

# 電力供給量情報を利用した 災害モニタリングシステム

秦康範<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 博(工) (財)阪神・淡路大震災記念協会 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)

E-mail: haday@dri.ne.jp

本稿では、行政をはじめとする防災関係機関での利用を目的とした、電力供給量情報を利用した災害モニタリングシステムの開発に向けた取り組みについて報告する。まず平常時における電力需要特性とその分析手法について説明する。次に兵庫県南部地震および東海豪雨災害時における電力供給量特性と建物被害ならびに浸水被害との関係について分析する。その結果、電力供給量の落ち込みが被害程度と高い相関があること、電力供給量の変動から被害地域の特定と被害程度の評価、ならびに災害時における地域の社会的活動の低下を定量的に評価可能であることが示された。

**Key Words :** *power supply, power demand, disaster monitoring, real-time, damage evaluation, substation*

## 1. はじめに

1995年兵庫県南部地震では、地震直後に被害の全体像がつかめず、初動体制に大きな支障をきたした。その後、これを教訓として、様々な早期地震被害推定システムが提案され、また改良が加えられてきた<sup>1), 2)</sup>。しかし、いずれのシステムも依然として多くの課題がある。例えば、現在実用化されている一般的な被害推定手法である、地震計を用いた地震動情報による被害推定は、被害の推定が基本的に一回しかできないため、本来動的な現象である災害を適切に評価することは難しい。また、その一回きりの被害推定も、地震動の空間補完や被害関数等の問題から、精度はあまり高くない。一方、人工衛星や飛行機によるリモートセンシング技術を応用した被害評価も、回帰周期や天候の影響を受けるものや、分解能が十分でないものがあるなどの問題を有している。さらに、これら従来手法で推定できるのは、主に物理的な被害に限られる。

筆者はこれまでに、電力を用いて平常時から災害時、さらには復旧・復興過程に至る地域特性を継続的かつリアルタイムに評価する手法を提案してきた<sup>3)-8)</sup>。そして、地震後1週間以降の電力供給量(日単位)の変動が建物被害と高い相関があり<sup>3)</sup>、深夜の安定した電力に着目することで高い精度で建物被害の把握が可能であること<sup>4)</sup>、地震災害のみならず水害にも適用可能であること<sup>5)</sup>などが示され、災害時における地域モニタリング情報として電力供給量が有効であることを明らかにしている。

このような手法が可能となる背景には、電力は保存が困難で、供給と消費が同時であるという性質がある。また、電力供給量は地域の人々の様々な活動をリアルタイムに反映するが、災害時の人々の活動は災害状況の影響を強く受けるので、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り、結果的に電力供給量の変動から災害状況が評価できるのである。

本稿は、行政をはじめとする防災関係機関での利

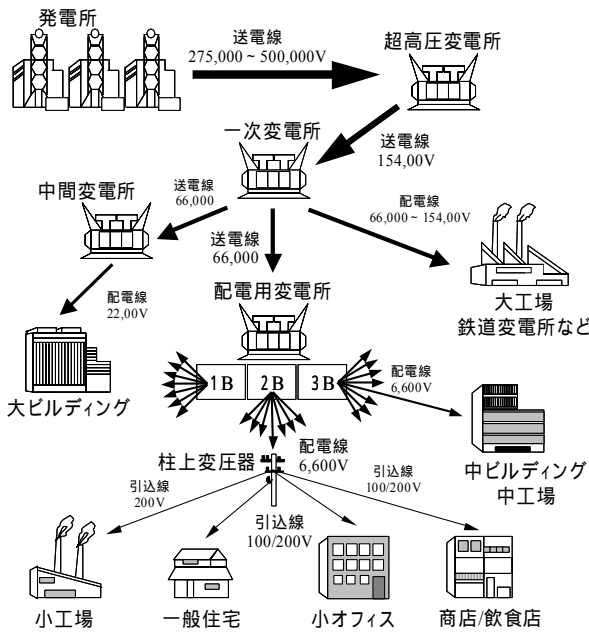


図 - 1 電力供給系統図

用を目的とした、電力供給量を利用した災害モニタリングシステムの可能性について報告する。2では電力供給量を利用する利点について説明し、3では平常時における電力需要特性と分析手法について述べる。4では兵庫県南部地震、5では東海豪雨災害時における電力供給量特性の変化と被害程度との関係について説明する。6ではまとめと今後の課題について論じる。

## 2. 電力を利用する利点

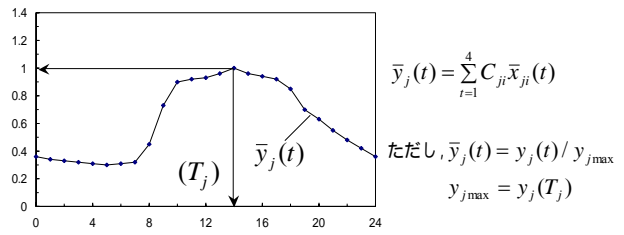
電力供給量は災害発生前からの継続的なリアルタイムモニタリングが可能であり、その結果を被害評価に逐次フィードバック<sup>9)</sup>することが容易である。この点が現在稼働中のリアルタイム地震防災システムと大きく異なる点である。従来のシステムは、稼働時期が地震発生直後であり、しかもシステムが稼働する機会は震後の1回限りである<sup>1)</sup>。

本手法のメリットをまとめると、「継続的な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」、「建物強度の分布や被害関数などを事前に準備する必要がない」、「天候や時間に左右されない観測が可能」などが挙げられる。

## 3. 平常時における電力需要特性

### (1) 評価エリアと電力需要分析

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

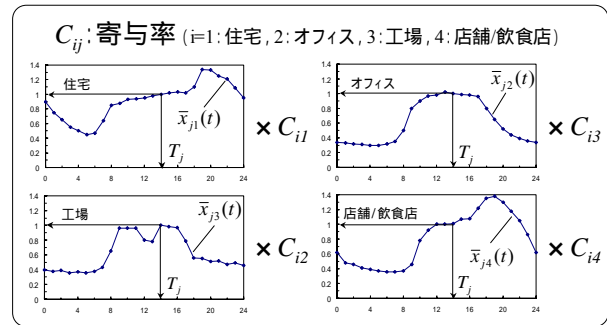


図 - 2 タイプ別の電力需要算定法の概要

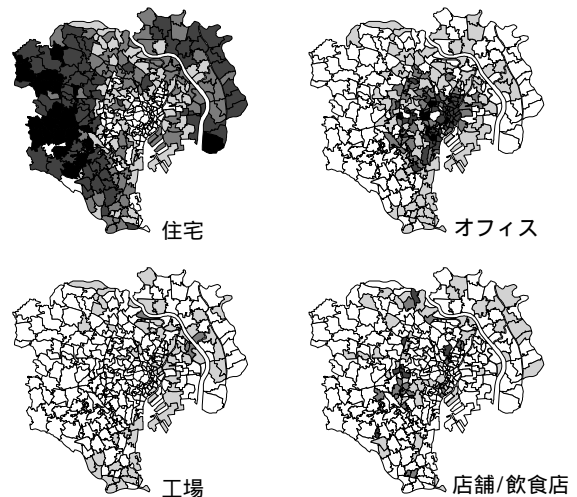


図 - 3 東京 23 区における電力需要パターン構成率分布

本研究で評価する地域エリアは、特別高圧需要家ではない一般の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である。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の組み合わせとして式(1)のように表現できることが報告されている<sup>10)</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

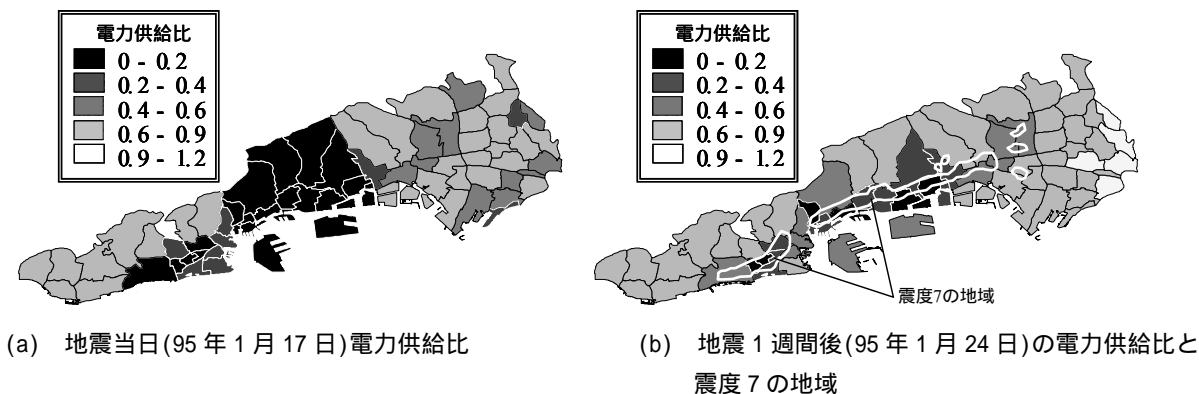


図 - 4 地震前後の電力供給比の空間的分布(地震当日, 1週間後)

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  $t$  における電力需要と寄与率  $C_{ji}$  用いて、式 (2) のように表すことができる (図 - 2) <sup>10)</sup>。

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

#### (2) 電力需要から見た地域特性分類

東京 23 区 (97 年) における各構成要素の構成率 (寄与率) を配電エリア図上に示す (図 - 3)。図 - 3 から、「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。

### 4. 兵庫県南部地震前後の電力供給量特性と被害評価

#### (1) 兵庫県南部地震後の電力供給の落ち込み

兵庫県南部地震による被害の大きかった関西電力 (株) の神戸支店管内の配電用変電所エリアのうち, 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研究対象地域とした。

図 - 4は, 電力供給量の変動を面的に分析するために, 地震当日と1週間後における電力供給比 (当該日1日の電力供給量を地震前1週間の平均値で除した値) を比較したものである。地震当日(図 - 4(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。こ

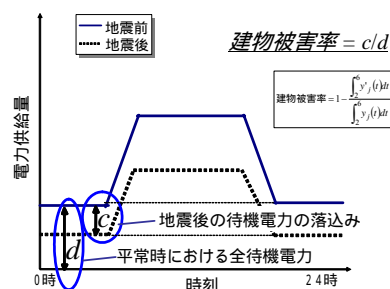


図 - 5 建物被害率の算出

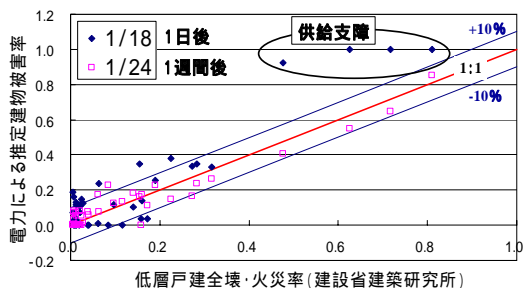
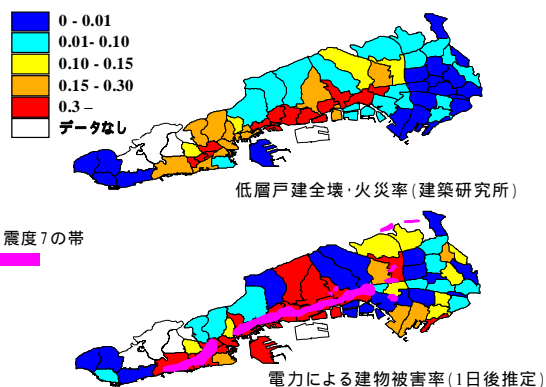


図 - 6 実被害と電力による推定建物被害率

の図から, 地震被害の激しい地域を中心に供給が停止, もしくは大幅に落ち込んでいることがわかる。また, 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。図 - 4(b)は地震1週間後の状況である。この時点では既に電力の供給支障は全て

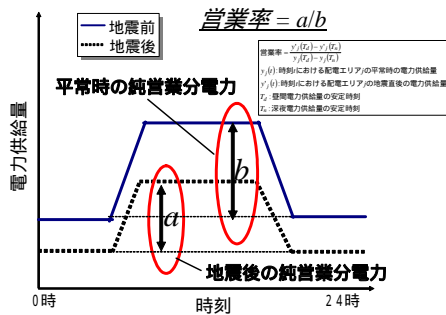


図 - 7 営業率の算出

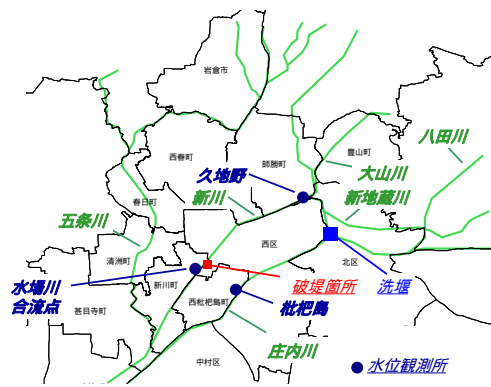


図 - 9 研究対象エリア

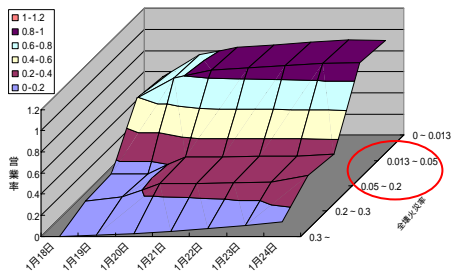
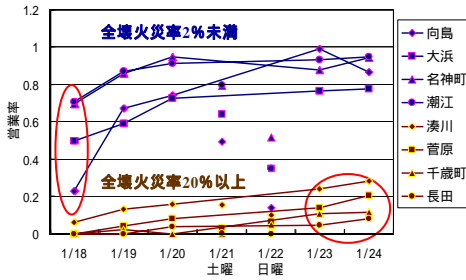


図 - 8 営業率の推移

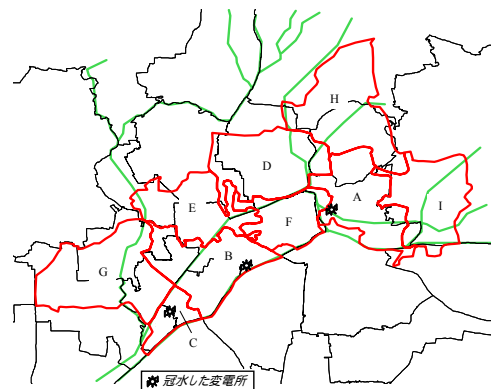


図 - 10 分析対象とした配電エリア区分

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、これらは震度7の地域と良く一致する。

## (2) 電力供給量特性による被害評価

図 - 5において、平常時深夜の安定部の電力需要量 $d$ を、昼夜関係なく一日を通して利用する待機電力と仮定すると、地震後の深夜における安定部の電力需要落込み量 $c$ は、需要家が被害を受けていなければ本来使用している待機電力である。そこで、 $c/d =$ 「建物被害率」と定義する。上記の定義に基づいて、兵庫県南部地震直後の電力による推定建物被害率と建築研究所の低層戸建全壊・火災率を比較したものが図 - 6である。深夜の時間帯まで待てば、すなわち、地震後半日から1日程度で、被害の全容が把握できることがわかる。なお供給支障エリアについては、電力事業者が配電線路単位で把握できるので、当該エリアを取り除くことで、建物被害率の推定が可能になると言える。

図 - 7において、平常時の昼における安定部の電

力需要量から、平常時深夜の安定部の電力需要を差し引いたもの $b$ は、営業活動だけに使う電力量であると仮定すると、地震前後の営業分電力量の比を、 $a/b =$ 「営業率」と定義できる。図 - 8は営業タイプの構成率が50%以上の配電用変電所において、営業率の推移を表したものである。建物被害の小さい地域では、地震の翌日はあまり営業活動ができていないが、数日で回復している。一方、被害が大きい地域では、供給支障が解消されても営業率は低いままである。また、全壊・火災率5%あたりを境にして、営業率の推移の特徴が大きく変化することがわかる。

## 5. 2000東海豪雨災害時における電力供給量特性と浸水被害

### (1) 研究対象地域

2000年東海豪雨災害で最も被害の大きかった新川流域の破堤箇所を中心に、浸水被害の大きかった地域を対象として検討を行った。図 - 9は研究対象地域であるが、この中には名古屋市西区、名古屋市北区、西枇杷島町、新川町、清洲町、春日町、西春日町、師勝町、豊山町の9つの市区町村が含まれている。また図 - 10に示す9カ所の配電用変電所（中部電力

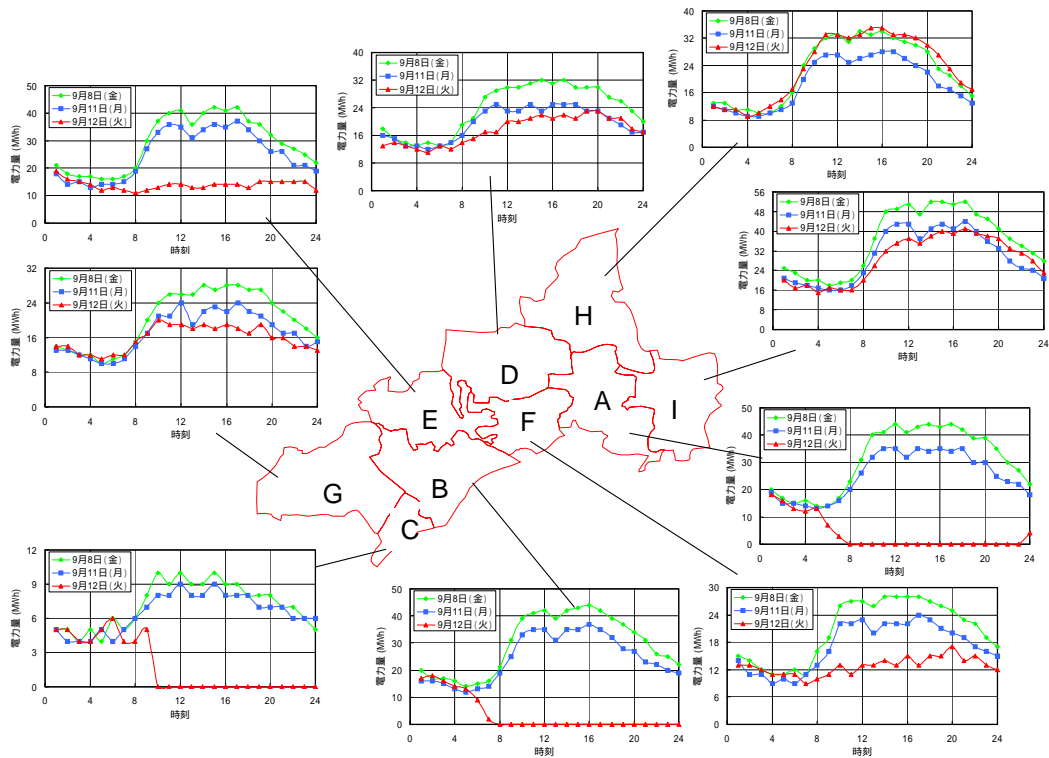


図 - 11 配電エリアと電力供給量データ（2000年9月8日（金），11日（月），12日（火））

名古屋支店管内)を分析エリアとする。

### (2) 浸水過程と電力供給量の変動

図 - 11 は，2000年9月8日（金）と記録的な降水量を記録した9月11日（月）および12日（火）における，研究対象地域の各変電所の電力供給量の時刻変動を示している．ほとんどの変電所において，8日（金）と比べると電力供給量が小さくなっている．また冠水停止したA～C変電所が，供給を停止する直前に供給量が落ち込んでいることが示されている．浸水被害が拡大する中で，床上浸水や受電施設が浸水することによる停電が，多数の需要家で発生していることを示している．

### (3) 電力供給量の変動による浸水被害地域の評価

12日0時～12時における電力供給比（当該時間の電力供給量を地震前1週間の平均値で除した値）の最も小さい値を使用して，配電エリア内の浸水被害地域の評価を試みる．まず，50m標高メッシュデータを利用して，配電エリア内の50m標高メッシュの標高値の低い箇所から浸水地域として選択していく．この選択は配電エリアの全メッシュ数に対する選択メッシュ数の割合が，電力供給比と同じになるまで続ける（これを浸水評価エリア1とする）．なお，変電施設が冠水し，供給支障を起こしたA-Cの配電

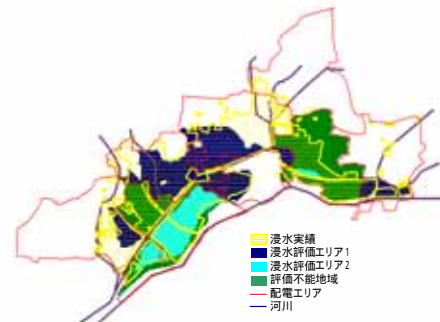


図 - 12 浸水実績と浸水評価エリア

表 - 1 浸水評価エリアと床上浸水被害の関係

床上浸水率	電力供給量の変動から評価された浸水・非浸水区域の数		
	浸水	非浸水	評価不能
20%以上	26 (84%)	4 (13%)	1 (3%)
5% - 20%	10 (83%)	2 (17%)	0 (0%)
0% - 5%	14 (50%)	13 (46%)	1 (4%)
0%	11 (11%)	90 (87%)	2 (2%)

エリアについては，施設が位置するメッシュの標高値より低いメッシュは浸水したと判断（これを浸水評価エリア2とする）し，それより高いエリアについては評価不能地域とした．

上述のような手順で抽出された地域を浸水評価エリアとし，浸水実績図と比較したものが図 - 12である．電力供給量の変動から評価した浸水地域が，実際の浸水区域とよく一致していることがわかる．表 - 1は町丁・大字単位で集計した床上浸水被害率と

電力供給量の変動から評価した浸水区域を比較したものである。表内の数は電力供給量の変動から評価した被害区分に含まれている町丁・大字の個数である。床上浸水被害の大きい地域ほど、浸水エリアと評価される結果となっている。また床上浸水率が0%の地域は、その87%が非浸水エリアと評価されており、電力供給量の変動から評価された結果は妥当なものと言える。

## 6. まとめ

本稿では、行政機関をはじめとする防災関係機関での利用を目的とした、電力供給量情報を利用した災害モニタリングシステムの構築に向けた取り組みについて報告した。電力供給量の変動から被害を把握するというアイデアは、極めて簡便な手法であるにもかかわらず、兵庫県南部地震および東海豪雨災害の検討結果から、電力供給量の落ち込みが被害程度と高い相関があること、電力供給量の変動から被害地域の特定と被害程度の把握、ならびに災害時における地域の社会的活動の低下を定量的に評価可能であることが示された。また、物理的な被害が軽微でも復旧がままならない地域を特定できるなど、電力ならではの特長も明らかにすることができた。

2003年11月6日から内閣府の「地震防災情報システム」に対して東京電力㈱から停電情報が15分間隔で提供されるようになるなど、リアルタイムの電力供給量情報を防災に役立てる機運は高まってきている。将来的には配電線路単位などより小さなエリアでのモニタリングが可能になれば、本手法の有用性はますます高まることになるだろう。また、地震動情報など電力以外の情報も合わせて活用し、地震直後の停電地域が多数発生しているような状況下でも問題なく利用できるよう検討を進めているところである。

## 参考文献

- 1) 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。
- 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2回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集，2000。
- 3) 秦康範，目黒公郎：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，土木学会論文集，No.696/I-58，pp.185-196，2002
- 4) 山口紀行，秦康範，目黒公郎：電力供給量の変動を利用した地震直後からの被害把握の試み，第58回土木学会年次学術講演概要集，I-346，pp.691-692，2003
- 5) 秦康範，目黒公郎：2000年東海豪雨における電力供給量の変動と浸水被害の関係，第57回土木学会年次学術講演概要集，I-A020，pp.40-41，2002
- 6) 秦康範，目黒公郎：電力供給量を利用した被災地のリアルタイム復旧・復興モニタリング，第11回日本地震工学シンポジウム，pp.2335-2338，2002
- 7) 秦康範，目黒公郎：地震直後からの被害把握を目的とした電力需要のミクロ評価の試み，地域安全学会論文集 4，pp.79-86，2002
- 8) 秦康範，川北潤，目黒公郎，山崎文雄，片山恒雄：発生時刻と継続時間を考慮した都市停電の影響度評価，土木学会論文集，No.717/I-61，pp.107-117，2002
- 9) 野田茂，目黒公郎：リアルタイム地震工学を目指して，日本建築学会 第22回地盤振動シンポジウム，pp.95-112，1994
- 10) 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

(2004. 2. 24 受付)

## DISASTER MONITORING SYSTEM USING ELECTRIC POWER SUPPLY DATA

Yasunori HADA

This report discusses the use of electric power supply data for disaster monitoring system. As an example of the effectiveness of using the electric power supply, we show the relationship between power supply characteristics and the extent of damages at the case of the 1995 Kobe earthquake and the 2000 Tokai Heavy Rain Fall. It results that the change of power supply before and after the disaster are correlated to the extent of the damages so that it can identify the location of the damaged area and evaluate how the area is affected quantitatively.