

# 震度情報に基づく供給系ライフラインの地震時機能の二段階評価モデル

岐阜大学大学院 学生会員○鈴木 康夫  
岐阜大学工学部 正会員 能島 暢呂 杉戸 真太

## 1. はじめに

地震による供給系ライフライン機能の停止の可能性及び停止期間を予測することは、地域防災計画や地震リスクマネジメントの重要な課題である。本研究では、1995年兵庫県南部地震の被災事例に基づいて、着目地点における震度情報のみをパラメータとして、当該地点における供給系ライフライン（電気・水道・都市ガス）の地震時機能を、(1) 機能停止の有無の確率予測、(2) 機能停止が発生したという条件下における機能停止期間の確率予測、の二段階で評価するモデルを提案する。

## 2. データベースの構築

### 2.1 分析対象範囲

本研究では、1995年兵庫県南部地震における地震動強度分布と、ライフライン機能の被害と復旧のデータをGIS上で集計した。分析の対象範囲は、兵庫県の被災を受けた本州側の主要8市と大阪府北部の17市2町（能勢町を除く）とした。集計の基本単位は町丁目とし、また地震動強度指標については震度を採用した。

### 2.2 震度分布に関するデータベースの構築

1995年兵庫県南部地震では多数の強震記録が得られたが、被害要因分析を行うには、広範囲での震度分布を面的に把握する必要がある。本研究の分析領域を網羅的にカバーするため、以下の3種類のデータセットを統合処理した結果を広域震度分布として利用する。

- 山口・山崎<sup>1)</sup>による兵庫県下の震度分布
- 高田ら<sup>2)</sup>による兵庫県下の震度分布
- 鶴来ら<sup>3)</sup>による大阪府下の震度分布

3次メッシュデータで集計されている大阪側のデータについては、町丁目単位に変換を行った。3種類のデータセットを統合して重複を除いた結果、町丁目数は9010となった。震度の頻度分布を図1に、空間分布を図2に示す。

### 2.3 ライフライン機能停止のデータベースの構築

水道・ガスについては、神戸市・芦屋市・西宮市は京都大学防災研究所<sup>4)</sup>によるデータを用いた。その他の市区町の水道・ガスと電気については各事業者からの提供資料によるデータを用いた。

## 3. 機能停止の有無と震度の関係とそのモデル化

図2の震度分布と水道・ガス・電力の機能停止の有無の分布をオーバーレイすることにより、機能停止の有無と震度との関係を考察する。図3は0.1刻みの震度に対する機能停止の有無を二群に分類した頻度分布である。本研究では、ライフライン機能停止の有無を、震度 $I$ を説明変数とする二項ロジットモデル<sup>5)</sup>で表し、機能停止確率 $p$ を次式により評価する。

$$p = \frac{\exp[b_0 + b_1 \cdot I]}{1 + \exp[b_0 + b_1 \cdot I]} \tag{1}$$

二個のパラメータ $b_0, b_1$ は、最尤推定法を適用し算出する。

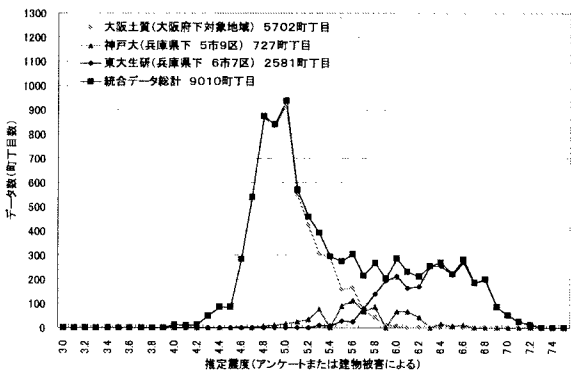


図1 分析対象領域の震度の頻度分布

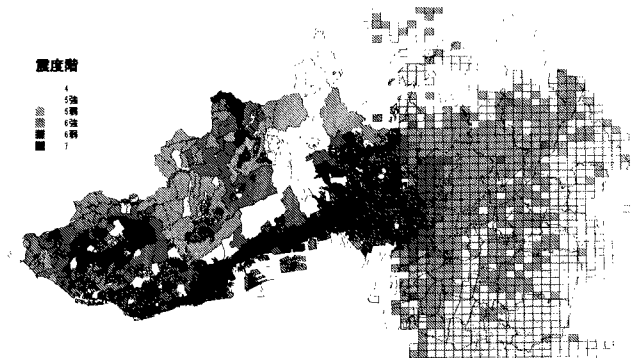


図2 分析対象領域の震度分布

図4は、二項ロジットモデルによる機能的脆弱性（脆弱性）曲線である。図3に基づいて、ライフライン機能停止率を0.1刻みの震度ごとに求めた結果も記載しており、両者はよく適合している。また各システム機能を比較してみると、停止のしやすさは電気、水道、ガスの順で、ばらつきの大きさは電気、ガス、水道の順である。評価結果（ $b_0, b_1$ 、平均、標準偏差、尤度比、的中率）を表1にまとめて示す。ロジットモデルにおける尤度比は、0.2～0.4の値でも適合度は十分高いと判断され、各システムとも高い適合度が得られた。また、的中率も高い値が得られた。

表1 機能的脆弱性の評価結果

|    | $b_0$   | $b_1$ | 平均    | 標準偏差  | 尤度比   | 的中率   |
|----|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 電気 | -20.121 | 3.816 | 5.272 | 0.475 | 0.436 | 0.825 |
| 水道 | -36.794 | 6.587 | 5.586 | 0.275 | 0.724 | 0.919 |
| ガス | -29.694 | 5.051 | 5.879 | 0.359 | 0.664 | 0.887 |

## 4. 機能停止期間と震度の関係とそのモデル化

図5は、ライフライン機能停止期間と震度との関係をプロットしたものである。停止期間は電気は時間、水道・ガスは日数で示している。ばらつきは大きいものの各システムとも正の相関が認められる。そこで、図5の機能停止期間を予測するモデルを検討する。本研究では、震度幅を $\Delta I=0.4$ とする移動平均法によって、移動平均 $\mu(I)$ と移動標準偏差 $\sigma(I)$ を各震度 $I$ ごとに算出した。図6に各震度ごとの算出した値を示す。各システムとも復旧所要期間の震度依存性が見て取れる。この算出した値を二

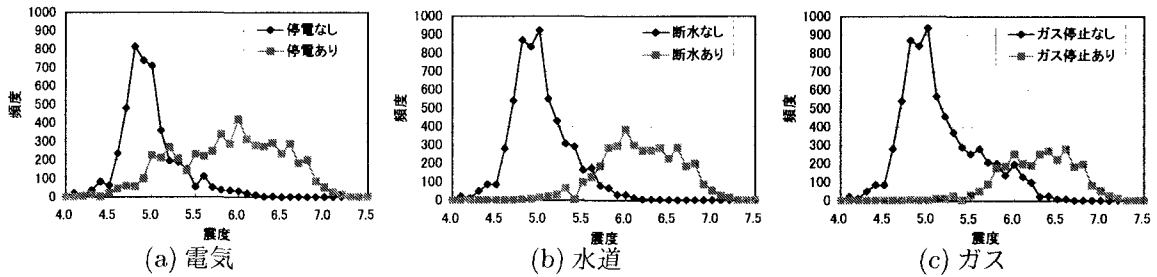


図3 機能停止の有無の震度の頻度分布

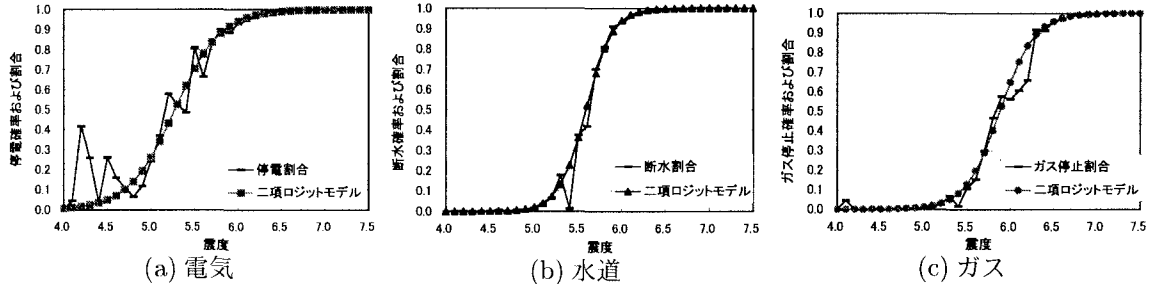


図4 二項ロジットモデルによる機能的脆弱性曲線

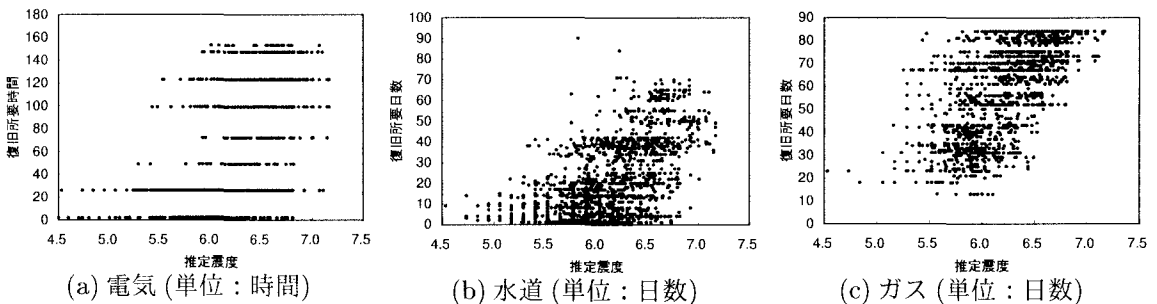


図5 ライフライン機能停止期間と震度の分布図

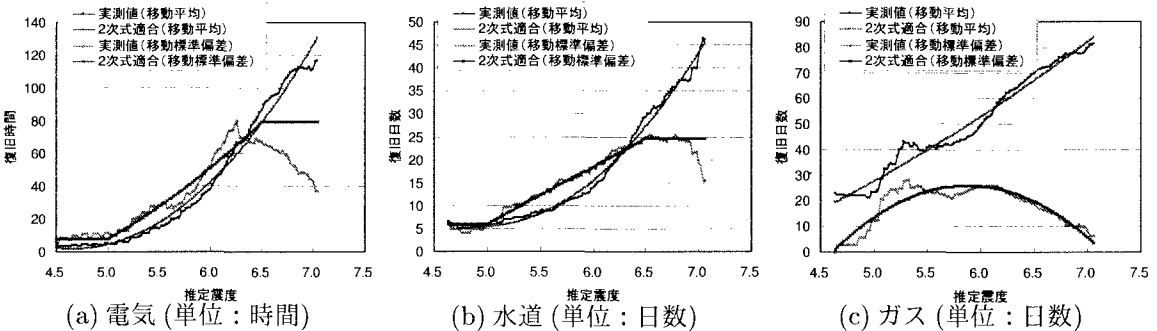


図6 各震度におけるライフライン停止期間の移動平均と移動標準偏差

次曲線でフィッティングすることによりモデル化した。図6にモデル化した曲線を重ねて示すと、データの傾向は二次曲線で比較的良好に表現されている。

今後、これらを用いて、モーメント法によりガンマ分布のあてはめを行う予定である。震度  $I$  が与えられた場合の停止期間  $t$  の確率密度関数は次式で与えられる。

$$f(t|I) = \frac{t^{\alpha(I)-1} \exp\left(-\frac{t}{\beta(I)}\right)}{\beta(I)^{\alpha(I)} \Gamma(\alpha(I))} \quad (2)$$

ここで、パラメータ  $\alpha(I), \beta(I)$  は次式により与えられる。

$$\alpha(I) = \left(\frac{\mu(I)}{\sigma(I)}\right)^2, \quad \beta(I) = \frac{\sigma^2(I)}{\mu(I)} \quad (3)$$

導いた2つのモデルを組み合わせることにより、着目地点での推定震度に基づいて、ライフラインの機能停止確率と、停止した場合の機能停止期間の分布を予測することが可能となる。今後、相次いで公表されている南海ト

ラフ沿いの巨大地震による想定震度分布を用いたケーススタディーを予定している。

## 5. おわりに

本研究では、震度情報に基づく供給系ライフラインの地震時機能評価モデルを提案した。地震動強度と直結した機能的被害予測は、その簡便さの反面、推定精度の限界もあるが、必要データ・時間・労力とのトレードオフを考慮した場合、有効であるといえる。

### 参考文献

- 山口直也, 山崎文雄: 1995年兵庫県南部地震の建物被害率による地震動分布の推定, 土木学会論文集, No.612/I-46, pp.325-336, 1999年1月。
- 神戸大学工学部建設学科土木系教室耐震工学研究室兵庫県南部地震アンケート調査分析グループ(代表: 高田至郎, 嘉嶋崇志): 兵庫県南部地震に関するアンケート調査一集計結果報告書一, 1996年11月。
- 鶴来雅人, 澤田純男, 入倉孝次郎, 土岐憲三: アンケート調査による兵庫県南部地震の大阪府域の震度分布, 土木学会論文集, No.612/I-46, pp.165-179, 1999年1月。
- 亀田弘行, 岩井哲, 碓井照子, 能島暢郎, 坪井健次, 古藤智子, 小川安雄, 松下真, 藤田裕介, 橋上重弘: 総合防災調査報告第六号 阪神淡路大震災におけるライフラインの復旧過程と生活支障のGIS分析, 京都大学防災研究所総合防災研究部門, 1998年3月。
- 東京大学教養学部統計学教室編: 基礎統計学3 自然科学の統計学, 東京大学出版会, 366p, 1992年8月。