

地震時のライフライン機能障害に対する利用者の 対応システムを考慮した生活支障の評価法

広島工業大学工学部 能島 輝呂
京都大学防災研究所 亀田 弘行
広島大学総合科学部 林 春男

研究の意義と概要

本研究は、ライフラインの機能障害に対する利用者の「対応システム」、つまり心理的反応や対応行動を、心理学的な観点から明らかにしたうえで、生活支障を統一的な評価関数で定量化し、事業主体側と利用者側の対策を含めたライフライン地震防災対策のあり方を探ることを目的としたものである。

わが国においては、耐震工学の発展と建設技術の進歩によって、都市の耐震安全性はかなり向上してきた。しかし、膨大な施設から構成されるライフライン系には、一様に高い耐震水準を確保することは不可能である。このため、比較的発生頻度の高い震度5程度の地震でもライフライン系の地震時機能障害を全面的に回避することは困難である。近年の地震でも被災地域の生活困難が大きくクローズアップされており、ライフライン機能障害による利用者の困窮を抑制することは、都市地震防災上の重要な課題であるといえる。ところが、利用者の生活支障の実態を反映した妥当な評価尺度や、地震防災対策の効果を検証するための手法が確立されているとはいひ難いのが現状である。

本研究では、人間の日常生活をニーズの発生・充足の繰り返しとしてとらえ、災害時における被災者のニーズの階層性と時間的変化の構造を分析した。これに基づいて、地震時のライフラインのサービス低下に対する利用者の対応システム・モデルを構築した。利用者のとる具体的行動は、ニーズの棚上げ、代替物の利用、生活の場の移転の3種類に集約されると仮定している。また、筆者らがさきに提案した加重平均法による生活支障の評価モデルの概要を紹介し、その適用例を通じて被災後の災害対応と生活支障との関連を論じた。この評価モデルは、上述の対応システム・モデルを単純化して構成したものである。その問題点をふまえたうえで、今後の課題と展望を最後に述べた。

地震時のライフライン機能障害に対する利用者の 対応システムを考慮した生活支障の評価法

広島工業大学工学部 能島暢呂
京都大学防災研究所 龜田弘行
広島大学総合科学部 林春男

1. はじめに

地震被害によるライフライン系の被害は、施設の物理的損傷にとどまらず、数多くの利用者に機能的被害が波及する。このため機能的被害の累積を軽減し、利用者の困窮を抑制することは、都市地震防災上の重要な課題である。これには、利用者の生活支障の定量的評価体系を確立することが要件となる。

本研究は、ライフラインの機能障害に対する利用者の心理的反応と対応行動を考慮し、生活支障を統一的な評価関数で定量化したうえで、事業主体側と利用者側の対策を含めたライフライン地震防災対策のあり方を探ることを目的としたものである。まず、ライフライン機能障害の評価法としての従来の方法や研究を概観し、その問題点を述べる。次に、ライフライン機能障害に対する利用者の対応行動を分析し、被災時ニーズの時間的変化に注目した対応行動モデルの枠組みを示す。さらに、筆者らが提案した生活支障の評価モデルを用いて、被災後の災害対応と生活支障との関連を論じ、その問題点をふまえて今後の課題を述べる。

2. ライフライン機能障害による間接被害の従来の評価法

ライフライン系の地震被害は、設備の物理的被害や復旧費用などの「直接被害」に加えて、機能障害による多大な「間接被害」が発生する。間接被害の従来の定量化手法としては、以下の例が挙げられる。

(1)供給側のサービス支障規模

【評価指標：配水量の減少量、供給電力量の減少量、電話の損失呼など】

(2)利用者側の被災規模

【評価指標：被災戸数、被災率、延べ被災戸数、サービス障害時間など】

機能障害の空間的波及とその時間的累積に注目したこれらの評価指標は、被害の客観的尺度として有用なものであるが、このような代表値が実際の被害を正確に反映するとは限らない。例えば1,000戸で1日の断水と50戸で20日間の断水は、延べ被災戸数としては同一の評価値(1,000戸・日)となるが、被災日数の長い後者の被災者の方が深刻な影響を受ける。逆に、1,000戸で1秒間の停電と50戸で20秒間の停電は、同一の評価値(1,000戸・秒)を与えるが、電気製品のデータ損失などから、被災戸数の多い前者の方が大きな影響を与える可能性がある。機能的被害の支配要因は、被害の継続時間、空間的規模、あるいはその両者と様々であり、時間的に非線形な性質を持つといえる。従って、より多くの情報を含む復旧曲線を加工し、総合的に被害を定量化するべきであるといえる。

(3)供給側の経済的損失¹⁾

【評価指標：減収額、料金減免額、被害調査費用、応急供給費用など】

(4)利用者側の経済的損失^{3)～5)}

【評価指標：サービス障害による利用者の経済的損失など】

(3)は機能的被害の発生に起因する事業者の減益と臨時支出が主体となる。これに対し、(4)の利用者側の経済的損失は、利用者が被る影響を貨幣価値に換算するものであり、直接被害や防災投資と間接被害を同一のベースで比較することが可能となることから、防災対策の費用便益分析に有用であるが、利用者損失の単価算定の根拠等に課題が残されている。

(5)利用者の居住生活支障^{6)～8)}

【評価指標：生活水準指数、生活活動への個別・総合影響度など】

中林⁶⁾は、居住生活支障を表す指標を世帯単位に時間曲線の形で表現し、地域全体の生活被害量を求める方法を提案した。また塩野らは、電気・ガス・水道に複合的に依存する生活において災害時に生じる支障を定量的に評価・予測する手法を提案している^{7)・8)}。本来、主観的尺度で捉えざるを得ない生活上の困惑感を、客観的に評価した点で、これらの研究は意義深い。ただし間接被害の時間的非線形性についてはここでも考慮されていない。地震防災対策との関連では、ライフライン依存の排除や「備え」の強化など、地震防災対策を主体的に進めることができない利用者側の自衛策が重視されている。

3. 平常時と災害時における被災者のニーズの基本構造

人々の日常生活は、ニーズの発生とその充足の繰り返しを考えることができる。ニーズの発生から充足までのサイクルの長さに着目すると、ニーズは以下のように分類できる。

- (1)生命の保持に必要なもの (食事・睡眠など；時～日サイクル)
- (2)健康・衛生の保持に必要なもの (入浴・洗濯など；日～週サイクル)
- (3)社会的存在として要求されるもの (勤労・教育など；日～週サイクル)
- (4)文化的生活の維持に必要なもの (娯楽・精神的休息など；日～月サイクル)

生活に不可欠なニーズほどサイクルが短くなっていることが指摘できよう。

一方、災害の発生は、日常生活の中止を余儀なくさせるような急激な状況の変化としてとらえられる。ニーズの発生・充足のサイクルの観点からは、災害の発生は、日常行われているニーズの発生・充足のサイクルに何らかの制限が加わる、あるいはサイクルそのものが停止する事態であると考えられる。さらに、災害とともに発生した状況の急激な変化は、それを認識するための強い情報ニーズを人々に喚起させることが予想される。以上から、災害時において被災者は日常生活とは違ったニーズの発生・充足パターンを持つことが予想される。

心理学者 Maslow⁹⁾は、人々のニーズに図1のような階層構造 (hierarchy of needs) が存在すると主張し、人間は低水準のニーズが満たされると、より高い水準のニーズを抱くという概念を提示した。ニーズの発生・充足のサイクルと、災害によるニーズ体系の変化を考慮すると、地震時の被災者のニーズは図2のように時間の経過とともに推移すると仮定できる。地震最中～直後にかけては、自己の安全性の確保ということが第一義的になるが、それが満たされた後は、アイデンティティーの確保が重要となる。具体的には、家族の安全性確保、財産の保全、身分の保証を求める。その後、快適性・利便性の確保を経て、日常性の完全回復へと移行する。

ライフライン機能に対するニーズに関しては同様に階層性があり、地震後の短期間は利

用者のニーズは抑制され、サービス低下を許容できるが、サービス低下が長期化すると不満が高まり、かつ高水準のサービスを要求すると考えられる。また利用者は様々な手段を講じて生活支障を回避し、ニーズ充足の努力をする。本研究では、ライフライン機能障害に対する利用者の心理的要因や災害対応行動を「対応システム」と呼び、4. でその構造を分析する。



図1 Maslowによる欲求の階層構造

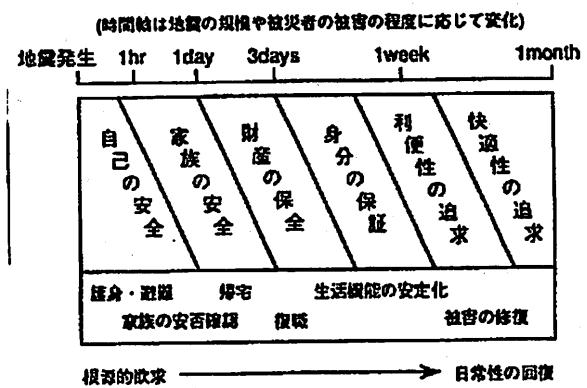


図2 地震災害における被災者の欲求の時間的変化

4. ライフライン機能障害に対する被災者の対応システム

図3は、ライフゲイン機能障害への被災者の対応モデル¹⁰⁾に基づいて、対応行動の時間的変化に関する項目間の因果関係(+ : 促進、- : 抑制)を図示したものである。被災時にはサービス水準がニーズを下回るため、被災者は種々の代替物を利用するとともに、ニーズを一時的に下方修正し、個人あるいは世帯単位でニーズ対サービスの均衡を図る。しかしその過程で均衡がとれなかったり、蓄積する不便・不満・コストが許容限度を超えた場合には、生活の部分的・全面的移転が発生するという仮説を立てている。以下、項目間の関連を説明する。

- (1) サービス低下が激しいほど、ニーズの棚上げ(我慢)が促進され被災時ニーズが低下すると同時に、代替物の利用が促進される。図3では、各項目が「大きい」値あるいは「長い」値をとる場合を基準に正符号(+)を定め、次のような関係を表現している。「被災時サービスが大きいと、ニーズの棚上げに負のインパクト(-)を与える、ニーズの棚上げが大きいと、被災時ニーズに負のインパクト(-)を与える。従って被災時サービスが低下すると、被災時ニーズが低下する」。以下についても同様の表記法をとっている。
- (2) ニーズの重要性が大きいほど、ニーズの低下が抑制されると同時に、代替物の利用が促進される。一般家庭における用途別の水利用を例にとると、洗車に使う水や庭にまく水などは災害時には利用をひかえられるが、飲み水や調理用の水はひかえられず、応急給水が利用されるという状況を表現する。図2の階層性において、被災者の直面する場面場面で、優先順位の低いニーズほど災害時には抑圧されやすい。
- (3) サービス低下の経過時間が長くなると、ニーズの棚上げは徐々に困難となり、被災時ニーズは上昇する。上に述べたニーズの充足サイクルとその重要性から、停止許容期

図3:食事・入浴

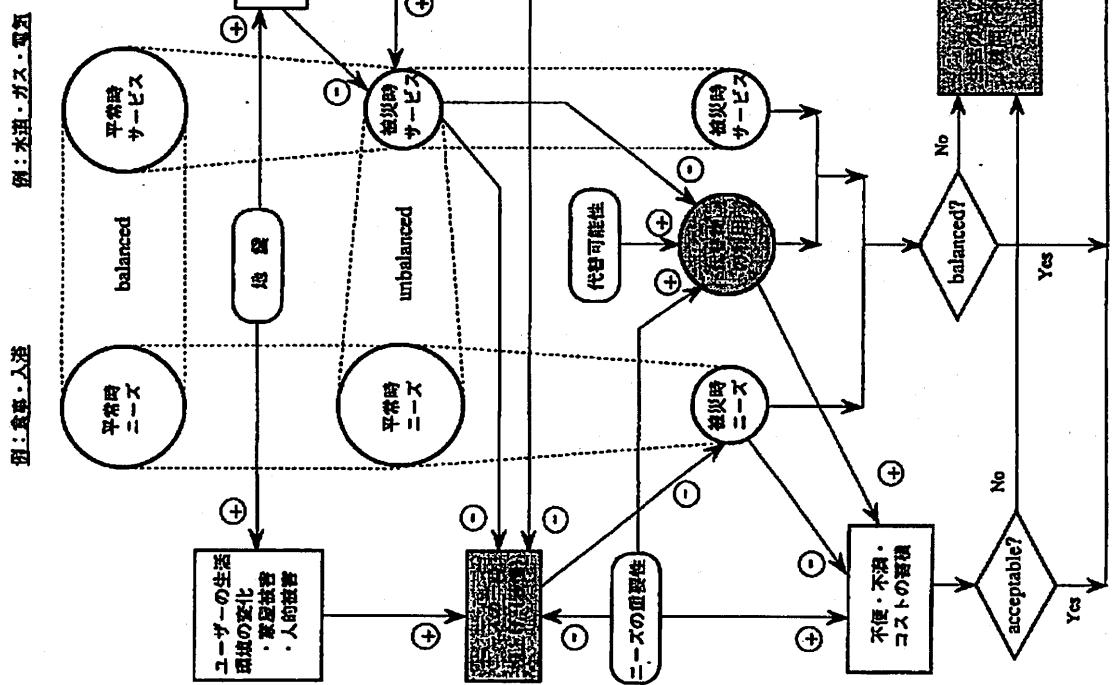
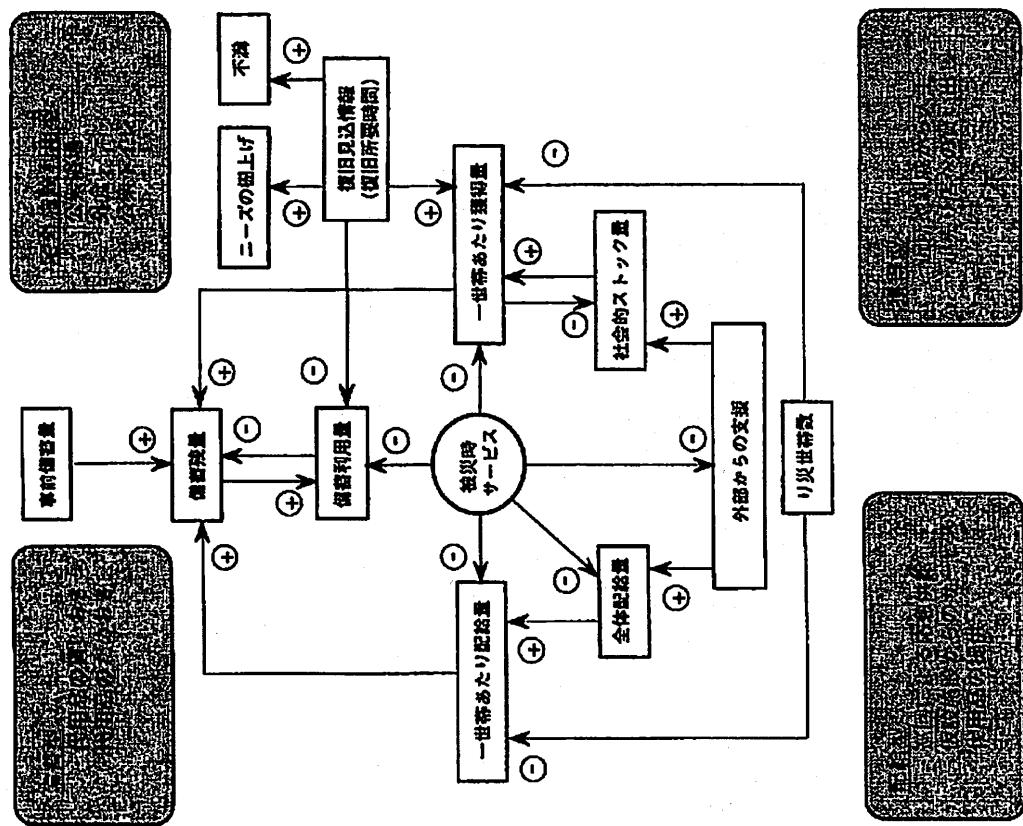
図3 ライフライン機能障害に対する被災者対応行動
のダイナミクス

図4 代替物利用に関するダイナミクス



間が規定される。

- (4) 利用者の生活環境に、家屋の損壊や負傷の発生などの大きな変化があった場合、日常生活が制限され、ライフラインの機能へのニーズが低下することが考えられる。
- (5) 被災時における生活の制限、ニーズの低下が続くと、不便や不満感が蓄積される。また代替物を利用することにより、通常は必要としないコストがかかる。
- (6) 不便・不満・コストが許容限度を超えると、被災時ニーズが、被災時サービスと代替物によって充足されない場合、外食や公衆浴場利用など、生活機能の一部移転や、外泊、疎開など、生活の場の全面的移転が図られる。

次に図4は、代替物の利用により被災時ニーズを充足する種々の行動を、代替物のストックとフローの関係に注目してモデル化したものである。ここでは、次の4種の代替手段でサービス低下の影響が緩和されるとした。

- (1) 事前備蓄型(災害発生以前の代用品の宅内ストック)
- (2) 配給型(ライフライン事業者などの公的機関による代替サービス・援助)
- (3) 獲得型(社会的ネットワークや流通在庫を通じた代用品の融通・購入)
- (4) 宅外機能利用型(公衆施設などの利用)

(1)は災害発生前の事前備蓄量であり、世帯固有の初期条件となる。(2)と(3)は機会に応じて補給され、世帯の備蓄残量(ストック)に追加される配給量(フロー)および獲得量(フロー)であり、被災世帯数、全体配給量、社会的ストック量、外部からの支援によって変化する。また備蓄利用量は、備蓄残量と被災時サービス水準、復旧見込み情報の影響を受ける。(4)は、生活機能の一部移転に対応するものである。

5. 加重平均法による生活支障の定量化モデル¹¹⁾

筆者らは、利用者の生活支障に以上のような社会的要因と心理的要因が関与することに注目し、地震後に低下したライフラインのサービス水準に対する利用者の主観的評価に基づいた、機能的被害の定量化モデルを提案した。その概念図を図5に示す。図3の対応システムを単純化し、ニーズとサービス水準の不均衡から生じる不満・不便を、0から1までの値をとる基準化された尺度で表現するものである。

まず各サービス水準に対する利用者の「充足度」の時間曲線を定義する。これを被害発生後のサービス水準の時間的推移(復旧曲線)によって加重平均し、利用者全体の充足度の時間曲線を求め、利用者の生活支障の時間変動を表現している。さらに、この曲線の時間積分に基づいて生活支障の総合評価指標である累積困窮度(TD)を定めた。

図6は1978年宮城県沖地震における仙台市の断水の影響評価への適用例である。図4の配給型の代替手段の効果をみるために、給水車による応急給水活動を考慮した。断水の発生と同時に充足度(○)の低下が始まるが、応急給水体制が整った2日目にやや増加している。3日目には再び低下しているが、これ以降は断水の解消過程(●)に応じて充足度が回復している。図7は1983年日本海中部地震における能代市の断水の影響評価への適用結果である。図4の備蓄型や獲得型の代替手段の効果をみるために、一人一日あたり3リットルと18リットルの水利用が可能であると仮定した場合(○、●)と、不可能である場合(▲)との比較を行った。備蓄水の利用による生活支障の緩和効果を示す結果が得られた。

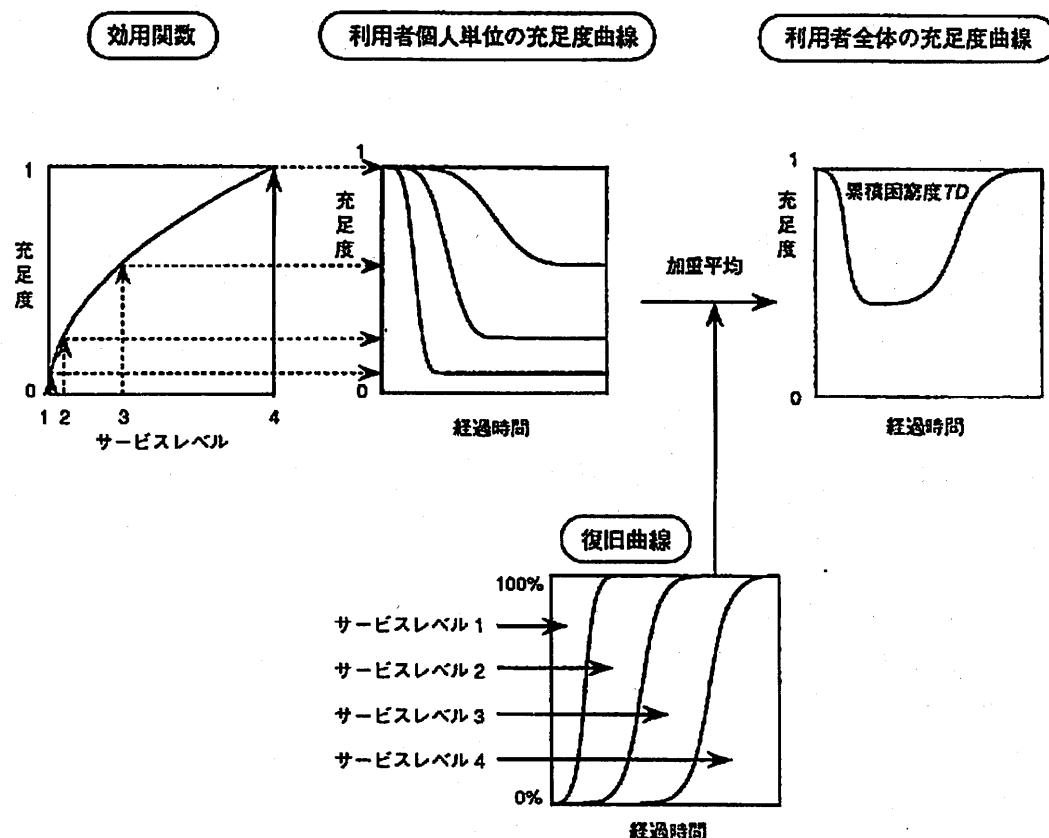


図5 加重平均法による利用者の生活支障の評価モデル

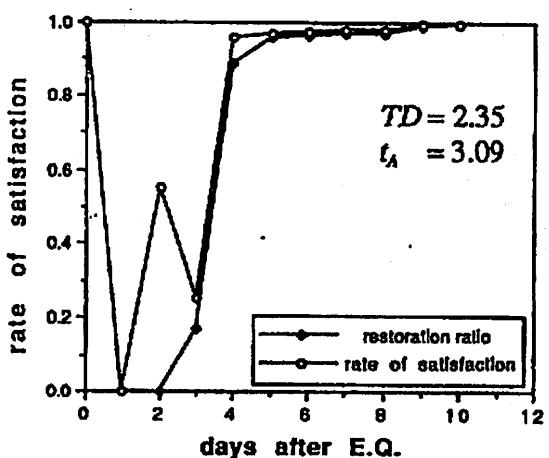
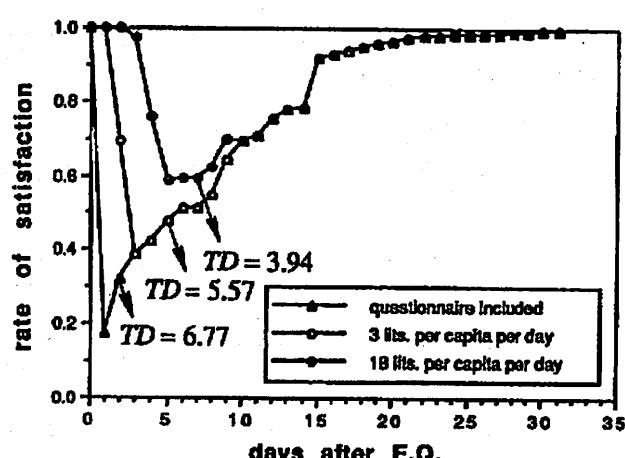
図6 通水率曲線(●)と充足度曲線(○)
(1978年宮城県沖地震:仙台市)

図7 備蓄水が利用可能な場合(○, ●)と不可能な場合(▲)(1983年日本海中部地震:能代市)

6. 今後の課題

ライフライン事業者の地震防災対策は、物理的被害軽減対策、ネットワーク形態面からの対応、システム・オートメーションによる対応、人間の対応・作業からなり^{1,2)}、被害の未然防止、拡大防止、早期復旧が図られる。また利用者は図3、図4に示した対応行動

によって自衛策を講じる。5. の評価モデルは利用者の被害許容傾向を含む様々な心理的要因を反映するので、生活支障を軽減するための上記の種々の対策を選択して組み合わせ、それを検証するための一助となると考えられる。

現段階では、単一のニーズと単一のライフライン機能の関係のみを考慮しているが、多様なニーズが複数のライフライン機能によって保持される日常生活においては、利用者側でライフライン被害の相互連関が生じると考えられる。また、図3の「不便・不満・コストの蓄積」のメカニズムを単純な関数関係で表しているが、これについては心理学的観点からさらに検討を要する。そこで、1983年日本海中部地震の総合的再評価¹³⁾の一環として行う質問紙調査の一部で上記の問題を扱うこととした。

質問紙のうち、生活支障の定量化に関する部分では、(1)利用者のライフライン機能への依存状況、(2)利用者の代替物利用状況、(3)サービス支障の持続期間、(4)サービス支障のもとでの行動、(5)生活困難の発生・持続状況等について尋ねる構成となっている。利用者固有の属性とサービス支障を説明変数として、生活支障の発生要因を統計的に分析し、上記の生活支障評価モデルに反映させたいと考えている。質問紙調査の概要については別途報告¹³⁾されるので参考されたい。

【参考文献】

- 1) 村上己里・中島威夫：地震災害における間接被害の推計手法に関する研究、第5回日本地震工学シンポジウム、pp. 209-2056, 1982.
- 2) Oppenheim, I. J. : Simulation of Water System Seismic Risk, Journal of the Technical Council of ASCE, Proc. of the American Society of Civil Engineers, Vol. 105, No. TC2, pp. 327-336, Dec. 1979.
- 3) Hendrickson, C. and Oppenheim, I. J. : User Loss in Earthquake-Damaged Roadway Networks, Proc. of ASCE, Vol. 106, No. TC1, pp. 117-127, Aug. 1980.
- 4) 中島威夫・岩崎俊男・磯山龍二・佐伯光昭：設計震度が道路橋の総費用に与える影響、第17回地震工学研究発表会、pp. 379-382, 1983. 7.
- 5) 野中昌明・猪熊康夫・片山恒雄：道路橋の地震被害率と設計震度選択に関する基礎的検討、土木学会論文報告集第340号、pp. 87-96, 1983. 12.
- 6) 中林一樹：地震災害による居住生活への支障とその定量的想定手法の検討、総合都市研究、第38号、東京都立大学都市研究センター、p. 129-147, 1989. 12.
- 7) Shiono, K. : A Method for Evaluating the Difficulty Posed on Residents' Daily Living Activities by the Interruption of Lifeline Services, Proc. of GWCEE, Japan, (Vol. VIII), pp. 995-1000, Aug. 1988.
- 8) 朱牟田哲治・塩野計司：供給系ライフラインの震害による住民の生活支障－調査法と予測法－、第8回日本地震工学シンポジウム論文集、pp. 2229-2234, 1990. 12.
- 9) Gleitman, H. : Psychology, W.W. Norton & Company, pp. 732-735, 1991.
- 10) 林 春男：日本海中部地震の総合評価研究会資料4-2, 1993. 1.
- 11) 能島暢呂・亀田弘行：居住生活支障を考慮したライフライン系の地震時機能障害の評価法、地域安全学会第2回研究発表会、地域安全学会論文報告集、pp. 51-60, 1992. 5.
- 12) 能島暢呂・亀田弘行：ライフライン系における地震防災システムの基本構造に関する考察、京都大学防災研究所年報、第32号B-2, pp. 89-109, 1989. 4.
- 13) 亀田弘行・浜田政則・林 春男・角本 繁：1983年日本海中部地震による被害の総合的再評価－能代市をフィールドとする都市災害の研究計画、地域安全学会第3回研究発表会、地域安全学会論文報告集、1993. 5.