

CS6-8〔I〕 人間行動の定量化へのフラクタル次元の応用

○ 東京大学大学院 学生会員 横山 秀史  
 東京大学生産技術研究所 正会員 永田 茂  
 東京大学生産技術研究所 正会員 片山 恒雄

1. はじめに

地震・火災などから避難する際の動線の形状は、状況判断や迷いなどをある程度反映しているものと考えられる。従来は、動線形状の複雑さを定量化する適切な指標がないため、観察者の主観をもとに動線形状を分類する方法がとられてきた。著者らは、これまでに被験者による避難実験を行い、その結果に関して報告してきた<sup>1)2)</sup>が、これらの報告においても、被験者実験で観察された動線の形状を著者らの主観をもとに定性的に分類し、代表的な行動形態と脱出時間や被験者個々の性格との関連について調べている。

主観にもとづく定性的なパターン分類は、状態・現象を包括的にとらえられる利点があり、既往の人間行動に関する研究<sup>3)</sup>においても広く用いられているが、分類を行う人の偏見や独断を含む結果となったり、コンピュータを用いた定型な処理が難しいなどの欠点がある。

本研究では、フラクタル次元を用いた緊急時の人間行動形態の定量化方法を提案するとともに、過去の災害事例研究などを例題として、避難中の行動距離・行動範囲などの既往の研究において用いられている行動特性と、行動形態から求めたフラクタル次元の関係を調べ、人間行動の指標としてのフラクタル次元の有用性について検討した。

2. フラクタル次元を用いた人間行動の定量化

(1) フラクタル次元

フラクタルとは、Mandelbrotによって提案された概念で、海岸線や山の起伏や川の形のように特徴的な長さを持たないような図形や構造、現象などの総称<sup>4)</sup>とされている。フラクタル図形の性質を定量的に表現する量が、非整数値をとりうる次元であるフラクタル次元で、土木構造の分野でもフラクタル次元で定量化されたガス導管網の形状と地震時の被害の関係を調べた研究<sup>5)</sup>などが報告されている。人間の動線形状が厳密な意味でフラクタルであるかどうかは議論の余地があるが、本研究においては、フラクタル次元の意味づけをやや拡張し、複雑な形状を定量的に記述する指標として用いた。

本報告では、緊急時の動線のフラクタル次元を「粗視化の度合を変える方法」で定義した。具体的には、図-1に示すように、平面上に描かれた動線の上に1辺の長さ $r$ のメッシュを重ね、動線の一部でも含むような正方形を数え上げ、それを $N(r)$ とする。 $r$ を変化させたときの $r$ と $N(r)$ の関係を図-2のように両対数グラフ上に描き、 $N(r) \propto r^{-D}$ の関係を満たすフラクタル次元 $D$ を求めている。なお、人間行動のような現実の図形の場合には、ある限られた観測尺度の範囲でのみフラクタルの性質が成立しているため、フラクタル次元を決定する場合、メッシュ幅 $r$ の上限値・下限値を慎重に決定する必要がある。

(2) 火災時の行動定量化へのフラクタル次元の適用例

大阪千日デパートビル火災時の避難行動<sup>6)</sup>の定量的評価に関する適用例を示す。千日デパートビル火災は1972年5月に118名の死者を出した火災である。資料としては、生存者の供述書を中心にまとめられた報告<sup>7)</sup>を使用した。

図-3にTA, TM, SA, NI, YO, MOTの6人の生存者避難行動の動線を示す。まず、TAとNI, TMとMOTの動線を比較すると、歩行距離や行動範囲はほぼ等しいが、フラクタル次元にはかなりの違いがある。また、YOとMOTでは、YOのほうが歩行距離、行動範囲とも大きい。フラクタル次元はMOTのほうが大きい。このように、歩行距離や行動範囲が大きなくても必ずしも複雑な動線形状になっておらず、歩行距離、行動範囲などの、従来から用いられている指標だけでは行動の違いを充分表現できていない。

次に、TAとSAの動線を比較すると、全体としての動線形状はともにT

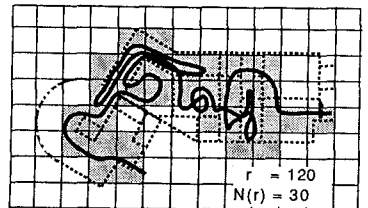


図-1 粗視化の度合を変える方法によるフラクタル次元の算出例

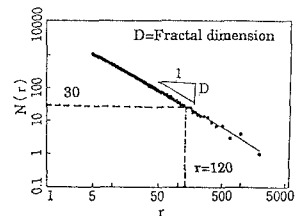


図-2  $r-N(r)$ 関係とフラクタル次元

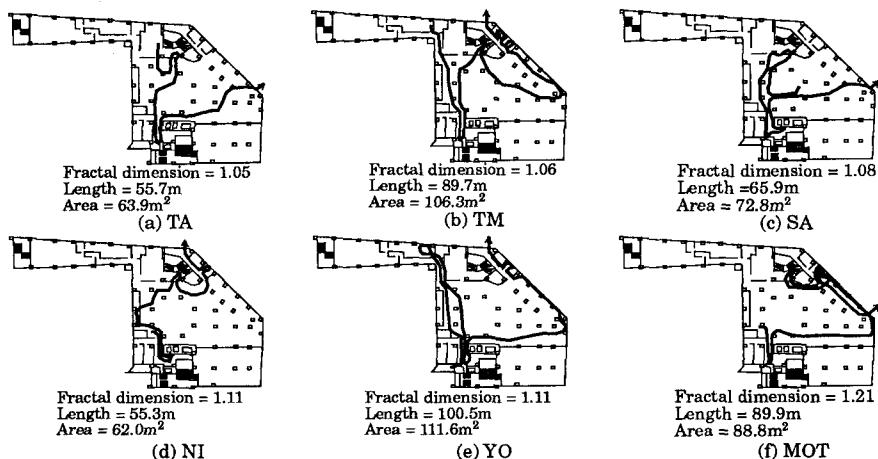


図-3 千日デパートビル火災時の6人の避難行動<sup>6)</sup>

字形で似ているが、詳細に検討すると、TAと比べSAの行動には同じ場所を往復するなどの無駄が多い。また、例えばNIの動線と他の動線の相対的な複雑さの違いを目で見て決定するのは困難であるが、フラクタル次元を求めれば定量的に定めることができる。このように、実際の災害時には迷路実験の場合と比べ避難行動の自由度が大きいため、動線形状の複雑さを主観的基準にもとづいて適切に分類することが困難な場合が多いが、フラクタル次元を求めることで、行動の特徴を定量的に評価することができる。

### 3. まとめ

緊急時の人間行動を定量的に評価するための指標の一つとして、動線のフラクタル次元を用いることを提案し、過去の火災時の避難行動を例題として検討した。

まず、これらで観測された代表的な行動動線のフラクタル次元を求め、比較検討した結果、フラクタル次元が人間行動の複雑さを定量的に表していることが示された。また、既往の研究で用いられているおもな人間行動の特性指標である歩行距離や行動範囲などが同じ値であっても、動線形状が大きく違う場合があり、従来用いられてきた指標のみでは人間行動の特徴を充分に定量化できていないことが明らかになった。

動線のフラクタル次元は、これまで定量的評価の困難であった避難行動の複雑さの度合を定量化するものであり、歩行速度のような適切な指標をあわせて用いることで、人間行動を定量的に評価できるものと考えている。

なお、建物や動線のデジタル化とフラクタル次元の算出などの作業は、当時中央大学卒論生の吉田優司君に協力して頂いた。記して謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 横山秀史・永田茂・山崎文雄・海老原学：迷路実験に基づく緊急時人間行動特性，土木学会論文集，No.441/I-18，pp.180-189,1992.
- 2) 山崎文雄・永田茂・横山秀史・大槻明：避難行動の迷路実験結果，土木学会論文集，No.441/I-18，pp.223-227,1992.
- 3) 高安秀樹：フラクタル，朝倉書店，1989.
- 4) 中川昌美・佐武正雄・猪股亮裕：ライフラインシステムの震害評価におけるフラクタル次元の応用，土木学会論文集，No.428/I-15，pp.177-182,1991.
- 5) 例えば，井谷文昭・室崎益輝・大西一嘉：地下街における要避難人員の日常動線に関する研究，日本建築学会近畿支部研究報告集，No.5044，pp.377-380,1986. など
- 6) 森田耕市：プレイトウンにいた53名の人たち（大阪千日デパート火災より），火災，Vol.23，No.1，pp.28-34,1973.
- 7) 横山秀史・永田茂・山崎文雄・片山恒雄：フラクタル次元を用いた人間行動の定量的分析，土木学会論文集（投稿中）