

# ファジィマトリックスを用いた地震被害・復旧の予測とその考察

東北学院大学工学部 学生員 ○本間 緑  
東北学院大学工学部 正会員 佐武 正雄

## 1. まえがき

地震によるライフラインの被災とその復旧は市民生活にとって重要な問題である。地震被害は様々な要因が複雑に関連している。地震被害とその復旧については、従来、研究がなされており、地震の性質や都市の性格に応じて変化する被害や復旧を予測する手法が求められてきた。しかし、従来のライフライン被災・復旧の予測手法は地質、震度などを精密に考慮しているため、かなり複雑で全体の概要やその他のシステムとの関連を求め難い欠点があった。ここではファジィマトリックスを応用してライフラインの被害・復旧を予測する新しい手法を提案し、考察する。

## 2. ライフラインの被害要因の分析

ライフライン施設が被害を受ける要因は数多くあるが、主要な要因を段階に分け、電気、水道、ガス被害・復旧の流れを図-1に示す。

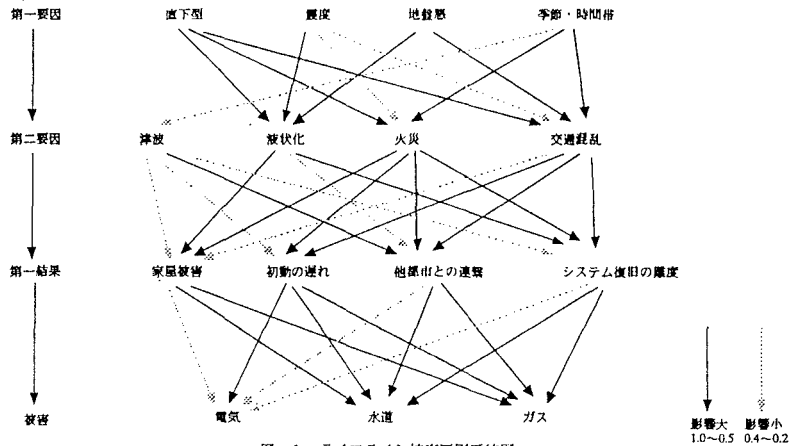


図-1 ライフライン被害要因系統図

これを見ると、それぞれの要因が複雑に重なり合うことによって、ライフラインが被災する過程を見ることができる。この要因系統図等を参考に、これらを結びつけるファジィマトリックスを作成して、ライフラインの被災・復旧予測を行う。

## 3. ライフライン被害の新しい指標

いくつかの地震の被害を比較するとき、通常復旧日数で比較している。しかし、復旧日数が回数だったとしても、復旧が順調であれば図-2のbのような復旧曲線を描くが、初期復旧に手間取った場合などはaのような復旧曲線になる。このように復旧日数だけでは復旧の過程までは分からないため、地震被害を比較するには十分でないと考え、これを考慮した新しい指標（支障度X）を検討した。過去の代表的な地震の電気、水道、ガス被害についての支障度を右式によって求める。

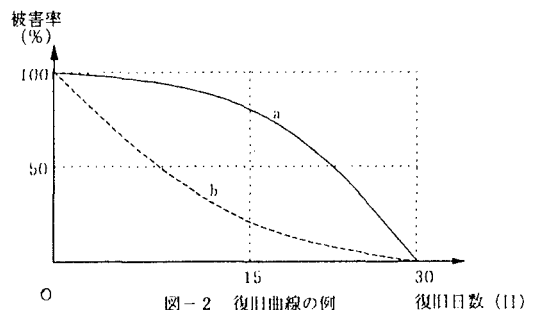


図-2 復旧曲線の例

$$\text{支障度} X (\text{日}) = I (\text{戸日}) / N (\text{戸})$$

ただし、

$I (\text{戸日})$  : 一日の被害戸数（戸）の総和

$N (\text{戸})$  : 総需要家数

とする。

#### 4. ファジマトリックスを用いる復旧の予測

地震によってライフラインが受ける被害と復旧を予測しておくことには、事前に対策を立てるためにも必要である。そこで、ファジマトリックスを応用して予測を行う一つの方法を試みる。実際に復旧日数の分かっている過去の地震について解析し、予測した復旧日数と実際の復旧日数を比較することによって、この予測手法の妥当性を検討する。

図－1のライフライン被害要因系統図を参考にし、要因を第一要因、第二要因、第一結果というように段階ごとにまとめ、これらを結びつけるファジマトリックスを作成して予測を行う。

解析の中で用いる乗法では、『通常の掛け算の平均』、『Min－Mean法』の2種類の手法の組合せで、考えられるすべての組合せについて検討したが、『通常の掛け算の平均』－『Min－Mean法』－『通常の掛け算の平均』の順で求めたものが、最も各地震の特徴を表していたため、これによって最終マトリックスMを算出した。

$$\begin{aligned}
 &A \times B \longrightarrow \text{通常の掛け算の平均} \\
 &(A \times B) \times C \longrightarrow \text{Min－Mean法} \\
 &(A \times B \times C) \times D \longrightarrow \text{通常の掛け算の平均}
 \end{aligned}$$

係数Cに最終マトリックスMを乗することにより復旧予測を行った。

復旧日数＝C×M

解析に用いる係数Cは支障度などを参考にして次のように定めた。

$$\begin{aligned}
 &\text{係数C} = \text{電気} : \text{水道} : \text{ガス} \\
 &= 56.70 : 65.45 : 149.38
 \end{aligned}$$

表－1 ライフラインの復旧日数

| 予測復旧日数（日）    | 電気  | 水道   | ガス   |
|--------------|-----|------|------|
| 新潟地震（新潟市）    | 4.0 | 12.4 | 29.9 |
| 宮城県沖地震（仙台市）  | 3.4 | 11.1 | 26.9 |
| 日本海中部地震（能代市） | 4.0 | 12.4 | 29.9 |
| 阪神大震災（神戸市）   | 6.2 | 19.6 | 46.4 |

| 実際の復旧日数（日）   | 電気 | 水道 | ガス  |
|--------------|----|----|-----|
| 新潟地震（新潟市）    | 4  | 47 | 193 |
| 宮城県沖地震（仙台市）  | 2  | 10 | 27  |
| 日本海中部地震（能代市） | 1  | 15 | 29  |
| 阪神大震災（神戸市）   | 7  | 63 | 85  |

$$\begin{aligned}
 &\text{Aマトリックス} \quad \begin{matrix} \text{直下型} & \text{震度} & \text{地盤} & \text{季節・時間帯} \\ \text{新潟地震} & \begin{pmatrix} 0.0 & 0.8 & 0.9 & 0.76 \\ 0.0 & 0.6 & 0.6 & 0.86 \\ 0.0 & 0.6 & 0.9 & 0.84 \\ 1.0 & 1.0 & 0.7 & 0.56 \end{pmatrix} \end{matrix} \\
 &\text{Bマトリックス} \quad \begin{matrix} \text{津波} & \text{液状化} & \text{火災} & \text{交通混乱} \\ \text{直下型} & \begin{pmatrix} 0.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 \\ 0.0 & 0.6 & 0.3 & 0.4 \\ 0.0 & 1.0 & 0.1 & 0.6 \\ 0.4 & 0.1 & 0.5 & 1.0 \end{pmatrix} \end{matrix} \\
 &\text{Cマトリックス} \quad \begin{matrix} \text{家屋被害} & \text{初動の遅れ} & \text{他都市との連繋} & \text{システム復旧の難度} \\ \text{津波} & \begin{pmatrix} 0.4 & 0.2 & 0.6 & 0.2 \\ 0.8 & 0.0 & 0.2 & 0.8 \\ 1.0 & 0.8 & 0.6 & 1.0 \\ 0.2 & 1.0 & 1.0 & 1.0 \end{pmatrix} \end{matrix} \\
 &\text{Dマトリックス} \quad \begin{matrix} \text{電気} & \text{水道} & \text{ガス} \\ \text{家屋被害} & \begin{pmatrix} 0.4 & 0.8 & 1.0 \\ 0.6 & 1.0 & 1.0 \\ 0.2 & 0.8 & 0.8 \\ 0.2 & 1.0 & 1.0 \end{pmatrix} \end{matrix}
 \end{aligned}$$

$$(A \times B \times C) \times D \text{マトリックス} \cdots \cdots M$$

$$\begin{matrix} & \text{電気} & \text{水道} & \text{ガス} \\ \text{新潟地震} & \begin{pmatrix} 0.07 & 0.19 & 0.20 \\ 0.06 & 0.17 & 0.18 \\ 0.07 & 0.19 & 0.20 \\ 0.11 & 0.30 & 0.31 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

上記、表－1のような結果になった。予測結果と実際の復旧日数とを比較するといくつかの問題点があるが、次のような原因が考えられる。新潟地震は昭和39年に起こった地震のため、まだ埋設管の耐震性が乏しかったことや液状化が広範囲に渡って発生したこと等の影響のため、水道、ガスの復旧に時間を要した。阪神大震災は、大都市を襲った直下型地震であったため、地震動の影響を直接受けた水道やガスの埋設管被害が甚大であり、また道路の支障が大きかったため、復旧が遅れたと考えられる。以上のような特殊な場合を除き、解析によって導いた復旧日数と実際の復旧日数が近似しており、この予測手法は有効であると考えられる。

#### 5. あとがき

本文ではライフラインの被害とその復旧について考察し、ファジマトリックスを用いる予測手法を検討した。この予測手法にはまだ検討すべき点が多いが、上記の解析結果で示すようにこの手法を用いてこれから起こる地震の被害・復旧予測を行うことは可能であると考えられ、さらに検討し実用化できるようにしていきたい。