

都市の安全性評価手法に関する研究

准会員 ○古市 淳 \*1 正会員 増田 幸宏 \*3  
 正会員 渡辺 博 \*2 正会員 高橋 信之 \*1  
 同 梶川 彩乃 \*2 名誉会員 尾島 俊雄 \*5

環境工学—都市環境・都市設備

安全性評価 都市防災

1. 研究目的

近年、ミュンヘン再保険会社により世界の大都市自然災害リスク指数(A natural hazard index for megacities)が発表され、この中で東京・横浜のリスク指数が710であることされた。<sup>(1)</sup>これはロサンゼルス約7倍、ニューヨーク約17倍の値であり、東京・横浜は世界の大都市の中で自然災害リスクが突出して高い評価とされた。このような評価は国際都市間競争の時代において、東京の価値を著しく損ねる可能性がある。また、東京においては丸の内・有楽町のように超高層の建物が立ち並び、建物の不燃化率も高い地域と、火災の危険性の高い木造住宅密集地域などの危険度を、一つの地域として一括に評価することは適切でなく、地域ごとに安全性を評価することが必要であると考えられる。

そこで本論文では、大都市自然災害リスク指数の評価軸を基にして、都市の安全性を地域ごとに地域の特性や現状に応じて適切に評価する手法を提案し、東京都内各地域の安全性を評価する。また地域ごとの安全性評価の結果を分析し、今後の都市防災の取り組みに役立てることを目的とする。

2. 大都市自然災害リスク指数に関する調査

2-1 大都市自然災害リスク指数の概要

大都市自然災害リスク指数とは世界の主要な50都市についての自然災害リスクを算定した指数であり、この中で東京・横浜のリスク指数は710という世界・高い値がつけられた(図1)。この値は世界で突出しており、この評価が国際社会に与える影響を考慮すると、この値の正当性を検証する必要があると考えられる。

大都市自然災害リスク指数は外力の大きさ(Hazard)、被災時の脆弱性(Vulnerability)、影響を受ける経済価値(Exposed values)の三つの指数で構成されている。各指数は10点満点で算定され、それを掛け合わせた1000点を満点とする。

■自然災害リスク指数(1000) = 外力の大きさ(10) × 被災時の脆弱性(10) × 影響を受ける経済価値(10)

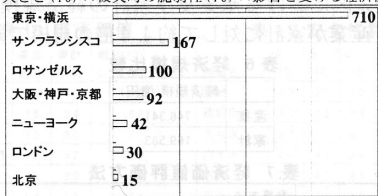


図1 大都市自然災害リスク指数

(出典: Munich Re, Topics Annual review 2002)

2-2 評価方法の調査

大都市自然災害リスク指数を構成する三つの指数

は、それぞれ表1の各項目についての統計データや専門家へのヒアリング調査などを基に評価されている。

保険業界において、リスク指標を求める際に外力の大きさと脆弱性と経済価値という三つの指数の積を用いる手法は一般的である。

表1 大都市自然災害リスク指数の各指数

指数	項目	評価方法
外力の大きさ Hazard (10)	地震	再保険会社が独自に持つ過去の災害の被害額に関するデータを基に評価。
	暴風	
	水害	
	その他の災害	
被災時の脆弱性 Vulnerability (10)	住宅構造	主に専門家へのヒアリングから得たデータを基に評価。
	住宅・都市の政策	
	建築の質・密度	
影響を受ける経済価値 Exposed values (10)	家計の経済価値	統計データ等を基に評価。
	都市圏のGDP	
	国際経済における重要度	

2-3 大都市自然災害リスク指数の分析

大都市自然災害リスク指数での東京・横浜の極めて高い値について、まず外力の大きさに関しては、地震の発生リスクに加えて富士山噴火のリスクが高く算定されたことにより、世界でもっとも高い値となっている。

次に被災時の脆弱性に関して、住宅構造様式で木造建物の割合が比較的高いということから悪い評価となり、逆に行政の政策対応については防災対策等で最高に良いという評価がされている。

最後に影響を受ける経済価値に関して、対象範囲には日本のGDPの約4割を占める三都三県のほぼ全域が含まれており、この経済価値の総和が評価された為、家計の経済価値・都市圏のGDP・国際経済における重要度のすべてが高く評価され、世界でもっとも高い値となっている。

大都市自然災害リスク指数では、評価対象としている各都市の範囲の面積に大きな差がある(表2)。このことから、対象とされている面積の大きな都市ほど影響を受ける経済価値の値が高くなり、リスク指数も高くなってしまおうという問題がある。

また、各項目の評価の根拠は明らかな統計やデータを用いたものばかりではなく、元データが公表されていない部分もあり、またその評価方法は明らかにされていないものではない。

表2 対象地域のリスク指数と人口・面積  
(出典: Munich Re, Megacities Megarisks)

都市名	リスク指数	外力の大きさ	脆弱性	経済価値	人口(万人)	面積(km <sup>2</sup> )
東京・横浜	710	10.0	7.1	10.0	3,490	13,100
サンフランシスコ	167	6.7	8.3	3.0	730	---
ロサンゼルス	100	2.7	8.2	4.5	1,640	14,000
大阪・神戸・京都	92	3.6	5.0	5.0	1,800	2,850
ニューヨーク	42	0.9	5.5	8.3	2,160	10,768
ロンドン	30	0.9	7.1	4.8	1,210	1,600
北京	15	2.7	8.1	0.7	1,320	1,400

尚、このリスク指数によって対象地域内の建物等に掛ける損害保険の料率が上下するという事実はない、ということも調査で分かった事実である。

### 3. 都市の安全性評価手法の提案

#### 3-1 新たな都市の安全性評価の必要性

大都市自然災害リスク指数は都市の持つ様々な自然災害のリスクを世界で均一に評価した試みであった。しかし、東京の自然災害リスクが世界の大都市の中で格段に高いとする評価は、国際的に大きな影響を与えることが考えられる。国際都市間競争の時代においては、安全性の評価はその都市の価値や競争力を左右する大きな問題であり、安全な所は安全という確かな情報を発信する必要がある。

本論文では大都市自然災害リスク指数での問題点を踏まえ、東京を対象に、外力の大きさと脆弱性と経済価値の三つの指数で、明らかなデータと指標を用い、地域ごとに同一面積での安全性を評価する提案を行う。

#### 3-2 評価手法の提案

##### 3-2-1 評価手法の概要

本論文で提案する都市の安全性評価手法は、地域ごとに安全性を明確な基準で評価することを目的とする。大都市自然災害リスク指数の基本的な手法を踏襲し、外力の大きさ、都市の脆弱性、経済価値の三つの指数で構成する。各指数は10点満点で危険度を評価することとし、三つの指数を掛け合わせた1000点満点の値を都市の安全性評価とする。

本評価手法においては、各指数を求める際には全て公表されているデータ及び指標等を用いることとする。また、地域の特性及び地域の現状を反映した安全性評価とする為に、評価の対象は約100ha程度の一体となった地域とする。

##### 3-2-2 外力の大きさ

外力の大きさを示す項目として、東京における自然災害のうち主要なものであり、また地域によって危険度に差異のある地震災害の危険度と洪水の危険度を調査する。

地震に関して、地盤のゆれやすさ<sup>(3)</sup>と液状化の可能性<sup>(4)</sup>を調査及び評価し、それぞれの値を同等の重みで足し合わせる。

洪水に関して、流域浸水予想区域図<sup>(5)</sup>及び洪水ハザードマップ<sup>(6)</sup>による予想浸水深さを基に評価する。

地震・洪水の危険度はともに、考えうる危険度の最高値を基準として評価する。また、日本における過去50年間の災害別の被害<sup>(7)</sup>を調べたところ、地震による被害と洪水の被害の大きさは同程度であり(表3)、本論文では地震と洪水は同じ重みを持つ災害として評価の値を同等に足し合わせることにする。これを10点満点にし、外力の大きさの指数とする(表4)。

表3 日本における過去50年間の災害種類別被害

	死者数(人)	家屋倒壊数(戸)
地震	16,778	179,208
洪水	10,976	167,572

表4 外力の大きさ評価手法

	項目	使用データ	計算方法
外力の大きさ(A)	地震(a)	表層地盤のゆれやすさマップ 液状化マップ	$A = \frac{a+b}{2}$
	洪水(b)	浸水予想区域図 洪水ハザードマップ	

##### 3-2-3 都市の脆弱性

都市の脆弱性を示す項目として、建物構造と都市構造を調査する。建物構造・都市構造ともにGIS<sup>(1)</sup>の建物構造及び建物延床面積のデータより計算を行う。

一般的に木造・防火造の建物は耐火造・簡易耐火造の建物と比較して倒壊する危険性、火災延焼の危険性ともに高い。また、大規模建築物が多く立ち並ぶ街は、建物の密集度が低く道路幅が広いなど、街区の整備が進み安全性は高い。よって大規模建築物以外の建物の比率が高い地域では危険性が高いと考えられる。これより、建物構造としては全体における木造・防火造建物の延床面積の比率を、都市構造としては大規模建築物以外の建物延床面積の比率を計算し、評価する。ここで、大規模建築物とは延床面積が10,000m<sup>2</sup>以上の建物とする。また、建物構造・都市構造ともに、最も値の高い地域を満点として評価する。

建物構造・都市構造ともに都市の脆弱性に密接に関わる項目と考え、この二つの評価の値を同等の重みで足し合わせることにする。これを10点満点にし、都市の脆弱性の指数とする(表5)。

表5 都市の脆弱性評価手法

項目	計算方法
建物構造(c)	木造・防火造建物延床面積 全建物延床面積
都市構造(d)	大規模建築物以外の建物延床面積 全建物延床面積
都市の脆弱性(B)	$B = \frac{c+d}{2}$

##### 3-2-4 経済価値

経済価値を示す項目として地域の産業の経済規模及び地域の住民の家計の総額を調査する。

産業の経済規模については、地域内の産業分類別就業者数及び産業分類別の都内総生産<sup>(8)</sup>を基に算定する。家計の総額については、地域内の夜間人口<sup>(9)</sup>及び区ごとの一人当たり平均所得<sup>(10)</sup>を基に算定する。産業の経済規模・家計の総額ともに、最も値の高い地域を満点として評価する。

東京23区における産業及び家計の経済規模を比較すると、産業が家計に対して約4.4倍の規模である(表

表6 経済規模比較

	経済規模(億円)
産業	746,341
家計	169,583

表7 経済価値評価方法

項目	計算方法
産業(e)	産業分類別の就業者数 × 産業分類別都内総生産
家計(f)	夜間人口 × 区ごと一人当たり平均所得
経済価値(C)	$C = \frac{4.4e+f}{5.4}$

6)。このことから産業の評価の値に4.4倍の重みをつけて家計の評価の値と足し合わせ、これを10点満点にして経済価値の指数とする(表7)。

### 3-2-5 安全性評価

以上三つの指数の評価から対象地域の都市の安全性を安全性評価計算式より求める(図2)。各指数において1.0未満の評価は、他の指数に対して影響を与えないために、1.0に切り上げる。

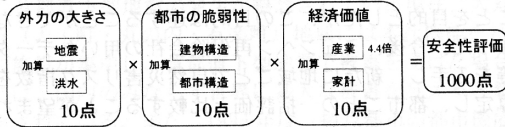


図2 安全性評価計算式

## 4. 都市の安全性評価

### 4-1 評価対象地域の選定

都市の安全性評価の対象地域は、東京都内から業務集積地域、ターミナル駅を含む地域、重要業務を持つ地域、住宅密集地域などの特徴のある地域を11箇所選定した。各地域は約100haとし、町丁目単位で区切ることとした(図3、表8)

### 4-2 調査および評価結果

対象地域において外力の大きさ、都市の脆弱性、経

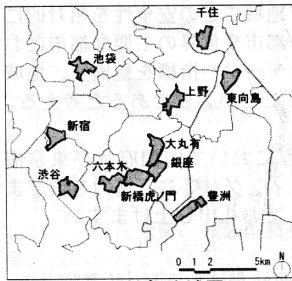


図3 対象地域図

表9 外力の大きさ

	地震 a(10)	洪水 b(10)	総合(10) A=(a+b)/2
大丸有	4.3	1.0	2.7
銀座	4.2	0.6	2.4
六本木	3.4	0.7	2.1
新橋虎ノ門	5.2	0.9	3.1
西新宿	3.3	0.7	2.0
渋谷	3.3	2.0	2.6
池袋	3.2	1.4	2.3
上野	4.2	2.2	3.2
東向島	6.9	10.0	8.5
千住	6.3	9.6	8.0
豊洲	8.3	0.1	4.2

表11 経済価値

	産業 e(10)	家計 f(10)	総合(10) C=(4.4e+f)/5.4
大丸有	10.0	0.0	8.2
銀座	7.5	3.4	6.8
六本木	1.5	9.0	2.9
新橋虎ノ門	5.6	5.2	5.5
西新宿	9.9	2.0	8.4
渋谷	5.4	5.2	5.4
池袋	4.4	4.6	4.4
上野	3.1	4.8	3.4
東向島	0.4	10.0	2.2
千住	0.6	8.2	2.1
豊洲	0.1	1.2	0.3

表8 対象地域

地域名	面積 (ha)	人口 (人)
大丸有	131	141
銀座	87	1,889
六本木	115	7,394
新橋虎ノ門	133	5,194
西新宿	103	3,402
渋谷	99	4,045
池袋	105	9,036
上野	103	8,907
東向島	108	20,250
千住	96	17,245
豊洲	115	2,121

表10 都市の脆弱性

	建物構造 c(10)	都市構造 d(10)	総合(10) B=(c+d)/2
大丸有	0.0	0.4	0.2
銀座	0.3	7.5	3.9
六本木	1.0	6.5	3.7
新橋虎ノ門	0.9	6.4	3.6
西新宿	0.5	1.5	1.0
渋谷	0.4	6.6	3.5
池袋	0.4	5.0	2.7
上野	1.9	9.1	5.5
東向島	10.0	10.0	10.0
千住	8.4	9.9	9.1
豊洲	0.6	4.8	2.7

表12 安全性評価

地域名	A (10)	B (10)	C (10)	評価 (1000)	順位
豊洲	4.2	2.7	1.0	11	1
西新宿	2.0	1.0	8.4	17	2
大丸有	2.7	1.0	8.2	22	3
六本木	2.1	3.7	2.9	22	4
池袋	2.3	2.7	5.4	27	5
渋谷	2.6	3.5	5.4	27	6
上野	3.2	5.5	3.4	60	7
新橋虎ノ門	3.1	3.6	5.5	61	8
銀座	2.4	3.9	6.8	63	9
千住	8.0	9.1	2.1	149	10
東向島	8.5	10.0	2.2	182	11

済価値の各項目を調査及び評価した(表9、10、11)。また安全性評価計算式(図2)を用い、対象地域の安全性評価を導いた(表12、図4)。

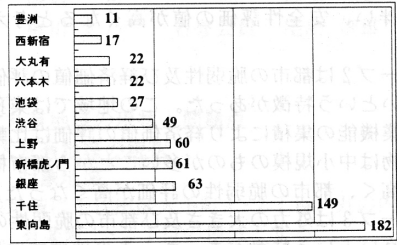


図4 安全性評価グラフ

## 4-3 安全性評価の分析

### 4-3-1 安全性評価による分類

安全性評価の結果より、各対象地域を三つのグループに分類した。点数が低く、安全性が高い評価となった豊洲・西新宿・大丸有・六本木をグループ1とする。次に、中間的な評価となった池袋・渋谷・銀座・上野・新橋虎ノ門をグループ2とする。最後に、点数が高く、安全性が低い評価となった千住・東向島をグループ3とする。

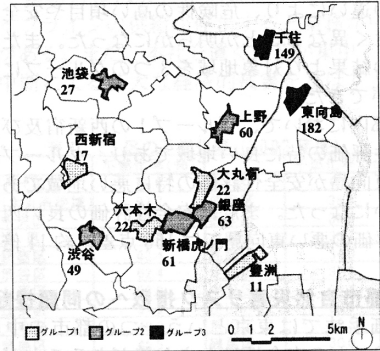


図5 安全性評価による地域の分類

### 4-3-2 分類ごとの分析

グループ1は都内において最も安全性評価が良い地域となった。この中で西新宿と大丸有は、都市の脆弱性が特に小さく、経済価値は大きいという特徴があった。これらは高度に業務が集積している地域である。計画的な開発によって高層建築が整然と立ち並び、地域の持つ経済的な価値及び機能に見合った安全性を備える街であると言える。またこれらの土地についても、地震・洪水に関する項目から見て安全性が高い。これらの地域では経済価値が特に高かったが、外力の大きさと都市の脆弱性の評価の低さにより、安全性評価は最も良かった。

豊洲と六本木は、都市の脆弱性が比較的 low、経済価値が低い、という特徴があった。豊洲に関して、現在再開発計画が進められているところであり、この再開発により産業・家計とも経済規模が大幅に増えることが予想される。また六本木に関しても、六本木六丁目地区の再開発事業が近年終了したが、この再開発に

よりもたらされた産業規模の増大を示すデータが現状では得られなかった為、経済価値の評価が低くなってしまっている。これらの地域では今後経済価値の値の増大に伴い、安全性評価の値が高くなると考えられる。

グループ2は都市の脆弱性及び経済価値の評価が比較的高いという特徴があった。この地域では業務機能及び商業機能の集積により経済価値の評価は比較的高い。建物は中小規模のものが多くことから都市構造の評価が高く、都市の脆弱性の評価が高くなった。

グループ3は外力の大きさ及び都市の脆弱性の評価が特に高いという特徴があった。この地域では地震・洪水の双方に対する危険性が高い為外力の大きさの評価が高かった。また木造住宅の比率が高く規模の小さい建物が多い為、都市の脆弱性の評価が高かった。外力の大きさが高く、都市の脆弱性も高いこれらの地域では、安全性評価を高める取り組みを早急に行う必要がある。

#### 4-3-3 都市の安全性評価のまとめ

東京都内11地域において、安全性の相対的な評価を行った。それぞれの地域によって建物構造や都市構造などの違いにより、危険性の高い項目や安全性の評価が大きく異なることが明らかになった。また、安全性評価の結果より対象地域を3つのグループに分類することができた。

東京都内において、グループ1の西新宿及び大丸有が安全性評価の特に良い地域であり、グループ3の千住及び東向島が安全性評価の特に悪い地域であることが明らかになった。また、安全性評価の良い西新宿と安全性評価の悪い東向島では165点差、約11倍の差があった。

#### 4-4 大都市自然災害リスク指数への問題提起

本評価手法では東京という一つの都市の中においても地域ごとの安全性に大きな差があることが明らかになり、このことよりミュンヘンの大都市自然災害リスク指数では、安全性の異なる様々な地域を一括に評価したことは問題であると考えられる。

大都市自然災害リスク指数は、地域の現状を反映しきれておらず、都市の安全性評価として適切であるとは言えない。東京・横浜の自然災害リスクが一律に710であるとする表現も適切でなく、新たにより狭い範囲で地域ごとに評価する必要がある。

### 5. まとめと今後の課題

#### 5-1 結論

1. 大都市自然災害リスク指数の基本的な枠組みを踏襲し、東京における都市の安全性を地域特性に応じて評価することのできる評価手法を提案し、都市の安全性を相対的に評価することができた。
2. 安全性の高いグループ1の西新宿と安全性の低いグループ3の東向島では、165点差、約11倍の違いがあった。
3. 建物構造や都市構造の違いにより、各地域における危険性の高い項目や災害の危険性が明らかにな

り、安全性評価に大きな差があることが分かった。都市の安全性を評価し比較する際には、地域ごとに評価し、地域の現状等を反映させるべきであると考えられる。

#### 5-2 今後の課題

本研究では当初、ミュンヘン再保険会社が用いたものと同様のデータ及び手法を用いて地域ごとで新たに評価し、これを大都市自然災害リスク指数と比較することを目的としたが、この目的は達することができなかった。今後、ミュンヘン再保険会社の用いたデータ等を入力し、新たに地域ごとで自然災害リスク指数を算定し、都市ごとの一括評価と比較することが望まれる。

本論文の安全性評価で特に高い値となった地域においては、早急に安全性評価を高める取り組みを行うことが必要である。また、大丸有地域など経済的に重要な地域においては、さらに安全性評価を高める為のハード・ソフト両面からの取り組みも必要である。

今後、地域ぐるみの防災対策や災害時に地域の継続性に大きく関わるライフラインの冗長性などを、安全性評価の項目に組み入れていくことが望まれる。

本論文では、大都市自然災害リスク指数を受けて東京の限定された範囲内で地域ごとの安全性を相対的に評価したが、国内の他の都市や世界の主要な都市においても、同様に明らかなデータや指標を整備し、地域ごとに安全性を評価することが必要であると考えられる。

#### 謝辞

本研究では調査の過程において内閣府及び東京海上日動リスクコンサルティング(株)にご協力を頂きました。この場をお借りしてお礼申し上げます。

#### 【参考文献】

- 1) Munich Re. 2002年. A natural hazard index for megacities. Topics Annual review. pp.33-39
- 2) Munich Re. 2005年. Statistics and natural hazard risk for 50 selected megacities. Megacities Megarisks. pp.76-77
- 3) 内閣府防災担当. 2005年. 表層地盤のゆれやすさマップ.
- 4) 東京都都市計画局. 2002年. 地震に関する地域危険度測定調査報告書.
- 5) 東京都建設局. 2001年. 浸水予想区域図(隅田川、神田川、城南地区河川、石神井川、江東内部河川).
- 6) 国土交通省. 2000年. 荒川洪水ハザードマップ.
- 7) 総務省消防庁. 2004年. 平成16年版 消防白書. 付属資料20. 22.
- 8) 東京都総務局. 2001年. 平成13年 事業所・企業統計調査報告.
- 9) 東京都総務局. 2005年. 住民基本台帳による東京都の世帯と人口.
- 10) 総務省統計局. 2005年. 統計で見る市区町村のすがた2005.

#### 【注】

\*1) 地理情報に関しては、主として東京都都市計画局：東京都都市計画地理情報システムを用いた。

\*1 早稲田大学理工学部建築学科 \*2 早稲田大学大学院修士課程 \*3 早稲田大学理工学総合研究センター助手・工修 \*4 早稲田大学理工学総合研究センター教授・工博 \*5 早稲田大学教授・工博