

震災時水道復旧過程での電話データからみた 応急復旧目標期間に関する一考察

伊藤禎彦¹・平山修久²

¹正会員 工博 京都大学大学院助教授 工学研究科環境工学専攻 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

²学生会員 工修 京都大学大学院 工学研究科環境工学専攻 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

復旧時の応急給水活動に着目して震災時応急給水のモデルの構築を行い、復旧期間における応急給水に関する市民の生活状況を推定した。その上で、応急給水量格差や復旧日数などの市民の応急給水状況に関する認知要素について主成分分析を行うことで、震災時水道復旧過程での市民からの電話データを説明することができた。

復旧に時間を要するほど、応急給水過程での公平性が小さくなり、市民は不公平を感じるようになると推定できた。震災時応急復旧過程での電話データからみたとき、苦情や問い合わせなどの電話が発生しないような理想的な震災時応急復旧目標期間は1週間であると考えられた。

Key Words : emergency water supply, citizen's complaint by telephone, goal period of emergency restration, principal component analysis

1. 緒言

平成7年1月17日に阪神地区を襲った阪神・淡路大震災では、水道施設の甚大な被害により、人間の生命維持や日常生活にとって不可欠な水を市民に十分に供給することが困難な状況となり、市民に対して大きな不安や精神的苦痛を与えた。この地震を機に、地震被害のようなりすく時に都市の機能を支えるライフラインとしての水道のあり方を再検討することが要求され、その震災対策を確立しておくことが必要となった。

従来から地震によって水道システムに被害が生じるたびに、震災対策立案のために地震被害の力学的・統計的解析^{1), 2), 3)}は多々なされてきた。また、地震時の水道システムの信頼性や復旧の予測に関する研究も盛んに行われている。星谷ら⁴⁾は、モンテカルロ法による管網のネットワークモデルのシミュレーションを行うことにより、上水道システムの地震後の構造的な復旧過程と、それにともなう機能的な復旧過程を予測するモデルを提案している。星谷・宮崎⁵⁾は復旧予測に現実に実行されるであろう復旧の戦略を考慮して復旧過程を予測するモデルを検討している。磯山・片山⁶⁾は大規模水道システムの送配水幹線網を対象に埋設管被害率から信頼度を試算する手法を提

案している。能島・亀田⁷⁾は数理モデルによってライフラインの機能の復旧プロセスを表現し、ライフライン・ネットワークの震災後復旧過程の最適化の検討を行っている。和泉ら⁸⁾はライフラインについて、地震被害による機能低下とその復旧過程をネットワークモデルを用いたシミュレーションにより都市の耐震性の評価を試みている。市東・星谷⁹⁾は地震リスクマネジメント手法を上水道システムに適用し、地震リスクの定量的評価手法を提案している。

これらの研究では上水道システムの地震時の信頼性の評価や、復旧戦略の検討に有益な示唆を与えているが、システムの評価を給水可能な人口の割合や給水量で行っているなど、市民が受けた精神的苦痛や不安といった市民生活という視点を含めて検討しているとはいいいがたい。

今後は、将来の上水道システムに向けた震災対策を進めるうえで、市民の心理や行動を震災対策や水道計画に反映させることが必要である。実際、阪神・淡路大震災を経験した神戸市では、水道局に寄せられた「市民の声」を重視し、水道耐震化指針の作成を行っている¹⁰⁾。関西水道事業研究会¹¹⁾は水道局で受け付けた苦情や問い合わせなどの電話の構造分析を行うことにより応急復旧期間の目標設定を行っている。細井・城戸¹²⁾は、事業体側の給水可能水量とともに、

実際に住民に受水される水量およびそれに対する住民の満足度を加えた評価を試みている。

震災対策を含めた水道計画に市民の心理や行動を反映させ、市民生活への地震被害などの影響を最小限とするためには、物理的側面だけではなく、不公平や精神的苦痛といった心理的側面をも含めた市民生活状況の推定を行うことが必要である。

以上を背景に、本研究では、応急給水状況と電話件数との関係を明らかにし、震災対策に応急給水に関する市民の生活状況を組み込む方法について検討する。

地震発生から応急復旧完了に至る期間において神戸市水道局で受け付けた電話データと、震災後応急給水モデル¹³⁾により地域メッシュごとに算出された市民の応急給水状況を表す要素の関連性について統計学的手法を用いた分析を行い、これらの関係を説明できるモデルの構築を行う。このようにして得られたモデルを用いて、水道システムの震災対策における応急復旧目標期間に関する考察を行う。

2. 震災時応急給水モデル

ここでは、震災後市民はいつ頃、どの程度の水を手に入れることができ、それによりどのような生活状況となるかを推定する。そこで、復旧時の応急給水活動に着目して震災時応急給水のモデルの構築を行い、復旧期間における応急給水に関する物理量や心理的要素を算定する。

まず、人口分布などの地域特性データをもとにして地域モデルを構築する。この地域モデルに、復旧状況を記述する復旧状況モデル、市民への応急給水モデルを組み込む。時間間隔1日で震災発生から90日間のシミュレーションを行うことにより、地域メッシュ別の復旧日数、市民1人当たり1日応急給水量、応急給水量格差を算出する。

(1) 地域モデルの構築

本モデルでは、すべての空間データをメッシュ形式で管理・解析を行った。

阪神・淡路大震災において顕著な水道施設の地震被害が見られ、全市における応急復旧完了までに約10週間を要した神戸市全域を解析対象とした。この対象地域を、標準地域メッシュとして制定されている2分の1地域メッシュ¹⁴⁾に区画する。2分の1地域メッシュは1辺がほぼ500mの正方形であり、この地域メッシュを本モデルの基本単位とした。

ここでは、人口分布、土地利用、道路交通路などの

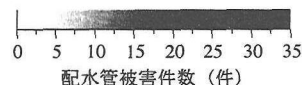
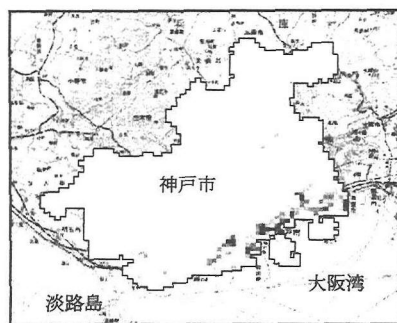


図-1 地域メッシュ別配水管被害件数

地域特性データ、浄水場・配水池に関するデータをもとにして地域モデルの構築を行った。

(2) 復旧状況モデル

a) 配水管被害件数データ

阪神・淡路大震災における神戸市の被害配水管データベース³⁾より住所データを抽出し、配水管被害件数1757箇所のうち、国土地理院発行の2万5千分の1地形図および1万分の1地形図において所在位置を同定することができた1720箇所の被害配水管について、地域メッシュに対応付けを行った。地域メッシュ別に集計を行い、地域メッシュ別配水管被害件数を算出した。図-1に地域メッシュ別配水管被害件数を示す。

本論文では、地域メッシュ内の配水管に被害が存在するとき、その地域メッシュを未通水である地域メッシュ（以下断水地域メッシュという）とみなした。また、神戸市の水道が自然流下方式であることより、隣接地域メッシュのうちその地域メッシュの上流側の隣接地域メッシュ内に破損配水管が存在する場合にも、断水地域メッシュとみなした。本モデルでは地域メッシュが基本単位であることから、地域メッシュ内の通水、未通水は考慮しないものとした。

b) 破損配水管の復旧方法

ここでは、復旧速度として1日当たり配水管修繕件数を考慮し、経過日数 day 日における外部応援復旧人数 N_{day} （人/日）より day 日における配水管修繕件数 P_{day} （件/日）を次式より算出する。

$$P_{day} = \frac{N_{day}}{K} \quad (1)$$

ここに、 K は破損配水管1箇所当たりの修繕に必要な外部応援復旧人数であり、その単位は（人/箇所）

である。本モデルでは復旧速度を復旧の進捗程度に応じて復旧初期、復旧後期の2段階に分けるものとし、破損配水管1箇所当たりの修繕に必要な外部応援復旧人数を復旧初期で $K_1=10$ 、復旧後期で $K_2=40$ と変化させた。また、外部応援復旧人数は神戸市の実績¹⁵⁾を用いた。

ここでは、地域メッシュ別の配水管被害件数や地域メッシュの地域特性等による破損配水管修繕の優先順位は考慮せず、復旧作業による条件のみを考慮した。破損配水管の復旧作業を1. 試験通水、2. 漏水箇所探知、3. 配水管修繕といった手順で進めていくものとした。よって、破損配水管の修繕を行うためには、試験通水を行う水が必要となり、破損配水管に対応付けられている地域メッシュにおいて試験通水を行えることが破損配水管修繕の条件となる。ここでは、隣接地域メッシュのうち少なくとも1つの地域メッシュが通水している場合に地域メッシュにおいて試験通水を行えるものと仮定し、これを修繕の条件とした。

被害配水管データベース³⁾より上述の修繕の条件を満たす破損配水管を抽出し、式(1)で算出された配水管修繕件数だけの配水管を一様乱数により選定する。このように選定された配水管は復旧作業が完了するものとして、その日における地域メッシュ別の配水管被害件数を算出する。

この地域メッシュ別の配水管被害件数に基づいて断水地域メッシュの算定を行う。ここでは、地域メッシュ別の配水管被害件数が0となった地域メッシュは復旧が完了したものとみなし、通水地域メッシュとした。

c) 計算結果および考察

上述の破損配水管の復旧方法により、日ごとの通水率、通水状況ならびに地域メッシュ別の復旧日数を算出した。図-2に通水率の推移を示す。ここに、通水率は神戸市全人口に対する通水地域メッシュ内の人口比率である。本モデルによる通水率の計算値と神戸市での実績値との決定係数 R^2 は y 切片を0として約0.98であり、さらに回帰直線の傾きが0.991とほぼ1に等しく、計算値と実績値の間の対応も非常によい。したがって、本モデルは復旧状況の時間的推移をきわめてよく再現できているといえる。

つぎに復旧状況を地域別に考察する。図-3に地域メッシュ別の復旧日数を示す。この図より海側の地域メッシュほど復旧に時間を要していることがわかる。また、地域別配水管被害件数をもっとも多かった東灘区、灘区の東部地区において、復旧日数が大きくなっていることがわかる。これは応急復旧通水区域図¹⁹⁾と同じような傾向となっている。

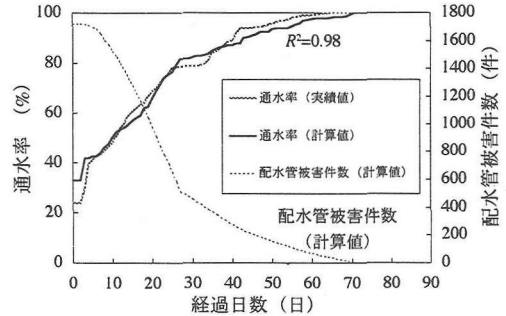


図-2 通水率の推移

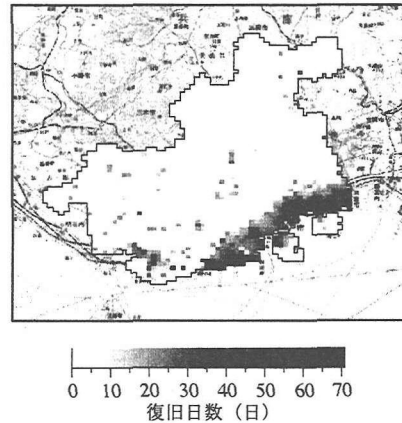


図-3 地域メッシュ別の復旧日数

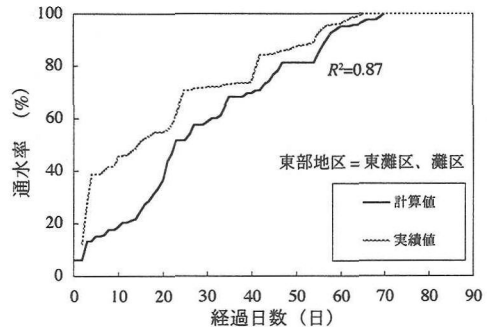


図-4 東部地区における通水率の推移

また、各地域別の通水率の推移においても、計算値と実績値との間の対応もよい。一例として、東部地区における通水率の推移を図-4に示す。これらのことから、本モデルは復旧状況の時間的推移および空間的分布を良く再現できているものと考えられる。

(3) 応急給水モデル

ここでは、給水タンク車、応急給水栓、仮設配水管による応急給水のサブモデルを用意し、給水タンク

車台数、応急給水栓ならびに仮設配水管設置可能数を入力データとして、地域メッシュ別の市民1人当たり1日応急給水量の算出を行った。

ここでは、応急給水を、通常の給水管によらない給水と定義した。よって、市民1人当たり1日応急給水量は、給水タンク車、応急給水栓、仮設配水管による給水方法での給水量の合計である。図-5に本モデルの概略を示す。給水タンク車台数は神戸市の実績¹⁵⁾を用いた。

a) 給水タンク車モデル

本モデルでは、給水タンク車の動きを時間単位15分で追跡調査することにより、地域メッシュ別の給水タンク車による応急給水量を算出する。給水タンク車の追跡方法は、給水タンク車別に、現在どのような状態であるのかを調べ、道路状況などの地域特性、ならびに応急給水状況からどのような動きをするのかの判断を行うものとした。給水タンク車の状態として、1. 給水拠点から移動、2. 市民へ給水、3. 給水拠点へ移動、4. 給水拠点にて水を補給の4つを取り上げ、これらの状態を繰り返すことにより応急給水を行うものとした。

b) 応急給水栓モデル

応急給水栓による応急給水は、断水地域メッシュ内の通水された消火栓に臨時給水栓を設置することにより応急給水を拡大するものである。本モデルでは、地域メッシュの応急給水状況から応急給水栓の設置・撤去を行い、応急給水栓による給水量を算出した。

断水地域メッシュ内の臨時給水栓が設置された消火栓に通水することが必要であることから、隣接地域メッシュのうち少なくとも1つの地域メッシュが通水していることを設置の必要条件とした。また、地域メッシュ内の応急給水状況に関して、市民1人当たり1日応急給水量が給水タンク車による神戸市平均応急給水量よりも少ないことを十分条件とした。

c) 仮設配水管モデル

仮設配水管による応急給水は、通水している消火栓を利用して簡易の配水管を布設することにより応急給水を行うものとし、本モデルでは地域メッシュの応急給水状況から仮設配水管の布設を行う。

仮設配水管は通水された消火栓を利用することから、応急給水栓と同様に隣接地域メッシュのうち少なくとも1つの地域メッシュが通水していることを設置の条件とした。

d) シミュレーション結果および考察

上述のように構築したモデルを用いて、震災時応急給水シミュレーションを行った。給水量に関するパラメータとなる給水タンク車のタンク容量は一定

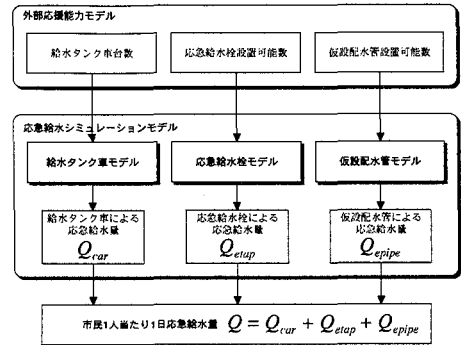


図-5 応急給水シミュレーションの概略

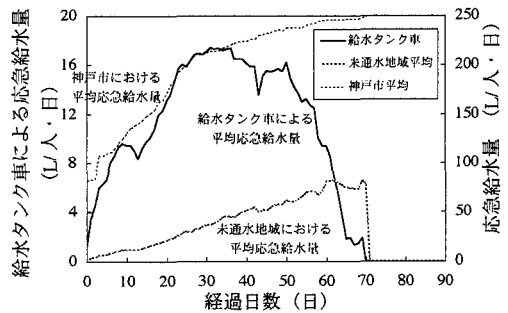


図-6 市民1人当たり1日応急給水量の推移

値3000Lとした。また、応急給水栓、仮設配水管による応急給水量はそれぞれ30L/人・日、80L/人・日と設定した。

給水タンク車モデルにより算出した地域メッシュ別の給水タンク車による市民1人当たり1日応急給水量の神戸市平均を算出した。また、未通水地域ならびに神戸市全域における市民1人当たり1日応急給水量平均を求めた。ここでは、通水している地域メッシュの市民1人当たり1日応急給水量を250L/人・日とした。図-6に市民1人当たり1日応急給水量の推移を示す。これより、未通水地域においては時間の経過とともに量的に応急給水が拡大されていることがわかる。

給水タンク車による応急給水量は、震災から1週間は給水タンク車台数の増加に比例して増加している。その後1ヶ月が経過するまで増加している。しかしながら、5～6週目の期間において、給水タンク車による応急給水量が17L前後にとどまり、その後減少している。5～6週目の期間においては、復旧が進んだことにより断水地域メッシュが減少し、断水地域メッシュ当たりの給水タンク車台数は増加している¹⁶⁾。このことから、給水タンク車による応急給水量には量的限界があると考えられる。

次に市民1人当たり1日応急給水量の平面的分布に

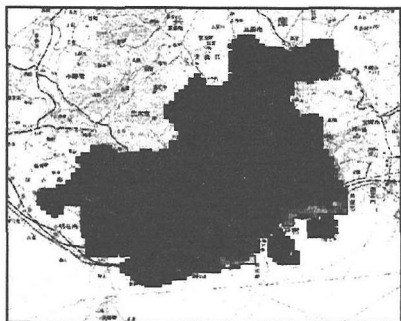


図-7 全復旧期間における平均給水量分布

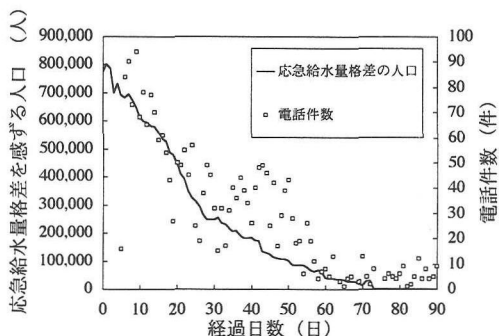


図-8 応急給水量格差を感じる人口の推定結果

について考察する。図-7に全復旧期間における市民1人当たりの平均給水量を示す。これより、給水拠点が存在する地域メッシュ付近では、比較的応急給水量は大きくなっており、配水管被害件数が最も多かった東部地域や給水拠点から距離がある長田区において応急給水量が比較的少なく、十分に応急給水が行き届いていないことがわかる。

e) 応急給水量格差

隣接地域メッシュとの応急給水量格差 Q_{gap} (L/人・日) を次式により算出した。

$$Q_{gap} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n Q_k - Q_0 \quad (2)$$

ここに、 Q_0 は地域メッシュにおける応急給水量、 Q_k は隣接地域メッシュにおける応急給水量、 n は隣接地域メッシュ数である。応急給水量が隣接地域メッシュの応急給水量よりも少ない、つまり $Q_{gap} > 0$ となる場合、その地域メッシュ内の市民は応急給水量に関して格差を感じているものと仮定して、日ごとの応急給水量格差を感じる人口を算出した。図-8にその時間推移を示す。これより、復旧期間における応急給水量格差を感じる人口推移は、神戸市水道局にお

いて受け付けた苦情、要望、問い合わせなどの電話件数¹¹⁾の経時変化と同じような傾向を示している。また、応急給水量格差を感じる人口と電話件数との相関における決定係数 R^2 は0.73となっていることより、応急給水量格差を感じる人口と電話件数との間には強い相関がみられることがわかる。

3. 電話データからみた応急復旧目標期間に関する考察

心理学的に解釈すると応急給水状況とは、市民生活状況に関する知識を意味し、また、市民が現実を感じていることがらと対応しており、応急給水に関する認知の要素の1つである。電話件数は、心の動きである内的過程を経て、何かしらの感情を伴う行動の回数であるとみなすことができる。したがって、ここでは応急給水状況と電話件数との関係を明らかにし、震災対策に市民の生活状況を組み込む方法について検討する。

地震発生から応急復旧完了に至る期間において神戸市水道局で受け付けた電話のデータ¹¹⁾を地域メッシュ上に整備を行った。この電話データと、前述のシミュレーションモデルを用いて地域メッシュごとに算出された市民の応急給水状況を表す要素の関連性について統計学的手法を用いた分析を行い、電話データと応急給水状況との関係を説明できるモデルの構築を行う。

以上のようにして得られたモデルを用いて、市民の応急給水状況を考慮に入れた水道システムの震災対策における応急復旧目標期間に関する考察を行う。

(1) 市民からの電話データの整備

震災発生から神戸市全市応急復旧完了に至る期間において神戸市水道局災害対策本部で受け付けた苦情、要望、問い合わせなど、合計2398件の電話があった¹¹⁾。この電話データより住所を抽出し、国土地理院発行の2万5千分の1地形図ならびに1万分の1地形図上において所在位置を同定することができた2149件の電話について、標準地域メッシュとして制定されている2分の1地域メッシュ¹⁴⁾に対応付けを行った。

電話データには神戸市水道局災害対策本部で受け付けた日付が存在するが、ここでは期間によって分類はせずに、地域メッシュ別に集計を行い、地域メッシュごとの震災発生から全市応急復旧完了に至る期間を通じての電話件数を算出した。図-9に地域メッシュ別の電話件数分布を示す。

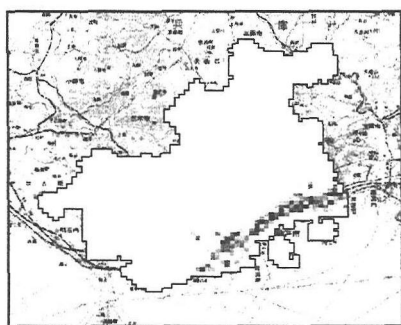


図-9 地域メッシュ別の電話件数分布

(2) 市民の認知要素とデータ整備

ここでは、市民の認知要素として応急給水状況を表す変量ならびに地域メッシュの地域特性を表す変量を取り上げることとし、それらを表-1に示した。ここに、隣接地域メッシュ人口は、隣接地域メッシュにおける地域メッシュ内人口の平均値とした。復旧日数は復旧状況モデルによる計算結果を用いた。復旧期間における平均応急給水量（以下、平均応急給水量という）は、震災時応急給水モデルにより算出したものをを用いた。応急給水量格差は応急給水量格差の全復旧期間における平均値を用いるものとした。

応急給水状況を表す物理量として復旧日数、平均応急給水量、配水管被害件数、さらに心理的要素として応急給水量格差をとりあげた。また、地域特性を表す要素を地域メッシュ内人口、隣接地域メッシュ人口、道路密度とした。

図-10に復旧日数と電話件数との間の散布図を示す。復旧日数と電話件数との相関係数が0.47であることから、ある程度の相関は認められるものの、復旧に時間を要するほどその地域メッシュにおいて電話件数が増加するとはいえない。その他の要素についても、表-2に示すように電話件数との相関係数が0.5前後にとどまっている。したがって、これらの認知要素には、電話件数との間に明確な相関関係が認められず、1つの認知要素により復旧期間における電話件数を説明することは困難である。

以上のことより、認知要素間の関係を分析し、視覚的にとらえたり、認知要素を代表する総合的指標を求め、それにより電話件数を説明するなどの多変量を扱う解析を行うことが必要となる。

(3) 主成分分析法による電話データ分析

多くの変量の値をできるだけそれらが持つ情報の

表-1 市民の認知要素

復旧日数
配水管被害件数
復旧期間における平均応急給水量
応急給水量格差
地域メッシュ内人口
隣接地域メッシュ人口
道路密度

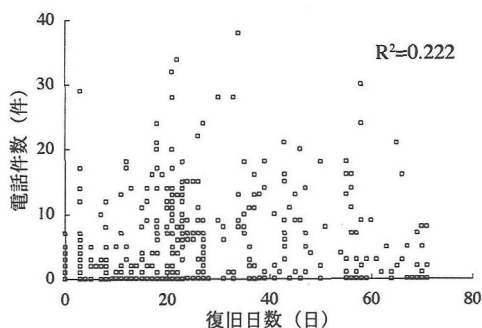


図-10 電話件数と復旧日数の間の散布図

表-2 市民の認知要素と電話件数との相関係数

認知要素名	電話件数との相関係数
復旧日数	0.471
配水管被害件数	0.495
復旧期間における平均応急給水量	0.468
応急給水量格差	0.033
地域メッシュ内人口	0.585
隣接地域メッシュ人口	0.616
道路密度	0.566

損失なしに、少数個の総合的指標で代表させる統計学的手法として主成分分析法がある。ここでは、表-1に示した認知要素について主成分分析を行い、復旧時における市民の電話と応急給水に関する認知要素との関連性について検討を行う。

a) 主成分分析の方法¹⁷⁾

復旧時に電話をかけるという市民の行動を支えている心理にはさまざまな要因が複雑に関与しており、この複雑な過程をできるだけ単純化して理解しようという観点からは、少ない数の主成分で、もとの変量が説明されることが望ましい。そして、もとの変量の持っている情報の大部分が主成分で説明される必要があるが、諸々の認知要素から電話件数を説明するという点からは、できるだけ少数個であることが望ましい。

また、各主成分がもとの変量から構成される総合的指標といえるためには、複数の変量に含まれていた情報が集約されるので、変量1個以上の情報を

表-3 市民の認知要素間の相関行列

	復旧日	配水管被害件数	応急給水量格差	地域メッシュ内人口	平均応急給水量	隣接地域メッシュ人口	道路密度
復旧日	1.000						
配水管被害件数	0.488	1.000					
応急給水量格差	-0.208	-0.211	1.000				
地域メッシュ内人口	0.465	0.367	-0.204	1.000			
平均応急給水量	-0.969	-0.510	0.241	-0.530	1.000		
隣接地域メッシュ人口	0.544	0.412	-0.324	0.829	-0.581	1.000	
道路密度	0.488	0.407	-0.322	0.701	-0.540	0.748	1.000

表-4 相関行列の固有値および固有ベクトル

認知要素名	第1主成分	第2主成分	第3主成分
隣接地域メッシュ人口	0.865	0.312	-0.195
復旧日	0.816	-0.497	0.074
道路密度	0.815	0.319	-0.137
地域メッシュ内人口	0.807	0.322	-0.350
配水管被害件数	0.630	-0.284	0.196
応急給水量格差	-0.403	-0.422	-0.800
平均応急給水量	-0.855	0.439	-0.066
固有値	4.018	1.001	0.868
寄与率	0.574	0.143	0.124
累積寄与率	0.574	0.717	0.841

持っていなければならない。

そこで、ここでは、

1. 累積寄与率がある程度以上大きくなること
2. 各主成分がもとの変量1個分以上ある、すなわち相関行列 R の固有値 $\lambda \geq 1$ であることを主成分の数の決め方の基準とした。

b) 分析結果および考察

表-1に示した市民の認知要素を7個の変量と考えたとき、神戸市内の地域メッシュのうち人が居住している932地域メッシュにおける変量間の相関行列は表-3に示すとおりである。これより、復旧日数と平均応急給水量の間では相関が高く、復旧に時間を要するにつれて平均応急給水量が少なくなっている。

この相関行列の固有値と固有ベクトルを求めると表-4が得られる。

まず、第1主成分について述べる。表-3および表-4で得られた結果より、配水管被害件数、復旧日数の値が大きくなるほど、また平均応急給水量が少なくなるほど、第1主成分得点が大きくなることから、第1主成分は地震被害の大きさを表しているといえる。

次に、電話件数と第1主成分との関連をみる。図-11に地域メッシュ数のヒストグラムを示す。第1主成分の値が大きくなるほど、復旧期間において電話がなかった地域メッシュ数が減少している。第1主成分の値が0.88以上となる地域メッシュでは、ほぼすべての地域メッシュで苦情や問い合わせ等の電話が

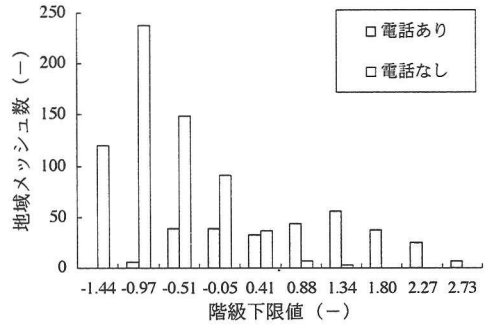


図-11 第1主成分得点のヒストグラム

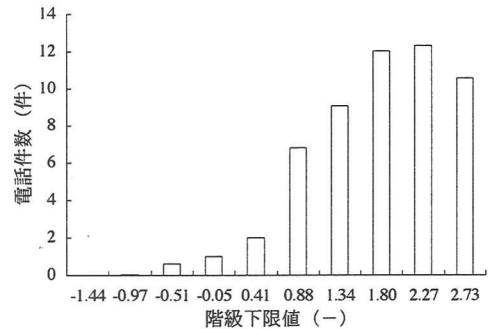


図-12 第1主成分得点の各階級における平均電話件数

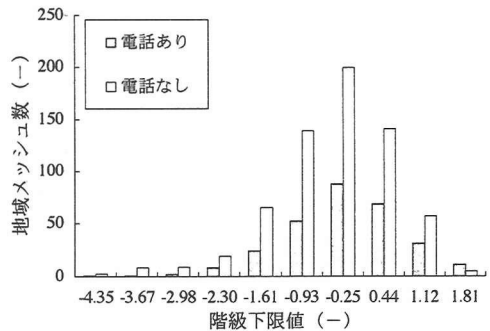


図-13 第2主成分得点のヒストグラム

あったことがわかる。図-12に第1主成分得点の階級別の電話件数の平均を示す。これより、第1主成分の値が大きくなるほど、地域メッシュにおける電話件数が増加していることがわかる。

以上のことから、第1主成分は市民生活への地震被害の影響の大きさを表すものといえる。

次に第2主成分について述べる。表-3、表-4より、配水管被害件数が多く、復旧に時間を要し、かつ隣接地域メッシュとの給水量格差が大きくなるにつれて、第2主成分の値は減少し、負の値をとるようになる。図-13に地域メッシュ数によるヒストグラムを示す。

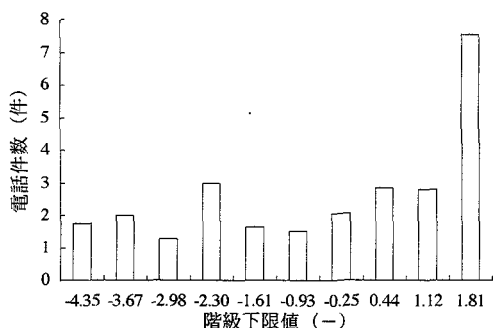


図-14 第2主成分得点の各階級における平均電話件数

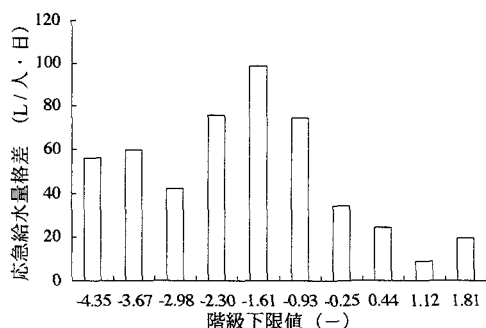


図-15 第2主成分得点の各階級における平均応急給水量格差

電話の有無による地域メッシュ数の分布の違いが認められないことから、第2主成分は、電話件数にはほとんど関連していないといえる。このことは図-14に示した第2主成分得点の階級別の電話件数の平均値が第2主成分の値によらずば一定であることからわかる。

一方、第2主成分得点の各階級における応急給水量格差を算出した結果を図-15に示す。第2主成分の値が大きくなるにつれて、応急給水量格差の値が小さくなっている。しかしながら、第2主成分得点が-2.30以下では、第2主成分得点の減少にともない応急給水量格差が増加するような傾向がみられない。これは、第2主成分得点が-2.30の点における累積相対値は0.055であり、第2主成分得点の極値となっていることによるものと考えられる。

以上のことから第2主成分は応急給水過程での公平性を表すものと解釈できる。

第3主成分の各認知要素の係数は、応急給水量格差が負の値となっていることから、応急給水量の格差が大きくなるにつれて第3主成分得点は減少する。

これら第1～2主成分の累積寄与率は71.7%、第1～3主成分までの累積寄与率は84.1%となっている。4番目以下の固有値は0.624、0.305、…で、その寄与

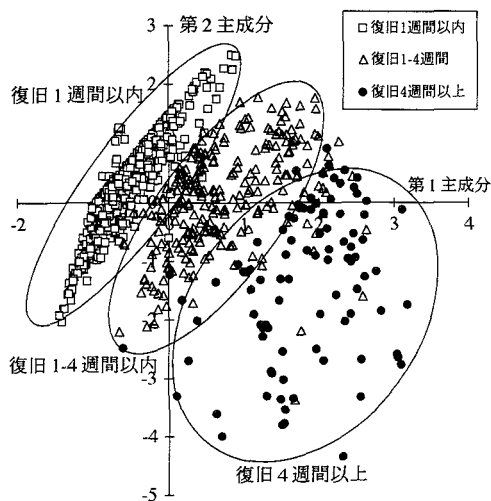


図-16 復旧日からみた第1-第2主成分平面における地域メッシュの位置

率は8.9%、4.6%、…であり、いずれも小さい値であることから考慮しないものとした。第2主成分までの累積寄与率が7割程度であり、とりあげた主成分がもとの要素を代表している。ばらつきを説明しなければならないという観点からは、第3主成分をとりあげることになるが、第3主成分に対する固有値が1より小さいこと、また第3主成分が第2主成分と同様に応急給水量格差に係数の絶対値が大きいことから、ここでは第2主成分までをとりあげるものとした。

次に、各地域メッシュについて主成分得点を算出し、第1主成分-第2主成分平面に各地域メッシュを位置づけた。復旧日数により分類した各地域メッシュをプロットした結果を図-16に示す。932個の地域メッシュはこの第1主成分-第2主成分平面の中でほぼ楕円体を構成している。復旧期間が1週間以内の地域メッシュは、第1主成分-第2主成分平面において左上に位置し、被害の大きさが小さい部分にプロットされている。1週間から4週間で復旧した地域メッシュはほぼ中央部分に位置しており、復旧に4週間以上を要した地域メッシュはこの平面の第4象限に位置し、復旧に時間を要するにつれて、第1主成分-第2主成分平面上における地域メッシュの位置は左上から右下へ移動していることがわかる。

また、第1主成分得点が同程度である、つまり地震被害の大きさが等しい地域メッシュを比較すると、第2主成分が小さくなるにつれて、復旧日数の値が大きくなっていることがわかる。このことから、復旧に時間がかかるほど、公平性が小さくなり、市民が不公

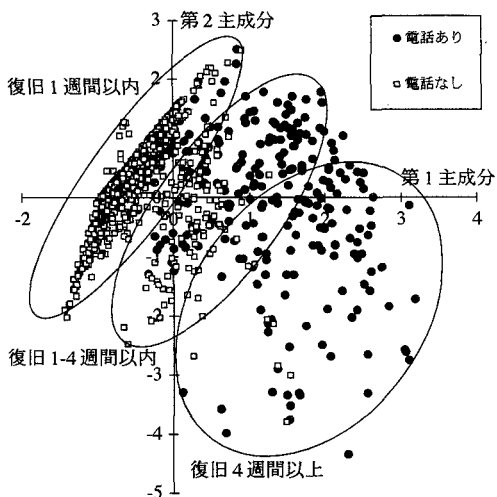


図-17 電話の有無からみた第1-第2主成分平面における地域メッシュの位置

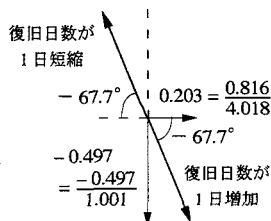


図-18 復旧日数による第1-第2主成分平面上の地域メッシュの位置の移動

平を感じるようになると推定できる。

苦情や問い合わせ等の電話の有無により分類して各地域メッシュをプロットした結果を図-17に示す。電話があった地域メッシュの多くはこの平面の右に位置しており、被害が大きい位置にある。電話がなかった地域メッシュの大部分は、左上の少し離れた位置に集まっており、被害が比較的少なく、公平性が保たれた位置にある。このことより、第1主成分の値が大きな地域メッシュ、つまり人口や道路交通網が集中しており、地震により配水管被害が多く発生し、復旧に時間を要する地域メッシュでは、応急復旧期間において苦情や問い合わせ等の電話が生じる可能性が大きかったことがわかる。この平面上で第2、第3象限にプロットされるような応急給水状況となる地域メッシュは、復旧期間を通じて電話が発生する確率が小さいことがわかる。

c) 復旧期間に関する考察

以上の結果をもとに、復旧期間について考察を行う。今回の地震被害と同程度の地震被害の大きさである地域メッシュの復旧日数がより短くなれば、表-

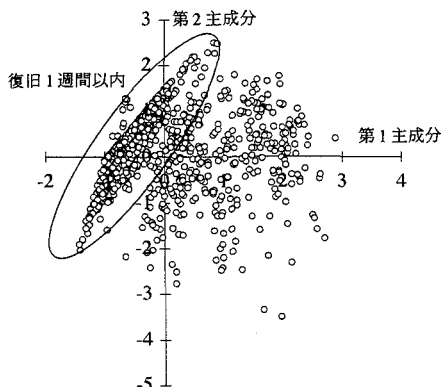


図-19 復旧日数を4週間としたときの第1-第2主成分平面における地域メッシュの位置

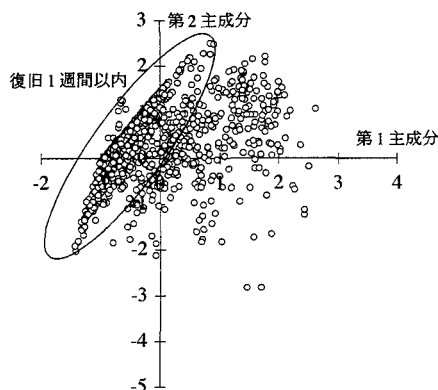


図-20 復旧日数を1週間としたときの第1-第2主成分平面における地域メッシュの位置

4に示す復旧日の第1主成分、第2主成分の固有値、固有ベクトルの大きさから、図-18に示すようにその地域メッシュの第1-第2主成分平面上の位置は第1主成分軸の負の方向と -67.7° の角度で左上に、すなわち第2象限の方向へ平行移動する。第2象限に近づくほど震災後応急復旧期間において電話が生じる可能性が小さくなると推測される。

神戸市水道施設耐震化基本計画¹⁰⁾の中で策定された応急復旧目標期間や、関西水道事業研究会¹¹⁾で検討された震災後応急復旧目標期間は4週間以内となっている。図-17に示されているように、復旧1週間以内と復旧1-4週間以内の2つの範囲に含まれる地域メッシュでは、電話が発生した地域メッシュの割合が、復旧4週間以上の範囲に含まれる地域メッシュでの電話が発生した割合よりも少なくなっている。

復旧期間4週間以上の範囲に含まれる地域メッシュの復旧日数を4週間としたときの第1-第2主成分平面上における地域メッシュの位置を図-19に、また復旧期間1-4週間、復旧期間4週間以上の2つの範囲に含

まれる地域メッシュの復旧日数が1週間としたときの第1-第2主成分平面上の地域メッシュの位置を図-20に示す。ここでは、図-16に示されているように復旧期間が2-4週間以内である地域メッシュの第1-第2主成分平面上における位置がほぼ同じであり、また神戸市水道施設耐震化基本計画¹⁰⁾ならびに関西水道事業研究会¹¹⁾で検討されている震災後応急復旧目標期間が4週間であることから、検討する応急復旧目標期間を1週間、4週間とした。復旧に要する日数が減少するにつれて、地域メッシュの位置が第2象限の方向へ移動していることがわかる。復旧日数による第1-第2主成分平面上の移動について検討したが、実際には復旧日数の減少にともなう平均応急給水量の増加により、地域メッシュの位置は第2象限の方向へ移動すると考えられる。しかしながら、復旧期間が4週間としたときには平面上の移動量が少なく、まだ不十分であるといえる。すなわち、苦情や問い合わせ等の電話が発生しないような理想的な震災時応急復旧目標期間は1週間以内であるといえる。

4. 結言

本研究で得られた結果を以下に示す。

1. 応急給水量格差や復旧日数などの市民の応急給水状況に関する認知要素を主成分分析することにより、第1主成分、第2主成分で電話件数を説明することができた。
2. 第1主成分の値は、市民生活に対する地震被害の影響の大きさを表していると考えられた。また、第2主成分は応急給水過程での公平性を表すものと解釈できた。
3. 復旧に時間を要するほど、公平性が小さくなり、市民は不公平を感じるようになると推定できた。
4. 震災時応急復旧過程での電話データからみたとき、苦情や問い合わせなどの電話が発生しないような理想的な震災時応急復旧目標期間は1週間であると考えられた。

謝辞：本研究を進めるにあたり、ご指導いただいた京都大学大学院工学研究科住友恒教授に謝辞を表す。また、データの収集にあたりご支援を賜った関西水道事業研究会、神戸市水道局の方々に謝意を表す。

参考文献

- 1) 福士憲一、諸戸靖史、長谷川明、佐藤米司、大島一男、亀本和克：三陸はるか沖地震による配水管被害の解析、水道協会雑誌、Vol. 65, No.10, pp.2-14, 1996.
- 2) 榊信昭、伊藤雅喜、眞柄泰基：兵庫県南部地震時の浄水施設の被害と原因の考察、水道協会雑誌、Vol.66, No.1, pp.35-52, 1997.
- 3) 増田貴則、松下真、住友恒、小倉晋：地震による配水管被害の応答変位法による分析、水道協会雑誌、Vol.66, No.5, pp.10-21, 1997.
- 4) 星谷勝、小池精一、宮崎正敏：上水道埋設管システムの震災復旧過程の予測、土木学会論文報告集、No.322, pp.25-35, 1982.
- 5) 星谷勝、宮崎正敏：上水道システムの地震災害復旧の戦略と予測、土木学会論文報告集、No.331, pp.45-54, 1983.
- 6) 磯山龍二、片山恒雄：大規模水道システムの地震時信頼度評価法、土木学会論文報告集、No.321, pp.37-48, 1982.
- 7) 能島暢呂、亀田弘行：幹線・支線の階層性を考慮したライフライン系の最適震後復旧アルゴリズム、土木学会論文報告集、No.450, pp.171-180, 1991.
- 8) 和泉正哲、野村希晶、牧瀬研二：ガス・電力・上水供給システムの震害復旧シミュレーション、第6回日本地震工学シンポジウム講演集、pp.2025-2031, 1982.
- 9) 市東哲也、星谷勝：上水道システムの地震リスクマネジメント、土木学会論文報告集、No.584, pp.201-213, 1998.
- 10) 神戸市水道復興計画委員会：神戸市水道耐震化指針、1995.
- 11) 関西水道事業研究会：市民の視点にたった水道地震被害予測及び震災時連絡管整備に関する一考察、1996.
- 12) 細井由彦、城戸由能：応急給水・復旧シミュレーションによる水道の地震対策の評価、土木学会論文報告集、No.629, pp.67-81, 1999.
- 13) 住友恒、平山修久：震災時における応急給水シミュレーション、第48回全国水道研究発表会講演集、pp.614-615, 1997.
- 14) 総務庁統計局：地域メッシュ統計の概要、1994.
- 15) 神戸市水道局：阪神・淡路大震災 水道復旧の記録、1996.
- 16) 平山 修久：心理的要因を考慮した水道における震災時応急対策計画手法に関する研究、京都大学大学院修士論文、1999.
- 17) 田中豊、脇本和昌：多変量統計解析法、現代数学社、pp.54-99, 1983.

GOAL PERIOD OF EMERGENCY RESTORATION OF WATER SUPPLY AFTER EARTHQUAKE FROM THE VIEWPOINT OF CITIZEN'S COMPLAINT BY TELEPHONE

Sadahiko ITOH, Nagahisa HIRAYAMA

The Great Hanshin-Awaji Earthquake gave a strong impact on water supply system management. One of the most important point is that citizens must bear uncomfortable living for a long period. It is important for water supply system in the future to be reestablished including the viewpoint of psychology and the behavior of the citizens.

In this paper, the model of emergency water supply was developed and citizens' life situations concerning the emergency water supply for the restoration period were presumed. Citizen's complaint by telephone received by Kobe City Office was compiled for 500x500m grid cells. The number of citizen's complaint by telephone was described using the result of principal component analysis on emergency water supply condition such as restoration days and the difference in quantity of supplied water. As time is needed for the restoration, citizen would sense the unfairness. Ideal goal period of emergency restoration, in which citizen's complaint by telephone does not arise, was estimated to be within one week.