

## 2021年12月に米国で発生した竜巻の調査結果

令和5年3月30日  
原子力規制庁  
地震・津波研究部門

### 1. 経緯

2021年12月10～11日、米国中部・南部において非常に大きな竜巻が多数発生し、多くの死傷者や建物等に被害が生じた。竜巻の最大風速が<sup>1</sup>190mph(85m/s)である、改良藤田スケール<sup>1</sup>(以下「EF」という。)4に相当する。

令和3年度第54回原子力規制委員会(2021年12月22日)において、本事象の被害情報等について収集・分析を行うように原子力規制庁に指示があり、米国海洋大気庁(National Oceanic and Atmospheric Administration)等の公開情報を収集するとともに、被害状況についても調査を行い、当該調査・整理結果を以下のとおり取りまとめた。

### 2. 調査の内容

#### 2.1 調査範囲

この竜巻については、米国海洋大気庁の国立気象局(National Weather Service、以下「NWS」という。)がいくつかの資料を発表している。ここでは、同機関が公表した資料を調査し、整理した。

なお、米国風工学会(The American Association for Wind Engineering)、米国土木学会(American Society of Civil Engineering)等についても調査を実施したが、これまでに調査した範囲において、当該竜巻に関連する報告は見つからなかった。

#### 2.2 竜巻の発生状況・特徴

今回の天候の特徴としては、竜巻による雷雨が長い時間続いたことがあげられる。特に2つのスーパーセルが、100mile(161km)以上の長距離を移動しながら竜巻を発生させた。

NWSの嵐予報センター(Storm Prediction Center)によると、2021年12月10日の夕刻にEF4の強烈な竜巻がテネシー州の北西で発生し、ケンタッキー州西部まで横断し、約400件の被害報告があった。

NWSは、12月21日迄に、12月10～11日に米国中部・南部を移動した巨大な嵐について66件の竜巻を認定した<sup>2</sup>。図-1に12月10日5:20pm～12月11日1:00am(CST)のレーダー画像によるスーパーセルの発生状況を示す。アーカンソー州、テネシー州、ミズーリ州及びケンタッキー州において帯状に発生していることが分かる。このスーパーセルに沿って竜巻が発生している。また、図-2に12月10日の竜巻の発生状況の時系列を示す。図-3に嵐の軌跡を示す。これによると250mile(402km)に渡って竜巻が移動したように見えるが、その後の調査で、これは図-4に示すように、3件の竜巻であったことが判明した。北側の165.7mile(266.6km)と80.3mile(129.2km)の2

<sup>1</sup> The Enhanced Fujita Scale(EF Scale) <<https://www.weather.gov/oun/efscale>>  
(参照2022年11月29日)

<sup>2</sup> NWS Storm Damage Summaries <<https://www.weather.gov/crh/dec112021>>(参照2022年11月29日)

件の竜巻は、EF 4 と判定されており、今回の最大のものである。また、南側の 122.7mile(197.4km)の竜巻は EF 3 であった。なお、米国における過去に最も長い距離を移動した竜巻は、1925 年 3 月にミズーリ州を襲ったもので、約 352 キロを移動している<sup>3</sup>。

表-1 に全 66 件の竜巻のうち、風速の大きい方から 23 件の竜巻について示す。また、表-2 に 66 件の竜巻について改良藤田スケールのスケール毎に整理して示す。

今回の最大規模である EF 4 の竜巻は風速 190mph(85m/s) 及び 170mph(76m/s) であった。また、EF 3 の竜巻については 6 件あった。

図-5 に年毎の竜巻発生件数のグラフを示す。1991 年～2020 年の年間の平均竜巻発生数は 1225.1 件であるのに対し、2021 年は年間 1314 件であり、平均よりもやや多い程度であった。また、12月の平均竜巻発生数は 24 件とのことであるが、2021 年 12 月の竜巻発生数は 193 件であり、近年の平均の 8 倍程度の竜巻が発生していた。なお、それ以前の 12 月の最大発生件数は、2002 年の 97 件であった。参考として、図-6 及び図-7 に竜巻の発生地点の概要を示す。

上述のように、短時間に複数の竜巻が発生したという気象上の特徴があったが、最大風速は EF 4 であり、原子力施設との関連から特筆する情報はなかった。過去に EF 5 の竜巻は、ミズーリ州を襲った 1953 年のフロント-ビーチャー竜巻と 1899 年 6 月 12 日ウィスコンシン州ニューリッチモンド竜巻の 2 件がある<sup>4</sup>。

## 2. 3 被害の概要

今回の竜巻による被害前後の比較を写真-1～4 に示す。

写真-1 にケンタッキー州メイフィールドの一般住宅の被害例を示す。EF 4 の竜巻によって多くの住宅が壊されて街並みが一変している。

写真-2 に同じくメイフィールドの Health and Rehabilitation Center の被害例を、写真-3 にアーカンソー州モネットの老人ホームの被害例を示す。いずれも EF 4 の竜巻により屋根部分は吹き飛ばされているが、コンクリートブロック造の壁部分は残存している。写真-4 にイリノイ州エドワーズビル近郊のアマゾンの倉庫の EF 3 での竜巻被害例を示す。鉄骨造であり、竜巻が通過した範囲が鉄骨部分を含め崩壊しているように見える。なお、各種情報を見る限り、鉄筋コンクリート構造物の被害は確認出来なかった。

上述のように、一般産業施設の被害例は多数報告されているが、原子力施設の直接的な被害はなかったこと、また、鉄筋コンクリート造の被害報告は見当たらなかったことから、原子力施設の参考となるような竜巻に対する情報は確認できなかった。

大きな被害を受けたケンタッキー州では、13 日午前時点で同州の約 2 万 7000 の世帯・企業で停電が発生していた<sup>5</sup>。また、wiki<sup>6</sup>によると停電が 74 万件あったという報告があった。

<sup>3</sup> 米ケンタッキー州などで猛烈な竜巻 死者 100 人超か <https://www.bbc.com/japanese/59632967> (参照 2022 年 12 月 9 日)

<sup>4</sup> 米国で最も致命的な竜巻トップ 10 (greelane.com) <https://www.greelane.com/ja/%E7%A7%91%E5%AD%A6%E6%8A%80%E8%A1%93%E6%95%B0%E5%AD%A6/%E7%A7%91%E5%AD%A6/deadliest-us-tornadoes-3444291/> (参照 2022 年 12 月 9 日)

<sup>5</sup> 日経新聞：米竜巻の死者、88 人確認 バイデン氏が大規模災害宣言 <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOGN13D5G0T11C21A2000000/> (参照 2022 年 12 月 9 日)

<sup>6</sup> Tornado outbreak of December 10-11, 2021 <Tornado outbreak of December 10-11, 2021 - Wikipedia> (参照 2022 年 12 月 9 日)

### 3. まとめ

2021年12月10～11日、米国中部・南部にて発生した竜巻に関して公開情報を基に調査を行った。今回の竜巻の特徴としては、複数の竜巻が短時間に特定の領域で発生したこと、竜巻の移動距離が大きかったことがあげられる。また、木造家屋やコンクリートブロック造の建物などでは大きな被害が広範囲に及んだものの、今回の竜巻の最大風速はEF4（85m/s程度）であり米国の既往最大EF5に達しておらず、鉄筋コンクリート造の構造物の被害報告は見当たらなかった。

一方、日本国内の原子炉施設のうち安全上重要な施設の竜巻による影響評価において参照されている「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」（以下「竜巻ガイド」という。）では、設計上考慮する竜巻やその作用荷重の設定の考え方を例示<sup>※1</sup>しているが、米国で今回観測された竜巻の最大風速（85m/s程度）は、竜巻ガイドに示される国内過去最大の風速（藤田スケールF3の上限値92m/s）に包含されるものであった。

これより、2022年12月現在において公開されている竜巻被害に関する情報を調査した範囲においては、国内の原子力関連施設の竜巻に対する構造設計や研究に反映する事項はない。

#### ※1 竜巻ガイドの抜粋（「3. 基準竜巻・設計竜巻の設定」解説3.3.1）

##### 解説3.3.1 過去に発生した竜巻による最大風速( $V_{B1}$ )の設定

本文に記載のとおり、日本で過去に発生した竜巻による最大風速を  $V_{B1}$  として設定することを原則とする。

また、過去に発生した竜巻による最大風速は、竜巻による被害状況等に基づく既往のデータベース、研究成果等について十分に調査・検討した上で設定する必要がある。

日本における過去最大級の竜巻としては、例えば、1990年12月に千葉県茂原市で発生した竜巻、2012年5月に茨城県常総市からつくば市で発生した竜巻等があげられる。竜巻検討地域の観測記録等に基づいて  $V_{B1}$  を設定する場合において、これら過去最大級の竜巻を考慮しない場合には、その明確な根拠を提示する必要がある。

竜巻による被害状況から推定された最大風速を参照して設定された藤田スケールを用いて基準竜巻の最大風速を設定する場合<sup>(注3.3)</sup>は、藤田スケールの各階級（F0～F5）の最大風速を用いる。解説表3.1に藤田スケールと風速の関係を示す。なお、風速計等によって観測された風速記録がある場合には、その風速記録を用いてもよい。

解説表3.1 藤田スケールと風速の関係<sup>(参5)</sup>

スケール	風速
F0	17～32m/s (約15秒間の平均)
F1	33～49m/s (約10秒間の平均)
F2	50～69m/s (約7秒間の平均)
F3	70～92m/s (約5秒間の平均)
F4	93～116m/s (約4秒間の平均)
F5	117～142m/s (約3秒間の平均)

国内過去最大



# December 10-11, 2021: Long-lived Supercell Thunderstorm

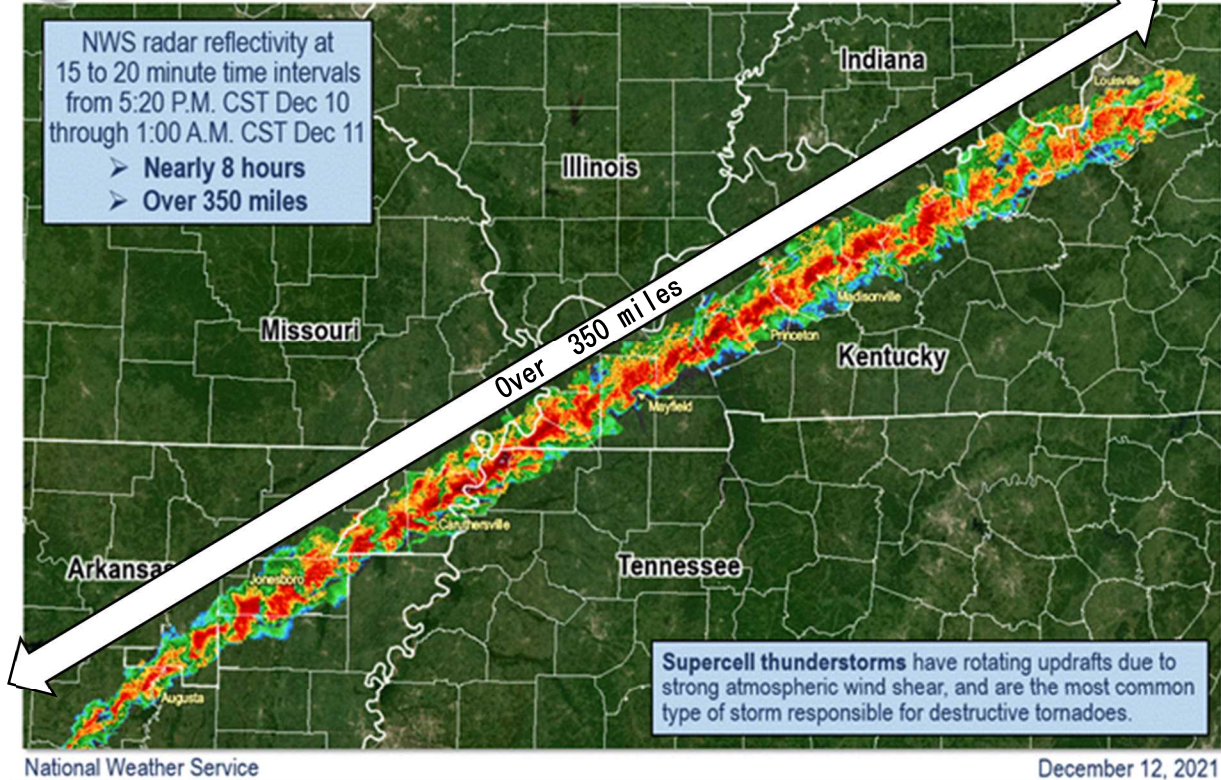


図-1 レーダー画像 (2021年12月10日5:20pm~12月11日1:00am(CST))<sup>7</sup>



図-2 竜巻の発生状況 (2021年12月10日)<sup>8</sup>

<sup>7</sup> NWS Storm Damage Summaries <<https://www.weather.gov/crh/dec112021>>(参照 2022年11月29日)

<sup>8</sup> The Violent Tornado Outbreak of December 10-11, 2021

<<https://www.weather.gov/pah/December-10th-11th-2021-Tornado>> (参照 2022年11月29日)

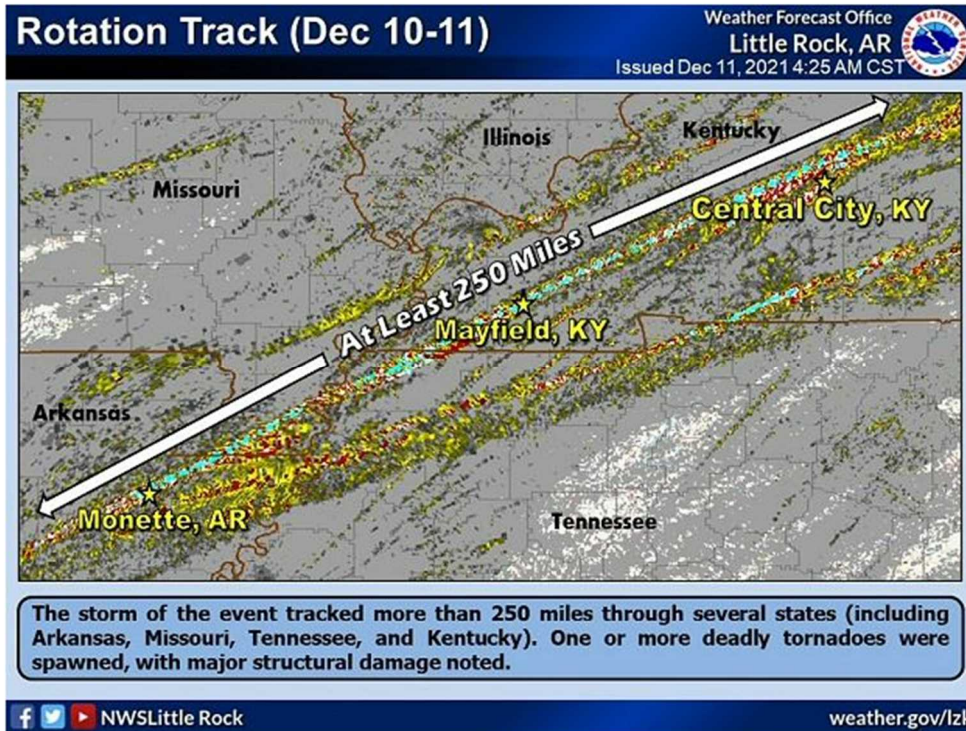


図-3 嵐の軌跡 (2021/12/10~11) <sup>9</sup>

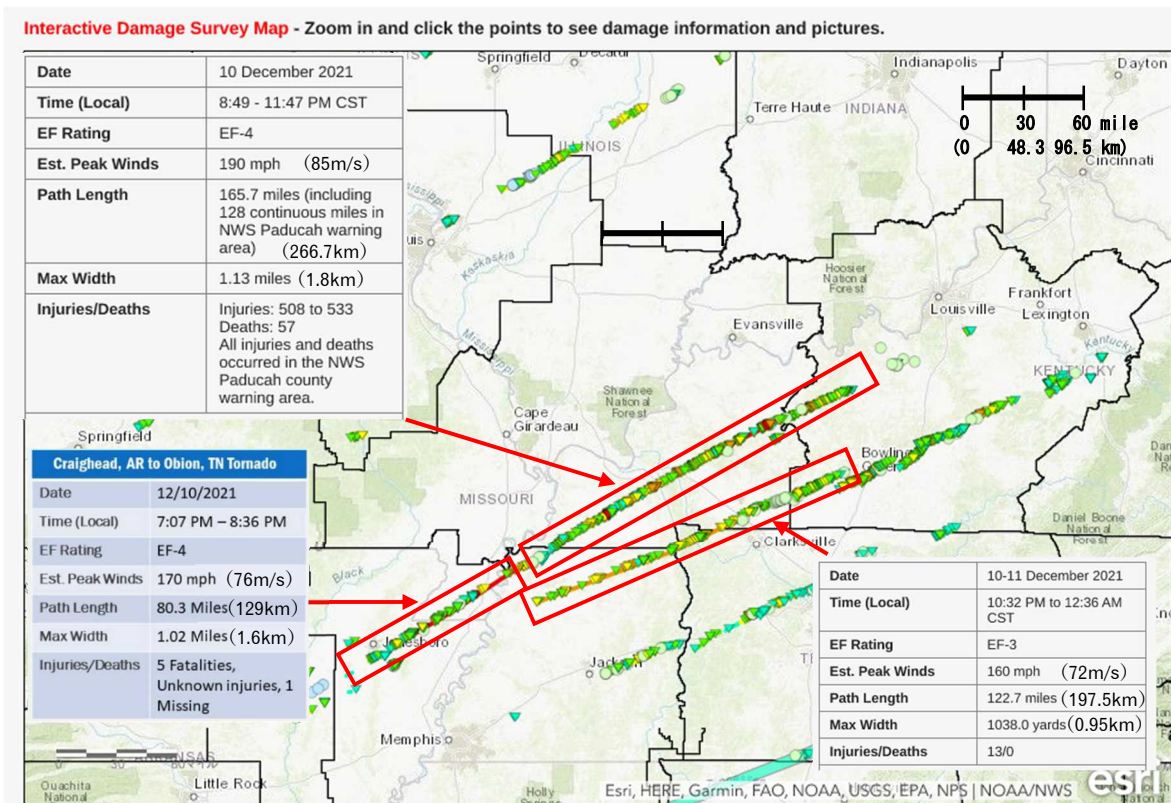


図-4 今回の最大規模の EF 4 の竜巻 <sup>3, 10</sup>に加筆

<sup>9</sup> NWS Little Rock, AR - Severe Storms on December 10-11, 2021  
<<https://www.weather.gov/lzk/svr1221.htm>> (参照 2022 年 11 月 29 日)

<sup>10</sup> NWS Memphis, TN - December 10-11, 2021 Tornado Outbreak  
<<https://www.weather.gov/meg/dec102021tor>> (参照 2022 年 11 月 29 日)

表-1 2021年12月10~11日に発生した竜巻<sup>2</sup>  
 (認定された66の竜巻の内EF2以上の23について示す、—:記載無し)

City	County	State*	EF Rating	Est Wind Speed Mph (m/s)	Path Length Miles (km)
Mayfield & Dawson Springs	Fulton to Breckinridge	KY	EF 4	190 (85)	165.7 (266.6)
Bay to Samburg	Craighead to Obion	AR, TN	EF 4	170 (76)	80.3 (129.2)
Bowling Green	Warren to Edmonson	KY	EF 3	165 (74)	—
Gordonsville, Hadley	Logan, Warren	KY	EF 3	140 (63)	28 (45.1)
Saloma, Bradfordville	Marion, Taylor	KY	EF 3	145 (65)	14.7 (23.7)
Defiance	Saint Charles	MO	EF 3	165 (74)	21 (33.8)
Edwardsville	Madison	IL	EF 3	150 (67)	3.65 (5.9)
Newbern to Elkton	Dyer, TN to Todd, KY	TN, KY	EF 3	160 (72)	122.7 (197.4)
Rock Hill, Horse Cave	Edmonson, Barren, Hart	KY	EF 2	130 (58)	16.6 (26.7)
Horse Cave, Summersville	Hart, Green	KY	EF 2	125 (56)	24 (38.6)
Junction City	Boyle	KY	EF 2	135 (60)	0.63 (1.0)
South Bowling Green	Warren	KY	EF 2	115 (51)	—
Ellington	Reynolds	MO	EF 2	130 (58)	6.3 (10.1)
Ramsey, Herrick	Fayette, Shelby	IL	EF 2	118 (53)	41.4 (66.6)
Virginia	Cass	IL	EF 2	125 (56)	12.8 (20.6)
Windsor, Gays, Mattoon	Shelby, Moultrie, Coles	IL	EF 2	125 (56)	15.8 (25.4)
Atterberry	Menard	IL	EF 2	120 (54)	4.6 (7.4)
Chrisman	Edgar	IL	EF 2	115 (51)	—
Trumann	Poinsett	AR	EF 2	130 (58)	—
Augusta to Overcup	Woodruff to Conway	AR	EF 2	135 (60)	—
Dickson to Burns	Dickson	TN	EF 2	135 (60)	—
White Bluff to Pegram	Dickson to Cheatham	TN	EF 2	125 (56)	—
Lexington	Henderson	TN	EF 2	135 (60)	—

\* KY:ケンタッキー州、AR:アーカンソー州、TN:テネシー州、MO:ミズーリ州、IL:イリノイ州

表-2 2021年12月10～11日に発生した竜巻の改良藤田スケールによる整理<sup>2</sup>

改良藤田スケール	EF 0	EF 1	EF 2	EF 3	EF 4	EF 5	不明	合計
mph (m/s)	65-85 (29-37)	86-110 (38-49)	111-135 (50-61)	136-165 (62-74)	166-200 (75-89)	200+ (89+)		
件数	16	26	15	6	2	0	1	66

U.S. Tornadoes

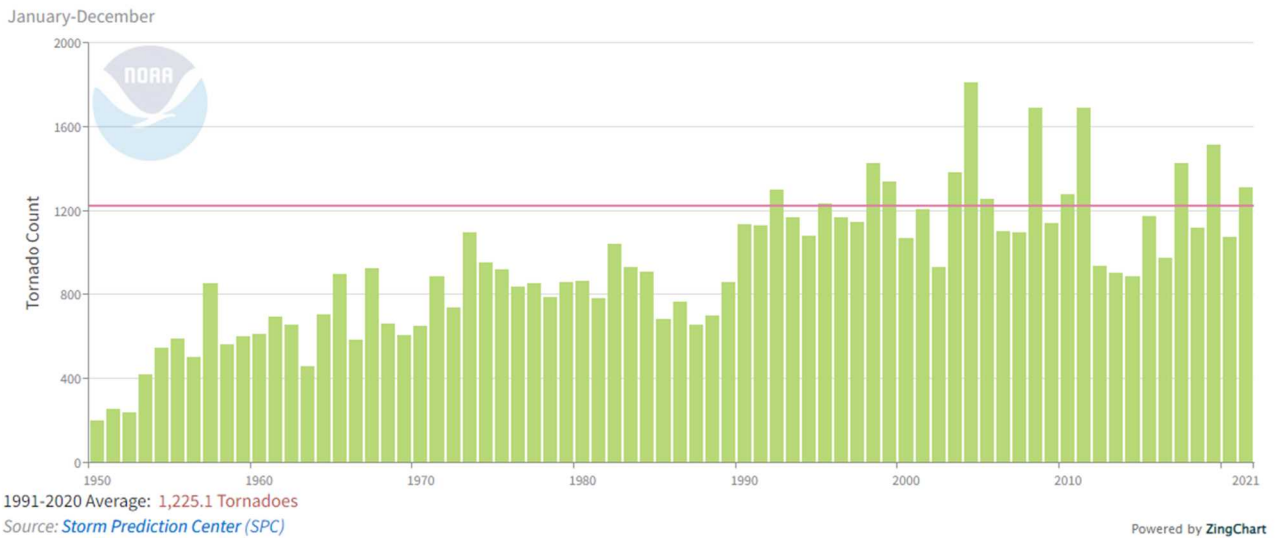


図-5 米国における年毎の竜巻発生件数（1950～2021年）<sup>11</sup>

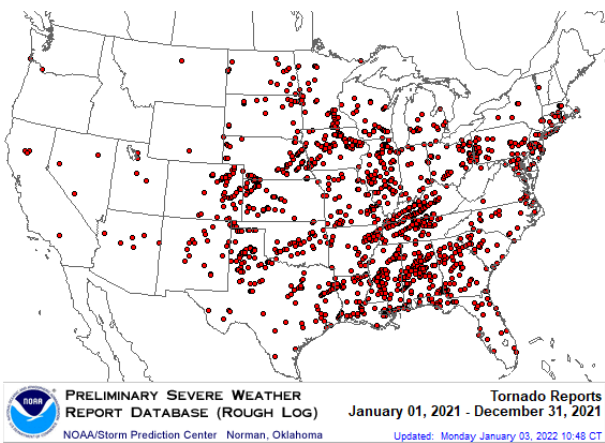


図-6 2021年1～12月の竜巻の発生地点<sup>12</sup>

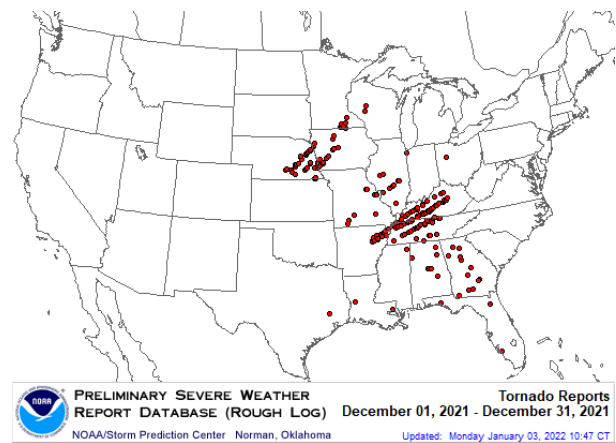


図-7 2021年12月の竜巻の発生地点<sup>13</sup>

<sup>11</sup> U.S. Tornadoes | National Centers for Environmental Information (NCEI)  
<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/tornadoes/time-series/ytd/12?mean=true>  
(参照 2022年11月29日)

<sup>12</sup> Annual 2021 Tornadoes Report | National Centers for Environmental Information (NCEI)  
<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/tornadoes/202113>  
(参照 2022年11月29日)

<sup>13</sup> December 2021 Tornadoes Report | National Centers for Environmental Information (NCEI)  
<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/tornadoes/202112>  
(参照 2022年11月29日)



2017年1月28日の衛星画像

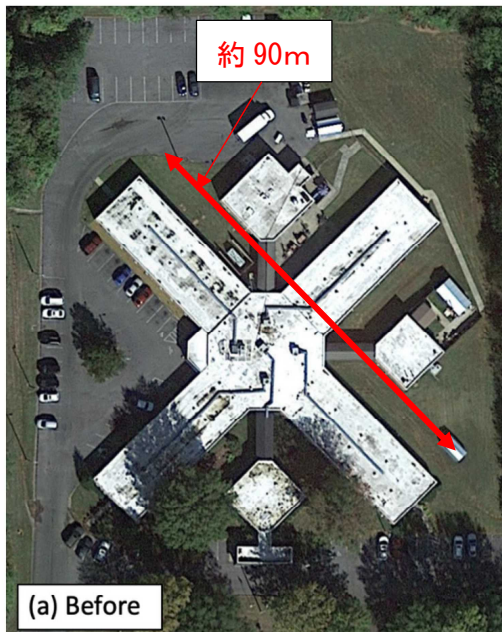


12月11日の衛星画像

写真-1 ケンタッキー州メイフィールドの住宅街 (EF4)<sup>14</sup>に加筆  
(©2021 Maxar Technologies・ロイター)  
Health and Rehabilitation Centerの被害は、写真-5参照

<sup>14</sup> 日本経済新聞：史上最大級の米竜巻 衛星データが示す爪痕  
<<https://vdata.nikkei.com/newsgraphics/quad-state-tornado/>> (参照 2022年11月29日)





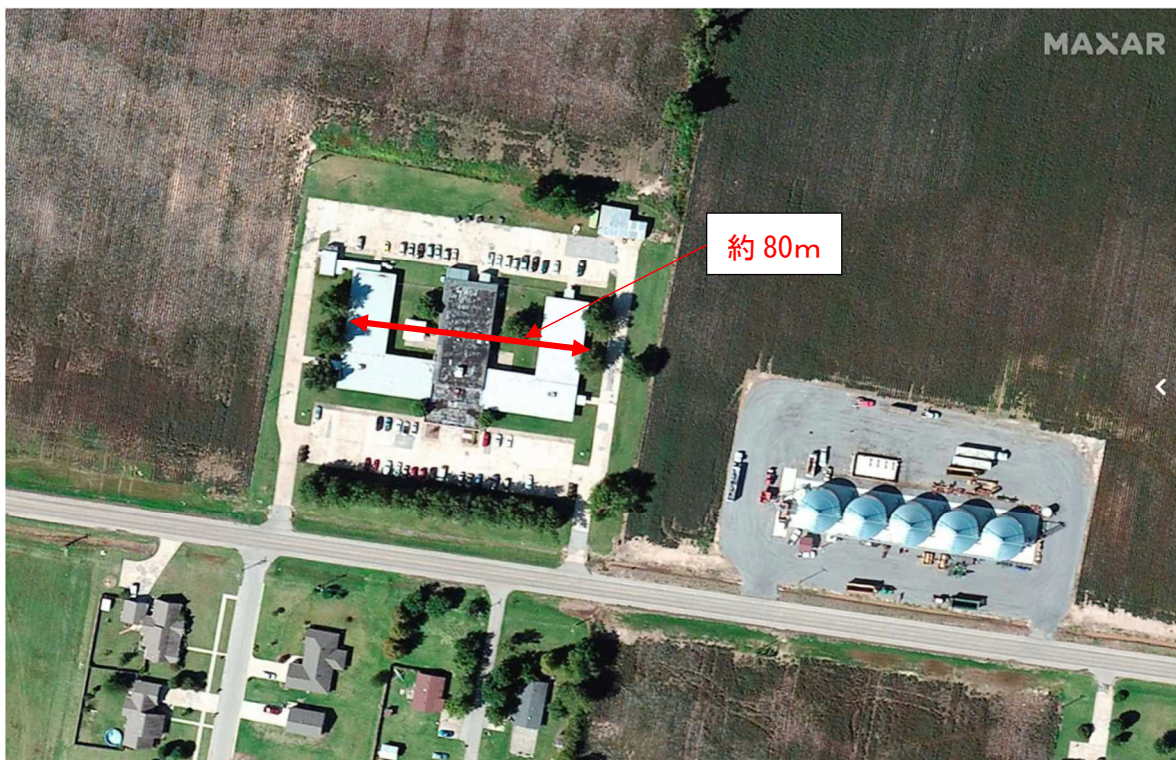
**Figure 6.4.5.** Damage to the Mayfield Health and Rehabilitation Center (Lat: 36.7459, - 88.6309) in Mayfield, KY. (Shared by Manny Perotin from the GIC Grey Skies platform).



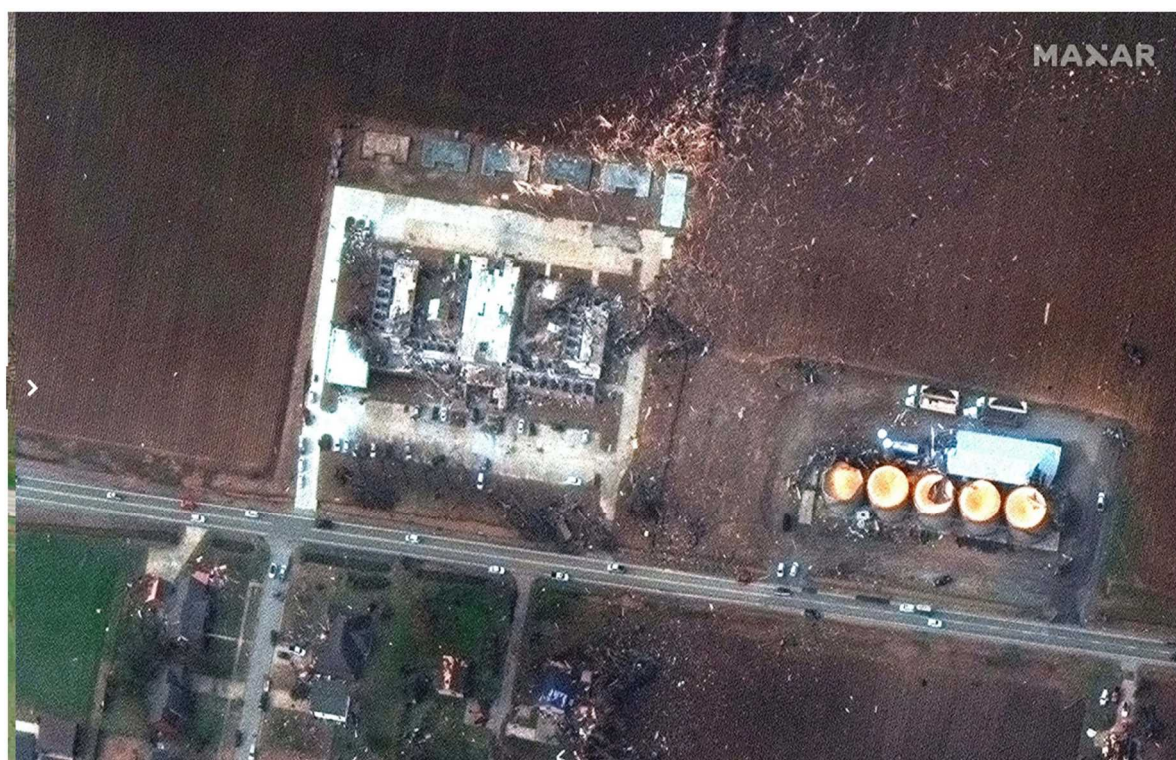
**Figure 6.4.6.** Damage to one wing of the Mayfield Health and Rehabilitation Center (Image acquired by the FAST).

写真-2 ケンタッキー州メイフィールドの Health and Rehabilitation Center (EF 4) <sup>15</sup>に加筆  
 <コンクリートブロック造> 写真-1 の右端の建物

<sup>15</sup> StEER : JOINT PRELIMINARY VIRTUAL RECONNAISSANCE REPORT AND EARLY ACCESS RECONNAISSANCE REPORT (PVRR-EARR), 29 December 2021

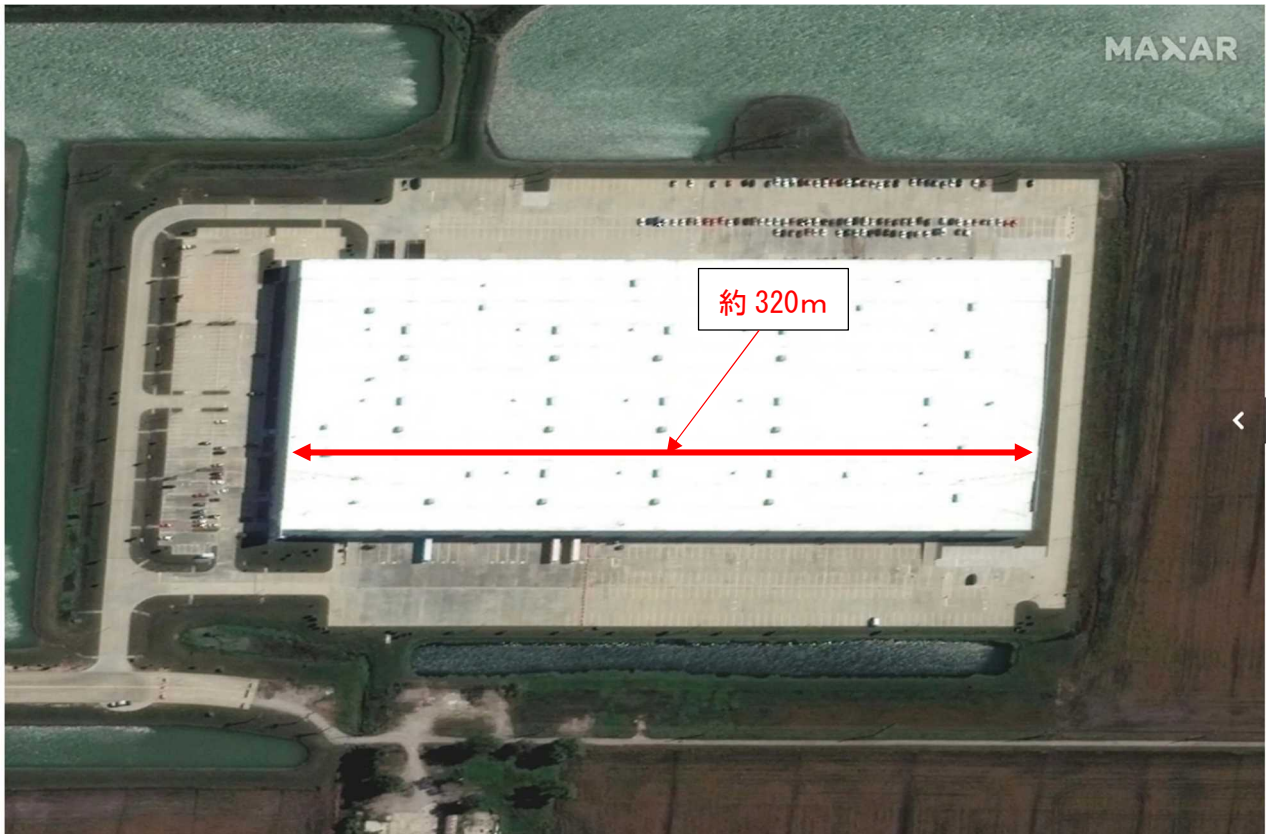


2月22日の衛星画像



12月11日の衛星画像

写真-3 アーカンソー州モネットの老人ホーム（EF4）＜コンクリートブロック造（CMU）＞<sup>14</sup>に加筆  
（©2021 Maxar Technologies・ロイター）



9月24日の衛星画像



12月11日に撮影された衛星画像

写真-4 イリノイ州エドワーズビルのアマゾンの倉庫（EF3）〈鉄骨造〉<sup>14</sup>に加筆  
（©2021 Maxar Technologies・ロイター）