

## 自然災害発生時における社会インフラ復旧のための計量的公共政策分析

05001229 メタウォーター(株) 河瀬 雄司 KAWASE Yuji

01002750 政策研究大学院大学 大山 達雄 OYAMA Tatsuo

### 1. はじめに

1995年1月の阪神大震災、2011年3月の東日本大震災、2016年4月の熊本地震をはじめとし、わが国は大規模自然災害に見舞われ、大きな被害をこうむることを数多く経験してきた。現在では首都直下型地震、東南海プレート地震のような大規模地震の発生確率も高いと予測され、発災後の市民生活・地域経済活動の長期停滞を防ぐための計画的復旧及び復旧マネジメントの方法論が必要とされている。

災害という経営リソースを最も必要とする状況下において上述の復旧計画を確実に実践するために、受援を有効に活用した合理的な復旧マネジメント方法を開発する。これにより、平常時における最小限の現場運営体制、スキル、資機材ストックを定義し、平常時の経営合理化に貢献する。

### 2. 避難所数・避難者数データ分析

阪神淡路大震災、新潟中越地震、東日本大震災、熊本地震における避難所数と避難者数の関係の推移について分析する。震災発生後1日目から数か月後までの期間における避難状況の推移を避難所数と避難者数の関係として表したのが図1である。図1において東日本大震災における避難所数と避難者数の関係が、上記期間において2か月以前と以降との2つの部分に分かれていることに注意されたい。図2はそれらの中の東日本大震災における避難状況の推移データのうち震災発生後1日目から2か月後までの期間に対応するデータを除いたものである。

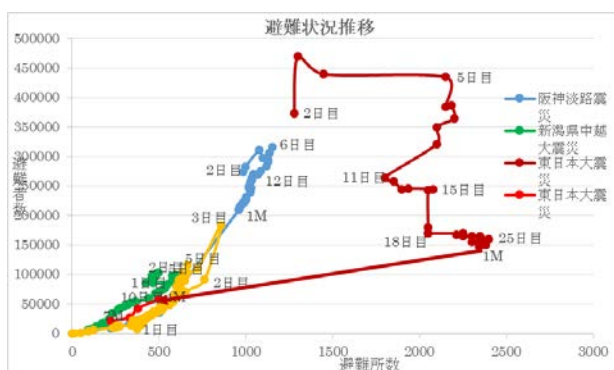


図1 阪神淡路大震災、新潟中越地震、東日本大震災、熊本地震における避難状況の推移

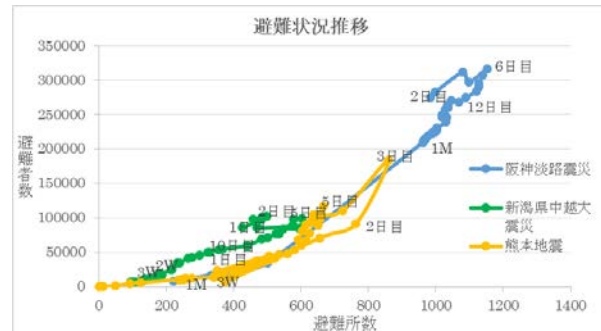


図2 阪神淡路震災、新潟中越地震、熊本地震における避難状況の推移

以上の結果から、避難状況の推移を表す避難所数( $x$ )に対する避難者数( $y$ )の関係は、基本的には2次関数を用いて

$$y = 1.989x^2 \quad (1)$$

$y$ : 避難者数(単位:千人),  $x$ : 避難所数(単位:百人)

のように表すことができる。このことは、当該期間においては、避難所数が1か所減少する際、ほぼ40人の避難者数の減少が見られることを示唆している。図3は阪神淡路震災、新潟中越地震、東日本大震災、熊本地震における避難所数、避難者数の関係と上記モデルによる予測結果を図示したものである。

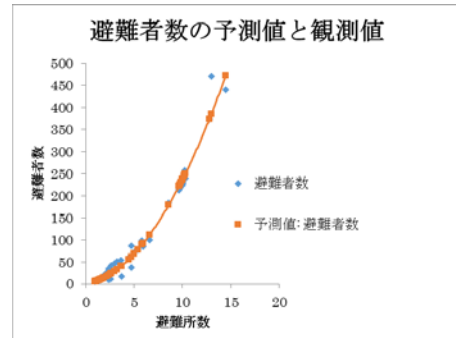


図3 阪神淡路震災、新潟中越地震、東日本大震災、熊本地震における避難所数と避難者数の関係

### 3. 阪神淡路大震災時の社会インフラ復旧過程

#### 3.1 阪神淡路大震災時の社会インフラの復旧過程

主要な社会インフラとして、電気、ガス、水道、通信を分析対象として取り上げ、これらのネットワークの重大自然災害時の復旧過程について定量的に分析する。1995年の阪神淡路大震災において、電気は地震発生後わずか6日で復旧したものの、ガスと水道は復旧にはほぼ3か月を要し、通信ラインに関しては、ほぼ2週間を要したといわれている。表1に

阪神淡路大震災(神戸市)にこれらの公益事業別の被害世帯数と復旧に要した日数を示す。

表1 インフラ別被害世帯数と復旧所要日数

公益事業	被害世帯数	復旧所要日数
電気	2,600	6
ガス	855.9	84
水道	495.3	90
通信ライン	101.66	14

世帯数(単位:1,000), ライン数(単位: ライン本数)

### 3.2 停電世帯数、断水世帯数の復旧過程

社会インフラを構成する電気、水道、ガス、通信が自然災害によって大きな被害を受けた場合の復旧過程を横軸に災害発生後の経過日数、縦軸に停電世帯数、断水世帯数、ガス供給停止世帯数、通信ライン断絶本数等をとって表示すると、これらの関係は大きく2種類の数理モデルによって表されることがわかる。すなわち4種類の社会インフラのうち電気、水道に関する復旧過程は下に凸な曲線として与えられるのに対して、ガス、通信に関する数理モデルは、上に凸な曲線に続く下に凸な曲線によって与えられる。

電気、水道の復旧過程を表す数理モデルは、以下の(1)、(2)の数理モデルを用いて表現できる。

$$y = ax^b \quad a, b: \text{パラメタ} \quad (1)$$

$$y = a \log x + b \quad a, b: \text{パラメタ} \quad (2)$$

パラメタ  $a$ ,  $b$  の推計値は表2のように与えられる。したがって神戸市の停電世帯数の復旧過程を表す数理モデルは、次の数式で与えられる。

$$y = 2.589x^{-2.726} \quad (3)$$

表2 パラメタ推計値

パラメタ	電気	パラメタ	水道
	停電世帯数		断水世帯数
$\log a$	5.5902 (28.93) (0.00)	$a$	600.1533 (56.80) (0.00)
$b$	-2.7261 (-17.668) (0.00)	$b$	-141.47 (-47.067) (0.00)
$R^2$	0.9842	$R^2$	0.9664
$n$	5	$n$	77

$R^2$ : 補正調整  $R^2$  値。( ) 内数値は、上段:  $t$  値、下段:  $P$  値、 $n$  はデータ数

停電世帯数の場合は、実測値と推計値とがほぼ合致する。断水世帯数が0になるのは、推計数理モデルから  $y = -141.47 \log x + 600.1533 = 0$  を解くことによって、 $x = \exp(4.2433) = 69.57$  から、ほぼ70日のように得られる。

阪神淡路大震災時のガス停止世帯数、通信ライン断絶本数復旧過程に関する数理モデルは、上に凸な曲線に続く下に凸な曲線として、次式によって与え

られると仮定できる。

$$f(x) = \frac{(1-x^t)^k}{x^{tk} + (1-x^t)^k} \quad (4)$$

## 4. 水道事業運営のレジリエンス評価

### 4.1 水道事業ガイドラインに基づく業務指標(PI)

水道事業ガイドラインに基づく業務指標(PI)をもとに事業のレジリエンス評価の可能性を探る。水道事業運営を i)経営、ii)施設・設備、iii)事業運用の3つの側面から眺め、各側面のレジリエンス評価を行う。主要な使用データは水道事業ガイドラインに基づく業務指標(PI)、水道統計要覧(日本水道協会)とする。表3に水道事業運用状況を表す業務指標(PI)の構成要素の概要を例示する。

表3 水道事業運用状況を表す業務指標(PI)

分類	評価項目
経営	予算額、職員数、営業収益(億円)、営業費用(億円)、営業収益/営業費用、給水収益(千円)
施設・設備	管路総延長(導水管、送水管、配水管、km)、施設能力(1000m <sup>3</sup> /日)、耐震管割合(%), 法定耐用年数超過管割合(%)
事業運用	給水人口、普及率(%), 供給単価(円)、給水単価(円) 技術職員割合(%)

### 4.2 水道運営事業のレジリエンス評価

水道事業運用状況を表す業務指標(WWPI)構築のための評価基準と評価項目に基づいて、本WWPIを定義、計算する手順を以下に示す。集合  $I, J, P$  は分類集合  $I = \{1, 2, \dots, m_x\}$ 、評価項目集合  $J = \{1, 2, \dots, n_x\}$ 、指標対象項目集合  $P = \{1, 2, \dots, t_x\}$  を表す。

手順1: 分類  $i \in I$ 、評価項目  $j \in J$ 、指標対象項目  $p \in P$  に関する指標値  $(x_{ijp})$  をもとに平均値  $(\mu_{ij}^x)$ 、標準偏差  $(\sigma_{ij}^x)$  を求める。

手順2: 指標値  $(x_{ijp})$ 、平均値  $(\mu_{ij}^x)$ 、標準偏差  $(\sigma_{ij}^x)$  をもとに基準化操作を行い、指標項目別の基準値を得る。

$$z_{ijp} = \frac{x_{ijp} - \mu_{ij}^x}{\sigma_{ij}^x}, \quad i \in I, j \in J, p \in P$$

$z_{ijp}$ : 基準化指標値  $x_{ijp}$ : 指標値

手順3: 分類  $i \in I$ 、評価項目  $j \in J$  の指標値  $(w_{ij})$  を得る。

$$w_{ip} = \frac{1}{n_x} \sum_{j=1}^{n_x} z_{ijp} \quad i \in I, p \in P$$

## 5. おわりに

レジリエンス評価はその実施によって、対照的概念としての脆弱性、危険度評価に通ずる。

## 参考文献

- [1] 水道統計要覧, 平成22-27年, 日本水道協会
- [2] Kawase, Y. and Oyama, T., "Statistical Data Analyses for Investigating Recent Major Earthquakes and Mitigating their Damages in Japan", *IJORN*, Vol.8, No.1, 2091-153X(online), ISSN 2091-152I(Print), pp.75-93.