

中国における設備設計とシミュレーション用 気象データベースに関する研究

第2報 一日射量の推定と360地点における冷房設計日射量

張 晴 原^{*1}

本研究は中国における設備設計とシミュレーション用気象データベースを開発することを目的とする。本報では、1995年～2005年間の毎時日射量を推定し、その推定精度を検証した。次に、得られた毎時日射量に対して統計処理を行い、危険率が2.5%となる毎時日射量を算出し、冷房設計日射量とした。また、水平面全天日射量の時刻別変動率を $\sin(h_i)$ 比で近似し、360地点の夏季設計日射量をピーク時日射量と $\sin(h_i)$ 比によってパターン化した。さらに、夏季設計日射量の直達成分と天空成分を明らかにし、 $\sin(h_i)$ 比によるパターン化を試み、それによる10時～16時間の推定誤差が6.0%以内であることがわかった。

キーワード：統計処理・中国・気象データ・冷房設計日射量・ $\sin(h_i)$ 比

はじめに

既報¹⁾では観測気象データに基づいて中国360地点における設計外気温度を算出した。本研究で使用している観測気象データとなるISHデータ²⁾には日射量データが含まれていないため、別途補充する必要がある。現時点では日射量を観測している中国の気象台が全部で98に過ぎないため、本研究の対象となる360地点において設備設計用日射量を算出する際、すべて観測日射量データを使用することは不可能であり、何らかの方法で日射量を推定する必要がある。

建築環境解析と設備設計に必要な日射量データが2つの種類に分けられる。建物の動的シミュレーションには時間毎の日射量が必要であるが、設備設計には毎時日射量の統計処理に基づく危険率別の日射量が必要となっている。中国現行の「採暖通風および空気調節設計規範」³⁾では、設計用日射量を北緯20°～50°の範囲で5°おきに整理され、同じ緯度での日射量の差異を大気透過率で調整されている。また、大気透過率は大気圧によって修正され、間接的に標

高が考慮されることになる。このデータには次の問題がある。主要都市の緯度は「規範」に示されている5°おきの緯度と合致するとは限らず、対象地点の近くの緯度のデータを流用するしかなく、それによる位相のずれと強弱の誤差が発生する。また、「規範」に示されている設計日射量の推定方法や危険率も不明である。

本報ではまず筆者らが開発した毎時日射量推定モデル⁴⁾を使用し、それをを用いて1995年～2005年間の毎時日射量を推定し、得られた毎時日射量に対して統計処理を行い、危険率が2.5%となる毎時設計日射量を算出した。また、水平面全天日射量の時刻別変動率を $\sin(h_i)$ 比で近似し、360地点の夏季設計日射量をパターン化した。さらに、直達日射量と天空日射量成分を明らかにし、 $\sin(h_i)$ 比によるパターン化を試みた。

1. 毎時日射量の推定

本研究の対象地点は前報で述べた通り、ISHデータベースに含まれている360地点である。このデータベースには日射量データがないため、何らかの方法で推定する必要がある。著者は1993年の観測気象データに基づいて、雲量、

^{*1} 筑波技術大学 正会員

乾球温度と相対湿度を用いた推定式を作成した⁴⁾。

$$I_i = [I_0 \cdot \sin(h_i) \cdot \{C_0 + C_1 \cdot \frac{CC_i}{10} + C_2 \cdot (\frac{CC_i}{10})^2 + C_3 \cdot (\theta_i - \theta_{i-3}) + C_4 \phi_i\} - C_5] / k \quad \dots\dots(1)$$

ここで、 CC_i 、 h_i 、 I_i 、 ϕ_i はそれぞれ時刻*i*における雲量、太陽高度、水平面全天日射量[W/m²]と相対湿度[%]、 I_0 は太陽定数(1355W/m²とする)、 T_i, T_{i-3} はそれぞれ時刻*i*と*i-3*時刻の乾球温度[°C]である。 $C_0 \dots C_5$ と k は場所によって異なる係数であり、文献⁴⁾を参考されたい。式(1)に標高のパラメーターは含まれていないが、地点毎の観測日射量で求められている $C_0 \dots C_5$ と k の値によって標高が反映されている。標高をパラメーターにしなかったのは地点毎に式(1)を回帰によって作成する際、その地点の標高は変数でなく常数であるためである。

式(1)による北京における水平面全天日射量の推定値と

観測値の比較例を図-1に示す。両者の差は最大 69W/m²である。

式(1)を用いて中国の主な省、市、自治区の中心都市における水平面全天日射量の年間積算値を計算し、1993年～2001年の平均値を求め、観測値と比較した。図-2に示すように、28主要都市において、式(1)による年間積算日射量の推定値が6%以内の誤差で観測値とよく一致している。これらの都市を除く他の地点においては、上述の28都市から距離が近く、且つ標高に近い都市を選んで、そこにおける推定式に対象地点の毎時乾球温度、相対湿度と雲量を代入して毎時日射量の推定を行った。

2. 冷房設計日射量とその時間変動率

設計日射量は主に夏季の冷房設計に用いられる。冬季の暖房設計を行う際、日射熱取得は安全サイドとして扱い、

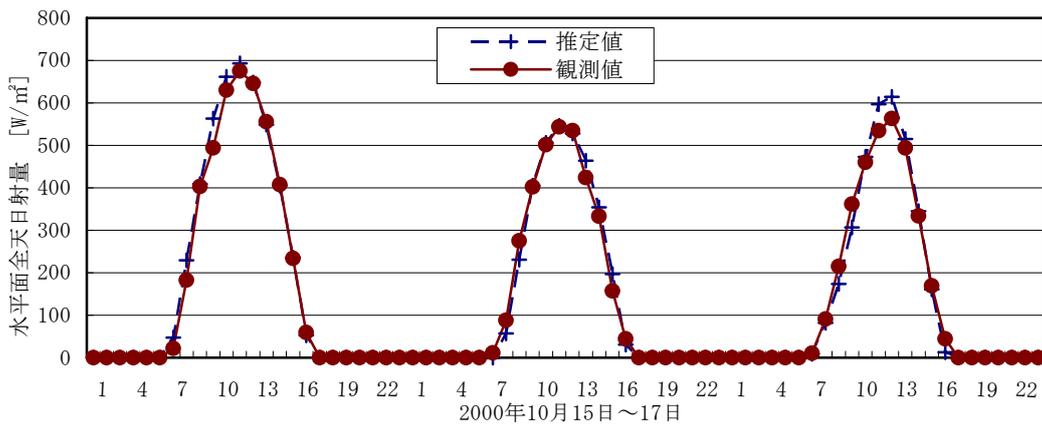


図-1 北京における水平面全天日射量の推定値と観測値の比較例

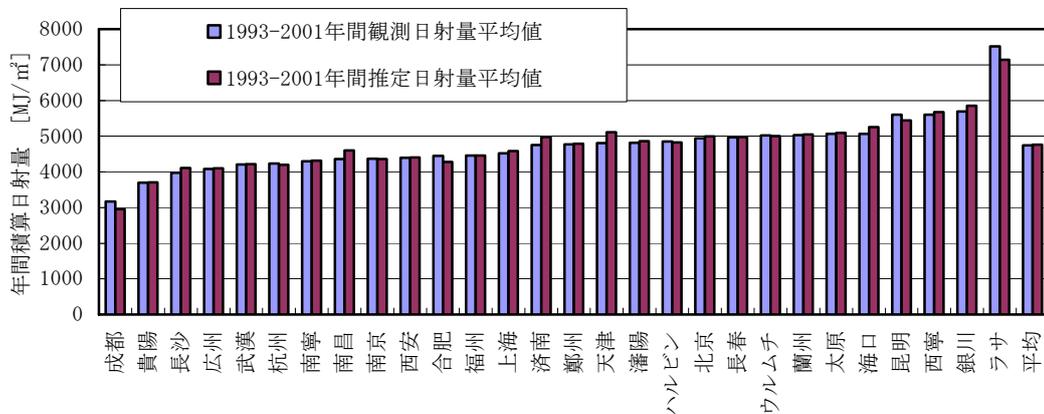


図-2 28都市における式(1)による推定日射量と観測日射量の年積算値の比較

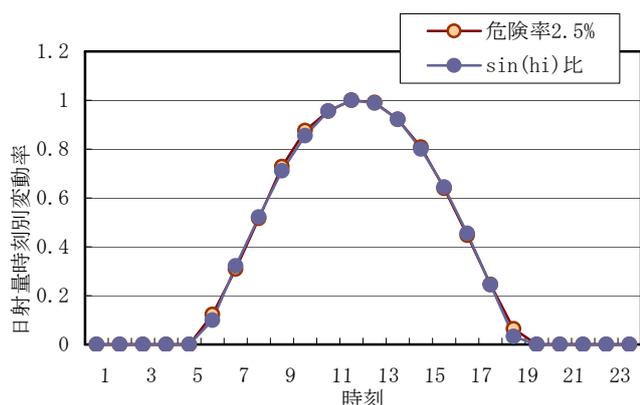


図-3 北京市における日射量時間変動率 ψ_i と ψ'_i の比較

表-1 主要都市の $\sin(h_i)$ 比 ψ'_i

地名	5時	6時	7時	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時	21時
北京	0.00	0.10	0.32	0.52	0.71	0.86	0.96	1.00	0.99	0.92	0.80	0.64	0.46	0.24	0.03	0.00	0.00
長春	0.05	0.25	0.46	0.64	0.80	0.92	0.98	1.00	0.95	0.86	0.72	0.54	0.34	0.14	0.00	0.00	0.00
長沙	0.00	0.00	0.23	0.45	0.66	0.82	0.94	1.00	1.00	0.95	0.83	0.67	0.47	0.25	0.01	0.00	0.00
成都	0.00	0.00	0.09	0.32	0.53	0.72	0.86	0.96	1.00	0.98	0.90	0.77	0.59	0.39	0.16	0.00	0.00
重慶	0.00	0.00	0.14	0.35	0.57	0.75	0.89	0.98	1.00	0.97	0.89	0.74	0.56	0.34	0.13	0.00	0.00
福州	0.00	0.08	0.32	0.53	0.71	0.87	0.96	1.00	0.98	0.90	0.76	0.58	0.37	0.14	0.00	0.00	0.00
広州	0.00	0.00	0.21	0.44	0.64	0.82	0.94	1.00	1.00	0.94	0.83	0.65	0.45	0.22	0.00	0.00	0.00
貴陽	0.00	0.00	0.12	0.35	0.56	0.74	0.88	0.97	1.00	0.96	0.88	0.73	0.54	0.33	0.10	0.00	0.00
海口	0.00	0.00	0.15	0.38	0.61	0.78	0.91	0.99	1.00	0.95	0.85	0.69	0.48	0.25	0.02	0.00	0.00
杭州	0.00	0.11	0.34	0.55	0.74	0.88	0.97	1.00	0.98	0.90	0.75	0.57	0.36	0.15	0.00	0.00	0.00
ハルビン	0.07	0.28	0.48	0.67	0.82	0.93	0.99	1.00	0.95	0.85	0.71	0.53	0.33	0.13	0.00	0.00	0.00
合肥	0.00	0.07	0.31	0.52	0.71	0.85	0.96	1.00	0.99	0.92	0.79	0.62	0.42	0.19	0.00	0.00	0.00
フホット	0.00	0.04	0.26	0.47	0.66	0.82	0.93	0.99	1.00	0.96	0.85	0.71	0.52	0.31	0.10	0.00	0.00
済南	0.00	0.10	0.32	0.53	0.72	0.86	0.96	1.00	0.99	0.92	0.79	0.63	0.43	0.22	0.00	0.00	0.00
昆明	0.00	0.00	0.05	0.29	0.51	0.70	0.86	0.96	1.00	0.98	0.91	0.78	0.60	0.39	0.16	0.00	0.00
蘭州	0.00	0.00	0.12	0.34	0.55	0.73	0.87	0.96	1.00	0.98	0.90	0.77	0.60	0.41	0.18	0.00	0.00
ラサ	0.00	0.00	0.00	0.13	0.35	0.56	0.75	0.89	0.97	1.00	0.97	0.89	0.75	0.56	0.35	0.13	0.00
南昌	0.00	0.05	0.22	0.43	0.64	0.82	0.95	1.00	0.98	0.91	0.79	0.61	0.40	0.18	0.00	0.00	0.00
南京	0.00	0.11	0.33	0.54	0.73	0.86	0.96	1.00	0.98	0.91	0.77	0.60	0.39	0.17	0.00	0.00	0.00
南寧	0.00	0.00	0.13	0.36	0.58	0.76	0.89	0.98	1.00	0.96	0.86	0.71	0.52	0.29	0.06	0.00	0.00
上海	0.00	0.14	0.37	0.57	0.76	0.89	0.98	1.00	0.98	0.88	0.75	0.57	0.36	0.13	0.00	0.00	0.00
瀋陽	0.00	0.22	0.43	0.63	0.78	0.91	0.99	1.00	0.97	0.88	0.74	0.57	0.36	0.15	0.00	0.00	0.00
石家荘	0.00	0.07	0.29	0.49	0.68	0.84	0.95	1.00	1.00	0.93	0.82	0.67	0.47	0.26	0.04	0.00	0.00
太原	0.00	0.03	0.25	0.47	0.66	0.82	0.93	1.00	1.00	0.95	0.85	0.69	0.51	0.29	0.07	0.00	0.00
天津	0.00	0.11	0.33	0.53	0.72	0.87	0.97	1.00	0.99	0.92	0.80	0.63	0.44	0.23	0.01	0.00	0.00
ウルチ	0.00	0.00	0.00	0.15	0.36	0.55	0.72	0.86	0.95	1.00	0.98	0.91	0.79	0.63	0.45	0.24	0.03
武漢	0.00	0.02	0.25	0.47	0.67	0.83	0.95	1.00	1.00	0.94	0.82	0.66	0.46	0.24	0.01	0.00	0.00
西安	0.00	0.00	0.19	0.40	0.61	0.78	0.90	0.98	1.00	0.96	0.86	0.72	0.53	0.33	0.11	0.00	0.00
西寧	0.00	0.00	0.10	0.32	0.52	0.71	0.86	0.96	1.00	0.99	0.92	0.80	0.63	0.43	0.22	0.00	0.00
銀川	0.00	0.00	0.16	0.38	0.58	0.76	0.89	0.98	1.00	0.97	0.89	0.76	0.58	0.38	0.16	0.00	0.00
鄭州	0.00	0.03	0.26	0.47	0.67	0.83	0.95	1.00	1.00	0.95	0.83	0.67	0.47	0.26	0.03	0.00	0.00

考えない場合が多い。したがって、暖房時の設計日射量は実用的な意義をもたない。本研究でも、冷房時の設計日射量のみについて検討する。

本研究の対象となる 360 地点における時刻別乾球温度、雲量、相対湿度の観測値を式(1)に代入し、1995 年～2005 年の毎時日射量を求めた。前報と同じように、6 月から 8 月を夏季とし、時刻別の危険率 2.5%の水平面日射量を求め、冷房用設計日射量とした。

前報では、設計外気温の時刻別変動率を用いて、設計用気象データをいくつかのパターンに分類した。それと似ているように、時刻別冷房設計日射量をパターン化することができれば、各地点のピーク時日射量によって時刻別の設

表-2 主要都市の時刻別冷房用設計日射量 [W/m²]

地名	5時	6時	7時	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時	21時
北京	0	96	310	503	685	824	920	963	952	888	770	621	439	235	32	0	0
長春	44	242	440	617	771	881	936	958	914	826	694	518	330	132	0	0	0
長沙	0	0	218	427	625	784	893	953	953	903	794	635	447	238	10	0	0
成都	0	0	86	297	488	661	795	881	919	900	824	709	546	354	144	0	0
重慶	0	0	125	328	531	695	820	907	926	897	820	685	521	318	116	0	0
福州	0	77	297	498	671	814	901	939	920	843	709	546	345	134	0	0	0
広州	0	0	192	393	576	731	841	896	896	841	740	585	402	201	0	0	0
貴陽	0	0	121	342	553	734	864	955	985	945	864	723	533	322	100	0	0
海口	0	0	150	379	598	768	898	978	988	938	838	678	479	249	20	0	0
杭州	0	116	348	559	749	886	981	1013	992	907	760	580	369	148	0	0	0
ハルビン	65	261	445	619	760	858	912	923	880	782	652	489	304	119	0	0	0
合肥	0	70	292	493	674	815	915	956	945	875	754	593	402	181	0	0	0
フホット	0	45	260	475	667	825	938	995	1006	961	859	712	520	316	102	0	0
済南	0	92	298	503	678	811	904	945	935	873	750	596	411	205	0	0	0
昆明	0	0	53	294	526	726	883	988	1031	1010	936	799	620	400	168	0	0
蘭州	0	0	117	340	542	722	860	945	988	966	892	765	595	403	181	0	0
ラサ	0	0	0	152	431	684	913	1077	1179	1217	1179	1077	913	684	431	152	0
南昌	0	40	262	473	664	815	926	966	966	896	775	614	413	191	0	0	0
南京	0	96	298	490	662	787	874	912	893	826	701	547	355	154	0	0	0
南寧	0	0	129	357	566	745	874	963	983	943	844	695	506	288	60	0	0
上海	0	132	354	546	728	860	941	961	941	850	718	546	344	121	0	0	0
瀋陽	0	197	394	571	716	830	903	913	882	799	674	519	332	135	0	0	0
石家荘	0	65	281	486	669	820	928	982	982	917	809	658	464	259	43	0	0
太原	0	31	240	448	626	782	886	949	949	897	803	657	480	271	63	0	0
天津	0	102	307	492	666	799	891	922	912	850	738	584	410	215	10	0	0
ウルムチ	0	0	0	143	341	528	693	825	913	957	935	869	759	605	429	231	33
武漢	0	20	240	449	639	789	899	949	949	889	779	629	439	230	10	0	0
西安	0	0	185	390	585	749	872	943	964	923	831	697	513	318	103	0	0
西寧	0	0	103	330	547	740	900	1002	1048	1037	968	843	661	456	228	0	0
銀川	0	0	167	389	589	767	901	990	1012	979	901	767	589	389	167	0	0
鄭州	0	29	234	428	603	749	856	905	905	856	749	603	428	234	29	0	0

計日射量を推定することができ、設計条件の簡素化が図れる。そこで、本研究では、1995年～2005年間の夏季の時刻別危険率 2.5%日射量における時刻別変動率を次のように計算した。

$$\psi_i = \frac{I_i}{I_{\max}} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 I_i は時刻*i*における危険率 2.5%水平面全天日射量[W/m²]、 I_{\max} は危険率 2.5%におけるピーク時水平面全天日射量 [W/m²]、 ψ_i は時刻*i*における日射量の変動率である。

研究対象となる 360 地点において、日射量の時刻別変動率 ψ_i は式(2)で求められるが、この方法では夏季における毎時日射量とそれに基づく危険率 2.5%日射量が先決である。 ψ_i を簡単に計算できるように、地理情報(緯度、経度)だけによる次の近似法を考えた。水平面全天日射量は太陽高度 h の sin 関数に影響され、一般的に太陽高度が最も高い時に水平面全天日射量の最大値が起きる。危険率 2.5%における日射量はおおむね晴天日の日射量にあたるため、毎時水平面全天日射量が $\sin(h_i)$ に左右されると考えられる。さらに、毎時 $\sin(h_i)$ をその最大値 $\sin(h_i)_{\max}$ で除して標準化

し、このように標準化した日射量を $\sin(h_i)$ 比と呼ぶことにし、 ψ'_i で表すことにする。すなわち、

$$\psi'_i = \frac{\sin(h_i)}{\sin(h_i)_{\max}} \dots\dots\dots (3)$$

本論文では6月～8月を夏季としているため、 ψ'_i を求めるとき、夏季とされる期間中の時刻別平均値を使用すべきと考えられる。しかし、 $\sin(h_i)$ を計算する際、元日からの通し日が関係しているため、上記期間の平均値を求めるには煩雑な計算が必要である。利用者の利便性を考えると、ある具体的な日の太陽高度値で近似できれば、電卓レベルで求められるように簡略化できる。そこで、6月～8月間の

各日の ψ'_i を求め、危険率2.5%の日射量時刻別変動率 ψ_i と比べ、8月15日の $\sin(h_i)$ 比 ψ'_i で ψ_i を近似することができることがわかった。図-3に北京市における日射量時間変動率 ψ_i と8月15日の $\sin(h_i)$ 比 ψ'_i の比較を示す。両者の差は ψ_i の3.0%以内であり、設計日射量を推定するのに十分な精度を有するといえる。他の場所で確認した結果、同じ8月15日の $\sin(h_i)$ 比 ψ'_i で日射量時刻別変動率 ψ_i を近似する場合の誤差が5.0%以内となっている。

以上に述べたように、各地の最大日射量が分かれば、 $\sin(h_i)$ 比 ψ'_i によって時刻別設計日射量を計算することが

表-3 ピーク時水平面直達日射量、水平面天空日射量と水平面全天日射量

	北緯	東経	標高[m]	ピーク時水平面直達日射量 [W/m ²]	ピーク時水平面天空日射量 [W/m ²]	ピーク時水平面全天日射量 [W/m ²]
広州	23.17	113.33	42	716	179	895
鄭州	34.72	113.65	111	725	180	905
南京	32.00	118.80	7	729	183	912
瀋陽	41.77	123.43	43	730	183	913
成都	30.67	104.02	508	743	177	920
天津	39.10	117.17	5	737	185	922
ハルビン	45.75	126.77	143	740	183	923
重慶	29.58	106.47	260	744	182	926
福州	26.08	119.28	85	752	187	939
済南	36.60	117.05	169	758	187	945
武漢	30.62	114.13	23	758	190	948
太原	37.78	112.55	779	771	178	949
長沙	28.23	112.87	68	763	190	953
合肥	31.87	117.23	36	764	191	955
ウルムチ	43.80	87.65	947	780	177	957
長春	43.90	125.22	238	769	189	958
上海	31.40	121.47	4	768	193	961
北京	39.93	116.28	55	770	193	963
西安	34.30	108.93	398	777	187	964
南昌	28.60	115.92	50	773	193	966
石家荘	38.03	114.42	81	786	196	982
南寧	22.63	108.22	126	788	195	983
貴陽	26.58	106.73	1223	807	178	985
海口	20.03	110.35	24	789	198	987
蘭州	36.05	103.88	1518	814	173	987
フホホット	40.82	111.68	1065	822	184	1006
銀川	38.47	106.20	1112	827	185	1012
杭州	30.23	120.17	43	810	203	1013
昆明	25.02	102.68	1892	856	175	1031
西寧	36.62	101.77	2296	878	170	1048
ラサ	29.67	91.13	3650	1046	170	1216

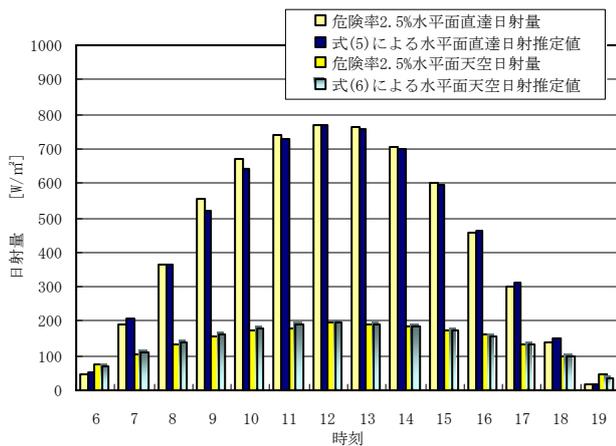


図-4 北京市における時刻別危険率 2.5%水平面直達と天空日射量と推定値の比較

できる。すなわち、

$$I_i = I_{\max} \cdot \psi_i \approx I_{\max} \cdot \psi'_i = I_{\max} \cdot \frac{\sin(h_i)}{\sin(h_i)_{\max}} \quad \dots\dots (4)$$

北京市を含む 31 主要都市の $\sin(h_i)$ 比 ψ'_i を表-1 に示す。これらの場所の位置を後述の表-3 に示す。 $\sin(h_i)$ 比 ψ'_i を求める際、時刻別の $\sin(h_i)$ はその最大値 $\sin(h_i)_{\max}$ で標準化しているため、 $\sin(h_i)$ 比 ψ'_i の最大値 1.0 は整数の時刻に発生するようになっている。表-2 に主要都市の $\sin(h_i)$ 比による時刻別冷房用設計日射量を示す。拉萨や西寧、昆明における日射量が大きく、高い標高による透過率の上昇が原因であると考えられる。

3. 直達と天空日射量の設計値

設備設計を行う際、水平面全天日射量だけでなく、直達成分と水平面成分も必要である。本研究では式(1)で推定した毎時水平面全天日射量を筆者が開発した Gompertz 関数型直散分離モデルを用いて直散分離した⁵⁾。さらに、表-2 に示す毎時危険率 2.5%水平面全天日射量に対応する直達日射量と天空日射量を求め、冷房設計用時刻別直達日射量と天空日射とした。次に、時刻別水平面直達日射量 I_{di} をピーク時水平面直達日射量 $I_{d\max}$ と $\sin(h_i)$ 比 ψ'_i で近似することを試みた。すなわち、

$$I_{di} = I_{d\max} \cdot (\psi'_i)^{1.15} = I_{d\max} \cdot \left(\frac{\sin(h_i)}{\sin(h_i)_{\max i}}\right)^{1.15} \dots\dots (5)$$

式の中の指数 1.15 は危険率 2.5%の水平面直達日射量との誤差が最も小さくなるように最小二乗法によって算出された。それと同じように、時刻別水平面天空日射量 I_{si} をピーク時水平面天空日射量 $I_{s\max}$ と $\sin(h_i)$ 比 ψ'_i で近似することを試みた。

$$I_{si} = I_{s\max} \cdot (\psi'_i)^{0.5} = I_{s\max} \cdot \left(\frac{\sin(h_i)}{\sin(h_i)_{\max}}\right)^{0.5} \dots\dots (6)$$

晴天時の天空日射量の理論式として Berlage の式⁶⁾があるが、大気透過率を介さないといけないことや、本論文における危険率の扱いが困難であることなどから、ここでは Berlage の式について検討しない。

表-3 に示すピーク時水平面直達日射量と天空日射量と各地点の 8 月 15 日の ψ'_i を式(5)と式(6)に代入すれば、時刻別水平面直達設計日射量と天空設計日射量を算出することができる。図-4 は北京市における時刻別危険率 2.5%の水平面直達および天空日射量と式(5)および式(6)による推定値の比較である。冷房設備の設計容量への影響が大きい 10 時～16 時間の誤差は 4.0%以内である。他の地点についてチェックした結果、10 時～16 時間の誤差は 6.0%以内になっていることを判明した。

ま と め

本報で得られた主な結論は次の通りである。

- 1) 1995 年～2005 年間の毎時日射量を推定し、その推定精度を検証した。得られた毎時日射量に対して統計処理を行い、危険率が 2.5%となる毎時設計日射量を算出した。
- 2) 水平面全天日射量の時刻別変動率を $\sin(h_i)$ 比で近似し、360 地点の夏季設計日射量をピーク時日射量と $\sin(h_i)$ 比によってパターン化した。それによる誤差は 5.0%以下である。
- 3) 直達日射量と天空日射量成分を明らかにし、パターン化を試みた。直達日射量と天空日射量成分を $\sin(h_i)$ 比で近似し、それによる 10 時～16 時間の推定誤差が 6.0%以内である。

参 考 文 献

- 1) 張 晴原：中国における設備設計とシミュレーション用気象データベースに関する研究，第 1 報—360 地点における設計外気温度，空気調和・衛生工学会論文集，No.148,pp.9-15, 2009 年
- 2) National Climatic Data Center: Technical Report No.2001-01: The FCC Integrated Surface Hourly Database, A New Resource of Global Climate Data, 2001
- 3) 中国建設部：採暖通風与空气調節設計規範 GBJ19-87, GB50019-2003
- 4) Qingyuan Zhang, Joe Huang, Yang Hongxing, Lou Chengzhi: Development of Models to Estimate Solar Radiation for Chinese Locations, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, Vol.2, No.2, pp.35-42, 2003
- 5) 張晴原, Gompertz 関数による水平面全天日射量の直散分離に関する研究, 日本建築学会環境系論文集 第 580 号, pp. 31-37, 2004 年
- 6) Berlage, H.: Zur Theorie der Beleuchtung einer Horizontalen Fläche derch Tageslicht, Meteorologische Zeitschrift, Mai 1928.

(平成 22.2.3 原稿受付)

Study on Weather Data for Equipment Design and Building Simulations at Chinese Locations

Part 2—Prediction of Solar Radiation and Radiation for Cooling Design of 360 Locations

by Qingyuan ZHANG^{*1}

Key Words: Statistical Processing, China, Weather Data, Solar Radiation for Cooling Design, $\sin(h_i)$ Ratio

Synopsis : The purpose of the study is to establish a database on building equipment design and building simulations for the Chinese locations. In Part 2, solar radiation was estimated using method developed by the authors. The preciseness of this method was verified with observational data. Hourly radiation with TAC 2.5% was calculated, which was defined as solar radiation for cooling design. The hourly change ratio of the

design radiation was calculated and this ratio was estimated with $\sin(h_i)$ ratio. More over, Direct and diffuse radiations for cooling design were also approximated with $\sin(h_i)$ ratio and the errors by the approximation were less than 6.0% in the period of 10:00 – 16:00.

(Received February 3, 2010)

^{*1} Tsukuba University of Technology, Member