

北見市における日射エネルギーの測定*

金山 公夫

馬場 弘

石谷 博美

(昭和45年4月30日受理)

Measurement of the Solar Energy at Kitami City

by Kimio KANAYAMA, Hiromu BABA
and Hiromi ISHITANI

Abstract

Measurement of the solar energy at Kitami city were performed with FUNK net radiometer through one year, 14th Nov. 1968 to 13th Nov. 1969.

The following results were obtained:

1) The solar energies in June, July, August and September were approximately the same values as measured at Tokyo, but those in winter seasons were very small values, because the angle of elevation of the sun decreased excessively at Kitami.

2) It will be enough to use the solar water heater in spring, summer and autumn at Kitami.

3) To utilize the solar energy throughout the year, efficient water heaters have to be designed based on these obtained data.

1. ま え が き

太陽エネルギーを熱として直接利用することは、熱工学的に興味のあることである¹⁾。その利用法としては、到達温度によって次の3つに分類される²⁾。すなわち、(1) 平板型集熱器で50~100°Cの温度を得て、暖房、温水器、低温ポンプおよび蒸発器などとして有用なもの³⁾、(2) 集中型集熱器で100~1000°Cに達して蒸気発生器、炊事器あるいは低温炉として使用されるもの、(3) 大型の抛物面集熱器をもつ太陽炉で1000~3500°Cの高温をつくりだし、研究上あるいは工業上の特殊目的に使用されるもの⁴⁾等である。

これらのうち、当熱工学研究室においては、現在、(1)の暖房および太陽温水器としての利用法に重点をおき、(2)の太陽ボイラによる高温蒸気の発生を将来の対象として、太陽熱利用の研究に着手し、すでに日射の直接利用として屋内に日射を十分とり入れることにより、暖房負荷は相当程度軽減されることを明らかにしている⁵⁾。

* 日本機械学会北海道支部第14回講演会(45. 10. 18北見)で発表。

太陽熱利用を実施するにあたり、まず必要になるのは、北見市における日射エネルギーの基礎資料である。しかし、当地は気象観測の歴史が浅いためにこれに関するデータは皆無と云ってよく、わずかに北見地方の日照時間および日照率⁶⁾の実測値が入手できる程度である。また気象庁が行なった日本の主要都市における日射量の測定結果⁷⁾を手がかりに大ざっぱな見当をつけると、北見地方の通年の平均日射量はおおよそ 2500~2800 (kcal/m²h) と推定される。

このような事情をかんがみ、当研究室屋上に日射計を設置し、昭和 43 年 11 月 14 日から 1 年間、北見市の日射エネルギーの継続測定を行なって、年平均、月別および時間別の日射エネルギー値をとりまとめ、以後の太陽熱利用の経済性および熱計算に必要な設計資料となる貴重なデータを得たので報告する。

2. 日射の理論計算

地球が大気に覆われていなければ、任意の地点の日射エネルギーは割合簡単に理論計算ができるので実測するまでもない。しかし、事実は大気があり、雲があり、塵があり、ときにはスモッグに覆われるので、太陽光線がこの中を通過する際にそのエネルギーの何割かが吸収されて弱まり、残りが地表に到達する。この吸収の割合を吸収率といい、日射量の理論値と実測値とから算出される。逆に各月の吸収率あるいは透過率を求めておけば、その月の日射量は計算できることになり便利である。

つぎに、日射量の理論計算に必要な太陽高度の求め方を述べる。

地球が太陽のまわりを廻る軌道の平均半径において、太陽光線をそれに直角な単位面積で受けるエネルギーを太陽定数と称し、その値は書物により若干の差はあるが約 1200 kcal/m²h である⁸⁾。しかし、地表で日射エネルギーを利用する場合、その地点におけるエネルギーは太陽の高度および大気の透過率によって変化する。

いま、任意の地点の水平面で受ける日射エネルギーの強度 G_h は、次式で求められる⁹⁾。

$$G_h = G_0 \tau_0^m \sin h \quad (1)$$

ここで、 G_0 ; 太陽定数 $\doteq 1200$ kcal/m²h

τ_0 ; 大気の透過率

m ; 大気経路 (air mass)

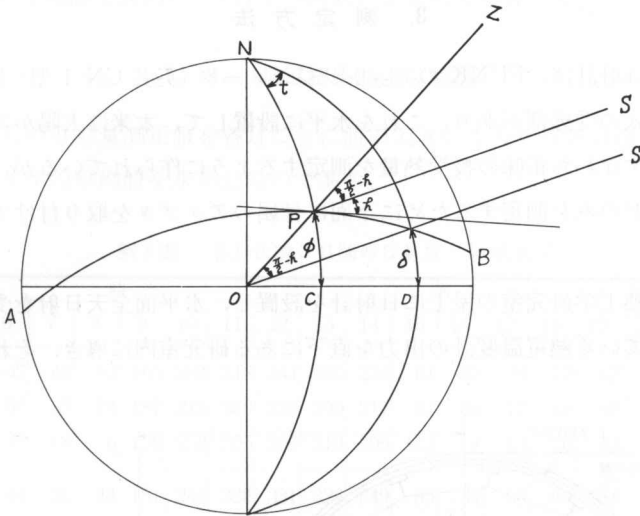
h ; 太陽高度 (仰角)

大気の透過率 τ_0 は、大気中の水蒸気、炭酸ガスおよび塵など大気の状態によって異なり、その平均値は約 0.7 と考えられている。また、大気経路 m は、太陽光線が地面に直角に入射するときを 1 とし、実際に仰角で大気中を進行する距離の比率で、地球が球形であることを無視すると $m = \text{cosec } h$ である。

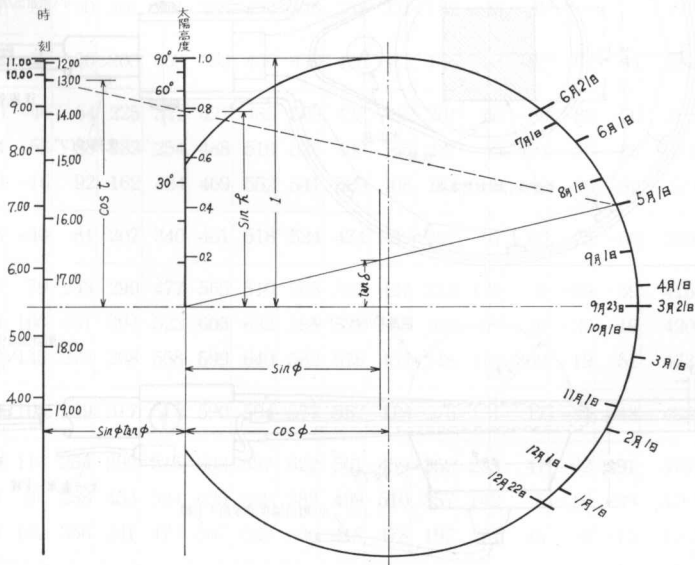
太陽高度 h は、その地点の緯度 ϕ 、地球の自転軸の公転面に対する傾き δ およびその地点の太陽の南中時を基準とした時刻 t とによって、次の関係式で表わされる。

$$\sin h = \sin \phi \cos \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t \quad (2)$$

(2) 式の関係をノモグラフ¹⁰⁾にすると、その地点の任意の日時における太陽高度を容易に求めることができる。(2) 式に用いた角関係¹¹⁾を第1図に、また、このようにして描いた北見市(N 43°47', E 143°54')におけるノモグラフを第2図に示す。ノモグラフの使用法は、たとえば、5月1日13時の太陽高度を求める場合、日付線上に5月1日を取り、その点と時刻線上の13時の点を直線で結び、その直線と高度線との交点が求める角度 ($\sin h$) の値である。



第1図 太陽高度の計算に用いる角関係



第2図 北見市における太陽高度を決定するノモグラフ

τ_0 はその地点の日射エネルギーの実測値から (1) 式を用いて逆算される。すなわち

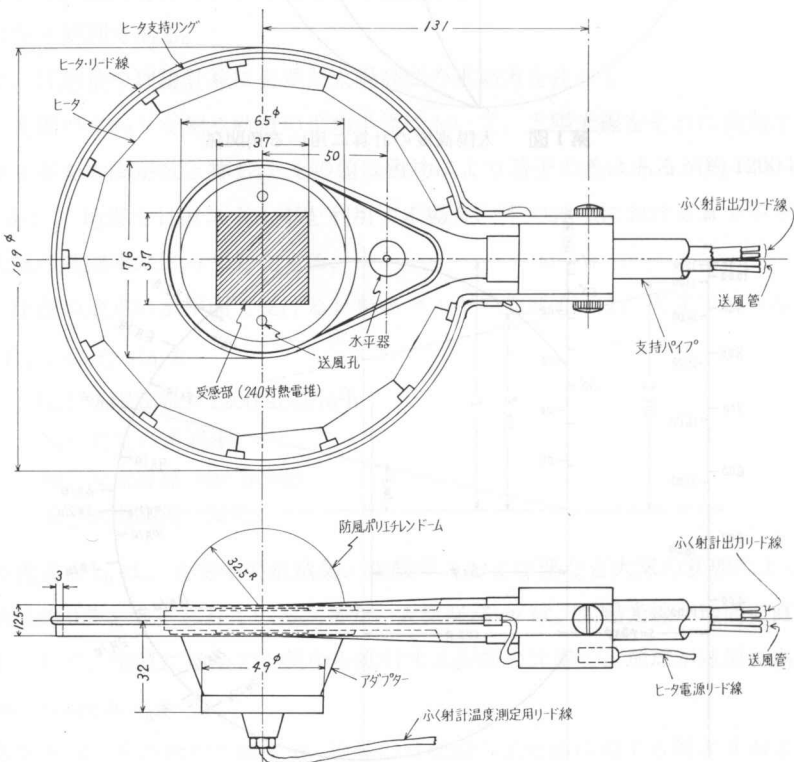
$$\tau_0^m = \frac{G_h}{G_0 \sin h} = \tau_a \tag{3}$$

となり、 τ_a は実際の大気経路も含めた見かけの透過率をあらわす。日射エネルギーの実測値から各月の透過率 τ_0 または τ_a の平均値を計算しておけば、(1) 式およびノモグラフからその地点の任意の日時の水平日射エネルギーを求めることができる。

3. 測定方法

測定に用いた日射計は、FUNK のネットラジオメータ (英弘 CN-1 型) と称し、裏表に同一サーモパイル方式の受感部があり、これを水平に設置して、本来は太陽からの日射と地面からのふく射の差、すなわち正味の授受熱量を測定するように作られているが、この測定においては、日射エネルギーのみを測定するために下面に付属のアダプタを取り付けて測定を行なった (第3図)。

実施方法は、熱工学研究室の屋上に日射計を設置し、水平面全天日射を受感し、その出力とアダプタに付いている熱電温度計の出力を直下にある研究室内に導き、それぞれ6打点式自



第3図 FUNK の日射計

動平衡記録計（三栄ガルバノグラフ）に自記させる。この際、室温も同時に測定している。

昼夜連続の屋外測定であり、計測器の整備点検に注意し、とくに日射計受感部を保護している風防ポリエチレンドームが、雪、雨および塵などでくもらないように常に清掃をし、ときどき新品と交換する。記録紙の交換は一週間毎に行ない、インクの補充および熱電温度計の冷接点用の氷の補充を3日ごとに怠りなく励行する。

記録された測定結果を、日射量、日射計温度（外気温度に等しい）および室温の値に換算し、1時間ごとの平均値で表わし、1日ずつ図表にまとめて整理する。

4. 測定結果および検討

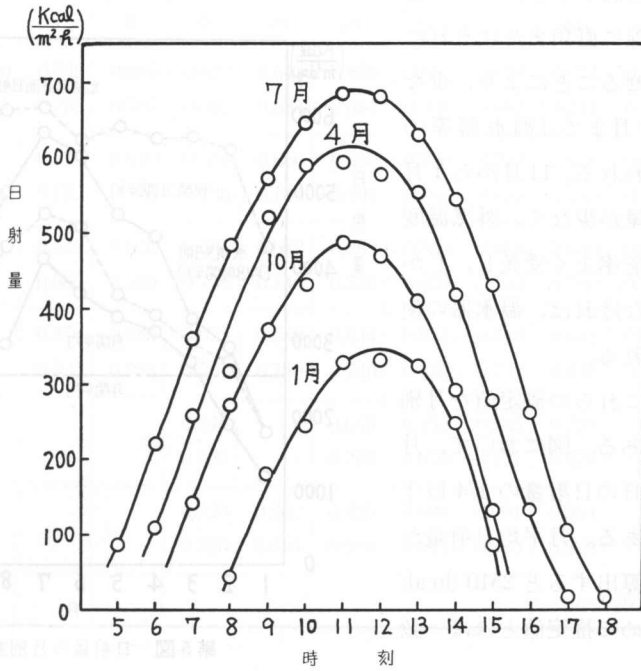
第1表は毎日の日射量測定値を各月ごとに値の大きいものから3日選んで、快晴3日間の時刻別日射エネルギーの平均値を求めたものである。

第1表 各月快晴3日間の日射量 (kcal/m²·h)

月日	時 刻															(kcal/ m ² ·day) 合 計	日 中 8時間 の合計	東京と の比率
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			
1 21	-62	-47	-10	53	165	284	318	341	350	220	61	-53	-74	-72	-62	1792	1792	
25	-50	-55	-35	74	187	215	360	353	299	217	81	-40	-77	-68	-56	1786	1786	
29	-21	-29	-18	6	190	232	305	300	319	309	113	-8	-54	-20	-43	1774	1774	
平均	-44	-44	-21	44	181	244	328	331	323	249	85	-34	-68	-53	-54	1785	1785	0.612
2 24	-35	-42	47	187	296	366	429	443	405	250	125	0	-58	-64	-64	2548	2501	
26	-24	-8	92	222	331	415	443	459	514	367	187	96	-92			3126	2938	
28	-27	-20	30	201	301	385	436	446	388	321	182	78	-37			2768	2660	
平均	-29	-23	56	203	309	389	436	449	436	313	165	58	-62	-64	-64	2814	2700	0.847
3 5	-50	-46	64	225	341	427	485	505	423	335	201	52	-68	-82	-70	3058	2256	
9	-94	-58	88	233	254	488	516	526	480	365	227	63	-64	-50	-36	3248	3089	
13	-30	-16	92	162	424	469	552	541	520	408	253	86	-49	-93	-82	3507	3329	
平均	-58	-40	81	207	340	461	518	524	474	369	227	67	-60	-75	-63	3268	3120	0.756
4 20	-31	79	243	290	477	565	510	565	561	427	313	125	0	-59	-59	4155	3708	
25	0	100	261	394	523	605	632	585	523	358	168	56	-10	-26	-19	4205	3738	
27	-42	145	272	268	558	599	640	582	575	469	348	212	60	-19	-51	4728	4039	
平均	-58	108	259	317	519	590	594	577	553	418	276	131	17	-35	-43	4359	3313	0.761
5 3	0	114	254	392	515	603	637	622	561	459	352	205	41	-62	-91	4755	4141	
7	24	84	258	453	524	625	669	589	499	510	357	142	5	-16	-23	4765	4225	
22	43	162	356	341	473	567	669	606	418	478	197	170	45	0	-15	4555	3779	
平均	22	120	298	395	504	598	668	606	493	482	302	172	30	-26	-43	4690	3598	0.791

月 日	時 刻																		(kcal/ m ² ·day) 合 計	日 中 8 時間 の合計	東京と の比率
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19						
19	80	172	328	447	563	633	655	637	604	524	423	288	147	31	-77	5532	4486				
6 21	28	82	330	360	544	656	694	666	598	513	369	253	119			5212	4400				
28	34	154	333	466	574	637	664	649	628	548	438	300	102	-10	-70	5527	4604				
平均	47	136	330	424	560	642	671	651	610	528	410	280	123	11	-74	5412	4496	0.995			
8	54	179	328	469	535	625	672	674	643	570	456	318	121	21	-64	5665	4644				
7 9	40	177	320	451	566	651	697	718	668	596	470	339	193	29	-72	5915	4817				
16	166	305	432	530	615	662	688	649	583	468	364	126	5	-5	-21	5593	4559				
平均	87	220	360	483	572	646	686	680	631	545	430	261	106	15	-52	5722	4673	1.027			
2	23	100	237	407	549	575	237	681	661	615	320	209	134	6	-45	4754	4045				
8 9	0	109	275	410	515	614	646	645	609	522	333	251	87	-26	-19	5016	4294				
10	46	123	282	369	527	640	646	632	584	527	388	239	97	-25	-41	5100	4313				
平均	23	111	265	395	530	610	510	653	618	555	347	233	106	-15	-35	4933	4218	0.945			
3	-6	95	224	342	438	566	604	474	547	465	346	197	0	-71	-71	4298	3782				
9 14	-59	56	201	340	456	532	576	535	470	352	234	79	-47	-72	-69	3831	3189				
18	-51	49	186	313	419	498	550	542	490	404	254	90	-62	-79	-81	3797	3470				
平均	-31	67	204	332	438	532	577	517	503	407	278	122	-45	-74	-74	3977	3584	0.988			
2	-19	-6	146	294	404	415	519	505	451	361	173	13	-95	-95	-83	3281	3122				
10 5	-56	0	185	301	376	463	476	457	402	294	38	-56	-71	-33	-70	2992	2447				
19	-29	-32	97	224	335	414	466	444	378	219	183	0	-44	-45	-56	2760	2663				
平均	-35	-13	143	273	372	431	487	469	410	291	131	-19	-56	-58	-70	3007	2864	0.916			
1	-45	-38	58	222	237	186	451	305	327	198	6	-54	-74	-82	-90	1662	1662				
11 4	-113	-122	0	126	235	336	304	237	254	154	0	-96	-68	-64	-51	1646	1646				
20	-10	-6	50	143	236	320	289	368	279	112	-18	-50	-63	-61	-32	1793	1797				
平均	-56	-55	36	164	236	281	348	303	287	155	-4	-67	-68	-69	-58	1819	1819	0.681			
4	-77	-77	-45	62	164	214	312	231	179	64	49	-83	-70	-67	-67	1275	1275				
12 23	-23	-22	-18	49	117	240	299	273	227	110	-33	-74	-70	-70	-72	1315	1315				
27	-84	-82	-77	4	106	109	384	319	278	165	15	-59	-61	-74	-51	1380	1380				
平均	-61	-60	-47	38	129	188	332	274	228	113	10	-72	-68	-64	-63	1312	1312	0.511			

北見市の真夏の日射量は、日中8時間の積算日射量で東京気象台の測定値¹²⁾と比較すると、夏季の6~9月は東京の日射量の95~103%を示し、ほとんど遜色ない。しかし、冬季の11~1月は51~68%と非常に低く、春季および秋季は76~85%となっている。第4図は、このうち1月、4月、7月および10月について快晴3日間の日射量の平均値を図示したものである。



第4図 日射量の時刻変化

図によれば、日射が一番強くなる時刻は11時半頃で、これはわが国の標準時にあたる東経135°と北見市の経度のずれに起因するものである。

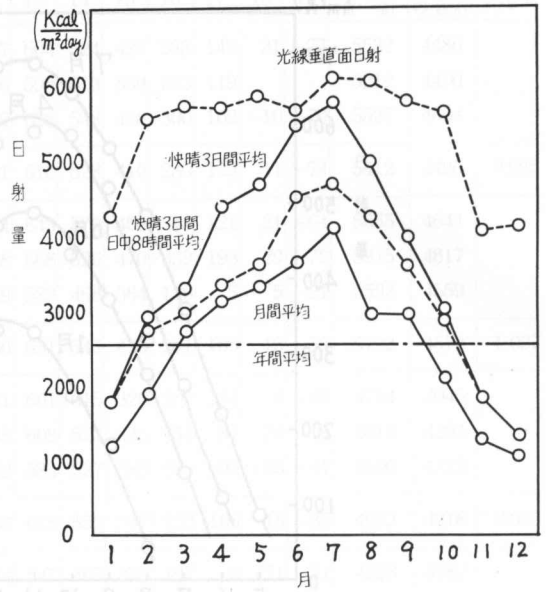
第2表は、各月における最高日射日のエネルギーを光線に直角な面で受けた場合の日中合計と日中8時間の合計を示す。垂直面日射量は2~10月はほとんど一定で大きな値を示すが、冬

第2表 各月快晴日の最高日射量 (kcal/m²-h)

月 日	時 刻											(Kcal/ m²·day) 合 計	日 中 8時間 の合計
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1月21日			212	440	615	632	682	778	621	272		4256	4256
2月26日		426	590	655	697	693	723	883	766	539		5972	5546
3月13日		352	384	770	731	805	794	825	770	641		6072	5720
4月27日		680	481	827	773	781	715	756	705	657		6375	5695
5月7日	343	671	777	740	785	795	705	636	743	644	361	7200	5825
6月28日	433	632	690	720	724	720	708	724	706	674	604	7334	5666
7月9日	469	637	691	730	756	773	799	788	790	751	721	7906	6078
8月10日		675	717	740	808	774	761	751	772	705		6701	6028
9月3日		638	671	684	779	780	616	764	754	716		6402	5764
10月2日		562	805	735	649	758	743	720	768	442		6182	5620
11月1日			703	535	350	782	532	629	467	21		4019	4019
12月27日			27	377	310	972	812	815	652	120		4085	4085

季の11~1月は相当低下する。このことから、受光面を光線に直角またはそれに近い角度に傾斜させることにより、少なくとも3月から10月までは温水器等の使用は可能とおもわれる。11月から1月の間は垂直面日射量が少なく、外気温度が低いからよほど能率よく受光し、しかも保温を十分にしなければ、温水器の使用は困難とおもわれる。

第5図には、これらの測定値を月別にまとめて示してある。図において、月平均日射量は晴天日の日射量の1/4以下の悪天日は除いてある。月平均日射量から年平均日射量を算出すると2510 (kcal/m²·h) となり、初めの推定値とほぼ一致する。



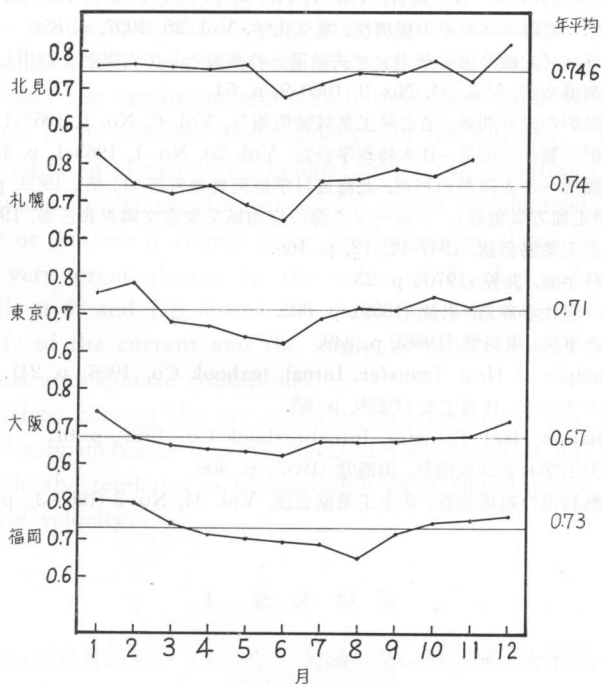
第5図 日射量の月別変化

第3表は(3)式から計算した透過率および見かけの透過率の値である。透過率について、主要都市の値と比較して示したのが第6図で、これを見ると北見市の透過率は大きく、空気が澄んでいることを物語っている。

第3表 大気の透過率および見かけの透過率

月 日	時 刻											平均	
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1/21	τ_a			0.374	0.522	0.538	0.580	0.661	0.528				0.534
	τ_0			0.694	0.740	0.732	0.760	0.830	0.796				0.759
2/26	τ_a		0.360	0.502	0.545	0.581	0.579	0.602	0.735	0.651	0.458		0.557
	τ_0		0.810	0.773	0.736	0.725	0.705	0.725	0.839	0.815	0.761		0.764
3/13	τ_a		0.330	0.582	0.700	0.609	0.670	0.675	0.701	0.525	0.424		0.580
	τ_0		0.750	0.796	0.820	0.728	0.766	0.765	0.799	0.710	0.712		0.755
4/26	τ_a		0.579	0.629	0.655	0.661	0.684	0.693	0.697	0.604	0.542		0.638
	τ_0		0.804	0.774	0.750	0.726	0.734	0.742	0.760	0.720	0.724		0.748
5/7	τ_a	0.290	0.570	0.660	0.630	0.666	0.675	0.683	0.765	0.631	0.548	0.306	0.556
	τ_0	0.739	0.789	0.785	0.721	0.726	0.726	0.651	0.616	0.730	0.716	0.629	0.762
6/28	τ_a	0.363	0.537	0.575	0.600	0.603	0.600	0.592	0.603	0.627	0.573	0.514	0.562
	τ_0	0.695	0.720	0.687	0.660	0.640	0.624	0.620	0.644	0.695	0.695	0.724	0.673

月 日		時 刻										平均	
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		16
7/9	τ_a	0.400	0.542	0.586	0.622	0.644	0.656	0.680	0.670	0.674	0.636	0.610	0.611
	τ_0	0.631	0.735	0.706	0.692	0.685	0.684	0.706	0.690	0.744	0.755	0.793	0.711
8/10	τ_a		0.574	0.610	0.646	0.686	0.660	0.708	0.729	0.656	0.600		0.635
	τ_0		0.792	0.775	0.735	0.744	0.706	0.696	0.695	0.750	0.755		0.739
9/3	τ_a		0.542	0.570	0.581	0.662	0.663	0.524	0.650	0.640	0.610		0.605
	τ_0		0.806	0.750	0.706	0.740	0.726	0.609	0.734	0.760	0.788		0.735
10/2	τ_a		0.478	0.685	0.625	0.639	0.644	0.631	0.614	0.652	0.376		0.594
	τ_0		0.825	0.955	0.701	0.750	0.740	0.732	0.737	0.816	0.684		0.771
11/1	τ_a				0.446	—	0.665	0.452	0.535	0.390			0.499
	τ_0				0.731	—	0.790	0.670	0.721	0.676			0.718
12/27	τ_a				0.320	0.262	0.825	0.690	0.691	0.554			0.557
	τ_0				0.726	6.624	0.929	0.865	0.880	0.860			0.814
平均										$\tau_a=0.579$		$\tau_0=0.746$	



第6図 北見市における透過率と主要都市の透過率の比較 (他都市の透過率は昭和33年以前の値)

5. む す び

昭和43年11月14日から昭和44年11月13日までの1年間の日射量を継続して測定し、途中計器類の故障、チャート切れ、インク切れおよび停電などの事故で測定不能の日が幾日があったが、その記録を数値に換算し図表に整理した。

その結果、北見市において温水器等により太陽熱を利用することは、11~1月を除いて可能であるとの見透しが得られた。この場合、6月、7月、8月および9月の4カ月間は、本州方面で実用になっている温水器をそのまま使用することができようが、その他の月では日射の吸熱性が高く、放熱性の低い、いわゆる熱利用率の良い寒地向きの装置を考案する必要があるものとおもわれる。

いずれにしてもここに得られた日射量の測定値と、国内および国外で過去に作られた太陽温水器の例¹³⁾を参考にして、北国に適ったユニークな試作品を設計、製作する段階をむかえた。

研究費の一部は北海道科学研究補助金(昭和43年度および昭和44年度)によった。

文 献

- 1) 芝 亀吉: 太陽熱の利用(1)~(7), 総合, Vol. 7, No. 5, p. 26; Vol. 7, No. 12, p. 18.
- 2) ホブソン・百田訳: 太陽エネルギーの経済性, 電気化学, Vol. 25, 1957, p. 85.
- 3) 柳町政之助: 熱ポンプ式暖冷房と熱ポンプ式給湯との熱源として太陽熱を利用した日本における太陽の家, 衛生工業協会誌, Vol. 34, No. 9, 1960-9, p. 54.
- 4) 福島・三井: 太陽炉の設計問題, 名古屋工業試験所報告, Vol. 6, No. 1, 1957-1, p. 1.
桜井武磨: 太陽炉の製作と成果, 日本物理学会誌, Vol. 20, No. 1, 1965-1, p. 18.
- 5) 金山公夫: 寒地暖房への太陽熱の利用, 北海道科学研究費報告書(11集), 1969, p. 171.
- 6) 北海道開発局・網走地方气象台: オホーツク海沿岸地域気象水文調査報告書, 1969, p. 43.
- 7) 柳町政之助: 衛生工業協会誌, 1947-11, 12, p. 166.
- 8) 東京天文台: 理科年表, 丸善(1970), p. 23.
小谷・玉虫ほか: 理化学辞典, 岩波(1959), p. 801.
和達清夫: 気象の事典, 東京堂(1966), p. 349.
- 9) F. Kreith: Principle of Heat Transfer, Intnal. texbook Co. (1966), p. 241.
- 10) 押田勇雄: 太陽エネルギー, 日刊工業(1958), p. 55.
- 11) F. Kreith: Radiation Heat Transfer, Intnal-texbook Co. (1962), p. 61.
- 12) 谷下市松: 原子力工学および太陽熱, 山海堂(1957), p. 406.
- 13) 谷下市松: 太陽熱利用の給湯装置, 衛生工業協会誌, Vol. 34, No. 3 (1960-3), p. 192.