

暴風災害を考える際の小規模擾乱の重要性

光 田 寧

WIND DISASTERS CAUSED BY SMALL SCALE DISTURBANCES

By Yasushi MITSUTA

Synopsis

The small scale disturbances, which might cause strong winds and wind disasters, are studied. Tatsumaki is the small scale weather phenomenon which causes most severe wind in Japan. Statistical features of Tatsumakis, which were observed during past ten years are studied and compared with tornadoes in the United States.

1. 緒 言

従来から暴風災害あるいはそれに対する対策を考える場合には、旋風あるいは台風といったかなり大規模な気象現象に起因した強風をその対象とすることがほとんどで、龍巻などのような規模の小さな気象擾乱に起因した風についてはほとんど考慮されることはなかった。しかし、これは後者による風が弱くて全く考える必要が無いからというのではなく、実際にはその詳しいことは解らないがその発現頻度が非常に小さいから全体として見れば無視してもよいであろうという立場が取られているに過ぎない。一方、現実にはたとえその発現頻度は大きくなくてもこのような現象に伴う風は非常に強いものであり、裂しい破壊作用を伴っているということも知られている。しかし、このような強風を災害という立場から調査した例は日本ではほとんどない。そこで、本研究においては我が国における小規模擾乱に起因した風の実情について調べて見た。

2. 小規模擾乱と風

強風の原因として考えられる小規模気象擾乱にはいくつかのものがあ、各々その性状を少しづつ異にしている。以下にそれらを例によって述べる。

a) 小 旋 風

海岸地方などで10分間程度の間に風の急激な変動の生じることがしばしばあることが認められていたが、たまたま多くの風の観測点を 10 km ほどの範囲の中に配列して行った観測によってそれらの多くは直径 1 乃至 2 km ぐらいの最大風速半径を持つ小さな旋廻風系が移動することによって生じたものであるとして説明されることが実証された(光田 [1962]¹⁾)。Fig. 1 にその記録の例を示す。ここに示されたものは鳴門海峡付近において観測されたもので、最大風速はたかだか 10 m/s 程度である。これだけでは災害が生じるほどのものとは言いが、それが台風の接近した強風の最中に発現していることもあり、そのような場合には被害の増大に大きく働く可能性が大きい。鳴門海峡ではこのような現象が比較的よく観測された(1ヶ年間に11例)ために、この海峡を横断する送電線の設計に際しては、最大瞬間風速の期待値を台風等から期待される風速よりも一律に 10 m/sec 大きく取ってある(滑川 [1962]²⁾)。これがこの種の現象を防災対策に考慮した日本における唯一の例である。

その後1964年9月24日に西日本を通過した台風(6420)に伴う宇和島での 72 m/s という最大瞬間風速も台風の風の上に重ったこの種の小規模擾乱の存在を考えねば説明がつかない³⁾。というのは、宇和島は台風

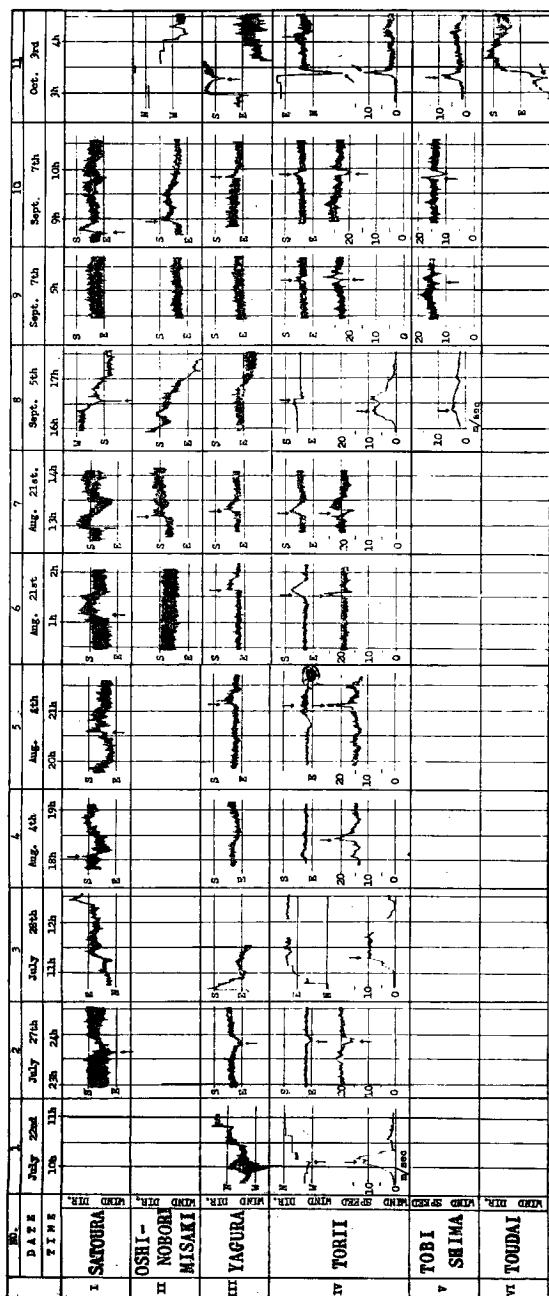


Fig. 1 Typical examples of whirl wind records at Naruto in 1957.¹⁾

の進路の左側にあり台風による風はあまり強くないと考えられ、現にこのように大きな最大瞬間風速にもかかわらず最大(10分間平均)風速は 33 m/s に過ぎないこと、そしてこの強風の発現したのは極く短い数分間に過ぎないが台風による風の変化としてはこのような急なものは考え難いことなどによる (Fig. 2 参照)。このような現象は他の台風の場合にも発現している可能性はあるが詳しく調べるための資料が全くないため立入った議論は出来ない。

b) 龍 巻

強風を伴う小規模気象現象としては最も良く知られたものであり、現象としてもはっきりしている。気象学的には漏斗雲を伴う回転風系のことを龍巻と言っているが、実際には漏斗雲を確認するのが困難なことも多く、裂しい風を伴う小規模な回転風系を全部龍巻と言ってしまうことも多い。

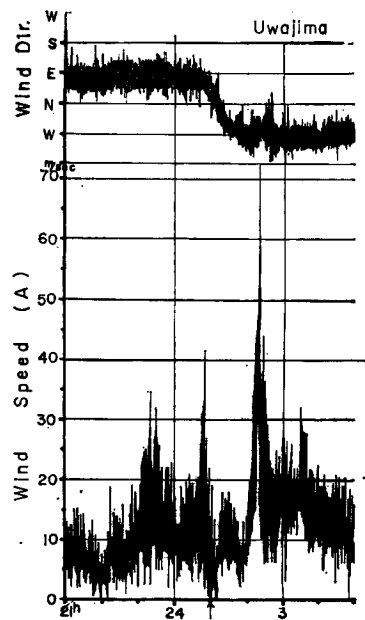


Fig. 2 Anemogram at Uwajima, Sept. 24-25, 1964.²⁾

最近における顕著な龍巻きの例は1964年1月17日八丈島を襲ったもので Table 2c に示すとうり傷者19, 家屋全半壊21というかなり大きな被害を生じている。この龍巻きは本州南岸に沿って低気圧が進行しつつあ

る時、八丈島の南方海上に発生し同島の南端近くに上陸、海岸沿いに北東進して約 8 km 陸上を通過し海上に抜けたもので、陸上にあった時間はほぼ 8 分間、時速 50 km ぐらいの速度で移動したことになる (Fig. 3 参照)。Fig. 3 中 F 点から G 点までの間は家の集まっているところを通ったため被害はこの付近に集中している。被害のあった地域の巾はほぼ 70 m で、倒壊物はいずれも東北東の向きに倒されていた。H 点の近くに末吉灯台があるが、ここにあるプロベラ式風速計の指示計は龍巻接近時には 60 m/s 以上の風のためスケールアウトし、ほぼ 3 分その状態が続いたという⁴⁾。この灯台の位置は龍巻の経路から 100 乃至 200 m は離れており最大風速の半径は 50 m 程度あるいはそれ以下と判断されるから、もし龍巻の風速分布がランキン複合渦と一致するようなものであると考えると、龍巻の最大風速は 120 乃至 240 m/s 以上となり、少くとも 100 m/s 以上の風が吹いたであろうことは確実と考えて良いであろう。このように龍巻は小規模現象の中でも特に強い風を伴うものであり、破壊力は著しく大きい。1962 年 7 月には龍巻きが小学校の校舎をまともに襲い学童に多数の死傷者を出したという例もある (Table 2B 参照)。龍巻については次章にやや詳しく調べた結果を述べる。

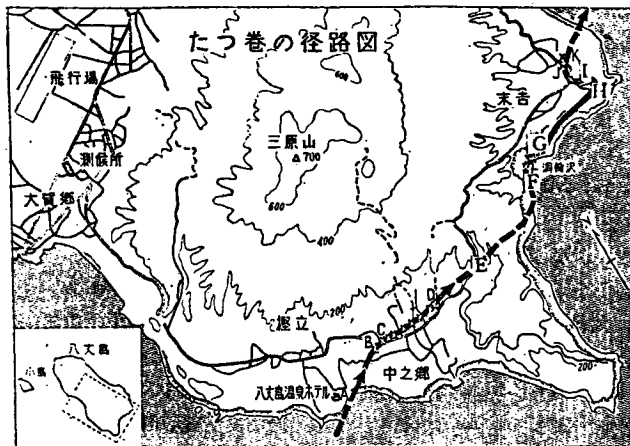


Fig. 3 The path of Tatsumaki over Hachijo ls., Jan. 17, 1964.⁴⁾

c) 雷 雨

日本においては雷を雨と組合せて雷雨と呼び風についてはあまり考えないが、Thunderstorm と英語で呼ばれると強い風を伴うことも多い。これは発達した積乱雲中の激しい降雨に伴って生じた下降気流によって生じるもので、旋風風系を形成しないで本質的には分散する風場を作り、激しい雨と同時に生じる点で龍巻とは異っている。普通雷雨の被害として処理されているものの中でどれだけが風によるもので、雨や電によるものあるいは落雷によるものが、どれだけであるかを分離することは困難な場合が多く、雷雨に伴う風がどの程度の強さにまでなり得るかということの研究も日本ではほとんどない。また、龍巻として処理されている被害の中にこの種のものが混っていることも考えられるぐらいこの区別はあまり認識されていない。

この種の被害で顕著なものは 1963 年 5 月 22 日に北関東を襲ったもので、長さ 20 km ぐらい巾数 km の範囲にわたって裂しい風を伴う雷雨があり直径 8 cm ぐらいの降雹さえ見られた。雷雨はだいたい東北東に平均時速 40 km ぐらいで進行し、強い風雨の継続時間は各地点とも 20 分ぐらいであったという (Fig. 4 参照) 物の倒れた方向から見て風は雷雲の中心部から進行方向に向かって吹いていたと判断され、降雹と強風は同時刻頃に生じた⁵⁾。風による家屋の全壊もかなり多く、被害総額は次のとおりである。

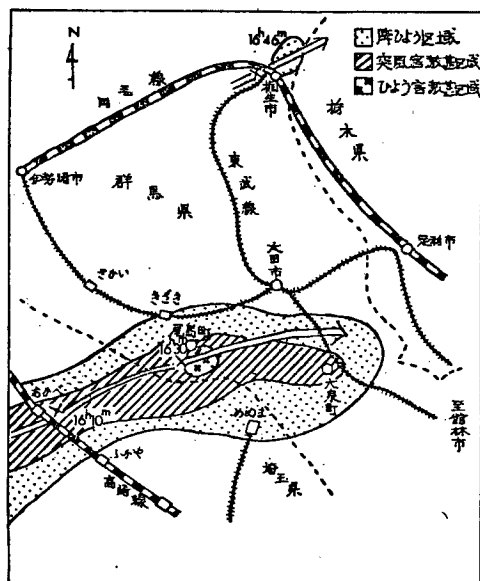


Fig. 4 The path of the thnnderstorm and damaged area, May 22, 1963.⁵⁾

死者	9人
重・軽傷者	284人
全壊家屋	126戸
半壊家屋	685戸

この被害は気象災害としても小さなものではない。このうちどれだけが直接風によって生じたものかを明らかにする手段は無いが、被害量としては龍巻によるものと対比出来るものであると考えられる。しかし、被害の様子などから判断すると最大風速は龍巻の場合ほど大きなものではないようである。

d) じん旋風

じん旋風とは晴れた日射の強い日に運動場などに見られる小さな旋廻風系で、塵を巻き上げることが多いのでこのように呼ばれる。この様な現象は晴れていて雲のない時にも生じるのが特色で他の現象とは異っている。広い場所では少し大きくなるものもあるが、全体としては数m程度以下の直径しかない小さいものであることが多い。また風速もあまり大きくはないようで家屋全体が破壊されるようなことはなく、部分的に被害を与える程度であるから災害という立場からは重

要度はあまり大きくない。我が国では富士山の裾野でしばしば規模の大きなじん旋風が見られるようである。

このように強風を伴う小規模な擾乱にもいくつかの種類があり、各々その性状も異っている。現象が局所的なものであるため、気象観測網によって詳しく観測される可能性は少なく、被害に関する記録も充分とは言えない。従ってこれらについて詳しく調べることは困難が多い。ただ、これらのうちでも龍巻については現象が比較的はっきりしており、被害の調査も簡単などころから最近になって被害調査もかなりなされるようになった。そこで次章では対象を龍巻に限定して、日本における龍巻の性状について調べて見た。

3. 日本の龍巻

ここで調査に用いた資料は1955年から1964年までの間の気象庁発行の気象要覧で、その中に示された龍巻の被害調査の結果である。この10年間の各年の発生回数、死傷者、全半壊家屋の数を示したものが Table 1 である。この表では龍巻を陸上に来襲したものと海上に見られたものとに区別してある。上陸または陸上に発生した龍巻の数は年によって変化が多く、最も多いのは1962年の14、最も少ないのは1955年の4である。上陸数の平均数は年7.2であるがこれは先きに1927年から1959年の間の龍巻の発生について茨城・田中の調査⁶⁾した結果として示されている2.9よりずっと大きくなっている。これは最近龍巻の数が増加しているというよりは両氏も指摘しているとうり近年になって情報が充分集められるようになったということによるものであると思われる。

この十年間の龍巻による死者は年平均1人負傷者は15.9人で龍巻1つについて死者0.14人、負傷者2.2人となる。また、破壊された家屋は年平均62.1、龍巻1つ当り8.6となる。平均値として見ればこのような被害の大きさは決して大きいものとは言えない。

龍巻の発生の地域的な分布を示したものが第5図で、全国を通じて海岸に多く特に九州から関東にかけての南海岸に多い。最も少ないのは山陰地方と瀬戸内海地方である。

資料のあるもののみについて統計的な性質を調べた結果は次のようなものである。まず進行方向は Fig. 6 のような分布を示し大部分は北乃至東に向かって進みとくに北東方向に進むものは全体のほぼ半分を占めてい

Table 1 Tatsumaki occurrences in Japan (1955—1964)

Year	Tatsumakis	Waterspouts	Deaths	Wounded	Damaged Houses
1955	4	2	1	11	67
1956	5	0	0	0	54
1957	11	0	6	10	106
1958	2	1	0	1	4
1959	6	4	0	6	11
1960	8	3	0	0	6
1961	8	2	0	15	28
1962	14	1	3	90	312
1963	5	5	0	5	4
1964	9	5	0	21	29
Total	72	21	10	159	621
Mean	7.2	2.1	1.0	15.9	62.1

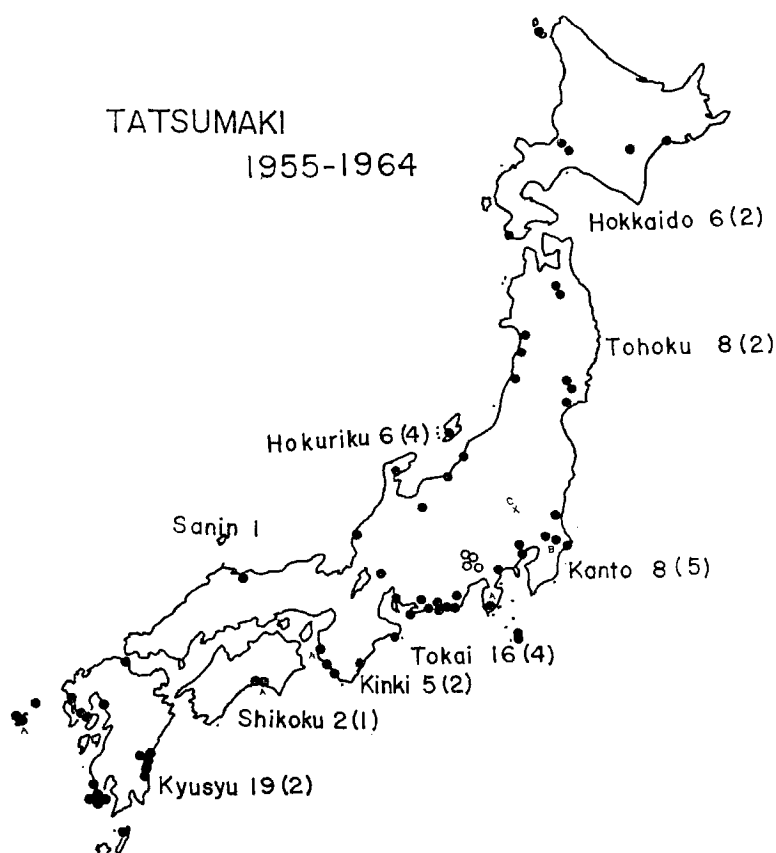


Fig. 5 The distribution Tatsumaki damaged areas in the period 1955—1964 (Small spots indicate waterspouts).

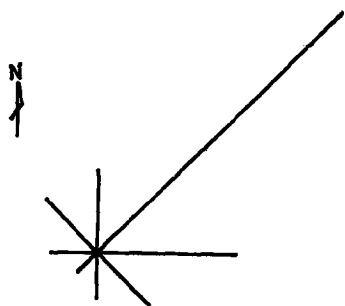


Fig. 6 The direction of forward motion of Tatsumaki.

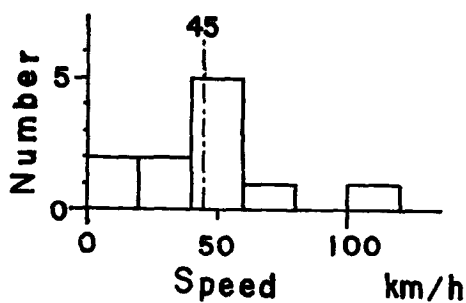
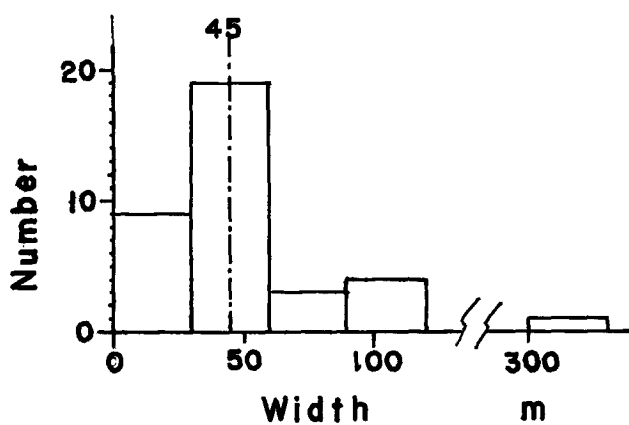
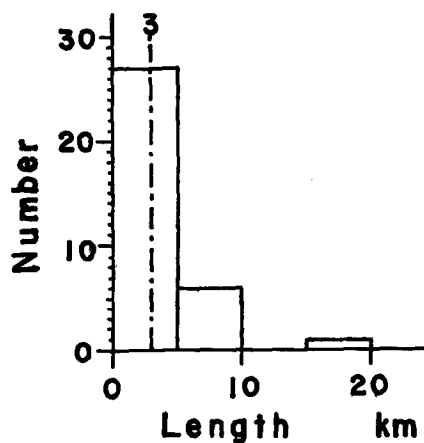


Fig. 7 The speed of forward motion of Tatsumaki.



(A)



(B)

Fig. 8 The width (a) and length (b) of damaged area caused by Tatsumaki.

る。その時の移動速度は Fig. 7 のような分布を示し、平均 45 km/h となっている。龍巻が通過し被害の生じた範囲は巾は Fig. 8a 長さ Fig. 8b に示されるとおりで各々の平均値は 45 m と 3 km となる。また資料のある龍巻のうち 3/4 までは反時計廻りを廻転をしており残りの 1/4 が時計方向に廻転していた。

龍巻の被害の生じる面積とその発現頻度から考えて日本のある地点がある年に龍巻に襲われる確率は 10^{-6} 程度に過ぎないものであり龍巻きの比較的多い東海地方でも 10^{-4} 程度である。これではある地点で防災対策を立てる上で予め龍巻の来襲を予想しておきそれに耐えるものを作ることはまず無意味に近いであろう。上に述べた龍巻きの特性をまとめたのが Table 2 である。この表の A 行は 1 日の間に全国で 4 つの龍巻が連続して生じた場合の被害の合計を示したものである。

Table 2 Tatsumaki damages in Japan. JAPAN

	JAPAN 1955—1964	A GKWS Nov. 1957	B Ibaraki July 1962	C Hachijo Is. Jan. 1964
OCCURRENCE PER YEAR	7.2			
NUMBER OF DEATHS				
PER YEAR	1.0			
PER TATSUMAKI	0.14	6	2	0
NUMBER OF WOUNDED				
PER YEAR	15.9			
PER TATSUMAKI	2.2	8	65	19
NUMBER OF DAMAGED HOUSES				
PER YEAR	62.1			
PER TATSUMAKI	8.6	105	79	21
MAXIMUM WIND SPEED m/sec	>60(O)			
FOREWARD MOTION				
SPEED km/h	45		—	50
DIRECTION	to NE		to ENE	to ENE
PATH				
WIDTH m	45		30	70
LENGTH km	3		8	7.5
PROBABILITY AT ONE POINT PER YEAR	10^{-6}			

Table 3 Tornado damages in the United States.

	U. S. 1916—1958	Kansas Oklahoma Texas 1916—1958	Tri-State Mar. 1925
OCCURRENCE PER YEAR	213.2	67.4	
NUMBER OF DEATHS			
PER YEAR	214.9	42.8	
PER TORNADO	1.0	0.6	695
MAXIMUM WIND SPEED m/sec	250(E) 125(R)		
FOREWARD MOTION			
SPEED km/h	60		100
DIRECTION	to NE		to ENE
PATH			
WIDTH m	250		1300
LENGTH km	10		350
PROBABILITY AT ONE POINT PER YEAR	10^{-4}	10^{-8}	

4. 米国におけるトルネード

日本の龍巻と類似の現象は世界中のほとんどの地域でも認められているが、最もその規模が大きく、また対策が問題とされているのは米国におけるトルネードである。このトルネードについて第2表と同様な統計を作ったものが Table 3 である⁷⁾。全米で年に約215人の人命が失われており、ほぼ213のトルネードが発生している。最大風速は被害から推定されたものが 250 m/s、ドップラーレーダによって実測された値が 125m/s である。被害のはげしさも日本の龍巻以上で、被害の範囲もずっと広い。この表の第2行に示したのは被害のもっとも多いカンサス・オクラホマ・テキサス3州での統計値であり、第3行は米国史上最悪のトルネードといわれる1925年3月トリステイトを襲ったものを示している。このトルネードによって実に695人の命が失われている。

このように被害が大きいところから米国におけるトルネードは日本の龍巻よりも社会的に大きな問題と考えられ、それに対する対策が研究されつつある。しかし、このような強風に対する対策は、それに対して破壊されない建造物を作るのではなく、その現象の本質を研究し正しい知識を持つことによって、現象を正確に予報し、もし発現したら人を如何に安全に避難させるかということに重点が置かれている。そのためトルネードの発生を監視する観測網を作り、その移動して行く先きの人々に少しでも早く通報するための努力がなされているのである。

米国気象局が Safety Rules として国民に配布しているパンフレットにはトルネードの接近を聞いた場合に如何に避難するべきかを説明してあるが、それによれば町の中にいる時は鉄骨や鉄筋コンクリートの丈夫そうな建物を探して中に入り、窓から離れた建物のなるべく低い階の内側の廊下に入る。また家庭ではどれかの窓を開けておいて地下室に逃げトルネードに近い側の壁の近くに行くように指示されており、学校では地下室ないし低い階の真中に逃げるように述べ、講堂や体育館のような支持物の少ない建物の中にはないように指示している。このような方法によって適切な行動をしたら少くとも人命の損失は防ぐことが可能となるであろう。このことは第3表のトルネードの多い3州での死者がかえって全国平均より少ないことにも現われている。しかし、それにはトルネードの動きに関する情報がうまく一般に伝えられることが前提であり、日本のように通報のシステムの無い所では逃げ方が解っていても役に立たない。

5. 結 語

以上日本における小規模擾乱による強風の実状を調べて見たのであるが、資料が充分無いこともあって全てについて詳しく調べることは出来なかった。しかし、被害量をかなり詳しく調べることの出来た龍巻について見るとその被害量は決して多いものではなく、他の事故による被害などに比べても今すぐに対策を考えねばならないというものではなさそうである。しかし少しでも災害を少なくするためにはこのような小規模気象擾乱とそれによる被害の系統的な研究を行い知識を充分なものにする必要があると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 光田寧：鳴門海峡付近の小旋風について，海と空，Vol.38, No.2, pp.67—71, 1962.
- 2) 滑川忠夫：鳴門淡路連絡線の設計風速について，電気公論，Vol.38, pp.55—58, 1962.
- 3) 山元龍三郎，光田寧，宮田賢二，田平誠：台風20号にともなった暴風について，京大防災研究所年報，第8号，pp.593—604, 1965.
- 4) 気象庁：気象要覧，No.773, pp.20—23, 1964.
- 5) 気象庁：気象要覧，No.765, pp.21—25, 1963.
- 6) 茨城高，田中昭：日本におけるたつ巻の調査，研究時報，Vol.13, No.1, pp.68—79, 1961.
- 7) Woford, L. V.: Tornado occurrences in the United States. Technical Paper (U.S. Weather Bureau) No.20, 1960.