

竜巻等突風の強さのスケール 改善に関する世界の動向

気象庁

突風の強さのスケールに関する歴史

年	藤田スケール等(米国)	TORROスケール(英国)
1971	藤田スケールが提唱される(藤田) 竜巻等突風の風速階級として初めての風速階級。 竜巻の強さの評定、研究に広く用いられる。	
1975		TORROスケール(Meaden) 音響科学に基づく風速のスケール
1992	修正藤田スケールが提唱される(藤田) 藤田スケールの曖昧さを修正。 藤田の死去に伴い、使用されることがなかった。	改良の方向性その1 被害を受けた建物の種類によって、評定結果にばらつきが生じる欠点を改善へ
2000	改良藤田スケールの策定開始(テキサス工科大学) Fujita Scale Enhancement Projectを組織し、多数の専門家が策定に関与	
2004	改良の方向性その2 異なるスケール間の対応を明確化し統一へ	TFスケール(Meaden) TORROスケールと藤田スケールを統合したスケール
2006	改良藤田スケールが公表される。	
2007	改良藤田スケールを用いた評定の実施(米国気象局)	
2013	カナダが改良藤田スケールを採用(Sills:カナダ気象局) カナダ用に修正されている。	

- ・ 突風の強さのスケールは、これまでに上記1, 2のような観点で改良が加えられてきた。
- ・ 改良藤田スケールも完全なものではなく、現在もより適切なスケールへの検討が加えられている。

※TORRO: TORnado and storm Research Organisation
TF : Tornado Force

藤田スケール

藤田スケール	風速範囲(m/s)
F0	17-32 (約15秒間の平均風速)
F1	33-49 (約10秒間の平均風速)
F2	50-69 (約7秒間の平均風速)
F3	70-92 (約5秒間の平均風速)
F4	93-116 (約4秒間の平均風速)
F5	117-141 (約3秒間の平均風速)

藤田スケールについては、以下の点が指摘されてきた。

- 建築物の種類や強度の違いが考慮されていない。
- 対応表に記載されていない被害が発生した場合に評価が困難。
- 大きな階級ほど被害から推定される風速が実際の風速より大きくなるという傾向がある。

修正藤田スケール

修正藤田スケールと風速範囲の対応表

被害に基づく 藤田スケール	微弱な損傷	小さい損傷	屋根飛散	壁の崩壊	全壊	全飛散	
	f0	f1	f2	f3	f4	f5	
風速に対応する 藤田スケール (修正藤田スケール)	17m/s	32	50	70	92	116	142
	F0	F1	F2	F3	F4	F5	
	40mph	73	113	158	207	261	319
<p>被害に基づく藤田スケールを修正藤田スケールに変換するには、この数値を加える。</p>							
弱い納屋	-3	f3	f4	f5	f5	f5	f5
強い納屋	-2	f2	f3	f4	f5	f5	f5
弱い木造家屋	-1	f1	f2	f3	f4	f5	f5
強い木造家屋	0	F0	F1	F2	F3	F4	F5
れんが構造	+1	-	f0	f1	f2	f3	f4
コンクリート製の建物	+2	-	-	f0	f1	f2	f3

建物の種類によって評価結果に修正を加えることになっており、改良藤田スケールの考え方の萌芽が見られるが、藤田の死去により採用されることはなかった。

改良藤田スケール

藤田スケール

日本、フランス、ドイツ、イタリア、オーストラリア などが 採用

改良藤田スケール

アメリカ、カナダ が 採用

藤田スケール	風速範囲 (m/s)	改良藤田スケール	風速範囲 (m/s) (3秒間の平均風速)
F0	17-32 (約15秒間の平均風速)	EF0	29-38
F1	33-49 (約10秒間の平均風速)	EF1	39-49
F2	50-69 (約7秒間の平均風速)	EF2	50-60
F3	70-92 (約5秒間の平均風速)	EF3	61-74
F4	93-116 (約4秒間の平均風速)	EF4	75-89
F5	117-141 (約3秒間の平均風速)	EF5	90以上

現在の気象庁
の瞬間風速の
定義と同じ

改良藤田スケールの特徴

- 被害に関する記述が被害指標と被害度に分けて整理され、より定量的な評価が可能となっている。
- 評価に使用する構造物の種類が他のスケールに比べて細かく考慮されている。
- 風速範囲と被害との対応が、より適切であると考えられている。

日本におけるこれまでの竜巻等突風の評定の改善(1)

1961～1990年

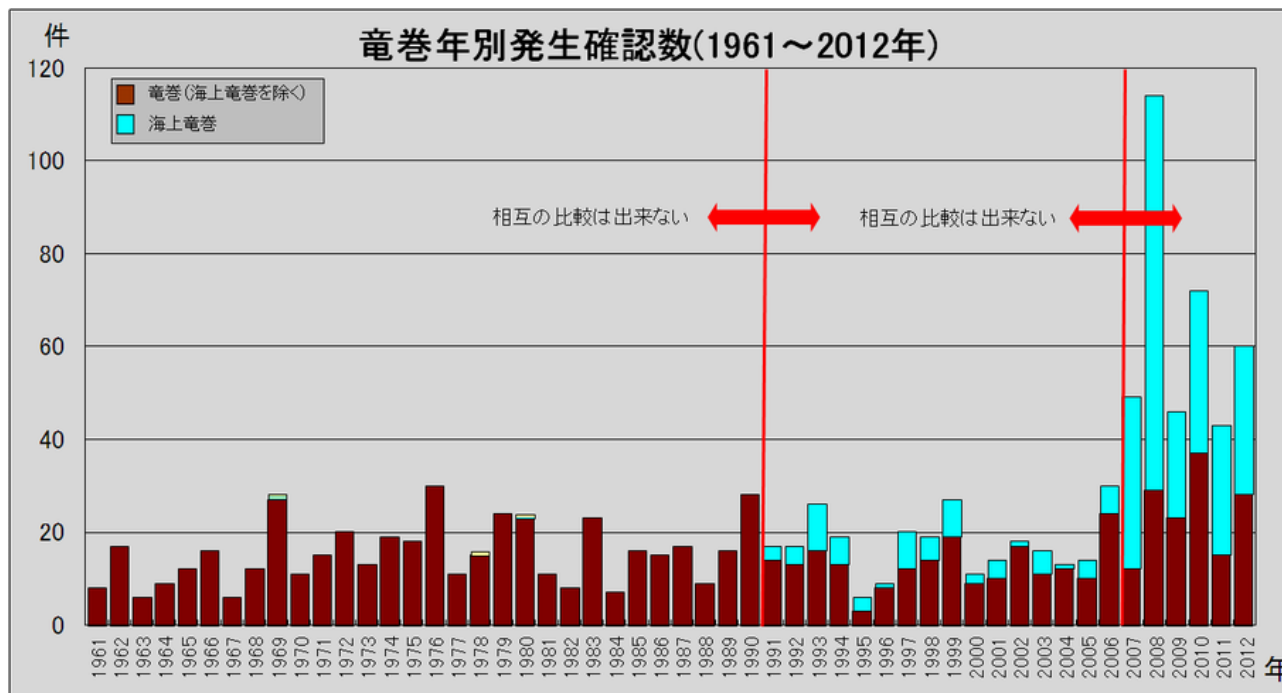
- ◆ **一定の規模・被害以上の突風**について収集。
- ◆ 当時存在が明らかでなかった**ダウンバースト**も含む。
- ◆ 被害のない海上竜巻は含まない。

2007年以降

- ◆ **竜巻等突風の現地調査を強化**。
- ◆ 最新の知見を加えて評定の精度も向上。
- ◆ 海上竜巻の確認数が格段に増加。

1991～2006年

- ◆ **竜巻等突風の発生に関する情報収集を強化**。
- ◆ ダウンバーストなど他の突風現象を区別。
- ◆ 被害のない海上竜巻も区別して収集。

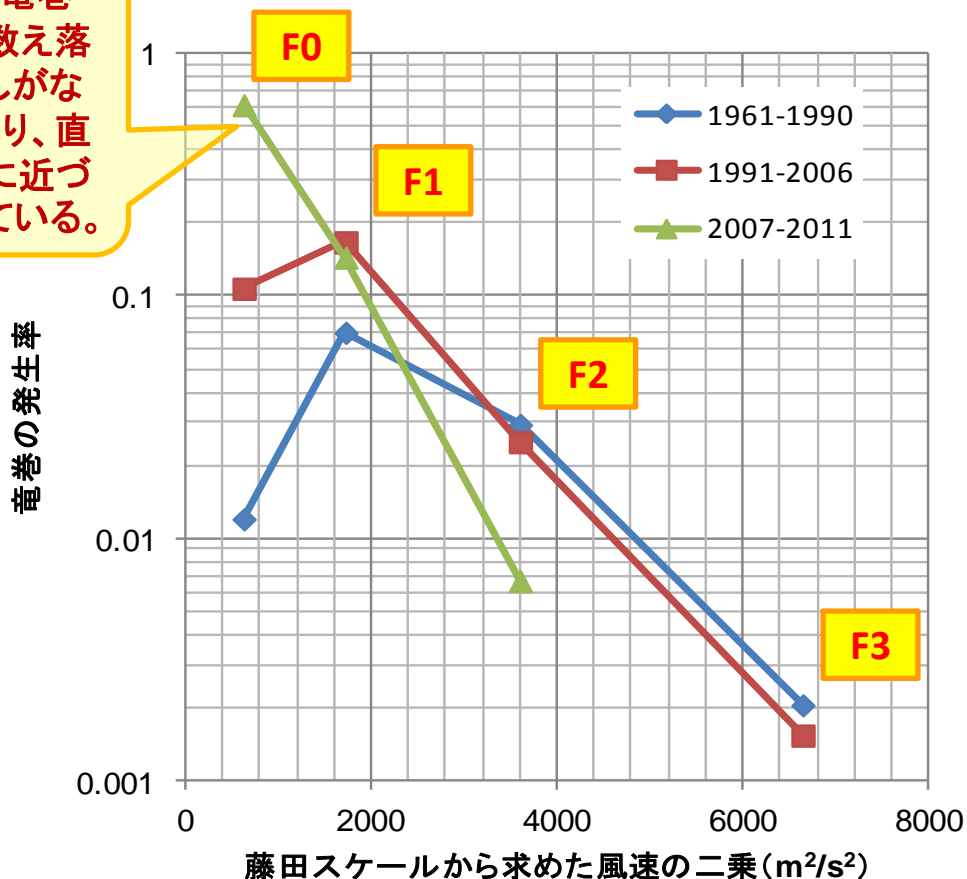


竜巻年別発生確認数(1961～2012年)

日本におけるこれまでの竜巻等突風の評定の改善(2)

日本における竜巻強度分布の変遷

F0竜巻
の数を落
としがな
くなり、直
線に近づ
いている。



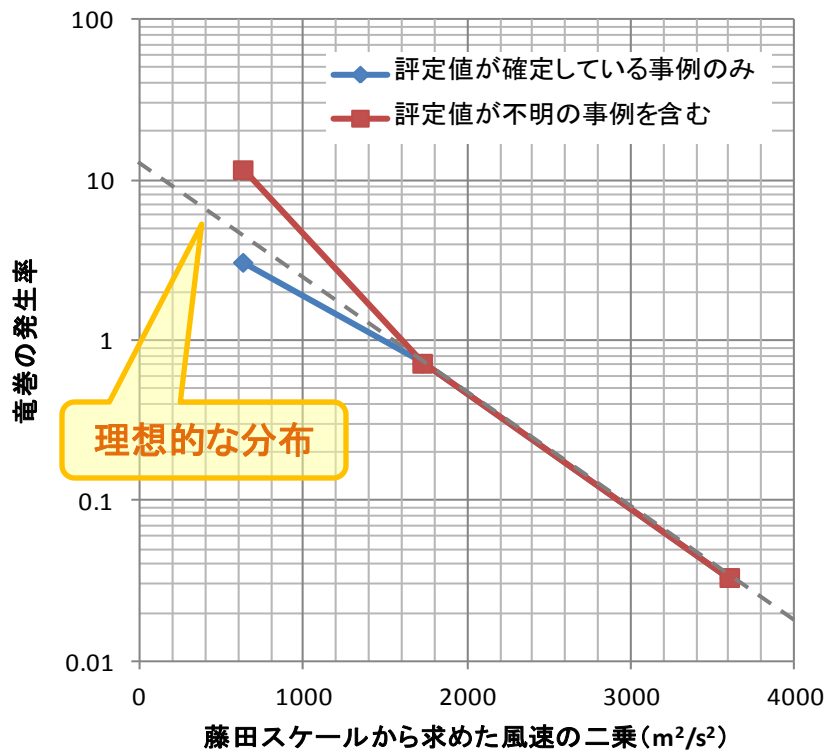
竜巻強度分布とは

- 縦軸に竜巻等の発生率、横軸に風速の二乗をとってグラフにしたもの。
- 突風の覚知もれがなく、かつ理想的な突風の強さのスケールを用いると縦軸に対数をとった場合に直線状になる (Dotzek *et al.* 2005)。
- 竜巻等突風の発生状況の実態把握や調査体制・スケールの改善に広く利用される (Brooks *et al.* 2001; Feuerstein *et al.* 2005)。

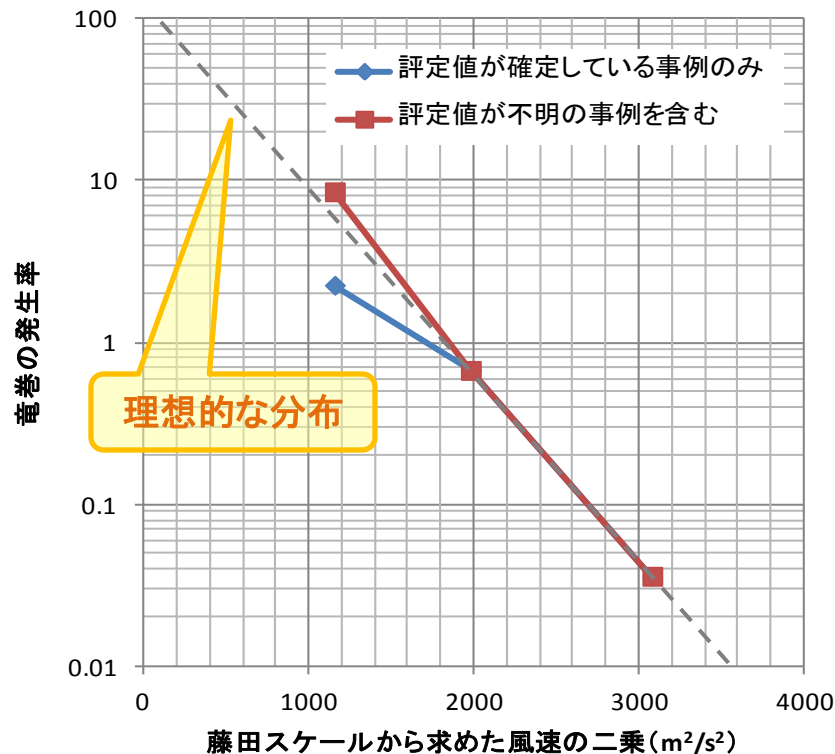
Dotzek et al., 2005: *GRL* **32**, DOI:10.1029/2005GL024583.
Brooks and Doswell III, 2001: *Atmos. Res.* **56**, 191-202.
Feuerstein et al., 2005: *J. Climate* **18**, 585-596.

過去2回の調査業務の強化により、改善が見られている。

スケールの違いが竜巻強度分布に与える影響



藤田スケールで風速に換算



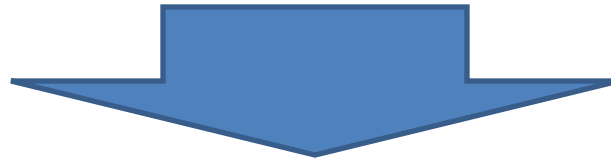
改良藤田スケールで風速に換算

日本における竜巻強度分布図 藤田スケールと改良藤田スケールを用いた竜巻強度分布の比較

- 採用する突風の強さのスケールによって竜巻強度分布は変化する。
- 評価値が不明の事例の扱いの違いによっても、竜巻強度分布は変化する。

まとめ

- 竜巻強度分布を見ることで、竜巻強度の評定が正確に行われているか、また竜巻の強さのスケールが適切かの目安を得ることができる。
- 竜巻の数え落としは、竜巻強度分布の形を歪ませる原因の一つとなる。
→これまでの気象庁の調査体制の強化は有効に作用している。
- 藤田スケールが日本の建築物に対応していないなどの問題により、依然として竜巻強度分布を歪ませている可能性がある。



- ◆ 我が国の竜巻等突風の強さを客観的かつ適切に評定するために、藤田スケールを日本の建築物に対応させるガイドラインを作成する必要がある。
- ◆ 正確な突風事例の蓄積は、予測技術開発の基礎となり突風に関する情報の改善につながる。

参考

TORROスケール

TORROスケールと風速範囲の対応表

英国 で 採用（その他、欧州各国で藤田スケールと併記されることがある）

TORROスケール	風速範囲(m/s) (3秒間の平均風速)	対応する藤田スケール
T0	17-24	F0
T1	25-32	F0
T2	33-41	F1
T3	42-51	F1
T4	52-61	F2
T5	62-72	F2
T6	73-83	F3
T7	84-95	F3
T8	96-107	F4
T9	108-120	F4
T10	121-134	F5

TORROスケールの特徴

- 藤田スケールとの対応がよい。
- 評価には、被害調査結果のみでなく、工学的調査、ドップラーレーダー観測データ、写真解析、直接観測データなども考慮される。