

3.3 気温

Air temperature

概要

気温は解析対象とする空気の温度である。温度計は放射の影響を強く受けるため、正確な測定時には放射を避けるための通風筒（シェルタ）内に温度計を設置する。気温は時間・空間変動が大きいいため、観測の目的に応じて適切な温度計と測定方法を選定する必要がある。温度計の選定にあたっては測温部の時定数、耐久性、必要とされる校正の頻度、設置場所と設置点数、測定範囲等について十分な検討を要する。

気温の単位として国際単位系では K、一般の測定では℃が用いられる。（Appendix 3.3-1 を参照。）

測器の種類

温度計は、Table 3.3-1 のように様々な種類がある。長期的な気象観測には測温部を絶縁体で充填密封した金属保護管（シース）入りの白金測温抵抗体温度計、熱電対温度計等がよく用いられている。ここでは、現在一般的に気温の連続測定に用いられている温度計の特徴について述べる。

Table 3.3-1 温度計の一覧

名称	原理	特徴
電気抵抗温度計	電気抵抗の温度変化	取り扱いが容易だが、測温部が熱電対より大きい
熱電対温度計	熱起電力	測温部が小さくできるが、高精度観測には各接点の慎重な管理が必要とする
放射温度計	熱放射量	広範囲・遠隔測定が可能だが、測定精度の管理が困難
金属製自記温度計	金属の膨張	ゼンマイで自記可能だが、測定精度が低い
液体封入温度計	液体の膨張	安価で高精度だが、読み取りを必要とする
超音波風速温度計	超音波のドップラー効果	顕熱フラックスの観測に適すが、高価で補正が必要

サーミスタ温度計

温度が上昇すると抵抗値が減る金属抵抗体を用いた温度計で、温度変化に対する抵抗値の変化率が大きいことから微細な温度変化測定に適している。白金測温抵抗体と比べてサーミスタ素子は小さくできることから、測温部分を小さくできる利点がある。また、信号出力や素子の電気抵抗を大きくすることでリード線の抵抗などによる誤差、ノイズの影響を小さくすることが可能で、リード線を長くとりデータロガーから離れた場所の測定を行うことができる。一方、自己発熱の影響を受ける場合があり、素子の経年変化が比較的大きく、定期的な検定を必要とする。また、非直線性が強く、素子の規格が統一されていないため、一般には専用のリニアライザを組み込んだ変換器とともに用いられる。米国 Onset Computer Corporation 製の HOB0 シリーズ（Photo 3.3-1）、(株)ティアンドデイ製のおんどと



Photo 3.3-1 Onset 製 HOBO（サーミスタ温度計）。



Photo 3.3-2 T&D 製 おんどとり（サーミスタ温度計）。

りシリーズ（Photo 3.3-2）等に代表されるような、電源やデータロガーとセットになった安価でコンパクトな製品が多く市販されており、野外において低コストで温度環境を自動連続測定あるいは多点観測する際に多く用いられる。

💡 Tips!

リニアライザを用いない場合、素子の温度と抵抗値の関係（サーミスタのメーカから提供されることも多い）を求め、定電圧の電源を供給し電圧を測定することでも温度変換が可能となる。

Tips 3.3-1

白金測温抵抗体温度計

規格が統一されており、Pt100 とは 0°C での抵抗値が 100Ω を示す規格を意味する。一般に気象観測によく用いられている 3 線式及び 4 線式（Photo 3.3-3）はブリッジ回路の出力電圧を測定することでリード線の抵抗値を相殺できるため測定精度が高く、長期間安定的に観測を行う場合に適する。一方、配線抵抗を揃えるためにリード線については各線とも同じ径、材質、長さのリード線を用い、全ての接点について防錆等の処理を行うこと等に注意する。また、配線が長くなることで抵抗が大きくなり過ぎ、データロガーで収録できない場合もある。抵抗素子の熱容量は熱電対に比較すると大きいいため、応答速度も遅い。シース白金測温抵抗体温度計は経年変化が少なく、長期観測に適しているが、測器の特徴として振動や衝撃に弱いいため、取り扱いに注意を要する。



Photo 3.3-3 Vaisala 製 HMP45D（白金温度計）。

HMP45D 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。

Tips!

Pt100 の場合、100°Cにおける抵抗値 R_{100} [Ω] と 0°Cにおける抵抗値 R_0 [Ω] の比 R_{100}/R_0 は 1.3850 であり、IEC（国際電気標準会議）の規格に準拠している。1989 年以前の JIS 規格は IEC の規格と異なっていたため、1989 年以前の JIS 規格のもの（ $R_{100}/R_0=1.3916$ ）は JPt100 として区別されている。

Tips 3.3-2

熱電対温度計

温度勾配の与えられた金属中では自由電子の密度の差によって熱起電力が生じる。温度あたりの熱起電力の異なる 2 種類の金属線の両端を接続して回路（熱電対）とし、二つの接点に温度差を与えた場合には、一定方向に電流が流れる。これはゼーベック効果と呼ばれ、この現象を利用して温度を測定する（Fig. 3.3-1）。構造が比較的単純で安価な上、統一規格があるため互換性がある。データロガーに接続する側の接点は基準温度接点、あるいは冷接点と呼ばれ、この部分の温度が温度検出端で測定される温度の基準となる。データロガーでは端子の温度をサーミスタ等で測定することで測温接点の温度を求めている。従って端子間に温度差が生じないようにする必要があり、放射等の影響を減らすため端子カバー等が用いられる場合がある。熱電対温度計では構成する 2 種類の金属の形状と大きさが異なっても熱起電力には影響しないが、起電力に対して素線の抵抗が大きいため、ノイズの影響を受けやすい特徴もある。また、延長には熱電対の端子部とロガーの端子部との間の熱起電力を補うため、熱電対の種類に合った専用の補償導線を使用する必要がある。

タワー観測では熱起電力が大きく抵抗の少ない銅-コンスタンタン熱電対（T 型熱電対）がよく用いられている。銅は特に酸化しやすいため、接続部の酸化に注意を要する。タワー観測においては、シース熱電対（Photo 3.3-4）2 本を通風筒に入れ、一方を乾球温度計、もう一方を湿球温度計としたものが、温湿度の鉛直分布観測用によく用いられている。

応答性の高い温度測定が必要な場合には、0.1mm 程度の細い銅線とコンスタンタン線の先端部を磨いて電気溶接あるいは銀ろう付けし、その接合部を小さく磨いて薄膜の絶縁体で被覆したものが用いられる。自作も可能だが、オメガなどから熱電対素線が 13 μm 程度の細さまで先端溶着加工済みの極細熱電対が市販されている。熱電対は細くなるほど応答性は高まるが振動にも弱くなるため、より慎重な取り扱いを要する。

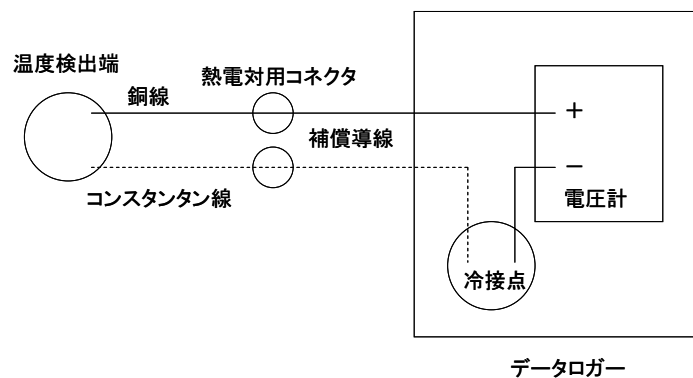


Fig. 3.3-1 熱電対の回路。



Photo 3.3-4 シース熱電対。

💡 Tips!

銀ろう付け（銀ろう溶接）は、銅のるつぼ、あるいは銅板を火力の強いバーナーで加熱し、そこへほう砂、銀ろうの順で溶かし、接点部を磨いた熱電対の断面を入れて接合する。この接合部を必要に応じて線径を整え、絶縁被覆する。電気溶接にはスポット溶接機とオプションの熱電対用溶接ピンセットが適している。簡単に溶接キット（大谷，1999b）を作成することができるが、抵抗部分はかなりの熱を持つので、注意を要する。細い熱電対を作成する場合は、電圧とパルス幅が調節できる溶接機を必要とする。

Tips 3.3-3

測定方法

気温を測定する場合、放射や雨・雪の影響を防ぐために温度計をシェルタに入れて測定する。日本においては通風速度 3ms^{-1} 以上のファン付きのシェルタ（通風筒，Photo 3.3-5）が用いられることが多い。シェルタが水平の場合、日射が筒の内部に入らないように注意して設置する。また、ファンによる発熱の影響を受けない風向で通風するよう注意する。

一般気象観測における気温測定では、周辺に障害物のない開けた観測露場で測定する。測定高は気象庁で地面（雪面）から 1.5m，WMO（世界気象機関）は 1.25～5m を基準にしている。

気温の鉛直分布を連続的に観測する場合には、特に高い測定精度が必要とされる。大気の静的安定度を評価する際、鉛直分布の評価では温位（断熱状態で標準気圧にした場合にその空気塊がもつ温度）がその対象となるが、接地層の高度範囲では温位差は近似的に気温差に等しいことから、しばしば気温が用いられる。測定高は森林の場合、樹高の 2 倍以上の高さで鉛直勾配の小さくなる位置に上端を設定し、少なくとも群落上の 2 高度、群落頂部、樹冠内、地表面付近に測定点を設置する。測定点は多いほど望ましい。

放射温度計は群落の表面温度を広域的に測定するのに適しているが、観測角度、温度計自身による放射や被陰、群落以外からの放射、射出率の影響等に注意して取り扱う必要がある。



Photo 3.3-5 通風筒。

💡 Tips!

通風筒のファンは異物を吸い込んで故障することが多い。ファンが回っているかどうか、常に点検し、故障の際はすぐに交換できるように予備のファンを備えておく。特に夏季は微細な昆虫類が大量に通風筒内に吸い込まれる場合が多いため、ファンや感温部の頻繁な清掃が必要である。ただし、通風筒の空気吸い込み口部分に網（台所シンクまたは三角コーナー用のものなど）をとりつけることで、清掃回数を減らすことができる。

Tips 3.3-4

校正

簡易的には定期的に同一高度に基準器を設置し器差の較正を行う。基準器は定期的にメーカ検定を受け、経年変化についてもチェックする。

比較校正用の温度検定槽が市販されているため、これによる検定がさらに望ましい。防水型の温度計の場合、水循環装置と温度制御ユニットを装備した恒温水槽による検定が一般的である。

💡 Tips!

恒温水槽による検定の場合、低温域で水が凍らないように、不凍液を混ぜて使用する。

Tips 3.3-5

Appendix 3.3-1: 単位の変換

セルシウス度（摂氏） C [°C] と絶対温度 T [K] の関係

$$C = T - 273.15$$

$$T = C + 273.15$$

セルシウス度（摂氏） C [°C] とファーレンハイト度（華氏） F [°F] の関係

$$C = \frac{5}{9}(F - 32)$$

$$F = \frac{9}{5}C + 32$$