

地学実験（気象学分野） 気象観測

1. はじめに

本実験では、気象観測機器を用いた気象観測を体験する。測定項目は、気圧、気温、湿度、風向、風速である。測定結果を解析し、水蒸気の量や空気の密度などを計算したり、地上と屋上の気圧の差を検討したりする。原理を理解しやすいアナログ測器を用いた観測や、観測データ解析を通して、気象学や自然科学一般に対する見識を深めることを目的とする。

2. 用意するもの

・各自で持参するもの

時計（秒針のある腕時計など）、筆記用具（ペン、鉛筆、消しゴム、下敷き）、ノートパソコンまたは関数電卓（指数関数を計算できるもの）、記録用紙

・班に1個ずつ用意されるもの

アネロイド気圧計（本体、ケース）、アスマン通風乾湿計（本体、三脚、ゼンマイ用ネジ、スポイト、ケース）、携帯用風向風速計、コンパス、メジャー、ペットボトル（水が入っている）

気圧計

通風乾湿計

風向風速計

3. 観測の準備

記録用紙には、学期、曜日、班、学籍番号、氏名、共同実験者名（全員、姓のみで可）を正しく記入しなさい。

観測を始める前に、現在の地上の気温（℃）、湿度（%）、風速（m/s）を予想して、あらかじめ記入しておきなさい（有効数字は1の位まで）。実験室の温度計、湿度計の値を参考にしてよい。また、風速を予想するときには、ビューフォート風力階級（資料1）を用いてよい。なお、

予想が当たったかどうかは成績評価とは関係ない。

測器を受け取ったら、アネロイド気圧計、アスマン通風乾湿計、携帯用風向風速計の製造番号を確認し、記録用紙に記入する。観測の際には必ず番号を確認し、途中で入れ替わらないように注意する。

4. 観測

本実験では、地上と屋上で、気圧、乾球温度、湿球温度、風向、風速を測定する。観測機器は各班に1台であるが、測定値は必ず自分自身で読むこと。測定値は鉛筆ではなくペンで記録することが望ましい。観測場所に着いたら、場所、標高（単位はm、有効数字は小数点第1位まで）、測定日（年は西暦）、時刻（日本標準時、24時制）を必ず記録する。

また、天気と雲量、雲の種類も記録する。雲量は雲が全くない場合は0、完全に雲に覆われている場合は10とする（整数値）。降水などの現象がない場合、雲量0～1は快晴、2～8は晴れ、9～10はくもりである。雲の種類は別紙を参照し、十種雲形（アルファベット2文字の記号）で記録する。複数の種類の雲がある場合には多いほうから順にすべて記録する。他に気がついた点があれば書き留めておく。

十種雲形

| | 雲形 | 俗称 | 英語名 | 記号 |
|-----------------|-----|-------|---------------|----|
| 上層雲 (5～13km) | 巻雲 | すじ雲 | cirrus | Ci |
| | 巻積雲 | うるこ雲 | cirrocumulus | Cc |
| | 巻層雲 | うす雲 | cirrostratus | Cs |
| 中層雲 (2～7km) | 高積雲 | ひつじ雲 | altocumulus | Ac |
| | 高層雲 | おぼろ雲 | altostratus | As |
| | 乱層雲 | あま雲 | nimbostratus | Ns |
| 下層雲 (～2km) | 層雲 | きり雲 | stratus | St |
| | 層積雲 | うね雲 | stratocumulus | Sc |
| 下層から 上層の雲 | 積雲 | わた雲 | cumulus | Cu |
| | 積乱雲 | かみなり雲 | cumulonimbus | Cb |

➤ **アネロイド気圧計**：本来屋内用なので、特に慎重に取り扱うこと。観測の際は水平に置かなければいけない（水平に置かないと正しい値を示さない）。衝撃を加えたり、直射日光に当てたり、濡らしたりしないように注意する。乾湿計や風向風速計と厳密に同じ場所で計測する必要はないので、付近の建物の中で差し支えない場所など、水平に安定して設置できる場所を選ぶ。地面（基準面）からの高さ（単位はm、有効数字は小数点第1位まで）を記録しておく。気圧変化に対する反応が遅れることがあるので、測定前にガラスを軽くたたくとよい。気圧の値（単位はhPa、有効数字は小数点第1位まで）を記録する。

☞ 中学校理科第2分野でアネロイド気圧計を取り扱う。

➤ **アスマン通風乾湿計**：三脚につるして使用する。気象庁では、気温は地上1.5mで計測することになっているが、今回は携帯式の三脚を用いるので、これよりも低くなる。本実験で使用する乾湿計には日よけがついているので、短時間の観測であれば直射日光に当てても問題ない。通風の地面（基準面）からの高さ（単位はm、有効数字は小数点第1位まで）をメジャーで測定し記録しておく。2本の温度計のうち右側は乾球温度計（普通の温度計）で、

左側は湿球温度計である。湿球温度計の球部はガーゼで覆われている。金属筒をはずし、スポイトを使ってガーゼを十分に湿らせる。ガーゼには手を触れないこと。気温が同じであっても、空気が乾燥している場合のほうが湿球温度は低くなる。ゼンマイを巻いて5分間以上通風し、示度が安定していることを確かめてから測定値を読む。手で触ったり、息がかかったりしないように注意する。乾球温度と湿球温度（単位は℃、有効数字は小数点第1位まで）を記録する。正確に読むためには、目線が温度計に対し直角になるようにする。示度の変化の影響を防ぐため、小数点第1位を先に読み、次に、1の位、10の位を読むとよい。

☞ 中学校理科第2分野で通風式ではない乾湿計を取り扱う。原理は同じである。小学校の理科では（乾球）温度のみを測定する。

➤ **携帯用風向風速計**：手に持ち水平を保ったまま高く持ち上げて使用する。風向、風速の観測は本来10分間行なうことになっている（たとえば12時の観測値は11時50分から12時00分までの観測結果である）が、本実験では30秒間とする。風向風速計の高さは、一般には10mが標準であるが、実際には観測所ごとに異なる。本実験の観測においては、風速計の地面（基準面）からの高さ（単位はm、有効数字は小数点第1位まで）を記録しておくこと。風向は、30秒間のうち、最も頻度の多かった風向を観測結果とする。風速は、あらかじめ目盛りをゼロに戻しておき、30秒経ったら目盛りを読む。正確に30秒間測定すること。その間、できるだけ測定値に人為的な影響を与えないように注意する。風向（16方位）と風速（単位はm/s、有効数字は小数点第1位まで）を記録する。無風で風向計が反応しないときは「不定」と記入する。

☞ 中学校理科第2分野では、風向は携帯式の風向計（自作を含む）で測定し、風速はビューフォート風力階級表で判断する。

5. 観測データの解析

ここでは、観測した結果に基づいて、空気中に含まれている水蒸気の量や、空気の密度を計算し、地上と屋上の湿度の違いや気圧差の値を理論的に検討する。

まず、地上と屋上のそれぞれについて、以下の課題（1）～（8）を行ないなさい。これらの課題では、水蒸気の量や、空気の密度を計算する。

[湿度の算出]

（1）乾球温度、湿球温度から、乾球温度と湿球温度の差（単位：℃、有効数字：小数点第1位まで）と相対湿度（単位：%、有効数字：1の位まで）を算出しなさい。相対湿度を算出するときには湿度換算表（資料2）を用いなさい。換算表は1℃単位であるから必要に応じ補間して用いること。

[分圧の算出]

（2）気温（乾球温度）から飽和水蒸気圧を算出しなさい（単位：hPa、有効数字：小数点第1位まで）。計算にあたっては以下の近似式を用いること。

$$e_s = 611 \exp\left(17.27 \frac{T}{T + 237.3}\right)$$

ただし、 e_s は飽和水蒸気圧（Pa）、 T は温度（℃）である。 e_s の単位がPaである点に注意

すること。1 h P a = 100 P a である。また、exp は指数関数を表し、 $\exp x = e^x$ (ただし、 e は自然対数の底) である。以下、計算問題においては、結果だけでなく計算過程も記すこと。

- ☞ 飽和水蒸気圧は、温度が高いほど大きい。これは、温度が高いほど、多くの水蒸気を含むことができることを意味している。飽和水蒸気圧は温度のみの関数である。高等学校の地学や化学で、飽和水蒸気圧を取り扱う。
- ☞ 中学校理科第2分野では、飽和水蒸気圧の代わりに飽和水蒸気量 (g/m^3) が用いられる。

(3) 飽和水蒸気圧と相対湿度から水蒸気圧を算出なさい (単位: h P a、有効数字: 小数点第1位まで)。相対湿度は水蒸気圧と飽和水蒸気圧との比 (水蒸気圧/飽和水蒸気圧) を%で表したものである点に注意すること。

(4) 気圧と水蒸気圧から、乾燥空気の分圧を算出なさい (単位: h P a、有効数字: 小数点第1位まで)。乾燥空気の分圧と水蒸気圧の和が気圧である点に注意すること。

[密度の算出]

(5) 乾燥空気の分圧と気温 (乾球温度) から乾燥空気の密度を算出なさい (単位: $\text{k g}/\text{m}^3$ 、有効数字: 小数点第4位まで)。計算にあたっては以下に示した、理想気体の状態方程式を用いること。

$$p = \rho R(T + 273.15)$$

ここで、 ρ は気体の密度 ($\text{k g}/\text{m}^3$)、 p は圧力 (P a) である。気体定数 R は、乾燥空気の場合、 $R = 287.0 \text{ J}/\text{k g} \cdot \text{K}$ である。ここで圧力 p の単位が P a である点に注意すること。

- ☞ 上記の状態方程式は、温度が一定のとき密度は圧力に比例すること (ボイルの法則) や、圧力が一定のとき密度は絶対温度に反比例すること (シャルルの法則) を示している。
- ☞ 上記の状態方程式においては、あらかじめ、乾燥空気の平均分子量が仮定されているので、物質質量 (mol) を使わずに密度の値を直接取り扱う。

(6) 同様に、水蒸気圧と乾球温度から水蒸気の密度を算出なさい (単位: $\text{k g}/\text{m}^3$ 、有効数字: 小数点第4位まで)。水蒸気の場合、気体定数 R は $R = 461.4 \text{ J}/\text{k g} \cdot \text{K}$ である。

- ☞ 乾燥空気と水蒸気とでは (平均) 分子量が異なるので、気体定数として別々の値を用いる。

(7) 乾燥空気と水蒸気の密度を足し合わせて、空気 (乾燥空気と水蒸気) の密度を求めなさい (単位: $\text{k g}/\text{m}^3$ 、有効数字: 小数点第4位まで)。

[比湿の算出]

(8) 水蒸気の密度と乾燥空気の密度から比湿を算出なさい (単位: $\text{g}/\text{k g}$ 、有効数字: 小数点第1位まで)。比湿とは、水蒸気の密度と、空気 (乾燥空気と水蒸気) の密度との比 (水蒸気の密度/空気の密度) のことである。単位が $\text{k g}/\text{k g}$ ではなく $\text{g}/\text{k g}$ である点に注意すること。

- ☞ 比湿は、大気に含まれる水蒸気の濃度のようなものであり、温度や圧力が変化しても、空気塊の混合や水蒸気の凝結、蒸発が起こらない限り保存する量である。

次に、地上と屋上の気圧差に関して、以下の課題（9）～（10）を行ないなさい。

【気圧差の算出】

（9）空気（乾燥空気と水蒸気）の密度（地上と屋上の平均値）から、地上と屋上の気圧差（地上の気圧－屋上の気圧）を推定しなさい（単位：hPa、有効数字：小数点第1位まで）。以下の式で表されるような静水圧平衡を仮定してよい。

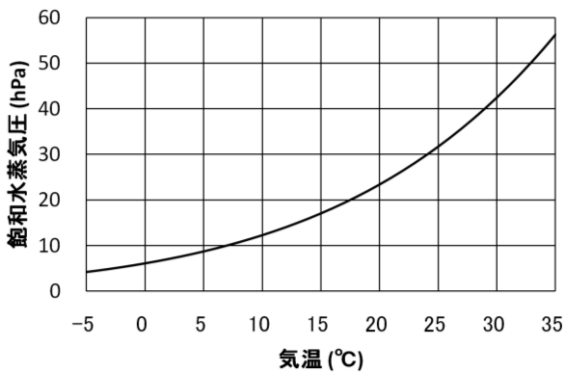
$$\Delta p = \rho g \Delta z$$

ここで、 Δp は気圧差（Pa）、 ρ は空気の密度（kg/m³）、 g は重力加速度（m/s²）、 Δz は（気圧計の）高度差（m）である。重力加速度 g の値は $g=9.81\text{m/s}^2$ とする。この式で計算される気圧差 Δp の単位がPaである点に注意すること。

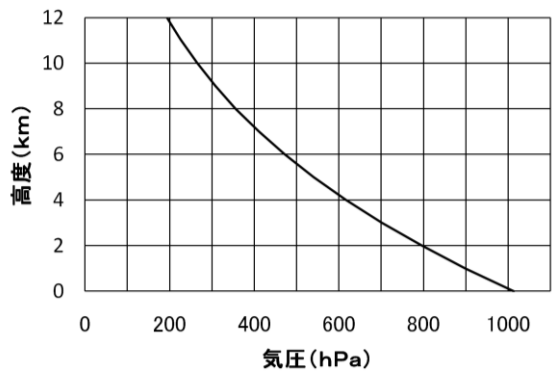
☞ 気圧は一般に上空に行くほど低くなる。これは、大気中を上に行くと、その区間の空気の重さの分だけ圧力が低下するためであると考えられる。このように、鉛直方向の圧力傾度が空気にはたらく重力と釣り合っている状態のことを静水圧平衡という。実際の大気は、静水圧平衡に近い状態にあることが多い。

（10）観測データにおける、地上と屋上の気圧差（地上の気圧－屋上の気圧）を計算しなさい（単位：hPa、有効数字：小数点第1位まで）。

（参考）



気温と飽和水蒸気圧との関係



高度と気圧との標準的な関係

6. 考察

（1）地上と屋上では、風速にどのような違いがあるか、あるいはないか。また、その原因を考察しなさい。

（2）地上と屋上では、気温にどのような違いがあるか、あるいはないか。また、その原因を考察しなさい。

（3）地上と屋上では、相対湿度および比湿にどのような違いがあるか、あるいはないか。また、その原因を考察しなさい。

（4）解析（9）と（10）の結果を比較しなさい。また、比較した結果について、そのようになった原因を考察しなさい。

記録用紙は、学籍番号と氏名の記入を確認のうえ、実験の時間が終了するまでに提出してください。