研究論文

表面温度からみた都市植生の存在効果に関する実証的研究

近 藤 三 雄*・鈴 木 誠 孝*

A Quantitative Study on an Existence Effect of the Urban Vegetation by Measuring the Surface Temperature

Mitsuo KONDO and Seiko SUZUKI

摘要: 本研究では、温熱環境からみた都市における種々の形態、様相をもつ植生(緑)の役割、特に人工被覆物とは顕著に異なる温度特性を把握するために、赤外線放射温度計を使用して様々の空間の表面温度を比較測定を行った。その結果、夏季、人工被覆物面は極めて高温となり、射出される放射エネルギーも強く、照返し現象による快適性の阻害、温熱環境への影響も懸念されるが、緑化面、植生面の存在は昇温防止の機能を果たすことが実証された。

I. はじめに

前報¹⁾において、植生空間を構成する主要な要素である樹木ならびに芝生地は、気候環境、特に温熱環境からみた場合、開放地、他の人工被覆物面と比べると、どのような特性を示し、生活環境域において、いかなる役割を果たしているのかについて実証した結果を報告した。

本報においては気候環境、特に温熱環境からみた都市における様々な形態、様相をもつ植生(緑)の役割、特に夏季における他の人工被覆物とは異なる温度特性、いふならば植生の有する熱容量も小さく、熱電導率も低く、さらに蒸発散作用もあるという熱的特性によってもたらされる高温化の抑止効果を実証することを試みた。実際の調査は水田、畑などの生産緑地、屋上庭園の植生、住宅地の緑、樹林地、ツル植物による緑被空間、生垣などの様々な植生空間において緑被の有無ならびに他の人工被覆物面との表面温度の比較測定を赤外線放射温度計によって行い、前記の目的を達成することを意図した。

本研究に近い意図での赤外線放射温度計による断片的な測定事例は比較的多く報告されている。ただし、それらの事例のほとんどは航空機により高所から測定されたものである。航空機からの測定は通常、300m以上の観測高度から行われる。これによって得られるデータは直径約10m以上の円内の物体の表面温度の平均値である。また、常に動いている航空機から300m下の目的物を正確にとらえて測定することも難しい。したがって、これらの試みにおいては均質の対象物の表面温度が正確に測定されたとは必ずしもいえない場合が多い。また、最近

では熱映像による都市の温熱環境の解析も盛んである。この場合も極めてマクロな視点で一定地域の温熱環境の把握がなされているのが現状である。

本研究においては、このようなマクロな視点からの測定の欠点を補完する意味と、より正確に身近な緑化ならびに植生空間の環境効果を定量化するために、地上において赤外線放射温度計を駆使して都市を構成する様々な植生空間、人工被覆物それぞれ単体の表面温度の精度高い比較測定を実施したものである。

なお、本研究の一部は昭和53年度東京農業大学プロジェクト研究の助成を得て、行ったものである。

II. 調査内容ならびに方法

表面温度を指標として、温熱環境からみた都市の植生の環境効果、特に夏季における高温化の抑止効果をとらえようというのが本研究のねらいであるが、一口に植生といっても構成する植物の種類、立地条件、利用のされ方などによっても、その存在形態は多種多様である。したがって、単一の調査設定では多様な植生の環境効果の有無、程度を把握しきれないと考え、下記に示すような数多くの調査を行い、個々に得られた結果を総合的に考察することによって、本研究の目的を達成することを意図した。

調査方法としては種々の条件下の現地調査と大学構内の研究棟の屋上あるいは人工環境気象室(人工光クロスキャビネット、小糸製作所製)内に植生ならびに人工被覆物の測定モデルを設定して行うモデル調査とを併用した。調査時期は物体の表面温度の較差が最も顕著となる

* 東京農業大学 造園学科造園地被・植栽学研究室

夏季に集中的に行い、他の季節については夏季のデータと比較する意味で補助的に調査を行った。調査によっては周年を通じて計測を行ったものもある。なお、いずれの調査においても表面温度の測定と表面温度を直接左右する要因となる気温、照度ならびに風向・風速さらには一部、葉面からの蒸散量の測定も併せて行った。

表面温度の測定は2台の赤外線放射温度計（PRT-5型、12-8500型・オブチサーム、BARNES社製）、照度の測定は光電池照度計（SP5型、東芝製）、気温の測定はアスマン通風乾湿計（中浅電気製）、蒸散量の測定は、スーパーボロメーター（全自動蒸散計LI-1600型、LICOR社製）によって行った。各測定日の風向風速については東京農業大学構内の研究棟の屋上に設置した隔測風向・風速計（池田計器製）による測定データを参考とした。なお、測定した表面温度の全ての結果について対応する放射強度を換算式によって求めた。

調査内容を概括すると次の通りである。

A. 生産緑地の環境効果の定量化

水田、畑とアスファルト舗装道路、裸地、芝生地、雑草群落との表面温度の比較測定

B. 屋上庭園の植生の環境効果の定量化

イ）現地調査

屋上庭園の植生と屋根スラブ表面との比較

ロ）モデル調査

屋上における植生ならびに人工被覆物のモデルについての比較

C. 住宅地の緑の環境効果の定量化

イ）現地調査

緑被率の異なる住宅地の表面温度の比較

ロ）モデル調査

大学構内に設定した緑被率の異なる住宅地のモデルについての比較

D. 樹林地の環境効果の定量化

樹林地と造成裸地との比較

E. ツル植物による構造物緑化の環境効果の定量化

イ）モルタルのり面の緑被の有無による比較

ロ）石塀の緑被の有無による比較

ハ）遮音壁の緑被の有無による比較

F. 生垣の環境効果の定量化

生垣と石塀、ナツヅタ緑被面との比較

G. 水面の環境効果の定量化

川の水面とアスファルト舗装道路、砂利、裸地、コンクリート護岸ならびに芝生、雑草群落、樹林との比較

H. 都市空間を構成する各素材の表面温度特性の把握

屋上ならびに人工環境気象室内における灌木、芝生、赤土（火山灰心土）、黒土（腐植性火山灰土）、川砂、砂利、苑石、アスファルトコンクリート、人工芝、水

面など20種類の都市空間を構成する各素材のモデルによる表面温度の比較測定

III. 調査結果ならびに考察

本調査研究の結果、温熱環境からみた都市における緑化ならびに植生の役割の重要性、すなわち植生の存在することによる地表面の高温化抑止作用（温度の降下作用）、温度変化の緩和作用、などの環境効果を裏付ける種々の知見が得られた。

個々の調査の測定結果については以下、順次記述する。

1. 生産緑地の環境効果の定量化

本項では水田、畑が緑地として存在することによる環境効果を実証するために、アスファルト舗装道路、裸地、芝生、雑草群落などとの表面温度の比較測定した結果を報告するものである。

条件を変え、種々の測定を行った結果、夏季の日中、水田あるいはサツマイモ畑、落花生畑などの生産緑地面の表面温度は気温より若干高い程度で、芝生面、雑草群落面よりも低く、アスファルト舗装道路面、裸地面などに比べると著しく低い。水田、畑の植生が芝生、雑草群落よりも、さらに表面温度が低い一因としては、水田の場合は湛水面からの蒸発の際の潜熱の吸収ということが考えられ、サツマイモ等は葉面積が大で、蒸散量が多いために、群落表面の熱の吸収量が多いことなどが考えられる。生産緑地の高温化の抑止効果は極めて大で、また温度変化に対する緩和作用も顕著であり、このような観点からは市街地に残存する生産緑地の存在意義は高く評価されてよいといえる。

個々の調査で得られた結果の要約は以下の通りである。

1) 神奈川県大和市の水田、サツマイモ畑、芝（コウライシバ）畑、裸地（腐植性火山灰土）、アスファルト舗装道路の隣接する場所において、昭和53年10月3日の午前10時50分から午後1時20分にかけて、それぞれの表面温度の比較測定を行った。測定結果は図-1に示す通りである。測定時間中の天候は快晴であり、平均照度は88,667 lux、平均気温は25.3℃という状態であった。このような条件下にあって水田面の測定時間中の表面温度の平均は30.2℃、サツマイモ畑は32.4℃と、生産緑地面は気温より5～7℃高い程度であったが、アスファルト舗装道路面の47.0℃、裸地面の47.5℃に比べると15～17℃低く、さらに芝生面の37.8℃よりも5～7℃低温であるという結果を示した。

2) 神奈川県川崎市の水田、アシ（*Phragmites communis Trin.*）群落、アスファルト舗装道路が隣接する場所において、それぞれの表面温度の比較測定を昭和54年8月11日の午前10時20分から午後1時30分にかけて

図一 水田・畑と芝生地、裸地、アスファルト舗装道路との表面温度の比較
(神奈川県大和市, 1978年10月3日, 天候: 快晴)

行った。測定結果は図一 2 に示す通りである。天候状態は変化に富み、晴のち曇のち雨のち晴とめまぐるしく変わった。したがって、測定時間中の照度は晴の時点で平均 79,000 lux、曇になるにしたがい低下し、雨の降る直前には 4,850 lux まで下り、天候が回復するにつれ、照度もまた徐々に上るという状態であった。水田面とアソ群落面とは表面温度の差はほとんどなく、また、測定時間中の最高値と最低値の差も 3.5℃ 前後と天候の変化、それに伴う照度状態の違いにはあまり影響されず、気温と差のない表面温度を示した。アスファルト舗装道路面と比較すると、その表面温度は顕著に低く、最も差の生じた晴天時で最高 18.0℃ 内外低温であり、降雨時には、その差が 2.5℃ と僅差となった。すなわち、アスファルト舗装道路面は天候、照度状態の影響を敏感に受け、晴天時と降雨時とは、その表面温度に 19.0℃ の差がみられた。以上のことから水田、アソ群落面はアスファルト舗装道路面に比べて単に高温化の抑止効果があるばかりでなく、天候状態による影響をあまり受けず、そのため温度変化も少なく、いわば温度変化に対する緩和作用が大であるといえる。

3) 神奈川県川崎市の水田、落花生畑、サツマイモ畑 ギョウギンバ (*Cynodon dactylon* Pers.) 群落、アスファルト舗装道路とが隣接する場所において、それぞれの表面温度の比較測定を昭和54年8月11日の午後1時35分から午後2時35分にかけて行った。測定結果は図一 3 に示す通りである。測定時間中は晴天で、照度は平均 76,346 lux という天候状態であった。測定時間中の気温は平均 30.2℃ であり、水田面の表面温度は平均 30.4℃ とほぼ気温と同じで、落花生畑面は 31.3℃ と気温、水田面

図一 2 水田、ヨシ群落とアスファルト舗装道路との表面温度の比較
(神奈川県川崎市, 1979年8月11日, 天候: 晴一時雨)

図一 3 水田・畑とアスファルト舗装道路との表面温度の比較
(神奈川県川崎市, 1979年8月11日, 天候: 晴)

の表面温度に比べて 1.0℃ 内外高い。サツマイモ畑面も水田面とはほぼ同程度の温度状態であった。いずれにしても水田、落花生畑、サツマイモ畑の生産緑地面はアスファルト舗装道路面の 46.2℃ より 15.0℃ 内外低温であった。さらに隣接するギョウギンバ群落よりも 3℃ 内外低温であった。

2. 屋上庭園の植生の環境効果の定量化

建築物の屋上の表面仕上げはコンクリートか、その他

の材質の舗装材であり、いずれにしても夏季、その表面はかなり高温となることが予測される。したがって、建築物の林立する市街地においては、建築物の屋上面の高温化した表面温度の照り返しによって市街地全体の温熱環境に及ぼす影響が懸念される。また、個々の建築物においては屋上面の表面温度が高温化することに伴う焼込み作用によって階下の室内気候に及ぼす影響も少なからずあるものと推察される。近年、建築物の屋上には屋上庭園の造成が盛んである。本項においては屋上庭園の植生が屋上の表面温度の高温化の抑止にどの程度、機能しているのかを実証するために、種々の舗装材からなる屋上のスラブ表面と屋上庭園の植生面との比較測定を現地調査、モデル調査によって試みた結果を報告するものである。

調査の結果、屋上庭園の芝生、灌木等の植生の存在はスラブ表面の蓄熱作用による高温化を抑え、周辺地域の温熱環境への影響の防止ならびに階下の室内環境への焼込み防止に役立つことが判明した。したがって屋上庭園の植生の存在は夏季、屋上からの焼込みを防止し、階下の室温の上昇を抑え、ひいては冷房費を節減することにもなり、結果として省エネルギー効果をもたらすことになるといえる。

個々の調査で得られた結果の概要については以下に示す通りである。

1) 屋上庭園の植生とカラー平板舗装面との表面温度の比較

東京都世田谷区にある商業建築物の屋上を調査対象とし、屋上のカラー平板舗装面と隣接する屋上庭園の芝生(コウライシバ)、サツキツツジ(*Rhododendron indicum* Sweet), キャラボク(*Taxus cuspidata* Sieb. et. Zucc. var. *nana* Rehd.)などの植生面との表面温度の比較測定を行った。測定は昭和54年7月31日の午後1時45分から1時55分にかけて実施した。測定結果については図-4に示す通りである。測定時間中は晴天で、照度の平均は73,000 lux, 気温の平均は34.6℃, 平均風速は、2.5 m/secであった。たこの時のカラー平板舗装面の表面温度の平均は57.8℃と著しく高い温度状態を示したが、屋上庭園の芝生面はこれより20.5℃低い37.3℃, キャラボク面は、21.2℃低い36.6℃, サツキツツジ面は、23.0℃低い34.8℃であった。

2) 屋上のコンクリート仕上げのスラブ表面と鉢植の芝生面との表面温度の比較

東京農業大学構内(東京都世田谷区)の研究棟屋上のコンクリートスラブに鉢植の芝生(コウライシバ)を置き、スラブ表面と芝生面との表面温度の比較測定を昭和54年8月2日から3日にかけて24時間連続で実施した。その結果、コンクリートスラブ面は日中、最高58.6℃にもなり、この時の芝生面の表面温度は38.5℃と約20℃の

図-4 屋上庭園の植生とカラー平板舗装面との表面温度の比較

(某デパート屋上：東京都世田谷区，1979年7月31日)
天候：晴，最多風向平均風速：SE，2.5m/sec

較差があった。この結果は尾島²⁾の「屋上庭園の芝生はコンクリート屋根より6～10℃低い」という指摘よりも、はるかに較差が大であった。また、コンクリートスラブ面は朝方、最低温度が30.5℃までしか下らなかったのに対して芝生面は25.1℃と気温より低くなった。

以上のような両調査結果からいえば、屋上庭園を造成し、植生を導入することによって、屋上のスラブ表面のコンクリート仕上げ、あるいはカラー平板舗装を施した状態よりも夏季の日中、約20℃以上も温度の上昇を抑止する効果(温度降下作用)があるとみなせる。したがって階下への焼込み防止効果も顕著であるといえる。

3. 住宅地の緑の環境効果の定量化

1) 現地調査による緑被率の異なる住宅地の表面温度の比較

本調査においては、本研究における一連の調査と異なり、多少マクロな視点で、温熱環境からみた住宅地の植生(緑)の環境効果を検証することを意図した。調査は神奈川県横浜市の丘陵地の頂上から下方の住宅地を見下すような格好で行った。測定場所には緑被率の顕著に異なる3箇所、すなわち緑の全く見られない緑被率0%の

図一五 緑被率の異なる住宅地等の表面温度の比較
(神奈川県横浜市, 1979年8月15日, 天候: 晴一時曇)

住宅地, 比較的緑の多い緑被率50% (概算) の住宅地, 住宅地に隣接する緑被率100%の樹林地のそれぞれを選定した。いずれの調査場所も赤外線放射温度計を設置した場所から500m内外の距離にあり, 赤外線放射温度計でとらえられる測定対象面は直径約17m程度の円内の地域であり, 測定される表面温度はこの円内の地域の表面温度の平均値ということになる。測定は昭和54年8月15日の午前9時から午後4時にかけて30分おきに行った。その結果については図一五に示す通りである。

緑被率0%の住宅地の表面温度は平均で42.6℃ (放射強度に換算すれば, $0.821 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$), 緑被率50%の住宅地面では, それより6.2℃低い36.4℃ ($0.758 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$), これらに対して緑被率100%の樹林地面は緑被率0%の住宅地より11.1℃, 緑被率50%の住宅地より4.9℃低い31.3℃ ($0.710 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$) であった。それぞれの表面温度を放射強度に換算しても, その数値に明らかに差異がみられた。なお, 緑被率0%あるいは50%の住宅地において, 植生以外の測定対象となった素材は建築物の屋根ならびに壁面の集合体である。前報¹⁾において建築物の屋根は樹冠面より著しく表面温度が高くなることを報告したが, その結果は今回のこの調査結果を裏付けるものであるといえる。

本調査に関連した既往の研究例で, 土屋²⁾は「樹木などの少ない住宅だけが密集している地域37~38℃, 庭木などがあって, あまり住宅が密集していない地域35℃前後」という結果を報告し, 藤田³⁾は明治神宮内外の表面温度と気温を7月に測定した結果「明治神宮外の地域の表面温度46℃, 気温36℃, この時の森の表面温度33~37℃, 気温30~32℃であった」と報告し, また鈴木⁴⁾は7月末の札幌市内での測定結果から「緑地率が10%増すと気温は0.17℃低下することになる」と報告している。これらの指摘からいえることは本調査で得られた結果, す

なわち一定地域における顕著な緑被率の違いは表面温度に相当の差をもたらすということだけにとどまらず, かなりの気温の差をももたらすことになるとみなせる。さらに, このことは一定地域の緑被率の違いによって, それらの表面の放射強度にも明らかな違いがみられたという事実からも充分推察できることである。したがって, 本調査の結果は市街地において緑地が減少し, 住宅が増加すれば確実にその地域の表面温度, 気温が上昇することを裏付けるものである。また, 緑の乏しい住宅地を積極的に緑化すれば, 表面温度・気温の上昇をかなり抑止できるということを示唆するものである。

2) モデル調査

現地調査と同様の意図で視点を換え, 東京農業大学構内でモデル調査を行った。緑被率0%の住宅地のモデルにはコンクリート, アスファルト, カラー平板の舗装材をあてた。緑被率50%の住宅地のモデルには赤外線放射温度計の測定視野内に植生 (イヌツゲ, サツキツツジ, 芝生) と上記の舗装材が50%ずつ入るような植生と舗装材の縁辺部を選定した。緑被率100%のモデルにはイヌツゲ (*Ilex crenata* Thunb.) 面, サツキツツジ (*Rhododendron indicum* Sweet) 面, 芝生 (*Zoysia materilla* Merr.) 面をあてた。測定は屋上からと地上での調査とに分けて, 昭和54年7月5日の午前9時45分から午後0時10分にかけて行った。

その結果については表一に示す通りである。測定モデルに植物の中でも比較的表面温度の高い芝生とサツキツツジを使用したため, 緑被率100%のモデルの表面温度がやや高かったようであるが, 前述した横浜市における現地調査結果とはほぼ同様な結果を得た。すなわち緑被率100%のモデルの表面温度が33℃内外であったのに対して緑被率50%のモデルでは36℃内外, 緑被率0%のモデルでは40.5℃内外と, 植生部分が減少し, 舗装材の部

表一 モデル実験による緑被率の違いと表面温度との関係

(東京農業大学構内：東京都世田谷区，1979年7月5日，天候：快晴，最多風向平均風速：S E，2m/sec)

緑被率100%の樹林地のモデル		緑被率50%の住宅地のモデル		緑被率0%の住宅地のモデル	
芝生全面	32.3℃	芝生+コンクリートペーブ	34.8℃	コンクリートペーブ	37.4℃
サツキ全面	33.2	サツキ+コンクリートペーブ	35.5	コンクリートペーブ	37.4
イヌツゲ全面	31.8	イヌツゲ+アスファルト舗装	35.6	アスファルト舗装	43.7

注) 9:45~10:55にかけての7回の測定値の平均

分が増加すれば，一定地域の表面温度が確実に上昇することが実証された。

4. 樹林地の環境効果の定量化

既存の樹林地を宅地造成などの種々の目的で造成し，裸地化させると温熱環境からみた場合，どのような問題が生ずるかという視点の下に樹林地（落葉広葉樹主体の二次林）と隣接する造成裸地（火山灰心土）との表面温度の比較測定を行った。測定は昭和54年8月15日の午前9時から16時にかけて神奈川県横浜市の丘陵地において実施したものである。

結果については表一2に示す通りである。造成裸地（火山灰心土）は樹林地（落葉広葉樹主体の二次林）よりも9時から9時30分にかけての平均値で6.3℃，11時30分から12時にかけての平均値で11.6℃，13時から13時30分にかけての平均値で16.4℃，15時30分から16時にかけての平均値で13.9℃，9時から16時にかけての全測定時間中の平均値で12.1℃高い表面温度を示した。

この結果からいえば，既存の樹林地を種々の目的で造成した場合，裸地のまま放置しておくで夏季，その地域の表面温度が著しく高くなる恐れがある。したがって，このような現象を抑止するためには，できうる限り，造成地内の緑化に努め，樹林を再生することが望ましいといえる。

5. ツル植物による構造物緑化の環境効果の定量化

近年，道路等に付帯するモルタルのり面，遮音壁あるいはブロック塀，コンクリート石積，建築物壁面など都市化に伴い増大する人工構造物面に対する緑化を望む声の主として景観上の要請から高まってきた。これら人工構造物面は景観上の問題があるばかりでなく，夏季あるいは季節を問わず，晴天日には相当表面温度が高くなり，その照り返しが都市の温熱環境に及ぼす影響ならびに直接，間接に都市生活の快適性を阻害する要因となることなどが懸念される。そこで，これらの構造物面を緑化することによる高温ならびに照り返しの抑止効果を実証するために，構造物面の緑被の有無による表面温度の比較測定を試みた。

調査は測定対象をモルタルのり面，石塀（ブロック塀，

表一2 樹林地と造成裸地との表面温度の比較

(神奈川県横浜市，1979年8月15日天候：晴一時曇)

測定時刻	9:00~9:30	11:30~12:00	13:00~13:30	15:30~16:00
測定場所				
樹林地	31.4℃	32.6℃	32.2℃	29.8℃
造成裸地	37.7	44.2	48.6	43.7

図一6 モルタルのり面とフジ，ナツヅタによる緑被面との表面温度の比較

(神奈川県横浜市，1979年7月25日，天候：晴)

大谷石塀)，遮音壁に大別して行った。いずれの調査結果においても構造物面を緑化することによって，著しい温度の上昇ならびに照り返し抑止効果がみられ，この点からも構造物面の緑化の意義が多大であることが実証された。個々の調査で得られた結果の概要については以下に示す通りである。

1) モルタルのり面の緑化

神奈川県横浜市の市道沿にある長大なモルタルのり面に対して緑化の試みをしている場所においてモルタルのり面とナツヅタ (*Parthenocissus tricuspidata* Planch.) フジ (*Wisteria floribunda* DC.) で緑化している箇所との表面温度の比較測定を調査日を変え，2回行った。

昭和54年7月25日の午前10時30分から午後1時20分にかけて測定を行った結果は図一6に示す通りである。測

定時間中は晴天で、測定時間中の平均気温は30.8℃であり、平坦地面での水平照度は平均115,889 lux、勾配のきついモルタルのり面の照度は平均70,750 luxと強い日照状態であった。モルタルのり面の表面温度は、平均50.4℃（放射強度に換算すれば0.905 cal/cm²・min）とかなり高温状態を呈した。これに対して、フジによる緑被面は平均32.8℃（0.724 cal/cm²・min）と17.5℃低く、ナツツタによる緑被面は36.0℃（0.754 cal/cm²・min）と14.4℃低く、放射強度においても顕著な差がみられた。フジによる緑被面の方がナツツタによる緑被面より平均で3℃以上低温であったことから、フジの方が夏季の温度の上昇抑止という視点からいえば、緑化の効果は高いといえる。これはナツツタよりもフジの方が枝葉が重合し、緑被が厚くなり、葉面からの蒸散量も多く、また、枝葉による影も多くできることなどの理由によってもたらされる現象である。

同じ場所で昭和54年5月3日の午後0時から1時の晴天時、平坦地面の水平照度の平均92,986 lux、気温の平均は23.1℃という条件下で測定調査を行った結果、モルタルのり面の表面温度は平均42.4℃（放射強度に換算すれば0.819 cal/cm²・min）であった。これに対して、フジによる緑被面は24.0℃（0.644 cal/cm²・min）と18.4℃低く、ナツツタによる緑被面は29.0℃（0.688 cal/cm²・min）と13.4℃低温であった。

両日の結果からモルタルのり面をナツツタ、フジで緑化することによって表面温度で13.0～18.4℃の温度の上昇抑止効果が認められ、放射強度にして2割前後軽減されることが判明した。

2) 石塀の緑化

住宅の外囲である石塀をツル植物によって緑化することによる環境効果を検証するために、東京都世田谷区の住宅街のブロック塀、大谷石塀を対象として、ナツツタ、ヘデラによる緑被の有無による表面温度の比較測定を種々の条件下で行った。本調査結果内ではブロック塀は最高で50.3℃、大谷石塀は最高で49.3℃という温度状態を示した。これらの石塀面を緑化することによって各測定日の平均値で3.2～12.1℃の温度の上昇抑止効果が認められ、放射強度にして1割強軽減されることが判明した。したがって、石塀を緑化することによって温度の上昇を抑え、照り返しを防止することは温熱環境からみた快適な生活環境づくりの効果的な方策といえる。個々の調査で得られた結果の概要を示すと以下の通りである。

① 大谷石塀に対するナツツタの緑被の有無による表面温度の比較測定を昭和53年7月27日の午前10時25分から午後2時10分にかけて行った。その結果については図一7に示す通りである。天候は晴天で、測定時間中の気温の平均は33.2℃、平均風速は4 m/secであった。この

図一7 ナツツタの緑被の有無による大谷石塀面の表面温度の比較

(東京都世田谷区, 1978年7月27日, 天候: 快晴, 平均風速: 4m/sec (風向: 欠測))

時の大谷石塀面の表面温度の平均は47.3℃（放射強度に換算すると0.871 cal/cm²・min）であったが、ナツツタの緑被面は8.6℃低い38.7℃（0.781 cal/cm²・min）であった。因みにこの時のアスファルト舗装道路面は平均で60.7℃であった。

② ブロック塀に対するナツツタならびに斑入のヘデラ (*Hedera helix* "Glacier") による緑被の有無による表面温度の比較測定を昭和53年7月27日の午前10時50分から午後2時30分にかけて行った。その結果については図一8に示す通りである。天候は晴天で、測定時間中の気温の平均は32.3℃、平均風速は4 m/secであった。ブロック塀面の表面温度は最高で50.3℃に達し、平均でも49.8℃（0.899 cal/cm²・min）であった。ナツツタによる緑被面はこれより12.1℃低い37.7℃（0.771 cal/cm²・min）で、斑入のヘデラによる緑被面は8.0℃低い41.8℃（0.813 cal/cm²・min）であった。なお、ナツツタ、ヘデラ面の表面温度差は、両者の葉面からの蒸散量の違いがある程度関係しているものと思われる。因みに、この時点の両者の蒸散量をスーパーボロメーター（全自動蒸散計）によって測定したところ、ナツツタの葉面からの蒸散量は平均18.19 μg/cm²/secとヘデラの葉面からの蒸散量2.79 μg/cm²/sec に比べてはるかに大であった。こ

図—8 ツル植物の緑被の有無によるブロック塀面の表面温度の比較

(東京都世田谷区, 1978年7月27日, 天候: 快晴, 平均風速: 4m/sec (風向: 欠測))

の差が4°C内外の表面温度差の一因になったものと推察される。

3) 遮音壁の緑化

高速道路等の騒音防止対策として、各所に遮音壁が設置されている。遮音壁の材質は様々であるが、金属板、コンクリート板など夏季、その表面温度が高温となる材質のものが多く、最近、この遮音壁に対して、主として景観上の要請からツル植物による緑化が行われている。遮音壁の緑化の副次的な効果として、温度の上昇ならびに照り返しの防止効果が考えられる。本項においてはその効果を実証するために神奈川県横浜市の南横浜バイパスにおいて、金属板の遮音壁とそれを緑被しているクズ (*Pueraria lobata* Ohwi.), スイカズラ (*Lonicera japonica* Thunb.) の混植面との表面温度の比較測定を行った。

調査は昭和54年5月3日の午後2時から2時35分にかけて行った。その結果は図—9に示す通りである。測定時間中は晴天で、平坦地の水平照度の平均 108,143 lux, 気温の平均は22.5°Cであった。測定時点では金属板の遮音壁には直射が当らず、予想していた以上に表面温度が上昇せず、測定時間中の平均で43.5°Cであった。一方、

図—9 ツル植物による緑被の有無による金属板遮音壁面の表面温度の比較

(南横浜バイパス: 神奈川県横浜市, 1979年5月3日) 天候: 晴

この遮音壁を緑被しているクズ、スイカズラの混植面は13.3°C低い30.2°Cであった。以上の結果から金属板の遮音壁に対するツル植物の緑被による高温化の抑止効果が認められた。著者の数年前の夏季における測定結果⁶⁾では金属板の遮音壁面は最高58°Cを記録したことがある。おそらく盛夏の快晴時にはそれ以上になることも予測される。高速道路等の遮音壁は道路の両側に連続的に設置される場合が多く、表面温度の高温化に伴う照り返しの防止に遮音壁の緑化の意義は大きい。

6. 生垣の環境効果の定量化

地震による倒壊の恐れのあるブロック塀を生垣に変えるべきであるという声強い。この点ばかりでなく、生垣の有する利点は多い。その一つにブロック塀等の石塀は本調査研究で明らかとなったように夏季、表面温度が50°C以上となり、照り返し等の弊害が予測されるが、生

垣にはこのようなことは考えられない。しかしながら、その実証例はない。

本項ではブロック塀等の石塀と生垣面との表面温度を比較測定することによって温熱環境からみた生垣の存在効果を実証することを試みた結果を報告する。調査は夏季に東京都世田谷区の住宅街において、ブロック塀、大谷石塀、ナツツタによる緑被面と密生したカイヅカイブキ (*Juniperus chinensis* L. var. *kaizuka* Hort.) の生垣との表面温度の比較測定を行った。その結果、カイヅカイブキの生垣の表面温度は気温より常に1℃内外高い程度であり、ブロック塀、大谷石塀のように40～50℃にも上がることなく、それらと比べると著しく低温状態を維持し、天候状態による温度変化も少ない。さらにナツツタによる緑被面よりも3℃内外低い。つまり本結果からいえば、温熱環境からみた快適な環境づくりのためにはブロック塀などは生垣に変えることが望ましく、種々の事情でそれが無理であれば、次善の策として、ツル植物で緑化することを考えるべきであるといえる。個々の調査で得られた結果の概要については以下に示す通りである。

1) 昭和54年6月24日の午前9時から14時にかけて測定を行った。その結果は図-10に示す通りである。測定時間中は晴天で、平坦地面の水平照度の平均95,555lux、垂直面となるブロック塀面の照度は19,259 luxであり、気温の平均は33.6℃、平均風速は2.5m/secという条件下の測定結果である。ブロック塀面の表面温度の平均は43.4℃(放射強度に換算すれば0.829cal/cm²・min)大谷石塀面は40.5℃(0.799 cal/cm²・min) ナツツタの緑被面は37.0℃(0.764 cal/cm²・min)であったが、枝葉の密生したカイヅカイブキの生垣面は、ブロック塀より9.3℃、大谷石塀より6.4℃、ナツツタによる緑被面より2.9℃低い34.1℃(0.736cal/cm²・min)であった。

2) 昭和54年8月13日の午前10時20分から午後2時20分にかけて測定を行った。その結果は図-11に示す通りである。測定時間中は晴天で、平坦地面の水平照度の平均は101,700 lux、垂直面となるブロック塀面の照度は、25,920 luxであり、気温の平均は31.7℃であった。ブロック塀の表面温度の平均は44.2℃(0.838cal/cm²・min)、大谷石塀面は39.0℃(0.784cal/cm²・min)、ナツツタによる緑被面は35.8℃(0.753cal/cm²・min)であったが、カイヅカイブキの生垣面はブロック塀より11.6℃、大谷石塀より6.4℃、ナツツタの緑被面より3.2℃低い32.6℃(0.722cal/cm²・min)であった。

なお、カイヅカイブキの生垣面とナツツタの緑被面との表面温度差は両者の枝葉の状態の違いが一因となってもたらされるものと思われる。すなわち、ナツツタの葉はそれぞれに直射光がよく当るようにモザイク状に配列されるが、カイヅカイブキの枝葉面は細かい凹凸がある

図-10 緑被の有無によるブロック塀面・大谷石塀面と生垣との表面温度の比較

(東京都世田谷区, 1979年6月24日, 天候: 晴, 最多風向平均風速: S, 2.5m/sec)

ため、表面に影の部分が多く、その結果、ナツツタ面よりも明らかに表面温度が低くなるものと思われる。

7. 水面の環境効果の定量化

都市を構成する被覆物の中で、自然面といえば、植生の他に川、池などの陸水面が考えられる。近年、水面のもつ多様な機能が見直されている。本調査においては温熱環境からみた都市における水面の役割、温度特性を把握するために植生面、裸地面、アスファルト舗装道路面などの人工被覆物面との表面温度の比較測定を試みた。

調査は東京都世田谷区と神奈川県横浜市との境界を流れる多摩川の橋の上から川の水面と隣接する他の被覆物の表面温度を夏季に測定した。その結果、川の水面の表面温度は気温はもとより、アスファルト舗装道路、コンクリート護岸、裸地、砂利などに比べても著しく表面温度が低く、さらに雑草群落、芝生、樹林などの植生面よりも低温であった。また天候状態による温度変化も少ないことなどが判明した。この結果は水面からの蒸発作用により表面の潜熱が吸収されることが一因となってもたらされる現象である。すなわち人工被覆物の増加に伴い高温化傾向が著しい市街地においては植生面以上に川な

図—11 緑被の有無によるブロック塀面、大谷石塀面と生垣との表面温度の比較

(東京都世田谷区, 1979年8月13日, 天候: 晴, 最多風向平均風速: E, 3.5m/sec)

図—12 水面とその他の被覆物面との表面温度の比較

(多摩川: 東京都世田谷区, 1979年7月31日, 天候: 晴, 最多風向平均風速: S, 1m/sec)

どの水面は冷温帯域として温度降下作用の機能を果す貴重な存在であることが実証された。個々の調査の結果の概要を以下に示す。

1) 昭和54年7月31日の午前10時30分から11時30分にかけて測定を行った。測定対象は川の水面と隣接する雑草群落、芝生、アスファルト舗装道路、砂利、裸地(黒土: 腐植性火山灰土)である。測定結果については図—12に示す通りである。測定時間中は晴天で、照度の平均75,000 lux, 気温の平均は32.9℃, 平均風速は1m/secという状態であった。川の水面は気温より4.3℃低い28.6℃(放射強度に換算すると0.685 cal/cm²・min)であり、雑草群落面の33.7℃(0.732 cal/cm²・min), 芝生面の34.8℃(0.743 cal/cm²・min)と植生面より5~6℃低い。さらに裸地面の39.8℃(0.792 cal/cm²・min), 砂利面の42.5℃(0.820 cal/cm²・min), アスファルト舗装

図—13 水面と植生面その他の被覆物面との表面温度の比較

(多摩川: 東京都世田谷区, 1979年7月31日, 天候: 晴, 最多風向平均風速: S E, 2m/sec)

道路面の48.7℃(0.886 cal/cm²・min)などと比べると10~20℃内外低く、放射強度でいえば2割内外低い。

2) 前述した調査と測定場所、測定対象を若干変え、昭和54年7月31日の午前11時40分から午後0時30分にかけて測定を行った。測定対象は川の水面と隣接する雑草群落、樹林、アスファルト舗装道路、コンクリート護岸、裸地(赤土: 火山灰心土)である。測定結果については図—13に示す通りである。測定条件もほぼ同様であったため、前述した調査結果と同様な測定結果を示した。すなわち、測定時間中は晴天で、照度の平均は90,750 lux 気温の平均は32.8℃, 平均風速は2 m/secであった。川の水面の表面温度の平均は28.1℃と気温より4.7℃低く、雑草群落面の32.9℃, 樹林地の樹冠面の34.5℃よりも5℃内外低い。さらに裸地面の39.4℃, コンクリート護岸の44.8℃, アスファルト道路面の48.3℃より10~20℃内外低温であった。

8. 都市空間を構成する各素材の表面温度特性の把握
本調査においては前述してきた種々の植生空間におけ

表-3 都市空間を構成する各素材の表面温度の比較

(東京農業大学構内研究棟屋上：東京都世田谷区，1979年8月2日～3日の24時間)
測定結果，天候：晴，風向風速：SSE～S～SSW，0～12m/sec

都市被覆物の種類	最低温度 (℃)	最高温度		最高と最低の温度差 (℃)	1日の平均温度，放射強度		日中の平均温度，放射強度	
		温度 (℃)	*放射強度		温度 (℃)	放射強度 (cal/cm ² ・min)	温度 (℃)	放射強度 (cal/cm ² ・min)
ツゲ	26.3	38.6	0.780	12.3	30.9 (1.04)**	0.706 (1.02)***	36.1 (1.09)**	0.755 (1.04)***
ノシバ	25.1	38.5	0.799	13.4	30.4 (1.03)**	0.701 (1.01)	36.5 (1.10)**	0.759 (1.05)
カーペットグラス	24.6	35.3	0.748	10.7	29.6 (1.00)	0.694 (1.00)	34.0 (1.02)	0.735 (1.01)
赤土(乾燥)	24.7	56.0	0.970	31.3	35.6 (1.20)**	0.751 (1.09)	53.4 (1.61)**	0.939 (1.29)
赤土(湿潤)	23.9	35.5	0.750	11.6	28.6 (0.97)**	0.685 (0.99)	34.3 (1.03)**	0.738 (1.02)
黒土(乾燥)	24.8	57.8	0.991	33.0	36.4 (1.23)**	0.758 (1.10)	56.1 (1.69)**	0.971 (1.34)
黒土(湿潤)	23.8	35.6	0.751	11.8	28.6 (0.97)**	0.685 (0.99)	34.8 (1.05)**	0.743 (1.02)
川砂(乾燥)	24.9	59.2	1.008	34.3	37.0 (1.25)**	0.764 (1.11)	56.9 (1.71)**	0.980 (1.35)
川砂(湿潤)	23.3	36.0	0.754	12.7	28.9 (0.98)**	0.688 (1.00)	35.1 (1.06)**	0.746 (1.03)
砂利(寒水：白色)	25.4	39.0	0.784	13.6	31.3 (1.06)**	0.710 (1.03)	38.4 (1.16)**	0.778 (1.07)
砂利(伊勢：ごま塩色)	25.3	44.0	0.836	18.7	32.6 (1.10)**	0.722 (1.05)	42.6 (1.28)**	0.821 (1.13)
砂利(那智：黒色)	25.5	50.0	0.901	24.5	34.1 (1.15)**	0.736 (1.07)	47.9 (1.44)**	0.878 (1.21)
苑石 A	25.0	45.2	0.848	20.2	32.4 (1.10)**	0.720 (1.04)	43.5 (1.31)**	0.830 (1.14)
苑石 B	25.0	46.1	0.858	21.1	33.0 (1.12)**	0.726 (1.05)	45.0 (1.36)**	0.846 (1.17)
苑石 C	24.9	46.5	0.862	21.6	33.1 (1.12)**	0.727 (1.05)	45.6 (1.37)**	0.853 (1.18)
苑石 D	24.8	49.0	0.890	24.2	33.8 (1.14)**	0.733 (1.06)	47.5 (1.43)**	0.873 (1.20)
コンクリートペーブ(灰白色)	30.5	51.6	0.919	21.1	38.6 (1.30)**	0.780 (1.13)	50.5 (1.52)**	0.906 (1.25)
コンクリートペーブ(灰黒色)	30.5	58.6	1.001	21.8	40.9 (1.38)**	0.803 (1.16)	57.1 (1.72)**	0.983 (1.35)
人工芝	29.5	65.5	1.086	36.0	41.6 (1.41)**	0.811 (1.17)	63.7 (1.92)**	1.063 (1.46)
水	25.9	35.1	0.746	9.2	29.3 (0.99)**	0.691 (1.00)	33.0 (0.99)**	0.726 (1.00)
気温	26.3	33.8	—	7.5	29.6 (1.00)	—	33.2 (1.00)	—

注) * cal/cm²・min ** 気温の値を1.00とした時の比率 *** 水面の表面温度の値を1.00とした時の比率

図-14 都市空間を構成する各素材の表面温度の経時的変化

(東京農業大学構内研究棟屋上：東京都世田谷区，1979年8月2日～3日の24時間)
測定結果，天候：晴，風向風速：SSE～S～SSW，0～12m/sec

る調査結果を、より体系的に検証、整理する意味で、各調査で取扱った都市空間を構成する各素材（植物、水、土壌、石、コンクリート、人工芝など）を20種類集め、表面温度の比較測定を行い、それぞれの素材の夏季における温度特性を把握し、改めて温熱環境からみた都市の植生の役割を実証することを目論んだ。調査は東京農業大学構内の研究棟の屋上ならびに人工環境気象室（人工光グロスキャビネット）内において、鉢植などにした各種の素材のモデルを設置し、測定を行った。それぞれの調査において得られた結果については以下に示す通りである。

1) 屋上におけるモデル調査

測定調査は東京農業大学構内の研究棟の屋上に鉢植などにした表—3に示す各種の素材のモデル20種類を設置し、昭和53年8月、54年6月から8月にかけて延6回行った。本項では最も系統的に調査を行った昭和54年8月2日から3日にかけての24時間、すなわち午前9時から翌日の午前9時まで30分おきに、各素材の表面温度の1日の変化、日中ならびに夜間、早朝などにおける動態を詳細に把握するために連続測定した結果を中心に述べる。得られた結果は表—3、図—14に一覧する通りである。

本調査においては、本報で前述してきた内容、前報¹⁾で報告した結果を裏付けるような種々の知見が得られた。得られた結果の要点を以下に示す。

①各測定時の表面温度は、それぞれの素材の温度特性によって様々であったが、1日の温度変化の動態は温度差こそあれ、気温の変化とほぼ同様な傾向を示した。すなわち、いずれの素材も午前11時30分から午後2時前後にかけて温度のピークをむかえ、2時過から急激に低下し、日没後の午後9時前後から徐々に低下する傾向は続くが、ほぼ平衡状態に達し、午前4時半前後に最低温度を記録し、その後はまた、徐々に温度が上昇していくという動態を示した。

②日中（午前11時から午後2時まで）の表面温度の平均値からみると、水面を除く、測定対象とした、いずれの素材の表面温度も気温より高い温度状態を示した。植生（マメツゲ：*Ilex crenata* Thunb. f. *bullata* Rehd., ノシバ：*Zoysia japonica* Steud., カーペットグラス：*Axonopus affinis* Chase.）、湿潤状態にある土壌面（川砂、赤土、黒土）の表面温度は気温より1～3℃内外高い程度であるが、苑石、コンクリート舗装、人工芝（材質：ポリ塩化ビニリデン、色：緑色）などの人工被覆物素材面は気温より10～30℃高い。この結果からも都市における人工被覆物面の増大は温熱環境に著しい影響を及ぼすであろうことが推察される。

③特に日中の表面温度の状態から測定対象とした各素材の温度特性を種別すると、日中の最高温度が50℃以上になるものとして、人工芝、コンクリート舗装（灰黒色、

灰白色）、川砂（乾燥状態）、赤土（乾燥状態）、黒土（乾燥状態）があり、この内、人工芝、コンクリート舗装（灰黒色）、川砂（乾燥状態）は夜間においても温度が30℃内外に下らず、終日、高温状態にある素材とみなせる。日中の最高温度が40～50℃内外になる素材としては砂利（寒水、伊勢、那智）、苑石（材質、色の異なる4種類）がある。日中の最高温度が40℃以下のグループとして、植生（マメツゲ、ノシバ、カーペットグラス）、川砂（湿潤状態）、赤土（湿潤状態）、黒土（湿潤状態）、水面がある。なお、これらの素材は夜間においては気温より低い温度状態を示す。

④湿潤状態にある土壌面では、川砂、赤土、黒土の土壌の種類を問わず、日中の最高温度は35.5～36.0℃であったが、同じ土壌でも乾燥状態にあるものは最高温度が56.0～59.2℃となり、土壌の乾湿の違いによって表面温度差が20℃以上になることが判明した。また、1日における最高温度と最低温度との較差は湿潤状態にある土壌面では11.6～12.7℃であったが、乾燥状態にある土壌面ではその較差も31.3～34.3℃と著しく大であった。同じ土壌であっても湿潤状態にある場合は、ほぼ植生と同様の温度特性を示し、乾燥状態にある場合はコンクリート舗装、人工芝などの人工被覆物に似た温度特性を示す。すなわち土壌はその水分状態によって全く異なる温度特性を示す素材であることが判明した。換言すれば、裸地は温熱環境からみれば、極めて不安定な都市被覆物とみなすことができる。また、この結果からいえば、夏季、乾燥した土壌のスポーツグラウンド面などは著しく高温状態になり、快適なスポーツ環境を提供するためには撒水し、常時、土壌に湿気を与える必要があるということになる。

⑤本調査においても、人工芝は日中、最高65.5℃という高温状態を示したが、芝生面は最高で38.5℃と、その較差は27℃であった。

⑥1日における最高温度と最低温度の較差でみると、自然物である湿潤状態にある土壌、植生、水面においては、その較差が13.4℃以下であったのに対して、苑石、コンクリート舗装、人工芝の人工被覆物面では20℃以上であった。特に人工芝の較差が36.0℃と最大であった。因みにこの日の気温の最高と最低の較差は7.5℃であった。

⑦自然物の表面温度は土壌（乾湿の別なく）、植生、水面、砂利にかかわらず、いずれも最低温度は午前4時から5時にかけて気温の26.3℃よりも下回った。一方、人工被覆物の人工芝、コンクリート舗装は熱容量が大なることによる蓄熱作用によって最低温度でも30℃内外と気温より明らかに高く、これらの被覆物は夜間、早朝においても温度の上昇をもたらす熱源となる素材であるといえる。

⑧同質のコンクリート舗装でも色合の違いにより、日中の最高温度の差が6.6℃というように表面温度は著しく異なる。また、庭園材料である砂利の内、黒色の那智などは日中、最高50℃にもなる。したがって、無機素材を造園空間で使用する場合には十分、その色彩、材質を温熱環境に及ぼす影響を考慮し、吟味することが望ましい。

⑨本項では、夏季における植生その他の都市被覆物の温度特性ならびに都市の温熱環境における役割を、本調査結果を基に下記に述べるような操作を行い、検証した結果について述べる。

まず本調査における24時間、30分ごとの48回の測定値を測定対象とした都市被覆物の20種類の素材のモデルならびに気温のそれぞれについて累計した。次に気温の累計値を1.000とし、気温の累計値に対する各素材の表面温度の累計値の比率を求めた。(表一3参照)同様の操作を日中、すなわち午前11時から午後2時にかけての30分ごと7回の測定値についても行った。表一3に示す、それぞれの比率の値が1.000よりも大であればあるほど、その素材は1日を通じて、あるいは日中において表面温度が高く、都市において温度の上昇をもたらす素材であるとみなすことができる。また、1.000内外であれば、温度の上昇を抑止する役目を果たす素材であるとみなせる。

表一3によれば、1日を通じての平均温度の比率でいえば、湿った土壌、水面は1.000以下、植生面は1.000内外であり、日中の平均温度の比率でいえば、水面は1.000以下、湿った土壌面、植生面は1.050内外であった。すなわち、これらの素材はいずれも温度の上昇を抑止する素材であるといえる。この他の素材は1日を通じての平均温度の比率でいえば、いずれも1.100内外であり、日中の平均温度の比率でいえば、1.500内外であり、気温の上昇に多少なりとも影響を及ぼす素材であると思われる。特に人工芝面は1日の平均で1.405、日中の平均で1.919、コンクリート舗装の灰黒色部においては1日の平均で1.382、日中の平均で1.720、灰白色部においては1日の平均で1.304、日中の平均で1.521と、その比率が著しく高く、温度の上昇をもたらす可能性が極めて大で

ある。

また、同様の意図で、さらに各素材の温度特性の相互比較、ならびに温熱環境に及ぼす影響度合をより実質的な視点からとらえるために、それぞれの素材の1日あるいは日中の表面温度の平均値を表面温度に対応する放射強度に換算した。なお、放射強度すなわち物体の表面から射出される放射エネルギーの強弱は、そのまま地表面の温度状態を左右する大きな因子であるので射出される放射エネルギーが強い素材は温度の上昇をもたらす要因となり、放射エネルギーが弱い素材は温度の上昇をもたらす要因とはならず、どちらかというが高温化を抑止する素材といえる。換算した値については表一3に示した通りであるが、さらに相互比較を明瞭にするために換算した水面の放射強度の値を1.000とし、他の素材の比率を併せて求めた。この比率の値が1.000より大きな素材ほど1日を通じ、あるいは日中において射出される放射エネルギーの強さが大である。すなわち気温の上昇に及ぼす影響が著しい素材であるといえる。表一3によれば、1日を通じて、あるいは日中において植生面、湿った土壌などは水面とほぼ差のない値を示したが、人工芝、コンクリート舗装面などは1日を通じて1割5分内外、日中においては3割内外、射出される放射エネルギーの強さが大であった。したがって、この点からいっても植生面は温度の上昇を抑止する素材であるといえ、人工芝、コンクリート舗装などは温度の上昇をもたらす素材であると言明できる。

2) 人工環境気象室内におけるモデル調査

人工環境気象室内において、設計照度 50,000 lux 内外、温度状態を10℃、20℃、30℃のそれぞれに設定し、乾燥状態・湿潤状態にある土壌(赤土、黒土、川砂)芝生(ノシバ: *Zoysia japonica* Steud., コウライシバ: *Zoysia matrella* Merr., ビロードシバ: *Zoysia tenuifolia* Willd.), 人工芝の表面温度を比較測定した。その結果については表一4に示す通りであり、大略の傾向は前述した屋上におけるモデル調査結果と同様であった。この調査結果で特記することは土壌面、芝生面の表面温度は設定温度と比例するが、人工芝面の表面温度は設定温度との顕著な比例関係は見られず、常に50℃内外の高

表一4 人工環境気象室内における各素材の表面温度の比較
(東京農業大学構内 人工光グロスキャビネット使用、設定照度50,000 lux)

設 定 温 度	黒 土		赤 土		川 砂		ノシバ	コウライシバ	ビロードシバ	人工芝
	乾 燥	湿 潤	乾 燥	湿 潤	乾 燥	湿 潤				
30℃	51.5	31.4	51.8	32.3	49.4	30.9	33.4	36.2	35.8	54.7
20	48.2	30.8	47.4	30.5	46.3	30.0	31.5	32.2	33.1	48.5
10	38.7	24.9	38.0	22.6	37.1	21.9	23.4	22.6	22.1	45.7

注) 単位はいずれも℃

温状態を示したことである。なお、土壌の種類、芝生の種類による表面温度の差はほとんど見られなかった。

IV. おわりに

本調査研究の結果、様々な形態、様相をもつ植生(緑)の役割、特に夏季における他の人工被覆物とは異なる温度特性、いかなれば植生の有する熱容量も小さく、熱伝導率も低く、さらに蒸発散作用もあるという熱的特性によってもたらされる温度の上昇抑止効果が実証できた。すなわち、夏季においてはアスファルトコンクリート、人工芝などの人工被覆物面は極めて高温となり、射出される放射エネルギーも強く、照り返し現象による快適性の阻害、都市の温熱環境への影響も懸念されるが、植生面にはこのような現象はみられず、気温とほぼ同程度か、若干高い程度の温度状態を示す。したがって、都市の温熱環境からみた場合、植生面は積極的に環境改善効果があるとはいきれないまでも気温の上昇ならびに、照り返しによる快適性を阻害する要因とはならない。換言すれば、植生が存在することによって温度の上昇抑止効果もたらされると解釈できる。都市において、植生面が次第に減少し、建物、道路などの人工被覆物におきかわると、温度の上昇抑止の歯止めがなくなり、高温化現象が促進される。この点からいっても、都市に現存する植生(緑地)の存在意義は多大なものであるといえる。また、夏季、高温となる壁面、塀、のり面などの構造物面を緑化することによって、高温化に伴う照り返しを防ぐことは、快適性を維持する上で極めて意義深いものと考ええる。この問題に関連して、前報でも若干触れたが、近年、一般住宅、商業建築物の壁面、屋上等を緑化することによって夏季の壁面、屋上の表面温度の高温化を防ぎ、室内への焼込防止、室温の上昇を抑え、冷房費を節減し、省エネルギー効果をあげようという目論みが試行されているが、この目論みも本研究結果からいえば、十分成算のあることといえる。

本研究で得られた結果の要点を記すと以下の通りである。

1) 夏季、水田あるいは畑などの生産緑地面の表面温度は気温より若干高い程度であり、芝生面より3℃内外低く、さらにアスファルト舗装道路面、裸地面などに比べると、15~18℃も低い。

2) 屋上のスラブ表面は表面仕上げの材質にもよるが、夏季、著しく高温となり、時には60℃近くにも達する。屋上庭園の植生面はスラブ表面に比べ、日中20℃以上低温になる。

3) 市街地において、地域ごとの緑被率の違いによる表面温度の顕著な違いが把握できた。

4) 既存の樹林地を造成し、裸地のまま放置しておくと、その地域の表面温度が著しく高くなる。

5) 都市にみられるモルタルのり面、ブロック塀、大谷石塀、遮音壁などの構造物面をツル植物で緑化することによって、夏季、最大で18.9℃の温度の上昇抑止効果がみられた。さらに枝葉の密生した生垣はツル植物による緑被面よりもその表面温度は3℃内外低い。

6) 夏季、水面の表面温度は植生面より5℃内外低く、さらに気温よりも低い。

7) 裸地においては土壌の種類の違いによる表面温度の差はあまりなく、同一土壌の乾湿による表面温度の差の方が著しい。場合によっては、その差は20℃以上にもなる。乾燥状態にある土壌の表面は時には60℃近くにもなり、アスファルトコンクリート、人工芝などの人工被覆物に似た温度特性を示す。一方、湿潤状態にある土壌は植生面に似た温度特性を示す。

8) 都市空間を構成する各素材のモデル実験結果を基に、各素材の温度特性を特に日中の表面温度の状態から種別すると、日中の最高温度が50℃以上となるものとして、人工芝、コンクリート舗装、乾燥状態にある土壌があげられ、この内、人工芝、コンクリート舗装などは夜間、早朝においても温度が30℃以下に下らず、終日、高温状態にある素材とみなせる。日中の最高温度が40~50℃内外になるものとしては砂利、苑石がある。日中の最高温度が40℃以下のものとして植生、湿潤状態にある土壌、水面がある。なお、これらの素材は夜間、早朝においては気温より低い温度状態を示す。

9) 水面、植生、湿潤状態にある土壌は1日の内での最高温度と最低温度の較差が13.4℃以下であるが、コンクリート舗装、人工芝などはこの較差が極めて大で、灰白色のコンクリートペーパで21.1℃、灰黒色のコンクリートペーパで28.1℃、人工芝で36.0℃であった。

10) 単に表面温度の問題だけでなく、各素材の表面から射出される放射エネルギーの強さからも、アスファルトコンクリート舗装、人工芝などは熱源として作用し、高温化をもたらす素材であると判断された。一方、植生、水面は蒸発散作用による潜熱の吸収などにより、高温化の抑止、さらには温度の降下作用の役割を果たす素材であることが認められた。

引用ならびに参考文献

- 1) 近藤三雄他：樹木、芝生の微気候調節効果に関する実証的研究 造園雑誌 46(3), 161-175, 1983
- 2) 尾島俊雄：熱くなる大都市, 42, 日本放送出版協会 1977
- 3) 土屋 巖：緑地と都市気候——都市における自然緑地、人工緑地、河川等の熱的特性——：水利科学16 (1), 29-56, 1972
- 4) Fujita, T., G. Baralt., and K. Tsuchiya : Aerial measurement of radiation temperature and their

application to the determination of ground and water surface temperatures : J. Appl. Meter. 7, 801—816, 1968

- 5) 鈴木悌司・前崎武人：緑地の都市気温に及ぼす影響
—札幌市での調査事例—：第85回日本林学会大会講

演集, 299—301, 1974

- 6) 小沢知雄・近藤三雄他：南横浜バイパス環境緑化に関する調査研究, 67—68, 道路緑化保全協会, 1977

(1982.4.10 受付, 1983.6.25 受理)

Summary : In this investigation, we tried to prove an effect of high temperature suppression by the urban vegetation in summer based on measuring the surface temperature on the various place which utilize the vegetation for temperature control by using an infrared radiation thermometer.

The results of the measurement may be summarized as follows :

- 1) The surface temperature on the green tract of land for production such as the paddy and the field show much lower than that of the lawn area as well as the asphalt pavement and the bare ground.
- 2) The surface temperature on the rooftop in summer rise up to almost 60.0°C, but it can be reduced to above 20.0°C by an existence of the vegetation in the roof garden.
- 3) It was proved that a mortared wall or a block fence covered with the vine had a suppression effect of the temperature, which showed nearly 20.0°C on a maximum during the summer, and the surface temperature of a hedge was lower than that of a green area covered by the vine.
- 4) It was cleared that the surface temperature of a residential area was influenced remarkably by a proportion of the green coverage to its area.
- 5) Leaving the timber land destroyed by construction in the bare ground alone, the surface temperature of its area increase remarkably.
- 6) The surface temperature of the water is lower than the atmospheric temperature or the surface temperature of the vegetation in summer. Judging from this results, it was shown that the surface of the water fulfilled the functions as a cool zone in the urban area.
- 7) It was proved that the surface temperature of the artificial covering objects such as the concrete pavement or the artificial lawn rised high in the daytime of summer, and did not fall down so much even in the night, moreover the difference of the temperature between on a maximum and on a minimum was very large. On the other hand, the surface temperature of the vegetation and the water did not rise so much even in the daytime, and they were also than the atmospheric temperature in the night, besides the difference of temperature between on a maximum and on a minimum was small.