、アジア諸国を中心としたリスク評価技術の普及・拡大のための国際的な活動を推進する。

4.3 社会実装と震災復興への貢献

2011 年 3 月の東日本大震災以降、研究開発のあり方が大きく問われている。研究によって得られた成果は、実用可能な製品やシステムとして社会に認知され、直面している課題に適用できるものでなければならない、とする社会実装の考え方である。GERAS の対象とする環境汚染は、これまで土壤汚染対策法で規定されている重金属や有機化合物が中心であったが、震災以降では津波堆積物や震災廃棄物、さらには放射性物質についても適用可能となるように研究開発を加速させた。多様化する環境汚染問題のリスク評価手法を確立して社会実装を可能にし、ひいては震災復興の一助となればとの思いからである。

東日本沿岸を襲った大津波により、大量の津波堆積物と震災廃棄物が発生している。一部の堆積物や廃棄物には、ヒ素や鉛等の有害化学物質が含まれるため、そのリスク管理が必要となっている。著者らは、2011 年から約 1 年かけて津波堆積物の物理化学特性を調査し、GERAS を用いて環境リスク評価を実施した。その結果、宮城県から岩手県にかけての沿岸部でヒ素によるリスクが高い地域がみられ、地下水等のリスク管理を実施する必要があることが判明した^[2]。また、約 95 % の地域では重金属の環境リスクは小さく、震災復興の資材として堆積土砂が再利用可能であることもわかった。この研究成果は、社会実装の重要な研究として公益社団法人土木学会から論文賞(2013 年度)を受けた。

セシウム 137 等の放射性物質による土壤汚染の問題も社会的にみて重要課題の一つである。現在、GERAS に放射性物質を組み込むための新規の研究を進めている段階であり、特に環境中での放射性セシウム等の挙動に関する知見を収集している。放射性物質の物理化学的特性は既

知であるので、現時点でも GERAS に導入することが可能であるが、リスク評価の確度を向上させるためには土壤粒子との係わりや存在形態による移動特性の解明が必要である。東日本地域の土壤特性に関するデータベースの構築、福島県内の土壤や水系、河川底質等のモニタリングを進め、GERAS の解析に必要なパラメータを整備しているところである。

5 まとめ

地圏環境リスク評価システム GERAS の開発では、研究開発の死の谷から脱出して成果を社会に普及させるまでの貴重な体験をした。この論文で述べたような新たな視点の下で GERAS の新バージョンが開発され、成果を社会に発信しているところである。研究チームの努力と幸運(偶然)にも恵まれて、順調に研究が進んでいるようにも見えるが、大震災の直後では復興の支援というさらなる重責もあって、2 回目の死の谷の時期を迎えたようにも感じた。研究の途上ではあるが、津波堆積物や震災廃棄物、放射性物質にも対応可能な評価システムの完成にめどがたった。困難を克服して技術を社会に定着させるためには、システムを構成する要素技術の十分な理解と融合の能力が必要である。

最後に、研究リーダーたる者、以下のような覚悟が重要であると痛感している。

- ・アタッシュケース(引き出し)に持ち物をたくさん持とう。
- ・引き出しの中の物の組み合わせを最適なものにしよう。
- ・何が脆弱であるか(何が強い)かを明確にしよう。
- ・社会や産業に打って出て、大海原を航海しよう。
- ・最後は、強いリーダーシップを発揮しよう。

用語の説明

用語 1: スパースモデリング (Sparse Modeling) は、ベイズ統計の理論 (Bayes' theorem) を用いた情報解析の手法の一つである。最近、地球科学の分野ではビッグデータからの主要情報の抽出や画像の修復等に活用されている。リスク評価の分野では、事後の発生確率から事前のリスクを推定する新規の数値手法として注目され、生態系等の複雑系でいくつかの適用事例がある。著者らは、表層土壌と津波堆積物の地球化学的判別にベイズ統計を適用する研究を進めている。

参考文献

- [1] 駒井武, 川辺能成, 原淳子, 坂本靖英, 杉田創: 土壤・地下水汚染のリスク評価技術と自主管理手法—リスク管理の実践に向けた構成学的研究アプローチ—, *Synthesiology*, 1 (4), 276-286 (2008).
- [2] 川辺能成, 原淳子, 保高徹生, 坂本靖英, 張銘, 駒井武: 東日本大震災における津波堆積物中の重金属類とそのリスク, *土木学会論文集G(環境)*, 68 (3), 195-202 (2012).

執筆者略歴

駒井 武（こまい たけし）

産総研の地圏資源環境研究部門において、GERAS の立案から製作、普及に至るまでの研究マネジメントを担当し、GERAS の産業や社会への普及をはかった。2010 年 4 月より研究部門イノベーションコーディネータ、2012 年 4 月より地圏資源環境研究部門長。専門分野は環境工学、環境地質学であり、資源と環境の間にあるさまざまな課題の解決や環境技術の産業への普及に取り組んできた。この間、東京都環境審議会委員、千葉県公害審査会委員、茨城県環境審議会専門委員等を歴任し、研究成果の普及に努めている。2013 年 3 月に産総研を退職し、2013 年 4 月より東北大学大学院環境科学研究科教授として、地球システム・エネルギー学講座を担当している。

**査読者との議論****議論1 全体**

コメント（栗本 史雄：産業技術総合研究所評価部、田尾 博明：産業技術総合研究所環境管理技術研究部門）

この論説は、土壌・地下水汚染のリスク診断システム GERAS について、その研究構想から社会への普及に至るまでの構成学的なプロセスを示したもので、開発と社会提供に至ったプロセスを論じた研究論文（*Synthesiology*, 1 (4), 276-286 (2008).）に基づいて、さらなる技術開発と産業への普及のための科学的・社会的な対策、および産学官の役割と連携のあり方を論じている。特に、技術要素の組み合わせや融合のための全体シナリオやポートフォリオ、社会実装に焦点を当て、重点化すべき要素や脆弱な要素を明確にして、システム設計および社会実装に活かすことの重要性を浮き彫りにしている。このように構成学としてふさわしい内容を有していることから、シンセシオロジーへの掲載は適当と判断します。

議論2 ポートフォリオ分析

コメント（栗本 史雄）

この論文において、技術として、土壌調査、化学分析、環境修復、リスク評価、情報解析、物理探査を挙げていますが、図1では「1. 土壌汚染リスク評価、2. 土壌汚染修復技術・・・」のように複数の技術を統合した技術・対策等を記載しています。技術要素（研究課題）や図1の凡例中の要素技術等、用語の整理を行い、この論文にも技術の融合・統合の説明をしてください。

回答（駒井 武）

図1の凡例とこの論文の用語を整理し、この論文に融合・統合の方法やプロセス構成等の詳細を加筆しました。図1に示すポートフォリオは、技術と社会の成熟度を指標とする一つの表現方法と考えています。凡例の3つのカテゴリーは、それぞれ基盤研究、製品化研究、ニーズ対応研究に修正し、全体イメージを理解しやすいように用語を整理しました。全体を通じて、解説的な内容から構成学の見方を示唆する論理的な考察となるよう修正・加筆しました。

議論3 GERAS開発の構成

コメント（栗本 史雄）

図2において、GERAS 開発における3段階の構成とその特徴は整理されていて、わかりやすいと思います。また、4章では産業界との連携や社会実装等の社会に向けた活動が記述されています。そこで図2において、産業界との連携や社会実装に至る流れを明示できると、より理解が進むと思います。図2の社会学、産学連携を構成IVとして次の段階に位置付けるのはいかがでしょうか。

回答（駒井 武）

社会への普及を目的とした構成は、これらの研究開発の次のステップ、あるいはループの最終段階にあるものと考えます。構成学のプロセスの中に、技術開発だけではなく、社会実装のためのプロセスを加えることはとても重要であると気づきました。そこで、図2の3つの段階の変遷を基礎として、段階4として社会学や産学官の連携といった社会活動を通じた新たなプロセスを設けることしました。全体を4つの段階として図2を修正し、わかりやすい表現としました。

議論4 ベイズ統計のスパースモデリング

コメント（田尾 博明）

リスク評価の際、「ベイズ統計のスパースモデリング」は重要な解析手法だと思いますので、用語説明として簡単に解説していただくと、理解の助けになるとと思います。

回答（駒井 武）

スパースモデリング（Sparse Modeling）は、ベイズ統計の理論（Bayes' theorem）を用いた情報解析の手法の一つです。最近、地球科学の分野ではビッグデータからの主要情報の抽出や画像の修復等に活用されています。リスク評価の分野では、事後の発生確率から事前のリスクを推定する新規の数値手法として注目され、生態系等の複雑系でいくつかの適用事例が報告されています。著者らは、津波堆積物の判別手法への適用にベイズ統計を活用する研究を進めています。用語説明を行いました。

議論5 技術の公的活用と標準化

コメント（田尾 博明）

4.2章「技術の公的活用と標準化」で、「最近、東京都環境局との共同研究を通じて、LCAを加味したGERASの新バージョンの開発も進行中である。」とありますが、LCAを構成要素として加えることの意義を記述していただくと、新たな発展の可能性が示されると思います。また、図2においてLCAは統計学と情報科学に部分的に含まれているのかも知れませんが、構成要素にLCAを加えられないでしょうか。

回答（駒井 武）

これまでのリスク評価では事象や事件の頻度や確率を時系列で解析することはあまり行われてきませんでした。しかし、土壌汚染対策では調査から浄化に至るさまざまなプロセスの環境負荷やエネルギーの収支を時間、空間的に解析することが必要です。そのため、対策事業のライフサイクルについて環境負荷のみならず、環境エネルギーの観点から包括的に評価する手法を開発しています。周辺環境や生態系への影響、地球環境（CO₂排出）等を含めたトータルとしての環境影響を総合的に評価することを目的としています。このような内容を説明するため、新たに図3を加えました。

コメント（田尾 博明）

4.2章「技術の公的活用と標準化」で、国際標準化の動きが書かれていますが、JIS化に関しても、何らかの対応を検討しているのであれば、記述をお願い致します。

回答（駒井 武）

国際的な枠組みではすでにISOにリスク評価モデルの提案をしているところですが、国内では、各省庁において個別の法律体系の中でリスク評価の手法の導入が検討され、この論文に記載したように一部ではすでに公的な枠組みに採用されているものもあります。次のステップとして、国際標準を見据えた国内のリスク評価技術の標準化が考えられます。各省庁に働きかけて、JIS等の標準化に向けた横断的な取り組みが必要な時期になっていると思います。以上を加筆しました。

議論6 GEARS開発の統合化システム

コメント（栗本 史雄）

図2の学術・研究の要素の構成に対して、地圏環境を総合的に考察し、統合化を示す図3を追加したことは適切と思います。地圏環境の中に存在する環境リスクに対するリスク評価手法を行い、地下水モデル、水域モデル等の開発、さらにその先にある経済モデル・LCAモデルを統合して統合化していく道筋が示されています。図、キャプションおよびこの論文にある経済モデル、生態系モデル、LCAモデル等の用語の整合性を確認してください。

回答（駒井 武）

図3はこれまでの土壌汚染に加えて地下水モデル、水域モデル等を開発し、その先で個々のモデルに関する経済モデル・LCAモデルを開発、さらにそれらを統合した全体システムが個別モデルと連動してエンドユーザーに提供されるというシナリオを示したものです。文章中の説明と図のキャプションについて整合性がとれるように用語を整理、修正しました。