

## 米国アイオワ州におけるトルネード被害調査報告

建築研究所構造研究グループ 主任研究員  
(現在 アイオワ州立大学客員研究員)  
喜々津 仁密

アイオワ州立大学工学部航空工学科 教授  
P. P. サーカー

### 1. はじめに

5 月 25 日 (日) 午後 5 時頃 (米国中西部時間) に、アイオワ州北部の **Butler** 郡を中心としてトルネード被害が発生した。5 月 30 日現在、今回のトルネードの直撃によりアイオワ州全体で 394 戸の住宅が全壊し、7 名が死亡した。米国内での今年のトルネードの発生は過去 3 年間よりも増加傾向にあり、例えば 2 月上旬にはテネシー州等の南部でトルネードが相次いで発生し、50 人以上が死亡する等の被害があったところである (参考資料 1 参照)。また、今回の死者により今年のトルネードによる米国内の死者数は既に 100 名を超え、これは過去 10 年間で最悪の結果である。

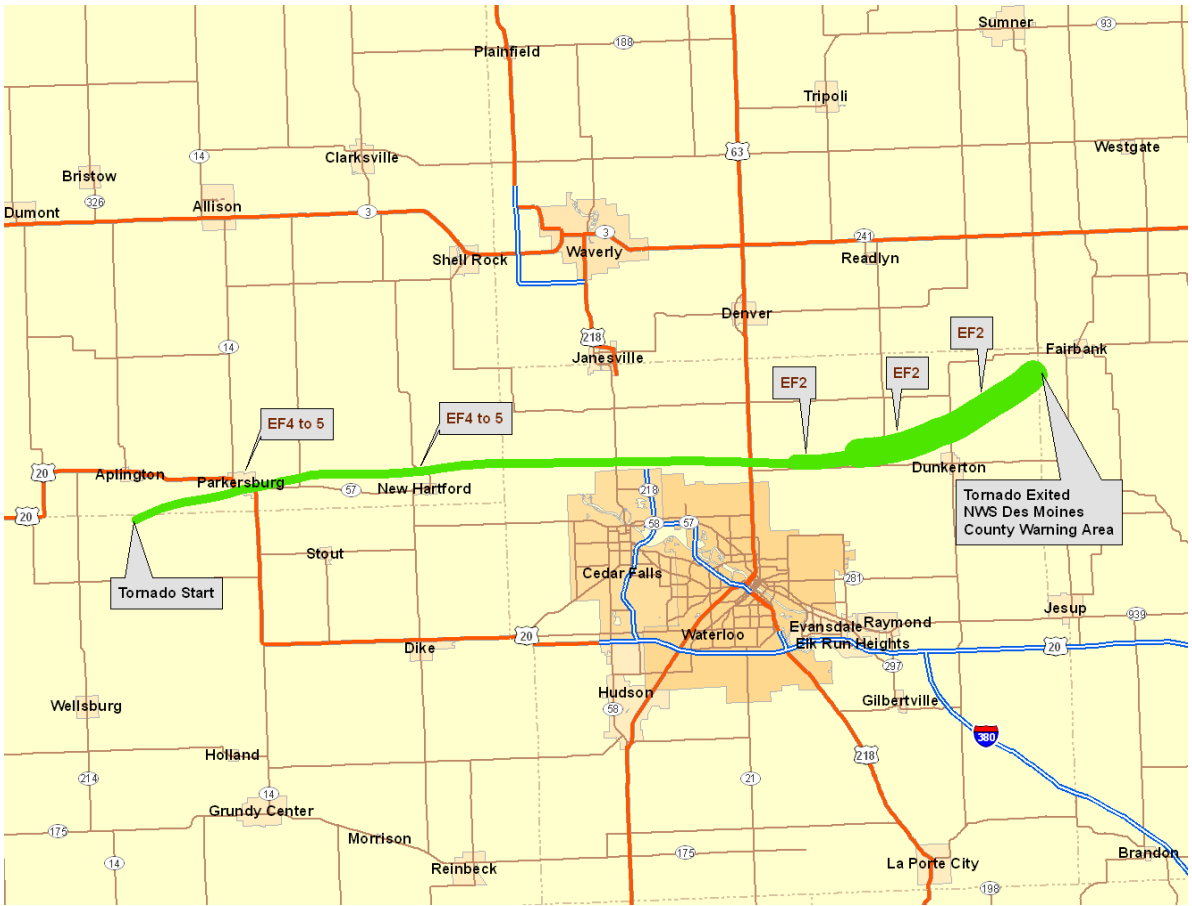
このような状況も踏まえて調査者は、5 月 26 日、27 日及び 30 日に建築物被害の分布状況及び代表的な構造部材等の被害状況の把握を目的に、被害が最も甚大であった **Butler** 郡 **Parkersburg** にて被害調査を実施した。本報では、トルネードによる主な建築物等の被害状況を報告する。

### 2. トルネードの規模と被害の主な概要

アイオワ州による記者発表等<sup>1), 2), 3)</sup> 及び **National Weather Service** による発表<sup>4)</sup> の内容に基づき、トルネードの規模と被害状況の概要を以下にまとめる。

トルネードの規模に関しては、27 日に **National Weather Service** より拡張藤田スケールで **EF5** と発表され、推定風速は 205mph (約 91m/s) である (拡張藤田スケールについては、参考資料 2 参照)。これは今年 5 月までに米国内で発生したトルネードのなかで最大規模であり、またアイオワ州のなかでは 1976 年に発生したトルネード (藤田スケール **F5**) 以来最も規模が大きいものである。なお、当時のトルネードでは、88 戸の建築物が被害を受けたが、死者はいなかった。

トルネードの進行経路と各地での規模を図 1 に示す。タッチダウンの推定時刻は午後 4 時 48 分であり、5 時 58 分に **Black Hawk** 郡と **Buchanan** 郡との境界で確認されるまで東方向に約 43mile (69km) 進んだ。したがって、この間の平均移動速度は約 60km/h になる。



([http://www.crh.noaa.gov/crnews/display\\_story.php?wfo=dmx&storyid=14909&source=0](http://www.crh.noaa.gov/crnews/display_story.php?wfo=dmx&storyid=14909&source=0))

図1 トルネードの進行経路と拡張藤田スケール

人的被害と建築物被害に関する概要は、以下のとおりである。

- アイオワ州全体で5月28日現在、7人が死亡した。年齢の内訳は、72, 74, 71, 80, 80歳（以上がParkersburg内）、71, 48歳（以上がNew Hartford内）となっている。また少なくとも50人が重軽傷を負い、そのうち1名が重体。なお、ミネソタ州では2歳児が死亡している。
- アイオワ州全体で5月30日現在、アイオワ州と連邦緊急事態管理庁が合同で調査した958戸の住宅について、被害の内訳は以下の表1のとおりとなっている。また、住宅以外にも21の店舗等が被害を受けている。

表1 5月30日現在のアイオワ州での住宅被害

被害の程度	被害戸数
全壊 (destroyed)	394
過半の損壊 (major damage)	65
一部損壊 (minor damage)	162
一部被害があるものの使用可能 (affected but habitable)	337

次に、5月28日現在のライフライン等の復旧状況に関しては以下のとおりである。

- ・ 電気と水道の復旧が5月27日から開始された。Parkersburg での停電件数は1,002件で、そのうち320件が全壊した建築物等であるが、27日の午後までには残存している住宅に復旧する見込み。
- ・ ガスは5月29日か30日までに倒壊していない建築物に対して復旧予定である。電気・ガス会社は復旧作業のために約300名の人員(ミネソタ州、ネブラスカ州からの支援人員も含む。)を確保した。

5月30日現在、今回のトルネードによるアイオワ州での被害推計は580万ドルである。そのうち約65%がButler郡での被害とされているが、これらの推計額には個々の住宅被害に係る被害額等が含まれていないため、今後さらに増える見込みである。

### 3. 主な建築物等の被害

図2にParkersburg内の略地図を示す。図中の点線で囲んだおおよその範囲では、ほとんどの住宅の上部構造が残存しておらず、上部構造を構成する枠組材も多数散乱しており、同地域の中でも特に住宅被害が甚大であると思われる。

また、以下の写真1~48に主な建築物等の被害状況を示す。なお、図2中の各数字は以下に示す写真番号の写真の撮影場所に対応している。

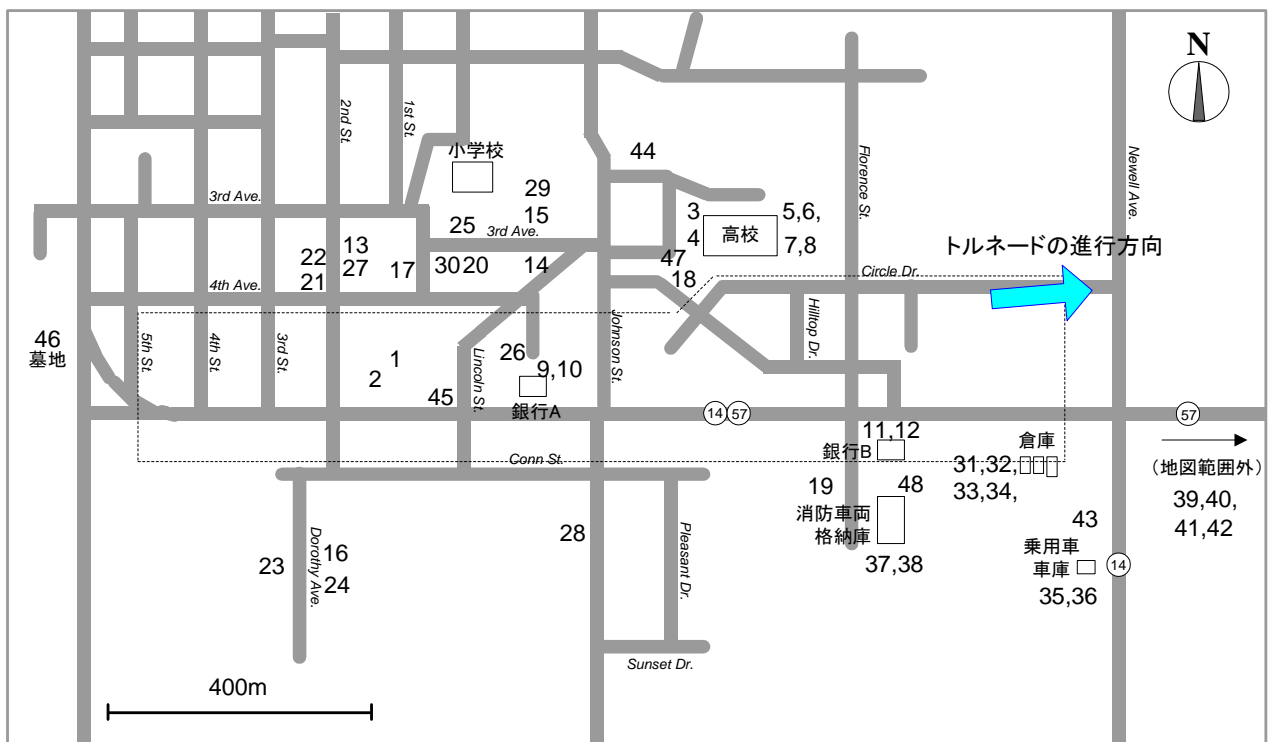


図2 Parkersburgの主な被害分布図



写真1 被害が集中した通りの遠景（北方向を撮影）



写真2 多数飛散した住宅の枠組材等（西方向を撮影）

### 3.1 高等学校の校舎と銀行の被害

高等学校校舎の被害を以下に示す。構造種別はコンクリートブロックによる組積造であり、校舎西側の教室の壁面（写真3,4）、校舎東側の壁面（写真5,6,8）が倒壊している。東側の壁面そばでは、鉄筋が挿入された構造部材の破壊も確認された（写真7）。また、広範囲にわたって屋根が崩落しており、窓ガラスも多数破損している。写真3中の時計の針が4時55分で止まっている。



写真3 教室の壁の倒壊



写真4 教室の壁の倒壊と屋根の崩落



写真5 壁の倒壊と屋根の崩落



写真6 壁の倒壊部分



写真7 鉄筋が挿入された構造部材の破壊



写真8 被害状況の概観

銀行 A, B の被害状況をそれぞれ示す。構造骨組自体は木造である。銀行 A のほうが壁面の倒壊等の構造部材の被害が著しい。



写真9 被害状況の概観（銀行A）



写真10 壁の倒壊（銀行A）



写真11 屋根ふき材の飛散（銀行B）

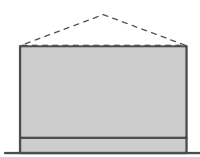
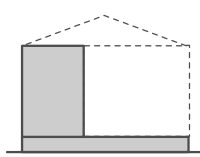
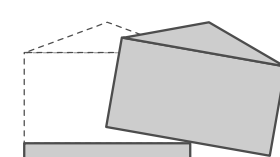
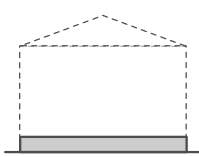


写真12 屋根ふき材と軒下面の飛散（銀行B）

### 3.2 住宅の被害

枠組壁工法による住宅の被害に関しては、屋根ふき材や外壁等の非構造部材の被害だけでなく、以下に示すような被害形態をはじめとする構造部材の被害事例も多数みられた。これらの事例を以下にそれぞれ示す。なお、調査をした多くの住宅が地下室を有していた。

表2 住宅の構造部材の主な被害形態

(1)	(2)	(3)	(4)
			
小屋組の飛散又は倒壊	壁の飛散又は倒壊	上部構造の基礎からの移動	上部構造の飛散又は倒壊

(1) 小屋組の飛散又は倒壊

写真 13 の二階の小屋と妻壁は東方向に転倒しており、トルネードの進行方向に合致している。写真 13, 14, 15 の被害事例では壁自体はほとんど自立しているが、写真 16 の被害事例では壁が倒壊して鉛直支持能力が喪失することにより、小屋組が倒壊（崩落）している。



写真 13



写真 14



写真 15



写真 16

(2) 壁の飛散又は倒壊

一部の居室まわりの外壁と間仕切壁のみが残存している被害例が多い。例えば、写真 19 はシャワー室が残存している例である。



写真 17



写真 18



写真 19



写真 20

### (3) 上部構造の基礎からの移動

写真 21 の住宅は西方に、写真 23 と 24 の住宅は東方にそれぞれ移動している。また調査をした範囲では、地下室の壁面から繋がった基礎のコンクリートブロック中に鉄筋の挿入は認められなかった。



写真 21



写真 22 (写真 21 と同一の建築物)





写真 23



写真 24

#### (4) 上部構造の飛散

上部構造の飛散被害には、1階の床版が残存している場合（写真 25）と1階の床版も飛散して、基礎と地下室のみ残存している場合（写真 26）がある。



写真 25



写真 26

一般にトルネードや竜巻被害の特徴として、台風被害の場合と比較して被害範囲の境界が明確であることが挙げられる<sup>5)</sup>。写真 27 と 28 は被害範囲のおおよその境界を表すものであり、いずれも手前の住宅が小屋組の被害を被っているのに対して奥の住宅は屋根ふき材等の比較的軽微な被害にとどまっている。また、写真 29 と 30 に示すような飛来物による壁面等の被害も多数認められた。飛来物の多くは住宅の枠組材である。



写真 27



写真 28



写真 29 (写真 15 と同一の建築物)



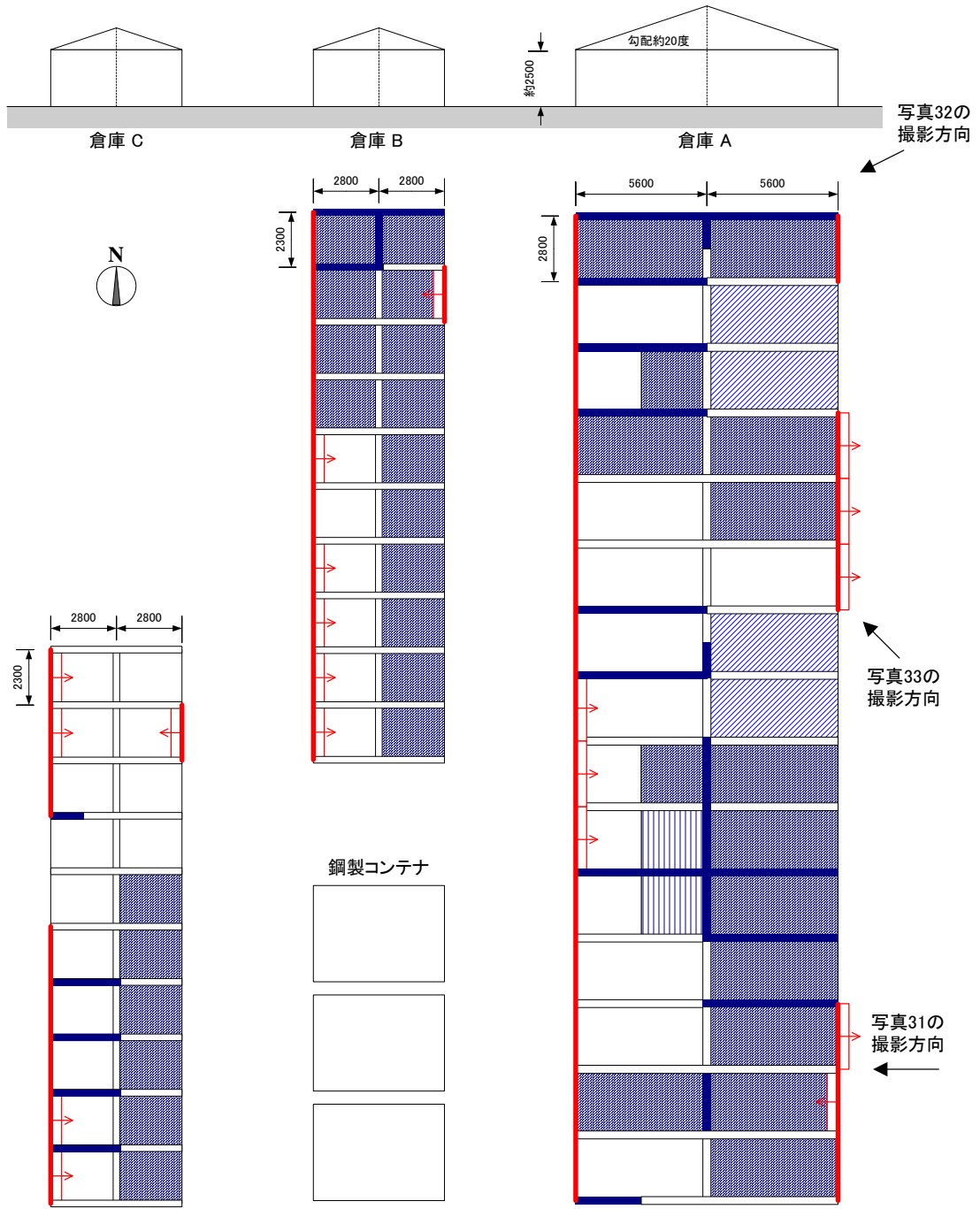
写真 30

### 3.3 倉庫等の被害

倉庫 (写真 31, 32, 33, 34)、乗用車車庫 (写真 35, 36) 及び消防車両格納庫 (写真 37, 38) の被害状況をそれぞれ示す。また、倉庫を構成する各々のユニットの被害状況を図 3 に示す。

隣接した 3 棟の倉庫は切妻型の屋根であり、桁行方向はシャッターが連続している。図 3 をみると、いずれの倉庫も東側のユニットは大部分が屋根の被害、一方の西側のユニットは大部分がシャッターの被害をそれぞれ受けており、対照的な結果となっている。またシャッターの被害に関しては、西側のユニットは内側に、東側のユニットは主に外側にそれぞれめくれていることがわかる (写真 33)。特に倉庫 A、B の北側端部では、妻壁と小屋が飛散しており被害が著しい (写真 32)。

また、乗用車車庫は屋根の西側端部が飛散しており (写真 35)、消防車両格納庫のシャッターは西面 8 個のうち 7 個、東面 2 個全てが飛散又は落下していた (写真 37)。



(凡例)







-  屋根ふき材の飛散+小屋の横架材の著しい損傷
-  屋根ふき材の飛散
-  小屋の横架材の著しい損傷(屋根ふき材は残存)
-  シャッターの飛散又は落下
-  シャッターの面外へのめくれとその方向
-  妻壁又は間仕切り壁の倒壊

図3 倉庫の被害状況



写真 31



写真 32



写真 33



写真 34



写真 35



写真 36



写真 37



写真 38

### 3.4 肥料工場タンクの被害

Parkersburg から 57 号線を東に約 3km 走った地点（図 2 の範囲外）での肥料工場タンクの被害事例を以下に示す。タンク頂部での鋼板のはく離や大きな変形のほか、直径が比較的小さいタンクが転倒する等の被害がみられた。



写真 39



写真 40



写真 41



写真 42

### 3.5 車両等の被害

車両、墓石、樹木及び街路灯の被害をそれぞれ示す。墓石は転倒していないものも比較的多くみられた。また、ここに示すもののほか、電信柱も多数折損していた。



写真 43 運び込まれた被害車両



写真 44 バスの窓ガラス破損



写真 45 貨物トレーラーの横転



写真 46 墓石の転倒



写真 47 樹木の折損



写真 48 街路灯の折損

#### 4. 被害に関連する事項

アイオワ州による発表や地元紙の報道内容<sup>1), 2)</sup>に基づいて、トルネード被害に関連する主な事項を以下にまとめる。また、被害発生直後の CNN ニュースでの報道状況を写真 49 と 50 に示す。

- ・ アイオワ州知事は、5月25日に Butler, Buchanan, Black Hawk 郡、26日に Delaware 郡にそれぞれ州災害地域 (state disaster areas) 宣言を出した。またブッシュ大統領も被災住民に援助を行うために、7名の死者が確認された27日に Parkersburg がある Butler 郡、30日に Buchanan, Black Hawk, Delaware 郡にそれぞれ連邦災害地域 (federal disaster area) 宣言を出した。
- ・ 今回の人的被害で、今年のパルネードによる死者数は全米で100名を超え、ここ10年間で最悪の結果である。
- ・ Parkersburg に対しては4時46分にトルネード警報が発令されており、トルネードが通過するより少なくとも5分前には、サイレンが鳴っていたと思われる。また Parkersburg の発表によれば、今回のトルネード発生の数日前に追加の警報サイレンを設置したところであり、これが人的被害の抑制につながったと考えられるとのことである。
- ・ Parkersburg と同様に死者を出した New Hartford では、トルネードが通過する少なくとも15分前には鳴っていたが、停電のため数分鳴っただけだった。その後は、消防車がサイレンを鳴らしながら巡回したとのことである。
- ・ アイオワ州から100mile以上離れたウィスコンシン州内の町にも、被災地のものと思われる軽量の飛来物(書類等)が達した。



写真 49 CNN ニュース (5月25日夜)



写真 50 CNN ニュース (5月26日午前)

参考資料

1. 米国における 2008 年のトルネード発生状況（例年の発生数との比較）<sup>6)</sup>

米国の商務省国立海洋気象庁は、米国における 2008 年のトルネード発生数の推移を発表している。図 4 中の紫線は当初報告された累積発生数であるが、同一のトルネードを異なる場所で重複して確認されているものもあるため、それらを逐次修正されたものが赤線の結果である（現時点では 2 月分まで修正されている）。いずれにしても、今年 5 月までの発生数は過去 3 年間の発生数、また過去 10 年間の平均発生数よりも増加傾向にあることがわかる。なお、過去 10 年間の年間平均発生数は 1,270 個となっている。

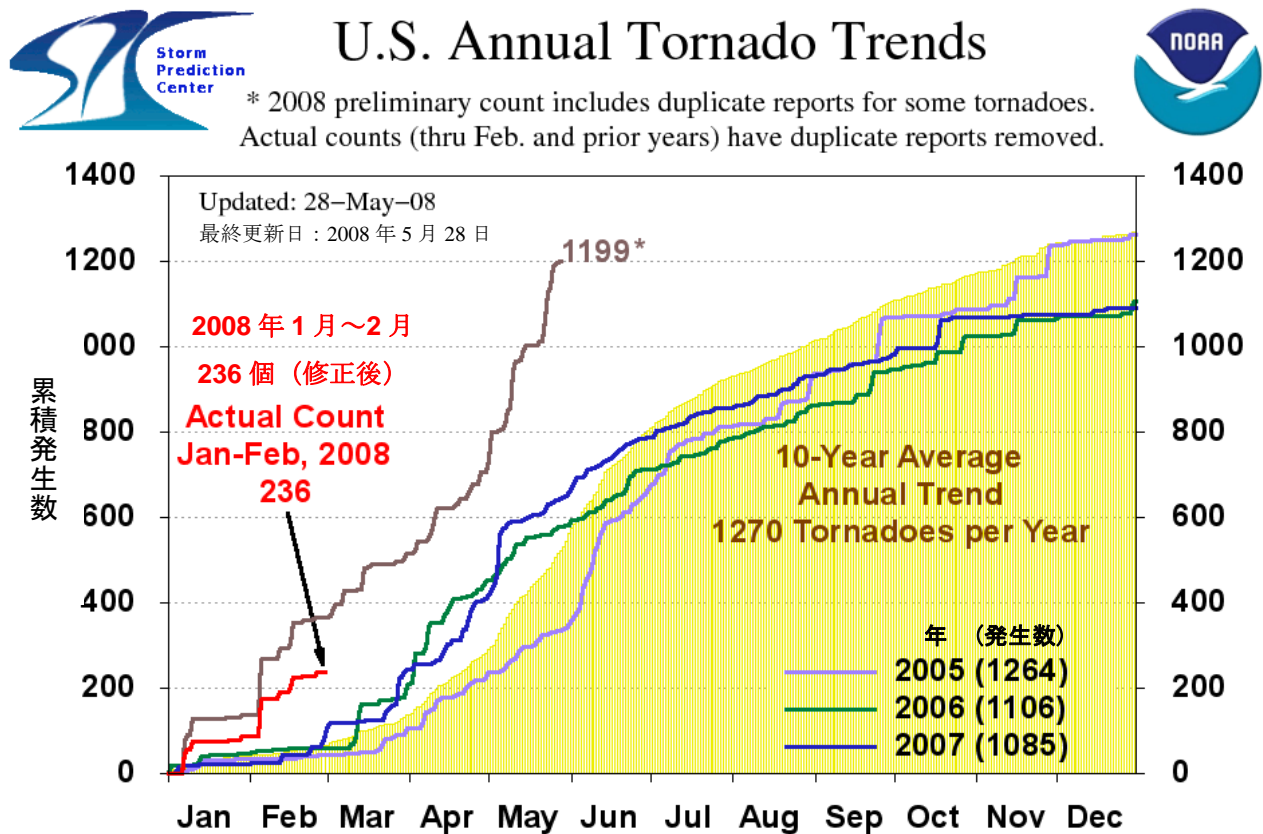


図 4 米国における 2008 年のトルネード発生数と例年の発生数との比較（文献 6 に加筆）



また、表 3 に今年 5 月までの主なトルネードの規模と発生地域<sup>3)</sup>をまとめる。規模の大きいトルネードの発生地域は米国南部と中西部に集中している。同表中の拡張藤田スケールについては、後掲の参考資料 2 を参照のこと。

表 3 2008 年 5 月までに発生した主なトルネードの規模と地域

発生日	トルネードの規模 (拡張藤田スケール)	発生地域 (州)	主な被害地域等
1 月 7～10 日	確認数 72 のうち 最大 <b>EF3</b>	中西部 (イリノイ・ウィスコンシン・ミズーリー) 南部 (アーカンソー・ミシシッピ・アラバマ)	
2 月 5～6 日	確認数 81 のうち 最大 <b>EF4</b>	南部 (アーカンソー・ケンタッキー・テネシー・アラバマ)	メンフィス市内 ユニオン大学 56 名が死亡
3 月 14～15 日	確認数 29 のうち 最大 <b>EF3</b>	南部 (ジョージア・アラバマ)	アトランタ市内 (ジョージアドーム、CNN センター等)
4 月 8～11 日	確認数 58 のうち 最大 <b>EF3</b>	中西部 (ミシガン・アイオワ) 南部 (アラバマ・ケンタッキー・テネシー等)	
5 月 7～15 日	確認数 112 のうち 最大 <b>EF4</b>	南部 (オクラホマ・ノースカロライナ・バージニア・ジョージア等)	オクラホマシティ市内

## 2. 拡張藤田スケール (Enhanced Fujita Scale) <sup>7), 8)</sup>

拡張藤田スケールは、建築物の用途や規模等に応じて詳細な被害の程度を明らかにし、その結果に基づいてトルネードの規模を評価する指標であり、2007 年から従来の藤田スケールに代わって米国内で採用されている。

拡張藤田スケールでは、表 4 に示す被害建築物等についてそれぞれの被害の程度に対応した推定風速が表 5 のような体裁で示されている。表 5 では、今回のトルネードで甚大な被害を受けた住宅と高等学校の校舎について例示している。例えば、区分 2 の 1 世帯又は 2 世帯向け住宅の場合、小部屋の間仕切壁を除くほとんどの壁が倒壊していれば、表 5 (a) に示す DOD が 8 の被害状態に相当し、このときの推定風速は 152mph (推定の幅 127～178mph) であると判定される。これを表 6 に当てはめれば、当該被害をもたらしたトルネードの規模は拡張藤田スケールで EF3 であると判定される。

表4 被害建築物等の区分

区分	被害建築物等	区分	被害建築物等
1	小規模な納屋又は農業施設	15	小学校校舎
2	1世帯又は2世帯向け住宅	16	中学校・高等学校の校舎
3	工業化住宅	17	低層建築物（1～4階）
4	工業化住宅	18	中層建築物（5～20階）
5	アパート、マンション	19	高層建築物（21階以上）
6	簡易ホテル	20	公共施設（1～10階）
7	アパート又は簡易ホテル	21	鋼製プレハブ建築物
8	小規模な店舗	22	ガソリンスタンドの屋根
9	小規模な商業施設	23	倉庫
10	ショッピングモール	24	電信柱
11	大規模なショッピングモール	25	鉄塔
12	大規模な商業施設	26	独立柱
13	車両展示場	27	樹木（広葉樹）
14	車両整備場	28	樹木（針葉樹）

表5 被害の程度と推定風速との関係

(a) 区分2 1世帯又は2世帯向け住宅の場合

DOD*	被害の状態	風速（mph）		
		推定値	下限値	上限値
1	目視で分かる程度の被害	65	53	80
2	屋根ふき材（20%未満）の飛散、樋や日よけの損傷、サイディングの飛散	79	63	97
3	ドア又は窓の損傷	96	79	114
4	屋根版の上への浮き上がり又は広範囲の屋根ふき材（20%以上）の飛散、屋根の煙突の倒壊、車庫のドアの内側への倒れこみ、カーポートの損傷	97	81	116
5	建築物全体の地盤からの移動	121	103	141
6	広範囲の小屋組を構成する部材の飛散（壁は自立）	122	104	142
7	外壁の倒壊	132	113	153
8	外に面していない小部屋の間仕切壁を除くほとんどの壁の倒壊	152	127	178
9	全ての壁の倒壊	170	142	198
10	適切に設計施工された住宅の全壊、床版の飛散	200	165	220

※DOD Degree of Damage（被害の程度）

表5 被害の程度と推定風速との関係（続き）

(b) 区分16 中学校・高等学校の校舎

DOD*	被害の状態	風速 (mph)		
		推定値	下限値	上限値
1	目視で分かる程度の被害	68	55	83
2	屋根ふき材（20%未満）の飛散	79	66	99
3	窓の損傷	87	71	106
4	玄関ドア等の損傷	101	83	121
5	鋼板製の屋根材の浮き上がり，広範囲の屋根ふき材（20%以上）の飛散	101	85	119
6	帳壁の損傷又は落下	108	92	127
7	体育館、カフェテリア又は講堂の組積造による壁の倒壊	114	94	136
8	軽量鋼材による屋根版の浮き上がり又は倒壊	125	108	148
9	最上階の外壁の倒壊	139	121	153
10	最上階の大部分の間仕切り壁の倒壊	158	133	186
11	過半の構造の倒壊又は全壊	192	163	224

※DOD Degree of Damage (被害の程度)

表6 拡張藤田スケールと推定風速との関係

スケール	推定風速 (3秒ガスト風速) mph (m/s)
EF0	65 – 85 (29 – 38)
EF1	86 – 110 (38 – 49)
EF2	111 – 135 (49 – 60)
EF3	136 – 165 (60 – 73)
EF4	166 – 200 (74 – 89)
EF5	> 200 (>89)

## 参考文献等

- 1) アイオワ州記者発表資料 <http://www.governor.iowa.gov/news/>
- 2) The Des Moines Register (5月27, 28, 29, 30日版)
- 3) [http://en.wikipedia.org/wiki/Tornadoes\\_of\\_2008](http://en.wikipedia.org/wiki/Tornadoes_of_2008)
- 4) [http://www.crh.noaa.gov/crnews/display\\_story.php?wfo=dmx&storyid=14909&source=0](http://www.crh.noaa.gov/crnews/display_story.php?wfo=dmx&storyid=14909&source=0)
- 5) 奥田・喜々津・村上：2006年佐呂間町竜巻 被害調査報告，  
<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/activities/other/disaster/kaze/2006saroma/2006saroma.pdf>
- 6) <http://www.spc.noaa.gov/wcm/>
- 7) <http://www.spc.noaa.gov/efscale/>
- 8) <http://www.wind.ttu.edu/EFScale.pdf>