

○復建調査設計（株）正員 藤田 章弘
鳥取大学工学部 正員 野田 茂

1. まえがき

脆弱なライフラインが広域的被害を受けると、市民生活は致命的な打撃を受ける。特に、電話システムは、被害や復旧状況などの情報を伝達したり、緊急時のサービスの確保と言う、社会的な重要性を担っている。都市防災という観点からして、通信システムは他のライフライン施設の復旧に影響を与えるので、被災通信施設を早期に回復させる必要がある。

本研究では、被災した電話システムの機能低下が市民生活に及ぼす影響を表す評価指標を考案し、時々刻々最適復旧を行えるようなアルゴリズムを提案する。遺伝的要素を含めた改良型シミュレーティッド・アニーリング（ISA）法により、作業班の移動経路や被災施設の復旧順位を求め、提案した評価指標の有効性を議論する。

2. 社会的重要度を考えた復旧戦略

被害は地震によって生じると仮定する。作業班の移動や作業時間は積雪深の影響を受ける。そのため、被災施設地点で積雪深が観測されていない限り、それを推定する必要がある。

積雪深は非負なので、その空間分布は対数正規分布に従う。共分散関数は先験的に既知、期待値は未知（空間位置の関数）とする。このような条件の下で、積雪深の観測値が得られたとき、対数Krigingにより、未観測点における積雪深の最適推定値を求めた。推定した積雪深から、積雪時における移動および作業時間は見積もった。

電話システムとしては、災害時に最も被害を受け易い加入者電話網を対象とした。その機能低下量は加入者の通話不通時間によって表す。被災施設間の関係と復旧順位により、機能低下量の等しい施設の集合は被災ブロック番号で表す。公共的な施設（警察、消防や病院など）は、災害時において、復旧活動の中心となる施設である。そのため、一般家庭とは異なる重要性を有する。このことを反映させるように、被災ブロックの重要度を算出した。

復旧過程は時間関数であるので、被災ブロックの重要度は時々刻々変化する。復旧完了時点 RT までにおいて、復旧状況、移動・作業時間や重要度および復旧残存時間を考慮した迷惑度を新しく定義し、その累積値は次式で算出した。

$$F(x) = \int_0^{RT} \sum_{i=1}^n I(p_i, t) \cdot \sum_{k=1}^n \sum_{l=0}^{k-1} (1 - \delta_{f_g(p_i, t), 0}) \left[\sum_{X=0}^n \sum_{Y=0}^n \{MT(p_X, p_Y) + WT(p_Y)\} \cdot x(p_X, l) \cdot x(p_Y, l+1) - t \right] \cdot x(p_i, k) dt$$

n : 被災施設数
 $MT(p_i, p_j)$: 被災施設 p_i と p_j 間の移動時間
 $WT(p_i)$: 被災施設 p_i の作業時間
 $I(p_i, t)$: 被災施設 p_i の時刻 t での重要度
 $x(p_i, k)$: 被災施設 p_i を k 番目に復旧するとき 1、それ以外のとき 0 の値
 $f_g(p_i, t)$: 時刻 t に被災施設 p_i が復旧していれば、0 の値をとる。

上式の目的関数 $F(x)$ に復旧時の制約条件を加味して、拡張された評価関数は設定する。これを最小にする復旧順位は、ISA法によって、求める。

3. 数値計算例および考察

本研究で提案した評価関数の有用性を調べるため、図1に示す市内電話網を対象として、数値計算を行った。

被災施設地点（■印）は10、積雪の観測地点（×印）は15である。●は交換所、○は加入者集団を示す。作業班は1班、移動の開始地点は交換所とした。

対数Kriging（期待値は未知で、位置の関数、共分散は既知）によって、観測積雪深から対象区域の推定積雪深を求め、積雪時における復旧班の移動時間と作業時間が見積もられる。

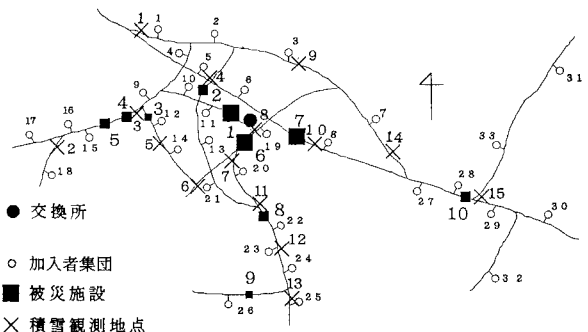


図1 被災施設地点と積雪観測地点

ISA法によって求めた復旧順位と作業班の移動経路は図2のようになる。被災施設は、5 → 8 → 1 → 6 → 4 → 2

→ 3 → 9 → 7 → 10 の順に復旧している。図3は5割機能回復時における被災ブロックと通話可能線（太線）を示す。

被災施設5と8を含むブロック内の加入者は多い。しかし、最重要施設はなく、さらに被災施設5と8の復旧によって、通話可能になる加入者は存在しない。しかし、被災施設5と8の復旧により、被災施設1と6の復旧時点で通話可能になる加入者数は増大する。そのため、被災施設5と8は比較的早い時点で復旧している。

5と8の次に、被災施設1が復旧している。そのブロック内の加入者数は少ないが、被災施設1の回線数は多い。そこには、対地回線の異なるケーブルが重複して敷設されている。従って、北西の加入者集団と交換所間の経路を確保するために、被災施設1は重要な施設である。

被災施設6も、被災施設1と同じく、そのブロック内の加入者は多くはない。この被災ブロックには加入者集団21を含む。加入者集団21には7つの重要施設が存在する。そのため、被災施設6の社会的重要度は高く、早急な回復が望まれる。以上より、被災施設1と6は時空間的重要度の高い施設であることがわかる。

提案した評価指標によれば、復旧の初期段階では時空間的重要度の高い被災施設が復旧する。効率的な復旧が実施されるように、重要度の高い被災施設を含む経路に従い、その末端の被災施設の機能が確保される。

図4は、機能的回復率と構造的回復率の違いを示したものである。機能的回復率とは被災時と平常時における通話可能な加入者数の比率を、構造的回復率とは復旧した被災施設数の割合を意味する。

一般に、ライフラインの復旧において、構造的回復に比べて、機能的回復は遅れる。その理由は、ネットワークの構成や復旧順序によって、構造的には復旧されていても、機能しない場合があるからである。

提案した評価指標の迷惑度を用いると、被災施設6、4と2を復旧した時点で、機能的回復率は構造的回復率を上回る。復旧の初期段階で、通話可能な加入者数は増加しない。しかし、逆に、これら3つの被災施設の復旧により、通話ルートが確保され、通話可能な加入者数は急増する。

4. あとがき

- 1) 積雪深の空間分布は対数正規分布（期待値は未知で、位置の関数、共分散は既知）に従うとし、Krigingの最適推定式を導いた。推定積雪深から、積雪時における復旧班の移動および作業時間は算出した。
- 2) 復旧活動により変化する構造的な被災施設の重要度と社会的意味の重要度を統合し、それらを加入者の累積電話不通時間に反映させた迷惑度関数を定義して、それを最小にするような復旧戦略を考案した。
- 3) 数値計算の結果、重要施設の復旧時点で、1) システムの機能回復に至る復旧順位が得られること、2) 構造的復旧と機能的復旧には特徴的な差違が見られること、などがわかった。

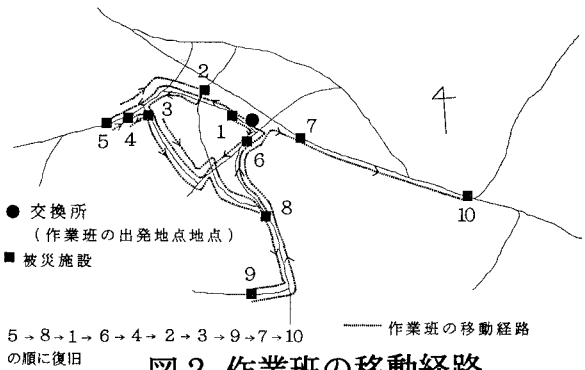


図2 作業班の移動経路

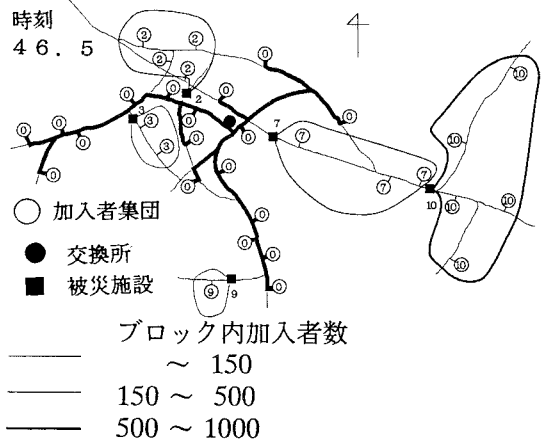


図3 被災ブロックの時系列変化

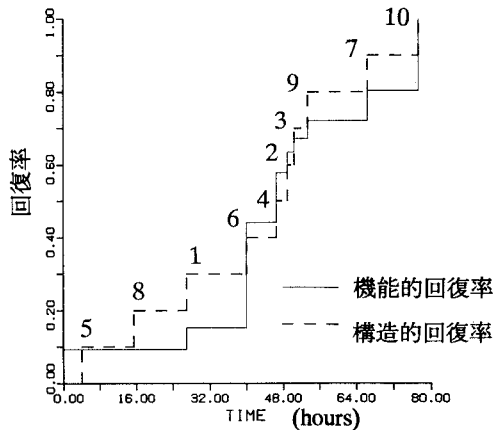


図4 構造的回復率と機能的回復率の時系列変化