

戦略的創造研究推進事業
(社会技術研究開発)
平成27年度研究開発実施報告書

「科学技術イノベーション政策のための科学 研究開発プログラム」

研究開発プロジェクト

「市民生活・社会活動の安全確保政策のためのレジリエンス分析」

古田 一雄
(東京大学 教授)

目次

| | |
|--|----|
| 1. 研究開発プロジェクト | 3 |
| 2. 研究開発実施の要約..... | 3 |
| 2 - 1. 研究開発目標 | 3 |
| 2 - 2. 実施項目 | 3 |
| 2 - 3. 主な結果 | 4 |
| 3. 研究開発実施の具体的内容 | 4 |
| 3 - 1. 研究開発目標 | 4 |
| 3 - 2. 実施方法・内容..... | 5 |
| (1) 関東圏のエネルギーインフラのシミュレーション分析 | 5 |
| (2) 物流システムのシミュレーション分析 | 6 |
| (3) 上水道システムのシミュレーション分析 | 6 |
| (4) 危機管理政策議論のレジリエンス分析 | 7 |
| (5) 複合相互依存性モデリング | 8 |
| (6) 固定電話網のレジリエンス分析..... | 9 |
| (7) リアクティブなインフラ復旧計画 | 10 |
| (8) 災害コンテキストモデリング | 10 |
| (9) 危機管理機能の組織制度設計 | 10 |
| (10) 重要インフラ防護・レジリエンス強化のための政策・制度設計 | 11 |
| 3 - 3. 研究開発結果・成果..... | 12 |
| (1) 関東圏のエネルギーインフラのシミュレーション分析 | 12 |
| (2) 物流システムのシミュレーション分析 | 14 |
| (3) 上水道システムのシミュレーション分析 | 15 |
| (4) 危機管理政策議論のレジリエンス分析 | 16 |
| (5) 複合相互依存性モデリング | 18 |
| (6) 固定電話網のレジリエンス分析..... | 18 |
| (7) リアクティブなインフラ復旧計画 | 20 |
| (8) 危機管理機能の組織制度設計 | 21 |
| (9) 重要インフラ防護・レジリエンス強化のための政策・制度設計..... | 22 |
| (10) 海外訪問調査..... | 23 |
| 3 - 4. 会議等の活動 | 26 |
| 4. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況..... | 27 |
| 5. 研究開発実施体制 | 27 |
| 6. 研究開発実施者..... | 28 |
| 7. 関与者との協働、研究開発成果の発表・発信、アウトリーチ活動など | 29 |
| 7 - 1. 主催したイベント等..... | 29 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| 7 - 2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など..... | 30 |
| 7 - 3. 新聞報道・投稿、受賞等 | 30 |
| 7 - 4. 論文発表、口頭発表、特許..... | 30 |
| 7 - 5. 学会発表 | 31 |
| 7 - 6. 特許出願 | 32 |

1. 研究開発プロジェクト

プロジェクト名称「市民生活・社会活動の安全確保政策のためのレジリエンス分析」
英語表記 Resilience Analysis for Social Safety Policy

研究代表者：古田一雄（東京大学 教授）

研究開発期間：平成25年10月 ～ 平成28年9月（36ヵ月間）

参画機関：東京大学

2. 研究開発実施の要約

2 - 1. 研究開発目標

最新のモデリング及びシミュレーション技術を活用し、電力、ガス、水道、物流、通信など複数の重要インフラ相互の依存性を考慮に入れながら、脆弱性・耐性、リスクの評価および評価結果の見える化を行う。さらに、重要インフラに関して、ダメージからのシステムの回復能力であるレジリエンスの包括的評価手法と、復旧プランの策定に関する判断支援手法を開発する。以上の成果に基づいて、政府のレジリエンス向上策の立案、非常時対応のための組織制度設計を支援するための提言を行う。

2 - 2. 実施項目

① 複合インフラシステムのモデリングとシミュレーション

関東圏の電力・石油の需給システムを統合的にモデル化し、電力と石油の相互依存性を電力のネットワークモデルに加えた。また、東京 23 区の交通流シミュレーションを現実的な時間で実施するための並列計算手法の開発およびシミュレーションの粗視化について検討した。さらに上水道システムに関しては、東京都区部の主要地区の配水管網の構築とその被害予測の高度化を行った。撤回可能ゴール構造表記法を用いて、危機管理政策を正当化する議論の頑健性、冗長性、臨機応変性、迅速性を評価する手法を開発した。

② レジリエンスの総合評価と意思決定支援

統合シミュレーションを実都市を想定したもとの実施するために必要な基礎技術開発を行った。また、現実の地理情報を反映した東京 23 区の固定電話網のモデリングを行い、レジリエンスの評価に必要なシステムの機能評価を実施した。さらに、情報の不確かさがあっても危機発生後から直ちに復旧計画を逐次的に立てられる、リアクティブな意思決定法に基づく復旧計画法を開発し、有効性を確認した。

③ 市民社会・社会活動の安全に係る政策・制度の選択肢研究

前年度に実施した調査を踏まえ、国家リスクアセスメントの実施、ファーストレスポンドーとの連携に焦点を当てながら、より詳細な運用実務面での取り組み及び課題を調査し

た。英国の重要インフラ保護・レジリエンスに関するリスク分析活動や科学技術政策について文献調査とヒアリング調査を実施した。

2 - 3. 主な結果

① 複合インフラシステムのモデリングとシミュレーション

関東圏の電力・石油需給モデルを用いて、大地震による災害リスクを考慮に入れた上で、様々な対策の費用対効果を分析し、災害に対して強靱な関東圏のエネルギーシステムを構築する上で有益な示唆を得た。また、交通流シミュレーションについては、並列計算手法およびメゾスコピックなモデルを開発することにより、100倍以上の高速化が可能になった。さらに上水道システムに関しては、これまで開発したシミュレータによって東京都区部の主要地区の詳細な地震災害時の上水道網被害予測が可能であることを示した。最後に、撤回可能ゴール構造表記法を用いて、当危機管理政策についての議論の論理構造を可視化するとともに、実験的手法で危機管理政策議論の分析に有効であることを示した。

② レジリエンスの総合評価と意思決定支援

東京 23 区に格子ネットワークをマッピングしたモデルを開発し、このモデルを用いたシミュレーションが適切に行われていることを確認した。また、東京 23 区の固定電話網モデルと 3 つの評価指標を用いて、災害後の通信規制の効果を評価した。リアクティブな意思決定法に基づく復旧計画法を開発し、この手法が不完全情報下においてもロバストな復旧計画に有効であることを示した。

③ 市民社会・社会活動の安全に係る政策・制度の選択肢研究

英国の運用実務面での取り組み及び課題を調査して有益な示唆を得るとともに、首都機能の危機管理の問題構造を整理した。また、英国の重要インフラ保護・レジリエンスに関するリスク分析活動や科学技術政策の現状から、わが国の危機管理に関する政策提言に資する有益な示唆が得られた。

3. 研究開発実施の具体的内容

3 - 1. 研究開発目標

本研究プロジェクトでは、市民生活・社会活動に不可欠な重要インフラに自然災害、人為的脅威、事故といった脅威が加わったときの複雑な挙動について、如何なる部分が脆弱なのか、如何なるリスクが生じる可能性があるかを様々なシナリオの下でシミュレーション分析し、相互依存性の考慮や多角的視点からの包括的レジリエンス評価の必要性に関する科学的根拠を明かにする。

こうして得られた根拠情報に基づいて、わが国の市民生活・社会活動に係る危機管理政策やリスクガバナンス戦略への選択肢を創出し、この社会的課題の解決に寄与することを目標とする。すなわち、国土強靱化基本法成立後、内閣府に新たに設置が想定される司令塔的役割を担う組織に対し、重要インフラのレジリエンス強化のための政策・制度設計に関する選択肢を制度設計の議論のたたき台として提供することを考える。また、シナリオワークショップによる共創的なシナリオ作成や、重要インフラの復旧プランニングの手法の

開発を行い、危機対応の際の意思決定支援の手段として内閣府、首都圏自治体、重要インフラ事業者ならびに監督官庁へ提供する。

なお、シナリオライブラリーについては既開発の災害コンテキストモデルで記述するよりもNarrativeなシナリオをワークショップ等で作成する方が有効であると考え、シナリオワークショップを開催して共創的シナリオ構築を行うことに変更した。

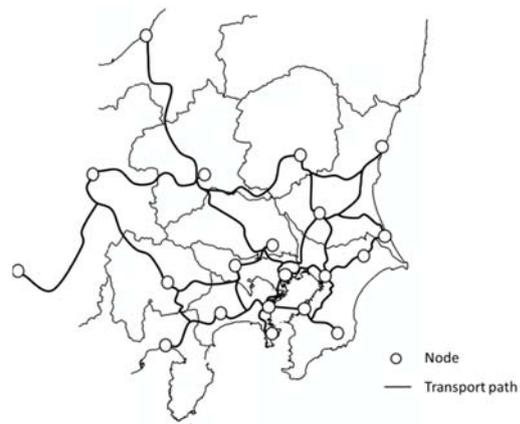
3 - 2. 実施方法・内容

(1) 関東圏のエネルギーインフラのシミュレーション分析

首都直下地震に伴うエネルギー供給途絶などの突発的リスクに対してもレジリエントな関東圏および首都圏のエネルギーインフラに関して分析を実施した。研究の中心は、エネルギーインフラの地理的配置を考慮したエネルギー需給モデルの構築と、首都直下地震の発生確率を考慮した費用対効果を踏まえて、インフラへの投資や運用を考えることにある。今年度は、重要なエネルギーである電力および、災害時での利用可能性が特に高い石油に着目して、電力・石油の需給システムを統合的にモデル化し、電力と石油の相互依存性や、昨年度考慮した電力のネットワーク構造に加え、新たに石油のネットワーク構造（図1、図2）を可能な限り詳細に考慮した。



〈図1. 石油製品広域輸送モデル〉
内航タンカー・タンク車の輸送ルート



〈図2. 石油製品地域輸送モデル〉
タンクローリーの輸送ルート

また、災害発生リスクを明示的に考慮するため、昨年度の確率計画法によるモデルを、下式の通り、確率動的計画法および近似動的計画法を用いたモデルへ拡張した。

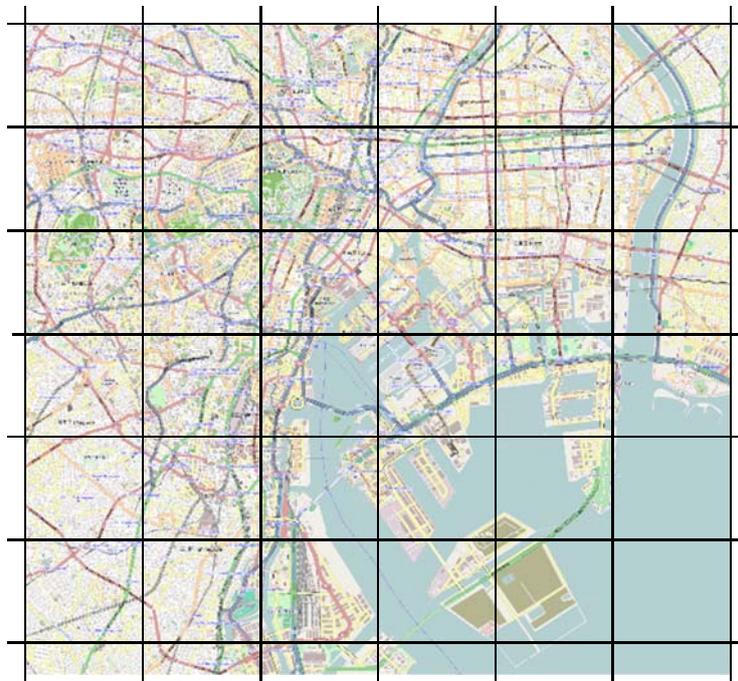
$$V_t(\mathbf{St}_t, i_t) = \min_{\mathbf{u}_t} g_t(\mathbf{St}_t, i_t, \mathbf{u}_t) + \exp(-\gamma) \mathbb{E}_{i_{t+1}} [V_{t+1}(\mathbf{St}_{t+1}, i_{t+1})]$$

t : 時点 (日)、 γ : 割引率、 $g_t(\cdot)$: 日間システムコスト、 i_t : シナリオ (正常状態、異常状態など)、 \mathbf{u}_t : 制御変数 (燃料備蓄、放出等)、 \mathbf{St}_t : 状態変数 (燃料備蓄量など)、 $V_t(\cdot)$: 価値関数

これにより、東京湾岸に集中する集中型電源や製油所の停止リスクと送電線や油槽所の災害リスクを考慮した上での最適な燃料備蓄運用や、地震リスクに備えた重要インフラ増強（電力連系線、発電施設、石油製品タンクローリー等）の経済的価値を分析可能な評価ツールを構築した。

（２）物流システムのシミュレーション分析

物流（陸上交通）については、H26年度に整備した東京23区の主要道路交通モデルの1/2（対象範囲を図3に示す）を用いた道路交通のシミュレーションを実施した。さらに、これまでの大規模詳細交通シミュレーションの検討で得られた知見にもとづき、シミュレーションモデルの改良を実施し、そのうえで他のインフラシミュレーションモデルと整合がとれるようシミュレーションシステムを整備した。



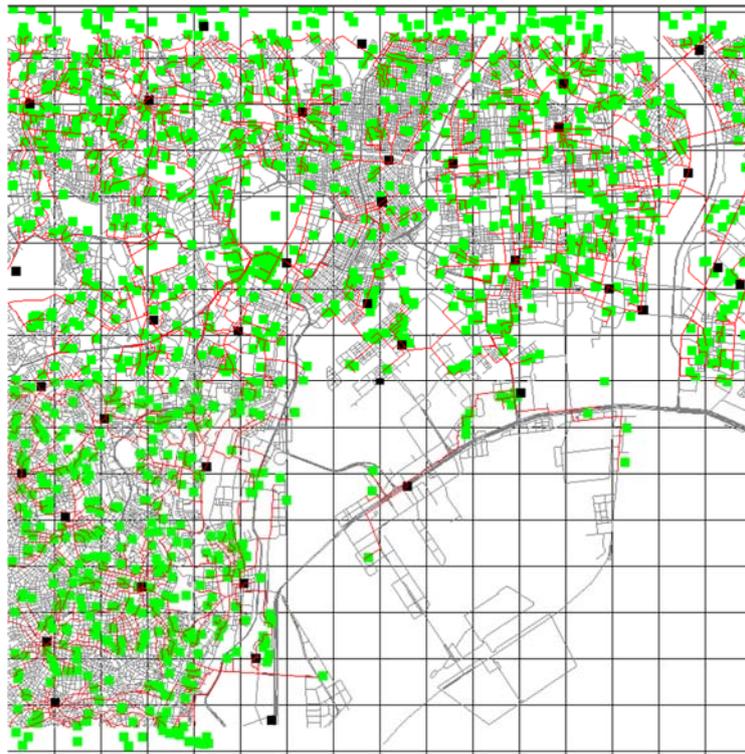
〈図3. シミュレーション対象とした東京都区部（湾岸部を中心とする）〉
OpenStreetMap (<http://osm.jp/>) をもとに作成

この中でも特に、昨年度に引き続き東京23区の交通流シミュレーションを現実的な時間で実施するための手法について検討を行った。本プロジェクトでは陸上輸送単独でなく複数のインフラが連携したシステムであるため、他のインフラモデルと協調できるだけの実算速度を発揮できなければならない。昨年度は既存研究をもとにした並列処理について検討したが、今年度は別のアルゴリズムにもとづく並列計算手法の開発およびシミュレーションの粗視化についての検討も行った。

（３）上水道システムのシミュレーション分析

上水道システムに関しては、東京都区部の主要地区の配水管網の構築とその被害予測の

高度化を行った。ここでは前項の物流システムのモデリングで述べた知的マルチエージェント交通流シミュレータMATESで用いる道路ネットワークデータを基にした上水道網の推定を行うとともに、国土交通省国土制作局国土情報課が提供する国土数値情報ダウンロードサービスから公共施設位置データを取得し、対象とする東京都区部主要地区に存在する警察機関、病院、消防署などの2,659か所を重要施設として位置づけ、これらの重要施設から近接する給水地点までの上水道網が耐震化されているとした。図4に上水道システムのモデリングで構築した東京都区部の上水道網、重要施設と給水地点を示す。H27年度は新測地系緯度経度に基づいた地域メッシュ分割を導入することにより、内閣府中央防災会議においてオープンデータとして公開されている液状化データ、震度データを利用可能とし高度な被害予測を可能とする。



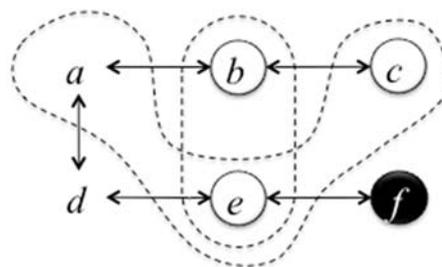
〈図4. 東京都区部主要地域の上水道網、重要施設（緑）と給水地点（黒）〉

（４）危機管理政策議論のレジリエンス分析

政策決定の過程では、政策が機能するために対処されるべき前提や、政策が履行されることで生じる望まない副作用を批判的に分析し共有することが求められる。本研究では、議論の論理構造を可視化する手法である撤回可能ゴール構造表記法（dGSN）とその意味論を用いることで、政策を正当化する議論の頑健性、冗長性、臨機応変性、迅速性を評価する方法論を与えた。頑健性は、議論において立証したい命題への反証に対して、どれだけ多くの反反証が存在するかを測る基準であり、どれだけ多くの反証が既に退けられているかを表す。冗長性は、議論において立証したい命題を立証する方法がどれだけ多く存在するかを測る基準であり、ある論点に基づく立証に取って代わることのできる論点の多さを

表す。臨機応変性は、議論において立証したい命題がどれだけ階層化されているかを測る基準であり、議論に現れる各主張に対する軽重、優先順位の付け易さを表す。迅速性は、議論において立証したい命題がどれだけ少ない数の主張によって支えられるかを測る基準であり、少ないほど立証には少数の根拠で十分であることを表す。分析の対象には、政府の危機管理組織の在り方に係る関係副大臣会合最終報告である「政府の危機管理組織の在り方について(最終報告)」を用いた。本研究が提案する議論分析の方法を用いることで、この議論の質の良し悪しを顕在化できるか確認した。

政策決定の過程では、利害関係者間の争点や合意点の分析、個々の利害関係者の矛盾点の分析が求められる。これらを実現する基礎理論として、議論に基づく教師あり受可能性学習を定式化した。図5に示す有向グラフにおいて6つの頂点はそれぞれ意見(論証)を表し、各辺は論証間の攻撃関係を表す。今、ある主体がこれらのうち4つの論証(論証 b, c, e, f)を観測し、論証 b, c, e を受容し、論証 f を受容しないと表明したとする。図において白色の頂点は「受容する」を黒色の頂点は「受容しない」を表す。本手法の目的は、これらの情報からその主体が論証 a 及び d を受容するか否かを予測することである。本手法では、議論学が定める合理的な論証集合(例えば $\{a, c, e\}$, $\{b, e\}$ (図5の点線))を機械学習に導入して、表明された受可能性についての意見を説明する一般規則を抽出する。H27年度は、議論に基づく教師あり受可能性学習を定式化し性能を評価することで、危機管理政策議論の分析への適用可能性を調べた。



〈図5. 議論構造からの賛否予測〉

(5) 複合相互依存性モデリング

H27年度では、前年度までに開発した統合シミュレーションを実都市を想定したもとで実施するために必要な基礎技術開発に取り組んだ。具体的にはオープンデータを基に東京23区のシミュレーションモデルの構築法の開発を行った。

まず、ライフラインシステムに関して、道路、上下水道、電気、鉄道、都市ガス、プロパンガス、廃棄物処理、し尿処理、携帯・固定電話・PC通信の各ライフラインインフラのネットワーク形状、施設の位置に関するオープンデータを収集し、ライフラインインフラシステムの格子ネットワークへの(近似)マッピングを行った。格子ネットワークを実際の地図(第3次メッシュコード)上にマッピングすることによって、実際の地理的情報を考慮したモデリングが可能となる。格子サイズはノード数が 16×16 の格子とした。施設は位置の緯度経度に対応する最も近いノードに配置する。ネットワークの形状はネットワークがメッシュを跨ぐ際にその両端のノードにリンクを作成することで近似した。次に、産業・

サービスシステムにおける企業エージェントの数・位置および市民エージェントの数・位置の設定を行った。具体的には、H22年度の国勢調査データから東京23区各区の就労者人口データを使って企業の数を設定し、また区ごとの夜間人口データを用いて市民エージェントの数を設定した。区ごとに割出したエージェント数をメッシュに均等に配分することで各エージェントの地理的分布を設定した。

また、被災予測に関するオープンデータから被害設定を作成する方法の開発を行った。首都直下地震を例題とし、内閣府南海トラフの巨大地震モデルの検討会が作成した震度分布・浸水域等に関する被害予想データのうち東京都南部を震源とする地震被害予想値を用いて、各ライフラインインフラへの被害設定（シミュレーションへの初期入力データ）を作成した。被害予想データは3次メッシュコードを用いて地理情報と震度情報がまとめられているため、メッシュコードに対応するノードにそのメッシュコードの予測震度を割当て、2ノードを繋ぐリンクには両端の平均震度を割当てた。この震度に比例する被害量を設定した。

最後に、オープンデータから作成した東京23区モデルを用いた統合シミュレーションの動作検証を行った。最適復旧計画作成におけるGAの目的関数の収束状況やライフラインインフラの復旧カーブを観察することによって、東京23区モデルを用いたシミュレーションが概ね適切に動いていることを確認した。

（6）固定電話網のレジリエンス分析

現実の地理情報を反映した東京23区の固定電話網のモデリングを行い、レジリエンスの評価に必要なシステムの機能評価を実施した。固定電話網の詳細なモデル化を行うため、実際の通信量、地理データ、電話通信網のトポロジカルな構造などの情報を利用した。通信網の脆弱性評価のため、さらにネットワーク機能が一部損なわれた場合のシステム機能の時間変化を追跡した。

レジリエンス評価の枠組みとして、IRAM（Infrastructure Resilience Analysis Methodology）を採用した。このアプローチにおけるレジリエンスは文脈依存の概念であり、コスト評価と関連付けられる。すなわち、TSP（Targeted System Performance）は理想的な状態におけるシステムパフォーマンスを意味し、電話網においては何らの支障なく伝送される通信量で表す。これに対し、SI（System Impact）はTSPからのずれと定義され、電話網においては呼損によって表される。TRE（Total Recovery Effort）は通信制限を課した場合に社会が被る余計なコストである。

昨年度に開発したモデルを踏襲し、固定電話網は呼数、通信量、通話時間、ネットワーク構造、呼損で表現される。シミュレーションは以下の手順で行われる。繰返しの各ターンにおいて、東京23区のある地点から別の地点に向けての発信をポワソン分布に従って発生させる。同時に、通話時間を統計データに基づく分布関数に基づいてサンプリングする。こうして生成された通話は、電話網の特定局から特定局に至る通信回線を占有することになる。もし、この通信回線の通信容量に余裕がない場合、この発信は繋がらないこととなり呼損が発生する。こうして各ターンの終了時に、呼損率の評価を行う。

システムレジリエンスの評価のため、災害などが起きた際の通信需要の増大による過負荷を軽減するための通信規制に関して以下の4つのシナリオを想定した。

- S0： 通信規制を実施しない（基準シナリオ）
- S1： 総通信量に25%の規制をかける
- S2： 総通信量に50%の規制をかける
- S3： 通話時間に25%の規制をかける
- S4： 通話時間に50%の規制をかける

このシナリオの下に、災害後における通信規制のありかたについて検討した。

（7）リアクティブなインフラ復旧計画

インフラの損害に関する正確な情報が入手可能な場合に、復旧計画は様々な目的関数に基づく何らかの最適化手法を用いて作成することができる。しかし、被災情報が不完全であったり不正確だったりした場合、新しい情報が到着するたびに最適化をやりなおして再計画する必要が生じてくる。そこで、情報の不確かさがあっても危機発生後から直ちに復旧計画を逐次的に立てられる、リアクティブな意思決定法に基づく復旧計画法を開発した。この手法は昨年度に開発したトリアージ原則に基づく物資再配分計画法を、インフラの復旧計画マネジメントに応用したもので、一切の推測を用いずに現状入手可能な情報に基づいてその時点で最も優先順位の高い対象に復旧資源を割当ててを基本とする。

復旧チームの責任者はインフラの破損情報と復旧チームの能力情報を参考に、どの破損箇所を修復するかを逐次的に決定する。ここで、破損箇所はインフラネットワークのリンクとし、健全、破損、不明の3つの状態をとるものとする。復旧チーム責任者は破損箇所の優先順位を社会的あるいは経済的配慮に基づいて決定し、最も優先順位の高いリンクに復旧リソースを割当て、この操作を復旧リソースが無くなるまで繰り返す。これは、「緊急性を要するものから先に」と言うトリアージ原則に基づく意思決定法である。新たな情報が得られたらそれを加味しながら、これを一定時間ごとに繰り返す。

検証用テスト例題では、統合インフラモデルのテスト例題と同規模の、6×6の仮想矩形格子上に9種のインフラを配置し、インフラごとに6復旧チームが使えると想定し、時間管理の間隔は1時間と1日ごとの管理を組合せた。被災シナリオとしては、インフラ9種で全540リンクのうちの324リンクがさまざまなレベルで損害を受けると言うものである。

（8）災害コンテキストモデリング

統合シミュレーションの出力結果を記述するよりもむしろシミュレーションの前提となる災害シナリオを記述することがまず必要であることから、災害状況を詳細に記述する既開発のコンテキストモデルよりもむしろ定性的、Narrativeなシナリオをワークショップ等で作成し、シミュレーションの入力となる初期被害データに変換する方針が適切であるとの結論に達した。このため、H28年度にシナリオワークショップを開催して共創的にシナリオ構築を行うこととした。

（9）危機管理機能の組織制度設計

前年度に実施した英国の緊急事態対処の組織制度についての文献調査及びヒアリング調査を踏まえ、国家リスクアセスメントの実施、ファーストレスポnderとの連携に焦点を

当てながら、より詳細な運用実務面での取り組み及び課題を調査した。具体的には、府省庁横断的対応を可能とする総合調整機能であるLGD（主導省庁）システムについて、英国の内閣府民間緊急事態事務局（CCS）にヒアリング調査を実施した。また地方政府レベルの横断的対応を明らかにするため、首都ロンドンの危機管理のガバナンスとその運用実態について、ロンドンの各種公共機関・ファーストレスポnder・インフラ事業者らによるパートナーシップ機関（London Resilience Forum）事務局にヒアリング調査を実施した。

市民社会、特に首都機能の危機管理における問題構造を把握するため、東京都総務局総合防災部へのヒアリング調査を実施した。

(10) 重要インフラ防護・レジリエンス強化のための政策・制度設計

英国の重要インフラ保護・レジリエンスに関するリスク分析活動や科学技術政策について文献調査を行うとともに、元英国政府首席科学顧問（Professor Sir John Beddington）および英国王立協会（Royal Society）エネルギー・環境政策担当へのヒアリング調査を行った。また、重要国家インフラ（CNI）防護・総合的なレジリエンスに関わる政府の取り組みについて、英国の内閣府民間緊急事態事務局（CCS）のCNI担当者にヒアリング調査を行った。

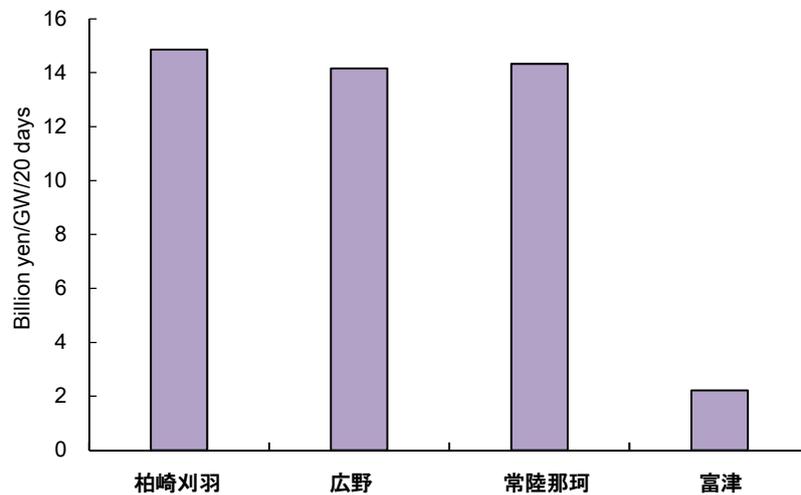
| 項目 | 平成25年度 (6ヶ月) | 平成26年度 | 平成27年度 | 平成28年度 (6ヶ月) |
|----------------------|-----------------|--------|--------|-----------------|
| モデリング・シミュレーション | | | | |
| ・モデリング手法の開発 | ← | | ↑ | ↑ |
| ・シミュレーションによる脆弱性・耐性分析 | | ← | ↑ | ↑ |
| ・シナリオ共創による脅威シナリオの作成 | ← | | ↓ | ↑ |
| 総合評価・意思決定支援 | | | | |
| ・総合的レジリエンス評価手法の確立 | ← | ↑ | | ↑ |
| ・シミュレーションによる脆弱性・耐性分析 | | | ← | ↓ |
| ・復旧プランニング手法の開発 | | ← | ↓ | ↑ |
| ・シナリオライブラリーと意思決定支援法 | ← | | | |
| 政策・制度の選択肢研究 | | | | |
| ・法制度の現状分析・課題の構造化 | ← | ↑ | | |
| ・危機管理機能の組織制度設計 | ← | ↓ | ↓ | |
| ・レジリエンス強化のための政策・制度設計 | | ← | ↓ | ↓ |

〈研究開発実施項目〉

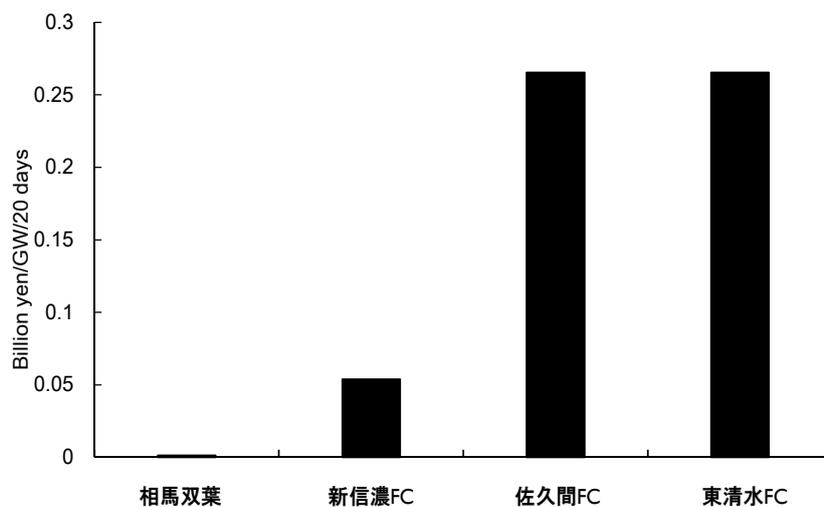
3 - 3. 研究開発結果・成果

(1) 関東圏のエネルギーインフラのシミュレーション分析

H27年度に構築した関東圏の電力・石油需給モデルを用いて、大地震による災害リスクを考慮に入れた上で、様々な対策の費用対効果を分析した。その結果、電力システムに関しては、東京湾沿岸に立地するノード（例えば富津）よりも、首都圏域外のノードでのガス火力増強の方が経済的価値が高い傾向にあることが分かった（図6）。この結果は、関東圏の電力需給システムにおいて、東京湾岸よりも湾岸外で発電所を増強することを通じて湾岸への電力設備の集中化を是正することが、経済的効果が高いことが定量的に示唆された。また、災害時の電力対策として、西日本からの電力融通は恒常的に送電容量に達していることから、周波数変換設備（新信濃FC、佐久間FC、東清水FC）の増強によるコスト削減効果が相対的に大きいことが分かった（図7）。



〈図6. ガス火力新設の潜在価格〉

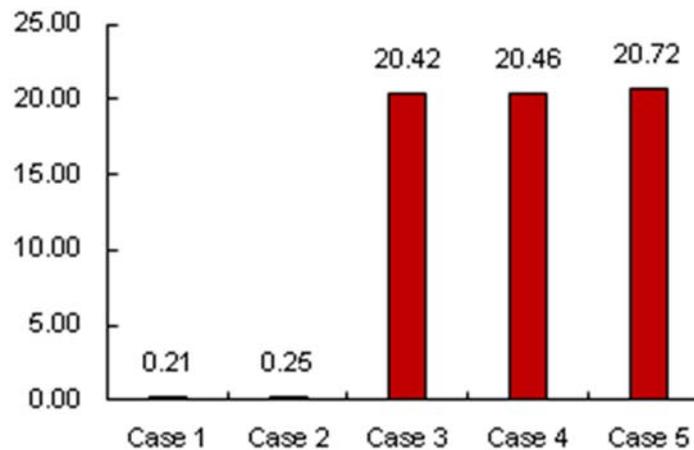


〈図7. 地域間連系線増強の潜在価格〉

また、対策(1) 原子力発電所の稼働、対策(2) 燃料備蓄の強化（7日間分の備蓄）、対策(3)油槽所の強化（東京湾沿岸における民間備蓄の放出が可能）、対策(4) 走行速度の改善、の各対策の費用対効果を分析した。分析に際して、各対策の組合せに応じて5つのケースに関して分析を実施した（表1）。その結果、どの対策も一定のコスト削減効果が得られることが分かったが、特に油槽所の強化によるコスト削減効果が大きいことが示唆された（図8）。

〈表1. 各対策のケース設定〉

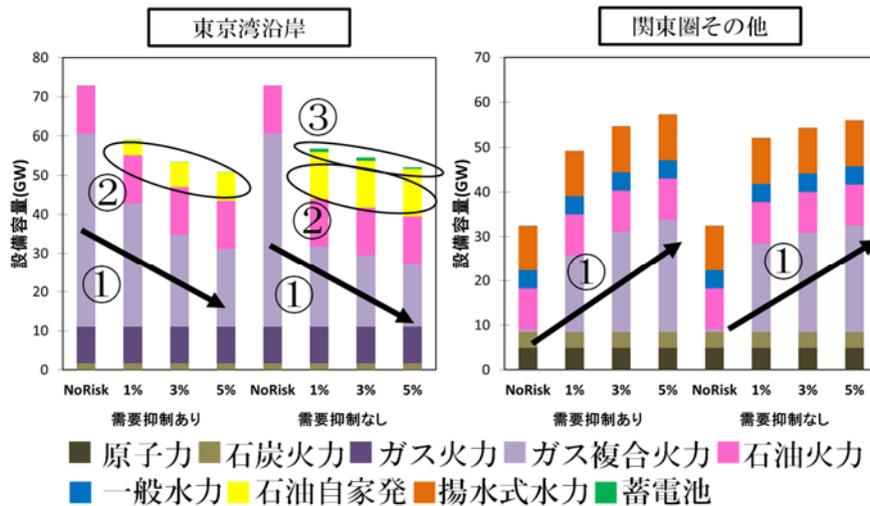
| | 対策(1) | 対策(2) | 対策(3) | 対策(4) |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| Case 1 | ○ | — | — | — |
| Case 2 | ○ | ○ | — | — |
| Case 3 | — | — | ○ | — |
| Case 4 | — | — | ○ | ○ |
| Case 5 | ○ | ○ | ○ | ○ |



〈図8. システム総コスト期待値の削減効果〉

[単位：10億円]

その結果、災害発生確率の上昇につれ、①天然ガス複合火力導入量が電力需要の集中する東京湾岸から他地域へシフトすること、②東京湾岸地域で自家発電導入が増加すること、③同じく東京湾岸地域で蓄電池導入が増加することが分かった（図9）。この結果より、経済合理性も考慮した上で、災害に対して強靱な関東圏のエネルギーシステムを構築する上で、これらの施策が有効であると考えられる。特に、政府想定とほぼ同様の想定（災害発生年間確率3%）での計算結果では、関東圏の天然ガス複合火力の設備量の約半分を、電力需要の集中する東京湾岸ではなく関東圏の他地域で導入することが最適な解であるという興味深い結果を得ることができた。首都直下地震のリスクも考慮して経済合理的な関東圏の電源開発を今後進める上で、有益な示唆を与える結果であると考えられる。

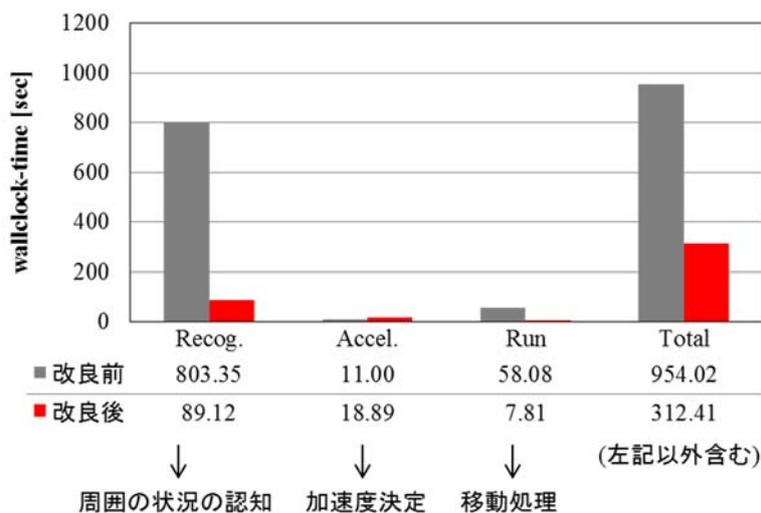


〈図9. 関東圏の発電設備容量の構成〉

(2) 物流システムのシミュレーション分析

昨年度までにフリーの道路データであるOpenStreetMap (<http://osm.jp/>) をもとに、知的マルチエージェント交通流シミュレータMATESのフォーマットで東京都区部の道路ネットワークデータを構築した。加えて、大規模シミュレーションを実施するにあたり交通流シミュレーションのボトルネックとなりうる箇所についての調査を実施した。

特定された主なボトルネックを解消する改良を今年度を実施し、シミュレーションの実行速度の向上が確認された (図10)。



〈図10. MATESの実行速度の向上〉

さらなる高速化のためにはシミュレータの並列化あるいは交通流のモデルの簡略化が必要である。並列化に関して、昨年度までは既存研究をもとにRecursive Coordinate Bisection

を利用していたが、道路ネットワークの特性を考慮し、今年度はより効率の良いグラフ分割法を採用した研究開発を行った。また簡略化に関して、**queue**モデルを利用したメゾスコピックな交通流シミュレーションのモデルについての研究開発を行った。交通流現象の巨視的な特性を維持したまま、その微視的な挙動を簡略化することで、これまで使用してきたシミュレーションモデルの**100倍以上**の高速化が可能になることが判明した。

上記と並行し、最終年度の成果に向けて地図データの再整備を実施した。他のインフラモデルとの協調を考慮し、対象範囲を拡張するとともに不要な細街路を削除した道路ネットワークを構築した（図11）。

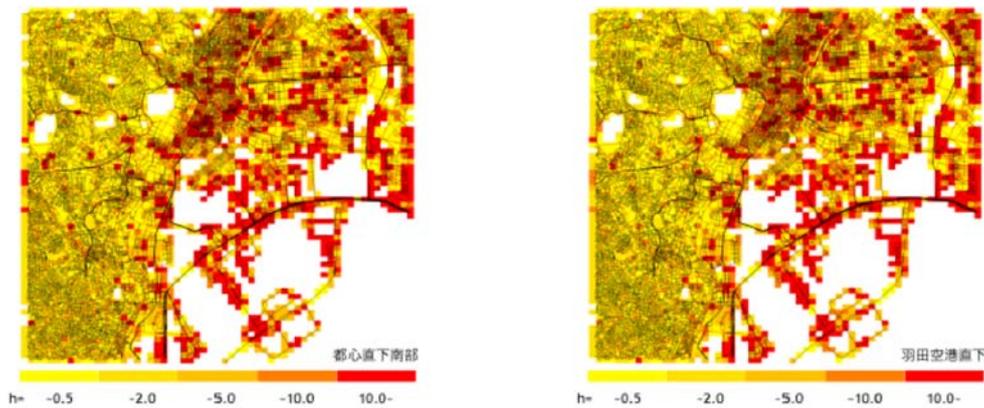


〈図11. 東京23区全体の道路ネットワーク（細街路を除く）〉

（3）上水道システムのシミュレーション分析

東京都防災ホームページで公開されている「首都直下地震等による東京の被害想定」に従い、上水道網の被害予測を行った。H26年度までに推定した上水道網に加え、H27年度は新測地系緯度経度に基づいた地域メッシュ分割を導入することにより、内閣府中央防災会議においてオープンデータとして公開されている液状化データ、震度データを利用可能とし高度な被害予測を実現した。これらの想定に基づく1/4地域メッシュ（約250m四方）での被害予測結果を図12に示す。中央防災会議のデータを直接利用可能としたことにより、様々な震源に対する被害予測を容易に可能とした。

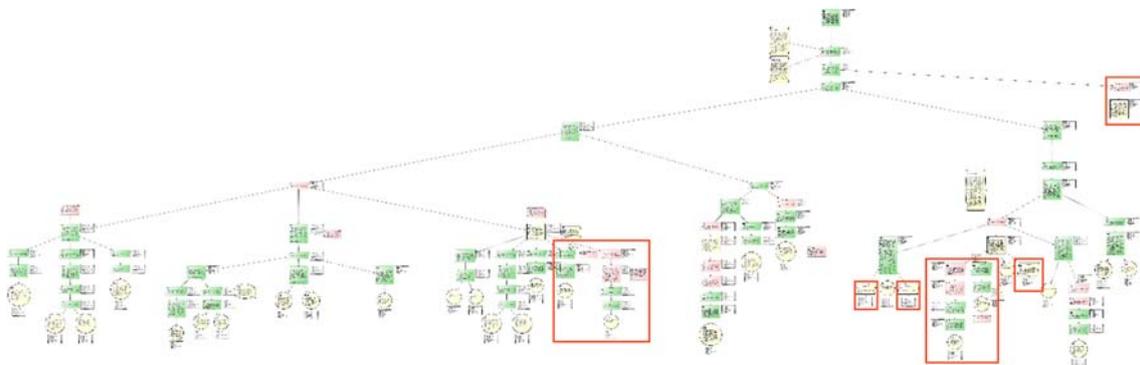
以上により、これまで開発したシミュレータによって東京都区部の主要地区の詳細な地震災害時の上水道網被害予測が可能であることを示した。H28年度はこれらの成果を踏まえ、上水道網復旧戦略の検討等が可能となるようシミュレーションシステムの拡張を行う計画である。



〈図12. 東京都区部主要地域の上水道網被害予測図〉
左：都心直下南部、右：羽田空港直下

（４）危機管理政策議論のレジリエンス分析

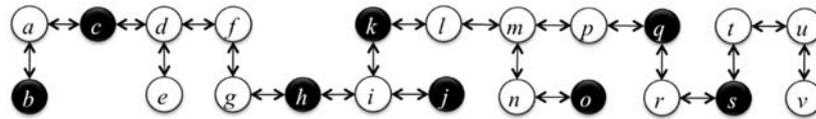
撤回可能ゴール構造表記法を用いて、当危機管理政策についての議論の論理構造を可視化した。論理構造に現れる命題の例外や提案の副作用など指摘を危機管理政策の専門家に依頼し、議論の補足を行った。図13は撤回可能ゴール構造表記法を用いて可視化した議論の論理構造である。赤枠内は専門家によって補足された部分である。



〈図13. 政府の危機管理組織の在り方についての議論の論理構造〉

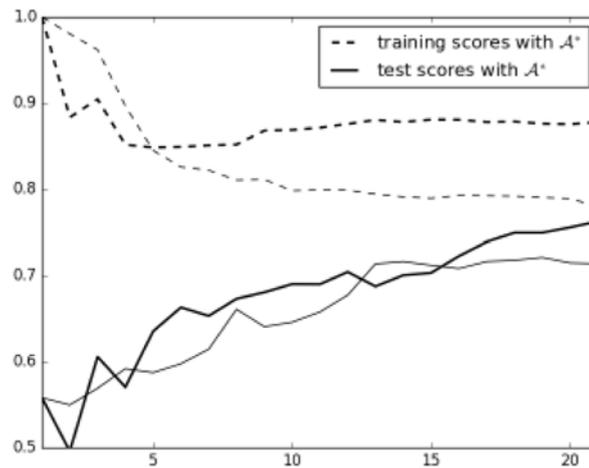
図13の木構造の根にある命題「政府における統一的な危機管理対応官庁の創設等中央省庁レベルでの抜本的な組織体制の見直しを行なうべき積極的な必要性は、直ちには見出しがたい。」に関する頑健性、冗長性、臨機応変性、迅速性の値は専門家の補足前後でそれぞれ0→0, 14→0, 10→10, 34→62と変化した。元々の議論が十分ならば専門家の介入は値をさほど変化させないはずである。しかし冗長性は低下した。これは元々の議論において立証したい命題を支持する代替案についての検討が不十分であることを意味する。専門家の介入は頑健性を変化させなかったが、頑健性の弱い箇所への専門家による反証があったことからより時間をかけた分析は頑健性に変化をもたらす可能性が示唆された。

つぎに、22個の論証からなる議論を29名の被験者に見せ、各被験者から各論証に対する賛否をアンケート調査で得た。図14は取得した議論構造とある被験者の意見である。



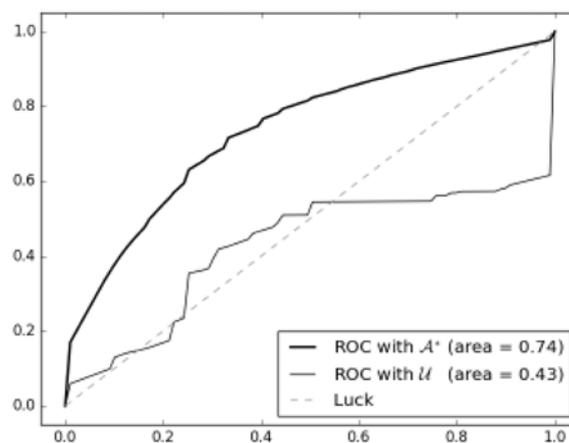
〈図14. 議論構造と被験者から取得した受理可能性の意見〉

一つ抜き交差検定法で精度 (accuracy) 76.22% (図15参照)、AUC (area under ROC curve) 0.74 (図16参照) の中程度 (fair) の結果を得た。図15において実線はテストデータにおける精度、点線は訓練データにおける精度を表す。図15、16において太線は議論に基づく受理可能性学習の結果、細線はベースライン (論証の発言者の観点から分類) の結果を表す。これらの結果より、議論に基づく教師あり受理可能性学習は実際の危機管理政策議論の分析において有効であるという示唆を得た。



〈図15. 学習曲線〉

横軸は学習に使用した訓練例数を表し、縦軸は精度を表す

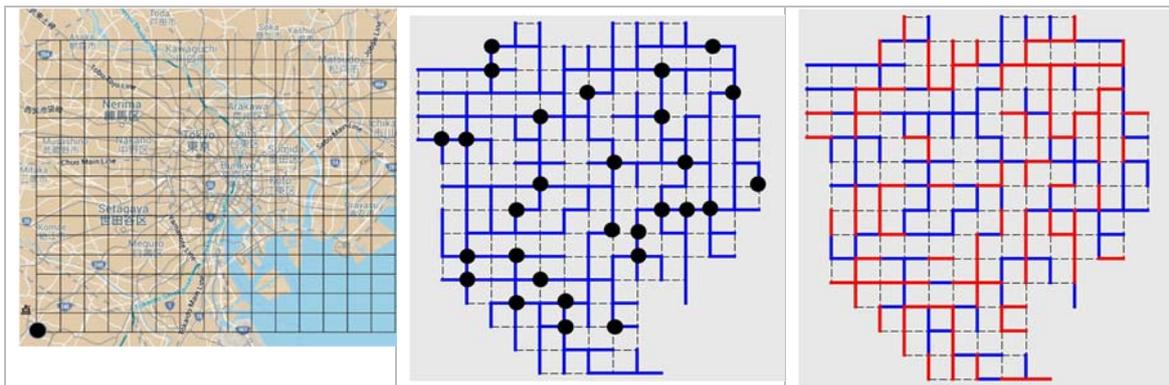


〈図16. ROC曲線〉

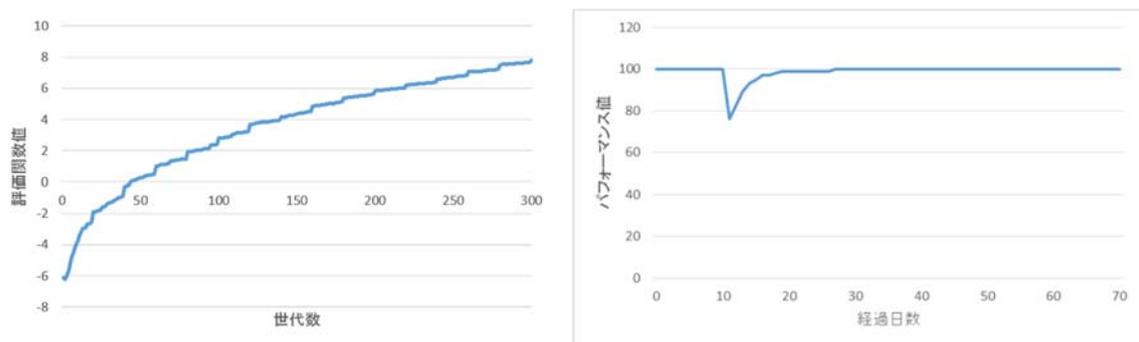
横軸は偽陽性率を表し、縦軸は真陽性率を表す

(5) 複合相互依存性モデリング

対象とする東京23区に格子ネットワークをマッピングしたもの（図17、左）、及び上水道インフラを格子モデルにマッピングした例（図17、中央、右）を示す。上水道に関するデータは東京都水道局が作成している事業概要の中の水道水源と水系別給水区域概要図を基に作成した。図（中央）の黒丸は給水所と浄水場を表している。青色のラインが水道管ネットワークを表している。右図の赤色で示されたリンクは東京都南部を震源とする首都直下型地震が発生した際の被災リンクを表している。同様のライフラインネットワークを他のライフラインについても作成した。図18に動作検証のための復旧シミュレーションの結果を示す。左図は遺伝的アルゴリズムによる復旧計画の最適化に用いた目的関数の収束状況を示しており、左図はライフラインインフラ全体の復旧過程を示している。目的関数の収束過程が観察されることが最適計画下での復旧曲線が観察されることから東京23区モデルを用いたシミュレーションが適切に行われていることが確認できた。



〈図17. 格子ネットワークによる東京23区のマッピング〉



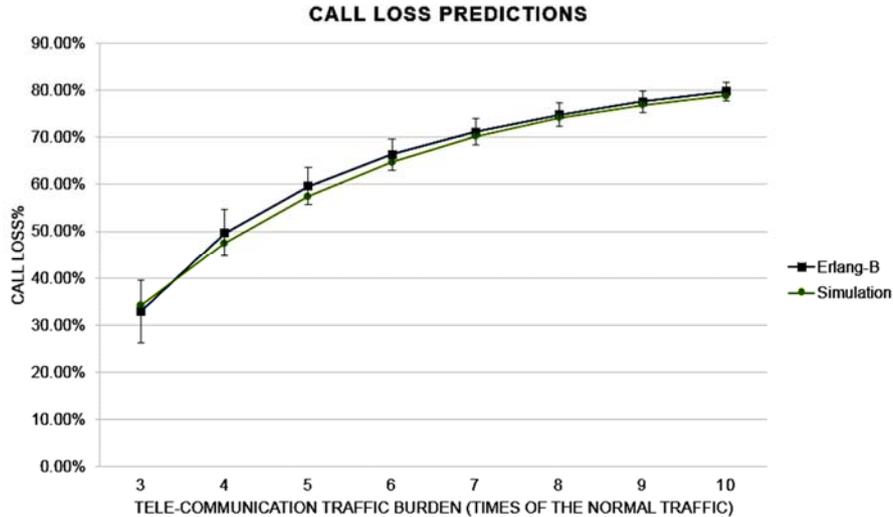
〈図18. シミュレーション結果例〉

左：GA収束過程、右：ライフライン復旧

(6) 固定電話網のレジリエンス分析

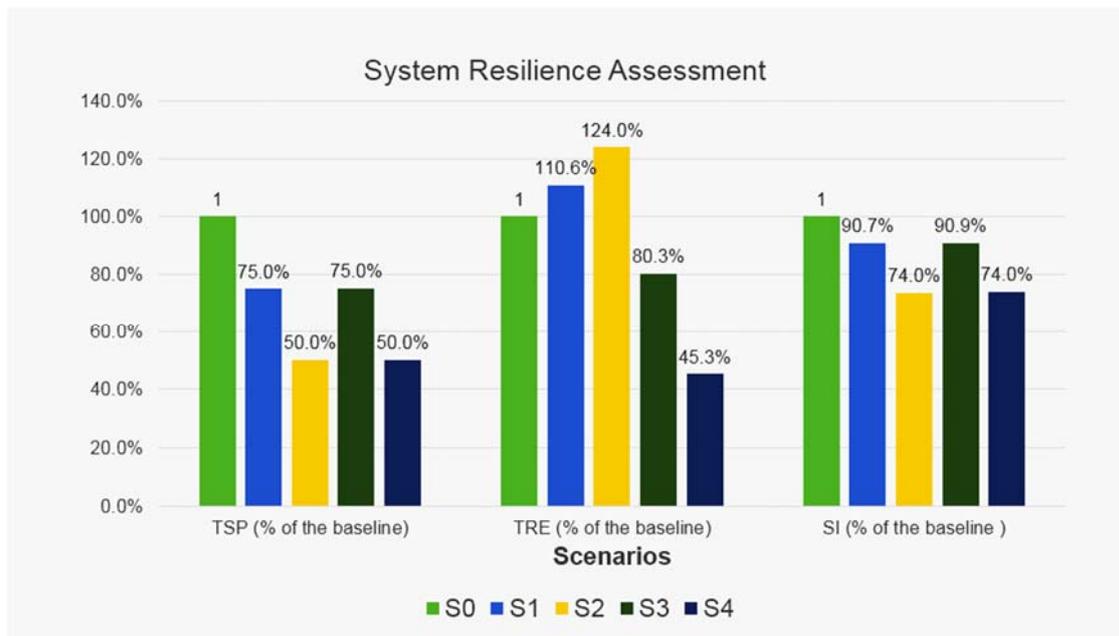
図19は呼損率についてキャリブレーションを終えた後のモデルを用いてシミュレーションした結果を、理論的に求められるアーランB式による予測と比較したものである。図から

わかるように、アーランB式による予測と良い一致を示しており、モデルの妥当性が示された。



〈図19. アーランB式との比較によるモデル検証〉

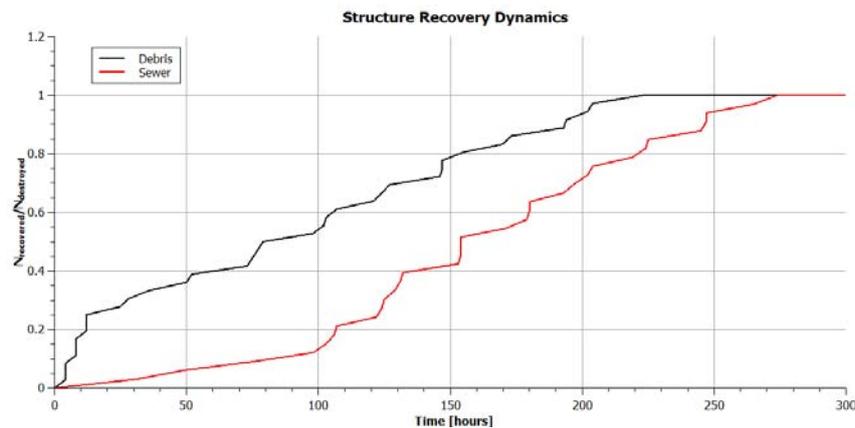
このモデルを用いて4つのシナリオの下にシミュレーションを実施し、結果を比較したのが図20である。同レベルのTSPと時間で比較したところ、通話時間規制の方が通信量規制よりも同レベルのSIの改善をより少ないTREで達成できることがわかる。この結果が意味するところは、ダメージからの回復努力の社会的コスト、すなわち、通信規制のために電話ユーザが被る不便が軽いということである。今後、異なるSI分布におけるTREの変化についても分析する必要がある。



〈図20. 通信規制の方法についてのレジリエンス比較〉

(7) リアクティブなインフラ復旧計画

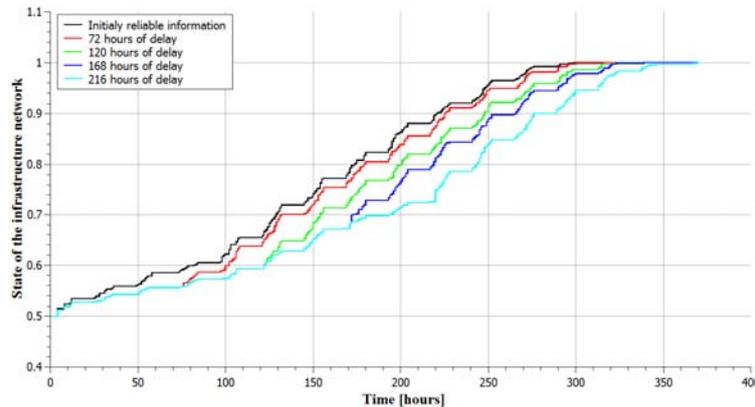
提案手法をテスト例題に適用することにより、まず完全情報下での計画能力を確認した。その結果、本手法によって対象地域全体におけるマクロな復旧計画ばかりでなく、個々のインフラのミクロな復旧計画も適切に作成できることが確認できた。一例として、図21は瓦礫撤去（道路）と下水道の機能回復曲線を比較したものである。瓦礫撤去は復旧チームの移動を左右するので、他のインフラの復旧に先行して実施されなければならないところ、適切な優先順位の基準を用いることによってこれが自然に実現されていることがわかる。



〈図21. 瓦礫撤去と下水道の機能回復曲線の比較〉

つぎに、不完全情報下における計画能力を検証するため、最初は各インフラの破損情報のうちの1/3を不明として、一定時間の経過後になって入手可能となるシナリオでシミュレーションを行った。完全情報が入手できる時間は、発災から72時間、120時間、168時間、216時間後と変化させた。

シミュレーション結果を図22に示す。完全情報の到着が遅れるに従って、復旧完了も最初から完全情報が入手できた場合に比較して遅れるが、72時間遅れのケースでは最初から完全情報が得られる標準ケースとほぼ同じタイミングで復旧が完了している。しかし、これよりも情報入手が遅れる3ケースでは、復旧完了が標準ケースよりも遅れるが、遅れ時間は情報の入手遅れ時間よりも短い。たとえば、完全情報が216時間遅れる最悪のケースにおいて完全情報が入手できてから復旧作業に入った場合、復旧は当然216時間遅れるが、提案手法では標準ケースより146時間しか遅れておらず、70時間の節約になっている。これは、当面破損がわかっている個所から復旧を始めると言う臨機応変な意思決定のメリットが現れたものである。このように、リアクティブな意思決定は不完全情報下においてもロバストな復旧計画に有効であることが示された。



〈図22. 不完全情報下における機能回復曲線〉

(8) 危機管理機能の組織制度設計

① 英国の緊急事態対処の運用実務

Lead Government Department (主導省庁、LGDと略記) システムとは、イギリスの中央省庁が民間緊急事態法 (Civil Contingencies Act 2004: CCA2004) を実効的に運用し、特に緊急時において縦割りの行政を横断して対応するための仕組みである。またこれは科学的根拠に基づく国家リスクアセスメント (NRA) とも関連したシステムである。通常は、各省庁がその所管事務の対応責任を負うので、危機管理についても政策形成や所管事務に影響を与える事態の監視を含めた効果的な危機管理運用について、省庁ごとに議会に説明責任を負っている。LGDとなった場合でも、その省の大臣 (政策分野別に複数任命されている) や関連する他省庁の大臣にブリーフィングを行い、メディアや議会对応を行い、地域の対応部隊に必要な政策調整や支援を行う。関係する省もLGDを補助するが、あくまでも (議会への説明を含めた) 一義的責任はLGDにある。これらはイギリス政治システムの特徴である、議会における連帯の原則と、公選政治家である大臣が各省の最終的な責任を負うという原則 (大臣責任制) に基づくものである。

内閣府の民間緊急事態事務局が全27カテゴリー、合計46の事態 (2009年3月時点) におけるLGDリストを管理、LGDシステムに特化した運用等のガイダンスを作成するとともに計画、緊急対応、回復の各段階のLGDに幅広いサポートを行っている。なお多くの場合、事態が推移するに伴い新たな課題が発生したり、求められる専門性が変化してくるので、緊急対応段階と回復段階のLGDは異なってくることになる。回復段階のLGDの役割については、緊急対応段階より詳細に規定されていることから、これを単に平時への移行期間としてではなく非常に重要な段階と捉えていることが窺える。

緊急対応段階から回復段階への移行がどのタイミングで行われるかは状況に左右されるが、1)危機が封じ込められ再発のリスクは小さい、2)市民の安全確保措置がとられ、効果的に機能している、3)回復グループが設置され国レベルで機能している、4)回復調整グループが地方自治体レベルでも設置され機能している、の点が考慮されるべきとし、内閣府との協議のもと両LGDの合意により移行のタイミングは正式決定される。

② 首都機能の危機管理の問題構造

首都機能の危機管理の観点から、東京都は以下の大きく2つの点において、その機能を発揮できない状態となっていると考えられる。まず、国全体の一般的事情（国全体や他の自治体とも共有する問題点）として、(1)オールハザードの観点では、国家政府における分担管理体制（＝内閣府防災、内閣官房危機管理、実働4省庁）と、地方政府における統合的管理体制、という異なる体制があること、(2)国民保護法が対応する事態についても、平時における準備は内閣官房の危機管理担当、国家安全保障局、各国民保護計画を管轄する総務省、国内治安・インテリジェンスを担う警察庁、防衛省／自衛隊、外務省、と責任が分散していること、(3)自治体の統合的管理体制の中では、ボトムアップの自治事務である「防災」の中にトップダウンの法定受託事務である「国民保護」が取り込まれていること、が挙げられる。次に、東京都に特殊な事情として、(1)首都機能（e.g. 国家の中核インフラの集中）を担う広域自治体としての特殊性を反映した国民保護の制度・政策が欠如していること、(2)首都である都には中核インフラを担う指定公共機関が集中しており、各機関に防災業務計画・国民保護業務計画が義務付けられているが、東京消防庁（および警視庁）はこれら各指定公共機関と個別に連携・訓練等を行うのみで、都の総合防災部（国民保護含む）がこの全体を統括している訳ではないこと、(3)一方、東京消防庁は特別区全体を管轄する単一の消防であるため、各区の防災担当課（国民保護含む）との連携がなく、特に人口というリスクに対応した文民保護（実質的には消防が担う可能性が高い）も困難になる。上記とあわせ、都全体での避難誘導や文民保護（特に中核インフラに携わる民間人の保護）の計画がないこと、が指摘できる。

以上の点から、首都機能の危機管理の問題構造を整理する本研究の暫定的な見通しとして、以下の二重の齟齬（ギャップ）の存在が指摘される。①防災と国民保護と、異なる2系統の危機管理体制を持つ国と、基本的には防災の観点から一本化された危機管理体制（その中で国民保護はサブ的な位置づけ）の都の間の齟齬。②一般的な広域自治体の一つとして法制度により都に規定された危機管理の義務・権限と、都の特殊な政治・経済・社会上の実態（e.g. 首都機能を持つ、特別区制度、等）に即した機能・役割の間の齟齬。

(9) 重要インフラ防護・レジリエンス強化のための政策・制度設計

① 英国の重要国家インフラ（CNI）のレジリエンス：官民関係による運用

インフラの危機管理は各事業者が一義的な責任を有する上、機微情報等の観点からセクター横断的な対応には大きな壁が存在する。そのため政府が介入することでこうした壁を克服しようとする取り組みが行われている。2010年より、全インフラ分野の中から優先度の高い9つの重要セクターが選定され、それぞれの所管の省庁がセクターの脆弱性およびリスクの把握を行うセクターレジリエンス計画を毎年策定し、省庁横断的にとりまとめられている。重要セクターの選定は毎年見直され、2015年現在は13セクター（①化学、②民間原子力利用、③コミュニケーション（通信、インターネット、放送、郵便）、④防衛、⑤緊急対応サービス（警察、消防&救助、救急）、⑥エネルギー（石油、ガス、電力）、⑦金融、⑧食品、⑨政府、⑩保健、⑪宇宙（地上基地および宇宙基地システム）、⑫交通、⑬上下水道）である。セクターレジリエンス計画は非公開であるが概要版が毎年公開される。

CNIのレジリエンスは、インフラに関するNSC小委員会（THRC(O)）、セクターレジリ

エンス計画、大臣級年次レジリエンスレビュー、インフラ安全に関する業界フォーラムというセクター間やこれを所管する省庁間を調整するための仕組みから成り、その中核が国家安全保障会議（NSC）に設置されたTHRC(O)で、国家安全保障顧問が議長を務め省庁横断的に全てのCNIセクターの所管省庁の首席担当官が出席し、各セクターの安全保障やレジリエンスに関する特定の措置の必要性、新たな脆弱性、脅威やリスクが顕在化している特定課題等について長期的な観点から協議され、省庁横断的なリソースの配分と優先順位づけを決定・合意する。セクター横断的なフォーラムは年2回開催され、通常は相互に交流の少ない、エネルギー、交通、水道、情報通信、化学、原子力、防衛等全てのセクターの各事業者から、危機管理担当者やBCP担当者、専門家が計160名ほど参集し、分野横断的なベストプラクティスの共有などが行われる。

② レジリエンス強化に向けた戦略的フォーサイト活動

国家のリスクマネジメント・緊急事態対処能力の開発・改善が一層重要課題となる状況において、その基盤として将来社会の姿を俯瞰的に洞察する活動とその能力の醸成が必要となっている。

米国国土安全保障省の米国連邦緊急事態管理庁（FEMA）では、絶えず変化する社会において将来、緊急事態管理に関わるコミュニティは何が必要となるか、社会変化がどのような影響を及ぼすか等を思考する活動として戦略的フォーサイト・イニシアティブが実施され、2030年シナリオを作成し、今後20年程度を見通した時に備えるべき緊急事態管理での基本的能力、革新的なモデルとツール、そしてダイナミックなパートナーシップについて検討している。また英国では現在、国防省や環境省など多くの政府機関が独自のプログラムの下ホライズンスキヤニング及びフォーサイト活動を実施している（内務省や内閣府CCSなどはHSCの支援を受け活動している）。王立協会は内閣府あるいは各省庁に対する科学的知見に基づいた助言や研究支援活動、情報交換を行っているが、政府科学局との間ではフォーサイト・プロジェクトやホライズン・スキヤニング・センター等と連携し将来予測をインフラ防護やレジリエンス強化についての政策に応用させている。また近年は、特に自然災害による脅威への対応を、国内のみならずグローバルな観点からレジリエンス政策に反映させており、長期的な気候変動、異常気象の予測や影響について、国際機関や各国政府・研究機関とも連携し、都市化やインフラ耐久性の観点、あるいはイノベーティブなインフラの開発による防護といった適応の観点からの助言・勧告を行っている。

(10) 海外訪問調査

① 英国・内閣府（Cabinet Office）

訪問部署：Civil Contingencies Secretariat（CCS）

訪問日時：平成27年10月27日（火）14:30-16:30

訪問者：谷口、太田

<英国の主導省庁（LGD）システムについて>

イギリスにおけるオールハザードおよび政府一体型の危機管理・緊急事態対応の基本的枠組みである民間緊急事態法（Civil Contingencies Act 2004: CCA2004）を補完する制度

の一つとして、主導省庁（Lead Government Department: LGD）システムがある。これは中央省庁が緊急時において縦割りの行政を横断して対応するための仕組みであり、国家リスクアセスメント（NRA）とも関連したシステムである。LGDシステムは、CCAが地域の災害や事故等の一義的な対応者と定める緊急対応部隊では対応できないような、英国全体に影響する様々な緊急事態に対応する計画、緊急対応、復旧について中央省庁の役割分担とリーダーシップを定めたものであり、予め、どの省庁が主な緊急事態のカテゴリー（全27カテゴリー、合計46の事態）に対して主導的責任を負うかがリスト化されている。このリストが政府のあらゆるレベルで各機関に共有されることで、様々な種類の危機について、その計画・緊急対応と復旧の各段階でどの省庁が主導となるかが広く認知されている。

内閣府民間緊急事態事務局（CCS）はCCS2004を所管し、レジリエンス・危機管理全般の政策形成とLGDシステムを含む省庁横断的な調整を担う。特に、各省庁が担当する個別分野を超える形で、首相や内閣府のレジリエンス政策担当大臣が特定する優先課題を実行し、財務省とともに各省庁の危機管理を監督しリーダーシップをとる。また中央政府と地域で危機対応を行う地方自治体や各種行政機関との連携については、コミュニティ地方政府省（Department of Community and Local Government）のレジリエンス危機管理部署（Resilience and Emergencies Division: RED）が中央政府の窓口となっており、CCSと地域の現場との調整の多くもこのREDを通じて行われる。

<英国の重要国家インフラ（CNI）防護・レジリエンスについて>

2007年にイングランド全域を襲った大洪水の対応を調査するため政府によって設置された調査委員会報告書（Pitt Review）の勧告により、重要国家インフラのレジリエンス強化のため、各インフラセクターを所管する主務官庁と内閣府CCSとの連携体制が整えられた。現在、イギリスのCNIの防護・レジリエンスの取組みは、大きく分けて4つの部分から成り立っている。第一に中核となっているのが、国家安全保障会議（NSC）に設置された、インフラのセキュリティとレジリエンスに関するNSC小委員会である。非常にハイレベルの会議であり、省庁横断的なリソースの配分とそのための優先順位づけを決定する。第二は様々な異なる特性を持つセクター間で優先順位づけを行うためのセクターレジリエンス計画（Sector Resilience Plan、非公開だが概要版は公開）である。これは全インフラ分野の中から横断的に優先度の高い重要セクターが選定され、それぞれの所管の省庁が当該セクターの脆弱性およびリスクの把握を行い、省庁横断的に毎年とりまとめられている。重要セクターの選定は毎年見直され、2015年現在は13セクター（①化学、②民間原子力利用、③コミュニケーション（通信、インターネット、放送、郵便）、④防衛、⑤緊急対応サービス（警察、消防&救助、救急）、⑥エネルギー（石油、ガス、電力）、⑦金融、⑧食品、⑨政府、⑩保健、⑪宇宙（地上基地および宇宙基地システム）、⑫交通、⑬上下水道）である。第三は内閣府のレジリエンス政策担当大臣による大臣級年次レジリエンスレビュー（Ministerial Annual Resilience Review）である。CCSのCNIチームの助言により同担当大臣自身が重要と考える特定セクターや特定課題について取りまとめられたもので、優先的に取り組まれる。第四はインフラのセキュリティとレジリエンスに関するセクター横断的なフォーラム（年2回開催）であり、通常は相互に交流の少ない、各セクターの各事業者の危機管理担当者が参集し、分野横断的なベストプラクティスの共有などを行う。

② 英国・ロンドンレジリエンスチーム (London Resilience Team)

訪問部署：London Resilience Team, London Fire Brigade

訪問日時：平成27年10月28日（水）13:00-15:00

訪問者：谷口、太田

CCA2004では、緊急事態対処の基本は地域における対応であるとしており、その平時における地域版リスクアセスメントや緊急対応計画策定の責任主体として、全国の警察の管轄区域ごとにローカルレジリエンスフォーラム (Local Resilience Forum: LRF) を指定している (イングランド内に38ヶ所、うちロンドンに1ヶ所)。LRFは、CCA2004のカテゴリー1レスポnderである地域の警察、消防、NHS、自治体等のマルチエージェンシーによって構成され、カテゴリー2レスポnderの交通事業者やユーティリティ企業等によって支援されるほか、軍やボランティア団体等とも連携する。LRFは地理的な災害や緊急事態に備え、地域コミュニティのために、これらの潜在的リスクの把握、予防と影響緩和のために、緊急対応計画の策定と準備を担う。緊急時には、LRFから緊急対応部隊 (警察、消防、救急) を中心とする戦略調整グループ (Strategic Coordination Group) にオペレーションが移され、対応が行われる。

LRFは全国一律のシステムではありながら運用についてはその地域ごとの特色を反映したものとなっている。首都機能を有するロンドンにおいては、その危機管理ガバナンスの特色である、3つの独立した警察、自治権を持つ33の区、都市計画や危機管理に関する戦略を担う大ロンドン議会及びロンドン市長を含む170以上の機関 (パートナーシップ団体) がそのLRF (ロンドンレジリエンスフォーラム) を構成しており、共に計画を策定し地域版リスクアセスメントを行う。戦略計画はロンドンレジリエンスプログラム理事会によって策定・管理され、理事会の下には能力開発やリスク評価を行ういくつかのワーキンググループが置かれている。計画策定や緊急対応を実際に調整する事務局として、ロンドン消防局内に、消防局を中心に警察、救急サービス、国民保健サービス、環境機構などの機関から派遣されたスタッフによるロンドンレジリエンスチーム (LRT) が設置されている。なおLRFを通じたロンドンの危機管理のガバナンス・体制整備が発展する大きなきっかけとなったのが2012年のロンドンオリンピック・パラリンピック開催であり、この経験を通じて現在、各種インフラの相互依存性とそれに基づく脆弱性を可視化する取り組みが行われている。

③ 英国・王立協会 (Royal Society)

訪問部署：Energy, Environment and Climate

訪問日時：平成27年10月28日（水）15:30-17:00

訪問者：谷口、太田

イギリスの科学団体の頂点に位置する王立協会は、主に政府科学局 (Government Office for Science) との緊密な連携の下、内閣府あるいは各省庁に対する科学的知見に基づいた助言や研究支援活動、情報交換を行っている。政府科学局との間ではフォーサイト・プロジェクトやホライズン・スキニング・センター等と連携し将来予測をインフラ防護やレジリエンス強化についての政策に応用させている。また近年は、特に自然災害による脅威

への対応を、国内のみならずグローバルな観点からレジリエンス政策に反映させており、長期的な気候変動、異常気象の予測や影響について、国際機関や各国政府・研究機関とも連携し、都市化やインフラ耐久性の観点、あるいはイノベティブなインフラの開発による防護といった適応の観点からの助言・勧告を行っている。英国国内では、自然災害に対する科学技術の知見を国際的な開発分野に応用するために、14の政府機関と科学研究助成機関の協働団体であるUK CDS (Collaborative on Development Sciences)という取組みを開始させている。

④ 元英国政府首席科学顧問 (Chief Scientific Advisor)

訪問部署：Oxford Martin School (London office)

訪問日時：平成27年10月29日（木）10:30-11:30

訪問者：谷口、太田

労働党ブラウン政権から保守党キャメロン政権にかけて政府首席科学顧問 (GCSA) を務めたBeddington卿は、現在に至る英国の緊急事態における科学的助言のシステムの構築に大きな貢献を果たした。すなわち、平時には個々の省庁とその首席科学顧問が危機の提言と評価について協議し、これら20名の様々な科学的バックグラウンドを持つ首席科学顧問が政府科学局にて毎週会合を開催し、最新の知見と情報の共有を行う。緊急時にはCOBRが招集されて政府首席科学顧問、各省の首席科学顧問、外部有識者、LGDにより構成される緊急時科学的助言グループ (SAGE) がアドバイスを行うという体制である。緊急事態の内容により招集されるSAGEのメンバーは異なるが、単一のレポートを政府に提出する（意見がまとまらない場合はマイノリティレポートが添付される）。これまで鳥インフルエンザ、アイスランドの噴火、大規模洪水について3回招集されている。

また政府首席科学顧問は政府科学局を通じ、イギリス社会の20～80年後をターゲットとした将来予測を行うフォーサイト (Foresight) という部署を指揮する立場にある。フォーサイトでは近年、Policy Future Projectとして食品セキュリティや国際移民問題などの個別テーマの将来シナリオについて2年間かけて報告書を作成し、政府の政策判断に影響をもたらしている。

3 - 4. 会議等の活動

| 年月日 | 名称 | 場所 | 概要 |
|----------|------------------|--------------|-------------------------------|
| H27.4.25 | 第6回RISTEX-CIR研究会 | 東京大学 工8号館 | 進捗状況の報告とH26研究開発実施報告のための調整を行った |
| H27.8.28 | 第7回RISTEX-CIR研究会 | 東京大学 工8号館 | 進捗状況の報告 |
| H28.2.23 | 第8回RISTEX-CIR研究会 | 東京大学 工8号館 | 進捗状況の報告と最終年度の研究計画について協議した |
| H28.3.3 | グループリーダー打合せ | 東京大学 工3号館 | 開催予定の専門家ワークショップの内容について検討した |

4. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況

該当なし

5. 研究開発実施体制

(1) モデリング・シミュレーショングループ

- ① 吉村忍（東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻、教授）
- ② 複合インフラシステムのモデリングとシミュレーション
 - ・ モデリング手法の開発
 - ・ シミュレーションによる脆弱性・耐性分析
 - ・ シナリオ共創による脅威シナリオの作成

(2) レジリエンス総合評価グループ

- ① 古田一雄（東京大学大学院工学系研究科附属レジリエンス工学研究センター、教授）
- ② レジリエンスの総合評価と意思決定支援
 - ・ 総合的レジリエンス評価手法の確立
 - ・ 復旧プランニング手法の開発
 - ・ シナリオライブラリーと意思決定支援法

(3) 政策・制度設計グループ

- ① 谷口武俊（東京大学政策ビジョン研究センター、教授）
- ② 市民社会・社会活動の安全に係る政策・制度の選択肢研究
 - ・ 法制度の現状分析・課題の構造化
 - ・ 危機管理機能の組織制度設計
 - ・ レジリエンス強化のための政策・制度設計

6. 研究開発実施者

研究グループ名： モデリング・シミュレーション

| 氏名 | フリガナ | 所属 | 役職 (身分) | 担当する 研究開発 実施項目 | 研究参加期間 | | | |
|-------|-------------|------|------------|-----------------------|--------|----|----|----|
| | | | | | 開始 | | 終了 | |
| | | | | | 年 | 月 | 年 | 月 |
| 吉村 忍 | ヨシムラ シノブ | 東京大学 | 教授 | 統括／モデル構築 と脆弱性・耐性分析 | 25 | 10 | 28 | 12 |
| 大澤 幸生 | オオサワ ユキオ | 東京大学 | 教授 | シナリオ共創による 脅威シナリオ作成 | 25 | 10 | 26 | 9 |
| 和泉 潔 | イズミ キヨシ | 東京大学 | 准教授 | サービスシステム への影響分析 | 25 | 10 | 28 | 12 |
| 藤井 秀樹 | フジイ ヒデキ | 東京大学 | 講師 | シミュレーション システムの開発 | 25 | 10 | 28 | 12 |
| 山田 知典 | ヤマダ トモノリ | 東京大学 | 准教授 | 内的・外的脅威分析 | 25 | 10 | 28 | 12 |
| 木藤 浩之 | キドウ ヒロユキ | 東京大学 | 助教 | シナリオ共創による 脅威シナリオ作成 | 26 | 10 | 28 | 12 |
| 川島真希子 | カワシマ マキコ | 東京大学 | 研究補 佐員 | 解析補助・データ整理 | 27 | 5 | 27 | 12 |

研究グループ名： レジリエンス総合評価

| 氏名 | フリガナ | 所属 | 役職 (身分) | 担当する 研究開発 実施項目 | 研究参加期間 | | | |
|----------------------------|------------------------|------|------------|----------------------------|--------|----|----|----|
| | | | | | 開始 | | 終了 | |
| | | | | | 年 | 月 | 年 | 月 |
| 古田 一雄 | フルタ カズオ | 東京大学 | 教授 | 統括／評価基準の 策定 | 25 | 10 | 28 | 12 |
| 菅野 太郎 | カンノ タロウ | 東京大学 | 准教授 | 重要インフラレジ リエンスの総合評 価 | 25 | 10 | 28 | 12 |
| 小宮山涼一 | コミヤマ リョウイチ | 東京大学 | 准教授 | エネルギーシステ ムのレジリエンス 分析 | 25 | 10 | 28 | 12 |
| 晁 丁丁 | チョウ テイテイ | 東京大学 | 助教 | 電話通信システム のレジリエンス分 析 | 27 | 9 | 28 | 12 |
| Lubashevsk iy Vasily | ルバシェフ スキー ヴ ァシリー | 東京大学 | 特任研究 員 | 復旧プランの最適 化手法の開発 | 26 | 11 | 28 | 9 |

研究グループ名： 政策・制度設計

| 氏名 | フリガナ | 所属 | 役職 (身分) | 担当する 研究開発 実施項目 | 研究参加期間 | | | |
|-------|--------------|------|------------|-----------------------|--------|----|----|----|
| | | | | | 開始 | | 終了 | |
| | | | | | 年 | 月 | 年 | 月 |
| 谷口 武俊 | タニグチ タケトシ | 東京大学 | 教授 | 統括／政策・制度選 択肢の創出、評価 | 25 | 10 | 28 | 12 |
| 三國谷勝範 | ミクニヤ カツノリ | 東京大学 | 教授 | 政策・制度選択肢の 創出、評価 | 25 | 10 | 27 | 2 |
| 佐藤 智晶 | サトウ チアキ | 東京大学 | 特任講 師 | 危機管理組織の制 度設計 | 25 | 10 | 27 | 3 |
| 畑中 綾子 | ハタナカ リョウコ | 東京大学 | 特任研 究員 | 緊急事態の法制度 調査 | 25 | 11 | 27 | 3 |
| 太田 響子 | オオタ キョウコ | 東京大学 | 特任研 究員 | 国内外の政策・制度 の調査分析 | 26 | 2 | 28 | 9 |
| 小野 理恵 | オノ リエ | 東京大学 | 研究補 佐員 | 調査資料翻訳・整理 | 26 | 9 | 27 | 9 |

(参考) 研究開発の協力者・関与者

| 氏名 | フリガナ | 所属 | 役職 (身分) | 協力内容 |
|-------|--------------|--------------------|------------|---------------------|
| 城山 英明 | シロヤマ ヒデアキ | 東京大学公共政策大 学院 | 教授・院長 | 政策・制度選択肢の総合 評価 |
| 浦嶋 将年 | ウラシマ マサトシ | 鹿島建設株式会社 | 専務執行役員 | 官民連携等、COCNとの 協力 |
| 畑中 綾子 | ハタナカ リョウコ | 東京大学高齢社会総 合研究機構 | 特任研究員 | 緊急時医療法制度に関す る検討 |
| 岸本 充生 | キシモト アツオ | 東京大学公共政策大 学院 | 特任教授 | 産業施設災害への対応制 度の検討 |

7. 関与者との協働、研究開発成果の発表・発信、アウトリーチ活動など

7 - 1. 主催したイベント等

| 年月日 | 名称 | 場所 | 規模 (参加人数等) | 概要 |
|------|----|----|---------------|----|
| 該当なし | | | | |

7 - 2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など

(1) 書籍、DVDなど発行物

該当なし

(2) ウェブサイト構築

該当なし

(3) 招聘講演

- T. Taniguchi (The University of Tokyo) “Institutional Challenges for Building and Maintaining A Secure and Resilient Japan”, 3rd Deans Forum Workshop on Resilience Engineering, Tokyo, November 30, 2015
- 古田一雄 (東京大学) 「レジリエンス工学：リスクマネジメントのシステム論的展開」 エネルギー・資源学会第5回政策懇話会，東京，2016年1月15日

(4) その他

- 太田響子 (東京大学) 「オリンピックという緊急事態」東京大学政策ビジョン研究センター2016/2/22 コラム <http://pari.u-tokyo.ac.jp/column/column140.html>

7 - 3. 新聞報道・投稿、受賞等

(1) 新聞報道等

- 日刊工業新聞 (2016年3月14日) 28面「深層断面 『想定外』のリスクに備えレジリエンスの研究進む」

(2) 受賞

該当なし

(3) その他

該当なし

7 - 4. 論文発表、口頭発表、特許

(1) 論文発表：査読付き

●国内誌 (0件)

- 該当なし

●国際誌 (1件)

- H. Kido, Y. Ohsawa, K. Nitta (2015) “Paretian Argumentation Frameworks for Pareto Optimal Arguments”, *Journal of Logic and Computation*, doi: 10.1093/logcom/exv012

(2) 論文発表：査読なし

●国内誌 (1件)

- 古田一雄, 菅野太郎 (2016) 「レジリエンス工学の誕生と展望」『システム/制御/情報』60, 1, 3-8, 2016

●国際誌（0件）

該当なし

7 - 5. 学会発表

(1) 招待講演（国内会議0件、国際会議2件）

- K. Furuta, Human-Centered Interdependency Analysis of Critical Infrastructure, 3rd Deans Forum Workshop on Resilience Engineering, Tokyo, November 30, 2015
- K. Furuta, R. Komiyama, T. Kanno, H. Fujii, S. Yoshimura, T. Yamada, Interdependency Analysis of Multiple Lifeline Systems, World Engineering Conference and Convention (WECC) 2015, Kyoto, December 2, 2015

(2) 口頭発表（国内会議5件、国際会議6件）

- 白崎 旬, 藤井秀樹, 吉村 忍（東京大学）「大規模ネットワークを対象とした並列化交通流シミュレーションの性能評価」第20回計算工学講演会, つくば, 2015年6月10日
- 白崎 旬, 藤井秀樹, 山田知典, 吉村 忍（東京大学）「領域分割法を用いた大規模交通シミュレーションの高速化」日本機械学会第28回計算力学講演会, 横浜, 2015年10月12日
- 鈴木 尊, 吉田佑一, 菅野太郎, 古田一雄（東京大学）「複合的相互依存性モデルを用いた災害復旧シミュレーションと東京23区への適用」システム創成学術講演会, 東京, 2016年1月20日
- 松澤宏務, 小宮山涼一, 藤井康正（東京大学）「数理計画法による電力・石油供給レジリエンスの向上策に関する分析」第32回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演会, 東京, 2016年2月3日
- 松澤宏務, 小宮山涼一, 藤井康正（東京大学）「大規模地震リスクに対する首都圏のエネルギー供給レジリエンスに関する経済性評価」平成28年電気学会全国大会, 仙台, 2016年3月18日
- T. Kanno, S. Hong, K. Tanaka, T. Yamashita, S. Sharikura, K. Furuta (The University of Tokyo) “Collaborative Resilience Management - Support System for Collaborative Creation of Disaster Exercise Scenarios”, 6th REA Symposium, Lisbon, Portugal, June 23, 2015
- V. Lubashevskiy, T. Kanno, K. Furuta (The University of Tokyo) “Recovery of urban socio-technical systems after disaster: The reactive method of planning and implementation”, European Safety and Reliability (ESREL) Conference 2015, Zurich, Switzerland, September 8, 2015
- T. Kanno, T. Suzuki, K. Furuta (The University of Tokyo) “Simulation of the Post-Disaster Recovery Process of Urban Socio-Technical Systems”, European Safety and Reliability (ESREL) Conference 2015, Zurich, Switzerland, September 9, 2015
- D. Chao, Y. Watanabe, T. Kanno, K. Furuta (The University of Tokyo) “Resilience Assessment of Telephone Communication Network”, 34th JSST Annual Conference: International Conference on Simulation Technology (JSST2015),

Toyama, October 12, 2015

- N. Mita, H. Uchida, H. Fujii, S. Yoshimura (The University of Tokyo) “Speedup of Dynamic Route Search for Large-scale Microscopic Traffic Simulation”, 34th JSST Annual Conference: International Conference on Simulation Technology (JSST2015), Toyama, October 14, 2015
- K. Furuta, R. Komiyama, T. Kanno, H. Fujii, S. Yoshimura, T. Yamada (The University of Tokyo) Resilience Analysis of Critical Infrastructure”, 10th International Conference on Computer Engineering and Applications (CEA’16), Barcelona, Spain, February 14, 2016

(3) ポスター発表 (国内会議 1 件、国際会議 0 件)

- 太田響子 (東京大学) 「危機管理政策における中央省庁の制度設計：組織編制と調整」日本行政学会2015年度研究会, 那覇, 2015年5月9日

7 - 6. 特許出願

該当なし