

# 住宅地の植栽手法とその熱環境形成に及ぼす効果(1) (梗概)

梅干野 晃

## はじめに

建築外部空間に形成される熱環境は、マクロには都市気候を、またミクロには室内気候を形成する基本となる。特に夏季においては、屋外活動の快適性を大きく左右すると同時に、開放的な生活が多いために室内気候にも直接的に影響を及ぼす。そこで住宅地の設計計画においては、建築外部空間を構成する環境設計要素によって、地表面（建物も含む）における太陽放射エネルギーの収支をコントロールし、有効な熱環境を形成する手法の開発が望まれる。

一方、住宅地の環境形成の中で、植栽は心理的效果や気候調節機能など、その果たす役割が大きいことはよく知られている<sup>2)</sup>。しかし、熱的な効果を例にとっても、設計計画に役立つ定量的なデータとなると資料は非常に乏しく、実際の設計計画でもこれらの効果を十分考慮した事例は少ないようである。住宅地の計画では、単に緑被率が高いということだけでなく、建物やオープンスペースと有機的に結びついた植栽手法が考慮されるべきであろう<sup>2)~14)</sup>。また、建物まわりにおいても、室内気候形成の観点から有効な植栽手法を導入するような視点も望まれよう。

以上のことから、本研究では、住宅地や住宅の設計計画において植栽手法を導入する場合、熱環境形成に及ぼすそれらの効果を建築環境全体の中でとらえることのできる資料を提示することを目的とする。

## 第1章 研究計画

### 1-1 建築外部空間における熱環境のとらえ方

本研究では建築外部空間を生活の場としてとらえ、そこに形成される熱環境に着目する。気象学では微気候の一分野として比較的古くから扱われてきているものの、地表面における熱収支に関する研究など、生活の場としての視点は必ずしも十分ではない。建築学においては、近年、都市の極度な人工化や環境悪化に伴い、建築外部空間も室内と同様にその重要性が認識されるようにな

り、熱環境についても尾島<sup>文15)</sup>、中村<sup>文16)</sup>、片山<sup>文17)</sup>、梅干野<sup>文18)~21)</sup>などによる研究がある。室内の熱環境に比べるとその蓄積は少ないものの、日射や再放射の重要性が指摘されている。

赤外線放射カメラの熱画像を用いた解析結果でも、夏季の日中、建築外部空間の表面温度は日向と日陰の違いや環境材料の種類によって、40℃近い差が生じていることが明らかになっている<sup>文19)~21)</sup>。このことから、植栽の熱環境形成に及ぼす効果を位置づけるにあたっては、従来から主な対象として扱われてきた気温や風速などとともに、放射を熱環境を規定する重要な要素として取り上げる必要がある。さらに、人体に与える影響を考えると、放射については直達日射や天空日射、さらには周辺地物からの反射日射からなる短波長放射と、表面温度と表面性状に見合って放射される10μm前後の長波長放射に分離して扱うことが有効であると考えられる。

一方、設計計画において熱環境を検討する場合、気温等の個々の要素を考察することも必要であるが、最終的には総合的な判断が求められる。そのための資料としては、個々の環境要素についても多くの研究課題があるものの、熱環境を総合的に把握する試みが重要となろう。

### 1-2 研究の構成

以上のことから、本研究では植栽空間に形成される熱環境が、建築外部空間の中でどのように位置づけられるかを総合的にとらえることを目的として、以下に示す流れに従って研究を進めた。

#### 1) 夏季・晴天日における熱環境の実態調査

建築外部空間の熱環境が日常生活に最も大きく影響すると思われる夏季の晴天日を対象とし、植栽空間を含めて種々の建築外部空間に形成された熱環境を比較できるような実態調査を行った。

#### 2) 対象地点における空間形態の定量化

1)と併行し、測定対象地点の周囲の状況を、空間を構成している樹木、草木、芝生、建物、天空等の形態係数でとらえ、定量化した。

#### 3) 主成分分析による植栽空間の位置づけ

1)によって得られた測定結果を変数として主成分分析を行い、熱環境を説明する軸を抽出するとともに、

その軸のもとで、植栽空間に形成された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熱環境の中で位置づけた。

4) 熱環境要素からみた植栽空間の特性

3) で得られた結果を定量的に裏付けるために、屋外熱環境計で実測された値から主要な熱環境要素である気温、総日射量、平均放射温度を求め、植栽空間の特徴を明らかにした。

## 第2章 夏季・晴天日における熱環境の実態調査

### 2-1 実測概要

前述のように屋外での日常生活に最も大きな影響を及ぼすと考えられる夏季の晴天日を対象とした。建築外部空間の熱環境は、晴天日を対象としても、気温や日射量などが測定日の気象条件によっても異なり、また時刻とともに常に変化する。このため、植栽空間をはじめとして種々の建築外部空間に形成される微細気象を相互に比較するという目的から、地域的なスケールの気象条件が等しいとみなせる比較的狭い地区内の複数地点を対象に、移動測定または各地点での連続測定を行い、同一時刻における各地点の熱環境が比較できるように実験計画を立案した。

1) 測定地区及び測定地点の選出

実測を行った地区は次に示す3地区である。

長津田地区：東京工業大学大学院総合工学研究科のキャンパス内

すずかけ台地区：東急田園都市線すずかけ台駅とその周辺及び、駅と隣接した住宅地

大岡山地区：東京工業大学キャンパス内の桜並木とその周辺

各地区における測定地点の選出にあたっては次のような点を考慮した。

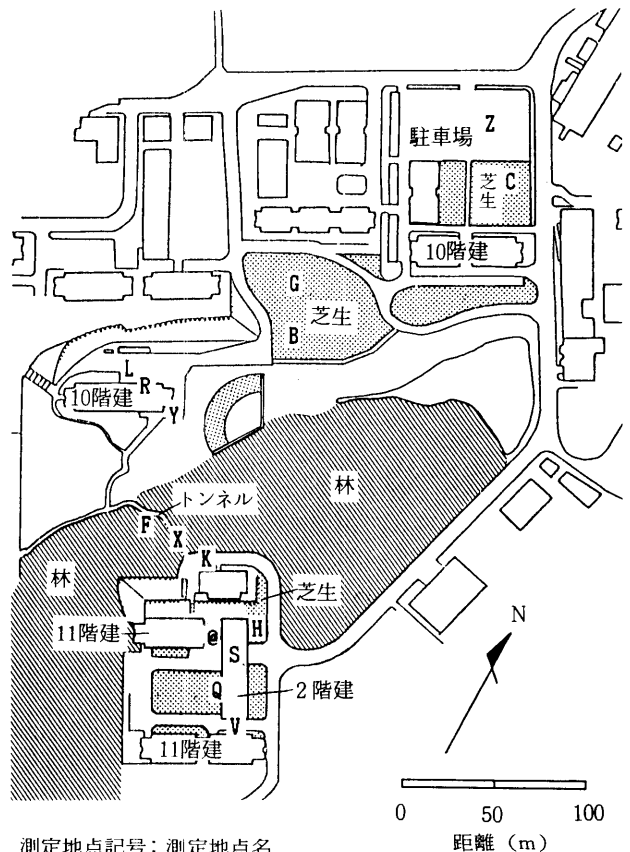
- a) 日常における主な活動空間であること
- b) 植栽空間として多彩な空間が含まれること
- c) 空間形態が単純で使用されている材料の種類も少ないこと
- d) 測定上の制約から、短時間でできるだけ多くの地点を巡回できるように、測定地点が近接していること

各地区の測定地点数は、長津田地区15地点、すずかけ台地区9地点、大岡山地区5地点の合計29地点である。

図1には長津田地区における測定地点を1例として示す。

2) 測定項目

主な熱環境要素としては、気温、湿度、風向・風速、日射、再放射などがあげられるが、本研究で目的とする



測定地点記号：測定地点名	
02 NGS2 B	かん木間の歩道
03 NGG0 C	樹の下(芝生)
06 NGG3 F	林の中
07 NGS0 G	芝生の斜面
08 NGS1 H	建物横(芝生)
11 NCG1 K	樹の下(道路)
12 NCS1 L	列植の前
17 NCS1 Q	建物の横
18 NCS2 R	建物・列植間
19 NCC2 S	ピロティの中
22 NCS2 V	建物の間
24 NCC2 X	トンネルの中
25 NCR3 Y	自転車置場
26 NCS0 Z	駐車場
27 NCS2 @	建物の間

図1 長津田地区における測定地点

ような建築外部空間に形成された微細気候の差を論ずることのできる精度をもって、これらの要素を測定することは非常に困難である。特に周囲から受ける総日射量や再放射を直接測定できる装置は見あたらない。また、複数の地点において比較測定を行うためには、同時に多くの装置が必要となる。

このようなことから、梅干野らは、気温、総日射量(測定地点の小球が周囲から受ける直達日射、天空日射及び地物からの反射日射の総量)、平均放射温度、風速の4要素を1台の装置で同時に求めることのできる「屋外熱環境計」<sup>22)~23)</sup>を開発している。現段階では、気象条件が安定していて定常とみなすことのできる場合にはこれらの要素が算出できることは確認しているものの、任意の条件で使用できるまでには至っていない。

しかし、本装置で直接測定している黒色、白色、クロム仕上げの3中空球の球心温度には、気温を基本として主に周囲からの日射と再放射、さらに風速の情報が含まれていることは確かである。以上のことから本研究では、

上記熱環境要素の情報が含まれている3中空球の球心温度と、気温及び風速を測定項目とした。

屋外熱環境計及び熱式サーミスタ風速計は地上1mに、また気温については微細気候の影響が顕著に現れるように通風乾湿計（センサには0.3mmφT熱電対を用いた。）を地上50cmに設置した。

その他、測定日の水平面全天日射量を各地区とも周囲に遮蔽物がない建物の屋上で測定した。また、主な材料の表面温度を把握するために、各測定点ごとに数点ずつ、放射温度計を用いて測定した。

### 3) 屋外熱環境計の概要

実測に用いた屋外熱環境計の概要を図2及び図3に示す。水平に設置される十字の水平支柱の先端に3個の中空球及び気温測定センサーが取り付けられている。球の直径、厚さはそれぞれ35mm、0.5mmで、表面仕上げ以外は3球とも同じ構造である。

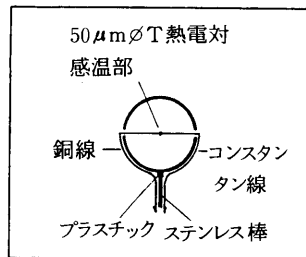


図2 屋外熱環境計の中空球の断面図

すなわち、表面仕上げは、黒色塗装、白色塗装、クロムメッキの3種類で、球の内表面はいずれも黒化している。図2に示す通り、球の中心部分には熱電対の感温部分がセットされ、球心温度を測定する。3球は相互の影響が無視できる距離（30cm）まで離してある。なお、使用した熱電対はいずれも直径50μmφのT熱電対で、感温部は直付されている。

すべての熱電対出力はデジタルボルトメーターによって自動記録される。

### 4) 測定方法

長津田地区及びすずかけ台地区では、3～7組の装置を用い、1組ごとに2～3地点を巡回して測定した。1つの測定地点では10秒間隔で5～10分間測定を続け、移動による影響がなくなった後のデータを解析に用いた。

大岡山地区では、各測定地点に装置をセットし、連続的に記録させた。

実測風景の1例としてすずかけ台地区における並木の下と、バスの停留場を図4に示す。

### 5) 実測経過

1986年の夏季には、日向及び日影での屋外熱環境計の有効性を明らかにするとともに、測定地点選定のための予備実験を行った。

本実験は1987年夏季の7月下旬から8月中旬にかけて実施した。晴天日を対象として、昼間は11:00～14:00、夕方は17:00～18:30に測定を行った。

## 2-2 測定結果及び考察

実測結果より、各地区ごとに2日間（晴天日の昼間と夕方、晴天日の昼間）の解析用データを得た。実測結果の1例を図5～7に示す。

### 1) 気温と風速について

図5は大岡山地区の4地点における昼間の気温及び風速の時間変化である。地上50cmの気温は地点によって約3℃の差が生じている。特に、アスファルト地面で日向の駐車場は、高温になった地面の影響を受け、気温は4地点の中でもっとも高い。これに対して、RC造建物の東壁と列植の間は、午前中は日影であること、また閉鎖的な空間であることから冷気が蓄えられていることにより最も気温が低い。しかし、正午から日射があたりだすと気温は上昇しはじめ、並木の中よりも高くなる。この例のように、他の地区においても、地上50cmの気温は測定地点によって最大で数℃の差が生じていることが明らかになった。

一方、風速については、周囲が開放的である駐車場は最も強く、時間変動も大きい。これに対して閉鎖的な空間である建物と列植の間では1m/sec以下である。その他、高い建物に挟まれた空間では強風は生ずるところもあり、風速については、植栽空間か否かよりもむしろ、建物などにより囲まれている状態によって大きな差がみ

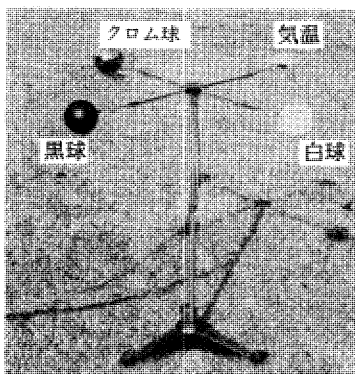


図3 屋外熱環境計



樹の下（歩道）05 TMG2 E



バスの停留場 23 TCRO W

図4 実測風景

られた。

2) 中空球の球心温度について

日向と日影での測定例をそれぞれ図6, 図7に示す。日向の芝生の斜面では、気温、白球、クロム球、黒球の順に温度が高くなる。黒球は45℃近くまで上昇し、気温と10℃近い差が生じている。また、温度が高くなる中空球ほど、日射や風速の変動の影響を受け、10分間の間でも数℃の差がみられる。

単木樹の下の日影でも、3中空球の温度差は2℃程度あり、温定精度0.2℃に対して十分な差が生じている。また、図7は日向の測定地点から移動した後の経時変化を示しているが、移動後の数分間にはその影響がみられる。このことから以後の解析ではこの部分は除いた。

次に、3中空球の球心温度の相互の関係について、地点によって最も大きな温度差を生じた黒球を基準に検討

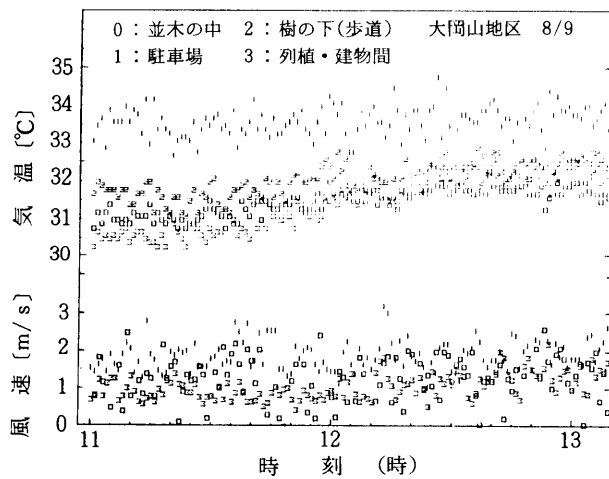


図5 測定地点における気温及び風速分布の比較

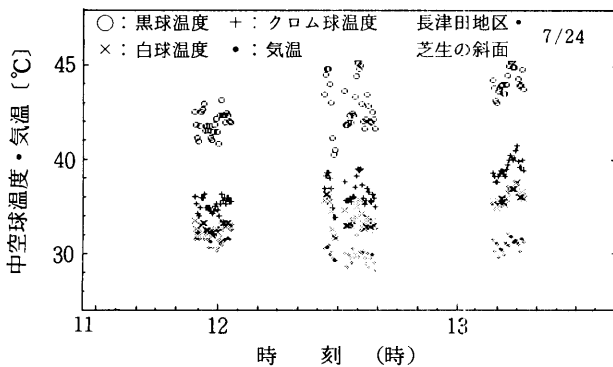


図6 日向の測定地点における3中空球温度の測定例

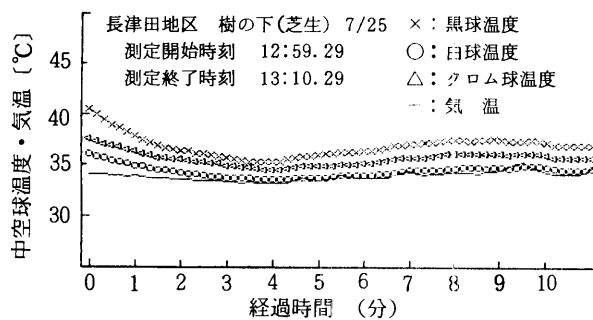


図7 測定開始後の3中空球温度の経時変化

する。図8には長津田地区の15地点について昼間の測定値(1地点について12:00と13:00の値)を示す。全体的に黒球と白球及びクロム球は正の相関がみられるものの分散も大きく、測定地点によって日射と再放射の状態が異なっていることがわかる。しかし、黒球温度が気温とほぼ等しい33℃前後では、3中空球温度は同じ温度を示す傾向がみられる。これらの地点は、周囲からの総日射がほとんどなく、平均放射温度が気温と等しいところである。黒球温度が33℃以上では、クロム球、白球とも黒球より低い値を示し、3中空球の温度差は大きくなる傾向を示している。逆にそれ以下では、白球と黒球はほぼ等しいが、黒球はクロム球より低い。日射があたらず、冷放射がみられる地点がこれにあたる。

図9はさらに同一の地区について、3中空球の温度差

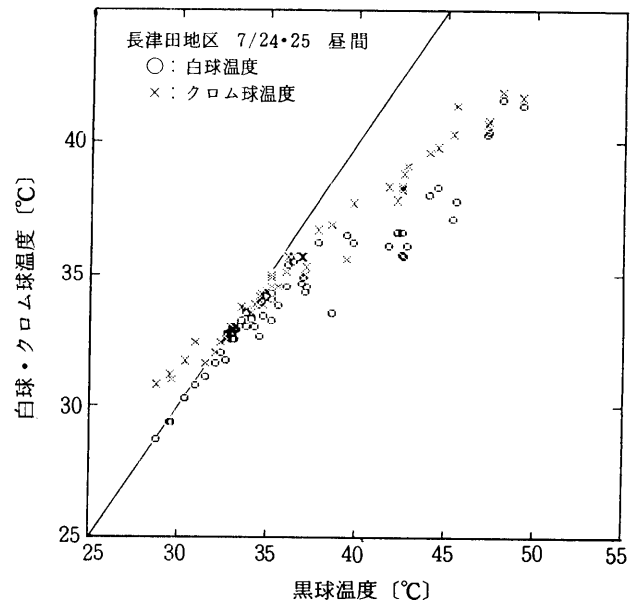


図8 3中空球温度の相関図

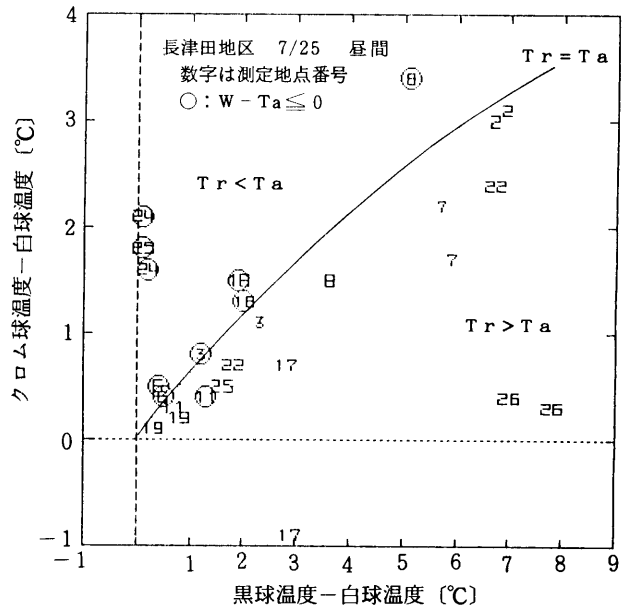


図9 3中空球の温度差からみた測定地点の特徴

(黒球—白球)と(クロム球—白球)を軸にとって、各地点をプロットしたものである。地点によって(黒球—白球)では最大8℃、(クロム球—白球)は4℃の差がみられるように、図8よりも測定地点によって相対的な位置関係に大きなばらつきがみられる。すなわち、3中空球温度をそのまま用いるよりも、それらの差をとることによりより明かに熱環境の違いが表現できるものと考えられる。なお、同図には白球の温度が気温よりも低い地点を○印で示してあるが、これらの地点では平均放射温度(Tr)が気温(Ta)よりも低い。

ここで、3中空球の温度差について、その物理的な意味を若干考察しておく。黒球と白球は長波長放射率が同じで、日射吸収率が異なることから、(黒球—白球)は主に総日射量の情報を含んでいる。また、クロム球と白球では日射吸収率も異なるが、長波長放射率が大きく異なることから(クロム球—白球)には総日射量と再放射量の情報が複合されている。なお、いずれの中空球温度差

にも風速の影響が含まれている。

### 第3章 測定地点における空間形態の定量化

#### 3-1 空間形態の定量化の方法

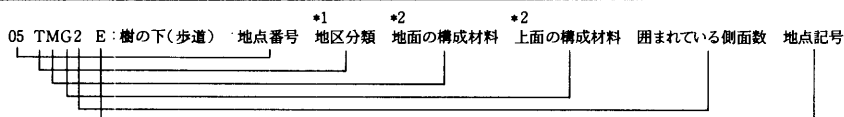
建築外部空間に形成される熱環境は、その空間形態によって大きく規定されると考えられる。ここでは、空間形態を空間を構成する主要な面の位置と方位、及びその面の材料によってとらえることとした。

主要な構成面は天空方向、地面方向と側面に大別した。材料については、植栽とその他に大別し、植栽の種類については樹木、草木、芝生に、その他は天空、裸地、アスファルト等の舗装面、コンクリート、鉄板、スレート等に分類した。

さらに、空間形態を定量的に把握するために、測定位置(地上1m)を点とみなし、上記構成面ごとに形態係

表1 測定地点の概要

地 点 名	形 態 係 数 (%)			地 点 概 要
	芝・草	樹 木	天 空	
01 OGS0 A:芝生の庭	48.9	17.1	21.6	南北約30m, 東西約20mの芝生の庭
02 NGS2 B:かん木間の歩道	37.2	39.8	22.1	高さ約1mのサツキの植込みの間を南北に通る幅約1mの歩道
03 NGG0 C:樹の下(芝生)	48.6	40.4	7.1	樹冠約5mの桜の樹の下
04 TCG1 D:樹の下(歩道)	0.8	36.2	5.4	下枝の高さが5m程度の並木に覆われたアスファルトの歩道
05 TMG2 E:樹の下(歩道)	0	43.0	6.4	下枝の高さが3m程度の並木道
06 NGG3 F:林の中	49.5	41.5	7.3	歩道脇の林の中
07 NGS0 G:芝生の斜面	50.0	5.0	35.2	南側に傾斜している開放的な芝生のスロープ
08 NGS1 H:建物横(芝生)	39.3	3.6	23.9	RC造2階の建物の横の芝地
09 OMS2 I:建物・列植間	3.8	25.4	5.5	RC造3階の建物の窓面と列植の間
10 OMG0 J:並木の中	0	42.5	8.1	幅約20m, 長さ約80mの桜並木の中
11 NCG1 K:樹の下(道路)	0	48.8	5.6	片側が林になっているアスファルト道路
12 NCS1 L:列植の前	0	11.4	19.1	RC造10階の建物脇にある列植の前
13 TCS2 M:建物の横	4.5	17.7	17.2	RC造10階の住棟の横
14 OCCG N:樹の下(歩道)	11.3	38.4	6.4	樹冠約10mのイチョウの下のアスファルト歩道
15 TCR2 O:自転車置場	0	3.3	5.2	幅約8m, 奥行約20mの自転車置場の中
16 TCS0 P:駅前広場	0	10.0	35.5	開放的な駅前広場
17 TCS1 Q:建物の横	10.3	1.8	6.9	RC造2階の建物の南面で約1.5mセットバックした空間
18 NCS2 R:建物・列植間	0	9.7	11.4	RC造11階の建物と列植の間
19 NCC2 S:ピロティの中	0	1.6	3.5	RC造2階の建物の1階部分を開放しているピロティ
20 OCS0 T:駐車場	0	9.5	34.8	南北約35m, 東西約40mのアスファルトの駐車場
21 TCS1 U:駐車場	0	11.5	27.1	南北約20m, 東西約7mのアスファルトの駐車場
22 NCS2 V:建物の間	2.6	3.1	15.6	RC造11階の建物とRC造2階の建物で挟まれたアスファルト道路
23 TCR0 W:バスの停留場	1.2	9.0	18.5	幅2m長さ10mで高さ3mの屋根を持つバスの停留場
24 NCC2 X:トンネルの中	0	0	0	幅2m高さ2.8m奥行25mの歩行者用のトンネルの中央
25 NCR3 Y:自転車置場	0.7	7.7	7.0	幅5.5m奥行2mで高さ2.3mの屋根を持つ自転車置場
26 NCS0 Z:駐車場	0	7.6	35.7	南北約40m, 東西約70mのアスファルトの駐車場
27 NCS2 @:建物の間	1.1	0	4.1	RC11階の建物とRC2階の建物に挟まれたアスファルト道路
28 TCR1 #:プラットホーム	0	0.9	5.1	駅のプラットホームの上
29 TCC2 \$:地下通路の中	0	0	0	駅の地下通路の中



数を求めた。なお、形態係数の算出には、測定位置において等立体角魚眼レンズで撮影した上下2枚の写真を用いた。

### 3-2 測定地点における空間形態の特徴

表1には全測定地点の地点名、空間形態の主な特徴、及び樹木、芝生、草木と天空の形態係数を示す。また、植栽の状況を見るため樹木と芝生の形態係数を軸にとり、全地点をプロットしたのが図10である。同図には各地点の開放されている度合と人工物の量に対応すると考えられる天空と壁面の形態係数の大きさを辺の長さにとり矩形で表示した。

以上より、本研究で対象とした測定地点は大きく次のように分類することができる。

- ①樹木、芝生ともに形態係数が大きく、周辺が植栽に囲まれている地点。ただし、天空の形態係数は地点によって若干異なる。(B, C, F)
- ②地面が芝生に覆われているが、樹木の形態係数が小さい地点。これらの地点は天空が開け開放的である。

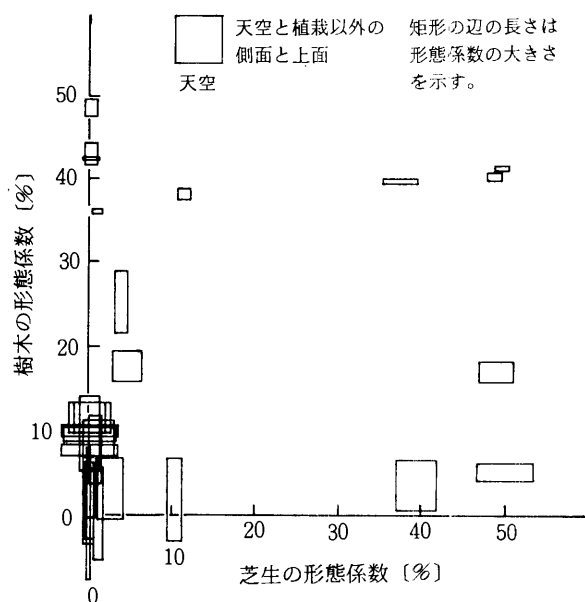


図10 植栽の形態係数からみた測定地点の特徴

表2 因子負荷量

1. 3地区の全測定地点、生データを用いた場合

変数	主成分		
	I	II	III
クロム球温度1*	0.94	--	--
白球温度1	0.93	--	--
黒球温度1	0.92	--	--
白球温度2*	0.91	--	--
黒球温度2	0.89	0.31	--
クロム球温度2	0.88	0.26	--
気温1	--	0.96	--
気温2	--	0.94	--
風速1	--	--	0.94
風速2	--	--	0.93
固有値	5.09	2.09	1.88

2. 昼間と夕方 - 長津田地区

変数	主成分		
	I	II	III
黒球-クロム球1	0.90	--	0.26
気温差2	0.89	--	--
気温差1	0.86	--	--
黒球-白球1	0.82	--	0.49
黒球-クロム球2	0.80	0.40	--
黒球-白球2	0.72	0.41	0.45
風速1	--	0.96	--
風速2	--	0.95	--
クロム球-白球1	--	--	0.93
クロム球-白球2	--	--	0.92
固有値	4.26	2.26	2.26

\*1, 2は設定時刻 昼間 12:00, 13:00  
夕方 17:30, 18:00を示す  
(--は0.25以下であることを示す)

(A, G, H, Q)

- ③樹木の形態係数は大きい、地面は裸地やアスファルト舗装の地点。壁面の形態係数が若干大きい地点と (I, L, M), 小さい地点 (D, E, J, K, N) に分けられる。
- ④植栽がほとんどない地点。天空の開けたところ (P, T, U, Z) と壁面に囲まれているところ (O, R, S, V, W, X, Y, @, #, \$) がある。

以上の熱環境の考察では、これらの空間形態の特性をふまえて議論を進める。

## 第4章 主成分分析による植栽空間の位置づけ

ここでは熱環境を構成する主要成分を抽出するとともに、外部空間に形成される熱環境の中で植栽の効果の分類と位置づけを行うために主成分分析を行った。

### 4-1 解析に用いる測定値

同一時刻の熱環境を比較するという観点から、2章で述べた測定結果のうち、昼間については12:00と13:00 (変数の添字1と2), 夕方については17:00と18:00 (変数の添字1と2) の値を各地点ごとに内挿して求め、以下の解析に用いることとした。

### 4-2 気象条件の違いの影響と変数の決定

はじめに各地点において測定した3中空球の球心温度と気温、風速の全データをまとめて主成分分析にかけた。結果は表2-1に示すように3つの主成分が得られた。それぞれは放射、気温、気流の軸と解釈される。これらの軸に3地区の測定地点を主成分値をもとに布置したのが

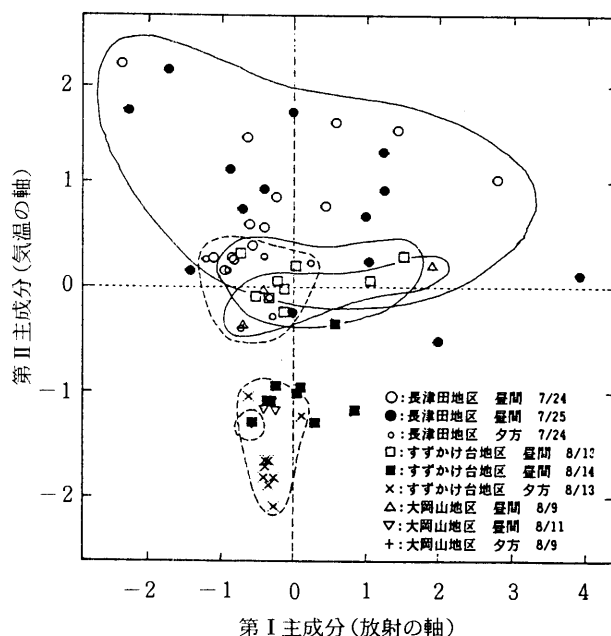


図11 3地区の全測定地点の生データを用いた主成分分析結果

図11である。長津田地区での測定日の気温が他の地区に比べて高めであったことがうかがえるように測定日の気象条件の差が反映され、各地点の空間形態の違いによって作り出される熱環境の差を考察するのに生データはあまり適当でないと考えられる。

そこで各測定地点に形成されている熱環境の違いが、より相対的に比較できるように、気温については測定地区ごとに全測定地点の平均気温と各測定地点の気温との差を用いることにする。また、中空球の球心温度そのものでは、前章で述べたように日射の影響が非常に大きく、再放射の影響を取り出しにくい。ここでは気温と同じように気象条件の差をできるだけ取り除き、加えて再放射の影響も明確になるように3中空球間の差、すなわち(黒球-白球)、(クロム球-白球)、(黒球-クロム球)を用いることにする。これら中空球の球心温度差は主に日射と再放射の情報を含むものであり、その組合せによって各地点の放射熱環境の違いがとらえられると考えられる。

#### 4-3 測定日と測定時刻の違いによる熱環境の差

外部空間の熱環境は同じ晴天日を対象としても、その日の気象条件や時刻によって変化する。そこで空間形態と熱環境の関係を考察する前に、気象条件及び昼間と夕方の熱環境の違いの度合を把握しておく。

##### 1) 昼間と夕方について

3中空球球心温度の差、気温差並びに風速を変数として、各地点の昼間及び夕方の測定値をケースとした主成分分析を行った。1例として長津田地区についての結果を表2-2、図12に示す。ケースは昼間14地点、夕方7地点の計21地点である。第1主成分には(黒球-クロム球)、(黒球-白球)、気温差などの寄与が大きく、第II主成分は気流によって構成されている。第III主成分は主として

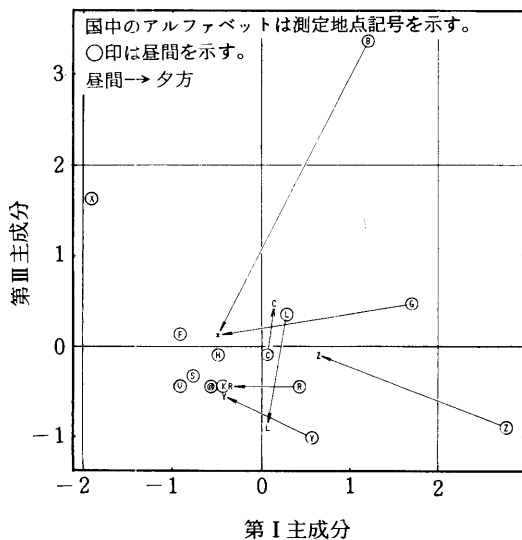


図12 昼間と夕方の主成分分析結果—長津田地区

(クロム球-白球)にかかわる軸である。長津田地区では、建物に挟まれた空間において昼の測定時にビル風のような強い風が吹いていたために2番目の主成分として気流の軸が現れたと考えられる。なお、各主成分の持つ意味については3節において詳しく検討する。

図12は放射にかかわると考えられるI、III軸に各地点を布置したものであるが、昼間は地点によって放射環境の差が大きいのに対して、夕方にはその差が小さくなっていることがわかる。樹木に囲まれた地点は原点付近に集まっているが、昼間と夕方の熱環境に大きな差がみられるものはなかった。すなわち、樹木に囲まれた空間では熱環境の日変化は小さい。このような昼間と夕方の放射熱環境の違いは、すずかけ台、大岡山の両地区においても同様の傾向を示した。

##### 2) 晴天日における気象条件の違いについて

測定日が異なった場合の晴天日の熱環境の違いについて地区ごとに検討を行う。分析に用いた変数の内容は昼間と夕方の比較に用いたものと同じであり、ケースは各地区とも測定日の異なる晴天日2日分のデータである。分析結果のうち、長津田地区とすずかけ台地区の例を表

表3 因子負荷量

3. 2日分の晴天日・昼間の比較 (1)-長津田地区				4. 2日分の晴天日・昼間の比較 (2)-すずかけ台地区			
変数	主成分			変数	主成分		
	I	II	III		I	II	
黒球-クロム球1*	0.91	--	--	黒球-クロム球2	0.97	--	
黒球-クロム球2*	0.86	--	--	黒球-クロム球1	0.96	--	
黒球-白球1	0.85	0.44	--	黒球-白球1	0.94	0.28	
気温差2	0.77	--	--	黒球-白球2	0.94	0.28	
気温差1	0.76	--	--	気温差1	0.89	--	
黒球-白球2	0.76	0.53	--	気温差2	0.77	-0.36	
クロム球-白球2	--	0.93	--	風速1	0.51	-0.49	
クロム球-白球1	--	0.84	-0.26	クロム球-白球2	--	0.92	
風速1	--	--	0.97	クロム球-白球1	--	0.92	
風速2	--	--	0.96	風速2	0.59	-0.72	
固有値	4.08	2.14	1.98	固有値	5.69	2.76	

\*1, 2は設定時刻 昼間 12:00, 13:00  
夕方 17:30, 18:00を示す  
(--は0.25以下であることを示す)

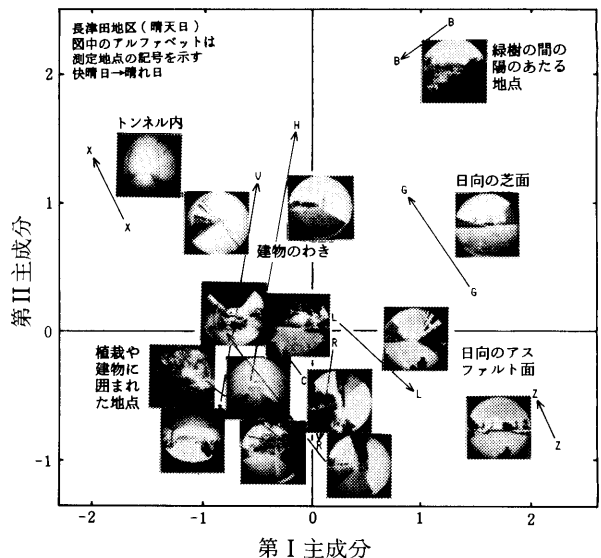


図13 2日間の晴天日・昼間のデータを用いた主成分分析結果(1)—長津田地区

3と図13, 14に示す。すずかけ台地区においては、測定期間中、全般的に風が弱かったため気流に関する軸が分離されなかったと考えられるが、すずかけ台地区のI, II軸は基本的に長津田地区のI, II軸に対応している。また、これらの主成分の構成は昼間と夕方の分析で得られたものと同じである。図13, 14は長津田地区(14地点×2日分)並びにすずかけ台地区(9地点×2日分)の結果を放射にかかわると考えられるI, II軸にそれぞれ布置し、同一地点は線で結んである。各地点の写真は線分の中間に位置している。

これらの図において、測定日が異なると、日向のアスファルト、コンクリート及び芝生の面などの地点では放射環境の状況に差がみられる。すなわち、日向においては同じ晴天日であっても日射量などの気象条件の若干の差が放射環境に影響することを示している。それに対して樹木に囲まれた空間では変動が小さく比較的安定している。この状況は、各地点の植栽とコンクリートの形態係数の大きさを円の大ききで示した図15によくあらわれ

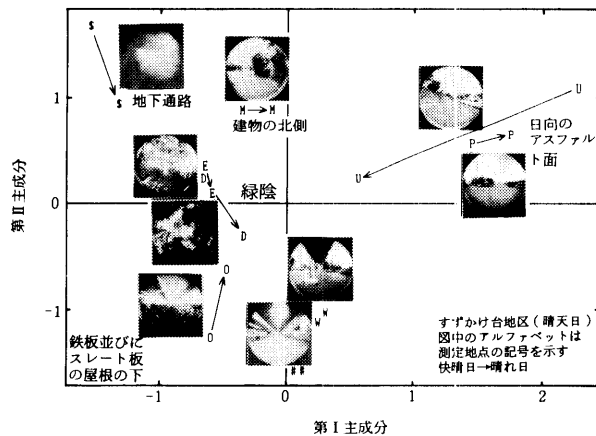


図14 2日の晴天日・昼間のデータを用いた主成分分析結果(2)―すずかけ台地区

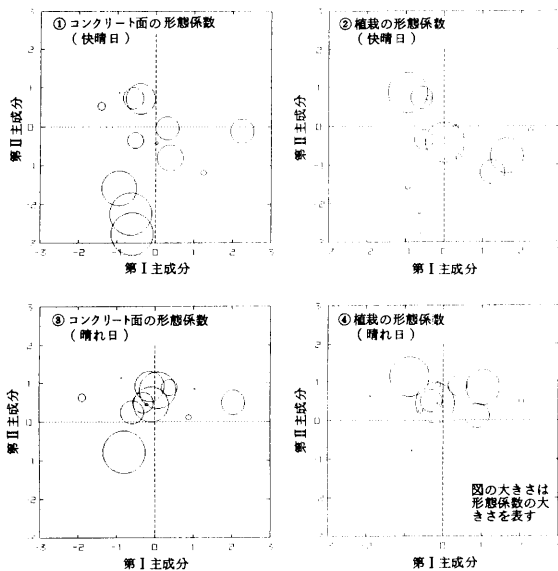


図15 2日分の晴天日・昼間のデータを用いた主成分分析結果(3)―植栽のある地点とない地点の比較―長津田地区

ている。いずれにしても天候の多少の変動にかかわらず空間形態の似た地点は主成分値が似ており、互いに近接して布置される。

また、いずれの図においても、I軸正方向に日向のアスファルト面(Z, L, U, P), 第2象限にトンネル及び地下通路(X, \$), 植栽に囲まれた地点は原点付近に位置し、因子空間上での異なる空間形態の相対的位置関係も両地区間でよく似たものとなっている。

#### 4-4 全測定地区を対象とした熱環境と空間形態の分析

##### 1) 解析方法

前項で得られた長津田, すずかけ台, 大岡山の各地区別の主成分は、内容からみて基本的に同じのものであった。ここでは、3地区の全測定地点を合わせた主成分分析を行い、同様の主成分が得られることを確認し、地区間の気象条件の違いの影響並びに熱環境と全測定地点の空間形態との関係について検討を行った。

前項と同じ(黒球-白球), (クロム球-白球), (黒球-クロム球)の中空球球心温度の差, 気温差, 風速を変数として、全29測定地点の3

表4 因子負荷量

変数	主成分		
	I	II	III
黒球-クロム球1*	0.91	--	--
黒球-白球1	0.83	0.48	--
黒球-クロム球2*	0.83	0.28	--
気温差2	0.80	--	--
気温差1	0.78	--	--
黒球-白球2	0.73	0.56	--
クロム球-白球2	--	0.93	--
クロム球-白球1	--	0.89	--
風速1	--	--	0.94
風速2	--	--	0.93
固有値	4.05	2.34	1.90

\*1, 2は昼間は12:00, 13:00夕方は17:30, 18:00を示す。  
(--は0.25以下であることを示す)

回分(同一日の昼間と夕方, 異なる日の昼間)の測定値から欠損値を含むケースを除いた69のケースを対象として主成分分析を行った。

##### 2) 抽出された主成分の持つ意味

主成分分析の結果は表4に示すように、各地区別に分析した結果と同様の内容を持つ

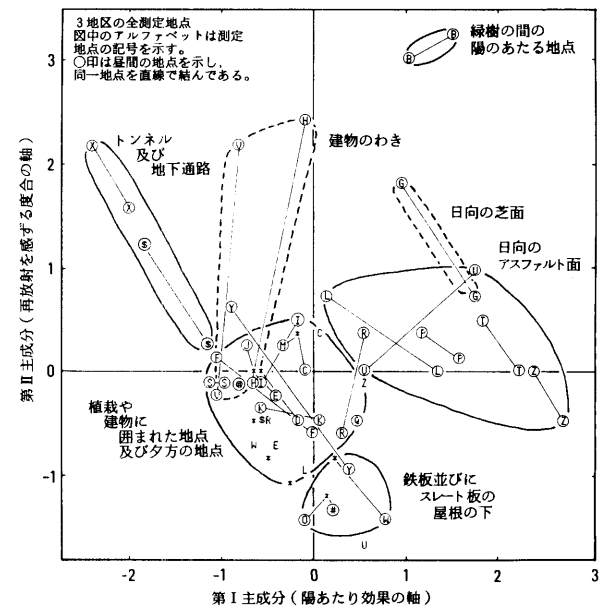


図16 全測定地点と対象とした主成分分析結果(1)



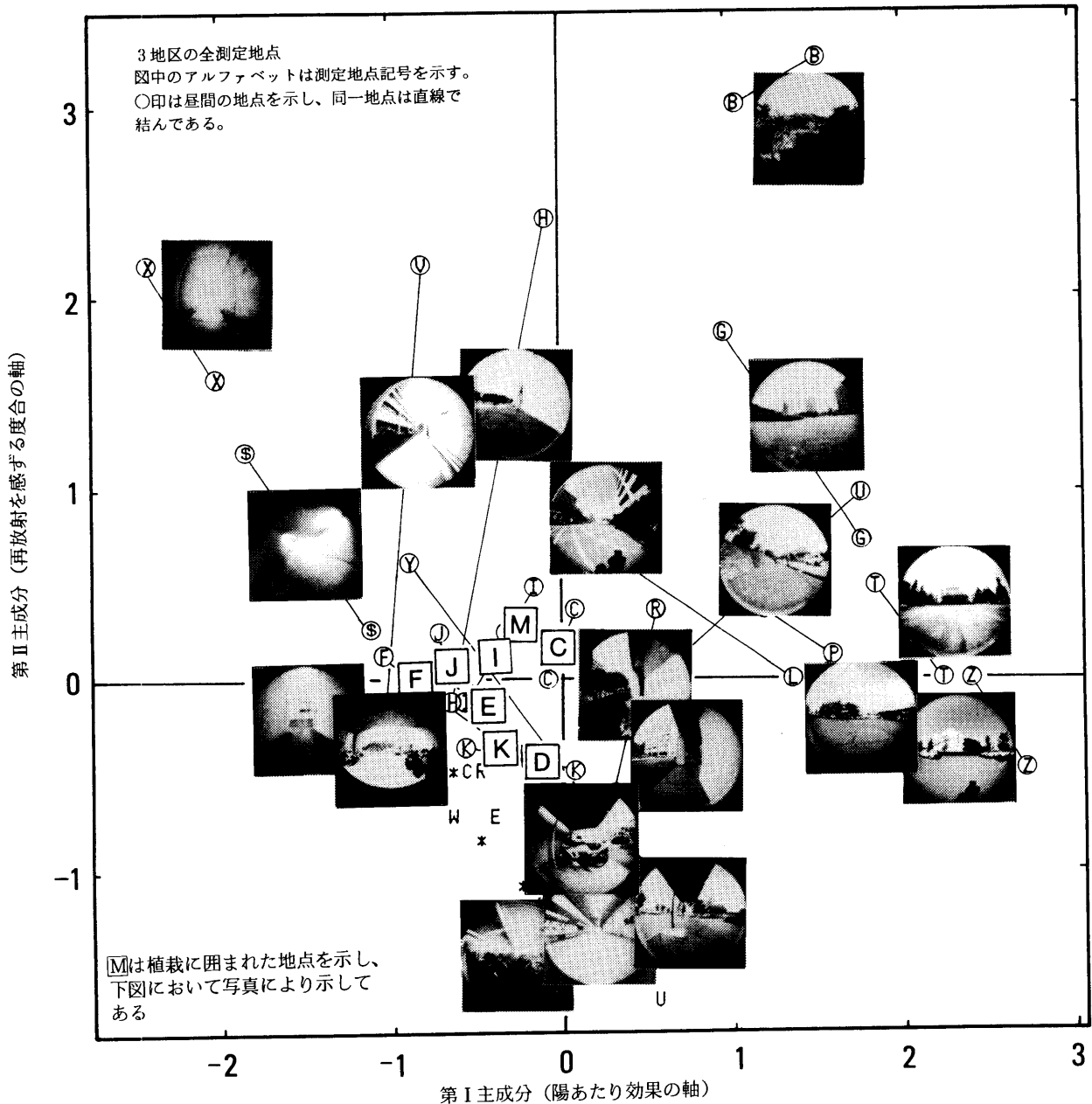


図17-a 全測定地点を対象とした主成分分析結果(2)  
 一昼間の熱環境のみを布置

3つの主成分が得られた。これらの主成分のうち放射にかかわると考えられるI, II軸のつくる平面に各測定地点を布置したものを図16に示す。この図は類似の特徴を持つ近接した測定地点をまとめたものであり、昼間を丸印で囲い同じ地点を線で結んでいる。図中の各地点の相対的位置関係は測定地区別に分析を行ったものと大きな差はなく、昼間の熱環境には、地点によって大きな差がみられるが夕方ではその差はあまり顕著ではない。また、それぞれは、地区の違いによる気象条件の差を多少含んでいるが、類似の空間形態ごとにまとめて位置づけられ、この限りにおいては形態の影響による熱環境の差の方が大きくなっていると考えられる。

各主成分に寄与する熱環境要素は、第I主成分が(黒球-白球)を中心として(黒球-クロム球)、気温差であ

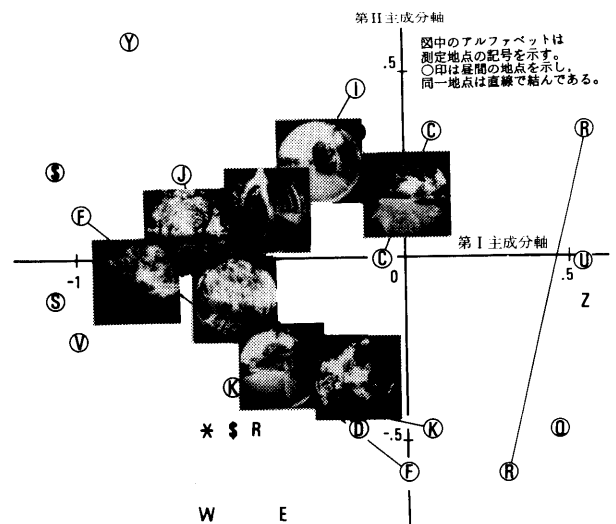


図17-b 全測定地点を対象とした主成分分析結果(3)  
 一昼間の熱環境、植栽に囲まれた地点のみを布置

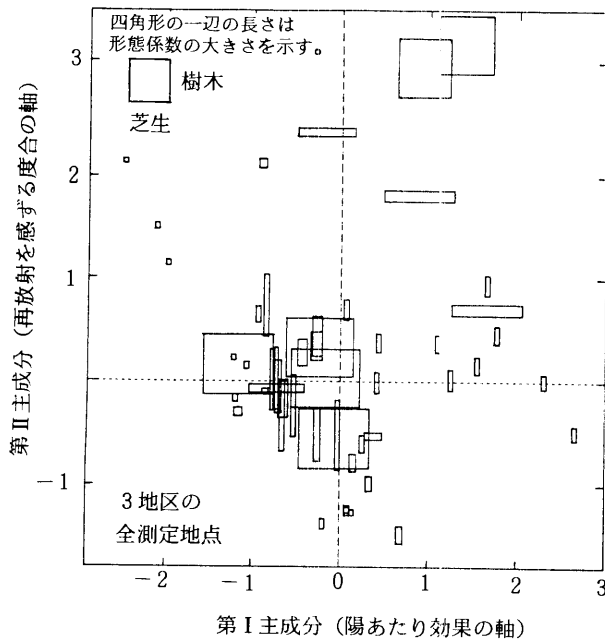


図18 全測定地点を対象とした主成分分析結果(4)―芝生と樹木の形態係数と昼間の熱環境の関係

り、これらは日射と再放射の影響を大きく受けていると考えられる。第II主成分では(クロム球-白球)の関与が大きく(黒球-白球)も多少関係している。この主成分に対しては再放射の影響が大きい、日射の影響も含むものである。第III主成分は風速によってのみ構成され、気流にかかわる軸と解釈される。

得られた結果を総合的に解釈すると、第I主成分軸は正の方向に行くほど日射量、再放射量ともに大きくなる「陽あたり効果」の軸と考えることができる。すなわち、第I軸の正の方向に行くほど日射が大きく、それに伴って再放射も大きくなる地点が布置されている。第II主成分は測定位置と周辺との間の放射熱伝達の程度に関係する軸と考えられる。正の方向に行くほど中空球球心温度に対する相対的な周辺の表面温度が低くなり、そこに人間がいれば、冷放射が期待できるような地点が布置されており、「再放射を感じる度合」の軸と解釈できる。

### 3) 昼間の熱環境における植栽空間の位置づけ

図17は各地点の写真を、図16で同一地点の昼間を結んだ線分の中間に置いたものである。この図は大ざっぱに言えば、I軸正方向には、陽のあたる地点、負の方向に陽のあたらない地点、II軸正方向には冷放射を感じる地点、負の方向には熱放射を感じる地点が布置されている。さらに原点付近には、再放射が感じられないような熱環境の地点が位置している。

これらの各地点の熱環境と、植栽の関係を定量的に扱うために、各地点の植栽の量と、周囲の閉鎖の程度を構成材料の形態係数で検討したのが図18、19である。植栽の量としては樹木と芝生の形態係数を取り上げ、その大きさをそれぞれ矩形の縦と横の辺の長さで示している。同様に周囲の閉鎖の程度は樹木と天空の形態係数を矩形

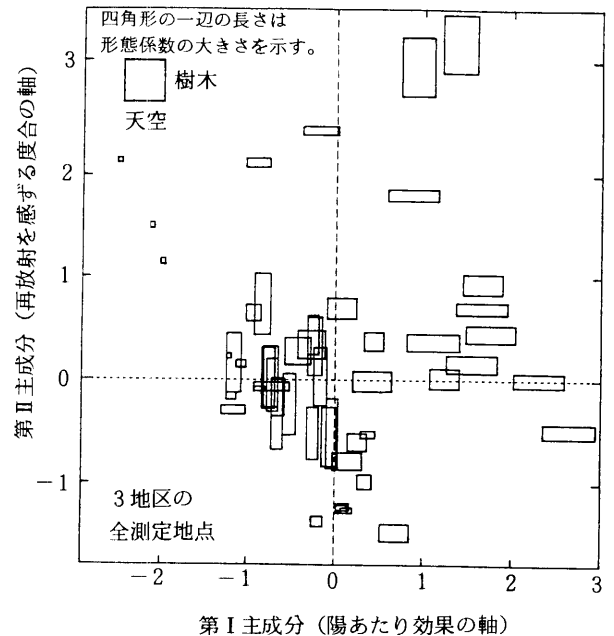


図19 全測定地点を対象とした主成分分析結果(5)―天空と樹木の形態係数と昼間の熱環境の関係

の縦と横の辺にとって示した。

上記の図18、19を総合的に検討すると、今回扱った植栽空間に形成される昼間の熱環境は次のような3つに分類できる。

- ①地面は芝生や草木に覆われているが、樹木は少なく、天空が開けており、測定位置に日射があたっている地点 (B, G)
- ②樹木の形態係数が大きく、樹木によって日射が遮られ、測定位置が日影になっている地点 (C, D, E, F, I, J, K など)
- ③樹木はあるが、周辺の建物によって日影になっている地点 (H, M, Q, V)

①の植栽空間では、日射があたっているためにアスファルト地面の駐車場など(L, P, R, T, Z など)とともに陽あたり効果は大きい。しかし、II軸すなわち、再放射を感じる度合の軸に関してはアスファルト地面の地点に比べると正の側に位置し、周囲からの再放射が少ないと考えられる。これは地点Zなどと比較して考えると、いずれの地点も天空は開けていることからみて、周辺地物の表面温度に大きな差があることを示すものである。このことは、放射温度計による周辺表面温度の実測結果において、アスファルトの表面温度が60℃近くまで上昇していたのに対して、芝生では約45℃程度と15℃近く低かったことから裏付けられる。

特に地点ZはII軸の主成分値が大きく、周辺からの再放射が最も少ない空間と考えられる。この地点は天空が開けていて天空放射があり、さらにかん木に囲まれており、測定位置には直射があるが周囲はかん木によって日影になっているところが多いことから、平均放射温度は地点Gの日向の芝生よりもさらに低くなっており、日射

があたっている割には冷放射があって涼しい環境といえよう。

②, ③の空間は測定位置が日影になっている植栽空間であるが, この他に日影になっている空間としてはトンネル内 (X) や地下通路 (＄) のようにまったく陽があたらず, コンクリートなどの熱容量の大きい材質で囲まれた空間と, 駐輪場 (O) やバスの停留場 (W) のような鉄板屋根などによって日影が形成されている空間がある。

トンネルや地下通路の内部では当然陽あたり効果は非常に小さく, 再放射を感じる度合も②, ③の植栽空間よりも正の側にあり, より冷放射を感じる程度が大きいことを示している。これは周囲を構成しているのが熱容量の大きいコンクリートと土であり, その表面温度は一日中ほとんど一定であるため, 日中の上昇した気温に比べて5℃近く低くなることによる。これらの空間は夏季によく経験されるような涼しさが得られる空間であるが, このような大きな効果を植栽空間に期待することは難しいことが読み取れる。

一方, 鉄板屋根によって日影が形成されている空間では陽あたり効果はほとんど変わらないが, 再放射を感じる度合に関しては, 植栽空間に比べて熱放射を感じる側に寄っている。すなわち, これらの空間では日射を受けて高温になった鉄板屋根及び周辺の地物からの再放射がかなり大きくなるのに対して, 植栽空間では表面温度の上昇が少なく再放射はあまり大きくならないためである。このことは, 樹木が繁り, 地面も草木に覆われてい

る林の中などは樹冠や草木の表面温度が気温とほぼ等しくなるという実測結果から考えても, 樹木に覆われた地点は熱放射を感じる度が少ない空間であるといえよう。同じ植栽空間でも周囲が樹木や芝生で完全に覆われた空間より, 日射が樹木で遮ぎられ天空が開放されているところの方が, 冷放射を感じる度合は大きい傾向にある。

#### 4) 夕方の熱環境における植栽空間の位置づけ

図20は図17のうち, 各地点の夕方の熱環境の布置だけを取り出したものである。昼間から夕方への熱環境の変化の状況をふまえ, 夕方の植栽空間に形成されている熱環境の特徴をまとめると次のようになる。

まず, 西陽のあたっている植栽空間 C とアスファルト面を持つ U, Z の各地点を比較すると, 駐車場 Z では昼間に比べて減少しているものの熱放射を感じる程度はまだ高い。西向きの擁壁とアスファルト地面で構成されている地点 U では昼間よりも熱放射を感じる程度が大きくなっており, 日中吸収された日射熱の蓄熱と, 西陽を受けた擁壁からの再放射の影響が顕著に現れている。これに対して, 単木樹の下空間 C では, 昼間は太陽高度が高いため日影であるが, 夕方には西陽があたっており昼間よりも陽あたり効果は大きくなっている。しかしながら熱放射を感じる程度は前述の U, Z の両地区に比べると小さくなっている。

また, 西陽のあたっていない地点のなかで, 昼間, 日射のあたっていた植栽空間 G, B では気温の下降に伴って, 再放射を感じる度合は昼間に比べると熱放射を感じる側へ移動するものの, その度合は熱容量の大きい材料で囲まれた空間に比べて小さい。

以上のように, 夕方の植栽空間に形成されている熱環境は昼間よりもその差は小さくなるが, やはりその他の空間に比べて周辺からの熱放射を感じる度の少ない空間といえる。

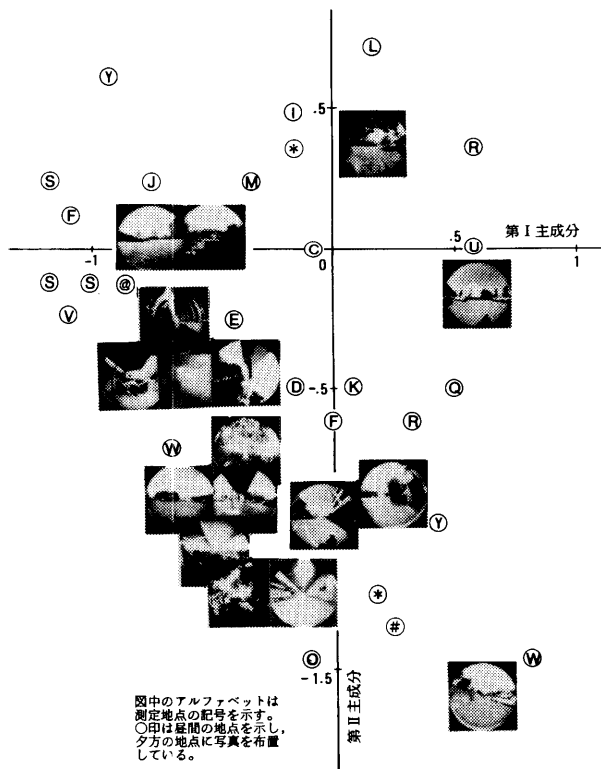


図20 全測定地点を対象とした主成分分析結果(6)―夕方の熱環境のみを布置

## 第5章 熱環境要素ごとにみた植栽空間の位置づけ

前章においては, 主成分分析によって得られた「陽あたり効果」の軸と「再放射を感じる度合」の軸に関して, 植栽空間の熱環境を考察したが, 本章ではさらに, 従来の熱環境要素によって植栽空間の特徴を定量化し, 前章で得られた知見の裏付けを試みた。

### 5-1 各熱環境要素の算出方法

第2章において屋外熱環境計の概要を示したが, 3個の中空球が同一気象条件下におかれているとすれば, 各中空球の表面において次の熱平衡式が成り立つ。

$$a_i q + h(\theta_a + \theta_{si}) + \epsilon_i \sigma (T_r^4 - T_{si}^4) = \frac{c_p}{3R^3} [R^3 - (R - \Delta R)^3] \cdot \frac{\partial \theta_{si}}{\partial t} \dots \dots \dots (1)$$

- $a_i$  : 球面の日射吸収率 [-]
  - $\epsilon_i$  : 球面の長波長放射率 [-]
  - $R$  : 金属球の半径 [m]
  - $\Delta R$  : 金属球の厚さ [m]
  - $c$  : 金属球の比熱 [Kcal/(Kg · °C)]
  - $\rho$  : 金属球の密度 [kg/m<sup>3</sup>]
  - $\sigma$  : Stefan-Boltzmann 定数 [Kcal/(m<sup>2</sup> · h · K<sup>4</sup>)]
  - $q$  : 球に入射する全日射量 [kcal/(m<sup>2</sup> · h)]
  - $h$  : 球の外表面の対流熱伝達率 [kcal/(m<sup>2</sup> · h · °C)]
  - $\theta_{si}$  : 球の平均表面温度 [°C]
  - $T_{si} : \theta_{si} + 273$  [K]
  - $\theta_a$  : 外気温 [°C]
  - $T_r$  : 周囲の平均放射温度 [K]
- 中空球の平均表面温度は球の中心部の温度(球心温度)

( $T_{si}$ ) と等しいことはすでに確認してある<sup>文22)</sup>。そこで、定常状態とみなすことができる場合には、(1)式の右辺は零となり、測定値である3中空球の球心温度と気温を与えることにより三元連立方程式の解として、イ) 周囲から受ける総日射量、ロ) 周囲の平均放射温度、ハ) 風速(対流熱伝達率  $h$  より)を求めることができる。

本章では第2章で示した夏季の実測結果より、気象条件が安定しており定常状態として扱うことのできる場合を選び、各熱環境要素ごとに植栽空間の熱的な特徴を定量的に検討する。

## 5-2 解析結果及び考察

一日中快晴の状態が続き安定した気象条件であった大岡山地区の昼間を対象に、図21に示すような、桜並木の中、単木樹の下及びアスファルト地面で開放的な駐車場の3地点について上記の3要素を算出した。図21に11:00~12:00までの3要素の算出結果を示す。3要素とも、ほとんど時間変化が認められず、安定した気象状態であることがわかる。気温(地上1m)は31°C前後であり、水平面全天日射量は約700kcal/m<sup>2</sup>·hであった。

### 1) 総日射量について

アスファルト地面の駐車場は直射を受け、総日射量は300kcal/m<sup>2</sup>·hに達している。水平面全天日射量が約700kcal/m<sup>2</sup>·hであることから、直達日射成分を620kcal/m<sup>2</sup>·hと仮定すると、周辺地物、主にアスファルト地面からの反射日射量は65kcal/m<sup>2</sup>·h(300 - (620/4 + 80) = 65)ということになる。これに対して、芝生の中庭は同じ日向ではあるが、周囲に日影になっている壁面や大きな樹木があることから、総日射量は若干少ない。

桜並木の下では上記2地点に比べて、樹冠の密度が比較的濃い並木で日射が遮蔽されているため、総日射量は50kcal/m<sup>2</sup>·hに満たない。日向に比べると1/6程度に減少している。なお、樹冠の平均日射透過率は約12%であった。

### 2) 平均放射温度について

駐車場の平均放射温度は36~38°Cであり、気温よりも7~5°C高い。このことは放射温度計で同時刻に測定したアスファルト地面の表面温度が50°C以上に上昇していることによって理解できる。芝生の中庭では平均放射温度は34~36°Cで芝生の表面温度がアスファルト地面ほど上昇していないことがわかる。

一方桜並木の下では、平均放射温度は31°Cであり、気温とほぼ等しい。放射温度計による測定結果からは、樹冠の表面温度は32°C前後で気温より若干高いものの、地面はほとんど日射があたらず、少し湿っていることもあり28~29°Cであった。これらの測定値からも平均放射温度が31°C前後であることが裏付けられる。すなわち桜並木の下空間では、気温を基準に考えれば地面からは若

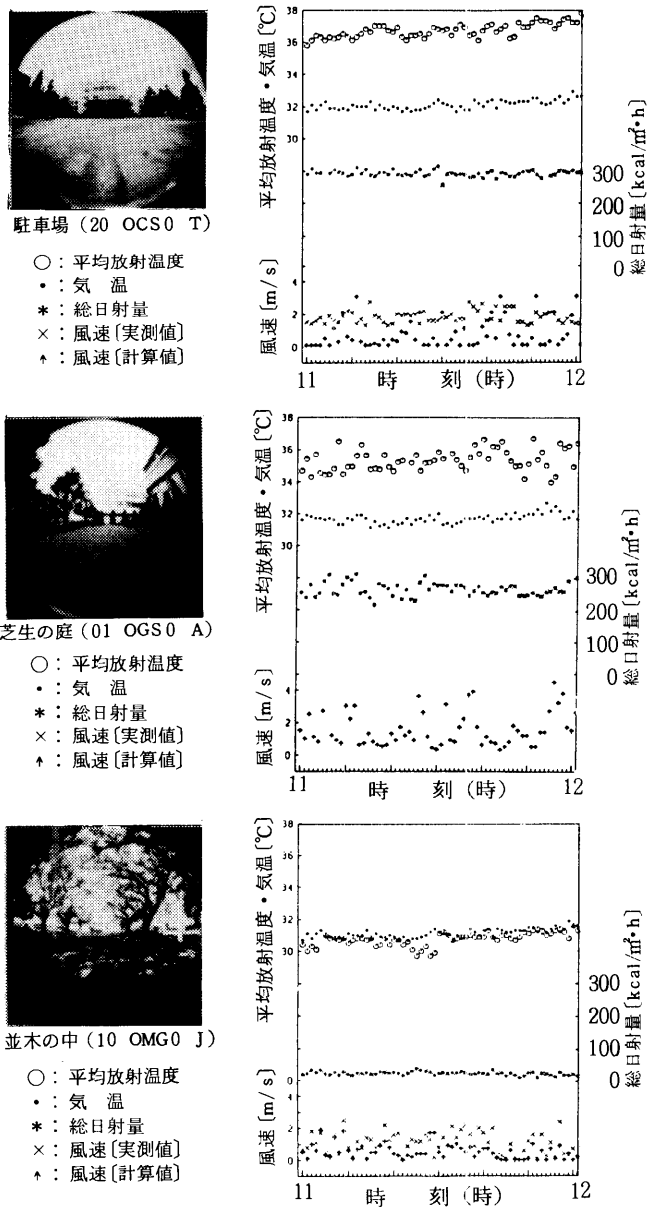


図21 屋外熱環境計による平均放射温度・総日射量及び風速の算出結果(大岡山地区 8/9 快晴日 昼間)

干冷放射を受けるものの、全体としては冷放射はあまり期待できない。しかし、日向の駐車場や芝生の上などと比較すると平均放射温度は3~7℃も低く、夏季に涼しさの得られる貴重な空間であるといえよう。

## まとめ

以上、本研究で得られた結果をまとめると次のようになる。

1) 並木の中や芝生の上などの植栽空間を含む建築外部空間(29地点)を対象に、夏季の晴天日においてそこに形成される熱環境の実態を屋外熱環境計などを用いた実測調査により把握した。

2) この実測結果をもとに、各地点をケースとし、昼間と夕方の3中空球の球心温度、気温、風速を変数として主成分分析を行い、「陽あたり効果」、「再放射を感ずる割合」、及び「風速」と解釈できる軸を得た。「陽あたり効果」、「再放射を感ずる割合」の2軸上に、布置された各地点の放射熱環境の特徴と空間形態との関係を考察し、建築外部空間に形成される熱環境の中で、植栽空間の位置づけを明らかにした。すなわち、

i) 植栽の多い空間は、地下道のように日射を受けず熱容量の大きい材料で構成された場所を除くと、日向、日影にかかわらず冷放射を感じる程度が大きい空間であることが明らかとなり、夏の涼しい熱環境の形成に有効である。

ii) 樹木に覆われた空間の熱環境は、天候の変動の影響もあまり受けず、昼間と夕方の差も小さい。

iii) 周囲が樹木や芝生に覆われた空間よりも、日射が樹木に遮蔽され天空が開放されているところの方が冷放射を感ずる程度は大きい。

3) 並木の下、芝生の庭、アスファルト地面の駐車場について、屋外熱環境計の測定値から主な熱環境要素である気温、総日射量、平均放射温度、風速を求め、2)で得られた知見をこれらの熱環境要素によって説明し、植栽空間の特徴を明らかにした。すなわち、日射や再放射が植栽空間に形成されてる熱環境を特徴付けていることを指摘した。現在、その指標となる表面温度に着目し、赤外線放射カメラによる熱画像を用いて放射熱環境を視覚的に表現できるビデオの製作に取りかかっている。

今後の研究課題としては、これから設計しようとする段階で、植栽を導入することによってどのような熱環境が形成され、さらには植栽しない場合に比較してどのような差が生ずるのかが明示できる手法が提示できれば有効であろうと考える。本年度の研究成果はその基礎資料を与えることができるものの、手法の確立までには至っていない。次年度の継続研究の課題としては、

①建築外部空間の熱環境評価軸として、本研究で得ら

れた「陽あたり効果」「再放射を感ずる割合」の2つの尺度と人間の熱環境評価とのかかわり合いを検討するとともに、これらの熱環境要素との対応を計る。

②熱環境シュミレーションや画像処理を発展させて解析結果を視覚化し、建築外部空間の3次元表示を試みることによって、有効な設計支援手法を提案したいと考える。

## <引用文献>

- 1) G. O. Robinette, 「Plants/People/and Environmental Quality」, U. S. Department of the Interior, National Park Service, Washington, D. C., (1972)
- 2) 梅千野晃, 萩原賢二, 「屋上の芝生植栽による照り返し防止・焼け込み防止効果」, 日本建築学会建築環境工学論文集 第5号 (1983・11)
- 3) A. HOYANO, 「Effects of Rooftop Turf-planting Layers upon Building Thermal Environment」, The Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyushu University Vol. 44, No.2 (1984・6)
- 4) 梅千野晃, 山下富大, 「つる植物によるベランダ植栽の日射遮蔽効果に関する実験研究」, 日本建築学会建築環境工学論文集 (1983・11)
- 5) 梅千野晃, 山下富大, 「ツル植物による植栽スクリーンの日射遮蔽効果(日射透過率と表面温度について)」, 日本建築学会建築環境工学論文集第6号 (1984・11)
- 6) A. HOYANO, 「SOLAR CONTROL BY VINE SUN-SCREEN AND ITS PASSIVE COOLING EFFECTS」, Proceedings of the international Symposium on Thermal Application of Solar Energy, (1985・4)
- 7) 梅千野晃, 茶谷正洋, 八木幸二, 「ツタの西日遮蔽効果に関する実験研究」, 日本建築学会計画系論文報告集 第351号 (1985・5)
- 8) 梅千野晃, 浜口典茂, 「西壁に列植した樹木の日射遮蔽効果(列植の建築環境に及ぼす省エネルギー効果 その2)」, 日本建築学会九州支部研究報告 第27号 (1983・3)
- 9) 梅千野晃, 浜口典茂, 「西壁に沿って列植した樹木の日射遮蔽効果その3(列植と西壁面空気層の気流・気温分布について)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (1985・10)
- 10) 梅千野晃, 楠本晃典, 「フジ棚スクリーンによる日射遮蔽とその周辺に形成される熱環境」, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (1985・10)
- 11) 梅千野晃, 浜口典茂, 「大きな樹冠の単木樹による日射遮蔽と樹冠下の熱環境実態」, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (1985・10)
- 12) 梅千野晃, 浦野良美, 小南芳江, 「よしずのパーゴラ内に形成される夏の晴日の熱環境」, 日本建築学会九州支部研究報告 第29号 (1986・3)
- 13) A. HOYANO, 「CLIMATOLOGICAL USES OF PLANTS AND THE SUN CONTROL EFFECTS」, Proceedings of the fifth International PLEA (Passive and Low Energy Architecture in Housing) Conference, Pecs, Hungary, (1986・3)
- 14) A. HOYANO, 「Climatological Uses of Plants for Solar Control and the Effects in Building Thermal Environment」, 3rd International Symposium Climate-Building-Housing, Karlsruhe (1986・9)
- 15) 尾島俊雄他, 「建築外部空間構成分類と熱環境のパイロット測定」, 日本建築学会論文報告集, 第335号 (1984)
- 16) 中村泰人, 平岡久司, 西村浩一, 「市街地空間における表面の温度および熱流性状に関する実験的研究」, 日本建築学会計画系論文報告集 第364集 (1986・6)
- 17) 片山忠久, 森川明夫, 増田正一, 「Investigation on the Formation of Thermal Environment in an Urban Canyon—Influence of Land Covering Materials and Solar Shading by a Tree—」, 日本建築学会計画系論文報告集 第372号 (1987・2)
- 18) 梅千野晃他, 「団地の外部空間における表面温度及び気温分布」, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (1978・9)
- 19) 梅千野晃, 林 宏幸, 小玉祐一郎, 「住宅地における環境設計要素と熱環境形成との関係」, (夏季における表面温度, 気温, グローブ温度 日本建築学会九州支部研究報告 第28号

(1985・3)

- 20) 梅干野晃, 林 宏幸, 小南芳江, 「屋外熱環境計の試作とその検討」日本建築学会九州支部研究報告 第29号 (1986・3)
- 21) 梅干野晃, 小玉祐一郎, 「住宅地における環境設計要素と熱環境形成との関係 その2 (屋外熱環境計測計による住棟周辺の熱環境の比較)」, 日本建築学会九州支部研究報告 第29号 (1986・3)
- 22) 梅干野晃, 何 江, 「屋外熱環境計の開発 その1 (日射を受けたグローブの熱的特性について)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (1986・8)
- 23) 梅干野晃, 何 江, 「屋外熱環境計の開発 その2」, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (1986・8)

#### 〈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 八木澄夫 琉球大学工学部助教授
- 何 江 東京工業大学大学院総合理工学研究科  
研究生
- 木村剛久 東京工業大学大学院総合理工学研究科  
修士課程
- 浜口典茂 三重県立伊勢工業高等学校教諭