

大気圏の構造 指導資料

1 目的

- ・ 高度が高いところほど気圧が低いことを確認する。
- ・ 温度変化のグラフを作成して大気圏の温度は一様に低下するわけではないことを理解する。

2 中学校までの既習事項

大気圧は、頭上にある空気の重さによって生じており、高い山の上では頭上にある空気の重さが減るので、気圧が下がることを学習している。気圧の単位には[hPa]を用いることを学習している。

3 実習間のつながり

この実習の前に、大気圧を実感できる演示実験を行っておくと気圧に対する理解が深まり効果的である。大気圧を実感できる演示実験には、いろいろなものがあるので『演示 大気圧を実感する※』を参考にしてほしい。また、地球大気の特徴のひとつとして酸素の存在が挙げられる。これに関しては『地球カレンダー』に光合成生物と酸素の増加についての考察がある。

※ 教師用「2013 地球惑星科学実習帳」に掲載

4 準備するもの

色鉛筆

5 実習の所要時間

グラフ作成	15 分程度
考察	15 分程度
発展解答・解説	20 分程度

6 実習上の留意点

実習の表は U.S. 標準大気であり、中緯度地方の大気の状態をモデル化したものである。実際の温度や気圧を示しているわけではない。実習ではグラフの中に気圧と温度の変化が描かれており、温度の目盛りは上側、気圧の目盛りは下側にあるので、指示しておく。高度は地表付近では 5km 刻みのデータが与えられているのに対して、高度が高くなるにつれて間隔が粗くなっている。これは、実習時間を短縮するためである。プロット作業に入る前に、生徒に話しておくことで混乱なくスムーズにプロットできる。

気圧は単調減少な曲線（指数曲線）であるのに対し、気温は凹凸のある曲線となる。一般に、大気の下層では高度の上昇とともに温度は低下する。これは、大気が地表面を熱源として暖められるからである。また、ある高度より上空では温度が上昇するのは、気体

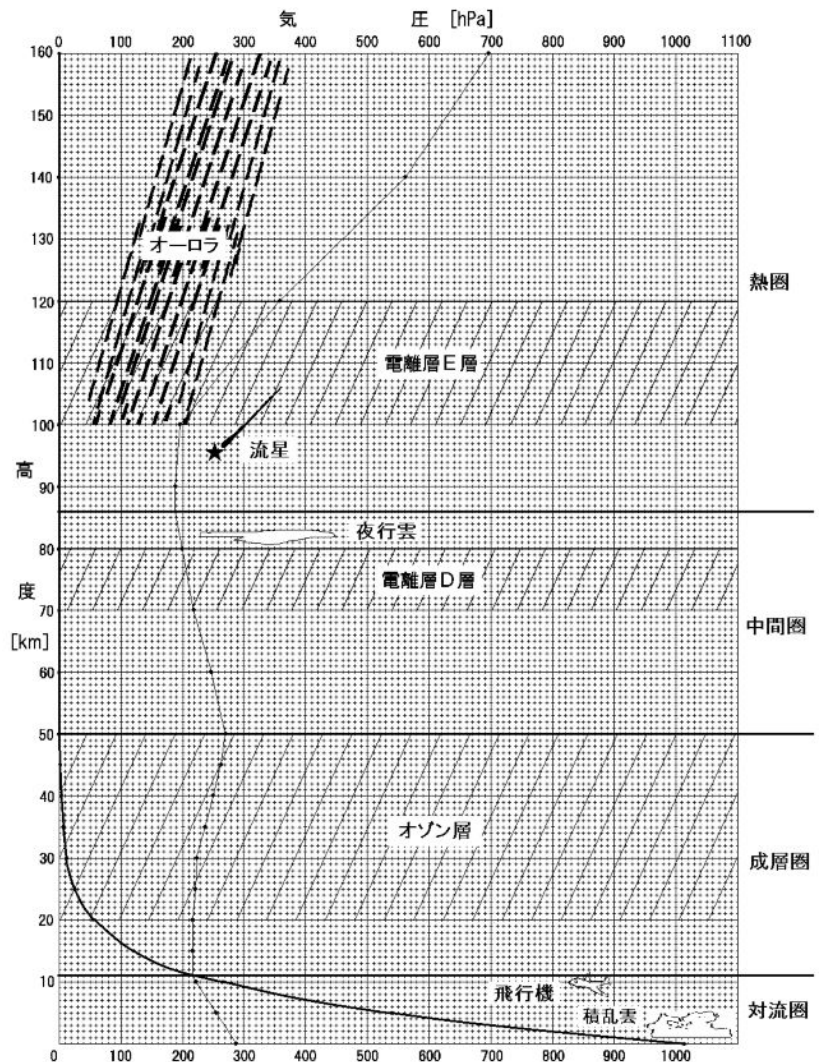


図1 作業結果

分子が太陽放射エネルギーを直接得て暖められていることを意味する。地球の場合は、オゾン層に存在するオゾンが紫外線を吸収して熱を発生させているため、金星や木星の温度分布とは異なる。

7 解答・解説

●結果

作業結果は図1参照。

- 電離層の高度は右表の通り。熱圏に存在する窒素や酸素などの原子や分子は、太陽からのX線や紫外線のエネルギーによって電離し数枚の電離層をつくる。夜間は太陽からの紫外線が届かないため最下層のD層は消滅する。またF1層とF2層も夜間には合併して一つのF層となる。電離層は電波を吸収・反射する性質があり、AM放送が夜間にぎやかになるのは、中波が昼間D層で吸収され電波が飛ぶ範囲は限られているのに対し、夜になるとD層が消え、より高いE層と地表で反射され、遠くまで届くようになるからである。
 - オゾン層(20~50km)、成層圏のオゾン濃度の高い部分をいう。
 - ジェット旅客機の巡航高度(7500~13000m)、成層圏下部を飛ぶこともある。
 - 夜光雲(75~85km)、高緯度地域の日の出前や日没後に観測される気象現象である。中間圏でも対流が起こっていることを表している。
 - 積乱雲(地表~10000m)、発達した積乱雲は成層圏下部に達することもある。
 - 流星(70~100km)、地上100km付近から大気成分が増え始め、宇宙塵や隕石が大気に突入すると、隕石の先端で空気が圧縮され温度が上昇し、そのエネルギーで大気成分がプラズマ化し発光する。
※ 従来は空気との摩擦熱により発光が起こるとされてきたが、最近では、断熱圧縮による熱が発光の源になると考えられている。
 - オーロラ(100~500km)、太陽風の帯電粒子が地磁気の磁力線に沿って極上空に高速で突入する。帯電粒子の持つエネルギーによって大気成分をプラズマ化させ発光する。
- 以上については、太陽放射や太陽の活動と関連して教えたい。

電離層の日変化と高度(km)	
昼間	夜間
F2層 (220 - 800)	F層 (150 - 800)
F1層 (150 - 220)	
E層 (90 - 130)	
D層 (60 - 90)	

温度変化によって大気が区分されることと地表付近に大気が集中していることを理解させたいのでグラフは高度160kmまでとした。ただ、地球の大気圏はどこまでか難しい問題である。大気があるのは地球の重力が大気に及ぶ範囲ということになる。それは500~1000kmであり、それより外を外気圏(宇宙)と呼ぶ。また、地磁気力が及ぶ範囲までを地球と考えるとバンアレン帯(2000~5000km、50000~100000km)までが地球ということになる。一方、国際航空連盟では高度100kmのカーマン・ラインを地球と宇宙の境界と定めており、有人ロケットやスペースシャトルが地球に戻るときの「大気圏突入」とは100kmの高度をさしている。

●考察

(1) 5.5km

大気圧が低いということは、空気が薄い(酸素も少ない)ということなので呼吸がしにくくなる。大気によって押さえつけられなくなるので、体が膨張する、等。

※ 地表の気圧が1013hPaなので、 $1013/2 \approx 507$ (hPa)になる高度をグラフより探させる。グラフは1/10目盛りまで読ませたい。

大気圧の演示実験をもとに、人体にどのような影響が表れるか考えさせる。

(2) 0.65℃

※ 高度0~11kmの間は高度とともに温度が低下する。

0kmにおける温度が288K=15℃、10kmにおける温度が223K=-50℃なので、0kmから10kmまでの温度低下は{15-(-50)}=65℃である。

よって100mあたりの温度低下率(気温減率)は、 $65/10000 \times 100 = 0.65$ より、0.65℃である。

(3) 25℃

※ (2)より100mあたり0.65℃ずつ温度は低下する。

よって富士山の山頂での温度は、 $3776 \times 0.65/100 \approx 24.5$ となり、地表より約25℃低い。

暖かい季節になっても、富士山の山頂には雪が残っているのはこのことによる。

また富士登山する場合は、夏だからといって薄着でいくと、夜や荒天時とんでもない目に合う。

(4) オゾン層が存在している。

※ 高度20~50kmは成層圏にあたる。ここではオゾン(O₃)が紫外線を吸収している。紫外線を吸収したオゾンが熱源となり、成層圏では高さとともに温度が上昇する。

● 発展

(1) 共通点 : 地上から高度が増すにつれ気温が下がり、上空 100km 付近から気温が上昇する。

異なる点 : 地球では、上空 10~50km まで気温が上昇している。

※ 地球の場合は、温度変化が複雑に見えるが、高度 20~50km の範囲でオゾン層が熱源となり、気温が上昇する。こう考えれば、金星と木星と同様のグラフの一部分が変化したものを見出すことができる。なお、どの惑星も高度 90~100km 付近から宇宙線の影響がなくなる、つまりその高さより上部の大気が宇宙線を吸収し尽くすということを示している。

(2) (3) 図 2 の通り

※ 帯グラフを作成すると、地球型惑星は二酸化炭素が主成分の、木星型惑星は水素が主成分の気体を持つことがわかる。地球大気は二酸化炭素が少なく、金星や火星とは異なる組成となっているが、生物活動によって作り出された酸素を取り除き、石灰岩を二酸化炭素として計算すると（地球 2）、地球型惑星の大気組成となることがわかる。

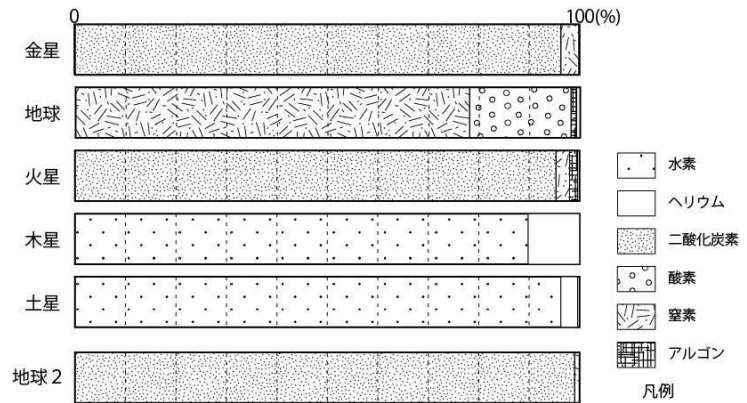


図 2 発展作業結果

(4) 酸素

※ 表より、酸素は地球にしか存在しないことがわかる。

(5) 地球には光合成生物が存在するから。

※ 酸素は光合成生物によって、大気中に放出される。

(6) 金星や火星

※ 現在の地球の大気より酸素を除き、石灰岩として存在する炭素を二酸化炭素として加えると、地球型惑星の大気の組成は、ほぼ同様になる。

(7) 炭酸カルシウム、石灰岩として存在する。

※ 貝殻や有孔虫の殻、サンゴの骨格の主成分は炭酸カルシウム (CaCO₃) である。これらの生物は、海水中に溶けている二酸化炭素を基に炭酸カルシウムを作る。炭酸カルシウムの殻や骨格を持った生物の遺骸が堆積岩となったものが石灰岩である。生物を介さなくても、海水中の二酸化炭素とカルシウムイオンが反応し、沈殿することでも石灰岩は形成される。つまり、石灰岩の形成には水が欠かせない。地球に大量に存在する液体の水が、大気中の二酸化炭素を吸収し現在の濃度 (350ppm) が保たれている。

(8) 海洋の形成により大気中の二酸化炭素が吸収された。また、植物の光合成により酸素が主成分の一つとなった。

※ 地球が誕生した当時は、金星や火星と同じように二酸化炭素が主体の大気であった。海が形成されて二酸化炭素は、海水に吸収された。海水中の二酸化炭素はカルシウムイオンと結びつき、炭酸カルシウムとして堆積岩に固定された。また、光合成生物の誕生によって酸素が次第に増加し、現在のような大気組成となった。

8 補足 (参考文献)

「惑星気象学」 (2000) 松田佳久著 東京大学出版