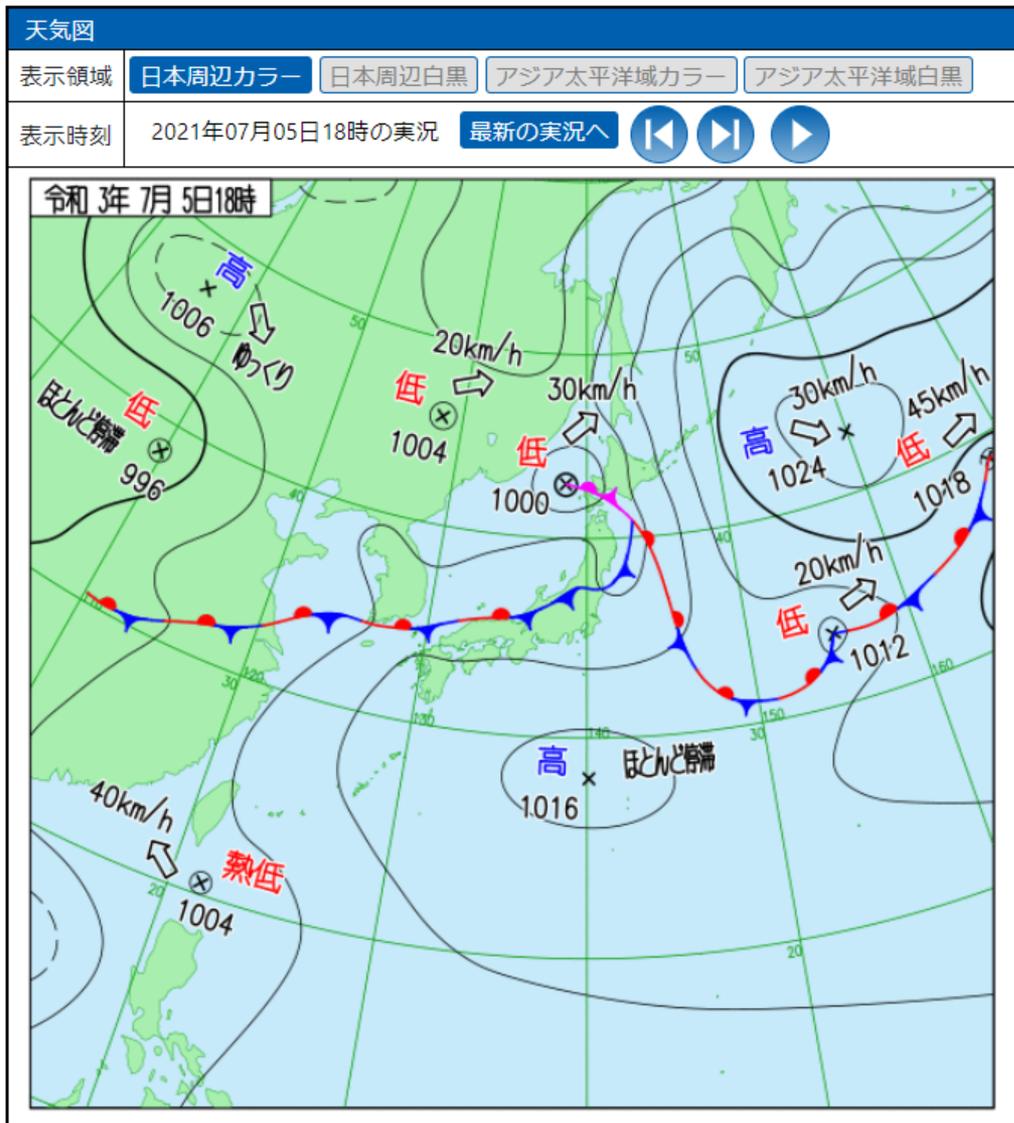


2021/7/8 (水)

易しい科学の話

天気予報は  
どのように  
予測するの？



吉岡 芳夫

天気にかかわるものには何があるか？

- 天気とは？

- 晴れ、曇り、雨、雪、あられ、雹
- 気温、湿度、風（突風、竜巻、吹雪・・・）
- 雲（入道雲、

- 異常気象

- 豪雨、台風、長雨、豪雪、乾燥・・・

# 天気を左右するものは？

- 気圧配置
  - 西高東低、台風の日、太平洋高気圧
- 地理的要素
  - 熱帯地方、温帯地方、寒冷地方・・・
  - 熱帯雨林、砂漠・・・
- 大海の水温
  - エルニーニョ現象、

# 具体的な現象

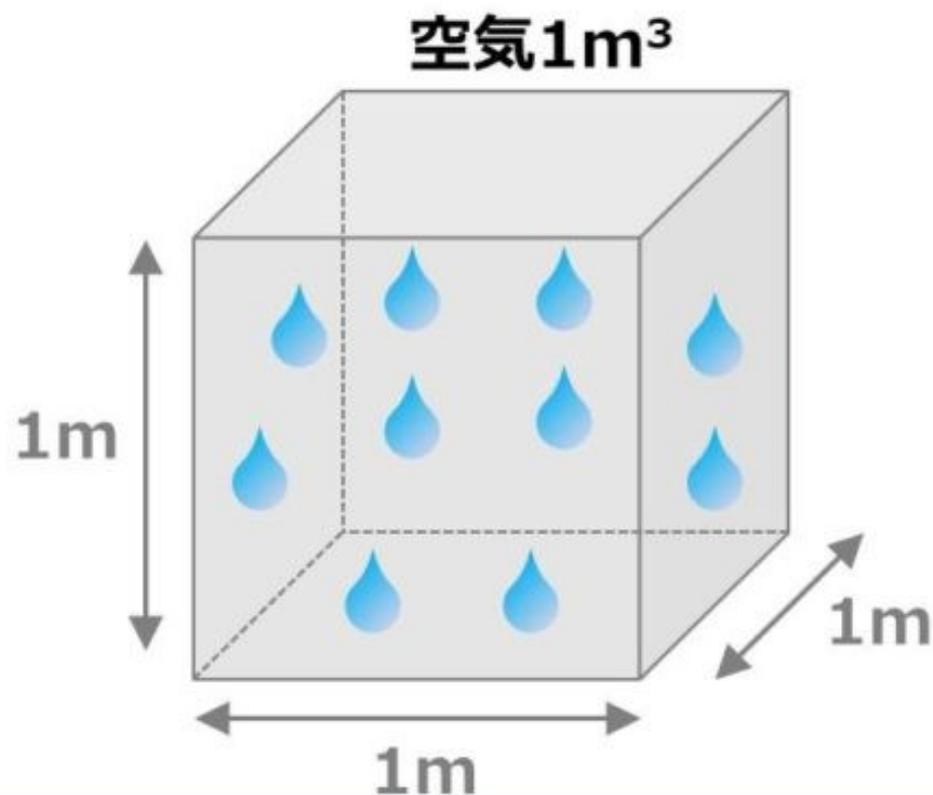
- 雲の発生
  - 通常の雲、入道雲、雪雲、竜巻の雲
  - 雨を降らす雲、雷を発生する雲、
- 雲の移動
  - 気圧配置によるかぜ
  - 地球の回転によって生じる風
  - 地球上の温度差によって生じる風
- 晴れの条件
  - 雲が消える、雲が出ていく
  - 雲の流れ込みがない、雲の発生がない

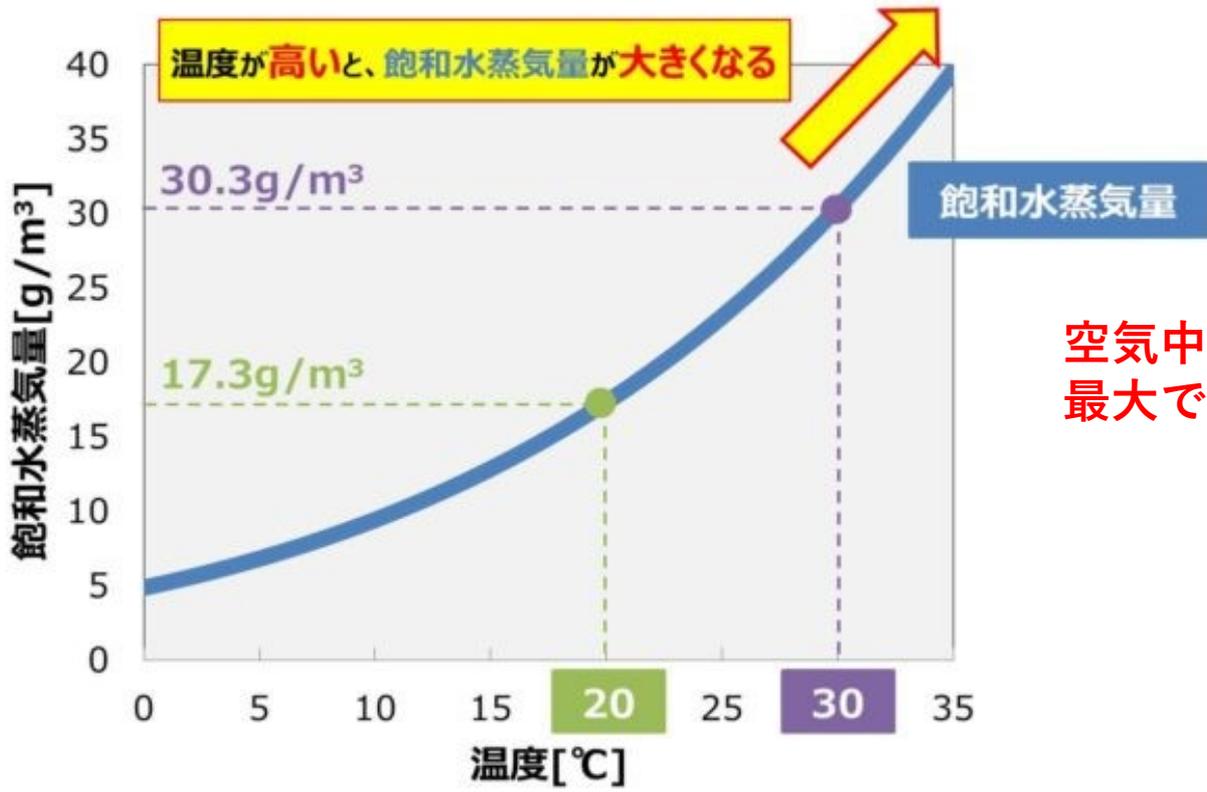
# 良い天気になる条件

- 高気圧（よそから雲が流れてこない）
- 西側に雲がない（気候は西から東へ）
- 地上の高温で入道雲ができない（上昇気流がない）

## 飽和水蒸気量

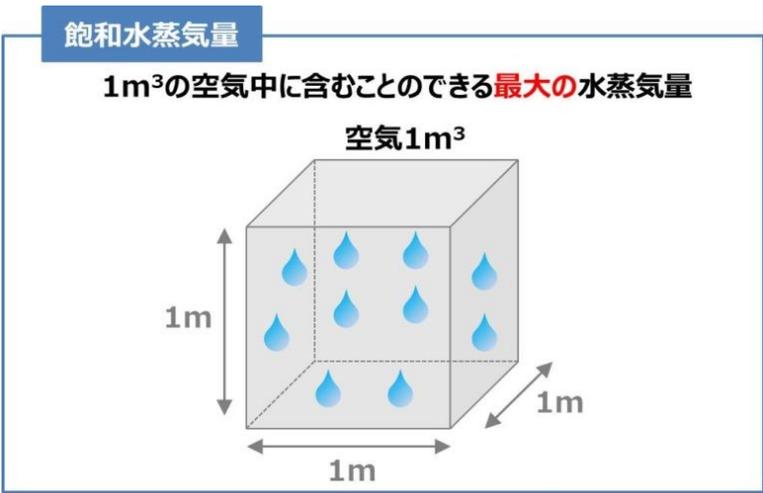
1m<sup>3</sup>の空気中に含むことのできる**最大の水蒸気量**





空気中に含まれる水の量は、  
最大で、飽和水蒸気量にあたる。

この部屋  
容積は、約  $135 \text{ m}^3$



35°Cの時、含まれる水の量は  
 $40 \times 135 = 5400 \text{ g}$

5°Cの時に、含まれる水の量は、  
 $5 \times 135 = 675 \text{ g}$

差し引き  $5400 - 675 = 4725 \text{ g}$   
**これが最大の雨の量にあたる。**

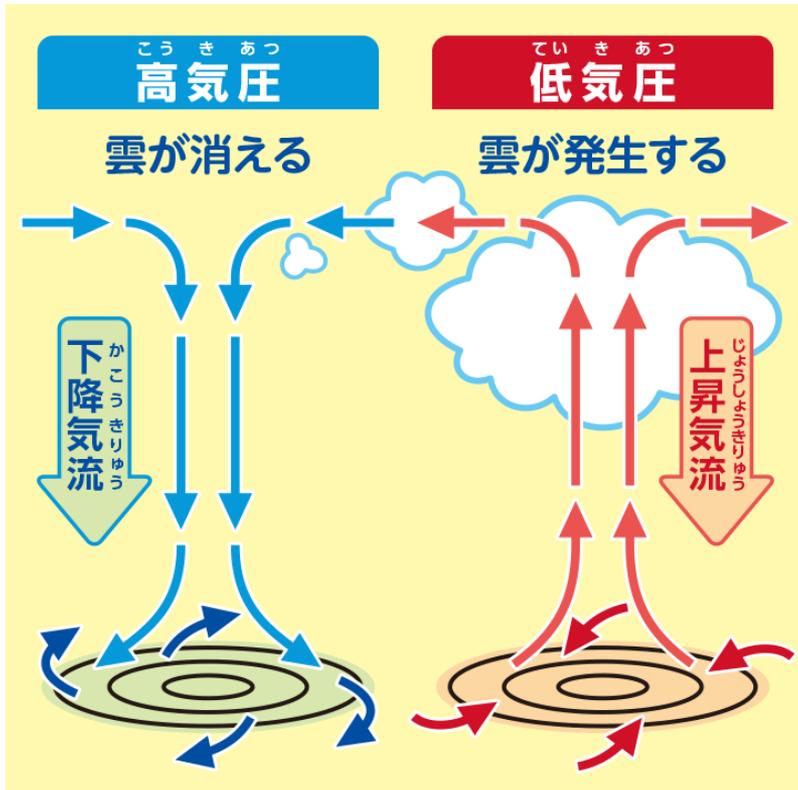
# 高いところほど、気温は下がる

- 山など標高が高い場所は、地上よりも寒い。
- 一般的に、標高が100メートル高くなると、気温は0.6度程度下がるので、
  - 富士山の山頂（標高3776m）と地上（海拔0m）では気温が約23°C違います。
  - エベレストの山頂（標高8848m）と地上（海拔0m）では気温が約53°C違います。
  - 旅客機が飛ぶ高さ（標高10000m）と地上（海拔0m）では気温が約60°C違います。

**上昇気流で熱い空気が上空に上がると、温度が下がり、  
含み切れなかった水蒸気は細かい水滴になり、雲となる。**

**夏の積乱雲はこのようにしてできる。高さは、飛行機より少し下。**

# 雲ができる原理



「高気圧」は、空気がたくさん集まり、周に比べて気圧が高いところ。空気が上空から下向きに動いて、地上の近くで外側に出ていく。だから下降気流がおきて、雲が消えて晴れることが多いよ。

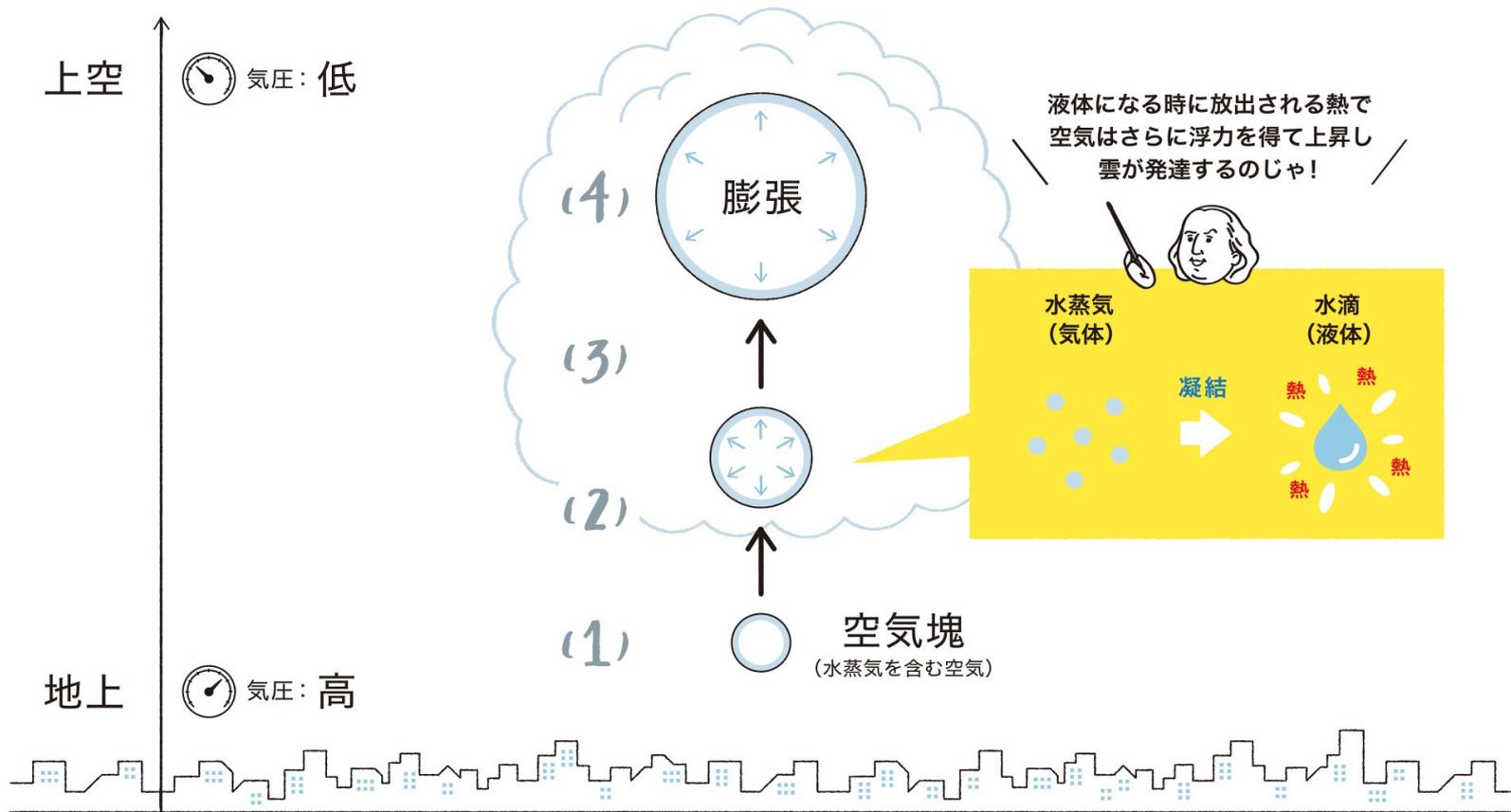
「低気圧」は、空気が少ないので、周に比べて気圧が低ひくいところ。地上近くに集まった空気が上空に向かうため、上昇気流がおきて、雲が発生しやすい。さらに、集まった空気がしめっていると、雨を降ふらせることがある。

暖かい空気は、たくさんの水分をふくむことができる。

温度が下がると、含められなくなった水分が水（雨）になる。

冷たい水を入れたガラスの外側に水滴がつく、風呂場の天井に水滴がつくのも同じ現象。

# 夏の雲 積乱雲の発生原理図



# 積乱雲の発生

- 上空にいくほど気圧は低くなるため、空気塊は膨張する。
- この時、自身のエネルギーを使い、空気塊の温度が下がる。
- 温度が下がり空気中に含むことのできなくなった水蒸気が凝結して水滴になる。
- 水蒸気が凝結する時、気体から液体への相変化に伴い熱を放出するため、空気は浮力を得てさらに上昇し、雲が発達していく。
- このように、水蒸気は雲の発達するエネルギー源となることから、あたたかくて湿った空気が雲の発達する条件となる。

# 梅雨



## 気団と2つの気団がぶつかってできる前線

- 大陸上や海洋上の空気が長い期間（例えば1週間）停滞すると、特有の性質（温度・湿度など）を持った空気の塊が生じる。
- このような、性質が一様な空気の塊を気団という。
- シベリア気団は低温で乾燥しており、小笠原気団は高温で湿っている。
- 低温で乾燥している気団と、高温で湿っている気団がぶつかると、その境界に前線ができる。

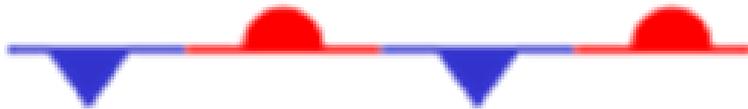
# 天気図で、各種前線の表示法



寒冷前線



温暖前線



停滞前線

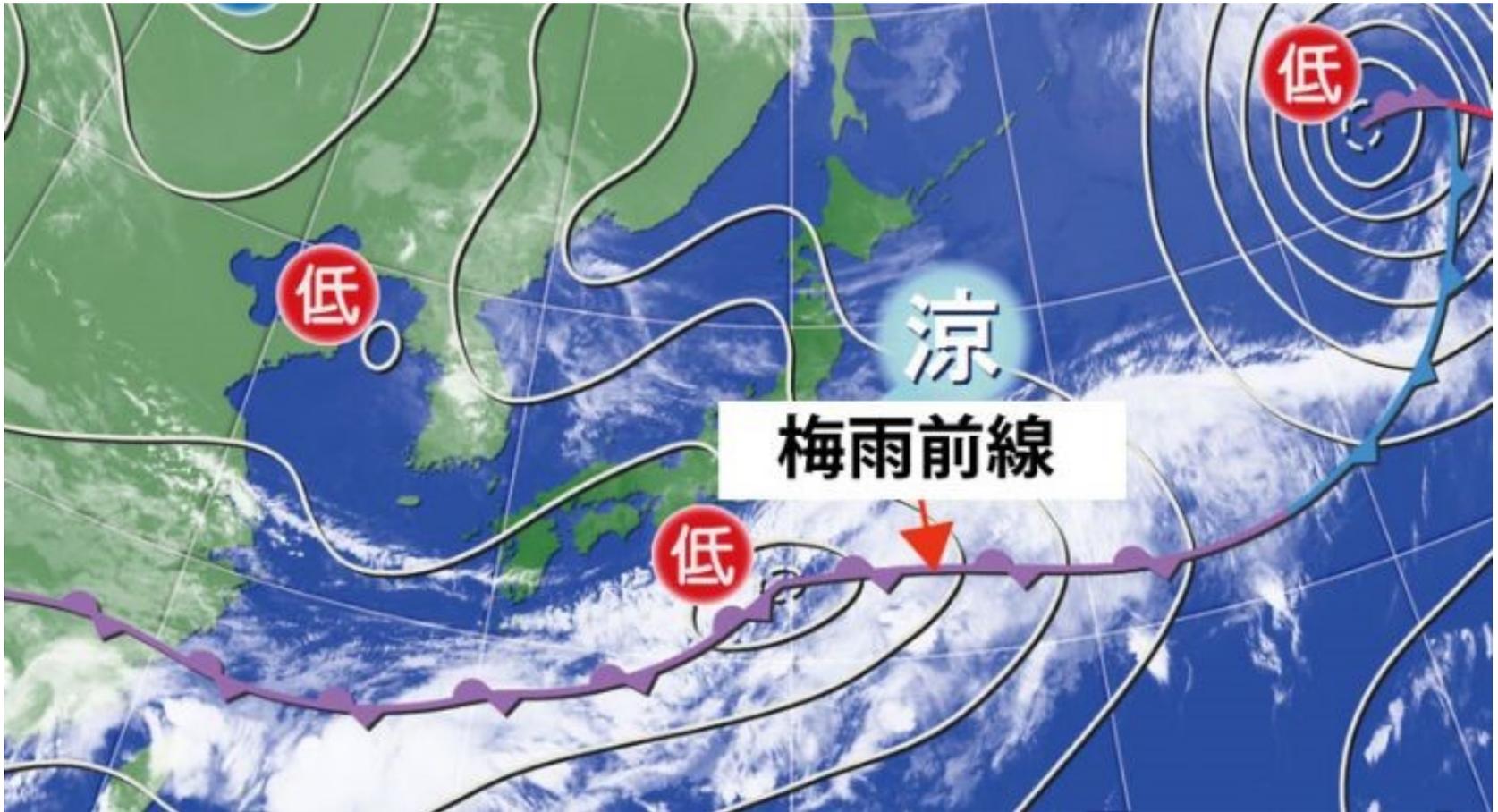


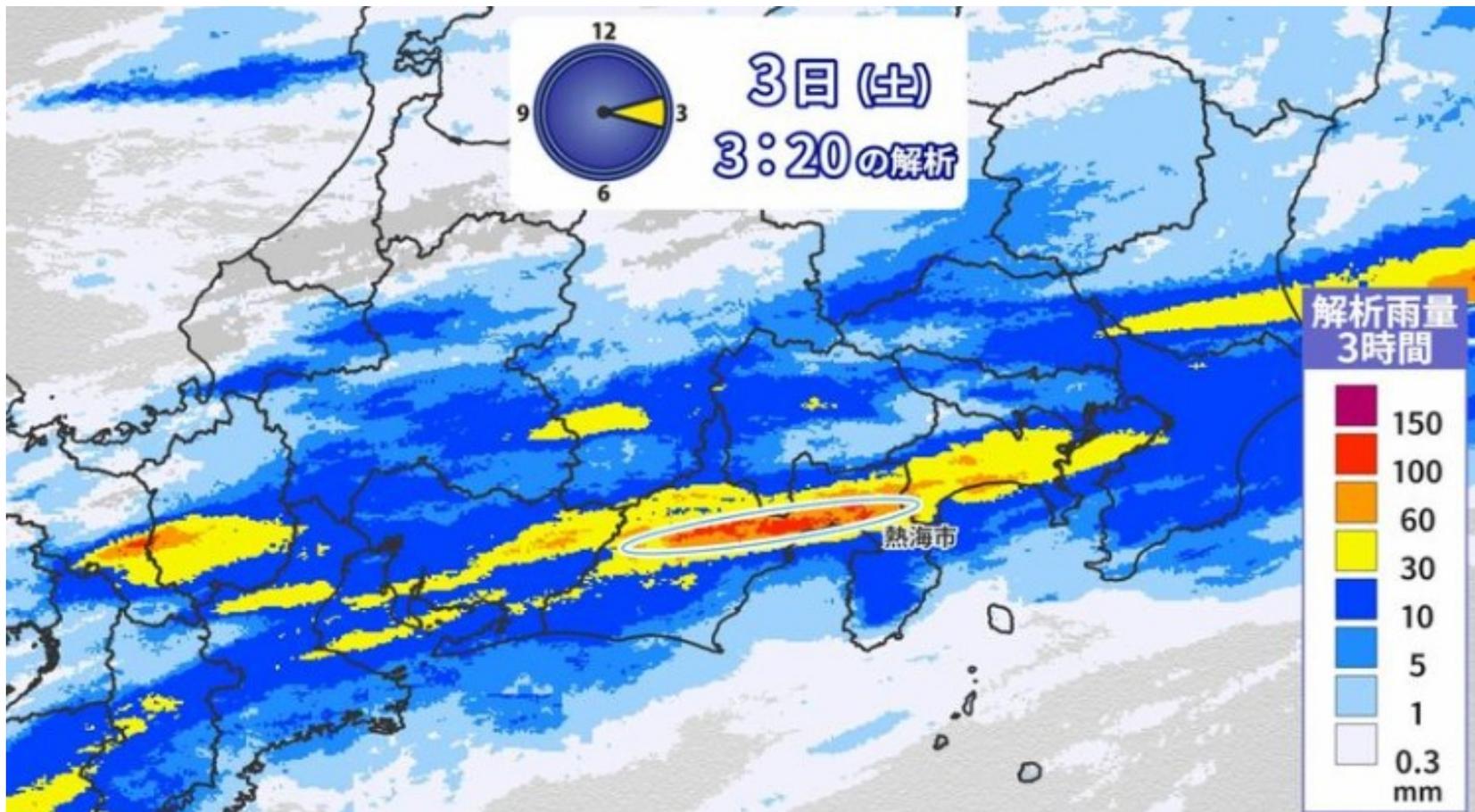
閉塞前線

# 停滞前線

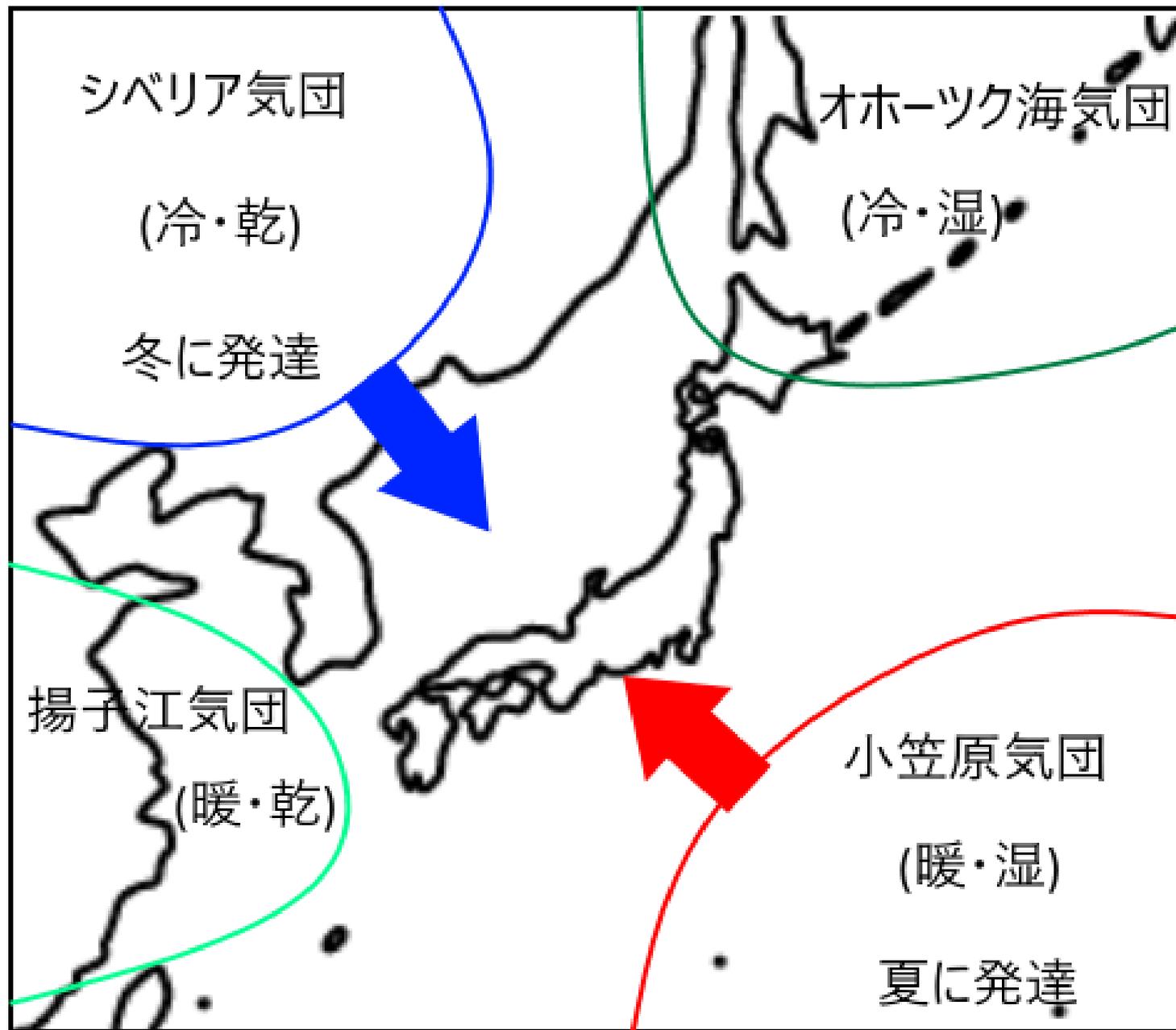
- 停滞前線は、暖かい気団と冷たい気団の勢力が等しい状態又はほとんど移動しない状態で接触した場合に発生する前線。
- 上空の風向と、前線の走向が並行になっていると停滞前線ができる。停滞前線は、多くは東西に伸びているが、南方の暖気団と北方の冷氣団との相対的な勢力により、南北に上下運動をするので、前者が打ち勝てば前線は北上し、後者が打ち勝てば前線は南下する。
- 雲の状況と雨の降り方は温暖前線に似て、長く連続した雨が降る。南海上から暖かく湿った空気が流れ込んで活動が活発になると、積乱雲が発達して大雨になることがある。
- 梅雨前線、秋雨前線などが代表例である。その他、春の「菜種梅雨」時や、晩秋から初冬にかけての「サザンカ梅雨」時のぐずつき天気も、本州南岸沿いに伸びる停滞前線に起因することが多い。

# 梅雨時期の天気図の特徴





2021年7月3日（土）午前10時30分ごろ、熱海市伊豆山地区で大雨による大規模な土石流が発生しました。今回の大雨の特徴は短時間豪雨ではなく、長時間強い雨が続くパターンです。しかも、「線状降水帯発生情報」の基準には達していなかったものの、“隠れ”線状降水帯が現れていました。



# 梅雨前線

[梅雨前線とは？発生仕組みや特徴、秋雨前線との違いを解説 | Domani \(shogakukan.co.jp\)](#)

- 「梅雨前線」は、北側にあるオホーツク海気団と、南側にある小笠原気団が、季節とともに入れ替わろうとすることで起きる停滞前線の一種です。この2つの気団はほぼ同じ勢力のため、お互いに張り合うことで動きがゆっくりになり、停滞しているように見えます。
- その後、小笠原気団がオホーツク海気団を北へ押し上げていき、北海道の南あたりで消えることがほとんどです。北海道に梅雨がないといわれるのはこのためです。北海道へは7月下旬頃に梅雨前線が到達するので、気温の上昇とともに気団の勢力は弱まっていきます。寒気や台風の影響によっては激しい雨が降ることもあります。

# 梅雨の特徴

- 梅雨前線は1カ月以上も日本にとどまり、雨を降らせませす。活発になる時期は5～7月頃で、5月上旬頃に南で発生して北上します。東日本に到着するのはだいたい7月頃です。
- 東北地方で梅雨が始まる頃には、九州・沖縄地方では梅雨明けとなっているでしょう。雨の降り方は、梅雨が終わりに近づくにつれて強くなる特徴があります。
- 西日本の梅雨は集中的に雨が降り、九州や四国地方では強い雨になりやすい傾向があります。
- 気温も上がるので、暑い日々が続くでしょう。また、水害や土砂災害が起こるほどの強い雨が降ることもあります。
- 地域によっては、年間水量のほとんどが梅雨の時季に降るため、重要な「水資源」になるという一面もあります。
- 反対に、関東や東北では、比較的静かな雨が降り続き、肌寒くなる日もあります。

# 前線に近いほど雨が強い

- 地域によって雨の降り方が異なる理由は「前線との距離」が関係しており、前線に近いほど強い雨が降ります。
- 西日本は梅雨前線に近く、南からの暖かく湿った空気の影響を受けることから強い雨が降ります。一方、東日本や東北地方は梅雨前線から離れた位置にあり、雨雲が発達しにくく、弱い雨が降ります。
- 気温にも差があり、梅雨前線の南側に入る地域は暑くなりやすく、北側に入る地域は涼しくなりやすい傾向があります。

# 梅雨入りの基準

- 梅雨入りの明確な基準は設けられていないものの、5日程度の移り変わりの時期があります。しばらく晴れが続いたあと、雨や曇りが連続して訪れることが予測できるときを「梅雨」としています。
- 梅雨入りや梅雨明けの時期は、暫定的に決められているので、発表したあとから修正されることも珍しくありません。梅雨の時期が近づいてきたら、天気予報に注目してみてください。

# 梅雨明けまでの流れと天気

- 例年6月に入ると、寒気と暖気の勢力がほぼ同じになり、前線の位置がほとんど動かなくなります。梅雨前線がある地域では、曇りや雨の日が多くなるでしょう。
- その後、梅雨の半ばに差し掛かると一旦天気が回復し「梅雨の中休み」に入ります。晴れ間が続き、夏日になることもあるので、梅雨が明けたように感じるかもしれません。
- そして、南から順に6月後半～7月中旬にかけて「梅雨明け」となります。梅雨明けの直前になると、断続的に強い雨が降ることがありますが、梅雨が明けたあとは晴天が続き、季節も夏へと移り変わります。

# 秋雨前線

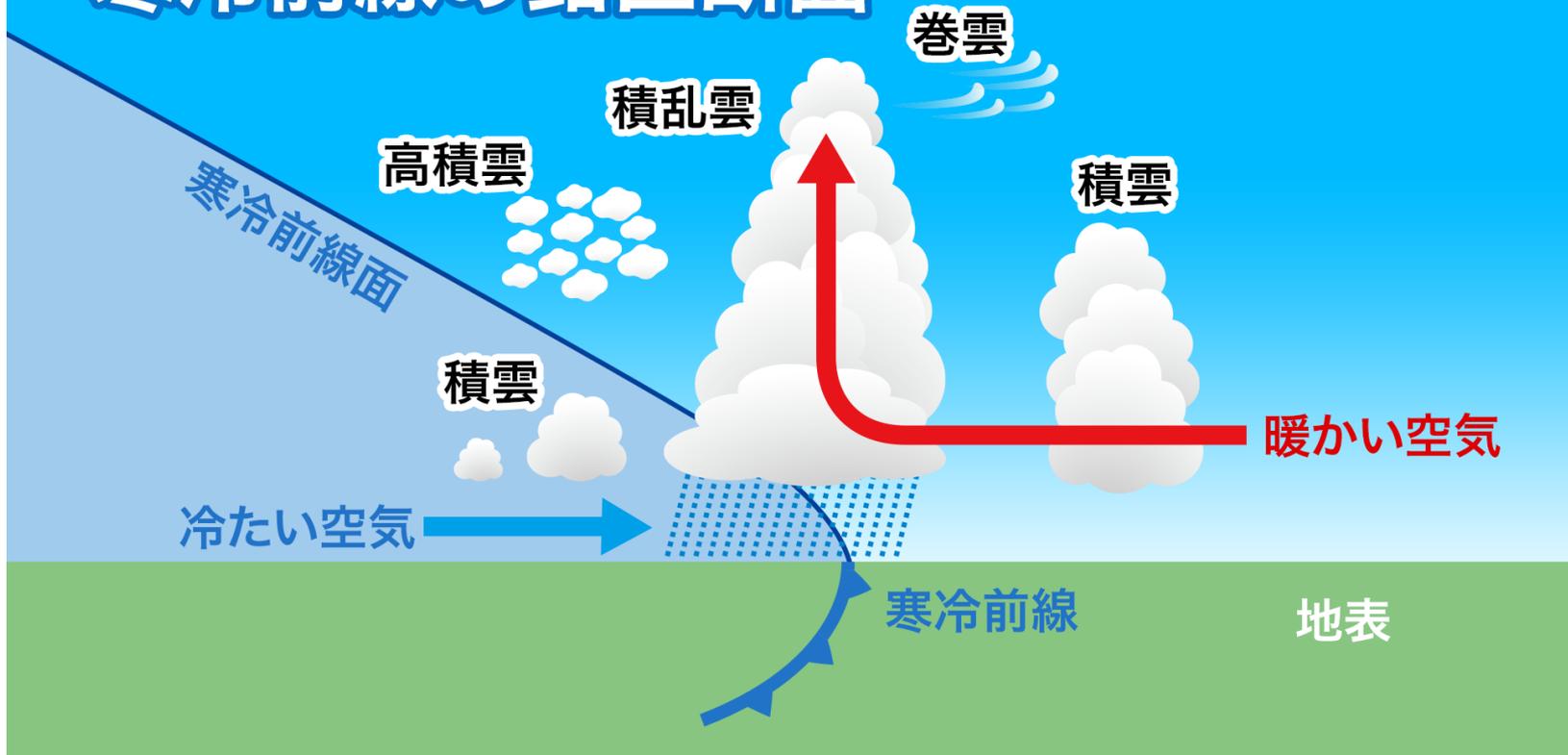
- 梅雨前線と秋雨前線は、進行方向が異なる
- 梅雨前線は南で発生し、北へ進んでいきますが、秋雨前線は進行方向が逆になり、南に向かって進んでいきます。
- 秋になるとやってくる冷たい空気が、南にある暖かい空気と押し合いながら進みます。始めは活発に動き、終わりに向かって穏やかになっていくところも、梅雨前線と異なる点です。梅雨に比べると、秋雨は雨量が少ない傾向があります。
- 同じ停滞前線の仲間なので、秋雨入り宣言や秋雨明け宣言があると思われがちですが、天候にはっきり違いが現れないため、秋雨入りや秋雨明けなどの概念はありません。
- 台風が接近した場合は要注意
- 秋雨前線の発生は、8月末～10月末頃までです。梅雨に比べて雨量が少ないとはいっても、時季的に台風が多いことから、影響を受けて大雨が降ることもあるので注意しましょう。
- 暖かい空気が秋雨前線に刺激されると、台風から離れていても大雨になる場合があります。秋雨シーズンは、台風の動きもよくチェックして、大雨に備えることが大切です。

前線には、温暖前線、寒冷前線、停滞前線、  
閉塞（へいそく）前線の4つがある。

温暖前線       ： 暖気の勢力が強い  
寒冷前線       ： 寒気の勢力が強い  
停滞前線       ： 暖気と寒気の勢力がほぼ同じ  
閉塞前線       ： 寒冷前線が温暖前線に追いつ  
いて生じる

そして、前線のところで雨風が起こる

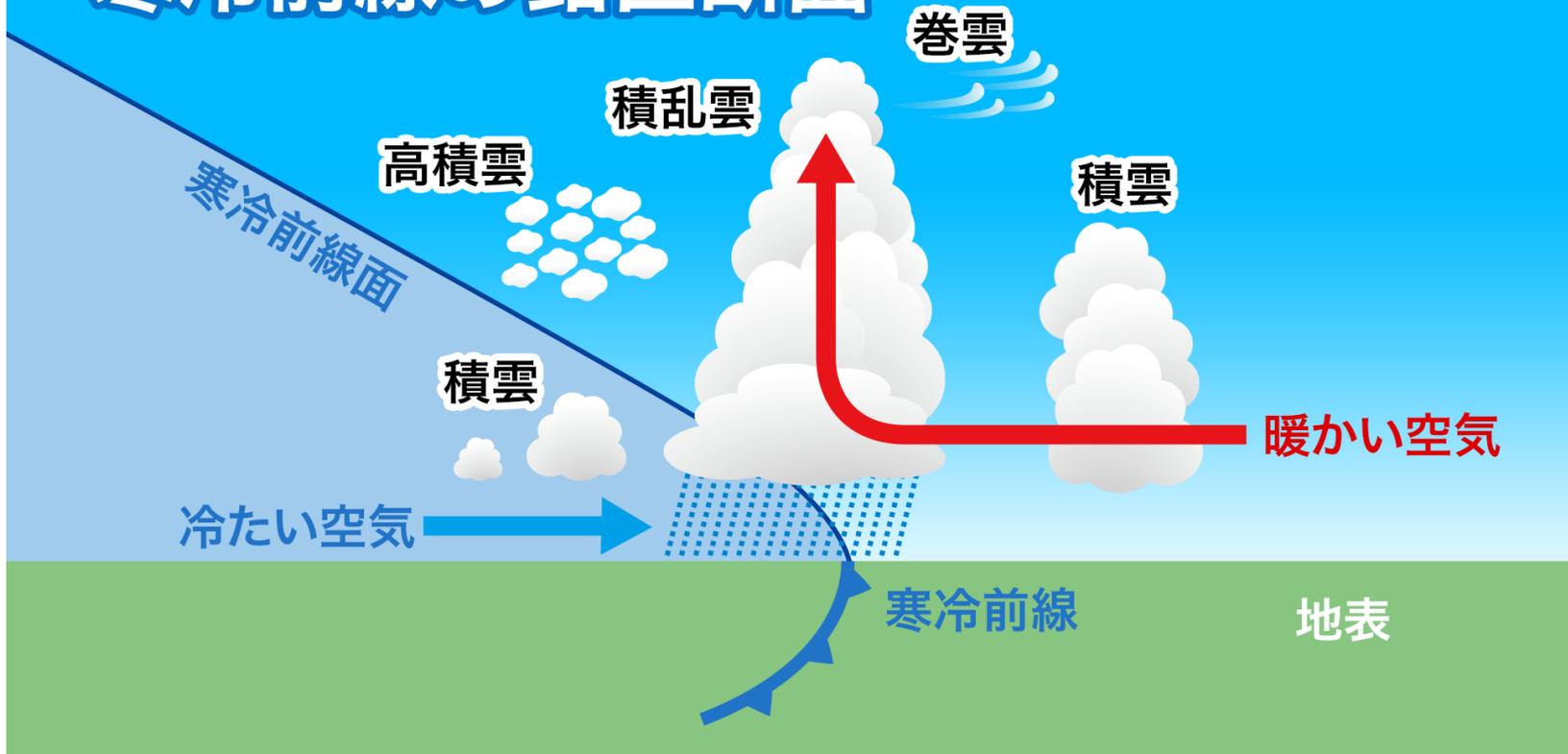
# 寒冷前線の鉛直断面



寒気が暖気を押し上げるため、強い上昇気流が発生する。よって、前線付近では積乱雲が発達し、雷や強い雨（雪）をもたらすこともある。しかし、寒冷前線に伴う降水は範囲が狭く、時間も短い。

前線が通った後は寒域に入るため、風向が北寄りに変わり、気温も下がる

# 寒冷前線の鉛直断面

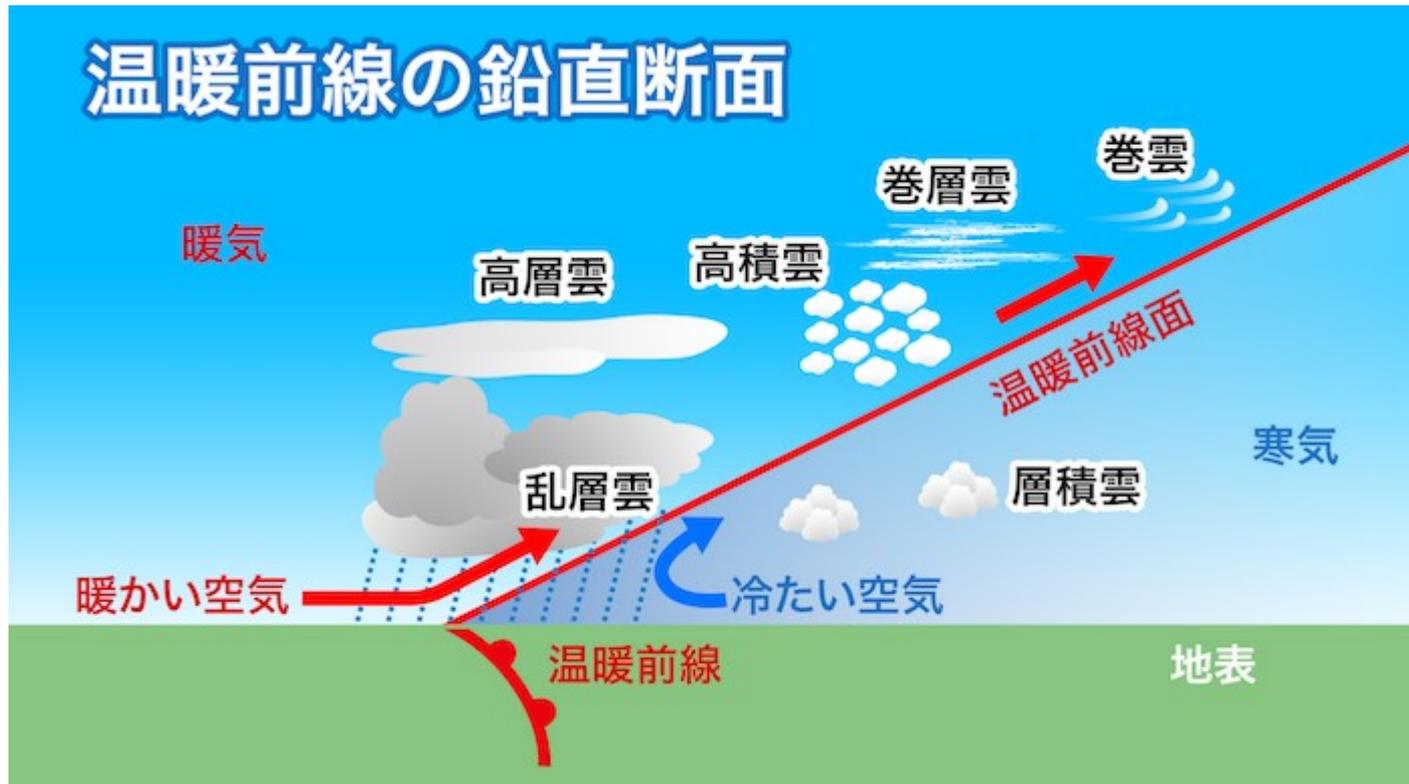


水分を多く含んだ暖かい空気に、冷たい空気が混じると、雲ができ雨になる。

暖かい空気は、たくさんの水分をためることができる。

温度が下がると、貯められない水分が水になる。

冷たい水を入れたガラスの外側に水滴がつく、風呂場の天井に水滴がつくのも同じ現象。



温暖前線は、暖気の勢力が寒気の勢力より強いときに生じる。

暖気は寒気の上をはい上がり、広い範囲に緩やかな上昇気流を発生させる。

前線付近には乱層雲があり、雨や雪が降る。前線に伴う降水は範囲が広く、長時間続くのが特徴。

前線が通った後は暖域に入るため、風向が南寄りに変わり、気温も上がる。

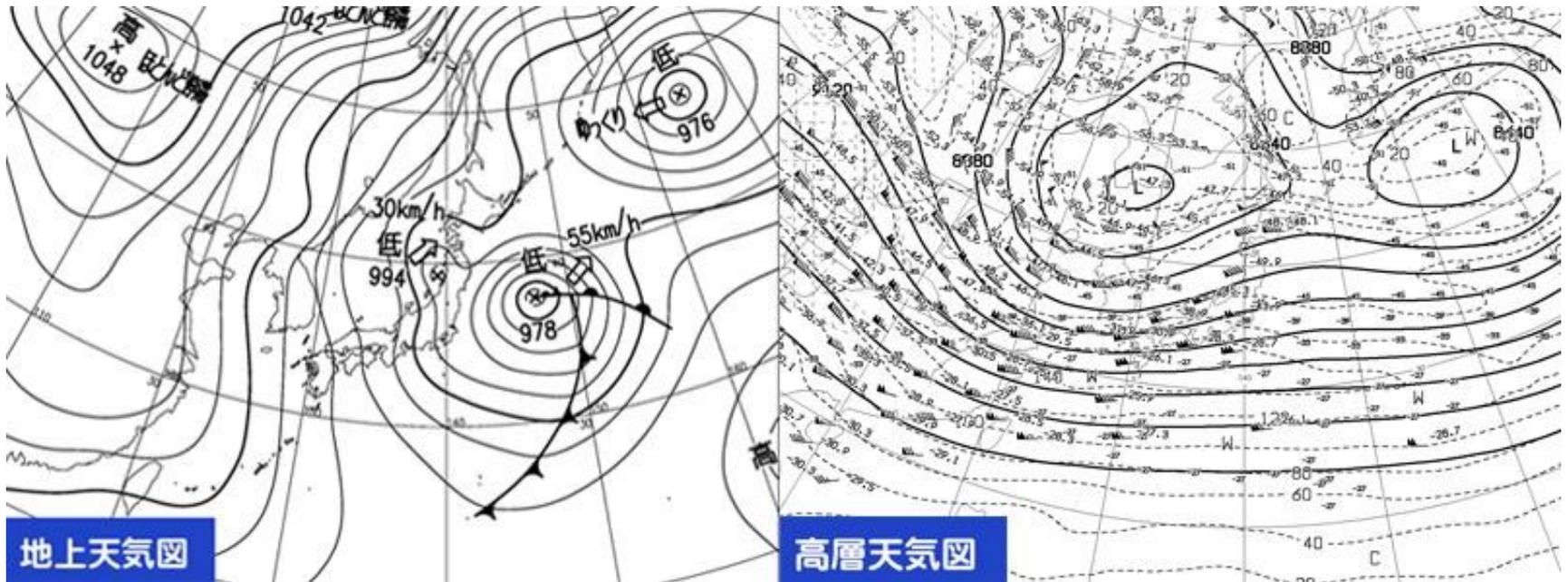
# 天気図について

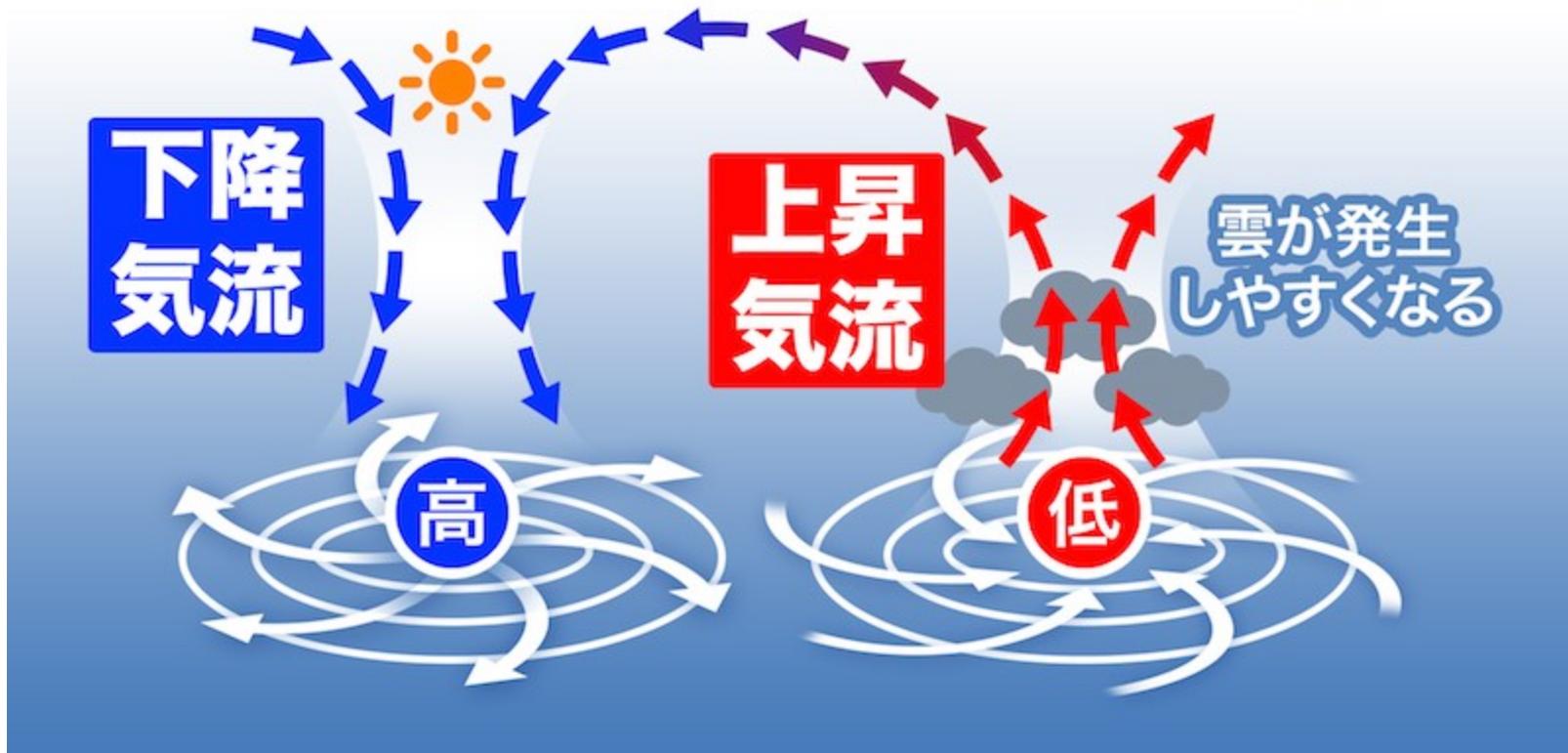
リング状の等圧線が何重にもなっている。

高気圧のところは、良い天気。低気圧のところは、悪天になりやすい。

風は、高気圧から低気圧の方に向かって吹く。

等圧線の間隔が狭いほど風が強い。





高気圧は、中心に下降気流があるため、上空に雲ができず、良い天気となります。

では「○○から低気圧が近づき」と言っていたらどうでしょう。中心に上昇気流がある低気圧が、雲を引き連れてやってくるため、天気は下り坂となります。



風は、高気圧から低気圧の  
方に  
向かって吹く。

**日本の冬は、西高東低の  
気圧配置になる。**

冷たい大陸の空気は低温で  
重く、  
太平洋上の空気は、温度が  
高く  
軽い。

西風が強く、寒くなる。



夏の日本は蒸むし暑あつい日が続つづき、晴天の日が多いよ。

でも、強い日射のために積乱雲が発生しやすく、午後雷雨になることもある。

気圧配置は南高北低型だ。



春や秋は、低気圧や高気圧が交互に通過つうかする。

このために天気が周期的に変かわるようになる。

寒暖を繰り返りかえしながら、春から夏に向けて次第に気温が上昇し、夏から秋に向けて低下する。



冬はロシアのシベリア地方で高気圧が発達し、日本の東の海上には低気圧が発達して、西高東低の気圧配置になる。

このためシベリアから北西の季節風がふき、これが東北や北海道の日本海側に大雪を降らせる。

地球上の気圧は、  
どのようにして計っている？

[chapter4.pdf \(jma.go.jp\)](#)

# 海洋気象観測

- 海洋では、古くは気象観測船による観測が行われていたが、観測拠点を増やし長時間観測を行う必要性から、無人の海洋気象ブイが登場し20世紀中盤から普及した。
- 地上と異なり、位置制御を行わない観測船やブイは、常時同じ地点で観測できない。
- 地上気象観測の要素とほとんど同じものが観測できるが、海流の向きや速度、海水温、海氷の有無など、海に特化したものが観測できる。海洋学の研究でも重要な手法である。

# 高層気象観測

- 950年代後半以降は気球の特殊観測装置を搭載したオゾンゾンデや露点ゾンデ、観測ロケットで気球で届かない高高度の成層圏全体の観測を行なうロケットゾンデ、台風の目の中に飛行機などから投下して観測するドロップゾンデなども登場している。
- 日本では1920年8月に高層気象台が創立され、1921年4月に測風気球観測、1925年8月に探測気球観測、1944年9月にはラジオゾンデによる高層気象観測が始まっている。
- 飛行機の発明により、観測機器を搭載した機体による観測も始まった。旅客機は海上など観測点が無い場所を定期的に飛行するため重要な情報源となっている。

# ラジオゾンデによる高層気象観測

- ラジオゾンデは、上空の気温、湿度、風向、風速等の気象要素を観測する気象観測器。
- 気象庁では、ラジオゾンデをゴム気球に吊るして飛揚し、地上から高度約30kmまでの大気の状態を観測している。
- ラジオゾンデによる高層気象観測は、世界各地で毎日決まった時刻（日本標準時09時・21時）に行われており、気象庁では、全国16か所の気象官署や昭和基地（南極）で実施している。
- この他、海洋気象観測船でもラジオゾンデによる高層気象観測を行っている。
- ラジオゾンデによる高層気象観測で得られたデータは、天気予報の基礎である数値予報モデルや、気候変動・地球環境の監視、航空機の運航管理などに利用されている。

# ラジオゾンデ

- ラジオゾンデは、気圧、気温、湿度等の気象要素を測定するセンサを搭載し、測定した情報を送信するための無線送信機を備えた気象観測器です。
- 温度計と湿度計は、ラジオゾンデから突き出たアームに取り付けられており、気圧計や無線送信機、電池等は、ラジオゾンデの本体（白色発泡スチロールまたはプラスチックの収容箱）内部にあります。
- ラジオゾンデの中には、気圧計を持たない代わりに、受信したGPS信号から計算される高度を用いて気圧を求めるものもあります。

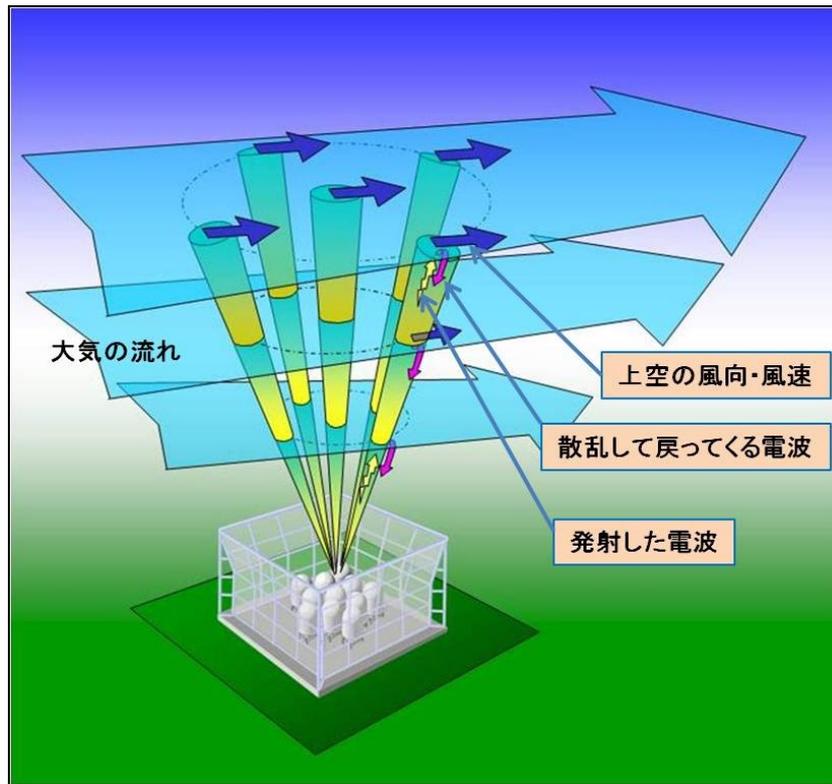


風向・風速の測定には、ゾンデを吊り下げた気球が流されていく様子から計算したり、GPS信号を用いて計算することができます。ラジオゾンデのうち風向・風速の測定にGPS信号を利用するものを特に「GPSゾンデ」と呼んでいます。

気象庁は、GPSゾンデをゴム気球に吊るして飛揚し、地上から高度約30kmまでの大気の状態（気圧、気温、湿度、風向・風速等）を観測しています。

観測を終えたGPSゾンデは、パラシュートによってゆっくり降下します。

# ウィンドプロファイラ



ウィンドプロファイラは、「ウィンド（風）のプロファイル（横顔・輪郭・側面図）を描くもの」という意味の英語の合成語です。

ウィンドプロファイラは、地上から上空に向けて電波を発射し、大気中の風の乱れなどによって散乱され戻ってくる電波を受信・処理することで、上空の風向・風速を測定します。

地上に戻ってきた電波は、散乱した大気の流れに応じて周波数が変わっているので（ドップラー効果という）、発射した電波の周波数と受信した電波の周波数の違いから大気の動きがわかります。

**実際の観測では上空の5方向に電波を発射**しているので、風の立体的な流れがわかります。



[47909] 名瀬 (北緯28.38°, 東經129.5°, 標高3m)

水平風

N

E

5kt

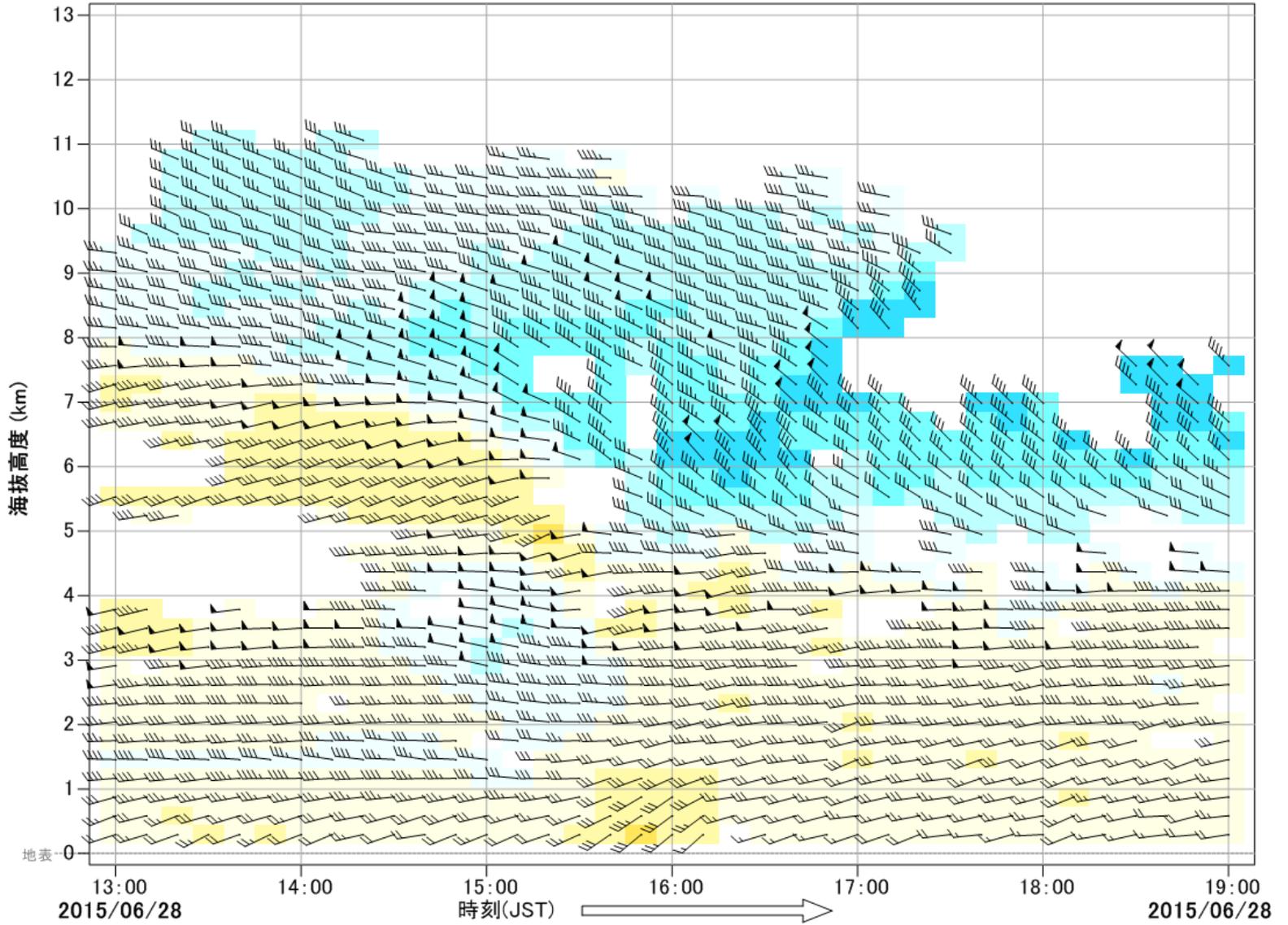
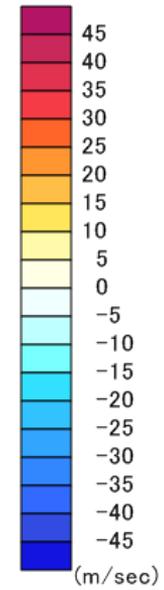
10kt

20kt

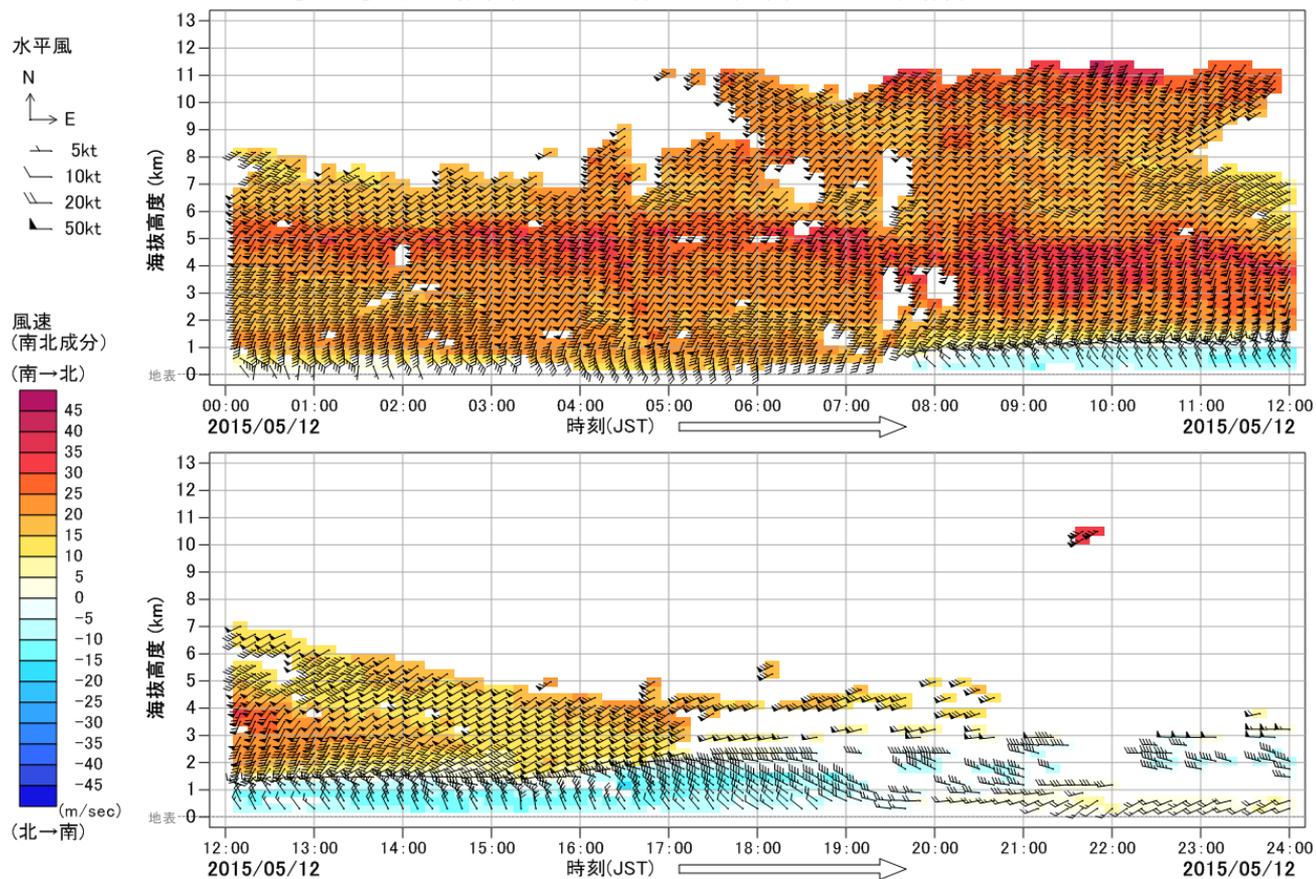
50kt

風速  
(南北成分)

(南→北)



[47848] 鹿児島/市来 (北緯31.71°, 東経130.32°, 標高25m)

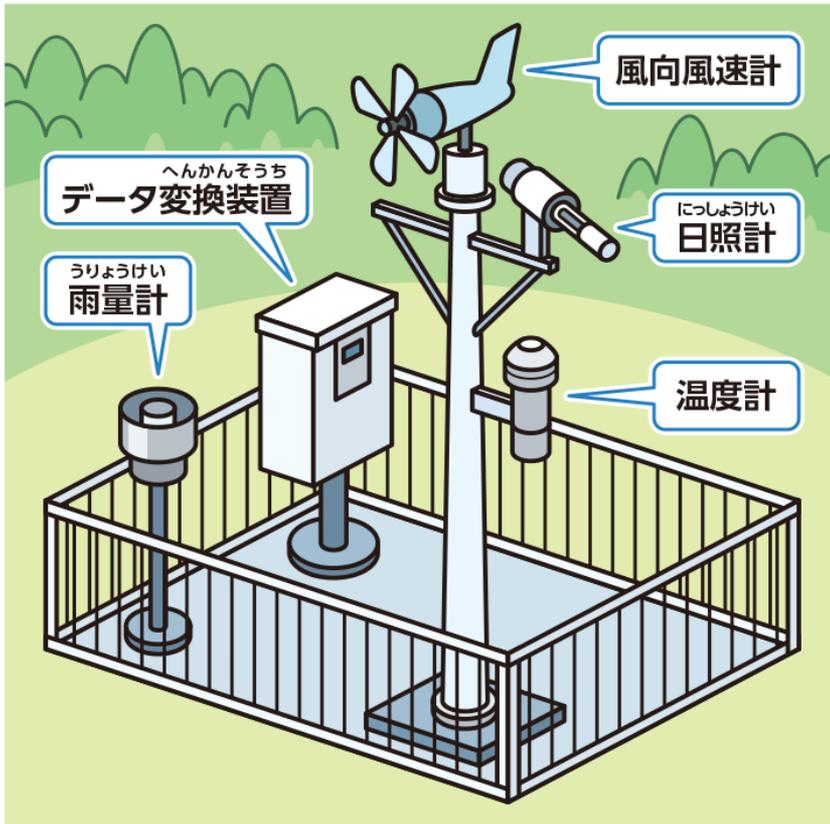


## 2015年5月12日0:00～24:00のウィンドプロファイラ市来局 の観測データ

図左の凡例に示されている矢羽は、風が西から東向き（図の左から右向き）に吹くことを表しています。  
矢羽の背景色は、暖色系が南から北向きに吹く風を、寒色系が北から南向きに吹く風を表しています。

# 台風気圧の計測は、ドボラック法による

- 1987年8月までは、米軍による飛行機観測で直接測定していたが、現在では直接中心気圧や風速の測定は、衛星画像を用いた「ドボラック法」という間接的な方法を基本にしている。
- 「ドボラック法」とは、気象衛星による画像と、飛行機観測のデータを比較して、アメリカの気象学者ドボラックが開発した方法である。
- ドボラックは、衛星画像から得られる雲のパターンと台風の勢力に一定の関係があることに目をつけ、衛星画像から台風の勢力を推定するマニュアルを作成した。
- この方法が十分信頼できると認められ、更に改良を加えられて、現在では危険を伴う飛行機の観測をせずに、台風の強さを推定するのに用いられている。
- 素人でも、中心の目の形が小さくはっきりして丸ければ強い台風、目がはっきりなくなり広がってくれば衰弱期といった程度のことを見当がつく。もっとも、最近では更に正確さを追求して飛行機観測を復活させようとする動きもあるそうです。



アメダスは、気象庁の地域気象観測システムのこと。

日本全国約840か所、降水量だけを観測するものを足すと約1,300か所に機械が置おかれている。

ここから降水量や気温、風向、風速、日照時間などの観測データが自動的に送られてくる。これらのデータを元にして天気を予測よそくし、天気予報を発表している。

このほかにも、気象衛星の「ひまわり」や最新のスーパーコンピュータを使って、さまざまな気象情報を分析している。

# アメダス



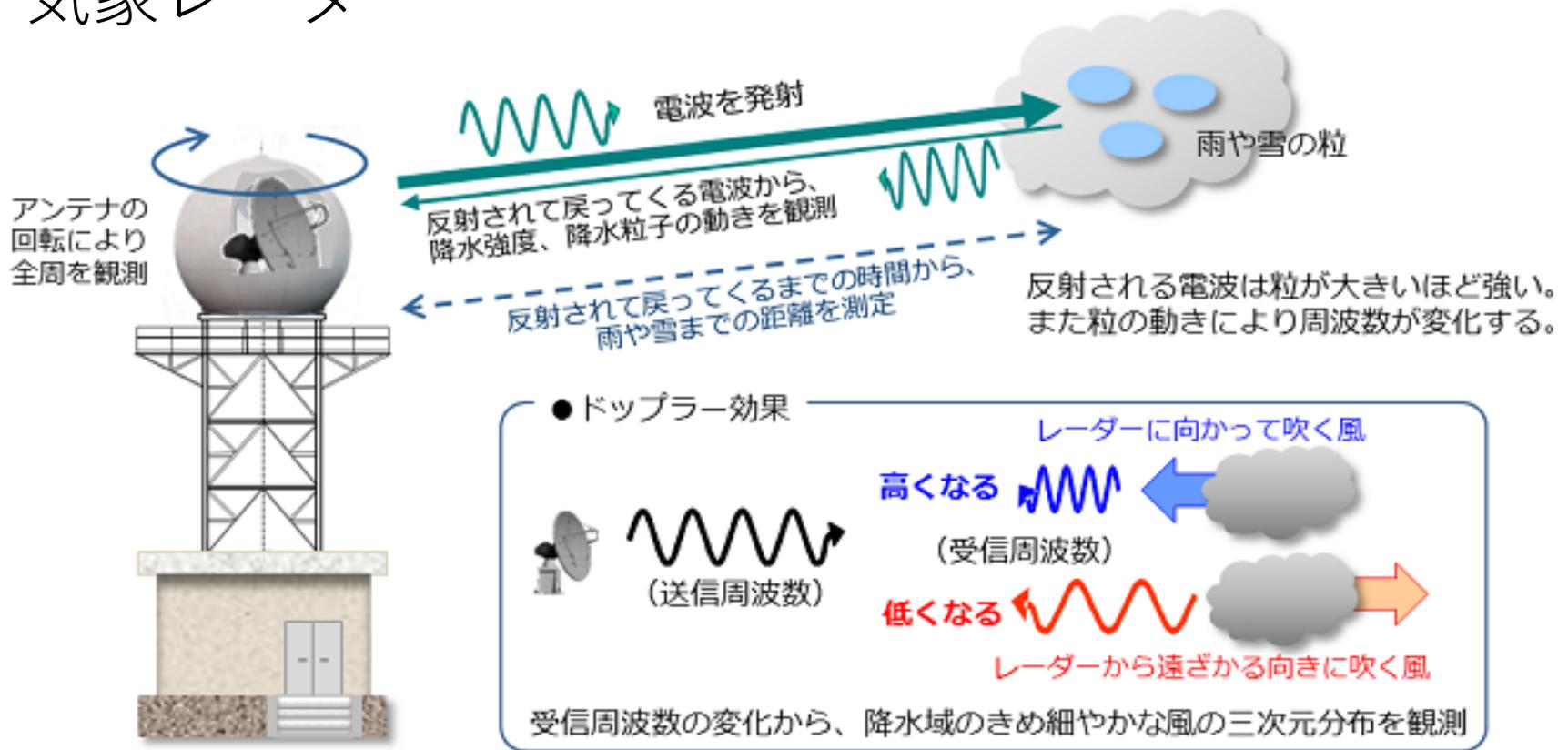
アメダス (AMeDAS) とは  
「Automated Meteorological  
Data Acquisition System」の略

雨、風、雪などの気象状況を  
時間的、地域的に細かく監視  
するために、降水量、風向・  
風速、気温、湿度の観測を自  
動的におこない、気象災害の  
防止・軽減に重要な役割を果  
たしています。

現在、降水量を観測する観測  
所は全国に約**1,300**か所（約  
**17km**間隔）あります。

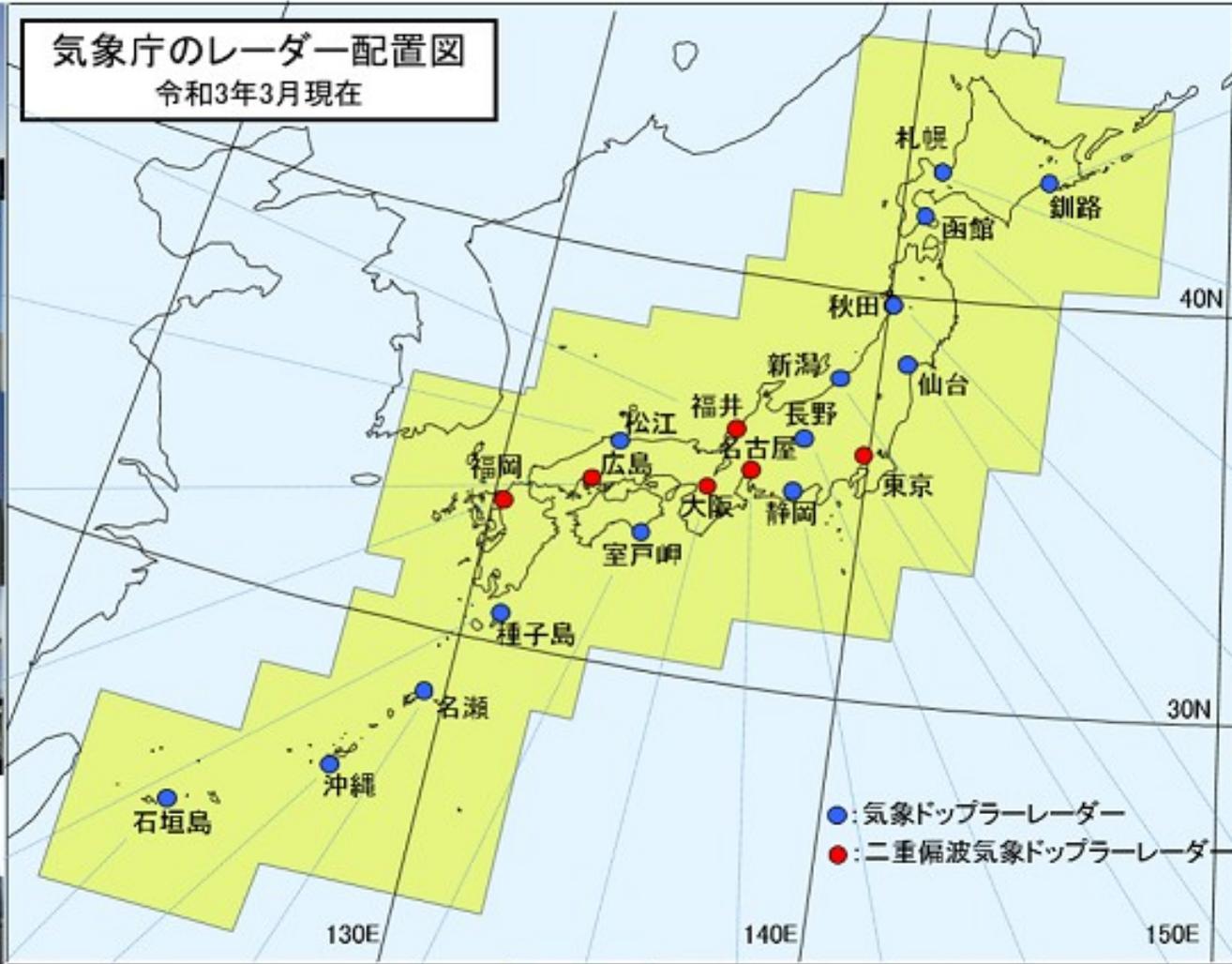
このうち、約**840**か所（約  
**21km**間隔）では降水量に加  
えて、風向・風速、気温、湿度  
を観測しているほか、雪の多  
い地方の約**330**か所では積雪  
の深さも観測しています。

# 気象レーダー



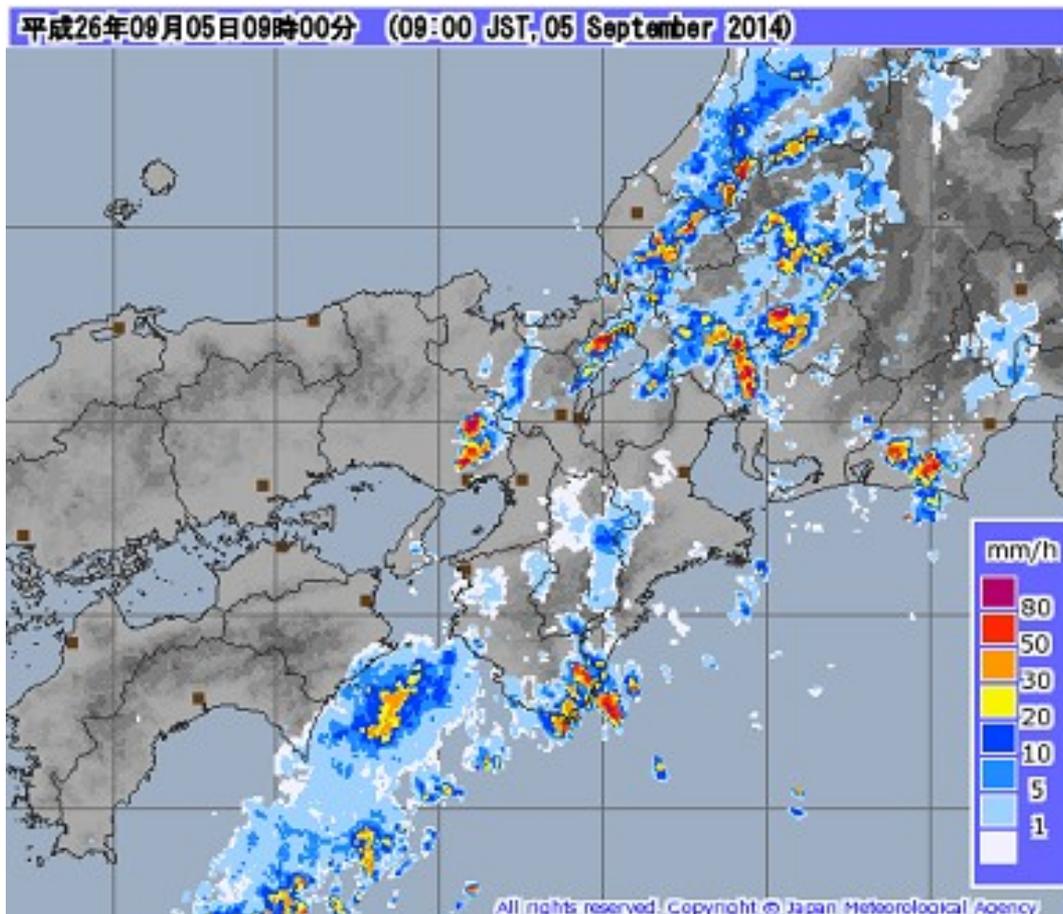
気象レーダーは、アンテナを回転させながら電波を発射し、半径数百kmの広範囲内に存在する雨や雪を観測する。発射した電波が戻ってくるまでの時間から雨や雪までの距離を測り、戻ってきた電波の強さから雨や雪の強さを観測する。また、ドップラー効果を利用して、雨や雪の動きすなわち降水域の風を観測することができる。二重偏波気象ドップラーレーダーは、水平方向と垂直方向に振動する電波を用いることで、雲の中の降水粒子の種別判別や降水の強さをより正確に推定することが可能です。

# 気象庁のレーダー配置図 令和3年3月現在



- : 気象ドップラーレーダー
- : 二重偏波気象ドップラーレーダー





寒冷前線付近に観測されるエコー（平成26年9月5日09時）

日本列島に沿う寒冷前線がゆっくりと南下した日のエコーです。

北日本から西日本にかけて線状のエコーが観測され、ところどころでかなり発達したエコー（赤など暖色で表示）が観測されています。

寒冷前線付近は対流雲が発達しやすく、落雷や竜巻などの突風、急な大雨に注意が必要です。

# 天気予報は、どうやってするの？

## 気象庁のスーパーコンピューターによる数値予報

日本や世界の観測値をもとに、未来の状態をスーパーコンピューターで計算して予測します。



気象庁のスーパーコンピューター

写真提供 気象庁

# まず観測する

- 宇宙からの気象衛星からの写真や、
- 気象レーダー（アンテナから電磁波出して、反射して来る電磁波を分析する）や、
- 気象台や数百か所の測候所などが、気圧・風向き・風速・気温や湿度などの大気の状態を観測します。
- 有名な「アメダス」は、気象庁管轄の日本の1300か所程の無人観測施設の事、気象庁と専用回線で結んでいます。
- そういう情報を送る機械が、気象情報伝送処理システムの「アデス」です。
- 気圧を測る気圧計は、地上と海に浮かんでいます。
- 上空の気圧は、気球を飛ばして気圧計で測ったりもします。

- それをコンピュータで分析予測する
- その観測結果（気圧配置など）を大気の状態を計算する為の、スーパーコンピュータに、昔からのデータを詰め込んだ方程式を使わせ計算させます。こういうのを「数値予報」とか言います。

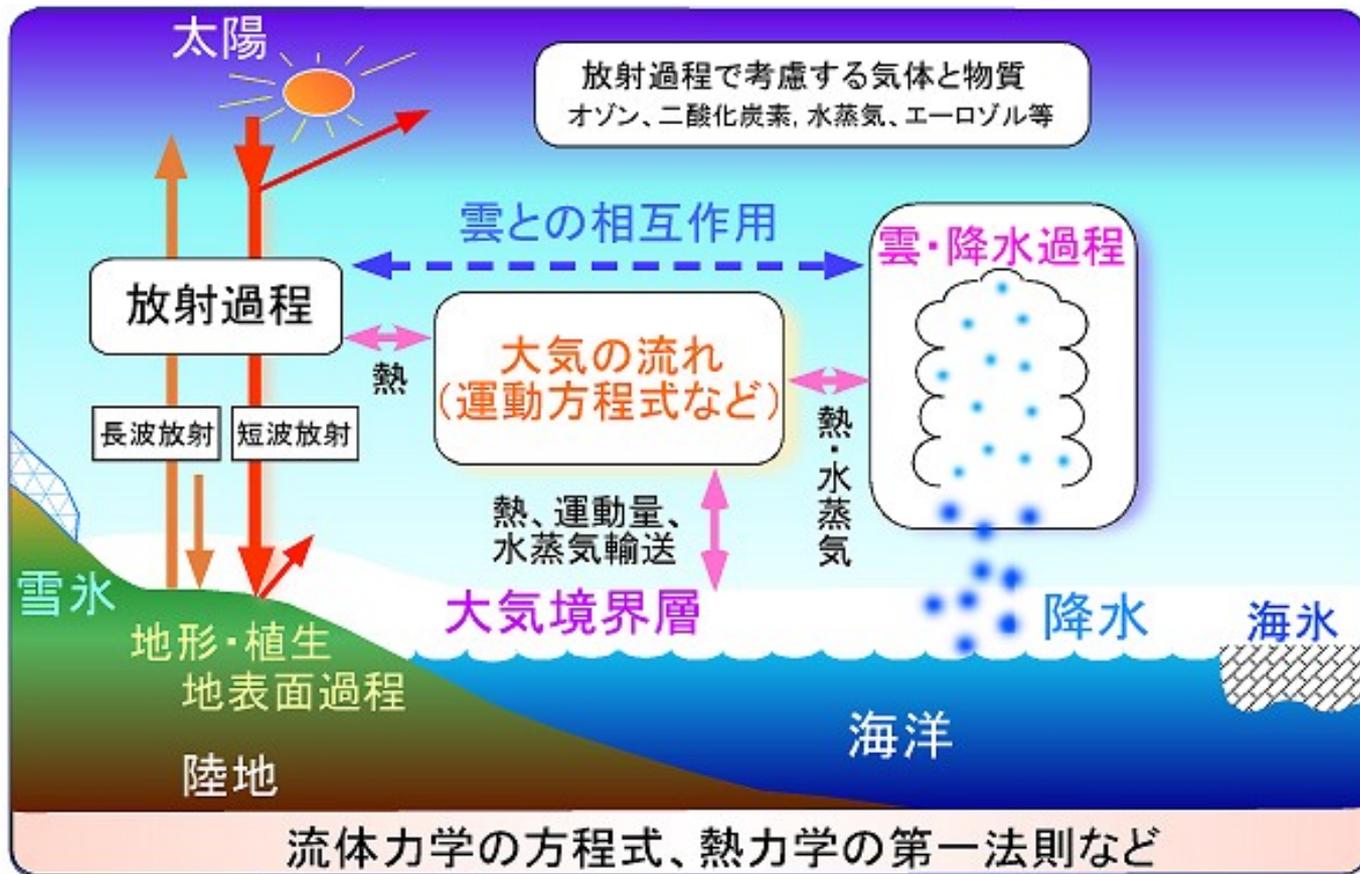
コンピュータは、2001年の時点で、1秒間で、7700億回の計算が出来ましたが、2012年の時点（9代目）では、1秒間に847兆回の計算が出来るようになった。

コンピュータは、過去の気圧配置などから、予想の今後の天気図を作ったりします。

コンピュータは、向上するたびに、精度が上がって行っているようです。

# 明日の天気予報の的中率

- コンピュータが計算した後、人が介入した後でも的中率は、
  - 1950年時点では70%程。
  - 1970年代後半に、80%越え。
  - 2006年で、的中率約86%くらい。
  - 90%越えは、いまだ果たしてはいないようです。



季節予報では、数値予報モデルを用いて将来の天候を予測しています。数値予報モデルとは、大気等の変動を表す流体力学や熱力学の方程式から、スーパーコンピュータを用いて数値計算することで、将来の天候の状態を予測する手法です。下に示す数値予報の概念図のように、現実の大気で起こっている、大気の流れや日射、水蒸気の凝結や降水など、様々な現象を考慮して将来の状態を予測しています。

2021/7/8 (水)

易しい科学の話

天気予報は  
どのように  
予測するの？



おわり

吉岡 芳夫