ISSN 2186-5647

5-12

千葉県千葉市における道路交通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）　○香取　寛希　　日大生産工（院）　小島　俊希
（株）梓設計　　木村　敏浩　　日大生産工　　黒岩　孝
日大生産工　　大内　宏友

１．はじめに

我が国における救急医療業務は国民の生命と身体の安全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り、「平成 26 年度版救急･救助の現況」*1) によると､救急出動件数は年々増加傾向である。これに伴う現場到着及び病院収容までに時間の遅れが顕著であり、搬送中の「たらい回し」や地域医療体制の崩壊等が社会問題とされるなか、抜本的な解決方途はいまだ見出されない状況にある。

そこで、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*2) を用いた分析手法は、一見不規則な事象や形状の複雑さ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。

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。

我々既往学術論文では、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。

千葉県千葉市において地域空間情報に基づいた解析方法により時間帯別の救急隊の出動可能な人口数と高齢者数の観点から分析することで千葉市における救急医療の医療圏域を構築した[5]。

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、救急医療の救急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総道路距離との関係性に関して明らかにした[6][7]。

以上の研究成果をもとに本稿では千葉県千葉市を研究対象地とし、[7] の道路網、実態圏域とそれらを４分割した画像をフラクタル解析を行い､比較･考察を行う。

これにより、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、道路整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千葉市を対象地域とする（図１）。

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 5649 件（千葉市）の事例を有効資料として取り扱っている。

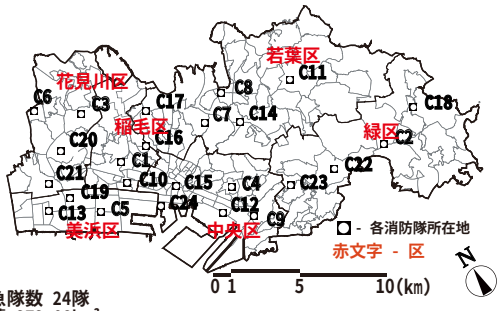
３．フラクタル次元解析手法について

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

＊1) 平成26年度版救急・救助の現況：総務省消防庁 2014.12
＊2) 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。
＊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 Chiba

Hiroki KATORI,Shunki KOJIMA,Toshihiro KIMURA,Takashi KUROIWA and Hirotomo OHUCHI



◆救急隊数 24隊
◆面積 272.08km²

C1	稲毛消防署	C9	生浜出張所	C17	都賀出張所
C2	越智出張所	C10	西千葉出張所	C18	土気出張所
C3	花見川消防署	C11	泉出張所	C19	美浜消防署
C4	宮崎出張所	C12	蘇我救急隊	C20	畑出張所
C5	高浜救急隊	C13	打瀬救急隊	C21	幕張救急隊
C6	作新台出張所	C14	大宮出張所	C22	菅田出張所
C7	桜木出張所	C15	中央消防署	C23	緑消防署
C8	若葉消防署	C16	殿台出張所	C24	臨海救急隊

図１　研究対象地域

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（図 2）。

2 値画像を一辺 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。

$$N(r)\cdot r^{D} = C \qquad \cdots\cdots(1)$$

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

$$\log N(r) = \log C - D\log r \qquad \cdots\cdots(2)$$

となる。フラクタル次元 D は logr と logN(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。

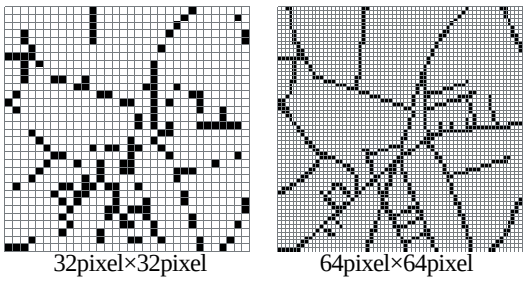


図２　ボックスカウンティング法(例)

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、救急医療においての道路形態の影響の分析を行うために本稿では ArcGIS*6) を用い、国土地理院刊行数値地図 2500 を空間データ基盤とし、千葉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（図３）。

①千葉市内の消防署（全 24 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。また、救急出動に関する記録により救急車両の平均速度、出動時間*7) 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（図４）。

③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*8) 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）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（図５）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

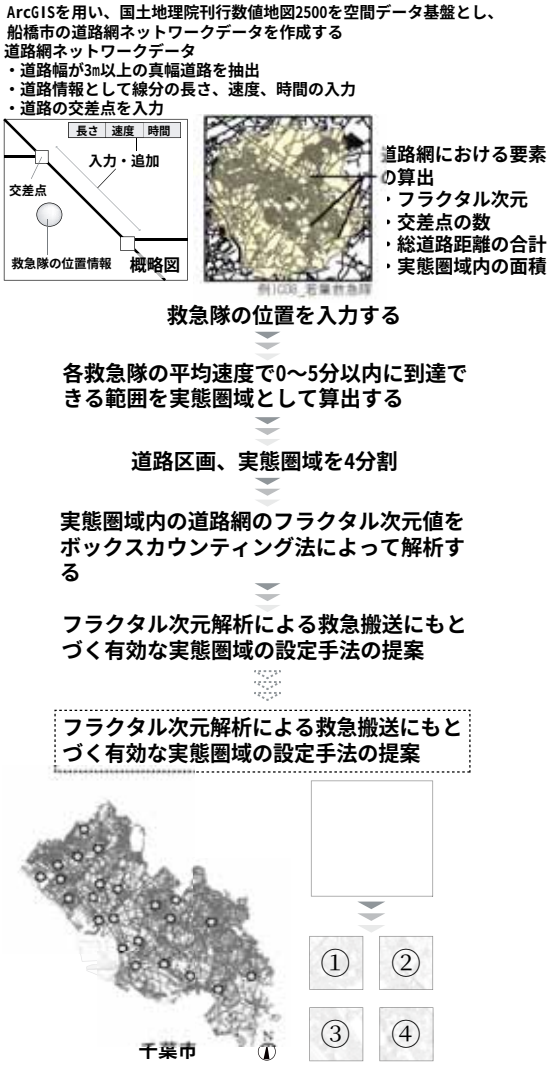


図３　フラクタル次元解析による救急搬送にもとづく実態圏域の設定手法の手順

＊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2500は3[m]以上の道路網を扱っている。
＊7) 平均速度、出動時間：救急搬送に関連するデータは既発表論文[5]の田島・大内らによるデータを扱っている。
＊8) 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。

を用いる場合、千葉市はC14_大宮救急隊2.056×2.056[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6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。

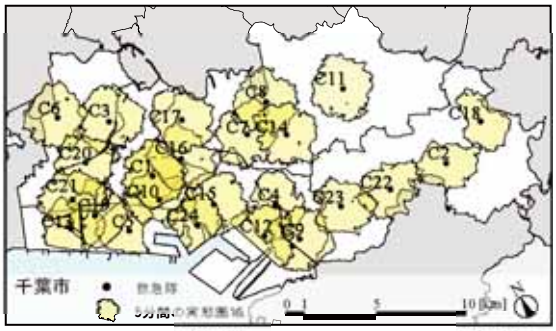
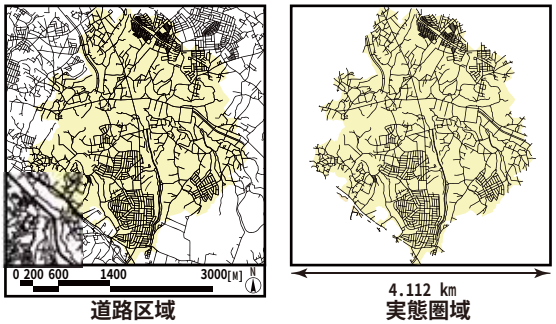


図4　各救急隊の同一の解析範囲での実態圏域および圏域内の道路の抽出



道路区域　実態圏域

C14_大宮救急隊

図5　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

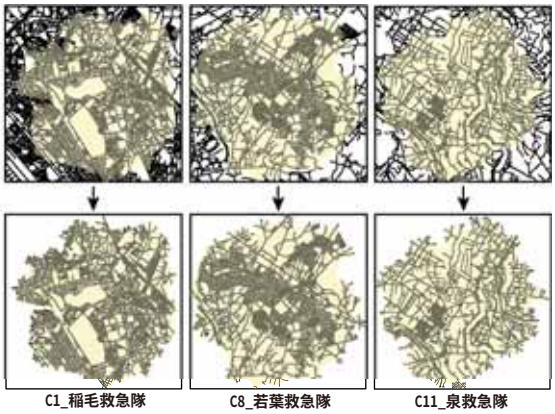


図6　各救急隊の異なる解析範囲での実態圏域および圏域内の道路の抽出

5．まとめ

千葉県千葉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にまとめる。

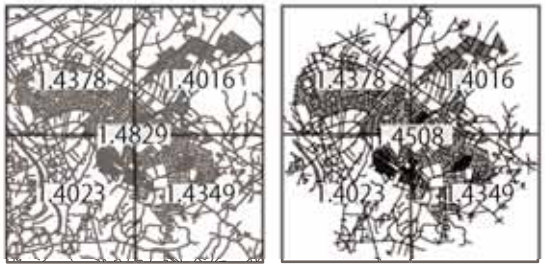
5.1. 道路区画及び実態圏域と、それらを4分割したフラクタル次元の比較分析（表1）

それぞれの研究対象地域のそれらを4分割したフラクタル次元は、自己相似性の観点から考えると、同じであることが望ましいといえる。C8_若葉消防署の実態圏域のフラクタル次元に注目すると(図7)、①④、②③はそれぞれ近似値をとっているが、それぞれの平均値で比べると0.0344の誤差が生じている。このように、ほかの救急隊の道路区画及び実態圏域においても、フラクタル次元におよそ0.04の差異が生じていることがわかる。我々既住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(図8)[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。

表1　各救急隊のフラクタル次元と救急搬送に影響を及ぼす要素の算出

NO	救急隊名	道路区画 フラクタル次元			被度(%)	実態圏域 フラクタル次元			被度(%)	NO	救急隊名	道路区画 フラクタル次元			被度(%)	実態圏域 フラクタル次元			被度(%)
C1	稲毛消防署	1.5427	①	1.4908	5.0	1.4722	①	1.4422	2.9	C11	泉出張所	1.4495	①	1.3335	2.2	1.3983	①	1.3139	1.5
			②	1.4580	4.3		②	1.4338	3.4				②	1.3713	2.7		②	1.3474	1.9
			③	1.4760	4.6		③	1.4209	2.3				③	1.3906	2.9		③	1.3794	2.3
			④	1.4907	5.1		④	1.4653	3.8				④	1.3628	2.6		④	1.3493	1.7
C2	越智消防署	1.3997	①	1.3462	2.4	1.3267	①	1.3205	1.7	C14	大宮出張所	1.4843	①	1.3986	3.0	1.4226	①	1.3423	1.5
			②	1.2641	1.4		②	1.2422	0.6				②	1.4433	3.8		②	1.3839	2.3
			③	1.3072	1.8		③	1.3401	1.2				③	1.4384	3.8		③	1.3942	2.0
			④	1.3673	2.5		④	1.2851	1.2				④	1.3701	2.5		④	1.3664	2.0
C4	宮崎消防署	1.5008	①	1.4148	3.3	1.4434	①	1.3664	1.8	C16	殿台出張所	1.5363	①	1.4710	4.6	1.4707	①	1.4424	3.4
			②	1.4639	4.5		②	1.4448	3.9				②	1.4745	4.6		②	1.4296	2.9
			③	1.4584	4.2		③	1.4466	3.7				③	1.4954	5.2		③	1.4548	3.3
			④	1.3702	2.7		④	1.3475	2.1				④	1.4488	4.1		④	1.4268	2.9
C6	作新台出張所	1.4843	①	1.4680	3.6	1.4411	①	1.4515	3.2	C17	都賀出張所	1.5089	①	1.3854	2.7	1.4436	①	1.3841	1.7
			②	1.4581	4.1		②	1.4413	3.5				②	1.4330	3.5		②	1.3500	1.4
			③	1.4185	3.6		③	1.3967	2.4				③	1.4399	3.7		③	1.4174	2.6
			④	1.3521	2.5		④	1.3190	1.6				④	1.4759	4.5		④	1.4542	3.0
C7	桜木出張所	1.5132	①	1.4359	3.7	1.4428	①	1.3920	2.0	C18	土気張所	1.3881	①	1.2525	1.2	1.3344	①	1.2483	0.4
			②	1.4609	4.2		②	1.4392	3.1				②	1.2465	1.2		②	1.2642	0.8
			③	1.4535	4.0		③	1.4094	2.3				③	1.4318	3.7		③	1.3807	1.7
			④	1.3711	2.7		④	1.3439	1.6				④	1.3061	1.6		④	1.3432	1.3
C8	若葉消防署	1.4829	①	1.4436	4.0	1.4508	①	1.4378	3.4	C20	畑出張所	1.5163	①	1.4050	3.3	1.4317	①	1.3526	1.9
			②	1.3961	3.0		②	1.4016	2.5				②	1.3660	2.7		②	1.3196	1.4
			③	1.4204	3.6		③	1.4023	2.7				③	1.4828	4.8		③	1.4492	3.4
			④	1.4281	3.6		④	1.4349	3.1				④	1.4817	4.9		④	1.4107	2.7
C9	生浜消防署	1.4813	①	1.4308	3.4	1.4226	①	1.3927	2.4	C22	誉田出張所	1.4182	①	1.3562	2.3	1.3766	①	1.3486	1.9
			②	1.3889	3.0		②	1.3563	2.0				②	1.2804	1.5		②	1.3012	0.9
			③	1.4440	4.0		③	1.4093	2.9				③	1.3408	2.1		③	1.3129	1.2
			④	1.3972	3.1		④	1.3806	2.3				④	1.3683	2.6		④	1.3736	1.7
C10	西千葉出張所	1.5309	①	1.4866	5.0	1.4738	①	1.4585	4.0	C23	緑消防署	1.4459	①	1.3380	2.6	1.4171	①	1.3868	2.0
			②	1.4669	4.2		②	1.3762	1.8				②	1.3268	2.1		②	1.355	1.8
			③	1.3902	2.5		③	1.3982	2.0				③	1.3663	2.5		③	1.3793	1.7
			④	1.4849	5.0		④	1.4586	4.1				④	1.3579	3.2		④	1.4017	2.7

※除外した救急隊：C5_高浜救急隊，C12_蘇我救急隊，C13_打瀬救急隊，C21_幕張救急隊，C24_臨海救急隊，F10_行田救急隊



道路区画　　実態圏域

C8_若葉救急隊

図７　若葉救急隊におけるフラクタル次元

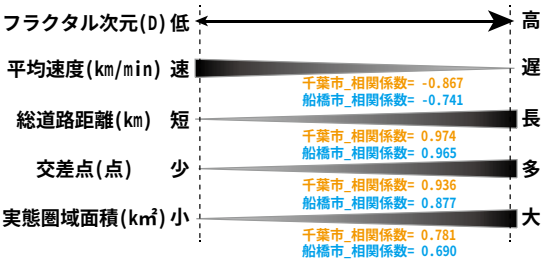
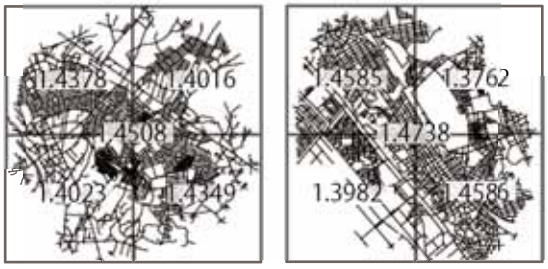


図８　実態圏域内におけるフラクタル次元Dと各要素の増減の関係

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て行っており、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 C8_ 若葉消防署と C10_ 西千葉出張所に注目する（図９）。C8_ 若葉消防署では 4 分割した①で被度は 3.4%、フラクタル次元は 1.4378 を示している。他の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、C10_ 西千葉出張所では 4 分割した④で被度は 4.1%、フラクタル次元は 1.4586 を示している。同じように他の①②③と比



若葉救急隊　　西千葉救急隊

図９　4分割した際のフラクタル次元

較しても被度、フラクタル次元ともに数値は高い。

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言える。

ただし今回の被度において道路幅や交通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作るためには、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基礎資料の作成をすることができた。

《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市消防局、船橋消防局及び（財）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, 根來宏典, 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

《既発表学術論文》

[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 2015. 02

[8]Ohuchi Hirotomo,Kimura Toshihiro,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]Hirotomo 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) Volume 4, Issue 3, 2016（掲載決定）