

## ArcClimate 気象データ

1. ArcClimate 気象データの概要 .....	2
1.1 ArcClimate の使用方法 .....	3
1.2 出力データの形式 .....	5
2. 基本データセットの概要 .....	6
2.1 MSM データファイルの接続 .....	6
2.2 絶対湿度の算出 .....	8
2.3 水平面全天日射量の推計 .....	9
2.4 下向き大気放射量の推計 .....	12
3. 空間補間計算の概要 .....	14
3.1 標高による補正 .....	14
3.2 距離の逆数による加重平均 .....	15
3.3 風ベクトルの合成と風向の補正 .....	18

## ArcClimate 気象データ

### 1. ArcClimate 気象データの概要

ArcClimate（以下、「AC」という）は、建物の熱負荷の推計に必要な気温、湿度、水平面全天日射、下向き大気放射、風向・風速について、気象庁が作成しているメソスケールの数値予報モデル（以下、「MSM」という）を基に、標高補正や空間補間によって指定した任意の地点の設計用気象データセットを作成するプログラムです。

AC では、図 1.1 に示すように、あらかじめ計算しクラウド上に保存されているデータ（以下、「基本データセット」という）から、指定した任意の地点の作成に必要なデータを自動でダウンロードし、それらを空間補間計算することで、任意の地点の設計用気象データセットを作成しています。

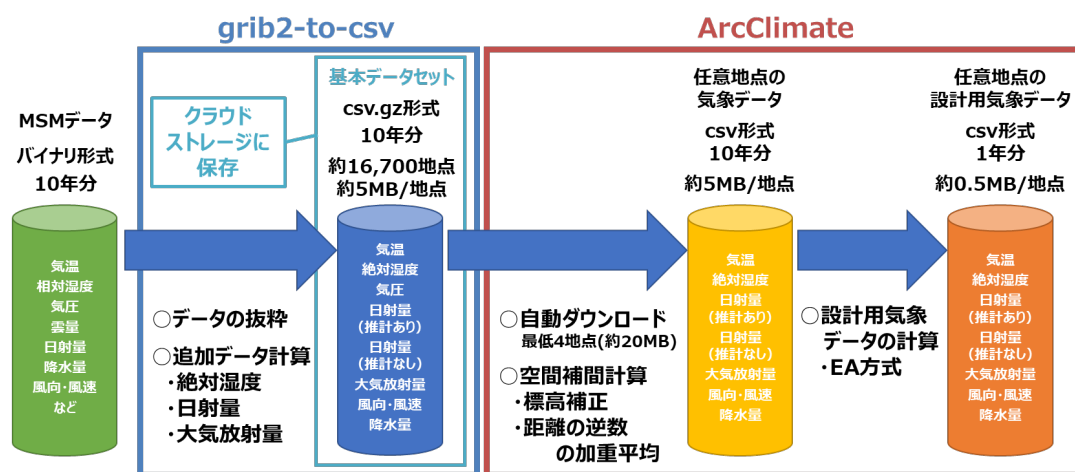


図 1.1 ArcClimate 気象データの作成の流れ

作成可能な領域は日本の国土のほぼ全域<sup>注1</sup>を含む北緯 22.4～47.6°、東経 120～150° の範囲で、作成されるデータの時間間隔は 1 時間別の値です。また、作成可能な期間は日本時間で 2011 年 1 月 1 日から 2020 年 12 月 31 日までの 10 年間です。10 年分のデータまたは 10 年分のデータから作成した拡張アメダス方式（以下、「EA 方式」という）の 1 年間分の標準年データを取得することができます。

注 1 沖ノ鳥島（最南端 北緯 20.42° 東経 136.07°）や南鳥島（最東端 北緯 24.28 東経 153.99）等の離島が含まれません。また、周囲がほぼ海（標高が 0 m 未満）の場合には計算できない地点があります。

## 1.1 ArcClimate の使用方法

ArcClimate では、地点の指定を緯度および経度で行います。第 1 引数で指定した緯度の、第 2 引数で指定した経度の地点における気象データを取得することができます。緯度及び経度は 10 進数形式です。また、引数「-o」で保存ファイルパスを指定できます。

例えば、以下のコマンドを入力すると、国立研究開発法人 建築研究所位置のデータを取得することができます、結果が「kenken.csv」に保存されます。

```
$ arcclimate 36.1290111 140.0754174 -o kenken.csv
```

緯度・経度は、国土地理院が公開している計算サイト ([Web 版 TKY2JGD \(gsi.go.jp\)](http://web.tky2jgd.gsi.go.jp)) や Google Map などで検索することが可能です。

また、引数「--mode」に「EA」を指定することで、EA 方式の標準年データを取得することができます。引数「--mode」を省略もしくは「normal」とした場合は 10 年分のデータが取得されます。

```
$ arcclimate 36.1290111 140.0754174 -o kenken_EA.csv --mode EA
```

AC では空間補間として、標高の補正を実施しています。補正に使用する標高は、指定した緯度・経度位置における標高データを国土地理院の API<sup>注2</sup>を利用して取得しています。これによって最小 5m 間隔のピンポイントで空間補間が可能になります。また、メッシュマップなどを作成することも想定して、1 km メッシュ<sup>注3</sup>の平均標高<sup>注4</sup>を指定することもできるようにしています。

1 km メッシュの平均標高を使用する場合には、引数「--mode\_elevation」に「mesh」を指定します。「mesh」が指定された場合、第 1 および第 2 引数で指定した緯度・経度が含まれる 1 km メッシュの平均標高とメッシュの中心位置の緯度・経度に基づいて空間補間を行います。

例えば、以下のコマンドを入力すると、国立研究開発法人 建築研究所が含まれる 1 km メッシュの平均標高：26.4m、中心緯度：36.129166、中心経度：140.08125 に基づいて空間補間を実施します。

```
$ arcclimate 36.1290111 140.0754174 -o kenken_mesh.csv --mode_elevation mesh
```

注 2 国土地理院の「サーバサイドで経緯度から標高を求めるプログラム」を利用

注 3 約 1 km 間隔のメッシュとして第 3 次地域区画（基準地域メッシュ）を利用

注 4 国土交通省公開の国土数値情報「標高傾斜度 3 次メッシュ（平成 23 年）」の「平均標高」を利用

データの期間は、デフォルトでは 2011 年から 2020 年までの 10 年間のデータを対象としていますが、引数「-- start\_year」に開始年を、引数「-- end\_year」に終了年を指定することで、任意の期間のみを取得することも可能です。（ただし、年単位の出力に限り、月・日・時での指定はできません）

例えば、以下のコマンドを入力すると、2015 年から 2018 年までのデータを取得することができます。

```
$ arcclimate 36.1290111 140.0754174 -o kenken_2015-2018.csv -- start_year 2015 -- end_year 2018
```

また、この指定期間は標準年の検討期間も兼ねるため、あわせて引数「--mode」に「EA」を指定することで任意の期間中のデータのみから標準年データを作成することが可能です。

水平面全天日射量には MSM の日射量データを単に単位換算した値（以下「MSM 日射量」という）と MSM の気象データに基づいて推計した値（以下、「推計日射量」という）の 2 種類があります。MSM 日射量は 2017 年 12 月 5 日以降からの公開であり、10 年分のデータが揃っていません。より精度が高いデータである MSM 日射量のみで標準年の作成を行いたい場合には、引数「-- use\_est」を「False」とすることで、推計日射量を使用せずに標準年データを取得できます。ただし、上述のように、MSM 日射量には 2018 年以前のデータが存在しないことから、「-- use\_est」を「False」にする場合には「-- start\_year」を 2018 以降に設定する必要があります。

```
$ arcclimate 36.1290111 140.0754174 -o kenken_EA_non-est.csv --mode EA --use_est False -- start_year 2018
```

## 1.2 出力データの形式

AC の出力データ（気象要素）を表 1.2 に示します。出力データは csv 形式で出力されます。1 列目に時刻データ（日本標準時 JST）、2 列目以降に気象データが並びます。データは 1 時間刻みで、2011 年もしくは指定した開始年の 1 月 1 日 0 時から 2020 年もしくは指定した終了年の 12 月 31 日 23 時までのデータが得られます。「--mode」に「EA」を指定した場合には、標準年の 2/29 日を除く 365 日分のデータ（8760 行）が得られ、時刻データは仮想の年として 1970 年と表示されます（図 1.2）。

表 1.2 AC の出力データ（気象要素）

気象要素 [単位]	AC 内の表記	値の持つ意味	元データおよび作成方法	備考
気温 [°C]	TMP	参照時刻時点の <b>瞬時値</b>	MSM の気温データ	
絶対湿度 [g/kgDA]	MR	参照時刻時点の <b>瞬時値</b>	MSM の気温、相対湿度、気圧から計算した値	
水平面全天日射量 [MJ/m <sup>2</sup> ]	DSWRF_msm	参照時刻の前 1 時間の <b>積算値</b>	MSM の日射量データを単位換算した値	・2017/12/5 10 時 (JST) 以降から ・MSM では下向き短波放射フラックス[W/m <sup>2</sup> ]（参照時刻の前 1 時間の <b>平均値</b> ）として公開
	DSWRF_est		MSM の気象データに基づいて推計した値 <sup>注5</sup>	
下向き大気放射 [MJ/m <sup>2</sup> ]	Ld	参照時刻の前 1 時間の <b>積算値</b>	MSM の気象データに基づいて推計した値 <sup>注6</sup>	
降水量 [mm/h]	APCP01	参照時刻の前 1 時間の <b>積算値</b>	MSM の降水量データ	
風速 [m/s]	w_spd	参照時刻時点の <b>瞬時値</b>	MSM の風データから計算した値（16 方位 22.5° 刻み）	・MSM では東西・南北成分に分解されたベクトルデータ「m/s」として公開
風向 [°]	w_dir	参照時刻時点の <b>瞬時値</b>		

date	TMP	MR	DSWRF_e	Ld	VGRD	UGRD	APCP01	w_spd	w_dir
1970/1/1 0:00	1.588364	4.450248	0	0.003168	-0.85557	0.878565	0	1.226216	315
1970/1/1 1:00	1.737538	4.46389	0	0.003128	-2.84039	1.997565	0	3.420949	315
1970/1/1 2:00	1.865125	4.487985	0	0.003056	-2.64866	2.05476	0	3.325822	315
1970/1/1 3:00	2.18004	4.556513	0	0.00288	-2.19882	1.579597	0	2.671743	315
1970/1/1 4:00	1.396614	4.265705	0	0.002854	-0.39956	1.468231	0	1.509375	292.5
1970/1/1 5:00	0.739057	4.043183	0	0.002824	0.340957	1.438979	0	1.459921	247.5
1970/1/1 6:00	0.449756	3.939031	0	0.002806	-1.41477	1.144038	0	1.809353	315
1970/1/1 7:00	-0.38354	3.707384	0	0.002764	-1.47866	0.606444	0	1.598177	337.5
1970/1/1 8:00	0.395954	3.913098	0.177538	0.002751	-0.78288	0.958171	0	1.231111	315
1970/1/1 9:00	3.060274	4.737936	0.791861	0.002823	-2.56272	1.549805	0	2.960725	337.5
1970/1/1 10:00	4.323823	5.176607	1.177573	0.003038	-2.21837	1.788578	0	2.833343	315
1970/1/1 11:00	4.705829	5.320182	1.126073	0.003441	-1.93956	1.716602	0	2.585295	315
1970/1/1 12:00	4.53675	5.264447	1.199301	0.00366	-2.29219	1.541214	0	2.710625	315
1970/1/1 13:00	4.362313	5.200208	1.091171	0.003926	-2.25869	1.034031	0.043061	2.482467	337.5
1970/1/1 14:00	4.359835	5.198861	0.964733	0.003881	-1.98096	0.757426	0.035845	2.12002	337.5

図 1.2 「--mode」に「EA」を指定した標準年の出力データの例

注 5 MSM では下向き大気放射量が存在しないため、気温、相対湿度、気圧から求めた水蒸気圧と雲量に基づく重回帰式で推計しています。

注 6 MSM では水平面全天日射量の公開が 2017 年 12 月 5 日以降であるため、公開以前のデータについて太陽位置から求めたエアマス、気温、相対湿度および雲量に基づく重回帰式で推計しています。

## 2. 基本データセットの概要

クラウド上にアップロードされている基本データセットは気象庁が作成・公開している MSM にもとづいて「grib2-to-csv」で作成しています。ここでは、基本データセットの作成方法の概要を説明します。

### 2.1 MSM データファイルの接続

MSM は図 2.1 に示すように 3 時間ごとに予報値が配信（公開）されています。予報値は 0 時間（配信時刻）～最長 51 時間の値が作成されていますが、計算作業は 3 時間に一度のみのため、全ての時刻を初期値（配信時刻）のデータとすることはできません。気象庁では予報モデルに実際の観測データを同化することで推計値の補正、精度向上を実施することがあるため、複数の予報データがある場合は新しい予報データを参照することを薦めています。<sup>1)</sup>

そこで、なるべく新しい予報値を使用するように、図 2.2 に示すイメージのように 0～2 時間予報値を繋げ合わせることでデータセットを作成しています。

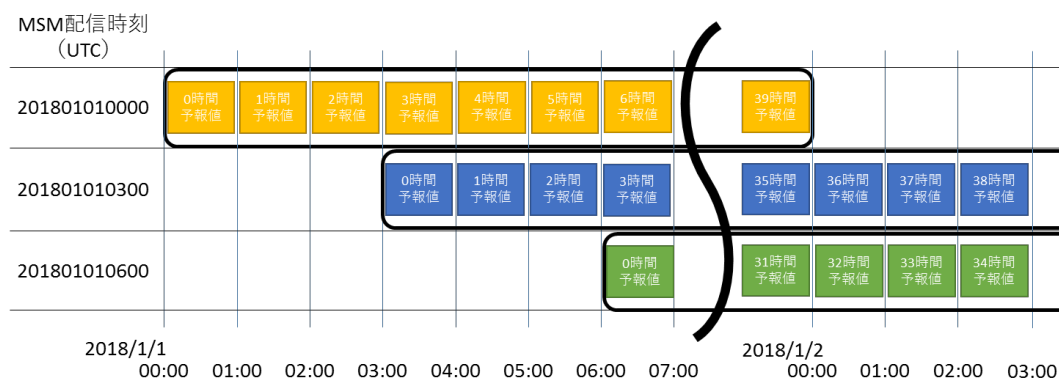


図 2.1 MSM データの配信時刻と予報値の関係



図 2.2 MSM データの接続方法のイメージ

また、日射量データは瞬時値ではなく、前予報時間からの1時間平均値（単位：W/m<sup>2</sup>）、降水量データは前予報時間からの1時間積算値（単位：mm/h）の形で提供されるため、0時間予報値が存在しません。そこで、図2.3に示すように1～3時間予報値を繋げ合わせることでデータセットを作成しています。

なお、日射量および降水量においては0時間予報値が無いことで、気象庁が観測している全天日射量および降水量のデータとMSMの配信時刻が一致しないことに注意が必要です。気象庁の観測・公開している全天日射量は前1時間の統計値であるため、例えば、2018年6月1日3時のデータは2～3時の値です。一方、MSMの2018年6月1日3時の配信データは、0時間予報値が無いいため1時間予報値を使用することになります。これは3～4時の値です。観測値と同じ時間の表現をすると4時のデータということになります。このように、日射量および降水量では配信時間+1～3時間に相当するデータを利用します。

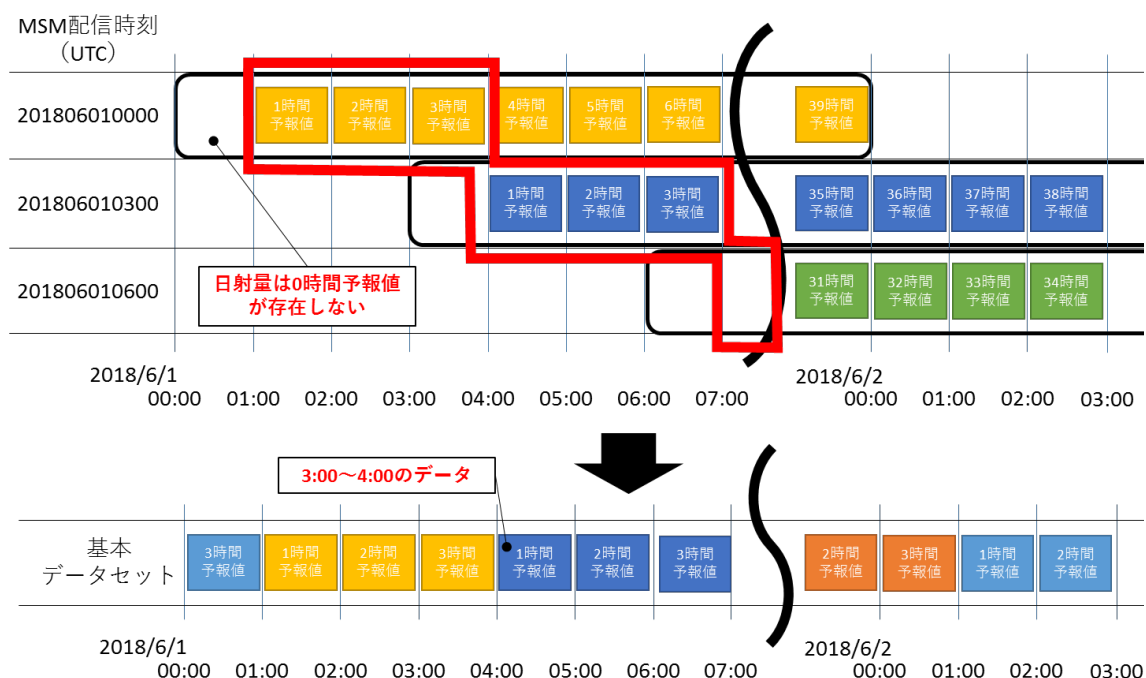


図 2.3 MSM データ（日射量および降水量）の接続方法のイメージ

## 2.2 絶対湿度の算出

MSM で湿度は相対湿度として与えられているため、水蒸気を理想気体とみなし、式 (2.1) ～ (2.6) に基づいて、MSM の気圧、気温および相対湿度から MSM 格子点ごとの絶対湿度を計算しています。なお、飽和水蒸気圧の近似値を求める式には Wagner の式を用いています。

$$x = \frac{\sigma}{\rho_{DA}} \quad (2.1)$$

$$\rho_{DA} = \frac{P \cdot 100}{R \cdot (T + 273.15)} \quad (2.2)$$

$$\sigma = a(T) \cdot \frac{\varphi_R}{100} \quad (2.3)$$

$$a(T) = \frac{217 \cdot e(T)}{T + 273.15} \quad (2.4)$$

$$e(T) = P_C \times \exp \left( \frac{A \cdot x_w + B \cdot x_w^{1.5} + C \cdot x_w^3 + D \cdot x_w^6}{1 - x} \right) \quad (2.5)$$

$$x_w = 1 - \frac{T + 273.15}{T_C} \quad (2.6)$$

ここで、

$x$ : 重量絶対湿度[g/kgDA]

$\sigma$ : 容積絶対湿度[g/m<sup>3</sup>]

$\rho_{DA}$ : 乾燥空気の密度[kg/m<sup>3</sup>]

$P$ : 気圧[hpa]

$R$ : 乾燥空気の気体定数[J/(kg · K)] = 287

$T$ : 外気温度[°C]

$\varphi_R$ : 相対湿度[%]

$a(T)$ : 飽和水蒸気量[g/m<sup>3</sup>]

$e(T)$ : ワグナーの厳密水蒸気圧[hpa]

$P_C$ : 臨界圧[hpa] = 221200

$T_C$ : 臨界温度[K] = 647.3

$A = -7.76451$

$B = 1.45838$

$C = -2.7758$

$D = -1.23303$



### 2.3 水平面全天日射量の推計

1章で述べたように、MSM 日射量は公開開始が 2017 年 12 月 5 日からのみであるため、推計日射量の推計を行っています。

推計日射量は、式 (2.7) に示すように、日射量に影響を与えと考えられる MSM の雲量（上層雲量、中層雲量、下層雲量）、気温、および湿度とエアマスの説明変数に、水平面全天日射量と大気外水平面日射量の比（ $J_h/J_{oh}$ ）を目的変数にした重回帰式から算出しています。

$$J_h/J_{oh} = aC_H + b \cdot C_M + c \cdot C_L + d \cdot m_{AM} + e \cdot T + f \cdot \varphi_R + g \quad (2.7)$$

ここで、

$J_h$ : 水平面全天日射量 [MJ/m<sup>2</sup>h]

$J_{oh}$ : 大気外水平面日射量 [MJ/m<sup>2</sup>h]

$C_H$ : 上層雲量 [-]

$C_M$ : 中層雲量 [-]

$C_L$ : 下層雲量 [-]

$m_{AM}$ : エアマス [-]

$T$ : 外気温度 [°C]

$\varphi_R$ : 相対湿度 [%]

$a, b, c, d, e, f, g$ : 係数 [-]

MSM の雲量、気温および湿度は推計対象の時刻（以下、対象時刻とする）の瞬時データであるのに対して、日射量は対象時刻の 1 時間前からの積算値であるため、データの発生時刻にずれが生じます。そこで、説明変数に使用する雲量、気温および湿度は、対象時刻の 1 時間前の瞬時値と対象時刻の瞬時値の平均値を使用することで、データの発生時刻を日射量と合わせています。

MSM は概ね 5 km 間隔ごとに推計されており、そのデータは周囲約 5 km を代表するデータであると考えられますが、日射は方位角や太陽高度によっては周囲 5 km 以上の範囲から生じることもあります。そこで、説明変数に使用する雲量を周囲 25 km の範囲（縦横それぞれ MSM5 地点の計 25 地点）の単純平均値とすることで、周囲の雲の影響を考慮しています。なお、MSM の雲量は 100 分率で与えられていますが、百分の一にして 0~1 の値をとる形式に換算した値を使用しています。

説明変数のエアマスは式 (2.8) (例えば 2) に基づいて算出しています。日の出、日の入り時間を考慮するためには 1 時間ごとのエアマスでは不十分と考え、1/10 時間ごとのエアマスを計算し、それらを平均した値を時間別の値として用いています。

$$m_{AM} = \frac{1}{\sin h_i + 0.15(h_i + 3.885)^{-1.253}} \quad (2.8)$$

ここで、

$m_{AM}$ : エアマス [-]

$h_i$ : 時刻  $i$  における太陽高度角 [°]

大気外水平面日射量は式 (2.9) 例え ば 3) に基づいて算出した値とし、エアマスと同様に 1/10 時間ごとの値の平均値を時間別の値として用いています。

$$J_{0h} = \frac{J_0(1 + e \cos v_i)^2}{(1 - e^2)^{\frac{3}{2}}} \cong J_0(1 + 0.033 \cos v_i) \quad (2.9)$$

ここで、

$J_{0h}$ :大気外水平面日射量[MJ/m<sup>2</sup>h]

$J_0$ :太陽定数[MJ/m<sup>2</sup>h] = 5.392

$v_i$ :時刻 i における真近点離角[°]

$e$ :離心率[-] = 0.01672

任意の時刻における真近点離角および太陽高度角は赤坂の方法例え ば 4)などを参考に式(2.10)～(2.21)に基づいて求めています。

$$v_i = M + 1.914 \sin M + 0.02 \sin(2M) \quad (2.10)$$

$$M = 360 \frac{D_i - d_0}{365.2596} = 0.9855(D_i - d_0) \quad (2.11)$$

$$d_0 = 3.71 + 0.2596n - \left[ \frac{n+3}{4} \right] \quad ([\ ]:少数点以下切捨て) \quad (2.13)$$

$$n = Y_i - 1968 \quad (2.14)$$

$$\sin h_i = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t \quad (2.15)$$

$$\sin \delta = \cos(v_i + \varepsilon) \sin \delta_0 \quad (2.16)$$

$$\varepsilon = 12.3901 + 0.0172 \left( n + \frac{M}{360} \right) \quad (2.17)$$

$$t = 15(T_i - 12) + (L - L_s) + E_t \quad (2.18)$$

$$E_t = E_{t1} - E_{t2} \quad (2.19)$$

$$E_{t1} = M - v_i \quad (2.20)$$

$$\tan E_{t2} = \frac{0.043 \sin 2(v_i + \varepsilon)}{1 - 0.043 \cos 2(v_i + \varepsilon)} \quad (2.21)$$

ここで、

$M$ :平均近点離角[°]

$D_i$ :1 月 1 日を初日 ( $D_i = 1$ ) とする計算対象日の年間通日[日]

$d_0$ :平均軌道上の近日点通過日[日]

$Y_i$ :計算対象日の西暦年[年]

$\delta$ :太陽の視赤緯[°]

$\delta_0$ :北半球の冬至 (南半球の夏至) の日赤緯[°] = -23.4393

$\varepsilon$ :近日点と冬至点の角度 [°]

$t_i$ :時刻 i における時角[°]

$T_i$ :計算対象時刻  $i$ [時]

$E_t$ :均時差[° ]

$E_{t1}$ :中心差による時差 [° ]

$E_{t2}$ :太陽赤経と太陽黄経の差 [° ]

$\varphi$ :対象地点の緯度[° ]

$L$ :対象地点の経度[° ]

$L_s$ :標準時の地点の経度[° ]=135

また、エアマスや雲量によって地表面に到達する日射量が変化すると考えられるため、表 2.1 および表 2.2 に示すように場合分けをしています。

表 2.1 エアマスの値による場合分けの条件

クラス	エアマス ( $m_{AM}$ ) の値
AM1	$0 \leq m_{AM} < 1.5$
AM2	$1.5 \leq m_{AM} < 2.0$
AM3	$2.0 \leq m_{AM}$

表 2.2 全雲量の値による場合分けの条件

クラス	全雲量 ( $C_{ALL}$ ) の値
CC1	$0 \leq C_{ALL} < 0.02$
CC2	$0.02 \leq C_{ALL} < 0.5$
CC3	$0.5 \leq C_{ALL} < 0.98$
CC4	$0.98 \leq C_{ALL}$

## 2.4 下向き大気放射量の推計

MSM には下向き大気放射量のデータは含まれていないため、日射量と同様に下向き大気放射量の推計を行っています。

下向き大気放射量は、式 (2.22) に示すように、快晴時の下向き大気放射量 $L_{df}$ および雲の効果のファクター $C$ から推計できることが示されています。 例えば 5) 6)

$$L_d = \sigma T^4 \left[ 1 - \left( 1 - \frac{L_{df}}{\sigma T^4} \right) C \right] \quad (2.22)$$

ここで、

$L_d$ :雲があるときの下向き大気放射量[W/m<sup>2</sup>]

$L_{df}$ :快晴時の下向き大気放射量[W/m<sup>2</sup>]

$T$ :絶対温度[K]

$\sigma$ :Stefan-Boltzman 定数( $5.67 \times 10^{-8}$ [W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>])

$C$ :雲の効果のファクター[-]

そこで、式 (2.23) に示すように、下向き大気放射量に影響を与えると考えられる雲量、水蒸気圧を説明変数にした重回帰式から雲の効果のファクター $C$ を求め、式 (2.22) に基づいて下向き大気放射量を算出しています。なお、MSM の全雲量は低～高層雲量全ての重なりを考慮した全天に占める雲の割合であり、低～高層それぞれの雲量を合計した値とは一致しません。そこで、大気放射量への影響が大きい低層から層別の雲の重なりを考慮して計算を行うために、式 (2.24) に示すように、全雲量から低層雲量を引いた値を中高層雲量として使用しています。

$$C = (U + e \cdot V) \cdot C_L + (W + e \cdot X) \cdot C_{MH} \quad (2.23)$$

$$C_{MH} = C_{cc} - C_L \quad (2.24)$$

ここで、

$C_{cc}$ :全雲量[-] (0～1)

$C_H$ :上層雲量[-] (0～1)

$C_M$ :中層雲量[-] (0～1)

$C_L$ :下層雲量[-] (0～1)

$C_{MH}$ :中高層雲量[-] (0～1)

$e$ :水蒸気圧[hPa]

$U, V, W, X$ :係数[-]

快晴時の下向き大気放射量は、式 (2.25) ～ (2.29) に示す近藤の式<sup>7) 8)</sup>を用いて推計しています。

$$0.1\text{cm} < W_{top} < 6\text{cm} \text{ の時} \quad (2.25)$$

$$L_{df} = (0.74 + 0.19x + 0.07x^2)\sigma T^4$$

$$X = \log_{10} W_{top} \quad (2.26)$$

$$\log_{10} W_{top} = 0.0315T_{DEW} - 0.1836 \quad (2.27)$$

$$T_{DEW} = \frac{237.3 \cdot \log_{10} \left( \frac{e}{6.11} \right)}{7.5 - \log_{10} \left( \frac{e}{6.11} \right)} \quad (2.28)$$

$$e = e_{SAT} \cdot \frac{\varphi_R}{100} \quad (2.29)$$

ここで、

$L_d$ :雲があるときの下向き大気放射量[W/m<sup>2</sup>]

$L_{df}$ :快晴時の下向き大気放射量[W/m<sup>2</sup>]

$T$ :絶対温度[K]

$\sigma$ :Stefan-Boltzman 定数( $5.67 \times 10^{-8}$ [W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>])

$W_{top}$ :有効水蒸気量の全量[cm]

$e$ :水蒸気圧[hPa]

$T_{DEW}$ :露点温度[°C]

$e_{SAT}$ :飽和水蒸気圧[hPa]

$\varphi_R$ :相対湿度[%]

下向き大気放射量は大気や雲からの赤外放射であり、水平面全天日射量とは異なり形態係数の大きな真上の空からの影響が大きいと推測されます。特に、降雨を生じるような条件では雲底高度が低く真上の空の影響が支配的になると考えられます。そこで、降雨の有無によって場合分けをしています。さらに、降雨なしの条件では周囲 25 kmの範囲（縦横それぞれ MSM5 地点の計 25 地点）の雲量を形態係数で重みづけした値を、降雨ありの条件では中心の MSM1 地点の雲量を使用しています。なお、降雨の判断は MSM の降水量が 0.0 以下の時に降雨なし、それ以外の場合を降雨ありとしています。

下向き大気放射量の推計に使用する MSM データは、水平面全天日射量と同様に前時間との平均値とし、雲量は百分の一にして 0～1 の値をとる形式に換算した値を使用しています。

## 参考文献

- 1) 気象庁予報部, 第 10 世代数値解析予報システム, 数値予報解説資料(数値予報研修テキスト)第 51 巻(平成 30 年度)「第 10 世代数値解析予報システムと数値予報の基礎知識」第 I 部 最新の数値予報 第 1 章, 2018.11
- 2) Fritz Kasten and Andrew T.Young : Revised optical air mass tables and approximation formula, Applied Optics, Vol.28, 4735-4738, 1989
- 3) 山崎均:日照環境のための基礎計算式, 日本建築学会論文報告集, 288(0), 139-147, 1980
- 4) 赤坂裕:日射量の計算と日射直散分離・合成, 『建築環境学 1』木村建一 編 第 1 章, pp.13-17, 丸善(東京), 1992
- 5) 近藤純正, 水環境の気象学, 1994
- 6) Kondo J, Analysis of solar radiation and downward long-wave radiation data in japan, 1967
- 7) Brutsaert, On a derivable formula for long - wave radiation from clear skies,1975
- 8) 田中俊六他, 建築環境工学[改訂 4 版], 2015

### 3. 空間補間計算の概要

AC では、クラウド上にアップロードされている基本データセットをダウンロードし、空間補間計算をすることで任意地点の気象データを取得しています。具体的には、図 3.1 に示すイメージのように、約 5 km 間隔で存在する MSM 格子点 4 点のデータに基づいて空間補間計算をしています。ここでは、これらの空間補間計算の概要を説明します。

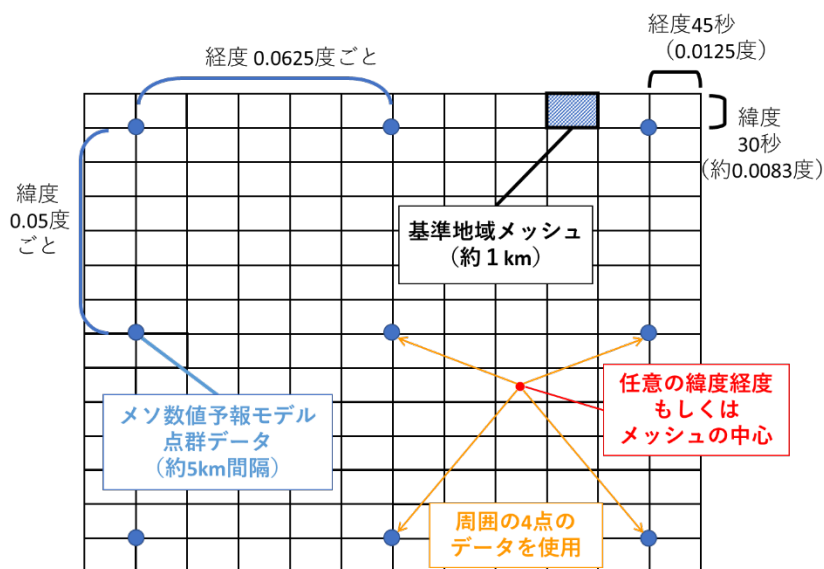


図 3.1 メッシュ補間のイメージ（平面）

#### 3.1 標高による補正

標高による補正は、標高に比例して変化する外気温度、絶対湿度および気圧の計算に使用します。対流圏の場合、標高が 1000m 高くなると気温は約 6.5℃、気圧は約 100hPa 低くなることがわかっています。また、気温が変化することで飽和水蒸気量が変化するため相対湿度も変化します。

AC では、図 3.2 に示すイメージのように、周囲の MSM 格子点の標高と、推計したい任意地点の標高の差に基づいて補正しています。気温は上記の係数に基づいた補正（式（3.1））、絶対湿度は気温及び気圧の変化によって当該地点の絶対湿度が飽和水蒸気量を上回る場合（飽和する場合）には飽和水蒸気量を上限とする補正（式（3.2））を行っています。

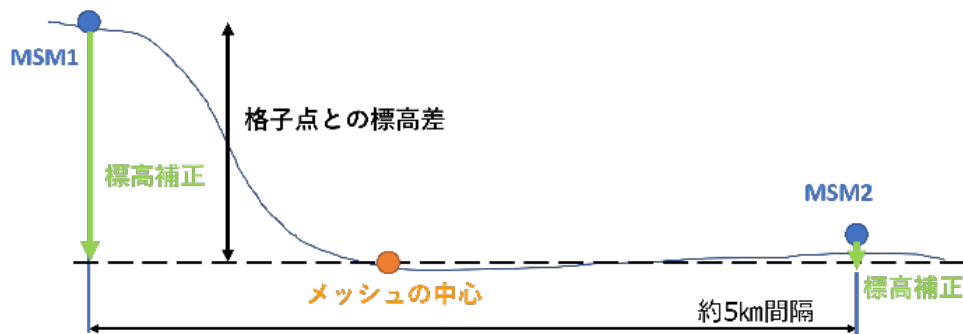


図 3.2 標高補正のイメージ（断面）

$$T_{c\_i} = T_i - 0.0065 \cdot \Delta h_i \quad (3.1)$$

ここで、

$T_{c\_i}$ : MSM 格子点 i と標高補正された外気温度[°C]

$T_i$ : MSM 格子点 i の外気温度[°C]

$\Delta h_i$ : MSM 格子点 i と推計する任意地点の標高差[m]

$$x_{c\_i} = \begin{cases} a_{c\_i} & x_i \geq a_{c\_i} \text{ のとき} \\ x_i & x_i < a_{c\_i} \text{ のとき} \end{cases} \quad (3.2)$$

ここで、

$x_{c\_i}$ : 標高補正した格子点 i の絶対湿度[g/kg DA]

$a_{c\_i}$ : 標高補正した MSM 格子点 i の飽和水蒸気量[g/kg DA]

$x_i$ : MSM 格子点 i の絶対湿度[g/kg DA]

### 3.2 距離の逆数による加重平均

AC では図 3.3 に示すイメージのように、MSM 格子点間の空間補間として距離が近いほど影響が大きいという考え方に従って、周囲 4 点の MSM の気象データを距離の逆数で加重平均する方法（式（3.3）～（3.4））を使用しています。なお、標高補正を行う気温や絶対湿度の場合には、標高補正を行ったうえで、さらに距離による空間補間を行っています。

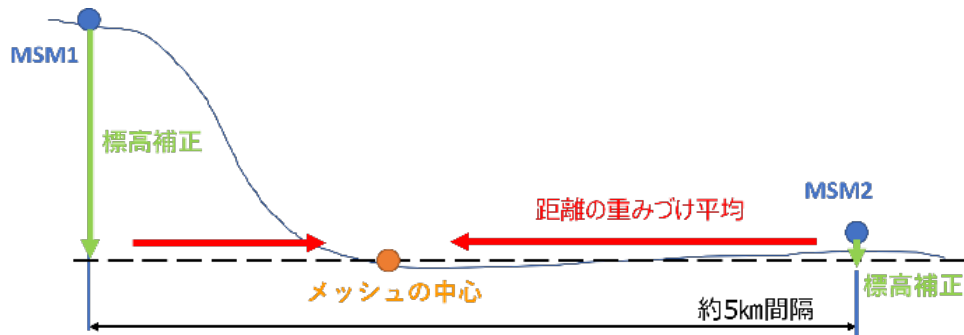


図 3.3 距離の重みづけのイメージ（断面）

$$X_c = \sum (W_i \cdot X_i) \quad (3.3)$$

$$W_i = \frac{1}{r_i} / \sum_{i=1}^4 \frac{1}{r_i} \quad (3.4)$$

ここで、

$X_c$ : 距離の逆数で重みづけ平均された気象データ

$X_i$ : MSM 格子点 i の気象データ

$W_i$ : MSM 格子点 i の重みづけ係数[-]

$r_i$ : MSM 格子点 i と推計する任意地点との距離[m]

加重平均に使用する距離は地表面上での距離を用いますが、MSM の格子点は等緯経度で設定されているため、地点によって格子点間の距離が異なります。そこで、AC では、地球形状を回転楕円体として近似する Vincenty 法の逆解法<sup>1)</sup>を用いて気象官署と格子点の距離を求めた値を使用しています。

Vincenty 法の逆解法の流れを以下に示します。まず、式 (3.5) ～ (3.8) に示すように 2 地点 (MSM 格子点と推計したい任意の地点) の座標から、更成緯度 (補助球上の緯度)  $U$  と経度差  $L$  を求める。楕円体 (補助球) には GRS80 モデルを用いています。

$$U_1 = \tan^{-1}\{(1-f)\tan\varphi_1\} \quad (3.5)$$

$$U_2 = \tan^{-1}\{(1-f)\tan\varphi_2\} \quad (3.6)$$

$$L = L_1 - L_2 \quad (3.7)$$

$$f = \frac{a-b}{a} \quad (3.8)$$

ここで、

$U_1$ : 地点 1 の更成緯度[°]

$U_2$ : 地点 2 の更成緯度[°]

$\varphi_1$ : 地点 1 の緯度[°]

$\varphi_2$ : 地点 2 の緯度[°]

$L$ : 地点 1 と地点 2 の経度差[°]

$L_1$ : 地点 1 の経度[°]

$L_2$ : 地点 2 の経度[°]

$f$ : 扁平率[-] = 1 / 298.257222101 (GRS80)

$a$ : 赤道半径 (長半径) [m] = 6378137.0 (GRS80)

$b$ : 極半径 (短半径) [m]

次に補助球上の地点 1 と地点 2 の経度差  $\lambda$  を  $L$  で初期化し、式 (3.9) ～ (3.16) の計算を  $\lambda$  が収束するまで反復します。AC では約 0.06mm の精度となる  $10^{-12}$  の偏差になるまで反復計算を実施しています。

$$\sin\sigma = \sqrt{(\cos U_2 \sin\lambda)^2 + (\cos U_1 \sin U_2 - \sin U_1 \cos U_2 \cos\lambda)^2} \quad (3.9)$$

$$\cos\sigma = \sin U_1 \sin U_2 + \cos U_1 \cos U_2 \cos\lambda \quad (3.10)$$

$$\sigma = \tan^{-1} \frac{\sin\sigma}{\cos\sigma} \quad (3.11)$$

$$\sin\alpha = \frac{\cos U_1 \cos U_2 \sin\lambda}{\sin\sigma} \quad (3.12)$$

$$\cos^2\alpha = 1 - \sin^2\alpha \quad (3.13)$$

$$\cos 2\sigma_m = \cos\sigma - \frac{2\sin U_1 \sin U_2}{\cos^2\alpha} \quad (3.14)$$

$$C = \frac{f}{16} \cos^2\alpha \{4 + f(4 - 3\cos^2\alpha)\} \quad (3.15)$$



$$L = \lambda - (1 - C) f \sin \alpha [\sigma + C \sin \sigma \{\cos 2\sigma_m + C \cos \sigma (-1 + 2\cos^2 2\sigma_m)\}] \quad (3.16)$$

ここで、

$\sigma$ : 補助球上の地点 1 から 2 までの距離 (弧の長さ) [m]

$\sigma_m$ : 補助球上の赤道から地点 1 の中点までの距離 (弧の長さ) [m]

$\lambda$ : 補助球上の地点 1 と地点 2 の経度差[°]

$\alpha$ : 赤道上での方位角[°]

$\lambda$  が収束したら、式 (3.17) ～ (3.21) の計算を行うことで、2 点間の楕円体上の距離  $S$  を求めることができます。

$$u^2 = \cos^2 \alpha \left( \frac{a^2 - b^2}{b^2} \right) \quad (3.17)$$

$$A = 1 + \frac{u^2}{16384} [4096 + u^2 \{-768 + u^2(320 - 175u^2)\}] \quad (3.18)$$

$$B = \frac{u^2}{1024} [256 + u^2 \{-128 + u^2(74 - 47u^2)\}] \quad (3.19)$$

$$\Delta\sigma = \quad (3.20)$$

$$S = bA(\sigma - \Delta\sigma) \quad (3.21)$$

ここで、

$S$ : 2 点間の楕円体上の距離[m]

### 3.3 風ベクトルの合成と風向の補正

MSM では風は東西 (u) と南北 (v) 成分に分解されたベクトルデータとして公開されています。AC では、ベクトル合成前の u 成分および v 成分のそれぞれを前述した距離の逆数の加重平均で空間補間したのちに合成し、合成ベクトルの長さを風速、角度を風向として求めています (式 (3.22) ~ (3.23))。

$$W_{speed} = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (3.22)$$

$$W_{direction} = \begin{cases} \tan^{-1} \frac{u}{v} + \pi & 0 \leq v \text{ のとき} \\ \tan^{-1} \frac{u}{v} & 0 > u \text{ かつ } 0 > v \text{ のとき} \\ \tan^{-1} \frac{u}{v} + 2\pi & 0 \leq u \text{ かつ } 0 > v \text{ のとき} \end{cases} \quad (3.23)$$

ここで、

$W_{speed}$ : ベクトル合成後の風速 [m/s]

$W_{direction}$ : ベクトル合成後の風向 [°] (1 周 360° 北が 0°)

$u$ : 風速の東西 (u) 成分 [m/s]

$v$ : 風速の南北 (v) 成分 [m/s]

単純に合成をすると、風向は度数表記 (1 周 360° 北が 0°) で表現されますが、一般的に風向・風速は 16 方位に区分した風向・風速が用いられます。そこで、AC では図 3.4 に示すイメージのように、合成後のベクトル風に最も近い 16 方位の風向 (図の場合では西風) とし、ベクトル風の方位角と補正後の風向との角度差から三角関数で風速を補正しています (式 (3.24))。

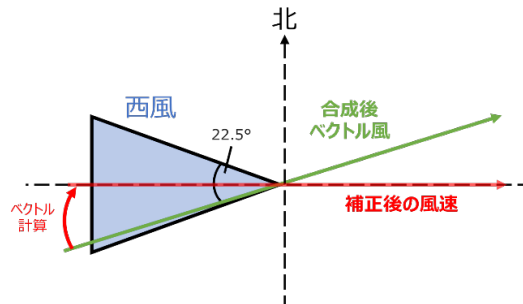


図 3.4 風向補正のイメージ

$$W_{c\_speed} = W_{speed} \cdot \cos(W_{c\_direction} - W_{direction}) \quad (3.24)$$

ここで、

$W_{c\_speed}$ : 16 方位の風向に補正した風速 [m/s]

$W_{c\_direction}$ : 16 方位の風向に補正した風向 [°] (22.5° 刻み 1 周 360° 北が 0°)

### 参考文献

- 1) T. Vincenty, DIRECT AND INVERSE SOLUTIONS OF GEODESICS ON THE ELLIPSOID WITH APPLICATION OF NESTED EQUATIONS, Survey Review XXIII (176), 88-93, 1975 3)