研究報告

2007年8月29日に徳島市国府町で起こった竜巻災害について

Tornado disaster at Kokufu Town of Tokushima City on August 29, 2007

野田 稔*¹ 長尾文明*²

Minoru NODA, Fumiaki NAGAO

SUMMARY

A F1 class tornado occurred Kokufu Town of Tokushima City on August 29, 2007. This tornado gave many damages to buildings and plants in the area whose dimension was about 4km long and about 100m wide. The field investigation was carried out 2 hours later from this incident, and the tornado path on the ground surface was estimated by its results. The motion and the scale of the funnel cloud and the wind speed near the center of this tornado were estimated by some photos and some video movies.

key word: tornado, wind disaster, funnel cloud, wind speed near the center of tornado

1. はじめに

2007年8月29日午後1時15分頃、徳島県徳島市国府町においてF1クラスの竜巻¹⁾が発生し、ユニットハウスの事務所が吹き飛ばされて倒壊したほか、およそ4kmの長さにおよび屋根瓦の飛散、農業ハウスの倒壊などの被害が出た。この竜巻では幸いにも人的被害は発生せず、甚大な被害には至らなかった。しかし、過去の発生記録²⁾と照らし合わせても、これまでに観測事例がほとんどなかった徳島地区で発生したものであり、時間情報の正確な写真やビデオ映像が多数残されている点、残された映像記録から時計回りの回転であった点など、竜巻の事例としては大変貴重なものと言える。

著者らは、発生からおおよそ2時間後に被災地域へ調

査に入り、建物などの被害状況や農作物に残された痕跡を調べるとともに、周辺で撮影された写真やビデオ映像を入手し、竜巻が進行する様子や漏斗状雲の動きや漏斗状雲の規模、地表面における竜巻の中心付近の風速などを検討する機会を得た。ここでは、その結果について報告する。

2. 被災地の概要

竜巻が発生した徳島市国府町は、徳島市の西端に位置しており、東西方向に広がる吉野川のデルタ地帯のうち、吉野川と鮎喰川に挟まれた一帯である(図1参照)。紀伊水道の海岸までは東におおよそ9kmの位置であり、南東方向におおよそ3km離れた位置には眉山(標高290m)が存在する。

竜巻が発生した付近の様子を写真1に示す。この写

*1 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部 准教授
Associate Professor, Institute of Technology and Science, The University of Tokushima

*2 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部 教授
Professor, Institute of Technology and Science, The University of Tokushima
(原稿受理年月日: 2007年10月5日, 採用決定: 2008年2月21日)

真は、被災地帯の東側に位置する鉄塔から被災地帯全域を撮影したものである。主な被災場所は写真中央に写っている橋よりも向こう側のおよそ 3km の範囲である。写真からも分かるように、起伏はほとんど存在しない平地であり、まばらに 1～2 階建ての住宅・倉庫や農業用ハウスが点在する田園地帯である。

図 1 被災場所³⁾ (Location of damaged area)

写真 1 被災地帯 (東側から撮影)
(General view around damaged area)

3. 気象概況

図 2 に 2007 年 8 月 29 日 12 時の天気図および衛星画像を示す。この日は中国地方上空で前線が停滞しており、四国北部付近は大気的不安定な状態となり強いエコーを伴った積乱雲が発達する状況にあった。

図 3 に当日 13 時 00 分から 13 時 50 分までのレーダー画像を示すが、13 時 10 分から 13 時 40 分にかけて竜巻が発生した国府町付近上空を降水強度 80mm/hr 以上に発達したレーダーエコーが西から東に向かって通過していたことが分かる。ここで、降水強度 80mm/hr 以上の強エコー域の移動量から上空における雲の移動速度を概算すると東方向へおよそ 30km/hr である。

図 4 に徳島地方気象台で観測された風向、風速の時系列変化を示す。ここで風向の Max と示した印は最大瞬間風速の発現風向を表している。この図からわかるように、12 時 40 分から 12 時 50 分にかけて風向が北から東へと急変している。同時刻前後に著者は徳島市南常三島町において上空の雲が東に移動すると同時に 5km ほど南の上空の雲が西に流れている状況を目撃しており、徳島市付近に時計回りの回転を含む水平シア

ーを持った流れ場が存在していた。徳島地方気象台で観測されたこの時刻付近の風向の急変は、徳島市付近に存在した時計回りの回転を含む流れ場の存在を反映したものであると考えられる。

また、竜巻が発生した 13 時 30 分頃には、徳島地方気象台で 28mm/hr の時間降雨量が観測されており、激しい雷雨が発生していた。

図 2 竜巻発生時刻付近の気圧配置と衛星画像
(Weather chart and Satellite image)

図 3 竜巻発生時刻前後のレーダー画像 (Radar chart)

図 4 竜巻発生前後に徳島地方気象台で観測された風速記録
(Records of wind direction and wind speed observed at Tokushima Local Meteorological Observatory)

4. 被災の詳細

表1に徳島県がまとめた本竜巻における被害の概要を示す。本竜巻における被害は、民家7棟を含む倉庫やカーポートなどの建物被害18ヶ所とガーベラの被害500万円、農業ハウス被災による200万円が報告されており、幸い人的被害は発生しなかった。

図5に著者らが実施した現地調査の結果、本竜巻によって被災した地物の分布および風によって倒された農作物の状況から推定される竜巻の影響範囲を示す。ここで、岩延地区付近で南側に延びている部分が存在するが、これは現地調査において稲の倒れた箇所がこの付近まで存在していたことを反映した結果である。調査ではおよそ40箇所まで被災地物を確認したが、被災したことを申請されていないものも多かった。この結果から分かるように、被災範囲はほぼ東西方向に直線的に広がっており、その範囲はおよそ幅100m、長さ4kmに及んでいる。以下に、いくつかの地区に分けて被災状況の詳細について述べる。

表1 被害の概要(徳島県まとめ)(Summary of damages)

項目	内訳
人的被害	なし
建物損壊	18ヶ所(民家7棟、倉庫・カーポートなど)
農業被害	700万円(ガーベラ500万円、ビニルハウス被害200万円)

図5 被災地物の分布と農作物の状況から推測される影響範囲

(Distribution of damaged objects and Effected Area estimated by Agricultural plants)

(1) 日開地区

図6に竜巻がタッチダウンしたと推測される地点から東におよそ1kmまでの日開地区における被災地物の分布状況と風で倒れた墓石や飛散物、農作物の倒された状況から推定される風向を示す。図中の黒丸は強風により破損した家屋などの位置を示しており、白丸は強風により倒壊した墓石や飛散したカーポートの位置を示している。

周辺で栽培されていた稲の倒された状況から、竜巻は南北に通っている県道から西におよそ400m付近の場所でタッチダウンし、東進したと推測される。また、図中aの地点では、建築会社が現場事務所として設置していた幅1.8m×長さ3.6mほどのユニットハウスが強風によって20mほど飛ばされ、周辺のブロック塀や自動車に衝突し、ユニットハウスそのものも破壊された。写真2にユニットハウスの被災現場を示すが、当初写真手前にコンクリートブロックの基礎上に設置されていたユニットハウスが強風によって西向きに飛ばされて写真3に示すブロック塀および自動車に衝突し、さらに東向きに飛ばされて全壊した。このユニットハウスの動きは、竜巻の接近とともに竜巻中心に向かう収束性の風で西側に飛ばされ、竜巻によって巻き上げられた後、竜巻中心に向かう収束性の風によって東側に飛ばされたと考えれば説明がつく。ブロック基礎に載せただけの仮設構造物は強風時に飛ばされる可能性が高く周辺への被害を拡大させることがわかる。

この地点から東側には、写真4に示すような屋根瓦の飛散や写真5、写真6に示すようなカーポート屋根の破損や軒下部分の変形(正圧による陥没)、重量物の転倒(写真7)などが起こった地物が点在していた。また、写真8に示すように神社の境内に植えられている樹木の枝が根元から折れていることも確認できた。

周辺の田畑を調査したところ、南北に300mほどの範囲で稲が集中的に倒れており(写真9)、それより離れた範囲では倒れた稲はほとんど認められなかったことから、田畑に倒れた稲も竜巻の痕跡と考えることができる。倒れた向きについては、被害の集中している線上に近いところでは東西方向に倒れていることが多く、被災地区から北側では南向きに、被災地区から南側では北向きに倒れていることが多く、流れの場が収束性を持っていると考えられる。

図6 日開地区における被災地物の分布および農作物の状況から推定される風向

(Distribution of damaged objects and Wind direction estimated by Agricultural plants in Higai area)

写真2 強風によって飛散、破壊された現場事務所とその移動状況 (Destroyed unit house and its flying course)

写真7 強風で転倒したエアコンの室外機
(An outdoor unit of air conditioner moved by wind)

写真3 飛散した現場事務所の衝突により破損したブロック塀と自動車
(Concrete block fence and car damaged by unit house)

写真8 折れた枝 (Broken branches)

写真4 屋根瓦の一部が飛散した家屋
(A house with a damaged roof)

写真9 風で倒された稲 (Damaged plants)

写真5 飛散したカーポートの屋根と変形した軒下
(Damaged car port and depressed ceiling of entrance)

写真6 破壊されたカーポート (A destroyed car port)

(2) 井戸地区

図7に竜巻がタッチダウンしたと推測される地点からおおよそ1km～2km離れた井戸地区における被災地物の分布と農作物の倒れた状況から推定される風向を示す。この地区では、写真10に示すように農業ハウスが損壊する被害が出た。また、出荷直前の花が栽培棚から転落し被害が大きくなった。この農業ハウスは直径10cm、長さ50cmほどのコンクリート基礎を埋め込むことで支持されていたが、コンクリート基礎が引き抜かれており、竜巻のような大きな浮揚力が作用すると容易に引き抜かれてしまうことが分かる。

写真11は、向きが大きく変わったカーブミラーとその支柱に引っかかったまま残されたトタンの飛散物を示している。この飛来物は西から東に向かってこの支柱にぶつかっていた。また、トタン葺の家屋で写真12のようにトタン屋根が大きく飛散している箇所も認められた。さらに瓦葺の屋根においても写真13に示すように屋根瓦が飛散した家屋が存在する。

写真14には、半円状のトタン屋根の農業倉庫が外

部の負圧によって破裂したように破壊された様子を
示す。このような仮設に近い倉庫は圧力差に弱く強風時
には破損しやすいといえる。この農業倉庫のすぐ南側
においても納屋の側壁が同様に破裂するように損壊し
ていた。また、写真 15 に、市販の物置が転倒損壊した
様子を示すが、内部には大量の物品が入っていたにも
拘らず容易に転倒することが分かり、杭基礎に結合す
るなど適切な設置が必要であるといえる。

図 7 井戸地区における被災地物の分布および農作物の
状況から推定される風向

(Distribution of damaged objects and Wind direction
estimated by plants in Ido area)

写真 10 破壊された農業ハウス
(Destroyed plant house)

写真 11 向きが変わったカーブミラーと飛散物
(Corner mirror whose direction was changed and a debris)

写真 12 損壊したトタン葺屋根 (Damaged roof)

写真 13 破損した瓦葺屋根 (Damaged roof)

写真 14 破裂するように壊れた農業倉庫
(Agricultural warehouse destroyed by suction pressure)

写真 15 転倒、破損した倉庫 (Damaged warehouse)

(3) 岩延地区

図 8 に竜巻がタッチダウンしたと推測される地点から東に 2km～3km 離れた岩延地区における被災地物の分布と農作物の状況から推測される風向を示す。この一帯では建物および農業ハウスの損壊が認められた。写真 16 には、強風で大破したユニットハウスを示す。この中には縦置き型のピアノが設置されていたが、破壊時の衝撃で外に投げ出されており作用した力の強さが想像される。また、写真 17 には被災したスレート葺の屋根と農業ハウスの様子を示すが、ビデオ映像などからこれらの構造物は竜巻の直撃を受け、一瞬にして破壊されたものである。

図 8 岩延地区における被災地物の分布および農作物の状況から推定される風向

(Distribution of damaged objects and Wind direction estimated by plants in Iwanobe area)

写真 16 損壊したユニットハウス
(Destroyed unit house)

写真 17 破損したスレート屋根と農業ハウス
(Damaged roof and plant house)

5. 地上における竜巻の経路

今回の竜巻被害ではデジタルカメラによって撮影された画像やビデオ映像がいくつか残されており、時間の経過とともに竜巻が進行する様子が詳細に検討できた。写真 18 に残された画像の一例を示す。なお、時間情報については、撮影者のデジタルカメラおよびビデオカメラの時間情報を直接確認することで時刻のズレを補正し、正確な時刻暦情報を求めた。

図 9 は、そのようにして得られた正確な時間情報と映像に残された土煙や家屋の被災する様子から読み取った竜巻の地表面における進行状況を示している。この情報から求めた各点間の移動時間、移動距離、移動

速度を表 2 に示す。ここで点 F から点 G の間では速度が示されていないが、これは竜巻が点 F で一度地表面から消失し、点 G から改めて竜巻がタッチダウンした事実（竜巻のジャンプ）が連続して撮影されたビデオ映像から確認できたためである。また、点 D から F への移動速度が極端に高まっているが、このとき竜巻の進路が変化することではなく、この加速が竜巻のジャンプの前兆として起こったのか、あるいは加速したことによって竜巻のジャンプが引き起こされたのか、竜巻のジャンプと直前の竜巻の加速との因果関係は不明である。この結果より、竜巻は平均して 22km/hr 程度で進行しており、場所の読み取り誤差が含まれることは否めないものの速い時には 40km/hr 以上で進行していたことが分かる。

図 10 にこれらの進路および地上の被害状況から推定される地上における竜巻の経路を示す。ここで経路を示す矢印が途中で分断しているが、これは前述の地表面における竜巻の消失と異なる場所でのタッチダウンを反映したものである。この結果より、今回発生した竜巻は、東西におよそ 4km の距離を移動したものと推定される。

写真 18 記録された竜巻の画像例 (榎本悟氏撮影)
(An example of photos of the tornado)

図 9 ビデオ映像から得られた地上における竜巻の進行状況 (Tornado path estimated by movies)

表2 地上における竜巻の移動距離と移動時間

(Tornado speed on grand surface)

地点	時刻	移動距離 (m)	移動時間 (秒)	移動速度 (km/hr)
A	13:17:17			
B	13:18:27	316	70	16.2
C	13:20:42	847	135	22.6
D	13:21:08	185	26	25.5
E	13:21:13	92	5	66.1
F	13:21:23	128	10	45.9
G	13:21:31			
H	13:21:42	81	11	26.6
I	13:22:26	287	44	23.5
J	13:22:51	125	25	18.0
K	13:23:07	91	16	20.4
L	13:23:23	138	16	31.1
M	13:23:52	112	29	13.9
N	13:24:22	209	30	25.1
合計		2609	417	22.5

図10 映像記録および被災状況から推定された地上における竜巻の経路 (Estimated tornado path)

6. 竜巻の経路近くの風況

図10で示した竜巻の推定経路から北へおよそ500m離れた地点に、国府町ケーブルテレビが農業気象情報サービスのために設置している気象観測点（不動農業気象観測点）が存在する。公式な気象記録としては使用できないが、参考値としてこの地点で観測された風向、風速、気温、湿度を図11に示す。ここで、風向のMaxで示された印は最大瞬間風向を表している。この記録から、12時30分から12時40分にかけて風向が北から東南東に変わって、同時に風速が低下している。この変化は前述の時計回りの回転を伴った流れ場の影響によるものと考えられ、また12時から12時30分に認められる風速の増加、気温の低下、湿度の上昇も併せるとこの時間帯に寒気が流入したと推測される。竜巻が近くを通過した13時10分から13時30分の間に風向が東南東から北西、西南西へと変化している。これは竜巻に向かう収束性の風によるものと考えられる。

図11 竜巻の経路近くの農業気象観測点で計測された風向、風速、気温、湿度

(Wind direction, wind speed, temperature and humidity observed at a weather station near the tornado course)

最も竜巻が接近したと考えられる13時25分には最大瞬間風速12.1m/sが記録されていた。

7. 上空の漏斗状雲に関する検討

今回の竜巻については様々な角度から画像が記録されていたため、同時に記録された画像から三角測量の要領で漏斗状雲の先端位置を推定することができた。

図12は同時に撮影された4組の画像から撮影時刻における漏斗状雲の先端の位置および同時刻における地上での竜巻の位置を示したものである。ただし、13時16分16秒の位置については、今回入手できた写真の中で最も早い時刻に撮影された写真から読み取った方向と、目撃証言から推定したものであり、東西方向の位置については確定的でないことを予め断っておく。この結果から、漏斗状雲の移動速度はおよそ24km/hrと推定され、地上における竜巻の進行速度とほぼ同じであり、漏斗状雲の位置に対して、地上における竜巻はおよそ500m西側を上空の親雲の移動に引きずられるように進行したものと考えられる。

その中の一枚で、東進する竜巻から東へ1200mほど離れた地点で撮影された写真（写真19）から、高さが既知の鉄塔（高さ110m）と比較することで、図13に示すように漏斗状雲の先端の高さおよび雲底までの高さを概算した。その結果、今回発生した竜巻の親雲の雲底は、およそ1000mの高さに位置し、漏斗状雲は320m程度までは降りてきていたと推定される。ただし、この計算は漏斗状雲が鉛直であることが前提であ

り、実際には漏斗状雲が地上から見て東に傾いていたことを考えると親雲の雲底はもう少し低かった可能性がある。しかし、進行方向に対して直交方向から撮影された画像が残っておらず、漏斗状雲の傾きの程度は評価できなかった。

図 12 映像記録から読み取った漏斗雲先端と同時刻における地上での竜巻との位置関係
(Location relation between the tip of the funnel cloud and the tornado on the grand surface)

写真 19 漏斗状雲の規模の推定に用いた写真（志満康代氏撮影）
(A photo of the funnel cloud for the estimation of the scale of the funnel cloud)

図 13 写真 19 から推定される漏斗状雲の規模
(Scale of the funnel cloud estimated from a photo)

8. 飛散物の映像による風速の推定

残されている映像の中には、飛散物の運動が確認できるものも含まれていた。そこで、付近に長さの基準とできる地物が存在し、かつ明瞭に飛散物の運動が確認できるものについて移動速度を求め、竜巻渦内の風速を推定することを試みた。奥行方向の運動は読み取ることができないため、ここで求められる速度は幾分過小評価となる可能性がある。

図 14 にその一例を示す。この図では、送電線の鉄塔の基礎部分（長さ 22.1m）が明瞭に写っており、距離の基準とすることができる。図中の番号は、記録レートが毎秒29.9フレームの動画中におけるフレーム番号である。この図では、ある飛散物が13フレーム(0.448秒)の間に水平方向におよそ 14.8m 移動したことを示しており、その速度は 32.9m/s となる。

同様にしてその他のいくつかの映像、飛散物について求めた竜巻渦内の飛散物の移動速度を表 3 に示す。検討に用いた映像は、地上における竜巻が、タッチダウン位置から東におよそ 2.5km 付近を進行していたときのものである。この結果より、タッチダウンしてから 2.5km ほど進行した時点での竜巻渦内の風速は、少なくとも 30m/s に達していたものと推測される。ケース C については、写真 17 に示したスレート屋根が被災した映像を元に求めたものである。竜巻によるものか建物の存在によるものかは不明だが、この記録では飛散物が鉛直方向にも大きく移動しており、鉛直方向速度は約 16m/s だった。

なお、映像より運動を確認できた飛散物は、実際には竜巻の中心から少し離れたところを飛行していることを考慮すると、土煙で隠れ確認できない範囲ではさらに高い風速であったものと推測される。

9. まとめ

2007 年 8 月 29 日に徳島市市府町で発生した竜巻について、地物の被災状況を現地調査し、竜巻の進路を特定するとともに、周辺で撮影されたいくつかの写真や映像を元に、竜巻の運動、漏斗状雲の動きや規模、竜巻中心付近の風速を推定した。

その結果、この竜巻による影響範囲は、およそ幅 100m、長さ 4km にわたり、漏斗状雲は地上まで達していなかったもののほぼ継続的に地上で竜巻が進行したことが明らかとなった。また、地上における竜巻は時計回りに回転しており、親雲の移動に引きずられるようにして移動していることも明らかとなった。映像

から竜巻渦内の風速は 30m/s に達していたものと推定されるが、土煙に隠れて飛散物が判別できない範囲ではより高い風速に達していた可能性が高い。被害状況から、今回発生した竜巻は Fujita-Pearson スケールにして(1, 1, 1)クラスのものであったと考えられるが、推定された風速もこの F スケールに対応したものとなっている。

本報告をまとめるにあたり、徳島地方気象台、徳島県、徳島市、徳島市消防局、国府町ケーブルテレビ、宝光寺住職の榎本悟氏、志満康代氏、渡辺利次氏、NTT 西日本の柳沢安夫氏から、今回の竜巻に関する資料提供や調査に対するご助力をいただいた。ここに記し、感謝の意を表す。

図 14 飛散物の映像による風速の推定

(Estimation of wind speed by the motion of debris)

表 3 残された映像記録中の飛散物の運動から推定される竜巻中心近くの飛散物の移動速度

(Speed of debris near the center of the tornado estimated by movies)

ケース (運動成分)	移動距離 (m)	移動時間 (s)	平均速度 (m/s)
A-1(水平)	21.1	0.828	25.5
A-2(水平)	37.1	1.276	29.0
A-3(水平)	14.8	0.448	32.9
A-4(水平)	6.9	0.276	25.0
B-1(水平)	28.4	1.172	24.3
B-2(水平)	17.0	0.758	22.4
C-1(水平)	20.9	0.931	22.4
C-1(鉛直)	15.9	0.931	17.1
C-1(合成)			28.2
C-2(水平)	18.4	0.931	19.7
C-2(鉛直)	8.3	0.931	8.9
C-2(合成)			21.7

参考文献

- 1) 徳島地方気象台：「平成 19 年 8 月 29 日に発生した突風について－徳島県（徳島市）現地調査報告書」，http://www.osaka-jma.go.jp/tokushima/disaster_report/tatumaki_report.pdf, 2007 年 8 月 31 日.
- 2) 徳島県：徳島県自然災害史, 1997 年 9 月.
- 3) 国土地理院：50 万分 1 地方図.