

## ライフラインの震災対策による短期的避難需要の低減効果

1. はじめに
2. 方法
3. 分析
4. おわりに

塩野 計司\*  
 宮野 道雄\*\*  
 小坂 俊吉\*\*\*

### 要 約

兵庫県南部地震（1995）で被災した宝塚市で世帯別アンケートを行い、住宅被害・ライフライン停止・生活支障・待避避難の発生状況について調査した。調査結果をもとに、生活支障の強さを計量評価するとともに避難世帯の発生率を算定し、両者の関係を示す実験式を導いた。この実験式にライフラインの停止状況を説明変数として生活支障の強さを評価する方法を連結し、ライフラインの停止状況が避難世帯の発生率に及ぼす影響を試算した。試算の結果、1) ライフラインの停止期間が短縮することに伴う生活支障と避難率の低下傾向は複数のライフライン（水道とガスの組み合わせなど）の停止期間が短縮したときに顕著に現れることが明らかになり、2) 兵庫県南部地震での宝塚市での電気、水道、ガスの停止日数がそれぞれ実際の4分の1に止まっていたならば、住宅の被害が軽微だった世帯の避難は発生せず、避難世帯の数は実際の半分程度に止まっていたことが推定された。

### 1. はじめに

震災による避難者の発生は、発災期や応急復旧期の社会的な混乱を拡大する。避難や疎開それ自体が被災者の生命や財産の喪失のような深刻な事態に直結することは希だとしても、避難者や疎開者の大量発生による被災地の混乱は回避する必要がある。また、被災地の行政が避難所の開設と避難者への対応に忙殺されるあまり、それ以外の対

策活動に停滞が生じることは好ましくない。避難者の大量発生は、地震による間接的・社会的な被害としてのみならず、緊急対策への阻害要因としても防止する必要がある。

しかし、避難者に対する従来の取り組みは、一定数の避難者の発生を前提として、その収容に関する細部の手続きを議論するに終始するものだった。事後対策に偏った考えが主流をなし、避難者の減少を目的とした事前対策について本格的な議論が展開されたことはなかった。また、避難者へ

\*長岡工業高等専門学校環境都市工学科

\*\*大阪市立大学生活科学科

\*\*\*東京都立大学大学院工学研究科

の対応に要する負担を軽減し、対策活動全般の効率化を図ろうとする方向性を積極的に打ち出した例も見られない。このような状況を反映した混乱が1995年兵庫県南部地震でも出来たことは記憶に新しい。

避難者の発生に関する考察が、滅失住宅との関連だけで行われてきたことにも問題があった。避難者の発生には、住宅の滅失という物的な異常のみならず、被災地に発生した人的・社会的な異常が関与する。余震への恐怖<sup>1)</sup>や余震による住宅の倒壊に対する不安が避難の原因になることも知られている。また、ライフラインの停止に起因する生活支障が避難者の発生に関わることも、兵庫県南部地震の発生を機に指摘されてきた<sup>2), 3)</sup>。

筆者らは1995年兵庫県南部地震による被災者へのアンケート調査を基礎資料とし、ライフライン機能の低下とその影響に関する考察を軸として、避難者の発生について分析した。この研究はライフラインの耐震性の向上に伴う避難需要の低減効果を定量的に評価することを目的とする。

## 2. 方法

### 2.1 異常の評価

#### (1) 方針

避難者の発生には、さまざまな災害事象が関与する。それらの一つ一つを識別し、避難との因果関係を解明することも重要な課題には違いない。しかし、そのような作業が膨大なものになることは想像に難くない。得られた結果が煩雑なものとなり、実用的な知識としての利用にそぐわないことも危惧される。

このような状況を念頭におき、図1に示すような単純な枠組みに従って考察を進めた。

避難の発生に関わる物的な事象は住宅の被害で代表した。

避難の発生に関わる社会的な事象は家庭での日常生活に対する制約(生活支障)で代表した。改めて指摘するまでもなく、震災時に発生する社会的な異常には様々な事象が含まれる。また、被災

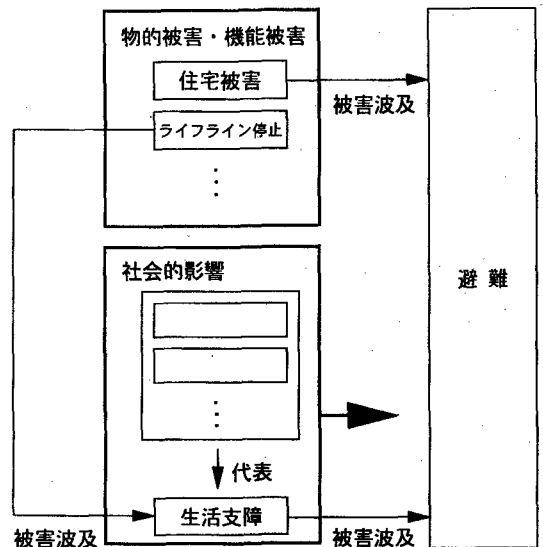


図1 分析の枠組み—避難者発生への災害波及

者の心理(人的な要素)が災害下の社会の状況を左右する局面も少なくない。生活支障によって代表させようとしている災害事象があまりに多く、このような取り扱いには不安が残らないわけではない。

しかし、家庭での日常生活にはあらゆる社会活動の基盤としての位置づけが可能であり、社会的な異常を代表する指標として利用できる可能性は高い。また、被災者の心理には周囲の状況が反映されるはずであり、生活支障との関連性が期待できる。避難の発生に関わる人的・社会的な災害事象の全てが生活支障との厳密な因果関係にあることは期待すべくもないが、その多くが生活支障との相関性を持つものと考えた。

住空間の喪失と生活支障が避難者の発生に関与する直接的な要素であるとすれば、ライフラインの機能低下には生活支障の発生を媒介として作用する間接的な要素としての位置づけができる。今日の日常生活とりわけ都市域での生活はライフラインの利便性に依存して成り立っている。ライフラインの機能停止は住民の生活支障をもたらし、さらに避難者の発生をも誘発する原因になる。ライフラインの被害が回避され、あるいは停止したライフラインが早期に復旧されるならば、避難者

の発生に対する有力な抑止要因になる。

## (2) 生活支障の定義—直接評価

生活支障を評価するための指標には「影響度」と名付けた計量化指標<sup>3)</sup>を用いた。影響度の構成や取り扱いについては文献<sup>3)</sup>に詳しい。ここでは、その要点を振り返っておく。

影響度は、家庭での日常生活が制約された「程度」と「期間」を調査し、次の式を用いて計算する：

$$[\text{影響度}] = \sum \{ C_i \times [\text{低下度}]_i \times [\text{生活活動への制約が続いた日数}]_i \} \quad (i)$$

ここに、

影響度：一つの世帯が受けた生活支障の強さを示す指標

C：生活活動の重要性を示す重み係数

低下度：生活活動の制約の程度を示す指標

i：生活活動の種類を示す添え字。

影響度を計算するさいに注目する生活活動は1)調理、2)用便、3)洗面、4)入浴、5)洗濯の5種類とし、これらによって家庭での日常生活を代表した。

重み係数Cの与え方についての考察も進行中ではあるが、この時点では十分な結論が得られていない。この研究では既往の調査でも用いた便宜的な方法を引き継ぎ、全ての生活活動に1.0の重み係数を与えた。

低下度は生活活動への制約の程度に応じて0～10の範囲の点数で表す。一つの生活活動が普段どおりにできる状態に0、まったくできない状態に10の点数を与える。ゼロと10の間には2～5段階(生活活動の種類によって異なる)の点数を設定する。付録1に低下度の与え方を示した。

影響度の値は世帯ごとに算定する；影響度の「世帯指標」を計算することが、影響度を用いて生活支障を評価する方法の基本になっている。影響度の算定に必要なデータは世帯別のアンケートで収集する。

影響度の世帯指標が集まれば、その総和や平均を計算することによって影響度の「代表値」が求められる。たとえば、ある地域内の世帯について

計算された影響度の総和や平均を計算して「地域指標」を求めることができる。

## (3) 生活支障の間接評価

影響度を用いた生活支障の評価は1987年千葉県東方沖地震でも行われ、影響度を評価するための2つの要素(低下度と制約日数)に対して次のような影響要因が識別された<sup>3)</sup>：

- 1) ライフライン(電気、水道、ガス)の停止状況；
  - a) 停止するライフラインの組み合わせ
  - b) ライフラインの停止日数
- 2) 日常生活でのライフラインへの依存性。

また、ライフラインへの依存性を「生活形態」との対応で評価する方法が提案された。生活形態とは次の4つの要因に注目した世帯の分類であり、平常時におけるライフラインの利用状況や代替手段の保有状況を明らかにして、ライフラインへの依存性を表現したものである：

- 1) 井戸(なし—あり)
- 2) 調理用熱源  
(都市ガス—プロパンガス—その他)
- 3) 風呂用熱源  
(都市ガス—電気—プロパンガス—その他)
- 4) 便所(水洗—汲み取り)。

熱源の項に示した「その他」にはライフラインに依存しない燃料(まき、石炭、石油など)が含まれる。生活形態を分類するさいにはライフラインに依存しないという性格に注目すれば、プロパンガスと同じように取り扱うことができる。

これら4つの要因を単純に組み合わせれば24通りの生活形態を作り出すことができる。しかし、その中には希にしか存在しないものが少なくない。千葉県東方沖地震での調査のさいに、まとまった数のデータが得られた生活形態は表1に示した9種類に限られた。調査地域には新旧の市街地や周辺の農村部が含まれており、生活形態も変化に富んでいたが、実在した生活形態は表1の範囲に止まった。都市化が進んだ地域では、生活形態の幅はさらに限られる。

影響度の評価に用いる2つの要素(低下度と制約日数)がライフラインの停止状況と世帯の生活形態に関連づけられたことにより、式(i)は式

表1 生活形態の分類

生活形態	井戸	調理用熱源	風呂用熱源	便所
1	あり	プロパンガス	プロパンガス	汲み取り
2	あり	プロパンガス	プロパンガス	水洗
3	あり	都市ガス	都市ガス	汲み取り
4	あり	都市ガス	都市ガス	水洗
5	なし	プロパンガス	プロパンガス	汲み取り
6	なし	プロパンガス	プロパンガス	水洗
7	なし	都市ガス	電気	水洗
8	なし	都市ガス	都市ガス	汲み取り
9	なし	都市ガス	都市ガス	水洗

(ii) のように書き換えられた。被災者が体験した生活支障について質問した結果を利用する式 (i) を「直接的な評価式」と位置づければ、世帯ごとのライフラインの停止状況と生活形態を調査した結果を利用する式 (ii) は「間接的な評価式」として位置づけることができる。

$$[\text{影響度}] = \sum \{f_i \text{ (生活形態)}, \\ \text{[停止するライフラインの組み合わせ]} \\ \times g_j \text{ (ライフラインの停止日数)} \\ \dots\dots\dots (ii)$$

式 (ii) に含まれる関数  $f$  は千葉県東方沖地震での調査の結果<sup>3)</sup> を利用して数値的に与えられている (付録2)。関数  $f$  の値は、生活形態と停止したライフラインの組み合わせによって世帯を分類し、分類ごとの低下度の平均値として求められた。

関数  $g$  は簡単な考察によってライフラインの停止期間と生活活動の制約期間を対応付けたものであり (付録3)、その妥当性は千葉県東方沖地震での調査によって確認されている<sup>3)</sup>。

#### (4) 異常の評価に関する補足

自然現象やそれによる災害を記載する方法には2つのタイプがある。一方は時系列として記載する方法であり、事象の時間的な変化を詳しく表すのに適している。もう一方は一定の時間内の変化を平均値や積分値などに集約して記載する方法であり、事象の時間的な変化を示すことはできないが、事象の強さを簡潔に表すのに適している。地震動の評価を例にすれば、速度や加速度の記録

(地震記録) は前者に、スペクトル強度 (SI値) や震度は後者に分類できる。

この研究で用いた影響度も後者に含まれる。生活支障の強さが時間的に変化する様子を表すことはできないが、一つの災害の間にどれだけの影響を被ったのかを「ひとくくり」にして示すのに適している。

この研究では、生活支障の強さを一つの指標に集約して表し、避難の発生状況 (避難率) との相関性を分析するという考え方を採用した。影響度と避難率との相関関係を明らかにすることを目的とし、避難の原因や発生過程の究明は研究の射程外においている。避難の原因や発生過程を研究課題として取り上げるには、震後の人的・社会的な異常をより多面的かつ詳細に記載することが必要になり、震後の異常をすべて影響度 (生活支障) で代表させるという方法には無理があると考えた。

## 2. 2 調査と資料

### (1) 調査域

調査は宝塚市で行った。宝塚市は兵庫県の南東部に位置し、その東側を伊丹市と川西市に、西側を西宮市と神戸市に接している。人口は20.6万、世帯数は7.39万、面積は102 km<sup>2</sup>を有する (1994年末)。

兵庫県南部地震 (1995年1月17日) による宝塚市の被害は、死者83人、全壊5,535棟、半壊14,737

棟、焼失2棟などと記録されている<sup>2)</sup>。市が開設した避難所は65箇所(1月20日)、避難者は15,945人(1月18日)を数えた。また、ライフラインの停止率と停止期間は、電力で100%、5日；水道で70%、38日；都市ガスで100%、67日に及んだ。

## (2) アンケート調査

市内の世帯を対象として、無作為抽出によるアンケート調査を行った。

アンケートでは次の事からについて質問した：

- 1) 生活活動の低下に関する事から(程度と期間；10項目)
- 2) ライフラインの利用状況、代替手段の保有状況(4項目)
- 3) 住宅の被害程度(1項目)
- 4) ライフライン(電気、水道、都市ガス)の停止日数(3項目)
- 5) 住所(町丁目)、住宅種別、生活支障や対応行動の態様(33項目)。

上記の1)は影響度を直接的に評価するために利用し、2)と4)は影響度を間接的に評価するために利用した。この研究では、上記の1)～4)に対する回答を主なデータとして分析を進めた。それ以外のデータに対する分析の結果は、別の機会に報告することにした。

アンケート票を1,779世帯に配布した。この票数は市内の世帯数の2.5%に相当する。アンケートの配布先は選挙人名簿(1996年10月30日作成)から抽出した。アンケート票の発送は1997年1月14日に、宝塚市内の郵便局から行った。アンケート票の発送と回収はともに郵送で行った。回収率は51.3%(913票)だった。

## (3) 資料

回収されたアンケート票の中で、直接的な方法と間接的な方法の両方で影響度が計算できたものは448票だった。この資料を用いて分析を進めた。

以下に、この資料に対する予備的な分析結果を示し、資料の性格について簡単な考察を加えた。

住宅の被害は「全壊、半壊、軽微な被害、無被害」に分類した。宝塚市内では被災者証明を発行するための被害認定が行われ、ほとんどの市民が

そのことを理解していたものと思われる。したがって、自宅の被害程度に関する認識はその結果に従っていた可能性が高く、アンケートへの回答にもその認識が反映していたものと思われる。

資料の中には全壊と判定された世帯から収集されたものが4.0%(18件)、半壊と判定された世帯から収集されたものが22.5%(101件)含まれていた。一方、市が行った被災者証明の記録によれば、全壊の世帯は7.3%(5,535世帯)、半壊の世帯は19.3%(20,905世帯)だった<sup>1)</sup>。

半壊率に関しては資料から求めた値と市の記録とがよい一致を示したが、全壊率に関しては資料から求めた値が相当に小さかった。ただし、全壊の場合にもデータ数で比較するならば、あまり大きな違いにはなっていない；市の記録から期待されるデータ数が33であるのに対し、アンケート調査でも18件のデータが得られていた。このような状況は、アンケート調査によって偏りのない(地震後の市内の状況をよく反映した)データが得られていることを窺わせる。

災害時の避難先は、公的なサービスへの依存性の違いから、地域の行政が提供する避難所(学校や公民館などの公的建物)と親戚や知り合いの家に大別できる。アンケート調査では、避難先を2つに分けて質問した。屋外やテントで夜明かした場合は、公的な避難所に対する潜在的な需要があったものと考え、前者に含めて取り扱った。避難先に泊まったことを避難と考え、昼夜で避難所と自宅を往復(自宅で就寝し、避難所では水や食料を入手)しただけの場合は、避難として取り扱わなかった。

避難した世帯の中には、避難所だけを利用したものが7.7%(34件)、親戚や知り合いの家だけを利用したものが10.3%(45件)、両方を利用した世帯が4.3%(19件)含まれていた。

世帯単位に把握した避難の発生率と人口(20.7万)をもとに、市内の避難者数を推定すると2.5万人になった。これに対し、宝塚市内での避難者数の最大値は1.6万人と記録されていた<sup>1)</sup>。ちなみに、避難率の最大値はアンケート調査では地震の当日に、市の調査では地震の翌日に得られてい

た。

アンケート調査から求めた避難者数は、市の記録よりも相当に大きな値になった(約1.6倍)。この違いをもたらした確かな理由を示すことは難しい。しかし、次のような点を考慮することによって、この違いにある程度の説明を付けることはできる。避難した世帯の中に、家族の一部だけが避難した場合が含まれているものと考えられ、世帯数をもとに推定した避難者数が大きめに出る傾向が不自然なものとは考えられない。また、市の調査が地震直後の混乱した状況下での人数調べによって求められたものであり、このこと(数え落とし)が関係していることも考えられる。アンケートによる方法は回答者の体験にもとづいて行われたものであり、数え落としに相当する事態は起こりにくい。

この研究では、世帯を単位として算定した避難率に注目し、以下の分析を進めることにした。

避難所を利用した世帯数の日変化を図2に示した。避難所に泊まった世帯の割合は、地震の当日には12%にも達していたが、5日～1週間後には3%程度にまで低下した。地震から10日目以降には1%のレベルで推移した。避難所での避難生活は数日以内の場合が多く、避難期間の平均は6.7日だった。

図2には、アンケート調査の結果から求めた避難世帯数の推移のほか、宝塚市が調査した避難者数<sup>2)</sup>を示した。地震の当日と翌日を除くと、市の調査による結果がアンケート調査の結果よりも相当に大きな値になっている。この理由については様々に想像できるが、決定的な説明は付けにくい。ただし、避難者数の最大値について指摘したのと同じような事情(調査のしかたに関する違い)が関与している可能性を改めて指摘することはできる。

親戚や知り合いを頼った世帯の避難期間は、避難所での生活を選んだ世帯の場合よりも長かった。親戚や知り合いの家に身を寄せた日数を5日刻みで整理すると6～10日間の世帯がもっとも多かった(25%)。疎開期間の平均は23日だった。

避難所を利用した世帯の割合(%)

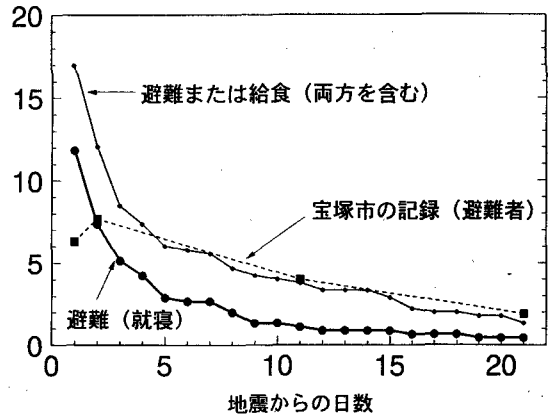


図2 避難所を利用した世帯数の推移

### 3. 分析

以下の分析では、自宅での生活を維持することを諦め、避難所、親戚や知り合いの家、あるいはテントで生活すること(一晚以上の寝泊まり)をまとめて避難と呼ぶことにした。この点は、避難先を分けて質問したアンケート調査での取り扱いとは異なっている。

分析の対象とする世帯の中にしめる避難した世帯の割合を避難率と呼ぶことにした。

#### 3. 1 住宅被害と避難の関係

住宅への被害程度に従って世帯を分類し、それぞれに避難率を計算した(図3)。全壊や半壊の世帯で避難率が高まることは予想通りの結果だった。しかし、避難率の値は全壊の世帯でも50%、半壊の世帯では40%ほどに止まった。住宅の全壊や半壊が避難者の発生に関わる重要な要因であることは確かめられたが、同時に、必ずしも決定的な要因にはなっていないことも明らかになった。なお、ここで用いた全壊の判定基準は被災者証明を発行するさいに用いられたものに対応する。たとえ全壊の場合でも、内部の空間を残さないような倒壊(潰れ)だけを指したものではない。

避難を経験した世帯から得られたデータだけを抽出し(98件)、住宅への被害状況を調べた(図4)。

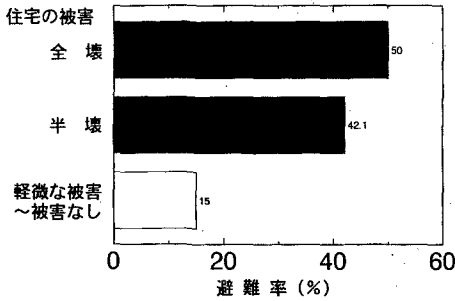


図3 住宅被害別に見た避難率

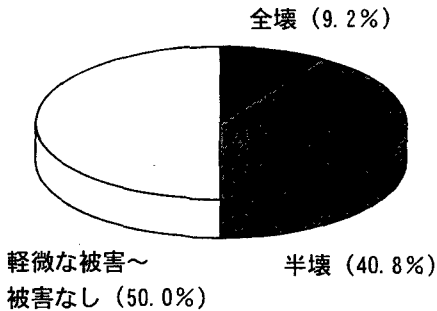


図4 避難した世帯の住宅被害

住宅が全壊した避難世帯は全体の10%にも満たず、全壊と半壊を合わせても50%に止まっていた。避難世帯の約半分は住宅の被害が軽微（無被害を含む）であったにも関わらず自宅での生活を維持することを諦めたものだった。

### 3. 2 影響度と避難率の関係

影響度（世帯指標）の分布を図5に示した。分布の形が対数正規分布に似たものになったことを踏まえ、影響度の代表値を幾何平均で与えることにした。影響度の代表値は278ポイントと求められた。

避難の有無によって世帯を分類し、それぞれに影響度の分布を調べた（図6）。どちらの頻度分布図も対数正規分布に似たものになり、それぞれについての代表値は避難した世帯で330ポイント、避難しなかった世帯で233ポイントになった。代表値の差を検定した結果、危険率5%で有意な差

であることが確かめられ、影響度の代表値（幾何平均）を用いて避難の発生状況（有無）を分析することの妥当性が示された。

影響度の大きさによって世帯を分類し、グループごとに影響度の代表値と避難率の関係を求めた（図7）。分類に際しては、4つのグループを作り、各グループに含まれる世帯数が等しくなるようにした。

図7のプロットに次のような関数を当てはめた：

$$Y = a + b \times \ln(X - c) \dots\dots\dots (iii)$$

ここに、

X：影響度

Y：避難率 (%)

a, b, c：回帰係数。

世帯数の割合 (%)

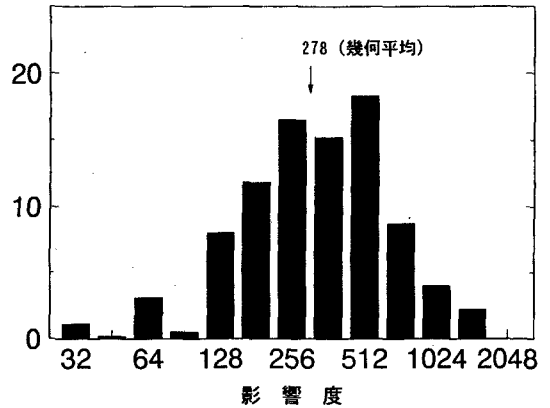


図5 影響度（世帯指標）の分布

避難率 (%)

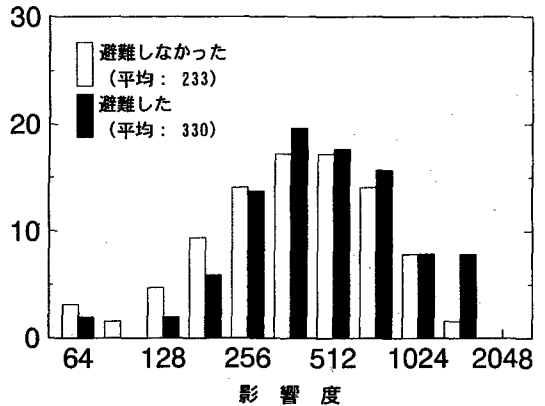


図6 影響度の分布（避難の有無による比較）

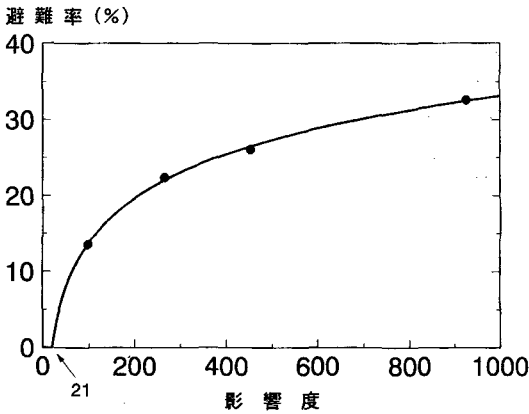


図7 影響度と避難率の関係

シンプレックス法による曲線の当てはめを行い、次のような回帰式を導いた：

$$Y = -24.7 + 8.37 \times \ln(X - 0.9) \dots\dots (iv)$$

図3にも示したように、住宅への被害が深刻(全壊・半壊)な場合と軽微な場合で避難率は異なっている。影響度と避難率の関係は住宅の被害程度を区別して整理する必要がある。

図8では住宅の被害程度を区別して図7と同様な整理を行った。住宅の被害程度は「全壊・半壊」と「軽微な被害～無被害」の2分類とした。被害程度ごとのプロットに式 (iii) を一般形とする曲線を当てはめ、次のような回帰式を導いた：

$$\left. \begin{aligned} Y &= 6.8 + 5.89 \times \ln(X + 0.7) \\ &\quad (\text{全壊・半壊の世帯}) \\ Y &= -3.6 + 3.88 \times \ln(X - 68.9) \\ &\quad (\text{軽微な被害～無被害の世帯}) \end{aligned} \right\} \dots\dots (v)$$

図8 (式 (v)) には、住宅への被害が強ければ避難率が高まることに加え、住宅被害が同じ程度の場合には、影響度の値が大きくなるほど避難率が高まる様子が示されている。

住宅にさほどの被害がなく、しかも自宅の周辺に強い異常が発生しないのであれば、避難の必要はない。住宅への被害が軽微な世帯の場合に影響度の値が小さな領域(71未満)での避難率がゼロになっているのは、このような状況を反映している。これに対し全壊や半壊の場合には、影響度が

小さな領域(0~71)でも相応の避難率(5~30%程度)になっており、住空間の喪失が避難の本質的な原因として関与することを示している。

図8は住宅被害の軽減のみならず、震後の社会的な異常の軽減によっても避難者の発生が軽減できる可能性を示している。以下の節では、社会的な異常の軽減によって避難者が減少する傾向を図8の関係(式(v))を利用して試算する。

なお、本文の始めにも述べたように、生活支障の発生にはライフラインの停止が強く関与する。このことを念頭におき、ライフラインの震災対策との関連を軸として避難需要の低減について考えてみた。

施設の耐震化による破損個所の減少、あるいは復旧計画の整備や復旧工事の効率化によってライフラインの停止期間を短縮することができる。ライフラインに対する震災対策の効果を停止日数の減少によって表現することにした。施設の脆弱性や復旧工事の能率に関する工学的な情報を取り入れ、より具体的な試算を行うことも興味ぶかい。本研究からの延長線上に展開すべき課題の一つとして、今後の取り組みを期したい。

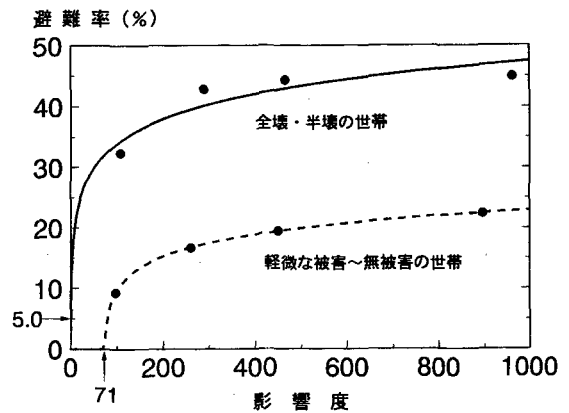


図8 影響度と避難率の関係 (住宅被害を考慮して分析)

### 3. 3 影響度の間接評価

影響度を間接的に評価する方法(ライフラインの停止日数を説明変数にする)については、すでに「2. 1 (3)」の項で説明を終えている。ここで



は宝塚市で収集したデータに間接的な評価法を適用し、結果の精度や問題点に関する簡単な検討を行った。

式 (ii) を用いて影響度 (間接的な評価法による世帯指標；ライフラインの停止日数を説明変数として算定する) を計算した。式 (i) による影響度 (直接的な評価法による世帯指標) はすでに求まっており、2つの方法で求めた値を比較することができた (図9)。図9では一つのプロットが一つの世帯についての結果 (二つの方法で求めた影響度の比較) を示している。

二つの方法で求めた影響度はよい対応 (相関係数：0.82) を示したが、間接的な方法で求めた影響度には、直接的な方法で求めた影響度よりも大きな値を示す傾向が見られた。この傾向を定量的に捉えるために、次のような関数でプロットを回帰した：

$$V = d \times U \quad \text{..... (vi)}$$

ここに、

U：直接的な方法で評価した影響度

V：間接的な方法で評価した影響度

d：回帰係数。

なお、係数 d を決定するための計算は次の式を使って行った：

$$\ln V = \ln c + \ln U \quad \text{..... (vi)'}$$

回帰分析の結果、間接的に評価した影響度の値が直接的に評価した影響度の値の1.2倍になることが明らかになった；

$$V = 1.20 \times U \quad \text{..... (vii)}$$

二つの方法による影響度が異なる原因には、いくつかの可能性が考えられる。なかでも間接的な評価方法を開発するさいにデータを収集した地震 (1987年千葉県東方沖地震) と、その方法を適用した地震 (1995年兵庫県南部地震) の間での災害の規模 (広がり、継続期間) や被災域の地域特性 (都市化の程度) の違いは大きな問題になる。しかし、これに関する十分な検討を行うのは容易なことではなく、補足データの収集や分析フレームの構築を始めとする大がかりな準備が不可欠になる。この問題への取り組みは機会を改めて行いたい。

この研究では、間接的な方法で求めた影響度を簡便に補正する方法として、次の式を用いることにした：

$$V' = (1/1.20) \times V \quad \text{..... (viii)}$$

ここに、

V'：間接評価による影響度の補正值 (以後の分析に用いる)

V：間接評価による影響度 (式 (ii) で求めた値)。

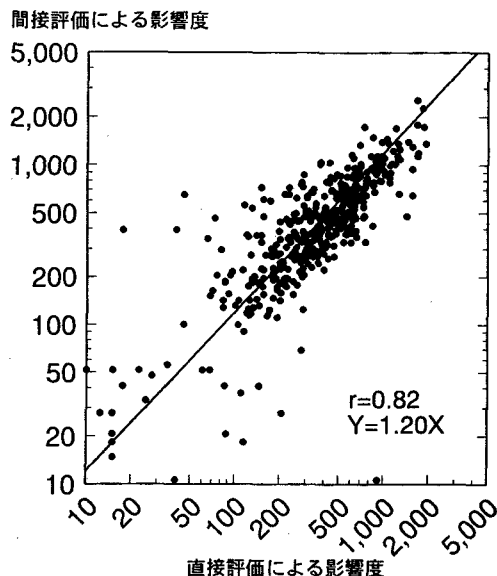


図9 直接評価と間接評価によって求めた影響度の比較

### 3. 4 ライフライン停止期間の短縮による影響度の低下

この小節での計算は、アンケートで求められたライフラインの停止日数を段階的に変更させながら行った。電気、水道、ガスの停止日数が「より短いものであったなら」と仮定しながら、間接的な方法で影響度を計算した。この計算は、ライフラインの震災対策 (停止期間の短縮) による影響度の低下傾向を把握するために行った。

図10 (a) には、断水の期間が短縮したときに影響度の値が低下する様子を示した。計算は住宅被害が深刻な場合と軽微な場合に分けて行った。横軸には、兵庫県南部地震のときの断水日数を基準 (100%) としたときの断水日数の割合を与え

た。縦軸には、影響度の代表値を与えた。

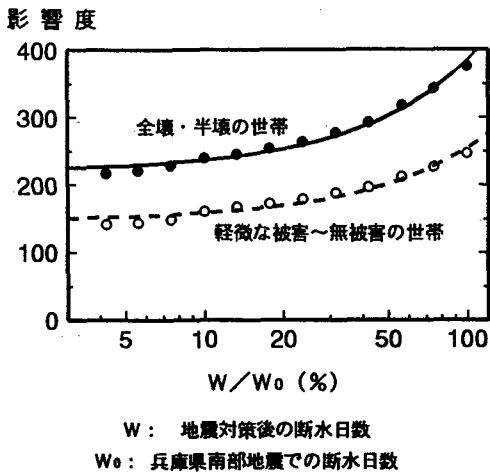
一つのプロットを求めるための計算は次のように行った：

- 1) 横軸の一つの値を決める (たとえば50%)。
- 2) 世帯ごとの断水日数を横軸の値に従って変化させる (20日の世帯では10日に、10日の世帯では5日にする)。
- 3) 変更した断水日数を用い、間接的な方法で影響度を計算する。停電とガス停止の日数には元の値 (アンケート調査の結果そのまま) を用いる。

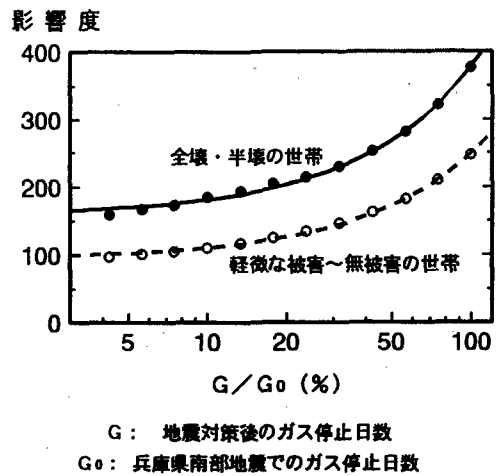
ま)を用いる。

- 4) 求められた影響度の代表値を計算する。

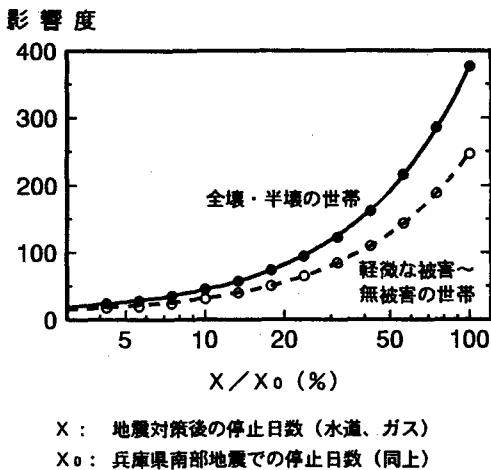
図10 (a) からは、兵庫県南部地震 (横軸の100%の位置) のとき、住宅への被害が深刻だった世帯についての影響度は380ポイントであり、住宅への被害が軽微だった世帯についての影響度は250ポイントだったこと；断水期間の短縮とともに、影響度の値がしだいに低下すること；断水期間が兵庫県南部地震のときの10%程度まで短縮すれば、住宅への被害が深刻だった世帯について



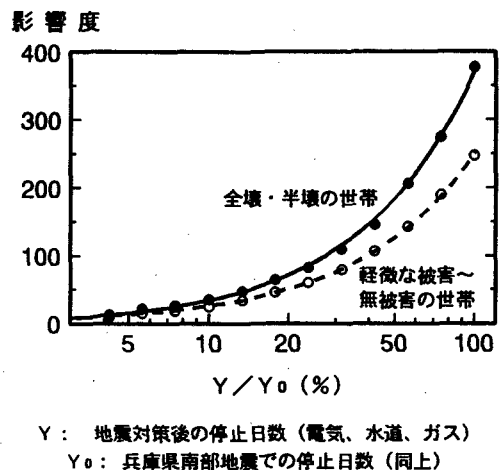
(a)



(b)



(c)



(d)

図10 ライフライン停止期間と影響度の関係

の影響度は240ポイントまで、住宅への被害が軽微だった世帯についての影響度は160ポイントまで低下することなどが読み取れる。

図10では他に、ガスの停止期間が短縮した場合(b)；水道とガスの停止期間が短縮した場合(c)；電気・水道・ガスの停止期間が短縮した場合(d)について同様な計算をした結果を示した。

図10の4枚のグラフでは、(a)と(b)、(c)と(d)がそれぞれに似た傾向を示している。前者の低減傾向は後者のそれに及ばない。この相違は前者では水道(a)とガス(b)だけの停止期間が短縮しているのに対し、後者では水道とガス(c)と電気・水道・ガス(d)の停止期間が同時に短縮していることによるものと考えられる。家庭での日常生活が複数のライフラインを利用して成り立っていることを反映している。

水道の場合(a)とガスの場合(b)を比較すると、ガスの場合の方が停止期間の短縮の影響が強く現れている。しかし、この傾向は停止期間の与え方に起因するものであり、一般的な傾向を示すものではない。ライフラインの停止期間が短縮する様子を割合で与えているために、もともとの停止期間が長いガスの場合(67日)に、水道の場合(38日)よりも大きな日数の変化が与えられることになった。停止期間が短縮する様子を日数で与えれば、自ずと異なった傾向が現れてくる。

水道とガスの場合(c)と、これに電気に加わった場合(d)の間には大きな違いが見られない。これも停止期間の短縮を割合で与えたことによる影響と考えられる。停電の期間(5日)が断水(38日)やガス停止の期間(67日)に比べてきわめて短いことが影響している。

図10に示した回帰曲線は式(ix)を一般形とし、表2の特化係数を用いて表すことができる。

$$S = m \times T - n \dots\dots\dots (ix)$$

ここに、

S：影響度

T：ライフライン停止期間の低減率

m, n：回帰係数。

表2 式(ix)の係数

	住宅の被害程度			
	全壊・半壊		軽微～無被害	
停止するライフライン	m	n	m	n
水道	1.65	220	1.07	148
ガス	2.19	159	1.55	95
水道とガス	3.69	8	2.41	8
電気・水道・ガス	3.74	-3	2.50	1

### 3.5 ライフライン停止期間の短縮による避難率の低下

影響度と避難率の関係(図8)とライフラインの停止日数と影響度(図10)を組み合わせ、ライフラインの停止日数と避難率の関係を導いた(図11)。

図11でも、複数のライフラインの停止期間が短縮したときに避難率の低下が目立つ傾向が示された。一種類のライフライン(水道だけ(a)とガスだけ(b))の停止期間が短縮した場合には、あまり目立った避難率の低下は見られなかった。それに対し、水道・ガス(c)と電気・水道・ガス(d)の停止期間が短縮した場合には、避難率が大幅に低下した。とりわけ、住宅への被害が軽微な世帯の場合には、停止期間が25%程度まで短縮することによって避難率はゼロにまで低下した。

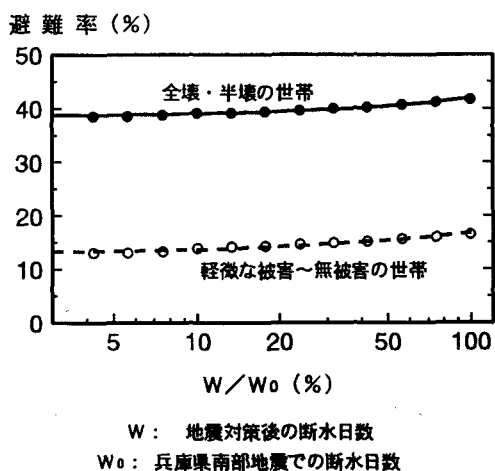
### 3.6 ライフライン停止期間の短縮による避難需要の低減

前節では避難率という基準化された値を用いて避難の発生状況考えた。この節では避難世帯数を指標として、より具体的なイメージを描いてみた。

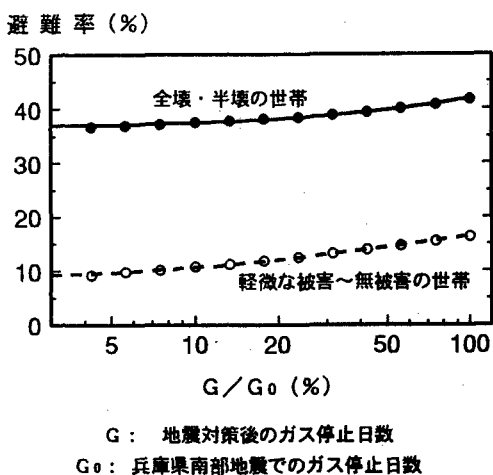
兵庫県南部地震の当時の宝塚市をモデルとして計算を進めた。計算に必要な地域指標と被害指標(住宅の被害率)は次のように与えた：

- 1) 世帯数：73,900
- 2) 全壊率：7.3%、半壊率：19.3%。

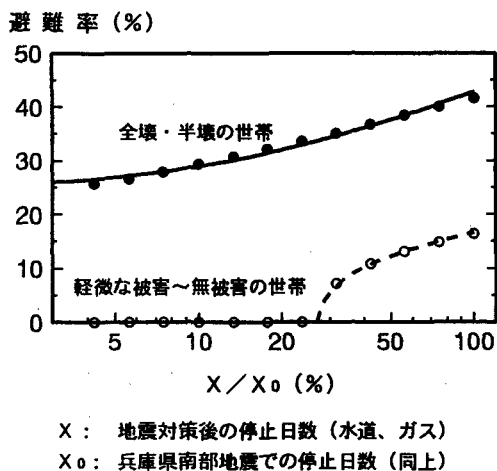
計算の結果を図12に示した。図12の4枚のグラフは水道だけ(a)、ガスだけ(b)、水道とガス



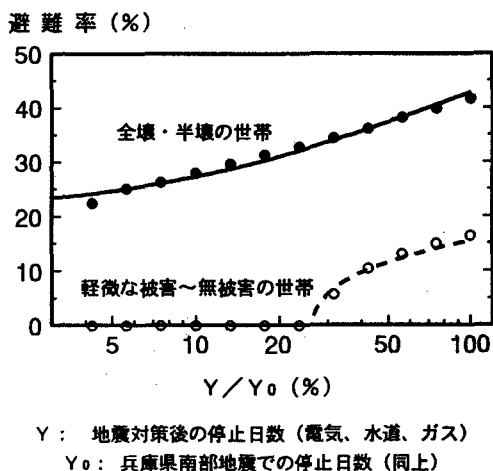
(a)



(b)



(c)



(d)

図11 ライフライン停止期間と避難率の関係

(c)、電気・水道・ガス (d) の停止期間が短縮した場合を表している。

ライフラインの停止日数が兵庫県南部地震のときと同じ (横軸の値が100%) ならば、避難世帯は4.8万を数え (すべてのグラフで共通)、住宅への被害が深刻 (全壊・半壊) な場合と軽微な場合で避難世帯数はほぼ半々になっている。この計算結果はアンケート調査で把握した避難の発生状況と矛盾しない。

避難世帯数についてみても、複数のライフライン

(水道とガス (c) ; 電気・水道・ガス (d)) の停止期間が同時に短縮したときに大幅な低下が示された。水道とガスの停止期間が25%程度まで短縮すれば、住宅の被害が軽微な世帯のなかに避難をするものはいなくなる。住空間の喪失 (住宅被害) と強い社会的異常を回避することができた世帯には避難の必要がないことを示している。

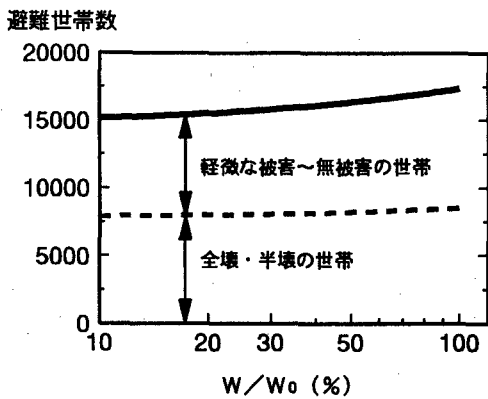
住宅が全壊・半壊した場合にも、ライフラインの停止日数が短縮することに伴う避難世帯数の減少が見られた。ただし、軽微な住宅被害ですんだ

場合に比べれば緩やかな減少に止まり、ライフラインの停止期間が10%以下に短縮されたとしても相当数の避難世帯が発生している。住宅への被害が深刻な状態では、ライフラインの停止とその影響がどんなに低減されようとも避難の発生を完全に阻止することはできない。

図12 (とりわけ (c) と (d)) から明らかにように、地震後の避難の発生は住宅への被害を軽減することによっても、またライフラインの停止期間を短縮することによっても実現できる可能性

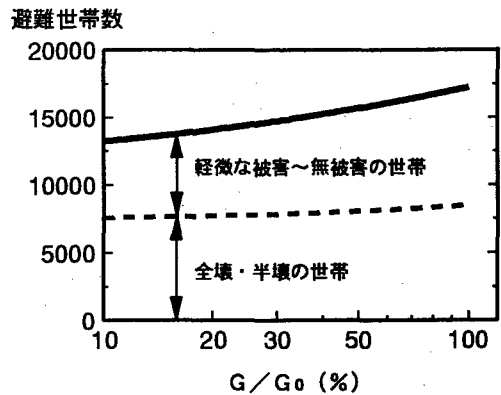
がある。避難者の大量発生と、それによる被災地の混乱を回避するために、住宅の耐震化という方向のほかにライフラインの耐震化というオプションが見いだされたことになる。

住宅の地震対策とライフラインの地震対策には、個人資産への防災投資と公共財への防災投資という位置づけが与えられる。このような対比のもとでは、世帯レベルの防災と地域レベルの防災が避難需要の低減という問題に相補的に関与するという図式を描くことができる。短期的な避難需



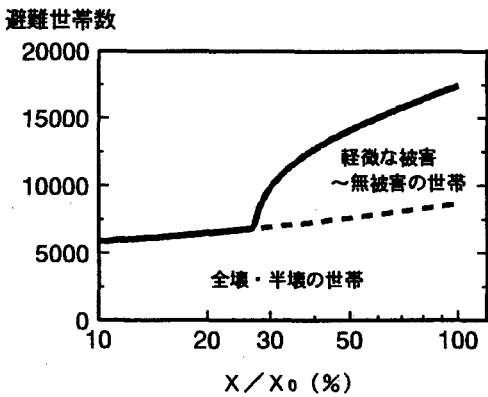
W: 地震対策後の断水日数  
W<sub>0</sub>: 兵庫県南部地震での断水日数

(a)



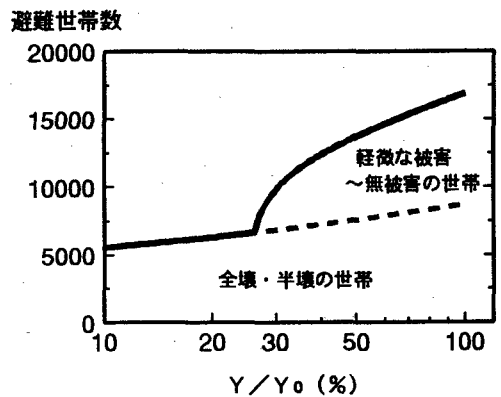
G: 地震対策後のガス停止日数  
G<sub>0</sub>: 兵庫県南部地震でのガス停止日数

(b)



X: 地震対策後の停止日数 (水道、ガス)  
X<sub>0</sub>: 兵庫県南部地震での停止日数 (同上)

(c)



Y: 地震対策後の停止日数 (電気、水道、ガス)  
Y<sub>0</sub>: 兵庫県南部地震での停止日数 (同上)

(d)

図12 ライフライン停止期間と避難世帯数の関係 (宝塚市をモデルとした試算)

要の低減という課題には、災害に対する住民の自立と被災者支援という問題を議論するための具体的な枠組みを提供する可能性がある。

一方、図12の「(a) (b)」と「(c) (d)」の対比からも明らかなように、ライフラインの耐震化による避難需要の低減には複数のライフライン（水道と電気、あるいは電気・水道・ガス）を並行して強化することが必要になる。このような傾向は、ライフライン事業者相互の連携や、それを誘導するための行政の調整機能が防災上の重要事項であることを示している。

#### 4. おわりに

兵庫県南部地震（1995）で被災した宝塚市を調査対象域として、住宅被害・生活支障・避難行動に関する世帯別アンケートを行った。計量的な指標（影響度）を用いて生活支障を評価し、その代表値によって震後の社会的な異常の強さを把握した。避難の発生状況を住宅被害および影響度との関連で分析した結果：

- 1) 影響度は避難の発生状況を説明する指標として適当なものであることが明らかになった。
- 2) 影響度と避難率が正の相関関係を持つことが明らかになり、影響度と避難率を関係づける定量的な経験式が導かれた。
- 3) ライフラインの停止期間が短縮することに伴う影響度の低下傾向は、複数のライフライン（水道とガス、電気・水道・ガス）の停止期間が短縮したときに顕著になることが明らかになった。
- 4) ライフラインの停止期間が短縮することに伴う避難率の低下傾向は、住宅の被害が軽微な世帯の場合に顕著になることが明らかになった。
- 5) 兵庫県南部地震による宝塚市でのライフライン（「水道とガス」または「電気・水道・ガス」の組み合わせ）の停止日数が実際の1/4以下に止まっていたならば、住宅の被害が軽微だった世帯のなかに避難するものは現れず、避難した世帯の数は実際の半分程度に止

まっていたことが推定された。

以上の成果から、地震防災上の留意事項として、次の事がらが指摘できる：

- 1) 震災時の避難者は、滅失住宅の棟数のみならず震後の社会的な異常の強さによっても増減する。避難者数の予測には、この事実留意した取り扱いが欠かせない。
- 2) 震後の社会的な異常の強さを測る指標として「影響度」を利用することができる。影響度には、被災者の短期的な避難以外にも、震後の混乱期～応急復旧期に発生する様々な社会的・間接的な事象との相関性が期待でき、その分析に広く適用できる可能性がある。
- 3) 震災時の避難需要の低減は住宅の耐震化のほかライフラインの耐震化によっても実現することができる。住宅とライフラインという対比には、個人資産と公共財という位置づけも可能であり、避難者の発生防止に関する取り組みが災害対策における個人と社会の役割分担を考えるためのモデルケースとして位置づけられる可能性がある。
- 4) ライフラインの耐震化による避難需要の抑制には、異なるライフラインによる並行した取り組みが欠かせない。複数のライフライン事業者による連携した取り組みと、それを誘導・調整するための行政機能に期待が寄せられる。

#### 謝 辞

アンケート調査にご協力いただいた宝塚市民の方々に深く感謝する。この研究の初期の段階で福田玲子さん（長岡工業高等専門学校、平成9年卒業）が果たした役割はきわめて大きい。記して感謝する。研究費の一部には文部省科学研究費（課題番号08248121, 09234102, 10128106）を用いた。

#### 引用文献

- 1) 宮野道雄「避難所の生活と運営」、『自然災害科学』特集号, p.24-30, 1995
- 2) 宝塚市役所『阪神・淡路大震災一宝塚市の記録1995-』ぎょうせい, p.338, 1997.
- 3) 塩野計司・朱牟田善治「ユーティリティの被害に

よる住民の生活支障—調査・予測の方法と簡単な  
応用例—, 『自然災害科学』 Vol. 13, No. 2, p.193-  
203, 1994.

Key Words (キー・ワード)

Earthquake Disaster (地震災害), Sheltering (避難), Daily Living Disruption (生活支障),  
Lifeline Suspension (ライフライン震害), Damage Estimation (被害予測)

## Reduction of Short-term Shelter Need in Earthquakes through the Seismic Upgrading of Lifelines

Keishi Shiono\*, Michio Miyano\*\* and Shunkichi Kosaka\*\*\*

\*Department of Civil Engineering, Nagaoka College of Technology

\*\*Faculty of Human Science, Osaka City University

\*\*\*Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University

*Comprehensive Urban Studies*, No.68, 1999, pp.109 - 128

A questionnaire survey on housing damage, lifeline suspension, daily living disruption, and sheltering was done in Takarazuka, an affected community in the 1995 Hyogo-Ken-Nambu earthquake. Based on the survey data, first, a relationship between numerical scores for the extent of daily living disruption and evacuation rates was derived. Second, connecting the relationship with a method for evaluating daily living disruption scores based on the periods of lifeline suspension, we conducted a sensitivity analysis between lifeline suspension and evacuation. From the analysis, it was shown that evacuation rates are remarkably reduced when two or more lifelines, such as the combination of water and gas systems, have shorter recovery periods. Also, from a case study for Takarazuka with hypothetical suspension periods given at 1/4 as short as the actual suspension periods in the 1995 earthquake, it was estimated that no families having only minor housing damage would have evacuated themselves, and, accordingly, the number of evacuated families would have been reduced to half.



## 付録1 低下度の与え方

[ ]の中に低下度の値を示した。

## 1) 調理

## a) まったくできない

「自宅では、まったく調理ができない」ことがありましたか？

- |               |        |
|---------------|--------|
| 1. なかった       | [ 0 ]  |
| 2. 地震の当日だけ    | } [10] |
| 3. 地震の翌日まで    |        |
| 4. ( )月( )日まで |        |

## b) 普段どおりにできない

いつ、「普段どおり」の食事にもどれましたか？

- |               |         |
|---------------|---------|
| 1. 地震の当日から    | [ 0 ]   |
| 2. 地震の翌日から    | } [ 5 ] |
| 3. ( )月( )日から |         |

## 2) 用便

自宅の便所を使う回数は、「普段に比べて」どのように変化しましたか？  
変化した期間をつうじての「平均的」な様子をお答えください。

- |                           |       |
|---------------------------|-------|
| 1. 変わらなかった (よその便所を使わなかった) | [ 0 ] |
| 2. わずかに減った                | [2.5] |
| 3. 半分くらいに減った              | [ 5 ] |
| 4. ほとんど使えなかった             | [7.5] |
| 5. 全く使えなかった               | [10]  |

## 3) 洗面

洗面や歯みがきの回数は、「普段に比べて」どのように変化しましたか？  
変化した期間をつうじての「平均的」な様子をお答えください。

- |                           |       |
|---------------------------|-------|
| 1. 変わらなかった (不自由したことはなかった) | [ 0 ] |
| 2. わずかに減った                | [2.5] |
| 3. 半分くらいに減った              | [ 5 ] |
| 4. ほとんどできなかった             | [7.5] |
| 5. 全くできなかった               | [10]  |

## 4) 入浴

入浴の回数は「普段に比べて」どのように変化しましたか？  
変化した期間をつうじての「平均的」な様子をお答えください。  
(選択肢の文面と対応する低下度の値は、洗面の場合と同じ)

## 5) 洗濯

洗濯物の量は、「普段に比べて」どのように変化しましたか？  
変化した期間をつうじての「平均的」な様子をお答えください。

- |                           |       |
|---------------------------|-------|
| 1. 変わらなかった (不自由したことはなかった) | [ 0 ] |
| 2. わずかに減った                | [2.5] |
| 3. 半分くらいに減った              | [ 5 ] |
| 4. ほとんどできなかった             | [7.5] |
| 5. 全くできなかった               | [10]  |

## 付録2 低下度の推定値 (関数 f の表)

## 1-a) 調理 (まったくできない)

		停止するライフライン							
		EWG	EW	EG	WG	E	W	G	—
生活 形態	1	(2.2)	(2.2)	1.6	(2.0)	1.6	(2.0)	0	0、
	2	7.8	(2.2)	(6.5)	(6.8)	1.6	(2.0)	6.0	0
	3	3.8	3.8	1.6	2.8	1.6	2.8	0	0
	4	3.8	3.8	1.6	2.8	1.6	2.8	0	0
	5	8.5	3.8	(6.5)	(7.0)	1.6	2.8	6.0	0
	6	8.5	3.8	(6.5)	(7.0)	1.6	2.8	6.0	0
	7	8.5	3.8	(6.5)	(7.0)	1.6	2.8	6.0	0

注) かつこ内の数値は、補間的に求めた結果 (全ての表で同様)

## 1-b) 調理 (普段どおりにできない)

		停止するライフライン							
		EWG	EW	EG	WG	E	W	G	—
生活 形態	1	(1.5)	(1.5)	1.2	(0.8)	1.2	(0.8)	0	0
	2	(4.2)	(1.5)	(4.0)	(4.0)	1.2	(0.8)	3.8	0
	3	3.6	3.6	1.2	1.8	1.2	1.8	0	0
	4	3.6	3.6	1.2	1.8	1.2	1.8	0	0
	5	4.6	3.6	(4.0)	4.4	1.2	1.8	3.8	0
	6	4.6	3.6	(4.0)	4.4	1.2	1.8	3.8	0
	7	4.6	3.6	(4.0)	4.4	1.2	1.8	3.8	0

## 2) 用便

		停止するライフライン							
		EWG	EW	EG	WG	E	W	G	—
生活 形態	1	1.9	1.9	0	1.9	0	1.9	0	0
	2	1.9	1.9	0	1.9	0	1.9	0	0
	3	0.3	0.3	0	0.3	0	0.3	0	0
	4	4.1	4.1	0	4.1	0	4.1	0	0
	5	4.1	4.1	0	4.1	0	4.1	0	0
	6	0.3	0.3	0	0.3	0	0.3	0	0
	7	4.1	4.1	0	4.1	0	4.1	0	0

3) 洗面

		停止するライフライン							
		EWG	EW	EG	WG	E	W	G	—
生活 形態	1	0.8	0.8	0	0.8	0	0.8	0	0
	2	0.8	0.8	0	0.8	0	0.8	0	0
	3	2.8	2.8	0	2.8	0	2.8	0	0
	4	2.8	2.8	0	2.8	0	2.8	0	0
	5	2.8	2.8	0	2.8	0	2.8	0	0
	6	2.8	2.8	0	2.8	0	2.8	0	0
	7	2.8	2.8	0	2.8	0	2.8	0	0

4) 入浴

		停止するライフライン							
		EWG	EW	EG	WG	E	W	G	—
生活 形態	1	0.6	0.6	0	0.6	0	0.6	0	0
	2	2.7	0.6	1.1	2.7	0	0.6	1.1	0
	3	3.4	3.4	0	3.4	0	3.4	0	0
	4	3.4	3.4	0	3.4	0	3.4	0	0
	5	5.8	5.8	3.6	3.4	3.6	3.4	0	0
	6	5.8	3.4	3.6	5.8	0	3.4	3.6	0
	7	5.8	3.4	3.6	5.8	0	3.4	3.6	0

5) 洗濯

		停止するライフライン							
		EWG	EW	EG	WG	E	W	G	—
生活 形態	1	2.1	2.1	0.6	2.1	0.6	2.1	0	0
	2	2.1	2.1	0.6	2.1	0.6	2.1	0	0
	3	6.7	6.7	0.6	6.7	0.6	6.7	0	0
	4	6.7	6.7	0.6	6.7	0.6	6.7	0	0
	5	6.7	6.7	0.6	6.7	0.6	6.7	0	0
	6	6.7	6.7	0.6	6.7	0.6	6.7	0	0
	7	6.7	6.7	0.6	6.7	0.6	6.7	0	0

付録3 生活活動レベルの低下が続く期間  
 —ライフライン停止期間との関係(関数g)

生活活動	低下の継続期間
調理	まったくできない $g = \min [E, G]$
	普段どおりにできない $g = \max [E, W, G]$
用便(水洗便所の場合)	$g = \text{trm} [W]$
洗面	$g = \text{trm} [W]$
入浴	$g = \max [W, G]$
洗濯	$g = \text{trm} [W]$

E, W, Gは、それぞれ停電、断水、ガス停止の日数を表す。

$\min [ ]$  は、[ ]内の事象のうちで最も短いものをさす。

$\max [ ]$  は、[ ]内の事象のうちで最も長いものをさす。

$\text{trm} [ ]$  は、[ ]内の事象が続く日数をさす。

この表では井戸を持たず、調理用の熱源には都市ガスと電気を、風呂用の熱源には都市ガスを用い、便所が水洗化されている世帯の場合を示した。これ以外の生活形態についても同じような方法で整理することができる。