

日本版改良藤田スケールの策定*

田 中 恵 信**

1. はじめに

1.1 気象庁の突風調査

積乱雲はしばしば竜巻，ダウンバースト，ガストフロント等の突風現象を伴う。これらの現象はメソスケール以下の現象であるため，一般的な地上観測測器や気象レーダーなどの通常の気象観測網で捕らえることは困難である。このため，突風がもたらした被害の痕跡を調べることで現象の種類や強さを推定する必要がある。

気象庁では，被害の状況から現象の種類や強さ等を科学的に明らかにする（以下，「評定」と呼ぶ）ために，気象庁機動調査班（JMA-MOT）を現地に派遣して調査を実施している。

調査は，現象の種類，現象の発生・消滅時刻，突風の強さ（風速），被害域の長さや幅，突風の移動方向・速度，被害状況（人的・物的被害の数量）等を評定している。特に重要なのが現象の種類と強さである。現象の種類は，被害域の形状や推定される風向の分布等から得られる特徴から評定する。強さの評定は，従来は藤田スケールにより行われてきた。

1.2 藤田スケールの課題と改良藤田スケール

藤田スケール（Fujita 1971）は，ビューフォート風力階級12をF1，マッハ1をF12となるように藤田スケール各階級 F の風速 V (m/s) を式(1)のように定義するとともに，地上の建築物等の被害の状況と階

級の対応をあらわした。この対応に日本の建築物等に向けて若干の修正を施したものが第1表である（藤田1973）。

$$V = 6.30 \cdot (F + 2)^{1.5} \quad (1)$$

このように藤田スケールは簡便に突風の強さを評定することができるため，世界中で広く利用され，日本では少なくとも1972年には利用され始め（島田1972），2007年からは，JMA-MOTが組織され現地調査が強化されたことでどの突風事例も即時的に藤田スケールを評定するようになった（気象庁2016）。

上述のとおり世界的に利用されている藤田スケールであるが，以下のような課題がある。

- ①藤田スケールから得られる風速は，F4とF5で過大であると評価されている（Minor *et al.* 1977；Phan and Simiu 1998）ように，被害状況と風速の対応が十分に検証されていない。
- ②評定に用いることができる被害の対象が，住家，非住家，ビニールハウス，煙突，アンテナ，自動車，列車，数トンの物体，樹木に限られている（第1表）ため，多様な被害に対応した評定が困難となっている。

こうした課題を踏まえ，米国では2006年に「改良藤田スケール」（Enhanced Fujita scale，以下「EFスケール」という）が策定され（McDonald and Mehta 2006），2007年から米国気象局により利用されている。

一方で，EFスケールは藤田スケールと同様，米国の建築物等の被害を対象として作成されている。日本の建築物等は米国のものとは種類も特性も異なることから，日本国内で藤田スケールやEFスケールを用い

* Development of Japanese Enhanced Fujita Scale.

** Yoshinobu TANAKA, 気象庁観測部計画課情報管理室. yoshinobu.tanaka-a@met.kishou.go.jp

© 2016 日本気象学会

第1表 藤田スケール (藤田 1973).

階級	風速	被害の状況
F0	17~32 m/s (約15秒間の平均)	テレビの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	33~49 m/s (約10秒間の平均)	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、強い木は幹が折れたりする。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	50~69 m/s (約7秒間の平均)	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がある。
F3	70~92 m/s (約5秒間の平均)	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、自動車はも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、引き抜かれることもある。
F4	93~116 m/s (約4秒間の平均)	住家が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。鉄骨づくりでもペシャンコ。列車が吹き飛ばされ、自動車は何十メートルも空中飛行する。1トン以上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)	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。数トンもある物体がどこからともなく降ってくる。

て竜巻等突風の評定を行った場合、得られる風速の誤差が大きくなる可能性がある。

1.3 藤田スケール改善の経緯

2012年5月6日に茨城県、栃木県及び福島県において複数の竜巻が発生し、甚大な被害が生じた(水戸地方気象台・東京管区気象台 2012;水戸地方気象台ほか 2012;宇都宮地方気象台ほか 2012;福島地方気象台 2012)。

この突風災害を契機として、竜巻等突風予測情報改善検討会(2012)が気象庁の情報の改善に向けた提言をまとめるとともに、竜巻等突風対策局長級会議(2012)によって政府一体となって取り組むべき対策がまとめられた。これら対策の中の一つとして、藤田スケールの課題を踏まえ、気象庁は藤田スケールを日本の建築物等に対応させるガイドライン等を作成することとされた。併せて、国際比較や過去の統計との比較が困難になることのないよう、従来の藤田スケールと統計的な継続性を持たせる必要性も指摘された。

これら提言や報告を受け、藤田スケールの改善を検討するため、気象庁は風工学や気象学をはじめとする専門家からなる「竜巻等突風の強さの評定に関する検討会」(会長:田村幸雄東京工芸大学名誉教授)を2013年に設置した。検討会は6回にわたって検討を行い、2015年12月に「日本版改良藤田スケールに関するガイドライン」を公表した(気象庁 2015)。

2. 日本版改良藤田スケールの策定

2.1 EFスケールの基本的考え方と課題

前述した藤田スケールの課題のうち、

- ・被害状況と風速の対応が十分に検証されていない。
 - ・多様な被害に対応した評定が困難となっている。
- の2点に関して、米国では、これらを克服するために次のような手段を取り入れることで改良し、EFスケールの策定が行われた。

藤田スケールにおける「被害の状況」を、被害指標(Damage Indicator, 「何が」に相当。以下「DI」という)と被害度(Degree of Damage, 「どうなった」に相当。以下「DOD」という)に分け、28種類のDIとこれに対応する複数のDODが設定された。第1図にDI・DODのイメージを示す。そして、既存の調査研究や経験をもとに、各DI・DODに対応する風速が設定された。これにより、従来の藤田スケールと比べより細かな評定が可能となり、得られる風速の精度も向上した。

さらに、EFスケールと藤田スケールの統計的な継続性を確保するため、

- ①複数の被害事例について、藤田スケールにより推定される風速とEFスケールにより推定される風速の相関を回帰分析により調査し、
- ②EFスケールの各階級での被害の程度が可能な限り藤田スケールと対応するよう、両者の相関をもとにEFスケールの階級を区分する風速値を決定している。

また、カナダでは、米国のEFスケールのDIに6種類のDIを追加し(Sills 2013a), 米国と同様に相関調査を経てカナダ版EFスケールを策定している。

藤田スケールのもう一つの課題である米国の建築物等に依存したスケールである状況については、EFスケールにおいても考慮されなかった。このため Doswell *et al.* (2009) は、EFスケールは世界標準として使用することは困難であり、各国・各地域に見合った被害指標・被害度を用いた評価が出来るスケールの策定を推奨している。

以上を踏まえ、日本版改良藤田スケールの策定にあたっては、EFスケールの策定方法を参考にしながら、日本の建築物等に対応するよう最新の風工学の知見に基づき藤田スケールを改良することとした。

2.2 日本版改良藤田スケールとその特徴

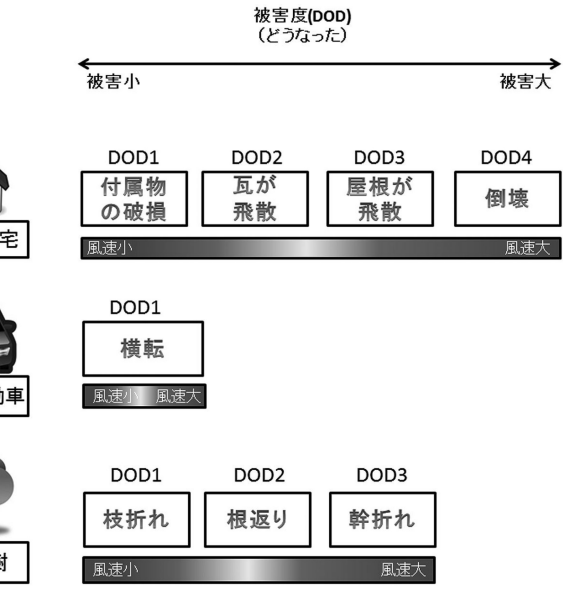
日本版改良藤田スケール (Japanese Enhanced Fujita scale, 以下「JEFスケール」という) の特徴を以下に示す。

2.2.1 日本の建築物等に対応した被害指標及び被害度の導入

JEFスケールでは、EFスケールと同様に、評定に用いる被害状況(「何がどうなった」)をDI及びDODに分けて設定することとした。DIには、風工学の知見に基づき、30種類の日本の建築物等を選定し(第2表)、それぞれのDIに複数のDODを設定した。

2.2.2 被害指標及び被害度に対応した風速の設定

各DI・DODに対応する風速は、「日本版竜巻スケールおよびその評価手法に関する研究」(奥田



第1図 被害指標 (DI) と被害度 (DOD) のイメージ。

第2表 JEFスケールの被害指標 (DI)。

番号	DOD	風速 (m/s)			
		代表値	下限値	上限値	
1	目視でわかる程度の被害, 窓ガラスの損壊	30	25	35	
2	比較的狭い範囲での屋根ふき材の浮き上がり又ははく離	粘土瓦ぶきの場合	35	25	50
		金属板ぶきの場合	40	30	55
3	比較的広い範囲での屋根ふき材の浮き上がり又ははく離	粘土瓦ぶきの場合	45	30	60
		金属板ぶきの場合	50	40	65
4	屋根の軒先又は野地板の破損又は飛散	50	40	65	
5	上部構造の変形に伴う壁の損傷 (ゆがみ, ひび割れ等)	55	40	65	
6	金属系の外壁材のはく離	60	45	70	
7	小屋組の構成部材の損壊又は飛散	65	50	75	
8	上部構造の著しい変形又は倒壊	75	55	85	

2013) の研究成果を活用することで、最新の風工学の知見に基づいて算定された。

各DI・DODに対応する風速には「代表値」「上限値」「下限値」の3つを設定している。これらは算定精度を考慮して5m/s単位で算定されている。「代表値」は、各DODの被害を引き起こす風速の代表的な値を示す。また、「上限値」と「下限値」により、同じDI・DODでも建築物等の形状・材質・工法等の条件の違いから、被害を引き起こす風速が取り得る値の幅を示している。建築物等の条件に応じて、上限値か

ら下限値の間の風速で評定することができる。実用上は、この幅の間から任意の精度で風速を客観的に選ぶことは困難であるので、「代表値」、「下限値」、「上限値」のいずれかを選択する。その手順は各DI・DOD毎に規定しており、ガイドラインに「運用上の解説」として全てまとめられている。通常は「代表値」を評定に利用する。

詳細はガイドラインに譲るが、一例としてDI番号1の「木造の住宅又は店舗」の風速を第3表に示す。

2.2.3 統計的な継続性を考慮した階級と風速の対応

EFスケールの階級と風速の対応について、藤田スケールとEFスケールの継続性を持たせるため、現象の強さの評定結果が両スケールでできる限り同じ階級となる（例えば、藤田スケールでF2と評定された現象は、基本的にEFスケールでもEF2となる）ように決定されている。

JEFスケールについても同じ考え方で、以下の方法により階級と風速の対応を決定した。

(1) 相関調査のための被害事例の選別

近年の突風事例における主な被害事例（計215）を相関調査の対象とした。

(2) 藤田スケールによる風速推定

藤田スケールによる評定作業に習熟した気象庁職員5名が、藤田スケール（F0～F5）の各階級を更に3つ（弱・中・強）に区分した第4表に基づき、各被害事例に対応する風速を求めた。

(3) JEFスケールのDI・DODによる風速推定

風工学の専門家5名が、ガイドラインに基づき、各被害事例に相当するDI・DODを決定し、これに対応する風速を求めた。

各評定者が求めた風速の平均値を、DI・DODから推定される風速とした。

(4) 藤田スケール及びJEFスケールのDI・DODにより推定した風速の相関調査

(2)及び(3)で得られた風速値から、第2図のとおり散布図を作成し、回帰分析により藤田スケール及びJEFスケールにより推定した風速の相関を求めた（ R^2 （寄与率）=0.74）。なお、回帰分析の方法は、米国EFスケールの方法とカナダ版改良藤田スケール（Sills 2013b）の方法（第3図）を検討した結果、相関がより良かったカナダ版の方法を採用した。

(5) JEFスケールの階級と風速の対応の決定

第3表 「木造の住宅又は店舗」のDODと風速の対応。

番号	被害指標 (DI)	番号	被害指標 (DI)
1	木造の住宅又は店舗	16	鉄道車両
2	鉄骨系プレハブ住宅又は店舗	17	電柱
3	鉄筋コンクリート造の集合住宅	18	地上広告板
4	仮設建築物	19	道路交通標識
5	大規模な庇・独立上家の屋根	20	カーポート
6	鉄骨造倉庫	21	塀
7	木造の非住家建築物	22	木製・樹脂製・アルミ製フェンス、メッシュフェンス
8	園芸施設	23	道路の防風・防雪フェンス
9	木造の畜産施設	24	ネット（野球場・ゴルフ場等）
10	物置	25	広葉樹
11	コンテナ	26	針葉樹
12	自動販売機	27	墓石（棹石）
13	軽自動車	28	路盤
14	普通自動車	29	仮設足場（壁つなぎ材）
15	大型自動車	30	ガントリークレーン

第4表 藤田スケールと対応する風速。

藤田スケール	風速 (m/s) (3秒平均)	
	弱	中
F0	弱	21
	中	27
	強	32
F1	弱	38
	中	44
	強	49
F2	弱	55
	中	62
	強	69
F3	弱	75
	中	83
	強	90
F4	弱	98
	中	106
	強	113
F5	弱	121
	中	130
	強	138

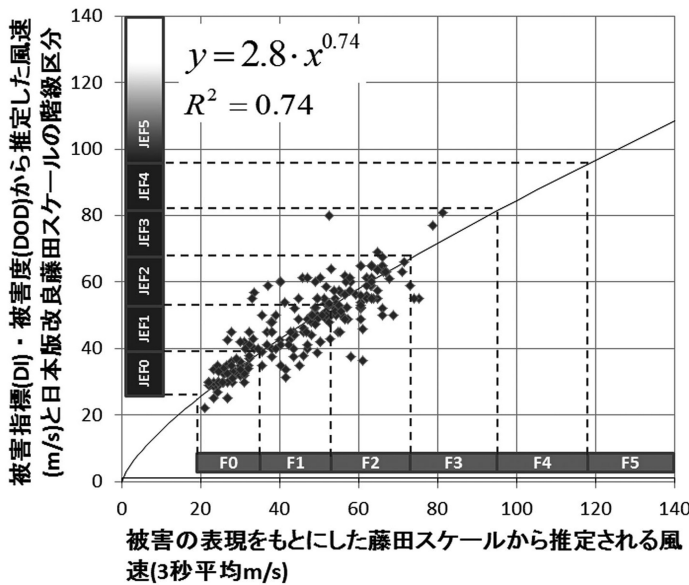
得られた回帰曲線と藤田スケールの各階級の風速範囲から、第2図のとおり JEF スケールの階級と風速の対応を決定した(第5表)。結果的に、JEF スケールの各階級における風速の下限は $14 \times \text{JEF} + 25$ (m/s)、上限は $14 \times \text{JEF} + 38$ (m/s)

(JEF は各階級値を示す。上限は JEF4 まで。) で与えられることとなった。

将来、建築物等の耐風性能が変化した場合、現在と将来で同じ風速の竜巻等突風がもたらす被害の程度は異なることが想定される。このため、建築物等の耐風性能が変化した際には、DOD と風速の対応付けを見直すこととする。これにより、第5表に示す JEF スケールの階級と風速の関係を変更しなくても、同じ強さの竜巻であれば、現在でも将来でも同じ風速(階級)が得られることとなる(第4図)。

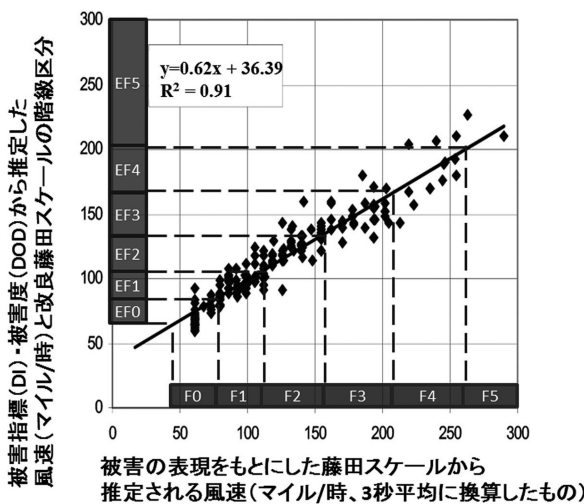
2.3 JEF スケールによる突風の強さの評定方法

これまでの突風の強さの評定では、被害に対して藤田スケールの階級が最初に決められ、次に階級に対応付けられた風速の幅が得られた。JEF スケールを用いた評定では、風速は被害

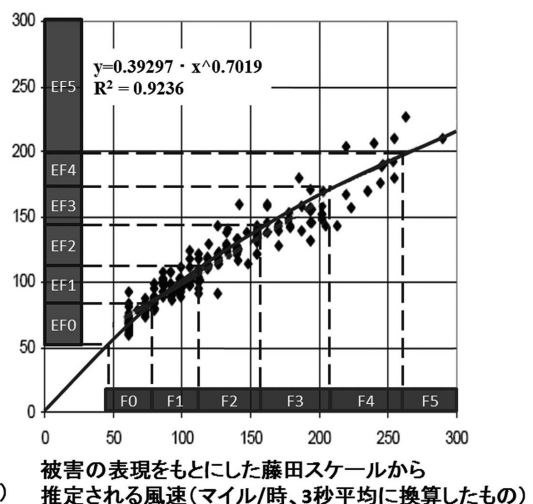


第2図 藤田スケール及び JEF スケールの DI・DOD から推定される風速の相関。

米国における改良藤田(EF)スケール



カナダ版改良藤田(EF)スケール



第3図 藤田スケール及び EF スケールの DI・DOD から推定される風速の相関。米国の EF スケール(左)とカナダ版 EF スケール(右)。

第5表 JEF スケールにおける階級と風速の関係。

階級	風速 (m/s) の 範囲 (3秒平均)	主な被害の状況 (参考)
JEF0	25-38	<ul style="list-style-type: none"> 木造の住宅において、目視でわかる程度の被害、飛散物による窓ガラスの損壊が発生する。比較的狭い範囲の屋根ふき材が浮き上がったり、はく離する。 園芸施設において、被覆材（ビニルなど）がはく離する。パイプハウスの鋼管が変形したり、倒壊する。 物置が移動したり、横転する。 自動販売機が横転する。 コンクリートブロック塀（鉄筋なし）の一部が損壊したり、大部分が倒壊する。 樹木の枝（直径2cm～8cm）が折れたり、広葉樹（腐朽有り）の幹が折損する。
JEF1	39-52	<ul style="list-style-type: none"> 木造の住宅において、比較的広い範囲の屋根ふき材が浮き上がったり、はく離する。屋根の軒先又は野地板が破損したり、飛散する。 園芸施設において、多くの地域でプラスチックハウスの構造部材が変形したり、倒壊する。 軽自動車や普通自動車（コンパクトカー）が横転する。 通常走行中の鉄道車両が転覆する。 地上広告板の柱が傾斜したり、変形する。 道路交通標識の支柱が傾倒したり、倒壊する。 コンクリートブロック塀（鉄筋あり）が損壊したり、倒壊する。 樹木が根返りしたり、針葉樹の幹が折損する。
JEF2	53-66	<ul style="list-style-type: none"> 木造の住宅において、上部構造の変形に伴い壁が損傷（ゆがみ、ひび割れ等）する。また、小屋組の構成部材が損壊したり、飛散する。 鉄骨造倉庫において、屋根ふき材が浮き上がったり、飛散する。 普通自動車（ワンボックス）や大型自動車が横転する。 鉄筋コンクリート製の電柱が折損する。 カーポートの骨組が傾斜したり、倒壊する。 コンクリートブロック塀（控壁のあるもの）の大部分が倒壊する。 広葉樹の幹が折損する。 墓石の棹石が転倒したり、ずれたりする。
JEF3	67-80	<ul style="list-style-type: none"> 木造の住宅において、上部構造が著しく変形したり、倒壊する。 鉄骨系プレハブ住宅において、屋根の軒先又は野地板が破損したり飛散する、もしくは外壁材が変形したり、浮き上がる。 鉄筋コンクリート造の集合住宅において、風圧によってベランダ等の手すりが比較的広い範囲で変形する。 工場や倉庫の大規模な庇において、比較的狭い範囲で屋根ふき材がはく離したり、脱落する。 鉄骨造倉庫において、外壁材が浮き上がったり、飛散する。 アスファルトがはく離・飛散する。
JEF4	81-94	<ul style="list-style-type: none"> 工場や倉庫の大規模な庇において、比較的広い範囲で屋根ふき材がはく離したり、脱落する。
JEF5	95-	<ul style="list-style-type: none"> 鉄骨系プレハブ住宅や鉄骨造の倉庫において、上部構造が著しく変形したり、倒壊する。 鉄筋コンクリート造の集合住宅において、風圧によってベランダ等の手すりが著しく変形したり、脱落する。

指標 (DI) 及び被害度 (DOD) に対応づけられるため、両者の評定手順は異なってくる (第5図)。

そして、一つの突風に複数の被害が発生した時、現象を代表する強さの評定は、以下の手順で行う (第6図)。

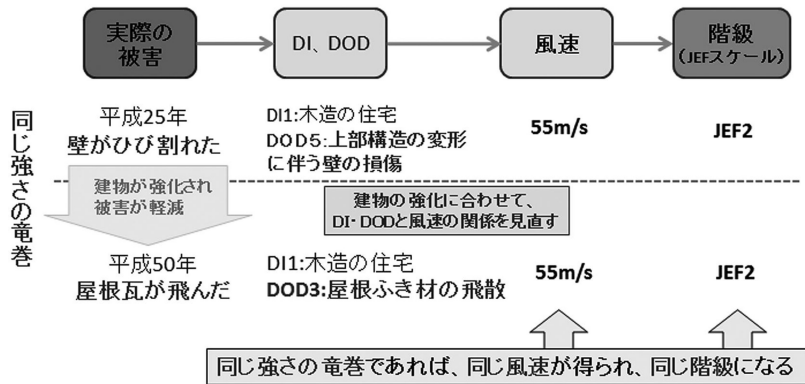
①竜巻等突風によりもたらされた被害それぞれについて、ガイドラインを参照して DI 及び DOD を決定

する。

②①で決定した DI・DOD に対応する風速を求める。

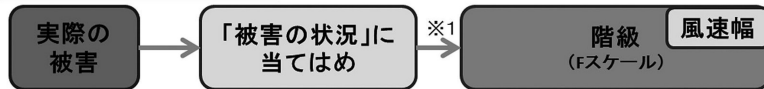
③②で得られた風速のうち、最大の値を、現象を代表する風速 (ここでは「評定風速」と呼ぶ) とする。

④評定風速を第5表の風速に当てはめて JEF スケールの階級を求める。

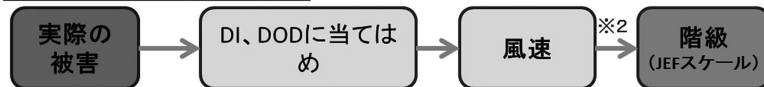


第4図 建築物の耐風性能が変化した際の対応（イメージ）。

■ Fスケールを用いた評定

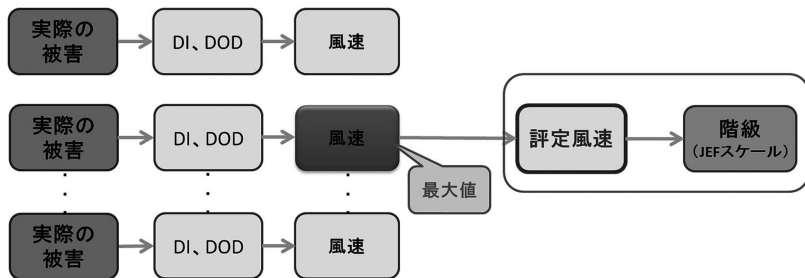


■ JEFスケールを用いた評定



※1 個別被害から求められるFスケールのうち、最大のものを現象の階級とする。
 ※2 個別被害から求められる風速のうち、最大値を階級に当てはめる。

第5図 藤田スケールを用いた評定手順と JEF スケールを用いた評定手順の違い。

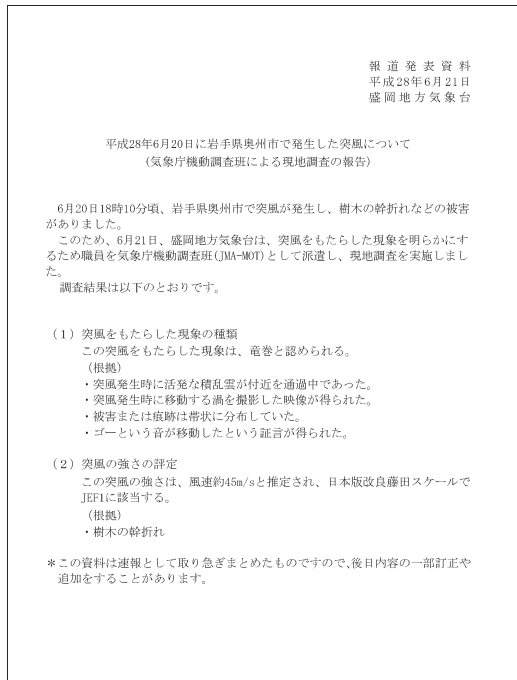


第6図 JEF スケールを用いた評定の流れ。

3. 気象庁の突風調査への利用

気象庁の突風調査においては、2016年4月からJEFスケールの利用を開始した。それまでは突風の強さの評定結果は、藤田スケールの表を参照すれば階級の風速幅は分かるものの、直接的には藤田スケールの階級のみを公表してきた（気象庁ホームページの「竜巻等の突風データベース」<http://www.data.jma>。

go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/index.html を参照）。2016年度からは、2.3節に沿って風速と風速が属する JEF スケールの階級の両者を評定し公表している。具体的にどのように公表しているかについて、2016年6月20日に岩手県奥州市で発生した竜巻の現地調査速報（盛岡地方気象台 2016）を例に用いて第7図に示す。現地調査速報では現象の種類と突風の強さ



第7図 2016年6月20日に岩手県奥州市で発生した竜巻の現地調査速報の報道発表資料。

の二つを報道発表している。「(2) 突風の強さの評定」に、風速 (m/s) と風速が属する JEF スケールの階級を記載している。

今後は JEF スケールによる着実な評定に努めるとともに、関連研究の進展に応じて更なる DI・DOD の充実等、ガイドラインの見直しを検討していく予定である。

参考文献

Doswell, C. A. III, H. E. Brooks and N. Dotzek, 2009: On the implementation of the enhanced Fujita scale in the USA. *Atmos. Res.*, **93**, 554-563.

Fujita, T. T., 1971: Proposed characterization of tornadoes and hurricanes by area and intensity. *Satellite and Mesometeorology Research Project Report 91*, the University of Chicago, 42pp.

藤田哲也, 1973: たつまき一渦の驚異一上. 科学ブックス, 共立出版, 228pp.

福島地方気象台, 2012: 平成24年5月6日に福島県大沼郡会津美里町で発生した突風について. 現地災害調査報告, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/2012050601/ref01.pdf> (2016.7.22閲覧)

覧)。

気象庁, 2015: 日本版改良藤田スケールに関するガイドライン. http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/kentoukai/kaigi/2015/1221_kentoukai/guideline.pdf (2016.4.1閲覧)。

気象庁, 2016: 統計方法の解説. <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/stats/annually.html> (2016.5.16閲覧)。

McDonald, J. R. and K. C. Mehta, 2006: A Recommendation for an Enhanced Fujita Scale (EF-Scale), Revision 2. Wind Science and Engineering Center, Texas Tech University, Lubbock, TX, 111pp.

Minor, J. E., J. R. McDonald and K. C. Mehta, 1977: The tornado: An engineering-oriented perspective. NOAA Technical Memorandum, ERL NSSL-82, National Severe Storms Laboratory, Norman, OK, 103pp.

水戸地方気象台, 東京管区気象台, 2012: 平成24年5月6日に茨城県筑西市から桜川市にかけて発生した突風について. 現地災害調査速報, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/2012050602/ref01.pdf> (2016.7.22閲覧)。

水戸地方気象台, 東京管区気象台, 気象研究所, 2012: 平成24年5月6日に茨城県常総市からつくば市にかけて発生した突風について. 現地災害調査速報, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/2012050603/ref01.pdf> (2016.7.22閲覧)。

盛岡地方気象台, 2016: 平成28年6月20日に岩手県奥州市で発生した突風について. 現地調査結果の報告, http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/new/20160620/20160630_morioka.pdf (2016.7.22閲覧)。

奥田泰雄, 2013: 日本版竜巻スケールおよびその評価手法に関する研究. 平成25年度風工学研究拠点共同研究成果報告書, http://www.collaborate.wind.t-kougei.ac.jp/document/2013%20Research%20Result%20Report_Okuda.pdf (2016.5.16閲覧)。

Phan, L. T. and E. Simiu, 1998: The Fujita tornado intensity scale: a critique based on observations of the Jarrell tornado of May 27, 1997. NIST Tech. Note 1426, U.S. Department of Commerce, Gaithersburg, MD, 20pp.

島田守家, 1972: たつまき. 気象年鑑1972年版, 34.

Sills, D. M. L., 2013a: Enhanced Fujita Scale Damage Indicators and Degrees of Damage. Environment Canada, 19pp, http://www.yorku.ca/pat/research/dsills/papers/EF-Scale/EC_EF-Scale_DI-DOD_Guide_e_FINAL.pdf (2015.12.20閲覧)。

Sills, D. M. L., 2013b: The Enhanced Fujita Scale for Wind Damage Rating. <http://www.yorku.ca/pat/>

- research/dsills/papers/EF-Scale/EC_EF-Scale_Training_2013_e_FINAL.pdf (2015.12.20閲覧).
- 竜巻等突風対策局長級会議, 2012: 「竜巻等突風対策局長級会議」報告. 52pp, <http://www.bousai.go.jp/fusuigai/tatsumakikyokucho/pdf/houkoku.pdf> (2016.5.16閲覧).
- 竜巻等突風予測情報改善検討会, 2012: 竜巻等突風に関する情報の改善について (提言). 78pp, http://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/toppuu/24houkoku/H240727_houkoku_honpen.pdf (2016.5.16閲覧).
- 宇都宮地方気象台, 水戸地方気象台, 東京管区気象台, 2012: 平成24年5月6日に栃木県真岡市から茨城県常陸大宮市にかけて発生した突風について. 現地災害調査速報, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/2012050604/ref03.pdf> (2016.7.22閲覧).
-