

『地上から高層までの気象学』

～気象学の基礎学習・現象の再現実験・高層までの観測～

内保 創太・荒井 賢一

(栄東中学校・高等学校 理科学研究部)

1. はじめに

本校が位置する埼玉県さいたま市は、関東地方の内陸部に位置し、1年間の中で多種多様な気象現象が見られる。夏季を中心に最高気温が35℃以上の猛暑日や、積乱雲による雷・雹・短時間の強い雨を、夏季から秋季にかけては台風の接近による暴風雨を毎年のように経験する。晩秋から初春にかけては、放射冷却現象が起こりやすく、朝晩の気温の変化が大きい。また、降水の翌朝には濃霧が発生しやすい。これらは、いずれも高度約20km以下の対流圏で起こる。

日常生活を営む上で、気象現象1つ1つを正しく理解し、さらに天気予報で得られる情報を的確に利用することが必要である。このような視点から、本企画では次のような順で、事前学習①～②と講座①～④を実施した。

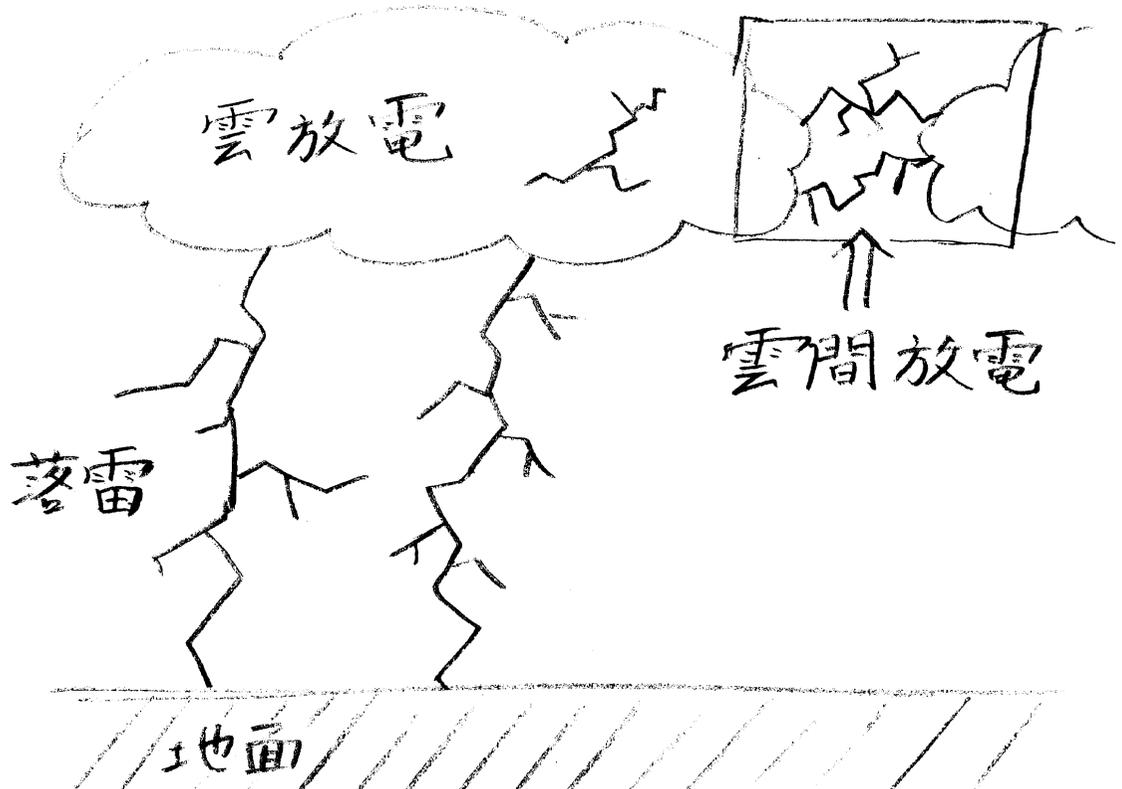
- ・事前学習① 調べ学習と受講者間での発表
- ・事前学習② 気象現象を再現する実験と気象データの解析への取り組み
- ・講座① 気象学の基礎学習
- ・講座② 事前学習②の結果の発表
- ・講座③ 高層気象台の見学
- ・講座④ ラジオゾンデを用いた高層気象観測

講座①と②は、東京大学名誉教授の木村龍治氏に本校に来校頂いて実施した。講座③は、日々の天気予報をするためにおこなわれている観測について学ぶ貴重な機会となった。講座④は、明星電気株式会社との連携によって実現に至った。次章以降では、講座①～④の実施報告について記述する。

2. 気象学の基礎学習（講座①）

本講座および後述の講座②は、それぞれ平成 25 年 8 月 12 日と 16 日に本校で実施し、いずれも連携先の東京大学より木村龍治氏にご来校頂いた。講座①では、木村（2013）を教材として、気象学の基礎を理解することを目的に講義をして頂いた。講義の内容は、事前に受講生徒が提出した質問に関して、1つ1つ解決していけるものであった。気象現象として「雷」を主なテーマとし、落雷のメカニズムといった専門的なことまで、映像を交えてお話して下さった。その際には雷をスロー再生で見せていただくなど貴重な経験をさせていただいた。

受講者たちは、今まで身近に感じていた雷などが今までなんとなく思い描いていた姿と違ったことなどに興味を示していたようで、受講後のレポートでは下のような図が多く見られた。また、雷は上から落ちてくるだけではなく雲の間で発生するものや地面から雲へと電流の流れるものなどがあるという事を知って、雷の種類やメカニズムに興味を持つことができたようだった。



3. 気象現象を再現する実験と気象観測データの解析（事前学習②・講座②）

本章では、講座①において発表した実験やデータの解析などに関して、個人のレポートを紹介する。

雲を作る実験

中学3年 内保創太

～使用したもの～

- ・ 500ml ペットボトル（炭酸飲料のもの）
- ・ 線香
- ・ お湯
- ・ 水

～概要～

空気を圧縮して雲を作る際の条件の変化による雲の変化

～手順～

1、方法

ペットボトルに線香と水・線香とお湯・お湯・水を入れた場合、及び何も入れない場合について、雲の量（濃さ）を観察する。

2、準備するもの

- ・ 圧気発火器
- ・ お湯
- ・ 線香
- ・ 水

～予想～

- ・ お湯がある方が、雲が多くできる。
- ・ 線香がある方が、雲が多くできる。
- ・ 水の方がお湯よりも雲ができづらい。

～結果～

水とお湯では雲の濃さが大きく違ったが、ペットボトルの内側に細かい水滴がついてしまい、雲との見分けがつかなくなってしまった。

水滴のつかないように、シャボン玉のような水滴のつかないものを用いて実験を試みたい。

空の「青」、雲の「白」を再現

中学3年 木村円香

～使用する物～

- ・黒い箱とライトをくっつけたもの
- ・蚊取線香
- ・ライター
- ・霧吹き

～概要～

空が青い理由は、太陽光が大気中を通過する時、光の波長よりも小さい大気分子（大きさは可視光の波長： $0.4\mu\text{m}\sim 0.7\mu\text{m}$ のおよそ $1/1000$ ほど）にぶつかる。すると、可視光の中でも一番散乱しやすい青色の光が散乱され、人の目にほかの色よりも青色の光が多く入り、空が青色に見えるからである。このように光の波長よりも小さい粒子に当たった光が散乱する現象をレイリー散乱という。

レイリー散乱とは逆に、光の波長と同じ大きさの雲中の塵や比較的小さい水滴にぶつかると、すべての色の光が散乱され、人の目にはすべての色の光がほぼ均等に入り、雲が白色に見える。このように光の波長と同じ大きさの粒子に当たってすべての色の光が散乱する現象をミー散乱という。

また、夕焼けが赤い理由は、空が青く見えるのと同様にレイリー散乱が起こっているものの、昼間とは違い夕方は太陽光が大気を通る距離が長いので、人の目に太陽光が届く前に青色の光がすべて散乱される。よって、人の目に届くのは赤色の光となり、夕焼けは赤く見える。

このような現象であるレイリー散乱とミー散乱の再現を行う。

～手順～

レイリー散乱の実験では、図のようにライトの光をつけ、箱の中に火のついた蚊取り線香を入れた。

ミー散乱の実験では、明かりのついた部屋で水の入った霧吹きを空中に吹きかけた。

～結果～

レイリー散乱の実験では線香の煙は白色であるもののわずかながら青色に見える。蚊取り線香の煙の粒子の大きさは $0.4\sim 1.0\ \mu\text{m}$ なので、煙の中の分子にぶつかったときにレイリー散乱が起こり、粒子にぶつかったときにミー散乱が起こると考えられる。レイリー散乱だけを起こす実験の器具が高価なので今回行わなかった。

ミー散乱の実験では霧吹きから出た水滴は白く見えた。これは霧吹きの水滴によってミー散乱が起こったと考えられる。

これらの実験から、レイリー散乱は環境を作ることが難しいことが分かった。それとは逆にミー散乱は身近に再現できることが分かった。

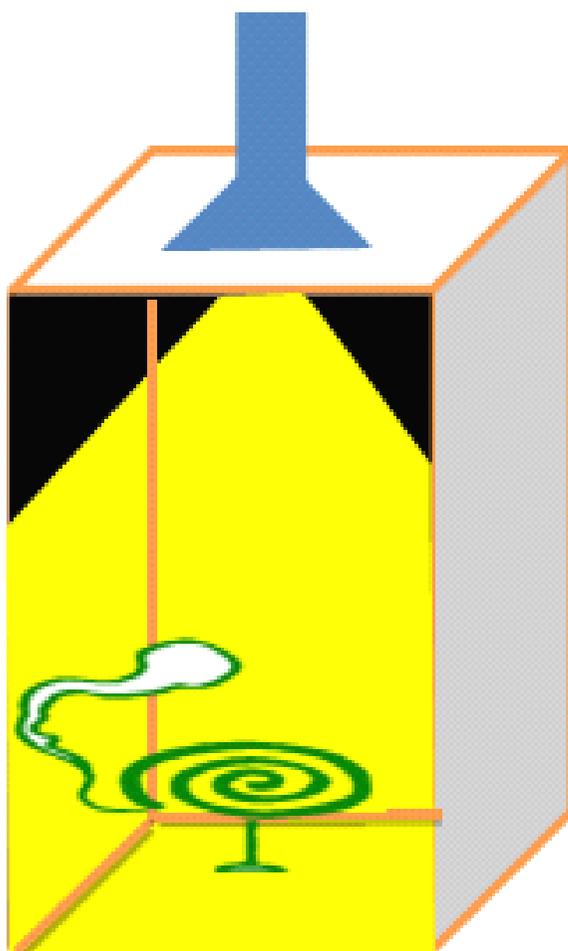


図 レイリー散乱の実験

大気圧で空き缶を潰す実験

高校1年 増田誠也

～使用する物～

- ・アルミ缶（大きさは何でも良い）
- ・ガスバーナーと着火用のライター
- ・るつぼばさみ
- ・水を張った水槽

～概要～

私たちの身の回りには常に「大気圧」という力がかかっている。この力は意外と大きく、 1 cm^2 あたりに約 1013 hPa 、およそ 1 kg 。

今回の実験ではこの大きな力を用いて空き缶を潰してみる。

～手順～

- 1、ガスバーナーにライターで点火。
- 2、缶に少量の水を入れる。
- 3、るつぼばさみで缶を挟みバーナーで加熱する。
- 4、缶から蒸気が出てきたら加熱を止め、水の入った水槽に入れる。
- 5、缶のへこみを観察する。

～なぜ缶はへこんだのか～

水を入れて熱し始めた時はまだ缶の内側と外側から大気圧がかかっている。しかし、水が沸騰すると、缶の中の空気は追い出されるが、水蒸気があるため缶の内側と外側は同じ力で押し合っている。

飲み口を下にして水槽の水につけると、水蒸気が冷やされて水に戻る。水と水蒸気の体積比はおよそ $1:1700$ なので水蒸気が水になる時体積が $1/1700$ になる。

つまり缶の中の空気の体積が極端に小さくなり、中にほとんど物質が入っていない状態になる（ほぼ真空状態）。

その為、外側から押してくる力に耐え切れず、缶が右ページの画像のようにへこんでしまう。



実験でへこんだ缶

前線モデル

高校1年 小野明日香

～使用するもの～

- ・水（冷たい空気の役割）
- ・お湯（暖かい空気の役割）
- ・前線モデル実験器
- ・水に色をつけるもの（今回はターメリックの粉末を使用）

～概要～

お湯と水を使って前線の空気の流れを再現する。

～手順～

- 1、本体に深さ4cm程度の水を入れる。
- 2、本体の中央付近に仕切りを立てる。
- 3、片方の水槽に着色料を入れる。
- 4、フタを置き、温度計を立てる。
- 5、どちらか一方の槽にお湯を少しずつ入れ、温度変化を見る。
- 6、左右の槽の温度差が約1℃になったとき、仕切りをゆっくりと上に引き上げる。

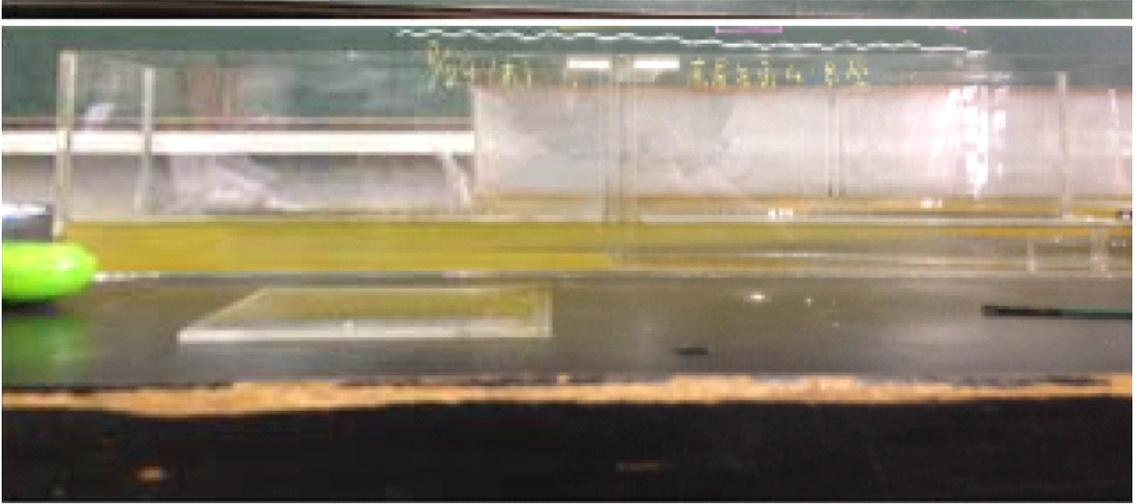
～結果～

温暖前線

お湯に色をつけて実験した。お湯（黄色）が水（透明）の上に這い上がって行く様子が観察できた。



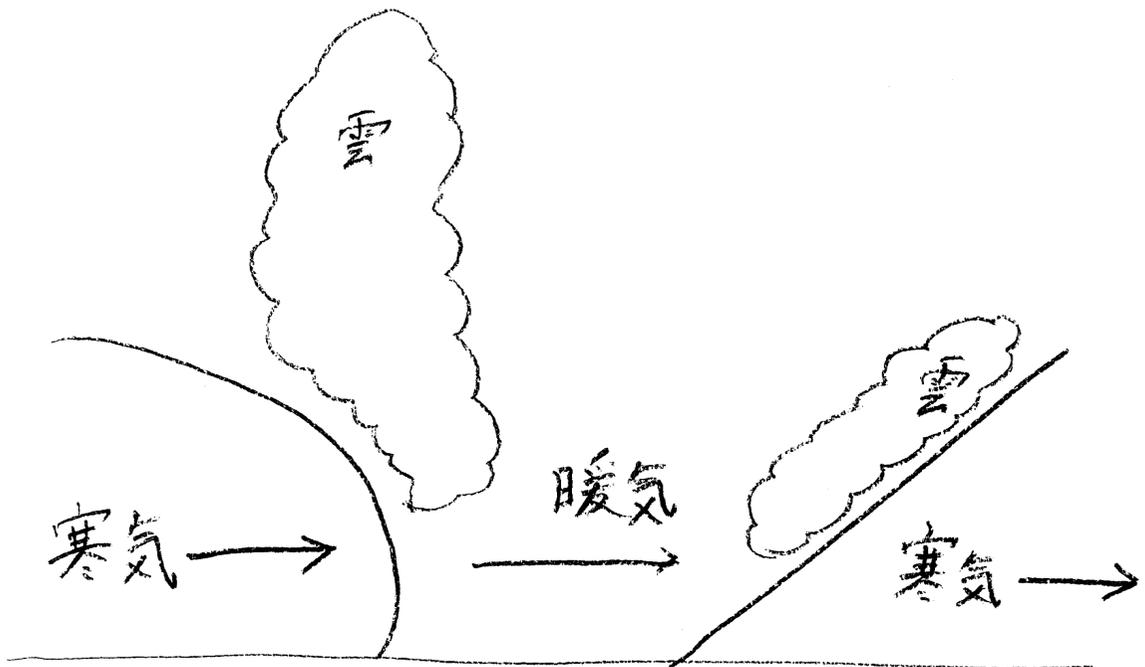
寒冷前線



水に色をつけて実験した。水（黄色）がお湯（透明）を押し上げている様子が観察できた。

～考察～

温暖前線付近では、暖かくて軽い空気が冷たくて重い空気の上に這い上がる。
また、寒冷前線付近では冷たくて重い空気が暖かくて軽い空気の下に潜り込む。



赤外線と雲底の高さの関係（推測）

高校1年 加藤 叡

～使用する物～

- ・赤外線放射温度計（赤外線の量を計る。赤外線の入射角を変えて、何通りか比較するのもよい。）
- ・ライダー（レーザーレーダー。雲底の高さを計る。）

～概要～

- 1、シュテファン・ボルツマンの放射法則より、物体の温度が変化すると、温度が高くなるほど、赤外線の振動や強度が大きくなる。
- 2、エネルギー分配の法則よりどの光の波1個（振動1個）にも同じ量のエネルギーが配られるため、波長が短い光、つまり振動数が大きい光ほど、その振動数に応じて大きなエネルギーを持つ。
- 3、温室効果気体の赤外線吸収率は、振動数依存性を持つ。
- 4、水蒸気（雲を含む）は、大いに温室効果を示す。
- 5、雲は空気と同じで上に行くほど、温度が下がる。
- 6、エネルギー量子仮説の式よりエネルギーと振動数が比例の関係にある。

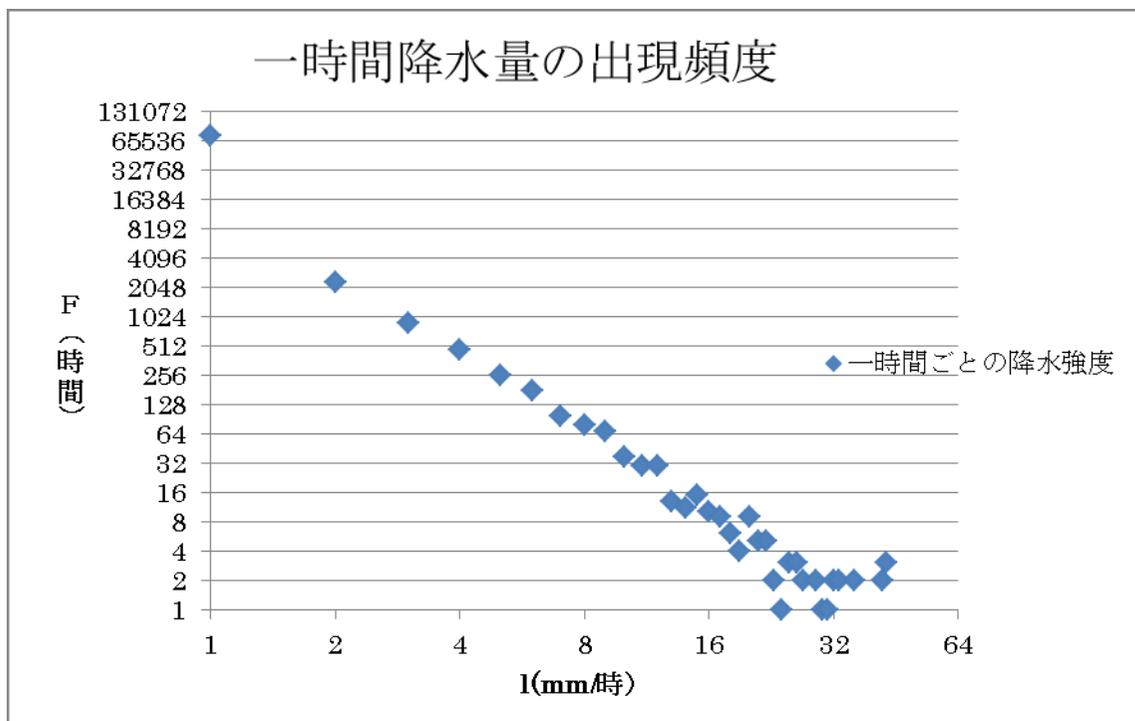
以上のことより、雲の高さによって、赤外線の振動数やエネルギーは変わると思われる。それをデータ解析によって確かめた。

～データ解析～

「さいたま市の降水強度と降雨時間の関係」についてのグラフを作った。

データの概要

- 1、x 軸、y 軸共に対数グラフを使用。
- 2、x 軸は l (mm/時)、y 軸は F (時間)



パンデグラフを使った実験

中学2年 依田啓吾

～使用する物～

- ・パンデグラフ

～概要～

雷というものは普段生活しているなかでは、よく見かけるものである。

この雷に似た現象を、パンデグラフを使って作ってみる。

また、発生した雷の長さなども調べる。

～手順～

- 1、パンデグラフの電源を入れ、一定時間待つ。
- 2、その後、付属の小球をパンデグラフに近づける。
- 3、このとき、雷に似た現象が発生する。また、この時発生した雷の長さを測る。
- 4、3の作業が全て終了した後、一定の長さの雷が発生するまでにかかる時間を計測する。

～結果～

電源を入れてから小球を近づけるまでの時間	10 秒	20 秒	30 秒	45 秒	1 分	3 分	5 分	10 分
雷の長さ（1回目）	なし	0,5cm	1cm 弱	1cm 弱	1cm 弱	なし	なし	1,5cm
雷の長さ（2回目）	1cm 弱	1cm	0,5cm	1cm	1cm	1,5cm	1,5cm	1,5cm

雷の長さ	0,5cm	1cm	2cm
一定の長さの雷が起きるまでの時間	5 秒	15 秒	なし

～雷のような現象が起きる理由～

パンデグラフ本体の金属球から離れた場所で、輪の形のベルトを帯電させる。そのベルトが回転により金属球につくと、電荷が金属球に移動し貯蓄される。この電気によりこの現象が起きる。

4. 高層気象台の見学（講座③）

茨城県つくば市にある高層気象台へ行き、ラジオゾンデの打ち上げや各場所の機材や仕事などを見学した。

4-1. 観測1課

1課では地上気象観測と下層大気の観測を行っていた。

地上気象観測では気圧、気温、湿度、風向、風速、降水量、全天日射、日照時間をAMEIDASなどの機材を用いて観測していた。

下層大気の観測では地上から高さ約1500mまでの気温、湿度、気圧、風向、風速などを係留気球に吊り下げたラジオゾンデを用いての観測や紫外線吸収式のオゾン濃度計による地上オゾンの観測も行っていた。

4-2. 観測2課

2課では対流圏から下層成層圏までの気象及びオゾンの濃度の観測を行っていた。

高層気象観測は図4-1のように1日に2度、午前9時と午後9時にラジオゾンデを打ち上げて30000mまでの観測を実施している。オゾン濃度の観測は週1回35000mまでのオゾン濃度の高度分布の観測を行っている。



4-3. 観測3課

3課では日射・放射、紫外線、成層圏オゾンなどの観測を行っていた。

観測は屋上に取り付けられた機材を用いている。

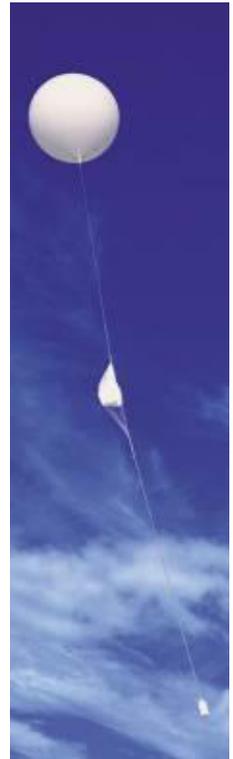
図4-1

5. ラジオゾンデを用いた高層気象観測（講座④）

5-1. 方法

本講座は、明星電気株式会社との連携により、平成26年1月18日に実現した。明星電気のRS-11G型GPSゾンデを図5-1のように紐でパラシュートとヘリウムを詰めた気球に繋いだ打ち上げ装置を用いた。観測は、明星電気つくば事務所前から打ち上げを行った（11時頃に放球）。

この観測では、毎秒ごとの高度・気温・湿度・気圧・風速・風向を記録した。冬の時期、ゾンデは偏西風の影響でほぼ確実に太平洋に落ちる。観測結果（記録されたデータ）は、ゾンデから受信機へ無線で送りパソコンでデータの処理を行った。

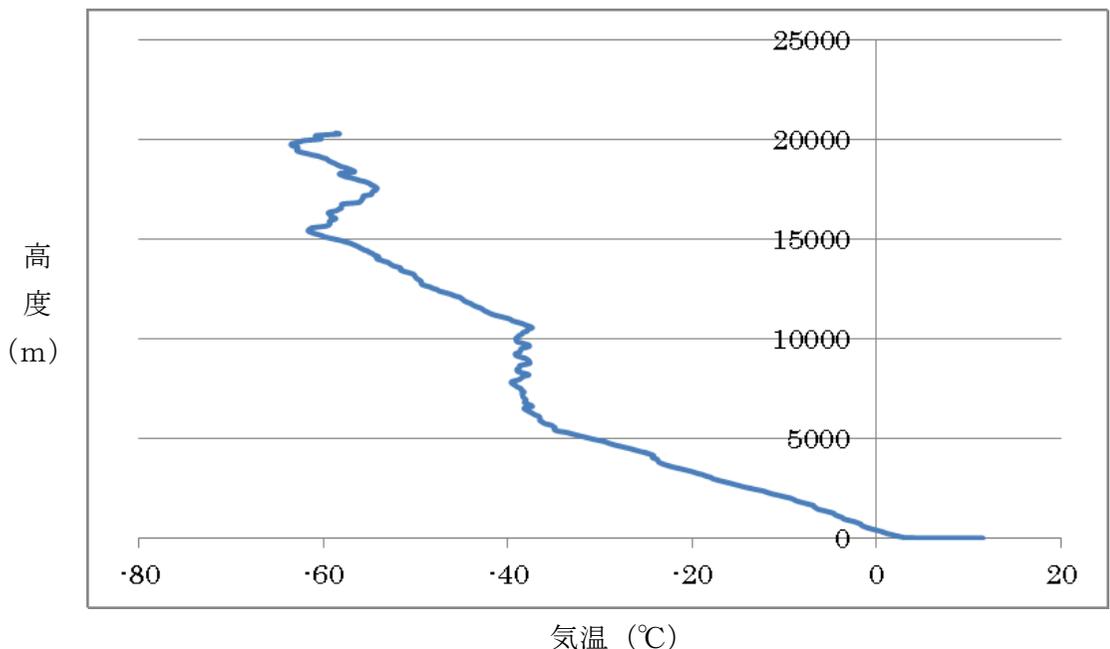


5-2. 結果

結果は高度を縦軸の基準にし、横軸にそれぞれ気温・湿度・気圧・風速・風向を入れたグラフにした。

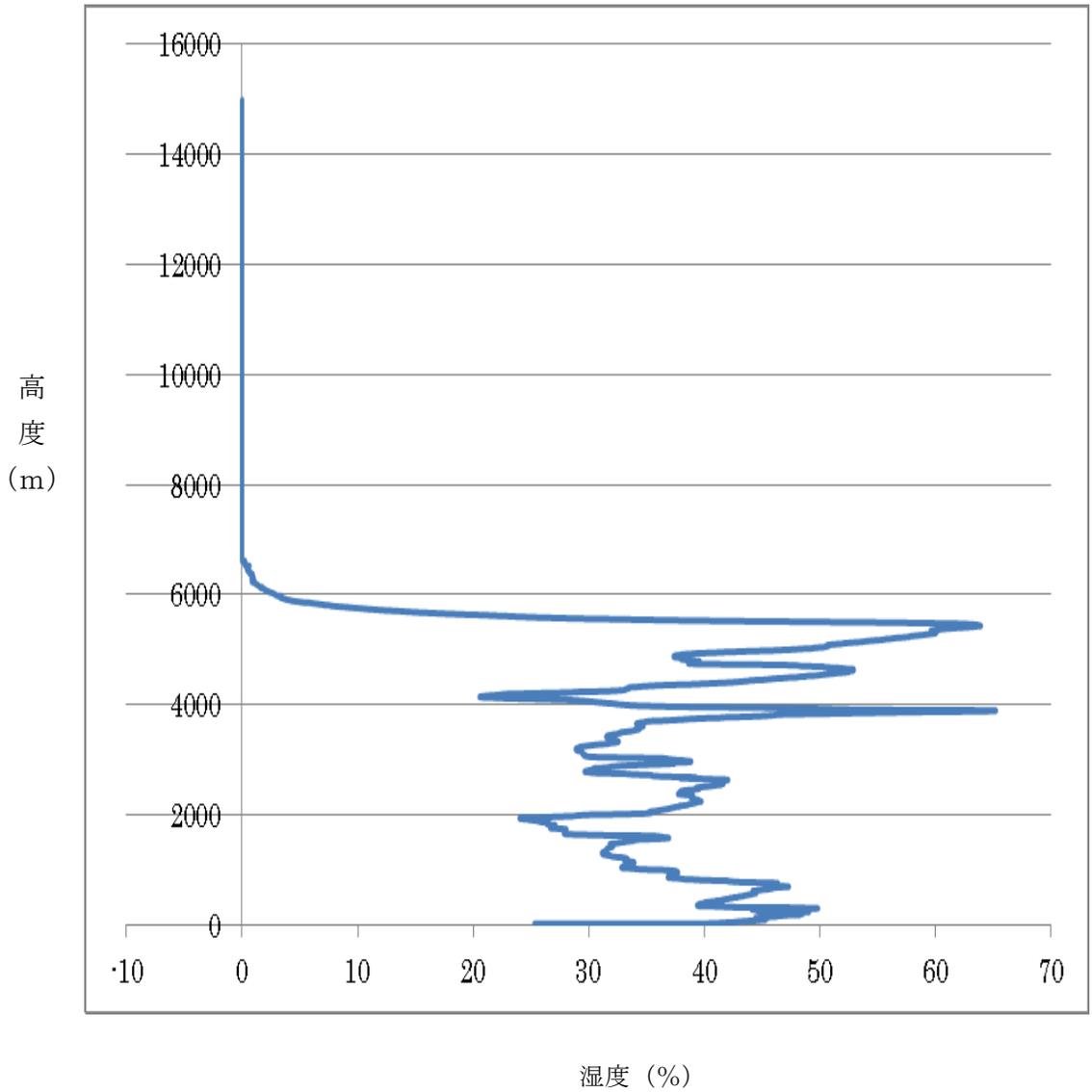
気温はグラフ5-1から分かるように高度が上がるごとに下がっていく傾向があるが、5000m辺りから10000m辺りまでの間は気温が小刻みに上下し、停滞している。また、15000m辺りから上昇し18000m辺りでまた低下していることが分かる。

グラフ5-1



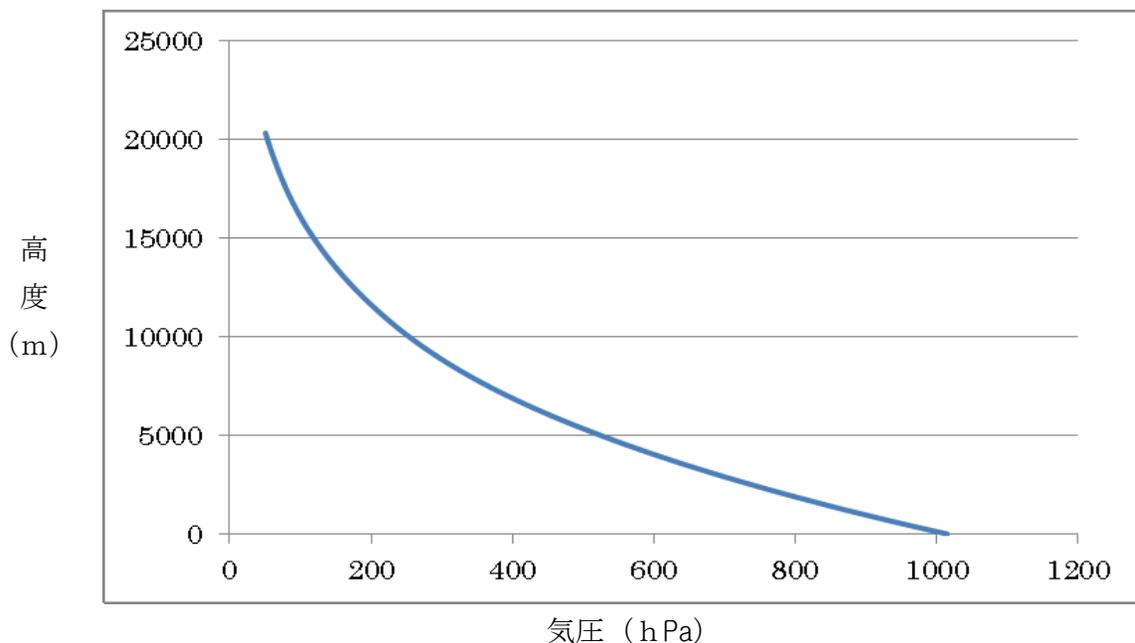
湿度はグラフ5-2から分かるように最初は低下しその後上昇、ということを何度か繰り返している。また、7000m辺りから0%になり、その後上昇せず0%のままであることが分かる。

グラフ5-2



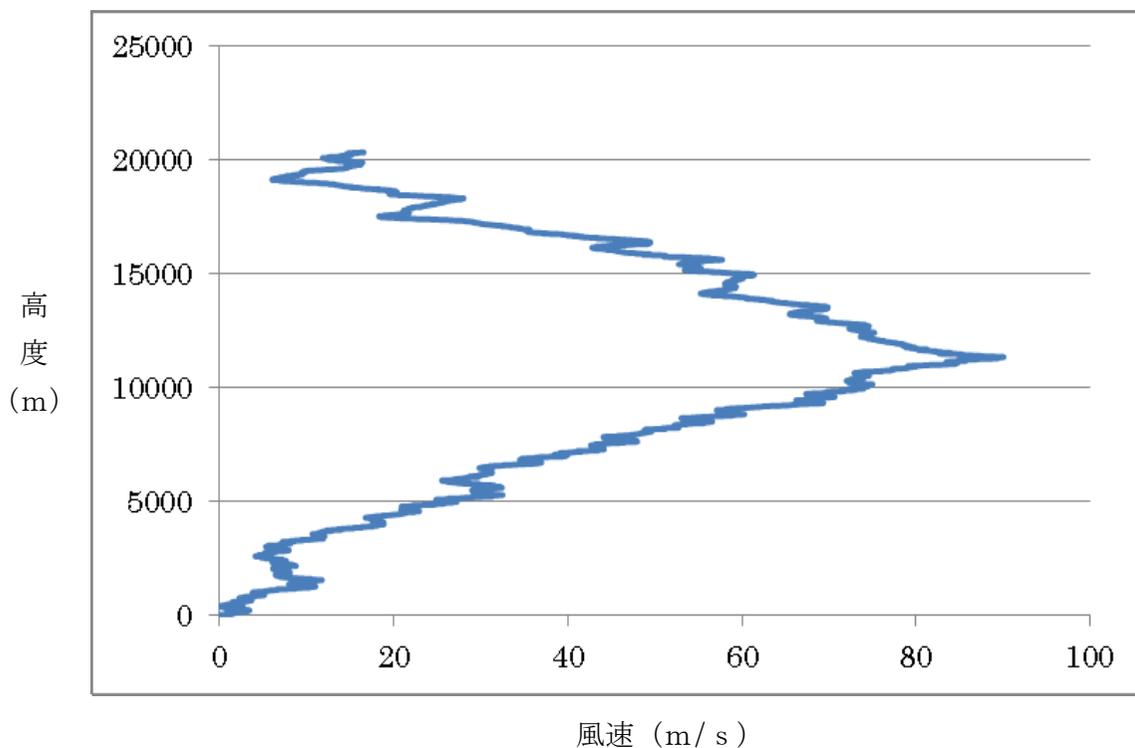
気圧はグラフ 5-3 から曲線を描きながら高度が上がるにつれて小さくなっていると分かる。

グラフ 5-3



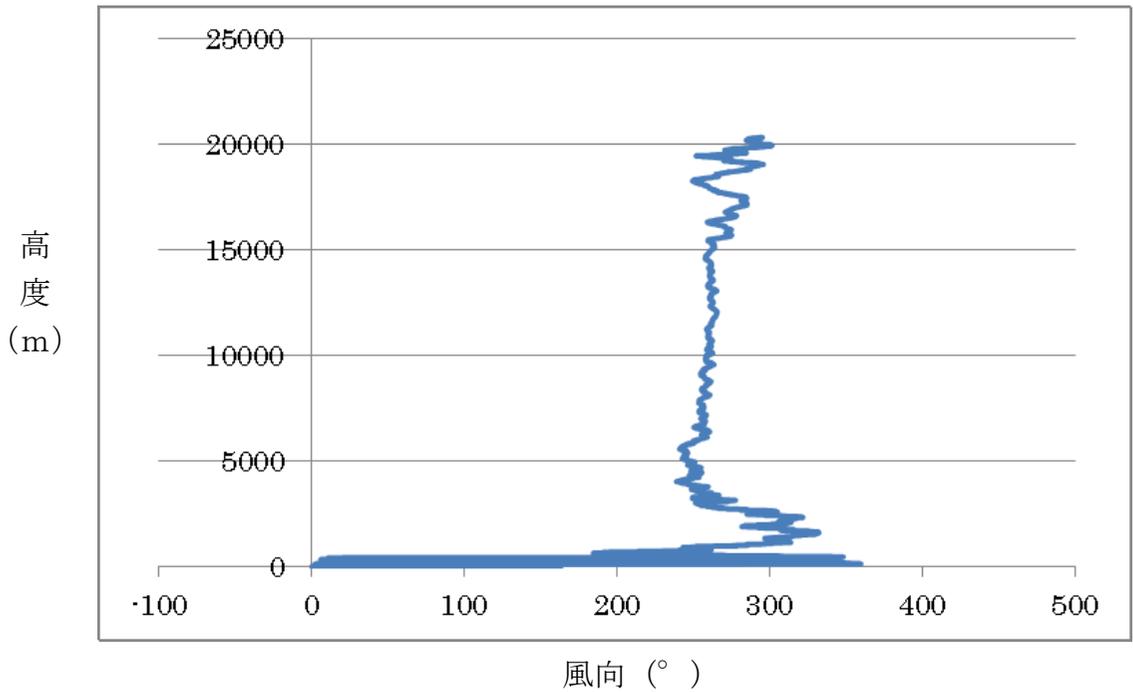
風速はグラフ 5-4 から高度が上がるにつれて大きくなっているが 12000m 辺りで最大になるとその後高度が上がるにつれて小さくなっていると分かる。

グラフ 5-4



風向はグラフ5-5では0度が北を指している。最初は色々な方向であったが5000m辺りから安定して南西からの風になっているとわかる。

グラフ5-5



5-3. 考察

今回の結果とグラフ5-6のPTチャート、Wind liftチャートという日本で一般的に用いられているグラフとを比較してみた。

気温は今回の結果にあった5000m~10000m辺りの気温低下の停滞がみられなかった。また、もう一つの15000m辺りから上昇し、18000m辺りでまた低下するという特徴も見られなかった。

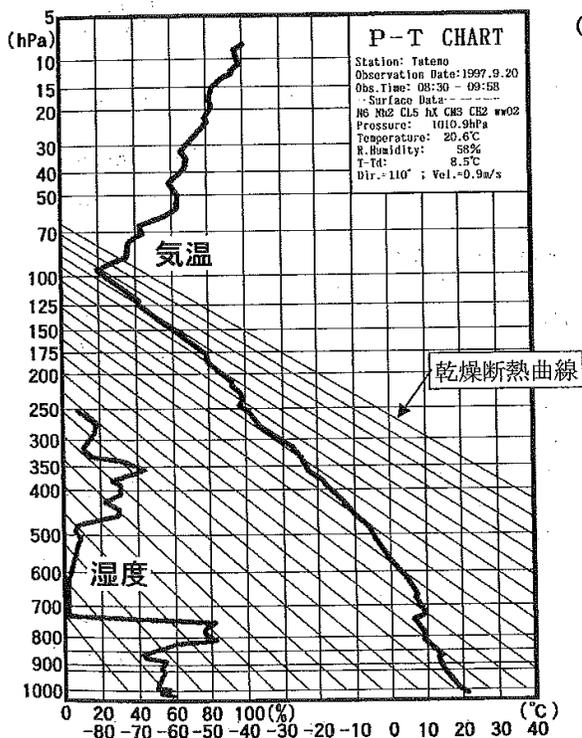
湿度は今回の結果では7000m辺りから0%になっていたが、図5-6では3500m辺りからになっている。また、今回の結果ではその後0%のままで上がらなかったが図5-6では4500m辺りから上昇している。

風速は今回の結果と同じように高度の上昇と共に風速も上がって12000m辺りで最大になり、その後高度の上昇と共に下がっている。

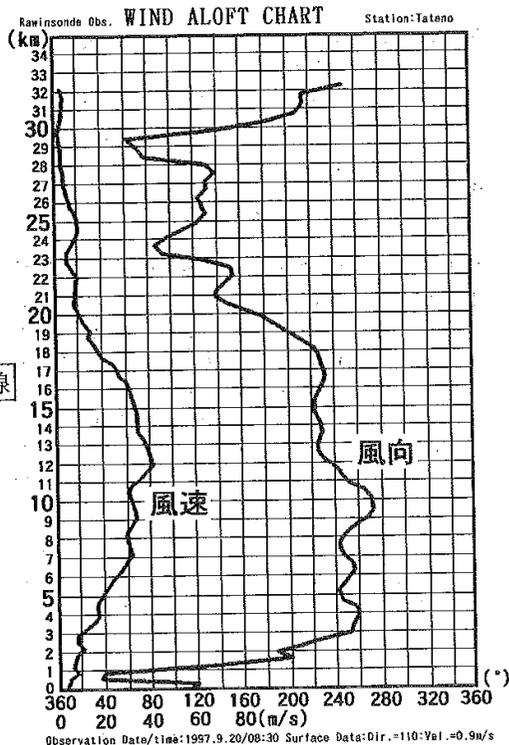
風向も今回の結果と同じように初めは色々な方向から吹いていたが、そののち南西からの風になっている。

グラフ5-6と今回の結果には同じ結果になった部分もあるが、異なっている部分もあった。

気圧-気温・湿度グラフ



高度-風向・風速グラフ



高層気象台（つくば）での観測結果例

6. 今後の展望

今年度の企画への参加生徒が、平成 26 年度以降に継続テーマとして希望している探求活動は、以下のとおりである。

- ・ラジオゾンデのセンサーの構造についての学習
- ・ラジオゾンデのセンサーの自作と自作センサーを用いた高層気象観測
- ・ラジオゾンデを用いた高層気象観測の継続
- ・ラジオゾンデの観測結果を用いての天気予報の作成
- ・ラジオゾンデを用いて得た観測結果の地域別の比較
- ・北半球と南半球での低気圧と高気圧の渦の巻く方向の原理
- ・積乱雲の発生・発達・消滅のメカニズム
- ・オーロラの実物の観測

謝辞

本企画の実施は、下記の連携先の多大なご協力によって実現した。

- ・東京大学名誉教授 木村龍治氏
- ・高層気象台の職員の皆様
- ・明星電気株式会社 金子直紀氏、松永喬氏

各講座の実施にあたっては、顧問の馬場猛夫氏に参加、引率をして頂いた。本企画は(独)科学技術振興機構から採択され、各講座等の計画から実施に至るまで全面的に支援頂いた。記して深く御礼申し上げる。

文献

木村龍治, 2013, 天気ハカセになろう, 岩波ジュニア新書
雲を作る実験 やってみよう! 水の自由研究 サントリー「水育」

印刷・製本 関東図書株式会社