

IV-51

都市震災時の緊急時コミュニケーション行動と 電話通信ライフラインシステムの相互作用に関するモデル分析

京都大学大学院 学生員 本橋 直樹 京都大学防災研究所 正員 岡田 憲夫
京都大学防災研究所 正員 多々納 裕一

1. はじめに 先の阪神・淡路大震災においては、震災発生直後から安否確認を目的とする電話需要が急激に発生した。その結果、電話通信システムは数日間にわたって「輻輳」状態に陥り、安否確認行動の遅れ、交通渋滞の発生等、被災後の初期対応に大きな障害となった。本論文では、電話による安否確認行動を電話利用者と電話通信システム全体との間の動的相互作用と捉え、震災発生直後の電話の輻輳現象のモデル化を試みる¹⁾。

2. モデル化の背景 阪神・淡路大震災の際には、電話を含めた様々なライフラインシステムがその機能を大幅に低下させ、その影響は被災者の日常生活のみならず都市機能全体を麻痺させるに至った。しかし、これらの機能障害の中で、他のものと若干その性格を異にしていると言えるものが、電話通信ライフラインシステムである。すなわち、電話以外のライフラインシステムの機能低下は、地震動によるシステムのハード面の物理的損傷に主な原因があるとされているのに対し、電話通信ライフラインシステムの機能低下は、「輻輳」の発生というソフト面にその原因があるとされている。ここで「輻輳」とは、発生需要が電話通信システムの処理能力以上に集中して電話がかかりにくくなる現象のことである。

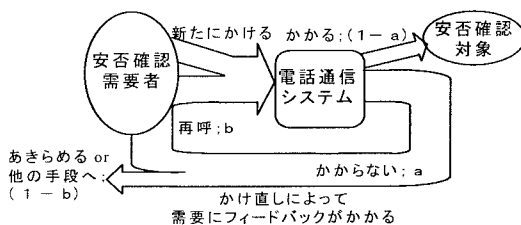


図 1: 再呼による需要の増大

石川²⁾によれば、阪神・淡路大震災の際に発生した大規模な輻輳現象は、家族や知人への安否確認及び報知（以下これを「安否確認行動」とする）を目的として集中的に発生した電話需要が、「再呼」と呼ばれる利用者の「かけ直し行動」によってさらに何倍にも膨れあがった結果であるとされている。

そこで以下では、震災直後の電話の輻輳現象を、電話利用者と電話通信システム間の動的相互作用として捉えたと

ともに、それが展開される場としての都市構造との間接的な関係についても考慮に入れて、これらの関係を定量的に記述するモデルの構築を行なう。これは、災害時の輻輳現象は生起する需要量や再呼の程度に大きく関わっており、その状況が単にシステムのサービス水準や対応の良否のみならず、都市及びそこに暮らす人々のライフスタイルによっても大きく決定付けられると考えられるからである。なお、モデル化に際しては、従来の電話通信システムの設計・運用でよく用いられてきたトラヒック理論は適用しない。これは、トラヒック理論によるモデルが、その範囲を交換機周辺のものに限定し、需要の発生も平常時のランダムなものを基本としているからである¹⁾。

3. 定式化 実際の電話通信システムは、一つの交換機をサブシステムとする複数の交換機システムの階層構造によって形成されている。しかし、ここでは簡単のため、被災地を送受信点とする電話需要（以下「呼」と呼ぶ）はすべて一つの統合的な交換機システムによって取り扱われるものと仮定し、モデルの変数を以下のように定義する。

- ・ X: 「安否確認行動」のための電話の潜在的需要量（未生起の呼数）
- ・ Y: その時点において通話相手に接続されている呼の数（接続呼数）
- ・ L: 通話相手には接続されていないが保留中である呼の数（保留中の呼損呼数）

注) 保留とは生起した呼が交換機システムにアクセスしている状態のこと

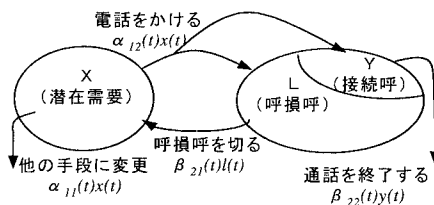


図 2: X, Y, L の関係

次に、時刻 t における X , Y , L の大きさをそれぞれ $x(t)$, $y(t)$, $l(t)$ とし、パラメータ $\alpha_{11}(t)$, $\alpha_{12}(t)$, $\beta_{21}(t)$, $\beta_{22}(t)$ をそれぞれ、電話による連絡をあきらめて他の手段

キーワード：緊急時コミュニケーション行動、電話通信ライフラインシステム、都市防災
京都大学大学院 工学研究科 修士課程 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町, TEL 075-753-7531)
京都大学防災研究所 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄, TEL 0774-38-4035, FAX 0774-32-3093)

に移ることによる潜在需要Xの変化率、潜在需要の顕在化率、呼損呼の保留終了率、接続呼の保留終了率と定義して、X、Y、Lの関係を図2のように仮定する。

この関係を定式化した次の連立微分方程式が、震災直後の電話の輻輳現象を記述する数学モデルである。ただし、利用者の電話への依存度に関するパラメータ $\alpha_{11}(t), \alpha_{12}(t)$ は瞬間的呼損率 $z = \{l(t)/\{l(t)+y(t)\}\}$ に依存すると仮定し、電話がかかりにくい時には、電話への依存度は低下し他の手段への依存度が増加するとして、 $\alpha_{11}(t) = a_{11}z^{m_1}, \alpha_{12}(t) = a_{12}(1-z)^{m_2}$ とおいた。また、 $\beta_{21}(t) = b_{21}, \beta_{22}(t) = b_{22}$ とした。

$$\begin{cases} \frac{dy(t)}{dt} = 0 & (l(t) \geq 0) \\ \frac{dy(t)}{dt} = \alpha_{12} \left(1 - \frac{l(t)}{l(t)+y(t)}\right)^{m_2} x(t) - b_{22}y(t) & (y(t) < K) \\ \frac{dl(t)}{dt} = \alpha_{12} \left(1 - \frac{l(t)}{l(t)+y(t)}\right)^{m_2} x(t) - b_{21}l(t) - b_{22}K & (l(t) \geq 0) \\ \frac{dl(t)}{dt} = 0 & (y(t) < K) \\ \frac{dx(t)}{dt} = -\alpha_{11} \left(\frac{l(t)}{l(t)+y(t)}\right)^{m_1} x(t) - \alpha_{12} \left(1 - \frac{l(t)}{l(t)+y(t)}\right)^{m_2} x(t) + b_{21}l(t) \end{cases}$$

(m_1, m_2 ; 瞬間的呼損率に対する感度を表すパラメータ)

4. モデル分析 次に、モデルの妥当性について検討を行なうため、シミュレーションを行なった。まず、各種の文献1)3)等を参考にしてパラメータの基本設定値を同定し、潜在需要が $t=0$ の時のみに生起すると仮定した場合（これを基本ケースとする）のモデルの振る舞いについて考察を行なった。その結果、図3に示すように、モデル上での電話通信システムは、需要発生($t=0$)直後からしばらくの間輻輳状態を継続させ、その後ゆっくりと収束に向かうことが明らかになった。

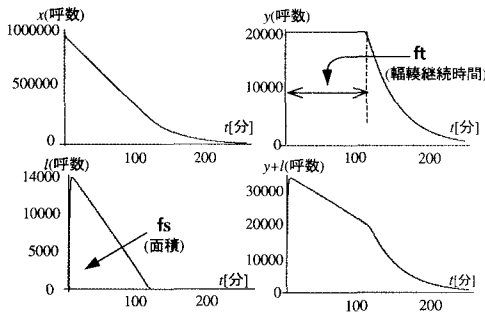


図3: 基本ケース

次に、パラメータの値を基本設定値から変化させた場合や初期需要が2段階に分かれて生起する場合について分析を行ない、システムの評価基準として輻輳の程度を表す ft および fs （図3参照）を用いて、震災直後の電話通信システムのマネジメント方法の検討を行なった。その結果、直接的なマネジメント方法としては、「平均通話時間の短縮」と「提供回線数の増設」が有効であると推察された。

最後に、潜在需要が時間の推移とともにその大きさを変化させながら連続的に生起する場合についても分析を行なった。奥村ら⁴⁾は、午前6時に地震が発生した場合、その後の電話需要は、直後、午前8時ごろ、午後の3つのピークを持ち、このうち午前8時のピークが最大になると予測している。そこで、これと基本ケースにおける初期潜在需要の設定値($t=0$ で100万呼)を参考に、午前6時に地震が発生した場合を想定して、生起する「安否確認行動」のための電話需要を、図4上段のように仮定した。

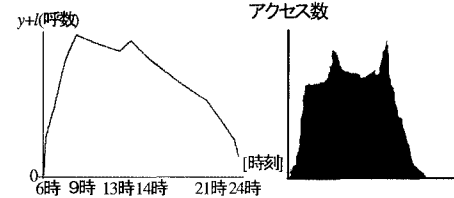
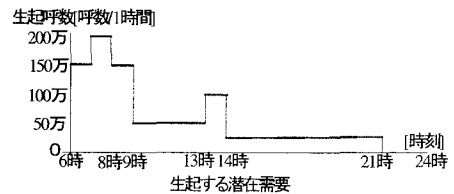


図4: 需要が連続的に発生する場合

その結果、基本モデルの出力を重ね合わせる形で描いたグラフ（図4下段左）は、震災時に実際に観測された電話需要のアクセス数の時間変化を表したグラフ（図4下段右）に良く似た形を示した。つまり、潜在需要が連続的に発生する場合のグラフの振る舞いは、基本ケースのような需要が単発で発生する場合を重ね合わせたものと解釈することが可能であると言える。従って、実際の震災時の安否確認行動による電話の輻輳の様子は、生起する需要の大きさと各パラメータの値を適切に決定することにより、基本ケースの重ねあわせとして再現し得ることが示された。

5. さいごに 都市の人口分布、都市活動のタイムサイクル等をより明示的にパラメータに反映させる方法について検討を行うことが、今後の課題として挙げられる。

[参考文献] 1) 本橋直樹：都市震災時における緊急時のコミュニケーション行動のモデル化—電話通信ライフラインシステムを対象として—, 京都大学工学部卒業論文, 1998. 2) 石川宏：情報ネットワーク通信の危機管理, オペレーションズリサーチ2月号 90-98, 1996. 3) 広井脩：阪神・淡路大震災と災害情報, 東京大学社会情報研究所「災害と情報」研究会1995年阪神・淡路大震災調査報告(1), 1996. 4) 奥村・永野：安否確認のための電話利用量の予測, 土木計画学研究委員会 阪神・淡路大震災調査研究論文集 661-668, 1997.