Meteorological Society of Japan

〔論　文〕　　1053：407（竜巻；気象災害）

2002年10月7日横須賀で発生した竜巻

—10月6日から7日にかけて各地で発生した突風災害に関連して—

小林文明[*1]・藤田博之[*1]・野村卓史[*2]・田村幸雄[*3]
松井正宏[*3]・山田　正[*4]・土屋修一[*4]

要　旨

2002年10月6日から7日にかけて発達した低気圧の北東進に伴い，各地で突風災害が相次いだ．横須賀市内では10月7日04時頃突風災害が発生した．現地調査の結果，被害は100か所を越える住家で確認され，被害域はほぼ直線的で長さ2.5 km，最大幅は約150 m（平均で30～50 m）であった．被害スケールはF1から局所的にF2であった．被害域は連続しておらず，かつ蛇行していた．また，最も被害の大きかった公郷小学校付近で被害幅が広がっており，竜巻の複雑な挙動が示唆された．最大風速に関しては，被害が最も甚大であった場所の東端に位置する道路標識から少なくとも風速は34～38 ms^{-1}と見積もられ，被害スケール（F1）を裏付けた．

今回の突風は以下の理由から竜巻であったと推測された．地上被害の特徴から，1）被害域の幅が狭く直線的である．2）回転性（低気圧性）の風による痕跡が確認された．3）吸い上げ渦とおもわれる痕跡が2か所確認された．4）吸い上げ渦の痕跡近傍では，実際に体育館の屋根や空調室外機が少なくとも高さ10 mは吹き上げられた．上空の積乱雲の特徴は，5）強エコー域の南西端に被害域が対応していた．6）ドップラー速度パターンには直径7 kmの渦が上空に確認された．7）このメソサイクロンの影響をうける地上観測点では，1 hPaの気圧降下が確認された．

横須賀市の竜巻被害は，発達した低気圧の暖域で形成された積乱雲群が広範囲にわたりもたらした竜巻（ダウンバースト）の中のひとつに位置づけられる．

1．はじめに

竜巻やダウンバーストなど積乱雲（サンダーストーム）に伴う瞬発性の擾乱は観測的に捉えることが難しく，わが国ではまだその構造に関する理解は十分とは言えない．近年，現業レーダーのドップラー化により竜巻やダウンバーストの報告事例が増え積乱雲内の構造が議論されるようになった（例えば，Suzuki *et al.*, 2000；福島，2002；大久保ほか，2003，2004；森・高谷，2004；柴田，2006など）．しかしながら，これらメソγ（数km）～マイクロスケール（数100 m）の現象を，「積乱雲内の構造」，「雲底下の動態」，「地上被害」の3点で観測的に捉えることは難しい．特に，雲底下の擾乱，すなわち竜巻の漏斗雲であり雲底下のダウンバースト/ガストフロントは高解像度のレーダーや映像的に捉えるしか方法がない．実際わが国では，竜巻やダウンバーストの全体像を捉えた事例は未だ少ない（例えば茂原竜巻（Niino *et al.*, 1993，厳密には漏斗雲の挙動は不明），千歳竜巻（Kobayashi *et al.*, 1996），豊橋竜巻（坪木ほか，2000），大島竜巻（加治屋・廣畑，2003；加治屋，2004），横須賀ガストフロント（小林ほか，2007））．一方，地上被害は迅速な現地調査によってかなりの部分は把握することができる．今後，積乱雲内の構造を議論するためにも，詳細な現地調査を実施してデータベースを蓄積することは竜巻・ダウンバーストを理解する上で必要な

[*1] 防衛大学校地球海洋学科．
[*2] 日本大学理工学部．
[*3] 東京工芸大学風工学研究センター．
[*4] 中央大学理工学部．

—2006年3月15日受領—
—2006年11月20日受理—

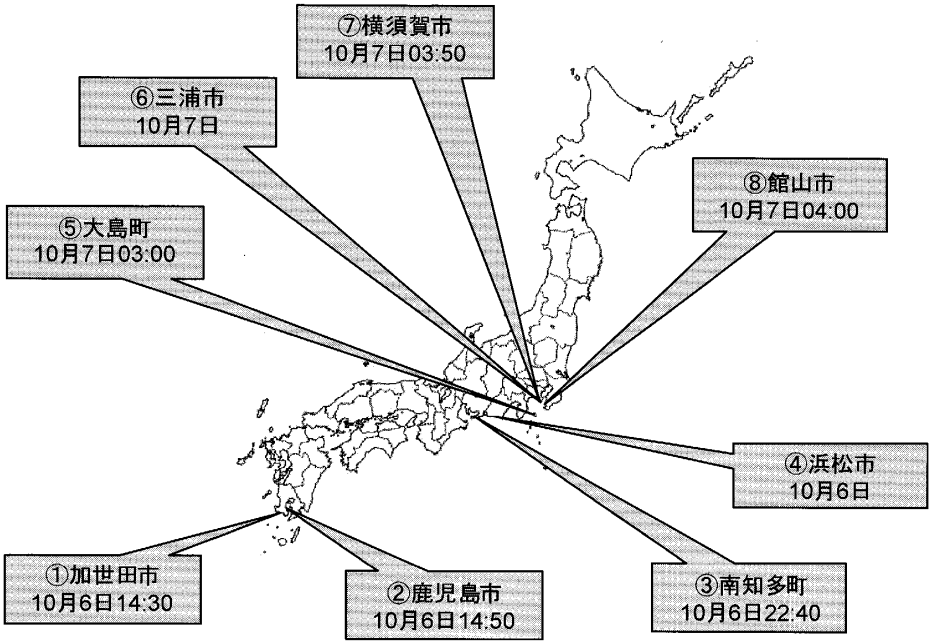
© 2007　日本気象学会

NII-Electronic Library Service

Meteorological Society of Japan

手段といえる．

2002年10月6日から7日にかけて発達した温帯低気圧の北東進に伴い，日本各地で竜巻やダウンバーストによる突風災害が相次いだ．複数の竜巻が発生した事例は，台風，寒冷前線あるいは水上竜巻（waterspout）などでみられるが（例えば，Saito，1992；小林ほか，1997），総観スケールの擾乱に伴うメソ対流システム（MCS：Mesoscale Convective System）が広範囲な多地点で竜巻など小規模な擾乱を発生させた事例は過去の統計（例えば光田，1983）をみても無い．

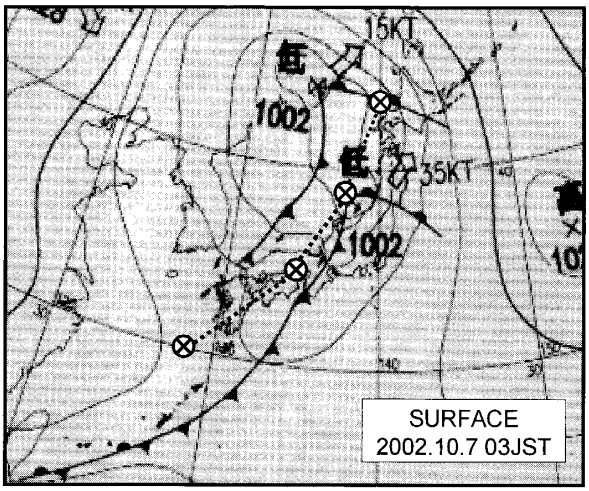


第1図　2002年10月6日から7日にかけて発生した突風災害の場所と時刻．

本論文は10月7日横須賀市で発生した突風災害を他の地域の突風災害と関連づけながら，被害特性，気象データから明らかになった特徴，推定された突風の原因について述べる．

2．2002年10月6日から7日にかけて発生した突風災害

2002年10月6日から7日にかけて発達した温帯低気圧の北東進に伴い，日本各地で突風災害が相次いだ．被害の場所を発生時刻順に並べると，鹿児島県加世田市，鹿児島市，愛知県南知多町，静岡県浜松市（浜松は竜巻の目撃情報のみ），東京都大島町，神奈川県三浦市，横須賀市，千葉県館山市となる（第1図）．各々の被害の詳細は日本風工学会風災害研究会（2003），小林ほか（2003）に纏められているが，加世田市では被害の長さ4000 m，被害幅約150 mで約30棟の住家被害が，鹿児島市では被害の長さ400 m，顕著な被害幅約200 mで10数棟の住家被害が確認された．南知多町では長さ4000 m，被害幅約100 m，約30棟の住家被害が認められた．この3地域の被害スケールはいずれもF0～F1と推定された．突風の原因は加世田市，鹿児島市は漏斗雲の目撃証言があることから竜巻と断定され，南知多町は被害の特徴から竜巻あるいはダウン（マイクロ）バーストと推定されている．大島町，三浦市，横須賀市，館山市の被害については以下本文で述べる．



第2図　2002年10月7日03 JSTの地上天気図（気象庁）．⊗印で6日09 JST，6日21 JST，7日03 JST，7日09 JSTの中心位置を示す．

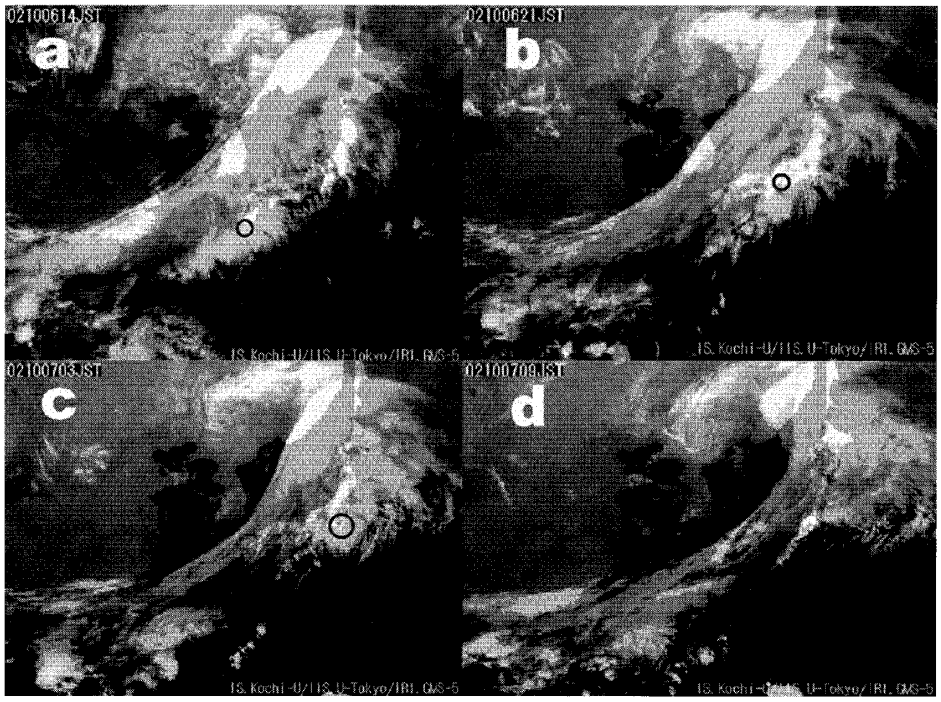
3．総観規模の気象状況

2002年10月6日から7日にかけて南北に並んだ2つの低気圧の北東進に伴い，南側の低気圧の寒冷前線周辺，暖域内で積乱雲が発達した．第2図に示したように，南側の低気圧は10月6日21 JSTに1006 hPaの中心気圧が7日03 JSTには1002 hPa，さらに09 JSTには996 hPaと急激に発達した．この低気圧は発達しな

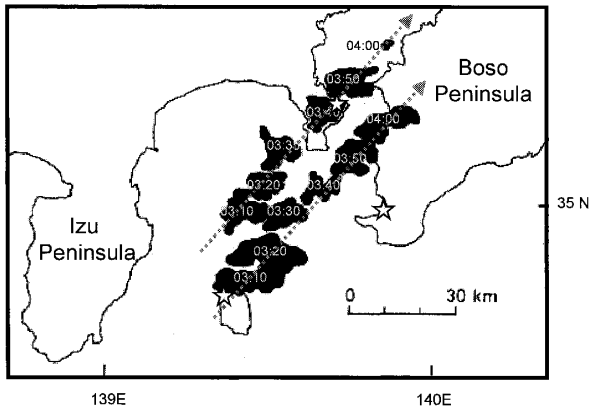
NII-Electronic Library Service

Meteorological Society of Japan

がら北東進し，閉塞することなく日本列島を横断した．GMS赤外衛星画像をみると，発達した低気圧に対応した南北に盛り上がった雲域が認められる（第3図）．さらに，10月6日14 JST（第3図a）の画像には南側の寒冷前線前面暖域内で形成された先細りの形状を有した雲域（テーパリングクラウド；にんじん状雲（例えば，猪川ほか，1980；石塚・児玉，2001））が顕著であった．この水平スケールで数100 kmを有するテーパリングクラウドは低気圧の北東進に伴い形状を変化させながらも，その内部構造として数10 kmのスケールの積乱雲群を有していたことがわかる．各地の被害はこの発達した積乱雲群の通過に対応していた（図中a～c ○印）．総観的にみて雲パターンはそれほど大きな変化を示すことなく日本列島を横断した．今回，暖域内のテーパリングクラウドがその形状を変化させながらも10時間以上維持したことが，結果的に多地点で竜巻，ダウンバーストを発生させたと考えられる．テーパリングクラウドは豪雨，突風，落雷などシビアーな気象現象を伴うことで知られているが，わが国でこれだけ広範囲にわたり総観規模の擾乱に伴い複数の竜巻（ダウンバースト）が発生した事例は無い．



第3図　GMS赤外画像（気象庁）．a：2002年10月6日14 JST．b：10月6日21 JST．c：10月7日03 JST．d：10月7日09 JST．○印は突風災害の発生した場所を示す．



第4図　2002年10月7日03：10 JSTから04：00 JSTにおける10分毎の強エコー域（32 dBZ以上）の時間変化．☆印は突風災害の発生した大島町，横須賀市，館山市の位置を示す．

4．親雲の特徴

ここでは，テーパリングクラウド内の微細構造について，横須賀市，大島周辺のレーダーエコーの特徴を示す．レーダーデータに関しては，中央大学ドップラーレーダー（後楽園キャンパス屋上に設置された可搬型Xバンドレーダー）の仰角0°におけるPPI（Plan Position Indicator）画像を用いた．第4図は発達した積乱雲を表す32 dBZ以上の相対的に強いレーダーエコー域の時間変化であり，南西から北東方向に移動する，直径10 km程度のエコーコア2個の発生，発達，衰弱がちょうど大島，三浦半島周辺で確認された．すなわち，テーパリングクラウド内で10 kmスケールの積乱雲が複数発生発達を繰り返していたことがわかる．大島町，横須賀市，館山市における地上被害は（図中☆印），それぞれ03：10 JST頃，03：50 JST頃，04：00 JST頃であり大島町，横須賀市については最盛期のレーダーエコーの通過と地上被害は時間的に一致した．大島町と横須賀市の被害域は強エ

NII-Electronic Library Service

Meteorological Society of Japan

コーのそれぞれ南西端（03：10 JST と03：50 JST のエコー）に位置していた．これは突風が強エコーの直下で発生したのではなく，弱エコー域あるいはノーエコー域で発生したことを示唆している．館山に関しては，正確な被害発生時刻が確かめられていないだけでなく，強エコー域と地上被害は位置的にかなりずれている．館山の突風は04：00 JST 過ぎに上空に存在した弱エコーによるものか，別のエコーによるものかは不明である．

横須賀の被害に関連して，突風災害の発生直前03：48 JST のドップラー速度パターンを第5図に示す．ドップラー速度パターンには横須賀市の北から東京湾上に積乱雲エコーに対応した，まとまったエコーパターン（青色の近づく速度成分）が確認される．しかしながら，横須賀市上空の速度エコーは疎である．これは降水エコーが極めて弱いことを示している．03：48 JST の横須賀市上空には比較的まとまった12～14 ms^{-1}の近づく風速成分（青色）と散在した8 ms^{-1}前後の遠ざかる風速成分（赤色）が認められ，低気圧性循環の存在が示唆される（第5図破線円内の矢印）．この循環は直径約7 km を有し，積乱雲内に存在したメソサイクロン（竜巻低気圧）を表している可能性がある．換言すると，この積乱雲は直径7 km のメソサイクロンを有するスーパーセル的構造であったと考えられる．渦度を見積もると$1.2\times10^{-2}s^{-1}$であり，米国におけるメソサイクロンの定義を満たしている（Donaldson, 1970）．地上の被害域は近づく成分のピーク（南風）と対応しており，次章で述べる各々の被害も南成分（南東～南西）の風による被害が顕著であった．親雲（メソサイクロン）の把握はドップラーレーダーを用いることである程度可能であるが，10分間隔の PPI 画像からは，メソサイクロンの高度方向や時間変化は確認できなかった．また，今回のようにレーダーから50 km 近く離れてしまうと十分な分解能が得られず詳細な解析は困難になる．

5．横須賀市の被害

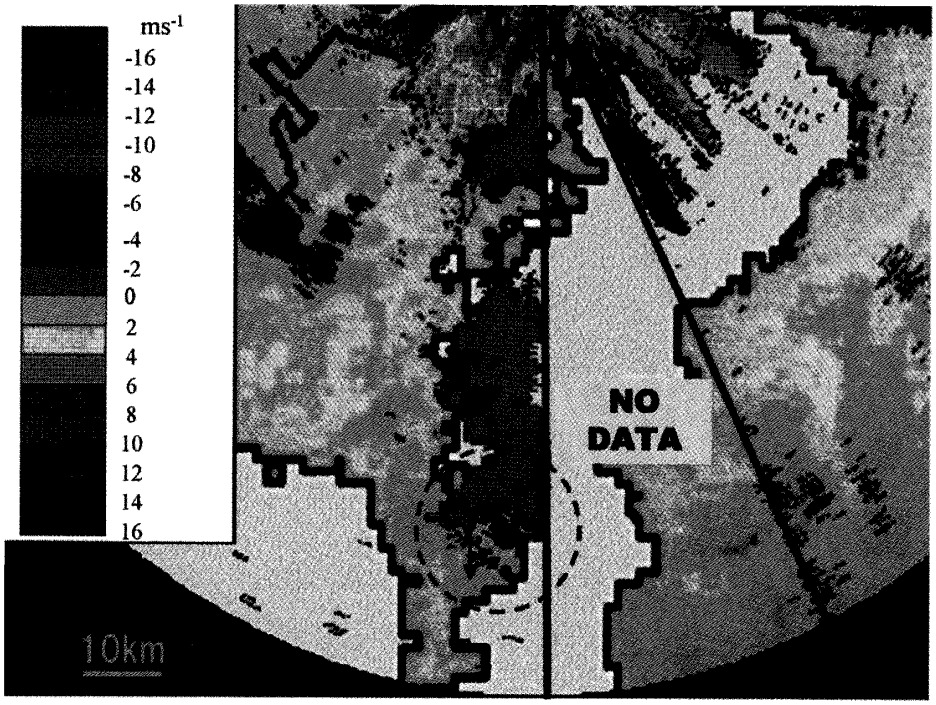
横須賀市では10月7日03：50 JST 頃，市内森崎，公郷町から三春町にかけて雷雨に伴い突風が発生し被害が相次いだ（東京管区気象台，2002a；小林ほか，2003）．第6図（58頁）は被害マップであり，被害のあった住家，非住家，構造物等をプロットしてある．今回被害が筆者らの近くで発生し突風発生直後から3日間にわたる現地調査を行うことができ，かつ被害が住宅密集地で発生したことから詳細な情報を得ることができた．横須賀市消防局防災課の調べでは人的被害3件，住家一部破損83件，非住家全壊2件，その他（公共建物，電柱，倒木等）75件となっている（10月9日時点）．被害分布の南端は市立横須賀高校付近で，そこから森崎，小矢部，と断続的に被害が発生した．平作川を越えて，衣笠通沿いの商店街から公郷小学校（第7図a）にいたる範囲が最も被害の集中した地域である．防犯ビデオが突風を捉えた妙真寺は突き出した山の端部にある（第7図b）．妙真寺の東側にある通りの両側にも住宅被害が多数発生した．さらに公郷トンネルを抜けた三春町にも若干の被害があった（被害の北端）．被害は100か所を越える住家で確認され，被害域は南西から北東へほぼ直線的に延びており距離およそ2.5 km，最大幅約150 m にわたって細長く分布している．被害状況から横須賀市の被害スケールはF1から局所的に F2であった．FPP（フジタ・ピアソン）スケールで言えば，FPP＝F2，P1，P1となる．

被害の痕跡あるいは被害マップから今回の突風が竜巻であったと推測された理由は次の3点である．1）被害幅が狭く被害域が直線的である．2）回転性（低気圧性）の風による痕跡が確認された（発散性の風は認められなかった）．3）吸い上げ渦とおもわれる痕跡が2か所確認された（第6図中円内）．被害域で確認された被散物の方向は多くが北から北東方向であった．これは竜巻の進行方向および一般風の風向とほぼ一致する．しかしながら，顕著な被害が認められた数地点で南東～東風による風の被害が確認された（例えば公郷小学校や妙真寺）．竜巻の吸い上げ渦とおもわれる2か所の痕跡の1つは，被害分布の南端に位置する市立横須賀高校のグランドである（第7図c）．土のグランドにサイクロニックな痕跡が残されており，表面から数 cm の厚さの土が掘り起こされていた．もう1か所は妙真寺のある山の西側のふもとにある駐輪場である（第7図d）．駐輪場内の自転車はほとんどが転倒し，それが中央付近に集まり積み上げられた格好で確認された．

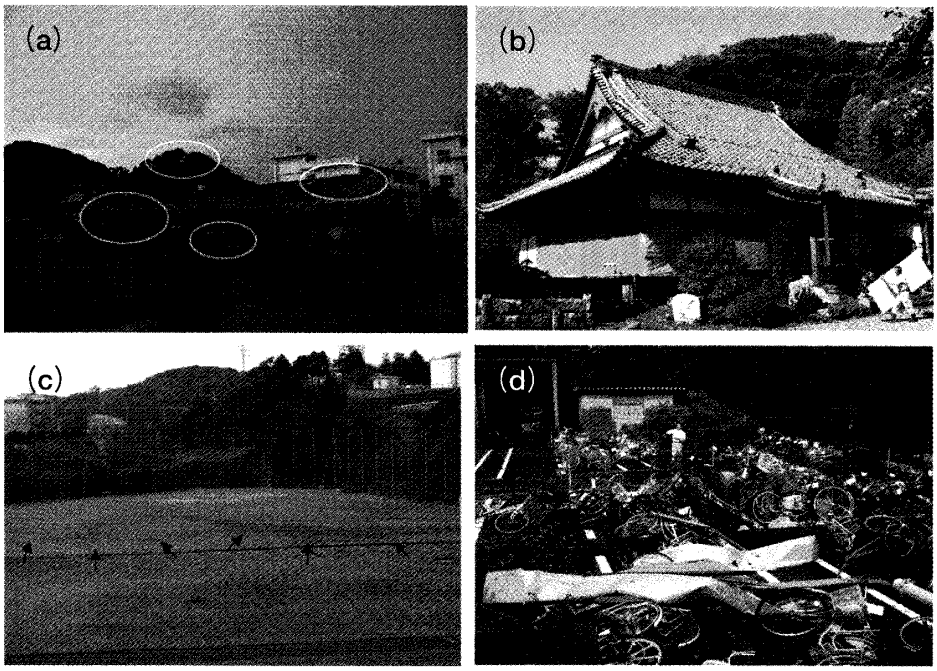
被害マップからわかる特徴は次の3点である．1）被害域は直線でなく蛇行をしている．2）被害域は連続していない．3）被害幅は一様でなく30 m～150 m と変化が大きい．1）の蛇行に関しては，被害域全体を通じて谷沿いの低地帯に被害が集中しており，さらに最も被害が集中した公郷小学校付近で大きく曲がっている．第8図は森崎（第6図太い矢印）から北北東

NII-Electronic Library Service

Meteorological Society of Japan



第5図　10月7日03：48 JSTにおける中央大レーダーのドップラー速度パターン（PPI 0°）．破線円内に地上被害に対応する，遠ざかる風（暖色）と近づく風（寒色）の対を示す．南南東から南の領域（実線内）は障害物によるノーデータである．レーダー近傍の赤色領域は折り返し（16 ms^{-1}以上の近づく成分）を示す．

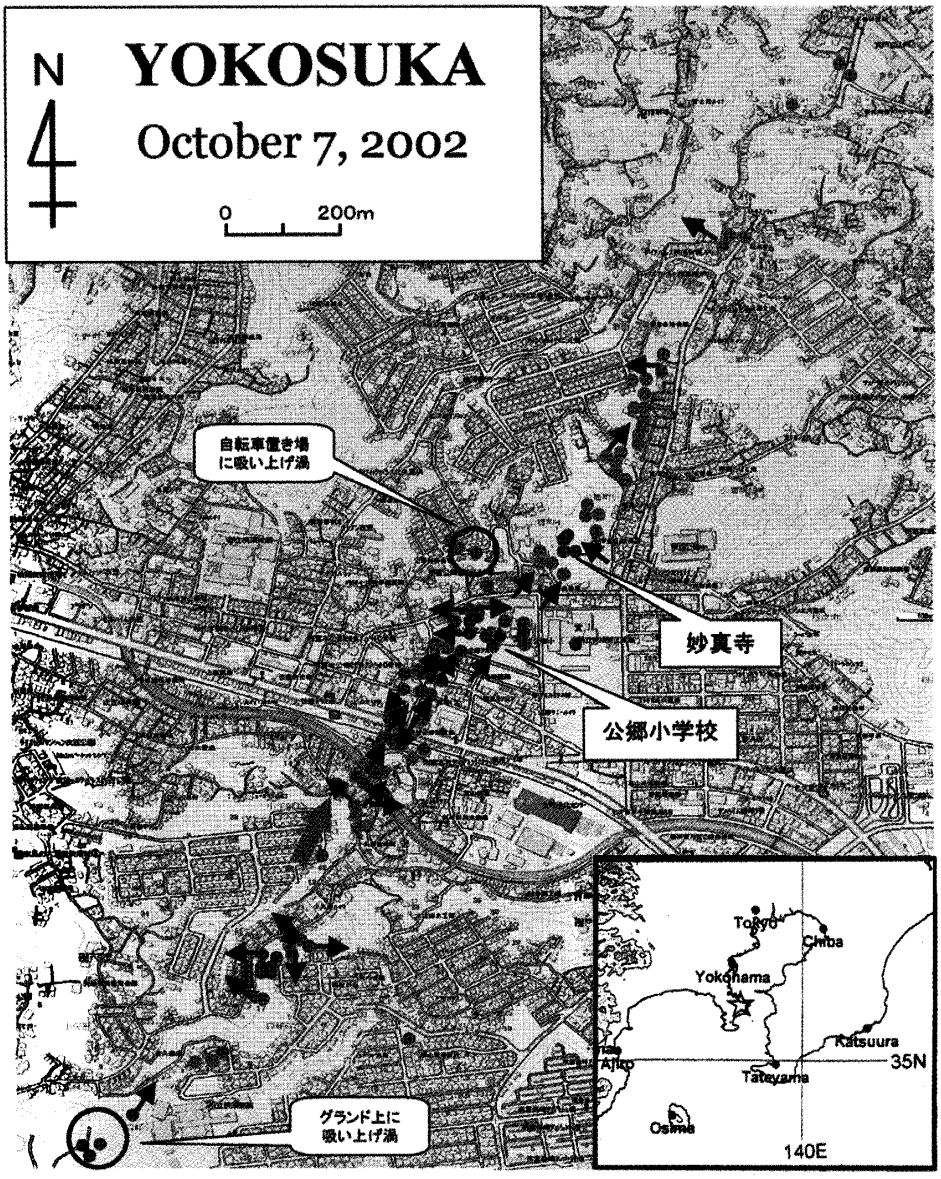


第7図　被害写真．(a) 公郷小学校．円は主な被害箇所を示す．(b) 妙真寺．(c) 横須賀高校グランド．矢印で竜巻（吸い上げ渦）の痕跡を示す．(d) 妙真寺ふもとの駐輪場．

を望んだ被害地域の写真である．三浦半島は複雑な地形を有しており，20 m～30 mの凹凸が存在する．突風災害が発生した横須賀市公郷町付近は，三浦半島の中腹に位置し，浦賀水道に向かって南東方向に流れる平作川の流域に添った小規模な平地で，その北東部と南西部は平地を挟む形の小規模な山並みになっている．この起伏に富んだ一帯は，平地はもとより山腹も山頂も住宅が密集していることがわかる．竜巻は谷沿いの低地帯を進んだ結果蛇行したと考えられる．竜巻被害の蛇行はしばしば報告されており，地形の影響によるものと考えられる．しかしながら，今回の事例で漏斗雲が蛇行したのか，あるいは結果としての被害分布の特徴なのか断定は難しい．2）被害域の非連続性は，漏斗雲の挙動等詳細なデータがないので議論はできないが，凹凸の多い地形の影響で地上付近の竜巻渦（漏斗雲）がタッチダウンを繰り返した（いわゆる竜巻のジャンプ）結果が原因のひとつと考えられる．3）公郷小学校付近は今回の突風で最も被害の大きかった場所であり，この付近で被害幅が広がっていた．この原因としては，a）竜巻がそのライフサイクル中で最も発達した．b）ひとつの竜巻（渦）が衰弱して別の竜巻が発生した．c）ひとつの竜巻内に

NII-Electronic Library Service

Meteorological Society of Japan



第6図 横須賀市突風の被害マップ．赤いドットは直接風の影響を受けた被害を，青いドットは飛散物等による被害を示す．矢印は推定された風向を，太い矢印は第8図の撮影場所と撮影方向を表す．

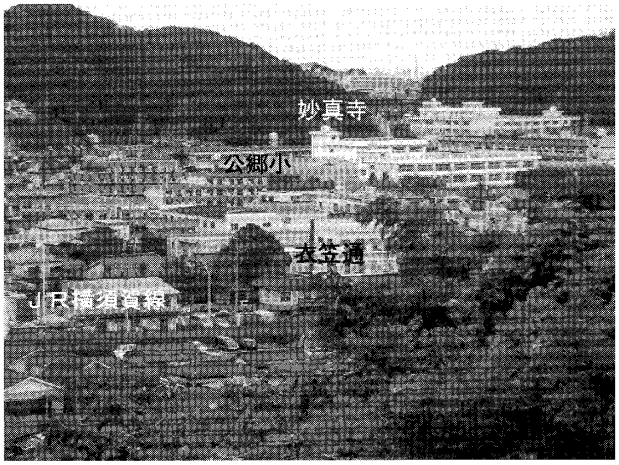
おける複数の吸い上げ渦が存在した．のいずれかの可能性が考えられる．顕著な被害が確認された妙真寺とそこから西北西に約200 m離れた駐輪場で確認された吸い上げ渦の痕跡は，同時に複数の吸い上げ渦が存在した可能性を示している．

次に，建造物等の顕著な被害の事例を示す．公郷小学校は3棟の校舎が南面しており，それらに囲まれる形で体育館がある（第7図a）．北側校舎（3階建て）の南側の窓ガラスが多数破損した．中央の校舎では北側の面の窓にも被害があった．体育館は屋根の南側がはがれ，大きな穴があいた．はがされた屋根は500 m以上空中を飛び，妙真寺のある山の中腹で発見された．また北側にある入り口の天井が落下していた．敷地内では直径1 m以上ある大木など数本の木が倒れたほか，グランドのサッカーゴールの1つが16 mほど移動し転倒していた．また隣接する住宅の空調室外機が高さ10 mのネット越えて約50 m先のグランドに飛ばされた．このような公郷小学校における被害状況から被害スケールは最大でF2に相当すると考えられる．北東の敷地外にある道路標識（被害の東端）が曲がっており，これをもとに局所的な風速の推定を行った（6章）．

妙真寺は平地の北側に突き出した小山の東南側の中腹に本堂があり，本堂からさらに10 mほど高い尾根の位置に墓地がある．墓地の数か所で墓石の転倒が確認されたが，直接風が原因で転倒したのか被散物の衝突によるのか特定できなかった．この寺では4台の防犯ビデオカメラが本堂の中と境内を撮影しており，7日の午前3時50分ごろに突風が本堂内に吹き込んだときの貴重な映像が録画されていた．第9図は本堂内のカメラが記録した映像である．本堂正面のはめ戸が突風で吹き飛ばされ，それが賽銭箱（重量70 kg）に当たって賽銭箱を突き動かした．時間にして1～2秒のできごとであったことがわかる．吹き込んだ風は左右の戸板を吹き飛ばし，左側の戸板は山の上にある墓地で発見された．本堂内正面にある本尊や祭壇を飾る装飾物にいっさい破損がなかったのが不思議なほどである．屋外を撮影したビデオからも突風の継続時間は数秒であったことが確認された．

NII-Electronic Library Service

Meteorological Society of Japan



第8図　森崎から北北東を望んだ被害地域.

6．風速の見積もり

大きな被害があった公郷小学校の敷地の東側に，南北に走っている道路があり，その角にある道路標識が根元で曲がっていた（第10図）．これにもとづいてこの地点に吹いた風の風速の推定を行った．平成14年7月10日に群馬県境町で発生した竜巻で防火水槽標識が折れ曲がっており，建築研究所がそこから局所的な風速の推定を行っており，その手法を参考にした（喜々津ほか，2002）．この道路標識には逆正三角形，円，五角形の3枚の標識板がついており，支柱は外径6 cmで地面から15 cm上方の位置で曲がっていた．変形の方向はほぼ南から北に向かっていた．このとき支柱の降伏曲げモーメント M_Y，全塑性曲げモーメント M_Pはそれぞれ次の値となる．

$$M_Y = 1.42\ \mathrm{kNm}$$
$$M_P = 1.86\ \mathrm{kNm}$$

一方，3枚の標識板の抗力係数は風洞実験で求めた．模型の寸法は原寸の1/4とした．実験の結果得られた抗力係数（逆三角形板＝1.46，円板＝1.32，五角形板＝1.32）から算出される風力が各標識板の図心に作用するとして，支柱が曲がった位置のモーメントと降伏曲げモーメントあるいは全塑性曲げモーメントが等しい，とする関係から，次の風速範囲の風が吹いたことが推定される．

$$U = 33.8 \sim 38.1\ \mathrm{ms^{-1}}$$

すなわち，最も被害の大きかった場所の被害域東端では少なくともF1スケールの風が吹いていたことになる．

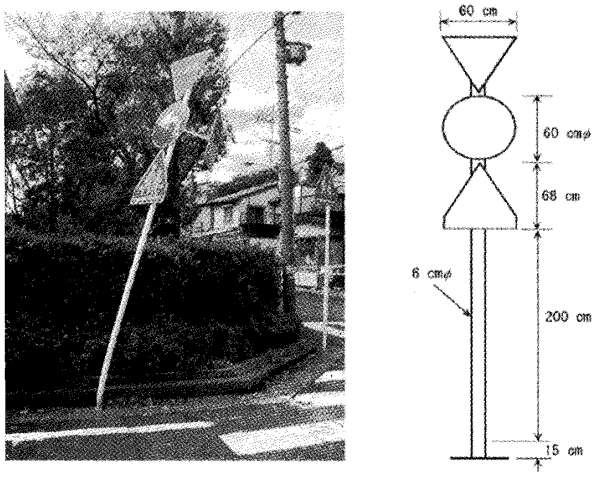
7．地上データ

第11図は被害場所周辺における地上気象観測地点であり，被害域に最も近い南消防署と衣笠行政センターはいずれも直線距離で約800 m離れていた．消防局本局（気圧，気温，風，雨量），防衛大（気圧，気温，湿度，風，日射，雨量）以外の場所は風の観測データのみである．横須賀市消防局では市役所にある本局を含めた5つの観測点のデータを本局で集中管理するシステムを有している．衣笠行政センターは「そらまめ君」の観測点である．地上被害発生場所から約3 km離れた防衛大学校（横須賀市走水）の気圧データ（週巻き自記記録紙）には，メソサイクロンに伴う約1

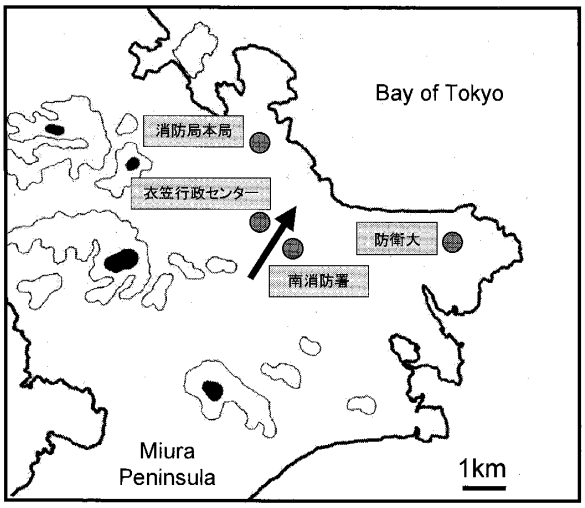
第9図　妙真寺の防犯ビデオで捉えられた突風の瞬間．約1秒間隔の連続画像（a～d）．点線円は吹き飛ばされたはめ戸を示す．

NII-Electronic Library Service

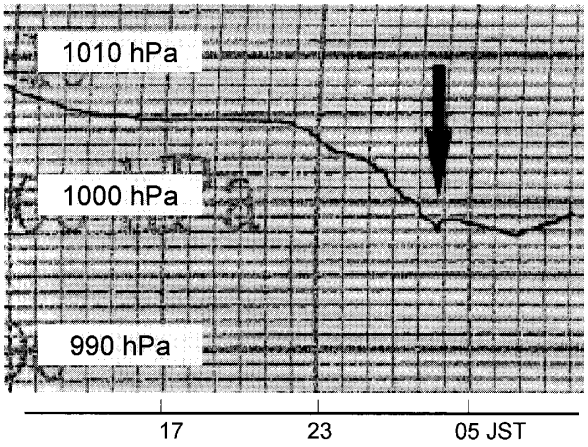
Meteorological Society of Japan



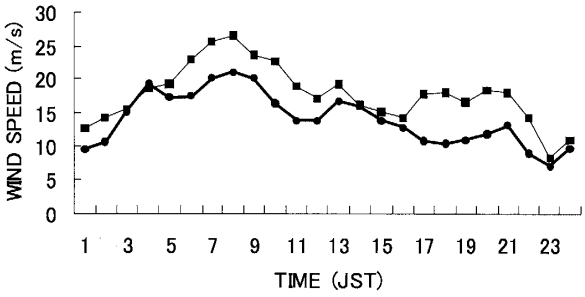
第10図　公郷小学校の被害域東端で確認された被害を受けた道路標識（左）とその模式図（右）.



第11図　突風災害場所（矢印）と周囲の気象観測地点．等高線は100 m と200 m 以上を塗りつぶしで示す.



第12図　防衛大（横須賀市走水）における気圧変化.



第13図　横須賀市消防局本局（■）と南消防署（●）における最大瞬間風速の前1時間値.

hPa の気圧降下が認められた（第12図矢印）．ただし，本局ではメソサイクロン通過に伴う気圧降下はみられなかった．これはサンプリング間隔（1時間）の問題と考えられる.

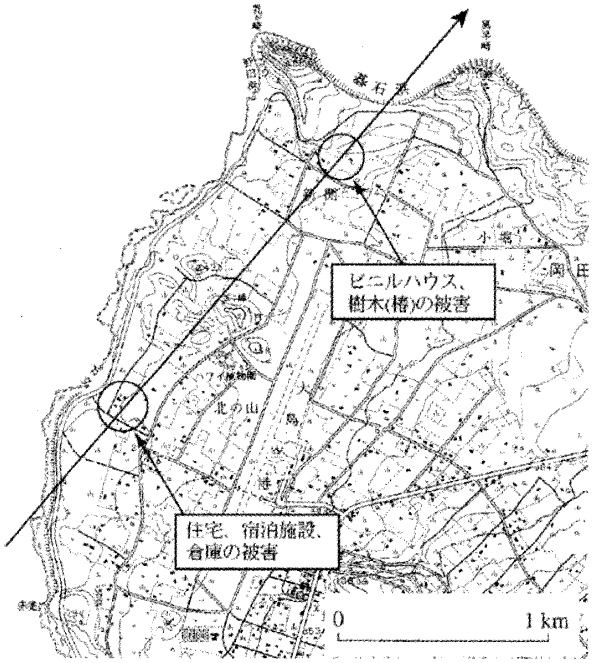
雨量，気圧等の観測データがある消防局本局の記録によれば，10月7日の00 JST より雨が降り始め，突風災害が発生した04 JST ごろにもっとも雨量が多かった．その後，07 JST から08 JST にかけて再び強い雨が降っている．気圧も00 JST 過ぎから降下を始め，06 JST ごろにもっとも低い値を記録した（図略）．風に関しては，南消防署で突風が発生した時間帯の03：51 JST に最大瞬間風速19.4 ms^{-1}を記録した（第13図）．このときの風向は南南西であった．しかしながら，衣笠行政センターの記録（5分間隔）には突風は観測されなかった．また，本局では03：54 JST に18.6 ms^{-1}を記録したが，最大瞬間風速の日最大値は07：49 JST の26.6 ms^{-1}であった．竜巻の進行方向右側（東側）に位置する南消防署の最大瞬間風速値は竜巻周辺の風を記録したと考えられる.

8．近傍における被害

横須賀市の突風被害に前後して，大島町，三浦市，館山市でも地上被害が報告された．大島町では10月7日03 JST 頃島の北西，大島空港の近くで突風被害が発生した．第14図は大島の被害マップであり，万立海岸から碁石浜を結ぶ，元町野地から岡田新開にいたる約2 km の直線上，幅100 m に F1スケールの被害が確認された．特に顕著な被害は（A）万立地区の住宅と（B）新開地区の農業施設である（図中○印）．被害域から約1 km 離れた東京管区気象台大島空港分室

NII-Electronic Library Service

Meteorological Society of Japan



第14図　東京都大島町における被害の概要.

では，03：02 JSTから03：08 JSTの6分間に気圧が約3 hPa降下し，風速はその2分後03：10 JSTに最大瞬間風速21.6 ms^{-1}を記録した．これは，竜巻に伴う親渦（マイソサイクロン）または竜巻低気圧（メソサイクロン）の通過を捉えていたと考えられる（東京管区気象台，2002b；小林ほか，2003）.

三浦市では雷雨通過後にビニールハウス等の被害が確認されたが詳細な発生時刻は不明である．また館山市では04：00 JST頃，数軒の住家の屋根瓦が飛散する被害が報告されている．三浦市，館山市の被害は横須賀市に比べて局所的であり，被害スケールもF0であった.

9．考察

ここでは竜巻の多発性について考察する．今回，発達した低気圧の暖域内で形成されたテーパリングクラウドが10時間以上持続したことが，各地で突風災害が発生した原因といえる．温帯低気圧の一般的構造はよく知られているが，その内部微細構造は複雑で十分に解明されているとはいえない．特に低気圧の暖域内で発生する積乱雲群は，pre-frontal lineとかwarm sector bandと呼ばれ，その形成過程，前線に相対的な位置関係，持続過程等不明な点が残されている．総観スケールの低気圧に伴う竜巻の発生可能性については，ゾンデ観測データを用いたポテンシャルの計算（例えば，鈴木ほか，2005）や衛星画像を用いた解析などから明らかにする必要がある．過去の統計をみると，今回報告のあった鹿児島，愛知，静岡，大島，房総半島は竜巻の多発地帯といえる（Niino *et al.*, 1997）．局地的な地形が竜巻形成にどのように寄与するかも考える必要がある.

また，ひとつの被害域をみても横須賀市のように複数の竜巻の存在や南知多町のように竜巻とダウンバーストの混在を示唆している（東京管区気象台・名古屋地方気象台，2002；小林ほか，2003）．米国では，しばしば広範囲で複数の竜巻が発生し大きな被害をもたらすことが知られている．例えば，Forbes and Wakimoto（1983）が示したようにひとつのスーパーセルからは複数のトルネード，ダウンバーストに内在したマイクロバースト，さらに2次的なトルネード（ガストフロント・トルネード）が形成される．このような，スーパーセル～竜巻低気圧（メソサイクロン）～トルネードにいたるマルチスケール（多重）構造を有している点が特徴である．猛烈なトルネード（F4～F5）は強度の変化と長い移動距離が特徴であり，一方F0～F1スケールの弱いトルネードはセルの移動に沿って何回も発生衰弱を繰り返す．わが国では，複数の竜巻の発生衰弱過程を観測的に捉えた事例は少なく，ドップラーレーダー等を用いた観測事例を増やす必要がある.

10．まとめ

2002年10月7日03：50 JST頃，横須賀市内森崎，公郷町から三春町にかけて雷雨に伴う突風が発生し被害が相次いだ．被害発生直後から3日間にわたる現地調査を行い，住宅密集地における被害特性を把握することができた.

被害の特徴は以下のとおりである．被害は100か所を越える住家で確認され，被害域はほぼ直線的で長さ2.5 km，最大幅は約150 m（平均で30～50 m）であった．被害状況から被害スケールはF1から局所的にF2であったといえる．FPP（フジタ・ピアソン）スケールで言えば，FPP＝F2，P1，P1となる．被害マップをみると被害域は連続しておらず，かつ蛇行していることがわかる．被害域の非連続性は凹凸の多い地形の影響で竜巻がタッチダウンを繰り返した（いわゆる竜巻のジャンプ）結果と推測される．また，蛇行は凹凸のある複雑な地形の低地帯を進行した結果と考えられる．最も被害の大きかった公郷小学校付近で被

NII-Electronic Library Service

Meteorological Society of Japan

害幅が広がっている点は複数の竜巻発生の可能性も考えられ，竜巻の複雑な挙動が示唆された．最大風速に関しては，今回風速見積もりに好都合な構造物がなく詳細な議論はできなかったが，被害が最も甚大であった場所の東端に位置する道路標識から少なくとも風速は34～38 ms^{-1}と見積もられ，被害スケール（F1）を裏付けた．

今回の突風が竜巻であったと推測された理由は次のとおりである．地上被害の特徴から，1）被害域の幅が狭く直線的である．2）回転性（低気圧性）の風による痕跡が確認された（発散性の風は認められなかった）．3）吸い上げ渦とおもわれる痕跡が2か所確認された．4）吸い上げ渦の痕跡近傍では，実際に体育館の屋根や空調室外機が少なくとも高さ10 mは吹き上げられた．親雲の特徴として，5）強エコー域の南西端，相対的な弱エコー域に被害域が対応していた．6）ドップラー速度パターンには直径7 kmの渦が上空に確認された．また，地上気象データから，7）このメソサイクロンの影響をうける地上観測点では，1 hPaの気圧降下が確認された．

横須賀市の竜巻被害は2002年10月6日から7日にかけて，発達した低気圧の北東進に伴い，テーパリングクラウド内で発達した積乱雲に伴う竜巻（あるいはダウンバースト）が広範囲にわたり複数時系列的に発生した中のひとつに位置づけられる．

今回，被害発生直後から3日間にわたる住宅密集地における現地調査を行った結果，詳細な被害マップを作成することができた．この突風は夜間に発生したため，映像や目撃証言がなく竜巻の漏斗雲を特定することはできなかったが，防犯ビデオによる突風映像などの資料を得た．現地調査は突風発生の約3時間後から開始し，雷雨の中での現地調査，渋滞等さまざまな経験をするとともに，改めて初動の重要性を認識した．現地では建築工学，土木工学の専門家とチームを組み調査を行い効率的であった．

謝　辞

現地調査に際し，妙真寺，都市施設公社，公郷小学校，横須賀市消防局，横須賀市環境部，横須賀警察署，独立行政法人港湾空港技術研究所から資料を提供して頂いた．また，被害を受けた住民，関係者の皆様にご協力を頂いた．

本論文作成に際し，高知大学・千葉　修博士，編集委員・川島正行博士および2名の査読者から有益な助言を頂いた．ここに，謝意を表します．

参考文献

Donaldson, R. J., Jr., 1970：Vortex signature recognition by a Doppler radar, J. Appl. Meteor., **9**, 661-670.

Forbes, G. S. and R. M. Wakimoto, 1983：Concentrated Outbreak of Tornadoes, Downbursts and Microbursts, and Implications Regarding Vortex Classification, Mon. Wea. Rev., **111**, 220-235.

福島秀明，2002：2001年6月29日北海道北竜町で発生した竜巻，気象庁研究時報，**54**，41-54.

猪川元興，加藤一靖，中島　忍，1980：1978年4月6日，「ひまわり」の画像にみられた「にんじん」状雲パターン，天気，**27**，219-224.

石塚昌範，児玉安正，2001：TRMMの多重センサー観測データによる九州南方海上に発現したにんじん状雲の解析，天気，**48**，673-687.

加治屋秋実，2004：2000年12月25日伊豆大島竜巻の親雲の構造―ミニスーパーセルのメソサイクロンから離れた位置に観測された時計回転の竜巻―，気象庁研究時報，**56**，1-16.

加治屋秋実，廣畑雅哉，2003：2000年12月25日伊豆大島に上陸した多重渦竜巻のビデオ画像による解析，気象庁研究時報，**55**，161-186.

喜々津仁密，奥田泰雄，伊藤　弘，鈴木　修，2002：平成14年7月10日群馬県境町で発生した竜巻被害，日本風工学会誌，**93**，35-40.

Kobayashi, F., K. Kikuchi and H. Uyeda, 1996：Life cycle of the Chitose tornado of September 22, 1988, J. Meteor. Soc. Japan, **74**, 125-140.

小林文明，千葉　修，松村　哲，1997：1994年10月4日土佐湾上で発生した竜巻群の形態と構造，天気，**44**，19-34.

小林文明，鈴木菊男，菅原広史，前田直樹，中藤誠二，2007：ガストフロントの突風構造，日本風工学会論文集，**32**，21-28.

小林文明，友清衣利子，前田潤滋，石田伸幸，河井宏充，八木知己，松井正宏，田村幸雄，小原久典，藤田博之，野村卓史，2003：2002年10月6日から7日にかけて日本各地で発生した突風災害，日本風工学会誌，**94**，51-56.

光田寧編，1983：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，No. A-58-3.

森真理子，高谷美正，2004：関東地方で発生した降ひょう・ダウンバーストを伴ったスーパーセルの事例解析，天気，**51**，567-581.

日本風工学会風災害研究会，2003：平成14年10月6日から7日に発生した広域突風災害に関する調査報告書，56pp.

NII-Electronic Library Service

Meteorological Society of Japan

Niino, H., T. Fujitani and N. Watanabe, 1997：A Statistical Study of Tornadoes and Waterspouts in Japan from 1961 to 1993, J. Climate, **10**, 1730-1752.

Niino, H., O. Suzuki, H. Nirasawa, T. Fujitani, H. Ohno, I. Takayabu, N. Kinoshita and Y. Ogura, 1993：Tornadoes in Chiba Prefecture on 11 December 1990, Mon. Wea. Rev., **121**, 3001-3018.

大久保篤，柴田のり子，川上正志，小泉友延，本田耕平，2003：ドップラーレーダーがとらえたメソ低気圧の盛衰と竜巻発生の関係—2002年7月10日に群馬・埼玉県境付近で発生した竜巻—，気象庁研究時報，**55**，153-160.

大久保篤，柴田のり子，根口光太郎，辻本嘉大，橘田重延，大石喜仁，武井康郎，水野康隆，宮原寿夫，仲居史志，2004：2003年10月13日に千葉県，茨城県で発生したダウンバーストについて，天気，**51**，363-369.

Saito, A., 1992：Mesoscale analysis of Typhoon-associated tornado outbreaks in Kyushu Island on 13 October 1980, J. Meteor. Soc. Japan, **70**, 43-55.

柴田のり子，2006：台風に伴うスーパーセル竜巻の予測可能性について—2001年8月22日埼玉県羽生市で発生した竜巻の発生環境と親雲の特徴から，天気，**53**，197-205.

鈴木和史，金田昌樹，田畑　明，2005：突風をもたらした低気圧の特徴と突風発生予兆の把握について，気象庁研究時報，**57**，63-80.

Suzuki, O., H. Niino, H. Ohno and H. Nirasawa, 2000：Tornado producing mini supercells associated with Typhoon 9019, Mon. Wea. Rev., **128**, 1868-1882.

東京管区気象台，2002a：平成14年10月7日に神奈川県横須賀市で発生した突風による風害について，現地災害調査速報，http://www.tokyo-jma.go.jp/sub_index/bosai/disaster/siryou/20021007y.pdf（2006年11月1日現在）.

東京管区気象台，2002b：平成14年10月7日に東京都大島町で発生した突風による風害について，現地災害調査速報，http://www.tokyo-jma.go.jp/sub_index/bosai/disaster/siryou/20021007o.pdf（2006年11月1日現在）.

東京管区気象台，名古屋地方気象台，2002：平成14年10月6日に愛知県知多郡南知多町で発生した突風による風害について，現地災害調査速報，http://www.tokyo-jma.go.jp/sub_index/bosai/disaster/siryou/20021006.pdf（2006年11月1日現在）.

坪木和久，耿　驃，武田喬男，2000：台風9918号外縁部で発生した1999年9月24日の東海地方の竜巻とメソサイクロン，天気，**47**，777-783.

Tornado Disaster in Yokosuka on October 7, 2002 —Strong Wind Disasters from October 6 through 7, 2002—

Fumiaki KOBAYASHI*1, Hiroyuki FUJITA*1, Takashi NOMURA*2, Yukio TAMURA*3, Masahiro MATSUI*3, Tadashi YAMADA*4 and Shuichi TSUCHIYA*4

*1 *Department of Geoscience, National Defense Academy.*
*2 *Department of Civil Engineering, Nihon University.*
*3 *Wind Engineering Research Center, Tokyo Polytechnic University.*
*4 *Department of Civil Engineering, Chuo University.*

(Received 15 March 2006；Accepted 20 November 2006)

Abstract

As an extratropical cyclone developed on October 6, 2002 and moved east, extensive wind disasters occurred in various places in Japan. Areas presently known to be damaged areas are Kaseda-city in Kagoshima, Kagoshima-city, Minamichita-cho in Aichi, Hamamatsu-city in Shizuoka, Ohshima-cho in Tokyo, Miura-city and Yokosuka-city in Kanagawa, Tateyama-city in Chiba. In Yokosuka-

NII-Electronic Library Service

Meteorological Society of Japan

city at approximately 03：50 JST on October 7, 2002 a gust with thunderstorm occurred and caused damage in Morisaki, Kugo-cho and Miharu-cho. We were able to assess the features of damage in a densely built-up area where ground level can vary by 20-30 m. The maximum wind speed cannot be fully determined because of the lack of structures appropriate for speed estimation. However, judging by the damage of the traffic sign, we can deduce that the damage scale of the tornado was F1 and locally F2. The tornado was rated F2-P1-P1 on the Fujita-Pearson scale.

There are three reasons why the gust in the area was a tornado as follows.

1) The damaged area lies in a narrow line.

2) Indication of rotatory (cyclonic) wind was observed.

3) Two signs of suction vortices were found.

Damage to over 100 residential buildings was observed and the damage area extends over a line of about 2.5 km by 150 m. Looking in detail at the damage map, we can see that the damaged area is discontinuous and meandering. The discontinuity is probably due to the repetitive touchdown (the so-called 'tornado jump') affected by the rugged landscape. The damaged area, which extends mostly near Kugo elementary school, indicates the complicated tornado's path in the mature stage. The features of the parent cloud were as follows：

4) The damage area was located at southwestern edge of the strong echo.

5) The vortex with 7 km in diameter (mesocyclone) was observed by a Doppler radar.

6) Pressure drop of 1 hPa was recorded below the mesocyclone.

The wind disaster in Yokosuka was caused by one of the tornadoes, which formed in the tapering cloud developed in the warm sector of a synoptic low.

日本気象学会および関連学会行事予定

行事名	開催年月日	主催団体等	場所	備考
第11回「震災対策／自然災害対策技術展」横浜	2007年2月1日	同展横浜会場実行委員会（後援）日本気象学会	横浜国際平和会議場（パシフィコ横浜）（横浜市西区みなとみらい1-1-1）	
第1回航空気象研究会	2007年2月2日	航空気象研究連絡会	気象庁大会議室（東京都千代田区大手町1-3-4）	「天気」53巻第12号
第4回天気予報研究会「地形の影響と天気予報」	2007年2月16日	天気予報研究連絡会	気象庁大会議室（東京都千代田区大手町1-3-4）	「天気」53巻第12号
第22回北方圏国際シンポジウム	2007年2月18～23日	紋別市，オホーツク海・氷海研究グループ，北海道大学（後援）日本気象学会	紋別市民会館（北海道紋別市潮見町1-4-3）	
様々な社会経済分野における気候情報の利用に関するセミナー	2007年2月20日	気象庁	気象庁講堂（東京都千代田区大手町1-3-4）	「天気」53巻第12号

NII-Electronic Library Service