

## 地表面のフラクタル形状と大気に対する熱伝達率

## Fractal geometry of the ground surface and its heat transfer coefficient

# 酒井 敏 [1]; 立木 秀樹 [2]; 野村 尚史 [3]; 飴村 尚起 [4]

# Satoshi Sakai[1]; Hideki Tsuiki[2]; Naofumi Nomura[3]; Naoki Amemura[4]

[1] 京大・人環; [2] 京大・人環; [3] 地球研; [4] 京大・人環

[1] Human and Environ., Kyoto Univ; [2] Kyoto University; [3] RIHN; [4] Human and Environmental Studies, Kyoto Univ

ヒートアイランド現象の研究の歴史は長く、1833年のHowardの研究に始まるとされている。当初、ヒートアイランドの主因は都市表面の熱慣性が郊外と異なることにあると考えられていた。この場合、大気と地表面の日較差はともに都市部で小さく郊外で大きくなる。ところが、1970年代になってリモートセンシングにより地表面の温度が計測できるようになると、地表面の昼間と夜間の温度差は郊外よりも都市部のほうが大きいことが明らかとなった。これは、単純に解釈すれば都市部の表面のほうが熱慣性が小さいことを意味し、熱慣性モデルによる説明が破綻した。その後、熱慣性以外にヒートアイランド現象の原因を求める研究が盛んになされてきたが、主な原因を特定するには至っていない。

我々は2004年から2006年まで京都市内の気温観測を行い、やはり都市表面の熱慣性が主要原因であると結論付けた。これは、一見、上記のリモートセンシングの結果と矛盾する。そこで、地表面の形状によって、大気に対する熱伝達率が大きく異なることを示し、この違いを考慮すれば、リモートセンシングの結果が熱慣性を反映したのではなく、熱伝達率を反映したものであり、都市部の熱慣性が小さいことを意味するものではないことを示す。

まず、物体表面の熱伝達率は伝熱工学の分野で詳しく調べられており、ヌッセルト数がレイノルズ数の関数として様々な形状に対して実験式が得られている。レイノルズ数に対する依存性は形状によって多少異なるが、直射日光のように一様な放射環境下に置いた場合、実験式に従えば、その物体の表面温度と周囲の空気の温度の差  $T$  は、物体の特徴的な大きさ  $L$  の 0.2-0.5 乗に比例する。すなわち、物体が大きいほどその表面温度は高くなる。この結果は、正確に制御された風洞実験の結果なので、この結果が自然の風の中でどの程度成立するか、大きさの異なる黒色塗装したアルミ板を直射日光下において、温度上昇を計測した。その結果、温度上昇  $T$  は大きさ  $L$  の 0.3 乗程度に比例し、数 cm の板では 10 度程度であるのに対して、1m の板では 30 度程度に達することがわかった。すなわち、地表面を構成する物体の大きさによって、その表面温度は大きく変わる。実際、都市部を構成する表面は 10m 以上の大きさを持つのに対して、郊外では木の葉に代表されるように数 cm の大きさであり、これだけで  $T$  は数倍になることがわかる。

ただし、この結果は独立した一つの物体に対する特性であり、小さな物体も密着して集合させれば、大きな物体と変わらない特性を持つことが想像される。そこで、どのような並べ方が最も全体として熱伝達率を小さくするか、いくつかの並べ方で実験を行った。実験は、同じ面積で同じ数の物体を、太陽から見たときに隙間なく配置されているように見える様に配置し、その配置によって平均的な温度がどのように異なるかサーモグラフィーを使って調べた。その結果、シェルピンスキー四面体の構造を持つ配置が最も表面温度が低くなった。

シェルピンスキー四面体は、シェルピンスキーのガスケットを 3 次元的にしたもので、フラクタル次元は 2 である。フラクタル次元が 2 であるため、3 次元空間内で見ると極めて「希薄」な構造をしており、多くの隙間を有する一方、ある方向から見ると、2 次元面を完全に覆いつくす。すなわち、太陽光を完全に遮ることが出来る一方で、隙間だけの構造をしている。

フラクタル構造の放熱効率がよい理由は、小さな受光面が 3 次元空間にばら撒かれており、大量の空気に短時間で熱伝達できることと、受光面間の隙間がいろいろなサイズを取ることで、乱流拡散に有利に働いているものと思われる。このようなことから、10m 単位の表面を持つ都市部と、数 cm 程度の表面がフラクタル分布した郊外では、表面の熱伝達率が数倍程度異なると考えられ、このことが昼間の表面温度の違いとして観測されているものと考えられる。