

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 during a Disaster *

梶谷義雄**・多々納裕一***

By Yoshio KAJITANI **・Hirokazu TATANO***

1. はじめに

ライフラインの大規模な供給停止は、地震等の自然災害の他、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てきた。近年では、2003年に発生した北米やヨーロッパにおける大停電が記憶に新しい。また、2004年の新潟県中越地震においても、ライフラインが長期間途絶する地域が発生している。過去に遡れば、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)などの大規模な供給停止事例が存在する。このようなライフラインの停止による生活や経済への影響は多大であり、それぞれのハザードに対応した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。特に、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ある¹⁾。また、ライフラインが同時に途絶している状況において、ある特定のライフラインが早期に復旧した場合の効果や遅延した場合の影響は、他のライフラインの被害状況にも影響を受けることが予想される。例えば、電力と水を同時に利用する生産設備や生活器具などを考慮すれば、ライフラインが同時に供給されてこそ価値が生じる場合もあるものと考えられる。

そこで、本研究では、複数の供給系ライフラインが同時に途絶するような状況や1週間を越えるような長期的な途絶状況を取り上げ、各世帯のライフラインの途絶を回避するための費用負担額及び遅延に対して要求する補償額をCVM(仮想市場評価法)により調査・検討する。得られた結果から、ライフラインを同時に回復することの効果や特定のライフラインのみを回復することの

効果について検討を行う。また、今後発生するライフライン途絶発生時の被害推計の原単位として本調査手法や結果を活用していくための課題について述べる。

2. 既往の研究と本研究のアプローチ

(1) ライフライン途絶の社会経済的影響に関する既往の研究

一般に、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、世界各国において調査や研究がなされてきた。

産業への影響に関しては、産業活動の停滞による生産額の低下などを対象に研究がなされている。たとえば、停電の影響に関するわが国における先駆的な事例として、アンケート調査で得られた35のサンプルを8産業に分類し、1Kwhあたりの停電による産業別被害額(停電コスト)の計測を行った事例が存在する²⁾。その結果、30分経過時点における停電コストの単純平均が通常料金の60倍に相当するという結論が得られており、諸外国の研究結果と比較しても整合性があるものと結論づけられている。また、日本エネルギー経済研究所³⁾や仲村・山城⁴⁾において国内の産業を対象とした停電コストの計測、蟻生⁵⁾は2003年の北米大停電の産業への影響について分析を行っている。

ATC-13⁶⁾は、地震災害発生時におけるライフライン途絶の経済的影響評価のマニュアル化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ライフライン途絶抵抗係数(Resiliency Factor)が、その後の数多くの災害影響分析に利用されている。これに対し、梶谷ら⁷⁾は、わが国における産業を対象に複数ライフラインが同時に途絶したケースにおけるライフライン途絶抵抗係数の推計や、在庫や生産稼働率の変更などの対応によって許容される途絶期間についても調査を行っている。これらデータを継続的に蓄積していくことが、将来発生する自然災害による経済影響を推計する上で重要であると考えられる。

このようにライフライン途絶の産業への影響を対象とした場合、予想される生産額の減少を被害額とすることが多いため、貨幣尺度への換算という観点では取り扱いやすい。一方、本研究で対象とする一般住民への評価に関しては、心理的な影響を含めて取り扱うことが必要となるため、住民

*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,
TEL047-182-1181, FAX047-184-2941)

***正員 工博 京都大学 防災研究所

の意識調査と社会科学視点を組み合わせることが不可欠となる。

日本水道協会⁸⁾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ら⁹⁾による、停電回避のための住民のWTP(支払意思額)を評価した事例も存在する。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、夏の午後に発生する1時間の停電に対しては、WTPが2.90\$と最も安く、冬の午後に発生する8時間の停電に対しては8.32\$と最も高くなるという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わずかながら存在する。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^{10), 11)}。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原単位としての利用は考慮されていない。

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いるが、地震災害時における複数ライフラインの長期間の途絶を対象に、家計の途絶回避や遅延に対する支払い意思額及び受け入れ補償額を推計するような研究事例は報告されていない。

(2) ライフライン途絶回避・復旧遅延オプション選択モデル

以下では、Hanemann型のランダム効用理論¹²⁾に基づき、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。この際、ライフラインの災害対策水準が低下し、復旧が遅延するようなオプションについても考慮する。

まず、家計の間接効用関数を $f(y, Q, \xi)$ と定義する。ただし、 y : 所得、 Q : ライフラインの供給状態、 ξ : 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^1 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(回避オプション)。
- ・ 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(遅延オプション)

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、本研究では、ガンベル分布(ロジット型)を仮定する。本研究では、式(1)～(3)を途絶回避・復旧遅延オプション選択モデルと呼ぶ。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、

$$WTP_{med} = \{T | V_1 = V_2\} \quad (4)$$

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

となる。また、WTPの期待値は、

$$Exp(WTP) = \int_0^{T_{max}} TF'(T) dT \quad (6)$$

で表される。ただし、

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

となり、 $Pr(S_i | T)$ は提示額 T のもとでのオプション S_i の選択確率を意味する。

3. 調査法と一次分析結果

(1) 調査法

静岡県が東海地震を対象に想定しているライフライン途絶日数¹³⁾をもとに、各家計が直面するライフライン途絶日数に関する三種類のシナリオ(A, B, C)を設定した。各世帯には三種類の途絶シナリオのうちどれか一つのシナリオが提示される。前節の式(1)～(3)において設定したように、提示されたシナリオに対して、各世帯は途絶回避、途絶期間を数日延長させる復旧遅延、回避も遅延も行わない現状維持の3つのオプションが選択可能である。このオプションの組み合わせを12通り設定した。「回避オプション」は提示額のとおり費用負担をすれば全ライフラインに途絶が発生しない完全回避のオプションと各ライフラインのみ途絶を回避することができるオプションを設定した。また、遅延に関しては提示額の補償が得られるが、全ライフラインの復旧が5日間遅延する「遅延オプション」を設定した。以上の災害シナリオおよび各設問における支払いあるいは補償の提示額の組み合わせを表-1に示す。

一つの調査票に、必ず全ライフライン途絶に関する設問(表 1 の設問の分類1, 5, 9)を設け、それ以外の各ライフラインに関する設問はどれか一つのみを設定した。全ライフラインの途絶回避、復旧遅延オプションに対する提示額については、プレテストとして 25-50 歳の男女あわせて 8 名に支払意思額と受け入れ補償額そのものを尋ね、得られた結果に基づき、その値を設定した。各シナリオにおいて回避オプションの提示額を 3 パターン、遅延オプションの提示額を 2 パターン設けたため、合計 6 パターンの組み合わせを考慮したことになる。

一方、各ライフラインの途絶回避、復旧遅延オプションに対する提示額については、各シナリオ 1 パターンずつ全ライフラインに関する提示額の範囲内で任意に設定した。データ数としては、全ライフラインに関するサンプル数の方が圧倒的に多くなるため、効用関数形や所得に関するパラメーターについては、まず全ライフラインに関するデータを用いて推計を行い、得られた結果を各ライフラインの途絶回避・遅延オプション選択モデルの効用関数形等に適用するアプローチをとる。

さらに地震災害発生条件として以下のような設定を行った。まず、想定される地震災害は1年以内に必ず到着することを明記し、季節に関する議論と災害到着確率の不確実性に関する議論を避けることを意図した。また、ライフライン以外の構造物については被害が発生しない、ライフラインの復旧日数に不確実性が発生しないなど、決定的な状況を想定した調査設計を行っている。

以上、状況依存的な提示額選択型の CVM 調査の設計を行ったが、これら調査に伴うバイアス問題やその他調査事例については、参考文献に譲る^{14) - 16)}。調査は愛知・静岡県の家計を対象にインターネットにより実施した(配布数: 2960 件、回収数: 1571 件、調査期間: 2004 年 9 月 20~27 日)。本調査の場合、当該地域に立地する家計に対し、葉書等でアンケート協力依頼を別途送付した上で、Web上の調査票に記入していただいた。回答者の割合は 20 代、30 代、40 代、50 代以上において、それぞれ 12%、31%、24%、32%となっており、20 代からの回答がやや少なくなっている。

(2) 属性変数の特徴

式(1)~(3)を推計する前に、利用する属性変数について紹介する。特に、以下に示す変数は、ライフライン途絶による家計への影響に大きく関連すると考えられる変数についての集計結果である。

- ・ 乳幼児・高齢者の人数: 各家庭に高齢者、乳幼児が存在している割合はそれぞれ 20%強となった。これら世帯においては、ライフライン途絶回避の要望がより強くなるものと考えられる。
- ・ ライフライン関連施設: オール電化システムの家庭が

表-1 調査に用いたシナリオ

途絶パターン	設問の分類	オプションの内容	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 全ライフライン 5 日間復旧日数延長	5, 10, 20 万円 1, 3 万円
	2	電力途絶のみ回避 電力のみ 5 日間復旧日数延長	5 万円 1 万円
	3	ガス途絶のみ回避 ガスのみ 5 日間復旧日数延長	5 万円 1 万円
	4	水道途絶のみ回避 水道のみ 5 日間復旧日数延長	5 万円 1 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 全ライフライン 5 日間復旧日数延長	5, 10, 20 万円 5, 7 万円
	6	電力途絶のみ回避 電力のみ 5 日間復旧日数延長	10 万円 5 万円
	7	ガス途絶のみ回避 ガスのみ 5 日間復旧日数延長	20 万円 5 万円
	8	水道途絶のみ回避 水道のみ 5 日間復旧日数延長	10 万円 7 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 全ライフライン 5 日間復旧日数延長	5, 10, 20 万円 10, 15 万円
	10	電力途絶のみ回避 電力のみ 5 日間復旧日数延長	20 万円 10 万円
	11	ガス途絶のみ回避 ガスのみ 5 日間復旧日数延長	15 万円 5 万円
	12	水道途絶のみ回避 水道のみ 5 日間復旧日数延長	20 万円 10 万円

約 5%, 井戸を持つ家庭も 4%程度存在する。

- ・ 住居の災害対策: 耐震化などの建物に地震対策を行っている家庭が 25%, 地震保険に加入している世帯が 34%存在する。
- ・ 災害時の避難形態: 親戚・友人のところに一時的に避難できると答えた家庭は 66%で、ライフラインの途絶が長期化した場合には、被災地を離れるという選択肢をもつものと考えられる。

本研究では、その他の属性と併せて表-2 の各属性変数を分析に用いることとした。

さて、図-1 は、全ライフライン途絶回避オプションの提示額毎に受け入れ割合を示したものである。遅延オプションの設定や個人属性に依存するが、各シナリオにおいて提示額が増加するほど受け入れ割合も減少するという妥当な結果が得られている。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¹⁾の観点からは、同じ提示額に対し、A, B, C の順に受け入れ割合が高くなることが予想される。図-1 では、シナリオ C の提示額

¹⁾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。

表-2 変数名とその説明

変数名	説明
A ₀ , B ₀ , S _A , S _B , S _C	定数項, シナリオ A, B, C のダミー変数
y, T, T'	所得 (カテゴリー変数: カテゴリーの範囲 (百万円)) および提示額 (T:途絶回避, T':途絶遅延)
X _{Sex}	回答者の性別に関するダミー変数. 0:男性, 1:女性
X _{Age}	回答者の年齢層. 1:25~29 歳, 2:30~39 歳, 3:40~49 歳, 4:50~64 歳
X _{Family}	世帯の構成人数(人)
X _{Vul1} , X _{Vul2}	X _{Vul1} :65 歳以上の家族の人数, X _{Vul2} :5 歳以下の家族の人数(人)
X _{Exp}	災害経験に関するダミー変数. 0:災害に遭遇した経験はない. 1:災害に遭遇し, 損失を被ったことがある.
X _{Bage}	建物の建築年代に関するダミー変数. 0:1981 年以降の建物, 1:1980 年以前の建物
X _{BType1} , X _{BType2} X _{BType3} , X _{BType4}	建物種別に関するダミー変数. 1:集合住宅(高層ビル(地上 30 m 以上)) 2:集合住宅(中低層ビル(地上 30m 未満)) 3:戸建て(2 階建て以上) 4:戸建て(平屋)
X _{Rent}	持ち家, 借家に関するダミー変数. 0:持ち家, 1:借家
X _{Elec}	自家発電システムの有無に関するダミー変数. 0:未設置, 1:設置
X _{AllElec}	オール電化住宅に関するダミー変数. 0:オール電化以外の住宅, 1:オール電化住宅
X _{Well}	井戸設備の有無に関するダミー変数. 0:未設置, 1:設置
X _{WTank}	貯水槽の有無に関するダミー変数. 0:未設置, 1:設置
X _{Retrofit}	建物の耐震化に関するダミー変数. 0:実施されていない 1:実施されている.
X _{Ins}	地震保険への加入状態に関するダミー変数. 0:加入していない 1:加入している.
X _{damage}	震度 6 弱程度の地震が発生した場合の建物への影響(予想). 0:壊れる心配は少ない 1:壊れると思う
X _{Power} , X _{Water} X _{Gas}	各ライフライン月使用量. X _{power} :電力使用量(1:100kw 未満, 2:~200, 3:~300, 4:~400, 5:~500, 6:500kw 以上), X _{water} :水道使用量(1:20m ³ 未満, 2:~30, 3:~40, 4:~50, 5:~60, 6: 60m ³ 以上), X _{gas} :ガス使用量(第一回調査(1:20m ³ 未満, 2:~30, 3:~40, 4:~50, 5:~60, 6: 60m ³ 以上), 第二回調査(1:10m ³ 未満, 2:~20, 3:~30, 4:~40, 5:~50, 6: 50m ³ 以上))
X _{ImpE} , X _{ImpW} , X _{ImpG}	最も重要と考えるライフラインの種類に関するダミー変数. E:電力, W:水, G:ガス
X _{Evac}	避難に関するダミー変数. 0:自宅, 避難所で生活を続ける 1:被災地外へ避難する

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。

一方, 図-2 は電力, 水道, ガスそれぞれ単独の途絶回避オプションの受け入れ割合を示したものである. このオプションに関しても提示額が大きくなるにつれてオプションの受け入れ割合が減少している. また, 各シナリオのライフライン途絶期間に依存するために, 一概に比較することは困難であるが, 概ね同程度の提示額に対して, 水道, 電力, ガスの順にオプションの受け入れ割合が高くなっていることが分かる。

さらに, 図-3 は全ライフライン途絶遅延 (5 日

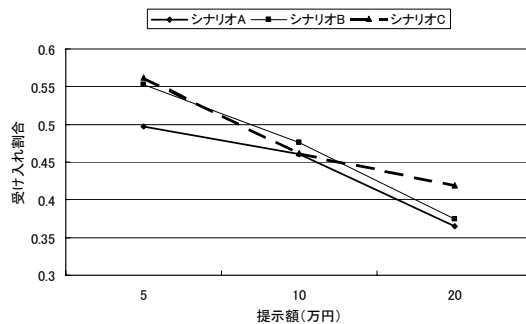


図-1 ライフライン途絶回避に対する提示額とその受け入れ割合

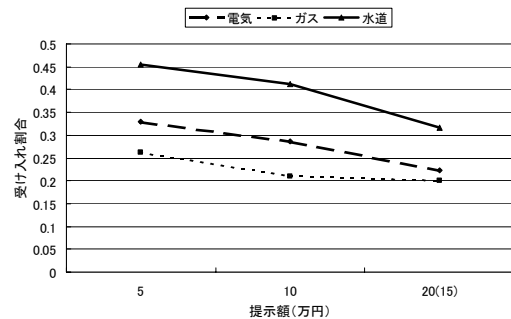


図-2 各ライフライン途絶回避に対する提示額とその受け入れ割合

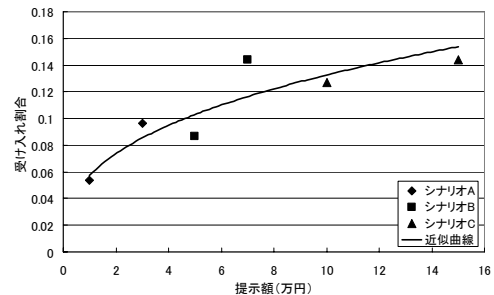


図-3 全ライフライン途絶遅延 (5 日間) に対する提示額とその受け入れ割合

間) オプションに対する提示額とその受け入れ割合を示したものである。途絶回避オプションの設定にも依存するが、基本的に提示額が大きくなるほど受け入れ割合も大きくなっており、この点についても妥当なサンプルが得られているものと考えられる。

4. 推計結果

(1) 全ライフライン途絶回避・遅延オプション選択モデルの推計結果

本小節では、全てのライフライン途絶回避に関する3つのシナリオを基に間接効用関数の推計を行い、オプション選択に影響を及ぼす要因を特定する。まず、間接効用関数の形としては所得項の影響が累乗のケースに、選択肢間の効用差が提示額のみ関数となるケースを加えた合計2種類の関数形を試した。具体的には、以下の関数形を採用した。

$$y^m \text{型: } V = y^m + \beta \mathbf{X} + \gamma_i S_i + \epsilon. \quad (8)$$

$$\ln(T) \text{型: } \Delta V = \alpha \ln(T) + \beta \mathbf{X} + \gamma_i S_i + \epsilon. \quad (9)$$

ここで S_i は各シナリオのダミー変数を表し、シナリオの影響が定数項へ反映されるものと仮定する。また、 $\mathbf{X}$ はその他属性変数のベクトルを、その他記号はパラメーターを意味する。全変数を対象とした推計の結果、 y^m 型の関数の方が全般的に尤度比が高かったため、以降では y^m 型の効用関数形を推計に用いる。

表-3 に全ライフライン途絶回避・遅延オプション選択モデルにおいて、有意でない変数を探索的に一つずつ削除する作業を行った後の係数および t 値の推計結果を示す。式(1), (3) に示したように V_1 が回避オプション選択時のモデルを、 V_3 が遅延オプション選択時のモデルを示す。なお、一般的な尤度比の目安としては、0.2~0.4 程度あればモデルの適合度が十分に高いといわれており¹⁷⁾、本モデルではそれに比して若干小さな値となっている。

また、表中の*, **, ***はそれぞれ 1%, 5%, 10% で有意であることを示す。 V_1 においては、 X_{Gas} (ガス使用量)、 X_{Rent} (借家ダミー) が有意になっている。ガスライフライン使用量が増加するほど、途絶回避の傾向が強くなっている。また、借家で生活する世帯は途絶回避の傾向が小さくなるが、この点に関してはさらなる調査が必要であろう。シナリオの影響としては、より被災度の大きなシナリオであるほど、途絶回避の意思が強くなる傾向がわかる。

一方、遅延オプションの効用関数 V_3 においては電力、水道の使用量が有意となっている。電力および水道の使用量項の符号が互いに正負反対になっており、解釈が困難となるが、基本的に両ライフラインの相関係数が比較的大き

表-3：全ライフライン途絶回避・復旧遅延モデル推計結果

変数名	係数(t 値)	
	V_1 (回避)	V_3 (遅延)
y	0.602* (22.68)	
X_{power}		-0.156** (-1.974)
X_{Water}		0.162*** (1.793)
X_{Gas}	0.151** (2.303)	
X_{Vul2}		-0.557** (-2.462)
X_{Rent}	-0.373** (-2.367)	
X_{Family}		0.165*** (1.89)
S_A	0.954* (4.177)	-1.447* (-3.9)
S_B	0.961* (4.244)	-1.618* (-4.377)
S_C	1.122* (5.007)	-1.425* (-3.702)
サンプル数	837	
尤度比	0.165	

なことがその理由として考えられる。シナリオの影響は全て符号が負となり、これは理論的に妥当な結果といえるが、被災度の大きさの影響については解釈ができない結果となった。

(2) 各ライフライン途絶回避・復旧遅延オプション選択モデルの推計

それぞれの途絶シナリオにおいてあるライフライン一種類のみに対して途絶回避オプション、あるいは遅延オプションが選択可能なケースについてモデルの推計を行う。3

(1) においてモデルの推計法を記述したとおり、データ数の制約上、所得項のパラメーターは全ライフライン途絶回避・復旧遅延オプションモデルの推計値を定数として用いた。表-4~表-6 が各ライフライン途絶回避・復旧遅延オプション選択モデルにおける有意となった係数および t 値の推計結果となる。

先述した尤度比の基準と比べると、モデルの適合度は低い結果となった。有意となった変数に着目しながら、得られた結果をまとめると以下ようになる。

- ・災害弱者(高齢者、幼齢者): 同居する高齢者の人数 (X_{Vul1}) 及び幼齢者の人数 (X_{Vul2}) は、電力途絶回避モデルにおいて有意となっている。全般的に、高齢者・幼齢者を抱える世帯は電力の途絶を回避する傾向にある。また、回答者が高齢者 (X_{Age}) である場合には電力ライフライン途絶の回避傾向が強くなるという結果となった。
- ・ライフライン関連施設: 含まれるサンプル数の少なさもあり、オール電化、井戸などのライフラインに関する変数は有意とはなっていない。水道使用量やガス使用量が有意となったモデルはいくつか存在するが、符号に関して理論的な解釈はできなかった。一方、電力、水道を最も重

表－４ 電力途絶回避・復旧遅延オプション選択モデル推計結果

変数名	係数(ｔ値)	
	V ₁ (回避)	V ₃ (遅延)
y	0.602	
X _{Age}	0.216* (3.19)	－
X _{Water}		-0.382*** (-1.82)
X _{Vul1}	－	-0.896** (-2.08)
X _{Vul2}	0.519** (2.32)	－
X _{Retrofit}	-0.676*** (-2.14)	－
X _{Family}		0.429*** (3.15)
S _A	-1.007** (-2.18)	-2.174*** (-3.75)
S _B	-1.260*** (-2.69)	-1.827*** (-3.51)
S _C	-0.963** (-2.00)	-1.886*** (-3.668)
X _{ImpE}	0.517** (2.01)	－
サンプル数	303	
尤度比	0.126	

表－５ ガス途絶回避・復旧遅延オプション選択モデル推計結果

変数名	係数(ｔ値)	
	V ₁ (回避)	V ₃ (遅延)
y	0.602	
X _{sex}	－	0.597*** (1.89)
X _{BType1}	-1.827*** (-1.757)	－
X _{Gas}	－	0.221** (2.00)
X _{Ins}	－	-0.566*** (-1.67)
S _A	－	-1.539* (-3.60)
S _B	－	-1.978* (-4.68)
S _C	－	-1.672* (-4.105)
サンプル数	287	
尤度比	0.106	

要視している世帯では、それらライフラインの途絶回避オプションの効用が高くなっていた。

- ・住居の災害対策：住居の耐震化を行っている世帯では電力及びガス途絶回避による効用が低くなっており、災害対策に積極的であるという観点からは解釈が困難な結果が得られている。

その他、被災地域外への避難行動は水道途絶回避オプションで有意となり、符号も理論的に妥当な値が得られている。また、シナリオの影響については、水道途絶回避モデルにおいて、シナリオ被災度の内包関係を満たす結果が得られた。

(3)WTP, WTAの推計

表－３～表－６の結果に基づき WTP, WTA の推計を行う。また、図－２ より、支払意思額が提示した金額の範囲外に

表－６ 水道途絶回避・復旧遅延オプション選択モデル推計結果

変数名	係数(ｔ値)	
	V ₁ (回避)	V ₃ (遅延)
y	0.602	
X _{damage}	0.820** (2.04)	1.116** (2.18)
X _{Evac}	-0.515*** (-1.85)	－
X _{BType4}	-1.256*** (-1.96)	－
X _{Water}	0.222** (2.04)	0.236*** (1.71)
X _{Family}	-0.276* (-2.74)	－
S _A	0.844** (2.00)	-3.078* (-4.59)
S _B	1.011** (2.53)	-1.921* (-4.17)
S _C	1.136* (2.78)	-2.15* (-4.66)
X _{ImpW}	0.521** (2.16)	－
サンプル数	305	
尤度比	0.168	

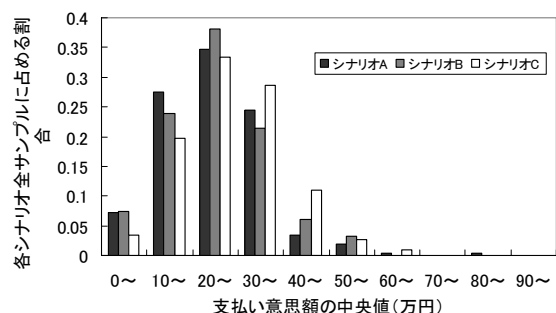
おいても受け入れ割合が高くなることが予想されるため、中央値の推計を行うこととした。中央値は式(4)、(5)及び式(8)より以下の形となる。

$$WTP_{med} = y - (y^m - \beta \mathbf{X} - \gamma_i S_i)^{\frac{1}{m}} \quad (10)$$

$$WTA_{med} = (y^m - \beta' \mathbf{X} - \gamma' S_i)^{\frac{1}{m}} - y \quad (11)$$

図－４ はシナリオ別に WTP_{med} の分布状況を調査したものである。シナリオの被災度が大きくなるにつれて、 WTP_{med} が大きな値の位置にサンプルが分布している状況が分かる。20～30 万円付近のサンプルが多く、本調査の上限提示額の 20 万円よりも大きな値となった。

表－７ は推計した WTP_{med} の分布を対象に、さらにその中央値をシナリオ毎に整理した結果となる。尤度比が低いことを考慮し、中央値を示す家計について推計パラメーターの信頼区間の推計を行った。この際、信頼区間の推計法としては、パラメーターの分散共分散行列が多変数正規分布になることを利用した計 5000 回のパラメトリック・シミュレーション法を採用した¹⁸⁾。なお、ガスについては、中央値



図－４ シナリオ別支払い意思額中間値の分布（全ライフライン途絶回避オプション）

が 0 万円となったが、ダミー変数一つのみが有意となっただけであるため、信頼区間の推計は行うことができなかった。

サンプル数の多い全ライフラインの途絶回避を対象とした WTP_{med} は、シナリオの被災度の大きさについてスコープテストを満足しているが、各ライフラインの途絶回避を対象とした WTP_{med} はシナリオの被災度の大きさと整合的な値となっていない²。 WTP_{med} の値は水道、電力、ガスの順に、それぞれ 13.66～18.50 万円、2.55～7.56 万円、0 万円の順となった。また、各ライフライン途絶回避の WTP_{med} を合計した結果と全ライフライン途絶回避の WTP_{med} を比較すると、全ライフライン途絶回避による WTP_{med} の合計の方が大きくなり、この差がライフライン同時回復の効果に相当するものと考えられる。しかし、信頼区間を含めて考えると、提示額の上限、下限を超える範囲において WTP が分布している可能性がある。調査設計の観点からは、提示額の範囲を広げることが必要と考えられる。

最後に WTA_{med} を推計した結果を表－8 に示す。水道、電力の方が全ライフラインのケースより WTA_{med} の値が大きくなるなど、不整合なケースが多い。この理由については明らかではないが、シナリオの設定、提示額の範囲などを含めて再検討する必要がある。

表－7 各災害シナリオにおける WTP_{med} 及びその信頼区間（□内、片側 2.5%）の推計結果（単位：万円）

	シナリオ A	シナリオ B	シナリオ C
全ライフライン	23.99 [16.26, 33.78]	25.38 [16.57, 36.59]	28.83 [20.78, 39.37]
電力	7.56 [0.00, 16.63]	2.55 [0.00, 14.05]	4.99 [0.00, 18.26]
水道	13.66 [2.50, 24.78]	18.50 [0.26, 36.59]	17.44 [1.30, 33.0]

表－8 各災害シナリオにおける WTA_{med} 及びその信頼区間（□内、片側 2.5%）の推計結果（単位：万円）

	シナリオ A	シナリオ B	シナリオ C
全ライフライン	25.59 [13.29, 43.95]	28.81 [16.20, 46.59]	24.02 [15.10, 35.12]
電力	31.07 [13.92, 48.74]	28.26 [10.79, 45.87]	29.02 [12.35, 45.76]
水道	52.59 [26.92, 78.66]	26.74 [12.60, 41.11]	32.47 [17.07, 47.92]

4. まとめ

ライフラインの施設保全や防災投資を行う上で、社会経済への影響を考慮した費用便益分析は必須課題となりつつある。本研究ではこのような課題に対応すべく、CVM に基

づくライフライン途絶による住民への影響調査を試みた。特に、地震災害時において複数ライフラインが同時に長期的に途絶する状況を考慮し、途絶回避のための支払い意思額や復旧が遅延した場合の受け入れ補償額の調査を行った。

まず、モデルの基本となる提示額の大きさ、シナリオの被災度と各オプションの選択割合の関係について検討を行った結果、概ね理論的に妥当な値が得られ、本調査法が有効に機能する可能性が示された。次いでライフライン途絶回避・遅延オプション選択行動モデルを推計し、幼齢者の有無等が意思決定に影響を及ぼしている状況が明らかとなった。さらに、得られたモデルから WTP（中央値）を推計した結果、各ライフラインの途絶を個別に回避するための WTP の合計値よりも全ライフラインの途絶を同時に回復させるための WTP の方が大きくなり、供給系ライフラインを同時に供給することに効果がある可能性が示された。以上、ライフライン途絶回避に対する住民意識についていくつかの知見を得た。しかし、得られたモデルの適合度が低く、調査手法については、まだまだ改善の余地があると考えられる。

まず、提示額の範囲を変更する必要があることが本調査結果から明らかとなった。費用負担方式についても基本料金の上乗せを検討するなど本調査で設定した方法以外のより現実的な方法があるものと考えられる。また、内閣府等により想定が行われている地震発生確率等を用いるなど、より地域の実情に応じた災害発生シナリオを設定することについても検討する必要がある。さらに、最も基本的なこととして、過去の災害事例に基づきライフライン途絶時における家計の行動を丁寧に観察するとともに、途絶回避に対する費用負担の理由を明らかにすることが、この種の調査結果の精度を高める上で重要と考えられる。

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，土木学会，1997.
- 2) 西野義彦，植木成之，牧野文夫：わが国における停電コストの評価，電力中央研究所，研究報告（582007），1982.
- 3) 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.
- 4) 仲村宏一，山城迪：停電コストの推定に関する調査研究，電気学会論文集 B，Vol.119，No.2，pp.284-290，1999.
- 5) 蟻生俊夫：2003 年北米大停電の業務・産業用需要家への影響に関する調査・分析，調査報告（Y03008），電力中央研究所調査報告，2004.
- 6) Applied Technology Council: Earthquake damage evaluation data for California, ATC-13, Redwood City, California, 1985.
- 7) 梶谷義雄，多々納裕一，山野紀彦，朱牟田善治：製造業

²途絶期間が長いほど家計の被災度は大きく、途絶回避オプションに対する支払い意思額が大きくなることを「整合的」と仮定している。

を対象としたライフライン途絶抵抗係数の推計、自然災害科学論文集, Vol.23 No.4, pp.553-564, 2005.

8) 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.

9) 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.

10) 塩野計司, 朱牟田善治:ユーティリティの震害による住民の生活支障一調査・予測の方法と簡単な応用例一自然災害科学, Vol.13 No.2, pp.193-202, 1994.

11) 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, 地域安全学会論文報告集, Vol.3, pp.195-202, 1993.

12) Hanemann, W. M.: Welfare Evaluations in Contingent

Valuation Experiments with Discrete Responses. American Journal of Agricultural Economics, Vol.66, pp.332-41, 1984.

13) 例えば, 静岡県第三次被害想定結果:
<http://www.equakes.pref.shizuoka.jp/data/pref/higai/houkoku/index.htm>, 2003.

14) Cameron, R. and Carson, R.T.: Using Surveys to Value Public Goods: The Contingent Valuation Method, Resources for the Future, 1989.

15) 栗山浩一:環境の価値と評価手法, 北海道大学図書刊行会, 1998.

16) 大野栄治編著:環境経済評価の実務, 勁草書房, 2000.

17) 土木学会:非集計行動モデルの理論と実際, 土木学会, 1995.

18) 川除隆広:離散選択モデルを用いた社会基盤整備便益のリスク分析に関する研究, 京都大学博士論文, 2001.

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、自然災害などの様々な要因によって引き起こされており、引き金となるハザードの性質に応じた影響評価法の確立とそれに基づいた対策の決定が重要な課題となっている。そこで、本研究では、地震災害時特有の電力、ガス、水道ライフラインが同時に長期的に途絶した状況を対象とし、各世帯のライフラインの途絶を回避するための費用負担行動とその要因を CVM（仮想市場評価法）手法により調査・検討した。その結果、各ライフラインの途絶を個別に回避するための WTP の合計値よりも全ライフラインの途絶を同時に回復させるための WTP の方が大きくなり、供給系ライフラインを同時に供給することに効果がある可能性などが示された。

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

By Yoshio KAJITANI**・Hirokazu TATANO***

Fails of lifeline supplies are triggered by many factors such as natural disasters. Development of their impact assessments and countermeasure methodologies for each trigger are critical tasks in disaster risk management of lifeline systems. Therefore, this paper conducted the CVM type of economic impact survey on local residents, considering the multiple lifeline (electricity, gas, water) disruption scenarios, which is peculiar to the earthquake disaster case. One of the obtained results is that WTP for avoiding all the lifeline disruptions produces larger values than the sum of WTPs for avoiding individual lifeline disruption respectively.
