

供給系ライフラインの地震時機能停止が製造業に与える影響の簡易評価

岐阜大学工学部

○白谷 啓行

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

岐阜大学大学院

学生会員 佐藤 慶昇

1. 背景と目的

地震時におけるライフライン機能の予測は、地震の社会経済的影響の評価に欠かすことのできない重要事項である。特に近年では、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おり、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. 地震時機能充足度の評価方法

社会生産活動への影響を推計するために、「機能充足度」という指標を定義する。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は全く機能していない水準、1は通常的水準であることを示す。ここでは地震時における各業種の機能充足度が、供給系ライフラインの機能水準により規定されると仮定し、震度および地震後の経過時間に応じて変動するものとする。算出方法は以下に示す。

2.1 供給系ライフラインの供給率の算出<sup>1),2)</sup>

地震発生後の供給系ライフライン (電気・水道・都市ガス) の供給率の算定にあたっては、既往研究<sup>1),2)</sup>で提案された評価モデルを用いることとする。

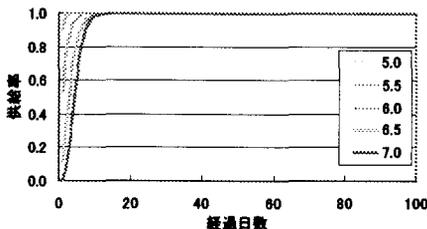
$$P_k(I, t) = 1 - p_k(I) + p_k(I) \cdot F(I, t) \quad (1)$$

$P_k(I, t)$  : 震度  $I$ , 地震後経過日数  $t$  における供給率

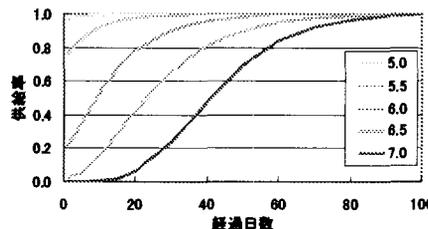
$p_k(I)$  : 震度  $I$  における機能停止確率

$F(I, t)$  : 震度  $I$ , 機能停止日数  $t$  の非超過確率

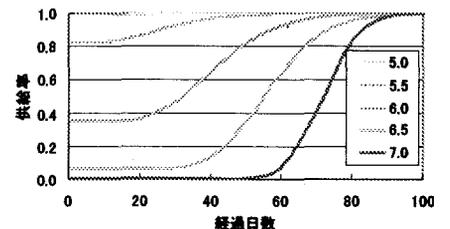
$k$  :  $E$ (電力),  $W$ (水道),  $G$ (都市ガス)



(a) 電力の供給率



(b) 水道の供給率



(c) 都市ガスの供給率

図1 供給系ライフラインの供給率

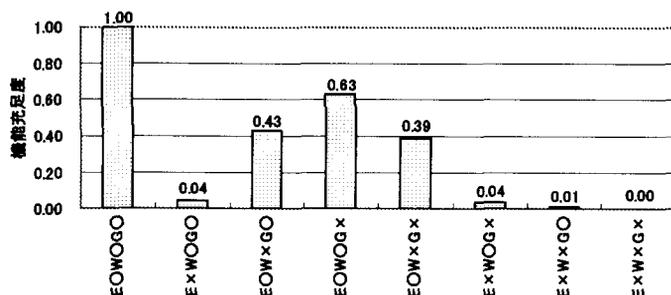


図2 ライフライン停止パターン別機能充足度 (食料品製造業)<sup>4)</sup>

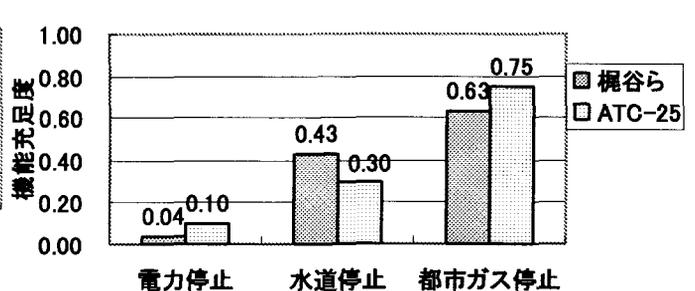


図3 食料品製造業の機能充足度の比較

ここで  $I$  は震度,  $t$  は機能停止期間を表している。図1(a)-(c)にそれぞれ電力、水道、都市ガスの地震発生後の供給率の推移を示す。電力の復旧は供給系ライフラインの中で最も早く、計測震度7.0の地震が起きた場合でも10日前後で完全に復旧することが予測されている。その反面、電力は供給系ライフラインの中で最も被害を受けやすく、小さな震度でも供給停止が起こってしまう。供給系ライフラインの被害の受けやすさは電力、水道、都市ガスの順、復旧の早さもまた同じ順となっている。

2.2 ライフライン停止パターン別の機能充足度<sup>3),4)</sup>

ライフライン途絶下における各産業の操業可能水準を表す指標としてRF(Resiliency Factor)がある。米国では専門家アンケート調査(ATC-13)<sup>3)</sup>による評価例があり、国内では梶谷ら<sup>4)</sup>による推計例がある。ここでは後者を例に取り、ライフライン停止パターン別の業種  $i$  の機能充足度  $R_i(\delta_E, \delta_W, \delta_G)$  として利用する。一例として、食料品製造業の停止パターン別機能充足度を図2に示す。

図3はATC-25<sup>3)</sup>による推計値と梶谷ら<sup>4)</sup>による推計値の比較の一例である。後者は業種を問わず全体的に水道の供給停止による影響を小さめに評価する傾向にある。

2.3 機能充足度の評価方法

供給系ライフラインの停止パターンは  $2^3$  通りである。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。評価式を次式に示す。

$$\bar{R}_i(I, t) = \sum_{\delta_E, \delta_W, \delta_G} R_i(\delta_E, \delta_W, \delta_G) \cdot P_k(\delta_E, \delta_W, \delta_G) \quad (2)$$

$\bar{R}_i(I, t)$  : 震度  $I$ , 地震後経過日数  $t$  における機能充足度  
 $R_i(\delta_E, \delta_W, \delta_G)$  : ライフライン停止パターン別の機能充足度  
 $\delta_E, \delta_W, \delta_G$  : 供給停止の有無 (有 ( $\delta_k = 0$ ), 無 ( $\delta_k = 1$ ))  
 $i$  : 業種

$$P_k(\delta_E, \delta_W, \delta_G) = \prod_{\delta_E, \delta_W, \delta_G} P_k(I, t)^{\delta_k} \cdot \{1 - P_k(I, t)\}^{1 - \delta_k} \quad (3)$$

$P_k(I, t)$  : 式 (1) による震度  $I$ , 地震後経過日数  $t$  における供給確率

図4は式(3)により求めた計測震度6.5における各停止パターンの生起確率, 図5は式(2)により求めた計測震度6.5における食料品製造業の機能充足度を示している。

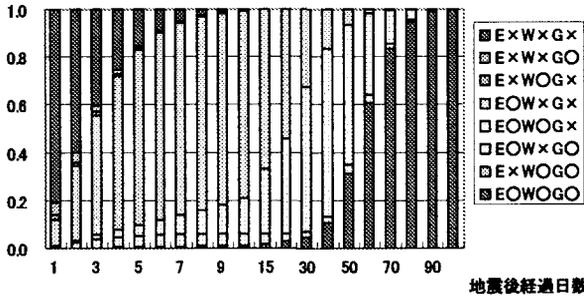


図4 計測震度6.5における各停止パターンの生起確率

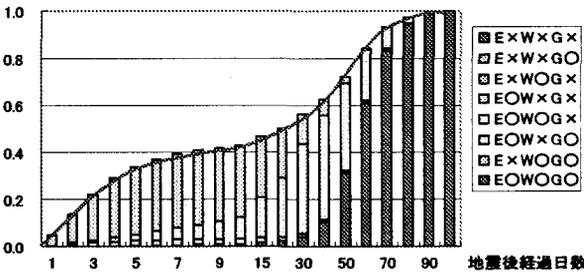


図5 計測震度6.5における食料品製造業の機能充足度

3. 地震時機能充足度の算出結果

図6, 図7はそれぞれ, 食料品製造業と木材・木製品加工業における震度5.0~7.0の5パターンの機能充足度の推移を示す。業種によって傾向は異なり, 食料品製造業は震度が大きくなるにつれて機能充足度が著しく低下する。

全体的な傾向として, 地震発生後から数日の間においては5パターン全てで機能充足度の上昇がみられる。しかし, 震度が大きくなるにつれて地震発生後10日過ぎたあたりから機能充足度の上昇が緩やかになる。その要因として以下の2点が考えられる。

- ① 製造業は一般に電力への依存度が非常に高く, 地震発生後からの機能充足度の上昇は電力の復旧による効果大きい。
- ② 水道・都市ガスは電力と比べて復旧に要する時間が長く, 復旧による効果が現れる時期が遅れる。

4. 今後の課題<sup>5)</sup>

これまで地震時のライフライン機能障害が社会生産活動に与える影響について定式化を行い, その適用について検討してきた。今後は以下の2点について検討を行う。

- ・ライフライン停止パターン別機能充足度として, ATC-25による推計値を利用。
- ・事業所・企業統計調査による各種製造業の分布状況と久世らによる研究<sup>5)</sup>による想定東海・東南海の推

定震度分布を利用し, 産業構造の地域性を考慮した経済的影響の推計。

図8は事業所・企業統計調査による, 愛知県の製造業従業者数を示したものである。東海地方の各県において, この分布はかなり異なっており, 地震による影響の受け方にも地域性があらわれると考えられる。図9は想定東海地震における推定震度分布を示している。これまでの研究にこれらを加え, 今後は従業者数によって東海地方の経済的影響の推計を行う。

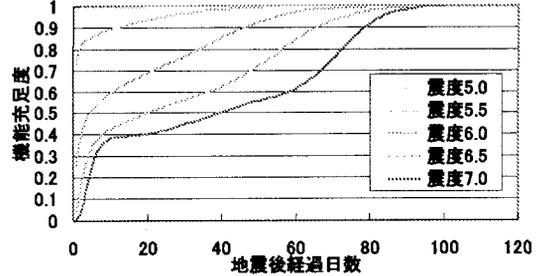


図6 食料品製造業の機能充足度

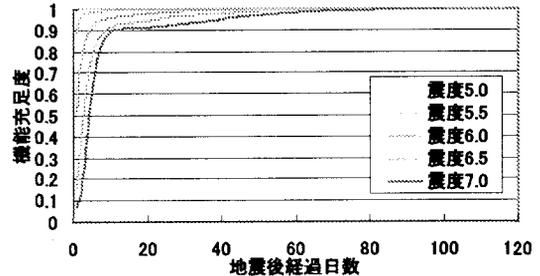


図7 木材・木製品加工業の機能充足度

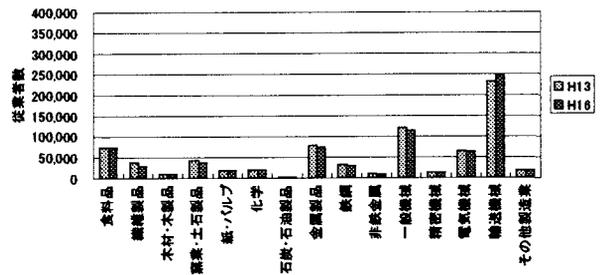


図8 愛知県の製造業従業者数

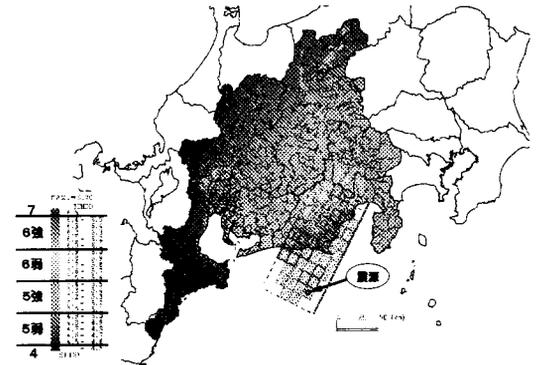


図9 想定東海地震における計測震度分布

参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) Applied Technology Council: Seismic vulnerability and impact of disruption of lifelines in the conterminous United States, ATC-25, Redwood City, California, 1991
- 4) 梶谷義雄・多々納裕一・山野紀彦・朱田善治: 製造業を対象としたライフライン途絶抵抗係数の推計, 自然災害科学, 553-564, 2005
- 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.