

3.1.1.4 被災者ニーズを踏まえたライフライン被害・復旧情報の体系化

(1) 業務の内容

(a) 業務の目的

ライフライン情報を、地震発災後の市民生活や社会経済活動を下支えする重要情報として捉え、受け手の情報ニーズを明確化した上で、マイクロメディアを利用した災害情報サービスシステムのコンテンツ提供技術を確立することを目的とする。このため、阪神・淡路大震災や東日本大震災等におけるライフライン被害・復旧データを収集・整理・分析し、来たるべき将来の地震の発災後あるいは想定シナリオに対するライフライン被害・復旧状況に関して、ニーズに見合った情報の提供を可能とする予測モデルの構築を目指す。また、マイクロメディアサービスの実証実験を踏まえ、有効性・有用性を検証して改善を図る。

(b) 平成 27 年度業務目的

地震時のライフライン被害・復旧状況に関するデータを収集・分析し、その成果に基づいてライフライン被害・復旧予測手法モデルを構築する。これを想定される地震シナリオに適用して、ニーズに見合ったライフライン情報の提供を目指す。

全国主要都市の上下水道施設データ（メッシュデータ化）をもとに、内閣府の南海トラフ巨大地震、首都直下地震を想定地震とする上下水道施設の被害及び復旧期間の予測精度の高度化を進める。下水管路の液状化による被害拡大要因については、入射波及び地盤の特徴量を反映させた被害関数を構築する。また交通系ライフラインに関しては、津波災害時においてもその機能保持が強く求められる道路網の被害推計を高度化する。まず東日本大震災の津波被災地を対象として、浸水深と平面道路被害率および橋梁・盛土の流出被害量を算定するための被害予測式を構築する。さらに、広域災害対応支援の観点から、東日本大震災の際の緊急輸送道路ネットワークの接続性をもとに岩手県での広域物資拠点の配置状況を定量化し、その結果を南海トラフ巨大地震による被災下での高知県の広域物資拠点の適地選定に応用する。

以上の成果に基づいて、Geo-Portal 上に展開される想定シナリオ（予測震度・津波高分布等）とのマッシュアップによって得られた被害予測の結果を公表する。さらに、人的及び車両ビッグデータとの重ね合わせにより、マイクロメディア・サービスの情報としてのライフライン被害情報の有用性に関する検討を行う。

(c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
国立大学法人岐阜大学 工学部	教授	能島暢呂	
国立大学法人筑波大学 システム情報系	准教授	庄司 学	
国立大学法人千葉大学 大学院工学研究科	准教授	丸山喜久	
鹿島建設株式会社 技術研究所	上席研究員	永田 茂	

(2) 平成 27 年度の成果

(a) 業務の要約

地震時のライフライン被害・復旧状況に関するデータを収集・分析し、その成果に基づいてライフライン被害・復旧予測手法モデルを構築した。これを想定される地震シナリオに適用して、ニーズに見合ったライフライン情報の提供を行った。

全国主要都市の上下水道施設データ（メッシュデータ化）をもとに、内閣府の南海トラフ巨大地震、首都直下地震を想定地震とする上下水道施設の被害及び復旧期間の予測精度の高度化を進めた。下水管路の液状化による被害拡大要因については、入射波及び地盤の特徴量を反映させた被害関数を構築した。また交通系ライフラインに関しては、津波災害時においてもその機能保持が強く求められる道路網の被害推計を高度化した。まず東日本大震災の津波被災地を対象として、浸水深と平面道路被害率および橋梁・盛土の流出被害量を算定するための被害予測式を構築した。さらに、広域災害対応支援の観点から、東日本大震災の際の緊急輸送道路ネットワークの接続性をもとに岩手県での広域物資拠点の配置状況を定量化し、その結果を南海トラフ巨大地震による被災下での高知県の広域物資拠点の適地選定に応用した。

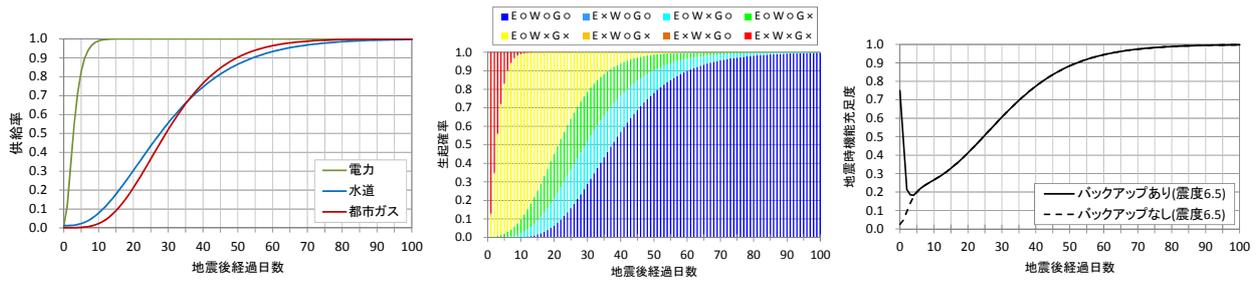
以上の成果に基づいて、Geo-Portal 上に展開される想定シナリオ（予測震度・津波高分布等）とのマッシュアップによって得られた被害予測の結果を公表した。さらに、人的及び車両ビッグデータとの重ね合わせにより、マイクロメディア・サービスの情報としてのライフライン被害情報の有用性に関する検討を行った。

(b) 業務の成果

1) 供給系ライフラインの被害・復旧評価方法の高度化のための検討

a) Excel/VBA によるシステム開発

これまでに構築してきた供給系ライフラインの地震時機能被害・復旧予測モデルを用いて、平成 26 年度には、市町村別評価の Excel/VBA 実装ツールを開発し、日本全国を網羅的に対象とした市区町村別評価を簡便に行うことを可能にした。一部公開してユーザーからのフィードバックを得たところ、地震防災計画や事業計画マネジメントにおいて、ユーザー側の自助・共助によるライフライン対策を促進するための基礎情報として、個別地点（単一／複数）のライフライン機能評価の情報ニーズが高いことがわかった。そこで平成 27 年度においては、任意の個別地点での評価を行うための Excel/VBA 実装ツールを開発した。ユーザーは簡単な入力（震度、バックアップ保有状況、管路脆弱性、ライフライン途絶時の機能充足度など）によって、「システム別の供給率曲線」、「停止パターン別生起確率の時間的推移」、「ライフライン停止パターン別機能充足度」、「地震時機能充足度」などの出力を得ることができる。図 1 に出力例を示す。個別地点では復旧曲線はステップ関数であるから、出力結果の時間関数は多様な可能性を示すものである。このため被害状況に関するプラス要因とマイナス要因に応じてユーザーが柔軟に復旧日数を設定することになる。例えば供給ネットワークと着目地点との位置関係（+：上流側のため早期復旧可能、-：下流側のため復旧がずれ込む）や、被害・復旧状況全般の影響（+：優先復旧協定がある、-：甚大な液状化被害のため復旧がずれ込む）、あるいは状況付与に関するユーザーの基本姿勢（±：標準的な状況を想定、-：最悪に近い状況を想定）などである。なお地点別・市区町村別簡易評価ツールともに Web で公開しており、BCP 策定等の基礎資料としての活用が期待される。

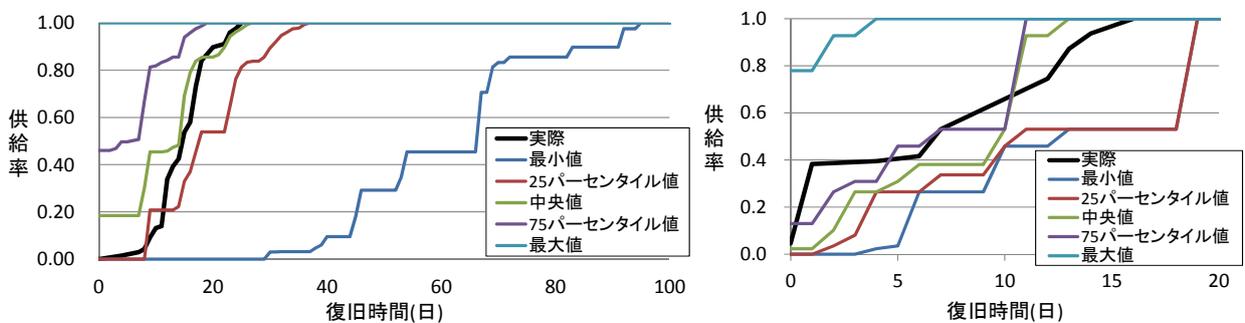


(a) 供給率曲線 (b)パターン生起確率の時間的推移 (c)機能充足度の時間的推移

図1 供給系ライフライン機能被害・復旧予測モデル（個別地点評価）の評価例

b) 基幹施設の被害を考慮した被害・復旧予測モデル

上述の機能被害・復旧予測モデルにおいて、東日本大震災での検証の結果、予測値が実測値と合わない要因の一つとして、広域水道事業の被害による復旧遅延が挙げられた。送水幹線網はリダンダンシーに乏しく、被災時の影響が広域化・長期化する恐れがあり、予測モデルの高度化には欠かせない要因である。平成27年度は、東日本大震災において送水幹線網に被害（管路本体27件、附属施設9件）¹⁾³⁾を受けた宮城県企業局の仙南・仙塩広域水道（管路延長201km、17市町に供給）および大崎広域水道（同131km、10市町村）を対象として機能被害と復旧の再評価を行い、モデルの改良を図った。まず文献¹⁾³⁾に記載の被害統計に基づいて、管種別・管径別の被害率および管径別の標準復旧日数を設定した。次に試行回数を1万回としてモンテカルロ・シミュレーションを行い、東日本大震災における各需要ノードへの送水可能性を評価した。その結果、送水距離が長いほど送水可能性が低下し、復旧時間が長期化する結果が得られ、被災事例を反映していることが確認された。次に、すべての供給率曲線を用いて、各時間断面で最小値、25、50、75%値、最大値をとった代表5線と実際の復旧曲線の復旧過程を図2に示す。シミュレーション幅は大きいものの、中央値は実際の値を概略的に捉えており妥当と判断される。この結果を用いて、受水市区町村における広域水道被害の復旧所要日数として、平均（50%値）、やや小被害（75%値）、やや大被害（25%値）の3種類を設定し、予測モデルによる供給支障人口の推計の改善を図った。具体的には、断水人口の市区町村集計に対して、図3の復旧所要日数による復旧遅延効果と自己水源による緩和効果を考慮して再集計を行った。図4に中央値を用いた結果を示す（余震は今回対象外）。広域水道被害を考慮すると、地震後約2週間の復旧遅延が反映され、予測値の過小評価がやや改善した。しかし自己水源分の復旧進捗を考慮すると改善効果がやや縮小しており、自己水源による復旧を過大評価している可能性がある。今後、ネットワークモデルの詳細化、被害関数、復旧所要日数の設定など、詳細な調査とモデル化が必要である。



(a) 仙南・仙塩広域水道 (b)大崎広域水道

図2 広域水道事業における供給率の復旧過程のシミュレーション

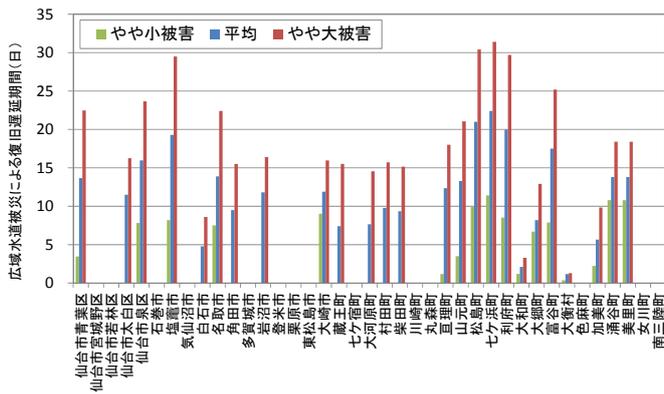


図3 広域水道の復旧所要日数の設定

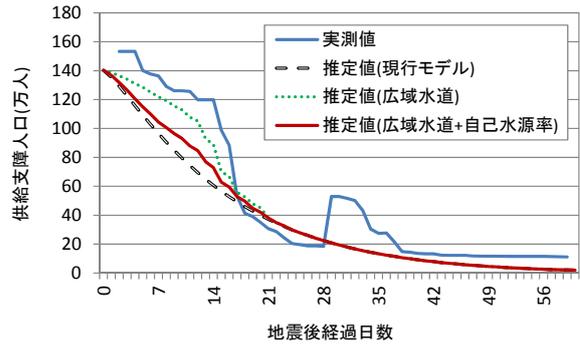


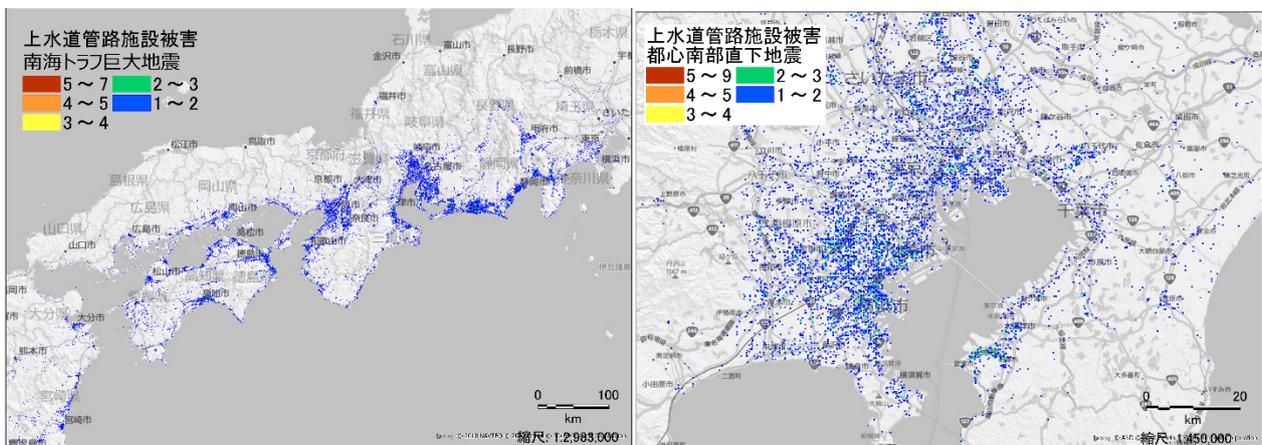
図4 広域水道被害を考慮した予測の改善

2) 上下水道施設の被害・復旧評価方法の高度化のための検討

a) メッシュデータに基づく上下水道管路施設の被害・復旧期間の予測

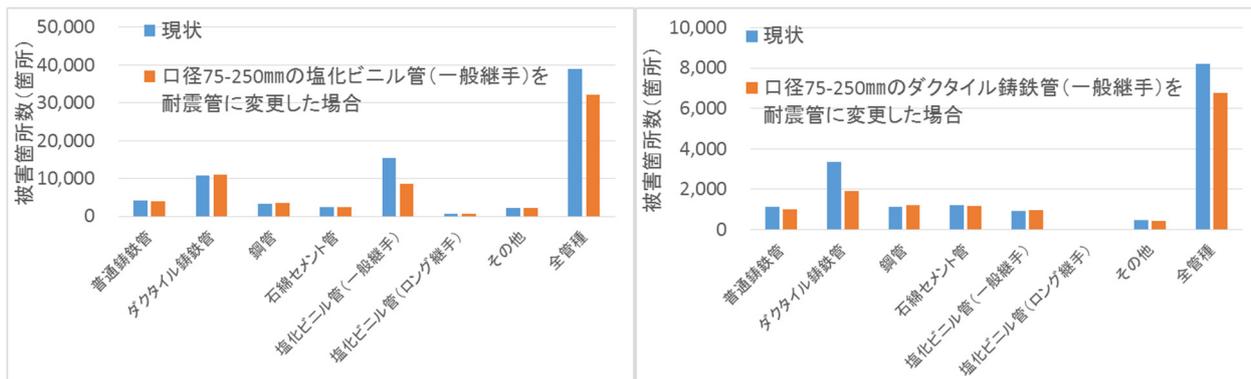
平成26年度に作成した全国主要都市の上下水道管路施設データ（メッシュデータ）をもとに、内閣府の南海トラフ巨大地震、首都直下地震を想定地震とした場合の上下水道管路施設の被害及び復旧期間の予測精度の高度化を進めるとともに、復旧期間に大きな影響を与える管路施設の対策効果の検討を行った。

図5には平成26年度に作成した上水道の管路施設データを使用し、南海トラフ巨大地震（最大ケース）及び都心南部直下地震における管路施設の被害分布を、また図6には管種別被害箇所数の予測結果を示した。地域ごとに使用されている管材の構成比率が違っているため、南海トラフ巨大地震では相対的に塩化ビニル管（一般継手）の被害が卓越し、首都直下地震ではダクタイル鋳鉄管（一般継手）の被害が卓越する結果となった。図6には、それぞれの想定地震で被害が卓越する管材のうち、敷設延長が長い口径75～250mmの50%を耐震管に置き換えた場合の管種別被害箇所数の予測結果も示した。今回の分析では、被害が卓越した管種の50%を各事業者で一律置き換えた場合を仮定したため、両想定地震ともに被害軽減効果は15%程度に留まった。耐震化を効率的に進めるためには、被害予測結果を活用して被害が想定される個所を重点的に対策する必要があることを定量的に示した。



(a)南海トラフ巨大地震の結果 (b)首都直下地震（都心南部直下地震）の結果

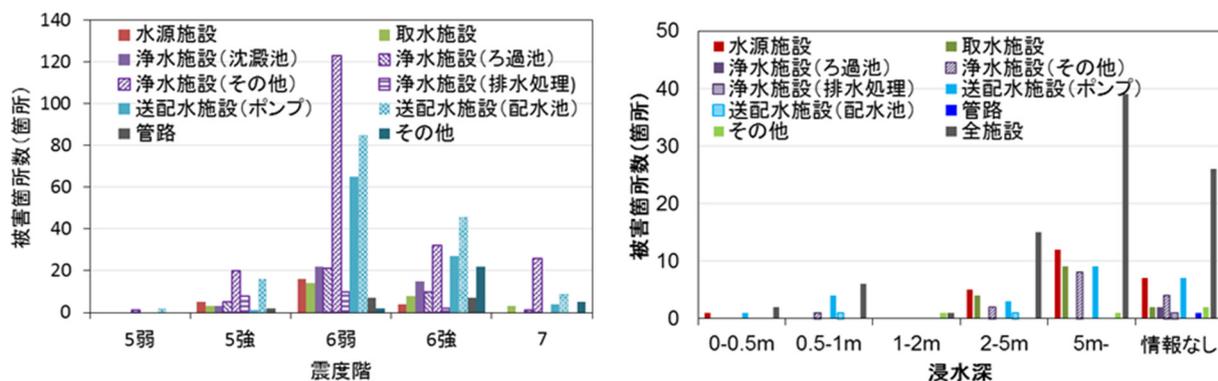
図5 上水道管路施設の被害箇所数の予測結果



(a)南海トラフ巨大地震の結果 (b)首都直下地震 (都心南部直下地震) の結果

図6 上水道管路施設の地震対策効果の検討結果

これまで、管路施設の被害量が多く復旧に時間を要することや管路施設の被害・復旧データの蓄積が進んでいることなどの理由から管路施設を主に対象としてきたが、上下水道システム全体の復旧期間の予測精度を向上させるために水源・取水・浄水・送配水施設などの上水道拠点施設についても研究を進めた。今年度は、上水道拠点施設の地震被害評価及び復旧日数評価方法の構築に向けて、厚生労働省が取りまとめた災害査定データ^{3),4)}の水源・取水・浄水・送配水施設など拠点施設の被害状況や被害要因などに関する基礎的分析を行った。図7には施設区分ごとの地震動強さ及び津波浸水深と被害発生頻度の関係を示した。東日本大震災における水源・取水・浄水・送配水施設の震動被害は震度5強で増え始め、震度6弱で被害箇所数が最大数となった。また、浸水深に関しては2m以上から被害箇所数が増加する傾向が見られ、既往の津波災害の各種分析結果とも一致する傾向が確認できた。来年度は、これらの検討をさらに進め、南海トラフ巨大地震、首都直下地震における拠点施設の震動及び津波被害に伴う復旧期間評価を実施する予定である。



(a)震度と被害の関係

(b)津波浸水深と被害の関係

図7 拠点施設区分ごとの地震動強及び津波浸水深と被害の関係

b) 下水管路の液状化による被害率曲線の構築

下水管路の中でも汚水管を対象として、強震動と液状化による下水道・汚水管の被害が顕著であった茨城県神栖市、ひたちなか市および千葉市美浜区を分析対象とした。被害データは管体や人孔の継ぎ目の破損によって滞水が発生し、応急復旧を要した汚水管延長を表す。各対象地区における総敷設延長は神栖市が242km、ひたちなか市が452km、千葉市美浜区が412kmであり、被害延長はそれぞれ

16.216km、10.362km、12.336kmであった。被害延長 L_d [km]を敷設延長 L [km]で除して被害率 R_L を定義し、管種、管径、液状化を含む地形区分のそれぞれの観点から被害率を算出した。

表1 補正係数

C_p	HP	0.71
	VP	1.00
	CP	1.99
C_d	$0 \leq \phi < 300\text{mm}$	1.00
	$300 \leq \phi < 600\text{mm}$	1.93
	$600 \leq \phi < 1000\text{mm}$	0.97
	$1000\text{mm} \leq \phi$	0.30
	ローム台地	1.01
C_g	沖積平野 [液状化なし]	1.00
	沖積平野 [液状化あり]	9.21
	埋立・干拓地 [液状化なし]	0.28
	埋立・干拓地 [液状化あり]	2.52

表2 標準被害率曲線のパラメータ、拘束条件および適用範囲

	C	μ	σ	ζ	適用範囲
非液状化領域	0.040	5.127	0.010	0.745	$0 \leq IJ \leq 6.1$
液状化領域	0.239	4.475	0.179	0.622	$0 \leq IJ \leq 5.8$

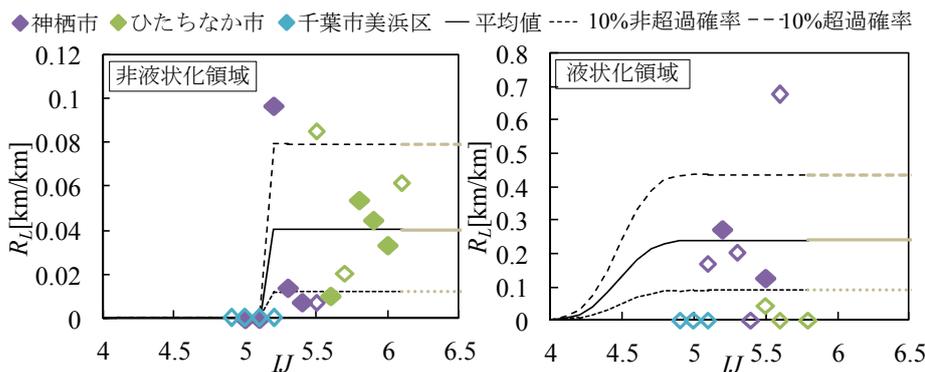


図8 非液状化領域および液状化領域を対象とした污水管の標準被害率曲線

式(1)の配水管の被害推定式を援用し、多変量解析により被害率間の定量関係を明らかにした(表1)。

$$R_L^*(IJ) = C_p C_d C_g R_L(IJ) \quad (1)$$

$R_L^*(IJ)$ は計測震度 IJ を関数とした補正後の被害率、 $R_L(IJ)$ は標準被害率、 C_p 、 C_d 、 C_g はそれぞれ管種、管径、液状化を含む地形区分に関する補正係数を表す。標準被害率は、管種が塩化ビニル管VP、管径が $\Phi < 300\text{mm}$ 、液状化を含む地形区分が沖積平野[液状化なし]の管路属性の組み合わせの場合の被害率と定義する。表1において特に着目したいのは、液状化を含む地形区分の観点から、ローム台地が1.01、沖積平野[液状化あり]が9.21、埋立・干拓地[液状化なし]が0.28、埋立・干拓地[液状化あり]が2.52となり、液状化による污水管被害の実態を地盤の特徴量から説明することができた。

上述の管路属性の組み合わせに対して標準被害率曲線の構築を試みた(図8)。被害率の平均値のモデルは式(2)の標準正規分布を適用し、 C 、 μ 、 σ の各パラメータは最尤法により決定した(表2)。

$$R_L(IJ) = C \cdot \Phi\left(\frac{IJ - \mu}{\sigma}\right) \quad (2)$$

標準被害率曲線の特徴として、被害率が 10^{-3} [km/km]以上となる計測震度 IJ は非液状化領域のデータにおいて $IJ=5.2$ であるのに対し、液状化領域のデータにおいては $IJ=4.1$ と相対的に低い計測震度となった。被害率の漸近値である C の値は液状化領域で $C=0.239$ [km/km]を示し、非液状化領域における $C=0.040$ [km/km]の6.0倍となり、液状化による被害率の助長を適切に反映するモデルとなった。

3) 交通系施設の被害・復旧評価方法の高度化のための検討

a) 津波による橋梁盛土被害率の構築

東北地方太平洋沖地震津波により被災した27の道路橋梁を衛星画像に基づき分析し、その橋台周辺部の盛土の流出面積 A_w と津波作用の関係を明らかにした。津波作用の指標は、橋台位置での浸水高

及び流速の時系列に基づき算定した最大浸水深 ID_{max} 、最大越流水深 OD_{max} 、越流継続時間 T_{OD} 及びピーク直後流速 V_s とした。これらは、東北大学により開発された TUNAMI-CODE を動的な断層破壊及び粗度係数の空間分布を適用できるプログラムに修正して津波の伝播及び浸水の数値シミュレーションを実施することで算定した。あわせて、河川堤防との接続状況並びに橋台及び橋台周辺部の盛土の構造と関連付けながら被害把握を試みた。

その結果、図9に示すように、1) 津波特有の押し波及び引き波の圧倒的な水量による流出メカニズム (M-1)、2) 盛土高さ以上の継続した越流による流出メカニズム (M-2)、3) 津波の流れ場における流速に伴い生じる摩擦力による流出メカニズム (M-3) による被害の特徴が明らかとなった。

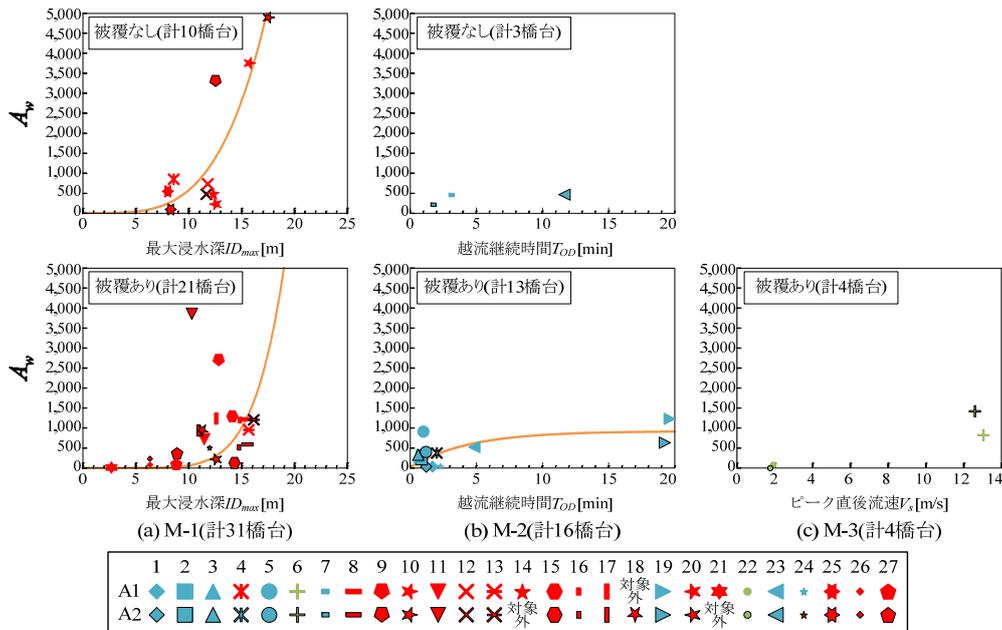


図9 橋梁盛土の流出面積と津波作用の関係

十分なデータ数を有するM-1の被覆なし及び被覆ありの橋台、M-2の被覆ありの橋台を対象として、あわせて図9に示す被害関数のモデル化を試みた。モデル構築に際しては、 ID_{max} の上昇に伴い A_w が上昇し続けること、及び、 T_{OD} が上昇するも A_w が収束することをそれぞれ仮定して次式でモデル化した。

$$\text{M-1 の被覆なし} : A_w = 6.71 \times 10^{-2} \cdot ID_{max}^{3.93}, \text{ M-1 の被覆あり} : A_w = 9.41 \times 10^{-6} \cdot ID_{max}^{6.82} \quad (3a)$$

$$\text{M-2 の被覆あり} : A_w = 9.13 \times 10^2 \left(1 - e^{-3.75 \times 10^{-3} T_{OD}} \right) \quad (3b)$$

b) 津波による平面道路被害予測式の構築

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、青森県から千葉県にかけての太平洋沿岸の広い範囲が津波によって浸水し、道路交通状況に大きな影響があった。本研究では、東北地方太平洋沖地震の際の被災地の地形的特徴（海岸段丘、リアス式海岸、低平地など）ごとに、平面道路の被害分析を行った。なお、平面道路とは道路全体のうち橋や高架を除いた道路のことを指す。

道路の被害データおよび津波の浸水深は、復興支援調査アーカイブ⁵⁾にとりまとめられているものを使用した。地形区分は既往研究⁶⁾を参考に仮定し、東北地方太平洋沖地震の際の津波数値シミュレーション結果の浸水深と流速の関係性をもとに、この地形区分を検証した⁷⁾。その結果、東北地方太

平洋沖地震の津波浸水域を、Ⅰ：海岸段丘を有する地域（青森県階上町から岩手県岩泉町まで）、Ⅱ：リアス式海岸（岩手県宮古市から岩手県大船渡市まで）、Ⅲ：低平地を有するリアス式海岸（岩手県陸前高田市から宮城県石巻市の一部まで）、Ⅳ：低平地（青森県六ヶ所村から青森県八戸市まで、宮城県石巻市の一部から千葉県一宮町まで）の4区分とすることが適当と判断した。地形区分ごとに構築した津波による平面道路被害率の予測式は図10の通りである。

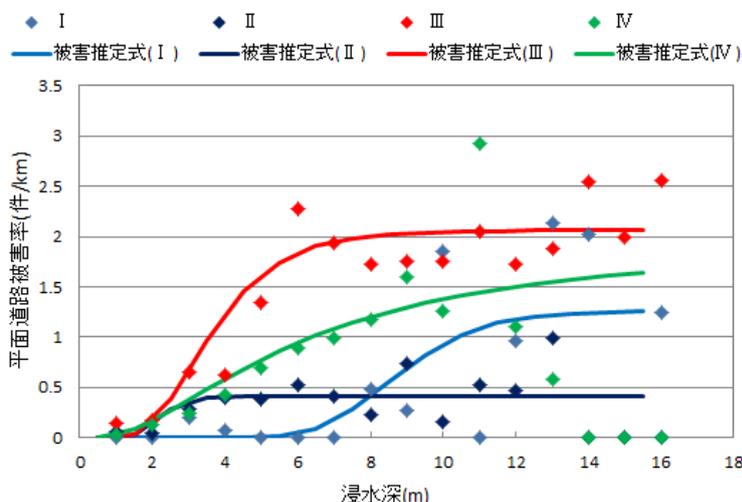


図10 地形区分ごとの平面道路被害予測式

c) 緊急輸送道路網における広域物資拠点に関する検討

東日本大震災の際に、国土交通省東北地方整備局は緊急輸送道路を縦と横の軸からなるくしの歯型とすることにより、救援ルートを確認した。これは「くしの歯作戦」と称され、南海トラフを震源とする巨大地震の発生が懸念される四国地方でも四国版の「くしの歯作戦」が立案されている⁸⁾。一方、東日本大震災時には県の物資集積拠点が存在せず、全国から集められた支援物資を適切に集配できなかったため、岩手県および宮城県では災害対応の拠点となる広域防災拠点の整備が検討されている。広域物資拠点は、沿岸部の津波被災地に対して移動効率が高い立地となることが望まれる。そこで、本研究では、道路ネットワークの接続性をグラフ理論の一種であるスペースシンタックス理論⁹⁾によりグラフ化し、移動効率の高い広域物資拠点の配置状況を客観的に評価することを目的とした。

まず、東日本大震災の事例分析として、岩手県の緊急輸送道路をグラフ化し、スペースシンタックス理論に基づき統合値を算出した。統合値の大きな道路ほど移動効率が高い道路であることを意味する。東日本大震災のときの実際の後方支援拠点（遠野、盛岡、住田、久慈、一関）と、震災後に岩手県広域防災拠点配置計画¹⁰⁾で選定された広域物資拠点（遠野、北上、葛巻、二戸）の統合値をもとに、統合値の累積度数分布が0.6以上となる都市が広域物資拠点として適しているものと判断した。

この結果を南海トラフ巨大地震の発生が懸念される四国地方に適用した。図11は、四国地方の緊急輸送道路をグラフ化し、スペースシンタックス理論に基づき統合値を算出したものである。高知県では、室戸広域公園、春野総合運動公園、高知県立青少年センター、宿毛市総合運動公園の4か所を広域物資拠点施設として指定しているが、室戸と宿毛の統合値は低い。本研究で算出された統合値に加えて、津波による浸水の危険性、市町の職員数などを考慮した結果、香美市、土佐市、南国市、いの町、津野町が広域物資拠点の適地として挙げられた。

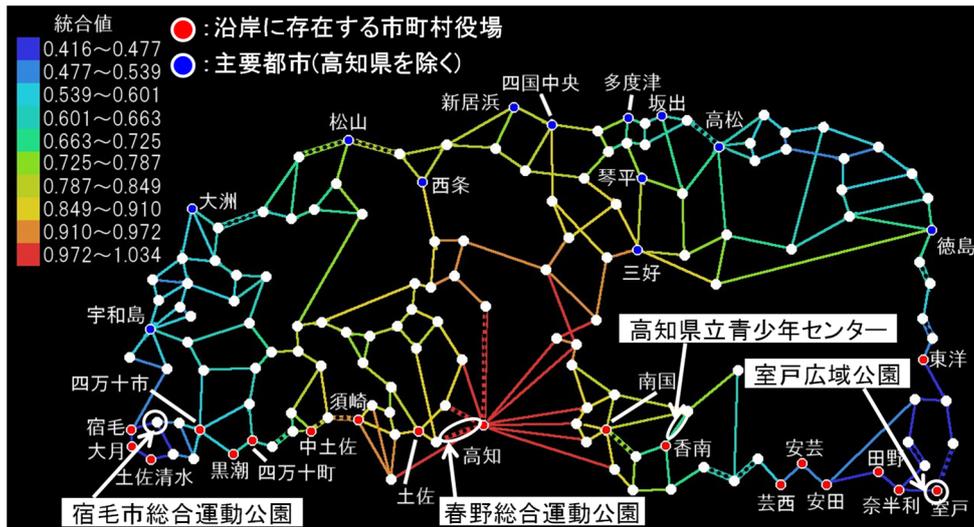
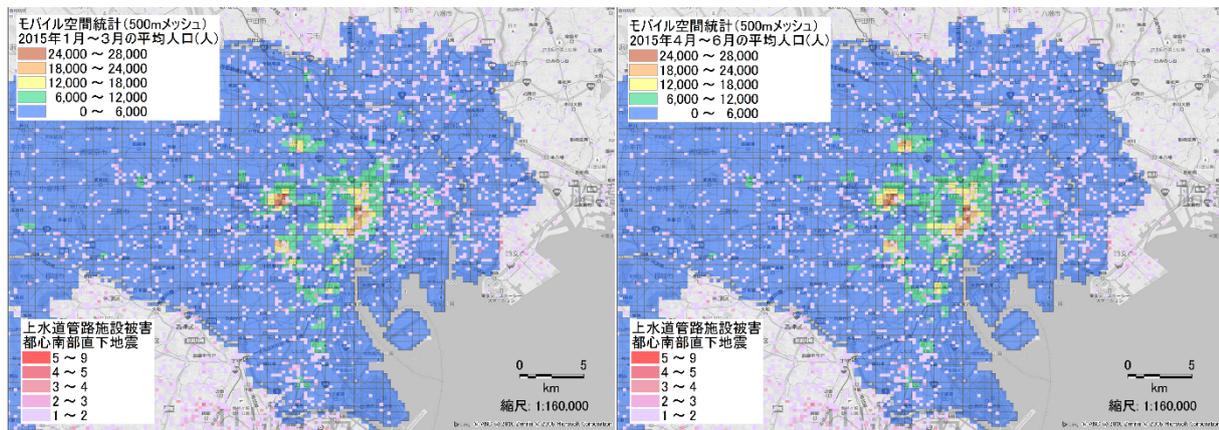


図 11 四国地方の緊急輸送道路の統合値

4) 人・車両ビッグデータの活用に関する基礎的検討

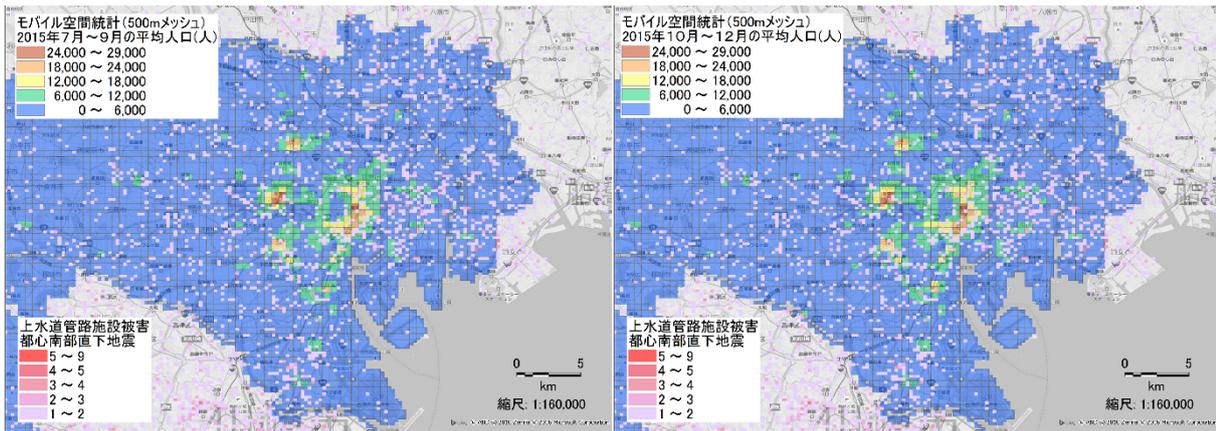
a) スマート・デバイスに基づく流動人口を用いたライフライン機能支障人口推計の試み

平成 26 年度に引き続き、マイクロメディア・サービスのコンテンツとしてのライフライン施設の被害及び復旧情報の活用を進めるため、時々刻々変化する流動人口データとのライフライン被害及び復旧情報のマッシュアップにより、ライフライン途絶対策の検討支援情報としての有効性の検討を継続している。時間・季節ごとの人口動態を用いて首都直下地震に対する断水対策を検討するため、図 12 に示すように首都直下地震における上水道管路施設の被害予測結果とモバイル空間統計データ（NTTドコモの携帯電話と基地局間の通信情報¹¹）から推計した流動人口データ）とのマッシュアップ例を示した。これらの図によれば、都心南部直下地震における上水道管路施設の被害は、東部の江東区や南部の大田区に偏っており、流動人口が集中している東京駅、新宿駅、渋谷駅、池袋駅周辺とはややずれていることが分かった。今後、さらに分析を進めることによって震災時の飲料水、食料の備蓄量の検討に生かしていく予定である。



(a)2015 年 1 月～3 月の平均人口

(b)2015 年 4 月～6 月の平均人口



(c)2015年7月～9月の平均人口

(d)2015年10月～12月の平均人口

図12 流動人口（モバイル空間統計データ）と都心南部直下地震における上水道管路施設被害

b) スマートフォンの位置情報データに基づく流動人口推定の試み

東日本大震災の際に鉄道機関の機能停止や道路の渋滞によって多くの帰宅困難者が発生した。帰宅困難者の数は災害発生時の時間帯により大きく異なるため、帰宅困難者対策には様々な時間帯に応じた流動人口を推定する必要がある。そこで、本研究は、スマートフォンのアプリで取得された位置情報データ¹²⁾を用いて、時間帯ごとの流動人口を推定することを目的とした。

本研究は、JR浜松町駅周辺を対象とした。スマートフォンの位置情報データに基づき推定した時間帯ごとの人数と現地での交通量調査結果の歩行者人数を比較し、スマートフォンのデータ取得数に応じた拡大係数を定めた。本研究で推定された JR 浜松町駅周辺の時間帯ごとの流動人口を図13に示す。

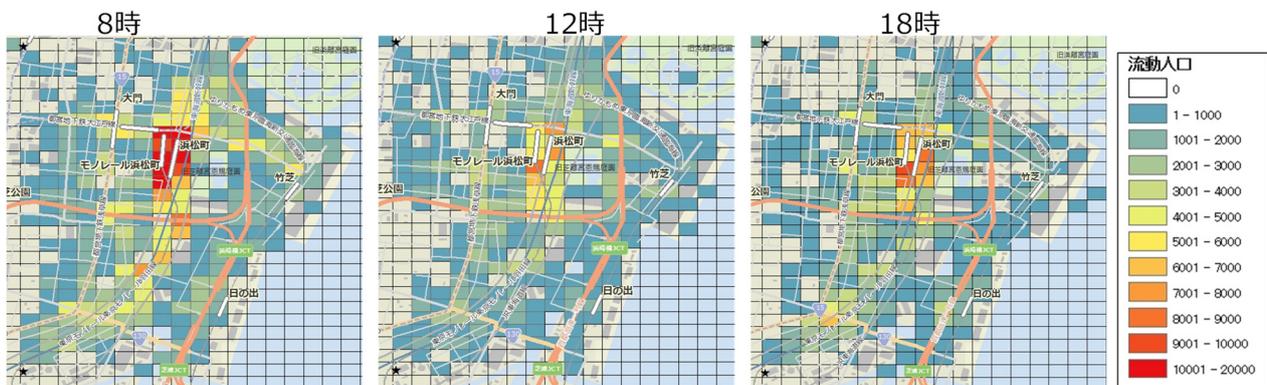


図13 推定された JR 浜松町駅周辺の流動人口の分布（8時台、12時台、18時台）

(c) 結論ならびに今後の課題

平成27年度においては、ライフライン被害・復旧状況データに基づいて、ライフライン被害・復旧予測に関係する様々な手法の高度化を図るとともに、ビッグデータを活用したライフライン情報コンテンツの作成可能性についても検討した。

供給系ライフラインの地震時機能被害・復旧予測モデルを用いて、地点別簡易評価ツールを開発し、先行して開発していた市区町村別簡易評価ツールとあわせて Web で公開した。地震防災計画や事業計画マネジメントの実務において、基礎資料作成のため活用されることが期待される。今後、

ツールの普及に努めるとともに、予測モデルの高度化に合わせて更新を進める方針である。また、上水道の被害・復旧予測については、東日本大震災における宮城県の広域水道システムの被災事例に基づいてモンテカルロ・シミュレーションを行い、各市町の給水地点への送水可能性と復旧所要時間を再評価した。現行の予測モデルにフィードバックしたところ、やや改善が見られたが、十分とはいえない部分も残された。今後、詳細なパラメータ設定のための調査とモデル化が必要である。

平成 26 年度に作成した全国主要都市の上下水道管路施設データ（メッシュデータ）をもとに、内閣府の南海トラフ巨大地震、首都直下地震を想定地震とした場合の上下水道管路施設の被害及び復旧期間の予測精度の高度化を進めた。また、効果的な地震対策を実施するためには、被害予測に基づく対策検討が重要であることを事例解析結果に基づいて示した。今後、拠点施設の被害・復旧モデルを作成し、巨大地震に対する上下水道システム全体の被害影響を把握する必要がある。

東北地方太平洋沖地震において、強震動と液状化による下水道・汚水管の被害が顕著であった茨城県神栖市、ひたちなか市及び千葉市美浜区の被災データを基に管種、管径、液状化を含む地形区分の観点から被害率間の定量関係を評価し、標準被害率曲線の構築を試みた。今後の課題としては、南海トラフ地震等の巨大プレート間地震に対して液状化被害が懸念される地域における水処理系埋設管路の被害推計に本被害率曲線を適用し、その精度検証を試みることである。

東北地方太平洋沖地震津波により被災した 27 の道路橋梁を衛星画像に基づき分析し、その橋台周辺部の盛土の流出領域と津波作用の関係を明らかにし、水位、越流水深及び流速の 3 パターンの流出メカニズムに類型化した上で、被害関数の構築を試みた。今後の課題は、南海トラフ巨大地震津波に曝露される道路網を対象として本被害関数を適用し、被害推計の枠組みを示すことである。

津波の際の平面道路被害予測式を構築した。更なる検証のためには、津波数値シミュレーションの精度を高めるとともに、道路被害形態を考慮することが必要であると考えられる。今後は南海トラフ地震への適用に関する検討を行うことを考えている。

スペースシンタックス理論を用いて、移動効率にもとづき広域防災拠点の配置状況を定量化した。高知県の広域物資拠点の配置状況を分析し、現在の広域物資拠点に加えて、香美市、土佐市、南国市、いの町、津野町を広域物資拠点の適地として選定した。今後は、地震や津波による道路被害、道路閉塞などの影響も考慮することが必要である。

平成 26 年から行っているスマート・デバイスの利用データから推定した流動人口データ（人的ビッグデータ）とライフライン施設被害との重ね合わせにより、マイクロメディア・サービスの情報としてのライフライン被害情報の有用性に関する検討を行った。今後、スマート・デバイスに基づく流動人口分布の推定精度が向上することにより、ライフライン施設の被害・復旧情報とのマッシュアップにより被害影響の時空間分布を正確に把握することが可能になると考える。

スマートフォンの位置情報に基づき、JR 浜松町駅周辺の流動人口を時間帯ごとに推定した。現時点では、1 日分のスマートフォンの位置情報の分析を行っただけであるので、対象数を増やすことによって拡大係数の推定精度を高める必要がある。また、各人の移動経路からトリップエンドとなる地点を抽出し、対流人口を推定することも必要である。

(d) 引用文献

- 1) 厚生労働省健康局水道課・社団法人日本水道協会：平成 23 年(2011 年)東日本大震災水道施設被害等現地調査団報告書、2011.9.

- 2) 社団法人日本水道協会：平成 23 年(2011 年)東日本大震災における管本体と管路付属設備の被害調査報告書、2012.9、http://www.jwwa.or.jp/houkokusyo/houkokusyo_21.html (2016.1.13 アクセス)
- 3) 厚生労働省健康局水道課：東日本大震災水道施設被害状況調査 最終報告書、2013.3.
- 4) 厚生労働省健康局水道課：東日本大震災水道施設被害状況調査報告書（平成 23 年度災害査定資料整理版）、2012。
- 5) 東京大学空間情報科学研究センター：復興支援調査アーカイブ、<http://fukkou.csis.u-tokyo.ac.jp/>
- 6) 山口弥一郎：津波と村、三弥井書店、2011.
- 7) 板垣治、丸山喜久：東北地方太平洋沖地震の際の津波による平面道路の被害分析、第 35 回地震工学研究発表会講演論文集、土木学会、Paper No. C14-767, CD-ROM, 8p, 2015.
- 8) 国土交通省四国地方整備局：東日本大震災の教訓と四国における巨大災害への備え、http://www.soumu.go.jp/soutsu/shikoku/chosa/eisei_inet/pdf/bosai_02.pdf
- 9) 日本建築学会：都市・建築の感性デザイン工学、朝倉書店、2009。
- 10) 岩手県：岩手県広域防災拠点配置計画 <http://www.pref.iwate.jp/anzenanshin/bosai/jishintsunami/023736.html>
- 11) NTT ドコモ：モバイル空間統計に関する情報、
https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile_spatial_statistics/ (2015.12.1 アクセス)
- 12) 株式会社 Agoop：ビッグデータソリューション、<https://www.agoop.co.jp/solutions/bigdata/data/>

(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
東北地方太平洋沖地震に伴う首都圏近傍の鉄道事業者の運休に寄与した要因の考察（口頭発表）	加藤宏紀、能島暢呂	土木学会中部支部平成 27 年度研究発表会（豊田市）	2016 年 3 月	国内
供給系ライフラインの地震時機能的被害・復旧評価モデル —地点別簡易評価法のツール開発—（口頭発表）	加藤宏紀、能島暢呂	第 70 回土木学会年次学術講演会（岡山市）	2015 年 9 月	国内
南海トラフ巨大地震によるエネルギー拠点施設の津波曝露評価（口頭発表）	能島暢呂、加藤宏紀	地域安全学会梗概集、No.36（大島町）	2015 年 5 月	国内
上水道拠点施設の地震被害及び復旧期間評価のための基礎分析（口頭発表）	永田茂	第 6 回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム論文集（東京）	2016 年 1 月	国内
Vulnerability analysis of	Yoshihisa	10th Pacific	2015 年 11 月	国際

water distribution pipes based on the damage dataset compiled for Sendai City after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake (口頭発表)	Maruyama, Shigeru Nagata	Conference on Earthquake Engineering (シドニー、オーストラリア)		
東北地方太平洋沖地震の津波被災地における平面道路被害分析 (口頭発表)	板垣治、丸山喜久	第70回土木学会年次学術講演会 (岡山市)	2015年9月	国内
下水道埋設管の液化化被害地点の地盤を対象とした地震応答解析 (口頭発表)	原昌弘、庄司学	第6回 インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム講演集 (東京)	2016年1月	国内
2011年東北地方太平洋沖地震津波により被災した道路網の橋台周辺部の被害把握 (口頭発表)	高橋和慎、庄司学	第6回 インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム講演集 (東京)	2016年1月	国内
東北地方太平洋沖地震で被災した下水道管路網・敷設下の工学的基盤相当に作用した地震波に関する一考察 (口頭発表)	原昌弘、庄司学	日本地震工学会・大会-2015梗概集 (東京)	2015年11月	国内
東北地方太平洋沖地震津波により被災した橋台周辺盛土の被害把握 (口頭発表)	高橋和慎、庄司学、水越湧太	第70回土木学会年次学術講演会 (岡山市)	2015年9月	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文 (論文題目)	発表者氏名	発表場所 (雑誌等名)	発表時期	国際・国内の別
東日本大震災における鉄道運休と震度分布との関係の確率・統計的分析	能島暢呂、加藤宏紀	JCOSSAR2015 論文集 (第8回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム)	2015年10月	国内
k-out-of-n 遮断システムとしてみた都市ガス供給の第1次緊急停止判断に関するシステム分析	能島暢呂、加藤宏紀	土木学会論文集 AIS、Vol.71、No.4	2015年9月	国内

供給系ライフラインの地震時機能的被害・復旧評価モデル —市区町村別簡易評価法のシステム構築—	加藤宏紀、能島暢呂	日本地震工学会論文集 (JAEE 特集号) 第15巻、第7号	2015年12月	国内
既往の上水道配水管の地震被害予測式の予測精度に関する検討	永田茂、丸山喜久、庄司学	土木学会論文集 A1S、Vol.71、No.4, pp. I_50-I_61	2015年9月	国内
移動効率に着目した高知県における広域物資拠点の選定	羽深裕希、丸山喜久	土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)、Vol. 71, No. 4, pp. I_257-I_264	2015年9月	国内
Damage assessment of water distribution pipelines after the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake	Yoshihisa Maruyama, Shigeru Nagata, Kazue Wakamatsu	Journal of Energy Challenges and Mechanics, Vol. 2, No. 4, pp. 144-149	2015年12月	国際

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

名称	機能
供給系ライフライン地震時機能的被害・復旧予測モデル(地点別簡易評価版)	着目地点の震度入力に対して、各時間断面での電気・水道・都市ガスの平均的な供給可能確率を示す供給率曲線が算出・図示される。バックアップ保有による影響緩和効果の検討や、また断水による影響波及効果の検討も可能である。 http://www1.gifu-u.ac.jp/~nojima/take_out_LLEQ.htm

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 28 年度業務計画案

平成 28 年度においては、平成 27 年度までに構築したライフライン・インフラ機能被害・復旧予測手法をさらに高度化・拡張し、想定地震を対象とした被害・復旧予測シミュレーションを実施して、その情報の利活用を図る。

供給系ライフライン（電力・上水道・都市ガス）と下水道に関しては、高度化・拡張した機能被害・復旧予測手法と主要都市を対象に作成した施設データを用いて、内閣府の南海トラフ巨大地震・首都直下地震などを想定地震とする被害・復旧予測シミュレーションを実施して、巨大災害発生時の失見当期の短縮、状況認識の統一のための情報としての利活用を検討する。特に、液状化被害が懸念されるモデル地区を対象に、入射波及び地盤の特徴量を反映させた被害関数に基づき、液状化による被害拡大リスクの評価を行う。

高速道路網に関しては、近年の被害地震の際の事例をもとに復旧予測モデルを構築し、南海トラフ巨大地震に適用して、高速道路の被害・復旧予測を行う。平面街路に関しては、東北地方太平洋沖地震の事例をもとに構築した平面道路の被害関数を用いて、南海トラフ巨大地震を対象とした被害予測を行う。さらに、想定される南海トラフ巨大地震津波に暴露される道路交通インフラを対象として、落橋確率を推計した上でその空間分布の特徴を明らかにし、工学的な対策を立案する。以上の結果を Web-GIS 上に展開し、各種情報とのマッシュアップを行い、ニーズに見合ったライフライン情報を提供して、都市防災における活用事例の作成及び周知を行う。