

### 3.5.6 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研究

#### (1) 業務の内容

##### (a) 業務の目的

ライフラインの被災による被害波及と復旧過程を記述・解析するモデルを構築することは、都市機能の防護戦略の策定、安全で迅速な機能回復過程の実現、地域防災力の向上を図るために重要である。このためには「広域連携」、「復旧調整」、「自律分散」という相互補完的な対策軸における被害軽減戦略を提案し、社会的インパクトを最小化することが必要である。本研究では、ライフライン被害波及構造モデル、自立分散型拠点の配置モデル、広域連携・復旧調整モデルを構築し、これらをベストミックスした復旧戦略を示す。

##### (b) 平成22年度業務目的

八都庁市の複数ライフラインの応急復旧過程を考慮した企業影響評価  
平成21年度までに提案したメッシュモデルに基づくライフラインの復旧過程予測モデルに対して、委託事業内の個別研究テーマ②の研究成果（被害波及構造に関する研究）を導入し、八都庁市の複数ライフラインを対象とした応急復旧過程シミュレーションを実施する。また、複数のライフラインの応急復旧過程シミュレーションの結果と平成22年度までに構築する企業・事業所の事業中断期間の簡易予測モデルを用いて、ライフラインの機能障害に伴う首都圏企業への影響を検討する。

##### (c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
鹿島建設(株)技術研究所	上席研究員	永田 茂	

#### (2) 平成22年度の成果

##### (a) 業務の要約

平成21年度までに提案したメッシュモデルに基づくライフラインの応急復旧日数予測モデルに関して、見直しを行うと共に、関連する被害波及構造に関する研究成果を参考に簡易な相互影響を導入し、九都庁市の複数ライフラインを対象とした面的な応急復旧日数（機能支障日数）のシミュレーションを完了し、結果を示した。また、複数のライフラインの面的な応急復旧日数（機能支障日数）シミュレーションの結果と今年度構築した企業・事業所の事業中断期間の簡易予測モデルを用いて、東京湾北部地震によるライフラインの機能支障に伴って発生する首都圏企業への影響解析を完了し、事業中断の発生懸念地域を示した。

##### (b) 業務の成果

###### 1) 9都庁市のライフラインの面的な機能支障日数のシミュレーション

本節では、電力・上下水道・都市ガスの応急復旧過程の相互影響を考慮した9都庁市の機能支障日数のシミュレーション結果を示す。9都庁市全域の機能支障日数の評価手順は

下記の手順から構成されている。

- ①ライフラインの機能支障範囲の評価
  - ②ライフラインの機能支障日数の評価
  - ③複数ライフラインの応急復旧過程の相互影響を考慮した機能支障日数の評価
- 以下では上記の項目ごとの結果を記述する。

#### a) ライフラインの機能支障範囲の評価

能島ら<sup>1)</sup>は、阪神・淡路大震災の兵庫県8市、大阪府北部の17市2町を対象として約9,000の町丁目ごとに停電、断水、都市ガス供給停止の有無を調査している。調査結果は、計測震度に対する町丁目単位の電力、上水道、都市ガスの機能支障の有無の頻度分布と計測震度から機能支障確率を推定することが可能な機能的フラジリティ関数に整理している。

本報告では、能島ら研究成果の計測震度に対する町丁目単位の電力、上水道、都市ガスの機能支障の有無の頻度分布を参考にして、表1に示すように一定の計測震度以上の範囲を機能支障の想定範囲とした。これらの値は、能島らの提案する機能的フラジリティの被害率が約5%の以上範囲に相当する。能島らの研究で示されていない下水道に関しては、永田ら<sup>2)</sup>によって地表最大速度に対する詳細な機能停のフラジリティ関数が提案されていることから、機能障害の発生が予測される20cm/sを経験式により計測震度に換算し、計測震度が約5.0以上を機能支障の想定範囲とした。

表1 ライフラインの機能支障範囲の評価基準

ライフライン	機能支障の範囲
電力	計測震度4.5以上の地域
上水道	計測震度5.0以上の地域
下水道	計測震度5.0以上の地域
都市ガス	計測震度5.25以上の地域

図1には、中央防災会議・首都直下地震対策専門調査会によって推定された東京湾北部地震(M7.3)の計測震度分布とその値を用いた場合の電力、上下水道、都市ガスの機能支障の想定範囲を示した。

#### b) ライフラインの機能支障日数の評価

ライフラインの物的被害に伴う機能支障日数の簡易予測式の構築のため、昨年度に調査した最近の5被害地震(2004年新潟県中越地震、2007年能登半島地震、2007年新潟県中越沖地震、2008年岩手・宮城内陸地震、2008年岩手県沿岸北部地震)に、1995年阪神・淡路大震災を加えて電力、上下水道、都市ガスの機能支障日数を調査した。調査対象は、電力、都市ガス、上下水道事業者、自治体、研究報告書などの公開情報である<sup>3)-17)</sup>。調査結果の概要は表2に示す通りであり、機能支障日数の情報収集単位は市区町村、大字町丁目など情報提供機関によって異なっていたり、部分的にしか取得できない地域があったが、可能な限り多くの情報を取得した。

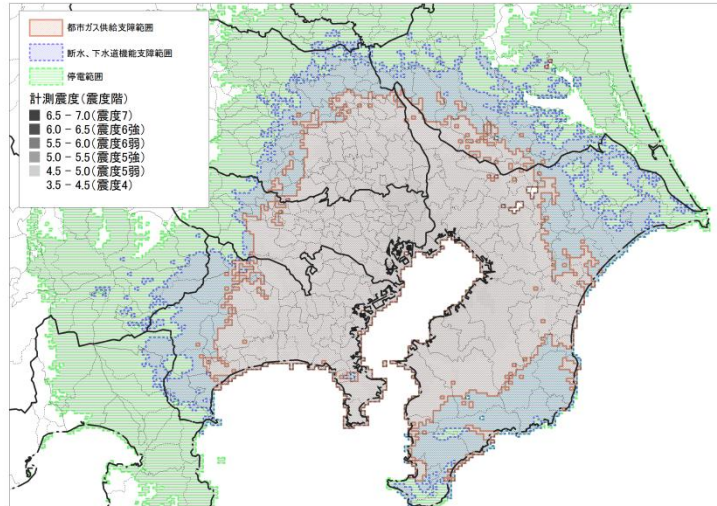


図1 中央防災会議・首都直下地震対策専門調査会による東京湾北部地震の計測震度分布とライフライン機能支障の想定範囲

表2 ライフラインの機能支障日数の調査結果概要

地震	都市名	電力			都市ガス			上水道			下水道				
		最長	最短	データ数	最長	最短	データ数	最長	最短	データ数	最長	最短	データ数		
阪神・淡路大震災	神戸市	6	1	2,843	37	7	162	90	2	1,840	75	3	68		
新潟県中越地震	小千谷市	20	7	145	63	9	101	40	6	124					
	川口町	11	3	41	40	29	31	34	21	35	29	23	31		
	長岡市	11	7	545	66	11	141	38	3	545	66	9	97		
能登半島地震	穴水町	0.3	0.3	1				2	2	1					
	志賀町	0.3	0.3	1				0.2	0.2	1					
	七尾市	0.3	0.3	1				0.2	0.2	1					
	中能登町	0.3	0.3	1				0.2	0.2	1					
	津幡町							0.2	0.2	1					
	能登町	0.3	0.3	1				0.2	0.2	1					
	氷見市	0.3	0.3	1				0.2	0.2	1					
輪島市	0.3	0.3	1				8	8	1						
新潟県中越沖地震	刈羽村	3	3	1	25	25	1	15	15	1					
	出雲崎町	0.0		1			1	2	2	1					
	上越市	1	1	1	2	2	1	3	3	1					
	長岡市	0.0		1	0.5	0.5	1	1	1	1					
柏崎市	3	1	243	42	6	113	15	2	283	41	9	192			
岩手宮城内陸地震	岩手県一関市	0.2	0.2	1				0.2	0.2	1					
	岩手県奥州市	0.2	0.2	1				12	12	1					
	岩手県金ケ崎町	0.2	0.2	1				0.2	0.2	1					
	岩手県北上市	0.2	0.2	1				0.4	0.4	1					
	宮城県塩竈市			1				0.4	0.4	1					
	宮城県栗原市	0.2	0.2	1				13	13	1					
	宮城県大崎市			1				2	2	1					
	宮城県登米市	0.1	0.1	1				0.4	0.4	1					
	宮城県美里町			1				0.2	0.2	1					
	山形県舟形町			1				0.4	0.4	1					
秋田県湯沢市			1				0.4	0.4	1						
岩手沿岸北部地震	岩手県遠野市	0.1	0.1	1				1	1	1					
	岩手県岩泉町	0.3	0.3	1				1	1	1					
	岩手県久慈市			1				12	12	1					
	岩手県宮古市			1				1	1	1					
	岩手県川井村			1				1	1	1					
	宮城県登米市	0.1	0.1	1				1	1	1					
	青森県八戸市	0.1	0.1	1				2	2	1					
総計				20	0.1	3,846	66	0.5	552	90	0.2	2,857	75	3	388

次に、計測震度を地震動強さの指標としてライフラインの機能支障日数の簡易予測式の検討を行った。

計測震度としては、2007年能登半島地震、2008年岩手・宮城内陸地震、2008年岩手県沿岸北部地震、2009年駿河湾沖の地震に関しては気象庁の地震の推計震度分布図<sup>18)</sup>から震度階を調べ、各震度階に対応する計測震度の中央値を採用した。一方、1995年阪神・淡路大震災における神戸地域、2004年新潟県中越地震の小千谷市、旧川口町、2007年新潟県中越沖地震の柏崎市の計測震度分布については、町丁大字単位で機能支障日数の情報が得られたため、標準地域メッシュの1/4メッシュ単位（250mメッシュ）で新たに計測震度を推定した。計測震度の推定では、まずK-NET観測点、KiK-net観測点及び気象庁観測点での加速度記録<sup>19)、20)</sup>から気象庁の計算方法により計測震度を求め、未富ら<sup>21)</sup>の地盤増幅率を引くことで観測点直下の工学的基盤面相当における計測震度を求めた。この工学的基盤面での基盤計測震度の最小2乗分析によって推定した距離減衰式をトレンド成分とするSimple kriging法（相関距離20km）により各メッシュの計測震度を推定した後、地盤増幅率を用いて地表面計測震度を求めた。

ライフラインの機能支障日数の予測式としては、機能支障日数の平均値が未定係数C、 $\mu$ 、 $\sigma$ からなる式(1)の関数を用い、また任意の計測震度に対するライフラインの機能支障日数のばらつきは、未定係数 $\zeta$ を含む式(2)、(3)の対数正規分布と仮定した。式(1)～(3)の未定係数C、 $\mu$ 、 $\sigma$ 、 $\zeta$ は、準ニュートン法により式(4)の対数尤度が最大となるように求めた。

$$R^*(I_{JMA}) = C \cdot \Phi\left(\frac{I_{JMA} - \mu}{\sigma}\right) \quad (1)$$

$$f(R(I_{JMA})) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \zeta \cdot R} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln R - \lambda}{\zeta}\right)^2} \quad (2)$$

$$\lambda = \ln(R^*(I_{JMA})) - \frac{1}{2} \zeta^2 \quad (3)$$

$$\ln[L(C, \mu, \sigma, \zeta; R(I_{JMA}))] = \sum_{i=1}^n \ln[f(R_i(I_{JMA}))] \quad (4)$$

ここで、 $\Phi()$ は標準正規確率分布関数、 $R^*(I_{JMA})$ は計測震度 $I_{JMA}$ における機能支障日数 $R(I_{JMA})$ の平均値であり、C、 $\mu$ 、 $\sigma$ は式(4)によって求める未定係数である。 $f()$ は計測震度 $I_{JMA}$ における機能支障日数の確率分布であり、対数正規分布を仮定した。式(1)において $R^*(I_{JMA})$ が求められるため $f()$ の平均値 $\lambda$ は式(3)により求められ、機能支障日数の対数の標準偏差 $\zeta$ のみが未定係数となり、式(4)によって求めることとなる。式(4)のL()は尤度であり、調査した $I_{JMA}$ 、 $R_i(I_{JMA})$ を用いて計算した $f()$ から求める。

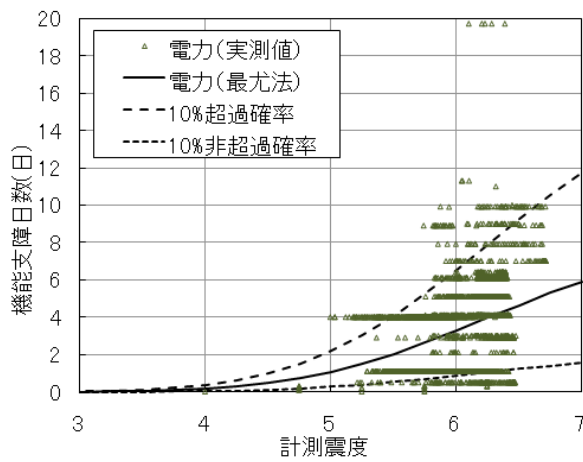
算出したライフラインの機能支障日数の簡易予測式を表3及び図2に示す。図2によれば、簡易予測式による震度6強の電力、都市ガス、上水道、下水道の機能支障日数はそれぞれ5日、22日、32日、24日となる。

図3には、上記の予測式を用いた東京湾北部地震による電力、上下水道、都市ガスの機

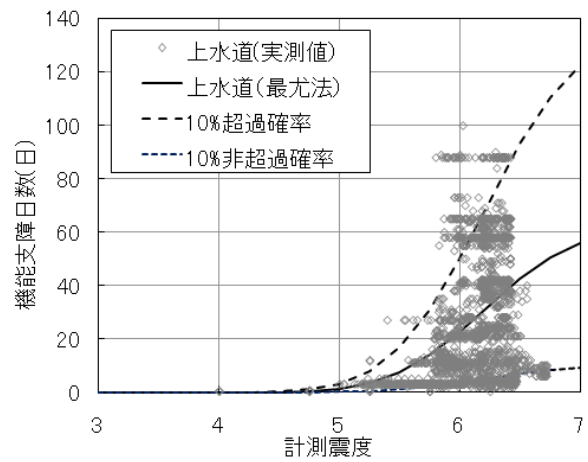
能支障日数の評価結果を示した。

表3 ライフラインの機能支障日数の簡易予測式の係数

ライフライン	C	$\mu$	$\sigma$	$\zeta$
電力	7.952	6.260	1.160	0.781
都市ガス	55.361	6.416	0.679	0.511
上水道	61.575	6.202	0.607	1.013
下水道	60.017	6.522	1.173	0.691
全ライフライン	80.000	6.438	0.582	1.210



(a)電力



(b)上水道

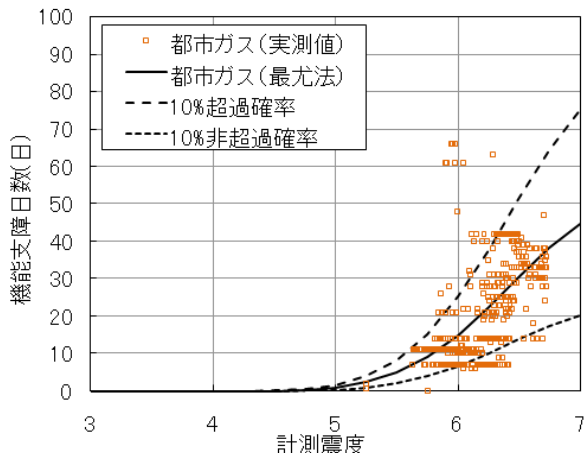
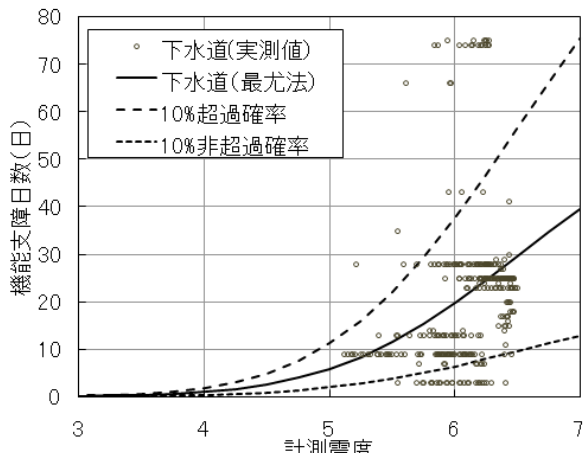


図2 被害地震におけるライフラインの機能支障日数の実測値と簡易予測式

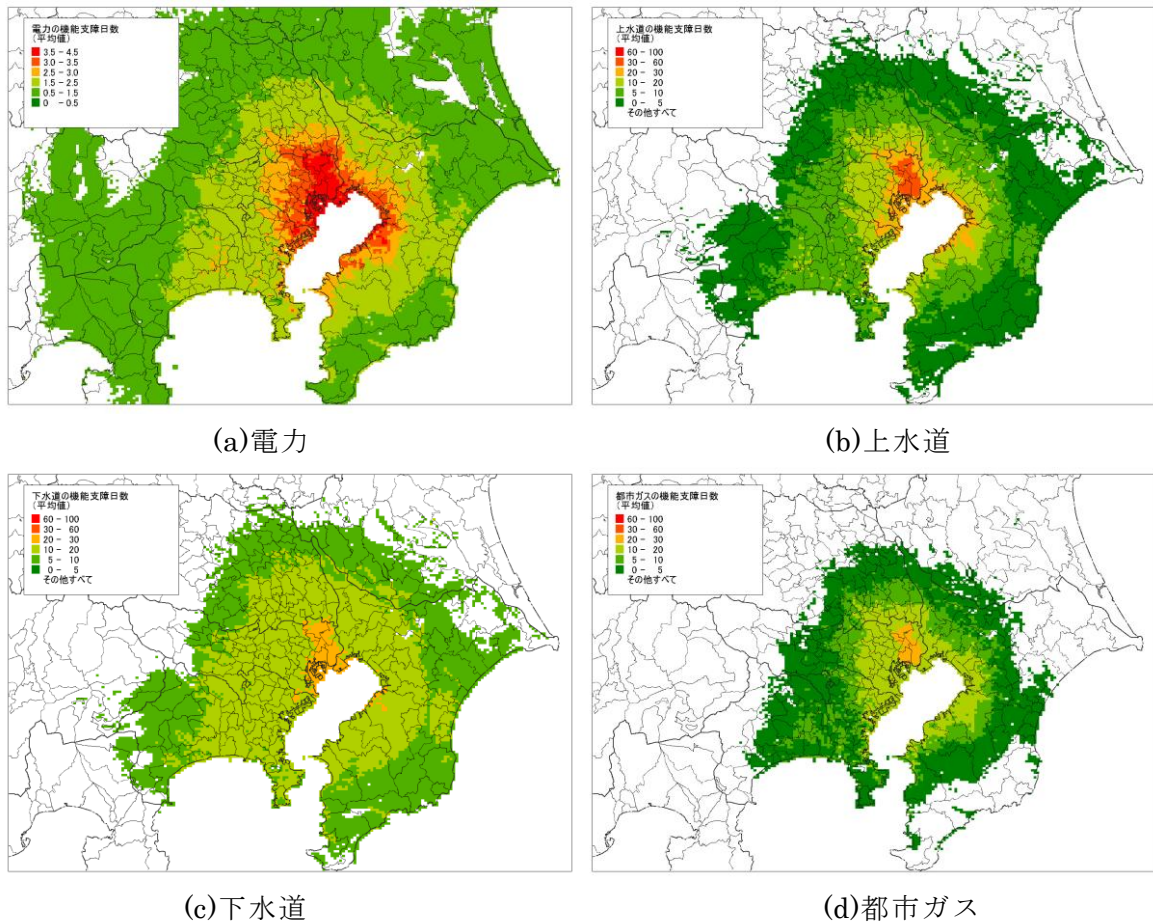


図3 中央防災会議首都直下地震対策専門調査会の東京湾北部地震(M7.2)に対するライフラインの機能支障日数の評価結果（機能支障日数の平均値）

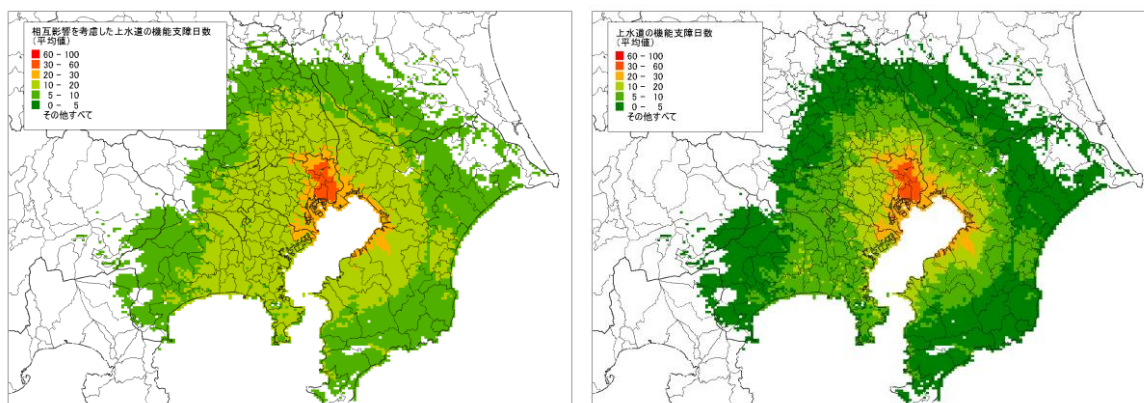
### c) 複数ライフラインの応急復旧過程の相互影響を考慮した機能支障日数の評価

最近の被害地震におけるライフラインの応急復旧過程の相互依存関係を整理すると、電力、都市ガスは他のライフラインとは独立して復旧作業が進められ、顕著な相互影響は見られない。一方、上水道の機能復旧は電力と下水道の機能復旧に依存しており、下水道の機能復旧は電力の機能復旧に依存する傾向が見られた。このため、対象地域の機能支障日数は次式によって求められものと仮定する。

地域 i の電力の機能支障日数	= 電力の応急復旧日数
地域 i の都市ガスの機能支障日数	= 都市ガスの応急復旧日数
地域 i の下水道の機能支障日数	= max (電力、下水道の応急復旧日数)
地域 i の上水道の機能支障日数	= max (電力、上水道、下水道の応急復旧日数)

図3に示した東京湾北部地震の各ライフラインの機能支障日数の平均値に対して上式を適用すると、ライフラインの応急復旧過程の相互影響を考慮した場合、上水道の機能支障日数は下水道の応急復旧状況に依存するため、上水道の機能支障日数は図4のようになる。この図によれば、上水道の被害の応急復旧が0~10日の地域（図4(b)参照）であっても下水道の復旧遅延による上水道の使用制限によって上水道の機能復旧日数は5~20日に

なる地域が発生する事例を示している。



(a)相互影響を考慮した上水道の機能支障日数

(b)図3(b)の再掲

図4 ライフラインの復旧過程の相互影響を考慮した上水道の機能支障日数の評価結果

## 2) ライフラインの機能障害に伴う首都圏企業への影響評価

### a) 事業所の事業中断の発生範囲

表4は、2004年新潟県中越地震、2007年新潟県中越沖地震、2007年能登半島地震、2008年岩手・宮城内陸地震、2008年岩手県沿岸北部地震、2009年駿河湾沖の地震における事業中断等の実態を証券取引所の適時開示情報など公開の情報を基に調査した253事業所の内訳である<sup>22)~24)</sup>。また、表5は、253事業所の事業中断の原因を示したものである<sup>22)~23)</sup>。表5に示す事業中断の原因のうち、建物倒壊などにより事業再開までの日数が長期化したり、事業そのものを中止した5事業所、物的被害は無いがライフラインの供給支障により企業活動に影響が発生した11事業所、物的被害に加えて供給系ライフラインの供給支障により企業活動に影響が発生した13事業所を除くと、建物、設備等の被害に起因するものと考えられる事業中断が224事業所で発生したことになる。

図5には、調査した253事業所と事業中断期間と計測震度の関係を示した。図5の計測震度としては、2007年能登半島地震、2008年岩手・宮城内陸地震、2008年岩手県沿岸北部地震、2009年駿河湾沖の地震に関しては気象庁の地震の推計震度分布図<sup>18)</sup>から震度階を調べて各震度階に対応する計測震度の中央値を代表値とした。一方、2004年新潟県中越地震、2007年新潟県中越沖地震の事業所所在地における計測震度については、比較的狭い範囲に事業所が集中しているため、標準地域メッシュの1/4メッシュ単位(250mメッシュ)で新たに計測震度を推定した。調査した事業所近傍での計測震度に関しては、1)と同様な方法で算出している。

表4 253事業所の業種別，企業規模別の内訳

業種	企業者区分	事業所数	業種	事業所数
製造業	大企業	155 (61%)	製造	111 (44%)
			食品	27 (11%)
			製紙	5 (2%)
			医薬	5 (2%)
			製鋼	4 (2%)
			エネルギー	3 (1%)
		小計	155 (61%)	
	中小企業・小規模企業	40 (16%)	製造	33 (13%)
			食品	7 (3%)
			小計	40 (16%)
製造業計		195 (77%)		
非製造業	大企業	46 (18%)	小売	27 (11%)
			サービス	11 (4%)
			金融	8 (3%)
			小計	46 (18%)
	中小企業・小規模企業	12 (5%)	小売	9 (4%)
			サービス	3 (1%)
			小計	12 (5%)
非製造業計		58 (23%)		
合計		253 (100%)		

表5 企業規模別，業種別の事業中断

企業規模分類	業種分類	事業中断の原因				事業中断無し	総計
		ライフラインの供給支障	物的被害	建物倒壊による長期中断・再建放棄	ライフラインの供給支障+物的被害		
大企業者	製造業	5	49		8	93	155
	非製造業	2	34		4	3	46
	小計	7	83		11	96	201
中小企業者・小規模企業者	製造業	4	17	1	2	16	40
	非製造業		9			3	12
	小計	4	26	1	2	19	52
総計		11	109	5	13	115	253

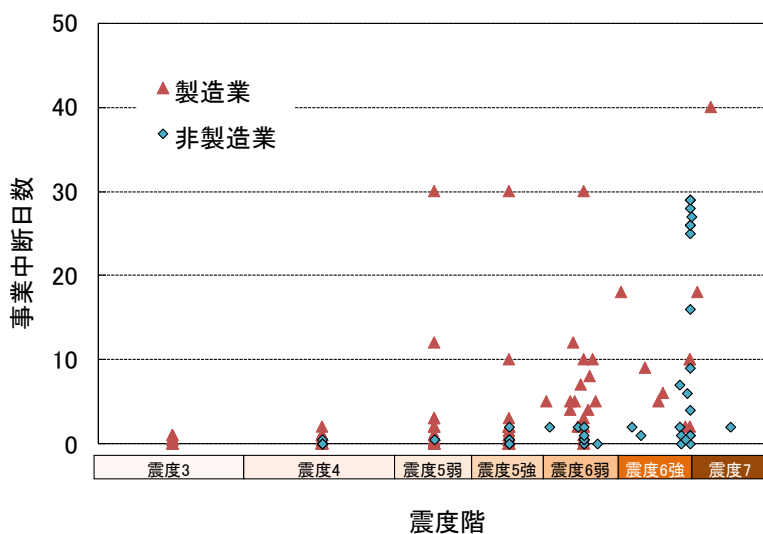


図5 震度別の事業中断日数（業種別）の関係



ここで、地震時における事業中断の発生範囲に関して検討を行うため、上述の建物・設備等の被害に起因して事業中断が発生したと考えられる224事業所を対象として、計測震度に対する事業中断確率の予測式の評価を行った。計測震度に対する事業中断確率のモデル化においては、収集したサンプル数が必ずしも十分ではないことから、事業中断の発生の有無などのように2値反応データの解析手法としてしばしば用いられるロジスティック曲線<sup>25)</sup>によって事業中断の発生確率をモデル化した。式(5)には、使用したロジスティック関数を示した。

$$p = \frac{\exp(b_0 + b_1 \cdot I_{JMA})}{1 + \exp(b_0 + b_1 \cdot I_{JMA})} \quad (5)$$

ここで、 $p$ は事業中断の発生確率であり、回帰分析の目的変数である。 $I_{JMA}$ は回帰分析における説明変数の計測震度である。 $b_0$ 、 $b_1$ は未定係数であり、最尤法によって求めた。

業種別、事業所規模別の事業中断確率の予測式の結果は、表6、図6に示すとおりであり、事業中断の発生確率は業種・事業所規模によって異なる傾向を示している。本検討では、事業中断が発生した事業所数に着目して(図6の茶色の○)、事業中断発生確率約5%以上(計測震度で3以上)の地域を事業中断が発生する範囲と考えて、②以降の分析を行った。中央防災会議よれば9都県市を含むかなり広い範囲で3.5以上の揺れが想定されているため、前出の図1の全域を含めた関東地方のかなり広い範囲で事業中断の発生が想定されことになる。

表6 事業中断発生確率の予測式の回帰係数

事業所分類	回帰係数	
	b0	b1
全事業所	-7.5708	1.4913
製造業	-6.9466	1.3030
非製造業	-7.2896	1.8365
大企業者	-6.3394	1.2578
中小・小規模事業者	-12.8306	2.6010

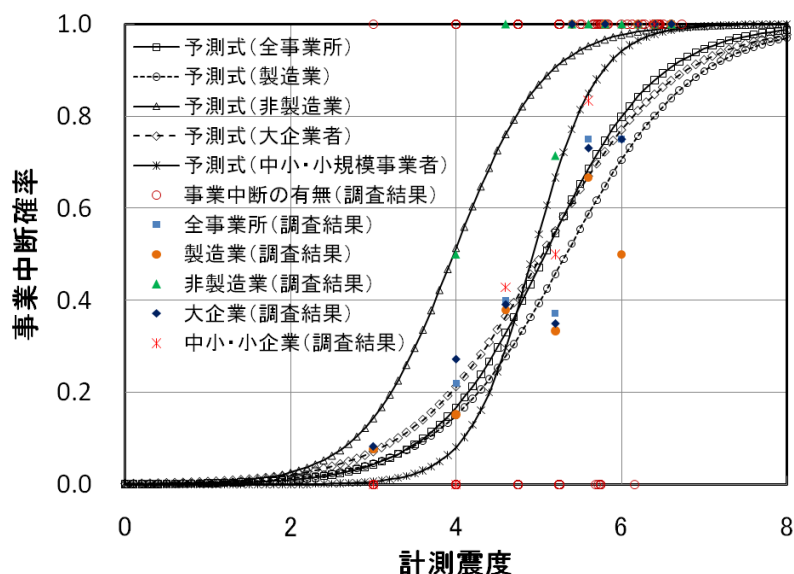


図6 業種別・事業所規模別の事業中断発生確率の評価結果

## b) 事業所の業種・事業所規模別の事業中断日数の予測式

上記の調査・検討結果を踏まえ、建物・設備系等の被害によって事業中断が発生した224事業所を対象として、計測震度を説明変数とする事業中断日数の簡易予測式に関して再検討を行った。事業中断日数の平均値の予測式はライフラインの場合と同様に、未定係数 $C$ 、 $\mu$ 、 $\sigma$ からなる前出の式(1)の関数を用いた。また、任意の計測震度に対する事業中断日数のばらつきは、未定係数 $\zeta$ を含む前出の式(2)、(3)の対数正規分布と仮定した。前出の式(1)～(3)の未定係数 $C$ 、 $\mu$ 、 $\sigma$ 、 $\zeta$ は、準ニュートン法により式(4)の対数尤度が最大となるように求めた。この際、現時点でサンプル数が十分はないことから、未定係数 $\mu$ 、 $\sigma$ の探索範囲に関して $5.75 \leq \mu \leq 7$ 、 $\sigma \leq 1.0$ の制約条件を設けて対数尤度の最大値を求めており、今後の精度向上に向けた課題である。

前出の式(1)～(4)を事業中断の予測式として用いる場合の読替は以下のようになる。 $\Phi()$ は標準正規確率分布関数、 $R^*(I_{JMA})$ は計測震度 $I_{JMA}$ における事業中断日数 $R(I_{JMA})$ の平均値であり、 $C$ 、 $\mu$ 、 $\sigma$ は式(4)によって求める未定係数である。 $f()$ は計測震度 $I_{JMA}$ における事業中断日数の確率分布であり、対数正規分布を仮定した。式(1)において $R^*(I_{JMA})$ が求められるため $f()$ の平均値 $\lambda$ は式(3)により求められ、事業中断日の対数の標準偏差 $\zeta$ のみが未定係数となり、式(4)によって求めることとなる。式(4)の $L()$ は尤度であり、調査した $I_{JMA}$ 、 $R_i(I_{JMA})$ を用いて計算した $f()$ から求める。

計測震度を説明変数とする事業中断日数の予測式の検討結果を表7及び図7に示す。今回対象とした224事業所所在地の計測震度は3.0～6.73であり、図7のこれ以外の計測震度に対する予測値は外挿値である。

事業中断日数の予測式によれば、震度4から事業中断が発生し始め、製造業より非製造業、大企業者より中小・小規模企業者ほど事業中断日数が長くなる傾向を有する予測式となった。計測震度6.25(震度6強)の地震における製造業、非製造業の事業中断日数の平均値は、それぞれ約14日、約10日となる。同様に計測震度6.25の地震における大企業者と中小・小規模企業者の事業中断日数の平均値は、それぞれ約12日、約18日となる。図5に示した平均値周りのばらつきは、全ての予測式において計測震度の増加に伴って大きくなっており、特に製造業、中小・小規模企業者では計測震度の増加に伴うばらつきが大きくなっている。なお、本検討で用いた多くの事業所の事業中断日数は、企業活動を再開するまでの期間と考えられるため、地震前の活動状況に戻るまでの日数はこの予測式の評価結果に一定の日数を加える必要があるものとする。

表7 事業中断日数の簡易予測式の係数

分類	C	$\mu$	$\sigma$	$\zeta$
製造業	20.481	5.750	1.000	1.372
非製造業	17.128	6.151	1.000	1.306
大企業者	16.739	5.750	1.000	1.406
中小企業者・小規模企業者	25.375	5.750	1.000	1.114

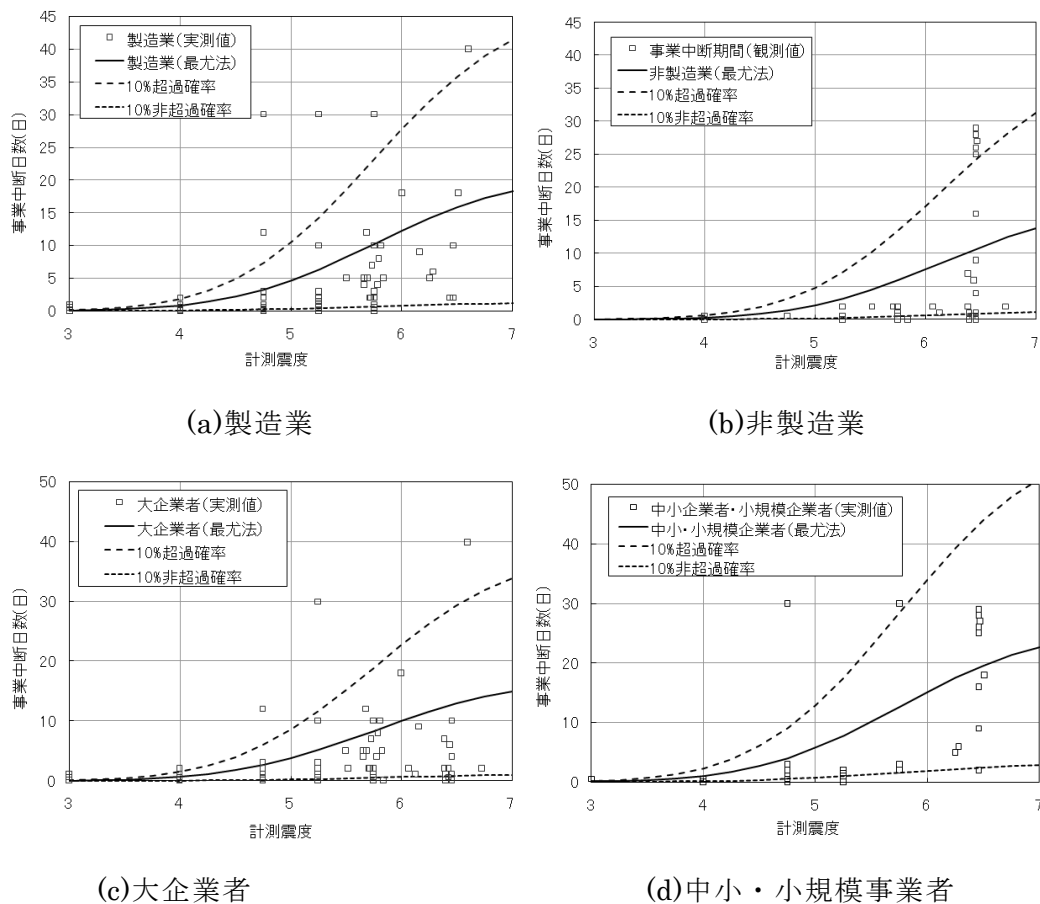


図7 近年の被害地震における事業中断日数の実測値と事業中断日数の簡易予測式

図8には、上記の予測式を用いて東京湾北部地震による9都府市の製造業、非製造業、大企業、中小・小規模事業者の事業中断日数の評価結果を示した。これらの図は、各図の任意の地点に業種、事業所規模別の事業所が存在していた場合の建物・設備被害による事業中断日数の平均値を示しており、ライフラインの供給支障やサプライチェーンの機能支障の影響等は含まれていない。図8(a)製造業、(c)大企業者では東京23区、京浜及び京葉工業地帯の一部で10~20日の事業中断が発生し、それ以外の地域では10日以内の事業中断となっている。図7(d)中小・小規模事業者に関しては9都府市の広い範囲で10~20日の事業中断が発生する可能性を示している。図8(b)非製造業に関しては東京23区、京浜及び京葉工業地帯の一部で5~10日であり、比較的短期の事業中断が予想されている。

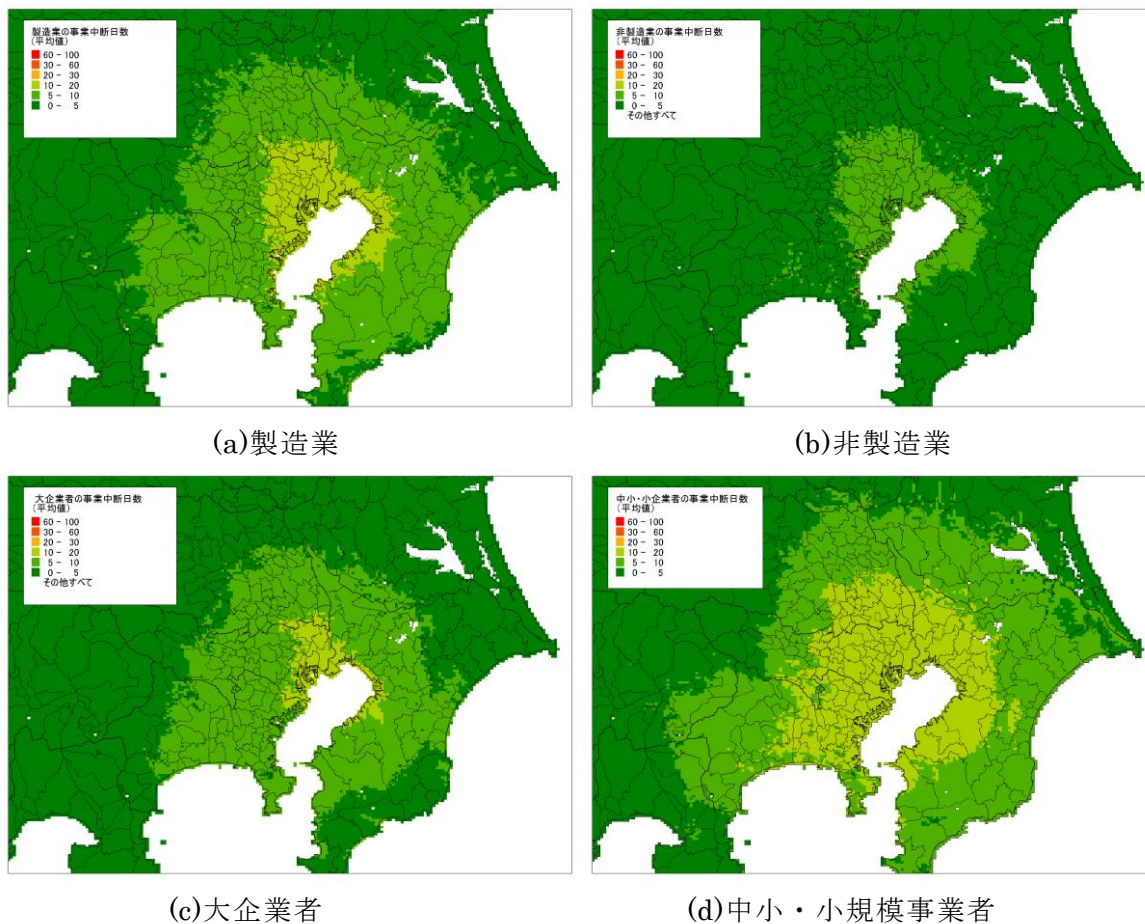
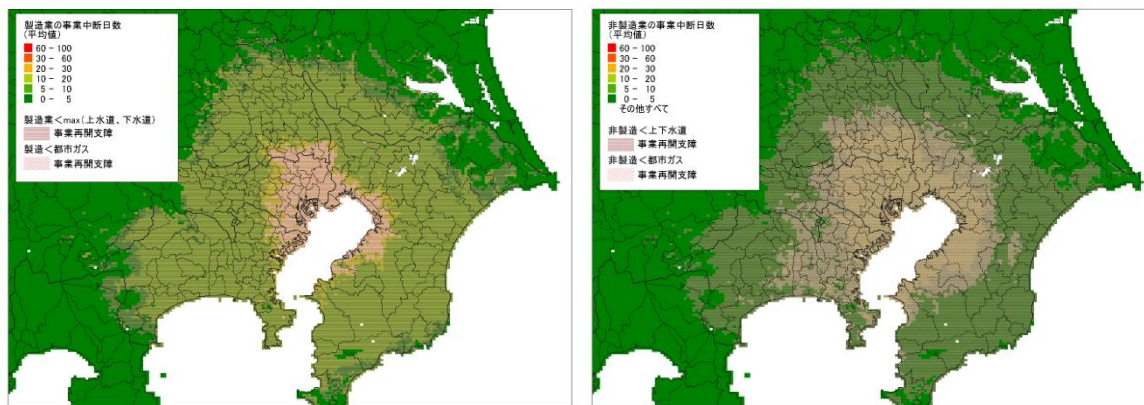


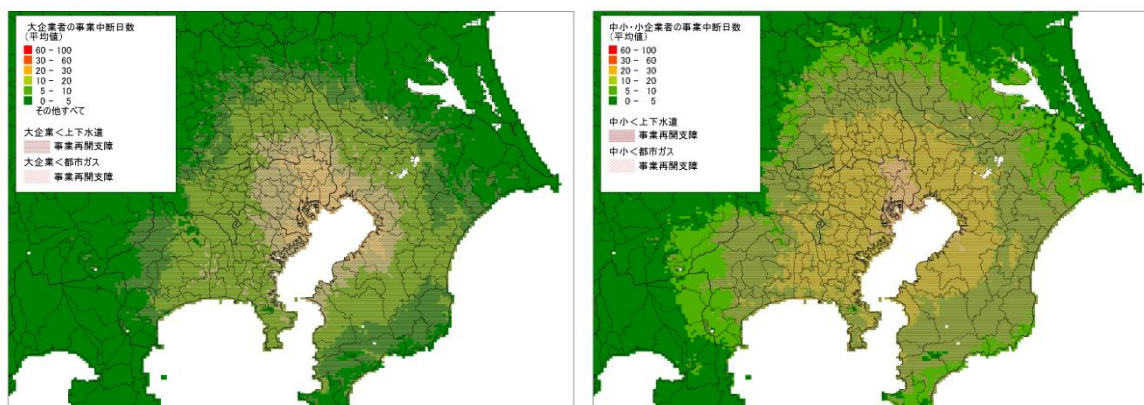
図8 業種、事業所規模別の事業中断日数の評価結果

図8に評価した結果は、主に企業の建物・設備等の物的被害に伴って発生する事業中断期間の予測結果を示すものであるが、この事業中断日数に前節で示したライフラインの機能支障日数を重ね合わせたときに、ライフラインの支障日数が事業中断日数を上回る地域では、ライフラインの機能支障に起因して企業活動の再開支障が発生する可能性があることを示している。図9は、業種・事業所規模別の事業中断日数マップの上に上下水道の機能支障が事業再開に影響する地域（横線部）と都市ガスの機能支障が事業再開に影響する地域（斜線部）を重ね書きしたものである。この図によれば都市ガスの機能支障が事業所の再開に影響を与える地域は東京23区と千葉、神奈川の臨海部などに限定される。一方、上下水道の機能支障は、9都県市の広い地域で事業所の再開に影響を与える可能性があることを示しており、これらの地域では上下水道事業者による耐震化の推進と共に、上下水道の機能支障に対する企業側の対策構築が求められている。



(a)製造業

(b)非製造業



(c)大企業者

(d)中小・小規模事業者

図9 ライフラインの機能支障にともなう事業所の事業再開支障が発生する可能性がある地域（横線部は上下水道の機能支障が影響する地域、斜線部は都市ガスの機能支障が影響する地域）

### (c) 結論ならびに今後の課題

#### 1) 結論

9都県市のライフラインの面的な機能支障日数のシミュレーションでは、平成21年度までに提案したメッシュモデルに基づくライフラインの面的な機能支障日数の予測モデルに対して、簡易な復旧過程の相互影響関係を導入して9都県市の複数ライフラインを対象とした機能支障日数のシミュレーションを実施した。上水道の機能支障日数は下水道の応急復旧作業に大きく受ける可能性があるため、上水道の物的被害復旧が0～10日の地域であっても下水道の復旧遅延による上水道の使用制限によって上水道の機能復旧日数は5～20日と長期化する地域が出現する可能性があることを示した。

ライフラインの機能障害に伴う首都圏企業への影響評価では、平成21年度に検討した企業・事業所の事業中断期間の簡易予測モデルに関して再検討を行うとともに、複数のライフラインの面的な機能支障日数のシミュレーションの結果を用いてライフラインの機能障害に伴う首都圏企業の事業再開における影響地域の評価を行った。これによれば、上下水道の機能支障は9都県市の広い地域で事業所の再開に影響を与える可能性があり、都市ガスの機能支障は東京23区と千葉県、神奈川県臨海部などに限定された一部の地域の事業所の事業再開に影響を与える可能性がある結果が得られた。このため、上下水道事業

者による施設の耐震化の推進が必要であることは言うまでもないが、事業の早期復旧のためには、企業側においても上下水道の機能支障に対する対策検討と実施が求められことになる。

## 2) 今後の課題

本年度実施したライフラインの機能支障日数(応急復旧日数)のシミュレーションでは、ライフラインネットワーク特性を踏まえたシミュレーションまでは実施できていない。このため、来年度の検討では、ライフラインを構成する埋設管ネットワーク特性を考慮したシミュレーションを実施することにより、機能支障日数(応急復旧日数)の予測精度を計りたいと考えている。

### (d) 引用文献

- 1)能島暢呂・杉戸真太・鈴木康夫・石川裕・奥村俊彦：震度情報に基づく供給系ライフラインの地震時機能リスクの二段階評価モデル、土木学会論文集、No.724/I-62、pp.225-238、2003.
- 2)永田茂・石田寛・日下彰宏・濱田政則・庄司学・山本欣弥：近年の被害地震の被災データに基づく下水道管路網の地震被害率曲線の構築、第13回日本地震工学シンポジウム論文集、日本地震工学会、pp.1765-1772、2010.
- 3)経済産業省：報道発表、<http://www.meti.go.jp/press/index.html>.
- 4)東北電力：プレスリリース、<http://www.tohoku-epco.co.jp/news/index.html>.
- 5)北陸電力：プレスリリース、<http://www.rikuden.co.jp/press/>.
- 6)経済産業省新潟県中越地震ガス地震対策調査検討会：新潟県中越地震ガス地震対策調査検討会報告書、2005年7月.
- 7)経済産業省総合資源エネルギー調査会：新潟県中越沖地震における都市ガス事業・施設に関する検討会報告書(案)、2008年3月.
- 8)日本ガス協会：ニュースリリース、<http://www.gas.or.jp/default.html>.
- 9)厚生労働省：報道発表資料、<http://www.mhlw.go.jp/houdou/index.html>.
- 10)厚生労働省健康局水道課：新潟県中越地震水道被害調査報告書、2005年2月.
- 11)厚生労働省健康局水道課：新潟県中越地震水道被害調査報告書長岡市山古志地域編、2005年10月.
- 12)厚生労働省健康局水道課：平成19年(2007年)能登半島地震水道施設被害等調査報告書、2007年8月.
- 13)厚生労働省健康局水道課：平成19年(2007年)新潟県中越沖地震水道施設被害等調査報告書、2008年3月.
- 14)土木学会新潟県中越地震被害調査特別委員会編：平成16年新潟県中越地震被害調査報告書、2006年3月.
- 15)土木学会・地盤工学会：2007年能登半島地震被害調査報告書、2007年10月.
- 16)京都大学防災研究所巨大災害研究センター、新潟大学災害復興科学センター：Emergency Mapping Center REPORT、新潟県中越沖地震対応における地図作成班の活動、2009.
- 17)亀田弘行ほか：阪神・淡路大震災におけるライフラインの復旧過程と生活支障のGIS分

- 析、総合防災研究報告、京都大学防災研究所総合防災研究部門、第6号、1998年。後藤洋三：地震加速度と構造物の被害、基礎工、Vol. 30、No. 12、pp. 23-30、1993。
- 18) 気象庁ホームページ：推計震度分布図、<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/suikai/>。
- 19) 防災科学技術研究所：強震観測網（K-net, KiK-net）、<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/docs/kyoshin.shtml>。
- 20) 気象庁：主な地震の強震観測データ、<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/jishin/index.html>。
- 21) 末富岩雄・石田栄介・磯山龍二：空間補間による地震動分布推定の高精度化のための一検討、土木学会地震工学論文集、Vol. 28、No. 191、2005年。
- 22) 永田茂：近年の被害地震における企業・事業所の事業中断に関する実態調査、安全工学シンポジウム2009講演予稿集、pp. 340-343、2009年。
- 23) 永田茂ほか：近年の被害地震における企業・事業所の事業中断期間のモデル化、安全工学シンポジウム2009講演予稿集、pp. 346-349、2009年。
- 24) 証券取引所（東証、大証、名証、福証、札証、JASDAQ）：適時開示情報。
- 25) 中村永友：Rで学ぶデータサイエンス2（金明哲編） 多次元データ解析法、共立出版、2009。

#### (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（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別
供給系ライフラインの機能障害による重要拠点の影響評価について（口頭）	永田 茂	首都直下地震防災・減災特別プロジェクト③ 八都県市首都直下地震対策研究協議会	2010年10月15日	国内
地震時のライフライン機能支障による企業の事業影響の簡易評価手法について（口頭）	永田 茂	土木学会第2回相互連関を考慮したライフライン減災対策に関するシンポジウム	2010年12月9日	国内

#### (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23年度業務計画案

関連のサブテーマ担当者による被害予測手法、相互関連評価手法を考慮しつつ、上下水道の応急復旧過程の簡易評価モデルを用いて複数の応急復旧戦略に関する上下水道の復旧過程解析を実施する。復旧過程解析結果に関してはサブプロジェクト3全体で開発を進めている京大のマッシュアップシステムに提供する。

複数の応急復旧戦略に関する解析結果を検討し、首都圏企業の早期復旧に効果的なライフラインの震災前後の対策の進め方を社会に向けて提案書をまとめる。

ライフラインの機能支障を踏まえた首都圏企業の事前・事後対策を検討し、社会に向けて提案書をまとめる。