

## 北側の日本瓦屋根に被害が集中した竜巻の事例解析

岩崎 博之\*・小林 和名\*\*・勅使川原 茜\*\*\*

### 1. はじめに

2001年8月22日9時10分頃から9時30分頃にかけて、群馬県大泉町から太田市の範囲に「強風」による被害が起きた。東京管区气象台(2001)は、竜巻の可能性を指摘しているが、慎重を期して竜巻による被害であるとは断定しなかった。著者らによる現地調査から渦の痕跡は確認できなかったが、複数の証言と状況証拠から、竜巻による被害と判断した。この論文の目的は、被害をもたらした竜巻の特徴、及び、日本瓦(椽瓦)の屋根に見られた特徴的な被害の状況を記述し、その原因を考察することである。

### 2. 竜巻発生時の総観場とレーダーエコーの特徴

この竜巻は台風を中心から北東方向に200 km離れた地点で発生している。台風やハリケーンに伴う竜巻は、それらの北東象限で発生する傾向があり(例えば、小元, 1983; McCaul, 1991)、今回の事例は、それらの統計と矛盾しない。

10分毎の高度2 kmの簡易CAPPIである気象庁東京レーダーデータによると、竜巻が発生した地点は、台風の北東側にある南北に伸びたレインバンドの西端に位置していた。

これまでにレーダーデータの解析が行われた多くの竜巻では、竜巻の近傍に16 mm/h以上のレーダーエコーが観測されている(例えば、Kobayashi *et al.*, 1996; 小林ほか, 1997; 鈴木, 1999; 坪木ほか, 2000)。しかし、今回の事例では、竜巻の被害が報告された時

間を含む9時00分から9時30分に、被害領域を中心に半径15 kmの範囲で観測された最も強いエコー強度は4~8 mm/hと弱かった。

### 3. 結果

#### 3.1 被害地点の分布

第1図は、太田市役所、大泉町役場とスバル物流(株)から提供された被害報告と現地調査で得られた被害地点の分布である。全長4.6 kmの線状の被害域が認められ、東京管区气象台(2001)の調査結果と矛盾しない。そして、この線状の被害域は竜巻に特有なものである。

9時15分頃にA地区で竜巻による被害が発生した。被害域は北北西に移動し、9時20分にC地区で被害が起きている。3.3 km離れたA地区とC地区の各1地点で、強風や轟音の直後に時計を確認したという比較的信頼できる証言が得られ、それぞれの竜巻の通過時刻(9時14.5分と9時20.0分)を基に移動速度は約10 m/sと推定された。

なお、8月26日の調査日に、それらの時計が正確であったことを確認した。

#### 3.2 現地調査の結果

竜巻の発生地点に近いA地区と被害が大きかったC地区を集中的に調査した。しかし、C地区では住宅が少なく、風向に関する十分な証言が得られなかったため、風向の記述はA地区についてのみ行う。

##### a) 竜巻の証拠

東京管区气象台の調査と同様に、現地調査からは竜巻の回転が明示される痕跡は見い出せなかったが、竜巻と判断するに十分な次の証言と痕跡を得た。

証言1: A地区とC地区で、「ゴー」と言う轟音を聞いたという証言が多く得られた。

証言2: A地区とC地区で、巻き上げられたトタン等が、地上から見て、時計回りに回転していた。

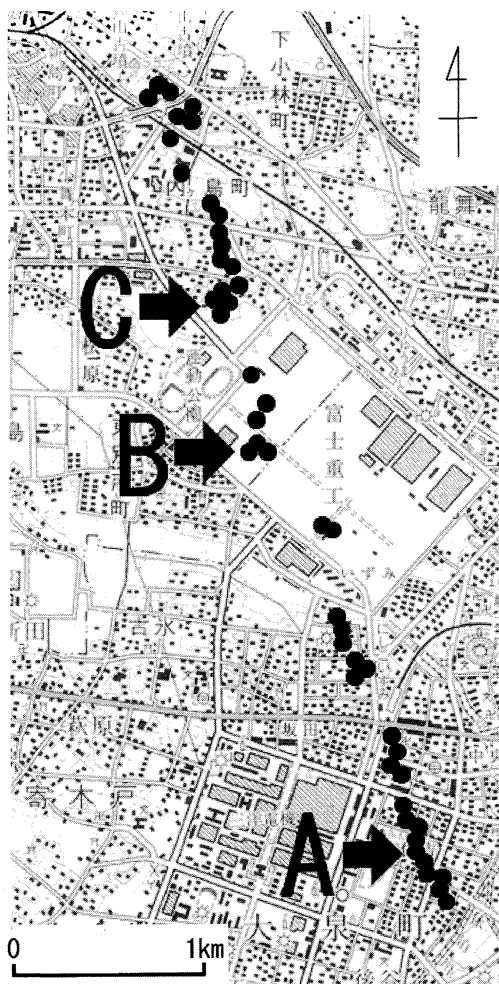
\* 群馬大学教育学部。

\*\* 群馬大学教育学部 現在の所属(株)ネオシステム。

\*\*\* 群馬大学教育学部 現在の所属 筑波大学大学院環境科学研究科。

—2002年4月2日受領—

—2003年10月20日受理—

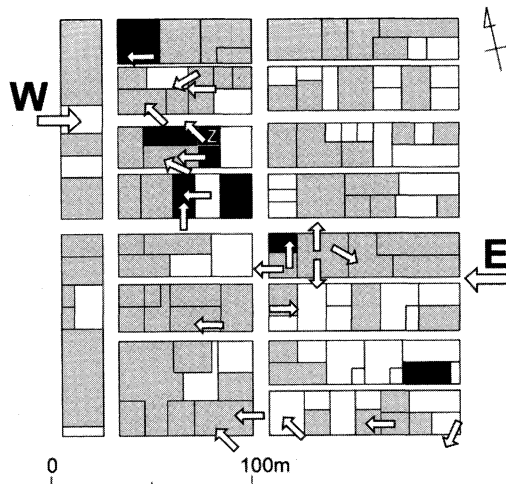


第1図 竜巻に伴う被害分布, ●は竜巻による被害地点を示す。AからCは竜巻についての重要な情報が得られた地区を示す。背景の地図には、国土地理院1/25000地形図(足利南部)を使用した。

証言3: 擾乱が真上を通過したと思われるC地区のR寺では、本堂の天井に穴があき、本堂の畳が持ち上げられていた。

痕跡1: 擾乱が真上を通過したと思われるC地区のガラスハウスでは、屋根が持ち上げられたように壊れ、骨組みが内側に向かって曲がっていた。

痕跡2: 上空に巻き上げられたトタン・木片(A地区)やガラスハウスのガラス破片(C地区)が擾乱の進行方向(北北西)を中心に数10~100m飛ばされていた。



第2図 A地区における風向分布と家屋配置図、矢印は聞き取り調査と痕跡から推定された地上での風向を示す。家屋配置図の灰色は瓦に被害がなかった瓦屋根の家屋、黒塗りは瓦に被害があった瓦屋根の家屋、白抜きは瓦屋根以外の家屋を示す。白抜きのZは、第5図の平屋家屋の位置を示す。

証言2の目撃者の1人は、「渦を巻いた筋が見えた」などの竜巻に伴う漏斗雲を連想させる証言もしているが、記憶は不確か感じられた。

しかし、証言1の「ゴー」と言う轟音は竜巻が接近したときに聞かれることが多く、ダウンバーストでは聞かれることは少ない。証言3と痕跡1の現象は、その真上を気圧が非常に低く、強い上昇気流を伴う擾乱が通過したと仮定することで説明でき、竜巻の構造と矛盾しない。第1図の線状の被害地点の分布と証言・痕跡から、これらは竜巻による被害と結論できる。そして、証言2から竜巻は低気圧回転であり、痕跡2から竜巻周辺では強い南南東風が卓越していたことが分かる。この痕跡2から推定された南南東風には竜巻の回転成分も含まれているが、便宜的に、卓越風と呼ぶことにする。

#### b) A地区における竜巻に伴う風向の特徴

第2図の矢印は、A地区の現地調査から判断した竜巻通過に伴う風向分布である。黒塗りは、屋根瓦に被害を受けた家屋を示している。被害が集中した領域(図のZ周辺)では、東南東風や卓越風と同じ南南東風が認められ、概ね竜巻の移動方向と一致する。

また、被害地域から50~100m離れた2地点(矢印WとE)では、柵や草の転倒方向(W)と証言(E)か



第3図 C地区にあるR寺の北側(上)と南側(下)の屋根の様子。

ら、被害地域に向かう強い風が推定された。竜巻の経路に向かう風は、鈴木(1999)が解析した竜巻でも認められる。

### 3.3 竜巻の規模

C地区では、ガラスハウスの被害が甚大であり、直径約15cmの幹が折れていた。B地区では、モータールに並べられていた約900kgの軽自動車が横転した。これは藤田スケールのF1に対応する。A地区では屋根や瓦が破損しており、藤田スケールのF0に対応する。

### 3.4 竜巻に伴う日本瓦屋根の被害の特徴

第3図は、C地区にあるR寺の被害写真である。この寺院は、南南東を向いている。写真から分かるように、南側の屋根瓦に被害はないが、北側の屋根では100枚以上の瓦が剥がされている。剥がされた瓦が数cm~2m西側に移動していたことから、部分的に東風成分が強かったことが分かる。痕跡2から推定される竜巻周辺の卓越風向(南南東風)と瓦が移動した方向が異なることは、4.2で考察する。

瓦屋根の被害に見られる南北非対称性が、この竜巻による被害の特徴か否かを確認するためにA地区を対象に詳細な現地調査を行った。A地区は、区画整理がなされた住宅地で、家屋は概ね南南西方向を向いており、家屋に対する竜巻の進入角度が約45度と一定している。

この地区で、日本瓦に被害が確認できた家屋の位置を第2図に示す。黒塗りは日本瓦に被害が確認できた家屋、灰色は被害が確認できなかった日本瓦の家屋、白抜きは日本瓦以外の家屋を示している。屋根瓦に被

害が確認できた家屋は、ほぼ一直線上に並び、それは第1図に示した竜巻の経路と一致している。

この竜巻の通過域に20余軒の日本瓦家屋があり、8軒の家屋の屋根瓦に被害が認められた。そのうち5軒は北側の屋根のみに被害があり、南側の屋根のみに被害があった家屋はない。残りの3軒は北側と南側の屋根に被害があるが、北側の被害が圧倒的に大きかった。

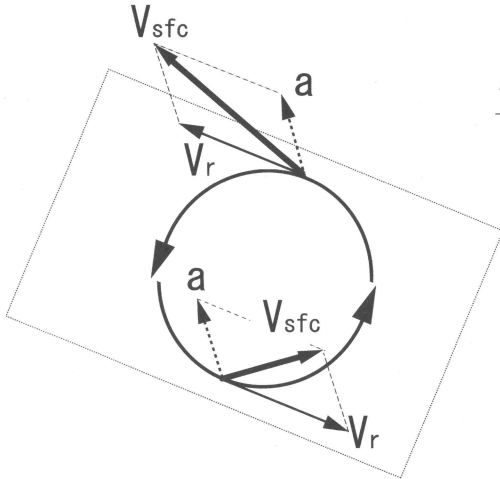
## 4. 考察

### 4.1 北側の日本瓦屋根に被害が集中したことに關する考察

a) 片方の屋根に被害が起きた過去の事例との比較  
石崎ほか(1974)は、竜巻によって切妻屋根の片方のみに被害を受けた事例を報告している。また、Jensen and Frank(1965:以後、JFと略記)は、建物の縦横比、屋根の傾斜や建物に対する風向によっては、風下側の屋根(本事例の北側の屋根に対応)に風圧が集中することを風洞実験により示している。そして、石崎ほか(1974)は、片方だけに被害が起きた切妻屋根とJFの結果と対応が良いことを述べている。しかし、JFの実験は竜巻に特有な渦や上昇流を想定しておらず、更に、JFの実験においては剥がされた屋根瓦は風下(本事例の北側に対応)に移動することになるが、今回の竜巻では、剥がされた北側の屋根瓦は、痕跡2のトタン・木片・ガラス破片が飛散した方向(北北西)とは異なる西側にも移動している(第3図・第5図)。本研究で示した北側の屋根の瓦に被害が集中することは、JFや石崎ほか(1974)の解釈では説明できない。

b) 日本瓦の葺き方に起因する被害の南北非対称  
説明を簡単にするために、まず、南を向いて建てられた家屋を考える。高知や松江などの一部の地方を除けば、ほとんどの日本瓦は、瓦の左端が左隣の瓦の上に載るように、逆に、瓦の右端は右隣の瓦の下に潜るように葺かれている。これにより、北側の屋根では、瓦と瓦の隙が東を向くため、瓦の西端に比べて瓦の東端は浮き上がり易くなり、日本瓦は西風で剥がされ難く、東風で剥がされ易くなると考えられる。逆に、南側の屋根では、瓦は東風で剥がされ難く、西風で相対的に剥がされ易くなると考えられる。つまり、日本瓦の伝統的な葺き方が、屋根瓦の剥がれ易さの南北非対称を作っていることになる。

次に、南南西を向いているA地区の家屋について考える。A地区での藤田スケールはF0で、最大風速は32m/s未満と考えられる。目撃証言から竜巻は低気圧回



第4図 竜巻に伴う風速分布の模式図、中央の円は、竜巻に伴う低気圧回転の旋衡風を示す。細線、点線と太線のベクトルは、それぞれ竜巻に相対的な風( $V_r$ )、竜巻の移動速度( $a$ )と地上に相対的な風( $V_{sfc}$ )である。点線は屋根を示す。

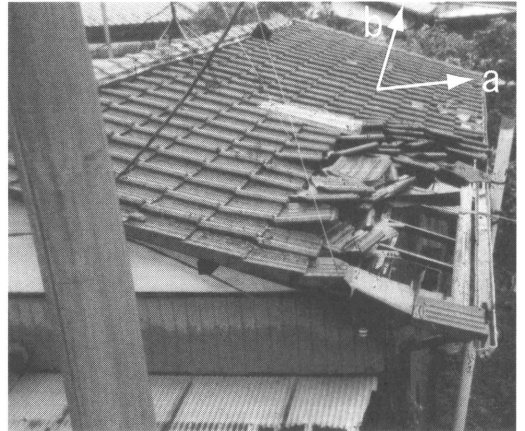
転をしており、北北西に向かって約 10 m/s で移動していた。

第4図は、この竜巻に伴う地上風の模式図である。ここで竜巻に伴う風 ( $V_r$ ) は低気圧回転の理想的な旋衡風であり、それが 10 m/s の一般風 ( $a$ ) により流されていたと仮定する。地上に相対的な風 ( $V_{sfc}$ ) は、竜巻が北北西に向かって (家屋に対して左45度へ) 移動したため、竜巻の南半分では西風成分が弱められ、逆に竜巻の北半分では東風成分が強められる。その結果、南側の屋根よりも北側の屋根の瓦が剥がれ易くなり、北側の屋根の瓦に被害が集中したと考えられる。

この考え方が正しいならば、竜巻の移動方向により、屋根瓦に与える被害の特徴が異なることになる。仮に、竜巻が東北東向かって (家屋に対して右45度へ) 移動したならば、東風成分は弱められ、逆に、西風成分が強められるため、南側の日本瓦に被害が集中すると考えられる。また、竜巻が北北東または南南西に向かって (家屋に対して直角に) 移動したならば、南北非対称は生じないと考えられる。

4.2 西側に移動した日本瓦についての考察

第5図は、第2図の家屋Zで見られた北側の日本瓦屋根の被害写真である。剥がされた日本瓦は西側に数 cm~1 m 移動している。竜巻の移動方向 ( $a$ : トタン等の飛散した方向から推定した卓越風) と瓦の移動方向



第5図 第2図の家屋Zの北側の日本瓦屋根の被害写真、矢印 a は竜巻の移動方向、矢印 b は日本瓦の移動方向を示す。

(b) とは 40~50 度の角度をなしている。この特徴は、A 地区における他の被害家屋や C 地区の R 寺にも認められ、卓越風とは異なる強い東風成分を持つ風が吹いていたことを意味している。

半径 20 m 以内に家屋がない C 地区の R 寺 (第3図)、A 地区の 2 階建家屋や 2 階建アパートの壁から西側 3.5 m に位置する平屋家屋 Z (第5図) でも、同じように西側へ瓦が移動している。これは、瓦を移動させた東風成分は建築物の影響で強い生じた風ではなく、竜巻に固有の風であったことを示唆している。第3図のように 100 枚以上の日本瓦を移動させるには強い風が必要であり、その風は竜巻に伴う旋衡風であったと考えるのが適当である。つまり、旋衡風に伴う東風成分が日本瓦を西側へ移動させたと考えられることで、卓越風とは異なる方向への日本瓦の移動を説明できる。

5. まとめ

2001年8月22日9時10-30分に群馬県大泉町から太田市に被害をもたらした竜巻について現地調査を基に解析を行い、次の結果を得た。

- 1) 竜巻の被害域は長さ 4.6 km に亘り、最も発達した時の藤田スケールは F1 であった。
- 2) 竜巻は約 10 m/s の速度で北北西に移動した。
- 3) 竜巻は低気圧回転の循環であった。
- 4) 北側の屋根の日本瓦に被害が集中していた。

北側の屋根の日本瓦に被害が集中したことは、①伝統的な日本瓦の葺き方により、北側の屋根では、瓦が

東風で剥がされやすいこと、②竜巻が北北西に移動していたため、竜巻に伴う旋衡風と竜巻の移動速度の重ね合わせの結果、地上で東風成分が強化されたことで解釈できる。

### 謝 辞

A・C地区(大泉町住吉地区・太田市内ヶ島地区)の方々には被災の後片付けに忙しいにもかかわらず、調査にご協力頂きました。スバル物流(株)、大泉役場と太田市役所からは、被災状況のデータを頂きました。被災者である長沢氏からは、多くの写真を提供して頂きました。

また、日本瓦(棧瓦)の歴史と地域分布については、高浜市やきもの里かわら美術館の天野卓哉学芸員に助言を頂きました。匿名の査読者には有益なコメントを頂きました。ここに感謝いたします。

### 参 考 文 献

- 石崎澁雄, 河井宏充, 成 仁煥, 森 武雄, 1974: 竜巻による建物の被害について—1973年5月21日石川県押水町を襲った竜巻の被害調査一, 京都大学防災研究所年報, 第17号B, 209-217.
- Jensen, M and N. Frank, 1965: Model-scale tests in turbulent wind, Part II, The Danish Technical

Press.

- 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, 村松 哲, 1997: 1994年10月4日土佐湾海洋上で発生した竜巻群の形態と構造, 天気, 44, 19-34
- McCaul, E. W, 1991: Buoyancy and shear characteristics of hurricane-tornado environments, Mon. Wea. Rev., 119, 1954-1978.
- 小元敬男, 光田 寧, 文字信貴, 1983: 日本における竜巻など瞬発性気象災害の実態, 光田寧編「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研究成果報告書, 5-37.
- 鈴木 修, 1999: 1996年7月5日千葉市周辺で発生した竜巻, 第2章, 夏, 気象研究ノート, (193), 129-136.
- 東京管区気象台, 2001: 平成13年8月22日に発生した突風による風害について, [http://www.tokyo-jma.go.jp/sub\\_index/bosai/disaster/20010822\\_topu/010822\\_topu.html](http://www.tokyo-jma.go.jp/sub_index/bosai/disaster/20010822_topu/010822_topu.html) (2003年10月10日現在).
- 坪木和久, 耿 驪, 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.

## A Case Study on a Weak Tornado Damaging North Side of Japanese Tiled Roofs

Hiroyuki IWASAKI\*, Kazuna KOBAYASHI\*\*  
and Akane TESHIGAWARA\*\*\*

\* (Corresponding author) Faculty of Education, Gunma University, Aramaki, Maebashi, 371-8510, Japan. E-mail: iwasaki@edu.gunma-u.ac.jp

\*\* Faculty of Education, Gunma University. Present affiliation: NEOSYSTEM CO. LTD.

\*\*\* Faculty of Education, Gunma University. Present affiliation: Environmental Sciences, University of Tsuba.

(Received 2 April 2002; Accepted 20 October 2003)