

気象

プラステン
+10

50のなぜ



ISEE

宇宙地球環境研究所
Institute for Space-Earth Environmental Research

名古屋大学宇宙地球環境研究所
Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE)

<https://www.isee.nagoya-u.ac.jp/>





地球大気の底に暮らしている私たちは、その変動から大きな影響を受けます。この大気の変動や、そのなかで起こる現象のことを「気象」といいます。気象には、雲や雨のように身近で直接見たり感じたりできるものもあれば、目に見えない小さなエアロゾルや、太平洋をまたぐ大きなエルニーニョ現象のように特別な装置を用いて観測をしなければ分からないものまであります。また人知れず高い空の上を吹いているジェット気流や美しい虹や彩雲さいうんもあれば、豪雨や台風のように人の命や財産を奪う危険なものもあります。気象がおもしろいのは、これらの現象それぞれに固有のからくりがあり、たとえば、雨が降ること一つをとっても、実に不思議で巧妙な自然のメカニズムが、いくつもはたらいているからです。このように、気象は身近である一方、そこには深遠な不思議が隠された世界があります。

そのようなさまざまな気象について、ほんの 50 + 10 項目ですが、その「なぜ」を最先端の研究者たちが分かりやすく解説したのがこの『気象 50 のなぜ + 10』です。それぞれのお話は 1 項目 1 ページです。内容の難しさは「竜巻マーク」で分かるようにしてあります。お好きなページを開いて「気象」の世界をのぞいてみてください。「おもしろい!」「もっと知りたい!」とっていただければ、それは私たちの望外の喜びです。



も く じ

第1章 雲と雨の世界

1.	雲はどうやってできている？.....	1
2.	雲にはどんな種類がある？.....	2
3.	どうして雲は浮かんでいられる？.....	3
4.	気温の変化によって相対湿度は変わる？.....	4
5.	飛行機雲はどうやってできる？.....	5
6.	積雲はどうやってできる？.....	6
7.	大気が不安定になるのはなぜ？.....	7
8.	水の不思議.....	8
9.	エアロゾルって何？.....	9
10.	雨粒の大きさをどのぐらい？.....	10
11.	雨量の世界記録は？.....	11
12.	梅雨前線って何？.....	12
13.	ゲリラ豪雨とは？.....	13
14.	竜巻はどうして発生する？.....	14
15.	雲が並んで大雨を降らす線状降水帯とは？.....	15
16.	暖かい雨・冷たい雨って何？.....	16
17.	人工降雨とは？.....	17
18.	人工降雨の原理.....	18
19.	「雪は天からの手紙」ってどんな意味？.....	19

第2章 台風って何？

20.	台風はどうやってできるの？.....	20
21.	台風はどこで生まれるの？.....	21
22.	台風とハリケーンは何が違う？.....	22
23.	台風の寿命と大きさはどうやって決まる？.....	23
24.	台風の中心はなぜ気圧が低い？.....	24
25.	台風の強度はどうやって測る？.....	25
26.	台風にはなぜ眼ができるの？.....	26
27.	最も強い台風って？.....	27
28.	台風はどうやって移動するの？.....	28
29.	台風には名前がついている？.....	29
30.	台風のとぎになぜ竜巻が発生するの？.....	30
31.	台風でなぜ高潮が発生するの？.....	31
32.	地球温暖化とともに台風はどうなる？.....	32
33.	9月26日は台風が上陸する日？.....	33

第3章 光の彩り

34.	雲はなぜ白い？空はなぜ青い？.....	34
35.	夕焼けが見えると翌日は晴れるの？.....	35
36.	虹のような光の現象は、どんなものがある？.....	36
37.	雷の電気はどこでできるの？.....	37

第4章 地球の気温

38.	熱はどうやって伝わる？.....	38
39.	地球で最も気温の低いところはどこ？.....	39
40.	温室効果とは？.....	40
41.	地球温暖化とは？.....	41
42.	地球が温暖化したらどんなことが起こる？.....	42
43.	二酸化炭素(CO ₂)の排出量は、どう測る？.....	43

第5章 地球をめぐる風

- 44. 低気圧や高気圧はどんな天気をもたらす? 44
- 45. コリオリの力とは? 45
- 46. モンスーンって何? 46
- 47. 地衡風とは? 47
- 48. 偏西風ジェット気流とは? 48
- 49. 貿易風とは? 49
- 50. 惑星波とは? 50
- 51. マッデン・ジュリアン (Madden-Julian) 振動とは? 51
- 52. エルニーニョ現象とは? 52

第6章 気象観測

- 53. アメダスは何を測っている? 53
- 54. 気象衛星ひまわりから何がわかる? 54
- 55. 人工衛星からどうやって雨を測るの? 55
- 56. 気象レーダーって何を測るの? 56
- 57. フェーズドアレイ気象レーダーって何? 57
- 58. ラジオゾンデって何を観測するもの? 58
- 59. なぜ衛星や飛行機の観測が必要? 59
- 60. コンピューターで天気を予測できる? 60

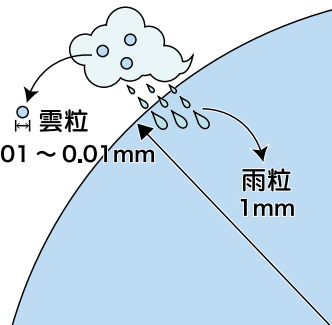




1. 雲はどうやってできている？

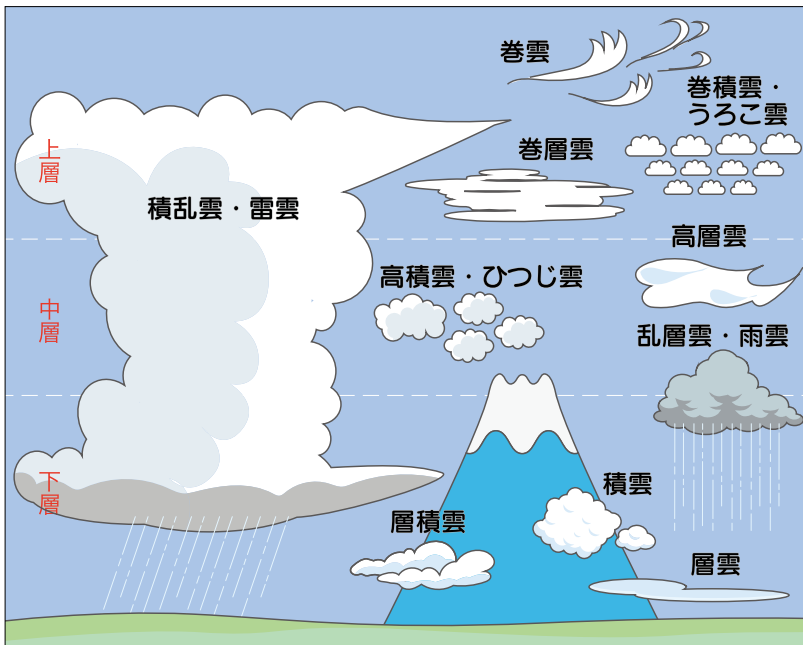
大気中の水蒸気は含むことができる量が決められていて、これを飽和水蒸気量といいます。水蒸気量が飽和水蒸気量と同じである状態を飽和（湿度 100%）といい、飽和水蒸気量に達していない場合を未飽和（湿度 100%未満）といいます。未飽和の空気が上昇流により持ち上げられると、上空の方が気温が低いいためやがて飽和に達します。さらに上昇し気温が下がると飽和水蒸気量より水蒸気量が多い状態（過飽和）になります。この過飽和の水蒸気が水滴に変化（凝結）し、この水滴がたくさん集まったものが雲です。雲粒の大きさは半径約 0.001 ~ 0.01 mm、また落下速度は 1 秒間に約 1cm です。雲が存在する場所のほとんどは雲の落下速度を上回る上昇流が存在しているため、雲は空中に浮かんでいます。

凝結した微水滴はその半径が小さいほどすぐ蒸発をしまい成長することができません。このため雲粒へと成長をするためには過飽和な状態である必要があります。大気が清浄であるとして、水蒸気のみで凝結して雲粒になるためには、湿度が 300 ~ 400% である必要があることが知られています。しかしながら現実の大気ではそのような湿度になることはありません。大気中にはエアロゾルと呼ばれる微粒子が存在しています。エアロゾルには海から発生する海塩粒子や黄砂などの鉱物粒子や土壌粒子などの自然起源によるものと自動車や工場などの排ガスなど人間活動に伴う人為起源のものがあります。これらエアロゾルが核となることにより湿度が 101% 以下でも雲粒に成長することができます。このように雲ができるためには上昇流だけでなくエアロゾルの存在も必要不可欠です。



2. 雲にはどんな種類がある？

雲の形には、刷毛で描いたような巻(絹)雲、べったり広がった層雲、かたまりのような積雲があります。これらの雲ができる高さを対流圏上層(5～13km 付近)、中層(2～7km 付近)、下層(地面付近～2km 付近)に分け、それぞれの高さで雲の形と性質を入れて組み合わせ、10種類に分けるやり方があります。雲の形と雲のある高さの組み合わせで分けるこのやり方は、十種雲級(十種雲形)といい、国際的に決められています。上層には巻雲、巻積雲、巻層雲、中層には高積雲、高層雲、下層には層雲、積雲、層積雲があり、また、いろいろな高さに、またがっている乱層雲、積乱雲があります。



3. どうして雲は浮かんでいられる？



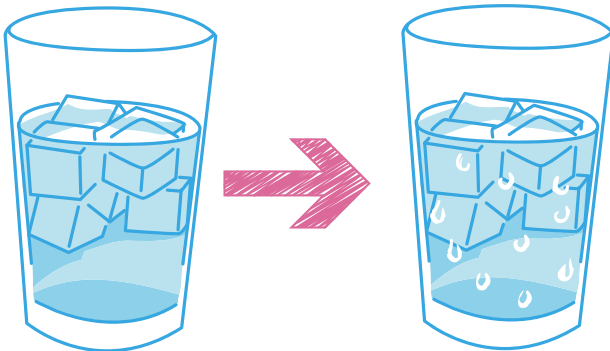
「それでも地球は動いている」といった中世イタリアの科学者ガリレオ・ガリレイは、トスカーナ州にあるピサ市の斜塔から重いものと軽いものを落として、落下は物体の重さによらないという落体の法則を発見しました。それが正しいと



すると、雲を作る微小な水滴は、鉄でできたパチンコ玉と同じ速さで落下しなければならず、雲は浮かんでいられないはずで、物理法則は万物に適用されますので、雲粒も例外ではありません。しかし実際空を見上げると、雲は浮かんでいるように見えます。「雲が空に浮かんでいる。」これは正しいともいえますし、間違っているともいえます。水は水蒸気という気体の状態では軽くて浮かび上がろうとする性質があります。それが雲粒という水滴になった途端に落下を始めます。しかしその大きさは0.01 mm ぐらいと小さいので、空気の抵抗を受けて速く落下することができません。ガリレオの落体の法則はこの空気抵抗を無視したときにはじめて成り立つので、空気抵抗が大きく作用する雲粒については、小さいほどゆっくり落下します。さらに雲の中は上昇気流があって、それによって持ち上げられてしまいます。その上昇気流に打ち勝ってはじめて雲粒は落下することができるのです。その意味で雲は浮かんでいるわけではありません。空に浮かんでいる積雲を見ると雲の底が平らになっています。これは上昇気流で持ち上げられた水蒸気が高さで雲粒になるからです。この高さを雲底といいます。一方、落下してきた雲粒は、雲底の下に達すると、周りの空気が乾いているので蒸発してしまいます。その結果、雲底の下に雲が延びることができません。この雲底での雲粒の生成消滅の結果、雲底は同じ高さにとどまり続けます。すなわち、その意味で雲は浮かんでいるのです。

4. 気温の変化によって相対湿度は変わる？

密閉容器に液体の水を入れておくと水面から水分子が飛び出し（水が蒸発し）、徐々に空間に含まれる水蒸気量（水分子の数）が増加し、水面から飛び出す水分子の数と空間から水面に飛び込む水分子の数が釣り合うようになります。このときの水蒸気量を水に対する平衡（または水飽和）水蒸気量といいます。水に対する飽和水蒸気量は温度だけでできまり、温度 20℃における飽和水蒸気量は 1m³ 当たり 17.31g、0℃では 4.85g です。一般的にはこの水飽和水蒸気量に対する実際に大気に含まれる水蒸気量の割合を相対湿度と呼び、大気中に水飽和水蒸気量と同じだけの水蒸気が含まれている場合を相対湿度 100%、水飽和水蒸気量の半分の水蒸気が含まれる場合を相対湿度 50% といいます。水蒸気を含んだ空気の温度が下がると相対湿度が高くなり、温度が上がると相対湿度は低くなります。寒い冬に、暖房で室温が上がると空気が乾燥しますね。加湿しながら暖房すると窓ガラスの内側に結露するのは、水蒸気を含んだ室内の暖かい空気が急に冷やされて相対湿度が 100% を超えるからです。



グラスに氷を入れると、グラスの表面温度も下がります。それに接する空気の温度も急に下がり相対湿度が 100% を超えるので、余分な水蒸気がグラスの表面に結露します。

5. 飛行機雲はどうやってできる？

気温 -40°C 以下の上空で主にジェット機のエンジンから排出される高温の水蒸気が一気に冷却された結果、無数の微水滴が生成され瞬時に凍結し、青空に微小な氷粒（氷晶）からなる真っ白な飛行機雲ができます。上空が乾燥していれば、これらの氷晶は発生後まもなく昇華蒸発して飛行機雲が長く尾を引いたり、太くなったり濃くなって発達することはありません。しかし、地球上には氷に対して過飽和になっている、即ち水蒸気が豊富な空間がよく見られるため、そこでは飛行機雲が発達します。



6. 積雲はどうやってできる？

青空に浮かぶ、わた状の白い雲は、みなさんよく目にする機会があるかと思います。積雲と呼ばれるこの雲の高さは2km以下にあり、通常は夕方頃になると消えてしまいます。

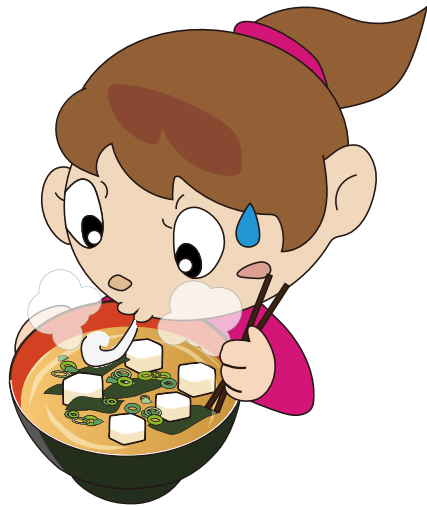
晴れた日の日中には、日射によって地面が温められ、地面近くの空気が対流により鉛直方向によくかき混ぜられます。そうすると、地面近くの水蒸気が対流により上空へと運ばれ、上空で冷やされた水蒸気が凝結して水滴になります。これらの水滴が積雲になります。より多くの水蒸気が存在する場合や、上空に冷たい空気が存在する場合、対流活動はより活発となり雲頂高度も高くなります。そうすると、積雲から積乱雲へと発達し、大雨や雷をもたらす夏の夕立などの現象が発生します。



7. 大気が不安定になるのはなぜ？



食事のときに一緒に食べるお味噌汁を思い出してください。お椀についだお味噌汁を静かに置いておいて、しばらくすると味噌がわき上がったり沈み込んだりする様子がみられます。これは“対流”と呼ばれ、お味噌汁の上部が冷やされて重くなったお汁が沈み込み、下の温かいお汁がわき上がることで起こります。このように対流が起こる状態を不安定とよび、大気中でも同じような運動が起こり



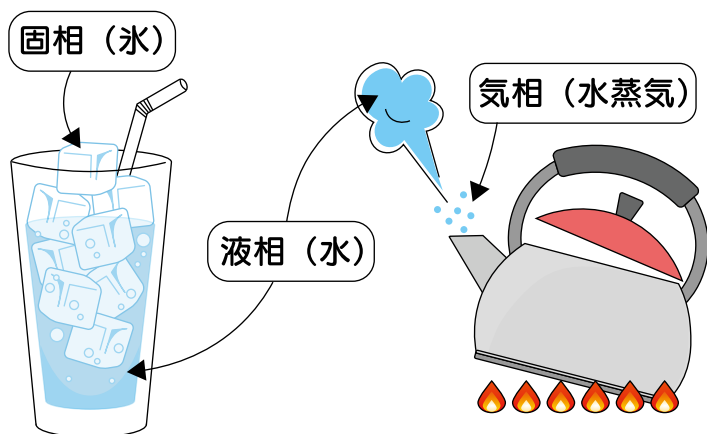
ます。たとえば夏の暑い日、太陽によって地表面が暖められ、熱い地面に接した大気が暖められると、対流が発生します。これは大気の下層が不安定になるからです。ところがこのような不安定はすぐに解消されてしまうので、雷雨をもたらす発達した積乱雲を発生させるような不安定にはなりません。積乱雲が発生し雷雨となるためには、大気の下層に多量の水蒸気が流れ込むことが必要です。さらに上空に冷たい空気が流れ込むと不安定はいっそう大きくなります。水蒸気はいうまでもなく積乱雲や大雨のもととなる“水”ですが、それだけではなく水蒸気が雲になるときに多量の熱を発生して大気を暖める“熱”エネルギーでもあるのです。このため大気の下層に多量の水蒸気がある状態は、発達した積乱雲を発生させる熱エネルギーが多量に大気の下層にあることとなります。このような状態を上記の不安定と区別して“対流不安定”とよび、雷雲の発生などの大気的不安定をもたらす最も大きな要因となります。

8. 水の不思議



水には気相（水蒸気）、液相（水）、固相（氷）の3相があり、ある相から他の相に移ることを相変化といいます。水蒸気は目に見えない無色無臭の気体です。沸騰するやかんから噴き出す白い湯気は水蒸気ではなく、水蒸気が周囲の空気で冷やされてできた微小な液体の水（微水滴）です。

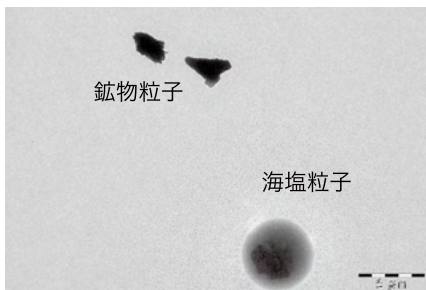
水の気相から液相への変化を凝結、その逆を蒸発とよびます。気相と固相の間の相変化は昇華と呼ばれますが、特に気相から固相への変化を昇華凝結、その逆を昇華蒸発と呼ぶこともあります。液相から固相への変化は凍結、その逆は融解と呼ばれます。水は常温でいずれの相もとることができる極めて特殊な物質で、気象学では水の相変化が重要です。水の相変化が地球大気的环境下で容易に起こるため、海面や地面から蒸発した水は水蒸気として大気中に取り込まれ、上昇気流で雲を生成、雨・雪として地面に到達し、一部分は地下水として蓄えられ、一部分は河川に流れ込み海に戻ります。このように、水は相変化を通して地球上で循環・再配分されると同時に、そのときに吸収・放出する熱（潜熱）によって、地球上の熱（エネルギー）の再配分にも大きな役割を果たしています。



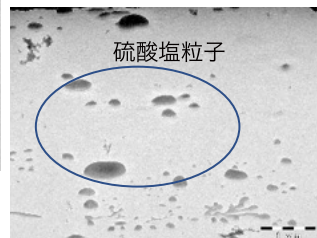
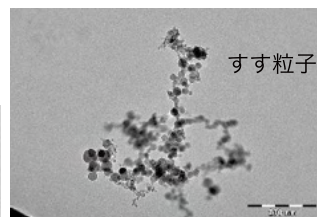
9. エアロゾルって何？



大気中に浮遊している大きさが $0.001 \sim 100 \mu\text{m}$ 程度の固体や液体の微粒子をエアロゾル粒子と呼び、比較的安定して空気中に浮遊し存在している状態をエアロゾルといいます。(ただし、雲を構成する液体の水や氷からできている微粒子は含みません)。成因別に見ると、海水の飛沫からできる海塩粒子や、地面から巻き上げられた土壌粒子、大気中の微量気体の化学反応や光化学反応によって生成される硫酸アンモニウム粒子、硫酸粒子、硝酸ナトリウム粒子などがあります。その個数濃度は一般的に海洋上で 1 cm^3 当たり数 100 個程度、都市域で数 10 万個程度です。個数濃度が高くなると光がエアロゾル粒子により散乱されるため遠くが霞んで見えるようになります。空気塊が上昇気流で持ち上げられ雲を作るとき、エアロゾル粒子の一部は核（雲凝結核）となって雲を構成する微水滴の生成を助けます。大気中にエアロゾルが存在しない場合には、雲が生成するのに $300 \sim 400 \%$ の高い相対湿度が必要ですが、実際には比較的高濃度のエアロゾルが存在するので相対湿度 100% を超えるとすぐに雲が生成します。雲の中の気温が -5°C を下回ると、水に融けないエアロゾル粒子が核（氷晶核）として働き、徐々に氷粒子が生成されます。



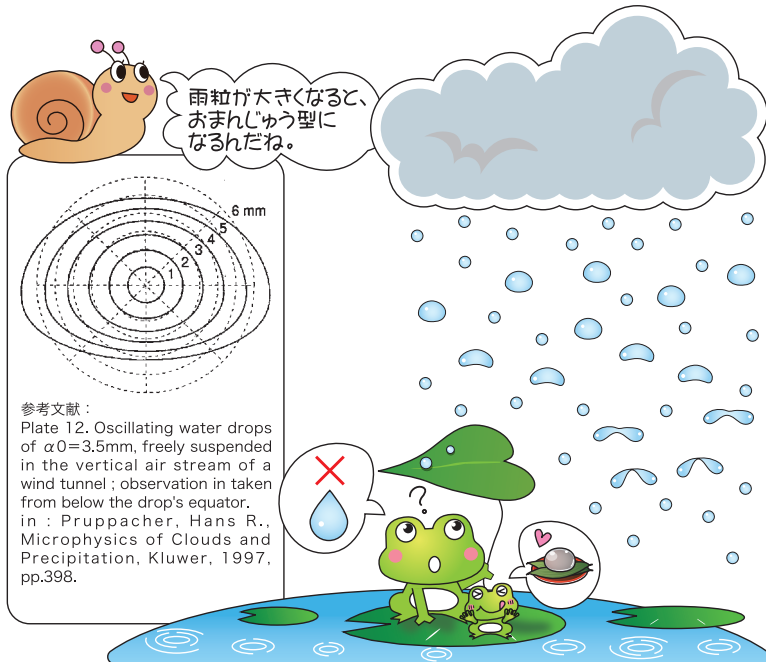
撮影：気象研究所 財前祐二 博士



10. 雨粒の大きさってどのくらい？

雨粒の大きさ（直径）は、およそ 0.5 mm から数 mm くらいです。降っている雨では小さいサイズの雨粒の数が多く、サイズが大きくなるにつれて急激に数が減ってきます。また、雨粒の形状は小さい雨粒ではほぼ球形をしています。大きな粒子では空気抵抗により、つぶれた形（おまんじゅうのような形）になります。また雨粒の落ちる速度も、大きさに応じて速くなります。

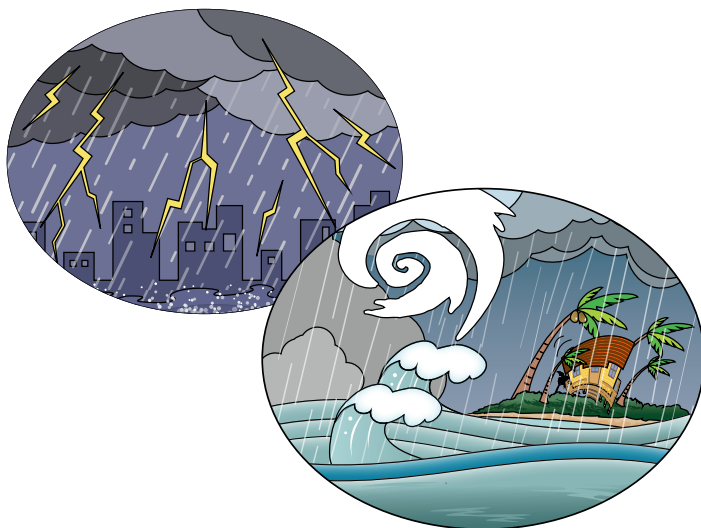
雨粒の代表的な大きさは、降水をもたらす雲のタイプや降水の素となる雲粒を形成するために必要となるエアロゾル（大気中の塵）の多さなどに依存しています。人工衛星の観測では、陸上と海上の雨での代表的な雨粒の大きさに明確な差が現れています。陸上では、比較的大きな雨粒が多く、海上では比較的小さな雨粒が多くなっています。



11. 雨量の世界記録は？

ひとくちに雨量といっても、「3時間雨量」「24時間雨量」など、いろいろあります。これらのさまざまな時間スケールの最大雨量について、木口・沖*が2010年に水文・水資源学会誌 第23巻 第3号で発表した学術論文「世界・日本における雨量極値記録」の中で、再評価してまとめています。たとえば、最大60分降水量については、1975年7月3日に、中国の内モンゴル自治区で401mm降ったとしています。観測された3時間降水量の最大値は、アメリカのペンシルバニア州で1942年7月18日に雷雨と前線によってもたらされた724mmです。24時間雨量の最大値は、インド洋レユニオン島の熱帯低気圧に伴う1825mmです。ただし、降水は局地性が高い上に、各地点で観測期間がさまざまです。しかも、場所や時代によって観測間隔も異なることから、解釈には注意が必要で、木口・沖も、時空間スケールを考慮した豪雨システムに着目すべきであるとしています。

*参考文献 木口雅司、沖大幹、世界・日本における雨量極値記録。
水文・水資源学会誌、23(3)、231-247、2010年。



12. 梅雨前線って何？

日本などの東アジアの国では春から夏へ移り変わるときに「梅雨（ばいう、つゆ）」という雨の多い季節があります。この言葉は梅の実が実る時期の雨ということから名づけられました。そして、「梅雨が明ける」と夏がやってきます。梅雨明けのニュースはふつう南の沖縄から始まり北上して行きます。このようなことから、梅雨で雨が降っているところ（地域）が南からだんだん北へと進んでゆくことが想像できます。

さて、梅雨はどうして起こるのでしょうか？天気図を見たことがあれば、梅雨は停滞前線という記号で表されています。前線というからには、何かの境界です（例えば、桜前線は桜の開花が北上するときの先端部分をいいます。気象学で使われる寒冷前線や温暖前線は温度の異なる気団の境界を示しています）。梅雨前線は、気温の境界というよりは、水蒸気の境界という性格が強いことが知られています。梅雨前線の南ではすでに夏の気候ですから非常に多くの水蒸気を含んでいますが、北側では乾いてやや冷たい気候がありますので、その境界で雨が作られるのです。もう少し専門的にいいますと、夏に向かって太平洋高気圧（小笠原高気圧ともいいます）が発達する一方で、北側にはオホーツク高気圧があり、その境界が梅雨前線となっています。梅雨前線は大きなスケールでは、東アジアモンスーンを特徴づけるものです。梅雨の初期には、いわゆる「しとしと雨」が多いですが、梅雨末期には災害をもたらすような豪雨が発生することが多いので梅雨明け前は注意が必要です。



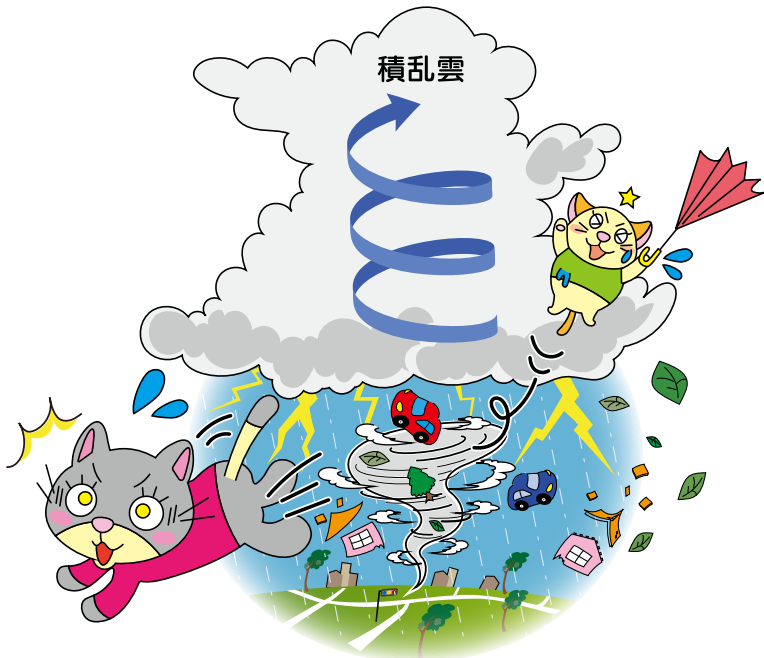
13.ゲリラ豪雨とは？

急激に発達した積乱雲からもたらされる局所的に激しい雨が降る現象の通称です（気象庁の用語には、この言葉はありません）。突然、大雨に見舞われることから、このようなネーミングが一般に使われるようになりました。ゲリラ豪雨は短時間に局所的に大雨をもたらしたり、中小河川での急激な増水やアンダーパスや地下街への浸水被害などが起こるため、予測する技術が求められています。既存の観測や数値モデルでは予測が難しい状況です。予測の改良のためには、積乱雲の立体構造を素早く観測する技術と精度のよい数値モデルの開発が必要です。前者については、フェーズドアレイ気象レーダー（Phased array weather radar: PAWR）の出現により、大きく進展しています。また、レーダーによる短い時間間隔のデータをモデルに取り入れることにより、予測精度を上げる取り組みがおこなわれています。



14. 竜巻はどうして発生する？

竜巻は発達した積乱雲からもたらされる漏斗状の雲のことであり、その内部では非常に速い回転の渦が存在しています。竜巻の直径は200m程度から2～3kmと幅があり、風速も数十mに達します。竜巻は、その速い風速により、大きな被害をもたらすことが知られています。竜巻の強さは、被害の大きさから風速を推定して求めています（藤田スケール）。竜巻（漏斗雲）が発生するメカニズムについては、わかっていないことが多いですが、多くの竜巻発生事例では渦を作りやすい環境（即ち、渦を生成しやすい気流の変化や高さ方向の風向風速の変化）を持っています。そのため積乱雲内では直径が数kmのメソサイクロンと呼ばれる渦が存在し、さらに渦が集中する、または、地表面付近の小さい渦が持ち上がることにより、竜巻になると考えられています。



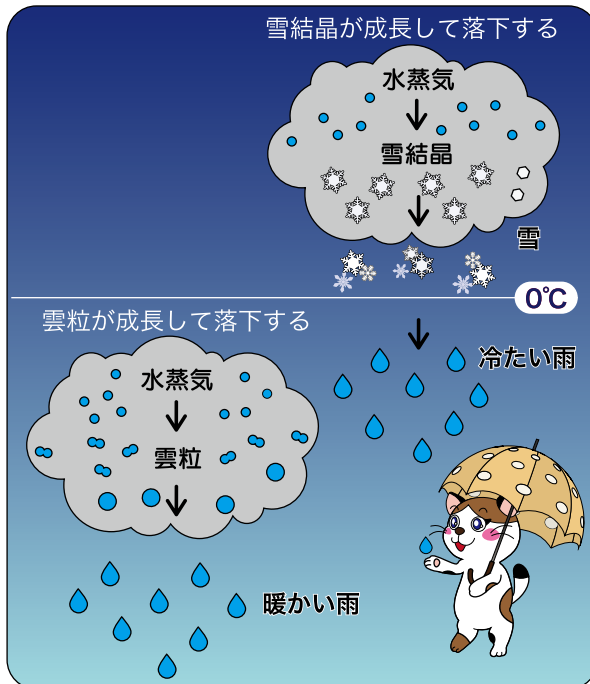
15. 雲が並んで大雨を降らす線状降水帯とは？

線状降水帯は積乱雲が帯状に並び、ほぼ同じ場所で大雨が降り続くことで、しばしば豪雨災害を引き起こします。なぜ、このように積乱雲は帯状に並ぶのでしょうか？風が高さ方向に同じ向きで、ほぼ一定の強さで吹いている場合、下層の上昇流によって積乱雲が発生し発達しても、降水として地上へ水滴が落ちるときに発生する下降流によって積乱雲が消滅してしまいます。しかし、例えば風が上空ほど強い場合、上昇流によって積乱雲が発生した後、上空の強い風に流されるため、降水によって下降流が発生している地点は、積乱雲が発生した地点と異なります。そのため、ほぼ同じ場所で次々と積乱雲が発生することができます。このような線状降水帯はバックビルディング型といわれ、典型的な線状降水帯の1つです。線状降水帯が発生するための条件として、風が鉛直方向に変化していること以外にも、暖かく湿った空気が大気下層に流れ込み続けていること、対流が起こりやすい大気の成層であることなどがあげられます。



16. 暖かい雨・冷たい雨って何？

まず、雲は水蒸気の凝結によって作られますが、 0°C よりも十分気温が低い場合には昇華といって雪になります。雲粒は、そのまま凝結を続けたり、ぶつかり合っていたりして徐々に大きな雨粒へと成長します。雨が作られる時に氷にならずに雨として降ってくる時に暖かい雨と呼んでいます。一方で、 0°C よりも気温が低いところで雪結晶として作られたものが、大きくなり落下してきて 0°C よりも暖かいところに到達すると雪が融けて液体の雨となります。このような雨を冷たい雨と呼んでいます。私たちの住んでいる温帯では、多くの雨が冷たい雨であることが多いとされています。例えば、霰みぞれは地上気温が 0°C よりやや高く融けかけた雪が降ってきていますし、雹ひょうは上空で作られた氷が大きく成長したため、地上が 0°C よりも十分高くても融けずに氷として降ってきています。



17.人工降雨とは？

自然の雲にヨウ化銀（Agl）やドライアイスなどの物質を散布することをシーディング（種まき）と呼び、シーディングにより自然の雲から雨や雪を降らせることを人工降雨・人工降雪・降水調節などと呼びます。地上気温が低く雪やあられの形で降ってくる場合を便宜的に人工降雪と呼び、地上に雨が降る人工降雨と区別することもあります。より広義に霧・雲・降水等を人為的に変えることを「気象改変」または「気象調節」と呼びますが、人工降雨は自然の状態を改変しようとする人間の試みの最も代表的なものです。気象改変には、増雨・増雪を目的としたいわゆる人工降雨・降雪のほかに、農作物や都市部の建築物・自動車等に大きな被害を与える雹^{ひょう}の粒径を小さくすることを狙った降雹抑制、霧による空港の滑走路や高速道路の視程障害を改善することを狙った霧消し、集中豪雨・豪雪の緩和、台風抑制、などがあげられます。もっと時空間的に大きなスケールでは、炭酸ガスの増加に伴う地球温暖化を抑制するためのジオエンジニアリング（意図的気候改変）の議論も最近にわかに注目を集めています。



18.人工降雨の原理

戦後まもなく米国で始まった科学的根拠に基づく人工降雨は、現在までに世界気象機関（WMO）に報告されているだけでも約50ヶ国において、毎年100件以上のプロジェクトが実施されています。雨や雪は過冷却した雲の中に氷晶が発生し、それが成長してできる（冷たい雨）か、氷晶の存在しない雲では、大粒の雲粒がより小さな雲粒を捕捉することにより成長する（暖かい雨）かのいずれかです。十分な数の氷晶や大粒の雲粒を含まない雲からは、雨や雪は降りにくくなっています。降っても少量です。そのような雲の中にドライアイスやヨウ化銀を撒いて氷晶を発生させるか、微水滴やマイクロサイズの吸湿性粒子を撒いて大粒の雲粒を発生させれば人工的に雨や雪を降らすことができます。人工降雨に適した雲では、種まきにより、平均的には10～15%の増雨増雪の効果があると考えられていますが、自然の降水が時間的にも空間的にも大きく変動しているため統計的に人工降雨の効果を実証できない場合が多いのが、人工降雨の最大の問題点でした。しかし、最近の雲の数値モデル

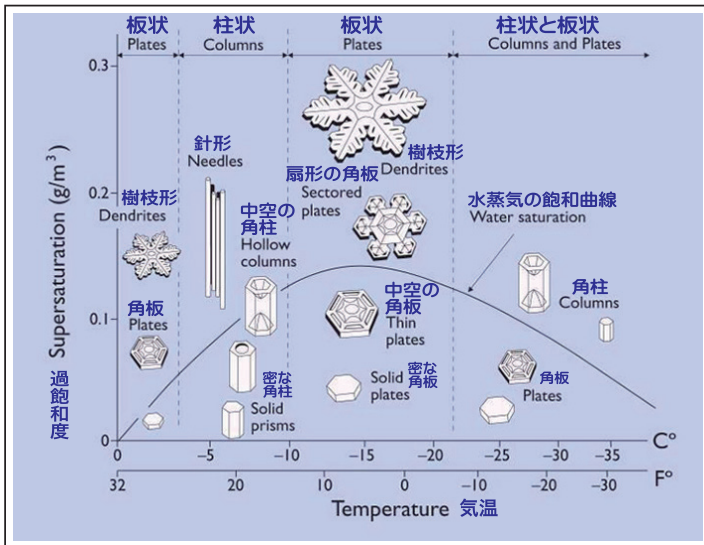
の目覚ましい発展によって、種まきをしたときとしないときの雲の振舞いを十分な精度で予測することが可能になってきたので、人工降雨の効果がより正確に評価されると期待されています。



19.「雪は天からの手紙」ってどんな意味？

これは、世界で初めて人工的に雪結晶を作ること成功した中谷宇吉郎博士の言葉です。中谷博士は、雪結晶が気温と水蒸気の過飽和度により変化することを明らかにしました。そのため、地上で観測した雪結晶を見ると、どのような環境条件で雪結晶ができたかわかるという意味で「天からの手紙」としています。

氷晶の形状と発生条件（中谷ダイヤグラム）



© Libbrecht, Kenneth George., The Snowflake : winter's secret beauty. MBI Publishing Company, 2003, pp.45.

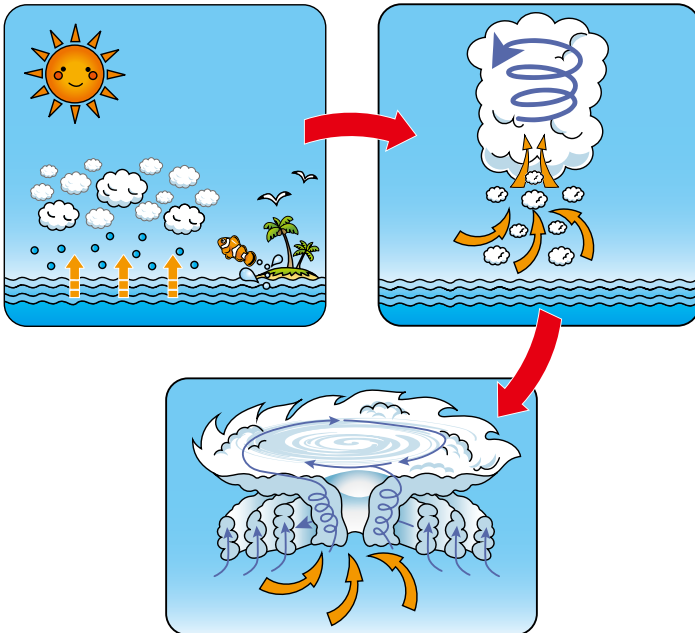




20. 台風はどうやってできるの？

そもそも台風とは何でしょう？ 気象庁のホームページによると、台風とは「北西太平洋に存在する熱帯低気圧のうち、低気圧域内の最大風速が約 17m 毎秒以上にまで発達したものを指す」とあります。熱帯低気圧は、海域別に異なる呼び名を持っていて、たとえば北大西洋の熱帯低気圧は「ハリケーン」と呼ばれます。

熱帯低気圧の動力源は水蒸気が雲になるときのエネルギーです。したがって、水蒸気を豊富に供給してくれる暖かい海（海面水温 26℃以上）で生まれます。雲の群れが発達すると、そこに向かって風が吹き込むようになります。これに「ちからコリオリの力」という地球自転による見かけの力が働いて渦を巻くようになります。コリオリの力は、北半球では進行方向右へ働き、高緯度ほど大きく赤道ではゼロ0です。海がいくら暖かくても赤道上で台風ができないのはそのためです。



21. 台風はどこで生まれるの？

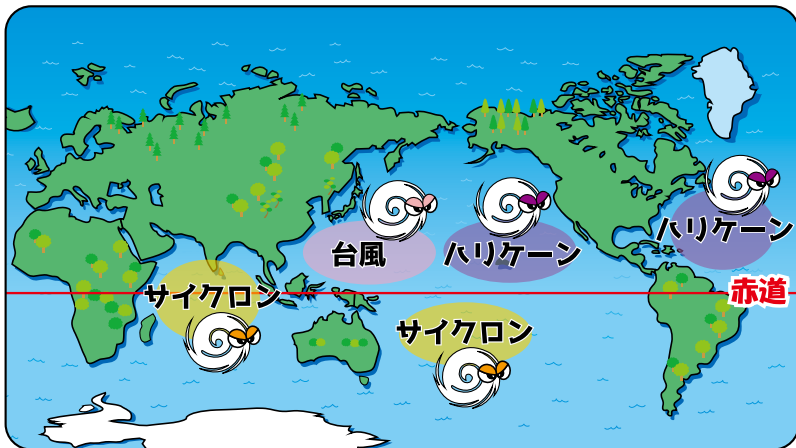
東経 180 度より西側の北西太平洋で発生した熱帯低気圧のうち、中心付近の最大風速が約 17m 毎秒以上になったものが「台風」と呼ばれています。

水温が 26.5℃以上の暖かい海の上で、台風を構成するひとつひとつの雲（積雲）がよく発生します。この雲を集めて数百 km の大きな渦にする流れが大気の下層にあるところで、台風は生まれます。赤道から北に少し（緯度にして 5 度以上）離れた熱帯の海の上がこの条件をよく満たすので、台風が生まれやすくなります。近年では、中緯度でも海水温が暖かくなってきていることが台風の雲を作りやすくし、以前よりも北よりの緯度で台風が生まれやすくなっています。



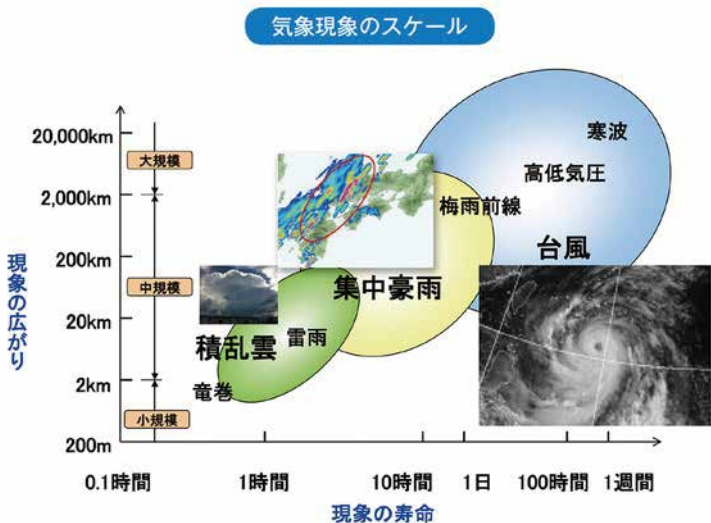
22. 台風とハリケーンは何が違う？

台風は北太平洋西部と南シナ海で発生する地上風速 34 ノット（約 17m 毎秒）を超える熱帯低気圧です。そのような熱帯低気圧は地球上のどこでも発生するわけではなく、北太平洋西部の他に北太平洋東部と北大西洋にも発生します。この地域で発生する熱帯低気圧をハリケーンとよびます。その他にインド洋やベンガル湾、南太平洋西部で発生するものをサイクロンと呼びます。これらはすべて熱帯低気圧という点で同じで、発生する地域によって呼び方が違うだけです。そのため例えばハリケーンが日付変更線を越えて、東太平洋から西太平洋に入ると台風と呼ばれるようになります。2019 年の台風第 1 号は南シナ海で発生し、その後、マレー半島を越えてベンガル湾に入ったのでサイクロンと呼ばれるようになりました。このように台風、ハリケーン、サイクロンは発生する地域による呼び方の違いで、どれも発達した熱帯低気圧です。そしてこれらのうち、北太平洋西部に発生する台風が、最も発生数が多く、最も強い熱帯低気圧です。



23. 台風の寿命と大きさはどうやって決まる？

地球上でみられる大気中の気象現象、例えば「渦^{うず}」には大きさによって、できてから消えてなくなるまでの時間＝寿命が変わります。その寿命は水平にどのくらい広がっているかの大きさとの関係があります。竜巻のような水平数 100m の渦は数十分くらい、台風のような水平数 100km の渦は 1 週間くらいです。渦だけでなく他の気象現象もやはり大きさと寿命が関係しています。数 km の広がりをもつ夏の急な夕立やにわか雨は数時間くらい、時に洪水被害を引き起こすような集中豪雨となる線状に分布した激しい雨は数十 km の広がりです。数時間から数十時間続きます。



個々の気象現象の広がりを捉えるためには、それぞれに最適な観測手段と予測技術の利用・開発が必要です

出典：気象庁ホームページ

<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/hakusho/2016/index1.html#toc-004>

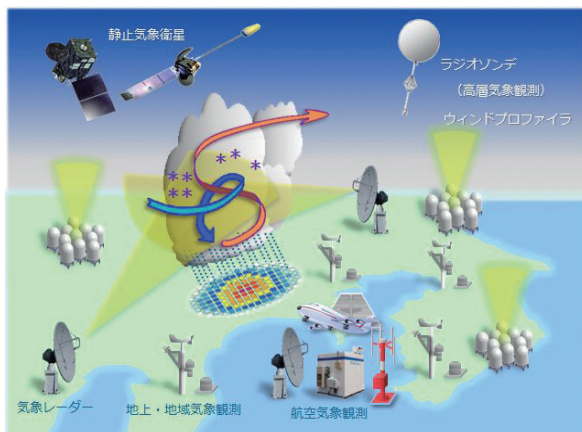
24. 台風の原因はなぜ気圧が低い？

地上の気圧というのは、地上から大気上端までの空気の総質量によってもたらされます。たとえば 1000 ヘクトパスカルの地上気圧は、 1m^2 あたりの地面の上に約 10 トンの空気が乗っていることになります。高気圧が移動してきて、地上気圧が 1030 ヘクトパスカルになったとすると、頭の上に 1m^2 あたり 300kg の空気が増えたことになります。そんな重たいものが頭の上に乗るといわれると、なんだか押しつぶされそうな気がします。そのようなことはないのご安心ください。さて、空気は暖められると軽くなります。地上の上に暖かい空気、すなわち軽い空気が多いほど、その総質量は小さくなり、地上の気圧が低くなります。台風の中心にある眼のなかは、高度数 km から上空数 10km まで暖かい空気が形成されます。これを「暖気核」といいます。つまり眼のなかは軽い空気です。実際に、私たちが飛行機で台風の眼の中に入ったとき、気温が 10°C 以上上昇することを経験しました。台風の気圧が低いのは、中心に暖気核があるからです。そしてこの暖気核が発達すればするほど、台風の中心気圧は低くなり強い台風となります。



25. 台風の強度はどうやって測る？

台風は海上で発生するので、観測点がほとんどありません。また台風周辺は暴風によって海は激しく荒れていて、船で観測することは不可能です。1987年までは米軍が飛行機で直接台風を観測していたので、台風の中心気圧や最大地上風速などの強度を知ることができました。しかし、それ以降は直接の観測がありません。それでは台風の強度はどのようにしてわかるのでしょうか？現在は海上にある台風の強度を気象衛星から推定しています。気象衛星の発達により、台風は発達とともに特徴的な雲パターンを示すことがわかってきました。この雲パターンと中心気圧や最大地上風速とを関係づけて、台風の強度を推定します。これはドボラック法と呼ばれ、日本も米国もこの方法によって台風の強度を推定しています。近年は気象衛星のさまざまな観測装置も利用され、その精度が改善されていますが、それでも非常に強い台風になると誤差が大きくなります。強い台風では10ヘクトパスカルぐらいの誤差があると思ってよいでしょう。沖縄の南西諸島や日本本土に近づいた台風については、近年、レーダー観測から中心気圧や最大地上風速を推定するという方法も開発されつつあります。しかし台風は陸から遠くで発生・発達するので、その強度を正確に知るためにはやはり航空機を用いた直接観測が必要となります。



出典：気象庁 https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kansoku/weather_obs.html

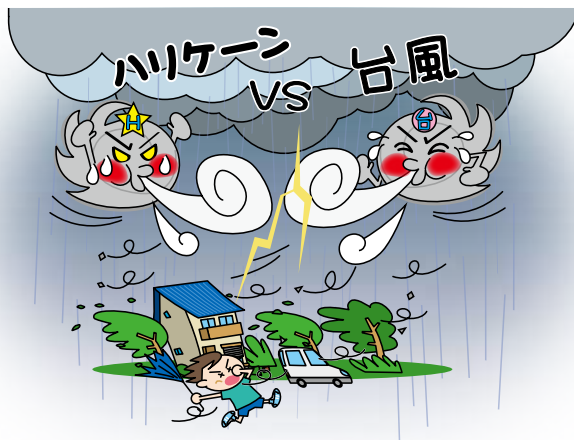
26. 台風にはなぜ眼ができるの？

台風のまわりを反時計回り円周方向に流れる風は、地表面近くでは少しずつ中心に近づいていきます。それとともに円周方向の風速は大きくなり、その風にはたらく遠心力が大きくなります。この遠心力は中心に近づくと急速に大きくなり、空気はある半径の位置から中心に近づくことができなくなります。行き場をなくした空気は、台風を中心を取り巻くように上昇します。この上昇気流がドーナツ状に雲を形成します。この雲は壁のようにそそり立つので、眼の壁雲と呼ばれます。その内側ではほとんど風が吹いておらず、その領域を台風の眼と呼びます。さらに発達する台風では眼のなかでは、ゆるやかな下降気流が起こります。下降気流は空気を暖める性質があるので、雲は蒸発してしまい、眼の中はほとんど雲がなくなります。このようにして台風を中心には眼が形成されます。



27.最も強い台風って？

台風が近づくと各テレビ局は、その実況中継をします。そのとき台風の暴風のすごさを伝えようと、「ハリケーンのような台風の暴風です」のようにいうことがあります。これは台風よりハリケーンのほうがより強いという印象があるからだと思いますが、実は最も強い台風はハリケーンよりも強いのです。さらにいえば台風は地球上に発生する、ハリケーンやサイクロンなどの熱帯低気圧のなかで、最も強い熱帯低気圧なのです。これまで記録が残っている台風で最も低い中心気圧を記録したのは、1979年10月に発生した台風ティップ (TIP)、第20号です。ティップは12日の15時に中心気圧870ヘクトパスカルという信じがたいほど低い気圧を記録しています。このときの最大地上風速は約72m毎秒でした。まさに地球上最強のスーパー台風です。中心気圧が870ヘクトパスカルということは、台風の中心では地上から高度1300mまでの空気を取り去ったこととなります。ティップは10月9日の中心気圧が990ヘクトパスカルだったので、わずか3日ほどで120ヘクトパスカルも気圧が低下したことになります。このような急速に発達する台風がスーパー台風になります。台風ティップはその後10月19日に和歌山県白浜町付近に上陸し本州を縦断しました。これにより115人の犠牲者がでました。



28. 台風はどうやって移動するの？

小川の流れをよく見てみると、その中にできた渦が川の流れによって、移動していく様子が見られます。台風の移動も基本的にはこれと同じで、大気中の大きな流れによって流されることで台風は移動します。大きな流れの主なものは、太平洋高気圧の周辺を流れる時計回りの風で、低緯度では東風によって西に移動し、太平洋高気圧の西端で北向きに転向し、その後、偏西風に乗って東に移動します。特別な例として2016年は太平洋高気圧が本州の東に退いていたため、3個の台風が北海道に太平洋側から上陸するということが起こりました。さらにときどき太平洋高気圧と大陸側の高気圧の間にはさまれ、台風を流す風が弱くなり、ほとんど停滞する台風があります。2018年の台風チャーミー（第24号）は沖縄本島の南で4～5日間も停滞しました。このように台風の移動は大きな大気の流れで移動するのですが、実は台風自身でも少し移動することができます。また台風が周辺の高気圧の強さに影響することもあり、さらに大規模な流れも時間とともに変わりますので、台風の進路予測は難しいものになります。



29. 台風には名前がついている？

すべての台風には、国際的に通じる名前（国際名）がついています。2017年に東海地方に大規模停電をもたらした第21号はラン、2018年に関西国際空港や大阪に大きな被害をもたらした第21号はチャービーという名前です。台風には名前がついているわけは、これらの例にみられるように同じ番号の台風が大きな災害をもたらすことがあり、番号で呼んでいると、どの台風だったか混乱しやすくなるからです。また、名前を付けることで、災害をもたらした台風の記憶を残しやすくなります。さらに台風何号という番号は日本のなかだけで通じるいい方で、たとえば米国の気象機関が数える台風の数と日本の気象庁の台風の数とは異なります。そのため日本でいう台風21号は、米国では台風25号だったりして混乱します。台風には名前を付けることでどの国からも同じ台風であることがわかります。以前は台風には人の名前が付けられていましたが、2000年からは東アジア地域などの国の加盟する組織である台風委員会が各国から出された名前を台風につけることにしました。現在、140の名前があがっていて、1番の「ダムレイ」（カンボジアの提案で象の意味）から順番に使われ、140番まで行くとまた1番に戻ります。このため台風は平均で1年に25～26個ほど発生するので、5～6年ごとに同じ名前が台風につけられます。ただ、2009年に台湾に大災害をもたらしたモラコットのような台風の名前は削除されることがあります。日本からは、コイヌ、ヤギ、ウサギ、カジキ、コンパス、トカゲなどあまり有名ではない星座の名前が提案されています。



30. 台風のと きになぜ竜巻が発生するの？

竜巻は英語ではトルネードといい、米国では毎年 1300 個ほど発生します。それに比べると日本での発生数は少ないように思われますが、1km²あたりの数にすると、米国の半分ぐらいの数になります。日本は竜巻の多い国なのです。日本の場合、竜巻の発生総数の約 5 分の 1 以上が台風に伴って発生します。すべての台風が竜巻を伴うわけではありませんが、台風の中には竜巻を伴うものが多くあります。竜巻の多くは台風の中心から数 100km も離れた東～北東側で多く発生します。1999 年 9 月 24 日には山口県付近を北東に進んでいた台風 18 号に伴い、愛知県豊橋市では藤田スケールで 3 つの竜巻が発生し大きな被害をもたらしました。このとき、豊川市と蒲郡市でも竜巻が発生しています。2006 年 9 月 17 日には、宮崎県延岡市で 3 名の死者を出した竜巻が発生しました。最近では 2019 年 9 月 22 日にやはり宮崎県延岡市で台風 17 号に伴い竜巻が発生し大きな被害が出ました。台風の中心の東側では多量の水蒸気が流れ込み、大気不安定になるので活発な積乱雲が多数発生します。なかにはスーパーセル積乱雲とよばれる危険な積乱雲も発生します。これらがしばしば竜巻をもたらします。台風は中心が遠くにあっても、竜巻による突風災害が発生することがあるので注意が必要です。



31. 台風でなぜ高潮が発生するの？

台風を中心付近は気圧が低いので、そのぶん海面が高くなろうとします。これは「吸い上げ効果」とよばれます。たとえば台風がやってきて、中心気圧が1000ヘクトパスカルから950ヘクトパスカルになるとすると、君の頭の上で1m²あたり空気が500kgほど減少したことになります。海の水はその分を補おうとして盛り上がるのですが、その重さを海水にすると1m²あたり50cmになります。つまり吸い上げ効果だけで海面は50cm高くなります。気圧が1ヘクトパスカル下がると、海面は1cm上昇するといえれば覚えやすくなります。この吸い上げ効果に加えて、台風の暴風雨で海水が海岸部に吹き寄せられることで海面が上昇します。これを「吹き寄せ効果」といいます。実際には吹き寄せ効果のほうが吸い上げ効果よりも大きく海面を上昇させます。1959年の伊勢湾台風では高潮が大きな災害をもたらしました。この高潮は観測史上最も高いもので、3.9mといわれています。ただし、これは東京湾の平均潮位を基準にしたもので、高潮が起こった名古屋港の基準水面から計ると、このときの高潮は5.3mとなります。これは2階建ての家の屋根に達するほどの高さでした。



32. 地球温暖化とともに台風はどうなる？

毎年のように地球の平均気温の記録が更新されており、地球の表面が暖かくなる地球温暖化が進んでいることは明らかです。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）も地球温暖化は明白であると、非常に強い表現で述べています。地球温暖化では気温が上昇するだけでなく、海の温度も上昇することがもう1つの大きな問題です。台風が発生する西太平洋の温度も上昇します。実際、気象庁の示すデータでは日本周辺の海面水温がこの100年で1度ほど上昇していることを示しています。台風はそのエネルギーのほとんどすべてを海から水蒸気という形で得ています。海の温度が上昇するとより多くの水蒸気が台風に与えられることになり、その結果、台風の強度はより強いものになります。すなわち地球温暖化が進むとそれだけ、台風の強度は強くなります。ただし、すべての台風が強くなるわけではありません。強い台風はより強くなりますが、弱い熱帯低気圧は台風になれなくなります。その結果、台風の最大強度はより大きくなりますが、台風の総数は温暖化とともに減少すると考えられています。さらに海面水温が上昇することで、スーパー台風などの台風がその勢力を維持して日本に接近する可能性があります。21世紀の後半にかけて、日本などの中緯度の地域における台風の災害はより激甚なものになるかもしれません。



33.9月26日は台風が上陸する日？

死者・行方不明者 5098 人という戦後最大の災害を出した伊勢湾台風が、和歌山県潮岬の西に上陸したのは 1959 年 9 月 26 日でした。その前年の 1958 年には狩野川台風が、9 月 26 日の 24 時ごろ神奈川県に上陸しました。この台風による死者・行方不明者は 1269 人でした。さらに年代をさかのぼって 1954 年には、函館と青森を結んでいた青函連絡船の洞爺丸をはじめとする多くの青函連絡船を遭難させた洞爺丸台風が、9 月 26 日に鹿児島県の大隅半島に上陸しています。この台風による死者・行方不明者は 1761 人で、そのうちの 1139 人が洞爺丸の乗員乗客でした。1953 年の死者・行方不明者 478 人を出した台風 13 号は 9 月 25 日、1966 年の 24 号に続いて 26 号は 9 月 25 日に静岡県御前崎に上陸（死者・行方不明者 317）などの例もあります。9 月 26 日は台風の特異日とよばれることがあります。この日そのものに特別な大気の状態があるわけではありません。1951～2018 年の 68 年間には、201 個の台風が日本に上陸しています。そのうちの 71 個が 8 月に、65 個が 9 月に上陸しています。つまり上陸する台風の 7 割弱がこのふた月に集中します。二百十日（9 月 1 日ごろ）や二百二十日（9 月 10 日ごろ）という雑節があるように、9 月は台風災害の多い月で、26 日はたまたま大災害をもたらした台風が上陸した日だったのです。大切なことは、9 月は台風災害の多い時期なので、特に台風に注意が必要だということです。





34. 雲はなぜ白い？ 空はなぜ青い？

太陽からの光が、直接、または物体に反射して目に達したときに、私たちは色を見ることができます。大気のない宇宙では太陽の光は白色に見え、それ以外の空間は反射するものがないため黒く見えます。



白色に見えるということはすべての色がほぼ等しく重なっていることを意味します。これに対して地球は大気があるため、空気の小さな粒（分子）や雲粒子などによってさまざまな方向に反射します。その結果、空を見上げると私たちは青い空や白い雲を見ることができます。

私たちに見える光の波長（可視光）は、およそ $0.4 \sim 0.7 \mu\text{m}$ ($1 \mu\text{m}$ は $1/1000\text{mm}$) です。これに対して大気分子の大きさは可視光の波長の約 $1/1000$ です。このように可視光の波長に対して物体の大きさが非常に小さいとき、波長の短い光（青）がぶつかって散乱しやすく波長の長い光（赤）はぶつかりにくい性質（レイリー散乱）があります。太陽光のうち大気分子によって青い光が散乱された結果、空が青く見えます。太陽高度が低い朝や夕方は太陽光が通過する大気がより長くなります。その結果青い光がより多く散乱し、波長が長い黄色や赤色が私たちの目に到達するので朝日や夕日は赤っぽく見えます。

これに対して雲粒の半径は $1 \sim 10 \mu\text{m}$ で可視光とほぼ同じかそれよりも大きいです。このような場合には波長による散乱の強さははっきりしなくなりすべての色が散乱します（ミー散乱）。また雲粒子は高い密度で存在しているので散乱を繰り返します（多重散乱）。その結果すべての色の光がほぼ等しく重なるため、雲は白く見えます。雲粒や雨粒によって光は散乱だけではなく吸収もされます。そのため雲の下の方は光があまり届かなくなり灰色もしくは黒く見えます。

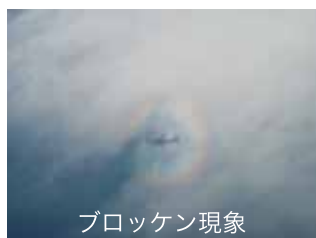
35. 夕焼けが見えると翌日は晴れるの？

日本付近の大きな大気の流れは、西から東へと流れています。そのため、天気は西から東へと変わっていきます。太陽が沈む西の空に夕焼けが見えるということは、太陽の光が通ってくる西の空の大気に雲がなく、晴れているということになります。この西の空にあった、大気が移動してくるので、次の日は晴れるといわれています。でもこれは、大きな大気の流れに流されて西からやってくる低気圧や高気圧が見られる春や秋の話で、台風がやってくるような季節では当てはまりません。



36.虹のような光の現象は、どんなものがある？

雨上がりの空に忽然と現れる美しいアーチには、誰しも目を奪われることでしょう。虹はもっとも身近な大気光学現象の1つですが、偶然のいたずらが織りなす不思議な光の現象は他にもたくさんあります。虹に似た現象としては、山頂や飛行機から時折みられるブロッケン現象（雲に映る自分自身の影を囲んで虹色の輪が出現する現象）、雲の一部が虹色に輝く彩雲などがあります。上空に絹のような薄い雲がかかる穏やかな日、太陽から22度または46度の角度のところに細い光の輪が見られることがあります。これは暈（かさ）と呼ばれる現象で、氷晶という凍った雲粒の結晶がプリズムの役割を果たして現れます。一風変わった例として、日没の直前に太陽から届く最後の光が一瞬緑色に輝くグリーンフラッシュという現象があります。さまざまな条件が揃った時にのみ現れる極めて希なできごとのため、一部の地域ではグリーンフラッシュを見た人は幸せになれると伝えられています。



撮影：坪木和久 名古屋大学宇宙地球環境研究所教授
2013年6月8日 沖縄県多良間島にて



撮影：G. Lombardi (ESO フォトアンバサダー)
2011年3月28日 チリのアタカマ砂漠にある
標高2600メートルの山、セロバラナルから

37. 雷の電気はどこでできるの？



雷は雲の中で正の電荷（電気）と負の電荷（電気）が蓄えられ、蓄積した電荷を中和するための放電現象として発生します。これらの電荷の担い手というのは、主に霰と氷晶の粒子だと考えられており、もともと電氣的に中性な霰や氷晶の電荷が、どのようにして正や負に分離するのかについては複数の説が存在します。現在、最も有力なのは着氷電荷分離機構（Takahashi, 1978*）といわれています。その説によると、積乱雲を形成する粒子は上昇流や下降流、自身の重さによって鉛直方向に大きく移動し、霰と氷晶が衝突すると電氣的分離が起こります。どちらか一方が正、他方が負に帯電するのですが、それぞれどちらの粒子が正と負の電荷を獲得するのは、衝突した時の周囲の環境に依存します。一般的な環境では気温 -10°C より高温で霰が正、低温で負となり氷晶はその逆になります。そして、大きくて重い霰は下層に、小さくて軽い氷晶は上層に、雷雲内で鉛直方向に振り分けられ、それぞれに強い電荷領域を形成します。雷雲内の電荷分布は、下層から正・負・正の三極構造が観測されることが多いのですが、それ以外の多重極構造などが観測されることもあります。



*参考文献 Takahashi, Tsutomu, Riming Electrification as a Charge Generation Mechanism in Thunderstorms. Journal of the Atmospheric



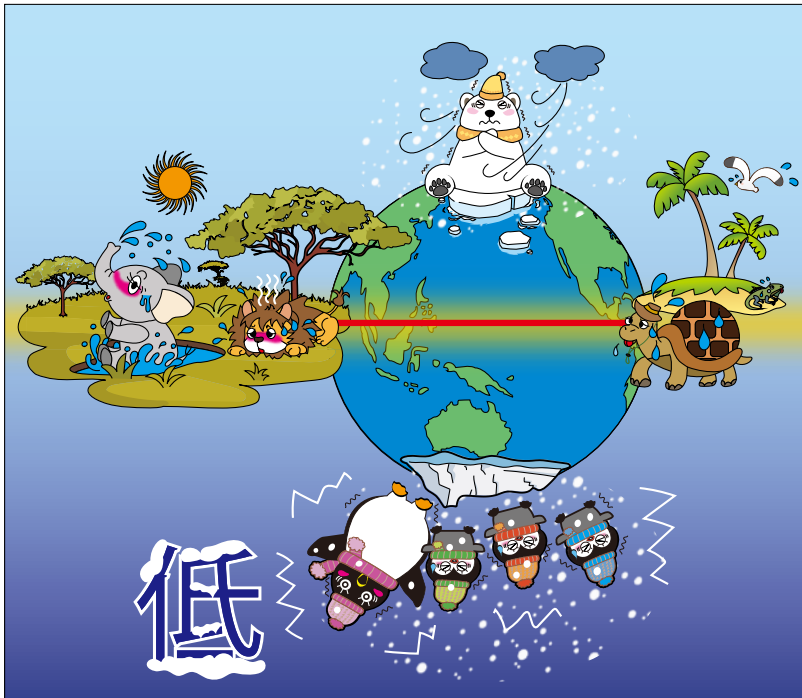
38. 熱はどうやって伝わる？

風邪を引いて具合が悪くなったとき、体温計で測ると熱が40℃もある。さあたいへん。大急ぎで病院に行かなければ。そんな経験は誰もが有るのではないのでしょうか。しかしここで体温計で測ったのは、身体の“温度”であって熱ではありません。そもそも温度と熱は何が違うのでしょうか。少しの水を入れたお鍋と多量の水を入れたお鍋を火にかけたとき、どちらがはやく温まるでしょう？ 同じだけ熱を加えても温度の上がり方は異なります。熱とはどれだけ加えたかを測ることができる“量”です。一方で温度とは加えた熱の量だけでは決まらない、温める物質の性質と量によって決まる“状態”を示すものです。熱が伝わるというのはその量が移動するということです。それでは熱は水や空気のような物質でしょうか？ かつて熱とは熱素と呼ばれる物質で、それが移動することで熱が伝わると思われていた時代がありました。しかし現代では熱が物質ではないことがわかっています。それでも熱が伝わるというのは、熱が移動するということです。その移動のしかたには様々なものがあります。温かいものと冷たいものをくっつけておくと、温かいものは冷えて冷たいものが温まります。これは温かいものから冷たいものへ熱が伝わったということで、“伝導”により熱が移動したといえます。お鍋を火にかけると下から温められた水がわき上がり、上の冷たい水が沈み込みます。このように水や空気が移動して熱を伝えることを“対流”と呼びます。太陽は地球から1億5千万kmの彼方にありますが、太陽の熱が地球に伝わります。このような伝わり方を“放射”といいます。このように熱の伝わり方には様々なものがあります。



39. 地球で最も気温の低いところはどこ？

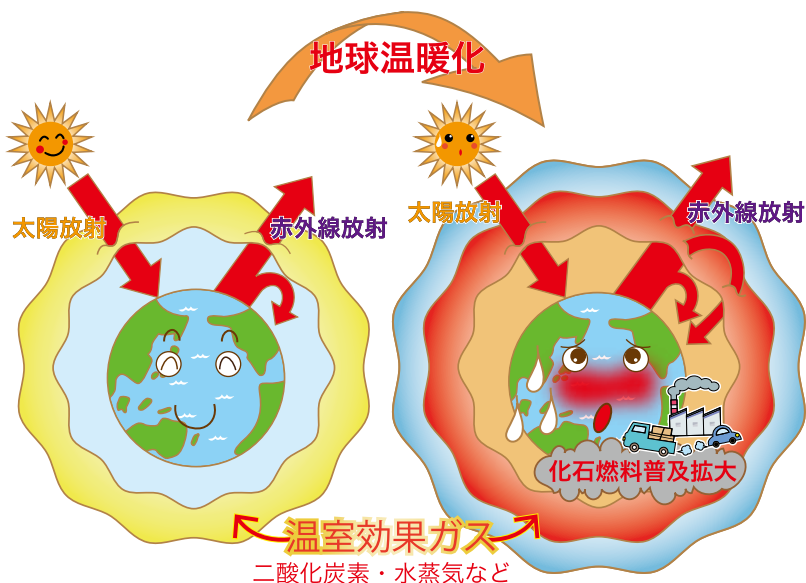
地球で最も気温の低いところはどこでしょう？ 季節にもよりますが、地球上では一般に低緯度ほど気温が高く、緯度が高くなるにつれて気温が低くなります。高緯度を極めた北極と南極を比較すると、南極の方が気温は低いです。なぜなら、南極は大陸なので氷床が厚く標高が高い上に、北極のように海であるわけではないからです。世界の最低気温は、1983年7月21日に南極のポストーク基地（南緯78度28分、東経106度52分に位置し、標高は3488m）で観測された -89.2°C です。日本では、1902年1月25日北海道石狩国上川郡旭川町で -41.0°C が観測されました。



40. 温室効果とは？



地球は太陽放射を熱源として温暖な気候を維持しながら、同時に赤外放射（赤外線）を介して宇宙空間へ排熱することで熱的なつり合いを保っています。そのとき赤外放射は対流圏上層から排熱をおこないつつ、同時に下層の大気を保温する働きがあります。これは、水蒸気や二酸化炭素のように赤外放射を吸収・放出する気体（温室効果ガス）の作用によるものです。温室効果ガスそのものは、私たちに住みやすい気候を維持するために不可欠ですが、化石燃料の爆発的な普及拡大に応じて大気中の二酸化炭素が急速に増大する結果、熱的なつり合いの状態が変化し、平均気温が少しずつ上昇していると考えられています。20世紀初頭からの百年間で、世界の平均気温は1℃弱上昇したことがわかっており、化石燃料の消費に歯止めがかけられなければ、今後温暖化がますます加速していく恐れもあります。



41. 地球温暖化とは？

地球温暖化とは、地球大気の温室効果によって、地表付近の大気の層や海洋の温度が長期的にみて上昇することです。主な原因としては、化石燃料の使用による二酸化炭素などの温室効果ガスの増加があげられます。

地球温暖化は、すでに私たちの日常生活に大きな影響を及ぼしています。気象庁によると、今から約 100 年前の 1900 年前後から現在にいたるまでに、世界の平均気温は 100 年間あたり 0.7℃以上という割合で上昇しています。日本の年平均気温の上昇幅はさらに大きく、1898 年以降、100 年間あたり 1.2℃近くも上昇しています。2007 年に公表された「気候変動に関する政府間パネル (IPCC)」の第 4 次評価報告書 (AR4) においても、「気候システムの温暖化には疑う余地がない」とされています。

このように温暖化する環境下、日本では大雨日の頻度が増える傾向にあることが報告されています。



42. 地球が温暖化したらどんなことが起こる？

地球温暖化は気温上昇を招くだけでなく、異常気象や生態系の変化など、さまざまな影響をもたらすと危惧されています。海水の熱膨張やグリーンランドや南極氷床の一部が融解する結果として海面が上昇し、標高0m地域の浸水リスクが高まっています。北極圏は、永久凍土融解や海水面積減少など地球温暖化にとりわけ敏感な地域であると考えられています。世界的にも、水蒸気量の増加など大気状態の変化に伴い集中豪雨や台風が極端化していく危険にさらされ、熱波や干ばつが激化する可能性も指摘されています。迫りくる危機に過剰に反応する必要はありませんが、起こり得る災害に対し社会全体として備えておくことは重要です。専門家が集い地球温暖化の科学的分析と今後の対策に向けた提言をおこなう場として「気候変動に関する政府間パネル (IPCC)」が活動をおこなっており、世界の国々が定期的に会合を重ねて問題解決への取り組みを模索しています。



43. 二酸化炭素 (CO₂) の排出量は、どう測る？

二酸化炭素を含む温室効果ガスの排出量は、直接測定されているわけではなく、活動量と排出係数をかけ合わせた式で計算されます。

$$\text{温室効果ガス排出量} = \text{活動量} \times \text{排出係数}$$

活動量は、生産量、使用量、焼却量など、排出活動の規模を表す指標であり、「エネルギー起源二酸化炭素」「非エネルギー起源二酸化炭素」「メタン」「一酸化二窒素」といった項目に分かれていて、それぞれについて項目別に定められた排出係数を用いて計算されます。この項目別の排出係数は、「気候変動に関する政府間パネル (IPCC)」からガイドラインとして公表されています。ただし、日本では日本の排出実態にあうよう調整された係数が用いられているとのことです（「温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度 (<https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/>)

近年では、人工衛星から直接二酸化炭素を計測する技術もできています。

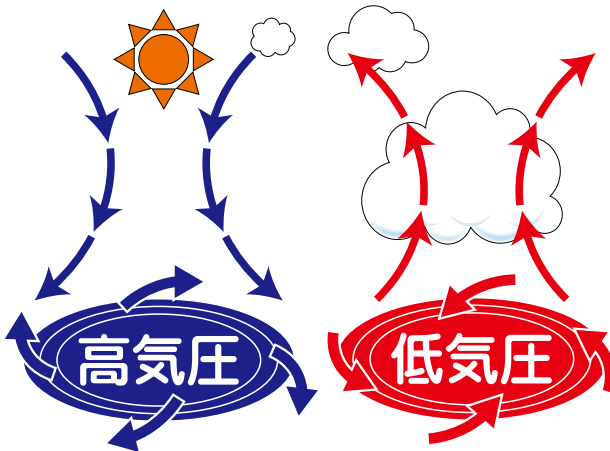




44. 低気圧や高気圧はどんな天気をもたらす？

地球の気圧（簡単にいえば、その地点での大気総重量）は、一様ではなく、ムラがあります。気圧の低い所（低気圧）は、北半球では、時計回りの循環（大気の流れ）および上昇流を伴います。上昇流は、地上付近の湿潤な空気を上空へ持ち上げ、雨や雪の形成を促します。また、低気圧の中心付近では強風が生じやすいです。そのため、低気圧は悪天候をもたらします。ニュースで耳にするように、台風や急速に発達する温帯低気圧（爆弾低気圧）等の低気圧は、日本の気象災害の発生原因となります。

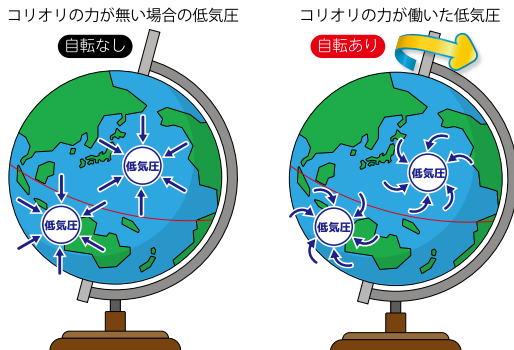
一方、周囲よりも気圧が高くなる現象を高気圧と呼びます。高気圧は下降流を伴うため、降水の発生を抑制します。高気圧は時計回りの循環を伴いますが、強風はもたらしません。そのため、高気圧の下では、穏やかな晴天となります。しかしながら、高気圧も日本の悪天候へ影響することがあります。例えば、梅雨期に、日本の南の海上に存在する太平洋高気圧が非常に発達すると、その西縁では熱帯域から梅雨前線へ向かう湿潤な空気の流れが強まります。これが梅雨期の日本における豪雨の発生の一因となることがあります。



45. コリオリの力とは？

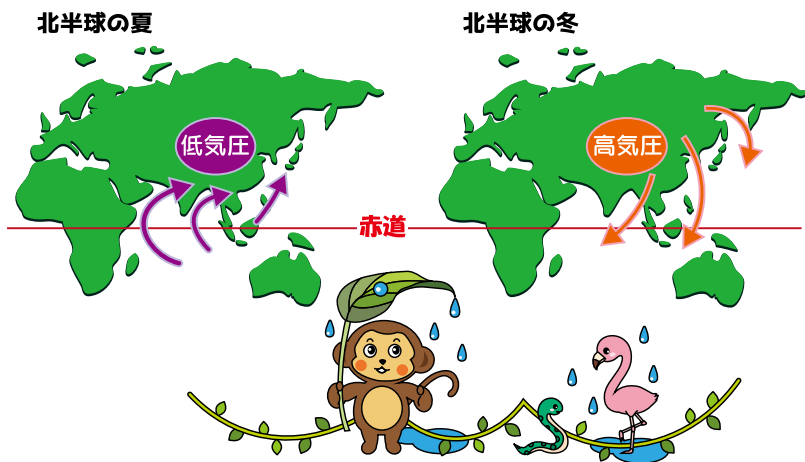


野球選手が投げるボールでも、地球表面を流れる空気でも力が加わらなければ、それを静止している人が見ると、同じ速度でまっすぐ進みます。ところが、それを見ている人が回転している円盤に乗っていると、ボールの進む方向や空気の流れの方向は時間とともに変わっていきます。もし円盤に乗っている人が自分が回転していることを知らなければ、ボールや空気の運動の方向が変わるのは、あたかもそれらに方向を変える力が加わっているかのように見えるのです。もちろんそれは実際に加えられた力ではなく、みかけ上、力が働くように見えるということです。コリオリの力も同様に地球が自転しているために生じるみかけの力で、地球上を移動する全ての物体に働きます。それは物体の進行方向を変化させるので、転向力とも呼ばれます。コリオリの力がみかけの力だからといって、大気の運動において重要でないということではありません。北半球では空気の進行方向に右向きのコリオリの力が常に加わっており、進行方向に対して右に曲がるように運動します。一方、南半球では左向きのコリオリの力が加わり、進行方向に対して左に曲がります。地球の回転は人間の五感で直接感じることができないので、コリオリの力を五感で直接感じることができません。コリオリの力は大気や海洋の大きな流れに表れます。北半球で低気圧が反時計回りの渦となり、南半球では時計回りの渦になるのはコリオリの力の影響です。



46. モンスーンって何？

私たちが住む日本では、夏には暖かい南風が吹き、冬には冷たい北風が吹きます。このように季節により大きく風向が変わる風を季節風（モンスーン）といいます。なぜ、このような風向の変化が生じるのでしょうか？ 風向の変化は、日本付近だけではなく、南アジアから東アジアにかけての広大な領域で発生しています。これにはユーラシア大陸と周辺海洋の海陸分布が大きく影響しています。北半球の夏は、大陸が強い太陽光に加熱され、気温が上昇します。暖かい空気は軽いため上昇し、大陸上の下層大気は低気圧になります。一方、海洋は水温の変化が地表面と比べて小さく、気温が低い海洋上は高気圧になります。この気圧配置と地球の自転によるコリオリの力^{ちから}のため、大気下層では高気圧の海上から低気圧の陸上に向かって西から南西の風が吹くようになります。この海からの湿った南風がアジアの国々に豊富な雨をもたらし、世界人口の6割を超える人々の生活を可能にしています。冬は夏の反対の気圧配置になるため、日本付近は北風が吹くようになります。



47. 地衡風とは？



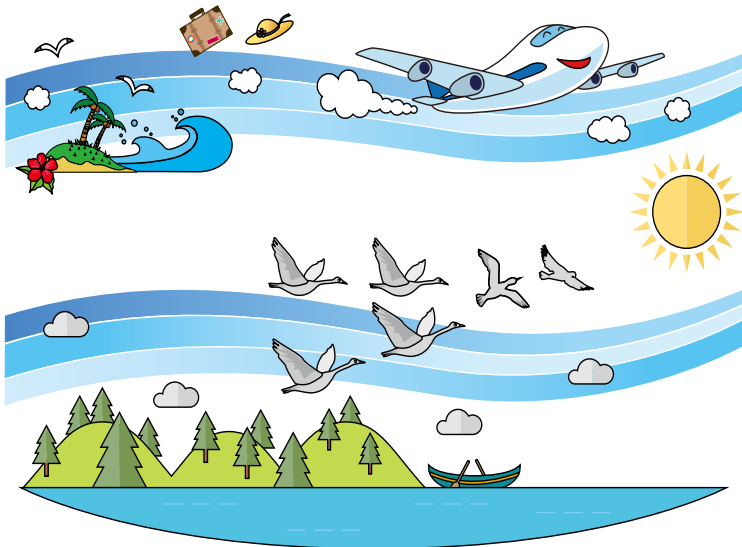
風が吹くためには、水平方向に気圧の差が必要です。この力を気圧傾度力といいます。空気は気圧傾度力により、気圧の高い場所から低い場所に動こうとします。自転している地球上の大規模な大気の運動は、気圧傾度力とコリオリの力ちからが釣り合うようになっています。このような運動のもとでは、気圧傾度力とコリオリの力が釣り合った状態で風が吹いていて、この風を地衡風と呼んでいます。例えば、日本の上空は西風が吹いています。西風の赤道側は高気圧で、極側は低気圧になっていて、気圧傾度力は極向きに働いています。一方で、コリオリの力は気圧傾度力と同じ大きさで赤道側に働いています。この力の釣り合いで西風が吹いています。熱帯ではコリオリの力が小さいため、地衡風とは異なるつりあい風が吹きます。



48. 偏西風ジェット気流とは？

中緯度地方の上空に存在する強い西寄りの流れを、偏西風ジェット気流と呼びます。日本の上空にはちょうど偏西風ジェット気流が位置しているので、その影響を受けて様々な気象現象が生み出されます。秋から春にかけて日本付近を周期的に移動性の低気圧と高気圧が通過しますが、偏西風ジェット気流がこの高・低気圧の発生において重要な役割を担っています。また、しばしば、長い期間、偏西風ジェット気流が南北に大きく蛇行することがあります。このジェット気流の蛇行が作り出す大気の流れが、猛暑 / 冷夏や暖冬 / 寒冬などの異常気象を引き起します。最近の研究は、偏西風ジェット気流が梅雨前線の形成に関与していることを指摘しています。

海外旅行に行く際に、偏西風ジェット気流の威力を実感することができます。例えば、日本ーハワイ間の飛行機のフライト時間は、行きが約6時間半、帰りが約9時間です。この行き帰りのフライト時間の差(2時間半)は、まさに偏西風ジェット気流がもたらしています。



49. 貿易風とは？

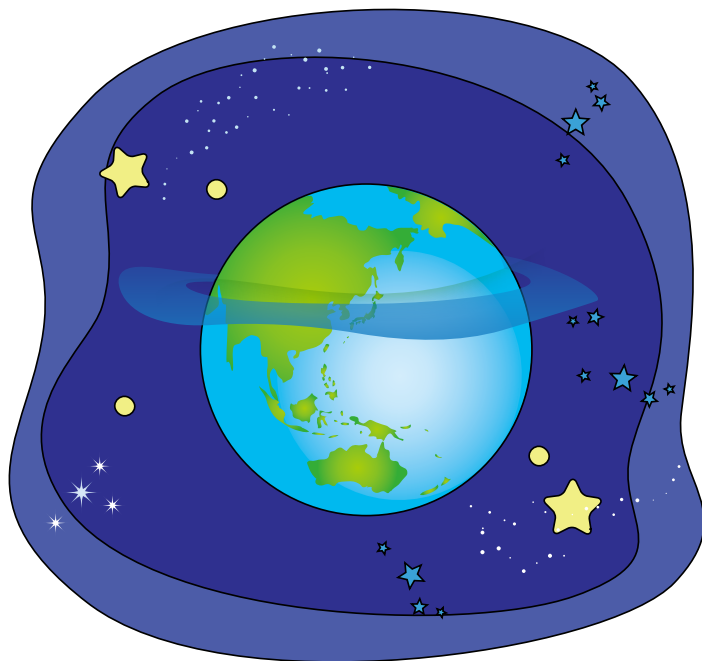


大航海時代の船乗りたちは、熱帯では絶えず東風が吹くことを知っており、それを貿易風と呼んでいました。その背後にある壮大な大気の動きを見抜いたのは、18世紀英国の気象学者ジョージ・ハドレーでした。ハドレーは赤道から極までの一続きの南北方向の大気の流れを考えましたが、現在では赤道付近で暖められ上昇した大気は、上空を南北に移動し、やがて亜熱帯で再び降下して、その後、地表付近を流れて赤道方面に戻ってくるという流れがあることが分かっています。このような低緯度に起こっている大気の一続きの南北方向の流れ、すなわち南北循環をハドレー循環と呼んでいます。このような循環がどのように貿易風を形成するのかは、意外に思われるかも知れませんが、フィギュアスケート選手のスピンを考えると分かります。スケート選手は腕を大きく伸ばしているとき、ゆっくりと回転しています。それが腕を身体に引きつけるとはやく回転します。逆にスケート選手が腕を伸ばすと、またゆっくりとした回転となります。これを物理の言葉では角運動量保存といいます。地球大気東西方向の流れは、大気が地軸を中心として回転していますので、これにも角運動量保存の法則は成り立ちます。地球は球体なので、地軸から地表までの距離は、亜熱帯より低緯度の熱帯のほうが大きいですね。このためハドレー循環の亜熱帯から熱帯への流れは、ちょうどスケート選手が腕を伸ばすことに相当します。亜熱帯で地球表面とともに東向きに回転している大気は、熱帯に流れていくと地軸に対する回転速度が小さくなります。つまり熱帯に移動した空気は地表に対して相対的に遅くなります。そうすると地表に立っている人から見ると空気は西向きに吹く流れ、つまり東風になります。太陽の加熱によってハドレー循環は常に起こっていますので、亜熱帯から熱帯域では常に東風、すなわち貿易風が吹き続けることになるのです。逆にそれと同じ理由でハドレー循環の上空の北向きの流れによって、中緯度には偏西風が吹くのです。このハドレー循環と呼ばれる大規模な大気の流れを仲立ちとして、赤道付近の東風（貿易風）と中緯度帯を吹き荒ぶ西風（偏西風）は同じコインの裏表をなしているということが出来ます。

50. 惑星波とは？



池の表面を彩るさざ波のごとく、地球大気中にも大小さまざまな目に見えぬ波が行き交っています。中でも最も巨大な波はさしわたし数千 km におよび、上空の偏西風帯に沿って地球の周りをぐるりと取り囲むことから惑星波と呼ばれます。惑星波としてとりわけ重要なものに、スウェーデン出身の気象学者カール＝グスタフ・ロスビーが見出したロスビー波と呼ばれる現象があります。ロスビー波は偏西風の蛇行のふるまいに深く関係し、偏西風に逆らうように西へ伝わろうとする性質をもつため、時として蛇行パターンが同じ場所に居座り続けることがあります。その結果、高気圧や低気圧が一定期間のあいだ閉じ込められてしまうブロッキング現象が起こり、寒波や熱波が持続したり多雨や干ばつを誘発するなど、さまざまな異常気象の原因となります。



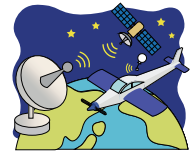
51. マッデン・ジュリアン (Madden-Julian) 振動とは？

強烈な陽射しを遮るように突然入道雲がそびえ立ち大雨が降りだす、それが熱帯の気象のイメージでしょうか。しかし一見予測不能な南国の雨にも、実は壮大な秩序が隠されています。1970年代、二人のアメリカ人気象学者が熱帯の風や雨量データを解析したところ、二か月近くに及ぶゆったりした周期で巨大な雨雲の集団がインド洋から太平洋へ繰り返し移動する奇妙な現象を見出しました。今では発見者の名を取ってマッデン・ジュリアン振動と呼ばれ、熱帯の天候のみならず赤道付近の大気の流れに大規模な乱れをもたらすことが知られています。しかし雨雲の群れが周期的に東へ向かうしくみは未だ完全には解明されておらず、今でも熱帯気象学における最大の研究テーマの1つです。時に台風の発生に深く関わると考えられており、日本に住む私たちにとっても無関係ではありません。



52. エルニーニョ現象とは？

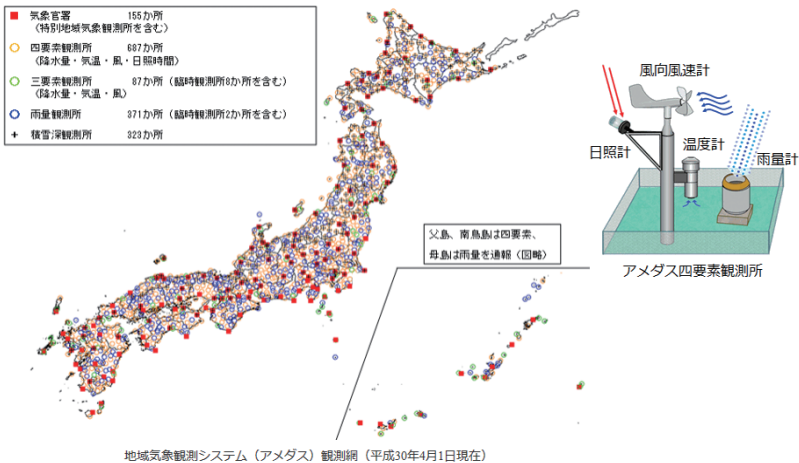
熱帯の太平洋西部の海は地球上で最も暖かい海です。これは低緯度の地域に恒常的に吹く大規模な貿易風（偏東風）が暖かい赤道付近の海水を西に吹き寄せるからです。その海水を補うように太平洋の東部の海域や南アメリカのペルーやエクアドルの沿岸では、深い海から冷たい海水が湧き上がり、栄養に富む冷たい海となっています。このためプランクトンが多数発生し、それを食べる魚が集まって世界的にも豊かな漁場となっています。昔からこの海域では、毎年、クリスマスになると海の温度が上昇して魚がとれなくなります。この現象を地元の漁師は、幼い子イエス・キリストを意味する「エルニーニョ」と呼んでいました。いつもは春になるとまた海水温が低下してエルニーニョは終わります。しかし数年から十年ぐらいに一度この海水温上昇が異常に発達して1年以上も続くことがあります。これはペルー沖の局地的な現象ではなく、太平洋の熱帯域全体にわたる大規模なもので、「エルニーニョ」と区別して「エルニーニョ現象」と呼ばれるようになりました。何かのきっかけで赤道付近の偏東風が弱まると、エルニーニョ現象が発生することがわかっています。エルニーニョ現象が発生すると太平洋中央部付近からペルー沖にかけて海水温が平年より高くなります。その結果、西太平洋の活発な積乱雲群が東に移動します。これは地球全体の大気の動きを変えてしまうほど大きな影響を及ぼします。このためエルニーニョ現象は地球上のさまざまな地域に異常な気象を引き起こし、場合によっては大規模な災害をもたらすことがあります。日本の気候にも大きく影響し、エルニーニョ現象が発生すると夏の太平洋高気圧があまり発達せず冷夏になる傾向があります。逆に冬は暖冬になる傾向があります。エルニーニョ現象の反対の現象をラニーニャ現象と呼びますが、この場合は日本の夏はより暑くなり、冬はより寒くなる傾向になります。



53. アメダスは何を測っている？

アメダス (AMeDAS) は、Automated Meteorological Data Acquisition System の略で気象庁の無人気象観測装置です。観測項目は、気圧、気温、湿度、風向、風速、日射量、降水量（積雪深）または降水量のみの地点もあります。アメダスは日本全国に約 1300 箇所に設置されており、およそ 17km に 1 つの割合で設置されています。アメダスによる気象観測データはオンラインで気象庁へ送られ、天気予報などに使われています。

地域気象観測システム（アメダス）観測網



出典：気象庁ホームページ

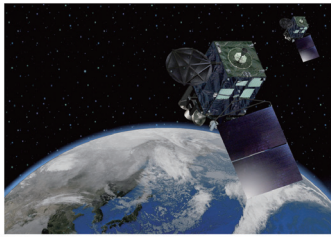
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/amedas/kaisetsu.html>

54. 気象衛星ひまわりから何がわかる？

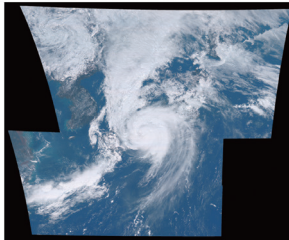


気象衛星「ひまわり」は高度約 36000km から地球の雲の様子を観測する衛星です。「ひまわり」は地球の中心に対して 1 日かけて 1 周しているため、あたかも日本の上空に止まっているように見えるため静止衛星と呼ばれています。最新の「ひまわり 8 号」には、可視光と赤外線を観測する 16 種類のカメラが搭載されています。可視光カメラでは、私たちが衛星の場所から地球を見たときの様子を捉えることができます。これは、太陽光が地球に反射した光を観測するものですから、夜間の観測では真っ暗になります。赤外線カメラは、物質（地球、人、雲など）から放射される赤外線を観測することになりますから、夜間でも観測できます。赤外線の強さは温度に依存しますので、観測した赤外線の強さを温度に換算して示すことが多いです。高いところに雲がある場合には冷たい温度として表されます。

雨をもたらす雲は、高さ方向に発達していることが多いため、低い温度を示す雲は雨雲が多いですが、一方で高いところにのみ存在する雲もありますので、必ずしも低い温度を示す雲が雨をもたらすわけではありません。



提供：気象庁
現在運用中の静止気象衛星
<https://www.jma-net.go.jp/sat/satellite/satellite.html>



提供：情報通信研究機構（NICT）
ひまわり 8 号リアルタイム Web
より 2018 年 9 月 4 日に日本に上陸した台風 21 号をとらえた映像

55.人工衛星からどうやって雨を測るの？



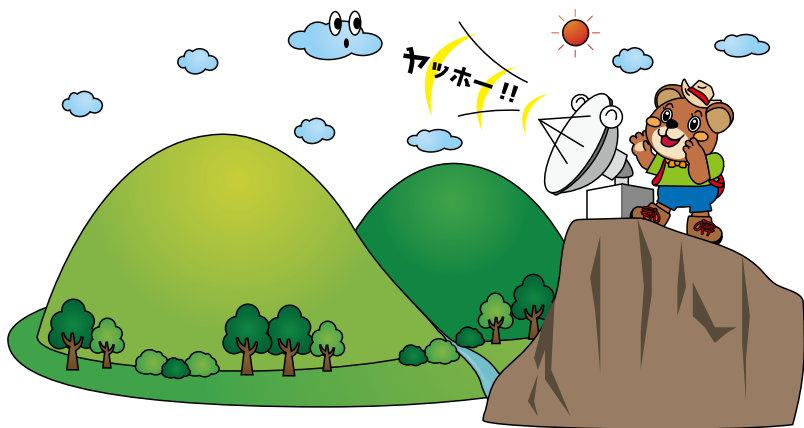
地球全体の降水量を知ることは、地球全体の大気や熱の流れを理解するため重要です。地上観測では、人口が少ない地域や海上での観測が少ないため正確な雨量分布を作ることはできません。そこで人工衛星の登場です。人工衛星から雨を測る方法としては、3つの方法が考えられます。1つめは、レーダーを使って測ることです。レーダーはパルス状の電波を雨に向かって放射し、雨から返ってくる微弱の電波の時刻と強度を測ることにより、降水強度の高さ分布を知るものです。2つめは、マイクロ波放射計といわれるセンサーです。マイクロ波放射計は、赤外線と同様に物質がその温度に応じて放射する電波の強さを測るものです。マイクロ波は赤外と異なり、雲の表面だけでなく雲内部、さらには地表面からの電波も観測されるので、マイクロ波放射計の観測データから降水情報を取り出すことが可能になります。ただし、これはレーダーと異なり、高さ分布の情報を与えるものではありませんので、降水量を推定するためには工夫する必要があります。3つめは、赤外線を使うことです。赤外観測の情報では雲の高さ（表面の冷たさ）の情報を得ることはできますが、内部の雨の強さの情報を得ることは難しく、経験的に雲の高さと降水強度の関係を求めるといった方法が考えられます。



56. 気象レーダーって何を測るの？



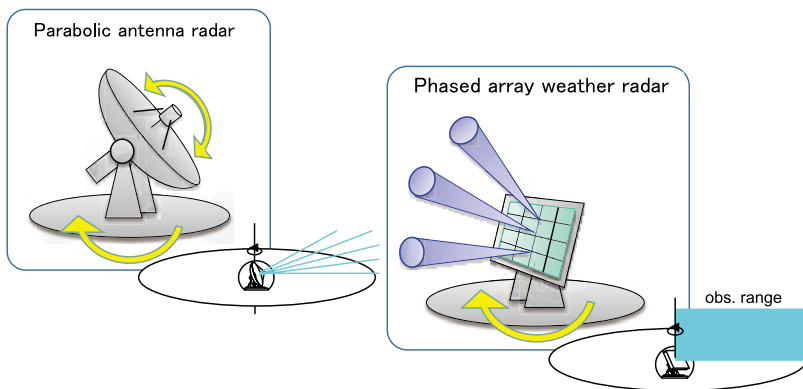
気象レーダーは「やまびこ」に似ています。山に向かって「ヤッホー」と叫ぶと少し遅れて山に跳ね返ってきた「ヤッホー」という声が聞こえてきます。同様に気象レーダーは電波を雨雲に向けて発射し、雨粒から返ってくる電波の発射からの時間と強さを測るものです。「やまびこ」と気象レーダーで異なることは、やまびこでは音波を使っているのに対して、レーダーでは電波を使っています。対象はレーダーでは雨ですので、奥行きのある観測ができます。雨粒のサイズはおよそ0.5～5mm程度ですので、それよりも長い波長（3～10cm程度）を用いることが多くなっています。気象レーダーでは、ドップラー効果を利用した風の計測もおこなえ、雨雲内での気流の様子を探ることもできます。また、大粒の雨は空気抵抗により扁平な形になるため、水平方向と垂直方向に振動する2種類の電波を用いることにより、雨量の正確な推定や降水粒子（雨、雪、など）の判別にも利用します。



57. フェーズドアレイ気象レーダーって何？

フェーズドアレイとは複数あるアンテナを配列して、位相（フェーズ）を合わせることで、1つのアンテナとして用いる方式です。フェーズドアレイ気象レーダーでは、導波管（電波を伝える役割を持つ管）のアンテナを100本程度並べて用いるものやパッチ状のアンテナを平面的に並べて用いる方式もあります。フェーズドアレイ気象レーダーの特徴は、電子的にビームの向きを変えられることです。それぞれのアンテナの位相の調整により、好きな方向へビームを向けることができます。日本では、送信を幅の広いファン（扇）ビーム、受信を形状がシャープなペンシル（鉛筆）ビームとすることにより、高さ方向の観測を非常に短い時間でおこなえるようになります。例えば30秒で雨雲の立体構造を得ることができます。

フェーズドアレイ気象レーダーは、ゲリラ豪雨をもたらすような積乱雲の観測に適していると考えられています。また、同様のレーダーは人工衛星搭載のレーダー（熱帯降雨観測衛星：Tropical Rainfall Measuring Mission=TRMM や 全 体 降 水 観 測 計 画：Global Precipitation Measurement=GPM 搭載の降水レーダー）にも用いられています。



58. ラジオゾンデって何を観測するもの？



地球の大気がどのように流れ、変動するのは、物理法則によって決まります。その法則には運動に関するもの、エネルギーに関するもの、そして水蒸気に関するものがあります。地球の大気はこれらの法則を解くことによって、ある時刻の大気の状態を知ることができるだけでなく、未来の大気の状態を予測することができます。すなわち天気予報ができるのです。地球全体ぐらいの大きさで考えると、これらの物理法則を解いて天気予報をするためには、気温、気圧、湿度、風向・風速の地球全体での分布を知る必要があります。

これらの量を地表から高度 30km ぐらいの高さまで測定するのがラジオゾンデという観測装置です。日常生活に関わる天気、すなわち気温や気圧の変化、雨や雲の発生という現象は地面からおおよそ高度 15km の範囲で起こっていますので、このぐらいの高さまで測れば天気予報に十分なデータを得ることができます。最近のラジオゾンデは、気温と湿度を測るセンサーを搭載し、GPS を用いて高度と位置を測定します。この高度と気温および湿度から気圧を計算することができます。上記の気温、気圧、湿度、風向・風速を知ることができます。このような観測を日本だけでなく、世界中の多数の地点で一斉におこない、そのデータをリアルタイムで世界中の気象機関に送信することで、天気予報を出すことができます。



59. なぜ衛星や飛行機の観測が必要？

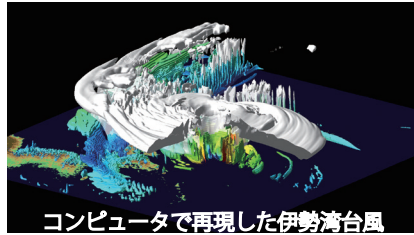


地球温暖化問題を考えてみると、二酸化炭素の排出源はいわゆる先進国に偏っている（最近では、中国や東南アジアからの排出も多いですが）はずですが、温暖化の影響は地球全体に及びます。温暖化を左右するものは温室効果ガスだけではなく、雲や大気中のチリ（エアロゾル）や、温室効果ガスの吸収源となる森林や海洋などもあります。また、温室効果の影響は気温だけでなく降水量や降水パターンにも変化をもたらします。そのような観点から地球全体を隈なく観測することは、現状を把握する上で非常に大切です。実際には、温室効果に対するそれぞれの寄与や相互作用についてもわかっていないことがたくさんあります。また、陸上だけの観測では地球全体を把握することは非常に難しいです。

これらのことから、人工衛星のように地球全体を観測できるツールが重要になってきています。人工衛星による観測の利点は、地球全体をカバーできるだけでなく、同じ測器で観測することにより、地域ごとの偏りのない観測もおこなえます。現在では、気象衛星「ひまわり」の他にも温室効果ガスを観測する「いぶぎ」や森林や海洋を総合的に観測する「しきさい」や海面水温や海上風、海水を観測する「しずく」といった日本の衛星もあります。人工衛星の観測は、地球全体を見渡すのにはとても有効ですが、遠くから観測する分、詳細な情報が得られないという弱点もあります。また、地球の周りを周回する人工衛星では、タイムリーな観測ができないこともあります。人工衛星のように人の手の届かない地域を観測でき、かつ、タイムリーな観測ができるのは、飛行機です。航空機による観測は地上観測と衛星観測のギャップを埋めるものです。なおかつ、人の手の届かないところでの直接的な観測（例えば、雲やエアロゾルの収集）も可能です。特に、台風のように遠く海上で発生するものを的確に観測するには、航空機が最も有効です。

60. コンピューターで天気を予測できる？

現在の状態がわかっていて、それがどのように変化するかかわれば未来の状態を予測できます。大気の状態の変化をあらゆる基本的な関係式には風についての運動方程式、気温と気圧



について気体の状態方程式および熱力学の第一法則、そして全体の質量が保存される式があります。イギリスの気象学者ルイス・フライ・リチャードソンは 1920 年頃にこれらの式を用いて手計算で 6 時間後の予報を試みました。この計算にはなんと 2 か月もかかったそうですが、計算の際の処理に問題があったため失敗に終わりました。しかしながら彼は「64000 人をホールに集めて指揮者の元で計算をおこなえば予報がおこなえる」と記しています。その後コンピューターが開発されたため、たくさんの人を集めなくてもコンピューターによる予測（数値予報）が可能となり、日本の気象庁では 1959 年より数値予報業務がおこなわれています。

天気には基本的な関係式だけではなく、雲や降水の発生、地面の摩擦の影響、そして海の影響など、たくさんかつ非常に複雑な関係があります。コンピューターで予測をおこなうには、これらのすべてについて関係式が必要です。これらは理論的に導かれたものと観測や実験などから経験的に構築されたものがあります。また、正しく天気を予測するためには現在の状態を正しく知る必要があります。陸上の地上気温、気圧、風などは比較的多くの観測がありますが、海上や上空はあまりありません。さらにコンピューターでは水平・垂直方向にある大きさをもった、さいの目単位で計算をおこなうため、それよりも小さい現象は、あいまいになります。このように現在コンピューターを用いて将来の天気を比較的精度よく予測することが可能ですが、まだ不確実な要素もあるため発展途上でもあります。

参照：2. 雲にはどんな種類がある？



積乱雲とかなとこ雲。

積乱雲からのアウトフローに伴う壁雲 (wall cloud)。



積乱雲とアーク雲 (arc cloud)。

雲・降水観測

参照：56. 気象レーダーって何を測るの？／57. フェーズドアレイ気象レーダーって何？／58. ラジオゾンデって何を観測するもの？

さまざまな雲や降水は大気中の水循環の主要な役割を担っています。これらについて、雲の粒子、積乱雲ひとつ一つ、積乱雲の集団、さらに地球規模の雲分布などさまざまな現象のスケールを対象として、雲粒子ゾンデHYVIS、マルチパラメータレーダー、気象衛星などを用いて雲・降水の観測を行い、雲の構造やメカニズム、地球大気の水循環における役割などを研究しています。



沖縄本島での雲粒子ゾンデによる台風の雲の観測。



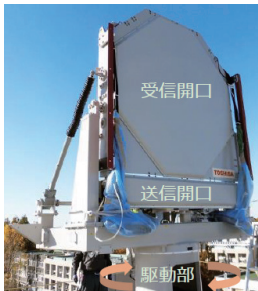
北海道東部陸別町でのマルチパラメータレーダーによる降雪の観測。



富士山でのマルチパラメータレーダーと雲レーダーを用いた雲・降水観測。

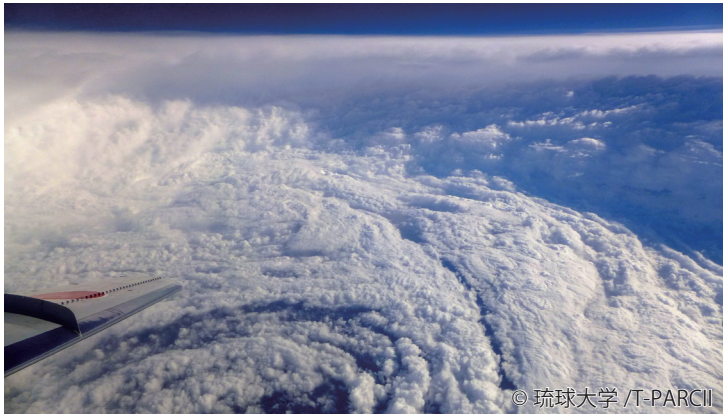


Ka-バンド雲レーダー。名古屋大学宇宙地球環境研究所屋上にて観測。



フェーズドアレイ気象レーダー (MP-PAWR) 最大 30 分先のゲリラ豪雨を予測し、市民や自治体等へ予測情報を伝達する実験を開始しています。

参照：59. なぜ衛星や飛行機の観測が必要？



© 琉球大学 /T-PARCII

2017年台風第21号の航空機観測。台風の眼の中では下層に雲がかかり壁雲と呼ばれる雲が全体を壁のように取り囲んでいます。



台風の航空機観測で使用するダイヤモンドエアサービス株式会社のグルフストリームII。航空機からドロップゾンデを投下します。

気象 50 のなぜ^{プラステン} +10

発行日 2020年3月30日 初版 第1刷発行
2022年3月25日 第2版 第1刷発行

企画・制作 名古屋大学宇宙地球環境研究所 広報委員会
発行 名古屋大学宇宙地球環境研究所
〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町
<https://www.isee.nagoya-u.ac.jp/>

印刷／製本 株式会社 プリントパック
〒617-0003 京都府向日市森本町野田 3-1

気象 プラステン
+10
50のなぜ

ISEE

宇宙地球環境研究所

Institute for Space-Earth Environmental Research