

災害時のライフライン途絶に対する企業生産レジリエンシーの評価手法に関する研究*

A Study on Evaluating Industrial Resiliency to Lifeline Disruption*

土屋 哲**, 多々納裕一***, 岡田憲夫***

By Satoshi TSUCHIYA**, Hirokazu TATANO*** and Norio OKADA***

1. はじめに

今日の社会生活は、電力、水道、ガスなどのライフラインに大きく依存している。このため、大規模な地震によりライフラインが損傷した場合には、社会がこうむる被害は甚大なものとなる可能性がある。ライフラインの機能損傷がもたらす二次的被害を軽減するためには、施設そのものの強化やバックアップ機能の強化など効果的な施策を実施していくことが重要である。

災害時に一部のライフラインが途絶状況下にあっても、自家発電の利用や投入エネルギーの代替・節約、他地域での代替生産といった様々な対応策をとることにより、企業の操業水準は完全に停止状態になってしまうわけではない。これは、事前の備えも含め、企業が予期せぬ災害に対して適応的に行動するためである。災害が社会経済に与える影響を評価する場合には、このような要因（災害発生後の適応行動や発生前の対策）を考慮して社会経済的な評価ができることが望ましい。

本研究では、企業生産活動における災害時のライフライン途絶への耐性（以下、「レジリエンシー」と呼ぶ）に着目し、製造業、非製造業のレジリエンシー特性を定量的に評価する方法について整理・検討する。

2. 研究の枠組み

災害時にライフラインが途絶することにより、企業は平常時のように操業（生産）ができなくなる。企業生産の変化は、途絶するライフラインの種類やその程度、影響を受ける産業業種によってさまざまである。

個々の企業・事業所で見ると、事業継続は、業務の継続を妨げる要因に対してその影響度を極小化し、影響を受けた後の復旧を早めることが重要である。これは、レジリエンシーという概念を用いて『自然災害や事故などで被災した企業が元に戻る回復力』¹⁾などと表現される。事業継続は、このような目的の上に事業継続計画 (Business Continuity Plan: BCP)、あるいは事業継続マネジメント (Business Continuity Management: BCM) という形で議

論されている。

レジリエンシーの概念は様々な分野で用いられており、災害のみをとっても個々の具体的な問題対象に沿った形で定義・説明がなされている。上述の事業継続の表現では、機能損傷からの復旧に要する時間の短縮という動的な側面が強調されている。一方、災害発生時にシステム途絶の影響を緩和したり、途絶リスクそれ自体を減らすという静的な側面もある。

本研究では、地域経済モデル（具体的には応用一般均衡モデル）を用いた災害の経済被害計量化を視野に入れ、その中で企業生産レジリエンシーを扱うことを目指している。Rose²⁾ は、災害の経済被害の統合的な評価方法を論じる中でレジリエンシーの扱いについても触れており、災害時における経済主体の適応行動の考え方次第で被害推計モデルの出力（経済被害）も大きく変わりうる点に言及している。このことから、レジリエンシーを考慮する重要性がうかがえる。

レジリエンシーを反映した CGE モデルの構築には、まずユーティリティ投入に関する財の代替関係を表現しうる関数を用いる方法があげられる。最も一般的なものは、代替弾力性一定の関数（CES 型関数）を用いることであり、このとき代替弾力性パラメータが代替のしやすさを表す。

応用一般均衡モデルで CES 型生産関数を導入すること自体は決して特別なことではないが、一般に代替弾力性のパラメータは、基準データとして用いる一時点の社会経済統計データのみからでは推定することができないため、先行研究における推定値を引用して外生的に与え、感度分析によりパラメータの値の変化とアウトプットの変動の関係を把握することが多い。しかし、この種のパラメータは、地域特性や分析対象となる問題によっても異なっている可能性がある。したがって、可能な限り、分析目的に即したパラメータを推定して用いることが望ましいであろう。本研究は、実際の被災事業所調査（中越地震）から得たデータ³⁾の利用を念頭にパラメータの設定について検討するものである。

なお、これまでも著者らは本研究に関する基礎的な分析を行ってきた⁴⁾が、本稿は、別のアプローチを検討するにあたって代替パラメータの設定方法の考え方を整理するものである。

*キーワード：防災計画、計画情報

**正員，長岡技術科学大学 環境・建設系

〒 940-2188 長岡市上富岡町 1603-1, Tel 0258-47-9677,

E-mail: tsuchiya@vos.nagaokaut.ac.jp

***正員，京都大学防災研究所

3 集計的アプローチによる代替パラメータの推定

3.1 前提

企業（産業）の生産技術として図1に示すような階層構造を仮定する．当面の間，労働（従業員の被災），資本（設備損傷），中間財（投入原材料不足）の影響および価格変化の影響はないものとし，災害による企業の生産水準の低下がすべてライフライン途絶に起因しているものとする．

3.2 途絶抵抗係数と生産関数に係る関係式⁴⁾

企業の生産関数のうち，ユーティリティ（電力，ガス，水道）投入に係る部分を次に示す（ただし，産業を表すラベルは省略してある）．

$$u = \{\alpha_W (u_W)^{\rho_1} + \alpha_{GE} (u_{GE})^{\rho_1}\}^{\frac{1}{\rho_1}} \quad (1)$$

$$u_{GE} = \{\alpha_G (u_G)^{\rho_2} + \alpha_E (u_E)^{\rho_2}\}^{\frac{1}{\rho_2}} \quad (2)$$

ここに， u :ユーティリティ合成財， u_E :電力投入量（ $E \rightarrow G$ でガス， W で水道）， α :ウェイトパラメータ， ρ :代替パラメータ，である．

災害時のライフライン途絶状況下における企業の生産水準の対平常時比 r （＝途絶抵抗係数）を考えると，

$$r = \frac{Y'}{Y} = \frac{u'}{u} \quad (3)$$

と書くことができる．ただし，分母は平常時における生産量（操業水準）あるいはユーティリティ合成財投入量を表し，分子は災害時のそれらの量を表す．

式(1)，(2)から u_{GE} を消去して(3)に代入し，式展開をしてゆくと，最終的に次を得る．

$$r = \frac{Y'}{Y} = \frac{u'}{u} \quad (4)$$

ここに， r_E ， r_G ， r_W はそれぞれ電力，ガス，水道の機能水準を表す変数であり，0（産業単位でみて完全に途絶）から1（産業単位でみて完全に機能）の間の値をとる．

式(4)より，パラメータの推定には $\mathbf{a}$ と $\mathbf{r}$ が指す2種類のデータが必要である． $\mathbf{a}$ については，産業連関表の投入係数を用いる．本研究では産業業種を製造業・非製造業の

2つで考えるものとし，それぞれの業種で電力，水道，ガスの投入係数を算出して式(4)に代入する．また， $\mathbf{r}$ については，新潟県中越地震後の事業所アンケート調査³⁾の結果からデータを作成する．調査結果は個々の事業所単位であるが，パラメータの推定には産業単位での値が必要となることから，資本金区分を参考に事業所規模に関するウェイトを割り振り，重み付き平均を計算することによって産業単位での値を出す．このようにして，製造業・非製造業のそれぞれについて生産水準（操業率），ライフライン機能水準のデータを求め，式(4)に代入する．

3.3 結果

パラメータの推定結果は次のようになった．

製造業： $\rho_1 = -10.659$ ， $\rho_2 = -18.186$ ， $\sigma_1 = 0.086$ ， $\sigma_2 = 0.052$

非製造業： $\rho_1 = -7.252$ ， $\rho_2 = -7.568$ ， $\sigma_1 = 0.121$ ， $\sigma_2 = 0.117$

ただし， $\sigma_n = 1/1 - \rho_n$ ($n = 1, 2$) である．

推定結果から，生産関数のいずれの階層においても製造業の方が非製造業よりも小さな値をとった．これは，ライフラインの途絶が起こった場合に，製造業の方がより大きな影響を受けることを意味している．逆に言うと，非製造業の方が高い代替弾力性を持っており，ライフライン途絶に対して製造業ほど致命的な影響は受けないものと考えられる．しかし，いずれの産業業種も弾力性はほぼ0に近い値であり，総じて代替の程度は小さいであろうと考えられる．

4. 他のアプローチ

3. では，集計的なアプローチにより各産業で代表値としてのデータを作成し，パラメータの設定を試みた．別のアプローチとして，最尤推定法を通して個別事業所データを非集計的に扱って各産業に代表的なパラメータの設定を検討することが可能であろう．これを実施し，集計的アプローチにより設定したパラメータとの比較を行いながら分析を深めていきたい．講演時には，非集計的アプローチの結果をあわせて発表する．

参考文献

1. Yossi Sheffi 著，渡辺・黄野監訳：企業のレジリエンシーと事業継続マネジメント，日刊工業新聞社，2007．
2. A. Rose: Economic Principles, Issues, and Research Priorities in Hazard Loss Estimation, in: Okuyama, Y. and Chang, S.E.(eds) *Modeling Spatial and Economic Impacts of Disasters, Advances in Spatial Science*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, pp.13-36.
3. 中野一慶他：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, pp.289-298, 2007．
4. 土屋 哲他：地震災害によるライフライン途絶の産業への影響に関する一考察，第34回土木計画学研究・講演集 (CD-ROM)．

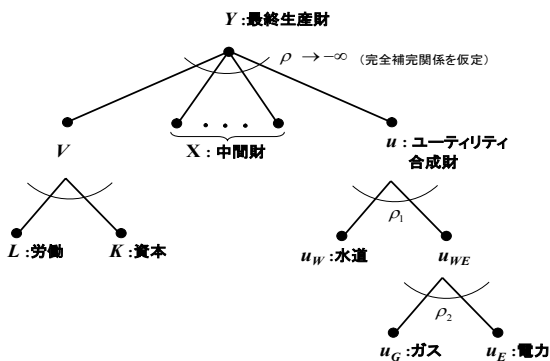


図 1: 企業の生産技術構造