

3.5.2 ライフライン施設被害の相関性と復旧過程の実態解明

(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23年度業務目的

平成23年度は、過去4年間実施してきた首都直下地震におけるライフライン（上水道管）被害予測結果を首都圏地域を中心にとりまとめ、京都大学防災研究所が構築するマッシュアップシステムへの実装を行う。また、首都直下地震として東京湾北部地震のみを検討対象としてきたが、サブプロ1で予測される首都直下地震時の上水道管被害予測も実施し、マッシュアップシステムへの実装を目指す。

1) 東京湾北部地震における上水道被害予測結果のシステム実装

平成20年度から各都県に依頼して収集してきた1都3県の上水道管路延長データ（250mメッシュ）と中央防災会議が予測した東京湾北部地震の地震動強さ分布を用いて推定した広域上水道管被害予測結果を京都大学防災研究所が構築するマッシュアップシステムへ実装する。

2) サブプロ1が予測する首都直下地震における上水道被害予測結果のシステム実装

1都3県の広域被害予測を行うために、整備してきた上水道管路延長データをもとにサブプロ1が予測する首都直下地震動情報を用いて、広域水道管被害予測を統一的手法により行い、都県境界をまたいで地震に脆弱な地域を指摘し、さらに復旧の際の広域連携のあり方などを検討する際の基礎資料となるデータをまとめる。また、予測された結果を京都大学防災研究所が構築するマッシュアップシステムへ実装する。

3) 国内外の学会への参加・研究発表

The 9th International Workshop on Remote Sensing for Disaster Management(サンフランシスコ)、および The 2011 International Conference on Earthquakes and Structures(ICEAS'11、ソウル)へ参加および成果発表を行う。International Workshop on Remote Sensing for Disaster Managementでは、リモートセンシング画像を用いた地震被害想定に使用する空間基盤データの整備方法に関する成果発表および議論を会議参加者で行い、ICEAS'11では東京湾北部地震における1都3県の広域ライフライン被害予測結果にもとづく被害相関性に関する成果発表および議論を会議参加者で行う。得られた知見を取り入れ、最終成果に反映させる。その他、地域安全学会等の国内学会においても成果発表及び議論を行う。

(c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
千葉大学大学院工学研究科	教授	山崎文雄	
千葉大学大学院工学研究科	准教授	丸山喜久	

(2) 平成23年度の成果

(a) 業務の要約

- ・平成23年度は、過去4年間実施してきた首都直下地震におけるライフライン（上水道管）被害予測結果を首都圏地域を中心にとりまとめ、京都大学防災研究所が構築するマッシュアップシステムへの実装を行った。
- ・1都3県の配水管インベントリーデータの見直しを行い、中央防災会議によってとりまとめられている東京湾北部地震とサブプロ1で予測された首都直下地震時の際の上水道の被害予測を実施した。両者の結果は、マッシュアップシステムへ実装する。
- ・The 9th International Workshop on Remote Sensing for Disaster Management(サンフランシスコ)、およびThe 2011 International Conference on Earthquakes and Structures(ICEAS'11、ソウル)へ参加および成果発表を行った。International Workshop on Remote Sensing for Disaster Managementでは、リモートセンシング画像を用いた地震被害想定に使用する空間基盤データの整備方法に関する成果発表および議論を会議参加者で行った。ICEAS'11では東京湾北部地震における1都3県の広域ライフライン被害予測結果にもとづく被害相関性に関する成果発表および議論を会議参加者で行った。得られた知見を取り入れ、最終成果に反映させる。さらに、地域安全学会等の国内学会においても成果発表及び議論を行い、最終成果を見直した。

(b) 業務の成果

1) 1都3県の上水道管延長データの整理

東京、神奈川、埼玉、千葉の1都3県は、中央防災会議・首都直下地震対策専門調査会が想定している東京湾北部地震¹⁾を想定地震として、地震被害想定調査結果をとりまとめ公表している²⁾⁻⁵⁾。地震被害想定は、自治体やライフライン事業者の地震防災対策の充実、住民の自助力の向上、大地震に対する自治体間の広域連携の推進を目的としている⁶⁾。

本業務では、平成22年度までに1都3県の地震被害想定によって用いられた上下水道管路網や建物データ等の都市基盤データを収集してきた。各都県とも国の定めた標準地域メッシュである4分の1地域メッシュ（約250mメッシュ）単位に都市基盤データが整備されていた。本研究で用いる上水道管データについて着目すると、250mメッシュごとに管種、管径別の配水管延長が整備されていた。

データの提供を受けた自治体へのヒアリング調査や各種統計データと比較した分析結果によると、各都県の地震被害想定で用いられた配水管データは、建物棟数や夜間人口などで比例配分して求めたメッシュごとの配水管延長を使用していることが分かった⁷⁾。このため実際には配水管が敷設されていないにもかかわらず、地震により配水管に被害が生じると予測される地域が存在したりするなど、都市基盤データの誤差が地震被害想定結果に影響する可能性があることも確認されている。

永田・山本⁸⁾は、複数の自治体から入手した埋設管路のベクトルデータから作成した標準地域メッシュの4次メッシュ(500mメッシュ)単位の管種・管径別管路延長と同じメッシュに割り当てられた人口、世帯数、事業所数などの各種統計データ、道路延長、地形区分などのデータを用いて埋設管の敷設範囲の判別式と埋設管延長の予測式に関する検討を行った。その結果、道路延長、昼夜間人口、地形などをパラメータとした上水道管、下水道管、ガス管の判別式を提案し、道路延長、一戸建世帯数、事業所数、共同住宅世帯数をパラメータとする埋設管路延長の予測式を構築している。本研究では、この方法に従って1都3県の配水管延長を推定した(図1)。

図2に、永田・山本⁸⁾による推定結果と1都3県の地震被害想定で用いられた配水管延長データの比較を行う。東京都が地震被害想定に用いた配水管延長データは、延長を建物棟数のみで比例配分しているため、中央区有明や港区台場等の高層建物が多く建物棟数が少ない埋立地の延長が短く推定されている。一方、永田・山本⁸⁾の方法では、埋設管延長の予測式に道路延長、事業所数などの説明変数を用いていることから、そのような現象が回避されている。このことから、1都3県の地震被害想定で用いられた配水管延長よりも永田・山本⁸⁾による推定結果の方が妥当であると考えられ、本研究の配水管被害予測および京都大学防災研究所のマッシュアップシステムに提供するデータについては、図1のインベントリーデータを用いた被害想定結果とする。

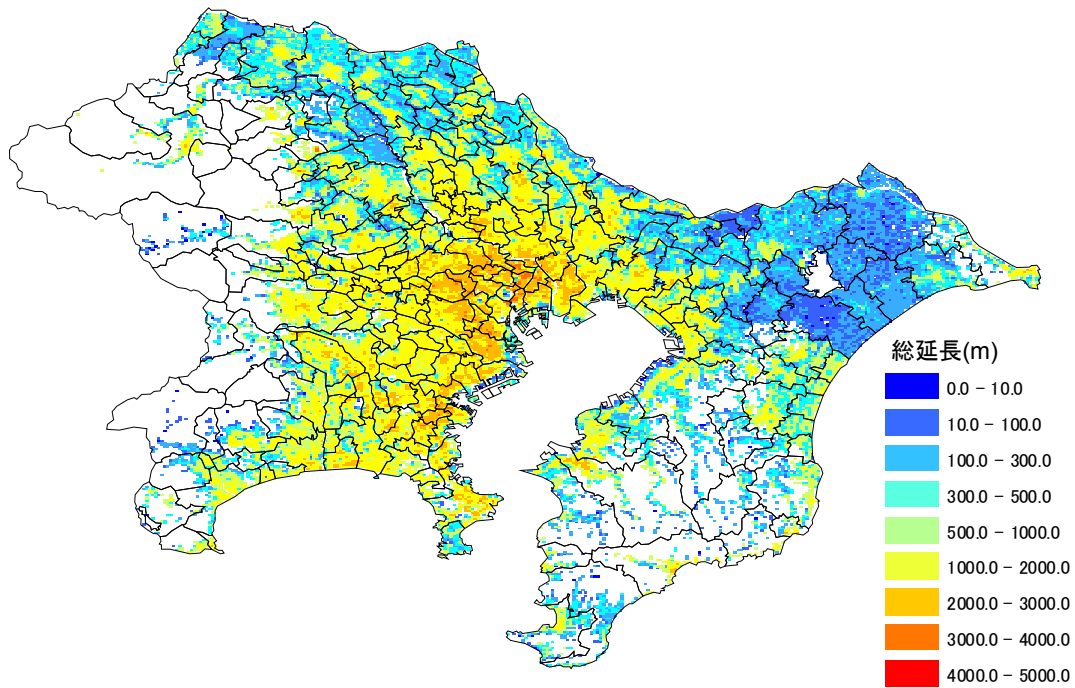


図1 永田・山本⁸⁾による1都3県の配水管延長の推定結果

1都3県の使用データ

永田・山本による推定延長

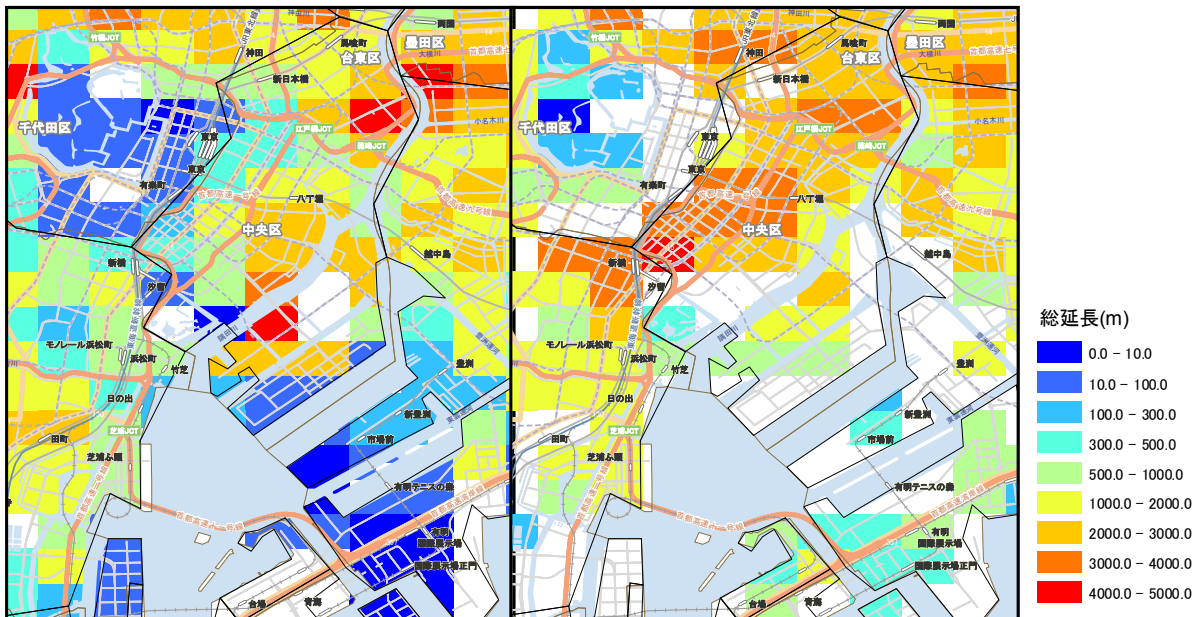


図2 永田・山本⁸⁾による推定結果と
1都3県の地震被害想定で用いられた配水管延長データの比較

2) 東京湾北部地震時の上水道管の被害予測

磯山ら⁹⁾は水道管路の被害率 R_m (件/km) の推定式を以下のように提案している。

$$R_m(v) = C_p C_d C_g C_l R(v) \quad (1)$$

ここで、 C_p は管種係数、 C_d は管径係数、 C_g は地形・地盤係数、 C_l は液状化係数、 v は地動最大速度 (PGV) である。本研究では、中央防災会議が推定した東京湾北部地震の計測震度分布¹⁾から Karim and Yamazaki¹⁰⁾による PGV と計測震度の関係式によって PGV を推定し、入力地震動強さとする。

$R(v)$ は、標準被害率曲線と呼ばれ、標準的な管路 (CIP、 $\phi 100-150\text{mm}$) が一般的な条件で埋設されている場合 (沖積地盤に浅く埋設) の被害率と地動最大速度の関係式である。本研究では、神奈川県地震被害想定調査⁵⁾と同様に、著者らが近年の被害地震における水道管被害データを取り入れて構築した標準被害率曲線¹¹⁾を使用する (式(2))。

$$R(v) = C\Phi((\ln v - \lambda)/\zeta) \quad (2)$$

ここで、 C 、 λ 、 ζ は非線形回帰で得られた定数であり、表 1 のように定められている。被害率予測式の概形は図 3 のようである。

千葉県、神奈川県がとりまとめた地震被害想定調査結果³⁾、⁵⁾を参考に管種係数については表 2、管径係数は表 3 のように定めた。管種係数は、CIP および VP の標準被害率曲線を基準としたものである。本研究では、DIP に関しては管種係数を乗じるのではなく、式(2)で表される DIP の標準被害率曲線を直接用いることとする。また、耐震管には被害が生じないものと仮定する。地形・地盤係数は、地震ハザードステーション (J-SHIS) で公開されている 24 種類の微地形分類をもとに表 4 のように定めた。液状化係数は、沖積平地に分類されるメッシュについてのみ中央防災会議によって推定された PL 値分布¹⁾をもとに表 5 のように設定した。

図 4 に、東京湾北部地震が発生した際に 1 都 3 県で予測される配水管の被害率と被害件数を示す。震度 6 弱以上の揺れが予測されている東京湾側の地域で被害件数が多く推定されている。さらに、配水管被害率に関しては、震度 6 強が予測されている東京都東部低地に加えて千葉県などの東京湾側地域がとくに大きくなっている。能島による水道統計を用いた都道府県別の上水道管管種延長の分析結果¹²⁾によると、千葉県は地震に弱い ACP の残存距離が全国一であり、比較的地震に強い DIP の敷設割合が小さい。また東京都では、配水管には DIP が主として使用されていることが明らかとなっている。このような敷設されている管種の割合の違いが影響して、強い揺れが予測されている東京都よりも千葉県の方が水道管被害率が高く予測されていると考えられる。

表 1 上水道管の標準被害率曲線の回帰定数¹¹⁾

管種	ζ	λ	C
CIP・VP	0.860	5.00	2.06
DIP	0.864	6.04	4.99

表 2 本研究で用いた管種係数

管種	管種係数 (C_p)
ACP (石綿セメント管)	1.2
CIP (铸铁管)	1.0
VP (塩化ビニル管)	1.0
SP (鋼管)	2.0
PEP (ポリエチレン管)	0.1
CP (コンクリート管)	1.0
LP (鉛管)	1.0
OP (その他管)	1.0

表 3 本研究で用いた管径係数

管径	管径係数 (C_d)
~ $\phi 75$ mm	1.6
$\phi 100 \sim 150$ mm	1.0
$\phi 200 \sim 450$ mm	0.8
$\phi 500$ mm ~	0.5

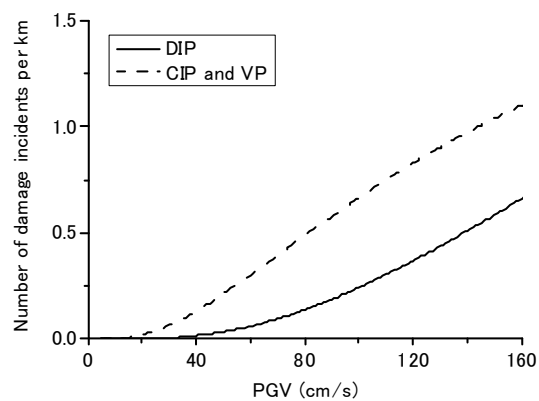


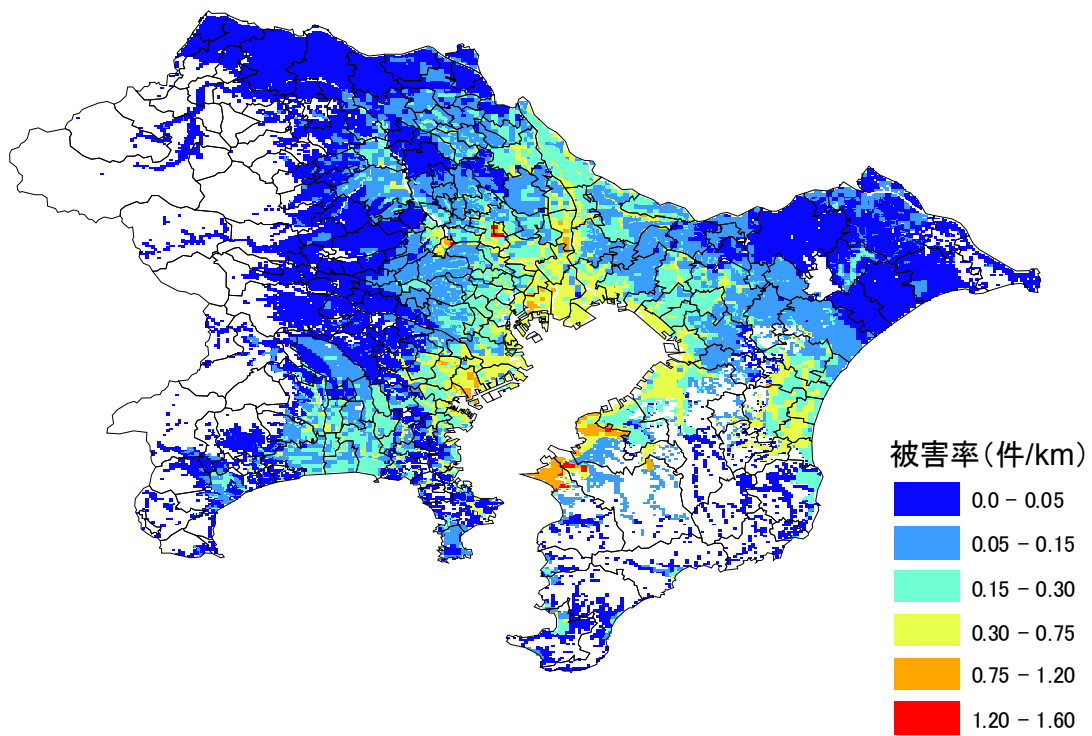
図 3 上水道管の標準被害率曲線¹¹⁾

表 4 本研究で用いた上水道管被害予測式の地形・地盤係数

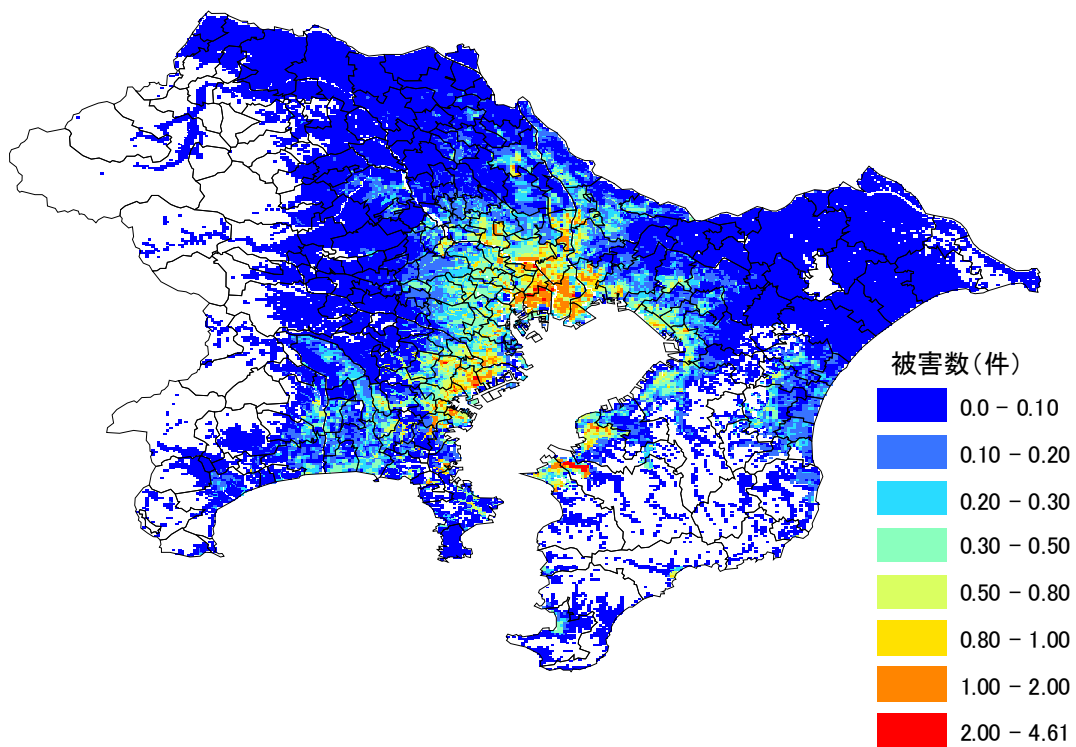
地形区分	若松らの微地形分類	地形・地盤係数 (C_g)
良質地盤	1. 山地 2. 山麓地 3. 丘陵 4. 火山地 5. 火山山麓地 6. 火山性丘陵 7. 岩石台地 8. 砂礫質台地 21. 岩礁・磯 22. 河川敷・河原	0.4
沖積平地	11. 扇状地 12. 自然堤防 13. 後背湿地 14. 旧河道 15. 三角州・海岸低地 16. 砂州・砂礫州 17. 砂丘 18. 砂州・砂丘間低地 19. 干拓地 20. 埋立地	1.0
谷・旧水部	10. 谷底低地 23. 河川・水路 24. 湖沼	3.2
段丘	9. ローム台地	1.5

表 5 本研究で用いた液状化係数

PL 値	液状化係数 (C_l)
0~5	1.0
5~15	2.0
15~	2.4



(a) 配水管被害率



(b) 配水管被害件数

図4 東京湾北部地震の際の配水管被害予測結果

3) サブプロ 1 が予測した首都直下地震時の上水道管被害予測

東京湾北部地震の際と同様に、サブプロ 1 が予測した首都直下地震の際の上水道被害予測を 1 都 3 県を対象として行う。図 5 に、この地震の際に予測されている計測震度分布 (250m メッシュ) を示す。東京湾北部地震では、東京都東部や千葉県の一部地域で震度 6 強の揺れが想定されていたが、サブプロ 1 が予測した首都直下地震では、東京湾北部地震の震源断層が見直され場所によっては 10km 程度浅い位置に設定されたため¹³⁾、東京湾側の地域で広く震度 6 強、また一部地域では震度 7 の揺れが予想されている。液状化の発生予測は、松岡らによる計測震度、微地形区分と液状化発生確率の関係式¹⁴⁾を用いた。図 6 に、この地震の際に推定される液状化発生確率を示す。この結果から、液状化発生確率が 0.05 以上のメッシュでは式(1)の C_l を 2.4、0.01~0.05 では 2.0、0.01 未満では 1.0 と仮定した。

これらの条件をふまえて、東京湾北部地震の際と同様に上水道管の被害予測を行った結果を図 7 に示す。図 4 の結果と比較すると、震度 6 強の揺れが予測される神奈川県の東京湾側の地域でとくに被害率が高く、被害数も多く予測されている。1 都 3 県では、約 34000 件の上水道管被害が生じるものと予測される。図 4 に示した東京湾北部地震の際の被害総数は約 17000 件と見積られることから、サブプロ 1 が予測した首都直下地震の際には、倍程度の被害量が懸念される。

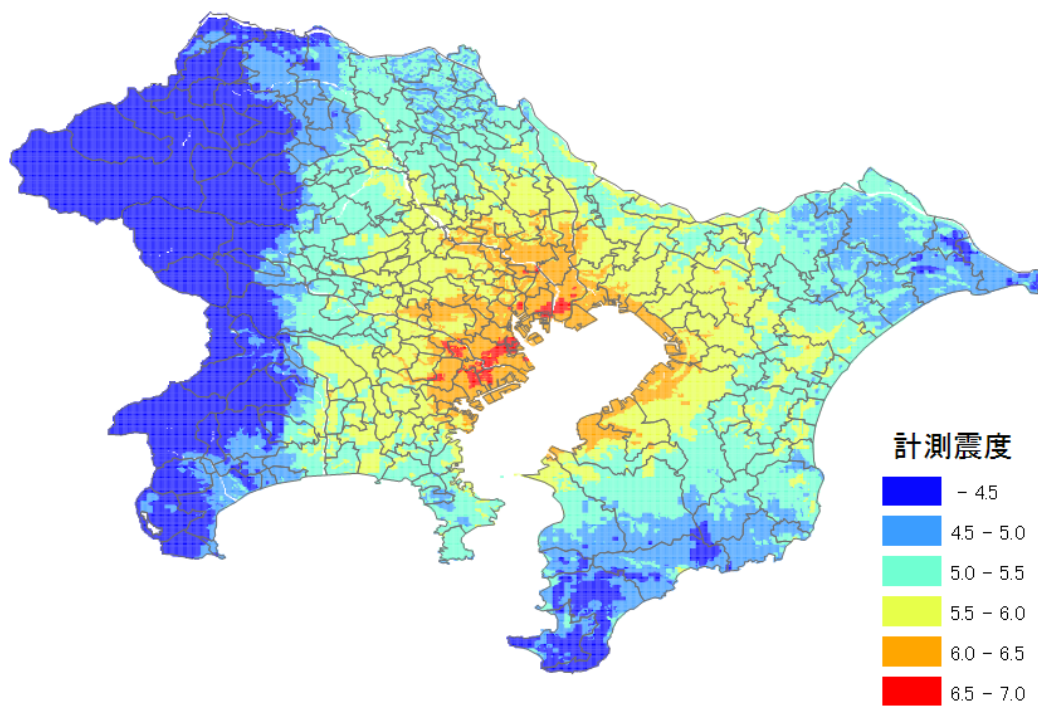


図 5 サブプロ 1 が予測した首都直下地震の計測震度分布

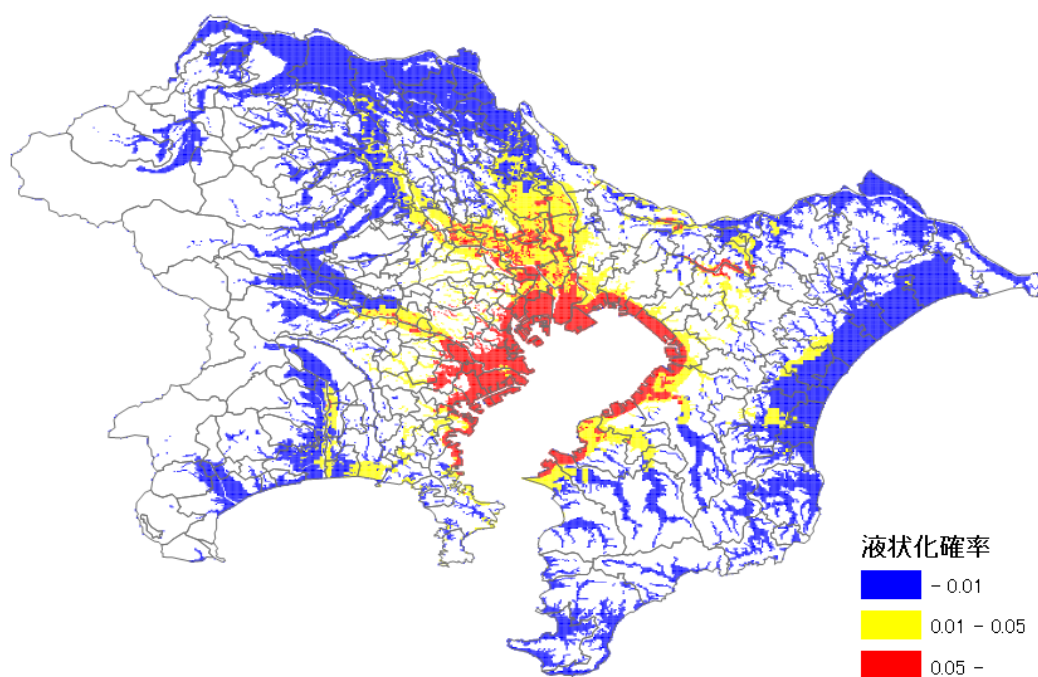
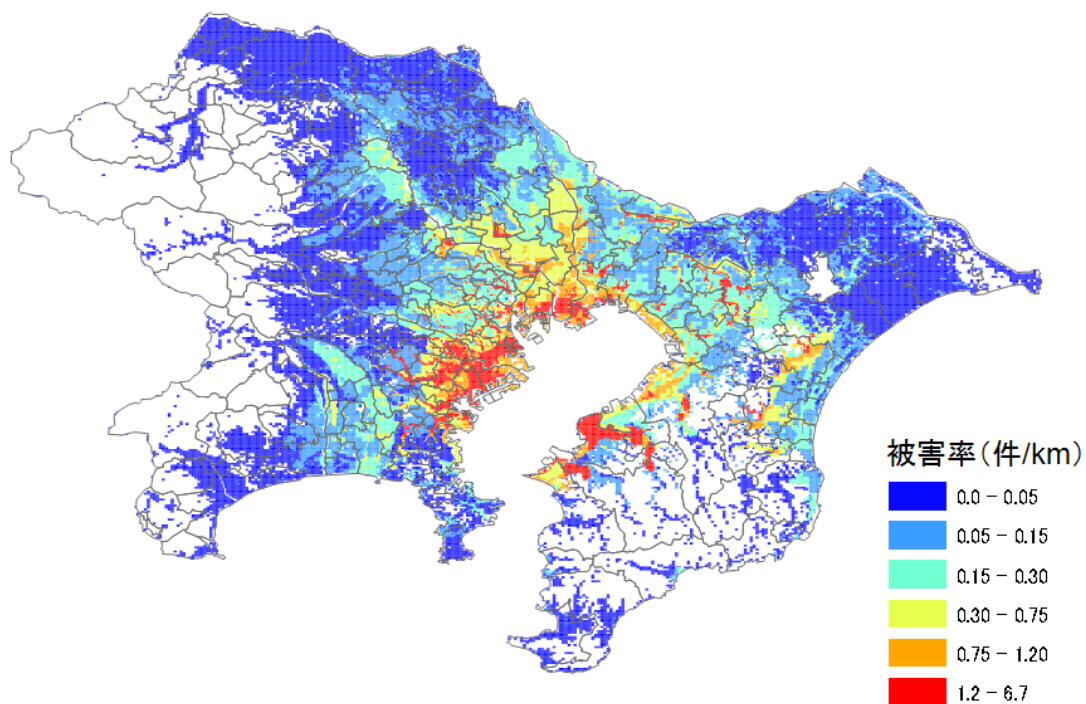
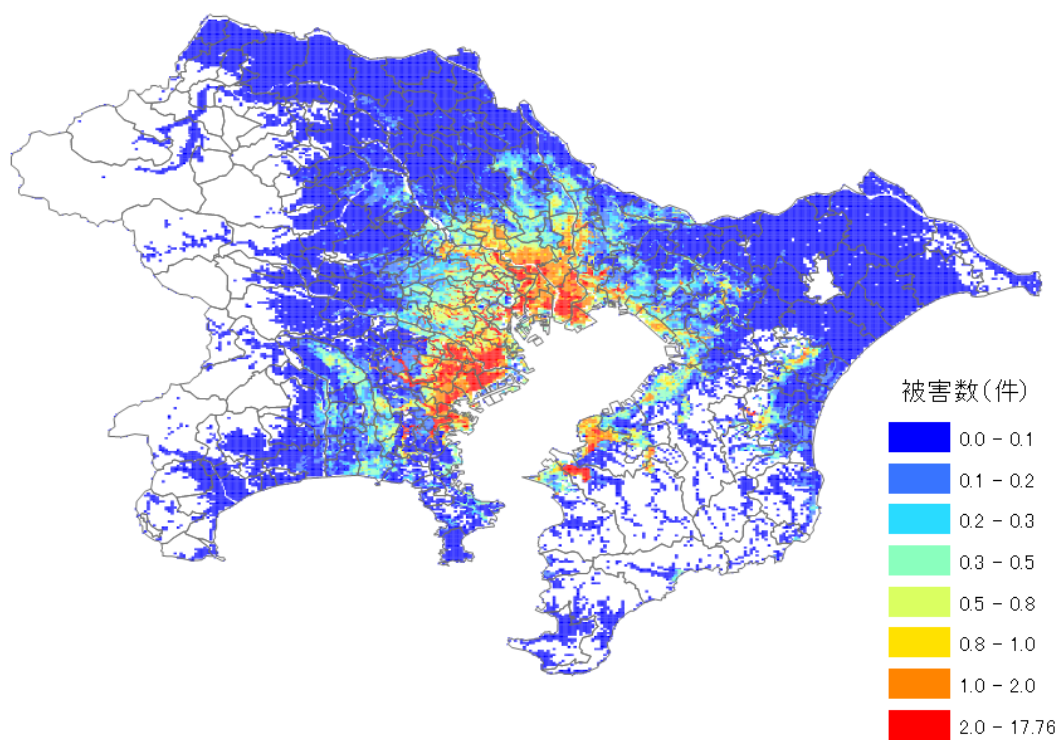


図 6 サブプロ 1 が予測した首都直下地震の液状化発生確率



(a) 配水管被害率



(b) 配水管被害件数

図 7 サブプロ 1 が予測した首都直下地震の際の配水管被害予測結果

(c) 結論ならびに今後の課題

本研究では、東京、神奈川、埼玉、千葉の1都3県が地震被害想定に用いている配水管データが建物棟数や夜間人口などで按分されていることを踏まえて、人口、世帯数、事業所数などの各種統計データや道路延長、地形区分などのデータによって推定された配水管延長を用いて東京湾北部地震とサブプロ1が予測した首都直下地震の際の上水道管の被害予測を行った。

自治体による方法では、例えば埋立地など高層建物が多く建設されている地域の配水管延長データが過小評価される傾向があり、多岐にわたる説明変数によって推定される配水管データの方が妥当なものと考えられる。東京湾北部地震における配水管の被害率に関しては、揺れが大きい東京都東部に加えて千葉県配水管が大きな被害率を示していた。これには、東京都と千葉県で敷設されている上水道管の管種ごとの割合が異なることが影響していると考えられる。さらに、サブプロ1が予測した首都直下地震の際の上水道管被害予測を行ったところ、被害総数は約34000件と東京湾北部地震の倍程度の被害量が見込まれることが分かった。

本研究で得られた成果は、京都大学防災研究所が管理するマッシュアップシステムに提供した。ライフラインチームの他機関の研究成果も併せてマッシュアップシステムに搭載され、被害予測や復旧予測結果が閲覧できるようになる予定である。この成果は、ライフライン被害・復旧予測のガイドラインや政府・地方自治体や企業がBCPを策定する際の基礎資料として活用できるものと考えられる。

(d) 引用文献

- 1) 中央防災会議・首都直下地震対策専門調査会：首都直下地震対策専門調査会報告、2005
- 2) 東京都：首都直下地震による東京の被害想定、2006
- 3) 千葉県：千葉県地震被害想定調査報告書、2008
- 4) 埼玉県：埼玉県地震被害想定調査報告書、2008
- 5) 神奈川県：神奈川県地震被害想定調査報告書、2009
- 6) 梶秀樹、塚越功：都市防災学、学芸出版社、2007
- 7) 小林朋美、山崎文雄、永田茂：都市基盤データに基づく上水道管路延長分布の推定 (I-435)、土木学会第66回年次学術講演会講演概要集第1部門 (CD-ROM)、pp. 869-870、2011
- 8) 永田茂、山本欣弥：地震被害想定で用いるライフラインの埋設管延長の予測モデルに関する検討 (I-436)、土木学会第66回年次学術講演会講演概要集第1部門 (CD-ROM)、pp. 871-872、2011
- 9) 磯山龍二、石田栄介、湯根清二、白水暢：水道管路の地震被害予測に関する研究、水道協会雑誌、第761、pp. 25-40、1998
- 10) Karim, K. R. and Yamazaki, F.: Correlation of the JMA Instrumental Seismic Intensity with Strong Motion Parameters, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 31, No. 5, pp. 1191-1212, 2002
- 11) 丸山喜久、山崎文雄：近年の地震被害データを加味したマクロな配水管被害予測式の改良、土木学会地震工学論文集、Vol. 30, pp. 565-574, 2009

- 12) 能島暢呂：脆弱性指標を用いたライフライン網の地震時脆弱性評価 ～上水道配水管網への適用～、地域安全学会論文集、No. 10, pp. 137-146, 2008
- 13) 瀧瀬一起・他：3.4 震源断層モデル等の構築、首都直下地震プロジェクト最終報告書、2012
- 14) 松岡昌志、若松加寿江、橋本光史：地形・地盤分類 250m メッシュマップに基づく液化危険度の推定方法、日本地震工学会論文集、第 11 巻、第 2 号、pp. 20-39、2011

(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
地震観測記録と広域地盤データを用いた東京都地盤増幅率の再評価（口頭発表）	丸山喜久、伏岡里志、山崎文雄	土木学会第66回年次学術講演会	2011年9月	国内
Estimation of damage ratios of wooden houses and water distribution pipelines in an earthquake scenario for the Tokyo metropolitan region（口頭発表）	Yoshihisa Maruyama, Fumio Yamazaki	2011 World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM'11+)	2011年9月	国際
広域被害予測に基づく東京湾北部地震における上水道管と木造建物被害の相関性（口頭発表）	丸山喜久、山崎文雄	第31回土木学会地震工学研究発表会	2011年11月	国内
Estimation of crustal movement due to the 2011 Tohoku, Japan Earthquake from TerraSAR-X intensity images（口頭発表）	Wen Liu, Fumio Yamazaki	9th International Workshop on Remote Sensing for Disaster Response	2011年9月	国際

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
都市基盤データに基づく上水道管路延長分布の推定	小林朋美、山崎文雄、永田茂	地域安全学会論文集、No.15	2011年11月	国内

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