

竜巻を知る



平成28年6月

一般財団法人 消防防災科学センター

最近は、“極端現象”という用語が使われるように、時間雨量100mmの局地豪雨や竜巻・ダウンバーストなど激しい大気現象がクローズアップされています。

ひとたび、大規模な竜巻が発生すると、地上の構造物はひとたまりもありません。ですから、このような極端な現象を目のあたりにすると、人間は畏怖の念さえいただきます。

竜巻は、誰でも知っていますが、実際に見た人はごくわずかです。また科学的なメカニズムも完全には理解できておりません。

なぜあんなに細長い渦が形成されるのでしょうか。なぜ構造物を破壊する強大なエネルギーを有しているのでしょうか。最近、日本で甚大な竜巻被害が発生しているのはなぜでしょう。わからないことばかりです。

“雲を掴むような話”という表現がありますが、雲科学の分野では、高分解能の気象レーダーなどさまざまな“目”で観ることにより、だいぶ雲がつかめるようになってきました。竜巻の渦そのものを計測可能になってきています。

(出典)

小林 文明：竜巻～メカニズム・被害・身の守り方～，成山堂書店，2014.8

監修：

小林 文明

防衛大学校地球海洋学科教授、理学博士

北海道大学大学院理学研究科地球物理学専攻博士後期課程修了後、防衛大学校地球科学科助手、同大学講師、同大学助教授を経て現職

専門は気象学で、主たる研究テーマは積乱雲および積乱雲に伴う雨、風、雷。日本気象学会、日本風工学会、日本大気電気学会、アメリカ気象学会、アメリカ地球物理学学会会員。

著書に「Environment Disaster Linkages」(共著)、「大気電気学概論」(共著)、「竜巻～メカニズム・被害・身の守り方～」、「スーパーセル」(監訳)などがある

目 次

1. 竜巻とはどのような現象ですか?.....	4
2. 竜巻の規模はどのように表されていますか?.....	6
3. 竜巻はどこで発生していますか?.....	8
4. 竜巻の発生は増えているのでしょうか?	9
5. 竜巻にはどのような特徴がありますか?.....	10
6. 竜巻注意情報はどのようなときに出されますか?.....	12
7. 竜巻は予測できるのでしょうか?.....	14
8. 竜巻から身を守るにはどうしたらよいのでしょうか?	15
9. 近年、日本ではどのような竜巻災害がありましたか?	16
10. 米国での竜巻被害は?.....	19
【参考1】風の強さはどのように表されていますか?	20
【参考2】地球規模ではどのような風が吹いていますか?.....	22

1. 竜巻とはどのような現象ですか？

竜巻は、積雲や積乱雲の上昇流に伴う鉛直渦であり、雲底から地面（海面）まで繋がったものをいいます。巨大な竜巻は、「スーパーセル」とよばれる特別な積乱雲に伴って発生します。スーパーセル内部では上昇流と下降流が隣り合わせで存在するために、竜巻とダウンバーストは同時に発生することがあります。また、降雹、強雨、落雷も伴います。竜巻に似ている渦、すなわち上空に雲を伴わない渦は「つむじ風」とよばれます。つむじ風には、火災旋風、火山竜巻など、特別な名前のついた現象も存在します。また、ガストフロント上では2次的な竜巻が発生し、ガストネードとよばれています。

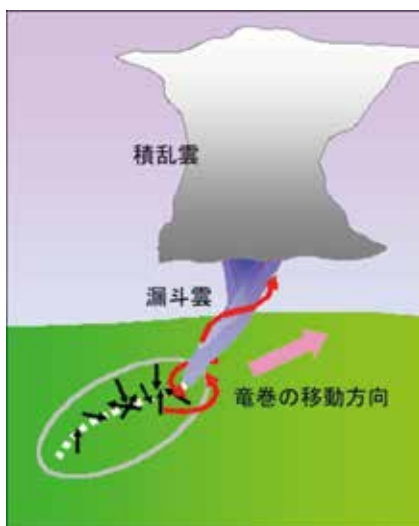
竜巻

竜巻とは、積乱雲や積雲に伴って発生する強い上昇気流をもった激しい渦巻きです。雲の底からたれ下がるように、漏斗状や柱状の雲（漏斗雲）ができ、海面や地面から巻き上げた水滴やちりや砂などが尾のように立ち上がり、これらが繋がって、漏斗状の雲の軸がまっすぐ、または曲がりくねった形で見えます。

竜巻の中心付近は周りよりも気圧が低く、そのため地表付近では竜巻の中心に向かってらせん状に風が吹き、中心に近づくほど急速に風が強くなっていき、上昇気流となって周囲の空気や物を巻き込みながら移動していきます。

台風や寒冷前線、寒気の流入など、局地的に大気の状態が非常に不安定な場合に多く発生しています。

右図の赤矢印は空気の流れ、黒矢印は樹木等の倒壊方向、白点線は竜巻の経路を表しています。竜巻による倒壊物等は竜巻の経路に集まる形で残ります。



発達した積乱雲は、竜巻のほか、ダウンバーストやガストフロントと呼ばれる破壊的な強風を引き起こすことがあります。

ダウンバースト

ダウンバーストは、積乱雲から吹き降ろす下降気流が地表に衝突して水平に吹き出す激しい空気の流れです。吹き出しの広がりには数百メートルから十キロメートル程度で、被害地域は円形あるいは楕円形など面的に広がる特徴があります。

青矢印はダウンバーストの空気の流れ、黒矢印は樹木等の倒壊方向です。積乱雲が移動している場合には、このように移動方向の吹き出しのみが強くなる場合がほとんどです。吹き出しの強さに対応して倒壊物の方向も一方向や扇状になることが少なくありません。

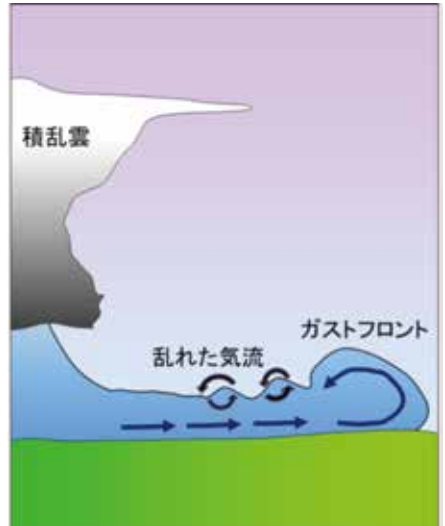
(出典)<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/toppuu/tornado1-1.html> (気象庁HP)をもとに作成



ガストフロント

ガストフロントは、積乱雲の下で形成された冷たい(重い)空気の塊が、その重みにより温かい(軽い)空気の側に流れ出すことによって発生します。

水平の広がりには竜巻やダウンバーストより大きく、数十キロメートル以上に達することもあります。薄青の領域は周囲より冷たくて重い空気を、また、青矢印は冷気外出流を表しています。黒矢印は乱れた気流を表しています。



(出典)<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/toppuu/tornado1-1.html> (気象庁HP)をもとに作成

2. 竜巻の規模はどのように表されていますか？

竜巻の規模は様々です。その規模の推定に、「藤田スケール」というものが世界的に使われています。日本では、平成28年4月1日から「日本版改良藤田スケール（JEFスケール）」が突風調査等に使用されています。

1971年にシカゴ大学名誉教授だった藤田哲也博士が当時の国立暴風雨予報センター局長のアレン・ピアソンと共に提唱したのが藤田スケールです。竜巻などの激しい突風をもたらす現象は局地的で、風速計から風速の実測値を得ることは困難です。このため博士は、竜巻などの突風により発生した被害の状況から風速を大まかに推定する藤田スケールを考案しました。

藤田スケールの階級の定義

階級	風速	想定される被害
F0	17～32m/s (15秒間の平均)	テレビのアンテナなどの弱い構造物が倒れる。小枝が折れ、根の浅い木が傾くことがある。非住家が壊れるかもしれない。
F1	33～49m/s (約10秒間の平均)	屋根瓦が飛び、ガラス窓が割れる。ビニールハウスの被害甚大。根の弱い木は倒れ、強い木は幹が折れたりする。走っている自動車が横風を受けると、道から吹き落とされる。
F2	50～69m/s (約7秒間の平均)	住家の屋根がはぎとられ、弱い非住家は倒壊する。大木が倒れたり、ねじ切られる。自動車が道から吹き飛ばされ、汽車が脱線することがある。
F3	70～92m/s (約5秒間の平均)	壁が押し倒され住家が倒壊する。非住家はバラバラになって飛散し、鉄骨づくりでもつぶれる。汽車は横転し、自動車はもち上げられて飛ばされる。森林の大木でも、大半は折れるか倒れるかし、引き抜かれることもある。
F4	93～116m/s (約4秒間の平均)	住家がバラバラになって辺りに飛散し、弱い非住家は跡形なく吹き飛ばされてしまう。鉄骨づくりでもペシャンコ。列車が吹き飛ばされ、自動車は何十メートルも空中飛行する。1トン以上ある物体が降ってきて、危険この上もない。
F5	117～142m/s (約3秒間の平均)	住家は跡形もなく吹き飛ばされるし、立木の皮がはぎとられてしまったりする。自動車、列車などがもち上げられて飛行し、とんでもないところまで飛ばされる。数トンもある物体がどこからともなく降ってくる。

(出典)<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/toppuu/tornado1-2.html> (気象庁HP)をもとに作成

藤田スケールは米国で考案されたものであり、日本の建築物等の被害に対応していないこと、評定に用いることのできる被害の指標が9種類と限られていること、幅を持った大まかな風速しか評定できないこと等の課題がありました。気象庁では、この藤田スケールを改良し、より精度良く突風の風速を評定することができる「日本版改良藤田スケール」を平成27年12月に策定しました。

日本版改良藤田スケールにおける階級と風速の関係(平成28年4月1日から)

階級	風速の範囲 (3秒平均)	主な被害の状況(参考)
JEF0	25~38m/s	<ul style="list-style-type: none"> ・木造の住宅において、目視でわかる程度の被害、飛散物による窓ガラスの損壊が発生する。比較的狭い範囲の屋根ふき材が浮き上がったり、はく離する。 ・園芸施設において、被覆材(ビニルなど)がはく離する。パイプハウスの鋼管が変形したり、倒壊する。 ・物置が移動したり、横転する。 ・自動販売機が横転する。 ・コンクリートブロック塀(鉄筋なし)の一部が損壊したり、大部分が倒壊する。 ・樹木の枝(直径2cm~8cm)が折れたり、広葉樹(腐朽有り)の幹が折損する。
JEF1	39~52m/s	<ul style="list-style-type: none"> ・木造の住宅において、比較的広い範囲の屋根ふき材が浮き上がったり、はく離する。屋根の軒先又は野地板が破損したり、飛散する。 ・園芸施設において、多くの地域でプラスチックハウスの構造部材が変形したり、倒壊する。 ・軽自動車や普通自動車(コンパクトカー)が横転する。 ・通常走行中の鉄道車両が転覆する。 ・地上広告板の柱が傾斜したり、変形する。 ・道路交通標識の支柱が傾倒したり、倒壊する。 ・コンクリートブロック塀(鉄筋あり)が損壊したり、倒壊する。 ・樹木が根返りしたり、針葉樹の幹が折損する。
JEF2	53~66m/s	<ul style="list-style-type: none"> ・木造の住宅において、上部構造の変形に伴い壁が損傷(ゆがみ、ひび割れ等)する。また、小屋組の構成部材が損壊したり、飛散する。 ・鉄骨造倉庫において、屋根ふき材が浮き上がったり、飛散する。 ・普通自動車(ワンボックス)や大型自動車が横転する。 ・鉄筋コンクリート製の電柱が折損する。 ・カーポートの骨組が傾斜したり、倒壊する。 ・コンクリートブロック塀(控壁のあるもの)の大部分が倒壊する。 ・広葉樹の幹が折損する。 ・墓石の棹石が転倒したり、ずれたりする。
JEF3	67~80m/s	<ul style="list-style-type: none"> ・木造の住宅において、上部構造が著しく変形したり、倒壊する。 ・鉄骨系プレハブ住宅において、屋根の軒先又は野地板が破損したり飛散する、もしくは外壁材が変形したり、浮き上がる。 ・鉄筋コンクリート造の集合住宅において、風圧によってベランダ等の手すり比較的広い範囲で変形する。 ・工場や倉庫の大規模な庇において、比較的狭い範囲で屋根ふき材がはく離したり、脱落する。 ・鉄骨造倉庫において、外壁材が浮き上がったり、飛散する。 ・アスファルトがはく離・飛散する。
JEF4	81~94m/s	<ul style="list-style-type: none"> ・工場や倉庫の大規模な庇において、比較的広い範囲で屋根ふき材がはく離したり、脱落する。
JEF5	95m/s~	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄骨系プレハブ住宅や鉄骨造の倉庫において、上部構造が著しく変形したり、倒壊する。 ・鉄筋コンクリート造の集合住宅において、風圧によってベランダ等の手すりが著しく変形したり、脱落する。

(出典) <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/toppuu/tornado1-2-2.html>(気象庁HP)をもとに作成

3. 竜巻はどこで発生していますか？

日本における竜巻の発生は、全都道府県で広く確認されています。

気象庁「竜巻等突風データベース」で都道府県別にみると、沖縄県と面積の大きい北海道を除くと、鹿児島・宮崎・高知県・秋田県等で多く発生していることがわかります。また、以下の竜巻発生分布図によると、関東平野・濃尾平野など太平洋側の平野部と日本海側の海岸で多く発生しています。



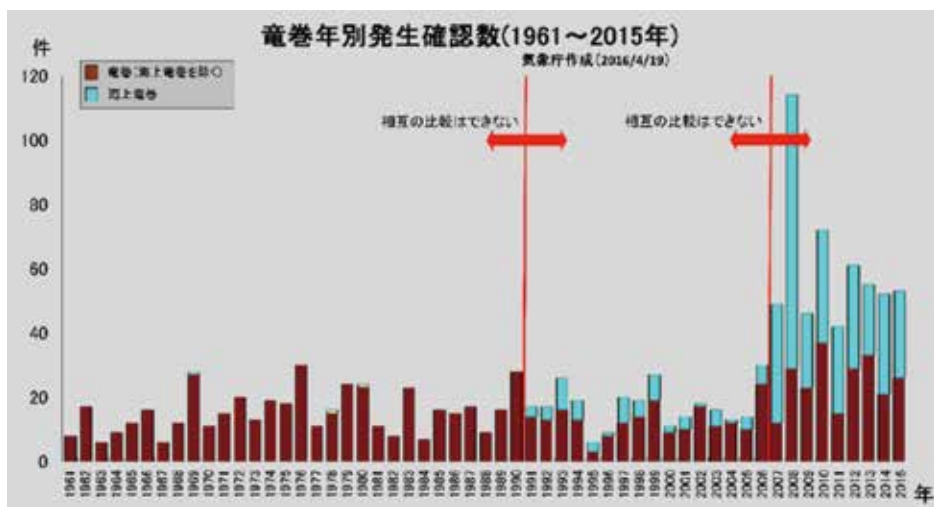
(出典)<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/stats/bunpu/image/bunpuzu.png> (気象庁HP)をもとに作成

4. 竜巻の発生は増えているのでしょうか？

竜巻の発生確認数は、増えているのでしょうか。1990年以前は「竜巻」及び「竜巻またはダウンバースト」を確認できる資料が少ないなどの理由により、1991年以降と確認数を単純に比較することはできません。また、2007年から突風の調査を強化したため、見かけ上竜巻が増えている可能性があり、2006年以前と2007年以降の確認数を単純に比較することはできません。

評価の精度は近年向上しており、携帯端末やSNSなどの情報通信技術の普及と、気象台による報道及び目撃情報の収集強化により、海上竜巻の発生確認数も格段に増えました。

このため、2007年以降、竜巻の発生確認数が調査体制の強化前に比べて増えており、竜巻発生数が増えたかのように見えますが、2006年以前と2007年以降の発生確認数を単純に比較することはできないため、竜巻が増えたとは言えません。



(出典)<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/stats/annually.html>(気象庁HP)をもとに作成

5. 竜巻にはどのような特徴がありますか？

竜巻のような局所的な現象は、空を見て天気を予測することが重要です。次のようなサインを感じたら、普通でない積乱雲と考えて行動を起こしましょう。

急に暗くなる

雷鳴が聞こえる

雹が降ってくる

叢(くさむら)や土の匂いがする

冷たい風を感じる(ガストフロント通過時のサインです。)

特別な雲:アークラウド(ガストフロント上に形成されるアーチ上の積雲)

特別な雲:かなとこ雲

特別な雲:乳房雲(かなとこ雲の雲底で生じる乳房雲は、発達した積乱雲のサインとなります。)

耳鳴りがする

目の前で白いモヤが見える

竜巻が目の前に迫るまでの順番

1. 遠くの前兆:「雷鳴が聞こえる」、「かなとこ雲が広がってくる」、「乳房雲が雲底に見えた」。
2. 近くの前兆:「降雪」、「落雷」、「真っ暗になる」、「冷たい風を感じる」、「匂いを感じる」「アークラウドが見える」「壁雲が見える」。
3. 竜巻が目の前に迫ったサイン:「地上の渦が見える」、「湯気のような雲が見える」、「耳鳴りがする」「ゴーという音がする」。

<p>急に暗くなる 巨大な積乱雲が日射を遮り、異様な雲底により夜のように暗くなることもあります</p>	<p>雹(ひょう)が降ってくる 竜巻(上昇流)の隣では、雹を伴った強い下降気流(ダウンバースト)が生じます</p>	<p>特別な雲:アークラウド ガストフロント上に形成されるアーチ状の積雲です</p>	<p>特別な雲:乳房雲 他の雲にも付随しますが、巨大積乱雲にしばしば見られます</p>
<p>雷鳴が聞こえる スーパーセルでは落雷も集中します。雷鳴、雷光は避難のサインです</p>	<p>冷たい風を感じる 急激に気温が下がるのは、ガストフロント通過のサインです</p>	<p>叢(くさむら)や土の匂いがする ガストフロント通過直前に、草や土、アスファルトなどの“むわ”とした独特の匂いと“雨の匂い”を感じるがあります</p>	<p>耳鳴りがする 巨大竜巻の内部は数10hPaも気圧が降下します。そのために、竜巻近傍では耳鳴りがしたり、トイレの逆流などが生じます</p>

竜巻の前兆ポイント

(出典)小林 文明:竜巻-メカニズム・被害・身の守り方-, 成山堂書店,2014.8.

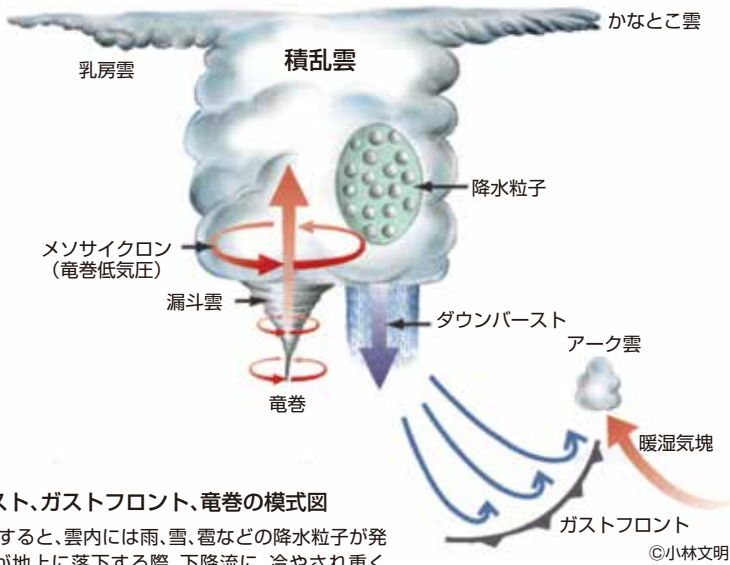
小林 文明:NHKそなえる防災、落雷・突風 <http://www.nhk.or.jp/sonae/column/20130711.html>



乳房雲 *1



かなとこ雲 *1



ダウンバースト、ガストフロント、竜巻の模式図

積乱雲が発達すると、雲内には雨、雪、雹などの降水粒子が発生し、それらが地上に落下する際、下降流に冷やされ重くなった下降流(気流)は地上で四方八方に発散し、周囲の暖かく湿った空気との間にガストフロントを形成します。



ガストフロント *1



アーククラウド *2

(図出典)小林文明:NHKそなえる防災、落雷・突風 <http://www.nhk.or.jp/sonae/column/20120521.html>
 (写真出典1)小林 文明:竜巻-メカニズム・被害・身の守り方-, 成山堂書店.2014.8.
 (写真出典2)http://www.jma-net.go.jp/aomori/koho/saijiki/saijiki2015_03a.pdf(青森地方気象台HP)

6. 竜巻注意情報はどのようなときに出されますか？

竜巻注意情報

気象庁は、2008年3月から「竜巻注意情報」の発表を開始しました。これに加え、2010年5月27日から「竜巻発生確度ナウキャスト」の提供を開始しました。

竜巻注意情報は、積乱雲下で発生する竜巻やダウンバーストなどの突風に対して注意を呼びかける気象情報で、「雷注意報」を補足する情報として、各地の气象台等が担当地域を対象に発表します。

竜巻注意情報は、数値予報モデルによる突風発生危険度と全国に展開されたドップラーレーダーを用いた観測から、竜巻などの突風が発生しやすい気象状況になったと判断された時に、各地の气象台から発表されます。数値モデルからは、大気の安定度と風の鉛直シアを計算して、この2つのパラメータを組み合わせた指数で竜巻の発生しやすさを量的に計算します。この指数が高くなった地域で、ドップラーレーダーによりメソサイクロンが検出されると、竜巻注意情報の発表につながるのです。

竜巻などの激しい突風が予想される場合には、時間経過及び竜巻等の発生する可能性の高まりに応じて段階的に防災気象情報が発表されますので、状況に応じて順次対応の程度を高めるなどの利用が効果的です。



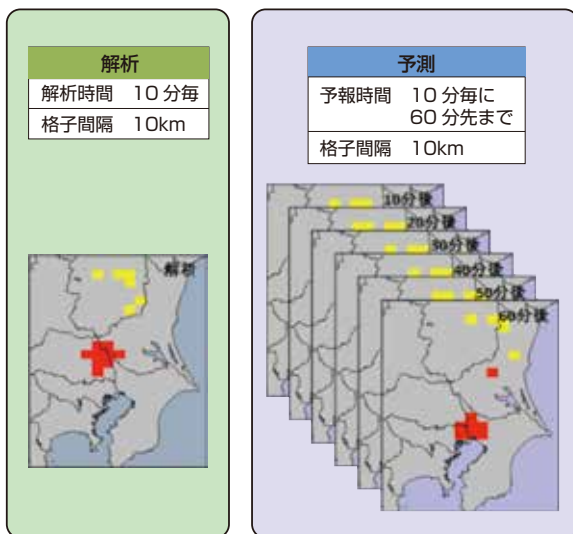
(出典) <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/tatsumaki/index.html> (気象庁HP)をもとに作成

竜巻発生確度ナウキャスト

竜巻などの突風は、規模が小さく、レーダーなどの観測機器で直接実体を捉えることができません。そこで、竜巻発生確度ナウキャストでは、気象ドップラーレーダーなどから竜巻が今にも発生する(または発生している)可能性の程度を推定し、これを「発生確度」という用語で表します。

竜巻発生確度ナウキャストは、竜巻の発生確度を10km格子単位で解析し、その1時間後(10～60分先)までの予測を行うもので、10分ごとに更新して提供します。竜巻発生確度ナウキャストは、分布図形式の情報として防災機関等に提供するほか、気象庁ホームページでも提供します。また、民間事業者による携帯コンテンツサービスも準備されており、屋外活動での利用も可能になります。

竜巻注意情報が発表されたときには、空の様子に注意するとともに、注意が呼びかけられている区域内において竜巻等の発生する可能性が高まっている領域や今後の変化を竜巻発生確度ナウキャストで確認してください。



発生確度 2	竜巻などの激しい突風が発生する可能性があり注意が必要である。予測の適中率※は5～10%程度、捕捉率は20～30%程度である。発生確度2となっている地方(県など)に竜巻注意情報が発表される。
発生確度 1	竜巻などの激しい突風が発生する可能性がある。発生確度1以上の地域では、予測の適中率※は1～5%程度であり発生確度2に比べて低くなるが、捕捉率は60～70%程度であり見逃しが少ない。

- ※ 発生確度2の予測の適中率 : 発生確度2となった場合を「竜巻あり」の予測としたとき、予測回数に対して実際に竜巻が発生する割合
- ※※ 発生確度1以上の予測の適中率 : 発生確度1以上となった場合を「竜巻あり」の予測としたとき、予測回数に対して実際に竜巻が発生する割合

(出典) <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/toppuu/tornado3-1.html> (気象庁HP)をもとに作成

7. 竜巻は予測できるのでしょうか？

竜巻発生確度ナウキャストでは、発生確度2となった地域で竜巻などの激しい突風が発生する可能性(予測の適中率)は5～10%となるように作られています。発生確度2は竜巻注意情報の発表に繋がることから、できるだけ絞り込んだ予測としていますので、発生確度1に比べて予測の適中率が高い反面、見逃し(予測できない突風事例)が多くなります。発生確度2の捕捉率20～30%とは、実際に発生する突風事例のうち、20～30%の事例を予測できるということであり、言い換えると見逃す事例が70～80%あるということです。

発生確度1は、発生確度2で見逃す事例を補うように設定しており、広がりや出現する回数が多くなります。このため、発生確度1以上の地域では見逃しが少ない反面、予測の適中率は1～5%と低くなります。発生確度1以上の捕捉率は60～70%で、言い換えると見逃す事例は30～40%と発生確度2より少なくなります。^{*1}

竜巻注意情報が発表されて実際に竜巻が発生した割合(適中率)は5～10%程度、発生したすべての突風に対して竜巻注意情報が発表された割合(捕捉率)は30%程度と、今のところ竜巻注意情報の予測精度は決して高いとはいえません。

もともと竜巻注意情報は、米国で発生するような竜巻を生み出すスーパーセル、すなわち、地上の竜巻に先行して直径10km程度のメソサイクロンが観測される積乱雲に伴って発生する竜巻などの激しい突風を対象にしています。巨大なスーパーセルでさえ、メソサイクロンから竜巻が地上にタッチダウンするかどうかは分からず、米国でも竜巻警報の適中率は約25%です。^{*2} まして日本ではスーパーセル竜巻の発生頻度は少なく、積乱雲やメソサイクロンのスケールが小さく寿命も短いため、非スーパーセル竜巻を含むすべての竜巻を正確に予測するのは難しいといえます。

ただし竜巻注意情報が発表された場合は、たとえ竜巻が発生しなくても上空には発達した積乱雲が存在し、竜巻のポテンシャルを有したメソサイクロンが存在していることには違いありません。

したがって、「竜巻注意情報」が出たら、自分の近くには“危険な積乱雲”があるのだという意識を持ち、「雷注意報」より1段階注意レベルを上げて、竜巻・ダウンバースト・落雷・豪雨・降雹(ひょう)に備えるべきです。^{*3}

(出典*1) <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/toppuu/tornado3-1.html> (気象庁HP) をもとに作成

(出典*2) https://verification.nws.noaa.gov/services/gpra/NWS_GPRA_Metrics.pdf (米国海洋大気庁HP)

(出典*3) 小林文明: NHKそなえる防災 落雷・突風 <http://www.nhk.or.jp/sonae/column/20140211.html>, 2014.02をもとに作成

8. 竜巻から身を守るにはどうしたらよいでしょうか？

竜巻から身を守るには、次のような点に留意する必要があります。

- 1 とにかく頑丈な建物の中へ逃げる
飛散物が飛んでくる屋外は危険です。
- 2 家屋内で最も安全な場所は「浴室」
この他に、トイレ、クローゼット、押入れの奥、地下室など。
- 3 避難時には頭を守る
クッション、毛布、防災ずきんなどで頭を守りましょう。
- 4 子供は飛ばされる
子供は簡単に飛ばされます。強い竜巻になると大人でも簡単に飛ばされるでしょう。家の中でも子供の手は離さず、飛散物から守ってあげましょう。
- 5 ベランダのものが凶器に代わる

ベランダの植木鉢、物干し竿、スリッパなどが飛散物となって、隣の家を破壊する凶器に代わります。エアコンの室外機（自重で置いてあるもの）が飛ばされるのも竜巻特有といつてよいでしょう。室外機を予めボルトで固定したり、それ以外のものは、台風や発達した低気圧時には室内に取り込む癖をつけましょう。



(出典) 小林 文明:竜巻-メカニズム・被害・身の守り方-, 成山堂書店, 2014.8.

(図出典) http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/tatsumaki/tatsumaki_201408_05.png (気象庁HP)

9. 近年、日本ではどんな竜巻災害がありましたか？

千葉県茂原市で発生した竜巻

平成2年12月11日、前線の接近により、F3の竜巻が発生、死者1名、負傷者73名、家屋の全半壊243棟が生じたほか、10トントラックが横転し、マイクロバスが落下するなどの被害が生じました。

(出典)茂原市：平成2年12月11日
千葉県茂原市を襲った竜巻災害の記録 1992.8.



愛知県豊橋市で発生した竜巻

平成11年9月24日、愛知県豊橋市を中心に台風に伴う積乱雲から4個の竜巻(このうち1つはF3)が発生しました。この竜巻により、重軽傷者453人、家屋の全半壊352棟の被害が生じました。

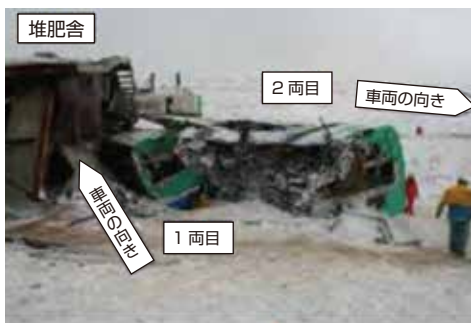
(出典)豊橋市：竜巻の記録
1999.9.24 豊橋市を襲った黒い渦,2000.3.



山形県酒田市で発生した竜巻

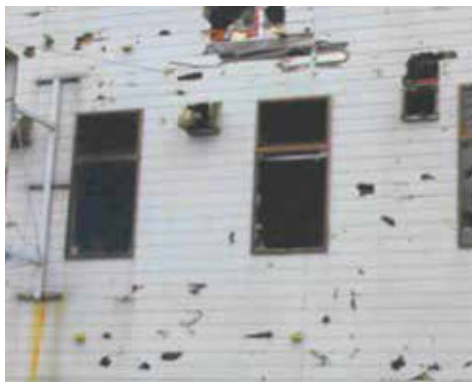
平成17年12月25日、竜巻(F1と推定)によりJR羽越本線鉄橋付近で特急いなほ14号の6両が脱線(3両転覆)、死者5名、重軽傷33名の被害が生じました。

(出典)気象庁：気象庁HP竜巻等の突風データベース
「山形県酒田市で発生した突風」
(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/2005122502/list.html>),2005.12.
(写真出典)鉄道・事故調査報告書：鉄道事故調査報告書,2008.4.



宮崎県延岡市で発生した竜巻

平成18年9月17日、非常に強い台風第13号の接近により、九州の東側の宮崎県日向市、延岡市、大分県臼杵市などで竜巻が次々と発生しました。このうち延岡市の竜巻はF2と推定され、死者3名、家屋の全半壊507棟と大きな被害が生じました。また、JR日豊線の特急が横転し、運転手と乗客が軽傷を負いました。



(出典)延岡市：竜巻災害等を踏まえた防災対策について,2010.8.

北海道佐呂間町で発生した竜巻

平成18年11月7日に佐呂間町でF3と推定される竜巻が発生しました。

竜巻の発生当時、住民の多くは地区内の行事で集落を離れていたとされますが、道路工事の関係でプレハブ建物内にいた人々を中心に死者9名、負傷者31名の人的被害が発生、建物被害は全半壊54棟等の被害が生じました。



(出典)気象庁：竜巻等の突風データベース,2006.11.

(写真出典)消防防災科学センター：災害写真データベース,2006.11.

茨城県つくば市・常総市等で発生した竜巻

平成24年5月6日、竜巻が茨城県筑西市、常総市、栃木県真岡市等で相次いで発生しました。特に常総市で発生した竜巻はF3と推定され、つくば市北条地区の商店街を直撃し、死者1名のほか、家屋の被害や電柱の倒壊など激甚な被害が生じました。



基礎を伴う上部構造の転倒*1



竜巻の「ろうと雲」*2

(出典)水戸地方気象台・東京管区気象台・気象研究所:

平成24年5月6日に茨城県常総市からつくば市にかけて発生した突風について,2012.5.

(写真出典1)国土交通省国土技術政策総合研究所・(独)建築研究所:平成24年5月6日に茨城県つくば市で発生した竜巻による建物被害(速報),2016.3.

(写真出典2)吉澤 健司氏撮影写真,2012.5.

埼玉県さいたま市、越谷市、松伏町等で発生した竜巻

平成25年9月2日、埼玉県さいたま市から茨城県坂東市にかけて発生した竜巻(F2と推定)は、越谷市、松伏町と千葉県野田市等で、負傷者76名、住家の全半壊247棟、車両・電柱・ビニールハウスの損壊など多数の被害が生じました。



(出典)気象庁:平成25年9月2日に埼玉県さいたま市、越谷市、北葛飾郡松伏町、千葉県野田市、茨城県坂東市で発生した突風について,2013.9.

(写真出典)越谷市在住者撮影写真,2013.9.

10. 米国での竜巻被害は？

アメリカでは、暖候期の中でも4月から5月にかけてが竜巻(以下、英語名の「トルネード」を使用)シーズンといわれています。トルネードは単に気温が高いだけでは発生せず、スーパーセルが発達するには寒気や風の鉛直シアーも必要なため、中西部で寒気と暖気がぶつかりやすく風の鉛直シアーが大きな春先がシーズンとなるのです。アメリカの中西部、テキサス州、オクラホマ州、カンザス州、コロラド州、ミズーリ州一帯は、“トルネード街道”とよばれており、特にトルネードの多い地域です。アメリカの発生頻度は、40年前は年間800個といわれていたのが1000個になり、最近では1200個とも1500個ともいわれています。

トルネード・アウトブレイク

アメリカでは1日に数10個のトルネードが発生することがあります。このトルネードの大発生は、アウトブレイクとよばれています。例えば、2011年5月25日から28日にかけて、計6州で200個を超えるトルネードが発生しました。この中には、EF5スケールが3個、EF4が11個と、最強クラスの竜巻も含まれていました(「EF」は、米国における竜巻のスケールの表示方法です。)

オクラホマ州ムーア竜巻

2013年5月にオクラホマ州ムーアで発生したトルネード(EF5)は市街地を直撃し、甚大な被害が生じました。ムーアでは、過去にも最強のトルネードが襲った経験から、学校や病院などの公共機関を低層階にする、窓など開口部を小さくする、地下シェルターを設けるなどの対策をとっていました。しかしながら、鉄筋の構造物が壊滅的な被害を受けたように、最強のトルネードは地上の全ての物を破壊するエネルギーを有しています。



夜間のトルネード

アメリカでも夜間の竜巻による人的被害数がこの50年で昼間に比べて減少しておらず、夜間に家にいることの危険性が指摘されています。日中発生する竜巻の場合、屋外では公共機関の地下シェルターに避難する、より頑丈な建物に移動するなどの退避行動がとれ、屋内であれば階下、窓の無い部屋、浴室などより安全な場所に避難するなど、警報により避難行動をとれますが、就寝中に竜巻に襲われた場合は無防備となるからです。

(出典)小林 文明:竜巻-メカニズム・被害・身の守り方-, 成山堂書店,2014.8.

小林 文明:NHKそなえる防災、落雷・突風 <http://www.nhk.or.jp/sonae/column/20130711.html>

【参考1】風の強さはどのように表されていますか？

風の強さは次のように表されています。

風の強さと風速の関係

風の強さ (予報用語)	平均風速 (m/s)	人への影響	屋外・樹木の様子
やや強い風	10 以上 15 未満	風に向かって歩きにくくなる。 傘がさせない。	風に向かって歩きにくくなる。 傘がさせない。
強い風	15 以上 20 未満	風に向かって歩けなくなり、転倒する人もでる。 高所での作業は極めて危険。	電線が鳴り始める。 看板やトタン板が外れ始める。
非常に強い風	20 以上 25 未満	何かにつかまっていけないと立ってられない。 飛来物によって負傷のおそれがある。	細い木の幹が折れたり、根の張っていない木が倒れ始める。 看板が落下・飛散する。 道路標識が傾く。
	25 以上 30 未満		
猛烈な風	30 以上 35 未満	風屋外での行動は極めて危険	多くの樹木が倒れる。 電柱や街灯で倒れるものがある。 ブロック壁で倒れるものがある。
	35 以上 40 未満		
	40 以上		

風の強さに関する用語

用語	説明	用例
風速	10 分間平均風速	
最大風速	10 分間平均風速の最大値	a) ×× 日 (月、年) の最大風速 b) ×× 時までの最大風速 c) 台風の通過に伴う最大風速
瞬間風速	風速計の測定値(0.25秒間隔)を3秒間平均した値(測定値12個の平均値)	
最大瞬間風速	瞬間風速の最大値	

風速の単位

風速とは、風として空気が移動する速さ

単位：日本では、m/s (秒速)

国際的にはKT(ノット)を用いる方が多い

1ノット：1海里(1.852km) / H = 0.5144m/s

風速 30m/s = 108 km/H ≒ 58KT

(注) H は時間、s は秒を表す

(出典) http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/kazehyo.html,

http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/kaze.html (気象庁HP)をもとに作成

風速を計測できない場合

風速を計測できない場合は、どのように判断するのでしょうか。

世界的に知られているビューフォート風力階級表を使い目視で観測した風力を風速に換算することで、風速をある程度推定することが可能です。

なお、竜巻などの突風には、別に日本版改良藤田スケール(別掲)を用いています。

ビューフォート風力階級表

風力階級	説明		相当風速
	地表物の状態(陸上)		
0	静穏。煙はまっすぐに昇る。		0.0-0.2
1	風向きは煙がなびくのでわかるが、風見には感じない。		0.3-1.5
2	顔に風を感じる。木の葉が動く。風見も動きだす。		1.6-3.3
3	木の葉や細かい小枝がたえず動く。軽い旗が開く。		3.4-5.4
4	砂埃がたち、紙片が舞い上がる。小枝が動く。		5.5-7.9
5	葉のある灌木がゆれはじめる。池や沼の水面に波頭がたつ。		8.0-10.7
6	大枝が動く。電線が鳴る。傘はさしにくい。		10.8-13.8
7	樹木全体がゆれる。風に向かっては歩きにくい。		13.9-17.1
8	小枝が折れる。風に向かっては歩けない。		17.2-20.7
9	人家にわずかの損害がおこる。		20.8-24.4
10	陸地の内部ではめずらしい。樹木が根こそぎになる。人家に大損害がおこる。		24.5-28.4
11	めったに起こらない広い範囲の破壊を伴う。		28.5-32.6
12			>32.7

(出典) http://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/kansoku_guide/c4.html (気象庁HP) をもとに作成

【参考2】地球規模ではどのような風が吹いていますか？

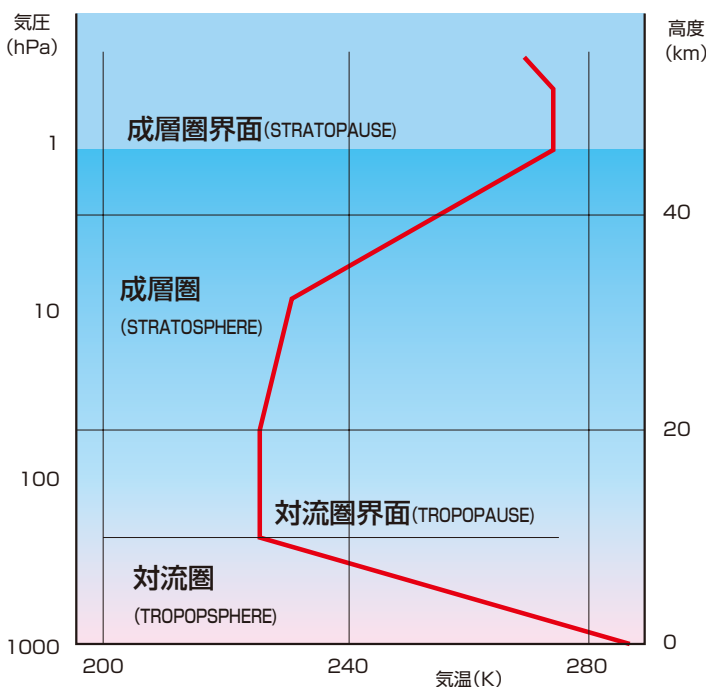
大気圏の構造

大気圏とは、地上から100kmくらいまでを言います。下図は、気象現象と関係が深い高度約50kmまでの気温分布と大気構造を示しています。

縦軸の気圧と高度の目盛から判るように、高度で15km毎に気圧は約10分の1になります。ある高度の気圧はそれより上の大気の重さに比例するので、大気のほぼ90%はこの15km以下に存在することになります。

地球に降りそそぐ太陽エネルギーは、大気よりも地表面で吸収される量のはるかに多いため、大気は地表面に近い層から暖められ、上層と下層の大気の交換、すなわち対流が起こります。対流が活発で、上空ほど気温が低下する地上から高さ10～16kmまでの大気の層は、対流圏と呼ばれています。雲や降水などの天気現象は対流圏で起こります。

対流圏より上では、上空に向かって気温の低下率が小さいか、逆に気温が上昇するようになります。このような気温分布の大気では、対流が起こりにくく成層圏と呼ばれています。



(出典) <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-1-1.html>(気象庁HP) をもとに作成

緯度による受熱量の違い

緯度によって太陽から受け取る熱量が異なります。

しかし、低緯度の熱は大気などによって高緯度に運ばれるため、温度差が小さくなり地球全体の熱収支はバランスが取れています。

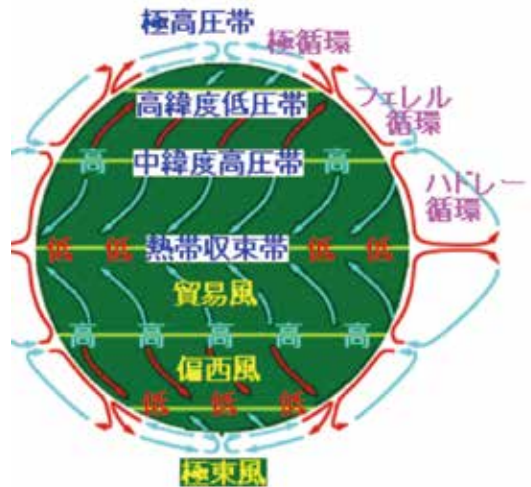
ハドレー循環

赤道付近で暖められて上昇し、亜熱帯で下降する流れがハドレー循環、ハドレー循環によって亜熱帯から赤道に向かって地表付近を吹く東寄りの風は貿易風と呼ばれています。

偏西風

中緯度に吹く西寄りの風を偏西風といい、特に対流圏と成層圏の境界付近の強い流れをジェット気流と呼びます。

偏西風が蛇行することで低緯度から高緯度に熱が運ばれます。この蛇行を偏西風波動といい、季節により循環の位置は移動するので、偏西風域も移動します。偏西風波動は中緯度における赤道と両極の間の熱輸送を担っています(フェレル循環)。



ブロッキング現象

偏西風の蛇行が大きくなるとブロッキング現象が発生し長期的な異常天候をもたらすことがあります。

気象におけるブロッキング現象は、偏西風などの大規模な風の南北の流れの振れ幅が大きくなり、その状態が長期間続き低気圧あるいは高気圧が移動せず停滞する気象現象です。

同じ天候が長期間続いたため、長雨、豪雨、早魃、熱波、寒波などのいわゆる異常気象を引き起こしやすいです。

『方丈記』 治承の辻風(竜巻)

また治承四年(1180年)卯月(4月)廿九日のころ、中の御門京極のほどより、大なる辻風起りて、六條わたりまで、いかめしく吹きけること侍りき。

三四町をかけて吹きまくるに、その中に籠れる家ども、大なるも小さきも、一つとして破れざるはなし。さながら平に倒れたるもあり。桁・柱ばかり残れるもあり。また、門の上を吹き放ちて、四五町がほかに置き、また、垣を吹き払いて、隣と一つになせり。いはんや、家の内のたから、数をつくして空にあがり、檜皮葺(ひはだぶき)板のたぐひ、冬の木の葉の風に乱るるがごとし。

塵を煙のごとく吹き立てたれば、すべて目も見えず。おびただしくなりとよむ音に、物いう声も聞えず。かの地獄の業風なりとも、かばかりにとぞ覚ゆる。家の損亡するのみならず、これをとり繕う間に、身をそこないて、かたはづけるもの数を知らず。

この風未申の方に移り行きて、多くの人の嘆きをなせり。

辻風は常に吹くものなれど、かかることやはある。ただごとにあらず。さるべきものさとしかなどぞ疑ひ侍りし。(抄)

(出典)「國文大観 日記草子部」,明文社, 1906.1.

*原文を一部現代文表記としました。

(解説) 「方丈記」は、鴨長明が鎌倉時代初期に書いた随筆です。方丈記では、当時の京都で発生した辻風(竜巻)のほか、大火、地震、飢饉などの災厄について触れています。

このパンフレットは、平成28年6月までの情報をもとに作成しました。

一般財団法人 消防防災科学センター

〒181-0005

東京都三鷹市中原3丁目14番1号

TEL : 0422-49-1113

URL : <http://www.isad.or.jp>