

研究種目：若手研究 (B)  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19760390  
 研究課題名 (和文) スーパータイフーンが住家被害の拡大に及ぼす影響因子の  
 共分散構造分析  
 研究課題名 (英文) Covariance Structure Analysis on Increase of Residential Damage  
 due to Super Typhoons  
 研究代表者  
 友清 衣利子 (TOMOKIYO ERIKO)  
 九州大学・大学院人間環境学研究院・助教  
 研究者番号：30346829

研究成果の概要：強風被害の拡大には風速だけでなく、建物の耐風性能の良し悪しもまた関連があるが、木造か鉄筋コンクリート造かなど、数値で表すことのできない構造物の特性が強風被害に及ぼす影響を定量的に評価するのは難しい。本研究では心理統計学的手法を用いて構造物の特性を数量化し、被害影響因子を抽出してその寄与率を評価した。さらに抽出された影響因子をもとに耐風性能を考慮して風速を補正し、実態により対応した住家被害率を算定する手法を提案した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,300,000	0	1,300,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,000,000	210,000	2,210,000

研究分野：建築構造

科研費の分科・細目：建築学 ・ 建築構造・材料

キーワード：強風災害、住家、耐風性能、被害推定

## 1. 研究開始当初の背景

近年、地球温暖化の影響を受けた海表面温度の上昇による台風の大型化が話題となっている。地球温暖化が台風やハリケーンの大型化に大きな影響を及ぼすと明言するには至らないが、2004年には10個もの台風が日本に上陸して日本全国の広い範囲で被害をもたらした。2005年にはアメリカ南部に上陸したハリケーン・カトリーナによって甚大な人や構造物への被害が起こった。台風やハリケーンによる強風被害は広域かつ長期間にわたるため、人的・物理的・経済的に強い影響

を及ぼすことは明らかである。

台風モデルなどの気象モデルの発展や最大風速の統計的予測手法の確立によって、局所地形や周辺構造物の影響を受けにくい海面や平地での平均的な風速の見積もりは可能になってきたが、台風時には平均風速だけでなく最大瞬間風速や風の変動の大きさ、強風の継続時間などの風のパラメータに加え、構造物の形状、築年数、材料など種々の構造パラメータが複雑に絡み合っ住家などに被害が生じる。

既往の研究によって、風速がある閾値を超

えると住家被害が増大し、最大風速に比べて最大瞬間風速が住家被害の拡大に強い影響を与えることが報告されている。一方で構造物の特性もまた強風被害の拡大に影響を及ぼすことが知られているが、質的なデータである構造物の特性を定量的に評価し、風と構造物に関する様々な影響要因が強風被害拡大に及ぼす影響を複合的に検討した例はほとんどないのが現状である。

研究代表者らは、九州地区に多くの住家被害をもたらした 1999 年の台風 18 号と 2004 年の台風 18 号が九州に上陸したときの九州電力（株）広域高密度風観測システム（NeWMeK）での風観測データを用いて、最大瞬間風速、最大風速、乱れの強さ、突風率及び強風の発生頻度と住家被害率との関係を調べ、最大瞬間風速がそれほど大きくない場合でも、風の乱れの強さが大きい時には住家被害率が増大することを示した。しかし、これらの検討は 1 つの要因が単独で被害拡大に及ぼす影響に着目したものである。風に関する各パラメータおよび構造物に関する各パラメータ間には何らかの関連性があることは明らかであり、強風時の構造物被害を予測するためには、個々のパラメータごとに相関関係を検討するのではなく、これらすべてのパラメータを関連させた多変数要因分析を行う必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究では、台風などの強風そのもの及び強風を受ける構造物の耐風性能に関する多くの影響因子を心理統計学的手法で数量化し、複雑に絡み合うこれら強風被害拡大の要因を統計的に整理して強風被害率を算定することで、強風に対する住家被害危険度を推定し、風災害に対する住家被害危険度マップを試作することを当初の目的とした。

## 3. 研究の方法

図 1 に示すように強風被害に影響を与える因子は数多く、それらは互いに関連しながら被害を拡大させると考えられる。本研究では台風による強風被害事例の多い九州の地方自治体での被害に注目し、図 2 に示す手順で強風被害を推定し、住家の強風被害危険度の算定を試みた。

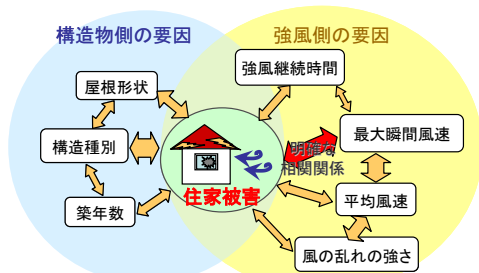


図 1 強風被害拡大に影響を与える因子の一例

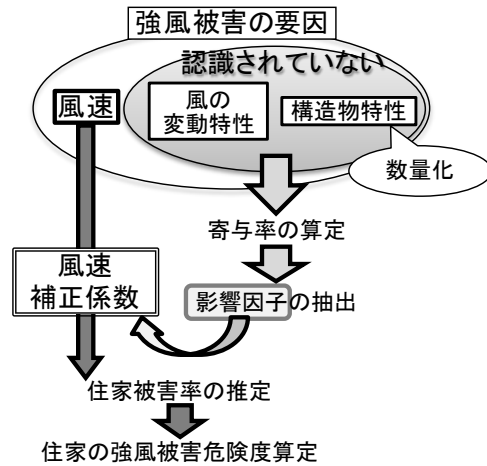


図 2 本研究の手順

### (1) 強風による住家被害影響因子の整理

#### ① 台風時の住家被害情報の整理

近年、九州地方に甚大な被害をもたらした 1999 年台風 18 号と 2004 年台風 18 号による市町村別の住家被害情報を主に整理し検討したが、ここでは代表して台風 9918 号の住家被害率分布を台風経路とあわせて図 3 に示す。1999 年 9 月 24 日に熊本県に上陸した台風 9918 号は九州中部地域を中心に住家被害をもたらし、九州内での被害住家は約 10 万戸であった。一方、台風 0418 号は 2004 年 9 月 7 日に長崎県に上陸し、主に九州北部地域で約 2 万 5 千戸の住家が被害を受けた。

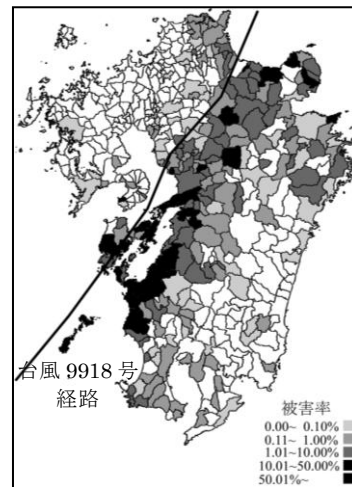


図 3 台風 9918 号による九州の市町村別住家被害率分布図

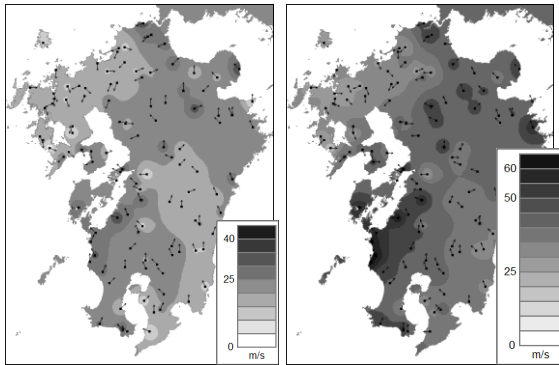
#### ② 台風時の風況特性の整理

図 4 に台風 9918 号が上陸した 9 月 24 日の NeWMeK による等風速線図を示す。図(a)と(b)はそれぞれ日最大風速、日最大瞬間風速の分布図である。

NeWMeK は送電鉄塔を観測塔とする広域風観測網で、九州内に 123 の観測点を持っている。10 分ごとの平均風向風速、最大瞬間風速およびその時の風向、1 秒平均風向風速を記録しており、風の詳細な変動特性を把握す

ることができる。日最大風速、日最大瞬間風速、台風突風率（＝日最大瞬間風速／日最大風速）に加えて、日最大瞬間風速および日最大風速を記録した10分間の風の乱れの強さや風速の標準偏差、突風率を観測点ごとの風況特性として整理し、影響因子とした。

市町村庁舎と観測点との距離を求め、最も近い観測点での風況特性を市町村の代表風況として台風による住家被害率と関連づけたが、庁舎と観測点との距離が離れ過ぎている場合にはその地域の風況を代表することができないと考え、その距離が15km以内となる場合を検討した。



(a) 日最大風速 (b) 日最大瞬間風速  
図4 台風9918号上陸時の風速分布図

### ③ 住家の構造特性情報の整理

市町村別の構造物の特性を把握するために総務省内閣府による住宅・土地統計調査資料を用いた。住宅・土地統計調査は、日本国内の住宅とそこに居住する世帯の居住状況、世帯の保有する土地等の実態を把握し、その現状と推移を明らかにするもので、5年ごとに調査が行われる。台風9918号による被害発生時の市町村ごとの構造物特性を表す資料としては平成10年の資料を、台風0418の被害発生時の構造物特性を示す資料としては平成15年の統計調査資料を用い、調査項目のうち住宅の構造と建築時期を耐風性能を示す指標として検討した。

住宅の構造は平成10年の調査では、木造、防火木造、非木造の3つに、平成15年の調査では木造、防火木造、鉄骨・鉄筋コンクリート造、鉄骨造の4つに区分されている。また、住宅の建築時期の区分を台風が上陸した年の築年数区分とあわせて表1に示すが、調査時期や対象地域の規模によってその建築時期区分が異なることに注意が必要である。

表1 住宅・土地統計調査の建築時期区分

平成10(1998)年度		平成15(2003)年度			
		市区		町村	
建築時期	築年数	建築時期	築年数	建築時期	築年数
～1945	～54	～1960	～44		
1946～1970	53～29	1961～1970	43～34	～1970	～24
1971～1980	28～19	1971～1980	33～24	1971～1980	33～34
1981～1990	18～9	1981～1985	23～19		
1991～1995	8～4	1986～1990	18～14	1981～1990	23～14
1996～	～3	1991～1995	13～9	1991～1995	13～9
		1996～2000	8～4	1996～2000	8～4
		2001～	～3	2001～	～3

### (2) 構造特性の数量化

台風による市町村別の住家被害率を定量的に評価するために、質的データである住宅の構造及び地域によって調査区分の異なる建築時期を数量化して構造種別指標および築年数指標を求めた。

一般に強風による被害報告事例の多い木造を4位、防火木造を3位、鉄骨・鉄筋コンクリート造を2位、鉄骨造を1位に順位付けし、各順位に対応する構造物の割合を乗じた以下の式で構造種別指標を定義した。

$$M_i = \sum_{j=1}^n r_j \frac{x_{ij}}{N_i} \quad (1)$$

ここで $r_j$ は構造種別 $j$ に対応する順位で $1 \leq j \leq n(=3)$ となる。 $x_{ij}$ は市町村 $i$ 内に存在する構造種別 $j$ に対応する住宅数、 $N_i$ は市町村 $i$ の住宅の総数である。木造住家の割合が高い市町村では構造種別指標が大きくなる。図5に平成10年の統計調査による九州内各市町村の構造種別指標を示すが、都市化の進んだ福岡市や熊本市などの都心部では指標が小さくなり、市町村の実態を概ね示している。

また、築年数が短く新しい住家ほど強風被害が発生しにくいと考え、建築時期区分から台風被害が発生した時点での住宅の築年数区分を求めた。築年数区分の平均値を代表築年数として以下の式で市町村の築年数指標を定義した。

$$Y_i = \sum_{j=1}^n \delta_j \frac{x_{ij}}{N_i} \quad (2)$$

ここで $j$ は建築時期から求めた築年数区分で $n=6$ である。 $\delta_j$ は区分 $j$ の代表築年数、 $x_{ij}$ は市町村 $i$ 内に存在し、その築年数が区分 $j$ に対応する住宅数、 $N_i$ は市町村 $i$ の住宅の総数である。築年数指標の分布を図5に構造物指標とあわせて示すが、新しい住家が多い市町村ほど、その指標は小さくなる。

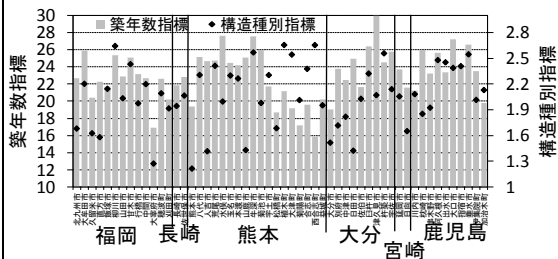


図5 平成10年住宅・土地統計調査に基づく九州の市町村の構造種別指標と築年数指標

### (3) 強風被害影響因子の特定

図6(a)と(b)に台風9918号が上陸した日にNeWMeKで記録された日最大風速及び日最大瞬間風速と住家被害率との関係を示す。風速の増大に伴って住家被害は急激に増加するので、線形表示では被害率が小さい時の分布が読み取りづらいため、図6では対数軸で表示した。一つの観測点での代表風速値に対して近隣の複数の市町村での被害率を対応

させているために風速が同じであっても被害率が大きくばらつく場合があるが、日最大風速及び日最大瞬間風速と住家被害率の対数は正比例する傾向が見られた。図6中に日最大風速及び日最大瞬間風速と住家被害率との相関係数を示すが、弱いながらも正の相関となった。

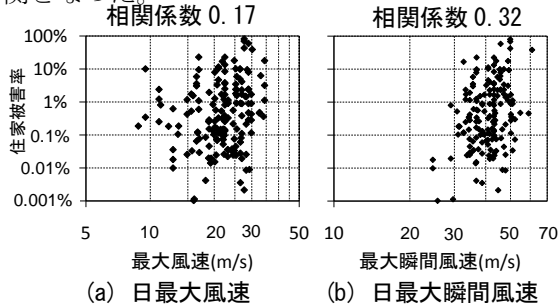


図6 風速と住家被害率との関係

表2に台風突風率と最大風速が発生した時の風速の標準偏差、乱れの強さおよび突風率と住家被害率との相関係数を、表3には同一標本を用いて最大風速を制御変数とした時の偏相関係数を示す。表3より突風率や乱れの強さと被害率との偏相関係数が正の相関を示すことから、最大風速の大きさに拘わらず最大瞬間風速と風速の標準偏差が大きくなると住家被害率が增大する傾向があることがわかった。

また、図7と8に築年数指標及び構造種別指標と住家被害率との関係を示す。築年数指標と住家被害率との関係は明確ではないが、構造種別指標ではばらつきは大きいものの、指標が大きいほど住家被害率が増加する傾向がある。構造物に関する2つの指標との相関係数を図中にあわせて記すが、構造種別指標との相関係数は0.2の正の値となった。つまり、木造住家が多い市町村ほど被害が増大しやすいと言える。

表2 住家被害率と風況特性との相関係数

		台風突風率	風速の標準偏差 (対数)	乱れの強さ	突風率
住家被害率 (対数)	相関係数	0.03	0.23	0.04	0.05
	有意確率	66%	0%	62%	51%

表3 住家被害率と風況特性との偏相関係数

		最大風速制御			
		台風突風率	風速の標準偏差 (対数)	乱れの強さ	突風率
住家被害率 (対数)	偏相関係数	0.30	0.19	0.27	0.29
	有意確率	0%	1%	0%	0%

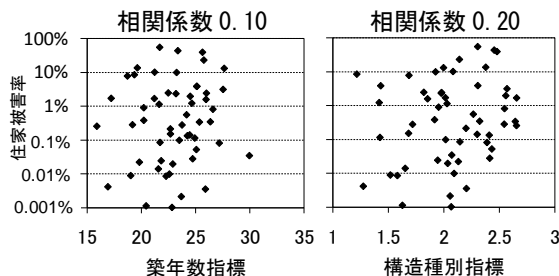


図7 築年数指標と住家被害率との関係

図8 構造種別指標と住家被害率との関係

ここでは、住宅の築年数と構造種別のみを影響因子とした検討結果を示したが、1991年台風19号による被害の分析では屋根の形状や屋根葺材、風向と住宅の棟の角度などもまた住家被害の拡大に影響を与える因子として抽出された。

#### (4) 住家被害率の推定

##### ① 最大瞬間風速による住家被害率推定

図6(a)と(b)より最大風速に比べて最大瞬間風速の方が住家被害率の増加に影響を及ぼすことから、日最大瞬間風速を説明変数として単回帰分析で住家被害率を推定すると、回帰式は以下で与えられる。

$$\ln(R_d) = 7.889 \ln(U) - 35.368 \quad (3)$$

ただし、台風9918号で住家被害を受けた市町村のうち、住宅・土地統計調査が行われた48市町村のみを検討対象としたため、図6に比べて標本数は少ない。標本数が少ないとその相関係数は大きくなるので、ここでの相関係数は0.53となった。

回帰式(3)でもとめた住家被害率と実際の住家被害率との関係およびその相関係数を図9に示す。台風9918号による住家被害は最大瞬間風速と比較的強い正の相関を持つために回帰式による推定値は実際の被害率と良い対応を示し、その係数は0.6であった。しかし、一般的には台風時に観測された風速値だけで実際の被害率を十分精度良く推定することは難しいと考えられる。

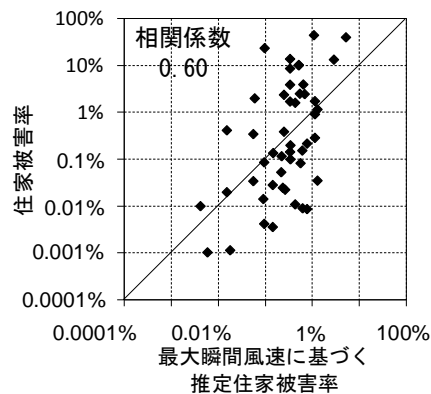


図9 実際の住家被害率と単回帰式による推定値との関係

##### ② 住家の耐風性能を考慮した被害率推定

風速が同一であっても住家被害率がばらつく要因の一つに被害を受けた住家の耐風性能の良し悪しが考えられる。すなわち、耐風性能の低い住家の割合が多い市町村では同じ風速でも被害率が大きくなるので、住家被害率を推定するための風速は見かけ上大きくなる。そこで、各市町村での住家被害率と風速との関係を回帰式に近づけるための耐風性能補正係数  $C_M$  を考え、住家の耐風性能に関連づけられた耐風性能関連風速を求めることにした。市町村別の耐風性能補正係数  $C_M$  は式(3)より



$$C_M = \frac{\ln(R_d) + 35.368}{7.889 \ln(U)} \quad (4)$$

のように求められる。実際の住家被害率が回帰式(3)の推定値より大きい場合には耐風性能補正係数は1より大きく、小さい場合には1より小さくなり、これは市町村の耐風性能の低い住家の割合に対応した係数であると考えられる。

3節(3)より構造種別指標が住家被害の拡大に影響を与えることが分かったので、平成10年の住宅・土地統計調査資料から求めた市町村の構造種別指標を耐風性能補正係数  $C_M$  の決定に用いることにした。市町村の全住宅数に対する構造種別ごとの住宅割合に重み付け係数をかけた合成得点を構造種別指標  $I_M$  とし、以下の式で定義する。

$$I_M = a_1 R_w + a_2 R_{fw} + a_3 R_{rc} + a_4 R_s + B \quad (5)$$

ここで、 $R_w$  はある市町村  $i$  内の構造物全体に占める木造構造物の割合で、 $R_{fw}$  は防火木造構造物、 $R_{rc}$  は鉄骨・鉄筋コンクリート造構造物、 $R_s$  は鉄骨造構造物の割合を示す。 $a_1$  から  $a_4$  は各構造種別住宅の割合に対する重み付け係数、 $B$  は定数である。耐風性能補正係数  $C_M$  と構造種別指標  $I_M$  を対応づけることができれば、各市町村の構造種別の分布特性を用いて「耐風性能関連風速」を求め、住家被害率の推定精度を高めることができると考えられるので、耐風性能補正係数  $C_M$  を目的変数に、各構造種別の構造物の割合を説明変数にして重回帰分析を行い、重み付け係数  $a_1$  から  $a_4$  を求めた。説明変数を増減させて最適な重回帰式を求めるステップワイズ法を用いると、台風9918号による被害に対しては非木造構造物の割合だけが説明変数として採用され、構造種別指標  $I_M$  は以下ようになる。

$$I_M = -0.281 R_w + 1.067 \quad (6)$$

式(6)で求めた構造種別指標を耐風性能補正係数として最大瞬間風速の対数値に乗じた耐風性能関連風速と住家被害率との関係及び相関係数を図10に示す。耐風性能関連風速と住家被害率との相関係数は0.62で、補正前の最大瞬間風速との相関係数0.53に比べてやや大きくなった。耐風性能関連風速を用いた単回帰分析で住家被害率を再推定したところ以下の回帰式が得られた。

$$\ln(R_d) = 7.249 I_M \cdot \ln(U) - 32.981 \quad (7)$$

図11に耐風性能関連風速で推定した住家被害率と実際の被害率との関係および相関係数を示すが、相関係数は0.64で補正前は0.6であったのに比して、やや大きな値となった。構造種別指標を利用して住家の耐風性能を評価した風速を用いれば、最大瞬間風速のみを用いる場合に比べて、実際の住家被害率により対応した値を推定できることが分かった。

ここでは台風9918号の例を示したが、最大瞬間風速と住家被害率との相関がやや小

さく、その相関係数が0.34であった台風0418号の被害事例では、同様の手法で耐風性能関連風速を求めると、構造種別指標を定めるための説明変数として木造構造物の割合が採用された。補正前は0.14であった実際の住家被害率と推定被害率との相関係数は、補正後に0.22となった。建物の構造種別は強風による住家被害率と関連があると考えられるが、台風の気象学的特性や被災地の地域特性によって影響因子の強風被害拡大への寄与率は異なる可能性が高く、より正確に住家被害率を推定するためには複数の強風被害事例に対して同様の検討を行い、構造物の特性と強風被害との関係を明らかにする必要がある。

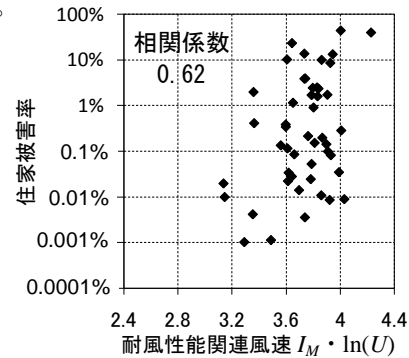


図10 耐風性能関連風速と住家被害率との関係

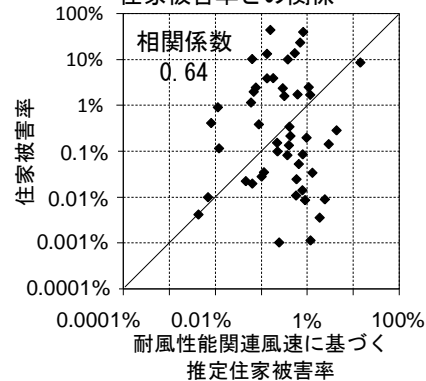


図11 耐風性能関連風速で推定した住家被害率と実際の被害率との関係

#### 4. 研究成果

##### (1) 主な成果

本研究では心理統計学的手法を用いて住家被害拡大の主な要因を特定し、強風被害率を推定することを目的に、九州地方に甚大な被害をもたらした近年の大型台風の被害事例を分析した。本研究で得られた成果を以下のようにまとめる。

- ① 木造や非木造などの構造種別を順序尺度として取り扱うことで、市町村別の構造種別分布特性の実態を数量化できることを示した。また、築年数に対しても同様の手法で数量化が可能であることを示し、それら値を指標とすることで統計的な検討を行うことができた。
- ② 台風9918号及び0418号による九州での被

害統計情報を例として、住家被害率の対数値を用いた相関分析を行い、2変数間の単一相関分析では、日最大瞬間風速が日最大風速より住家被害率と高い相関を示すことを確認した。

- ③ 日最大風速を制御変数として、風速の変動特性と住家被害率との偏相関分析を行い、風速の標準偏差が影響因子として有意に抽出されることがわかった。
- ④ 市町村ごとに指標化した住宅の構造種別および築年数の地域分布特性と住家被害率との相関分析を行い、構造種別の分布特性を被害影響因子として抽出した。
- ⑤ 抽出した影響因子をもとに耐風性能補正係数を決定し、その係数をもとに風速値を補正することで、住家被害率とより相関の強い耐風性能関連風速を求めた。
- ⑥ 耐風性能に関連づけられた修正風速を用いることで、風速のみを用いる従来の手法に比べて被害実態により対応した住家被害率を推定することができた。

#### (2) 国内外における位置づけとインパクト

構造種別や住家の屋根形状などの建物の特性は強風被害拡大に影響を及ぼすことがこれまでも指摘されてきたが、これらは質的データであるために定量的な評価はほとんど行われてこなかった。本研究ではそれらの構造特性を心理統計学的手法を用いて数量化し、住家の耐風性能の強風被害拡大への寄与率を定量的に評価する手法を提案した。風速と住家被害率との関連を評価した研究報告は多いが、建物の耐風性能を数量化して統計的に検討した事例はほとんどなく、建造物の耐風性能を考慮して住家被害率を推定する本手法は、強風被害の実態によりよく対応した強風被害危険度マップを作成するために有用であると考えられる。

#### (3) 今後の展望

しかしながら、本研究で主に検討した市町村別の住家の築年数や構造種別分布特性のみでは住家の耐風性能を十分に指標化することは難しく、耐風性能補正係数の決定に用いる影響因子の選定やその決定手法は今後も検討する必要がある。

また、建造物は気候風土による地域特性を持つことから、複数の強風被害事例について地域性を考慮した検討を行えば、より実際の強風被害に対応した強風危険度を算定することができると考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

- ① 友清衣利子、前田潤滋、強風による住家建物被害の拡大に及ぼす影響因子の抽出

法に関する試み、強風被害発生要因の分析への建造物特性指標の利用例、日本建築学会構造系論文集、第74巻、第642号、2009、査読有

- ② 友清衣利子、丸山敬、前田潤滋、住家の耐風性能を考慮した強風被害率推定の試み-市町村の構造種別分布特性の利用-、都市・建築学研究 九州大学大学院人間環境学研究院紀要、第15号、55-62、2008、査読有
- ③ 友清衣利子、前田潤滋、強風時の住家被害の拡大に及ぼす影響因子の抽出-建造物特性の指標化による強風被害の相関分析-、第20回風工学シンポジウム論文集、229-234、2008、査読有
- ④ 前田久雄、友清衣利子、前田潤滋、NeWMeKの気圧観測網を用いた台風の風速推定の試み、第20回風工学シンポジウム論文集、1-6、2008、査読有
- ⑤ 友清衣利子、前田潤滋、強風時の住家被害の拡大に及ぼす影響因子の分析、建造物特性の指標化による風況特性との相関分析、都市・建築学研究 九州大学大学院人間環境学研究院紀要、第13号、49-58、2008、査読有
- ⑥ Eriko Tomokiyo, Junji Maeda, Takanori Uchida, CFD prediction of wind distribution around Ogi City in Saga Prefecture, Japan, 12th International Conference on Wind Engineering, 607-614, 2007, 査読有

[学会発表] (計4件)

- ① Eriko Tomokiyo, Correlation between Wind Speeds and Residential Damage in Kyushu, Japan due to Typhoons, Cooperative Actions for Disaster Risk Reduction (CADRR), ISWE4, March. 6, 2008, Tokyo, Japan
- ② 友清衣利子、構造種別に基づく住家の耐風性能を考慮した台風時住家被害率の推定、日本建築学会研究報告九州支部、平成21年3月8日、沖縄、日本
- ③ 友清衣利子、台風による住家被害拡大に及ぼす風速と構造種別及び築後年数の影響、日本建築学会学術講演(中国)、平成20年9月19日、広島、日本
- ④ 友清衣利子、台風による住家被害拡大に及ぼす風速と構造種別及び築年数の影響、日本建築学会研究報告九州支部、平成20年3月2日、熊本、日本

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

友清衣利子 (TOMOKIYO ERIKO)  
九州大学・大学院人間環境学研究院・助教  
研究者番号：30346829