

2006年9月17日に宮崎県延岡市で発生した竜巻災害

山本 晴彦*・岩谷 潔*・高山 成*・白水 隆之**・土谷 安司**・
兼石 篤志**・原田 陽子**・東山 真理子**

Tornado Disaster Occurred in Nobeoka City of Miyazaki Prefecture in September 17, 2006

Haruhiko YAMAMOTO*, Kiyoshi IWAYA*,
Naru TAKAYAMA*, Takayuki SHIROUZU**,
Yasushi TSUCHIYA**, Atsushi KANEISHI**,
Yoko HARADA** and Mariko HIGASHIYAMA**

Abstract

Typhoon No. 0613 (SHANSHAN) went north up the west coast of Kyushu on September 17, 2006. After the typhoon landed near Sasebo city, Nagasaki past 18:00, it escaped from northern Kyushu into the Sea of Japan. As the typhoon passed through, it triggered a tornado in Nobeoka City of Miyazaki Prefecture, with the peak gust speed recorded at 46.0 m/s (14:06) at Asahi Kasei Corporation. The length of the tornado path was estimated as 7.5 km and the maximum width 300 m based on the damage investigation. The tornado caused 3 fatalities, and around 1,300 damaged homes. The Fujita and Pearson scales were estimated to be F2 and P2, based on the extent of the tornado damage, and the length and width of the damage, respectively.

キーワード：2006年台風13号，竜巻，延岡市，宮崎県

Key words：Miyazaki Prefecture, Nobeoka City, Tornado, Typhoon No. 0613

* 山口大学農学部
Faculty of Agriculture, Yamaguchi University

** 山口大学大学院農学研究科
Graduate School of Agriculture, Yamaguchi University

本報告に対する討論は平成21年5月末日まで受け付ける。

1. はじめに

2006年9月10日にフィリピン東海沖で発生した台風13号 (SHANSHAN) は、17日には九州西岸を北上し、18時過ぎに長崎県佐世保市付近に上陸した後、九州北部から響灘に抜け、日本海を北東進した(福岡管区气象台, 2006)。台風13号が九州西岸を北上している際、進路右前方に約300km離れた宮崎県延岡市では14時頃に竜巻による突風が吹き、多数の建物が倒壊・損壊し、3人が死亡、100人以上が重軽傷を負った。とくに、14時5分頃には構口町のJR日豊本線南延岡駅構内で、特急列車の先頭から2両が脱線して横転し、運転士を含む5人が軽傷を負った(真木・他, 2007; 宮城・他, 2007; 宮崎地方气象台, 2006)。

また、延岡市で竜巻が発生する前の12時10分頃には日南市、13時30分頃には日向市、さらには発生後の15時30分頃には大分県臼杵市で、それぞれ竜巻と見られる突風被害が発生した(大分地方气象台, 2006; 前田・友清, 2007)。

ここでは、竜巻が発生した宮崎県延岡市を対象に、竜巻発生時の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、その概要を報告する。

2. 宮崎県における竜巻災害の発生事例

気象庁の竜巻等の突風データベース(気象庁, 2007)によれば、わが国では1971年～2005年までの35年間に約400個の竜巻が発生しており、年間では約10個強に相当する。都道府県別の発生数は、上位から鹿児島県40個、沖縄県38個、北海道28個、宮崎県22個、高知県21個の順であり、関東地方から南西諸島までの太平洋沿岸地域に発生する傾向にあり、延岡市が位置する宮崎県は第4位の多発県である。

わが国における1971年以降で竜巻による複数名の死者が発生した事例は、2006年11月の北海道佐呂間町での竜巻による9人と今回の宮崎県延岡市の竜巻での3人のみである。2005年までの34年間における死者8件は、いずれも1人ずつの人的被害に止まっていることから、2006年における死者12名は、近年では際立った人的被害であったこと

がわかる。ただし、愛知県災害誌(愛知県, 1970)によれば、1941年11月28日に寒冷前線の通過に伴う竜巻により、死者12人、全半壊347戸に上る甚大な被害が記録されている。

宮崎県における過去27年間の竜巻災害(1980年～2006年)の発生事例を表1に示した。宮崎県内で2005年までの過去26年間に発生した竜巻は29件であり、1年間に1件程度の発生があることになる。発生場所は、県北端の北浦町から、延岡市、門川町、日向市、都農町、川南町、高鍋町、新富町、佐土原町、宮崎市、日南市までの県南部を除く日向灘に面したすべての市町や沿岸に近い西都市、三股町、国富町などの内陸部の市町にまたがっていることから、本地域は竜巻の常襲地域と位置づけられる。発生月は8月から10月にかけて多く、大部分が台風や台風に伴う暖気の移流により発生している。

3. 延岡市における過去に発生した竜巻災害

延岡市において過去に発生した竜巻災害の事例を表2に、竜巻の進路を図1に示した。竜巻の被害記録がある大正時代(1910年代)から現在までの約100年間で、発生回数は6回であることから(延岡市防災推進室, 2006)、延岡市ではかなりの高い頻度で竜巻に見舞われていることがわかる。とくに、1915(大正4)年9月8日に海岸から上陸し、方財島、清高島、樫山を襲った竜巻(図1の①)では、死者21名の大惨事となっている。また、1950(昭和25)年7月19日のグレイス台風の通過時に発生した竜巻(図1の②)は、丸ヶ島に上陸し、出北、惣領町を通過して五ヶ瀬川を渡り、幸町、祝子町に抜け、死者1人、重傷者2人などの被害が発生している(西村, 1966)。

近年では、2003(平成15)年10月12日に低気圧の通過の際に、今回の竜巻が上陸した地点とほぼ一致する塩浜町1丁目から緑ヶ丘、平原町の約1.5kmを北西に竜巻(図1の⑤)が通過し、半壊家屋16棟の被害が発生している(延岡市防災推進室, 2006)。

表1に示した竜巻が発生した市町を対象に、面

表1 宮崎県における過去27年間の竜巻災害（1980年～2006年）の発生事例
（気象庁ホームページに掲載されたデータを転記，加筆）

発生年月日	発生時刻	発生場所	主な被害状況						総観場	
			藤田スケール	被害幅 (m)	被害長 (km)	死者 (人)	負傷者 (人)	住家全壊 (棟)		住家半壊 (棟)
1980年 8月 8日	03:15頃	宮崎市						5	南岸低気圧	
1980年 9月10日	10:35頃	高鍋町						10	台風	
1980年 9月10日	23:00頃	門川町						7	台風	
1980年10月14日	00:40頃	日南市						3	台風	
1980年10月14日	01時頃	宮崎市	F1	200	7.5～8.0	0	0	0	台風	
1980年10月14日	02:15頃	宮崎市	F1	100	9	0	0	0	2	台風
1980年10月14日	02:20頃	宮崎市	F2	不明	16	0	15	3	26	台風
1980年10月14日	03:00頃	宮崎市								台風
1980年10月14日	07:00頃	日南市								台風
1985年 8月12日	09:00頃	新富町	F2	200	10	0	14	3	12	台風・暖気の移流
1985年 8月31日	05:30頃	日向市	F1～F2	30～200	4.5	0	#	#	不明	台風・暖気の移流
1987年 8月30日	01:10頃	国富町							1	台風・暖気の移流
1989年 9月19日	10:40頃	佐土原町							4	台風
1990年 9月19日	04:30頃	都農町								台風
1990年 9月19日	05:30頃	都農町								台風
1991年11月28日	11:45頃	日南市	F1	10～50	1.1	0	5	0	0	南岸低気圧
1992年 9月19日	14:45頃	三股町	不明	不明	不明	0	0	0	0	雷雨（熱雷）
1992年11月19日	11:10頃	北浦町	不明	20	2	0	0	0	0	不安定線・移動性高気圧
1993年 9月 3日	15:45頃	延岡市	F0～F1	不明	不明	0	1	不明	不明	台風
1995年 5月 1日	14:00頃	西都市	F1	20～50	1.5	0	0	0	0	不安定線・暖気の移流・その他（低気圧）
1998年 9月18日	16:02	宮崎市	F1	20～30	1.5～2.0	0	5	0	1	台風
1998年10月17日	14:50頃	川南町	F0～F1	30	3.9～4.0	0	0	0	0	台風
1998年10月17日	15:00頃	日向市	F0	60～100	0.5～0.6	0	1	0	2	台風
2003年 6月19日	09:00頃	門川町	F1	50	1.8～2.0	0	1	#	0	台風
2003年 8月 8日	01:40頃	日南市	F0～F1	20～30	1.5	0	0	0	#	台風
2003年 8月 8日	07:20頃	日向市	F0～F1	30～40	1.5	0	1	0	0	台風
2003年10月12日	04:25頃	延岡市	F0	10～30	2.0～4.2	不明	不明	不明	不明	その他（低気圧）
2005年 9月 5日	10:10	宮崎市	F1	50	1.8	0	#	#	#	台風
2005年 9月 5日	10:30頃	宮崎市	F1～F2	200	5.0～7.0	0	#	#	#	台風
2006年 9月17日	12:10	日南市	F1	80	0.3	0	#	#	0	台風
2006年 9月17日	13:30	日向市	F1	200	2	0	#	#	#	台風
2006年 9月17日	14:03	延岡市	F2	150～300	7.5	3	143	#	#	台風

#：大雨など突風以外の気象現象による被害数を含む，あるいは他の事例の被害欄に当該事例による被害数を含めて記載していることを示す。

表2 延岡市において過去に発生した竜巻災害の事例
（延岡市防災推進室の「ほうさい瓦版」第5号より転記，加筆）

番号	年	月日	被害状況	総観場
①	1915（大正4）	9月8日	死傷者21名，半壊以上41棟	台風
②	1950（昭和25）	7月19日	死者1名，重症2名，軽症数名	グレイス台風
③	1961（昭和36）	8月18日	被害2件，人畜被害なし	台風15号
④	1993（平成5）	9月3日	負傷者1名，家屋被害50棟	台風13号
⑤	2003（平成15）	10月12日	長さ1.5km，半壊16棟	低気圧
⑥	2006（平成18）	9月17日	長さ7.5km，死者3名，全壊79棟	台風13号

注）番号①～⑥は，図1の番号と一致する。



図1 延岡市において過去に発生した竜巻の進路(図中の番号は表2に一致する)

積と発生回数（同一の日に発生した竜巻は1回とする）に基づいて市町比較を行った。この結果、県北部の北浦町・延岡市から県南部の日南市にかけての沿岸地域の市町では大きな差異が認められず、宮崎県の沿岸域全域で竜巻の発生頻度が27年間に50~100km²で1回であることが明らかになった。

4. 竜巻発生時における大気の状態

2006年台風13号の進路・勢力と竜巻が発生した宮崎県延岡市の位置を図2に示した。また、竜巻が発生した2006年9月17日の14時から2時間前の12時における地上天気図を図3に示した。台風13号は、12時には枕崎市の西約160kmを時速35kmの速さで北北東に進んでおり、13時には長崎市の南西約170km、延岡市で竜巻が発生した14時には長崎市の南西約130kmに位置していた。台風に伴う風速25m/s以上の暴風域は、14時には宮崎県南部の山沿いにかかっており、宮崎県北部に位置する延岡市は暴風域の外側であった。延岡市に台風が最も接近したのは18時頃で、最大瞬間風速34.0m/sも19:00に観測されている。このことから、延岡市で発生した竜巻は、台風が最接近する約4時間前に、台風の中心から進行方向に右手前方（北東象限）約300kmの位置で発生していた。山本・他（2000a; 2000b; 2001）は、1999年9

月24日の台風18号に伴う気象的特徴と台風の通過時に山口県小野田市で発生した竜巻災害（重傷者6名、全壊17棟）を調査している。竜巻被害地から北西約15km離れた下関市東部の海上自衛隊小月基地では、台風の日に入った8:10~20に風速が急激に低下する現象が観測されており、その直前の7:58分に小野田市で竜巻に伴う気圧低下が記録されている。これにより、小野田市で発生した竜巻は、台風が通過する約10分前に右手前方で発生したことが明らかになっている。また、この台風が鳥根県浜田市の北約50kmの山陰沖を北東に進んでいる24日11時過ぎに、右手前方約600kmの愛知県豊橋市でも大規模な竜巻災害が発生した（林・他、2000）。McCaul（1993）、新野（2007a）、吉野・他（2002）は、台風の中心から進行方向に右手前方（北東象限）400km以内で、竜巻が多発していることを報告しており、台風通過時においては、中心から右手前方（北東象限）の範囲に入る地域では、竜巻の発生に十分に注意した防災対策を講じる必要がある。

延岡市で竜巻が発生した14時における国土交通省のレーダー雨量図に加筆した図を図4に示した。レーダー画像から台風13号に巻き込むレインバンド（帯状の雨域）が九州東部に2本見られ、太平洋から暖湿流の流入に伴い積乱雲が発達し、

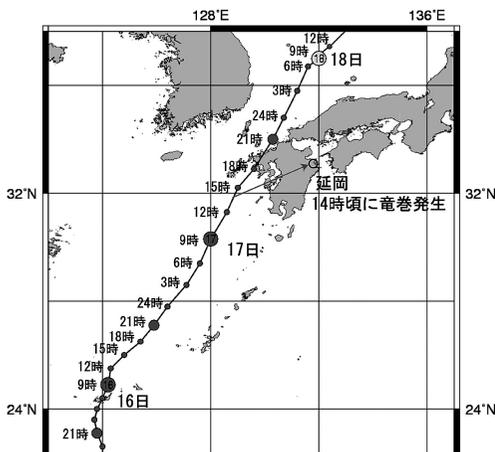


図2 2006年台風13号の進路と勢力

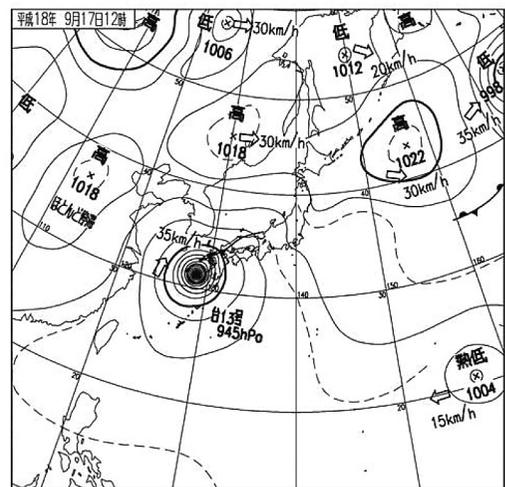


図3 2006年9月17日12時の地上天気図

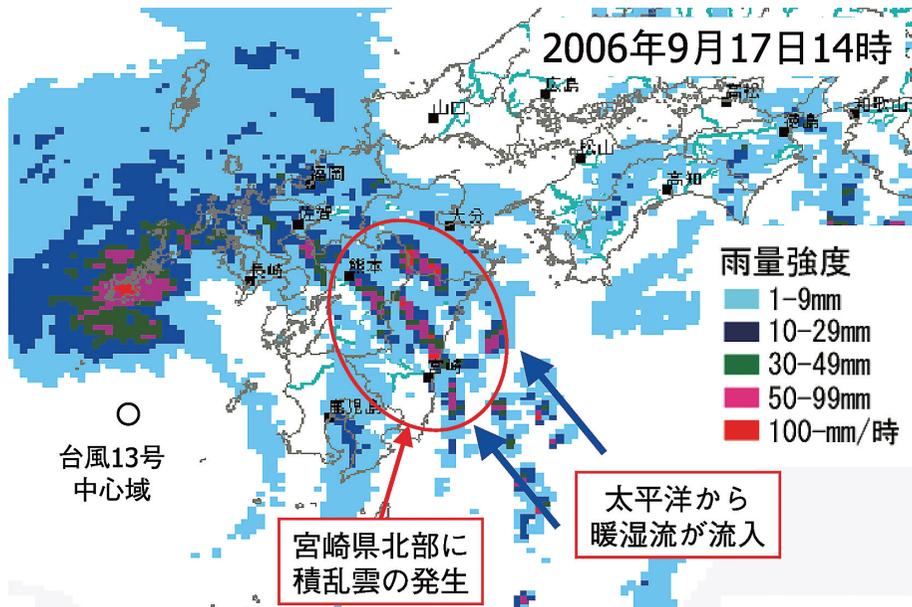


図4 2006年9月17日14時のレーダー雨量図

表3 風速計を設置している機関および竜巻通過時の観測状況

番号	所管	設置場所	設置高度	測器	最大瞬間風速 (m/s)	最大瞬間風速 起時	風向
1	気象庁	延岡特別地域気象観測所	19.2m	風車型風向風速計	34.0m/s	19:00	SSE
2	JR九州	大瀬川橋梁	8m	三杯式	38-40m/s	14:05頃	設置なし
3	旭化成(株)	ベンベルグ工場	37m	風車型風向風速計	46m/s	14:06	W
4	〃	薬品工場	15m	風車型風向風速計	46m/s以上	14:06	W
5	宮崎県	延岡市立東小学校	未確認	風車型風向風速計(弱風用)	10m/s	-	-
6	〃	宮崎県立延岡青朋高等学校	未確認	風車型風向風速計(弱風用)	12m/s	-	-
7	〃	延岡保健所	未確認	風車型風向風速計(弱風用)	13m/s	-	-
8	〃	延岡市立旭中学校	未確認	風車型風向風速計(弱風用)	9m/s	-	-
9	〃	宮崎県立延岡商業高等学校	未確認	風車型風向風速計(弱風用)	6m/s	-	-

注)「-」:起時、風向は特定できない。

外側のレインバンドに含まれる積乱雲の下で延岡市をはじめとする日向市や大分県臼杵市で一連の竜巻が発生した(鈴木, 2007; 大分地方気象台, 2006; 新野・宮崎地方気象台, 2007b)。

5. 竜巻発生時における気象的特徴

竜巻が通過した延岡市において、風の観測のために風速計を設置している地点を図5に、風速計を設置している機関および竜巻通過時の観測状況

を表3に示した。台風13号が九州西岸を北上している17日14時過ぎに発生した竜巻の際、気象庁の宮崎地方気象台が設置している延岡特別地域気象観測所(旧延岡測候所)において観測された気象要素の推移を図6に示した。観測所(図5の中央部左端の1)は、竜巻の通過場所より西に約1.5kmに位置している。竜巻通過時刻14:06の2分前の14時4分に現地気圧と最大瞬間風速が急激に低下して992.9hPa, 4.1m/sを観測し、その直後に現

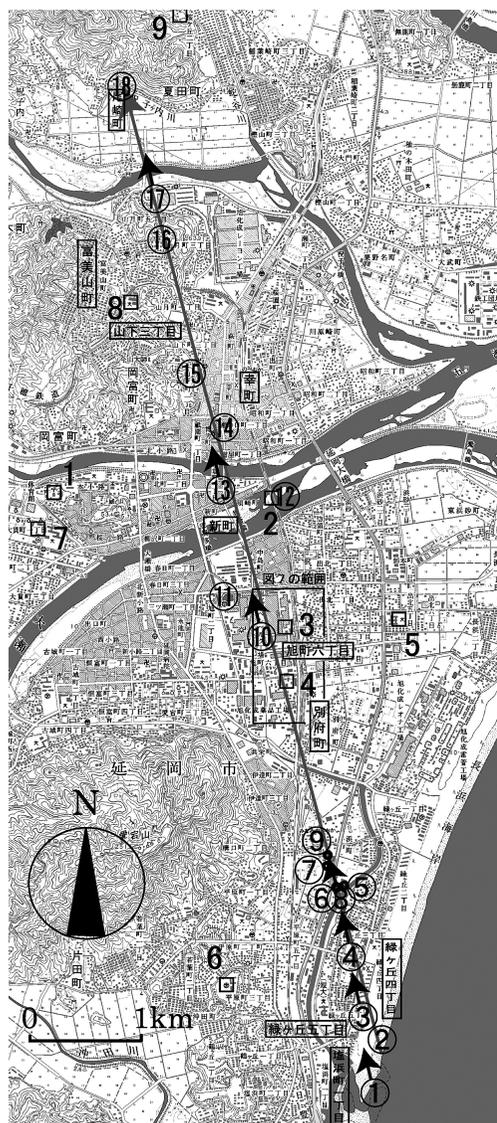


図5 延岡市における風向風速計の設置場所 (1~9は風向風速計の設置場所, ①~⑨は写真番号に一致する)

地気圧と風速が上昇しており、竜巻による顕著な突風は観測されていない。その際、風向は東→南へと時計回りに変化し、1分間降水量は最大2.5 mmを観測し、通過直前の13時56分からの約10分間に約10mmの強雨となっている。さらに、通過時の前約20分間で気温が1.7℃も低下する現象が認められている。竜巻が反時計回りに回転し、観

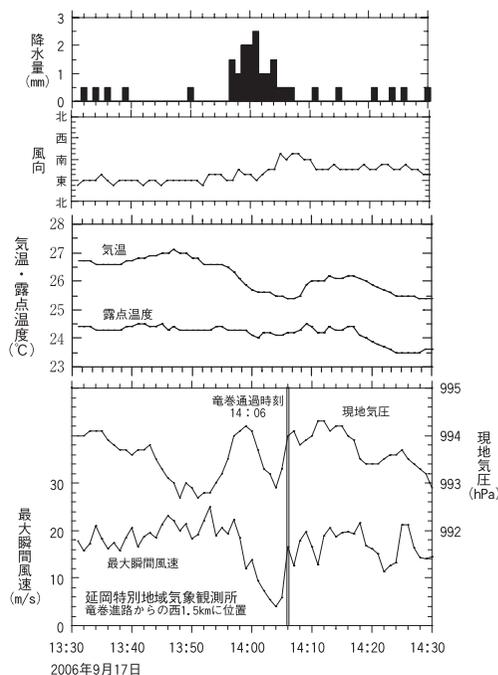


図6 延岡特別地域気象観測所において観測された気象要素の推移

測所の東1.5 kmを北進したため、風速が弱められた可能性も示唆される。

延岡市内においては、気象庁の延岡特別地域気象観測所(旧測候所)以外では、JR九州、旭化成(株)が風車型風向風速計による観測を行っている。また宮崎県衛生環境研究所(大気汚染物質の広域監視)では、弱風用の風車型風向風速計による観測が実施されている。JR九州では竜巻が通過した進路から東に約1 km離れた大瀬川に架かる鉄橋において、列車の安全運転を目的とした3杯風速計による風速観測が実施しており、竜巻が通過した14時過ぎに38~40 m/sの強風を観測している(図中番号2)。延岡市内に設置されている4ヶ所の大気汚染物質の広域監視を目的とした観測所(図中番号5~9)では、いずれも竜巻が通過した進路から離れているため、最大瞬間風速でも13 m/sと強風は観測されていない。

旭化成(株)延岡支社では、図7に示すように竜巻が通過した旭町5丁目に位置する薬品工場(設置高度15 m)と旭町7丁目に位置するペンベル

グ工場（設置高度37m）の2ヶ所で風車型風向風速計を設置して風向・風速の観測が実施されている（図中番号3, 4）。筆者らの現地調査の結果を総合的に判断して、前者の薬品工場に設置した風向風速計の真上を竜巻が通過したものと判断している。薬品工場に設置した風車型風向風速計により観測された風向・風速の記録を図8に示した。竜巻が通過する14時前の1時間は最大瞬間風速約6m/s、風向は東南東で推移していたが、通過時に風向は南東→南→南西へと急変し、風速は直前に急速に弱まった後に14時6分に46m/sの最大瞬間風速を観測している。竜巻が風向風速計の真上を通過したため、風車型風向風速計は突風により羽根3枚の内の2本が破損しており、実際には46m/s以上の瞬間最大風速であったものと推察される。竜巻の進路より東約200mに設置されたベンベルグ工場の風車型風向風速計により観測され

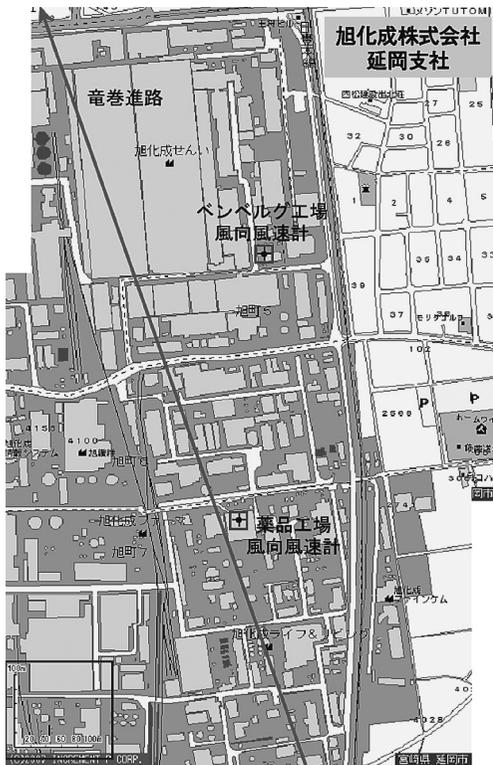


図7 風向風速計の設置されている旭化成（株）の薬品工場とベンベルグ工場の位置と竜巻の進路

た風向・風速の記録を図9に示した。14時前までは最大瞬間風速12m/s前後の東南東の風が吹いていたが、通過直前の14時前後には数m/sまで弱まった後、14時6分に46m/sの最大瞬間風速を観測しており、風向は東南東→南に急変している。

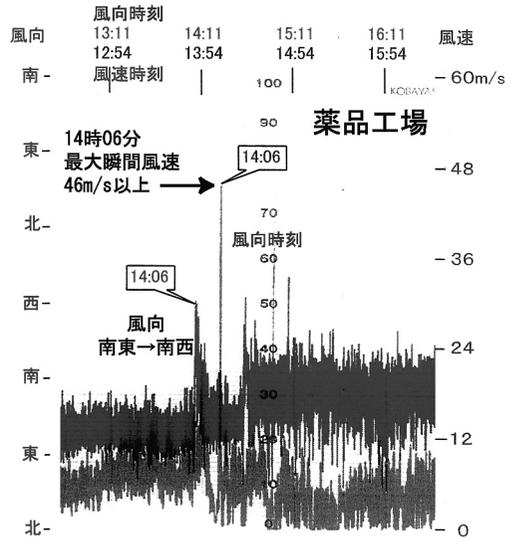


図8 旭化成（株）の薬品工場で観測された風向・風速の推移

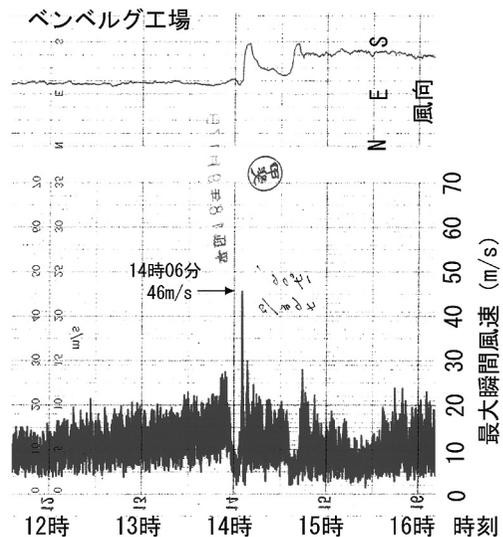


図9 旭化成（株）のベンベルグ工場で観測された風向・風速の推移

この風向・風速の変化から、竜巻は反時計回りに回転を有していたこと、最大瞬間風速は46m/s以上であったことが明らかになった。

6. 竜巻に伴う被害の実態

延岡市が集計した竜巻に伴う被害状況（延岡市防災推進室，2006年11月6日現在）を表4に示した。竜巻による死者は3人，負傷者は重傷3人・軽傷140人に及び，死亡事故は，浜町において屋外のガラスハウスの瓦礫の下から心肺停止の状態に救助された高齢者が外傷性ショックによる心筋梗塞で死亡した事例，大規模量販店の店内で陳列棚が風圧で倒れて下敷きになって死亡した事例，山下町で屋外から窓ガラスを割って室内に飛び込んできた瓦や飛来物が頭部を直撃して死亡した事例の3件に及んでいる。住家被害も全壊79棟，大規模半壊83棟，半壊265棟，一部損壊753棟，非住家被害167棟で，最終的な被害家屋は1,300棟を上回っている。竜巻による被害額は13億円に達しており，とくに商工業被害12億円と被害の大部分を占めている。ただし，旭化成（株）の被害は，ここには含まれていない。

竜巻が発生した9月17日の2日後の19日と20日に現地調査と航空機による写真撮影を実施した。

表4 延岡市における竜巻被害の概要（延岡市防災推進室，2006年11月6日現在）

人的被害	死者	3人
	負傷者 重傷	3人
	軽傷	140人
住家被害	全壊	79棟
	大規模半壊	83棟
	半壊	265棟
	一部損壊	753棟
非住家被害	全壊	15棟
	大規模半壊	9棟
	半壊	33棟
	一部損壊	110棟
	被害額	
	農業	88,474千円
	水産業	65千円
	商工業	1,188,700千円
	公共施設	16,847千円
	合計	1,294,086千円

注) 旭化成（株）の被害を除く。

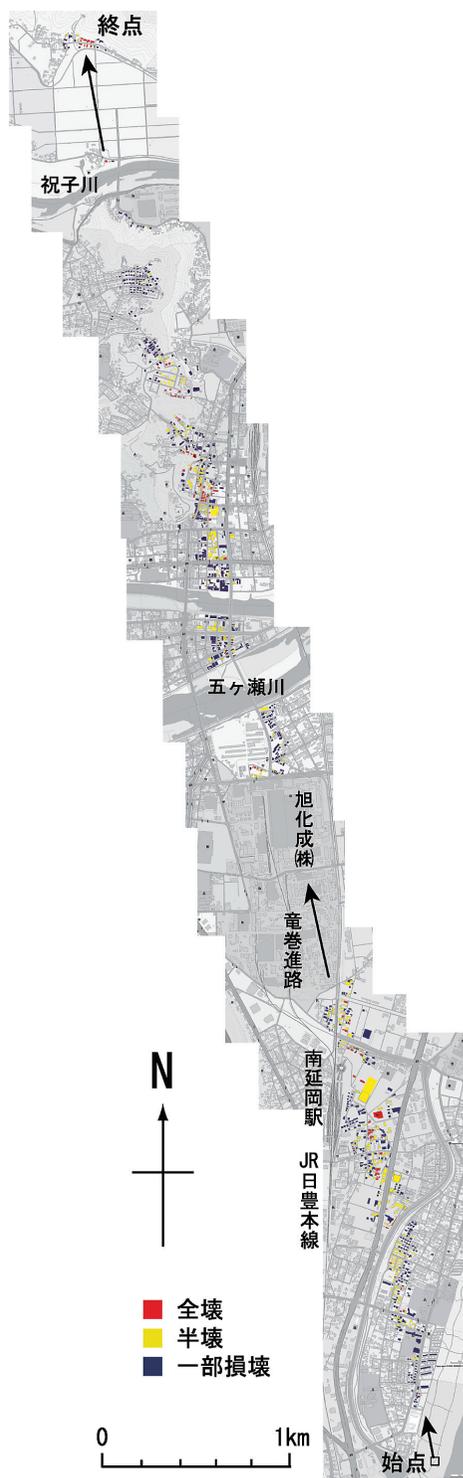


図10 竜巻の進路と家屋被害

竜巻の進路、写真撮影の箇所を図5に、家屋被害(全壊、半壊、一部損壊)の位置を図10に示した。現地での聞き取り調査の結果、延岡市南東部の塩浜町1丁目の海岸に面した浜山国有林に上陸した(目撃証言から14時3分頃)竜巻は、市内を北北西へ直線に進んで、緑ヶ丘、浜町、別府町、旭町を通過し、市内中心部から北西部の山下町、富美山町を通過し、尾崎町(目撃証言から14時8分頃)の山際で終息している。竜巻による被害は長さ約7.5kmの直線で带状にわたり、被害の最大幅は300mに達し、約5分間で7.5kmを通過したことから竜巻の移動速度は約90km/hであったものと推定された。なお、竜巻が上陸した塩浜町1丁目の海岸から南南東約4kmの遠見半島では竜巻の

被害が認めれていないことから、半島までの約4kmの海上で竜巻が発生したものと推定される。

竜巻が上陸した塩浜町1丁目の海岸および緑ヶ丘付近の状況を写真1に示した。浜山国有林では、写真2に示したように木製の防砂棚が約10mにわたって北西方向の内陸部へ倒壊しており、海岸保安林を横切り延岡保養園の北側を北西方向へ進んでいる。写真3には、延岡保養園の屋上から撮影した竜巻進行方向における被害の状況を示した。住家の屋根、窓、外壁等に被害が目立ち、全壊・半壊の家屋も見受けられる。竜巻は緑ヶ丘小学校に向かって進み、被害幅は約150mと推定される。

竜巻は写真4に示したように、緑ヶ丘から国道10号線を横切り北北西に進んでおり、市内ではさ

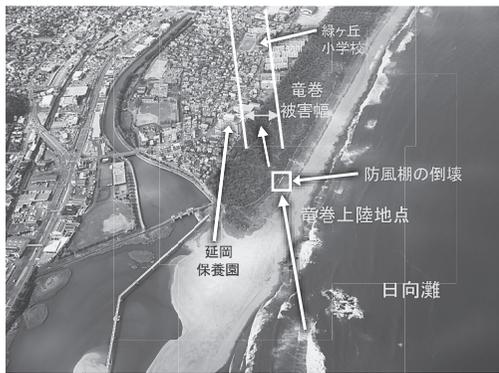


写真1 竜巻が上陸した塩浜町1丁目の海岸および緑ヶ丘付近の状況(2006年9月20日撮影)

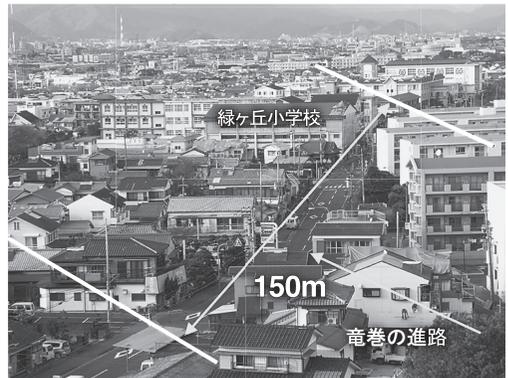


写真3 延岡保養園の屋上から撮影した竜巻進行方向における被害の状況(2006年9月19日撮影)



写真2 竜巻が上陸した海岸における防砂棚の転倒状況(塩浜町1丁目, 2006年9月19日撮影)



写真4 竜巻による被害の状況(緑ヶ丘・浜町, 2006年9月19日撮影)

らに建物被害が拡大している。写真5は、浜町の浜川西岸に位置するプレハブ2階建てのアパートの被害状況である。切妻屋根の大部分が剥離して飛散し、窓ガラス、外壁にも被害が発生している。また、写真6では墓石展示販売場にある墓石が竜巻により転倒する状況が確認できる。竜巻が真上を通過した水田では、突風による水稲穂の舂ずれによる脱粒する被害が現れており、周囲の住家は全壊、工場も屋根材や外壁が著しく損傷して半壊する被害が発生している（写真7）。

JR南延岡駅の東側一帯における家屋や商店の被害状況を写真8に示した。竜巻による被害幅は約200mであり、本地域で死者2名を含む多数の重軽傷者が発生している。構口町のJR日豊本線

南延岡駅構内で、竜巻が通過したと推察される14時5分頃に特急列車「にちりん」の先頭車両と2両目が西側に横転して脱線し、運転士を含む5人が軽傷を負った。特急列車の脱線横転の現場近くでは、写真9に示したように家屋の全壊被害が発



写真5 アパートの被害状況（浜町，2006年9月19日撮影）

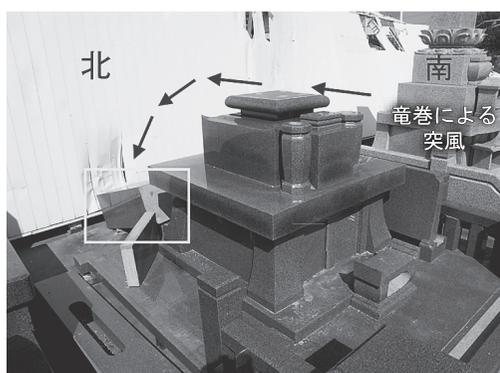


写真6 墓石展示場の墓石転倒の状況（浜町，2006年9月19日撮影）



写真7 水田の穂ずれ被害、家屋・工場の被害状況（浜町，2006年9月19日撮影）

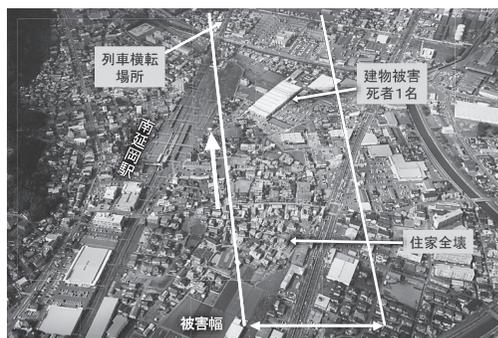


写真8 JR南延岡駅の東側における家屋や商店の被害状況（浜町・別府町，2006年9月19日撮影）



写真9 家屋の全壊被害の状況（別府町，2006年9月19日撮影）

生しており、東からの突風により、西ないし北西面での被害が認められている。

航空機により撮影した旭町における旭化成の工場等の被害状況を写真10に示した。竜巻に伴う旭化成（株）の被害は公表されていないが、空中写真からもわかるように工場の屋根材には被害の発生が確認できる。写真11には旭化成診療所健診センターにおける窓ガラスの被害状況を示した。南側に面した建物の窓ガラスが割れており、竜巻による被害のすさまじさを垣間見れる。

写真12は、延岡市の中心部に位置する新町交差点における建物の外装材と窓ガラスの被害状況である。竜巻による飛散物が東側に面した外装材に当たって無数の穴が開いており、隣接する店舗の南南東側の窓ガラスも破損している。



写真10 旭化成の工場等の被害状況（旭町、2006年9月19日撮影）



写真11 旭化成診療所健診センターにおける窓ガラスの被害状況（旭町、2006年9月19日撮影）

航空機により撮影した山下町および周辺地域における竜巻による被害の状況を写真13に示した。JR延岡駅の西側一帯では、幅約200mにわたって被害が発生しており、竜巻が真上を通過したと思われる幸町の店舗では、写真14に示したように外装材が破損し、窓ガラスが割れてアルミサッシ枠も変形する被害が生じている。山下町にある円照寺の境内では、写真15に示したように墓石が突風により転倒した状況が確認できる。富美山町の小高い丘陵に造成された新興住宅地では、写真16に示すように住家の屋根材や窓ガラスが損傷する被害が発生している。周囲に障害物が少ないために減風するものがなく、被害を増大させたものと推察される。



写真12 建物外装材と窓ガラスの被害状況（新町、2006年9月19日撮影）



写真13 山下町および周辺地域における被害の状況（2006年9月19日撮影）



写真14 建物外装材および窓ガラスの被害状況
(栄町, 2006年9月19日撮影)



写真15 円照寺における墓石転倒の状況(山下町,
2006年9月19日撮影)

尾崎町の広がる水田における竜巻の痕跡と家屋被害の状況を写真17と写真18に示した。空中写真に写った水田には竜巻が通過した痕跡を鮮明に確認することが出来る。また、現地調査からは、水田地帯では電柱や交通標識の折損が多数確認できた。山際に密集した集落では、家屋の屋根材や窓ガラスが損傷する被害(全壊9棟)が発生している。しかし、後背部の山林には竜巻による倒木等の被害の発生は認められないことから、日向灘から上陸した竜巻は延岡市内を北北西に進み、この尾崎町の山際に終息したものと推察できる。



写真17 水田における竜巻の痕跡と家屋被害の
状況(尾崎町, 2006年9月19日撮影)



写真16 家屋の被害状況(富美山町, 2006年9月
19日撮影)



写真18 家屋の被害状況(尾崎町, 2006年9月
19日撮影)

7. 竜巻通過時に転倒した墓石から推定した風速

竜巻が真上を通過した浜町にある墓石販売展示所(写真6)と山下町にある円照寺(写真15)では、墓石が南よりの突風により北の方向に転倒する被害が発生している。林(1989)は、和歌山県串本町で竜巻により墓地で発生した墓石の転倒から風速を推定している。これによれば、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仮定し、墓石の転倒モーメント M_s と、風によるモーメント M_u はそれぞれ次のような式で導いている。

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

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

ここで、 ρ_s は墓石の密度、 h は墓石の高さ(m)、 b は風が吹き付ける面の墓石の幅(m)、 d は墓石の奥行(m)、 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、次式で求めることが出来る。

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

ここで、墓石は御影石と仮定すると、 $\rho_s = 2.63$ (kg/m^3)、竜巻通過時の気象条件を気温 23.4°C ・気圧 980hPa と仮定し、 $\rho_a = 1.15\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $g = 9.8\text{m}/\text{s}^2$ とする。 h 、 b 、 d は、転倒した墓石の実測値を用いる。 C は、風が吹き付ける墓石の形状によって異なるが、一様な流れの中で角柱を用いた風洞実験の結果(今回の墓石では、1.22~1.23)を用いた(Vickery, 1968)。

式(3)より、今回の竜巻により転倒した15個(墓石販売展示場:1個, 円照寺14個)の墓石から推定した風速は $65.8\text{m}/\text{s}$ と $65.7\text{m}/\text{s}$ (14個から推定した $57.8\sim 88.4\text{m}/\text{s}$ の平均値)であり、旭化成(株)の $46\text{m}/\text{s}$ (14時6分)、やJR九州の大瀬川橋梁 ($38\sim 40\text{m}/\text{s}$, 列車横転時)で観測された実測値を大きく上回る推定値であることが明らかになった。

8. 竜巻の総合的評価

今回の竜巻は、建造物の屋根の剥離や弱い非住家の倒壊、墓石の転倒から推定した風速 U_0 の下限値などを総合的に判断すると、藤田スケール(藤田, 1973)はF2の風速基準である「約7秒間にわたり秒速 $50\sim 69\text{m}$ 」の風速が吹いていた可能性が示唆された。さらに、竜巻の始点と判断した塩浜1丁目から、終点の尾崎町までの長さ約 7.5km 、建物の被害幅が最大で約 300m であり、本竜巻は被害の長さは短い被害幅は長い特徴を有する特徴から有することから、ピアソン・スケールはP2と推定された。

また、竜巻は始点である塩浜1丁目の海岸から終点の尾崎町までの約 7.5km を約5分で通過していること、竜巻の進行速度は約 $90\text{km}/\text{h}$ であったものと推定される。これは、山本・他(2001)が推定した1999年の小野田市の竜巻の進行速度 $40\text{km}/\text{h}$ 、2004年の佐賀市で発生した竜巻の進行速度 $50\text{km}/\text{h}$ (山本・他, 2004)、2006年に北海道佐呂間町で発生した竜巻の進行速度 $80\text{km}/\text{h}$ (山本, 2006)を超える移動速度であった。また、建物等の被害を受けた方向は、東面、南東面、南面が多く、竜巻の進行方向が北北西であったこと、風向風速計で得られた風向の変化を総合的に判断して、竜巻は反時計回りの回転であったものと推察された。

9. おわりに

2006年9月17日14時頃、積乱雲の北東進時に宮崎県延岡市で発生した竜巻の被害域は、長さ約 7.5km 、被害幅は最大 300m に及び、建物被害は約 $1,000$ 棟に達した。竜巻は、わが国において平均して年間に10個強の発生が認められており(気象庁, 2007)、近年では菊池・他(1989)、Niino et al.(1990)、Kobayashi et al.(1996)、新野(2002)、気象庁(1993)、林・他(2000)、山本・他(2001)、山本・他(2004)、山本(2006)、札幌管区気象台・網走地方気象台(2006)などによって竜巻の発生機構や被害実態が報告されている。

宮崎県では1971年以降、35年間で38回の竜巻が観測(全国4位)されているが、今回の竜巻被害

は1985年8月12日に新富町で発生したF2(幅200m,長さ10km)による被害を大きく上回り,県下では過去最大級であると考えられる(気象庁,2007)。全国的に見ても,近年では国内最高のF3(最大瞬間風速70~92m/s)の1990年茂原竜巻(2,066棟;Niino et al.,1990;気象庁,1993),1999年豊橋竜巻(2,660棟;林・他,2000)に次ぐF2の被害規模である。今後は,ドップラーレーダー等の高層気象観測の整備や多発地域における竜巻予測システムの開発,人的な2次被害を減らす対策の重要性が示唆された。

謝 辞

本調査研究に当たり,内閣府,消防庁,国土交通省,気象庁,延岡市役所,宮崎県,JR九州,旭化成(株)からは,気象,台風被害,竜巻被害に関する資料のご提供をいただいた。また,現地調査の際には,住民のご協力をいただいた。本調査研究は,平成18年度科学研究費補助金特別研究促進費(課題番号:18900002)「2006年台風13号に伴う暴風・竜巻・水害の発生機構解明と対策に関する研究(代表者:真木太一)」,(財)鹿島学術振興財団の研究助成金の一部を使用させていただいた。ここに,厚く謝意を表します。

参考文献

- 福岡管区気象台:災害時気象資料「平成18年台風第13号に伴う9月15日から18日かけての九州・山口県の気象状況」,11p.,2006.
- 真木太一・脇水健次・吉越 恆:台風0613号の気象的特性と竜巻の特徴について,平成18年度科学研究費補助金特別研究促進費「2006年台風13号に伴う暴風・竜巻・水害の発生機構解明と対策に関する研究」報告書,pp.23-30,2007.
- 宮城弘守・菊川裕規・松井正宏・曹 曙陽・田村幸雄:2006年台風13号に伴って発生した竜巻による延岡市の建築物等の被害,平成18年度科学研究費補助金特別研究促進費「2006年台風13号に伴う暴風・竜巻・水害の発生機構解明と対策に関する研究」報告書,pp.57-66,2007.
- 宮崎地方気象台:災害時気象調査報告「平成18年台風第13号に伴い9月17日に宮崎県で発生した竜巻等の突風」,51p.,2006.
- 大分地方気象台:災害時気象資料「平成18年台風第13号に伴う9月15日から18日にかけての大分県の気象状況」,12p.,2006.
- 前田潤滋・友清衣子:台風0613号通過時の九州での風速分布と構造物被害の概要および突風による異常風力発生の検証予備試験,平成18年度科学研究費補助金特別研究促進費「2006年台風13号に伴う暴風・竜巻・水害の発生機構解明と対策に関する研究」報告書,pp.67-74,2007.
- 気象庁: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>,2007年9月1日参照,2007.
- 愛知県:愛知県災害誌,548p.,1970.
- 延岡市防災推進室:ぼうさい瓦版,5,2006.
- 西村祝一,郷土物語火と水との戦い,郷土物語火と水との戦い刊行会(延岡市),341p.,1966.
- 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,19,pp.315-328,2000a.
- 山本晴彦・岩谷 潔・鈴木賢士・早川誠而・鈴木義則:1999年台風18号の通過時における山口県周防灘沿岸地域の強風解析,第16回風工学シンポジウム論文集,pp.101-106,2000b.
- 山本晴彦・丸山 敬・岩谷 潔・鈴木賢士・早川誠而: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,自然災害科学,Vol.19, No.4,pp.453-463,2001.
- 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.
- McCaul, E.W. Jr.: Observations and simulations of hurricane-spawned tornadic storms, The Tornado: Its Structure, Dynamics, Prediction, and Hazards, C.R. Church, Ed., Amer. Geophys. Union Press, pp.119-142, 1993.
- 新野 宏:竜巻災害の軽減に向けて,予防時報, No.230,pp.8-13,2007a.
- 吉野 純・石川裕彦・植田洋匡:台風9918号により東海地方にもたらされた竜巻に関する数値実験,京都大学防災研究所年報, No.45,pp.369-388,2002.
- 鈴木 修:台風0613号に伴い発生した竜巻等の気象状況,2006年台風13号および同年11月7日に北海道佐呂間町で発生した竜巻による強風災害に関する調査報告書,日本風工学会風災害研究会,pp.13-31,2007.

- 19) 新野 宏・宮崎地方気象台：台風0613号に伴う宮崎県の竜巻とその発生環境に関する研究，平成18年度科学研究費補助金特別研究促進費「2006年台風13号に伴う暴風・竜巻・水害の発生機構解明と対策に関する研究」報告書，pp.175-182，2007b.
- 20) 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，32B-1，pp.439-452，1889.
- 21) Vickery, B.J.: Load fluctuations in turbulent flow, ASCE, Vol.94, EM1, pp.31-46, 1968.
- 22) 藤田哲也：たつまき（上），共立出版，228p., 1973.
- 23) 山本晴彦・岩谷 潔・岩本 剛：2004年6月27日に佐賀市で発生した竜巻災害，自然災害科学，Vol. 23, No. 2, pp. 283-292, 2004.
- 24) 山本晴彦：2006年11月7日に北海道佐呂間町で発生した竜巻災害，自然災害科学，Vol. 25, No. 3, pp. 403-417, 2006.
- 24) 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.
- 25) 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.
- 26) Kobayashi, F., K. Kikuchi and H. Uyeda: Life cycle of the Chitose tornado of September 22, 1988, J. Meteor. Soc. Japan, Vol.74, pp.125-140, 1996.
- 27) 新野 宏：激しい渦の脅威「竜巻」，予防時報，No. 209, pp. 36-42, 2002.
- 28) 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, 625p., 1993.
- 29) 札幌管区気象台・網走地方気象台：平成18年11月7日佐呂間町で発生した竜巻に関する気象速報，10p., 2006.

（投稿受理：平成19年9月13日

訂正稿受理：平成20年8月6日）