

NEDO 標準気象データベースの解説書

平成 27 年 12 月

NEDO 新エネルギー部 太陽光発電グループ

委託先 一般財団法人日本気象協会

目 次

1	はじめに	1
2	MONSOLA-11とMETPV-11の必要性	1
	(1) MONSOLA-11	1
	(2) METPV-11に収録されている「平均年データ」、「多照年データ」、「寡照年データ」	1
3	データベースの更新概要	3
	(1) データベースの名称	3
	(2) 調査対象期間	3
	(3) 調査対象地点	3
4	表示アプリケーションの更新	4
	(1) WEB版の追加	4
	(2) MONSOLA-11、METPV-11及び日射量マップの一元化	4
	(3) 操作性の向上	5
5	データベースの内容について	8
5-1	METPV-11の作成方法	8
	① 気象官署・アメダスデータの収集	8
	② 気象官署・アメダスデータの整理（気象要素の抽出・整理）	8
	③ 気象データの照査及び欠測の補完	8
	④ 日照時間から日射量への変換	8
	⑤ 代表年の選定（平均年・多照年・寡照年）	9
	⑥ 平均年データの作成	9
	⑦ 直達・散乱日射量の算定	11
	⑧ 水平面データの整備	12
	⑨ 「METPV-11」表示システムの作成	12
	1)直達成分 ($I_{b\beta\gamma}$) の推定に用いる直接法	12
	2)地面反射成分 ($I_{r\beta\gamma}$) の推定に用いる均一反射モデル	13
	3)天空散乱成分 ($I_{s\beta\gamma}$) の推定に用いるPerezのモデル	13
5-2	MONSOLA-11 の作成方法	14
	① 月平均日積算全天日射量の推定	14
	1)日照時間及ぼす地形・地物の影響の補正	14
	2)月平均日積算全天日射量の推定	15
	3)日照率の計算	18
	4)月平均日積算全天日射量平年値の推定	18
	② 月平均日積算斜面日射量の推定	18
	1)月平均日積算水平面天空散乱日射量の推定	19

2) 月平均日積算水平面天空散乱日射量の平年値の推定	20
3) 月平均日積算水平面直達日射量の平年値の推定	20
4) 月平均日積算斜面日射量の平年値の推定	20
4-1) 斜面日射量直達成分 ($\overline{H_{b\beta\gamma}}$) の推定に用いる直接法	21
4-2) 斜面日射量地面反射成分 ($\overline{H_{r\beta\gamma}}$) の推定に用いる均一反射モデル	21
4-3) 斜面日射量天空散乱成分 ($\overline{H_{s\beta\gamma}}$) の推定に用いるHayのモデル	22
4-4) 時間配分の方法	23
5) 月平均日積算斜面日射量の一覧表の作成	25
5-3 日射量マップ	29

NEDO 標準気象データベースの解説書

1 はじめに

日本気象協会はこれまでの NEDO 委託研究の一環として、太陽光発電システムのための各種の気象データベースを整備してきました。その中でも、月平均の日射量データを収録した MONSOLA^{マンソーラ} (MONthly mean SOLAr radiation data throughout Japan)、毎時の気象データを収録した METPV^{メットビーヴィ} (MEteorological Test data for PhotoVoltaic system) については、適宜、更新作業を実施し、関係機関で広くご利用頂いています。これまでは、MONSOLA05、METPV-3 が公開されていましたが、それぞれの統計期間は 1961 年～1990 年、1990 年～2003 年と、やや古くなっていました(付図 1、付図 2 参照)。

近年、問題視されている地球温暖化による地球規模の気候変動や都市化に伴う狭い領域での気候変化を考慮すると、気象データベースは定期的に更新することが望まれます。そこで、今回、これら二つのデータベースの統計期間を最新のものに更新するとともに、より使いやすい表示ソフトの開発を行いました。本冊子は、更新されたデータベースについて概説したものです。

2 MONSOLA-11 と METPV-11 の必要性

(1) MONSOLA-11

太陽光発電システムを計画、設置する場合、当該地点における斜面日射量のデータが不可欠です。しかしながら、昭和60年代初めには、斜面日射量は特別の研究目的で測定されるのみで、全国規模で整備され、公表されている資料は存在しませんでした。そこで、日本気象協会はNEDO委託研究の一環として、昭和62年(1987年)3月に全国255地点における月平均の斜面日射量データ(MONSOLA87)を整備しました。その後のデータの更新状況は付図1に示したとおりです。

MONSOLAシリーズでは当該地点の月平均の斜面日射量が一覧表として整備されているため、住宅用太陽光発電システムからの概略発電量の推定、各自治体が策定した新エネルギービジョンにおける太陽光発電システムの賦存量・利用可能量の算定等に広く利用されています。

しかしながら、2005年に更新したMONSOLA05の統計期間は1961年～1990年と、古くなっていたため、今回、最近のデータで更新を行いました。更新されたMONSOLA-11の統計期間は1981年～2009年の29年間です。

(2) METPV-11 に収録されている「平均年データ」、「多照年データ」、「寡照年データ」

太陽光発電システムの時刻別の運転状況をシミュレーションする場合、最も重要と思われるものが年間を通した平均的な出力予測です。そのための方法としては、例えば数十年間にわたる毎時の気象データから時別の発電量を算出し、最終的にその平均を取る方法も考えられますが、収集するデータや計算量が膨大となります。また、平滑化され過ぎて、時間変化や日々の違いが表現できなくなるという欠点もあります。そこで何らかの方法や基準を用いて、あらかじめ「平均的な」1年分の日射・気象データを作成しておくのが便利です。

METPV-11 で整備した「平均年データ」とは、各地点における長期間の観測資料から月毎に最も平均的な年を抽出し、それらを1年間分つなぎ合わせた人工的なデータです(図 2-1 参照)。

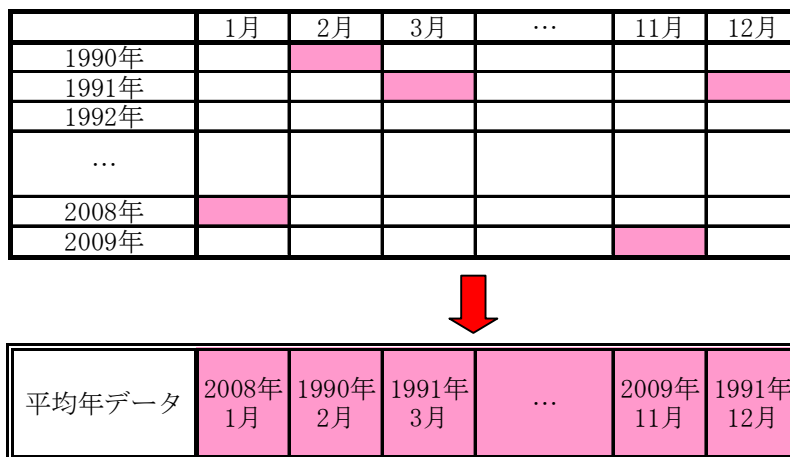


図 2-1 METPV-11 で整備した平均年データの作成方法

「平均年データ」を用いることにより、太陽光発電システムからの年間を通じた平均的な出力を見積もることができます。しかしながら、システムの安全設計のためには、日射量が少ない場合や多い場合についてもシミュレーションしておくことも重要です。

そこでMETPVでは、「平均年データ」に加えて、日射量が多かった「多照年データ」、日射量が少なかった「寡照年データ」といった3種類の代表年データを整備しています。

このうち「多照年データ」、「寡照年データ」については、従来のMETPV-3では夏季(5月～8月)と冬季(11月～2月)についてのみ整備していましたが、METPV-11では、「平均年データ」同様、各月について選定し、年間を通じたデータとして整備しました。表 2-1 に両者の比較を示します。

表 2-1 代表年データの作成方法の比較

データの種類	METPV-3	METPV-11
平均年データ	月別に選定。 月の境目でデータのスムージングを行う。	METPV-3 と同様。
多照年データ	夏季(5月～8月)、冬季(11月～2月)について、連続した4ヶ月のデータから選定。	月別に選定。 月の境目でデータのスムージングは行わない。
寡照年データ	夏季(5月～8月)、冬季(11月～2月)について、連続した4ヶ月のデータから選定。	月別に選定。 月の境目でデータのスムージングは行わない。

表 2-1 に示した月別の代表年の選定には月毎の日積算全天日射量のデータを用いました。宗谷岬における9月の選定結果を図 2-2 に例示します。

図 2-2 の実線は全年(20年間)、△は当該年における日積算全天日射量の累積頻度曲線を示します。当該年の累積頻度曲線が全年に最も近い年を「平均年」、最も少ない方に偏っている年を「寡照年」、最も大きい方に偏っている年を「多照年」としました。

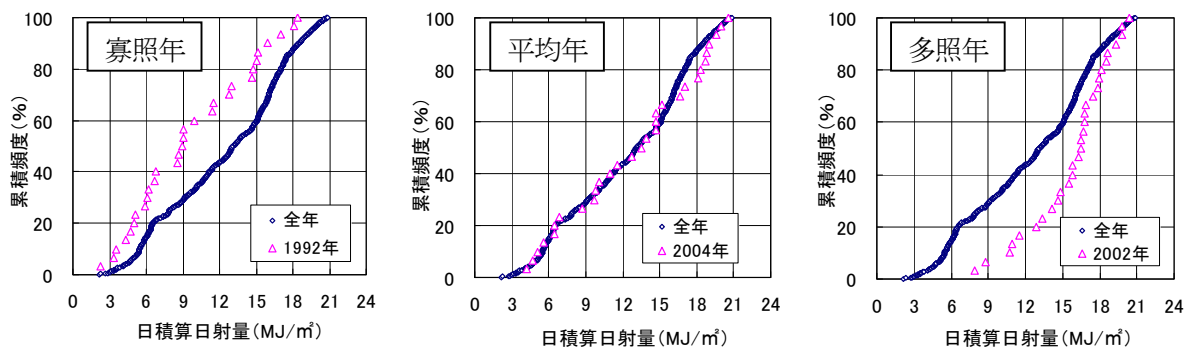


図 2-2 寡照年、平均年、多照年の選択例（宗谷岬 9 月）

3 データベースの更新概要

データベースの更新概要を表 3-1 に示します。

(1) データベースの名称

新たに整備するデータベースの名称は、従来の命名方法に倣うと MONSOLA11、METPV-4 となりますが、今回の更新時に以下の名称に統一しました。末尾の (-11) は更新年（西暦年）の末尾 2 桁を表わします。

表 3-1 更新したデータベースの概要

MONSOLA05		➔	MONSOLA-11	
統計期間	収録地点		統計期間	収録地点
1961 年～1990 年	801 地点		1981 年～2009 年	837 地点
METPV-3		➔	METPV-11	
統計期間	収録地点		統計期間	収録地点
1990 年～2003 年	836 地点		1990 年～2009 年	837 地点

(2) 調査対象期間

MONSOLA-11 は 1981 年～2009 年（29 年間）、METPV-11 は 1990 年～2009 年（20 年間）をデータの統計期間としました。

(3) 調査対象地点

MONSOLA-11、METPV-11 とともに、日本全国の気象官署及びアメダス地点（約 840 地点）を対象としました。ただし、観測地点の移動等で十分な統計期間が得られない地点、日照に及ぼす地形・地物の影響が大きくて観測環境が良好でないと判断した地点はデータの整備地点から除外しました。最終的には表 3-1 に示すように 837 地点のデータを整備しました。

4 表示アプリケーションの更新

今回のデータの更新に当たっては表示アプリケーションについても大幅な改良を加えました。主な改良点は以下のとおりです。

(1) WEB 版の追加

プログラムとデータをダウンロードして利用する「ダウンロード版」に加え、インターネット上での操作が可能である「WEB 版」を追加しました。「ダウンロード版」と「WEB 版」の比較一覧を表 4-1 に示します。

表 4-1 ダウンロード版と WEB 版の比較

「ダウンロード版」		「WEB版」
ユーザーがPCへシステムをインストールする	改善	ユーザーはアクセスしてシステムを利用する
システムはOSに依存するものである (上位バージョンに対応していない)	改善	クロスブラウザ対策をすれば、概ね全てのOSに対応
システムはダウンロード時のバージョンとなる	改善	常に最新版のデータ(又はシステム)を利用できる
システムのダウンロードに時間を要する	改善	必要なデータのみアクセスするので、待ち時間が無い
ユーザーの利用状況の把握ができない	改善	ユーザーのアクセスを把握できるため、利用状況が分かる
PCにインストールしてあれば、どこでもシステムを利用できる	利点	インターネットの環境が必要
ユーザがシステム内のデータを加工して利用することができる	利点	データの加工はできない

(2) MONSOLA-11、METPV-11 及び日射量マップの一元化

従来は、個々に参照していた「MONSOLA」、「METPV」及び「日射量マップ」を一つのアプリケーションで利用できるようにしました（図 4-1 参照）。



図 4-1 表示アプリケーションの先頭画面

(3) 操作性の向上

操作性を向上させ、画面上で各種の条件の変更ができるように改良しました（図 4-2 参照）。

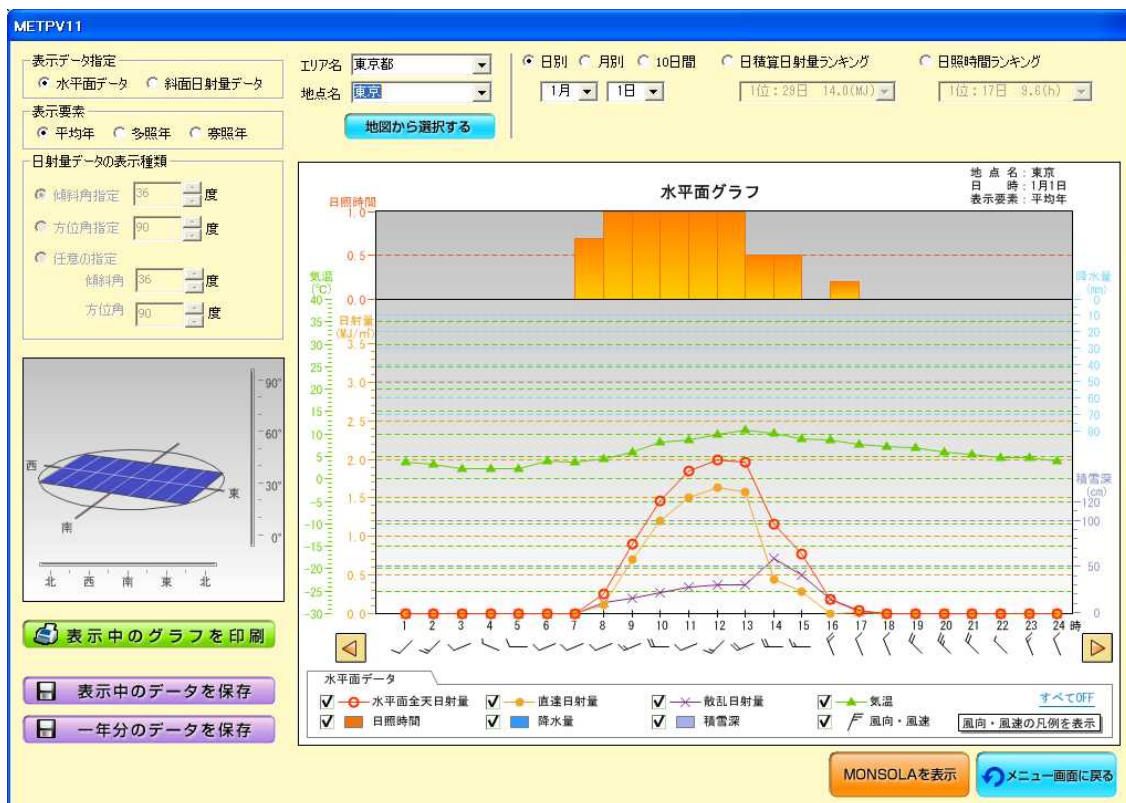
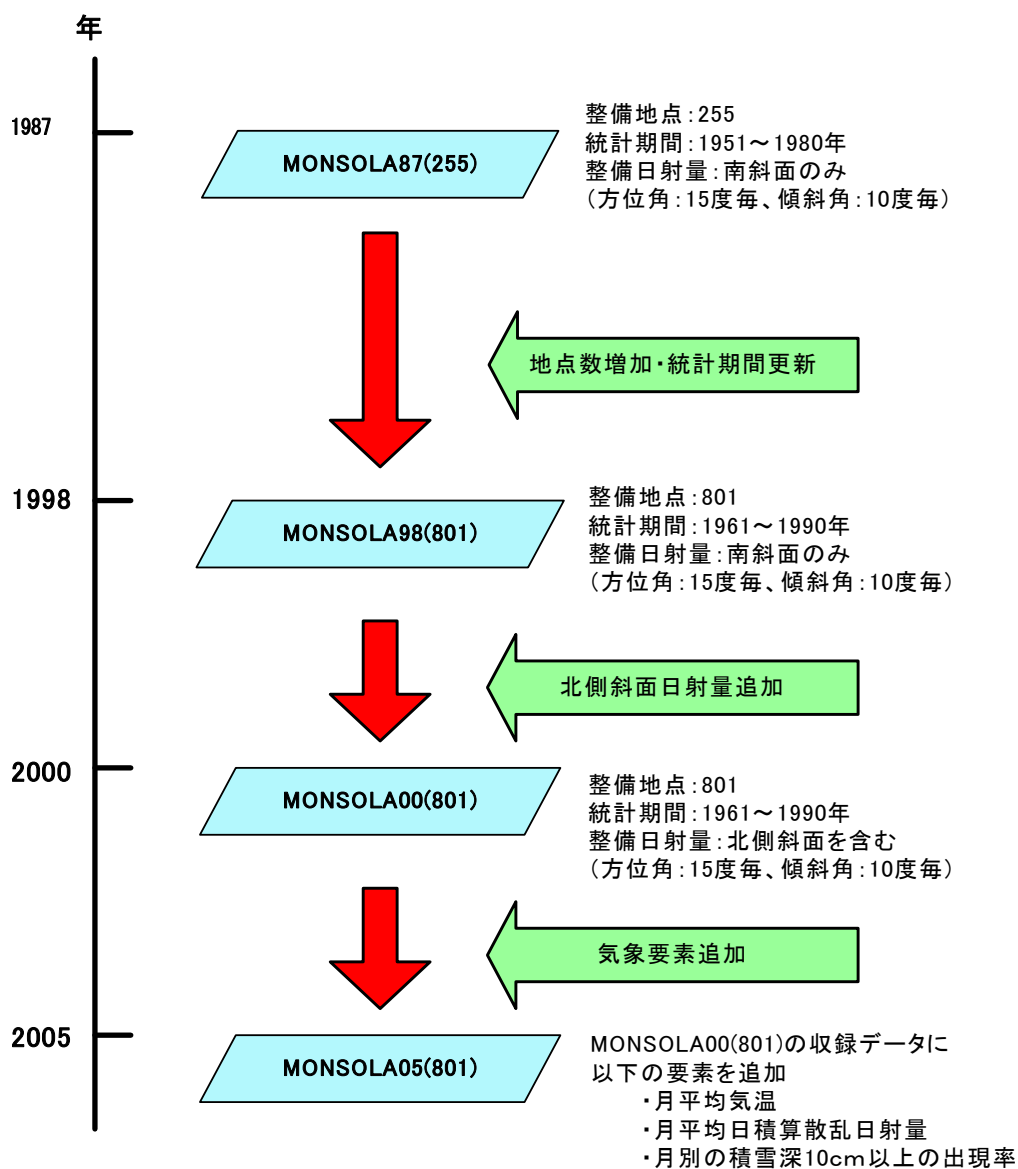
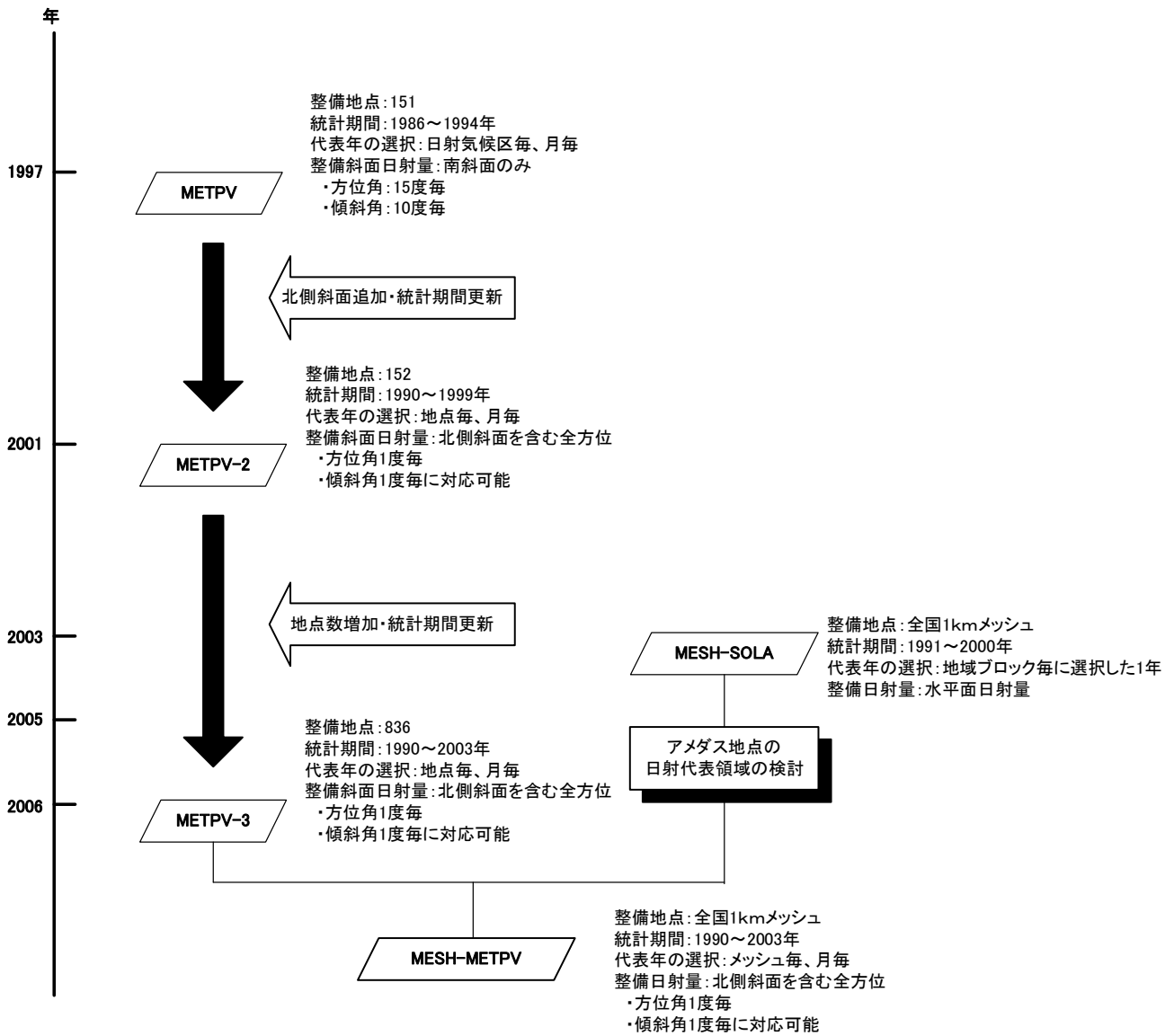


図 4-2 表示アプリケーションの操作画面の一例



付図1 MONSOLA シリーズの更新状況



付図2 METPVシリーズの更新状況

5 データベースの内容について

本システムで閲覧できるデータは表 5-1 に示す 3 種類です。

以下に個々のデータの整備方法等について概説します。

表 5-1 本システムで閲覧できるデータの種類

データ名	概要
METPV-11	全国 837 地点の時別の標準気象・日射量データベースです。水平面における日射量や気温等の毎時データや任意の方位角、傾斜角における斜面日射量を自動的に算出し、表示させることができます。
MONSOLA-11	全国 837 地点の月別の日積算日射量データベースです。方位別（15 度刻み）、傾斜角別（10 度刻み）の斜面日射量を表示させることができます。
日射量マップ	MONSOLA-11 に収録されている日射量データを地図上に描画（マップ化）したものです。月別、年平均の日射量の地理的分布を把握することができます。

5-1 METPV-11 の作成方法

METPV-11 の作成手順は、図 5-1 に示すとおりです。

⑤については、前述したとおりですが、他の項目について、以下に概説します。

① 気象官署・アメダスデータの収集

「METPV-11」では気象官署155地点、アメダス685地点の計840地点の毎時データを対象としました。ただし、観測地点の移動等で十分な統計期間が得られない地点、日照に及ぼす地形・地物の影響が大きくて観測環境が良好でないと判断した地点はデータの整備地点から除外しました。最終的には表3-1に示したように837地点のデータを整備しました。

統計期間は1990年～2009年までの20年間を対象としました。

② 気象官署・アメダスデータの整理（気象要素の抽出・整理）

水平面データに必要な以下の気象要素の毎時値を抽出・整理しました。

日射量、日照時間、風向・風速、気温、降水量、積雪深

③ 気象データの照査及び欠測の補完

抽出・整理したデータの照査を行うとともに、欠測データの補完を行いました。

④ 日照時間から日射量への変換

日射量の観測を行っていない地点について、日本気象協会が平成15年度のNEDO業務で開発した「日照・日射モデル」を用いて水平面の時間積算日射量を算出しました（参考文献1）。また日射量観測を行っている気象官署で欠測があった場合も、当該時刻について「日照・日射モデル」による推定を行い、全地点の毎時の時間積算日射量を整備しました。

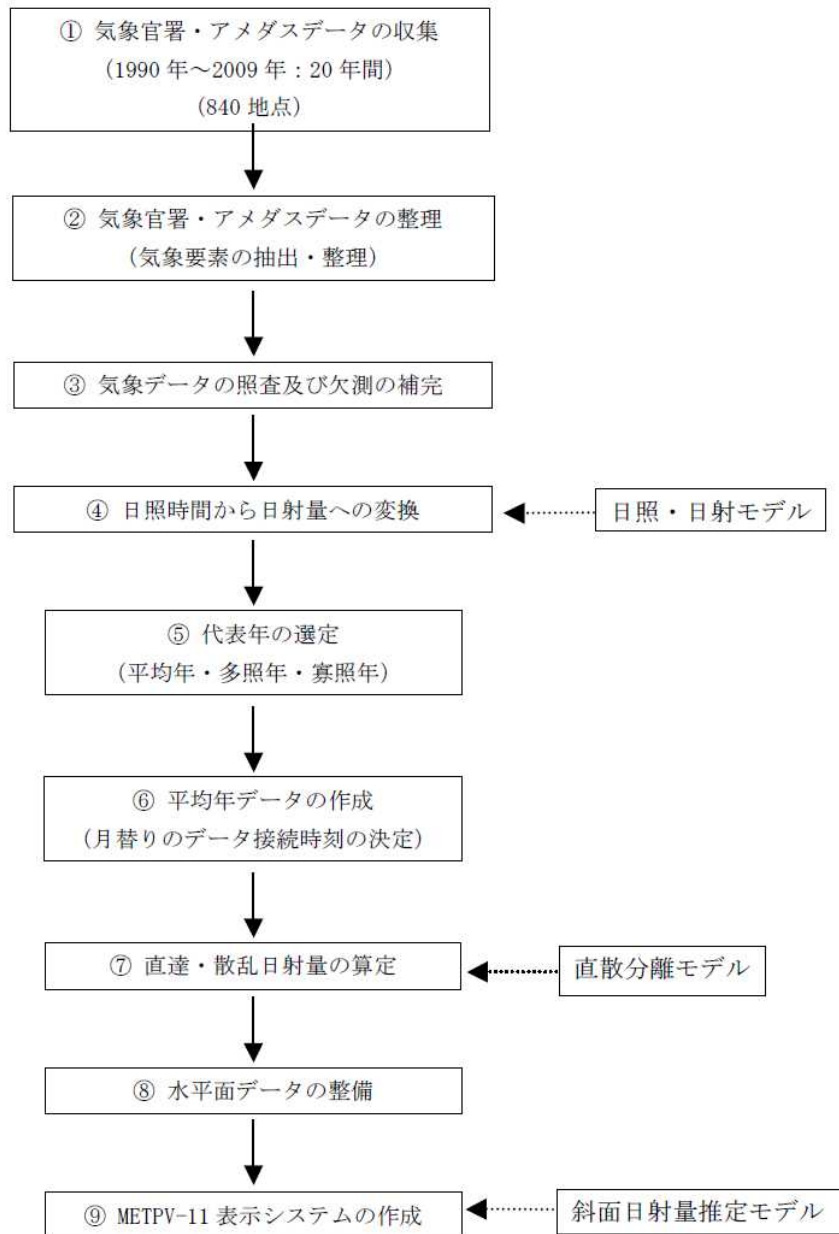


図 5-1 METPV-11 の作成手順

⑤ 代表年の選定 (平均年・多照年・寡照年)

④で整備された時間積算日射量から日積算日射量を算出し、全地点について、月別の平均年、多照年、寡照年を選定しました。選定方法については、表2-1、図2-2を参照して下さい。

⑥ 平均年データの作成

⑤で地点毎に選定した平均年について、月替わりのデータが極端に不連続にならないような接続時刻を決定しました。月別に選ばれたデータを接続時刻でつなぎ合わせ、1年間の連続したデータとしました。

接続時刻の選定は以下の基準で行いました。

1)月の境目の前後2日間の夜間(日照のない時間帯)を接続対象時刻としました。

2)接続条件は以下のとおりで、この3条件を同時に満たした時刻で接続しました。

- a) 気温の差: 5.0°C未満
- b) 風速の差: 7.0m/s 未満
- c) 降水量の差: 10.0mm 未満

なお、条件を満たす時刻が複数あった場合は気温差が最小の時刻を選定しましたが、気温差が同じ場合は遅い時刻の方を採用しました。

3)接続条件に適合した時刻がない場合は、次の方法を用いました。

当月末日22時から翌月1日2時までを対象として、それぞれに表5-2に示す係数を掛けて合計しました。

表5-2 接続条件に適合した時刻がない場合の接続係数

	当月末日			翌月1日	
	22時	23時	24時	1時	2時
当月	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1
翌月	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9

例えば、網走における7月と8月のデータ接続方法は表5-3のようになります。この例では7月の平均年(2005年)と8月の平均年(1993年)との間で気温の差が大きく、1)と2)で設定した条件に適合する接続時刻がありませんでした。そこで、7月31日の22時から8月1日の2時のデータについて、表5-2に示した方法で観測値を補正し、データの不連続を解消しました。

表5-3 接続条件に適合した時刻がない場合の接続例(網走の7月と8月)

<接続前のデータ>

7月の平均年 2005年	7月31日				8月1日		
	21時	22時	23時	24時	1時	2時	3時
気温(°C)	19.6	19.9	20.8	20.1	21.0	21.1	20.8
風速(m/s)	2.3	0.8	0.3	2.7	2.1	1.5	1.2
降水量(mm)	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

8月の平均年 1993年	7月31日				8月1日		
	21時	22時	23時	24時	1時	2時	3時
気温(°C)	12.8	12.6	12.3	12.5	12.4	12.7	12.4
風速(m/s)	2.3	1.2	4.6	1.7	3.3	0.5	1.3
降水量(mm)	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

<接続後のデータ>

平均年データ	7月31日				8月1日		
	21時	22時	23時	24時	1時	2時	3時
気温 (°C)	19.6	19.2	18.3	16.3	15.0	13.5	12.4
風速 (m/s)	2.3	0.8	1.6	2.2	2.9	0.6	1.3
降水量 (mm)	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

22時の気温=19.9×0.9+12.6×0.1=19.2

23時の気温=20.8×0.7+12.3×0.3=18.3

24時の気温=20.1×0.5+12.5×0.5=16.3

(補正した範囲)

これらは日射量、日照時間、風向を除いた各要素を対象としました。日射量、日照時間、風向は当月末日24時と翌月1日1時で接続しました。

⑦ 直達・散乱日射量の算定

太陽光発電システムを初めとする太陽エネルギーを利用する多くのシステムは、なるべく多くの太陽光を利用するために、図5-2に示すように地表面に対して傾斜角を付けて設置します。そのようなシステムの性能評価を行なうためには斜面に入射する日射量、すなわち、斜面日射量のデータが必要になります。

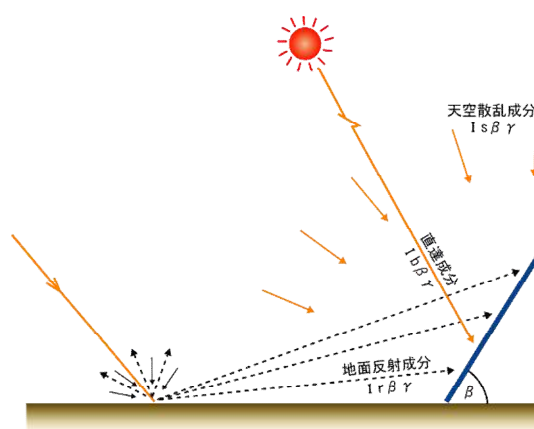


図5-2 斜面日射量の概念図

そこで、斜面日射を算出する場合は、図5-2に示したように、斜面に入射する日射を太陽から直接入射する直達成分、天空からの散乱光による天空散乱成分、地面からの反射成分毎に推定し、それらを合成することで斜面に入射する全体のエネルギー量を求めます。

各成分を求めるためには、水平面における全日射量を直達成分、散乱成分に分離する必要があります。日本気象協会では平成5年度のNEDO業務で水平面における時間積算全日射量から水平面における散乱成分を推定するモデルを開発しました(参考文献2)。METPV-11では、このモデルを用いて水平面における直達成分、散乱成分を算定しました。

⑧ 水平面データの整備

上記までの手法で整備された毎時データを水平面データとして整備しました（表5-4参照）。

表 5-4 水平面データとして整備した気象要素と要素番号

要素番号	気象要素	要素番号	気象要素
1	水平面全日射量	6	風向
2	水平面全日射量の直達成分	7	風速
3	水平面全日射量の天空散乱成分	8	降水量
4	日照時間	9	積雪深
5	気温		

⑨ 「METPV-11」表示システムの作成

⑧で整備した水平面データから任意の方位角・傾斜角における斜面日射量をPC上で簡便に表示するアプリケーションソフトを作成しました。斜面日射量の推定方法としては、METPV-3と同様、以下の手法を用いました。

斜面日射量の算出過程では、(5-1) 式に示すように、斜面へ入射する直達成分、天空散乱成分、地面反射成分を個々に計算し、それらを合成して斜面日射量を求めています。

$$I_{\beta\gamma} = I_{b\beta\gamma} + I_{s\beta\gamma} + I_{r\beta\gamma} \dots (5-1)$$

ここで、

$I_{\beta\gamma}$: 斜面日射量

$I_{b\beta\gamma}$: 斜面日射量の直達成分

$I_{s\beta\gamma}$: 斜面日射量の天空散乱成分

$I_{r\beta\gamma}$: 斜面日射量の地面反射成分

1) 直達成分 ($I_{b\beta\gamma}$) の推定に用いる直接法

太陽光に垂直な法線面日射量を I_n とする時、水平面と斜面の直達成分 I_b 、 $I_{b\beta\gamma}$ は、図 5-3 から以下のように表せます。

$$I_b = I_n \cos \theta_z \dots (5-2)$$

$$I_{b\beta\gamma} = I_n \cos \theta \dots (5-3)$$

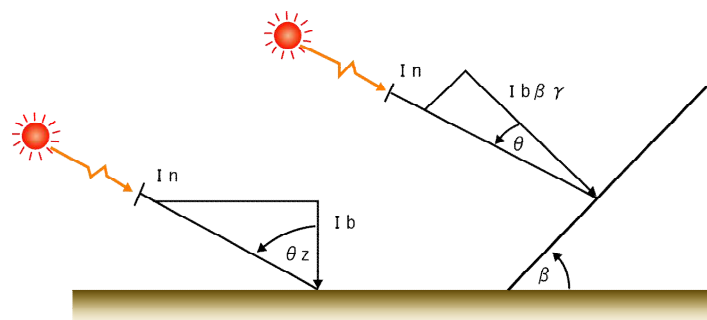


図 5-3 水平面と傾斜面における日射量の比較図

METPV-11 には、毎時の水平面における直達成分（ I_b ）が整備されているので、毎時の天頂距離（ θ_z ）、斜面への太陽光の入射角（ θ ）を用いることにより、時間積算斜面日射量の直達成分（ $I_{b\beta\gamma}$ ）は(5-4) 式から求まります。

$$I_{b\beta\gamma} = (I_b) \cos \theta / \cos \theta_z \quad \dots (5-4)$$

また、 $\cos \theta$ 、 $\cos \theta_z$ は、以下の式より求まります。

$$\begin{aligned} \cos \theta = & (\sin \phi \cos \beta - \cos \phi \sin \beta \cos \gamma) \sin \delta \\ & + (\cos \phi \cos \beta + \sin \phi \sin \beta \cos \gamma) \cos \delta \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \quad \dots (5-5) \end{aligned}$$

$$\cos \theta_z = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega \quad \dots (5-6)$$

なお、(5-5)式、(5-6)式に含まれる δ （太陽赤緯）、 ω （太陽の時角）は天文学的に求めることができます。

2) 地面反射成分（ $I_{r\beta\gamma}$ ）の推定に用いる均一反射モデル

このモデルでは、地表に達した日射量が地表において、全ての方向に同じ強さで反射されるとしています。この場合、斜面に入射する反射成分（ $I_{r\beta\gamma}$ ）は（5-7）式で表されます。

$$I_{r\beta\gamma} = I_{\rho} (1 - \cos \beta) / 2 \quad \dots (5-7)$$

ここで、

I : 水平面全天日射量

ρ : アルベド

METPV-11 には、既に毎時の水平面全天日射量（ I ）が整備されているので、アルベド（ ρ ）を設定することにより、地面反射成分（ $I_{r\beta\gamma}$ ）を求めることができます。METPV-11 では、アルベド（ ρ ）の値として、積雪のある場合には0.7、積雪が無い場合には0.2を用いています。

3) 天空散乱成分（ $I_{s\beta\gamma}$ ）の推定に用いるPerezのモデル

このモデルでは、天空散乱日射量を次の3成分で表現しています(図5-4 参照)。

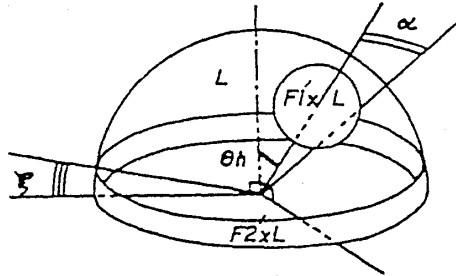
(1) 全天空一様な強さの散乱光、 L 。

(2) 太陽周辺光(circumsolar brightening)、 $F'_1 \times L$ 。

太陽周辺光の視半径（ α ）として、いろいろの取り方がありますが、本モデルでは、これまでの最良の結果を示した 25° (=0.436 ラジアン)を用いています。

(3) 地平線光(horizon brightening)、 $F'_{2} \times L$ 。

これは雲がない場合に、レイリー (Rayleigh) 散乱及び後方散乱によって、地平線の明るさが増す現象です。



(2)の F'_{1} (circumsolar brightness coefficient, 太陽周辺光係数) 及び、(3)の F'_{2} (horizon brightness coefficient, 地平線光係数)は、空の状態によって変わるとし、空の状態を直散分離によって得られる水平面全天日射量の天空散乱成分等で表すように工夫されています。詳細は参考文献3を参照して下さい。

5-2 MONSOLA-11 の作成方法

MONSOLA-11 の作成手順には、大きく分けて、以下の2段階があります。

- ① 月平均日積算全天日射量の推定
- ② 月平均日積算斜面日射量の推定

それぞれについて、以下に概説します。

① 月平均日積算全天日射量の推定

月平均日積算全天日射量の推定手順は図5-5に示すとおりです。

気象庁による全天日射量の観測は、2010年1月1日現在、日本全国で52地点でしか行われていません。このため、それ以外の地点の全天日射量に関してはMONSOLA05同様、日照時間から計算した日照率等から全天日射量を推定するモデルを用いて推定しました。

以下に主な項目について概説します。

1) 日照时间及ぼす地形・地物の影響の補正

日照時間から日射量を推定する前に、日照時間の観測データについて地形・地物の影響を調査しました。すなわち、気象官署については観測環境に相当な配慮がなされており、極端に地形・地物の影響を受ける地点は少ないと考えられますが、アメダス観測所については、必ずしも地形条件が良いところばかりではなく、地形・地物により太陽が遮られ、日照時間の観測値の減少につながると考えられます。

そこで、地形・地物の影響を除去するために、各地点の5年毎の補正係数 c' を月別に計算し、月合計日照時間の観測値 n に c' を掛け合わせるにより、地形・地物の影響を除去した補正值 n' を算出しました($n' = n \times c'$)。補正係数 c' の具体的な算出方法については、参考文献4を参照して下さい。

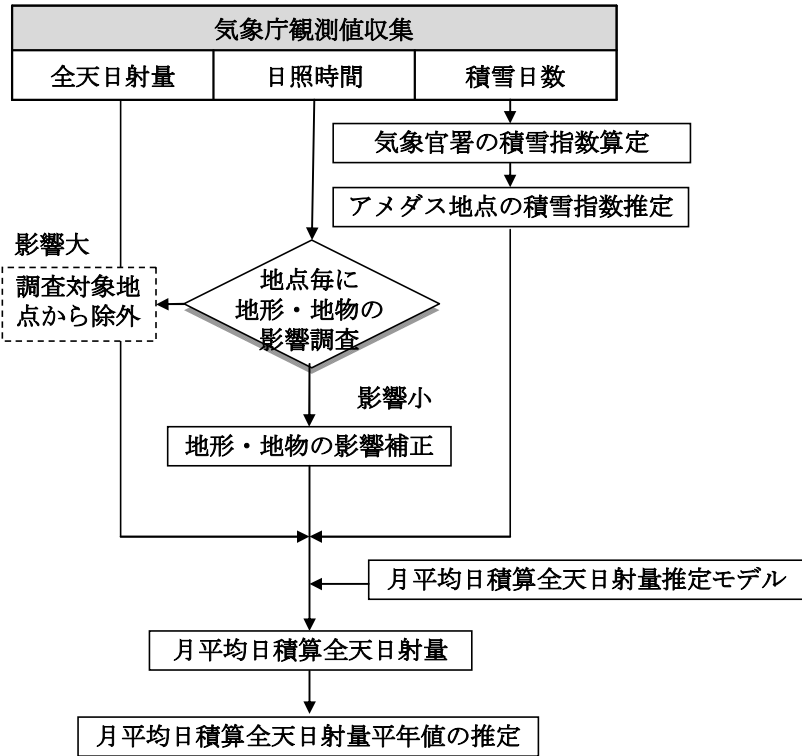


図 5-5 月平均日積算全天日射量の推定手順

なお、日照時間の月別補正係数 c' の最大値が 2.0 以上の地点に関しては、図 5-6 に示すような太陽位置図を作成し、日の出・日の入り時刻付近の年間の最大太陽高度角 mh に注目し、 mh が 30 度以上の地点に関してはデータ整備の対象から除外しました。図 5-6(a) は地形の影響が少ない地点、図 5-6(b) は地形の影響が大きい地点の太陽位置図の例です。

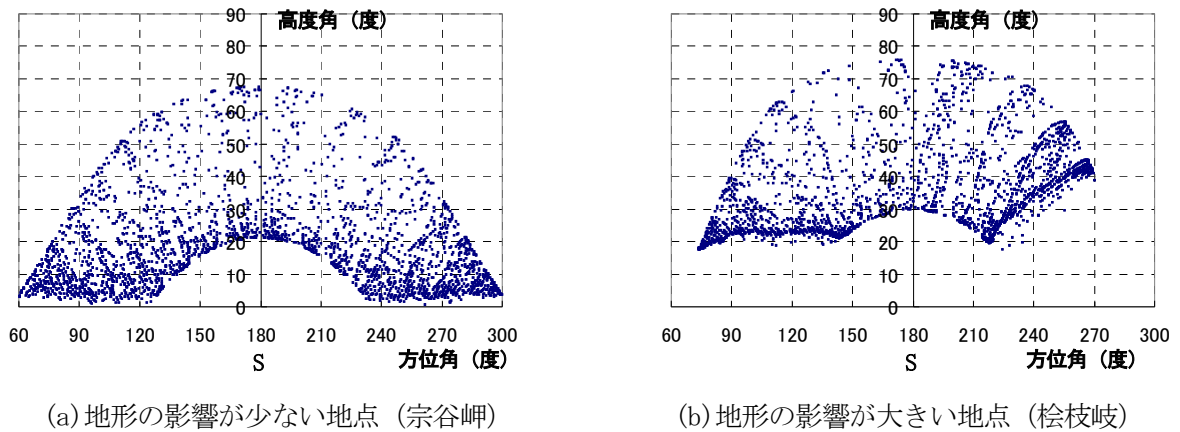


図 5-6 太陽位置図の例

2) 月平均日積算全天日射量の推定

月平均日積算全天日射量の推定には、MONSOLA05 作成時に作成した日射気候区別、月別の推計モデルを使用しました。ここで、日射気候区とは、昭和 60 年度 NODO 委託研究調査 (参考文献 5) に

において、わが国を日射量の特徴から区分したものです。図 5-7 に示すように 5 つの大気候区とそれらを分割した小気候区を設定しました（参考文献 6）。

表 5-5 に気候区 I における月平均日積算全天日射量推計モデルを例示します。同様な推定モデルを II～V の日射気候区毎に作成して、全地点における月平均日積算全天日射量を算出しました。

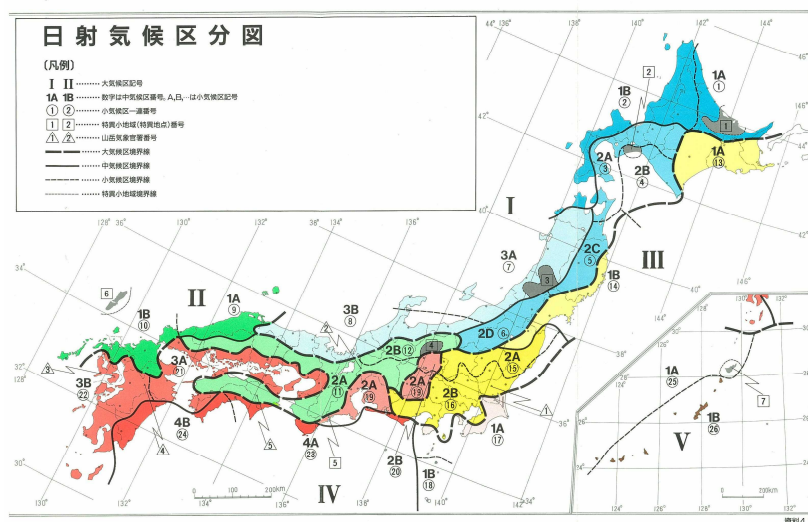


図 5-7 日射気候区分図（参考文献 5）

表 5-5 月平均日積算全天日射量推定式
日射気候区 I 地域(北海道(道東を除く)から山陰東部までの、ほぼ日本海側の地域)

月	推定式
1	$H / H_o = 0.2792 + 0.5777 Sk - 0.1655 \sin H_{mean} + 0.0224 G_{10}$
2	$H / H_o = 0.3240 + 0.5534 Sk - 0.1954 \sin H_{mean} + 0.0358 G_{10}$
3	$H / H_o = 0.5635 + 0.5184 Sk - 0.4555 \sin H_{mean} + 0.0151 G_{10}$
4	$H / H_o = 0.4826 + 0.4810 Sk - 0.2940 \sin H_{mean} + 0.0273 G_{10}$
5	$H / H_o = 0.6776 + 0.5160 Sk - 0.4975 \sin H_{mean}$
6	$H / H_o = 1.0131 + 0.4690 Sk - 0.8093 \sin H_{mean}$
7	$H / H_o = 0.8004 + 0.5291 Sk - 0.6175 \sin H_{mean}$
8	$H / H_o = 0.4386 + 0.4920 Sk - 0.2404 \sin H_{mean}$
9	$H / H_o = 0.2417 + 0.5786 Sk - 0.0744 \sin H_{mean}$
10	$H / H_o = 0.2773 + 0.5096 Sk - 0.1097 \sin H_{mean}$
11	$H / H_o = 0.2518 + 0.5431 Sk - 0.1295 \sin H_{mean}$
12	$H / H_o = 0.2843 + 0.5726 Sk - 0.2248 \sin H_{mean} + 0.0109 G_{10}$

表 5-5 の推定式で用いる各変数の意味は以下のとおりです。

H：月平均日積算全天日射量

H_o：各月平均日の日積算大気外水平面日射量

Sk：回転式日照計による月平均日照率(日照時間/可照時間)

sinH_{mean}：各月平均日の南中時太陽高度の sin 値

G₁₀：積雪指数(積雪 10 cm 以上の月間日数/月日数)

表 5-5 で Sk を算出するために必要な日照時間を観測する日照計は統計期間中に機種変更がなされており、これに伴って日照時間の観測値に器差が生じます。そこで、気象庁が公開している「気象観測統計指針」に従い、日照計の機種変更に伴う観測値を現行の回転式日照計の観測値に換算した値で日照率を計算し、推定モデルに使用しました。

また、日積算大気外水平面日射量、可照時間、南中時太陽高度は、同じ月であっても日によって値が異なることから、大気外日積算日射量が月平均値に最も近い日を各月の平均日として算出しました。表 5-6 に各月の平均日及び 1 月 1 日を 1 としたときの日付通し番号を示します。

表 5-6 各月の平均日

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
平均日	17	16	16	15	15	11	17	16	15	15	14	10
日付通し 番号	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344

各月平均日の日積算大気外水平面日射量 H_o 、太陽高度の \sin 値 $\sin H$ は、以下により算定しました。

$$H_o = (24/\pi) I_{sc} [1 + 0.033 \cdot \cos \{2\pi (n-2)/365\}] (\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \omega_s \sin \phi \sin \delta) \quad \dots (5-8)$$

$$\sin H = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \quad \dots (5-9)$$

ここで、

I_{sc} : 太陽定数=1.382kw/m²=4.97MJ/m²・hr、

n : 1 月 1 日を 1 とした日付通し番号

ϕ : 緯度、

δ : 太陽赤緯

$$\delta \text{ (deg)} = (180/\pi) (0.006918 - 0.399912 \cos \chi + 0.070257 \sin \chi - 0.006758 \cos 2\chi + 0.000907 \sin 2\chi) \quad \dots (5-10)$$

$$\chi \text{ (deg)} = (n-1) \times (360/365) \quad \dots (5-11)$$

ω_s : 日没時の太陽時角 (rad)

$$\omega_s = \cos^{-1} (-\tan \phi \tan \delta)$$

積雪指数 G_{10} は、積雪 10 cm 以上の月間日数をその月の日数で割ることにより計算しました。なお、積雪深を観測してない地点に関しては、周辺の観測値及び気象庁のメッシュ気候値(2000)の最深積雪の月最大値のデータから推定しました。

3) 日照率の計算

表 5-5 の推定式に現れる月平均日照率は、日照時間を可照時間で除した値です。可照時間を求める式としては、気象庁で用いられている以下の式を使用しました。

$$\text{可照時間} = 2\omega_s / 15 \quad \dots (5-12)$$

$$\sin(\omega_s / 2) = \sqrt{\frac{\sin(45^\circ + (\phi - \delta + r) / 2) \cdot \sin(45^\circ - (\phi - \delta - r) / 2)}{\cos \phi \cos \delta}} \quad \dots (5-13)$$

ここで、

ω_s : 日没時の太陽時角 (deg)

ϕ : 緯度 (deg)

δ : 太陽赤緯 (deg)

r : 大気差 (=34')

大気は下層ほど密度が大きいので、その中を進む太陽光は屈折します。そのため、太陽の真の高度角と見かけの高度角は異なります。その差を大気差といい、可照時間の算出にはこれを考慮しています。

4) 月平均日積算全天日射量平年値の推定

以上より求めた各年における月平均日積算全天日射量を、対象統計期間内で算術平均することにより、月平均日積算全天日射量の平年値を推定しました。

② 月平均日積算斜面日射量の推定

月平均日積算斜面日射量の推計には、MONSOLA05 の作成時に使用したモデルを使用しました。基本的な考え方は以下のとおりです。

斜面日射量を求めるには、図 5-2 で示したように、斜面に入射する日射量を太陽から直接入射する直達成分、天空からの散乱光による天空散乱成分、地面からの反射成分についてそれぞれ求め、それらを合成することで斜面に入射する全体のエネルギー量を求めます。

$$\begin{aligned} & H_{\beta\gamma} \text{ (斜面日射量)} \\ & = H_{b\beta\gamma} \text{ (斜面日射量直達成分)} + H_{s\beta\gamma} \text{ (同天空散乱成分)} + H_{r\beta\gamma} \text{ (同地面反射成分)} \quad \dots (5-14) \end{aligned}$$

ここで注意しなければならないのは、各成分を求める推定モデルが METPV-11 では時間積算日射量を対象としているのに対し、MONSOLA-11 では月平均日積算日射量を対象にしていることです。

月平均日積算斜面日射量の推定手順は図 5-8 に示すとおりです。

以下に主な項目について概説します。

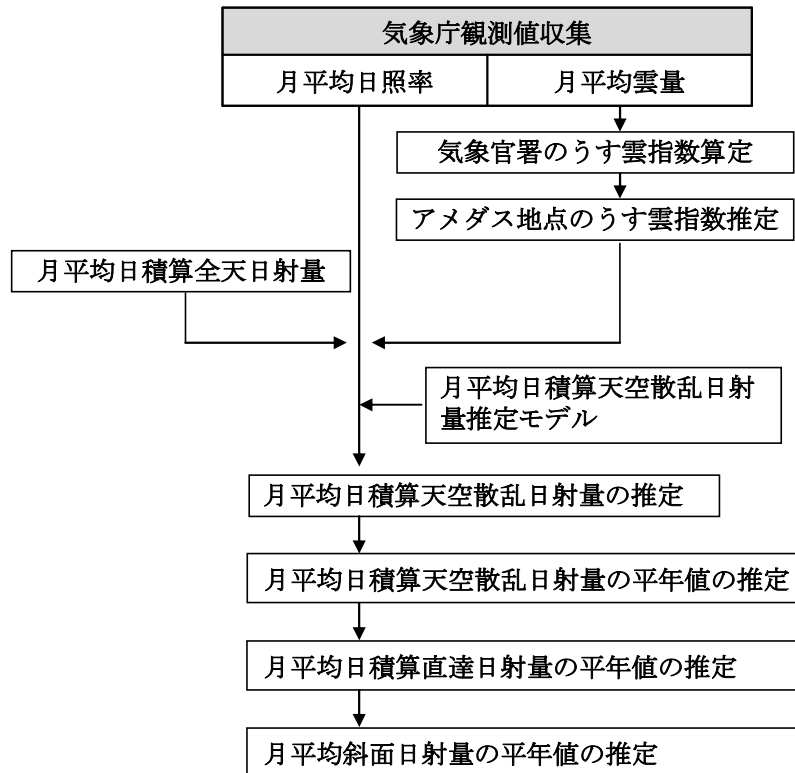


図 5-8 月平均日積算斜面日射量の推定手順

1) 月平均日積算水平面天空散乱日射量の推定

月平均日積算水平面天空散乱日射量の推定には、MONSOLA05 作成時に用いた表 5-7 に示す日射気候区別の推計式(推計モデル)を使用しました。

表 5-7 日射気候区別の月平均日積算水平面天空散乱日射量の推定式

気候区	推定式
I	$H_d = (H - 0.0533 G_{10} H_0) (0.9194 - 1.2697 Sk + 0.6689 Sk^2 + 0.1076 Ci) + 0.0533 G_{10} H_0$
II	$H_d = (H - 0.1143 G_{10} H_0) (0.9382 - 1.2216 Sk + 0.6523 Sk^2) + 0.1143 G_{10} H_0$
III	$H_d = (H - 0.0587 G_{10} H_0) (0.8991 - 1.0895 Sk + 0.4668 Sk^2) + 0.0587 G_{10} H_0$
IV	$H_d = (H - 0.2854 G_{10} H_0) (0.8633 - 1.0038 Sk + 0.3788 Sk^2 + 0.0762 Ci) + 0.2854 G_{10} H_0$
V	$H_d = H (0.8602 - 0.7774 Sk)$

表 5-7 の推定式で用いる各変数の意味は以下のとおりです。

H_d : 月平均日積算水平面天空散乱日射量

H : 月平均日積算全天日射量

G_{10} : 積雪指数(積雪 10cm 以上の月間日数/月日数)

Sk : 回転式日照計による月平均日照率

Ci : 月平均うす雲指数

H_0 : 各月平均日の日積算大気外水平面日射量

月平均日積算全天日射量 H 、積雪指数(積雪 10cm 以上の月間日数/月日数) G_{10} 、回転式日照計による月平均日照率 Sk 、各月平均日の日積算大気外水平面日射量 H_0 に関しては、月平均日積算全天日射量の推計に用いたものと同様です。

「月平均うす雲指数」 C_i とは、日射を遮ることの無い薄い雲の量を見積る指数であり、以下の式で表わされます(参考文献7、参考文献8)。

$$C_i = n/N + C_d - 1 \quad (0 \sim 1) \quad \dots (5-15)$$

ここで、

n : 月平均日照時間

N : 月平均可照時間

C_d : 月平均雲量

しかしながら、雲量については一部の気象官署では観測されているものの、アメダス観測所等では観測されていません。したがって、そのような地点については、当該地点における「うす雲指数」を何らかの方法で推定する必要があります。そこで、MONSOLA05 の作成時と同様、雲量を観測している気象官署の値から内挿して推定しました。内挿の手法としては距離重み法を用いました。距離重み法により、対象地点近傍の3地点の値から、以下の式のように対象地点のうす雲指数を推定しました。

$$C_i = \frac{\sum_{j=1}^3 \left(\frac{C_j}{r_j} \right)}{\sum_{j=1}^3 \left(\frac{1}{r_j} \right)} \quad \dots (5-16)$$

ここで、

C_i : 対象地点のうす雲指数

C_j : 近傍の観測地点(気象官署)のうす雲指数

r_j : 対象地点から近傍の観測地点(気象官署)までの距離

2) 月平均日積算水平面天空散乱日射量の平年値の推定

以上より求めた各年における月別の日積算水平面天空散乱日射量を、対象統計期間内で算術平均することにより、月平均日積算水平面天空散乱日射量の平年値を推定しました。

3) 月平均日積算水平面直達日射量の平年値の推定

水平面直達日射量の平年値は、全天日射量の平年値と天空散乱日射量の平年値の差を計算して求めました。

4) 月平均日積算斜面日射量の平年値の推定

(5-14)式で示したように、月平均日積算斜面日射量を求めるためには、斜面に入射する直達成分、

天空散乱成分、地面反射成分をそれぞれ算出し、それらを合成することで斜面に入射する全体のエネルギー量を求めます。

4-1) 斜面日射量直達成分 ($\overline{H_{b\beta\gamma}}$) の推定に用いる直接法

基本的には、METPV-11 で毎時の直達成分を求めた手法と同じ直接法を用いました。すなわち、太陽光に垂直な法線面日射量を I_n とする時、水平面と斜面の直達成分 I_b 、 $I_{b\beta\gamma}$ は、図 5-9 から以下のように表せます。

$$I_b = I_n \cos \theta_z \quad \dots (5-17)$$

$$I_{b\beta\gamma} = I_n \cos \theta \quad \dots (5-18)$$

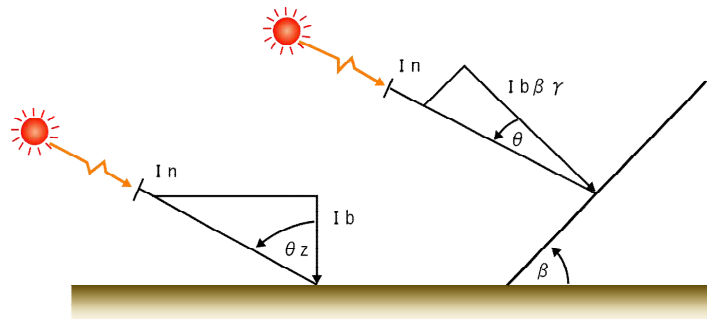


図 5-9 水平面と傾斜面における日射量の比較図

上式から、斜面日射量直達成分の時間積算値 $I_{b\beta\gamma}$ 及び、月平均の日積算斜面日射量直達成分 $\overline{H_{b\beta\gamma}}$ は、以下のように表すことができます。

$$I_{b\beta\gamma} = I_b (\cos \theta / \cos \theta_z) \quad \dots (5-19)$$

$$\overline{H_{b\beta\gamma}} = \sum_{\text{day}} \overline{I_{b\beta\gamma}} \quad \dots (5-20)$$

(5-20)式で、記号の上部に付けたバー (—) は月平均値を表わします。すなわち、3) で求めた月平均日積算水平面直達日射量の平年値を時間配分することにより、任意の方位角、傾斜角における斜面日射量の月平均日積算直達成分を推定することができます。

時間配分の方法については、4-4) で述べます。

4-2) 斜面日射量地面反射成分 ($\overline{H_{r\beta\gamma}}$) の推定に用いる均一反射モデル

基本的には、METPV-11 で毎時の地面反射成分を求めた手法と同じ均一反射モデルを用いました。このモデルでは、地表に達した日射量が、地表において全ての方向に同じ強さで反射されるとしており、この場合、斜面に入射する反射成分は次式で表されます。

$$\overline{Hr}_{\beta\gamma} = \overline{H} \cdot \rho(1 - \cos \beta) / 2 \quad \dots (5-21)$$

ここで、

$\overline{Hr}_{\beta\gamma}$: 地面反射成分

\overline{H} : 月平均日積算水平面全天日射量

ρ : 地面反射率(アルベド)

β : 斜面の傾斜角

地面反射率 ρ としては、地面に積雪がない場合に 0.2、積雪がある場合を 0.7 とし、月平均の ρ として次式を用いました。

$$\rho = 0.2 (1 - G_{10}) + 0.7 G_{10} \quad \dots (5-22)$$

ここで、

G_{10} : 積雪指数(積雪 10 cm 以上の月間日数/月日数)

(5-21)式で、記号の上部に付けたバー (—) は月平均値を表わします。

4-3) 斜面日射量天空散乱成分 ($\overline{H}_{s\beta\gamma}$) の推定に用いる Hay のモデル

ここで用いるモデルは、「Hay のモデル」と呼ばれるものです。このモデルでは、散乱日射の天空分布の不均一性を考慮する方法として、図 5-10 に示すように、天空散乱日射量のうち、 $(\overline{I} - \overline{Id}) / \overline{Io}$ の割合は太陽周辺光で、残りが天空に均一に分布すると仮定し、以下のように求めます(参考文献9)。

$$\overline{Is}_{\beta\gamma} = \overline{Id} \left[\left\{ \frac{(\overline{I} - \overline{Id})}{\overline{Io}} \right\} \cos \theta / \cos \theta_z + \left\{ 1 - \frac{(\overline{I} - \overline{Id})}{\overline{Io}} \right\} \cdot (1 + \cos \beta) / 2 \right] \quad \dots (5-23)$$

ここで、

$\overline{Is}_{\beta\gamma}$: 斜面日射量天空散乱成分の月平均時間積算値

\overline{Id} : 水平面天空散乱日射量の月平均時間積算値

\overline{I} : 全天日射量の月平均時間積算値

\overline{Io} : 大気外全天日射量の月平均時間積算値

θ : 斜面への太陽光入射角

θ_z : 太陽の天頂距離

β : 斜面の傾斜角

(5-23)式で求めた斜面日射量天空散乱成分の月平均時間積算値 $\bar{I}s_{\beta\gamma}$ を積算することにより、

$\bar{H}s_{\beta\gamma}$ を求めることができます。

$$\bar{H}s_{\beta\gamma} = \sum^{day} \bar{I}s_{\beta\gamma} \quad \dots (5-24)$$

(5-23)式と (5-24)式で、記号の上部に付けたバー (—) は月平均値を表わします。すなわち、2)で求めた 月平均日積算水平面天空散乱日射量の平年値及び月平均日積算全天日射量を時間配分することにより、任意の方位角、傾斜角における斜面日射量の月平均日積算天空散乱成分を推定することができます。

時間配分の方法については、4-4)で述べます。

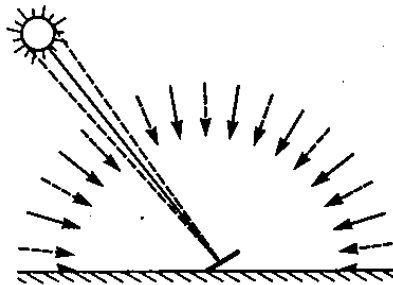


図 5-10 Hay のモデルの概念図

4-4)時間配分の方法

4-1) ~ 4-3)で述べたように、月平均日積算斜面日射量を算定するためには、月平均日積算水平面直達日射量、月平均日積算全天日射量、月平均日積算水平面天空散乱日射量のそれぞれを時間配分する必要があります。MONSOLA-11 では、MONSOLA05 と同様、以下の方法で時間配分を行いました。

全天日射量の時間積算値 \bar{I} と水平面天空散乱の時間積算値 \bar{I}_d について、日積算値に対する各時間帯の日射量の比率、すなわち時間配分率をそれぞれ \bar{rt} 及び \bar{rd} とすれば、以下の式で表わされます。

$$\bar{I} = \bar{H} \cdot \bar{rt} \quad \dots (5-25)$$

$$\bar{I}_d = \bar{H}_d \cdot \bar{rd} \quad \dots (5-26)$$

\bar{rt} 、 \bar{rd} の推定には次の式を用いました (参考文献 10、11)。

$$\bar{rd} = (\pi/24) \left(\frac{24}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{24} \cdot \cos \omega - \cos \omega s \right) / \left(\sin \omega s - \frac{\pi}{180} \cdot \omega s \cdot \cos \omega s \right) \quad \dots (5-27)$$

$$\bar{rt} = \bar{rd}(a + b \cos \omega) \quad \dots (5-28)$$

$$a=0.4090+0.5016\sin(\omega s -60)$$

$$b=0.6609-0.4767\sin(\omega s -60)$$

ここで、

ω : 時角

ωs (deg) : 日没時の時角

$$\omega s = \cos^{-1}(-\tan \delta \tan \phi)$$

この時間配分モデルは、日積算日射量を南中時を中心に午前と午後で対称になるように配分するものです。東京の1月と7月の時間配分率を図5-11に例示します。

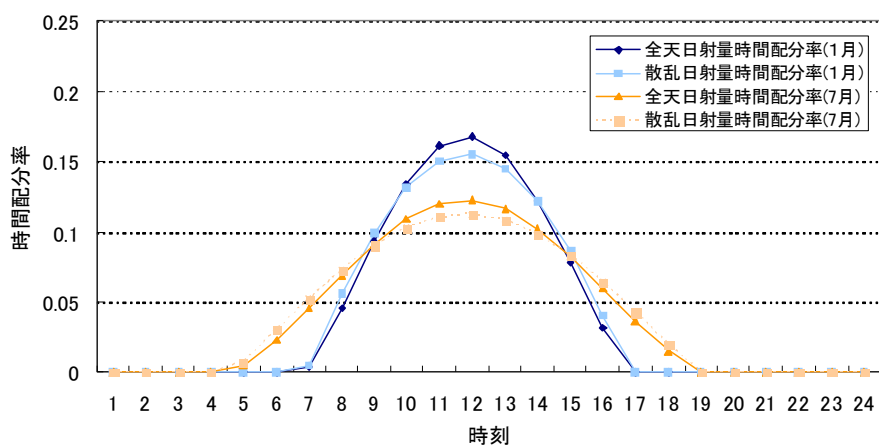


図5-11 東京における1月と7月の全天日射量と散乱日射量の時間配分率

5)月平均日積算斜面日射量の一覧表の作成

上記した手法で算出した月平均日積算斜面日射量を地点毎に表形式で閲覧できるようにしました。東京の例を次頁に示します。

表に掲載された内容は以下のとおりです。

- ・最上段にある平均値(C)とは、①で整備した水平面における月平均日積算全天日射量です。
- ・水平面の欄にある月別の「最大値」、「最小値」とは、各月において 29 年間で最大及び最小になった年の日射量を意味します。また、年及び季節（冬、春、夏、秋）の「最大値」、「最小値」とは、年平均及び季節平均の日射量に関して、29 年間で最大及び最小となった年の日射量を意味します。
- ・方位角は真南を 0 度として、15 度刻みで示します。180 度は真北を表します。時間配分の方法で述べたとおり、MONSOLA-11 では日射量を南中時刻を中心に午前と午後で対称になるように配分しているため、真南を中心に、東向きと西向きでは同じ日積算斜面日射量（以下、斜面日射量）となります。
- ・傾斜角は 10 度刻みで示します。
- ・方位角・傾斜角別の月別、年平均、季節平均の斜面日射量が掲載されています。年平均は月別値の算術平均値、季節平均は冬は 12 月～2 月、春は 3 月～5 月、夏は 6 月～8 月、秋は 9 月～11 月の算術平均値です。
- ・下段にある最適傾斜角とは、斜面を真南に向けた場合に最も多くの日射量が得られる角度を表します。月、季節、年間について、それぞれ方位角=0°(南向き)の場合の 0.1 度毎の斜面日射量の値を計算し、斜面日射量が最大となる角度を最適傾斜角として整備しました。
- ・最適傾斜角における日射量(A)とは、月、季節、年間のそれぞれの最適傾斜角に対して、その最適傾斜角における斜面日射量です。
- ・年間最適傾斜角における日射量(B)とは、傾斜角を年間最適傾斜角に固定した場合の月別の斜面日射量及びそれらの算術平均値である年平均値、季節毎の平均値です。
- ・比率(A/B)とは、上記で説明した月別及び季節別の最適傾斜角における日射量(A)と年間最適傾斜角における月別及び季節別の日射量(B)により、A と B の比率(A/B)を計算したものです。この値は、傾斜角を年間通して固定した場合と、月毎または季節毎に傾斜角を変化させた場合の比率を表わしています。
- ・比率(B/C)とは、上記で説明した年間最適傾斜角における月別及び季節別の日射量(B)と水平面

全天日射量(C)により、B と C の比率(B/C)を計算したものです。この値は、太陽電池アレイを傾けることにより、水平面と比較してどの程度多くの日射量が得られるかを表しています。

- 月平均気温は、各地点における気温観測値を、統計期間で月別に平均したものです。太陽電池の発電効率は気温に影響されることから、「MONSOLA05」から加えられた要素です。
- 水平面散乱日射量とは、②の 1) で整備した月平均日積算水平面散乱日射量です。この値が大きいことは散乱日射量が多いことを示しています。また、水平面散乱日射量と全天日射量の比（水平面散乱日射量/全天日射量）は散乱比と呼ばれ、この値が大きいと曇天日が多いことを示します。
- 積雪深 10cm 以上の出現率(積雪指数)とは、積雪 10cm 以上の月間日数/月日数により求めました。なお、積雪深を観測していない地点に関しては、周辺の観測値及び気象庁のメッシュ気候値(2000)の最深積雪の月最大値のデータから推定しました。

5-3 日射量マップ

整備した全国 837 地点について、以下の 3 種類の日射量データをマップ化し、月別、年平均の日射量の地理的分布を把握することができるようになりました。

表 5-8 整備した日射量マップの種類

日射量マップの名称	内 容
<p>全天日射量</p>	<p>水平面全天日射量の平年値をマップ化したものです。日本全国の日射状況を一望するマップとして利用できます。また、このマップで観測地点以外の全天日射量を推定することもできます。MONSOLA05 との比較が可能なように、階級区分と色彩は MONSOLA05 と統一しています。</p> <p>単位は MJ/m² で表示しています。前頁の一覧表の単位である kWh と MJ との関係は以下のようになります。</p> <p>1 kWh=3.6 MJ 1 MJ=0.278 kWh</p>
<p>散乱日射量</p>	<p>水平面散乱日射量の平年値をマップ化したものです。MONSOLA05 の作成時にはマップ化していませんでしたが、このマップを用いて、観測地点以外の水平面散乱日射量を読み取り、当該地点の斜面日射量を推定することができます。また、直達日射が当たらない部分（例えば、ビルの北側壁面）における太陽エネルギーの利用可能性を見積る資料にもなると考えます。</p> <p>水平面散乱日射量と水平面全天日射量の比（水平面散乱日射量/水平面全天日射量）は散乱比と呼ばれ、この値が大きいと曇天日が多いことを示します。すなわち、当該地点の天候の指標としても利用できます。</p>
<p>最適傾斜角日射量</p>	<p>全地点で斜面を年間の最適傾斜角に固定した場合の斜面日射量をマップ化したものです。太陽光発電システムを設置する場合は、なるべく多くの太陽光を利用するために傾斜角を付けて設置します。そのような斜面日射量を見積る場合の一例として利用できます。</p>

参考文献

1. 板垣昭彦他、日照時間を用いた時間積算日射量モデルの開発、太陽エネルギー (2006) VOL32, N05
2. 新太陽エネルギー利用ハンドブック編集委員会編、新太陽エネルギー利用ハンドブック (2000)
3. R.Perez and R.Seals, A new simplified version of Perez diffuse irradiance model for tilted surface, Solar Energy, 39-3(1987), 221-231.
4. (財)日本気象協会、平成9年度調査報告書「日射関連データの作成調査」(1998)
5. (財)日本気象協会、昭和60年度NEDO成果報告書
6. 吉田作松他、日射量の全国マップその10 日射気候区、太陽エネルギー (1989) VOL15, N02
7. (財)日本気象協会、昭和54年度サンシャイン計画成果報告書
8. 吉田作松他、日本における月平均全天日射量およびその年々の変動度のマップの作成、天気 (1978) VOL25, 5
9. J. E. Hay, A Study of shortwave radiation on non-horizontal surfaces, Report No.79-12, Atmospheric Environment Service, Downsview, Ontario(1979), 140pp.
10. M.Collares-Pereira and Rabel, The average distribution of solar radiation correlations between diffuse and hemispherical and between daily hourly insolation values, Sol.Energy22-2(1979), 155-164.
- 11 B.Y.Liu and R.C.Jordan, The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation, Solar Energy, 4-3(1960), 1-19.