

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

- 船橋市の救急搬送とフラクタル次元との関係性 -

日大生産工 (院) ○島崎 翔 (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. 研究背景と目的

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。

また、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。

以上により、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行う。

本研究に関する参考文献として、水野ら^[1]は、中世のドイツ都市とイスラム都市の都市図をもとにフラクタル解析が都市街路形態の定量的な解析手法としての有効性を示した。

牧ら^[2]は、微分フラクタル次元を用いて基本パターンによるシミュレーションならびに実道路網への適用を試み、基本パターンによるシミュレーションでは、微分フラクタル次元によって道路網の特徴である形状の違い、密度の違いを見ることができるとを示し、微分フラクタル次元によって道路網の特徴が示されることを明らかにした。

2. 既発表論文

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^[6]。

さらに船橋市を対象とし、道路網のフラクタル次元と、救急車両の平均移動距離や平均速度の関係について解析することで道路網形態の複雑性が救急搬送に及ぼす影響についての分析を行った^[7]。

また、千葉市における実態圏域の縮尺と形状の相違がフラクタル次元に与える影響を把握し、これらと実態圏域との関係性による道路網形態のフラクタル次元と救急搬送との相関を確認した^[8]。

以上の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、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考察を行う。



図1 研究対象地域

*1 フラクタル次元は、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は、(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 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。

Correlation between existing area based on ambulance transport and fractal dimension of road network form
-Relationship of the ambulance and the fractal dimension analysis in Funabasi City-
Sho SHIMAZAKI, Toshihiro KIMURA, Takashi KUROIWA and Hiroto OHUCHI

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を構築する際の分析手法としての有効性を検証する。

3. 研究概要

研究対象地域である千葉県船橋市は2007年4月1日よりWebGIS・GPSを利用した救急医療システムを運用している(図1)。

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27087件の事例を有効資料として取り扱っている。記録は月日、出動隊名、覚知時分、現場到着時分、現場出発時分、医療現場到着時分、帰署時分等が記載されている(表1)。

表1 救急出動に関する記録

年月日	覚知時分	現着時分	現発時分	到着時分	帰署時分
2009/1/1	0:32	0:42	1:01	1:26	2:01
2009/1/1	1:59	2:04	2:18	2:25	3:01
2009/1/1	10:03	10:09	10:21	10:24	10:41
2009/1/1	10:41	10:44	11:06	11:13	11:56
2009/1/1	12:31	12:37	12:47	13:13	14:23
2009/1/1	14:22	14:30	14:53	15:18	16:06
2009/1/1	16:06	16:11	16:32	16:36	16:54
2009/1/1	19:34	19:44	19:58	20:17	21:04
2009/1/2	4:49	4:59	5:28	5:33	6:01

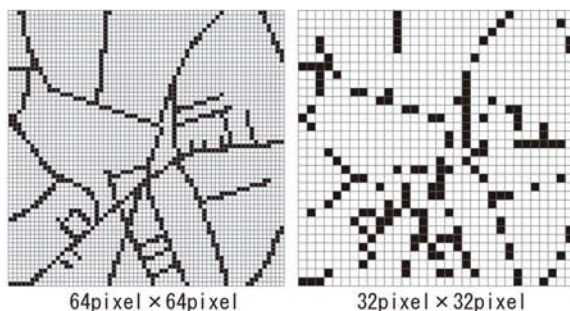


図2 ボックスカウンティング法(例)

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 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R²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。

5. 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*4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、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(図3)。

①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。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*5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。

(I) 各救急隊で一律の領域・縮尺の解析範囲(図5) 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5_北救急隊2.184×2.184[km]の方形を用いる場合。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。

(II) 各救急隊で相違する領域・縮尺の解析範囲(図6) 救急隊ごとに実空間の搬送領域(同心円状)の実態圏域と、それらを包含する方形の最小面積の範囲を解析する。

④実態圏域内におけるフラクタル次元と交差点数、面積などの要素との関係性についての分析を行う。

また、行田救急隊については、広域における都市公園施設(0.119[km²])により圏域内に道路網が形成されていないことから本稿では除外した。

6. フラクタル次元と実態圏域との相関

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のとおりまとめる。

6.1 実態圏域とフラクタル次元についての考察[解析範囲(I)](図7)(表2)(表3)

フラクタル次元が高いほど総道路距離は長くなり、交差点の数が多くなる。さらに、救急車両の平均速

*5 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、平成21年1月1日~12月31日の出動に関する全27087件(同時出動を含む)を扱います。

*6 ArcGISは、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、出動時間等の救急搬送に関連するデータは既発表論文[7]の田島・大内らによるデータを扱っている。

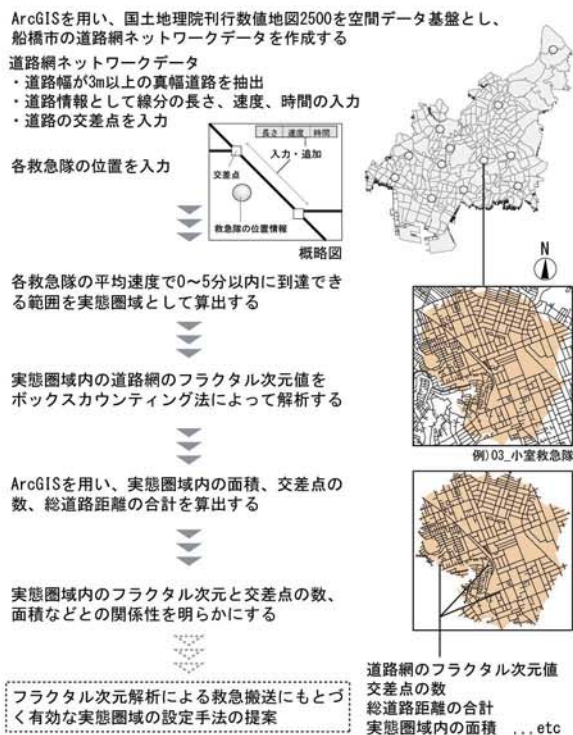


図3 フラクタル次元解析による救急搬送にもとづく実態圏域の設定手法の手順

度は遅くなることがわかる。道路網の密集するほどの交差点が多くなるほど救急車両は曲がる回数が増えるため平均速度が下がると考えられる。これによりフラクタル次元が高いほど道路網形態が複雑に広がっていくと考える。

6.2 解析範囲 (I) (II) のフラクタル次元の比較分析

1) 解析範囲 (I) の結果より、道路網の領域と縮尺を一律四方とした方形区域と実態圏域とのフラクタル次元の比較より、それぞれの救急隊相互間の次元値の大小の関係性は相同であり、フラクタル次元値に大きな差はみられない。

2) 解析範囲 (II) の結果より、救急隊ごとの実態圏域と、それらを包含する方形の最小面積の範囲とのフラクタル次元の比較より、それぞれの救急隊相互間の道路網の縮尺と領域が相違するにもかかわらず、それぞれの救急隊相互間の次元値の大小の関係性は相同であり、フラクタル次元値に大きな差はみ

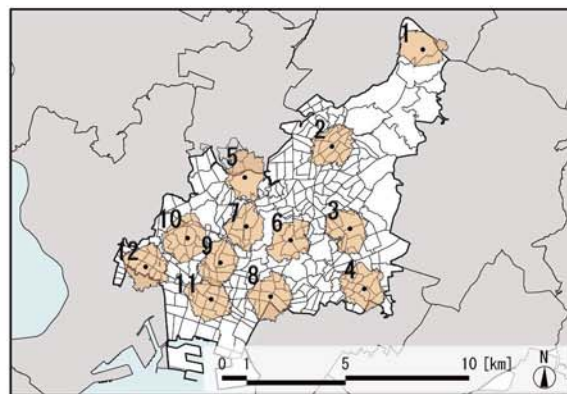


図4 ArcGISによる船橋市における実態圏域図

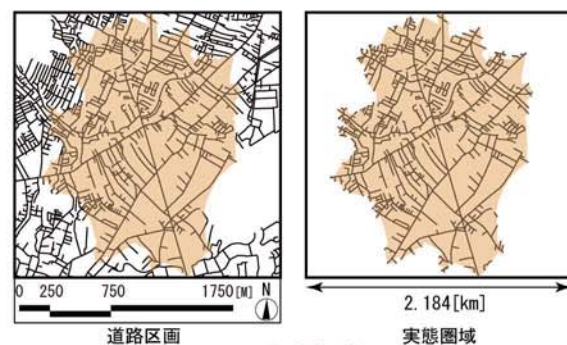


図5 各救急隊の同一の解析範囲での実態圏域および圏域内の道路の抽出

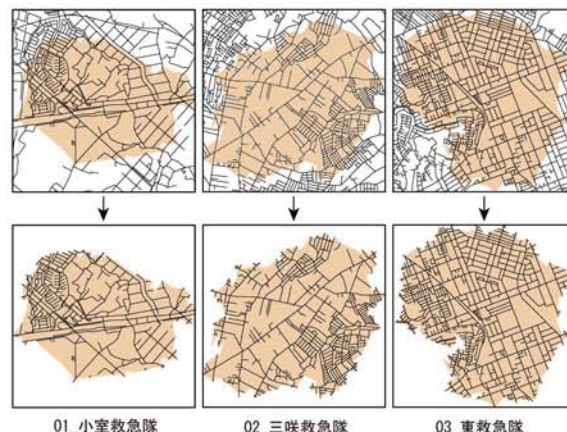


図6 各救急隊の異なる解析範囲での実態圏域および圏域内の道路の抽出

表2 各救急隊における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	フラクタル次元[D]				救急搬送に影響を及ぼす要素			
		(I)		(II)		実態圏域内			
		方型区域	実態圏域	方型区域	実態圏域	速度[km/min]	面積[km ²]	交点[点]	総道路距離[km]
1	小室救急隊	1.4295	1.3825	1.4324	1.3945	0.23	2.031	381	40.600
2	三咲救急隊	1.4743	1.3823	1.4685	1.4019	0.25	2.247	570	47.035
3	東救急隊	1.5090	1.4261	1.5051	1.4550	0.21	2.206	737	59.402
4	三山救急隊	1.4871	1.4330	1.4848	1.4431	0.22	2.423	986	62.561
5	北救急隊	1.4613	1.3979	1.4613	1.3979	0.25	2.309	719	49.498
6	芝山救急隊	1.4673	1.3870	1.4560	1.4059	0.22	2.188	541	47.393
7	特別救急隊	1.4503	1.3771	1.4435	1.3765	0.31	2.038	421	40.700
8	前原救急隊	1.4812	1.4158	1.4847	1.4302	0.21	2.435	813	60.783
9	夏見救急隊	1.4716	1.4137	1.4752	1.4160	0.19	2.132	814	58.378
11	中央第1.2救急隊	1.4919	1.4367	1.5004	1.4595	0.19	2.337	787	62.915
12	本郷救急隊	1.4889	1.4256	1.4881	1.4322	0.18	2.395	769	60.854

※除外：10_行田救急隊

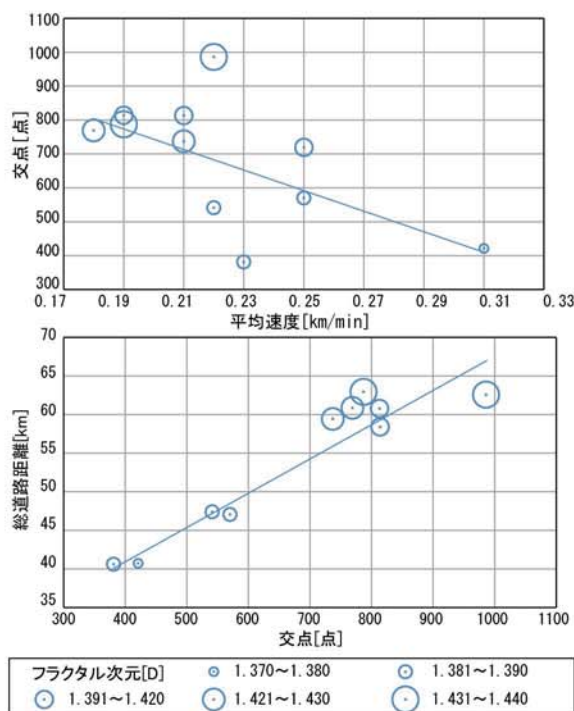


図7 各救急隊のフラクタル次元と各要素の相関関係

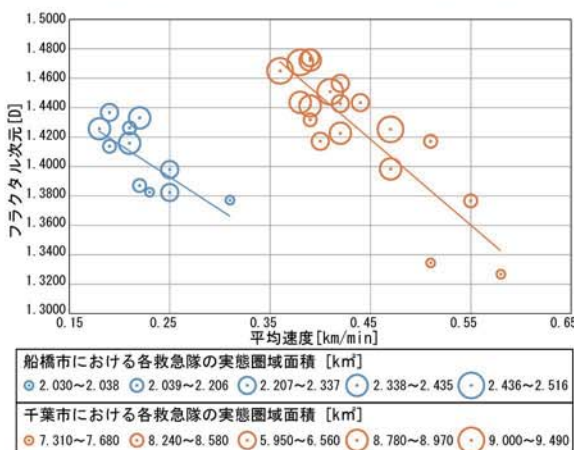


図8 船橋市と千葉市における各救急隊のフラクタル次元と各要素

※8 本稿で用いた千葉県千葉市の救急搬送に関する道路網のフラクタル次元、実態圏域面積、交差点数、総道路距離、救急車両の平均速度等は既発表論文[8]により算出したデータを扱っている。

《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及び(財)救急振興財団の皆様各位に、深く感謝の意を表して御礼申し上げます。なお本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金・基盤研究(C)「防災減災と連動した救急医療施設とドクターカー・ヘリとの連携による医療圏域の構築」(大内宏友、2014～2018年度、課題番号:26420622)の助成を受け、実施したものである。

《参考文献》

- [1] 水野 節子・掛井 秀一:「都市街路形態のフラクタル解析」日本建築学会計画系論文報告集 414巻号 pp 103-108,1990-08-30
- [2] 岡田憲夫・田中成尚:「形態特性からみた道路網整備度の計量指標化に関する研究—フラクタル次元の適用」土木計画学研究・論文集 No.5 1987-11,pp.195-202
- [3] 牧 克敏, 黒川 洗, 石田東生:「微分フラクタル次元を用いた道路整備水準指標に関する研究」土木学会 第46回年次学術研究会, pp.434-435(1991)
- [4] 高安秀樹:フラクタル, 朝倉書店(1986)
- [5] 大内宏友・高倉朋文・横塚雅直:「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
- [6] 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

表3 道路網における各要素の相関係数

	フラクタル次元[D]	速度[km/min]	圏域面積[km ²]	交点[点]	総道路距離[km]
フラクタル次元[D]	1	-0.741	0.690	0.877	0.965
速度[km/min]	-0.741	1	-0.487	-0.610	-0.767
圏域面積[km ²]	0.690	-0.487	1	0.798	0.766
交点[点]	0.877	0.610	0.798	1	0.928
総道路距離[km]	0.965	-0.767	0.766	0.928	1

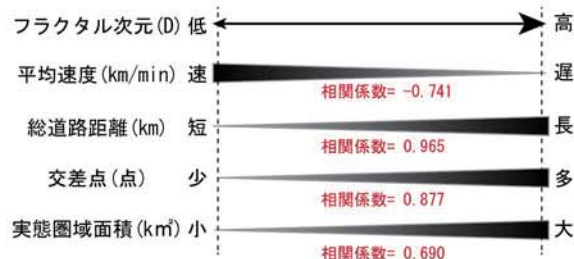


図9 実態圏域内におけるフラクタル次元Dと各要素の増減の関係

られない。

6.3 船橋市と千葉市の実態圏域の比較 (図8)

既往研究^{※8}における千葉市の道路網のフラクタル次元、実態圏域面積、平均速度の比較を行う。

千葉市は船橋市に比べて平均速度が速いことから、面積も対応して、広くなる。両地域それぞれのフラクタル次元が高くなるほど搬送にかかる速度は遅くなる傾向にある。しかし逆に、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。これは、フラクタル次元が高くなるほど、実態圏域内の道路網が面的に広がる傾向性があることがわかる。

7. まとめ (図9)

千葉県船橋市における救急隊の出動記録を用いた救急搬送に基づく有効な実態圏域と道路網形態のフラクタル次元との相関を把握することで、実空間の道路網とフラクタル次元の相関を確認することができた。フラクタル次元と実態圏域内の交点数、総道路距離及び面積、搬送速度は一定の高い相関があるといえる。

以上により、救急医療施設の適正配置の検討をする際の基礎的な指標の提示を行うことができた。

報告集 第22号, pp549-552, 2005.12

- [3] 木村弘・黒岩孝・大内宏友・松原三人:「救急医療システムにおけるドクターカーと救急医療施設との連携よりとらえた適正配置に関する実証的研究」環境情報科学論文集 26, pp.159-164, 2012.12
- [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] 黒岩 孝・宮本和樹・大内宏友・松原三人:「3次元都市空間における街区モデルのフラクタル性に関する研究」環境情報科学論文集, 第16号, pp329-334, 2002. 11
- [7] 小原崇宏・黒岩孝・松原三人・大内宏友:「道路形態の複雑性及び救急搬送への影響に関する実証的研究」ITS交通・電気鉄道合同研究会資料pp.45-47, 2013.11
- [8] 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
- [9] Ohuchi Hiroto, Kimura Toshihiro, Shimazaki Sho, Ohdaira Koji, Kanai Setsuko (2014) "Effective Sphere and Setting of Road Network Patterns by Fractal Analysis Ambulance Movement" IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2014)