2. 脆弱性を視覚化するハザードマップとコストモデルについて

（株）三菱総合研究所 情報通信技術研究本部
村野 正泰　murano@mri.co.jp

（株）三菱総合研究所 情報通信技術研究本部
情報セキュリティ研究部
江連 三香　e-mika@mri.co.jp

（株）三菱総合研究所 情報通信技術研究本部
情報セキュリティ研究部
村瀬 一郎　murase@mri.co.jp

近年の急速な情報社会への移行は，従来は考えられなかったような新しい社会の脆弱性をも生み出した．そのため，高度情報社会において想定し得る社会的リスクを明らかにし，これを最小化するための情報システムに関する基礎的要件や社会的要件を提示することが喫緊の課題となっている．情報通信システム事故の被害に関して，視覚的にその影響を表現し，かつ被害額を明示することにより，情報システムが社会において果たしている役割と危険性を提示することが可能となる．こうした背景の下，我々は，情報システム事故に関するハザードマップとコストモデルを開発している．これらの概要と開発途上で得られた中間成果について報告する．

研究の目的

近年の急速な情報技術の展開がもたらす社会への影響は，生産性の向上や，新しい産業の創出などの効果をもたらすと同時に，従来は考えられなかったような新しい脆弱性を生み出すことになった．そこで，高度情報社会において想定し得る社会的リスクを明らかにし，これを最小化するための情報システムに関する基礎的要件や社会的要件を提示することが喫緊の課題となっている．高度情報社会における脆弱性を視覚化するハザードマップを作成することで，情報通信システム事故の被害が広範に波及していく様子を視覚的に提示することにより，情報システムが社会において果たしている役割とその重要性，またそれと表裏一体の危険性を分かりやすく理解することができるものと期待される．さらに，社会的リスクを可視化できるハザードマップおよびコストモデルは，意思決定者や計画策定者のための教育や対策検討のためのツールとしても有効であるとともに，将来的には定量的な評価に基づく政策立案の支援に用いられることも想定される．

高度情報社会における新たな脆弱性

インターネットをはじめとする情報通信技術の発展は，単に新しい通信メディアの登場というだけにとどまらず，通信コストの劇的な低下，地理的な制約の解消，生産性の向上などを通じて，我々の社会や経済活動を高度化させた．しかし，いくつかの課題も明らかになりつつある．

我々が直面している最も大きな課題は，社会の情報通信システムへの依存度が高まることにより，情報通信システム自体の脆弱性が社会の新しい脆弱性になり得ることである．たとえば，1998 年 10 月 28 日に発生した NTT 東淀川ビル大規模専用回線障害は，現在我々が直面している高度情報社会における新たな脆弱性を端的に示したものである．この事故は NTT 東淀川ビル内の電源装置の故障が原因であるが，これにより関西地方の 2 万回線弱の専用回線が一時不通となり，この影響は多方面に及んだ．たとえば，国土交通省航空局の専用線が使用できなくなり，国内線・国際線あわせて 6 便が欠航し，141 便に 30 分以上の遅延が発生した．さらに大阪府警の 110 番や吹田消防署の 119 番などの緊急通信が不通に

なるなどの影響があった．これ以外にも，証券取引所や銀行などの金融機関や，スーパーなどの流通業にも影響が出たことが報告されている[1]．

この例のように，高度情報社会においては，情報システム関連事故による被害が広域化，複雑化するとともに，その影響も短時間で波及する可能性が高くなってきている．さらに，情報通信システム事故は単独で起こるだけではなく，他の重要インフラとの強い相互依存性を持つため，電力事故が情報通信システム事故につながったり，逆に，金融・運輸など他の重要インフラに影響を及ぼしたりすることで，被害がさらに拡大するなどの恐れがある．

リスクの定量化と視覚化の効果

地震，火山，洪水などの大規模自然災害に対する防災対策の一環としてハザードマップが作成されている．ハザードマップは災害発生時における被害想定を地図上に視覚的にマップすることで，被害の直感的な理解を助けるとともに，効果的な防災対策の策定に有用である．

先に述べたように，情報通信システム事故の被害は広域化する傾向があることから，その被害を可視化し，被害発生状況の地理的広がりを提示することは，技術者ではない政策判断責任者や意思決定者の理解を助ける上で大変効果的であると考えられる．特に，従来の情報通信システム投資の効果や事業継続管理の必要性を意思決定者に対して明確に示すことができなかった点が，投資や対策導入の阻害要因となっていたことが指摘されている．このため，コストモデルによる対策効果の定量化とハザードマップによる視覚化の必要性が高まっている．

従来の研究

近年，諸外国を中心に高度情報社会における情報通信も含む各種の重要インフラに内在されたリスクに関する研究が盛んになってきている．Dunn らは，重要インフラのリスク分析等の研究を以下の種類に分類している[2]．

- セクタ分析（Sector analysis）：重要なセクタの性質──経済的環境，コアプロセス，セクタ間の相互依存性──の分析
- 相互依存性分析（Interdependency analysis）：相互依存性の分類，定量化などの分析
- リスク分析（Risk analysis）：包括的な分析の総体であり，システム特性分析，脅威の特定，脆弱性の特定，対策分析（Control analysis），尤度・確率の決定，影響・被害分析，リスクの決定，対策優先度評価（Countermeasure priority rating），リスクの軽減（Risk mitigation）などを含む
- 脅威評価（Threat assessment）：リスク分析の一部で，マネジメント手法，脅威の現況，IT リスク分析アプローチなどを含む
- 脆弱性評価（Vulnerability assessment）：リスク分析の一部で，攻撃などの脅威に対するリスクに曝されている部分を特定・評価する
- 影響評価（Impact assessment）：リスク分析の一部で，脅威が現実のものになった場合の影響を評価する
- システム分析（System analysis）：シミュレーションツール等を用いた数学的なモデリングを通じて分析を行う

これらは互いに排他的な性質を持つものではなく，研究は複数の性質を兼備している場合が多い．注目すべき動向として，米国においては国土安全保障省および国立研究所が，欧州においては EU が中心となり，政策的観点から大規模なプロジェクトを組んで研究に取り組んでいる．

一方，自然災害大国である我が国においては，特定の自然災害における被害想定を含むリスク分析等の研究が中心である．しかし，自然災害以外の災害を対象として，重要インフラ間の相互依存性を考慮したリスク分析研究としては，日本工学アカデミーの安全専門部会などによる勉強会で検討が実施[3]された実績はあるものの，多くは事例研究や要件分析段階にとどまっている．

本研究は，先の分類のうち，リスク分析，影響評価，システム分析に主な焦点を当てているが，コストモデルによる経済的損失を含む被害推定結果を時系列に算出し，地図上にダイナミックに表示するという点でチャレンジングな試みである．

問題設定とモデルの概要

ハザードマップとコストモデルは，高度情報社会における情報システムの役割や重要性を主張するため，情報システムと重要インフラの関係に焦点を当てている．当面の目標として以下を設定し，これを実現するモデルを検討することとした．

モデル粒度	長所	短所
大	・モデル規模が比較的小さい ・パラメータ決定のためのデータ量が少ない	・モデルの近似精度が低い
小	・高い精度で近似可能	・モデル規模が大きくなる ・パラメータ決定のためのデータ量が多い

表 -1　モデルの粒度と得失

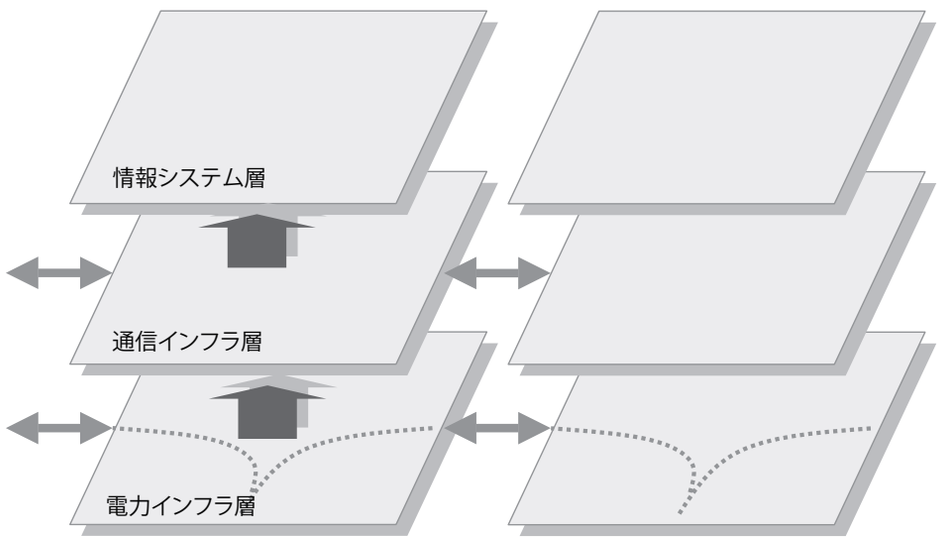

図 -1　重要インフラモデルの 3 層構造

- 情報システム事故が非常に短時間で全国的な影響を及ぼすことへの注目度の向上
- 情報システムの電力インフラへの依存への注意喚起
- 情報システムを中心とした企業活動の首都圏への過度の集中への警鐘

ハザードマップとコストモデルの特徴は，我が国の情報システム全体を俯瞰することにある．そのため，モデルの粒度に関して非常に小さくするのではなく，ある程度の大きさにすることが重要である（表 -1）．具体的には，都道府県をモデルの最小単位とし，それらの関係をシミュレーションするアプローチを採用している．

また，電力インフラへの依存という点に関しては，重要インフラモデルの構造を 3 層構造として表現するとともに，電力障害に起因する事故をシナリオとして採用することで対応した（図 -1）．

企業活動の首都圏への過度の集中に関しては，情報システム層のモデルと，通信インフラモデルにおけるルーティングを東京を中心に構成することで表現している．また，情報システム障害が企業活動に与える影響をコス

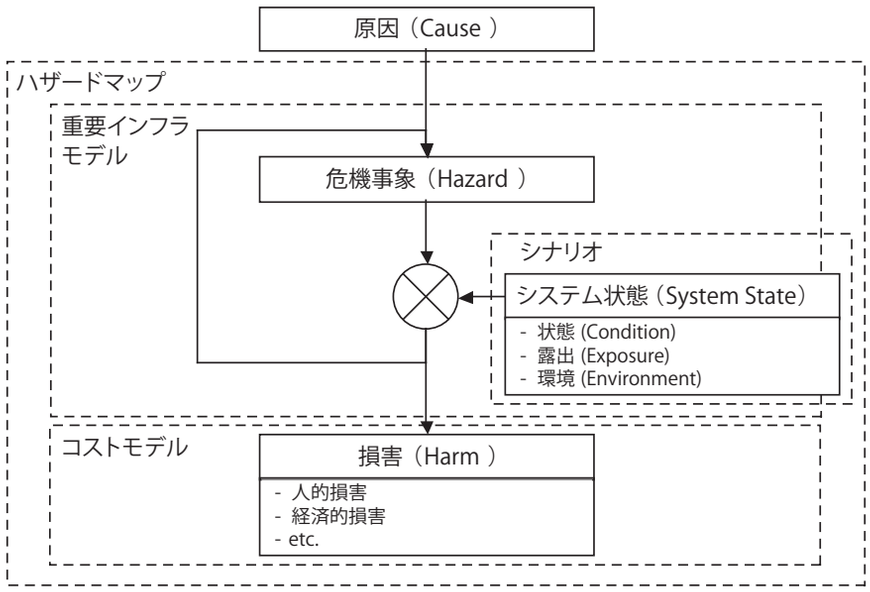

図 -2　重要インフラモデル，コストモデル，シナリオの関係

トモデルとして実装した．

以上，重要インフラモデル，コストモデルおよびシナリオの関係を示す（図 -2）．重要インフラモデルの機能とは，シナリオを入力として，通信インフラおよび情報システムの挙動をコストモデルに対して出力するものである．ハザードマップは重要インフラモデルおよびコストモデルからの出力結果を地図上に表示する．

シナリオおよび重要インフラモデル

◆シナリオ

今回想定したシナリオは以下のようなものになる．

(1) ある地域（現在は県単位）において停電が発生する
(2) 自家発電装置停止後当該地域に含まれる通信局舎の停電，通信停止
(3) 当該地域に含まれる企業において停電，システム停止

◆重要インフラモデル

通信インフラ層

通信インフラ層のモデルは，通信局舎（ノード）および回線から構成される．遅延，転送速度，帯域幅などはパラメータとして指定する．各ノードにはアドレスが付与されており，ノードが保持するルーティングテーブルに従って通信処理を行うようになっている．ただし，現在のモデルにおいては，物理レイヤの構成，プロトコル種別等に起因する差異は無視している．今後，通信インフラに関する実データを収集していくにつれ，詳細化していく必要がある．

情報システム層

情報システム層は，複数の企業タイプから構成される．たとえば，以下のように設定することで，業務の地理的依存性をある程度表現することができる．

A タイプ：全国の都道府県庁所在地に営業所がある企業

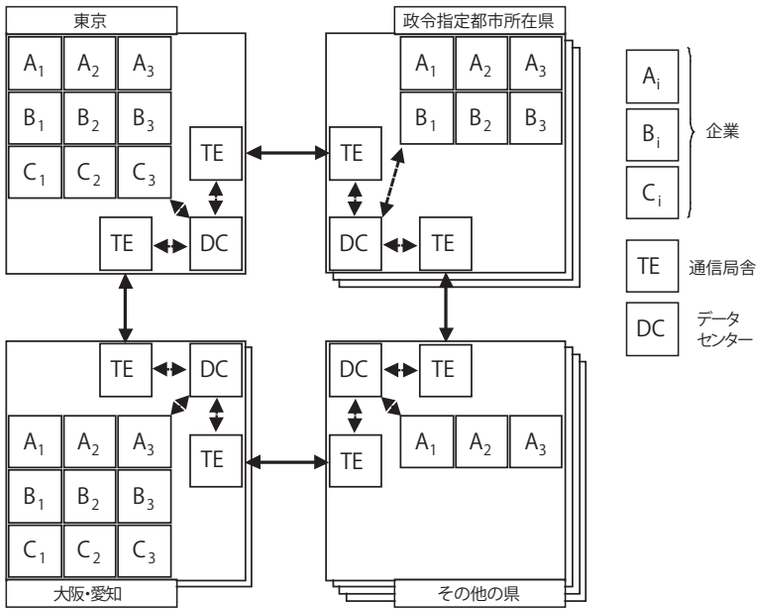

図 -3　情報システム層と通信インフラ層の構成

タイプ（全体の 10%）

B タイプ：政令指定都市のみに営業所がある企業タイプ（70%）

C タイプ：東京，名古屋，大阪のみに営業所がある企業タイプ（20%）

これに加えて，企業の特殊なインスタンスとして，データセンターなど，特定の機能を持ったエンティティを情報システム層に配置することが可能である（図 -3）．

各企業は，同一地域もしくは遠隔地にある企業と，一定のルールに従って通信を行う．トラフィック発生パターンとしては，現在は，電気通信事業者協会の県間通信統計と整合をとった確率分布により，県間企業の通信を行うようにしているが，将来的には，情報システムのアプリケーションが発生させるトラフィックパターンにより近いパターンの導入も検討する必要がある．

◆コストモデル

本研究におけるコストモデルとは，電力障害による情報システムへの影響に関して，被害額を定量的に計算可能とするためのモデルである．

被害額を考える上で，以下のような前提条件を置く．

- 都道府県・業種単位で算出する．
- サーバは非常用電源を保有していると仮定し，電力障害によって影響を受ける対象は，クライアント端末のみとする．

この上で，被害額は以下の項目から構成されるものとした（図 -4）．

- 事業の停止による被害…逸失利益（売上の減少）
- 電力の停止による被害…電力復旧コスト，業務効率低下コスト

	項 目	算出方法	関連データ
事業の停止による被害	逸失利益 （売上の減少）	時間当たり利益 ＝営業利益／（年間規定営業日245日×1日当たり営業時間7.5時間）×システム停止時間	経常利益 （業種ごとの経常利益 ＝経済産業省企業活動基本調査） システム停止時間 （インシデントによる変数）
電力の停止による被害	電力復旧コスト	時間当たり復旧要員人件費×復旧要員数×復旧所要時間（＊電力のみ）	時間当たり復旧要員人件費 （厚生労働省統計） 復旧所要時間 （インシデントによる変数）
	復旧作業に係る一般業務コスト	ー	個人における復旧作業は発生しない
	業務効率低下コスト	業務部門の人件費単価×システム停止時間×インシデントにより影響を受けた人数×端末普及率×業務依存度	時間当たり人件費単価（厚生労働省統計） 業務復旧所要時間（インシデントによる変数） インシデントにより影響を受けた人数 PC普及率（業種ごと1人あたりPC台数 ＝経済産業省企業活動基本調査） 業務依存度（IPA調査）

図 -4　被害額の考え方

電力停止時間＝１時間の場合

○逸失利益

経常利益(百万円)	3,879	3,879		421
	農林漁業	鉱業	・・・	ｻｰﾋﾞｽ業
全　国	1,233	184		12,518
01 北 海 道	188	19		624
02 青 森 県	49	6		138
・・・				
46 鹿 児 島 県	59	4		179
47 沖 縄 県	2	2		132

○電力復旧コスト

人件費(百万円／時間)	0.0017	0.0027	0.0018
	・・・	電気等	・・・
全　国	0.00	8.87	0.00
01 北 海 道	0.00	0.38	0.00
・・・		0.10	
13 東 京 都	0.00	0.92	0.00
14 神 奈 川 県	0.00	0.56	0.00
・・・		0.18	
47 沖 縄 県	0.00	0.11	0.00

○業務効率低下コスト

PC普及率	0.6	0.6	0.7
	農林漁業	・・・	ｻｰﾋﾞｽ業
全　国	12		1,781
01 北 海 道	2		84
02 青 森 県	0		18
・・・			
46 鹿 児 島 県	1		23
47 沖 縄 県	0		18

図 -5　逸失利益・電力復旧コスト・業務効率低下コスト算出の考え方

各項目の計算方法は以下のように定義した（図 -5）．

逸失利益

逸失利益は以下の式により計算する．

逸失利益＝

経常利益／（年間規定営業日 245 日× 1 日当たり営業時間 7.5 時間）×システム停止時間

なお，経常利益は，業種全体を事業所数で割った値を利用する．

電力復旧コスト

電力復旧コストは以下の式により計算する．

電力復旧コスト＝

時間当たり復旧要員人件費×復旧要員数×復旧所要時間（対象は電力のみ）

本研究では，復旧要員数を 300 人以下の事業所は 2 名，

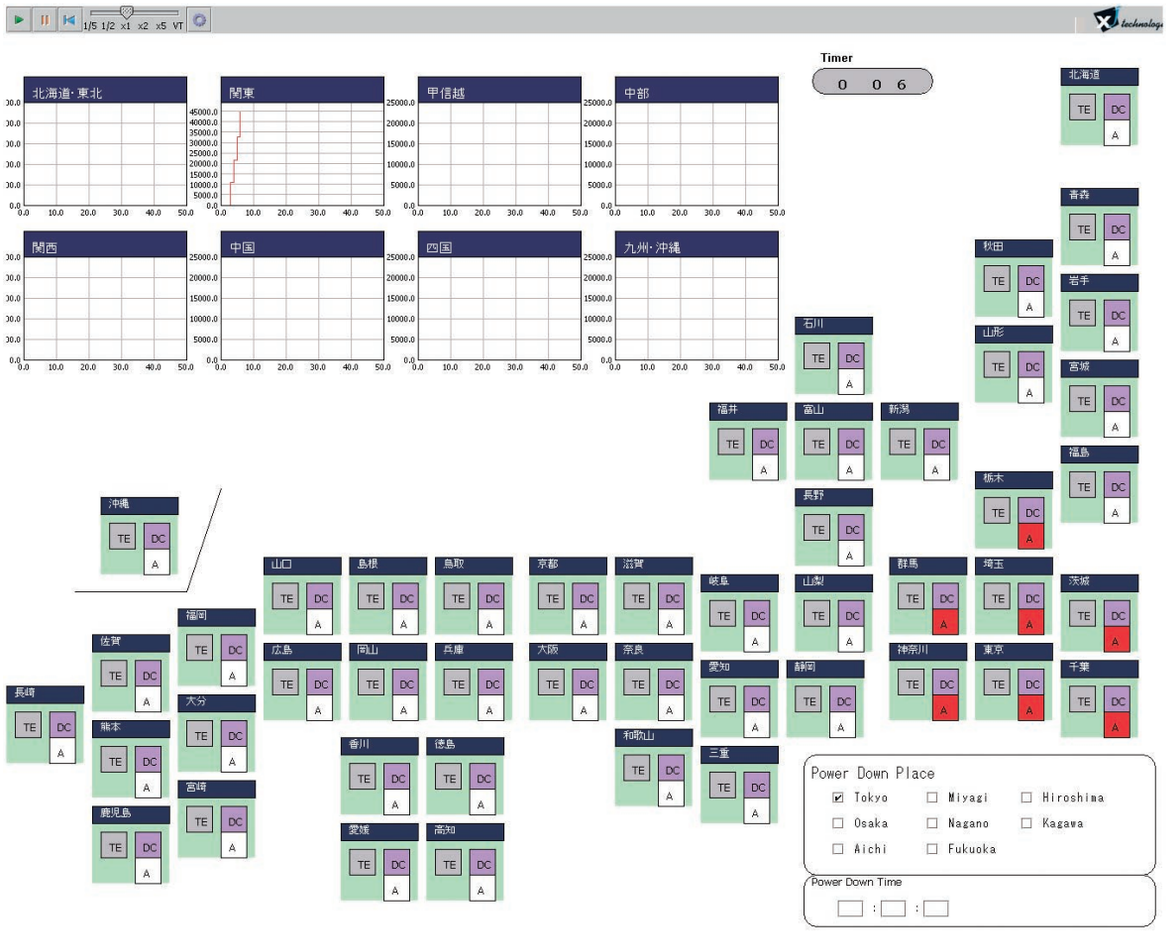

図 -6　ハザードマップ実行例（1）

300 人以上の事業所は 5 名と仮定した.

業務効率低下コスト

業務効率低下コストは以下の式により計算する.

業務効率低下コスト＝
業務部門の人件費単価×システム停止時間×インシデントにより影響を受けた人数×端末普及率×業務依存度

なお，人件費は業種ごとに平均賃金を利用した.
また，本研究では，影響を受けた人員は 300 人以下の事業所は 100 名, 300 人以上の事業所は 500 名と定義した.

以上の式により，電力インシデントによる被害額を全国レベルで算出すると，インシデント発生後 1 時間後で 722 億円，3 時間後で 2,169 億円，6 時間後で 4,337 億円，12 時間後で 5,422 億円となる.

ハザードマップシミュレーションの実行結果

ハザードマップシミュレーションプログラムの実行結果を図 -6 および図 -7 に示す．これは，東京において

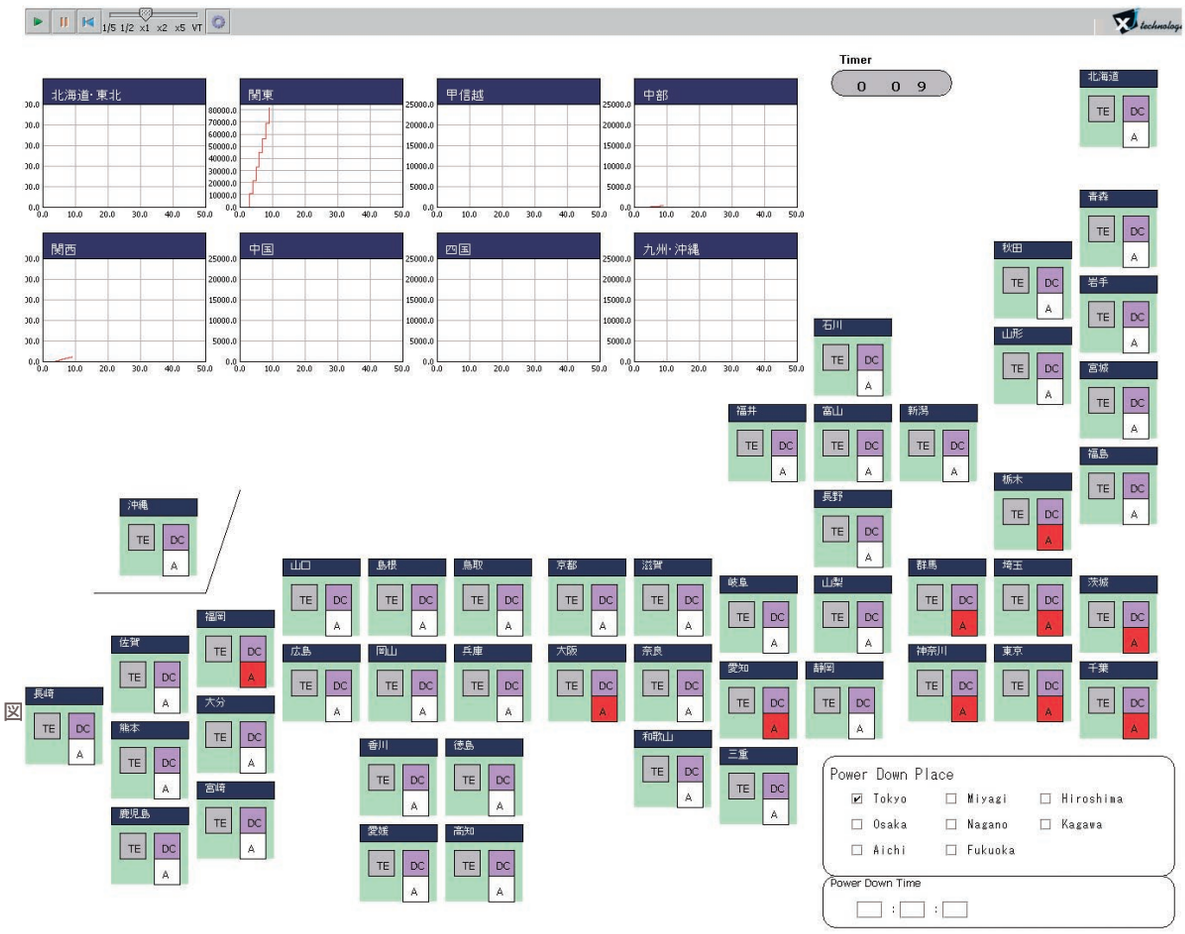

図 -7　ハザードマップ実行例（2）

$t = 0$(秒)で停電が発生するシナリオにおける，$t = 6$(秒)および$t = 9$（秒）の出力結果である．

ハザードマップシミュレーションプログラムの表示出力領域は大まかにいって，3 つの部分から構成されている．中央付近に右上から左下にかけて並んでいる箱は県単位でまとめられた情報システムの集合を示している．情報システムは，正常稼働時は，企業タイプを示す“A”と書かれた白い四角で表示されているが，通信障害により処理に必要なデータが得られなくなると赤く表示され，異常が発生していることが分かる．この例では，簡単のため企業タイプは 1 種類に限定した．

右下のエリアには，停電地域と停電開始時刻を指定するための入力フィールドがある．左上に並んでいるのはコストモデルの出力である．計算自体は企業単位で計算されているが，表示の都合上，6 地域に集約されて表示されている．このグラフは，発生している被害額累計の時系列推移が表示される．

図 -6 では停電の発生した東京近辺にとどまっていた情報システムの稼働率の低下で表される被害が，図 -7 では通信インフラを通じて速やかに遠隔地の情報システムにも影響を及ぼす様子が示されている．

なお，以上の実行結果はあくまでも例であり，表示効

果を高めるためにパラメータを実際の値とは異なる値に設定して実行したものである．実際のデータを用いた場合の評価は今後の課題である．

まとめと今後の課題

情報通信システム事故の被害が広範に波及していく様子を視覚的に表示するハザードマップシミュレーションシステムを開発した．本システムは開発途上であり，定量的な議論ができる段階ではないが，モデルが実際に稼働可能であること，その定性的な挙動が当初の想定とおおむね整合していることを確認した．当面の課題としては，問題設定の項で示した限定的な目標をターゲットとして，可能な限り実データに基づくモデルの改良がある．具体的には以下のような項目である．

- ハザードマップシミュレーションプログラムの評価
- 各種重要インフラ間および企業間の相互依存性のより詳細なモデル化
- 通信2重化やフェイルセーフ機能などの安全対策の考慮
- 季節変動や昼夜変動などを考慮した企業活動のモデル化

さらに将来的な課題としては，企業やインフラの行うセキュリティ対策の効果や投資効果分析，パラメータや実験条件の変動に対する感応度分析，事故発生確率の導入，社会全体としての被害額と対策額の関係，などを検討していくことが考えられる．

謝辞　本研究は，社会技術研究システムミッション・プログラムⅡ「高度情報社会の脆弱性の解明と解決」の研究として行われたものである．本研究を行うにあたり，ご指導いただいた，ミッション・プログラムⅡの研究統括を務められている土居範久中央大学理工学部教授，同じく研究統括補佐の山口英奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授および研究員・オブザーバ各位には，ここに深く感謝する．

参考文献

1）三上俊治，中村　功，福田　充，廣井　脩：高度ネットワーク社会の脆弱性一大阪 NTT 回線事故の社会的影響に関する調査研究，東京大学社会情報研究所調査紀要，No.13（1999）．
2）Dunn, M. and Wigert, I.：International CIIP Handbook 2004, Comprehensive Risk Analysis and Management Network（CRN）（2004）．
3）高田毅士：Safety Burst（安全の破綻）WG 報告，日本工学アカデミー，EAJ Information, No.121（2005）．

（平成 17 年 5 月 13 日受付）