

大林組回転式空調実験室の熱負荷特性 (第二報)

田中辰明

概要

回転式空調実験室の竣工と同時に日射量や風向、風速、外気温湿度などの測定もあわせて行なったので、東京都清瀬町のデータとして報告を行なう。

1. 日射量の検討

空調和の負荷計算において大きな影響を与えるのが日射量である。気象庁から発表される日射量は終日の水平面全日射量であって冷房負荷計算に使うには実用的でない。従来使われていた内田氏の値はやや過大である事が指摘され、その後いろいろ日射量の提案が行なわれたが、いまだ8月1日とか8月中旬とかのデータであり、中間期のデータは無く冷房負荷計算に直接影響を与えるガラス透過の日射量のデータは少ないようである。そこで年間を通して各方位、水平面の日射量をエプリー日射計を用い測定する事にしたのであるが、実測した日射量のデータを図-1から図-7までに示す。これはきわめてよく晴れた日のデータであるがその日の薄雲の通過、大気中の水蒸気の状態などにより日によって異なった値を示している。8月のよく晴れた日の実測値の平均を内田氏、松尾氏の提案値と比較すると図-8のようになる。概して松尾氏と合うようであるが、今回の測定で天空輻射分が多いのは我々の測定方法が特に天空輻射を測定したの

でなく、東側にエプリー日射計を向けている時は午後后感ずる日射量は直達日射を含まないのですべて天空

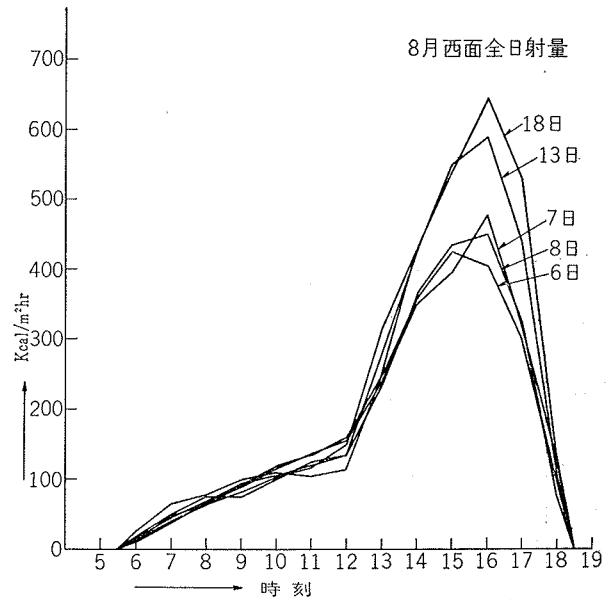


図-2 日射量の実測値

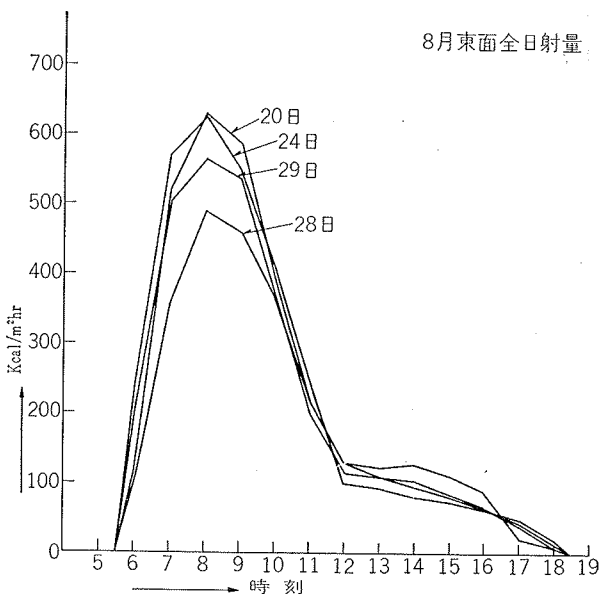


図-1 日射量の実測値

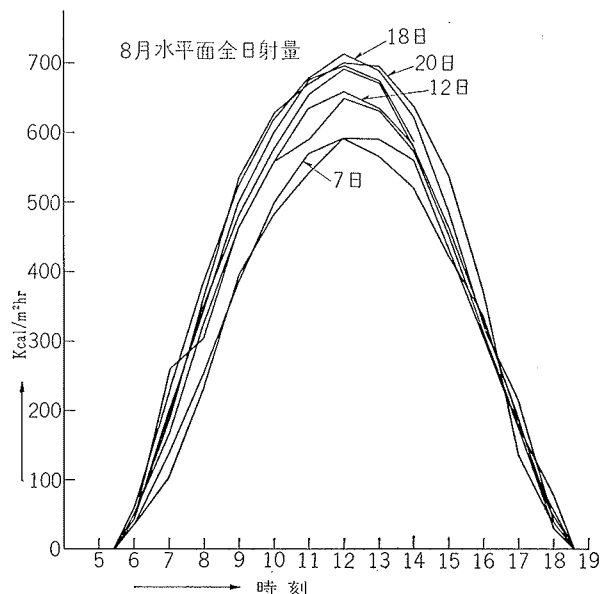


図-3 日射量の実測値

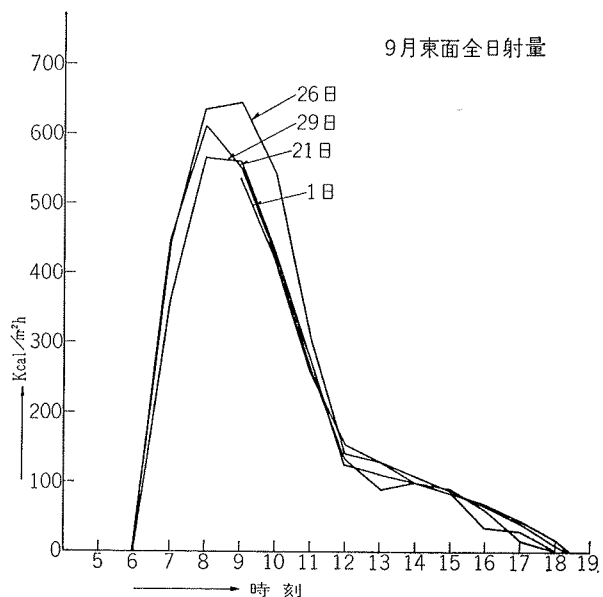


図-4 日射量の実測値

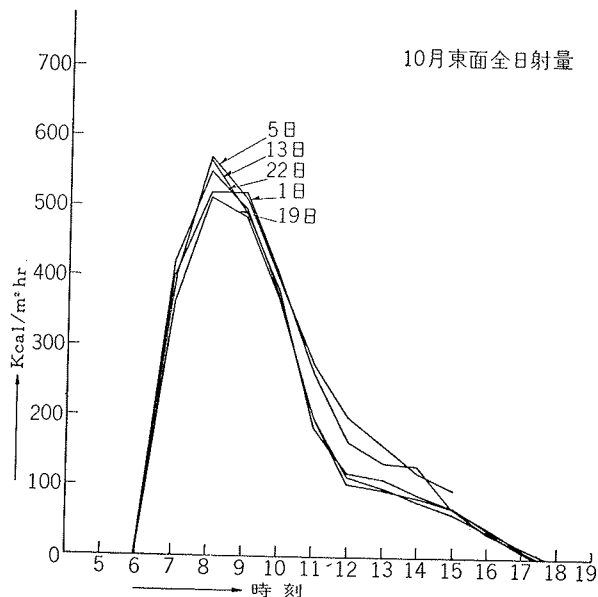


図-7 日射量の実測値

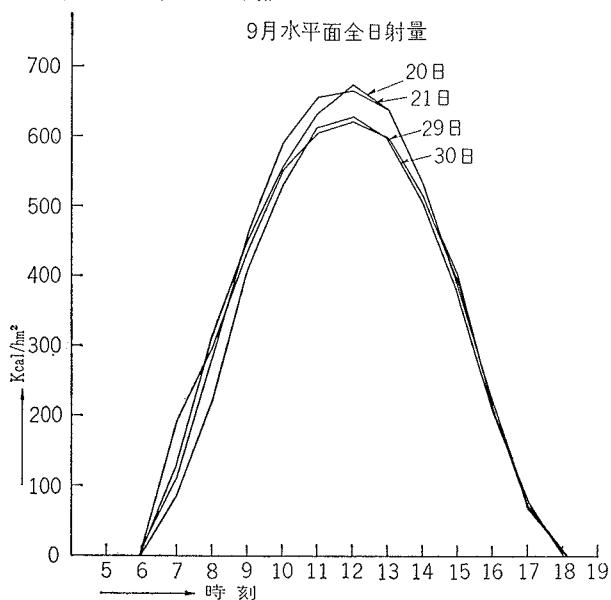


図-5 日射量の実測値

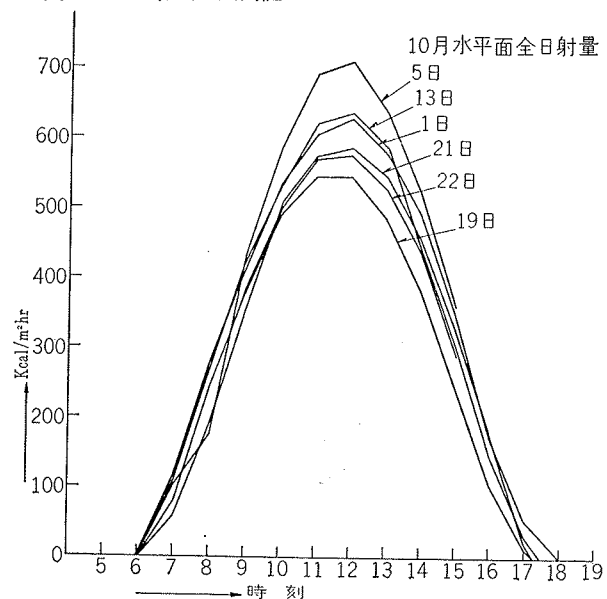


図-6 日射量の実測値

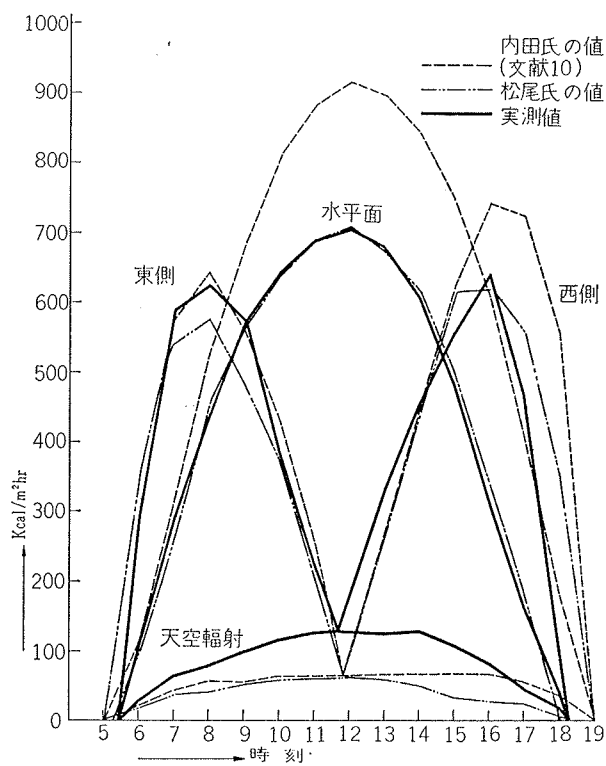


図-8 8月全日射量の比較

輻射であると考えてしまったためであり、実際には地面からの照り返しなどが入ってしまったものと考えられる。8月9月、10月の日射量変化をみた時量的変化は見られない。したがって中間期と言えどもペリメーターゾーンは空調に際し慎重な考慮が必要である。

2. 大気透過率 P の検討

太陽と地上に垂直に建つ建物の関係を図-9に示す記号は

- β 太陽高度
- γ 壁と太陽のなす方位角

- ψ 壁の方位角
- φ 太陽の方位角
- θ 垂直壁への日射入射角

この時直達日射量は次式で示される。(Bouguer の式)

$$\text{法線面日射量 } J_n = J_0 \cdot P \cos \beta \quad (1)$$

$$\text{水平面日射量 } J_H = J_0 \cdot P \cos \beta \cdot \sin \beta \quad (2)$$

$$\text{鉛直面日射量 } J_V = J_0 \cdot P \cos \beta \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma \quad (3)$$

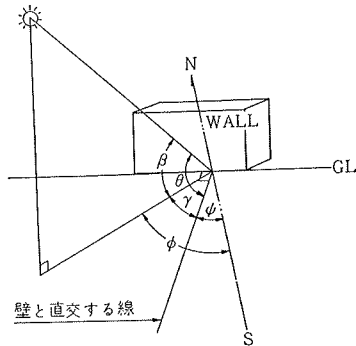


図-9 垂直壁に入る日射

また天空輻射量は Berlage の式を松尾氏らが修正したものとして、

$$\text{水平面日射量 } J_{H,S} = 1.2 J_0 \sin \beta \frac{(1 - P \cos \beta)}{1 - 1.4 \log_e P} (1 - P) \quad (4)$$

$$\text{垂直面天空輻射量 } J_{V,D} = \frac{1}{2} J_{H,S} \quad (5)$$

で示されている。ここで J_0 は大気外の日射量であり、地球の公転に伴って地球と太陽間の距離が変化するので J_0 は太陽常数 $1164 \text{kcal/m}^2\text{h}$ を中心として、3.5% 位変動するものである。

P は大気透過率と呼ばれ、大気外の日射量 J_0 と天頂から地上に及ぼす日射の強さの比であり大気層の状況により相違するものである。

計算機を用い(1)~(5)式を東京の毎月1日について、 P の値を 0.55 から 0.90 まで 0.05 づつ変化させて計算を行なった。計算に際し各月の J_0 は次の値を採用した。

1月	1250
2月	1200
3月	1185
4月	1164
5月	1150
6月	1130
7月	1125
8月	1130
9月	1150
10月	1164
11月	1185
12月	1200

8月1日の計算例を表-1に示す。計算結果と実測

した快晴の全天日射量を比較し P の値の小数第2桁を比例配分して大気透過率を求めたのが図-10で従来の資料との比較が図-11である。しかし実測した日と毎月1日との間には何日かのずれがありしたがって P の値にも多少の誤差が生じている。図-11をみると木村氏、内田氏、松尾氏、気象要覧の値とも皆正午頃を底として午前、午後とも P の値が大きくなる傾向があるのに対し今回の実測では皆14時、15時頃を底として時刻とともに減少の傾向にある。17時においてのみ非常に高い値を示す事がよく見られるが、これはその時刻の日射量自体が非常に小さいのでそう問題にしないでよい。原因としてエプリー日射計の取り付け位置や取り付け状態のやや不正確さが考えられる。日射量としては垂直面についても実測を行なったが、垂直面日射量は地面からの照り返しが混入している恐れもあり大気透過率の算出には使用しなかった。今後さらに実測を続け P 値の変動をつかめば計算により年間の日射量も提案できると考える。

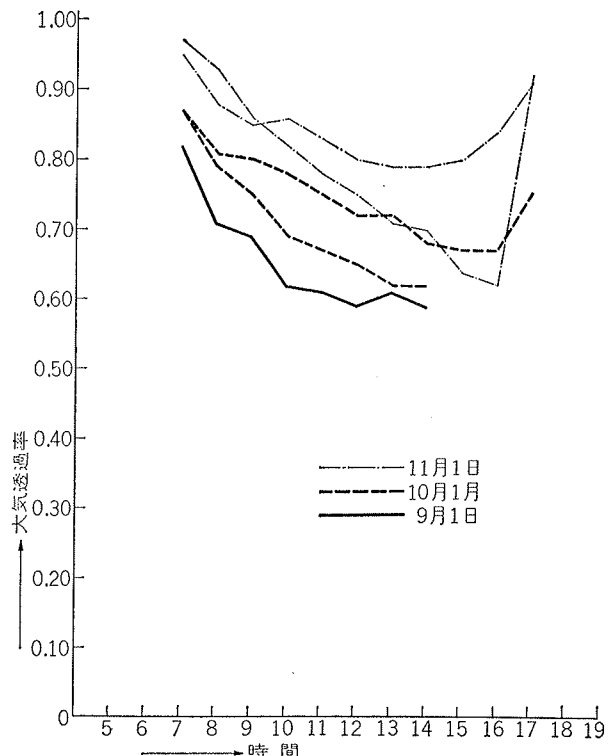


図-10 大気透過率の変化

東京 8月1日			DEGREE	RADIAN	SIN	COS	日射量の単位は Kcal/hm ²					
緯度			35.685	0.62282	0.58333	0.81224						
日赤緯			18.8	0.31649	0.31123	0.95033						
太陽時	β	日出前										
0	-36.18	"										
1	-34.34	"										
2	-29.14	"										
3	-21.36	"										
4	-11.79	"										
5	-1.04	"										
午前→			J n	J H	J H S	J V D	J V N	J V NE	J V E	J V ES	J V S	J V SW
6.6	10.46	P=0.55	41.972	7.620	58.067	29.033	10.610	35.707	39.887	20.702	0.	0.
		P=0.60	67.780	12.305	53.969	26.985	17.134	57.663	64.414	33.432	0.	0.
		P=0.65	105.336	19.124	48.738	24.369	26.628	89.614	100.105	51.956	0.	0.
		P=0.70	158.436	28.764	42.351	21.176	40.051	134.788	150.568	78.147	0.	0.
		P=0.75	231.685	42.062	34.879	17.439	58.568	197.103	220.178	114.276	0.	0.
		P=0.80	330.585	60.017	26.541	13.270	83.569	281.242	314.167	163.057	0.	0.
		P=0.85	461.644	83.811	17.793	8.896	116.700	392.739	438.716	227.700	0.	0.
P=0.90	632.469	114.824	9.446	4.723	159.883	538.066	601.057	311.958	0.	0.		
7.5	22.42	P=0.55	235.617	89.848	100.257	50.129	25.756	171.149	216.285	134.724	0.	0.
		P=0.60	296.008	112.877	89.002	44.501	32.358	215.016	271.721	169.256	0.	0.
		P=0.65	365.143	139.240	76.414	38.207	39.915	265.235	335.184	208.787	0.	0.
		P=0.70	443.470	169.109	62.858	31.429	48.477	322.131	407.084	253.574	0.	0.
		P=0.75	531.422	202.647	48.816	24.408	58.092	386.018	487.820	303.864	0.	0.
		P=0.80	629.422	240.018	34.907	17.454	68.805	457.204	577.780	359.900	0.	0.
		P=0.85	737.882	281.377	21.926	10.963	80.661	535.988	677.341	421.917	0.	0.
P=0.90	857.204	326.878	10.878	5.439	93.704	622.662	786.873	490.144	0.	0.		
8.4	34.58	P=0.55	394.063	223.630	122.771	61.385	9.611	236.124	324.319	222.533	0.	0.
		P=0.60	459.361	260.686	106.510	53.255	11.203	275.251	378.060	259.407	0.	0.
		P=0.65	528.943	300.174	89.365	44.683	12.900	316.945	435.327	298.701	0.	0.
		P=0.70	602.729	342.047	71.845	35.923	14.700	361.158	496.054	340.369	0.	0.
		P=0.75	680.646	386.265	54.537	27.269	16.600	407.846	560.181	384.370	0.	0.
		P=0.80	762.625	432.788	38.126	19.063	18.599	456.968	627.651	430.665	0.	0.
		P=0.85	848.606	481.581	23.416	11.708	20.696	508.488	698.414	479.219	0.	0.
P=0.90	938.530	532.613	11.363	5.681	22.890	562.371	772.423	530.001	0.	0.		
9.3	46.67	P=0.55	496.731	361.303	135.404	67.702	0.	187.138	333.797	284.923	69.144	0.
		P=0.60	559.853	407.216	116.058	58.029	0.	210.919	376.214	321.129	77.931	0.
		P=0.65	624.980	454.587	96.239	48.119	0.	235.454	419.979	358.486	86.996	0.
		P=0.70	692.013	503.344	76.491	38.246	0.	260.709	465.025	396.936	96.327	0.
		P=0.75	762.867	553.426	57.421	28.711	0.	286.649	511.294	436.430	105.912	0.
		P=0.80	831.464	604.776	39.709	19.855	0.	313.245	558.734	476.924	115.739	0.
		P=0.85	903.736	657.343	24.133	12.066	0.	340.473	607.300	518.379	125.799	0.
P=0.90	977.619	711.083	11.591	5.795	0.	368.307	656.948	560.758	136.083	0.		
10.2	58.22	P=0.55	559.286	475.410	142.608	71.304	0.	98.027	265.754	277.807	127.124	0.
		P=0.60	619.569	526.652	121.425	60.713	0.	108.593	294.399	307.750	140.826	0.
		P=0.65	680.745	578.654	100.050	50.025	0.	119.315	323.468	338.137	154.731	0.
		P=0.70	742.758	631.367	79.035	39.517	0.	130.184	352.934	368.940	168.826	0.
		P=0.75	805.558	684.750	58.981	29.490	0.	141.192	382.775	400.134	183.100	0.
		P=0.80	869.102	738.764	40.556	20.278	0.	152.329	412.969	431.697	197.544	0.
		P=0.85	933.351	793.377	24.511	12.256	0.	163.590	443.498	463.611	212.147	0.
P=0.90	998.270	848.560	11.710	5.855	0.	174.968	474.345	495.857	226.903	0.		
11.1	67.99	P=0.55	592.978	549.776	146.363	73.181	0.	0.	145.852	221.659	167.621	15.393
		P=0.60	651.323	603.870	124.202	62.101	0.	0.	160.203	243.468	184.114	16.908
		P=0.65	710.052	658.320	102.007	51.004	0.	0.	174.648	265.422	200.715	18.432
		P=0.70	769.138	713.101	80.332	40.166	0.	0.	189.181	287.508	217.417	19.966
		P=0.75	828.556	768.190	59.771	29.886	0.	0.	203.796	309.719	234.213	21.509
		P=0.80	888.287	823.569	40.982	20.491	0.	0.	218.487	332.047	251.098	23.059
		P=0.85	948.311	879.221	24.701	12.351	0.	0.	233.251	354.484	268.065	24.618
P=0.90	1008.615	935.131	11.769	5.885	0.	0.	248.084	377.026	285.112	26.183		
12.	72.45	P=0.55	603.620	575.519	147.532	73.766	0.	0.	0.	128.715	182.031	128.715
		P=0.60	661.298	630.512	125.063	62.532	0.	0.	0.	141.015	199.425	141.015
		P=0.65	719.212	685.729	102.613	51.307	0.	0.	0.	153.364	216.890	153.364
		P=0.70	777.343	741.155	80.733	40.366	0.	0.	0.	165.760	234.420	165.760
		P=0.75	835.679	796.774	60.015	30.007	0.	0.	0.	178.199	252.012	178.199
		P=0.80	894.204	852.575	41.113	20.556	0.	0.	0.	190.679	269.661	190.679
		P=0.85	952.908	908.546	24.759	12.380	0.	0.	0.	203.197	287.364	203.197
P=0.90	1011.781	964.678	11.787	5.894	0.	0.	0.	215.751	305.119	215.752		
午後↑							N	NW	W	SW	S	SE

表-1 Pの値を変えた時の日射量 (計算機による)

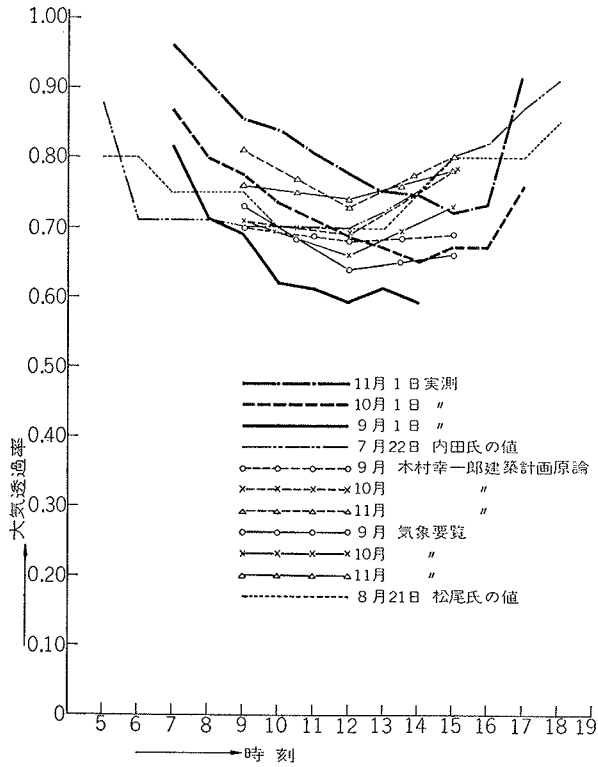


図-11 大気透過率の変化

Olgay, "Design With Climate"より
 一重ガラスによる入射角とガラス透過率
 (普通ガラス)

入射角	ガラス透過率	入射角	ガラス透過率
0	0.90	60	0.82
20	0.90	70	0.77
40	0.89	80	0.44
50	0.87	90	0

表-2 直達日射のみによるガラス透過率

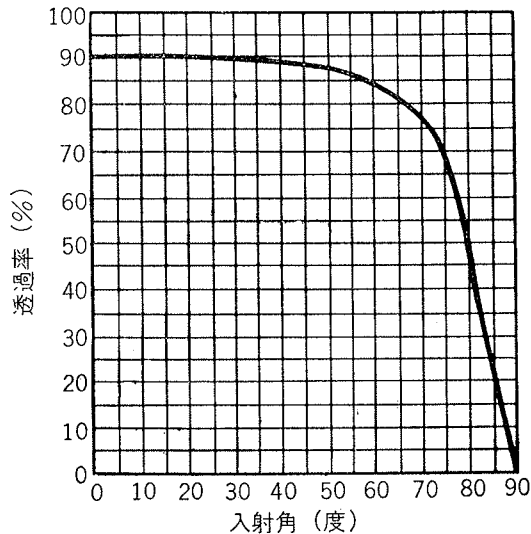


図-12 直達日射のガラス透過率(文献1)

3. 日射のガラス透過率

3.1. 直達日射によるガラス透過率

各方位からの日射量が提案されても実際に建物の熱負荷となるのはガラスを透過しての日射量が基となる。文献1によれば普通ガラスによる入射角とガラス透過率は表-2と図-12のように示されている。この値はガラスの屈折率などより計算で求めたものである。

3.2. 天空輻射によるガラスの透過率

今回の実測結果から、完全に曇りの日は直達日射は全くないものとし、地表からの照り返しも微少であるのでエプリー日射計で感じるのは天空輻射だけと考えられた。図-13に示すようにガラス透過率は0.67から

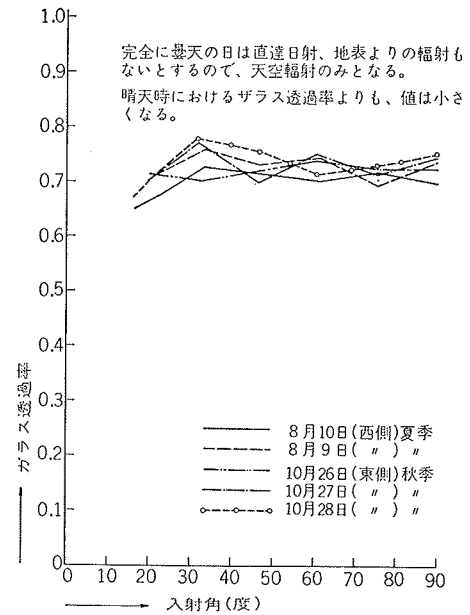


図-13 ガラス透過率と入射角
 曇天時……天空輻射のみの場合

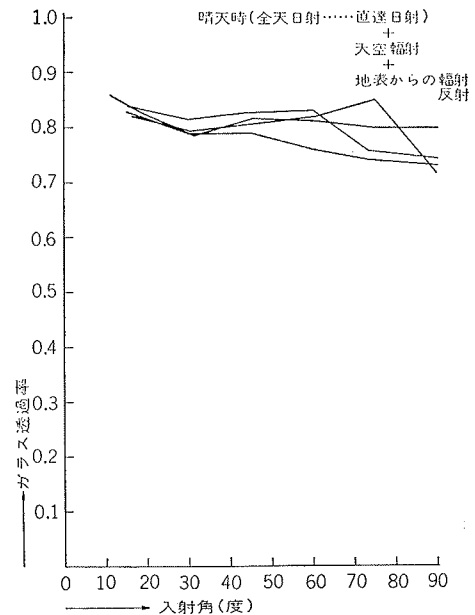


図-14 ガラス透過率と入射角(東側)夏季

0.75の間に安定している。資料9によると3mm普通ガラスの天空輻射によるガラス透過率は0.79となっている。今回実験に使ったのは5mm普通ガラスなので3mmの場合より透過率も下がり、曇りの日の実測値と合うようである。

3.3. 実測によるガラス透過率

晴れた日に実測した場合は直達日射、天空輻射、地表からの照り返しなどの影響を受ける事となり、直達日射の入射角度が80°, 90°になった場合直達日射のガラス透過率が減っても天空輻射があるので図-12のように極端には減らない。図-14から図-16に全天日射による入射角とガラス透過率の関係を示す。入射角度によるガラス透過率はそれ程変動はないと言える。ガラスへの直達日射の入射角は次式から求めたもので

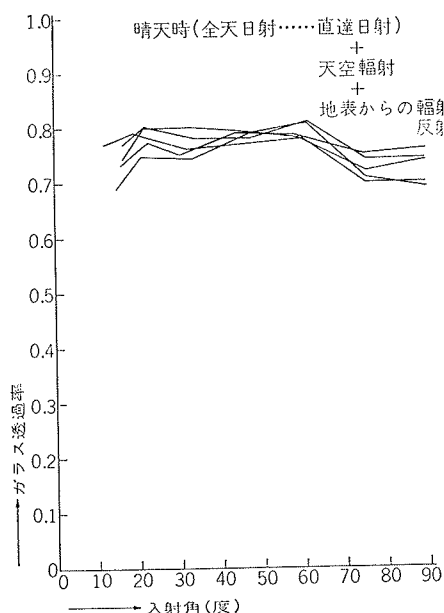


図-15 ガラス透過率と入射角(西側)夏季

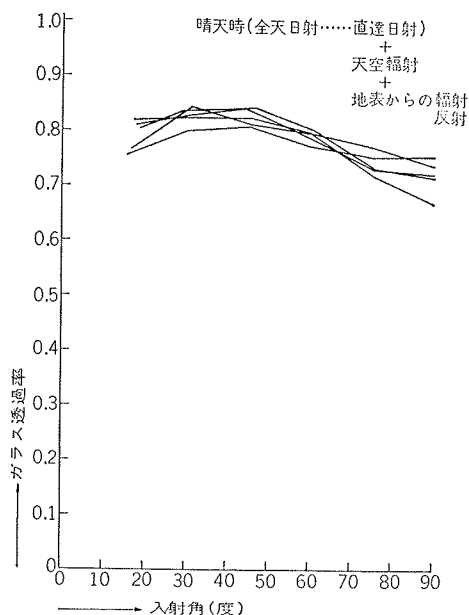


図-16 ガラス透過率と入射角(東側)秋季

ある。東京の8月1日, 9月8日の例を表-3, 表-4に示す。表中Sとあるのは日陰となり日射のない事を示す。角度の小数点以下は10進法なので注意されたい。

$$\sin \beta = \sin \delta \sin l + \cos \delta \cos l \cos t \quad (6)$$

$$\sin \phi = \frac{\cos \delta \sin t}{\cos \beta} \quad (7)$$

$$\cos \theta = \cos \beta \cos \gamma \quad (8)$$

記号は一部反復するが

- β 太陽高度
- δ 日赤緯
- l その地の緯度
- t 時刻(時角)
- ϕ 太陽の方位角
- γ 壁と太陽のなす方位角
- θ 垂直なガラス(壁)への日射入射角
- ψ 壁の方位角

ここで γ は壁(ガラス)が南北線よりも東側に面する時は

午前中は $\gamma = \phi - \psi$

午後は $\gamma = \phi + \psi$

壁が南北線より西側に面する時は

午前中は $\gamma = \phi + \psi$

午後は $\gamma = \phi - \psi$

で計算される。太陽と建物の関係は図-9に示した通りである。

太陽時 A.M.	β	ϕ	N		NE		E		SE		S		SW	
			γ	θ	γ	θ	γ	θ	γ	θ	γ	θ	γ	θ
6 6	10.38	104.78	75.22	75.46	30.22	31.79	14.73	18.00	59.73	60.33				
7 5	22.35	96.67	83.33	83.83	38.33	43.49	6.67	23.27	51.67	55.00				
8 4	34.51	91.84	88.16	88.49	43.16	53.05	1.84	34.55	46.84	55.69	S	S		
9 3	46.59	78.13	S	S	56.67	67.94	11.67	47.74	33.13	54.87	78.13	81.88		
10 2	58.13	64.24			70.76	79.58	25.76	61.61	19.24	60.10	64.24	76.73	S	S
11 1	67.68	40.53			S	S	49.17	75.75	4.17	67.95	40.53	73.45	85.83	88.43
12 1	72.31	0					90.00	89.99	45.00	77.60	0	72.31	45.00	77.60
P.M.														
→			N	NW	W	SW	S	SE						

表-3 太陽高度, 方位角, 壁への入射角資料 東京8/1
DEGREE
緯度 35.68°
日赤緯 18°.0'

太陽時 A.M.	β	ϕ	N		NE		E		SE		S		SW	
			γ	θ	γ	θ	γ	θ	γ	θ	γ	θ	γ	θ
6 6	3.41	94.76	85.24	85.25	40.24	40.25	4.76	5.65	49.76	49.84				
7 5	15.58	94.01	85.99	86.14	40.99	43.35	4.01	16.08	49.01	50.82	S	S		
8 4	27.61	76.47	S	S	58.53	62.45	13.53	30.51	31.47	40.90	76.47	78.03		
9 3	39.11	65.03			69.97	74.59	24.97	45.30	20.03	43.20	65.03	70.88		
10 2	49.39	49.84			85.16	86.65	40.16	60.17	4.84	49.57	49.84	65.18	S	S
11 1	57.13	28.32			S	S	61.68	75.08	16.68	58.68	28.32	61.46	73.32	81.04
12 1	60.16	0					90.00	89.99	45.00	69.40	0	60.16	45.00	69.40
P.M.														
→			N	NW	W	SW	S	SE						

表-4 太陽高度, 方位角, 壁への入射角資料 東京9/8
DEGREE
緯度 35.68°
日赤緯 5°.51'

4. 風速風向について

4. 1. 風速風向と外気側熱伝達率

我国では冬も夏も外気側熱伝達率 α_0 を $20 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$ として区別していない。これは単に熱貫流率を求める時は全体に及ぼす影響は少なく問題とならないが外壁に対する日射による相当外気温度を求める場合には $\alpha_0 = 20 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$ という大きな値を適用する事は室への熱取得を過小に見積る事になり危険側である。この事は木村建一氏らにより指摘され、ドイツにおいても規格では夏冬区別なく、 $20 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$ を採用しているが文献3によれば Cammerer も夏期は風速が遅くなるという理由で $\alpha_0 = 13$ を推奨している。慣用の $\alpha_0 = 20$ のうち約4が輻射によるもので残りの16が対流によるものと考えられるがこの対流熱伝達率 $16 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$ という値は風速 V に対する対流熱伝達率の関係を実験的に求めた Jürges の式

$$\alpha_c = 5.0 + 3.4v$$

において外部風速 $v = 3 \text{ m/s}$ に相当する。そこで夏期に外部風速がどの位か実測を行なったので結果を報告する。

V m/s	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7
$\alpha_c \text{ Kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

表一6 風速と対流熱伝達率

4. 2. 風速の実測

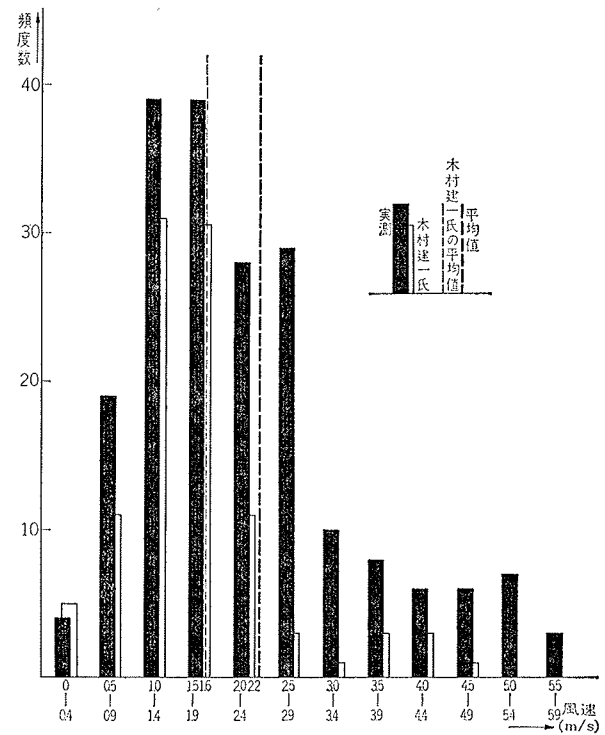
風速は当所内無響室の屋上に設けたロビンソン三杯型風速計で測定した。曇天の日は安全側に入るの、8月1日から9月16日までの晴天日のみの風速を抽出し 0.5 m/s 毎に頻度数で示したのが表一5と図一17である。晴天時の夏期の風速を調査したデータとして木村建一氏のものがあるが、平均風速が木村氏の値が 1.6 m/s であるのに対し今回の実測では 2.2 m/s となっている。これは前者の実測が早大理工学部屋上で行なわれ、比較的建物の多い場所であったのに対し清瀬町の当研究所では周囲に建物が無く、市街地における建物の中高層部のデータが得られたものと思われる。Jürges の式を参考にすると表一6より $\alpha_c = 10, 11, 12$ 位が適当であり、一般に11を取れば間違いないと考えられ市街地では $\alpha_c = 10, 11$ 位でよく輻射による熱伝達分を入れても夏期の外気側熱伝達率 $\alpha_0 = 14, 15$ 位として良いのではないだろうか。

4. 3. 風向

8月の風向を調査した結果を図一18、図一19に示す。大体南寄りの風が多いようであるが、風向きは絶えず変化し、特にこれらの向きの外気側熱伝達率は……であるといった提案は行なえない。

月日	風速 (m/s)											
	0 04	0.5 0.9	1.0 1.4	1.5 1.9	2.0 2.4	2.5 2.9	3.0 3.4	3.5 3.9	4.0 4.4	4.5 4.9	5.0 5.4	5.5 5.9
8/2		3	1	4	1							
4			6	1	1	2						
6		4	3	1	1	1						
7			1	3	3	3						
8	2		5	1	2							
12		2		2	3	2	1					
13	2	1	1	1	1	1	1	1	1			
17								3	1	1	2	2
18						1			3	2	4	
20			1	1	3	5						
24		1		1	2	3	3					
28				5	1	2	2					
29			3	2		3	1					
31		1	2		2	3	1	1				
9/1		2		3	3	2						
6		1	6	2	1							
7		3	2	3	2							
8		1	2	4	2	1						
10							1	3	1	3	1	1
16			6	4								
計	4	19	39	39	28	29	10	8	6	6	7	3

表一5 晴天日風速の度数分布 (8:00~18:00)



図一17 風速の頻度分布 (晴天時)
総頻度数198
8月1日~9月16日

後記

実測、解析に際し早大井上市市教授、木村建一講師、計算に際し大林組機械計算室の佐藤実氏の御指導を受けた。測定や解析に際し早大大学院生小林清蔵君、早大学生相楽典泰君、平山昌宏君、宮川保之君、宮原直樹君の御協力を得た。ここに附記し厚く謝意を表します。

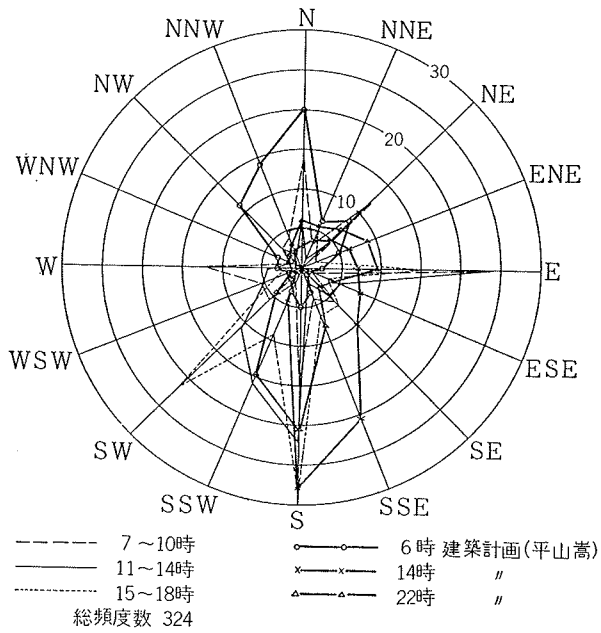


図-18 風配図 東京(清瀬町) 8月

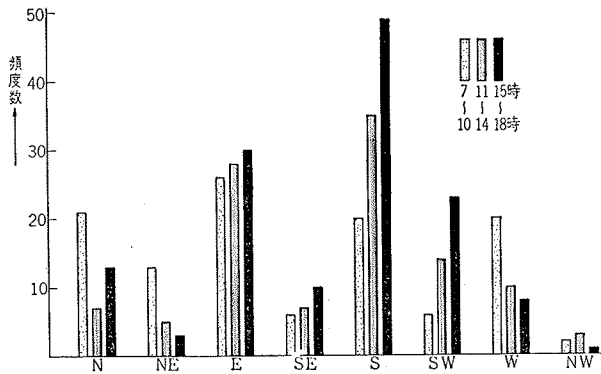


図-19 風向の頻度分布 (8月)

参考文献

1. OLGYAY Design with Climate
2. ASHRAE Guide And Data Book 1963
3. Fritz Schaerer Klimatechnik
4. 木村建一 空気調和・衛生工学
4. 1964 Vol. 38 No 4
5. 木村建一 夏期の外側表面熱伝達率について
建築学会関東支部第37回研究発表会
6. 斎藤, 松尾, 落藤 日射とその応用上の問題点
空調. 衛生工学 4. 1964. Vol. 38,
No. 4
7. 木村幸一郎 建築計画原論
8. 日本建築学会編 建築設計資料集成 2
9. 日本板ガラス パンフレット
10. 渡辺, 橋口, 提 日射量の提案値
空調. 衛生工学 1965
Vol. 39 No. 10