

1988年9月25日に串本町で発生した竜巻について

林 泰一

TATSUMAKI OCCURRED AT KUSHIMOTO, ON SEPTEMBER 25TH, 1988

By Taiichi HAYASHI

Synopsis

In the morning of Sept. 25th, 1988, the high wind caused many damages in the southern area of Wakayama. The damages distributed in a narrow belt for 10 km long and 0.6 km wide at maximum. Several high-school students were blown out by the strong wind of the Tatumaki and one of them was seriously injured. The peak gust is evaluated as more than 50 m/s from the falling of tombstones in the cemeteries. The analysis of meteorological informations shows that the high wind of gustfront is also existed before the Tatumaki.

1. はじめに

1988年9月25日午前9時45分頃、和歌山県串本町潮岬付近で竜巻が発生し、北北東に進んで、串本町、古座町、古座川町の3町の約10 kmの距離にわたって被害が発生した。竜巻の継続時間は10分間程度である。京都大学潮岬風力実験所では、被害発生当初から調査を開始した。調査方法は、二つの方法によった。一つは、竜巻発生当時の気象資料の収集であり、もう一つは、被害の実態の把握である。今回の竜巻の発生した場所の付近では、気象庁潮岬測候所をはじめとして、京都大学潮岬風力実験所、潮岬灯台、関西電力串本営業所、航空自衛隊、古座川消防署などで、気象観測が行なわれており、気象資料の収集ができた。被害の実態は、被害発生の直後から着手したので、被害現場があまり整理されてしまう前の状態を調査することができた。すでに、速報は報告されているものがあるが^{1),2)}、被害からの風の推定や、より詳しい気象情報の検討を行なった。また、延べ人数にして70人に及ぶ人々に被害発生当時の状況を聞き取り調査も行なった。これらの被害調査結果について報告する。

和歌山県での竜巻の発生率は、統計的には、面積 10^4 km^2 あたり1年間に0.58個であることが報告されている³⁾。京都大学潮岬風力実験所が設立された1966年以後には1968, 1978年と今回を含めて、3回の竜巻が潮岬で発生している。1968年のものは、被害写真が残っている程度で詳しい調査はなされていない。1979年の竜巻は、9月15日午前0時頃に発生し、翌日から本実験所で被害調査を行ない、報告書にまとめている⁴⁾。この時の竜巻は、潮岬の西部を約1.6 kmにわたって、毎時15 km程度の移動速度で北北東に進み海上へ出た後消滅した。この竜巻は比較的小さいものであり、人的被害はなかったが、家屋の全壊2戸、半壊21戸で、ビニールハウスの破損6件の被害が発生した。この竜巻に比べると、今回の竜巻は進んだ経路も長く、被害の規模もはるかに大きい。

2. 竜巻発生時の気象状況

竜巻の発生した9月25日午前9時の地上天気図を **Fig. 1** に示す。低気圧が太平洋岸に沿って東北東に進んでいて、午前9時には、中心は室戸岬の東 (36°N, 134°E) にあり、中心気圧は998 hPa (mb) を示してい

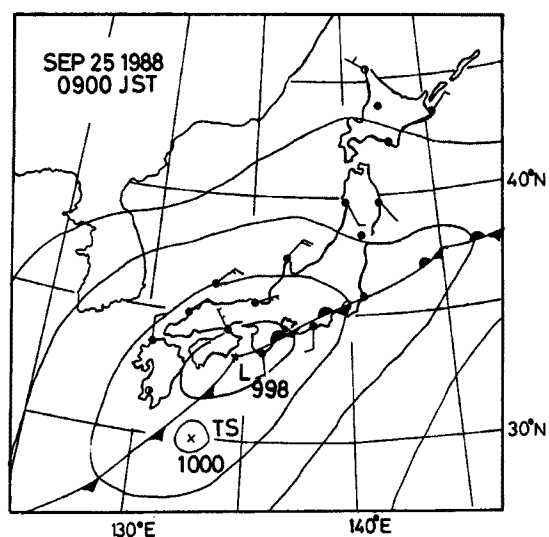


Fig. 1. Surface weather map at 0900 JST, Sept. 25, 1988.

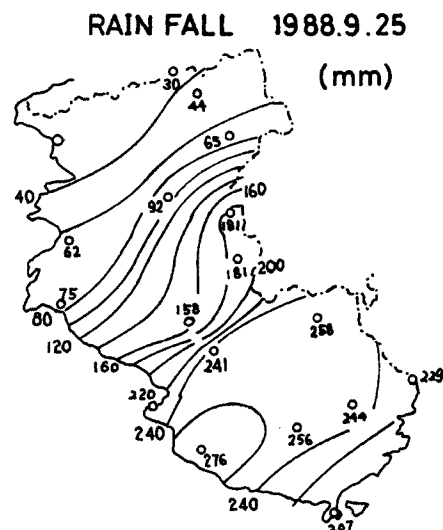


Fig. 2. Distribution of 1-day rainfall in Wakayama Prefecture, Sept. 25, 1988.

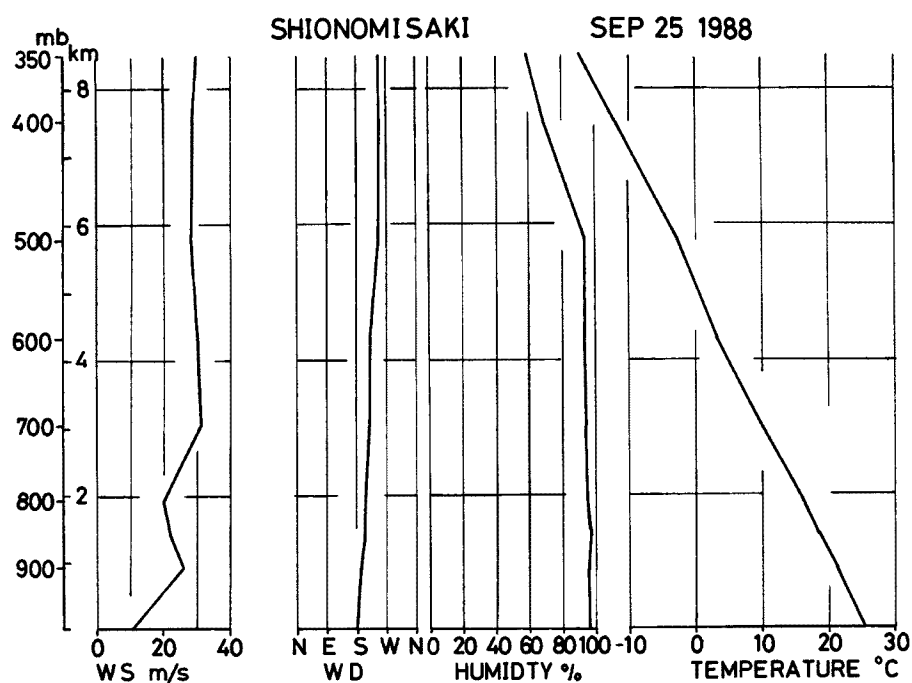


Fig. 3. Aerological data of wind, humidity and air temperature at 0900 JST, Sept. 25, 1988.

た。低気圧の北東には停滞前線、南西には寒冷前線を伴っていた。この低気圧は、12時間前の24日21時には中心気圧 1002 hPa で薩摩半島付近にあり、12時間後の25日21時には 996 hPa で伊豆半島付近に達した。移動速度は毎時約 35 km であった。台風22号から衰えた中心気圧 1000 hPa の弱い熱帯性低気圧は、低気圧の南西に位置していた。和歌山県下では、この太平洋岸を進んだ低気圧の接近にともなって、前日から雨が降り始め、9月25日2時には県南部に大雨注意報、6時15分には県下全域に大雨洪水警報が発令された。9月25日0時から24時間の和歌山県下の降水量の分布を Fig. 2 に示す。紀南地方では 200 mm を越える降水量が記録された。竜巻の他にも、この大雨による被害が県下全域に及んだ。

潮岬測候所の25日9時の高層観測の結果は、Fig. 3 に示すとおりである。風向は、地上では南、800 hPa (高度 2 km) で南南西、600 hPa (高度 4 km) で南西、500 hPa (高度 6 km) で西南西と高度が上がるにつれて、やや西よりに向きをかえる。風速は、900 hPa (高度 1 km) のところに 26 ms^{-1} の極大、800 hPa (高度 2 km) に 20 ms^{-1} の極小を示す。700 hPa (高度 3 km) より上では、ほぼ 30 ms^{-1} 程度の一様な風速を示している。地上気温は 25.8°C であり、温度成層は条件付不安定であった。相対湿度は、500 hPa までは、90% 以上を示し、高温多湿な空気の南からの流入を示す。

海水温は、和歌山県水産試験場が、毎日、午前8時に串本の東西の海岸で、バケツ採水で測定している。9月25日の記録では、東西の海岸ともに 24.8°C であった。

9月24日から25日にかけての SSI (Shawalter Stability Index) の分布を示したのが、Fig. 4 である。SSI は、850 hPa と 500 hPa の間の層の実際の温度勾配と断熱温度勾配との差である。その値が、4.0 より大きいときには、積乱雲の発達はないが、負の場合には、活発な雷雨の存在を示す。9月25日9時の分布では、潮岬では、 -0.4 の値を示し、大気の状態が不安定であったことがわかる。

室戸岬測候所のレーダーによって観測された雨雲のエコーを示したのが、Fig. 5 である。竜巻発生当時の9月25日9時45分のものである。これによると、潮岬付近には、雨量強度 16 mm 以上、雲頂高度 14 km 以上を示す雨雲が存在していた。この雨雲のエコーは時間を逆に遡って行くことによって8時に発生した位置まで追跡することができる。それは、Fig. 5 に示すように室戸岬と潮岬のほぼ中間の海上に発生した。この雨雲は、105分のうちに北東に約 100 km 進んでいることから、平均的な移動速度は、毎時 57 km となる。この

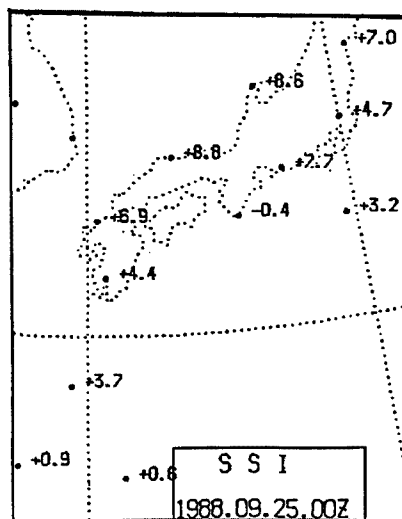


Fig. 4. Distribution of SSI (Shawalter Stability Index) at 0900 JST, Sept. 25, 1988.

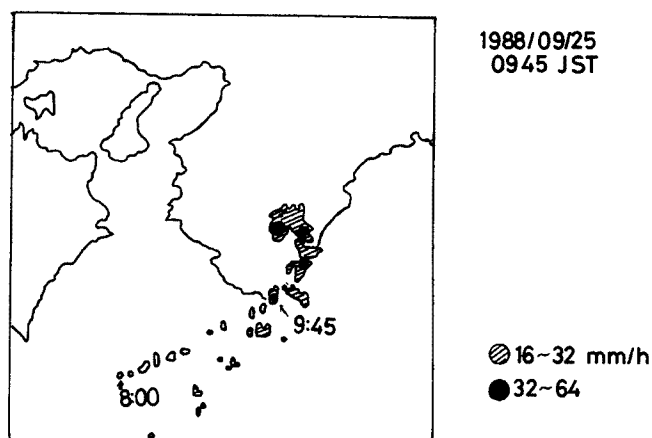


Fig. 5. PPI Radar echo as observed by Murotomisaki Radar at 0945 JST, Sept. 25, 1988. Movement of cloud cluster from 0800 to 0945.

移動速度は東北東に 16 ms^{-1} に相当し、9時の潮岬測候所の高層観測の風速の約半分ぐらいになる。

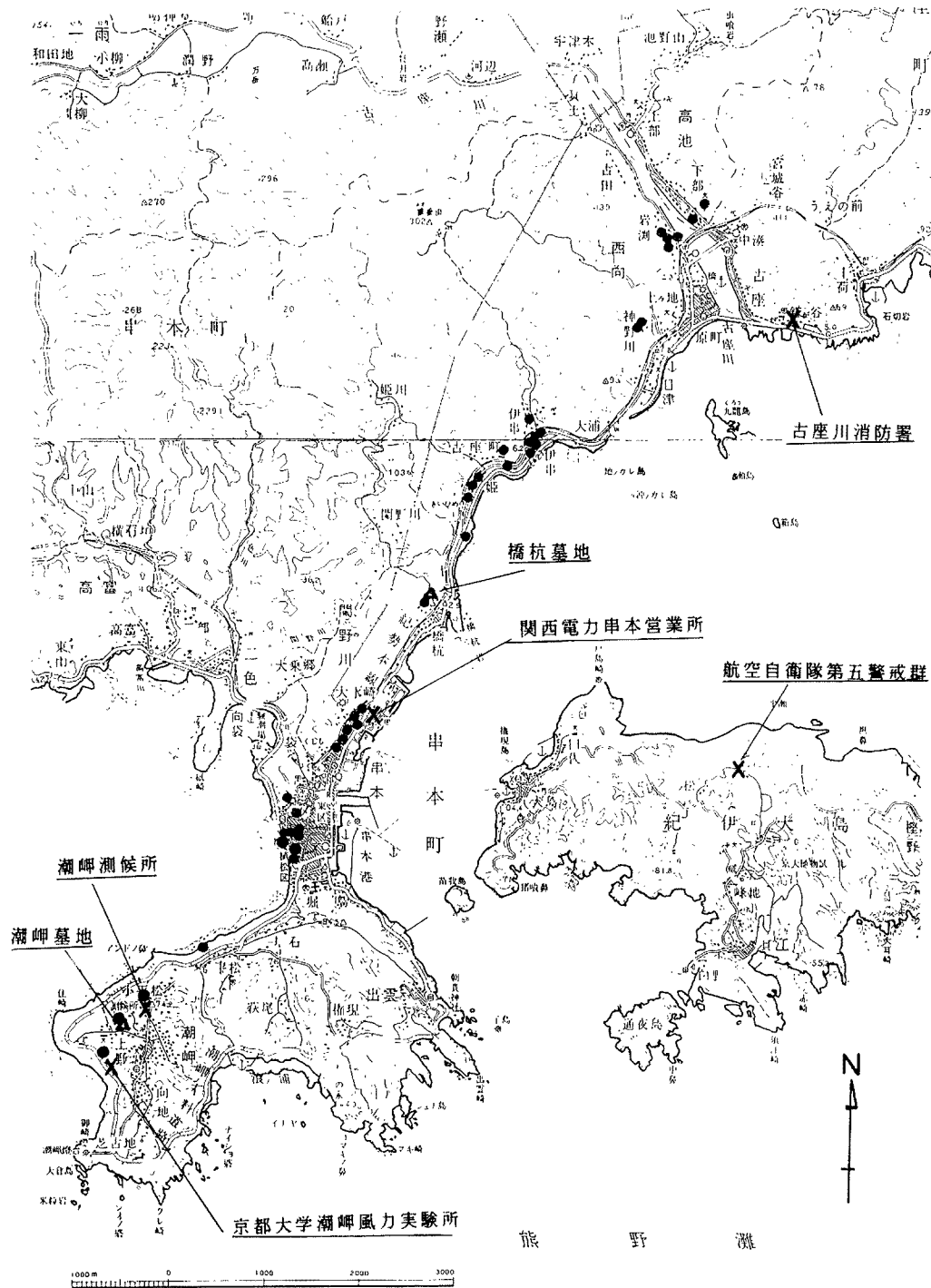


Fig. 6. Distribution of damages by the Tatsumaki. Black marks indicate the main damages. Marks of X indicate the station where the meteorological data are obtained. Triangles indicate the cemeteries at Shionomisaki and Hashikui, Kushimoto. The details are shown in Fig. 7.

3. 被害の分布

この竜巻によって発生した被害の分布状況を示したのが、Fig. 6である。黒丸は、家屋の全半壊、電柱の屈曲、電線の切断などの被害の発生場所を示す。最初に被害が発生したのは、潮岬の台地の南西部であり、海岸から約100 m離れた民家の風下側の屋根瓦が吸上げられ、吹き飛ばされたものである。潮岬西部を北北東に進み、一旦海上に出た。串本町植松地区に再上陸し、串本町の中心部を南西から北西に縦断した。JR串本駅の北の大水崎地区を通過後、今度は東海岸に沿って古座町に入った。古座町では、姫地区、伊串地区、神野川地区、岩淵地区で民家に被害が発生した。最終的には、古座川を越えた後、古座川町高池地区での被害を最後に、山間部で消滅したものと考えられる。

被害の発生箇所は、幅が狭い、細長い分布を示しており、その総延長は、10 kmに達する。被害発生の時間は、先に述べるような気象要素の記録や聞込調査から、信頼性のあるものを拾い出してみた。それによると、竜巻の被害発生場所のほぼ南の端である潮岬測候所において瞬間最大風速 39.6 ms^{-1} が吹いたのが、午前9時45分であった。また、ほぼ北の端である古座町岩淵地区で被害にあった人が、被害の発生と同時に時計を見ており、その話によると、時間は9時55分である。この時計の進み遅れはなかったことは、著者が確認した。これらのことから、10 kmの距離を10分で進んだことになり、平均的な移動速度は、毎時60 kmということになる。この移動速度は、室戸岬のレーダーで観測された雨雲の移動速度とほぼ一致する。しかし、竜巻の移動方向は、雨雲の移動方向より約 20° 北向きでありやや異なっている。

4. 被害の概要

今回の被害の主なものは次のとおりである。(和歌山県消防防災課、9月26日発表)

(1) 人的被害

負傷者	重傷	1名
	軽傷	19名

(2) 建物被害

住家	半壊	19棟
	一部破損	319棟
非住家	全壊	8棟
	半壊	2棟

(3) 船舶被害

破損	10隻
----	-----

負傷者20名のうち、11名は、和歌山県立串本高校の生徒である。そのうちの9名は、当日開催される予定の運動会が中止になり、JR紀勢線で帰宅するために、学校から串本駅へ向かう途中で、竜巻による強風に遭い、吹き倒されて負傷したものである。うち1名は、全治1カ月の重傷であった。Fig. 7には、最も被害の数が多く、また被害の規模も大きかった串本町中心部の被害分布を示す。海上から再上陸した南西部と串本駅北の大水崎地区で被害が大きかった。高校生9名が、強風で吹き倒されて負傷したのは、Xで示す場所である。串本町中心部では、約200戸に被害があったが、大半は、屋根瓦が飛ばされたものや、窓ガラスにものがあたって割れた被害である。Fig. 7から被害の発生の中は、最も広いところでは、300 mにのぼる。全壊したのは、潮岬の大工小屋 (Photo 1) や、JR串本駅の北の大水崎地区の魚加工場 (Photo 2)、自動車整備工場 (Photo 3) などである。これらの建物は、いずれも、トタン張りの建物であり、構造的にはあまり強い建物ではなかったと推定される。古座川町では、チップ工場の建物 (木造、 $10 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 4 \text{ m}$) が全壊したが、その建物は、地面に基礎を残したまま、建物上部すなわち屋根と壁のみが、3 m程度上空へ持上げられ、空中で一回転した後にはすぐ横に落下した。建物の内部にあった木材の皮を剥ぐ機械は、まったく無傷であった (Photo 4)。この被害は、竜巻通過時に急激に気圧が下がったために、建物の内部と外部に気圧差が生

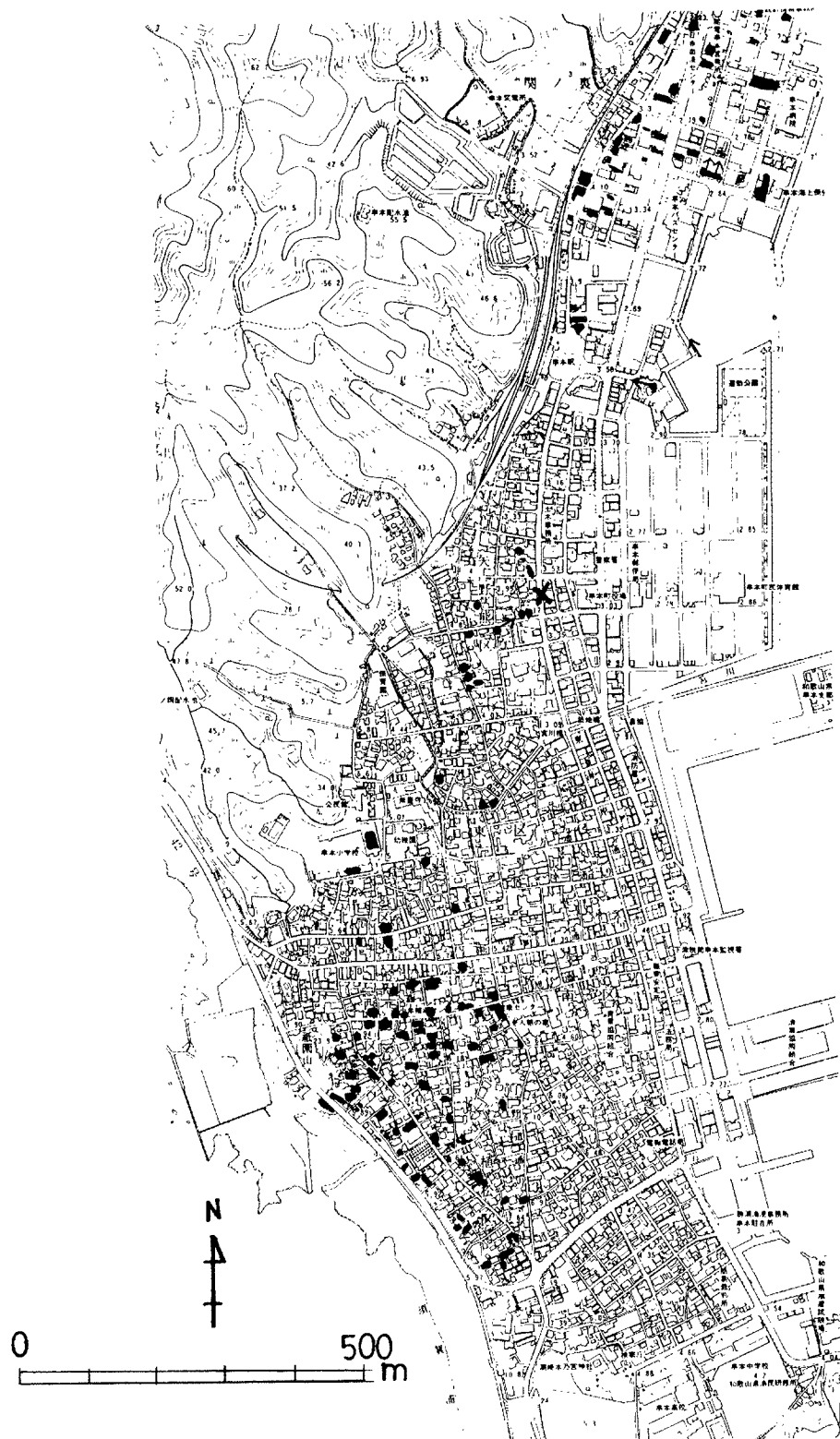


Fig. 7. Detailed distribution of damages in the downtown of Kushimoto, in Fig. 6.
The black marks indicate the damaged houses.



Photo. 1. Completely Destroyed workshop (shionomisaki, Kushimoto).



Photo. 2. Completely Destroyed workshop of fish processing (Ohminaki, Kushimoto).



Photo. 3. Completely Destroyed workshop of car maintenance (Ohmisaki, Kushimoto).

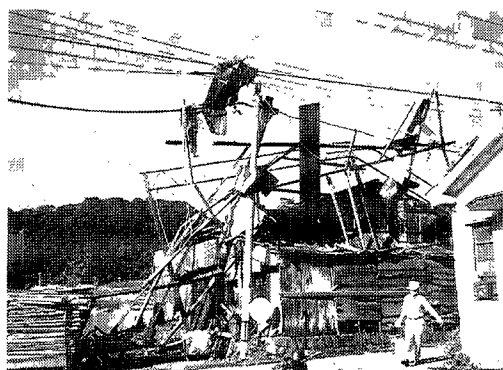


Photo. 4. Completely Destroyed workshop of wood chip processing (Takaike, Kozagawa).

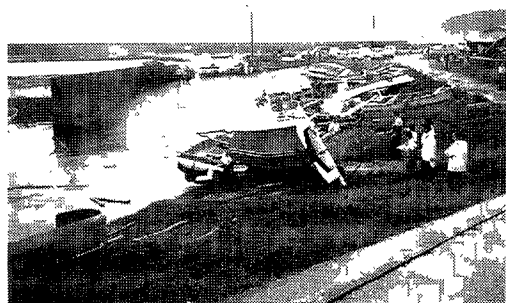


Photo. 5. Turnover of fishing boats (Suga, Kushimoto).

電話が一時不通になった。串本町潮岬と橋杭の墓地では、墓石が転倒した。橋杭の墓地の近くでは、直径約60 cmの楠の木が根元付近で折じ切られたり (Photo 7)、古座町姫地区では、小学校のポプラの木 (高さ10 m) が根元から倒れた。

じ、この気圧差のために、建物が基礎から切り離されてしまったものと考えられる。同様な被害は、1978年に東京で発生した竜巻の際にも報告されている^{3),5),7)}。船舶の被害は、竜巻が潮岬から、一旦海上に出て、再度上陸した付近の漁港に引揚げられていた漁船が、強風のために転倒したものである (Photo 5)。そのなかで、木造の伝馬船一隻 (長さ5 m) が、国道42号線を越えて、約50 m東の民家に飛びこんだことが報告されている。その他の被害としては、Photo 6に示すように、電柱が途中から折れてしまったり、強風によって飛ばされたトタン板が、配電線や電話線に引掛かったために切断され、串本町では約3000戸が停電、30戸の



Photo. 6. Break of an electric-light pole (Kita, Kushimoto).

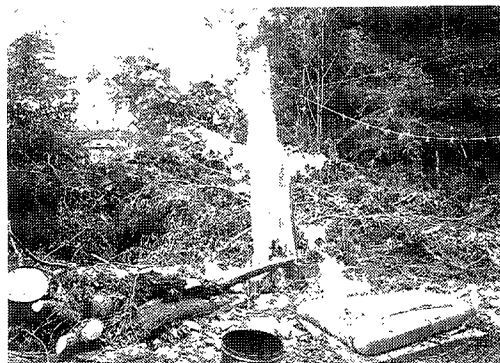


Photo. 7. Twisted Japanese bead tree (Hashikui, Kushimoto).

5. 竜巻周辺の風などの気象要素

先に述べたように、竜巻の通過した経路に沿った周辺で、気象観測が行なわれているのは、京都大学潮岬風力実験所、潮岬測候所、関西電力串本営業所（串本町大水崎）、航空自衛隊第五警戒群（串本町大島）、古座川消防署（古座町）の5つが主な機関である。その位置は、

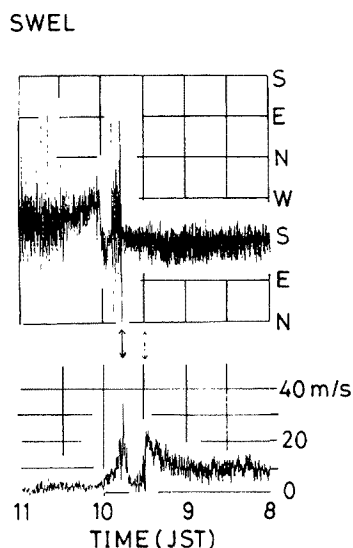


Fig. 8. Wind record observed at Shionomisaki Wind Effect Laboratory, Kyoto University. The small arrows indicate the passage of Tatsumaki and gust front.

Fig. 6 の被害分布図にあわせて示した。そのうちで、潮岬測候所と古座川消防署では、風、気温、湿度、雨量などの自記記録が得られた。その他の機関では、風向風速のみである。

Fig. 8-12 には、各観測点の気象要素の自記記録を示す。大島の記録を除いて、他のいずれの観測点においても竜巻の通過の際に、風向の記録には回転性の変化をしており、風速には、鋭いピークが現れている。潮岬測候所の記録では、 30 ms^{-1} レンジから 60 ms^{-1} レンジへの切換えが間に合わず、オーバースケールとしている。他の数値表示から、最大瞬間風速は9時45分に 39.8 ms^{-1} を記録したことが、発表された。京都大学潮岬風力実験所では9時45分頃に 36.0 ms^{-1} 、古座川消防署では9時55分頃に 21.0 ms^{-1} の最大瞬間風速を記録した。関西電力串本営業所は、竜巻の通過経路に最も近い観測点であるが、風速が 30 ms^{-1} を越えてしまって、オーバースケールしてしまった。大島の航空自衛隊の記録では、風向には、わずかに回転性の変化が見出されるが、風速のピークはない。この観測点は、竜巻の通過経路から約3 km も離れるために、竜巻の風はほとんど影響しなかったものと考えられる。

潮岬測候所の気圧の記録には、竜巻の通過に対応して、約2 hPa の急な気圧の低下が見られる。その急な気圧の低下の

前後20分間にわたって、谷状の変化をしていて、小さな低気圧の通過を示しているが、これは、いわゆる竜巻低気圧 (Tornado Cyclone) が通過したことに対応するものと考えられる。この時、気温は 1.2°C 上昇している。古座川消防署の気圧の記録にも、この低気圧の通過を示す気圧の低下が現れているが、竜巻の通過を示すような急な低下は見られなかった。これは、先にも述べたとおり、竜巻の経路からかなり距離があるために竜巻本来の急激な気圧の低下はなかったのかもしれないが、この気圧の記録は打点式の記録計によるものであり、瞬間的な気圧の変化には、追従できなかったものとも考えられる。

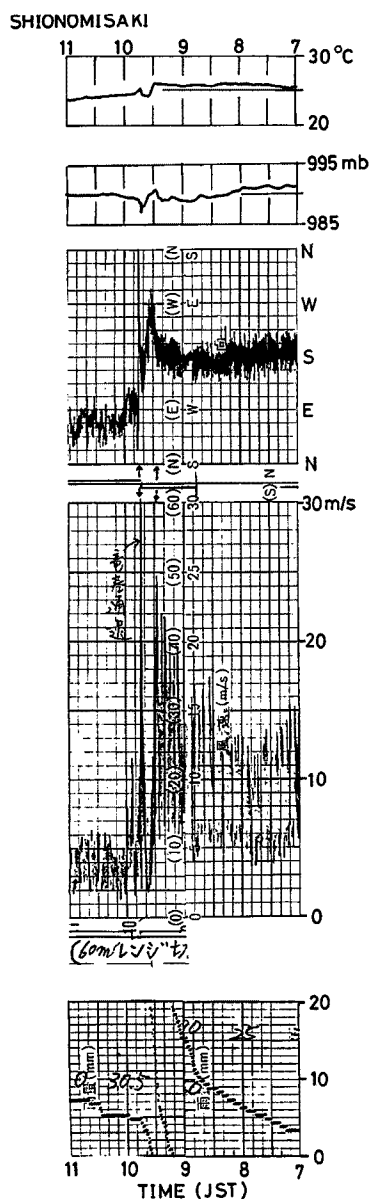


Fig. 9. Records of meteorological elements observed at Shionomisaki Weather Station, JMA.

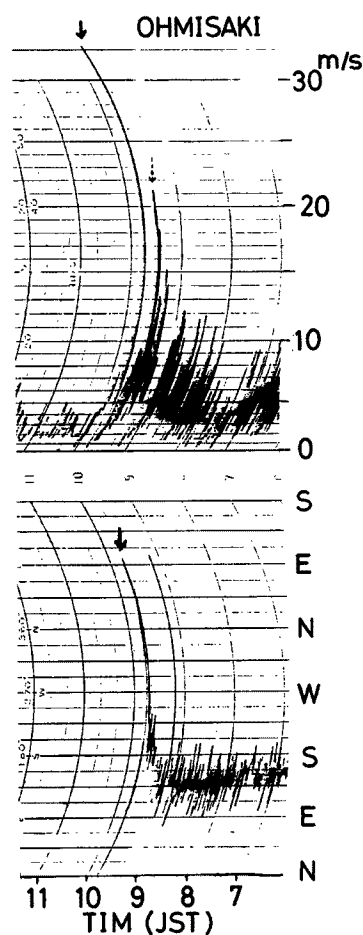


Fig. 10. Wind record observed at Kushimoto Branch of Kansai Electric Power Company at Ohmisaki, Kushimoto.

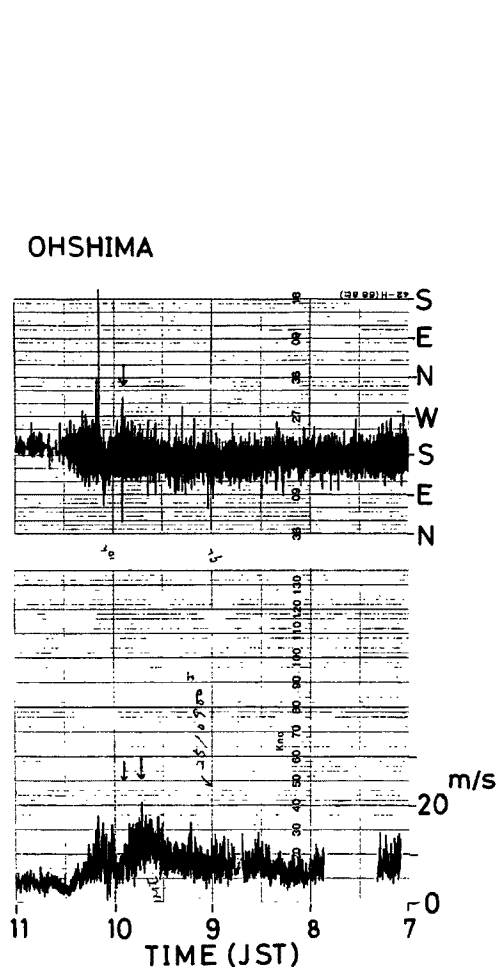


Fig. 11. Wind record observed at the radar site of Air Self-Defense Force at Ohshima, Kushimoto.

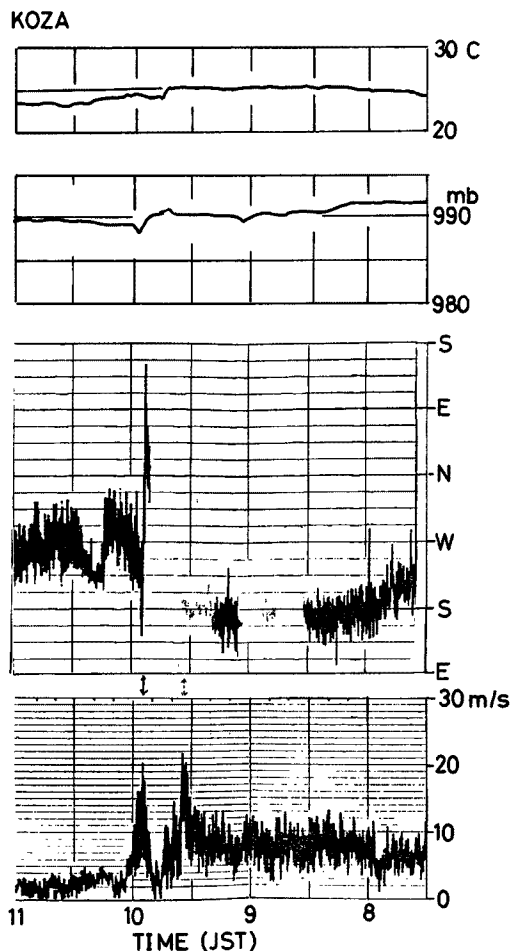


Fig. 12. Records of the meteorological elements observed at Kozagawa Fire Station at Koza.

降雨は、竜巻通過までは強い雨が降っていたが、竜巻の通過とほぼ同時にほとんど止んでしまっていた。また、竜巻の発生当時、雷鳴もあったことが、多くの人の証言から得られている。

今回の竜巻発生前後の気象要素の記録で、興味深いのは、竜巻の前にも別の強風が吹いていることである。この強風は、どの観測点の風の記録にも記録されている。この強風が記録された時刻を竜巻の通過時刻と比べてみると、京都大学潮岬風力実験所、潮岬測候所及び航空自衛隊では17分前、関西電力串本営業所では16分前、古座川消防署では20分前であった。このように、ほぼ同じ時間間隔で2つの現象が観測されていることから、竜巻とこの強風は、ほぼ同じ速度で移動していたと考えられる。瞬間最大風速は、京都大学潮岬風力実験所で 26.5 ms^{-1} 、潮岬測候所で 24.8 ms^{-1} 、関西電力串本営業所で 22.2 ms^{-1} 、古座川消防署で 21.8 ms^{-1} 、航空自衛隊で 20.2 ms^{-1} といずれも 20 ms^{-1} を越えて、古座川消防署や航空自衛隊では、竜巻通過時よりも大きい風速を記録した。この強風の前後で、風向は、潮岬測候所や関西電力串本営業所では南からやや西よりに変っているが、他の観測点では大きな風向の変化は見られない。この強風時に、潮岬測候所の気圧は、2分間に 1.5 hPa 上昇し、気温は 1.8°C 降下した。古座川消防署でも記録されており、気圧は 0.8 hPa 上昇し、気温は 1.0°C 低下した。また、この現象の通過時には、強い雨を伴っていたことも示されている。以上のように、これらのことは、クラウドクラスターに伴う局所的な陣風線 (Gust Front)⁸⁾ と推定される。こ

の強風と竜巻が、同じクラウドクラスターのなかで下降流と上昇流によって発生した現象であると考えられる。

6. 被害からの風速の推定

被害の実例から、実際に吹いた風の推定を行なってみた。竜巻の強風による被害は、屋根瓦の飛散や窓ガラスの破損が最も多かった。しかし、屋根瓦の飛散からは風向しか推定できず、窓ガラスの破損も風圧で割れたのか、物がぶつかったことが原因なのか判断しにくい。ここでは、串本町の潮岬地区と橋杭地区の墓地で発生した墓石の転倒、大水崎地区で発生した道路標識の屈曲から風速の推定を行なった。潮岬、橋杭の墓地は Fig. 6 の三角印の地点である。そのようすを、Photo 8, 9 に示す。

Fig. 13 に示すように、一様な風が墓石の一つの面に吹いて、静的な風圧力で転倒したとする。墓石の転倒モーメント M_s と、風によるモーメント M_u はそれぞれつぎのようになる。

$$M_s = \rho_s h b d g \cdot d / 2 \quad (1)$$

$$M_u = 1/2 \cdot \rho_a U^2 C h b \cdot h / 2 \quad (2)$$

ここで、 ρ_s は墓石の密度、 h は墓石の高さ、 b は風が吹きつける面の墓石の巾、 d は墓石の奥行、 g は重力加速度、 ρ_a は空気密度、 C は抗力係数である。墓石の転倒時には、 $M_u > M_s$ が成立することから、転倒時の風速 U_0 の下限値は、次のように求めることができる。

$$U_0 > (2\rho_s g / \rho_a C h)^{1/2} \cdot d \quad (3)$$

ここで、墓石は、花崗岩を仮定すると、 $\rho_s = 2.65 \times 10^3 \text{ (kgm}^{-3}\text{)}$ 、この時の気象条件である気温 24.5°C 、気圧 990 hPa を考慮すると、 $\rho_a = 1.15 \text{ (kgm}^{-3}\text{)}$ 、 $g = 9.8 \text{ (ms}^{-2}\text{)}$ とする。 h 、 d は実例データを用いる。 C の値は、風が吹きつける墓石の形状によって異なるが、一様流中で角柱を用いた風洞実験の結果を利用した⁹⁾。

さらに、転倒した墓石の近くで、倒れなかったものについても、同様に考えると、今度は、風速の上限値が得られることになり、ある巾をもって、風速の推定ができることになる。潮岬と橋杭の墓地の、墓石の転倒の被害の分布を Fig. 14, 15 に示す。矢印の方向は墓石の転倒方向、数値は推定された風速である。墓石の

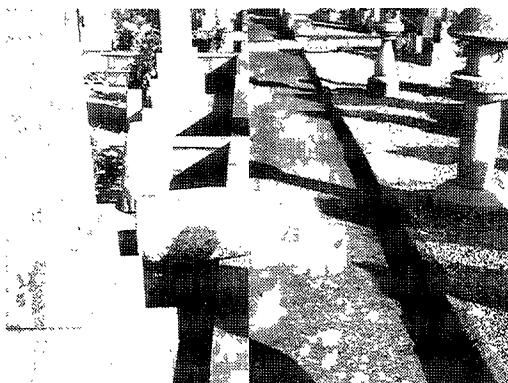


Photo. 8. Example of fallen stone lantern (Shionomisaki, Kushimoto).



Photo. 9. Example of fallen tombstone (Shionomisaki, Kushimoto).

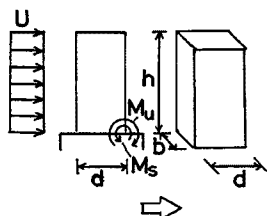


Fig. 13. Falling of tombstone. U : wind, M_u : moment of wind, M_s : moment of tombstone, h , b , d : scales of tombstone.

形状によっては、抗力係数 C の値を決定することが困難であり、風向のみしか表示していないものもある。推定された風速は、 $30 \sim 60 \text{ ms}^{-1}$ である。しかし、この方法による風速の推定には注意が必要である。というのは、転倒方向が必ずしも風向を示しているとは限らないからである。墓石の一つの面に斜に風が吹いたとしても、墓石は一つの稜線を回転軸としてしか転倒しない。そうすると、墓石の転倒は、実際墓石に加わる風圧力の転倒方向の成分によって発生する。このため、風向と墓石の転倒方向が一致している場合以外は、ここで推定した風圧力は、実際に墓石に作用した風圧力より過小評価であると考えられる。したがって、風

速もまた過小評価となり、実際にはもっと強い風が吹いた可能性がある。

道路標識の被害の実例を Photo 10 に示す。Fig. 16a), b) のような標示板が取り付けられた標識が、静的な風圧によって、その支柱から折れ曲ったと考えられる。破壊部分で部材（支柱鋼管）は、全面降伏し、その耐力は、破壊応力度 σ とする。支柱の風によるモーメント M_0 は、

$$M_0 = 1/2 \cdot \rho_a U^2 C_0 R l_0 \quad (4)$$

一つの標示板の風によるモーメント M_i は、

$$M_i = 1/2 \cdot \rho_a U^2 C_i A_i l_i \quad (5)$$

である。ここで、 C_0 , C_i はそれぞれ支柱と標示板の抗力係数、 l_0 は地面から標示板までの支柱の高さ、 R は支柱の直径、 l_i は標示板の中心までの高さ、 A_i は標示板の面積である。N 個の標示板が付いた道路標識が、風圧によって折れ曲ったとすると、次のような関係が成立しなければならない。

$$\sum_{i=1}^N M_i > z\sigma \quad (6)$$

ここで、 z は断面係数である。この支柱に使用されている鋼管 (JISG344, STK4, 直径 60.5 mm, 厚さ 2.3 mm) では、 $z = 5.90 \times 10^{-6} \text{ m}^3$, $\sigma = 2.35 \times 10^8 \text{ Nm}^{-2}$ とする。抗力係数 C は風洞実験の結果を用いた¹⁰⁾。道路標識が

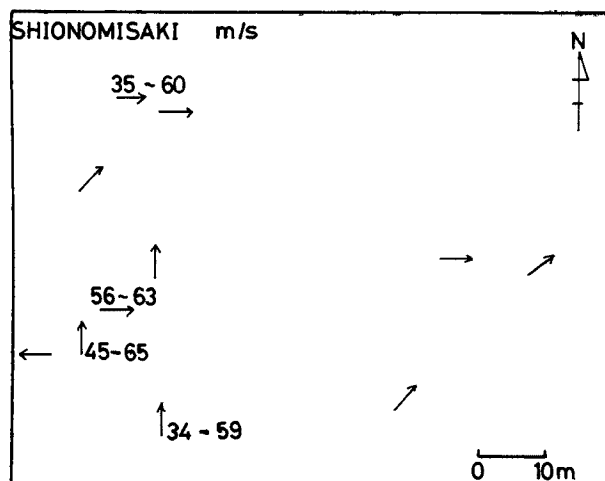


Fig. 14. Wind direction and wind speed estimated by the turnover of tombstones at Shionomisaki cemetery.

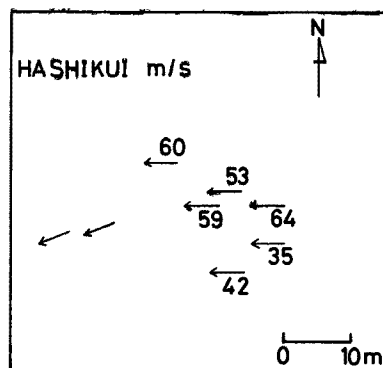


Fig. 15. Same as Fig. 16 except for Hashikui cemetery.

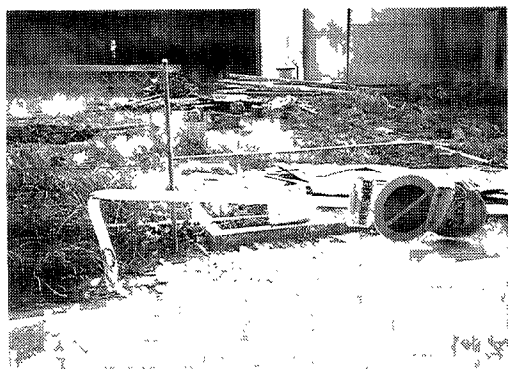


Photo. 10. Example of break of road sign (Ohmisaki, Kushimoto).

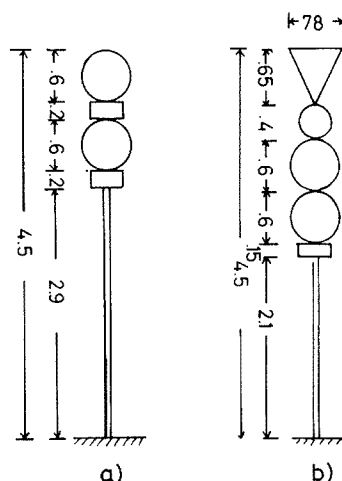


Fig. 16. Design and scale of road sign failed by Tatsumaki.

折れ曲るために必要な風速 U_0 は次のように求めることができる。

$$U_0 > (2z\sigma/\rho_a / (C_0 R l_0^2 + \sum_{i=1}^N C_i A_i l_i))^{1/2} \quad (7)$$

これを、実際の被害 (Fig. 16a), b) にあてはめてみると、推定される風速は、Fig. 16a) の場合が 24.9 ms^{-1} , b) の場合が 24.2 ms^{-1} という値が得られた。墓石の被害からの風速の推定の時の注意事項は、この推定の場合にも同じように当てはまる。

7. おわりに

今回の竜巻は、移動速度が毎時 60 km で墓石の被害などから最大風速半径は 60~70 m, 最大風速は 30~60 ms^{-1} と推定された。この程度の竜巻は、今までに発生したものとは比べても、とくに大きいものではない。にもかかわらず、重傷 1 名を含む、20 名もの負傷者がでたことは、注目すべき事実である。その約半分が、列車通学の串本高校の生徒であった。竜巻の発生した当日の日曜には、運動会の開催が予定されていたが、雨天中止になった。大雨洪水警報が発令され、JR 紀勢線が不通になる可能性があったため、学校側はすでに登校していた生徒を急いで下校させる必要があった。その際、竜巻が発生する可能性については、全く念頭に無かったと思われる。日本において、竜巻が、ある特定の地点を通過する確率は 10^6 年に 1 回と非常に低いものであり、串本においても、今回の竜巻を含めて、20 年に僅か 3 回しか発生してないことを考えると、これは無理からぬことである。しかし今後は、このような現象が、起り得るかもしれないことを考慮して判断が下されることが望ましい。そのためには、竜巻などの瞬発性の気象現象についてのある程度の予測が必要であるが、現在のところ、日本において、これらの現象についての予報体制は全く確立されておらず、防災対策も全く行なわれていない。発生確率が非常に低い現象であるにしても、人命が失われたり、構造物の破壊が起ることによって、大きな 2 次的災害が発生する可能性のある、原子力発電所、高速道路、高速鉄道、高圧送電線などの構造物については何らかの対策が必要である。

最後に、被害調査時から、終始議論をして頂いた京都大学防災研究所暴風雨災害部門、光田 寧教授に感謝する。気象資料の提供を頂いた、串本町役場、古座町役場、古座川町役場、潮岬測候所、室戸岬測候所、関西電力串本営業所、航空自衛隊第 5 警戒群、古座川消防署、和歌山県水産試験場に感謝する。被害からの風速の推定について協力していただいた京都大学防災研究所耐風構造部門、谷池義人氏、丸山 敬氏に感謝

する。被害発生当日からの被害調査に協力を得た潮岬風力実験所、河内伸治技官に感謝する。また、被災中にもかかわらず、聞き取り調査に快く協力して下さった方々に謝意を表する。

この調査を遂行するにあたり、文部省科学研究費、一般研究B（研究代表者、桂順治、課題番号6346017）の交付を受けた。

参 考 文 献

- 1) 和歌山県，和歌山地方气象台：昭和63年9月24日から25日にかけての低気圧による大雨害と25日のたつ巻害，和歌山県農業気象災害速報，第2号，1988，pp. 21.
- 2) 林 泰一：1988年9月25日に串本町に発生した竜巻(速報)，日本風工学会誌，No. 38，1989，pp. 53-56.
- 3) 光田 寧編：竜巻など瞬発性気象災害の実態とその対策に関する研究，文部省科学研究費，自然災害特別研究成果，1983，pp. 124.
- 4) 石崎澄雄，光田 寧，林 泰一：1978年9月16日潮岬を襲った竜巻について，京都大学防災研究所年報，第22号B-1，1979，pp. 371-384.
- 5) 光田 寧，文字信貴，岩谷祥美，西岡淳一：1978年に東京地方を襲った竜巻について，京都大学防災研究所年報，第22号B-1，1979，pp. 385-406.
- 6) 光田 寧，文字信貴，石川裕彦：1979年に発生した台風に伴う竜巻，京都大学防災研究所年報，第23号B-1，1980，pp. 289-301.
- 7) 石崎澄雄，林 泰一，谷池義人：急激な気圧変化に対する室内圧の応答，京都大学防災研究所年報，第26号B-1，1983，pp. 323-329.
- 8) 小倉義光：一般気象学，東京大学出版会，1984，pp. 314.
- 9) Vickery, B. J.: Load fluctuations in turbulent flow., ASCE, 1968, Vol. 94, EM1., Feb., pp. 31-46.
- 10) 岡内 功，伊藤 学，宮田利雄：耐風構造，丸善株式会社，1977，pp. 418.