

令和2年度秋季建築物防災週間関連行事

# 建築物防災講演会

## 資 料

開催日：令和2年9月10日（木）

会場：建設交流館8階 グリーンホール

主催：一般財団法人大阪建築防災センター

令和2年度秋季建築物防災週間関連行事  
建築物防災に関する講演会(次第)

日時 令和2年9月10日(木) 14時00分～16時00分  
会場 建設交流館 8階 グリーンホール 定員100名

1. 挨拶 一般財団法人大阪建築防災センター 理事長 前田 栄 治  
14:00～ 大阪府住宅まちづくり部 建築指導室長 山添 光 訓 氏
2. 講演 テーマ 「台風による都市型暴風災害のリスクとその備え」  
14:15～16:00 講師 竹見 哲 也 氏  
(休憩15分) 京都大学 防災研究所 暴風雨・気象環境研究分野 准教授

近年、台風による豪雨・暴風による災害が全国各地で発生し、台風の脅威への備えがますます大事になってきています。2018年の台風21号による被害は、損害保険支払額としては1兆円を超え、記録上最大規模の風水害となりました。この台風21号により、大阪市では、室戸台風・第二室戸台風に次ぐ観測史上3位の暴風によって大きな被害が発生しました。

本講演では、台風21号により大阪市街地で吹いた風を数値シミュレーションによって分析した結果についてお話します。市街地では、建物や構造物の影響を受けた都市特有の暴風が吹くことが分かりました。こういった暴風によって街路樹・看板・窓ガラスなどが飛散し、都市では飛散物による被害も大きな問題であると言えます。

都市にひそむ暴風のリスクを理解することで、都市型暴風災害への備えについて考えてみたいと思います。

■ 講師プロフィール ■

たけみてつや  
竹見 哲 也 氏

京都大学 防災研究所 暴風雨・気象環境研究所分野 准教授

京都大学大学院理学研究科にて博士(理学)取得後、大阪大学大学院工学研究科助手、東京工業大学講師を経て、現職。

2001年から1年間、米国・国立大気研究センターにて研究に従事。

専門は、気象学、特に、台風・豪雨・暴風など気象災害、大気中の乱流・拡散や大気環境問題、気候変動と気象災害に係わる研究。

主 催 一般財団法人大阪建築防災センター

後 援 大阪府 大阪市 豊中市 堺市 東大阪市 吹田市 高槻市 守口市 枚方市  
八尾市 寝屋川市 茨木市 岸和田市 箕面市 門真市 池田市 和泉市 羽曳野市

協 賛 建築物防災推進協議会

# 台風による都市型暴風災害のリスクと その備え

竹見 哲也

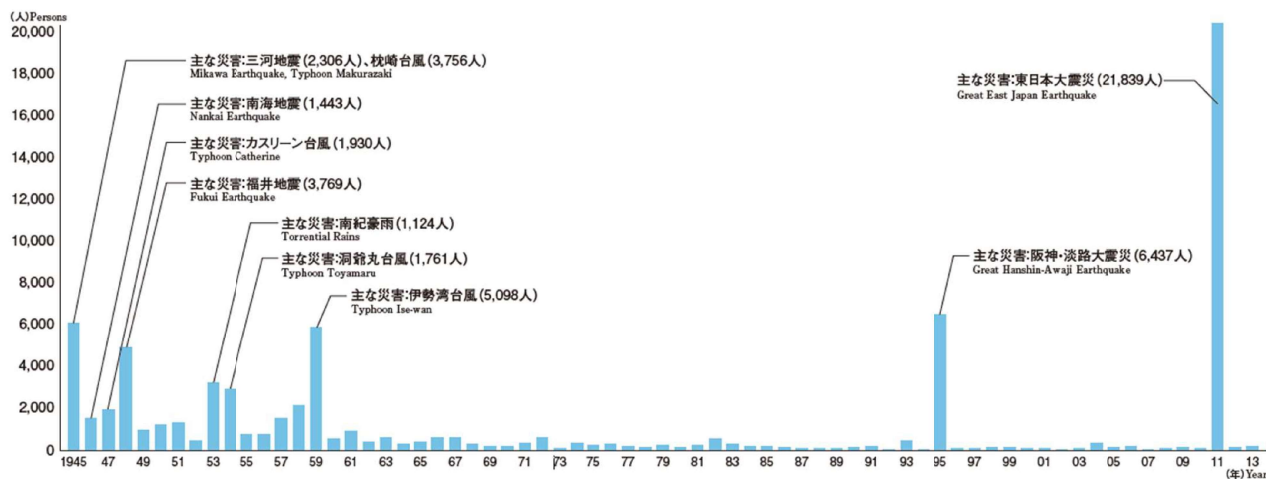
京都大学 防災研究所



京都大学  
KYOTO UNIVERSITY

## 日本の自然災害の被害の推移

自然災害による死者・行方不明者数の推移 The Number of Deaths and Missing Persons Caused by Natural Disasters



出典：防災白書 Source: White Paper on Disaster Management

※阪神・淡路大震災及び東日本大震災については、震災関連死を含む

Note: With regard to the Hanshin-Awaji Earthquake and the Great East Japan Earthquake, those figures include earthquake-related deaths.



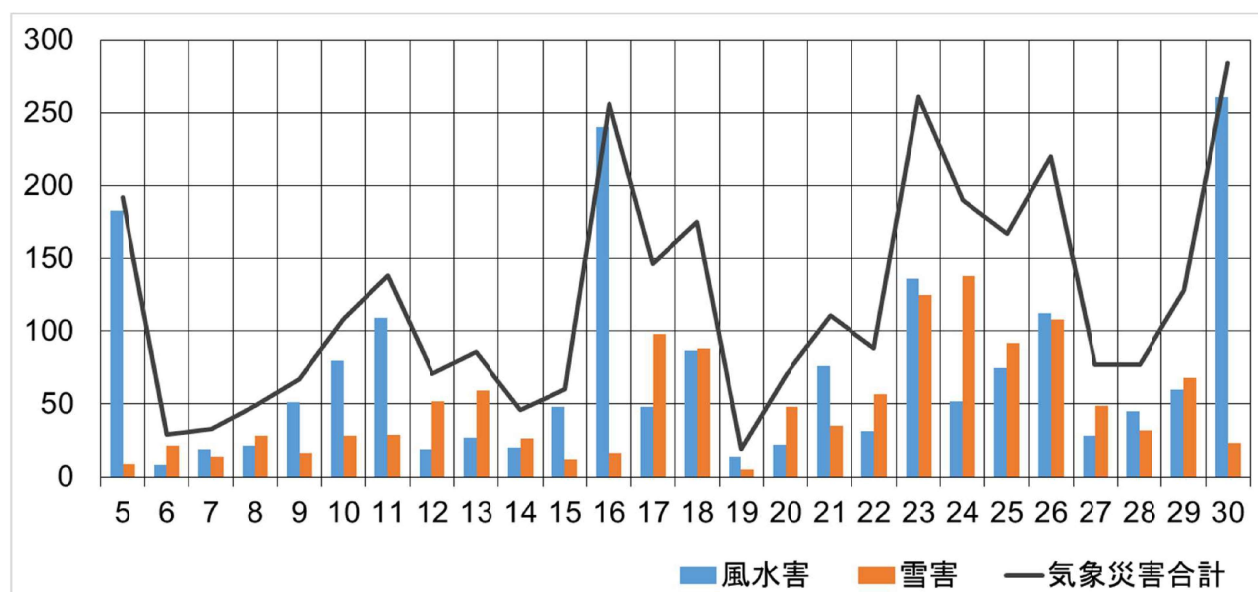
## 歴史的な顕著台風

台風名	上陸・再接近日	死者・行方不明者数 (人)
室戸台風（＊）	1934.9.21	3036
枕崎台風（＊）	1945.9.17	3756
カスリーン台風	1947.9.15	1930
洞爺丸台風	1954.9.26	1761
伊勢湾台風（＊）	1959.9.26	5098

（※ 昭和の三大台風）



## 近年の気象災害による死者・行方不明者数



- 平成30年 死者・行方不明者数（内閣府）  
 平成30年7月豪雨：245名  
 台風21号：14名

（内閣府「令和元年度防災白書」より）



# 国内における保険金支払額から見た気象災害

## 風水災等による保険金の支払い

過去の支払保険金（災害例）

順位	災害名	地域	年月日	支払保険金（単位：億円）			
				火災・新種	自動車	海上	合計
1	平成30年台風21号	大阪・京都・兵庫等	2018年9月3日～5日	9,363	780	535	10,678
2	平成3年台風19号	全国	1991年9月26日～28日	5,225	269	185	5,680
3	平成16年台風18号	全国	2004年9月4日～8日	3,564	259	51	3,874
4	平成26年2月雪害	関東中心	2014年2月	2,984	241	—	3,224
5	平成11年台風18号	熊本・山口・福岡等	1999年9月21日～25日	2,847	212	88	3,147
6	平成30年台風24号	東京・神奈川・静岡等	2018年9月28日～10月1日	2,946	115	—	3,061
7	平成30年7月豪雨	岡山・広島・愛媛等	2018年6月28日～7月8日	1,673	283	—	1,956
8	平成27年台風15号	全国	2015年8月24日～26日	1,561	81	—	1,642
9	平成10年台風7号	近畿中心	1998年9月22日	1,514	61	24	1,599
10	平成16年台風23号	西日本	2004年10月20日	1,112	179	89	1,380

一般社団法人 日本損害保険協会調べ

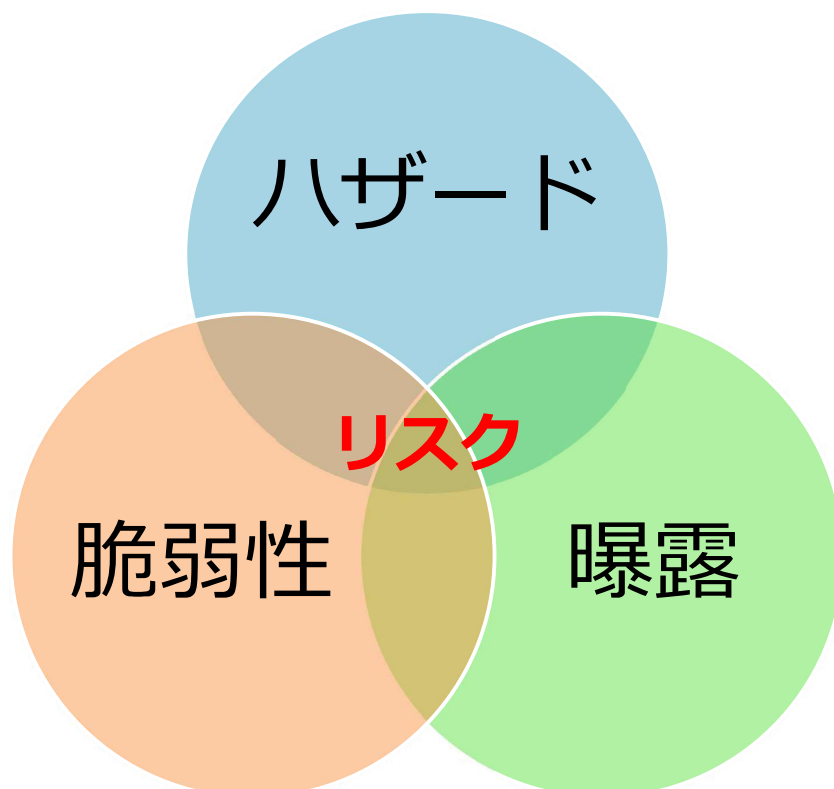
※千万円単位で四捨五入を行い、算出しています。

※そのため、各項目を合算した値と合計欄の値が一致しないことがあります。



（日本損害保険協会による）

## 災害のリスクとは

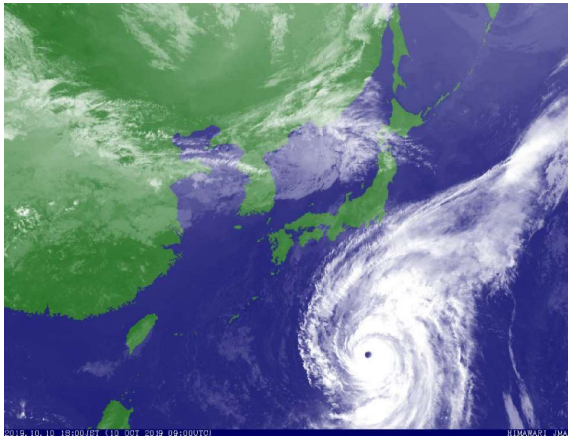


（気候変動に関する政府間パネル第5次報告書(WG2)に基づき作成）



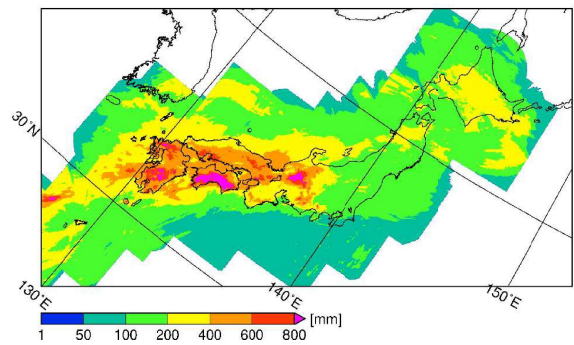
# 気象ハザード

## 台風



(2019年台風19号気象衛星画像、気象庁)

## 豪雨

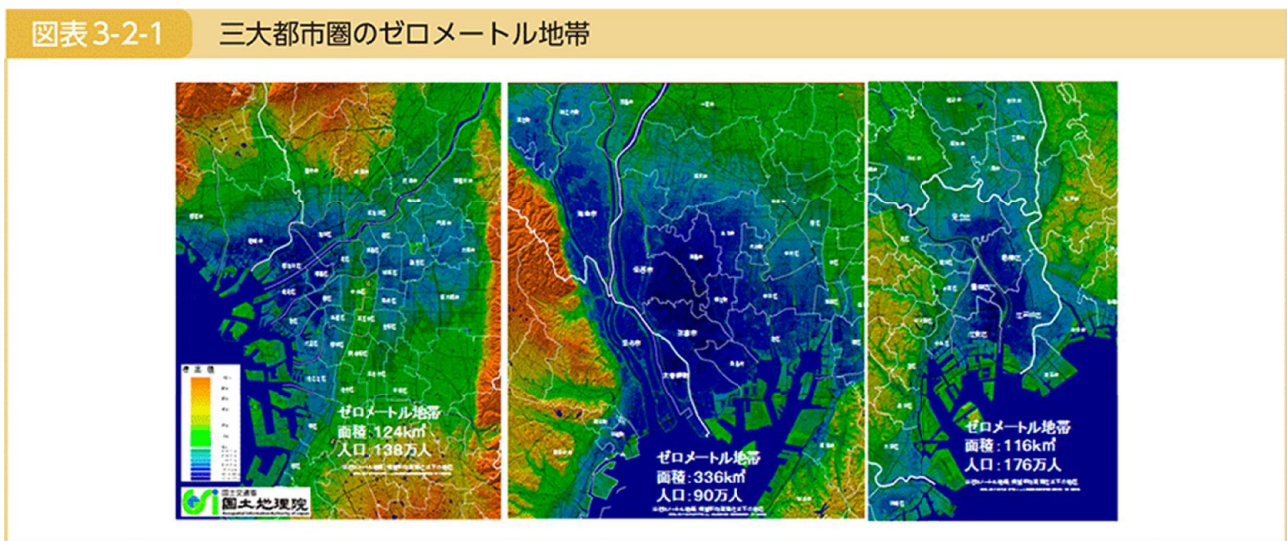


(平成30年7月豪雨時の積算雨量、Unuma and Takemi 2019)



# 三大都市圏のゼロメートル地帯

図表 3-2-1 三大都市圏のゼロメートル地帯



出典：国土地理院資料より内閣府作成



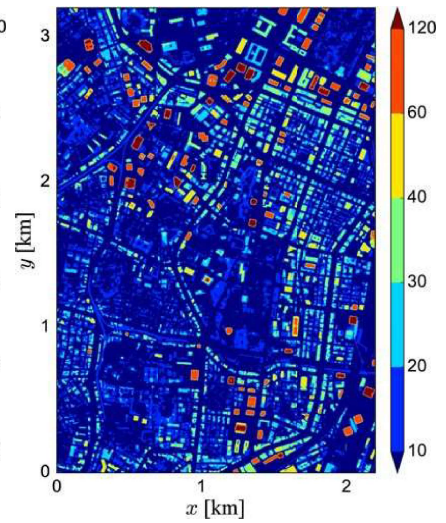
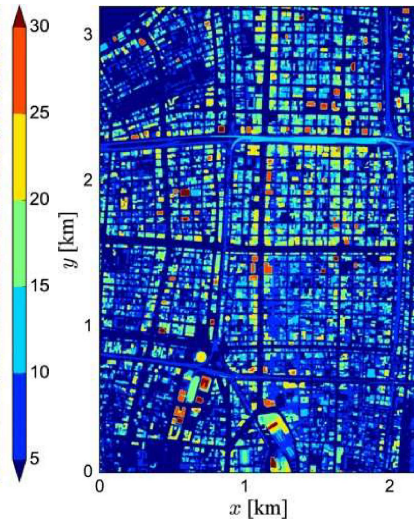
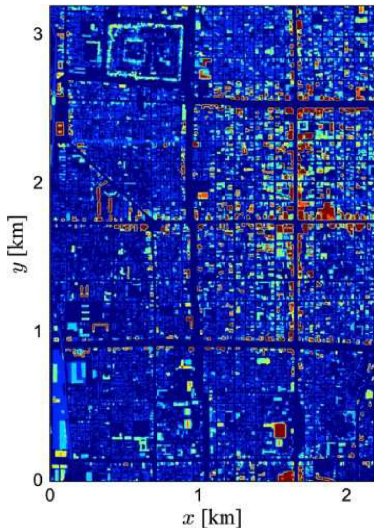
(内閣府「防災白書」より)

# 都市

京都

大阪

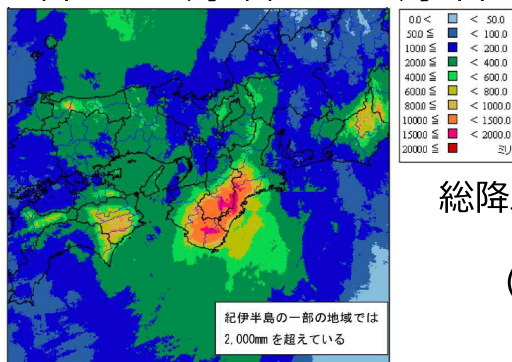
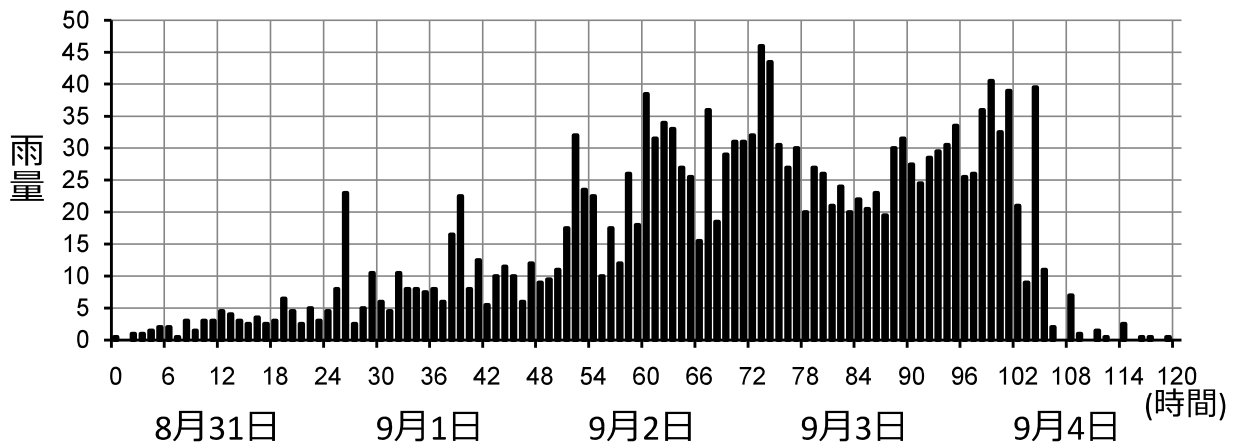
東京



(Takemi et al. 2019b)

## 長続きする豪雨：平成23年台風12号

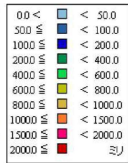
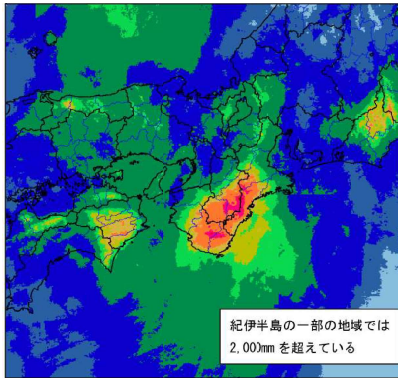
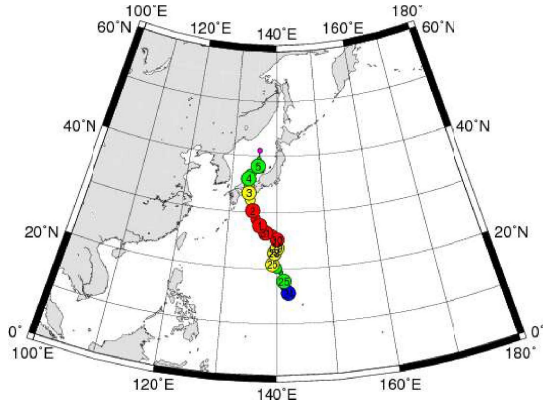
(mm) 2011年8月31日～9月4日の1時間雨量（奈良県上北山アメダス）



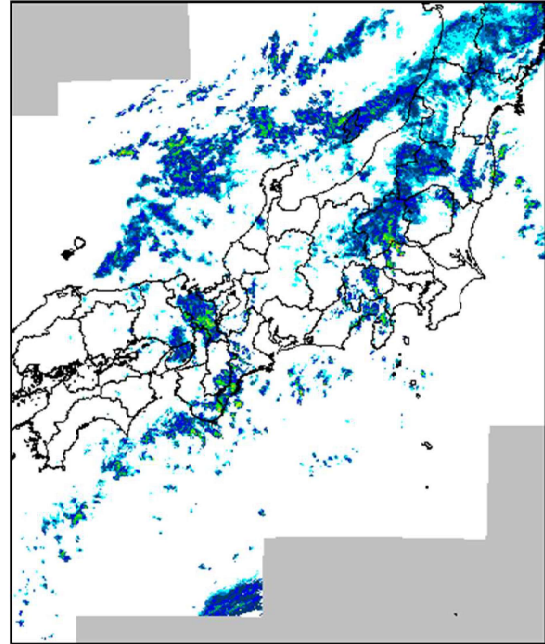
総降水量分布（8月30日17時  
～9月6日24時）  
（気象庁報告書より）



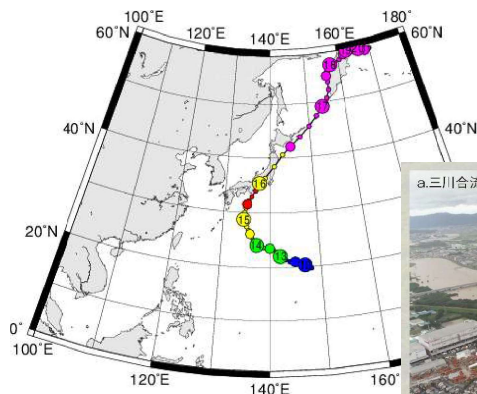
## 同じ場所に繰り返し雨雲が来襲



2011/04/01 09:00:00(JST) 全国合成強度5分



## 平成25年台風18号による近畿地方での大雨



(デジタル台風より)

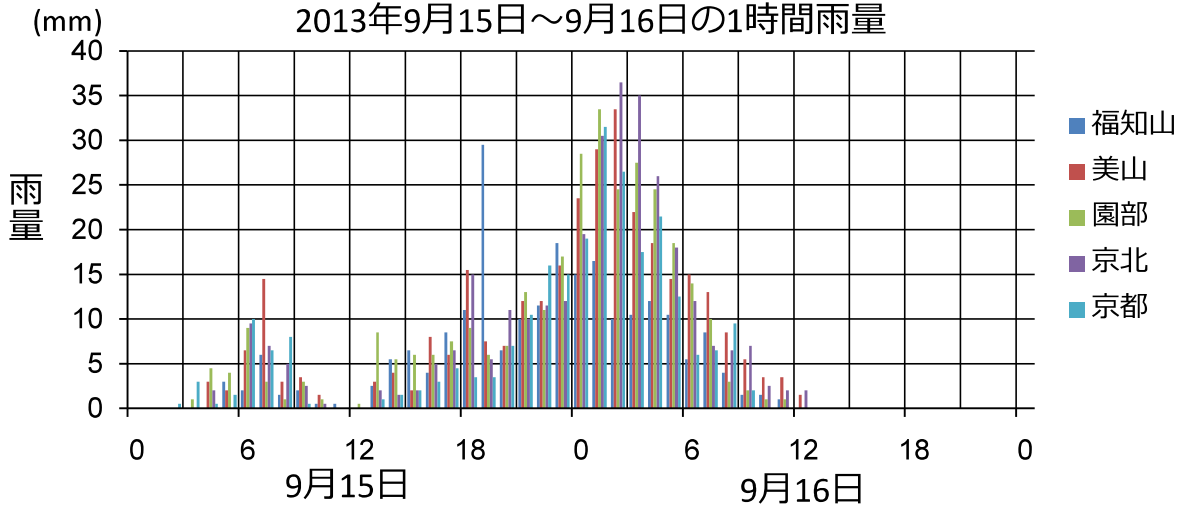


(京都大学防災研究所ニュースレターより)





# 平成25年台風18号による京都での豪雨



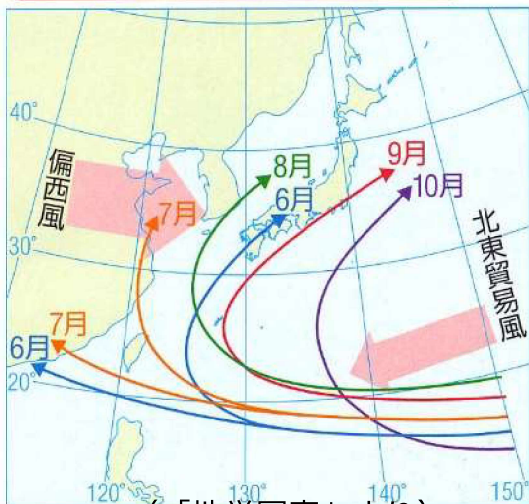
地点	2日間総雨量
福知山	226.0 mm
美山	318.5 mm
園部	311.5 mm
京北	313 mm
京都	250.5 mm



## 台風の発生の平均的な特徴

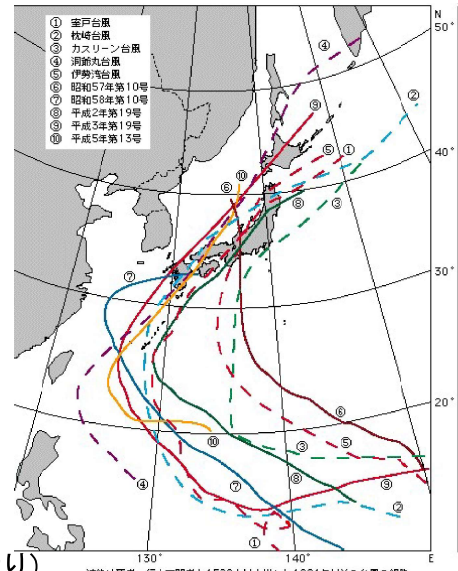
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	平均
発生数	0.3	0.1	0.3	0.6	1.1	1.7	3.6	5.9	4.8	3.6	2.3	1.2	<b>25.6</b>
接近数				0.2	0.6	0.8	2.1	3.4	2.9	1.5	0.6	0.1	<b>11.4</b>
上陸数					0.0	0.2	0.5	0.9	0.8	0.2	0.0		<b>2.7</b>

台風の月別による経路の傾向



(「地学図表」より)

災害をもたらした主な台風の経路

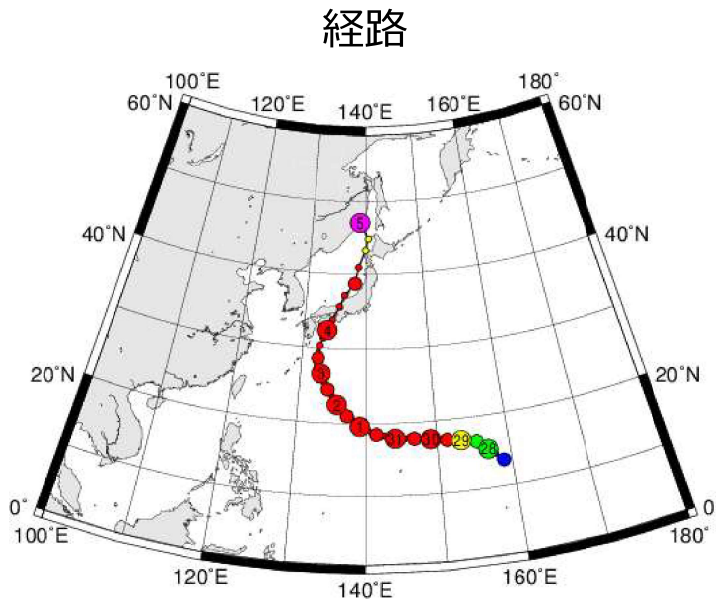


(「理科年表」より)

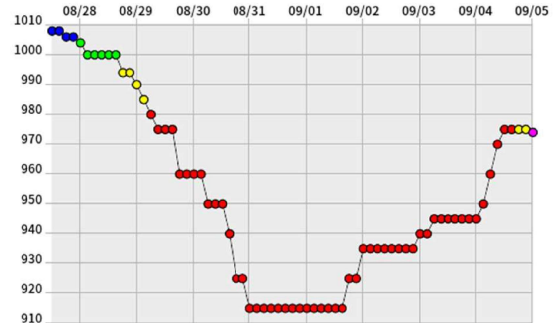
波線は死者・行方不明者を1500人以上出した1981年以前の台風の経路。実線は死者・行方不明者を40人以上出した1982年以降の台風の経路。



## 近畿地方で暴風をもたらした2018年台風21号



### 中心気圧



(「デジタル台風」より)

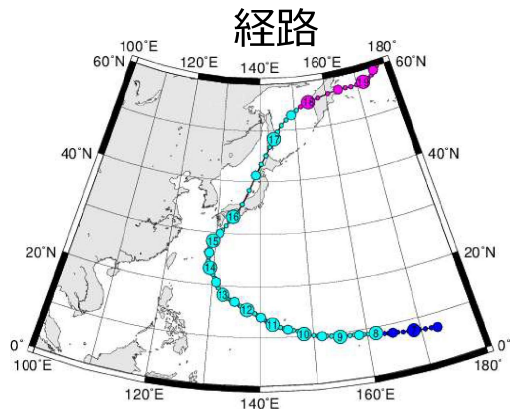
### 最大瞬間風速

大阪：47.4 m/s；関西空港：58.1 m/s；京都：39.4 m/s；神戸41.8 m/s

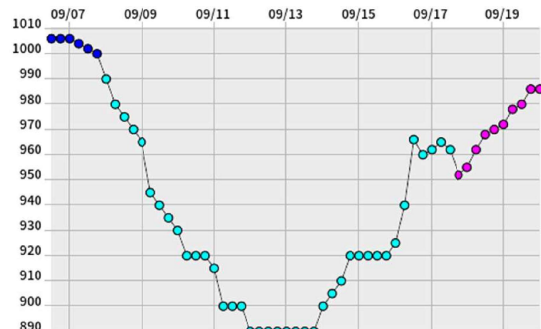


## 大阪湾岸域での最悪コースの台風

### 第二室戸台風（1961年台風18号）



### 中心気圧



(「デジタル台風」より)

### 最大瞬間風速

大阪：50.6 m/s；京都：34.3 m/s；神戸39.2 m/s

### 室戸台風（1934年）

### 最大瞬間風速

大阪：60.0 m/s；京都：42.1 m/s



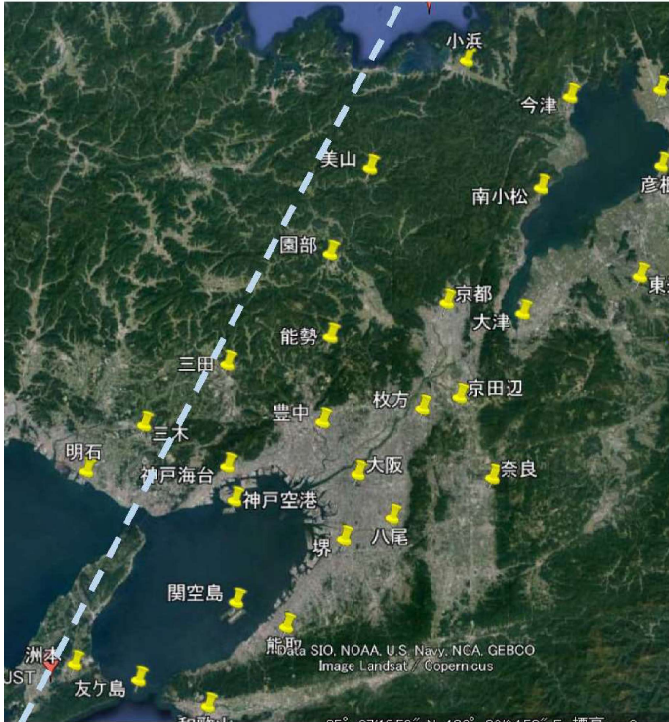
## 台風21号による大阪市街地内での被害状況



突風率 = 最大瞬間風速 ÷ 平均風速



# 台風21号通過時の突風率



## 気象官署で観測された突風率

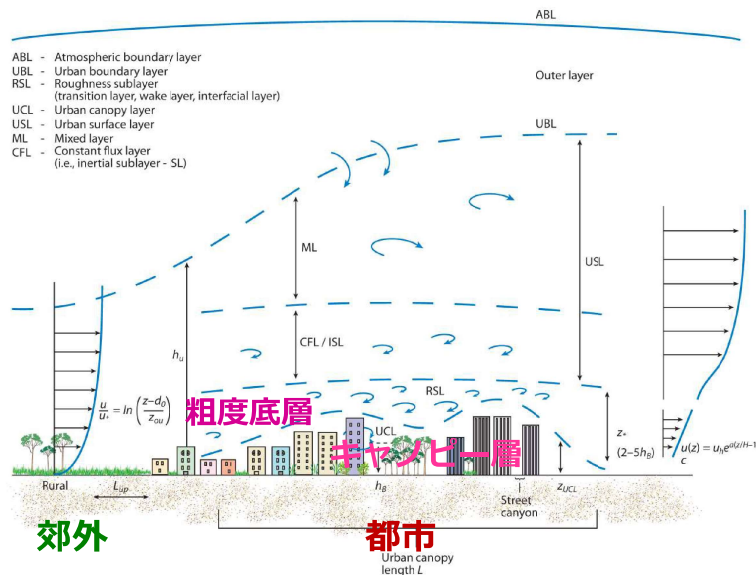
地点	突風率	10分風速 日最大	瞬間風速 日最大
堺	2.2	20.3	43.6
能勢	2.13	17.3	31.6
枚方	2.1	19.3	40.2
南小松	2.1	16.3	32.2
東近江	2.01	16.5	31.7
大阪	1.95	23.7	47.4
熊取	1.93	26.6	51.2
京都	1.91	21.7	39.4
揖斐川	1.9	17.5	32.4
奈良	1.86	19.1	37.4
京田辺	1.84	18.7	34.4
勝山	1.83	20.1	38.9
徳島	1.82	18.5	32.7
長浜	1.82	19.3	33.6
敦賀	1.81	26	47.9
彦根	1.81	23.5	46.2

(京都大学 石川裕彦教授 資料)



## 都市空間の大気環境

- 都市大気環境では、粗度の高さや配置が大きく影響
  - 都市キャノピー層 (urban canopy layer)
  - 粗度底層 (roughness sublayer)

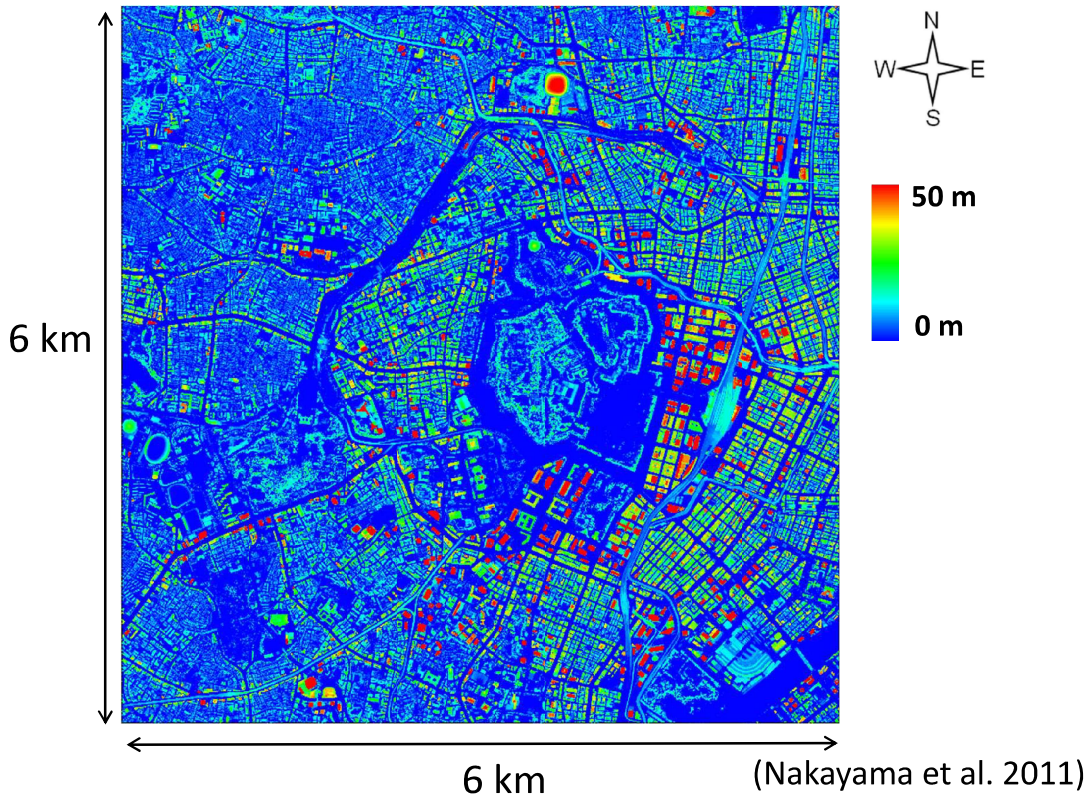


(Fernando 2010)



# 都市における粗度の分布

東京都心部におけるビル高さの分布

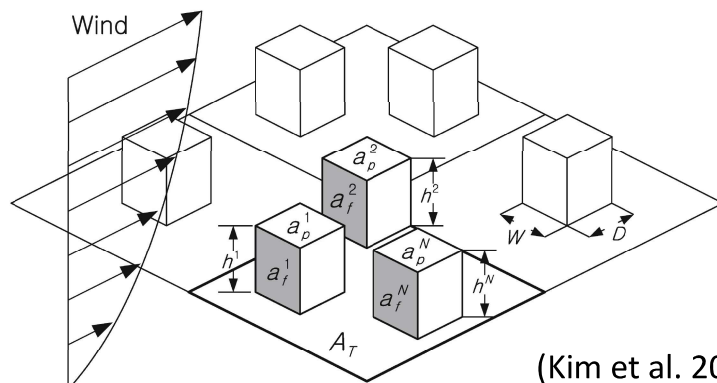


# 都市街区の幾何学的形状を表す数量

Plan Area Index :  
 単位面積あたりの建物の  
 屋根面総面積の比  $\lambda_p = \frac{A_p}{A_T}$

Frontal Area Index :  
 単位面積あたりの建物の  
 風上向き側面総面積の比  $\lambda_f = \frac{A_f}{A_T}$

※立方体であれば、 $\lambda_f$ と $\lambda_p$ は一致する。



(Kim et al. 2011)



## 都市におけるビルの幾何学的配置

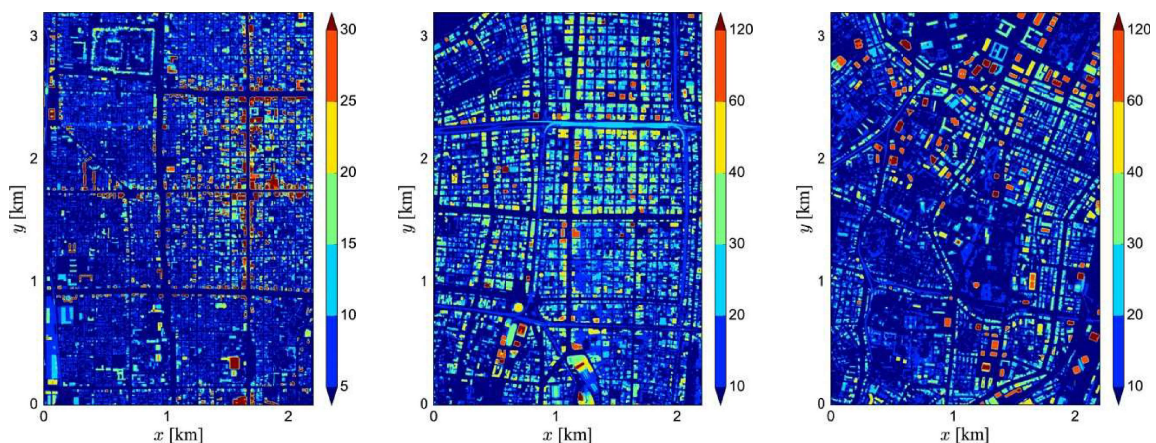
- 東京：
  - ビルの**平均高さ**はヨーロッパ都市並み
  - ビルの**密集度**もヨーロッパ並み
  - しかし、ビル**高さのばらつき**は米国都市並み

	London	Toulouse	Berlin	Salt Lake City	Los Angeles	東京
$h_{av}[m]$	13.6	15.3	18.6	16.3	51.3	18.4
$h_{sd}[m]$	5.0	6.1	4.3	14.1	51.5	17.2
$h_{sd}/h_{av}$	0.37	0.40	0.23	0.87	1.00	0.93
$\lambda_p$	0.55	0.40	0.35	0.22	0.28	0.49
$\lambda_f$	0.32	0.32	0.23	0.11	0.45	0.39

(Ratti et al. 2002; Nakayama et al. 2011)



## 京都・大阪・東京の比較



	$H_{ave}$	$H_{max}$	$\sigma_H$	$V_H$	$\lambda_p$	$\lambda_f$
京都	11.6	56.6	7.8	0.67	0.46	0.29
大阪	20.5	189	15.3	0.74	0.49	0.66
東京	20.3	283	21.6	1.05	0.53	0.45

(Takemi et al. 2019b)



## 建築物荷重指針・同解説（建築学会）

- 風速の鉛直分布：べき指数分布

$$U(Z) = U_{Z_0} \left( \frac{Z}{Z_0} \right)^\alpha$$

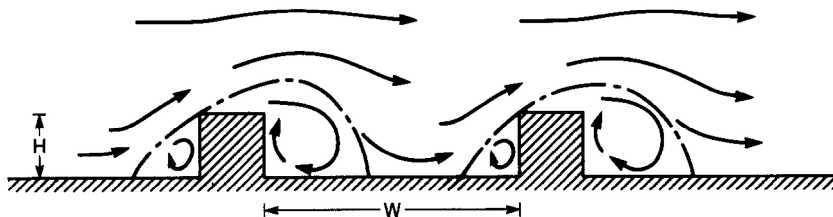
- 地表面粗度区分

I	海面または湖面のようなほとんど障害物のない地域	$\alpha=0.1$
II	田園地帯や草原のような農作物程度の障害物がある地域、樹木・低層建築物などが散在している地域	$\alpha=0.15$
III	樹木・低層建築物が多数存在する地域、あるいは中層建築物（4～9階）が散在している地域	$\alpha=0.2$
IV	中層建築物（4～9階）が主となる市街地	$\alpha=0.27$
V	<b>高層建築物（10階以上）が密集する市街地</b>	<b><math>\alpha=0.35</math></b>

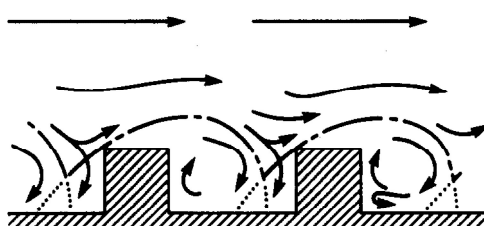


## 都市を想定した気流のパターン

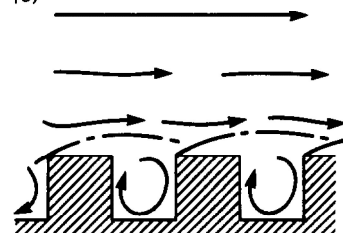
(a) Isolated roughness flow



(b) Wake interference flow



(c) Skimming flow



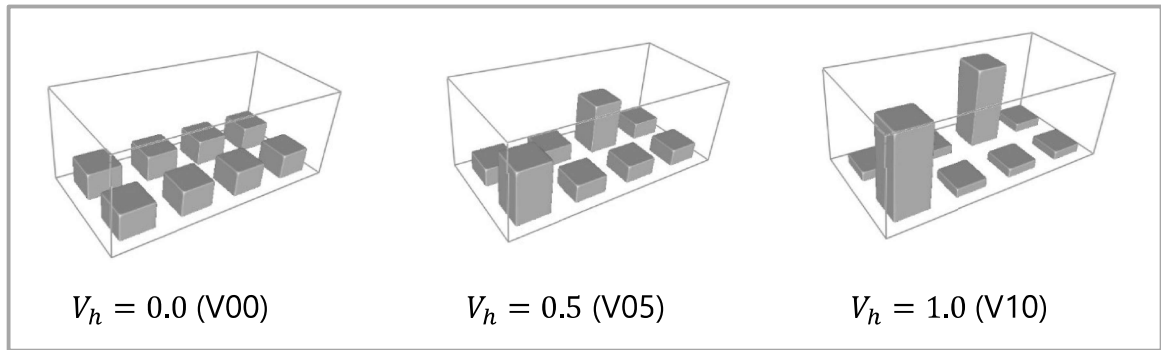
建物の密集度が変わると気流の  
パターンも異なる

(Oke 1988)



# 建物高さのばらつきの影響

建物高さの異なる3種類の粗度ブロック列を使用



## 粗度パラメータ

$H_{ave} = 20$  m : 平均建物高さ

$V_h = 0.0, 0.5, 1.0$  : 建物高さの標準偏差と建物平均高さの比

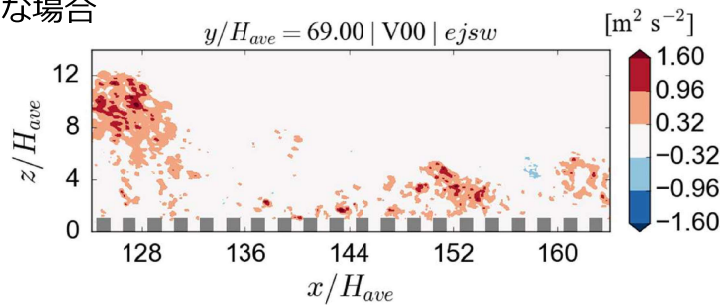
$\lambda_p = 0.25$  : 建物面積の総和と建物を含む面積の比



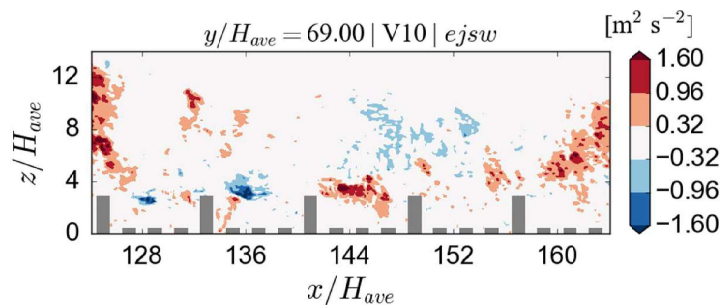
(Yoshida and Takemi 2018)

# 建物高度のばらつきの影響

建物高さが均一な場合



建物高さが不均一な場合



イジェクション : 高風速域の下方輸送  
スweep : 低風速域の上方輸送





# 都市での暴風のリスクの理解のために

身近な地域規模での気象外力の定量評価



数値モデルによるシミュレーションの役割が大事

山間部：複雑地形の適切な表現

都市部：都市構造の適切な表現

複雑地形・都市構造の表現性が、風速を定量的に再現する上で重要である



局地スケールかつ高分解能での数値シミュレーションが定量評価に必要不可欠

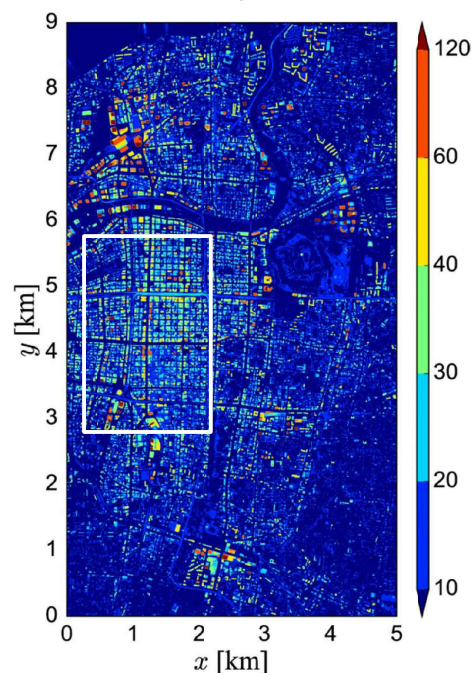
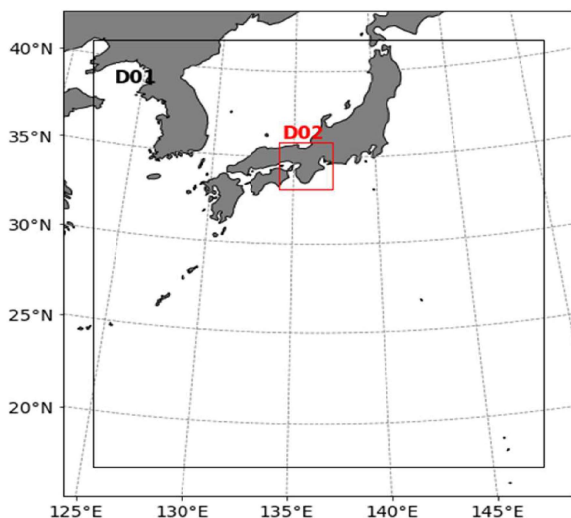
平成30年台風21号で解析



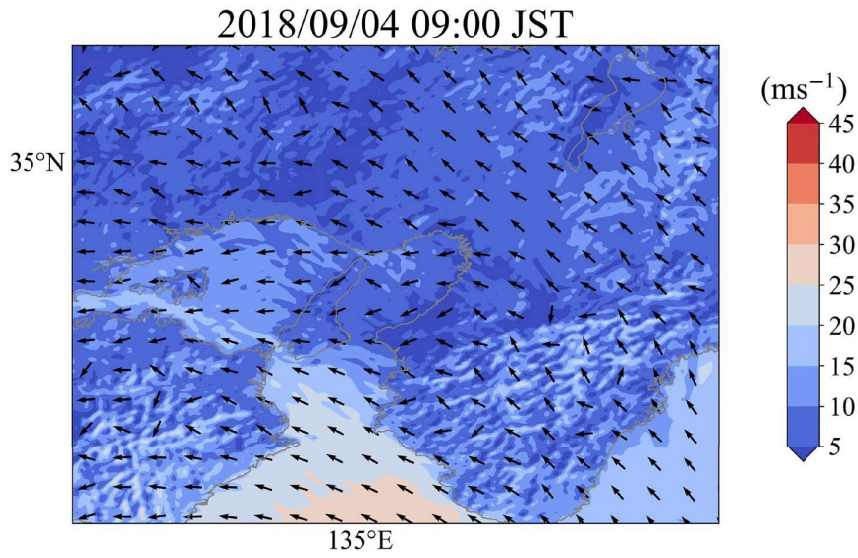
## 気象・都市気流の計算モデルのハイブリッド解析

都市気流計算 (LES) 領域：  
2 m格子

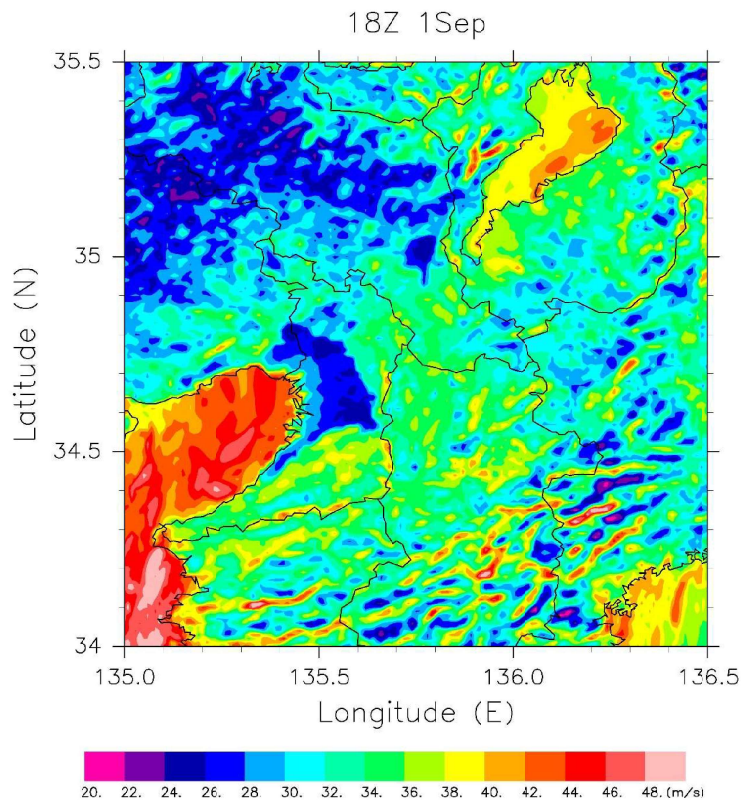
気象モデル計算領域：  
D1: 4.5 km格子, D2: 900 m格子



# 気象モデルで再現した台風21号による強風分布



# 気象モデルで算出した地上での最大風速の表現



# 建築物荷重指針・同解説（建築学会）

- 風速の鉛直分布：べき指数分布

$$U(Z) = U_{Z_0} \left( \frac{Z}{Z_0} \right)^\alpha$$

- 地表面粗度区分

I	海面または湖面のようなほとんど障害物のない地域	$\alpha = 0.1$
II	田園地帯や草原のような農作物程度の障害物がある地域、樹木・低層建築物などが散在している地域	$\alpha = 0.15$
III	樹木・低層建築物が多数存在する地域、あるいは中層建築物（4～9階）が散在している地域	$\alpha = 0.2$
IV	中層建築物（4～9階）が主となる市街地	$\alpha = 0.27$
V	<b>高層建築物（10階以上）が密集する市街地</b>	<b><math>\alpha = 0.35</math></b>



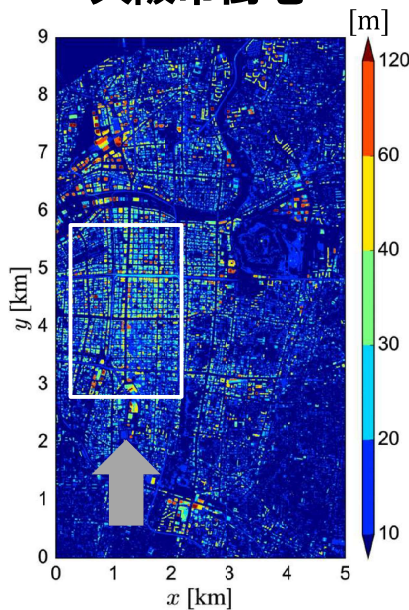
LES境界層上端高度（基準高度；326 m）の風速に対して地上高10 mでの風速は**0.3倍**となる。



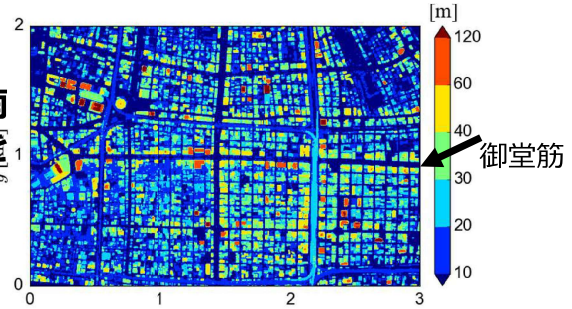
## 暴風リスクを市街地スケールで把握する

南北3 km・東西2 kmの範囲

大阪市街地



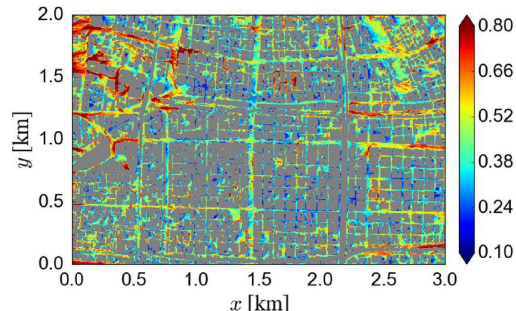
台風の南風条件を入力



$U$  : 風速

$U_\infty$  : 境界層上端高度 (326 m)での風速

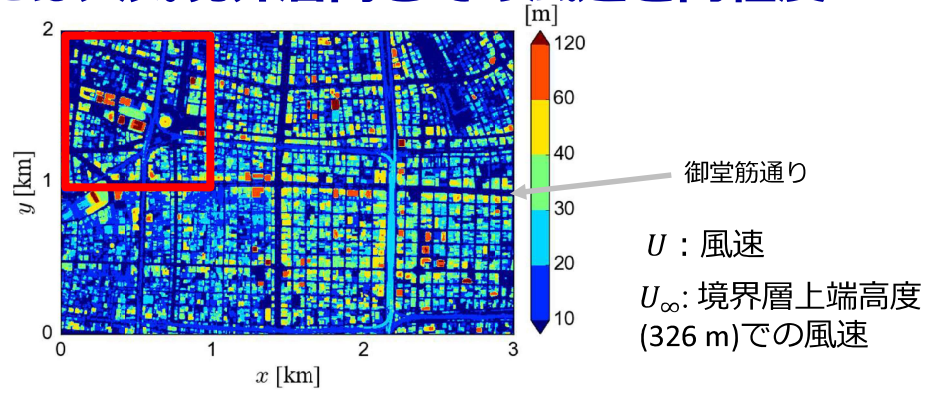
最大瞬間風速  $U_{max}/U_\infty$



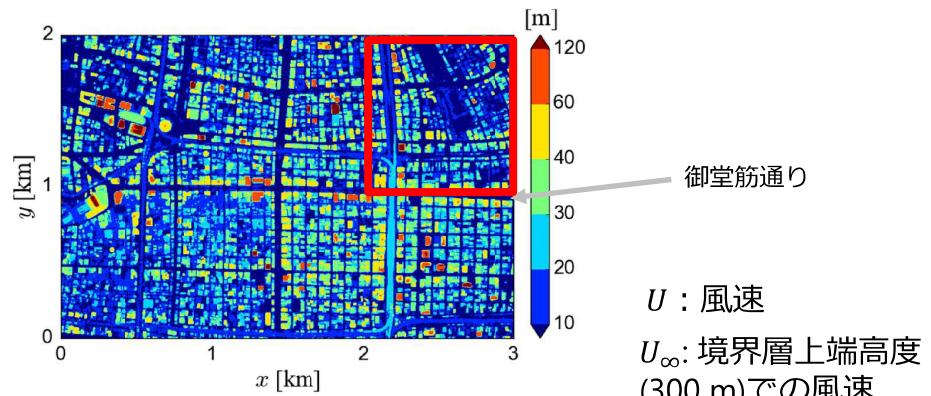
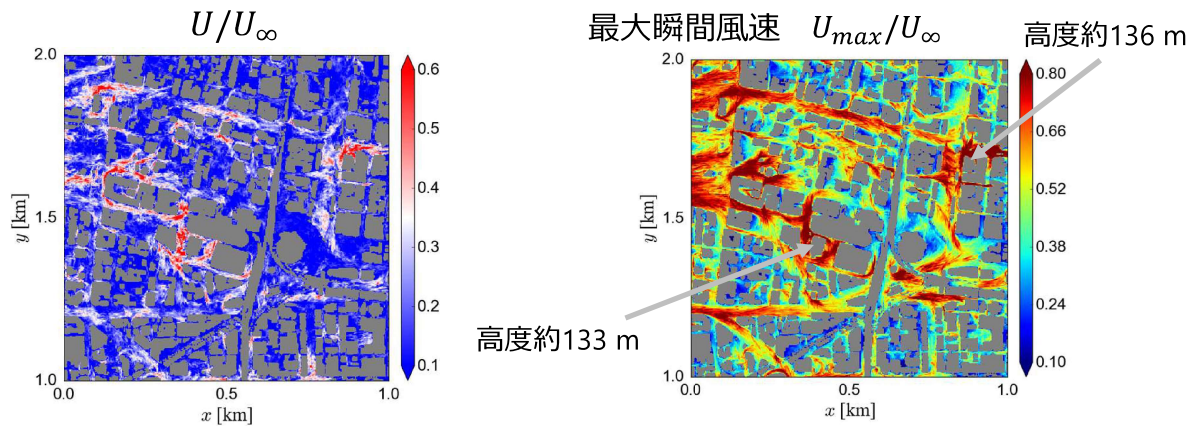
一般に、高層建物が密集する市街地では、上空約300 mでの風速に対し、地上ではその30%程度の風が吹く



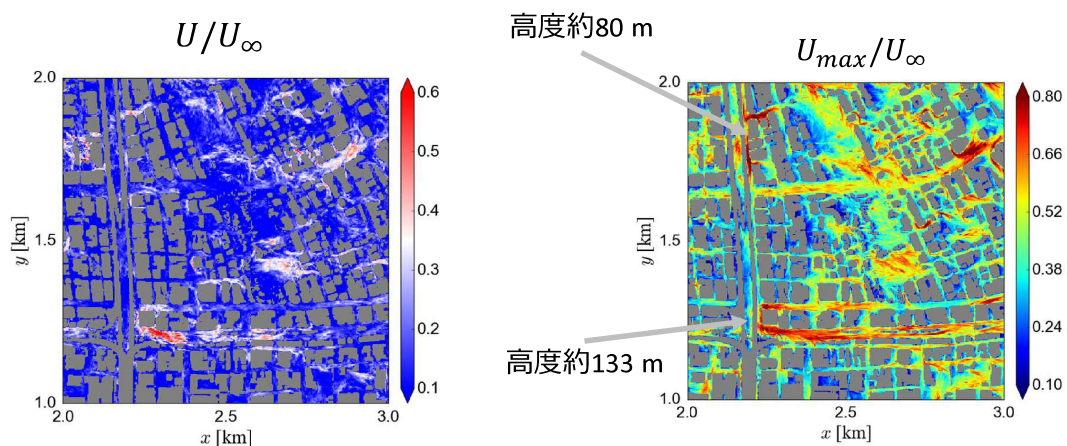
## 瞬間的には大気境界層高さでの風速と同程度



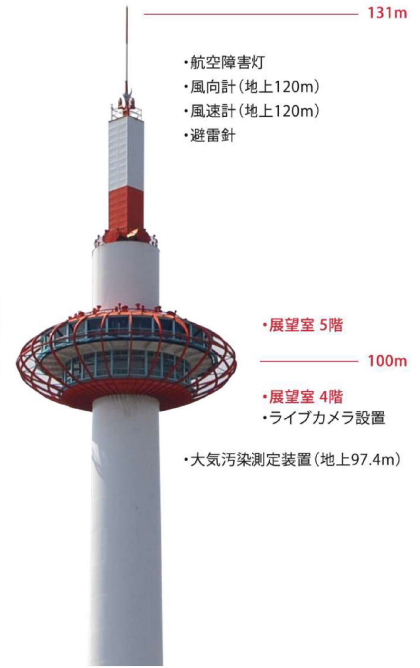
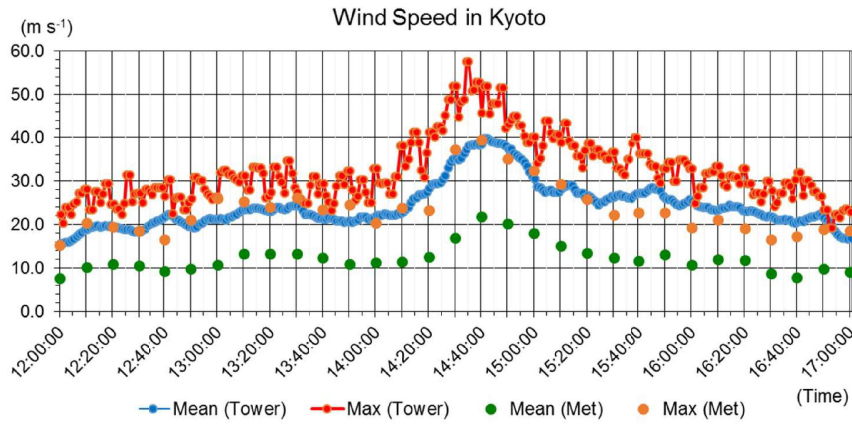
### 上空326 mでの風速に対する地上風速の比率



### 上空326 mでの風速に対する地上風速の比率



# 京都市内での暴風



## 最大瞬間風速

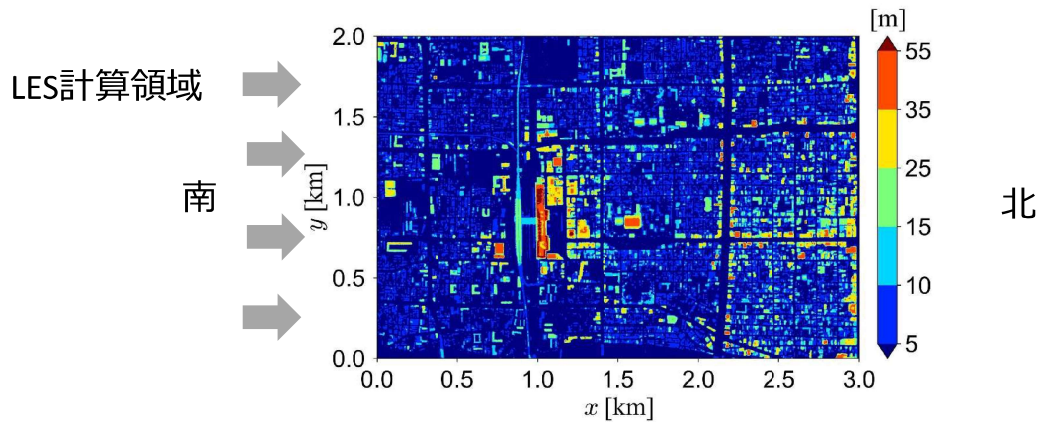
京都地方気象台：39.4 m/s (観測高17.6 m)

京都タワー（京都市環境局）：57.6 m/s (121 m)

(京都タワーHPより)



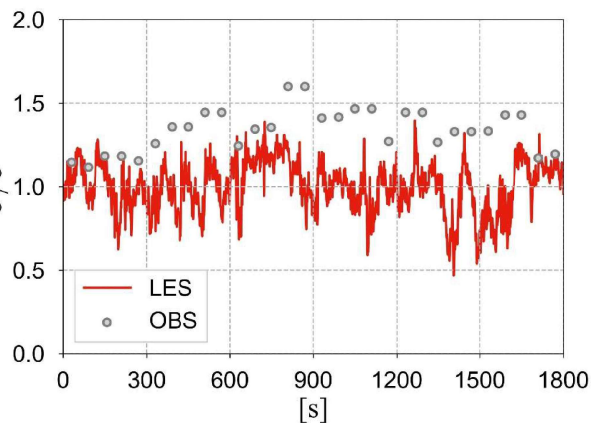
# LES解析領域と再現精度



京都タワー観測点  
での風速時系列

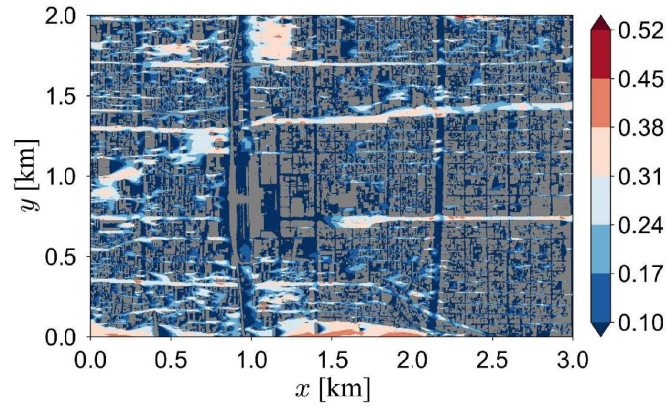
観測：1分値 (平均風速・最大瞬間風速)

LES：1秒瞬間値

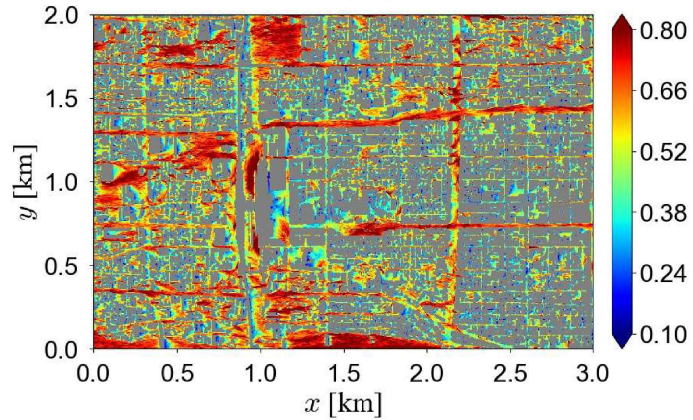


## 地上風速の平均値・最大値

$\bar{u}/U_\infty$

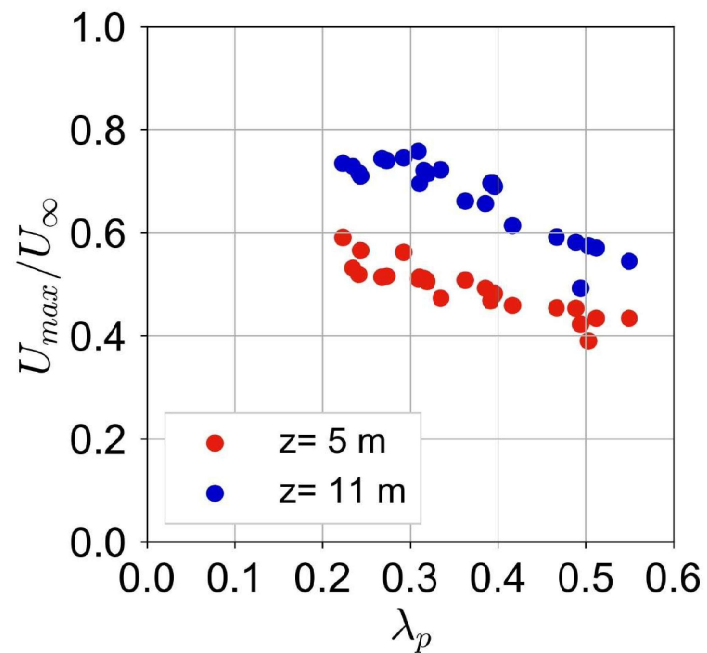


$U_{max}/U_\infty$



39

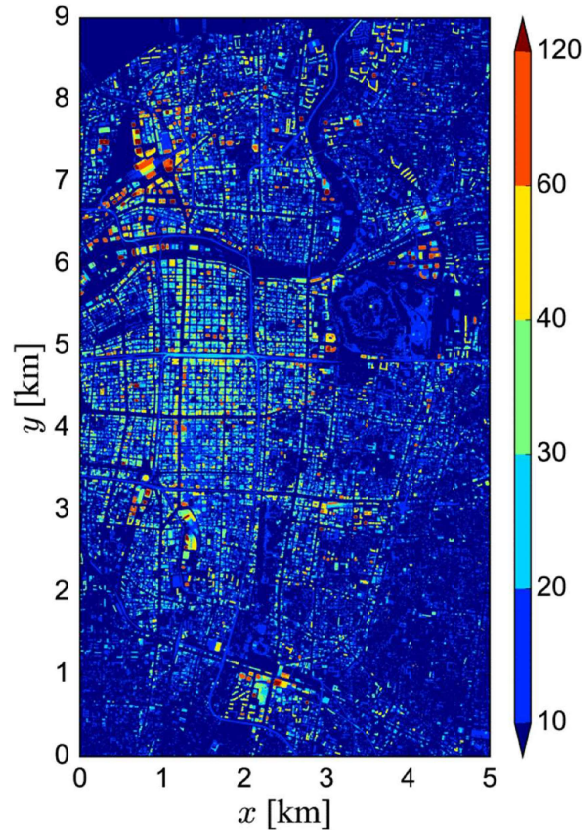
## 最大瞬間風速は建物の密集度によって変わる



(Takemi et al. 2019b)

40

## 都市における建物高さの不均一さ



## 風の強さと吹き方

平均風速(m/s)	風圧 (kg重/m <sup>2</sup> )	予報用語	人への影響	屋外・樹木の様子	建造物の被害
10~15	~11.3	やや強い風	風に向かって歩きにくくなる。傘がさせない。	樹木全体が揺れる。電線が鳴る	取り付けの不完全な看板やトタン板が飛び始める
15~20	~20.0	強い風	風に向かって歩けない。転倒する人もでる。	小枝が折れる	ビニールハウスが壊れ始める
20~25	~31.3	非常に強い風	しっかりと身体を確保しないと転倒する。		鋼製シャッターが壊れ始める。風で飛ばされた物で窓ガラスが割れる
25~30	~45.0		立ってられない。屋外での行動は危険。	樹木が根こそぎ倒れはじめる	ブロック塀が壊れ、取り付けの不完全な屋外外装材がはがれ、飛び始める
30~	45.0~	猛烈な風	屋根が飛ばされたり、木造住宅の全壊が始まる		



(気象庁による)

## 風の脅威：日本版改良藤田スケール (JEFスケール)

- 日本の建築物等の被害に対応させた突風の激しさを表す
- 被害の状況を、被害指標（何が）と被害度（どうなった）に当てはめる

### ■ 日本版改良藤田スケールの被害指標

木造の住宅又は店舗	鉄道車両
鉄骨系プレハブ住宅又は店舗	電柱
鉄筋コンクリート造の集合住宅	地上広告板
仮設建築物	道路交通標識
大規模な庇・独立上家の屋根	カーポート
鉄骨造倉庫	塀
木造の非住家建築物	木製・樹脂製・アルミ製フェンス、メッシュフェンス
園芸施設	道路の防風・防雪フェンス
木造の畜産施設	ネット(野球場・ゴルフ場等)
物置	広葉樹
コンテナ	針葉樹
自動販売機	墓石(棹石)
軽自動車	路盤
普通自動車	仮設足場(壁つなぎ材)
大型自動車	ガントリークレーン

(気象庁より)



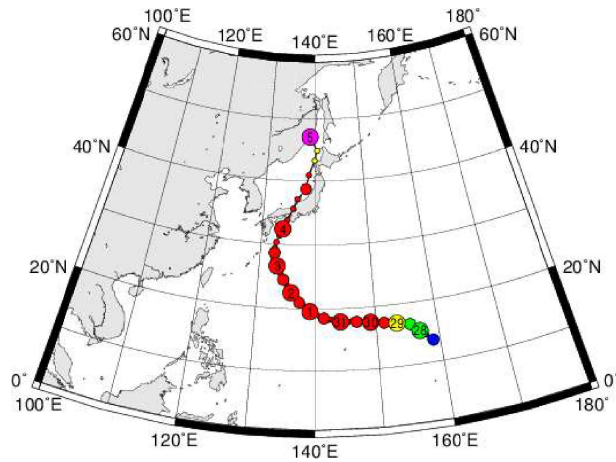
階級	風速の範囲	主な被害の状況(例)
JEF0	25~38 m/s	<ul style="list-style-type: none"> <li>・木造住宅で、目視でわかる程度の被害、飛散物による窓ガラスの損壊が発生する。</li> <li>・自動販売機が横転する。</li> <li>・樹木の枝(直径2cm~8cm)が折れる。</li> </ul>
JEF1	39~52 m/s	<ul style="list-style-type: none"> <li>・木造住宅で、比較的広い範囲の屋根ふき材が浮き上がる。</li> <li>・軽自動車や普通自動車が横転する。</li> <li>・通常走行中の鉄道車両が転覆する。</li> <li>・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。</li> </ul>
JEF2	53~66 m/s	<ul style="list-style-type: none"> <li>・普通自動車(ワンボックス)や大型自動車が横転する。</li> <li>・鉄筋コンクリート製の電柱が折損する。</li> <li>・広葉樹の幹が折損する。</li> </ul>
JEF3	67~80 m/s	<ul style="list-style-type: none"> <li>・木造住宅で、上部構造が著しく変形したり、倒壊する。</li> <li>・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比較的広い範囲で変形する。</li> <li>・アスファルトがはく離・飛散する。</li> </ul>
JEF4	81~94 m/s	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> </ul>
JEF5	95 m/s~	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> </ul>



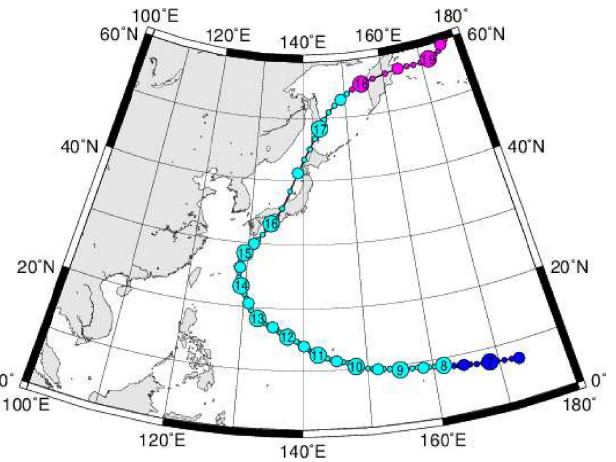


## 近畿での暴風台風：室戸コース

2018年台風21号  
(第三室戸台風)

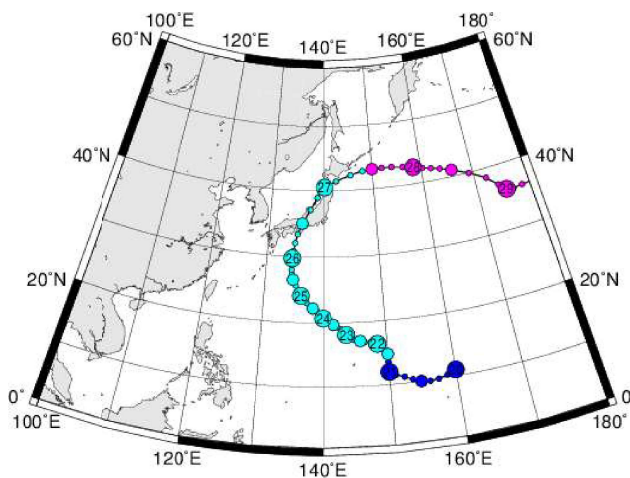


1961年台風18号  
(第二室戸台風)

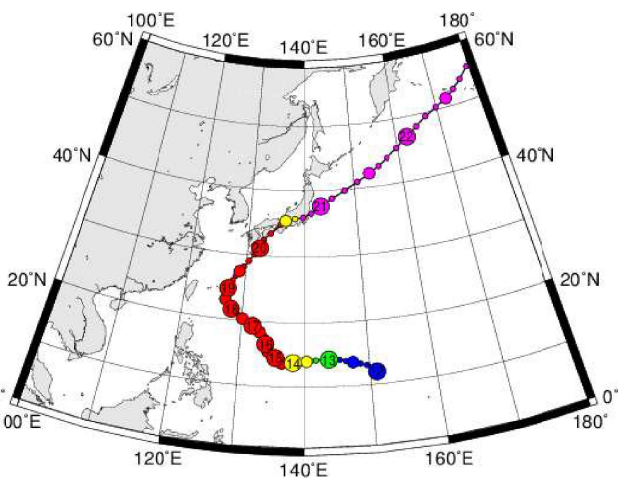


## 近畿地方での大雨台風

1959年台風15号 (伊勢湾台風)



2004年台風23号



(「デジタル台風」より)

少しのコースの違いで大雨になったり暴風が吹いたり  
と影響の現れ方が異なる



## 気象庁「特別警報」

### 大雨特別警報：

台風や集中豪雨により数十年に一度の降雨量となる大雨が予想され、若しくは、数十年に一度の強度の台風や同程度の温帯低気圧により大雨になると予想される場合に発表する。

大雨特別警報が発表された場合、浸水や土砂災害などの重大な災害が発生するおそれが著しく大きい状況が予想される。

雨がやんでも、重大な土砂災害などのおそれが著しく大きい場合は、発表を継続する。

### 暴風特別警報：

数十年に一度の強度の台風や同程度の温帯低気圧により暴風が吹くと予想される場合

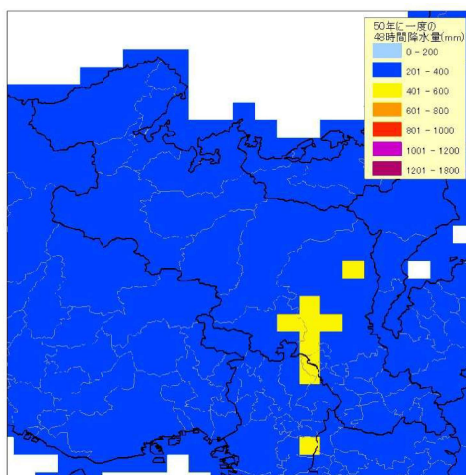


## 「50年に一度の大雨」とは？

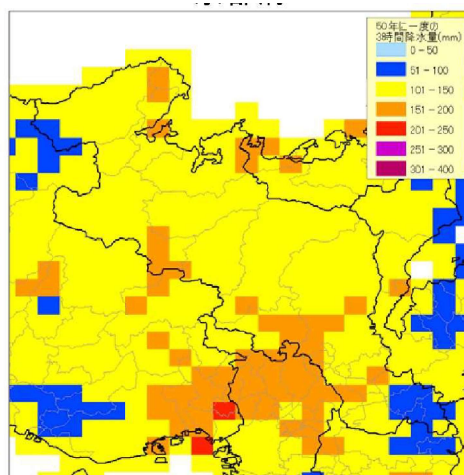
### 「50年に一度の大雨」

50年に一度の値を5 km四方のメッシュで求める。この50年に一度の数値を超えるメッシュの面積がある基準（48時間雨量では約35 km四方、3時間雨量では約15 km四方）以上を超える場合に、50年に一度の大雨とする

50年に一度の48時間雨量



50年に一度の3時間雨量



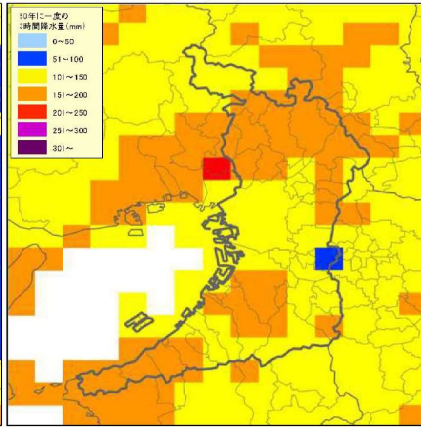
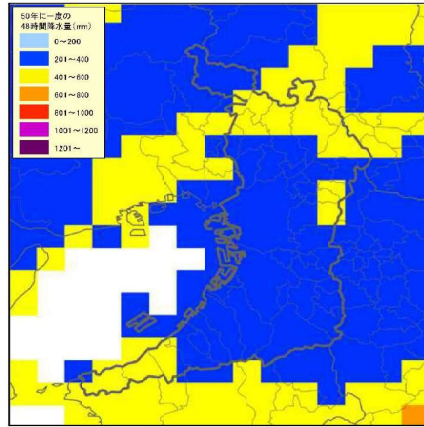
(気象庁資料より)



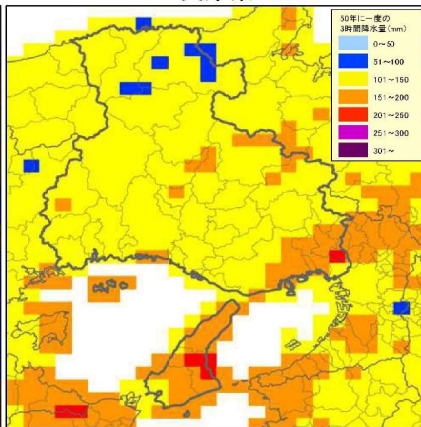
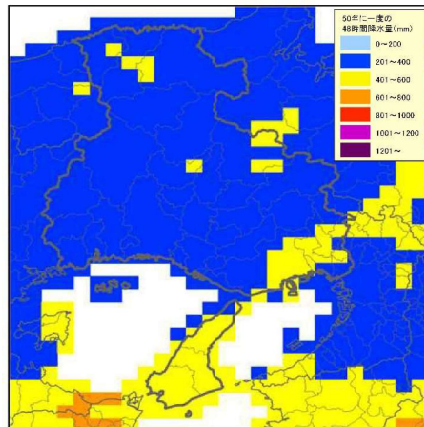
## 50年に一度の48時間雨量

## 50年に一度の3時間雨量

大阪府



兵庫県



49

## 「50年に一度の大雨」は異常か？

毎年のように「50年に一度の大雨」が全国のどこかで起こるが、それは異常か？

- 地域別に言えば、50年に一度しか起こらないような稀な大雨である。
- 別の地域では、別の時期に「50年に一度の大雨」が起こる。



毎年、全国のどこかで「50年に一度の大雨」は起こってもおかしくはない。

今年に隣の地域で起こった大雨は、来年は自分の住む地域で発生するかもしれない。



50

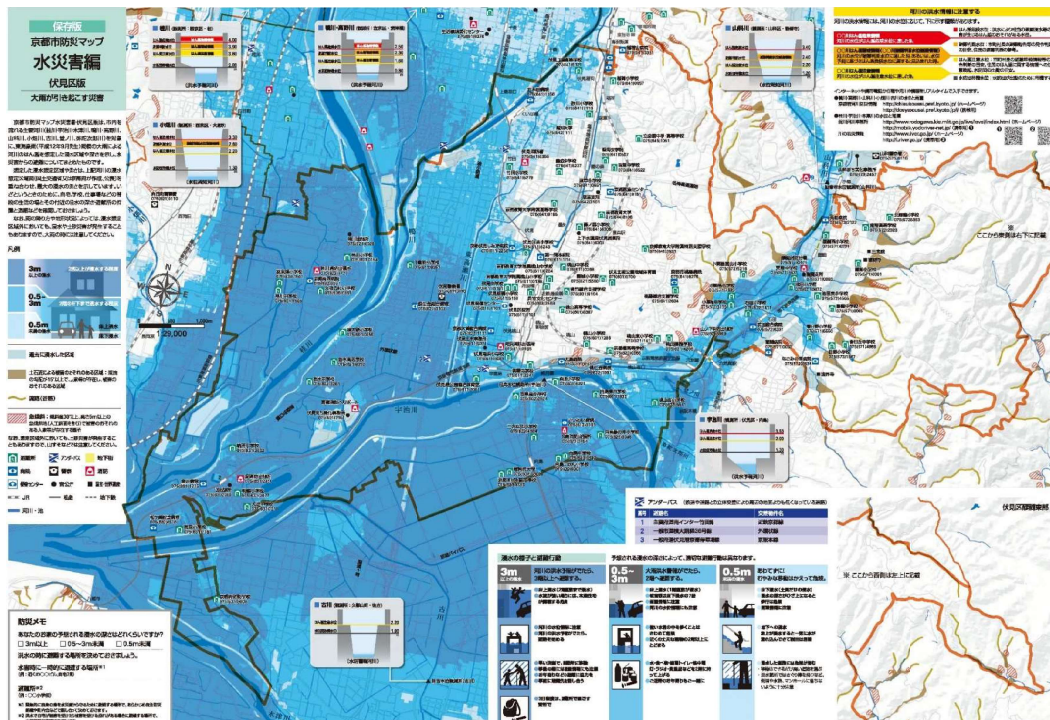
# 地域の防災情報を活用する

- 大阪市の場合：防災マップ
  - <https://www.city.osaka.lg.jp/kurashi/category/3023-2-3-0-0-0-0-0-0-0-0.html>
  - 「トップページ」 → 「暮らし」 → 「防災」 → 「災害に備える」
- 京都市の場合：防災危機管理情報館
  - <http://www.bousai-kyoto-city.jp/bousai/>
  - 「京都市ホームページ（京都市情報館）」 → 「暮らしの情報」 → 「防災」 → 「防災危機管理情報館」
- 地域のハザードを知る
  - 地域毎のハザードマップ
    - + ハザードマップ（水害）：最大規模の大雨が仮に発生した場合、河川の氾濫によって、浸水の範囲や深さがどうなるのか？ということ想定した分布図



## 京都市防災マップ（伏見区）

東海豪雨（2000年（平成12年）9月）規模の大雨（3時間雨量：214 mm, 24時間雨量：532 mm）が仮に起こったら河川の氾濫により浸水区域や浸水の深さがどうなるのか、ということ想定した分布図

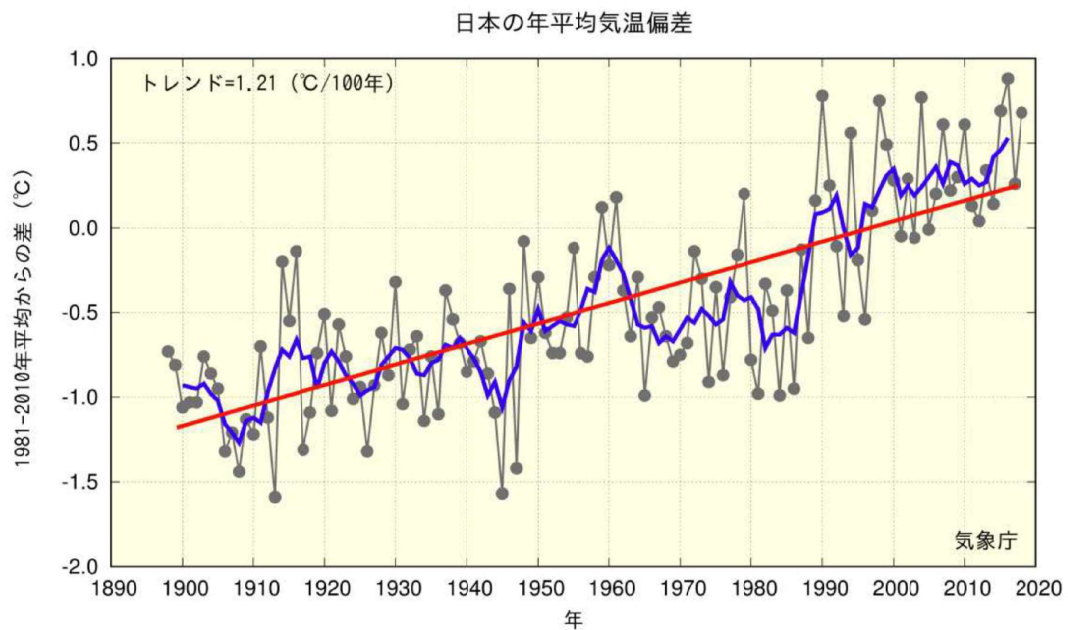


50年に一度の暴風のマップはない

暴風ハザードマップはまだない



## 地球温暖化は着実に進行している



(気象庁「気候変動監視レポート2018」より)

100年で1度程度の温度上昇だが、気候は変化し、  
豪雨などの気象災害も徐々に変化する



災害のリスクは、これまでの経緯を見ると、  
下がっているとはいえない

今後も災害リスクは、高まることはあると  
しても、下がることはないであろう

地球温暖化が災害リスクをさらに助長させ  
ることが懸念される



将来の災害リスクも見据えた対策が大事

～好きやねん この街この家！守ろう安全 築こう安心～

発行 一般財団法人大阪建築防災センター

〒540-0012 大阪府大阪市中央区谷町3丁目1番17号

TEL. 06-6943-7253 FAX. 06-6943-6740

<https://www.okbc.or.jp>