

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
武蔵工業大学大学院	学生員	丸山 英樹

## 1 はじめに

ライフラインの特性はネットワーク構成となっているために一部分の構造破壊が全体の機能低下に複雑な影響を与えることである。場合によっては全面的機能停止に至ることも有りうる。また、その複雑さ、複合性により災害時の被害波及の連鎖性を高めている。この連鎖性とは、1つのシステム内における各要素施設間の影響のみならず、他システム間での被害の影響波及も無視できないものである。例えば、電力システムの機能低下は上水道システムにおける浄水場の能力を低下させることは過去の地震被害が示すところである。

都市の膨張による超過密化、生活水準向上等に伴いライフライン自体も複雑化し災害に対する脆弱性をより増し、新しい形態の災害へ発生危険性を高めている。したがって、ライフラインの耐震性、信頼性の検討をはじめとして、二次的被害の防止、復旧予測、最適な復旧計画の検討等も都市防災上重要な課題である。これらの検討を進める上で、この連鎖性の問題が非常に重要であると考えられる。

既に着目するは、ライフライン機能の相互連鎖性についての定性的なモデルを求めた<sup>1)</sup>。本研究では、この定性的モデルを基礎としてライフラインシステム間の相互連鎖性を考慮できる機能評価モデルを構築しライフラインの機能を定量的に求めようと試みた。ここでは、ライフラインのなかで特に重要な役割をもつ電力システムと上水道システムを対象として System Dynamics (S.D) 手法を用いモデル全体を表現した。その構成は、4つのセクターから成り電力構造的復旧セクター、上水道構造的復旧セクター、電力機能評価セクター、上水道機能評価セクターである。S.D手法は、システムに対する入力と出力との動的関係をシミュレーションによって求めて実際のシステムの改良策を抽出する方法である。レベルとレイトの2つの量によってシステムの活動状態を示すことができる。また、数学的には微分方程式で記述できる。

ここでは、昭和53年6月12日の宮城県沖地震を対象事例データとして用い、基礎的な機能評価モデルの検討を行い、モデルの特性、問題点、改善点について考察を加え、今後行う予定である、ある事例都市における適用性をふまえた基礎的検討を行う。

## 2 定量的機能評価モデル

ライフラインはエネルギーの製造過程から末端需要家への供給レベルを取り上げると非常に広域なネットワークを構成している。このネットワークの面的な広がりには各システムにより大きな差がある。ここで対象とする電力システムと上水道システムでは、特にその差は大きい。このことから、モデルの基本構造をエリア対応部分とメッシュ対応部分に分けて対応した。すなわち、上水道システムではエリアを配水系統列の地域として、メッシュを配水系統地域内の1km<sup>2</sup>メッシュに分割したゾーンとした。同様に電力システムはエリアを電力会社管内を考えた。

このモデルにおける電力システムと上水道システムの相互連鎖性の考慮は、(1)電力システムから上水道システムへの影響として主に電力供給機能の低下(停電)による浄水場及び配水施設のポンプ作動停止からの上水供給機能の低下(断水)。(2)上水道システムから電力システムへの影響として上水供給機能低下(断水)による発電所冷却水不足による発電機能の低下が主なものである。また、交通システム、通信システムなどの影響についても考慮し今後のモデル拡張時の端子を設定している。

定量的機能評価モデルのS.DフローチャートをFig-1, Table-1に示す。各レベル、レイトの变量につ

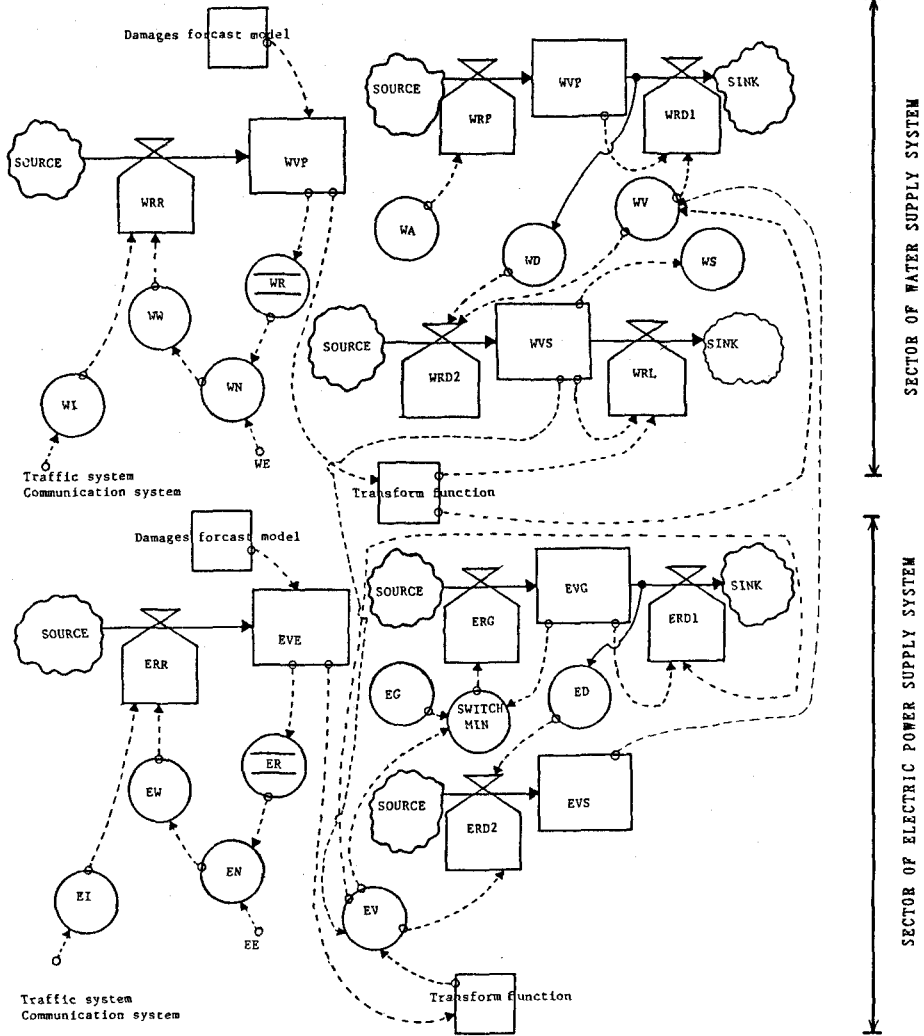


Fig.-1 Functional Evaluation Model of Lifeline Systems

いて簡単に説明する。構造的復旧セクターは、電力システム、上水道システム共にモデルの構造は同様である。レイト変数WRR, ERRは復旧率(件/時), レベル変数WVP, EVEは各システムの被害復旧件数(件)を表わす。WW, EWは作業率(件/時) = [WE, EE : 作業効率(件/人時)] × [WN, EN : 作業人員(人)]で示す。WR, ERは復旧戦略のテーブル関数であり作業員の配備計画すなわち重要拠点優先復旧, 同時復旧などを表わす変数, また, WI, EIは復旧率に影響する因子を考慮する変数(無次元)である。上水道システムの機能評価セクターは, WVPとWVSのレベルで構成している。WVPはエリアに対応し, ある時刻におけるWRP(m<sup>3</sup>/時) - WRD1(m<sup>3</sup>/時)すなわち, 浄水した量から配水した量の差である。これは, これは, 配水池の水量(m<sup>3</sup>)を表わす。これは, 浄水場, 送水管の機能停止時の配水能力を示し, 重要地区への配水などの給水戦略の指標となる。WVSはメッシュに対応し, ある時刻におけるWRD2(m<sup>3</sup>/時) - WRL(m<sup>3</sup>/時)すなわち配水量と漏水量の差であり需要家に供給できる量(m<sup>3</sup>)である。WDはエリアすなわち配水系統からあるメッシュへの配分率(無次元) = あるメッシュに対応する使用水量 : m<sup>3</sup>/日 (人口から算出) / 該当配水系統配水量で表わす。WVは平常時の配水変動率(m<sup>3</sup>/時)

Table-1 A Variable Name of Functional Evaluation Model

A PART OF STRUCTURAL RESTORATION MODEL OF ELECTRIC POWER SUPPLY SYSTEM	A PART OF STRUCTURAL RESTORATION MODEL OF WATER SUPPLY SYSTEM
EVE-Volume of electric power supply equipment destruction	WVP-Volume of water pipes distruction
ERR-Rate of restoration	WRR-Rate of restoration
EW-Work proporsion	WW-Work proposition
EI-Influency of work	WI-Influence factor
ER-Restoration strategy function	WR-Restoration strategy function
EE-Efficiency of work	WE-Efficiency of work
EN-Number of workers	WN-Number of workers
A PART OF FUNCTIONAL RESTORATION MODEL OF ELECTRIC POWER SUPPLY SYSTEM	A PART OF FUNCTIONAL RESTORATION MODEL OF WATER SUPPLY SYSTEM
EVG-Volume of electric power	WVP-Volume of purification water
ERG-Rate of generation of electricpower	WRP-Rate of water purification
ERD1-Rate of distribution electricity	WRD1-Rate of distribution water
EG-Generation of electric power ability	WA-Water purification ability
EV-Variation of distribution electricity	WV-Variation of distribution water
ED-Distribution rate	WD-Distribution rate
EVS-Volume of potential electric supply	WVS-Volume of potential water supply
ERD2-Rate of distribution electricity	WRD2-Rate of distribution water
EE-Electric supply function	WRL-Rate of water leakage
	WS-Number of suspension of water supply

= 平常時時間当りの配水量( $m^3$ /時)で表わす。WRD2の配水率

( $m^3$ /時)は  $WRD2 = WV \cdot WD(1 + \alpha \cdot WVP')$  ただし  $WVP'$  は 被害復旧率(%) / 100 で表わし,  $\alpha$  はパラメータである。WRLの漏水率( $m^3$ /時)は漏水推定の関係式より算出した。この関係式は被害件数に比例した式とした。漏水推定式は今後研究する必要があるが知泉ら<sup>2)</sup>、亀田らの示す式と文献4)より被害1件当りの単位時間漏水量を算定したものをを用いた。現時点では機能評価の指標としてWVSを1日単位で出力したものをを用いているが、この部分の改良について現在進行中である。電力システムの機能評価セクターは、エリア対応のレベルEVGとメッシュ対応のレベルEVSで構成する。EVGは、ある時刻におけるERG( $MW$ /時) - ERD1( $MW$ /時)、すなわち発電した量と配電した量の差を表わす。電力の特徴としてエネルギーの蓄積ができないことから、このEVGは電力の過負荷量( $MW$ )を示し、発電率: ERG と配電率: ERD1 をコントロールする指標となる。EVSはメッシュ対応の配電率: ERD2( $MW$ /時)の総和を表わす。すなわち、供給できる量である。日単位の評価をする場合は24時間毎にこのEVSをゼロクリアする。EDは上水道システムと同様に電力会社管内の総配電量を各メッシュ地域に配分する割合を示す。配分率: ED(無次元) = あるメッシュの使用電力量( $MWh$ ) / 電力会社管内総配電量( $MWh$ ) で表わす。EVIは配電変動( $MW$ /時)を示し、EV = 平常時時間当り配電量( $MW$ /時)で表わす。ERD2の配電率( $MW$ /時)は  $ERD2 = EV \cdot ED(1 - b \cdot EVE')$  ただし  $EVE'$  は被害復旧率(%) / 100 で表わし,  $b$  はパラメータである。相互連鎖性の電力から上水道への影響は、WRD2のレイトにある時刻の配電量 / 平常時配電量を乗じることで表わした。また、上水道から電力への影響も同様にERD2のレイトにある時刻の配水量 / 平常時配水量を乗じることで表わした。

### 3 宮城県沖地震を事例としたモデルの検討

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<sup>4), 5), 6), 7), 8)</sup>を用いた。今回は、基礎的な検討を行うことから上水道システムでは仙台市水道局管内すべての機能評価、電力システムでは東北電力管内全体の機能評価について試みた。よって配分率の考慮はしていない。すなわちエリアとメッシュを区別した評価は行わなかった。配電変動は地震前6月10日の配水量<sup>9)</sup>を用いた。配電変動は地震発生の前週の需要曲線<sup>5)</sup>を用いた。上水道の漏水推定は、1.25  $m^3$ /件時に設定し漏水量を算出した。メッシュ対応の配水率、配電率にかかる変換式のパラメータ

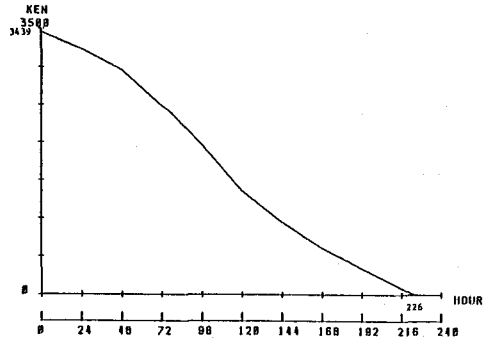
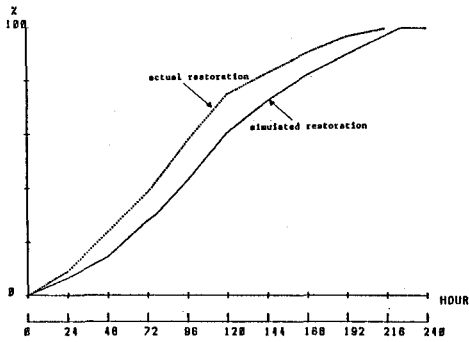


Fig.-2 Structural Restoration Curves of Water Supply System

bはこのケースの場合0.2にした。構造的復旧セクターの作業人員は文献5),7),10)を参考にした。以上のデータをもとにシミュレーションの結果をFig. 2~Fig. 5に示す。Fig. 2,3は上水道、電力の構造的復旧曲線である。パーセント表示と定量的単位である件数で表示してある。上水道の実績曲線は配水施設(配水管を含む)の被害復旧率を用いた。また、電力は上水道のような被害復旧率の資料が現段階でみつからなかつたので停電回復状況の曲線を用いた。Fig. 4,5は機能復旧曲線を示す。相互連鎖性を考慮した場合と考慮しない場合の比較を行った。この曲線も単位をMW日, M<sup>3</sup>日という定量的なもので示した。相互連鎖性の影響度合については図上に明確に現れているが、この影響度合を評価するにはいろいろなケースについてシミュレーションを行いつつ十分な検討が必要と考えられる。

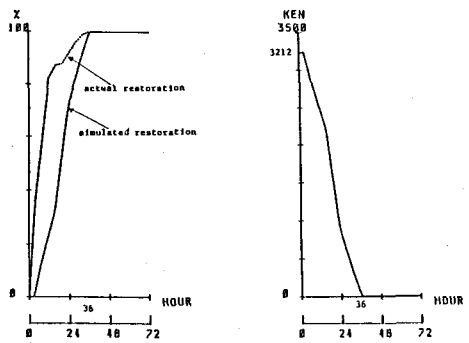


Fig.-3 Structural Restoration Curves of Elec.

4 おわりに

今後、定量的機能評価モデルの細部の検討を加え、より的確に機能が評価できるモデルに改良していきたい。S.Dモデルは柔軟性が非常に高いため難しい問題が数多く残されている。本研究の計算には、NEC-PC 9800を用いた。最後に、本研究を進めるにあたり(財)トヨタ財団の研究助成に対し感謝いたします。

参考文献

- 1) 星谷大野山: あいまい理論によるフuzzy機能の震災影響波及の構造化 土木学会論文誌 344号
- 2) 知泉: 都市生活機能の被害と対比, 自然災害研究報告書, 昭和56年3月
- 3) 南鎌倉電: 宮城県沖地震における水道管路網の破壊と漏水量の測定, 第3回年次大会
- 4) 日本水道協会東北支部: 宮城県沖地震による水道施設の被害と問題点, 1980年1月
- 5) 東北電力: 1978年宮城県沖地震による電力設備事故調査報告書, 1979年5月
- 6) 東北電力: 78年宮城県沖地震災害報告書, 1978年12月
- 7) 土木学会東北支部: 1978年宮城県沖地震調査報告書, 1980年4月
- 8) 総合研究開発機構: 都市機能の復旧化と防災性に関する研究, 1982年5月
- 9) 仙台市: 宮城県沖地震 巨被害と防災都市, 1981年5月

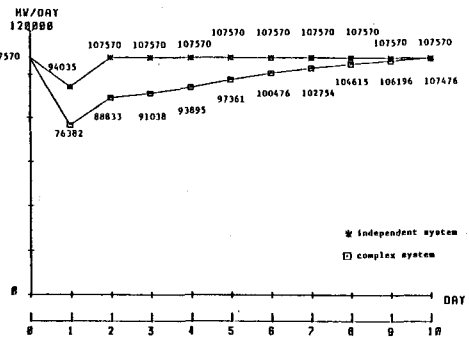


Fig.-4 Functional Restoration Curves of Elec.

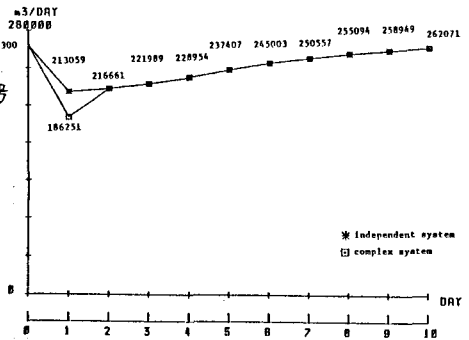


Fig.-5 Functional Restoration Curves of Water