

船橋市における道路網形態のフラクタル次元解析と 救急搬送に基づく実態圏域との相関について

日大生産工 (学部)
(株) 梓設計
日大生産工

○上谷 真生 日大生産工 (院) 小島 俊希
木村 敏浩 日大生産工 黒岩 孝
大内 宏友

1. はじめに

個と総体との関係性や物理的縮尺を持たないパターンの特徴を扱う科学として、フラクタル理論は様々な分野に応用されている。自然界は樹木から銀河系に至るまでフラクタル性を持つ形態のカスケード (多層構造) とし、それらの時間的変動もフラクタルとしてとらえられる。フラクタル次元^{*1)}を用いた分析手法は、一見不規則な事象や形状の異なるスケールにおける連続した秩序を定量的に示す事が可能であることから、建築・都市・地域計画分野の研究にも応用されつつある。都市構造の中で道路網の形態は、都市を特徴付ける因子の1つであり、交通・運輸・搬送機能等を様々な尺度で有する多層構造の1つと考えられる。

また、我が国における救急医療業務は国民の生命と身体を守る上で不可欠なサービスとして広く認知されている。現在、社会不安や少子高齢社会の更なる進行に伴う疾病構造の変化等により、救急出動件数は増加の一途を辿っている。「平成26年度版 救急・救助の現況」^{*2)}によると、救急出動件数は年々増加傾向にあり、これに伴う救急車両の事件・事故・災害等の発生覚知から現場到着及び病院収容までの時間の遅れが顕著である。

本研究は、道路ネットワーク (道路網) についてフラクタル次元解析^{*3)}を行う。生命を守る尺度として治療開始時刻に着目し、道路網のフラクタル次元が救急搬送との関係の中で、評価基準としていかなる意味を持つかを検証する。

われわれの既往学術論文では、千葉県船橋市におけるドクターカーペア出動システムの現状を明らかにし^[4]、救急と医療との地域施設における複合化による有効性を明示した。

都市空間におけるフラクタル性の計測を行う

ための基礎研究として、街区の立体モデルに点光源を配置し、拡散光から生じる陰影を含んだ画像をボックスカウンティング法^{*4)}によるフラクタル次元解析手法を確立した^[2]。

さらに、実空間における都市環境イメージのフラクタル分析を江東・品川地域により行い、3次元都市空間において地域住民のイメージ構造を解き明かすことへのフラクタル次元の有効性を確認した^[3]。

また、千葉県千葉市、船橋市を研究対象地域とし、救急医療搬送における実態圏域内の道路網を抽出し、道路網のフラクタル次元と①交差点の数②実態圏域の面積③平均速度④騒動慮距離との関係性を明らかにした^{[6][7]}。

以上の研究成果をもとに、本稿では千葉県船橋市を研究対象地域とし、救急医療の救急搬送における実態圏域内の道路網を抽出し、実態圏域及び道路区画をそれぞれ4分割しフラクタル次元解析を行う。この結果より、フラクタル次元の高いもの、低いものをより詳細に分析し、比較・考察する。

以上により、実空間におけるフラクタル次元解析による分析手法について実態圏域及び、道路設備水準を設定する際の救急搬送の客観的評価の定量的手法の構築を目的としている。

2. 研究対象地域

GIS・GPSを利用した救急医療システムを運用している千葉県船橋市を対象地域とする (Fig. 1)。船橋市は救急車両だけでなく、ドクターカーシステムを採用している。

千葉市消防局、船橋市消防局の協力により得られた救急出動に関する記録^{*5)}による、27087件 (船橋市) の事例を有効資料として取り扱っている。

《注釈》

*1) フラクタル次元：自己相似性を定量化した数値であり、相似性をもとにした測度で、位相次元と異なり、非整数値をとることが特徴である。

*2) 平成26年度版救急・救助の現況：総務省消防庁 2014. 12

*3) フラクタル解析システム：(独)農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所が開発した解析ソフトであり、ボックスカウンティング法により、フラクタル次元を算出するものである。http://cse.naro.affrc.go.jp/sasaki/

*4) ボックスカウンティング法：容量次元としてフラクタル次元を算出する方法である。容量次元の他に代表的なものとして、相似次元、測定次元、被覆次元などがある。

*5) 救急出動に関する記録：千葉市、船橋市消防局の協力により得られた救急出動に関する記録による全32736件 (千葉市：5649件) (船橋市：27087件) の事例を有効資料として取り扱っている。記録には出動隊名、搬送者数、出動場所、出動年月日、覚知時分、出動時分、現場到着時分、接触時分、現場出発時分、ドクターカー・ヘリとの連携活動等が記載されている。

Empirical study on correlation between existing area
based on ambulance transport and fractal dimension of road network form about Funabashi
Mana KAMIYA, Shunki KOJIMA, Toshihiro KIMURA, Takashi KUROIWA and Hiroto OHUCHI

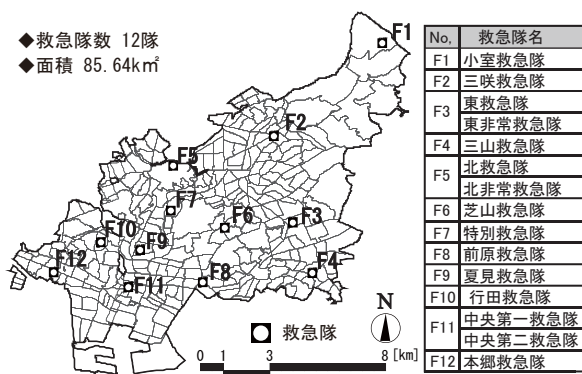


Fig. 1 研究対象地域

3. フラクタル次元解析手法について

本稿で用いるボックスカウンティング法によるフラクタル次元解析は、解析対象画像の複雑性を容量次元として算出するものである。容量次元は測定次元と被覆次元を拡張させた考え方である。相似次元、測定次元、被覆次元は明確な繰り返しによる相似形状に対して有効であり、道路網や海岸線などの実際に存在する不規則な形状に対しては容量次元が有効である。具体的にフラクタル次元解析は 2 値画像に含まれる黒色 pixel が含まれる微小領域の数をカウントすることで行われ、非整数の 1～2 のフラクタル次元を示し、値が大きいほど、一般に複雑性が高いとされる (Fig. 2)。

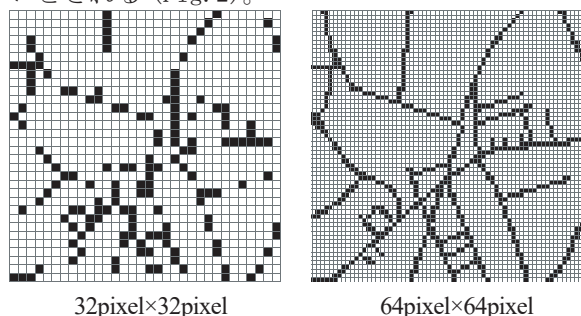


Fig. 2 ボックスカウンティング法(例)

2 値画像を一边 r 画素の正方形で被覆する時、対象とする画素数を含む正方形の個数を画素間隔 r ごとに $N(r)$ とすると、以下の様な式が成り立つ。

$$N(r) \cdot r^D = C \quad \dots \dots (1)$$

ここで、 C は定数であり、この時の D がフラクタル次元となる。また、式 (1) を変形すると

$$\log N(r) = \log C - D \log r \quad \dots \dots (2)$$

となる。フラクタル次元 D は $\log r$ と $\log N(r)$ の直線の傾きであり、最小 2 乗法により推定することができる。また、得られた回帰直線が良好な直線性 (決定係数 R^2 が高い) を示す時に解析対象画像のフラクタル性を持つことが確認できる。

4. フラクタル次元解析による分析手法及び手順

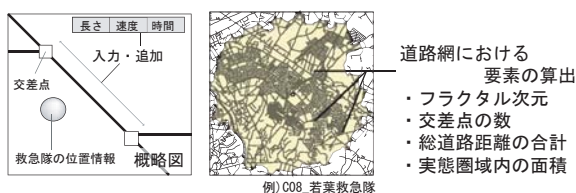
道路網を地域空間情報としてとらえ、救急医療における道路形態の影響の分析を行うために本稿では ArcGIS^{*6)} を使い、国土地理院刊行数値地図 2500 を空間データ基盤とし、船橋市の道路網ネットワークデータを作成する。このデータを基に、救急搬送における有効な実態圏域のフラクタル次元解析を以下のように行う (Fig. 3)。

- ①船橋市内の消防署 (全 12 救急隊) を数値地図上にプロットする。1/2500 における道路幅が 3 [m] 以上の真幅道路を抽出し、数値地図の道路情報として長さを入力する。
- ②各救急隊から救急車両が、5 分以内に到達できる範囲を実態圏域として算出し、可視化する (Fig. 4)。
- ③道路区画と可視化した実態圏域を 4 分割する (Fig. 5)。
- ④4 分割した実態圏域内の道路網のフラクタル次元を、ボックスカウンティング法を用いて解析し、救急出動に影響を及ぼす要素との相関係数^{*7)}を算出する。ここでは、解析範囲として地図の縮尺 (一律・相違) と形状 (同心円・方形)

ArcGIS を使い、国土地理院刊行数値地図 2500 を空間データ基盤とし、船橋市の道路網ネットワークデータを作成する

道路網ネットワークデータ

- ・道路幅が 3m 以上の真幅道路を抽出
- ・道路情報として線分の長さ、速度、時間の入力
- ・道路の交差点を入力



救急隊の位置を入力する

各救急隊の平均速度で 0～5 分以内に到達できる範囲を実態圏域として算出する

道路区画、実態圏域を 4 分割する

実態圏域内の道路網のフラクタル次元値をボックスカウンティング法によって解析する

フラクタル次元解析による救急搬送にもとづく有効な実態圏域の設定手法の提案

フラクタル次元解析による救急搬送にもとづく有効な実態圏域の設定手法の提案

Fig. 3 フラクタル次元解析による救急搬送にもとづく実態圏域の設定手法の手順

《注釈》

*6) ArcGIS: 米国カリフォルニア州 Esri 社の地理情報システムソフトウェア。本稿に空間データ基盤として用いている国土地理院刊行数値地図 2500 は 3 [m] 以上の道路網を扱っている。

*7) 相関係数: 2 つの確率変数の間の相関 (類似性の度合い) を示す統計学的指標。-1 から 1 の間の実数値をとり、1 に近いほど 2 つの確率変数には相関があるとされる。また、相関関係の妥当性を確認するための有意水準を p 値により示す。

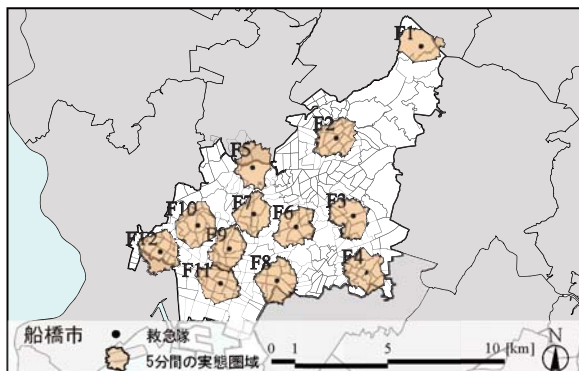
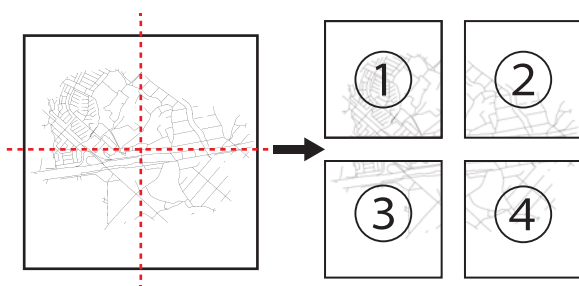


Fig. 4 ArcGISによる船橋市における実態圏域図



F1_小室救急隊
Fig. 5 各救急隊の実態圏域及び道路区画を4分割

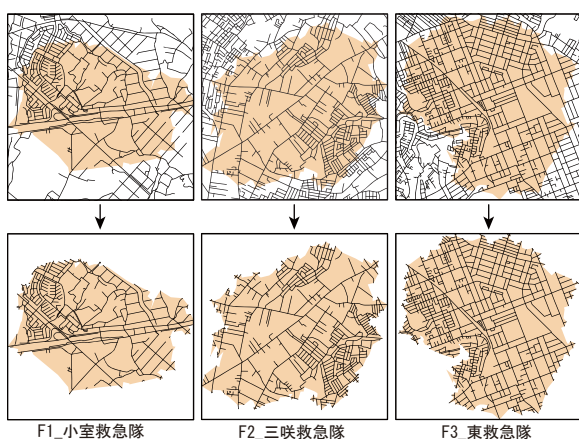
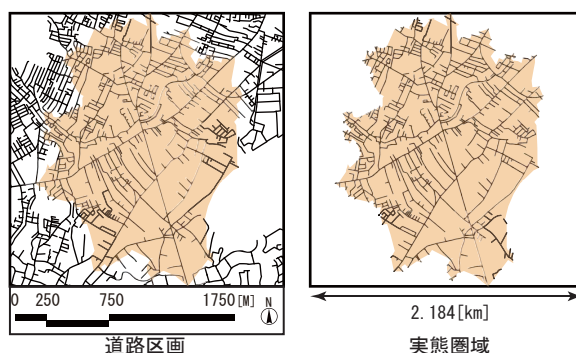


Fig. 6 各救急隊の異なる解析範囲での実態圏域
および圏域内の道路の抽出

の 4 つの異なる解析対象のフラクタル次元解析により、道路網形態の多層構造の有無を確認し、地図上の解析範囲とその形状・縮尺の妥当性を検証する。

各救急隊で一律の領域・縮尺の解析範囲 (Fig. 7) を、救急隊ごとに実空間の搬送領域 (同心円状) の実態圏域の全体が入る、最も広い範囲である方形を用いる場合について、F5_北救急隊 2.184×2.184[km] の範囲を用いる。各解析範囲の道路網の領域と縮尺を一律とした方形区域と実態圏域を解析する。

また、解析画像内に海水域及び、広域における都市公園施設が入る地域のデータについては、ボックスカウンティング法でのフラクタル解析対象から道路網が欠損し、分析結果に影響を及ぼすため本論では除外した。



F5_北救急隊
Fig. 7 各救急隊の同一の解析範囲での実態圏域
および圏域内の道路の抽出

5. まとめ

千葉県船橋市を研究対象地域とした救急搬送における有効な実態圏域における道路網形態とフラクタル次元との関係性について以下のとおりまとめる。

5.1. 道路区画及び実態圏域とそれらをそれぞれ4分割した際のフラクタル次元の比較 (Table. 1)

それぞれの研究対象地域のフラクタル次元とそれらを 4 分割したフラクタル次元は、自己相

Table. 1 各救急隊の道路区画及び実態圏域のフラクタル次元と被度

NO	救急隊名	実態圏域		道路区画		NO	救急隊名	実態圏域		道路区画	
		フラクタル次元	被度 (%)	フラクタル次元	被度 (%)			フラクタル次元	被度 (%)	フラクタル次元	被度 (%)
F1	小室救急隊	1.3825	① 1.4162	2.5	1.4295	F7	特別救急隊	1.3771	① 1.3380	1.2	1.4503
			② 1.3270	1.3					② 1.3268	1.6	
			③ 1.3528	1.3					③ 1.3663	1.7	
			④ 1.2874	1.1					④ 1.3579	1.7	
F2	美咲救急隊	1.3823	① 1.3157	1.2	1.4743	F8	前原救急隊	1.4158	① 1.4112	2.5	1.4812
			② 1.3388	1.9					② 1.3703	2.4	
			③ 1.2899	1.5					③ 1.3919	2.4	
			④ 1.4187	2.5					④ 1.3542	2.0	
F3	東救急隊	1.4261	① 1.4202	3.0	1.5090	F9	夏見救急隊	1.4137	① 1.3707	1.3	1.4716
			② 1.3777	2.1					② 1.3989	2.4	
			③ 1.4091	1.8					③ 1.4006	2.5	
			④ 1.3562	1.9					④ 1.3447	1.5	
F4	三山救急隊	1.4330	① 1.4173	2.9	1.4871	F11	中央救急隊	1.4367	① 1.3835	2.3	1.4919
			② 1.3784	1.7					② 1.4111	2.4	
			③ 1.4224	2.2					③ 1.4049	1.9	
			④ 1.3956	2.6					④ 1.4287	3.0	
F5	北救急隊	1.3979	① 1.3841	2.4	1.4613	F12	本郷救急隊	1.4256	① 1.4044	2.6	1.4889
			② 1.3772	2.0					② 1.3772	2.3	
			③ 1.3496	1.8					③ 1.4002	2.2	
			④ 1.2977	1.2					④ 1.3702	2.1	
F6	芝山救急隊	1.3870	① 1.2985	0.9	1.4673						
			② 1.3896	2.7							
			③ 1.3614	2.1							
			④ 1.3277	1.5							

※除外した救急隊: F10_行田救急隊

似性の観点から考えると、同じ値をとることが望ましいといえる。F1_室救急隊の道路区画のフラクタル次元に注目すると (Fig. 8)、4 分割したうちの②③④はほぼ近似値をとっているが、①については他の 3 つの平均値と比較すると 0.1030 の差異が生じている。このように、他の救急隊の実態圏域及び道路区画においても、フラクタル次元におよそ 0.1 の差異が生じていることがわかる。我々の既往学術論文で明らかになっているフラクタル次元と平均速度・総道路距離・交差点数・実態圏域面積の増減の関係 (Fig. 9) ^[7] を踏まえると、フラクタル次元が高くなるほど搬送にかかる速度はより遅くなる傾向にあることがわかる。

1.4162	1.3270
1.3825	
1.3528	1.2874

実態圏域

1.4444	1.3419
1.4295	
1.3411	1.3401

道路区画

Fig. 8 F1 小室救急隊におけるフラクタル次元

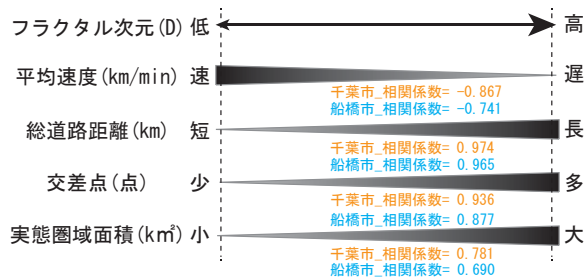


Fig. 9 実態圏域内におけるフラクタル次元Dと各要素の増減の関係

5.2. 実態圏域を 4 分割した際のフラクタル次元とそれぞれの被度についての考察

フラクタル次元解析は前述にもあるように、実態圏域及び道路区画に対し行っており、すな

わちこの場合の被度は、4 分割した各対象面積のうちどの程度道路が整備されているかを表した数値である。

実態圏域の被度において特に高い数値を示した F3_東救急隊と F11_中央救急隊に注目する (Fig. 10)。F3_東救急隊では 4 分割した①で被度は 3.0%、フラクタル次元は 1.4202 を示している。ほかの②③④と比較しても被度、フラクタル次元ともに数値は高い。また、F11_中央救急隊では 4 分割したうちの④で被度 3.0%、フラクタル次元は 1.4287 を示している。

1.4202	1.3777
1.4261	
1.4091	1.3562

F3 東救急隊

1.3835	1.4111
1.4367	
1.4049	1.4287

F11 中央救急隊

Fig. 10 4 分割した際のフラクタル次元

このように、被度とフラクタル次元を比較すると、被度が高いほどフラクタル次元も高い傾向があることが言える。すなわち、フラクタル次元が高いほど、実態圏域内の道路網が面的に広がっている傾向にあることが指摘できる。フラクタル次元が高ければ高いほど、搬送にかかる速度は遅くなる傾向にあると前述したが、逆に、救急医療における有効な搬送範囲である実態圏域は広がるといえる。

ただし、今回の被度において道路幅員や交通量等の情報は含んでいないため、どのようにすればより実態圏域を広げることができるかの一つの指標を創るためには、今後これらを踏まえた解析及び分析が必要である。

以上により、救急医療施設の適正配置の検討をする際における有効な資料の提示を行うことができた。

《謝辞》

本研究を進めるにあたり、調査に御協力、資料を提供していただいた千葉県消防局、船橋市消防局及び助救急振興財団の皆様各位に、深く感謝の意を表し記して御礼申し上げます。

《参考・引用文献》

- [1] 大内宏友・高倉朋文・横塚雅宜：「救急医療システムを施設配置の関係性に関する実証的研究（地域における医療施設と救急施設との複合化の適正配置に関する研究）」日本建築学会論文報告集 第466号, pp87-94, 1994. 12
- [2] 蝶名林秀明, 根来宏典, 大内宏友：「フラクタル次元解析を用いた景観認知による可視化モデルの複雑性の定量化手法」日本建築学会技術報告集 第22号, pp549-552, 2005. 12
- [3] 木村敏浩・黒岩 孝・坂口浩一・松原三人・大内宏友：「3次元都市空間における街区のフラクタル性と環境認知との相関性について（江東区木場の連続した街区における分析・考察）」環境情報科学論文集, 第17号, pp.83-88, 2003.11
- [4] 岡田昂・手島優・宇野彰・大内宏友：「救急医療システムにおけるドクターヘリと地域の連携による医療圏域の構築（ドクターヘリと救急車両との連携による有効圏域について）」第34回情報・システム・利用・技術シンポジウム, pp115-120, 2011. 12
- [5] 田島誠・菊池秀和・大内宏友：「救急医療システムにおける地域空間情報を用いた施設の適正配置についてGIS・GPSを用いた人口分布にもとづく圏域的指標の構築」日本建築学会計画系論文集第73巻第631号, pp1929-1937, 2008
- [6] 島崎 翔・大平 晃司・木村 敏浩・大内 宏友：「道路網形態のフラクタル次元と救急搬送に基づく実態圏域との相関」日本建築学会技術報告集 第21巻, 第49号, pp1301-1306, 2015. 10
- [7] 島崎 翔・木村 敏浩・大内 宏友：「道路網形態のフラクタル次元解析と救急搬送に基づく実態圏域との相関に関する実証的研究」日本大学修士論文 2016. 02
- [8] Ohuchi Hiroto, Kimura Toshio, Shimazaki Sho, Ohdaira Koji, Kanai Setsuko "Effective Sphere and Setting of Road Network Patterns by Fractal Analysis Ambulance Movement" IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2014)
- [9] Hiroto Ohuchi, Sho Shimazaki, Koji Ohdaira, Setsuko Ouchi, Takashi Kuroiwa "Correlation between existing area based on ambulance transport and fractal dimension of road network form" International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)