



北海道大学

極端気象ハザード(強風)の原理と予測

—原子力規制人材育成事業コンテンツ(解説教材)—

2024年5月1日

北海道大学 大学院理学研究院 地球惑星科学部門
地球惑星ダイナミクス分野 気象学研究室

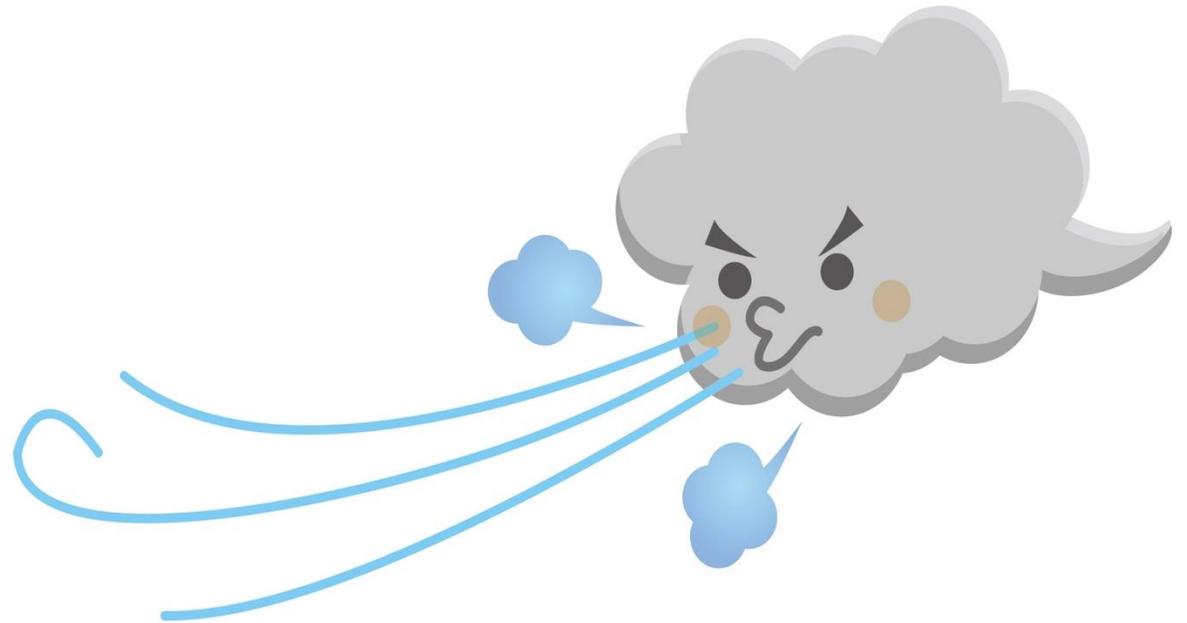
教授 稲津 將

はじめに

- われわれ地球に住むすべての生物は、気象によってその生活生態を左右されます。
- 高度文明を築き、多様な気象に適応してきた人類も、その例外ではありません。**想定を超える極端な気象**は、人間や家畜を危害し、建造物を損傷させ、土地を侵食します。
- 気象現象及び水文現象は、原子炉等施設の立地地点上の全ての安全上重要な**構築物、系統及び機器**に同時に影響し、あるいは立地地点区域周辺の**通信網及び輸送網**にも影響を及ぼし、かつ**事故時の退避・避難**との関連も深いものです。

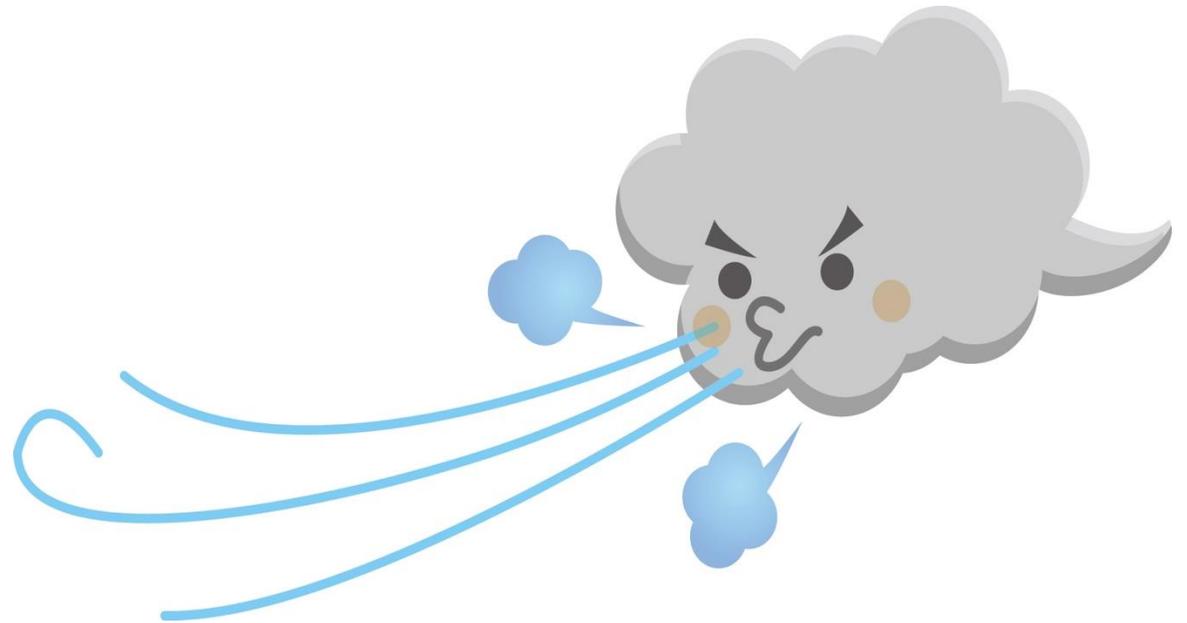
目次

1. 風が吹く原理の紹介
2. 熱帯低気圧の原理と統計
3. 温帯低気圧の原理と統計
4. 竜巻の原理と統計
5. 気象シミュレーションの方法



目次

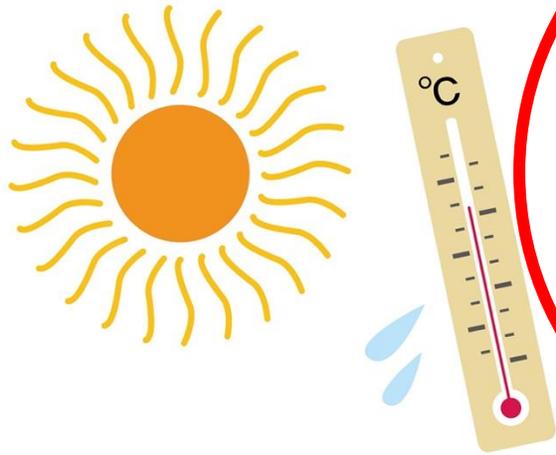
1. 風が吹く原理の紹介
2. 熱帯低気圧の原理と統計
3. 温帯低気圧の原理と統計
4. 竜巻の原理と統計
5. 気象シミュレーションの方法



極端気象ハザードの分類

人間活動に影響を及ぼす**極端気象**は以下である。

異常高温



強風



豪雨・雷・雹



豪雪・吹雪・融雪

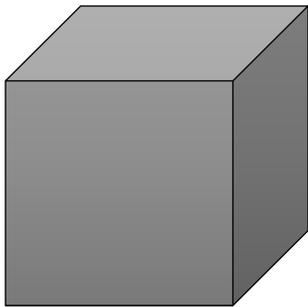


風の定義

- 風は**空気の移動速度ベクトル**として定義されます。

$$\mathbf{u} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{x}}{\Delta t} \quad \text{または} \quad (u, v, w) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta x}{\Delta t}, \frac{\Delta y}{\Delta t}, \frac{\Delta z}{\Delta t} \right)$$

$$\mathbf{x} = (x, y, z)$$



$$\mathbf{x} + \Delta \mathbf{x} = (x + \Delta x, y + \Delta y, z + \Delta z)$$

空気塊

- 仮想的に空気の塊(空気塊)を考えることで、空気に加わる力や、空気の移動を表現できます。ただし、現実の空気塊は時間の経過とともに著しく変形し、周囲の空気塊と不可逆に混合します。空気塊はあくまでも思考上の仮想的なものです。
- 空気塊の物理量(気温や気圧)は、空気塊の移動とともに値が変化します。空気塊に沿った物理量の時間変化を、ラグランジュ微分と呼びます。
- それに対し、ある固定された位置における物理量の時間変化を、オイラー微分と呼びます。

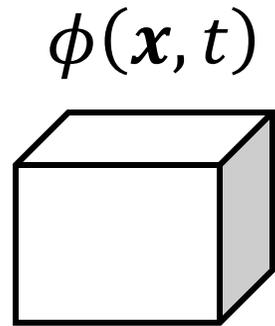
ラグランジュ微分とオイラー微分

- ラグランジュ微分は

$$\frac{D\phi}{Dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\phi(\mathbf{x} + \Delta \mathbf{x}, t + \Delta t) - \phi(\mathbf{x}, t)}{\Delta t}$$

- オイラー微分は

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\phi(\mathbf{x}, t + \Delta t) - \phi(\mathbf{x}, t)}{\Delta t}$$



$$\phi(\mathbf{x} + \Delta \mathbf{x}, t + \Delta t)$$

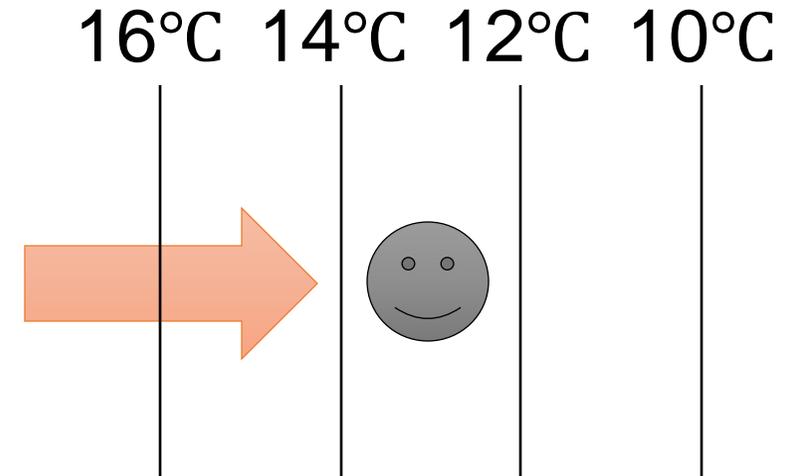
ラグランジュ微分とオイラー微分の関係

- ラグランジュ微分は、オイラー微分に**移流項**を加えたものです。

$$\frac{D\phi}{Dt} = \frac{\partial\phi}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla\phi$$

- たとえば、風上から暖気が運ばれる**暖気移流**ですと、仮に空気塊の気温が不変であっても、その場の気温は上昇します。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\mathbf{u} \cdot \nabla T > 0$$



暖気移流

$$\mathbf{u} \cdot \nabla T < 0$$

寒気移流

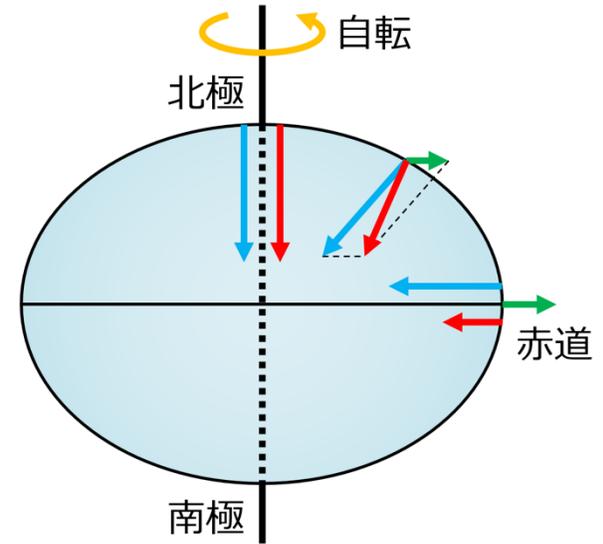
$$\mathbf{u} \cdot \nabla T > 0$$

空気塊に働く力

- 万有引力...地球上の万物に地球中心へ向かう力が働きます。
- 遠心力...地球の自転に伴い、地軸から遠ざかる方向に力が働きます。

→上記は**重力** (鉛直下向き9.8 N/kg)とまとめられます。

- **コリオリの力**...地球の自転に伴い、風が向く方向(風向の逆)に対し、北半球は右に、南半球は左に働きます。
- **気圧傾度力**...気圧が高い方向から低い方向に働きます。



【1】出典:風間卓仁「重力加速度は9.8じゃない!？」
 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻Webサイト(<https://www.eps.sci.kyoto-u.ac.jp/research/introduction/07/index.html>)
 (2024年5月10日参照)

気象の基礎方程式

- 空気塊には**気圧傾度力**、**コリオリの力**、**重力**が働くので、運動方程式は

$$\frac{D\mathbf{u}}{Dt} = -\frac{1}{\rho}\nabla p - 2\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{u} + \mathbf{g}$$

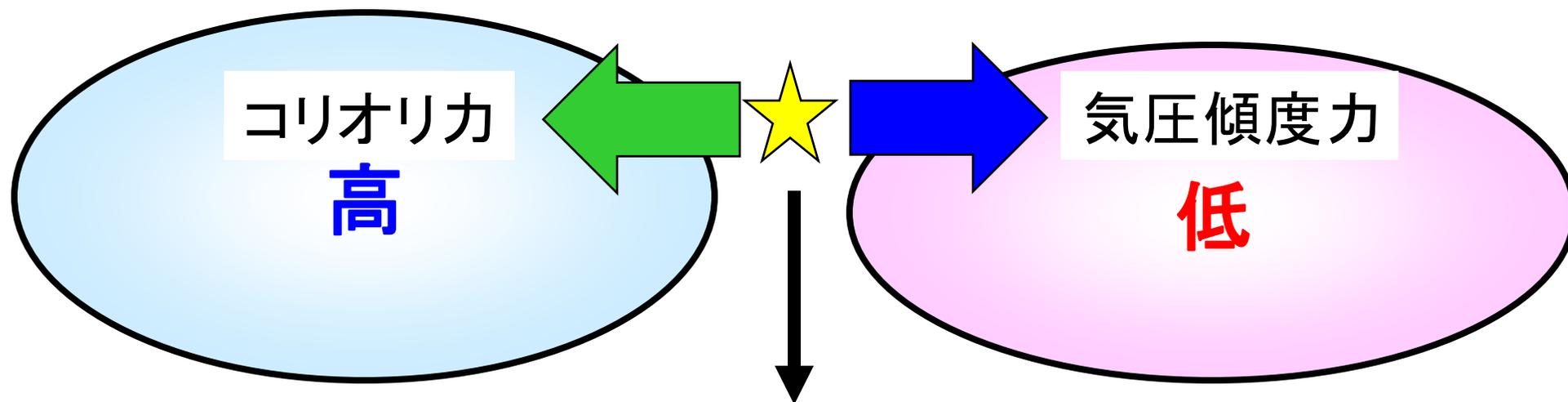
- ラグランジュ微分をオイラー微分で表現すると、風ベクトルの時間変化には**移流項**も関与することがわかります。

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} = -(\mathbf{u} \cdot \nabla)\mathbf{u} - \frac{1}{\rho}\nabla p - 2\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{u} + \mathbf{g}$$

- 移流項からは流体の回転に伴う**遠心力**や、**拡散**として考えられる乱流運動の働きなどが導出されます。

天気図規模な風の特徴

- 天気図規模の風は、おおむね地衡風平衡（気圧傾度力とコリオリの力の釣り合い）によって説明されます。
- 北半球では**高気圧のまわりを時計回りの風**が吹き、**低気圧のまわりを反時計回りの風**が吹きます。南半球はコリオリ力が北半球と逆に働くため、風向きが逆になります。



天気図規模の風の特徴#2

- 中緯度上空には**ジェット気流**が吹いています。極域は低気圧、赤道域は高気圧です。地衡風平衡を考えると中緯度帯には強い西風が吹くことが説明できます。
- 台風や強い温帯低気圧は、気圧傾度力とコリオリの力の他に、流体の回転に伴う遠心力が低気圧回転の外向きに働きます。この平衡を**傾度風平衡**と呼びます。
- 強風をもたらす高気圧は存在できません。**風速が大きくなると遠心力 > コリオリの力**となり、気圧傾度力の向きと遠心力の向きが同じだと平衡が実現しないからです。

メソスケールの風の特徴

- スケールを問わず、鉛直方向は**静力学平衡**（気圧傾度力と重力の釣り合い）が成り立っており、一般に鉛直方向の風は水平方向の風より弱くなります。
- 太陽放射と地球放射とのバランスにより、地球全体として**安定した成層構造**が保たれています。上空ほど気温は下がりますが、同じ気圧で換算すると上空の気温は必ずしも低くはありません。
- 一方、地面付近が強く温められるか、メソ対流システムが出現すると、部分的に不安定となり、鉛直上方への流れができます。

メソスケールの風の特性#2

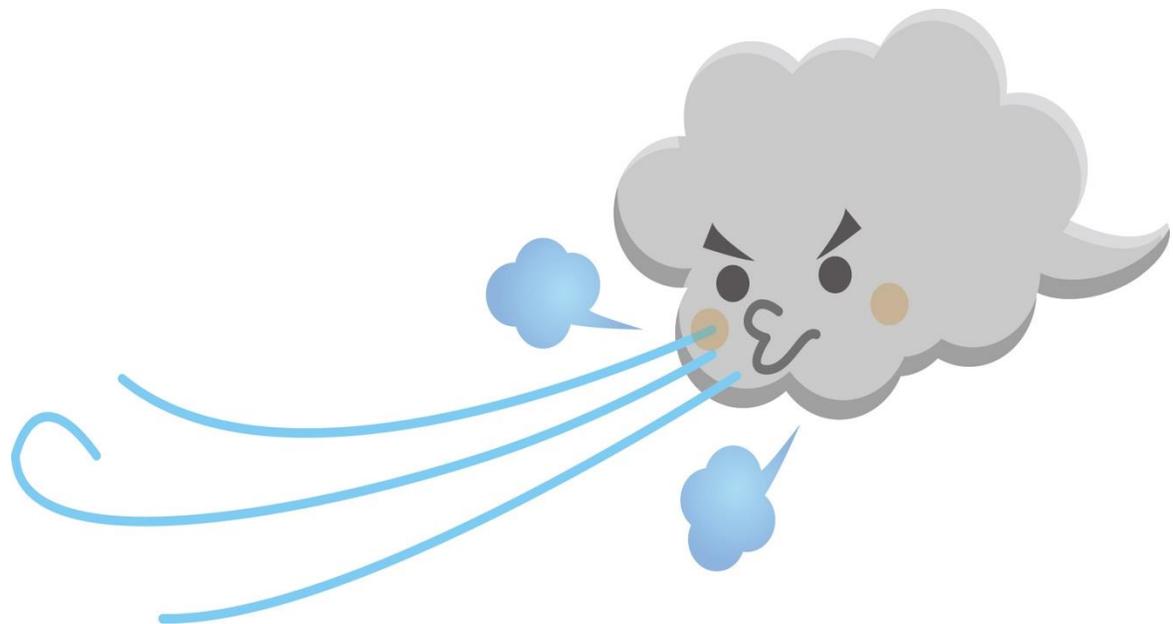
- **海陸風**は、太陽放射で陸が暖められ、陸上では空気が上昇し、陸上の気圧が海上の気圧よりも下がり、海から陸への風が吹く、と説明されます。
- 多くの**メソ対流系**では、積乱雲の中心で**水蒸気の凝結に伴う潜熱**が解放されます。それに伴い空気塊が暖められ、上昇します。これにより、地上からなお一層の暖湿気が供給され、より対流が発達することがあります。
- 積乱雲の成熟後、中心付近には落下する**氷粒子の融解に伴う潜熱**が吸収されます。それに伴い空気塊が冷やされ、下降します。この下降風が地面に衝突することで周囲へ冷氣放出に伴う強い風(**ガストフロント**)を生じます。

マイクロスケールの風の特徴

- 強い不安定の中で発達したメソ対流系に**スーパーセル**があります。スーパーセルはときに竜巻を内包します。竜巻は極めて強い回転で特徴づけられ、流体の回転に伴う遠心力と気圧傾度力の平衡(**旋衡風平衡**)により説明されます。
- 地面近くで晴天時には、夜間に**放射冷却に伴う安定化**で静穏となり、昼間に**放射加熱に伴う不安定化**で上空の風の運動量が乱流を介して運ばれ強風が吹くことがあります。

目次

1. 風が吹く原理の紹介
2. 熱帯低気圧の原理と統計
3. 温帯低気圧の原理と統計
4. 竜巻の原理と統計
5. 気象シミュレーションの方法

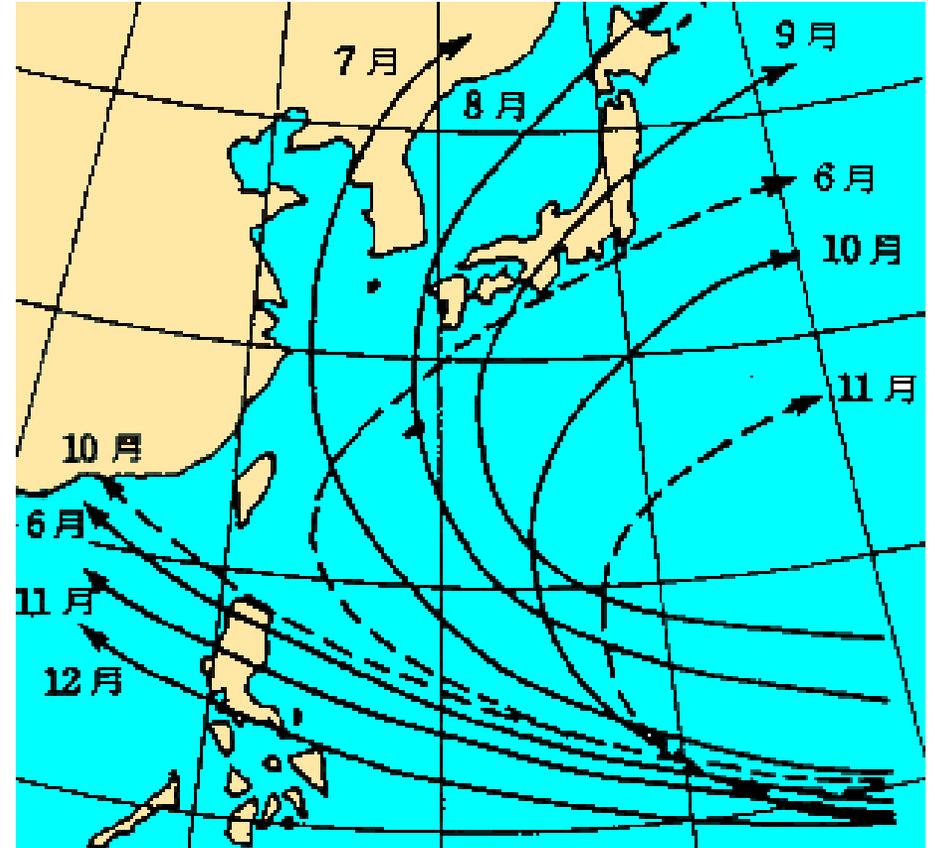


台風の定義

- 熱帯の海上で発生する熱帯低気圧のうち北西太平洋（赤道より北で東経180度より西の領域）または南シナ海に存在し、なおかつ低気圧域内の**10分間平均最大風速が34 kt以上**のものを「台風」と呼びます。
- 10分間平均最大風速が**64～85 ktを強い台風、85～105 ktを非常に強い台風、105 kt～を猛烈な台風**と呼びます。
- 10分間平均最大風速15 m/s以上の風が吹いているか、吹く可能性がある範囲を**強風域**と呼びます。その半径が**500～800 km**のとき**大型の台風**、**800 km以上**のとき**超大型の台風**と呼びます。

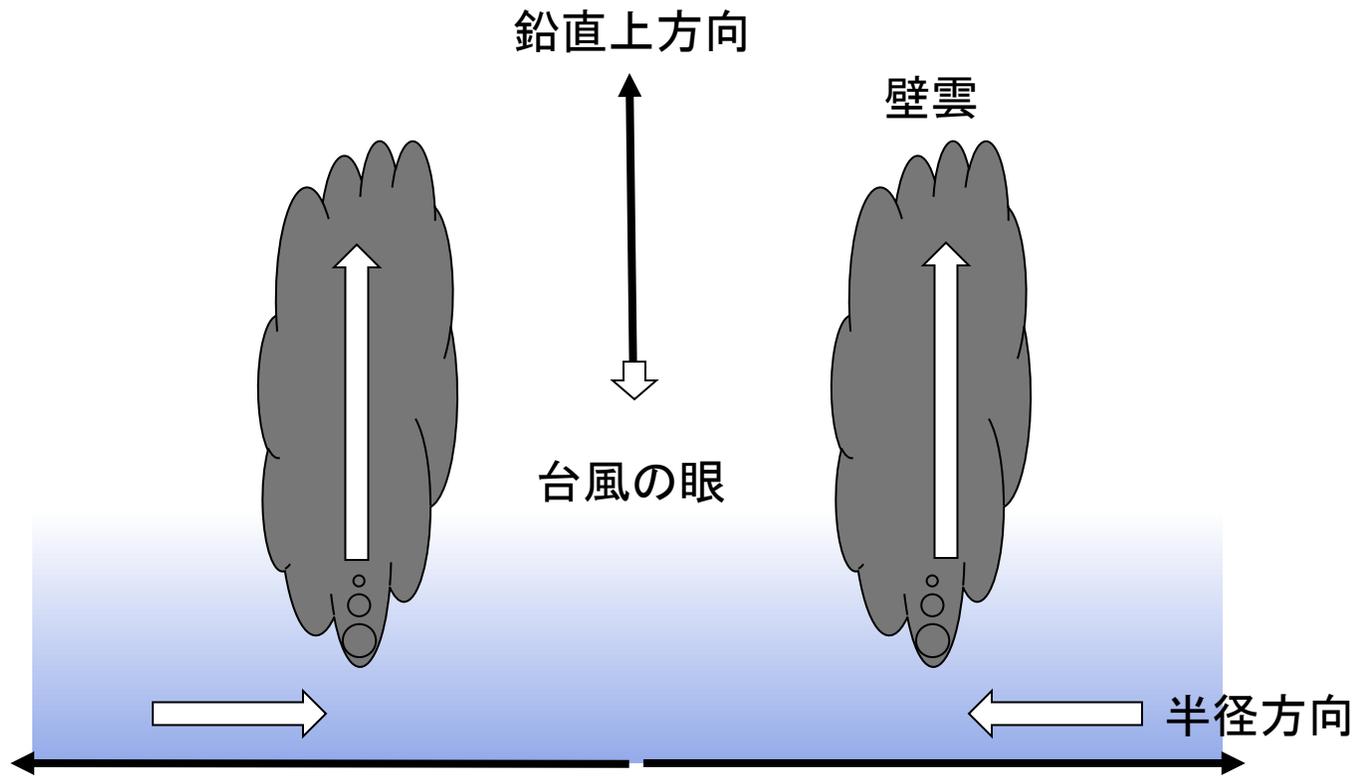
台風が発生と経路

- 春先は低緯度で発生し、西進して中国大陸に向かいます。
- 夏になると発生する緯度が高くなり、太平洋高気圧の西縁に沿って、北上しやすくなります。
- 9月になると、南海上から真北に向かって日本に上陸することもあります。

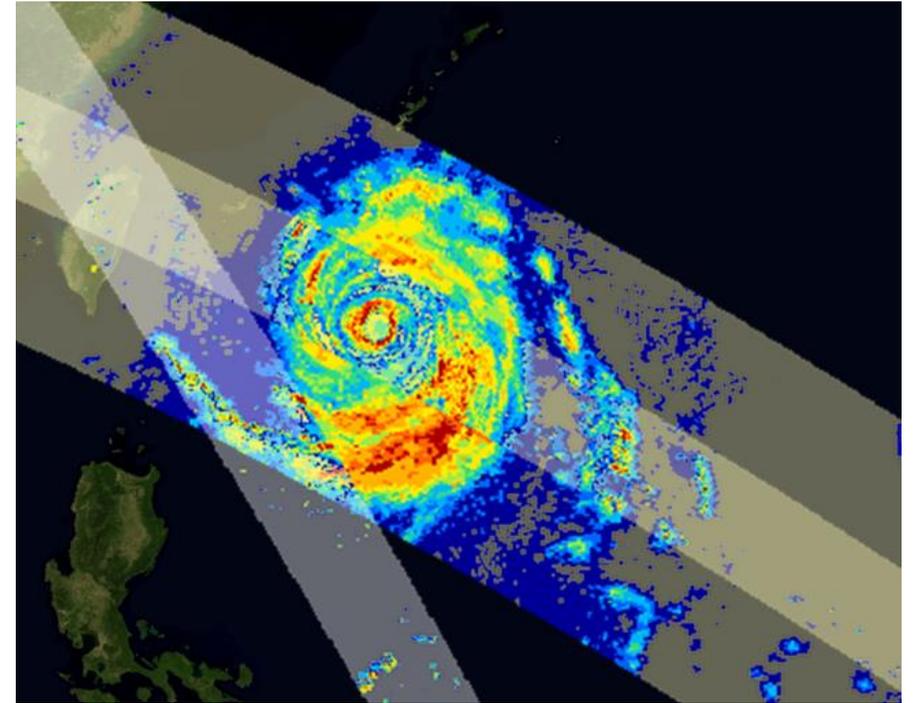


【2】出典:「台風の月別の主な経路(実線は主な経路、破線はそれに準ずる経路)」(気象庁ホームページ)

台風が発達



最新の人工衛星から観測された台風付近の降水

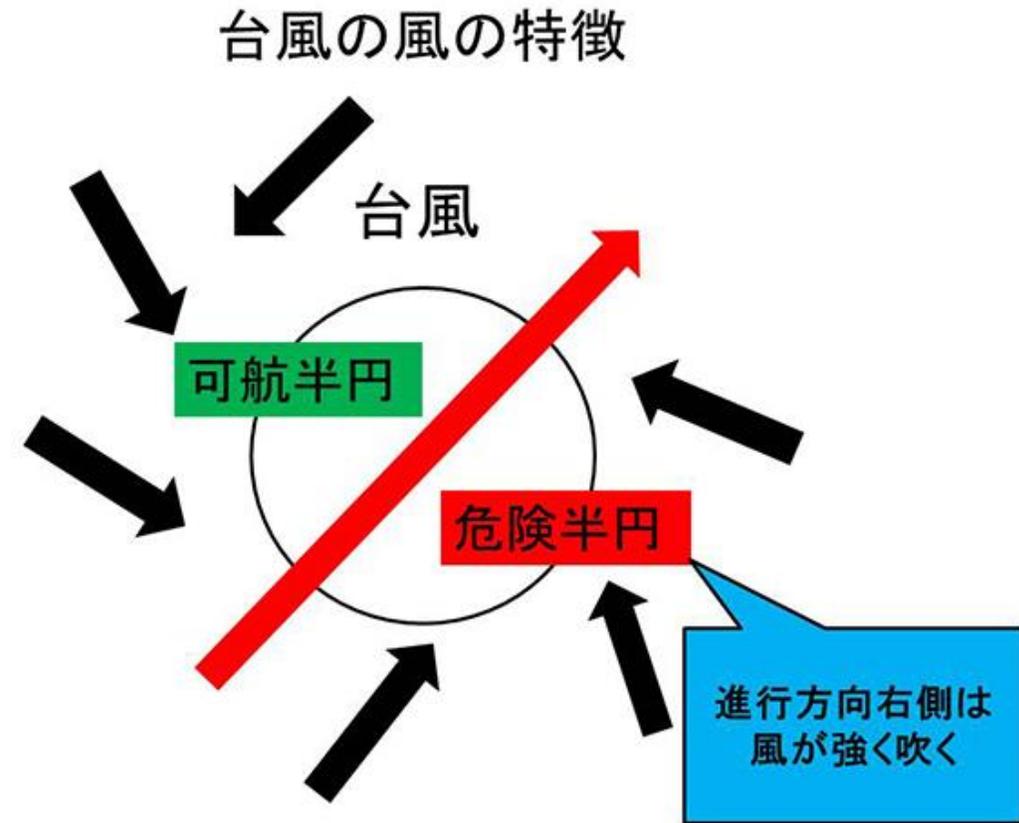


【3】©JAXA

中心付近の壁雲内で強い上昇風に伴い、水蒸気が凝結して潜熱が解放され、より強い上昇風をもたらす。

可航半円と危険半円

- 台風の進行方向に向かって右側は、台風自身の風と台風を移動させる流れの方向が一致するため、左側と比べて強く吹きます。
- 台風の進行方向に向かって右側を**危険半円**と呼びます。
- 同左側を**可航半円**と呼びます。



【4】出典：警視庁警備部災害対策課Xより

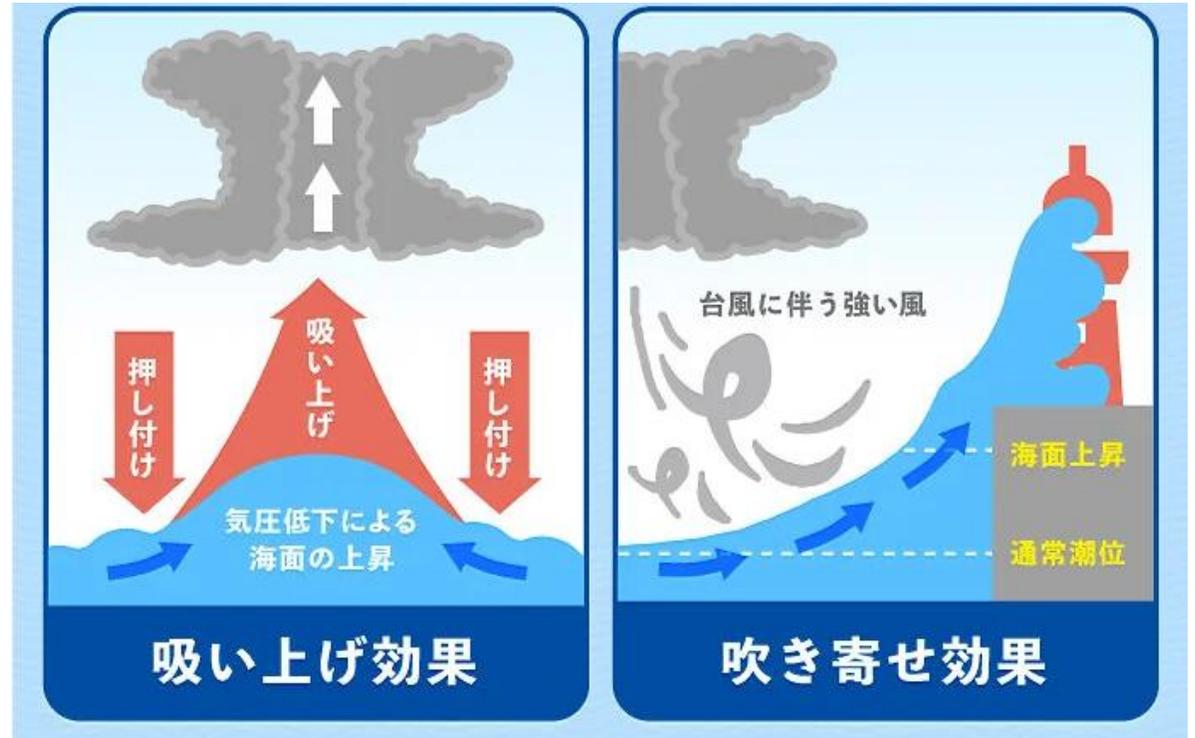
台風に伴う風の被害

建物の損壊



【5】出典: 気象庁ホームページ(那覇市役所にも許可を得て使用)
(https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/ame_chuui/ame_chuui_p5.html)

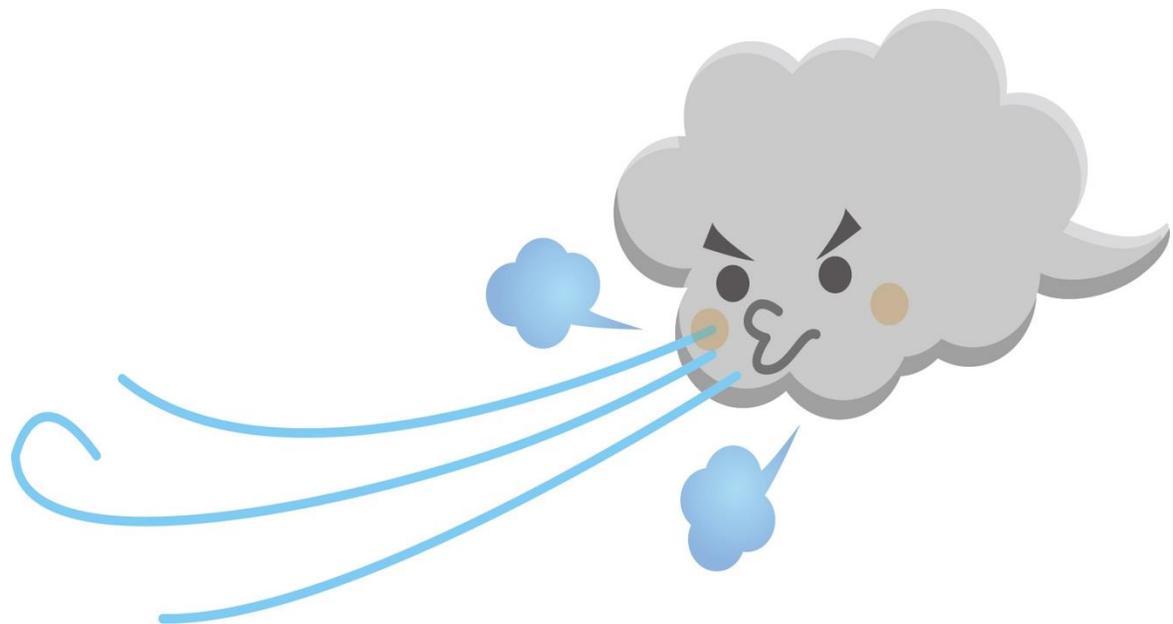
高潮・・・吸い上げ効果と吹き寄せ効果



【6】出典: tenki.jp 知る防災「台風で高潮が発生するしくみ」(<https://tenki.jp/bousai/knowledge/7951535.html>)

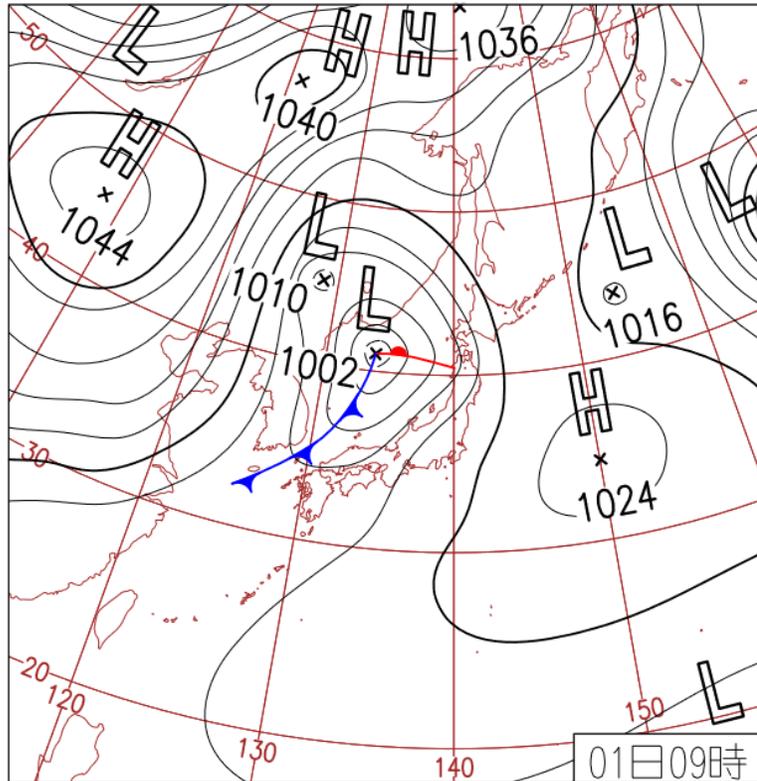
目次

1. 風が吹く原理の紹介
2. 熱帯低気圧の原理と統計
3. 温帯低気圧の原理と統計
4. 竜巻の原理と統計
5. 気象シミュレーションの方法

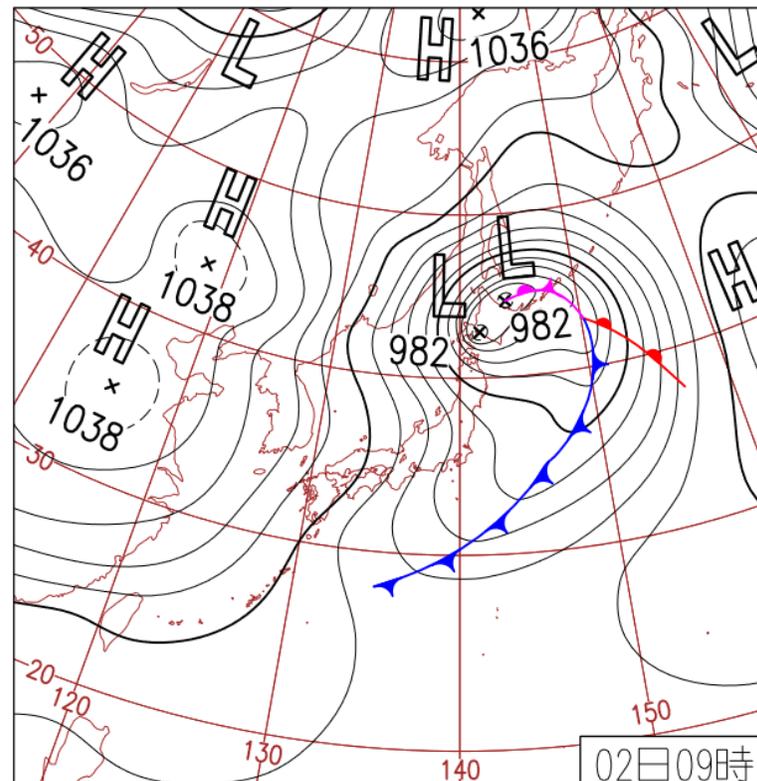


温帯低気圧の発生と発達 の例

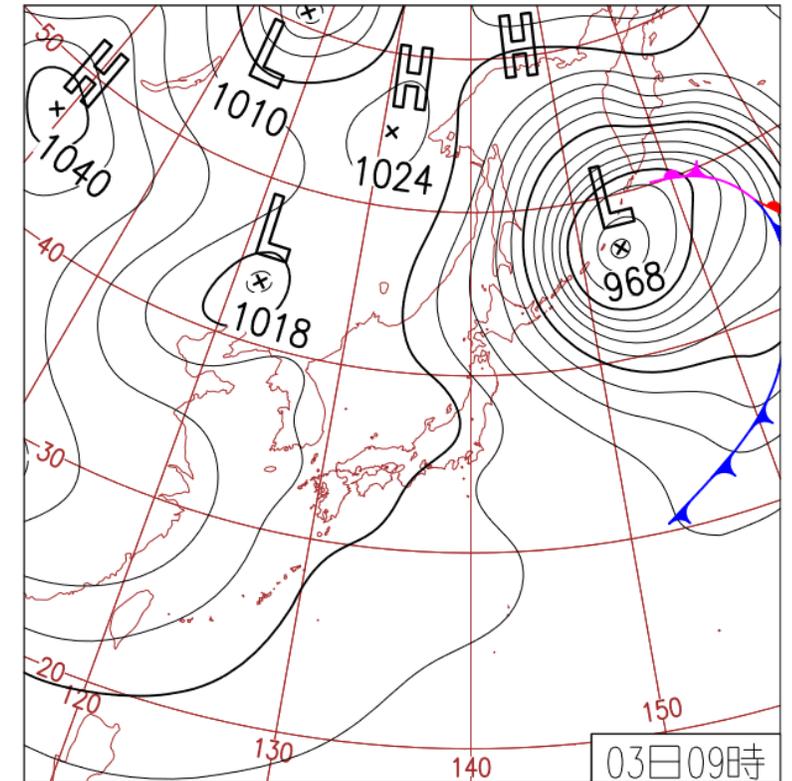
2013年3月1日9時



2013年3月2日9時



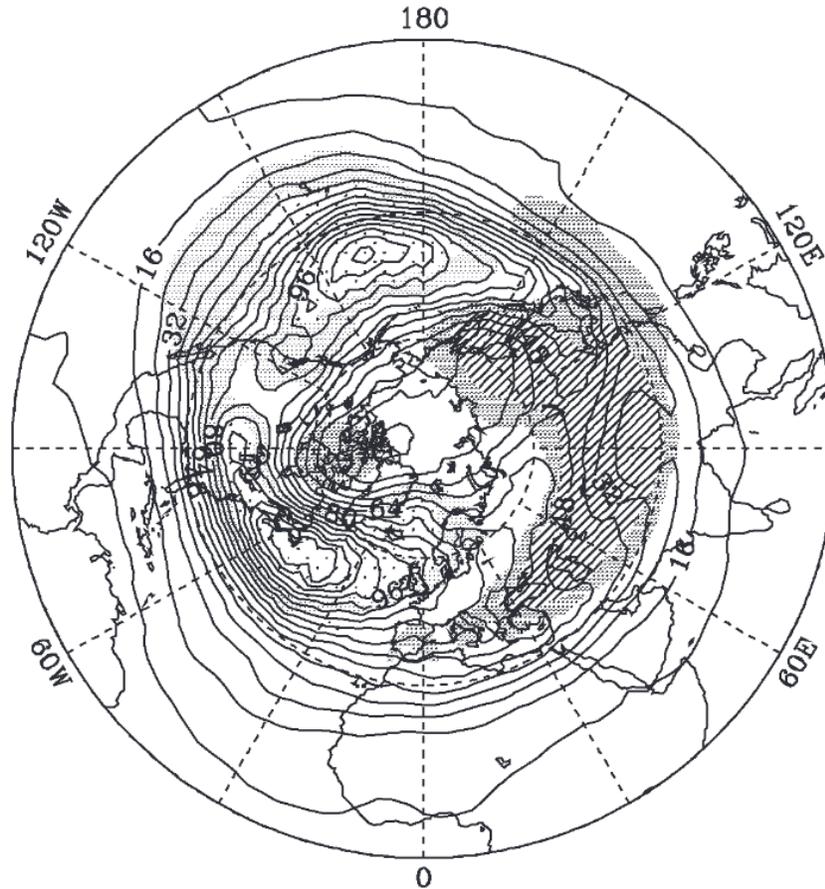
2013年3月3日9時



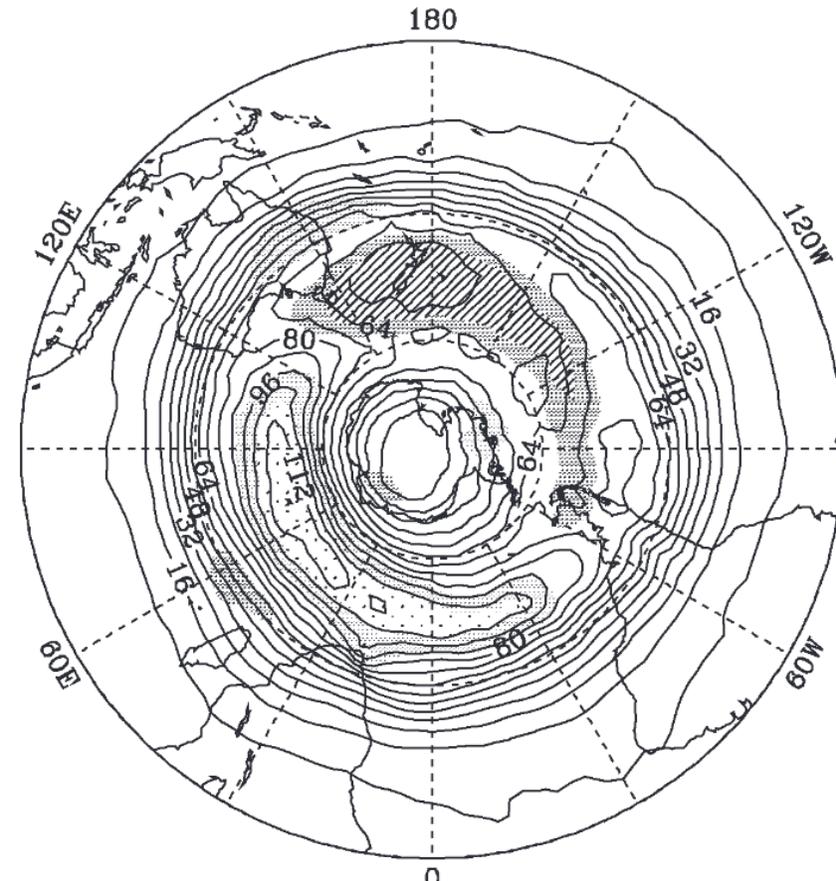
【7】 出典：気象庁ホームページ 2013年3月1-3日分 (<https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>)

温帯低気圧の活動域

(a) 北半球冬季

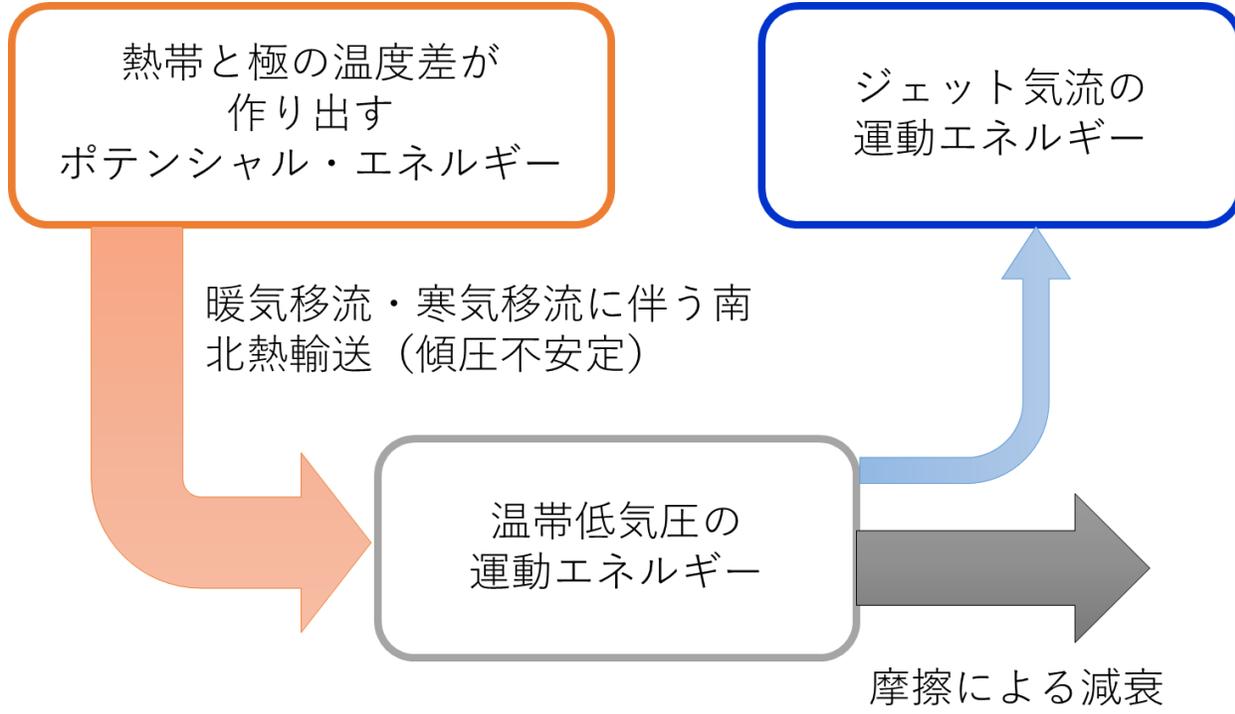
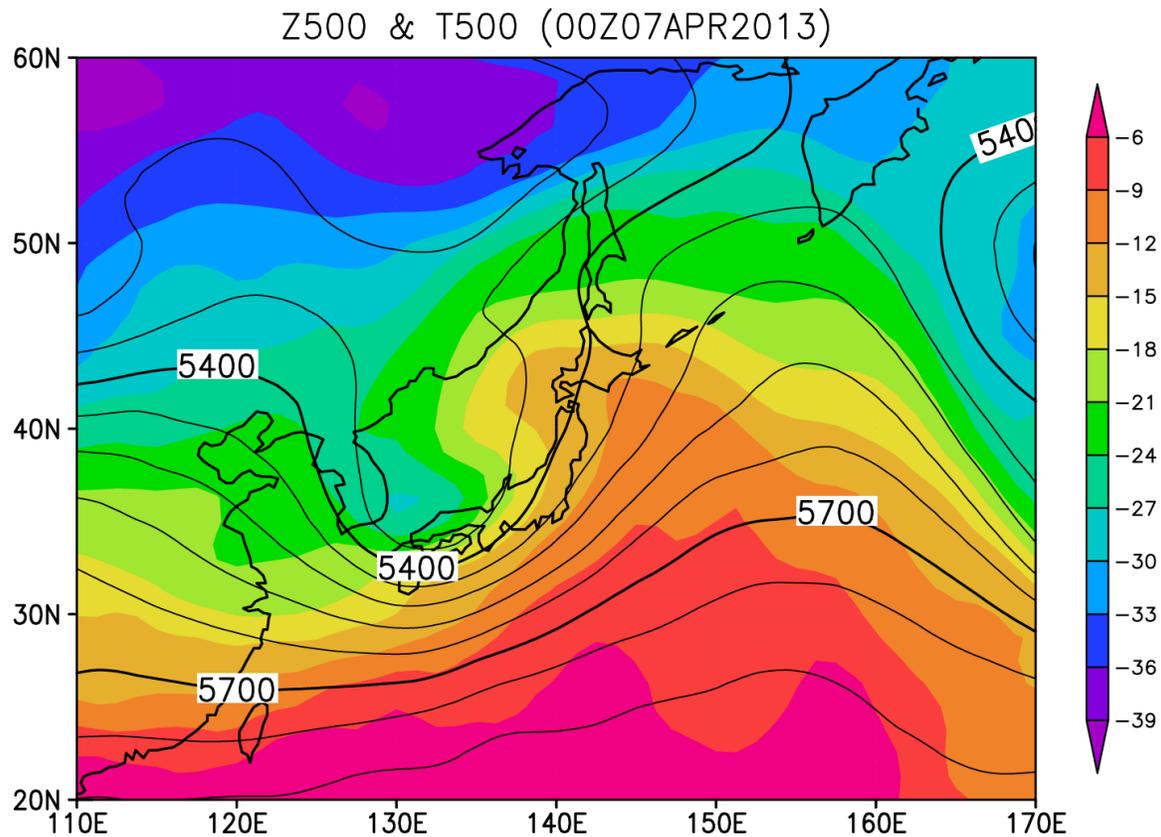


(b) 南半球冬季



【8】出典：日本気象学会機関誌「天気」第53巻，7号，南半球冬季ストームトラックの東西非対称性の形成について-2005年度山本・正野論文賞受賞記念講演-，p.538，第図1

温帯低気圧の発達原理



温帯低気圧がもたらす災害

暴風雪で立ち往生し、雪に埋もれた車両
(2013年3月、北海道中標津町)



【9】写真提供：共同通信社

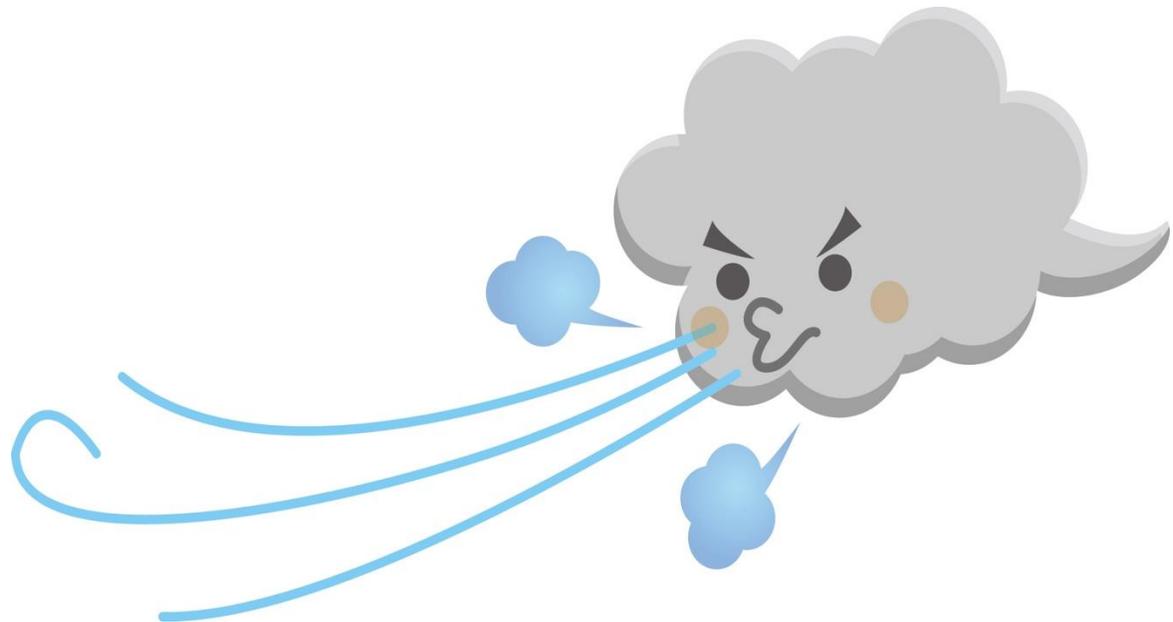
「強風で屋根が吹き飛ばされそう」といった通報が
寄せられた日(2018年3月、北海道苫小牧市)



【10】苫小牧民報社提供

目次

1. 風が吹く原理の紹介
2. 熱帯低気圧の原理と統計
3. 温帯低気圧の原理と統計
4. 竜巻の原理と統計
5. 気象シミュレーションの方法



竜巻の被害

平成18年11月に佐呂間町で発生した竜巻(F3＝国内最大)災害の記録



写真3 被災直後の新佐呂間トンネル作業事務所・宿舍 (国土交通省北海道開発局提供)



写真20 飛来物による損傷の激しい店舗併用住宅 (国土交通省北海道開発局提供)



写真26 屋根が飛ばされた倉庫



写真29 数10m飛ばされた4トントラック

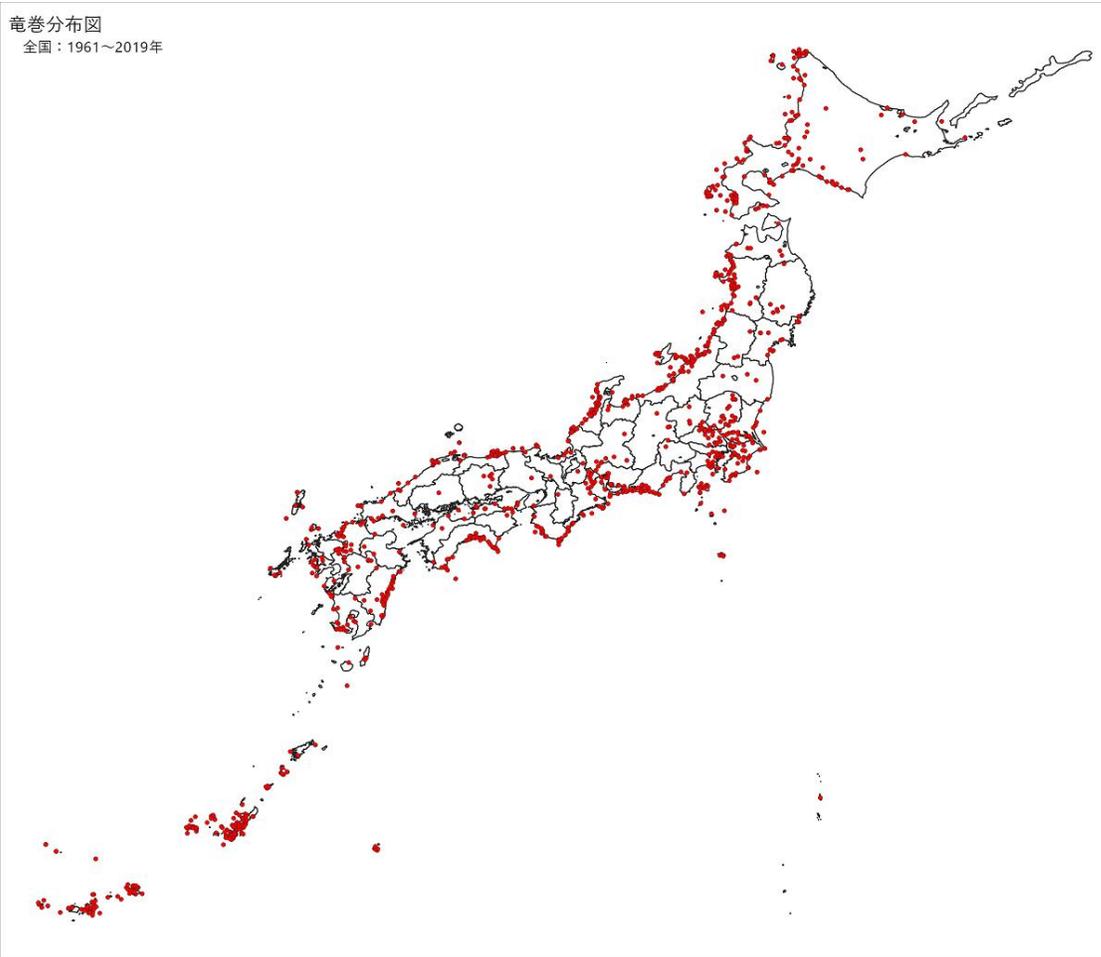
【11】出典:佐呂間町役場ホームページ 佐呂間町「若佐地区竜巻災害の記録」
(https://www.town.saroma.hokkaido.jp/shoukai/kakushu_houkoku/tatumaki_saigai.html)

【12】出典:国立研究開発法人建築研究所ホームページ「2006年佐呂間町竜巻被害調査報告」(<https://www.kenken.go.jp/japanese/contents/activities/other/other.html>)

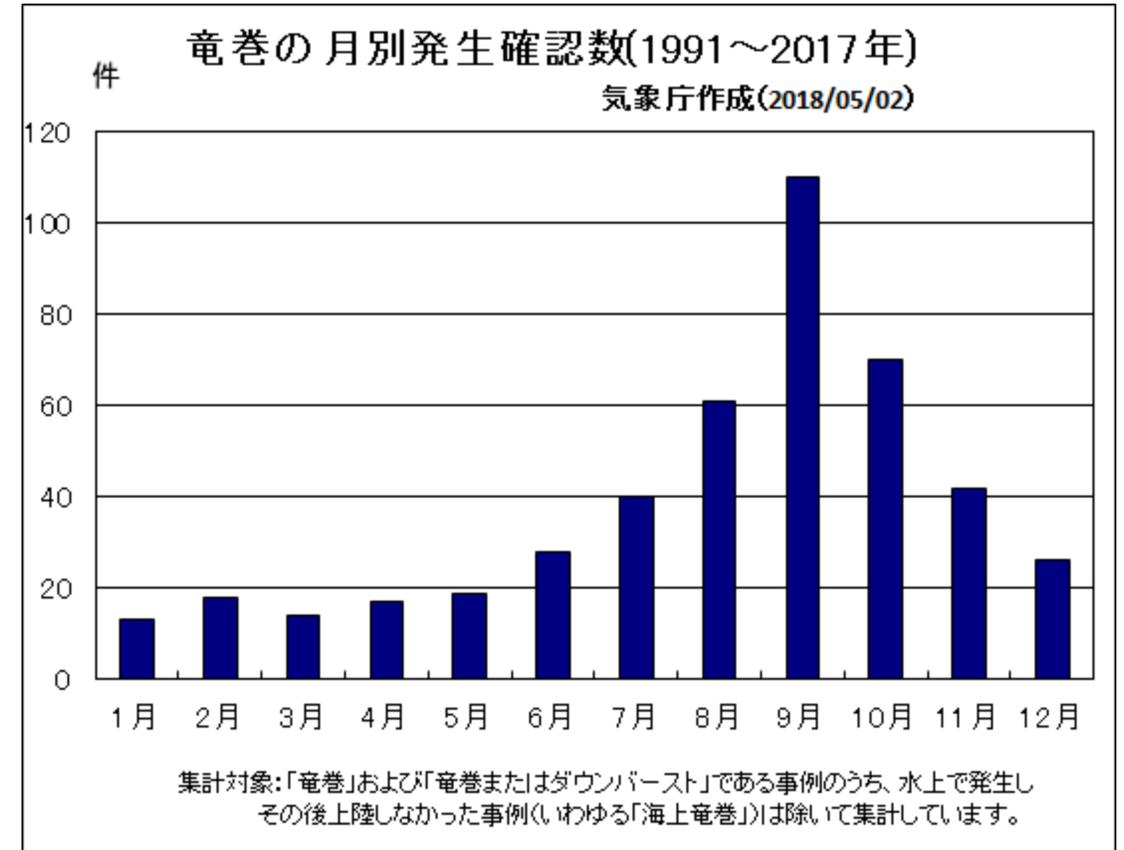
日本版改良藤田(JEF)スケール

JEF0	25～38m/s (3秒間の平均)	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。
JEF1	39～52m/s (3秒間の平均)	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。
JEF2	53～66m/s (3秒間の平均)	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。
JEF3	67～80m/s (3秒間の平均)	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。
JEF4	81～94m/s (3秒間の平均)	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～ (3秒間の平均)	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。

竜巻の発生分布と時期

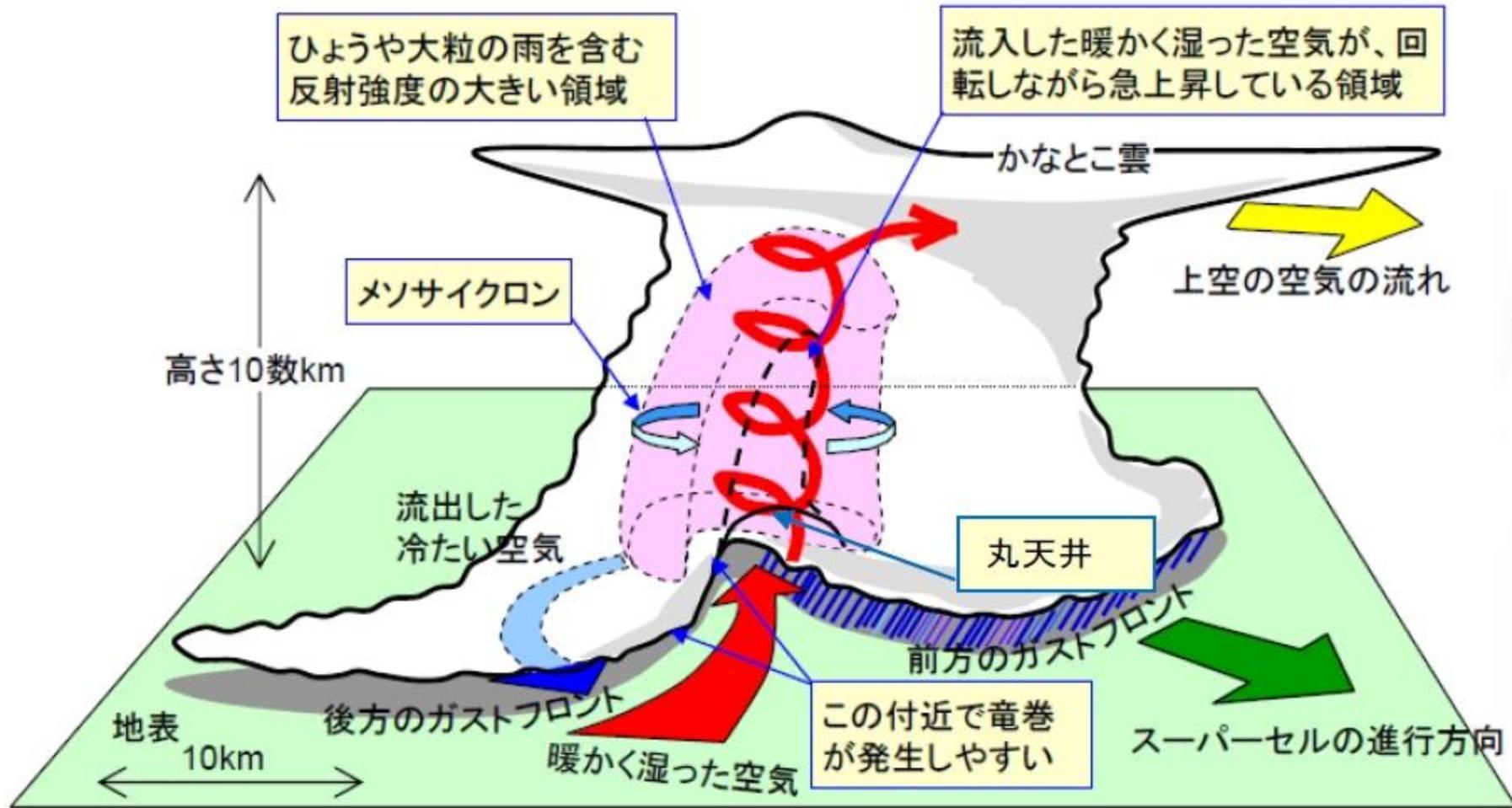


【13】出典：気象庁ホームページ
(<https://www.data.jma.go.jp/stats/data/bosai/tornado/list.html>)



【14】出典：気象庁ホームページ 2018年5月2日時点
(<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/stats/monthly.html>)

スーパーセルの多重構造



【15】出典：気象庁ホームページ「平成24年5月6日に茨城県・栃木県で発生した竜巻 現地調査の概要」p.12 スーパーセルの模式図
(https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tomado/special/special_history.html)



ドップラーレーダーによる竜巻可能性の監視

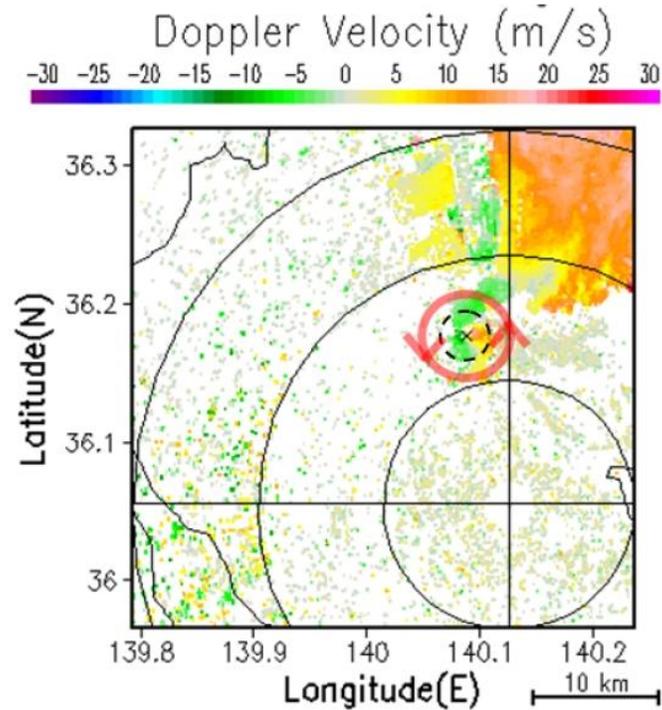
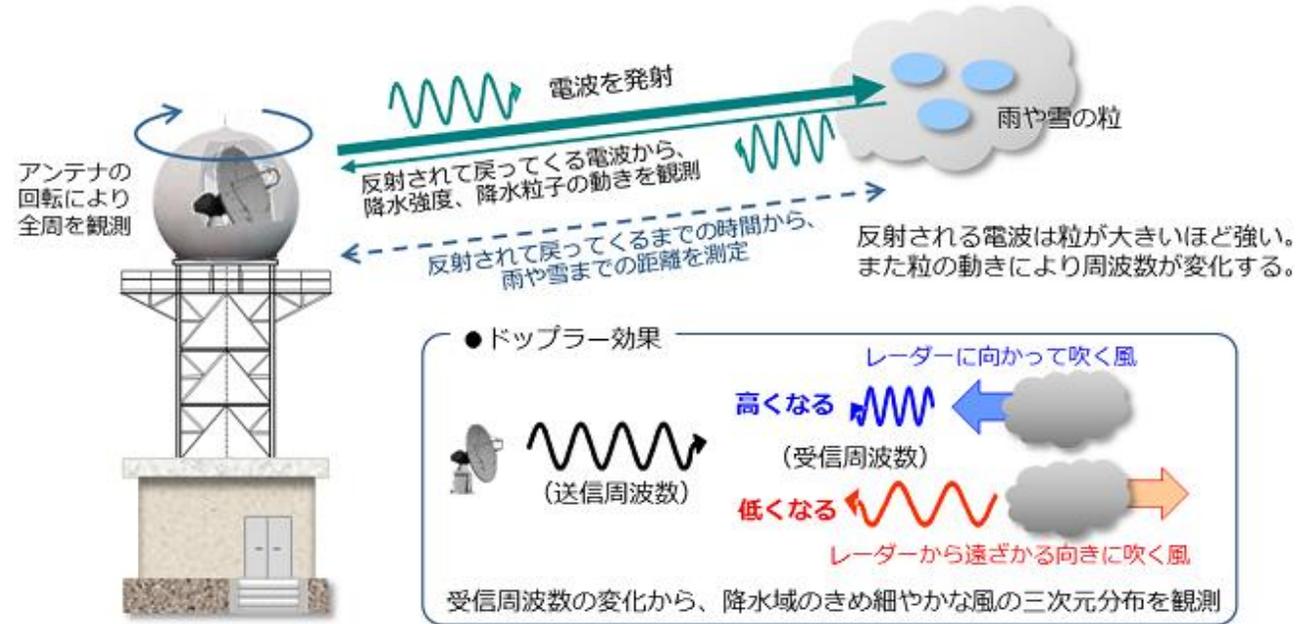


図2 12時51分における、気象研究所ドップラーレーダーによる大気下層のドップラー速度（レーダーに近づく／遠ざかる成分の風速）。×の位置が被害の大きかった北条地区を示す。この時刻、反時計回りの渦が北条地区上空に捉えられている（赤丸）。

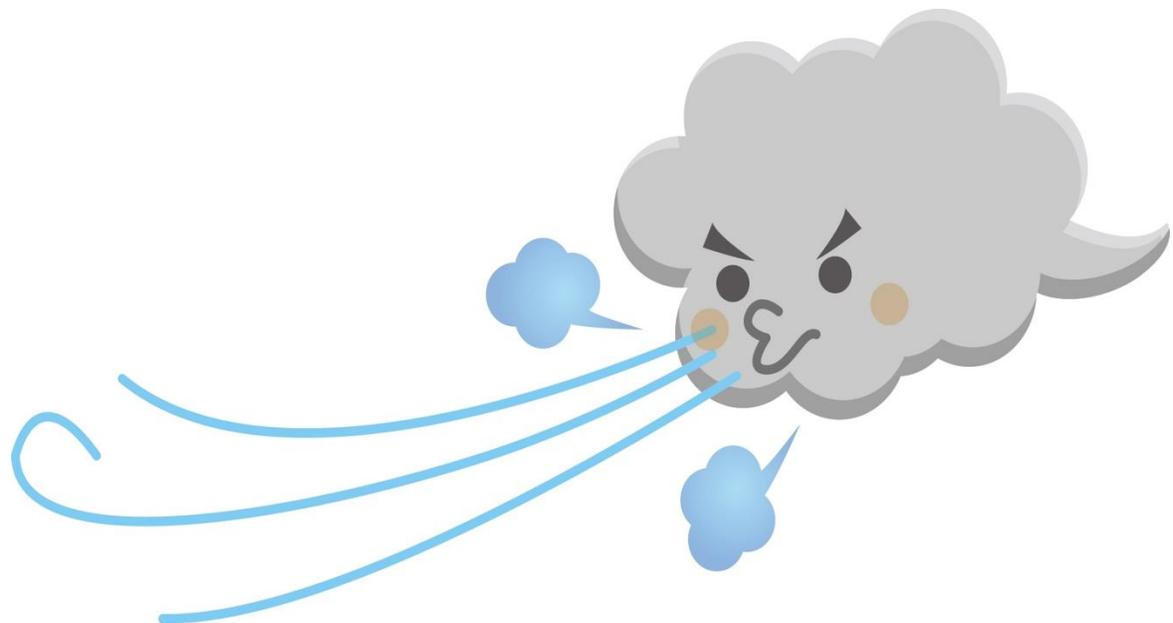
【16】出典：気象庁ホームページ「平成24年5月6日に茨城県・栃木県で発生した竜巻【解析】気象研究所による解析結果」p.3 図2
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/special/special_history.html



【17】出典：気象庁ホームページ「気象レーダー観測の概要」
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/radar/kaisetsu.html>

目次

1. 風が吹く原理の紹介
2. 熱帯低気圧の原理と統計
3. 温帯低気圧の原理と統計
4. 竜巻の原理と統計
5. 気象シミュレーションの方法



気象シミュレーションの方法

- 気象学は気象力学、大気放射学、雲物理学、境界層気象学の主に4つの分野からなる。
- **数値予報**とは、気象学の各分野における定式化を基礎とし、現在の計算機能力に見合う程度に簡略化された**時間発展離散方程式**を逐次計算することである。
- 数値予報によりある時刻における気象データから、**任意の未来時刻の気象データ**を概ね物理法則に則って生成できる。

質量・エントロピー保存

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v) = 0$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + v \cdot \nabla \theta = \underbrace{Q_R}_{\text{red}} + \underbrace{Q_P}_{\text{blue}}$$

気象力学

$$\frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla)v = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \underbrace{v \nabla^2 v}_{\text{green}} + g$$

回転球面上における大気循環を波動や不安定により解釈する。

気象力学以外の3分野

大気放射学

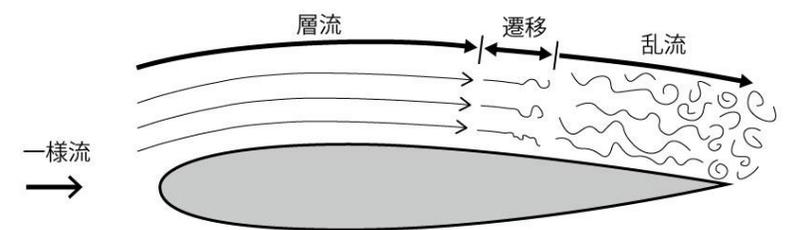
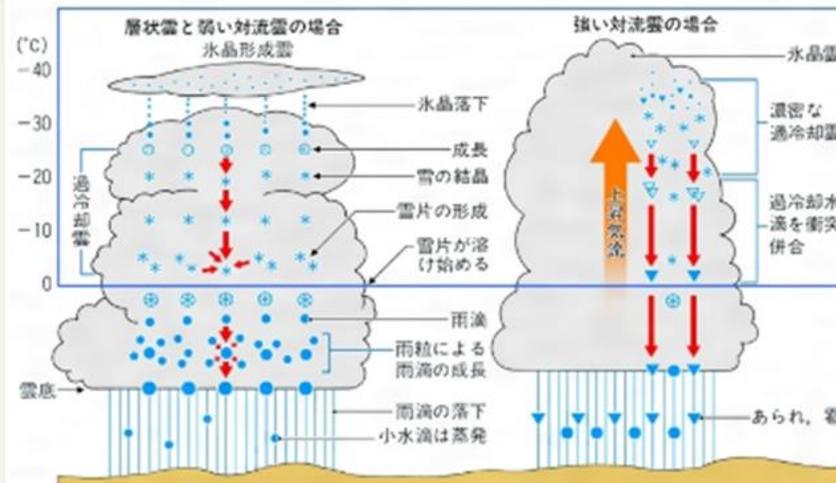
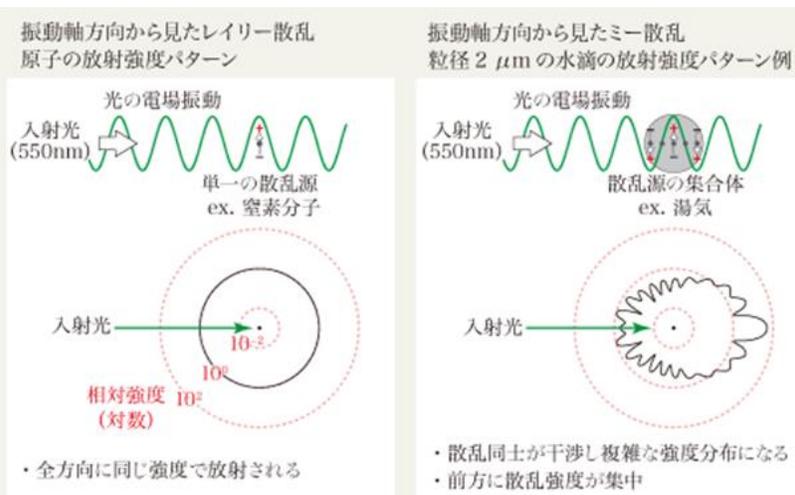
電磁波の散乱と放射に伴うエネルギー収支を計算し、余剰分は大気を加熱(冷却)する。

雲物理学

電磁波の散乱と放射に伴うエネルギー収支を計算し、余剰分は大気を加熱(冷却)する。

境界層気象学

空気は分子粘性が弱すぎる(高レイノルズ数)ので、粘性が働くスケールまで乱流化する。



(左)【18】 出典: 大津元一監修, 田所利康著:「イラストレイテッド 光の実験」, 朝倉書店 (2016).

(中)【19】 出典:「降雨の微物理的機構(氷晶過程に始まる雨)」 小学館『日本大百科全書(ニッポニカ)』「雨」

気象シミュレーションの原理(移流方程式の例)

$T(x, t)$ に対する1次元移流方程式(偏微分方程式)

$$\frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{\partial x} = 0$$

微分方程式の離散化(時間前方差分・空間中央差分)

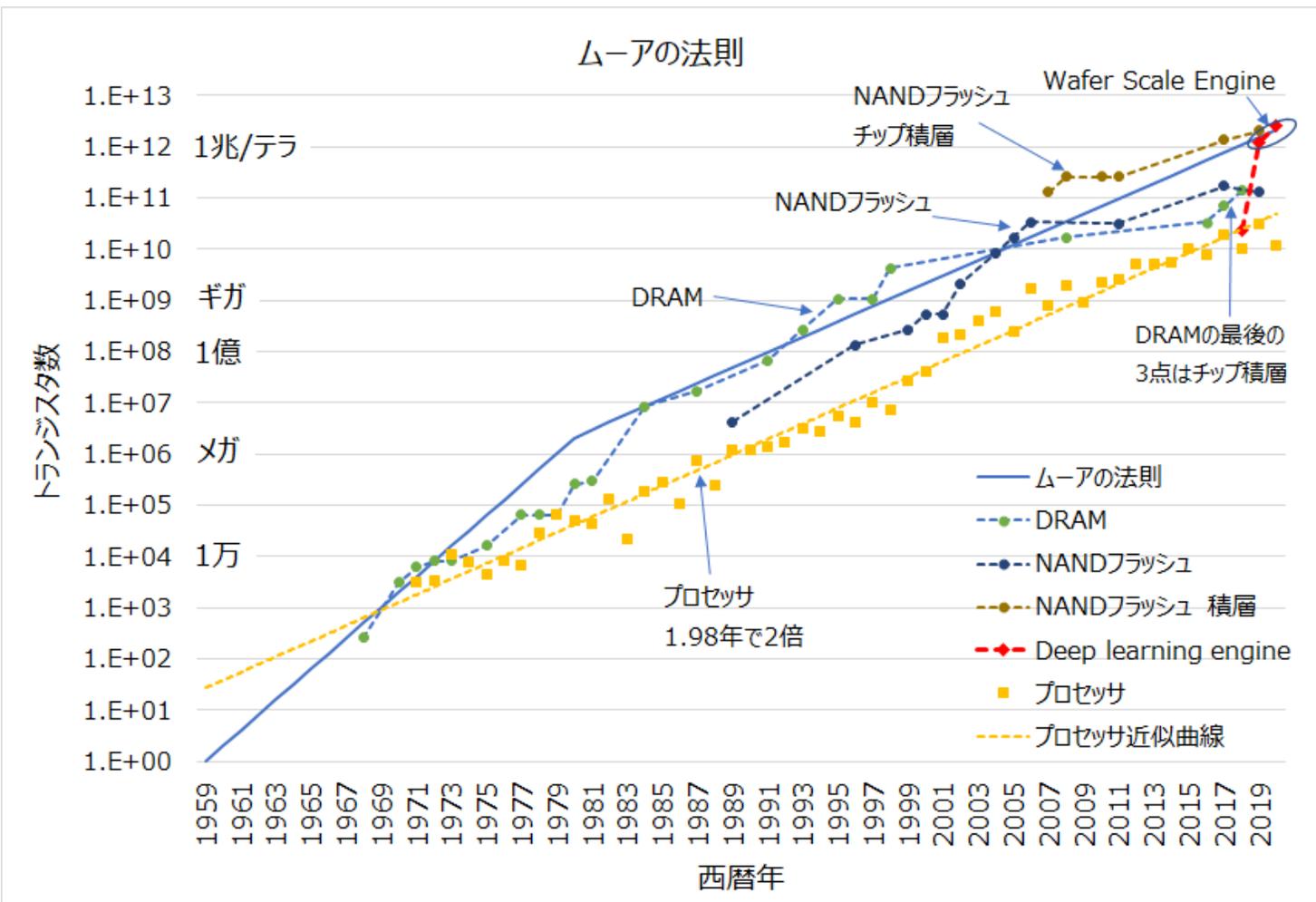
$$\frac{T(x, t + \Delta t) - T(x, t)}{\Delta t} = -U \frac{T(x + \Delta x, t) - T(x - \Delta x, t)}{2\Delta x}$$

時間発展離散方程式(未来値を現在値の関数として表現)

$$T(x, t + \Delta t) = T(x, t) - \frac{U\Delta t}{2\Delta x} \{T(x + \Delta x, t) - T(x - \Delta x, t)\}$$

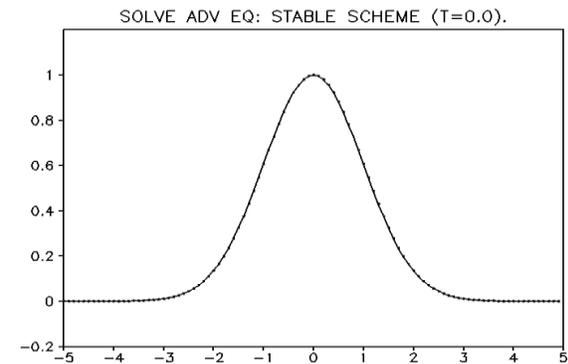
時間ステップ Δt は、空間メッシュ間隔 Δx と独立に選べない。

気象シミュレーションの限界

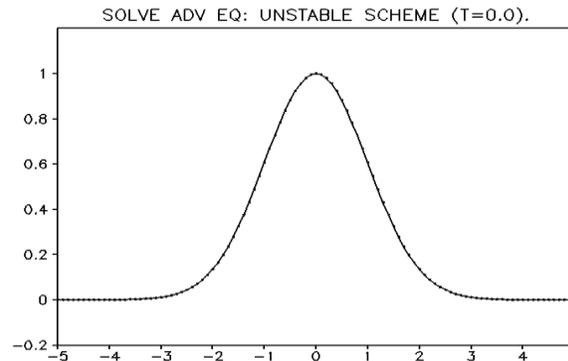


【20】 © Nisshinbo Micro Devices Inc.

小さい時間刻みは成功！

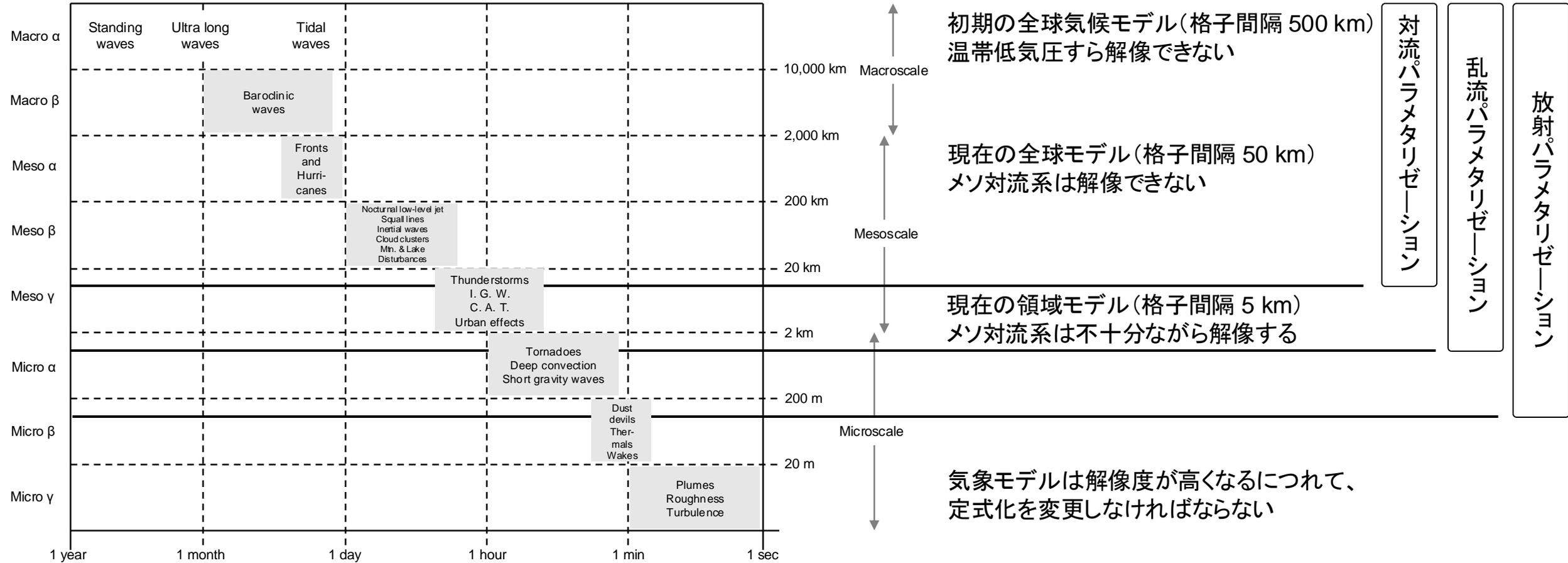


大きい時間刻みは失敗



気象シミュレーションの階層性

気象の時間空間相関性

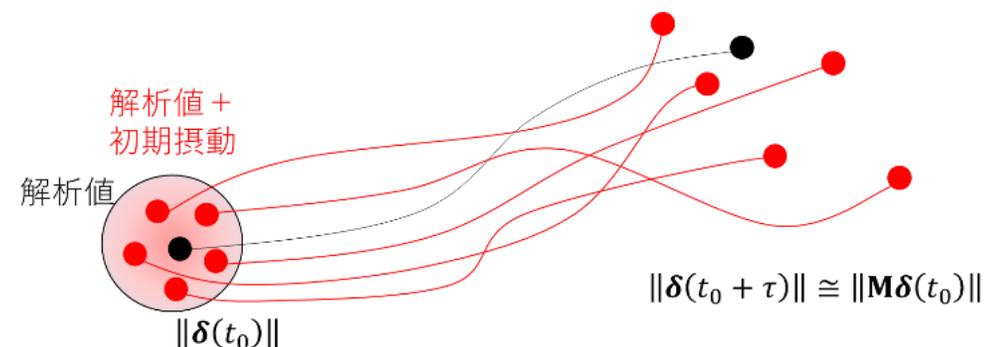


【21】 Used with permission of American Meteorological Society, from A Rational Subdivision of Scales for Atmospheric Processes, Isidoro Orlanski, Vol. 56, No. 5, 1975; permission conveyed through Copyright Clearance Center, Inc

気象庁の気象予測情報

期間別予報 のまとめ		2023年4月時点				© 2017色と形で気象予報士！				
		短期予報		中期予報		長期予報(季節予報)				
		天気分布	時系列	府県 天気予報	週間	1ヵ月	3ヵ月	暖候 期	寒候 期	
発表	5,11,17時		11,17		木	25日頃	2/25頃	9/25頃		
間隔	3時間		6時間		1日					
期間	翌日24時		明日	明後 日	7日	翌々日 から	翌月 から	夏	冬	
範囲	全般					例：東日本				
	地方	5km					例：関東地方			
	府県				例：神奈川県					
一次	例：神奈川県東部									
要素	天気					大まかな天候				
	気温	平均 最高最低	3時間 最高最低	最高 最低	最高・最低	平均気温				
	降水	降水量 降雪量		確率	確率	合計降水量・降雪量				
	他		風	風・波	信頼度 平年	合計日照 時間				
予測	モデル	メソ 全球 MEPS		全球 GEPS	GEPS	季節EPS・統計				

アンサンブル予報



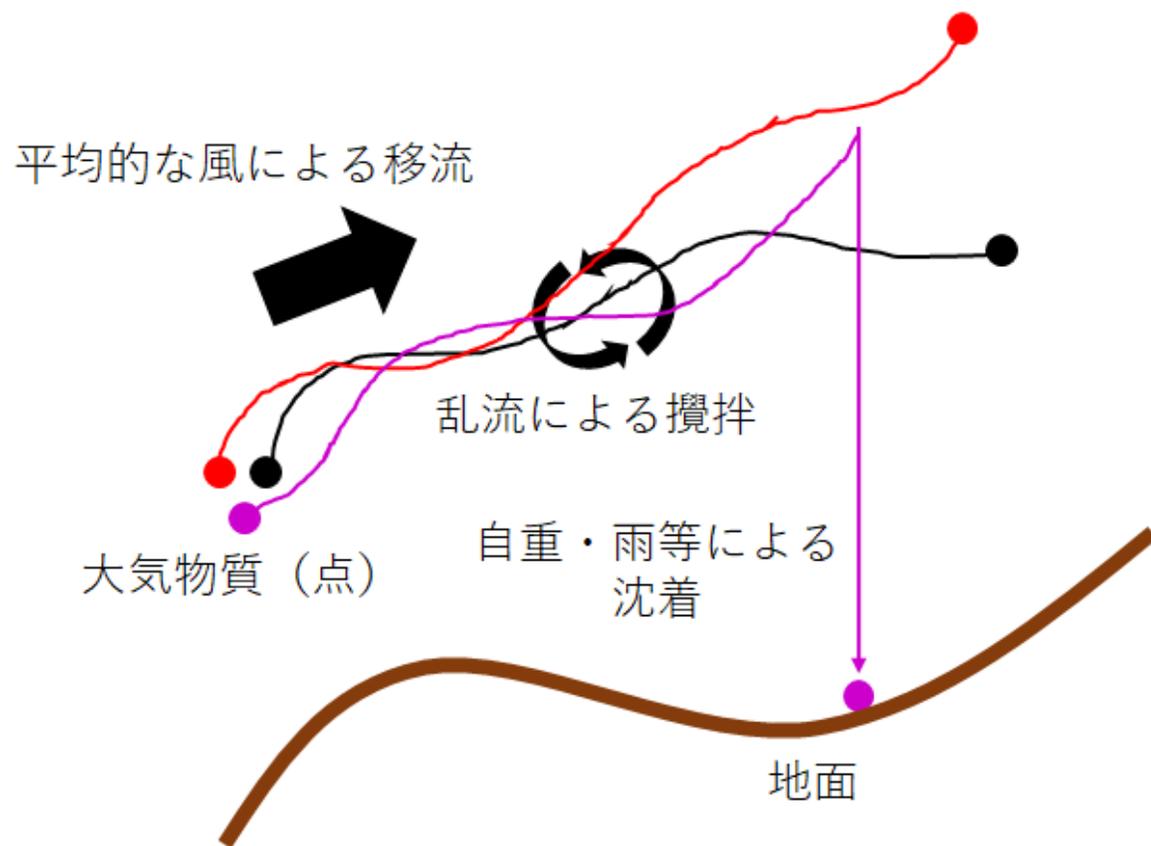
【22】出典：色と形で気象予報士！ 期間別予報のまとめ
(<https://irokata7.com/2023/04/23/s6-tanki-chuki-yoho/>)

気象庁の現況情報(ナウキャスト)

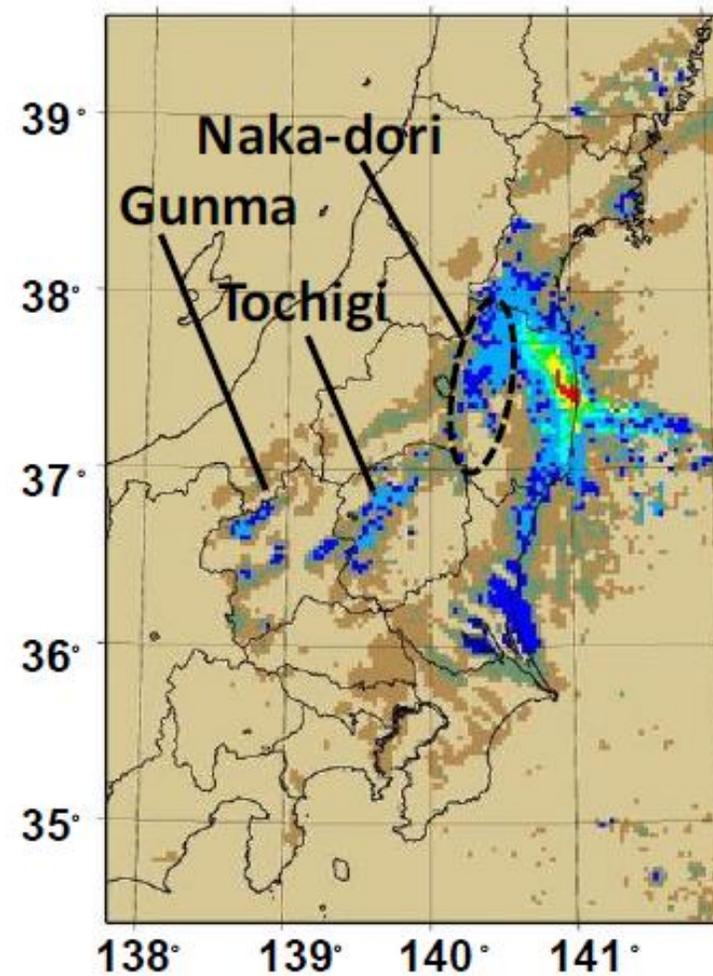
雨雲の動き、雷活動度、竜巻発生頻度が提供されています

- <https://www.jma.go.jp/bosai/nowc/>

放射性物質拡散予測への応用



(d) New-New model



(右)【24】出典: Katata, G., Chino, M., Kobayashi, T., Terada, H., Ota, M., Nagai, H., Kajino, M., Draxler, R., Hort, M. C., Malo, A., Torii, T., and Sanada, Y.: Detailed source term estimation of the atmospheric release for the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident by coupling simulations of an atmospheric dispersion model with an improved deposition scheme and oceanic dispersion model, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 1029–1070, <https://doi.org/10.5194/acp-15-1029-2015>, 2015.

まとめ

1. 風が吹く原理の紹介

大気中に働く力を整理し、スケールごとに風を整理しました。

2. 熱帯低気圧の原理と統計

3. 温帯低気圧の原理と統計

4. 竜巻の原理と統計

強風が吹くそれぞれの現象の原理と統計、そして被害例を紹介しました。

5. 気象シミュレーションの方法

気象予測の方法と気象予測情報を紹介しました。

出典一覧

No.	ライセンス	出典情報
【1】	+	風間卓仁 「重力加速度は9.8じゃない!？」 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻Webサイト (https://www.eps.sci.kyoto-u.ac.jp/research/introduction/07/index.html) (2024年5月10日参照)
【2】	+	「台風の名前の由来 (実線は主な経路、破線はそれに準ずる経路)」 (気象庁ホームページ)
【3】	+	©JAXA
【4】	+	警視庁警備部災害対策課Xより
【5】	+	気象庁ホームページ (https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/ame_chuui/ame_chuui_p5.html) 那覇市役所も許諾済
【6】	+	tenki.jp 知る防災「台風で高潮が発生するしくみ」 (https://tenki.jp/bousai/knowledge/7951535.html)
【7】	+	気象庁ホームページ 2013年3月1-3日分 (https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html)
【8】	+	日本気象学会機関誌「天気」第53巻, 7号, 南半球冬季ストームトラックの東西非対称性の形成について-2005年度山本・正野論文賞受賞記念講演-, p.538, 第図1
【9】	+	共同通信社
【10】	+	苫小牧民報社提供

出典一覧

No.	ライセンス	出典情報
【11】	+	佐呂間町役場ホームページ 佐呂間町「若佐地区竜巻災害の記録」 (https://www.town.saroma.hokkaido.jp/shoukai/kakushu_houkoku/tatumaki_saigai.html)
【12】	+	国立研究開発法人建築研究所ホームページ「2006年佐呂間町竜巻被害調査報告」 (https://www.kenken.go.jp/japanese/contents/activities/other/other.html)
【13】	+	気象庁ホームページ (https://www.data.jma.go.jp/stats/data/bosai/tornado/list.html)
【14】	+	気象庁ホームページ 2018年5月2日時点 (https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/stats/monthly.html)
【15】	+	気象庁ホームページ「平成24年5月6日に茨城県・栃木県で発生した竜巻 現地調査の概要」 p.12 スーパーセルの模式図 (https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/special/special_history.html)
【16】	+	気象庁ホームページ「平成24年5月6日に茨城県・栃木県で発生した竜巻【解析】気象研究所による解析結果」 p.3 図2 (https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/special/special_history.html)
【17】	+	気象庁ホームページ「気象レーダー観測の概要」 (https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/radar/kaisetsu.html)
【18】	+	大津元一監修，田所利康著：「イラストレイテッド 光の実験」，朝倉書店 (2016).
【19】	+	「降雨の微物理的機構（氷晶過程に始まる雨）」 小学館『日本大百科全書（ニッポニカ）』「雨」
【20】	+	© Nisshinbo Micro Devices Inc.

出典一覧

No.	ライセンス	出典情報
【21】	+	Used with permission of American Meteorological Society, from A Rational Subdivision of Scales for Atmospheric Processes, Isidoro Orlanski, Vol. 56, No. 5, 1975; permission conveyed through Copyright Clearance Center, Inc
【22】	+	色と形で気象予報士！ 期間別予報のまとめ (https://irokata7.com/2023/04/23/s6-tanki-chuki-yoho/)
【23】	+	気象庁ホームページ (https://www.jma.go.jp/bosai/nowc/)
【24】	+	Katata, G., Chino, M., Kobayashi, T., Terada, H., Ota, M., Nagai, H., Kajino, M., Draxler, R., Hort, M. C., Malo, A., Torii, T., and Sanada, Y.: Detailed source term estimation of the atmospheric release for the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident by coupling simulations of an atmospheric dispersion model with an improved deposition scheme and oceanic dispersion model, Atmos. Chem. Phys., 15, 1029–1070, https://doi.org/10.5194/acp-15-1029-2015 , 2015.