

2012年5月のつくば市における竜巻災害について Tornado disaster of Tsukuba City on May, 2012

地理地殻活動研究センター 小荒井衛・岡谷隆基
Geography and Crustal Dynamics Research Center
Mamoru KOARAI and Takaki OKATANI

要 旨

2012年5月6日午後12時30分頃から、茨城県筑西市、常総市、栃木県真岡市で相次いで竜巻が発生した。特に常総市で発生した竜巻は、つくば市北条地区の商店街を直撃し、死者1名のほか、家屋の被害や電柱の倒壊など激甚な災害がもたらされた。国土地理院では、被災状況の把握のため、5月7日に茨城県つくば市、栃木県真岡市、益子町における被災地域の空中写真撮影を実施し、撮影された写真を正射写真（オルソ）及び正射写真地図の形式で公開した。つくば市内の竜巻被害について、空中写真判読により被害状況を把握し、建物被害を3ランクに区分した。空中写真判読では上空から見た被害状況しかわからないため、被災建物判読としては過小評価になるが全壊建物と大規模半壊建物の分布状況を早急に知るには有益である。また、竜巻通過経路を詳細地形データと重ね合わせることで、地表や建物の被害状況に地形が何らかの関与をしている可能性を示唆することが出来た。

1. はじめに

2012年5月6日午後12時30分頃から、茨城県筑西市、常総市、栃木県真岡市で相次いで竜巻が発生した（図-1）。特に常総市で発生した竜巻は、つくば市北条地区の商店街を直撃し、死者1名のほか、家屋の被害や電柱の倒壊など激甚な災害がもたらされた。



図-1 2012年5月6日に発生した竜巻の被害範囲
(気象庁, 2012a より)

国土地理院では、被災状況の把握のため、5月7日に茨城県常総市、つくば市、栃木県真岡市、益子町における被災地域の空中写真撮影を実施し、撮影された写真を正射写真（オルソ）及び正射写真地図の形式で公開した。

筆者らは、国土地理院で取得した空中写真のうちつくば市で撮影されたものについて被害判読を行うとともに、あわせて現地調査を実施し被災状況の把握を行った。また、詳細標高データ等の地理空間情報との重ねあわせを行うことにより、竜巻被害に対する地形要因等の考察を実施した。

概要は小荒井・岡谷（2012）で報告しているが、本論ではこれらの結果についてより詳細に報告する。

2. 日本における近年の竜巻災害の発生状況

関東地方では、南方から強い風が吹き込み、西側や北側が山地に遮断されるような大地形であるため、竜巻災害が発生しやすい地形条件の地域である。

関東地方で1961年以降死者を出した竜巻被害は、1962年7月7日茨城県東村（現土浦市）（死者2名、負傷者65名、住家被害42棟）、1969年8月23日に茨城県猿島町（現坂東市）（死者2名、負傷者107名、住家被害125棟）（茨城県猿島郡猿島町役場, 1970）、1971年7月7日埼玉県浦和市（現さいたま市）（死者1名、負傷者11名、住家被害118棟）、1980年8月19日千葉県の海上（死者1名）、1990年12月11日に千葉県茂原市（死者1名、負傷者73名、住家被害1,747棟）（茂原市教育委員会社会教育課, 1991）で発生したものなどがある。茨城県南部や千葉県など、関東地方南東部で甚大な竜巻被害が発生している傾向がある。

つくば市近傍では最近、2009年10月8日に土浦市で負傷者2名、住家被害106棟を出した竜巻災害が発生している。

全国的には近年複数の死者を出した竜巻被害として、2006年9月17日に宮城県延岡市（死者3名、負傷者143名、住家被害1,180棟（他の気象現象による被害数を含む））、2006年11月7日に北海道佐呂間町（死者9名、負傷者31名、住家被害39棟）（札幌管区気象台, 2006；田村, 2007）、2011年11月18日に鹿児島県徳之島町（死者3名、住家被害1棟）で発生したものなどがある。

3. 竜巻発生当日の気象概況と竜巻被害の概況

竜巻が発生した2012年5月6日の気象条件は、日本の上空5,500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でおり、東北日本の太平洋側から日本海にある低気圧に向かって暖かく湿った空気が流れ込んだ。日射の影響で地上の気温が上昇したことから、東海地方から東北地方にかけて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(気象庁, 2012a)。

前日の5日も上空と地表付近の温度差が高い状態ではあったが、5日は関東平野付近の水蒸気量が 대기1kg中に約6gと比較的少なかったのに対し、6日は 대기1kg中に約12gと水蒸気量が高くなっており、結果として擾乱の成長が促されて強い竜巻をもたらすスーパーセル(巨大積乱雲)が発生しやすい状況となっていた(気象庁気象研究所, 2012)。

今回発生した一連の竜巻では、両県合わせて死者1名、負傷者53名、住家被害1,200棟以上(総務省消防庁, 2012)と甚大な被害をもたらされた。また、常総市で発生した竜巻は茨城県つくば市付近で毎秒70~92メートルに達する(藤田スケールのF3)と推定されるなど、近年我が国で観測されたものとしては比較的大きなものであった。つくば市の被害は、死者1名、負傷者37名、住家等被害1,093棟、工業団地被害36棟(以上、人的被害は2012年5月9日現在、建物被害は2012年8月31日現在)という状況であった(つくば市災害対策本部, 2012)。つくば市の地域別の住家等被害状況を表-1に示す。

表-1 つくば市地域別住家等被害状況
(つくば市災害対策本部, 2012: 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	83	34	146	280	543	846
	居宅以外	75	6	34	188	303	
北条	居宅	76	30	143	210	459	697
	居宅以外	63	6	32	137	238	
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	2	5	7	21
	居宅以外	1	0	1	12	14	
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	8	12	81	111	247
	居宅以外	46	8	21	61	136	
大砂	居宅	9	6	11	56	82	175
	居宅以外	31	8	14	40	93	
西高野	居宅	1	2	1	24	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	93	42	158	361	654	1,093
	居宅以外	121	14	55	249	439	

※現地調査済棟数

4. 空中写真判読による被害実態の把握の方法

竜巻に伴う被害の判読は冒頭に述べたとおり、発災翌日に国土地理院が撮影した空中写真を用いた。

その諸元は以下の通りである。

撮影日時 : 2012年5月7日午後1時頃

使用カメラ : UCX

飛行高度 : 約1,200m

画像解像度 : 約10cm

判読は効率性を重視して、被害の概要は画像寸法80cm四方にリサンプリングされたオルソ画像を用いて、主に管面を通じて目視する形で実施した。詳細な判読については、画像寸法10cmの空中写真を紙に出力して実体視判読すると共に、必要に応じてその画像を管面上で拡大して単画像でも判読した。

竜巻による建物被害の程度を、空中写真判読により以下の3段階に区分した。

- ・ランク1: 屋根等に被害や変状が見られる。
- ・ランク2: 建物の構造は残されているが、屋根等が大規模に破壊されている。
- ・ランク3: 建物が元の構造がわからなくなる程度に破壊されている。

空中写真判読により被害が認められなかったものについてはランク外(ランク0)とした。ただ、窓ガラスの破損のみの場合など、上空から判読できない被害が発生している可能性があるため、全体として過小評価される傾向にあると考えられる。

5. 空中写真判読による被害実態把握の結果

被害建物の分布や、森林部での樹木の倒壊や水田上での瓦礫の堆積などから、竜巻被害の顕著な箇所を追跡することが可能であり、おおよその竜巻の通過経路が判断できる。吉沼から西高野、大砂、北部工業団地、水守、山木、泉、北条地区を通り平沢地区筑波幼稚園周辺にかけて、西南西から東北東方向に被害範囲は幅約500m、長さ約10kmにわたって直線的に分布している(図-2)。

推定される通過経路はほぼ直線で、通過経路の中心部付近でランク2や3の被害程度の建物が多い。母屋ではランク3の建物被害は少なく、納屋等の建物でランク3の被害が多い傾向にあり、建物被害の程度が建築物の構造にも関係している。鉄筋コンクリートの建物の場合、建物内部が壊滅的な被害を受けても、空中写真では屋根の被害しか判読できないので、ランク1になってしまう傾向がある。竜巻の風力が強かった北部工業団地でほとんどの建物被害がランク1だったのも同様の理由である。北条地区でランク1以上の被害が確認できたエリアの幅は約200mであったが、現地では約500m程度の幅で建物被害が認められる範囲が広がっていた。実際には突風による窓ガラスの破壊など上空からの判読ではわ

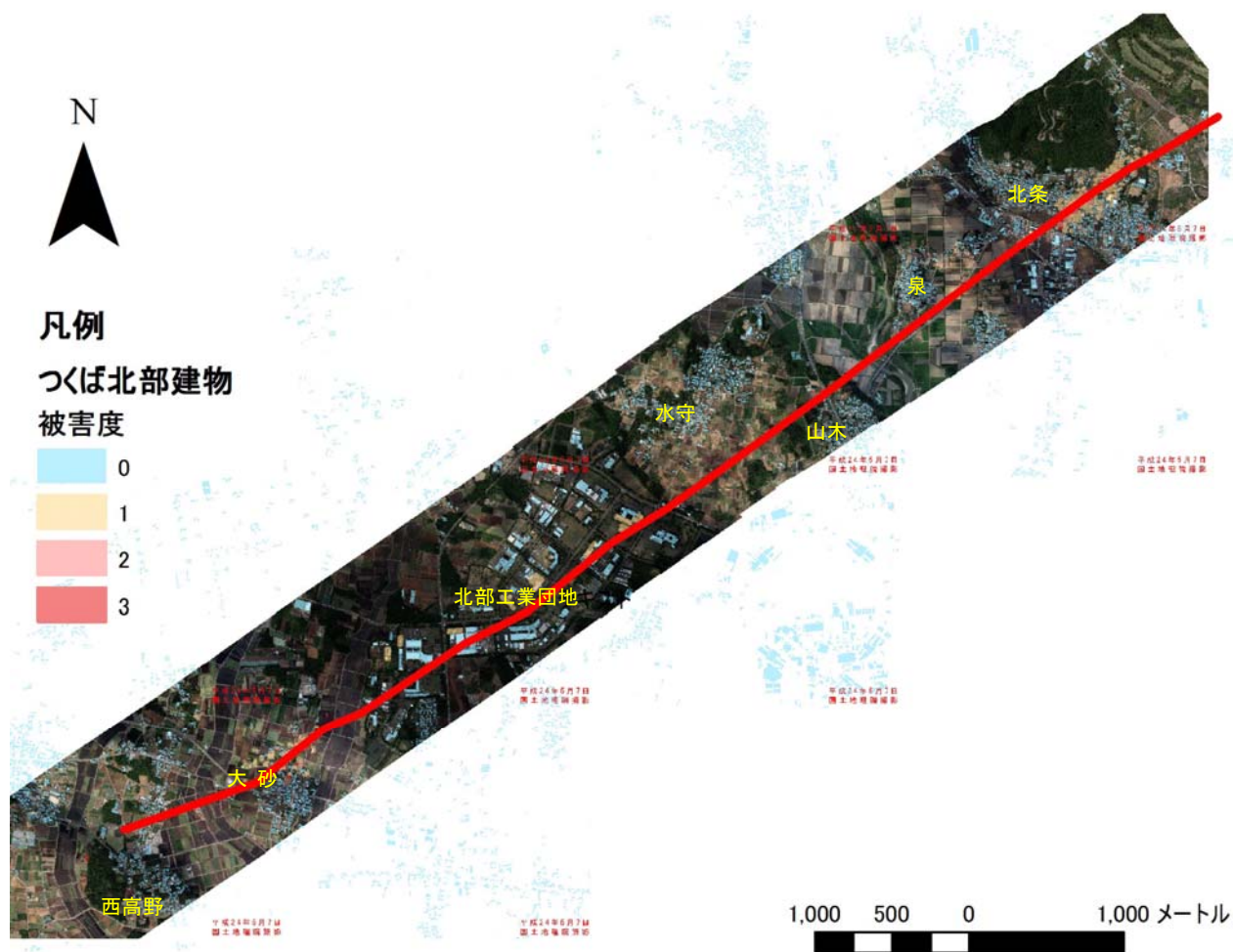


図-2 災害後に撮影されたオルソ空中写真と竜巻の推定通過経路

からない被害が多数あるため、実際の被害家屋は空中写真判読により求めた被害家屋より多くなる。

地区ごとの判読結果と現場での被害状況との対応は以下の通りである。

5.1 常総市

竜巻は常総市古間木周辺で確認されており、茨城県のHPでは常総市で非住家被害が5軒とされている(2012年5月7日11時現在)。空中写真の判読では、少なくとも小貝川より西側では建物被害は確認できなかった。災害当日に防災科学技術研究所が行った現地調査や応用地理部が翌日に行った現地調査でも、小貝川より西側の建物被害の報告はない。

5.2 つくば市吉沼・西高野周辺

2012年9月7日のつくば市災害対策本部の報告(以下「つくば市報告」とよぶ)によると、吉沼での被害状況は、居宅で一部損壊が1棟、居宅以外で全壊3棟、一部損壊が3棟となっている。空中写真を判読すると、吉沼の向町の南方で屋根に被害が認められる家屋(ランク1)が3棟判読できた。居宅

とそれ以外の区別は難しい。

西高野では、つくば市報告によると、居宅で全壊1棟、大規模半壊2棟、半壊1棟、一部損壊が24棟であった。居宅以外では全壊12棟、半壊7棟、一部損壊18棟となっている。空中写真判読では、野球場の近くで屋根に被害が認められる家屋(ランク1)が判読できたほか、ビニールハウスの倒壊等の被害が確認された。

5.3 つくば市大砂周辺

大砂では、竜巻が集落内を通過したためか、集落の中心部に一定の幅を持って建物被害が認められる地域が帯状に連なっていた。そのエリアを3つのランク区分で色分けしたものを図-3に示す。中心部でランク2と3が散在しているので、その部分付近を竜巻が通過したものと考えられる。

図-3の範囲では、ランク3が18棟(このうち大きな棟は9棟)、ランク2が10棟(このうち大きな棟は7棟)、ランク1が53棟(このうち大きな棟は40棟)であった。小さな棟は居宅以外と考えて差し支えないが、大きな棟には居宅以外も幾つか含まれ

ると考えられ、大きさだけで区別することは難しい。つくば市報告では大砂の居宅の建物被害は、全壊 9 棟、大規模半壊 6 棟、半壊 11 棟、一部損壊 56 棟であることを考えると、著者らの判読によるランク 2 と 3 が全壊と大規模半壊に相当し、ランク 1 は半壊と一部損壊の一部に相当すると考えられる。空中写真判読では上空から見た被害しかわからないので、窓ガラスの破損とか壁の平易な損壊の場合、空中写真判読だけから判断することはできない。一部損壊の半分くらいはランク 1 と判断されたが、残りはランク 0 に区分されているものも多いと思慮される。

5 月 13 日に現地確認調査を行ったが、空中写真判読から得られるランク 2 と 3 の被害状況は概ね妥当であることが確認できた。また、ランク 0 の建物の中には、屋根には被害が無いものの、窓ガラスや壁等に破損が認められる建物が多数存在することも確認できた。



図-3 大砂の被害状況の区分

5.4 つくば市北部工業団地周辺

つくば市北部工業団地内を竜巻が通過した。工業団地内の建物被害区分と推定される経路を図-4に示す。工業団地内は大きな建物が多いため、多くのものが屋根の損壊であった。そのため一部を除いて建物被害はランク 1 のものが多い。工業団地では工場敷地を囲む樹林等が存在するが、ピンポイントで特定の場所の樹木が倒壊しているため、竜巻の通過地点をより正確に同定することができる。そのため、図-4に示す推定経路は厳密には直線ではなく、多少折れ曲がっている。

5 月 10 日に現地確認調査を行ったが、概ね判読状況が正しいことを確認できた。ピンポイントで特定の樹木だけが被害を受けていることも確認できた。工場関係者からの聞き取りでは、駐車場の車が巻き上げられるなどの被害が出ており、空中写真判読で

の建物被害状況の判読だけでは把握が難しい、竜巻のエネルギーのすさまじさを知ることが出来た。なお、空中写真を拡大すれば、工場の敷地内に駐車してある自動車の一部が大破していることは判読できるが、飛来してきたものにより自動車が大破したのか、自動車そのものが飛来して大破したのかまでは判読できない。

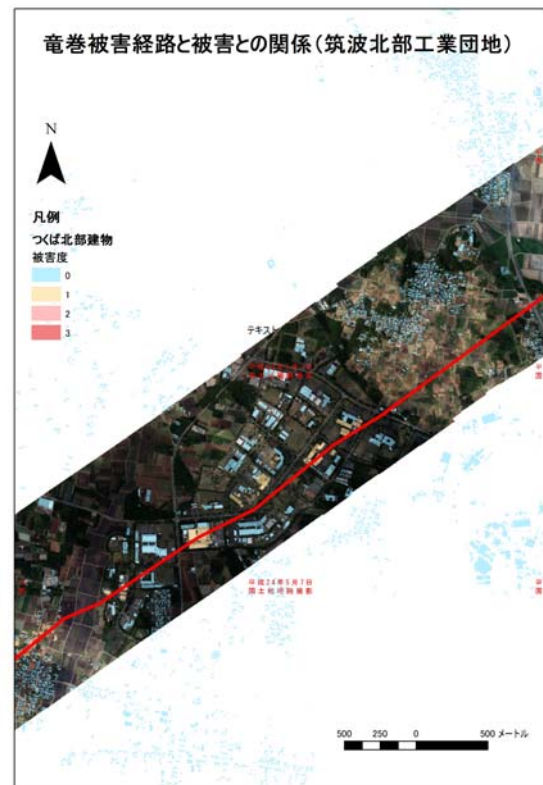


図-4 筑波北部工業団地の建物被害ランクと竜巻の推定経路

5.5 つくば市水守・山木・泉周辺

北部工業団地と北条地区の間は、まとまった集落上を竜巻が直撃していないと見られ、居宅の全壊～半壊の被害は大砂や北条ほどは大きくない（つくば市報告によれば各地の被害は、水守：居宅一部損壊のみ 7 棟、泉：居宅一部損壊のみ 19 棟）。ただ、山木については国道 408 号を竜巻が通過したと見られる箇所周辺で被害があり、つくば市報告に基づく被害状況は居宅全壊 7 棟、大規模半壊 3 棟、半壊 1 棟、一部損壊 23 棟となっている。判読結果では居宅か居宅以外かは不明であるが、山木についてランク 3 が 7 棟、ランク 2 が 1 棟確認された。これは先の大砂のケースを踏まえると居宅の全壊・大規模半壊にほぼ相当していると見てよい数字である。

山木周辺の災害後の空中写真を図-5に示す。国道 408 号線沿いの A 地点では、数軒の建物の痕跡が確

認でき、ここに存在した建物が壊滅的な被害を受けたことが推定できる。国道上にも汚れが認められ、その東側の畑地には瓦礫等が散在している。段丘崖の森林部については、B地点で多くの倒木が確認できる。竜巻がAからBの地点を通過したことが推定される。現地確認調査でも、竜巻の推定経路と家屋が撤去された壊滅的被害域はほぼ一致しており、判読結果と良く対応していた。なお、B地点より東側の低地側であるが、桜川を越える地点くらいまでは、顕著な竜巻被害が判読されず、現地調査でも確認できなかった。

一方、水守や泉では、樹木の倒壊やビニールハウスの破損等を除いて家屋被害はほとんど認められなかった。両地区のように被害がほぼ一部損壊にとどまるケースでは空中写真判読で確認できない場合が多いと考えられる。現地調査でも倒木等は確認されたが、写真で判読できなかった壊滅的な被害はほとんど確認されなかった。



図-5 山木の国道408号線周辺の災害後の空中写真

5.6 つくば市北条商店街周辺

北条では集落の中心部に一定の幅を持って建物被害が認められる地域が帯状に連なっていた。そのエリアを3つのランク区分で色分けしたものを図-6に示す。中心部にランク2と3が集中しているので、その部分付近を竜巻が通過したものと考えられる。

図-6の範囲では、ランク3が33棟（このうち大きな棟は25棟）、ランク2が45棟（このうち大きな棟は34棟）であった。

つくば市報告では北条の居宅の建物被害は、全壊76棟、大規模半壊30棟、半壊143棟、一部破損210棟、居宅以外では、全壊63棟、大規模半壊6棟、半壊32棟、一部損壊137棟となっている。大砂と同様に著者らの判読によるランク2と3が全壊と大規模半壊に相当するとした場合、大きな棟のランク2と3の合計は59棟となり、つくば市報告の居宅の全壊

と大規模半壊の合計の106棟の約6割となっており、過小評価の傾向にある。

北条地区の商店街周辺の災害後の空中写真を図-7に示す。図中のAは、国道125号沿いの全壊した家屋であり、建物自体がひっくり返って基礎の部分が上にかぶさっている。Bの団地の建物の自体の被害状況の判読は難しいが、前面に多くの瓦礫や自動車などが乱雑に堆積している様子が判読できる。Cは鉄道路線跡地を利用したサイクリングロードであるが、路線に沿って植えられている樹木（桜並木）がこの部分だけ存在しておらず、竜巻がちょうどこの地点を通過したことが推定される。5月12日に行った現地確認調査で、桜の木が何本も根本付近で折れているのが確認できた。折れていない木も葉が全く付いていなかった。D～Eの線上で被害ランク3の建物が連続しており、敷地の中庭などに多量の瓦礫が堆積している様子も判読できる。国道125号と北条商店街通りを結ぶ道路に沿って、被害ランク2または3の建物が集中している。

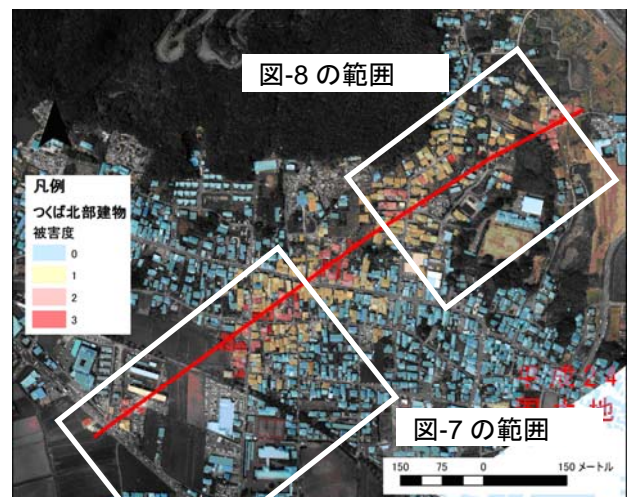


図-6 北条の建物被害ランクと竜巻の推定経路

5.7 つくば市北条横町周辺

北条の横町周辺の空中写真を図-8に示す。建物の痕跡を残さない程度のランク3の建物被害が図中のA、B、C、Eの周辺で多く、Dでは樹木の倒壊が集中していることが判読できる。竜巻の通過経路はA～Eを結ぶ線と推定されるが、一方で仲町の通り沿いのFからGにかけてもランク2か3の建物被害が認められる。5月14日に行った現地確認調査でも、空中写真判読から得られるランク2と3の被害状況は概ね妥当であることが確認できた。

5.8 つくば市平沢周辺

北条の北東側では、平沢の筑波幼稚園の建物の屋根に被害は認められる。空中写真で建物被害が確認

できる最も北東側である。その東側にあるゴルフ場につながる斜面で倒木が集中していることが判読でき、少なくともここまでは竜巻の下端が接地して、地表に被害をもたらしたことは確実である。つくば市報告では、平沢の居宅の建物被害は大規模半壊1棟、一部損壊16棟、居宅以外では全壊2棟、一部損壊9棟であった。



図-7 国道 125 号線から北条商店街にかけての災害後の空中写真



図-8 横町周辺の災害後の空中写真

6. 詳細標高データとの重ね合わせ

6.1 つくば市西高野周辺～山木～北条

竜巻被害と地形との関連性を考察するため、推定竜巻通過ルートについて、航空レーザ測量による5mメッシュ標高データと重ね合わせた(図-9)。つくば市の西高野周辺は標高30m程度で、土地条件図では上位面となっている。幾つか台地を刻む谷底平野を通過するが、その比高は数m以下である。北部工業団地を経て、山木周辺で地形は上位面から15m程度低下して谷底平野になる。

山木では国道408線沿いの建物の壊滅的被害があり、段丘崖で樹木の倒壊が激しいが、谷底平野側で

は桜川左岸側の泉付近まで顕著な被害は認められない。一般に竜巻の下端が地表に接地していると地表に壊滅的な被害をもたらすが、山木集落のある上位面から谷底平野に地形が下がる際に、比高が15m以上と急激に高さ方向の変化があるため、竜巻の下端が地表面に接するまでに時間がかかり、それまでに竜巻が進行する間は地表に顕著な被害が発生しなかった可能性が考えられる。これは一つの可能性ではあるが、竜巻の専門家へのヒアリングによれば、竜巻については未解明な点が多く、ここで筆者らが考えた可能性も全く否定できるものでも無いそうである。今後、このような視点で他の竜巻災害も見えていく必要があるのかもしれない。

6.2 つくば市北条横町周辺

5.7に示したとおり、空中写真(図-8)の判読に基づく竜巻の推定通過経路はA～Eを結ぶ線であるが、一方で仲町の通り沿いのFからGにかけてもランク2か3の建物被害が認められた。そこでH-Iライン沿いの5mメッシュの地形断面を図-10に示した。

A～Eの線は谷底平野の縁を通過しているが、F～Gの建物は谷底平野から比高5m程度有る麓層面に位置している(土地条件図では「麓層面」となっている)。一般に竜巻被害は建物の1階よりも2階の方が酷いと言われているが、F～Gの建物は竜巻通過地点の地形より高い場所に位置している(谷底平野の建物に対し3階に相当する)。そのことにより、建物被害を大きくしていた可能性が示唆される。

7. おわりに

2012年5月6日につくば市で発生した竜巻災害に関して、翌日に国土地理院が撮影した空中写真を判読して、建物被害等の状況を把握した。被害状況は3ランクに区分した。空中写真判読では上空から見た被害状況しかわからないため、屋根に被害の無い建物を被災建物と判読することが困難であり、被災建物判読としては過小評価になる。ただし、ランク2と3の総数は概ね全壊建物と大規模半壊建物の総数とは合っており、壊滅的な建物被害の状況を早急に把握する上では、有効であると考えられる。

また、竜巻通過経路を詳細地形データと重ね合わせることで、地表や建物の被害状況に地形が何らかの関与をしている可能性を示唆することが出来た。

以上つくば地区で判読した内容は、その後の筆者らの現地調査によっても確認できた。最後に、今回の災害で被災した方々に心からのお悔やみとお見舞いを申し上げますと共に、早い時期での復興を心から祈念する次第である。

謝辞

気象庁気象研究所気象衛星・観測システム部第四研究室長の楠研一博士をはじめ、気象衛星・観測システム部の皆様には、今回の竜巻災害を含めた竜巻に関する基礎情報を御教示頂くと共に、当方の検討結果について貴重な御意見を頂いた。また、(独)防災科学技術研究所水・土砂防災研究ユニットの皆様

には、竜巻発生当日の災害現地調査写真を提供いただき、研究を進める上での参考にさせていただいた。

(独)防災科学技術研究所社会防災システム研究領域アウトリーチ・国際研究推進センター自然災害情報室の鈴木比奈子氏には、過去の災害情報の収集に御協力を頂いた。ここに記して、感謝申し上げる。

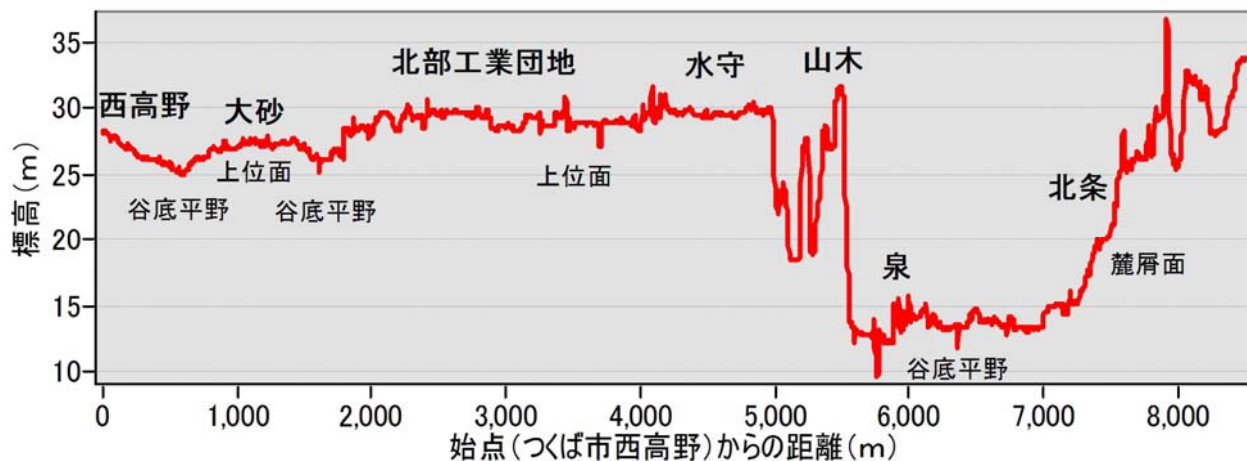


図-9 竜巻の推定通過経路沿いの5mメッシュ地形断面

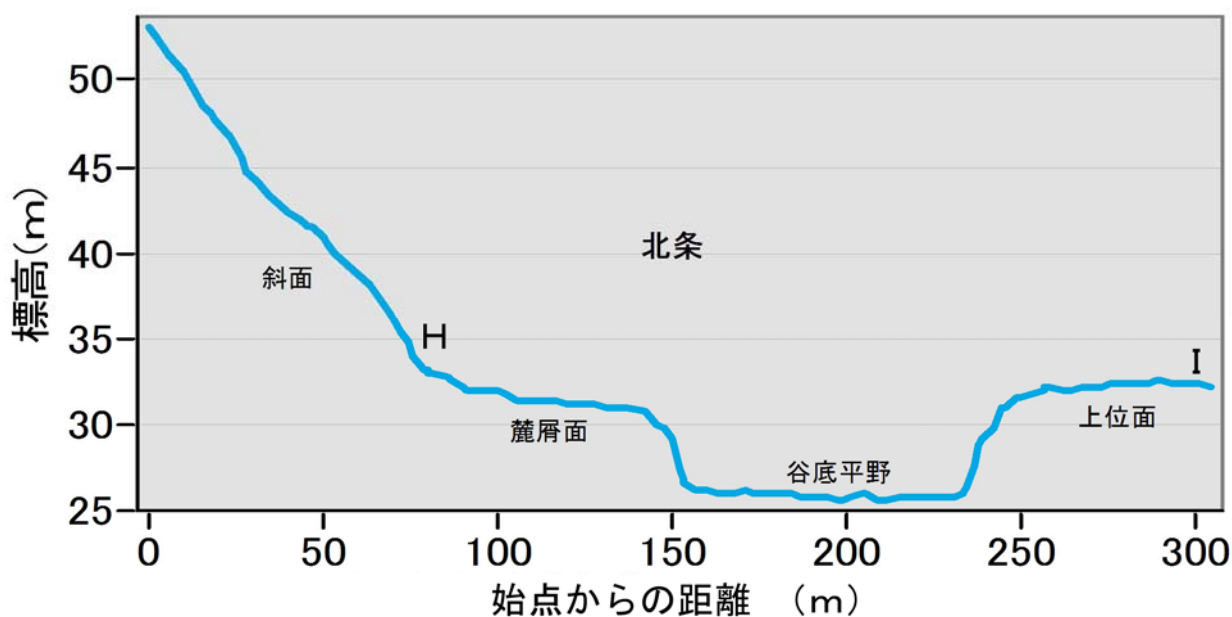


図-10 図-8のH-Iライン沿いの5mメッシュ地形断面

参考文献

茨城県猿島郡猿島町役場 (1970) : 猿島町たつまき誌。
 小荒井衛・岡谷隆基 (2012) : つくば市における竜巻災害の写真判読と地形との関係. 写真測量とリモートセンシング, 51-3, 134-135.
 気象庁 (2012a) : 現地調査報告 (平成 24 年 5 月 6 日に茨城県・栃木県で発生した竜巻について), <http://www.jma.go.jp/jma/menu/tatsumaki-portal.html> (Accessed 24 Sep. 2012) .
 気象庁(2012b) : 気象統計情報－竜巻等の突風データベース,

<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/index.html> (Accessed 24 Sep. 2012) .

茂原市教育委員会社会教育課 (1991) : 平成 2 年 12 月 11 日竜巻, 写真でみるもばら風土記シリーズ 3.

総務省消防庁(2012):平成 24 年 5 月に発生した突風等による被害状況及び消防機関の活動状況等について(第 17 報), <http://www.fdma.go.jp/bn/2012/detail/754.html> (Accessed 24 Sep. 2012) .

札幌管区气象台 (2006) : 災害時気象調査報告 平成 18 年 11 月 7 日から 9 日に北海道 (佐呂間町他) で発生した竜巻等の突風.

田村幸雄 (2007) : 北海道佐呂間町で発生した竜巻による甚大な災害に関する調査研究 研究成果報告書, 文部科学省科学研究費補助金報告書.

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/No149.pdf (Accessed 24 Sep. 2012) .