

## 地表面のフラクタル次元と乱流拡散

## Fractal Dimension of the Ground Surface and the Turbulent Mixing

# 酒井 敏 [1]; 飯澤 功 [2]; 大西 将徳 [3]; 中村 美紀 [4]; 光永 誠 [5]

# Satoshi Sakai[1]; Isao Iizawa[2]; Masanori Onishi[3]; Miki Nakamura[4]; Makoto Mitsunaga[5]

[1] 京大・人環; [2] 京都市立堀川高校; [3] 京大・人環; [4] 京大・人環; [5] 京大・総人

[1] Human and Environ., Kyoto Univ.; [2] Kyoto Municipal Horikawa High School; [3] Human and Environmental Studies, Kyoto Univ.; [4] Human and Environ., Kyoto Univ.; [5] Integrated Human Studies, Kyoto Univ.

<http://www.gaia.h.kyoto-u.ac.jp/~sakai>

ヒートアイランド循環を考慮していないために、都市部の熱慣性が小さく見積もられている可能性について飯澤他（前の講演）が示した。ヒートアイランド循環の効果が大きく表れるのは夜であるが、昼の現象で、都市部の熱慣性を小さく見積もる原因がもうひとつある。それは、昼間の都市部と郊外の地表面温度である。LANDSAT 画像から地表面温度を求めると、都市部は郊外よりも 10 ほど高くなる。都市部の熱慣性が大きければ、表面温度も上がりにくいはずなので、これは都市部の熱慣性がそれほど大きくないためであると考えられてきた。また、郊外では蒸散により表面温度が低く抑えられているとも考えられてきた。しかし、蒸散により太陽エネルギーを吸収するためには、降水量を上回る水が必要であり現実的ではない。さらに、LANDSAT の画像をよく見ると、山の中に表面温度の高い場所が点在していることがわかる。これらの多くはゴルフ場であり、都市部の住宅地並みの温度となっている。すなわち、地表面温度は単に植物で覆われているかどうかではなく、フラクタル的構造をもつ樹木（高木）に覆われているかどうかによって決まっているように見える。

自然の樹木がフラクタル構造をもつことはよく知られた事実であるが、そのフラクタル次元は測定された例がほとんどない。フラクタルが話題になった 1980 年代以降、様々なフラクタル次元が計測されたが、そのほとんどは 2 次元の紙の上で測った次元である。そこで、実際の樹木を 3 次元空間でレーザー 3 次元測量してフラクタル次元を求めた。測定した樹木は京都大学の時計台前の楠木と、同じく京大キャンパス内のケヤキである。楠木は樹齢 70 年以上、台風等で折れた枝を切り落とす以外、特に樹形を整えるための剪定は行っていない。手前の枝の陰になって測定できない部分が生じることを避けるため、複数の方向から測量を行い、それらを総合してフラクタル次元（BOX 次元）を求めた。その結果、楠木とケヤキでは樹形が大きく異なるにも関わらず、どちらもフラクタル次元としてほぼ 2 をもつことがわかった。

フラクタル次元が 2 であることはどのような意味があるのか？まず、樹木は太陽の光を吸収しなければならないので、2 以上の次元が必要である。では、同じ数の葉をランダムに 3 次元分布させた場合と、2 次元フラクタル分布させた場合では何が違うのかというと、空隙の大きさである。ランダムな分布の場合には、2 枚の葉っぱの間の平均距離以上に大きな空隙は存在しないのに対し、2 次元フラクタル分布では極めて大きな空隙が存在する。

これを乱流拡散の見地で見ると、ランダム分布では樹冠の中に小さな渦しか存在できないのに対し、2 次元フラクタル分布では非常に大きな渦が存在できる。乱流拡散において、実質的な拡散速度を決めるのは「大きな渦」であることを考えると、この違いは大きな意味がある。また、これはすべての物理量の拡散に関わる問題である。乱流拡散が重要な意味をもつと思われるものに、熱と水蒸気がある。熱に関しては、このあとの中村他の講演で解説する。

水蒸気に関しては、この大きな拡散が樹冠における遮断蒸発の原因になっている可能性がある。遮断蒸発とは樹冠に降った雨が地面に到達する前に蒸発してしまう現象で、降雨量の数十%が蒸発するという研究もある。フラクタル構造の屋根の下で雨量を計ってみると、外の雨量に比べて 1 層あたり数%から十数%の減少が見られる。実際の樹木の場合には葉面積指数が大きく、葉の数がフラクタル屋根の数倍に相当することを考えると、実際の森林で数十%蒸発するとしても矛盾しない。

このように、地表面のフラクタル次元と、その表面上での乱流拡散は熱や物質の収支に大きな影響を持っている。一方、地表面過程にはまだ解明できていない謎が数多くある。フラクタル形状の周りの乱流拡散は、これらの謎のいくつかを解決するかも知れない。