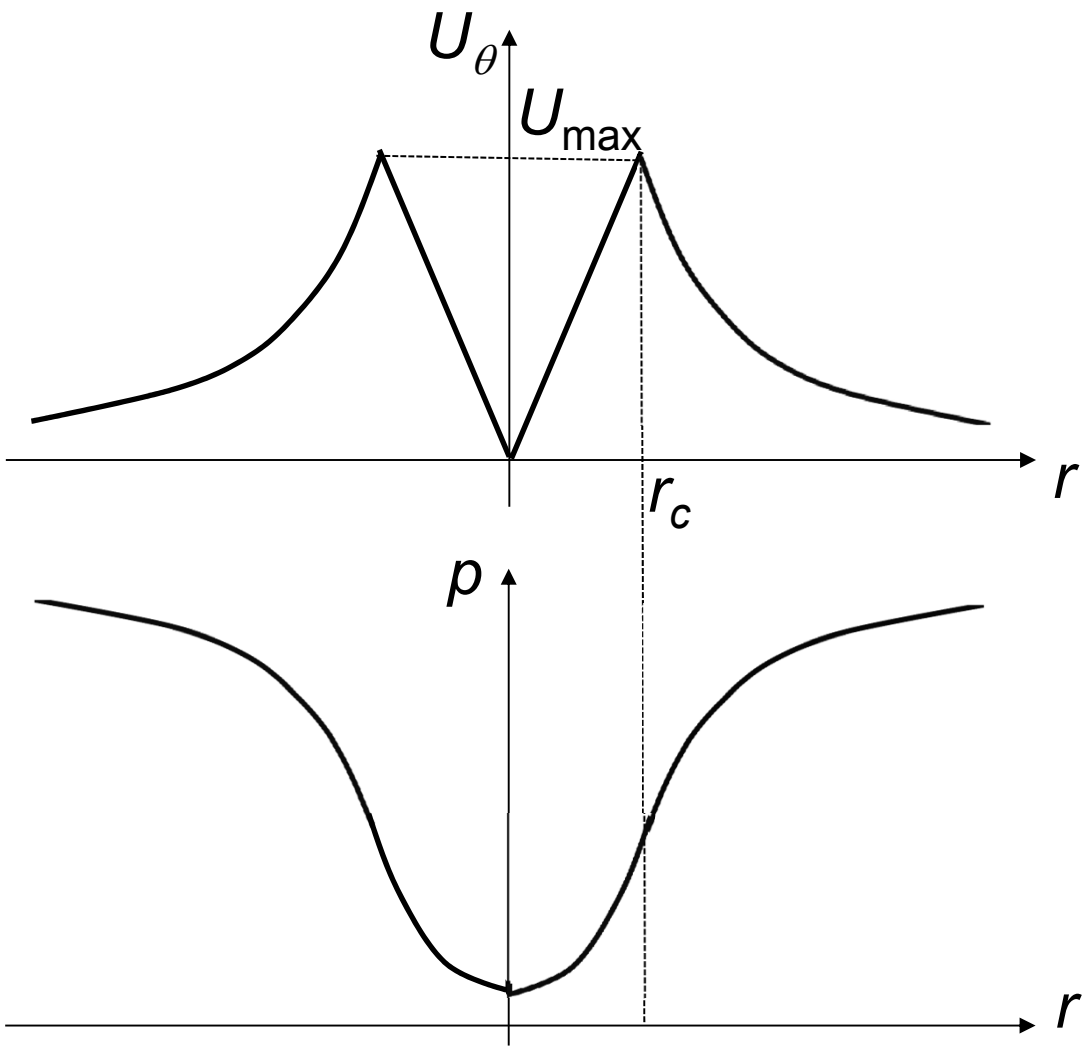
Kochi Univ.
Storm Lab.

太平洋岸における
台風と竜巻

高知大学 教育研究部自然科学系理学部門
佐々浩司

台風も竜巻も渦巻き

水平断面の大まかな速度分布はランキン複合渦でよく近似できる。



$$U_\theta(r) = \begin{cases} U_{max}\left(\dfrac{r}{r_c}\right) \cdots\cdots (r \le r_c) \\ U_{max}\left(\dfrac{r_c}{r}\right) \cdots\cdots (r \ge r_c) \end{cases}$$

旋衡風平衡

$$\frac{dp}{dr} = \rho \frac{U_\theta^2}{r}$$

気圧傾度力　遠心力

同じ渦巻きでも形態は異なる

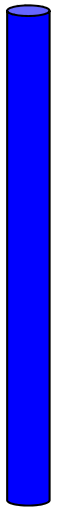
台風：高さ15km,水平半径500km
CD板のように扁平

Ro<1: コリオリの力の影響が大きい
北半球なら必ず反時計回転

ロスビー数Ro＝遠心力／コリオリの力

竜巻：高さ15km,半径50m
細い紐

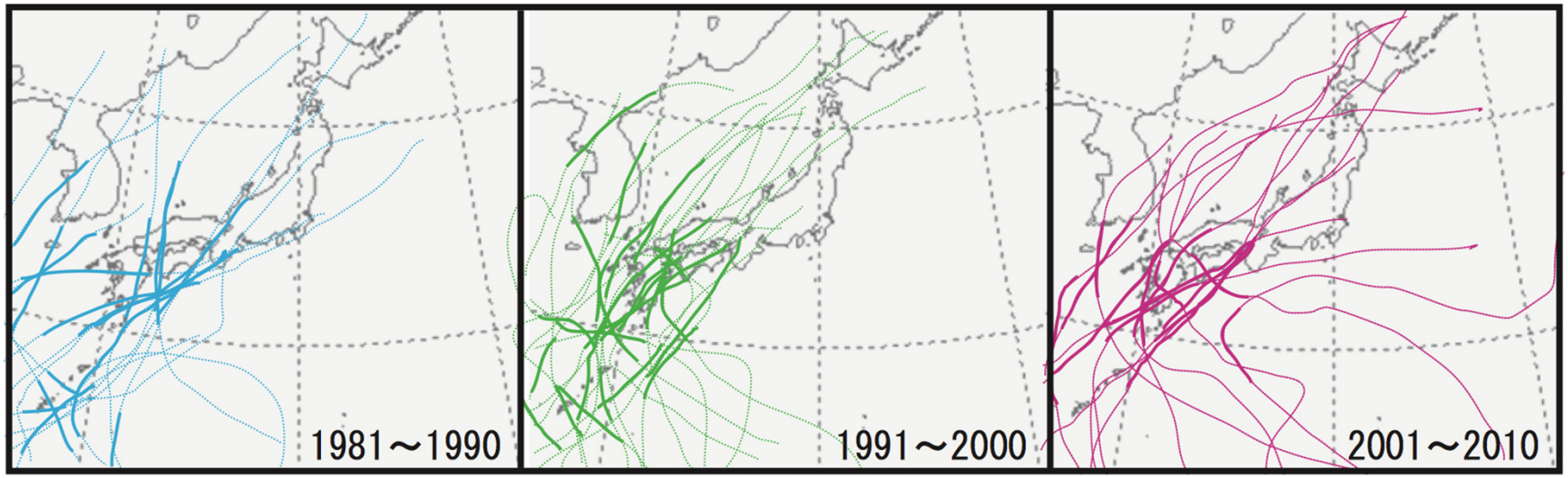
Ro>1000: コリオリの力は無視できる
北半球でも時計回転の渦が
発生する



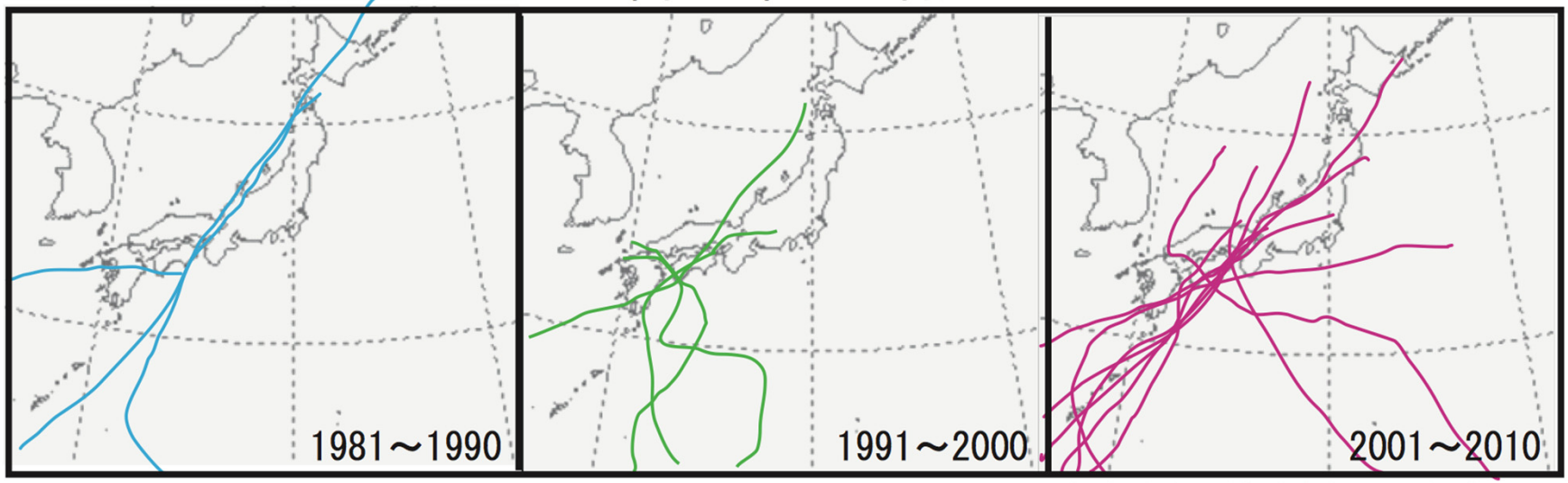
台風に伴う雨

10年毎の台風経路

高知県に大雨をもたらした台風



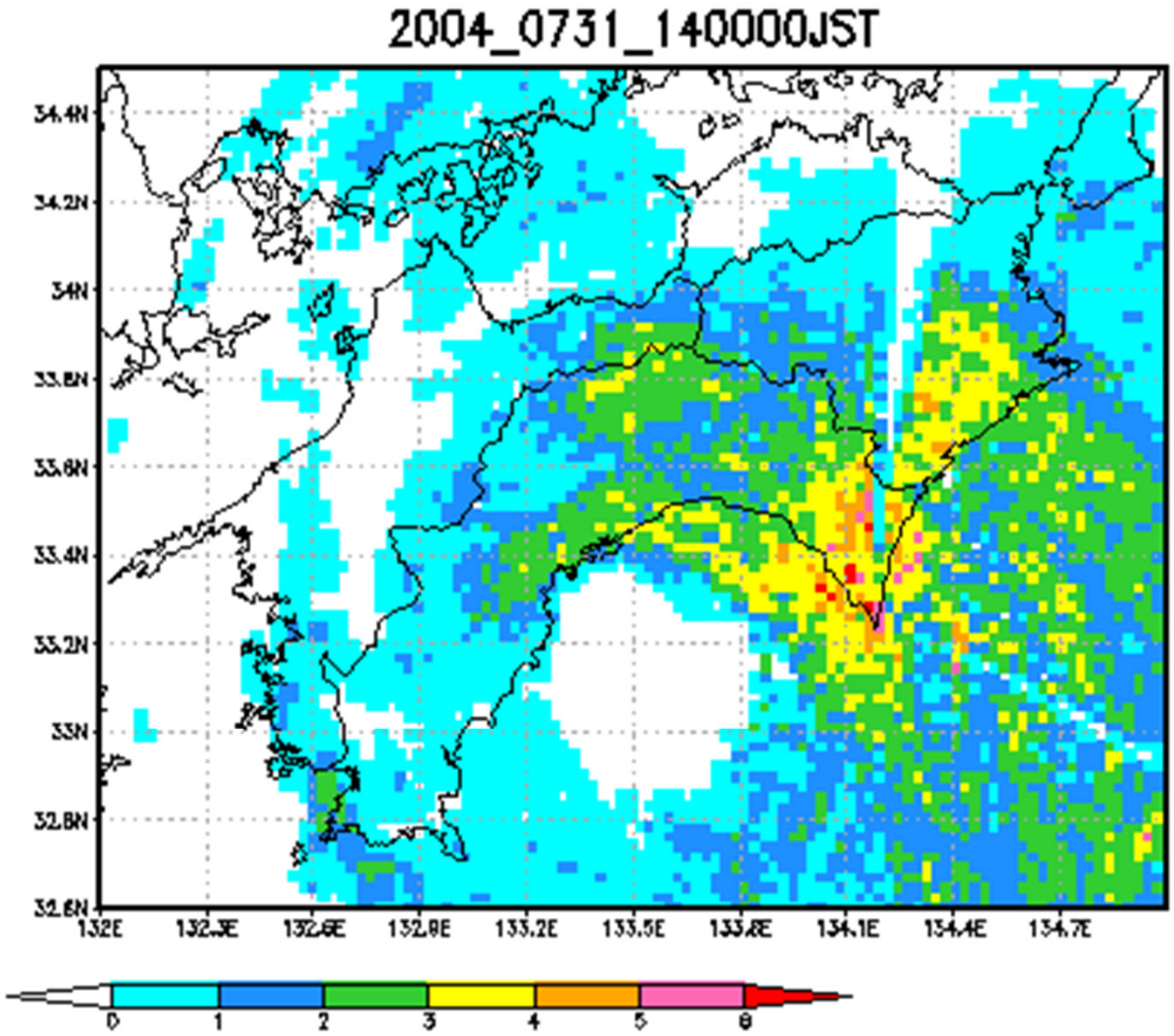
四国に上陸した台風



気象庁台風統計資料より作成

台風特有の雨雲パターン（その１）
スパイラルレインバンド

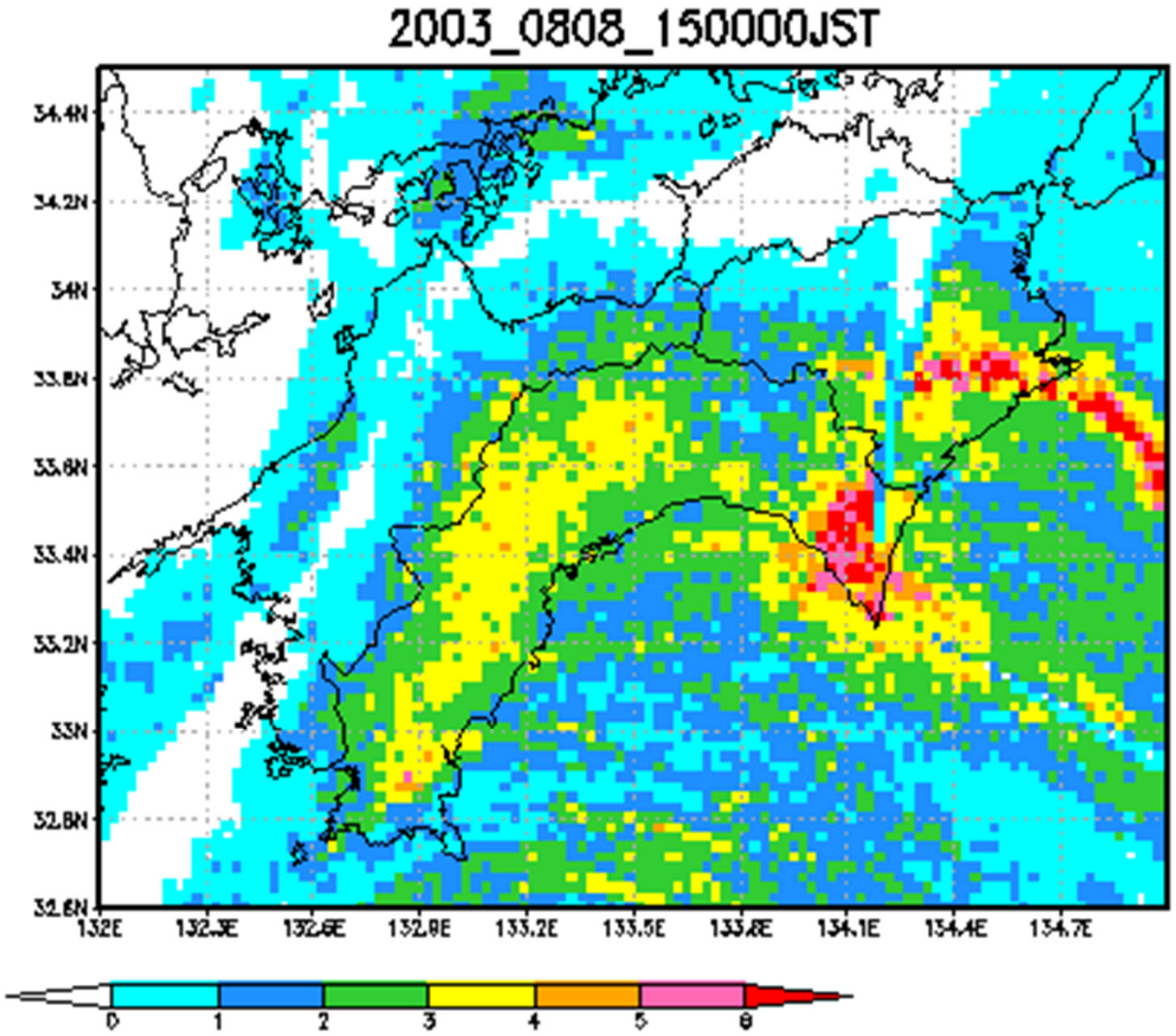
台風そのものの雨雲



気象庁レーダー画像
より作成

台風201411号でも見られた

台風特有の雨雲パターン（その2）
地形性型

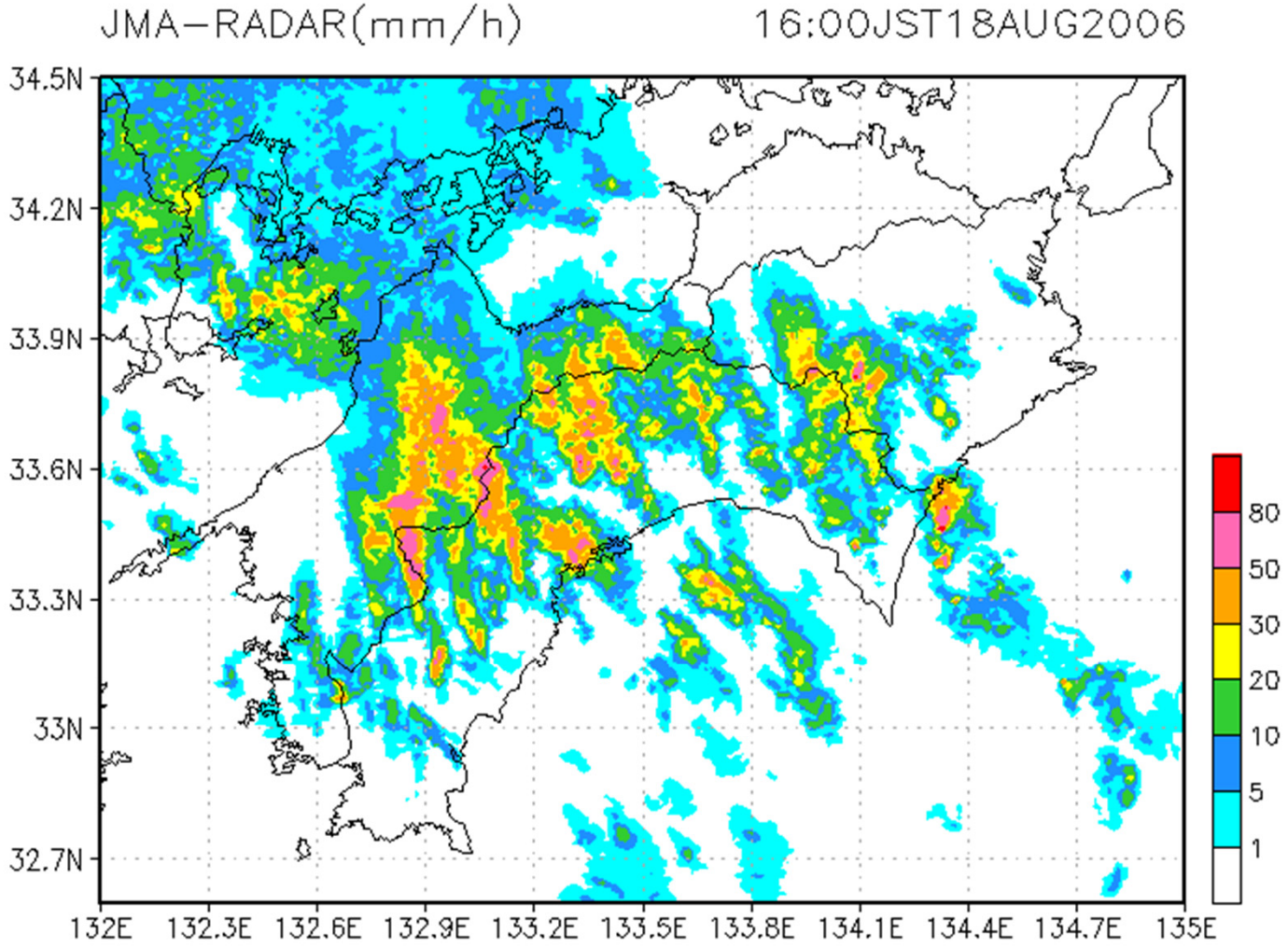


台風の気流によって運ばれる湿潤な空気が地形により強制上昇させられる

気象庁レーダー画像
より作成

台風201411号でも見られた

台風特有の雨雲パターン（その3）
斜面ストリーク型

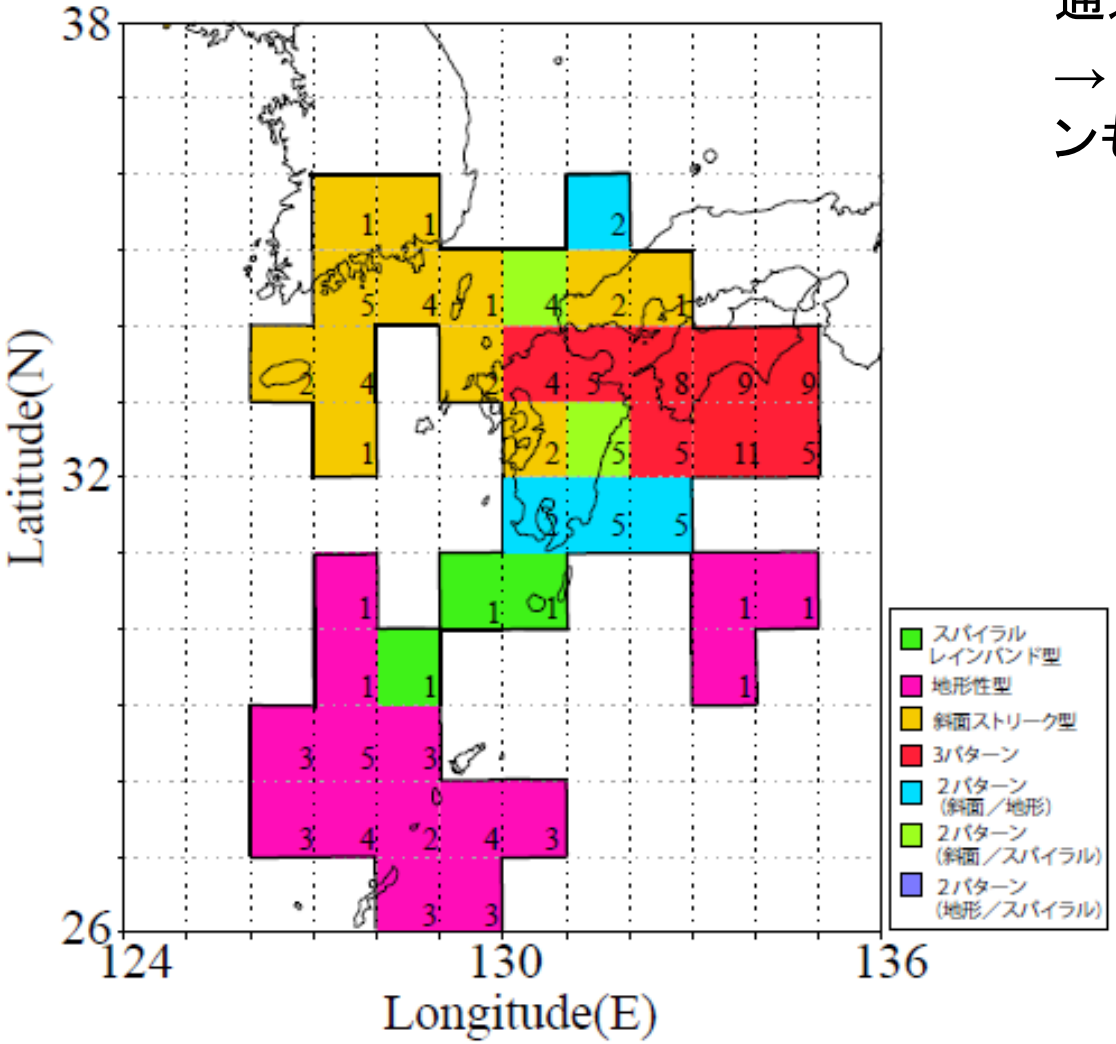


台風の気流が地形により強制上昇させられるパターンだが、斜面に平行に雨雲の列がいくつも形成される。

気象庁レーダー画像より作成

台風201412号でも見られた

台風位置と降水システム



3つの降水パターンが見られる台風通過位置

→　高知県周辺ではどの降水パターンもみられる

✓ スパイラルレインバンド型

九州の南の海上に位置

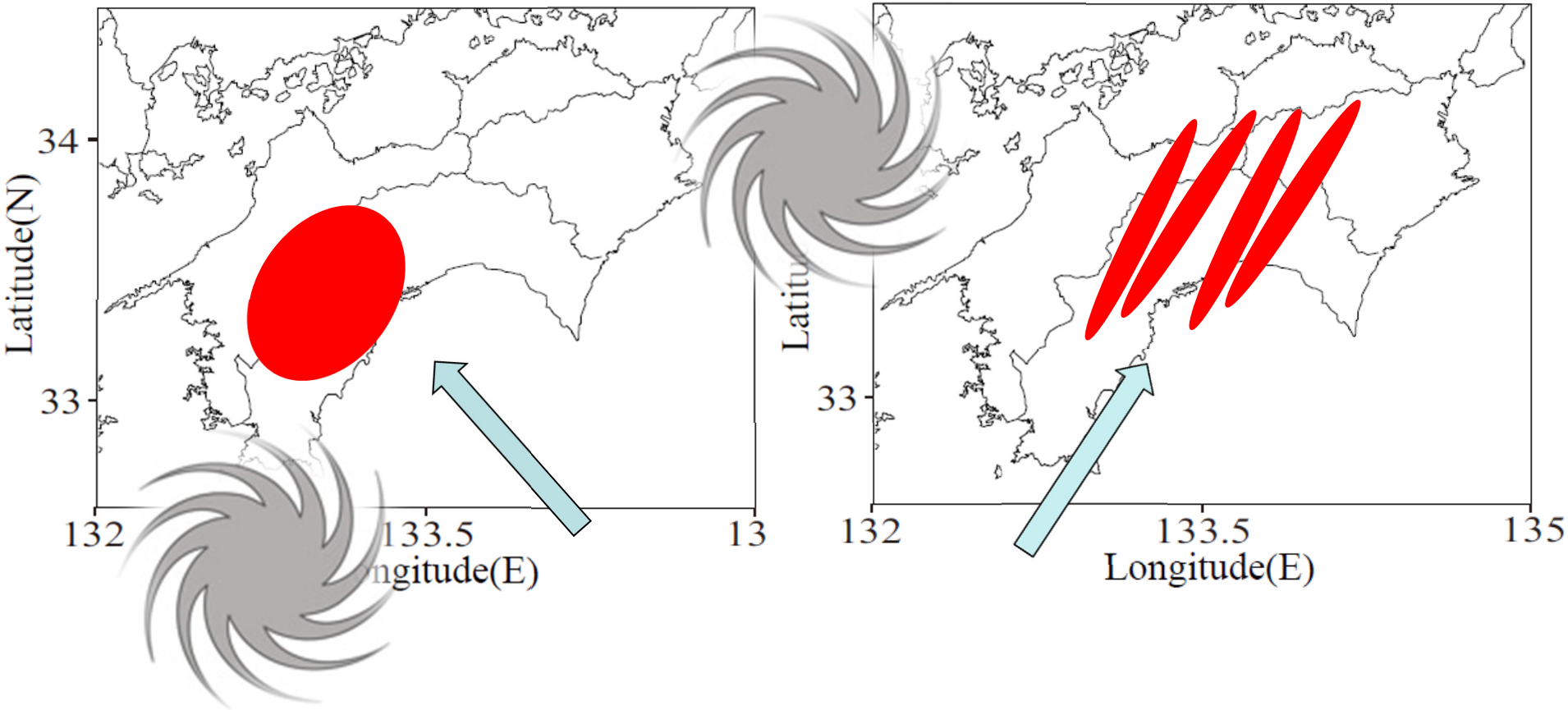
✓ 地形性型

奄美大島の西海上に位置

✓ 斜面ストリーク型

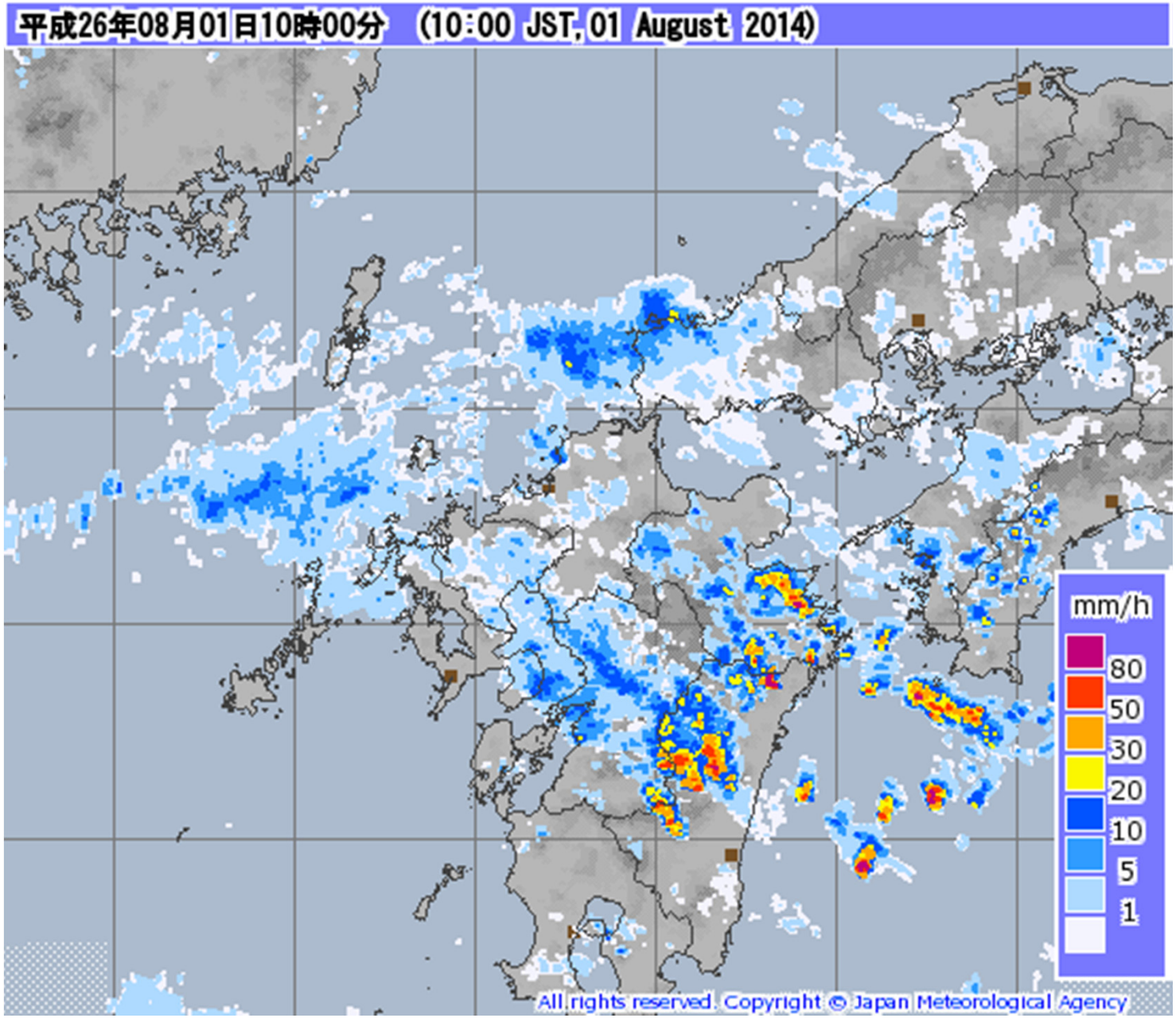
朝鮮半島南部から九州・四国地方に位置

太平洋岸では台風の右半円で雨が多い



太平洋岸は、台風の右側で台風に伴う旋回気流が太平洋上の水蒸気を多く運び込む。

台風201412号に伴う九州の斜面ストリーク型

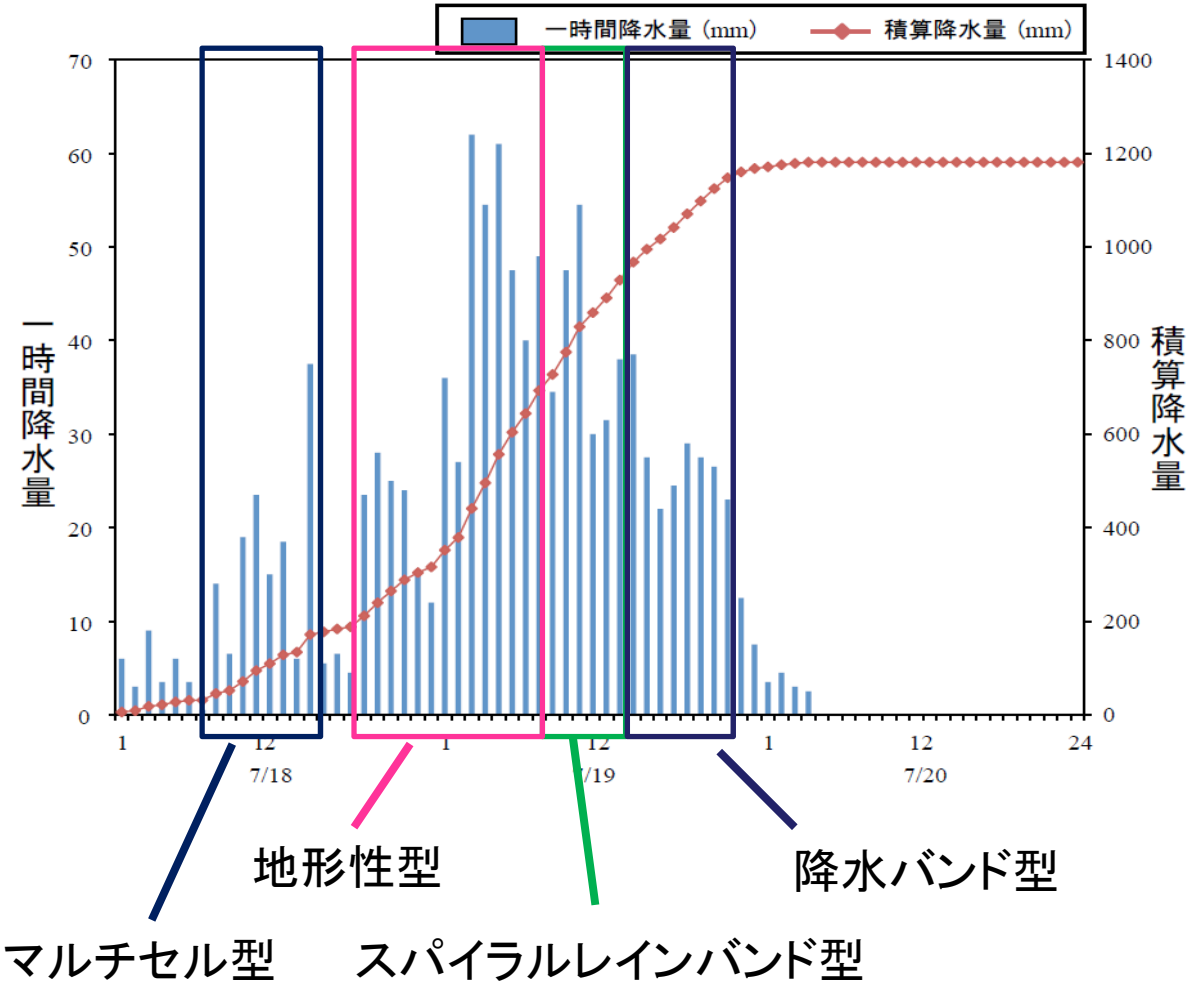


九州・四国
だけでなく
紀伊半島
でも見られる

気象庁レーダーナウキャストより作成

最大日降水量記録時の降水システム変化

2011年　台風201106号
(長時間大雨を観測した日の前後)

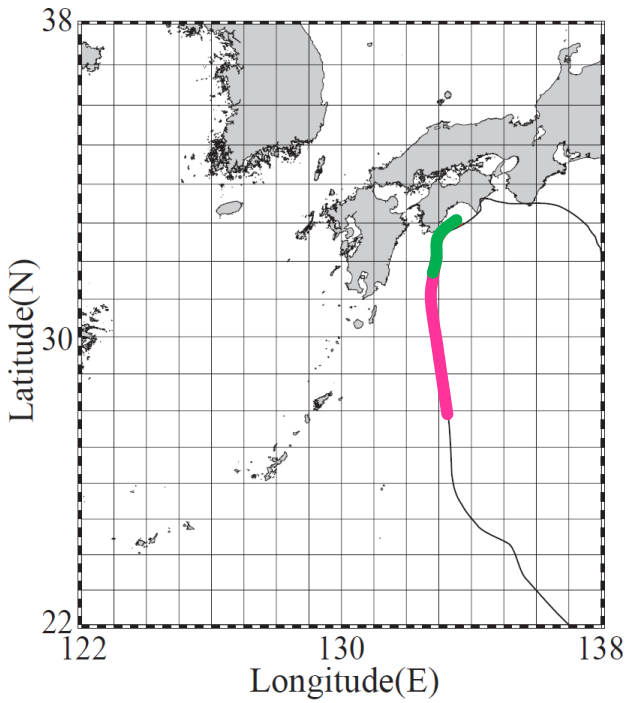


短時間強雨

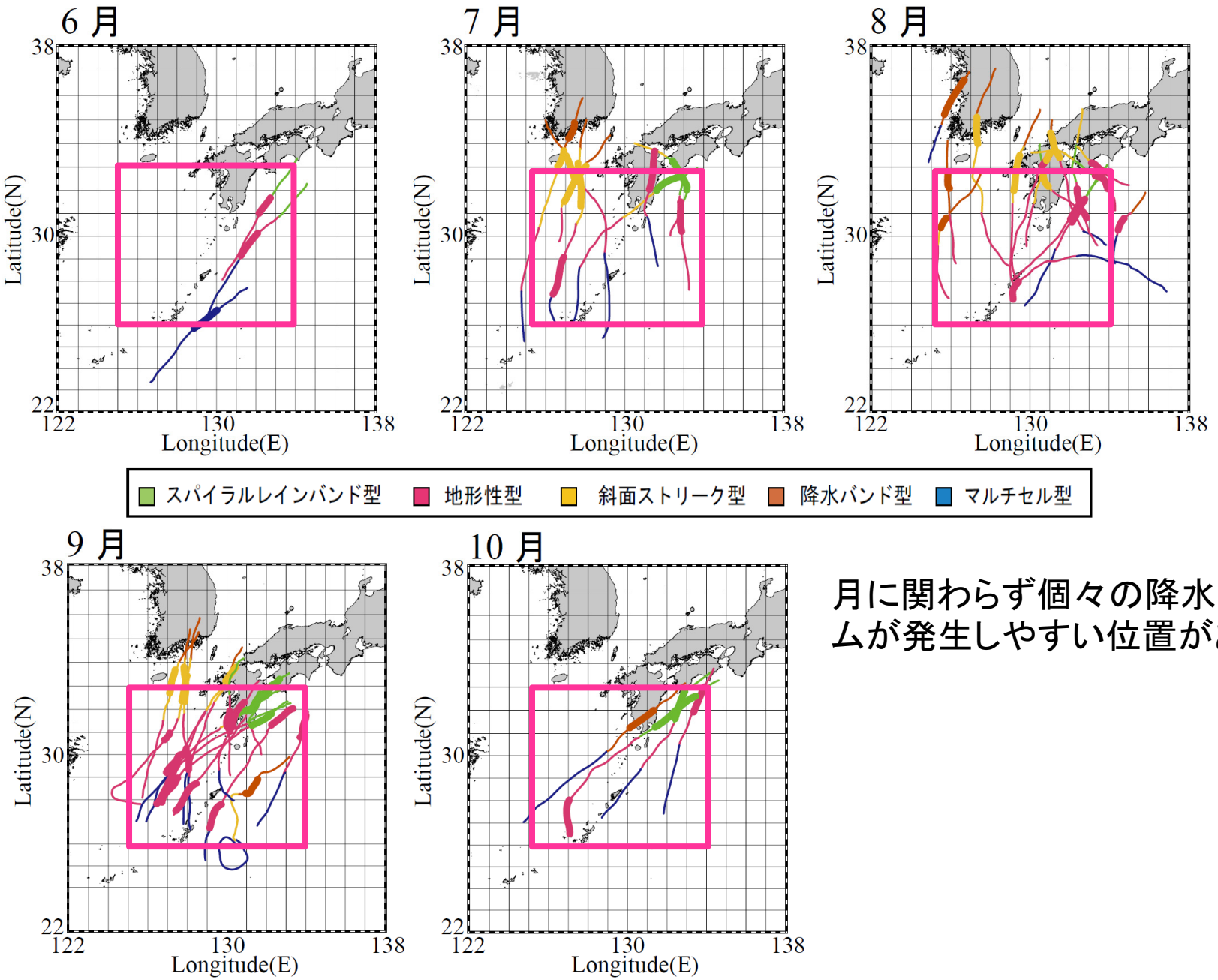
7月19日	3時	62mm/h
	4時	54.5mm/h
	5時	61mm/h
	11時	54.5mm/h

長時間大雨

7月19日　851.5mm/day

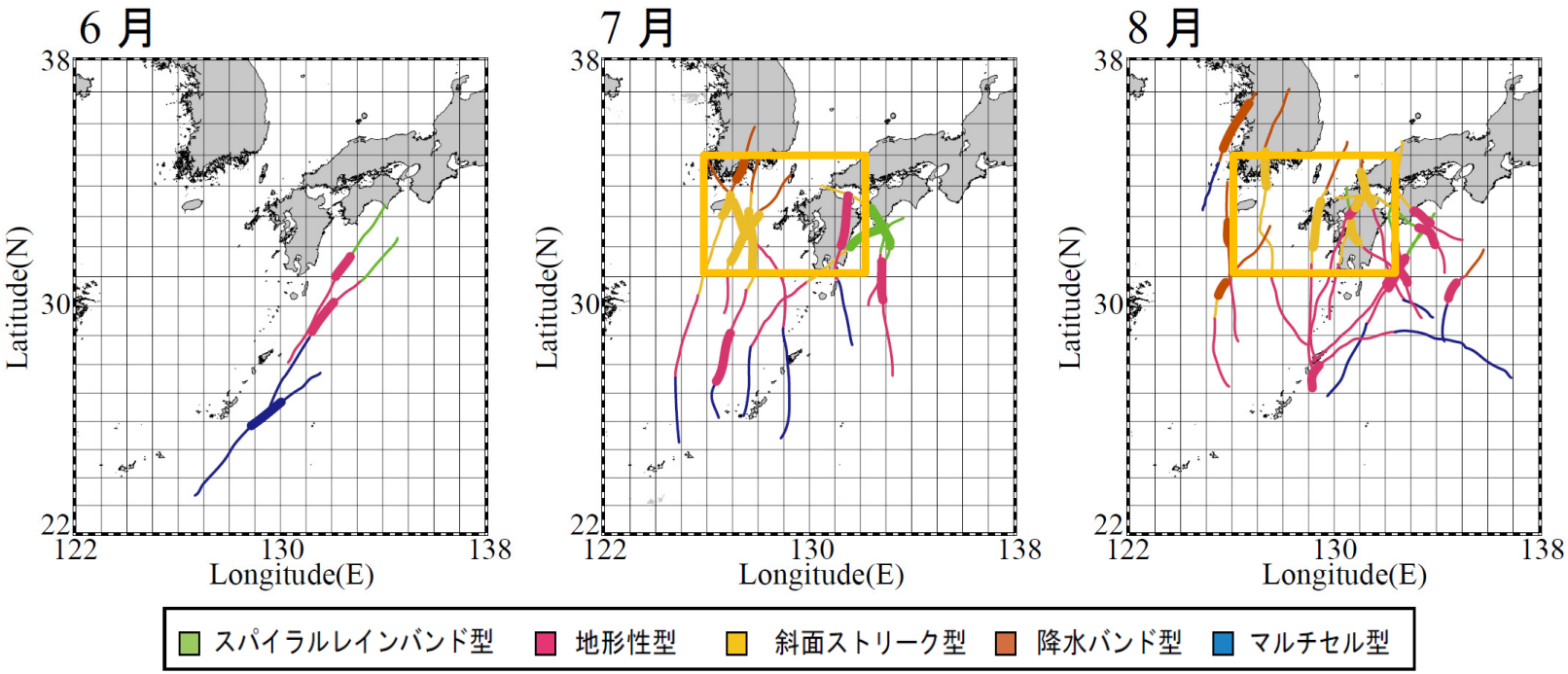


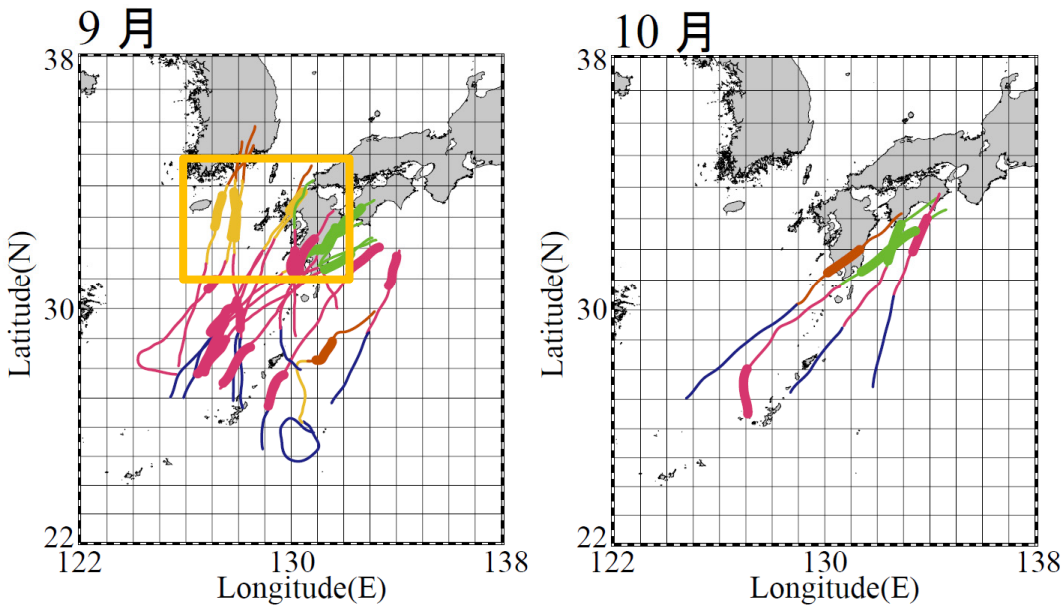
月別台風経路と降水システムの変化



月に関わらず個々の降水システムが発生しやすい位置がある。

月別台風経路と降水システムの変化





月に関わらず個々の降水システムが発生しやすい位置がある。

台風201412号に伴う鏡川の氾濫

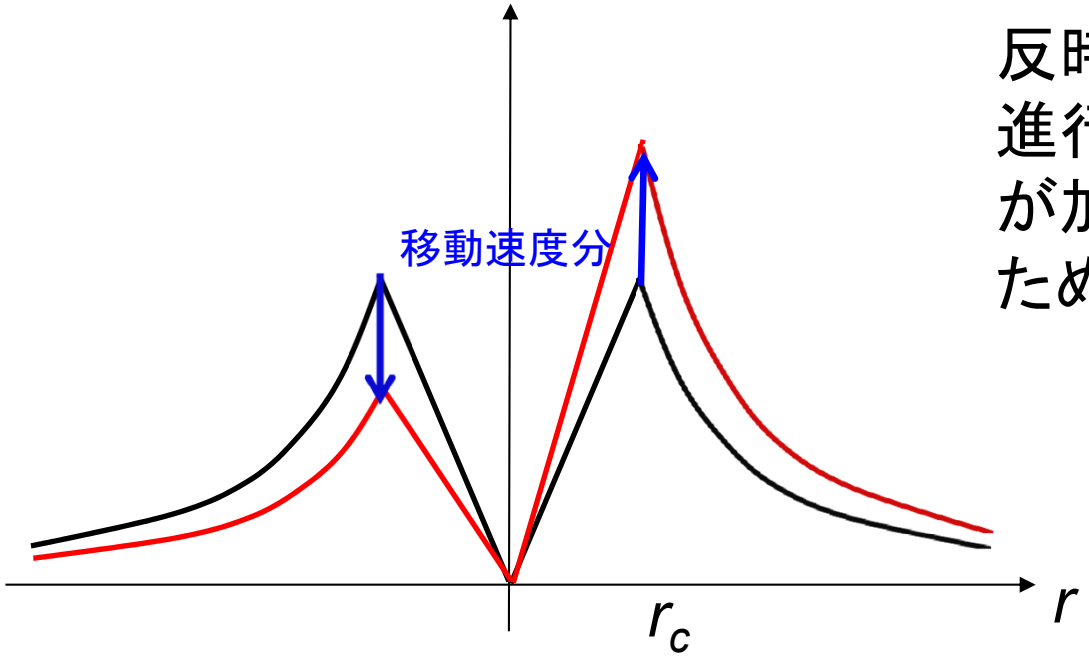
台風に伴う風
竜巻

瞬間風速による影響（日本風工学会編）

瞬間風速 (m/s)	10	20	30	40	50	60以上
風の呼び方	やや強い風		強い風	非常に強い風		猛烈な風
歩行者や屋外作業者	風に向かって歩きにくくなる。傘がさせない。	風に向かって歩けない。転倒する人も出る。高所での作業はきわめて危険	何かにつかまっていないと立っていられない。	屋外での行動は危険。		
樹木・電線など	樹木全体が揺れ始める。電線が揺れ始める。	樹木全体が揺れる。電線が鳴り始める。	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。電線が大きく揺れる。		多くの樹木が倒れる。	
屋外設置物	看板やトタン板がばたつき始める。アンテナが揺れる。	看板やトタン板が外れ始める。	看板が落下・飛散する。	看板が飛散する。道路標識が傾く。	電話ボックスや自動販売機が倒れたり、移動したりする。電柱や街灯が倒れる。ブロック壁が倒壊する。	
走行中の車	道路の吹流しの角度が水平になり、高速運転中では横風に流される感覚を受ける。	高速運転中では、横風に流される感覚が大きくなる。	通常の速度で運転するのが困難になる。	走行中のトラックが横転する。車の走行は危険な状態になる。		
瞬間風速 (m/s)	10	20	30	40	50	60以上
風の呼び方	やや強い風		強い風	非常に強い風		猛烈な風
建造物	樋が揺れ始める。	屋根瓦・屋根葺材がはがれ始める。雨戸やシャッター	屋根瓦・屋根葺材が飛散し始める。外装材がはがれ始める。自転車置き場などのひさしが変形する。固定されていない	屋根瓦・屋根葺材が広範囲にわたって飛散し始める。外装材が飛散し、下地が露出し始める。カーポートなどの屋根が変形する。固定の不十分な金属屋根の葺き材が	屋根瓦・葺材および野地板・下地板が飛散し、小屋組が露出する。外装材が広範囲にわたって飛散し、下地材が露出し始める。老朽化した木造住宅が倒壊する。木造小屋の屋根が骨組みごと飛散し	木造住宅の倒壊が始まる。鉄骨構造物が変形

台風の風と竜巻の風

- 台風の暴風域（25m/s以上）を表す風速は10分間平均風速。広範囲に強風が吹くが、瞬間的にはその1.5倍以上の風が局所的に吹く。
- 竜巻は極めて短時間に通りすぎるため、平均風速でなく瞬間風速で表す。竜巻の強さを表すFujitaスケールは数秒平均の風速。例えばF1ならば、33m/s～49m/s



反時計まわりの渦巻きならば、進行方向の右手は移動速度分が加わり、左手は差し引かれるため、速度分布が非対称になる。

台風の右半円は危険

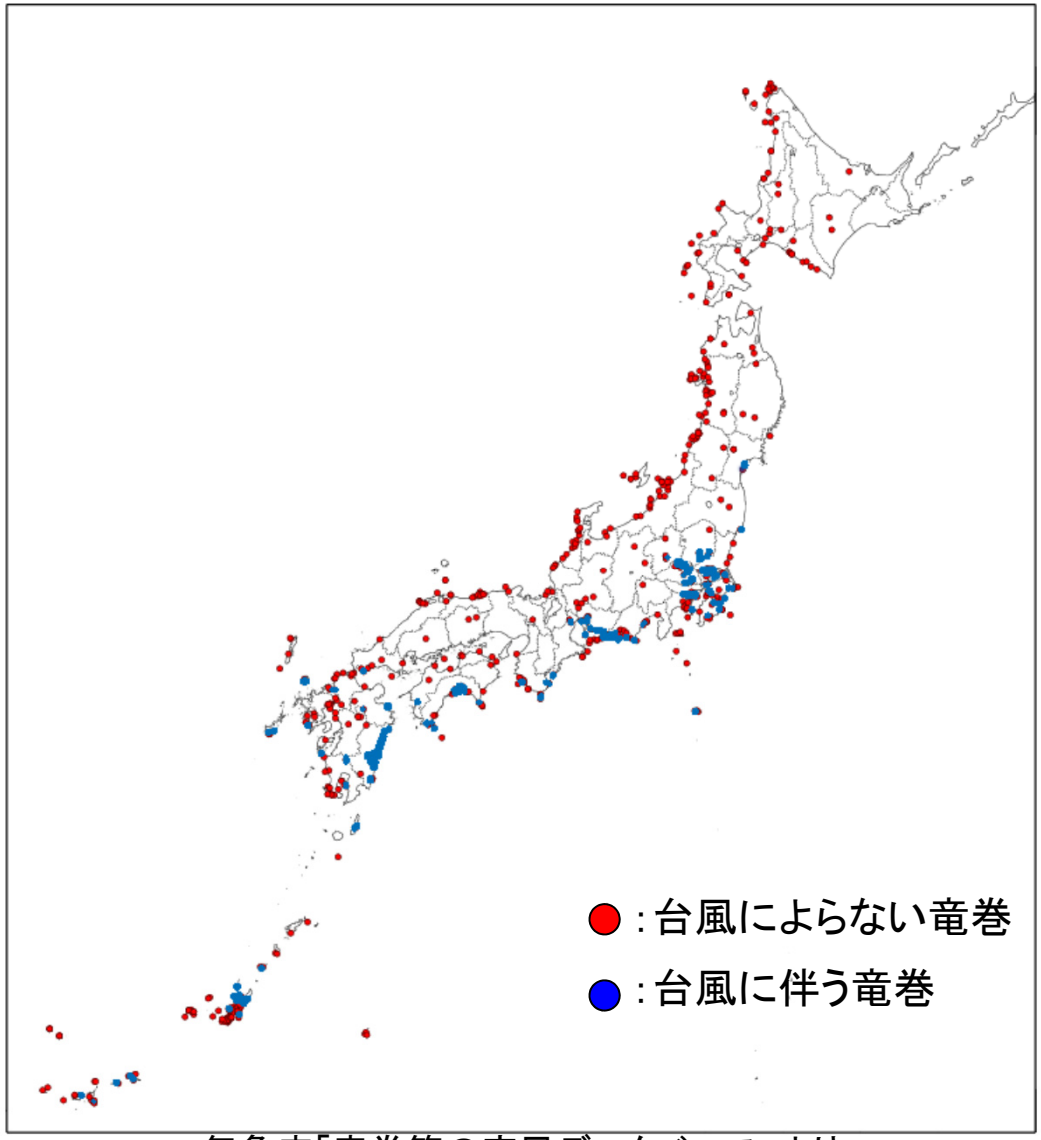
台風201411号の強風による被害

広範囲に被害

台風200423号による局所的な倒木被害

直径40mほどの楕円部分のみ倒木（高知県大川村）

日本の竜巻発生状況



気象庁「竜巻等の突風データベース」より

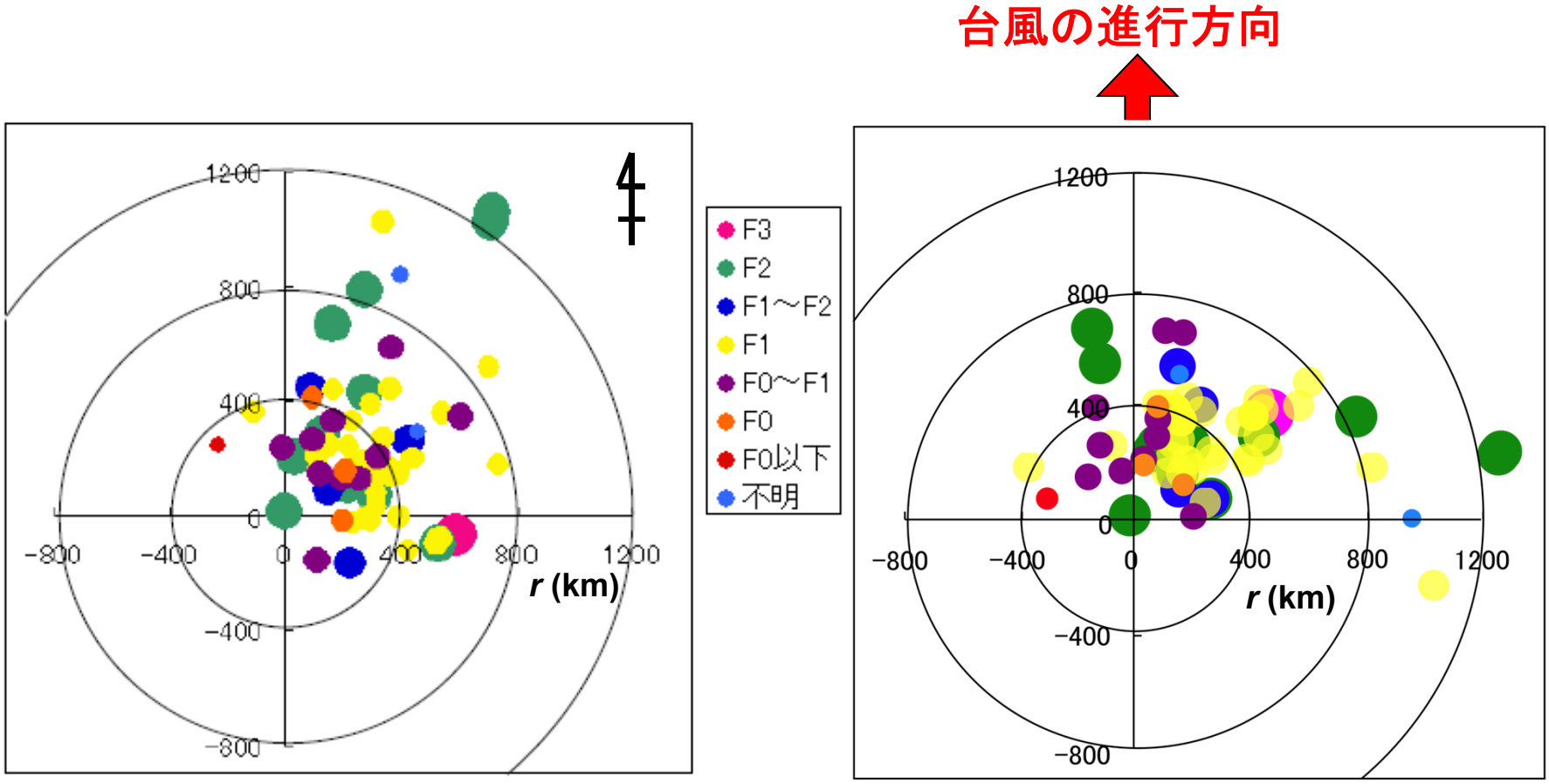
- 竜巻は海岸線沿いが多い
- 台風に伴う竜巻はほとんど太平洋沿岸の海岸線で発生している
- 関東地方では内陸部でも発生している

1991年~2013年の
竜巻発生件数

都道府県	発生件数
沖縄県	42
北海道	38
高知県	29
宮崎県	23
鹿児島県	22

気象庁竜巻等突風データベースより

台風に伴う竜巻の発生場所（その1）

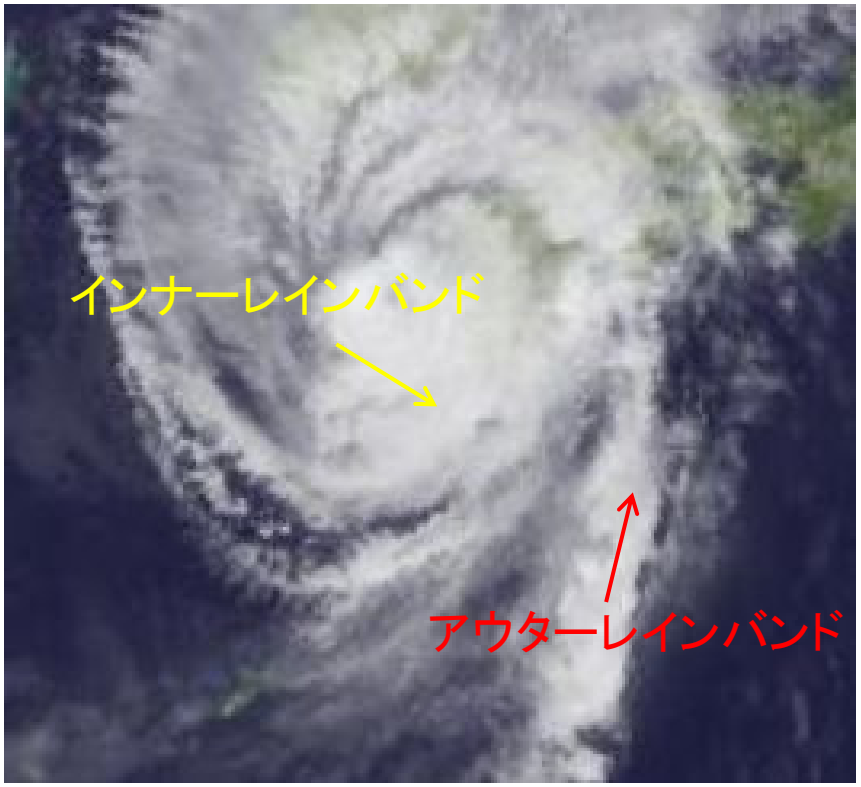


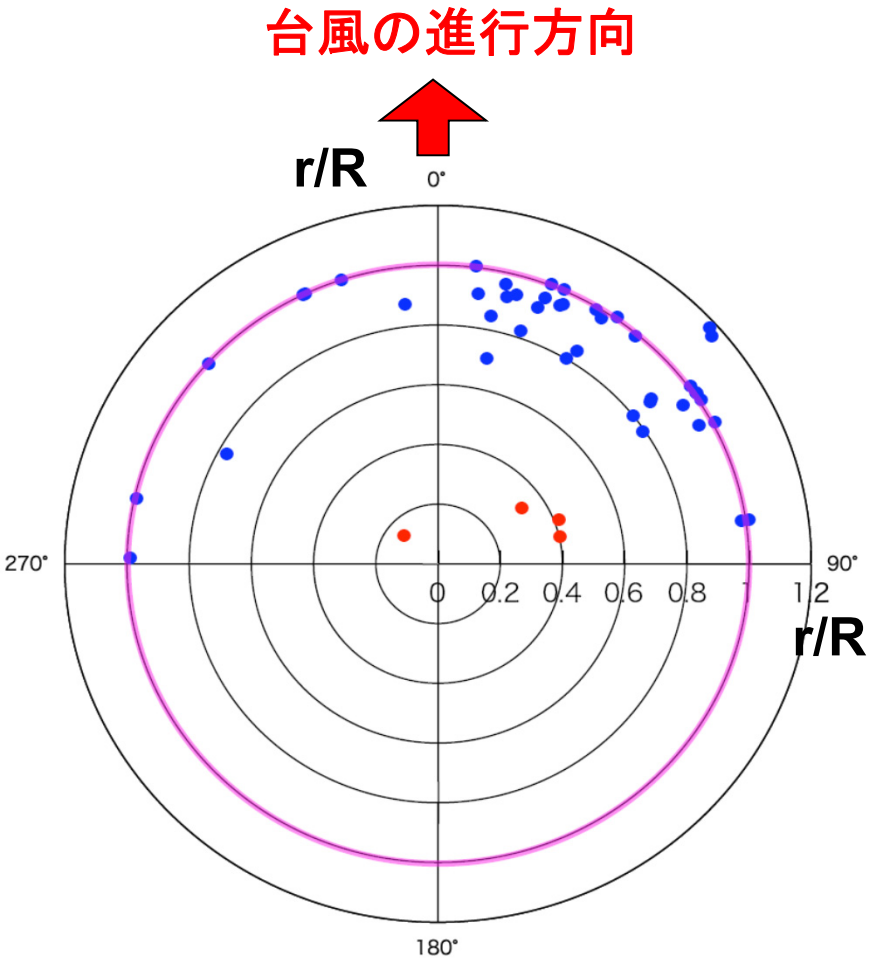
北東象限は危険

台風進行方向の前面は危険

(1961～2009年に発生した46個の台風に伴う66個の竜巻）

台風に伴う竜巻の発生場所（その2）

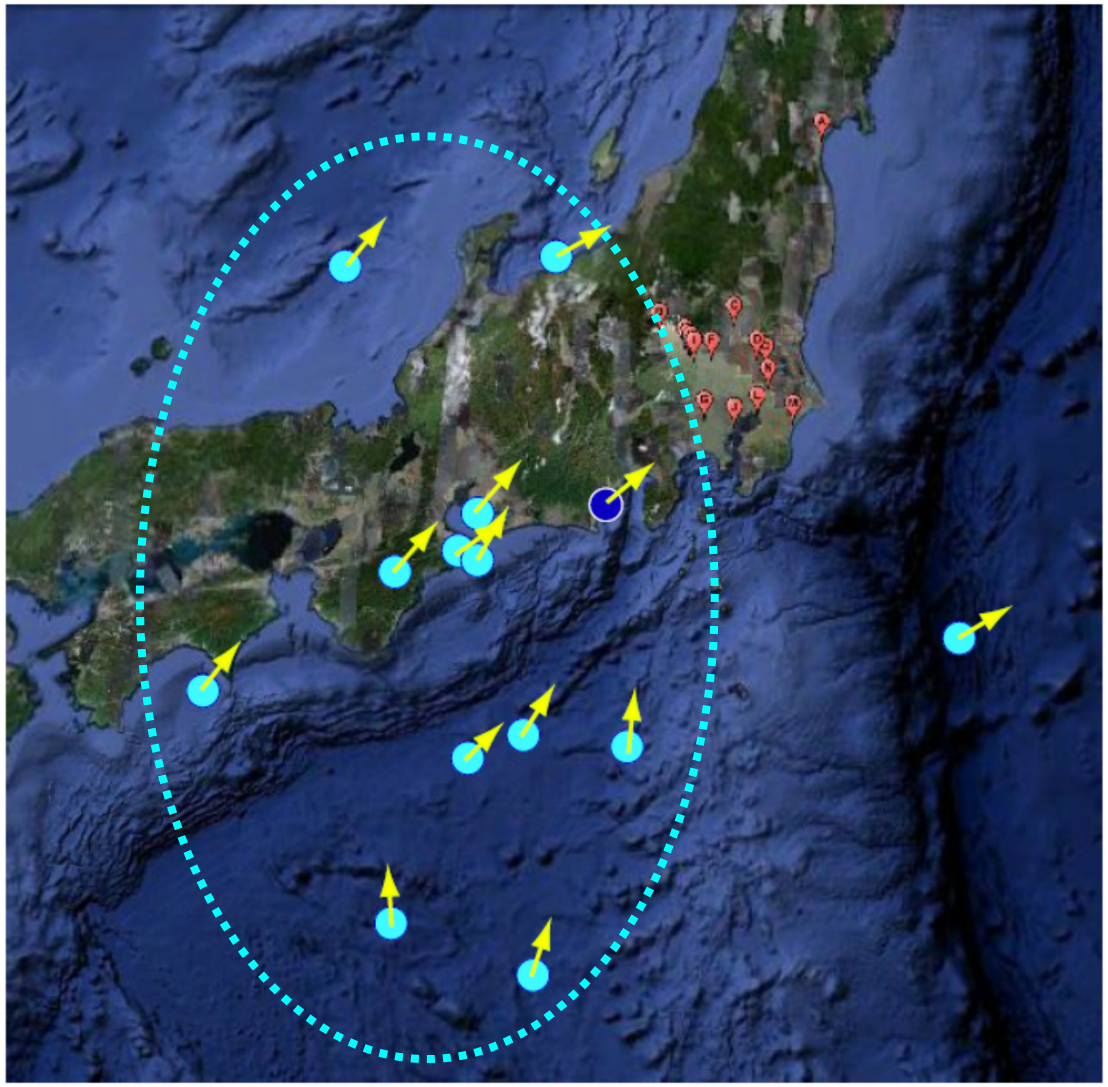




● アウターレインバンドで発生した竜巻
● インナーレインバンドで発生した竜巻

台風の直接の影響下で発生した竜巻のうち、90%はアウターレインバンドで発生
つまり、台風中心から離れているからといって油断は禁物！

関東で発生した台風に伴う竜巻と台風位置



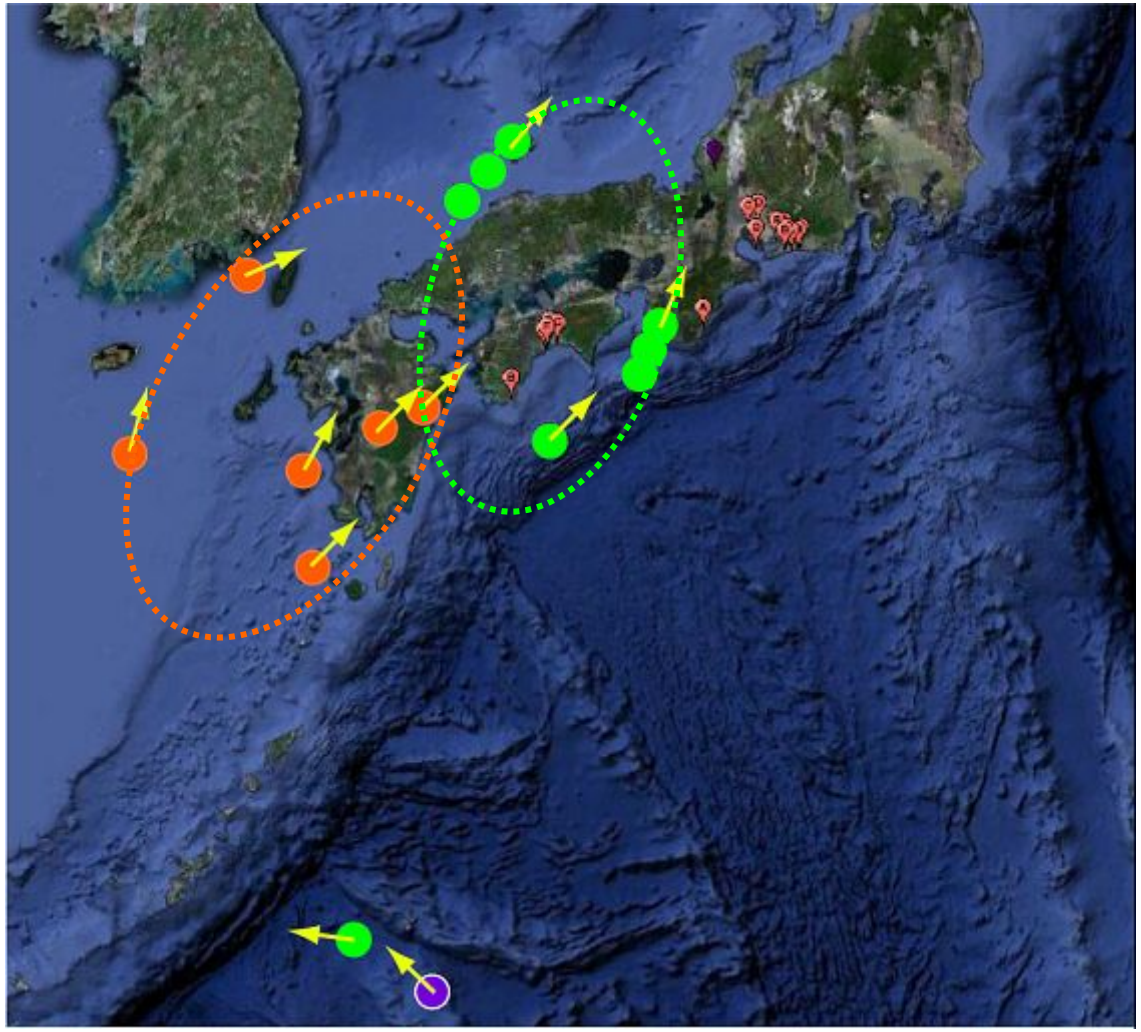
◎関東で発生する場合
台風の中心が
四国～東海にある

- 東北地方における竜巻発生時の台風中心位置
- 関東地方における竜巻発生時の台風の位置

台風のアウターレインバンドがかかっていない遠方でも竜巻が発生する。

2013年9月2日越谷竜巻は沖縄の北西にあった台風201317号と停滞前線によって水蒸気が太平洋から供給された。

四国～東海で発生した竜巻の台風中心との位置関係

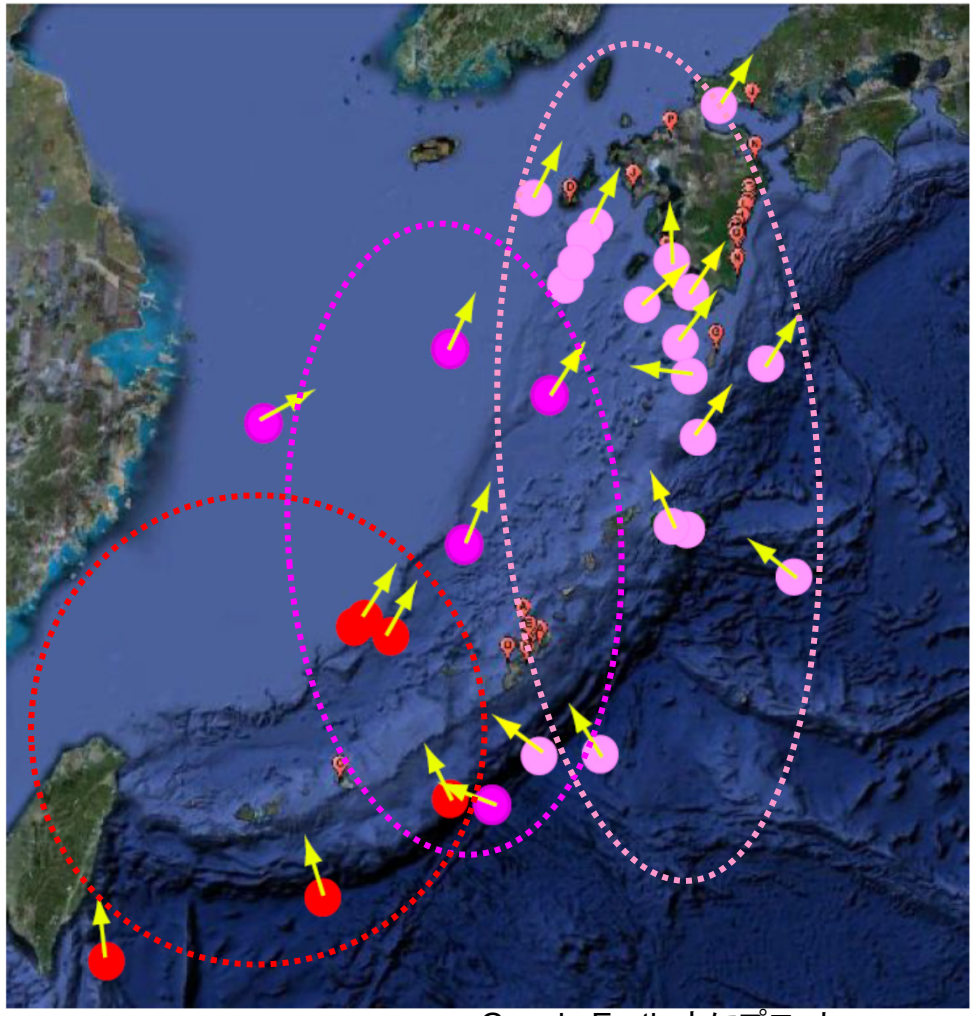


◎東海で発生する場合
　台風の中心が四国～近畿地方にある

◎四国で発生する場合
　台風の中心が九州～九州の西海上にある

- 東海地方における竜巻発生時の台風の位置
- 四国地方における竜巻発生時の台風の位置
- 近畿地方における竜巻発生時の台風の位置

九州～沖縄で発生した竜巻の台風中心との位置関係



Google Earth 上にプロット

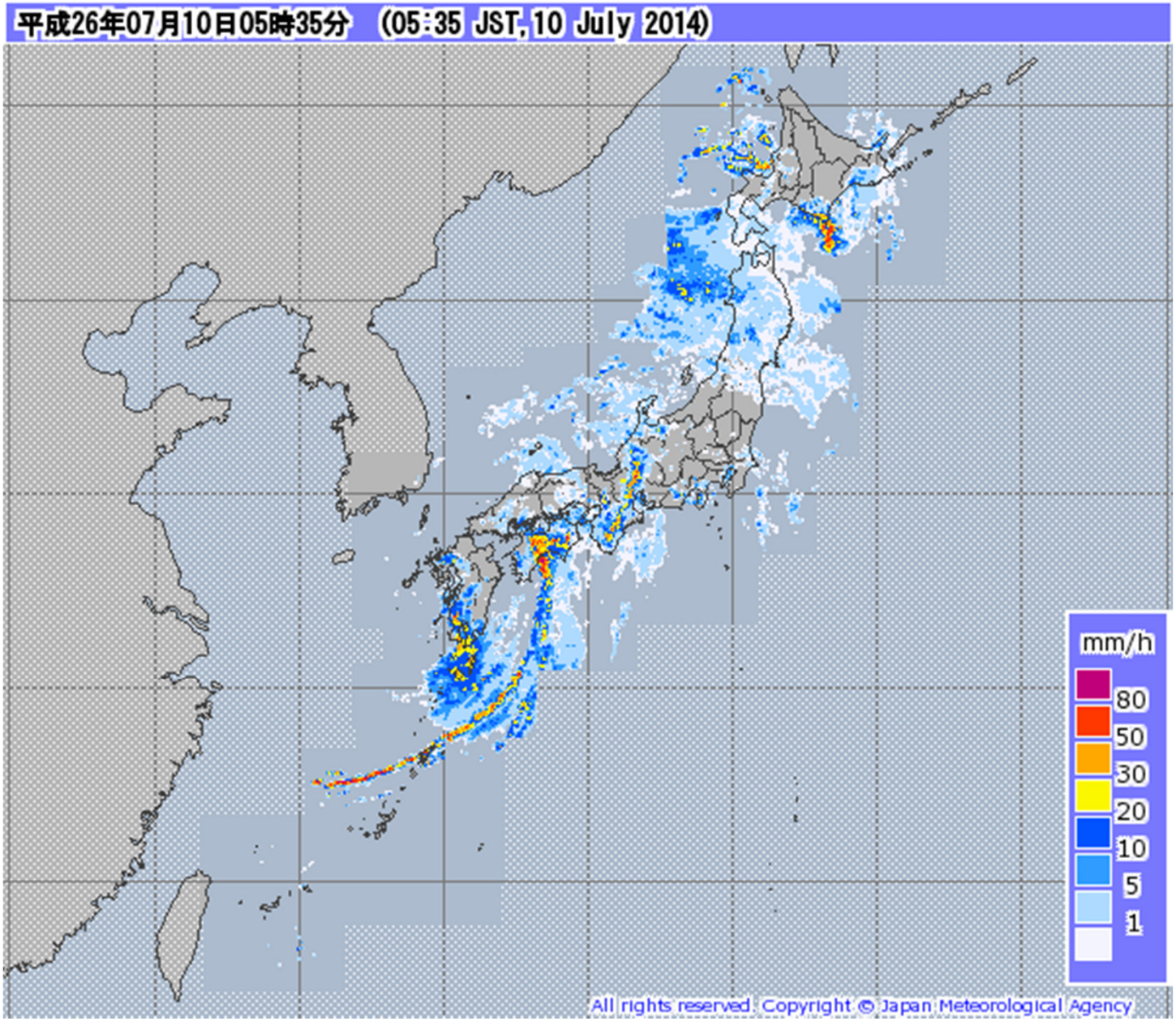
◎沖縄で発生する場合
台風の中心が沖縄の西の海上にある

◎九州の西部で発生する場合
台風の中心が沖縄付近の海上にある

◎九州の東部で発生する場合
台風の中心が九州に近い西の海上にある

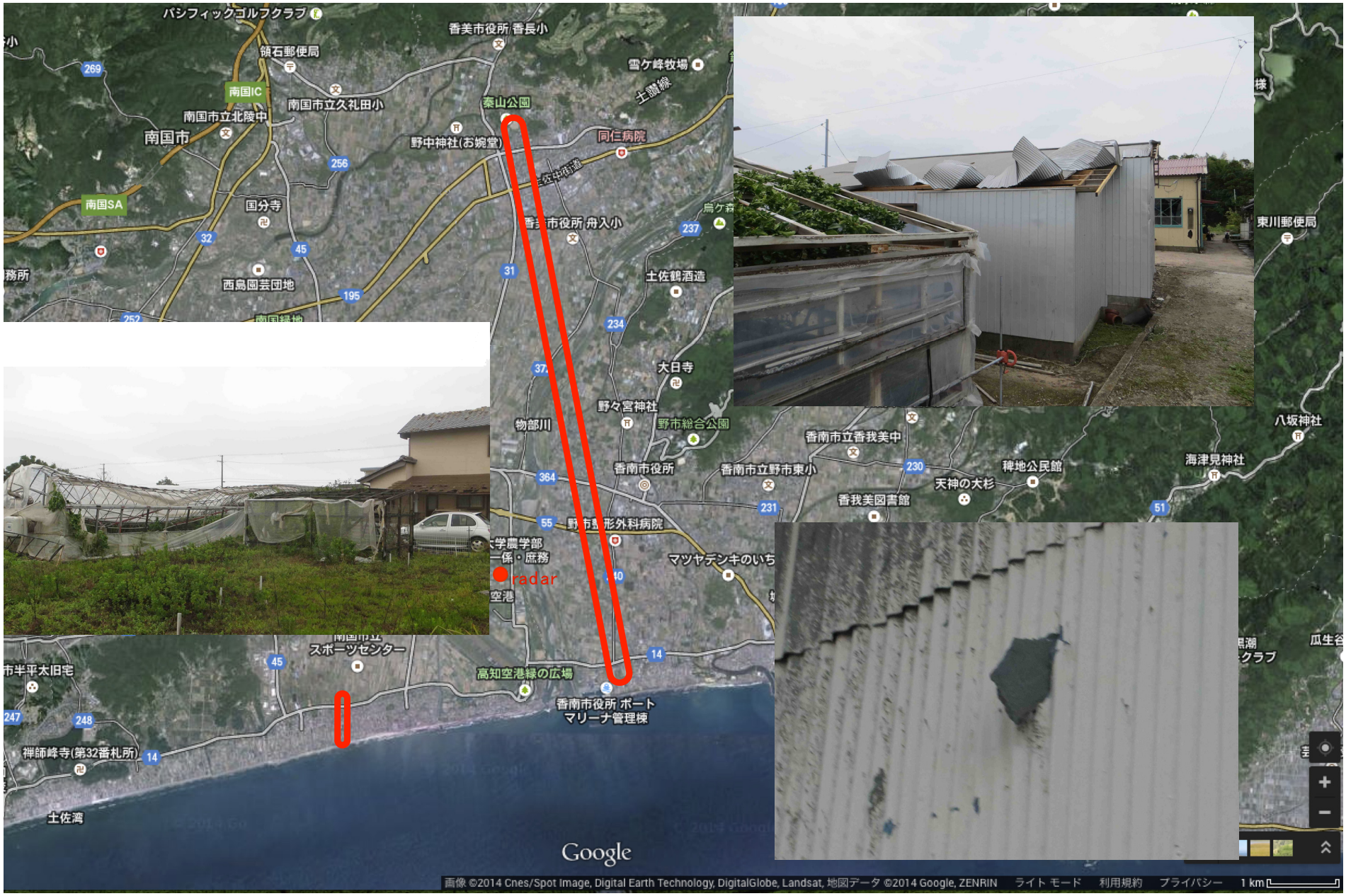
- 九州地方東部における竜巻発生時の台風の位置
- 九州地方西部における竜巻発生時の台風の位置
- 沖縄の竜巻発生時の台風の位置

台風201408号に伴う高知の竜巻



台風中心は
九州の西海
上にある。
高知に強いレ
インバンドが
かかったとき
竜巻が発生。

2014年7月10日の竜巻被害



突風･強風で最も危険なものは飛散物

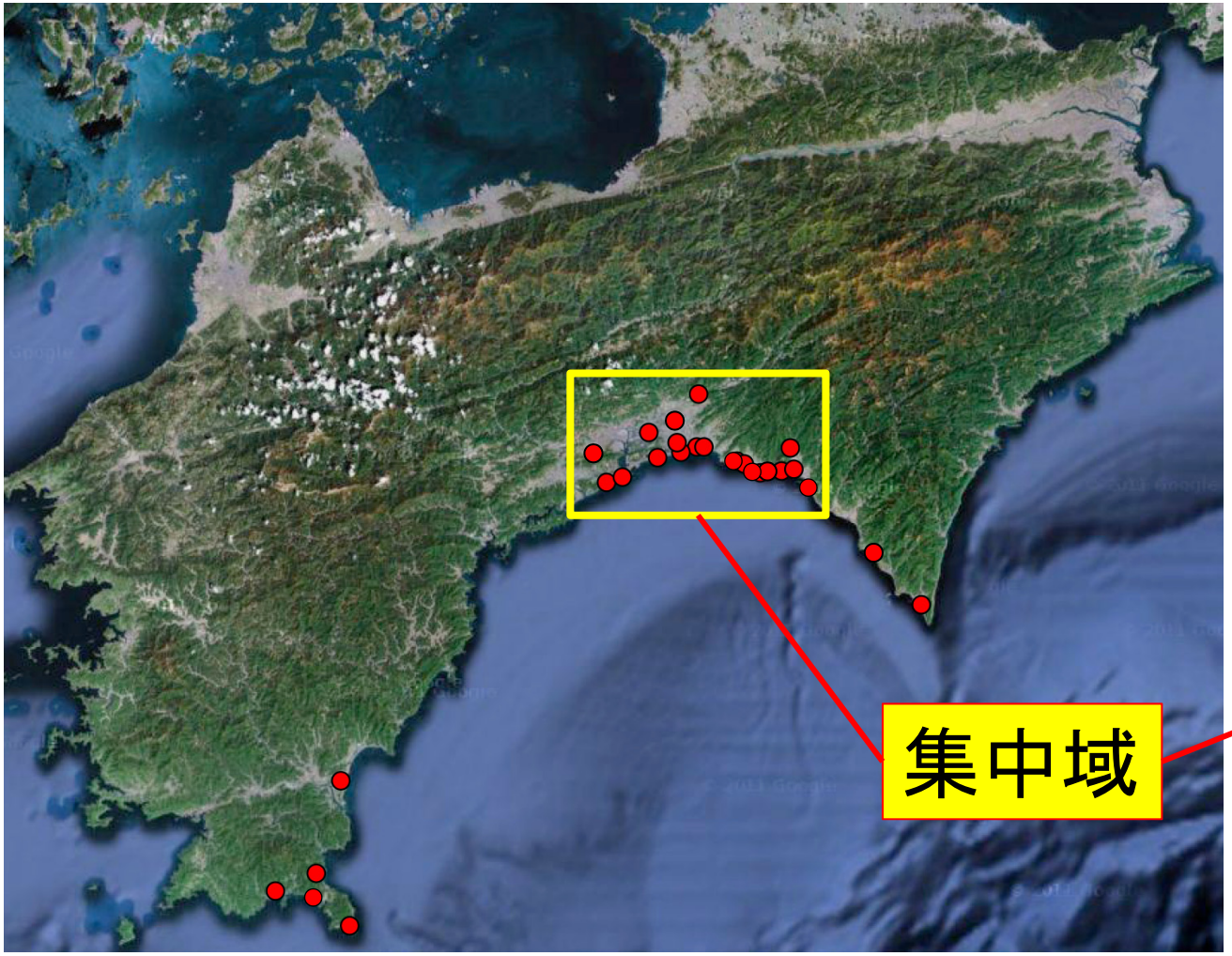
佐呂間竜巻の被害

- 家の中にいても壁をつきぬけてくるものもある。
- 飛散物により風下の家の窓ガラスが割れると、それにより家の中に強い風が入り、屋根が破壊される。

対　策

- 外を覗かず、窓や壁から離れる。
- 雨戸と厚手のカーテンを閉める。
- ソファの陰や窓のない家の中心部（浴室，クローゼット，物置など）に逃げ込む。

高知県内の竜巻発生域



被害あり(陸上竜巻)

28個

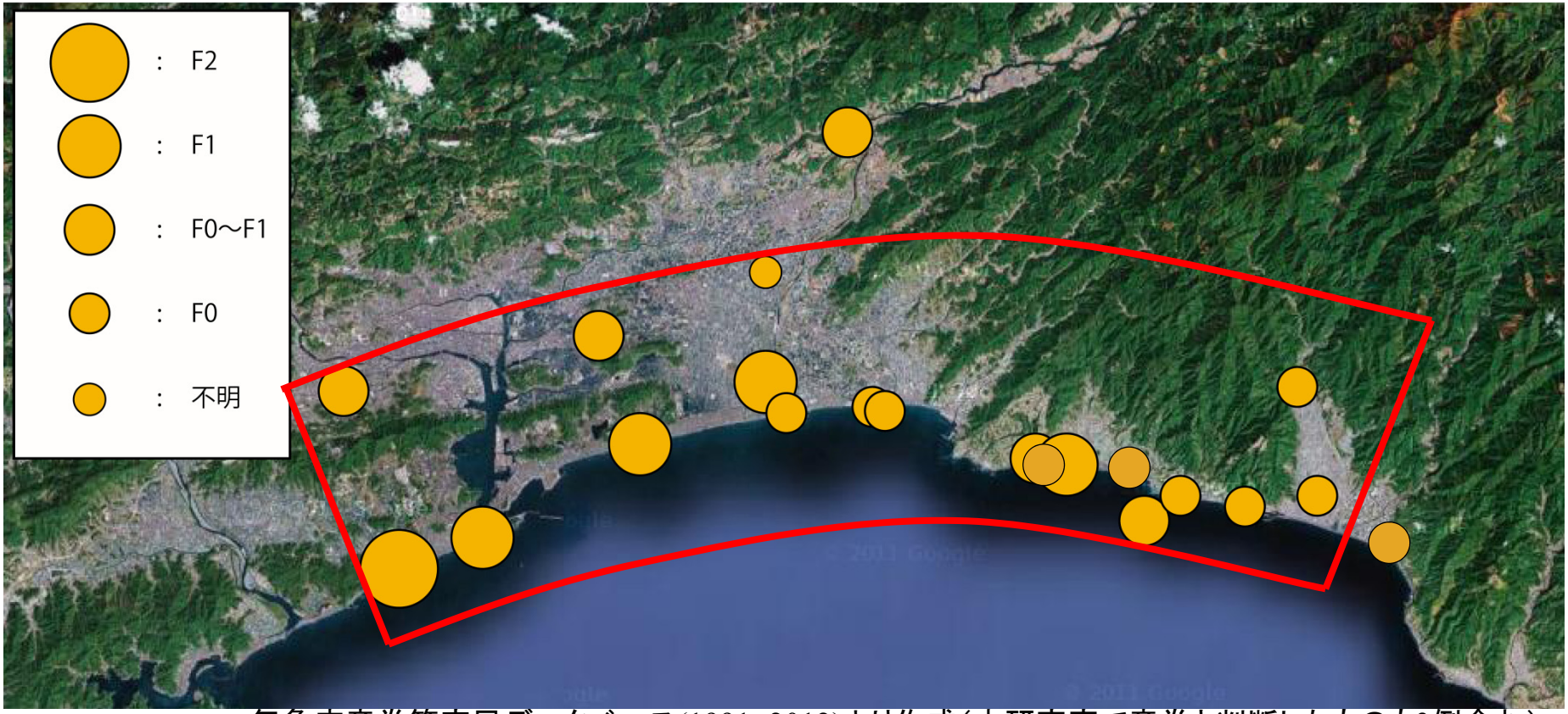
本研究室での被害調査により
竜巻と判断したものも4例含む

過去22年間で毎年
1つ以上竜巻発生

21/28個(75%)

気象庁竜巻等突風データベース(1991~2012)より作成
Googleマップに加筆

高知県の竜巻集中域



気象庁竜巻等突風データベース(1991~2012)より作成（本研究室で竜巻と判断したものも3例含む）
Googleマップに加筆

100km四方での年間竜巻発生数は約32個
発生件数の多い米国オクラホマ州(Niino et al. 1997)の11倍もの数
沖縄（本島南部）→約13個
宮崎（延岡市 - 川南町沿岸）→約15個

竜巻の分類

・スーパーセル竜巻

内部に強い回転上昇流（メソサイクロン）を伴う積乱雲によって発生する竜巻。一般に強度が強い。

台風に伴うものはスーパーセル竜巻の場合がある。

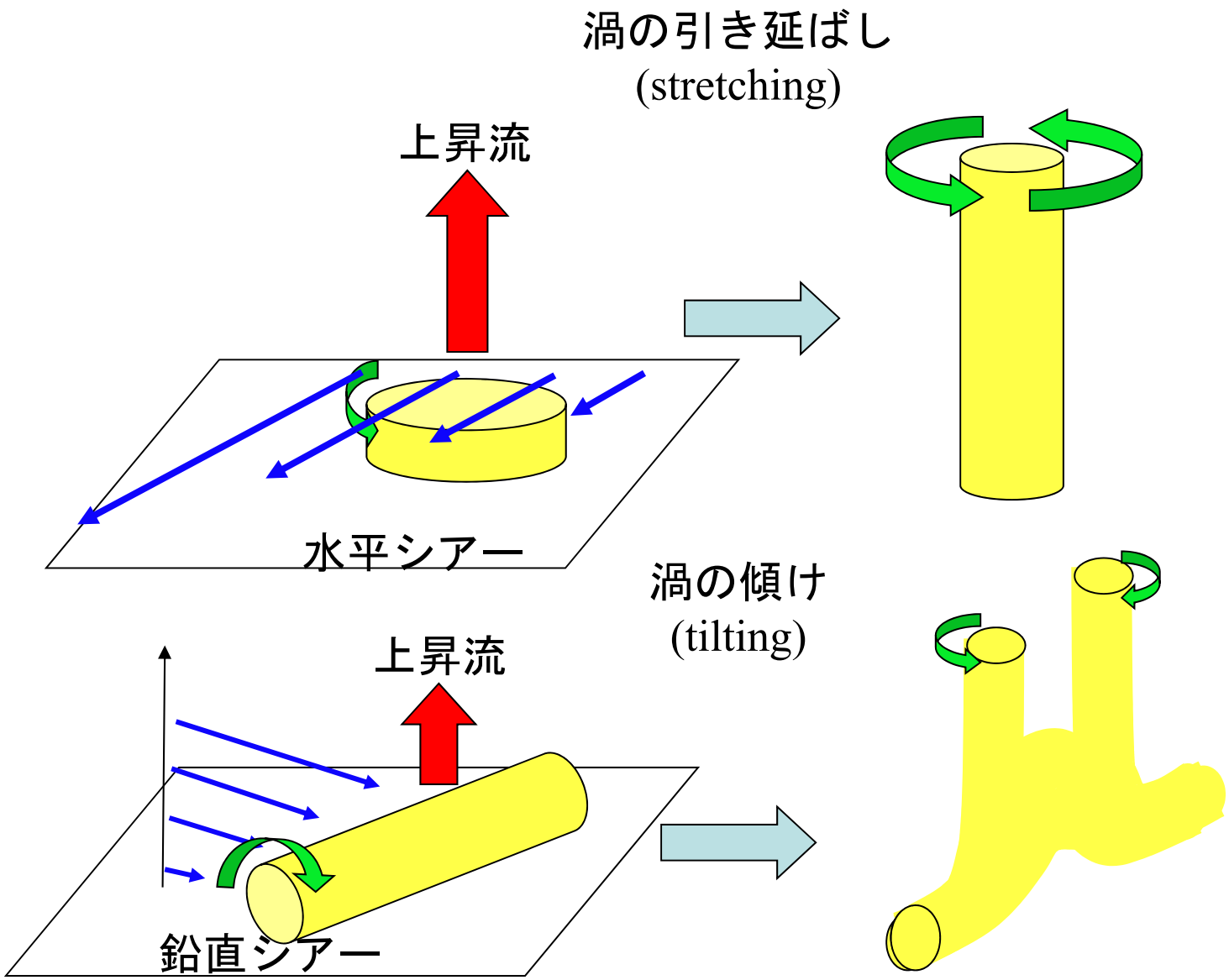
関東平野内陸ではスーパーセル竜巻が起きる。

・非スーパーセル竜巻

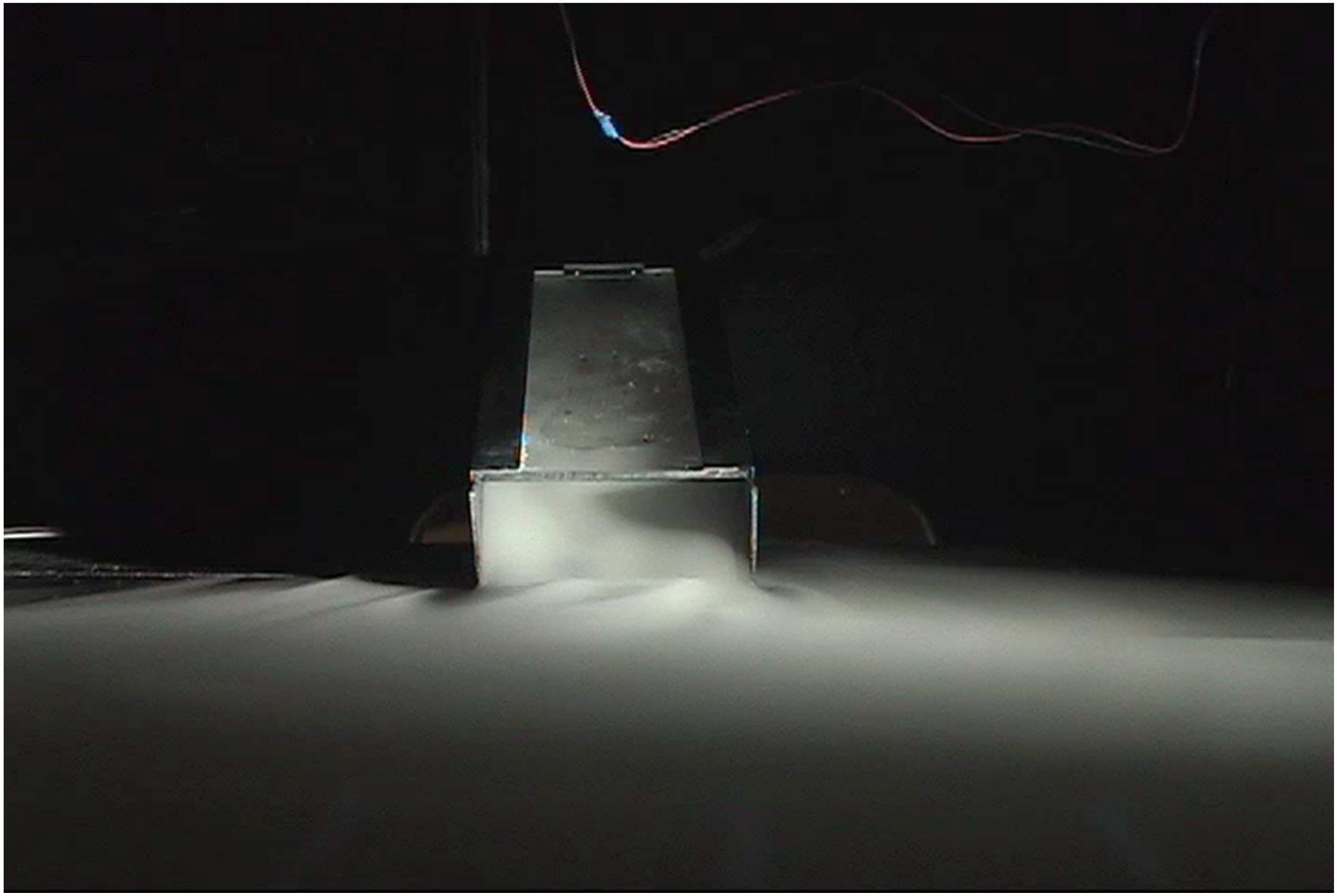
気流の収束線などに沿って発生した積雲などによってできる竜巻。一般に強度は弱い。

高知県のほとんどの竜巻は非スーパーセル竜巻。

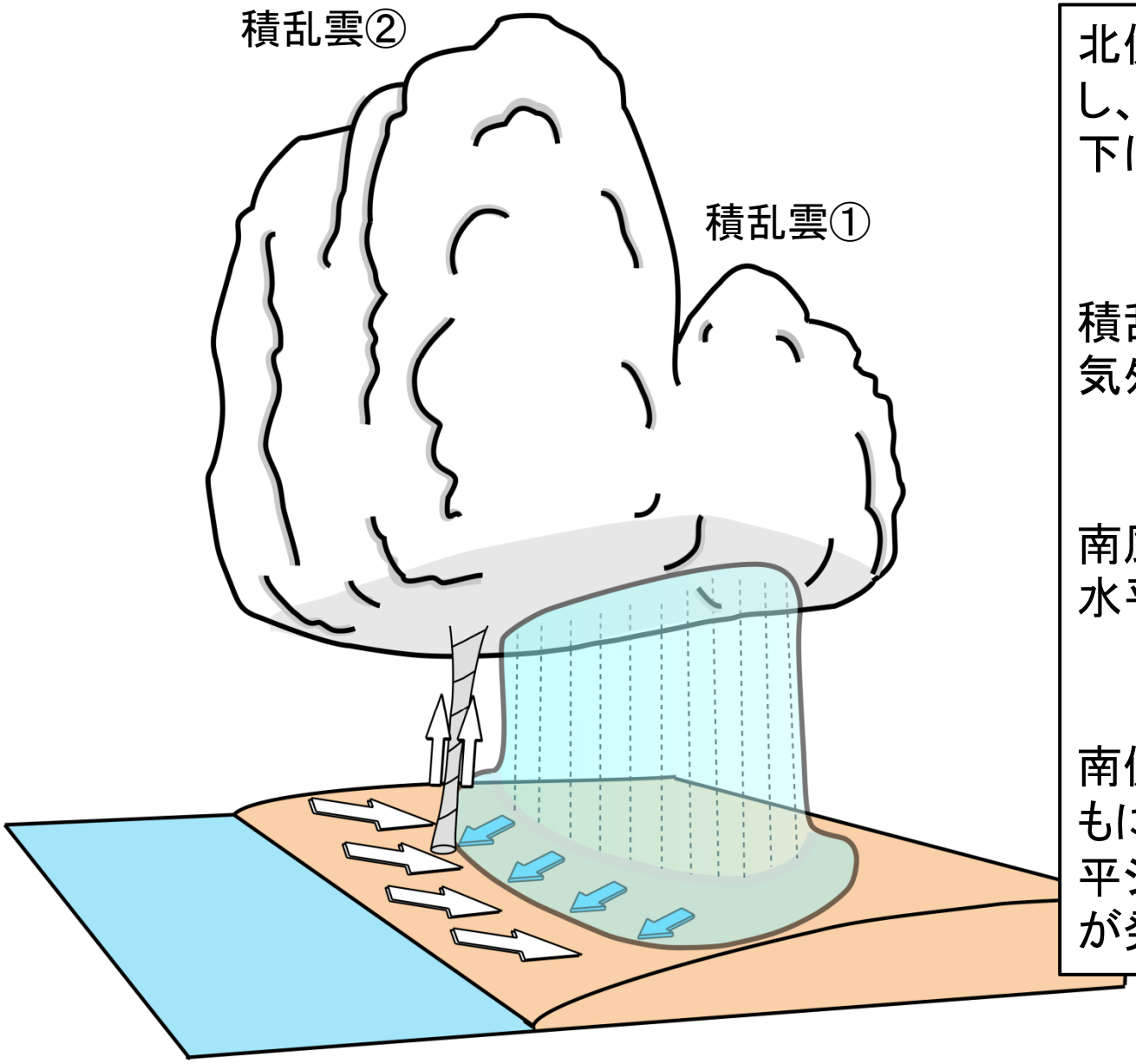
竜巻になる鉛直渦のでき方



竜巻の再現実験



非スーパーセル竜巻の生成メカニズム例



北側の積乱雲①は先に発達し、激しい降水により、その下に冷気プールを形成

↓

積乱雲①から南に向けて冷気外出流が発生

↓

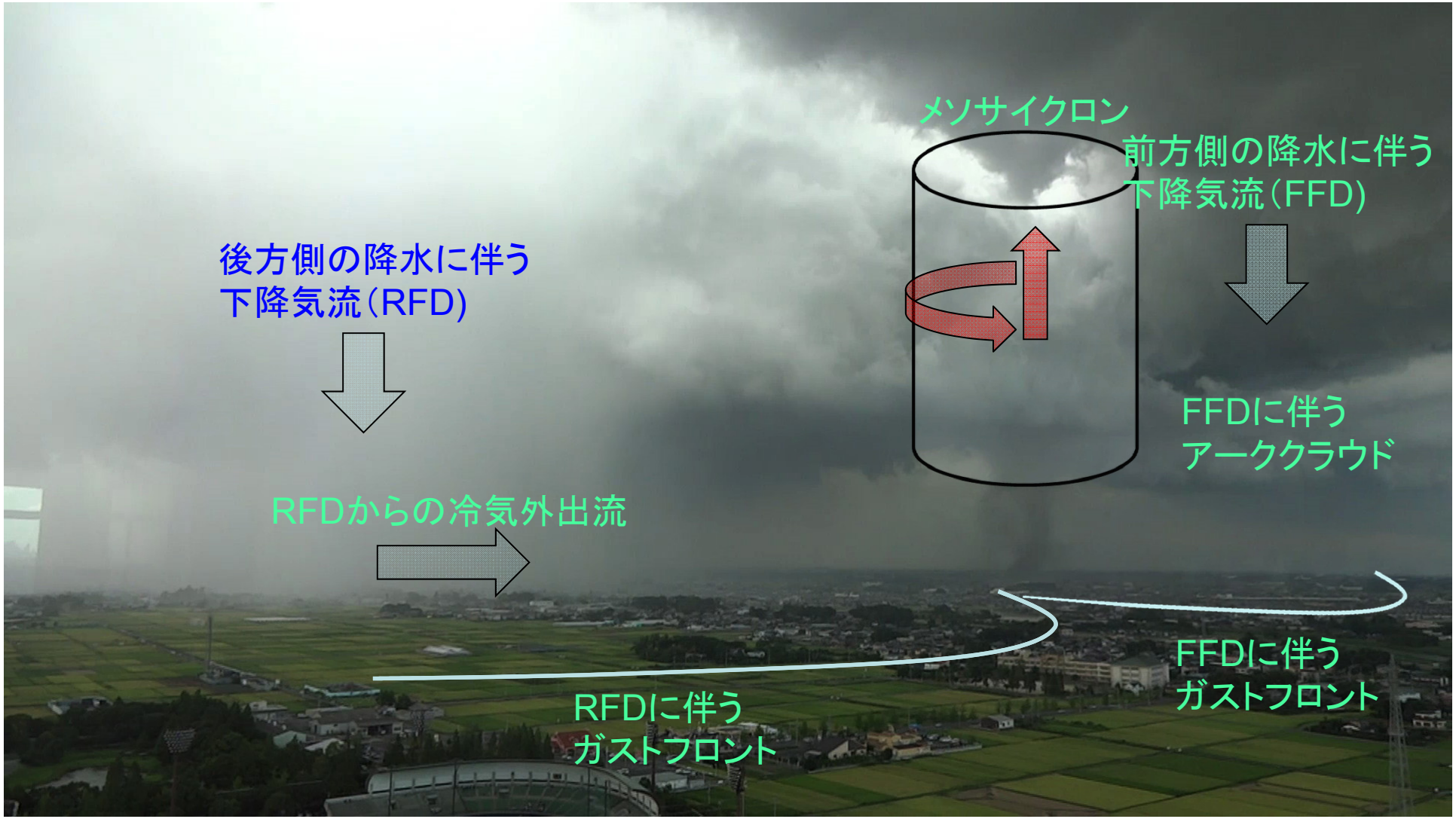
南風一般場との収束線上に水平シアーが形成される

↓

南側の積乱雲②の発達とともに強い上昇流が地上の水平シアーを引き延ばし竜巻が発生する

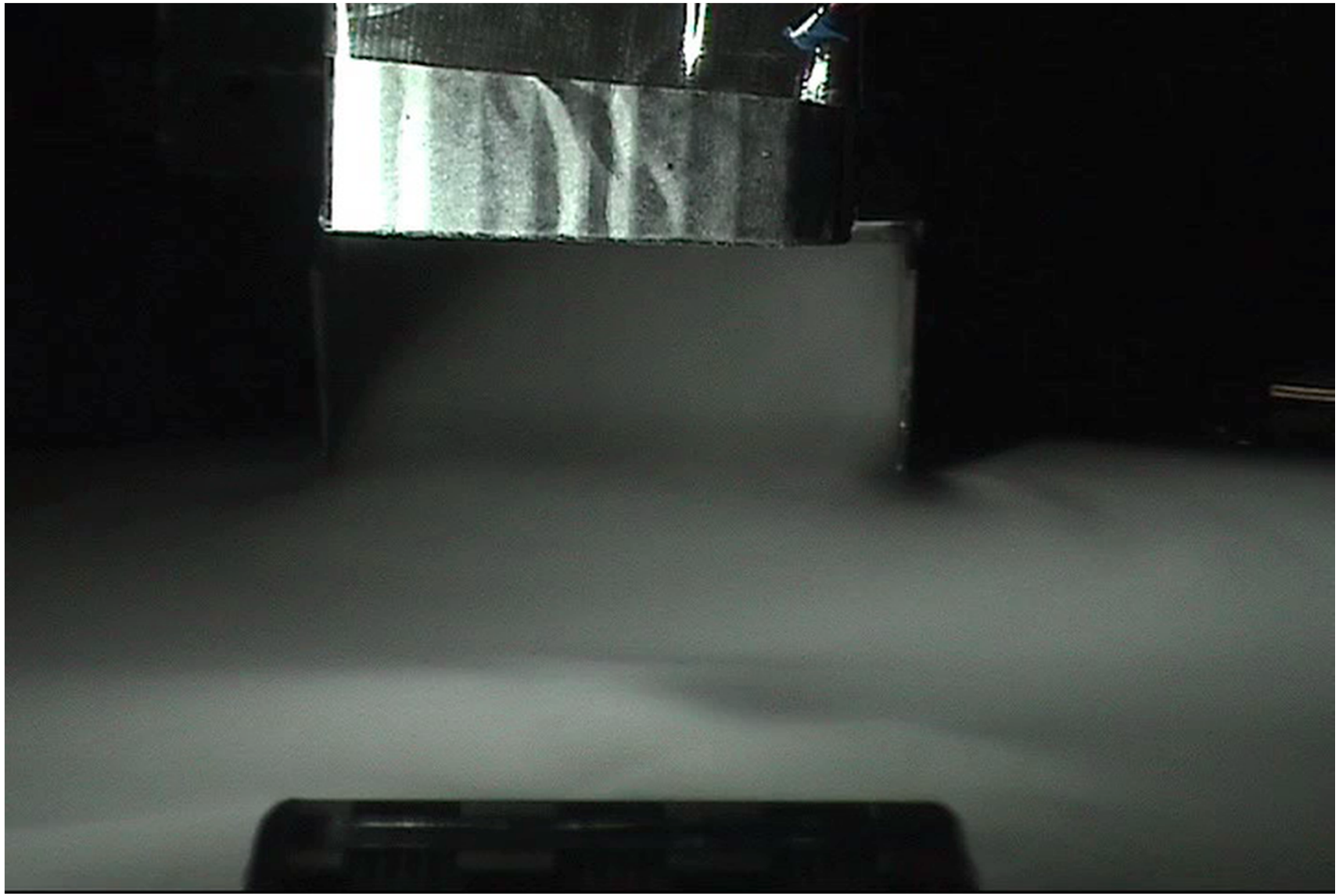
スーパーセルとは？

2013年さいたま竜巻親雲のスーパーセル（押井氏撮影）



スーパーセルは気流が循環できるため長時間持続し、それ自身で竜巻発生機構をもつ。

メソサイクロンができる様子



大気境界層の強い鉛直シアーを積乱雲の上昇流が引っ張りあげる

竜巻発生の予測

極めて大規模なものを除き、竜巻を直接検知できる測器はない。
レーダーはその上空の渦を捉えるだけ

- スーパーセル竜巻

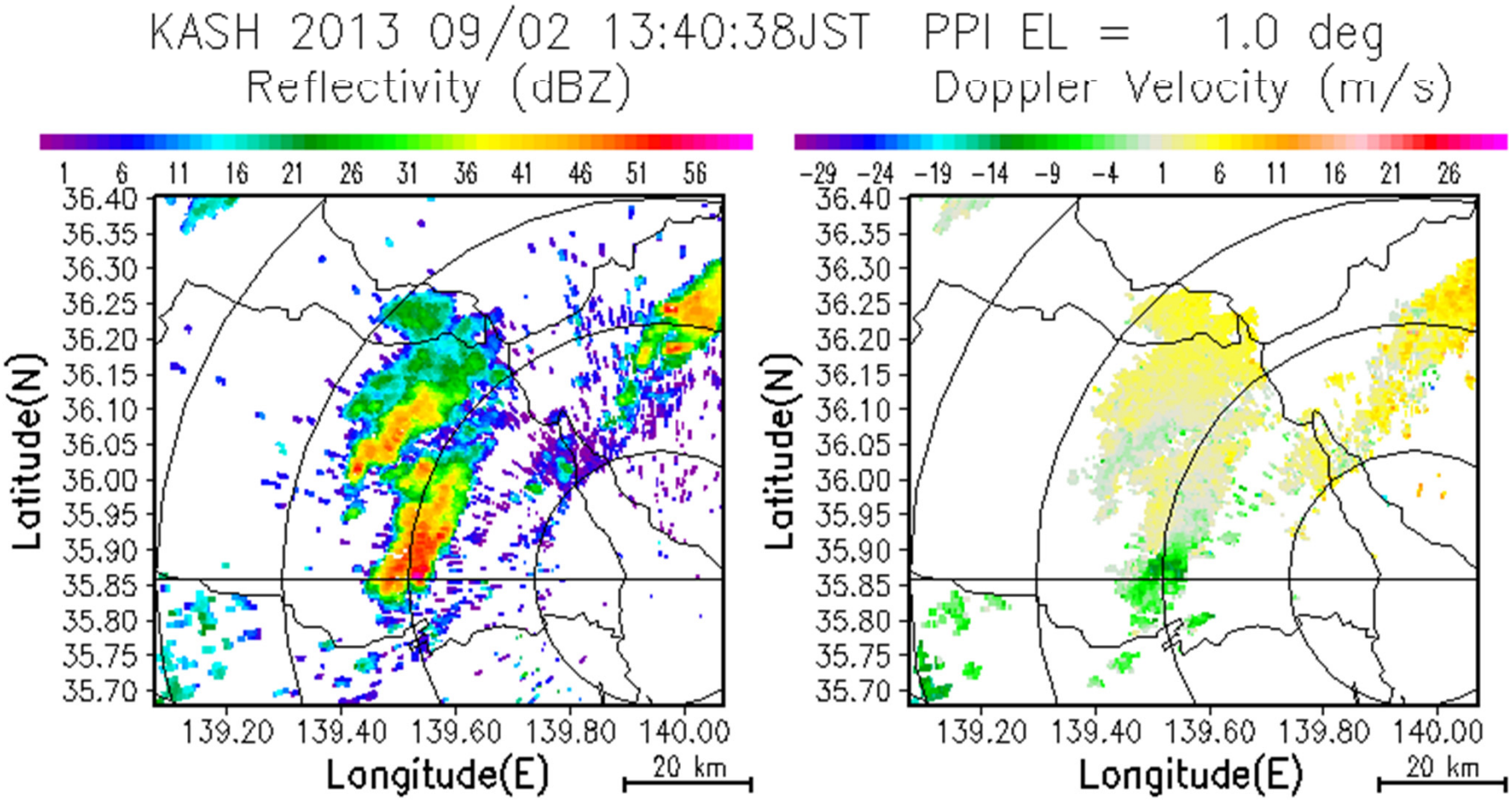
　スーパーセル内のメソサイクロンをレーダーで検出することにより、竜巻発生の環境が整ったことがわかる。

米国では竜巻警報（20~25%）、日本では竜巻注意情報

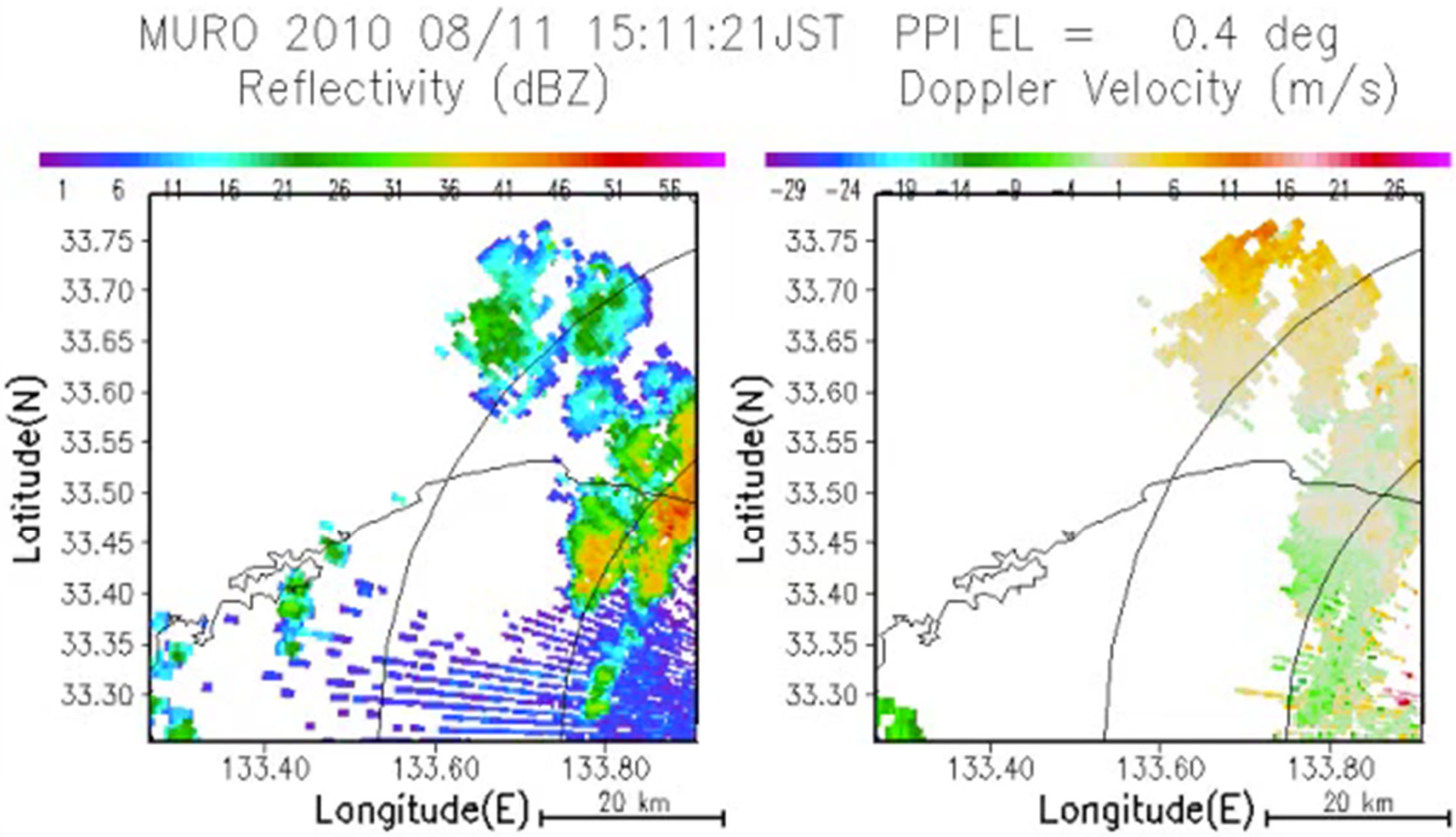
- 非スーパーセル竜巻

　レーダーで見える渦は竜巻発生と同時に発生するため、予測は不可能。積乱雲が発達しやすい指標により竜巻注意情報を出す（4~5%）

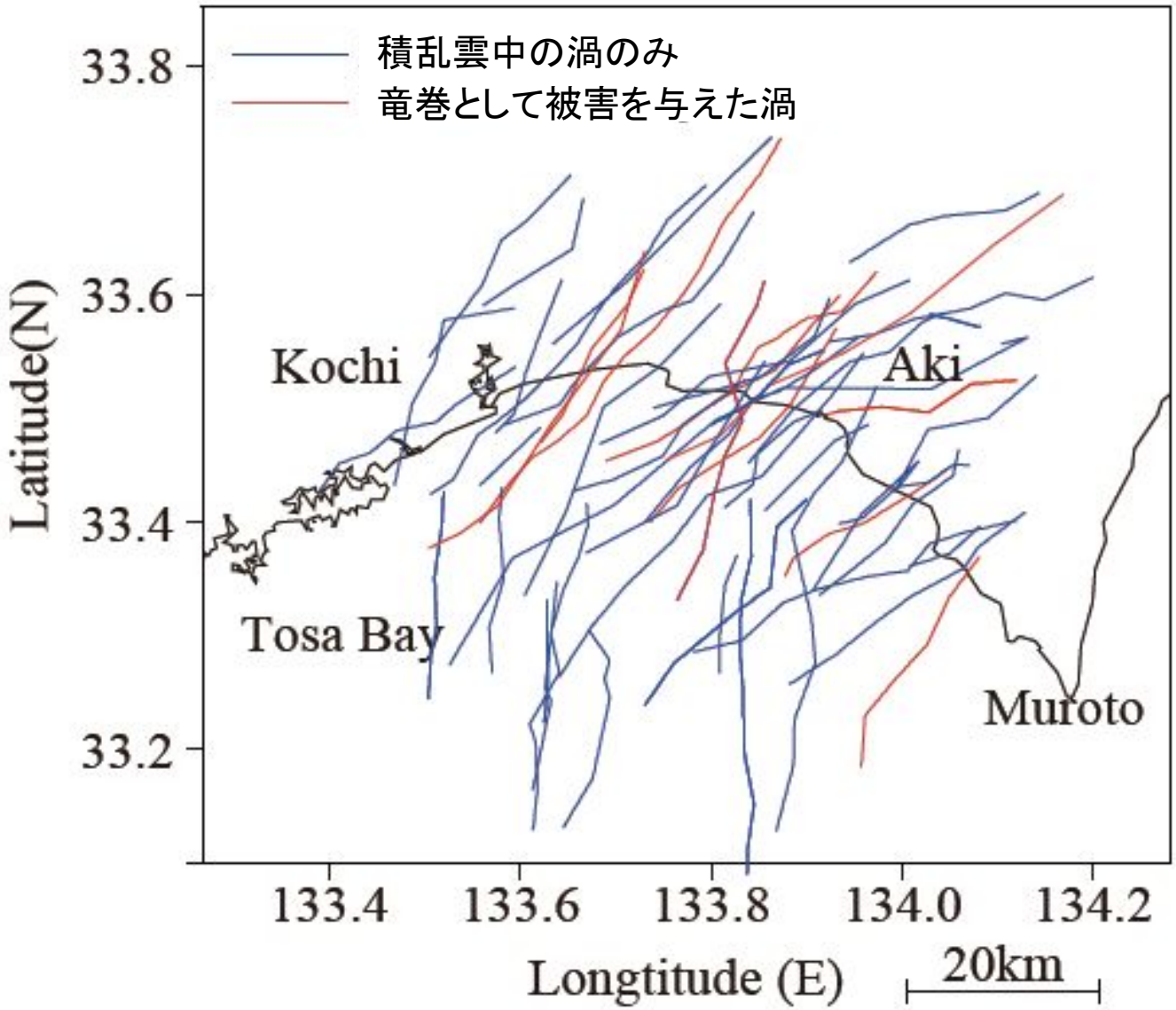
ドップラーレーダーでみたスーパーセルの様子



レーダーで見た非スーパーセル竜巻の親雲



2008～2013年にレーダーで捉えた渦の軌跡



約9割(43個)の渦が海上で発生。

33個の渦は海上で発生し上陸。

竜巻をもたらした渦11個は海上もしくは海岸線上で発生し上陸。

渦の10%は時計回転。

まとめ

- 台風の右側（東側）は、台風の気流速度に移動速度が重なるため、強風になりやすい。また、南風により太平洋から水蒸気を大量に運びこむため、積乱雲を発達させやすい。
- 台風位置により、大雨をもたらす降水パターンはある程度予測できる。
- 台風に伴う竜巻の多くは台風中心からかなり離れたアウターレインバンドや、さらに遠い西にある台風影響下で起きることが多い。台風が接近するかなり前からレインバンドには要注意。
- 竜巻で危険なのは飛散物である。竜巻注意情報が出ているときや、積乱雲が発達しやすい環境のときは早めに対策を。