

# フラクタル次元を用いた人間行動の定量的分析

An Application of Fractal Dimension to Human Behavior Analysis

横山 秀史\*・永田 茂\*・片山 恒雄\*\*  
Hidefumi YOKOYAMA, Shigeru NAGATA and Tsuneo KATAYAMA

## 1. はじめに

これまで緊急時の人間行動に関する基礎データの収集を目的とした避難行動の被験者実験の結果を報告してきた<sup>1)~4)</sup>。これらの報告では、主に実験結果に関する定性的な検討を行ってきた。本報告では、今後の人間行動シミュレーションを念頭において、フラクタル次元を用いて人間行動の定量的分析を行ったので、その概要に関して報告する。

## 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、マンデルブロによって提案された概念であり、「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>5)</sup>とされている。また、このフラクタルを定量的に表現するための量として考え出されたものがフラクタル次元である。これは非整数値をとりうる次元であり、フラクタル図形の複雑さを表現している。

フラクタル次元の実用的な定義方法としては、(1)粗視化の度合を変える方法、(2)測度の関係より求める方法、(3)相関関数より求める方法、(4)分布関数より求める方法、(5)スペクトルより求める方法などがある。これらのいずれの方法を用いた場合でも、次元の算定結果が極端に異なる結果とはならないと言われている<sup>5)</sup>。

上記の方法のうち「粗視化の度合を変える方法」は、計算手順がコンピュータで表現しやすいために、これまでの研究でもしばしば用いられている<sup>6)</sup>。この方法は、①フラクタル図形を円や球、線分や正方形、立方体といった特徴的な長さ  $r$  を持つ基本図形で近似し、対象とするフラクタル図形の 1 部を含む基本図形の数  $N(r)$  を数える。②基本図形の長さ  $r$  と  $N(r)$  を両対数グラフに描き、 $N(r) \propto r^{-D}$  の関係を満足するフラクタル次元  $D$  を決定する方法<sup>5)</sup>である。

### (2) フラクタル次元と人間行動

本報告では、避難実験で得られた各被験者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、以下の解析で用いている。具体的には、図 1 に示すように平面上に描かれた避難実験の際の被験者の動線の上に 1 辺の長さ  $r$  の格子を重ね、動線の一部でも含むような正方形の個数  $N(r)$  を数え上げる。 $r$  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、フラクタル次元である直線の傾き  $D$  を求める。なお、文献(6)でも指摘されているように、粗視化の度合を変える方法でフラクタル次元を決定する場合には格子幅  $r$  の上限値・下限値の設定が  $D$  の値に影響をあたえるため注意

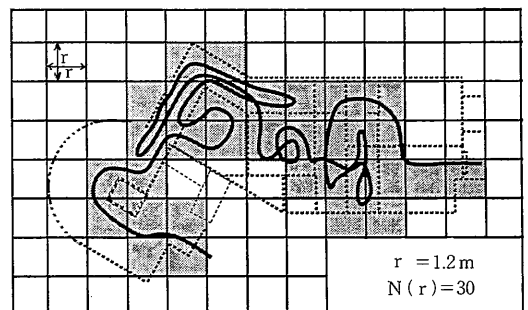


図-1 粗視化の度合を変える方法によるフラクタル次元の算出例

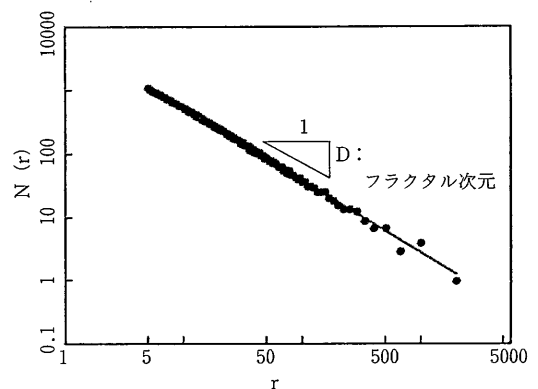


図-2  $r-N(r)$  図

\*東京大学生産技術研究所 第5部

\*\*東京大学生産技術研究所 付属国際災害軽減工学研究センター

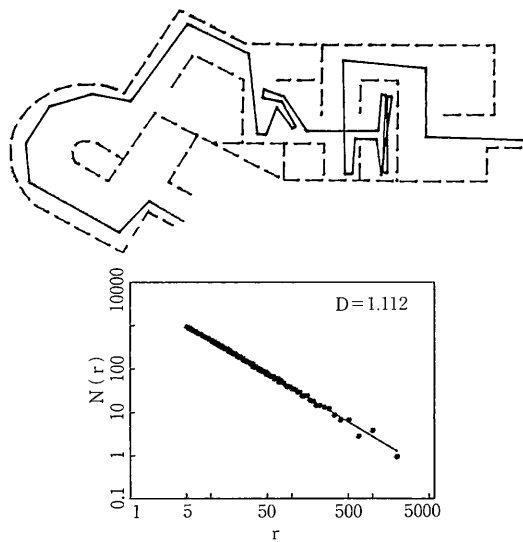


図-3 動線 a

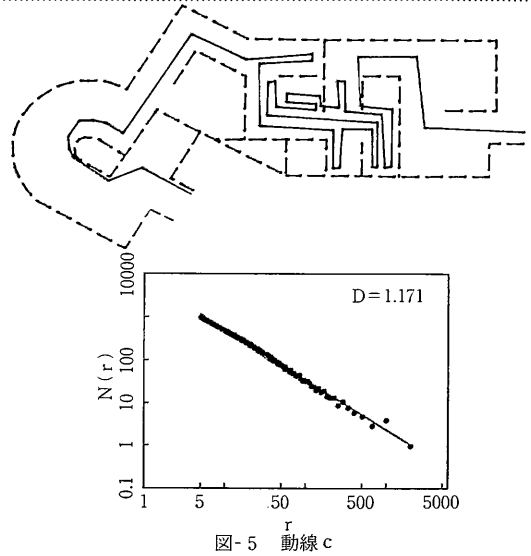


図-5 動線 c

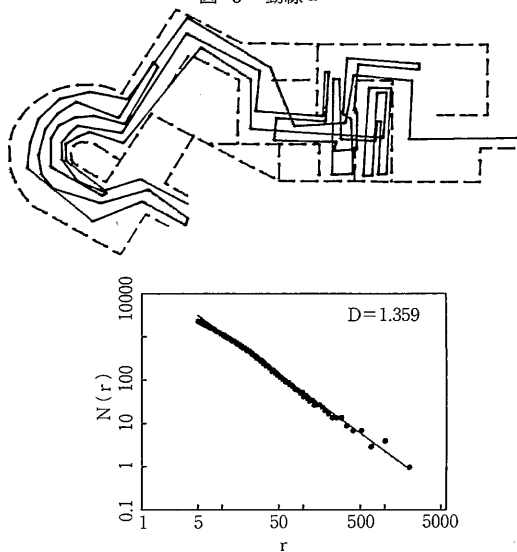


図-4 動線 b

を要する。

ここで、フラクタル次元を用いて人間行動を定量化することの有用性を示すため、避難行動実験で観測された3人の被験者の動線を取り上げる。まず、動線a(図3)と動線b(図4)の比較からわかるように、簡単な動線ほどDは1.0に近く、複雑になるほど平面を表す次元2.0に近づく(実験で使用した迷路形状のため、動線の最大フラクタル次元は1.5程度と考えられる)。一方、動線aとc(図5)は迷路内のほぼ同じ場所を通過しているが、動線cの方が同じ場所を何度も行き来しているために複雑な動線となっている。これらのフラクタル次元Dを計

算して比較してみると、複雑な動線cの方がaよりも大きくなっている(同じ場所を往復したときの動線が完全に一致している場合には、動線aとcのフラクタル次元は、非常に近い値となる。しかし、緊急時の行動を考えた場合、このような現象の発生はほとんど無視できるであろう)。

以上のようにフラクタル次元は行動の複雑さを表す定量的な指標であり、その他の指標と合わせて用いることにより、人間行動の定量的な評価が可能となる。

### 3. フラクタル次元を用いた人間行動の評価

#### (1) フラクタル次元と行動指標の関係

避難時の人間行動を定量化し、コンピュータシミュレーションなどに応用する場合に考慮すべき要因としては、避難行動の複雑さと経路探索行動の積極性などに関係する要因と、避難に要する時間に関する要因がある。

過去の災害時の避難行動例をみると、出口を探して積極的に広い範囲を探索する人と、比較的狭い範囲を行動している人など、質的に異なる避難行動が観察されている(たとえば、文献7)など)。このような避難行動の質的な差異を定量化するため、微視的な行動の違いは動線のフラクタル次元によって定量化し、巨視的な行動の違いは行動範囲として定量化することを考えた。ここで、行動範囲は、一定の格子幅rで粗視化したときに、動線を覆っている正方形の面積の合計として定義する。フラクタル次元を求める場合と異なるのは、格子幅rを、評価対象とする全サンプルについて一定に保つ点である。歩行距離が同じであれば、行動範囲が広いほど積極的な探索行動を行ったことになる。行動範囲を求める際に格子

## 研究速報

幅を小さくしすぎると巨視的な指標としての意味を失うことになり、逆に格子幅が大きすぎると避難行動の違いを十分に評価できない。このため、これまでの避難実験や既往の研究結果に示されているように、比較的個人差の少ない緊急時の歩行速度を基準として用いることが考えられる。

一方、避難に要する時間の要因は、特に火災発生を考えた場合には、生死に直接結びつく最も重要な要因であり、脱出に要する時間・歩行速度・経路の長さなどがある。

以上の考察から、人間行動を定量化するための具体的な指標として、(1)フラクタル次元によって評価される動線形状の複雑さ、(2)どれだけ広い範囲を行動したかを表す行動範囲、(3)脱出までに要した時間、(4)歩行速度、(5)脱出までに歩いた距離、の5つを採用し、実験によって得られたデータを例にとって、フラクタル次元とほかの行動指標との関係について検討した。

図6に脱出時間とフラクタル次元の関係、図7に歩行速度とフラクタル次元の関係を示す。脱出時間とフラクタル次元の相関係数は0.882であり、フラクタル次元が大きくなるに従って脱出時間が長くなっている。歩行速度については、一部の被験者を除けば約0.2~0.4m/sの範囲にあり、フラクタル次元による変化はみられない。また、平均歩行速度は男女とも約0.33m/sで、性別による違いは小さい。北後による実験的研究<sup>9)</sup>においても同様な結果が得られており、暗闇での歩行速度は個人の属性によらずほぼこの値になるものと思われる。暗闇で壁伝いに探索しながら行動する場合には制約が多く、行動力の違いがあまり出ないため、このような結果になったものであろう。歩行速度が特に大きいのはフラクタル次元が小さく、主に実験ケース2の時にほとんど迷わずに脱出した被験者であり、1回目の実験時の経験によって経路を覚えていたために素早く行動できたものと思われる。

図8、図9に示すように歩行距離と動線のフラクタル次元の相関係数は0.989、また、行動範囲とフラクタル次元の相関係数は0.963であり、動線のフラクタル次元と、実験時の歩行距離および行動範囲との相関は非常に高い。これは、実験に使用した迷路が小規模で、行動の自由度が低いことが一因と考えられ、地下街のように行動の自由度の大きい場合に関しては、今後さらにデータ収集を進める必要がある。

以上の検討より、人間行動を定量化するための指標のうち、脱出時間、歩行距離、行動範囲の3つについては、動線のフラクタル次元によってほぼ推定でき、歩行速度は被験者の属性によらずほぼ一定であることがわかった。

## (2) フラクタル次元と個人特性

前節では動線のフラクタル次元を用いることによって

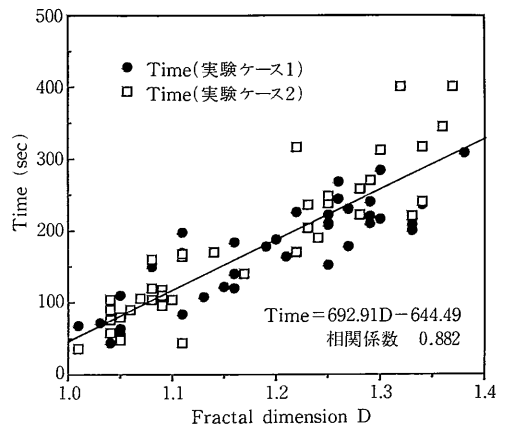


図-6 フラクタル次元と脱出時間の関係

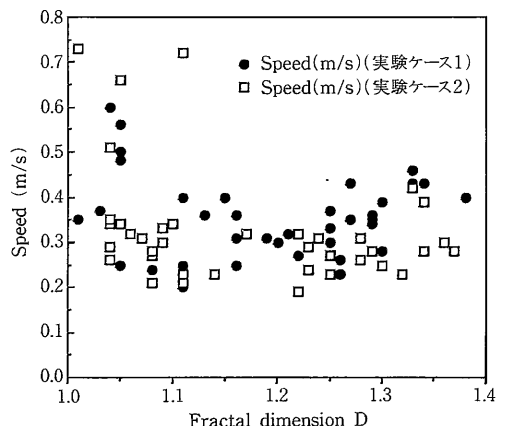


図-7 フラクタル次元と歩行速度の関係

人間行動の定量化が可能であることを示した。このようにフラクタル次元D、およびDと相関の強い複数の要因で定量化された人間行動をコンピュータ上でシミュレーションする場合には、性別・性格などの事前に分かる個人特性とフラクタル次元の関係についても調べる必要がある。

本節では、これまでに行った実験結果を用いて個人特性からフラクタル次元を推定することを試みた。分析の手法としては、数量化第1類を使用した。数量化第1類は、重回帰分析に相当する質的データの分析法である。フラクタル次元を目的変数とし、今回の分析では説明変数として、YG性格検査から得られた12個の性格尺度のうち、行動と関係の深い、Ag尺度、G尺度、R尺度、T尺度の4尺度に性別を加えた5つの個人特性を選んだ。

表1に数量化第1類による分析結果を示す。重相関係数は0.485で、ばらつきはかなり大きいのが、個人特性からフラクタル次元をある程度推定できた。また、各個人特

研 究 速 報

表-1 数量化第1類による被験者の特性と行動の定量化

定数項	..... 1.19149		重相関係数	..... 0.48479	
性別		偏相関係数	度数	ウェイト	レンジ
	男女	0.15467	17	-0.01580	0.02859
性格検査-7 (Ag尺度)			21	0.01279	
	1		11	-0.05026	0.09088
	2	0.36829	15	0.04061	
	3		12	-0.00469	
性格検査-8 (G尺度)					0.04424
	1		4	0.01577	
	2	0.22465	15	0.02287	
	3		19	-0.02137	
性格検査-9 (R尺度)					0.04953
	1		10	0.03473	
	2	0.22422	11	-0.00870	
	3		17	-0.01480	
性格検査-10 (T尺度)					0.05754
	1		5	0.03160	
	2	0.25963	15	0.02059	
	3		18	-0.02594	

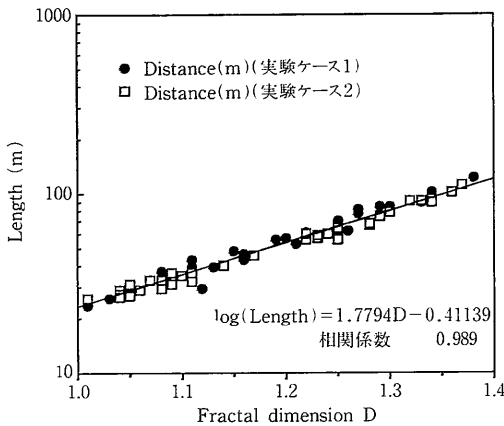


図-8 フラクタル次元と歩行距離の関係

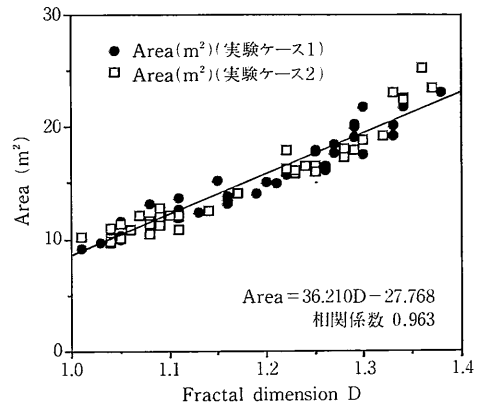


図-9 フラクタル次元と行動範囲の関係 (格子幅0.33m)

性とフラクタル次元の関係、偏相関係数およびカテゴリウエイトのレンジの大きさから調べると、行動意欲や積極性などの指標であるAg尺度との相関がもっとも高かった。

4. ま と め

本研究では、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、その一例として迷路を使用した避難実験結果に適用して、行動の指標としての有効性や、事前にわかる個人特性との関係について検討した。今後は、コンピュータシミュレーションなどへの応用について研究を進めていきたいと考えている。(1991年10月1日受理)

参 考 文 献

1) 横山秀史・L. Cret・山崎文雄・永田 茂・片山恒雄：迷路を用いた緊急時の人間行動に関する実験，生産研

究，Vol. 42, No. 7, pp. 24-27, 1990.

2) 横山秀史・片山恒雄・山崎文雄・永田 茂：迷路を用いた緊急時の人間行動に関する実験-第2報-，生産研究，Vol. 43, No. 6, pp. 27-30, 1991.  
 3) 横山秀史・片山恒雄・山崎文雄・永田 茂：迷路を用いた緊急時の人間行動に関する実験-第3報-，生産研究，Vol. 43, No. 6, pp. 31-34, 1991.  
 4) 片山恒雄・山崎文雄・永田 茂・横山秀史：緊急時における人間の避難行動に関する研究，文部省科学研究費補助金報告書，1991.  
 5) 高安秀樹：フラクタル，朝倉書店，1989.  
 6) 中川昌美・佐武正雄・猪股亮裕：ライフラインシステムの地震評価におけるフラクタル次元の応用，土木学会論文集，No. 428/1-15, pp. 177-182, 1991.  
 7) 安倍北夫：パニックの心理，講談社，1974.  
 8) 北後明彦：煙の中における人間の避難行動実験-避難経路選択および歩行速度に関する実験的研究-，日本建築学会計画系論文報告集，第353号，pp. 32-38, 1985.