

住宅群の外部熱環境に関する調査研究

堀江 悟郎 成瀬 哲生 広川 美子
金谷 英一 池田 哲朗

目	次
§ 1	研究目的
§ 2	研究経過の概要
§ 3	外壁面の放熱
§ 4	建物の外表面温度
§ 5	地表面温度・地中温度
§ 6	地表面の夜間ふく射
§ 7	外気温度
§ 8	夏季の建物周辺外環境の熱的評価 — W B G T および不快指数 —
§ 9	総括・謝辞

§ 1. 研究目的

これまで集合住宅配置に関する環境工学的な研究は日照や風通しに係る隣陳間隔や方位の問題に限られており、局所気候としては、わずかに風圧分布が風洞模型などで解明されたにすぎない。

しかしながら宅地造成と建物群の出現によって中・小域の気候がかなりの変改を受け、特異局所気候をもつようになることが、最近都市気候の問題があらわになるにつれて認識されてきた。従来建築環境工学の分野は主として室内環境形成をあつかい、外的な条件は、これを所与のものとして受入れていたのであるが、今後特に住宅団地の計画にあたって、建物周辺空間の環境解析は、外部生活空間としても、また室内環境に及ぼす外的条件としても、これを新たに形成せられるものとして重要な計画要素に組入れるための必須の問題となってきた。

本研究は、その端緒として、住宅群における外部局地気候の実測を行ない問題点の所在とその質的および量的な諸特性を抽出することによって将来の研究方向と方法の設定に資せんとするものである。

§ 2. 研究経過の概要

2-1 対象の設定

多種にわたる住棟と変化に富む地形と配置を有し、建設後十分な年月を経て定常化した団地の代表として「千里」をえらび、そのうちより数ヶ所の対象候補地を選定したが、管理当局や住民の同意をうることが困難で、最終的には、同地区桃山台2丁目の一面が充てられた。

図2-1, 2-2, 2-3にみるように5階建住宅3棟、すなわち主要居室が南向(南北棟)のもの、平行2棟および居室が南向(東西棟)のもの1棟がコの字に配置され、南の開いた中庭はおよそ45m × 100mの大きさで、周辺は南及び西側は急な下り斜面、東及び北はゆるやかな上り勾配で、特に東西側は隣棟まで約80~100mをへだてており、直接相互の影響は少いと思われる。

2-2 測定項目

a) 図2-1に示すように西側の南北棟(B-26)屋上に対照用屋上風向風速、水平面および東、西、南、北、鉛直面日射量(エブリ日射計)の測定。

b) 3棟の両側に近接して6ヶの百葉箱および中庭と東側広場の中央部に各々1ヶの百葉箱をおき、計8ヶ所において気温、湿度(リシヤール型7日巻自記計)および風向、風速の測定。

c) 中庭と広場中央において地中温度(0, -5, -15cm)および示差ふく射計による正味ふく射量の測定。

d) 図2-1に示すごとく、B-26棟に5ヶ所、B-25棟(東側の南北棟)に3ヶ所、B-27棟(東西棟)に3ヶ所をえらびそれぞれ1, 3, 5階住戸の計33点において外壁をはさんで内側と外側とに熱電対4対を用いて壁面温度と近傍気温とを測定。

また同点で、熱流計を用いて外壁面熱流を、内15ヶ所では内壁面熱流をも測定。以上計180点はYODACT-50, 4台を用いて30分間隔で連続自記させた。

e) その他、赤外線ふく射温度計・グローブ温度計によってふく射環境を、アスマン乾湿計によって気温、湿度をそれぞれ随時測定検討を試みた。

2-3 測定期日

夏季：昭和50年8月4日~8月13日

冬季：昭和51年2月1日~2月7日

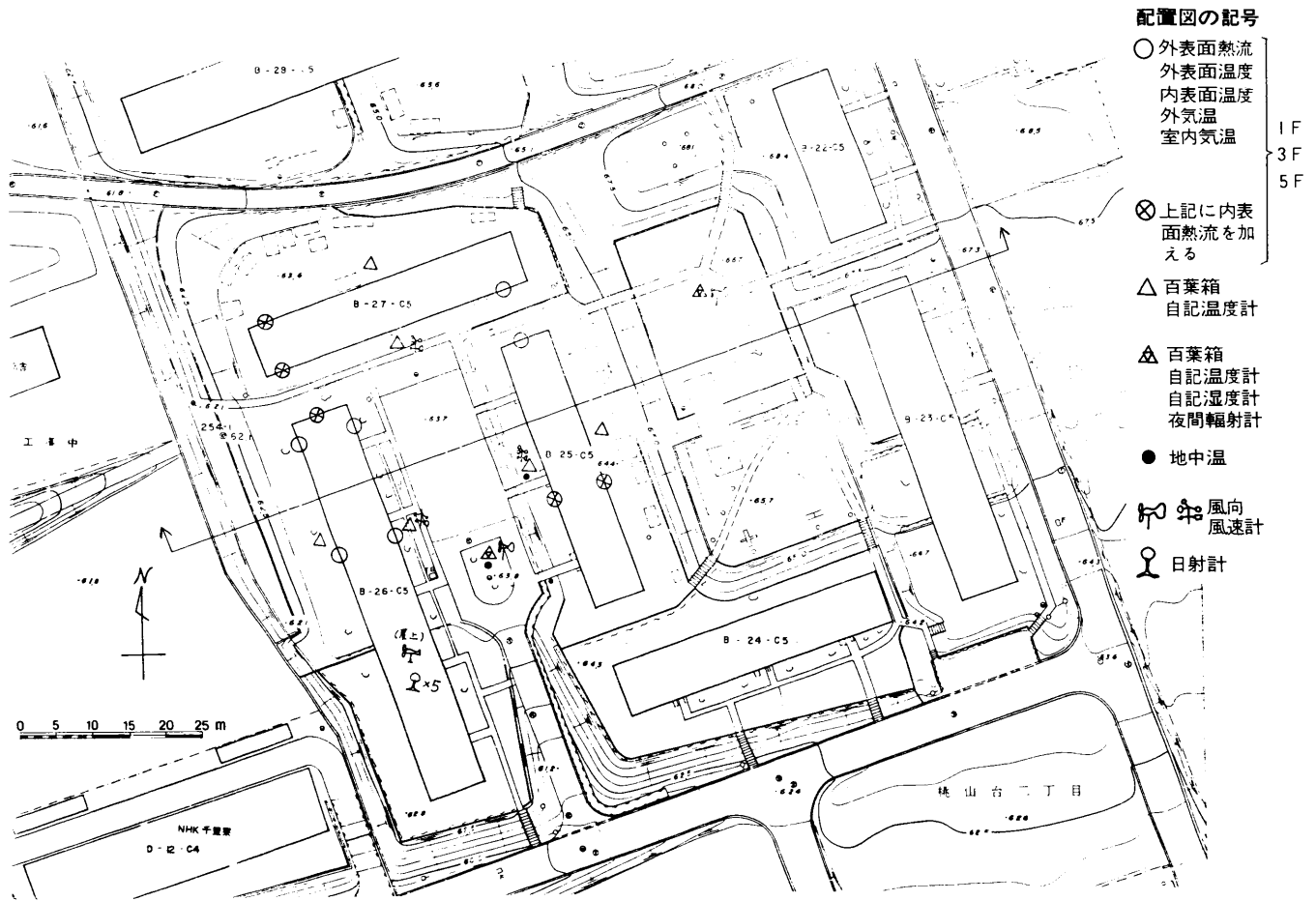


図2-1 配置図

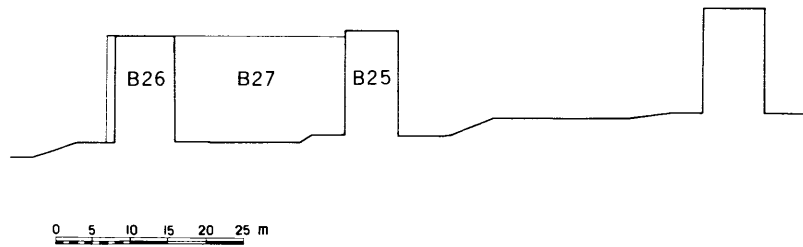


図2-2 断面図

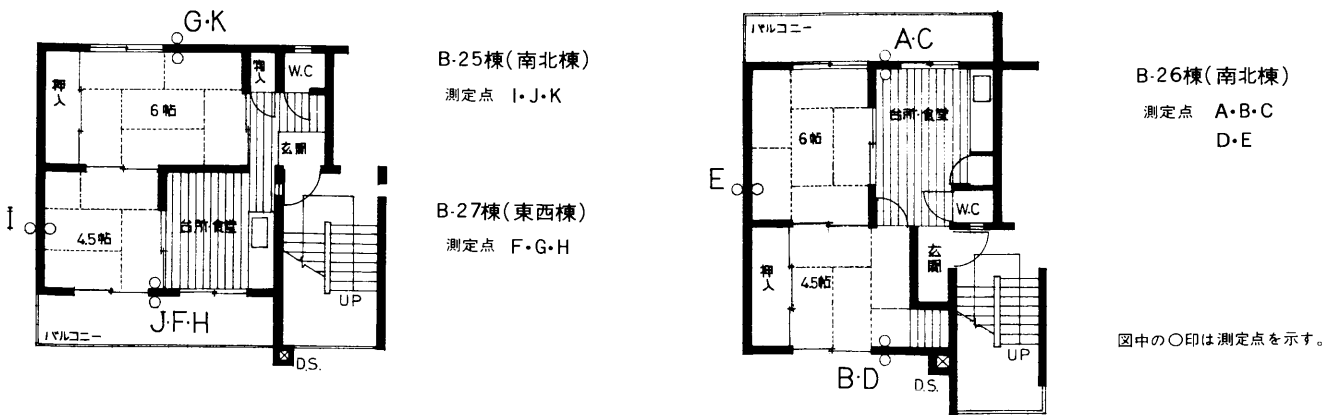


図2-3 住居平面図

§ 3 外壁面の放熱

3-1 壁体外表面の熱流測定

熱流計を作成して壁体外表面に設置し、直接、表面熱流を計器に記録して測定した。

熱流計は、厚さ1 mm、4 cm×14 cmで、線径0.08mmの熱電対CC線を200回巻、感度は約0.03mV/(kcal/m²h)である。壁面の設置には、粘着布を下張りし、コーキング剤で表面の凹凸をならして熱流計を密着させた。その表面は粘着布を張りつけた。起電力の記録には、横河電機製YODAC、T-50 および打点式大形受信計を用いた。

熱流計の熱伝導抵抗は約0.005m²h°C/kcalであり、壁面の設置に用いた粘着布とコーキング剤の厚さが約1 mmあるので、外気側表面熱伝達抵抗の通常値0.05m²h°C/kcalに対して約10%あまり抵抗が増し、熱流測定値は、定常では測定誤差が少ないが、温度変化の大きいときは、過小となる。また、外壁面の吹付色モルタルと白色粘着布の日射吸収率の相異があるが、外見上近似している。

3-2 夏季の外壁面の熱流の日変化

図3-1に、測定点A、B、F、G、Iの外壁面の熱流束を示した。正(+)の値が、室内から外気に向う熱流である。F点、G点では室内側表面の熱流束も示した。符号は同方向を正とした。

A点は西側で、バルコニーがあり、B点は東側で、中庭に面する外壁である。いずれも昼間は日射受熱量を吸収し、夜間に放熱する。外壁面の高さによる差異は、A点では5階の日射熱吸収が大きく、3階、1階は大差がない。B点では中庭に面しているので、前面建物のため5階は1、3階よりも日当たりが早く、また上部のひさしによって日影も早くなることが、熱流の日変化に見られる。

F点は南側であるが、対向壁面に近接しており、G点の北側壁面と大体同じパターンの熱流の日変化を示す。

夕方には、北壁にも日射があり、G点の日射吸収がより大きい。

F・G点の室内表面の熱流は、昼間は室内から壁体へ流入し、夜間に壁体から室内への放熱があるが、その日変動は小さい。

I点は、対向壁面の近接する北側壁面である。F点と類似の日変化を示している。

A点を除いて、B、F、G、I点ともに、昼間の外壁面の流入熱が1階で、ピークの最大値を示すのは、地面の日射の照返しや風による対流熱伝達の差異と思われる。

A点ではバルコニーのために、これらの相違の影響が小さく、日射受熱のみに左右されるらしい。

図3-2に、J点(西側)、K点(東側)の外壁面の熱流束を示す。いずれも、図3-1のA点、B点の日変化

と大体同じである。K点は東側に前面建物がなく、各階とも同じ日変化を示す。

J、K点の室内表面の熱流は、5階を除けば、外表面にくらべて日変動が小さい。J点の5階は、窓面を透過した日射熱による室内から壁体への流入熱が、日変化のピークを生じていると思われる。

3-3 夏季の外壁面の放熱と日射熱吸収

一般に、外壁の外気側表面では、昼間の日射熱の吸収と夜間の外気への放熱がある。

表3-1、2、3に夏季の外壁面の放熱量を示した。数値は1日の外気への放熱量(kcal/m²)である。負の値(-)は壁体への流入熱量で、両者の和も示した。各表の下端に測定期間の平均値を求め、外壁面の1日の放熱と流入熱の傾向を示した。また、1日の平均熱流束(kcal/m²h)を計算して記入した。

表3-1のA、C点は西側、B、D点は東側、E点は北側の外壁表面である。1日の合計は正(+)で、壁体から外気への放熱となる。壁体の放熱が流入熱の2~3倍である。その熱供給は、室内発生熱と昼間の室温による室内表面から壁体内への流入熱によって与えられる。窓ガラスを透過した日射熱もこれに加わる。

A点3階、G点1階、J点5階、K点1、3、5階などで、放熱量が大きい。これは、図3-2のJ点、5階(A点は8月12日の5階)のように、日射吸収熱の大きいところで放熱量も大きくなる。その時間変動は、日射吸収の直後に大きい放熱がある。また、日射吸収熱の積算値の大きい場合も放熱が大きくなる傾向がある。

3-4 冬季の外壁面の放熱

表3-4、5に1日の外気への放熱量(+)と壁体への流入量(-)および両者の和を示した。夏季にくらべて放熱量が約2倍になるが、流入量には大差がなく、1日の合計は夏季の約3倍、平均熱流束も約3倍に達する。これは暖房による室内外温度差の増加によるものである。

外壁面の熱流の日変化は、夏季と大体同じであるが、夜間の熱流(放熱)が全体にずっと大きくなる傾向となる。

3-5 外壁面の放熱量測定について

今回、熱流計を用いて、日射を受ける外壁表面の熱流測定を行ない、外壁面の流出、流入熱の概略値を得た。

ここに、昼間、日射のある壁体表面温は、外気温よりも高くなり、壁体表面から壁体内部への流入熱があるとともに、外気への放熱も生じるはずである。しかし、熱流計は前者のみを指示しており、後者は測定できない。

すなわち、測定結果は昼間の壁体の蓄熱と夜間(日射のない場合)の放熱を示す。今後、建築物の外部熱環境への影響解析を進めるには、さらにDataを増し、対流放熱と時間変動に関して検討を加える必要があろう。

表 3-1 Heat transfer summer B-26

Aug.1975	A10q	A30q	A50q	B10q	B30q	B50q	C30q	D30q	E10q	E30q	keal/m ² day
9th	204	257	282	252	241	284	173	266	200	233	
	-65	-78	-150	-129	-71	-126	-75	-122	-123	-161	
sum	139	179	132	123	170	158	98	144	77	72	
10th	163	268	275	191	171	216	152	183	197	237	
	-37	-31	-97	-53	-42	-46	-54	64	-79	-47	
sum	126	237	178	138	129	170	98	119	118	190	
11th	245	246	234	169	133	158	130	158	162	192	
	-37	-55	-112	-91	-64	-95	-56	-107	-101	-88	
sum	208	191	122	78	69	63	74	51	61	104	
12th	164	246	332	195	157	208	160	186	229		
	-93	-115	-180	-124	-79	-125	-106	-120	-180		
sum	71	131	152	71	78	83	54	66	49		
mean	194	254	281	202	176	217	154	198	197	221	
	-88	-70	-135	-99	-64	-96	-73	-103	-121	-99	
sum	136	184	146	103	112	119	81	95	76	122	
Heat flux	5.7	7.7	6.1	4.3	4.7	5.0	3.4	4.0	3.2	5.1	

表 3-2 Heat transfer Summer B-27

Aug.1975	F10q	F30q	F50q	G10q	G30q	G50q	H10q	H30q	keal/m ² day
7th	242	273	245	274	256	233	236	238	
	0	0	0	-7	-13	-5	0	0	
sum	242	273	245	267	243	228	236	238	
8th	115	127	118	187	210	184	125	120	
	-84	-72	-79	-118	-162	-115	-59	-70	
sum	31	55	39	69	48	69	66	50	
9th	148	166	185	286	308	282	142	158	
	-101	-68	-68	-123	-152	-125	-64	-66	
sum	47	98	117	163	156	175	78	92	
10th	110	144	167	223	244	232	97	162	
	-60	-29	-32	-104	-136	-81	-30	-24	
sum	50	115	135	119	108	151	67	138	
11th	98	114	141	188	219	201	90	94	
	-95	-70	-68	-111	-147	-119	-74	-68	
sum	3	44	73	77	72	82	16	26	
12th	117	160	156	220	265	221	107	118	
	-143	-93	-88	-172	-199	-160	-89	-83	
sum	26	67	68	48	66	61	18	35	
mean	138	164	169	230	250	226	133	148	
	-81	-55	-56	-106	-135	-101	-53	-52	
sum	57	109	113	124	115	125	80	96	
Heat flux	2.4	4.5	4.7	5.2	4.8	5.2	3.3	4.0	

表 3-3 Heat transfer Summer B-25

Aug.1975	I10q	I30q	I50q	J30q	J50q	K10q	K30q	K50q	keal/m ² day
7th	335	253	287	167	312	302	235	236	
	-1	-2	0	0	0	0	5	6	
sum	334	251	287	167	312	297	229	236	
8th	144	119	150	81	183	223	180	147	
	-172	-140	-104	-76	147	-39	-53	-79	
sum	28	21	46	5	36	184	127	68	
9th	246	221	200	122	291	337	264	244	
	-173	-125	-109	-72	109	-91	-91	-64	
sum	73	96	91	50	185	246	191	180	
10th	210	185	174	111	312	216	164	198	
	-59	-80	-42	-28	51	-21	-20	-15	
sum	151	105	132	83	261	195	144	183	
11th	171	159	126	90	253	202	158	148	
	-142	-11	-91	-70	77	-51	-48	-45	
sum	29	148	35	20	176	151	110	103	
12th	220	199	142	103	346	216	179	176	
	-198	-144	-133	-96	140	-83	-98	-75	
sum	22	55	9	7	206	133	81	101	
mean	221	189	180	112	283	249	197	192	
	-124	-84	-80	-57	87	-48	-53	-46	
sum	97	105	100	55	196	201	144	148	
Heat flux	4.0	4.4	4.2	2.3	8.2	8.4	6.0	6.0	

表 3-4 Heat transfer winter B-26

Fed.1976	A10q	A30q	A50q	B10q	B30q	B50q	E10q	E30q	keal/m ² day
2nd	276	313	209	359	417	347	252	247	
	-79	-81	-75	-99	-103	-84	-119	-128	
sum	197	232	134	260	314	263	133	119	
3rd	298	378	252	366	493	366	298	130	
	-88	-79	-91	-95	-90	-72	-106	-87	
sum	210	299	161	271	403	294	192	43	
4th	288	306	210	301	365	291	265	261	
	-40	-58	-70	-121	-158	-114	-137	-162	
sum	248	248	140	180	207	177	128	99	
5th	416	403	233	364	391	281	284	315	
	0	0	0	0	0	0	0	0	
sum	416	403	233	364	391	281	284	315	
6th	531	570	312	500	641	435	410	427	
	-1	0	-93	-32	-72	-83	0	-2	
sum	530	570	219	468	569	352	410	425	
mean	362	394	243	378	461	344	302	276	
	-42	-44	-66	-69	-85	-71	-72	-76	
sum	320	350	177	309	376	273	230	200	
Heat flux	13.3	14.6	7.4	12.9	15.7	11.4	9.6	8.3	

表 3-5 Heat transfer Winter B-27, B-25

Feb.1976	F10q	F30q	F50q	G10q	G30q	J10q	J30q	I10q	I30q	keal/m ² day
2nd	129	259	443	321	349	379	402	287	528	374
	-51	-21	-19	-133	-56	-44	-13	-31	-61	-126
sum	78	238	424	188	293	335	389	256	467	248
3rd	164	268	475	448	363	413	430	348	506	422
	-36	-33	-71	-87	-62	-50	-24	-44	-77	-114
sum	128	235	404	361	301	363	406	304	419	308
4th	242	255	413	466	268	335	402	304	414	334
	-29	-46	-114	-104	-116	-113	-16	-28	-104	-129
sum	213	209	299	362	152	222	387	276	312	205
5th	246	294	422	564	239	352	501	416	486	377
	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sum	239	294	422	564	239	352	501	416	486	377
6th	290	457	630	699	444	555	605	431	555	366
	-6	-19	-2	0	0	0	0	-22	0	-71
sum	284	438	628	699	444	555	605	409	555	295
mean	214	307	476	499	333	407	488	357	498	375
	-26	-24	-41	-65	-47	-41	-10	-25	-48	-88
sum	188	283	435	434	286	366	478	332	450	287
Heat flux	7.8	11.8	18.1	18.1	11.9	15.2	19.9	13.8	18.7	11.9

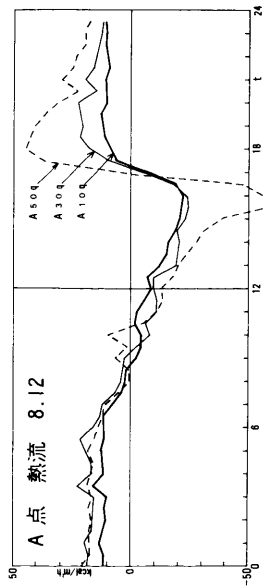


图 3-1-1

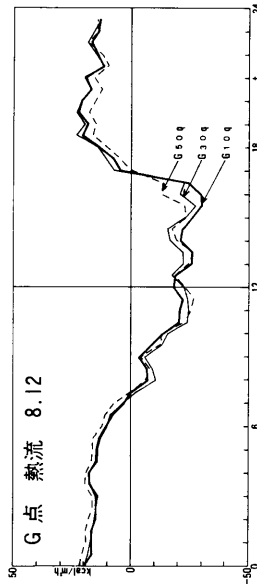


图 3-1-5

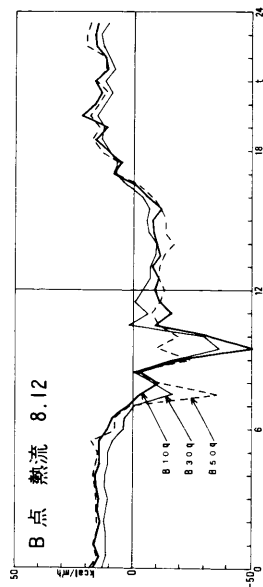


图 3-1-2

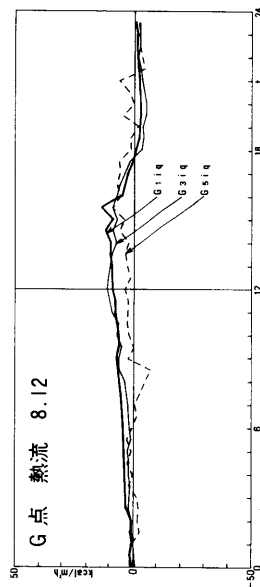


图 3-1-6

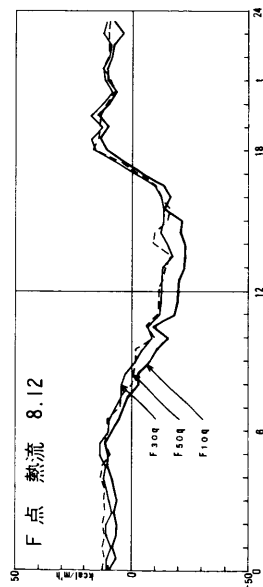


图 3-1-3

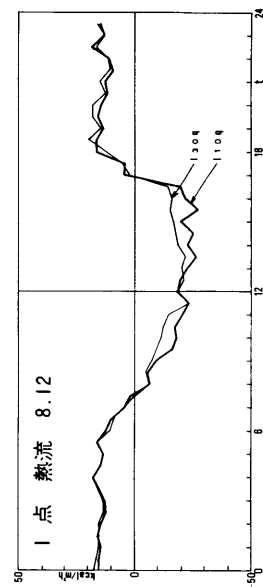


图 3-1-7

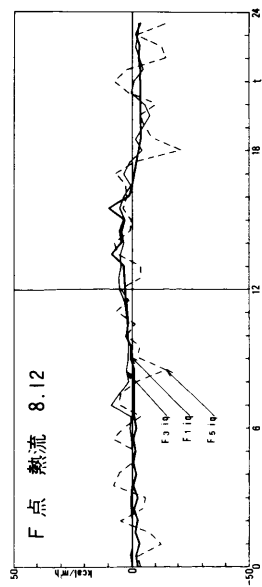


图 3-1-4

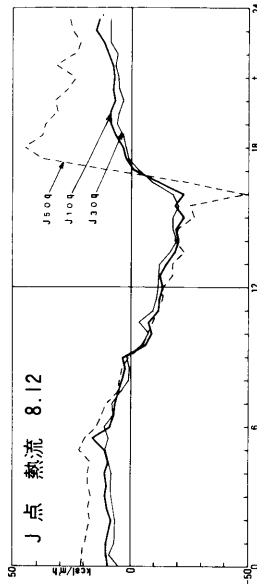


图 3-2-1

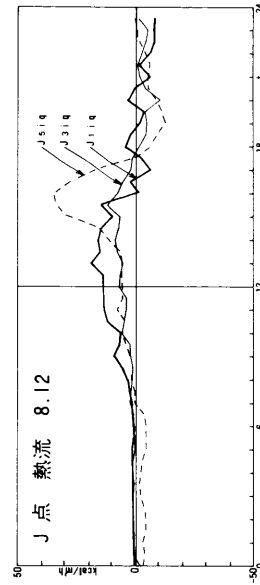


图 3-2-2

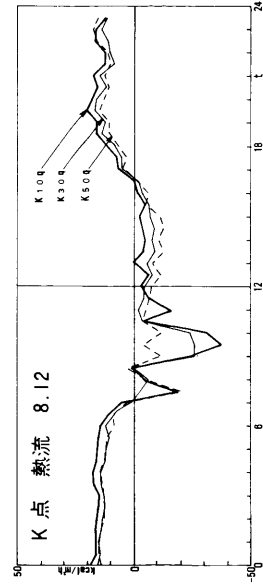


图 3-2-3

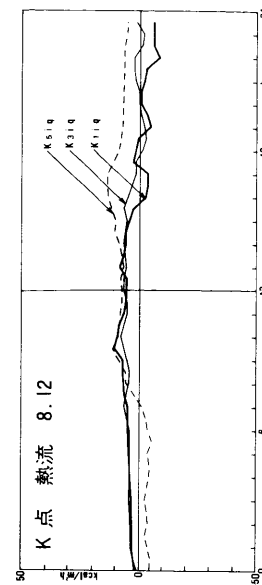


图 3-2-4

图 3-1 A, B, F, G, I 外壁面热流束
图 3-2 J, K 外壁面热流束

§ 4 建物の外表面温度

4-1 外気側、室内側の外壁表面温度と同空気温度

ここに掲げた結果は、雨天及び曇天の日を除いた日、(夏期：8月8, 9, 10, 11, 12, 日, 冬期：2月2, 3, 4日)の同時刻平均であり、外壁の方位別に1階、3階の結果を全て平均したものである。なお、5階は最上階であり、他の階とは若干異なる熱性状を示したので、ここでは除かれている。

夏期は、外気側の表面温度、空気温度の変動が大きい(両温度共日較差 $4^{\circ}\text{C} \sim 8^{\circ}\text{C}$)、室内側は小さく(両温度共日較差 $1.5^{\circ}\text{C} \sim 2.5^{\circ}\text{C}$)、また最高温度時刻も遅れている。日没から日の出までの間は、窓を開け放していると思われるにもかかわらず室内側の空気温度は外気側の空気温度よりも $2^{\circ}\text{C} \sim 4^{\circ}\text{C}$ も高くなっている。この事から、夜間の通気をもっと促進されるようにすれば、夜間はかなり過しやすくなると考えられる。(図4-1a)

冬期は、朝夕の2回に、ほとんどの家庭では石油ストーブ、ガスストーブを使用しており、その時に室内側温度に大きい変動が見られる。しかし、暖房停止後は、外壁が熱容量の大きいコンクリート造であるにもかかわらず、すみやかに温度が下降する。とは云っても外気側温度よりは、 $2^{\circ}\text{C} \sim 3^{\circ}\text{C}$ 以上は高い所までしか、下降しない。(図4-1b)

図4-1から、外壁の方位によって大きい差異が存在する事が認められる。しかし、午后の外気側空気温度が最高となる時刻は方位に関係なく、ほぼ同時刻になっている。さらに、特に夜間において、南向、西向壁の外気側表面温度・空気温度は他方位向壁に比べて、かなり高くなっているが、この方位にはそれぞれバルコニーが有り、その場所が物干し場となっていることもあって、本調査結果のみでは、一概には云えないにしても、そこでは夜間放射と気流が妨げられていると考えられ、方位による差というよりもバルコニーの有無の差であると考えられる。

東向壁面と冬の南向壁面では、午前中に外気側表面温度が他の壁面に比べて急激に上昇しているのが見られるが、同方位の外気側空気温度には、表面温度の場合ほど他方位壁面との極端な差異が認められない。この事から外壁の表面温度の急激な上昇と周囲の空気温度の上昇との関係は、必ずしもリニャーではないことがうかがわれる。

なお、夏期の夕刻の北向壁面での温度上昇と冬の午前中の南向壁面での温度急上昇は、南向壁がわずかに東向にずれている為に生ずる現象である。

各壁面の方位によって整理したところ、同方位向壁面間では、同様の傾向をもつことが認められた。隣棟に面

している壁面では、開放された場所に面している壁面に比べて夜間放射の減少や、隣棟壁面からの輻射熱などで特に夜間には温度が高くなる事が予想されたが、特に隣棟壁面が近接している外気側壁表面温度(G-E-I)において有意な差が認められた。(図4-2)

4-2 外気側・室内側の外壁表面熱流

測定された外壁両側表面温度から外壁両側表面熱流の変動をレスポンス・ファクター法によって推定した。

推定に用いた定数は表4-1に示す。

室内側表面温度に多少の差はあるにしても(特に冬は部屋によって暖房状態が異なると考えられる)、外気側表面温度が同方位壁面においては著しい差が認められなかったため、両側表面熱流も方位別に1階、3階の同時刻平均をここに示した。(図4-3)

夏期は、東向壁で午前中に外気側の壁への流入熱が非常に多くなっており、バルコニーの有る西向壁は他の南向、北向壁とほぼ同様な変化をしている。また夜間には、日没から日の出まで、ほぼ同様な外気への熱放出があるが、バルコニーのある方位は、無い方位に比べて放出熱流が少ないように思われる。(表4-2)室内側表面熱流は、全方位とも同様な傾向を示し、夕方まで少しずつではあるが室内から外壁への熱流があり、その後、外壁から熱流が逆流するか、もしくは、逆流はなくとも、外壁への熱流入が停止している。このことから、夜間の室温を下げる為には換気が重要であることがうかがわれる。

冬期は夏期の場合と異なり、壁方位によってかなり外気側表面熱流の変化の様子に差がある。東向、西向壁は、それぞれ朝日と西日による大きい熱吸収があり、日射の影響の少ない南北壁は、ほぼ同様な変化をしているが、建物棟が東西軸からずれている為にバルコニーが有るにもかかわらず、日光の直射がある午前中の南向壁には大きい熱吸収がある。夜間は、夏期の場合よりも顕著にバルコニーによる影響と思われる差異が認められる。もっとも、南北外壁を有する住戸と東西外壁を有する住戸とでは、暖房状態がかなり異なるが(図4-1b)、バルコニーを有する南向壁、西向壁をバルコニーを有しない北向壁、東向壁とそれぞれ暖房状態が同じ同志と比較すれば、その差異が明らかである。すなわち、外気側表面からの夜間の積算放熱量は、暖房が貧弱で、バルコニーの為に外気側表面温度の高い南向壁では、両側表面温度の差が小さい為に、最も少なく、暖房が強くバルコニーの無い東向壁では、南向壁の約2倍で最も多くなっている。西向・北向壁では、その中間となっている。(表4-2)

4-3 外壁内部の各時刻における温度分布

表面熱流の場合と同様に、外壁内部の各時刻における温度分布をレスポンス・ファクター法によって推定した。推定に用いた定数は表面熱流推定の場合と同じものである。ここでは、東向壁について夏期、冬期の様子を示す。(図4-4)午前零時から日の出の頃までは、夏期の場合よりも冬期の方が壁内温度の下降の程度がかなり速くなっている。日の出から正午までは、夏期、冬期共、東向壁で外気側表面温度が急激な上昇を示している。しかし、壁内部の中心付近の温度がまだ低い為に、室内側表面温度の上昇とあいまって、室内側へ熱が流入することは、ほとんどない。午後から日没までは、両側の温度が上昇し、壁内部の温度がほぼ均等に上昇して壁内に熱が蓄積される。日没から夜中にかけては、夏期には、両側の表面温度が下降し、壁内部に蓄積されていた熱が除々に室内側と外気側へ放出されている。冬期の場合に

は、室内側表面温度が暖房の為に上昇し、外気への熱放出が一層大きくなっている。

参考文献

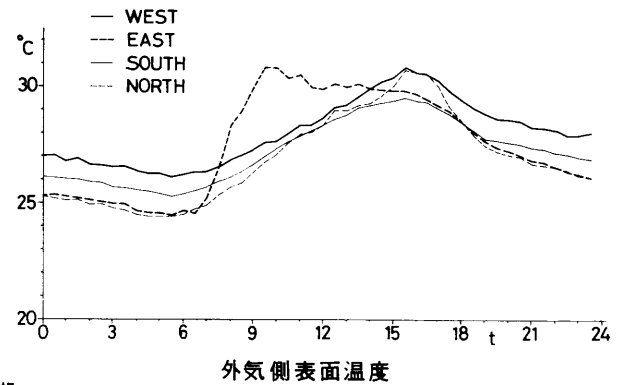
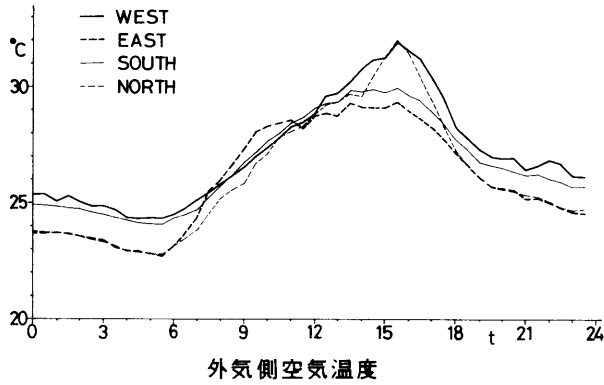
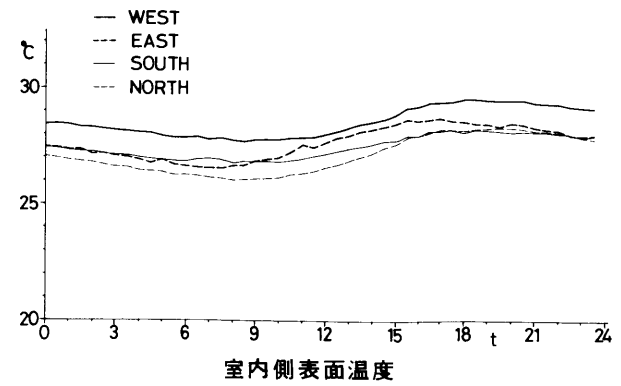
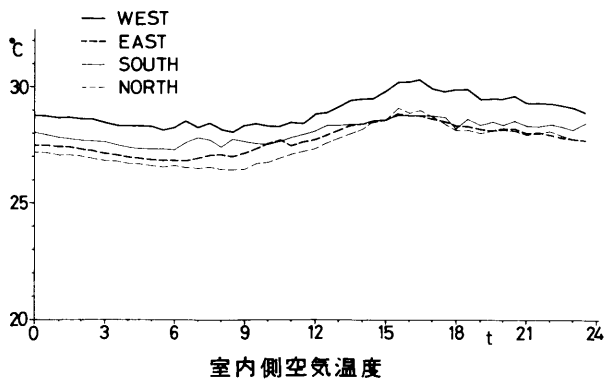
- 4-1) 新訂 建築学大系 8
- 4-2) Stephenson, Mitalas "Coding Load Calculation by Thermal Response Factor Method", ASHRAE Transactions, 1967.
- 4-3) 松尾陽・武田仁 "レスポンスファクター法による熱負荷計算法と計算例(j)", 空調・衛生 Vol. 44, No. 4, 1970
- 4-4) 荒谷登 "住居の熱環境計画への研究", 1973
- 4-5) 堀江・相良 "南北軸集合住宅の東面外壁の熱的性状について", 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和51年10月

表4-1 計算に用いた定数

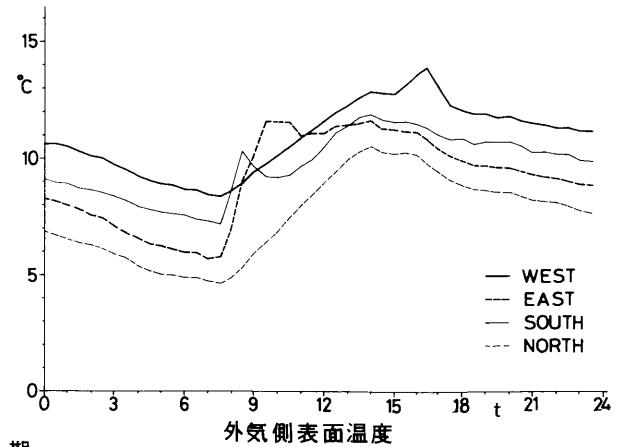
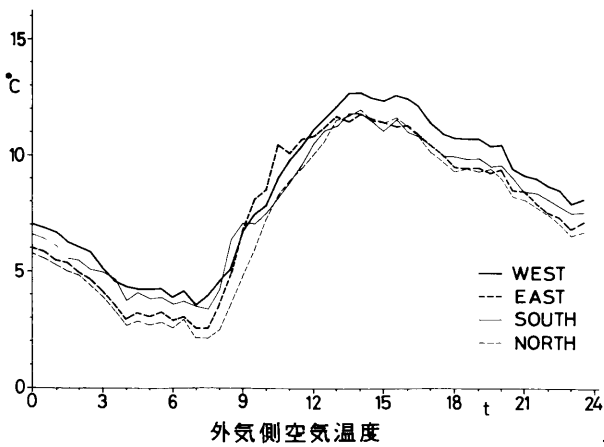
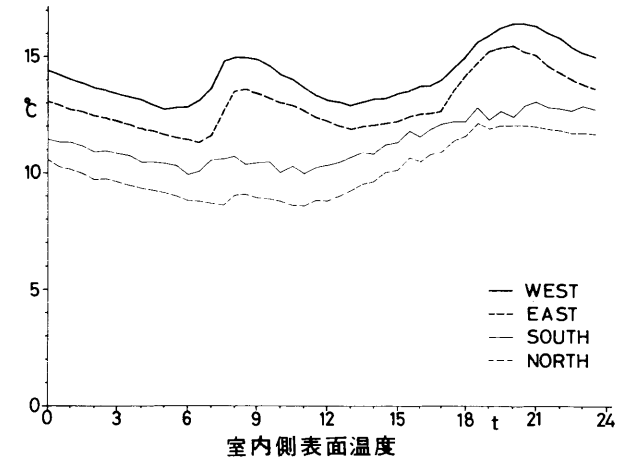
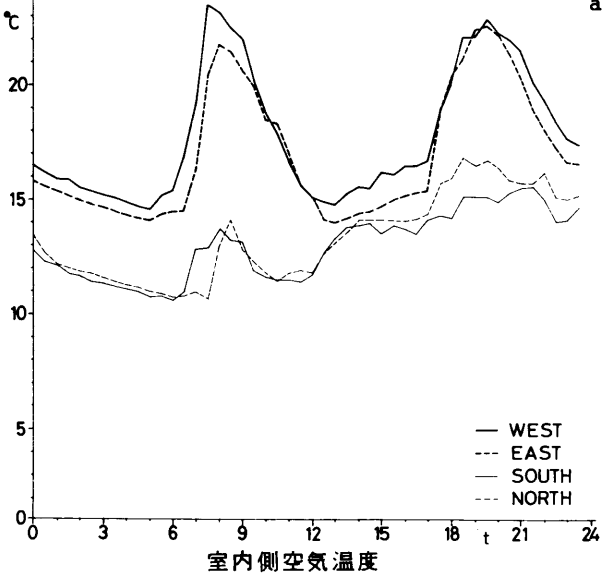
外壁熱伝導率(推定値)	1.4 kcal/mh°C
外壁温度伝導率(推定値)	0.0029 m ² /h
外壁厚さ(実測)	0.23 m
時間間隔	0.5 h

表4-2 外気側外壁表面からの夜間の積算放熱量(上段 kcal/m²)と夜間の両側表面温度の平均温度差(下段°C)

	西向壁 (パルコニ)	東向壁	南向壁 (パルコニ)	北向壁
夏期	230	310	200	300
	1.4	1.8	1.1	1.7
冬期	540	680	330	500
	4.1	5.3	2.5	3.7



a. 夏期



b. 冬期

図4-1 外気側・室内側の外壁表面温度と同空気温度

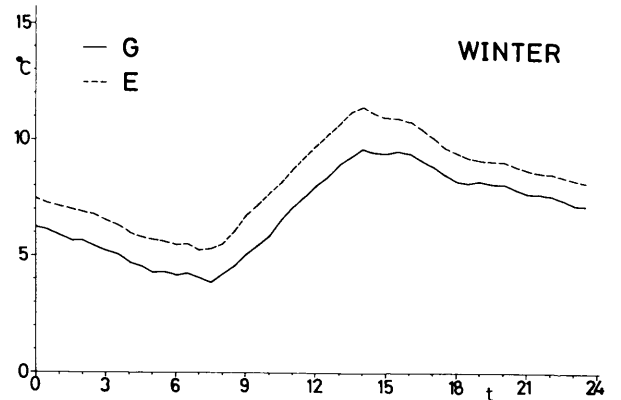
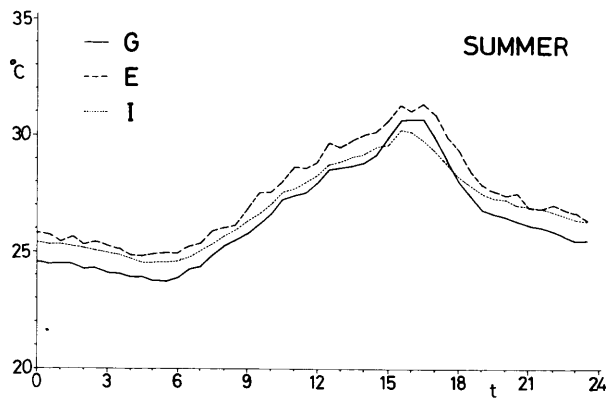


図 4-2 開放側壁面 (G) と隣棟に面した壁面 (E・I) の外気側表面温度

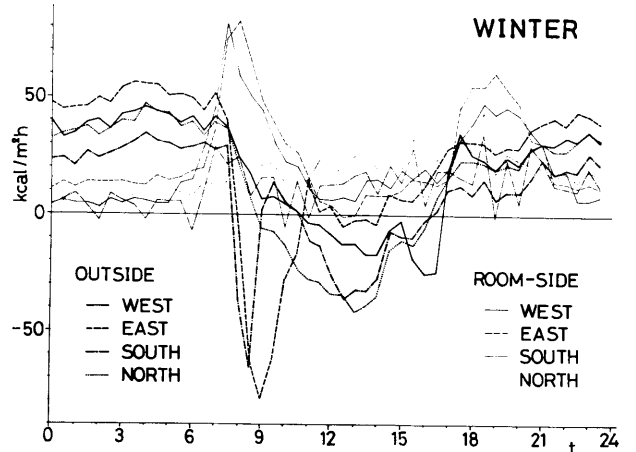
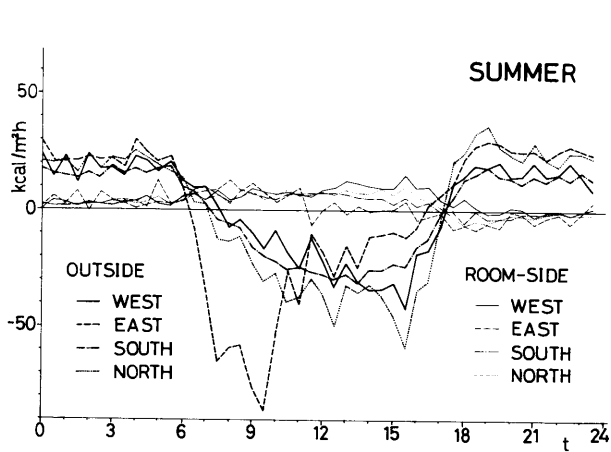


図 4-3 外気側・室内側の外壁表面熱流

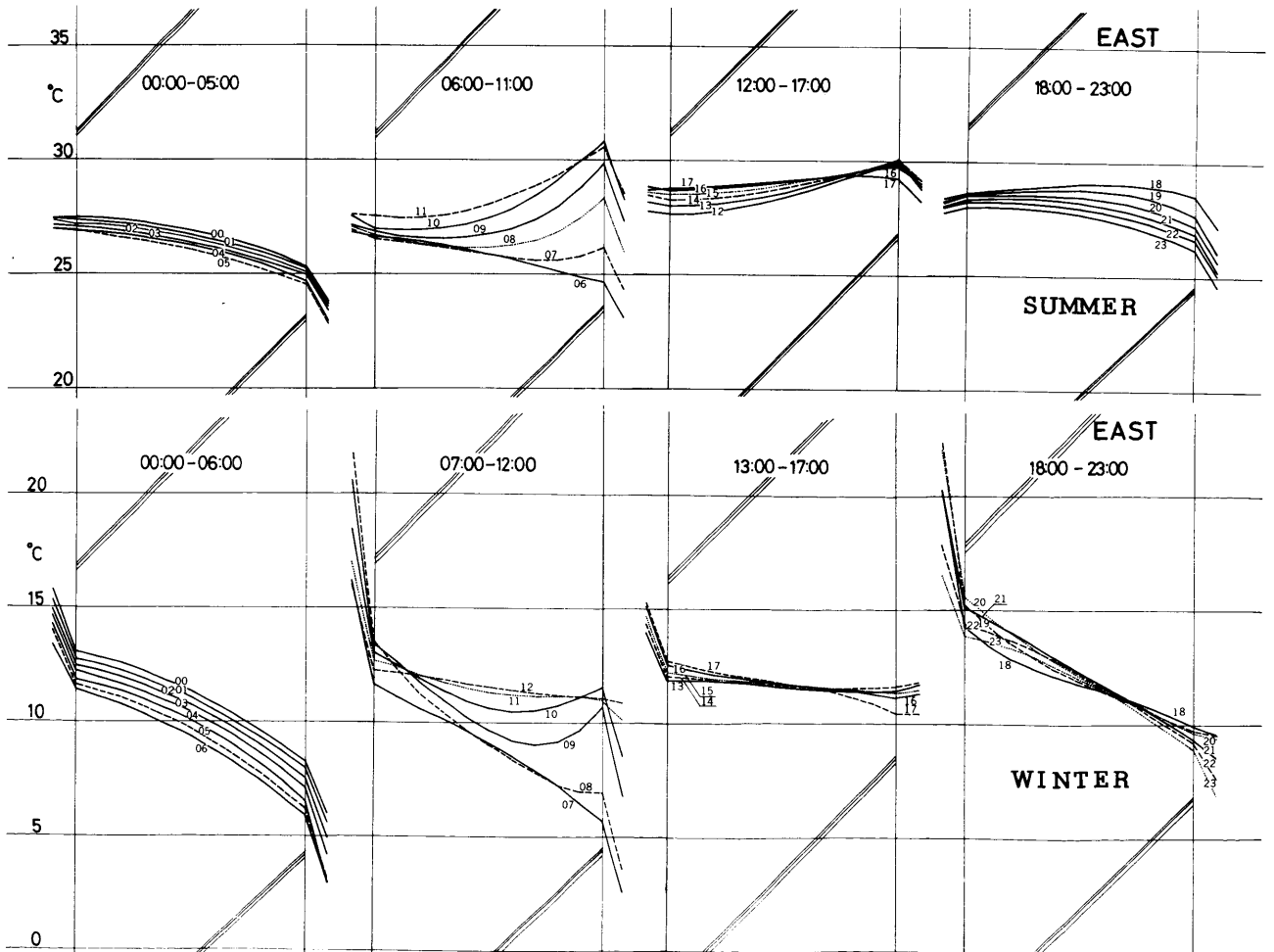


図 4-4 東向壁の外壁内部の各時刻における温度分布

§ 5 地表面および地中温度

図5-1, 図5-2に夏期および冬期の晴天日を中心とした地表面温度および地中温度の時刻別変動の例を示す。実線は中庭：点線は広場の温度を示し、太線は地表面温，細線は地下15cmの温度を示す。地表面の温度上昇に最も影響を及ぼす日射量の時間的変動は，夏期は急激で冬期は緩やかであるが，広場と中庭は§6に示すように天空率は0.89と0.59であるから，日射の受熱量は中庭の方が少ない。気温は§7で示すように晴天日日平均ではほぼその差はない。風速は広場の方が大きい。中庭での地表面温と，その直下地中15cmの最高値の位相ずれは，夏期，冬期ともほぼ同じく約3時間であり，広場は4時間で，一時間の差を示した。地表面温度の日較差は，夏期中庭が 11.0°C ，広場は 17.4°C ，冬期中庭が 9°C ，広場は 13.5°C であり，共に広場の方が大きい。しかしながら，地中15cmでは夏冬ともその振幅は広場と中庭とでほとんど変わらない。図5-3, 図5-4

は，夏期および冬期の表面温度および15cmの地中温の実測値を基にし，地盤の熱常数を仮定して，レスポンスファクター法で計算した地表面の熱流を示す。したがって，対流熱伝達を含めた表面からの熱流を示している。図5-4で，冬の中庭の熱流が振動を示しているのは，表面温度の振動の影響が多いためである。熱流の最大値と，最小値の差は広場の方が大きく，特に夏はいちじるしい。

参考文献

- 5-1) 日本生物環境調節学会編 生物環境調節ハンドブック
東京大学出版会
- 5-2) 渡辺要 防寒構造 理工図書
- 5-3) 小沢, 吉野, 小気候調査法 古今書院
- 5-4) 松尾, 武田 “レスポンス・ファクター法による熱負荷計算法と計算例(1)”, 空気調和衛生工学 Vol.44 No.4 昭和45年4月

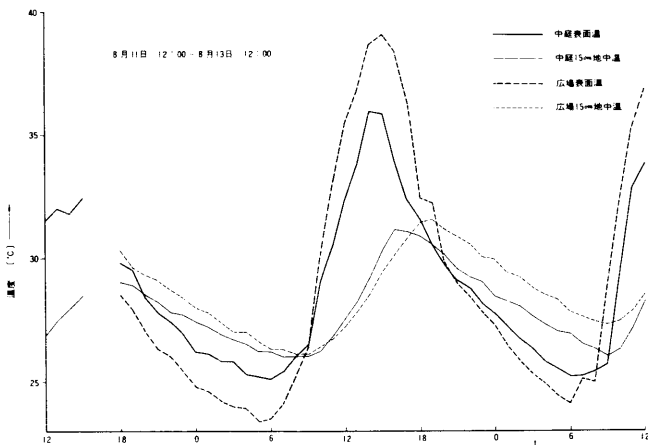


図5-1 夏の地表面温度および15cm地中温度

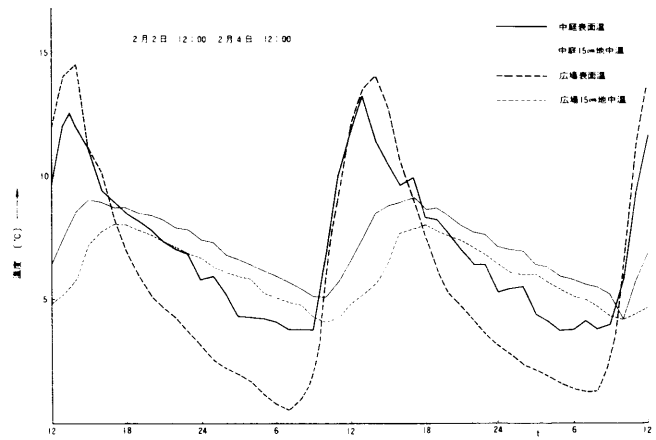


図5-2 冬の地表面温度および15cm地中温度

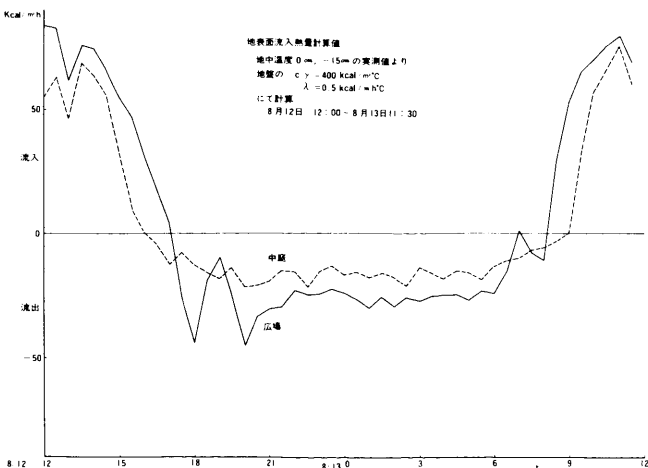


図5-3 夏の地表面流入熱計算推定値

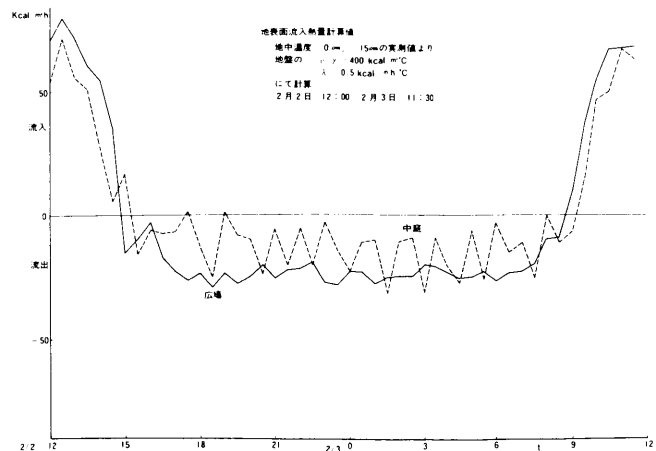


図5-4 冬の地表面流入熱計算推定値

§ 6 夜間ふく射

図6-1, 図6-2に示す夜間ふく射計(Improved polythene-shielded net radiometer)による夏期および冬期の夜間ふく射量を示す。破線はBruntの式により求め形態係数により補正した晴天日理論値を示す。実測値においては、中庭と広場間では僅かではあるが差が見られ、特に夏期は夜半以後その差が判然としている。8月12日19:00時~8月13日5:00時までの1時間毎の正味ふく射量を積算すると中庭で372.5 kcal/m², 広場で449.0 kcal/m²となり、2月6日19:00時~2月7日4:00時までの同積算値は中庭408.5 kcal/m², 広場445.0 kcal/m²であり、地表面附近の気温の差が著しく大きいときにその差が大きい傾向をもつと言える。

一方、§5において見たように、地表面温度は夏冬とも中庭の方が僅かながら高い傾向をもっており、他の条件(例えば建物外壁からのふく射量)の厳密な補正を行なった結果、地表面温度の低い広場において夜間ふく射量が大きいのは、当然、建物外壁についての形態係数の違い(天空の形態係数の違い)によるものと考えられる。天空、地表面側の正射影投影写真(図6-3, 6-4, 6-5, 6-6)において形態係数を求めたものを表6-1, 表6-2に示す。これらを用い各表面からのふく射量により補正したものは実測値とかなりよい一致を示し、地表の夜間冷却に対する周囲建物外壁面の影響を証明するものといえる。

最後に、計算式においてはÅngströmの式(Linkeの定数使用)とBruntの式を用いて計算比較したが、後者の方が一般により一致を示すことがわかった。

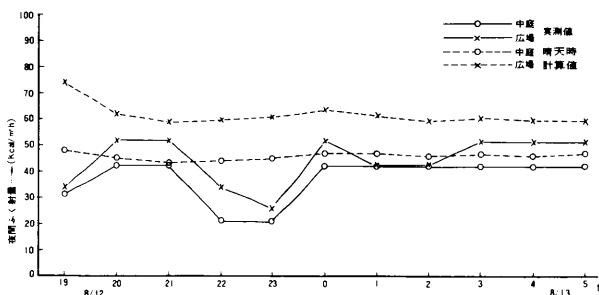


図6-1 夏期夜間ふく射量(kcal/m²h)

計算式

$$N_o = C_b [\varphi_o (\frac{T_o}{100})^4 + \sum \varphi_i (\frac{T_i}{100})^4 - \sum \varphi_j (\frac{T_j}{100})^4] - \varphi_R R_o \text{ [Kcal/m}^2\text{h]}$$

※ ただし、地表面、建物外壁 etc のふく射率は1とする。

N_o: 晴天日夜間ふく射量(kcal/m²h)

C_b: 4.9(kcal/m²h²K)

φ_o: 地表面側地表面形態係数

φ_i: 地表面側建物形態係数

φ_o: ∑φ_i = 1

T_o: 地表面温度(°K)

T_i: 地表面側建物外壁表面温度(°K)

T_j: 天空側建物外壁表面温度(°K)

φ_j: 天空側建物形態係数

φ_R: 天空側大気形態係数

φ_R + ∑φ_j = 1

R_o: 晴天日大気ふく射量(kcal/m²h)

$$\text{Bruntの式 } R_o = C_b (\frac{T_a}{100})^4 (0.52 + 0.065\sqrt{e})$$

eは水蒸気圧力(mmHg)

T_a: 地表附近の気温(°K)

曇量による補正はÅngströmとPhillipsによって次のように与えられ。

$$N_m = N_o (1 - k \frac{m}{10}) \text{ [kcal/m}^2\text{h]}$$

N_m: 曇量mのときの夜間ふく射量(kcal/m²h)

k: 雲の種類によって異なる定数(Ångström, Asklöf and Philippsの表による)

※ ただしこの場合は更に天空の形態係数φ_Rによって補正を加えた。

参考文献

- 6-1 山本義一 大気ふく射学
- 6-2 渡辺俊彦 建築計画原論II 丸善
- 6-3 日本生物環境調節学会編 生物環境調節ハンドブック東京大学出版会
- 6-4 成瀬, 斎藤 "住宅団地における外部熱環境の実測(地中温, 天空正味ふく射について)", 日本建築学会近畿支部研究発表会 昭和51年6月
- 6-5 成瀬, 斎藤 "壁表面温度実測の一考察", 日本建築学会近畿支部研究報告集 昭和51年6月
- 6-6 田中, 吉田 "冬期夜間ふく射の実測", 日本建築学会関東支部研究報告集 昭和40年
- 6-7 田中, 前川 "夜間ふく射の測定", 日本建築学会論文報告集号外 昭和40年10月
- 6-8 尾島 et al "都市規模熱拡散に関する研究(その6, 多摩ニュータウンにおける熱的環境調査)", 日本建築学会大会要報 昭和50年10月
- 6-9 Mario Sovrano and Bruno Boldrin "Investigation on Nocturnal Radiation measured by a New Differential Radiometer"
- 6-10 斎藤, 近畿大学大学院工学研究科修士論文予稿 昭和51年度

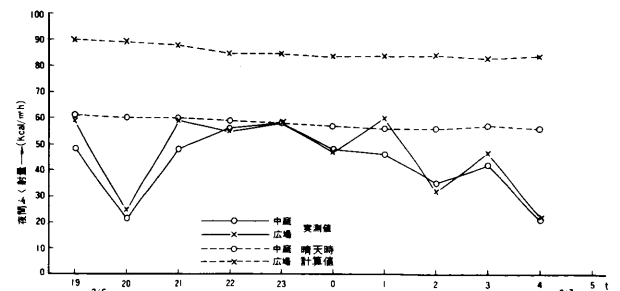


図6-2 冬期夜間ふく射量(kcal/m²h)

表6-1 中庭

ふく射するもの	形態係数	地表面側
地表面(砂土)	0.75	
アスファルト地表面	0.22	天空側
建物(B-25, B-26, B-27)	0.02	
西側建物(B-26)	0.19	天空側
東側建物(B-25)	0.08	
樹木	0.13	
大気	0.59	

注: 形態係数の合計が1.0にならないのは、その他のもの(電柱 etc)を除いたからである。

表6-2 広場

ふく射するもの	形態係数	地表面側
地表面(砂土)	0.96	
建物(B-25棟他)	0.04	天空側
西側建物(B-25)	0.04	
東側建物	0.05	
南側建物	0.01	
北側建物	0.01	天空側
大気	0.89	



图 6—3 中庭・天空侧正射影写真

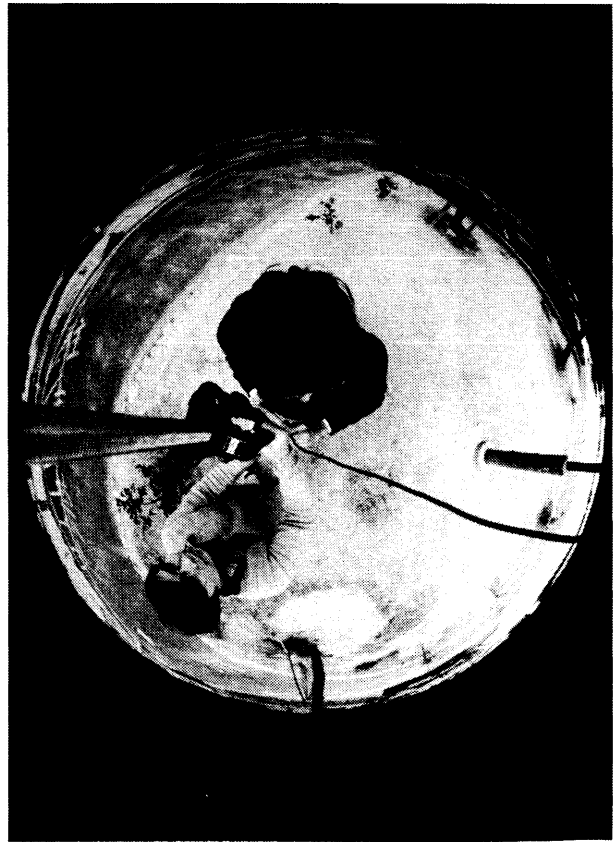


图 6—4 中庭・地表面侧正射影写真

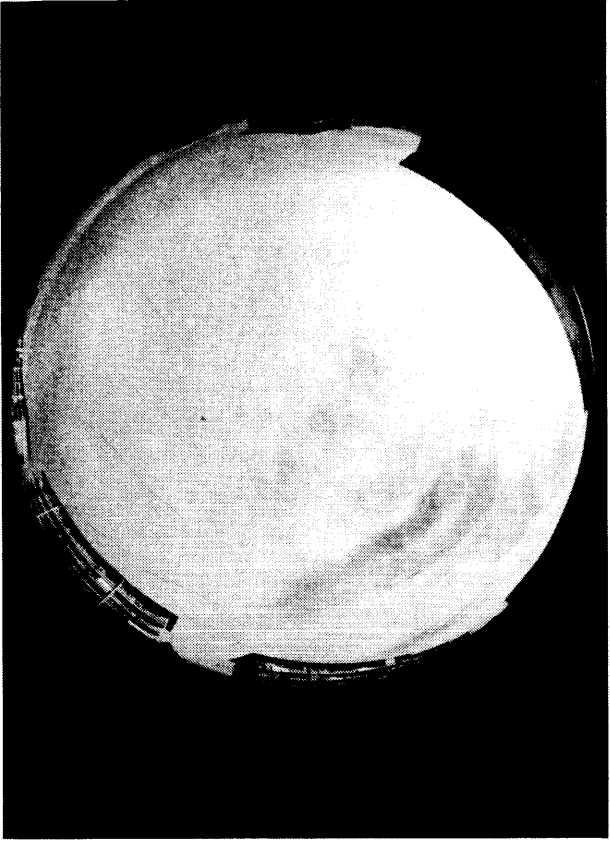


图 6—5 広場・天空侧正射影写真

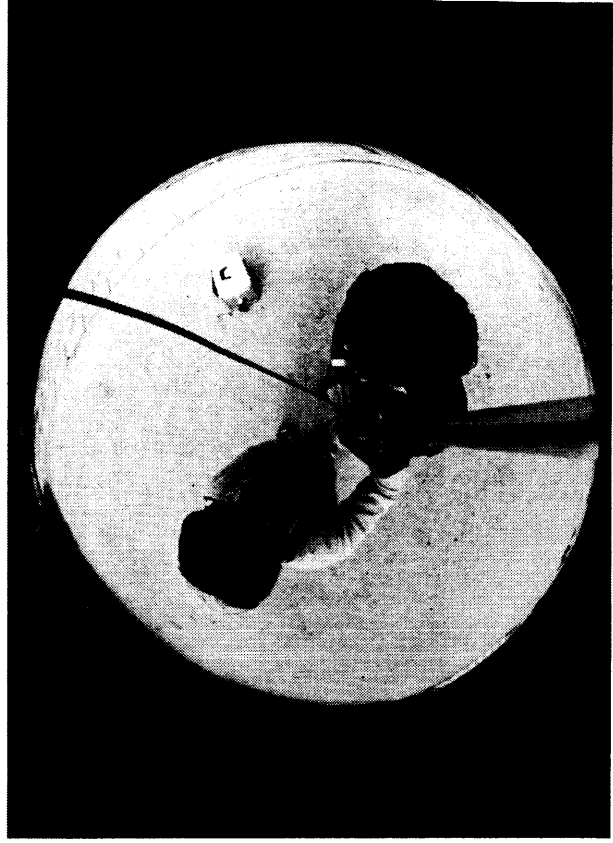


图 6—6 広場・地表面侧正射影写真

§ 7 外気温形成の解析

7-1 外気温形成にかかわる諸因子

外気温は百葉箱の中の7日巻自記計で記録された。測定位置は§2の図2-1に示されている8点で各点の夏季の日照時間、立体角投射率及び天空の主遮蔽方位を表7-1に示す。外気温形成に熱的入力として関与する日射量は屋上で測定されているため、各測定点の値はそのデータに基づいて推定した。日積算水平面、日積算鉛直面日射量の一例を、外壁面内外表面温、表面空気温、外気温のそれぞれの日平均値と共に表7-2に示した。次に地点1と地点8について地表面温度と外気温、正味の輻射量を示差輻射計値で示す。(図7-1、図7-2)参考のため屋上の日射量も示す(図7-0、表7-0)

7-2 結果の考察

1. 地点1と地点8の比較

地点1は東と西の天空が住棟によって遮蔽されており、日照開始、終了時刻が地点8とは異なる。この影響は入放射正味の輻射量にあらわれ正味量が負から正へ、正から負へ変化する時刻がことなっている。一日トータルの正味輻射量は夏季、冬季共天空率の大きい地点8が多い。(表7-3)地表面温度についても日照開始終了時刻のちがいから地点8の方が先に温度が上昇している。

夏の日射受熱量の多いときには地点8の方が、冬の日射受熱量の少いときには天空率の小さい地点1の方が日平均地表面温が高く出ている。(表7-3)外気温については、温度上昇のメカニズムのちがい及び7日巻自記計による測定のため上昇開始時刻には影響がみられない。

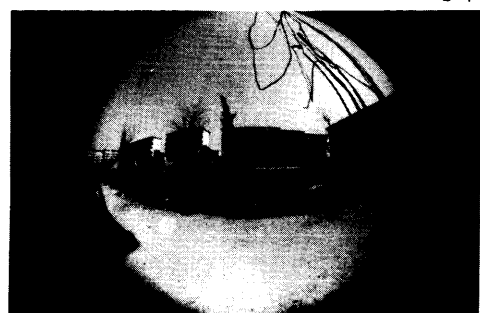
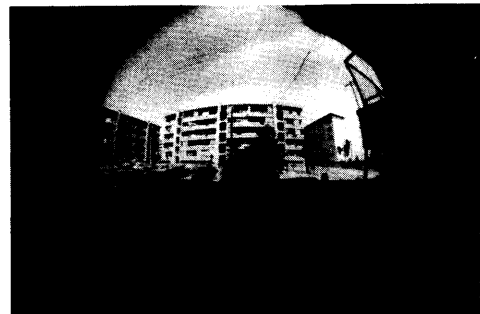
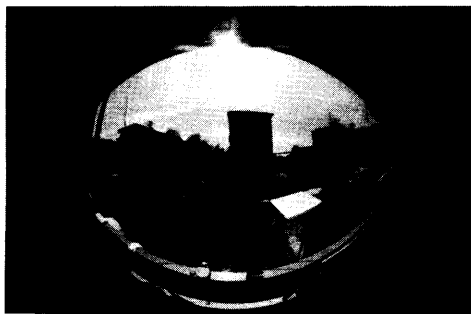
夏季、冬季を通じて外気温の日平均値は晴天日には等しく、曇天日には地点1の方が高くなっている。

ロ. 方位による外気温形成のちがい

西面と東面との外気温差、表面空気温差を示す。(図7-3)夏季には外気温差、表面空気温差のパターンがきわめて似ているが、冬季には二者のパターンに類似性がない。外壁面については、2月4日を除く夏冬とも西面の日積算日射量が東面より多く入射量の差については夏季冬季共A-Bの方がJ-Kより大きくなっている。実効放射量を左右する鉛直面の天空の立体角投射率については表7-4のような値をとりA-1とB-2との差よりJ-1とK-1との差により大きく絶対差が出ている。(写真参照)図7-3の下段のグラフを見るとA-B(実線)とJ-K(破線)とでは昼間はA-Bの方が大きく、夜間はJ-Kの方が大きくなっている。外気温差については、日積算日射量の差が夏季冬季共5-2の方が4-7より大きく、天空率の差は5-2の方が大きいので日中は、5-2の方が大きく夜間は4-7の方が大きい。この傾向は夏季よりも冬季の方がよりけんちよである。冬の曇りの日は天空率に差がなく、昼夜を通じて5-2の方が大きく出ている。したがってこれらの事例も周辺建築物による天空の立体角投射率のちがいが外気温形成に影響を及ぼしていることを示す事例である。

参考文献

- 7-1) 松尾陽 "天空日射量の推定と直散分離", 日本建築学会大会 学術講演梗概集, 昭和48年
- 7-2) 前田敏男 "共同住宅の方位と熱環境との関係に関する調査研究". 昭和39年



§ 7 鉛直面等距離投影写真

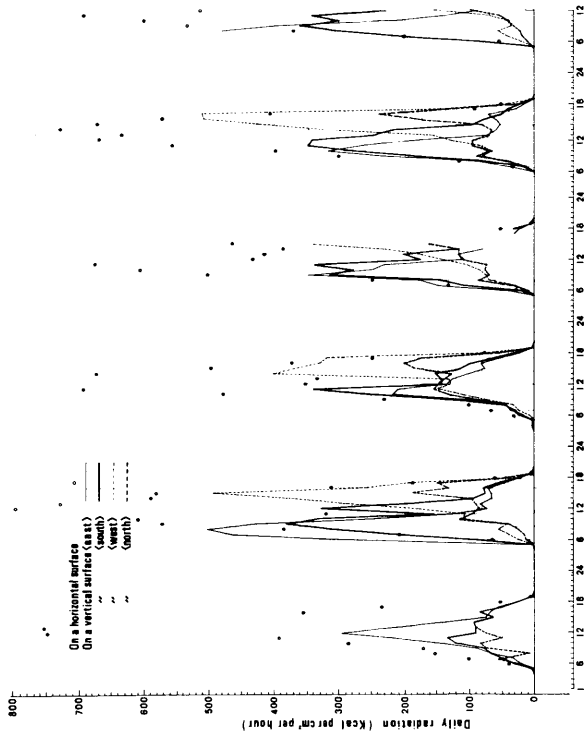


图 7-0a

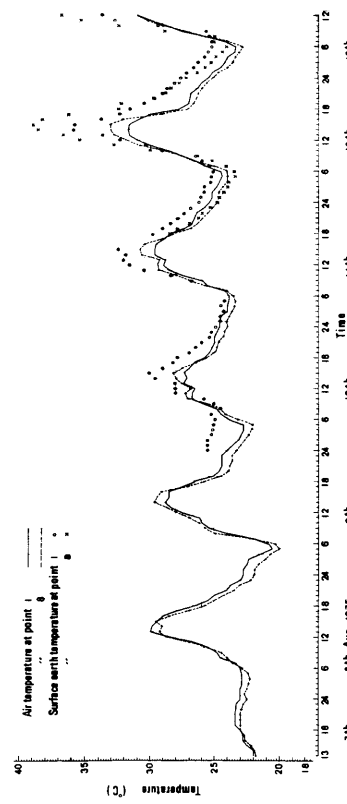


图 7-1a

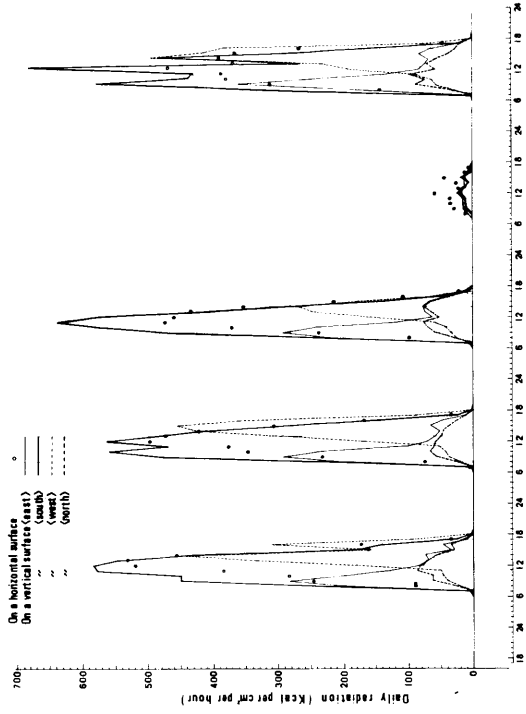
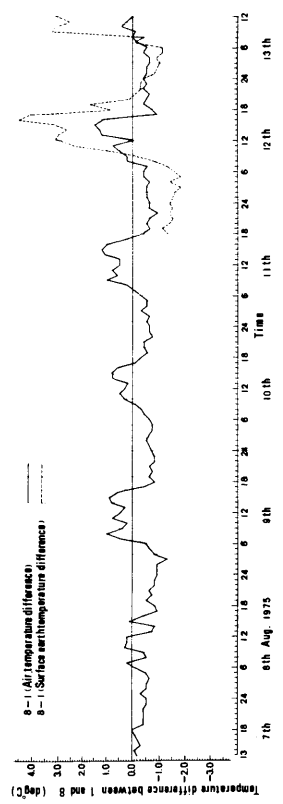


图 7-0b

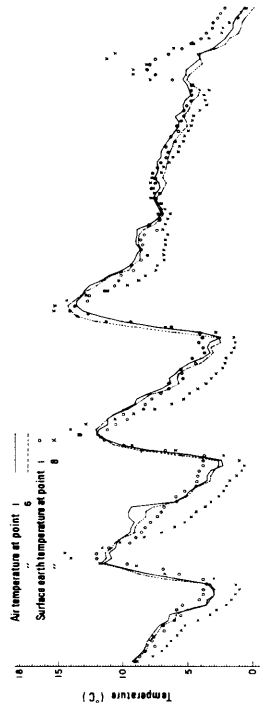
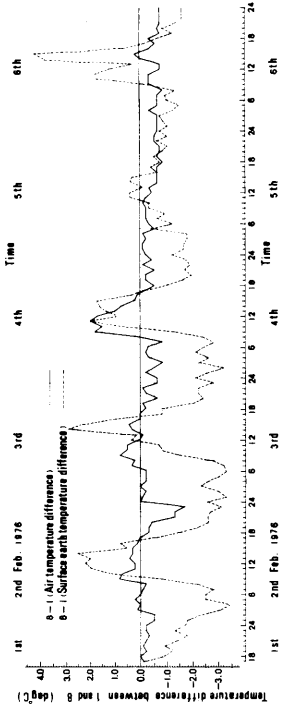


图 7-1b



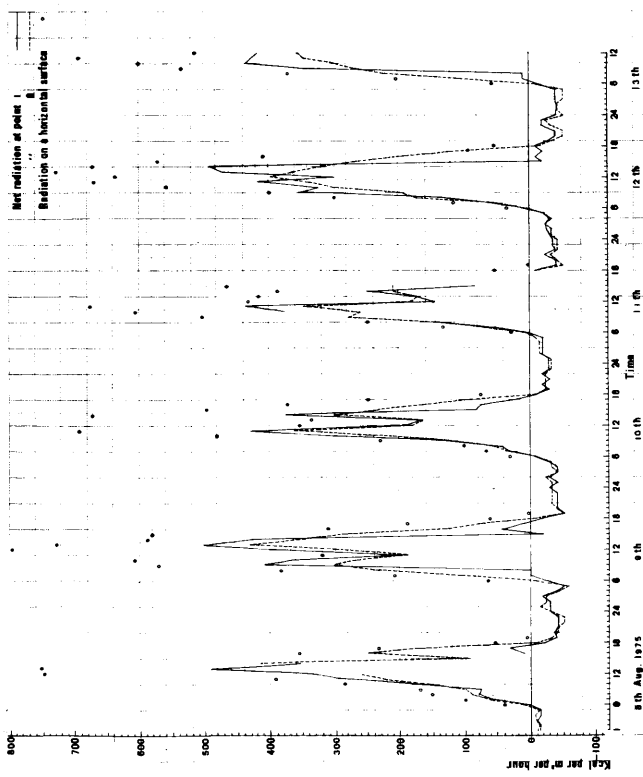


图 7-2a

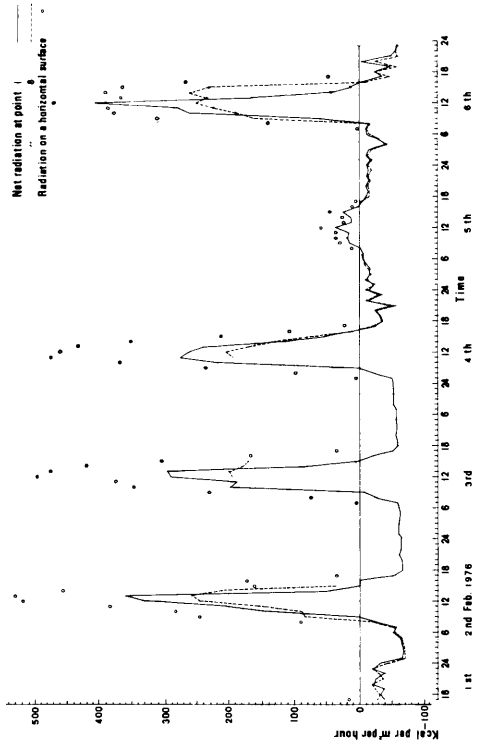


图 7-2b

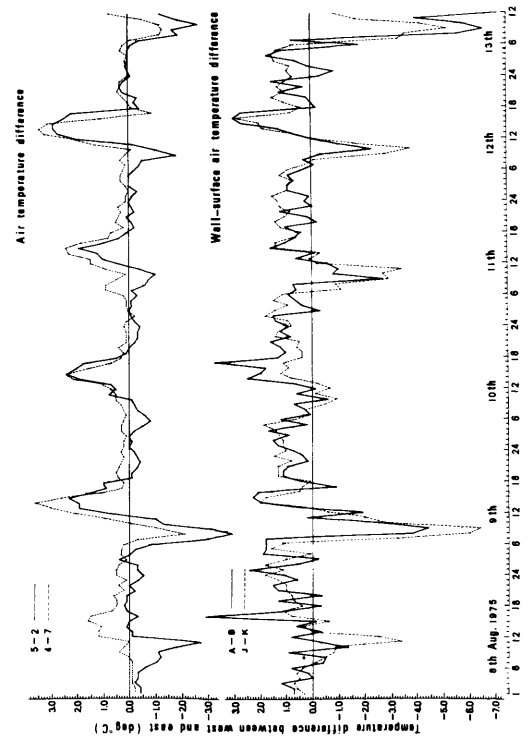


图 7-3a

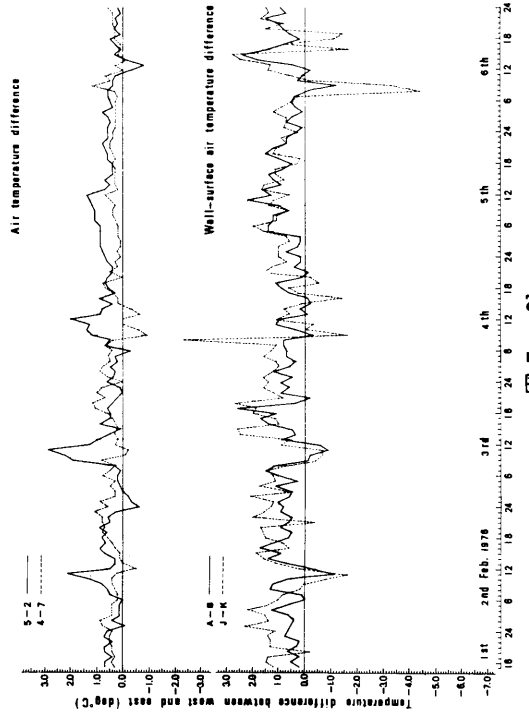


图 7-3b

表 7-0 屋上測定日積算日射量実測値

	Daily total radiation (cal per cm ² per day)				
	Horizontal	East	South	West	North
Feb. 2nd	280.8	113.4	347.3	163.5	51.2
3rd	288.5	112.4	363.2	175.3	44.3
4th	279.3	120.3	338.9	107.1	54.6
5th	32.0	10.1	14.0	12.2	13.7
6th	302.3	128.3	345.8	177.5	56.9
Aug. 6th	183.7	85.3	91.8	58.0	65.8
7th	55.9	17.5	22.8	21.7	18.8
8th		152.2	101.5		
9th	554.2	250.9	236.4	224.7	113.0
10th	398.4	121.5	148.2	217.2	149.1
11th				134.9	
12th	520.1	137.8		263.5	120.2

表 7-1

	Possible duration of direct solar radiation in Senri new-town		Ratio of solid angle projection	Main orientation of cover in the sky
	Summer(8.7-8.12)	Winter(2.2-2.7)		
	Time	Time		
1	8:30 - 15:00	9:00 - 13:40	0.70	East & west
2	7:30 - 11:50	8:20 - 11:40	0.42	West
3	5:40 - 16:20	9:20 - 13:10	0.49	North
4	11:40 - 16:40	11:40 - 15:20	0.48	East
5	11:00 - 18:30	11:10 - 17:20	0.53	East
6	6:20 - 7:00 14:40 - 17:40		0.47	South
7	5:30 - 6:20 6:50 - 12:00	8:10 - 12:00	0.45	West
8	6:00 - 17:10	8:30 - 15:20	0.85	

表 7-2

8 / 12 (1975)						2 / 6 (1976)					
	ia	is	Total radiation on a vertical surface	os	oa	Total radiation on a horizontal surface	a				
	°C	°C	cal/cm ² day	°C	°C	cal/cm ² day	°C				
A-1	30.2	29.6	260	29.2	28.5	450	27.5				
B-1	28.7	28.6	130	28.6	27.9	300	27.0				
C-1	30.2	29.0		29.5	28.5	510	27.8				
D-1		29.8		29.5		390	27.9				
E-1		29.0	100	29.0		430	27.5				
F-1	28.7	28.0	190	28.6	28.5	240					
G-1	28.7	28.0	120	28.3	28.1	310	27.3				
H-1	29.6	28.9	190	29.0	28.4	520	27.5				
I-1	28.8	28.7	110	29.0	27.6						
J-1	29.6	29.5	250	29.9	28.0						
K-1	28.8	28.8	140	29.0	27.4						

表 7-3

	Surface earth temperature (°C)		Air temperature (°C)		Daily net radiation (cal/cm ² day)	
	1	2	1	2	1	2
8 / 9 0:00 - 24:00					108.2	141.6
8 / 10 0:00 - 24:00					90.9	108.6
8 / 12 0:00 - 24:00	29.2	29.6	27.5	27.5	142.9	149.9
8 / 12 12:00 - 8 / 13 12:00	29.4	30.3	27.3	27.2	129.5	156.7
2 / 1 17:00 - 2 / 2 17:00	7.1	6.3	7.4	7.4	31.4	25.2
2 / 2 0:00 - 24:00	7.0	5.9	7.7	7.6		
2 / 3 0:00 - 24:00	7.1	5.7	7.3	7.3		
2 / 4 0:00 - 24:00	8.2	7.2	8.5	8.7		
2 / 5 0:00 - 24:00	7.2	6.6	7.5	7.0		
2 / 5 17:00 - 2 / 6 17:00	6.0	6.0	5.5	5.0	40.3	48.2
2 / 6 0:00 - 24:00	5.0	4.8	3.8	3.3	27.4	31.9

表 7-4 鉛直壁面における天空の立体角投射率

A-1 (西面)	12 %
B-1 (東面)	23 %
J-1 (西面)	5 %
K-1 (東面)	31 %

§ 8 夏季の建物周辺外環境の熱的評価

団地の居住棟周辺の外環境は潜在的に子供の遊び場、住民のコミュニティーの場として使われているが、夏季の戸外の使われ方の日サイクルを追跡調査した結果、遊び場は日影から日影へと日サイクルで移動していることがわかった。建物群の配置、個々の建物の方角が内外環境に大きく影響をおよぼしており内外環境の居住性はすまい方、使われ方の特性をふまえた上で内外両側から評価されることが必要である。しかも日本のように季節によって熱環境がいちじるしく異なる国ではその評価に季節変動をも考慮されねばならない。その手はじめとしてここではまず夏季の外環境を手持のデータを用いて、不快指数と湿球グローブ温度で評価している。不快指数 $ITH = 0.72(twb + tdb) + 40.6$ 湿球グローブ温度 $WBGT = 0.7twb + 0.2tg + 0.1tdb$ である。ここでは twb , tdb はそれぞれ湿球、乾球温度、 tg はグローブ温度計示度である。一般的には不快指数は日本人の体感で 75 以上で「やや暑い」80 以上で「暑くて汗が出る」85 以上で「暑くてたまらない」ようになるとい

う。この指標は室内気候のために作られたもので日影では有効であるがふく射の強い日向では意味がない。湿球グローブ温度は日射下の作業において熱射病の発生を避けるための指標として簡便な現場測定による使用を目的として、考案された。実際に $WBGT = 29.4 \sim 31.1$ 度を限界として作業を中止した場合には、熱射病の発生を著るしく防止できたと報告されている。図 8-1 が測定地点 1 と 8 との ITH と $WBGT$ である。日変動のパターンはよく似ている。いずれも広場では日盛りの遊び場として適当でない数値を示す。

参考文献

- 8-1 堀江悟郎 建築計画原論Ⅲ 渡辺要編
- 8-2 空気調和, 衛生工学便覧 I 基礎篇 改訂第9版
- 8-3 Minard, Belding & Kingston "Prevention of Heat Casualties", J. Am. Med. Ass., 165 (1957)

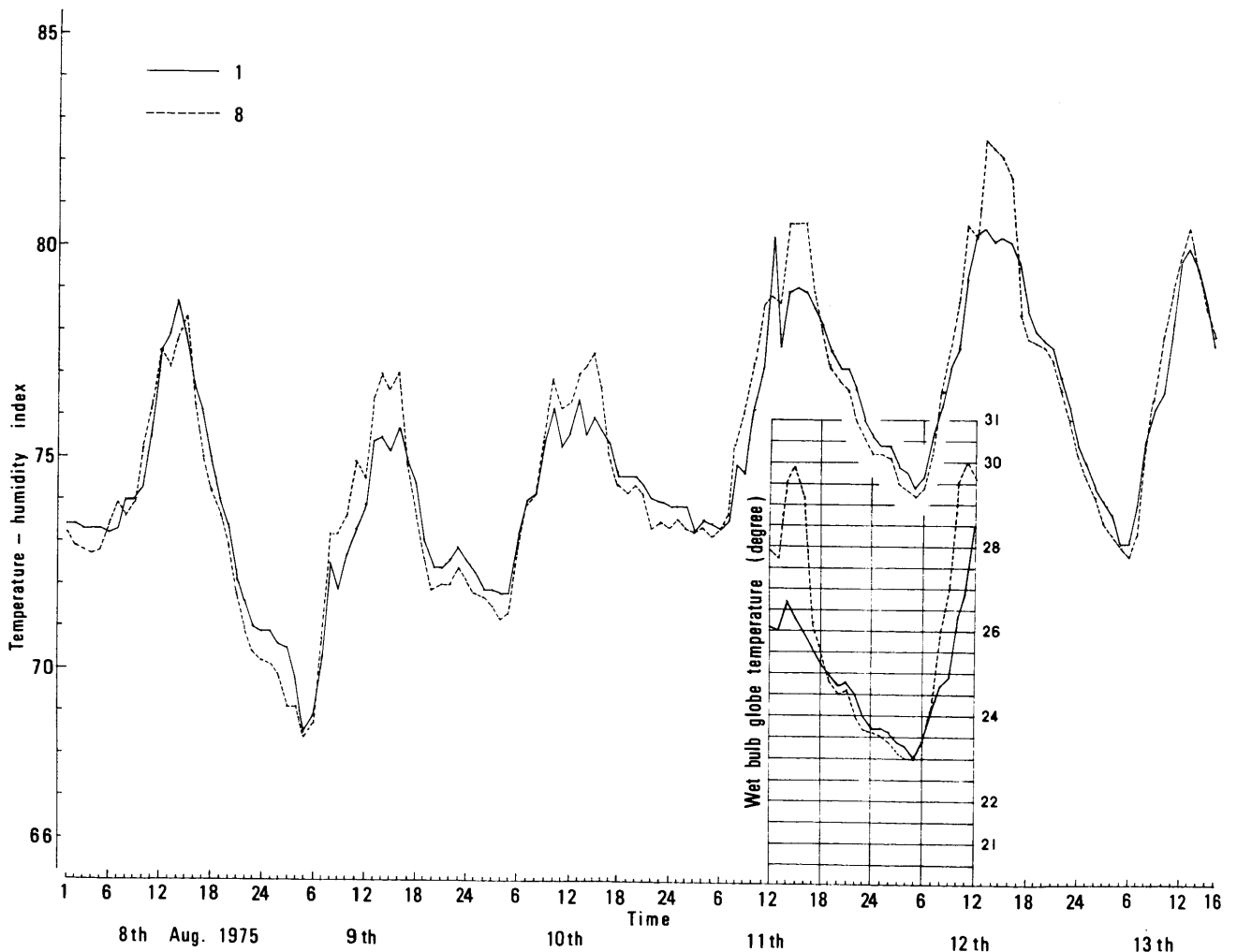


図 8-1 ITH & WBGT

§ 9 総 括

建物自身の放熱特性が都市気候の形成における重要な要素であることは既によく知られており、リモートセンシングによって都市表面温度の分布なども多く測定されているが、これら表面温度形成の解析やその日変化、季節変化などの特性についてはほとんど明らかにされていない。今回の調査研究はこれらの問題点にいくらかの照明をあてたものといえよう。主な結果としては、(§ 3) 外壁面の外気側への放熱量の方位別のおよその大きさの見当をつけることができた。従来、室内側への流入熱量の研究はあるが、吸収日射の再放熱についての実測は例を見ない。(§ 4) 表面温度の時間変化を解析し、熱流測定を検定した。また壁内温度分布を計算して蓄熱量とその変化および内側、外側への流出状態の時間的パターンを明らかにした。(§ 5) 地表面温度変化を中庭と広場とにおいて比較し、日照時間等による相違を検討した。(§ 6) 夜間ふく射量が天空率の差のみならず周囲建物の表面温度によって影響されることを示し、夜間のヒートアイランド形成にも示唆を与えた。(§ 7) 壁面に近接した気温の方位による差を解析し、壁面の放熱と関連して気温形成への検討を加えた。(§ 8) 広場と中庭の使われ方について夏季の体感気候より検討した。

以上の如く多くの新しい検討と知見とを得たが結果的には十分な解明を得ず、今後の研究指針として役立てば幸いと思う。

謝 辞

頭初に記した通り調査対象住宅の選定に困難を極めたが、最終的には桃山台2丁目において町内会会長高嶋光男氏他役員諸氏の貴重な御理解と御賛同を得、対象住戸のみならず各棟全住戸居住者の好意に満ちた協力によって夏冬2期にわたる大規模な実測調査を終了しえたことは、望外の幸であった。ここに特筆して謝意を表したい。また、実測作業に当っては京大、近畿大、大工大の研究室の方々や学生諸君より多大の協力を得た。あわせて感謝の意を表する。

<研究担当者>

堀江 悟郎	京都大学工学部教授	工博
金谷 英一	大阪工業大学教授	
成瀬 哲生	近畿大学理工学部助教	
池田 哲郎	京都大学工学部助手	
広川 美子	京都大学工学部助手	