

# 災害時の複数供給系ライフライン途絶による住民への経済影響の調査\*

Survey of Economic Impacts on Residents Caused by Multiple Lifeline Disruptions under a Disaster \*

梶谷義雄\*\*・多々納裕一\*\*\*

By Yoshio KAJITANI \*\*・Hirokazu TATANO\*\*\*

## 1. はじめに

人口の減少・建設投資の削減に伴い、ライフライン施設の整備・保全是、今後ますます精査して行う必要があると考えられる。特に、これまで構築してきた膨大な施設は、常に劣化や災害リスクにさらされており、これらリスクからライフライン施設を「守る便益（リスク軽減の便益）」を適切に算定し、必要な施設投資額を確保していかなければならない。

災害などによるライフライン施設の被害は、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。従って、そのリスクの計量化には社会経済的な影響評価手法の開発が不可欠となる。ライフラインの大規模な供給停止は、地震などの自然災害の他、渇水や燃料の高騰・逼迫、施設運用の制度、人為的なミスなどによって引き起こされることが予想され、その影響評価法の確立とそれに基づいた対策の決定は、様々な分野において重要な課題となっている。

しかし、心理的不安や生活不便などの計量化が困難とされてきた項目も存在し、ライフライン途絶の影響評価法に関する研究蓄積は十分になされているとはいえない。いくつかある調査・分析事例に関しても、こうした非物理的な現象に対する分析方法にコンセンサスが得られておらず、手法の改善が必要とされている。また、都市近傍における地震災害の場合、複数のライフラインが同時に途絶し、その復旧には多大な時間がかかる場合が多いが、こうした状況に対応した評価事例や規範となる調査結果は皆無に等しい。

そこで、本研究では、市場取引のない公共財の評価手法として注目されているCVM (Contingent Valuation Method: 仮想市場評価法) を用い、住民を対象としたライフライン途絶による社会経済影響評価を試みる。わが国におけるこの種の調査研究は少なく、当該研究分野における調査事例の蓄積を第一の目的とする。一方、複数のライフラインが同時に途絶するような状況や1週間を

超えるようなある程度長期的な途絶期間についても対応できるような影響評価手法について検討し、そのための調査方法についても提案を行う

## 2. ライフライン途絶の社会経済影響に関する既往の研究

完全復旧まで 13 日間を要したロチェスター大停電（米、ニューヨーク州、1991）や最大 42 日間の取水制限が行われた首都圏渇水（東京他、1996）など、ライフラインの供給停止は世界各地で発生しており、その影響の大きさについて議論が行われてきた。一般に、このようなライフライン途絶による社会経済影響は、産業への影響と住民への影響に大別され、世界各国において様々な調査や研究がなされてきた。以下では、住民への影響について分析した研究事例を紹介する。

例えば、日本水道協会<sup>1)</sup>が策定している水道事業の費用便益マニュアルでは、住民への影響についても検討がなされており、給水制限率ごとの被害原単位（円/戸・日）が決められている。近年の渇水被害の分析に基づく被害原単位の参考値として、たとえば、給水制限率が30%の場合における一戸あたり一日の被害額は 800 円となっているが、基本的にこの値は当該地域の事情に基づき設定することが推奨されている。

また、Lawton et al.<sup>2)</sup> (2003)では、1989年、1993年、1997年、1999年、2000年に北米の様々な地域で行われた調査を集約し、全 42826 件のサンプルをもとに、停電回避への WTP を計算している。その結果、夏の午後発生する 1 時間の停電に対しては、WTP が 2.90 \$ と最も安く、冬の午後発生する 8 時間の停電に対しては 8.32 \$ と最も高くなる結果が得られている。

地震災害時における複数ライフラインの途絶の影響を対象とした研究も存在する。主に住民の生活支障が取り上げられ、住民への意識調査アンケートに基づき、各ライフラインの影響の大きさ（生活支障度合い）が分析されてきた。しかし、便益評価指標との整合性が明らかではなく、実務へ適用するための方式は確立されていない状況にある<sup>3) 4)</sup>。

このように、停電（電力）、渇水（水）、地震（電力、ガス、水、その他）などの様々な現象を対象に、ライフライン途絶による社会・経済影響評価がなされてきたが、調査・分析手法に関する議論も少なく、標準的なものは

\*キーワード：複数ライフライン途絶、住民影響、CVM

\*\*正員 工博 電力中央研究所 地球工学研究所  
(〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646, Tel 0471-82-1181)

\*\*\*正員 工博 京都大学 防災研究所

存在しない。影響法を確立するためには被害事例の事後分析や、住民の意識調査を積み重ねながら、データベース・分析手法を発展させていく必要がある。

さらに、これまでの研究では主に途絶したライフライン被害の影響に焦点が当てられてきた。停電した際に、ガスが供給されていることの便益や他のライフラインが途絶した中での電力の復旧の意義についてはこれまで検討されていない。

### 3. 複数ライフライン途絶を考慮した途絶回避のための支払い意思額関数

以下では、Hanneman 型のランダム効用理論に基づいた複数ライフライン途絶回避に対する家計の意思決定プロセスをモデル化する。まず、家計の間接効用関数を  $V(y, Q, \xi)$  と定義する。ただし、 $y$ : 所得、 $Q$ : ライフラインの供給状態、 $\xi$ : 個人属性をあらわす。ここで、災害などにより、ライフラインの供給状態が確定的に  $Q^i$  になるケースを想定する。これに対し、各家計の選択肢として以下の3つのケースを考える。

- ・ ケース 1: ある費用  $T$  を負担する代わりに途絶状態が  $Q^0$  に緩和される。
- ・ ケース 2: 途絶状態  $Q^1$  を受け入れる
- ・ ケース 3: 途絶状態は  $Q^2$  に悪化するがその代わりに費用  $T$  を補償してもらう

このとき、各選択肢に対する家計の間接効用関数  $V_1, V_2, V_3$  を、

$$V_1 = f(y - T, Q^0, \xi) + \epsilon_1 \quad (1)$$

$$V_2 = f(y, Q^1, \xi) + \epsilon_2 \quad (2)$$

$$V_3 = f(y + T', Q^2, \xi) + \epsilon_3 \quad (3)$$

と設定する。 $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$  は誤差項をあらわし、ガンベル分布を仮定する。

このとき、途絶回避に対する WTP、途絶期間延長に対する WTA の中央値はそれぞれ、

$$WTP_{med} = \{T \mid V_1 = V_3\} \quad (4)$$

$$WTA_{med} = \{T' \mid V_2 = V_3\} \quad (5)$$

となる。また、期待値は、

$$\begin{aligned} Exp(WTP) &= \int_0^{T_{max}} TF'(t) dt \\ &= T_{max} - \int_0^{T_{max}} F(t) dt \end{aligned} \quad (6)$$

で表される。ただし、

$$F(T) = 1 - Pr(s|T) \quad (7)$$

となる。

さて、ライフライン途絶による住民への影響は、その途絶時間、途絶パターンに応じて変化することが予想

される。たとえば同じ数時間の途絶時間でも最初の数日は許容可能な場合も考えられるが、1週間も途絶がのびれば、居住地域を一時的に変更するなどの費用負担をしてでもその状態を回避しようとするかもしれない。また、地震災害などの場合は複数ライフラインが同時に途絶しているようなケースも考えられる。そこで、特定のライフラインの早期復旧に対する限界WTP ( $MWTP$ : 1日あたりの復旧に対するWTP) の値を推計する必要がある。

ライフライン供給状態  $Q$  を、電力 ( $E$ )、水 ( $W$ )、ガス ( $G$ ) の複数考慮し、 $Q = (E, W, G)$  で定義する。 $MWTP$  は、途絶してからの経過時間とそのときにおける他のライフラインの途絶状態 (回復済、未回復) によって決定されるとする。すなわち、被害を受けてから時刻  $t$  まで途絶しているあるライフライン  $\alpha$  の回復に対する  $MWTP_\alpha$  は以下の式で表される。

$$MWTP_\alpha(t|E, W, G) = \frac{\partial WTP_\alpha(t|E, W, G)}{\partial t} \quad (8)$$

ここで、 $E, W, G$  はそれぞれ電力、ガス、水道の途絶状態を表すものとする。 $MWTP$  は、全ライフラインの予想途絶時間に依存する可能性も十分考えられるが、データの制約を考慮して、予想途絶時間の影響は無視できるぐらい小さいものと仮定した。さらに、途絶時間と途絶状態のみをある時間区間内 ( $t' < t < t''$ ) において  $MWTP_\alpha$  が一定の値を取ると仮定と仮定した場合、

$$\begin{aligned} MWTP_\alpha(t|E, W, G) \\ = \frac{WTP_\alpha(t''|E, W, G) - WTP_\alpha(t'|E, W, G)}{t'' - t'} \end{aligned} \quad (9)$$

で推計される。

## 4. 調査法と推計結果

### 4.1 調査法

様々なライフライン途絶パターンに対するWTP関数を作成するため、表1に示すような各ライフラインの途絶期間の異なる3種類の途絶パターンを設定し、それぞれの回避オプション、延期オプションに対して、提示額  $T$ 、補償額  $T'$  の値が異なる調査票を作成した。

途絶期間は静岡県や愛知県でなされている被害想定結果などから任意に設定した。提示額については、プレテストとして25-50歳の男女あわせて8名に支払意思額そのものを尋ね、得られた結果に基づき、その値を設定した。また、想定される地震災害が、春夏秋冬のいつにやってくるかは分からないことを明記し、季節に関する議論を避けることを意図した。さらに、調査票には東海・東南海地震の発生を予想した想定結果のみを記載し、数日以内にそうした地震が必ず発生するものとした。これにより、災害到着確率に関する議論を避けることとし

た。調査対象地域は、愛知県・静岡県とし、2960名のサンプルを対象に、2004年9月20日から27日にかけてインターネットを用いた調査を行った。

表1：調査に用いたシナリオ

途絶パターン	設問の分類	対策の内容	支払いあるいは補償の提示額
シナリオA 電力7日、ガス25日、水道25日の途絶	1	完全回避	5, 10, 20万円
	2	全ライフライン5日間復旧日数延長	1, 3万円
		電力途絶のみ回避	5万円
	3	電力のみ5日間復旧日数延長	1万円
		ガス途絶のみ回避	5万円
	4	ガスのみ5日間復旧日数延長	1万円
		水道途絶のみ回避	5万円
	5	水道のみ5日間復旧日数延長	1万円
完全回避		5, 10, 20万円	
シナリオB 電力10日、ガス30日、水道30日の途絶	5	完全回避	5, 10, 20万円
	6	全ライフライン5日間復旧日数延長	5, 7万円
		電力途絶のみ回避	5万円
	7	電力のみ5日間復旧日数延長	5万円
		ガス途絶のみ回避	20万円
	8	ガスのみ5日間復旧日数延長	5万円
		水道途絶のみ回避	10万円
	9	水道のみ5日間復旧日数延長	7万円
完全回避		5, 10, 20万円	
シナリオC 電力14日、ガス50日、水道60日の途絶	9	完全回避	5, 10, 20万円
	10	全ライフライン5日間復旧日数延長	10, 15万円
		電力途絶のみ回避	20万円
	11	電力のみ5日間復旧日数延長	10万円
		ガス途絶のみ回避	15万円
	12	ガスのみ5日間復旧日数延長	5万円
水道途絶のみ回避		20万円	
		水道のみ5日間復旧日数延長	10万円

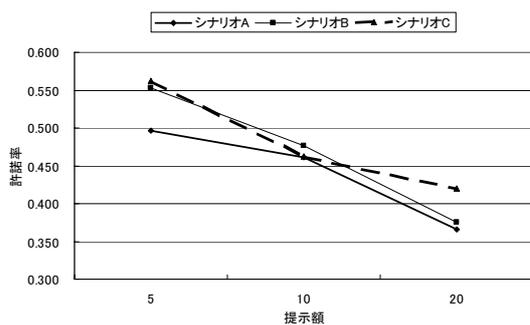


図1：ライフライン途絶回避に対する提示額とその許諾率

さて、図1はシナリオA, B, Cにおけるライフライン途絶完全回避に対する提示額とその許諾率を示したものである。各シナリオにおいて提示額が増加するほど許諾率も減少するという妥当な結果が得られている。許諾率50%周辺に提示額が設定されており、中間値を求め

る上では、概ね妥当な支払意志額が設定されたものと考えられる。また、シナリオA, B, Cの順にライフライン途絶期間が増加するため、スコープテスト<sup>1</sup>の観点からは、同じ提示額に対し、A, B, Cの順に許諾率が高くなる必要がある。図1では、シナリオCの提示額10万円のケースがシナリオBよりも低くなっており、内包関係と不整合となっているが、それ以外については、理論的な問題は生じていない。

## 4.2 推計結果

本小節では、全てのライフライン途絶回避に関する9つのシナリオを基に支払意志額の間接値と平均値を求める。効用関数の形として自然対数、線形、べき乗の3種類を試した結果、べき乗のケースが最も当てはまりがよく、以下の関数形を採用した。

$$V = c + (\alpha + 1)y^M + \beta\xi + \alpha T + \epsilon. \quad (10)$$

ここで、 $\xi$ はその他属性変数のベクトルを意味する。有意とならない変数の除去を行った結果、式(1)においては、回答者の年齢や一緒に居住する幼年者/高齢者の数、貯水タンクの有無が有意になっている。年齢、幼年者/高齢者の数に関しては、ライフライン途絶状態に対する抵抗力が低い人間が家庭内にいるほど途絶回避の傾向にあるためと考えられる。また、貯水タンクがある家庭の方が提示額を許諾する確率が高くなるという結果になった。集合住宅が密集している都市部の代理変数になっており、災害時のライフライン確保に不安を感じる家庭が多いなどの可能性があるが、この点についてはさらなる検討が必要である。式(2)については、地震保険の加入の有無が有意となった。要因は色々あるものと考えられるが、リスクを認識し、事後的に補償を受けることに対して心理的な抵抗が小さいことも理由の一つとして挙げられる。

その他、シナリオに対する代理変数は全て有意となっているが、補償よりも途絶期間を短くするプランの方が選択されやすい結果となった。これはWTPよりもWTAの方が高くなるという一般的なCVM調査の結果と同じ結果である。

尤度比は0.8535となっており、モデルの説明力は決して高いとはいえない。ライフラインの途絶期間を延長するオプションに対して絶対的な拒絶感を持つ家計など、補償型の効用関数では説明できない点が多いものと考えられる。

図2は、得られた結果から提示額と受け入れ確率の

<sup>1</sup>回答者が設問の意図を正確に把握しているかどうかを判断するために、想定する事象間の内包関係などと回答結果に理論的な整合性があるかをチェックするためのテストのこと。

関係を計算した一例である。受け入れ確率は提示額が0の点において1になるように修正を行っている。本調査で設定した上限を超える提示額に対しても受け入れられる可能性が考えられ、今後行われるこの種の調査においては、提示額のより高いものを含める必要があると考えられる。表2にサンプルの中央値となる年間所得 600～700 万円の家計を対象とした、ライフライン途絶回避あるいは途絶時間延長オプションのWTP, WTAの中央値と平均値を示す。一般的にWTPよりもWTAの方が高く、また中央値よりも平均値の方が大きいという一般的な結果が得られた。さらに、より被災度の高いシナリオになる

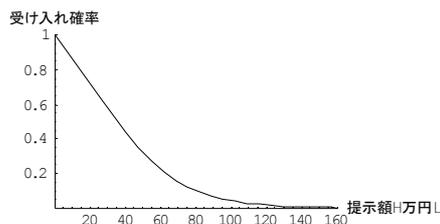


図2：提示額と受け入れ確率の関係（シナリオ A, 所得 650 万円）

表2：各災害シナリオにおける WTP, WTA の推計結果（単位：万円）

	中央値		平均値	
	WTP	WTA	WTP	WTA
シナリオ A	21.69	32.45	29.29	36.83
シナリオ B	23.44	30.28	30.53	35.21
シナリオ C	28.23	28.19	34.07	33.67

に従い、WTPは高く、WTAは小さくなるというシナリオの内包関係を満たす結果が得られた。

## 5. まとめ

以上、地震災害時の複数供給系ライフライン途絶に関するシナリオに基づき、途絶回避あるいは延期オプションに関する調査事例を紹介した。シナリオの設定法、より現実的な対策プランの記述など調査方法に関してはまだまだ改善の余地があり、今後の継続的な調査が必要である。設計紙幅の都合上、個別ライフライン途絶回避オプションに対するWTPや式(10)の推計結果は講演時に譲る。

## 参考文献

- 1) 日本水道協会：水道事業の費用対効果分析マニュアル（案），2000.
- 2) Lawton, L., Sullivan, M., Liere, K.V., Katz, A. and Eto, J.: A Framework and Review of Customer Outage Costs: Integration and Analysis of Electric Utility Outage Cost Surveys, Lawrence Berkeley National Laboratories, LBNL-54365, 2003.
- 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) 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.

## 災害時の複数供給系ライフライン途絶による住民への経済影響の調査\*

梶谷義雄\*\*・多々納裕一\*\*\*

ライフラインの大規模な供給停止は、地震・渇水などの自然災害の他、燃料の高騰・逼迫、施設運用の制度、人為的なミスなどによって引き起こされることが予想され、その影響評価法の確立とそれに基づいた対策の決定は、様々な分野において重要な課題となってきた。しかし、心理的不安や生活不便などの計量化が困難とされてきた項目も存在し、ライフライン途絶の影響評価法に関する研究蓄積は十分になされているとはいえない。また、阪神大震災や中越地震の際に見られたようなライフラインの同時途絶や数週間を越える長期的途絶を対象とした経済分析はほとんど存在せず、調査、分析の両面において研究の発展が必要とされている。そこで、本研究では、電力、ガス、水道の三種類のライフラインが様々なパターンで途絶した状況を対象とし、各ライフラインの途絶期間に応じた住民への影響が、それぞれどの程度の金銭的価値に相当するかをCVM型アンケート調査によって推計を行った事例を紹介する。

### Survey of Economic Impacts on Residents Caused by Multiple Lifeline Disruptions under a Disaster \*

By Yoshio KAJITANI\*\*・Hirokazu TATANO\*\*\*

Fails of lifeline system can be brought by natural disasters such as earthquakes and droughts, abrupt increase of energy prices, and institutional and human errors. Methodologies for impact evaluation and countermeasures of lifeline disruptions are critical tasks in many fields. However, there are not enough researches to evaluate impacts of lifeline disruptions because the impacts usually include invisible mental aspects. In addition, some of the disruption scenarios such as long-term disruptions and simultaneous lifeline disruptions as in seen the 1995 Hanshin-Awaji Earthquake and 2004 Mid-Niigata Earthquake have not been considered. Therefore, this paper introduce the CVM type of economic impact survey on local residents, considering the various kinds of lifeline disruption scenarios on disruption time and damage patterns of supply-type lifelines.