

重要な社会基盤防護に関する米国の研究開発動向

米国における国土安全保障に関する科学技術研究開発予算は、国土安全保障省だけでも年間 15 億ドル規模に達している。その中で、重要な社会基盤を防護するための研究は重要な位置づけにあり、エネルギー省の国立研究所を中心に、研究が盛んに実施されている。

現代社会を構成する上水道などの重要な社会基盤は、通信網など他の社会基盤と相互に深い依存関係にある。国土安全保障の観点からは、こうした社会基盤間の相互依存関係の理解とそれにもとづいたリスクの評価として「相互依存性解析 (Interdependency Analysis)」が必要である。

米国の研究事例では、危機管理に関する為政者の意思決定を支援するコンピュータシステムを構築しようとするプロジェクトである。テロや天災など何らかの災害を想定した上で、複数の社会基盤が関与する障害や復旧に関して種々のシミュレーションを行うものである。統一的な評価モデルに基づいて、対策に関する効用を為政者に提示し、テロや災害が起こった場合の影響、回復までに要する時間、政策上の別の選択肢や別の対応による結果の予測、被害の軽減策、最も危険な領域の特定、投資・被害の軽減策等を検討する。

我が国においても幅広い社会基盤に対する公共の視点からのリスク分析と保全・保安に関する研究開発の必要性が高まると考えられる。米国における先導的研究開発事例から学ぶべきことは多い。例えばこの分野の研究では、コンピュータによるシミュレーション技術から特定施設の保全管理に及ぶ幅広い専門家を組織化する必要がある。また、研究成果は実務指向であるため対象となる問題領域を時間的、空間的な規模からよく吟味し分析結果を為政者による意思決定に活用することが重要である。

重要な社会基盤防護に関する 米国の研究開発動向

藤井章博
情報通信ユニット

1 はじめに

現代社会を構成する社会基盤のリスクの評価は、国土安全保障 (Homeland Security) の観点から近年特に重要視されている。

我々の日常生活を支えるエネルギー供給網 (石油パイプライン、ガスパイプライン等)、交通網、通信網、水道網などは、相互に複雑な依存関係にある。この依存関係において、情報ネットワークは、多くの他の社会基盤を運用するために重要な役割を演じている。一方、インターネットを安定して運用するためには、情報セキュリティに始まり、電力供給やトラフィ

ック管理など多様な側面からの保全が必要である。

多岐に亘る重要な社会基盤の安全保障に関しては、社会基盤の「相互依存性 (interdependencies) 解析」に基づくリスク評価の研究が重要であり、これが重要な社会基盤防護のための研究開発の中心的な課題の一つである。相互依存性解析には、システムのモデル化、コンピュータシミュレーション、知識データベースの構築などを統合的に行わなければならない。

現在米国ではテロや災害の発生を想定し、電力供給網・通信網・

水道網・インターネット・水道設備など14の重要な社会基盤に関して、経済的インパクト・公衆衛生・環境面への影響など多角的な観点から相互依存性の解析を行う研究プロジェクトが実施されている。

本稿では、米国国土安全保障省の研究開発資金により、米国エネルギー省に属する国立研究所が実施しているプロジェクトを紹介し、特に相互依存性解析に基づく重要な社会基盤の防護に関する研究例をとりあげ、その概要を述べる。

2 国土安全保障省における科学技術研究開発の概要

2001年9月に米国で発生した9・11テロ以後、国土安全保障という意味での安全・安心への関心が世界的に高まっている。特に米国では2002年11月に国土安全保障省設立法が成立し、2003年1月から国土安全保障省 (DHS: Department of Homeland Security 以下「DHS」と略記する) が業務を開始し、米国の国土安全保障における重要な役割を担うようになった。DHSの政策の柱は、①国境警備および運輸保安、②緊急事態への準備・対応、③科学・テク

ノロジー、④情報分析および社会基盤の保護、であり、これを実施するためには、既存の政府機関の機能を活用する。

DHSにおいて国土安全保障に関する科学技術研究は、科学技術局 (Under Secretary Science & Technology)、防災局 (Under Secretary Preparedness)、情報分析局 (Assistant Secretary Office of Intelligence & Analysis)、核物質探査局 (Director Domestic Nuclear Detection Office) が行っている。科学技術研究の全体像は、「D&HS

(防衛と国土安全保障 (Defense & Homeland Security))」と略記され、図表1に挙げる3つのプロジェクトを主要な柱としている。

DHSにおける科学技術研究開発の総額は、2006年度約15億ドルであり、特に科学技術局の予算は10億ドルを超える。同局においては、DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency, Department of Defense) をモデルとした「国土安全保障先端研究プロジェクト庁 (HSARPA: Homeland Security Advanced

Research Projects Agency)」が設置され、その中で多様な研究プロジェクトが実施されている。

本稿では、米国における国土安全保障に関する科学技術研究開発のなかで「重要な社会基盤防護 CIP (Critical Infrastructure Protection)」に関する研究動向、特に「相互依存性解析」と呼ばれる手法に基づくリスク評価に関する研究の動向を紹介する。

3 重要な社会基盤防護に関するプロジェクト(CIP)の実施体制

CIPとは、テロや天災など何らかの災害を想定した上で、複数の社会基盤が関与する障害や復旧に関して種々のシミュレーションを行い、統一的な評価モデルに基づいて、対策に関する効用を為政者に提示し、為政者の意思決定を支援するコンピュータシステムを構築しようとするプロジェクトである。テロや災害が起こった場合、その影響はいかなるものか、回復までに要する時間は、政策上の別の選択肢や別の対応による結果の予測は、被害を軽減するための最も効果的な選択肢は何か、脅威の程度と脆弱性を検討したうえで最も危険な領域は何か、どのような投資・被害の軽減策・研究上の戦略が全体的なリスクを軽減するために最も効果的か、といった具体的な質問が生じる。本システムはこうした問いに的確な答えを導くことを支援する。

3 - 1

CIPプロジェクトの実施組織

図表2に、米国の重要な社会基盤防護に関する3つのプロジェクトのなかでのCIPプロジェクトの

図表1 米国国土安全保障省の推進する主要な研究開発プロジェクト

プロジェクト名	内容	実施機関
DNDO (Domestic Nuclear Detection Office)	国内核物質探査に関するもの	DHS, DOD, EPA
CIP (Critical Infrastructure Protection)	重要な社会基盤の防護に関するもの	DHS, DOD, DOE, NRC
CBTR (Chemical & Biological Threat Reduction)	生物化学物質による脅威に対処するもの	DHS, DOD, EPA

DHS: Department of Homeland Security 国土安全保障省
 DOD: Department of Defense 国防省
 DOE: Department of Energy エネルギー省
 EPA: Environmental Protection Agency 環境庁
 NRC: Nuclear Regulatory Committee 原子力規制委員会

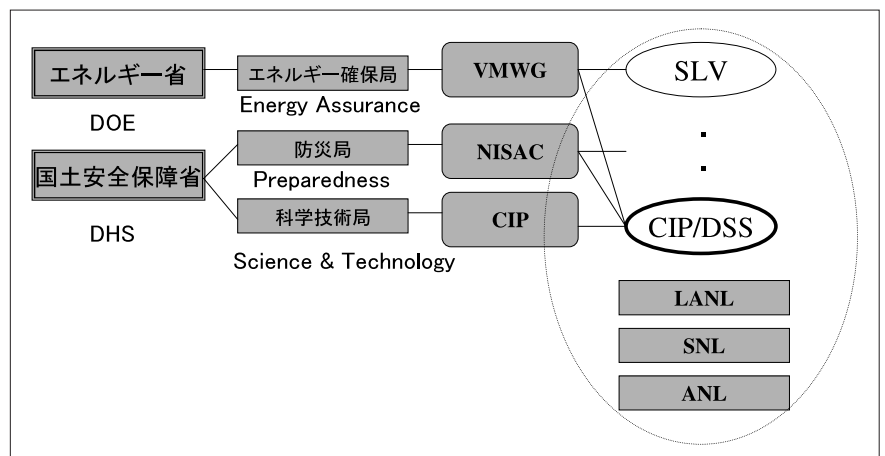
資料をもとに科学技術政策研究所にて作成

位置づけを示す。CIPプロジェクトは、米国エネルギー省 (DOE: Department of Energy) の国立研究所である、ロスアラモス、サンディア、アルゴンヌなど複数の研究所に跨って、個別の研究テーマが割り当てられており、所属するメンバーは協働して研究にあっている。

図表2において、DOE エネルギー確保局 (Office of Energy Assurance) の元には、VMWG「モデリングと視覚化ワーキンググル

ープ (Visualization & Modeling Working Group)」と呼ばれる組織が存在し、その中では、SLV (Simulation Library Visualizer) と呼ばれるシミュレーション結果の視覚化の研究が実施されている。DHSの防災局の配下には、「国家社会基盤に関するシミュレーションと分析センター (NISAC: National Infrastructure Simulation & Analysis Center)」が設けられ重要社会基盤に対する災害やテロリズムを想定した種々の研究が行

図表2 米国の重要な社会基盤防護に関する3つのプロジェクトと、その中におけるCIPプロジェクトの位置づけ



VMWG: Visualization & Modeling Working Group
 SLV: Scenario Library Visualizer
 NISAC: National Infrastructure Simulation & Analysis Center
 CIP/DSS: Critical Infrastructure Protection/Decision Support System
 LANL: Los Alamos National Lab.
 SNL: Sandia National Lab.
 ANL: Argonne National Lab.

資料をもとに科学技術政策研究所にて作成

われている。この組織は幾つかの小さな組織から構成されている。

CIPの中心的なプロジェクトは、次節以下で詳細を述べるCIP/DSS (Critical Infrastructure Protection Decision Support System)である。これは、前述したように、重要な社会基盤に対して想定される事故や災害に関して、意思決定を支援するシステムの構築を行うものである。CIP/DSSでは種々の社会基盤に関するリスクの「相互依存性 (interdependency)」を考慮した災害対処の研究が行われている。

3 - 2

CIPの主たる実施機関である 米国国立研究所の概要

現在、CIPも含めて米国における国土安全保障に関する研究開発においては、DOEに所属する国立研究機関の役割が顕著である。DOEは、「原子力事故への対応」「CBRN (化学、生物、放射性物質、核兵器を用いるテロ) 攻撃対策プログラム」「環境計測研究」「エネルギー安全保障プログラム」といった研究プログラムの多くを、国家核安全保障管理局 (NNSA) の管轄下にある国立研究所で実施している。

特に、以下に紹介するロスアラ

モス、サンディア、アルゴンヌの3つの国立研究所がその中心的役割を演じている。

(1)ロスアラモス国立研究所

ロスアラモス国立研究所 (LANL: Los Alamos National Lab.) は、ニューメキシコ州に位置する。1943年にマンハッタン計画の中で原子爆弾の開発を目的として設立された。ロスアラモス国立研究所が米国の科学技術研究の中で担ってきた最大の役割は、以前は核兵器の開発であった。現在は、核兵器の安全性と信頼性の確立、大量破壊兵器の脅威を減らし世界規模の安全保障を推進すること、そのための技術開発を行うことを主たる研究課題としている。

同研究所では、他の多くの米国の国立研究所と同様に、連邦政府が所有しているが大学などが運営を行うというGOCO形式 (Government Owned Contractor Operated) が採られている。マンハッタン計画で中心的役割を担ったカリフォルニア大学が長く管理・運営を行ってきたが、2005年に競争入札制度が導入され、2006年6月からはカリフォルニア大学・ニューメキシコ大学・ニューメキシコ州立大学および複数の民間企業による連合組織によって運営されている⁴⁾。

(2)サンディア国立研究所

サンディア国立研究所 (SNL: Sandia National Lab.) も同じくニューメキシコ州に位置し、1949年に設立され、「核兵器」の開発と併せて、「国防システムとアセスメント」「エネルギー資源と核不拡散」「国土安全保障と国防」に関わる研究が行われてきた。特に、核不拡散に関しては、共産主義体制崩壊後に、旧ソビエト連邦の保有していた核兵器の安全な保管と処理に大きな貢献を果たしてきた。このような貢献には、行き場のなくなってしまった核物理学者の就職の斡旋なども含まれていた。同研究所もGOCO形式により運営されており、かつてはAT&T社が、1992年からはロッキードマーティン社が運営を担っている。

(3)アルゴンヌ国立研究所

アルゴンヌ国立研究所はイリノイ州に位置する。ロスアラモス研究所と同じく、第二次世界大戦中に推進された原子力爆弾を製造するマンハッタン計画の研究者の一部を核として1946年に設立された。同研究所もGOCO形式により運営されており、現在の運営はシカゴ大学が行なっている。

4 CIPプロジェクトの概要

4 - 1

CIPプロジェクトの目的と 研究マネジメント

CIPプロジェクトの目的は、①危険性が指摘されている重要社会基盤に関して想定される被害の程度を予測すること、②重要社会基

盤に対して基本的な相互依存性モデルを構築すること、③重要社会基盤への自然災害の影響を予測すること、④効果的な被害低減策の評価、⑤国内地方規模、国家規模、および地域規模にわたる実務上の支援策の提供、である。

CIPを実施するにあたって、研究マネジメントにおいては、次

のような考え方を基本としている。まず、国土安全保障上のリスクは、その「発生確率」と「被害」という二つの要因で評価すべきものである。双方が高い事項に対する対処が重要であることは言うまでもないが、二つの要因の高低の広範囲な領域に多様な問題が存在する。

研究成果の例

問題領域を「時間軸」と「空間軸」で明確に規定する必要もある。対象とする事象が長期的か短期的か、また巨視的なものか微視的なものかという分類が必要であり、状況に応じて取られる分析・対処の手法が異なる。CIP プロジェクトでは具体的な事象に応じて最も適した視点の尺度を選択し分析している。

さらに、安全保障を担う研究であるため、基になるデータや情報の出自や意思決定支援システムの運用に関するセキュリティにも配慮している。分析の基になる「情報の信頼性 (Credibility)」、どの情報に優先的に着目するかという「重要度の選択 (Salience)」、情報の出自が信頼できるかどうかという「正当性の検証 (Legitimacy)」という三つの判断基準が重要であるとしている。

災害やテロなどに社会基盤が脅かされた場合、単独の社会インフラのみが関与するということがほとんどありえない。例えば、電力設備を障害から復興させるには、交通網を利用して障害箇所修理部品の供給がされなければならないし、部品の運搬には燃料の供給が不可欠である。問題箇所の診断や複数箇所における修繕作業間の協調には、通信網が正常に機能する

ことが必要である。

また、国土安全保障上のリスクを考えると、リスク軽減策に掛かる負担とこれによりもたらされる利益との間のトレードオフも熟慮する必要がある。リスクの評価関数には、事件の発生確率と事件による結果の重大性および予防に掛かる経費のほか、これまでの防災への準備状況等も考慮する必要がある。対災害を目的とした意志決定者向けへの支援システムを構築することは、災害等の影響をよりの確に把握し効果的な対策が取れることを意味する。また、復旧のボトルネックとなるのは何かといった、防災のための戦略的な投資のあり方も導かれる。

CIP の研究の最も大きな目的は、複数の社会基盤に跨るリスクの評価を総合的に行い、災害時の意思決定を支援する情報が即時性をもって為政者に提供されることである。

CIP プロジェクトでは、図表 3 に示す 12 の重要な社会基盤を規定している。これらを「国家的視点」と「特定都市の視点」という二階層の観点からモデル化している。モデルを設定した上で、個別の課題に対するリスクの評価は、「国防」・「公衆衛生」・「経済活動」などの視点から分析を行っている。

(1)実時間での

被害予測シミュレーション

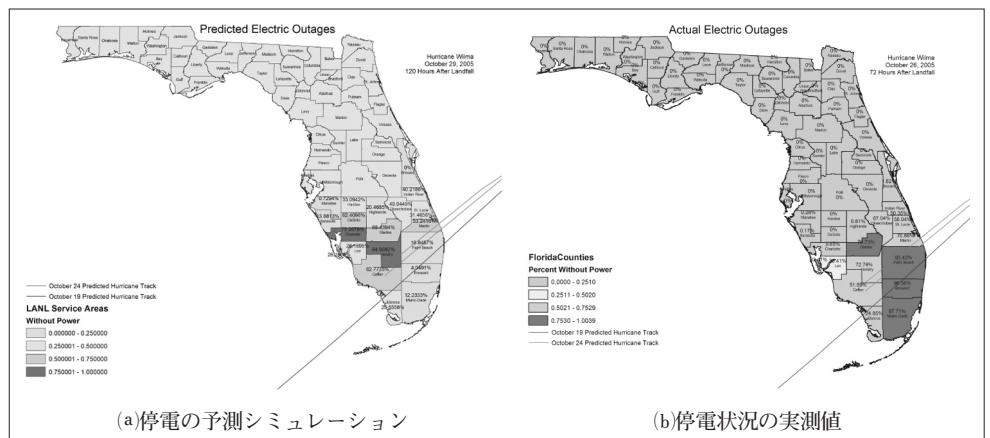
図表 4 は、最近行われたハリケーンの通過に伴う被害予測シミュレーションの結果であり、CIP プロジェクトにおける研究成果の実践的適用の事例である。ロスアラモス国立研究所ではハリケーンによる停電被害のシミュレーションを実施し、これを実際の被害状況と比較した。対象となっているハリケーン「ウィルマ (Wilma)」は、米国におけるハリケーンの観測史上もっとも勢力の強いもので、2005 年 10 月 15 日に初認され、米国フロリダ州を大西洋側から襲い、25 日に消滅した。ハリケーンの上陸が数時間後と予測されているという状況において、その進路の予測を含めたりリスク評価依頼を受け、コンピュータシミュレーションを駆使してリスク評価に関する結果を実時間で DHS に報告した。

図表 4(a)は、初認から 120 時間後の 10 月 19 日時点での停電の予測シミュレーションの結果である。群単位で停電となる確率が 0 ~ 25%、25 ~ 50%、50 ~ 75%、75 ~ 100% の 4 段階で予測されて

図表 3 重要な社会基盤

1	農業
2	金融機関
3	化学物質、危険物
4	産業基盤
5	緊急対応施設
6	エネルギー
7	食料
8	情報通信網
9	郵便、運送
10	公衆衛生
11	交通
12	水道

図表 4 ハリケーンの通過に伴う被害予測シミュレーションと実測値



資料をもとに科学技術政策研究所にて作成

いる。図表4(b)は、10月26日時点での各群における停電状況の実測値である。この事例では、事前のシミュレーション結果がその後起きた現実の被害を非常によく予測できていた。ロスアラモス国立研究所におけるモデル化とシミュレーションの能力の高さを示している。

(2)相互依存性解析の例

図表5は、重要な社会インフラとして上水道設備に毒物が混入し汚染された場合を想定し、相互依存性解析に基づいて被害予測を行った場合のフローチャートである。水道設備を中心に他の社会基盤の関係が記述されている。実際の需要データも参照され、幾つか毒物混入のシナリオが想定されている。後述するデータベースを利用して拡散モデルを用いたシミュレーションを実施し、時系列に従って被害の程度が計算される。

この例では、毒物による上水道の汚染が、複数のシナリオによって為されることを想定している。ここでは、起こりうる複数のインシデント(incident:事件)の詳細なシナリオを記述し、それらに定量的な評価を与える必要がある。各インシデントを要因に分解し、それぞれの要因の因果関係や依存関係を調べ各要因に関する経験側

に則った発生確率を求める。この段階では専門家へのヒヤリングなどが欠かせない。個別の要因に関する発生確率が得られたら、例えば「確率論的ベイズ推定」などを適用することで、各要因の相互依存関係に伴うリスク評価を定量的に行うことが出来る。この研究では、シナリオの各要因に関して相互依存関係に基づく生起確率をモデルに反映させている。

(3)その他の事例

CIPでは、その他にも多くの問題解決指向のリスク評価研究の実績がある。農業生産物に対する病原菌を利用したテロリズムという脅威の評価という事例では、トウモロコシなどの穀物の生産分布とともに、乳牛・肉牛・鶏などの家畜の生育分布を詳細に把握した上で、伝染性病原体の暴露被害などのインシデントを想定した影響の分析とその対応シミュレーションを行っている。

また、別の研究事例では、災害やテロリズムなどのインシデントが発生した場合の交通機関の麻痺状況を推定している。特定の都市における人口の分布状況を個人の職業的属性まで踏み込んでデータ化し、これにより交通手段の利用パターンを予測した結果が得られている。

こうした研究では、学際的なアプローチが不可欠である。CIPプロジェクトは、多様なバックグラウンドを持つ研究者のチームによって実現されている。一方、研究で必要なシミュレーションソフトウェアなどのツールは、基本的には他用途向けに開発された既存のものを活用することを前提としている。

4-3
意思決定支援のためのデータベース化

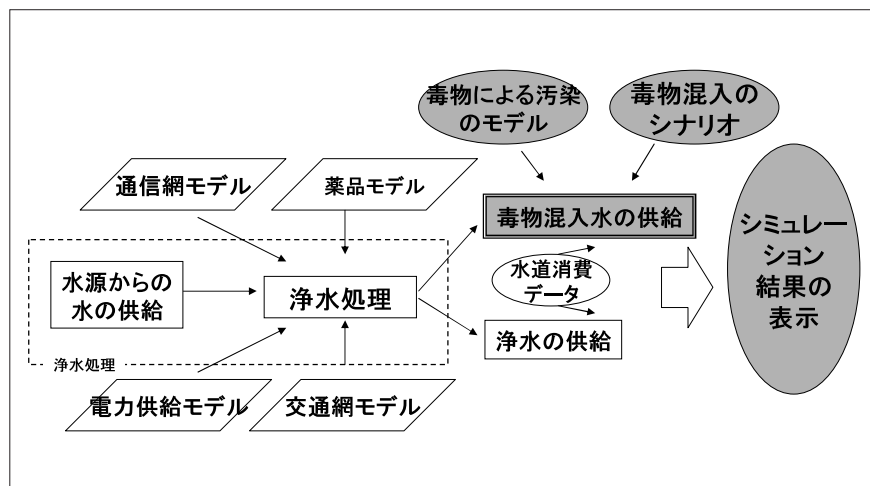
次に、CIPにおける研究成果を、知識の活用という観点でどのように問題解決に利用しているのかを紹介する。

まず、災害に際して為政者が何らかの意思決定を行うことを支援するために、「シナリオライブラリー」と呼ばれるものが用意されている。これは、過去に起こったハリケーンや熱波、冷害などを定型文書で記述した文書データベースである。

CIPのチームが実施したモデル化、あるいはシミュレーションの結果も蓄積されている。対象となっている社会基盤の被害状況、モデル化の手法、意思決定に供する情報提供に必要とされる諸条件(精緻さ優先、処理時間優先など)、実験方法、外部の視覚化方法、モデル化とシミュレーションに基づく設備の被害状況などがデータとして蓄積されている。

シナリオライブラリーでは、CIPにおいて過去に実施したりリスク評価の結果が一定のデジタルアーカイブの書式に従って蓄積されており、これは将来における類似の分析の参考資料として利用される。こうしたライブラリーの運用と活用は、情報分析における知識や知恵のレベルを強化することを目指している。バイオテロなどのインシデントを想定すると、状

図表5 都市部における上水道の毒物汚染の分析事例



資料をもとに科学技術政策研究所にて作成

況はそれを構成するいくつかの要因に分解して記述することができる。例えば、広範囲なバイオテロというインシデントの想定では、特定の病原体が水道設備に混入

する可能性はあるかないかといった事項が、インシデント全体像を評価するための部分的な要因となる。相互依存関係のある設備どうしのリスク評価は、こうし

た部分的な要因の間の状態遷移を数値的な評価することで行うことができる。

5 むすび

本稿で紹介した研究の背景にある危機感は、必ずしも米国一国の懸念ではなく先進国に共通の課題であるといえよう。今後、我が国においても、幅広い社会基盤に対する公共の視点からのリスク分析に関する研究開発の必要性が高まると考えられる。例えば、大規模な地震の到来が懸念され、気象災害の被害も近年深刻である。米国の取組状況と比較して我が国のこの分野の取り組みは立ち遅れている。

平成 18 年 10 月には、ハワイ州ホノルル市において、日米科学技術協定に基づく安全・安心な社会の構築に関する第 1 回のワークショップが開かれ、テロや災害など広範囲な地域や社会基盤に対するリスクへの対処に関する日米間の共同研究の可能性について検討されるなど、この分野における研究開発について国際的な協力を含めた関心が高まっている。しかし、本稿で紹介した「重要社会基盤の防護」「相互依存性解析」に関する研究テーマは、日本の国内では同様の目的意識に基づいて組織化された研究母体がなく、複数省庁の所管事項を跨ることになり、研究体制の構築も困難な状況である。

本稿は、平成 18 年度に筆者が行った複数の米国国立研究所への訪問調査を基にしている。CIP の研究チームでは、多様な専門領域の研究者が共通の目的のために協

働できるように研究がマネジメントされているという印象を受けた。特に、モデル化や分析の手法に関して、組織横断的によく議論されており、チームに共通の原理原則が貫かれているようである。国内でこの分野の研究を振興する場合、特に組織のマネジメントの観点において、米国国立研究所から学ぶことは多いと考えられる。

我が国においても幅広い社会基盤に対する公共の視点からのリスク分析と保全・保安に関する研究開発の必要性が高まると考えられる。米国における先導的研究開発事例から学ぶべきことは多い。例えばこの分野の研究では、コンピュータによるシミュレーション技術から特定施設の保全管理に及ぶ幅広い専門家を組織化する必要がある。また、研究成果は実務指向であるため対象となる問題領域を時間的、空間的な規模からよく吟味し分析結果を為政者による意思決定に活用することが重要である。

謝 辞

DHS、DOE、ロスアラモス、サンディア等の各国立研究所の関係者の皆様に多大なるご協力いただいたことをこの場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 総合科学技術会議、「安全に資する科学技術推進戦略」、平成 18

年 6 月 14 日

- 2) http://www.lanl.gov/orgs/chs/biip/cip_dss.shtml, Critical Infrastructure Protection Decision Support System -Department of Homeland Security, Research & Development
- 3) 科学技術政策研究所、「米国ロスアラモス国立研究所の運営に企業の参入が決定した」、科学技術動向、平成 18 年 2 月号
- 4) 浦島充佳、「NBC テロリズム」角川書店、2002 年 2 月
- 5) 加藤朗、「テロ—現代暴力論」中公新書、2002 年 5 月
- 6) 井上尚英、「生物兵器と化学兵器」中公新書、2003 年 12 月

執 筆 者



情報通信ユニット
藤井 章博

科学技術動向研究センター

<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>



工学博士。分散コンピューティングと通信プロトコルの研究に従事した後、電子商取引システムの構築プロジェクトを実施。現在、情報通信技術のイノベーションが経営や政策に与える影響に興味を持つ。