

も く じ

1章： 基本構造



1. どのくらいの高さまで空気があるの？
2. 大気のでっぺんの名前は？
3. 大気のでっぺんは暑い？ 寒い？
4. 大気のでっぺんの空気の成分は地上と同じ？
5. 酸素が地球から逃げ出している？
6. 大気はなくなるの？

2章： 風と温度



7. 大気のでっぺんにはどんな風が吹いているの？
8. 大気のでっぺんにも潮の満ち引きがある？
9. 惑星波ってなに？
10. 大気重力波ってなに？
11. 何が大気重力波を起こしているの？
12. 大気重力波はどんな役割をしているの？

13. オーロラは大気のでっぺんを変える？
14. 火山が噴火すると大気のでっぺんにまで影響がある？
15. 大気のでっぺんにもオゾンがあるの？
16. 地球が温暖化すると大気のでっぺんも暑くなる？

3章： 光

17. 大気のでっぺんは光っている？
18. どうして大気のでっぺんは光るの？
19. 大気のでっぺんはどんな色で光っているの？
20. オーロラや大気光はどこで光っているの？
21. どうして地上では大気は光らないの？
22. 地球は冠とベルトを持っている？
23. 夜光雲ってなに？
24. 流れ星はどうして光るの？
25. 地球にもコロナがある？

4章： 電離圏

26. 電離圏ってなに？
27. どうして電離圏ができるの？
28. 電離圏に泡ができる？（プラズマバブル）
29. 電離圏にかたまりができる？（極冠域パッチ）
30. 電離圏がしましまになる？（中規模伝搬性電離圏擾乱^{じゅうらん}）
31. 電離圏を津波が伝わる？（大規模伝搬性電離圏擾乱^{じゅうらん}）
32. どうして電離圏には電流が流れているの？
33. どうして電波は遠くまで伝わるの？
34. スポラディックE層ってなに？

35. スポラディックE層のなぞって？
36. シンチレーションってなに？
37. 電離圏にも嵐があるの？

5章： 観測手法

38. 大気のとっぺんはどうやって調べる？
39. 大気のとっぺんまで行くことはできるの？
40. 光を使って大気のとっぺんを調べる？
41. レーザー光線を使って大気のとっぺんを調べる？
42. レーダーで電離圏を調べることができるの？
43. 流れ星を使って大気のとっぺんを調べることができるのはなぜ？
44. 宇宙からの電波を使ってオーロラの電離圏を調べることができるの？
45. カーナビで電離圏を調べることができるの？

6章： 人との関わり

46. なぜ大気のとっぺんを研究するの？
47. 電離圏でカーナビが狂う？
48. なぜ大気のとっぺんの高さが変わると人工衛星が壊れるの？
49. 大気のとっぺんは鉱夫のカナリア？
50. 大気のとっぺんには人が住んでいる？

2章： 風と温度

7. 大気のでっぺんにはどんな風が吹いているの？

超高層大気にも風が吹いています。風速は高くなるほど速くて、中間圏では数十 m / 秒、熱圏では 100 m / 秒以上。日本のような中緯度の中間圏では、成層圏と同じようにジェット気流が、夏は西向き、冬は東向きに吹いていて、その速さは 80 m / 秒に達します。台風の暴風圏が風速 25 m / 秒ですから、とんでもなく強い風だということがわかりますね。熱圏では、100 m / 秒の風が 1 日の間に向きを変えながら吹いています。また、高緯度地方では、オーロラなどの加熱により大気が膨張して、そこから 100 m / 秒以上の風が吹き出すことがあります。

これらの風の変動は、大気潮汐、惑星波、大気重力波などといくつかの種類に分類されています。風速は速いですが、大気の密度がとても薄いので、実際に超高層大気に行ったとしても、こういった風を肌で感じることはほとんどないでしょう。



8. 大気のでっぺんにも潮の満ち引きがある？

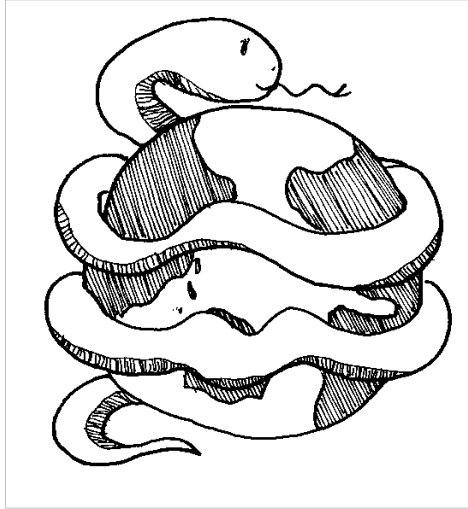
超高層の大気では、海と同じように潮の満ち引きがあります。

海の場合は、月と太陽の重力によって、海の水が1日に2回、増えたり減ったりします。超高層大気の潮の満ち引きは、月と太陽の重力ではなく、太陽の光によって大気が暖められることにより生じます。太陽の光が当たる昼間側は照らされて大気が膨張し、そのふくらんだ大気が夜側に向かって吹き出すのです。私たちは地球の上で、この昼から夜への吹き出しの中を1日に1周しますので、夕方では風が東向き（昼から夜）、朝は風が西向き（昼から夜）というように、1日かけて変化します。これを大気潮汐と呼びます。

さらにこの大気潮汐は、周期が24時間のものだけでなく、そこから分かれた12時間、8時間、6時間などのいくつかの周期に分かれて、超高層大気の複雑な風速変動を起こしているのです。



9. 惑星波ってなに？



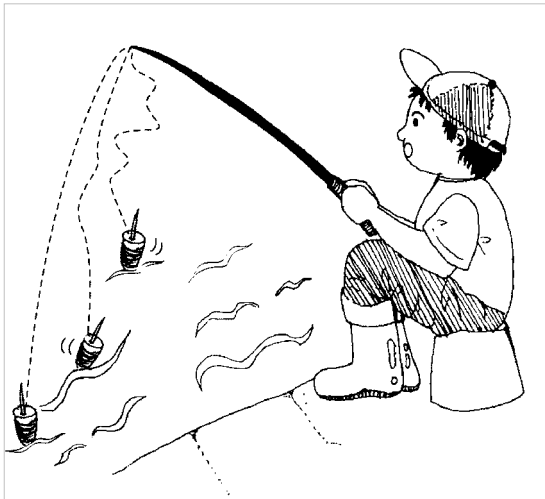
地球の大きさと同じくらいのスケールの風の変動を、惑星波と呼ぶことがあります。例えば、中緯度のジェット気流は地球をぐるりと1周していますが、全く同じ緯度で吹いているのではなく、蛇のようにうねったりしています。また、地球を上から見た時に、ヨーロッパとアジアの上空に高気圧があって、シベリアとアメリカの上空に低気圧がある、というように、地球を1周するような大気のでこぼこも惑星波です。

地上の1点でこういった惑星波を観測すると、数日から数十日で風向きや温度が変わるので、惑星波は大気潮汐よりも周期の長い波と言えます。例えば日本の春に、三寒四温といって暖かい日と寒い日が3 - 4日周期で移り変わるのも、惑星波の一種といえるでしょう。

10. 大気重力波ってなに？

数時間以下の比較的短い時間スケールの大気の振動を、大気重力波と呼びます。例えば入道雲がもくもくと登っていったり、山に対して風が吹き付けたりすると、その上空の大気は持ち上げられます。持ち上げられた大気は圧力が下がって膨張します。すると気温が下がるので、まわりの大気より重くなって落ちてきます。落ちてきた大気は、まわりの圧力が上がるために縮み、縮むことによって温度が上がってまわりより軽くなり、また上昇する、という振動を繰り返します。ちょうど水面の「浮き」のように、大気が上下に振動するのです。とても簡単に起きる振動なので発生しやすく、超高層大気には大気重力波が「充ち満ちている」と言えるでしょう。

振動を起こす力の中に地球の重力が含まれるので、「重力波」と呼ばれているのですが、宇宙論でブラックホールなどから伝わってくる「重力波」とは別のものです。



11. 何が大気重力波を起こしているの？



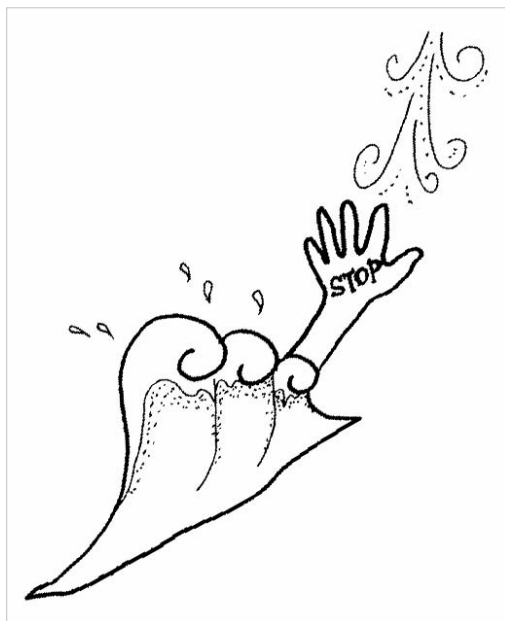
大気重力波は簡単な振動ですから、さまざまな大気の乱れで発生します。特に大気の乱れが起きやすいのが、地上から 10 km までの高さの対流圏。ここでは、雲や台風、高い山による風など、いつも大気は乱れています。こういった乱れは、高い高度まで大気重力波として伝わって行きますが、上に行くほど大気の密度が薄くなるので、重力波の振動の振れ幅はどんどん大きくなるのです。

下から伝わってきた大気重力波は、地球の大気中で最も温度が低い中間圏の上の端（高さ 90 km くらい）まで到達すると、そこで急激に壊れてしまいます。小さな波ほど壊れやすく、壊れる時に熱や力をまわりの大気に放出します。この中間圏の上の端は、波のバリアーのような役割を持っているのです。一部の大きなスケールの波はこのバリアーを超えて熱圏まで伝わりますが、このくらいの高さになると大気が薄くて、「すかすか」の状態になるので、大気の波は波として存在できなくなってくるのです。

12. 大気重力波はどんな役割をしているの？

大気重力波は、低いところから発生して上に伝わり、高度 90 km くらいの中間圏の上端で壊れて、熱や力をまわりの大気に放出します。この時に出す力は意外と大きく、中間圏の大規模な風系を変えてしまうほどの影響力を持っている、と考えられています。下から伝わってきた波が、中間圏で水平方向に吹いている風に対してざらざらした抵抗のような力となって、風を止めてしまうのです。

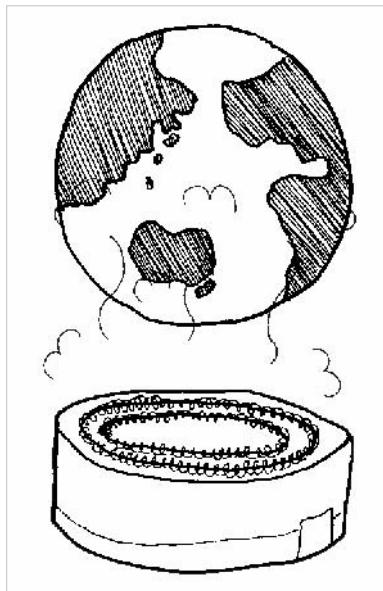
この大気重力波の果たす役割は、現在でもこの分野の研究者の大きな課題で、大型の気象レーダーや気球などによる観測やコンピュータを用いた数値実験が行われています。



13. オーロラは大気のでっぺんを変える？

オーロラは、宇宙空間から飛んできた高エネルギーのプラズマが、南極や北極付近の上空で大気にぶつかって、大気が光を出す現象です。

この時、大気は光を出すとともに、大きな熱エネルギーをプラズマからもらって温度が上昇します。特に熱圏では、温度が数百度も急に変わることがあります。温度が上がって膨張した熱圏の大気から、巨大な波が発生し、低緯度に向かって伝わっていく。日本でも、こうした現象がときどき観測されています。オーロラは超高層大気の変えるだけでなく、地球規模の大規模な熱圏の風の吹き方までも変えてしまうということです。



14. 火山が噴火すると大気のとっぺんにまで影響がある？

大きな火山が噴火すると、その噴煙は時には対流圏を越えて成層圏や中間圏にも入っていくことがあります。1991年に起きたフィリピンのピナツボ火山の大噴火では、噴煙が徐々に中間圏にも入り込み、噴火の2年後には高さ80 - 100 kmの中間圏の温度が10度近くも上昇したことが、コロラド大学による観測から明らかにされています。こういった大きな火山の噴煙は、超高層の大気に入り込むとなかなか落ちてこず、何年にもわたって地球規模の環境変動に影響を与え続けます。



15. 大気のとっぺんにもオゾンがあるの？

オゾン層と言えば、成層圏の高さ 20 - 40 km にあることが知られていますが、それより高い中間圏や熱圏にもわずかにオゾンがあります。高度 50 km より上の中間圏のオゾンは、気球が到達できる高さを越えていて、測定することが非常に難しいのです。

この高さのオゾンは、ミリ波と呼ばれる長い波長の光を放射しているのです。この光を測定することにより、中間圏のオゾンを測ることができるようになってきました。名古屋大学太陽地球環境研究所でも、ミリ波を使って超高層大気のオゾンを地上から測定する装置を開発しています。この中間圏・熱圏のオゾンは、超高層大気で起こる大気成分の化学反応の多くの過程にかかわったり、大気光を光らせる(18を参照)際の仲立ちになったりするので、中間圏を調べる上で重要な役割を持っています。



チリ共和国の観測点にあるミリ波観測装置。

16. 地球が温暖化すると大気のとっぺんも暑くなる？



二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガスが増えると、地球が温暖化されると言われています（「地球温暖化 50 のなぜ」を参照）。では地球が温暖化すると、大気のとっぺんも暑くなるのでしょうか？

答えは逆で、実は成層圏よりも上の大気は寒くなるのです。これは、地球温暖化のメカニズムを考えればすぐわかるでしょう。地上で排出された温室効果ガスが成層圏や中間圏に貯まると、地面からの反射光を吸収して、また地面にはねかえします。このために、熱が宇宙空間に逃げ出さなくなり、地上は暑くなるのです。しかし、温室効果ガスが存在する成層圏から上の高さでは、下からの熱をはねかえしてしまうために、熱が貯まらずに逆に寒くなるのです。「大気のとっぺん寒冷化」ですね。