

I-507

震災時ライフラインの復旧過程における現実的な機能評価

武蔵工業大学 正会員 星谷 勝
産業能率大学 正会員 大野春雄

1. はじめに

事業主体（電力会社、水道局等）の復旧計画の決定に際し基本的情報となりうる項目は、(1)地震時の被害分布予測、(2)機能支障の復旧予測、(3)復旧戦略の策定、(4)システムの被害軽減対策等が上げられる。なかでも、(1)、(2)の被害予測と復旧予測は、(3)、(4)の戦略と被害軽減対策に大きく影響する項目である。また、(2)の復旧予測はシステムが複雑であるため現象を適確に表現できるモデルが望まれている。本研究では、復旧過程における現実的な復旧予測、機能評価の基本理念について述べ、ここで用いている定量的機能評価モデル¹⁾の宮城県沖地震仙台市域の事例シミュレーションと復旧予測の基本理念との整合性について検討する。

2. 復旧予測・機能評価の基本理念

震後の被害復旧は施設、設備の被害と供給支障の状況を刻々と把握し、この情報をもとに事業主体の専門家らにより復旧計画での復旧方針を変更し、復旧作業を実施していく。この復旧作業の内容は非常に幅が広い。上水道システムでは、送配水管路等の被害に対する復旧工事、応急給水また導管に設置されているバルブ開閉による配水調整等の作業がある。これらの作業を実施するには、被害の規模に応じた作業人員の配備計画、役割分担、復旧資材が必要となる。また、電力システムにおいても送配電線、鉄塔、変圧器などの流通設備被害の復旧作業、応急給電活動、また電力系統切替による系統復旧や大口需要家への負荷抑制依頼など広範囲な作業がある。ここでは、復旧予測、機能評価の基本理念としての必須検討項目を上げる。

実復旧作業でも示されるように、ライフラインシステムの特徴は、ネットワーク化している供給経路にある。被害を復旧する場合、他の都市施設の被害とは異なり、点として独立な経路上の被害箇所を復旧しても他に被害が存在すればシステムの供給機能は回復しない。また、需要側に複数の経路が存在する場合、一つの経路が健全であれば致命的な機能支障とはならない。（ネットワークの連結性、システムの冗長性）

ライフラインシステムである電力、上水道、ガスなどの供給機能をもったシステムに着目してみると、そのシステム間には相互影響が存在する。宮城県沖地震で実証されたように機能低下が連鎖的に波及した。例えば、停電による浄水場、ポンプ所等のポンプ機能の停止、断水による火力発電所の冷却水の不足、また、ガス供給停止による電力需要の増大などが上げられる。このように各々のライフラインシステムは互いに影響されながら機能している。震後の復旧過程においてもこの関係は存在することが言える。（ライフラインの相互影響）

被害箇所における修復作業は有限である復旧人員、復旧資材を投入して行われる。ライフライン被害の復旧は住民生活の維持と経済活動への影響などの面より短期間で完全復旧することが重要である。最適、最良な復旧を実施するためには、復旧人員の配備計画、復旧資材確保などの戦略を事前に策定しておく必要がある。この復旧戦略は想定される被害規模、被害分布予測、そして復旧過程の予測の分析結果を情報として策定される。また、復旧戦略には定量的な戦略と人為的な戦略が実施されていることは過去の復旧対策の状況からも得られる。（復旧戦略）

以上のように、復旧予測、機能評価を適確に行うには、①ネットワークの連結性、②システムの相互影響③復旧戦略の3項目は、必要条件である。

事業主体の専門家は、予測モデルをどのように利用できれば復旧計画の策定、システムの被害軽減対策の効果的な支援ツールに成りうると考えるであろうか。このモデルの多くは、入力情報として、ある条件を与え、あるケースでの復旧過程の傾向（復旧曲線）と復旧完了時刻等を求めるものである。ここで、専門家の

実用的な利用法を考えてみる。計画策定という面から復旧にかかる所要日数よりも，“何日で復旧させるためには”というクエスチョンに対し、アンサーが、例えば“そのための復旧戦略はこうである”というものが便利であると考えられている。

3. 定量的機能評価モデルにおける基本理念の考慮

定量的機能評価モデルの基本構造は、図-1に示すように構造的復旧モデル(SRM)と機能的復旧モデル(FRM)のサブモデルで構成されている。SRMでは、復旧戦略を反映し、SRMからFRMの間でネットワークの連結性を考慮し、そしてFRM内部でシステム間の相互連鎖性の影響をとり入れている。このモデルでは、評価対象地域を供給エリアとメッシュ(500mX500m)に分割し、各々の供給エリアにFRM、メッシュにSRMが配置される。以下に具体的な考慮方法について示す。

復旧戦略：数値的にはメッシュ単位の復旧人員の配分比率によ

って表される。復旧状況（被害箇所数の減少）に応じて、この配

分比率をかえていくことを戦略としている。この配分比率の変更方法は2つのルートをもつ。1つはメッシュ内の被害箇所の復旧完了時、1つは、供給エリアの復旧完了時である。ある供給エリアの復旧が完了した場合、他の供給エリアに復旧人員を再配置するが、ここでは、配分比率の母数を、評価地域内のすべての供給エリアの復旧優先度（優先順位）をもとに移動する。モデル内での復旧戦略指標は復旧人員の配分比率と復旧優先度である。前述した人為的な復旧戦略の変更は復旧優先度を変更することで対処できる。

ネットワークの連鎖性：SRMのメッシュ単位の復旧完了指標（復旧作業終了）

をもとに、各メッシュの復旧完了時のネットワークのノードの連結行列を求め、供給ソースと連結をみる可到達行列の計算をして、供給経路の確保の問題に対処する。冗長システムの場合は、仮ノードを設定して連結行列を求める。系統復旧の場合は、この事例計算では考慮していないが、強制的に連結行列を変更することで対処できると判断される。

システム相互連鎖：被害影響波及の定性的モデル²⁾より得られたシステム間の相互関係をモデルに組み入れた。FRM内の変数である発電能力、浄水能力、ポンプ加圧能力に、互いのシステムの影響を与えている。例えば、浄水能力に与える電力システムの影響は、浄水場における送電経路の確保とその電力供給量より指標化した0~1.0の値で表わす。また、復旧人員の再配置、復旧資材の移動に及ぼす交通システムの影響としてSRMの復旧率にテーブル関数で与えている。

復旧予測、機能評価における基本理念を反映した定量的機能評価モデルを用いた宮城県沖地震の仙台市域事例シミュレーションの結果を図-2に示す。この結果は従来型予測モデルの出力情報である。復旧計画策定の指標を導出するには、シミュレーションケース設定を多角的に行えば可能である。（感度分析等）

4. おわりに

現実的な機能評価のための復旧予測の基本理念（必要条件）を述べ、これらを反映した定量的機能評価モデルの骨格と事例シミュレーション結果を示した。今後の課題として、事業主体の専門家が計画策定に利用しやすいモデルに改良する必要がある。

参考文献 1). 屋谷、大野：システムダイナミックスによる地震時ライフラインシステムの防災性の検討、第10回電算機利用に関するシンポジウム講演集、PP.37-44、1985年10月

2). 屋谷、大野、山本：あいまい理論によるライフライン機能の震災影響波及の構造化 土木学会論文集、第334号/1-1、1984.4

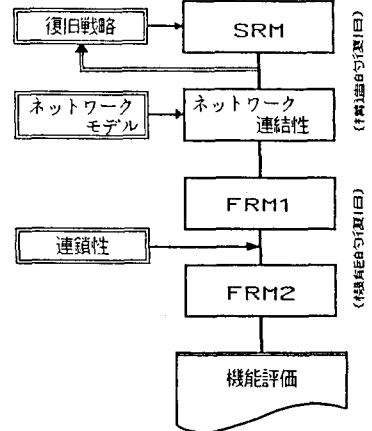
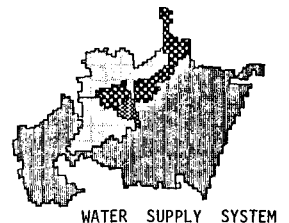
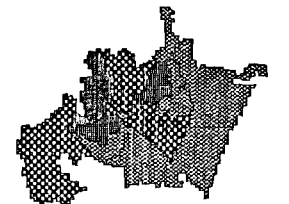


図-1 定量的機能評価モデルの基本構造

AFTER 48 HOURS



AFTER 36 HOURS



SERVICEABILITY

100 -- 90 %	50 -- 40 %
90 -- 80 %	40 -- 30 %
80 -- 70 %	30 -- 20 %
70 -- 60 %	20 -- 10 %
60 -- 50 %	10 -- 0 %

図-2 機能評価シミュレーション結果
(一例)