

仮想評価法による生活用水の減断水に対する被害原単位の推定

(株)日水コン名古屋支所 平田明寿

(株)日水コン名古屋支所 白石大輝

水供給システムがライフラインであることを踏まえると、水供給システムの被害予測に加えて、社会的影響の評価が必要と考えられる。本稿では、他のライフラインも含めた社会システム全体としての評価における共通評価指標として被害額を想定し、特に水道利用者の被害に着目して生活用水の減断水による被害原単位を推定した。

被害原単位の推定は、仮想評価法（CVM）で行うこととし、その結果は約 4,000 円/人/日となったが、今回の調査では、回答者属性により、男女別や世代別や地域別による傾向が確認できた。

Key Words : 大規模地震、被害予測、被害原単位、仮想評価法（CVM）

1. はじめに

近い将来発生が予想されている南海トラフ巨大地震では、兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）、東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）、熊本地震などの近年発生した巨大地震における被害の様相と比較して、より広域的で甚大な被害や被災が予測されている。

これまでに大規模地震時における上水道事業などの水供給システムの被害予測手法を構築^{1)~2)}してきたが、水供給システムがライフラインであることを踏まえると、その結果（時系列的な断水人口や給水形態や給水達成率等の直接的な被害様相の定量的把握）を活用した社会的影響の評価も必要であるといえる。

そこで、水道利用者の視点で考えると、地震時に生活用水が減断水する場合、被害予測結果からも一か月以上の長期間となる可能性が高いといえる。阪神・淡路大震災時の神戸市水道局災害対策本部に寄せられた電話による「市民の声」にもとづいて、生活用水の利用者の意識の変化を分析した事例³⁾によると、震災から3～4週間目（社会生活復帰開始、社会経済活動仮復旧）になると「いらだち」「不公平感」が増大し、「運搬給水が困難」となり、1ヶ月以降（通常生活復旧開始）になると「我慢の限界」「怒り」と感情面での変化も現れている。

本稿では、社会的影響の評価として、他のライフラインも含めた社会システム全体での評価における共通の評価指標として被害額を想定し、特に水道利用者の被害額算出に着目して、生活用水の減断水による被害原単位の推定について考察を行う。

2. 社会的影響の考え方

水供給システムの被害により、施設や管路の破損などの直接的な被害だけでなく、社会経済活動への影響（機会損失額など）、震災時重要施設（救急病院など）への影響、住民生活の復旧速度への影響（水道が復旧しないので、避難所から自宅に戻れないなど）、消火活動への影響（消火用水の確保・供給）などの社会的影響も考えられる。

ここで、水供給システムの減断水などの被害による社会的影響とその評価について、その考え方などを整理する。水供給システムの被害による影響は、

- 水道事業者の直接的な影響と間接的な影響
- 水道利用者（受益者）の直接的な影響と間接的な影響

に大別でき、それぞれの社会的影響の評価方法は、表-1 に示すように整理できる。

水道事業者の直接的な影響について、たとえば、機会損失額は被害がなければ供給により得られた料金収入として、断水量×供給単価により定量的に算出でき、復旧費用は被害想定結果にもとづいて、費用関数などにより算出することができる。

表-1 水供給システムの被害による影響

	水道事業者	水道利用者
直接的な影響	施設や管路などの損傷 ■水道事業者の機会損失額 ■水道事業者の復旧費用 ■応急給水活動にかかる費用負担	減断水とそれによる応急給水 水道利用者別の被害額 ■生活用→代替物などの確保費用 ■業務・営業用→機会損失額 ■工場用→機会損失額
間接的な影響 (波及する影響)	施設などの損傷による二次被害 たとえば、管路破損による漏水による影響（補償）	減断水などによる二次被害 たとえば、住民が避難所から戻れないことによる影響や消火活動の停滞や病院での救命活動への影響

一方、水道利用者の直接的な影響については、水道利用者別の被害額を算出することになる。「水道事業の費用対効果分析マニュアル（厚生労働省健康局水道課）」において、生活用は代替物・サービスの購入費用を積み上げる手法、業務・営業用、工場用は、産業連関表などを用いた機会損失額の算定方法が示されている。

なお、間接的な影響（波及する影響 二次被害 表-1 網掛け部）については、被害状況の定量的な把握が困難であることから、ここでは評価対象外とする。

3. 生活用水の減断水による影響評価の検討

1) 地震時の生活用水の減断水による影響の考え方

前述のとおり、生活用水の減断水が長期化することで、生活用水の使用者の感情面への影響を及ぼすことから、多くの事業体の地域防災計画などでも、応急給水の目標（期間、水量、運搬距離）が示されており、地震発生からの時間の経過に伴い、水量を段階的に増加させ、運搬距離も段階的に短くし、概ね1か月以内の復旧を目指すこととなっている。

しかし、「水道事業の費用対効果分析マニュアル」で示された生活用水の被害額の算出方

法では、減断水が長期間に及ぶことによる生活用水の使用者の感情の変化や復旧に合わせた段階的な水量の確保が考慮されていないことから、これらを考慮できるような被害原単位が必要であると考えた。

そこで、生活用水の使用者の被害額を、長期間の減断水による様々な影響を受け入れるために必要となる補償額であると考えて、環境評価などに用いられる仮想評価法（CVM：Contingent Valuation Method）を用いて想定することとした。この仮想評価法では、震災時の状況やそれによるリスクを提示したうえで、環境の変化に対応（改善）するために支払っても構わない金額（支払意思金額）、もしくは環境の変化（悪化）を受け入れるために必要な金額（受入補償額）を尋ねることによって、環境（震災後も水が供給される状況）の持つ価値を金額として評価する手法である。

今回は、生活用水の使用者の受入補償額を明らかにし、被害原単位を検討することとした。

2) CVM の実施

(1) アンケート実施

生活用水の使用者の受入補償額は、仮想評価法（CVM）により推定するが、受入補償額の聞き出し方は質問形式のアンケートで行った。今回は、一般的に標本数が少なくても比較的良好な推定結果が得られるといわれている「二肢選択形式（ダブルバウンド方式）」を採用し、以下の説明文を提示して質問した。

質問（1） 大規模震災時、皆さんの街で水道施設の被害により長期間の減・断水が予想されています。あなたがイメージした 7 日目の生活を受け入れる（我慢する）ために、1 人 1 日当たり〇〇円の補償額が支払われたとすると、この額で充分だと思いますか？どちらかに〇印をつけてください。

1. はい（この額で充分）→質問（2）へ
2. いいえ（この額では足りない）→質問（3）へ

質問（2） 「1. はい（この額で充分）」と答えた人にお尋ねします。ではさらに低い金額ではいかがでしょうか？1 人 1 日当たり〇〇円の補償額で充分だと思いますか？どちらかに〇印をつけてください。

1. はい（この額で充分）
2. いいえ（この額では足りない）

質問（3） 「2. いいえ（この額では足りない）」と答えた人にお尋ねします。ではさらに高い金額ではいかがでしょうか？1 人 1 日当たり〇〇円の補償額で充分だと思いますか？一つに〇印をつけてください。

1. はい（この額で充分）
2. いいえ（この額では足りない）

また、アンケートにおいて想定する震災時の状況やそれによるリスクについては、回答者が状況を自由に想定できるように、「被災後 7 日目以降」「電気は復旧、水道とガスは未

復旧」のみを提示し、さらに、その時にどこで生活しているかについて「自宅避難」「避難所」「被災地外へ避難」「その他」を選択していただき、被災者の様々な状況を包含した平均的な受入補償額（被害原単位）を想定することとした。

アンケートの概要と回答者の諸元などは、表-2 に示すとおりである。

表-2 アンケートの概要

調査題目	防災・減災に関するアンケート（上水道）
調査時期	2016年10～12月（7回）
調査方法	名古屋大学減災館のギャラリートーク（公開講座）などで配付 写真-1参照
有効回答	222通
回答者の諸元など	【性別】男性：53%、女性：40%、未回答：7% 【世代】10～20代：35%、30～50代：31%、60代以上：34% 【職業】学生：31%、民間企業：31%、無職：17%、ボランティア団体：9%、その他：12% 【世帯人員】1人：18%、2人：17%、3人：24%、4人：21%、5人：9%、その他：11% 【住所】愛知県（名古屋市除く）：44%、名古屋市：29%、三重県：15%、岐阜県：4%、その他：8% 【7日目に降の生活場所】自宅：71%、避難所：14%、被災地外：9%、その他：6% ※その他には未回答も含む

（2）アンケート結果にもとづく被害原単位

仮想評価法（CVM）による二肢選択形式の分析手法は、大きくノンパラメトリック法とパラメトリック法に分けることができる。ノンパラメトリック法は、推定を行う際に関数形を仮定しないのに対し、パラメトリック法は何らかの関数形（対数線形ロジットモデル、ワイブル生存分析）を仮定する方法である⁴⁾。

受入補償額の推定結果（中央値）は、以下に示すとおりであり、パラメトリック法では概ね1人1日当たり4,000円程度となった。

- ノンパラメトリック生存分析：5,000～7,500円/人/日
- 対数線形ロジットモデル（パラメトリック法）：4,255円/人/日
- ワイブル生存分析：（パラメトリック法）：4,470円/人/日

3) CVMの結果の考察

ここで、回答者属性などにもとづいて、受入補償額の推定に関する分析を行う。

（1）属性による違い

回答者の男女比は、前述のとおり男性が約55%で女性が約40%であった。図-1に示すように世代別割合を考慮すると、男性のうち50～60代以上が約半分を占め、女性のうち10～20代が約半分を占める。図-2に示すように職業別割合を考慮すると、男性のうち民間企業が約半分を占め、女性のうち学生が約半分を占める。



写真-1 CVM アンケートの実施状況

ここで、男性と女性とそれぞれで受入補償額を推定した結果(パラメトリック法ワイブル生存分析)は、以下に示すとおり大きな違いが生じる結果となった。

●男性：8,132 円/人/日

●女性：3,292 円/人/日

さらに、世代別、職業別も考慮した受入補償額を推定した結果(パラメトリック法ワイブル生存分析)は、表-3 に示すとおり世代・職業を問わず女性の受入補償額が安価、男女を問わず世代が上がると受入補償額が高価という結果となった。

これは、男性と女性の水の確保(水の運搬)に対する意識の違いが大きく影響しているものと考えられ、つまり、男性は水を運搬するという労働に対する対価と考え、女性は生活に不可欠な水の確保を家事の一環(対価はなくてもしなければならない)と考えたことから、受入補償額に違いが生じたものと考えられる。また、若年者に比べて高齢者の受入補償

額が高くなったことについては、水を運搬するという行為に対する負荷の相違であると想定される。

(2) 7日目以降の生活場所による違い

回答者の7日目以降の生活場所について、表-2 に示したとおり自宅が被災せずに電気が復旧していれば、約70%は自宅での生活を選択し、避難所も含めると約85%が被災地域内で生活することという結果となった。図-3 に示すように、男女別でも同様の比率であったが、図-4 に示すように、被災地域外に避難することを選択した多くが、10～20代(学生)であった。

ここで、7日目以降の生活場所で受入補償額を推定した結果(パラメトリック法ワイブル生存分析)は、以下に示すとおり違いが生じる結果となった。

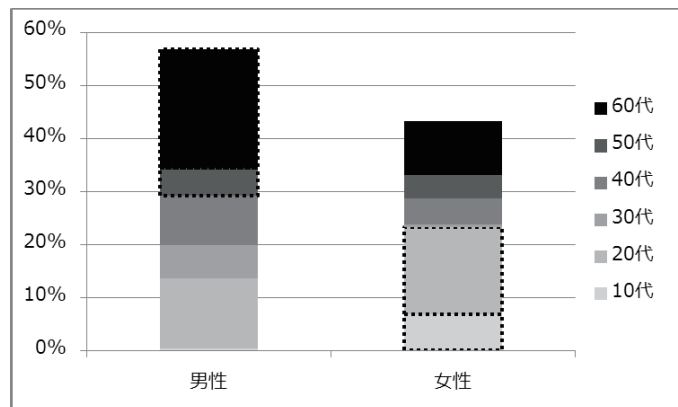


図-1 回答者の男女別世代別割合

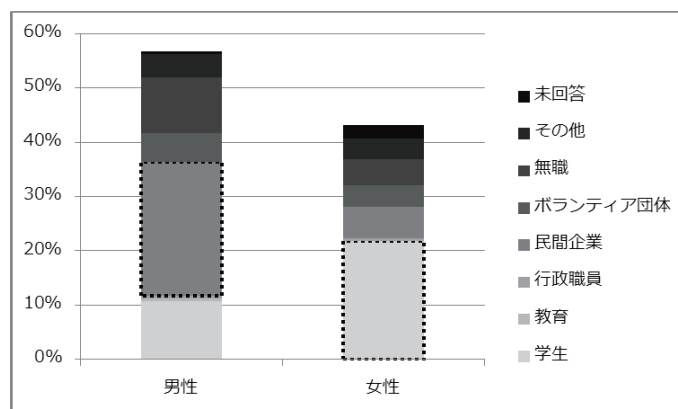


図-2 回答者の男女別職業別割合

表-3 男女別、世代別・職業別の受入補償額

	10～20代	30～50代	60代～
男性	3,089円/人/日	8,558円/人/日	15,615円/人/日
女性	2,386円/人/日	—	4,495円/人/日
	学生	民間企業	ボランティア、無職
男性	4,078円/人/日	6,449円/人/日	10,808円/人/日
女性	2,519円/人/日	—	7,143円/人/日

- 自宅避難：5,586 円/人/日（男性：9,950 円/人/日、女性：3,552 円/人/日）
（10～20 代：3,116 円/人/日、30～50 代：6,269 円/人/日、60 代以上：11,613 円/人/日）

- 避難所：4,611 円/人/日

- 被災地外：911 円/人/日

自宅避難に比べ避難所の方が安価となるのは、避難所は比較的近い距離で確実に応急給水が受けられる可能性が高いことが考慮されたためと考えられる。また、自宅避難を選択した回答者の属性を見た場合、前述と同様の傾向（女性より男性、高齢者が高価）になっていることが確認できる。

（3）居住地域による違い

回答者の居住地域について、表-2 に示したとおり愛知県(名古屋市含まず)、名古屋市、三重県の占める割合が高かった。ここで、居住地域別で受入補償額を推定した結果(パラメトリック法ワイブル生存分析)は、以下に示すとおり違いが生じる結果となった。ただし、愛知県と比較して三重県の回答数が少ないため、参考値とする。

- 愛知県（名古屋市含まず）：4,248 円/人/日

- 名古屋市：3,896 円/人/日

- 三重県：7,836 円/人/日

都道府県別の平成 27 年度基幹管路の耐震化状況（厚生労働省 平成 28 年 12 月 22 日発表）は、以下のとおりであり、受入補償額は基幹管路の耐震化率の低い三重県が高価となっていることから、管路の耐震化の進捗状況やそれに伴う減断水の発生及び長期化の可能性と受入補償額の関係性が見られた。

- 愛知県 耐震適合率：58.4%、耐震化率：39.5%

- 名古屋市 耐震適合率：75.2%、耐震化率：32.6%

- 三重県 耐震適合率：27.3%、耐震化率：14.2%

（4）受入補償額と支払意思額

CVM による価値の金額化において、支払意思額と受入補償額には乖離が生じることが確認されている。これは、様々なバイアスによるものであり、「提供されるサービスの現在価

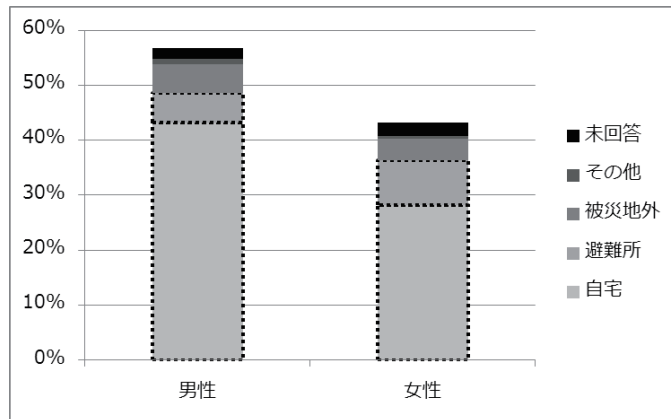


図-3 男女別生活場所の割合

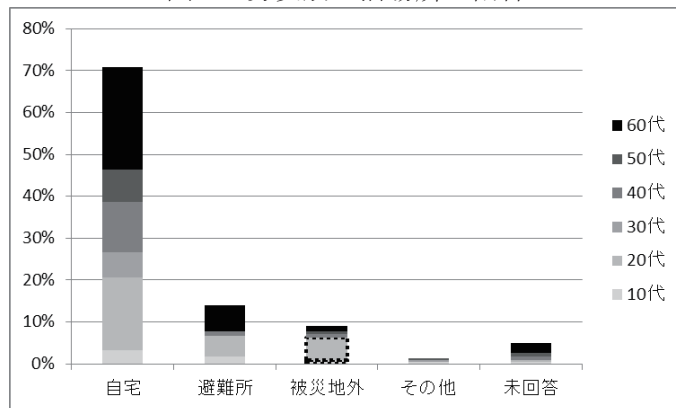


図-4 世代別生活場所の割合

値とそれがなくなった場合につけられる価値の差」「現状が回答者の判断に決定的な影響を与える」などで説明されてきた。

本検討では、地震による減断水に対する受入補償額を推定したが、既往調査⁵⁾において、耐震化事業（現状のサービス水準の維持 震災時においても供給を確保）に対する支払意思額が推定されている。耐震化事業に対する支払意思額としては、約 700 円/人/月という推定結果であり、単純には比較できないが、受入補償額である 4,000 円/人/日と比較すると、受入補償額が約 6 倍となった。これは、より多くの料金を支払って水の供給を確保するよりも、水の供給が受けられないことによる損失をより高く評価している、つまり、減断水により水の供給が受けられないことや水の確保に労力を要することは受け入れがたい（生活において水は非常に重要である）ということが示されているといえる。

4. おわりに

本検討では、これまでに構築した被害予測手法の結果を活用した社会的影響の評価として、減断水による生活用水の被害原単位の推定を行うとともに、アンケート結果を用いて推定結果の考察を行った。

222 件のアンケート結果にもとづく減断水による被害原単位の推定結果としては、4,000 円/人/日程度であったが、以下に示す課題も示された。

①回答数の妥当性

母集団の設定にもよるが、たとえば、愛知県内全域を対象とする場合に最低限の精度を確保するためには、回答数が不足している。

②回答者属性の偏り

男女別（受入補償額が男性＞女性）、世代別（受入補償額が若年層＜高齢者層）で推定結果に差が生じているが、特に女性の高齢者層の回答数が少なく、推定結果に影響を与えている可能性がある。

今後は、これらの課題を解消するために、継続してアンケートを実施するとともに、今回の分析結果から、以下の項目についても取り組む必要があると考えている。

①被災経験の有無や防災知識による違いの検証

大規模地震を被災し、長期間の減断水や運搬給水を経験した場合、受入補償額（被害原単位）の考え方は大きく変わると考えられる。また、地域の水道事業体の耐震化に関する情報の有無、防災知識や防災に関する取り組み（自助）によっても、変わってくると考えられる。よって、今後のアンケート実施において、これらの項目も確認することで、より詳細な分析が行えると考える。

②追加調査の実施

今回の検討では、受入補償額の男女差は、男性と女性の水の確保（水の運搬）に対する意識の違いであると推測したが、可能であれば、今回の回答者に追加調査としてヒアリングなどを実施し、検証を行いたい。

③減災対策や施策への展開

被害予測結果にもとづき共通指標となりえる被害額を算出することにより、他のライフラインと合わせて社会経済活動への影響も評価できるようになることから、より具体的な減災対策や減災施策の提言が可能になると考える。また、今回の分析結果から、耐震化事業の進捗と受入補償額の関係性も見られたことから、水道事業者と水道使用者のリスクコミュニケーションのような活動も重要となると考えられる。

【謝辞】

CVM のアンケートに協力をいただいた方々に厚く御礼申し上げます。また、一連の研究に関してご指導いただきました名古屋大学減災連携研究センター 北野哲司 教授、野中俊宏 助教、CVM の実施にあたって多くの助言をいただきました名古屋大学減災連携研究センター 山崎雅人 助教に心より感謝いたします。この研究は平成 25-32 年度文部科学省「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」の助成を受けたものであり、深謝の意を表します。

【参考文献】

- 1)平田明寿, 岩坪智史, 北野哲司, 野中俊宏: 大規模地震時における水道施設の被害予測と減災対策効果に関する一考察, 平成 28 年度全国会議(水道研究発表会)講演集, pp.864-865
- 2)平田明寿, 北野哲司, 野中俊宏: 水供給システムの地震被害予測手法と減災対策の比較分析, 第 7 回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム講演集, pp.232-237, 土木学会地震工学委員会 ライフラインに係わる都市減災対策技術の高度化に関する研究小委員会
- 3)関西水道事業研究会: 市民の視点に立った水道地震被害予測及び災害時用連絡管整備に関する一考察, pp.6-16, 1996.
- 4)栗山浩一(2011)Excel でできる CVM 第 3.2 版 環境経済学ワーキングペーパー#11-01
<http://kkuri.eco.coocan.jp/workingpaper.html> (平成 27 年 10 月 26 日アクセス)
- 5)谷口靖博, 宮島昌克, 源田裕希: 大規模水道事業体の震災対策事業認知と事業投資額に関する住民意識調査—大阪市におけるケーススタディー, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.65, No.1(地震工学論文集第 30 巻), pp.717-726, 2009.