



# 1999年台風18号の通過時に発生した山口県小野田市の竜巻災害

山本 晴彦\*・丸山 敬\*\*・岩谷 潔\*\*\*・  
鈴木 賢士\*・早川 誠而\*

## Tornado Disaster Occurred Through Typhoon 9918 (Bart) in Onoda City of Yamaguchi Prefecture

Haruhiko YAMAMOTO\*, Takashi MARUYAMA\*\*, Kiyoshi IWAYA\*\*\*  
Kenji SUZUKI\* and Seiji HAYAKAWA\*

### Abstract

Typhoon 9918 (Bart) passed through the Kyushu and the western part of Chugoku district on September 24, 1999. As the typhoon passed, a tornado occurred in Onoda City of Yamaguchi Prefecture. The recorded peak gust speed was 52.0 m/s at the Onoda fire station, 150 m away from the path of the tornado. The air pressure had decreased by 3.6 hPa at 7:59, while the minimum value was recorded as 961.6 hPa. The width of the tornado's path estimated from damages of houses was 50-150 m and its length was 5.1 km. The number of seriously injured persons was 13, and the number of houses damaged was about 650. Fujita and Piason scales were estimated to be F2 and P2 (length:1.6-5.1 km, width:51-160 m), respectively.

キーワード：小野田市，竜巻，1999年台風18号，山口県

Key words : Onoda City, tornado, typhoon 9918 (Bart), Yamaguchi Prefecture

\* 山口大学農学部  
Faculty of Agriculture, Yamaguchi University  
\*\* 京都大学防災研究所  
Disaster Prevention Research Institute,  
Kyoto University

\*\*\* 鳥取大学大学院連合農学研究科  
United Department of Agricultural Science,  
Graduate School of Tottori University

本報告に対する討論は平成13年9月末日まで受け付ける。

## 1. はじめに

1999年台風18号は、9月24日早朝に熊本県に上陸して九州中部を縦断し周防灘に抜けた後、9時前に山口県宇部市に再上陸し10時過ぎには日本海に抜けた。本台風により、熊本県不知火町では台風通過時に発生した高潮により12名が死亡するなど、九州や西中国地方を中心に人的・建物被害が相次いだ(山本ら, 2000)。また、台風18号が山陰沖を通過している11時過ぎに、愛知県豊橋市では竜巻が発生して、重軽傷者373名、建物被害約2500棟にも及んだ(林ら, 2000)。

台風が周防灘から再上陸した山口県宇部市の西に隣接する小野田市では、台風の通過時に竜巻が発生して、全壊17棟をはじめとして建物被害が相次いだ。さらに、周防灘に面した海岸地域では高潮により防潮堤が決壊して、浸水被害が発生した。

ここでは、竜巻が発生した小野田市および周辺地域を対象に、台風18号の通過時における気象的特徴を解析するとともに、竜巻被害の現地調査の結果について報告する。

## 2. 小野田市および宇部市西部における竜巻発生時の気象的特徴

1999年台風18号の経路、山口県周防灘地域、竜巻災害調査地域、台風18号による災害救助法適用自治体を図1に示した。1999年9月17日にフィリピンの東海上で発生した弱い熱帯低気圧は、19日9時に沖縄の南海上に達し台風18号(Bart)となった。22日に沖縄本島西海上を北上した台風は、さらに東シナ海を北上し九州西岸の熊本県へ24日6時頃に上陸した。台風は、7時には日田市付近、8時には中津市付近を通過し、周防灘に抜けた。さらに、9時前には山口県宇部市に再上陸し、10時過ぎには日本海に抜けて、北海道渡島半島に再々上陸した後、25日12時にオホーツク海で温帯低気圧となった。

台風の通過時に竜巻が発生した山口県小野田市の周辺では、東に約10km離れた宇部市南部には下関地方気象台により山口宇部空港出張所が設置されている。しかし、本台風の通過時に発生した高潮により防潮堤が決壊して空港全体が水没して停電したため、8時30分以降は気象観測も欠測となっている。

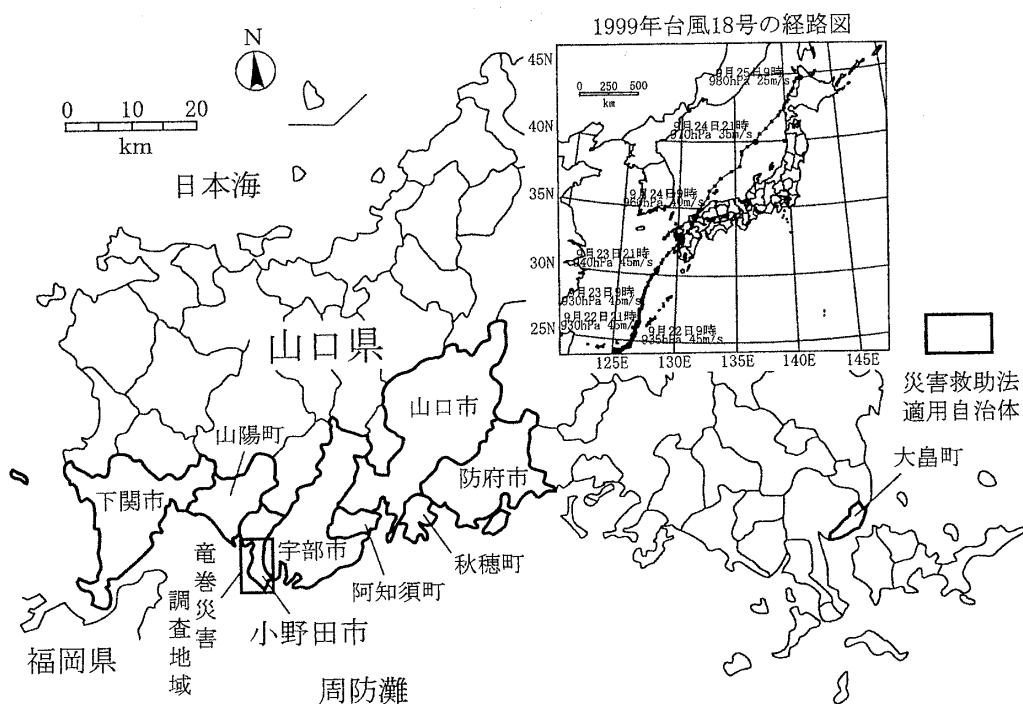


図1 1999年台風18号の経路、山口県周防灘地域、竜巻災害調査地域、台風18号による災害救助法適用自治体

そこで、竜巻発生時の気象条件を解析するため、現地踏査により気象観測を実施している施設を調査した。筆者らが現地調査を実施して推定した竜巻の進路、小野田市および隣接する宇部市西部において各種機関が設置している気象観測施設を図2に示した。また、気象観測施設の概要と台風18号の通過時に観測された風と気圧の概況を表1に示した。

小野田市は、周防灘の北西部に位置し、面積43 km<sup>2</sup>の工業都市である。地形は東に緩やかな丘陵が広がっており、西は干拓地で市街地が形成されている。筆者らが実施した現地調査の結果、竜巻

被害は図2に示したように周防灘から内陸に約1.8 km 入った小野田市大学通の山口東京理科大学の体育館前から始まり、北北西の方向にほぼ直線上に点在し、小野田市北部の西高泊の雇用・能力開発機構のポリテクセンター小野田で建物被害は終わっており、小野田市の市街地を約5.1 km にわたって通り抜けたものと推定された。

竜巻が通過したと推定される進路上に位置する稲荷町の中心から西へ約150 m 離れた小野田市高栄一丁目には、小野田市消防本部(図2中の番号3)が平成11年4月に港町から新築移転されている。その際、総合気象観測装置(日本エレクト

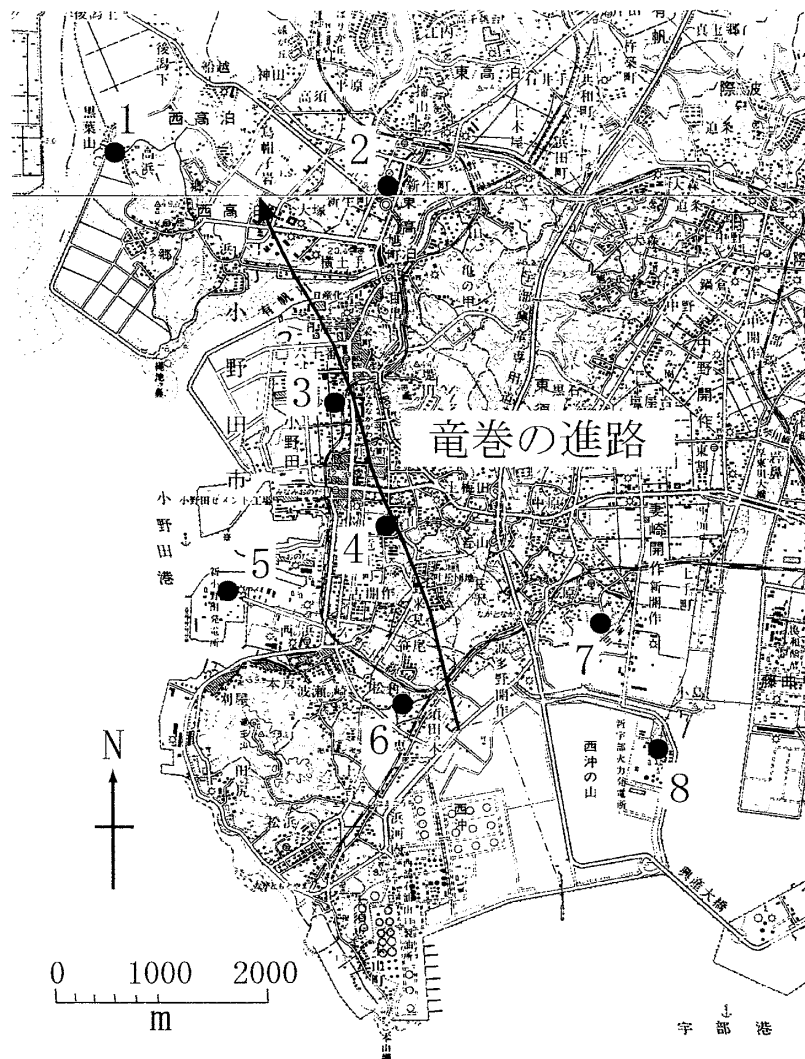


図2 小野田市および隣接する宇部市西部における気象観測施設および竜巻進路  
(1:小野田市水圏公害研究所, 2:小野田市役所, 3:小野田市消防本部, 4:須恵運動公園, 5:新小野田発電所, 6:竜王中学校, 7:原小学校, 8:火力発電技術センター)

表1 山口県小野田市および宇部市西部における気象観測施設と1999年9月24日に観測された風と気圧の概況

番号 <sup>1)</sup>	観測所名	所管名	平均風速		最大瞬間風速		最低海面気圧			
			(m/s)	風向	(m/s)	風向	(hPa)	起時		
小野田市										
1	小野田市水圏公害研究所	小野田市	以前から故障のため、欠測						—	
2	小野田市	小野田市総務課	故障のため欠測						—	
3	小野田市消防本部	小野田市消防本部	22.2	E	7:38	52.0	E	7:27	961.6	7:59
4	須恵運動公園	山口県生活環境部	14.2	E	7:00	(7時以降、故障のため欠測)				
5	新小野田発電所	中国電力	34	SE	8:00	62.6	SE	8:00	973.0	8:00
6	竜王中学校	山口県生活環境部	0.8	ESE	2:00	(2時以降、故障のため欠測)				
宇部市西部										
7	原小学校	山口県生活環境部	測定機器不良のため欠測						—	
8	火力発電技術センター	中国電力	21.5	SSW	7:51	52.2	SSW	7:56	—	—

1):番号は、図2の●の番号と一致する。「—」は、未測定を示す。

新小野田発電所では、発電所本館、貯炭場、揚炭機の3ヶ所で風向・風速を観測している。

ここでは、発電所本館の観測値を示しており、7時から8時までの最大値を表示している。

観測所(1・4・6・7)では、最大瞬間風速、気圧は測定していない。

設置している風向・風速計は弱風型のため、20m/sを越えると欠測となる。

トリック・インスルメント社製)が整備されており、風向風速計が建屋屋上のポール上に設置(高度:14.5m)されている。

小野田市消防本部において、台風18号通過時の1999年9月24日6時から11時までの10分毎(下段)、7時から8時30分までの1分毎(上段)の気象要素の推移を図3に示した。ここで、風速は10分間の平均風速である。平均風速は24日未明から強まりはじめ、6時過ぎには15m/sを越え、7時から8時にかけては20m/sを上回る強風が吹き、7時27分に最大瞬間風速は52.0m/s(風向:東)を観測した。この観測値は、気象庁が観測した下関地方気象台の41.9m/s、山口測候所の46.4m/sを大きく上回る値であった。その後、8時頃から平均風速が急激に低下して、10分から30分ごろまで平均風速が10m/sまで弱まった。風向は東風が8時10~20分頃から南よりの風に変化しており、風向・風速の観測値からこの時間帯に台風の眼が小野田市の西側を通過したものと推察される。平均風速は1/4秒間隔で観測された値を10分間の平均値として算出していること、竜巻の進路から西に約150mも離れていることから、これらの観測値は竜巻に伴う突風とは考えにくく、台風の通過に伴う強風と考えられる。

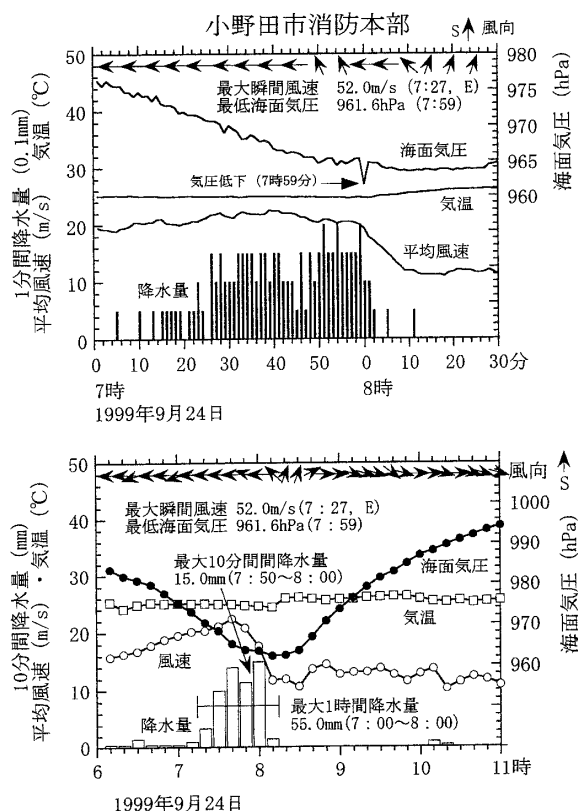


図3 小野田市消防本部における1999年台風18号通過時の気象要素の推移

降水は、台風が接近しはじめた7時10分から台風の眼に入る直前の8時まで集中して降っており、最大10分間降水量15.0mm、最大1時間

降水量 55.0 mm を観測した。

海面気圧の詳細な変化（1分間隔の瞬時値の推移）をみると、台風が接近するにつれて漸減する傾向が認められたが、7時58分に965.2 hPaを観測した後、わずか1分後の59分には3.6 hPaも急激に低下して最低値961.6 hPaを記録している。さらに、その1分後の8時00分には964.7 hPaと3.1 hPaも上昇した後、8時20分ごろまで漸減する傾向を示した。この小野田市消防本部で台風の通過直前の7時59分に観測された海面気圧の異常な低下は、現地調査から得られた隣接する竜巻の通過時刻とほぼ一致していることから、この気圧低下は竜巻の通過により発生した現象であると推察される。

山口県生活環境部では大気汚染物質の拡散を監視するために周防灘に面した各市町に大気汚染測定局を設置して、SO<sub>2</sub>、SPM、NO、NO<sub>2</sub>、OXなどの大気汚染物質をはじめとして物質の拡散予測のために風向・風速を観測している。小野田市内で須恵運動公園測定局（図2中の番号4）は竜巻が通過した進路のほぼ中心に位置している。ここで設置されている風向風速計は弱風用で、7時に14.2 m/sを観測したが、その後は20 m/sを越えて観測不能で欠測となっており、竜巻による突風を観測することは出来なかった。竜王中学校（番号6）や宇部市西部の原小学校（番号7）でも同様な測器が設置されているが、ともに故障により欠測となっている。

中国電力（株）では、小野田市に新小野田発電所（番号5）、宇部市西部に火力発電技術センター（旧名称：新宇部発電所、番号8）に気象観測施設を設けている。新小野田発電所では本館、貯炭場、揚炭機の3カ所に風向・風速計を設置している。代表地点である発電所本館の屋上に設置された風向風速計は、毎正時毎に観測データ更新して表示する方式で、7時から8時の間に最大瞬間風速62.6 m/sを観測している。海面気圧の観測も同様な方式で最低気圧973.0 hPaを観測している。竜巻進路の東側に位置する宇部市西部にある火力発電技術センターでは、7時51分に最大瞬間風速52.2 m/sを観測しているが、竜巻に伴う突風は観

測されなかった。

### 3. 竜巻に伴う建物被害の実態

筆者らの現地調査から得られた小野田市における竜巻による建物被害の発生箇所と写真の撮影場所を図4に示した。ここで、図中の全壊家屋は■（紺色）、半壊家屋は□（赤色）で示している。現地における建物被害の調査、住民からの聞き取り調査の結果、山口東京理科大学体育館前から発生した竜巻は南南東-北北西の方向に進み、JR西日本の雀田駅付近（写真1）で7時57~58分、被害の端にあたるポリテクセンター小野田（写真10）で8時5分ごろ通過して終息したものと推定される。竜巻による建物被害は、幅は約50~150 m、長さは約5.1 kmで帯状にわたっている。

小野田市総務課が11月14日に確定した台風18号の通過時に発生した竜巻による被害の概要を表2に示した。負傷者は重傷者6名を含む20名にも及び、住家被害も全壊17棟、半壊118棟をはじめとして約650棟にも達しており、被害の凄まじさを物語っている。

写真1は小野田市東須田の木および須田の木地区における竜巻被害の状況を竜巻発生の日後にセスナ機から撮影したものである。写真の中央部に青色のビニールシートを屋根に掛けた被害家屋が中央に写っており、竜巻が写真の手前から後方へ進んだものと推定される。竜巻による家屋被害の幅は約150 mにも及んでおり、今回の竜巻被害では最も被害幅が大きかった地域である。写真4は東須田の木地区における竜巻の被害を写真1の左手から撮影したものである。ここでは、幅約150 mにわたり家屋の全壊や半壊が認められ、破

表2 1999年台風18号の通過時に発生した竜巻に伴う小野田市の人的・住家被害の状況（11月14日確定値、小野田市総務課）

人的被害	重傷	6名
	軽傷	14名
住家被害	全壊	17棟
	半壊	118棟
	一部損壊	499棟

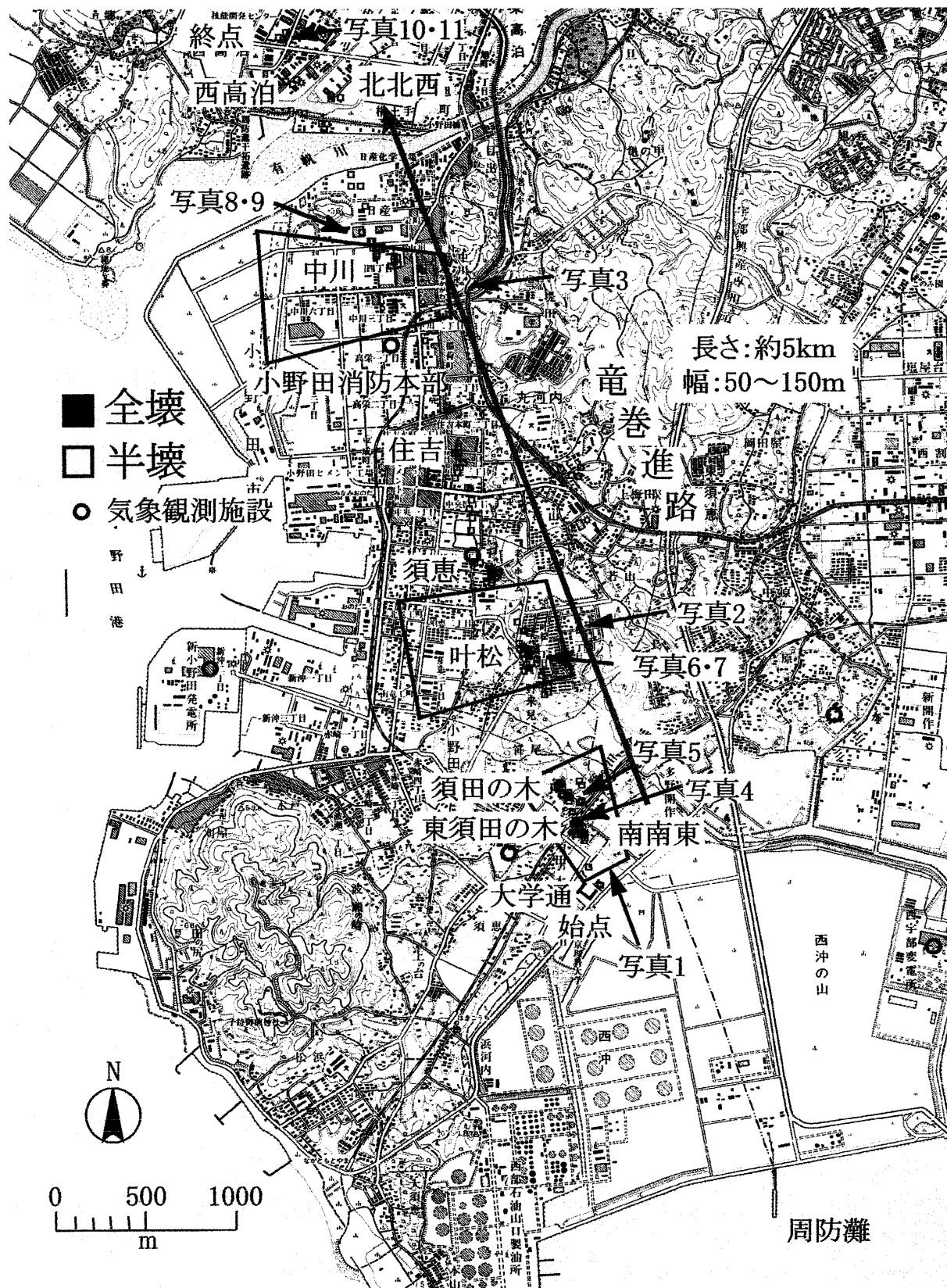


図4 小野田市における竜巻による建物被害の発生箇所と写真の撮影場所(写真1~3の矢印は撮影方向, 線で囲まれた部分は撮影範囲を示している。)

損した屋根にはビニールシートが被せられている。被害地区の住民からは「漏斗状の竜巻を見た」との証言は得られなかったが、「7時57分か58分頃に飛行機が通過するようなごう音が聞こえ、住宅の屋根瓦が破損した」との証言が得られた。

須田の木地区においては、写真5に示したように住宅の屋根や壁が吹き飛ばされており、竜巻の進路直下では家屋の全壊や半壊もみられ、竜巻の凄まじさを物語っている。この全壊家屋に隣接した半壊家屋の住人は「窓へ灰色の風雨が叩き付け、突然ガラスが破損して室内が真っ白くなった」と証言しており、竜巻による突風や気圧の低下が推定できる。しかし、住人は暴風雨により窓ガラスを押さえていたため、詳細な時刻は記憶していない。

写真2は叶松一丁目地区の竜巻被害の状況を撮影したものである。この地域でも竜巻による建物の最大被害幅は約120mにも及んでいる。写真6に見られるように、叶松自治会館(写真2の中央)では屋根瓦の剥離や損傷、側壁やアルミサッシの破損などの被害を受けている。写真7は、写真6の南に隣接する墓地の状況である。墓石が東よりの突風により西方向に転倒する被害が相次いで発生している。

林(1989)は竜巻通過時における墓石の転倒状況から風速を推定している。そこでは転倒時の風速 $U_0$ の下限値は、次のように求めている。

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

ここで、 $\rho_s$ は墓石の密度(花崗岩では $2.65 \times 10^3 \text{ kgm}^3$ )、 $g$ は重力加速度、 $\rho_a$ は空気密度、 $C$ は抗力係数、 $h$ は墓石の高さ(cm)、 $d$ は墓石の奥行(cm)としている。

筆者らは、竜巻通過時の気象条件である気温24.5℃、気圧960hPaを考慮して、式(1)の $\rho_a = 1.15$ 、 $g = 9.8$ とした。式(1)より転倒した7個の墓石から推定した風速は $81.6 \pm 4.49 \text{ m/s}$ (平均値±標準偏差)であり、小野田市消防本部で観測された最大瞬間風速52.0m/sを約30m上回る強風が吹いていた可能性が示唆された。

写真3は稲荷町から中川地区における竜巻被害



写真1 小野田市東須田の木および須田の木地区における竜巻被害の状況(山口県小野田市, 1999年9月27日, 丸山 敬撮影)



写真2 叶松一丁目地区の竜巻被害の状況(山口県小野田市, 1999年9月27日, 丸山 敬撮影)



写真3 小野田市稲荷町から中川地区における竜巻被害の状況(山口県小野田市, 1999年9月27日, 丸山 敬撮影)

の状況を撮影したものである。小野田市の中心部に当たる本地域では竜巻による被害は比較的少なく、建物被害の幅は約50～80mと推定された。中川町5丁目の市民体育館では、写真8に示したように屋根の内張りが剥離して強風が屋根内部に吹き込んだため、写真9に示すように体育館内部の天井ボードが剥離して落下する被害が発生した。また、体育館の北側の日産町にある日産化学工業(株)の小野田工場でも倉庫の倒壊をはじめ工場内の施設に屋根の剥離や側壁の損傷被害が発生した。本工場では、夜間勤務と日勤の交代時にあたる8時2～3分に2名の職員が「建物の周りをゴミなどを含んだ灰色の渦のようなものが通り過ぎて行った」と証言しており、この時刻に竜巻が通り過ぎたものと判断される。

竜巻被害の終端にあたる西高泊のポリテクセンター小野田(雇用・能力開発機構)では、大教室の屋根の約半分が剥離し、北北西方向に飛散する被害が生じた(写真10・11)。センターの職員は、8時5分ごろに「大教室の屋根が突風の東風により剥離した」と証言していることから、この時刻に竜巻が通過したものと推定される。

以上のように写真1～11と図4から、建物被害の始点である山口東京理科大学からポリテクセンター小野田の終点までの約5.1kmを約8分で通過していることから、竜巻の進行速度は約40km/hであったものと推定される。

竜巻が通過した地域では、写真で示した以外にも住家・工場の屋根では東側の瓦や軒が破損したり、樹木の折損などの被害が数多く認められた。今回の現地調査では、住家では台風18号の接近に備えて雨戸を閉めていたため、住民から「窓越しに見た風景は、灰色の風雨が叩き付けてきた」などの証言は得られたが、「漏斗状に垂れ下がった竜巻を見た」との証言は得られなかった。しかし、建物の被害家屋が帯状に分布していること、樹木の倒れた方向が一定でないこと、被害が発生した地域は風が収束する地形ではないこと、小野田市消防本部で気圧の低下を観測した7時59分と隣接する被害地域の竜巻通過の推定時刻がほぼ一致すること、などから建物の被害は竜巻の通過に伴

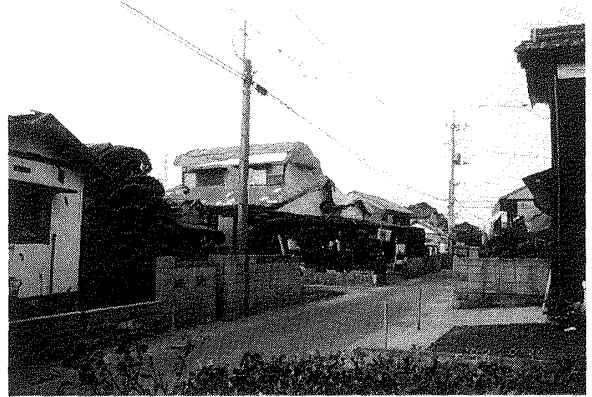


写真4 東須田の木地区における建物被害の状況(山口県小野田市東須田の木 1999年9月30日, 山本晴彦撮影)



写真5 須田の木地区における家屋の全壊状況(山口県小野田市須田の木, 1999年9月30日, 山本晴彦撮影)



写真6 叶松自治会館における建物被害の状況(山口県小野田市叶松一丁目, 1999年9月27日, 山本晴彦撮影)





写真7 墓地における墓石転倒の状況（山口県小野田市叶松一丁目，1999年9月27日，山本晴彦撮影）

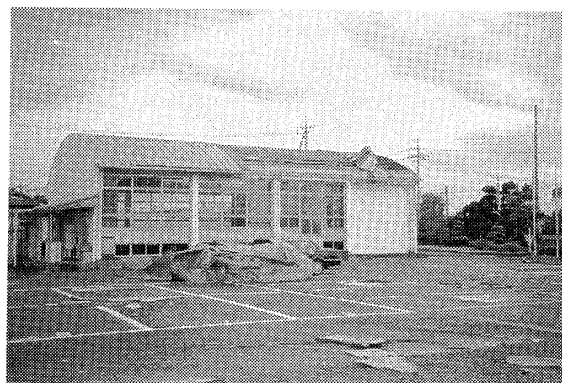


写真10 ポリテクセンター小野田における大教室の屋根の剥離状況（山口県小野田市西高泊，1999年9月24日，ポリテクセンター小野田提供）

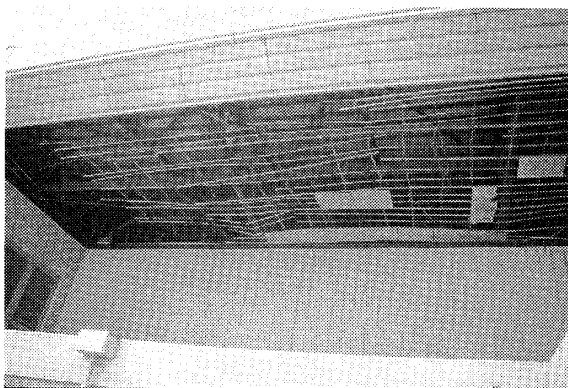


写真8 小野田市市民体育館における屋根の内張りの剥離状況（山口県小野田市中川五丁目，1999年9月30日，山本晴彦撮影）

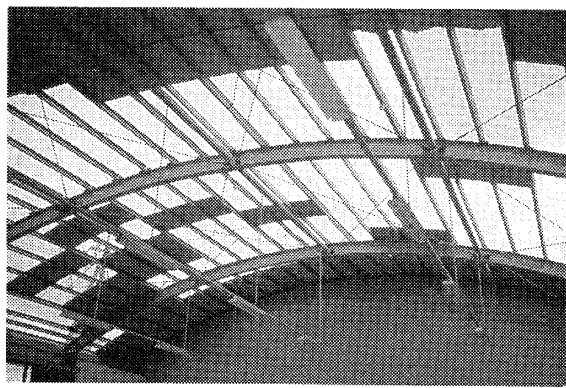


写真11 大教室の内部から見た屋根の剥離状況（山口県小野田市西高泊，1999年9月24日，ポリテクセンター小野田提供）

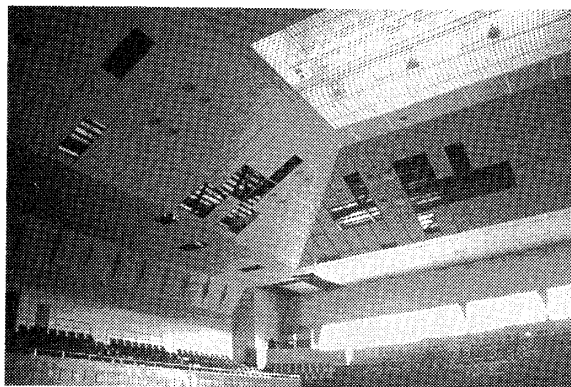


写真9 小野田市市民体育館における内部の天井被害（山口県小野田市中川五丁目，1999年9月30日，山本晴彦撮影）

い発生したものであると推定できる。

竜巻の規模を評価する手法として、建物被害の発生状況から評価する藤田スケール（表3）、竜巻被害の長さや被害幅から評価するピアソン・スケール（表4）が用いられている（藤田，1973）。今回の小野田市で発生した竜巻は、竜巻が通過したと推定される進路から西に約150m離れた小野田市消防本部で瞬間最大風速52.0 m/sを観測していること、墓石の転倒から推定した風速 $81.6 \pm 4.49$  m/sから、竜巻が通過した地域ではF2の風速基準である約7秒間にわたり50~69 m/sの風速が吹いていた可能性が示唆される。また、現地で見られた住家の屋根の剥離や弱い非住家の倒壊、樹木の折損被害を総合的に判断すると、F2スケールと判定された。さらに、竜巻の始点と判断した

表3 藤田スケール（藤田，1973 から作表）

スケール	秒速	平均風速	被害の概要
F0	17~32m	約15秒間	煙突やテレビのアンテナが壊れる。 小枝が折れ、また根の浅い木が傾くことがある。 非住家が、壊れることもある。
F1	33~49m	約10秒間	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	約7秒間	住家の屋根が剥ぎ取られ、弱い非住家は倒壊する。 大木が倒れたり、ねじ曲がったりする。 自動車が道から吹き飛ばされ、また汽車が脱線することがある。
F3	70~92m	約5秒間	壁が押し倒され住家が倒壊する。非住家がバラバラになって飛散し、 鉄骨造りでも潰される。 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、大半が折れるか、また引き抜かれることもある。
F4	93~116m	約4秒間	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。 鉄骨造りでもベシヤンコになる。自動車は何十メートルも空中飛行する。 1トン以上もある物体が降ってくる。
F5	117~142m	約3秒間	住家が跡形なく吹き飛ばされ、立木の皮が剥ぎ取られたりする。 自動車、列車などが持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。 1トン以上もある物体がどこからともなく降ってくる。

表4 ピアソン・スケール（藤田，1973 から作表）

スケール	竜巻の長さ(km)	竜巻の被害幅
P0	1.6>	16m>
P1	1.6~5.0	16~50m
P2	5.1~15	51~160m
P3	16~49	161~499m
P4	50~160	0.5~1.5km
P5	161~508	1.6~4.9km

山口東京理科大学体育館前から終点のポリテクセンター小野田までが5.1 km、建物被害の幅が最短で50 m、最長で150 m程度であったことから、ピアソン・スケールでP2（竜巻被害の長さ：5.1~15 km、竜巻被害の幅：51~160 m）と推定された。

#### 4. まとめ

1999年台風18号の通過時に小野田市で発生した竜巻は、長さ5.1 km、被害幅は50~150 mに

も及び、建物被害も650棟にも達した。竜巻は、わが国において平均して年間に約20回程度発生しており（朝倉ら，1995；林ら，1994；新野ら，1994；Niino et al., 1997；内田，1979），近年では林（1989），菊池ら（1989），気象庁（1993），Kobayashi et al.（1988），小林ら（1997），Niino et al.（1990）などによって竜巻の発生機構や被害の実態が報告されている。日本に接近または上陸した台風のうち約36%は竜巻を伴っていることから（林ら，1994），台風の通過時には竜巻の被害にも警戒する必要がある（林ら，1994；小元，1982）。また、竜巻のようなきわめて局地的に発生する気象現象には、気象庁の観測地点以外の気象観測施設における気象データの解析が有効であることが示唆された。

#### 謝 辞

本調査に当たっては、気象庁、山口県生活環境部、小野田市総務課・水圏公害研究所、小野田市消防本部、中国電力（株）新小野田発電所・火力発電技術センターからは気象資料および竜巻被害に関する資料のご提供をいただいた。また、雇用・能力開発機構ポリテクセンター小野田からは、被害写真のご提供をいただいた。さらに、竜巻で被災された住民の方々、日産化学工業（株）小野田工場、西部石油（株）および山口東京理科大学からは、竜巻の現地調査においてご協力をいただいた。ここに厚く謝意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) 朝倉 正・関口 武・新田 尚：新版 気象ハンドブック，朝倉書店，pp.138-140，1995.
- 2) 藤田哲也：たつまき（上），共立出版，228 pp.，1973.
- 3) 林 泰一：1988年9月25日に串本町で発生した竜巻について，京都大学防災研究所年報 32（B-1），pp.439-452，1989.
- 4) 林 泰一・光田 寧・岩田 徹：日本における竜巻の統計的性質，京都大学防災研究所年報 37（B-1），pp.57-66，1994.
- 5) 林 泰一・滝川 清・石川裕彦：台風9918号にともなう高潮災害・竜巻害，自然災害科学，Vol.

- 18, No. 4, pp.441-448, 2000.
- 6) 菊池勝弘・上田 博・小林文明・岩波 越・城岡 竜一・高橋 宏・松浦 馨・金村直俊：札幌付近に発生した降雹と竜巻, 天気, Vol.36, No. 4, pp. 215-217, 1989.
  - 7) 気象庁：平成2(1990)年12月11日千葉県内で発生した竜巻等調査報告, 気象庁技術報告, No. 113, 1993.
  - 8) Kobayashi,F., K.Kikuchi and H.Uyeda : Life cycle of the Chitose tornado of September 22, 1988, J.Meteor. Soc. Japan, Vol.74, No.1, pp.125-140, 1996.
  - 9) 小林文明・千葉 修・松村 哲：1994年10月4日土佐湾海上で発生した竜巻群の形態と構造, 天気, Vol.44, No. 1, pp.19-34, 1997.
  - 10) 新野 宏・藤谷徳之助・渡部信行：最近33年間の日本の竜巻の特性, 日本気象学会春季大会講演予稿集, No.64, pp.240, 1994.
  - 11) Niino,H., O.Suzuki, H.Nirasawa, T. Fujitani, H.Ohno, I.Takayabu, N.Kinoshita and Y.Ogura : Tornadoes in Chiba prefecture on 11 December 1990, Mon.Wes.Rev., No.121, pp.3001-3018, 1990.
  - 12) Niino,H., T.Fujitani and N.Watanabe : A statistical study of tornadoes and waterspouts in Japan from 1961 to 1993, J. Climate Vol.10, No. 7, pp.1730-1752, 1997
  - 13) 小元敬男：台風に伴う竜巻について, 天気, Vol. 29, No. 9, pp.967-980, 1982.
  - 14) 内田栄治：たつ巻研究の諸断面, 天気, Vol.26, No.11, pp.659-681, 1979.
  - 15) 山本晴彦・岩谷 潔・鈴木賢士・早川誠而・鈴木義則：1999年台風18号に伴う気象の特徴と山口県における強風・高潮災害, 自然災害科学, Vol.19, No.3, pp.315-328, 2000.

(投稿受理：平成12年5月11日  
訂正稿受理：平成12年8月14日)