

# 電力供給量の変化に着目した 建物被害評価に関する基礎研究

秦康範<sup>1</sup>・目黒公郎<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 工修 東京大学大学院工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

<sup>2</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)

地震直後の被災地域の特定と被害量の把握は、防災関連機関の初動を決定する上で極めて重要である。本研究は地震前後の電力供給データを用いて、地域ごとの被害評価を試みるものである。すなわち、配電用変電所の供給エリアを地域単位として、地震前の電力需要から地域特性を把握するとともに、地震後の電力供給量の落ち込み具合から供給エリア内の建物被害を評価する手法を提案し、両者の関係について分析した。その結果、地震後の電力供給量の低下は地域の建物被害と高い相関を持つことが確認されるとともに、提案手法が、リアルタイム評価が可能、新たな設備投資がほとんど不要、天候や時刻に左右されない観測が可能、など有利な点を多く有し、実用に向けて大きな可能性があることが示された。

**Key Words:** damage evaluation, 1995 Kobe earthquake, power outage, electric power supply, carrier monitoring, substation

## 1. はじめに

防災関連機関が迅速な初動をとるためには、地震被害を早期に把握することが不可欠であり、兵庫県南部地震以降、情報の空白期を埋める目的で、多くの地震被害推定システムが導入された<sup>1),2)</sup>。これらは基本的には、気象庁や各自治体が設置した地震計情報から対象地域の揺れを推定し、その地域内に存在する建物データベースと建物被害関数を組み合わせて建物被害量を推定する仕組みになっている。しかし、この方法には地域ごとに多種多様なデータ(地震/地震動情報、地盤データ、建物データ)が必要であるばかりでなく、地震動の推定に関する不確定さ(地震動の空間的補完、地盤モデルなど)と地震動と建物被害との関係に関する不確定さ(建物被害関数の精度、建物被害を説明する適切な地震動パラメータの選定、など)の2段階の不確定さを有している。

一方、このような地震動情報を用いた被害推定ではなく、人工衛星によるリモートセンシングや航空写真を用いた空からの被害状況の把握を試みる研究が近年盛んに行われるようになってきた<sup>3)~6)</sup>。衛星データの場合、衛星の回帰周期(時間分解能)や解像度(空間分解能)の問題から、現状では精度高く被害を評

価することは難しい。また夜間や雨天/曇りでの使用が困難であったり、観測が時間や天候に大きく左右される等の問題も多く、実用化には解決すべき課題も多い。

そこで本研究では、被害状況の把握に電力供給量を用いる手法を提案する。電力は供給と消費(需要)の同時性や貯蔵の困難性など、他のサービスにない特徴を有するため、電力供給量は地域の人々の活動状況をリアルタイムに反映する。故に災害時には、人々の活動状況が地域の被災程度に強く影響を受けることから、発災後の電力供給量は被害状況を強く反映したものとなる。また電力供給量による被害評価には、「リアルタイム評価が可能」、「新たな設備投資がほとんど不要」、「建物の強度分布や被害関数を事前に用意する必要がない」、「天候や時間に左右されない観測が可能」など多くの特長がある。

本研究では、エリアの単位として配電用変電所供給エリア(以下では配電エリアという)を用いているが、各配電エリアには一般需要家(小規模産業や一般住家を主な構成要素とする)用に電圧を低下させて電力供給を行う配電用変電所が1つずつ存在している。1つの配電用変電所には通常3基(一部2基)の変圧器があり、15~20本程度の配電線(地域により異なる

が、例えば東京23区内でおおよそ19本、23区周辺で15本程度)が接続されている(図-1)。現状では電力会社がリアルタイムに電力供給量をモニタリングし記録する最小単位は一般的には配電用変電所であるが、配電用変電所に接続されている各配電線ごとの電力供給量をモニタリングすることは技術的に容易である。各配電線によって電力供給される地域を単位とすると、各配電エリアの15~20分の1程度のエリアを地域単位とする電力供給量のモニタリングが可能となる。そうした場合の地域単位は、町丁目並みもしくはそれ以下の面積となる。本研究は、将来的によりミクロな電力供給量のモニタリング環境が整備されることを念頭に、電力供給量を用いた建物被害評価の可能性について検討を試みるものである。

電力供給量を地震災害関連に適用した既往の研究としては、高島・林<sup>7),8)</sup>の研究があるが、これは地域内総生産(GRP)と電力消費量との強い相関を利用し、被害地域の長期的な復旧・復興状況をマクロに定量化するものである。しかし被害把握や地域特性を考慮した電力供給量の推移を扱った研究はほとんどない。そこで本研究では、電力供給量を用いた地震後の建物被害評価を目的に、その第1ステップとして、まず地震前の電力需要データおよび地域特性データを用いて、配電エリアごとの地震前の電力需要特性を評価する。次にその結果を踏まえ、地震後の電力供給量の推移と配電エリアごとの建物被害データとの関係を分析し、地震発生前後の電力供給量の変化に着目した建物被害評価の可能性について検討する。

なお本研究では、配電用変電所が各配電エリアに供給した電力量を「供給量」と呼んでいる。平常時には供給量と需要量は同じになるが、地震後には供給系の被害で末端の需要家が電力を使えない状況が発生するために、需要という用語は適切ではないと考えたからである。本研究では、地震前後の電力供給量の比を電力供給比と呼ぶことにする。

## 2. 電力需要と地域特性

電力需要特性は、供給するエリアの地域特性に大きく依存している。目黒ら<sup>9)</sup>は、一般需要家(図-1参照)に電力を供給する配電エリアを基本的な地域単位として、平常時における電力需要特性と地域分類を行っている。本研究では地震後の電力供給量の推移は地域特性と関係があると考え、まず平常時における電力需要特性評価を行っている。すなわち、兵庫県南部地震による被災程度の高かった阪神地域の配電エリアの地震発生前の電力需要データを用いて、目黒らの手法による電力需要特性の分析を行った。図-2と3に今回分

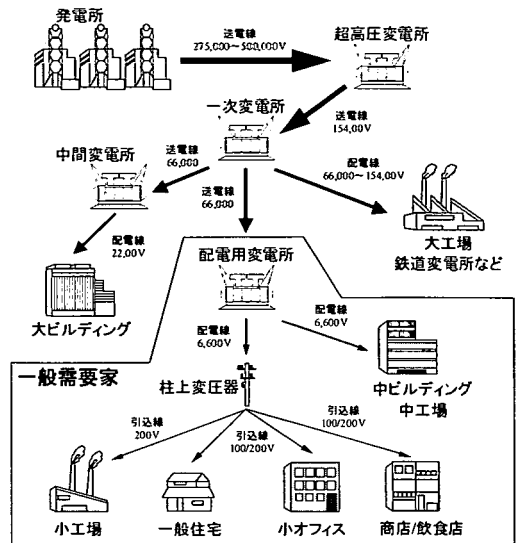


図-1 電力設備の系統

析対象とした阪神地域の被災エリア(69配変)と東京23区(314配変)の配電エリアを示す。両者の大きさを比較すると、表-1に示すように前者の平均が4.78km<sup>2</sup>、後者の平均が1.78km<sup>2</sup>となっている。

### (1) 電力供給量および地域特性データベースの作成

地震前後の電力需要を分析するため、図-4に示す兵庫県南部地震による被害の大きかった関西電力㈱の神戸支店管内の8制御所(付録1参照)の全ての配電用変電所(124箇所)について、地震前後(95年1月9日(月)~1月24日(火)、地震後1,2週間後の1月28日(土)~2月3日(金)、地震後1ヶ月後の2月18日(土)~2月24日(金))の電力供給量データベースを構築した。配電エリアのポリゴンデータは国土地理院発行の5万分の1の紙地図をベースに作成された配電用変電所供給区域図(平成7年8月現在)を基に作成した。対象地域としては、図-3に示す神戸支店管内124配電エリアのうち、地震による被害の激しかった震度7の地域を含む69箇所の配電エリアを選んだ。各配電エリアの電力供給量データは、3基(一部2基)設置されている変圧器の電力量(MWh)の毎時記録から構成されている。本研究では電力量(MWh)を電力供給量(需要量)を表す指標として用いることとする。

次に、平成2年度国勢調査(基本単位区別集計)<sup>10)</sup>と平成3年度事業所統計調査(町丁・大字別集計)<sup>11)</sup>結果をGIS上に取り込んで、地域特性データベースを構築した。国勢調査からは「世帯数」を、事業所統計調査からは「事業所数」「事務所・営業所数」「工場・作業所・鉱業所数」「店舗・飲食店数」を算出する。これらのデータは兵庫県南部地震から4,5年前に集計さ

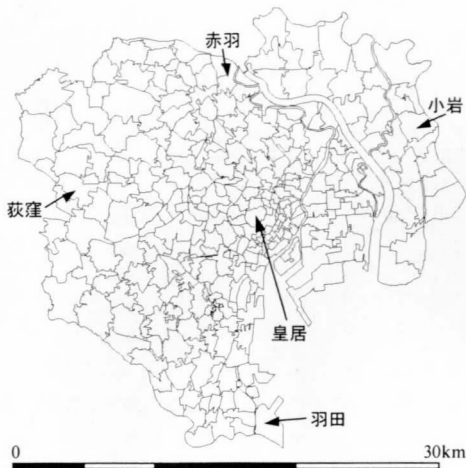


図-2 東京23区の配電エリア区分



図-3 分析対象とした阪神地域の配電エリア区分

表-1 東京23区と阪神地域(分析対象地域)の配電用変電所エリアの平均的特性

	面積 [km <sup>2</sup> ]	世帯数 [件]	人口 [人]	事業所数 [件]	従業者数 [人]
東京23区 (314配変)	1.78	10726	25470	2018	22836
阪神地域 (69配変)	4.78	12569	33285	1854	15343

表-2 東京および神戸の電力需要記録日と諸元<sup>5)</sup>

	記録日(曜)	天候	平均気温	最高気温 最低気温	平均湿度	平均風速	日の出 日の入
東京 <sup>1)</sup>	1992/1/22(水)	曇後晴	7.3℃	11.7℃ 3.1℃	45%	2.7m/s	6:48 16:57
神戸 <sup>2)</sup>	1995/1/11(水)	曇時々晴	4.0℃	7.3℃ 1.0℃	52%	4.8m/s	7:07 17:07

れたものであるが、次の国勢調査および事業所統計調査が地震後の平成7年度および平成8年度に実施され、地震被害の影響を受けていることから、本研究では平成2年～3年に実施された調査結果を基本データとして用いた。

## (2) 電力需要の構成要素の算定

配電エリアの電力需要曲線は、住宅型、オフィス型、工場型、店舗/飲食店型の典型的な4つのパターンに分類できることがわかっている<sup>9)</sup>。すなわち、式(1)のように、

$$y_j(t) = \sum_i \alpha_{ji} x_i(t) \quad (1)$$

と表すことができる。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)を示す。また、 $\alpha_{ji}$ はエリア $j$ 内の構成要素 $i$ の件数、 $x_i(t)$ は時刻 $t$ における構成要素 $i$ の1件当たりの平均電力需要量である。

ここで $\alpha_{ji}$ が既知であれば、4つの構成要素の $x_i(t)$ を求めることができる。しかし $\alpha_{ji}$ は電力会社でも把握されていないことから、前述の地域特性データベース

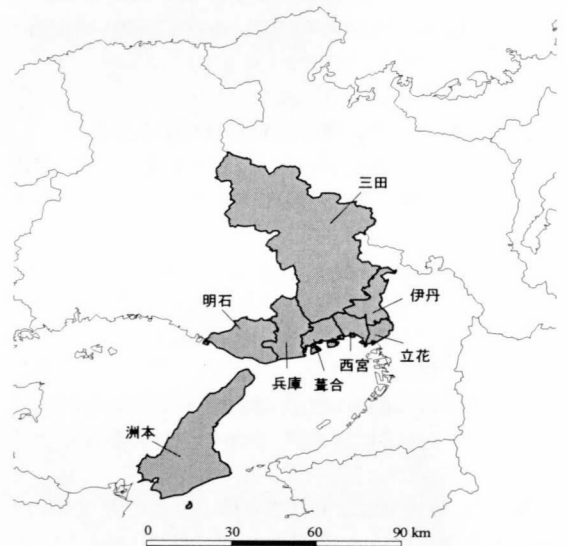


図-4 関西電力神戸支店管内の制御所

を用いて、配電エリアごとの値を算出した。ここでは配電エリアを町丁目の集合体と仮定し、各町丁目単位の属性データを配電エリアごとに集計した。そして算出した65カ所の $\alpha_{ji}$ から回帰分析を用いて $x_i(t)$ を求め(付録2参照)、これを東京23区のものと比較した(図-5)。電力需要量としては、電圧がほぼ一定(6.6kV)であることから、電流(A)を用いて比較した(付録3参照)。なお、分析に使った電力需要データの記録日および気象特性は表-2の通りである。

東京23区と阪神地域の電力需要についてタイプごとの特性を見ると(図-5)、以下の①～⑤のような点が指摘できる。①どのタイプについても電力需要曲線の形状は似ている、②特に住宅タイプの電力需要曲線

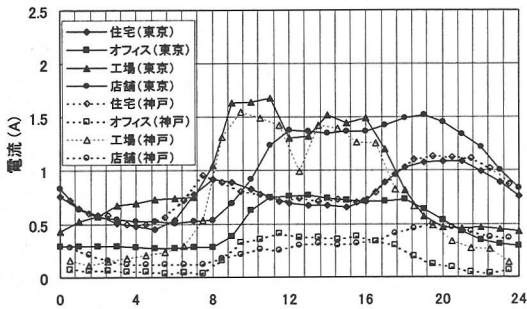


図-5 東京23区と阪神地域の需要家1件当たりのパターン別電力需要曲線の比較(住宅のみ10件, 他は1件当たりの需要)

は東京23区と阪神地域でよく一致する, ③オフィスタイプの電力需要は, 東京23区の方が全般的に2倍ほど大きい, ④工場タイプでは日中の需要特性はよく一致するが, 深夜における需要は東京23区の方が大きい, ⑤店舗/飲食タイプでは東京23区の方が全般的に3倍ほど需要量が大きい。

### (3) 各配電エリアの構成要素別寄与率の算定

図-5に示した住宅・オフィス・工場・店舗/飲食店の1件当たりの電力需要曲線を用いて, 各配電エリアのエリア全体の電力需要に占める4つの構成要素の電力需要の割合(寄与率)を算定した(付録4参照). 寄与率は, そのエリアにおける最大電力需要に占める4つの構成要素の割合であり, 電力需要から地域特性を評価する指標となっている. 求めた寄与率から逆算した電力需要と実際の電力需要曲線との関係について, その1例を図-6に示すが, 両者が良い一致を示すことがわかる。

図-7に阪神地域における各構成要素の寄与率を配電エリア図上に示す. 分析対象地域が全体的に住宅の寄与率が高い地域であることがわかる. その中でも阪急沿線を中心とした地域の住宅寄与率が大きい. 一方オフィス及び工場の寄与率は, 神戸市, 尼崎市の臨海部を中心として高くなっている. 店舗/飲食店の分布は三宮を含むエリアが際だって強く, 他は高いところでも40%以下という結果となった。

## 3. 地震前後の供給量の推移

### (1) 制御所単位で見た地震前後の電力供給量の推移

兵庫県南部地震の前後の電力供給量の変化を調べるために, 図-8に示すように神戸支店管内の全配電用変電所の電力供給量データを各制御所ごとに集計した. 一般に電力需要は, 平日に比べ週末および祝日に低下するが, 同様の状況が地震前の1月14日(土), 15

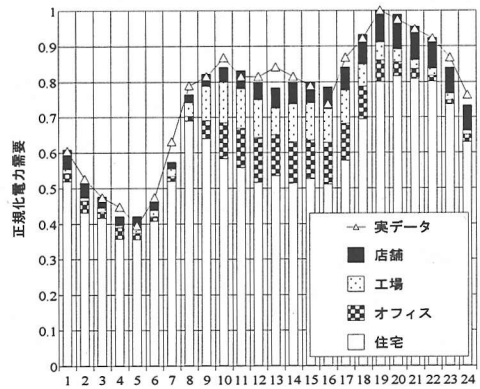


図-6 寄与率から逆算したタイプ別電力需要と実際の電力需要曲線(ピーク値で正規化)との比較

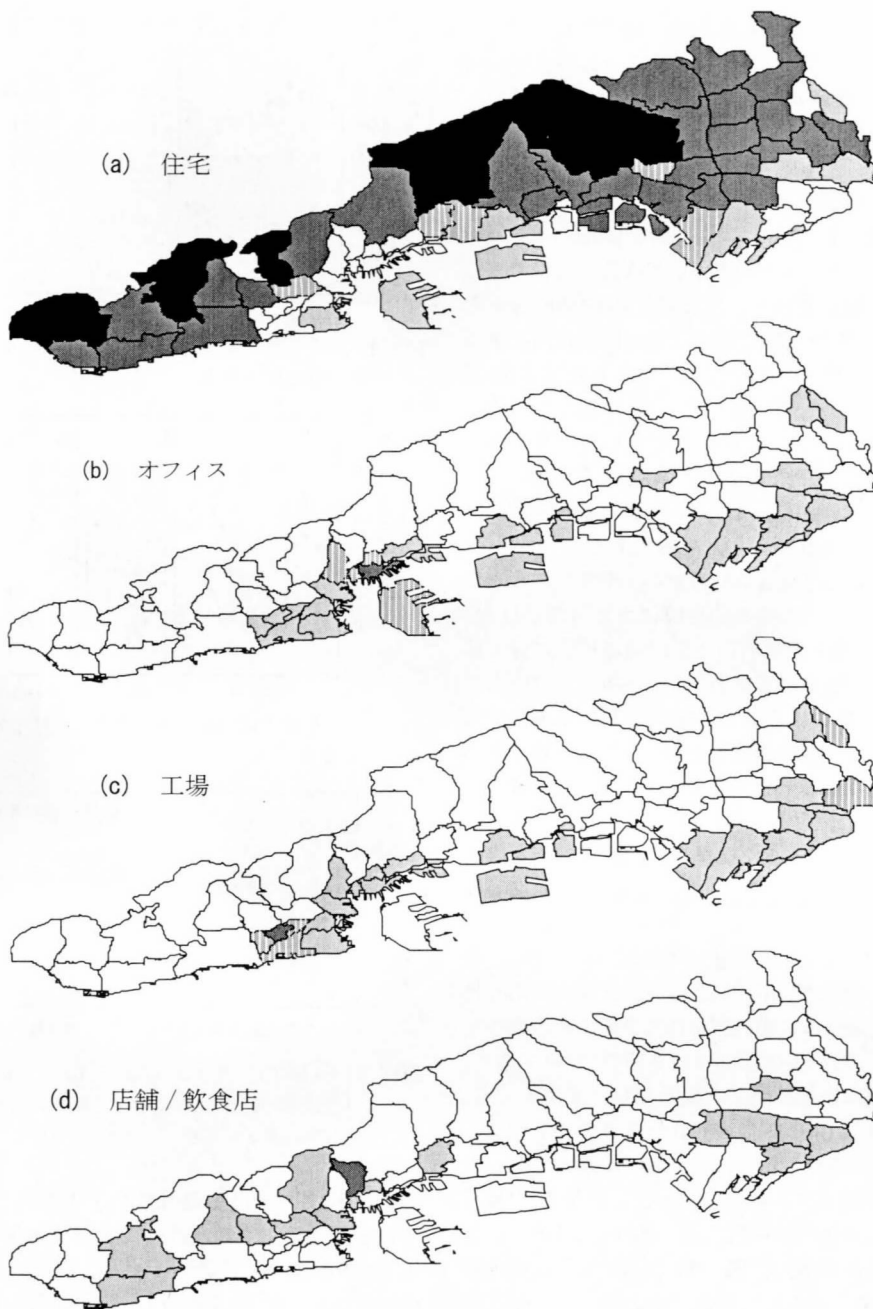
日(日), 16日(振替休日)を含め, 地震後の各土曜日, 日曜日にも確認できた. なお葺合制御所では, 1月21日(土)と1月22日(日)において, 電力供給量が増加しているが, これはこの時点において葺合制御所内に供給支障エリアがまだ残っており, それが解消されるに従って, 電気を使用できる需要家数が増加したためと考えられる. 地震被害の軽微だった三田制御所では, 地震前後での供給量の変化はほとんど見られない. 一方地震直後の電力供給量の低下が著しく, その後もなかなか回復してない地域(葺合, 兵庫, 西宮)は地震被害の大きかった地域と一致する。

### (2) 気象的な要因による電力需要の変動

電力需要の推定に当たっては, 中・長期的には国内外の経済状況やエネルギー情勢などの様々な変化を考慮しなくてはならない<sup>12)</sup>. しかし, 日々の電力需要の増減に与える影響においては, 気象的要因の方が大きい<sup>13)</sup>. そこでまず分析対象とする電力供給量データに与える気象的要因の影響を調査した。

図-9は研究対象期間の平日(一般に土日・祝日の電力需要は低下する<sup>12)</sup>ため除外した)における神戸海洋気象台の気温推移である. 分析に利用した地震当日, 地震から1週間後, 2週間後, 1ヶ月後(それぞれ, 1月17日, 1月24日, 1月31日, 2月24日)の平均気温の変動幅は4°Cであった. 次に神戸海洋気象台付近の2つの制御所(兵庫・葺合)の35配電用変電所の地震前1週間の平日の一日の電力需要の変動について調べた(図-10). その結果, 平均気温の変動幅は7°Cで全ての配電エリアについて, 電力需要量のピーク値は平均値の±7%内に収まった。

本研究では地震前後の電力供給比によって地震後の電力供給量の落ち込みを評価するが, 今回の分析では図-9と図-10の結果に基づいて, 気温の変動による電力需要の変動は無視した. すなわち地震前の平日



寄与率	該当数 (構成比率)			
	(a) 住宅	(b) オフィス	(c) 工場	(d) 店舗 / 飲食店
0-20	18 (26%)	42 (61%)	43 (62%)	52 (75%)
21-40	9 (13%)	22 (32%)	20 (29%)	16 (23%)
41-60	5 (7%)	4 (6%)	5 (7%)	0 (0%)
61-80	28 (41%)	1 (1%)	1 (1%)	1 (1%)
81-100	9 (13%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)

図-7 阪神地域における4構成要素の寄与率分布

1週間の気温差(7℃)による変動が最大でも1割以下であること、分析対象とした地震後の気温の変動幅(4℃)は地震前のそれよりも小さいことから、本研究を進める上での影響は小さいと判断した。

### (3) 停電発生原因

停電は、図-11に示す電力供給設備(①~⑤)のいずれかの設備(少なくとも1設備)に障害が発生することにより引き起こされる。例えば、1999年の台湾集集地震後に、震源から遠く離れた台北市で長期に渡って発生した停電は、台湾中央部の中寮の開閉設備(図-11の③に相当)の被害により、台南にある発電所からの送電ができなくなったことを原因としている。また1999年11月22日に発生した自衛隊機墜落事故による首都圏の大規模停電は、図-11の②の高圧送電線が断線したことにより発生したものである。

一方、兵庫県南部地震では、全ての設備が被害を受けたが、特に②~⑤の設備の支障により停電が拡大・長期化した。配電用変電所の上位設備の被害に伴う供給支障は、169配電用変電所<sup>14)</sup>(うち神戸支店管内では106箇所<sup>15)</sup>)のほり、この結果として地震発生直後に、広域に渡る停電が発生した。しかし一般に電力供給システムは系統の多重化をはかるなど、上位から下位の設備に至るまで様々なレベルで冗長性のあるシステムとなっている。故に配電用変電所が機能を維持できないほどの被害を受ける場合を除き、系統切替等により供給支障はすみやかに回復する(ちなみに兵庫県南部地震では、地震発生後3時間以内に約85%の配電用変電所の機能が回復<sup>14)</sup>している)。兵庫県南部地震で配電用変電所の設備被害に伴う供給支障が発生したのは4箇所(神戸支店管内では2箇所)のみであり、このうちで復旧に最も時間を要した葺合変電所でも、地震発生翌日の18日午前7時23分には機能が回復している。この時点で、すべての変電所において電力供給が可能な体制が整えられていたことになる。兵庫県南部地震による停電の回復には1週間を要したが、停電を長引かせた原因は、図-11の④の配電設備の被害や、復旧作業と並行して実施する必要のあった⑤の個別家屋の安全確認<sup>16)</sup>である。

以上からわかることは、兵庫県南部地震によって最長1週間に及んだ停電を長引かせた原因は、配電用変電所よりも下位の施設の問題であったことである。なお本研究では、配電用変電所よりも下位の施設の問題から供給支障のあった需要家数については考慮していない。

### (4) 地震前後の配電用変電所の電力供給量

前節では制御所単位で地震前後の電力供給量の推移

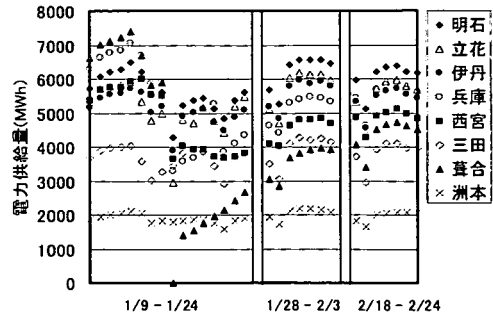


図-8 兵庫県南部地震前後における制御所単位で見た電力供給量の推移

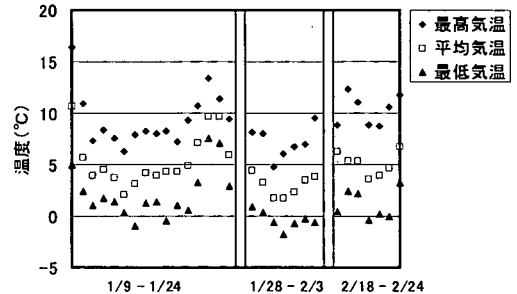


図-9 兵庫県南部地震前後の平日における神戸の温度変化

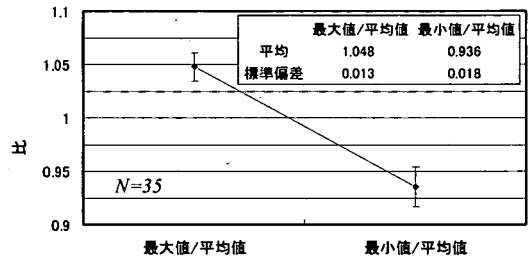


図-10 地震前{1月9日(月)~13日(金)}における兵庫・葺合制御所内の35配電用変電所の一日の電力需要の変動

を見たが、ここでは配電用変電所の供給エリアを地域単位として見てみる。図-12に示す被災程度の異なる4つの配電エリア(氷上、武庫、広田、長田)を取り上げて検討を行う。図-13と14は地震後の電力供給量の推移である。図-13は毎日の電力供給量のピーク値を、同様に図-14は各時刻の電力供給量を、それぞれ地震前一週間の平日の電力供給量のピーク値の平均で除した比として表したものである。

被災地域から遠く離れた氷上では、電力供給量には地震直後からほとんど変化がないことがわかる。武庫、広田、長田はその地域の被災程度に応じて地震直後に電力供給量が落ち込み、その後徐々に回復していく様子が見られる。武庫は地震直後の1週間は地震前の8割程度まで供給量が落ち込むが、その後は地震前

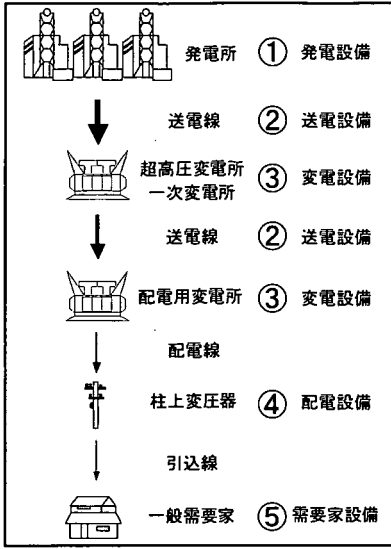


図-11 電力供給設備



図-12 変電所の位置

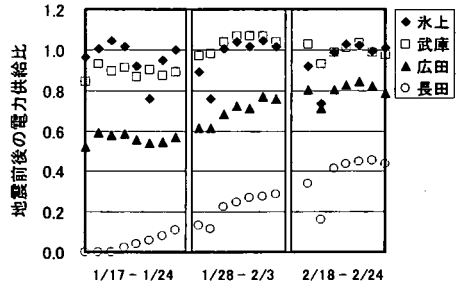
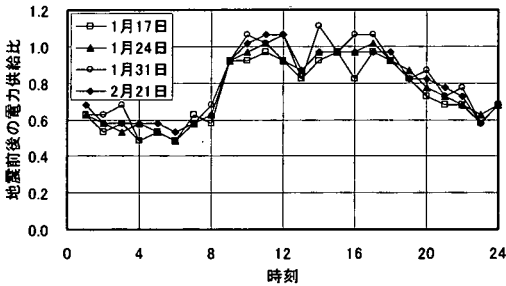
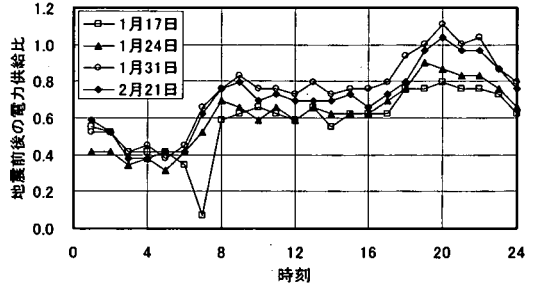


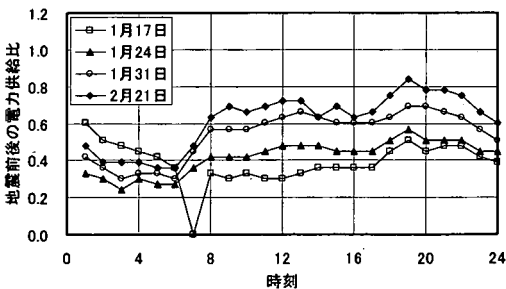
図-13 兵庫県南部地震後の氷上・武庫・広田・長田変電所の電力供給量の推移



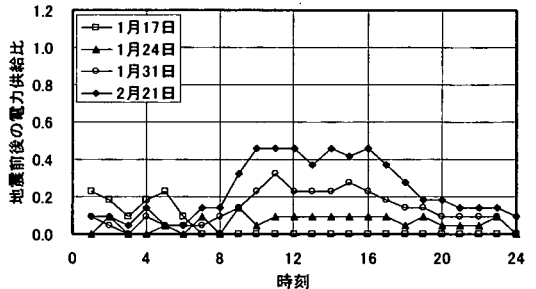
(a) 氷上変電所の電力供給比カーブ



(b) 武庫変電所の電力供給比カーブ



(c) 広田変電所の電力供給比カーブ



(d) 長田変電所の電力供給比カーブ

図-14 地震後の氷上・武庫・広田・長田変電所の電力需要比カーブ(地震当日, 1週間後, 2週間後, 1ヶ月後)

の水準まで回復している。一方、被害の激しかった長田は、地震から1ヶ月経過した段階でも地震前の5割程度しか回復していないことがわかる。

そこで電力供給量の推移の地域的な変化を面的に分析するために、図-15に示すように時間経過と電力供給量との関係をGISを用いて地図上で比較した。地

震当日(図-15(a))に電力供給量が著しく低いところ(供給比が0~0.2のエリア)は、変電設備および配電設備の機能障害によって停電していた地域を含んでいる。図からまずわかることは、地震被害の少なかった周辺地域ほど電力需要が早く回復していることである。周辺地域にあって被害が少ないにもかかわらず需

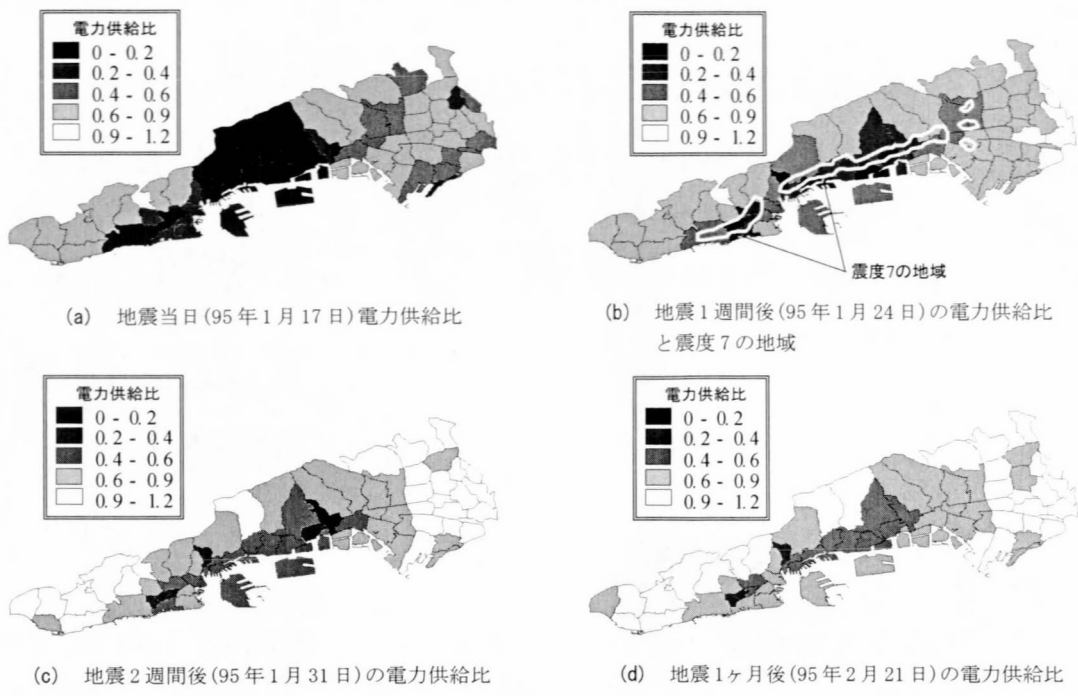


図-15 地震前後の電力供給比の空間的分布(地震当日, 1週間後, 2週間後, 1ヶ月後)

要が回復していない配電エリアは、工場の寄与率が高いエリアであり、水道やガスの供給停止、交通渋滞、従業員の参集不能などによって、操業が困難であった地域と考えられる。図-15(b)は地震1週間後の状況である。この時点では既に説明したように電力の供給支障は全て解消されているにもかかわらず、需要がほとんど回復していない地域が見られる。この地域は図-15(b)からもわかるように、震度7の地域と良く一致する。図-15(c)と(d)を見ると、電力需要は地震から2週間後、1ヶ月後と徐々に回復していくが、地震被害の大きい地域ほど回復が遅いことがわかる。

#### 4. 電力供給量と建物被害の関係

##### (1) 建物被害データ

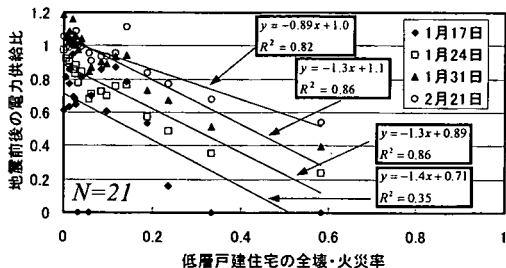
兵庫県南部地震の被災地域では、被災建物の応急危険度判定や罹災証明の発行、被害メカニズムの基礎データの収集を目的に、自治体や研究機関など様々な組織によって被害調査が行われている。本研究で分析対象とする配電エリアはいくつかの自治体にまたがっている。村尾・山崎<sup>17)</sup>によると、各自治体を実施した被害調査データの間には、被害尺度の定義が異なるなどの問題がある。そこで本研究では、統一の評価基準を用いて被災度調査をしている建設省建築研究所がとりまとめた被害調査報告<sup>18)</sup>を利用す

る。これは震災復興都市づくり特別委員会および兵庫県都市住宅部計画課<sup>19)</sup>が行った建築物被災度調査結果を数値化したものである。なお本研究では、建築研究所の被害分類のうち、被災度が全壊又は大破を「全壊」、中程度の損傷を「半壊」、火災による損傷を「火災」として扱う。なお火災の被害程度については、建築研究所の被害分類同様、ここでは区別していない。建築物の用途は6種類(戸建住宅, 集合住宅, 商業・業務施設, 工業・流通, その他, 用途未調査)に分類されているが、そのうち戸建住宅, 商業・業務施設, 工業施設の3つを分析対象とした。建築物階数は3種類(3階建以上の中高層建築物, 2階建以下の低層建築物, 無壁舎)に分類されているが、ここでは一般需要家と関係の強い低層建築物(以下では低層と呼ぶ)を分析対象とした。町丁目単位で集計されたこれらの建物被害データを、配電エリア単位で再集計し、分析用の基礎データベースとした。そして建物被害が発生している59の配電エリアについて、建物被害と電力供給量との関係を分析した。

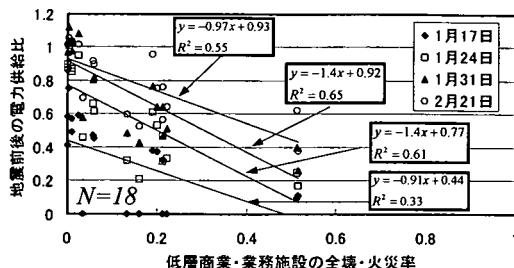
##### (2) 建物被害と電力供給量の推移

建物被害のあった59の配電エリアのうち、住宅、オフィス、工場、店舗/飲食店のそれぞれの寄与率の大きい配電エリアと低層の戸建住宅、商業・業務施設、工業施設の被害と電力供給量の推移(地震当日, 1週間後, 2週間後, 1ヶ月後)の関係を分析した(図-16)。

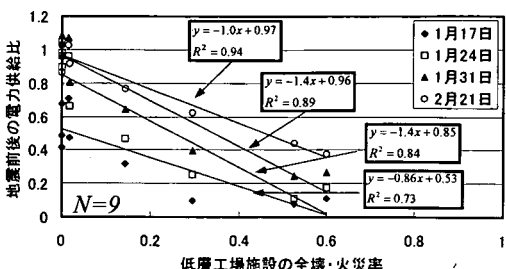




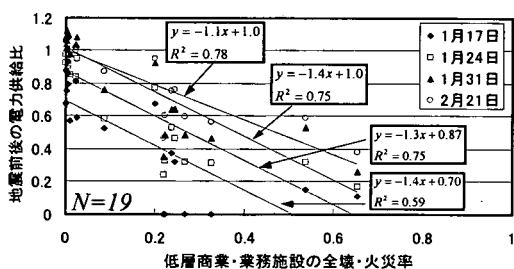
(a) 住宅の比率の高いエリア  
(住宅の構成率70%以上)



(b) オフィスの比率の高いエリア  
(オフィスの構成率30%以上)



(c) 工場の比率の高いエリア  
(工場の構成率35%以上)



(d) 店舗の比率の高いエリア  
(店舗の構成率20%以上)

図-16 建物被害と電力供給比

建物被害の指標としては、電気を使用できない状況が考えられる「全壊+火災率」を使用した。また電力供給量としては、1日の電力供給量を地震前1週間の平日1日の電力供給量の平均で除した値（電力供給比）を使用した。

図-16(a)は住宅の構成率が高い(70%以上、サンプル数 $N=21$ )配電エリアについて、建物被害と電力供給量の推移について分析を行ったものである。地震当日は電力供給系の問題で停電している配電エリアがあるため、被害と電力供給量の相関はあまり高くない。しかし供給系の機能支障が解消された1月24日以降は、建物被害と電力供給量との間に高い負の相関が見られた。また地震から、2週間、1ヶ月と時間が経つに従って、被害のない地域では電力供給量が地震前の水準に回復し、その他の地域は建物被害との相関の高いまま、電力供給量が回復していくことがわかった。この傾向は図-16(b)~(d)にも示すように、他の地域特性を有する配電エリアにおいても同様に見られた。図-16を見るとオフィスおよび店舗/飲食店型の構成率の高い配電エリアは、住宅および工場の構成率の高い配電エリアと比較すると、建物被害と電力供給量の相関が少し低い。これは既に一部説明したように、建物被害が軽微であっても他の理由から操業できないケースがあること、また使用した建築研究所の建物被害区分において、商業と業務施設が混在しているためだと考えられる。

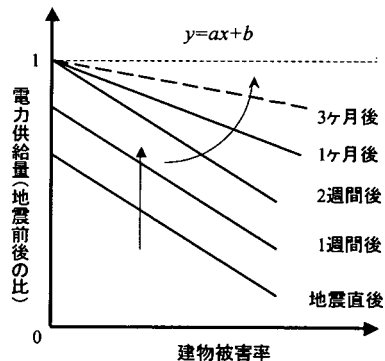


図-17 建物被害と電力供給量（地震前後の比）の推移モデル（復旧・復興過程で地域特性が大きく変化しない場合）

図-17は建物被害と電力供給量の関係を図-16から帰納的にモデル化したものである。図-16の(a)~(d)を見ると、回帰直線の傾き $a$ の多くは1を越えているが、これは全壊・火災した建物だけでなく、半壊の建物も含めて電力供給量が落ちていることを示している。次に切片 $b$ は地震直後1より小さい値になっている。これは建物被害の小さな地域においても、地震による混乱が日常と同じ量の電力を使用することを不可能にしているためだと考えられる。その後、切片は1に近づき安定する。切片が1前後で安定すると今度は傾きの絶対値が小さくなり、被災地域も徐々に復旧していく様子が見られる。

以上をまとめると、電力需要特性の4つの区分と建物被害区分が明確に対応する一般住宅と工場においては、建物被害と電力供給量の落ち込みは高い負の相関を示す結果となった。地域の建物被害は電力供給量の落ち込みに直結し、電力供給量の落ち込みは配電エリア内の建物被害を反映することがわかった。

## 5. おわりに

本研究では、電力供給量を用いた建物被害把握を目的として、まず兵庫県南部地震で被災した阪神地域の地震前後における電力供給量と地域特性のデータベースを構築し、配電エリアの地域特性を用いて平常時における電力需要分析を行った。次に配電エリアの建物被害と地震後の電力供給量の推移の関係について分析した。その結果、建物被害と地震後の電力供給量の間には高い負の相関が見られ、電力供給量の落ち込みは4つの電力需要特性を代表する建物被害と相関が高いことがわかった。

地震後の電力供給量の落ち込みから建物被害を評価する手法は、「リアルタイム評価が可能」、「新たな設備投資がほとんど不要」、「建物の強度分布や被害関数の事前準備が不要」、「天候や時刻に左右されない観測が可能」、などの優れた特長を有している。本研究では現状のデータ入手の制限の問題から配電エリアを単位とした評価を行ったが、配電エリアを単位とした被害評価には以下のような課題がある。①配電エリアの面積が大きい（阪神地域で平均4.78km<sup>2</sup>）、②配電エリアによる面積の差が大きい、③災害時には系統切替により、配電用変電所の電力供給量とその配電エリアの需要が一致しない場合がある、④配電用変電所より下位の配電設備の障害により、配電エリア内に供給がなされていない地域が存在する場合がある、など。しかし、配電線路を単位とした、よりミクロなエリアを対象とした電力供給量の常時モニタリングが可能になれば、これらの点は大幅に改善され、本手法の有用性はますます高まるものと言える。

今後はこの研究を発展させ、建物被害評価モデルの提案へとつなげる予定である。

謝辞：本研究に当たって、貴重なデータをご提供下さった関西電力㈱の関係者各位に、厚く感謝の意を表します。

### 付録

#### 付録1：制御所

電力事業者の組織のうち、支店以下の組織としては、営業所と電力所の2つの業務機関がある。営業所

は電気に関する営業上の窓口機関であり、供給工事や電気料金の請求といった需要家に対する業務と配電設備の運用、工事・保守を行っている。一方電力所は、送変電設備の運転、保守を行っている。この電力所の業務のうち、機器の運転を分担しているのが制御所であり、24時間体制で電気の流れをコントロールしている。ちなみに神戸支店管内には7つの営業所と4つの電力所（8制御所）がある。

#### 付録2：店舗/飲食店の需要カーブ算出について

本研究でいう店舗/飲食店というのは、夜型の繁華街に見られる電力需要特性である。事業所統計調査の店舗/飲食店数には、一般の店舗/飲食店も含まれており、これをそのまま利用することは不適当である。そこで、研究対象地域内で典型的な繁華街特性を持つ中山手変電所エリア（三宮周辺）を除く地域で、住宅・オフィス・工場の3項目で重回帰分析を行い、これら3タイプの電力需要曲線を算定した。このとき一般の店舗/飲食店はオフィスタイプに似ていることがわかっているので、これはオフィス数に追加して考えた。次に、典型的な繁華街型である中山手変電所に対して、先の方法で求めた住宅・オフィス・工場の電力需要曲線を総電力需要から差し引いて、店舗/飲食店分の需要を算出した。これは東京23区と異なり、神戸支店管内には典型的な繁華街型が中山手以外に見られなかったためである。このようにして得られた電力需要を店舗/飲食店数で割って、繁華街型の店舗/飲食店の1件当たりの電力需要を求めた。

#### 付録3：東京23区と阪神地域の電力需要の比較法

東京23区の電力需要データは、一定電圧(6.6kV)下の毎時電流として計測されている。一方、阪神地域の電力需要データは、一定電圧(6.6kV)下の各時刻1時間当たりの電力量(MWh)として計測されている。そのため単純に両者の比較を行うことができない。そこで、1時間当たりの電流値を一定と仮定し、平衡三相交流回路における実効電力 $P$ と線間電圧 $V$ 、線電流 $I$ 、力率 $\cos \theta$ の関係式(付1)を用いて、電力を電流値に変換し、東京23区および阪神地域のパターン別電力需要曲線の比較を行った。

$$P = \sqrt{3}IV \cos \theta \quad (\text{付1})$$

#### 付録4：寄与率 $C_j$ の算定法

式(付2)に示すように、各配電エリア $j$ の電力需要曲線 $y_j(t)$ を、各エリアの最大電力需要 $y_{j\max}$ を1とする曲線に正規化し、 $y_{j\max}$ に達する時刻を $T_j$ とする。

$$\bar{y}_j(t) = y_j(t) / y_{j\max} \quad (\text{付2})$$

ただし、 $y_{j\max} = y_j(T_j)$ である。

次に4つの構成要素の電力需要曲線を、式(付3)に

示すように時刻 $T_j$ の需要量が1となる曲線に正規化する。

$$\bar{x}_{ji}(t) = x_i(t) / x_i(T_j) \quad (\text{付3})$$

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 $i$ 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(付4)のように表すことができる。

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

ここで、 $0 \leq C_{ji} \leq 1$ ,  $\sum_{i=1}^4 C_{ji} = 1$ である。

そこで、各配電エリアに関して、式(付5)の両辺の差の自乗和

$$\Delta y_j = \sum_{i=1}^{24} \left\{ \bar{y}_j(t) - \sum_{i=1}^4 C_{ji} \bar{x}_{ji}(t) \right\}^2 \quad (\text{付5})$$

を最小にする $C_{ji}$ の組み合わせを求める。

#### 参考文献

- 1) 目黒公郎, 松岡延浩: 兵庫県南部地震以降の首都圏の自治体防災対策について, 自然災害科学, Vol. 17, No. 2, pp. 93-119, 1998.
- 2) 土木学会地震工学委員会リアルタイム地震防災小委員会: 第1回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集, 1999.
- 3) 土木学会地震工学委員会リアルタイム地震防災小委員会: 第2回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集, 2000.
- 4) 松岡昌志, 山崎文雄, 翠川三郎: 1995年兵庫県南部地震での被害地域における人工衛星光学センサ画像の特徴, 土木学会論文集, No. 668/I-54, pp. 177-185, 2001.
- 5) 高島正典, 林春男: DMSP/OLS夜間可視画像を用いた被災地推定の妥当性の検証 - トルコ・マルマラ地震(1999)及び阪神・淡路大震災(1995)への適用 -, 地域安全学会

- 論文集, Vol. 2, pp. 69-78, 2000.
- 6) 長谷川弘忠, 山崎文雄, 青木久, 関本泉: 画像解析を用いた空撮映像からの自動被害抽出手法の検討, 土木学会第55回年次学術講演会, I-B280, 2000.
  - 7) 高島正典, 林春男: 電力消費時系列データを利用した復旧・復興状況の定量的把握手法 - 阪神・淡路大震災への適用 -, 自然災害科学, Vol. 13, No. 3, pp. 355-367, 1999.
  - 8) 高島正典, 林春男: 広域地震災害における復旧・復興状況の時空間的な推移 - 阪神・淡路大震災を事例として -, 地域安全学会, Vol. 1, pp. 1-8, 1999.
  - 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) (財)統計情報研究開発センター: 平成2年度国勢調査 基本単位集計
  - 11) (財)統計情報研究開発センター: 平成3年度事業所統計調査 町丁・大字別集計
  - 12) 服部恒明, 門田治: 電力需要予測とその実際, 交通工学, Vol. 32, pp. 60-66, 1997.
  - 13) 灰田武史, 武藤昭一: 重回帰手法に基づいた最大需要予測支援システムの開発, OR, Vol. 41, No. 9, 1996.
  - 14) 関西電力㈱: 阪神・淡路大震災復旧記録, 1995.
  - 15) 関西電力㈱ 神戸支店: 兵庫県南部地震被害からの復旧の概要 (応急復旧編), 1996.
  - 16) 電気設備防災対策検討会: 地震に強い電気設備のために, 資源エネルギー庁編, 電力新報社, 1996.
  - 17) 村尾治, 山崎文雄: 兵庫県南部地震における建物被害の自治体による調査法の比較検討, 日本建築学会計画系論文集, 第515号, pp. 187-194, 1999.
  - 18) 建設省建築研究所: 平成7年兵庫県南部地震被害調査最終報告書, 1996.
  - 19) 震災復興都市づくり特別委員会: 阪神・淡路大震災被害実態緊急調査被災度別建物分布状況図集, 1995.

(2001. 3. 14 受付)

## EARTHQUAKE DAMAGE EVALUATION OF BUILDINGS AND DWELLINGS BY THE CHANGE OF POWER SUPPLY

Yasunori HADA and Kimiro MEGURO

Early earthquake damage evaluation is very important for the disaster-related organizations to take prompt action in order to minimize the hazard negative impact. This paper presents a methodology to evaluate the earthquake damage to buildings and dwellings using monitored power supply before and after the event. The electric power demand was used to evaluate regional characteristics and a high correlation was found between the demand changes and the earthquake damage. The proposed method allows a feasible real-time damage evaluation and can be readily implemented with little investment. Furthermore, the proposed method application is not limited by the weather conditions or time.