

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 22 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26241029

研究課題名(和文)フラクタル日除けによるパッシブな都市型クールアイランド創生実験

研究課題名(英文)Passive urban cool island experiment using fractal sunshade

研究代表者

酒井 敏 (Sakai, Satoshi)

京都大学・人間・環境学研究科・教授

研究者番号：30144299

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,900,000円

研究成果の概要(和文)：フラクタル日除けにより、都市の中にクールアイランドが創れることを示した。この方法は、緑化などのように植物に頼らず、また、電気や水などの資源も使わず、都市が熱慣性の大きなコンクリートやアスファルトに覆われているという都市そのものの特性を生かして環境改善を行うものである。その結果、夏の晴れた日中には、対照区に比べて、フラクタル日除け下は気温が最大3度低下した。これは、空気の流動性が高く、非常に混合しやすい条件下で、20m×20mというそれほど大きな日除けではないということを考慮すると、極めて大きな効果であると言える。

研究成果の概要(英文)：It is shown that cool islands can be created in the city using fractal sun shade. This method does not rely on plants like greening, does not use resources such as electricity and water, and utilizes the characteristics of the city itself that the city is covered with concrete and asphalt with large thermal inertia and improves the environment. As a result, during the sunny summer day, the temperature lowered by 3 degree at the fractal sun shade maximum compared to the control group. Considering that it is not so big sunshade of 20 m × 20 m under conditions of high air turbulence and extremely easy mixing, it can be said that it is an extremely large effect.

研究分野：地球流体力学

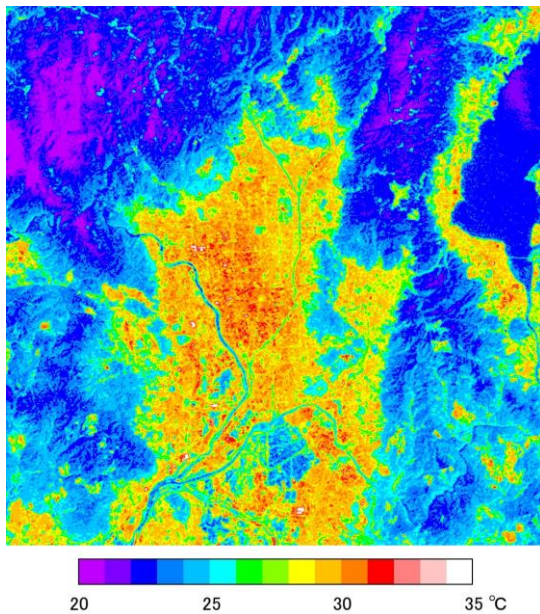
キーワード：環境技術 ヒートアイランド クールアイランド フラクタル日除け

1. 研究開始当初の背景

近年、ヒートアイランド対策として、都市の緑化などが精力的に行われているが、人間が日常的に活動する空間に対する対策は非常に困難である。それは都市の利便性を損なわずに十分な植生を都市空間に導入することが難しいからである。この問題を解決するためには、単に植物を増やすのではなく、ヒートアイランドの原因を的確に分析し、植生と都市構造物との特性の違いを見極めた上で、効果的な対策を立てる必要がある。

この点で、ヒートアイランドの原因に関しては一般に大きな誤解がある。もともとヒートアイランド現象は、夜間の現象であり、昼間の都市部の気温は高くない。これは、ヒートアイランド現象の研究者には旧来よりよく知られている事実であり、本研究代表者・分担者をはじめとする多くの研究者による最近の観測でも、これは現在でも変わらない。この理由は大気力学的に明白で、昼間は強い日射による対流により、地上約1kmの厚さの大気境界層内は、温位がほぼ一樣になるためである。

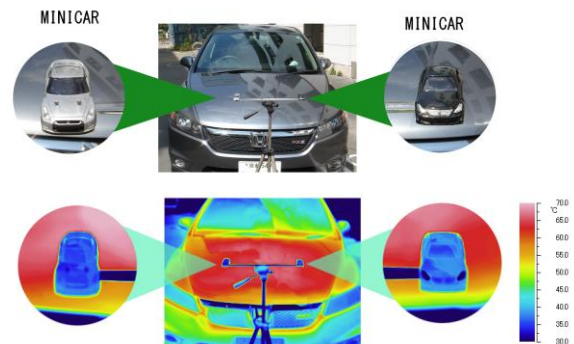
昼間の都市部が暑く感じる理由は、主に気温ではなく強い輻射熱である。人工衛星観測される地表面温度は明らかに都市部が郊外に比べて高い(下図)。



夏のアスファルトの上などでは強い輻射熱により、その上に立つ人が感じる体感温度は、計算上数度高くなり、非常に暑く感じるはずである。これが人工排熱の影響ではないことは、エアコンの室外機よりも路面温度のほうが高いことからわかる。また、水を蒸発させて都市表面を冷やすためには、降水量を超える水が必要であり、水を蒸発させることで解決できる問題ではない。

この都市部と郊外の地表面温度差は、地表面を覆う面の大きさに起因する。直射日光下で、1m程度の大きさを持つ自動車の表面は

非常に高温になるが、同じ条件下でも、植物の葉っぱと同じくらい大きさのミニカーは熱くならない(下図)。



これは、葉面過程および伝熱工学の研究者には、良く知られた事実であるが、それ以外の専門家には、かなり意外な事実である。

したがって、直射日光を樹木の葉っぱ程度の小さな小片で遮る構造にすれば、表面温度を上げずに地表面を蔭にできる。ただし、その小片を密に並べてしまうと、大気への放熱効果を妨げ、結局表面温度を上げてしまう結果となる。そこで、小さな小片で直射日光を遮りつつ、風通しを確保して高い放熱効果を得るために、シェルピンスキー四面体型のフラクタル構造にしたものが、フラクタル日除けである。

フラクタル構造は植物の基本的な構造として知られているが、そのフラクタル次元が2に近いということが、研究代表者の研究によりわかっている。シェルピンスキー四面体はフラクタル次元が2の立体であり、この構造を持つフラクタル日除けは、実際の植物に近い形を持っているといえる。

これまで、都会に比べて郊外が涼しいのは、主に植物の蒸散効果によると考えられてきたが、蒸散効果がなくても、葉っぱのような構造で地表面が覆われている、という幾何学的な形状だけの効果で、地表面温度を大幅に低下させ、都市部の環境改善に大きな効果が期待される。

2. 研究の目的

都市のヒートアイランド対策として、緑化などのように植生に頼らず、また電気や水などの資源も使わず、都市そのものの特性を生かした対策法を確立することを目的とする。具体的には、熱慣性の大きな都市モデルにフラクタル日除けを設置することで、フラクタル日除けが都市の表面温度だけでなくフラクタル日除け下の局所的な気温も低下させ、人工物だけで都市内部に植生に覆われた公園のようなクールアイランドを創りだせることを実証する。

さらに、フラクタル日除けの効果を数値計算によって予測できるようにするため、実験観測より、フラクタル日除けを設置した場合

の熱特性、および乱流特性のパラメタを求める。

3. 研究の方法

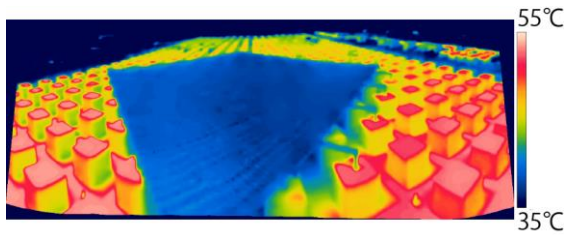
都市スケールモデル COSMO の中にフラクタル日除けを数百 m² 規模で設置し（下図）、モデル都市を人工的な「葉っぱ」で覆うことで、周囲に比べて地表面温度だけでなく、昼間の気温も低い状態、すなわちクールアイランドを創りだす。COSMO は 100m×200m のコンクリート基盤の上に 1.5m 角の立方体のコンクリートブロック 512 個を並べたものである。



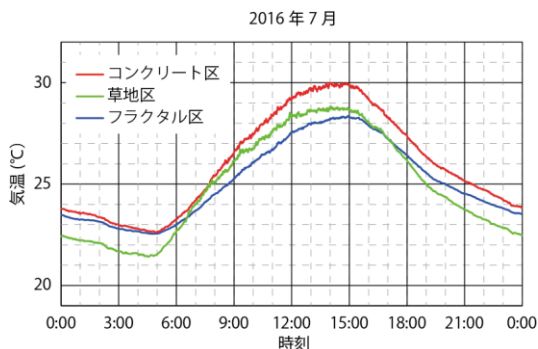
さらに、このような対策の効果を数値計算によって予測できるようにするため、フラクタル日除けを設置した場合の熱特性、および乱流特性の予測方法及び必要なパラメタを求める。

4. 研究成果

下図にフラクタル日除け上面の表面温度を示す。この時の気温は約 32℃、風速約 3m/s である。明らかに周囲のコンクリートに比べて日除けの表面温度が低いことがわかる。

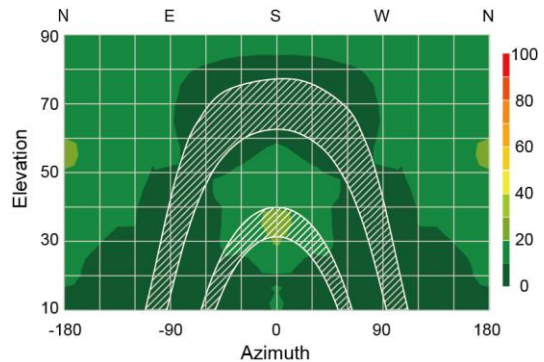


地上高 75cm（コンクリートブロックの高さの半分）での気温をコンクリート区、草地区、フラクタル区について下図に示す。

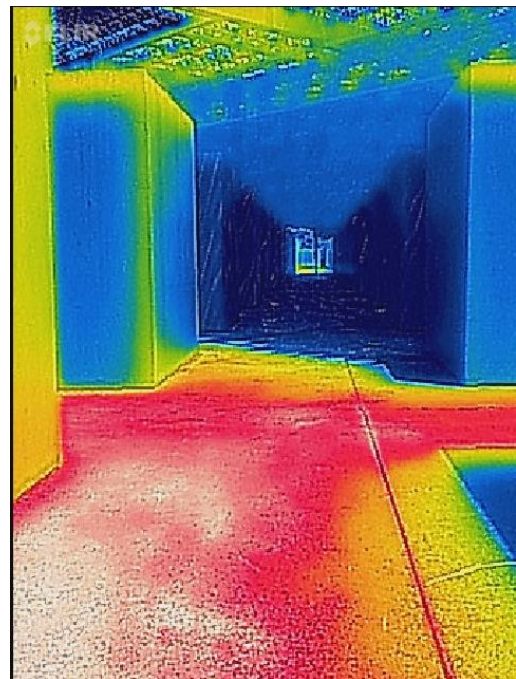


これは 2016 年 7 月の日変化の特別平均である（天候を考慮せずに平均）。これを見ると、コンクリート区が常に最も気温が高く、草地区とフラクタル区を比べると昼間はフラクタル区のほうが低く、夜間は草地区のほうが高い。日較差はフラクタル区が最も小さい。これは、フラクタル日除けが直射日光だけでなく、地表面の放射冷却も防ぎ、かつ、コンクリートの熱慣性が大きいことによる。

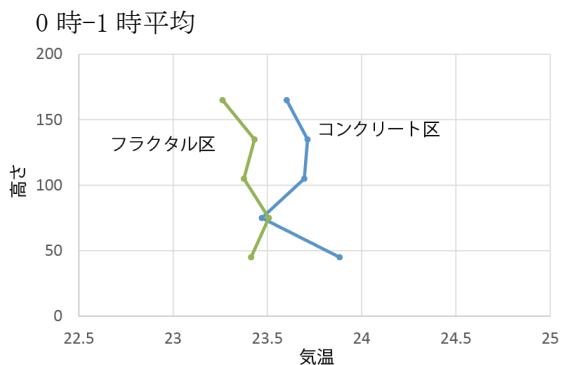
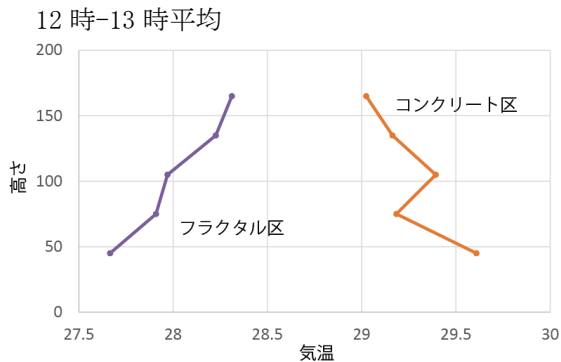
当サイトに設置したフラクタル日除けは、南中時に遮光率が最大になる層と、午前中の東日と午後の西日に対して最大遮光率を持つ層の 3 層構造である。3 層合わせた遮光率（計算値）を下図に示す。



夏季の日射に対してはおおむね 10%以下の透過率であり、日除け下に到達する日射量は最大でも数 10W/m² 程度となる。その結果、日除け下のコンクリート表面は日中に気温よりも低い温度を保つ。下図はフラクタル日除け下のコンクリート表面の温度分布である。日除けの外との違いは顕著である。



気温の鉛直分布をフラクタル区とコンクリート区で比したものが下図である。



それぞれ、7月の特別平均をさらに12時から13時(昼)、および0時から1時(夜)で平均をとったものである。夜間はコンクリート区とフラクタル区の差は小さく、どちらも地表面から離れるにしたがって気温が若干低くなっており、地表面から大気に顕熱輸送が起こっていることがわかる。これに対して、昼間は気温勾配が大きく、その勾配の向きはフラクタル区とコンクリート区で逆である。すなわち、コンクリート区では地表面から大気に熱が放出されているのに対して、フラクタル区では逆にコンクリートが吸熱していることがわかる。

このように、フラクタル日除けで、都会のコンクリートを覆うことで、植物に覆われた郊外に近い環境を実現し、さらに、都会のコンクリートの熱慣性が大きいことを使うことで、都会の昼間の気温をさらに下げることができることが示された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計5件)

酒井敏、菅原広史、三坂育正、成田健一、清田誠良、本條毅 フラクタル日除けによるクールアイランドの創出 その①実験概要と気温特性 日本建築学会 2016年8月26日

菅原広史、酒井敏、三坂育正、成田健一、清田誠良、本條毅 フラクタル日除けによ

るクールアイランドの創出 その②日除けの熱収支と放熱特性 日本建築学会 2016年8月26日

酒井敏、菅原広史、三坂育正、成田健一、本條毅、清田誠良、仲吉信人 コンクリート + フラクタル日除け = クールアイランド 日本地球惑星科学連合大会 2017年5月24日

酒井敏、菅原広史、三坂育正、成田健一、本條毅、清田誠良、仲吉信人 フラクタル日除けによるクールアイランド実験 日本気象学会 2017年5月

酒井敏、三坂育正、成田健一、本條毅 フラクタル日除けによるクールアイランドの創出 その③日除け下の熱収支 日本建築学会 2017年9月1日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

酒井 敏 (SAKAI, Satoshi)

京都大学大学院人間・環境学研究科・教授
研究者番号: 30144299

(2) 研究分担者

成田 健一 (NARITA, Kenichi)

日本工業大学工学部・教授
研究者番号: 20189210

本條 毅 (HOMJO, Tsuyoshi)

千葉大学大学院園芸学研究科・教授
研究者番号: 60173655

清田 誠良 (KIYOTA, Yoshinobu)

広島工業大学工学部・教授
研究者番号: 70169960

三坂 育正 (MISAKA, Ikusei)

日本工業大学工学部・教授
研究者番号: 30416622

菅原 広史 (SUGAWARA, Hirofumi)

防衛大学校応用科学群・准教授
研究者番号: 60531788

仲吉 信人 (NAKAYOSHI, Makoto)

東京理科大学理工学部・講師
研究者番号: 90706475