

論文

# 製造業を対象としたライフライン途絶抵抗係数の推計

梶谷 義雄\*・多々納 裕一\*\*・山野 紀彦\*・朱牟田 善治\*

## Estimation of Resiliency Factor of Industrial Sectors under Multiple Lifeline Disruptions

Yoshio KAJITANI\*, Hirokazu TATANO\*\*, Norihiko YAMANO\*  
and Yoshiharu SHUMUTA\*

### Abstract

In order to clarify economic impacts of individual and simultaneous lifeline (electricity, water and gas) disruption caused by natural disasters, we designed questionnaire survey to estimate "resiliency factor" of each sector. Resiliency factor represents remaining amount of production under lifeline disruptions and reflects not only amount of lifeline usage but also regional, technical and mitigation characteristics of each sector. Based on the 469 effective replies to the questionnaire, resiliency factor of 15 industrial sectors is estimated. It is also shown that resiliency factor is possibly affected by the disruption patterns of lifelines and mitigation status of each sector such as installing a power generator. In addition, acceptable duration of production stop for each sector is estimated to investigate temporal influence of lifeline disruptions.

キーワード：ライフライン途絶，経済的影響，途絶抵抗係数，自然災害

Key words : lifeline disruption, economic impact, resiliency factor, natural disaster

### 1. はじめに

豪雨，地震などの災害時における供給系ライフライン施設（電力，水道，都市ガス）の被害は，そ

の復旧に多大な費用を要するだけでなく，地域経済や住民生活にも大きな影響を及ぼす。例えば，兵庫県南部地震（1995年1月17日）では，広範囲かつ長期にわたる供給支障が発生し（電力，水

\* 電力中央研究所  
Central Research Institute of Electric Power Industry  
\*\* 京都大学防災研究所  
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

本論文に対する討論は平成17年8月末日まで受け付ける。

道、ガスの復旧日数はそれぞれ153時間、85日、90日)、信号停止による交通障害や住民の生活不便などの様々な影響が報告されている<sup>1)</sup>。また、このようなライフラインの大規模な供給停止は、地震災害だけでなく渇水や燃料の高騰・逼迫といった形でも引き起こされることが予想され、その影響評価法の確立は、様々な分野において重要な課題となってきた<sup>2,4)</sup>。

ATC-13<sup>5)</sup> (1985)は、自然災害発生時における供給系ライフライン途絶の経済的影響を検討した先駆的な事例である。ATC-13では産業種別の各ライフライン途絶の影響度合いを専門家アンケートによって調査しており、この値を若干修正したResiliency Factorが、その後の数多くの災害影響分析に幅広く利用されている<sup>6,9)</sup>。以下、本論文ではResiliency Factorを「途絶抵抗係数」と訳す。次節で詳細を述べるが、基本的に途絶抵抗係数はライフライン途絶状況下における生産水準を表す指標であり、0：生産停止と1：平常時と同じ生産レベル、の間の値を取る。

しかし、途絶抵抗係数は、産業特性だけでなく、地域的要因が強いことも予想されるため、米国の調査例をそのまま日本に適用することは困難と考えられる。また、ATC-13では十分に検討されていない重要項目として、自然災害時特有の現象である異なるライフラインが同時に途絶した場合の相互作用の分析や、ライフライン途絶に伴う生産停止日数の許容可能な水準に関する分析が挙げられる。

そこで、本研究では、供給系ライフライン(電力、水道、ガス)途絶に焦点をあて、東海地域の製造業を対象とした途絶抵抗力の分析を行うことを目的とする。得られた途絶抵抗係数は各供給系ライフラインの途絶状況、途絶時間を考慮した日本における経済被害推計を行う上で、有効に活用されることが考えられる。

最後に、本研究の構成を以下に示す。まず、第2節では、我が国において途絶抵抗係数を推計することの意義について概観する。第3節では、途絶抵抗係数を推計するための調査票の作成方法と調査の概要について紹介を行う。第4節では、調査

に基づいた途絶抵抗係数の推計結果と途絶抵抗に影響を及ぼす要因分析結果を示す。また、ライフラインの途絶などによって仮に生産機能が完全に停止した場合を想定し、被害が顕在化する生産停止日数について調査結果をもとに考察を行う。第5節では、本研究のまとめならびに今後の課題について述べる。

## 2. 我が国におけるライフライン途絶抵抗係数推計の意義

### 2.1 ATC-13について

1985年、米国の専門家13人をコアメンバーとする地震災害影響評価のための委員会によって、35部門に分類された産業別のライフラインインポートンスファクター(Importance Factor)が公表された(ATC-13<sup>5)</sup> [表9-8])。インポートンスファクターとは、供給系ライフラインのみでなく、道路、通信、下水などを含めた各ライフライン途絶による生産量の低下を0から1までの間で評価したものであり、1に近い値を取るほどそのライフライン途絶による損失が大きいことを意味する。カルフォルニア地域を対象にメンバーの主観的な判断に基づいて指標値の決定がなされており、現在広く用いられるATC-25<sup>6)</sup>のインポートンスファクターも、基本的にこのATC-13の指標値を若干修正した形で引用している(ATC-25<sup>6)</sup> [表6-2])。

一方、途絶抵抗係数は「ライフライン途絶状況下における各産業の生産量(remaining production)を平常時と比較して基準化した係数」と定義され、各企業のミチゲーションの度合いや災害への耐性を積極的に評価したものである。実際は、ATC-25のインポートンスファクターを修正した形で与えられた途絶抵抗係数が広く用いられており、例えば、表1がATC-25を用いて推計された製造業の途絶抵抗係数に相当する。表1において途絶抵抗が比較的高い木材・木製品に注目すると、水やガスの途絶状況下であったとしても、通常に比べてそれぞれ50%、80%の生産が確保されると解釈される。

表1 製造業の途絶抵抗係数(ATC-25)

sector	産業部門	E	W	G	平均
Food Tobacco	食料・たばこ	0.1	0.3	0.75	0.38
Textile Goods	繊維製品	0	0.3	0.8	0.37
Lumber & Wood	木材・木製品	0	0.5	0.8	0.43
Glass Stone Clay	窯業・土石産業	0	0.5	0.5	0.33
Pulp & Paper	紙・パルプ	0	0.4	0.6	0.33
Chemical & drugs	薬・化学製品	0.1	0.2	0.1	0.13
Petrol. Refining	石油・石炭産業	0	0.5	0.5	0.33
Prim. Metal Prd	金属(冶金)	0.1	0.1	0.5	0.23
Fab. Metal Prod	金属製品	0	0.2	0.5	0.23
Mach. Exc. Elec	一般機械など	0	0.4	0.5	0.30
Elec. & Electron	電子・電気機械	0	0.1	0.5	0.20
Transport Eq	輸送機械	0	0.4	0.5	0.30
Misc. Manufact	その他製造業	0	0.4	0.5	0.30
Manufacturing	製造業全体	0.02	0.36	0.58	0.32

(E:電力の途絶, W:水の途絶, G:ガスの途絶)

### 2.1 途絶抵抗係数の利用例

Rose et al.<sup>7)</sup> は ATC-25 で公表されている途絶抵抗係数を用い、電力ライフライン途絶に伴う経済被害推計手法を提案している。その手法について簡単に述べると、①まず電力の途絶に伴う各産業の経済被害を途絶抵抗係数で評価する、②その上で電力途絶による被害が産業連関構造によって、地域全体にどの程度波及するかを評価する、という内容になる。ニューマドリッド州のメンフィス地域を対象としたケーススタディでは、地震災害に伴う電力ライフライン途絶が2週間発生した場合、地域GDPが7%減少するという結果が得られている。

また、Chang<sup>8)</sup> においても、上記と同様の議論が行われているが、テネシー州シェルビー地区の現地調査結果と比較して、ATC-25の指標値の妥当性についての検討がなされている。その結果、電力については両指標の値は整合的であるが、水やガスに関しては、現地調査に比べATC-25の値の方が若干過大推計になっていると結論付けている。

さらに、RMS Inc.<sup>9)</sup> は、関東大震災が再来した場合を想定し、ATC-25に基づいた経済被害推計を行っている。この推計によると、被害の波及効果を除いた建物被害とライフライン被害による営業損失だけでも105兆から165兆円規模の被害が発生すると報告されている。

このように途絶抵抗係数は、ライフライン途絶に伴う経済被害推計を行う上で重要な指標となっ

てきた。わが国においても平常時・災害時における長期ライフライン途絶を想定した経済被害推計を行う上で途絶抵抗係数は必要不可欠と考えられる。しかし、産業の技術やライフライン途絶に対するミチゲーションの状況が異なる日本に、ATC-25をはじめとする米国の途絶抵抗係数をそのまま適用することは困難である。また、途絶抵抗に影響を及ぼす各企業の災害対応力は時代を通して変化することが予想されるため、地域防災力の指標として継続的にわが国独自の推計を行う必要があると考える。

### 2.2 供給系ライフライン間の相互作用について

ライフライン途絶に伴う各製造業への経済影響分析を行うための簡便な手法の一つとして、産業連関表を用いた分析が挙げられる。つまり、各産業が生産のための投入要素として、各ライフラインを年間どの程度利用しているかという情報をもとに、ライフライン使用量減少にともなう最終生産物の減少量を予測するという手法である。しかし、産業連関表を用いた分析は、要素投入量と生産量の間線形的な関係を持つレオンティエフの技術を仮定したものであり、ライフラインサービスの補完関係、あるいは代替関係といった相互作用を勘案することができない。補完・代替として、例えば、電力途絶状況下においてガスによる自家発電量を増加することが挙げられる。また、上水道・工業用水道の途絶下において、地下水の汲み上げ量を増加したり、都市ガスの代わりにプロパンガスの使用量を増加したりすることで被害を軽減化するという、ライフラインの供給源の多様化によるミチゲーション努力も考慮することが必要と考えられる。このようなライフラインの被災状況に応じた被害の軽減効果は、単純に産業連関表で捉えることが困難である。

さらに、産業連関表では十分に考慮することができない内容として、短期間における被害の影響が挙げられる。通常、産業連関表は年間、せいぜい四半期を対象とした取引量の集計結果に基づいているが、ライフラインの途絶期間はそれよりも

はるかに短いことが予想される。この場合、各企業が、在庫を利用する、ライフライン回復後に製造ラインの稼働率を上げる、などの柔軟な対応をすることによって被害が軽減される可能性が考えられる。そこで、以上の内容を念頭において、次節では調査票の設計法についてその概略を示す。

### 3. 調査票の設計と1次集計結果

#### 3.1 調査票の設計

前節でも述べたように、供給系ライフライン途絶の影響を分析するためには、A. ライフライン途絶に対するミチゲーション状況やライフライン間の相互作用を踏まえた途絶抵抗係数と、B. 在庫の利用やライン稼働率の調整などで損失を発生させずに対応できる期間、を調査する必要がある。また、A, Bに影響を及ぼすと考えられる各ライフラインの供給源や在庫量などを、企業属性として調査する必要がある。

まず、Aに関しては、 $2^3$ （二水準三要素）要因配置計画<sup>10)</sup>に基づき、調査票を設計した。具体的には、各企業の平常時の生産活動レベルを1として、それぞれのライフライン途絶状況（ $2^3=8$ 通り）における生産量を0から1までの5段階の値（0, 0.25, 0.50, 0.75, 1,あるいはより正確な数値を記入）で評価していただくよう設問を行った。この際、各企業が導入しているバックアップ電源や地下水などが長期的に利用可能であれば、その利用可能性を考慮した上で回答するように設問を行った。一方、Bに関しては、仮に生産がストップした状況において、受注分のキャンセルを行うなどの生産計画が影響を被り始めると考えられる限界の生産停止期間について設問を行った。

以上の内容をまとめたおおよその調査計画概要を図1に示す。調査票の送付先として、東南海地震の発生によって大きな被害を受けると予想される愛知県と静岡県の4000件の製造業を抽出し、調査票の抽出を行った。製造業は15業種に分類し、それぞれの郵送数が同程度になるようにサンプル抽出作業を行った（調査期間：2003年9月20日 - 2004年2月5日）。回答数は全部で725通（回収率約18.12%）であり、県別、製造業別内

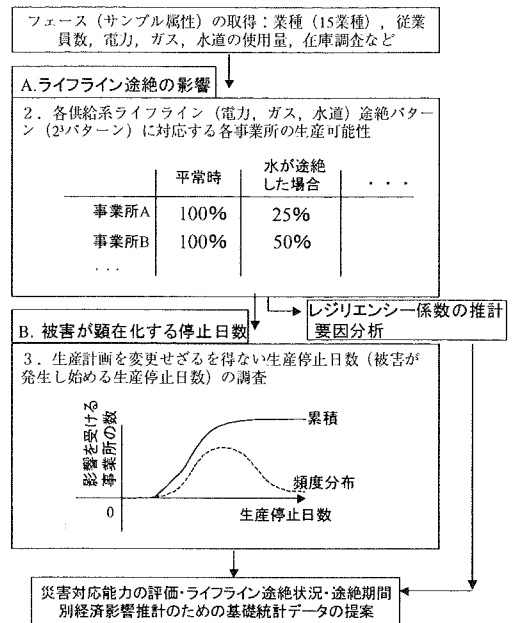


図1 調査・分析のフロー

訳を表2に示す。母数自体が小さい化学製品や石油・石炭製品に対しても送付先の事業所の抽出率を大きくすることで産業別のサンプル数の平滑を図っており、全事業所数に占めるサンプル数の割合にも反映されていることが分かる。

#### 3.2 業種別属性の1次集計結果

業種別属性の調査結果として重要なものを以下に示す。まず、サンプルデータの活動規模を調べるため、業種別の従業員数を図2にまとめた。

産業ごとにばらつきがあるものの、おおよそ様々な活動規模の産業からサンプルが得られたと考えられる。

図3は業種別の電力、水、ガスの供給源とその利用割合を示したものである。いわゆるライフラインとしてネットワーク型のシステムを構成しているもの（以下、系統と総称する）が、系統電力、都市ガス、上水道、工業用水に相当し、これら供給源への依存割合が途絶抵抗の大きさにも影響を及ぼすと考えられる。系統電力への依存割合の最も小さい産業として石油・石炭製品、上水道、工

表2 サンプルの内訳

	愛知県	静岡県	平成13年 事業所数	サンプル数/ 総事業所数
食料品	40	32	7041	1.023%
繊維製品	27	19	11345	0.405%
木材・木製品	12	10	2344	0.939%
窯業・土石製品	39	6	3492	1.289%
紙・パルプ	14	10	2140	1.121%
化学	33	25	758	7.652%
石炭・石油製品	13	5	113	15.929%
金属製品	65	30	9650	0.984%
鉄鋼	15	6	1077	1.950%
非鉄金属	19	10	777	3.732%
一般機械	24	14	11463	0.332%
精密機械	14	7	673	3.120%
電気機械	25	18	4025	1.068%
輸送機械	45	28	6511	1.121%
その他	76	44	18717	0.641%
合計	461	264	80126	0.905%

(平成13年事業所数は文献<sup>1)</sup>より算出)

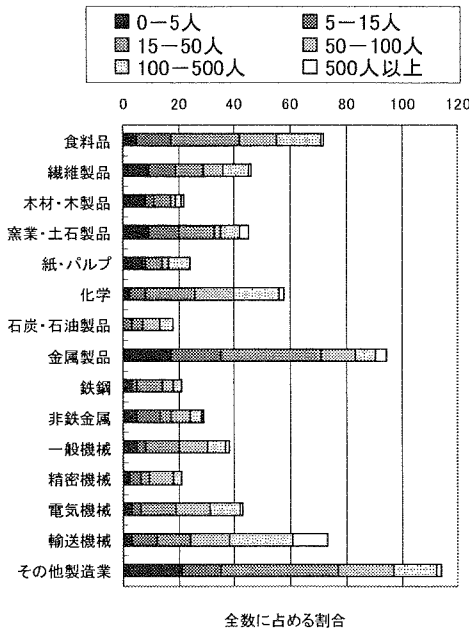


図2 企業数の従業員数別内訳

業用水への依存割合の最も小さな産業として食料品が挙げられる。都市ガスへの依存割合は電力や水に比べ各産業とも小さな値となっている。

一方、各産業が電力、水、ガスの用途を示したものが図4に相当する。電力は生産機材やコンピューター関連をはじめ、自動ドア、空調、エレベーター、ポンプなど幅広く用いられている。食料品、鉄鋼、

化学においては、貯蔵庫への利用が比較的大きな割合を占めている。水は生産機材、冷却水、トイレ用水としての利用に加え、食料品などでは原材料としても利用されている。ガスは、生産機材、空調、厨房などの生活関連に主に用いられているが、輸送機械・化学・その他製造業では発電用としても用いられていることが分かる。

最後に生産停止日数の影響を緩和する要因の一つとなりうる製品在庫量を図5に示す。繊維製品、木材木製品、窯業土石、紙・パルプなどは数ヶ月分の製品在庫を抱えている事業所の割合が多く、生産停止の影響もある程度緩和されることが予想される。しかし、一般機械をはじめとする機械産業は製品在庫をほとんど抱えていない企業が多く、生産停止の影響が停止後の早い段階で現れるものと考えられる。

#### 4. 途絶抵抗係数の推計と要因分析

##### 4.1 途絶抵抗係数推計結果

図1における設問2：生産への影響調査の結果を用い、製造業別途絶係数を求める。まず、本研究では産業部門*i*に分類される事業所*j*の途絶抵抗係数を以下のように定義する。

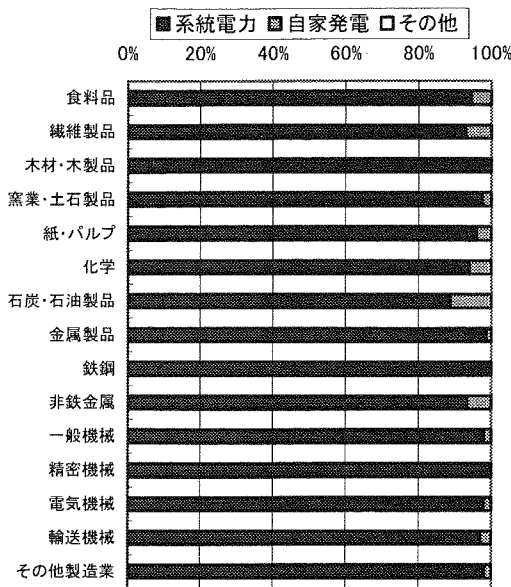
$$RF_i^j = f_i^j(\xi | \mathbf{x}) \tag{1}$$

$$\mathbf{x} = \{E, W, G\} \tag{2}$$

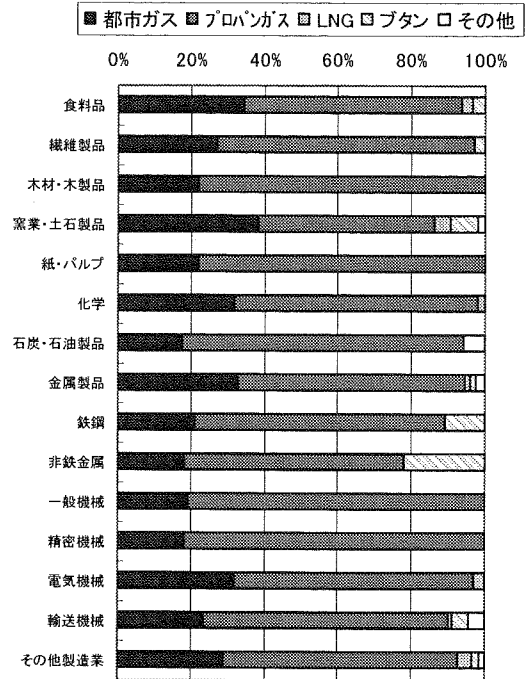
ここで、 $f_i^j(\xi | \mathbf{x})$ はライフラインの供給状態  $\mathbf{x}$ のもとでのどの程度生産活動可能かを示す指標であり、0(生産不可能)、1(通常時の生産レベル)の間の値をとる。また、 $\xi$ は事業所の属性、 $E, W, G$ は電力、水道、ガスの供給状態を表す変数である。*i*産業全体の途絶抵抗係数を各事業所の途絶抵抗係数の平均値として表現すると

$$RF_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n RF_i^j \tag{3}$$

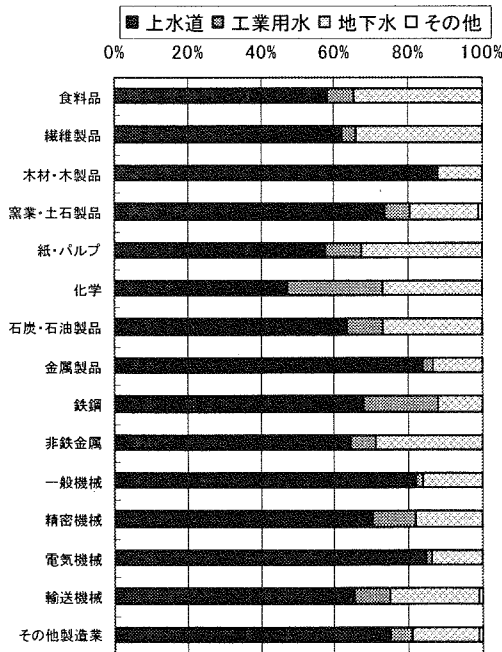
となる。以上の式に基づき製造業種別に求めた結果が表3に相当する(有効サンプル数469)。表3の*E, W, G*は電力、水、ガスに相当し、全体の列



a) 電力の供給源



c) ガスの供給源

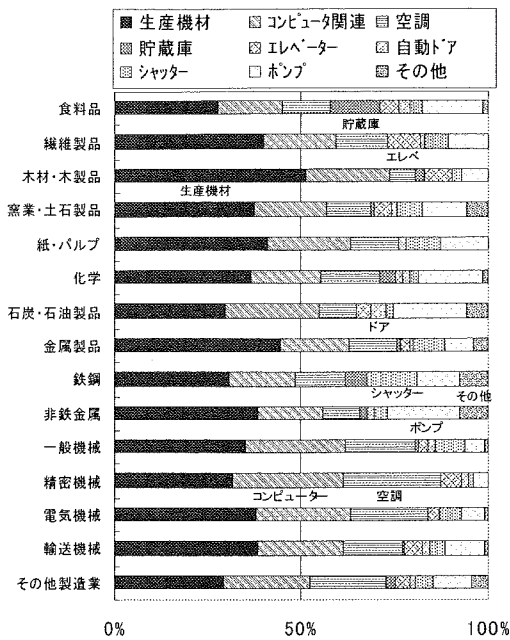


b) 水の供給源

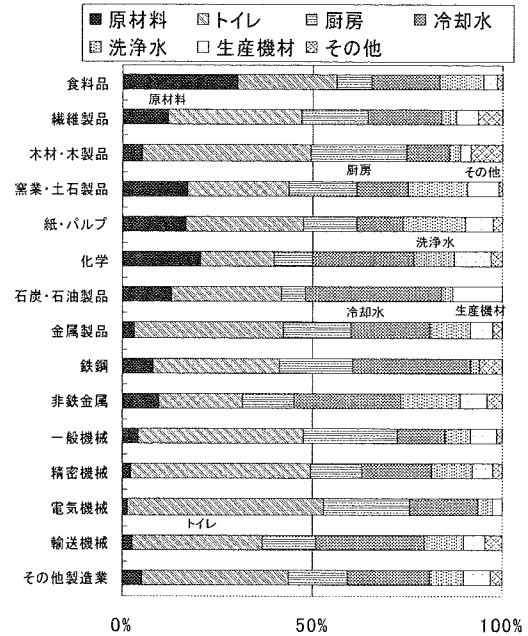
図3 電力、水、ガスの供給源

に着目すると、電力、水、ガスの順に途絶の影響が大きくなっていることが分かる。特に電力途絶の影響が大きく、他のライフラインが供給された状況でも電力が途絶すると生産レベルが極端に小さくなる。石油・石炭製品(0.1818)が最も途絶抵抗の大きな産業であるが、これは系統電力への依存割合が小さかったことから妥当な結果と考えられる。逆に他のライフラインが途絶した状況において、電力さえ供給されれば生産レベルが高くなる産業も存在し、そのような産業として、木材・木製品(0.9063)、繊維製品(0.7328)が挙げられる。

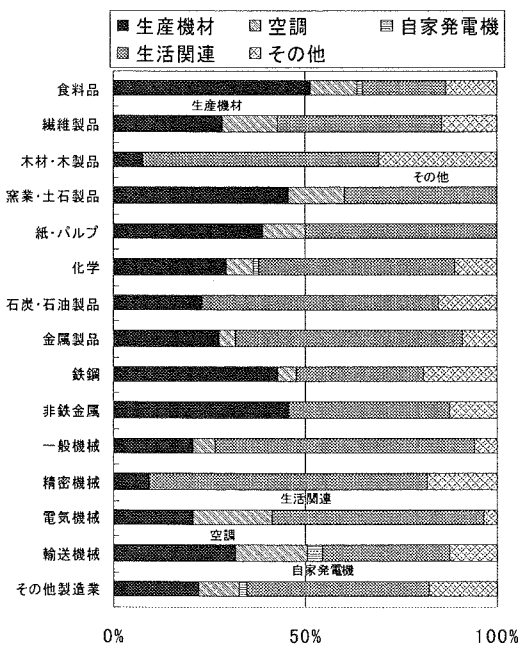
水の供給支障のみが発生した状況で最も影響を受けるのは化学製品(0.3571)であり、続いて窯業土石(0.4196)、非鉄金属(0.4211)、食料品(0.4323)となる。逆に水の供給支障が発生した場合でも木材・木製品(0.9063)は高い生産レベルを保つ結果となった。また、ガスが途絶した場合



a) 電力の主な用途



c) ガスの主な用途



b) 水の主な用途

図4 電力, 水, ガスの主な用途として挙げられた項目の集計数の割合

に大きな影響を受ける産業として輸送機械 (0.5573) が挙げられ, 続いて窯業土石 (0.5862), 食料品 (0.6302) となっている。さらに, 平均値の欄に着目すると, 全般的な傾向として窯業土石製品, 食料品の途絶抵抗係数が小さく, 木材・木製品, 繊維製品の途絶抵抗係数は大きくなる結果となった。

最後に, ATC-25 より算出された途絶抵抗係数 (表1) との比較について述べる。

表1における製造業全体の途絶抵抗係数の値は, 電力 (0.02), 水 (0.36), ガス (0.58) となっており, 愛知県・静岡県の途絶抵抗係数と同様に電力, 水, ガスの順に影響が大きくなっている。しかし表3に比べ, 表1の方が全般的に小さくなっており, これは自家発電や地下水, プロパンガスなどの系統に依存しない供給源の導入状況, あるいは省エネ技術, 水のリサイクル技術の違いなどが影響しているものと考えられる。

表3 ライフライン途絶抵抗係数推計結果（○：供給支障なし，×：供給支障あり）

	E×WOGO	EOW×GO	EOWOG×	EOW×G×	E×WOG×	E×W×GO	E×W×G×	平均値	サンプル数
食料品	0.0429	0.4323	0.6302	0.3883	0.0372	0.0106	0.0000	0.2202	51
繊維製品	0.0776	0.7241	0.8276	0.7328	0.1121	0.0776	0.0690	0.3744	29
木材・木製品	0.0625	0.9063	1.0000	0.9063	0.0625	0.0625	0.0625	0.4375	11
窯業・土石製品	0.0345	0.4196	0.5862	0.3534	0.0862	0.0259	0.0172	0.2176	30
紙・パルプ	0.0313	0.5938	0.7969	0.5938	0.0167	0.0156	0.0156	0.2948	17
化学	0.0786	0.3571	0.7353	0.3286	0.0571	0.0588	0.0500	0.2379	35
石炭・石油製品	0.1818	0.7045	1.0000	0.7045	0.1818	0.0000	0.0000	0.3961	11
金属製品	0.0381	0.6519	0.7219	0.6088	0.0424	0.0216	0.0212	0.3008	61
鉄鋼	0.0000	0.5000	0.6964	0.4107	0.0000	0.0000	0.0000	0.2296	15
非鉄金属	0.0500	0.4211	0.6947	0.3684	0.0526	0.1053	0.0526	0.2492	21
一般機械	0.0417	0.6067	0.8636	0.6113	0.0109	0.0000	0.0000	0.3049	25
精密機械	0.0417	0.6875	0.9167	0.6667	0.0625	0.0208	0.0083	0.3435	12
電気機械	0.0662	0.7353	0.8897	0.7059	0.0303	0.0441	0.0368	0.3583	34
輸送機械	0.0313	0.5426	0.5573	0.4427	0.0208	0.0213	0.0104	0.2323	49
その他製造業	0.0708	0.4750	0.6653	0.4083	0.0833	0.0805	0.0410	0.2606	62
全体	0.0533	0.5533	0.7235	0.5093	0.0537	0.0387	0.0260	0.2797	469

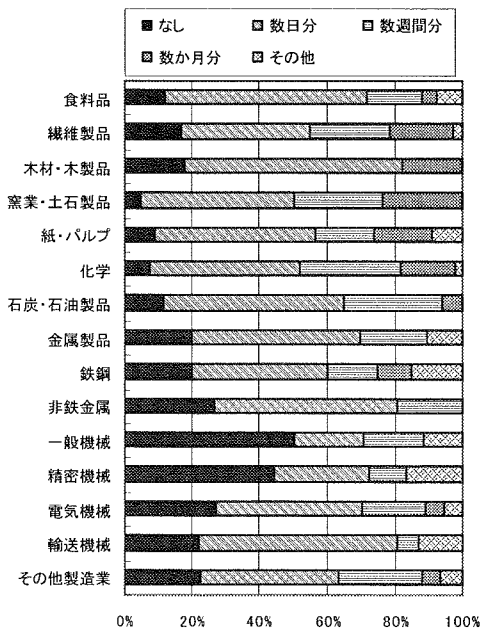


図5 産業別の製品在庫量

産業分類別の途絶抵抗係数に着目すると、ATC-25では、愛知県・静岡県と同様に木材・木製品、繊維製品の途絶抵抗が最も大きくなっている。産業特性として木材・木製品、繊維製品は他の製造業に比べて供給系ライフラインに依存しない性質を持つことが分かる。一方、愛知県・静岡

県では小さな途絶抵抗係数の値をもつ食料品と窯業・土石産業は、ATC-25において比較的大きな値を取っており、地域的な差異が存在しているものと考えられる。

#### 4.2 ライフライン途絶の相互作用

3.1で利用した調査結果は電力、水、ガスそれぞれについて途絶、あるいは供給可能どちらかの状態を設定しており、これは実験計画分野における $2^3$ （二水準三要素）要因配置計画に相当する。基本的に、 $2^3$ 要因配置計画は、単独のライフライン途絶の効果だけではなく、同時途絶のような相互作用効果を評価することを目的として用いられる。例えば、電力・ガスが単独で途絶した場合の途絶抵抗係数の値はそれぞれ0.75であったとしても、同時に途絶した場合の係数の値が0.5より小さい値を取る、あるいは逆に大きな値を取り、単独ライフライン途絶影響と線形的な関係にならないことが相互作用効果に相当する。しかし、途絶抵抗係数の値は0から1までの範囲で標準化されているため、係数の値によっては、相互作用効果の存在は明らかな項目も存在する。この点を踏まえ、以下では、実験計画法における代表的な手法である重回帰式を基にした分散分析を行う。

まず、途絶抵抗係数を被説明変数、ライフラインの供給状態を説明変数とした以下の回帰式を想



定する。

$$RF_i^j = 1 + aA + bB + cC + dAB + eAC + gBC + hABC + \epsilon \quad (4)$$

ここで、A：停電 B：水供給停止 C：ガス供給停止を表しそれぞれ0：供給されている状態、1：途絶している状態の2つの値をとる。AB, AC, BC, ABCはそれぞれ相互作用項を表し、変数A, B, Cの積の値をとる。aからhまでの変数が最小二乗法などで推計されるパラメーターである。また、εは平均値が0となる正規分布に従うと仮定する。分散分析結果、パラメーター値の推定結果を表4と表5にそれぞれ示す。

表4の結果から、レジリエンシー係数の変動に最も影響を与えている項目は電力であり、他のラ

イフライン途絶状況に関わらず、電力供給状態が生産活動に大きく影響していることが分かる。次に大きな影響を及ぼしているのは、水の供給停止、電力と水の相互作用項となる。電力と水の供給状態の組み合わせが生産状況に大きく影響していることがうかがえる。

さらに、表5の水とガスの相互作用項に着目する。水・ガスの単独途絶による影響は-0.475、-0.318となるため、同時途絶による影響を単純な線形和で算出すると-0.892の影響が発生することになる。しかし、相互作用項が0.277の値を取っているため、実際の影響の大きさは-0.625となる。

さて、表6は様々なライフライン途絶状況下において各ライフラインが復旧した場合における途絶抵抗係数の変化を示す。これは、表5の結果に

表4 分散分析結果

	自由度	二乗和	平均二乗和	F値	P値
A	1	1718.79	1718.79	18488.75	0.00
B	1	159.52	159.52	1715.90	0.00
C	1	44.41	44.41	477.75	0.00
AB	1	48.28	48.28	519.29	0.00
AC	1	13.60	13.60	146.25	0.00
BC	1	6.39	6.39	68.71	0.00
ABC	1	5.53	5.53	59.52	0.00
残差	3262	303.25	0.09		

A：停電 B：水供給停止 C：ガス供給停止，AB・AC・BC・ABC：相互作用項

表5 回帰式推計結果

変数	パラメーター値	標準偏差	t値	P値
A	-0.949	0.014	-67	0
B	-0.475	0.014	-34	0
C	-0.318	0.014	-23	0
AB	0.461	0.024	19	0
AC	0.318	0.024	13	0
BC	0.277	0.024	11	0
ABC	-0.288	0.037	-8	0
残差の標準偏差			0.305	
R2(説明係数)			0.868	

表6 ライフライン復旧による途絶抵抗係数の変化

		電力の復旧	水の復旧	ガスの復旧
復旧前の状況	E×W×G×	+0.458	+0.026	+0.012
	E○W×G×	-	+0.199	+0.042
	E×W○G×	+0.631	-	0
	E×W×G○	+0.489	+0.015	-
	E×W○G○	+0.949	-	-
	E○W×G○	-	+0.475	-
	E○W○G×	-	-	+0.318
	E○W○G○	-	-	-

基づき算出したものである。表6の結果から分かるように、全てのライフラインが被災した状況においては電力を回復させることが生産制約を解消する上で最も効果的であり、つづいて水、ガスの順に復旧させることが効果的となった。一方、他のライフラインの被災した状況において、ガスの途絶はそれほど大きな影響を生産に及ぼさないことが分かる。この結果は、全業種を集約した内容であるため、各業種では異なる結果になる可能性がある。そこで、ガス発電による電力供給割合が大きかった輸送機械産業の途絶抵抗係数(表3)に着目すると、電力・ガスの供給がない場合(0.0208)に比べ、電力のみの供給がない場合(0.0313)の方がやや大きな係数の値となっている。わずかではあるが、ガスによる電力の代替効果が発揮されている可能性が考えられる。

#### 4.3 生産停止後の被害顕在化までの日数について

ライフライン途絶は製造業の生産停止の大きな要因となり、途絶後の復旧が長引けばそれだけ経済的損失が拡大する。一方、2.3で述べたように取引形態やライン稼働状態の関係などにより、ある程度の生産停止は許容することが可能な事業所も存在すると考えられる。そこで、本調査では生産停止が発生した状況を想定し、受注キャンセルなどの被害が顕在化する生産停止日数について設問を行った。

図6が業種別にクロス集計した結果である。この結果によると、食料品、金属製品、輸送機械は比較的短い停止日数で生産計画に影響が生じ、被害が顕在化する。一方、精密機械、木材・木製品、窯業・土石、石油・石炭製品は、受注から発送までに比較的余裕のある産業と考えられ、2、3日程度の生産停止日数の影響は他の産業よりも小さくなる結果となった。また、「在庫量なし」あるいは「数日分」と回答した企業の割合と被害が顕在化するまでの平均日数との相関係数は $-0.03$ となり、在庫量の豊富さが被害の軽減に寄与しているとはいえない結果となった。この点についてはさらなる調査が必要と考える。

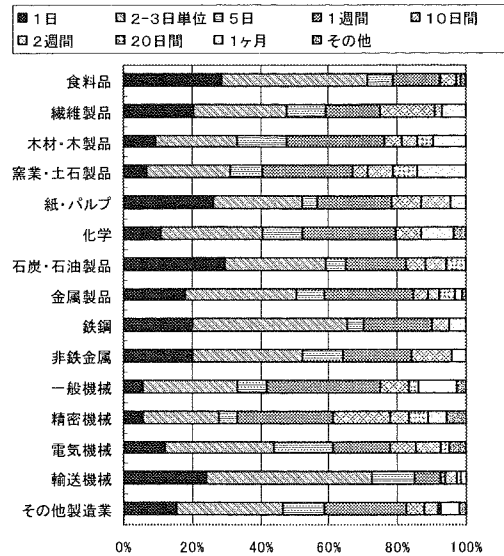


図6 被害が顕在化するまでの日数

表7 産業別の途絶抵抗係数と被害の顕在化する日数の関係

	被害が顕在化する日数 (平均日数)	途絶抵抗係数 (平均値)
食料品	3.40	0.220
繊維製品	6.16	0.374
木材・木製品	11.12	0.438
窯業・土石製品	9.79	0.218
紙・パルプ	7.65	0.295
化学	6.65	0.238
石炭・石油製品	9.62	0.396
金属製品	4.24	0.301
鉄鋼	9.18	0.230
非鉄金属	7.64	0.249
一般機械	8.74	0.305
精密機械	11.24	0.343
電気機械	5.47	0.358
輸送機械	4.48	0.232
その他製造業	4.54	0.261

最後に、レジリエンス係数の平均値と被害が顕在化するまでの日数の平均値を産業別に集計した結果を表7に示す。食料品、輸送機械などは生産停止継続だけでなく、ライフライン途絶に対しても脆弱な産業となっている。一方、木材・木製品、石油・石炭製品などはライフライン途絶と生産停止継続の両方に対して抵抗力のある産業と考

えられる。

## 5. まとめ

本研究では災害時の供給系ライフライン（電力、水道、ガス）途絶に伴う経済被害を推計するための指標として途絶抵抗係数に着目し、愛知県・静岡県製の製造業を対象とした調査・分析を行った。この指標は、リサイクル・省エネ技術の進展状況、エネルギーの代替性や供給源の多様化による災害対応能力を反映する指標であり、地域全体のライフライン途絶に対するミチゲーション能力を評価する上で重要と考えられる。また、複数ライフラインの相互作用や生産停止日数の影響は線形性や時間的な平滑化を行っている産業連関分析では検討することができず、現地調査を通じた指標の作成が望まれている点についても指摘した。

途絶抵抗係数を推計した結果、産業別のライフライン途絶への対応能力や同時途絶を含めたライフライン途絶の影響が定量的に評価された。例えば、水道ライフライン途絶に対して最も脆弱な産業として化学、ガスが途絶した場合に最も大きな影響を受ける産業として輸送機械が挙げられた。一方、電力の途絶に対してはほとんどの産業において途絶抵抗係数が極めて小さい結果となった。このことは分散分析結果からも確認された。つまり、電力供給状態は最も影響が大きく、続いて水の供給停止、電力供給状態と水供給状態の相互作用項がデータの変動に大きな影響を与える結果となった。一方、ガスの途絶は他のライフラインの途絶した状況ではそれほど大きな影響を及ぼさないことが示された。

次いで、生産計画の変更を余儀なくされ、被害が顕在化する生産停止日数についての調査結果をまとめた。その結果、食料品、金属製品、輸送機械は比較的短い停止日数で、受注分のキャンセルや新規受注のキャンセルをする必要が生じ、生産停止の影響が比較的早い時期に表面化することが示された。一方、精密機械、木材・木製品、窯業・土石は、受注から発送までに比較的余裕のある産業と考えられ、生産停止の影響は他の産業よりも小さくなることが示された。

以上、本研究では、経済被害推計のための基礎データとなる途絶抵抗係数や生産停止日数の影響について推計・分析を行った。これら情報は、ライフライン途絶の経済被害を分析する上で有効に活用され得ると考えられる。今後、非製造業、家計を対象とした調査、その他地域における調査との比較、実際に影響を受けた地域での調査など、実証分析の積み重ねが重要と考えられる。また、非常用電源や貯水槽の容量などを考慮した、より短期的なライフライン途絶への対応力評価についても検討を行うことが重要と考えられる。

## 参考文献

- 1) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：ライフライン施設の被害と復旧，1997.
- 2) 能島暢呂・亀田弘行・林春男：地震時のライフライン機能障害に対する利用者の対応システムを考慮した生活支障の評価法，地域安全学会第3回研究発表会，地域安全学会論文報告集，pp.195-202，1993.
- 3) 塩野計司・朱牟田善治：ユーティリティの侵害による住民の生活支障—調査・予測の方法と簡単な応用例—自然災害科学，Vol.13 No.2，pp. 193-202，1994.
- 4) 日本エネルギー経済研究所：「東京圏における大規模停電の生活，経済影響調査」，IEE SR255，1994.
- 5) Applied Technology Council: Earthquake damage evaluation data for California, ATC-13, Redwood City, California, 1985.
- 6) Applied Technology Council: Seismic vulnerability and impact of disruption of lifelines in the conterminous United States, ATC-25, Redwood City, California, 1991.
- 7) Chang, S.: Direct economic impacts, Ch6 in Engineering and Socioeconomic Impacts of Earthquakes (Shinozuka M, Rose A, Eguchi R. eds.), Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, 1998.
- 8) Rose, A., Benavides, J., Chang, S., Szczesniak, P., Lim, D.: The regional economic impact of an earthquake: direct and indirect effects of electricity utility damages, Journal of Regional Science, Vol.37, No.3, pp. 437-458, 1997.
- 9) Risk Management Solutions, Inc: What if the

- 1923 earthquake strikes, again? A five-prefecture Tokyo region scenario, Risk Management Solutions, Menlo Park, California, 1995.
- 10) Montgomery, D.: Design and analysis of experiments 4<sup>th</sup> edition, 1997.
- 11) 愛知県統計年鑑：http://www.pref.aichi.jp/toukei/jyoho/nenkan/nenkan.html, 2003.
- 12) 梶谷義雄・多々納裕一・山野紀彦・朱牟田善治：災害時における供給系ライフライン途絶の被害影響に関する調査－東海地域の製造業を対象としたアンケート調査－，電力中央研究所調査報告（UO3061），2004.
- （投稿受理：平成16年6月24日  
訂正稿受理：平成16年11月26日）

## 付録：調査票

### 設問 A

系統電力・水道（上水道・工業用水）・都市ガスが様々なパターンで供給停止した場合を想定していただきます，それぞれのパターンについて生産活動をおよそどの程度行えるかお知らせください。なお，貴社の行っている停電対策やガス・水の供給停止対策の効果は考慮してください。（例えば，A社は地下水を汲み上げており，ガスと水が停止しても電力があれば50%くらいの生産は可能，B社は停電が発生しても灯油などにより自家発電が可能などと想定していただければ幸いです。）ただし，数時間，数日で効果がなくなるものは除外し，継続的に利用できる対策のみを考慮してください。また，従業員や交通の問題は発生していません。

以下，それぞれのパターンについて生産活動を 1. 停止，2.（通常時に比べ）約25%行う，3. 約50%行う 4. 約75%行う 5. ほぼ影響なし，のうち最も近いと思われるものをお選びください。また，より正確と思われる数値が想定できれば6.（ ）にその数字を御記入ください。

停電のみ発生した場合 (電力×, ガス○, 水○)	断水のみ発生した場合 (電力○, ガス○, 水×)	ガス停止のみ発生 (電力○, ガス×, 水○)	電力のみ使用可能 (電力○, ガス×, 水×)	水のみ使用できる場合 (電力×, ガス×, 水○)	ガスのみ使用可能 (電力×, ガス○, 水×)	何も使用できない場合 (電力×, ガス×, 水×)
1. 停止	1. 停止	1. 停止	1. 停止	1. 停止	1. 停止	1. 停止
2. 約25%	2. 約25%	2. 約25%	2. 約25%	2. 約25%	2. 約25%	2. 約25%
3. 約50%	3. 約50%	3. 約50%	3. 約50%	3. 約50%	3. 約50%	3. 約50%
4. 約75%	4. 約75%	4. 約75%	4. 約75%	4. 約75%	4. 約75%	4. 約75%
5. 影響なし	5. 影響なし	5. 影響なし	5. 影響なし	5. 影響なし	5. 影響なし	5. 影響なし
6. ( )%	6. ( )%	6. ( )%	6. ( )%	6. ( )%	6. ( )%	6. ( )%

### 設問 B

ある一定期間以上生産停止が発生した場合，その影響はどのようになりそうかについてお答えください。災害時を想定し，生産停止は突然発生するものとします。

貴社で計画されていた生産計画（受注分）をキャンセルし，その分の損害が発生するのは，生産停止がどれくらいの期間に亘って継続しそうな場合かについてお知らせください。

1. 1日 2. 2-3日 3. 5日, 4. 1週間 5. 10日間 6. 2週間  
7. 20日間 8. 1ヶ月 9. それ以上（ ）生産停止期間が続きそうであれば，これまでの生産計画（受注分）をキャンセルする。