

I-208 ライフラインネットワークの特性値としてのフラクタル次元

攻玉社工科短期大学 正員 大野 春雄
 東北大学工学部 正員 中川 昌美

1. はじめに

ライフラインの供給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。

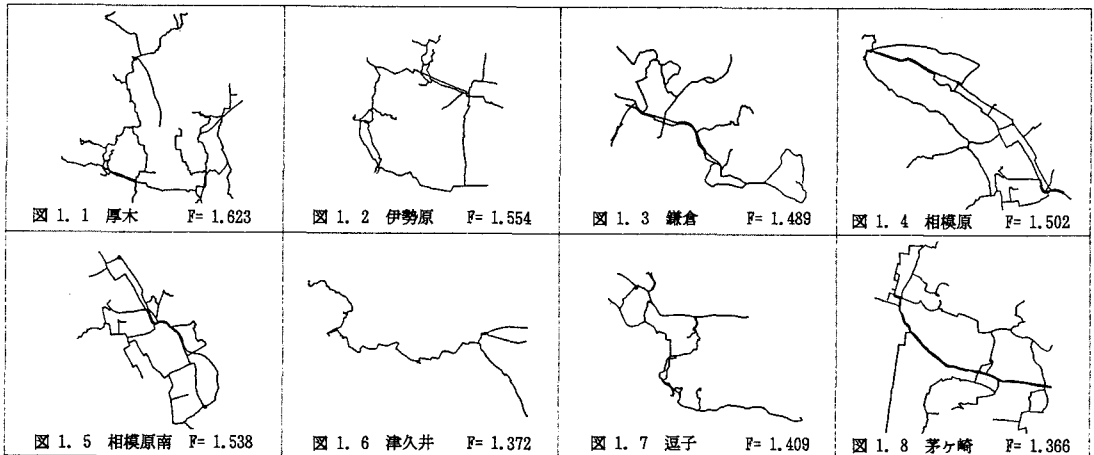
現在、大野ら¹⁾は上水道システムにおける震後の実用的復旧予測システムを構築し、3都市における事例解析を行っているが、各都市それぞれのタイプの予測モデルの作成は可能となったが、いろいろなタイプの上水道システムに適用できるような単一で汎用的なモデルの作成には至っていない。これは、ライフラインネットワークの特性に規模、地理的条件等の地域的な差異があるため、各都市を総合した解析が不可能であることによる。もし、各都市のタイプ別のネットワーク特性値が得られれば、この問題は解決できる。また、中川ら²⁾はガス供給システムにおける低圧管レベルのネットワークのフラクタル性に着目し、地震被害時のネットワーク形状の変化とフラクタル次元との関係を示し、被害評価にこのフラクタル次元を用いている。

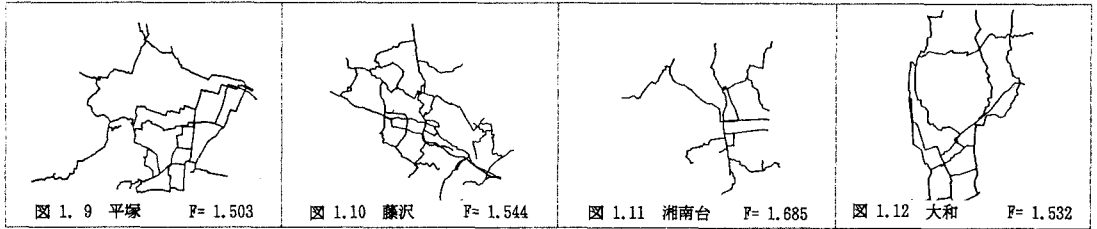
このような著者らの研究過程から、本研究では、フラクタル次元数をライフラインネットワークの特性値として用いるための基礎的検討として、従来からのネットワークの構造計測値とフラクタル次元との関係を明確にする。対象は上水道システムで、神奈川県企業庁水道局管内の12都市の管径 $\phi 400\text{mm}$ 以上のネットワークとした。

2. ネットワークのフラクタル次元

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。フラクタル次元の算出には、粗視化の度合いをかえる方法を用いた。これはネットワークを含む任意の領域を一辺 r のメッシュに分割し、少なくとも一本のリンクが含まれるメッシュの数を $N(r)$ として、 r を変えたときの $N(r)$ との関係から得られる直線の傾きから求める。

この方法により、神奈川県企業庁水道局管内の12都市の上水道ネットワークのフラクタル次元を求めた。図1.1～図1.12にネットワークモデルと算出したフラクタル次元 F を示す。





3. ネットワーク構造計測値とフラクタル次元の関係

ライプラインネットワーク構造の一般的な計測値として、表1に示すようなノード数 x_2 、リンク長 x_3 、閉路数 x_4 、管路総延長 x_5 などがあるが、ここでは上水道の機能的側面を考え、給水量 x_6 、給水戸数 x_7 、供給面積 x_8 、給水人口 x_9 も含めて、これらのデータとフラクタル次元 x_1 との関係を求めることにする。解析方法は、偏相関係数による相関分析およびクラスター分析による方法を用い、ネットワークのフラクタル次元と相関の高いネットワークの構造計測値を抽出する。これにより上水道ネットワークにおけるフラクタル次元の基本的特性について検討する。

表1 ネットワークのフラクタル次元および構造計測値

神奈川県 企業庁水道局 管内事務所名	フラクタル 次元数 x_1	ノード数 x_2	リンク数 x_3	閉路数 x_4	送水管 総延長(km) (400mm以上) x_5	給水量 ($\times 10^6 \text{ m}^3$) x_6	給水戸数 ($\times 1,000$ 戸) x_7	供給面積 (km^2) x_8	給水人口 ($\times 1,000$ 人) x_9
1 厚木	1.623	39	40	2	16.892	36.274	85.935	122.79	279.469
2 伊勢原	1.554	24	25	2	1.319	9.224	24.344	55.72	78.499
3 鎌倉	1.489	24	25	2	5.939	23.841	60.796	39.53	175.190
4 相模原	1.502	28	28	0	20.333	34.755	89.163	61.21	278.910
5 相模原南	1.538	22	24	3	2.352	23.890	74.168	29.56	212.618
6 津久井	1.372	9	8	2	14.559	5.358	14.655	71.09	49.228
7 逗子	1.429	21	23	3	4.151	10.602	31.008	34.86	85.771
8 茅ヶ崎	1.366	42	45	4	22.748	27.074	73.202	49.39	230.924
9 茅ヶ崎	1.503	48	56	9	14.596	42.982	94.846	102.32	331.218
10 藤沢	1.544	46	54	9	18.672	30.254	80.195	34.94	232.642
11 湘南台	1.685	25	26	2	0.736	12.968	31.432	34.69	100.395
12 大和	1.532	37	40	4	8.279	30.439	83.436	50.82	254.176

表2 偏相関係数による分析結果

目的変数 = フラクタル次元 x_1		
要 因	偏相関係数	寄与順位
ノード数 x_2	0.39189	2
リンク数 x_3	-0.37985	3
閉路数 x_4	0.32834	4
総延長 x_5	-0.61893	1
給水量 x_6	0.19948	7
給水戸数 x_7	0.22516	6
供給面積 x_8	0.16395	8
給水人口 x_9	-0.26537	5

表2に偏相関係数による分析結果を示す。偏相関係数は目的変数に対して、その要因が単独に寄与する度合いを示すものである。この結果からフラクタル次元 x_1 と相関の高い要因として、管路の総延長 x_5 、ノード数 x_2 、リンク数 x_3 、閉路数 x_4 の順で挙げられる。次に、階層的クラスター分析による結果をデンドログラムにより図2に示す。この分析方法は対象の中で類似性の高いものを集めて分類しようという数値分類法である。デンドログラムは樹状の分類構造を示すもので、樹形図の各断面で切断してできるクラスターにより対象を大分類、中分類、小分類等に分類できる。図3に示す結果では、小分類で見るとノード数とリンク数のクラスター、給水量、給水戸数および給水人口のクラスターが形成され、閉路数、総延長、供給面積、フラクタル次元の要因はそれぞれ独立のクラスターとなっている。大分類になるにしたがい、フラクタル次元のクラスターとその他の8要因をまとめたクラスターに分類される。この結果から判断すると、フラクタル次元はネットワークの構造計測値である8要因の総合した傾向と類似性をもつようである。

4. おわりに

本研究における基礎的解析から、フラクタル次元はネットワークの構造計測値の性質をまとめた総合的な指標としての意味合いが強いことがいえる。ライプラインネットワークの特性値としてフラクタル次元を用いる可能性を今回確認した。今後詳細な解析を続けて行きたい。

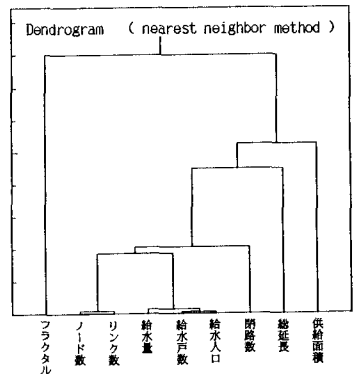


図2 クラスター分析結果（デンドログラム）

- 1) 大野春雄・星谷勝：『震災時上水道システムの実用的復旧予測システム』，土木学会論文集（投稿中）
- 2) 佐武正雄・中川昌美・猪股亮裕：『埋設管網の機能被害の評価におけるフラクタル次元の応用』，文部省科研費重点領域研究，都市供給施設における震害の防止・軽減並びに復旧対策に関する研究（第2年度），平成元年3月