

つくば市における停電による日常生活への影響評価

リスク工学グループ演習 2 班
飯塚 啓司 石橋 絵美 李 仁載 長谷川 康

アドバイザー教員：梅本通孝

1. 背景

実用的な白熱電球が発明されて200年もたたないうちに電気は世界中に瞬く間に普及した。現在の社会ではほぼ全ての人は何らかの形で最も重要なライフラインの一つとして電気を利用しており、これに依存した生活を送っている。そのため、停電によって電気の供給が滞れば人々の生活に多大な支障が生じることが懸念される。大規模な停電としては2003年の北アメリカ大停電や、2006年の首都圏大停電が記憶に新しい。

首都圏大停電においては、たった一か所の送電線が切断されただけで東京23区東部と神奈川県横浜市、川崎市の一部、千葉県浦安市、市川市の一部を中心に広い範囲で停電し、計約139万世帯と史上二番目に多い規模の停電となってしまった。また、全面復旧まで4時間半ほどであったが、都市の中心部で起こったために鉄道や信号が停止するなど都市機能がほぼ麻痺してしまった。

一方、北アメリカ大停電は復旧までに2日近く、一部地域では完全復旧までに一週間以上を要する長期間の停電であり、人々の生活にも深刻な影響を与えるものとなった。これらの大規模な停電については、その被害世帯数や被害額は算定されているが、停電によって人々の日常生活にどのような影響や支障が生じたのかという面については定性的な報告はあるものの、その定量的な評価はほとんど言及されていない。

2. 目的

上述した通り、これまでの停電による日常生活における支障度の定量化についての検討は必ずしも十分ではない。そこで本研究では、つくば市(図1)の住民を対象にアンケートを行い、停電による日常生活の支障度を定量化することにより、停電が日常生活に与える影響(リスク)を定量的に評価することを目的とする。

これにより、人々が停電時に必要とするものの度合いを定量的に比較することが可能となり、それぞれの設備に対するニーズ調査をすることによって停電時に備えてどのような対策をしておけばよいのかを地域ごとに明らかにすることができ、各家庭レベルでの代替品の準備(懐中電灯・カセットコンロ等)や、行政レベルでの対応策(電車が使えなくなった時のバスの手配・食料の配給等)にも資するものと考えられる。

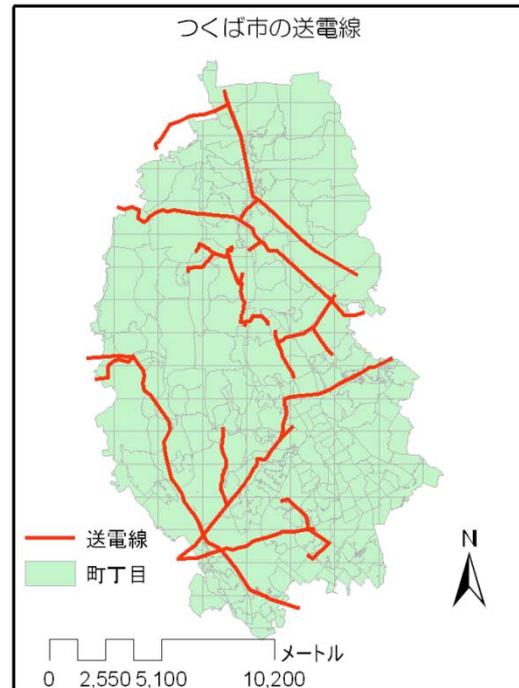


図1：つくば市、及び市内の送電線

3. 既往研究

停電発生時の日常生活における支障度の評価を試みた既往研究がいくつか存在する。

(1) 小山らによる停電が事業所活動へ及ぼす影響と停電支障度の推計に関する研究[1]

この研究では、消費電力量の多少がそのまま停電の影響の程度を表すとは考えず、需要家側の立場から停電の影響を考える第一歩とした。そして停電による影響を受けるものの中から、事業所活動を取り上げ、停電が事業所活動に及ぼす影響や、事業所における停電対策の現状を実態的に明らかにするとともに、東京都区部において停電の影響度合いの地域性を明らかにすることを目的とした。停電の事業所活動への影響評価については、千葉県市川市内の事業所を対象に1994年9月に実施したアンケート調査に基づき行った。アンケート調査の対象事業所は、同じく市川市内で2年前に実施された、事業所の地震に対する防災対策のアンケート調査対象事業所と同一とした。この調査では一般事業所を対象とし、学校や病院、公共事業所(市役所など)、危険物取り扱い施設等の重要施設は調査から除外された。

アンケート調査中の影響の程度の回答については、影響度 0 から 100 までの 20 刻みの 6 段階中から選択して回答する形式であった。

アンケート調査によると事業所活動への停電の影響は、業種の違いによって停電が事業所活動に与える影響の度合いには差があり、建設業や運輸業では比較的停電による影響は小さく、製造業や金融機関、飲食店、大規模小売店で非常に影響が大きい。従業員数規模別では業種間ほど大きな差はないが、従業員規模が大きくなるにつれ、停電による事業所への影響も大きくなる。21 種類の設備について、それらが停止した場合の影響の評価においては、「その他」に分類される設備類が最も影響が大きかった。これらはいずれも、事業所の活動内容に固有の設備類であり、活動の中核をなす、必要不可欠な設備で、具体的には金融機関のオンラインシステムや廃棄物処理業者の電磁石、集荷選別機、写真の現像プリント機械、パチンコ台などがあげられている。アンケートにみる停電対策の現状としては、停電による被害の経験を持つ事業所は、アンケートで回答の得られた事業所全体の半数以上になるにも関わらず、停電対策はあまり進んでいない。また、非常用電源を設置している事業所は全体の 3 割にも満たず、しかもその半数はパソコン等の電池類で占められていた。さらに、停電時の代替手段についても、人的対応以外においては有効な手段がほとんど存在しない。停電対策が進まない理由としては、設備導入や維持にかなりの費用が掛かることと、他の防災対策も含めた停電や非常事態への認識の甘さが考えられる。

(2) 塩野らによる地震による生活指標の評価に関する研究[2]

筆者らは、生活支障の問題を感覚的・定性的に取り扱うことに終始した従来の方法から脱却し、数值的・解析的に処理することができる方法を確立したいと考えた。そのような転換を実現することにより、生活支障の防止・軽減を視野において、具体的な対策の立案に寄与することに狙いがある。生活支障の評価指標には、塩野・朱牟田(1994)が提案した「影響度」を採用し、これに修正を加えて使用した。影響度は式(1)のように定義し、世帯を単位として算定する。

$$[\text{影響度}] = \sum_{i=1}^5 \{[\text{低下度}](i)\} \times [\text{支障の継続日数}](i) \cdots (1)$$

ここで、影響度とは生活支障の時間的な累積値を示す指標であり、1つの世帯が1つの災害で被った生活支障の「総量」を表す。低下度は生活支障の時間的な平均値を示す指標であり、生活活動の種類ごとに評価する。低下度は、0点(まったく支障がなかった状態)と10点(まったくできなかった状態)、および、その間に設けた段階的な点数で与える。生活支障の程度を3段階に分けたときには(0, 5, 10)

の点数を、5段階に分けたときには(0, 2.5, 5, 7.5, 10)の点数を与える。iは生活活動の種類を示す添え字である。生活活動の種類には、「1. 調理, 2. 用便, 3. 洗面, 4. 入浴, 5. 洗濯」の5種類を選び、これらによって家庭での日常生活を代表する。また式(2)によって「平均低下度」を定義し、1つの世帯が被った生活支障の「低度」を示す総合指標をした。

$$[\text{平均低下度}] = \left\{ \sum_{i=1}^5 [\text{低下度}](i) \right\} / 5 \cdots (2)$$

また、式(3)によって「支障度」を定義し、1つの世帯が被った生活支障の「総量」を示す総合指標とした。支障度と平均低下度の違いは、前者において生活支障の時間的な累積性があり、後者においてそれがない点にある。

$$[\text{支障度}] = \ln([\text{影響度}] + 1) \cdots (3)$$

これらの式を算定するために試行調査を行った。調査対象には兵庫県南部地震で被災した7つの市区町を選び、世帯を対象としたアンケートによってデータを収集した。算定した指標値に対して統計的な分析を施し、生活支障の態様や、指標値に対する関連因子の影響を数値的に表した。また、統計的な記載にも意を用い、今後の防災研究が向かうべき方向の一つとして、統計的な取扱いの重要性を示唆した。分析の結果は、数値的な情報として提示されたことが重要でありこの研究の災害科学的な意義はその一点に集約することができる。

(3) 能島らによる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に関する研究[3]

この研究では、地震発生後に即時的かつ広域的に適用できる被害推定手法を整備しておくことが重要と考え、筆者らは1995年兵庫県南部地震の被災事例に基づいて、着目地点における震度Iをパラメータとして、当該地点における供給系ライフラインの地震時機能を、次に示す二段階で評価するモデルを提案した。

$$p(I) \cdots \text{ライフライン機能の停止確率} \\ F(t|I) \cdots \text{震度Iで機能停止という条件下での停止期間}t\text{の非超過確率}$$

この評価モデルを応用して、広域被害対応のためのライフライン機能障害と復旧過程の評価手法を提案した。p(I)とF(t|I)を組み合わせることによって、震度Iで地震後経過期間tにおける供給率曲線D(t|I)を次式で定義する。

$$D(t|I) = \{1 - p(I)\} + p(I)F(t|I) \cdots (4)$$

(4)式の第一項は地震直後に低下した供給率を意味し、第二項はその後の回復率に相当する。下の図は電気の供給率曲線を、計測震度 4.5 から 7.0 まで 0.5 刻みで示したものである。

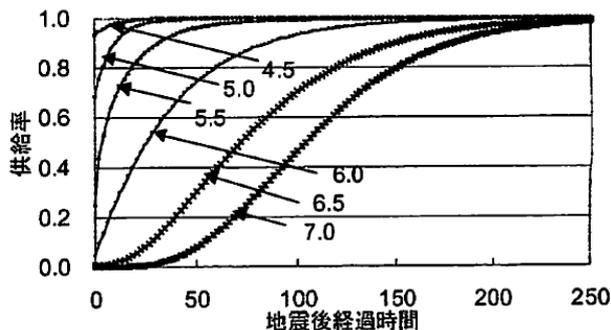


図 2：停電復旧率曲線

以上のモデルを用いて、想定東海地震、想定東南海地震、想定東海・東南海連動型地震の3種類のシナリオ地震を対象として被害・復旧予測をした。その結果、ライフライン系の事後対策においては、緊急対応と復旧作業の初動体制を整えることが重要であり、特に、必要となる応急供給量や復旧応援量を早期に把握する必要があるということがわかった。この研究で示した予測結果は、復旧曲線の形式で提示されているため、こうした検討に有用な情報となりうる。地震後にリアルタイムに震度分布が把握できるようになれば即時的に復旧曲線を評価できることから、より高度な活用も可能となることが考えられる。

(4)まとめ

本研究では、以上の既往研究の分析手法及び結果を応用して行う。小山らの研究は事業所を対象としていたが、その分析手法は一般市民を対象とする場合にも応用可能である。塩野らが提案した影響度の概念は本研究でも利用するに値するものである。能島らの地震後の停電復旧率曲線は、停電世帯率の時間的変動を表す事例データとして、本研究で停電継続時間を考慮する際に用いることができる。

4. 研究の手法

本研究では、一般世帯及び学生を対象としてアンケート調査を行い、各種電気器具等の利用率と重要度、使用不能時の耐久可能時間に関するデータを収集する。これに基づき、各電気製品等の使用不能継続時間に応じた耐久困難曲線を推定した上で、停電による各種電気製品等が利用できないことによる生活上の支障度を算定する。

(1) 調査方法

a) アンケート用紙の設計

本研究では、つくば市の住民及び筑波大学の学生を対象に、電気器具の利用率及び重要度についてアンケート調査を行った。

日常生活で使用する電気器具については、NHK 国民生活時間調査[4]を参照し、ここで取り上げられ

ている行動に対し使用される電気器具26項目を選出した。

取り上げた項目は以下の項目である。

- ・ 器具
- ・ 照明
- ・ 医療器具
- ・ 冷蔵庫
- ・ 鉄道
- ・ 銀行 ATM
- ・ 電子レンジ・トースター
- ・ 炊飯器
- ・ 電気なべ
- ・ 食器洗い機
- ・ 空調
- ・ 信号
- ・ カード類
- ・ テレビ
- ・ 携帯電話
- ・ 固定電話
- ・ 電動車いす
- ・ エレベーター
- ・ パソコン
- ・ ドライヤー
- ・ 掃除機
- ・ 洗濯機
- ・ プリンタ
- ・ オーディオ
- ・ ビデオゲーム
- ・ アイロン
- ・ 電動ひげそり

それぞれの電気製品等について、以下の点を尋ねた。

- ① 停電が起きたとき、以下の項目が利用できなくても**我慢できる時間**に○を1つつけてください。利用していない場合は、「利用していない」に○をつけてください。
- ② 以下の項目（電気器具）について、あなたの**日常生活での重要度**をお答えください。

両方の質問について、電気器具26項目それぞれに対し、①では10段階の時間で、②では5段階で重要度を回答する形式とした。

b) アンケート対象地の選定

アンケートは、郵便受けへの投函(ポスティング)、郵送での回収及び直接配布回収によって収集した。調査実施期間は、2007年8月6日～31日である。

ポスティングでの配布に当たっては、つくば市内で以下の4種類の地域特性を持つ地区で行った。

- ① 農村地域
- ② 公務員住宅地区
- ③ 新興戸建て地域
- ④ 新興アパート地域

また、直接配布も含めた配布回収の状況は以下の表に示す通りである。

表 1：アンケート回収状況

地区・属性		配布数	回収数	回収率
ポスティング	農村地域	150	14	9.3%
	公務員住宅地区	150	6	4.0%
	新興戸建て地域	110	36	32.7%
	新興アパート地域	150	55	36.7%
その他住民		40	38	95.0%
学生		100	54	54.0%
合計		700	203	29.0%

(2) 分析方法

本研究では、アンケートから得られた結果を元に、つくば市における電力を使用する各項目について我慢できる時間および日常生活における重要度を調査したが、これらの値を利用し、市民の属性別の「支障度」を算出した。項目間の比較を行うために、各

項目の支障度を算出し、プロットした。また、分析するにあたり「学生」、「少人数世帯」(1~3人世帯)、「多人数世帯」(4人以上の世帯)に分けてそれぞれの特徴を比較した。これら3つの世帯属性が収集したアンケート内で占める割合及び、つくば市における割合は以下の表にまとめた通りである。

表2：アンケート回収、つくば市民の割合

世帯属性	数	収集したアンケート内の割合	つくば市の人口に対する割合
学生	55	27.1%	8%
少人数世帯	91	44.8%	42%
多人数世帯	57	28.1%	50%
合計	203	100.0%	100%

a) 支障度 $(D_{ij}(t))$

本研究では、以下の方法でつくば市における通常の停電時の各電気器具の需要の傾向を明らかにした。属性別の各電気器具の支障度は以下の式で求める。

$$D_{ij}(t) = R_{ij} \times P_{ij}(t) \times W_{ij}$$

各指標の説明

$D_{ij}(t)$: 属性、電気器具別の支障度。

i : 26項目の電気器具。

j : 世帯属性。

t : 停電継続時間(h)。

R_{ij} (各電気器具別利用率): アンケート結果から算出した

$P_{ij}(t)$ (耐久困難率): 時系列的に変化する耐久困難となる人の累積確率。算出方法については後述。

W_{ij} : 各世帯・各電気器具別重要度の平均。

b) 耐久困難率の推定

本研究では、耐久困難率を推定するために、アンケートでは、対象とした各種電気器具等が使用不能となった場合に我慢できる(耐久可能)時間を、10分、30分、1時間・・・という離散的な選択肢で回答を求めた。この結果は、回答された時間までならば耐久可能であることを示すと共に、使用不能の状態がそれ以上の長時間となれば耐久困難となることを示している。

この離散的な時間ごとの結果から任意の停電継続時間に応じた耐久困難率の推定を実現するために、ロジスティック回帰曲線のあてはめを行い、耐久困難曲線を導出した。

この際、より当てはまりの良い曲線を得るために、時間について対数変換を行った。

この推定式は、各世帯、各電気製品別に導出した。図3は、分析結果をプロットしたものの一例である。

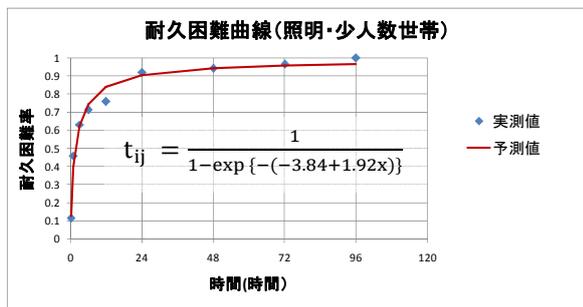


図3：耐久困難曲線の例

5. 分析結果

分析結果はまず、

- ・つくば市における停電時の支障度
- ・世帯属性別に見た停電時の支障度
- ・世帯属性別に見た地震による停電時の支障度を算出した。

なお、つくば市全体の停電時の支障度は国勢調査に基づき、つくば市の世帯構成人員数別の世帯数の構成比に応じて重み付けを行い算出した。

(1) つくば市における停電時の支障度

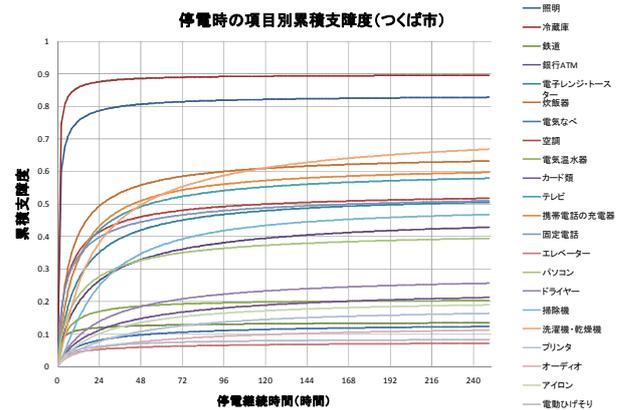


図4：つくば市全体の項目別支障度

照明と冷蔵庫が特に重要視されている。照明については、夜間はもちろん昼間でも到る所で常時使用されていることから、自然な結果であると言える。また、冷蔵庫については常に内部を冷却していないと食品が腐敗してしまう心配があるからであろう。

そして炊飯器、洗濯機と生活に密着している電化製品が続くが、その次に携帯電話の充電器が重要視されていることは、近年の携帯電話の普及率から興味深い結果である。

・合計支障度

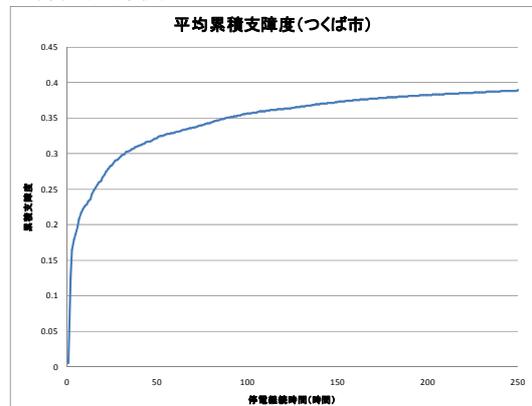


図5：つくば市全体の平均支障度

支障度は加速度的に上昇していくが、10時間以内に停電が復旧したならば最終的に感じる支障度の半分程度で収まることがわかる。

(2) 世帯属性別停電時の支障度

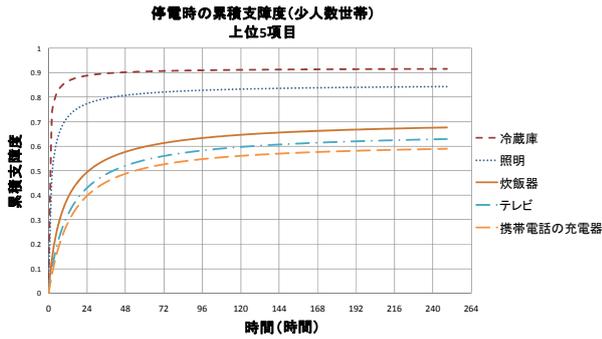


図6：少人数世帯（上位5項目）

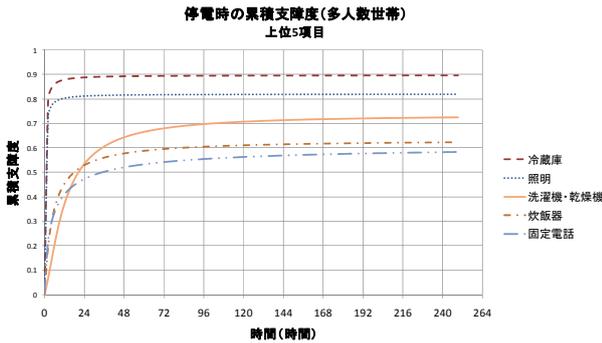


図7：多人数世帯（上位5項目）

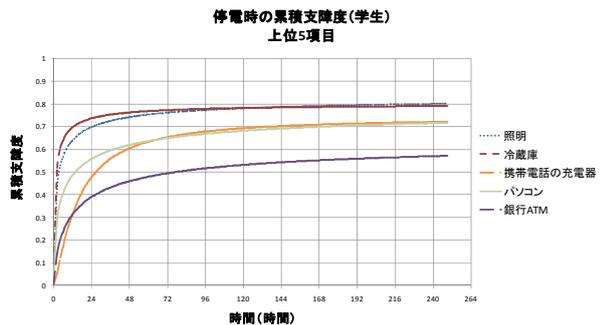


図8：学生（上位5項目）

家族構成の違いで、様々な違いが読み取れる。まず多人数世帯であるが、他と比べて洗濯機の重要性が高いことである。これは家族の人数が多いため、洗濯のサイクルが短くなるためと考えられる。また、固定電話の利用率の高さもうかがえる。

次に学生は、全体的に停電による支障度を低く感じている傾向がある。特に冷蔵庫や炊飯器などの生活家電の平均重要度が低く、普段から家事をしていないことが予想される。逆に、パソコンやATM等が使えないことによる支障度が高い傾向があった。これは学生の大半がリスク工学専攻の学生であったことからパソコンが使用できないと研究を行うことが困難であることと、一人暮らしの学生が多く、大金の所持を避けるべくこまめにATMを利用しているため予想される。

また上位5項目には入っていないが、学生は一般世帯に比べて鉄道に対しての支障度を低く感じてい

る傾向があった。これは、通勤等で一般世帯の人々がつくばエクスプレスを利用していることに比べれば学生が通学時に利用することはほぼないためであると考えられる。

6. 地震後の停電時を想定した応用

5(2)a)で示した「支障度」は、停電の復旧を考慮していないため、支障度が一度上がると上がったままである。それに対し、停電の復旧について、阪神淡路大震災の事例から、地震時の停電の復旧について、既往研究(3)で紹介された。同研究で用いた停電復旧曲線から停電継続曲線を求め、停電の復旧を考慮した支障度の変化を見る。地震時の停電による支障度は以下の式で表される。

$$D_{ij} \times k(t, s)$$

指標の説明

$k(t, s)$ (停電継続率): 停電継続率は、既往研究(3)の停電復旧曲線のうち、つくば市の予想される最大震度6強に当てはまる(6.5)を引用した。

停電継続曲線・停電復旧曲線

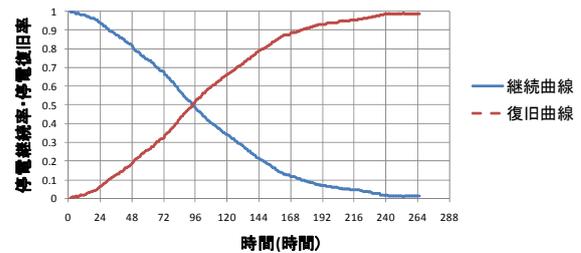


図9：停電継続曲線・停電復旧曲線

(応用例) 地震による停電時の支障度

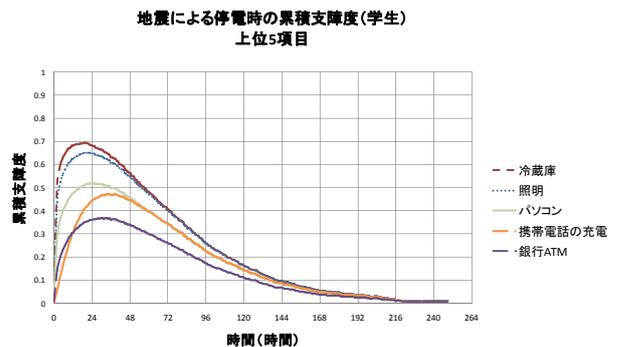


図10：学生

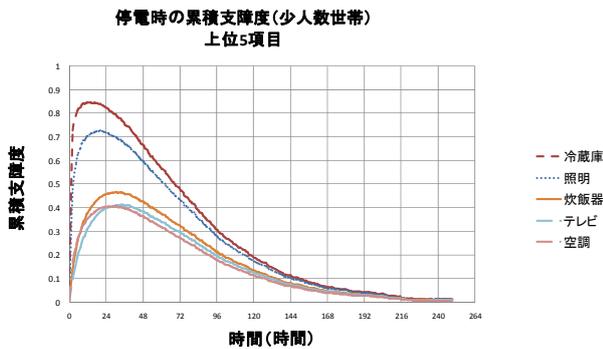


図 1 1 : 少人数世帯

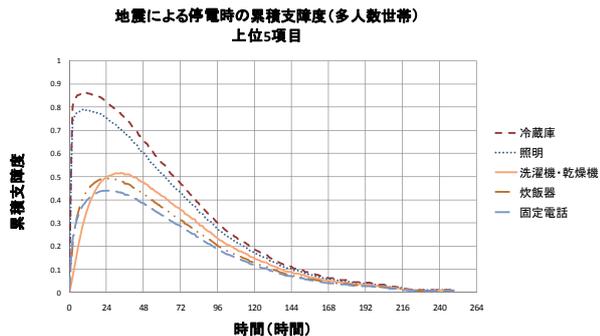


図 1 2 : 多人数世帯

日常生活において停電時に支障を感じるものと、地震が起きた時の停電時に必要とされるものでは多少の隔りがあるかもしれないが、停電発生時から約半日でピークが来てそこから電力が復旧するにつれて支障度が収まっていく様子が見られる。この結果から、地震発生から半日以内に電化製品の代わりとなる代替の物品を用意すれば、人々の感じる支障度は最小限に抑えられるのではないかと考えられる。

また、今回の例では地震時の電力復旧曲線を利用して時間経過による支障度の推移を見たが、地震時以外の色々な場合の復旧曲線（またはそれに準ずるもの）を今回提案した支障度にあてはめることにより、人々が感じる支障度の時間的推移がとらえやすくなり、停電時の対応策の考案時に役立つのではないかと考える。

7. まとめと今後の課題

本研究では、つくば市における停電による日常生活への影響を定量的に評価することを目的とした。まず、停電による支障度を定量化するためにNHK国民生活時間調査を参照し、26項目の電気製品を取り上げた。そして、26項目に対する利用率・耐久困難率・重要度のアンケートをつくば市民を対象として行った。その結果を家族構成ごとに区分して定量化し、つくば市の世帯人数別人口数を参考につくば市全体の停電時の支障度を算出した。そして、つくば市及び世帯別の電化製品ごとの支障度を比較して分析を行った。さらに、時間経過によって支障度が累積していく様子も直観的ではなく視覚的にとらえやすくなり、停電後何時間までに復旧させる、もしくは何

時間以内に代替手段を用意すれば人々があまり支障を感じないかを予想することも可能となった。

今後の課題としては、今回は定量化手法の確立に時間を取られてしまい、その結果から停電時の具体的な対策案が考案できなかったため、今回の結果から具体的な対策案を示すこと、電力復旧の時間的推移の資料が阪神大震災のデータを参考にしたものしか見つけられず、結果として地震時のデータを用いることになってしまい、本研究の主旨である日常生活に対する影響評価という観点から少しずれてしまったので、地震時以外の単独災害としての停電時の時間的推移を示す資料を応用して更なる分析を行うことである。

参考文献

- [1] 小山広孝・中林一樹：停電による事業所活動への影響と停電支障度の推計
- [2] 塩野計司・宮野道雄・小坂俊吉：地震による生活支障の評価とその応用(1)-評価指標の構成と1995年兵庫県南部地震での事例調査-, 自然災害科学J. JSNDS 19-2 pp. 241-256, 2000
- [3] 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-, 地域安全学会梗概集 No. 13, pp101-104, 2003. 11
- [4] NHK放送文化研究所：2005年国民生活時間調査報告書, 2006