

(85) ライフライン地震被害による居住生活支障の評価に関する研究

京都大学大学院 能島 暢呂

京都大学防災研究所 亀田 弘行

通商産業省 吉川 徹志

1. はじめに

ライフライン施設は公共性が高く、水・ガス等の供給物は都市生活には不可欠なものである。地震によってサービスが停止した場合、多くの利用者に生活被害が波及する。ライフライン事業者では、このような社会的な責任リスクをも考慮して地震防災体制を確立すべく、様々な努力が行われている。この目的のためには、サービス水準の低下による利用者の困窮などの間接的影響を、定量的に評価しておく必要がある。本研究は住民の居住生活に対象を絞り、ライフライン機能障害によって利用者が被る生活支障の時間的変動の評価モデルの構築を試み、その記述法の概略と試行的な適用例を示すものである。このようなモデルを用いて応急供給や利用者備蓄の効果についての考察を行い、その結果をライフライン地震防災対策へフィードバックすることによって、対策策定に有用な資料を提供するのが狙いである。

2. 加重平均法による生活支障の評価法

本研究で提案する生活支障の評価法は、各サービス水準に対する利用者の充足度の時間曲線(図1)を、地震発生後のサービス水準の時間的推移(復旧曲線; 図2)によって加重平均し、利用者全体のサービス充足度の時間曲線(図3)を求め、さらにこの曲線の時間積分を用いて生活支障の総合評価指標を求めるものである。以下にこの評価法の概略を説明するが、ここでは供給系ライフラインの地震後のサービス水準を供給の可否の2段階ではなく、より多くの段階に細分して考えている。

(1) 充足度曲線(図1) … サービスがある一定の水準に低下したことによる生活の不便の程度を表現するため、所定のライフライン機能水準に対する充足度の時間曲線を次式で定義する。

$$S_i(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t - \mu_i}{\sigma_i}\right) (1 - R_i) \quad [1]$$

ここで、 t :地震発生後経過時間、 i :サービス水準を示す添字(i が大きいほど高い水準)、 $S_i(t)$:サービス水準 i に対する充足度、 R_i :サービス水準 i で維持できる生活水準、 $\Phi(\cdot)$:標準正規分布関数、 μ_i, σ_i :曲線形状パラメータ、である。この式は、生活水準の低下が地震発生直後に始まり、徐々に影響が増大することを表している。サービス水準の低下の影響が、時間遅れを伴って現れるような時間依存型としたのは、利用者が代替物や備蓄をある程度持つことや、地震直後は住民の要求水準が低い、許容限度を越えたと不満が高まることを記述するためである。 $S_i(t), R_i$ は、 $0 \leq R_i \leq S_i(t) \leq 1$ を満たし、0(生活が全くできない)から1(平常時の生活レベル)を意味する。 R_i は、ライフラインへの依存度や使用状況に左右される。ここではばらつ

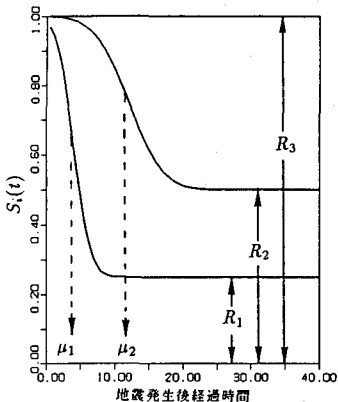


図1 充足度曲線
(0; 生活不能、1; 平常時のレベル)

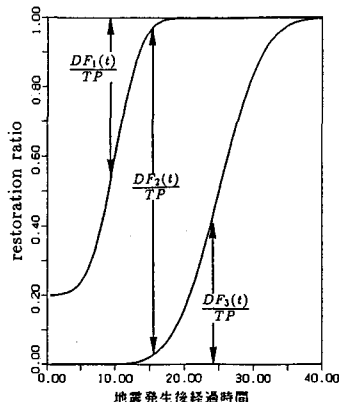


図2 サービス水準ごとの復旧曲線

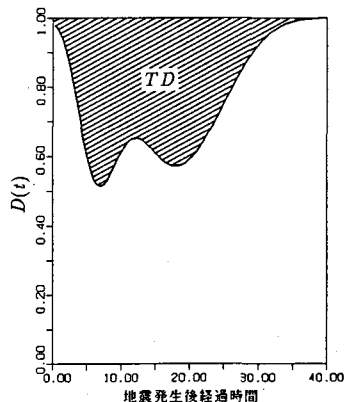


図3 利用者全体の充足度曲線

きを考えずサービス水準*i*ごとに一定値とする。 μ_i は、影響出現の遅れ時間を表現し、サービス低下の許容日数や代替物・備蓄の量によって決まる。 σ_i は、世帯差・個人差に起因する遅れ時間のばらつきで、均一な生活様式を持つコミュニティほど0に近い値をとる。

(2) サービス水準ごとの復旧曲線(図2) … 震後のライフライン機能は、地震後の応急供給活動および被災施設の応急復旧・本復旧にともなって、段階的に回復してゆく。従ってライフライン機能の復旧過程を詳細に表現するには、1本の復旧曲線では不十分であり、図2のように多段階のサービス水準に対する復旧曲線が必要となる。同図では、地震後経過時間*t*において、受けているサービス水準がレベル*i*以上かつ*i*+1以下である世帯数を $DF_i(t)$ 、全世帯数を TP としている。

(3) 利用者全体の充足度曲線(図3) … 利用者全体の充足度曲線 $D(t)$ および復旧期間($0 \leq t \leq t_F$)を通じての利用者全体の生活支障を表す TD は次式で表される。

$$D(t) = \frac{\sum_i S_i(t) \cdot DF_i(t)}{TP}, \quad TD = \int_0^{t_F} (1 - D(t)) dt \quad [2], [3]$$

式[2]の値が最小となった時刻に、サービス低下の影響が最も強く現れたと解釈する。また式[3]の総合評価値 TD は、全世帯数で正規化された形となっているため、この値を用いることによって、サービス停止がコミュニティに与えた影響を地震ごとに相互比較することが可能である。

3. 適用例

本研究の評価手順は供給系ライフラインの種類を問わず適用可能であるが、以下では1983年5月26日に発生した日本海中部地震における能代市の下水道システム被害を対象に適用例を示す。

能代市の人口は1984年1月統計で60,889人で、地震前におよそ11,000 m^3 /日の配水量があったことから、1人1日あたりの使用水量は約180(l /人日)であったと推定される。これは、大都市圏での1人1日あたりの給水量(250~350 l /人日)よりかなり少ない。この理由としては、下水道の整備水準の低さや世帯構成人員数の多さなどが考えられる。東大新聞研が行ったアンケート調査¹⁾(1983年7月実施、回答者数723人)の結果によると、トイレの水がなくて困ったという人は、回答者の11.2%であった。また同アンケートによると、地震に備えて飲料水の備蓄をしていた人は回答者の2.9%となっており、東京都におけるアンケート結果²⁾(1985年3月実施、回答者数930人)から算出される平均1.4日分の備蓄量をはるかに下回ると考えられる。

表1に、能代市における水使用状況や自治体の地震後給水計画³⁾などから妥当と考えられる、充足度曲線の各パラメータの値を示す。生命維持に必要な水量3(l /人日)は医学的根拠に基づくものであり、災害救助法において、震害直後の混乱期3日程度の目標水量として定められている。ここではこの値をレベル2の水量とした。レベル5の水量については通常の使用水量と考えられる180(l /人日)を採用した。レベル4の水量は、平常時の半分と考えて90(l /人日)とした。また炊事に必要な水量は全使用水量のおよそ20%である^{4),5)}が、ここでは簡単な調理ができる水準として、レベル3の水量を通常水量の10%にあたる18(l /人日)とした。曲線形状パラメータ μ_i, σ_i については、レベル2の $\mu_2 = 3$ (日)以外は適当に与えたものである。この点については今後の詳細な検討を要する。なお σ_i/μ_i は一律に0.25とした。

表1 充足度曲線のパラメータ

サービス水準		用途	曲線形状パラメータ		R_i
レベル(i)	水量(l /人日)		μ_i	σ_i	
1	0	-	1	0.25	0
2	3	生命維持(災害救助法による)	3	0.75	3/180
3	18	簡単な調理	10	2.50	18/180
4	90	最低限の都市生活	20	5.00	90/180
5	180	平常時の使用	-	-	1

次に、多段階の復旧曲線を以下のような考察に基づいて求めた。図4は、能代市における上水道機能の復旧状況を示すものである。図中の太い実線は、文献6)による給水回復状況である。これによると地震後19日間で100%復旧(通水完了)している。しかし、この時点においても給水管の被害が多く残存していたことや、本来2系統の浄水場のうち1系統のみの運転であったことから圧力不足が発生し、再断水地域が生じたため、地震後13日目までは夜間の配水量調整などの措置がとられた。実際に図5の作業人員数の推移⁶⁾からもわかるように、地震後19日目にあたる6月14日以降においても、延べ人数にして10%以上の人員が残っている。以上から、太い実線で示される復旧曲線は、必ずしも上水道本来の機能の回復過程を表すのではなく、通常の使用にかなりの制限が加えられた状況での復旧過程を表していると考えられる。

一方、図4の破線は、前掲1)のアンケートによる水道の回復日数の分布である。回復の基準は明らかではないが、上述の太い実線をかなり下回った値となっている。本研究では、破線をレベル5の復旧曲線とし、実線をレベル4の復旧曲線とした。レベル4に達していない世帯では、管路網を通じての給水はなされなかったものとする。

次に図6の実線は、日本水道協会の相互応援計画に基づいて、大館市、秋田市など県内10市町の応援を得て能代市が行った応急給水による供給量(m^3 /日)を表す。総量は $4,110m^3$ であり、約980万円を費やした。レベル4に達していない世帯に、この応急給水量が均等に配分されたと仮定すると、1人あたりの応急給水量は図6の破線のように推定される。これより、 $3(l/人日)$ 以上を確保できたのは地震発生から3日目以降、

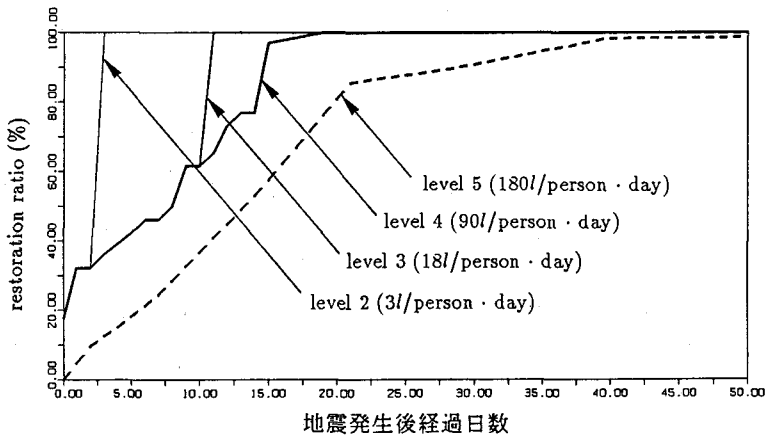


図4 能代市の上水道機能の復旧率

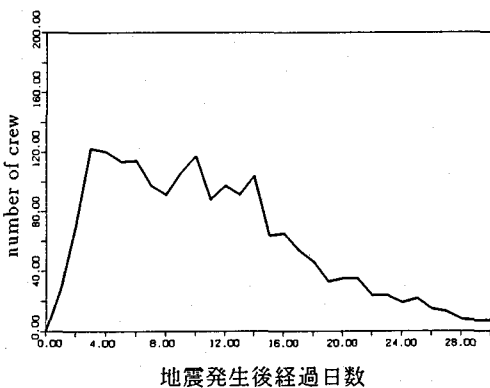


図5 上水道復旧作業員の動員数⁶⁾

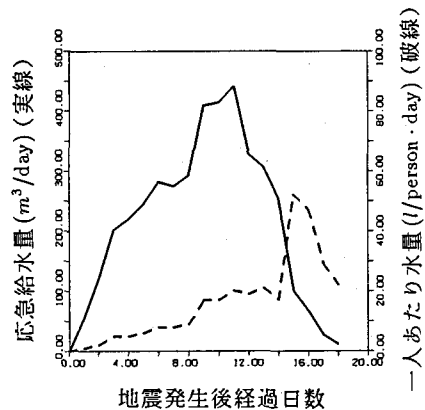


図6 能代市における応急給水量と一人あたり水量

18(l/人日)以上を確保できたのは11日目以降であったことになる。図4にこの考察に基づく復旧曲線を記入した。なお、実際には近所からのもらい水や井戸水等の自然水の利用など、住民は多様な自衛行動をとったと考えられるが、ライフライン事業者から受けるサービスと自治体の応急給水活動によるサービス以外については、考慮外とした。

2.の方法を用いて、能代市における震後生活支障、需要家全体の充足度曲線で表示したのが図7である。地震後2日目に困窮度合が最も強く現れているが、3日目に応急給水体制が整ったことによって充足度は一時的に増加している。地震後4～5日目には充足度は再び低下し、これ以降は充足度曲線はレベル4の復旧曲線とほぼ相似の形状となっている。ただし一人あたりの応急給水量が急増した15日目には、充足度がかなり増加した。また通水が完了した19日目以降も、上水道の機能が完全に復旧しておらず、充足度が1になるまで40日以上を要していることがわかる。充足度の総合評価値であるTDは、この場合約6.7となった。

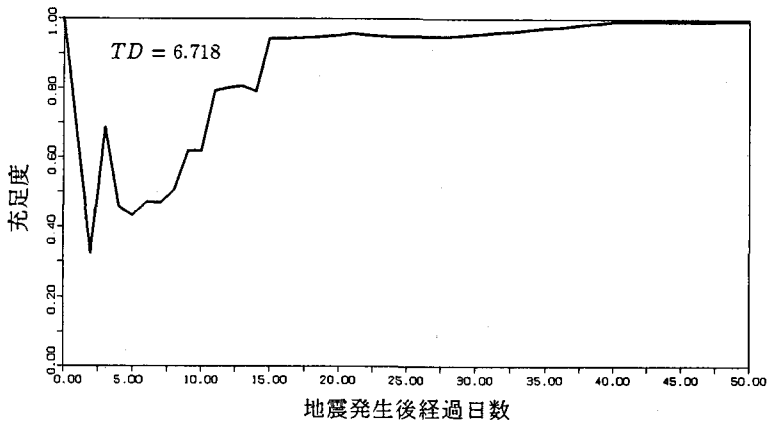


図7 能代市における充足度曲線

4. おわりに

この適用例は試験的なものであり、復旧過程の最適化などの議論ができる段階ではない。しかし、応急給水体制の早期確立と利用者備蓄の増強によって、充足度の初期段階における低下が防止可能であることや、応急復旧・本復旧の取り組み時期が震後復旧過程に与える影響などを表現することができると考えている。つまり、加重平均法を用いることによって、機能被害が利用者にとって許容できる範囲か、あるいは利用者に多大な負担をかけるものかといった評価が、あらゆるレベルのサービス障害に対して可能になるため、応急供給計画や復旧作業計画をきめ細かく策定することに役立つと考えられる。

このほか本研究では、加重平均法の他にインディシャル応答を用いた生活支障の表現も試みた。この場合、被害発生に対する応答遅れを考慮すると、復旧に対する応答も遅れることになる。この理由から、生活支障を表現するには不適切であるが、中断していた業務を再開するのに時間が必要な場合のように、反応遅れの機構が明かな場合には、線形応答による表現法も適用可能であると考えられる。

今後は供給系ライフラインの平常時・地震時利用状況や家庭備蓄の実態調査、サービス水準ごとの許容継続日数調査などのデータを蓄積し、式中のパラメータ群を推定する方針である。

参考文献

- 1) 東京大学新聞研究所「災害と情報」研究班：1983年5月日本海中部地震における災害情報の伝達と住民の対応-秋田県の場合-、pp.140-152、1985.3.
- 2) 東京大学新聞研究所「災害と情報」研究班：巨大地震と東京都民、pp.1-96、1987.3.
- 3) (社)日本水道協会：水道維持管理指針、12.5 応急給水対策、pp.547-561、1982.
- 4) 元木泰：集合住宅における家庭用水用途別実態調査、第41回全国水道研究発表会講演集、pp.117-119、1990.5.
- 5) 丹保憲仁：新体系土木工学88 上水道、2.3 使用目的と水量、技報堂出版、pp.34-40、1980.9.
- 6) 能代市：昭和58年5月26日日本海中部地震 能代市の災害記録、-この教訓を後世に...、1984.12.