

東日本大震災の被災自治体を対象とした 断水状況の類型化に関する研究

須藤 むつみ¹・中久保 豊彦²・大瀧 雅寛³

¹非会員 お茶の水女子大学大学院 生活工学共同専攻 (〒112-8610 東京都文京区大塚2-1-1)

E-mail: g1740707@edu.cc.ocha.ac.jp

²正会員 お茶の水女子大学 基幹研究院自然科学系 (同上)

E-mail: nakakubo.toyohiko@ocha.ac.jp

³正会員 お茶の水女子大学 基幹研究院自然科学系 (同上)

E-mail: otaki.masahiro@ocha.ac.jp

本研究では、東日本大震災において断水被害が発生した26の自治体を対象とし、断水状況の類型化を行うことを目的とした。地震・津波によるまち全体への被害を総合的に評価する指標と、水道機能の低下と回復を評価する指標を作成し、この2指標を踏まえて類型した。その結果、地震・津波被害ならびに水道被害が共に甚大であった地域（9自治体）、地震・津波被害は甚大だが水道被害が小さい地域（4自治体）、地震・津波被害が小さいが水道被害が甚大であった地域（1自治体）、地震・津波被害ならびに水道被害が共に小さい地域（12自治体）の4パターンに被災自治体を分類した。また、断水の要因分析結果からは、①断水被害が甚大であった地域の多くは水源被害、拠点施設被害が発生していたこと、②用水を供給するための幹線管路に影響が出た場合に断水期間が顕著に長期化すること、を明らかにした。

Key Words : water outage, classification, factor analysis, great east japan earthquake

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災において、約257万戸におよぶ断水被害が発生し、そのうち9割が復旧するまでに約3週間の時間を要した¹⁾。また、岩手県、宮城県、福島県の3県においては、津波被害や土砂災害により家屋そのものが流出し約4.5万戸が短期復旧困難世帯となった。このような被災地域では、被災前の世帯数を分母にとる通水率（断水解消率）に基づいて評価すると、水道復旧完了後も通水率が100%に戻らない状況が発生する。すなわち、水道復旧の定義も被災状況によって異なる。

水道事業の災害対策に関して、厚生労働省は「水道の耐震化計画策定指針^{2),3)}」を策定し、同指針を踏まえて各自治体が水道の災害対策を作成することを推進している。この指針において、水道の地震対策は耐震化対策（被害発生抑制、影響の最小化）と応急対策（復旧の迅速化、応急給水の充実）の2つの軸で構成されている。応急給水対策に当たる応急給水を含めた災害時の給水計画は、被災特性や水道被害特性を踏まえた上で検討され

なければならないが、それらの特性を踏まえた断水状況の類型化は行われていない。

また、大西・楯田⁴⁾による東日本大震災を対象とした広域災害時における応急給水能力の分析結果では、広域災害の場合1人1日3Lの目標応急給水をすべての被災自治体が達成することは支援側・受援側の双方からみて困難であることが示されている。応急給水能力に限界があることを前提とした場合、水道インフラの耐震化を十分に行い、断水被害を抑制することは重要であるが、東日本大震災において、耐震化が十分でなかったために、地震被害に対して断水被害が甚大であった自治体は存在していると考えられる。水道の耐震化対策を進めるためにも、本震災で発生した断水の要因となった水道インフラ被害を分析する必要がある。

そこで本研究では、東日本大震災の被災自治体を対象とし、水道被害特性だけでなく様々な被災特性を踏まえた断水状況の類型化を行うことを目的とする。その上で、断水期間が長期化する要因の分析を行った。

2. 解析手法

(1) 東日本大震災における断水状況の類型化の手法

a) 第1指標「地震・津波被害の甚大さ」の作成

対象自治体は、最も重要なデータである断水率の経過データ¹⁾が存在する岩手県、宮城県、福島県、茨城県、千葉県の5県26市町村とした。地域における被災特性として、岡田⁵⁾による都市システムの階層（自然環境、社会基盤、土地利用・建築環境、活動）を踏まえた指標の作成を試みる。指標の作成に用いた変数を表-1に示す。本研究では、自然環境（＝地盤）について、津波による浸水被害と液状化による宅地被害を表す指標として、「津波・液状化被災世帯率」を採用した。次に、社会基盤への影響を表す指標として、「震災発生1ヵ月後の断水率」を採用した。土地利用・建築環境については、「家屋倒壊率」を採用した。最後に、生活者の活動については、「人口減少率（2010年度に対する2015年度の値）」を採用した。

なお、社会基盤の被害に関しては、下水道の場合は下水道と浄化槽が、ガスの場合は都市ガスとLPGが地域内で混在し、自治体間での比較が難しい事、電気はイン

フラの中でも復旧が最も早い事から、社会基盤の被害状況を示すのは水道が適していると判断し、断水率を採用した。また、東日本大震災が発生する以前の水道の耐震化計画策定指針²⁾において、目標水量が震災前の水準まで達する日数が地震発生から28日となっているため、地震発生日（3月11日）から4週間後（4月7日）の断水率とした。

被災特性を表すこれら4指標について、複数の指標を統合して新たな指標を作ることができる主成分分析を用いて指標の作成を行った。主成分分析に用いる説明変数間の相関係数は表-2の通りであり、どの変数も比較的高い正の相関が確認できた。

主成分分析の結果を表-3に示す。第1主成分の寄与率が0.85、第2主成分の寄与率が0.11であるため、第1主成分を採用した。第1主成分の主成分負荷量はすべて正の値であり、各説明変数の値が大きくなるほど、つまり被害が大きくなるほど、主成分得点は大きくなる方向に寄与する。第1主成分負荷量を見ると津波・液状化被災世帯率が0.60、震災1ヶ月後の断水率が0.65、家屋倒壊率が0.43、人口減少率が0.20となった。この結果から、第1主成分の主成分得点は式(1)で求められる。

表-1 第1指標「地震・津波被害の甚大さ」の作成に用いた説明変数

都市システムの階層	その被害を表す説明変数	説明変数の算出式	
自然環境（地盤）	津波・液状化被災世帯率	(浸水範囲にかかる世帯数＋液状化による宅地被害件数)／世帯数	a b
社会基盤	震災発生1ヵ月後の断水率	断水率 _{4月7日値}	c
土地利用・建築環境	家屋倒壊率	(家屋半壊数＋家屋全壊数)／世帯数	a d
活動	人口減少率	(人口 _{2015年度} －人口 _{2010年度})／人口 _{2010年度}	d

出所：a総務省統計局⁶⁾，b国土交通省⁷⁾，c厚生労働省¹⁾，d総務省統計局⁸⁾

表-2 説明変数間の相関係数（R²値）

	津波・液状化被災世帯率	震災発生1ヵ月後の断水率	家屋倒壊率	人口減少率 (2010年度→2015年度)
津波・液状化被災世帯率	1.00			
震災発生1ヵ月後の断水率	0.63	1.00		
家屋倒壊率	0.76	0.44	1.00	
人口減少率(2010年度→2015年度)	0.71	0.55	0.71	1.00

表-3 主成分分析の結果

	第1主成分	第2主成分
津波・液状化被災世帯率	0.60	0.37
震災発生1ヵ月後の断水率	0.65	-0.74
家屋倒壊率	0.43	0.55
人口減少率(2010年度→2015年度)	0.20	0.11
寄与率	0.85	0.11
累積寄与率	0.85	0.96

$$p = 0.60x + 0.65y + 0.43u + 0.20v \quad (1)$$

p :主成分得点,

x :浸水世帯数割合, y :震災発生1ヵ月後の断水率,

u :家屋倒壊率, v :人口減少率

この p 値を,「地震・津波被害の甚大さ」を相対的に示す指標と解釈し,これを第1指標として採用する.

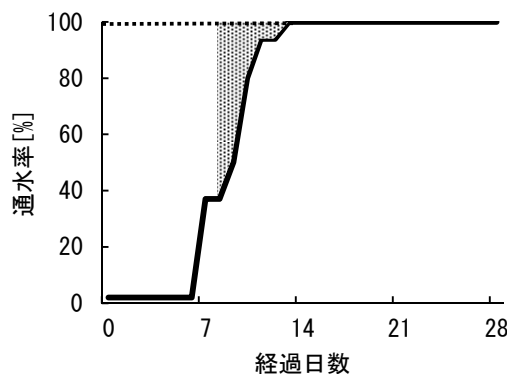
b) 第2指標「水道機能低下面積比率」の作成

災害時におけるライフラインの事業継続性能を評価する方法として,縦軸に機能を,横軸に時間を取り,外力を受けて機能が低下する度合いと,機能が回復する時間の迅速さで評価する外力応答評価法がある⁹⁾.本研究では,縦軸に通水率を,横軸に時間(震災発生から1週間後の3月18日から4月7日までの3週間)を取り,断水率の関数に対する面積を算出し,水道が全く機能しない場合の断水率の面積との比を算出する.これを第2指標,水道機能低下面積比率とした(式(2)).

水道機能低下面積比率

$$= \frac{\text{断水率の関数に対する 面積}}{\text{水道が全く機能しない 場合の面積}} \quad (2)$$

a. 福島市 (復旧困難地域なし)



b. 野田村 (復旧困難地域あり, 復旧困難世帯率: 20%)

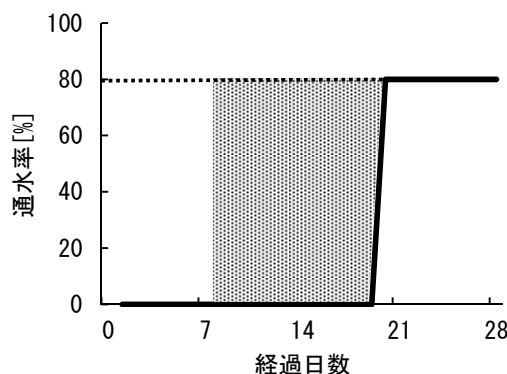


図-1 水道機能低下面積比率の算定例

評価対象期間を3週間としたのは,応急給水の目標設定が28日後に復旧完了することとなっているため²⁾,4月7日までとし,震災直後でデータの欠損が多くある最初の1週間を除いたからである.

水道機能低下面積比率の算定例を図-1に示す.

東日本大震災では復旧困難地域が発生したため,復旧完了後も通水率が100%に戻らない自治体が存在し,復旧完了の定義が自治体によって異なっている.復旧完了の定義の違いを考慮するため,復旧困難世帯率を除いた場合の通水率を復旧到達目標率(最大値)とした.したがって,図-1-aに示す通り,通常は21日間,断水率100%であるため2,100に対する比を取るが,図-1-bの野田村のように復旧困難世帯率が20%の場合は,21日間,断水率80%と考え1,680に対する比をとることとした.

(2) 断水要因の分析

断水要因の分析も地域類型と同様の26市町村を対象とした.厚生労働省¹⁾において,断水解消が長期化した要因がまとめられている.その中では,水道施設被害に関しては停電,用水供給停止,水源被害,拠点施設被害,管路被害の5項目について,復旧完了に要した期間を3段階に分けてまとめられている.ここで,用水供給停止とは,広域水道事業者からの用水の供給が止まることを指し,供給が停止した理由については記載されていない.

本研究では,用水供給停止の要因についても,停電,水源被害,拠点施設被害,管路被害のいずれかに分類し,より詳細な断水の要因分析を行うこととした.まず,水道統計¹⁰⁾から対象自治体に用水の供給を行う広域事業者,市町村を調べ,用水供給停止が発生した自治体に関しては供給元の被害状況を各自治体,広域水道事業者が発行する報告書からまとめた.厚生労働省¹⁾において,用水供給停止とされている自治体は,仙台市,七ヶ浜町,名取市,岩沼市,亶理町,山元町,大崎市,神栖市,潮来市であった.水道統計¹⁰⁾より,これらの自治体は宮城県企業局,仙台市水道局,茨城県企業局から給水を受けていたことを把握し,各水道局,企業局の東日本大震災の水道被害・復旧記録から被害状況をまとめた^{11)~13)}.

断水の4要因(停電,水源被害,拠点施設被害,管路被害),それぞれに関して,復旧完了までに要した期間が8~14日間の場合を△,15日間以上の場合を×とし,判定を行った.被害なし,もしくは復旧完了までに要した期間が7日間以下の場合は判定なしとしている.判定に使った復旧完了にかかった期間の区分は,厚生労働省¹⁾と同じ区分を採用している.

各自治体について,4要因の被害の判定結果が同じ自治体ごとにグループ分けを行った.それにより,各要因の被害の大きさが断水期間に与える影響を分析した.

3. 解析結果および考察

(1) 地域類型

水道機能低下面積を縦軸とし、地震・津波被害の甚大さを横軸とし、対象自治体をプロットした結果を図-2に示す。多くの自治体が、地震・津波被害の甚大さが大きくなるほど、水道機能低下面積比率も大きくなっている。相関係数（ R^2 値）は0.52であり正の相関がある。

しかし、神栖市は地震・津波被害の甚大さに対し水道機能低下面積比率の値が非常に大きくなっている。このような自治体は、地震の被害規模に対し、相対的に水道インフラへの被害が甚大であり、脆弱性が高い状況にあったと考えられる。プロット図に基づく地域類型を、以下の通り考察する。

a) 被災状況の類型基準

プロット図において第1指標「地震・津波被害の甚大さ」が40以上の自治体の多くに復旧困難地域が発生している。よって第1指標「地震・津波被害の甚大さ」の値が40以上の自治体と40以下の自治体で、甚大さの大小を分類することとした。

また、断水の要因を整理した結果を表-4に示すが、×の判定がついている自治体の多くは水道機能低下面積比率が0.5以上となっている。よって第2指標「水道機能低下面積比率」の値が0.5以上の自治体と0.5以下の自治体で、水道被害の大小を分類することとした。

b) 類型基準に基づく類型結果

以上を踏まえ、被災状況Ⅰ（地震・津波被害の甚大さ：大、水道被害：大）、被災状況Ⅱ（地震・津波被害の甚大さ：大、水道被害：小）、被災状況Ⅲ（地震・津波被害の甚大さ：小、水道被害：大）、被災状況Ⅳ

（地震・津波被害の甚大さ：小、水道被害：小）に基づき、被災自治体が分類される。

被災状況Ⅰ：野田村，大槌町，陸前高田市，気仙沼市，南三陸町，石巻地方（広域），女川町，七ヶ浜町，山元町

被災状況Ⅱ：宮古市，釜石町，亶理町，潮来市

被災状況Ⅲ：神栖市

被災状況Ⅳ：仙台市，名取市，岩沼市，登米町，大崎市，福島市，いわき市，鹿島市，千葉県水道局，旭市，香取市，神崎町

地震被害の甚大さによって、自宅で生活続けるか、避難所で生活するかが異なってくる。また、被災状況Ⅰ、Ⅱでは復旧困難地域が発生した自治体も多く、避難所人口の推移も異なる。被災状況Ⅲに関しては、地震の被害規模が小さく通常の生活が続けることができるが、水道水の給水がないという状況であると考えられる。今後の災害に備え、災害時給水計画はこうした状況を想定し、策定する必要がある。

(2) 断水要因の分析

断水要因を整理した結果を表-4に示す。各被害の判定からA～Lまでのグループに分類した。水道の被害特性を示す「水道機能低下面積比率」の平均値をグループごとに算出し、平均値が高いグループから順に並べている。グループAは、幹線管路に大きな被害が出た自治体である。水源や施設に大きな被害はなかったが、管路被害に21日間時間を要した。用水の供給を行っている仙南・仙塩広域水道事業の幹線管路に大きな被害があったこと、七ヶ浜町も山元町も幹線管路の末端に位置していたことから復旧に時間を要した¹⁰⁾。

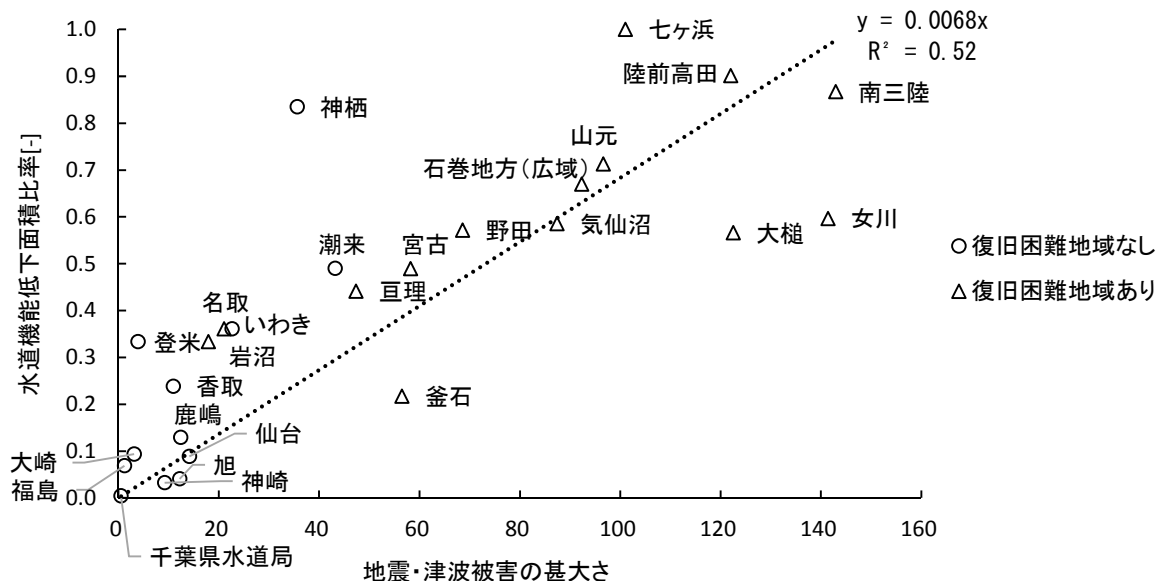


図-2 対象自治体の類型結果

表-4 断水要因のまとめ

	自治体	水道機能低下面積比率			停電		水源被害		拠点施設被害		管路被害		水道事業体の特徴	
		値 [-]	平均値 [-]	標準 偏差	判 定	復旧完了に 要した日数	判 定	復旧完了に 要した日数	判 定	復旧完了に 要した日数	判 定	復旧完了に 要した日数	広域水道事業	用水受水率 [%]
A	七ヶ浜町	1.00	0.86	0.14		3～7					×	21	・広域水道 ・他自治体からの給水あり	100
	山元町	0.71				3～7					×	21	・広域水道	60
B	南三陸町	0.87	0.73	0.14	×	76	×	110	×	30		3～7		
	気仙沼市	0.59			×	82	×	100～	×	15～		3～7		
C	神栖市	0.83	0.70	0.10			×	108	×	34	△	14	・広域水道	100
	石巻地方 (広域)	0.67					×	困難	×	120	△	8～14		100
	女川町	0.60					×	15～	×	20	△	8～14		
D	大槌町	0.57	0.57		△	8～14			×	20				
E	野田村	0.57	0.57			3～7	×	60		3～7			・他自治体からの給水あり	No data
F	陸前高田市	0.90	0.56	0.34			×	82	×	92		3～7		
	釜石町	0.22				3～7	×	38	×	27				
G	宮古市	0.49	0.49		△	8～14	△	8～14	△	8～14	×	30～		
H	潮来市	0.49	0.37	0.08							△	4	・広域水道	21
	亘理町	0.44				3～7		3～7		3～7	△	11	・広域水道	92
	名取市	0.36				3～7				3～7	△	13	・広域水道 ・他自治体からの給水あり	77
	いわき市	0.36									△	8～14		
	岩沼市	0.33				3～7					△	13	・広域水道	58
	香取市	0.24									△	8～14		
I	登米町	0.33	0.12	0.12		3～7		3～7				3～7		
	鹿嶋市	0.13										3～7	・広域水道	100
	福島市	0.07											・広域水道	100
	旭市	0.04											・広域水道	100
	千葉県水道局	0.00											・広域水道	100
J	仙台市	0.09	0.09			3～7			△	8～14	×	20	・広域水道	28
K	大崎市	0.09	0.09			3～7	△	8～14	△	8～14	△	12	・広域水道	62
L	神崎町	0.03	0.03				×	困難	×	困難				

判定基準. ×：15日間以上，△：8～14日間，無記入：被害なし，もしくは7日間以下。

グループBでは、停電、水源被害、拠点施設被害の3要因が発生した。津波の被害により、それら3要因の復旧に長期間を要した。

グループCでは、水源、拠点施設に大きな被害が生じ、管路にも中程度の被害があったため、復旧には長期を要した。神栖市は鰐川浄水場に甚大な被害があったが、同じ鹿行広域水道事業の鹿島浄水場から浄水の供給を受けることができた¹³⁾。

グループLでは、液状化により水源、拠点施設に大きな被害があったものの、別系統からの水を確保し早期復旧ができた¹⁾。

全体を通して得られる傾向として、拠点施設被害が発生した自治体が水道機能低下面積比率が高くなっている。自治体によっては、停電、水源被害、拠点施設被害が甚大であった場合は、バックアップの電源や水源で早期の仮復旧が可能であった。また、管路被害も早期の仮復旧は可能だが、幹線管路に被害が生じた場合の傾向は異なる。仙南及び仙塩地区（七ヶ浜町、山元町）においては、用水供給用の幹線管路に被害が生じ、早期の仮復旧ができなかったため、断水期間が長期化した。

4. おわりに

本研究では、東日本大震災において断水被害が発生した26の自治体を対象とし、「地震・津波被害の甚大さ」と「水道機能低下面積比率」の2指標に基づき断水状況を類型化した。その結果、被災状況Ⅰ（地震・津波被害の甚大さ：大、水道被害：大）が9自治体、被災状況Ⅱ（地震・津波被害の甚大さ：大、水道被害：小）が4自治体、被災状況Ⅲ（地震・津波被害の甚大さ：小、水道被害：大）が1自治体、被災状況Ⅳ（地震・津波被害の甚大さ：小、水道被害：小）が12自治体、と分類された。

断水の要因分析では、水源被害、拠点施設被害が発生した自治体のほか、用水を供給するための幹線管路の被害が発生した自治体において、断水被害が甚大であったことが判明した。

今後の研究課題として、本研究で得られた類型結果をもとに被災特性、水道被害特性を踏まえた災害時給水計画の立案支援モデルを開発する予定である。

参考文献

- 1) 厚生労働省：東日本大震災水道施設被害状況調査報告書，2014.
- 2) 厚生労働省：水道の耐震化計画等策定指針，2008.
- 3) 厚生労働省：水道の耐震化計画等策定指針，2015.
- 4) 大西洋二，畝田泰子：広域災害時の応急給水能力に関する一考察－東日本大震災の事例－，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.68，No.4，pp.I_930-I_939，2012.
- 5) 岡田憲夫：自然災害のリスクマネジメント，日本リスク研究学会・編，リスク学辞典，阪急コミュニケーションズ，pp.94-99，2006.
- 6) 総務省統計局：浸水範囲概況にかかる人口・世帯数，2011.
- 7) 国土交通省：液状化による宅地被害が報告されている市区町村，2011.
- 8) 総務省統計局：平成 27 年国勢調査，2016.
- 9) 中久保豊彦，東海明宏：ライフライン分野におけるレジリエンス定量評価手法の類型化に関する研究，土木学会論文集 F6（安全問題），Vol.71，No.2，pp.I_33-I_40，2015.
- 10) 日本水道協会：水道統計 平成 22 年度版，2013.
- 11) 宮城県企業局：東日本大震災からの復旧・復興に向けた宮城県企業局の対応と取組，2015.
- 12) 仙台市水道局：東日本大震災 仙台市水道復旧の記録，2014.
- 13) 茨城県企業局：東日本大震災 水道復旧の記録，2012.

(2017. 8. 25 受付)

RESEARCH ON CLASSIFICATION OF WATER OUTAGE SITUATIONS OF AFFECTED AREA IN THE GREAT EAST JAPAN EARTHQUAKE

Mutsumi SUTO, Toyohiko NAKAKUBO and Masahiro OTAKI

The purpose of this study is to classify disaster-affected cities (26 cities) in the Great East Japan Earthquake in terms of water outage. We proposed two indicators: one is the degree of severe damage affected by earthquake and tsunami (indicator X); the other is the degree of damage to water infrastructure (indicator Y). Based on the classification results by applying the two indicators, disaster-affected cities could be divided into four areas: the area where the values of both indicators were high (9 cities); the area where the value of indicator X was high whereas the value of indicator Y was small (4 cities); and the area where the value of indicator X was small whereas the value of indicator Y was high (1 cities); the area where the values of both indicators were small (12 cities). In addition, we conducted factor analysis of water outage, and two characteristic trends were revealed: (1) the extensive damages to water source or to core facilities were occurred in most cities where the value of indicator Y was high; and (2) the extensive damage to trunk water pipelines led to long-range water outage.