

# 発生時刻と継続時間を考慮した 都市停電の影響度評価

秦康範<sup>1</sup>・川北潤<sup>2</sup>・目黒公郎<sup>3</sup>・山崎文雄<sup>3</sup>・片山恒雄<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 博(工) 人と防災未来センター(〒651-0073 兵庫県中央区脇浜海岸通1-5-2)

<sup>2</sup>工修 大成建設株式会社 土木本部(〒163-0606 新宿区西新宿1-25-1 新宿センタービル)

<sup>3</sup>正会員 工博 東京大学生産技術研究所(〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

<sup>4</sup>正会員 Ph.D 独立行政法人 防災科学技術研究所(〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1)

近年、都市化の進展とともにエネルギー需要における電力への依存性が高まっており、停電が都市生活に与える影響は極めて大きくなっている。本研究では、都市停電の定量的影響度評価手法を提案し、東京23区の配電用変電所に適用を試みた。すなわち、「停電の影響」を「平常時に行っている生活活動ができなくなってしまう状態」と定義し、「停電の影響度」を「停電により妨げられた平常時ならば行っているはずの生活活動の重要度の合計」として評価する手法を構築した。また提案手法を東京23区の配電用変電所に適用し、電力需要分析ならびに各配電エリアの停電影響度マップの作成を行った。

**Key Words:** power outage, lifeline, power load curve, Tokyo Metropolis, substation

## 1. はじめに

近年の都市社会は電力に強く依存しており、電力消費量も、それがエネルギー全体の消費に占める割合も増加する傾向にある。一世帯当たりの電力の消費量および全エネルギーに占める構成割合は、1970年度にそれぞれ $1,571 \times 10^3 \text{kcal}$ , 25.0%であったのが、1980年度は $2,878 \times 10^3 \text{kcal}$ , 33.8%, 1990年度は $3,973 \times 10^3 \text{kcal}$ , 38.1%, 1999年度には $4,758 \times 10^3 \text{kcal}$ , 43.5%と全体の消費量および構成割合ともに増加の一途を歩んでいる<sup>1)</sup>。2001年7月には、東京電力管内での最大電力が5回も更新された。このようにエネルギー消費における電力依存が高まる中で、停電による影響も大きなものとなっている。ライフラインの途絶による被害波及・連鎖においては、電力供給の途絶は他システムへの影響が大きく<sup>2),3)</sup>、停電による被害を最小に抑えるための事前対策、及び迅速な復旧・復興対策を立案するためにも、電力の供給停止が社会生活に与える影響を定量的に把握する手法の確立が重要となっている。

一方、平常時における電力供給の信頼性は極めて高く、1999年度の東京電力管内で需要家一軒当

たりの停電回数は0.18回/年、停電継続時間は4分/年となっている<sup>4)</sup>。ライフラインの供給支障の影響を定量化する研究としては、塩野・朱牟田<sup>5)</sup>、能島・亀田・林<sup>6),7)</sup>によるライフライン途絶による生活支障の定量化の研究、川崎・長橋<sup>8)</sup>の上水道の機能停止による生活支障の定量化の研究があるが、これらは地震災害時の長期間に及ぶライフラインの途絶を取り扱ったものである。

本研究では、発生頻度の高い日常的に発生する規模の停電(最長でも1日程度)を対象とし、停電の発生時刻および継続時間によって変化する停電の影響を、定量的に評価できる手法を提案する。次に、提案手法を東京23区の配電用変電所に適用し、配電エリアごとの停電影響度マップを作成する。

## 2. 停電影響度評価モデル

### (1) 配電エリアの電力需要

本研究で評価する地域エリアは、一般需要家を対象として電力供給を行っている配電用変電所とした。都市部の電力需要は、住宅、オフィス、工場、店舗/飲食店の4つの電力需要パターンを組み合わせてとして式(1)のように表現できることが報告さ

れている<sup>9)</sup>。

$$y_j(t) = \sum_{i=1}^4 \alpha_{ji} x_i(t) \quad (1)$$

ここで、 $y_j(t)$  は配電エリア  $j$  の電力需要、 $\alpha_{ji}$  は配電エリア  $j$  の電力需要パターン  $i$  の軒数、 $x_i(t)$  は時刻  $t$  における電力需要パターン  $i$  の 1 軒あたりの平均電力需要である。ただし、 $i$  は各構成要素 ( $i=1$ : 住宅、2: オフィス、3: 工場、4: 店舗/飲食店) である。また配電エリア  $j$  の時刻  $t$  における正規化した電力需要  $\bar{y}_j(t)$  は、4 パターンの正規化した電力需要  $\bar{x}_{ji}(t)$  と寄与率  $C_{ji}$  を用いて、式 (2) のように表すことができる (図-1)<sup>9)</sup>。

$$\bar{y}_j(t) = \sum_{i=1}^4 C_{ji} \bar{x}_{ji}(t) \quad (2)$$

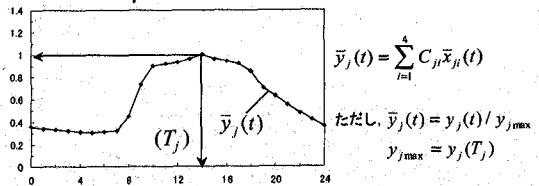
本研究においても、配電エリアの電力需要がこの4パターンに分類できることを利用し、停電影響度評価モデルの構築を行う。

## (2) 対象とする停電

本研究で対象とする停電は1日(24時間)程度としているが、これは日常的に発生する停電を対象としているためであり、その根拠は以下の通りである。

図-2 は新聞検索<sup>10)</sup> による停電事例調査の集計結果である。これによると首都圏(東京、神奈川、埼玉、千葉)で新聞記事になる程度の規模の停電が毎年20から数十件発生している。その継続時間は最長でも6時間以内であり、その多くは90分程度である。日本海中部地震(1983)<sup>11)</sup>、釧路沖地震(1993)<sup>12)</sup>、北海道東方沖地震(1994)<sup>13)</sup>、鳥取県西部地震(2000)<sup>14)</sup>、芸予地震(2001)<sup>15)</sup>など、わが国で発生した近年の地震による停電についても、停電戸数は一般の停電事故に比べて大規模になるが、継続時間は多くの風水害による停電(図-2)同様1日以内である。宮城県沖地震(1978)<sup>16)</sup>、19号台風(1991)<sup>17)</sup>、兵庫県南部地震(1995)<sup>18)</sup>、東海豪雨(2000)<sup>19)</sup>においては、応急復旧にそれぞれ1日半から1週間程度を要したが、このような長期間の停電は例外的である。またこうした大規模災害においては、①地域が大きく被災するため、平時に発生する停電の影響とは性質が異なる(例えば、家屋被害や浸水被害が多数発生し、多くの住民が避難活動をしている地域などを想定した場合、住民が受ける停電の影響は平時とは異なるだろう)、②停電に伴って波及する社会的影響が大きく長期に及ぶ、といった特徴があり、停電の性質も影響も日常的に発生する停電とは異なると思われることから、

最大値で正規化した  
配電エリア  $j$  の電力需要曲線:  $\bar{y}_j(t)$



## 電力需要の分解

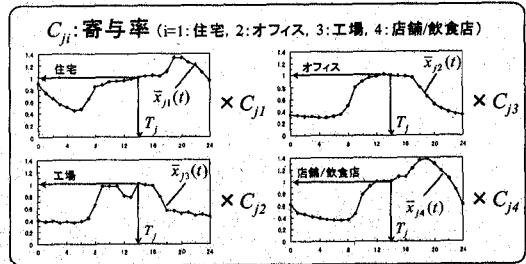


図-1 タイプ別の電力需要算定法の概要

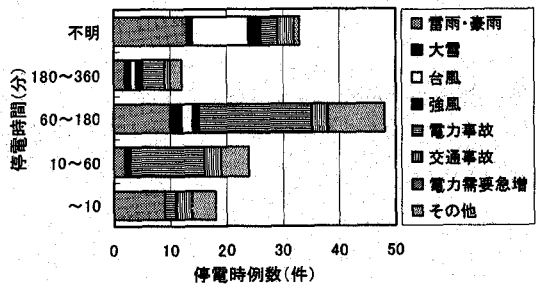


図-2 新聞検索による停電事例(1991年~2000年)<sup>10)</sup>  
(停電継続時間別に見た停電事例数)

1日を超えるような長期間の停電は本研究の対象外とした。

## (3) 停電の影響度の定義

本研究では「停電の影響」を、「平常時に行っている生活活動ができなくなってしまう状態」と定義し、各生活活動の重要度(価値)を評価して、「停電により妨げられた平常時ならば行っているはずの生活活動の重要度の合計」を停電影響度として評価する。

各配電エリアの停電影響度は、その配電エリア内の各パターンの潜在的影響度の和で表されるので、停電が時刻  $t_s$  に発生し、時間  $t_d$  だけ継続した場合に、この停電が配電エリア  $j$  に及ぼす影響  $E_j(t_s, t_d)$  は、

$$E_j(t_s, t_d) = \sum_i \{r_i \cdot e_{ji}(t_s, t_d)\} \quad (3)$$

と表せる。ただし、 $i=1$ :住宅,  $2$ :オフィス,  $3$ :工場,  $4$ :店舗/飲食店である。また、 $r_i$ は電力需要特性パターン間の重みを表す係数、 $e_{ji}(t_s, t_d)$ はパターン別潜在的影響度である。

#### (4) 停電影響度評価基準

各配電エリアの潜在的停電影響度を比較するとき、その評価基準としては、①消費電力の量、②停電の影響を受ける人口、③電力の使われ方、の3つを用いる。つまり消費電力および停電の影響を受ける人口が多いほど、停電の影響が大きいとした。また、停電の影響は同じ地域でも電力の使われ方(業種ごと、時間帯ごとの重要性の差)によって異なると考えられることから、本研究では各パターンの平均的な1軒当たりの消費電力を影響度の評価基準とし、対象とする配電エリアの消費電力と人口の積で相対的に比較する。電力需要パターン $i$ の潜在的停電影響度 $e_{ji}(t_s, t_d)$ は、次のように表せる。

$$e_{ji}(t_s, t_d) = \int_{t_s}^{t_s+t_d} \{P_{ji} \cdot \alpha_{ji} \cdot R_{ji}(t) \cdot U_i(t)\} dt \quad (4)$$

ここで、 $P_{ji}$ は配電エリア $j$ における電力需要パターン $i$ ごとの消費電力の補正係数、 $\alpha_{ji}$ は配電エリア $j$ 内の電力需要パターン $i$ の需要家数、 $R_{ji}(t)$ は時刻 $t$ における配電エリア $j$ 内の電力需要パターン1軒あたりの人口、 $U_i(t)$ は電力需要パターン1軒あたりの潜在的停電影響度である。式(4)から、 $e_{ji}$ は「人口」・「影響度」・「時間」という次元を持つこととなる。なお、 $P_{ji}$ は配電エリア $j$ の電力消費量とその全配電エリア平均との比であり、

$$P_{ji} = (C_{ji} y_{j\max}) / (\alpha_{ji} x_{i\max}) \quad (5)$$

と表される。

#### (5) 潜在的影響度と必要度関数

図-3に示すように、電力需要特性パターン $i$ で対象となる電力消費対象機器を $k$ とすると、 $k$ を利用する比率は時刻によって変化する。これはその機器の時刻別の必要度の変化と考えられることから、これを電力需要パターン $i$ で用いられる機器 $k$ の必要度関数( $h_{ki}(t)$ )と呼ぶこととする。パターン $i$ の1軒あたりの潜在的影響度 $U_{oi}(t)$ は $h_{ki}(t)$ を用いて、

$$U_{oi}(t) = \sum_k h_{ki}(t) \quad (6)$$

と表される。なお必要度関数は日照時間、就業・営業時間の平均、NHKの国民生活調査<sup>20)</sup>等から以下

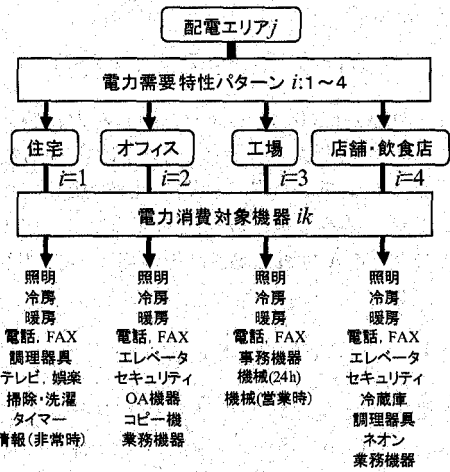


図-3 各電力需要パターン内の消費対象機器

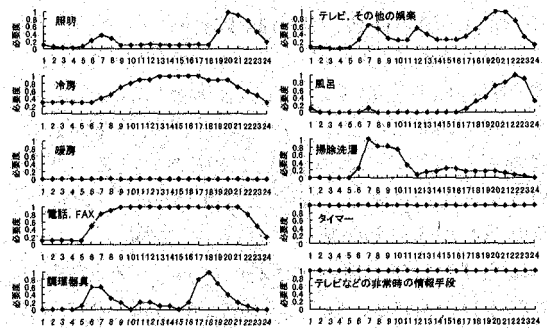


図-4 各電力消費対象機器の正規化必要度関数 ( $\beta_{ki}(t)$ , 住宅, 夏)

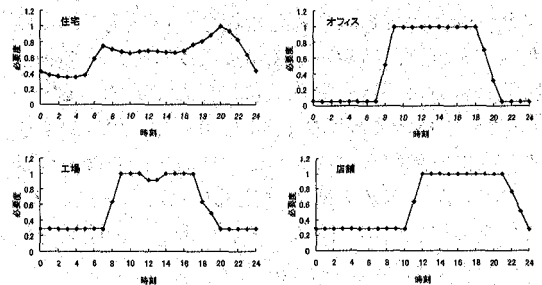


図-5 タイプ別の正規化必要度関数の和 ( $U_i(t)$ , 夏)

のように推定した。図-4は住宅タイプの夏の電力消費対象機器の必要度関数を例として示したものである。各季節、各パターンごとに電力消費対象機器の必要度関数を作成している。ただし、図-4はその消費対象機器が最も必要とされる時刻での値が1になるように正規化しており、この曲線を正規化必要度関数( $\beta_{ki}(t)$ )とする。必要度関数の最大

値  $H_{ki}(t)$  と  $\beta_{ki}(t)$  を用いると式 (6) は、

$$U_{oi}(t) = \sum_k h_{ki}(t) = \sum_k H_{ki}(t) \beta_{ki}(t) \quad (7)$$

と表される。  $U_{ki}(t)$  はパターン間の電力消費対象機器数の違い等があり、パターン内の相対的な比較は可能であるが、パターン間の比較が困難である。そこでカーブの形状だけを議論するため、式 (4) では式 (8) で定義された  $U_i(t)$  を使用することとした (図-5)。

$$U_i(t) = U_{oi}(t) / \sum_k H_{ki} \quad (8)$$

なお図-4 は夏の晴れた暑い日を想定したケースを表しているが、季節、天候、平日や休日の違いといった要因も、この関数を修正することで容易に取り込むことが可能である。

#### (6) 慣れ・遅れ関数と機能支障関数

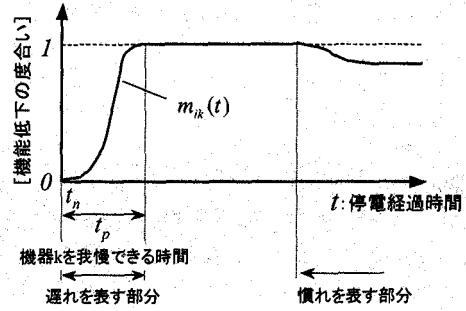
停電の継続時間が数分程度の短い時間ならば、利用者は何も困惑を感じないと考えられる (これを「困惑の発現の遅れ」と呼ぶ)。また停電が長時間継続した場合、慣れによって困惑の度合いが軽減されることもある。能島ら<sup>6)</sup> はこうした傾向を、時間遅れ項を評価関数に組み込んで表現している。本研究においても慣れ・遅れ関数  $m_{ik}(t)$  を用いて、これらを表す。図-6 (a) はこの  $m_{ik}(t)$  の定義である。慣れ・遅れ関数は困惑の程度を表しており、その最大値は1となる。また関数の原点は「停電後初めて機器  $k$  を必要とする時刻  $t_n$ 」である。なお停電が発生してもしばらくはその機能を維持できる場合 (例えば冷蔵庫を考えた場合、停電後のある時間内であれば、冷蔵庫の保温性によって、中の物が腐るといった問題が発生しない、など) は、図-6 (b) に示す機能支障関数  $f_{ik}(t)$  を用いてこの効果を表す。機能支障関数の最大値は、慣れ・遅れ関数同様1であるが、関数の原点は停電発生時刻  $t_s$  である。これらの慣れ・遅れ関数、および機能支障関数を使用すると、式 (4)、(7)、(8) は

$$e_{ji}(t_s, t_d) = \int_{t_s}^{t_s+t_d} \{P_{ji} \cdot a_{ji} \cdot R_{ji}(t) \cdot V_i(t)\} dt \quad (9)$$

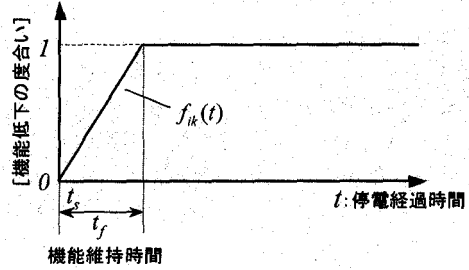
$$V_{oi}(t) = \sum_k H_{ki}(t) \beta_{ki}(t) \cdot m_{ki}(t) \cdot f_{ki}(t) \quad (10)$$

$$V_i(t) = V_{oi}(t) / \sum_k H_{ki} \quad (11)$$

と書き直せる。なお本論文では遅れを表す曲線部分はコサインカーブと仮定し、遅れ部分の長さを表す機器  $k$  の使用を我慢できる時間を  $t_p$  とした (図



(a) 慣れ・遅れ関数



(b) 機能支障関数

図-6 電力消費機器  $k$  の慣れ・遅れ関数と機能支障関数

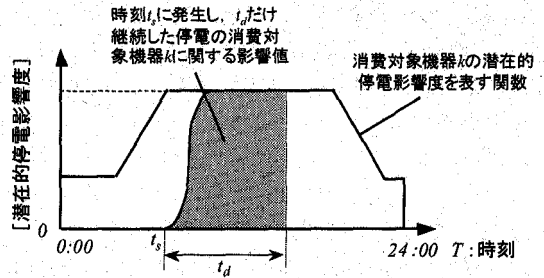


図-7 停電影響度の時間積分の概念図

図-7)。また計算において慣れを表す部分は、これを定量化する十分なデータがないために今回は考慮しなかった。

#### (7) 配電エリアごとの停電危険度指標

防災においては、各配電エリアの潜在的な停電影響度を考慮した上で、適切な事前対策を講じることが重要であるが、停電がいつ発生し、どれだけ継続するかは事前にはわからない。そこでここでは、適切な事前対策を講じるために、停電発生時刻や停電継続時間を総合的に考慮した配電エリアごとの停電危険度を表す指標 ( $PI$ : Power outage Index) を、式 (12)、式 (13) のように  $PI_1$ 、 $PI_2$  としてそれぞれ提案する。

$$PI_1 = \text{Max}[E_{id}(t_s), t_s = 0, 23] \quad (12)$$

表-1 ヒアリング集計結果

(a) 各電力消費対象機器の照明の重要度に対する重み

電力消費パターン	消費対象機器	回答者								回答件数	合計	平均	最大	最小
		A	B	C	D	E	F	G	H					
住宅	照明	10	10	10	10	10	10	10	10	8	80	10	10	10
	暖房	5	5	10	5	5	5	5	5	8	48	5	10	5
	冷房	10	3	10	20	1	5	6	5	8	40	8	20	1
	電話FAX	2	10	10	30	-	-	6	8	6	66	11	30	2
	調理器具	5	5	5	2	1	2	4	2	8	28	3	5	1
	テレビ、娯楽	2	1	5	5	-	-	3	2	6	18	3	5	1
	タイマー	-	-	-	10	-	-	-	-	1	10	10	10	10
	風呂	5	3	-	5	2	2	0	2	7	16	3	5	0
	掃除洗濯	-	-	-	10	-	-	-	2	2	12	6	10	2
	情報(非常時)	10	5	10	30	8	20	10	10	8	104	13	30	8
オフィス	照明	10	10	10	10	10	10	10	10	8	80	10	10	10
	暖房	5	5	10	5	8	7	8	5	8	51	6	10	5
	冷房	10	3	10	20	8	7	8	5	8	69	9	20	3
	電話FAX	10	10	10	40	8	30	8	8	8	120	15	40	8
	エレベータ	8	8	5	20	6	30	2	-	7	79	11	30	2
	OA	2	1	3	-	10	-	-	2	5	18	4	10	1
	コピー機	8	5	10	20	7	20	8	8	8	88	11	20	5
	セキュリティその他	8	2	10	8	5	6	8	8	8	65	8	20	2
		-	-	-	8	-	-	-	-	1	5	5	8	8
		-	-	-	8	-	-	-	-	1	5	5	8	8

(b) 停電後、各電力消費対象機器の使用を我慢できる時間(分)

電力消費パターン	消費対象機器	回答者								回答件数	合計	平均	最大	最小
		A	B	C	D	E	F	G	H					
住宅	照明	30	60	1	120	60	60	10	10	8	361	44	120	1
	暖房	360	∞	30	120	1440	360	120	30	8	2460	361	1440	30
	冷房	120	120	30	120	∞	360	120	60	8	830	133	360	30
	電話FAX	60	360	-	360	∞	60	10	30	6	880	147	360	10
	調理器具	1440	-	60	1440	360	120	120	60	8	3800	514	1440	60
	テレビ、娯楽	360	1440	120	120	-	120	10	10	6	2290	327	1440	10
	タイマー	360	360	1440	-	∞	∞	∞	∞	1	2161	540	1440	1
	風呂	1440	1440	-	1440	∞	∞	1440	120	7	6000	1000	1440	120
	掃除洗濯	∞	1440	1440	∞	∞	∞	120	360	2	3380	840	1440	120
	情報(非常時)	30	60	10	30	30	10	10	30	8	210	26	60	10
オフィス	照明	60	30	1	120	60	30	-	10	8	311	44	120	1
	暖房	360	720	30	120	60	720	120	30	8	2160	270	720	30
	冷房	120	120	30	120	120	720	120	120	8	1470	184	720	30
	電話FAX	60	-	-	30	10	60	10	-	8	170	24	60	10
	エレベータ	120	120	1	1440	30	30	-	30	7	1771	253	1440	1
	OA	120	60	30	120	120	360	10	60	5	880	110	360	10
	コピー機	120	120	30	120	120	360	10	30	8	210	714	360	10
	セキュリティその他	1440	-	-	1440	120	∞	1	10	8	3011	802	1440	10
		-	-	-	120	-	-	-	-	1	120	120	120	120
		-	-	-	120	-	-	-	-	1	120	120	120	120

表-2 アンケートから各電力需要特性パターンの照明に対する重み

各パターンの照明に対する重み				
住宅	オフィス	工場	店舗/飲食店	
照明 10	照明 10	照明 10	照明 10	
暖房 5	暖房 5	暖房 5	暖房 5	
冷房 5	冷房 7	冷房 7	冷房 8	
電話FAX 8	電話FAX 10	電話FAX 8	電話FAX 8	
調理器具 3	エレベータ 10	OA 10	エレベータ 10	
テレビ、娯楽 5	セキュリティ 2	機械(24h) 20	セキュリティ 5	
風呂 2	パソコン 10	機械(営業時) 20	冷蔵庫 20	
掃除洗濯 2	コピー機 5		調理機器 10	
タイマー 2	業務機器 5		ネオン 15	
情報(非常時) 10			業務機器 6	

表-3 アンケートから得た各電力消費機器の使用を我慢できる時間(分)

	住宅	オフィス	工場	店舗/飲食店
照明	30	照明 10	照明 30	照明 10
暖房	60	暖房 60	暖房 60	暖房 30
冷房	60	冷房 120	冷房 120	冷房 30
電話FAX	60	電話FAX 30	電話FAX 60	電話FAX 60
調理器具	120	エレベータ 30	OA 30	エレベータ 120
テレビ、娯楽	360	セキュリティ 60	機械(24h) 10	セキュリティ 60
風呂	720	パソコン 60	機械(営業時) 10	冷蔵庫 60
掃除洗濯	1440	コピー機 60		調理機器 30
タイマー	120	業務機器 60		ネオン 120
情報(非常時)	30			業務機器 30

表-4 各季節の電力需要記録日と諸元

	記録日	曜日	天候	最高気温 [°C]	最低気温 [°C]	平均湿度 [%]	平均風速 [m/s]
春	1997/4/16	水曜日	晴時々曇 曇一時雨	15.7	8.9	54	3.3
夏	1997/7/16	水曜日	曇曇 曇一時晴	35.0	25.5	62	3.1
秋	1997/10/16	水曜日	晴後一時曇	21.0	14.0	48	3.6
冬	1998/1/21	水曜日	快晴 快晴	13.6	0.4	46	3.0

$$PI_2 = \sum_{t_s=0}^{23} E_{td}(t_s) \quad (13)$$

PI<sub>1</sub>は、継続時間 t<sub>d</sub> の停電を設定し、ある配電エリアで1日の各時刻 t<sub>s</sub> に停電が発生した場合の停電影響度 E<sub>td</sub>(t<sub>s</sub>) を比較して、そのうち最も大きな影響度の値を、その配電エリアの停電危険度とするものである。PI<sub>2</sub>は、同様にして継続時間 t<sub>d</sub> の停電が1日の各時刻に発生した場合の総和をその配電エリアの停電危険度とするものである。PI<sub>1</sub> が大きい配電エリアは、停電が発生した場合にその影響度が大きくなる可能性があることを示し、PI<sub>2</sub> の値が大きい配電エリアは1日を通じて平均的に影響度が大きいことを示す。

### 3. アンケート調査

#### (1) アンケートの目的

本研究では「停電の影響度」を「停電により妨げられた平常時ならば行っているはずの生活活動の重要度の合計」と定義しているが、各生活行動の相対的な重要性は個人によって違いがある。そこで、

これらの違いを定量化するために、首都圏在住のライフライン防災の専門家(大学教官2名:地震工学, 研究所勤務1名:地震防災, 電力会社5名:工務部)を対象としたアンケート調査とブレインストーミングを実施した。アンケート調査から得ようとした指標は、以下の3つ、①電力消費対象機器 k 間の重み (H<sub>ki</sub>)、②停電時に電力消費対象機器 k の使用を我慢できる時間 t<sub>p</sub>、③電力需要パターン i 間の重み (r<sub>i</sub>)、である。なお、①は必要度関数の最大値であり、②は慣れ・遅れ関数 m<sub>ik</sub>(t) および機能支障関数 f<sub>ik</sub>(t) を設定するためである。

#### (2) 調査方法

調査は、本研究を共同で進めてきた研究会のメンバー8名を対象として行われた。アンケートを行

うに際しては、回答者が主観的な判断を極力加えないようにすることに重点を置き、アンケート調査はヒアリング形式で実施した。さらに、ヒアリング結果を集計し、その結果を見せながら、回答者全員が相互に自分がなぜそのような回答に至ったのかの理由を説明し、全員が納得できる値を最終的に決定した。なお、評価を行う際の基本的な立場としては、住宅については住民の立場から、オフィス、工場、店舗/飲食店については、経営者あるいは管理者の立場からの影響度を評価した。

### (3) 質問項目

まず、「電力消費対象機器間の重み」を決めるには、「普段の生活において機器 $k_1$ と機器 $k_2$ を比較すると、どちらがどのくらい必要(重要)であるか」

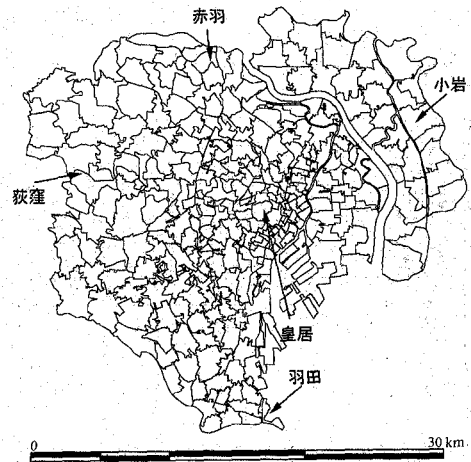


図-8 東京23区の配電エリア区分

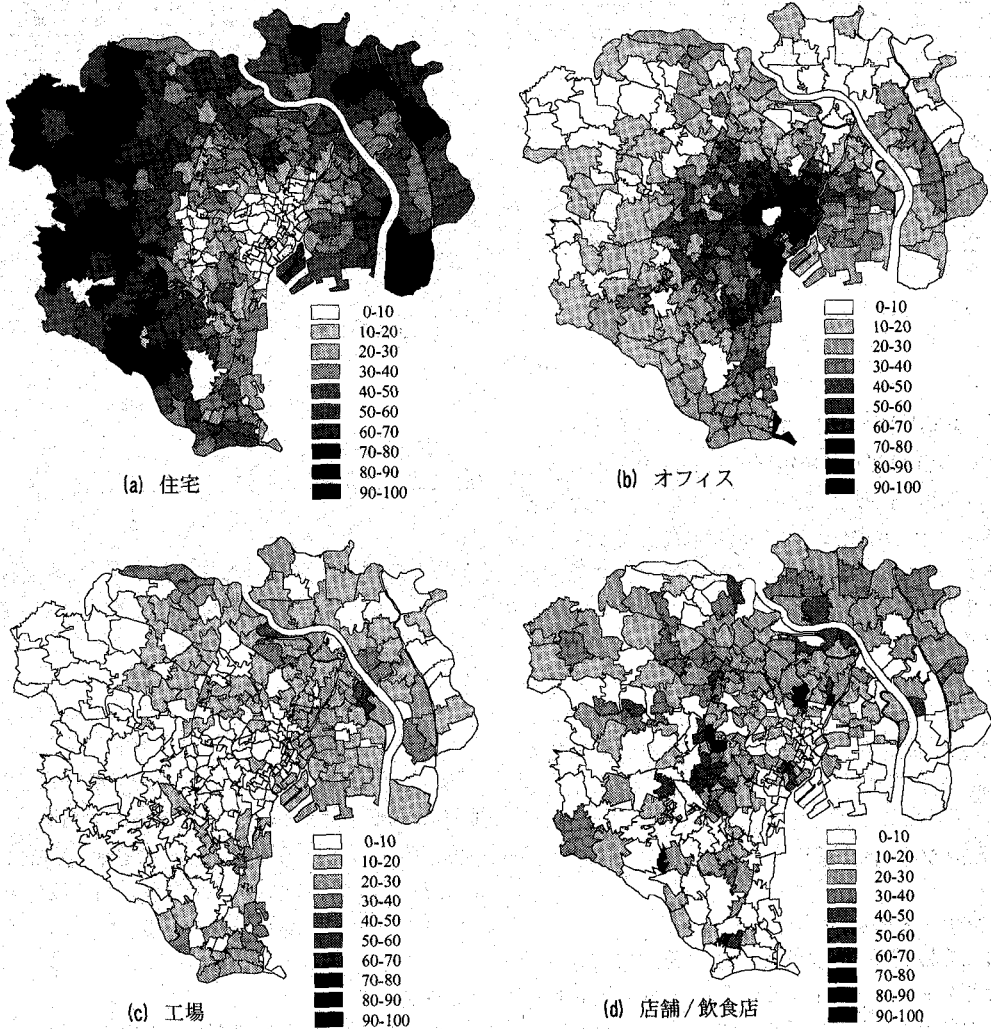


図-9 東京23区における4パターンの構成率(寄与率:%)分布(1997年夏)

といった数値を確定させる必要がある。そこで質問1では、照明が不可欠である時間帯は「照明」の重要度を10とし、これを基準として各電力消費対象機器の重みを「照明」に対する比の形で質問した。照明を基準としたのは、①4つの電力需要パターンに共通する機器である、②必要とされる程度が大きい、からである。質問2は、慣れ・遅れ関数の影響の発現の遅れを表すパラメータ( $t_p$ )を決定するための「停電時に機器kの使用を我慢できる時間」についての質問である。各電力消費対象機器が必要となる程度や我慢できる時間は、時刻によって異なることから、各設問では、「その機器をまさに必要としている場合」を想定して答えてもらった。

#### (4) 評価結果

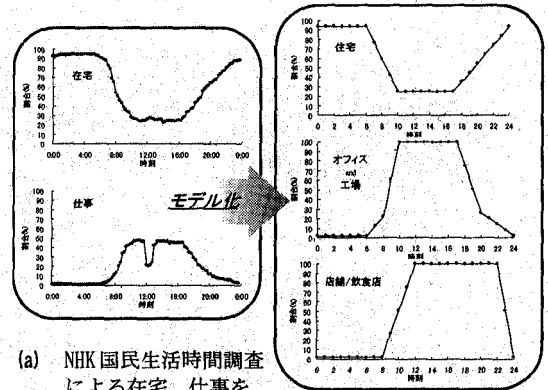
以上のようにして行ったヒアリング結果とブレインストーミングの結果を表-1~表-3に示す。ヒアリング結果を見ると、電力消費対象機器ごとの重要度には、かなりの差があることが判明した。これは単純な電力の消費量だけでは、対象機器の必要度は決まらないこと、停電の影響度の評価に際しても、対象機器ごとの重要度を考慮する必要性が示されているものと考えられる。また各電力消費機器の使用を我慢できる時間についても同様に、対象機器ごとに大きく異なる結果となった。

なお電力需要パターン間の重み $r_i$ は、本研究では1とした。

### 4. 東京23区の配電エリアへの適用

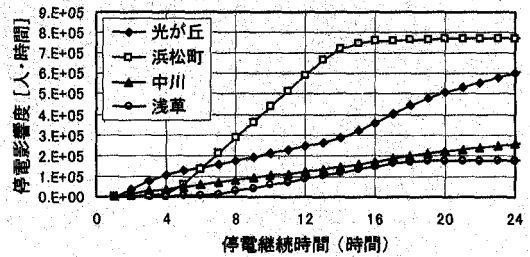
#### (1) 電力需要および地域特性データベースの構築

本研究で提案する停電影響度評価モデルを、東京23区の配電エリアに適用するにあたり、必要となるデータベースの構築を行った。すなわち、東京23区内の配電用変電所エリアマップ(図-8)、および各配電用変電所の季節別電力需要(時間稼働)からなる電力需要データベースをGIS上に構築した。本研究では、各季節の代表と見なせる表-4に示す記録日の電力需要データを選んだ。次に、平成7年度国勢調査<sup>21)</sup>と平成8年度事業所・企業統計調査<sup>22)</sup>の統計データをGISに取り込んで、地域特性データベースとした。具体的には国勢調査から「人口」と「世帯数」を、事業所・企業統計調査から「事業所数・営業所」「工場・作業所・鉱業所」「店舗・飲食店」を算出した。

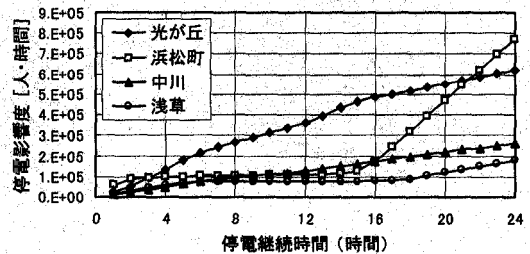


(a) NHK 国民生活時間調査による在宅、仕事を  
している人の割合<sup>17)</sup> (b) 各パターンごとの在宅および働いている人の割合

図-10 在宅人数および従業員数の時間推移のモデル化



(a) 夏: AM6:00 停電発生



(b) 夏: PM6:00 停電発生

図-11 停電影響度の時間変化

#### (2) 電力需要特性分析

各季節ごとの東京23区内の電力需要データを利用して、文献8)の手法を用いて、電力需要の4つのパターン(住宅、オフィス、工場、店舗/飲食店)の基本カーブの作成、および各配電エリアにおける4つのパターンの構成率(寄与率 $C_{ji}$ )を算出した。図-9は、4パターンの寄与率の分布を示している。「住宅タイプは郊外を中心に分布」、「オフィスタイプは皇居周辺の都心部を中心に分布」、「工場タイプは臨海部や荒川沿いに分布」、「店舗/飲食店は上野、新宿、渋谷といった繁華街、鉄道沿線沿



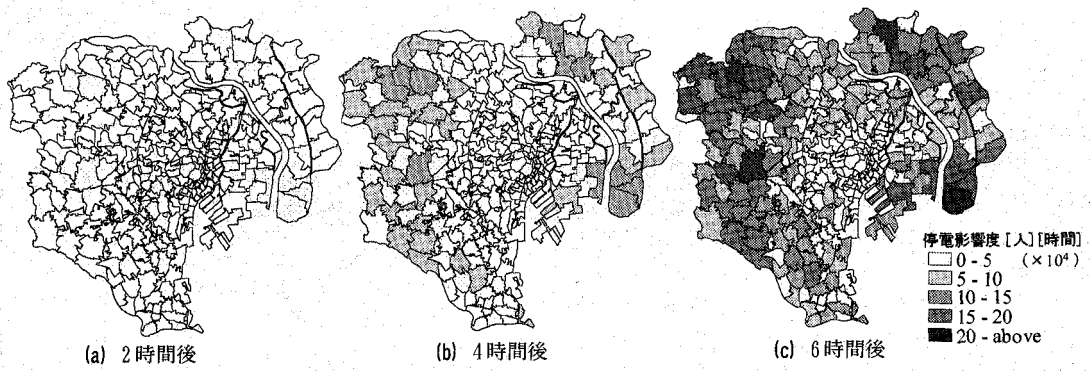


図-12 各配電エリアの停電継続時間ごとの停電影響度：夏 AM2:00 停電発生

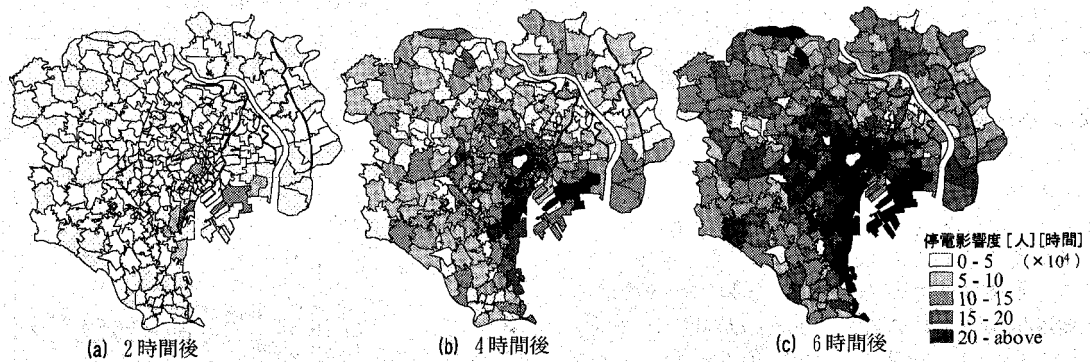


図-13 各配電エリアの停電継続時間ごとの停電影響度：夏 AM8:00 停電発生

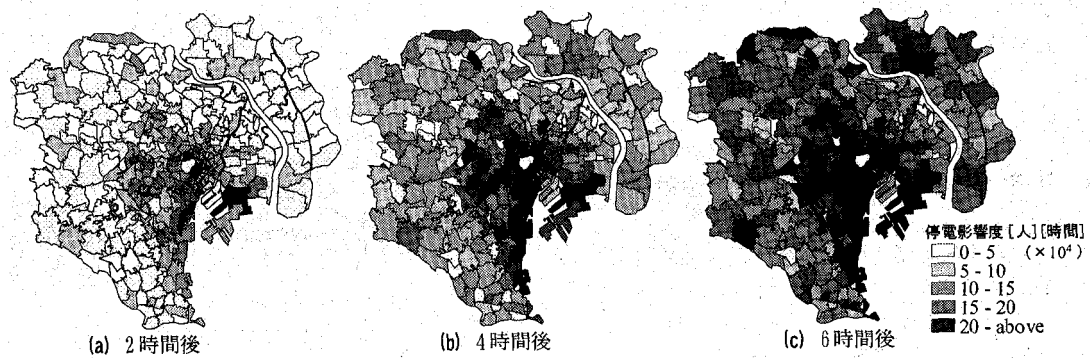


図-14 各配電エリアの停電継続時間ごとの停電影響度：夏 PM2:00 停電発生

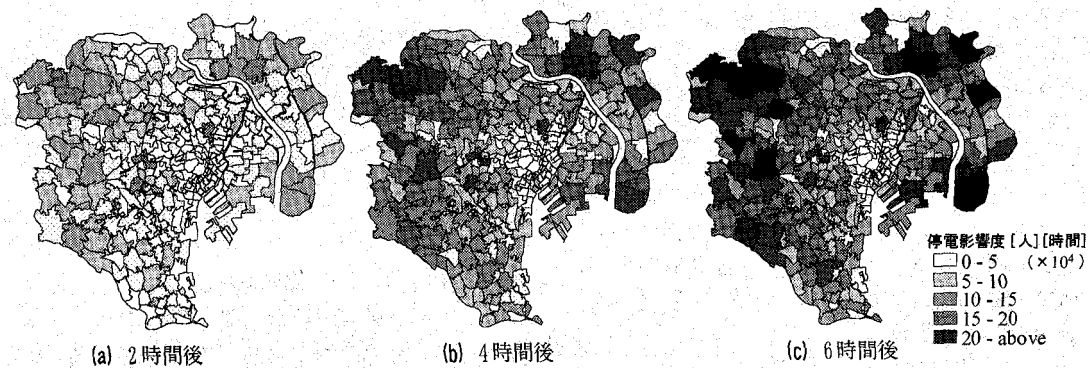


図-15 各配電エリアの停電継続時間ごとの停電影響度：夏 PM8:00 停電発生



いに分布」していることが示され、これらは実際の状況とよく一致している。

### (3) 人口の1日による変動

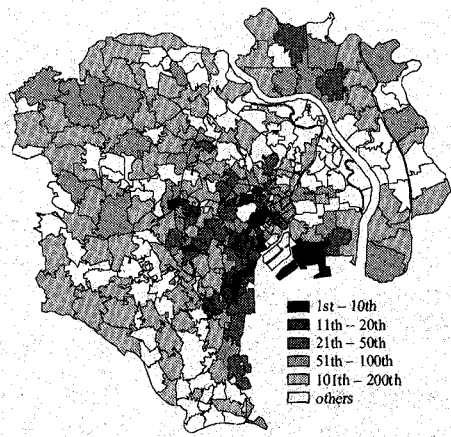
1日の時刻により、各パターンに属する人々の人数は大きく変動する。本研究では、住宅、オフィス、工場、店舗/飲食店の各パターンごとに1日の人口動向を表現する簡単なモデルを作成し、 $R_{ji}(t)$ とした。在宅者および就業者について、NHK国民生活時間調査の「在宅」、「仕事」をしている人の割合から、図-10に示すようにモデル化を行った。住宅については、在宅している人口の100%を国勢調査から求めた各配電エリアの人口とした。オフィスおよび工場については、日中の最大値において全従業員が就業しているものと仮定した。店舗/飲食店タイプについては、繁華街に位置して夜間に電力を使用して営業するタイプを想定していることから、夜間まで操業していると仮定した。また店舗/飲食店では、その店に居合わせたお客も影響を受けることから、従業員と客の人数を $R_{dj}(t)$ とした。客の数は東京都の平成4年度商業統計調査報告(一般飲食店)から、店舗1軒あたりの売上および客一人あたりの消費額がわかるので、これらの値から店舗/飲食店1軒あたりに平均して7.99人が滞在していると仮定した。

### (4) 停電影響度の算出

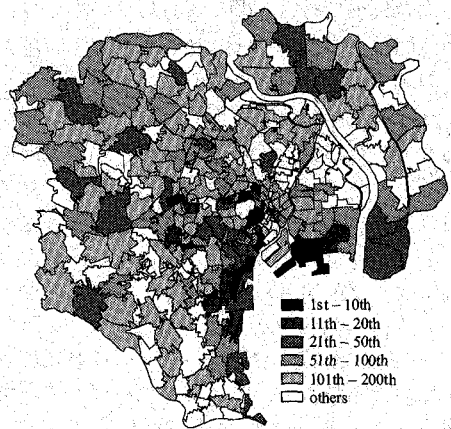
式(3)に従って停電の影響度を算出した。図-11(a)および(b)は、それぞれ夏の暑い日の午前6時、および午後6時に停電が発生した場合の、停電の影響がどのように上がっていくのかを、適当な4つの配電エリアを対象として示したものである。

午前6時に停電が発生した場合、住宅の多い光が丘はすぐに影響が発生し出すのに対し、オフィスや工場、店舗/飲食店の多い、他の3つの配電エリアは停電発生後4時間程度までは影響が小さい。停電発生から4時間後からオフィスの多い浜松町の影響が急激に増加しているが、営業時間が終わる夕刻を境に増加の割合は減少する。店舗/飲食店の多い浅草は、停電の影響が開始する時刻および影響の増加が小さくなる時刻は、オフィスに比べると2時間ほど遅いのがわかる。午後6時に停電が発生した場合は、住宅の多い光が丘の影響度の増加と比べると、他の3つの配電エリアの影響度の増加は緩やかである。しかしオフィスや工場が営業を開始する停電から16時間後には浜松町の影響は急激に増加している。

図-12~図-15は、それぞれ夏の暑い日の午前



(a)  $PI_1$ の大きさによる順位



(b)  $PI_2$ の大きさによる順位

図-16 潜在的停電危険度の順位の分布

2時、午前8時、午後2時および午後4時に停電が発生した場合の、停電発生から2時間、4時間、6時間後の停電の影響度の違いを示したものである。深夜に停電が発生した場合は、多くの人は活動を停止しているので停電の影響はすぐには表れない。その後、郊外の住宅地から徐々に停電の影響が開始するが、都心部の住宅地以外の地域はほとんど影響が表れていない。深夜の停電影響度は、他の停電発生時刻と比べると小さいことがわかる。早朝に停電が発生した場合は、初めは郊外の住宅地で影響が開始するが、オフィスや工場の営業活動が始まると同時に、停電の影響度は都心部、臨海部で大きくなっていく。日中に停電が発生した場合は、都心部(丸の内、新宿など)や臨海部における影響が顕著となる。また日中の活動時間帯における停電のために、影響度の絶対値も大きくなる。夜間に停電が発生した場合は、都心部ではオフィスや工

場は営業活動が終了しており、周辺部の郊外を中心に徐々に停電の影響が大きくなる。このように停電の影響度が発生時刻と継続時間によって大きく変化するとともに、その特徴が地域によっても大きく異なることがわかる。

なおこれらの結果は、個々の配電エリアに、ある継続時間の停電が発生した際に、どの程度の影響が及ぶのかを定量的に評価するものであり、東京23区全体が停電するような停電の発生を想定しているわけではない。

### (5) 停電危険度評価

図-16は、式(12)、(13)に従って算出した、 $t_d=2$ 時間における停電危険度指標( $PI_1$ ,  $PI_2$ )の大きさによる順位の分布である。 $PI_1$ ,  $PI_2$ は危険度を算出する積分時間の違いから、 $PI_1$ はオフィス・店舗/飲食店の、 $PI_2$ は住宅の構成率の高いエリアの停電影響度を高く評価する傾向があり、両指標の順位が大きく異なる場合が見られた。これらは住宅以外の需要カーブにおいては、需要のピーク時刻とエリア内の人口のピークが重なるため、1日の中で特定の時間帯における停電の影響が大きくなるからであり、逆に住宅タイプの場合、深夜も含めてどの時間帯にもコンスタントに停電の影響が発生するためである。しかしこれは4つのパターンがそれぞれ支配的なエリアにおける特徴であり、実際には個々の配電エリアは4つのパターンが適当に重なり合っているため、全体的には概ね同傾向の危険度を示す結果となった。これらの指標により高い危険度が算定された配電エリアについて、東京電力の関係者と議論した結果、「東京電力の専門家や担当者たちが、業務を通して停電による影響が大きいだらうと認識しているエリアと、その多くが一致している」との結論に至った。これは提案する停電危険度指標が、経験豊かな現場の担当者や専門家の意見に近い評価を行える事を意味しており、本指標の有用性を示していると考えられる。

## 5. おわりに

本研究では、日常的に発生する停電を対象として、停電の発生時刻および継続時間に応じた、停電影響度を定量的に評価する手法の提案を行った。すなわち、「停電の影響」を「平常時に行っている生活活動ができなくなってしまう状態」と定義し、「平常時ならば行っているはずの生活活動の重要さの合計」を「停電の影響度」として評価する手法を

構築した。また提案手法を東京23区の配電用変電所に適用し、電力需要分析ならびに各配電エリアの停電影響度マップの作成を行った。停電はいつ発生し、どの程度継続するのかを事前に知ることは困難であることから、発生時刻と継続時間を任意選択してその影響度を評価できる点は、本提案手法の優れた点と言える。

本研究の利用方法としては、事前の防災対策や投資の優先順位の決定、停電復旧時の復旧順位の決定、災害時の停電被害の想定、新しい配電用変電所設置時やその他の新規設備設置時の決定、など電力事業者や都市管理者の戦略的判断を支援することが考えられる。また、本研究では東京23区を対象としているため、他の地域に提案手法を適用するに当たっては、対象地域の人々の生活に応じた電力消費機器の選定と、そこで生活している人々を被験者としたアンケート調査の実施が必要であろう。

今後の課題としては、本研究では停電の影響度として考慮しなかった、①停電による他システムへの影響、②特別高圧需要家の影響、③バックアップ電源装置/施設の効果、④長期間の停電によって引き起こされる、深刻な生活支障ならびに社会的影響、などが挙げられる。

### 参考文献

- 1) 日本エネルギー経済研究所 計量分析部編:エネルギー・経済統計要覧、(財)省エネルギーセンター、2001。
- 2) 加藤多郎、能島暢呂、亀田弘行:都市ライフラインの地震被害とライフラインシステム間の相互連関の分析、京都大学防災研究所都市耐震センター研究報告別冊第3号、京都大学防災研究所、1990。
- 3) 研究代表者(片山恒雄):都市震災の連関および波及効果の解明と震災想定調査への利用に関する研究、科学研究費補助金(一般研究B)研究成果報告書、1989。
- 4) 東京電力株式会社 広報部:数表で見る東京電力 平成12年度版、2000。
- 5) 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、自然災害科学、Vol. 13, No. 2, pp. 193-203, 1994。
- 6) 能島暢呂、亀田弘行、吉川徹志:ライフライン地震被害による居住生活支障の評価に関する研究、第21回地震工学研究発表会、pp. 329-332, 1991。
- 7) 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、No. 3, pp. 195-202, 1993。
- 8) 川崎順子、長橋純男:地震時の上水道機能停止による生活支障の定量評価に関する研究、日本建築学会構造系論文集、No. 503, pp. 45-52, 1998。

- 9) 目黒公郎, 副島紀代, 山崎文雄, 片山恒雄: 電力需要特性から見た都市の地域分類, 土木学会論文集, No. 507/I-30, pp. 255-263, 1995.
- 10) 朝日新聞: 朝日新聞記事データベース, 1991-2000.
- 11) 土木学会: 1983年日本海中部地震震害調査報告書, 1986.
- 12) 研究代表者(鏡味洋史): 1993年釧路沖地震による被害の調査研究, 文部省科学研究費突発災害調査研究費成果総合研究(A), 1993.
- 13) 研究代表者(笠原稔): 平成6年(1994)北海道東方沖地震およびその被害に関する調査研究, 文部省科学研究費総合研究(A)突発災害調査研究成果報告書, 1994.
- 14) (社)土木学会 鳥取県西部地震被害調査団: 2000年10月6日鳥取県西部地震の報告書, 2000.
- 15) (社)土木学会 芸予地震被害調査団: 2001年3月24日芸予地震の報告書, 2001.
- 16) 片山恒雄, 増井由春: 1978年宮城県沖地震による都市供給施設の被害と復旧-電力施設-, 生産研究, 第31巻6号, pp. 532-536, 1991.
- 17) 目黒公郎, 永田茂, 立川貴重, 片山恒雄: 台風19号による大規模停電の都市機能への被害波及に関する調査研究-広島地域における大規模停電の影響-, 生産研究, 44巻4号, pp. 194-201, 1992.
- 18) 関西電力株式会社: 阪神・淡路大震災復旧記録, 1995.
- 19) 愛知県: 平成12年9月11日からの大雨による災害の記録, 2001.
- 20) NHK放送文化研究所編: 国民生活時間調査1990(県別), 日本放送出版協会, 1991.
- 21) (財)統計情報研究開発センター: 平成7年度国勢調査小地域集計
- 22) (財)統計情報研究開発センター: 平成8年事業所・企業統計調査 町丁・大字別集計

(2001. 11. 30 受付)

## EVALUATION OF EFFECTS OF POWER OUTAGE IN URBAN AREAS CONSIDERING THE OCCURRENCE TIME AND DURATION

Yasunori HADA, Jun KAWAKITA, Kimiro MEGURO, Fumio YAMAZAKI  
and Tsuneo KATAYAMA

With urbanization, the amount of electric-power consumption and its ratio to the total energy consumption have increased. Due to this increase, a possible power outage will have a severe impact to the affected urban area. In this study, we propose a quantitative evaluation method of the power outage effects. Power outage is defined as "a situation, in which people cannot do their usual activities" and a power outage effect index is evaluated as a total value of disturbance of various human activities. Proposed method is applied to Tokyo Metropolis and power load characteristics are analyzed. Prepared are maps of the power outage effects for each substation area.

