

# 気象観測の手引き

平成10年 9 月

気 象 庁

気  
象  
観  
測  
の  
手  
引  
き

気  
象  
庁

## はじめに

気象観測は、気象による災害の防止・軽減，交通の安全確保や農業をはじめとする産業への積極的な利用などを目的に，多くの機関で実施されています。社会生活や産業が多様化しつつある中で，気象に起因する災害形態が変化し，社会・経済活動への気象の影響が増大してきており，今後も気象観測はその重要性を増し，拡充・発展していくものと思われます。

気象観測は，気象学と科学・技術の進歩を通じて発展し，気象レーダーや気象衛星等のリモートセンシング技術を使って広範囲の気象を連続的に観測できるようになっています。地上気象観測や高層気象観測等で使っている気象を直接測定する気象測器も高度化しています。地上気象観測では，気象測器の隔測化が進み，社会の情報化とあいまって，遠隔地から通信回線を使って多数の観測所からデータを収集・処理して利用できるようになってきています。このような観測システムでは，観測精度を保つために，使用する気象測器の選択とともに使用する機器の保守，観測環境の維持，観測データの品質管理等を行うことが必要となります。

観測を実施するにあたっては，それぞれの観測の目的を達成するために，観測精度を保つことが大切です。また，気象観測の成果は周囲のデータと併せて総合的に利用するのが効率的なために観測データの相互交換が進められてきており，利用目的にあった観測精度を保つことが求められます。気象庁は，観測の方法をできるだけ統一し，観測精度を保つため「気象業務法」に，国・地方公共団体が実施する観測，防災や観測成果の公表を目的とする観測などについて，観測所の届出，検定に合格した測器の使用などを定めています。

この手引き書は，多くの機関で実施されている地上での気象観測を中心に，気象観測を行うにあたって必要とする基本的な事項をまとめたものです。

第1章では，気象観測を実施する際の基本的な事項について述べ，第2章以降では，降水・気温・風向風速といった各気象要素別に，定義と単位，測器の種類，観測の方法と注意事項などについて述べます。第14，15章では，検定に合格した測器の使用，観測所の届出などについて解説します。

この手引き書が気象観測を実施するにあたり，多くの機関で有効に活用されることを期待します。

平成10年9月

観測部長 中山 嵩

## も く じ

第1章	気象観測の基礎	1
第2章	降水	4
第3章	気温	9
第4章	風	16
第5章	相対湿度（蒸気圧・露点温度）	22
	【参考】乾湿計による蒸気圧，露点温度，相対湿度の計算	28
第6章	気圧	33
第7章	日射量	40
第8章	日照時間	43
第9章	欠章	45
第10章	視程	46
第11章	雲	50
	【参考】雲の発生	57
第12章	天気	58
	【参考】大気現象の種類と定義・解説	61
第13章	観測結果の品質管理	66
第14章	気象測器の検定	73
第15章	観測施設設置の届出	76

## 資料

用語解説（本文中ゴシック表記語）	79
------------------	----

## 沿革

平成10年9月制定

平成14年10月改訂

平成19年12月改訂

## 第1章 気象観測の基礎

この章では、気象観測を計画する際に考慮しなければならない一般的な事項について述べる。また、実際に観測を行うにあたっての手法全般についても概括する。

### 1.1 気象観測網

気象観測を行うには、まず観測の目的に応じて観測種目、観測点の配置、観測頻度などを決定しなければならない。

観測種目の選択は、通常、観測の目的から自ずと定まるが、新たな調査・研究に基づき最適な観測種目に変更することもあり得る。

観測点の配置や観測頻度を決定するためには、観測の対象となる気象現象の空間的・時間的スケールを考慮しなければならない。気象には、高・低気圧のように1000kmを超える規模の現象から竜巻のように1km以下のものまで様々な現象がある。その変動の周期や寿命も年単位のものから分単位のものまで大きな違いがある。一方、観測種目によっては、たとえば風や降水のように、地形により大きな影響を受けるものと、気圧のように地形の影響を受けにくいものがある。

以上のことから、大規模な現象を観測するためには、なるべく地形の影響を受けにくい平坦な場所で一様な間隔で観測することが望ましく、現象が小規模になるにしたがって、その現象の大きさに応じたさらに密な観測点の配置が必要となる。

気象庁は、災害の予防、交通の安全の確保、産業の興隆などに寄与するため、全国約150の気象官署において地上気象観測を実施し、また、さらに局地的な気象を的確に把握するため、日本全国を約20km間隔に配置したアメダス観測点で、気温・降水量・風向・風速・日照時間などを観測している。

気象観測を計画する際は、みずからの目的に最適となるよう観測種目・地点・方法等を選定する必要があるが、観測データをより効果的に活用するためには、気象庁のアメダスをはじめとする観測網と併せた総合的な利用計画を検討することが望ましい。

### 1.2 気象観測の方法

気象観測は、大別して、観測者が目視あるいは聴音により観測する場合と、気象測器を用いて測定する場合がある。気象測器を用いる場合においては、気象測器の種類や精度、測定方法、設置環境、点検・保守体制及び気象観測データの品質管理方法などを考慮する必要がある。

### 1.3 気象測器の精度

有効な気象観測を行うためには、気象観測の目的に応じて気象測器の精度を維持する必要がある。そのためには、製造時における気象測器の器差が必要な範囲内であることと、使用中においても必要とする範囲内に器差が収まり続けることが必要である。前者のためには、個別の気象測器を基準となる気象測器と比較する必要がある。後者のためには、その気象測器が将来の経年変化に耐え得る構造・材質を有していることを確かめる必要がある。

気象庁は、気象業務法に基づく検定として、気象測器の構造・材質、器差などの検査を行っているので、必要な場合にはこれに合格した気象測器を使用する。

## 1.4 測定方法

気象測器を用いて測定する際には、測定誤差を考慮する必要がある。一般に、測定誤差、すなわち観測した値と真の値との差は、個人誤差、系統誤差、偶然誤差よりなる。

個人誤差とは、気象測器の指示を観測者が目で読み取って数値を得る場合に、観測者の癖によって偏ることなどである。観測者が注意深く観測するよう適切な研修・指導を行うことでこの誤差を減らすことができる。

系統誤差とは、個々の測器や測定条件の違いにより現れる系統的な誤差であり、測器の器差を定期的に検査することやその測器に適した測定条件であるかどうかを調べることにより減らすことができる。

偶然誤差とは、気象測器内部に発生する熱雑音などのように気象測器の構造上避けられないものである。

いずれにしても、測定には誤差が避けられないが、気象測器の定期的な保守・点検、観測値の品質管理などを実施して、気象観測の目的に合致する範囲内に誤差を抑えることが大切である。

気象測器を用いて観測する場合、もうひとつ重要なこととして気象測器の応答の速さ(時定数)がある。たとえば、気温を観測する場合に、対象となる大気と温度計感部の温度とが平衡になる必要があるが、平衡に達するまでには一定の時間を要する。このため、観測の目的に応じて適切な時定数を有する測器を使用する必要があるとともに、観測を行う際には測器の時定数を考慮して観測値の読み取りや観測値の統計を行う必要がある。

風速計の場合は、時定数は風速にほぼ逆比例して変化する。このため、風速と時定数の積はほぼ一定である。これを距離定数といい、風速計の場合には、距離定数で測器の応答の速さを表す。

## 1.5 設置環境

どこに気象測器を設置すればよいかは、観測の目的により異なる。ただし、気象観測はすべて周囲の地形や構造物の影響を受けることを念頭に置かなければならない。周囲の地形や構造物の影響を含めた気象を観測する必要がある場合には、まさにその場所に設置するべきであり、周囲の地形あるいは構造物の影響を受けにくい気象を観測したい場合には、それぞれの影響の少ない設置環境を確保する必要がある。特に、近年においては、都市域における観測は建築物など周囲の影響を受けやすいので、観測の目的と設置環境を調和させることが肝要である。

風の観測は、周囲の地形の影響を受けやすいので、地域の代表的な観測を行う必要がある場合には、平坦な地形で行い、測器を設置する高さは地面状態に左右されないよう一定の高さ(6～10m)が必要である。

降水量の観測については、地形の影響の他に周囲の構造物の影響を受けやすい。この影響は、構造物から構造物の高さの2倍以上離れた場所で観測すれば少なくできる。これが不可能な場合でも10m以上構造物から離れた方がよい。

また、降水量、気温、湿度の観測においては、自然風を妨げない柵などで仕切って測器への不慮の障害を避け、芝を植生して日射の照り返し、雨滴の跳ね返りを少なくすることが一般的である。この設置場所を露場という。露場の面積は広い方が望ましく、気象庁のアメダス観測所においては、おおむね70m<sup>2</sup>以上の面積を確保している。また、気象庁では、気象測器の設置部分(7×5m程度)に人工芝を敷設した場合においても、気象観測への影響がないことを確認しており、雑草対策などに活用できる。

## 1.6 点検・保守体制

気象測器の感部は、気圧などの一部を除き通常屋外に設置されるため、風、雨、雪、日射、雷などに曝され、落ち葉、ごみ、蜘蛛の巣などの影響を受けることもある。したがって、正確に観測できるように気象測器を定期的に点検し、必要な場合は、清掃、部品交換などの保守を行うことが重要である。また、設置当初は良好な観測環境であっても、時と共に木々が生長したり周囲に新たな建造物が建築されたりして、観測環境が悪化することもあり得る。木々の生長では、定期点検時に確認し、枝木の剪定など適切な措置をとることが大切である。気象観測への影響が避けられないような新たな建造物が出現した場合は、測器の移動や観測施設の移設の検討が必要となる。

## 1.7 観測データの品質管理

前述のように測定には誤差がつきものであり、測定方法の誤りや観測環境の悪化により観測データの品質が低下することがあり得る。これを避けるためには、単に観測すればそれで終わりとすることは適当ではなく、観測データの品質管理を常に行うことが重要である。

品質管理の手法としては、他機関の観測網なども利用した気候値の比較、観測値の時系列の整合性、周辺の観測値との整合性、他の観測要素との整合性などをみる方法がある。1回の観測のみでは異常が発見されない場合においても、月単位、年単位の統計値を比較すると異常が見出される場合があるので、例えば、気象庁の作成した統計値との比較も有効である。この品質管理については第13章で詳しく解説する。

## 第2章 降 水

気象に起因して人命・財産に災害をもたらすものの中でも、大雨に伴う洪水・浸水、崖崩れ、土砂崩れ、あるいは大雪に伴う交通障害など、降水状況に伴って生じる災害は最も大きなものの一つである。また、これら短期間に集中して生ずる災害の他に、少雨・長雨など長期間の降水状況によって、渇水や農作物への被害もある。これらの災害を防止・軽減するため、あるいは水資源利用の調査などのため、多くの場所で降水の観測が行われている。

降水は、気温・気圧といった気象要素に比べて、局地性が強く、また時間的な変動も大きい要素である。これは、広い範囲で長時間しとしと降る雨、場所・時間によって強さの違いの大きい雷雨を考えれば容易に理解できる。1993年8月6日、九州南部の梅雨前線に伴う集中豪雨では、16時から20時の間に鹿児島地方気象台では173mm、ここからわずか10km離れた権現ヶ尾では同期間に57mmであったという極端な例もある。また、年間降水量（30年平均）をみても、高知では2,580mm、同じ四国の高松では高知の半分にも満たない1,150mmといったように地域的に大きな違いがある。

このため、降水の観測を実施するにあたっては、データの利用目的と地域的な降水の特性を勘案して計画することが大切である。この場合、一つの降水量観測点が代表できる広さは、積算期間（例えば日・月）に左右され、期間が長くなるほど広くなることに留意する必要がある。

### 2.1 定義と単位

#### （１）定義

降水とは、大気中の水蒸気が凝結したり、昇華してできた液体・固体の生成物、すなわち雨・雪・あられ・ひょうなどが落下する現象、又は落下したものの総称である。

降水量とは、ある時間内に降った雨・雪などの量であり、降水が流れ去らずに地表面上を覆ったとしたときの水の深さ（雪などの固形降水の場合は溶かして水としたときの深さ）で表す。また、単位時間あたりの雨や雪の量を降水（降雨）強度という。

なお、雪などの固形降水物が自然に積もって地面を覆っている状態を積雪といい、その深さを積雪深又は積雪の深さという。ただし、夏季のひょうや氷あられは積もっても積雪とはいわない。

#### （２）単位

降水量は、mm単位で表す。ただし、降水量は気温などのようにある時刻における瞬時的な値でなく、観測時刻前の一定の時間（たとえば1時間・3時間・1日）における総量として表す。

降水強度は、その降水が1時間続いたとした値、すなわちmm/hで表す。

積雪の深さは、cm単位で表し観測時刻における値である。

### 2.2 雨量計、雨雪量計

降水量を直接測定するためのいろいろな型の雨量計・雨雪量計があるが、ここでは代表的な貯水型雨量計と転倒ます型雨量計について述べる。このほかに、はかり型雨雪量計、サイフォン型雨量計、円筒型雨雪量計などもある。

なお、多雪地において、冬期間の観測には、円筒の深さを30, 60, 100 cmなどとその地域の降雪状況で選択できる円筒型雨雪量計が適している。これを用いた観測では、貯えられた雨や雪を降水はかりによって降水量として求める。



### 2.2.1 貯水型雨量計

世界で広く使用されている最も基本的な降水量測定用測器であり観測者の読み取りを必要とする。外形・構造は図2-2に示すとおりで、受水器・漏斗・貯水器（瓶）で構成されている。雨や雪を受水器で受け、これを漏斗部を通して貯水器に貯める。受水口の直径は7～23cm（面積100～400cm<sup>2</sup>）の種類のものがあるが、日本ではほとんどが20cm（面積314cm<sup>2</sup>）のものである。

観測は、毎日一定の時刻に行う。測定は、観測時に貯水瓶を取り出して、中に入った水を雨量ます（図2-1）に注ぎ、目盛りを読み取ることによって行う。雪が受水器に貯まっている場合は、雨量ますを用いて既知の量のぬるま湯を注いで溶かして全体量を測定し、注いだ量を差し引くことによって降水量を求める。

貯水瓶は降水量80mm程度で溢れるので、大雨時にはときどき貯水瓶を取り替え、取り出した貯水瓶内の降水量を測定・記録しておき定時の測定に加算する。また、貯水瓶がバケツに収容されている測器では、貯水瓶からあふれてバケツに貯った水の量も測定して加算する。

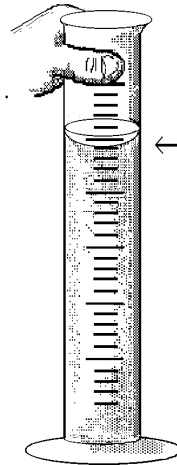


図2-1 雨量ます

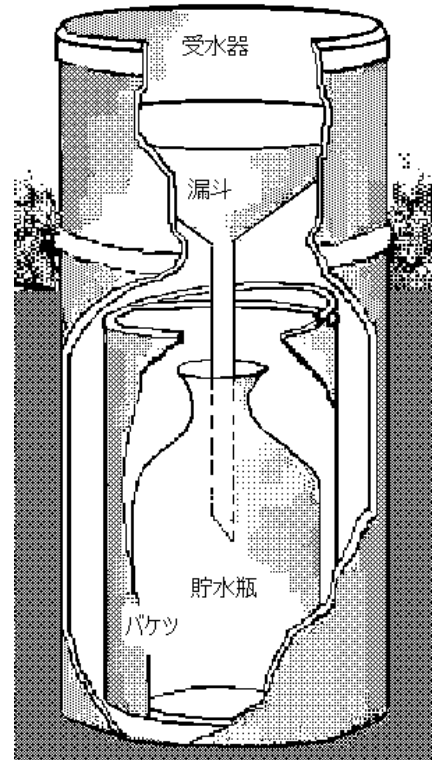


図2-2 貯水型雨量計

### 2.2.2 転倒ます型雨量計

外形・構造は図2-3の示すとおりで、受水器・漏斗・転倒ますで構成されている。漏斗の下には2つに仕切られた金属製の転倒ますが配置されている。仕切の左右は完全に対象であるが、転倒部の支点を転倒部の重心よりも下に設けてあるため、常に左右どちらかが上になっている。

雨水は受水器から漏斗を通して上側の転倒ますに導かれる。上側の転倒ますは一定量の雨水が入ると転倒する（古寺などにある、鹿おどしを連想するとよい）。転倒すると今まで貯まっていた雨水は捨てられ、受水器からの新たな雨水は転倒のため上側になった別の転倒ますに入るようになる。

転倒ますが転倒すると、接点パルスを発生する。この回数を計数することによって降水量が求まる。例えば0.5mmの転倒ますが7回転倒すれば、降水量は3.5mmとなる。

雪などの固形降水を観測するための転倒ます型雨量計には、温水式・溢水式のものがあり、雪などを溶かして計測できるように工夫されている。

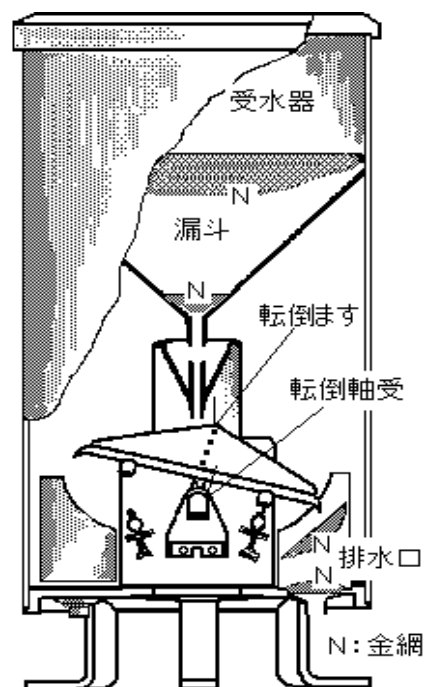


図2-3 転倒ます型雨量計

温水式は、受水器・漏斗の周囲を二重構造にし、ここに不凍液を満たしてヒーターなどで5 前後に暖め、受水器に入った雪などを溶かすようになっている。

溢水式は、受水器内が二重構造になっており、内側に水と水が蒸発しないよう表面に油が浮かせてあり、外側に不凍液が貯えられていて、ヒーターなどで10 前後に暖められており、受水器内の水と油を加熱している。雨・雪などが加わるとその量分の水が中央部の溢水口からあふれ出て、転倒まずに落下するようになっている。

転倒まず型雨量計は、デジタル的な測定方法であり、自動観測に適している。

わが国で使用されている転倒まずの容量は大部分、降水量 0.5mm又は 1 mmに相当するように設計されているが、一部には0.1, 0.2mmに相当するものもある。気象庁では、転倒まずの容量が 0.5mm のものを使用している。

## 2.3 積雪計

積雪の深さは、吹きだまりなどのない、自然な状態で積もった雪の深さをcm単位で測定する。測器には、観測者の読み取りによるものと、自動観測が可能なものがある。ここでは双方の代表的なものについて述べる。

### 2.3.1 雪尺

雪尺は、cm目盛りの付いた木製の角柱で、太陽からの熱の影響を少なくするため白く塗装されている。

観測は、風や雪面の沈降などで雪尺の周りが盛り上がりたり窪んだりすることがあるので、雪尺から数十cm以上離れた平均的雪面の高さを推定し読み取る。

雪尺の長さは、これまでの積雪状態を参考に決める。

### 2.3.2 超音波式積雪計

超音波式積雪計は、逆L字型ポール先端に超音波の送受波器を取り付けたものである。超音波を下向きに発射し、雪面で反射された超音波を受信し、その送受間の時間から積雪を測定する。送受間の時間が雪面までの距離に比例することを利用している。

なお、超音波の伝播速度は空気の温度に依存するため、その場の気温の観測も欠かせず、送受波器の近傍に温度計が設置されている。気象庁では、露場で測定した気温を用いている。

## 2.4 設置

降水の観測は、できるだけ風の影響がない場所とするのが理想である。これは雨滴や雪片が風の影響を受けて雨雪量計受水口に入らなくなるのを防ぐためである。公園・森林内の開けた平らな場所などが適地とされるが、このような場所を探すことはなかなか困難なことも現実である。適当なフェンスで囲うとか風避け付きの測器を使用するなどして、できるだけ受水口上の気流が、雨雪量計を設置したことによる上昇や下降の流れにならないような方法をとることが望ましい。

近くに建物がある場合は、建物による局地的な風の乱れの影響を防ぐため、その高さの少なくとも2倍以上、できれば4倍以上離れた位置に設置する。傾斜地や建物の屋上は観測場所としては、特殊な観測目的以外は、適当でない。

雨雪量計そのものも風の影響を受けないようできるだけ低く設置する。貯水型雨量計は図2-2に

示したように、跳ね返りの雨水が入らない程度に本体を土中に埋める。転倒ます型雨量計は、取付け台を地表面と同じか、やや高くなるようコンクリートなどで整備し、その台にボルトで固定する。これより低いと排水がスムーズに行われず電気系統に障害が発生する恐れがある。なお、多雪地においては積雪の影響を避けるため、過去の積雪の深さを考慮して適当な高さに設置する。

雨雪量計は、受水口面が水平になるように取り付ける。特に転倒ます型については正確に水平に設置しないと、転倒機構に摩擦が生じたりバランスがくずれて、誤差が大きくなるので注意が必要である。

雨雪量計の周囲は、跳ね返りによる水が受水口に入らないよう丈の低い草を植えるか、砂利などで覆う。また、雨雪量計などが冠水しないよう観測施設の排水も考慮する。

積雪計についても同様で、風の通り道や吹き溜まりを避ける。また、雪解け時期が周囲より遅れたり、早くなるような場所は適していない。

## 2.5 誤差

雨雪量計による降水量の測定において生じる誤差の主な原因は次のとおりである。

受水口上での風速の増大及び風の乱れによる降水捕捉率の低下。

受水器・貯水器内壁を濡らすことによる損失。

受水器・貯水器からの蒸発による損失。

このうち最も大きいのは、風の影響である。この影響は風が強いほど、また雨滴・雪片の落下速度が遅いほど（したがって雪のときほど）顕著になる。雨雪量計の周りで渦が生じたり、受水口上で風速が増したりして、雨滴や雪片が雨雪量計の受水口に入りにくくなるためである。各国における調査では、捕捉できない量は雨では降水量の2～10%、雪では10～50%に達するとされている。

風の影響を小さくするためには、できるだけ風の影響を受けないような場所に雨雪量計を設置するか、人工的な風避けを取り付けるようにする。風による誤差の補正については多くの調査があり、雨雪量計周囲の環境（粗度・障害物の仰角）・風速などをもとに補正する方法がいくつか提案されているが、いずれも単純ではない。

受水器・貯水器内壁の濡れによる損失は、貯水型雨量計では1回の降水で0.1～0.2mm程度とされている。

受水器・貯水器からの蒸発による損失は、貯水型雨量計では0～4%程度であるが、転倒ます型雨量計ではこれより大きい。

また、温水式・溢水式転倒ます型雨量計は保温されているため、受水口付近で上昇流が生じることによる捕捉率の低下は避けられない。

なお、転倒ます型雨量計については、1時間に100mmを超えるような強雨時には転倒しつつあるますに雨水が流れこむことによる損失がある。また、溢水式転倒ます型雨量計は、強風時に受水器内の水面が揺れて、あふれた水がますを転倒させ、実際には降水がないのに降水量として誤まって計測することがある。

## 2.6 校正と保守

貯水型雨量計は、正規の雨量ますを使用していれば、特に校正の必要はない。転倒ます型雨量計は、既知の水を注ぎ、転倒回数を数え、注いだ水に相当する降水量（例えば受水口の直径が20cmの場合は、降水量10mm相当分は314cm<sup>3</sup>）と転倒回数が合っているかを点検するとよい。この場合、一

気に受水口に水を注ぐと、ますの転倒中に水の損失を生じるので時間をかけて注ぐようにする。

落ち葉などが受水口下部につまることによる障害、あるいは転倒ますに蜘蛛が巣を張ることによる障害は比較的多いため、定期的に貯水器・雨量ます・転倒ますを清掃する。また、測器が水平に取り付けられているかを確認する。障害を含めた雨量状況を監視するには、周囲の観測所の降水量データ・気象レーダーの画像と比較することが有効である。

## 2.7 間接的な方法による降水の測定

### 2.7.1 気象レーダー

気象レーダーは、雨滴や雪片により電磁波が散乱されることを利用して降水を探知する機器であり、短時間に広い範囲について細かい分解能で降水を把握でき、連続して観測することによりその移動や変化をとらえられるといった優れた特徴を持っている。

また、経験的にレーダー受信電力と降水強度の間に一定の関係があることが判っており、これを積算することによって降水量を求めることも可能である。

ただし、降水の型（雨・雪）、降水の種類（地雨・にわか雨）などによって経験式の定数が異なること、レーダーからの距離が遠くなったり山があったりすると電波が地表から高いところを通ることになるといったいくつかの要因によって、実際の降水状況を反映しないなど、降水強度測定には大きな制約がある。

このため、レーダーからの見通しのよい範囲についても、地上で測定した値と2～5倍程度の違いがあるのは普通である。したがって、レーダーによる降水強度・降水量の見積もりは一般的には定性的なものとして扱うのが適当であり、定量的に取り扱うには地上雨量計による測定値と比較して校正することが必要である。

気象庁では、気象レーダーによる観測値をアメダスの雨量計による測定値で校正する処理を行い、細かい分解能での降水量の分布を求めている。

### 2.7.2 光学式雨量計

雨滴や雪片が光を散乱させることを利用して、降水の有無・型（雨・雪）を判別すると同時に、降水強度（積算すると降水量）を測定する機器である。

現在、主に近赤外線を投光し、雨・雪などによる散乱を斜め前方から受光する前方散乱計が使われている。降水の有無の判別に、電極の間に雨雪が落ちた場合に抵抗値が変化することなどを利用した感雨器を併せて用いている機器もある。

この機器は、視程の測定も同時に行え、「現在天気計」という名称も用いられている。

### 第3章 気 温

気温は寒暖の違いとして人々の日々の活動において直接関係し、また、動植物の成育と関係が深い。このため、そのときどきの気温の観測値あるいは統計値は、日常生活や各種産業などに利用されている。

地表付近の気温は、建物、アスファルト道路といった局地的な構造物などの影響を受けやすいが、開けた自然の土地では比較的広い範囲ではほぼ一様である。日本の毎日の最高・最低気温は、平均的にはおよそ400km<sup>2</sup>の範囲でおよそ1 内に約60%が入るといった調査もある。

また、平均的には気温は高さとともに低くなるが、日々の値はそのときの大気の状態・日射・地面からの放射などに左右されるので、必ずしも高地ほど低いとは限らない。平野・盆地といった地形、あるいは都市といった人工的な要因も気温の高低に影響する。したがって、気温観測を行う場合には、データの利用目的に沿って計画することが大切である。

#### 3.1 定義と単位

##### ( 1 ) 定義

気温とは大気温度である。最高気温又は最低気温とは、ある一定期間のうちで最も高い気温又は最も低い気温をいう。また、接地気温とは地表に接する気温、地中温度とは土壌のある深さにおける温度をいう。

##### ( 2 ) 単位

気象分野で通常用いられる温度（気温）の単位は、セルシウス度（℃：摂氏）単位とケルビン度（K：絶対温度ともいう）単位である。ケルビン度で表した温度をTとしたとき、セルシウス度で表した温度tは

$$t = T - 273.15$$

である。

なお、外国ではファーレンハイト度（°F：華氏）単位を用いている国もある。ファーレンハイト度で表した温度をFとしたとき、セルシウス度で表した温度tは、

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

である。

#### 3.2 温度計

気温（温度）を測定する測器としては、温度によって液体・金属が膨張・収縮することを利用したもの、電気抵抗が変化することを利用したものがある。前者の原理を用いたものにはガラス製温度計、金属製自記温度計（いわゆるバイメタル式温度計）があり、後者の原理を用いたものには電気式温度計（白金抵抗温度計など）がある。これらはいずれも測定しようとするものと温度計を熱平衡状態にして温度を測定する方法である。

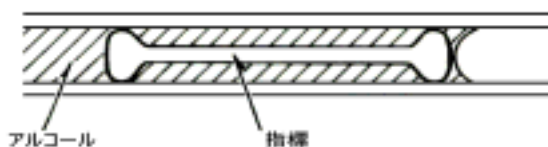
このほかに物体が出す赤外線が温度によって決まることを利用して温度を測定する放射温度計もあり、これは気象衛星による雲頂温度の測定などで使われている。

気温は細かくみると数秒の内でも1～2 の幅で変化している。気象観測では、観測場所周辺を

代表する値を得ることを目的としているので、このような短時間での細かい変動を除いた平均的な値が必要で、一般に、時定数が約30秒から 180秒のものが多く使われる。

### 3.2.1 ガラス製温度計

ガラス製温度計は、ガラス管の中に一端に球部を持つガラス製の細い管を入れ、それに水銀又はアルコールなどの液体を封入し、温度による液体の体積変化を細管の中の液柱の長さの変化として示すものである。



ガラス製温度計の構造には、棒状型のものと二重管型のものがある。棒状温度計は、棒状のガラス管の中心部に細管をおきガラス表面に目盛りを刻んだものである。二重管温度計は、棒状温度計の管を非常に細くしてその後ろに温度目盛りを刻んだ乳白色のガラス板を固定し、これをさらに太いガラス管内に封入したものである。二重管温度計は、細管内の液体と目盛り板の距離が短いため、読み取り時に視差の影響が入りにくく、棒状温度計より正確な値が得易い。

#### (1) 通常の温度計

ガラス製温度計は、その場での読み取りを必要とするが、持ち運び・設置が容易で比較的安価であり、気温の観測に多用されている。気象観測には視差誤差が少ない二重管型が望ましい。時定数は太さにより異なるが、一般的なものは60秒ほどである。

#### (2) 最高温度計

最高温度計は、球部と細管の連結部に狭い部分（「留点」という）をつくり、球部の水銀の出口を狭くした水銀温度計である。気温が上がると水銀は球部から留点の狭い隙間を通過して出て行くが、気温が降下しても留点のところで水銀は自己の凝縮力で切れて球部に戻れないような構造になっている。水銀系の頂部は、復度するまでの間、最も高い位置を保持するので、最高気温を示すことになる。同じ原理は水銀を用いた体温計にも使われている。

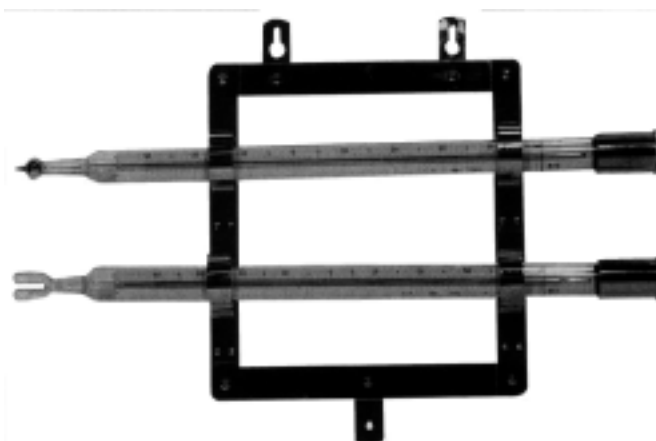


写真 3-1 最高・最低温度計（二重管）

復度とは、現在の気温を示す位置まで水銀系の頂部を戻すことをいうが、体温計と同じように球部を下にして手でしっかり持って強く振り、その時の気温に合わせることで行う。復度が不十分で、かつ、次回の観測まで、気温の変化が現在の指示値を超えることがない場合は、不十分な復度での現在の指示値が次回観測時の最高気温となってしまうので注意する。

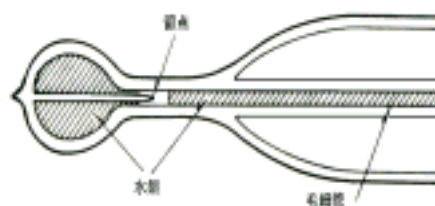


図 3-1 最高温度計の球部の構造

### (3) 最低温度計

最低温度計は、アルコールの中に浮遊する長さ約2cmの色の濃いガラス指標を封入したアルコール温度計である。指標は、気温が降下するときにアルコールの表面張力のため引きずられて移動するが、上昇するときはその位置に残される。指標は、復度するまでの間、最も低い位置を保持するので、最低気温を示すことになる。アルコールは水銀に比べ熱伝導率が小さいため、球部の形は二股にし、受熱面積を大きくしてある。 図3-2 最低温度計の指標

復度は球部を静かに上げ、指標がアルコール系内を浮遊して系の頂部に停止させる方法で行う。

### (4) 地中温度計

地表から深さ30cm以内の地中温度を測定するには曲管地中温度計を用いる。これは最低目盛線より下を適当な角度に曲げた水銀温度計である。この温度計は測定深度まで球部を埋めても地上で目盛りを読み取れるようになっている。

30cmを超える深さの地中温度測定には鉄管地中温度計を用いる。使用する温度計はワックス・メタリック塗装をした球部をもつ木・ガラス・プラスチックなどの管に取り付けた保護枠付水銀温度計である。これを必要な深さまで地中に埋めた金属管などの中に吊り下げて測定する。

読み取りは鉄管から出して行うが、そのとき、地上の気温にすぐに追従したのでは正しい地中温度の観測とならないため、時定数を大きくしてある。



写真3-2 曲管地中温度計



写真3-3 鉄管地中温度計

#### 3.2.2 電気式温度計（白金抵抗温度計）

電気式温度計は、温度変化とともに電気抵抗が変化する材料の抵抗値を測定することにより、温度を求めるものである。

使用する材料は、高い純度が得られ、熱的、化学的に安定で伸張性にも優れている白金が最適である。感部は雲母や磁器などの薄板上に白金線を巻き熱伝導度が優れ腐食しにくいステンレスなどの保護管に納め完全防水している。時定数は、保護管の太さによって左



写真3-4 白金抵抗温度計

右され、風速5m/sのとき保護管の直径が3.2mmで35～40秒、6mmで90～120秒、10mmで120～180秒である。

白金抵抗温度計は、精度がよく取扱いも比較的簡便であり、データを観測点から離れた場所で観測でき、表示・指示・収録などを目的に合わせて自由に処理できるといった多くの利点を持っており、最近では温度の測定に幅広く使用されている。

気象庁では、1970年代からこの白金抵抗温度計を使用しているほか、温度計検定用の基準器としても使用している。

### 3.2.3 金属製自記温度計

一般にはセンサとして、バイメタル又はブルドン管を使用している。この温度計では電氣的処理はできないが、円筒自記記録機構を使って1～7日分の気温を1枚の記録紙上に記録できる。

#### (1) バイメタル自記温度計

温度による膨張率の異なる2種の金属板を張り合わせたものは温度が変化すると変形する。例えば温度が上昇すると膨張率の小さい金属板の方向に湾曲する。このように金属を組み合わせることで板状又はらせん状に張り合わせたものをバイメタルという。

バイメタル自記温度計は、温度による変形を、この機構を通じて円筒に接するペンの動きへと変換し、気温を記録するものである。時定数は風速5 m/sのとき約25秒である。

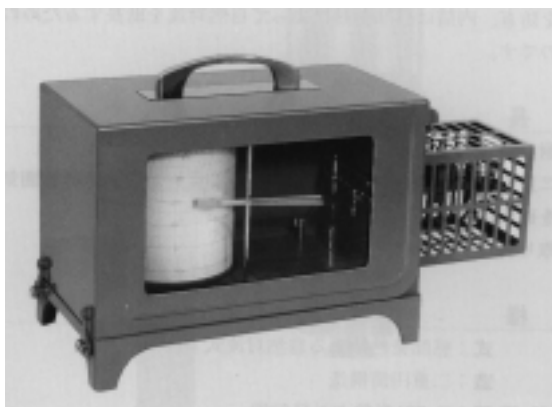


写真 3-5 バイメタル自記温度計

気温を記録するものとしては比較的安価で軽便であるが、微妙な調整を必要とする拡大機構を持っていること、衝撃などで0点がずれやすいことなどから、常により精度を保つことはなかなか困難である。このため、定期的にガラス製温度計と比較し、必要な場合にはこれで補正する必要がある。この比較は、ガラス製温度計とバイメタル温度計では時定数が異なるので、この影響を受けないよう3～5 m/s前後の風があり、曇っていて気温の変化が比較的小さい時間帯に行う。

#### (2) ブルドン管自記温度計

アルコールなどを満たした平らで長円形の断面をもった曲率のある金属管の形（牛の角状）をしたブルドン管を温度感部として用いている。温度変化によりブルドン管内部の液体は膨張・収縮して管の曲率が変わる。バイメタルより感度が悪いのでペンの動きへ変換するとき、より倍率の高い拡大機構を必要とする。時定数は風速5 m/sのとき約60秒である。

一般には、ブルドン管を記録部として、そこと同じ液体で満たされた感部とを導管で結んで用いる。導管により距離数十mまでなら隔測ができるので、地中温度などの測定に使われている。ブルドン管自記温度計の精度とその補正はバイメタル温度計とほぼ同様である。

### 3.3 観測場所

気温は、木々、建物などといった局地的な構造物などの影響を受けやすい気象要素の一つである。観測場所としては、開けた平らな土地で、近くに木々、建物などの他の障害物のない場所で行う必



要がある。

急勾配の傾斜地の上や窪地の中といった場所は避ける方がよいが、観測場所とする場合には、周囲の観測所の気温データと比較して、特性を調べておくことが必要である。

また、建物の屋上は、気温分布に建物自身が影響するので、鉛直方向に温度の違いが大きく現れ適当でない。

温度計(後に述べる百葉箱・通風筒)を設置する場所の地表は、自然な状態が適当であり、通常、草丈の短い芝を張るとよい。これができない場所では、周辺の地表と同じ土壌などとする。第1章5節で述べたように、雑草対策のため人工芝を敷き詰めることも検討すればよいが、アスファルトなどは地面からの照り返しの影響が非常に大きく、特殊な観測目的以外は適当でない。

### 3.4 設置

#### 3.4.1 設置の高さ

設置の高さについては、地表付近では気温は日射などの影響を受けて高さとともに大きく変化するので、観測データを相互比較できるように、温度計を設置する高さを常に一定とすることが望ましい。世界気象機関(WMO)ではこの高さを1.25～2.0mの間を推奨しており、気象庁では1.5mを基準としている。積雪があるときは温度計の雪面からの高さが、この高さとなるように次項で述べる百葉箱・通風筒の高さを調節する。

#### 3.4.2 放射からの遮蔽

温度計は、日射を受けると温度が上昇し、周囲の大気温度とは異なる値を示す。このため温度計は、百葉箱又は遮蔽(通風)筒の中に取り付け、日射を遮蔽するとともに、温度計を雨・雪から保護し不慮の損傷を防ぐ必要もある。

通常、ガラス製温度計・金属製自記温度計は百葉箱に収容し、電気式温度計は通風筒に収容する。この場合、百葉箱や通風筒は内側の温度ができるだけ外気温と同じで一様になるように風を通す必要がある。これにはファンを用いるが、ファン自身の熱を考慮して、外気を吸い込む回転とし、外気の入口とファンとの間に温度計を設置する構成にするとよい。

##### (1) 百葉箱

良質の木材で作られ、放射熱をなるべく遮断するよう白色に塗られた箱で、側面は二重の鎧戸とし、底面・天井はすのこ張りで二重にした構造が一般的である。通風は、一般に側面・底面などからの自然通風を利用している。

ただし、気象庁における試験では、箱の内側の大きさが90cm程度の百葉箱(気象庁1号型)でも、自然通風では平均的に気温を昼間はやや(0.1～0.2)高く、夜間はやや低く計測することが判っている。

気象庁ではこれを改良し、各壁面・底面などを二重とし内側にアルミ箔を張り付け、さらに内部に内箱を設け、天井部にファンを取り付けて強制通風するようにした百葉箱(気象庁3号型)を使用していたが、現在は使用していない。箱の内側の大きさは70cm程度である。

百葉箱は日光が入らないように扉側が真北になるように設置する。百葉箱の下の地面は芝を張るか、その地域の自然の地表にする。

## (2) 通風筒

光沢のある金属及び断熱材で二重の筒をつくり，この中心部に温度計を取り付け，上側に取り付けたファンで強制的に通風（下部から上部への流れ）するようにしたものである。

通風筒内は外から見る事ができないので，使用する温度計は電気式温度計に限られる。通風速度は5 m/s前後である。

自然通風を利用した通風筒もあるが，気象庁での試験ではこの型は，いずれも日射などの影響をかなり受けることが判っており，気温観測用には適していない。

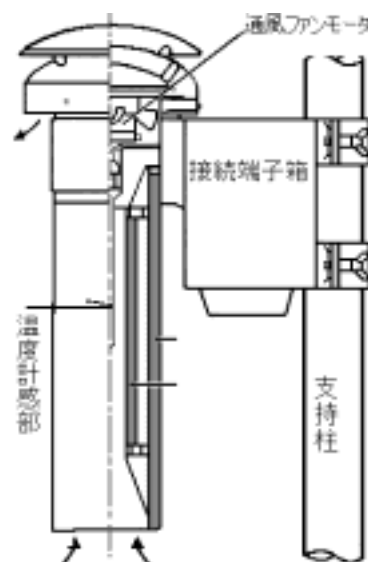


図 3 -3 温度計通風筒

### 3.4.3 温度計の取付け

気温を測定する場合，通常のガラス製温度計は球部を下にして垂直になるように，最高温度計は球部が頭部より幾分低め，最低温度計は水平に取り付ける。電気式温度計については取付け方向の制約はないが，普通，通風筒を使用するので感部を下にして垂直に取り付ける。

地中温度測定用の曲管温度計は，球部が必要な深さになるように地中に埋めて設置し，鉄管地中温度計は壁厚の薄い金属管が必要な深さまで埋め込んで，この中に感部が測定する深さになるように吊り下げる。いずれの場合も地中温度計周辺の土壌は，周囲と同じにする。

なお，鉄管は，設置してから温度が安定するまで相当時間がかかるので，取り付けてすぐの観測は控える。1 か月ぐらいかかるともいわれる。

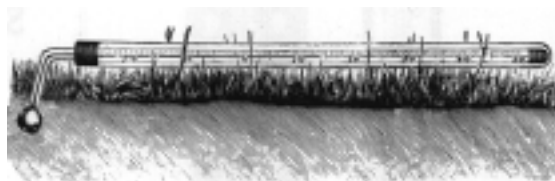


図 3 -4 曲管地中温度計



図 3 -5 鉄管地中温度計

## 3.5 測定方法

ガラス製温度計の気温の読み取りは，観測者の体温や息などによる温度変化を避けるため，10分の1位を先に（目盛線は 0.2 または 0.5 ごとに刻んであるので按分して求める）して，素早く読み取る。この場合，眼と液体系の頂部とを結ぶ線が温度計の細管に直角になるようにして視差が生じないように注意する。器差がある場合には読み取り値を補正する。1，5，10 の値を誤ることがよくあるので，読み取り後に再確認する。

最高・最低温度計は読み取った後，復度する。復度後に，その時の指示値を記録し通常の温度計による値と比較して，大きな差がないことを確認するとよい。読み取り時刻については，最高・最低気温の発生しづらい時刻が望ましい。

金属製自記温度計の円筒部への記録紙の取り付け方法は、取扱説明書による。記録した時刻が正確かどうかを確認するため、記録紙の取り付け・取り外し時にはその時刻を鉛筆で記入しておくとい。

電気式温度計による測定は、その指示・表示あるいは記録による。

### 3.6 保守

ガラス製温度計は、細管の中で水銀・アルコールが切れることがあり、この場合は誤差を生じる。これは、普通、温度計の球部側を下にしたまま、手のひらなど弾力あるものに軽くすばやく何回もたたいたり、ゴム板の上に1 cmぐらいの高さから垂直に何回も落としたりすると再結合できる。球部を冷やしながら細管の上部を暖める方法もある。

なお、水銀は飲み込んだり蒸気を吸い込んだりすると有毒であるので、破損した場合はこのようなことのないよう注意が必要である。

金属製自記温度計は、取扱説明書に従って、軸受けの動き・ペン圧（自記温度計を30度程度傾けたときペンが離れる程度が適当）などを点検する。また、バイメタル・ブルドン管部はときどき刷毛でいねいに清掃する。

電気式温度計については特に保守の必要はないが、ケーブルの劣化や接続点の緩みなどで回路の抵抗が変化し思わぬ誤差を生じることがある。このため、定期的にガラス製温度計と比較するとよい。

百葉箱・通風筒は、ときどき清掃する。また百葉箱は2年に1回程度再塗装することが望ましい。

## 第4章 風

風は、気圧分布と密接に関係し、大規模な大気運動の指標として重要な気象要素である。また、台風や発達した低気圧などに伴う強風、雷雨や前線などに伴う突風により災害が発生することもある。

風の観測値は、これら災害の軽減、車・船舶・航空機の安全運航、大気汚染の予報などに利用されている。また、その統計資料は、建築物の設計、土地利用計画、エネルギー開発などの幅広い分野で利用されている。

### 4.1 定義と単位

#### (1) 定義

風は、大気の地表面に対する相対的な動きであり、風向と風速によってベクトル（普通は極座標による方向と速さ）で表す。

風向は、風の吹いてくる方向をいう。例えば北から南へ風が吹いているときの風向は北、南から北へ風が吹いているときの風向は南である。

風速は、大気が移動した距離（「風程」という）とそれに要した時間の比、すなわち単位時間に大気が移動した距離をいう。

#### (2) 単位

風向は、真北を基準に全周を時計回りに16又は36に等角度で分割し、16方位又は36方位で表す。

36方位は風向を10度単位で表す方法で、国際的なデータ交換などに使用されている。一般的には16方位で表す方法が用いられている。これは、風向を北北東・北東・東北東・東・……北のように区分する方法である。英文字（数字）では、NNE（1）・NE（2）・ENE（3）・E（4）・……N（16）と表現する。このとき、真北を、16方位の場合は16、36方位の場合は36の中心に定める。また、45度単位に分けて8方位で表す場合もある。それぞれの分割法で表した場合の対応は図4-1のとおりである。数字を使う場合は、36方位・16方位・8方位のどれを使用したかをはっきりさせておく必要がある。

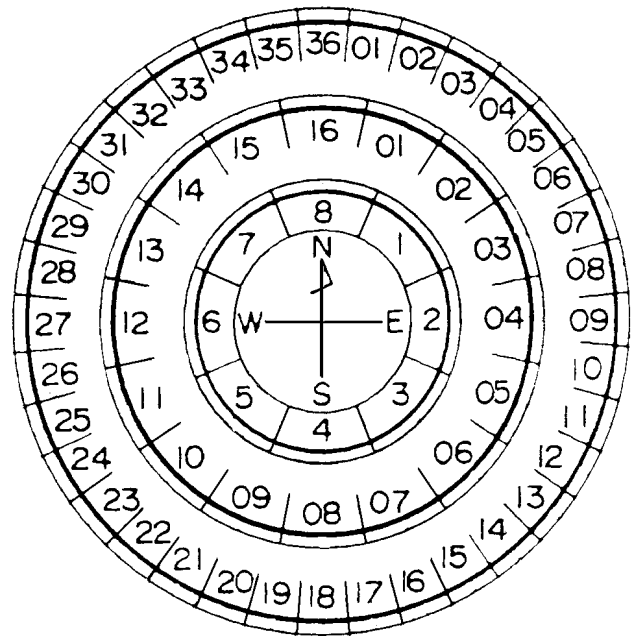


図4-1 8,16,36方位の対応

風速の単位は、m/sを用いる。ただし、場合によってはノットや時速（km/h）を用いることもあり、それぞれの単位間の換算は、 $1\text{ m/s} = 1.944\text{ ノット} = 3.6\text{ km/h}$ である。

なお、風がないか非常に弱い場合（風速を0.1m/s単位で観測するときは0.2m/s以下、1m/s単位で観測するときは0m/sの場合）は「静穏（Cal m）」という。静穏時の風向は求めず、風向を

文字で表すときは「 - 」，数字で表すときは「 0 」とする。

### ( 3 ) 瞬間と平均

風は絶えず変動するため，瞬間値と平均値として観測する。

瞬間風向・風速は，ある時刻における風向・風速の値である。しかし，ある時刻の値としても，これは風向風速計感部の応答特性やサンプリング間隔に左右されるので，短時間について平均した値を瞬間風向・風速として使用するのが適当とされている。気象庁は，風向については0.25秒毎の瞬間の向き，風速については0.25秒間の風速パルス信号を計測し，瞬間風向・風速としている。

平均風向・風速は，一定時間内の風向・風速を平均した値で，平均する時間は10分間を用いる。通常，単に風向・風速という場合は，この10分間平均風向・風速を意味する。ただし，航空機の離着陸のための観測においては，平均する時間として2分間を用いている。

風はベクトル量であるので，平均風速を求める方法には，風向を考慮せずに平均風速（スカラー平均）を算出する方法と，風向を考慮して平均風速（ベクトル平均）を算出する方法とがある。現在多用されている風速計は，いずれもスカラー平均風速を算出している。スカラー平均風速値はベクトル平均風速値より1～4%程度大きくなる。

なお，測器を用いた観測では，デジタル処理で平均を求める場合が多いが，風向・風速を連続的にアナログで記録しても，これから平均値はかなり正確に読み取れる。

## 4.2 風向風速計

風向・風速を測定するために，各種の型の風向計や風速計，あるいはこれを同時に測定する風向風速計がある。測定可能な風速の上限は，10数m/sのものから100m/sのものまでと様々で，目的に応じて選択できる。

ここでは，比較的多く使用されている矢羽根型風向計，風杯型風速計，風車型風向風速計，超音波風向風速計について述べる。

世界的には矢羽根型風向計と風杯型風速計の組合せが多く使われているが，日本では風車型風向風速計が多用されている。

このほかにはピトー管（管に開いた孔に作用する風圧などを測定し，風速を求める）や熱線の原理を応用（熱した金属線などが，風速の強さにより冷やされかたが異なることを利用し，風速を求める）した風向風速計もある。

これら地上風を観測する風向・風速計のうち，測定対象の風を動力として，感部の風に追従する動きで風向・風速を捉えるものは，感部が水平に設置されたときに，水平面上の全方位の風に対し均等に機能し，真値を捉えるように設計されている。

また，上層風の測定を目的とした，音波・電波・光を使ったりリモートセンシング機器も開発されており，それぞれ，ソーダ（SODAR）・ウインドプロファイラ（WIND PROFILER）・ライダー（LIDAR）と呼ばれている。

### 4.2.1 矢羽根型風向計

風見鶏のように風が吹くと矢羽根が向きを変えることを利用し，鉛直に支えた回転軸上の一方に矢羽根を，一方におもりを取付けて平衡をとり，おもり側が常に風上を向くようにして，回転軸の

角度から風向を求めるもので、風信器と呼ばれていたこともある。

角度（風向）は、回転軸に直接方位盤を取り付けて読み取る方法もあるが、現在は、セルシンモーター、光エンコーダーなどを用いて電氣的に検出する方法がとられている。

どの風向計についても共通するが、風向が変化するとき、これに素早く追従すること、慣性により回りすぎないことが大切であり、矢羽根は1枚のものより2枚の羽根を一定の角度で開いて取り付けただのものの方がよいとされている。



写真 4 - 1 矢羽根型風向計

#### 4.2.2 風杯型風速計

鉛直に支えた回転軸上に、この軸を中心に水平面上にアームを伸ばし、先端に等角度に半球形又は円錐形のカップ（風杯）を3あるいは4方向に配置したものである。風向に関係なく風が風杯に当たるとこれが回転し、回転速度（数）が風速にほぼ比例するように設計されている。

風杯を90度ごとに4個配置して、回転数を歯車で減速して読み取るようにしたロビンソン風速計はこの典型であるが、風速の変動があるとき実際の風速より大きい値を示すことが明らかになり、現在では風杯を120度ごとに3個配置しアームを短くした3杯式が多く使われている。

回転数の検出には、回転軸に発電機を接続して電圧を測定する方法、回転軸に数十個の穴をもつ円板を直結し光を断続することによってパルス数に変換して計測する方法、回転軸に磁石を取り付けN Sの磁極数に応じた磁気パルスを計測する方法などがとられている。



写真 4 - 2 風杯型風速計

この風杯型風速計は、風が水平でなく斜めの角度（吹き上げ、吹き下ろし）で当たるとき回り過ぎる、すなわち風速を実際より強く観測する傾向がある。

#### 4.2.3 風車型風向風速計

流線型の胴体の先端に4枚程度の羽根を持つプロペラ（風車）を、後部に垂直尾翼を配置し、これを水平に自由に回転するように支柱に取り付けてある。常に風車が風上を向くようにして、風車の回転数から風速を、胴体の向きから風向を測定する測器である。1台で風向と風速を同時に観測できる、わが国では最も馴染み深い測器である。

風向・風速の検出は、矢羽根型風向計・風杯型風速計と同様に各種の方法がとられている。

風車型風向風速計は、短周期の風向変動があるとき尾翼部がこれにすぐ追従せず、風車が風向に正対するまでに遅れを生じるため、風速を低く測定する傾向がある。風向と風車の向きが30度違っ

たときの風速は、正対したときの80%程度である。ただし、風車は風の鉛直成分の影響を受けないので、風杯型のような斜め方向からの風による回り過ぎはない。

なお、気象庁では、距離定数（第1章4節）が5～8mの風車型風向風速計を使用している。



写真 4 -3 風車型風向風速計

#### 4.2.4 超音波風向風速計

音波が空気中を伝搬するとき、その速度が風速によって変化することを利用して、風向・風速を測定する方式の機器である。音波としては、周囲の雑音と区別するため100K<sup>2</sup>程度の超音波が使われる。

東西及び南北方向にそれぞれ対向して20cm程度の間隔をおいて超音波の送受波器が配置されており、一方から超音波を送信し、もう一方でこれを受信して、送信から受信までの伝搬時間を測定する。伝搬時間は、送受波器間の長さを音速と風速の和（又は差）で割った値に等しいので、これから風速の東西及び南北成分を求め、両方の成分を合成して風向風速を計算する。送受波の方向を交互に切り換えることによって向きを判別し、また、これによって温度による音速の違いを相殺している。

この風速計は回転する部分がないので追従の遅れや回り過ぎはなく、1～2 cm/sの分解能で毎秒10～20回の測定ができるので、微風や乱流の測定に適している。ただし、送受波器を支えるアームの振動の影響などがあり、強風時の観測には適していない。

#### 4.3 観測場所

風は地物の影響を受けやすいので、風向・風速計は、普通、平らで開けた場所に設置する。測器感部と建物や木々などの障害物との距離は、障害物の高さの少なくとも10倍以上あることが望ましい。

平らでない崖の上や、建物の縁などは風の吹き上げなどの影響が大きい。建物屋上に鉄塔などを用いて風向・風速計を設置する場合も比較的多いと思われるが、風の吹き上げの影響や冷却塔など屋上構造物の影響が少ない場所を選び、建物の大きさ・高さによる風の乱れの影響を避けるようにするのが望ましい。

広い範囲をできるだけ代表する風の観測を行う場合の測器設置条件は上記のとおりであるが、車や列車の安全運行を確保するため、橋上やトンネル出口での風速を観測するといったように目的がはっきりしている場合には、その目的に合致した設置場所、高さを選定する。

#### 4.4 設置

風向・風速計は、塔又は支柱などの頂部に取付台をおき、測器支持部の底面が水平になるように取り付ける。取付台の上面が水平であるかは、水準器で確認すればよい。

また、風向計の設置にあたっては、その方位を正しく設定する。普通、風向計支持部には南北を示す印がついているので、予め設置場所における南北の線を取付台に引いておき、これと測器の南北の印を合わせるとよい。南北は、次のような方法で決定できる。

2,500～50,000分の1程度の縮尺の方位が正確な地図により、煙突・鉄塔など比較的角度幅の狭い目標2～3点の方位を求めておき、これを基準にして分度器などを使い決定する。

太陽の南中時に、錘のついた糸をたらし、糸の影をトレースする。東京（東経 139度44.7分）における毎日の太陽南中時は理科年表などに掲載されており、その地点の南中時はこれに経度の補正をして求める。補正值は東京との経度差が1度で4分、15度で1時間の割合で、東京より東の場合は－（早い）、西の場合は＋（遅い）である。

方位磁石を用いる。ただし、日本付近では磁石の指針のさす北は真北より西に偏っている（「偏角」という）ので、これを補正する。各地の偏角は理科年表などに掲載されているが、およそ北海道：9度、本州中央部：7度、九州：6度、沖縄：4度である。なお、近くに鉄製品などがある場合は磁石の指針が影響を受けることがあるので注意が必要である。

#### 4.5 保守

矢羽根型風向計、風杯・風車型風速計はいずれも回転部分を持っているので、定期的に回転が滑らかであるか、摩擦がないかを点検する。風向計については、南北に向けて記録・表示が合っているかを点検する。回転型の風速計については、風杯・風車を手で回して、風速が記録・表示されるかを点検する。風速値が正確であるかどうかの点検は屋外では困難であるが、変形・破損がなく、また摩擦などによる異常音がなければ信頼できるとしてよい。

回転型の風向・風速計に生じやすい障害としては、着雪や着氷がある。これを防止するため、赤外線ランプ・電磁波などを使って測器を熱する方法もとられている。

降雪時には記録・表示を監視し、風があるのに風向が振れなかったり、風速がなかったりしないかを確認するとよい。また、雷による障害も比較的多いので、雷があった後には、記録・表示に異常がないか注意する。

#### 4.6 目視による観測

風向・風速は、目視によっても観測できる。測器がない場合、測器が故障した場合には、この方法によって観測するとよい。

風向は、煙突からの煙の流れ、木の枝の動きなどから観測する。吹き流しを利用するのも有効である。この場合、観測は煙突・木々などの真下に立って行い、遠近による誤差が生じないようにする。また、開けた場所では、風が顔の正面に当たるように向かうことによって、比較的正確に見積もれる。



風速は、表4-1に示す気象庁風力階級表（ビューフォート風力階級表）によって、木の葉・木々の動きあるいは海面の状態から、「風力」として観測する。

表4-1 気象庁風力階級表

風力階級	開けた平らな地面から10mの高さにおける相当風速	地 表 物 の 状 態（陸上）
0	0.3m/s未満	静穏。煙はまっすぐに昇る。
1	0.3m/s以上 1.6m/s未満	風向は、煙がなびくのでわかるが、風見には感じない。
2	1.6m/s以上 3.4m/s未満	顔に風を感じる。木の葉が動く。風見も動きだす。
3	3.4m/s以上 5.5m/s未満	木の葉や細かい小枝がたえず動く。軽い旗が開く。
4	5.5m/s以上 8.0m/s未満	砂ほこりが立ち、紙片が舞い上がる。小枝が動く。
5	8.0m/s以上 10.8m/s未満	葉のあるかん木がゆれ始める。池や沼の水面に波がしらが立つ。
6	10.8m/s以上 13.9m/s未満	大枝が動く。電線がなる。かさは、さしにくい。
7	13.9m/s以上 17.2m/s未満	樹木全体がゆれる。風に向かっては歩きにくい。
8	17.2m/s以上 20.8m/s未満	小枝が折れる。風に向かっては歩けない。
9	20.8m/s以上 24.5m/s未満	人家にわずかの損害がおこる（煙突が倒れ、かわらがはがれる）。
10	24.5m/s以上 28.5m/s未満	陸地の内部で起こることはまれである。樹木が根こそぎになる。人家に大損害がおこる。
11	28.5m/s以上 32.7m/s未満	めったに起こらない。広い範囲の破壊を伴う。
12	32.7m/s以上	

注：風力階級表の風速は、地表の状態や木などの状態から、地上10mの高さにおける風速を推定したものである。地表や木の付近の風速とは異なることに注意が必要である。

## 第5章 相対湿度（蒸気圧・露点温度）

湿度は、大気の乾燥又は湿潤の度合を示し、寒暖と同様に人間生活に関係が深い要素で、その観測成果は健康管理や衛生・生産物の保管や貯蔵・火災予防など多方面で利用されている。

湿度のもとは大気中に存在している水蒸気であり、この水蒸気は、地球表面（主に海や湖沼、河川）の水が蒸発したものである。水蒸気は、雲となり降水現象となるなど水の状態（相）の変化に関わり、凝結や再蒸発などによって潜熱のかたちで大気の熱輸送にも関与する。また、赤外線を吸収したり放射する作用で、大気の放射量の変動に影響を与えている。

湿度のもととなる水蒸気の絶対量は実験室で測定することができるが、一般的に気象の分野では相対湿度や露点温度などを測定して間接的に求める。

大気中に含まれる水蒸気の量は非常に少ない。例えば気圧 1,000hPa、気温20℃で 1 hPa（重量約 1.2kg）の空気中には最大でも約18 g（重量比で約 1.5%）の水蒸気しか含み得ない。このため、精度よく湿度を観測するにはいろいろな注意が必要である。

### 5.1 定義と単位

#### （1）定義

大気中の水蒸気量・湿度を表現する量としてはいろいろなものがある。以下に気象観測の分野でよく用いられる量の定義を示す。

##### ・蒸気圧

空気中の水蒸気の分圧を水蒸気圧、気象では単に蒸気圧という。空気中に含まれる水蒸気量は温度によって存在しうる最大量が決まっており、最大時の大気の状態を飽和状態、その時の蒸気圧を飽和蒸気圧という。

飽和状態では水面上で蒸発する水と、大気中の水蒸気からの凝結が等しい（平衡）状態にあり、見かけ上は蒸発も凝結もしなくなる。飽和状態は、気温が0℃以上では水に対する平衡であるが、0℃以下では水又は氷の両方に対する平衡が存在する。これは、水が0℃以下の状態でも凍らないで「0℃以下の水」の状態（「過冷却」という）もあるからである。そのため、0℃以下の飽和蒸気圧は「水に対して」と「氷に対して」の2つがあり、特に後述する乾湿計を用いて湿度の観測を行う際には、過冷却の状態にあるかどうかを見極める必要がある。水に対する飽和蒸気圧は氷に対するものよりやや大きい。

飽和蒸気圧は実験的に導かれた温度のみに関する式から求める。これは温度が高くなるにつれ急激に大きくなる（表5-1参照）。

一般に蒸気圧は、気温と相対湿度を観測して求めるか、又は露点温度から直接求める。

##### ・露点温度

空気を圧力を変えずに冷却していくと、大気中の水蒸気はある温度で飽和状態に達し、それ以上水蒸気の状態で存在できず、凝結を始め露を結ぶ。このときの温度を露点温度という。なお、0℃以下において氷に対して飽和する温度は、大気中の水蒸気が飽和状態に達したとき、露でなく霜となるため霜点温度という。

##### ・相対湿度

大気中の実際の蒸気圧と、その時の気温における飽和蒸気圧との比を百分率で表したものを相対湿度という。気象関係においては一般に湿度という場合は、この「相対湿度」のことをいう。大気が飽和状態にある場合は、相対湿度は 100%である。

なお、単位体積の空気中に含まれる水蒸気の質量を「絶対湿度」という。一般にはこれは使用されないが、湿度の絶対的な基準を得る際にはこれを測定することがある。

気温とここで定義した量の一つ（例えば湿度）が判れば、その他の量（例えば蒸気圧・露点温度）は計算（換算）により求めることができる。換算表は表 5 -2，5 -3のとおりである（表の使用方法は【参考】参照）。

## （２）単位

上記の各量は次の単位を使う。

蒸 気 圧：hPa

露点温度：

相対湿度：%

## 5.2 湿度計

湿度計には、毛髪湿度計や電気式湿度計のように、毛髪の伸び縮みや抵抗の変化を検出して直接的に湿度を測定する方式のものと、乾湿計（乾湿球湿度計）や塩化リチウム露点計のように、露点温度を求め、間接的に（計算で）湿度を求める方式のものがある。

### 5.2.1 乾湿計（乾湿球湿度計）

2本の同じ規格のガラス製温度計を隣り合わせて取り付け、一方の温度計は通常の気温観測のとおりそのまま（乾球）とし、もう一方の温度計はその球部をガーゼで覆い湿らせ（湿球）両方の温度計の温度を測定して、これから湿度を求める方式の湿度計である。それぞれの温度計はその球部の状態から、乾球温度計及び湿球温度計と呼ばれる。乾球温度計の示す温度が気温であり、乾湿計を使えば気温と湿度を同時に観測できる。

湿球の表面では水分が蒸発して気化熱が奪われ、湿球温度が下がる。空気が乾燥しているほど蒸発の程度は激しく湿球温度の降下が大きく、逆に湿っているときは降下は小さい。乾球と湿球の温度差から経験式を用いて蒸気圧を算出し、これから湿度あるいは露点温度を求める。この場合、蒸発の程度は気圧にも影響されるので、高精度に湿度などを求めるにあたっては同時に気圧の観測が必要である。

湿球を湿らせる方法としては、観測時ごとにスポイトで水をつける方法又は湿球温度計の下に水壺を設けこれとガーゼとの間を水のしみ込みやすいよった糸で結んで毛管現象を利用して常時濡らす方法がある。

構造は簡単であるが、注意深い観測をすれば高い精度の観測が可能であり、安価で取り扱いが簡便といった利点を持っている。特に温度計球部に風を常に当てる通風装置を備えた型の乾湿計は、 $\pm 1\%$ 程度の精度での観測が可能である。このため乾湿計は、他の方式の湿度計の基準の湿度計と

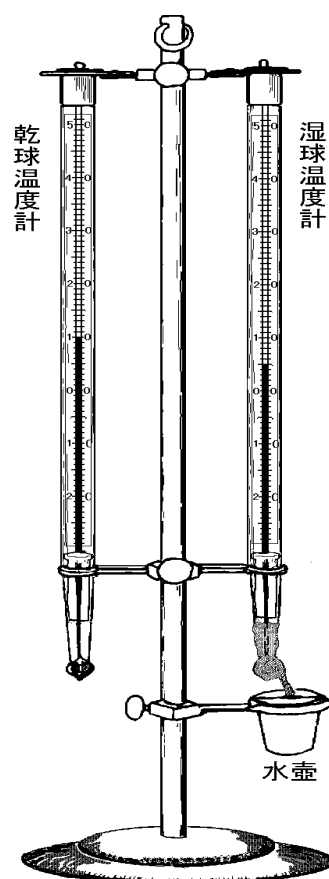


図 5 -1 乾湿計

して使用できる。ただし、人手による読み取りが必要であり、連続記録はできない。

なお、ガラス製温度計の代わりに電気式温度計を使った乾湿計も、一部で使われている。

## (1) 設置と観測

乾湿計の設置方法は基本的には通常のガラス製温度計の設置方法と同じであり、百葉箱の中に球部が下になるようにして鉛直に取り付ける。携帯型の場合は、直射日光の当たらないところを選び、球部の地上高を約 1.5m とする。

スポットで濡らす型の乾湿計では湿球温度計の球部を濡らし、水壺を備えたものは球部が濡れているかを確認し、通風装置を動作させてから少なくとも 3 分、通常は 5 分ほどして湿球温度計の示度が安定してから、それぞれの温度計の温度を測定する。

通風しない場合には、湿球温度が安定するまでに 15 分程度かかることが多い。また、気温が 0 以下のときも安定するまでに時間がかかり、通風していても 10～20 分を要することがある。このほか、湿度が高く球部からの蒸発が少ない場合や、湿球を濡らす水の温度と気温との差が大きい場合にも安定するまでの時間が長くなる。したがって、これらを勘案して観測時刻に先立って湿球を濡らす。

温度計の読み取り方法は、気温の測定方法（第 3 章 5 節）のガラス製温度計による方法のとおりである。特に、体を近づけることによって温度や湿度が変化しないように素早く読み取る。読み取りの順序ははじめに乾球温度、次に湿球温度とし、最後に乾球温度を再度読み確認する。

気温が 0 以下の場合には、湿球が過冷却水で覆われているか、氷で覆われているかを確認する。温度を読み取った後に湿球表面を針などで軽く触れたとき、湿球温度が一旦 0 近くまで上がった後、その後下降して安定する場合には、読み取り時には過冷却状態であったとする（過冷却水は針などで触れるとすぐに氷結するが、このとき凝結熱が放出されるため一時的に温度が上昇する）。針などで触れても湿球温度が変化しない場合は、湿球は氷結していたものとする。また、湿球表面の光沢の程度も氷結を確かめる手がかりとなる。

なお、0 以下では毛管現象を使った水の補給はできないので、湿球は観測の都度スポットで濡らせる。また、湿球球部に氷の固まりができた場合には、これを溶かして薄い氷の膜を作るようにする。

こうして得られた乾球・湿球の温度とその場での気圧から湿度を求める。具体的な計算方法及び簡便のために気圧を 1013.25hPa としたときの乾湿計用の湿度は【参考】のとおりである。

風がないか弱い場合には、湿球付近で空気が十分に交換されないため、湿球を濡す水分の影響を受けて誤差が生じやすい。したがって乾球温度計とともに通風をすることが望ましい。通風速度は 3～5 m/s が適当である。

乾湿計は原理的には精度のよい観測が可能であるが、温度計の読み取りは慎重に行う必要がある。湿度 50% のとき、どちらかの温度計に 0.1 の読み取り誤差があったとすると、気温 20 で湿度に 0.5%、0 で 2%、-20 で 5% の誤差が生じる。

## (2) 保守

湿球を覆うガーゼ（湿布）及び水壺からのより糸は定期的に（毎時使用する場合には半月に 1 回程度）交換し、汚れがあればその都度交換する。特に、大気汚染の著しい地域や海岸付近では頻繁な交換が必要である。

湿布やより糸は熱湯で煮沸した後水洗いして、油気やのりを除いてから用いる。湿布は、布片が重ならないように球部に密着して取り付け、温度計本体からの熱伝導がないように球部より上 2 cm 程度までを包む。

長時間使用すると湿球温度計球部のガラス面に水垢が付着するので、この場合には湿布を外して球部を希塩酸に浸したのちよく水洗いする。

### 5.2.2 毛髪湿度計

湿度が変化すると毛髪が伸縮する（湿度が 0 % から 100 % に変化すると 2 ~ 2.5 % 伸びる）ことを利用し、この動きをカムなどを用いて拡大して湿度を記録する方式の湿度計（図 5 - 2）である。

毛髪が伸びる長さとの関係は直線的でないで、普通、カムの形を工夫して直線的になるようにしている。応答速度（時定数）は気温 10℃ で約 1 分であるが、-10℃ では 3 分程度に長くなる。

比較的簡便で取扱いが易しく、連続して自記記録できる特徴を持っている。良好な状態で用いた場合は誤差が  $\pm 3\%$  程度の精度が得られるが、低温・低湿時の精度はこれよりかなり悪い。また、汚れの影響を受けやすい、湿度が上昇するときと下降するときで毛髪の伸縮に差異があるといった短所がある。

#### (1) 設置と観測

毛髪湿度計は、通常、百葉箱内に設置する。寒冷地で用いる場合には、風雪や地吹雪などで毛髪や器械部分に雪や氷が付着せず、同時に通風を妨げないようなカバーを取り付ける。

また、毛髪はアンモニアにより痛むので、家畜の多いところやアンモニアを扱う工場の近くでは毛髪湿度計を使用することは適当でない。

通常、毛髪湿度計の観測は自記記録した値を読み取ることによって行う。その時の湿度は、記録紙上のペン位置の示度を読み取ればよい。記録紙の取付・交換方法については取扱説明書によるが、記録紙交換の際、毛髪・カム部分に触れないようにすることが大切である。

#### (2) 保守と比較校正

毛髪は砂塵・煤煙などによって汚れることが多いので、ときどき刷毛などでこれを掃除する。この場合、毛髪に直接手で触れないようにし、柔らかい刷毛で毛並みに沿ってはく。汚れがひどいときは、温水を筆に浸して毛髪上にたらし、軽く触れるようにして洗う。また、長期間低湿状態が続いた場合には、一度毛髪を濡らしてなじませる。

毛髪湿度計は、汚れや摩擦によって毛髪に力がかかったりすることによって、誤差が生じ易い。このため、通風乾湿計と定期的に比較する。比較は太陽の放射を避け気温などの変化が少ないときに実施するのが適当であり、曇りの日か夜で風のあるときに行うとよい。

毛髪を清掃して比較しても差が常に 5 % 以上あるような場合には、示度の調整が必要である。これは毛髪端を固定している部分にある調整ネジを少し回転する方法で実施できるが、通風乾湿計との時定数の違いなどがあり正確を期すことは難しい。したがってこのような場合には、専門家に再校正を依頼するのが適当である。

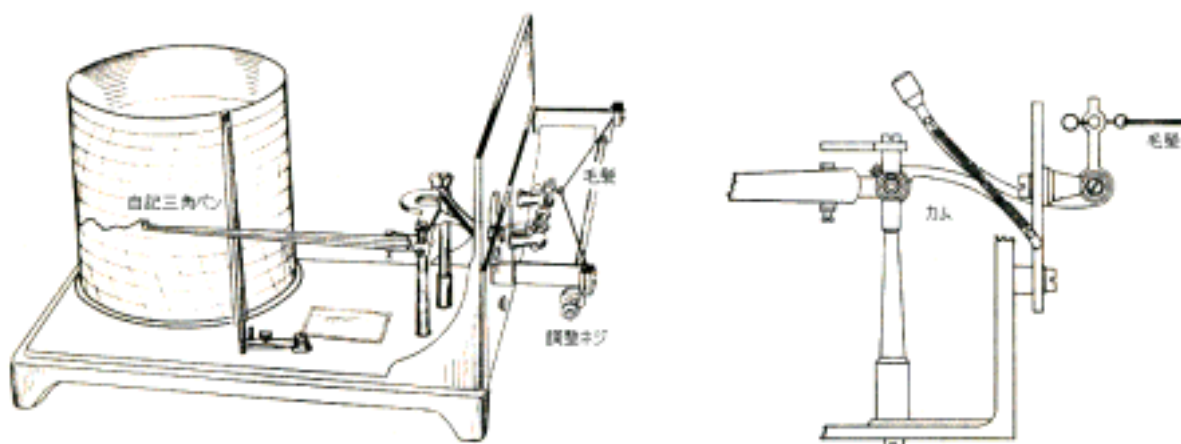


図 5 -2 毛髪自記湿度計

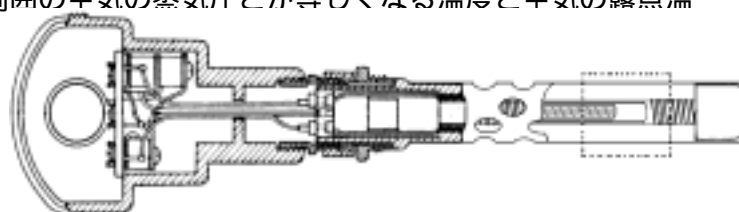
### 5.2.3 露点式湿度計

塩類や硫酸の飽和水溶液の水蒸気圧と周囲の空气の蒸気圧とが等しくなる温度と空气の露点温度との間に一定の関係があることを利用して露点温度を直接測定する測器である。

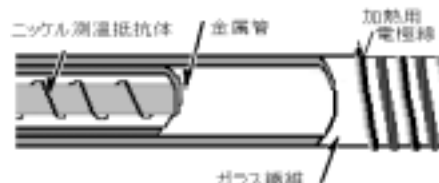
一般には、溶液として塩化リチウムが

図 5 -3 塩化リチウム露点計

用いられ、塩化リチウム露点計と呼ばれている（「デューセル」という商品名で呼ばれることもある）。



測器の構造は、ニッケルを温度感部として用い、これを絶縁塗装した金属管で覆いガラス繊維を巻き、この上に一對の加熱用電極線を巻いたものである。ガラス繊維には塩化リチウム水溶液をしみ込ませて使用する。



電極線に電圧を加えると、塩化リチウム水溶液の電気抵抗

図 5 -4 部分拡大図

抗によって発熱し、水溶液の水分が蒸発して塩化リチウム

の結晶が析出し、水溶液の電気抵抗が高くなって電極線に電流は流れにくくなり温度が下がる。温度が下がると水溶液の飽和蒸気圧は周囲の空气の蒸気圧より低くなり、水溶液は周囲の空气から水分を吸収し、水溶液の電気抵抗が低くなって、電流が流れやすくなり発熱し水分は再び蒸発する。このような過程を繰り返して感部の温度は、塩化リチウム水溶液の飽和蒸気圧と大気の水蒸気圧とが等しい温度で安定する。この温度をニッケルの抵抗を測定することによって求め、空气の露点温度を求める。時定数は2～3分程度とやや大きい。

この露点計による測定は、連続記録が得られるという利点を持っており、隔測も可能なことから自動観測に適している。

ただし、この露点計では溶液の露点温度を加熱することで作り出すようになっており、冷却することはできないので、塩化リチウム水溶液の飽和温度が気温より低い場合（これは湿度が低い場合に生じる）は、露点温度を測定できない。これを湿度に換算すると、気温30℃で約11%、0℃で12%、-20℃で14%となり、これ以下の湿度すなわち対応する露点温度は測定できない。

### (1) 設置と観測

塩化リチウム露点計は、風雨を避けるための保護筒に取り付け、地上約 1.5mの高さに設置する。周囲との空気の交換は、普通、感部の温度が気温より高いために生じる空気の対流を利用するが、気象庁では、0.15m/sの通風をしている。風の影響を含めて通風速度が 0.2m/sを超えると感部表面での平衡がくずれて誤差を生じることが判っている。

また、感部の構造により接続部に付着した雨滴・霧粒の影響を受けて、湿度が飽和に近い状態から下降するときに遅れが大きい傾向がある。

なお、この測器は原理上感部で熱を発生するので、他の測器、特に温度計に影響しないよう十分に離して設置する。

観測は電氣的に計測して得られる表示・記録によって行う。

### (2) 保守と比較校正

塩化リチウム溶液は定期的（月 1 回程度）に塗り替える。大気汚染の著しい地域や海岸付近、あるいは強い風雨があった後ではこの間隔を短くする。洗浄・塗り替え・乾燥などの手順は取扱説明書による。

また通風乾湿計を用いて定期的に比較する。比較の方法は毛髪湿度計の項で述べたと同じである。

#### 5.2.4 電気式湿度計

高分子化合物又は多孔質のセラミックはそれぞれ気孔を持っており、周囲の水蒸気量によって水分子を吸脱着する。電気式湿度計は水分子の吸脱着による誘電率又は抵抗の変化を静電容量又は抵抗の変化として検出し、湿度に置き換えて測定する方式の湿度計である。

このため、電氣的な特性から「電気抵抗湿度計」、「静電容量湿度計」と呼ばれたり、感湿素材から「高分子湿度センサ」、「セラミック湿度センサ」と呼ばれたりすることもある。

電気式湿度計は小型で電氣的な測定により連続した観測ができることから、自動観測に適している。時定数は高分子センサについては数秒～数十秒、セラミックセンサについては数分である。

これらの感部は大気の汚れの影響を受け易いので、感部に保護フィルターをつける必要がある。セラミックセンサの中には、定期的に感部を約 350℃以上に熱して汚れを焼却することでこれを防いでいるものもある。ただし、この場合には焼却に要する十数分間程度は測定ができない。

通常、これらの湿度計は電気式温度計と同様な方法で通風筒に収容して設置し、感部に強制通風する。高分子センサの応答速度は速いが、湿度が上昇する時より下降するときの応答が遅く、特に湿度が 100%に近い状態から降下するときには数十分の遅れを生じるときがある。したがって、雨が降り続いた後や、霧が晴れた後には注意が必要である。

観測は、電氣的に処理された湿度の表示・記録値を用いる。

定期的に必要な保守はフィルターの交換であり、交換の間隔はフィルターの種類・通風などに左右されるが、気象庁は、通常の場所で約 6 か月で交換することとしている。

【参考】 乾湿計による蒸気圧，露点温度，相対湿度の計算

蒸気圧

乾湿計の乾球示度に器差補正を行った値を  $t$  ( )，湿球示度に器差補正を行った値を  $t'$  ( )，気圧の観測値を  $P$  (hPa)，湿球温度における飽和蒸気圧を  $E'$  (hPa) とすると，蒸気圧  $e$  (hPa) は次のスプリングの式を用いて算出される。

$$e = E' - \frac{A}{755} P (t - t')$$

ただし，湿球が氷結したときには， $E'$  は氷の飽和蒸気圧をとる。A は湿球が氷結しない場合は 0.50，氷結した場合は 0.44 とする。

表を使用する場合は，まず第 1 項の  $E'$  を表 5 -1 から  $t'$  に対応する値として求め，次に第 2 項を，あらかじめ  $P$  及び  $(t - t')$  の様々な組み合わせから作った表 5 -2-1 から読み取り，両項の差を  $e$  とする。ただし，湿球が氷結した場合は，表 5 -2-2 を使用する。

露点温度

表 5 -1 を使用し，蒸気圧に対応する値として求める。蒸気圧が 0.05hPa 以下の場合は露点温度は「<-50」 とする。

相対湿度

まず，気温  $t$  に対する水の飽和蒸気圧  $E$  (hPa) を表 5 -1 から求め，次に蒸気圧  $e$  との比を算出して求める。こうして求めた蒸気圧が負となった場合は，相対湿度は 0 % とする。

計算の例 乾球温度  $t = 19.8$

湿球温度  $t' = 17.4$

現地気圧  $P = 985.0$ hPa としたとき，

飽和蒸気圧  $E'$  は 19.86hPa (表 5 -1 から， $t' = 17.4$  に対応) となり，表 5 -2-1 から， $(t - t') = 2.4$ ， $P = 985.0$ hPa に対応する値は，1.57hPa で，従って蒸気圧は，

$$e = 19.86\text{hPa} - 1.57\text{hPa} = 18.29\text{hPa} \quad \text{となる。}$$

相対湿度は， $t = 19.8$  に対応する飽和蒸気圧  $E$  の値が 23.08hPa (表 5 -1 から) となるから次のように算出される。

$$\frac{e}{E} \times 100 = \frac{18.29}{23.08} \times 100 = 79.2\%$$

なお，この時の露点温度は表 5 -1 から 16.1 となる。

気圧  $P$  の効果は小さく，通常の大気圧の場合には，1013.25 hPa の場合の簡易的な換算表が使われる。参考のために，表 5 -3，5 -4 として掲げる。

なお，表 5 -1，5 -2 の詳細は，地上気象常用表 (気象庁 (1959)) が活用できるが，計算で各値を求めたい場合は，算出式が掲載されているので参照する。また，表 5 -4 の通風をしない乾湿計用の水蒸気圧  $e$  は以下の式より算出し，湿度を求める際使用する飽和蒸気圧  $E$  は，氷点下の場合でも，氷の飽和蒸気圧 (表 5 -1 下段) は使用しない。

$$e = E' - a P (t - t') \quad (P = 1013.25\text{hPa})$$

ここで，湿球が氷結していない場合， $a$  は 0.0008，氷結した場合， $a$  は 0.0007， $E'$  は氷の飽和蒸気圧を使用する。



表 5 -1 水と氷の飽和蒸気圧表 (hPa)

	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
39	69.93	70.31	70.68	71.06	71.45	71.83	72.21	72.60	72.99	73.38
38	66.26	66.62	66.98	67.34	67.71	68.07	68.44	68.81	69.18	69.56
37	62.76	63.10	63.45	63.79	64.14	64.49	64.84	65.19	65.55	65.90
36	59.42	59.75	60.07	60.40	60.74	61.07	61.40	61.74	62.08	62.42
35	56.23	56.54	56.86	57.17	57.49	57.81	58.13	58.45	58.77	59.09
34	53.20	53.49	53.79	54.09	54.39	54.70	55.00	55.31	55.61	55.92
33	50.30	50.59	50.87	51.16	51.44	51.73	52.02	52.31	52.61	52.90
32	47.55	47.82	48.09	48.36	48.63	48.91	49.19	49.46	49.74	50.02
31	44.92	45.18	45.44	45.70	45.96	46.22	46.48	46.75	47.01	47.28
30	42.43	42.67	42.92	43.16	43.41	43.66	43.91	44.16	44.41	44.67
29	40.05	40.28	40.52	40.75	40.99	41.22	41.46	41.70	41.94	42.18
28	37.79	38.01	38.24	38.46	38.68	38.91	39.13	39.36	39.59	39.82
27	35.65	35.86	36.07	36.28	36.49	36.71	36.92	37.14	37.35	37.57
26	33.61	33.81	34.01	34.21	34.41	34.61	34.82	35.02	35.23	35.44
25	31.67	31.86	32.05	32.24	32.43	32.62	32.82	33.01	33.21	33.41
24	29.83	30.01	30.19	30.37	30.55	30.74	30.92	31.11	31.29	31.48
23	28.08	28.25	28.43	28.60	28.77	28.94	29.12	29.30	29.47	29.65
22	26.43	26.59	26.75	26.92	27.08	27.24	27.41	27.58	27.75	27.91
21	24.86	25.01	25.17	25.32	25.48	25.63	25.79	25.95	26.11	26.27
20	23.37	23.52	23.66	23.81	23.96	24.10	24.25	24.40	24.55	24.71
19	21.96	22.10	22.24	22.38	22.52	22.66	22.80	22.94	23.08	23.23
18	20.63	20.76	20.89	21.02	21.15	21.29	21.42	21.55	21.69	21.83
17	19.37	19.49	19.61	19.74	19.86	19.99	20.11	20.24	20.37	20.50
16	18.17	18.29	18.40	18.52	18.64	18.76	18.88	19.00	19.12	19.24
15	17.04	17.15	17.26	17.37	17.49	17.60	17.71	17.83	17.94	18.06
14	15.98	16.08	16.18	16.29	16.39	16.50	16.61	16.72	16.82	16.93
13	14.97	15.07	15.16	15.26	15.36	15.46	15.56	15.67	15.77	15.87
12	14.02	14.11	14.20	14.30	14.39	14.48	14.58	14.68	14.77	14.87
11	13.12	13.21	13.29	13.38	13.47	13.56	13.65	13.74	13.83	13.92
10	12.27	12.35	12.44	12.52	12.60	12.69	12.77	12.86	12.94	13.03
9	11.47	11.55	11.63	11.71	11.79	11.87	11.95	12.03	12.11	12.19
8	10.72	10.79	10.87	10.94	11.02	11.09	11.17	11.24	11.32	11.40
7	10.01	10.08	10.15	10.22	10.29	10.36	10.43	10.50	10.58	10.65
6	9.35	9.41	9.48	9.54	9.61	9.67	9.74	9.81	9.88	9.94
5	8.72	8.78	8.84	8.90	8.96	9.03	9.09	9.15	9.22	9.28
4	8.13	8.19	8.24	8.30	8.36	8.42	8.48	8.54	8.60	8.66
3	7.57	7.63	7.68	7.74	7.79	7.85	7.90	7.96	8.01	8.07
2	7.05	7.10	7.16	7.21	7.26	7.31	7.36	7.41	7.47	7.52
1	6.57	6.61	6.66	6.71	6.76	6.81	6.85	6.90	6.95	7.00
0	6.11	6.15	6.20	6.24	6.29	6.33	6.38	6.42	6.47	6.52
-0	6.11	6.06	6.01	5.96	5.91	5.86	5.81	5.76	5.72	5.67
-1	5.62	5.58	5.53	5.48	5.44	5.39	5.35	5.30	5.26	5.22
-2	5.17	5.13	5.09	5.04	5.00	4.96	4.92	4.88	4.84	4.80
-3	4.76	4.72	4.68	4.64	4.60	4.56	4.52	4.48	4.45	4.41
-4	4.37	4.33	4.30	4.26	4.22	4.19	4.15	4.12	4.08	4.05
-5	4.01	3.98	3.95	3.91	3.88	3.85	3.81	3.78	3.75	3.72

-6	3.68	3.65	3.62	3.59	3.56	3.53	3.50	3.47	3.44	3.41
-7	3.38	3.35	3.32	3.29	3.26	3.24	3.21	3.18	3.15	3.12
-8	3.10	3.07	3.04	3.02	2.99	2.96	2.94	2.91	2.89	2.86
-9	2.84	2.81	2.79	2.76	2.74	2.71	2.69	2.67	2.64	2.62
-10	2.60	2.57	2.55	2.53	2.51	2.48	2.46	2.44	2.42	2.40
-11	2.38	2.35	2.33	2.31	2.29	2.27	2.25	2.23	2.21	2.19
-12	2.17	2.15	2.13	2.11	2.09	2.08	2.06	2.04	2.02	2.00
-13	1.98	1.97	1.95	1.93	1.91	1.90	1.88	1.86	1.84	1.83
-14	1.81	1.79	1.78	1.76	1.75	1.73	1.71	1.70	1.68	1.67
-15	1.65	1.64	1.62	1.61	1.59	1.58	1.56	1.55	1.53	1.52
-16	1.51	1.49	1.48	1.46	1.45	1.44	1.42	1.41	1.40	1.38
-17	1.37	1.36	1.35	1.33	1.32	1.31	1.30	1.28	1.27	1.26
-18	1.25	1.24	1.22	1.21	1.20	1.19	1.18	1.17	1.16	1.15
-19	1.14	1.12	1.11	1.10	1.09	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04

表 5 -2-1 蒸氣压算出表 (hPa)

温度差	970	975	980	985	990	995	1000	1005	1010	1015	1020	1025	1030
14.0	8.99	9.04	9.09	9.13	9.18	9.23	9.27	9.32	9.36	9.41	9.46	9.50	9.55
13.0	8.35	8.39	8.44	8.48	8.52	8.57	8.61	8.65	8.70	8.74	8.78	8.82	8.87
12.0	7.71	7.75	7.79	7.83	7.87	7.91	7.95	7.99	8.03	8.07	8.11	8.15	8.19
11.0	7.07	7.10	7.14	7.18	7.21	7.25	7.28	7.32	7.36	7.39	7.43	7.47	7.50
10.0	6.42	6.46	6.49	6.52	6.56	6.59	6.62	6.66	6.69	6.72	6.75	6.79	6.82
9.0	5.78	5.81	5.84	5.87	5.90	5.93	5.96	5.99	6.02	6.05	6.08	6.11	6.14
8.0	5.14	5.17	5.19	5.22	5.25	5.27	5.30	5.32	5.35	5.38	5.40	5.43	5.46
7.0	4.50	4.52	4.54	4.57	4.59	4.61	4.64	4.66	4.68	4.71	4.73	4.75	4.77
6.0	3.85	3.87	3.89	3.91	3.93	3.95	3.97	3.99	4.01	4.03	4.05	4.07	4.09
5.5	3.53	3.55	3.57	3.59	3.61	3.62	3.64	3.66	3.68	3.70	3.72	3.73	3.75
5.0	3.21	3.23	3.25	3.26	3.28	3.29	3.31	3.33	3.34	3.36	3.38	3.39	3.41
4.5	2.89	2.91	2.92	2.94	2.95	2.97	2.98	3.00	3.01	3.02	3.04	3.05	3.07
4.0	2.57	2.58	2.60	2.61	2.62	2.64	2.65	2.66	2.68	2.69	2.70	2.72	2.73
3.5	2.25	2.26	2.27	2.28	2.29	2.31	2.32	2.33	2.34	2.35	2.36	2.38	2.39
3.0	1.93	1.94	1.95	1.96	1.97	1.98	1.99	2.00	2.01	2.02	2.03	2.04	2.05
2.8	1.80	1.81	1.82	1.83	1.84	1.85	1.85	1.86	1.87	1.88	1.89	1.90	1.91
2.6	1.67	1.68	1.69	1.70	1.70	1.71	1.72	1.73	1.74	1.75	1.76	1.76	1.77
2.4	1.54	1.55	1.56	1.57	1.57	1.58	1.59	1.60	1.61	1.61	1.62	1.63	1.64
2.2	1.41	1.42	1.43	1.44	1.44	1.45	1.46	1.46	1.47	1.48	1.49	1.49	1.50
2.0	1.28	1.29	1.30	1.30	1.31	1.32	1.32	1.33	1.34	1.34	1.35	1.36	1.36
1.8	1.16	1.16	1.17	1.17	1.18	1.19	1.19	1.20	1.20	1.21	1.22	1.22	1.23
1.6	1.03	1.03	1.04	1.04	1.05	1.05	1.06	1.06	1.07	1.08	1.08	1.09	1.09
1.4	0.90	0.90	0.91	0.91	0.92	0.92	0.93	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95	0.95
1.2	0.77	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	0.81	0.81	0.82
1.0	0.64	0.65	0.65	0.65	0.66	0.66	0.66	0.67	0.67	0.67	0.68	0.68	0.68
0.8	0.51	0.52	0.52	0.52	0.52	0.53	0.53	0.53	0.54	0.54	0.54	0.54	0.55
0.6	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.41	0.41	0.41
0.4	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
0.2	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14

表 5 -2-2 湿球が氷結した場合の蒸気圧算出表 ( hPa )

温度差	970	975	980	985	990	995	1000	1005	1010	1015	1020	1025	1030
6.0	3.39	3.41	3.43	3.44	3.46	3.48	3.50	3.51	3.53	3.55	3.57	3.58	3.60
5.5	3.11	3.13	3.14	3.16	3.17	3.19	3.21	3.22	3.24	3.25	3.27	3.29	3.30
5.0	2.83	2.84	2.86	2.87	2.88	2.90	2.91	2.93	2.94	2.96	2.97	2.99	3.00
4.5	2.54	2.56	2.57	2.58	2.60	2.61	2.62	2.64	2.65	2.66	2.67	2.69	2.70
4.0	2.26	2.27	2.28	2.30	2.31	2.32	2.33	2.34	2.35	2.37	2.38	2.39	2.40
3.5	1.98	1.99	2.00	2.01	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.09	2.10
3.0	1.70	1.70	1.71	1.72	1.73	1.74	1.75	1.76	1.77	1.77	1.78	1.79	1.80
2.8	1.58	1.59	1.60	1.61	1.62	1.62	1.63	1.64	1.65	1.66	1.66	1.67	1.68
2.6	1.47	1.48	1.48	1.49	1.50	1.51	1.52	1.52	1.53	1.54	1.55	1.55	1.56
2.4	1.36	1.36	1.37	1.38	1.38	1.39	1.40	1.41	1.41	1.42	1.43	1.43	1.44
2.2	1.24	1.25	1.26	1.26	1.27	1.28	1.28	1.29	1.29	1.30	1.31	1.31	1.32
2.0	1.13	1.14	1.14	1.15	1.15	1.16	1.17	1.17	1.18	1.18	1.19	1.19	1.20
1.8	1.02	1.02	1.03	1.03	1.04	1.04	1.05	1.05	1.06	1.06	1.07	1.08	1.08
1.6	0.90	0.91	0.91	0.92	0.92	0.93	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95	0.96	0.96
1.4	0.79	0.80	0.80	0.80	0.81	0.81	0.82	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.84
1.2	0.68	0.68	0.69	0.69	0.69	0.70	0.70	0.70	0.71	0.71	0.71	0.72	0.72
1.0	0.57	0.57	0.57	0.57	0.58	0.58	0.58	0.59	0.59	0.59	0.59	0.60	0.60
0.8	0.45	0.45	0.46	0.46	0.46	0.46	0.47	0.47	0.47	0.47	0.48	0.48	0.48
0.6	0.34	0.34	0.34	0.34	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.36	0.36	0.36
0.4	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
0.2	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12

表 5 -3-1 通風乾湿計用湿度表 ( 湿球が氷結していない場合 )

乾球 ( t )	乾球と湿球の温度差 ( t - t' )																
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
40	100	97	94	91	88	85	82	80	77	74	72	69	67	62	57	53	48
35	100	97	93	90	87	84	81	78	75	72	69	67	64	59	54	49	44
30	100	96	93	89	86	83	79	76	73	70	67	64	61	55	50	44	39
25	100	96	92	88	84	81	77	74	70	67	63	60	57	50	44	38	33
20	100	96	91	87	83	78	74	70	66	62	59	55	51	44	37	30	24
15	100	95	90	85	80	75	70	66	61	57	52	48	44	35	27	19	12
10	100	94	88	82	76	71	65	60	54	49	44	39	33	23	14	0	0
5	100	93	86	78	71	65	58	51	45	38	32	25	19	7	0	0	0
0	100	91	82	73	64	56	47	39	30	22	14	6	0	0	0	0	0
-5	100	88	77	65	54	43	32	21	10	0	0	0	0	0	0	0	0
-10	100	84	69	54	38	23	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 5 -3-2 通風乾湿計用湿度表（湿球が氷結している場合）

乾球 ( t )	乾球と湿球の温度差 ( t - t' )												
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
0	100	91	82	74	65	57	49	41	33	25	17	10	2
-5	95	84	73	63	52	42	31	21	11	1	0	0	0
-10	91	76	62	48	35	21	7	0	0	0	0	0	0
-15	86	67	48	29	10	0	0	0	0	0	0	0	0
-20	82	55	28	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 5 -4-1 通風しない乾湿計用湿度表（湿球が氷結していない場合）

乾球 ( t )	乾球と湿球の温度差 ( t - t' )																	
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	
40	100	97	94	91	88	85	82	79	76	73	71	68	66	60	56	51	47	
35	100	97	93	90	87	83	80	77	74	71	68	65	63	57	52	47	42	
30	100	96	92	89	85	82	78	75	72	68	65	62	59	53	47	41	36	
25	100	96	92	88	84	80	76	72	68	65	61	57	54	47	41	34	28	
20	100	95	91	86	81	77	72	68	64	60	56	52	48	40	32	25	18	
15	100	94	89	84	78	73	68	63	58	53	48	43	39	30	21	12	4	
10	100	93	87	80	74	68	62	56	50	44	38	32	27	15	5	0	0	
5	100	92	84	76	68	61	53	46	38	31	24	16	9	0	0	0	0	
0	100	90	80	70	60	50	40	31	21	12	3	0	0	0	0	0	0	
-5	100	87	73	60	47	34	22	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
-10	100	82	64	46	29	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

表 5 -4-2 通風しない乾湿計用湿度表（湿球が氷結している場合）

乾球 ( t )	乾球と湿球の温度差 ( t - t' )												
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	
0	100	90	80	71	61	52	43	34	25	16	8	0	
-5	95	83	71	58	47	35	23	11	0	0	0	0	
-10	91	74	58	42	26	11	0	0	0	0	0	0	
-15	86	64	42	20	0	0	0	0	0	0	0	0	
-20	82	50	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

## 第6章 気 圧

気圧は風や天気分布と関係深く、天気予報においては最も基本的な気象要素として取り扱われている。個々の観測値は、理工学・医学・工業などの分野でも利用されている。

気圧は台風を中心付近や竜巻の中といった特別な気象状態の場合を除き、広い範囲でその値が大きく変わることがない、空間代表性の大きな要素である。

### 6.1 定義と単位

#### (1) 定義

気圧（大気の圧力）は、水平面の単位面積上の大気の重さによって働く「力」として定義される。したがって、地上における気圧は、単位面積上の鉛直にとった気柱内の空気の重さに等しい。

#### (2) 単位

気圧の単位はヘクトパスカル（hPa）を用いる。国際単位系（S I）では、1 kgの物体に  $1 \text{ m/s}^2$  の加速度を与える力が1 ニュートン（N）であり、 $1 \text{ m}^2$ の表面に1 ニュートンの力が働くときの圧力が1 パスカル（Pa）である。海面上での気圧はおよそ1000hPa前後であり、これは  $1 \text{ cm}^2$ あたり1 kgの重さがかかっていることに相当する。

気圧の単位としてパスカルでなくヘクト（百倍の意味）パスカルを使うのは、1992年11月まで使用してきたミリバール（mb）と数値を同じにするためである。すなわち、 $1 \text{ mb} = 1 \text{ hPa}$ であり、mbで表した過去の資料を使うときも単位を変えるだけで、換算の必要はない。

後に述べる水銀気圧計においては、気圧として水銀柱の高さをmm単位で測定する測器がある。これで測定した気圧の単位は「ミリメートル水銀（mmHg）」と呼ばれるが、ヘクトパスカルとの換算は次のとおりである。

$$1 \text{ mmHg} = 1.333224 \text{ hPa} \quad 1 \text{ hPa} = 0.750062 \text{ mmHg}$$

### 6.2 気圧計

気圧を測定する測器としては、およそ、真空を基準として絶対圧を測定するものと、圧力によって弾性体の変形することを利用して相対圧を測定するものの2つに分類できる。このほか、液体の沸点と気圧の関係を用いたものもある。また、気象観測用ではないが、基準器校正用として非常に高い精度で絶対圧を発生できる空気式重錘型圧力計も使われている。

ここでは、絶対圧を測定する最も基本的な水銀気圧計と、相対的な測定方法であるアネロイド型気圧計と電気式気圧計（振動式気圧計を含む）について述べる。

#### 6.2.1 水銀気圧計

一端を閉じたガラス管の中に水銀を満たし、開口したもう一端を水銀を入れた容器の中に差し込んで鉛直に立てると、管内の水銀の頂部は一定の高さ（1000hPaのとき約75cm）で止まる。これは管内の水銀の重さが容器の水銀面に働く気圧と釣り合うためであり、トリチェリの実験として有名である。

水銀気圧計はこの原理を応用した測器である。水銀気圧計にはいくつかの型があるが外気圧に触れる部分に測定の基点（「牙針」という）をもち、水銀面をこれに合わせることによって水銀柱の

高さを測定する方式のフォルタン型水銀気圧計が一般的である。

水銀気圧計は長期間の安定性があり精度が高いという優れた利点を持っているが設置・読み取りを慎重に行う必要があること、気圧を求めるのに複雑な補正が必要であること、高価であることなどから、現在は他の気圧計の校正用基準器として使用されることが多い。

### (1) 設置

水銀気圧計は、測器全体の温度が同じであるとき正確な観測ができる。このため専用の部屋に設置するか、これを収容する箱（気圧計収容箱）に収めて設置することが望ましい。直射日光が当たらないこと、また、冷暖房機の近くには置かない。

水銀気圧計は水銀柱の頂部が、およそ目の高さになるようにして鉛直につり下げる。この場合建物などの振動の影響を受けないように、床との間を少し離れた柱に取り付けると一層よい。フォルタン型水銀気圧計は下部の保持金具で鉛直位置を調整できるようになっている。

### (2) 示度の読み取り

フォルタン型水銀気圧計の測定は次の手順で行う。

付着の温度計の示度を1/10位から素早く読み取る。

気圧計下端のネジをゆっくり右に回して、水銀面を牙針の先端にだいたい合わせる。

水銀槽と水銀柱上部を軽くたたく。

写真 6 -1 フォルタン型水銀気圧計

下端のネジをさらにゆっくり右に回して、水銀面が牙針の先端に辛うじて触れるようにする。水銀面に窪みができてはいけない。

眼を水銀柱の頂部と同じ高さにおき、副尺を上下させて下端が水銀柱頂部のメニスカスの頂部に触れるか触れない高さに調整する。副尺の前部と後部が一直線になり、その隙間からわずかに光が見える程度にするとよい。

主尺と副尺から気圧計の示度を読み取る。副尺は目盛り間隔の1/10位（場合によっては1/20）を正確に読み取るためのものである。

読み取りが終わったら、下端のネジを1回くらいもどして水銀面を牙針よりやや下げておく。

なお、ステーション型水銀気圧計と呼ばれる気圧計は、日本ではあまり用いられていないが、水銀管と水銀槽の断面比によって水銀管に気圧を目盛り付けしてあるため、牙針を必要とせず、の操作は必要ない。

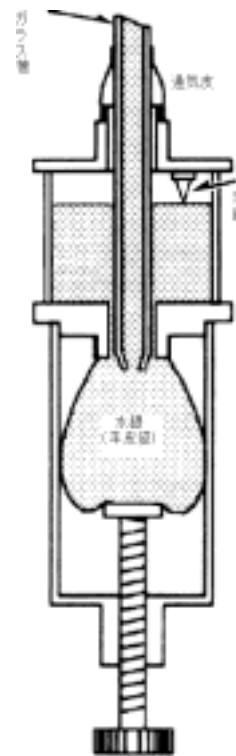
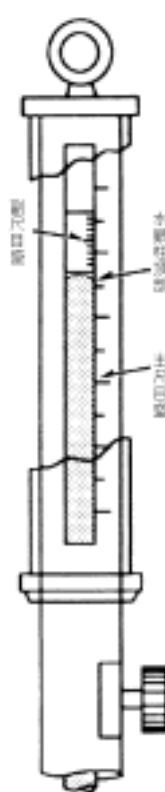


図 6 -1 上部

図 6 -2 下部

### (3) 読取値の補正

水銀気圧計の読取値から気圧を求めるには、器差、温度、重力の各補正を行う必要がある。

#### 器差補正

器差は器械の目盛りと基準値との誤差で、気圧計基準器と比較した値が検定証書に記載されている。補正は読取値に器差を加減すればよい。すなわち読み取った気圧値を  $P$ 、器差を  $\Delta P$  とすれば、器差補正後の気圧  $P'$  は、

$$P' = P + \Delta P$$

である。

#### 温度補正

水銀気圧計は温度が  $0^\circ\text{C}$  のとき正しい気圧を示すようにつくられている。温度が高くなるにつれ水銀や管が膨張するので、これを  $0^\circ\text{C}$  のときの値に補正する。これを温度補正といい、温度は付着温度計の温度を用いる。

気圧読取値に器差補正をした値を  $P'$ 、付着温度計の温度を  $t$ 、水銀の体膨張係数を  $\mu$ 、管の線膨張係数を  $\alpha$  とすると、温度補正值  $C_t$  は、

$$C_t = -P'(\mu + \alpha)t / (1 + \mu t)$$

である。 $\mu = 0.0001818/^\circ\text{C}$ 、 $\alpha = 0.0000184/^\circ\text{C}$  を用いると、

$$C_t = -0.0001634 P' t / (1 + 0.0001818 t)$$

となる。

この概算は、 $P'$  が  $1000\text{hPa}$  で、 $t$  を  $-20 \sim 30^\circ\text{C}$  とすると約  $3.3 \sim -4.9\text{hPa}$  となる。

#### 重力補正

水銀気圧計の示度は重力加速度によって変わる。このため、標準の重力加速度における値に補正する。

気圧計読取値に器差及び温度補正をした値を  $P''$ 、観測地点における重力加速度を  $g$ 、標準の重力加速度を  $g_0$  ( $=9.80665\text{m/s}^2$ ) とすると、重力補正值  $C_g$  は、

$$C_g = P''(g - g_0) / g_0$$

である。

$P''$  が  $1000\text{hPa}$  で、緯度による重力加速度を北緯  $20^\circ$  の  $9.78636\text{ m/s}^2$  から北緯  $45^\circ$  の  $9.80619\text{ m/s}^2$  として (全て標高を  $0\text{ m}$ ) 概算すると、 $C_g$  は約  $-2.1 \sim -0.1\text{hPa}$  となる。

各地点の重力加速度については実測値を用いるか、理科年表などに示されている緯度・高さによる計算値を使用するとよい。

器差・温度・重力補正は、本来、この順序で順次実施すべきであるが、ある場所で決まった気圧計を用い、 $1/10\text{hPa}$  単位で観測を実施する場合は、気圧と温度を関数としてこれらの補正を総合した補正表を作っておくと便利である。

### (4) 注意事項

水銀気圧計は、他の気圧計とは違って、取扱いや読み取りなどに多くの注意が必要である。その主なものは次のとおりである。

気圧計は、必ず鉛直につり下げる。

設置場所の温度変化を小さく保つとともに、観測時に白熱灯などの熱源を近づけないようにする。

水銀面は古くなると酸化し、水銀面と牙針との接触が判りにくくなり、またメニスカスが違って、誤差が大きくなる。このときは清掃が必要であるが、これには専門技術が必要であり、製造者などに委託する。

水銀がこぼれたり真空度が変わらないよう、急激な衝撃を与えてはいけな。水銀は有害な危険物であるので、その取扱いや処分、気圧計の輸送などについては取扱説明書に従って十分注意して行う。

### 6.2.2 アネロイド型気圧計

アネロイド型気圧計の感部は、皿状の薄い金属板2枚を向かい合わせに張り、周辺を密封して内部を真空にした構造（「空盒」 - くうごう - という）をしている。

空盒は、強い弾性を持つばね用りん青銅などで製造されており、その弾性（バネ作用）と気圧とが釣り合っていて、気圧が変化すると空盒の厚さが変わる。気圧はこの厚さの変位を「てこ」の原理を用いて拡大し、直線又は円運動に変換して指針を動かし、予め校正された目盛り板から読み取ることによって求める。指針に代えてペンを取り付け記録紙上に気圧を連続記録するアネロイド型自記気圧計のほか、変位を容量や電位差などとして電気的に取り出し、気圧を表示・記録する方式の機器もある。

精度の高いアネロイド型気圧計では、数個の空盒を連結して変位を拡大する、空盒を相反する方向に向かい合わせて使用して誤差を少なくする、バイメタル（第3章2項3節参照）を用いて周囲の温度変化に対する金属の膨張を補償する、といった工夫がなされている。また、弾性を補償するため、内部に若干空気を残したりバネを封入したベローズも空盒と同様に使われている。

アネロイド型気圧計は、小型軽量で、取扱いも水銀気圧計に比べて非常に容易であり、比較的振動に強いので、やや精度は劣るものの、長い間、通常の気象観測用に用いられてきている。ただし、最近では後述する電気式気圧計などがこれにとって代わりつつある。

アネロイド型気圧計は、指定された向き（水平又は垂直）に設置する。スポンジなどのクッショ



写真 6-2 アネロイド型気圧計

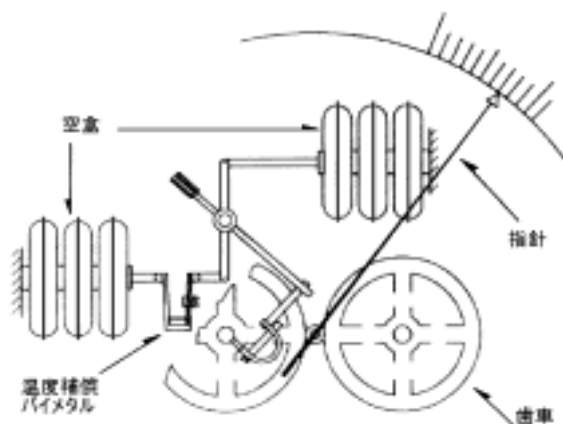


図 6-3 高精度のアネロイド型気圧計の構造



ン材を挟んで取り付けるとなおよ。設置場所は、温度補償されている機器を含めて、できるだけ温度変化の少ないところとすることが望ましい。また、読み取り時には、変位拡大部に摩擦があって、指針が正確な位置を示していない恐れがあるため、ガラス面を2～3回軽くたたく。

### 6.2.3 電気式気圧計・振動式気圧計

最近、水銀気圧計・アネロイド型気圧計とは全く別の原理を応用した気圧計がたくさん開発されている。

これらには、薄い金属製の円筒の中を真空にし、あるいは水晶を用い、これに強制的に振動を与えるとその振動数が圧力によって変化することを利用した気圧計、単結晶シリコンなどの弾性体で真空の空間（ダイアフラム）を作り、アネロイド型気圧計の空盒と同様にこの空間の容積が気圧によって変化することを利用して気圧を求める気圧計などがある。

これら気圧計においては、気圧は電氣的に振動数（周波数）又は静電容量などの変化によって検出する方式がとられており、検出方法に応じて振動式気圧計あるいは電気式気圧計と呼ばれている。

これらの気圧計はいずれも、気圧を電氣量の変化として検出するので、気圧を数字表示したり、アナログ記録する処理は自由にできる。また、機器への振動や衝撃にも比較的強く、感部付近の温度を別に測定することによって温度補償も容易にできるといった利点を持っている。

このほか、素子の製造方法によっては長期間にわたって経時変化が少なく、変化があっても数値入力によってこれを容易に補正できるといった優れた点も持っており、絶対的な測定はできないが、通常の気圧観測用として発展する可能性が大きい。

気象庁では、1982年からは円筒振動式気圧計、1995年からはシリコンを用いた電気式気圧計を採用している。また、基準器としてフォルタン型水銀気圧計を用いている。

## 6.3 測器の設置

気圧計によっては、温度や振動に対する措置をとっているものもあるが、いずれも微小な変化を捉えるものであるため、気圧計は直射光が当たらず、できるだけ温度変化や上下の温度差が少ない室内の、振動がなく衝撃を受ける恐れのないところに設置する。また、他の場所の気圧と比較するために、設置場所の海面上の高さを求めて、海面上の気圧に換算した観測を行うことが望ましい。

水銀気圧計については鉛直に、アネロイド型気圧計については取扱説明書の指定により水平又は鉛直に取り付ける。電気式気圧計については、一般に取り付け方向についての指定はない。

## 6.4 保守

気圧計は、通常、屋内に設置されるので強い衝撃などを与えないようにする他は、特に保守の必要はない。

ただし、水銀気圧計を除いて、およそいずれの気圧計も時間が経つにつれ測定値が真の気圧とずれていくという経時変化を持っている。このため、気圧計は定期的にフォルタン型水銀気圧計など経時変化の少ない基準器と比較して校正することが望ましい。これができない場合は、最寄りの気象台のデータと比較し、日々の値の差、あるいは月平均値との差が系統的にずれていかないかを確認する方法をとるとよい。

## 6.5 気圧の海面更正

気圧は高さとともに対数的に減少し、5000m高くなるごとにほぼ半減する。これは定義の中で述べたように、ある地点での気圧（「現地気圧」という）はその点の上の気柱の重さに等しいが、高いところほどその上の空気が少なくなるからである。したがって、高さが異なる地点で測定した気圧を相互比較するには、同一高度に換算する必要がある。同一高度としては平均海面（日本では東京湾の平均海面）をとることにしており、この換算を海面更正という。また、このようにして現地気圧を更正した気圧を海面気圧という。

空気の重さ（密度）は気温及び水蒸気量によって変わるので、海面更正にあたっては、海面から観測地点までの気温・水蒸気量（湿度）の鉛直分布を知る必要がある。しかしながら、一般には観測地点の気温と湿度が判るだけである。このため、気温と湿度の鉛直分布は平均的な状態にあるとして更正する。これにはいろいろな方法が提案されているが、国際的には統一されておらず、日本では次のとおりとしている。

現地気圧を  $P$ 、観測地点の重力加速度を  $g$ 、気圧計の海面からの高さを  $Z$  とすると、海面気圧  $P_0$  は、

$$P_0 = P + P(e^{\frac{gZ}{RT_{Vm}}} - 1)$$

ここで、 $R$  は乾燥空気の気体定数（ $= 287.05 \text{ m}^2 \text{ S}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ）である。また、 $T_{Vm}$ （ $\text{K}$ ）は海面から  $Z$  までの平均の仮温度で、

$$T_{Vm} = 273.15 + t_m + m \quad \text{である。}$$

ここで、 $t_m$ （ $^{\circ}\text{C}$ ）は気柱の平均気温で、観測地点の気温を  $t$ （ $^{\circ}\text{C}$ ）とし、気温の高度による減率を  $0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ （日本における下層大気の平均的な値）と仮定して

$$t_m = t + 0.005 Z / 2 = t + 0.0025 Z$$

である。

$m$ （ $^{\circ}\text{C}$ ）は空気の湿り具合による補正值で、 $t_m$  との関係は図 6-4 のとおりである。

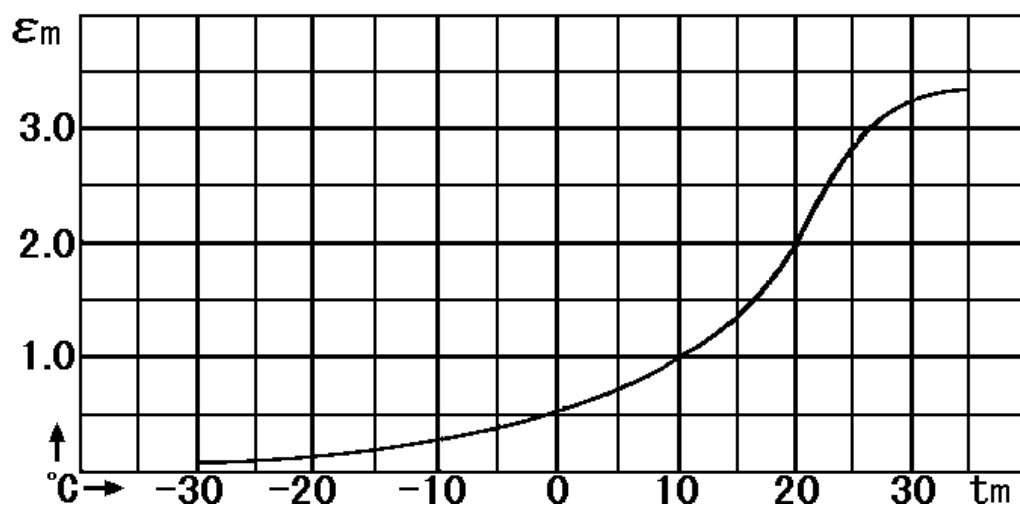


図 6-4  $m$  と  $t_m$  の関係

これは、また、温度範囲ごとに定数  $A \cdot B \cdot C$  を変えて、次式を使ってもよい。

$$m = A t^2 + B t + C$$

温度範囲		A	B	C
$t < -30.0$		0	0	0.090
-30.0	$t < 0.0$	0.000489	0.0300	0.550
0.0	$t < 20.0$	0.002850	0.0165	0.550
20.0	$t < 33.8$	-0.006933	0.4687	-4.580
33.8	$t$	0	0	3.340

実際の海面更正においては、上記の各式を用いて観測地点の気温  $t$  と現地気圧  $P$  を変数として更正値  $(P_0 - P)$  を 1/100位まで計算し四捨五入して1/10位の表を作成し、現地気圧にこれを加える方法をとるとよい。

この場合、地上付近では高さに 1 m の差があると気圧は 0.1hPa 程度変わるので、気圧計高度  $Z$  は 0.1m まで求めておく。

ちなみに、 $P = 1000.0\text{hPa}$ 、 $t = 5.0$ 、 $Z = 35.8\text{m}$ 、 $g = 9.7978\text{m/s}^2$  のとき更正値は 4.4hPa (1/100位までの計算値は4.38) となる。

海面更正にあたっては平均的な大気の状態を仮定しているので、気温の逆転があるとき、盆地の夏のように日射で局地的に気温が高くなったときなどにおいては誤差が出る。

また、高度が高い観測地点ほど仮定が成り立たなくなるので、気象庁では海拔 800m 以上の地点については、海面更正は実施していない。

## 第7章 日射量

日射エネルギーは、大気現象のエネルギー源であり、地表の熱収支・水収支や大気大循環などを解明する上で基本的な要素である。

また、日射エネルギーは、動植物の生育をはじめ人間生活に直接影響を与えるため、農業、工業、建築、医学など広い分野で利用される。特に、植物の蒸発散作用や体温の形成などと密接に関係しており、農業分野では、農作物の育成状況の把握のために利用されている。

また、直達日射量から計算される大気の透過率や混濁係数は、大気中のちりや二酸化炭素、オゾンなどによる日射の減衰を表す指標になり、気候変動、火山噴火などによる上層大気の混濁及び大気汚染の調査などに役立つ。

### 7.1 定義と単位

#### (1) 定義

自然界のあらゆる物体は電磁波エネルギーを放射しており、その中で最大のものが太陽からのもので、これを太陽放射エネルギーという。この太陽放射エネルギーは、紫外線から赤外線に至る広範囲で連続したスペクトルをなしているが、このうち総エネルギーの約97%を占める短波長(0.29～3.0 $\mu$ m)の太陽放射を日射という。

日射は、大気中を通過する間に空気分子、雲などにより部分的に吸収、散乱、反射される。大気中で散乱、反射されることなく太陽面から直接地上に到達する日射を直達日射という。また、散乱によって天空の全ての方向から入射する日射、雲から反射した日射及び直達日射を合わせて全天日射という。これらの量を、それぞれ直達日射量、全天日射量という。通常「日射量」というと全天日射量をさす場合が多い。

また、直達日射量が観測されるのは日の出から日の入りまでで、全天日射量は日の出前と日の入り後の薄明にもわずかながら観測される。

なお、直達日射については、瞬間値および一定時間について瞬間値を積算した積算値を観測するが、全天日射については一般に、積算値のみを観測する。直達日射の瞬間値は、気象の観測では大気の透過率や混濁係数などを求めるために使われる。

#### (2) 単位

日射量の瞬間値は、kW/m<sup>2</sup>(キロワット毎平方メートル)単位で表し100分位まで、積算量は、MJ/m<sup>2</sup>(メガジュール毎平方メートル)単位で表し10分位までの値で示す。

1日の全天日射量は、沖縄地方の夏で平均して20MJ/m<sup>2</sup>、日本海側の冬で5MJ/m<sup>2</sup>程度である。また、直達日射の瞬間値のオーダーは、日の出・日の入りの頃には0.12kW/m<sup>2</sup>、夏の晴れた12時頃にはその10倍近くになる。

(注) 単位の換算は、次のとおりである。

$$\text{瞬間値} \quad 1 \text{ kW/m}^2 = 1.433 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$$

$$\text{積算量} \quad 1 \text{ MJ/m}^2 = 23.89 \text{ cal/cm}^2$$

### 7.2 日射計

日射計は、全天日射計及び直達日射計に分けられる。両者とも、おおむね感部には熱電堆を用い

ている。

#### 7.2.1 全天電気式日射計

感部は、全天から入射する日射エネルギーを、水平な黒色受光面で吸収して熱エネルギーに変換し、温度基準点である白色反射面との温度差を熱電堆によって熱起電力として出力するが、何対かの熱電対を直列に連結した熱電堆によって黒と白の受光面の温度差から得るもの、面積を変えた黒の受光面の温度差を熱電堆で検出するもの、受光面が黒一色で熱容量の大きい金属ブロックとの温度差を熱電堆によって検出するものがある。

感部は、風雨などから保護するためと風による受光面温度の乱れを防ぐため、ガラスドームで覆われており、ドーム内側には水滴が付かないように乾燥剤を入れてある。ガラスは、日射エネルギーの大部分が含まれる波長約 $0.3\sim 3.0\mu\text{m}$ の日射を透過するものが使われている。ほこりや水滴の付着は、出力に大きく影響するため、ファンによりドーム外側のほこりや霜の付着を防いでいるものもあるが、ドーム面が常にきれいな状態であるように、定期的な点検とガラス面の清掃が必要である。

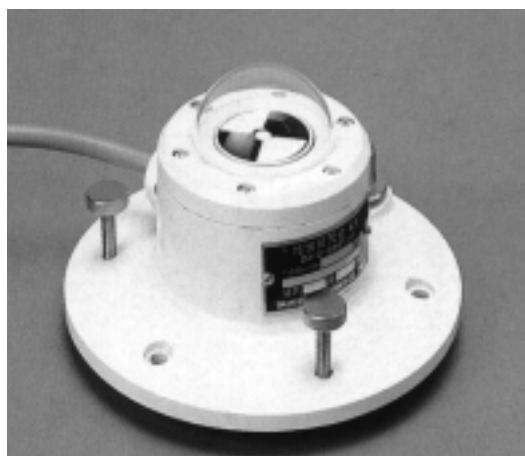


写真 7-1 全天電気式日射計

#### 7.2.2 直達電気式日射計

基本的な原理は全天電気式日射計と同様であるが、直達光のみを受光し、受光部の温度と感部本体内の熱容量の大きな金属ブロック（温度基準点）の温度との差を熱電堆によって熱起電力に変換し、日射量を求める。

太陽面から直接到達する日射のみを観測するため、感部を常に太陽に正対させなければならない。このため、直達日射計は、通常赤道儀と呼ばれる太陽の動きを追尾する装置に載せる。

直達日射量の観測成果から大気混濁係数を求める場合は、太陽面及びその周辺に雲や煙霧がなかったときの連続した記録の中から安定している箇所を捜し、そのときの値を採用する。

#### 7.3 観測場所と設置

四季を通じて日の出から日の入りまでを、立木や建物で日射が遮られることがなく、煙の発生源などもない場所を選ぶ。特に全天日射の観測では、建物の壁面からの強い反射光の影響などを受けない場所を選ぶ。一般には屋上や鉄塔などに設置するが、感部の清掃など日常の保守・点検の便のよいところが良い。

全天日射計は、水準器を使って受光面が水平になるように設置する。晴天時に感部を回転しても、出力が変動しないことを確認するとよい。直達日射計は、赤道儀の水平と南北を正確に合わせ（南北の決定方法については第4章4節参照）、取扱説明書に従って高度角（緯度と赤緯）の調整を行う。

#### 7.4 保守

日射計は、風防ガラスにちりやほこり、露、霜、氷、雪などが付着すると、出力に著しい影響を与えるので、羽毛ブラシや柔らかい布を用いて取り除く。取りにくいものは水洗する。直達日射計

の感部は開口角（受光板から見た開口部の角度）が小さく、特に影響を受けやすい。日射計内部に入っている乾燥剤は、定期的に交換する。風防ガラスの内側に水滴がついた場合には、風防ガラスを外して内側の水滴を拭き取り、乾燥剤を交換する。これらの作業は取扱説明書に従って行うが、困難な場合は業者に任す。

全天電気式日射計の感部面の塗料が変色したり剥離した場合は、直ちに修理しなければならない。

季節や時間により快晴時でも値が異なるため、出力値からは正しく動作しているか確認は難しいが、快晴時の大まかな出力値を把握しておき、予測するような出力値が得られるか点検し、コネクタの接触不良による障害など異常の早期発見につとめる。

直達日射計の感部及び赤道儀は全天候型の構造になっており、通常は連続作動させるが、暴風などにより損傷を受ける恐れがある場合には、作動を停止させて室内に持ち込むか、保護カバーをかぶせ測器を保護する。

## 7.5 観測の誤差

日射計の観測誤差は、感度、応答特性などの一般的な気象測器に共通なもののほか、次にあげる日射計に特有な観測誤差の要因がある。これらによって生ずる誤差に対しては定量的な補正が難しい。このため、測器の特性を履歴として残しておき、データを利用する際に、これらによって生ずる誤差の見積もりが必要な場合に参考とする。

### (1) 波長特性

受光面の吸収率や、ガラスカバーの透過率は、日射の全波長にわたって一定であることが望ましいが、実際には波長によって違いがある。個々の日射計によってこの波長特性はわずかながら違うため、日射の波長分布が水蒸気量の変動などにより変化すると、観測の誤差となる。

### (2) 温度特性

熱電堆の熱起電力の非直線性や日射計内部の熱伝導率の温度依存性のため、周囲の温度が変化し、日射計の温度が変わると感度が変わり、誤差が生じる。

### (3) 高度角・方位角特性

理想的な全天日射計は、太陽高度が低くなるにしたがって、 $\cos Z$ （ $Z$ は天頂角）に比例して出力が減少する。しかし、受光面の吸収率が高度角によって変化したり、ガラスカバーの厚さ、曲率、材質などの不均一のため、特性がずれることがある。通常、高度角20度前後から感度が急激に落ちる。受光面の形状が円形でないものは、太陽の方位角によっても感度が変化する方位角特性もある。

### (4) 開口角

直達日射計の開口角は、太陽の動きを追尾する赤道儀などの精度から、太陽の視角よりかなり広く設定されている。この開口角が広がるほど太陽周辺の散乱光による影響を受けることになる。このため、異なった開口角を持つ直達日射計の間では、大気の混濁状態によって観測値に差が出ることもある。

## 第8章 日照時間

日照時間は、目視観測の天気や雲量などに代わる天気の指標として役に立つ。また、日照時間と日射量とにはある一定の関係があり、日射観測の補助手段としても広く行われる。したがって、日照時間の観測値は、日射量の観測と同じく、農業をはじめ広い分野で利用されている。

### 8.1 定義と単位

#### (1) 定義

日照時間とは直射日光が地表を照射した時間である。現在、日照は、「直達日射量が  $0.12\text{kW}/\text{m}^2$  以上」として定義されている。この「 $0.12\text{kW}/\text{m}^2$ 」というしきい値は、雲がない場合の、日の出のしばらく後、日没のしばらく前の日射量に相当する。

なお、太陽の中心が、東の地平線又は水平線に現れてから西の地平線又は水平線に没するまでの時間の長さを可照時間という。これは緯度と季節によって決まり、地形による補正はしない。実測の日照時間と、この可照時間との比を日照率という。

#### (2) 単位

日照時間の観測は、0.1時間単位で行う。

### 8.2 日照計

直径約10cmの透明なガラス玉で直達日射光を集光し、あらかじめ時間目盛りの印刷された紙を焦がすカンベル・ストークス日照計や、小穴をあけた円筒内に感光液を塗った紙を巻いて、穴から入った太陽光で感光させるジョルダン式日照計が古くから使用されてきた。現在の日照の定義である直達日射量  $0.12\text{kW}/\text{m}^2$  はカンベル・ストークス日照計と直達日射量の比較から定めたものである。

これらの型の日照計は、記録紙や感光紙の特性が測定精度に影響すること、日照の有無の判断に個人差が入りやすいこと、日没後に紙を交換しなければならないといった難点がある。

日照の定義が定量的に定められた現在では、これらに代わり各種の光電式の日照計が開発され使用されるようになってきている。

気象庁では、明治の中頃から1986年頃までジョルダン式日照計を使用してきたが、現在はWMOの日照の定義に合致するデータを正確に取得できる回転式日照計及び太陽追尾式日照計を採用している。また、アメダスでは太陽電池式日照計を使用している。

なお、日照の有無は、直達日射量により定義されているので、直達日射計によって日照時間を観測することも可能である。

#### 8.2.1 ジョルダン式日照計

ピンホールを通して太陽光を導き、感光紙にその軌跡を記録する方式の日照計である。2つの穴の開いた中空円筒とその円筒の傾きを緯度によって固定できるようにした取付け台で構成されている。2つの穴は、円筒断面上で直角になるよう開けられている。この円筒の軸を真南北に合わせ、傾きを緯度に合わせて設置する。この円筒内に、感光面が内側になるように時間目盛り線が印刷された感光紙を内壁に密着するように収める。直達日射が穴から入ると感光紙は感光し、

太陽の動きを線として記録する。日照時間は感光した時間を読み取って測定する。この日照計は可動部分がまったくなく、電源も必要ない。

ジョルダン式日照計による記録は、その地点における太陽の方位角によって決まるので、毎時の日照時間は、地方真太陽時となることに注意する。感光紙の交換、定着（水洗い）、読み取りは日没後に行う。

ジョルダン式日照計の観測は、直達日射量  $0.12\text{kW/m}^2$  以上を日照時間として観測する回転式日照計に比べ多めになる傾向がある。半旬、旬、月、年などの合計の日照時間は、換算を行うことで気象官署での観測値と比較ができる（換算が必要なきは気象台に問い合わせる）。



写真 8-1 ジョルダン式日照計

### 8.2.2 回転式日照計

回転する鏡を用いて太陽光を受光素子に導き、受光量の大きさから日照の有無を判別する方式の日照計である。気象庁が採用している回転式日照計の感部は、30秒で1回転する散乱反射鏡（以下反射鏡）と反射された太陽光を受ける受光素子で構成されており、直達光のみを分離できるようになっている。反射鏡は、本体に刻まれた緯度調整目盛りを設置時に一度合わせておけば、年間を通して太陽高度の変化に対応できるように工夫されている。受光した値が直達日射量  $0.12\text{kW/m}^2$  に相当する値以上のとき1パルス出力する。処理部ではこの出力を積算し、4パルスになったとき、それまでに2分間日照があったとする。

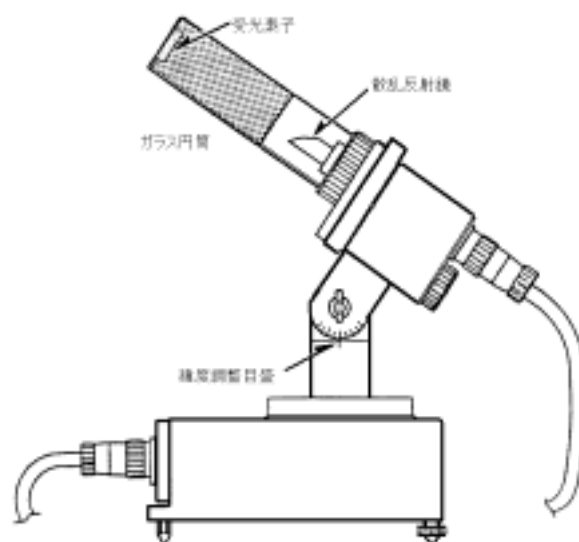


図 8-1 回転式日照計

### 8.2.3 太陽電池式日照計

太陽電池を用いて、その電池の出力の大きさから日照の有無を判別する方式の日照計である。天の北極に向けた三角柱の上面に1個、南東面と南西面のそれぞれに1個の太陽電池が取り付けられている（右の写真は、アメダスで使用している太陽電池式日照計で、ここでは南東面と南西面の太陽電池が見えるよう感部の向きを変えてある。実際の設置ではこれを南面とし、かつ、取り付け部で緯度に合わせて固定する）。

直達日射量に相当する出力は、南東、南西の両面の太陽電池で直達日射量と散乱光を合わせた出力から、直達光が当たらない上面の太陽電池から求めた散乱光分に相当する出力を



写真 8-2 太陽電池式日照計



差し引くことによって求める。

精度は、回転式日照計と比較するとやや劣る。朝夕や雲の多いとき、また太陽高度角の高い暖候期にはやや少なめになることが判っている。

### 8.3 観測場所と設置

日照計の設置は、四季を通じて日の出から日の入りまでを、立木、建物などで日射が遮られることがなく、煙の発生源などのない場所を選ぶ。周囲の建物のガラスなどによる反射にも注意する。一般には、屋上や鉄塔などに設置するが、感部の清掃など日常の保守の便も考慮して決める。

設置にあたっては、真南北方向などの方位、緯度に対応した高度角、及び日照計の水平には十分注意し、定められた方向に向けて設置する。

### 8.4 保守

回転式、太陽電池式日照計の感部はガラスで覆われているので、定期的にガラス表面の清掃が必要である。日照計内部に入っている乾燥剤は、定期的に交換する。風防ガラスの内側に水滴がついた場合には、風防ガラスを外して内側の水滴を拭き取り、乾燥剤を交換する。

### 8.5 日照時間と日射量

日照時間と全天日射量との間には、次の経験的な関係がある。

$$Q / Q_0 = a + b N / N_0$$

この式の $Q$ は地球の全天日射の日量、 $Q_0$ は大気外での日量、 $N$ は日照時間、 $N_0$ は可照時間を表し、 $a$ 、 $b$ は定数である。

経験的に求めた $a$ 、 $b$ の値は、観測地点や月によっていくらか変動する。わが国の5地点（札幌、仙台、館野（つくば）、福岡、鹿児島）について、ジョルダン式日照計と全天電気式日射計から求めた年平均の $a$ 、 $b$ の値は、 $a$ は0.16～0.25、 $b$ は0.44～0.60、5地点の平均では $a$ が0.22、 $b$ が0.52である。

$a$ と $b$ の値は、大気が都市・工場などの影響で混濁している場合と、通常の場合とでいくらかの相違がある。

日照時間から上記の方法で、毎日の全天日射量を推定しようとするのは無理だが、月のおおよその値は推定できる。

なお、 $a$ 、 $b$ を求める際の全天日射の日量と日照時間は、個々の日の値ではばらつきが大きく、月平均の日量を用いている。

## 第9章 欠章

## 第10章 視 程

視程とは、一般になじみのない言葉であるが、観測場所から見ることのできる距離の程度を表す気象用語で、どの程度見通しがきくかという情報である。

視程の観測の成果は、気象解析の他、交通機関の運行のため、あるいは大気汚染の監視のためなどに利用されており、特に航空機の離着陸には欠かせない観測要素である。また、天気を決定する際の指標にもなる。

### 10.1 定義と単位

#### ( 1 ) 定義

視程は、地表付近の大気の混濁の程度を見通しの距離で表したもので、昼間の視程は、その方向の空を背景とした黒ずんだ目標を肉眼で識別できる（例えば目標を鉄塔とした場合、鉄塔であることを識別できる）最大距離である。夜間の視程は、昼間と同じ明るさと仮定した場合に、目標を識別できる最大距離であり、暗くなって目標が見えないことには左右されず、同じ混濁の程度の大気では昼夜に関わらず同じ視程とする。

方位によって視程が異なる場合は、これを方向別に記録してもよいが、全方位の測定値の中で最も小さい値をその観測時の視程とする。

視程を計器で計測するときには気象光学距離（MOR）を使う。これは、光源から照射された光が、大気や浮遊する粒子によって散乱吸収され減衰し、元の強さの5%になるまでの距離である。この減衰の単位距離あたりの割合を大気消散係数という。MORは目視による視程とは概念が異なるが、この5%という値は、目視による視程に合致するとされている値である。

#### ( 2 ) 単位

1 kmまでは50m、100m単位、1 km以上はkm単位で観測し、気象庁視程階級表（表10-1）で表す。

### 10.2 目視による観測

#### 10.2.1 視程目標図

目視による観測は、あらかじめ適当な目標物を選択し、そこまでの距離を記入した視程目標図を作成しておき、これを参照して行うとよい。

視程観測用の目標は、空を背景とする黒又は黒に近い色で、なるべく水平に近い方向にある地物とする。地物を背景とする目標を用いる場合には、地平線付近の空の明るさに近い明るさの背景を選ぶ。目標の大きさはできる限り鉛直方向、水平方向とも視角にして0.5度以上、5度以下（注）のものとする。夜間用の目標は、集光されない中程度の光源が適当であり、ビルの窓、一般の家庭の窓から見える電灯や街灯などを選ぶ。この場合、近距離では比較的暗い灯火、遠距離では明るい灯火とする。

目標は一方向に偏ることなく、なるべく数多く選び、地図によってその方位と距離を求め、図10-1のように、観測場所を中心にした極座標の図に記入する。距離目盛りはおおよそ対数目盛とするのがよい。このようにして作った円形図の該当する位置に、目標物の概形、名称、中心からの距離、及び夜間の目標の場合は灯火の光度が判ればその値も示しておく。目標の高さも記入して

おくとよい。

注：見かけ上の角度「1度」，「5度」は，おおむねそれぞれが腕をいっぱい伸ばしたときの小指の視角と，小指から人差し指までの4指をそろえたときの視角として見積もることができる。

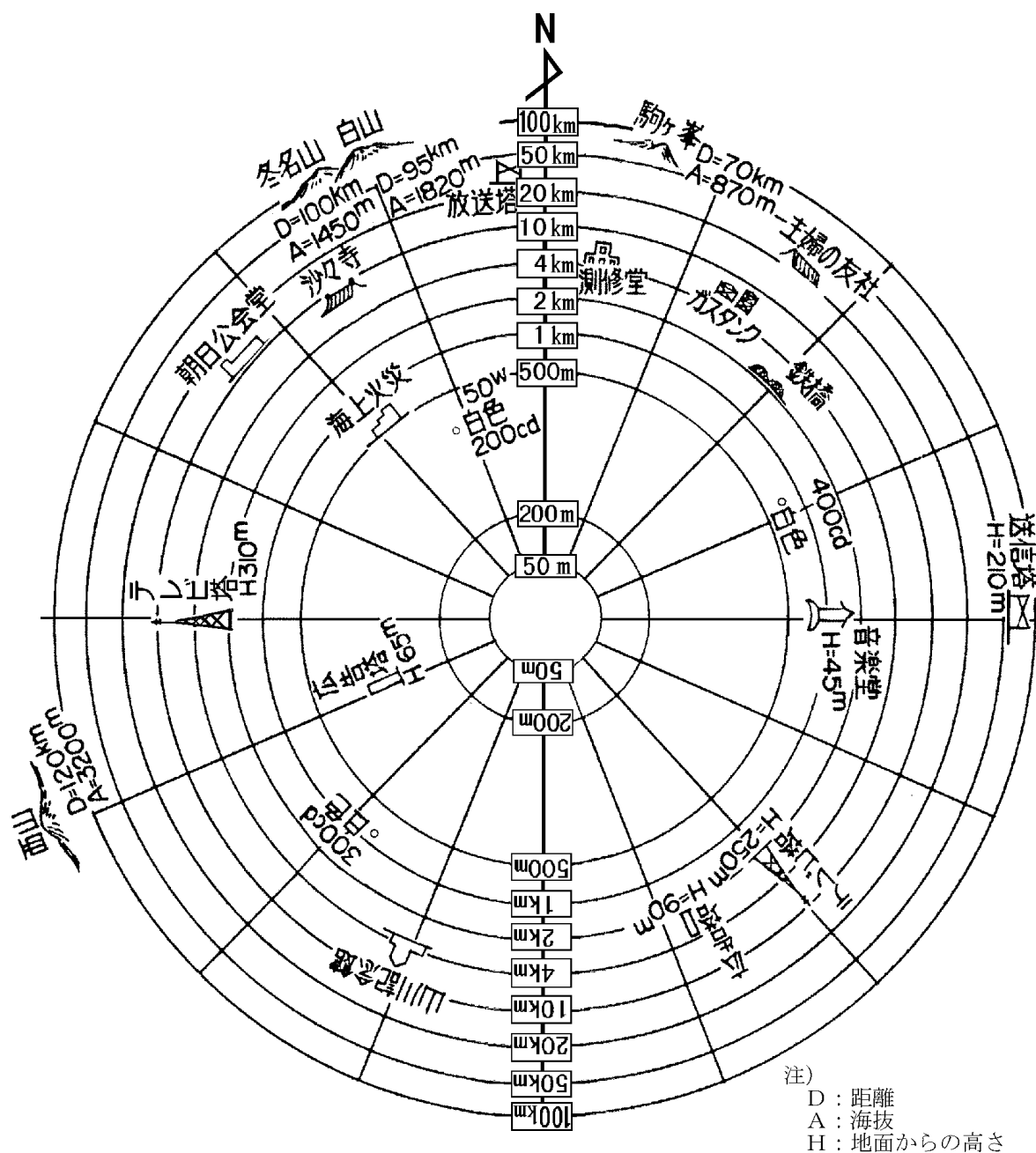


図10-1 視程目標図の例

## 10.2.2 昼間の視程観測

目標を認めることのできる最大距離を観測し，視程が方向によって異なる場合は，その最小値をとる。

二つの目標の間の距離が大きく，その中間に目標がないような場合で，近くの目標は認められるが，遠くの目標は認められないときは，近くの目標の輪郭の鮮明度や色，中間にある地物の見え方などを参照して中間の視程を観測する。近い目標までの距離をそのまま視程とはしない。

最も遠い目標が明瞭に見えて，視程はその目標までの距離より大きいと思われる場合には，そ

の目標の輪郭の鮮明度や色から推定する。一番遠い目標までの距離をそのまま視程とはしない。

また、付近の煙突からの煙や砂埃など、観測者の位置を少し変えることによって視程が変わる場合には、それがないものとして観測する。日の出や日没の際、太陽付近の明るい空を背景とする目標を使うときは、視程を大きく見積もる恐れがあるので注意する。

### 10.2.3 夜間の視程観測

夜間の視程観測も昼間の視程観測と同じ方法で行う。明るい部屋から外に出て観測する場合は、眼を暗さにしばらく慣らした後に行う。

### 10.2.4 観測の場所

視程は、通常目標のよく見渡せる場所、例えば屋上などで観測する。原則として目の高さの視程をとる。したがって、上空が透けて見える霧のような場合には、屋上では視程は大きい、地上では視程が小さい場合がある。このような場合は、地上における視程をとる。

## 10.3 視程計による観測

視程はすべての方向の広い範囲の見通し距離から観測するので、直接機器によって測定することはむずかしい。しかし、近年目的によっては、目視に代えてMORを観測する小型で精度のよい視程計も利用されてきている。

視程計は、通常、光を出す投光部とそれを受ける受光部を配置して、投光した光が大気で減衰又は散乱される量を測ることによって視程を測定するもので、投・受光部の位置関係から、透過率方式、前方散乱方式及び後方散乱方式の3方式がある。

視程計による視程は定量的であるが、限られた空間の空気中のちりなどによる光の減衰・散乱の度合いから求めるため、目視による視程とは差が出る場合がある。対象とする目的を考慮した上で活用することが必要である。

### 10.3.1 透過率方式

投光部（光源）と受光部を正対して設置し、光の透過率を測定してMORを算出する。投光部と受光部の間隔（「基線長」という）は、どの程度の視程の測点を重点にするか（測定範囲をどうするか）によって決まる。精度よく観測できる範囲はおおよそ「基線長」～「基線長の20倍」程度（例えば基線長を100mとすると100m～2km）である。

透過率方式は、MORの定義に基づいた透過率を測定しており絶対値の校正ができ、また後述の散乱方式に比べ測定している空間が比較的広く、代表性は高いといった特徴を持っている。ただし、投・受光部を別に設置する必要があるため、装置が大がかりになり、光軸など細かい調整が必要であるといった短所もある。

気象庁では空港において、滑走路視距離（RV R）の観測用として基線長75m又は152.4mの透過率計を利用している。

### 10.3.2 前方散乱方式

投光部から空間に光を投射し、その斜め前方で光源からの直射ビームを避けた位置に設置した受光部で霧粒や雪片などからの散乱光（前方散乱）を検出し、その散乱強度からMORを算出す

る。前方散乱強度とMORの関係は、透過率計あるいはこれで校正した散乱板などを用いてあらかじめ校正しておく。

前方散乱計は、投・受光部の間隔が1～2m程度で同一の支柱に取り付けできるので、比較的容易に設置、保守ができ、測定できる視程の範囲も数十m～20km程度と広い特徴を持っているが、測定している範囲が狭いので、局所的な視程障害の影響を受けやすく、また、絶対的な校正ができないといった短所がある。前方散乱強度は視程（大気消散係数）が同じでも視程を低下させる現象（霧・雪など）に依存するが、投・受光器の視野の交差角が40度前後のときはほぼ同一となることが判っている。

### 10.3.3 後方散乱方式

投光部から発した光が空間で散乱し、散乱した光のうち投光部方向への反射光（後方散乱）を受光部で検出し、受光部で受けた散乱光の強度からMORを算出する。後方散乱強度とMORの関係は、透過率計あるいはこれで校正した散乱板を用いてあらかじめ校正しておく。

通常、受光部と投光部は同一の支柱に取り付け、投・受光部の視野が数十mから数百m先で交錯するようにしている。このため、投・受光部の向いている方向に光を散乱する物体がないことが必要である。

この方式の長短所は、前方散乱方式とほぼ同じである。後方散乱強度は視程障害をもたらす現象に左右される度合いが大きいので、霧による視程障害を観測するといった特定の目的のために用いるとよい。

### 10.3.4 保守

投光出力及び投・受光部の光学系の汚れが測定値に影響する。最近の機器はこれらを自動補正する機能を備えているが、定期的な光度の測定及び清掃を行うことが望ましい。

## 10.4 視程階級表

単位の項で述べたとおり、視程はkm単位で観測するが、実際のデータ交換や記録にあたっては、目視や視程計により観測された視程を、視程階級表（表10-1）の視程階級に当てはめ0から9の階級で表す。

表10-1 気象庁視程階級表

視程階級	目標物を認めることができる最大距離
0	50m未満
1	50m以上 200m未満
2	200m以上 500m未満
3	500m以上 1km未満
4	1km以上 2km未満
5	2km以上 4km未満
6	4km以上 10km未満
7	10km以上 20km未満
8	20km以上 50km未満
9	50km以上

## 第11章 雲

雲は日射や放射をさえぎり、また、それ自身放射・散乱を行うため、雲の分布や雲の高さは、大気や地表の熱収支と密接な関係がある。

雲の観測結果は、大気の成層状態を間接的に示すとともに、じょう乱の種類、じょう乱との相対的位置とも関係するので、総観的な気象解析に利用される。また、第12章で述べる天気の設定や気候調査に使用される。また、視程とともに航空機の運航にとって重要な資料となる。

### 11.1 雲の観測

雲は、微細な氷の粒や水滴が集まり、空中に浮遊しているもので、地表面に接する場合には雲といわず霧という。雲の中には、雪や雨などの大きな粒も混ざっていることもある。雲は様々な形や色をしているが、これは氷の粒でできているか水滴でできているかの違いや、その粒の大きさ、光の当たり方、気流の状態など、雲のできた場所（高さ）や、そのときの気象状況による。

このため、雲の形、向き、高さ、状態などを観測することで、今までの気象状況やこれからの気象状況をおおまかに推察することができる。

雲の観測は、雲量 雲形 雲の高さ 雲の向き 雲の状態について行う。

雲の観測は、今のところ雲の高さなどを除いて機器による観測は難しく、ほとんど目視によっている。このため、観測者の習熟が必要である。季節や気象条件で出現する雲の特徴を理解し、前回の観測時と観測時の間にも雲の状態の変化、天気の推移を把握しておくことが望ましい。また、夜間の観測では、とくに闇に目を慣らすことが大切である。雲量の観測では、星の見え具合を利用するの一つの方法である。

#### 11.1.1 雲量

雲量は、全天空に占める雲に覆われた部分の割合をいい、0 から10までの整数で表す。ただし、雲が全天空をほぼ覆っていてもすき間がある場合は、完全に10でないという意味で10<sup>-</sup>と表し、また、雲はあるがその量が1とするに足らない場合は、0より少しあるという意味で0<sup>+</sup>と表す。0, 0<sup>+</sup>, 1<sup>-</sup>, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10<sup>-</sup>, 10の13段階で観測する。

濃霧のため空が全く見えない場合は、これを雲と同様にみなして雲量10とする。もし、霧を通し、あるいは霧のない部分から天空あるいは雲が見える場合は、その程度に応じて雲量を決める。煙霧、黄砂、降灰、煙などが天空の全体又は一部をおおい雲を判別できない場合は、濃霧の場合と同様そこに雲があるものとみなして雲量を決める。

こうして得られた雲量は天気を決める要素にもなる。

#### 11.1.2 雲形

雲形は表11-1の10種類に分けて観測する。観測結果は英字略語（同表中の雲名称の後ろカッコ内2文字）を用いて記録すると簡単である。それぞれの雲の解説を載せるが、気象庁が発行した雲を観測するための写真集「雲の観測（地上気象観測法別冊）（1989）」は、後述の雲の状態の観測にも役立つ。

表11-1 10種類の雲形の名称とよく現れる高さ

層	雲形の名称	雲 形 に 関 す る 解 説	出現高度
上層	巻 雲(Ci) Cirrus	繊維状をした繊細な、離ればなれの雲で、一般に白色で羽毛状かぎ形、直線状の形となることが多い。また、絹のような光沢を持っている。	5 ~ 13km
	巻 積 雲(Cc) Cirrocloud	小さい白色の片（部分的には繊維構造が見えることもある）が群をなし、うろこ状又はさざ波状の形をなした雲で、陰影はなく一般に白色に見える場合が多い。大部分の雲片の見かけの幅は1度以下である。	
	巻 層 雲(Cs) Cirrostratus	薄い白っぽいベールのような層状の雲で陰影はなく、全天をおおうことが多く、普通、日のかさ、月のかさ現象を生ずる。	
中層	高 積 雲(Ac) Altocloud	小さなかたまりが群をなし、斑状又は数本の並んだ帯状の雲で、一般に白色又は灰色で普通陰がある。雲片は部分的に毛状をしていることもある。規則的に並んだ雲片の見かけの幅は、1度から5度までの間にあるのが普通である。	2 ~ 7 km
	高 層 雲(As) Altostratus	灰色の層状の雲で、全天をおおうことが多く、厚い巻層雲に似ているが日のかさ、月のかさ現象を生じない。この雲の薄い部分ではちょうど、すりガラスを通して見るようにぼんやりと太陽の存在が判る。	
	乱 層 雲(Ns) Nimbostratus	ほとんど一様でむらの少ない暗灰色の層状の雲で、全天をおおい雨又は雪を降らせることが多い。この雲のいずれの部分も太陽を隠してしまうほど厚い。低いちぎれ雲がこの雲の下に発生することが多い。	
下層	層 積 雲(Sc) Stratocumulus	大きなかたまりが群をなし、層又は斑状、ロール状となっている雲で、白色又は灰色に見えることが多い。この雲には毛状の外観はない。規則的に並んだ雲片の大部分は見かけ上5度以上の幅を持っている。	地面付近 ~ 2 km
	層 雲(St) Stratus	灰色の様な層の雲で霧に似ている。不規則にちぎれている場合もある。霧雨、細氷、霧雪が降ることがある。この雲を通して太陽が見えるときはその輪郭がハッキリ判る。非常に低温の場合を除いては、かさ現象は生じない。	
	積 雲(Cu) Cumulus	垂直に発達した離ればなれの厚い雲で、その上面はドームの形をして隆起しているが、底はほとんど水平である。この雲に光が射す場合は明暗の対照が強い。積雲はちぎれた形の雲片になっていることがある。	
	積 乱 雲(Cb) Cumulonimbus	垂直に著しく発達している塊状の雲で、その雲頂は山又は塔の形をして立ち上がっている。少なくとも雲頂の一部は輪郭がぼつれるか又は毛状の構造をしていて普通平たくなっていることが多い。この雲の底は非常に暗く、その下にちぎれた低い雲を伴い、普通雷電、強いしゅう雨、しゅう雪、ひょう及び突風を伴うことが多い。	

注：「層」は、天気現象(weather phenomena)の起こる対流圏を、雲を分類するための目安として区分したものである。

なお、中層欄のAsは、上層まで広がっていることが多く、同じくNsは、上層及び下層まで見ることができる。また、下層欄のCu、Cbは、雲頂が上層まで達していることが多い。

### 11.1.3 雲の高さ

観測地点の地面から雲底までの高さを，100m単位で観測する。雲の高さは，よい精度で観測することは難しく，なるべく山又は高い建造物などを目安に観測するとよい。目安がなく，確定できない場合には，高さは不明とし「×」で表す。

### 11.1.4 雲の向き

雲片又は雲塊の進行してくる方向をいい，8方位に分けて雲形別に観測する。ただし，雲の向きが判らないときや，天頂から遠く離れた雲の向きは，不明とし「×」で表す。また，雲がほとんど静止していて向きが決めにくときは「-」で表す。

### 11.1.5 雲の状態

WMOでは，気象資料の交換にあたって個々の雲形でなく空全体の特徴を表すものとして「雲の状態」を観測し，通報することとしている。

雲の状態は，表11-2に示す種類表を用いて観測する。このとき，下層雲の状態，中層雲の状態並びに上層雲の状態から各一つを図11-1，2，3に示す優先順位により選定する。観測結果は先頭に示した記号を用いて表記する。

表11-2 雲の状態表

層積雲，層雲，積雲及び積乱雲の状態（C<sub>L</sub>）

C <sub>L</sub> -0	層積雲，層雲，積雲，積乱雲のいずれも存在しない状態
C <sub>L</sub> -1	発達していない扁平な積雲のある状態
C <sub>L</sub> -2	並又はそれ以上に発達した積雲のある状態
C <sub>L</sub> -3	積雲が積乱雲に変わって間もない状態
C <sub>L</sub> -4	積雲からひろがってできた層積雲がある状態
C <sub>L</sub> -5	積雲からひろがってできたものでない層積雲がある状態
C <sub>L</sub> -6	層雲又は層雲からちぎれた雲片が存在しているか，若しくはそれらが共存している状態
C <sub>L</sub> -7	高層雲又は乱層雲が空をおおい，その下にちぎれ層雲又は積雲のある状態
C <sub>L</sub> -8	積雲及び積雲からひろがってできたものでない層積雲が共存している状態
C <sub>L</sub> -9	雲頂が明らかに巻雲状をなし，多くは，かなとこ状を呈している積乱雲のある状態

高積雲，高層雲及び乱層雲の状態（C<sub>M</sub>）

C <sub>M</sub> -0	高積雲，高層雲，乱層雲のいずれも存在しない状態
C <sub>M</sub> -1	薄い高層雲がある状態
C <sub>M</sub> -2	厚い高層雲又は乱層雲がある状態
C <sub>M</sub> -3	薄い高積雲が単層をなして存在している状態
C <sub>M</sub> -4	レンズ型をした高積雲が散在して存在している状態
C <sub>M</sub> -5	常状又は薄い層状をなし，次第に天空にひろがり，通常全般的に厚さも増していく高積雲のある状態
C <sub>M</sub> -6	積雲又は積乱雲からひろがってできた高積雲のある状態
C <sub>M</sub> -7	二重の層をなした高積雲，高層雲をともなった高積雲又は部分的に高積雲の特徴を示す高層雲のある状態
C <sub>M</sub> -8	塔状を呈してつらなった高積雲又は房状の高積雲がある状態
C <sub>M</sub> -9	種々の高さに雲片が散在する高積雲で，通常ところどころに濃い巻雲も見られる状態



巻雲，巻積雲及び巻層雲の状態（C<sub>H</sub>）

C <sub>H</sub> -0	巻雲，巻積雲，巻層雲のいずれも存在しない状態
C <sub>H</sub> -1	繊維状の巻雲が分散していて増加しない状態
C <sub>H</sub> -2	積乱雲から生じたものでない濃い巻雲のある状態
C <sub>H</sub> -3	積乱雲から生じたもので，通常かなとこ状を呈している巻雲のある状態
C <sub>H</sub> -4	厚みを増しながら増加しているかき状又は房状の巻雲のある状態
C <sub>H</sub> -5	巻雲及び巻層雲又は巻層雲のみの層であって，次第にひろがってきているが，まだ地平線上45度に達していない状態
C <sub>H</sub> -6	巻雲及び巻層雲又は巻層雲のみの層であって，次第にひろがってきて，地平線上45度を超過している状態
C <sub>H</sub> -7	巻層雲が全天をおおっている状態
C <sub>H</sub> -8	巻層雲が増加せず全天をおおっていない状態
C <sub>H</sub> -9	少量の巻雲又は巻層雲を伴うこともあるが，主として巻積雲のみが存在する状態

図11-1 下層雲の符号化

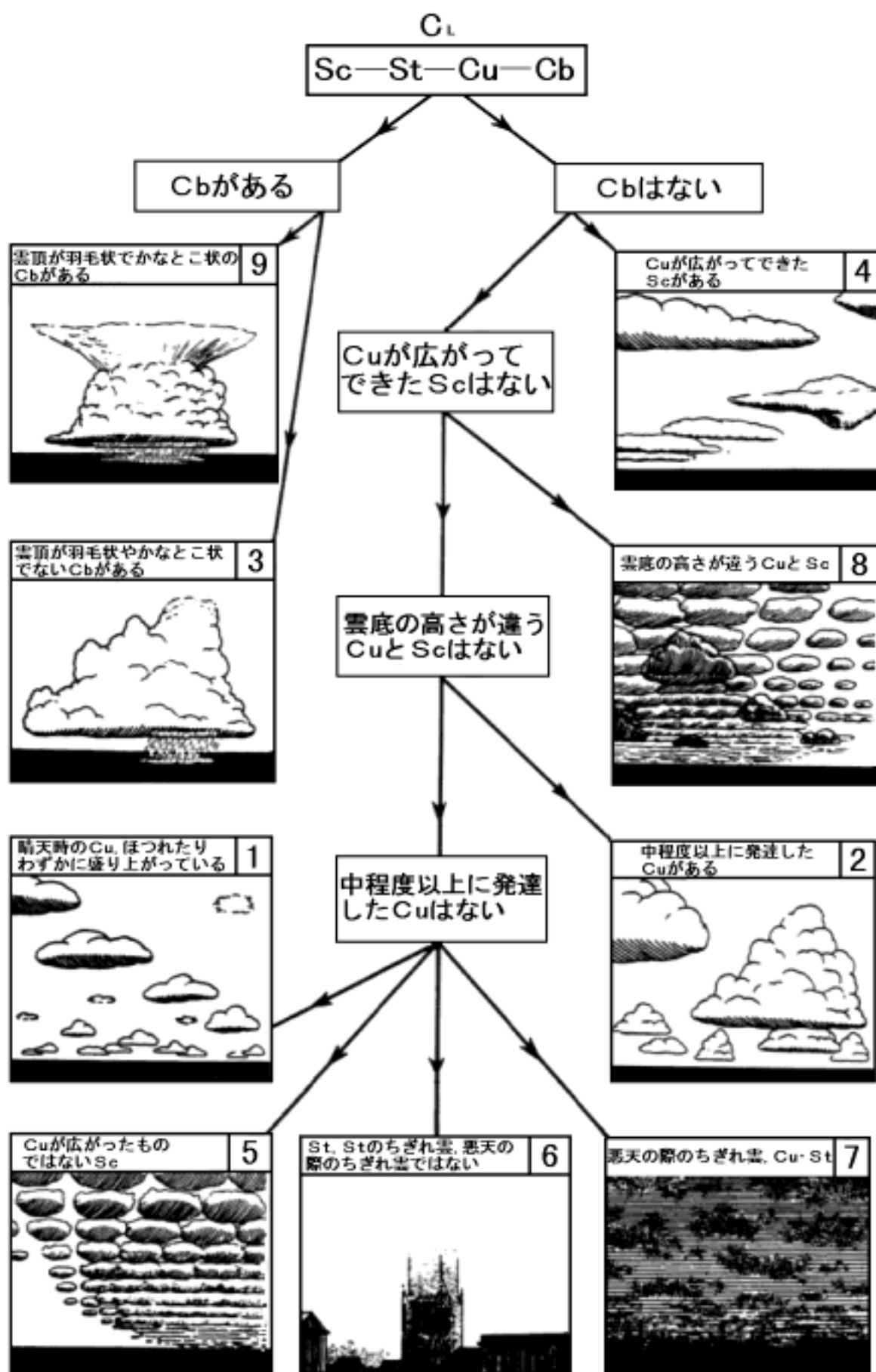


図11-3 中層雲の符号化

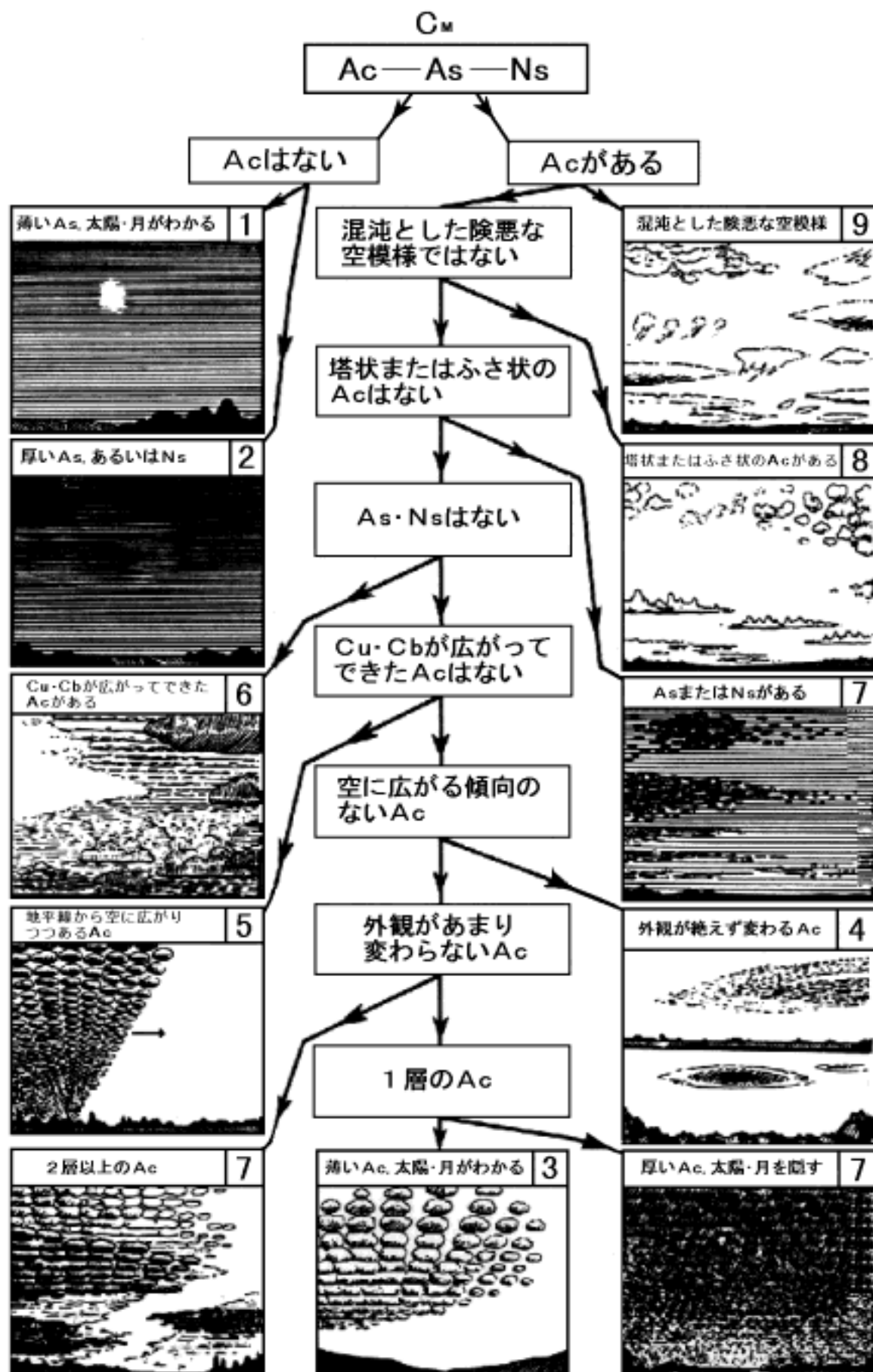
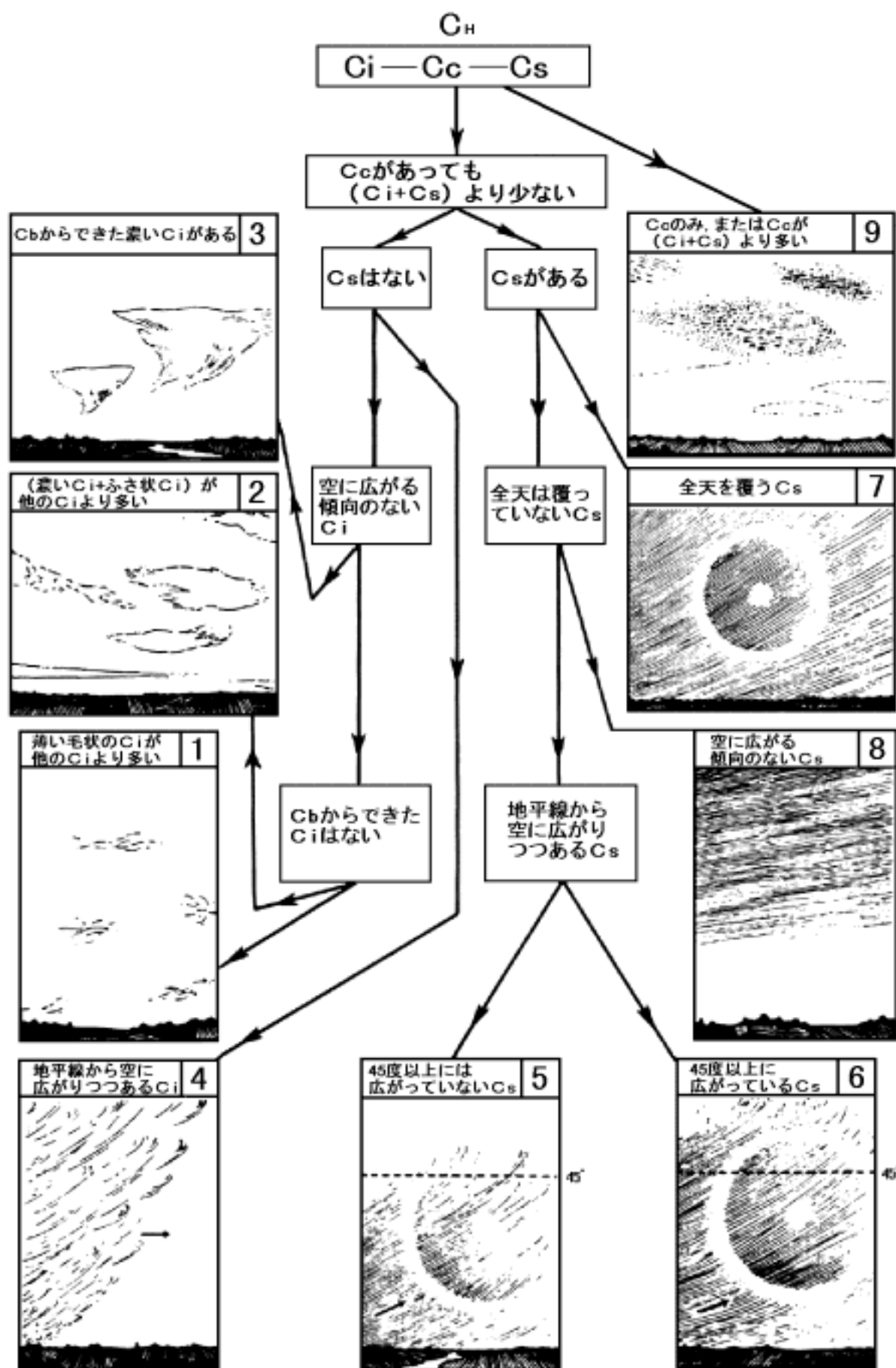


図11-3 上層雲の符号化



雲は多くの場合、大気が広い範囲で、又は局所的に上昇することによって生ずる。大気が上昇すると上空ほど気圧が低いので膨張により冷却し、飽和していなかった空気もついに飽和に達して水蒸気は凝結核や氷晶核を芯にして水滴や氷晶を形成し雲ができる。上昇には次のような3つの場合がある。

(1) 広範囲にゆっくりした上昇

温暖前線や停滞前線など、暖かい気団が冷たい気団の上に、はいあがって広い範囲に上昇する場合で、よく知られたピヤークネスの低気圧モデルの温暖前線と雲はその典型である。前線の傾きが  $1/300$  程度であり、上昇速度は毎秒数cmから数十cmであるため層状の雲ができる。温暖前線が南又は西から近づくとき、普通、雲は巻雲から巻層雲、高層雲、乱層雲と次第に低く厚くなり、連続した一様な雨が降り始める。

(2) 対流による上昇

強い日射に伴って地面や海面で下層大気が暖められたり、一部に不安定な成層を生じたりすると、急に激しい対流が起こる。

また、寒冷前線のように寒気が暖気を押し上げて急激に上昇させる場合もある。

対流による上昇は、垂直に発達する積雲や積乱雲を生じ、しゅう雨性の降水や雷を伴うことがある。夏の積乱雲は、対流による雲の典型である。これらの雲の中の上昇気流は、毎秒1mから10m程度であり、ひょうを降らせるような雲では、局部的に数十mにも達する。

また上層で、温度の垂直勾配が急に変わっていると、広い範囲に細胞状に対流が群をなして起こることがある。巻積雲や高積雲の中には、このようなものが少なくない。

(3) 地形的な原因による上昇

気流が山を越えるとき、強制的に上昇させられて雲を生じたり、雲がさらに発達して、強い降水を生じたりする。冬期、日本海側の山沿いで降る雪や、台風で太平洋側の山沿いで降る大雨は後者の好例である。また、晴れた風の強い日に、山の風下側にできるレンズ雲や波状雲は前者の例である。

このほか、特に上昇を伴わない場合でも、地面の放射冷却や冷たい海面上を移動することによって大気が冷やされ、霧を生じ、この霧が後で下層から暖められたり、下層の乱れによって上昇すると、層雲として観測されることもある。

## 第12章 天 気

天気予報などでなじみのある要素であるが、機器による自動観測が難しく、今のところ大部分目視による観測が必要な種目である。近年、光学的な機器を用いて降水の有無、雨・雪といった降水の型、視程（霧）を組み合わせで主要な天気を判別することが進められている。また、雷の発生位置を推定する機器も開発されている。

### 12.1 天気の観測

天気とは、観測時における大気現象と雲に着目した大気の総合的な状態をいう。

天気は、表12-1の天気種類表の該当する天気の種類から決定する（大気現象に関する詳細な定義や解説は参考資料「大気現象の種類と定義・解説」にある）。これにあたっては、以下のことを考慮する。

- ・表12-2の大気現象に、該当する現象があるときは、その大気現象によって天気を選び、それがない場合は、主として雲量によって天気を選ぶ。
- ・同時に2種類以上の天気に該当する場合には、種類番号の大きいものを一つ選ぶ。
- ・雷については、観測時刻前10分間の雷電あるいは雷鳴の有無から判断し、その他の現象は観測時刻にあるかどうかで判断する。

### 12.2 観測の場所

他の目視項目、雲や視程などと同じように、見通しのよい場所で観測を行う。霧など視程に係わる現象は地上での現象を対象にしていることに注意する。

表12-1 天気種類表

種類 番号	天 気	説 明	記号
1	快 晴	雲量が1以下	
2	晴	雲量が2以上8以下	⊙
3	薄 曇	雲量が9以上で、巻雲、巻積雲、巻層雲が見かけ上最も多い状態	⊕
4	曇	雲量が9以上で、高積雲、高層雲、乱層雲、層積雲、層雲積雲、積乱雲が見かけ上最も多い状態	
5	煙 霧	煙霧、ちり煙霧、黄砂、煙、降灰があつて、そのため視程が1km未満になっている状態又は視程が1km以上であつて全天がおおわれている状態	
6	砂じんあらし	砂じんあらしがあつて、そのため視程が1km未満になっている状態	☼
7	地 ふ ぶ き	高い地ふぶきがあつて、そのため視程が1km未満になっている状態	⊕
8	霧	霧又は氷霧があつて、そのため視程が1km未満になっている状態	
9	霧 雨	霧雨が降っている状態	☼
10	雨	雨が降っている状態	
11	み ぞ れ	みぞれが降っている状態	✱
12	雪	雪、霧雪又は細氷が降っている状態	✱
13	あ ら れ	雪あられ、氷あられ又は凍雨が降っている状態	
14	ひ よ う	ひょうが降っている状態	
15	雷	観測時刻の前10分間に雷電又は雷鳴があつた状態	⚡

注：天気の記述では「晴」、「曇」、「薄曇」には、送りがなは付けない。

表12-2 大気現象

大 気 現 象	説 明
煙 霧	肉眼では見えないごく小さなかわいた粒子が大気中に浮遊している現象
ち り 煙 霧	ちり又は砂が風のために地面から吹き上げられ、風がおさまった後まで大気中に浮遊している現象
黄 砂	主として大陸の黄土地帯で吹き上げられたちり又は砂が、全天を覆い徐々に降下する現象
煙	物の燃焼によって生じた小さな粒子が大気中に浮遊している現象
降 灰	火山灰（火山の爆発によって吹き上げられた灰）が降る現象
砂じんあらし	ちり又は砂が強い風のために高く吹き上げられる現象
高い地ふき	積もった雪が風のために高く吹き上げられる現象
霧	ごく小さな水滴が大気中に浮遊し、そのため視程が1km未満になっている現象
氷 霧	ごく小さな氷の結晶が大気中に浮遊し、視程を著しく減少させる現象
霧 雨	多数の細かい水滴が一緒に降る現象
雨	水滴が降る現象
み ぞ れ	雨と雪が混在して降る現象
雪	空気中の水蒸気が昇華してできた氷の結晶が降る現象
霧 雪	ごく小さな白色で不透明な氷の粒が降る現象
細 氷	ごく小さな氷の結晶が徐々に降る現象
雪 あ ら れ	白色で不透明な氷の粒が降る現象
氷 あ ら れ	白色で半透明な氷の粒が芯となりそのまわりに水滴が薄く氷結した氷の粒が降る現象
凍 雨	水滴が氷結したり雪片の大部分が溶けてふたたび氷結したりしてできた透明又は半透明の氷の粒が降る現象
ひ ょ う	透明又は透明な層と半透明な層とが交互に重なってできた氷の粒又は固まりが降る現象
雷 電	電光（雲と雲との間又は雲と地面との間の急激な放電による発光現象）と雷鳴がある現象
雷 鳴	電光に伴う音響現象



大気現象は次のように、大気水象、大気じん象、大気光象及び大気電気象に大別される。個々の現象の種類と定義・解説を表12-3に示す。表の中で太字で示した大気現象は、表12-2をより詳細に解説したものである。

(1) 大気水象

水滴又は氷粒が、大気中を落下したり、浮遊したり、地表から風によって吹き上げられたり、あるいは地面又は地物に付着している現象である。

(2) 大気じん象

水滴又は氷粒をほとんど含まない、主として固体の粒が大気中に浮遊していたり、地面から風によって吹き上げられたりしている現象である。

(3) 大気光象

太陽又は月の光の反射、屈折、回折、干渉によって生じる光学現象である。

(4) 大気電気象

大気中の電気現象の内、目視又は聴音により観測される現象である。

表12-3 大気現象の種類と定義・解説

(1) 大気水象

種 類	定 義 ・ 解 説
雨	水滴からなる降水。水滴の直径の多くは 0.5mm 以上であるが、もっと小さいものが、まばらに降ることもある。雨滴の直径と集中度は雨の強さや降り方によりかなり変化する。 雨滴は普通霧雨の粒よりも大きい。しかし、降雨域の端で降っている雨滴は蒸発のために霧雨の粒と同程度の小粒になることがある。その場合には粒が分散して降るので霧雨と区別できる。
着氷性の雨 過冷却の雨	0 より低温の雨である。 地面や地物又は飛行中の航空機に当たって着氷（水と 0 の氷の混在）を起こす。
霧 雨	きわめて多数の細かい水滴（直径 0.5mm 未満）だけがかなり一様に降る降水。粒はほとんど浮遊しているように見え、そのために空気のわずかな動きにも従うのが見える。 霧雨はかなり連続した濃い層雲から降る。この層雲の高さは普通は低く、ときには地面に達して霧となる。特に海岸沿いや山岳地帯では、霧雨による降水量は、ときにはかなり多いことがあるが、1 時間に 1mm 以上になることは少ない。
着氷性の霧雨 過冷却の霧雨	0 より低温の霧雨である。 地面や地物又は飛行中の航空機に当たって着氷（水と 0 の氷の混在）を起こす。
雪	空気中の水蒸気が昇華してできた氷の結晶の降水。 雪の降りかた、大きさ、結晶は雪が成長、形成される過程での状況によりかなり変化する。雪の結晶には星状、角柱状、板状、それらの組み合わせや、不規則な形をしたものがある。気温が約 -5 より高いと結晶は一般に雪片化する。 過冷却した水滴が凍結してできた微少な氷の粒を少しつけたものや多少水分を含

	んだものもある。このような結晶が多数くっつき合って雪片をなして降ることが多いが、結晶が個々離れ離れの状態で降る単独結晶の雪もある。
み ぞ れ	雨と雪とが混在して降る降水。
雪 あ ら れ	<p>白色で不透明な氷の粒の降水。粒は円すい 状又は球状である。直径は約5mmに達することがある。この粒は、堅い 地面に当たるとはずんでよく割れることがある。砕けやすく容易につぶれる。</p> <p>雪あられは、中心の氷の粒（普通は氷晶）が急速に凍った雲粒でおおわれている。中心の氷晶と凍りついた雲粒との間にすき間があるので雪あられの比重は一般に小さく 0.8未満である。</p> <p>雪あられの降水は、普通は地面近くの気温が0 ℃に近いときに雪片とともにしゅう雨性降水として降る。</p>
霧 雪	<p>ごく小さい白色で不透明な氷の粒の降水。粒は雪あられに似ているが、へん平な形をしているか又は細長い 形をしている。その直径は一般に1mmより小さい。</p> <p>この粒は、堅い 地面に当たっても、はずまないし、こわれもしない。降る量は普通非常に少なく、層雲が霧から降る。しゅう雨性降水の形では降らない。気温が約 -10～0 ℃の間のときに生じる霧雨に相当する。</p>
凍 雨	<p>透明の氷の粒の降水。粒は球状又は不規則な形で、まれに円すい 状である。直径は5mm未満である。凍雨は一般に高層雲か乱層雲から降る。</p> <p>この粒は、普通堅い 地面に当たるとはずみ、音をたてる。また容易につぶれない。凍雨は部分的には液体であってもよい。凍雨の比重は氷の比重（0.92）に近いが、或いはそれ以上である。しゅう雨性降水としては降らない。</p>
氷 あ ら れ	<p>半透明の氷の粒の降水。粒はほとんどいつも球状で、時に円すい 状のとがりをもつ。直径は5mmに達し、まれに5mmを超えることがある。</p> <p>この粒は簡単にはつぶれず、堅い 地面に当たると音をたててはずむ。</p> <p>氷あられは全体的又は部分的に、すき間が氷或いは氷と水でみたされた単にうすい殻が凍結しただけの雪あられでできている。このため氷あられは比較的比重が大きく 0.8ないし例外的には0.99の間である。</p> <p>氷あられは常にしゅう雨性降水で起こる。氷あられは雪あられとひょうの中間状態であり、その部分的に滑らかな表面と高密度で雪あられと区別できる。またその大きさの小さいことからひょうと区別される。</p>
ひ ょ う	<p>氷の小粒又はかたまりの降水。直径5mmから50mmの範囲で、ときにはそれ以上のものもある。単独に降るか又はいくつかがついて、不規則なかたまりとなって降る。</p> <p>ひょうは透明な氷、又は透明な層（厚さ1mm以上）と半透明な層とが交互に重なってできているものや、透明又は不透明な氷そのものもある。</p> <p>ひょうは一般に強い雷電に伴って降る。</p>
細 氷 (ダイヤモンド ダスト)	<p>晴れた空から降ってくるごく小さな氷の結晶の降水で、大気中に浮遊しているように見える。</p> <p>細氷は非常によく晴れた静穏の寒い日に起きやすく、気団が急激に冷え込み、気温が -10 ℃未満に下がるとできる。</p> <p>一般には板状結晶のものが多く、その直径は約30～200 μmである。</p> <p>この結晶が太陽光の中ではきらきら輝いて見える、また顕著な、かさ現象をしばしば見ることができる。</p> <p>水平視程は激しく変動するが、その下限は1km以上である。</p>
霧	<p>ごく小さな水滴が大気中に浮遊する現象。水平視程が1km未満の場合をいう。</p> <p>十分に光が当たっているときには、一つ一つの霧粒が見分けられることがあり、そのときには霧粒がいくぶん不規則に動いているように見える。霧の中の空気は通常湿っぽく冷たく感ずる。霧の中の相対湿度は一般に 100%に近い。全体としては白みがかっているが、工場地帯では煙とじんあい のため灰色又は黄色みを帯びる。</p>

	霧と煙が混じったものをスモッグということもある。
低い霧	目の高さの水平視程は1km未満であるが、天空がわずかに見えるくらいに霧が薄い場合は、低い霧という。
地霧	目の高さの水平視程は1km以上であるが、地面近くに霧がある場合は、地霧とする。
氷霧	多数のごく小さな氷の結晶（直径約2～30 $\mu$ m）が、大気中を浮遊する現象。水平視程を著しく減少させる。 この結晶は日がさしていると輝いて見える。氷霧に細水が混じると、かさなどを生ずることがある。 一般に高緯度地方、山岳地方で気温-30℃以下の静穏な晴天のときに現れる。
もや	ごく小さい水滴又は湿った吸湿性の粒子が大気中に浮遊している現象。水平視程は1km以上の場合をいう。 もやの中の空気は霧の中でのように湿っぽくも冷たくも感じない。もやの中の相対湿度は一般に霧の場合よりも小さく目安としては75%以上が多いが100%になることはない。 もやは一般に多少とも灰色がかったり。
低い地ふぶき	積もった雪が地表からわずかの高さに吹き上げられる現象。 目の高さの水平視程はほとんど減じない。雪の粒子は地表をどのように移動し、このため非常に低い地物おぼんやり見えたり、隠されたりする。
高い地ふぶき	積もった雪が地上高く吹き上げられる現象。目の高さの水平視程は一般に非常に悪い。吹き上げられた雪はときには全天を覆い、太陽さえも隠すほどになることがある。これらの雪は絶えず風によって激しくかき回される。
ふぶき	高い地ふぶきと雪とが同時に起こっている現象。
しぶき	広い水面、一般的には波がしらから風により水滴が吹き飛ばされる現象。水面が荒れた状態では、泡を伴うことがある。 台風、季節風など広範囲の強い風にもない発生し、視程障害を発生させた場合に記録する。
露	地面や地物などに大気中の水蒸気が凝結し水滴となって付着したもの。草や木の葉だけにできたものは除く。
凍露	露の粒が凍結したもの。
霜	大気中の水蒸気が昇華して、地面又は地物に付着した氷の結晶。一般にうろこ状、針状、羽状又は扇子状をしている。
霜柱	地中の水分が柱状の氷の結晶となって、地中又は地面に析出したもの。
霧氷	樹木や地物に白色ないし半透明の氷層が付着したもので、樹霜、樹氷、粗氷の3種類がある。
樹霜	おもに水蒸気の昇華によって生じた氷の結晶からなり、針状、板状、コップ状などの結晶形が明らかに認められることが多いが、凍った霧粒が混じってついていることもある。物体の風上側に成長しやすい。
樹氷	おもに過冷却した霧粒又は雲粒（山岳域）が、地物に吹きつけられてできた白色不透明のもろい氷で、うすい針状、又は尾ひれ状の塊が集まってできている。側面に樹霜ができていることもある。弱い風の下では地物の全方向に付着する。
粗氷	樹氷と同じようにしてできる。半透明か又は透明に近い氷の塊で、霧粒が大きく、気温が-10～-2℃の間でできやすい。また風上方向に発達する。
雨氷	一般に均質で透明な氷層が地物に付着した現象。過冷却した霧雨又は雨（着水性の霧雨又は雨）が、0℃以下又は0℃よりわずかに高い温度（過冷却でない場合は0℃以下）の地面や地物に当たって凍結したものである。

積 雪	固形降水が、観測場所周辺の地面の半ば以上を覆う現象。
冠 雪	山頂（山頂が見えない場合は中腹）が雪、又は白色に見える固形降水で覆われている状態を観測場所から望観できたとき。 通常、寒候期に初めて観測した日を記録する。
結 氷	屋外にある水が凍る現象。
た つ 巻	激しいうず巻。柱状又は漏斗状の雲が積乱雲の底からたれ下がり、海面から巻き上げられた水滴、又は地面から巻き上げられたちり、砂などが、尾のように立ち上がっている。 漏斗状の雲の軸は鉛直か又は傾いている。ときには曲がりくねっていることもある。漏斗の先が、地面又は海面からの「尾」とつながっていることが珍しくない。 たつ巻の中の空気は、低気圧性に急速に回転することが多い。積雲の下に弱いたつ巻が観測されることがある。

## （２）大気じん象

種 類	定 義 ・ 解 説
煙 霧	肉眼では見えないごく小さい乾いた粒子が、大気中に浮遊している現象。数が多いために空気が乳白色に濁って見える。 遠距離の明るい物体や光源は、煙霧を通して見ると黄色味を帯びるか赤っぽい色に見え、一方暗い物体は青色がかって見える。これはおもに煙霧の粒子による光の散乱効果である。これらの粒子はそれ自身の色をもつことがありその場合にはその色が景色を色づける。 煙霧の中の相対湿度は、75%未満のことが多い。
ちり煙霧	風によって地面から吹き上げられたちり又は小さな砂の粒子が、風じんがおさまった後まで、又は風じんの発生場所から離れた場所に、浮遊している現象。明らかに風じんによると判断された場合にかぎり、ちり煙霧とする。風じんによることが明らかでない場合には煙霧とする。
黄 砂	主として大陸の黄土地帯で吹き上げられた多量の砂じんが空中に飛揚し、天空一面を覆い、徐々に降下する現象。はなはだしいときは天空が黄かっ色となり、太陽が著しく光輝を失い、雪面は色づき、地物の面には砂じんが積もったりすることもある。
煙	燃焼により生じた小さな粒子が大気中に浮遊している現象。 煙は地面近くに存在して視程を悪くすることがあり、また上空に存在して天空を覆うこともある。 煙を通してみると、太陽は日の出時や日の入時には非常に赤く見え、日中は美しい色がかって見える。都市又はその近くでは、煙はかっ色、暗い灰色又は黒色になる。近くの森林の火災から広がった煙は、太陽光線を散乱させるので空は緑がかった黄色になる。非常に遠距離にある発生地から広がり一様に分布した煙は、一般に薄い灰色がかった色か青味がかった色である。煙が多量に存在するときは、煙は臭いによって識別できることがある。 煙の発生源が明らかに判断される場合に限り煙とする。そうでない場合は煙霧とする。
降 灰	火山の爆発によって火山灰が空中に吹き上げられ、それが徐々に地面に降下する現象。
低い風じん	ちり又は砂が、地面からわずかの高さに吹き上げられる現象。目の高さの水平視程はほとんど減少しない。
高い風じん	ちり又は砂が、地上高く吹き上げられる現象。目の高さの水平視程は一般に非常に悪い。
砂じんあらし	ちり又は砂が、空中高く、強い風のために激しく吹き上げられる現象。

	<p>砂じんあらしの前面は、幅の広い高い壁が急速に進んでくように見えることがある。この壁の後ろには積乱雲を伴うことが多い。</p> <p>また、この壁は寒気の前面に雲を伴わないで発生することもある。目の高さの水平視程は非常に悪く1km未満になる。</p>
じん旋風	<p>地面から吹き上げられたちり又は砂が、柱状になって時にはまき散らしながら旋回している現象。柱の直径は小さく軸はだいたい鉛直で、その高さは変動する。</p> <p>じん旋風は、地面近くの空気が非常に不安定なとき、地面が日射で強く加熱されたりすると発生する。</p>

### (3) 大気光象

種 類	定 義 ・ 解 説
か さ 日のかさ 月のかさ	<p>大気中に浮遊する氷の結晶のために、光が屈折又は反射して生ずる光の輪・弧・柱・点などの光学現象。</p> <p>太陽の回りにできるかさを日のかさ、月の回りにできるかさを月のかさという。その他、幻日、幻月、光柱などがある。</p> <p>最も頻繁に現れるかさ現象は、内かさで、半径22度の白色又はほとんど白色の光輪である。</p> <p>内かさは内側に薄い赤色の縁をもっていて、まれに外側に紫色の縁をもつことがある。輪の内部の天空の部分は外部に比べると暗い。46度の半径をもつ円開のかさを、外かさといい、ときどき観測される。</p>
光 冠 日光冠 月光冠	<p>太陽又は月を中心とした比較的小さい直径の光の輪。輪は二重以上の場合もあり、輪の内側は紫又は青で外側は赤である。</p> <p>太陽によるものを日光冠、月によるものを月光冠という。</p> <p>光冠は太陽又は月の光がもや霧の中とか、又は、小さい水滴あるいは氷の粒でできた薄い雲の中を通過するとき回折によって生ずる。光冠の半径は一般に5度より小さい。</p>
彩 雲	<p>雲に現れる色彩で、ときには不規則に並び、ときには雲の縁辺にほとんど平行な帯状で現れ、緑色や桃色が卓越し、パステル画のような色合いをもっている現象。太陽から約10度の範囲内では回折がおもな原因であるが、10度をこえると干渉が卓越する。太陽から40度も離れたところに現れることもある。</p>
に じ	<p>大気中の無数の水滴のために、太陽や月の光が、屈折、反射及び干渉を受けて生じた現象。紫から赤に至るスペクトルの色をもつ同心の弧をしている。太陽によりできたにじは、通常色彩が輝かしいが、月により生じた場合はその色彩がはるかに弱い。</p> <p>半径が40～42度の弧を、主にじといい、紫は内側、赤は外側にある。天空はにじの外側のほうが内側より暗い。</p> <p>ときには、主にじのほか半径50～54度の副にじが現れることがある。主にじよりも輝きはかなり弱く、幅は主にじの約2倍ある。赤は内側で、紫は外側にある。</p> <p>また、主にじの内側又は副にじの外側に、過剰にじが生ずることがある。</p>

### (4) 大気電気象

種 類	定 義 ・ 解 説
雷 電	電光が見え、雷鳴が聞こえる急激な放電。雷電はしゅう雨性降水を伴う場合が多い。
電 光	雲と雲との間、又は雲と地面との間の急激な放電による発光現象。
雷 鳴	電光に伴う鋭い音又はゴロゴロとなる音。一般的に20km以上の場合は音は聞こえない。

## 第13章 観測結果の品質管理

気象の観測では、適切な測器を用い、適切な保守を行っていたとしても何らかの障害などにより、誤ったデータが測定されることもある。自動気象観測システムなどでは、観測データが通信回線などを使って伝送されるので、気象とは直接関係のないところで障害が発生し、誤ったデータが送られることもある。観測結果は、さまざまな施策の判断材料などとして使われるが、誤った観測結果をそのまま使ったのでは施策などに適切に反映されない。

ここでは、観測結果に疑問があるかどうか判断する手段について、一観測所での品質管理と他の観測所でのデータとの比較による品質管理（面的な品質管理を含む）の手法について述べる。これらのことを参考に、目的に合わせた品質管理の方法を確立する。

なお、品質管理にはデータ処理システムに組み込んで自動的に即時に行うものと、オフラインで非即時に調査的に行うものがある（また、観測者が観測結果を帳票などに整理するとき、前回の観測記録とその後の体感で得た気象変化を考慮することも品質管理といえるが、ここではシステムとして行われている気象観測の品質管理について述べる）。

これらの品質管理によって、観測データに誤りを発見した場合には、データの修正や除去などの対処はもちろんのこと、原因を明らかにしその原因を取り除くことが、その後正しい観測データを得るために重要である。また、これらの処理した内容について記録しておけば、以後に同じような障害が起こったときの参考になり役に立つ。

なお、自動的な品質管理で、全ての誤りデータを即時的に検出し除去することは困難である。また、以下に述べる方法でも、真の値を疑問値としたり、誤った値を見逃すことがある。

### 13.1 一観測所の観測データによる品質管理

ここで、一つの観測所から得られるデータを用いた品質の管理について解説する。以下の方法は、システムに組み込むことで、即時的な品質管理に適したものが多く組み合わせるとよい。

#### (1) 過去のデータを用いた品質管理

それぞれの気候区や高度などの地形の影響などによる差異はあるが、気象観測データはある範囲内に限られている。例えば、日本国内の気象官署で観測された最高気温は40.8（山形）、最低気温は-41.0（旭川）であり、この最高気温を超えたり、最低気温を下回る気温の観測値はめったに起こり得ない。この値を疑わしいか否かのしきい値とすれば、自動的に疑わしいデータの検出ができる。

以下に気象庁が全国の観測所の個々の観測値を自動的に品質管理、すなわち疑わしいデータを検出するために用いているしきい値の例を示す。これらの値を超える（満たない）場合は、疑わしいデータであることの識別符号を付けるなどして、その後のデータ利用などに反映させる。

（例）	907.3hPa	海面気圧	1044.0hPa
	-41.0	気温	40.8
		1時間降水量	150mm

個々の観測所に対しては、そこでこのこれまでの観測値から、季節あるいは月毎のしきい値を求めておけば、より適切な品質管理ができる。観測場所の過去の値がない場合には、近くの気象台やアメダス観測所の観測値を利用すればよい。

## (2) 前回の観測からの変化による品質管理

気象要素によるが、気圧や気温などは変化が緩やかである。したがって、観測データが連続的に、あるいは短時間間隔で得られる場合には、その間の観測値の変化量を監視することで疑わしいデータを検出できる。参考例として次のようなしきい値がある。これらの値は自動で品質管理を行うために定めた値で、日本国内で観測された変化を基に、余裕を持たせるための係数をかけたものである。例では、変化量の正負に関わらず同じしきい値としているが、例えば品質管理の対象が積雪深の場合、変化量が正（降雪）のときと、負（融雪）のときではしきい値を異なったものにするなどの工夫をすれば、よりよい品質管理ができる。

（例） | 気圧の3時間変化量 | 19.9hPa

| 気温の1時間変化量 | 17.0

| 風速の3時間変化量 | 30m/s

他方、気象状態はたえず変動しているものであるから、同じ値が続いている場合には、観測が正しく行われているかを確認する。この場合、連続的な記録（自記記録など）があれば割合に簡単に誤データであることの判断ができるが、1時間毎あるいはそれ以上の時間間隔のデータしかえられない場合には、測器の故障なのか、偶然に同じ値が観測されたのか、注意して判断する。

## (3) 他の観測要素との比較による品質管理

気象現象は、要素によっては相互に関係するものがある。同じ場所で関連する気象要素を同時に観測している場合には、品質管理の材料となる。次のような場合には、何らかの異常があるのではないかと考え、状況を確認する。

ア) 日照と降水が同時に観測される場合

イ) 日照があるのに日射が観測されない、あるいは逆の場合（ただし、日射があっても日照は観測されない場合はある）

ウ) 気温より露点温度のほうが高い場合

エ) 風向と風速で一方が変動しているのに他方が一定の値を示す場合

## (4) まとまった期間の観測データからの品質管理

即時的な品質管理では不可能な例として、ある期間のまとまった観測データから周辺環境の変化が、観測データに影響していることが確認されたものを図13-1（毎日の日照時間の10分値を、日照があった場合に黒く描画したもの）に示す。

この例の状況は、日照計設置場所の南方にある鉄塔で、冬季に補修工事があり、ネットなどの補修機材が日照を遮ったものである。このような障害は、他に樹木の繁茂なども考えられるが、実際に観測場所に出向かなければ確認が難しいことが多い。測器を含む観測システムのみならず、観測環境に注意しなければならないことを示す例である。また、オフラインでの品質管理を適宜実施することで、即時的な品質管理では捉えきれない誤データを検出できることを示している。

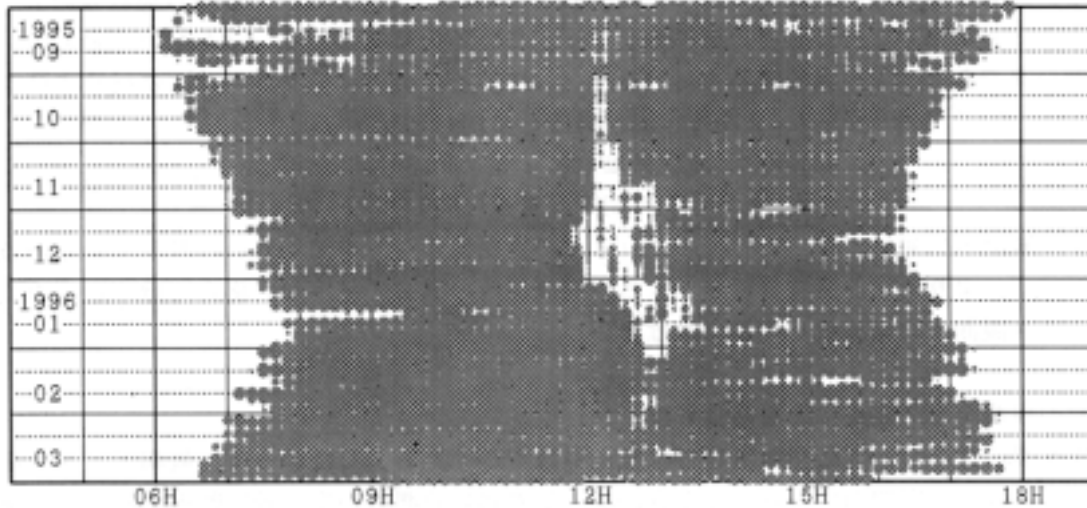


図13-1 観測環境の変化で日照観測に障害が発生した例

### 13.2 他の観測所のデータとの比較による品質管理

気象現象は、その要素により差はあるがある面的に広がりを持った現象であり、近接の観測所の観測値は近い値を示し、変化も似たような変化を示す。このことを利用し、観測所のデータの品質を管理することができる。これらの方法は、非即時的な品質管理に適しているが、システムに組み込む（即時的品質管理）ことができれば、効果の高い方法となる。

#### (1) 隣接の観測所との比較による品質管理

隣接の観測所とのデータを比較し、相互の関係からデータが疑わしいかをチェックする。距離が近ければ観測所間の相関は高いが、距離が遠くなるにつれてその相関は低くなる。また、代表性の高い気象要素（気圧、気温など）は相関が高く、局地性の高い気象要素（降水など）は相関が低い。また、月間の合計値や平均値はより相関は高くなる。これらを考慮した上で、疑わしい観測値の検出を行う。このためには、正しい状態での両観測所のデータ間の相関の度合いを見積もっておくことが重要である。

参考例として、割合に局地的な影響を受けやすい風向風速の比較を示す。局地性はあるものの観測環境に恵まれていれば、図13-2のような相関を示す（A，B観測所間の距離は約20km）。

一方、図13-3、13-4は測器に異常があり誤観測している事例である（観測所間の距離はCとDが約1.5km，EとFが約20km）。

図13-3は、異常な風向の観測と疑わしい風速の観測を示している。風向の異常については、これはCの感部の風向の信号を取り出す信号線の配線が間違っていた事例で、反時計回りに45度ずれている（この図だけからは、どちらが誤りか不明であるが、比較にもう一か所を加えCが異常と特定した）。

風速については、それぞれの観測所周辺の環境もあり直ちに異常とはいえない。C観測所の半分しか示さないD観測所には、観測所が窪地にあるとか、周囲に風を遮る建物などの障害物があるとか、逆にC観測所の風速計の設置高度が高いなどの環境の違いが考えられる。環境の違いが明らかでない場合には、測器に異常がないか確認すればよい。風速計設置場所で「顔に風を感じる」（風力階級2：表4-1参照）程度の時に感部が回転しているかなどの点検を必要とする。

この事例は、他の観測所と比較すれば簡単に判る異常であり、一観測所の観測データから発見



するのは必ずしも簡単ではない。

図13-4は、F観測所が東よりの風を測定できていないことを示している。東よりの風を示す信号が出なかったための誤データである。この事例は、風向別の出現頻度分布図（「ウインドローズ」という）を作成することでも異常を検出できる。

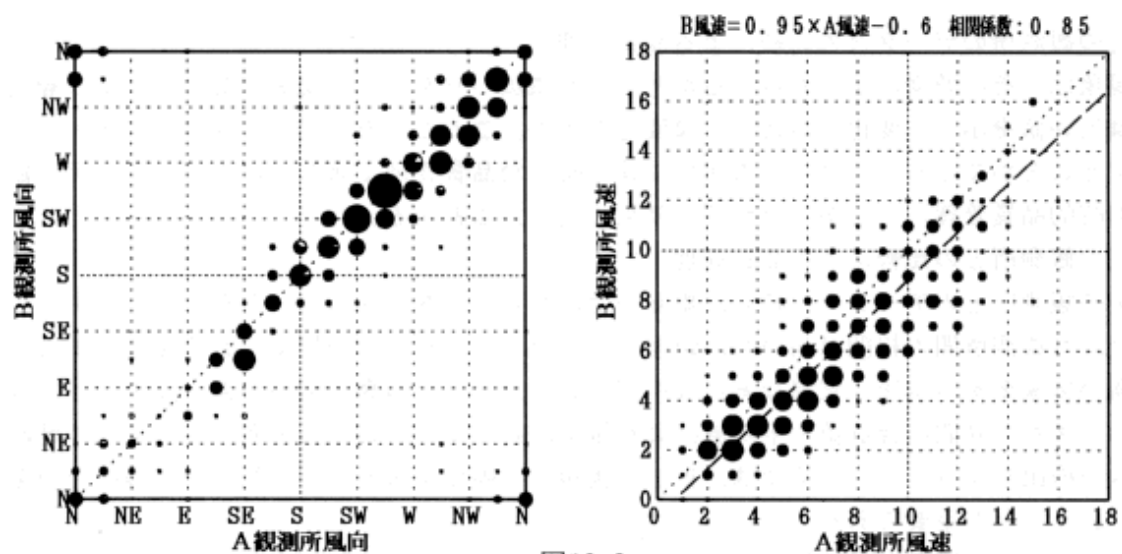


図13-2

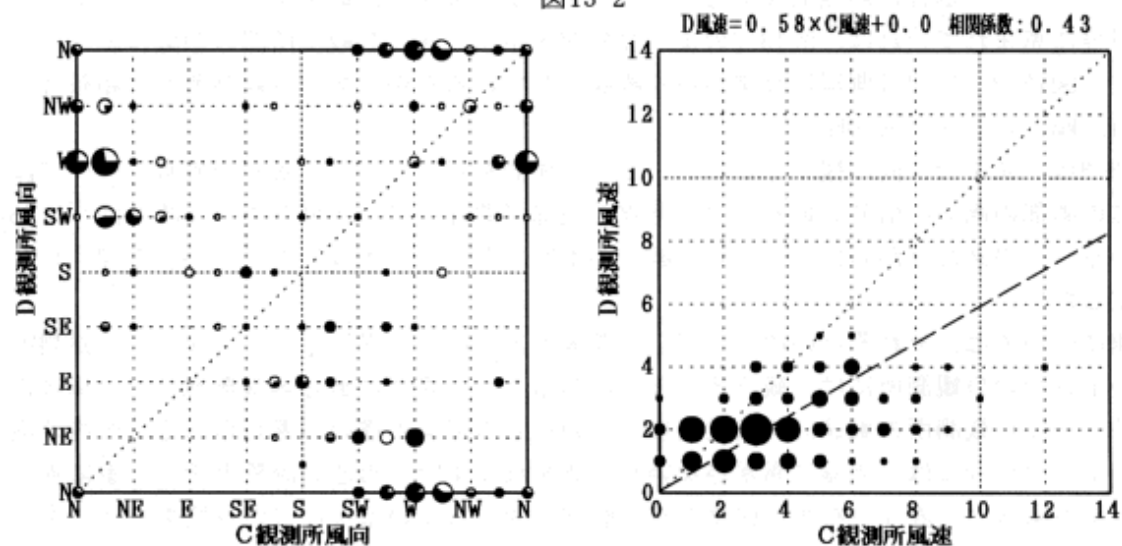


図13-3

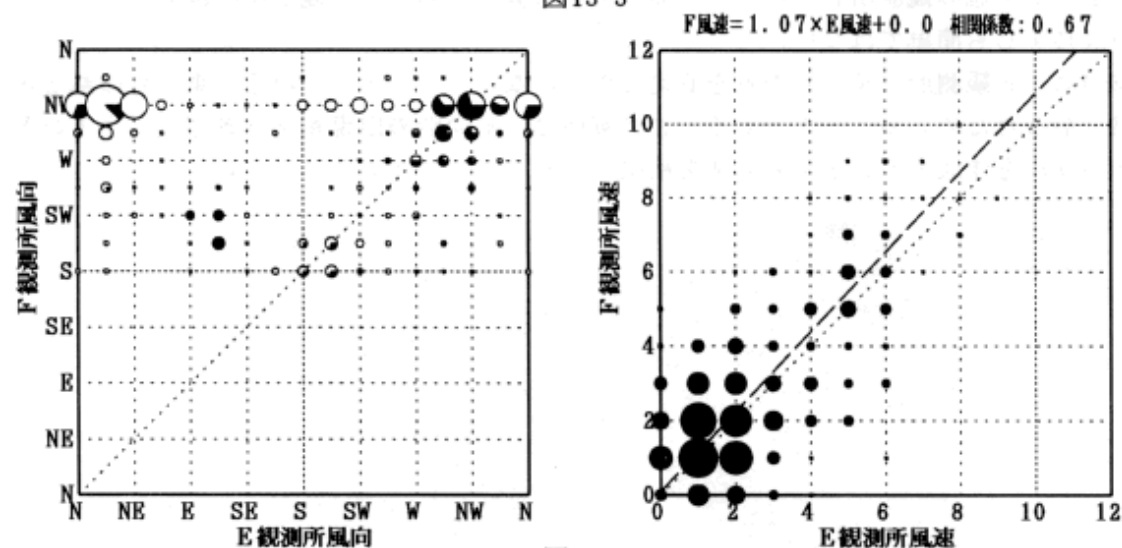


図13-4

## (2) 面的な分布図からの比較

気象庁など他機関の観測データが入手できる場合や、独自で観測網を展開している場合のデータを集約しているセンターで利用できる品質管理の方法である。

この品質管理の方法の例を示す。これは、前線と台風による降水の分布図（図13-5）である。この図で、ある観測所の降水量を“0 mm”とすれば、そのデータが異常であると推測できる。値を半分にしても、やはり周りに比べて降水量が少ないことが明らかであり、何らかの異常の可能性が推測できる。ただし、落ち葉などのゴミが雨量計の受水口に積もった場合は、まったく降水量が観測されないのではなく、少な目に観測されることもあり、誤データの判断は難しい。

次に雷雨による降水量分布を図13-6に示す。同じ降水量の分布でも様相がかなり異なっている。これは、前線に比べ雷雨現象は局地性があり、狭い範囲に限られているため観測場所が10数kmも離れれば、降水は観測されていない。観測データが正しいかどうかはこれだけでは難しい。

なお、降水の場合には、必ずしも定量的ではないがレーダーによる降水の分布を監視していれば、観測所の降水量が適切かどうかの大まかな判断はできる。

図13-5のような代表性のある現象や要素（気圧や気温など）の場合、分布図を見ることによるデータの品質管理は、非常に有効な方法である。さらに、分布図を監視する方法は、必要とする気象現象を監視するという本来の目的にも利用できるものであり、効果の高い方法である。

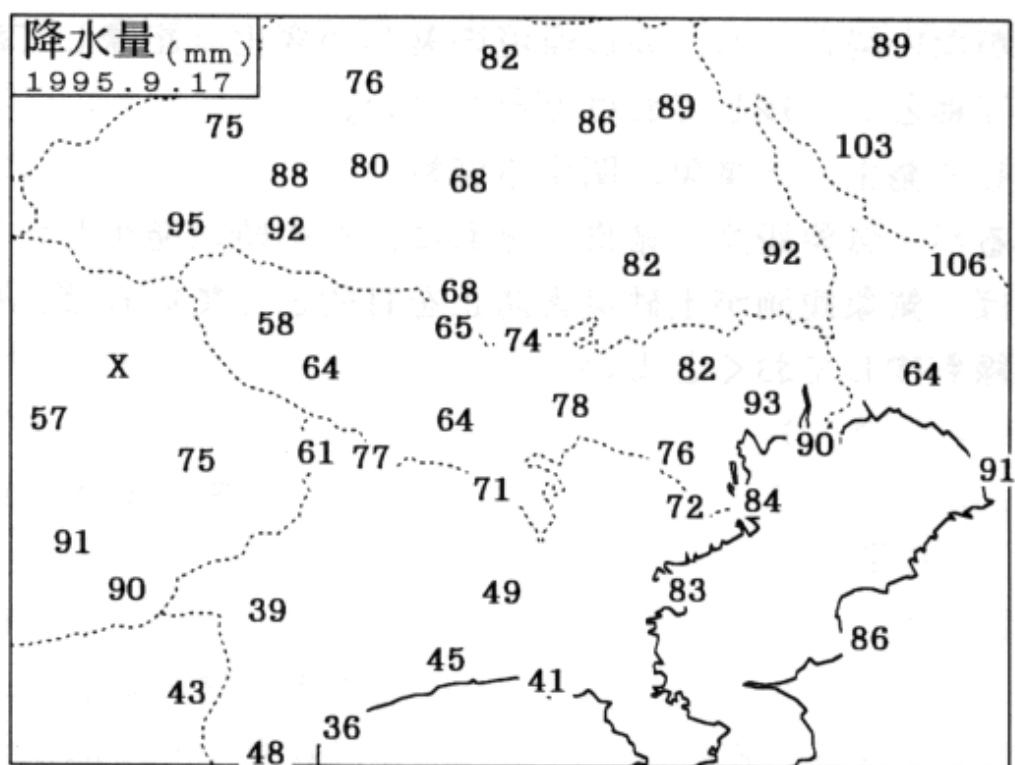


図13-5 前線と台風による降水量の分布

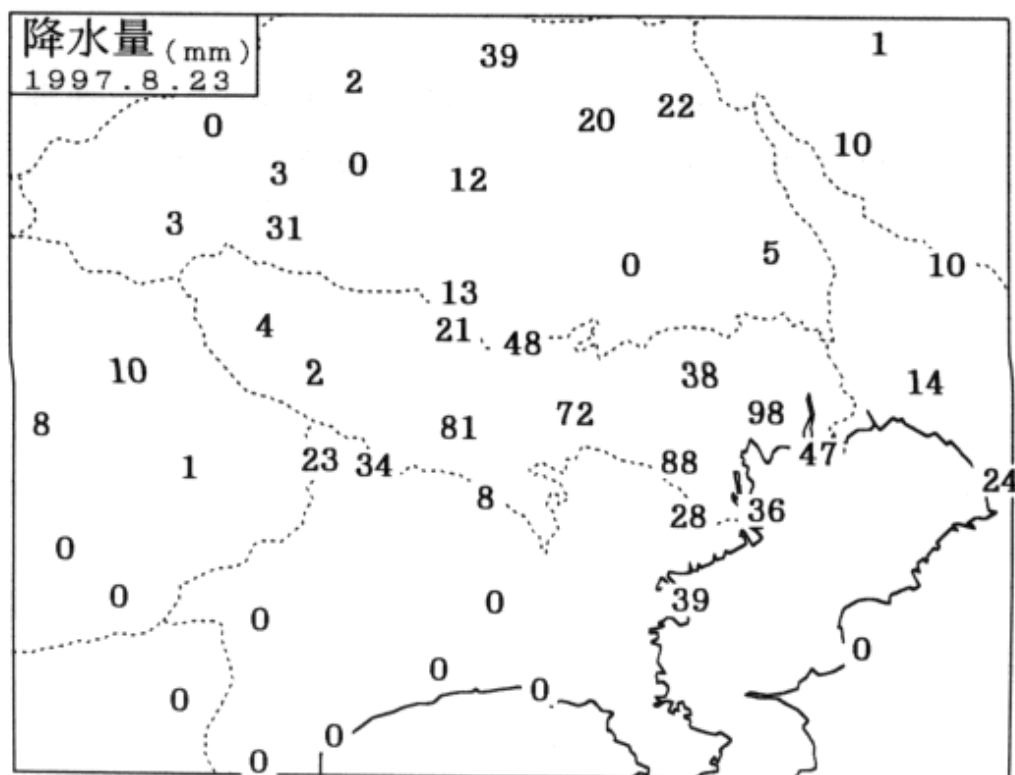


図13-6 雷雨による降水量の分布

### 13.3 品質管理にあたっての注意

ここで示した品質管理の方法の参考例は、品質管理の方法のわずかな例である。観測の目的や観測要素により、また、明らかに誤ったデータを自動的に出さないようにするのか、疑わしいデータを管理者に警告するのか、などを考慮し、適正な品質管理の方法やしきい値を選択する。

隣接する観測所のデータを利用する場合は、高度差、距離、地形の違いによる観測値の違い、対象とする観測要素の代表性をなど十分考慮し、貴重な観測データを排除したり、誤データを見逃さないようにする。

観測データの蓄積と共に、その観測所での観測値の特性、気候特性が明らかになるはずである。これらの方法を用いて品質管理の方法やしきい値を見直せば、より適切な品質管理ができる。

### 13.4 観測結果の有効利用のために

品質管理の方法やしきい値の見直しのため、また、観測結果をより有効に活用するために、次のような資料も観測結果と併せて整理しておくといよい。

#### (1) 観測所の履歴

観測場所の緯度、経度及び高さ（海面上の高さ）、気圧計の海面上の高さ、風向風速計や温度計などは地上からの高さを、それぞれm単位（気圧計の高さは 0.1m単位）で記録しておく。また、観測施設の移設、測器の更新や変更があった場合には、その年月日と変更内容を記録しておく。観測施設に変更がない場合でも、周辺環境の著しい変化は記録しておく。定期的に観測所周辺の環境をパノラマ写真として残しておけばなおよい。

#### (2) 気象現象を起因として発生した事象に関する資料

観測の目的にもよるが、気象観測の結果とともに、その時に発生した事象に関する資料も併せて残しておく。例えば、気象観測が土砂災害防止を目的としていれば、発生した土砂災害の規模や発生経過などの記録も残しておくといよい。

## 第14章 気象測器の検定

気象測器を使って気象観測を行うにあたっては、その測器の性能・機能が正常に動作していなければ正確なデータを得ることができない。測器はその感部を一般に風・雨・日射に曝して屋外に設置するので、性能が劣化する。また、第1章で述べたとおり個々の測器には器差があるが、これが一定の範囲に入っているかを確認する必要がある。

このため、気象庁は「気象測器の検定制度」を設け、測器が気象観測に適した構造、性能を有しているかを検定し、これに合格したものには検定証書を発行している。

また、ある型式の気象測器の構造や材質について、あらかじめ、適切であるかの検査を行うとともに、当該型式の気象測器を製造者がいつも同じ基準で製造しうるものであるかを確認する、型式証明検査を行っている。この型式証明を取得した気象測器は、以後に製造される同型式の気象測器の検定を受ける際に、構造検査を省略することができる。

なお、気象庁長官が気象測器の器差の測定を行う能力があると認めた認定測定者は、型式証明を取得した型式の気象測器について器差の測定を行い、測定データを測定結果報告書として発行することができる。

### 14.1 検定する測器

気象測器の検定には、技術上の基準を定めた「検定」とその「検定」の対象とならないが精度の確認を行う「委託検定」がある。

「検定」の対象測器は、温度計、気圧計、湿度計、風速計、日射計、雨量計、雪量計の7種類である。具体的な測器の種類は次のとおりである。

なお、「委託検定」の対象測器は、日照計、直達電気式日射計他震度計等である。

- |              |               |
|--------------|---------------|
| 1 ガラス製温度計    | 12 電気式湿度計     |
| 2 金属製温度計     | 13 ラジオゾンデ用湿度計 |
| 3 電気式温度計     | 14 風杯型風速計     |
| 4 ラジオゾンデ用温度計 | 15 風車型風速計     |
| 5 液柱型水銀気圧計   | 16 超音波式風速計    |
| 6 アネロイド型気圧計  | 17 電気式日射計     |
| 7 電気式気圧計     | 18 貯水型雨量計     |
| 8 ラジオゾンデ用気圧計 | 19 転倒ます型雨量計   |
| 9 乾湿式湿度計     | 20 積雪計        |
| 10 毛髪製湿度計    | 21 複合気象測器     |
| 11 露点式湿度計    |               |

検定の有効期間は、下記の気象測器のみに定められている。複合気象測器の検定の有効期間は、これを構成する各気象測器の検定の有効期間のうち、最も短いものと同じである。

気象測器	検定の有効期間
電気式気圧計	10 年
液柱型水銀気圧計 アネロイド型気圧計 風杯型風速計 風車型風速計 超音波式風速計 電気式日射計	5 年

貯水型雨量計（自記式のものに限る） 転倒ます型雨量計	
ラジオゾンデ用温度計 ラジオゾンデ用気圧計 ラジオゾンデ用湿度計	1 年

「委託検定」の対象測器は、日照計、直達電気式日射計などである。有効期間は定めていない。

#### 14.2 検定を行う検定所

気象測器の検定実務は、気象庁長官から指定を受けた民間の法人が「指定検定機関」となって実施している。指定検定機関の指定は、検定事務を行おうとする民間の法人からの申請により気象庁が行う。気象業務法 32 の 4 及び気象測器検定規則 36～51 にもとづき、下記事項について審査し適格であると認めた場合に指定される。

- ・職員・施設・実施方法等
- ・経理的基礎・技術的能力・検定員の配置等
- ・法人の構成員が検定事務の公正な実施に支障を及ぼおそれのないもの
- ・その他必要な事項

平成 14 年 10 月 1 日現在、下記の法人より申請が行われ指定検定機関としての指定を受け、検定事務を開始している。

指定検定機関名	指定期日	対象測器	連絡先等
財団法人気象業務支援センター	平成 14 年 10 月 1 日	検定対象測器の全て	〒101 - 0054 東京都千代田区神田錦町三丁目 17 番地(東ネンビル) 財団法人気象業務支援センター 測器検定室 電話 03 - 5281 - 0440(代表) <a href="http://www.jmbssc.or.jp/">http://www.jmbssc.or.jp/</a>

（注）指定検定機関による検定実施場所については、指定検定機関の定めによる。

#### ・気象庁による型式証明の実施

型式証明は、引き続き気象庁長官のみが実施している。実施施設は「気象測器検定試験センター（〒305-0052 茨城県つくば市長峰 1-2 電話 0298-51-4122）」である。

#### 14.3 検定の手続き

検定を受けるためには、検定を受けたい気象測器及び検定申請書を指定検定機関に提出し、検定手数料を同機関に納める。指定検定機関での検定期間は次表のとおりであり、検定に合格すれば検定証書が発行される。この手続きは、再検定の場合も同じである。

検定の期間とその実施者

検定の種類	期間	検定実施者
型式証明に係らない型式の気象測器の検定	50 日以内*	指定検定機関
型式証明に係る型式の気象測器の検定	25 日以内*	指定検定機関
測定結果報告書による検定	10 日以内	指定検定機関
型式証明	85 日以内*	気象庁長官

\*：日射計の検定は天候の状況によりこの期間の限りではありません。

なお、測器の購入時点で測器の販売業者に「検定証書付き測器」と指定することにより、検定済み測器を入手することができる。また、5年後（一部測器を除く）に再度検定を申請する場合には、測器のいたみ具合によっては、オーバーホールや部品交換が必要な時もある。

再検定の場合、指定検定機関に測器を持ち込まなければならないので、観測を継続したい場合には、予備測器を用意するか、測器メーカーに代替え測器の貸し出しを依頼するなど準備が必要である。

「委託検定」の場合は、検定作業の期間が決まっていないなどの違いがあるが、手続きはおおむね検定の場合と同じである。

気象測器の検定に関する詳細は事前に巻末の気象台所在地表の内、印の付いた気象台までお問い合わせ下さい。

## 第15章 観測施設設置の届出

第1章で述べたとおり、大気現象の規模は様々である。気象観測の目的にもよるが、通常これらの現象を把握するには、面（複数）での観測が必要である。この場合、自らの観測成果だけでなく、気象庁や別の機関などが実施した観測成果を相互に利用できれば、さらに効果的・効率的にその目的を達成できる。

これを実現することを目的として、「気象業務法」では、公的な機関が実施する観測、観測成果を公的な目的に使用するための観測を行う者については、観測の方法・単位など技術上の基準に従って観測を実施すること、観測施設を設置した場合はこれを届出ること、正確な観測を実施するために一部の測器について検定に合格した測器を使用することを義務づけている。

観測の技術上の基準に従った観測については、第2章から第12章までの各章で述べた内容で実施すれば、およそこれを実現できる。ここでは、観測施設設置の届出及び検定済み測器の使用について述べる。

### 15.1 届出が必要な者

気象業務法では、以下の機関などが観測のための施設を設置した場合には、設置後30日以内に観測所の設置場所を管轄する気象台に届出よう定めている。

#### ①以下に掲げる以外の気象観測を行う政府機関又は地方公共団体

- ・研究のために行う気象の観測
- ・教育のために行う気象の観測

#### ②以下に掲げる気象の観測を行う政府機関又は地方公共団体以外の者

- ・その成果を発表するための気象の観測
- ・その成果を災害の防止に利用するための気象の観測

ただし、これらに該当する者が観測を実施する場合でも以下に掲げるような観測は届出する必要はない。

- ・うねの間又は苗木の間、建物又は坑道の内部など特殊な環境によって変化した気象のみを対象とする観測
- ・気圧、気温、蒸気圧、露点温度、相対湿度、風向、風速、風力、降水量、積雪の深さ、雲、視程、日照時間、日射量、天気以外の種目について行う気象の観測
- ・臨時に行う気象の観測（1か月を超える期間について行う観測であって地上の同一の場所で1か月に1回以上行うものを除く）

### 15.2 観測施設の届出の手続き

設置の届出のほかに、届出事項に変更があった場合、観測施設を廃止した場合は、変更及び廃止の届出が必要である。

#### (1) 設置の届出

下記事項を記入した気象観測施設設置届書を、設置の日から30日以内に、その設置場所を担当区域（巻末の気象台所在地表を参照）とする気象台長に届出る。

1. 氏名又は名称及び住所（設置者の氏名又は名称及び住所）



- 2．事業所の名称及び所在地（観測施設の名称及び所在地）
- 3．観測施設の所在地（観測施設の住所、緯度経度、標高）
- 4．観測の目的
- 5．観測施設の明細
- 6．観測の種目，観測時刻
- 7．観測の開始期日

なお，届出が必要な者は，次項で述べるとおり検定に合格した測器を使用することが必要である。

## (2) 変更の届出

設置の届出以降に，観測種目が増えたり，観測施設の移設などがあって届出事項に変更があった場合は，その日から30日以内に変更内容を届出る。

## (3) 廃止の届出

廃止の日から30日以内に，廃止の期日，理由を記載した気象観測施設廃止届書を，設置の届出を提出した気象台長に届出る。

以上の届出は，郵送やFAX，FDでも受け付けている。なお，従来，届出者の希望の有無に拘わらず，受理証明書を発行してきたが，平成10年7月から原則として行わないとした。受理の証明を希望する場合は意思を明示するとともに，窓口での届出，郵送での届出に際しては証明書送付用の切手を貼付した封筒を用意する。FAXによる届出の際にはFAXでの証明書送付となる。平成15年より、国土交通省オンライン申請システムによる届出も可能となった。

## 15.3 検定済み測器の使用

第1節で述べた観測施設の届出が必要な者が，気圧，気温，蒸気圧，露点温度，相対湿度，風速，降水量，積雪の深さ，日射量を観測する場合には，前章で述べた検定に合格した測器を使用しなければならない。すなわち，届出の対象者は，「検定証書」付きの測器を購入するか，購入した測器を受検し，検定に合格したものを使用する必要がある。

このため，観測所設置の届出をする際には，気象台側はこれに合致しているかを聞くことにしている。検定証書の写しなど，使用測器が検定有効期間内にあることを証明するものを準備する必要がある。

「委託検定」の対象測器については，届出対象者であっても検定に合格したものを使用する義務はない。しかしながら，正確な観測を実施し，他の機関が実施した観測データと比較できるようにするためには，検定を受けた測器を使用することを推奨する。

## 気象観測施設設置届出書

1. 氏名又は名称及び住所（設置者の氏名又は名称及び住所）

□□管理事務所 ○○県○○市○○ 1－2－3

2. 事業所の名称及び所在地（観測施設の名称及び所在地）

△△気象観測所 ○○県○○市△△ 4－5－6

3. 観測施設の所在地

○○県○○市△△ 4－5－6

北緯 3 5 度 1 1 分 2 2 秒 東経 1 4 0 度 3 3 分 4 4 秒（世界測地系）

標高 1 0 0 m

4. 観測の目的

防災のため

5. 観測施設の明細

転倒ます型雨量計

超音波式風向風速計

6. 観測の種目及び時刻

降水量 毎正時観測（2 4 回／日）

風向・風速 毎正時観測（2 4 回／日）

7. 観測の開始期日

平成××年×月×日

上記のとおり、気象業務法第 6 条第 3 項及び気象業務法施行規則第 2 条第 1 項の規定により届けます。

平成××年××月××日

○○地方気象台長 殿

届出者 △△市▽▽部○○課  
課長 気象 太郎

## 【用語解説】

地域気象観測システム（アメダス：Automated Meteorological Data Acquisition System）

気象庁が管理する気象観測システムで、降水量、風向風速、気温、日照時間を自動観測する気象ロボットと、そこで一日24回観測したデータを伝送する公衆電話回線、それを集信するセンター（地域気象観測センター：千代田区大手町）とからなる。

センターで集められたデータは即時に、気象庁の気象情報網を経て地方気象台へ送られ、また、気象業務支援センターを通じてマスコミなど一般ユーザに配信される。

1974年11月から運用を開始したが、母体となった観測所の多くは、気象庁が以前から日に一回の観測者の読み取りによる観測を委託していた自治体や学校、消防署などである。

当システムが計画された背景には、情報処理技術などの進展はもとより、集中豪雨など地域災害への迅速な対応が望まれたことがある。

降水量のみを観測する観測所が約 470か所、降水量、風向風速、気温、日照時間を観測する観測所が約 690か所ある。なお、豪雪地帯に約 240か所の積雪の深さを観測する観測所も配置しているが、そこでの観測データも降水量などと同様に集信・配信の処理をしている。

防災面から特に重要な降水量の観測は、測候所、気象台の 155か所を加え、1310を超える観測所で行っていることになり、これはほぼ17km四方に 1 点に相当する。気象庁では、気象衛星やレーダーなどと組み合わせ、より細かな気象情報を作成、活用している。

観測所の維持管理は、気象台から定期的に現地に出向いて行っている。

（財）気象業務支援センター(URL <http://www.jmbasc.or.jp/>)

社会の高度情報化に向けた総合的な気象事業を推進する上で必要となる様々な支援業務を行う目的で、平成 6 年 3 月に設立された公益法人であり、主たる業務内容は以下のとおりである。

気象予報士試験の実施、オンライン気象データ配信サービス、オフライン気象データサービス(CD-ROM等)、関連図書の刊行、技術講習会、研修会の開催、事業者団体の事務局。

## 器差

測器には、ひとつひとつの測器が製造時から持つ特有の誤差と時間の経過で材質の劣化・変形などから生ずる誤差がある。この誤差は、いかに正しく取り扱っても避けることはできない。しかし、この誤差は系統的なものであるため、基準となる測器と比較して数値化することが可能である。これを器差という。測定した値をこの器差で補正することで正しい観測値が得られる。

器差は、基準器と呼ばれる検定所保有の測器と比較し、気象測器が示す値から基準器が示す負の値を引いたものをいう。

## 時定数

例えば、気温が急激に変化したとき、温度計はすぐには正しい値を示すことができない。温度計の示度は、気温の変化に遅れて指数関数的に平衡値に近づく。

このときの、気温の変化量の約63%( $1-1/e$ )の値に達するまでの時間を時定数という。この値が小さいほど「応答がいい」という（ $e$ は2.71828・・・）。

実際のガラス製温度計の時定数は約 1 分で、この 1 分という値は、0 の場から 100 の場に温度計を瞬時に移したとき、温度計の示度が63 になるに要する時間で、これは 0 の場から10 の場に温度計を瞬時に移したときに 6.3 を示すまでにかかる時間と同じである。

## 隔測

一般には、感部で得た測定値を、感部設置場所から離れた観測室などにケーブルなどを用いて伝送し、記録、表示、読み取ることをいい、気象衛星やレーダーによる測定のリモートセンシングとは区別している。また、観測値を、観測施設外のデータ処理施設（中継所）などに有線または無線で伝送することをテレメータシステム（または単にテレメータ）と呼ぶが、隔測での伝送は、一般にはテレメータとはいわない。

## 世界気象機関（WMO：World Meteorological Organization）

国連の中に設けられた気象に関することを扱う専門機関で、各国で行われる気象観測の方法などについて基準を示したり、各国間でのデータのやりとりの方法など、気象に関することを世界的に総括する機関である。世界気象会議、執行理事会、地区協会、専門委員会及び事務局によって構成される。地区協会は6つあり、日本は第 地区に属する。専門委員会は測器・観測法に関する委員会など8委員会がある。WMOは、3月23日を気象知識、気象事業の使命の啓蒙を目的に世界気象デーとしている。

## セルシンモーター

セルフ・シンクロナスモーターの略で、導線を巻いたリング状の固定子と、同じく導線を巻いた棒状の回転子とから成るモーター2個（以上）で構成される。双方の回転子は固定子の中で、中央部を軸に水平面上を回転できるようになっている。

これらを導線で接続し、一方の回転子の向きを変えると、他方の回転子には同じ向きになるような電気が流れることを利用する。一方の回転子に風向計の胴体部分を直結し、風向の変化を離れた記録部の回転子に伝えるが、実際はもっと複雑な構成になっている。

## 光エンコーダ

同心円上にある一定の法則でスリットを設けた円盤と、その円盤を挟むように一列に固定された数組（同心円の数）の発光部と受光部で構成される。円盤は風向計の胴体部分と直結されている。各受光部がスリットを通して受光したときを1、しないときを0とし、それを内径から外径に向けて並べてできた2進数から風向を得る。この同心円の数から ビットエンコーダーといい、例えば、8ビットエンコーダーの場合は、2の8乗（=256）に分けた風向を測定でき、このとき分解能は1.4度（360度÷256）であるという。

現在では接触抵抗のないこの方式によるものが多くなっている。

## メニスカス

細管内の液体の頂部は、表面張力により曲面となる。水銀の場合は中央部が盛り上がった凸状の曲面をつくり、アルコールの場合は中央部が窪んだ凹状の曲面をつくる。この曲面をつくる現象をメニスカスという。測定では、ともに頂部中央部の位置を読みとる。

## 大気大循環

大気は、太陽の熱エネルギーを動力源として、全球規模の流れをつくっている。これには地球の自転、陸と海の太陽熱の吸収度合いの違い、山脈などの影響が絡み合い、複雑な地球を巡る流れとなっている。この地球全体の大気の流れ（運動）を大気大循環と呼ぶ。

## 熱電堆

数十対の熱電対を直列に結合した素子で、狭い温度範囲では、温接点と冷接点の間の温度差に比例した熱起電力を生じる。放射エネルギーを起電力に変えて測る日射計の感部に用いられる。

## しきい値

様々な値を示すデータから、現象などを区分け（判断）するために、人為的に定めた境界値のことをいう。日が照っているか否かは、直達日射量が  $0.12\text{kW/m}^2$  以上あるかで判断するが、この値は、直径約10cmのガラス球（カンベル・ストークス日照計）で集光し、巻き付けた記録紙がようやく焦げる程度の時に対応する直達日射量である。

## 可照時間

太陽の中心が、地平線に現れてから没するまでの時間の長さを、その日の可照時間といい、地形を考慮せず緯度と日付から計算で求める。日の出、日の入りが、太陽の上端を基準にすると異なる。一般には、半旬や月の合計値として観測値と比較する。この比較を百分率で示し

たものを可照率という。この可照率は、同じ観測所の時系列な比較に用い、可照時間が地形を考慮していないため他の観測所との比較には用いない。

可照時間を入手したい場合は、緯度の近い气象台に問い合わせるとよい。

#### 気候調査

即時的な利用や短期的な過去の調査でなく、1年の周期で繰り返される大気の平均的な状態を、地域や季節などによって調査することを指す。

#### 放射冷却

大気からの冷却と地表面からの冷却があるが、一般には地表面からの冷却を言う。また、地表面の冷却によって接地大気の気温も低下するが、これも放射冷却と言うことがある。

移動性高気圧に覆われると、風が弱くよく晴れることが多い。このような夜には放射冷却が顕著になる。地表近くの空気はやや上の空気と攪拌されることなく、どんどん冷やされる。気温が低下することで、その中の水蒸気は地表面に結露する。季節によっては、この結露した水分が凍った（「凍露」という）り、水蒸気が一気に凝固し霜となる。

#### 再検定

気象を観測する機器（測器）は原則的に有効期間を定めていないが、一定期間毎に劣化部品等の交換が必要な測器に限り有効期間を定めている。このため、有効期間を超えて使用する場合は、再度、検定を受ける必要がある。