

地震災害後の企業調査結果を用いた産業部門の生産能力のフラジリティ曲線の推定*

Estimation of Seismic Fragility Curve of Production Capacity Based on Survey after Earthquakes*

中野一慶**・梶谷義雄***・多々納裕一***

By Kazuyoshi NAKANO**・Yoshio KAJITANI***・Hirokazu TATANO

1. はじめに

地震はライフラインの途絶、建物や設備の被害、従業員の欠勤など様々な方法で地域産業の生産能力を減少させ、それによって大きな経済的損失をもたらす。

こうした経済損失の評価のための1つのアプローチは、計算可能な地域経済モデルを用いて、地域産業の生産能力の減少を入力値として被災後の経済状況の評価を行うアプローチである。しかし産業部門の生産能力の減少に関するデータは一般に入手が容易ではない。

本研究では地震動の空間分布のデータが与えられたときに、企業の生産能力が低下する確率を与える曲線を推定する。このような曲線はフラジリティ曲線と呼ばれ、多くの先行研究で橋梁構造物¹⁾や家屋の破壊確率²⁾を対象として多くの蓄積がある。しかしそのほとんどが構造物の破壊そのものを取り扱うにとどまっている。一方で生産能力については、構造物だけでなく、設備、ライフライン、従業員の確保などのさまざまな要因の上になりたっている。例えば建物が被害を受けても、それが事業に大きく影響しない場合には、修理を後回しにして生産の継続そのものを優先させることも十分であろう。そのため構造物のフラジリティの情報のみでは生産能力の低下を適切に表現できない可能性が高く既存のフラジリティ研究では十分でないことが考えられる。そこで本研究では生産能力そのものが影響をうける確率を表現する曲線を推定する。

また産業によって生産能力のフラジリティの特徴が異なる可能性があることや、今後の経済モデルへの入力値とすることを考え、本研究は産業別にフラジリティ曲線の推計を行う。

2. 本研究の方法

*キーワード：防災計画、計画情報

**学生員、情報修、京都大学大学院情報学研究所

(京都府宇治市五ヶ庄、TEL:0774-38-4037、

E-mail: nakano@imdr.dpri.kyoto-u.ac.jp)

***正会員、工博、京都大学防災研究所

(1) フラジリティ曲線の定式化

生産能力に影響を受けるぎりぎりの地震動の大きさ(耐力)を x とする。耐力 x は不確実性をもち、ある確率分布に従うと仮定する。その確率密度関数を以下では $f(x)$ とおく。

観測された地震動の大きさが z である条件の下で操業に影響を受けるのは、観測された地震動の大きさが耐力 x を超過することにほかならない。よって観測された地震動の大きさが z である条件の下でのある被害モード以上の被害を受ける確率 $P_i(z)$ は以下のように表せる。

$$P_i(z) = \int_0^z f(x) dx \quad (1)$$

本研究では耐力が対数正規分布に従うとする。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} \exp\left(-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

いま各サンプルに対して、ある被害モード以上の被害をうける、うけない、という2つの値を与えることができる。ある被害モード以上の被害を受けた場合に $\delta_i = 1$ となり、被害を受けなかった場合に0となるような変数 δ_i を用いると、二項分布より尤度関数は以下のように定式化できる。

$$L = \prod_{i=1}^N (1 - P_i(z_i))^{1 - \delta_i} P_i(z_i)^{\delta_i} \quad (3)$$

この対数をとった対数尤度が最大となるように対数正規分布の平均 μ と標準偏差 σ を推定する。

(2) データ

著者らのグループでは中越地震後に地域産業への影響を調べるために被災地の企業へのアンケート調査を行った³⁾。アンケート調査の中では、建物被害や復旧の費用だけでなく、ライフラインや設備、従業員出勤の回復等についてもたずねている。さらにそれらの結果としての操業水準の回復過程についてもたずねている。本研究で

いう生産能力はこの操業水準に他ならない。調査の詳細については参考文献³⁾に譲る。

また本研究は末富ら⁴⁾が推計する250mメッシュの詳細な地震動の分布を利用して各サンプルに地震動を対応つける。こうした詳細な地震動データが利用可能となることで、本研究のような企業サンプルの被害データと地震動の関係を分析することが可能になってきている。

アンケート調査では企業の住所をたずねている。その住所の座標と最も近いメッシュを末富らのデータから選び、そのメッシュの地震動をそのサンプルに対応させた。

(3) 被害モード

実施したアンケートでは被災直後からの生産能力の回復過程を、被災前の水準に対する比率の時系列の形でたずねている。被害モードは被災後1週間の生産能力の水準によって定義する。本稿では例として以下の2つの被害モードを考える。

- I. 平常時より低い水準で操業を継続する (constrained)
- II. 生産能力がゼロとなる (shutdown)

第一の被害モードでは、被害を受けなかった一部の設備を用いて生産を継続したり、壊れたままの設備でかろうじて生産だけは継続できるような場合である。第二の被害モードでは、重要なライフラインの途絶や、操業に不可欠な設備が使用できない場合などである。

被災直後からの1週間の生産能力が被災前の水準に対して100%未満である場合に、被害モードI以上であると判断した。また被災直後からの1週間の生産能力がゼロである場合に、被害モードIIであると判断した。

(4) 信頼区間

災害後の企業調査に基づいて限られたデータの中で行うため、推計結果の信頼性についても検証する必要がある。本研究ではShinozuka et al.¹⁾に倣い、フラジリティ曲線の90%信頼区間の上限と下限を表す曲線を推計する。

3. 推定されるフラジリティ曲線の例

図1は推定されるフラジリティ曲線の例を製造業を対象に図示したものである。図中青の曲線は、地震動が与えられた条件のもとでの被害モードI以上、すなわちIかIIとなる確率を表す。赤い曲線は地震動が与えられた条件のもとでの被害モードIIとなる確率を表す。90%信頼区間の上限と下限を表す曲線は点線で示してある。よって縦軸の1の値と青い曲線の値の差が生産能力が被災前から減少しない確率を表す。同様に青と赤の曲線の値の差は、被害モードIとなる確率を表す。

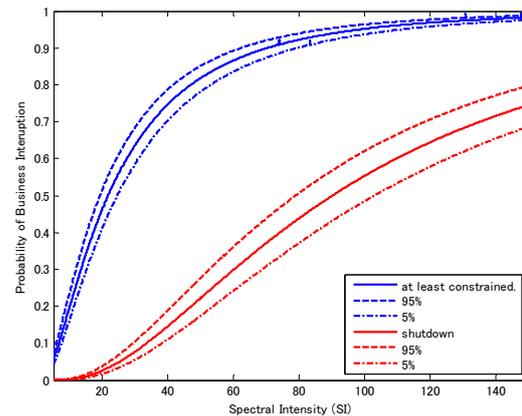


図1 推定されるフラジリティ曲線の例：
製造業 (N=190)

4. 経済モデルを用いた被害評価における活用に向けて

本研究から得られるフラジリティ曲線と地域の経済データを利用することで、地域産業で失われる生産能力の情報を与える。その情報から地域経済での資本の減少などを推計することで経済モデルの入力値として活用可能な形となる。

また生産能力は復旧の過程で変化をする。生産能力の減少を入力値として経済モデルを用いた被害評価を行うには、どの程度の期間生産能力が低下したままになっているか、復旧期間についての情報が不可欠である。講演時にはこれらを含め経済モデルを用いた被害評価におけるフラジリティ曲線の活用の方法についても議論する。

参考文献

- 1) M. Shinozuka, M. Q. Feng, H. Kim, T. Uzawa and T. Ueda, Statistical Analysis of Fragility Curves, Technical Report MCEER, 2001.
- 2) 宮腰淳一・林康裕・渡辺宏一・田村和夫：1995年兵庫県南部地震の建物被害に基づく建物の耐震性能評価，構造工学論文集，Vol. 43B, pp. 269-276, 1997.
- 3) 中野一慶・多々納裕一・藤見俊夫・梶谷義雄・土屋哲：2004年新潟県中越地震における産業部門の経済被害推計に関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol. 24, No. 2, pp. 289-298, 2007.
- 4) 末富岩雄、石田栄介、福島康宏、磯山龍二、澤田純男：地形分類とボーリングデータの統合処理による地盤増幅度評価と2004年新潟県中越地震における地震動分布の推定、地震工学会論文集、第7巻、第3号、pp. 1-12、2007.