地震時ライフライン機能停止が製造業に及ぼす影響評価

岐阜大学大学院　学生員　白谷 啓行
岐阜大学大学院　学生員　佐藤 慶昇
岐阜大学工学部　正会員　能島 暢呂
岐阜大学流域圏科学研究センター　正会員　杉戸 真太

1. 背景と目的

近年では，企業における事業継続計画 (BCP) 策定の重要性が認識されている．特に地震対策面においてはリスク管理・危機管理面でライフライン機能の影響を考慮することが必須となっている．本研究では，地震による供給系ライフライン (電気・水道・都市ガス) の機能停止が，様々な社会生産活動に与える影響の推計方法を提案し，製造業に対する適用例を示す．

2. ライフライン停止パターン別機能充足度の定量化

地震によるライフライン供給停止が各業種に与える影響を推計するため，ATC-25[1] により推計された Lifeline Importance Factor を利用する．これは米国における専門家アンケート調査 (ATC-13) で評価されたものを若干修正したものである．

Chang et al.[2] は 1 から Lifeline Importance Factor を引いたものを RF(Resiliency Factor) として定義した．本研究ではこれを機能充足度として用いる．機能充足度とは，各業種の活動状態を 0〜1 の値で表したものであり，0 は全く活動していない水準，1 は通常の水準であることを示す．また，ATC-25 ではライフラインが単独で停止する場合について推計されているが，本研究では複数の供給系ライフラインが同時に停止しているパターンを考慮するため，2 つ以上ライフラインが停止している場合には，停止しているライフラインが単独で停止しているパターンのうち，いずれか最も小さい機能充足度を与えることとする．

供給系ライフラインの停止パターンは 2^3 通り存在しており，各パターンの機能充足度を $R_i(\delta_E,\delta_W,\delta_G)$ で表す．i は業種，δ は供給停止の有無，E は電力，W は水道，G は都市ガスを表している．**図 1** に食料品製造業の停止パターン別機能充足度 $R_i(\delta_E,\delta_W,\delta_G)$ の例を示す．食料品製造業の活動状態は電力供給停止により 10%，水道供給停止により 30%，都市ガス供給停止により 75%まで落ち込んでおり，電力による影響を大きく受ける業種であるといえる．

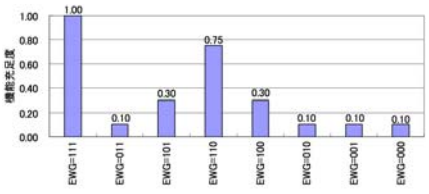

図 1　停止パターン別機能充足度 $R_i(\delta_E,\delta_W,\delta_G)$-食料品製造業

3. 停止パターンの時系列を考慮した機能充足度

地震発生後のライフライン停止パターンは時間の経過とともに変化する．供給系ライフラインの停止確率と復旧所要時間の違いによる停止パターン生起確率の移り変わりを捉え，停止パターンの時系列を考慮した機能充足度の推計を行う．

3.1 ライフライン停止パターン生起確率の移り変わり

ライフラインの停止パターンの移り変わりを捉えるため，既往研究[3),4)] による評価モデルを用いる (式 (1))．

$$P(I,t) = \{1 - p(I)\} + p(I) \cdot F(t|I) \qquad (1)$$

$P_k(I,t)$: 震度 I，地震後経過日数 t における供給率
$p_k(I)$: 震度 I における機能停止確率
$F(I,t)$: 震度 I，機能停止日数 t の非超過確率
k : E(電力), W(水道), G(都市ガス)

これは震度 I, 地震後経過日数 t を変数とした関数であり，電力は被害を最も受けやすい反面，復旧は早く，都市ガスは最も被害を受けにくい反面，最も復旧が遅くなるよう評価するモデルとなっている．

式 (1) により得られる供給系ライフラインの供給率を組み合わせ，式 (2) より停止パターン 2^3 通りの生起確率を求める．**図 2** に計測震度 6.5 における生起確率を示す．

$$Q(\delta_E,\delta_W,\delta_G;I,t) = \prod_{\delta_E,\delta_W,\delta_G} P_k(I,t)^{\delta_k} \cdot \{1 - P_k(I,t)\}^{1-\delta_k} \qquad (2)$$

$Q(\delta_E,\delta_W,\delta_G;I,t)$: 震度 I，時間 t における停止パターン $(\delta_E,\delta_W,\delta_G)$ の生起確率
$P_k(I,t)$: 震度 I，地震後経過日数 t におけるライフライン k の供給率
$\delta_E,\delta_W,\delta_G$: 供給状態 (供給不能 ($\delta_k = 0$)，供給可能 ($\delta_k = 1$))
k : E(電力), W(水道), G(都市ガス)

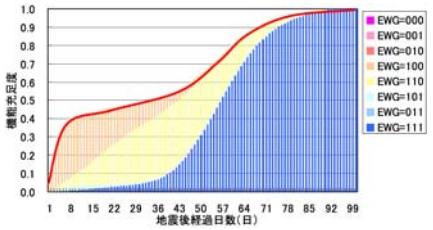

図 2　計測震度 6.5 における停止パターン生起確率

3.2 停止パターンの時系列を考慮した機能充足度の推計

パターン別の機能充足度 $R_i(\delta_E,\delta_W,\delta_G)$ を各パターンの生起確率 $P_k(\delta_E,\delta_W,\delta_G)$ で加重平均して得られる値を，その業種の機能充足度とする．評価式を式 (3) に示し，**図 3** に震度 0.5 刻みの食料品製造業の機能充足度を示す．

$$\overline{R_i}(I,t) = \sum_{\delta_E,\delta_W,\delta_G} R_i(\delta_E,\delta_W,\delta_G) \cdot Q(\delta_E,\delta_W,\delta_G;I,t) \qquad (3)$$

$\overline{R_i}(I,t)$: 震度 I，地震後経過日数 t における機能充足度
$R_i(\delta_E,\delta_W,\delta_G)$: 供給系ライフライン停止パターン別の機能充足度
$Q(\delta_E,\delta_W,\delta_G;I,t)$: 震度 I，時間 t における停止パターン $(\delta_E,\delta_W,\delta_G)$ の生起確率
$\delta_E,\delta_W,\delta_G$: 供給状態 (供給不能 ($\delta_k = 0$)，供給可能 ($\delta_k = 1$))
i : 業種
k : E(電力), W(水道), G(都市ガス)

ライフライン，機能充足度，生起確率，東海地震，経済的影響
〒 501-1193　岐阜市柳戸 1-1　TEL:(058)293-2416　FAX:(058)293-2416

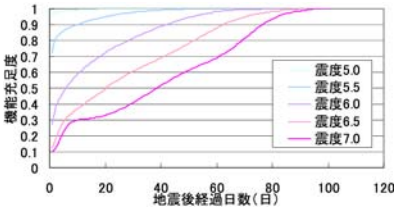

図 3 食料品製造業の機能充足度

4. 地域全体における機能充足度の推計

ここでは震度や産業の地域分布を考慮して，地域全体での影響評価を行う．想定東海地震による東海地方の推定震度データと従業者数データを組み合わせた震度曝露人口を用いて東海地方における影響評価を行う．

4.1 震度曝露人口

久世らによる[5]想定東海地震の推定震度と，平成13年度事業所・企業統計調査[6]による製造業従業者数の2分の1地域メッシュごとのデータを重ね合わせ，東海4県各製造業の震度曝露人口を得る．震度曝露人口とは「所定の震度レベルに曝される人数」のことである．**図 4** に食料品製造業従業者の震度曝露人口 $PEX_i(I)$ を示す．ここでは，産業活動の広がりと震度による影響の組み合わせた効果を表している．

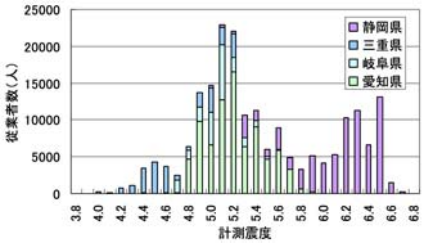

図 4 想定東海地震における震度曝露人口-食料品製造業

4.2 震度や産業の地域分布を考慮した影響の推計

震度や産業の地域分布を考慮した影響の評価式を式(4)に示す．

$$S_i(t) = \frac{\sum_I PEX_i(I) \cdot \overline{R_i}(I,t)}{\sum_I PEX_i(I)} \tag{4}$$

$S_i(t)$: 地震後経過日数 t における広域機能充足度
$\overline{R_i}(I,t)$: 震度 I，地震後経過日数 t における機能充足度
$PEX_i(I)$: 震度 I の震度曝露人口
i : 業種

特定震度 I における機能充足度を，その震度に対応した震度曝露人口で加重平均することによって地震発生後の機能充足度を推計し，地震により各業種が受ける影響を0〜1の値で基準化した評価値を得る．

図 5 に東海4県の食料品製造業が受ける影響を示す．想定東海地震において最も高震度の揺れが推定されている静岡県は，東海4県において最も大きな影響を受ける．

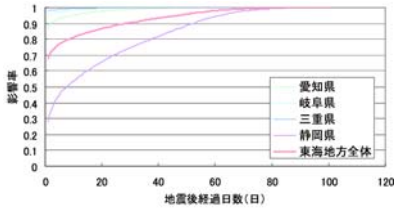

図 5 東海地方が受ける影響-食料品製造業

5. 東海地方の製造業が受ける経済的影響

ここでは評価価値を貨幣価値に換算するために，基準化された評価値に出荷額を掛け合わせ，経済的影響を評価する．

5.1 工業統計調査による製造品出荷額データ[7]

平成13年度工業統計調査の結果より，東海各県の製造業の年間製造品出荷額データを利用する．**図 6** に平成13年度食料品製造業の年間製造品出荷額を示す．この年間製造品出荷額を365で割ることにより得られる製造品出荷額(日平均)を利用する．

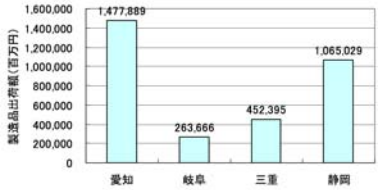

図 6 東海4県の年間製造品出荷額-食料品製造業

5.2 経済的影響の推計

経済的影響の評価式を式(5)に示す．

$$EC_i(t) = S_i(t) \cdot PR_i \tag{5}$$

$EC_i(t)$: 地震後経過日数 t における製造品出荷額
$S_i(t)$: 震度や産業の面的分布を考慮した影響(式(4))
PR_i : 製造品出荷額(日平均)
i : 業種

震度や産業の地域分布を考慮した影響を0〜1の値で基準化した評価値に，工業統計調査による製造品出荷額(日平均)を掛け合わせることによって地震により各業種が受ける経済的影響を推計する．

図 7 に東海地方の食料品製造業が受ける経済的影響を示す．損失が最も大きいのは静岡県であり，損失額は約505億万円，活動期間に換算すると約17日分に相当する．

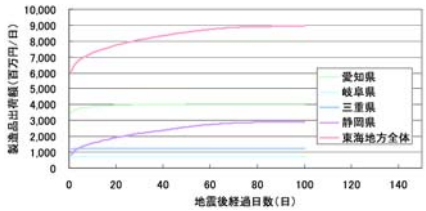

図 7 東海地方が受ける経済的影響(食料品製造業)

6. おわりに

本研究では，供給系ライフライン停止パターンを元に製造業に与える影響を評価した．今後は同様の手法により非製造業が受ける影響を推計し，BCP策定に有用な情報を得られるよう，データの整理を行う．

参考文献

1) Applied Technology Council : Seismic vulnerability and impact of disruption of lifelines in the conterminous United States,ATC-25,Redwood City,California,1991
2) S.E.Chang,H.A.Seligson and R.T. Eguchi : Estimation of the Economic Impact of Multiple Lifeline Disruption:Memphis Light,Gas and Water Division Case Study, Technical Report NCEER-96-0011, August 16,1996
3) 能島暢呂・杉戸真太・鈴木康夫・石川裕・奥村俊彦：震度情報に基づく供給系ライフラインの地震時機能リスクの二段階評価モデル，土木学会論文集,No.724,225-238, 2003.1
4) 能島暢呂・杉戸真太・鈴木康夫・佐藤寛泰：被災事例に基づく供給系ライフラインの地震時機能停止と復旧過程の予測－ 想定東海・東南海地震を対象として －，地域安全学会概要集,No.13,101-104,2003.11
5) 久世益充・杉戸真太・能島暢呂：南海トラフの巨大地震を想定した広域震度予測，自然災害科学，Vol.22，No.1，2003，pp.87〜99.
6) 総務省統計局ホームページ：事業所・企業統計調査の概要と沿革，http://www.stat.go.jp/data/jigyou/gaiyou/index.htm
7) 経済産業省ホームページ：工業統計調査について，http://www.meti.go.jp/statistics/kougyou/h2j1000.htm