

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・淡路大震災の際には、震災発生直後から、安否確認を主な目的とする電話通信需要が急激に発生した。その結果、電話通信システムは殺到する需要をさばききれずに輻輳状態に陥り、震災発生から数日間にわたってその機能を大きく低下させた。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の間の動的相互作用とみなし、震災時の電話の輻輳現象のモデル化を試みる¹⁾。

2. 輻輳の発生 過去に行われた調査の結果¹⁾²⁾によれば、被災直後の被災者にとっては「情報の入手」、とりわけ家族や知人の安否確認及び彼らへの報知（以下これらを「安否確認行動」と呼ぶ）が極めて優先度の高い行動であるとされている。さらに、この行動は被災者のみならず、被災地外の関係者（局外者）にとっても重要であるため、結果として震災発生直後には被災地の内外から被災地に向けて電話需要が殺到する。その際にしばしば発生するのが、電話の「輻輳」である。ここで「輻輳」とは、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。阪神・淡路大震災の際には、ピーク時で平常時の約50倍に相当する多量の通信需要が殺到し、異常なレベルの輻輳が発生したと言われている¹⁾。

このとき、輻輳の発生に大きく影響したのが「再呼」と呼ばれる「かけ直し行動」である。石川³⁾によれば、電話利用者がつながらなかった電話需要に対して何度もかけ直しを行うと、本来一つであるはずの呼が何倍にも膨れ上がり、電話通信システム全体に大きな負荷をかけると考えられている（図1）。

このような輻輳の発生による影響は、被災者の安否確認行動がなかなか進まなかっただけでなく、各防災機関間の連絡が不通になったり、電話による安否確認をあきらめた人々の交通行動によって渋滞が悪化し

たりして、被災後の初期対応にいくつかの課題を残した²⁾。

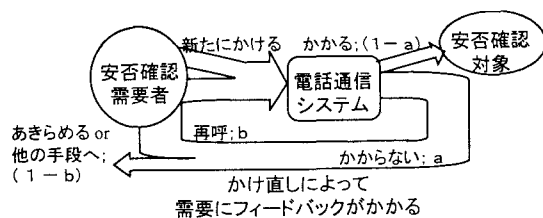


図1 再呼による需要の増大

3. モデル化の視点 阪神・淡路大震災のような大規模災害に対する電話通信ライフラインシステムの防災対策を検討する際には、輻輳現象を定量的に記述するモデルを用いて、予想される輻輳の状況を事前にシミュレーションすることが重要である。その場合、モデルは単に電話通信システムのみを取り扱ったものではなく、輻輳を電話利用者と電話通信システムとの間の動的相互作用として捉えるとともに、併せて、舞台となる都市構造との間接的な関係についても解明しておく必要がある。なぜならば、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、その状況は単にシステムのサービス水準や対応の良否だけではなく、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推測されるからである。

一方、従来の電話通信システムの設計・運用ではトラヒック理論がよく用いられてきた²⁾。しかしこれは、モデル化の範囲を交換機周辺のみに限定し、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ため、本研究に直接適用することはできないと考えられる。

4. 定式化 実際の電話通信システムは、いくつものサブシステムとしての交換機システムが階層構造をなしている。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、その下でモデルの変数を以下のように定義する。

- ・ X: 潜在的需要として存在している「緊急時のコミュニケーション」の量（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) 保留とは交換機システムにアクセスしている状態

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すると、 X , Y , L の関係は図 2 のようになる。

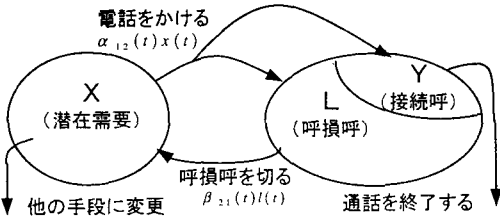


図2 X,Y,Lの関係

従って、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を記述する数学モデルとなる。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、 $\alpha_{11}(t) = a_{11}z^{m_1}$, $\alpha_{12}(t) = a_{12}(1 - z)^{m_2}$ とおいた。また、 $\beta_{21}(t) = b_{21}$, $\beta_{22}(t) = b_{22}$ とした。

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

(m_1, m_2 : 瞬間的呼損率に対する感度を表すパラメータ)

5. モデル分析 次にシミュレーションを通じてモデルの妥当性について検討を行った。まず最初に、各

種の文献¹⁾²⁾等を参考に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てその時のモデルの振る舞いについて考察を加えた。(これを基本ケースとする; 図 3)

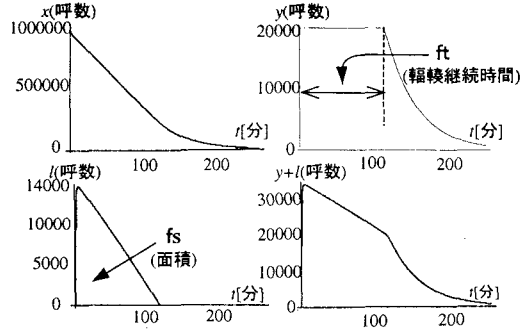


図3 基本ケース

た場合や初期潜在需要が何段階かに分かれて生起する場合についても分析を行い、 ft および fs (図 3 参照) をシステム性能の評価基準に用いて、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った。その結果、直接的な方法としては、「回線の増設」と「通話時間の短縮」が有効であると推測された。同時に、実際の安否確認行動による電話輻輳の様子は、基本ケースの重ねあわせによって再現し得ることも示された(図 4)。

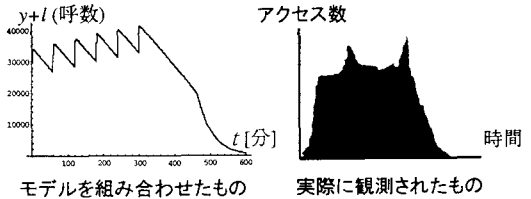


図 4 モデルの振る舞いと実際の観測結果

6. 今後の課題 今後の課題としては、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、検討を行う必要がある。

[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) 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.
- 3) 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 pp90-98, 1996.