

住宅地の植栽手法とその熱環境に及ぼす効果(2) (梗概)

梅干野 晃

1. はじめに

本報告は昨年度からの継続研究である。昨年度においては、夏季・晴天日における熱環境の実態調査結果を用いた主成分分析によって、植栽空間に形成される熱環境を空間形態との関連性で考察し、建築外部空間全体の中で植栽空間に形成される熱環境を位置づけることによって、その特徴を明らかにした。本年度はこれらの研究成果をふまえ、主要な研究課題として次の3項目をとりあげ作業を進めた。

1. 植栽空間に形成される熱環境実態の解析

昨年度実測を行った測定対象の中から、植栽空間として典型的と思われる4地点を選び、夏季の晴天日に主要な熱環境要素を実測した。3中空球温度、気温及び風速を説明変数とした主成分分析結果より得られた植栽空間に形成される熱環境の位置づけを、主要な熱環境要素の実測結果により説明し、植栽空間に形成される熱環境の特徴を明確にした。

2. 屋外熱環境計の実用化のための改良

昨年度の実測には筆者らが開発中の屋外熱環境計を用いた。本装置は主要な熱環境要素である、気温、風速、全日射量、平均放射温度を測定することを目的としているが、昨年度の段階では、すべての気象条件下でそれらの要素を算出するまでには至っていなかった。そのため、3中空球温度そのものが熱環境の特徴を表現しているものとしてとらえ、3中空球温度を解析に用いた。本年度は装置の問題点を明確にして次の3項目について検討して改良を行い、本装置の実用化を計った。

①中空球の最適半径の決定

②4中空球を用いる装置の有効性

③本装置の精度及び有効性

3. 熱画像を用いた建築外部空間の表面温度分布の解析とビデオの作成

植栽空間に形成される熱環境の特徴として表面温度分布があることが明らかとなった。このことから、種々の植栽空間が存在する建築外部空間において収録した赤外線放射カメラによる熱画像を用い、種々の構成材料の表面温度分布を比較検討し、植栽の表面温度分布の特徴を明らかにした。さらにこれらの結果を、建築家や建築学

を専攻している学生が視覚的に理解できるように、建築外部空間における表面温度分布の日変化を表現した熱画像のビデオを作成した。

II. 植栽空間に形成される熱環境実態の解析

前報告では、種々の建築外部空間において行った熱環境の実測調査結果より、建築外部空間全体の中で、植栽空間に形成される熱環境を位置づけ、その特徴について検討した。本報告では、植栽空間として天空を覆う植栽、側面を覆う植栽、地面を覆う植栽の中から典型的な4地点を選び、熱環境の詳細な実測を行った。

昨年度の主成分分析によって得られた主成分軸に、4地点における熱環境の日変化を布置し、その特徴を比較検討するとともに、樹冠、地面などの表面温度分布や気温の垂直分布などの実測結果から、その特徴を定量的に説明した。

1. 実測調査の概要

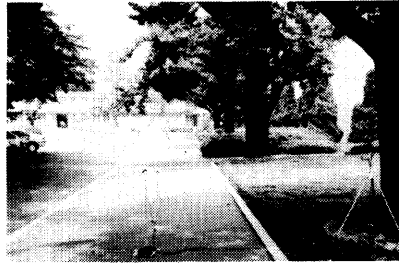
1) 実測地点：植栽形態として、天空を覆う植栽(桜並木の下、イチョウ並木の下)、側面方向を覆う植栽(建物と列植の間)、地面を覆う植栽(芝生の上)をとりあげ、昨年度の測定対象地点から典型的な4地点を選出し実測の対象とした。また比較のために、植栽の用いられていない地点(駐車場)でも測定を行った。測定地点の概要を図1に、また各測定地点の主な部位の形態係数及び日向になる時刻を表1に示す。

2) 測定期間：昭和62年7月27日から8月20日の晴天日の日中に測定を行った。

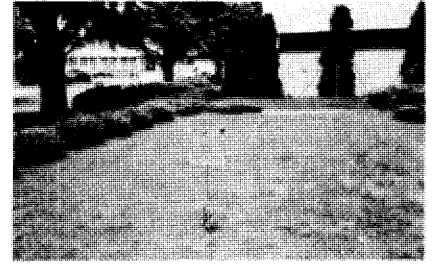
3) 測定項目：昨年度の主成分分析に適用するために、その説明変数として、各測定地点において、イ)放射率の異なる黒色・白色・クロム仕上げの3つの中空球の球心温度(高さ約1m)、ロ)気温(高さ約60cm)、ハ)風速(高さ約1m)、を測定した。また、各地点の高さ1mにおける東西南北上下の6方位の日射量を日射計で測定し、高さ10cm, 30cm, 60cm, 1.2m, 3mの気温を50μmφT熱電対を水平に振りながら測定した。表面温度については、裸地面、アスファルト舗装面、芝生を100μmφT熱電対で、樹冠を放射温度計で測定し



1. 桜並木の下



2. イチョウ並木の下



3. 芝生の上

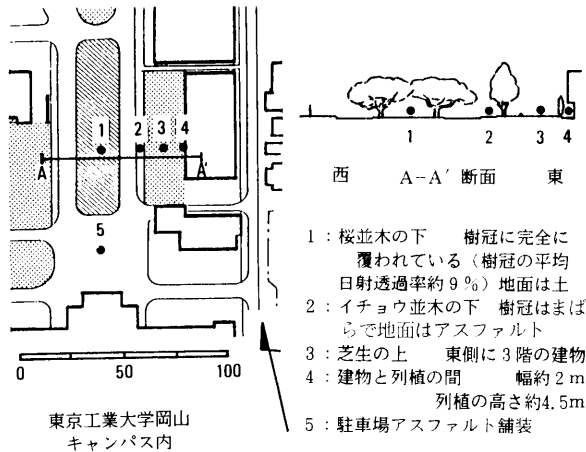


図1 測定地点の概要

表1 各測定地点の主な部位の形態係数及び日向になる時刻

測定地点	形態 芝草	係数 樹木	(%) 天空	日向時刻(時)
桜並木の下	—	42.5	8.1	—
イチョウ並木の下	11.3	38.4	6.4	—
芝生の上	48.9	17.1	21.6	10-15
建物と列植の間	3.8	25.4	5.5	12-13
駐車場	—	9.5	34.8	7-日没

た。さらに、基準となる日射量として周囲が開放的な屋上で水平面全天日射量を測定した。日変化を得るため、放射温度計以外については5分間隔で連続測定を行い、デジタルボルトメーターで自動記録した。

2. 植栽空間に形成される熱環境の特徴

早朝から夕方までの各測定地点における30分間隔の測定値(5分間隔で6回測定した平均値)より主成分得点を算出し、「陽あたり効果の軸(I軸)」及び「再放射の度合の軸(II軸)」で作られる平面上に布置して線で結んだものが図2である。また、これを平滑化して1つにまとめたものが図3である。

同図より植栽が導入されている空間の熱環境の特徴を2つに大別できる。すなわち第II, 第III象限に点が集まり、1日の熱環境の変化が小さな桜並木の下・イチョウ並木の下・建物と列植の間の3地点と、第I, 第II, 第III象限に布置され1日の変化が大きな芝生の上との2つである。前者は植栽により日射が遮蔽される地点、後者は地面が植栽に覆われかつ周囲が開放的な地点である。

1) 植栽により日射が遮蔽される地点

図2及び図3により、桜並木の下、イチョウ並木の下、建物と列植の間の3地点の熱環境を植栽が導入されていない駐車場と比較すると、これらの地点には時間変化が小さく1日中同じような熱環境が形成されていることがわかる。I軸の値は昼間でも大きくならず、1日中0以下である。また、昼間の軸の値は3地点とも0付近に集まっている。つまり、植栽により日射が遮蔽されているこれらの空間には、陽あたり効果が小さく、再放射についてはほとんど感じられないような熱環境が形成されていると言える。

一方、朝や夕方における再放射の度合は、芝生の上に比べて相対的に大きく、周囲からの冷放射は感じられない。

この3地点の中では、昼間におけるイチョウ並木の下の方の陽あたり効果が他の2地点に比較して相対的に高く、また再放射の度合も相対的に熱放射側に寄っている。

2) 地面が植栽に覆われている地点

芝生の上における熱環境の変化を駐車場と比較すると、10時ごろまでは両地点とも陽あたり効果が大きくなり、冷放射の度合も大きくなる方向に変化している。しかし、正午に近くなると駐車場では再放射の度合が熱放射側に变化しているのに対して、芝生の上では午後までほとんど変化がみられず、両地点の熱環境には著しい差が生じてくる。正午ごろの芝生の上では、陽あたり効果は駐車場よりも低く、再放射の度合は全測定地点中で最も冷放射側に寄っている。つまり、日射量は大きい、その割には気温が低く、周囲からの再放射量も小さいような熱環境が形成されていると言える。

夕方は、駐車場ではII軸の値が負であり周囲からの再放射を感じやすいのに対して、芝生の上では冷放射が期待できる(図2)。

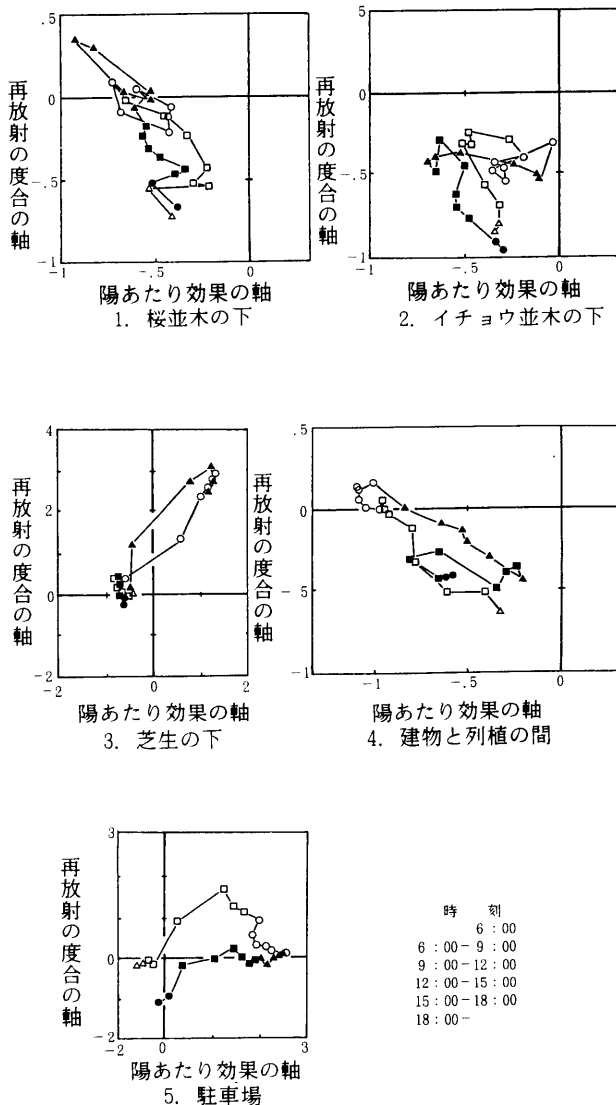


図2 各測定地点における熱環境の時間変化

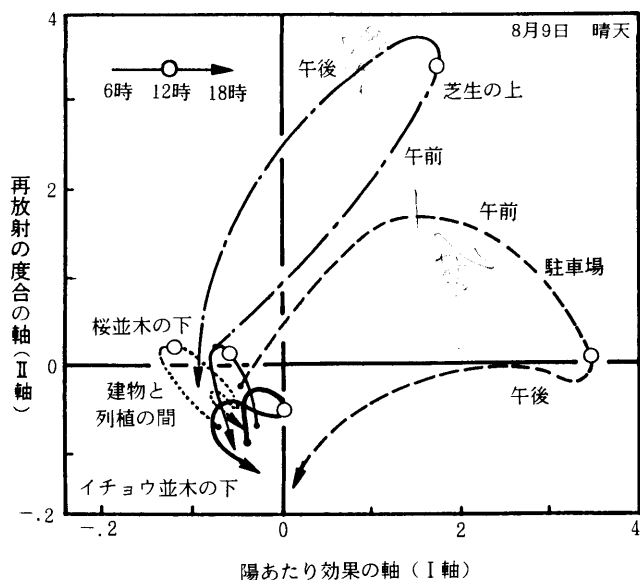


図3 全測定地点の熱環境の比較

3. 熱環境形成に及ぼす植栽の効果

次に、各植栽空間に形成されている熱環境の実態を個々の熱環境要素により説明し、熱環境形成に及ぼす植栽の効果について考察する。

1) 植栽により日射が遮蔽される地点

まず、陽あたり効果とのかかわりが大きい日射量と気温について検討する。

各地点の総日射量を図4に、6方位の日射量を表2に示す。桜並木の下においては、樹冠により直達日射や天空日射が遮蔽され、空間全体が覆われているため周辺地物からの反射日射も小さく、総日射量は駐車場の約13%になっている。

また気温についても、各地点の高さ60cmでの日変化を示した図5をみると、桜並木の下の日中の気温は駐車場より2~3℃低いことがわかる。気温の垂直分布を示した図6より、これは桜並木の下では地表面温度が低いこと、閉鎖的な空間であるため周囲からの温度の高い空気の流入が少ないことによると考えられる。日射量が小さくかつ気温が低いので、桜並木の下の陽あたり効果は昼間でも高くない。

イチョウ並木の下は桜並木の下よりも周囲が開放的なため、周辺地物からの反射日射は大きく、総日射量は桜

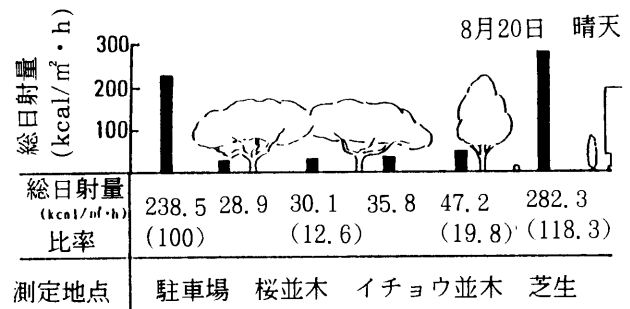


図4 総日射量の比較

表2 各測定地点における6方位日射量

測定地点	駐車場	桜並木	イチョウ並木	芝生
上	39.5	6.3	9.2	40.8
東	7.7	2.9	7.7	11.1
南	15.9	3.2	8.5	20.6
西	15.2	3.3	4.0	18.8
北	17.0	2.9	3.3	14.0
下	4.6	0.9	2.8	12.1

(kcal/m²·h)

並木の下よりも大きくなっている（図4、表2）。そのため、日中の陽あたり効果も桜並木の下より高い。両地点とも天空を覆う植栽が用いられているが、周囲の開放されている割合によって熱環境に差が生じている。

次に再放射の割合とのかかわりが大きい周辺地物の表面温度について図7に示す。桜並木の樹冠下では日射量が少なく、地面が湿っているため地表面温度は1日中気温よりも低い。また樹冠の温度は、緑葉の蒸散作用によって日向となる上面でも気温より2～3℃高い程度であり、日陰となっている下面では気温とほぼ等しく、下から見上げた樹冠の温度は、図8に示すように気温よりやや高いか等しくなる。桜並木の下における平均放射温度は、上面を覆う樹冠の温度と地表面温度の平均値と考えられるので、1日中ほぼ気温と等しいと言える。

2) 地面が植栽に覆われている地点

芝生の上における日中の総日射量は芝生からの日射反射率が大きいために、植栽の用いられていない駐車場の総日射量の約120%となっている（図4、表2）。一方、気温の垂直分布をみると、芝生の上では地表面温度が駐車場より低いため、気温に対する地表面温度の影響は駐車場より小さく、高さ60cmの気温は駐車場より0.5～1℃低い（図6）このため総日射量が大きいにもかかわらず、陽あたり効果は駐車場より低い。

地表面温度は、日向のアスファルト面では日中60℃以上に達するのに対して、芝生は蒸散作用があるため45℃前後までしか上がらず、気温より約10℃高い程度である。また天空の形態係数が大きいので天空への熱放射が大きい。そのため、陽あたりの効果は大きいが冷放射が期待できるような熱環境が形成されている。

夕方の芝生の表面温度は約25℃で気温よりも低く、天空の温度も低いので平均放射温度は気温以下であり、冷放射が感じられる（図7）。

4. まとめ

典型的な植栽空間を対象として、そこに形成される熱環境の日変化を示すとともに、天空が植栽で覆われている空間と、地面が植栽で覆われ天空が解放されている空間では、形成される熱環境の日変化には大きな違いがあることを示した。

熱環境要素としては、総日射量が大きく異なると同時に平均放射温度に植栽空間の特徴がみられることが明らかとなった。

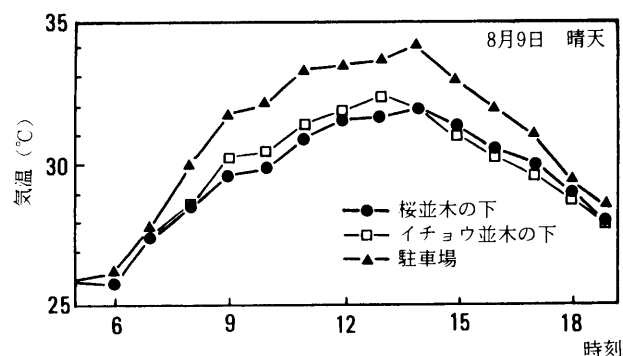


図5 各測定地点における気温の経時変化

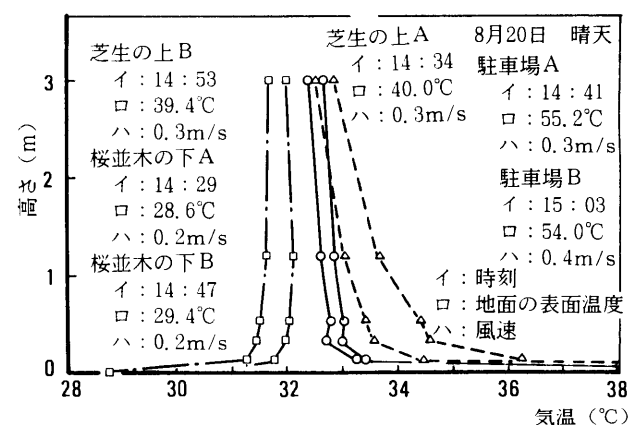


図6 各測定地点における気温の垂直分布の比較

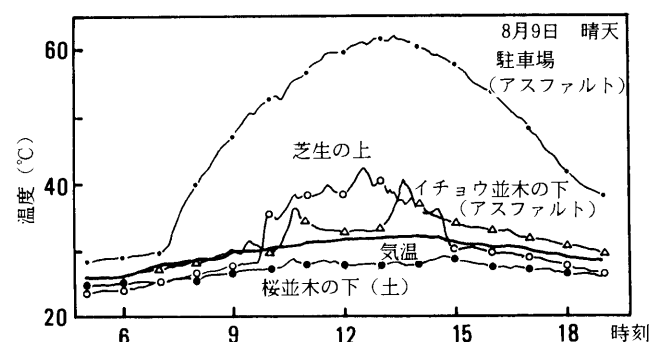


図7 各測定地点における地表温度の経時変化

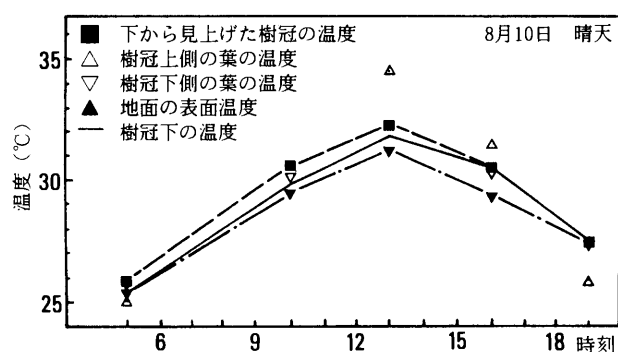


図8 桜並木の下における樹冠と地面の表面温度

Ⅲ. 屋外熱環境計の改良とその検討

1. はじめに

昨年度熱環境の実測に用いた『屋外熱環境計』は、屋外のある地点における気温、風速、周囲からの全日射量及び周囲の平均放射温度の測定を目的として筆者らが開発を進めている装置である。本装置の測定原理とその有効性については既に報告した^(文-1)。既報では、3中空球の球心温度及び気温を測定することにより上記の3つの熱環境要素を算出するものであり、第1段階として定常状態を扱える場合のみについて検討した。また、3中空球は市販されている小グローブ温度計と同じ直径(7.5 cm)の3個の銅製中空球を用いた。そのため、中空球の最適球径に関する問題が課題として残されていた。

一方、日射が当たっている状態で測定してみると、日射の影響によって気温に測定誤差が生じ、熱環境要素の算出結果に大きな影響を与えることが明らかとなった。実用化を計るための解決方法としては、気温測定の代わりに4個の中空球を使うことにより、4球の球心温度のみから上記の4熱環境要素を求める方法や、風速を測定し他の3つの熱環境要素を算出する方法等が考えられる。

以上のことから、装置の実用化を目的として、次の点を中心に検討を行った。さらに、改良した装置を製作しその有効性の検討を行った。

- ① 中空球の最適球径の決定
- ② 4中空球を用いる装置の有効性
- ③ 本装置の測定精度及び適用性

2. 最適球径に関する検討

1) 数値計算による検討方法

後述のように、実用上は球径の小さい中空球が望ましい。しかし、熱的な観点からは、球径が小さくなると外気温と中空球温度との差が小さくなるため、測定精度の点からは不利となるとともに、球面における熱収支成分の中で対流伝熱成分が大きくなり、放射に対する感度が悪くなる。以上のことから、球径と各熱環境要素の算出結果の精度との関係を、種々の設定条件下において数値計算により検討した。計算方法としては、球心温度に測定誤差が生じた場合、及び球面の物性値が変化した場合を仮定し、球径の違いに対して各熱環境要素の算出値と元の設定値との差を計算した(以下、この差を算出誤差と称す)。測定誤差の設定値条件は次の通りである。

- ① 各中空球の球心温度の測定値に 0.2°C の誤差がある場合；
- ② 風速の測定誤差が 0.2 m/s (設定風速 = 1 m/s) 及び 0.6 m/s (設定風速 = 3 m/s) 生じた場合；
- ③ 日射吸収率が 0.05 変化した場合；
- ④ 長波長放射率が 0.05 変化した場合

気象条件によっても算出誤差が異なるため、それに最も大きく影響すると考えられる測定時の気象条件を5通り設定している。すなわち、図10-2に示したA~Eの設定条件である。図9は算出誤差が最も大きい設定条件の場合である。

ここでは3球の球心温度及び風速を用い、全日射量と平均放射温度と気温を算出する方法を採用している。この理由については次の3節にて述べる。

熱電対により球心温度を測定することから、球心温度の測定誤差は主に熱電対の起電力を記録するデジタル記録計の精度で規定されると考えられる。本装置で用いた記録計の精度より、球心温度の測定誤差は 0.2°C とした。同様に、風速計の測定精度を考慮し、風速の測定誤差は 0.2 m/s (風速 = 1 m/s) および 0.6 m/s (風速 = 3 m/s) とした。また、球面の仕上げ材料については経年変化や物性値の計測精度を考え、物性値の変化を 0.05 以内と設定した。

2) 数値計算による球径と各熱環境要素の算出誤差との関係

本装置の設計にあたっては、屋外熱環境実測の経験をふまえ、目標として各熱環境要素の精度は、全日射量 $25\text{ kcal/m}^2\text{ h}$ 、気温 0.5°C 、平均放射温度 1.0°C とすることにした。

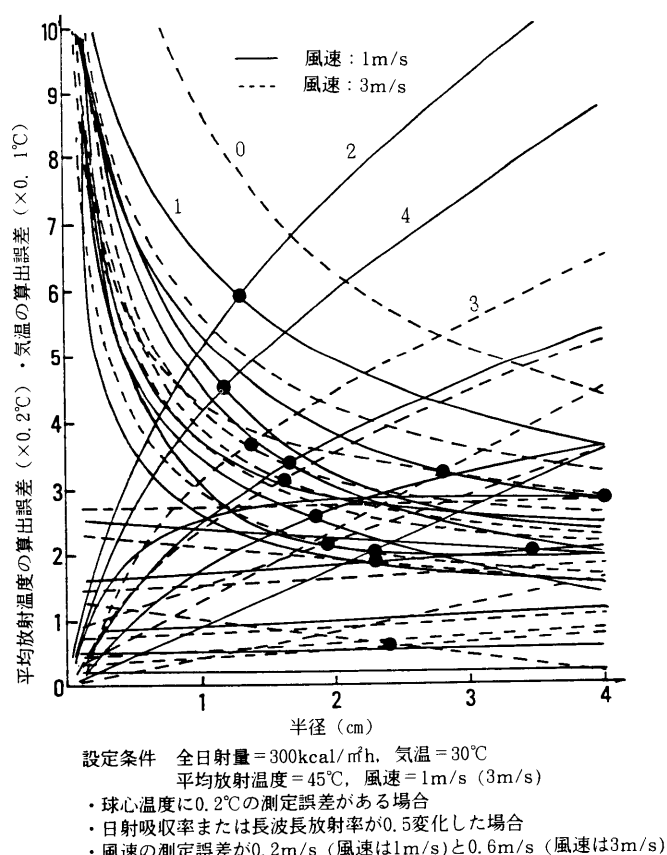


図9 球径と平均放射温度及び気温の算出誤差との関係

球径と気温及び平均放射温度との関係を図9に示す。同図では気温と平均放射温度の目標とする精度を考え、縦軸の平均放射温度の目盛りが気温の2倍になるようにしている。中空球の半径については0.5cmから4cmを対象とした。半径が大きくなるにつれて気温の算出誤差は大きくなるが、平均放射温度のそれは逆に小さくなることからわかる。また、半径が小さくなると平均放射温度の算出誤差は急激に大きくなるのに対して、気温のそれは小さくなる傾向がみられる。半径が大きくなる場合には逆の結果が得られた。さらには平均放射温度と気温の算出誤差がそれぞれ0.6℃と0.3℃以下では、半径の変化にともなうそれらの変化が小さい場合が多い。また、同図には同一条件において平均放射温度の曲線と気温の曲線との交点を黒丸で明示してあるが、本装置の設計目標を考えると黒丸に対応する半径は最適半径を表わしている。黒丸は半径2cmの近傍に集中していることが読み取れる。

なお、図9に示してある平均放射温度と気温の算出誤差が最も大きい曲線は0～4番号で明示した。0番の曲線はクロム球の球心温度に0.2℃の測定誤差がある場合、1～3番はクロム球の日射吸収率が0.05変化した場合、4番は黒球の日射吸収率が0.05変化した場合である。このことから、クロム球の球心温度の測定誤差を抑えることと、クロム球と黒球の日射吸収率を正確にキャリブレーションすることが重要となる。

同様に全日射量の算出誤差についての数値計算を行った。その結果、すべての設定条件において全日射量の算出誤差は球径が小さくなると大きくなる傾向を示しており、その値は25kcal/m²h以下である。

3) 最適球径の決定

上に述べた数値計算により本装置の設計目標を満たす最適半径は2cm前後であるという結論が得られたが、実用上の観点からは、イ)すべての中空球が同一条件におかれること；ロ)各中空球が互いに影響を及ぼさない

表3 4球心温度より算出した4熱環境要素の算出誤差（1個の中空球の球心温度に0.2℃の測定誤差が生じた場合）

設定条件	黒球に測定誤差が生じた場合				白球に測定誤差が生じた場合				クロム球に測定誤差が生じた場合				酸化銅球に測定誤差が生じた場合			
	全日射量 (kcal/m ² h)	MRT (℃)	風速 (m/s)	気温 (℃)	全日射量 (kcal/m ² h)	MRT (℃)	風速 (m/s)	気温 (℃)	全日射量 (kcal/m ² h)	MRT (℃)	風速 (m/s)	気温 (℃)	全日射量 (kcal/m ² h)	MRT (℃)	風速 (m/s)	気温 (℃)
A	31	0.9	0.3	0.1	-26	0.1	-0.2	-0.1	30	-0.2	0.3	0.5	-24	-0.5	-0.2	-0.3
B	31	-0.1	0.3	0.0	-27	1.1	-0.2	-0.1	32	-1.7	0.3	0.5	-25	0.5	-0.2	-0.2
C	55	10.8	4.2	0.2	-20	-3.6	-0.7	-0.3	99	19.4	13.8	0.7	-17	-4.1	-0.7	-0.5
D	59	1.5	4.5	0.0	-20	0.2	-0.7	-0.1	115	-1.9	17.0	0.5	-17	-0.2	-0.7	-0.6
E	59	-2.1	4.5	-0.0	-20	1.5	-0.7	-0.1	116	-11.5	17.1	0.5	-17	1.1	-0.7	-0.2

MRT:平均放射温度

表4 4球心温度より算出した4熱環境要素の算出誤差（1個の中空球の日射吸収率が0.05変化した場合）

設定条件	黒球に測定誤差が生じた場合				白球に測定誤差が生じた場合				クロム球に測定誤差が生じた場合				酸化銅球に測定誤差が生じた場合			
	全日射量 (kcal/m ² h)	MRT (℃)	風速 (m/s)	気温 (℃)	全日射量 (kcal/m ² h)	MRT (℃)	風速 (m/s)	気温 (℃)	全日射量 (kcal/m ² h)	MRT (℃)	風速 (m/s)	気温 (℃)	全日射量 (kcal/m ² h)	MRT (℃)	風速 (m/s)	気温 (℃)
A	-75	-2.3	-0.5	-0.1	152	-0.4	1.5	0.4	-86	0.6	-0.7	-2.8	195	4.1	2.8	1.0
B	-76	0.2	-0.5	-0.0	159	-6.5	1.6	0.3	-88	4.6	-0.7	-2.6	207	-4.6	3.0	0.9
C	-13	-2.7	-0.5	-0.1	27	4.7	1.7	0.2	-15	-3.2	-0.7	-0.6	36	8.3	3.1	0.3
D	-13	-0.4	-0.5	-0.0	30	-0.3	1.8	0.1	-16	0.3	-0.7	-0.5	40	0.5	3.5	0.2
E	-13	0.5	-0.5	0.0	30	-2.2	1.8	0.0	-16	1.4	-0.7	-0.4	40	-2.5	3.5	0.1

MRT:平均放射温度

表5 4球心温度より算出した4熱環境要素の算出誤差（1個の中空球の長波長放射率が0.05変化した場合）

設定条件	黒球に測定誤差が生じた場合				白球に測定誤差が生じた場合				クロム球に測定誤差が生じた場合				酸化銅球に測定誤差が生じた場合			
	全日射量 (kcal/m ² h)	MRT (℃)	風速 (m/s)	気温 (℃)	全日射量 (kcal/m ² h)	MRT (℃)	風速 (m/s)	気温 (℃)	全日射量 (kcal/m ² h)	MRT (℃)	風速 (m/s)	気温 (℃)	全日射量 (kcal/m ² h)	MRT (℃)	風速 (m/s)	気温 (℃)
A	2	0.1	0.0	0.0	19	-0.1	0.2	0.1	-17	0.1	-0.2	-0.4	-5	-0.1	-0.1	-0.1
B	22	-0.1	0.2	-0.0	-1	0.1	0.0	0.0	16	-0.9	0.2	0.3	-35	0.8	-0.3	-0.3
C	-13	-2.8	-0.5	-0.1	38	6.4	2.5	0.2	-20	-4.4	-0.8	-1.1	76	16.9	9.2	0.4
D	1	0.0	0.0	0.0	2	-0.0	0.1	0.0	-2	0.0	-0.1	-0.0	-2	-0.0	-0.1	10.0
E	7	-0.3	0.4	0.0	-3	0.2	-0.1	-0.0	9	-0.9	0.6	0.1	-9	0.6	-0.5	-0.1

MRT:平均放射温度

ことをも考慮する必要がある。半径が2 cmである場合に各球が互いに30cm以上離れば、各中空球の間の形態係数が0.01以下となり、相互の影響を無視できる。そのため、各中空球が同一条件におかれる仮定は満たすことができると考える。ただし、水平のある方向より強い放射がある場合は本装置の適用範囲外となる。

以上の検討結果により、今回の本装置に使用した中空球の最適な半径を2 cmとした。なお、半径を2 cmにすることによって、中空球内の空気温度が均一であるという仮定を満たすことが困難と考えられることから、中空球内は真空とすることにした。

3. 4 中空球を用いる装置の検討

1) 球心温度のみから4熱環境要素を算出する方法について

原理的には、次のように日射吸収率と長波長放射率の異なる4つの中空球を考え、それぞれに成り立つ熱収支方程式を連立させ、4球の球心温度のみで前述の4つの熱環境要素を求めることができる。理想的には4球の表面熱放射特性はそれぞれ以下の通りである。

中空球Ⅰ：日射吸収率は大、長波長放射率は大；

中空球Ⅱ：日射吸収率是小、長波長放射率は大；

中空球Ⅲ：日射吸収率は大、長波長放射率是小；

中空球Ⅳ：日射吸収率是小、長波長放射率是小。

上記の算出方法の有効性を明らかにするために、球心温度の測定誤差や球面の物性値の経年変化が4熱環境要素の算出結果に及ぼす影響を把握する必要がある。そこで2節と同様な数値解析シミュレーションにより、各熱環境要素の算出誤差について検討した。

表3～5に1例を示す。3中空球を用いた既報の場合に比べて4熱環境要素の算出誤差の大きくなる場合が多く、特に全日射量と平均放射温度の算出誤差が大きくなっていることがわかる。その結果、実用的には4球の球心温度のみで4熱環境要素の算出方法が有効ではないと考えられる。

2) 気温または風速を測定する方法

上述の検討結果により、4球の球心温度に加えて気温または風速の測定値を用い、他の3つの熱環境要素を算出する方法が考えられる。この2つの方法について、どちらが有効かを判定するために前述した数値解析方法で全日射量、平均放射温度及び風速または気温の算出誤差を計算し比較を行った。

イ) 球心温度に0.2℃の測定誤差がある場合

気温を測定した場合と風速を測定した場合について全日射量及び平均放射温度の算出誤差を比較したものが図10-1である。同図の左と右に示したのはそれぞれ設定風速が1 m/sと3 m/sのときの算出誤差である。設定風速が1 m/sのときに、A、B、Dの設定条件で2つの方

法の平均放射温度の算出誤差がほぼ同じであるが、C、Eの設定条件では風速を測定する方法より気温を測定する方が算出誤差は大きい。設定風速が3 m/sになると、Bの設定条件のみで2方法の平均放射温度の算出誤差がほぼ同じであることを除いて、他の設定条件では気温を測定する方法より風速を測定する方が算出誤差が小さくなっている。

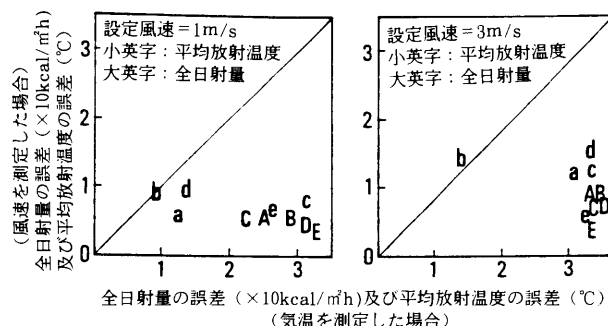
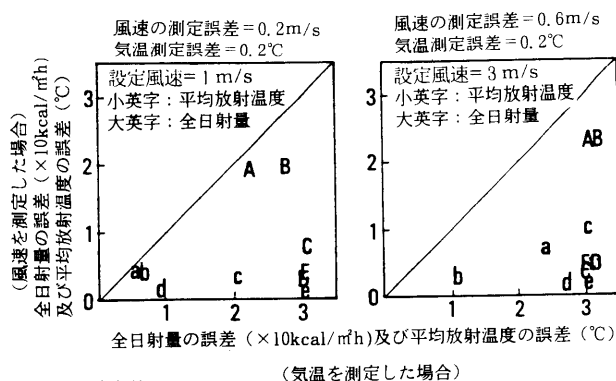


図10-1 気温を測定した場合と風速を測定した場合の算出誤差の比較
(球心温度に0.2℃の測定誤差がある場合)

表6 気温を測定した場合と風速を測定した場合の算出誤差の比較

条件	気温算出誤差(℃)	風速算出誤差(m/s)
A	0.3 [0.3]	-0.3 [1.4]
B	0.3 [0.3]	-0.3 [1.7]
C	0.3 [0.3]	1.0 [3.0]
D	0.3 [0.3]	1.6 [3.5]
E	0.3 [0.3]	2.5 [4.5]

[] 設定風速=3m/sの場合



設定条件
A：全日射量=300kcal/m²h, 平均放射温度=45℃, 気温=30℃
B：全日射量=300kcal/m²h, 平均放射温度=31℃, 気温=30℃
C：全日射量=50kcal/m²h, 平均放射温度=45℃, 気温=30℃
D：全日射量=50kcal/m²h, 平均放射温度=27℃, 気温=25℃
E：全日射量=50kcal/m²h, 平均放射温度=23℃, 気温=25℃

図10-2 気温を測定した場合と風速を測定した場合の算出誤差の比較
(気温と風速の測定誤差がある場合)

表 7 各熱環境要素の算出誤差が最も小さい組合せ（1 個の中空球の球心温度に 0.2℃の測定誤差が生じた場合）

条 件	全 日 射 量				気 温				平均放射温度			
	黒球	白球	クロム球	酸化銅球	黒球	白球	クロム球	酸化銅球	黒球	白球	クロム球	酸化銅球
A	③	④	①	②	③	④	①	③	①	②	③	④
B	③	④	①	②	③	④	①	③	①	②	③	④
C	③	④	①	②	③	④	①	③	①	②	③	④
D	③	④	①	②	③	④	①	③	①	②	③	④
E	③	④	①	②	③	④	①	③	①	②	③	④

①～④：組合せの記号

①：黒球，白球，クロム球 ②：黒球，白球，酸化銅球 ③：黒球，クロム球，酸化銅球 ④：白球，クロム球，酸化銅球

表 8 各熱環境要素の算出誤差が最も小さい組合せ
（風速の測定誤差がある場合）

条 件	全 日 射 量		気 温		平均放射温度	
	V=1m/s	V=3m/s	V=1m/s	V=3m/s	V=1m/s	V=3m/s
A	①，②	①，②	④	④	③	②
B	①，②	①，②	④	④	④	④
C	①，②	①，②	④，③	④，③	②，③	②，③
D	①，②	①，②	④，③	④，③	③	②，③
E	①，②	①，②	④，③	④，③	④	④

①～④：組合せの記号

①：黒球，白球，クロム球 ②：黒球，白球，酸化銅球 ③：黒球，クロム球，酸化銅球 ④：白球，クロム球，酸化銅球

風速を測定する方法では気温が算出でき，気温を測定する方法では風速を求めることができる。表 6 はこの 2 つの算出方法による気温の算出誤差または風速の算出誤差である。同表より風速を測定する方法については，すべての設定条件でも気温の算出誤差は 0.3℃以下になっている。気温を測定する方法では，設定風速＝1 m/s の場合に C～D の設定条件での風速の算出誤差が大きくなっており，ことに設定風速＝3 m/s の場合にはいずれの設定条件においても大きな算出誤差が生じている。

ロ）気温を測定したときの測定誤差が 0.2℃と風速を測定したときの測定誤差が 0.2m/s（設定風速＝1 m/s）または 0.6m/s（設定風速＝3 m/s）の場合の比較

気温の測定誤差及び風速の測定誤差を考慮するとき，上記の 2 つの算出方法について全日射量及び平均放射温度の算出誤差を図 10-2 に示す。A，B の設定条件では 2 つの方法の全日射量及び平均放射温度の算出誤差に大きな違いはないが，その他のいずれの設定条件でも気温を測定する方がそれらの算出誤差は大きいことがわかる。

その他，球面の物性値が変化した場合についても 2 つの方法の比較を行った。同様に，風速を測定する方が各熱環境要素の算出誤差が小さいことは明らかになった。

以上に述べた 2 つの方法の算出誤差について検討した結果により，風速を測定する方法を採用することにした。

3）算出誤差が最小になる組合せについて

4 中空球のうち 3 球の球心温度と風速を用いて他の熱

環境要素を算出する場合，4 通りの算出結果が得られる。その中に算出誤差が最も小さい組合せが存在し，環境条件によってそれが異なることが判明した。換言すれば，本装置に 4 球を使用することによって最も正確な算出結果を示す組合せを選択することができる。ここで上述の最良の組合せを自動判別するアルゴリズムを確立することは実用上興味深いと思われるため，1 例として 5 通りの測定時の気象条件において各熱環境要素の算出誤差が最も小さい組合せを表 7 と表 8 に示す。

球心温度の測定に誤差が 0.2℃あると設定した場合について検討したものを表 7 に示す。全日射量，気温及び平均放射温度の算出誤差が最小である組合せは 1 通りだけでなく，球心温度の測定誤差が生じた中空球のみに関係する。または表 8 に示すように風速に測定誤差がある場合に，全日射量の算出誤差が最小になる組合せは 2 通りであるが，気温と平均放射温度のそれが 1 通であるか 2 通りであるかは，測定時の気象条件によって決まると考える。なお，これを自動的に抽出するためのアルゴリズムを有する本装置のリアルタイム計測システムに関する検討については次報に譲ることにする。

4. 本装置の精度及び適用性の検証実験

既報では基礎的な段階として定常状態を扱ったが，屋外の場合一般には非定常状態として扱わなければならない。非定常状態における中空球の熱収支方程式は次式で表わされる。

$$a_{iq} + h(\theta_a - \theta_{gi}) + \varepsilon_i \sigma (Tr^4 - T_{gi}^4) = C \frac{\partial \theta_{gi}}{\partial t} \quad \dots\dots(1)$$

【記号説明】

a_i ：日射吸収率， ε_i ：長波長放射率，

q ：全日射量， θ_a ：外気温， h ：対流熱伝達率，

σ ：Stefan-Boltzman 定数， Tr ：平均放射温度，

θ_{gi} （ $\theta_{gi} = T_{gi} - 273$ ）：球心温度， C ：中空球の見かけ上の熱容量を表わす係数， t ：時間変数， i ：各中空球の記号

屋外における種々の気象条件で実験を行い、本装置により測定した4中空球温度及び風速データを用いて全日射量、平均放射温度及び気温を非定常状態で算出した。この結果と他の測定方法による実測結果を比較することによって、本装置の精度と適用性を明らかにした。特に日射の極端な変化に対する応答性についても検討するため、屋外での模擬実験を行った。

1) 実験概要

実験場所はRC造建物壁面に囲まれたキャビティである。天空が見えるキャビティの周囲の4面は約20m×12mのコンクリート壁であり、地面は約20m×20mのコンクリート地面である。地面の中央において地上60cmに本装置が設置されていた。本装置を中心とした周囲1mは日射量が均一であると考えられ、本装置と相互の影響を無視できるように約40cm離れたところに簡易日射計を用いて製作した6方位日射計を設置した。また、熱電対により地面のコンクリート表面温度と気温を測定した。その他、10分間隔に放射温度計で周囲の表面温度や天空の放射温度を測定した。なお、デジタルボルトメーターにより、すべての熱電対及びその他の計器の出力を自動収録した。測定データの収録間隔は10秒である。

上記場所で行われた模擬実験については、日射が安定している時に、本装置の上方1.2mに迅速に板をかけて直達日射を遮る。その状態で約10分間継続した後、迅速にこの板を外す。このようにして測定を数回繰り返した。実験に用いられた板は3m×3mで、日射を透過するポリカーボネート板（片方の表面をマット仕上げ）と両面に黒色塗装をしたベニヤ板であった。

2) 製作した屋外熱環境計の概要

前節での検討結果をもとに、製作した屋外熱環境計の概要を図11に示す。真空にした銅製中空球の半径は2cm、厚さは0.03cmである。4個の中空球を使用し、各球の表面仕上げ及び日射吸収率と長波長放射率は以下に示した通りである。

	球-1	球-2	球-3	球-4
表面の仕上げ	黒色ペイント	白色ペイント	クロムメッキ	選択膜
短波長吸収率	0.90	0.20	0.34	0.67
長波長放射率	0.92	0.92	0.15	0.20

すべての中空球の内表面は黒化してある。球心温度の測定には50 μ m ϕ T熱電対が用いられている。熱電対感温部は中空球内表面との放射授受を促進するため0.5mm程度の球状として表面を黒化した。

風速測定にサーミスタ式熱線風速計を使用した。水平方向には指向性がない。風速センサーと温度補償センサーは、日射があたった場合にも同じ条件となるようにし1cm離し、本装置の垂直支持棒の上端にセットしてある。



図11 製作した「屋外熱環境計」

風速計の応答速度はフル・スケール(F.S)で15秒である。

3) 実験結果及び考察

本装置による各熱環境要素の算出結果及び測定結果を図12-1～3に示す。測定期間の天候状態は快晴、晴れ、曇りに分けられる。

日射量が安定している場合及び日射量が安定した状態から急激に変化した場合について、屋外熱環境計による算出結果と測定結果を図12-1に示す。日射量が安定していて、定常状態と考えられる場合には屋外熱環境計による算出結果と測定結果はよく一致している。しかし、日射量が瞬間的に減少する場合、算出結果では全日射量が緩やかに低下しており、同図に示すように安定な値になるまで2分ほどを必要としており、日射量が急に大きくなる場合にも、同様に全日射量の算出値が安定になるまで約2分が必要である。ここでは最も急激な気象条件の変化と考えられる日射の変化を例にとって検討したが、この結果により外界気象要素が極端に変化した場合、2分程度経過すれば、本装置は利用することができると考えられる。

日射が非常に不安定な場合には、上記の結果から推測できるように全日射量の算出結果はばらついてしまう。図12-2にその1例を示す。本装置によって得られた全日射量は6方位簡易日射計による6方位の平均日射量に比べてばらつきが大きく、かつ若干大きな値を示している。

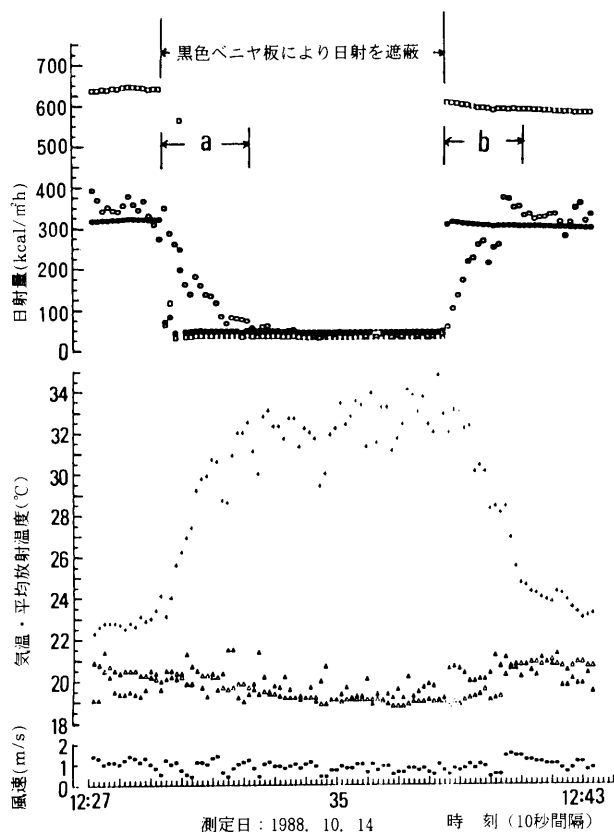


図12-1 本装置による各熱環境要素の算出結果
(快晴)

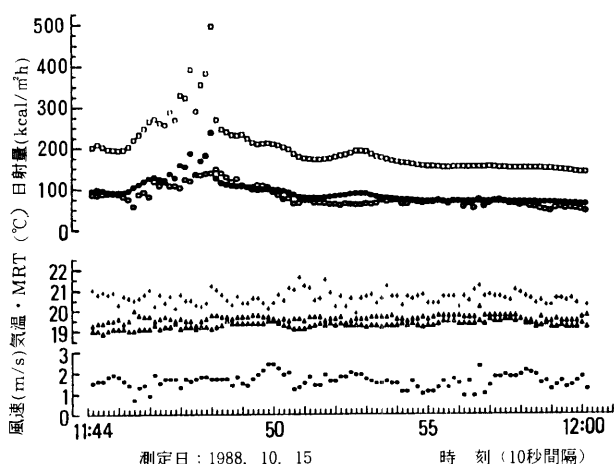


図12-2 本装置による各熱環境要素の算出結果
(曇り)

しかし、図12-3の例のように日射の変化が穏やかである場合には、本装置による全日射量と気温は実測値とほぼ一致している。なお、前報でも明らかなように日射が安定していて、図12-2の後半のような定常状態では、全日射量及び気温の算出結果は実測結果とよく一致していることがわかる。

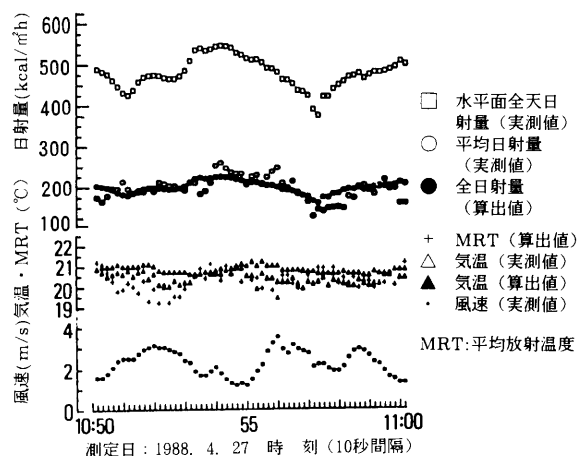


図12-3 本装置による各熱環境の算出結果
(晴れ)

以上に述べた天候状態において、全日射量及び気温の算出結果と実測結果との相関は図13と図14に示す。図13でみられるように、すべての場合で算出した全日射量と実測した平均日射量との差は20kcal/m²h以下であった。図14によると、気温の算出値にばらつきが若干みられるが、実測値との差は最大で1.2°Cであった。

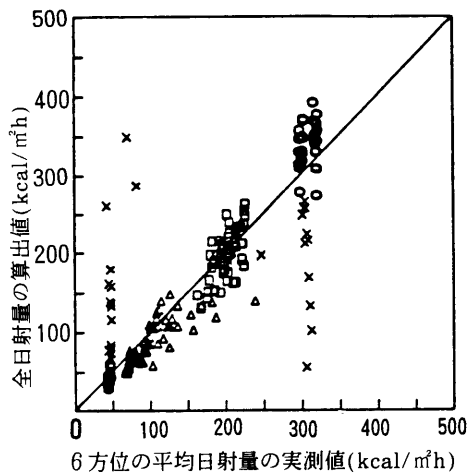
上述した3つの気象条件以外、様々な気象条件下で得られた全日射量及び気温の算出結果について、ほぼ定常として扱える間の平均値を求めた。これらの平均値と6方位日射計より求めた全日射量及び気温の測定値との相関を図15と図16に示す。図15によれば、全日射量の算出結果と実測値との差は25kcal/m²h以内である。気温については、算出結果の精度は1°C以下である。

屋外において現存の計測器で平均放射温度を正確に測定することが困難であるため、平均放射温度についての実験検証には言及していない。しかし、前述したように3元1次連立方程式の解として、全日射量、平均放射温度及び気温という3要素を算出することから、3つのうち2つの要素が正確に求められれば、残りの要素も正しいことは論理的に成立すると考える。

5. まとめ

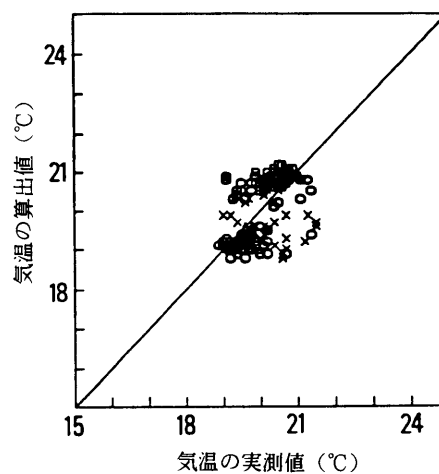
屋外において周囲からの全日射量、周囲の平均放射温度、気温、風速の4つの熱環境要素を同時に測定できる『屋外熱環境計』に関して、その実用化を計るための改良を試み、その検討結果を示した。本章で得られた知見をまとめると以下ようになる。

i) 本装置のセンサーとしての中空球について、各熱環境要素の算出誤差が最も小さくなる球径の推定を数値計算により試みた。また、実用上のことも考慮し、最適な半径を2cmとした。



○：快晴（図12-1の場合） △：曇り（図12-2の場合）
×：図12-1のa, bで示した 日射の過渡的变化期間 □：晴れ（図12-3の場合）

図13 本装置による全日射量の算出結果と実測した6方位の平均日射量との相関（瞬時値による）



○：快晴（図12-1の場合） △：曇り（図12-2の場合）
×：図12-1のa, bで示した 日射の過渡的变化期間 □：晴れ（図12-3の場合）

図14 本装置による気温の算出結果と実測した気温との相関（瞬時値による）

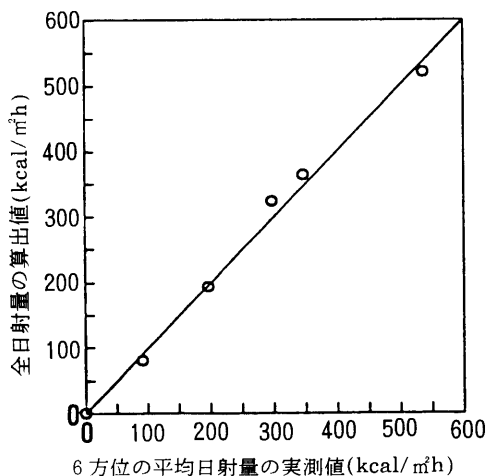


図15 本装置による全日射量の算出結果と実測した6方位の平均日射量との相関（種々の気象条件下における平均値による）

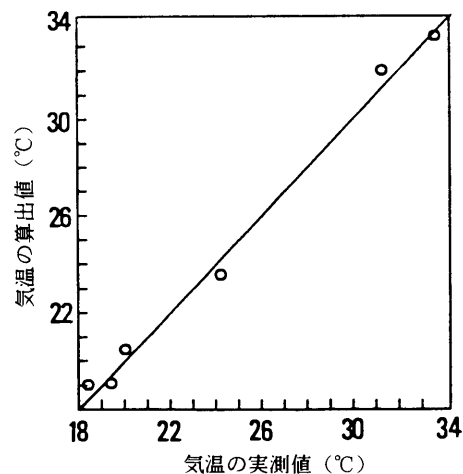


図16 本装置による気温の算出結果と実測した気温との相関（種々の気象条件下における平均値による）

ii) 既報で報告した装置にもう1個の表面仕上げの異なる中空球を加えることを提案し、装置の試作を行った。4球の球心温度のみで4つの熱環境要素を求める方法について、各熱環境要素の算出誤差に関する数値シミュレーションを行った。検討結果によれば、この方法の算出誤差が従来の方法より大きくなることを確認した。

iii) このため、4球の球心温度に加えて気温または風速の測定値を用い、他の3つの熱環境要素を算出する方法を考え、この2つの方法について同様の数値解析手

法によって比較した。その結果、気温を測定する方法より風速を測定する方が有効であることを明らかにした。

iv) 風速の測定を加え、4中空球を使用した装置の性能について実験によって検討した。気象要素が安定している外界条件のみならず、非常に不安定な場合を除けば非定常状態においても、本装置によって得られる全日射量及び気温の精度は、それぞれ $25 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$ と 1.2°C である。また、日射の極端な変化に対する応答時間は2分前後であることを模擬実験によって明らかにした。

IV 熱画像を用いた建築外部空間の表面温度分布の解析

本章では植栽空間に形成される熱環境を特徴づける要素として表面温度に着目した。自然環境を重視した集合住宅の設計手法によって、表面温度がどの程度コントロールできるのか、また、有効な表面温度分布を得るにはどのような設計手法を導入すべきかを知るためのシミュレーション手法を開発する意義は大きい。その基礎資料となる表面温度分布の実態を把握するために、種々の住棟形態と環境材料が存在する集合住宅地を対象に収録された熱画像を用いて定量的に解析を行う。さらに、表面温度の日変化の様相を視覚的にとらえることのできる熱画像のビデオを製作する。

1. 実測概要

1) 熱画像の収録対象

図17に示すように、収録対象は福岡県粕屋郡に位置する花鶴丘団地（住宅・都市整備公団）である。海岸線より約1kmのところに位置し、周囲はほぼ平坦地である。

中規模の集合住宅地であるが、住棟の階数、方位、ピロティの有無など、住棟配置や住棟形態が多岐にわたっていることや、オープンスペースを囲んだ住棟群など空間形態として豊かであること、さらに、舗装面、裸地、並木、芝生をはじめ、テニスコート、水面として小川、プールなど多くの環境材料が分布していることなどが選出の主な理由である。また、集合住宅地の中央に位置する高層住棟から、住棟に囲まれたオープンスペースが赤外線放射カメラで一望できる。

2) 赤外線放射カメラによる熱画像の収録方法

14階建高層住棟の13階ベランダに放射カメラを設置し、住棟群に囲まれたオープンスペースを中心に図17に

示す対象範囲の熱画像を収録した。

測定はそれぞれのシーンによって、連続的に、または定期的に収録を行った。

赤外線放射カメラの主な仕様を示す。

感度波長域：8～14μm

視野角：水平30°，垂直25°

瞬間視野角：2PXW

温度分解能：0.2℃

1フレーム所要時間：5秒

熱画像は、ミニフロッピーディスク及びビデオの2種類の方法で収録され、1シーンについてカラーコード16階調、カラーコード8階調、グレースケール8階調の画

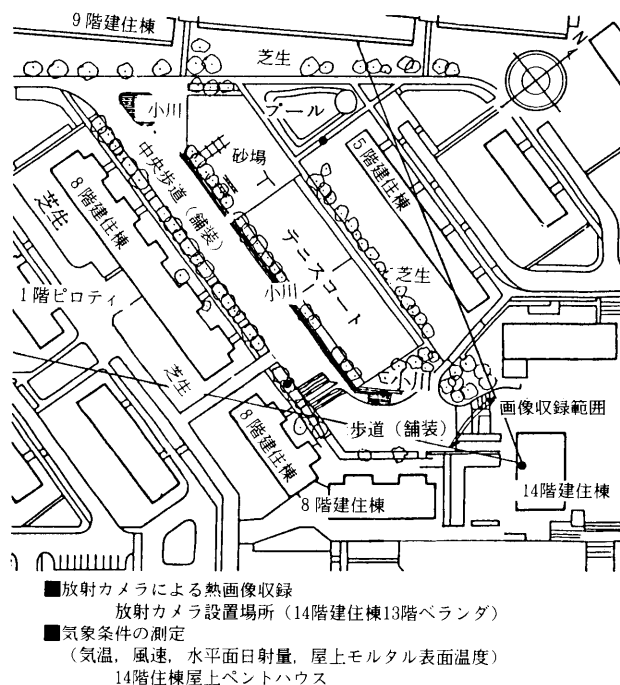


図17 熱画像の収録対象

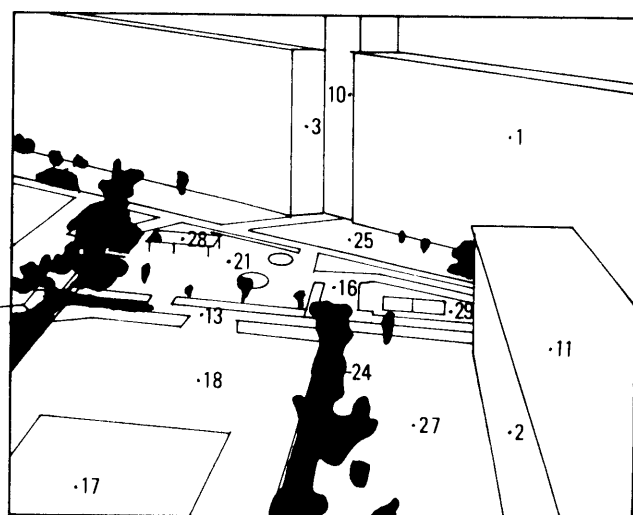
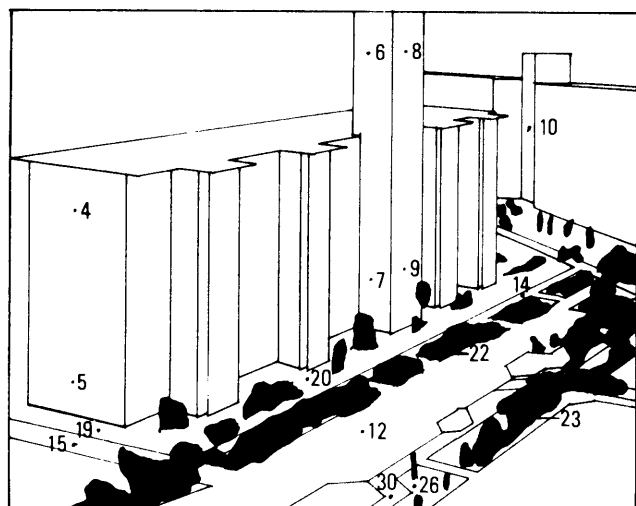


図18 熱画像より表面温度を読み取った対象地点(数字1～30地点)
(黒塗り部分と樹木)

像が得られている。

3) 屋外気象要素の測定

図17に示した14階建高層住棟の屋上で気温、水平面全天日射量、風速、屋上モルタル仕上りの表面温度をそれぞれ5分間隔で自動記録した。

4) 測定期間と期間中の天候

測定期間は1985年7月22日より、7月31日までの10日間である。7月25日の夕方に降雨があったほかは、快晴及び晴日が続く、いずれも海陸風が観測された典型的な晴日であった。

5) 熱画像の収録結果

上記実測期間中は、連日、原則的には6、9、12、15、18、21時に熱画像をミニフロッピーに収録した。また、7月24日については、ビデオの作成のために、15分おきに1シーンについて約20秒間ビデオ入力を行った。

2. 集合住宅地内の表面温度分布とその日変化

1) 解析方法

収録した熱画像を用いて次のよう手順に従って、集合住宅地における主要な部位の表面温度の日変化を求めた。

STEP 1. 熱画像をもとにして、図18に示すように集合住宅地における主要部位を抽出した。大分類としては植栽、地面、住棟であり、それぞれについて材料ごとに細分類を行った。

STEP 2. 図18に示す細分類に従って、各熱画像からそれぞれ表面温度を読み取った。

なお、表面温度分布がみられる場合には、面積的に最も多い部分の温度、最高温度、最低温度を記入した。また、部分的に日影になっている場合には、日向部分と区別し、日影部分であることを*印で示すことともに、その部分の温度を記入している。

2) 解析結果

まず始めに、各部位ごとに表面温度の日変化特性について検討したが、詳細については報告書に譲る。次に、表面温度を規定する最も主要な要素として、水平面全天日射量を取りあげ、表面温度との相関を、イ) 樹木、ロ) 草木、芝生、ハ) アスファルト舗装、裸地ごとに求めた。結果の1例を図19-1、2に示す。同図では、表面温度は気温を基準として示してある。アスファルト舗装や裸地の表面温度が日向のものでは気温よりも20℃以上も高くなるのに対して、草木、芝生では10℃前後、そして樹木の樹冠は気温より数度しか高くないことがわかる。

3. 熱画像ビデオの制作(植栽の熱的特性の視覚的表現)

1) 使用した熱画像

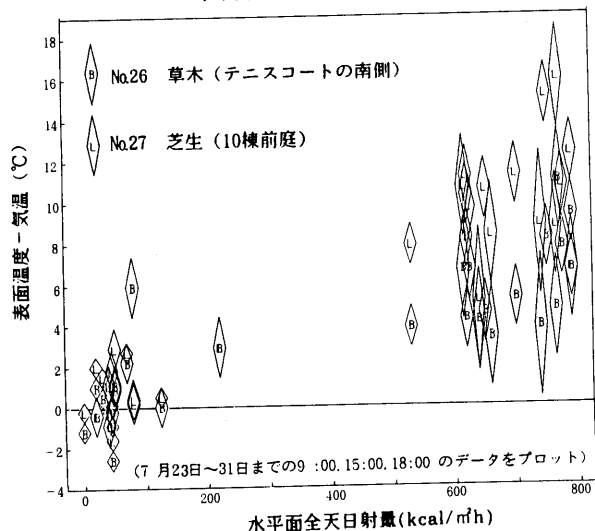
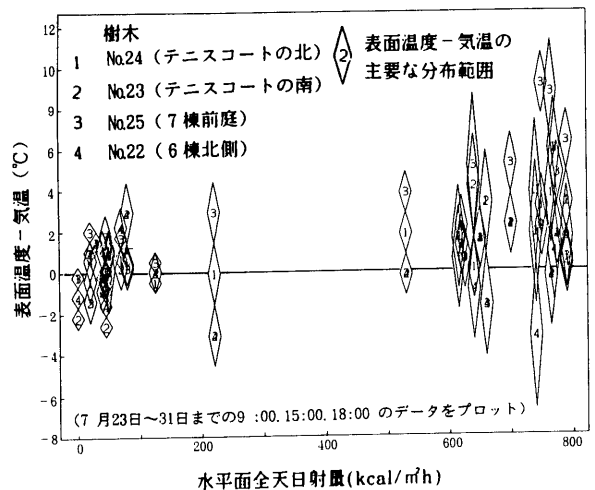


図19-1 (表面温度-気温)と日射量との関係 (植栽について)

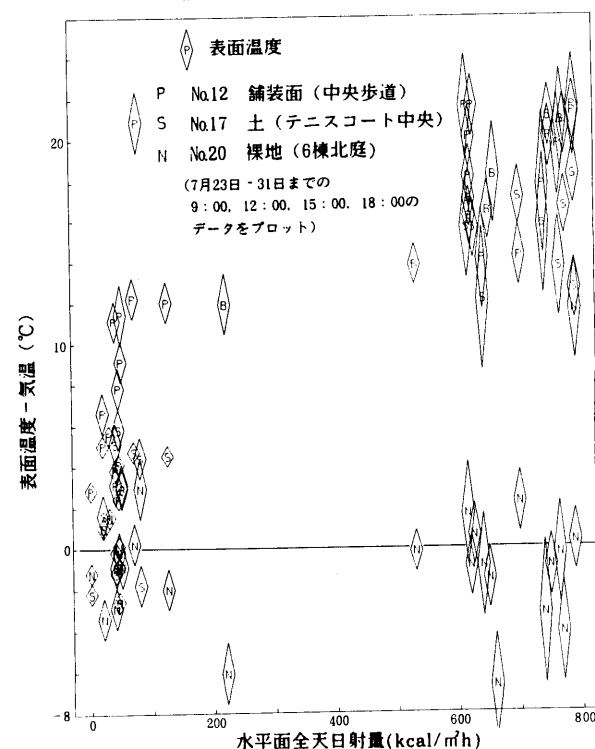
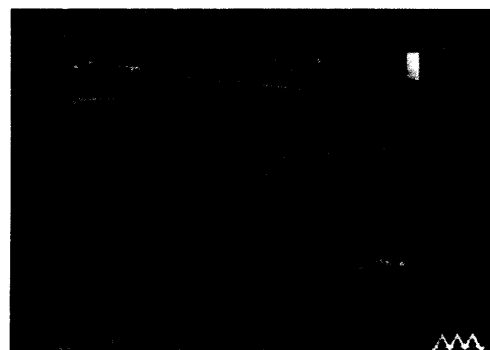
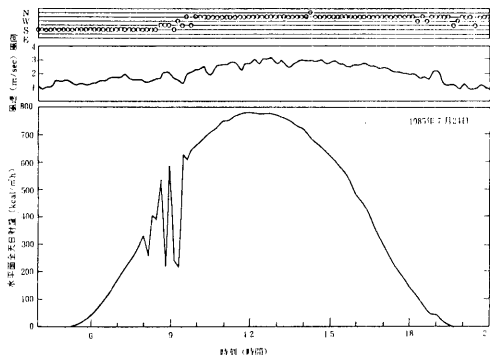


図19-2 (表面温度-気温)と日射量との関係 (舗装面と裸地について)



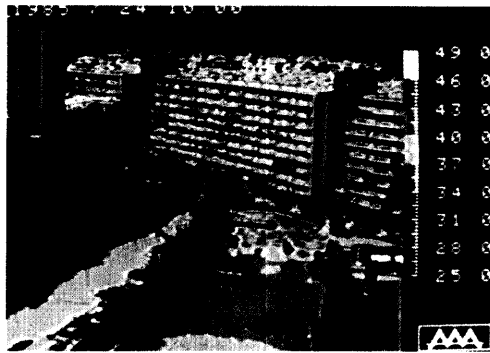
A: 7/24
B: 08:00
C: 26.1
D: 1.8
E: S
F: 325



A: 7/24
B: 09:00
C: 26.9
D: 2.1
E: SW
F: 475



A: 7/24
B: 10:00
C: 27.3
D: 2.3
E: NW
F: 650



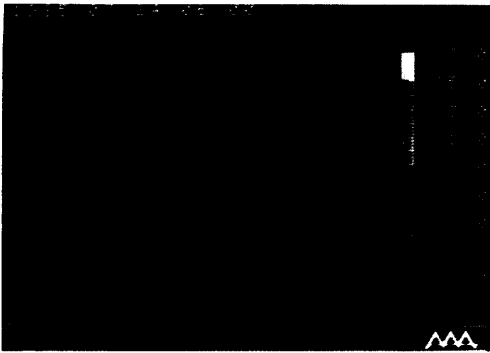
A: 7/24
B: 11:00
C: 27.9
D: 2.7
E: NW
F: 750



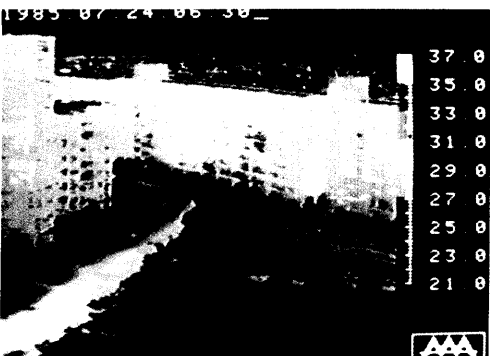
A: 7/24
B: 12:00
C: 26.8
D: 2.8
E: NW
F: 775



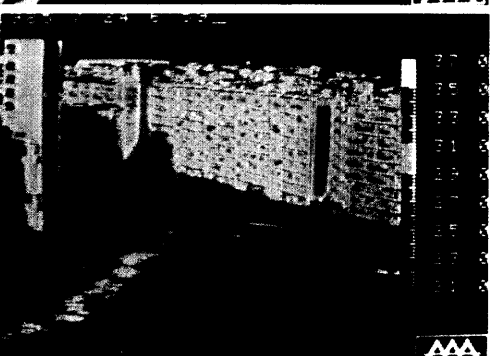
A: 収録日
B: 収録時刻
C: 気温 (°C)
D: 風速 (m/sec)
E: 風向 (8方位)
F: 水平面全天
日射量
(kcal/m²h)



A: 7/24
B: 06:00
C: 24.9
D: 1.5
E: S
F: 40



A: 7/24
B: 06:30
C: 24.9
D: 1.6
E: S
F: 100



A: 7/24
B: 07:00
C: 25.4
D: 1.9
E: S
F: 170

図20 赤外線放射カメラによる建築外部空間の熱画像

前節で用いた熱画像のうち、経時的にビデオ収録された晴天日である1日のものを用いた。(1985年7月24日～25、天候：晴天日)

・全収録シーン数：52画面(1シーンについて3スキャン以上収録、温度レンジは8レベル、16レベルの2種類)

2) 熱画像の編集

- ①熱画像の1シーンについて：3スキャン以上収録された熱画像より2スキャン分の10秒間とした。
- ②熱画像の時間間隔について：早朝は太陽の動きが激しいため、6時より8時までは15分間隔、その後の8時より21時までは20分間隔とし、最後に翌朝の5時30分(以下5:30と略記する)の熱画像を加えた。
- ③熱画像の温度レンジについて：本来であれば1日の変化は同一の温度レンジで表現することが好ましいが、その場合には温度スケールとして20℃～50℃、すなわち、30℃近い分布幅を必要とする。そのために、本研究で用いた8レベルの熱画像では温度分布は4℃程度となり、熱画像より表面温度を読み取る場合にはおおまかすぎる、また、早朝や夜間の熱画像では2レベル程度にすべてが含まれてしまうこと、などの理由から、時間帯で温度レンジを次のように設定した。
6:00～8:40 : 温度レンジ2℃(21℃～37℃)
9:00～18:10 : " 3℃(25℃～49℃)
18:30～5:30 : " 2℃(21℃～37℃)
- ④シナリオの作成について：前節で得られた知見をもとに、収録日の気象条件も含めながら、植栽の効果を中心にして空間形態と使用されている材料の観点から表面温度分布の特徴をまとめ、シナリオを作成して吹き込みを行った。
- ⑤熱画像ビデオの構成について：熱画像の全シーン数は52画面であり、図20のような構成をとった。ビデオ時間は約9分である。

3) 熱画像ビデオの要約

- ・収録の対象とした建築外部空間における日射の状態の日変化を図20に示す。
- ・気象条件：5:00ごろまでは一面雲に覆われていたが、その後雲が切れだし、5:30ごろからは快晴となる。8:30ごろから白い雲が出だし日射不安定。8:50前後では大きな雲で時々日がかげ。9:00前後より南の風から北西の風に変わり、風速が少し強くなる。その後夜まで北西の風。9:30以後は日没、さらに翌朝まで快晴の状態が続く。
- ・小川には10:20から15:30まで水を流す。
- ・プールは10:00に給水され、15:00に排水。
- ・日の出の前でも、建築外部空間の表面温度は21℃～29℃であり10℃近くの分布がみられる。
- ・昨夜から早朝にかけては曇っていただけ夜間冷却は

あまり顕著ではないが、芝生や、樹木、特に午前中のテニスコートは表面温度が低い。なお、芝生には若干結露が観察された。これに対し、熱容量の大きい舗装された歩道は前日の日中に吸収された日射熱を蓄熱し、早朝でも30℃程度で、室内の熱環境が悪化していることは容易に想像がつく。

- ・陽が登りはじめると、南東向きの住棟壁面に日射があたり出す。住棟壁面の表面温度は急激に上昇し、11:00ごろには気温が28℃前後にもかかわらず40℃以上に達する。
- ・6:30ごろから地面にも陽があたり出し、8:00には太陽高度も高くなりオープンスペース全体が日射にさらされる。オープンスペースで日影となるところは住棟の北側と樹陰のいれずかの部分に限られる。
- ・中央歩道や砂場の表面温度上昇は激しい。受熱日射が最大となる12:00から13:00にかけて、中央歩道、砂場、テニスコートは50℃以上に達する。当日の気温は若干低目であったことから、絶対値としてはそれほど大きくないものの、気温より20℃以上も高温となっていることがわかる。なお、テニスコートの中でもコートの周辺は10℃近く低く、土の表面の密度の違いによるものと考えられる。
- ・これに対して、芝生や草木、特に樹木の表面温度上昇は少なく、12:00前後でも芝生は40℃、草木は35℃、そして樹木は31℃程度である。特に、正午近くでは表面温度の上昇は頭打ちの状態となる。植物の蒸散作用が大きく寄与しており、植栽の熱的な特徴の1つと言える。
- ・オープンスペースで最も表面温度の低い部分は、東西軸住棟の北庭にみられる。正午前後で気温とほぼ等しい。早朝と夕方にわずかに日射があたるものの、ほぼ1日中日影となるところであり、特に気温よりも表面温度が低いところは、オープンスペース全体で北庭の湿った土や樹木の下に限られる。このことから、夏季の建築外部空間における日影の重要性が理解できよう。
- ・日影空間では天空日射は受けるものの、周囲の対象物の表面温度が日中では気温より低く、また、天空への再放射もあることから夏季、屋外にて涼感の得られる数少ないところと言える。
- ・正午から受熱日射量が減少するに従って、熱容量の小さい砂場やテニスコート、芝生、樹木等の表面温度は降下し始める。しかし、熱容量の大きい舗装面は相変わらず日射熱を吸収し続け15:00ごろまで高温を維持している。
- ・17:00ごろには、日射があたっているか否かにかかわらず、樹木の表面温度は気温とほぼ等しい値まで降下する。芝生や砂場など熱容量の小さいところも

気温より数度高い程度となる。

- ・しかし、熱容量の大きな舗装道路は17:00でも40℃以上の表面温度を示している。
- ・夜間では、オープンスペースで23℃～35℃、すなわち、10℃以上の表面温度分布がみられ、舗装された歩道、住棟壁面が高温を維持しており、砂場、芝生、草木、樹木などはほぼ同じ表面温度である。日中最も表面温度の低いところであった住棟の北庭もこれらとほぼ等しい値であり、翌朝にかけては周囲が開放的な地面の方が表面温度は降下する。
- ・20:00ごろでも住棟の南東面のベランダ内は30℃近い値を示している。南東向きのため午前中のわずかな時間しか直射を受けないにもかかわらず、日射熱が蓄熱されていることを示している。特にベランダのような空間では一度吸収された日射熱はコンクリートの床や袖壁等に蓄熱される割合が多い。ベランダは日射に対して、いかに無防備であり、このことが、ベランダ内の熱環境やさらには室内環境の悪化をまねいている主要因であることを理解できよう。最良の対策はベランダの外側で日射を遮蔽して、ベランダ内に日射を入れないことである。植栽スクリーンなども具体的な方法の1つとしてあげられよう。
- ・歩道とテニスコートの間にある小川について；循環方式によって、小川に水を流しているが、水深が10cm程度のため日射熱の吸収によって水温が日中では30℃以上となり、樹木などと比べ高い。視覚的には涼感が得られるものの、熱的には微細気象の形成などの効果はほとんど期待できないと考えられる。
- ・クレーのテニスコートについて；テニスコートの表面温度は、コートの表面が乾いていることと内部の断熱性が高いため、日中では砂場より高温になる。しかし、表面が少しでも湿っているときには、表面温度の上昇はかなり抑制される。

また、排水処理のための軽石層は断熱材の働きとともに、地面の熱容量を小さくしていることにより、日中非常に高温になるにもかかわらず夕方から夜間にかけての温度降下が大きくなり、夜間ではむしろ樹木よりも表面温度が低いところとなる。都市ではコンクリート造建物やアスファルト舗装など熱容量の大きい材料が多く、ヒートアイランド現象の主要因ともなっていることから、このような熱的特性をもった材料の導入は有効であると言えよう。

V. むすび

住宅地における各種の植栽手法について、その熱的環境形成に及ぼす効果を明らかにすることを目的として作

業を進めてきた。これをまとめてみると次のようである。

夏季の晴天日を対象とした熱環境の実測調査結果を用いた主成分分析によって、建築外部空間の中で植栽空間に形成される熱環境を位置づけるとともに、その特徴を主要な熱環境要素によって説明することができた。また、屋外における熱環境の実態調査を容易に実施することのできる装置として、筆者らが開発を進めてきた「屋外熱環境計」の実用化を計った。

さらに、植栽空間に形成される熱環境の特徴を表現する主要な熱環境要素として、表面温度分布があげられることを示し、建築家や建築学を専攻している学生に、これを視覚的に理解できるような熱画像のビデオを作成した。

住宅地の植栽手法とその熱環境形成に及ぼす効果(1)、(2)において、所期の研究目的を十分達成できたとは言いがたいが、以下に示すような今後に残された研究課題を進めるには、有効な研究成果であると考えられる。

今後は、本研究で実用化した「屋外熱環境計」を用いて実測を重ね、主要な熱環境要素である気温、風速、全日射量、平均放射温度について熱環境を定量化するとともに、屋外における熱環境のシミュレーションを進めたい。その結果はさらに画像処理によって解析結果を視覚化し、建築外部空間の3次元表示を試み、有効な設計支援手法を提案したい。

〈参考文献〉

1. 梅干野 晃・何 江：「屋外熱環境計の試作とその検討」，日本建築学会計画系論文報告集，第388号，昭和63年6月，P.29-37
2. 梅干野 晃・何 江・三宅行美：「屋外熱環境計の開発 その4」，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），昭和63年10月，P.701-702

〈研究組織〉

- | | | |
|----|-------|-----------------------|
| 主査 | 梅干野 晃 | 東京工業大学大学院総合理工学研究科助教授 |
| 委員 | 何 江 | 東京工業大学大学院総合理工学研究科修士課程 |
| | 五嶋 智洋 | 東京工業大学大学院総合理工学研究科修士課程 |
| | 八木 澄夫 | 琉球大学工学部助教授 |
| | 浜口 典茂 | 三重県立伊勢工業高等学校教諭 |