

## ( I - 23 ) 階層化したライフラインネットワークのフラクタル次元

攻玉社工科短期大学 学員 ○江口 勉 学員 池田孝穂

攻玉社工科短期大学 正員 大野春雄 正員 山本欣弥

### 1. はじめに

都市防災領域からライフライン機能の維持すなわち信頼性の確保は非常に重要であり、都市の安全性や快適性のレベルをコントロールすることになる。この都市防災という広い領域でのライフラインの研究は、都市全体に着目し都市機能を総合的に評価することが必要である。このためにはライフラインのシステム全体の構成や機能の挙動をマクロ的にとらえることが必要となる。

電力、上水道、都市ガス等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。例えば、停電による浄水場や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、またガスの供給停止による電力需要の増大等が挙げられる。当然ながら、復旧過程にもこの影響は存在するため、より複合的な機能マヒが生じる。また、解析的にみると各システムの供給線はネットワークモデルで表現しネットワーク解析等によりシステムの信頼性を評価するが、このモデル化が解析結果に大きく影響してしまう。現実システムをモデル化する場合、解析目的に応じたシステムの表現レベル（例えば幹線網）の設定にも難しさがある。また、各システムの特性から供給網には階層性があるため平面的にネットワークをモデル化してしまうところの問題もある。

### 2. ライフラインネットワークにおけるフラクタルの適用

本研究では、ライフラインネットワーク形状のフラクタル性に着目し考察を進めるため、ここではフラクタルについてその概要を示す。B.B.Mandelbrot (IBMワトソン研究所) により提唱されたフラクタルとは、特徴的な長さをもたないような図形や構造の総称で、微分が定義できない形としている。

フラクタル性を定量化するものにフラクタル次元があり、整数値のみを対象とした日常的なユークリッド次元を拡張したもので、非整数値をもとり得る。この次元は図形の複雑さを定量化するものと考えられ、次元の高い方がより複雑である。工学におけるフラクタルの適用例をみるとフラクタル次元と対象領域の要因との関係を調べている例が非常に多い。このフラクタル次元は図形の複雑さを定量化するものと考えられ、次元の高い方がより複雑である。一般にフラクタル次元とは、いろいろな次元の定義による非整数値をとる次元の総称になっている。

フラクタル次元の算定方法には、祖視化の度合いを変える方法、測度の関係より求める方法、相関関数より求める方法、分布関数より求める方法、スペクトルより求める方法等がある。ここでは、祖視化の度合いを変える方法（ボックス・カウンティング法）を用いた。

ライフラインネットワークは、電力、ガス、上水道などのシステムの違いや大都市、中都市、小都市などの供給地域の違いにより、いろいろなネットワークを形成している。たとえば、上水道システムの管網に着目してみると、地域の都市化の度合いに応じて放射状からループ状へと変化させ冗長度を増し、その密度も高くなり複雑になっている。このようなネットワークのフラクタル性（自己相似性）の確認の問題は非常に重要である。厳密にとらえれば、これらのネットワーク図形は自己相似性を持つとはいえないであろう。しかし、フラクタル解析の対象は一般に柔軟に対応している。

### 3. 階層化したライフラインネットワークのフラクタル次元

前述の問題について、ここでは、一つのシステムのネットワークに着目して解決方法を考えてみた。上水道システムを例に挙げてみる。上水道管網をモデル化する場合、管径や管種の違う管路を同一としてみたり、送水管や配水管などの役目の違う管路も同一とみなしている。このようなネットワークの取扱い方の問題も考慮しなくてはならない。

以上のような問題を明確にするために、神奈川県企業庁水道局の配管網図を用い検討を進めた。神奈川県  
の管網図は供給機能の重要度から管網を3種類に色分けしていることから、この分類をそのまま用い階層化  
したネットワークモデルを抽出した。第1階層（最上層）には主要送配水管で災害時の復旧を優先する管網、  
第2階層には関係φ300mm以上の主要配水管、第3階層（最下層）にはφ100mm以上の配水管の管網を  
取り出した。図-1に鎌倉営業所、茅ヶ崎営業所管内および藤沢営業所の管網図からの階層化したネットワ  
ークを示す。これらの管網をみると各階層の管網にはプライオリティが存在する。最下層の配水管網におけ  
る管網の被害は供給エリア的には支障範囲は広い範囲に及ぶことはないが最上層の主要送配水管網での被害  
による供給支障の範囲は供給エリア全体に影響することが考えられる。したがって、各階層のネットワーク  
を幾何学的に同一にみてしまうことは当然問題がある。

4. 階層ネットワークの総合評価指標

ここでは、フラクタル次元を用いた階層化ネットワークの評価方法の考え方を示す。1つの考え方は、各  
階層のネットワークに重み付けをして総合化する方法で、例えば（1）式のような線形の加法モデルを考え  
る。目的変数にそのライフラインの総合評価指標Dとり、説明変数側にi階層のネットワークのフラクタル  
次元 $f_i$ をとり、i階層のネットワークに重み $w_i$ を付けて総合化する方法。2つ目の方法は、階層化したネ  
ットワークからも分かるように第1階層のネットワークはシンプルでモデル化も簡単にできそうであり、ネ  
ットワークの一般的な構造計測値で評価することもできる。このことから第1層あるいは第2層までのネ  
ットワークについてはフラクタル次元で評価はしな  
いで、従来からのネットワークの構造計測値（ノ  
ード数、リンク数、閉路数等）で評価しこれを $N_1$ およ  
び $N_2$ とし、1層にa、2層にbの重みを付け、これ  
とフラクタル次元による最下層の評価 $f_3$ とを合わせる方法（2）式により総合化する方法が考えられる。図  
1に示すネットワークのフラ

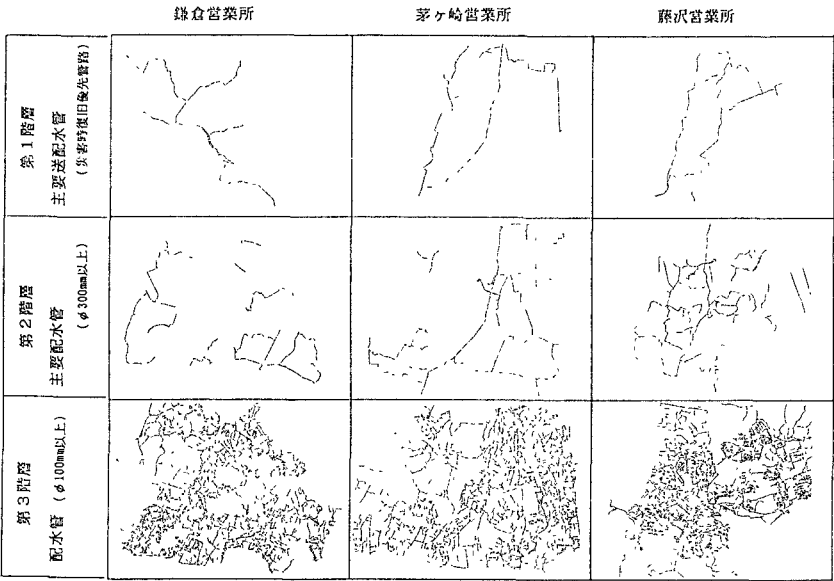
$$D = \sum_{i=1}^n w_i \cdot f_i \qquad \dots \dots \dots (1)$$

$$D = aN_1 + bN_2 + f_3 \qquad \dots \dots \dots (2)$$

クタル次元の算定結果は発表  
当日報告する。

4. おわりに

ライフラインである上水道  
・電力等の供給網や道路網等  
のネットワーク構造物を平面  
的にとらえ、その構成の形状  
・形態に着目し、ライフライン  
システムシステム全体を一  
元化する方法を模索している。  
すべてのライフラインネット  
ワークを全システムを対象と  
したり、また、各システムの  
各階層に着目したりして、対  
象地域にオーバーレイさせた



図形のフラクタル次元により、図-1 上水道管網の階層化したネットワーク・神奈川県企業庁水道局管内  
ライフライン全体システムの供給信頼性に関する総合指標を得ようと試みている。これは非常に大胆である  
がそのとらえ方のレベルによっては有効な指標になるのではないか。

【参考文献】

大野：地震防災におけるライフラインの全体システムの評価方法，第48回年次学術講演会，1993.9