



TOKIOMARINE
NICHIDO

オクラホマの竜巻災害に学ぶ

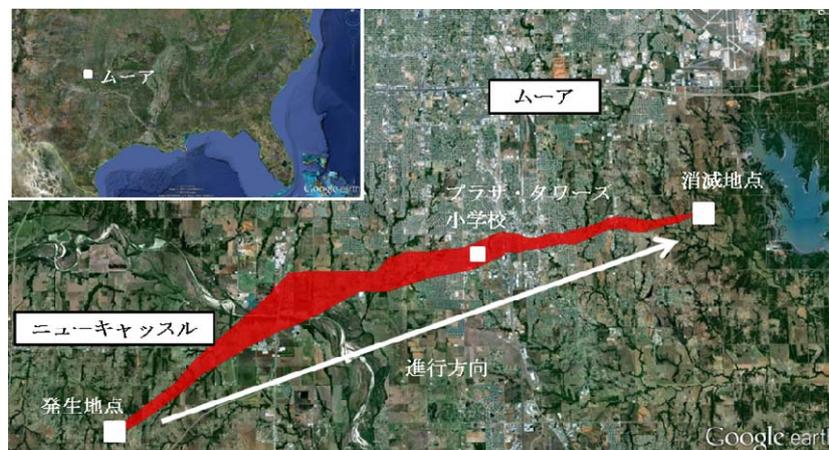
～企業における竜巻リスク対策の考え方～

2013年5月20日、アメリカのオクラホマ州において竜巻が発生し、竜巻の通過したニューキャッスル市、ムーア市において甚大な被害が生じた。日本においても、2012年5月に茨城県つくば市で竜巻による被害が発生しており、改めて竜巻災害の怖さを再認識することとなった。竜巻は、強風に加え雹や雷を伴うこともある局所的な気象現象であり、発生すればその経路において非常に大きな被害をもたらすが、遭遇する確率が低いことからリスクに対する意識も低い。しかし、竜巻により、事業中断が生じた事例もあり、企業として対策を講じる必要がある。

本稿では、オクラホマ州で発生した竜巻による被害概要、日本とアメリカの竜巻の比較及び日系企業の進出が著しいアジアにおける竜巻リスクについて解説する。

1. 被害概要

2013年5月20日14時56分（現地時間）にアメリカのオクラホマ州で竜巻が発生した。竜巻の経路において改良藤田スケールでEF0以上の領域を赤色で示す（図1）。改良藤田スケールとは、竜巻の強度を被害の観点から分類する等級であり、日本などでは同様の等級として藤田スケールが用いられている。改良藤田スケールは、藤田スケールでの被害の程度と定義風速を実際の被害に近くなるように修正したものである（表1）。この竜巻は発生後、その勢力を強めながら東へ進み、ムーア東部で消滅した。その最大幅は約2km、長さは約27kmであった。アメリカ合衆国商務省海洋大気庁（NOAA）は、竜巻の強さを改良藤田スケールで最も強いEF5と発表した。今回の竜巻被害は経路上に人口密集地があり、プラザタワーズ小学校では校舎が倒壊するなど、2,000棟以上の建物に被害が生じた。大手災害リスクモデリング会社は、今回の竜巻による支払保険金を最低でも2,000億円と見込んでいる（表2）。また、11日後の5月31日にもオクラホマ州で竜巻が複数発生し、その中にはEF5に達するものも含まれている。



■ 図1 オクラホマ州を襲った竜巻の経路

出典：NOAA 発表資料より弊社作成

■表1 藤田スケールと改良藤田スケール

藤田スケール		改良藤田スケール		代表的な被害
階級 (F)	定義風速 (3秒平均、m/s)	階級 (EF)	定義風速 (3秒平均、m/s)	
0	21~35	0	30~38	弱い構造物が壊れる。
1	36~52	1	39~49	屋根瓦が飛ぶ、ビニールハウスが壊れる。
2	53~72	2	50~60	弱い非住家が倒壊する。自動車が吹き飛ばされる。
3	73~93	3	61~74	住家が倒壊する。
4	94~117	4	75~89	住家がバラバラに飛散する。
5	118~142	5	90~	強固な建物でも基礎ごと吹き飛ばす。

出典：NOAA、気象庁 HP より弊社作成

■表2 各リスクモデリング会社による予想支払保険金

リスクモデリング会社名	予想支払保険金 (2013年5月29日時点)
AIR Worldwide	2,000億円以上
EQECAT	2,000億円~5,000億円
RMS	2,000億円~3,500億円

出典：各社 HP、各種報道資料より弊社作成

2. 竜巻の発生しやすい環境

気象庁が1996年から2006年まで実施した竜巻発生メカニズムに関する調査によれば、日本で発生する竜巻の多くがスーパーセル¹型の積乱雲に関連して発生していることが判明している²。また、アメリカにおける竜巻の事例解析においても、スーパーセル型の積乱雲に関連して竜巻が発生する過程が確認されている。スーパーセルの主な発生要因は、以下の三つである。

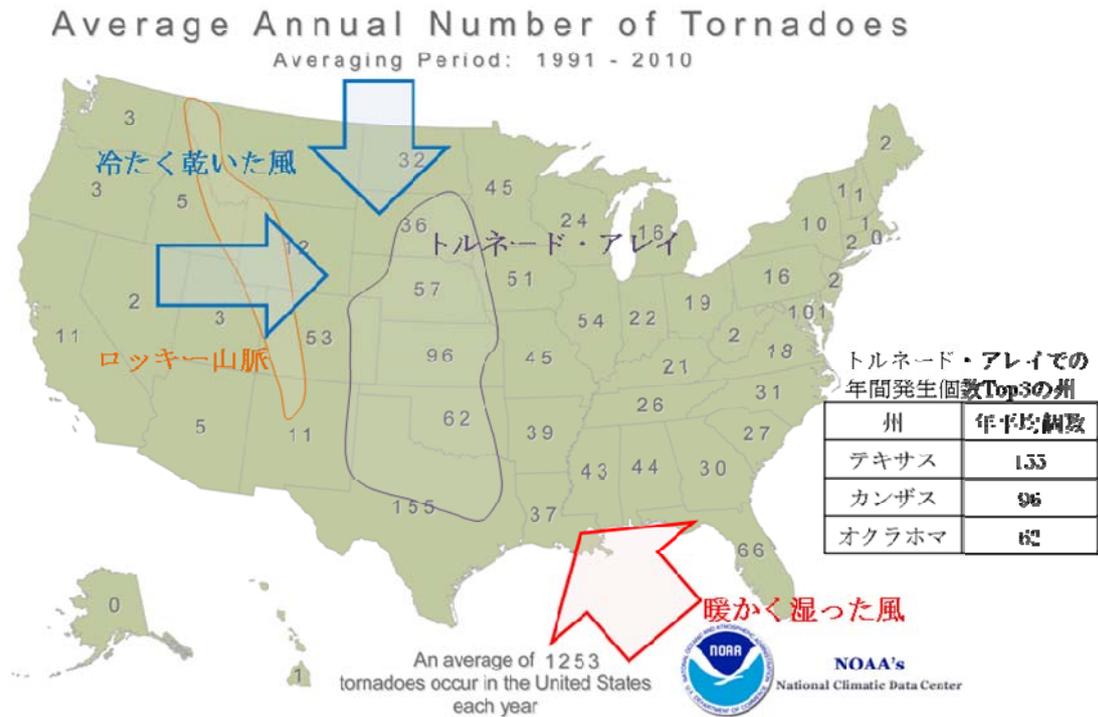
- ① 台風やハリケーンなどの熱帯低気圧に伴うもの
- ② 気団が衝突する（前線）ことに伴うもの
- ③ 上空と地表の温度・湿度差による対流に伴うもの

オクラホマ州近辺では、冷たく乾燥した大陸性の気団やロッキー山脈を越えた風と、メキシコ湾からの暖かく湿った空気が衝突することで、上記②の環境が整いやすい場所であり、今回の竜巻を伴ったスーパーセルもこの要因から発生したと考えられる。

アメリカにおける竜巻の発生多発地帯は、「トルネード・アレイ」（竜巻街道、図2中の紫線枠内）と総称されており、ロッキー山脈の東側の広大な平野であるグレートプレーンズに位置している。アメリカにおける竜巻の州別の年間平均発生個数を図2に示す。平野部であるカンザス州やオクラホマ州、沿岸部に位置するテキサス州やニュージャージー州などで竜巻の発生個数が多く、地形面から竜巻が発生しやすいのは、障害物の少ない平野部、暖かく湿った空気が流入しやすい沿岸部であると言える。

¹ 通常の積乱雲と比較して長寿命で発達した積乱雲

² 気象庁 HP 公表資料より引用、<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/sokkou/78/vol78p057.pdf>

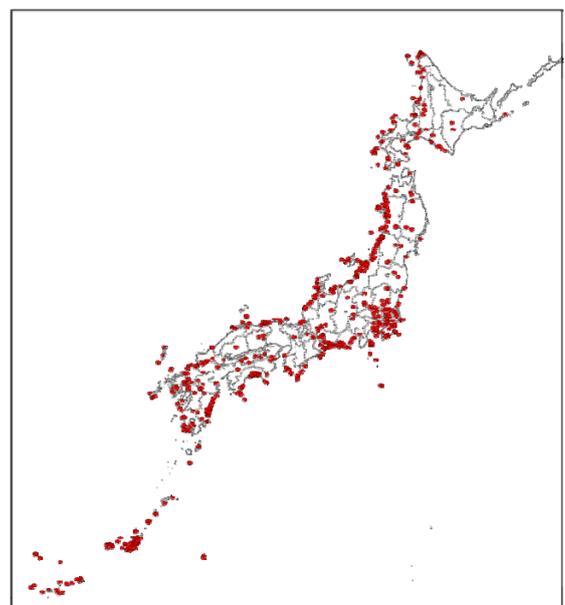


■ 図 2 アメリカにおける 1991 年から 2010 年までの竜巻の州別年間平均発生個数
出典：NOAA HP より引用及び弊社加筆

3. アメリカの竜巻と日本の竜巻の比較

(1) 竜巻の規模

本章では、今回オクラホマ州を襲った竜巻のような最大級の強度を有する竜巻に関し、日本における発生可能性について考察する。図 3 に示すように、日本での竜巻は沿岸部や平野部で多く発生しており、平野部では関東平野で最も多く発生している。関東平野の立地は南に相模湾、西に関東山地が位置しており、南にメキシコ湾、西にロッキー山脈が位置しているグレートプレーンズと類似している。ただしそのスケールは、関東平野が東西約 100km であるのに対し、グレートプレーンズでは東西約 1,000km と、10 倍の違いがある。スーパーセルは、上空と下層の間の温度差が大きい場合に発生しやすいが、グレートプレーンズでは非常に広大な平地のため地表が暖められやすい点、障害物が少なく気団の大規模な衝突が起きやすい点などから、発生に適した環境が生じやすい。グレートプレーンズと比較して関東平野はそのスケールが小さいことから、アメリカで発生するようなスーパーセルや竜巻が発達す



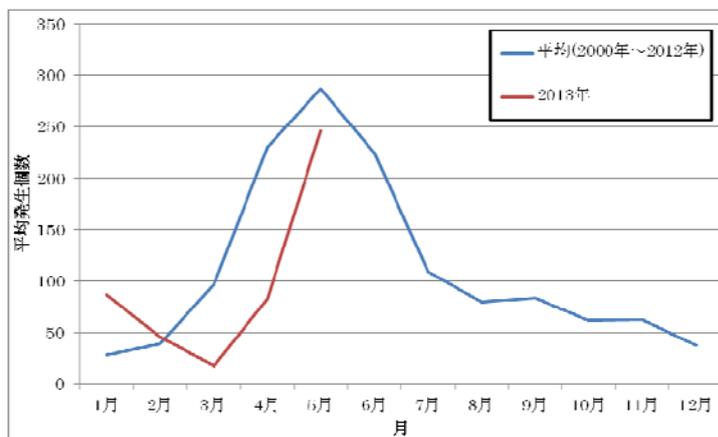
■ 図 3 日本における過去の竜巻発生分布
出典：気象庁 HP より引用

る可能性は低い。気象庁の統計では、過去日本で起きている竜巻は最大でも F3 であり（例：2012 年 5 月つくば市、2006 年 11 月佐呂間町）、最大級の竜巻 F5 はこれまで発生していない。

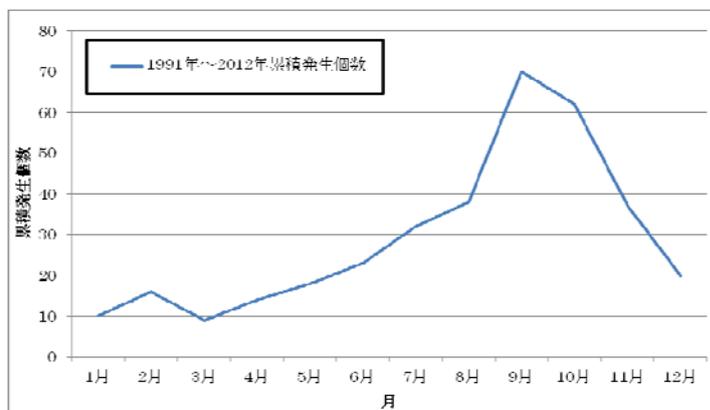
(2)竜巻が発生しやすい時期

アメリカはメキシコ湾からの暖気が強まり始めることで、北からの寒気や西からのロッキー山脈を越えた冷たく乾いた風と衝突を起こすため 4 月～6 月に竜巻が発生しやすい（図 4）。

一方、日本は台風に伴うものが多いため、台風シーズンである 8 月～10 月にかけて竜巻が発生しやすい（図 5）。竜巻については長期間連続した観測記録がなく明確な傾向はみられていないが、昨今の地球温暖化により海水温の上昇が生じており、海に囲まれた日本への影響は大きく、今後日本における竜巻リスクが増大していく可能性がある。



■ 図 4 アメリカにおける 2000 年～2012 年に発生した竜巻の月別平均値と 2013 年の発生個数（2013 年 6 月 5 日時点）
出典：NOAA 公表資料より弊社作成



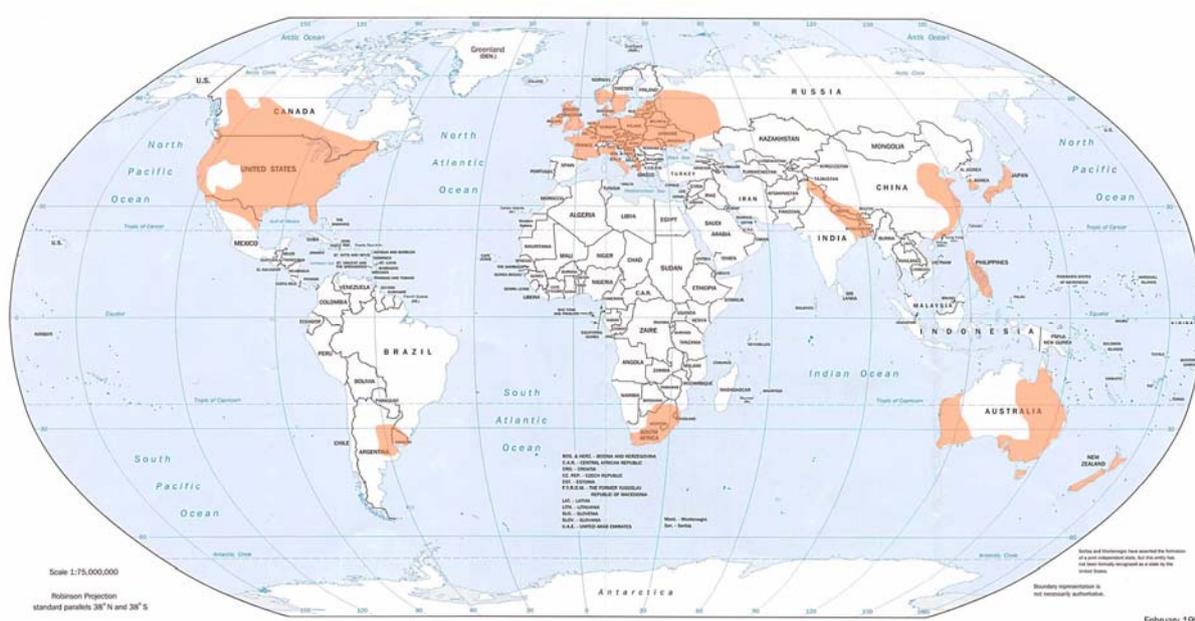
■ 図 5 日本における 1991 年～2012 年に発生した竜巻の月別累積個数
出典：気象庁公表資料より弊社作成

4. アジアにおける竜巻リスク

(1) 竜巻の発生しやすい国・地域

前述の通り、竜巻の発生には気象状況、地形、季節など複数の発生条件が存在することから、世界で一様に発生するというわけではない。図 6 に、世界の竜巻発生が多い地域を示す（図中橙色の領域）。アジアでは日本のほか、インド、中国沿岸部やフィリピンなどが竜巻が多く発生する地域である。

インド科学技術省科学技局では、インドにおいて年間に発生する竜巻の約 70%が北東部で発生しており、時期としては 3 月から 5 月の間の発生が多いという統計を公表している。また、中国沿岸部やフィリピンは、日本同様、台風に伴う竜巻が多いものと考えられる。竜巻発生が多い地域は、寒気と暖気の衝突の発生しやすい南北緯 30 度～50 度の中緯度地域である。



■ 図 6 世界における竜巻発生が多い地域

出典：NOAA ホームページより引用

(2) アジアでの竜巻による被害事例

2012 年 5 月のつくば市で発生した竜巻では、半導体メーカーのグループ会社が被災、窓ガラスが一部破損、停電により一時操業を停止した。生産設備の立ち上げ等のため、操業開始まで数日間を要したが、BCPの一環として一定の在庫を保有していたため、製品供給への支障は生じなかった。

竜巻による企業の被災事例は多くはないが、東日本大震災やタイの洪水の際にサプライチェーンの寸断が生じたことを鑑みれば、竜巻の発生が多いとされる国・地域に拠点を有している場合には、サプライチェーンへの影響を含めた対応策が必要である。

5. 企業に求められる対策

前述のように、アジアにおいては、インドや中国が特に竜巻が多い地域である。これらの地域には、多くの日本企業が進出しており、事業拠点の竜巻リスクを認識することが対策の第一歩である。

竜巻は地震や台風と異なり被害をもたらす範囲が非常に限定的であるため、遭遇する確率と耐風性能を高めるコストの兼ね合いもあり、ハード面において有効な対策を施すことが難しい災害である。また、竜巻は急速に発達するため直前の対策に充てられる時間は少なく、ソフト面においても対策を講じることは難しい。しかし、竜巻により拠点が被災し事業中断を生じた企業の事例もあることから、竜巻に対して対策を講じるのが望ましい。

(1) 竜巻リスクの把握

竜巻リスク対策で最も重要なことは、事業拠点の属する地域が竜巻の発生が多い地域なのか、どの時期に発生しやすいのか等、竜巻リスクを把握することである。竜巻の発生履歴情報は、地域により情報公開レベルや内容、精度に差異があるものの、各国の気象庁/気象局や世界気象機関（WMO）のデータベースで取得が可能である。

(2) ハード対策

日本においては1市町村の住宅地が1年間に竜巻被害に遭遇する確率はおよそ700年に1回程度とされている³。一般的に建物の耐風設計基準はハリケーンや台風を想定しており、EF4やEF5の竜巻による強風には耐えられない。しかし、企業にとっては竜巻を想定した建物の強化は大きなコストを要するため、原子力発電所などの重要施設でない限り現実的ではなく、対策は人命安全を第一に考えるべきである。ただし、トルネード・アレイのように発生頻度が高く、強い竜巻が発生し得る地域においては、人命安全の観点から地下シェルターの設置を検討すべきである。

(3) ソフト対策

a. 情報収集

ソフト対策で最も重要なことは、避難に十分な時間を確保するための情報収集である。国により整備されている情報の質・量が異なるため、事業拠点周辺でどのような竜巻関連情報をどのように入手できるか、整理しておくことが必要である。

代表的な国における情報の公開レベルを表3に示す。最も情報が整備されているのはアメリカであり、竜巻を観測するドップラーレーダーが広範囲に、多数設置されている。また、NOAAのStorm Prediction Centerにおいて確度は低いものの8日先まで予測が公表されている。警報/注意報に関しては竜巻注意情報のみの日本と異なり警報（Warning）、緊急事態（Emergency）があることで、住民に対して危機感を与え、的確な避難を促すことができる。今回のオクラホマ州を襲った竜巻では、竜巻発生の約15分前に竜巻警報が発表されている。日本においては、気象庁が2008年3月から竜巻などの激しい突風に関する気象情報として「竜巻注意情報」の発表を、さらに2010年5月から竜巻などの激しい突風が発生しやすい地域の詳細な分布と1時間先までの予報として、「竜巻発生確度ナ

³ 気象庁 HP 内公表資料より引用、<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/toppuu/24part1/24-1-shiryu6.pdf>

ウキャスト⁴⁾の提供を開始している。

一方、中国やインドなどでは、雷雨や台風、サイクロンなどについては一部警報が発表されているものの、竜巻に特化した体制は整っていない。情報の不足を補うためには、普段から気象情報に注意する、いつでも対処できる体制を構築することなどが重要となる。また、竜巻の予兆として、空が急に暗くなる、大粒の雹が降る、雲の底から地上に伸びる漏斗状の雲が目撃されるなどがある。地元の住民の過去の体験談などから、そのような予兆を把握しておくことも大切である。

■表3 竜巻に関連する情報の公開レベル

	アメリカ	日本	インド	中国
数値予測	1日～8日先の雷雨発生確率予測を公表	半日～1日程度前に予告的な気象情報の発表、竜巻発生確度ナウキャスト	雷雨ナウキャストの実施	—
公表機関	NOAA	気象庁	気象局	—
竜巻警報/注意報の発令	Tornado “Watch”, “Warning”, “Emergency”の3段階の発令	雷注意報、竜巻注意情報の発令	—	—
過去の竜巻データの公表	NOAA HPにて閲覧可能	気象庁 HPにて閲覧可能	—	—
観測網	ドップラーレーダー	ドップラーレーダー	—	—

出典：各国の気象庁/気象局 HP より弊社判別。「—」は公表なしまたは不明を表す。

b. 避難計画の策定

避難計画を策定する際に重要なのは、竜巻の特性を考えた上での避難場所の検討、確保である。木造建物の場合には、屋内での避難は困難であり、建物の開口部が大きい場合には、被害が大きくなる。頑強な建物であっても、開口部から離れた建物の奥に避難することが重要である。

c. 既存の事業継続計画における検証

竜巻により被災した場合に備え、事業継続計画（BCP）の策定は重要であるが、竜巻の特殊性や遭遇する確率を鑑みて、既存のBCPでどの程度有効か検証することも対策の一つである。既存のBCPで対応できない部分については、BCPを見直すことでレジリエンシーを高めることができる。

⁴ ドップラーレーダーによる観測などを用いて、10km格子単位で10～60分先の竜巻の発生確度を予測している。10分毎に解析結果が更新され、提供されている。

[2013年6月26日発行]