

### 3.3.7 ライフラインの復旧最適化による企業の事業継続性向上に関する検討

#### (1) 業務の内容

##### (a) 業務の目的

近年の災害 BCM (Business Continuity Management) に対する関心の高まりから、首都圏に多数存在している企業の本社機能やデータセンターなどの情報中枢機能では、建物・設備に関する地震対策が急ピッチで進められている。一方、ライフラインの機能障害に関する対策として、一部で停電・断水、交通機関の停止等に対する備えを強化する動きが見られるが、依然として多くの企業ではそれぞれのライフライン事業者の地震対策に依存しているのが現状である。

本研究では、個別研究テーマ(3)の関連テーマの研究結果(被害波及構造に関する研究)を踏まえて、ライフライン相互の被害波及と復旧過程を考慮した首都圏企業等の事業中断期間の簡易予測モデルを構築する。さらに、関連テーマの研究結果(自律分散型拠点に関する研究)を踏まえて、企業における首都圏拠点と周辺拠点の広域連携やライフラインの機能障害に対する影響軽減対策等の実施が BCP (Business Continuity Plan) の「復旧期間」に与える効果の定量的評価モデルを構築する。これらの検討結果を用いることにより、ライフラインの機能障害に伴う企業等の震災後の復旧最適化を支援し、社会的・経済的インパクトを最小化することを目的とする。

##### (b) 平成 19 年度業務目的

平成 19 年度は、企業活動の観点からライフライン被害の相互連関と企業の事業継続性への影響に関する調査を実施する。

文献調査を中心とした調査を行い、近年の地震災害や突発事故などによるライフライン・交通基盤の被災が企業活動に与える影響の実態を把握する。

成果の目標としては、ライフライン被害状況と産業別の事業影響の関係をとりまとめるとともに、ライフライン相互の被害波及を含めて企業活動影響を整理する。また、前記の調査結果をもとに、次年度以降に検討する「事業中断期間の簡易評価モデル」および「ライフラインの機能障害対策等が復旧期間に与える影響評価モデル」の要件を整理する。

##### (c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
株式会社イー・アール・エス	リスクマネジメント部統括部長	永田 茂	
武蔵工業大学総合研究所	客員研究員	山本欣弥	
株式会社イー・アール・エス	リスクマネジメント部部長	景山耕平	
同上	リスクマネジメント部副部長	若林 亮	
同上	技師長	水越 熏	

#### (2) 平成 19 年度の成果

##### (a) 業務の要約

阪神・淡路大震災の被災事例、首都圏における停電事故事例に加え、中央防災会議が実

施したアンケート結果、最近の企業へのアンケート調査の定量的分析結果を調査、分析することにより、ライフライン施設や交通基盤施設の直接被害や機能障害が企業活動に与える影響を産業別に整理した。

また、ライフライン施設や交通基盤施設の直接被害や機能障害が企業活動に与える影響（特に事業中断期間）の評価モデルに求められる要件の検討を行った。ここでは、上水道システムを例として、電力および下水道からの被害波及による復旧曲線の変化を模式図を作成して考察を行った。この結果をもとに、評価モデル（メッシュモデルとネットワークモデル）の基本コンセプトの検討を行い、評価モデルの検討フローを示した。

## **(b) 業務の成果**

### **1) ライフラインの直接被害と機能障害が企業活動に与える影響調査**

ライフライン施設や交通基盤施設の直接的被害および機能障害、さらにライフラインと交通基盤相互の被害波及が、企業の事業継続に与える影響の大きさを明らかにするため、近年の地震災害や事故事例、関連する既往の研究成果に関する文献調査を行った。

#### **a) 中央防災会議によるアンケート調査結果のレビュー**

中央防災会議首都直下地震対策専門調査会では、有識者を対象にした「経済・産業分野における首都直下対策検討に関するアンケート調査」を実施し、①重要な経済活動の継続性を確保する上で重点的な対策を講じるべき対象、②首都直下地震に備えて定量化すべき経済的な波及影響項目を公表資料（第8回、平成16年6月30日）として取りまとめている<sup>1), 2)</sup>。

公開資料によれば、首都直下の地震発生時における被害影響の最小化を図る上で重点的な対策を講じるべき対象のうち、ライフライン施設および交通基盤施設としては表1の項目が抽出されている。

表1 首都直下の地震発生時における被害影響の最小化を図る上で重点的な対策を講じべきライフライン施設および交通基盤施設（中央防災会議資料の抜粋）

機能区分	対象	選定理由
ライフライン施設	電力事業者	①首都地域特有の機能であり、被災時の影響が首都地域内はもとより、全国、海外へと広域的に波及影響する危険性の高い機関や施設であること。 ②カネ・モノ・情報のストックやフロー（取扱量）に関する全国および国際的なシェアが極めて高い機関や施設であること。 ③特定の分野に限定されない経済・産業の多様な分野の活動に横断的な影響力を有する機関や施設であること。 ④被災時においても、業務継続性を維持する必要性が非常に高いこと。
	通信事業者	
	インターネットサービスプロバイダー（ISP）	
	インターネット・エクスチェンジ事業者	
	ガス事業者	
	水供給主体	
	非常電源用燃料供給事業者	
交通基盤施設	道路（JH、首都高）	④被災時においても、業務継続性を維持する必要性が非常に高いこと。
	幹線鉄道（JR、民鉄、地下鉄）	
	港湾（東京・横浜港）	
	空港（成田・羽田）	
	航空管制施設	
	注) 主要幹線道路(主に橋梁)	全国、世界に影響を及ぼす対象とはいえないが、首都地域内の大規模な交通流を支える重要な基盤施設であり、寸断時に首都地域内の経済・産業活動に与える影響は大きいことが多くの有識者から指摘された。

また、同公開資料によれば、首都直下地震において定量化すべき経済的な影響波及項目のうちライフライン施設および交通基盤施設に関しては、表2の項目に関する調査が求められている。

中央防災会議の調査結果を参照すると、首都機能確保の観点からは、電力施設、通信施設、都市ガス供給施設、非常電源用燃料供給事業者施設、上水道施設、下水道施設、交通基盤施設（主に道路、鉄道）の直接的被害および復旧期間の評価を行うと共に、被災地域内の業務中枢機能（本社・本店等）、情報中枢機能（情報サービス産業、データ、官公庁機能等）、金融中枢機能（金融決済機能、政府系金融機関等）、生産中枢機能（部品供給産業（大田区等の中小）、開発型基幹工場、大規模店舗、サプライチェーン等）、国際中枢機能（外資系企業、外資日本統括本部等）の経済的影響を評価することが重要になるものと考えられる。

表2 首都直下地震において定量化すべき経済的な被害予測項目（中央防災会議）

経済被害予測項目			備考	
（直接的被害） 施設・資産の損傷被害	民間資産 （ライフライン）	電力施設	復旧期間 評価を盛り込む	
		通信施設		
		都市ガス供給施設		
		非常電源用燃料供給事業者施設		
	公共資産	上水道施設		
		下水道施設		
交通基盤施設（道路、鉄道、港湾、空港）				
間接的被害	交通寸断による時間費用・機会損失	道路、鉄道（首都地域内、首都地域発着）、港湾（東京・横浜港）、空港（成田、羽田）		
	被災地域内の経済波及影響（事業活動の減少）	首都における経済中枢機能	業務中枢機能（本社・本店等）	
			情報中枢機能（情報サービス産業、データ、官公庁機能等）	
			金融中枢機能（金融決済機能、政府系金融機関等）	
			生産中枢機能（部品供給産業（大田区等の中小）、開発型基幹工場、大規模店舗、サプライチェーン等）	
			国際中枢機能（外資系企業、外資日本統括本部等）	

b) 最近の地震災害および突発的事故における企業活動への影響事例

最近のライフライン施設、交通基盤施設の直接被害や機能障害が企業活動に与えた影響の事例を調査した。

i) 1995年1月17日 阪神・淡路大震災

阪神・淡路大震災は国内の経済機能の集中地域で発生した地震であり、企業や生活関連施設が大きな経済被害を受けたことがひとつの特徴である。

被害調査報告書等<sup>3), 4), 5)</sup>を参考に、被災地域においてライフライン施設や交通基盤施設の被害の影響を受けた業種とその特徴を整理すると表3のようになる。さらに、ライフライン施設や交通基盤施設の供給停止期間や機能障害期間との関係を整理すると表4のようになる。

阪神・淡路大震災は、関東地震(1923年)以降はじめて日本の大都市部を直撃した地震であったが、表3、表4に示すように、それまでの被害地震の際のライフラインや交通基盤の復旧特性と同様に、電力、通信の応急復旧や機能回復が先行し、上水道、下水道、都市ガス、道路、鉄道がその後を追って応急復旧や機能回復する傾向が再確認された。しかし、被災地の広い範囲で震度7を観測したことから、それまでの被害地震とは異なり、電力や通信の応急復旧には6日以上の間を必要としている。

また、これらの調査結果から、サービス業・非製造業（特に卸売り・小売業、金融業など）は、電力や通信の応急復旧や機能回復に伴って、急速に事業が再開していったことが

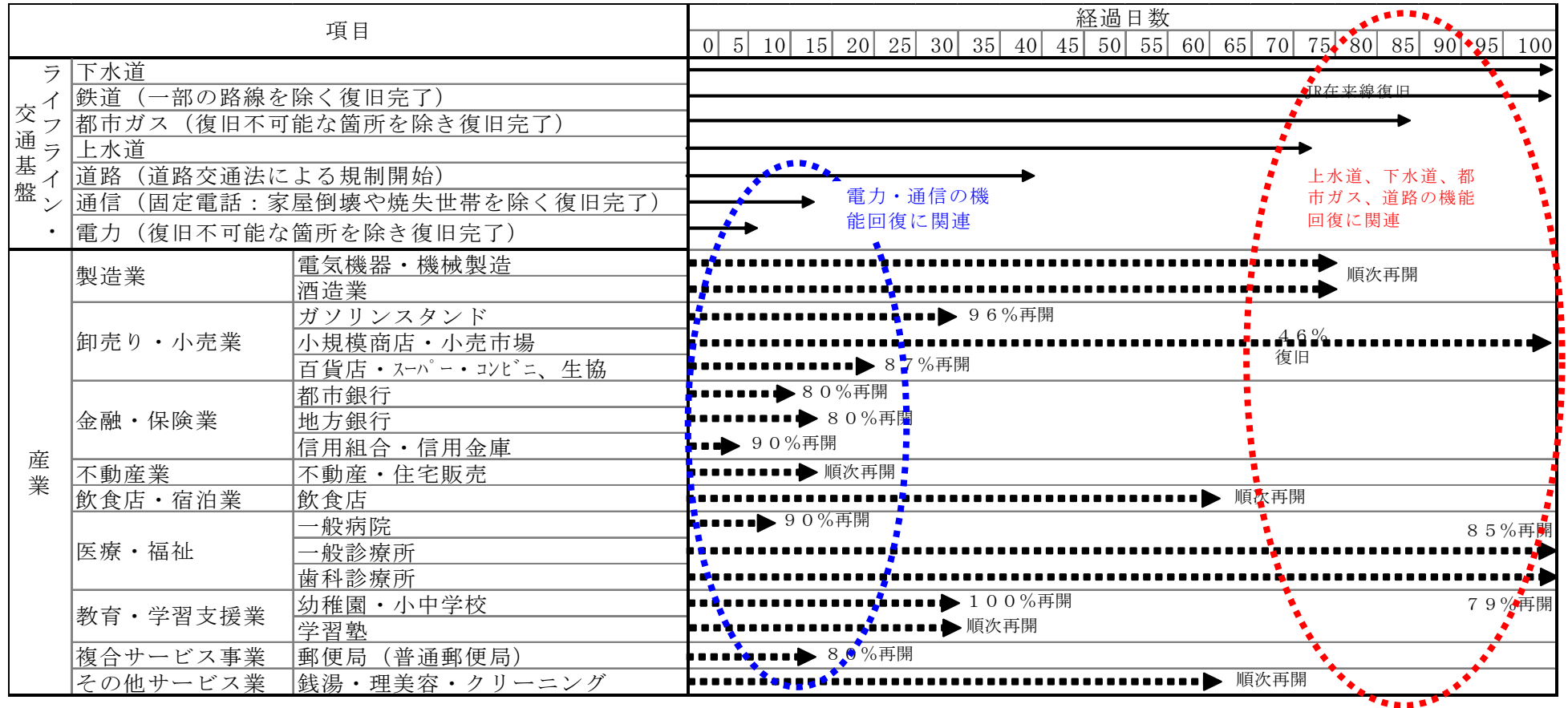
確認できる。一方、製造業は非製造業に比べて電力依存度が高いと考えられるが、電力の供給が再開された後も長期にわたって事業は中断しており、上水道、下水道、道路等の応急復旧と機能回復の進展に伴い事業が再開されている。

今後、ライフラインや産業基盤の被害や機能障害と企業活動の関係を一般化して、企業の事業中断期間等の評価モデルを検討するためには、各業種の個々の施設の被害状況、各業種のライフラインや交通基盤への依存度の大きさを踏まえた調査を進める必要がある。

表3 企業の事業中断とライフライン施設被害、交通基盤施設被害との関連<sup>3), 4), 5)</sup>

業種	業種	ライフライン施設被害、交通基盤施設被害との関連
製造業	自動車製造業	交通網寸断による部品供給不足によって操業停止した。
	電気製品	水道・都市ガスの供給停止と交通機関途絶による社員の出勤支障によって操業停止した。約90日後に100%操業となる。
	酒造業	水道の供給停止によって操業停止した。
運輸業	陸運業・海運業	電力・通信の復旧に伴い震災後1ヶ月程度から業務を再開した。
卸売り・小売業	ガソリンスタンド	被災地域内での営業開始時期は震災から2日後に28%であり、多くの店舗で交通状況の悪化による在庫不足となった。その後、輸送条件が改善されたことや電力が復旧したことから、5日後で60%、14日後には92%、30日後には96%の店舗が再開した。
	小規模商店・小売市場	店舗被害が大きく、15日後で約23%、72日後で46%、180日後で64.2%であった。電力の回復と物資輸送の混乱解消に伴って順次再開した。
	百貨店・スーパー・コンビニ、生協	震災から3日後には約80%、20日後には約87%の店舗で業務が再開した。交通渋滞による物資輸送の確保が重要な課題となった。
金融・保険業	都市銀行	電力の復旧に伴い11日後には約80%の店舗が業務を再開しているが、その後も通信障害の影響を受けた。交通機関の被災により、社員の通勤手段や通勤時間が課題となった。
	地方銀行	震災から2日後の時点で約50%の店舗が業務を再開したが、全店舗の80%が再開したのは13日後である。
	信用組合・信用金庫	金融機関の中でも復旧は早く、震災から8日後に90%の店舗で再開している。
不動産業	不動産・住宅販売	電力・通信の復旧に伴い震災後1ヶ月程度から業務を再開した。
飲食店・宿泊業	飲食店	上水道、都市ガス、鉄道の復旧に伴い、震災後60日後程度から順次業務を再開した。
医療・福祉	一般病院	被害の大きかった神戸市内6区でも震災後9日目には9割近くが再開した。電力の復旧に対応したものと考えられる。震災後100日後には約100%が再開した。
	一般診療所	震災後9日目での再開率は29%に留まっている。震災後100日後には約85%が再開した。
	歯科診療所	震災後10日目前後での再開率は14%に留まっている。震災後100日後には約79%が再開した。
教育・学習支援業	幼稚園・小中学校	上水道、都市ガス、鉄道の復旧に伴い、震災から30日後には全校が再開した。
	学習塾	電力・通信の復旧に伴い震災から30日後程度から業務を再開した。
複合サービス事業	郵便局	被災地域内の普通郵便局は電力・通信の復旧に伴い震災から14日後には窓口業務、郵便業務をほぼ再開した。特定郵便局は局舎被害もあり、約130日後に全局で業務を再開した。
その他サービス業	銭湯・理美容・クリーニング	上水道、都市ガス、鉄道の復旧に伴い、震災から60日後程度から業務を再開した。

表4 ライフライン施設や交通基盤施設の供給停止期間、機能障害期間と企業の事業中断期間の関係



## ii) 2006年8月14日首都圏で発生した停電事故<sup>6), 7), 8)</sup>

2006年8月14日早朝、東京都江戸川区南葛西と千葉県浦安市の間を流れる旧江戸川を横断する東京電力(株)特別高圧送電線「江東線」(27万5千ボルト)にクレーン船が接触する事故が発生した。これにより、同線が損傷し、送電が停止したことおよびその影響により東京都心部、神奈川県横浜市北部、川崎市西部、千葉縣市川市、浦安市の一部において最大139万1千軒の停電が発生し、完全復旧までに約4時間を要した。

この停電による影響は多くの企業で発生しており、9鉄道事業者18路線で最大3時間半にわたって運休した。このほか金融機関のATMが約2時間半にわたって停止したほか、携帯電話会社の約630箇所の屋内基地局が停止する影響が発生した。また、信号機の停止や首都高速道路のETCの停止などにより、道路交通にも影響が発生した。

一方、固定電話会社、上水道事業者、下水道事業者は非常用電源装置を稼働させるなどして影響を最小限に留めている。

この停電事故では、受電装置等に被害が発生していないため、給電開始に伴って早期に復旧が完了したが、地震時には多くの企業で施設被害が発生すると考えられることから停電の影響はさらに大規模になることが想定される。また、地震時のような施設被害を伴わないこと、停電時間が短時間であったこと、個別企業の停電対策の状況が不明であることを前提として産業別の特徴を整理すると、情報通信業、運輸業、卸売・小売業、金融業、医療・福祉、サービス業等では、停電の発生後直ちに業務に影響が発生し、停電の解消に伴って急速に業務が再開される傾向が確認された。また、製造業(製紙業)では、他の業種に比べて後処理の作業量が多いため、一旦業務が停止すると影響が残る結果となった。

## c) アンケート調査結果に基づく企業活動影響の定量化に関する研究のレビュー

梶谷ら<sup>9), 10), 11)</sup>は、米国ATC-13<sup>12)</sup>やATC-25<sup>13)</sup>を参考にして、日本における供給系ライフライン(系統電力、上水道・工業用水、都市ガス)の機能障害発生状況下における生産量を平常時との対比として定義し、産業ごとのライフラインへの依存度を定量的に表した「レジリエンシー係数(Resiliency Factor) = ライフライン途絶抵抗係数」の評価を行っている。ある業種の電力途絶抵抗係数がx%とは、電力供給支障時の生産量が通常時のx%になることを意味している。

愛知・静岡県および新潟県の複数の企業を対象としたアンケート調査結果から、上記のライフライン途絶抵抗係数を評価しており、立地条件の違いや被災経験の有無に関わらず、途絶抵抗係数は産業特性に大きく依存する係数であり、比較的安定的な値となることを示している。

表5は、首都圏に関連が強い産業に絞ってライフライン途絶抵抗係数を示したもので、「電力×、水○、都市ガス○」は「系統電力が供給停止し、水と都市ガスが供給されている」ことを表す。製造業、非製造業共に電力供給停止の影響が最も大きく、特に製造業平均では系統電力の供給停止に伴って通常時の生産の約5%にまで低下することがわかる。次いで上水道・工業用水の供給停止の影響が大きく、製造業・非製造業ともに通常時の生産量の50~60%に低下することが示されている。一方、都市ガスの供給停止の影響は通常時の70%程度となり、影響は限定的であることが示されている。また、非製造業に比べて製造業の方が供給系ライフラインの途絶の影響を強く受ける一方で、一定水準の対策を講じ

ていると考えられるため、被害が顕在化する日数は非製造業に比べて遅くなる傾向が見られる。

首都圏において供給系ライフライン施設の供給支障に伴う企業影響を検討する際において、業種ごとに重要な供給系ライフラインを特定する際に有用な情報になるものとする。

表5 ライフライン途絶抵抗係数の推計値（愛知県、静岡県の事例）<sup>9),10)</sup>

（○：供給支障なし、×：供給支障あり）

業種		ライフライン途絶抵抗係数				
		電力 × 水 ○ 都市ガス○	電力 ○ 水 × 都市ガス○	電力 ○ 水 ○ 都市ガス×	平均値	被害が顕在化する日数 (平均値)
製造業	食料品	0.0429	0.4323	0.6302	0.2202	3.40
	化学	0.0786	0.3571	0.7353	0.2379	6.65
	石炭・石油製品	0.1818	0.7045	1.0000	0.3961	9.62
	鉄鋼	0.0000	0.5000	0.6964	0.2296	9.18
	一般機械	0.0417	0.6067	0.8636	0.3049	8.74
	輸送機械	0.0313	0.5426	0.5573	0.2323	4.48
	製造業全体	0.0533	0.5533	0.7235	0.2797	—
非製造業	卸売り・小売業	0.2742	0.5726	0.7177	0.4101	3.42
	金融・保険	0.4896	0.6771	0.6771	0.5089	2.68
	不動産	0.4464	0.5000	0.6250	0.4643	9.09
	運輸	0.2794	0.7647	0.8676	0.4937	1.84
	通信	0.3000	0.7750	0.8750	0.4964	2.55
	医療	0.3917	0.5583	0.6667	0.4274	2.85
	非製造業全体	0.3514	0.6270	0.7257	0.4515	—

#### d) ライフラインおよび交通基盤の機能支障が企業活動に与える影響の整理

本研究の対象が首都圏企業であることから、中央防災会議のアンケート結果を基に、企業を機能別に①業務中枢機能（本社・本店等）、②情報中枢機能（情報サービス産業、データ、官公庁機能等）、③金融中枢機能（金融決済機能、政府系金融機関等）、④生産中枢機能（部品供給産業（大田区等の中小）、開発型基幹工場、大規模店舗、サブライゼン等）、⑤国際中枢機能（外資系企業、外資日本統括本部等）に大別して、ライフラインおよび交通基盤との関係を整理し、結果を図1に示した。

図1に示すように首都圏における企業は、主に電力・通信の機能に強く依存する情報中枢機能、金融中枢機能、国際中枢機能、上水道・工業用水・都市ガス・下水道・道路（輸送）の機能に強く依存する生産中枢機能、さらに、業務に必要な電力・通信機能を必須とした上で、社員の活動のための一定水準以上の交通手段や水を必要とする業務中枢機能の3つに大別することができる。また、企業の業務再開の観点からからライフラインや交通基盤の復旧期間に着目した場合には、個々の企業が立地する場所において、企業活動に依存度の高いライフラインや交通基盤の中で復旧期間が最長となるものを把握することが重要となる。従って、ライフラインや交通基盤の相互の連関を考慮する際には、電力と通信のように相互の連関が強いものに関しては適切に評価しつつ、電力と上水道、都市ガス、道路



の関係のように、全体システムや個別施設の地震時脆弱性の違いから復旧特性が異なるものに関しては、その相互連関の影響は無視して考えることもできる。

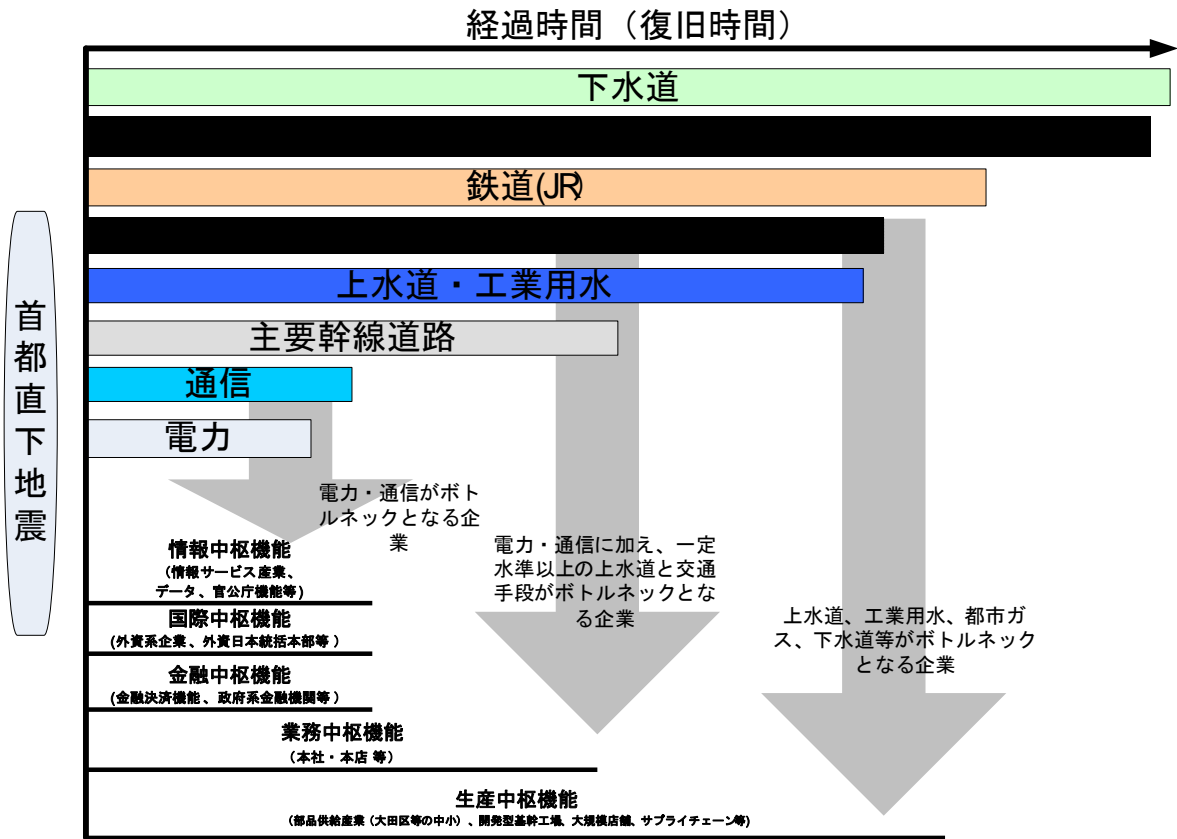


図1 ライフライン、交通基盤の復旧期間と首都圏企業の事業影響の関係

## 2) ライフラインの機能障害による事業中断期間の評価モデルのコンセプトの検討

平成 20 年度以降では、個々のライフラインの地震による機能停止期間を予測し、企業などの事業中断期間を予測するための評価モデルの検討を予定している。そのために、平成 19 年度は、評価モデルの必要要件の検討を行った。

一般的に建物・設備等に被害が生じていない場合であっても、電力や水道などのライフラインが使用できなければ、事業継続は非常に困難である。また、ライフライン間においても機能依存関係(被害の波及構造)が存在し<sup>14)</sup>、他のライフラインの機能停止によって、被害のない別のライフラインの機能が停止することもある。

例えば、電力システムの機能が停止すると、下水道や上水道などでは、電力を利用してポンプ等の設備が稼働できないためシステムの機能が停止する。また、信号機などの交通管制が停止するなどして、交通システムに影響が生じる。

下水道システムの機能が停止すると、排水処理が出来なくなるため、上水道や工業用水の使用が制限されるなどの影響が発生する。また、上水道、下水道、都市ガスなどの管路網は、道路下に埋設されているため、復旧作業を行うときに作業場所の重複などによる、復旧作業の遅延などの影響が生じることが考えられる<sup>15),16)</sup>。

事業継続と各種ライフラインとの関係のイメージを、図 2 に示す。

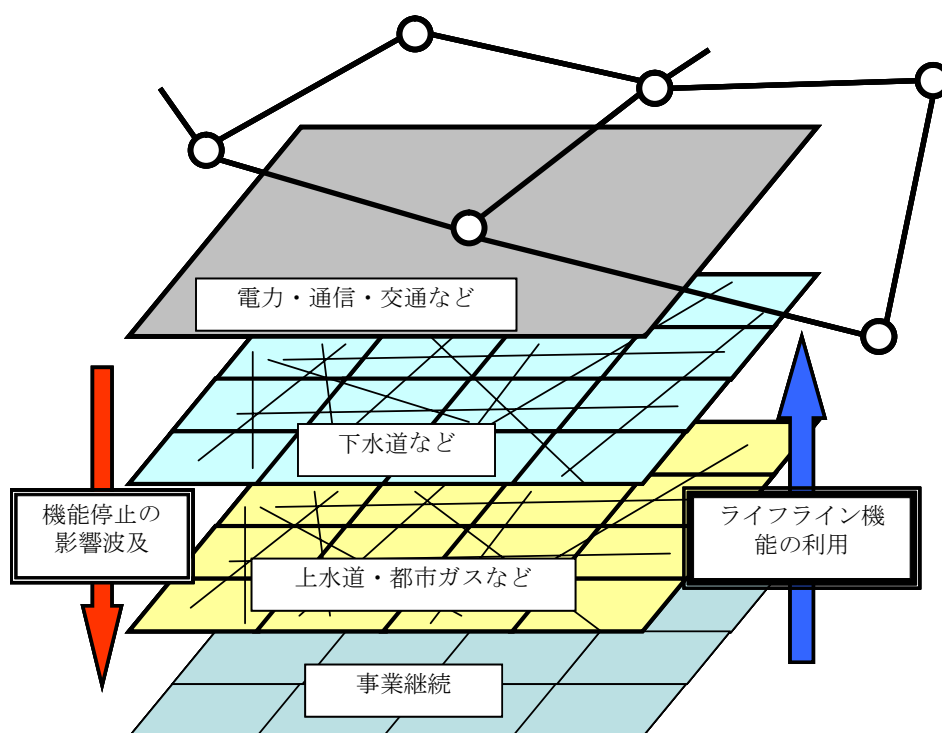


図 2 事業継続と各種ライフラインとの関係のイメージ

複雑な機能依存関係にあるライフラインは、図 2 に示すように、階層構造としてとらえ、地震被害による機能停止の波及関係をモデル化して、最終的に事業中断期間に及ぼす影響を推定することが必要である。

a) ライフライン間の被害波及に関する考察

図 3、4 に、電力、上水道、下水道の各ライフラインシステムの復旧曲線のイメージを示す。電力を黒実線、上水道を黒破線、下水道を黒点線でそれぞれ示している。

図 3 には、電力システムの機能停止が上水道システムの復旧曲線に及ぼす影響を模式的に表している。

上水道システムでは、電力システムの機能が停止した場合の影響として、浄水場・配水池・ポンプ場などでの主要機械類の停止が考えられる。非常用電源などが準備されている場合は、それが作動している間は、電力停止の影響は受けない。

しかし、非常用電源設備の稼動可能期間内に電力の復旧が完了しない場合には、電力停止の影響があられ、主要機械類が停止することによる上水道システムの機能停止が発生する。同時に、通水による被害箇所数の把握が不可能となるため復旧作業も停止となる。上水道機能の復旧曲線は赤色の破線のように低下する。この低下の度合いは、電力システムへの依存度によって決まるものであり、例えば、自然流下式の配水方式を採用して配水エリアでは、ポンプによる加圧給水を行わないため、配水池などに十分な水量がある場合には、引き続き機能を維持できる。

電力機能の復旧完了後には、機能停止の影響が発生する以前まで上水道の機能は回復し、復旧作業も進み復旧が完了する。

図 3 においては上水道システムの復旧曲線は、電力の機能停止の影響により、黒三角から赤三角の印へ遅れが生じている。

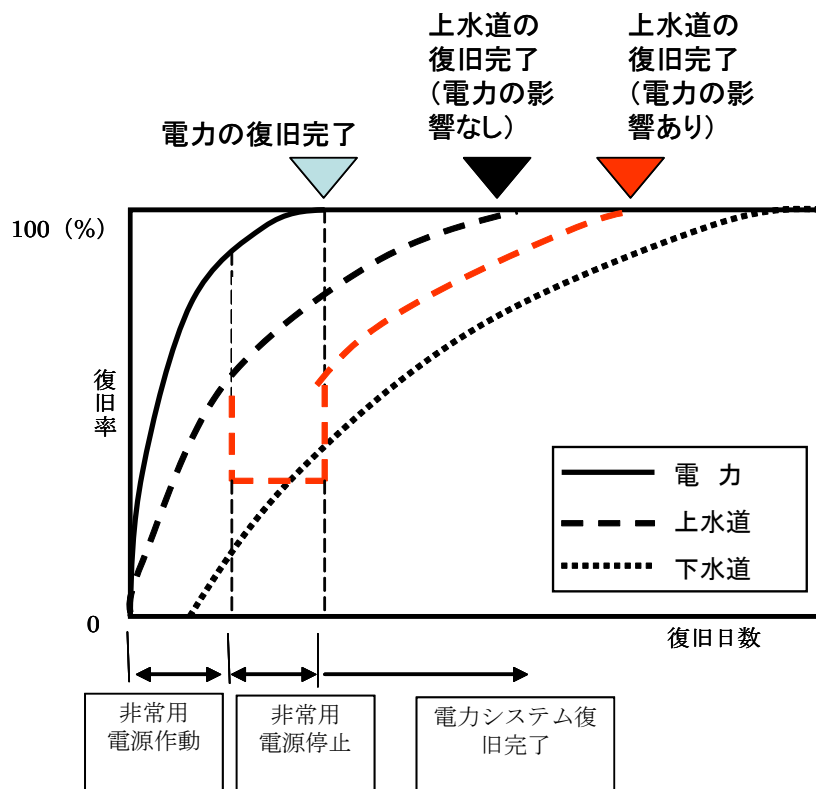


図 3 上水道システムへの電力システムの機能被害の影響波及

図4は、下水道システムの機能停止が上水道システムの復旧曲線に及ぼす影響を模式的に表している。ここでは、電力システムの影響は考慮していない。

地震被害が発生した直後からしばらくの間は、水道水の使用量が少ないため排水量も少なく、下水道システムの機能停止の影響は表れない。しかし、上水道システムの機能が回復するとともに、排水量が増加していくため、下水道システムの機能停止の影響が表れてくる。赤の破線で示すように、上水道システムの機能は下水道機能の復旧状況に支配されることになる。

図4において上水道システムの復旧曲線は、下水道機能の復旧状況に影響され、黒三角から赤三角の印へ遅れが生じている。

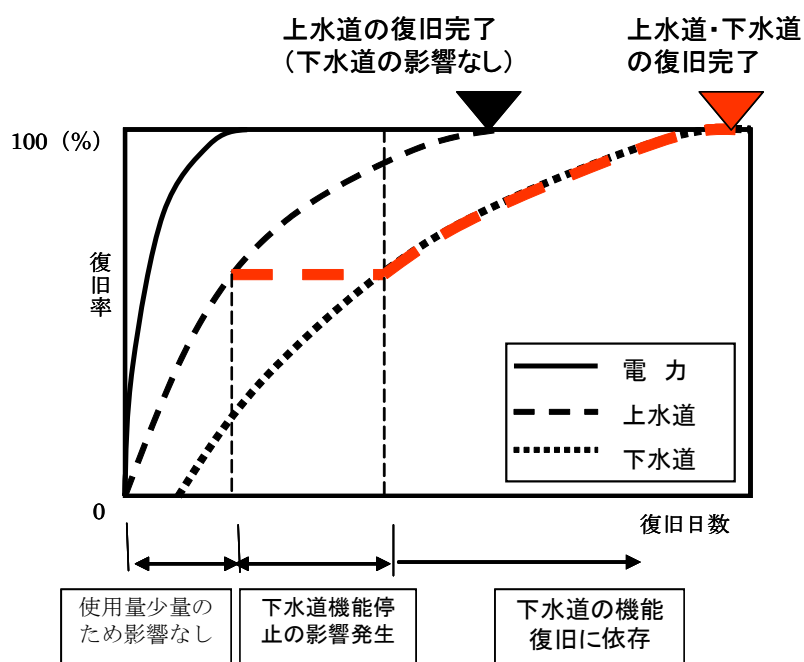


図4 上水道システムへの下水道システムの機能被害の影響波及

多くの企業では、地震時のライフラインの機能障害に関する対策に関しては、ライフライン事業者の対策に依存しているのが現状であるため、ライフラインの機能停止期間・復旧期間を推定し、目標復旧期間との関係から事業継続のための対策を立案することが重要となる。図3、4には、上水道システムの機能の復旧曲線が、電力システムと下水道システムから個別に、機能停止・復旧の長期化の影響を受けて遅延している状況を模式的に表している。しかし、現実では、複数のライフライン間で機能の相互依存あるいは、機能被害の波及が起こる。そのため、評価モデルは、首都機能への影響の大きさを踏まえ、電力、通信、交通を重視し、複数のライフラインの相互影響を考慮したライフラインの停止期間の予測と企業の事業中断期間の予測を行うものとする。

#### b) 評価モデルの基本コンセプト

ライフラインの特徴は、埋設管、ケーブルなどから構成されるネットワークであり、特に被害発生率が高い小口径管、引込み線などが非常に高密度に配置されていることや、シ

システム全体の復旧に比較的日数を要するというものである。また、このシステムの復旧過程を面的にとらえて評価を行う必要があることも大きな特徴である。

このため、評価モデルとして、ライフラインの特徴を効果的に表すためにネットワークを簡易な格子面状（以下、メッシュと呼ぶ）に表現するメッシュモデルと、ノードとリンクで表現するネットワークモデルの検討を行った。

特に、首都圏では、電力、通信、上水道、下水道、都市ガスシステムの架空線、地中線、埋設管などが高密度に配置されているため、要求される解析精度や用途によってはネットワークをメッシュでモデル化することも有効な手法の一つであると考えられる。

図5に、ライフラインのメッシュモデルによる被害および復旧期間の評価モデルの検討フローを示す。

現在、大都市大震災軽減化特別プロジェクト（大大特、平成14年度から平成18年度）の成果として、メッシュモデルによる上水道の応急復旧予測システム（簡易版）がある。これは、水道事業主体者単位で、応急復旧日数などを推定・出力するものである。この上水道の応急復旧予測システム（簡易版）をベースとして、さらに、他ライフライン相互の被害波及を考慮した評価が可能な、メッシュモデルの評価モデルの検討を行う。

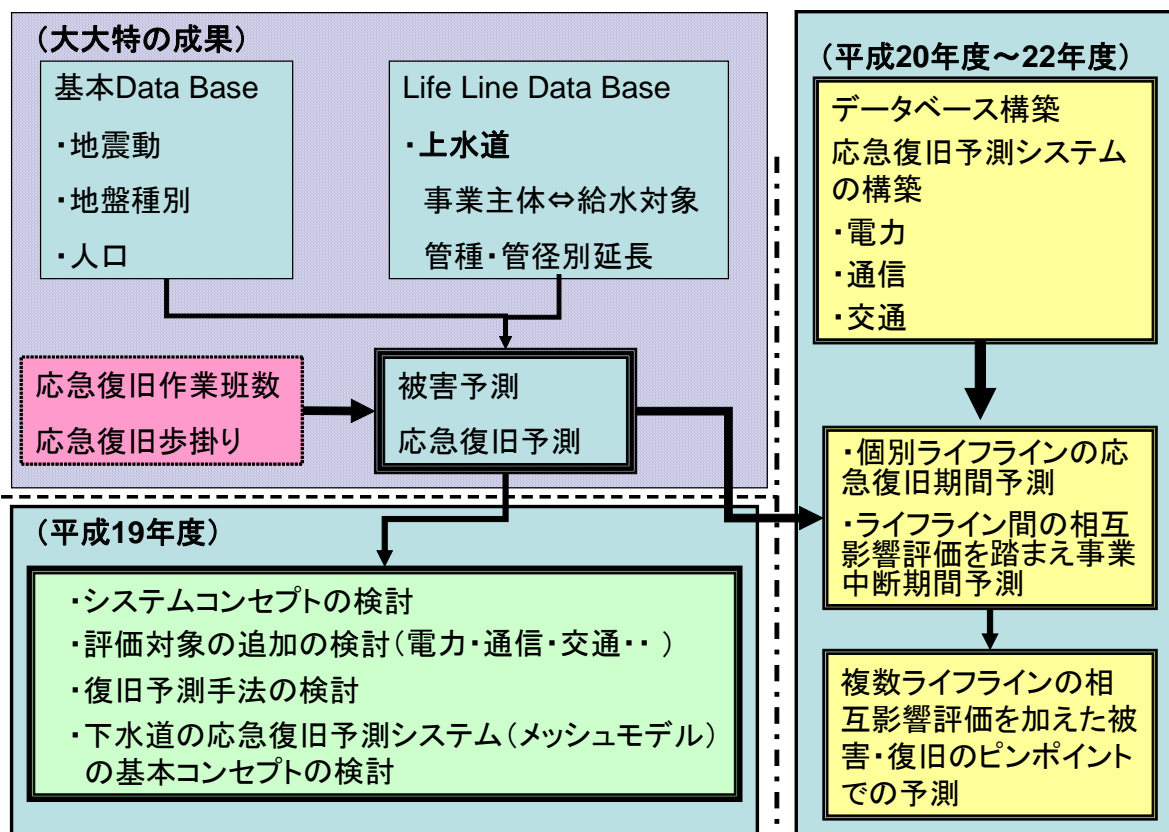


図5 評価モデルの検討フロー

図6から図8に、メッシュモデルを用いた評価モデルの基本コンセプト(大大特、平成14年度から平成18年度：上水道の簡易復旧予測システム<sup>17),18)</sup>の例から)を示す。

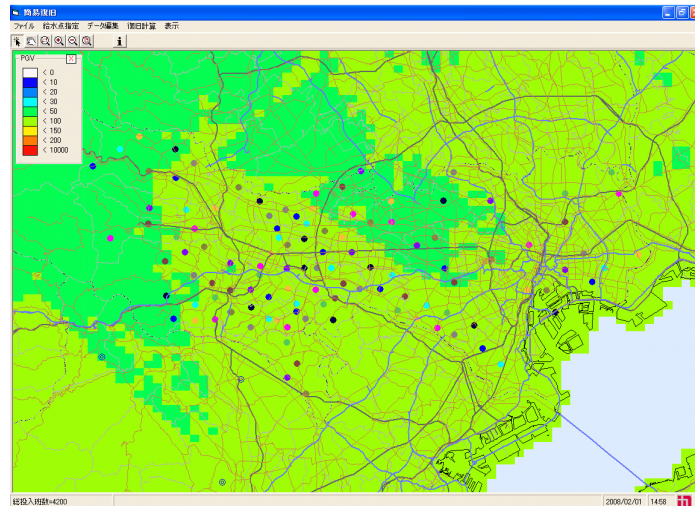


図 6 PGV(地表面最大速度)分布の表示 (50年発生確率2%の確率地震)

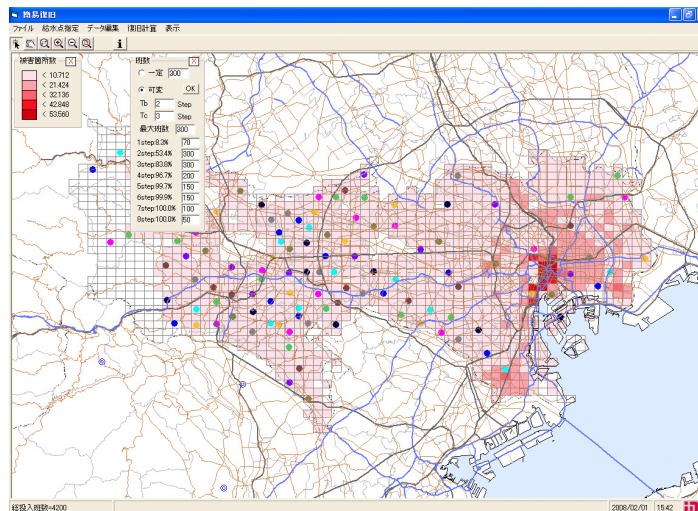


図 7 被害予測

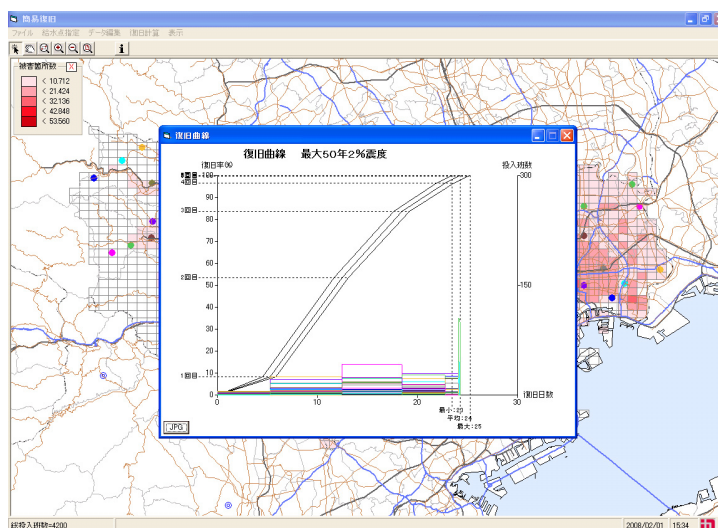


図 8 応急復旧曲線と復旧期間の予測 (地域全域, 個別拠点の予測)

メッシュモデルの評価モデルは、地域基準メッシュ（3次メッシュ）単位で被害の推定と応急復旧日数の推定を行う。ライフライン施設の管理者単位で、管路延長、人口、地盤種別データを3次メッシュに入力し、地震ハザード（図6）を用いて被害予測（図7）を行う<sup>19), 20), 21)</sup>。次に、浄水場、配水池などを復旧開始点として、応急復旧日数を推定する。応急復旧日数は、ライフライン施設全体の応急復旧過程と3次メッシュごとの応急復旧日数を推定する（図8）。

図9から図12に、ネットワークモデルを用いた評価モデルの基本コンセプトを示す。

解析対象とする企業が事業に必要とする各種ライフラインの主要施設の位置（住所、座標）、主要施設から対象企業までの供給ルート、供給形態（地中・架空）、延長等を入力し、当該サイトの地震ハザードを用いて被害予測および応急復旧期間の推定を行う。

A工場では事業継続のためには、電気、工業用水、都市ガス、下水道、通信の各ライフラインが必要である（図9）。当該サイトのライフラインネットワーク図（図10）に基づいて、A工場に至近の変電所、配水池などのライフラインの主要拠点を選び、ルートを決定する。

当該サイトの地震ハザード（図11）、液状化危険度（図12）などから被害を推定し、応急復旧期間（停止期間）を推定する。A工場の目標復旧時間（RTO）と、ライフラインの停止期間とを比較検討し（図13）、事業継続のボトルネックを見つけ出し、対策を検討するものである。

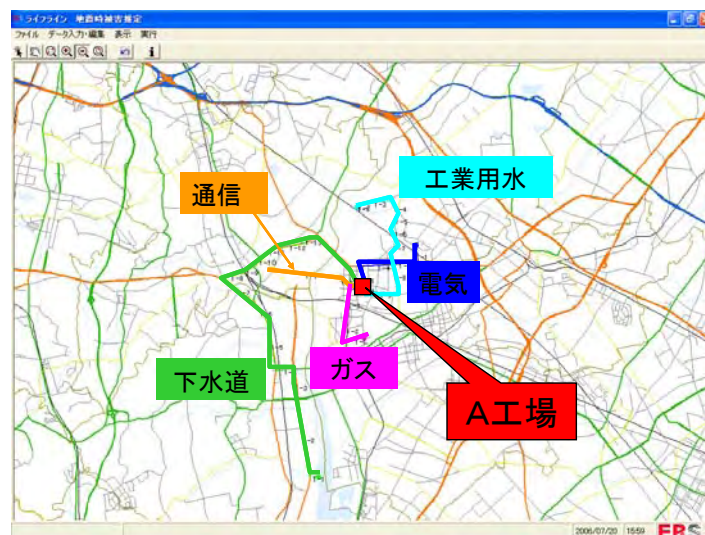


図9 評価モデルの基本コンセプト（ネットワークモデル）

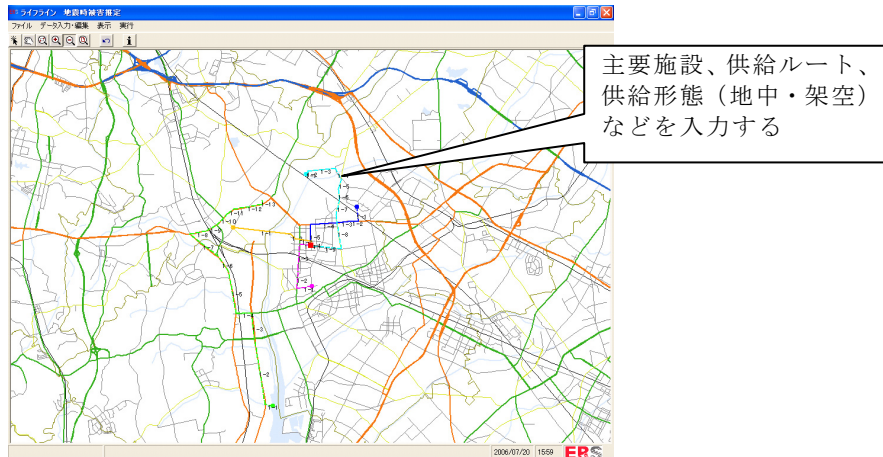


図 10 ライフラインネットワークの入力例

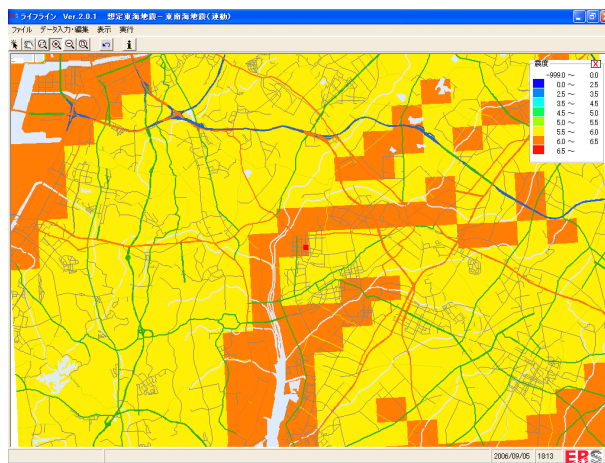


図 11 地震ハザード

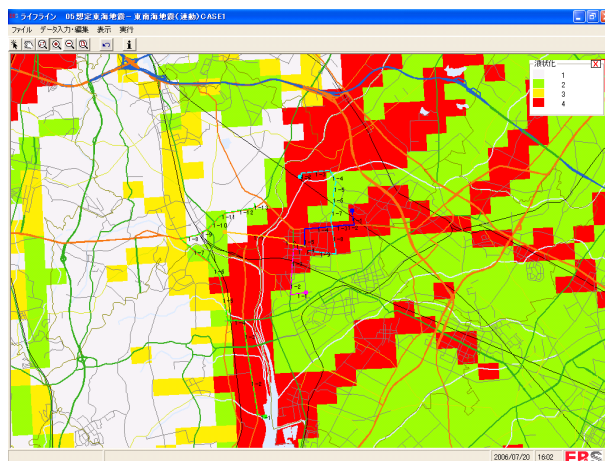


図 12 液状化危険度



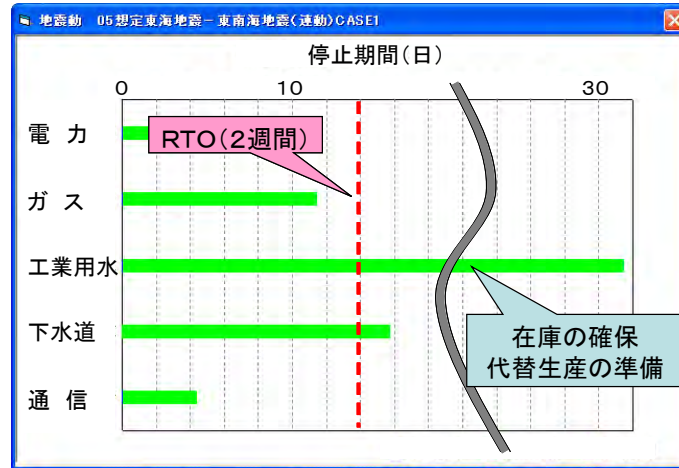


図 13 解析結果

### c) 下水道の評価モデルの基本コンセプトの検討

大都市大震災軽減化特別プロジェクト（平成 14 年度から平成 18 年度）の成果である、上水道の応急復旧予測システム（簡易版）<sup>17), 18)</sup>をベースとして、メッシュモデルによる下水道システムの復旧期間評価モデルの基本コンセプトの検討を行った。

下水道システムの復旧過程を管路のみに着目し、被災した幹線管路のマンホールや終末処理場などを起点として、順次、修復作業が行われるものと仮定して、メッシュモデルを用いた評価モデルとする。

下水道の応急復旧期間の評価モデルは、図 14 に示すフローに従って下水管路の被害推定および応急復旧日数の推定を行う。

上水道の応急復旧予測システム（簡易版）と同様に、下水道管の延長、地盤種別、人口の各種データを地域基準メッシュ単位（3 次メッシュ）で入力し、当該サイトの地震ハザードを用いて管路の被害延長（最大、最小、平均値など）を予測する。その結果を用いて、幹線管路のマンホールや終末処理場などを復旧開始点として、3 次メッシュ単位で復旧過程を予測し、最終的にシステム全体や任意地点に立地する企業への応急復旧日数（最大、最小、平均値など）を評価するものとする。

図 14 には、下水道以外に、上水道の簡易推定システムの解析フローも示している。下水道および上水道の応急復旧日数は、電力、通信、交通システムなどの機能停止や復旧作業の影響を受けて遅延する可能性がある。また、下水道の機能停止が上水道の応急復旧日数に与える可能性も考えられる。

そのため、図 14 には、ライフライン間の被害波及を考慮して、下水道の応急復旧日数の推定を行い、その結果を上水道の応急復旧日数の推定に反映させることを示している。

図 15 から図 19 に、下水道の評価モデルの基本コンセプトを示す。解析対象地域の地盤種データと地震ハザード（図 15）を用いて、液状化危険度を推定し（図 16）、管路被害を予測する（図 17）。他のライフライン被害の波及を考慮して、応急復旧日数の推定を行うものである（図 18、図 19）。

下水道の簡易評価システム

上水道の簡易評価システム

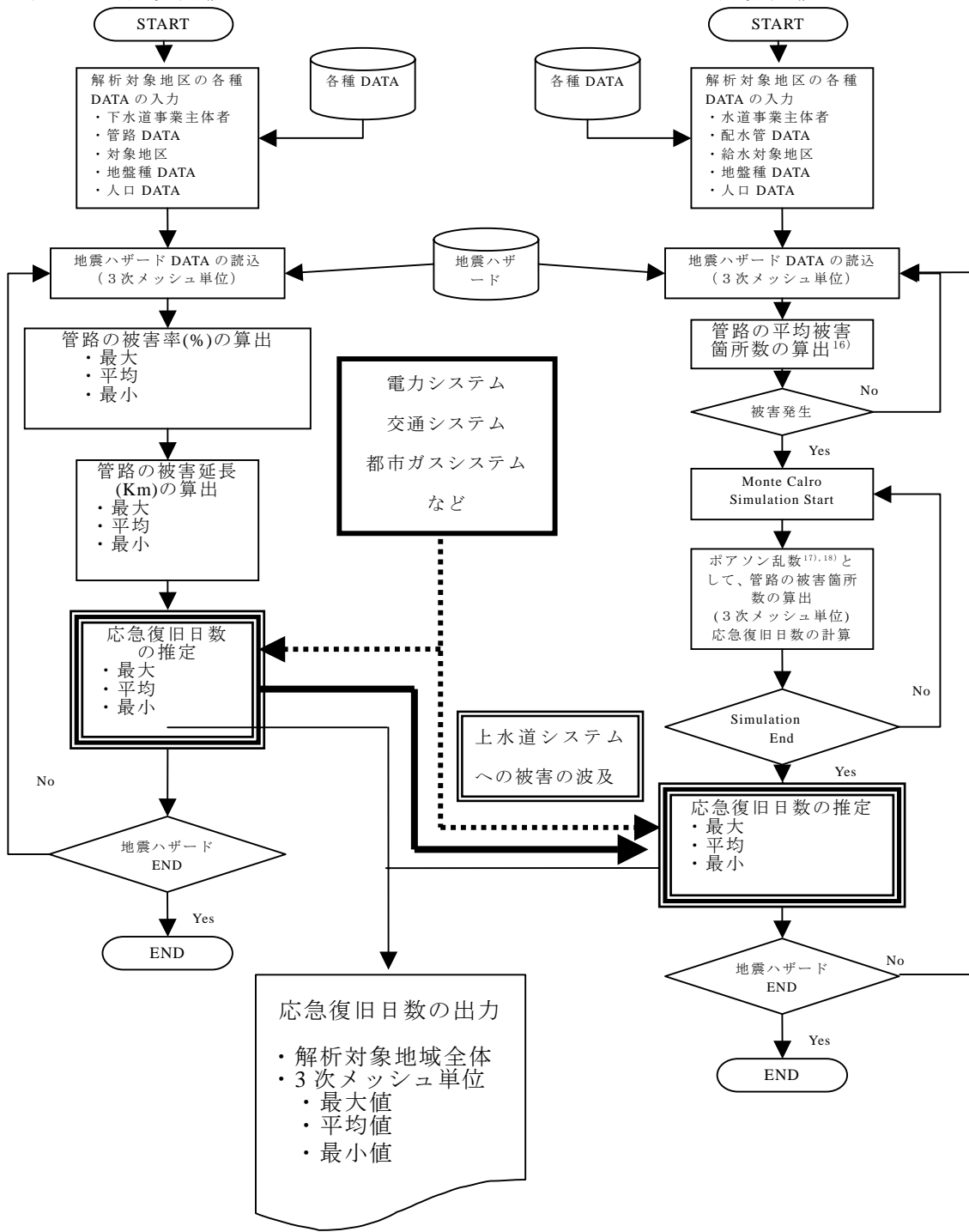


図 14 上水道および下水道の評価モデルの解析フロー

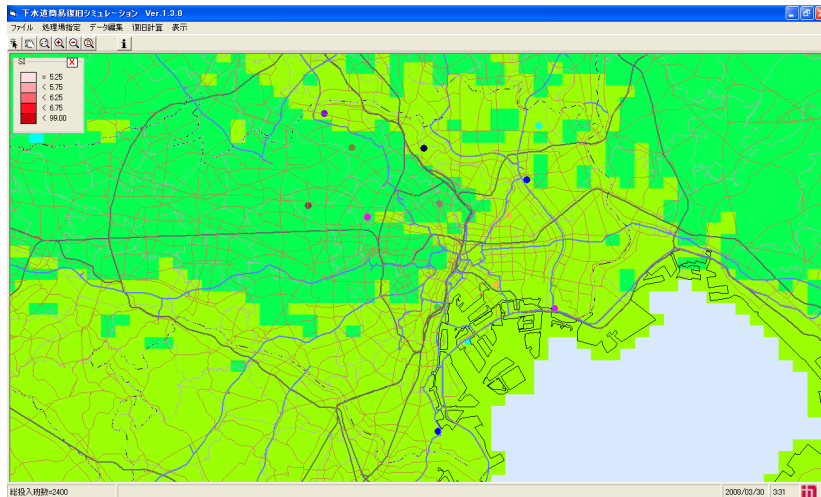


図 15 解析対象地域の地震ハザード

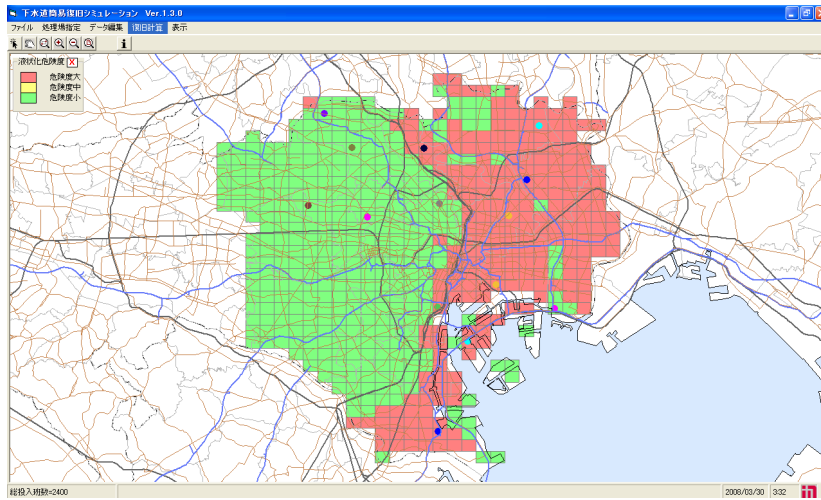


図 16 液状化危険度

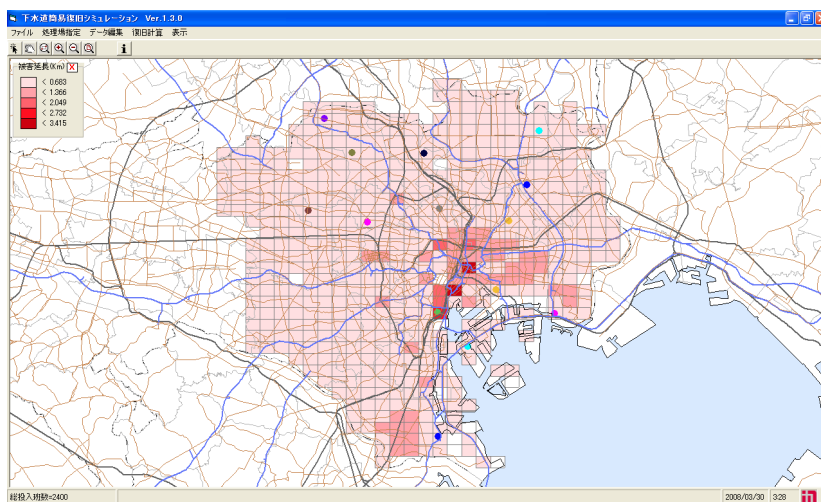


図 17 被害の予測

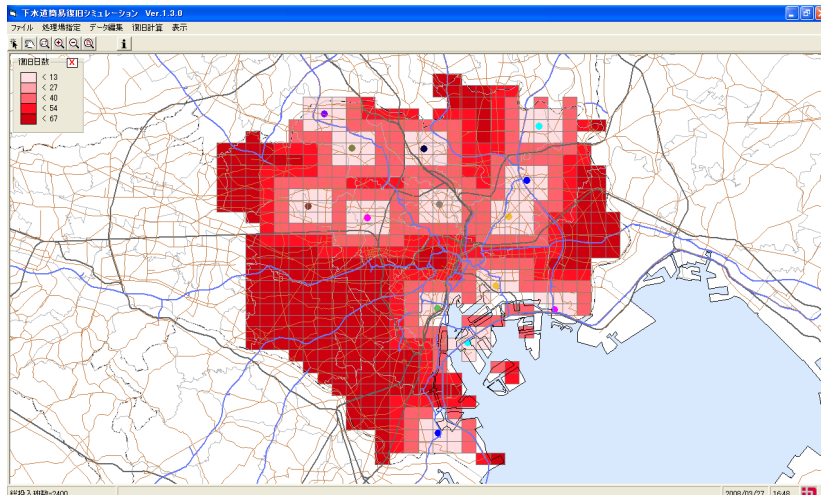


図 18 3次メッシュ単位での復旧期間の予測

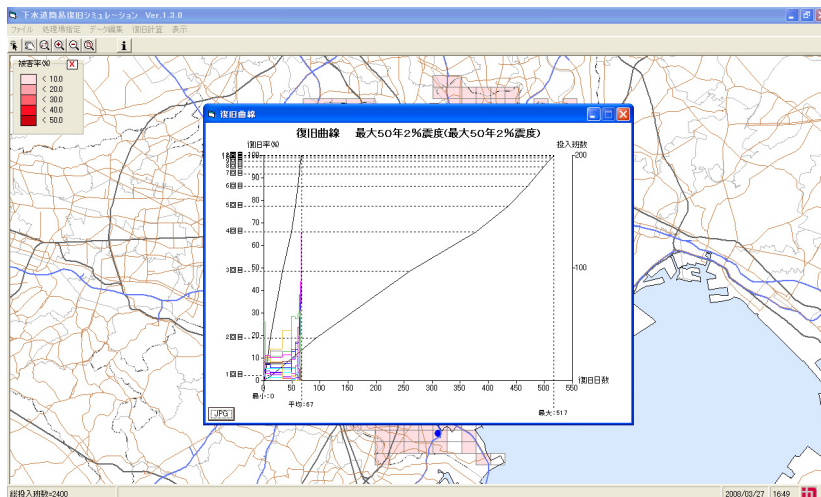


図 19 応急復旧曲線（最大値－最小値－平均値）

(c) 結論ならびに今後の課題

1) ライフラインの直接被害と機能障害が企業活動に与える影響調査

阪神・淡路大震災の被災事例、首都圏における停電事象事例に加え、中央防災会議が実施したアンケート結果、最近の企業へのアンケート調査の定量的分析事例の調査・分析を実施することにより、ライフライン施設や交通基盤施設の直接被害や機能障害が企業活動に与える産業別の影響を整理した。これにより、製造業の生産活動は停電の影響を最も強く受けるが、事業再開時期は復旧期間が長期化する水道や都市ガスに影響を受けることが確認できた。また、非製造業や飲食店などを除くサービス業などでは、事業再開時期は電力供給再開や通信機能回復に強く依存していることが確認できた。

2) ライフラインの機能障害による事業中断期間の評価モデルのコンセプトの検討

個々のライフラインの地震による機能停止期間を予測し、企業などの事業中断期間を予測するための評価モデルの検討を行う。そのための、評価モデルのコンセプトの検討を行った。まず、ライフライン間の被害波及が応急復旧日数の増加につながることから、ライ

ライン間の被害波及に関する考察を行った。上水道システムを例として、電力および下水道からの被害波及による復旧曲線の変化を模式図を用いて考察した。この結果をもとに、評価モデルの基本コンセプトの検討を行い、評価モデルの検討フローを示した。評価モデルとして、メッシュモデルとネットワークモデルの基本コンセプトを示した。

また、下水道の評価モデルの基本コンセプトの検討を行い、上水道の評価モデルを基本とした解析フローを示した。ここでは、電力、交通、都市ガスなどのライフラインの被害波及を考慮した応急復旧日数（最大値、平均値、最小値）の推定を行うことを示した。

最後に、下水道の評価モデル(メッシュモデル)の基本コンセプトを示した。

### 3) 今後の課題

今年度の当初計画では地震動強さ～ライフライン被害状況～企業の業種別事業中断期間の3者の関係を整理する予定であったが、今年度はライフライン被害状況～企業の業種別事業中断期間の関係を整理に傾注した。来年度以降では上記の三者の関連に関する事例データの収集をさらに進め、ライフラインや交通基盤の直接被害、機能障害が首都圏の企業に対して与える影響の調査・分析を継続し、可能な限り産業別に定量化を進める必要がある。

一方、企業などの事業中断期間の評価モデルでは、システム全体の応急復旧期間の予測のみでなく、企業に対するライフラインの機能停止期間をピンポイントで予測することが重要である。そのため、ピンポイントでのライフラインの機能停止期間の推定方法の検討が必要である。

また、電力システム、都市ガスシステム、交通システム、通信システムなどの応急復旧予測を行うためのデータベースの作成と被害推定方法の検討が必要である。さらに、ライフライン間の被害波及構造のモデル化を行い、ピンポイントでの機能停止期間の推定に反映する必要がある。最後に、ライフラインの応急復旧作業の歩掛りの調査を行うことが必要である。

#### (d) 引用文献

- 1) 内閣府（防災担当）：経済・産業分野における首都直下対策検討に関するアンケート調査、首都直下地震対策専門調査会（第7回）事務局資料、平成16年5月。
- 2) 内閣府（防災担当）：経済・産業分野における首都直下対策検討に関するアンケート調査－集計結果－、首都直下地震対策専門調査会（第8回）事務局資料、平成16年6月。
- 3) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告 共通編－3 都市安全システムの機能と体制、1999年6月。
- 4) 熊谷良雄：阪神・淡路大震災による企業の被害と経済影響、Guna Selvaduray 編 The Third US-JAPAN CONFERENCE ON CORPORATE EARTHQUAKE PROGRAMS、College of Engineering San Jose State University, San Jose, CA9512, November 5-7, pp. 101-110、1996. 8.
- 5) 内閣府：阪神・淡路大震災教訓情報資料集、[http://www.bousai.go.jp/1info/kyoukun/hanshin\\_awaji/index.html](http://www.bousai.go.jp/1info/kyoukun/hanshin_awaji/index.html)、平成11年。
- 6) 東京電力株式会社：8月14日に首都圏で発生した停電事故について、TEPCOレポート、pp. 3-5、Vol. 116、2006年。
- 7) 国土交通省総合政策局技術安全課：首都圏大規模停電に係る対策のフォローアップ結果

について、<http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/01/010424.html>、平成 19 年 4 月。

- 8) 独立行政法人防災科学技術研究所川崎ラボラトリー: 文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト III.1 震災総合シミュレーションシステムの開発 突発停電が自治体の業務システムに与えた影響の実態調査報告書、平成 18 年 12 月。
- 9) 梶谷義雄、多々納裕一、山野紀彦、朱牟田善治: 製造業を対象としたライフライン途絶抵抗係数の推計、自然災害科学、Vol. 23、No. 4、pp. 553-564、2005 年。
- 10) 梶谷義雄、多々納裕一、山野紀彦、朱牟田善治: 非製造業を対象としたライフライン途絶抵抗係数の推計、自然災害科学、Vol. 24、No. 3、pp. 247-255、2005 年。
- 11) 梶谷義雄: 新潟県中越地震によるライフライン途絶の地域産業への影響調査、電力中央研究所報告、N05034、2005 年 1 月。
- 12) Applied Technology Council: Earthquake damage evaluation data California、ATC-13、Redwood City、California、1985 年。
- 13) Applied Technology Council: Seismic vulnerability and impact of disruption of lifeline in conterminous Unites States、ATC-25、Redwood City、California、1991 年。
- 14) 星谷勝、大野春雄、山本欣弥: あいまい理論によるライフライン機能の震災影響波及の構造化、土木学会論文集、第 344 号 / I -1、pp. 295~303、1984 年 4 月。
- 15) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会: 阪神・淡路大震災調査報告 ライフライン施設の被害と復旧、1997 年 9 月。
- 16) 社団法人日本水道協会: 平成 16 年度水道統計 施設・業務編、第 87-1 号、2006 年。
- 17) 山本欣弥、永田茂、景山耕平: 上水道システムの地震災害に対する広域復旧戦略シミュレータの開発 (その 2)、土木学会 第 62 回年次学術講演会概要集、I -626、pp. 575~576、2007 年 9 月 12 日~14 日、(於広島大学)。
- 18) 山本欣弥、永田茂、景山耕平: 地震災害に対する配水管路網の広域復旧戦略シミュレータの開発 (II)、第 58 回全国水道研究発表会講演集、9-27、pp. 694~695、2007 年 5 月 23 日~25 日。
- 19) 社団法人日本水道協会: 地震による水道管路の被害予測、1998。
- 20) Ang、A. H-S. and Tang、W. H. 、伊藤学、亀田弘行 訳: 土木建築のための確率・統計の基礎 (Probability Concepts in Engineering Planning and Design)、丸善株式会社、1977 年。
- 21) 星谷勝、石井清: 構造物の信頼性設計法、鹿島出版会、1986 年。

### (e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果	発表者氏名	発表場所	発表時期	国内・外の別
地震災害に対する配水管路網の広域復旧戦略シミュレータの開発（Ⅰ），口頭発表	永田茂， 山本欣弥， 景山耕平	日本水道協会第58回全国水道研究発表会，釧路市、	平成19年5月 23日～25日	国内
地震災害に対する配水管路網の広域復旧戦略シミュレータの開発（Ⅱ），口頭発表	山本欣弥， 永田茂， 景山耕平	日本水道協会第58回全国水道研究発表会，釧路市、	平成19年5月 23日～25日	国内
上水道システムの地震災害に対する広域復旧戦略シミュレータの開発（その1），口頭発表	永田茂，山本 欣弥，景山耕 平	土木学会 第62回 年次学術講演会概 要集，広島大学	平成19年9月 12日～14日	国内
上水道システムの地震災害に対する広域復旧戦略シミュレータの開発（その2），口頭発表	山本欣弥，永 田茂，景山耕 平	土木学会 第62回 年次学術講演会概 要集，広島大学	平成19年9月 12日～14日	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

マスコミ等における報道・掲載

なし

### (f) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

#### 1) 特許出願

なし

#### 2) ソフトウェア開発

なし

#### 3) 仕様・標準等の策定

なし

### (3) 平成20年度業務計画案

本年度は、平成19年に引き続き、近年の地震災害や洪水・豪雨災害などの際にライフ

ラインが被災することによって企業活動に与えた影響の実態調査（現地調査・文献調査）を行なう。また、今年度から地震時のライフライン被害と企業の事業継続性への影響評価モデルの検討を行なう。

成果の目標としては、地震動強さ（震度、地表速度・加速度など）、ライフラインの被害状況、企業の業種別事業中断期間の関係を取りまとめるとともに、ライフライン相互の被害波及を含めて企業活動影響を可能な限り定量的に整理する。また、前記の調査結果をもとに、「複数のライフラインの供給支障による事業中断期間の簡易評価モデル」の基本案を作成する。