

1 「2007年2月14日袋井市で発生した突風の被害と原因」

1. 動機

2007年2月14日18時10分から30分頃、静岡県袋井市（図2）で突風が起こり、家屋の倒壊や屋根瓦の落下、窓ガラスの破損、大型コンテナの横転などの被害が発生した（図3、4）。この被害は大変大きかったのでテレビや新聞でも大きく報道された（図1）。丁度このとき、本校地学部員の自宅ではこの突風の被害を受け、屋根瓦が多数飛んだ。また、他の地学部員の隣の家でも、フェンスが曲がったり駐車場の屋根が飛んだりした。

突風という現象は落雷や豪雨のように1年に何回も起こる現象ではないが、一度発生すると大きな被害を及ぼす。そこで、私たちは今回の突風に興味を持ち、どのような被害が発生したのか、またその原因は何なのかについて詳しく調べてみることにした。



図1 翌日の新聞記事



図2 被害発生地域



図3 横転したコンテナ



図4 全壊した工場

2. 目的

この突風の研究の目的を次のように設定した。詳細な現地踏査や住民の聞き取り調査により、被害の実態を詳細に調べて地図に記入する。また、突風の発生した原因について、学校の気象観測データや天気図、気象衛星画像、レーダー画像などと照らし合わせて追求する。

3. 被害調査

被害の大きかった袋井市諸井地区を中心に袋井市長溝地区、袋井市愛野地区を地学部員が2名1組となって歩き、家屋の破損の程度などを調べた。調査内容はフィールドノートに記載し、2000分の1の住宅地図上にその位置をプロットした。また、必要に応じて聞き取り調査や写真撮影を行った。記載内容は家屋の住所、氏名、被害の程度である。特に、突風の吹いた方向を示すアンテナの傾きや瓦やトタンの飛んだ方向などに注目した。この結果、次のことを明らかにした。

- ① 被害の最も大きかったところは袋井市諸井地区南部で、その次に袋井市諸井地区北部、袋井市長溝地区、袋井市愛野地区の順である。
- ② 被害分布は南西－北東方向に幅約 100～150m、長さ 5000m で帯状に分布する（図 6 参照）。
- ③ 被害の件数は全壊 2 戸、半壊 3 戸、一部損壊 94 戸、計 99 戸である（表 1 参照）。
- ④ 袋井市諸井地区のアンテナの傾きや木や物が倒れた方向、瓦や物が飛んだ方向は北が多いが北西や東、南もあり一定していない。長溝地区でも西、北東、南があり、一定していない。（図 7 参照）

表 1 家屋被害の統計（磐田南高校調べ）

地区名	諸井	浅羽	浅岡	長溝	愛野	神長	豊沢	青木町	高尾	合計
全壊	2									2
半壊	3									3
一部損壊	59	3	7	11	7	2	2	2	1	94
合計	64	3	7	11	7	2	2	2	1	99

中谷さん（袋井市諸井）からは、「ガラス 8 枚が割れ、瓦と門が飛んだ。突風の時にはゴーという音がした。」

外山さん（袋井市浅岡）からは、「6 時半ころ雷が光り、音がした。瞬間的にゴーッという音がした。南東の屋根の波板が 2 枚飛んだ。」という証言を得ることができた。

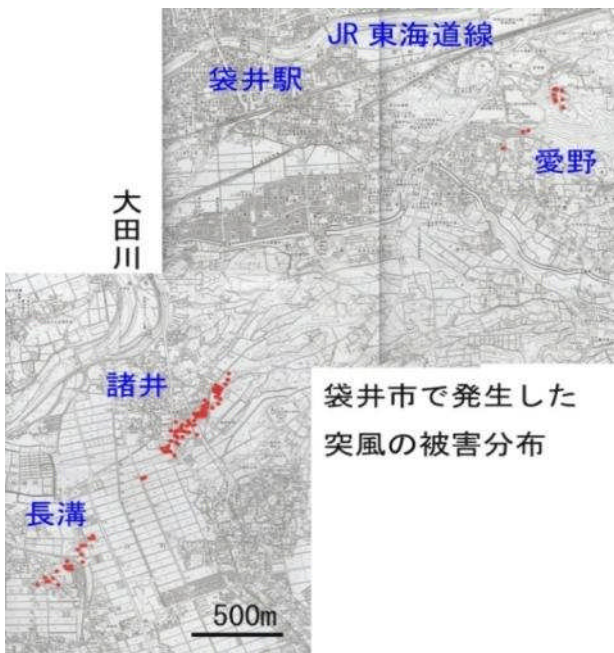


図 5 突風による倒壊方向



図 6 突風による被害の分布

4. 突風発生時の気象条件

次に突風の原因を調べるため、気象庁から公表されている天気図、気象衛星画像（可視、赤外、水蒸気画像）、アメダスの記録（気温、風向、風速、降水量）、レーダーエコーによる雨雲による上空の風と比較した。また、本校で観測している風向、風速、降水量などの気象データとも比較した。この結果、天気図（図 7）より突風発生時には日本海にある低気圧からのびた寒冷前線が通過していたことがわかった。また、衛星写真（図 8）、レーダーエコー（図 9）による上空の風より、この寒冷前線には厚い積乱雲が発生しており、時間雨量 40～80mm の強い雨雲が通過していたことがわかった。また、発生地点より西側 6km にある本校の風向風速計（図 10）、雨量計（図 11）などの観測記録より、突風が発生した 18 時 20 分前後には最大風速 20m/s を記録し、風向も南西風から西風に急変した。また、16mm の降雨があったこともわかった。

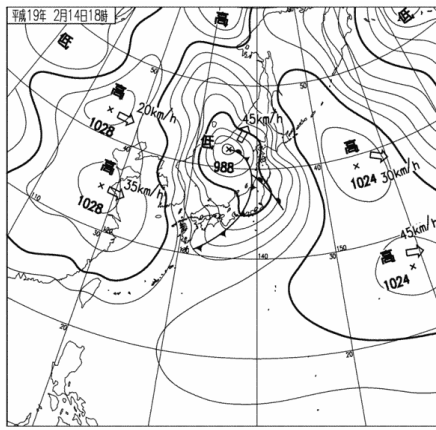


図7 2月14日18:00 天気図

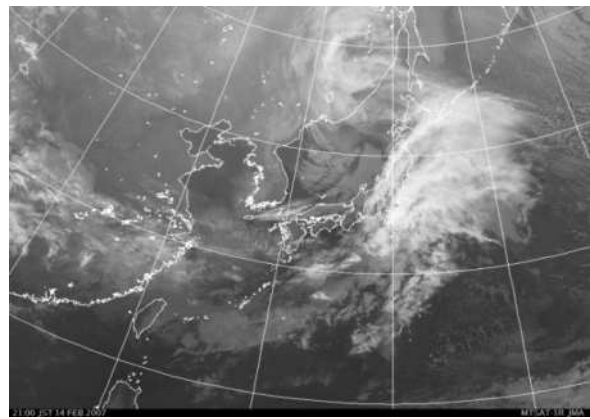


図8 2月14日18:00 衛星写真(赤外画像)

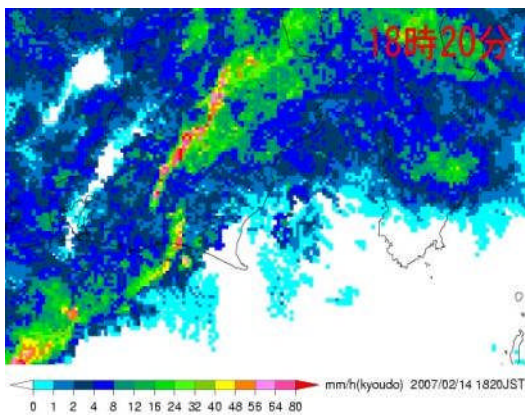


図9 2月14日18:20
レーダーエコー

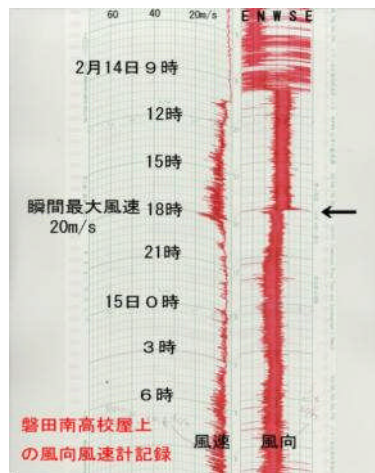


図10 本校の風向風速計記録

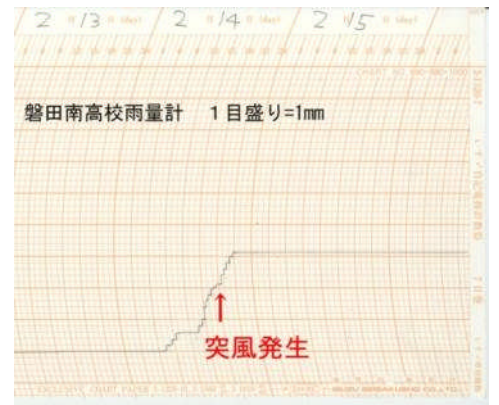


図11 本校の雨量計記録

5. 突風の原因

今回のように被害を及ぼすような激しい突風の原因について文献やインターネットをもとに調べてみると「竜巻」と「ダウンバースト」の2つがあることがわかった。そこで竜巻やダウンバーストの特徴について調べてみた。

表2 竜巻，ダウンバースト，袋井の突風の比較

竜巻とは、積乱雲または積雲に伴って発生する鉛直軸をもつ激しい渦巻きで、しばしば漏斗状または柱状の雲（「漏斗雲」という。）を伴う。また、竜巻の周りには下降気流だが竜巻の中心では周囲より気圧が低くなるので、地表面の近くでは風は渦に向かって内側に、普通は反時計回りの方向に回転しながら螺旋状に吹き込み、漏斗雲の

	竜巻	ダウンバースト	今回の袋井の突風
風向き	移動と共に風向が回転する	吹き始めから終わりまではほぼ風向が一定	諸井地区は南西風，愛野地区は南風，長溝地区では東風で一定ではない。
レーダーエコー	あり	あり	あり
気圧	気圧が下降する。急激な気圧低下に伴って、耳に異常を訴える場合がある。	気圧が上昇する	現地には観測点がないので未測定で不明
被害分布	細い帯状	面的に広がる	細い帯状

中に急速に巻き上がっていく。

ダウンバーストは積雲または積乱雲から発生する、冷えて重くなった空気が爆発的に吹き降ろす強い下降気流のことで、地面に衝突後激しく発散し、被害を起こす。2005年に山形県庄内町のJR羽越線で特急が脱線・転覆した事故の原因はダウンバーストと言われている。

今回の突風がこの2つのうちどちらの現象に該当するのか、被害状況や聞き取り調査、当時の気象データから推定してみた

隣接する家屋の被害	被害の程度に大きな差がある	被害の程度に大きな差がない	被害の程度に大きな差がある
残された飛散物や倒壊物の方向	点や線上に集まるり、一定ではない	方向は同じか、ある点から広がる形となる。	諸井地区は北～北東方向、愛野地区は北方向、長溝地区は西方向で一定ではない
重量物（屋根、扉）	舞い上げられたように移動する。		日没後で暗いため不明
飛散物の動き	飛散物が筒状に舞い上がる。また降ってくる。		日没後で暗いため不明
漏斗雲	あり	なし	日没後で暗いため不明
音	ゴーというジェット機のような轟音がすることが多い。	ゴーという音はしない。	ゴーという音の証言（2名）

（表2参照）。以上を総合すると、日没後で暗かったために漏斗状の目撃証言がないことや飛散物の動きの証言がないことなどがあるが、被害分布が直線的な帯状であることやレーダーエコーがあること、アンテナの倒壊方向や推定される風向きが一定ではないこと、一部でゴーという音の証言があること、上空には寒冷前線の通過に伴う厚い積乱雲が存在していたことなどから「竜巻」と推定できる。

6. 竜巻発生装置の実験

次に竜巻の風の吹き方やできる仕組みについて調べるために

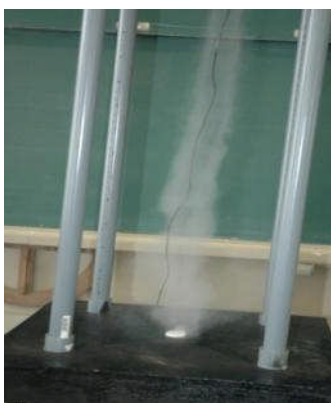


図13 竜巻発生の様子

竜巻の発生する条件は表3のとおり扇風機の上昇気流が強ければ竜巻は発生しやすく、送風機で作られる風の回転運動の速度が7m/s前後の時に最も完全な形をした竜巻が発生することがわかった。これを実際の竜

次に竜巻の風の吹き方やできる仕組みについて調べるために竜巻発生装置（図12,13）を製作して実験を行った。この結果、竜巻の内部構造を詳しく観察すると図14のようにパイプ状の空洞構造を示し、パイプの壁にあたる場所は超音波加湿器の水滴が密に集まっていたが、中心部は空洞に近い構造になっていた。

また、風速を測定すると、図16のとおり外側ほど遅く、内側に向かうほど速くなることがわかった。

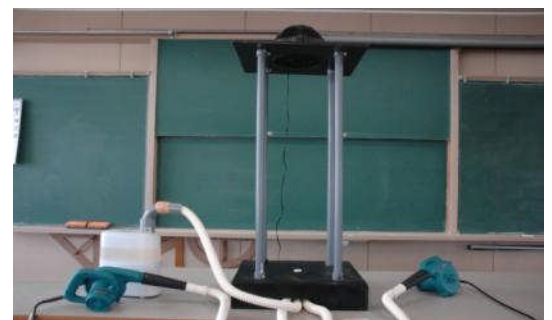


図12 竜巻発生装置

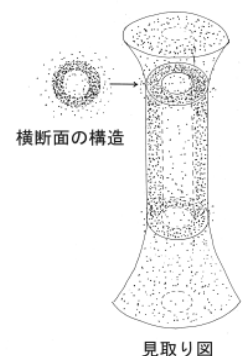


図14 竜巻の構造

巻と比較してみると，上昇気流が強ければ竜巻は発生しやすいが，風の回転運動の速度が

表 3 竜巻発生装置の風速と竜巻発生の関係

上部扇風機の強さ	弱 2.0 m/s	備考	中 2.4 m/s	備考	強 3.0 m/s	備考
10 (2.5m/s)	×		×		△	
13	△	不安定	△	不安定	○	不安定
14	△	不安定 うっすら	△	不安定 うっすら	○	不安定
15 (5.7m/s)	○	不安定	○	不安定	○	不安定
18 (7.0m/s)	○	不安定	◎	はっきり安定	◎	はっきり安定
21	○	半分しか出来ない 不安定	○	薄い不安定	○	薄い不安定
22	○	半分しか出来ない 不安定	○	薄い不安定	○	薄い不安定
23	○	半分しか出来ない 不安定	○	薄い不安定	○	薄い不安定
24	○	半分しか出来ない 不安定	○	薄い不安定	○	薄い不安定
25 (9.5m/s)	△	半分しか出来ない	○	薄い不安定	○	薄い不安定

ある条件を満たした場合だけに竜巻が発生することを示しているものと思われる。

次に竜巻の中心からの距離（半径）が大きいほど風速が小さくなることがわかったので，この理由を物理的に考えた。

回転する物体の角運動量＝
半径×運動量・・・①

運動量＝質量×速度・・・②

速度＝角速度×半径・・・③

①～②と③を代入すると

角運動量＝質量×半径²×角速度

∴角速度＝ $\frac{\text{角運動量}}{(\text{質量} \times \text{半径}^2)}$

ここで「外力が働かなければ，角運動量は一定に保たれる」という角運動量保存の法則より角運動量は一定，また空気の質量も同じとみなすと，竜巻の風の角速度は理論的には半径の2乗に反比例することになる。上記のことをモデルで示すと図 16 のようになる。これは実験の結果とほぼ一致している。

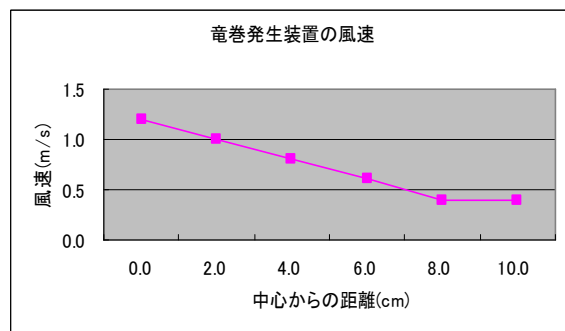


図 15 竜巻発生装置の中心からの距離と上昇気流の風速の関係

7. 参考文献

静岡地方気象台・東京管区気象台(2007)現地災害調査速報「平成 19 年 2 月 14 日に静岡県袋井市で発生した突風害について」, 1-13

東京管区気象台(2001)現地災害調査速報「平成 13 年 9 月 10 日に発生した竜巻による風害について」, 1-17

静岡新聞 2007 年 2 月 14 日朝刊

大野久雄(2001)：風雨とメソ気象，東京堂出版，309pp

日本気象協会(1998)：気象科学辞典，東京書籍，637pp

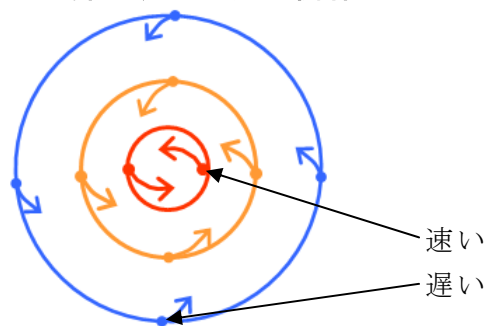


図 16 竜巻のモデル図