

ある変電所が供給をうけもつ地域を一つの評価対象の単位地域として、その地域内の被害件数、ここでは、配電関係電気工作物（支持物、電線、柱上変圧器）の被害件数を対象として取り上げている。その被害の復旧を求めるサブモデルである。復旧率の単位は（件/時）である。今回の仙台市の事例の場合、配電用変電所が20施設あるため評価地域を20地域取り上げ、この機能評価モデルのなかに20の電力システムの構造的復旧サブモデルを有し全体を構成している。

b) 上水道システムの構造的復旧サブモデル：浄水場、配水所から需要家までを含む一配水系統を、ここでは、評価対象地域として、その地域内の被害の対象に埋設管（配水管）を取り上げた。この仙台市の場合、6配水系統あるため、電力システムと同様に6サブモデルを組み込んでいる。

c) 電力システムの機能的復旧サブモデル：発電所や1次変電所などの基幹系施設に対するモデルと発電された電力を需要家に供給する施設に対するモデルで構成している。これは供給経路のネットワークの連続性を考慮するときとそのネットワークが幹線網と支線網にわけて取り扱うことができるので、モデル化が容易になる。基幹系の機能は発電負荷量（EVG）で評価し、その単位は（MW [メガワット] /時）である。需要家系統は供給電力量（EVS）MW /時で機能の評価する。上水道システムの機能支障による影響を波及効果係数（WIC）で表し、ライフラインシステム間の相互連続性を考慮している。

d) 上水道システムの機能評価サブモデル：電力システムと同様に浄水場、配水場などの基幹系施設と需要家系施設に対するモデルで構成している。機能評価の単位は（m³/時）で貯水量（WVP）と供給水量（WVS）で評価する。電力システムの機能支障の影響を波及係数（EIC）で考慮している。また、漏水の算定の問題では、配水管の被害件数と地盤種を説明変数とする漏水予測式を求め漏水算定式（WL）にこれを用いている。この定量的機能評価モデルの微分方程式を式（1）に示す。

$$\begin{pmatrix} EVE(k+1) \\ WVE(k+1) \\ EVG(k+1) \\ EVS(k+1) \\ WVP(k+1) \\ WVS(k+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} EVE(k) \\ WVE(k) \\ EVG(k) \\ EVS(k) \\ WVP(k) \\ WVS(k) \end{pmatrix} + \Delta t \cdot \begin{pmatrix} E1(k) \cdot EM(k) - EE \cdot EN(k) \\ W1(k) \cdot WM(k) - WE \cdot WN(k) \\ E \text{ SWITCH MIN}(EG(k) - \boxed{A_1} \cdot a_1 \cdot ENV(k) \cdot (1 - \sum EF_i \cdot EVE_i(k)/n^2) - a_1 \cdot ENV(k) \cdot (1 - \sum EF_i \cdot EVE_i(k)/n^2) \\ a_1 \cdot ED_1 \cdot ENV(k) \cdot (1 - EF_1 \cdot EVE_1(k)) \\ W \text{ CLIP}(D, WM - WVP(k) + WNV(k) - \boxed{B_1} \cdot D, WM - WVP(k)) \\ WRP = WA - WA \cdot B \text{ if } WRP < WA - WA \cdot B \quad - (WNV(k) - WNV(k) \cdot B) + \sum WL_i (WVE_i(k)/24) \\ b_1 \cdot WD_1 \cdot WNV(k) - \boxed{B_1} \cdot b_1 \cdot WD_1 \cdot WNV(k) - B_1 \cdot WL_1 (WVE(k)/24) \end{pmatrix} \quad \text{----- 式 1}$$

$A = WIC \cdot \sum WVS(k)/n$ $B = EIC \cdot EVS(k)/n$ A, B : 波及影響度 WIC, EIC : 波及影響度係数

$\boxed{\quad}$ 連鎖性を考慮した項

3. 宮城県沖地震（仙台市域）を事例とした機能評価シミュレーション

この定量的機能評価モデルの検討事例として宮城県沖地震のデータを用い機能評価シミュレーションを行った。

1) シミュレーションのパラメータ

シミュレーションに用いたパラメータの値と設定方法について述べる。構造的復旧モデルと機能的復旧モデルの初期値は、機能評価モデルの検証という立場から宮城県沖地震時の仙台市におけるデータを用いた。

電力システムのネットワークの各要素における初期被害件数と初期供給量は図-2に示す値とした。ここで、構造的復旧モデルの初期値（EVE）は、仙台市の場合の配電関係支持物の被害件数を全体の件数とした。各供給地域の初期値は各供給地域内の配電用変電所における支障電力量の比率に対応させて、全体被害件数を

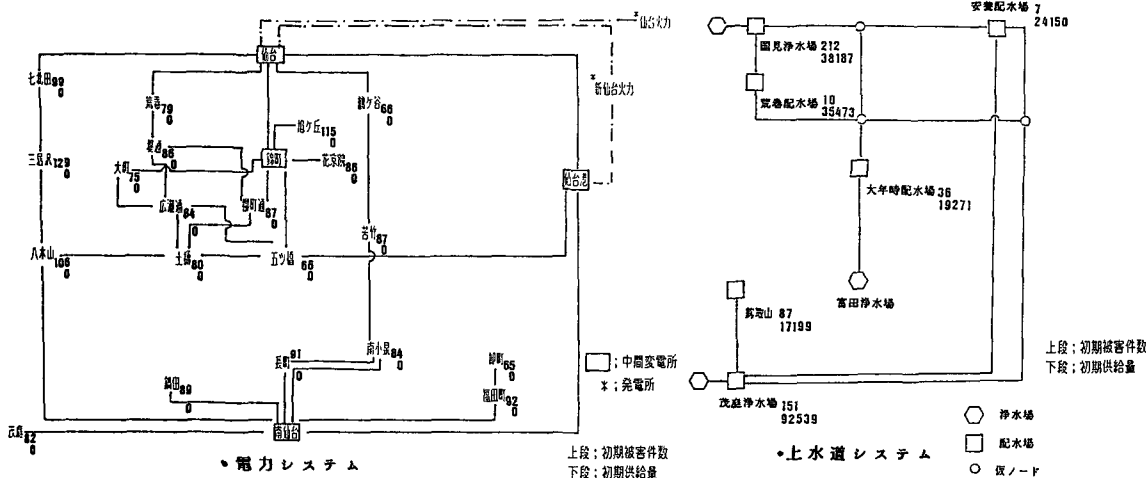


図 - 2 機能評価モデルの初期値

割り当てた。また、機能的復旧モデルの初期値 (EVS) は、仙台市全体が停電したという事例より全供給地域でゼロとした。

上水道システムのネットワークの各要素における初期被害件数と初期供給量は図-2に示す値とした。ここで、構造的復旧モデルの初期値 (WVE) は、仙台市の配水管の被害件数とした。各供給地域の初期値は仙台市の配給水管被害分布図の分布比率をもとに、全体被害件数を各供給地域に割り当てた。また、機能的復旧モデルの初期値 (WVS) は、構造的復旧モデルの各供給地域の被害率を用いた。以上、EVE、EVS、WVE、WVS の初期値を表-1に示す。

復旧作業人員数 (EN、WN) は、電力システムと上水道システム共に実績データを参考に定めた (表-2)。ここで、電力システムの場合、仙台市域のみを取り上げた復旧人員に関する資料がないため仙台市域とそれ以外の地域の被害件数の割り合いを用い決定した。

表-1 パラメータ 初期被害件数 (EVE、WVE、EVS、WVS) [件]

	電力供給システム EVE I.C.	上水道供給システム WVE I.C.	電力供給システム EVS I.C.	上水道供給システム WVS I.C.
被害件数 初期値 但し仙台市全体	1749	503	0	183610

表-2 パラメータ 復旧作業人員数 (EN、WN) [人]

		電力供給システム EN	上水道供給システム WN
復旧 作業人員数 (人)	局員社員	1000	150
	応援	700	300

平常配電変動 (ENV) は、宮城県全体の供給量 (MW/時) をもとに仙台市の配電変動を定め用いた。この仙台市の配電変動の算出方法は、宮城県全体の使用電力量と仙台市の一般需要家の配電用変電所の電力許容量との比率より、仙台市への分配率を算出し、この分配率を宮城県全体の平常供給量に乘じ、仙台市の配電変動を求めた。平常配水変動 (WNV) は、仙台市水道局の平常時のものを用いた。

浄水池水量 (WM) と浄水能力 (WA) は浄水池量の設計基準有効容量と東京都における上水道施設を参考にして定めた。なお、浄水池水量は、平常配水量の最大量の2時間分とし浄水能力は平常配水量の最大量とした。

他のパラメータについてはここでは省略する。

2) シミュレーション結果

定量的機能評価モデルを用いた仙台市域の機能評価のシミュレーション結果を示す。機能評価は、構造的復旧と機能的復旧とを区別し、仙台市全域については経時的に示し、供給地域単位ごとの評価では空間的な表現方法も取り入れた。

仙台市全域に対する構造的復旧曲線の単位は、被害復旧件数（件）と総被害件数に対する比率（％）で表わしている。なお、ここに示すケースの場合の復旧完了時刻は、電力システムで地震発生後37時間となりまた、上水道システムでは、地震発生後205時間となった。各供給地域別の構造的復旧過程と機能的復旧過程は、経時別に仙台市域の地図上で表わした。ここには、初期被害件数に対する復旧率（％）を11段階にランク分けして、復旧過程の状況把握を容易に、かつ平面的に評価できるようにした。図-3に示すように、傾向として両システムとも、復旧戦略に平凡な同時復旧の戦略をとっているため、初期被害件数の少ない地域から復旧が完了している。構造的復旧過程と機能的復旧過程とを対比することができ、その差が読みとられる。その他、システム間の相互連鎖性の影響度の検討として波及影響度係数（WIC, EIC）を指標とした感度分析や、復旧戦略、復旧作業能力、地震発生時刻、季節などの環境指標などのシミュレーション

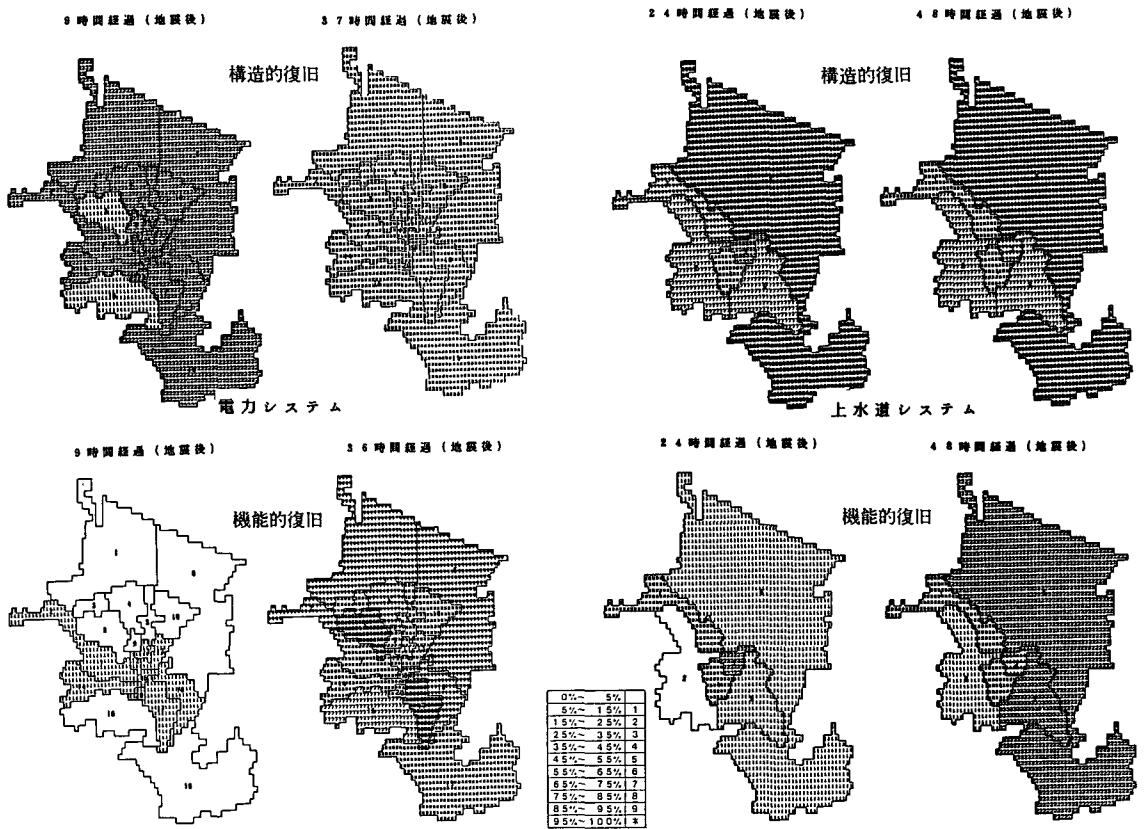


図-3 構造的復旧と機能的復旧（供給地域別）

ンケースによる分析を行っている。

4. おわりに

ライフラインシステムは、その構成要素間には複雑な相互依存関係があること、非線形システムであること、因果関係には非常に複雑なフィードバックループをもっていることなどのシステムの特徴があり、これは社会システムの特徴でもある。これらの現象をよりよくモデルに反映できる手法として、今回、システムダイナミクス手法を用いた。S. Dモデルは、パラメータ依存型ではなく、構造依存型であることから、非常に柔軟であり、非常にむずかしい点がある。過去にも文献2)、3)で報告してきたが、逐次改良を重ねてきた。神奈川県平塚市の事例研究の結果についても報告する予定である。財団法人トヨタ財団の研究助成に対し、感謝します。

参考文献1) 星谷・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
 2) 星谷・大野・山本：「ライフラインの相互連鎖性を考慮した地震時の機能評価モデル」第37回年次学術講演会, 1984.10
 3) 星谷・大野・丸山：「ライフラインの震災影響波及を考慮した定量的機能評価モデル」，第9回電算機シンポ, 1984.10