

サーモグラフによる緑と熱環境の解析

Analysis of Green Effect in Thermal Environment

日野 幹雄*・大橋 正和*・原田 敬志**・金子 大二郎***

by M.Hino, M.Ohashi, T.Harada and D.Kaneko

The temperature decrease in thermal environment by green effect due to latent heat release has been measured and analyzed at two places in Tokyo area ; Tama campus of Chuo University and Kitaterao electric power substation, Kawasaki.

Surface temperature of plant canopy layer was lower about 5℃ compared with the wall temperature of a neighboring building and with temperature of paved road, and was held almost constant irrespective of the temporal changes in humidity and velocity of surrounding air flow.

Temperature of wall and road wetted by pouring water on them decreased to the level of leaf temperature of plant. The fact shows that the green effect is due to the latent heat release by evapotranspiration.

Key words : green effect, thermal environment, temperature decrease, latent heat evapotranspiration, thermograph.

1. 序

土木工学におけるわれわれ水工学研究者の役割は、土木事業に係わる流れの問題の研究であり、従来は河川・湖沼・海岸・港湾を対象として正に「水の力学」の研究を行って来た。しかし、環境・地球温暖化の問題とその解決法・対策が強く求められるようになった現在、土木工学の役割が単にインフラストラクチャーを構築するというのみではなく、それが社会や環境に及ぼす影響を考慮するよう求められていることから、水工学研究者の関心と研究対象を、従来の「水」ないしは狭い意味での「水圏」に止めるべきではないという考え方は、現在では一般にうけいれられつつあるとあって良いであろう。

目的 : さて、自然環境に果す緑・植生の効果の重要性はますます広く認められて来ている。

植生が都市気候に果す効果については、すでに 稲垣・神田・日野(1993)が数値シミュレーションによりその効果の度合いを明らかにしている。本研究は、特に同一の日射条件下で隣接する建築物の壁面温度と植生・森林の表面温度を比較測定することにより、植生の気候緩和効果を実証することにある。

* 正会員 工博 中央大学・総合政策学部・教授 (〒192-03 八王子市東中野724-1)

** 中央大学・総合政策学部・学生

*** 正会員 工修 松江高専・土木学科・助教授

2. 測定

非接触方式の温度計である熱赤外放射温度計は、運動や食事などによる体温変化の計測、火山、火砕流噴出物、温泉地帯の地表温度の計測、変電機、高圧電線、火力発電所の煙突など発熱体の温度計測、室内温度の分布の測定に利用されている。植生に関する測定例も参考文献に示すようにいくつか報告されている。

測定の原理：本計測器の原理は、物体が放出する電磁波の波長が物体温度により異なることを利用するもので、通常的环境温度範囲ではその波長帯が赤外部にあるため、赤外放射温度計と呼ばれる。

使用計測器：本研究に使用したのは、NEC三栄(株)製サーモレーサ TH3102型で計測波長帯は $8\sim 13\mu\text{m}$ 、計測範囲は $-50\sim 250^{\circ}\text{C}$ である。

野外計測の場所：1995(平成7)年8月の快晴の日に、次の二個所で野外実験を行った。

(a) 中央大学・多摩キャンパス

(b) 東京電力(株)横浜市北寺尾変電所

中央大学・多摩キャンパスは、多摩丘陵を開発して作られた多摩ニュータウンの北西部にあり、起伏のある地形を利用し、自然植生を生かして南向きに立地している。

また、測定を行った変電所は、閑静な住宅地の中にあるため景観に配慮し、敷地周囲に生け垣を囲し、変電器も周りを壁面で囲み外観はあたかも一般住宅の一つであるかのようにみえる。しかも、変電器を囲む建物を模した壁面に隣接して植込みが設けられている。ただし、植生移植後数年を経過しているが、繁茂度は未だ充分でない。

3. 測定結果の概略

(a) 中央大学キャンパスでの測定：

図-1はある時刻のサーモグラフィの生の画面のカラープリントである。建物(1号館)の西向きの壁面と隣接する森林の表面温度の違いが明確に示されている。図-2はサーモグラフィから読みとった壁面温度と森林表層葉面温度と、森林内の数カ所の地点での地上約1.5mでの大気温度の経時変化を示す。

(b) 変電所敷地での測定：図-3は、植生の繁茂度を示した測定対象の普通写真である。

移植後の年数も少く、生育環境も良くないためか、繁茂度は悪い。図-4は図-3に対応するサーモグラフィの生画像である。図-5、6は壁面・植生の代表点の温度の経時変化図である。午後1時頃を境に午前・午後の太陽位置が変わり、日向・日陰位置が逆転した。

RG:1 ε :1.00

95/08/18

11:03:57

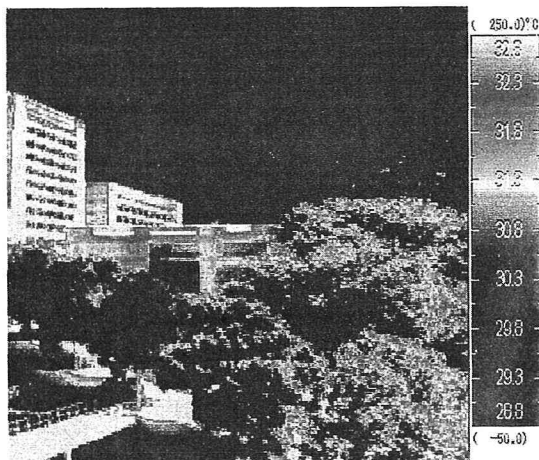


図-1 サーモグラフ画像(中央大学)

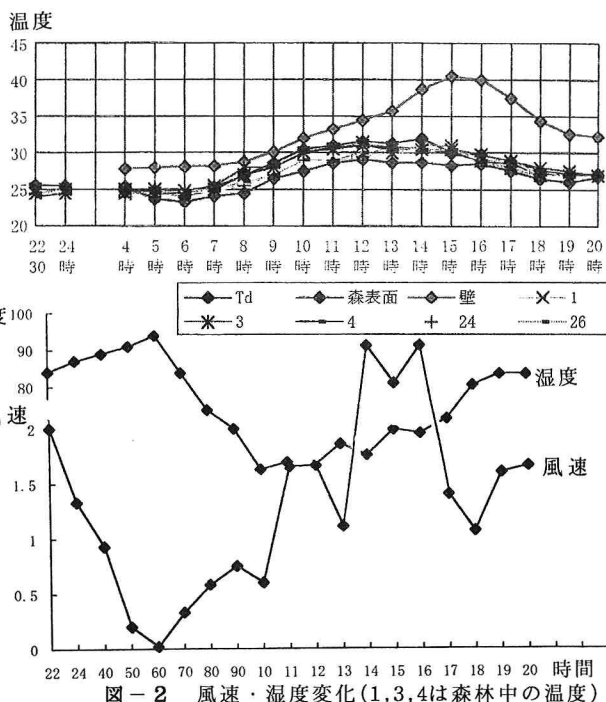


図-2 風速・湿度変化(1,3,4は森林中の温度)

4. 測定結果の分析

(a) 壁面温度と植生温度： まず、中央大・多摩キャンパスの場合を主に、測定結果の分析を行う。

(i) 夜間：23時から翌朝7時位までは、壁面、森の植生表面、森林内地上約1.5mの大気温度はそれぞれ一定に保たれて変化はみられない。しかも、植生の蒸散作用が行われずないため、植生表面温度と森林内大気温度は一致し、森林層内が一様温度になっている。一方、建物表面温度も一定に保たれているが、すぐ隣り合う森林よりは約2.5℃高温である。風速は弱く、23時で2m/s、以後徐々に弱くなり翌朝6時には無風状態となっている。この温度差は、キャンパス内の標高の比較的に高い位置にあって周囲をコンクリートで舗装されたコンクリート造りの建設物群域（ここでは日中に太陽エネルギーが建物などに蓄熱される）と、より低い位置にあり下草に覆われた相対的に湿潤な森林域との場の温度差とみて良いであろう。

(ii) 昼間：日射量の増加とともに建物壁面温度は増加を続け、西方を向いた建物壁面への西日が最も強くなる午後3時ごろに、壁面温度は最高の40℃に達している。

一方、森林葉面温度と森林内大気にも、壁面と同じく7時ごろより温度上昇がみられるが、10時頃から壁面温度が最大となる午後3時位までこれらの温度はほぼ一定に保たれ、その後日射が弱くなるとともに低下している。森林内大気の内気温は葉面表面の温度より2.5～5℃高い。この間大気温度も図-2のように変化している。

(iii) 夕刻以後：16時以後日射が弱まるとともに、壁面温度・森林表層温度・森林内大気温度とも徐々に低下している。また、森林表面温度も徐々に低下している。また、森林表層温度と森林内大気温度の差は少なくなる。このことは森林大気の低温は森林の蒸散作用によるものであることを間接的に支持している。

(b) 風速・湿度と植生温度：10時以後16時まで風速は増減を伴いながら無風状態から約3m/sへと増加している。一方、大気湿度は11時に最低の60%になり、以後ほぼ一様な割合で80%にまで増加している。大気湿度の増加による蒸散作用の抑制を、風速の増加が補償して、葉面温度を一定に保っていると言えなくもないが、風速のわりに大きな風速変動に葉面



図-3 変電所の植生繁茂度

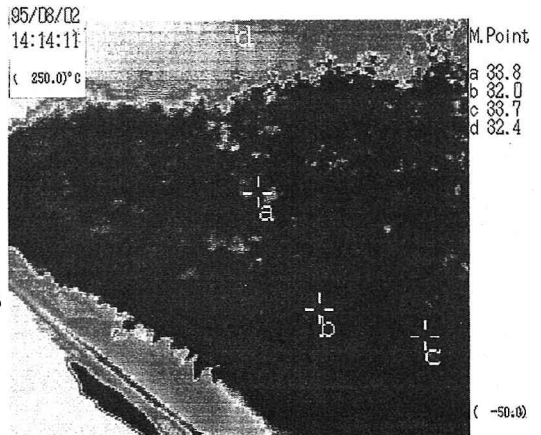


図-4 サーモグラフ映像

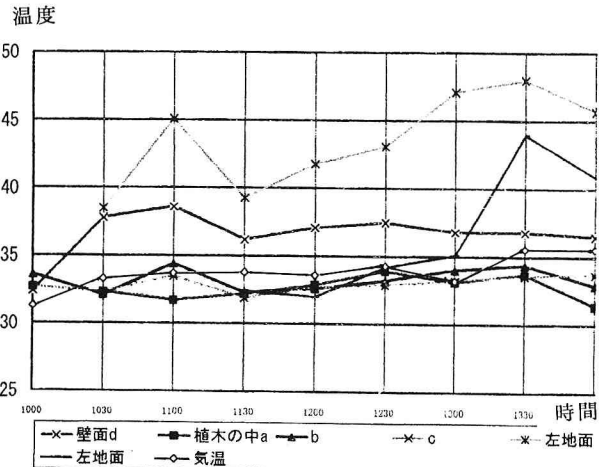


図-5 変電所の壁面・植生の温度変化

温度が追従してないことは、このことを支持していない。
むしろ、この程度の風速範囲(0~3 m/s)では、植生は葉面温度を一定に保持するように自己調節をしているように考えられる。

葉温 T_f が風速や湿度とは無関係というこの事実は、一見直感や常識と反するように思われる。しかしこのことは、すでにリモセン・データの解析から著者(金子・日野 1992, 1994)が指摘していたことであり、本論文はこの事実に別の面からの実証データを提供したものである。

ある限定をされた条件のもとではあろうが、日本の夏の普遍的な気象条件の下で、葉温が風速に無関係という事は、次のように説明できるであろう。(記号で書く方がわかり易いであろう。)

$$\begin{aligned} U \uparrow &\rightarrow Q_f \uparrow \rightarrow (T_f \downarrow)_1 \quad (\text{物理作用}) \\ T_f \downarrow &\rightarrow O \downarrow \rightarrow Q_f \downarrow \quad (\text{植物の自己制御}) \\ Q_f \downarrow &\rightarrow (T_f \uparrow)_2 + (T_f \downarrow)_1 = 0 \end{aligned}$$

ここに、 U :風速、 Q_f :蒸発散量、 T_f :葉温、 O :気孔開度。(変電所左側植生部、温度低下は散水による影響)

(c) 大気温度と植生表面温度 : 変電所での測定では、大気温度と日射の直射を受ける植生表面温度の差はそれほど大きくはなく、ほぼ同じかやや低い程度である。しかしこのことは、植生効果が低いということではない。というのは同一日射条件では、壁面温度は葉面より5℃程度高いからである。

一方、植生層表面以外の直照日射を受けない葉面は植生層表面、したがって大気温度より5℃位温度が低い。

(d) 蒸発効果 : 日光の直射を受ける路面などに水を播くと、温度は急激に降下し、その温度は葉面温度と同一程度あるいはそれより大きな降下となる。さらに、直射日光を受けている葉面に同じく水を掛けると、葉面温度は更に少し降下する。このことは、植生による気温降下が正に「蒸発散」によるものであることを示している。

謝辞: 本研究は文部省科学研究費・一般研究(B)「街路樹およびツタ科植物の都市気候緩和に果す効果の気象水文学的研究」(代表者 日野幹雄)の補助を受けた。また、変電所を利用した実測には東京電力(株)環境部(北原隆朗氏)、尾瀬林業(株)に御配慮を贈った。実測には中央大学学生、福原元哉君・市川直子さんの協力を得た。ここに記して謝意を表したい。

参考文献

1. 梅平野 晃 (1989): コンピュータによる地域・建築環境情報の視覚化—熱画像による地域・建築熱環境の視覚化とその応用, 日本建築学会環境工学部門協議会, 1989年10月9日(熊本)。
2. 稲垣 聡・日野 幹雄・神田 学 (1993): 都市のストリートキャニオンにおける風速場と熱環境に対する街路樹の効果, 水工学論文集, 第37巻, 355-360。
3. 伊地知 俊六・河野 一男 (1974): サーモカメラによる地熱の観測, 地熱, vol.11, No.4, p3。
4. 金子大二郎, 日野幹雄(1992): リモートセンシング*による森林温度降下量と葉温飽差に基づく森林蒸発散の推定, 土木学会第47回年譜要集, II-324, 698。
5. 金子大二郎, 日野幹雄(1994): TM植生指標と気象台ルーチンデータを用いた広域森林における熱収支量の算定法の提案と検討, 水文・水資源学会誌, vol.7, No.1, pp10~21。
6. 黒瀬 義孝・真木 太一 (1988): 赤外線放射温度計による大塚山の斜面温暖帯の測定, 農業気象 vol143(4), 275-283。
7. 真木 太一・黒瀬 義孝 (1987): 赤外線放射温度計の局地気象観測への応用, 農業気象(J. Agr. Met.), vol143, 233-237。

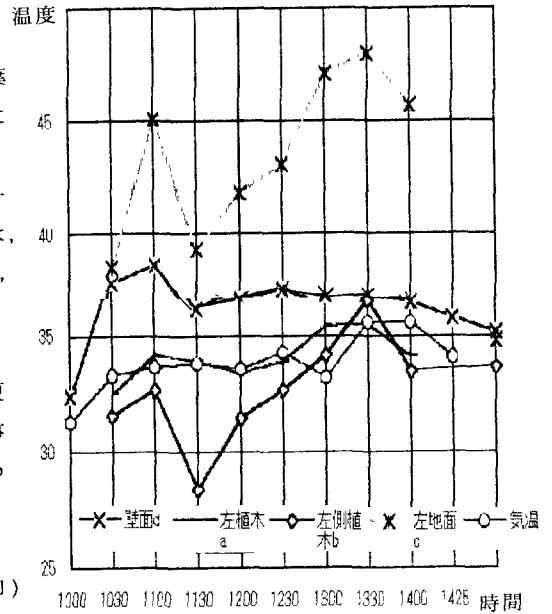


図-6 壁面・植生の温度の経時変化