日照時間による水平面全天日射量および法線面
直達日射量の推定と連続曇天日の発生率*馬 場 弘^{*1}, 金 山 公 夫^{*1}Estimation of Horizontal-Total and Normal-Direct Insolations from
Sunshine Hours, and Frequency Distributions of Continuous Cloudy Day

Hiromu BABA and Kimio KANAYAMA

To utilize solar energy for heat engineering purposes, the data of insolations and sunshine hours in Kitami and Sapporo during the eight years from 1978 to 1985 were processed and analyzed as daily values. The data of insolations of Kitami are the values measured by the authors at the Kitami Institute of Technology, and those in Sapporo are the values observed at the Sapporo Meteorological Observatory. The number of sunshine hours for both cities were the official data published by the Meteorological Agency. Consequently, the correlation equations to estimate the horizontal-total and normal-direct insolations from the sunshine hours, the rate of clear days to total days in a month and the frequency distribution of the continuous cloudy days were obtained.

Key Words: Heat Engineering, Solar Energy, Horizontal-total Insolation, Normal-direct Insolation, Sunshine Hours

1. ま え が き

太陽エネルギーを熱工学的に利用するために任意の地点における日射特性をできるだけ正確に把握することは基本的に重要なことである。この場合、日射特性としては水平面全天日射量、法線面直達日射量および散乱日射量などの量的関係と、それらの日変化および季節変化などが問題となる。このため従来から水平面全天日射量の推定とその直散分離に関する研究の報告が見られる^{(1)~(6)}。しかし従来の研究は法線面直達日射量の連続観測を行うことができなかったことから、水平面全天日射量と散乱日射量に関する報告が多く、それらの結果は傾斜面日射量を算出するうえで必ずしも十分とはいえず、法線面直達日射量の観測データに基づく直散分離の関係を求めることが必要である。また我が国のような天候変動の激しい地域では、各月、各季節において太陽エネルギーを熱工学的に有効に利用できる晴天日はどの程度期待できるか、またその場合の日射量はどれほどになるか、逆に日射を利用できない曇天日は何日間連続して現れることがあるかなど太

陽熱利用システムを設計する場合の蓄熱容量、補助熱量および稼働率などを見積るうえで重要な要因となる。

こうした観点から著者らは北見市(43°49'N, 143°55'E)と札幌市(43°3'N, 141°20'E)について水平面全天日射量と法線面直達日射量を最も入手しやすい日照時間の観測データと関連付けて整理し、日照時間から水平面全天日射量および法線面直達日射量を推定するための回帰式を求めた。さらに稚内、旭川など道内5地点の日照時間を整理し、1日単位の日照時間の長さを1hごとにランク分けした各ランクに対応する日照時間を有する日の日数(発生率)、晴天日率、曇天日率および連続曇天日の発生率を明らかにした。

2. 水平面全天日射量および法線面
直達日射量と日照時間の関係

ここで取扱った日射データの期間は昭和53年から昭和60年までの8年である。北見市の日射データは著者ら⁽⁷⁾が観測したものを、札幌市については札幌気象台で観測したデータを使用した。日照時間は北海道農業気象月報⁽⁸⁾、北海道気象月報⁽⁹⁾および北海道の気象⁽¹⁰⁾によった。

前報⁽⁷⁾において著者らは1日当たりの水平面全天日

* 昭和62年10月3日 東北支部仙台地方講演会において講演、原稿受付 昭和62年2月6日。

*¹ 正員、北見工業大学(〒090 北見市公園町165)。

射量を $2\text{MJ}/\text{m}^2\text{d}$ ごとにランク分けすることによって太陽エネルギーを熱工学的に利用できる晴天日と利用できない曇天日を区別することを行った。ここでは同様の手法で日照時間を 1h ごとにランク分けし、各ランクが対応する日射量の平均値、度数(発生率)および分散などを求め日照時間に基づく水平面全天日射量と法線面直達日射量を推定する回帰式を求めた。

図1は1月の日照時間ランクに対する水平面全天日射量の平均値および法線面直達日射量の平均値と各ランクの発生率を示す。日照時間のランク X は日照時間が0時間を $X=0$, 0以上1h未満を $X=1(0 < X < 1)$, 1以上2h未満を $X=2(1 \leq X < 2)$, 以後 $X=3, 4, 5, \dots$ のように分割している。各ランクの平均日射量を Y 軸にとり最小二乗法で求めた両地点に対する水平面全天日射量の推定式を Y_1 , 法線面直達日射量の推定式を Y_2 として実線で示す。破線は北見市の値を示し、一点鎖線は札幌市の値を示す。各ランクの発生率 F_d は各ランクの日数を全ランクの日数で割った比で示す。図1より北見市と札幌市を比較して見ると日射量については各ランクともあまり大きな違いは見られないが、各ランクの発生率 F_d は大きく異なっていることがわかる。このことは冬期における北見市と札幌市の天候状態の違い、すなわち季節風による多雪地帯である札幌市とオホーツク海気候の北見市との違いは各ランクの発生率の違いとして現れることがわかる。したがって地域の緯度および大気透過率が大きく異なる限り、日照時間のデータしか入手できない

地域における水平面全天日射量と法線面直達日射量を各日照時間のランクから推定できることを示唆している。ただし $X=9$ における北見市の水平面全天日射量は急に大きくなっているが、これは日射計設置場所が周囲建物と雪面からの反射の影響を強く受けたことによるものと考えられ、このような場合は特別な補正を考えなければならない。晴天日と曇天日は前報⁽⁷⁾の結果をもとに法線面直達日射量が $3\text{MJ}/\text{m}^2\text{d}$ に対応する日照時間のランクを目安に区別したものを示す。また両地点に月平均大気透過率を図1中に示す。

図2 ランク分した日照時間と全天および直達日射量の関係とその発生率(札幌・北見)(4月)

図1 ランク分した日照時間と全天および直達日射量の関係とその発生率(札幌・北見)(1月)

図3 ランク分した日照時間と全天および直達日射量の関係とその発生率(札幌・北見)(7月)

図2は4月の結果を示す。1月と異なり日照時間のランク X は13まであり最大13hの日照時間があることがわかる。そして発生率 F_d は各ランクにほぼ平均に分布し、地域による F_d の違いは見られない。これは両地域が同じような気象状態にあることを示している。 $X > 10$ における晴天日の F_d が多く、この範囲で法線面直達日射量は札幌市の値が大きい。また $5 < X < 10$ の中間ランクにおいては天候の変化がはげしく、 F_d が0.1以下の小さな値では各ランクに対応する全天および直達日射量の値は、変動のはげしい特異日の天候に影響されるものと思われる。晴天日と曇天日を分ける境界日照時間は4月においても4h未満であることがわかる。

図4 ランク分けした日照時間と全天および直達日射量の関係とその発生率(札幌・北見)(10月)

図3は7月の結果を示す。7月は日照時間のランク X が14まであり各ランクの発生率 F_d は0.1以下の小さな値を示す。発生率 F_d から両地点の天候条件を比較すると X が7より大きい晴天日は北見市がほぼ一定の0.07程度の値を示すのに対し、札幌市は多少不安定な形を示す。そして晴天日のランク $X=13$ および14について見ると水平面全日射量はほぼ等しく、法線面直達日射量は北見市の値が札幌市の値よりも12%ほど大きい。これはランク $X=14$ の F_d の値は札幌市が0.10と大きいのに対し北見市は0.02と小さいことから、北見市においては $X=14$ のランクに日数は少ないが直達日射量の大きい好天日が集中したことを意味している。

図4は同じく10月の結果を示す。10月は日射時間が短くなり全体のランク数が11と減少する。ランク X が7から9の範囲で札幌市の法線面直達日射量が小さいほかは全体として両地点の日射量はいずれも大きな差は見られない。発生率 F_d は X が6より大きい晴天日のランクで両地点とも大きくなり10月では全般に好天にめぐまれることを示している。10月は晴天日と曇天日を分ける境界日照時間は3h未満の日が曇天日に区分される。これは10月の天候は全体に薄曇りの日が少なく短時間に強い日射が現れる傾向にあるものと思われる。

図5は1, 4, 7月および10月の道内5地点(稚内、旭川、帯広、苫小牧、函館)の日照時間を整理して求めた日照時間のランク X に対する発生率 F_d を示す。ここに示した発生率 F_d と図1から図4に与えられたランク X に対する日射量推定式により推定した日射量との積をすべてのランク X にわたって加えることに

図5 道内5地点におけるランク分けした日射時間の発生率

図6 道内7地点における曇天日率と晴天日率と連続曇天日の発生率(1月)

よって、これらの地点の月平均日射量を1日単位で求めることができる。図5より各地の日照時間から見た特徴をあげると1月は苫小牧および帯広は日照時間が長い日が多く好天にめぐまれることがわかる。これに対して稚内および旭川は曇天日が多く、特に稚内は日照時間2h未満の日が5割以上もあることがわかる。函館は晴天日と曇天日がほぼ同じ程度で出現する。図5に示す晴天日と曇天日の境界は図1~4に示したものと同一である。4月になると1月に見られるような地域による日照時間の大きな違いは見られない。そして晴天日の発生率 F_d が多くなることがわかる。しかし苫小牧および函館において $X=0$ のランクすなわち不照日の割合が多くなることがわかる。7月は旭川の日照時間が長い日が多く晴天日にめぐまれていることがわかる。これに対し苫小牧、帯広、稚内および函館に不照日が現れる率が非常に多く夏期の日射量が少ないことを示している。10月は各地とも日照時間のランクが大きいところで発生率が多く、秋は日射量が多いことが見られる。

図6は1月の連続曇天日の発生率 F_{dc} を図5に示す地点に札幌、北見を加えて示す。図6中の表は各月に占める曇天日の割合 C_d と晴天日の割合 C_r を示す。図6において苫小牧についてみると曇天日の割合は0.222連続曇天日の日数が1日である発生率 F_{dc} は0.84で1箇月間の曇天日率0.222の84%は1日の曇天日で終わり、2日連続するのは7%と極めて小さくなる。そして稚内、旭川を除く地域では曇天日は1~2日と見積もってその発生率は90%以上となる。しかし稚内、旭川については曇天日が1日で終わる発

図7 道内7地点における曇天日率と晴天日率と連続曇天日の発生率(7月)

生率は稚内で20%、旭川で42%、2日続く発生率は両地点とも約22%ほどあり3日続くことは稚内が22%、旭川では16%ほどあり曇天日が連続する。そして稚内では13日も曇天日が続くことがあることが示される。

図7は夏期の例として7月について示す。夏期は稚内を除いて全体に1箇月の曇天日が冬期より多いことがわかる。そして1日で終わる曇天日は30~50%であり2日または3日連続する曇天日も冬期より多いことがわかる。特に稚内、北見、帯広、苫小牧および函館について7日以上連続する曇天日が生じることが注目される。

3. む す び

昭和53年から昭和60年までの8年間にわたる北見市と札幌市の水平面全天日射量、法線面直達日射量および日照時間の観測データを整理して日照時間と水平面全天日射量および法線面直達日射量の相関関係を求め、日照時間からこれらの日射量を推定する回帰式を求めた。さらに稚内、旭川、帯広、苫小牧および函館の日照時間を整理し、札幌、北見を含む道内7地点について太陽エネルギー利用のための日射特性として以下のことを明らかにした。

(1) 北見市および札幌市における1日の日照時間を各月について1hごとにランク分けし、各ランクごとの水平面全天日射量と法線面直達日射量のそれぞれの平均値を両地点で比較すると、両地点の天候状態が異なるにもかかわらず、日照時間に対してまとまった一定の相関関係を示す。そして両地点の天候状態の違いは各ランク X の発生率 F_d に現れる。

(2) 晴天日と曇天日を分ける境界となる日照時間のランクは10月を除いて X が4と5の間にあり、年間を通してほぼ4h未満の日照時間の日は太陽エネルギー利用の立場からは曇天日とみなし得る。

(3) 晴天日と曇天日の関係を道内7地点について比較すると冬期は地域によって曇天日の割合が大きく異なるのに対し、夏期は地域による大きな違いは見られない。夏期は全般に曇天日の占める割合が増し、1日だけの曇天日の割合は30~50%で、2日または3日間連続した曇天日が起こりやすいことを考慮しておく必要がある。

本報で行なったデータ処理は北海道大学大型計算機M-680 Hを使用した。

文 献

- (1) Liu, B. Y., Jordan, R. C., *Solar Energy*, 4-3 (1960), 1.
- (2) Liu, B. Y., Jordan, R. C. *ASHRAE J.*, 3-10 (1961), 53.
- (3) 吉田・篠木, 太陽エネルギー, 7-2 (昭56) 37.
- (4) 宇田川・木村, 日本建築学会論文報告集, (昭53-5), 83.
- (5) Klein, S. A., Theilacker, J. C., *Trans ASME, J. Solar Energy*, 103 (1981), 29.
- (6) Butera F. ほか2名, *Solar Energy*, 28-6 (1982), 574.
- (7) 馬場・金山, 機論, 51-467, B (昭60), 2191.
- (8) 札幌管区気象台, 北海道農業気象月報, (昭53-1~昭54-6).
- (9) 札幌管区気象台, 北海道気象月報, (昭54-7~昭58-12).
- (10) 日本気象協会北海道本部, 北海道の気象, 28-1 (昭59-1) ~29-12 (昭60-12).