

第2章 被害の概要

2.1 気象状況

気象庁の発表^{2.1)}によると、5月6日は日本の上空5500メートルにおいて、氷点下21度以下の強い寒気が流れ込んだ。一方、12時には日本海に低気圧があって、東日本から東北地方の太平洋側を中心に、この低気圧に向かって暖かく湿った空気が流れ込んだ(図2.1-1)。さらに、日射の影響で地上の気温が上昇したことから、関東甲信地方は大気の状態が非常に不安定となり、落雷や突風、降ひょうを伴う発達した積乱雲が発生した(写真2.1-1)。突風が発生した時間に茨城県常総市からつくば市の被害地付近は、活発な積乱雲が通過中であった。気象研究所はドップラーレーダー及び気象環境場の解析・高解像度モデルでの数値シミュレーション結果から、この積乱雲が強い竜巻をもたらすスーパーセルであったと推定している^{2.2)}。

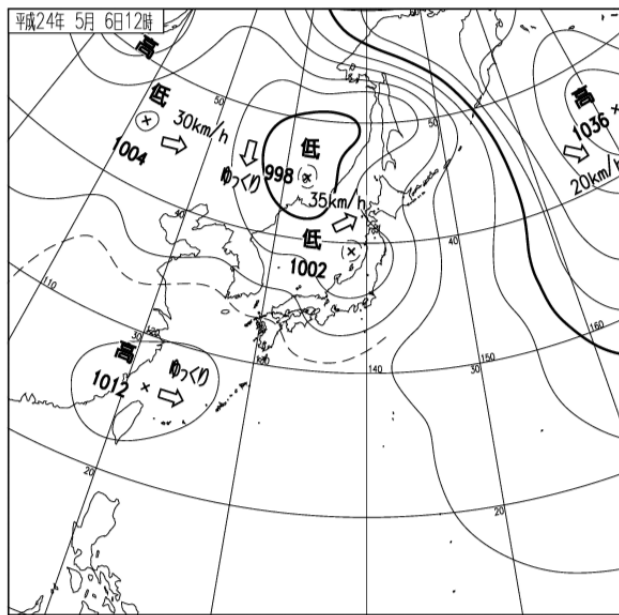


図2.1-1 平成24年5月6日12時の地上天気図^{2.1)}

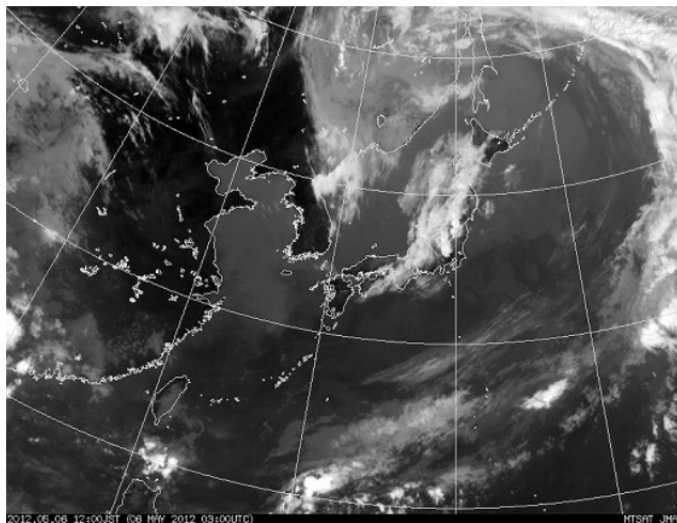


写真2.1-1 平成24年5月6日12時の気象衛星「ひまわり7号」赤外面像^{2.1)}

2.2 被害統計

2.2.1 人的被害

5月6日の竜巻によるつくば市内の人的被害（死者、行方不明者、負傷者）については、表 2.2-1 の通りである。

表 2.2-1 つくば市内の人的被害（5月9日時点）

単位：人

死者	行方不明者	負傷者		
		重症	中等症	軽症
1	0	0	5	32

注 1：つくば市公表資料「茨城県つくば市における竜巻による被害状況等について」（6月25日付け）^{2,3)}から作成した。

注 2：重症は3週間以上の入院，中等症は3週間未満の入院を示している。

注 3：救急搬送患者は19名である。

注 4：中等症の入院患者は5月23日時点で全員退院した。

2.2.2 建築物の被害

(1) 建築物危険度判定

つくば市では、被災建築物が道路及び隣地に倒壊することによる2次災害を防ぐため、「建築物危険度判定」を5月9日から実施した。調査の対象は、「被災地区において、目視によって傾きがあると見えたもの及び調査依頼があったもの」であり、74棟の調査が行われた。集計結果については、表 2.2-2 の通りである。

今回実施された「建築物危険度判定」はつくば市独自の調査であり、危険度の判定基準は以下の通りである。

- ・危険：傾きが1/20超であり，道路及び隣地に倒壊する恐れがある
- ・要注意：傾きが1/20以内，又は傾きが1/20超だが，道路及び隣地に倒壊する恐れがない
- ・問題なし：傾きがほぼない

表 2.2-2 つくば市内の建築物危険度判定結果（6月22日現在）

単位：棟

地 区	問題なし	要注意	危険	調査件数計
北条地区	29	17	13	59
泉・山木地区	4	1	0	5
西高野・大砂・吉沼地区	6	3	1	10
合 計	39	21	14	74

注 1：つくば市公表資料「茨城県つくば市における竜巻による被害状況等について」（6月25日付け）^{2,3)}から作成した。

注 2：危険と判定されたものは、5月19日までに解体撤去済みである。

(2) 住家等の被害状況

つくば市が実施した、り災証明のための建築物被害認定調査による住家等の被害については、表 2.2-3 の通り

である。つくば市内で 1,093 棟の現地調査が行われた。納屋等の住家以外の建築物についても調査が行われており、「居宅以外」の区分に集計されている。各地域での無被害の建築物棟数が不明なので比率で比べることは出来ないが、建築物被害の絶対数は北条地区が最も多い。

表 2.2-3 つくば市内の住家等被害 (6 月 22 日現在)

単位：棟

地域		区分	全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊	小計	合計	
筑波地域		居宅	79	31	129	301	540	846	
		居宅以外	75	5	32	194	306		
内訳	北条	居宅	72	27	127	230	456	697	
		居宅以外	63	5	30	143	241		
	平沢	居宅	0	1	0	16	17	28	
		居宅以外	2	0	0	9	11		
	小泉	居宅	0	0	1	6	7	17	
		居宅以外	1	0	1	8	10		
	泉	居宅	0	0	0	19	19	33	
		居宅以外	2	0	0	12	14		
	山木	居宅	7	3	1	23	34	54	
		居宅以外	6	0	1	13	20		
	水守	居宅	0	0	0	7	7	13	
		居宅以外	1	0	0	5	6		
	大穂地域		居宅	10	4	14	83	111	247
			居宅以外	46	7	22	61	136	
内訳	大砂	居宅	9	3	13	57	82	175	
		居宅以外	31	7	15	40	93		
	西高野	居宅	1	1	1	25	28	65	
		居宅以外	12	0	7	18	37		
	吉沼	居宅	0	0	0	1	1	7	
		居宅以外	3	0	0	3	6		
合計		居宅	89	35	143	384	651	1093	
		居宅以外	121	12	54	255	442		

注 1：つくば市公表資料「茨城県つくば市における竜巻による被害状況等について」（6 月 25 日付け）^{2,3)}から作成した。

注 2：被害区分のうち、「大規模半壊」とは「災害の被害認定基準について」（平成 13 年 6 月 28 日府政防第 518 号内閣府政策統括官（防災担当）通知）に定める「住家半壊」の基準のうち、「損壊部分が延床面積の 50%以上 70%未満のもの」または、「損害割合（経済的被害）が 20%以上 50%未満のもの」とする（平成 22 年 9 月 3 日府政防第 608 号内閣府政策統括官（防災担当）通知）。

2.2.3 ライフラインの被害

つくば市内の電力の供給停止戸数の推移については、表 2.2-4 の通りである。5 月 6 日の 21,012 世帯は発災直後の数値である。なお、5 月 9 日に停電世帯数が 0 となっているが、東京電力によると建築物の倒壊等により受電することが出来ない世帯を除いた数値である。

表 2.2-4 つくば市内の停電戸数の推移

日付	停電世帯数
5 月 6 日	21,012
5 月 7 日	約 2,800
5 月 8 日	約 200
5 月 9 日	0

注 1：つくば市公表資料「茨城県つくば市における竜巻による被害状況等について」（6 月 25 日付け）^{2,3)}から作成した。

上水道については、停電により山口地区（北条地区の東側に位置する地区）の一部で断水したが、5 月 6 日 21 時 50 分には全面復旧した。簡易水道については、停電により当初約 800 戸が断水し、5 月 8 日に全面復旧した。なお、簡易水道とは、人の飲用に適する水として供給する水道のうち、給水人口が 100 人を越え 5,000 人以下であるものをいう。つくば市では、つくば市が運営する水道以外に、簡易水道事業組合が運営する簡易水道が複数ある。

公共下水道については、停電により中継ポンプ場 7 箇所、マンホールポンプ 29 箇所が停止し、5 月 7 日に全面復旧した。

2.3 被害分布

2.3.1 強風被災度ランク

本調査では、建築物等の被害を表 2.3-1 に示す強風被災度ランク^{2,4)}によって分類した。強風被災度ランクは建築物等の被害を外観から判定する指標で、5つの被災度ランクに分けられる。

表 2.3-1 強風被災度ランク

ランク 1 (極く軽微な被害)	
住宅のテレビアンテナが曲がる。樋が落ちる。小枝が折れ、葉が飛散する。	
ランク 2 (軽微な被害)	
瓦がずれる。軒先やケラバなどで部分的 (屋根面積の 30%未満) に瓦やシングル、金属屋根といった屋根ふき材が飛散する。太い枝が折れる。	
ランク 3 (顕著な被害)	
屋根の広範囲 (屋根面積の 30%以上) で瓦やシングル、金属屋根といった屋根ふき材が飛散し、野地板の広い面が見える。部分的に窓ガラスが割れる。軽微な外壁が破損する。太い木が倒れる。	
ランク 4 (甚大な被害)	
屋根の垂木や母屋が破損する。小屋組が壊れる。多くの窓ガラスが割れる。	
ランク 5 (壊滅的な被害)	
家屋が倒壊する。	

2.3.2 調査の方法

国土交通省国土技術政策総合研究所と独立行政法人建築研究所は被災直後から現地調査を実施し、建築物等の被害状況を調査^{2.5)}した。発災翌日の平成 24 年 5 月 7 日からは、つくば市北条地区を中心に建築物一棟ごとに調査を実施し、建築物の被害を前述の強風被災度ランクを用いて評価した。また、5 月 7 日に国土地理院が撮影した高解像度の航空写真の判読により、地上からの調査では分からなかった屋根の被害等についても被害の評価を行った。現地調査及び航空写真判読により被害の評価を行った棟数は、被災度ランク 1 以上の建築物が 548 棟で、無被害の建築物が 149 棟、合計 697 棟であった。表 2.3-2 に、強風被災度ランク別の調査棟数を示す。

表 2.3-2 強風被災度ランク別調査棟数

被災度	棟数
5	51
4	78
3	149
2	181
1	89
合計	548

図 2.3-1 はつくば市内の調査区域全域における被害分布図で、5 段階の強風被災度ランクで建築物の被害を色分けして示している。建築物の代表点の位置情報（緯度経度データ）は、国土地理院の基盤地図情報 2500（2011 年 3 月時点）における建築物の形状データ（ポリゴンデータ）の重心点を用いた。また、形状データが存在しない建築物については、周辺建築物及び前述の国土地理院提供の被災後航空写真を見ながら、目視で代表点を定めた。詳細な被害分布の考察については後述するが、大局的に見ると、ほぼ直線上に被害が発生していることが分かる。

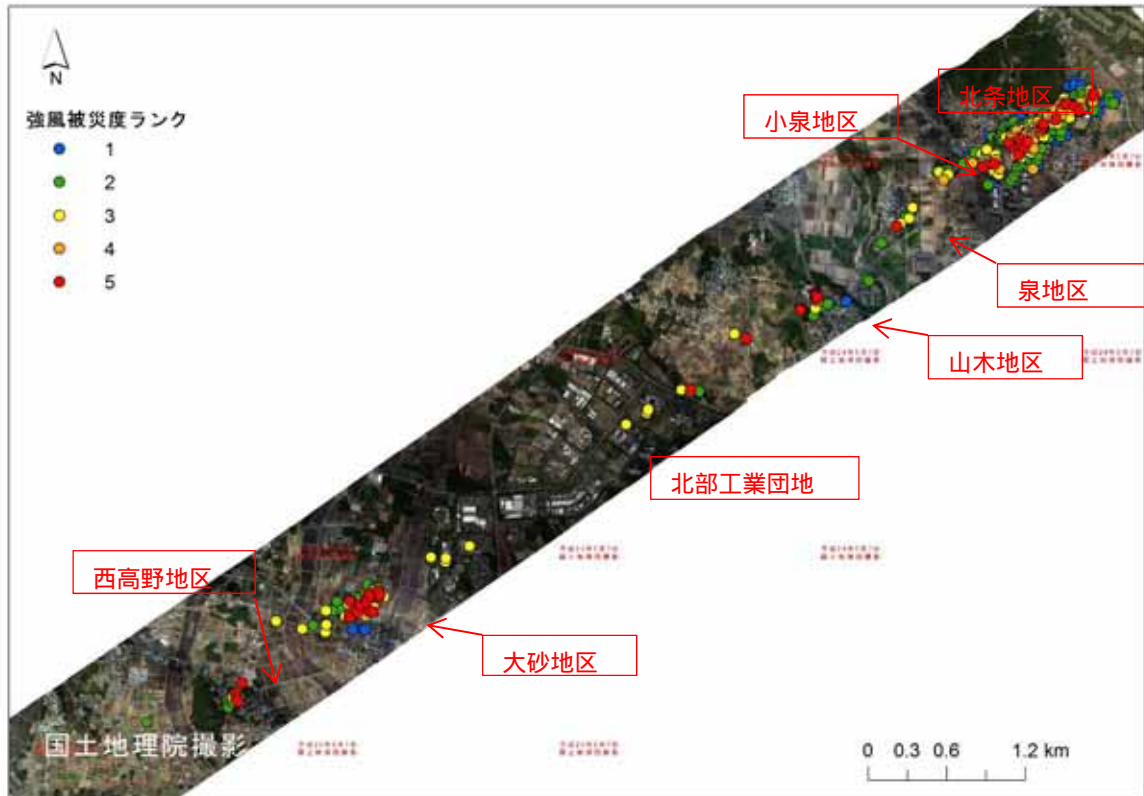


図 2.3-1 被害分布図（調査地区全域）

次に、ある程度まとまって被害が見られた地区毎に、被害分布の拡大図を示す。図 2.3-2 は北条地区及び小泉地区の拡大図である。北条地区はもともと建築物の多い地区であることもあり、つくば市内で最も被害棟数の多い地区である。

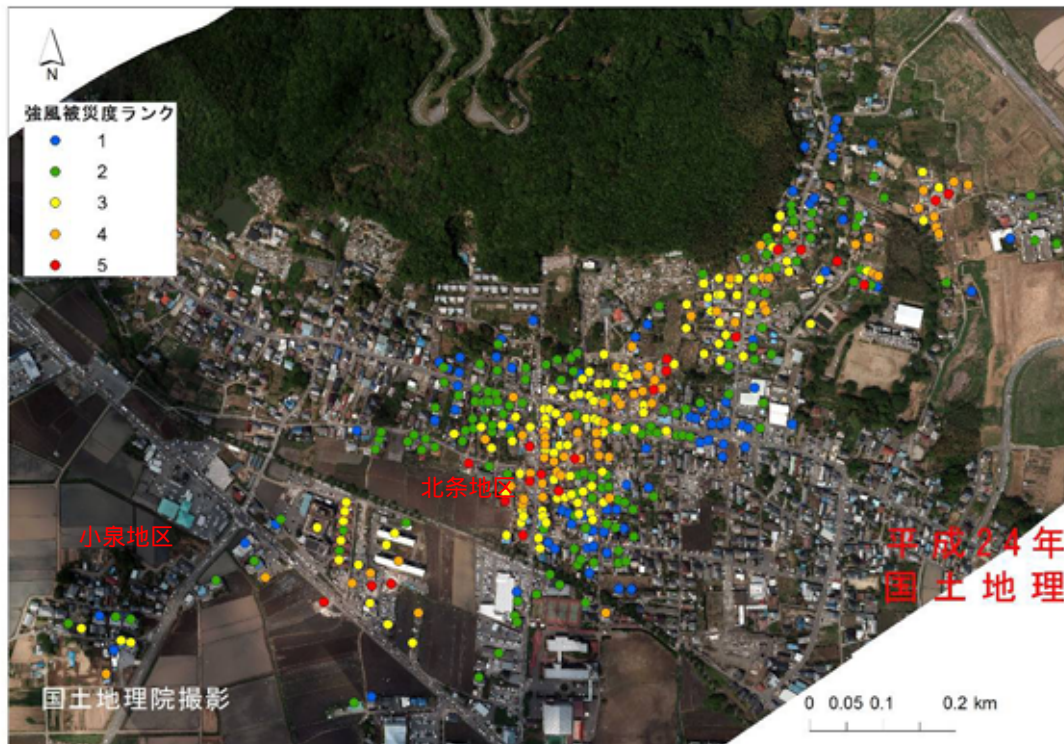


図 2.3-2 北条・小泉地区の被害分布拡大図

図 2.3-3 は泉地区及び山木地区の拡大図である。被害は局所的であり、隣接する 6 棟の木造建築物の上部構造の倒壊と飛散が見られた。



図 2.3-3 泉・山木地区の被害分布拡大図

図 2.3-4 は大砂地区及び西高野地区の拡大図である。

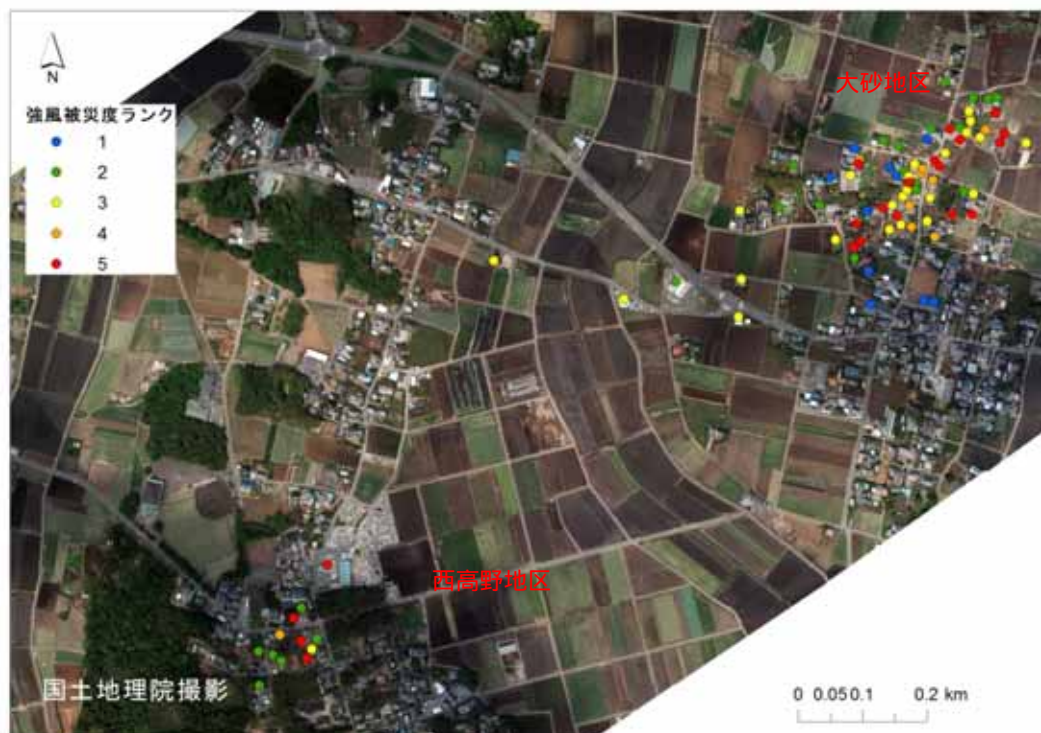


図 2.3-4 大砂・西高野地区の被害分布拡大図

2.3.3 被害分布の分析

(1) 被害中心線からみた被害分布

竜巻は直進する傾向が強いことが知られており、図 2.3-1 から竜巻の被害がほぼ直線上に分布している様子が分かる。そこで、この直線を被害中心線と呼ぶこととし、被害中心線からみた被害分布について考察する。

被害中心線の導出方法は、被災建築物の代表点から被害中心線までの距離の総和が最小となる直線を被害中心線とした。具体の導出方法は、次の通りである。

まず、作業の都合上、建築物の位置を 2 次元平面上の (x, y) 座標で表現するため、位置情報は緯度経度から平面直角座標系（第 IX 系）に変換した。次に、建築物 i の位置を (x_i, y_i) で表し、被害中心線を、

$$Y = aX + b \quad (a, b \text{ はパラメータ}) \quad (2.3.1)$$

で表現することにする。被災度ランク 1 以上の建築物から被害中心線までの距離の 2 乗が最小となるように被害中心線のパラメータ (a, b) を定める問題は、以下のように定式化できる。

$$\begin{aligned} \min_{a,b} \quad & \sum_{i=1}^n \frac{1}{1+a^2} (y_i - ax_i - b)^2 \\ \text{s.t.} \quad & i = 1, \dots, n \\ & a, b \in \mathbb{R} \end{aligned} \quad (2.3.2)$$

式(2.3.2)を解くと、被害中心線は平面直角座標系（第 IX 系）において、以下の式で表せる。なお、数値の単位はメートルである。

$$Y = 0.702X + 3525.998 \quad (2.3.3)$$

なお、強風被災度ランク 5 と 4 に該当する建築物の座標のみを用いて同様に被害中心線を求めたところ、

$$Y = 0.704X + 3473.039 \quad (2.3.4)$$

となった。

導出された被害中心線を図 2.3-5 に示す。図中の肌色の線が式(2.3.3)によって予想された被害中心線である。また、被災度ランク 5 と 4 に該当する建築物の座標のみを用いて式(2.3.4)で導出した被害中心線を、図中の緑色の破線で示している。同図に示す通り、両式によって得た被害中心線はほぼ重なっていることがわかる。したがって、以降では被災度ランク 1 以上の全ての建築物を用いて導出した直線を被害中心線として用いることにする。

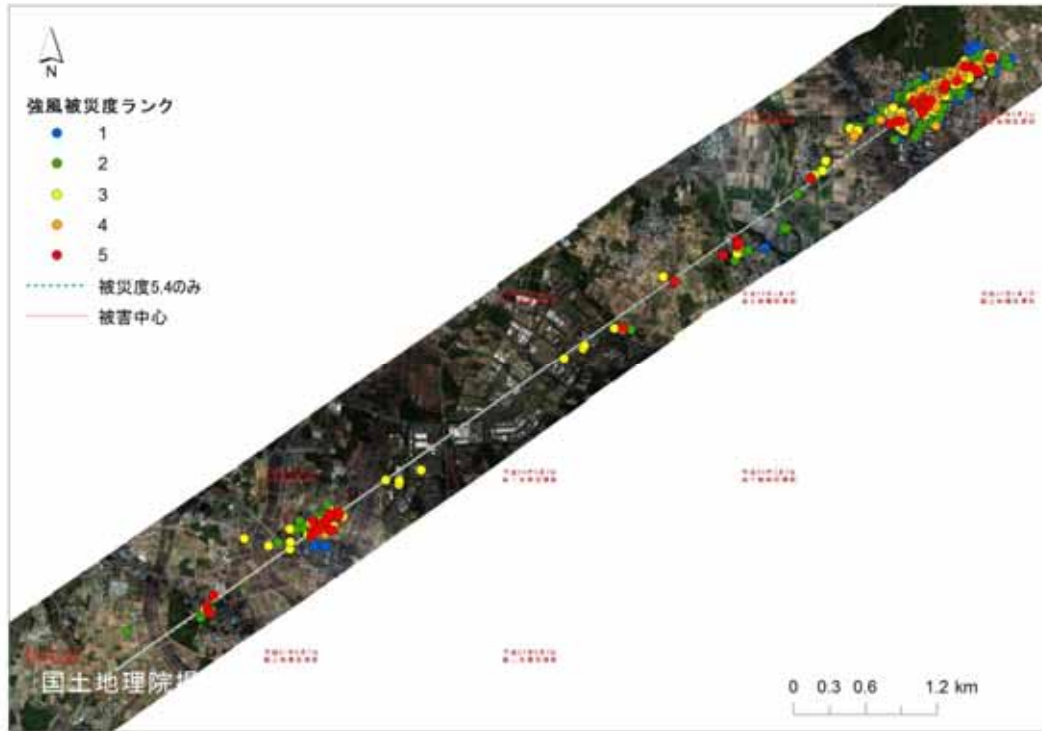


図 2.3-5 被害分布と被害中心線

次に、被害中心線を横軸にとって被害分布を座標変換（合同変換）したグラフを図 2.3-6 に示す。横軸は西端の吉沼地区を原点として、竜巻の進行距離(km)を示している。また、縦軸は被害中心線から建築物までの距離(m)を示しており、プラス側が竜巻の進行方向に向かって左側（北西側）で、マイナス側が右側（南東側）に位置することを示している。

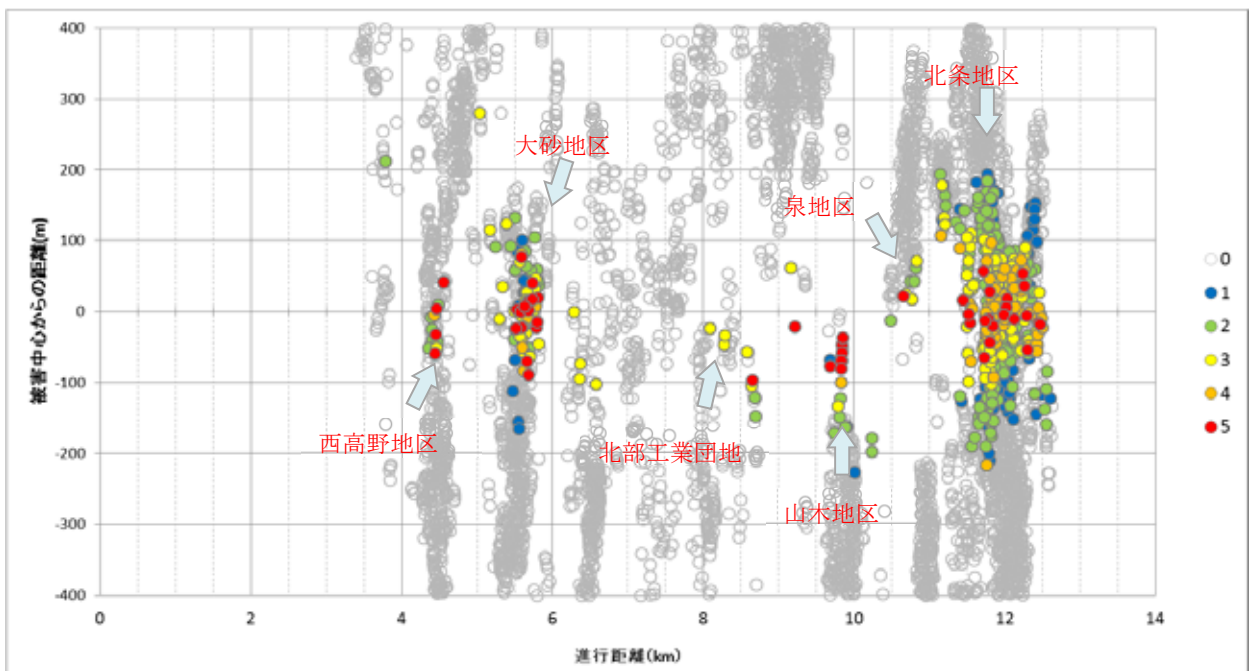


図 2.3-6 被害中心線から見た建築物被害分布

西高野、大砂、北条地区は被害中心線を中心に被害が分布しているように見えるが、北部工業団地や山木地区では被害の分布が進行方向に向かって右側に偏っているように見える。また、泉地区では被害の分布が進行方向に向かって左側に偏っているように見える。図 2.3-6 では、被害の無かった建築物をグレーの○印で示しており、被害分布に偏りがみられるこれらの地区ではちょうど被害中心線の付近でもともと建築物の立地に偏りが見られることが分かる。このために被害分布が偏っているように見えている可能性もある。

次に、竜巻の進行距離帯別（500 m 毎）に強風被災度ランク別の建築物棟数を集計した結果を図 2.3-7 に示す。被災していない建築物を含めて、進行距離帯毎の全棟数に占める被災した建築物の割合で表現したものが図 2.3-8 である。ただし、被災していない建築物については、被害中心線から片側 200 m 以内に立地している建築物に限って棟数を集計している。図 2.3-8 では、進行距離が進むにつれて、被災した建築物の割合が高くなっていることが読み取れる。被害棟数が最も多い北条地区では、距離帯によっては最大で約 50% の建築物に何らかの被害が生じている。建築物の立地状況（密度）の違いがあるため一概には言えないが、図 2.3-8 では、竜巻は発生地点から北条地区に向かって、徐々にその勢力を増していったのではないかと推測される。

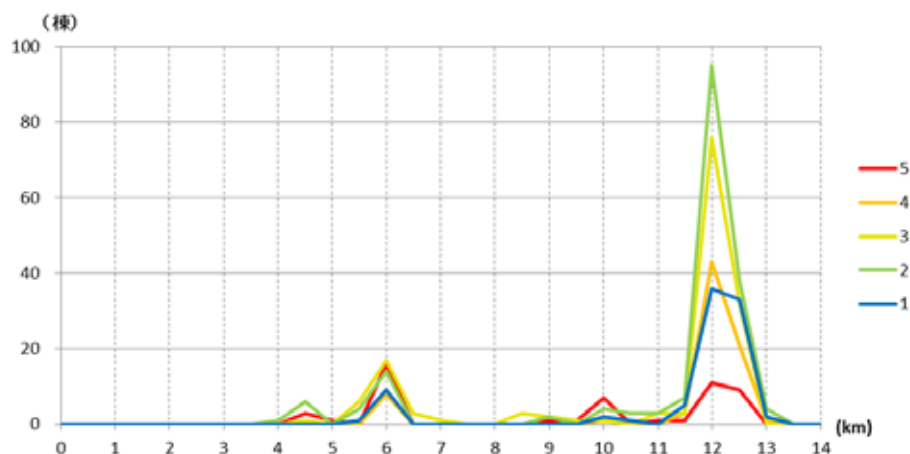


図 2.3-7 進行距離帯別の建築物被害分布（棟数）

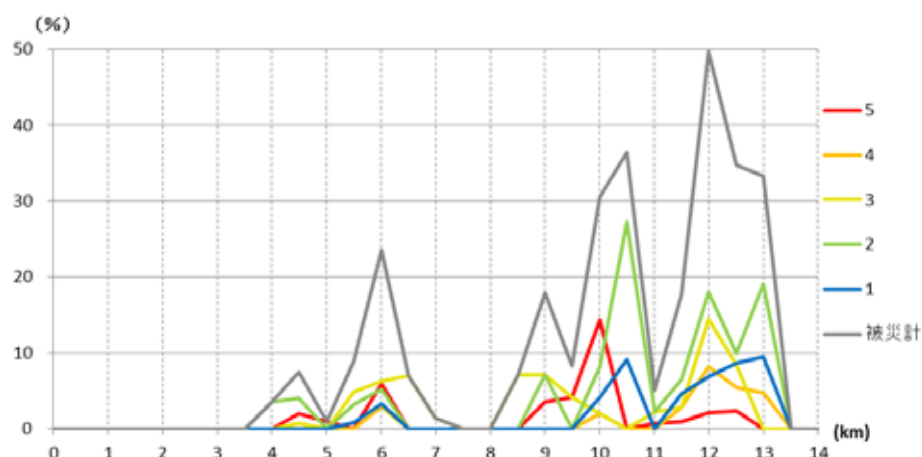


図 2.3-8 進行距離帯別の建築物被害率分布（%）

(2) 被害中心線からの距離分布

図 2.3-9 は、図 2.3-6 と同様の手法で、被災建築物の座標を合同変換して作成した図である。図 2.3-6 とは変

換の際の回転角を変えており、縦軸を竜巻の進行距離(km)とし、横軸を被害中心線からの距離(m)としている。横軸のプラス側が竜巻の進行方向に向かって右側(南東側)にあたり、マイナス側が向かって左側(北西側)となる。

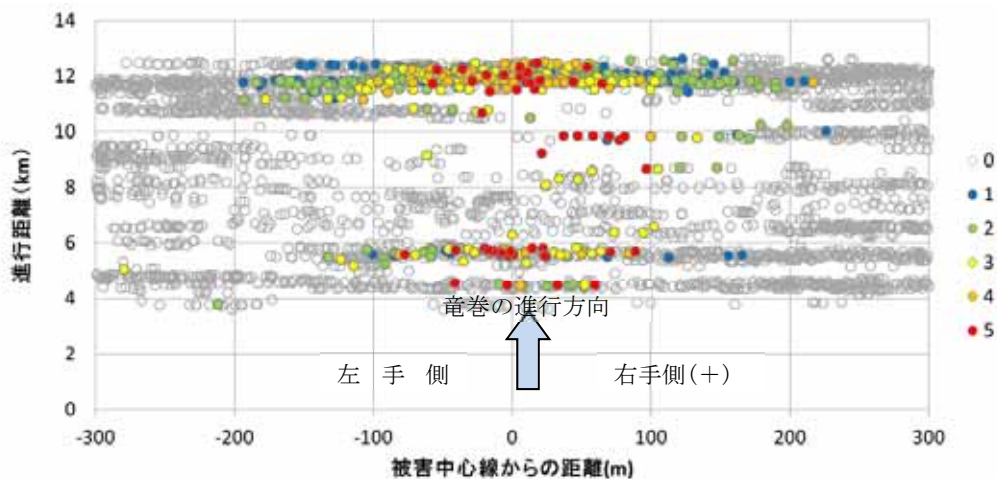


図 2.3-9 被害中心線からの距離と被害分布

図 2.3-10 は、被害中心線からの距離帯別に強風被災度ランク毎の建築物棟数を集計した結果である。図の左側は縦軸を棟数で表したもので、図の右側は縦軸を全棟数に占める被害建築物棟数の割合を百分率であらわしたものである。強風被災度ランクが5と4の棟数は被害中心線付近で若干右側に偏って分布し、強風被災度ランクが2と1の棟数は被害中心線付近が窪んだ二山の分布を示す。被害のあった棟数の割合では、被害中心線を中心に、若干右側の被害割合が高い。

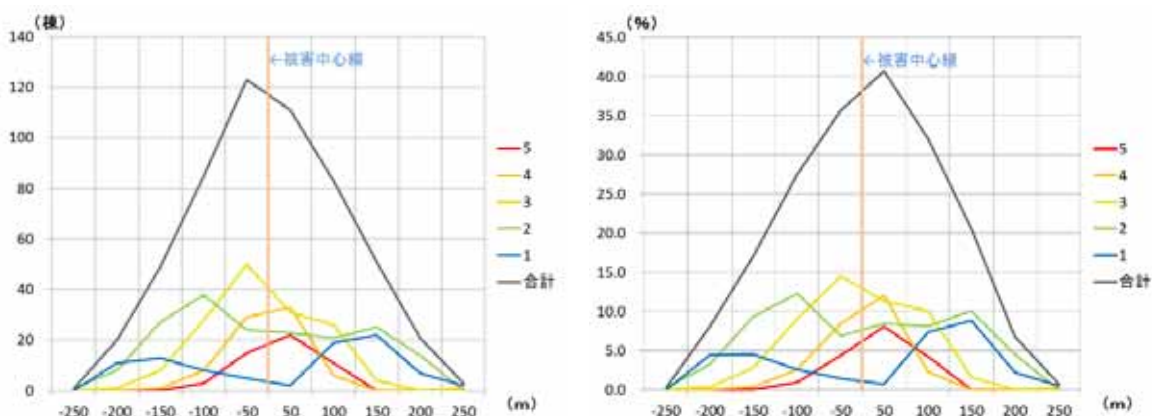


図 2.3-10 つくば市内全域の被害中心線からの距離と被害分布(左：棟数、右：被害率%)

図 2.3-11 は、北条地区を対象として被害中心線からの距離帯別に強風被災度ランク毎の建築物棟数を集計した結果である。分布の傾向としては図 2.3-9 に示したつくば市内全域の場合と同様であるが、図 2.3-11 の右側の図の被害棟数の割合では、被害中心線を中心にほぼ左右対称の分布となっており、わずかではあるが、左側の被害の割合が高くなっている。また、北条地区とつくば市内全域を比較すると、約 60%と約 40%で明らかに被害割合が高くなっている。

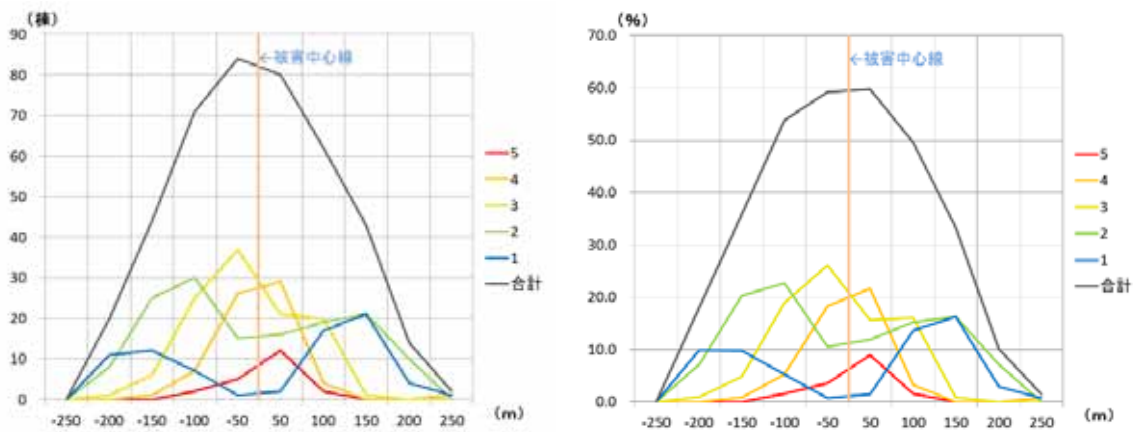


図 2.3-11 北条地区の被害中心線からの距離と被害分布(左：棟数、右：被害率%)

図 2.3-12 は、大砂地区を対象として被害中心線からの距離帯別に強風被災度ランク毎の建築物棟数を集計した結果である。北条地区に比べると被災棟数は大きく減少し、被害の幅も狭く、被害割合は最大でも約 40%である。これはつくば市全域の場合の最大値に近い値である。

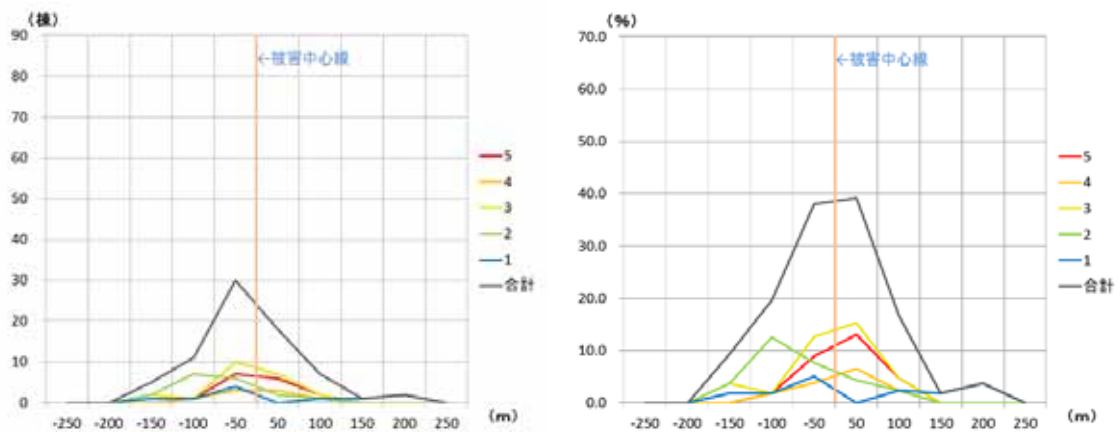


図 2.3-12 大砂地区の被害中心線からの距離と被害分布(左：棟数、右：被害率%)

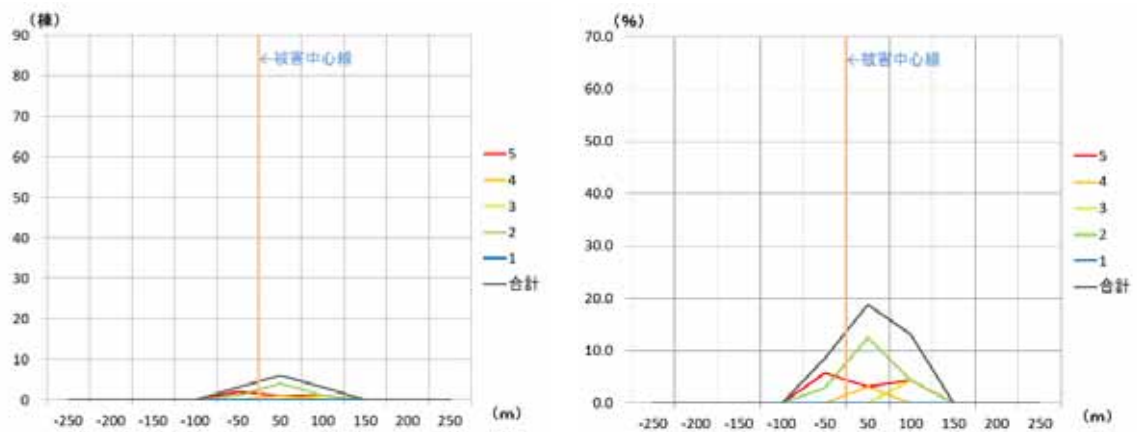


図 2.3-13 西高野地区の被害中心線からの距離と被害分布(左：棟数、右：被害率%)

図 2.3-13 は、西高野地区を対象として、被害中心線からの距離帯別に強風被災度ランク毎の建築物棟数を集計した結果である。被災棟数は大砂地区より更に大きく減少し、被害割合は最大でも約 20%の被害で、北条地区の約 1/3 である。また、被害の幅も、大砂地区と比較しても狭くなっている。以上から、竜巻が西高野・大砂から北条地区にかけて、被害の幅や被害割合等が増し、竜巻の勢力が増大したのではないかと推測される。

(3) 被害中心線と竜巻の中心経路との関係

図 2.3-14 は、北条地区の被害分布の拡大図である。図中の緑線は、赤色の点線円の地域から撮影された竜巻の画像から宮城弘守氏（宮崎大学工学部）が推定した竜巻（の漏斗雲）の中心の経路である。前述の被害中心線と推定された竜巻の中心経路はお互いにほぼ平行で、被害中心線は竜巻の中心経路よりも進行方向右側に約 35m ずれている。この結果からもこの竜巻が反時計回りに回転していたものと推測される。竜巻の旋回流をランキン渦^{2.6)}と仮定し、被害中心線上で竜巻の速度（旋回流の速度と移動速度のベクトル和）が最も速いと考えると、この地域（図 2.3-14 の赤点線円内）での竜巻の最大風速半径は約 35m と推定される。



図 2.3-14 被害中心線と竜巻の中心経路（北条地区）

参考文献

- 2.1) 気象庁・気象研究所・東京管区气象台・仙台管区气象台：平成 24 年 5 月 6 日に発生した竜巻について（報告）、2012. 6. 8
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/tatsumaki-portal/tyousa-houkoku.pdf>
- 2.2) 気象研究所：平成 24 年 5 月 6 日に茨城県つくば市付近で発生した竜巻について、2012. 5. 11
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/tatsumaki-portal/kishouken-kaiseiki.pdf>
- 2.3) つくば市（2012）茨城県つくば市における竜巻による被害状況等について、
http://www.city.tsukuba.ibaraki.jp/dbps_data/_material_/localhost/kou002/tatsumaki/hohon-siryou-u-higaijoukyou.pdf
- 2.4) 奥田泰雄・喜々津仁密・西村宏昭：強風被災度ランク、第 19 回風工学シンポジウム論文集、pp. 223-228、2006. 12

- 2.5) 国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所：平成24年5月6日に茨城県つくば市で発生した竜巻による建築物被害（速報）、2012.5.8
<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/activities/other/disaster/kaze/2012tsukuba/120506-tsuba.pdf>
- 2.6) J.Lee, T.Samaras, C.Young: Pressure Measurement at the Ground in an F-4Tornado, 22nd Conference on Severe Local Storms, 2004