

## 3.4 湿度

### Humidity

#### 概要

湿度は解析対象とする空気に含まれる水蒸気量を示す概念であり、目的に応じて異なった指標を用いる。これらの指標は相互に変換可能であるが、変換の際には気温や気圧の情報が必要となる。また、分野によって用語の使い方が多少異なっていることにも注意する必要がある。(Appendix 3.4-1 を参照。)

#### 測器の種類

観測に用いられる主な湿度計には下記の種類がある。赤外線式湿度計以外では、放射等の影響を避けるため、気温測定と同様、シェルタを利用して測定する。通常、1つのシェルタに気温測定用の温度計と湿度計を設置する。

##### 乾球湿球温度計

2本並べた温度計のうち1本を乾球温度計、1本の感部をガーゼで包んで水タンクから供給した水で濡らして湿球温度計とする。2本の温度計のうち蒸発熱によって湿球温度が低下する。空気中の水蒸気量と乾湿球温度には一定の関係があるため、この関係を用いて湿度の測定を行う。

温湿度の鉛直分布(プロファイル)の自動観測には白金抵抗温度計やシース熱伝対温度計がよく用いられる。水銀温度計を用いた持ち運び可能なアスマン通風乾湿計は測定精度が高いため、簡易な校正用に用いられる。

##### 露点湿度計

塩化リチウムの吸湿電導性を利用した湿度計で、露点温度に対応した抵抗値を示す。特に高湿度条件下でも高精度の連続測定が可能な特徴を持ち、積雪地等での観測に適している。ただし、平衡温度が気温より低くなるような低湿度は測定できない。他に比較的高額ではあるが、冷却式の露点湿度計もある。これは測定対象の空気中に鏡をおいて冷却し、鏡表面に霜が付着した時の温度を測定する。

##### 高分子センサ湿度計

有機高分子を感湿体に用い、大気中の水分量の変化に伴って変化する高分子膜の電気的特性を検出して測定する。代表的なものにフィンランド Vaisala, Oyj. の HMP45 シリーズ( Photo3.4-1 )がある。(ただし HMP45 は 2009 年 3 月で製造を終了しており、2011 年現在は後継機の HMP155 が販売されている。)本器は外部電源を必要とするが小型なことからラジオゾンデ等にも用いられる。また、乾球湿球温度計等と比べ保守が簡便なことから、連続観測にも用いられる。センサの応答時間が約 15 秒とやや長いこと、感部が凝結すると 100%を示し続けて復帰までに時間を要する点等に注意する必要がある。



Photo3.4-1 HMP45D の高分子薄膜フィルム湿度センサと白金抵抗温度センサ (Pt100)。

### 赤外線式湿度計

水蒸気による赤外線の吸収を利用した湿度計で非常に応答速度が速い特徴がある。高湿度の空気を観測すると赤外線式湿度計のセルが汚れやすいため、高頻度での清掃と校正が必要となる。(詳細は 2.2「オープンパス型 CO<sub>2</sub> / H<sub>2</sub>O 分析計」、2.3「クローズドパス型 CO<sub>2</sub> 分析計」を参照のこと)

### 測定方法

乾球湿球温度計の湿球部の汚れは水の蒸発を悪くさせて大きな誤差の原因となるため、定期的なガーゼの交換を必要とする。湿球温度計用のガーゼを用意する場合、事前によく煮沸し、糊、油などの汚れを除去した上で、清浄な状態で乾燥させておく。ガーゼを濡らす水には蒸留水を用いることが望ましく、湿球に薄い水膜ができる状態を保たせる。湿球感部は水タンク水面より約 2cm 上になるように設置し、水面位置を一定に保つ。乾球部にも汚れや水滴が付着しないように定期的な清掃を行う。

高分子センサ湿度計はセンサ保護のため防塵フィルタ付きの樹脂ケースの中にセンサ部が組み込まれている。この防塵フィルタやセンサの汚れには注意し、汚れがひどい場合には蒸留水を用いて清掃を行う。湿度測定用チップは特に傷付きやすいため慎重に扱う。

気温測定時と同様、通風筒に付着するごみは定期的に取り除く。

赤外線式湿度計の場合はセルが清浄である必要があり、定期的に 50%エタノールとスポンジを用いてセルの清掃を行う。また、クローズドパス式湿度計にチューブ等を用いてサンプル空気を取り込んでいる場合、チューブの漏れ、汚れ、内部での凝結、雨水の浸入等が生じないように注意し、定期的に配管の点検、清掃、交換を行う。

湿度計は温度計等と比べ器差が大きいため、平均湿度の鉛直分布を測定する場合、各高度から空気をサンプリングして同一の分析計で測定する方式をとることが望ましい。一方、この方式では一地点での連続測定ができないというデメリットが生じる。また、保守頻度の低い遠隔地でこの方式の保守は比較的困難であることから、保守が容易な HMP45 シリーズを複数設置し、同一高度で定期的に校正する方法が用いられる場合が多い。

 **Tips!**

通風乾湿計のガーゼは汚れに応じて頻繁に交換できるよう十分な量を準備しておく必要がある。ガーゼの洗浄や水タンクへの給水には 500ml 程度の洗浄瓶を用いると良い。

Tips 3.4-1

 **Tips!**

HMP45 シリーズはセンサ部分の交換を容易にするために差し込み式となっており、ケーブルに張力がかかると抜ける構造であるため、ケーブルの配線時には十分な注意を要する。センサ付近の配線を 1 巻きから 2 巻きしてリングを作って固定するようにする。

Tips 3.4-2

## 校正

基準器を設け、定期的に同一高度に設置して器差の校正を行う必要がある。経年変化したセンサやパッキン、接続部分は交換を要する。基準器の校正を行う場合、試験槽に塩類の飽和水溶液を入れて蓋をし、恒温状態で 1 時間以上放置して試験槽内の相対湿度を一定にして行う (Appendix 3.4-2 を参照)。HMP45 シリーズ用には校正に用いる専用試験槽が市販されており、測器の出力値の調整が可能である。また、必要に応じて湿度測定用チップのみ、あるいはモジュール部分の交換も可能である。

## Appendix 3.4-1: 湿度の定義一覧

名称 (単位)	換算式	定義
水蒸気圧 $e$ [ Pa ]	Sprung の式など 1)	湿潤空気中の水蒸気分圧
飽和水蒸気圧 $e_s$ [ Pa ]	Goff-Gratch の式など 2)	ある温度で空気を含みうる最大の水蒸気圧
飽差 $e_d$ [ Pa ]	$e_s - e$	飽和水蒸気圧と水蒸気圧の差
相対湿度 $\phi_r$ [ % ]	$\frac{e}{e_s}$	飽和水蒸気圧に対する湿潤空気の水蒸気圧の百分率
比湿 $q$ [ kgkg <sup>-1</sup> ]	$\frac{x}{1+x}$ or $\frac{\varepsilon e}{p - (1 - \varepsilon)e}$	湿潤空気 1kg に含まれる水蒸気の質量 $\varepsilon$ : 乾燥空気の分子量に対する水蒸気分子量の比, $\approx 0.622$
混合比 $x$ [ kgkg <sup>-1</sup> ] 工学系の一部では絶対湿度と呼ぶ	$\frac{\varepsilon e}{p - e}$ or $\frac{q}{1 - q}$	乾燥空気 1kg に対する水蒸気の質量 $\varepsilon$ : 乾燥空気の分子量に対する水蒸気分子量の比, $\approx 0.622$
絶対湿度 $\phi_a$ [ kgm <sup>-3</sup> ] 工学系の一部では水蒸気密度と呼ぶ場合がある	$\frac{0.00794e}{1 + 0.00366(T - 273.15)}$	単位体積の湿潤空気に含まれる水蒸気の質量
比較湿度 (飽和度) $\phi_p$ [ % ]	$100 \frac{x}{x_s}$	飽和空気の混合比 ( $x_s$ ) に対する湿潤空気の絶対湿度の百分率
露点温度 $C_{dp}$ [ ]	近似式 3) (林, 1988)	湿潤空気が冷却されて飽和に達する温度 (凝結をはじめる温度)

$$1) \quad e = e_s - \frac{j(C_d - C_w)p}{755}$$

$C_d$ : 乾球温度 [ ],  $C_w$ : 湿球温度 [ ],  $p$ : 空気の全圧 [ Pa ],  $e_s$ : 湿球温度  $C_w$  における飽和水蒸気圧 [ Pa ],  $j$ : 定数 (湿球部が氷結していない時に 0.5, 氷結している時に 0.44)

2) 水面上

$$\log_{10} e_s = 10.79574 \left( 1 - \frac{T_1}{T_a} \right) - 5.02800 \log_{10} \left( \frac{T_a}{T_1} \right) + 1.50475 \times 10^{-4} \left\{ 1 - 10^{-8.2969 \left( \frac{T_a}{T_1} - 1 \right)} \right\} \\ + 0.42873 \times 10^{-3} \left\{ 10^{4.76955 \left( 1 - \frac{T_1}{T_a} \right)} - 1 \right\} + 0.78614$$

氷上

$$\log_{10} e_s = -9.09685 \left( \frac{T_1}{T_a} - 1 \right) - 3.56654 \log_{10} \left( \frac{T_1}{T_a} \right) + 0.87682 \left( 1 - \frac{T_a}{T_1} \right) + 0.78614$$

$T_a$  : 絶対温度で表した気温 [ K ],  $T_1$  : 水の三重点温度 ( 273.16K )

$$3) \quad C_{dp} = -c_2 \frac{\ln \left( \frac{e}{6.1078} \right)}{\ln \left( \frac{e}{6.1078} \right) - c_1}$$

$c_1$  および  $c_2$  : いずれも定数 ( 水面上  $c_1=17.2693882$  ,  $c_2=237.3$  , 氷上  $c_1=21.8745584$  ,  $c_2=265.5$  )

**Appendix 3.4-2: 塩類の飽和水溶液と共存して平衡にある気体の相対湿度**

	0	5	10	15	20	25	30
KNO <sub>3</sub>	97	96	95	95	94	93	92
KCl	88	87	86	86	85	84	-
NaCl	76	76	75	75	75	75	75
MgCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	34	33	33	33	33	33	32

( 単位 % )

( 日本工業規格 規格番号 JIS Z 8806:2001 湿度測定方法 )