

地球温暖化時の風水害の激甚化 によるリスクに備える

竹見 哲也

京都大学 防災研究所

京都大学



近年の気象災害の影響は拡大している

国内における風水害による保険金支払額のランキング

順位	災害名	時期	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	2018年9月	9,363	780	535	10,678
2	令和元年台風19号	2019年10月	5,181	645	-	5,826
3	平成3年台風19号	1991年9月	5,225	269	188	5,680
4	令和元年台風15号	2019年9月	4,398	258	-	4,656
5	平成16年台風18号	2004年9月	3,564	259	51	3,874
6	平成26年2月雪害	2014年2月	2,984	241	-	3,224
7	平成11年台風18号	1999年9月	2,847	212	88	3,147
8	平成30年台風24号	2018年9月	2,946	115	-	3,061
9	平成30年7月豪雨	2018年7月	1,673	283	-	1,956
10	平成27年台風15号	2015年8月	1,561	81	-	1,642

近年の風水害

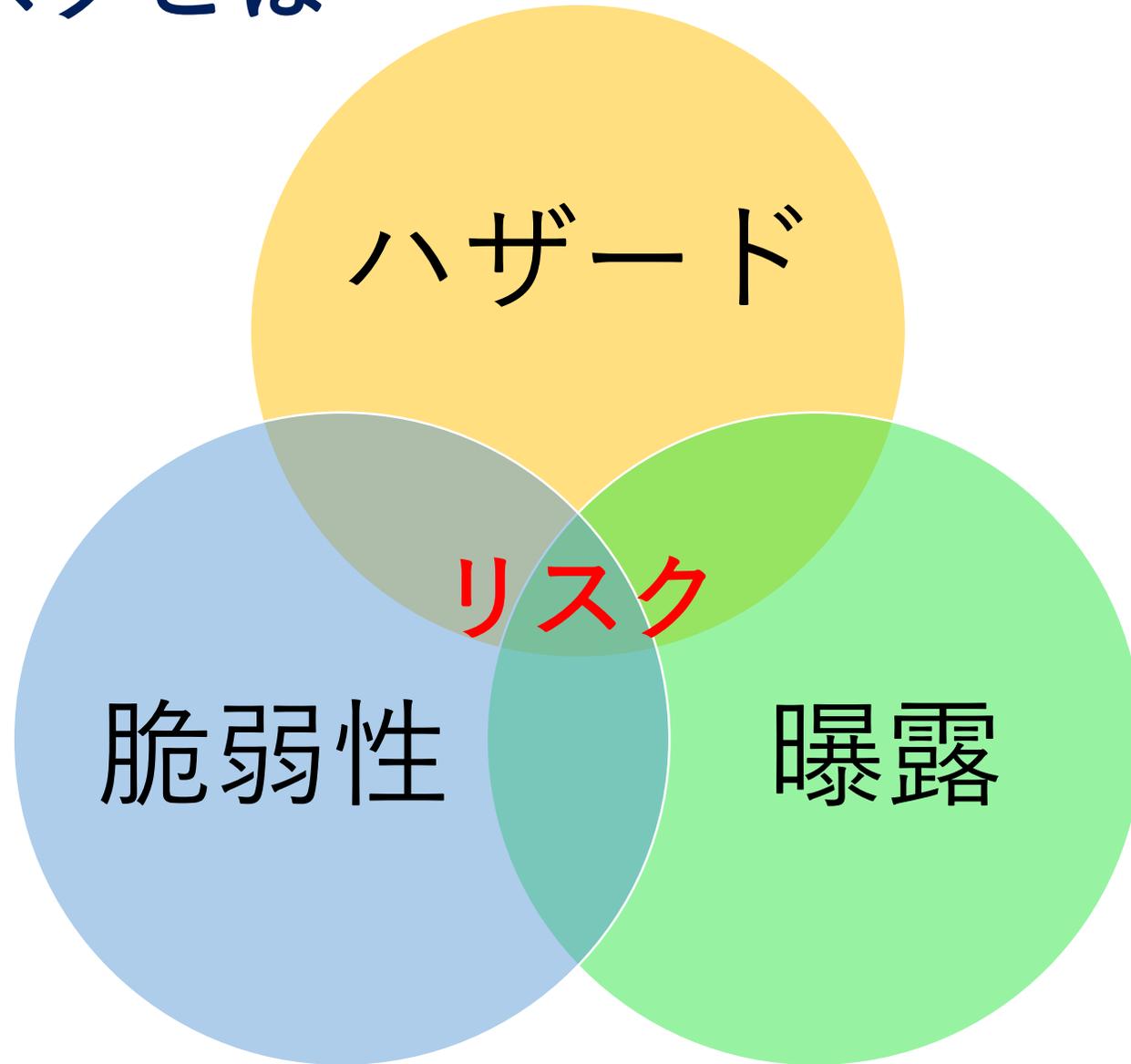
- 平成29年（2017年）7月九州北部豪雨
- 平成30年（2018年）7月豪雨（西日本豪雨）
- 平成30年（2018年）台風21号
- 令和元年（2019年）台風15号（房総半島台風）
- 令和元年（2019年）台風19号（東日本台風）
- 令和2年（2020年）7月豪雨
- 令和2年（2020年）台風10号
- 令和3年（2021年）7月の豪雨
- 令和3年（2021年）8月の豪雨



大雨
強風

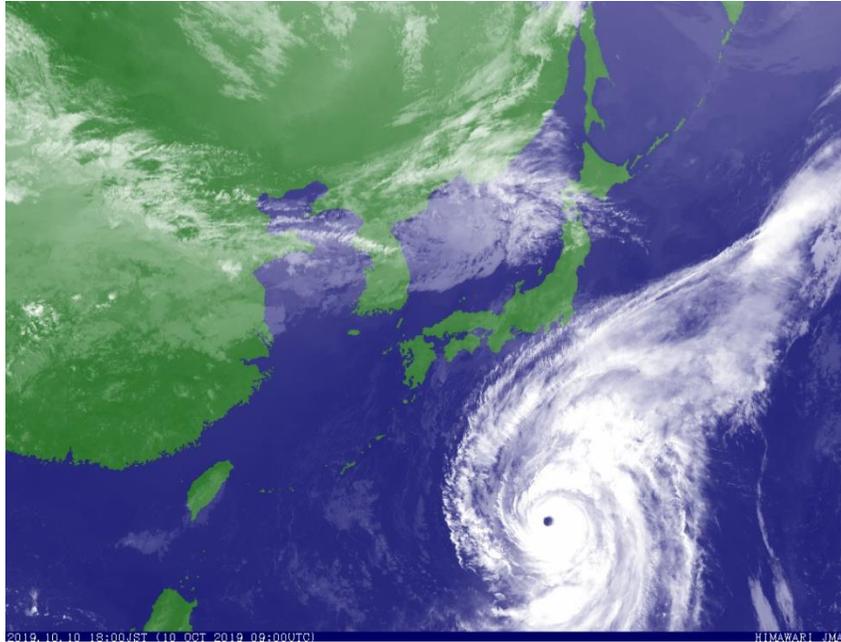
- 洪水・氾濫
- 地すべり・土砂流出
- 倒木・流木
- 破壊物の流出・飛散

災害のリスクとは



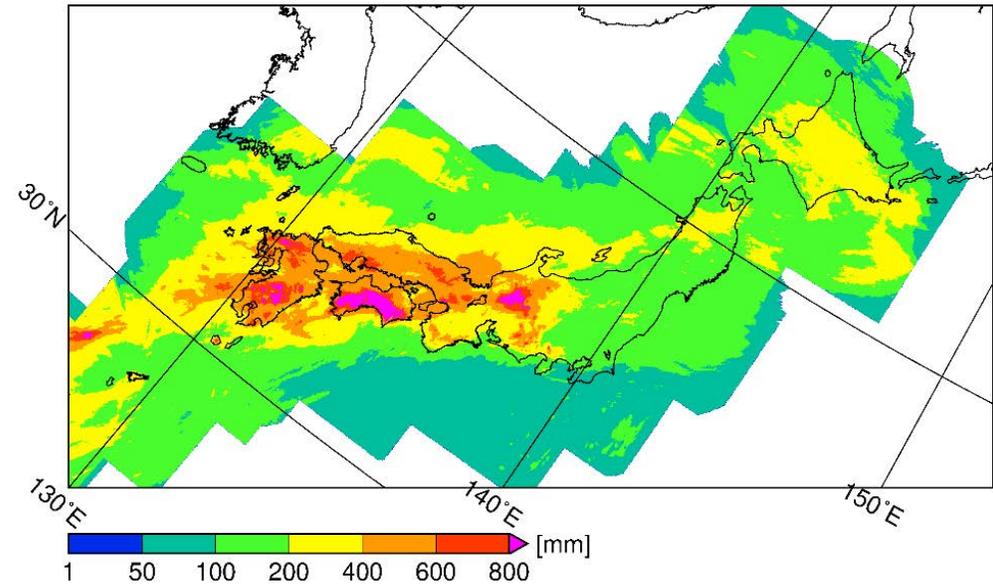
気象ハザード

台風



(2019年台風19号気象衛星画像、気象庁)

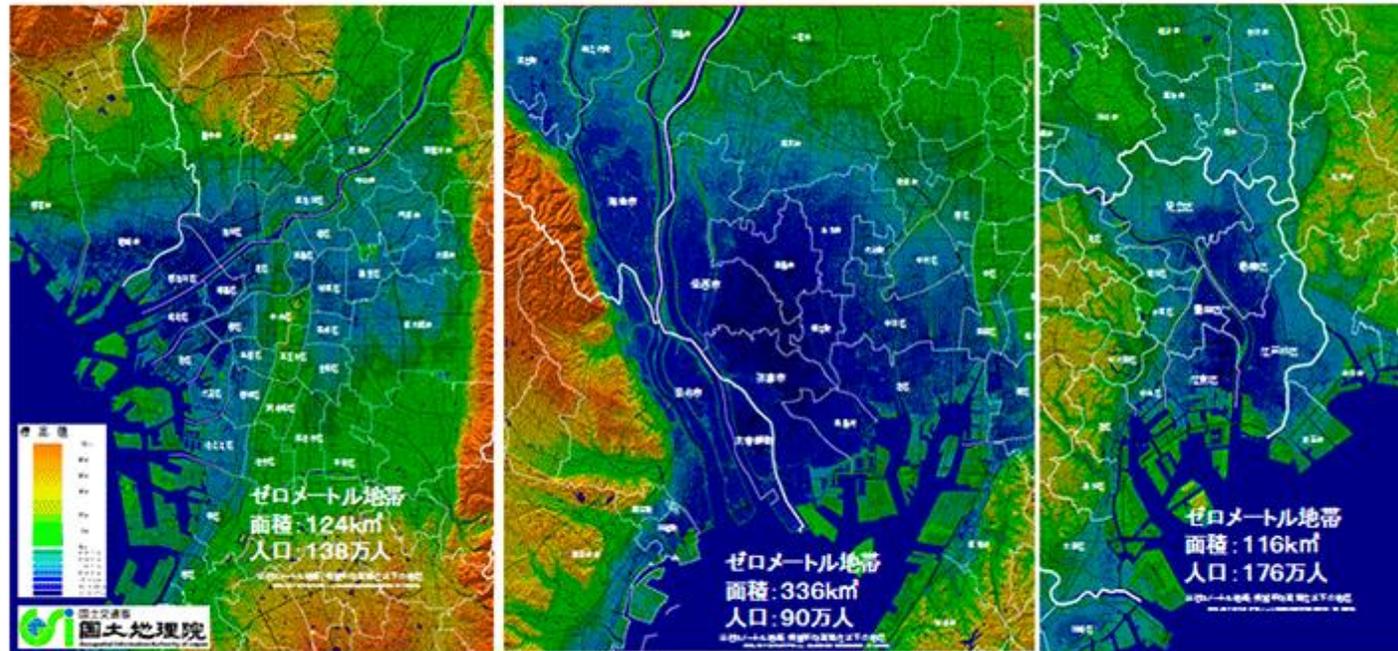
豪雨



(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

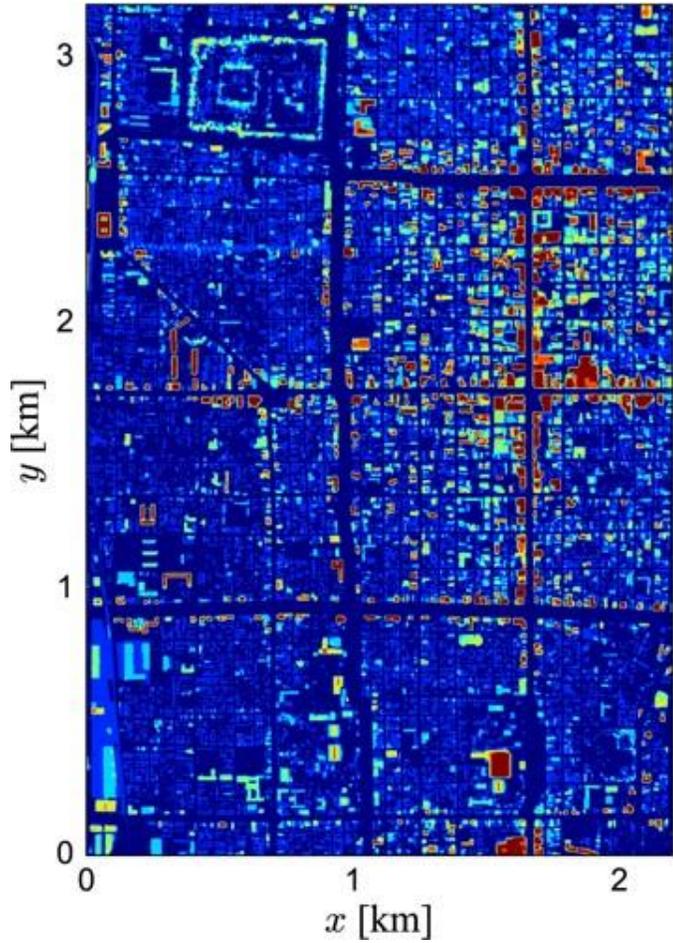


出典：国土地理院資料より内閣府作成

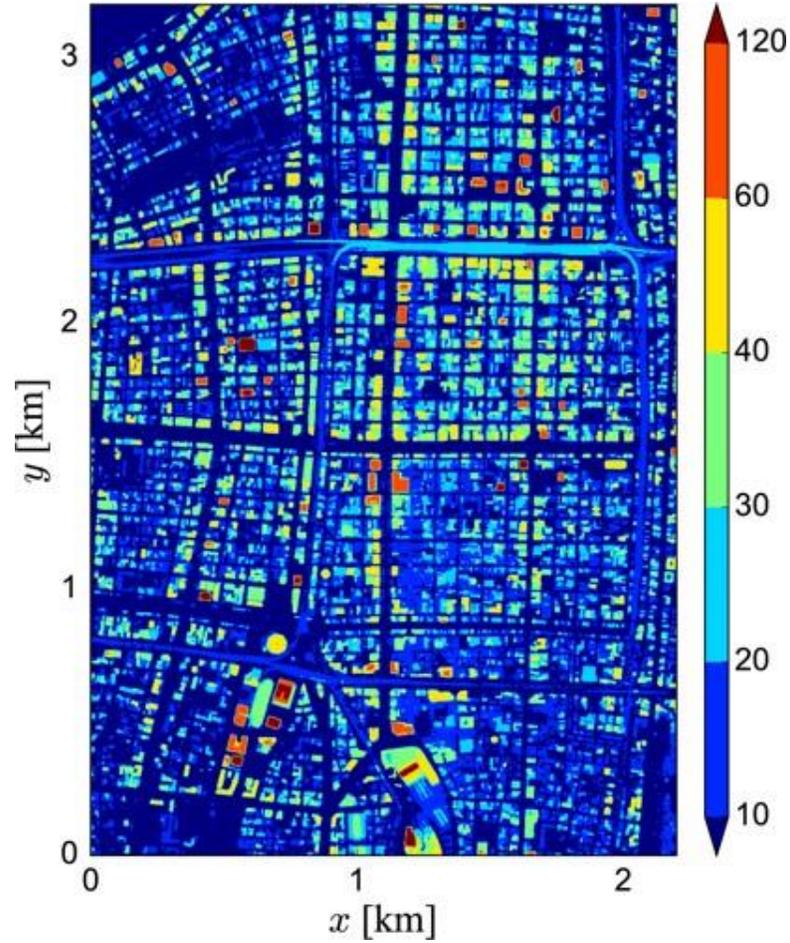
(内閣府「防災白書」より)

都市

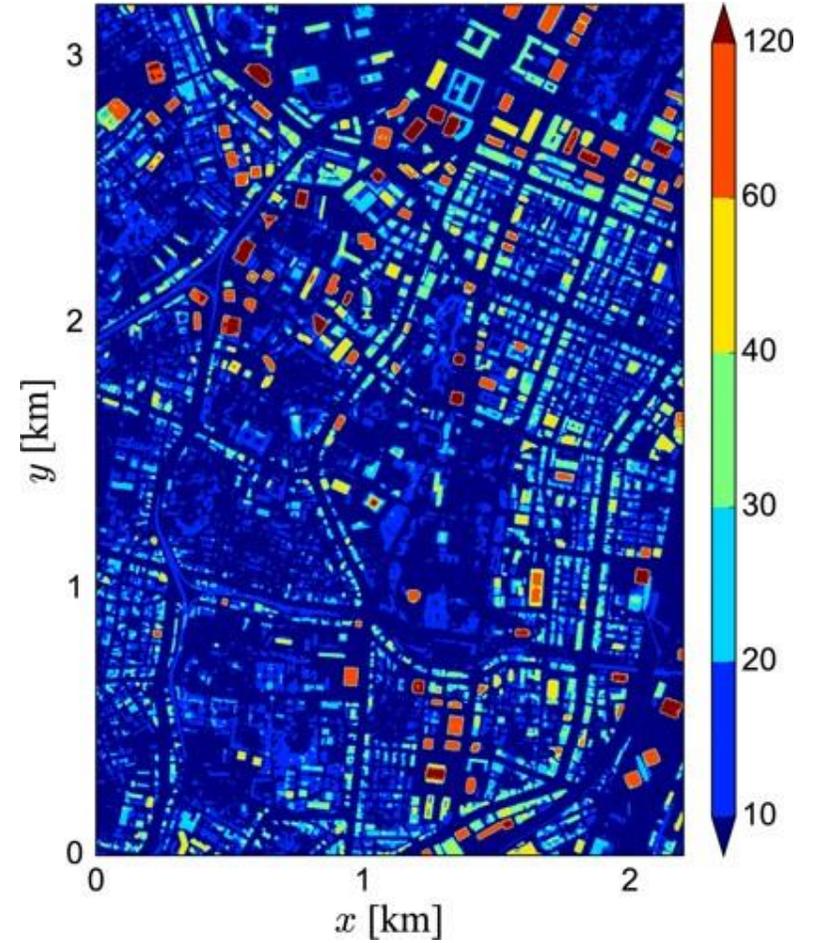
京都



大阪



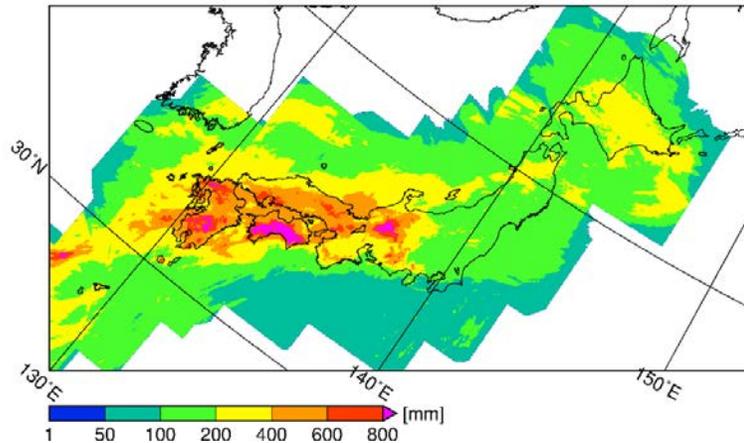
東京



近年の豪雨災害

発生のたびに観測記録を上回る降水

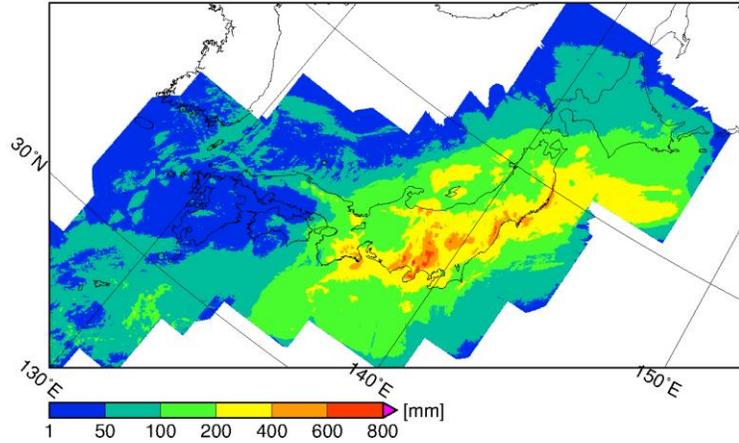
平成30年7月豪雨



記録更新地点数

- 1時間雨量：14地点
- 3時間雨量：16地点
- 6時間雨量：31地点
- 12時間雨量：48地点
- 24時間雨量：76地点
- 48時間雨量：124地点
- 72時間雨量：122地点

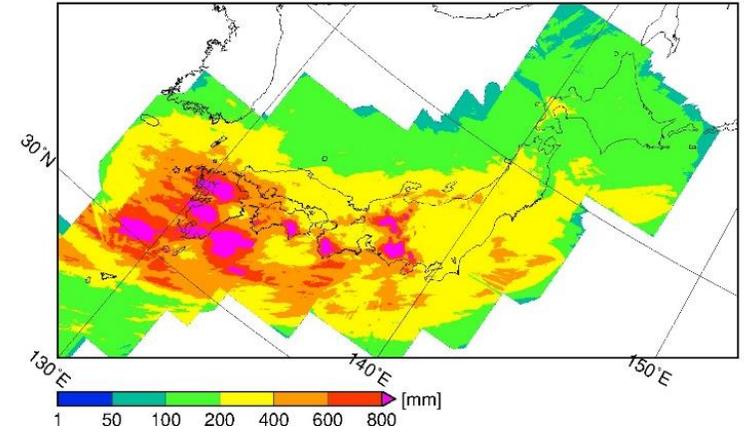
令和元年東日本台風



記録更新地点数

- 1時間雨量：9地点
- 3時間雨量：40地点
- 6時間雨量：89地点
- 12時間雨量：120地点
- 24時間雨量：103地点
- 48時間雨量：72地点
- 72時間雨量：53地点

令和2年7月豪雨



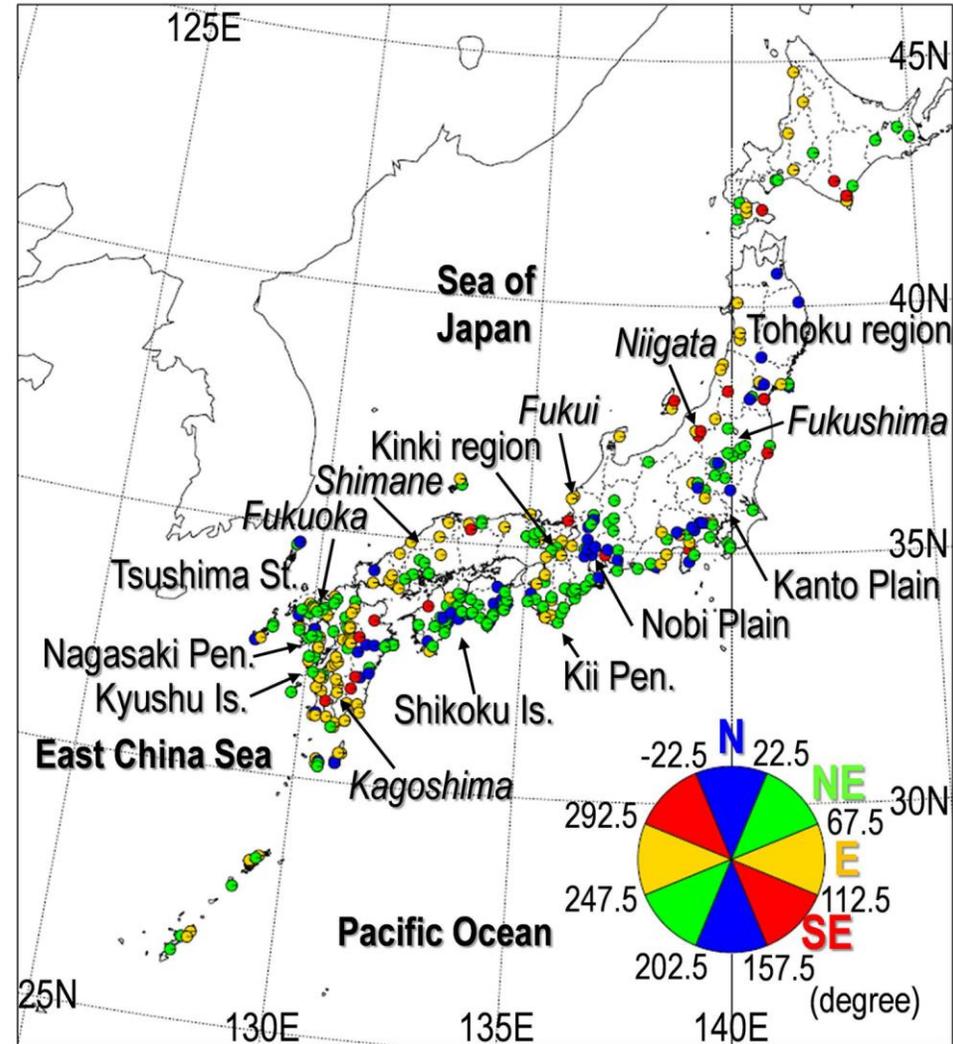
記録更新地点数

- 1時間雨量：11地点
- 3時間雨量：14地点
- 6時間雨量：15地点
- 12時間雨量：18地点
- 24時間雨量：25地点
- 48時間雨量：34地点
- 72時間雨量：37地点

日雨量全国1位を更新
箱根 922.5 mm
(2019/10/12)

線状降水帯

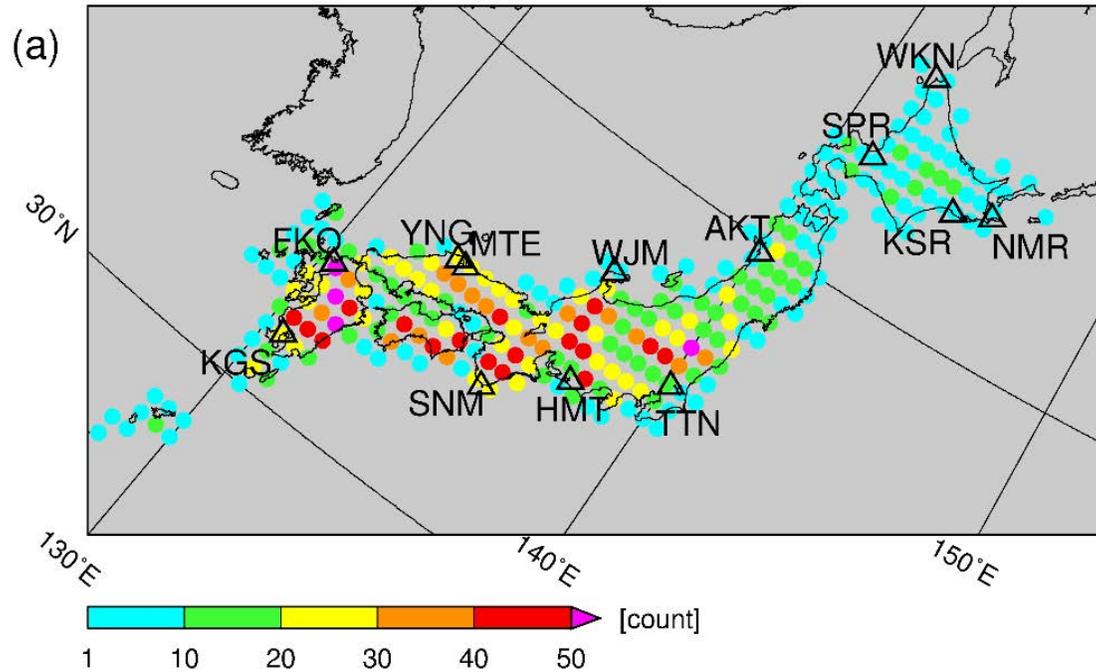
1. 24時間雨量が過去50位以内かつ年間平均降水量の12%を超える場合を抽出
2. 3時間雨量が130 mmを超える場合を抽出
3. 時間間隔が24時間以内に発生、かつ極大値を持つ地点間の距離が150 km以内のものを同一事例と判定
4. 50 mm以上雨量の領域の形状のアスペクト比が2以上、かつ30 mm以上の雨域の長さが50 km以上



(Kato 2020)

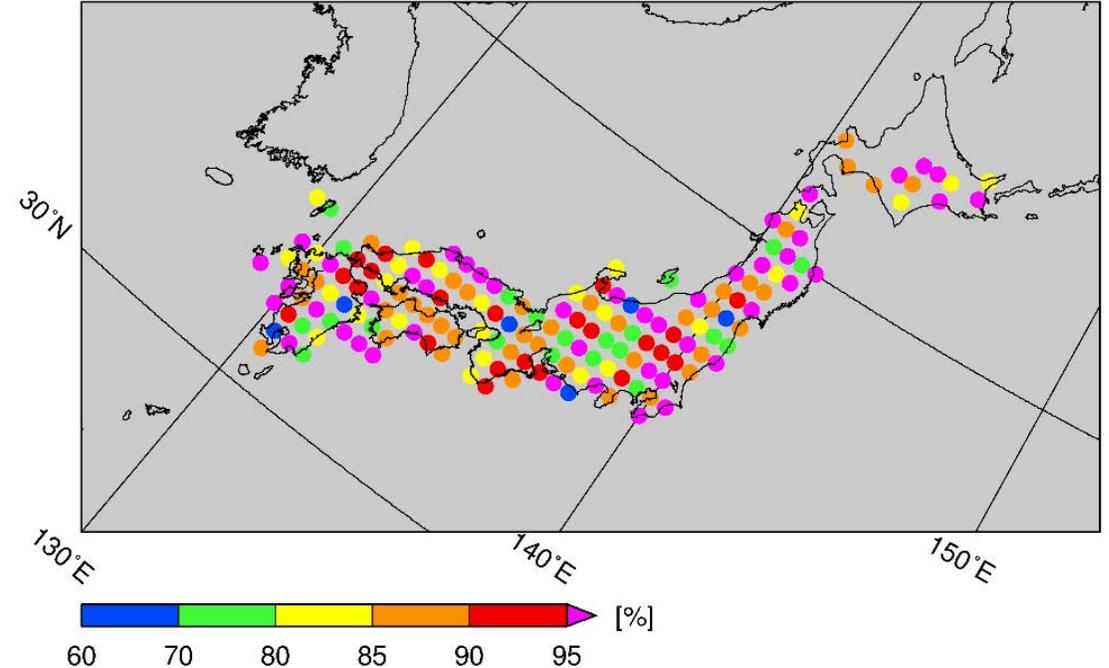
暖候期の停滞性降水系の出現特性

出現頻度



線状の割合

Distribution of the elongated QSCCs



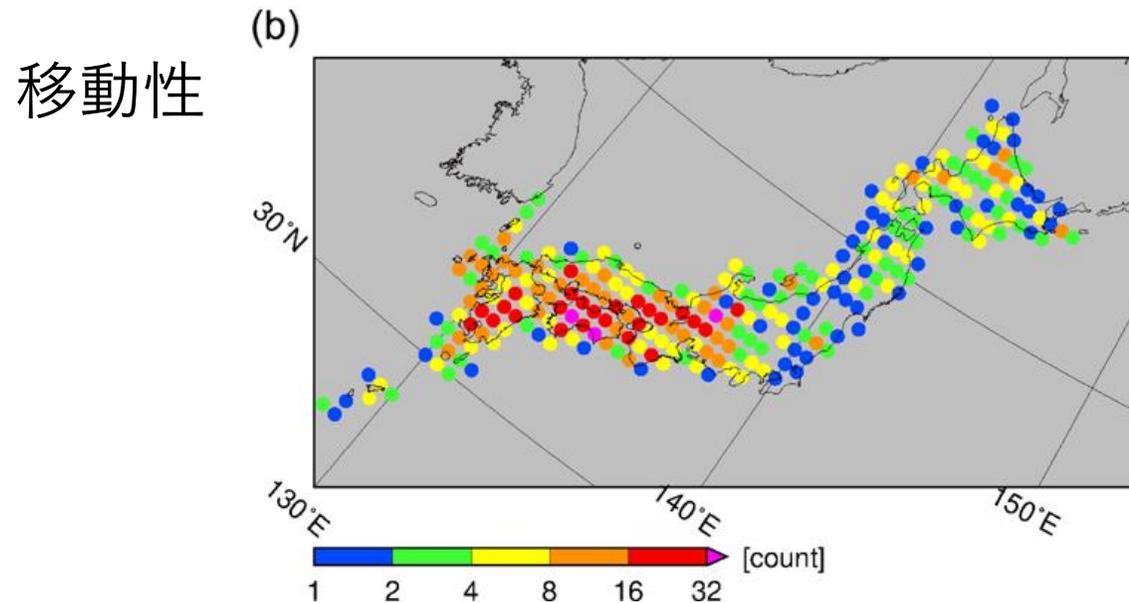
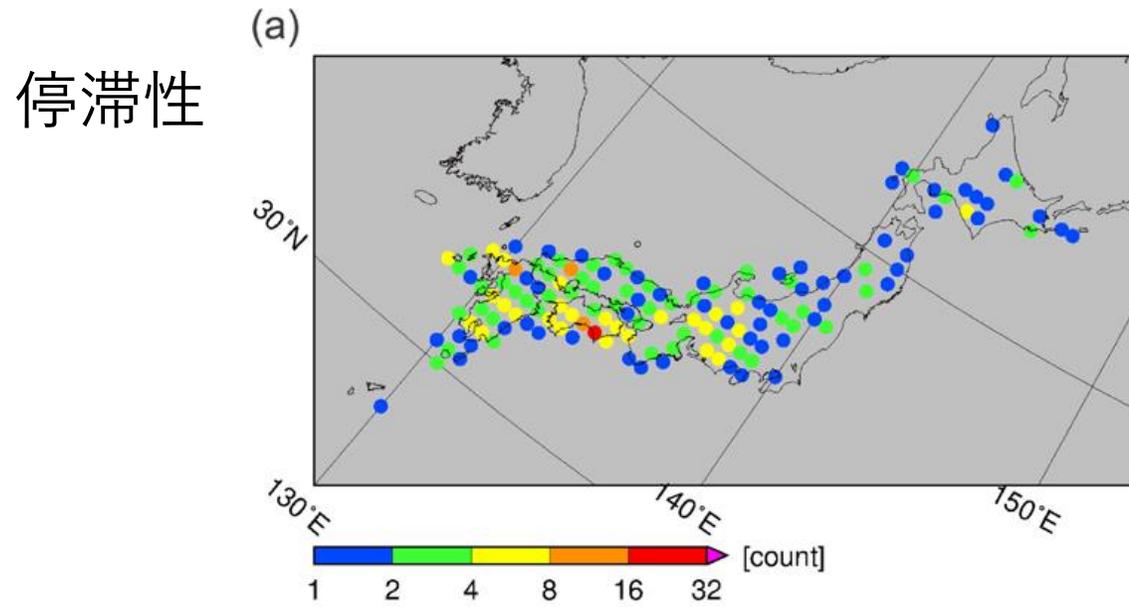
停滞性降水系の地域別の発生頻度解析：
2005～2012年の5～10月の気象庁合成
レーダーによる統計

(Unuma and Takemi 2016a, 2016b)

KYOTO UNIVERSITY

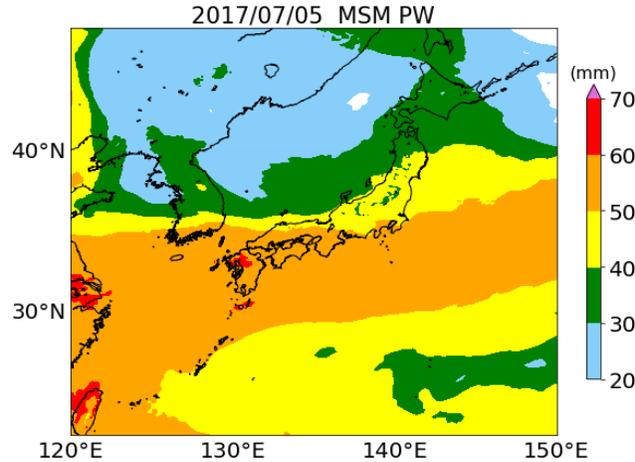
近年の豪雨の発生域は、停滞性降水系が高頻度で発生する場所と合致している。また、その地域では線状になる割合も高い。

平成30年7月豪雨時の降水系

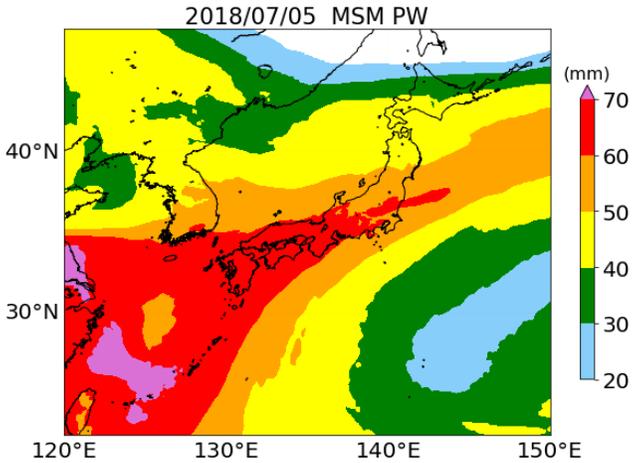


近年の豪雨時の気象条件：豊富な水蒸気量

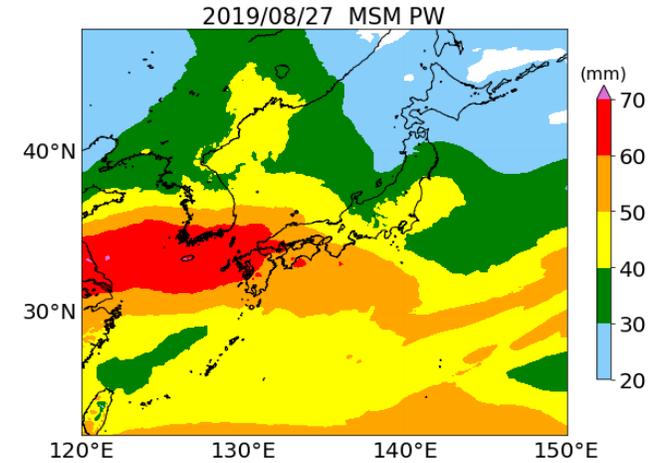
2017年7月九州北部豪雨



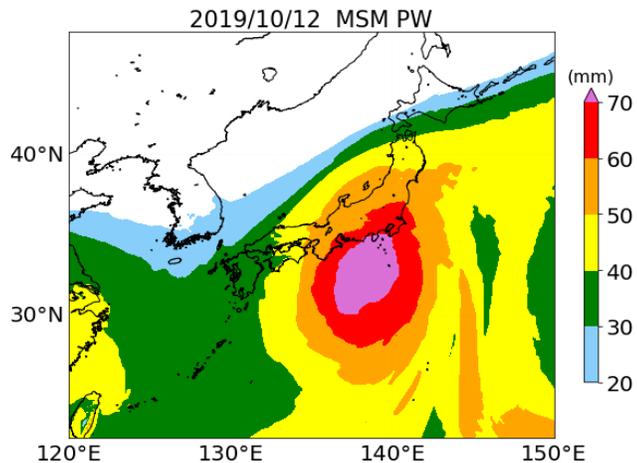
2018年7月西日本豪雨



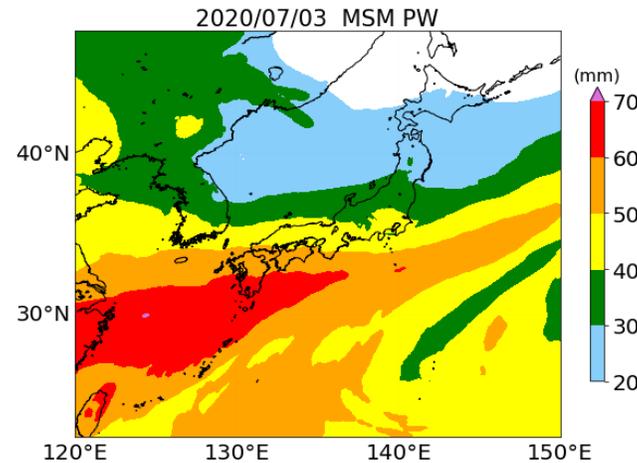
2019年8月九州北部豪雨



2019年台風19号



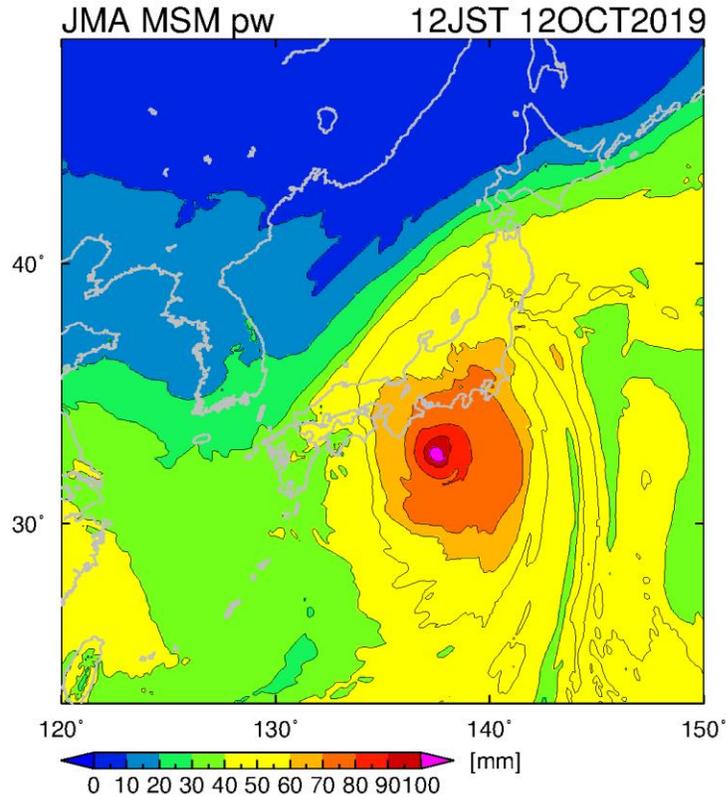
2020年7月豪雨



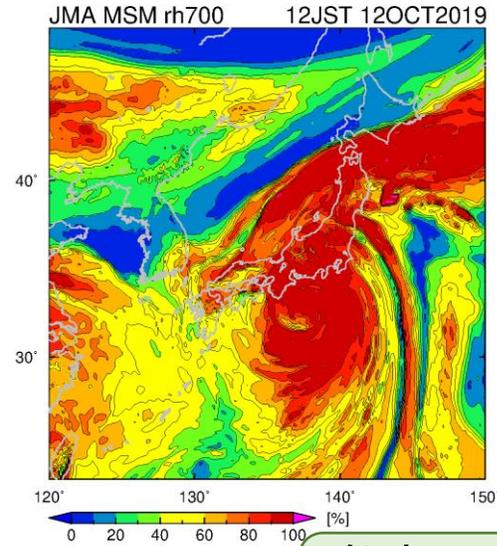
可降水量：1 m²の面積の大気に含まれる水蒸気の総量

2019年台風19号：豊富な水蒸気量

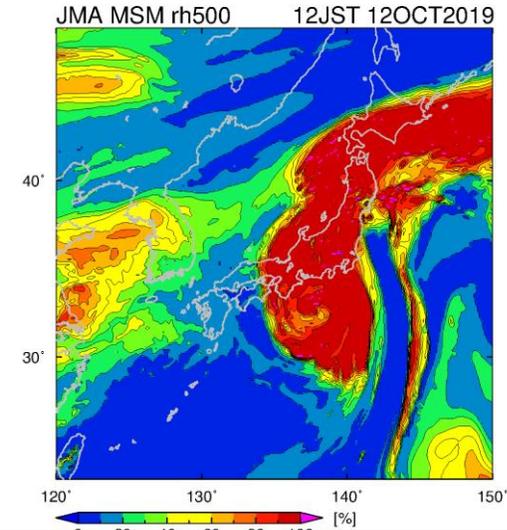
可降水量



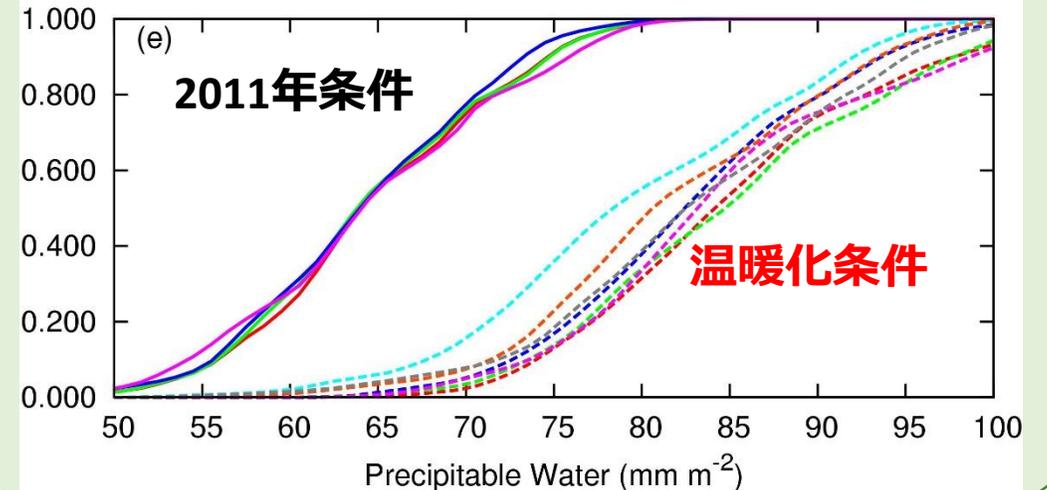
700 hPa相对湿度



500 hPa相对湿度



参考：2011年台風12号（紀伊半島豪雨）時の紀伊半島沖合の海上での可降水量



高温条件・高湿度条件



温暖化条件並みの大量の水蒸気量

ノロノロ台風による豪雨への温暖化影響

2011年台風12号（紀伊半島水害）

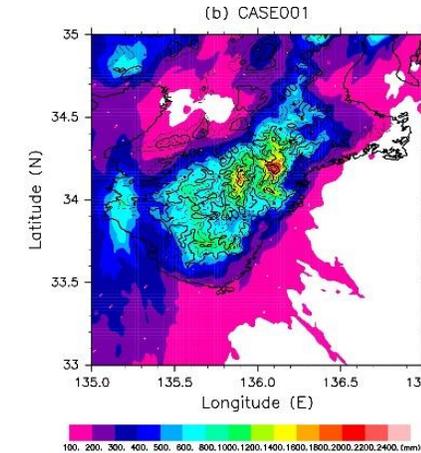
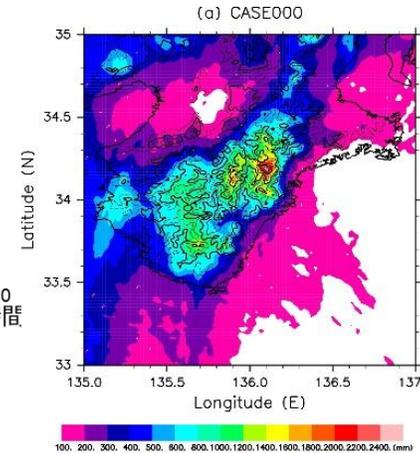
条件A

条件B

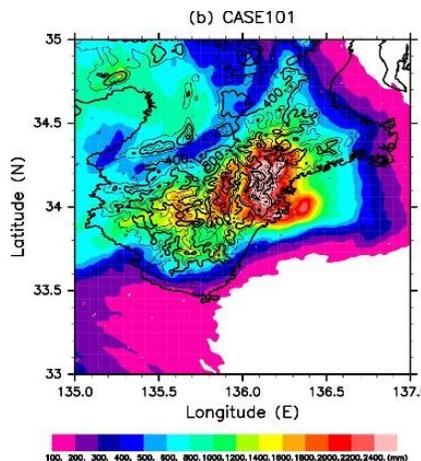
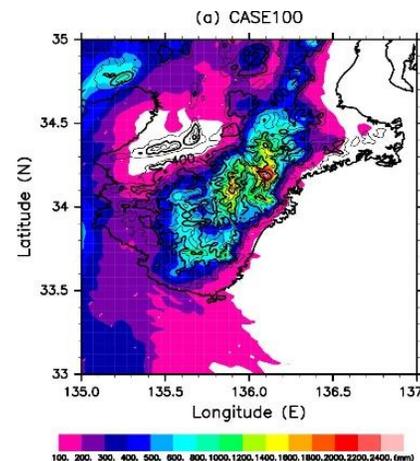
2011年8月31日～9月4日の1時間雨量 （奈良県上北山アメダス）



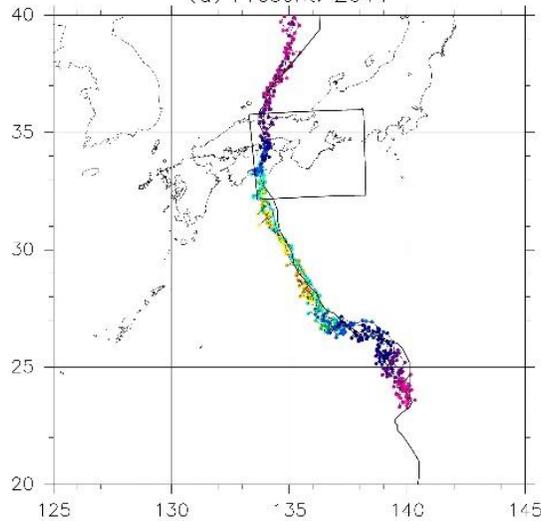
現在実験での総雨量



温暖化実験での総雨量



再現実験での台風経路



KYOTO UN

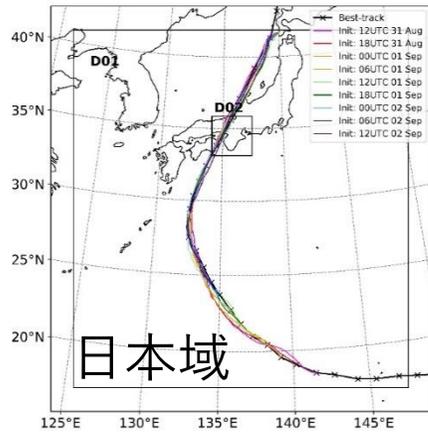
- 960
- 950-960
- 940-950
- 930-940
- 920-930
- 910-920
- 900-910
- 890-900
- 880-890
- 870-880
- 860-870
- 850-860
- 840-850
- 830-840
- 820-830
- 810-820
- 800-810
- 790-800
- 780-790
- 770-780
- 760-770
- 750-760
- 740-750
- 730-740
- 720-730
- 710-720
- 700-710
- 690-700
- 680-690
- 670-680
- 660-670
- 650-660
- 640-650
- 630-640
- 620-630
- 610-620
- 600-610
- 590-600
- 580-590
- 570-580
- 560-570
- 550-560
- 540-550
- 530-540
- 520-530
- 510-520
- 500-510
- 490-500
- 480-490
- 470-480
- 460-470
- 450-460
- 440-450
- 430-440
- 420-430
- 410-420
- 400-410
- 390-400
- 380-390
- 370-380
- 360-370
- 350-360
- 340-350
- 330-340
- 320-330
- 310-320
- 300-310
- 290-300
- 280-290
- 270-280
- 260-270
- 250-260
- 240-250
- 230-240
- 220-230
- 210-220
- 200-210
- 190-200
- 180-190
- 170-180
- 160-170
- 150-160
- 140-150
- 130-140
- 120-130
- 110-120
- 100-110
- 90-100
- 80-90
- 70-80
- 60-70
- 50-60
- 40-50
- 30-40
- 20-30
- 10-20
- 0-10
- -10-0

モデル再現の不確実性を考慮して、いくつかの条件でアンサンブル実験を実施

気候変動に伴う都市強風災害への適応

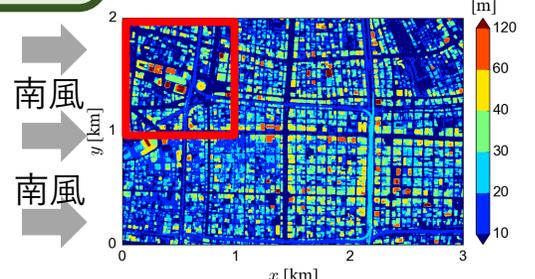
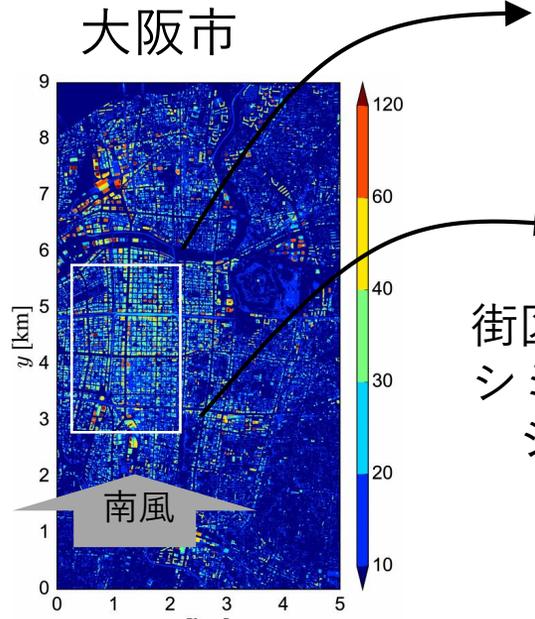
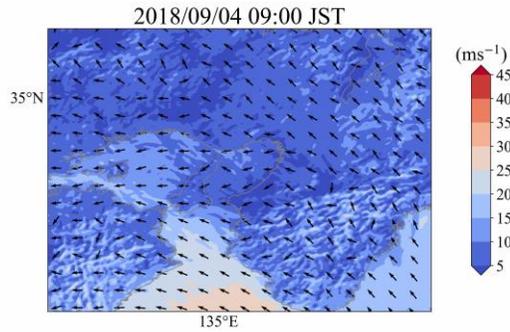
台風・低気圧など極端現象のダウンスケール実験

近畿地方から都市街区スケールへ：
2018年台風21号の事例

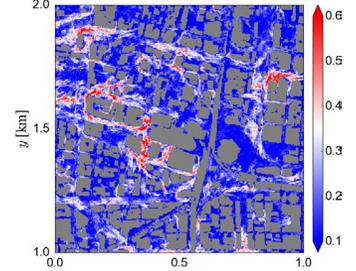


ダウンスケール

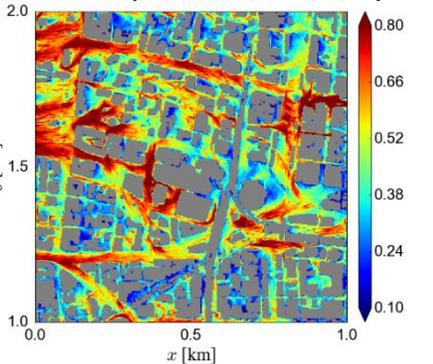
2018年台風21号の領域
気象モデルシミュレーション



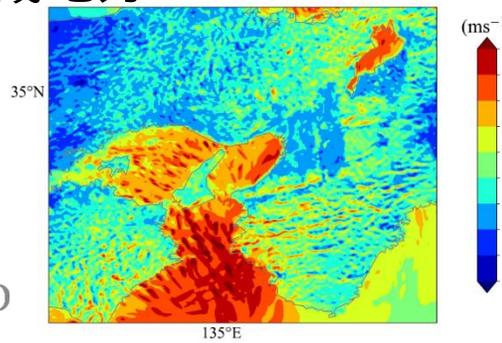
街区内気流
シミュレーション



街区内での
最大風速分布



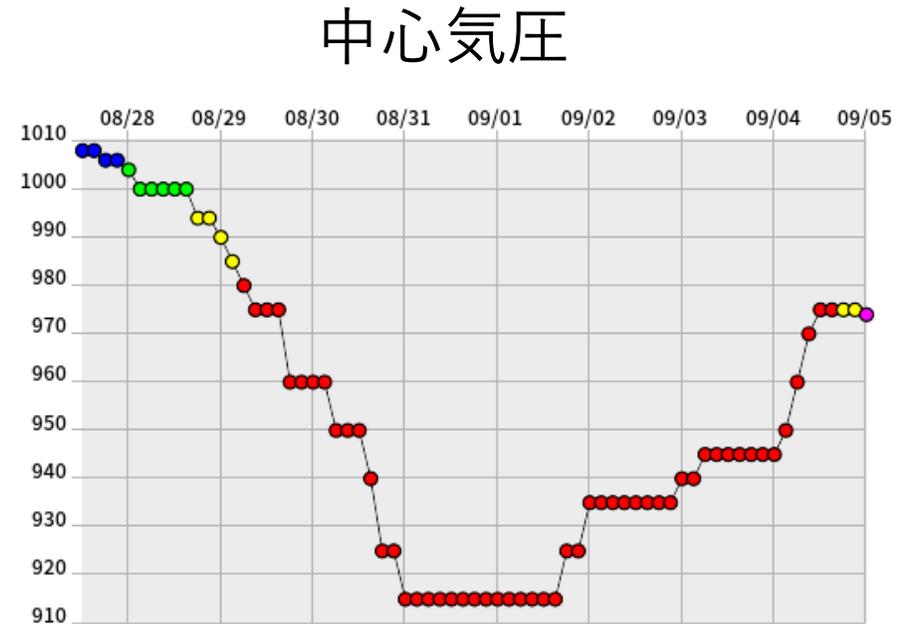
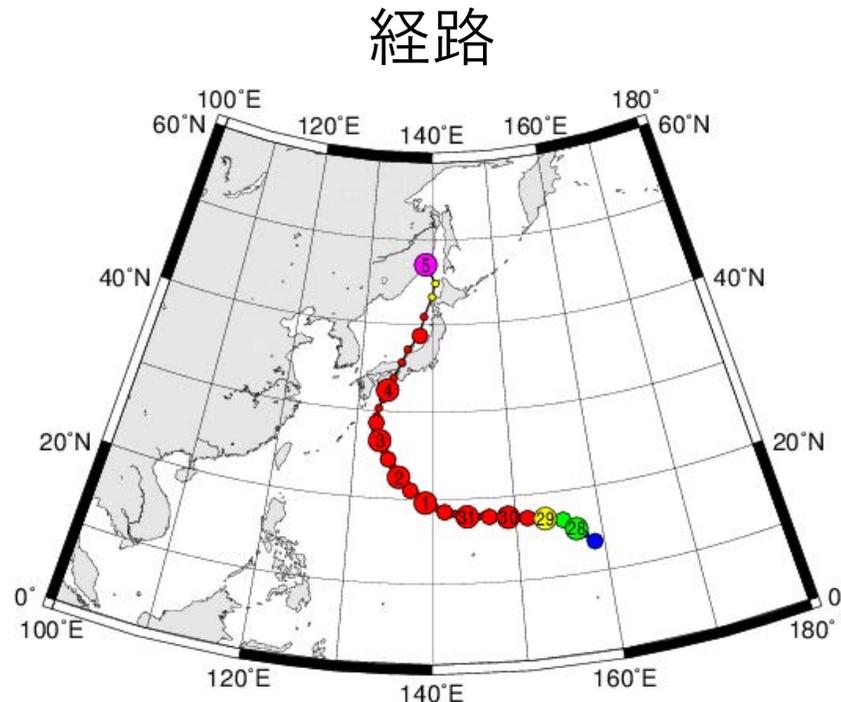
近畿地方



- 都市に影響を与える極端現象を抽出、気象場から都市街区スケールへダウンスケール
- 近未来を想定した擬似温暖化実験
- 強風災害リスクを街区スケールで評価

近畿地方で暴風をもたらした2018年台風21号

最大強度：
915 hPa
55 m/s



(「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

第二室戸台風（1961年）：大阪：50.6 m/s；京都：34.3 m/s；神戸39.2 m/s

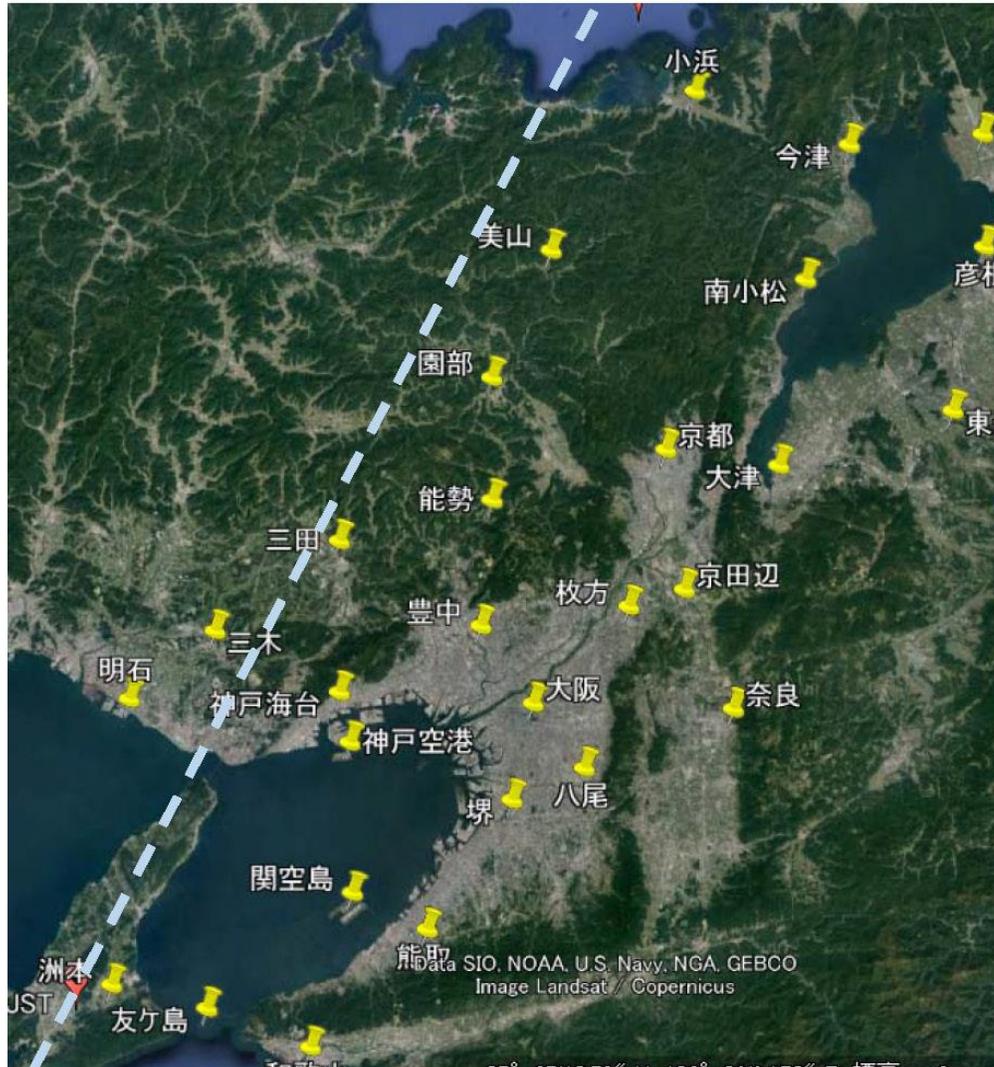
室戸台風（1934年）：大阪：60.0 m/s；京都：42.1 m/s

台風21号による大阪市内での被害状況



突風率 = 最大瞬間風速 ÷ 平均風速

台風21号通過時の突風率

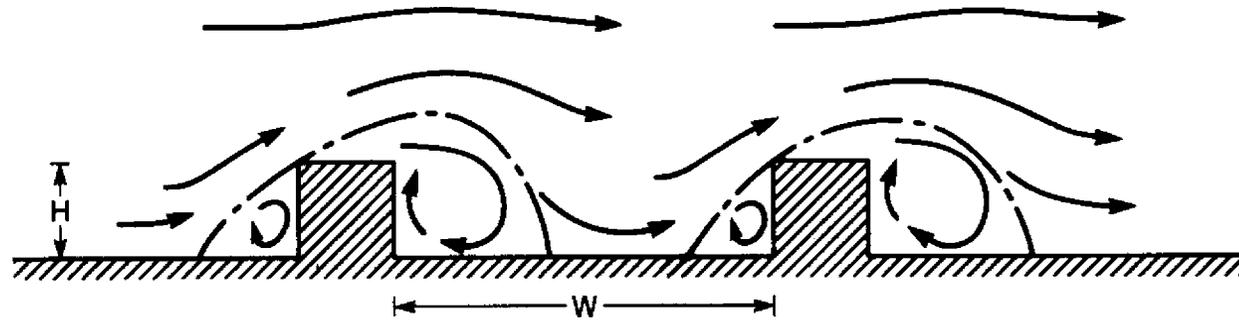


気象官署で観測された突風率

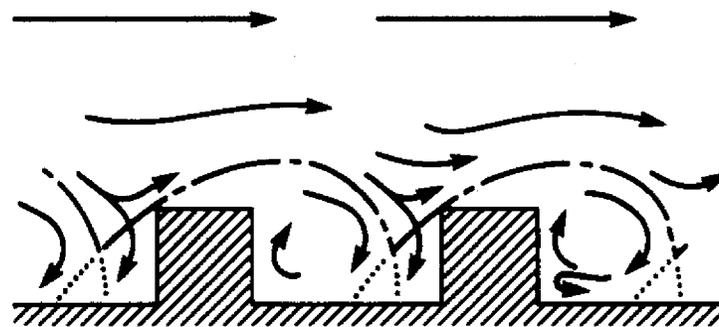
地点	突風率	10分風速 日最大	瞬間風速 日最大
堺	2.2	20.3	43.6
能勢	2.13	17.3	31.6
枚方	2.1	19.3	40.2
南小松	2.1	16.3	32.2
東近江	2.01	16.5	31.7
大阪	1.95	23.7	47.4
熊取	1.93	26.6	51.2
京都	1.91	21.7	39.4
揖斐川	1.9	17.5	32.4
奈良	1.86	19.1	37.4
京田辺	1.84	18.7	34.4
勝山	1.83	20.1	38.9
徳島	1.82	18.5	32.7
長浜	1.82	19.3	33.6
敦賀	1.81	26	47.9
彦根	1.81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

都市を想定した気流のパターン

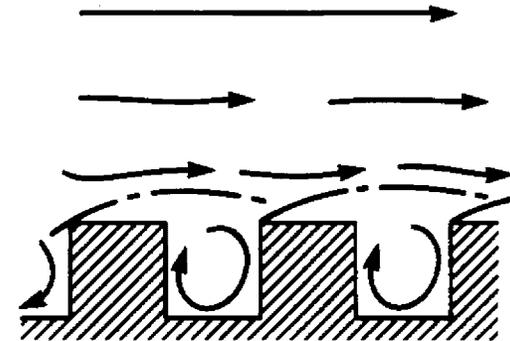
(a) Isolated roughness flow



(b) Wake interference flow



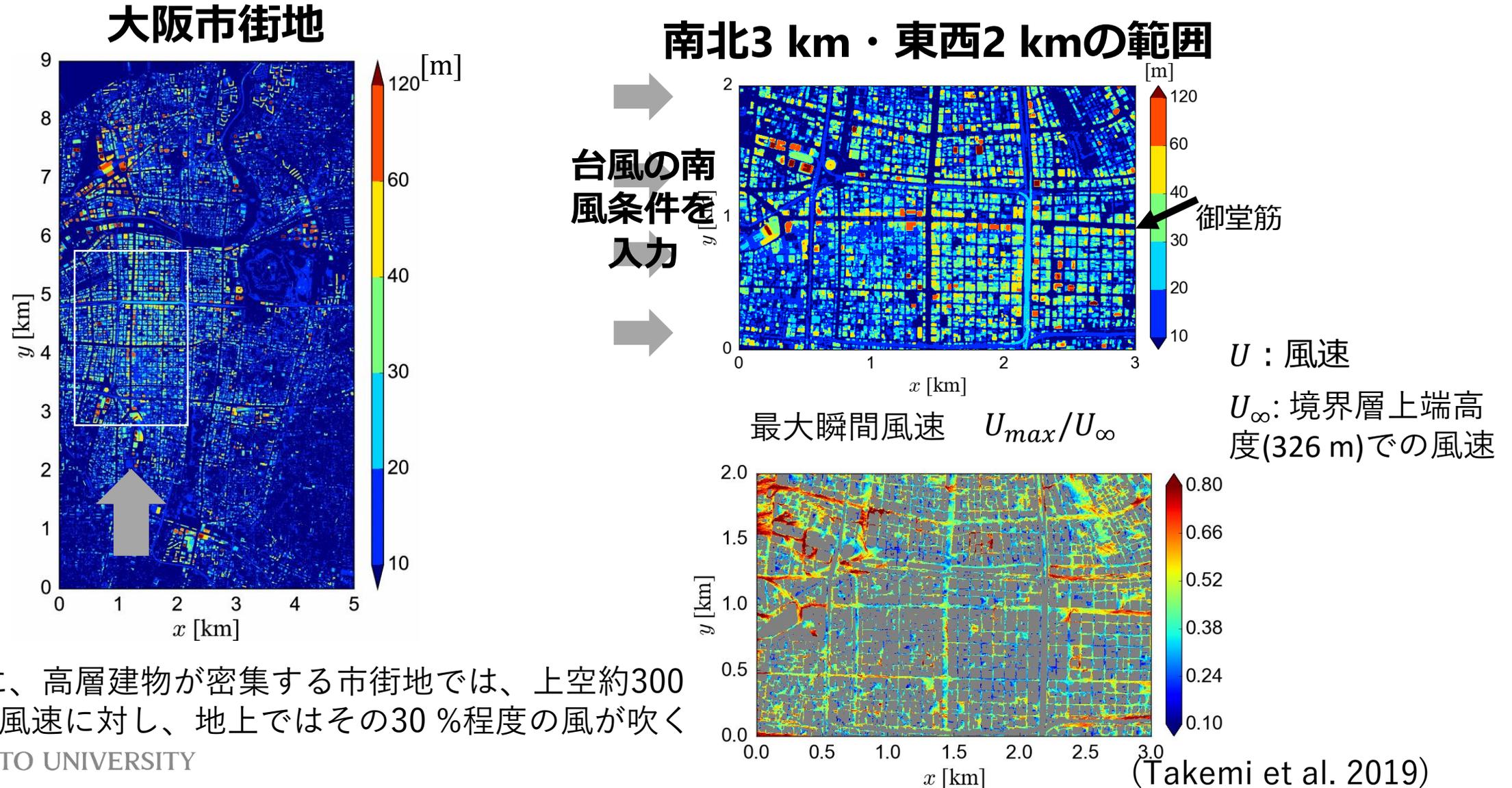
(c) Skimming flow



建物の密集度が変わると
気流のパターンも異なる

(Oke 1988)

暴風リスクを市街地スケールで把握する



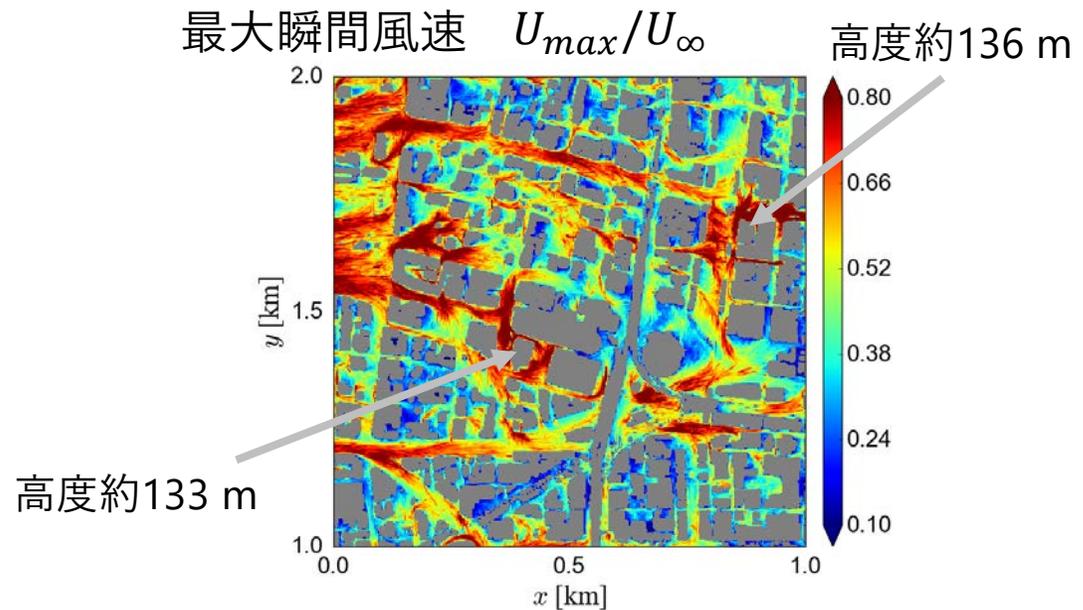
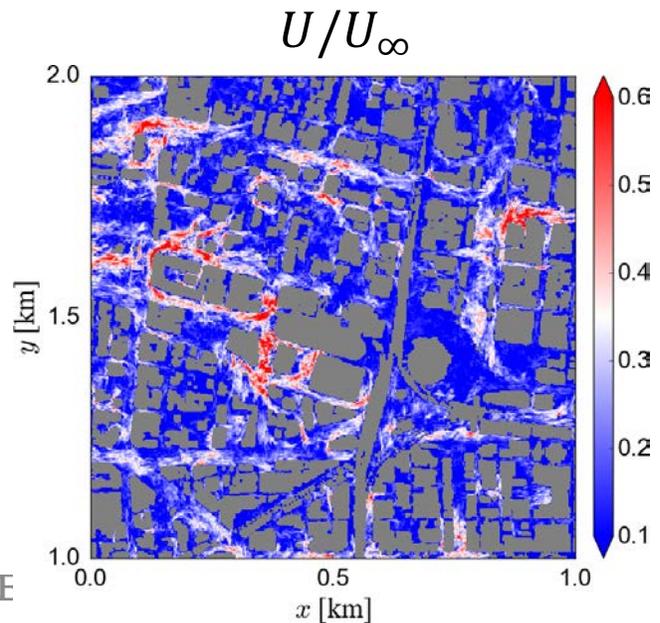
瞬間的には大気境界層高さでの風速と同程度



U : 風速

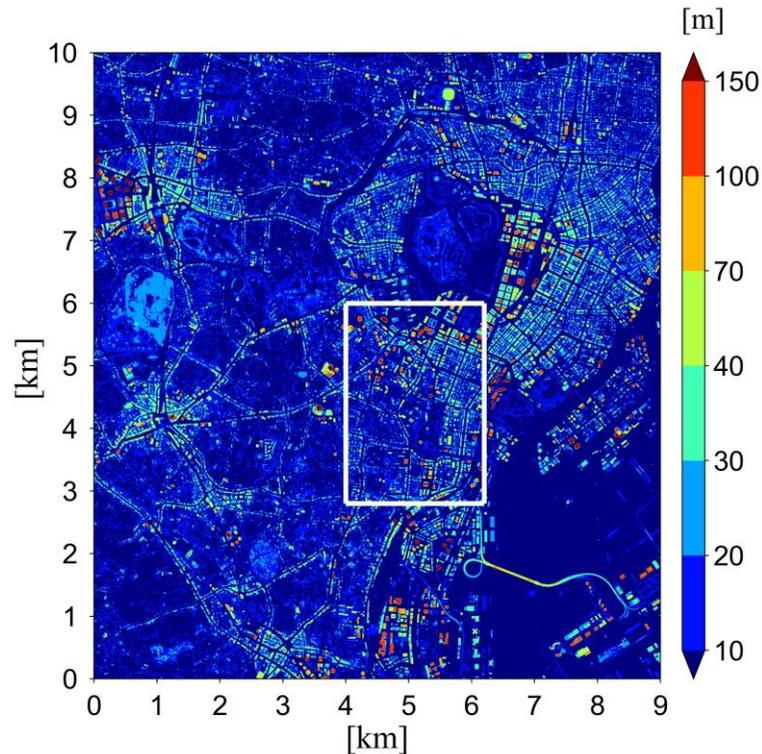
U_∞ : 境界層上端高度(326 m)での風速

上空326 mでの風速に対する地上風速の比率

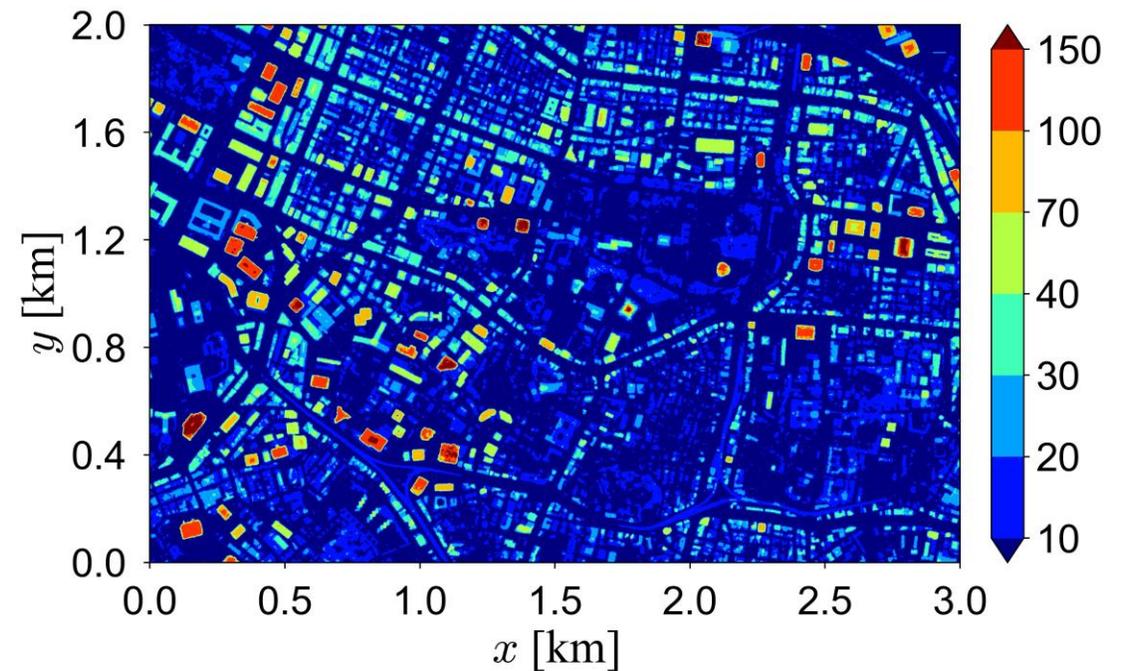


2019年台風15号を想定した東京都心での暴風

東京建物高さ分布
(白枠：計算領域)



解析対象領域 (3km × 2km)



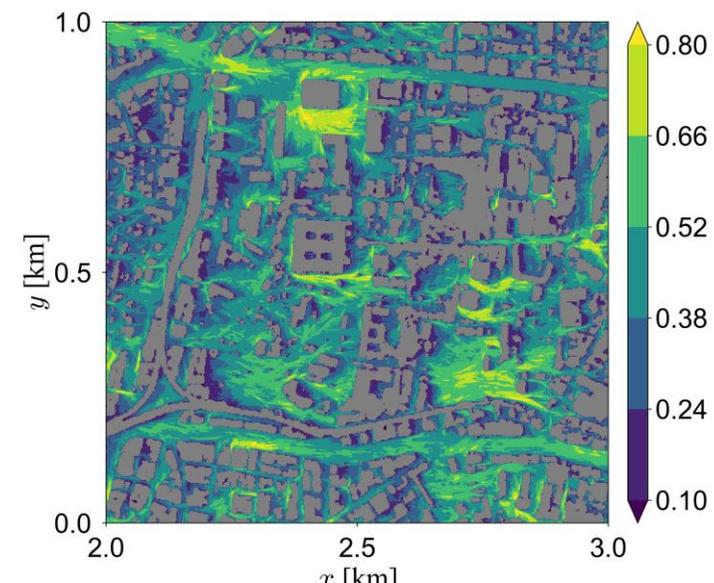
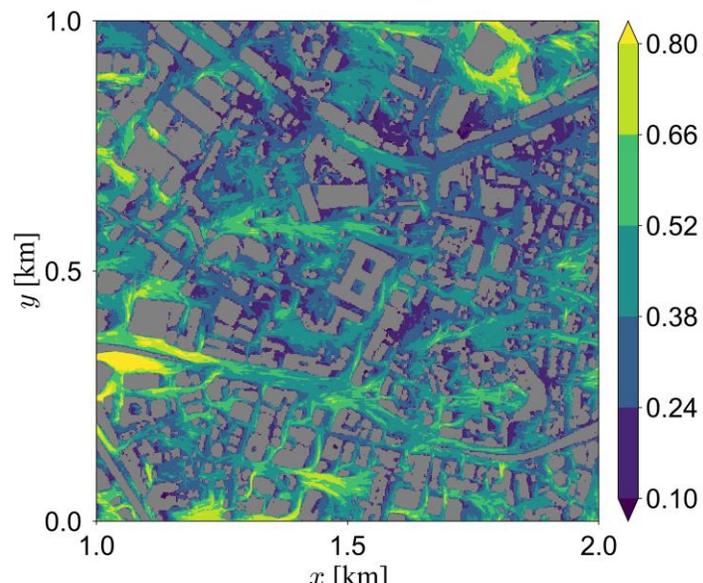
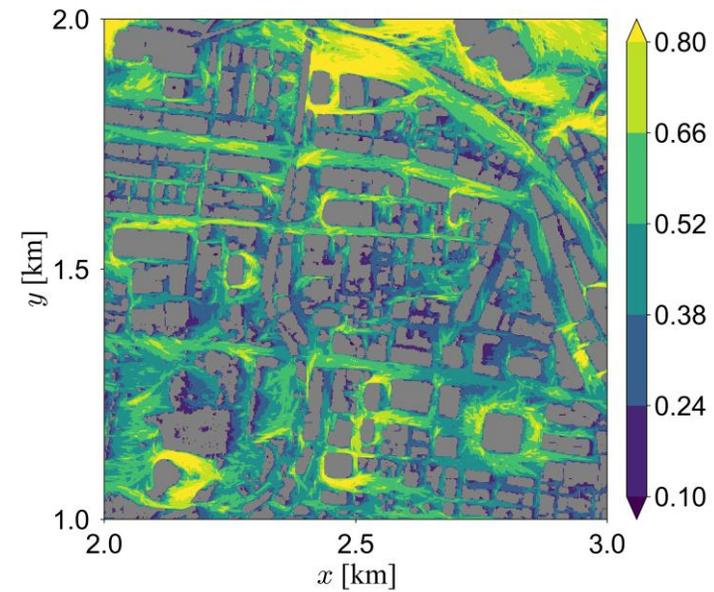
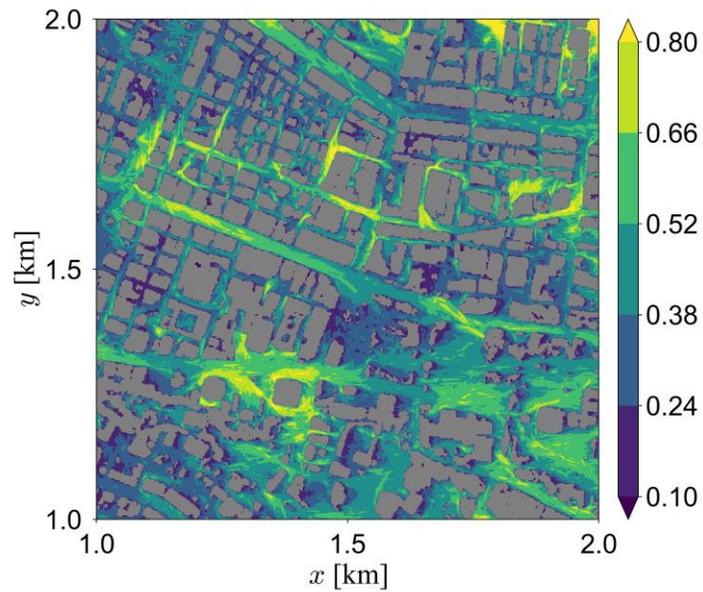
台風15号通過時の最大瞬間風速

東京 31.4 m/s (北北東)

羽田 43.7 m/s (東北東)

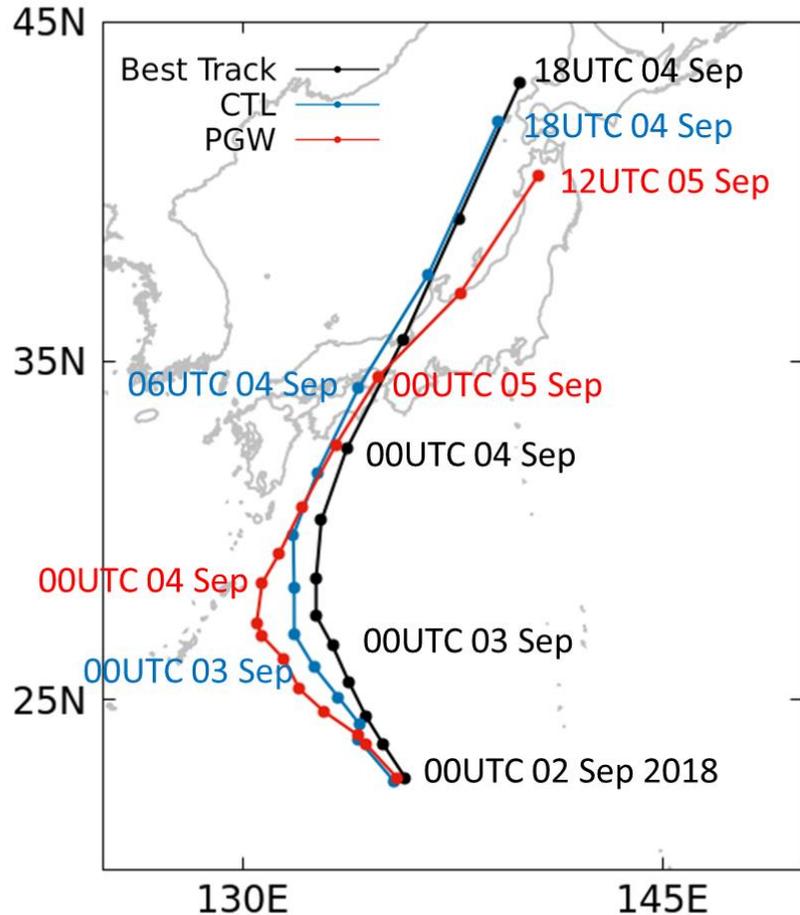
江戸川臨海 36.5 m/s (北北東)

地面付近の最大瞬間風速の分布

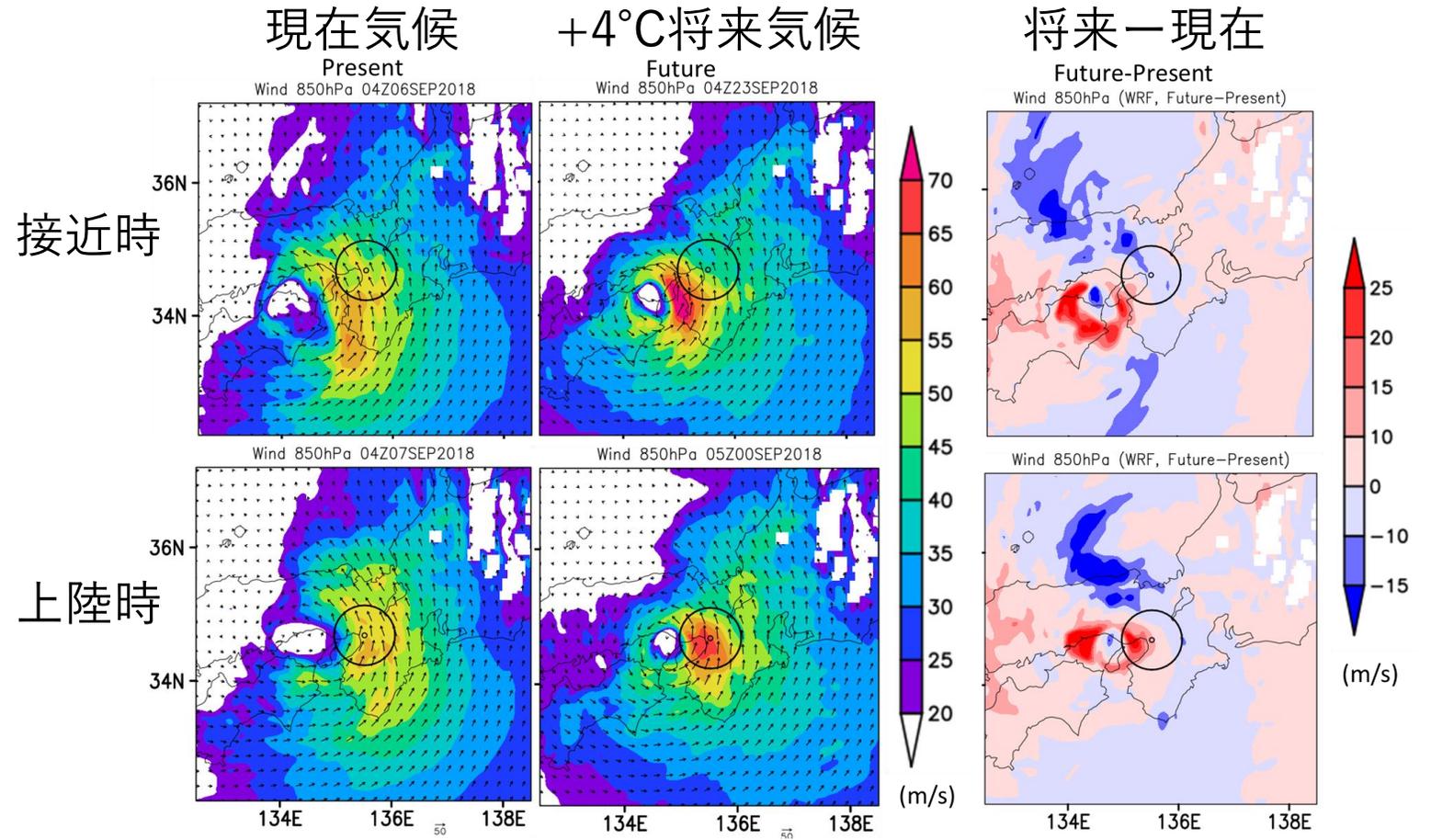


2018年台風21号の温暖化影響

Typhoon Track



上空高さ1.5 km付近での風速分布



最大~55 m/s

最大~65 m/s



約10%の強化

大雨と森林倒壊

2016年8月の連続台風による北海道での森林災害

- ・ 雨台風は強風による森林倒壊と強風と降雨による森林倒壊を引き起こす
- ・ 尾根筋の森林や斜面方位と同じ方位（正面）から強風を受けた森林は倒れやすい
- ・ 降雨は森林の倒壊リスクを高め、倒壊の感度を決めるのは優占樹種

(Morimoto et al. 2021)

大雨を伴う台風は森林倒壊リスクを増大させることを解明

～雨台風による森林倒壊のメカニズムに迫る～

ポイント

- ・ 雨台風は強風による森林倒壊と強風と降雨による森林倒壊を引き起こす。
- ・ 尾根筋の森林や斜面方位と同じ方位（正面）から強風を受けた森林は倒れやすい。
- ・ 降雨は森林の倒壊リスクを高め、倒壊の感度を決めるのは優占樹種。

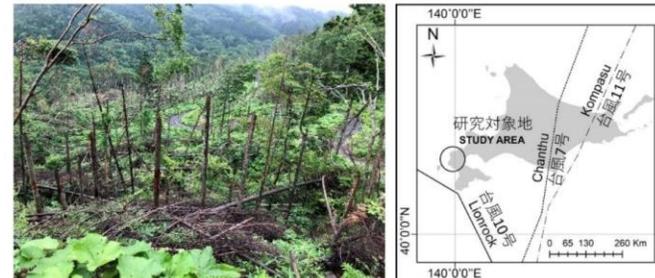
概要

北海道大学大学院農学研究院の森本淳子准教授、人間文化研究機構総合地球環境学研究所の饗庭正寛特任助教、京都大学防災研究所の竹見哲也准教授及び大阪大学大学院工学研究科の松井孝典助教らの研究グループは、大雨が台風による森林倒壊リスクを増大させることを突き止めました。

風による被害は比較的小さく雨による被害が大きい雨台風では、これまで知られてきた強風が森林倒壊を引き起こす現象に加え、強風と大雨の相互作用が森林倒壊を引き起こす現象が生じています。この知見は、2016年8月下旬に北海道に連続して上陸した台風による森林倒壊を対象にした、機械学習法によるモデリングで得られました。また、尾根筋*1の森林や、斜面方位と同じ方位（正面）から強風を受けた森林は、風当たりが強いため倒壊しやすく、台風期間中の降水量が多い森林ほど倒壊しやすことが判明しました。降水量に対する感度は優占樹種*2により異なりました。

今後、気候変動により日本では台風による雨量増加が予想され、森林倒壊による林業被害・インフラ破壊を最小限に抑える適応策が求められています。雨台風による森林倒壊のメカニズム解明につながる現象や森林倒壊のハイリスク条件を解明した本研究成果は、森林管理における具体的な適応策を見出す上での貢献が期待されます。

なお、本研究成果は、2020年9月10日（木）公開の *Forest Ecology and Management* 誌に掲載されました。また、本研究は日本学術振興会科学研究費補助金（17H01516）、環境再生保全機構環境研究総合推進費（JPMEERF16S11508）、文部科学省統合的気候モデル高度化研究プログラム領域テーマD「統合的ハザード予測」（JPMXD0717935498）の支援を受けて行われました。

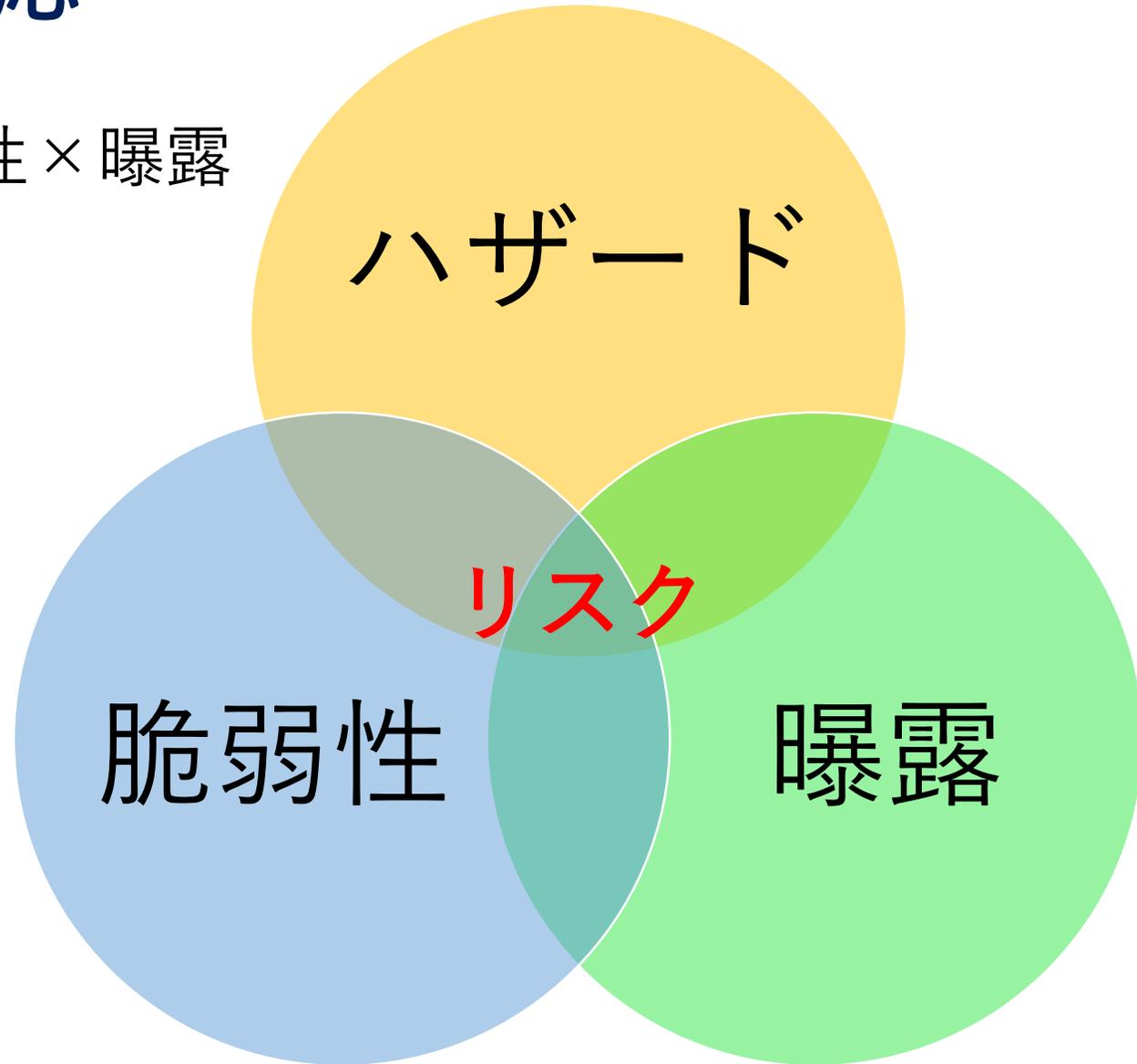


2016年8月に北海道に上陸した台風と、研究対象地における森林倒壊

災害リスクと適応

リスク = ハザード × 脆弱性 × 曝露

ハザードは強大化
リスク低減には、
・ 脆弱性の低下
・ 曝露の低下
が必要



まとめ

- 災害のリスクは、これまでの経緯を見ると、下がっているとは言いがたい
- 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
- 都市再開発や土地利用変化によって、リスクも変わる



- 将来の温暖化を考慮した災害リスクへの対策が大事