

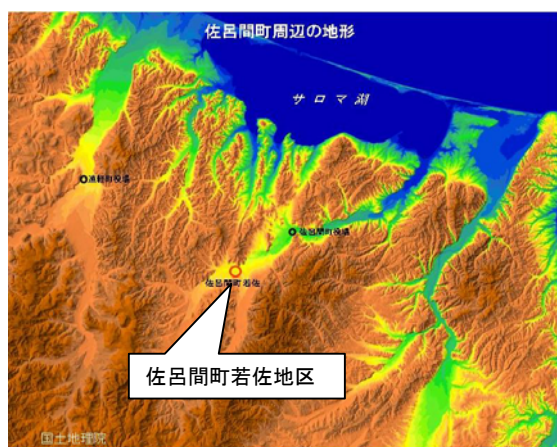


図2 佐呂間町周辺の地形（国土地理院⁶⁾）

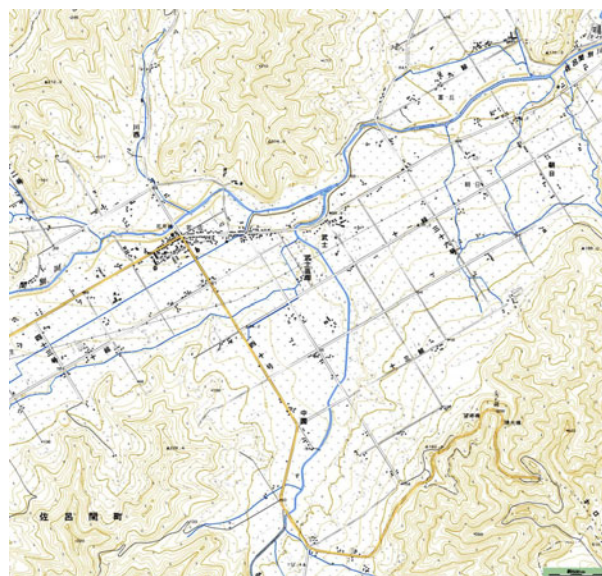


図3 佐呂間町若佐地区（国土地理院⁶⁾）

さしかかっていた³⁾。気象研究所は、竜巻をもたらした積乱雲を雲解像モデルで再現し、強い上昇気流と下降気流を伴ったスーパーセルの特徴を有していたことを報告している⁴⁾。当日は、北海道日高町、同豊富町等でも突風被害が発生し、翌々日の9日には北海道奥尻島青苗地区でも竜巻被害⁵⁾が発生している。

3. 佐呂間町若佐地区における竜巻被害

3.1 被害概要

11月7日13時20分から30分にかけて北海道佐呂間町若佐地区で竜巻が発生した（図2, 3参照）。佐呂間町の調査によると、人的被害は死者9名、重傷者6名、軽傷者20名、住家被害は全壊12世帯、半壊8世帯、一部損壊18世帯、非住家被害は全壊35棟、半壊3棟、一部損壊27棟となった（2006年11月8日21時現在、佐呂間町調査）。死者9名および重傷者の多くは、竜巻が直撃した新佐呂間町トンネル工事（2004年3月～2008年3月予定）事務所の所員ほかである。佐呂間町若佐地区の住民の人的被害は比較的軽度である。

図2、3に示すように被災地はサロマ湖から約15km内陸側の地域で、周辺を山に囲まれた地形である⁶⁾。ただし、この地域の地形は山が比較的なだらかで平坦地に近い地形とも考えられる。若佐地区は国道333号線の交差点を中心に集落があり、集落の周辺は農地である。気象庁の調べ⁷⁾によると図4に示すように近年北海道東部は竜巻被害がほとんど報告されていなかった地域であった。

気象庁によると、竜巻の被害は、長さ約1km（竜巻は若佐地区南側から若佐地区中心部の集落を縦断した）、幅100～200mとされているが、飛散物は約15km北のサロマ湖周辺にまで及んでいるとのことである。気象庁¹⁾によると、被害の程度から判断し藤田スケールF2以上としている。

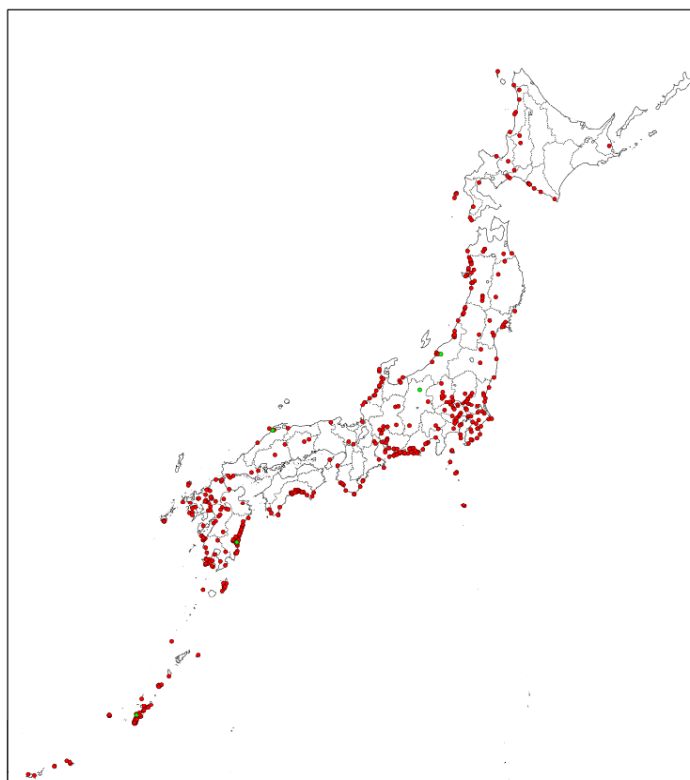


図4 災害をもたらした竜巻の発生位置の分布図（気象庁 1971～2005年⁷⁾）

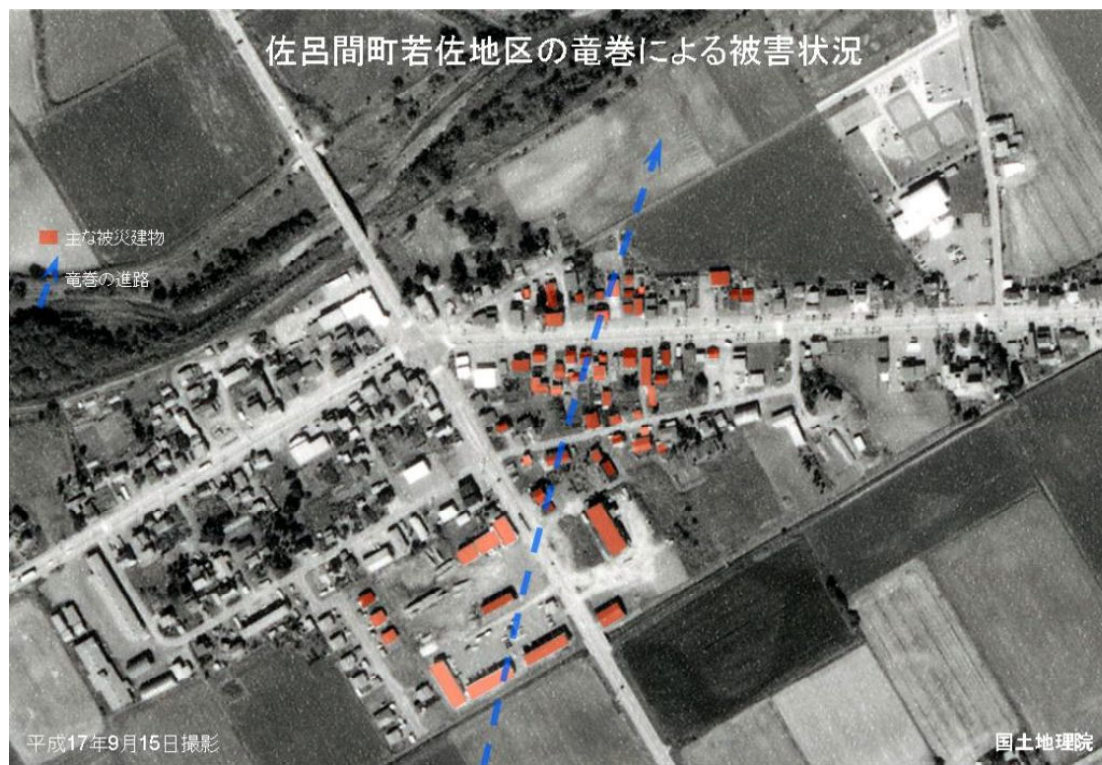


写真1 佐呂間町若佐地区での竜巻の経路（2005年9月15日国土地理院撮影⁶⁾）



写真2 佐呂間町若佐地区被害状況（2006年11月8日(株)シン技術コンサル撮影⁶⁾）

3.2 被害状況空中写真

写真1は竜巻被害の約1年2ヶ月前に国土地理院が撮影したもので、写真2は被災翌日の11月8日に(株)シン技術コンサルが撮影したものである⁶⁾。写真1、2に示すように竜巻は佐呂間町若佐地区の中心部を南から北に縦断した。写真2の左下が死者9名を出した新佐呂間トンネル作業事務所・宿舎である。

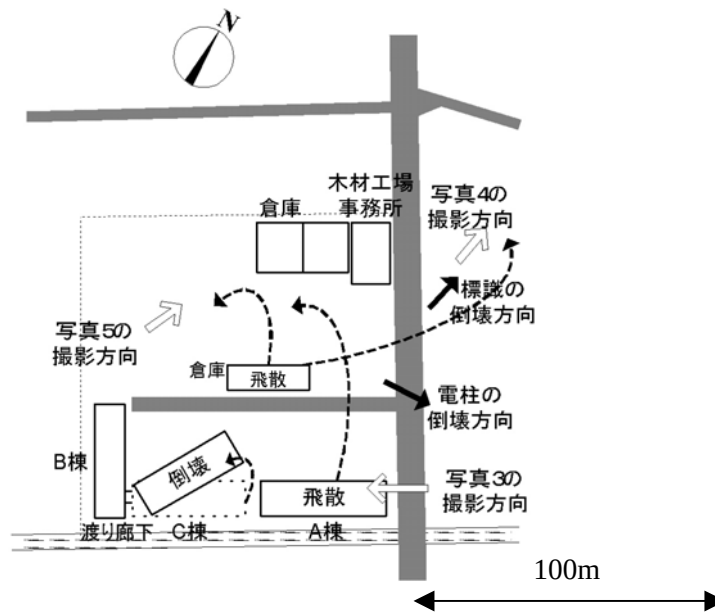


図5 新佐呂間トンネル作業事務所・宿舍の敷地状況



写真3 被災直後の新佐呂間トンネル作業事務所・宿舍（国土交通省北海道開発局提供）

3.3 仮設建築物の被害

佐呂間町若佐地区では、新佐呂間トンネル作業事務所・宿舍として供されている3棟の仮設建築物（全て2階建て軽量鉄骨造）のうち、A棟が北側に飛ばされ、C棟東側が北側に移動し倒壊した。（図5参照）。写真3の手前はA棟（所長室、事務所及び打合せ室）の跡で、上部構造が向かって右方向（北方向）に吹き飛ばされているため、木ぐい群のみが残されている状態である。写真4、5、20に示すように、A棟の上部構造とみられる構造部材（ラチス梁）等が北側に隣接する木材工場敷地内および道路を挟んで東側の敷地内に多数散乱していた。

なお、1階で渡り廊下を介してC棟と連結されているB棟（宿舍）は窓ガラスの破損があったものの、被害を受けたA・C棟とは対照的に顕著な被害はみられなかった。



写真 4 被災直後の新佐呂間トンネル作業事務所向いの状況（国土交通省北海道開発局提供）



写真 5 被災直後の木材工場付近の状況（国土交通省北海道開発局提供）

A 棟では、写真 6、7 に示すような木ぐい（径約 100mm，地面からの高さ約 510mm）が敷地内に打たれており、外周部は梁間方向、桁行方向ともに約 900mm 間隔、外周部以外は梁間方向が約 1800mm 間隔、桁行方向が約 900mm 間隔となっている。木ぐいの上面には釘が抜けた跡があり、根太との固定のために釘が打たれていたものと思われる。また、外周部の木ぐいは、1 本おき（約 1800mm 間隔）にかすがいで土台（角材 100mm×100mm）に固定されていた跡が認められた（写真 8、9 参照）。なお、写真 6、7 に木ぐいを貫通するボルトと木ぐいを挟む 2 本の横材があるが、これらの横材は杭の通りを良くしばたつかなくするための根絡みであり、荷重伝達を図るような構造材ではないものと考えられる。

一方の C 棟では、写真 10 に示す木ぐい（径約 100mm，地面からの高さ約 310mm）が敷地内に打たれており、桁行方向の外周部は約 900mm、外周部以外は梁間方向が約 900mm 間隔、桁行方向が約 1800mm 間



写真6 木ぐい (A棟)



写真7 木ぐい (A棟)



写真8 木ぐい側に残ったかすがい (A棟)



写真9 土台側に残ったかすがい (A棟)



写真10 木ぐい (C棟)



写真11 角型鋼管の土台と木ぐいとを固定した接合金物 (C棟)

隔となっている。また、外周部の桁行方向の木ぐいには、1本おき（約1800mm間隔）で2本のくぎを打ち付けた跡が認められた。これは木ぐいと土台と思われる角型鋼管（100mm×100mm）との固定のために用いた短冊状の接合金物（幅約40mm×長さ約180mm×厚さ約2mm）を、木ぐいに固定した跡であると考えられる。接合金物自体は、土台と思われる角型鋼管にボルトで留め付けられた状態で発見できた（写真11参照）。ただし、この接合金物の取り付け間隔は確認できなかった。また、渡り廊下側の木ぐいには、C



写真 12 B 棟と C 棟をつなぐ渡り廊下



写真 13 渡り廊下の木ぐいに残った接合金物



写真 14 事務所併用住宅の被害



写真 15 事務所併用住宅の被害

棟の木ぐいに用いられたものと同じ仕様と考えられる接合金物が残っており、土台を留めつけるためのボルト孔が損傷している状態であった（写真 12、13 参照）。

3.4 住宅・倉庫の被害

佐呂間町役場の調査によると、住家被害は全壊 12 世帯、半壊 8 世帯、一部損壊 18 世帯、非住家被害は全壊 35 棟、半壊 3 棟、一部損壊 27 棟であった。（平成 18 年 11 月 8 日 21 時現在）。木造住宅の構工法は在来軸組構法が一般的で、桝組壁工法は 1, 2 棟程度とのことであった。また、この集落は道路の拡幅工事による立ち退きがあり、比較的新しい住戸が多いとのコメントが佐呂間町役場からあった。損傷した住宅・倉庫の廃材から、比較的綺麗な製材や断熱材、石膏ボード等が見られたことからそのことが確認できた。

この集落の住宅・倉庫における屋根葺き材は金属板葺きが多く、屋根形状は陸屋根や片流れ屋根が比較的多いように思われた。これはこの地域が寒冷地で積雪深が 1m 程度あるためと思われる。外装材は土塗り壁やモルタル仕上げは少なく、ほとんどが窯業系サイディングを使用していた。主な被害内容として、外装材及び窓ガラスは飛来物による衝突痕や破損が見られ、屋根ふき材の飛散もみられた。特に被害の大きい住宅や倉庫では、建物自体が倒壊しているもの、屋根全体（屋根ふき材、棟木、たるき、屋根下地合板等が一体）が飛散し、柱が剥き出しになっているものが見られた。以下に、被害のあった住宅や倉庫等の主な被害状況を写真 14～25 に示す。



写真 16 天井が上部に引っ張られている住宅



写真 17 小屋束とたるき間のかすがいが外れた住宅



写真 18 屋根葺き材が飛散した住宅



写真 19 屋根（下地材を含む）及び外壁の一部が飛散した住宅



写真 20 飛来物による損傷の激しい店舗併用住宅
(国土交通省北海道開発局提供)



写真 21 飛来物による衝突痕が残る倉庫
(国土交通省北海道開発局提供)



写真 22 屋根（下地材を含む）全体が飛散した住宅



写真 23 残留変形のある住宅



写真 24 倒壊した住宅の基礎
(国土交通省北海道開宅発局提供)



写真 25 窓ガラスの破損及び屋根が飛散した住宅



写真 26 屋根が飛ばされた倉庫



写真 27 外壁が飛ばされた倉庫



写真 28 横転した重機
(国土交通省北海道開発局提供)



写真 29 数 10m 飛ばされた 4 トントラック



写真 30 道路標識の折損
(国土交通省北海道開発局提供)



写真 31 電柱の折損
(国土交通省北海道開発局提供)

3.5 その他の被害

写真 28、29 に車両の被害を示す。どちらも新佐呂間トンネル事務所・宿舍と同敷地内での被害である。写真 28 の重機は飛散した作業事務所 A 棟が衝突し横転した可能性がある。写真 29 の 4 トントラックは作業事務所 A 棟の東側に駐車していたものが、北側に数 10m 飛ばされたとのことである。写真 30 は作業事務所に隣接する国道 333 号の東側に設置されていた道路標識で、竜巻の進行方向の折損している。写真 31 は国道 333 号西側に設置された電柱で、竜巻の進行直交方向に折損している（図 5 参照）。



写真 32 全壊した事務所併用住宅



写真 33 屋根が一部損傷した住宅



写真 34 屋根（下地材を含む）が飛散した住宅



写真 35 屋根が飛散した住宅と健全な住宅

3.6 竜巻被害の特徴

強風による建築物等の被害は、屋根ふき材や外壁といった外装材の被害が多いこと、外装材等が飛ばされ飛来物となり周辺の建築物等に新たな被害を及ぼすこと、等が挙げられるが、竜巻の被害の特徴としては、さらに、台風被害に比較し被害範囲が極めて狭いこと、被害範囲の境界が明確であること、飛来物の中には外装材だけでなく重量のある構造部材・車両・家財等が含まれること、等がある。

写真 32～35 は被害範囲の境界を表わすもので、写真 32 の手前の事務所併用住宅は屋根が飛ばされ外壁にも無数の飛来物の衝突痕があるが、奥の住宅(写真 33) は窓ガラスの破損、屋根ふき材の一部剥離といった比較的軽微な被害である。写真 34 の平屋住宅は屋根の半分が飛ばされているが、東隣の住宅には目立った被害はない。写真 36 は被災直後の飛散物の状況である。これらの飛散物の一部は、被災地から約 15km 北のサロマ湖周辺まで到達していたとのことである。



写真 36 飛散物の状況
(国土交通省北海道開発局提供)

4. 竜巻被害の分布

図6に掲げる被害分布図は、今回の竜巻被害について、調査者らが提案した強風被災度ランク⁸⁾（表1参照）を当てはめて作成したものである。図中の矢印で示すように竜巻は左下から右上に移動した。被害範囲内での被害分布は一様ではなく、被害範囲の幅は100～250mくらいで、進行方向に対してその幅が狭くなっていることが分かる。ランク④及び⑤の建築物群を概ねカバーするように結んだ線を竜巻中心部の進行経路であると推定すると、被害分布は推定した竜巻中心部から進行方向右側に広がっていることがわかる。また、図中右に岩佐コミュニティセンターがあり、その周辺でも被害見られる。2本の竜巻を見たという住民の証言もあり、この被害は別の竜巻による可能性もある。

表1 強風被災度ランク⁸⁾

ランク	被害の程度	被害の状況（例）
①	極く軽微な被害	住宅のテレビアンテナが曲がる。樋が落ちる。小枝が折れ、葉が飛散する。
②	軽微な被害	瓦がずれる。軒先やケラバなどで部分的に瓦が飛散する。太い枝が折れる。
③	顕著な被害	屋根の広範囲で瓦が飛散し、野地板の広い面が見える。部分的に窓ガラスが割れる。太い木が倒れる。
④	甚大な被害	屋根の垂木や母屋が破損する。小屋組が壊れる。多くの窓ガラスが割れる。
⑤	壊滅的な被害	家屋が倒壊する。



図6 強風被災度ランクによる若佐地区での強風被害分布（矢印は竜巻中心部の経路）

5. 被災直後の行政対応

佐呂間町では11月7日14時00分に佐呂間町災害対策本部を設置した。北海道では同日14時07分に佐呂間町竜巻災害 北海道災害対策連絡本部、佐呂間町竜巻災害 北海道災害対策網走地方連絡本部、佐呂間町竜巻災害 北海道災害対策東京地方連絡本部を設置し、同日16時40分に佐呂間町竜巻災害 北海道災害対策本部、佐呂間町竜巻災害 北海道災害対策網走地方本部、佐呂間町竜巻災害 北海道災害対策東京地方本部を設置した。内閣府は同日18時30分に関係省庁連絡会議を開催した。また、同日災害支援法を適用し避難所を設置し、被災者生活再建支援法の適用を決定した²⁾。

佐呂間町は被災直後から被害状況の把握のため、町職員が住家の全壊・半壊・一部損壊等の1次調査を実施した。11月10日から延岡竜巻での延岡市の被害判定方法にならって、佐呂間町ほかの建築専門家が2次調査を実施し詳細な被害統計をまとめている。

6. まとめ

建築研究所では2006年11月7日に北海道佐呂間町で発生した竜巻の現地被害調査を実施した。住宅の被害では、飛来物の外壁への衝突、屋根の飛散といった被害が目立ち、被害の境界が明確であった。竜巻の被害が発生した範囲は、長さ約1km、幅約100m～250mの範囲であるが、飛散物は岩佐地区北側の広範囲に亘り、約15km先のサロマ湖周辺まで到達していた。

謝辞

本被害調査を実施するにあたり、国土交通省、同省北海道開発局、佐呂間町ほか関係各位には、災害直後にも関わらず大変なご協力をいただいた。ここに記して謝意を表したい。

参考文献

1. 気象庁：平成18年11月7日に佐呂間町で発生した突風について（第二報）
<http://www.jma.go.jp/jma/press/0611/08b/tatsumaki2.html>
2. 内閣府：北海道佐呂間町における竜巻による被害状況等について（第5報）（平成18年11月14日19時00分現在）
http://www.bousai.go.jp/kinkyu/061107_toppuu/toppuu05.pdf
3. 札幌管区気象台：気象速報「平成18年11月7日佐呂間町で発生した竜巻に関する気象速報」
<http://www.sapporo-jma.go.jp/weatherflush/pdf/KishoH181107.pdf>
4. 気象研究所：佐呂間町で発生した竜巻をもたらした積乱雲の再現実験（雲解像モデルによる）においてスーパーセルを確認
<http://www.jma.go.jp/jma/press/0611/17a/mri20061117.html>
5. 函館海洋気象台：平成18年11月9日に奥尻町で発生した突風について（第二報）
<http://www.hakodate-jma.go.jp/info/houdou/houdou20061115.pdf>
6. 国土地理院：北海道佐呂間町における竜巻関連
<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h18topuu/index.html>
7. 気象庁：竜巻分布図
<http://www.data.kishou.go.jp/bosai/report/tatsumaki/bunpuzu.html>
8. 奥田泰雄・西村宏昭・喜々津仁密：強風被災度ランクの提案、日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1、pp. 123-124、2005.9
9. 国土交通省：冬柴大臣会見要旨（平成18年11月10日）、
<http://www.mlit.go.jp/kaiken/kaiken06/061110.html>
10. 建設省建築研究所：1990年の千葉県茂原市の竜巻による建築物の被害調査報告、建築研究資料 No.78、1992.3
<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/data/78.htm>
11. 平成11年度科学研究費補助金（特別研究促進費）研究成果報告書「台風9918号に伴う高潮と竜巻の発生・発達と被害発生メカニズムに関する調査研究」、2000.6
12. 喜々津仁密・奥田泰雄・伊藤 弘：群馬県境町で発生した突風による建築物等の被害について、独立行政法人建築研究所 HP、2002.7、
<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/structural/tatsumaki/index.pdf>

13. 奥田泰雄・喜々津仁密・村上知則・石原 直：佐賀市・鳥栖市竜巻 現地被害調査報告、独立行政法人建築研究所 HP、2004.7、<http://www.kenken.go.jp/japanese/research/str/list/topics/saga-tatsumaki/index.pdf>
14. 奥田泰雄・喜々津仁密：2006 年台風 13 号被害調査報告 -延岡市の竜巻被害と飯塚市文化施設の屋根被害-、独立行政法人建築研究所 HP、2007.11、
<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/activities/other/disaster/kaze/2006taifu13/2006taifu13.pdf>

参考資料 1 最近の主な竜巻の被害

1990.12	茂原竜巻 千葉県茂原市・富津市ほか 被害の長さ 5km：幅最大 1km 死者 0 名、重傷者 7 名、軽傷者 72 名 全壊 85 棟、半壊 176 棟、一部損壊 1843 棟（千葉県）	F3 (70-92m/s) ¹⁰⁾
1999.9	豊橋竜巻 愛知県豊橋市・豊川市ほか 被害の長さ 19km：幅最大 550m 死者 1 名、重傷者 14 名、軽傷者 400 名 全壊 40 棟、半壊 309 棟、一部損壊 1980 棟（豊橋市）	F2 (50-69m/s) から 3 (70-92m/s) 程度 ¹¹⁾
2002.7	境町竜巻 群馬県境町、埼玉県深谷市 被害の長さ 5km：幅最大 100m 死者 0 名、重傷者 1 名、軽傷者 11 名 全壊 7 棟、半壊 31 棟（境町・深谷市）	F2 (50-69m/s) ¹²⁾
2004.6	佐賀竜巻 佐賀県佐賀市、鳥栖市ほか 被害の長さ 8km：幅最大 300m 死者 0 名、重傷者 0 名、軽傷者 15 名 全壊 13 棟、半壊 34 棟、一部損壊 322 棟（佐賀市・鳥栖市ほか）	F2 (50-69m/s) ¹³⁾
2006.9	延岡竜巻 宮崎県延岡市 被害の長さ 7.5km：幅最大 250m 死者 3 名、重傷者 3 名、軽傷者 140 名 全壊 71 棟、半壊 317 棟、一部損壊 599 棟	F2 (50-69m/s) ¹⁴⁾
2006.11	佐呂間町竜巻 北海道佐呂間町 被害の長さ約 1km：幅最大 100～250m 死者 9 名、負傷者 26 名 全壊 47 棟、半壊 11 棟、一部損壊 46 棟	F2 (50-69m/s) 以上

藤田スケール（F0～F12）（気象科学辞典より）

竜巻、トルネード、ダウンバースト等の風速を建築物や構造物の被害状況から簡便に推定するために、シカゴ大学の藤田哲也により 1971 年に考案された。各スケールの風速の下限値 V は

$$V=6.3 (F+2)^{1.5} \quad [\text{m/s}]$$

で、F1 はビュフォートの風力階級の第 12 段階、F12 は音速に等しくなるように定めた。1/4 マイル(約 400m)の風程で評価された平均風速で示されている。

階級	風速	被害状況
F0	17～32m/s (約 15 秒間の平均風速)	テレビアンテナなどの弱い構造物が倒れる。小枝が折れ、根の浅い木が傾くことがある。非住家が壊れるかもしれない。
F1	33～49m/s (約 10 秒間の平均風速)	屋根瓦が飛び、ガラス窓が割れる。ビニールハウスの被害甚大。根の弱い木は倒れ、強い木の幹が折れたりする。走っている自動車が横風を受けると、道から吹き落とされる。
F2	50～69m/s (約 7 秒間の平均風速)	住家の屋根がはぎとられ、弱い非住家は倒壊する。大木が倒れたり、ねじ切られる。自動車が道から吹き飛ばされ、汽車が脱線することもある。
F3	70～92m/s (約 5 秒間の平均風速)	壁が押し倒され住家が倒壊する。非住家はバラバラになって飛散し、鉄骨づくりでもつぶれる。汽車は転覆し、自動車が持ち上げられて飛ばされる。森林の大木でも、大半折れるか倒れるかし、また引抜かれることもある。
F4	93～116 m/s (約 4 秒間の平均風速) [荒廃的被害]	住屋バラバラになって辺りに飛散し、弱い非住家は跡形なく吹き飛ばされてしまう。鉄骨づくりでもペンシャンコ。列車が吹き飛ばされ、自動車は何十 m も空中飛行する。1 t 以上もある物体が降ってきて、危険この上もない。
F5	117～142 m/s (約 3 秒間の平均風速) [信じられない被害]	住家は跡形もなく吹き飛ばされるし、立木の皮がはぎとられてしまったりする。自動車、列車などがもち上げられて飛行し、とんでもないところまで飛ばされる。数 t もある物体がどこからともなく降ってくる。