

令和 3 年 6 月 16 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K06596

研究課題名(和文)フラクタル次元を用いた明るさや色彩の変化による夜間の道路交通安全に関する研究

研究課題名(英文)Research on safety of road traffic at night using the fractal dimensions

研究代表者

高瀬 達夫 (TAKASE, TATSUO)

信州大学・学術研究院工学系・准教授

研究者番号：10283235

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では運転者の安心感に影響を及ぼす要因のひとつである街路空間の明るさの広がりをフラクタル次元を用いて定量化し、街路空間特性と運転者の意識との関連性について分析を行った。さらに空間の連続性を考慮し、動画から連続的に空間画像を抽出しフラクタル次元を計測して分析を行った。分析の結果、運転者は明るさが空間全体に広がっていることに安心を感じるが、その一方で短い間隔での明るさの変化を望んでいないことが分かった。以上のことから、街路照明の設置については広範囲に明るさが広がる光源を設置したり、街路灯の間に補助照明や反射板等を設置したりすることが良いと思われる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られる道路照明の連続性を考慮した明るさの分布状態を表すフラクタル次元は、これまで道路照明の連続性の状態の変化を定量的かつ簡易的に表すことが難しかったため、主観的な判断に委ねているという大きな問題点を解消する可能性を持っている。また、本研究で扱うフラクタル次元は輝度や照度の連続性の状態を表すことができるため、同一の道路空間でも天候や周辺環境の違いを表現することができる可能性を有している。

研究成果の概要(英文)：In this study, we focused on the driver's sense of security at night. The spread of the brightness in the street space, which is one of the factors affecting the driver's sense of security, is quantified using the fractal dimensions. The relationship between street characteristics and driver's consciousness was analyzed. The results of the analysis showed that the driver was relieved that the brightness was spreading throughout the field of view. however, it was found that they did not want a change in brightness at short intervals. From the above, it seems that it is good to install a lamp with a wide range of brightness for the installation of street lighting, or to install auxiliary lighting and reflectors among street lights.

研究分野：交通計画、土木計画

キーワード：夜間の道路交通安全 フラクタル次元 街路の照度・輝度

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、交通事故の発生件数や負傷者数は減少傾向にあるが、状態別交通死傷者数を見てみると、歩行者対自動車事故の全体に占める割合が高くなっている。また昼夜別交通事故の特徴を見てみると、夜間の死亡事故率は昼間の約3倍となっており、夜間の道路交通の安全性の向上とともに、道路利用者が安心して利用できる環境を整備することが望まれている。

(2) 国土交通省が定めている道路照明施設設置基準には、単路区間の連続照明と交差点や横断歩道等の局部照明の標準値は示されているものの、誘導性については「適切な誘導性が得られるよう、灯具の高さ、配列、間隔等を決定するものである。」と示されているだけで、他の指標と異なり標準的な数値的指標が定められていない。しかし実際の道路空間における道路照明の誘導性は連続照明と局部照明の組み合わせと、標識や街路樹によって生じる不定期な変化によって構成されるため、構造的に複雑であり、評価基準を設定することが難しい。こうしたことから、これまでなされてきた研究は夜間の道路交通の安全性や快適性の向上に必要な道路照明の配置やその明るさについてなされてきたものが多かった。

2. 研究の目的

(1) 本研究は連続する道路照明と局部照明が存在する道路空間において、連続する明るさの点過程系列を波で表し、夜間道路照明の配置によって生ずる明るさの連続性や誘導性の違いが、ドライバーの心理状態にどのように影響を与えているか分析する。そこで本研究では、道路空間における道路の明るさの連続性や分布状態をフラクタル次元を用いた手法により定量化し、分析を行う。

(2) 夜間の様々な状況での道路空間特に歩行者が利用する空間において輝度や照度の計測を行い、道路空間の明るさの特性が歩行者に与える安全・安心について分析を行う。

さらに、夜間時に運転者が感じる安心感に着目し、輝度によって表される明るさと、道幅等の道路構造といった要素が、運転者が街路を運転して感じる安心感を調査した結果をもとに、運転者の安心感に影響を及ぼす要因を分析する。

3. 研究の方法

(1) 本研究では歩行者と運転者それぞれの視点から分析を行ったが、まず歩行者の利用空間として分析対象とする街路空間は、図1に示すような幹線道路や生活道路、大学構内の通路など道路構造や樹木の有無等環境の異なった街路を分析対象として選定し、積雪や晴曇といった天候の異なった街路といった状況の異なった時点での観測を行った。

そして各対象空間において、路面輝度や鉛直面照度等を測定したが、鉛直面照度の測定にあたっては照度計 150cm の高さに固定することができる三脚に取り付け、2.5m 間隔で路面幅の中央を測定点の位置として測定を行った。また、路面輝度は路面幅の中央を測定点として測定を行った。さらに、測定されたデータをもとに街路空間ごとの平均値、最大・最小値、均斉度等を求めた。なお、測定の際に照度計は KONICA MINOLTA T-10A、輝度計は KONICA MINOLTA LS-150 を用いた。



図1 歩行者利用の街路空間の例



図2 様々な街路空間の例

(2) 次に運転者の視点から分析対象とする街路空間は、長野市内の図2に示すような一般道や生活道路、住宅街の街路を分析対象として選定することとした。分析対象街路空間の選定の基準

として、本研究では夜間照明の連続性を考慮するため、2車線の道路で、1km以上のカーブの少ない直線的な街路を選定した。そして各対象街路空間において、一般的な乗用車を用いて速度約30km/hで走行中の車内より路面からの高さ約110cmに三脚で固定したビデオカメラ（SONY DCR-CX270V：有効画素数（動画）223万画素）を用いて撮影を行った。撮影は降雨や積雪のない晴れの日で、交通量がほとんどない休日の23時から1時の間に行っている。

（3）撮影した映像を用いて空間内の明るさの分布状態を定量化し分析を行うためには、静止画像を取り出す必要がある、本研究では街路空間の連続性を考慮しつつ空間内の明るさの分布状態の変化を細かくとらえるため、1秒間隔で静止画像を抽出することとした。これらの抽出した画像データをもとに明るさの分布状態を分析するために、まず各画像は画像内の各画素のRGBそれぞれに256段階（0～255）の階調値が存在するカラー画像であるため、明暗情報のみの256段階のデータであるグレースケール画像に変換した。

次に得られた階調値から輝度値への変換を行ったが、変換を行う際には複数地点を抽出し、実際に輝度計を用いて輝度値を求め、画像上の階調値との対応関係から推定式を作成して用いた。

さらに、フラクタル次元を求めるためには、画像を明暗の二値化する必要があり、図3に示すようにある一定の輝度より明るい箇所を白色に、その輝度より暗い箇所を黒色に変換することとした。この二値化の際には、“明るい”と“暗い”を分ける基準となる輝度を、明確に決めることが重要である。本研究では、道路照明施設設置基準の前方に障害物がないことを確認するのに必要な平均路面輝度から、二値化する輝度の基準を $1.0\text{cd}/\text{m}^2$ と設定した。次に画像全体を解析範囲として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した。なお、解析ソフトはimageJを使用し、白い部分（輝度 $1.0\text{cd}/\text{m}^2$ 以上の明るさ）をカウントした。図4は算出したフラクタル次元が最小値と最大値となったときの画像およびフラクタル次元Dの値を示す。



図3 二値化前後の空間画像

D=1.076

D=1.610

図4 フラクタル次元の最大・最小値の画像

（4）フラクタル次元を用いて定量化した街路空間特性と運転者の安全・安心に意識との関連性を分析するために、運転者や歩行者の意識調査を行った。被験者として大学生23名にヘッドマウントディスプレイ（GOOVIS G2）を用いて自分で車を運転していると想定し、それぞれの街路の映像を見てもらった直後に、調査項目（安心感、快適性、見えやすさ、街灯の間隔、眩しさや闇だまり等）9項目について回答してもらった。また、映像を見る実験を行う際には、外部からの影響を受けないよう留意して行っている。また、歩行者については大学生26名に分析対象区間を実際に歩行後、街路空間ごとに安全・安心に関する印象、街路照明の間隔の適切性、闇だまりや眩しさの有無等の項目について評価してもらった。

これらの結果をもとに、道路利用者の意識調査と街路空間の特徴との関連性分析を行った。

4. 研究成果

（1）歩行空間として分析対象とした街路空間では、基本的には街路灯を中心として明るさが広がっていることが判ったが、平常時に比べて積雪時は不規則な結果が得られた。図5は例として試験的に行った街路空間での鉛直面照度の測定結果を示したものであるが、この結果から明らかのように、たとえ同一空間であっても積雪時には樹木に着雪した雪による反射の影響で、照度の極大値がより大きな値となっているため、最大値と最小値の差が大きくなっている、すなわち明暗がよりはっきりしていることがわかった。

次に歩行者の意識調査結果と照度および道路構造を用いて、安心評価モデルを構築した。目的変数を歩行時の「安心」の項目とし、説明変数として区間ごとの平均路面照度、最大路面照度、最小路面照度、照度均斉度（路面照度の最小値÷路面照度の平均値）、平均鉛直面照度、最大鉛直面照度、最小鉛直面照度、路面照度3lx以上の割合、路面照度1lx以下の割合、道路の幅などを用いて重回帰のモデル分析を行った。モデルの説明変数については試行錯誤の結果、表-1に示した項目が選ばれた。モデル分析の結果、歩行者の安心感に特に影響を及ぼしているものは「路面照度の1lx未満の割合」と均斉度（均一性を表す指標）であることが判った。このことから、街路灯間に小さな照明や足元照明を設置したり、縁石に反射板等を設置したりすることによって歩行者の安心感を高めることができるとことがわかった。しかしながら、歩行空間での研究を進めていくうえでフラクタル次元の導入の検討を行ったが、歩行者の街路空間は距離が短いため、明るさの連続性によってできる波の数が非常に少ないことから導入することが難しかった。

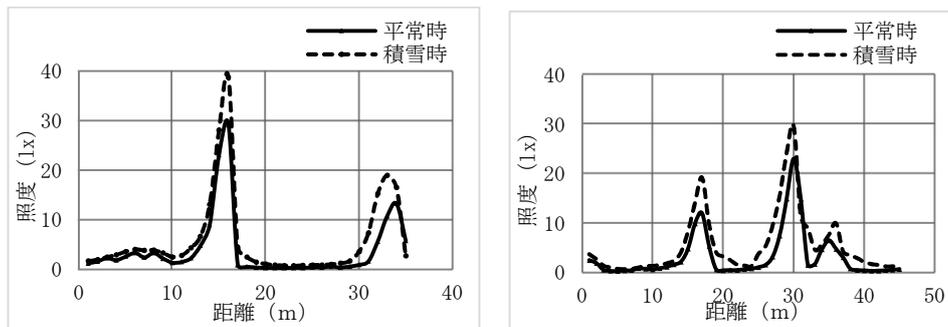


図5 街路空間における鉛直面照度測定結果の例

表1 歩行者の安心度評価モデル推定結果

	係数	標準誤差	t	P-値
切片	2.876	0.489	5.88	0.000
道幅	0.154	0.061	2.53	0.012
照度最小値	0.415	0.251	1.66	0.099
均斉度割合 (0.2以上)	0.011	0.007	1.62	0.107
路面照度 (1lx未満)	-0.033	0.005	-6.90	0.000

N : 208、R² : 0.342

(2) 各街路のフラクタル次元を算出して得られた結果をもとに平均値等を求めた値を表2にまとめた。また映像から得られる「100mあたりの街灯の数」、「歩道の有無」の項目も追加した。なお、一般道③と商店街①については動画内に信号待ちの区間があったため、その区間のデータは取り除いている。「最大最小差」はフラクタル次元の最大値から最小値を引いた値で、「標準偏差」はフラクタル次元のばらつきを示す値である。また、「山と谷の数/分」は1分あたりのグラフの山と谷の数を示す値であり、値が大きいほど走行中のフラクタル次元の増減の頻度が高くなる。これら3つの項目間に高い相関は見られず、これら項目は図6のグラフの波形の特徴を表す指標になると考えられる。

さらに図6に、街路の1秒毎のフラクタル次元の推移を示した。フラクタル次元の値で特徴的な点を示した点は、一般道の街灯の数は商店街や住宅街と比べて少なく、街灯のある場所でフラクタル次元がほぼすべて山の点と一致するとなる特徴が見られるが、商店街と住宅街では、そのような特徴は見られなかった。これは、商店街と住宅街では、多くの街灯が狭い間隔で並んでいるため、街灯のある場所よりも、街灯と街灯に挟まれた区間の方が、明るさが広がっていたためだと考えられる。また、商店街と住宅街では道幅が狭かったり、歩道に壁があったりするなど、ヘッドライトの光が反射する区間が多く存在していたことが影響したと考えられる。

表2 分析対象の各街路空間のフラクタル次元と街路の特徴

	一般道①	一般道②	一般道③	商店街①	商店街②	住宅街①	住宅街②
平均値	1.378	1.481	1.326	1.429	1.407	1.380	1.398
最大値	1.560	1.572	1.504	1.610	1.525	1.530	1.462
最小値	1.076	1.319	1.155	1.249	1.237	1.212	1.257
最大最小差	0.484	0.253	0.349	0.361	0.288	0.318	0.205
標準偏差	0.114	0.046	0.168	0.066	0.052	0.089	0.037
山と谷の数/分	28.6	26.8	37.9	27.8	35.1	32.5	35.1
100mあたりの街灯の数	0.89	0.86	0.16	2.92	2.20	1.50	2.56
歩道の有無	有	有	有	有	無	無	無

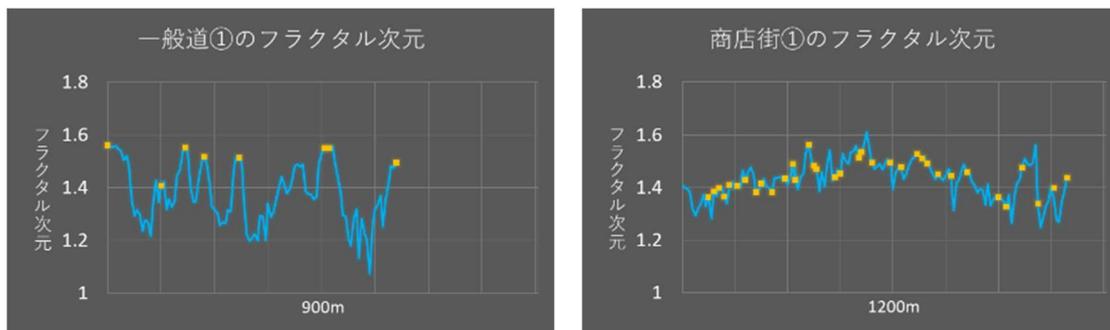


図6 フラクタル次元の推移と街灯（青線：フラクタル次元，黄色：街灯の位置）

そして、歩行者と同様に運転者の安心度評価モデルを作成した。モデルの推定結果を表3に示したが、モデルの説明変数については基本的に表2に示した項目を用いた。そして多重共線性等を考慮した結果、表3に示した項目が選ばれた。今回得られた結果より、運転者は明るさが空間全体に広がっていることに安心を感じるが、その一方で短い間隔での明るさの変化を望んでいないことが分かった。以上のことから、街路照明の設置については広範囲に明るさが広がるランプを設置したり、街路灯の間に補助照明を設置したりすることが良いと思われる。

表3 安心度評価モデルの推定結果

	回帰係数	標準誤差	t 値
切片	-0.452	4.621	-0.098
フラクタル次元の平均値	3.715	2.663	1.40
1分あたりの山と谷の数	-0.076	0.034	-2.22
100mあたりの街灯の数	0.326	0.097	3.34
歩道の有無	0.425	0.216	1.97

N : 161、R² : 0.33

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 高瀬達夫, 中俊太郎
2. 発表標題 夜間街路における明るさの空間的広がりが運転者に与える影響に関する研究
3. 学会等名 令和2年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高瀬達夫, 鈴木星也, 楊楊
2. 発表標題 夜間街路空間の明るさが運転者の安心感に与える影響に関する研究
3. 学会等名 令和元年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高瀬達夫, 鈴木星也, 増澤雄大
2. 発表標題 明るさの変化による夜間の道路交通の安全・安心に関する研究
3. 学会等名 土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------