

地震災害時におけるライフラインシステムの機能不全と避難形態との関連性

庄司 学¹・伊藤 めぐみ²

¹博 (工), 筑波大学講師 大学院システム情報工学研究科 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

E-mail:gshoji@kz.tsukuba.ac.jp

²東京海上日動リスクコンサルティング株式会社 (〒100-0005 東京都千代田区丸の内1-2-1)

現在, 我が国では東海, 東南海, 南海地震等の大規模なプレート境界型地震の地震リスクが高まっている. これらの地震は甚大な広域災害をもたらす可能性が高いため, 被害軽減に資するハード並びにソフトの両面からの対策が不可欠である. ソフト面からの対策の1つとして避難者対策が挙げられるが, 本研究では避難者を発生させる要因としてライフラインの機能不全に注目し, それに伴う生活支障が人々の避難形態に与える影響について分析を行った. 一般市民を対象としたアンケート調査データに基づいて, ライフラインの機能不全によって生じる生活支障に係わるリスク認知感を抽出するとともに, それらと人々の避難形態との関連性をニューラルネットワークで構造化し, モデル化することを試みた.

Key Words : Seismic disaster, lifeline system, functional impairment, evacuation, risk perception

1. はじめに

現在, 我が国では東海, 東南海, 南海地震等の大規模なプレート境界型地震による地震リスクが高まっている¹⁾. これらの地震は甚大な広域災害をもたらす可能性が高いため, 被害軽減に資するハード並びにソフトの両面からの対策が不可欠である. ソフト面からの対策の1つとして避難者対策が挙げられるが, 地震時における人々の多様な避難形態を予測することは容易ではない. 2004年10月に発生した新潟県中越地震では, 家屋等の損壊に伴う人的被害が生じるとともに, 大量の避難者の発生等から派生する大きな人的被害が生じた²⁾. その理由の1つとしてライフラインの物理的被害に伴う機能不全が挙げられる.

地震時のライフラインの機能不全に伴う生活支障と避難者発生との関連性に関しては多数の研究が実施されている. 大野ら³⁾は1983年日本海中部地震を, 山崎ら⁴⁾は1993年釧路沖地震をそれぞれ対象として, それらの災害経験者に対してアンケート調査を実施し, 事前対策の実施状況と地震後の生活支障との関係性を明らかにしている. また, 能島・亀田⁵⁾並びに白ら⁶⁾はいずれも1995年兵庫県南部地震の被災者に対して同様にアンケート調査を実施し, ライフラインの機能不全による生活支障度の定量化を試みている. 塩野・朱牟田⁷⁾は1987年千葉県東方沖地震を, 塩野ら^{8), 9)}並びに佐藤・塩野¹⁰⁾は兵庫県南部地震を

それぞれ対象として, それらの被災者に対するアンケート調査データに基づき, 生活支障と避難率との関係を定式化し, 避難需要の算定モデルを構築している. また, 澤田ら¹¹⁾は2004年新潟県中越地震におけるライフラインの機能不全と避難形態との関係性を分析している. このように, 過去の地震災害時のライフラインの機能不全による生活支障とそれに伴う避難形態に係わる分析は多数実施されている.

しかし, 地震リスクが高いと考えられている地域に住む人々の大半は地震災害の未経験者であり, 地域特性, 生活様式, 時代背景の異なる過去の地震災害時における被災者の認識や行動が将来の災害時にそのまま再現されるとは考えにくい. むしろ, 蓋然的に発生が予想される不利益事象に対する人々の認識 (以下, リスク認知)¹²⁾を抽出・分析した上で, ライフラインの機能不全とそれに伴う避難に係わるリスクの受容クライテリアを明らかにし, ライフラインのシステム設計に還元することも重要であると考えられる. リスク認知の観点からライフラインの機能に関して考察した研究事例として, 平山・伊藤¹³⁾はライフラインの中でも上水道を対象とし, 水道水に対する一般市民のリスク認知構造を明らかにしている. また, 加藤ら¹⁴⁾は, 東京都内の2つの地域における住民の地震リスクの認知特性を明らかにしており, 庄司・北原¹⁵⁾は神奈川県川崎市の職員を対象として個人属性や地震に関する知識が地震リスクの認知に及ぼす影響について分析している. しかし,

表-1 アンケート調査の概要

調査対象	一般市民 平成18年1月17日に神奈川県川崎市で開催された「平成17年度防災シンポジウム」の参加者
調査方法	無記名の質問紙法 配布方法：シンポジウム受付にて配布 回収方法：会場内の回収箱あるいは後日郵送回収
調査期間	平成18年1月17日～2月28日
質問紙回収状況	配布数：390部 回収数：119部 回収率：30.5%

リスク認知という観点から地震時におけるライフラインの機能不全と避難形態との関連性を分析した研究は少ない。

以上より、本研究では、避難者を発生させる要因としてライフラインの機能不全に着目した上で、それに伴う生活支障と避難形態との関連性に関して、リスク認知の観点から一般市民に対するアンケート調査データを分析することで明らかにする。

2. アンケート調査データの概要

(1) アンケート調査方法

表-1 には、本研究において分析対象としたアンケート調査の概要を示す。本調査は、地震時のライフラインの機能不全とそれに伴う生活支障、並びに避難形態との関連性に関して、災害未経験者のリスク認知を調査することを目的とし、関東圏で生活する一般市民を対象として実施されたものである。アンケート調査方法、集計結果、及びそれに基づく統計解析については文献 16 において詳細に報告済みである。従って、以下ではその概要を示すに留める。

表-1 に示すように、アンケート調査方法としては無記名の質問紙法を採用した。ライフラインの機能不全に係わるリスク認知を調査することが目的であるため、ライフラインに対する依存度が高く地震リスクの高い関東圏の都市の中で神奈川県川崎市を選定した。その上で、質問項目が多いことや内容の細かさを考慮し、信頼性の高いデータを収集するために、防災に対する関心の高い一般市民を調査対象とした。従って、本研究では、アンケート調査データがそのような回答者の性別、年齢、職業等の属性を反映した結果であることを前提として扱い、以下に示すライフラインの機能不全と避難形態との関連性に関するモデル化を試みる。

(2) アンケート調査項目の内容

本調査データは 3 つの大きな項目から構成される。項目[I]は、個人の属性（以下の文章中や図表において、個人属性と記載する。また、本章における文章中の括弧内は同様の意味とする）並びに事前対策の実施状況（事前対策実施状況）に関する質問項目である。個人属性に関する質問項目は、年齢、性別、職業、住居の構造、住居の築年数、及び避難経験の

有無である。事前対策実施状況に関する質問項目は、耐震補強の実施状況（耐震補強）、地震保険の加入状況（地震保険）、家具の固定状況（家具の固定）、防災訓練への参加状況（防災訓練）、水や食糧等の備蓄状況（備蓄）、及び懐中電灯等の道具類の準備状況（道具の準備）である。

項目[II]では、震度 6 以上の地震発生を回答者に想定してもらった上で、地震発生後の時間フェーズに応じてライフラインの機能不全や避難形態に対する回答者の認知を尋ねたものである。地震発生後の時間フェーズとしては、地震発生直後（直後）から 1 日後、2、3 日後、1 週間後、1 カ月後、数カ月後の合計 6 つの時間フェーズを想定した。その上で、避難必要性の有無（避難必要性）、ライフラインの使用可否、家族の安否確認の可否等の項目に対して 2 択（有無、あるいは可否）形式で回答してもらった。

項目[III]では、上水道、下水道、電力、ガスの 4 つのライフラインを対象として、それらの機能不全に伴う生活支障等に関する認知を尋ねた。具体的には、各ライフラインの機能不全による被害状況を想像できるかどうか（想像力）を「全く想像できない」、「ほとんど想像できない」、「少しは想像できる」、「大体想像できる」、「大変良く想像できる」の 5 段階の評定尺度法で尋ねるとともに、ライフラインに係わる各生活活動の支障の度合い（生活支障度）に対して「全く困らない」、「あまり困らない」、「どちらとも言えない」、「やや困る」、「非常に困る」の 5 段階で尋ねた。また、各ライフラインの機能不全によって励起される感情要素（感情要素）として不安感、恐怖感、パニック、イライラ、負担感、落ち着かなさの 6 つの感情要素を取り挙げ、これらの感情の励起に対して「全く感じない」、「ほとんど感じない」、「少し感じる」、「かなり感じる」、「非常に感じる」の 5 段階で尋ねた。さらに、各ライフラインの機能不全による体調悪化の可能性（体調悪化の可能性）に対しても言及し、これらに対して「絶対にない」、「たぶんない」、「どちらとも言えない」、「たぶんある」、「絶対にある」の 5 段階で回答してもらった。

3. リスク認知構造の分析方法並びに感度解析の概要

(1) リスク認知構造の分析方法

ここでは、ライフラインの機能不全とそれに伴う生活支障、並びに避難形態との関連性を一般市民のリスク認知の観点から構造化し、モデル化する。このようなリスク認知に係わる構造モデルをリスク認知構造と以下では呼ぶ。

リスク認知構造を支配する要素としては、ライフラインの機能不全に伴う生活支障と避難形態を代表する様々な項目（先述したアンケート調査項目）と

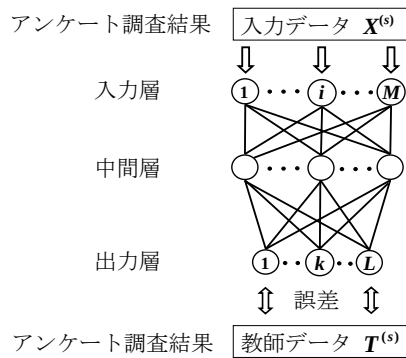


図-1 階層型ニューラルネットワークの構造

なるが、これらの項目は前章で示したように多岐にわたり、複雑であるとともに、各々の関連性が強い非線形性を有すると考えられる。そのため、非線形の写像関係の構築に優れたニューラルネットワークを用いて、リスク認知構造のモデル化を行う。ニューラルネットワークはユニットの結合方法によって相互結合型と階層型に大別されるが、ここでは、リスク認知構造に係わる要素間の関連性を分析することを目的としているため、図-1に示すような入力要素と出力要素の関係構築が明確な階層型ニューラルネットワークを採用した。

その上で、ライフラインの機能不全によって励起される避難必要性に関する認知を出力要素として、これと個人の属性（個人属性）、事前対策の実施状況（事前対策実施状況）、ライフラインの機能不全に対する想像力（想像力）、ライフラインに係わる生活活動の支障の度合い（生活支障度）、ライフラインの機能不全によって励起される感情要素（感情要素）、及びライフラインの機能不全による体調悪化の可能性（体調悪化の可能性）の合計6つの入力要素との関連性を表-2に示すようにモデル化する。

ニューラルネットワークの構築に当たっては、アンケート調査から得られた回答を数値データ化した上で、入力データ $\mathbf{X}^{(s)}$ と教師データ $\mathbf{T}^{(s)}$ を次式のように設定した。

$$\begin{aligned} \mathbf{X}^{(s)} &= (x_1^{(s)}, \dots, x_i^{(s)}, \dots, x_M^{(s)}) \\ \mathbf{T}^{(s)} &= (T_1^{(s)}, \dots, T_k^{(s)}, \dots, T_L^{(s)}) \end{aligned} \quad \left\{ (s=1, \dots, N) \right. \quad (1)$$

ここで、 N はアンケート調査データのサンプル数、 M は入力層のユニット数、 L は教師データのユニット数である。数値データ化に際しては、アンケートの回答様式が多項単一選択型の場合には各選択肢を最小値-1、最大値1の等間隔な数値に変換し、多肢選択型の場合には各選択肢が選択されるか否かを[-1,1]の2値に変換した。

ニューラルネットワークのユニット間の関連性の強さは結合係数で関係付けられ、各ユニットは他のユニットからの出力をそれぞれ異なる閾値のもとで受け取り、ある関数形で表わされる演算処理を行っ

表-2 認知構造の分析に用いた入力要素と出力要素

No.	入力要素	出力要素
1	個人特性	避難必要性に関する認知
2	事前対策実施状況	
3	想像力	
4	生活支障度	
5	感情要素	
6	体調悪化の可能性	

表-3 ニューラルネットワークの構築に用いたパラメータ

パラメータ	数値および決定方法
学習回数	最大10000回
結合係数の初期値	-1から1の範囲で一様分布する乱数
2乗誤差の目標値	0.01

て結果を出力する。すなわち、中間層ユニットが入力層ユニットから受け取るデータを u 、中間層ユニットが出力するデータを v とすると、中間層ユニットと入力層ユニットの間では次式のような演算処理を行うことになる。このような演算処理を出力層ユニットと中間層ユニットの間でも同様に行う。

$$u = \sum_{i=1}^M w_{ij} x_i + \theta_j \quad (2a)$$

$$v = \frac{2}{1 + \exp(-au)} - 1 \quad (2b)$$

ここで、式(2a)において w_{ij} は入力層ユニット i と中間層ユニット j の関連性を表わす結合係数、 θ_j は中間層ユニット j の閾値である。また、式(2b)は各ユニットの演算処理を表わす関数であり、ここでは $a=2$ のパラメータを介した正接シグモイド関数を採用した。

以上より、誤差逆伝播法（BP法）に基づいて教師データと出力データの2乗誤差が最小となるように最急降下法で中間層－出力層間および入力層－中間層間の結合係数と閾値の修正計算を行った。なお、誤差修正の規定方法としては、弾力性バックプロパゲーション（RPROP）の考え方を適用した¹⁷⁾。最適な中間層ユニット数の決定に際してはAIC情報量規準を用いた^{18), 19), 20)}。なお、ニューラルネットワークの構造決定に用いるパラメータに関しては演算の精度や収束性の観点から文献21, 22に基づいて表-3のように設定した。

(2) 感度解析の概要

ニューラルネットワークを構築した後、入力層ユニット i の出力層ユニット k に対する感度をニューラルネットワーク構造における寄与度 η_{ki} として文献22を参考に次式のように求めた。

$$\eta_{ki} = \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N \left| A_{ki}^{(s)} (x_i^{(s)} - \bar{x}_i) \right| \quad (3)$$

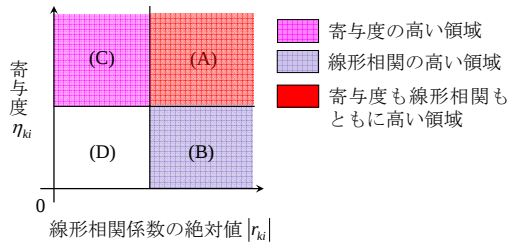


図-2 寄与度 η_{ki} と線形相関係数の絶対値 $|r_{ki}|$ との関係

なお、 $A_{ki}^{(s)}$ は次式で定義される感度係数であり、 M 個の入力層ユニットの中でユニット i に対する s 番目の入力 $x_i^{(s)}$ を Δx_i だけ変化した場合 ($\Delta x_i^{(s)}$) の出力層ユニット k の出力の変化 $\Delta O_k^{(s)}$ を表わしている。また、 $\bar{x}_i$ は入力層ユニット i に対する入力要素の平均である。

$$A_{ki}^{(s)} = \lim_{\Delta x_i \rightarrow 0} \frac{\Delta O_k^{(s)}}{\Delta x_i^{(s)}} \quad (4)$$

式(3)より得られる寄与度 η_{ki} により、表-2に示す出力要素の入力要素に対する感度が明らかとなる。

一方、入力層－出力層間の線形相関係数の絶対値 $|r_{ki}|$ を次式より求める。

$$|r_{ki}| = \frac{\left| \sum_{s=1}^N (x_i^{(s)} - \bar{x}_i)(O_k^{(s)} - \bar{O}_k) \right|}{\sqrt{\sum_{s=1}^N (x_i^{(s)} - \bar{x}_i)^2 \sum_{s=1}^N (O_k^{(s)} - \bar{O}_k)^2}} \quad (5)$$

ここで、 $\bar{O}_k$ は出力層ユニット k に対する出力要素の平均である。

以上より、図-2に示すような寄与度 η_{ki} と線形相関係数の絶対値 $|r_{ki}|$ との関係性からリスク認知構造において支配的な入力項目を抽出する。図-2において(A)領域に位置する入力項目は η_{ki} と $|r_{ki}|$ がともに高く、リスク認知構造において影響の高い入力項目と解釈できる。また、(C)領域に位置する入力項目は $|r_{ki}|$ は低いものの η_{ki} が高く、ニューラルネットワークの中で出力要素に与える影響が大きい入力要素であると解釈できることから、(A)領域に属する入力項目と同様にリスク認知構造において影響の高い入力項目として解釈できる。

4. ライフラインの機能不全とそれに伴う避難形態に係わるリスク認知構造

(1) 個人属性が避難必要性に関する認知に与える影響

図-3 は、個人属性が避難必要性に関する認知に

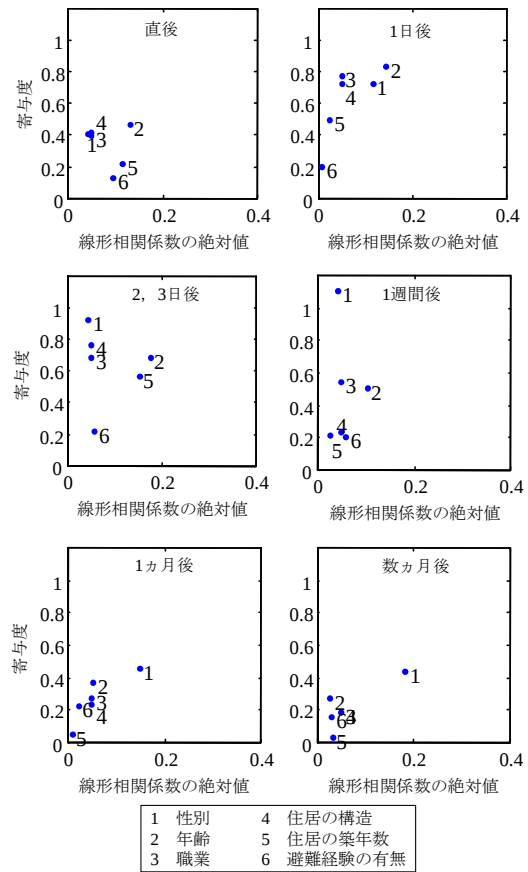


図-3 個人属性と避難必要性に関する認知との関連性を示す寄与度 η_{ki} と線形相関係数の絶対値 $|r_{ki}|$ との関係

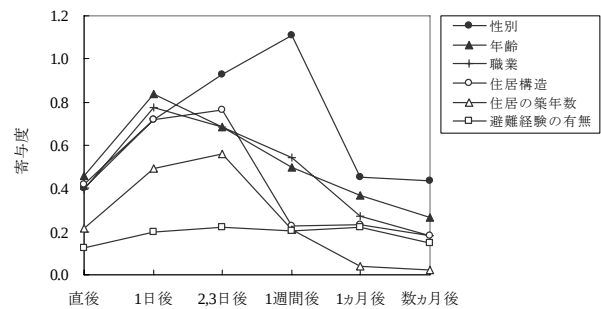


図-4 避難必要性に関する認知に対する個人属性の寄与度 η_{ki}

与える影響を明らかにするために、寄与度 η_{ki} と線形相関係数の絶対値 $|r_{ki}|$ との関係性を示した結果である。また、図-4 は、個人属性が避難必要性に関する認知に与える影響を寄与度 η_{ki} の観点から示した結果である。いずれの図においても地震発生直後(直後)から1日後、2, 3日後、1週間後、1ヵ月後、数ヵ月後の合計6つの時間フェーズにおける避難必要性に関する認知に対して個人属性の寄与度 η_{ki} を示している。

図-3 並びに図-4 によれば、個人属性を表わす各

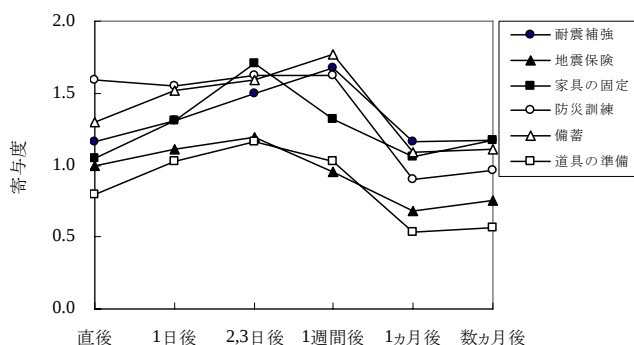


図-5 避難必要性に関する認知に対する事前対策実施状況の寄与度 η_{ki}

入力項目に応じて寄与度 η_{ki} の数値に高低が生じるとともに、地震発生後のどの時点での避難必要性を意識するかで、寄与度 η_{ki} の数値が大きく異なることが明らかである。具体的には、いずれの図からも、地震発生から 1 日後、2, 3 日後、1 週間後における避難必要性に関する認知に対して、性別、年齢、職業が 0.50 以上の高い寄与度 η_{ki} を示している。特に、性別は、その他の入力項目の寄与度 η_{ki} が低くなる 1 ヶ月後、数ヵ月後の避難必要性に関する認知に対しても相対的に高い影響を与えており、個人属性を表わす入力項目の中で避難必要性に関する認知との関連性が高い項目である。

(2) 事前対策実施状況が避難必要性に関する認知に与える影響

図-5 は、事前対策実施状況が避難必要性に関する認知に与える影響を寄与度 η_{ki} の観点から示した結果である。地震発生後の経時的な変化に応じて描画される避難必要性の認知に対して、事前対策実施状況を表わす入力項目が大きな影響を与えていることがわかる。全般的には、避難必要性に関する認知に対して耐震補強、家具の固定、防災訓練への参加、備蓄が 1.5 以上の高い寄与度 η_{ki} を示していることが明らかである。地震発生直後と 1 日後における避難必要性に関する認知に対しては防災訓練への参加や備蓄の寄与度 η_{ki} が高く、2, 3 日後以降の避難必要性に関する認知に対しては家具の固定や耐震補強の寄与度 η_{ki} が高くなる傾向を示していることから、地震発生後のどの時点での避難を強く意識するかによって意識する事前対策の項目が異なると言える。

(3) ライフラインの機能不全に対する想像力が避難必要性に関する認知に与える影響

図-6 は、ライフラインの機能不全に対する想像力が避難必要性に関する認知に与える影響を寄与度 η_{ki} の観点から示した結果である。ここでは、各ライフラインの機能不全による被害状況に対して人々

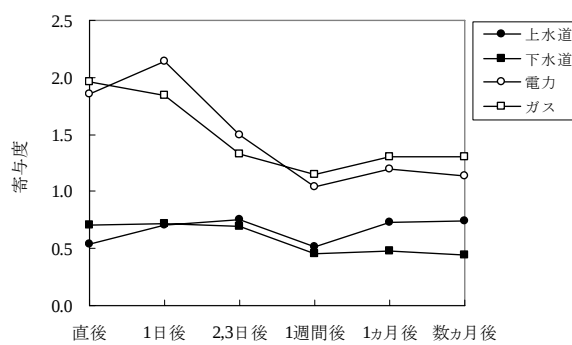


図-6 避難必要性に関する認知に対する想像力の寄与度 η_{ki}

がどの程度の想像力を働かせることができ、その上でそれに関する想像力が避難必要性に関する認知に対してどのような影響を与えるかを示している。

図-6 によれば、電力とガスの機能不全に対する想像力が地震発生後のいずれの時点における避難必要性に関する認知に対しても上水道、下水道より高い寄与度 η_{ki} を示しており、それらと避難必要性に関する認知との関連性が高いことが明らかである。

(4) ライフラインの機能不全による生活支障が避難必要性に関する認知に与える影響

図-7 は、ライフラインの機能不全による生活支障度が避難必要性に関する認知に与える影響を寄与度 η_{ki} の観点から示した結果である。

これによれば、上水道の機能不全による生活支障に関しては、掃除に係わる生活支障がいずれの時点での避難必要性に関する認知に対しても最も高い寄与度 η_{ki} を示しており、特に地震発生から 1 週間後の避難必要性に関する認知に与える影響が高い。これより、上水道の用途の中で掃除に係わる生活支障が避難必要性に関する認知に最も強く影響することが明らかである。また、掃除以外の用途の中で風呂と飲料水を除く 3 項目が避難必要性に関する認知に対して与える影響は地震発生後の時間経過と共に徐々に低下する。さらに、2, 3 日後の避難必要性に関する認知に対しては、いずれの用途に関しても生活支障による影響が他の時点より低くなる。

下水道の機能不全による生活支障に関しては、炊事に係る生活支障が避難必要性に関する認知に対して最も高い寄与度 η_{ki} を示している。また、全体的に 1 日後の避難必要性に関する認知に対して寄与度 η_{ki} が最も高くなり、その時点から徐々に寄与度 η_{ki} が低下し、1 週間後以降の避難必要性に関する認知に対しては寄与度 η_{ki} は大きく変化しない。

電力の機能不全による生活支障に関しては、照明、固定電話、携帯電話に係わる生活支障が地震発生直後の避難必要性に関する認知に対して高い影響を与えるが、1 日後、2, 3 日後における避難必要性に関する認知に対してはそれらの影響は低くなり、1 週

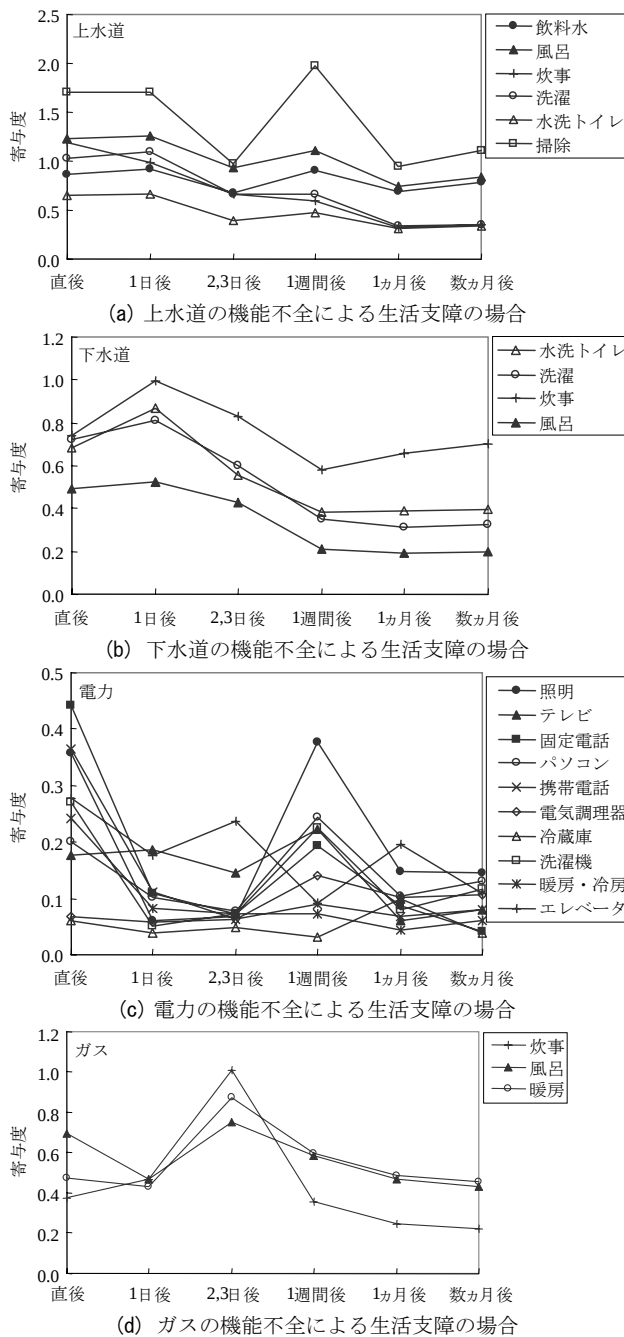


図-7 避難必要性に関する認知に対する生活支障度の寄与度 η_{ki}

間後の避難必要性に関する認知に対してはそれらの影響は再び高くなる。このように、電力に関しては、地震発生後の時間経過に伴って避難必要性に関する認知に与える影響の大きい項目が入れ替わる。

ガスの機能不全による生活支障に関しては、いずれの用途に係わる生活支障も2、3日後における避難必要性に関する認知に対して最も高い寄与度 η_{ki} を示す。それらの中でも炊事は最も高い寄与度 η_{ki} を示しているが、1週間後以降における避難必要性に関する認知に対しては炊事よりも風呂、暖房に係わる生活支障の方が高い寄与度 η_{ki} を示している。このように、各ライフラインの機能不全による生活

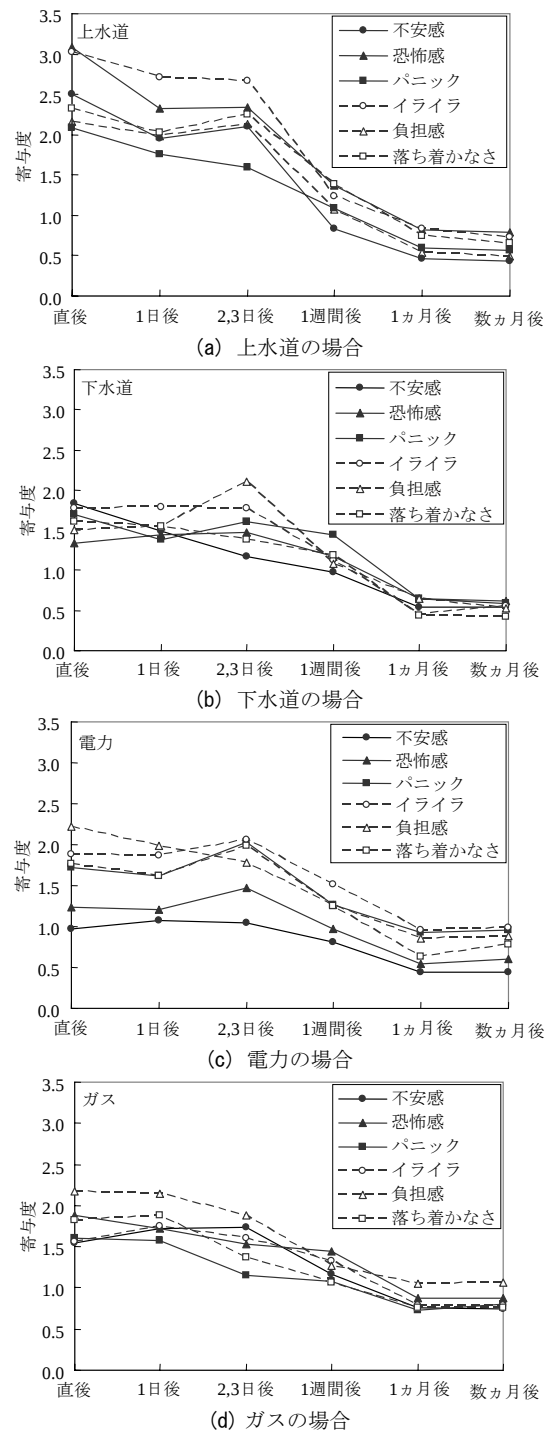


図-8 避難必要性に関する認知に対する感情要素の寄与度 η_{ki}

支障が避難必要性に関する認知に与える影響は、それらの具体的な用途に対するイメージによって異なり、地震発生後の時間経過の流れの中でどの時点の避難必要性を意識するかで大きく異なると言える。

(5) ライフラインの機能不全によって励起される感情要素が避難必要性に関する認知に与える影響

図-8 は、ライフラインの機能不全によって励起される感情要素が避難必要性に関する認知に与える影響を寄与度 η_{ki} の観点から示した結果である。こ

れより、いずれのライフラインにおいても地震発生後からの時間経過に伴って寄与度 η_{ki} が全体的に低下する傾向が明らかである。このことから、ライフラインの機能不全によって励起される感情要素が避難必要性に関する認知に与える影響は地震発生後の時間経過に伴って低くなると言える。また、相対的に上水道の機能不全によって励起される感情要素はその他のライフラインと比較して避難必要性に関する認知に与える影響が高い。これは、(3)に示したライフラインの機能不全に対する想像力が避難必要性に関する認知に与える影響と比較して異なる傾向を示している。ライフラインの機能不全に対する想像力の観点からは電力とガスが避難必要性に関する認知に対して大きな影響を与えるが、ライフラインの機能不全によって励起される感情要素の観点からは上水道が大きな影響を与えることになる。このような地震時におけるライフラインの機能不全に関するリスク認知の相違は回答者のライフラインの具体的な利活用に対する意識の相違を反映した結果であると考えられる。

(6) ライフラインの機能不全による体調悪化の可能性が避難必要性に関する認知に与える影響

図-9 は、ライフラインの機能不全による体調悪化の可能性が避難必要性に関する認知に与える影響を寄与度 η_{ki} の観点から示した結果である。これより、地震発生後のいずれの時点における避難必要性に関する認知に対しても電力の機能不全による体調悪化の可能性が高い寄与度 η_{ki} を示している。このことから、停電による体調悪化の可能性が避難必要性に関する認知に強い影響を与えることが明らかである。

5. リスク認知構造の可視的表現

前章で示した地震災害時におけるライフラインの機能不全とそれに伴う生活支障が避難必要性に関する認知に与える影響を視覚的に理解しやすいように、得られたリスク認知構造の統一的な可視的表現を試みた。前章で示したようにニューラルネットワークの出力要素に対する入力要素の寄与度 η_{ki} の大きさが大きいほど、入力要素と出力要素間の関連性が強いことを意味するため、これを視覚的にわかりやすく表現する観点から、入力要素 i と出力要素 k の相対距離 d_{ki} を次式のように定義した。

$$d_{ki} = \frac{1}{\eta_{ki}} \quad (6)$$

相対距離 d_{ki} は式(6)により寄与度 η_{ki} の逆数で定義されるので、入力要素 i と出力要素 k 間の関連性が強く、寄与度 η_{ki} が高い場合には、入力要素 i と出

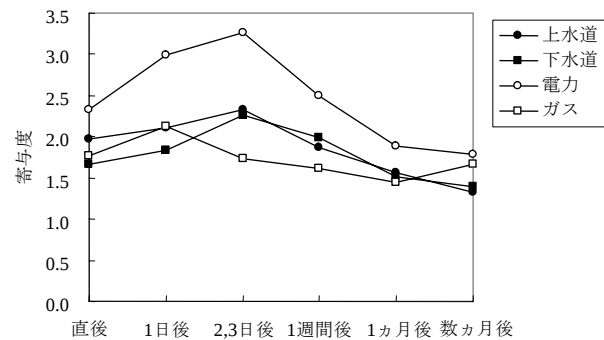


図-9 避難必要性に関する認知に対する体調悪化の可能性の寄与度 η_{ki}

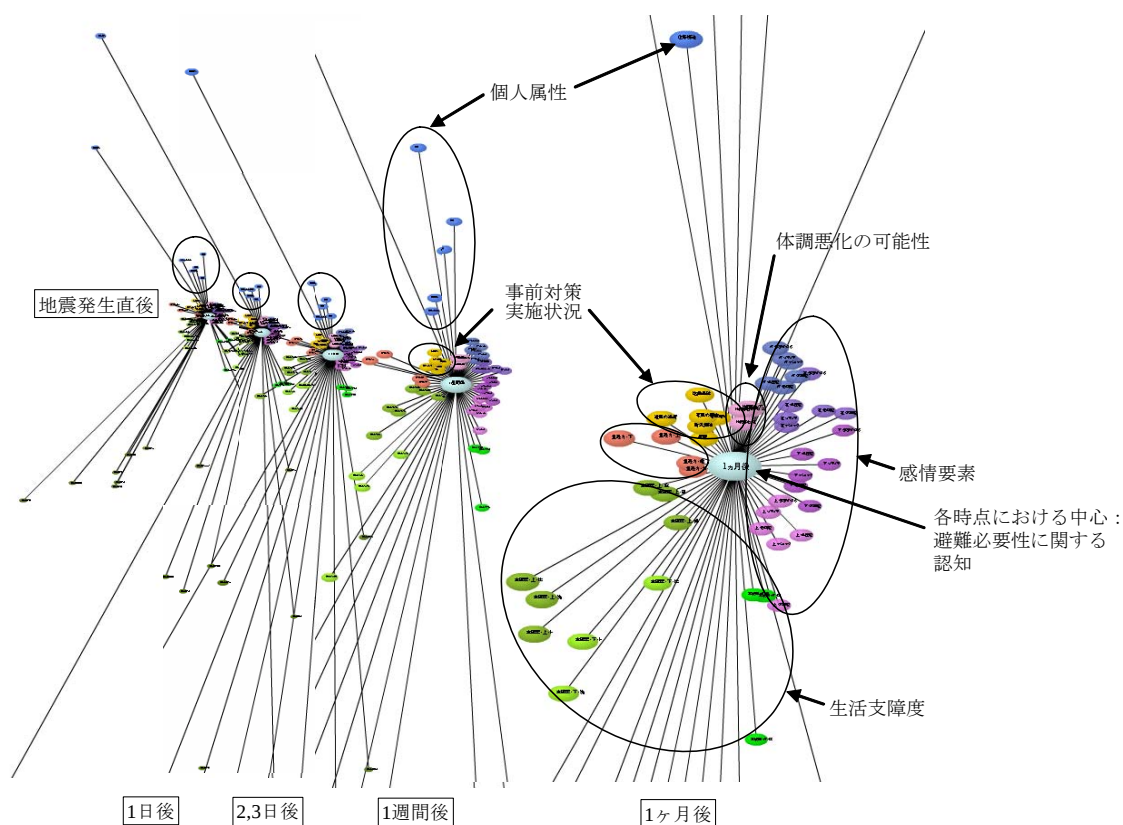
力要素 k 間の相対距離 d_{ki} は小さくなる。従って、対象とするニューラルネットワークに関わる全ての入力要素と出力要素間の相対距離 d_{ki} を3次元上にプロットすれば、入力要素と出力要素間の関連性を統一的に可視化することが可能となる。

図-10 は、以上の考え方に基づき、相対距離 d_{ki} を用いて、避難必要性に関する認知と個人の属性（個人属性）、事前対策の実施状況（事前対策実施状況）、ライフラインの機能不全に対する想像力（想像力）、ライフラインに係わる生活活動の支障の度合い（生活支障度）、ライフラインの機能不全によって励起される感情要素（感情要素）、及びライフラインの機能不全による体調悪化の可能性（体調悪化の可能性）との関連性を統一的に可視化した結果である。図-10においては、上述したニューラルネットワークの入力要素と出力要素に係わる各要素を色付けされた○印の中にプロットし、それらの離間を式(6)で定義される相対距離 d_{ki} の線分で結んで示している。すなわち、図中の線分の長さが短い要素間ほど、入力要素と出力要素の関連性が高く、入力要素が出力要素に与える影響が高いと言える。

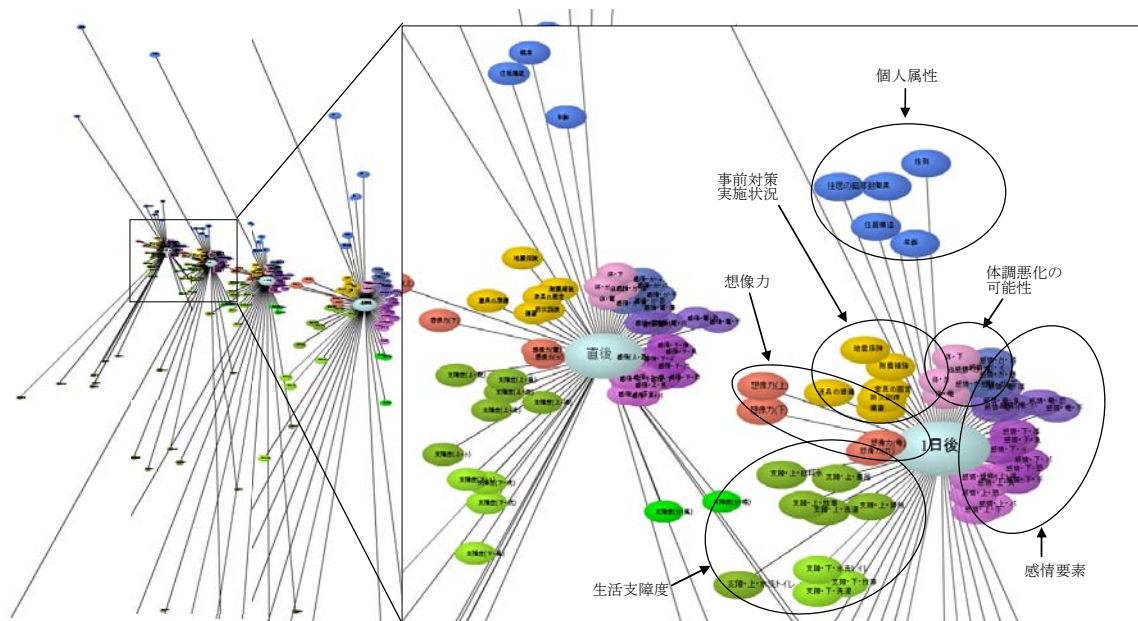
図-10によれば、個人属性に関しては1日後並びに2,3日後における避難必要性に関する認知に与える影響が大きいですが、1週間後、さらには1ヵ月後まで時間経過した時点における避難必要性に関する認知に対しては影響は小さくなるのがわかる。また、地震発生からの時間経過に依らず、いずれの時点においても避難必要性に関する認知に対して事前対策実施状況、感情要素、並びに体調悪化の可能性が6つの入力要素の中で相対的に影響が高いことがわかる。

6. 結論

本研究では、避難者を発生させる要因としてライフラインの機能不全に着目した上で、それに伴う生活支障と避難形態との関連性に関して、リスク認知の観点から一般市民に対するアンケート調査デ



(a) 地震発生直後からの時間経過に応じた避難必要性に関する認知構造



(b) 地震発生直後並びに1日後における避難必要性に関する認知構造

図-10 避難必要性に関するリスク認知構造の統一的可視的表現

ータを分析することで明らかにした。具体的には、避難必要性に関する認知と個人の属性（個人属性）、事前対策の実施状況（事前対策実施状況）、ライフラインの機能不全に対する想像力（想像力）、ライフラインに係わる生活活動の支障の度合い（生活支障度）、ライフラインの機能不全によって励起され

る感情要素（感情要素）、及びライフラインの機能不全による体調悪化の可能性（体調悪化の可能性）との関連性をニューラルネットワークによってモデル化し、これに関する統一的可視的表現を試みた。得られた知見をまとめると以下の通りである。

- 1) 地震発生から 1 日後, 2, 3 日後, 1 週間後における避難必要性に関する認知に関しては, 性別, 年齢, 職業, 住居の構造等の個人属性が与える影響が高い. 特に, 性別は, その他の入力項目と比較して 1 ヶ月後, 数ヶ月後の避難必要性に関する認知に対しても相対的に高い影響を与えており, 個人属性を表わす入力項目の中で避難必要性に関する認知との関連性が高い項目である.
- 2) 地震発生直後と 1 日後における避難必要性に関する認知に関しては防災訓練への参加や備蓄等の影響が高く, 一方, 2, 3 日後以降の避難必要性に関する認知に関しては家具の固定や耐震補強等の影響が高くなる. このように, 地震発生からどの時点での避難を強く意識するかによって, 意識する事前対策の項目が異なる.
- 3) ライフラインの機能不全に対する想像力の観点からは電力とガスが避難必要性に関する認知に対して大きな影響を与えるが, ライフラインの機能不全によって励起される感情要素の観点からは上水道が大きな影響を与える. このような地震災害時におけるライフラインの機能不全に関するリスク認知の相違は回答者のライフラインの具体的な利活用に対する意識の相違を強く反映した結果であると考えられる.
- 4) ライフラインの機能不全による生活支障が避難必要性に関する認知に与える影響は, 上水道の場合には掃除, 下水道の場合には炊事, 電力の場合には照明等, ガスの場合には暖房等の用途に応じて異なり, 地震発生後の時間経過の流れの中でどの時点の避難必要性を意識するかで大きく異なる.
- 5) 地震発生後のいずれの時点における避難必要性に関する認知に対しても電力の機能不全による体調悪化の可能性が大きな影響を与える. このことから, 停電による体調悪化の可能性と避難必要性に関する認知との関連性は高いと言える.

謝辞: 本研究においては, 神奈川県川崎市主催の防災シンポジウムの際に実施したアンケート調査データを活用しました. アンケート調査に際してはアンケートの準備から実施に至るまで川崎市総務局危機管理室の関係各位に大変お世話になりました. 同時に, アンケートに対して多数の方々にご回答いただきました. ここに, 本研究に関わる全ての方々に感謝の意を表します.

参考文献

- 1) 中央防災会議 東南海, 南海地震等に関する専門調査会: 東南海・南海地震に係る被害想定手法について, 東南海, 南海地震等に関する専門調査会 (第 10 回) 参考資料,
http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/10/sankou_siryou.pdf, 2003, 2007.3.31 参照
- 2) 総務省消防庁: 平成 16 年 (2004 年) 新潟県中越地震 (第 73 報),
<http://www.fdma.go.jp/detail/681.html>, 2006, 2007.3.31 参照
- 3) 大野茂樹, 月岡和紀, 亀田弘行, 林春男, 能島暢呂: 地震時のライフライン機能低下による生活支障を表す困窮度指標について, 土木学会第 50 回年次学術講演会梗概集, I-591, pp.1182-1183, 1995.
- 4) 山崎文雄, 副島紀代, 目黒公郎, 片山恒雄: 釧路市民に対する地震防災アンケート調査, 土木学会論文集, No.507/I-30, pp.265-277, 1995.
- 5) 能島暢呂, 亀田弘行: 阪神・淡路大震災における生活支障のアンケート分析, 地域安全学会論文報告集, No.7, pp.338-343, 1997.
- 6) 白珉浩, 佐土原聡, 村上處直: ライフライン機能停止による集合住宅での機能支障とその対応に関する研究ー阪神・淡路大震災におけるポートアイランドの実態調査と分析ー, 地域安全学会論文集, No.1, pp.119-124, 1999.
- 7) 塩野計司, 朱牟田善治: ユーティリティの震害による住民の生活支障ー調査・予測の方法と簡単な応用例ー, 自然災害科学, Vol.13, No.2, pp.193-203, 1994.
- 8) 塩野計司, 宮野道雄, 小坂俊吉: ライフライン震害と住民生活ー1995 年兵庫県南部地震・宝塚市ー, 第 24 回地震工学研究発表会講演論文集, 第 2 分冊, pp.1197-1200, 1997.
- 9) 塩野計司, 宮野道雄, 小坂俊吉: 供給系ライフラインの震害による生活支障(3)ー評価法の改善と 1995 年兵庫県南部地震への適用ー, 総合都市研究, 第 72 号, pp.185-203, 2000.
- 10) 佐藤翔輔, 塩野計司: 地震によるライフライン停止と住宅損傷を考慮した短期的避難需要の評価モデルー生活支障の計量評価を利用した震害波及過程の記載ー, 地域安全学会論文集, No.5, pp.299-308, 2003.
- 11) 澤田雅浩, 樋口秀, 中出文平: 新潟県中越地震における避難形態の多様性に関する研究ー長岡市と小千谷市におけるアンケート調査を通じて, 都市計画論文集, (社)日本都市計画学会, No.40-3, pp.715-720, 2005.
- 12) Slovic, P.: Perception of Risk, Science, Vol.236, pp.280-285, 1987.
- 13) 平山修久, 伊藤禎彦: 水道水に対するリスク認知構造と需要者特性の影響に関する分析, 日本リスク研究学会誌, 第 15 巻, 2 号, pp.71-78, 2005.
- 14) 加藤孝明, 小宮充豊, 亀野弘昭, 佐伯琢磨, 村尾修, 山崎文雄, 小檜山雅之: 墨田地区と世田谷地区を対象とした居住者の地震リスク認識の地域特性の理解, 第 11 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.2423-2428, 2002.
- 15) 庄司学, 北原淳: 地震災害リスクに関する認知構造の分析とその利活用, 土木学会地震工学論文集, 第 28 巻, No.140(CD-ROM), 2005.
- 16) 庄司学, 伊藤めぐみ: 地震時における避難行動

とライフラインの機能不全に対するリスク認知－
神奈川県川崎市の防災シンポジウム参加者に対する
アンケート調査を通じて－, 地域安全学会論文
集, No.8, pp.109-119, 2006.

- 17) Riedmiller, M. and Braun, H.: A Direct Adaptive
Method for Faster Backpropagation Learning: The
RPROP Algorithm, *Proceedings of the IEEE
International Conference on Neural Networks*, pp.586-
591, 1993.
- 18) 赤池弘次: 情報量規準 AIC とは何か－その意味
と将来への展望, 数理科学, No.153, pp.5-11,
1976.
- 19) 和田安弘, 川人光男: 新しい情報量規準と Cross

Validation による汎化能力の推定, 電子情報通信
学会論文誌, D-II, Vol.J74-D-II, No.7, pp.955-
965, 1991.

- 20) 栗田多喜夫: 情報量基準による 3 層ニューラル
ネットの隠れ層のユニット数の決定法, 電子情報
通信学会論文誌, D-II, Vol.J73-D-II, No.11,
pp.1872-1878, 1990.
- 21) 熊沢逸夫: 学習とニューラルネットワーク, 森
北出版株式会社, 1998.
- 22) 矢川元基, 吉村忍, 松田聡浩: 感性と設計, 培
風館, pp.31-90, 1999.

(2007. 4. 6 受付)

RELATION OF LIFELINE FUNCTIONAL IMPAIRMENT DUE TO A SEISMIC DISASTER WITH RISK PERCEPTION ASSOCIATED WITH EVACUATION

Gaku SHOJI and Megumi ITO

The purpose of this study is to clarify the relation of functional impairment of lifeline systems due to a seismic disaster with risk perception associated with evacuation. The relationship of personal characteristics, preparation against lifeline functional impairment (LFI) due to a seismic disaster, imagination for LFI, difficulty of dairy life resulted from LFI, feelings against LFI and possibility of becoming bad healthy condition due to LFI, with risk perception associated with evacuation necessity is idealized as the structure of the risk perception by using neural networks. Based on the quantitative indices of their sensitivity the structure is clearly shown in visible description.