

速報

2006年11月7日に北海道佐呂間町で発生した竜巻災害

山本 晴彦*

Tornado Disaster Occurred in Saroma Town of Hokkaido in November 7, 2006

Haruhiko YAMAMOTO*

Abstract

Associated with the passage of cumulonimbus cloud on November 7, 2006, a tornado was spawned in Saroma Town. The recorded mean wind speed was 8 m/s (13:30) at the Saroma AMeDAS station. The station is located only 1.5 km away from the path of the tornado, however, the gust by the tornado was not observed. Air temperature drop of about 1°C/20 minutes (13:30–50) was also recorded. The length of the tornado path was estimated as 1 km and the maximum width 250 m from damage survey. The number of dead persons was 9, and the number of damaged houses was 101. Fujita and Piason scales were estimated to be F3 and P1–3, respectively.

キーワード：家屋被害，北海道，佐呂間町，竜巻

Key words：houses damage, Saroma Town, Hokkaido, tornado

1. はじめに

2006年11月7日，北海道の西海上を発達しながら北東に進んでいた低気圧からのびる寒冷前線が，7日朝から夕方にかけて北海道を通過した。このため，北海道では大気の状態が不安定になり，13時20分から30分にかけて，活発な積乱雲が網走支庁の佐呂間町付近を通過した。この積乱雲

に伴い，佐呂間町若狭地区の一帯で突風が発生し，工事事務所の2階が吹き飛ばされて死者9人が発生する戦後では最大級の人的被害となった。筆者らをはじめとする詳細な現地調査の結果，佐呂間町若狭地区で発生した突風は竜巻によるものと判断された。竜巻による強風害の発生した地域は，長さ約1 km，被害幅は最大で約250 mに達

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

し、本竜巻における家屋（住家・非住家）の被害は、全壊42棟、半壊11棟をはじめ101棟に及んだ。ここでは、気象庁の竜巻に関する統計からみた本竜巻の特徴を分析すると同時に、北海道佐呂間町における竜巻発生時の気象的特徴、竜巻被害の現地調査の結果について報告する。

2. 過去の竜巻災害からみた佐呂間竜巻の特徴

気象庁のホームページに掲載されているわが国における竜巻分布図（気象庁、2006）に加筆したものを図1に示した。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る。北海道は、土地面積（8万34km²）からすれば発生頻度は高くはなく、本竜巻が発生した佐呂間町が位置するオホーツク海沿岸地域では1971年以降の統計では、竜巻の発生が確認されておらず、オホーツク海沿岸では初めての発生であったと考えられる。ただし、人口や住宅が少ない本地域では、「目撃がない」・「住宅・市街地での被害がない」ことから、きわめて局所的な被害では突風と判断されている場合も示唆される。

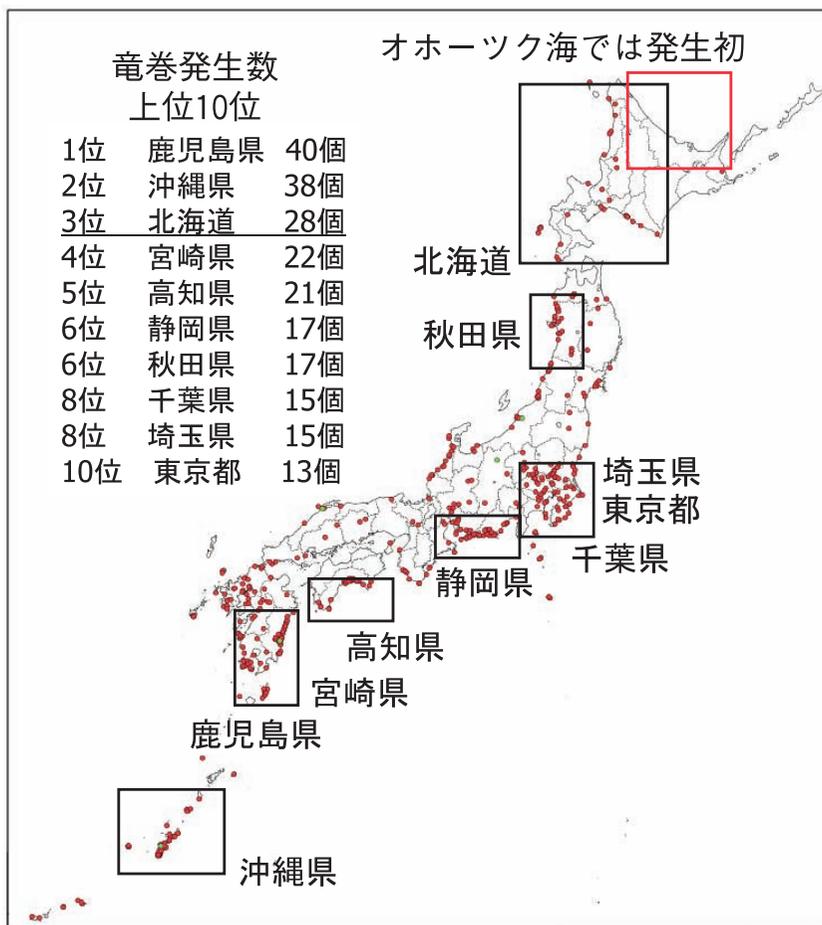


図1 竜巻分布図（1971～2005年、気象庁ホームページより転載・加筆）

わが国における1971年から2006年までの主な竜巻災害（気象庁のホームページに掲載されている竜巻関連の資料より、死者1人以上または1999年以降の顕著な被害を抜粋）を表1に示した。1971年以降、竜巻による複数名の死者が発生したのは本年（2006年）の宮崎県延岡市の竜巻での3人と今回の佐呂間町での竜巻による9人の2件のみであり、昨年（2005年）までの35年間における8件は、いずれも1人ずつの人的被害に止まっており、本年の12人は過去の統計からみても際立って多いことがわかる。

北海道における11年間の竜巻災害（1996年～2006年）の発生事例を表2に示した。図1にも示したが、竜巻の発生は北海道の西側に当たる道北・道央・道南に分布している。多くの竜巻は、9月から11月の初秋から初冬の季節に、寒冷前線の通過時や気圧の谷の通過に伴う寒気の移流により発生している。発生規模は、2001年6月の空知支庁北竜町、2004年11月の日高支庁門別町のF2が最高で、死者が発生する被害は過去35年間でも認められていない。

表1 わが国における主な竜巻災害（1971年～2006年、死者1人以上または1999年以降の顕著な被害を抜粋）

年月日	場所	気象状況	被害状況
1971年7月7日	埼玉県浦和市	停滞前線・台風13号	死者1人、全半壊159棟
1971年8月31日	千葉県千葉市外	台風23号	死者1人、全半壊84棟
1979年9月4日	愛知県名古屋市	台風12号	死者1人、半壊456棟
1980年8月19日	千葉県勝浦沖	南岸低気圧	死者1人
1990年2月19日	鹿児島県枕崎市	気圧の谷・寒気移流	死者1人、全半壊383棟
1990年3月12日	三重県志摩郡	寒冷前線・低気圧	死者1人、半壊99棟
1990年12月11日	千葉県茂原市外	寒冷前線	死者1人、全半壊1,469棟
1997年10月14日	長崎県郷ノ浦町	寒冷前線	死者1人、半壊6棟
1999年9月24日	愛知県豊橋市	台風18号	全半壊2,660棟
〃	山口県小野田市	台風18号	全半壊135棟
2004年6月27日	佐賀県佐賀市	寒冷前線	全半壊371棟
2006年9月17日	宮崎県延岡市	台風13号	死者3人、全半壊460棟
2006年11月7日	北海道佐呂間町	寒冷前線	死者9人、全半壊53棟

表2 北海道における竜巻災害（1996年～2006年）

年月日	場所	気象状況	被害状況
1996年10月8日	留萌支庁遠別町	気圧の谷の通過で寒気が移流	半壊1棟、物置2棟
1997年10月7日	胆振支庁苫小牧市	寒冷前線の通過時	プレハブ3棟
1997年10月20日	胆振支庁苫小牧市・石狩支庁千歳市	寒冷前線の通過時	半壊7棟
1998年9月15日	空知支庁新十津川町	寒冷前線の通過時	半壊2棟、非住家被害12棟
2001年6月29日	空知支庁北竜町	気圧の谷の通過で寒気が移流	全壊1棟、半壊9棟（非住家53棟、ビニールハウス25棟（F2））
2004年10月22日	日高支庁門別町	寒冷前線の通過時	負傷者3人、半壊157棟（F2）
2006年11月7日	網走支庁佐呂間町	寒冷前線の通過時	死者9人、全壊7棟、半壊7棟（非住家63棟）（F2-F3）
2006年11月9日	檜山支庁奥尻町	寒冷前線の通過時	倉庫全壊6棟（F1）

3. 竜巻発生時における気象の特徴

北海道網走支庁の佐呂間町の位置を図2に示した。佐呂間町はオホーツク海に面する人口約6,400人、面積約400km²、農業・酪農・林業・水産業の第一次産業が中心の町である。竜巻が発生した若佐地区は、サロマ湖畔から内陸に約10km入った周囲を山に囲まれた標高約65mの盆地状の地形を有している。

竜巻が発生した2006年11月7日の13時25分から約1時間半前後の12時と15時における地上天気図を図3に、竜巻発生直前の13時における気象衛星

「ひまわり6号」の赤外画像を図4に示した。北海道の道央を発達しながら北東に進んでいた低気圧からのびる寒冷前線は、7日昼から夕方にかけて道東を通過しており、寒冷前線に伴う雲が網走地方から十勝地方にかけて覆っており、佐呂間町付近で発達した雲頂の高い積乱雲を図4の赤外画像からも捉えることができる。このため、オホーツク海に面した道東地域では大気の状態が不安定になっている。図5のレーダー雨量図からも、東西約4～8km、南北約8～15kmの活発な積乱雲が13時20分には佐呂間町若佐地区の直前の山沿い

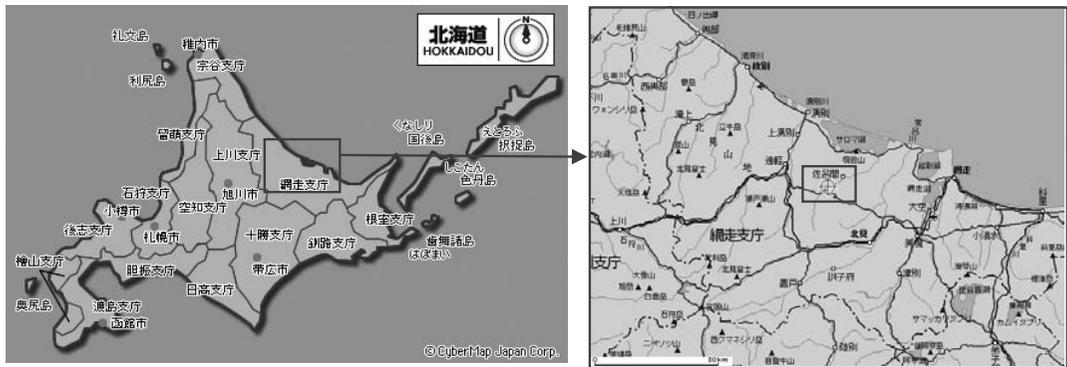


図2 北海道佐呂間町の位置

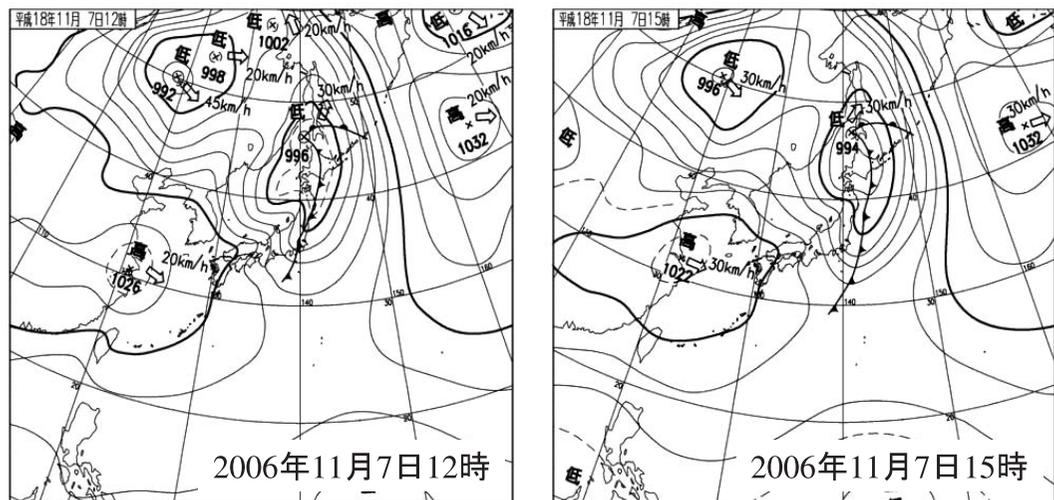


図3 竜巻発生前後の地上天気図

から30分には若佐地区付近を通過していることがわかる。積乱雲は、13時10分から40分までの30分間で40kmを移動していることから、約80km/hの速度で南西から北東方向に進んだものと推察される。



図4 気象衛星「ひまわり6号」の赤外画像 (2006年11月7日13時、竜巻発生直前)

道東の根室では、7日9時に850hPa面(高度約1,500m)では平年を9.2℃も上回る7.2℃を観測しており、そこへシベリア付近から冷たい寒気が北海道に流入し、積乱雲が発生しやすい状況にあった。その結果、道東の暖かい大気を押し上げられて上昇気流が発達し、上空の寒気が下降して対流活動が活発化して、竜巻を引き起こすような巨大な積乱雲が発達したものと推定される。

竜巻の被害が発生した佐呂間町若佐地区の中心部から東に約1.5km離れた若佐小学校の敷地内に気象庁のアメダス観測所「佐呂間」が設置されている(図6)。佐呂間(アメダス)における1時間と10分値における気象要素の推移を図7に示した。11月7日は、寒冷前線の通過前は南風により暖かい空気が流入して気温は5時に最低値9.8℃から約7時間後の11時40分には最高値18.4℃と約7時間で8.6℃も上昇し、9月下旬並みの気温となっている。しかし、寒冷前線の通過により12時に18.3℃であった気温が6時間後の18時には8.9℃と約10℃も急低下している。10分値でみる

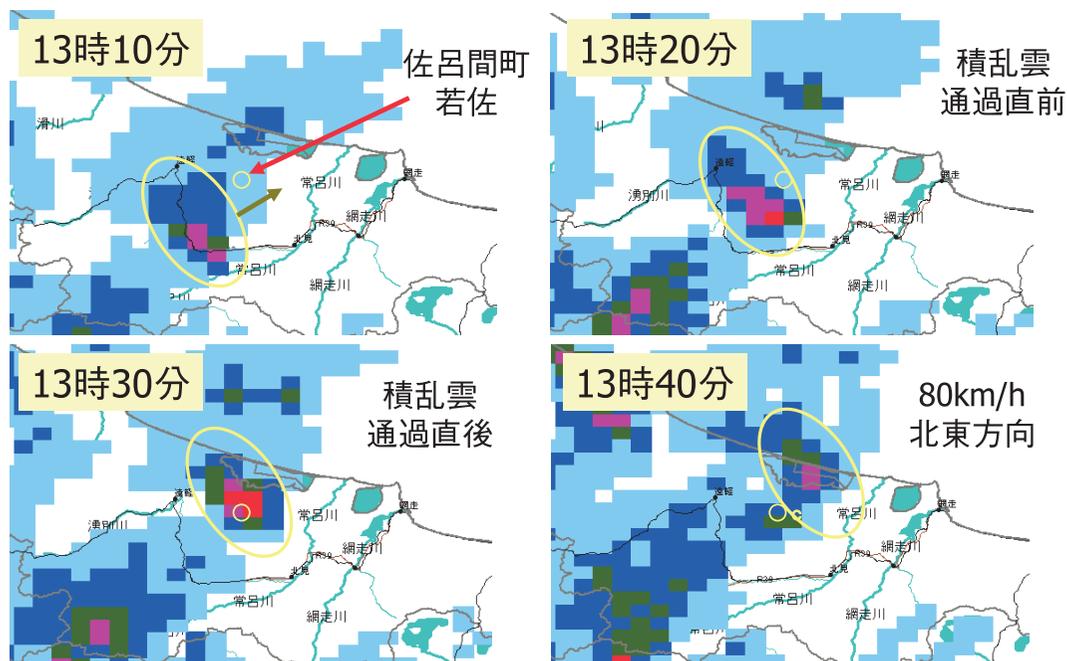


図5 レーダ雨量図 (2006年11月7日)

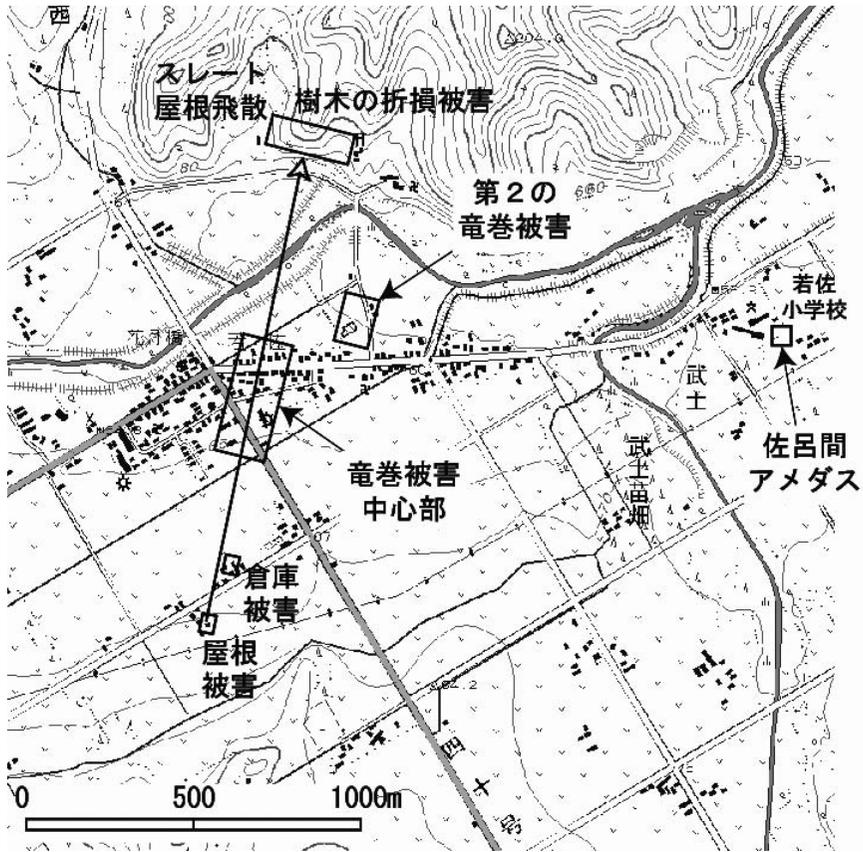


図6 竜巻災害が発生した佐呂間町若佐地区と佐呂間アメダス（若佐小学校内）の位置

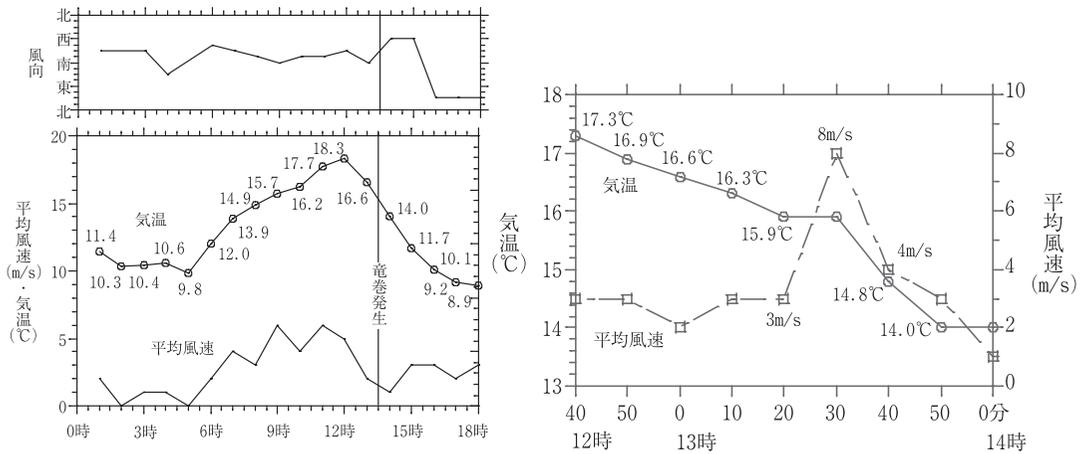


図7 佐呂間（アメダス）における1時間・10分値の推移

と、寒冷前線の通過直前の13時に16.6℃であった気温が徐々に低下し、13時20分・30分には15.9℃、寒冷前線が通過した直後と考えられる13時40分には風向は西風が変わり、気温も14.8℃とわずか10分間で1℃以上も急低下している。この傾向は13時50分まで継続しており、この20分間で1.9℃の気温低下が観測された。その際、平均風速も13時30分に8 m/sの強風を観測しているが、竜巻の通過地点から東に約1.5km 離れていることから、竜巻に伴う突風を観測することは出来なかった。

以上のように、11月7日は寒冷前線が道東を通過し、上空の気温差が平年より大きいことから、大気の状態がきわめて不安定になり竜巻を引き起こすような巨大な積乱雲が発達したものと推定される。

4. 竜巻に伴う被害の実態

筆者は、竜巻が発生した11月7日の2日後の9日と翌10日に、佐呂間町若佐地区において現地調査および航空機をチャーターして上空から被害状況を調査した。佐呂間町が集計した竜巻被害の状況(11月22日現在、確定値)を表3に示した。本竜巻における人的被害は、死者9人、重傷者7人、軽傷者19人、建物被害は住家(全壊:7棟、半壊7棟、一部損壊24棟)、非住家(全壊35棟、半壊4棟、一部損壊24棟)の計101棟となっている。死者9人の人的被害は、1971年からの気象庁の竜巻に関する統計の中でも最大であり、愛知県災害誌(愛知県, 1970)に記載されている1941年11月28日

に寒冷前線の通過に伴う竜巻による死者13人、全半壊347棟の被害に次ぐ国内最大級の人的被害であったと考えられる。また、家屋(住家・非住家)の全壊率(被害家屋に占める全壊家屋の比率、%)が42%と高率であることから、竜巻通過時に強烈な突風が発生して住家に甚大な被害をもたらしたものと推察される。

佐呂間町若佐地区における建物被害の状況を図8に示した(佐呂間町提供, 2006年11月10日)。ただし、図8と表3は、佐呂間町からの提供日が異なるため、被害戸数は一致していない。竜巻は、新佐呂間トンネルJV工事事務所を直撃し、若佐地区の中心部を北東に進み、約400mを1分弱で通り過ぎたものと考えられ、家屋被害の前後における農地の痕跡、ガレキの散乱を含めても最大で約1 kmの長さで推定される。竜巻が通過した中心部では全壊の家屋が多く、中心部から離れるにつれて半壊、一部損壊の家屋が分布し、左右に約150m以上も離れると家屋の被害は認められないことから、被害幅は最大250mと推定される。

筆者が上空から撮影した佐呂間町若佐地区の被害概要を写真1に、若佐地区の南に位置する丘から撮影した写真を写真2に示した。写真1に示したように、竜巻は若佐地区に甚大な被害をもたらした第1の竜巻、さらに小規模な第2の竜巻の2個の発生が確認でき、前者で最大1 kmと過去に大きな被害をもたらした竜巻災害と比べても移動距離はきわめて短い特徴がある。写真2に示したように、若佐中心部から南西方向に位置する木造屋根の被害、木造倉庫の倒壊等の弱い建物のみの被害からみて、この地区では竜巻が上空を通過したために比較的軽い被害であり、積乱雲から垂れ下がる漏斗状の竜巻が工事事務所の直前で接地し、死者9人が発生した新佐呂間トンネルJV工事事務所を直撃して、若佐地区の中心街を北東に通り過ぎたものと考えられる。若佐の国道交差点の北西の住民は、「自宅に2階から外を見ると、渡部林業の周りに竜巻が見えた。青いトタンを巻き上げて町の中を移動していった。」と証言しており、竜巻の猛威を垣間見ることが出来る。

新佐呂間トンネルJV工事事務所および周辺

表3 北海道佐呂間竜巻の規模と被害状況
(被害状況は佐呂間町調べ, 2006年11月22日)

長さ: 約1 km
被害幅: 約250m
F3 (藤田スケール), P1~3
死 者: 9人
重 傷 者: 7人
軽 傷: 19人 非住家被害
全 壊: 7棟 (35棟)
半 壊: 7棟 (4棟)
一部損壊: 24棟 (24棟)

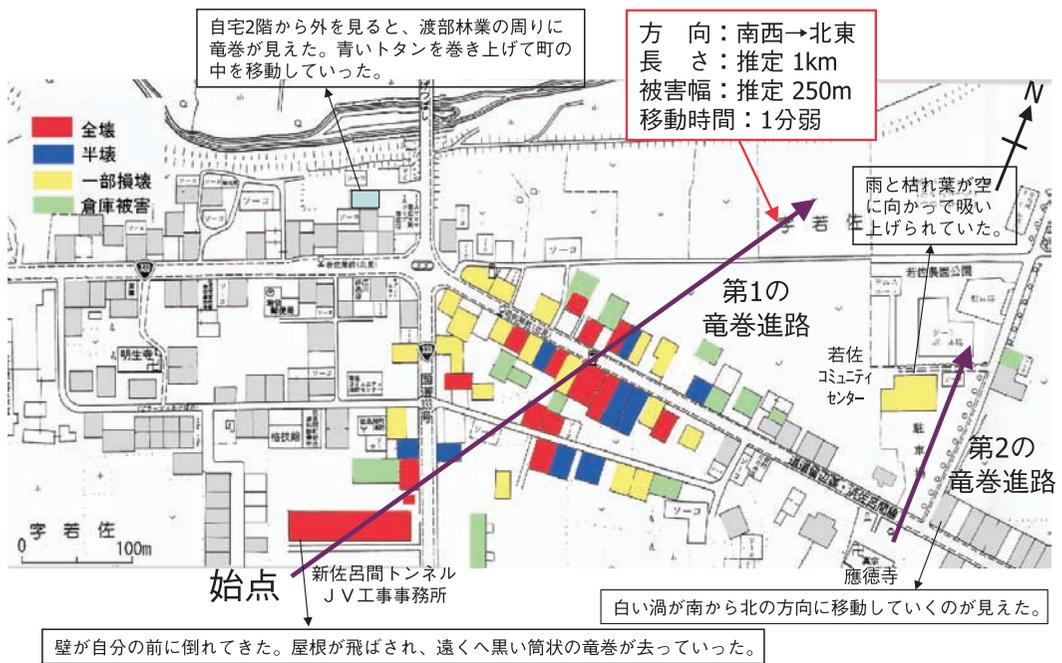


図8 佐呂間町若佐地区における建物被害の状況（佐呂間町提供，2006年11月10日，ほぼ確定値）



写真1 佐呂間町若佐地区（2006年11月10日撮影）



写真2 若佐地区中心部までの竜巻の経路 (2006年11月9日撮影)



写真3 新佐呂間トンネルJV工事事務所および周辺の被害 (2006年11月10日撮影)

被害状況を写真3に示した。竜巻の漏斗が接地したと見られる牧草の痕跡が確認できるが、痕跡から工事事務所までには竜巻が進んだ痕跡が確認できないため、その詳細は明らかではない。

新佐呂間トンネルJV工事事務所および敷地内の駐車場、渡部林業(株)佐呂間工場の被害状況を写真4に示した。竜巻の直撃を受けたプレハブ2階建ての2棟の東西棟の工事事務所は、2階の部分が吹き飛ばされて、中に居た9人が死亡した。渡り廊下と隣接する南北棟の工事事務所1棟は無傷の状態で残存していること、工事事務所の所員は、「壁が自分の前に倒れてきた。屋根が飛ばされて、遠くへ黒い筒状の竜巻が去っていった。」と証言していることから、竜巻によりきわめて局所的で強烈な突風が吹いて、耐風構造が比較的弱い2棟の軽量プレハブ事務所の2階部分を吹き飛ばしたものと推察される。

また、工事事務所の北側駐車場に止めてあった乗用車は破損が著しいことから、竜巻により空中に持ち上げられた後に地上に叩きつけられるように落下したものと推察され、藤田スケールでF3に相当する状況であった。敷地内北東の渡部林業(株)佐呂間工場は、屋根が吹き飛ばされ、側壁も突風による飛散物が激突した痕跡が大きく残っている。

若佐地区中心部における被害の状況を写真5に示した(写真内の数字は、写真6の数字と一致する)。全壊家屋では、被害の3日後にはすでに取り壊しが行われているものもあるが、被害修復が進んでいない家屋や屋根をブルーシートで覆った家屋が中心部に集中して見受けられる。

写真6は、竜巻被害の状況(写真内の数字は、写真5の数字と一致する)であるが、1は大型トラックが横転し、東側のプレハブ倉庫の側壁が被災している。また、その北側に位置する2の食堂兼住宅は、竜巻の直撃を受けて側壁や窓ガラスが破損し、屋根の飛散等により全壊の状況となっている。3～6は住家の全壊の状況を示しているが、佐呂間町のように高緯度に位置し、冬季に太陽高度が低く日照時間が短い地域では、南側に大きなガラス窓や出窓を配置しているため、住宅の

耐風構造は台風の直撃を頻繁に受ける西南暖地と比較して弱い構造となっている。また、今までに台風や突風の被害が少なかったことから、窓には雨戸も設けられておらず、側壁の素材も衝撃に弱い材質で、屋根も瓦葺ではなくトタン製のものが多くことから、突風に対する家屋の耐風性は不十分であると言わざるを得ない。

竜巻による飛散物の状況を写真7に示した。山麓部には新佐呂間トンネルJV工事事務所ものと思われるスレート製の屋根の飛散が確認されており、そこから東へ約200mの地点では工事事務所の物品と思われる工程表ボード、宇遠別トンネルの祝貫通の記念品が飛散している。また、写真8に示したように、この付近には樹木の枝に折損被害が認められ、高い位置にベニヤ板材の飛散も確認できることから、竜巻はこの地域を最終的に通過したものと推察される。

若佐地区の中心地から東に300m離れた若佐コミュニティセンターにおける屋根の破損被害、センター向かいの住宅における屋根の飛散状況を写真9に示した。被害集落の住民からは、「白い渦が南から北の方向に移動していくのが見えた。」「雨と枯れ葉が空に向かって吸い上げられていた。」との具体的な証言も得られたこと、若佐中心部の被害地域とは離れていることを総合的に判断して、若佐地区の中心部に甚大な被害をもたらした竜巻と別の竜巻がほぼ同時刻に発生して、局地的な被害をもたらしたものと推察された。

以上のように、竜巻は建物被害の始点である新佐呂間トンネルJV工事事務所の手前から終点の山麓部までの約1kmを1分弱で通過し、寒冷前線の通過速度から考えて、竜巻の進行速度は約80km/hであったものと推定される。これは、山本ら(2001)が推定した1999年の小野田市の竜巻の進行速度40km/h、山本ら(2004)が推定した2004年の佐賀市の竜巻の進行速度50km/hを超える速度であった。

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4)、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5)が用いられている(藤田, 1973)。今



写真4 新佐呂間トンネルJV工事事務所および被害（2006年11月9日撮影）



写真5 若佐地区中心部の被害（2006年11月10日撮影）（数字は、写真6の数字と一致する）



写真6 竜巻被害の状況（2006年11月9日撮影）（数字は、写真5の数字と一致する）

回の佐呂間町で発生した竜巻は、「非住家がバラバラになって飛散」、「自動車が持ち上げられて飛ばされる」等の被害状況を総合的に判断すると、竜巻が通過した地域ではF3の風速基準である「約5秒間にわたり秒速70～92m」の風速が吹いた可能性が示唆された。さらに、竜巻の始点と判断した

新佐呂間トンネルJV工事事務所の手前から、終点の工事事務所の物品等が飛散した山麓までの長さ約1km、建物の被害幅が最大で約250mであったことから、本竜巻は被害の長さは短い被害幅は長い特徴を有し、ピアソン・スケールはP1～3と推定された。



写真7 竜巻による飛散物 (2006年11月9日撮影)



写真8 竜巻の通過地点 (2006年11月9日撮影)



写真9 第2の竜巻被害 (2006年11月9日撮影)

表4 藤田スケール

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。 鉄骨造りでもペシャンコになる。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5 ピアソン・スケール

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

5. まとめ

2006年11月7日13時25分頃、積乱雲の北東進時に北海道佐呂間町で発生した竜巻の被害域は、長さ約1km、被害幅は最大250mに及び、死者9人、建物被害は101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, 2006), 近年では Kobayashi(1988), 小林(1997), 菊池(1989), Niino et al. (1990), 気象庁(1993), Kobayashi et al. (1796), 林ら(2000), 山本ら(2001), 新野(2002), 山本ら(2004)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。北海道では、この10年で竜巻が6回発生しているが、過去の竜巻の被害は最大でもF2であることから、今回のF3に相当する竜巻災害は北海道では最大級で、国内でも1990年の茂原竜巻、1999年の豊橋竜巻に匹敵することが明らかになった。竜巻の規模に対して人的被害が9人と多かったのは、竜巻が地面に接地した直後に耐風構造が弱いプレハブ製の工事事務所を直撃したことが原因であり、強い耐風性を有する建造物であったならば、これほど多くの人的被害は発生しなかったものと示唆される。

今後は、寒冷前線の通過時における竜巻発生の

メカニズムを解明すると共に、気温の急降下に基づく竜巻発生の予測の可能性について検討する予定である。

謝 辞

本災害の調査に当たっては、気象庁、佐呂間町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。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「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（研究代表者：真木太一）」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

- 1) 愛知県：愛知県災害誌, 548p., 1970.
- 2) 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.
- 3) 藤田哲也：たつまき (上), 共立出版, 228p., 1973.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 気象庁：災害をもたらした竜巻資料 (<http://www.data.kishou.go.jp/bosai/report/tatsumaki/index.html>) 2006.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 新野 宏, 激しい渦の脅威「竜巻」, 予防時報, No. 209, pp. 36-42, 2002.
- 11) 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, 10pp., 2006.
- 12) 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.
- 13) 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.

(投稿受理日：平成18年11月28日)