

# 地震時地域危険度の簡易評価に向けた基礎的検討

Fundamental study on the simplified estimation of regional seismic risk

14TM0309 岩瀬 早綾  
Saaya IWASE

指導教員 山崎 文雄

## SYNOPSIS

Tokyo Metropolitan Government (TMG) conducts a community-based seismic risk assessment for all the city-blocks of Tokyo Metropolis every five years. The 7th seismic risk assessment survey was carried out for two kinds of risk due to earthquakes: building damage due to strong shaking, and fire outbreak and spread. A bedrock motion with the peak ground velocity 30 cm/s was assumed uniformly for all the study areas and site amplification was considered based on topography and subsurface soil type. In the multiple regression analysis, the number of severely damaged buildings per unit area by the TMG was considered as the dependent variable and several explanation variables were employed, such as the number of buildings for each structural type and construction period, the soil amplification factor. An accurate prediction equation was derived for building damage by shaking. A simplified approach was also sought for fire outbreak risk for typical three wards in Tokyo. Considering the numbers of households and offices in each city blocks and the soil amplification, the number of fire outbreaks was well-estimated in Setagaya ward. But for Sumida and Minato wards, the fire outbreak due to building collapse was found to be considered.

## 1. はじめに

わが国では地震発生時の防災体制の整備や住民への啓発のために、各自治体において地震被害想定調査が行われている。しかし、特定の地震発生を前提とした被害想定では地震動および被害関数の設定・選択次第で結果が大きく異なる不確定性を含む問題が挙げられる。したがって、震源モデルの設定に依存しない被害予測にも意味があると考えられる。東京都都市整備局では、震源を設定せず工学的基盤に一律な揺れを与えて相対的な危険性を評価した「地震に関する地域危険度測定調査」<sup>1)</sup>を5年ごとに実施している。建物倒壊危険度、火災危険度、活動困難度、これらを総合的に評価した総合危険度が含まれており、住民の防災意識の向上に役立てられる。しかし地域危険度調査では、都独自のデータや算出法が用いられているため、都市整備などによるデータ変更が必要な場合や、他の地域においての同様の調査の実施は容易ではない。そこで本研究では、東京都地域危険度調査の考え方にに基づき、地震時被害として代表的な建物倒壊危険度および出火に対し、影響の大きい要因を分析し、簡易推定法の構築を試みる。また、実際の調査結果と比較して、その精度と有効性を確かめた。

## 2. 東京都の地震危険度調査

東京都地域危険度調査での地震動設定は、都全域の工学的基盤に入力された30kineの地震動に、地盤種別ごとに設定される増幅率<sup>2)</sup>を乗じることで地表面最大速度(PGV)が求められている。建物倒壊量(実際は全壊棟数)の算出は、町丁目*i*に構造・年代種別*k*の建物が*n<sub>ki</sub>*棟存在するとすれば、ここにおける全壊棟数*N<sub>i</sub>*は(1)式で計算できる。

$$N_i = \sum_{k=1}^m n_{ki} \cdot P_f^k(PGV_i) \quad (1)$$

東京都では、町丁目における全壊棟数*N<sub>i</sub>*をその町丁目の面積で割った全壊棟数密度を「建物倒壊危険量」と呼んでいる。建物倒壊危険量を5段階に区分したものが、「建物倒壊危険度」と呼ばれる最終的な相対評価となる。

また火災危険度は、東京消防庁実施の「地震時の地域別出火危険度測定」<sup>3)</sup>の出火件数と「延焼危険度測定」のシミュレーション結果を組み合わせで算出され、最終的に計算される町丁目内の延焼棟数を町丁目面積で密度化した量を「火災危険量」と呼び、建物倒壊量と同様に5段階評価することで危険性の把握に役立てている。本研究では、建物倒壊量および、火災危険量に使用される出火件数の簡易推定に向けた検討を行う。

## 3. 建物倒壊の簡易推定

東京都内の市街化区域5,133町丁目を対象地域とし、東京都都市整備局より提供された、構造・建築年別(14区分)の建物数、地盤増幅率、町丁目面積等の基礎データを用いて、重回帰分析により回帰式(2)の構築を行う。回帰分析には目的変数を建物倒壊危険量(棟/ha)、説明変数には各町丁目における面積(ha)当たりの各構造・年代種別14個の建物密度(棟/ha)と地盤増幅率(無次元量)を選択した。

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i \quad (2)$$

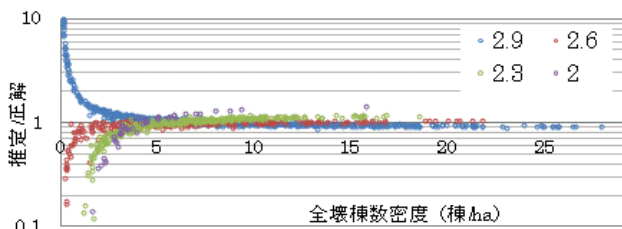
ここで、*x<sub>i</sub>*は説明変数、*a<sub>0</sub>*は回帰式の切片、*a<sub>i</sub>*は各説明変数に対する回帰係数である。回帰係数を求める際、項目間で高い影響を与え合う場合に起こる多重共線性を解消するため、危険量への影響の低い変数を外すことで回帰モデルの構築を行った。その際、変数選択には赤池情報量規準を用い、AIC値が最小となる回帰モデルを採択した。結果を表-1に示す。

表-1 変数選択後の重回帰分析結果

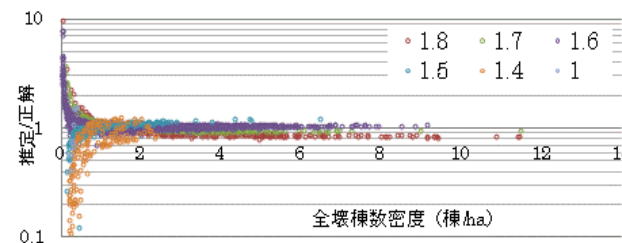
	説明変数	係数		説明変数	係数
1	木造-70,	0.28	6	S 71-80	0.47
2	木造 71-80	0.17	7	S 81-	0.08
3	木造 81-90	0.05	8	地盤増幅率	2.98
4	木造 01-	0.04		切片	-5.862
5	S-70	0.86			

説明変数のうち増幅率は揺れの大きさを支配するため、建物被害に大きく関係する。そこで都全体を増幅率の値によって2.0-2.9の地域(1,557町丁目)と1.0-1.8の地域(3,576町丁目)に2分し、各地域において重回帰分析を行った。これにより地域分けをしない場合より精度の良い推定を行うことができた。高い増幅率を持つ地域と低い地域のそれぞれで回帰式を構築し、これから推定値を算出した。この推定危険量を正解と比較すると(図-1)、両地域とも全壊棟数密度の低い地域でのばらつきが大きい。全壊棟数密度が増加するにつれて危険量比は1に収束していき、相対誤差が解消される結果となった。また、相関係数も高い増幅率の地域で0.981、低い増幅率の地域でも0.979と高い値を示し、総じて精度の高い推定が行えたといえる。

さらに、危険量の過大・過小の推移が増幅率別で顕著な傾向を示していることから、建物被害関数を固定した場合、建物倒壊危険量は地盤増幅率(地表面PGV)に強く依存することが分かった。収束前の過小・過大の広がりについて、例えば2.9の地域を見ると、立ち上がりの部分で正解危険量が低いにも関わらず推定が過大評価されている。該当町丁目を調べたところ、地盤は軟弱であるが建物数が非常に少ない町丁目であることが分かった。一方、立ち上がり部で過小評価される地域の特徴として建物数が少ないことが挙げられ、回帰式内の切片が負であることが影響し、過小推定が行われたと考えられる。しかし、ばらつきの大きな箇所は総じて危険度の低い地域であるため、危険度の高い地域の抽出には有効な手法であると言える。



(a) 高い増幅率の地域 (2.0-2.9)



(b) 低い増幅率の地域 (1.0-1.8)

図-1 本手法での建物倒壊危険量と正解の比較

#### 4. 地域特性を考慮した地震時の出火件数の簡易推定

地震時の被害について、火災の危険性も検討すべき事項である。とくに、出火危険性の把握は、延焼の予防策を講じるうえで極めて重要である。東京消防庁の地域別出火危

険度の測定方法には、振動台実験やアンケート調査等に基づき算出される出火率が震度・建物用途別に設定されており、他地域において同様の算出は極めて難しい。そこで、ここでは出火危険度の簡易評価に向けた検討を行う。

第8回出火危険度測定調査報告書によると、東京全体の想定出火要因は、電気関係が約70%、火気器具が約30%であり、この2つで地震時出火の危険性がほぼ説明できる。推定を行う際に比較として用いる正解値に、東京消防庁から提供された出火危険度測定調査データの総合出火件数のうち、最も出火が多く見込まれる冬の夕方での値を採択した。また、出火の主要因である火気器具や電気関係の数は、住宅やオフィスの戸数に考えられることから、推定に用いる基礎データとして、町丁目ごとの戸建て住宅の世帯数、共同住宅の世帯数<sup>4)</sup>および事業所数<sup>5)</sup>を選択した。世帯数の内訳について、戸建て住宅1棟に対し1世帯と考え、総世帯数から戸建て住宅世帯数を差し引いたものを共同住宅の世帯数として扱った。また、これに乗じる震度・用途別出火率は、第8回地域別出火危険度測定報告書内の用途別出火率のうち、基礎データに対応する住宅、共同住宅、事務所のを用いた。対象地域は地域特性の異なる、山の手地域、木造密集地域、オフィス街の代表として世田谷区、墨田区、港区を選択し、これら3区で推定を行う。

#### (1) 東京消防庁の出火率を用いた揺れによる出火の推定

住宅、共同住宅、事務所の震度別出火率を表-2に示す。各地域で想定される震度毎の用途別出火率に各数値を掛け合わせ、全ての用途の出火件数を合算した値を推定値とした。ここで、出火危険度測定における出火率の震度階設定は、都市整備局の地域危険度調査で用いられる増幅率×30kineによる地表面PGVを換算した結果によるものである。ただし、第7回調査地域危険度から増幅率の値が一部変更されたことに伴い、本研究では増幅率1.8以上が震度6強、1.7以下は震度6弱の出火率を適用することとした。

対象地域3区での増幅率から対応づけた震度階分布を図-2に示す。区部の東部地域で震度6強と揺れが大きくなっており、世田谷区では震度6弱の町丁目が大半を占め、港区はどちらの震度の町丁目も同程度存在し、墨田区では全域が震度6強といった分布である。

各区において求めた推定値と正解値を図-3に比較する。世田谷区(276町丁目)では、推定値と正解値の対応が1:1の回帰直線上に乗り、決定係数が0.973と高精度の結果となった。大半が震度6弱の町丁目であることから、世帯数と事業所数のみの出火により、正解値に近似できる結果を得られたと考える。

次に、墨田区(104町丁目)では増幅率が2.6および2.9のみであるため、すべての町丁目でも震度6強の出火率を適用した。結果の対応を見ると、世田谷区ほどではないが回帰直線上に乗り、決定係数も0.862と高い値を示しているが、正解値に対して推定値が約1/2と大きな値の乖離が発生した。ここでの推定に用いた出火率は、揺れによる出火のみが考慮されているものを用いた。しかし実際の出火危険度測定では、揺れによる出火に加えて、圧壊・全壊建物からの出火件数が考慮されている。したがって、墨田区のような木密集地域かつ軟弱な地盤をもつ建物倒壊の危険性の高い地区では、建物の倒壊による出火分も考慮する必要があることが考えられる。最後に港区(117町丁目)での推定を行った。増幅率が1.7から2.6と幅があり、震度6弱と6強と地盤特性が混在する地域である。推定値と正解値の対応では直線上に乗る

傾向がみられるが、出火件数の高い地域ではかなりのばらつきが見られた。ばらつく町丁目はいずれも震度(増幅率)の高い町丁目であったため、墨田区と同様に全壊建物からの出火が影響したと考えられる。

表-2 震度・用途別の出火率(%)

用途	震度階(相当する増幅率)	
	震度6弱 (1.5-1.7)	震度6強 (1.8-2.9)
住宅	0.0110	0.0342
共同住宅	0.0057	0.0188
事務所	0.0049	0.0205

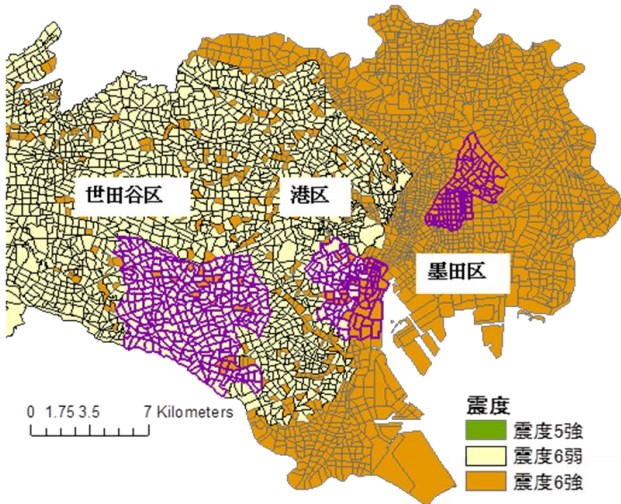


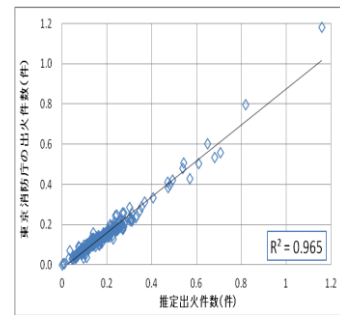
図-2 対象地域周辺の震度階の分布  
(紫枠: 左から世田谷区, 港区, 墨田区)

ここで検討した、世帯数と事業所数データに震度・用途別の出火率を乗じた推定法は、3区とも相対的な危険性の把握には十分な精度を得られたといえる。しかし、より実際の値に近似させるには、前述のとおり全壊建物からの出火を考慮するなど更なる検討が必要である。これについては(2)の推定法で言及する。

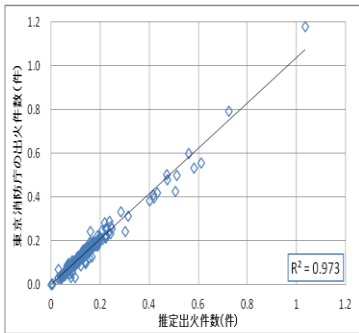
(2) 全壊建物からの出火を考慮した推定

増幅率の高い地域では全壊建物からの出火が無視できず、出火危険度測定においても、電気機器・配線が全壊建物から、火気・電熱器具では圧壊建物からの出火を見込んだ算出がなされている。したがって、本研究でもこれらの指標を採択することで推定精度の向上につながるかを検証した。電気機器・配線からの出火は全壊建物1棟あたり0.074%の出火率を乗じる。また火気・電熱器具からの出火は、全壊棟数の30%を圧壊棟数とみなし、圧壊建物1棟あたりの出火率0.0355%を乗じた算出を試みた。なお、全壊建物棟数は第7回地域危険度の建物データを使用し、上記の出火率を乗じた値を揺れによる出火件数の推定値に合算した。

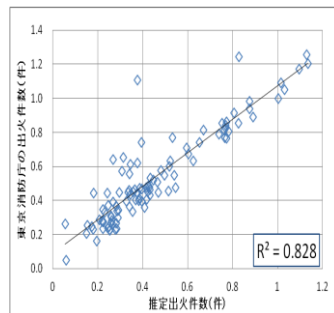
得られた結果の対応を図-4に示す。値の乖離の大きかった墨田区ではこの検討により両値の対応がおおよそ1:1の直線に乗るばらつきの改善が見られた。港区では先の推定と比較してやや正解値に近づく傾向が見られるが、ばらつきの改善は見られなかったため、さらに詳細な検討が必要である。



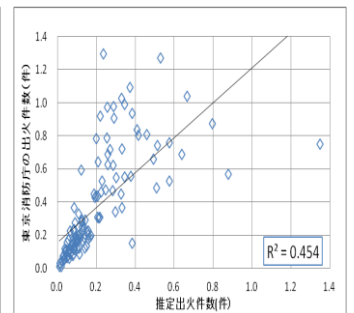
(a) 世田谷区



(a) 世田谷区



(b) 墨田区

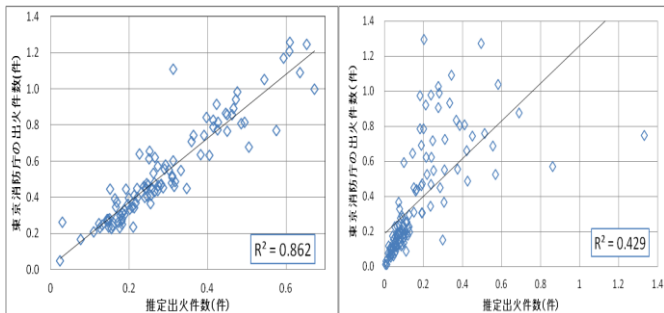


(c) 港区

図-4 全壊建物を考慮した推定値と正解の比較

(3) 高層建物における揺れの増幅を考慮した推定

揺れによる出火と地盤特性を鑑みて全壊建物からの出火を検討したが、港区では値のばらつきの解消が図られなかった。港区の建物棟数の割合は全体の約70%が非木造構造であり、高層建物数も多い地域特性を持つ。高層階では揺れの増幅が起こり、出火件数への影響が考えられることから、ここでは出火率を補正することでばらつきの解消を試みた。まず港区に存在する共同住宅および事業所をすべて高層建物とみなし、共同住宅の世帯数と事業所数の出火率



(b) 墨田区

(c) 港区

図-3 世帯数および事業所数と出火率を用いた推定結果

に2.0を乗じた。また、墨田区においても中層建物が多く存在することから、応答倍率として1.5を乗じ、世田谷区に関しては低層建物が大半を占めることから応答倍率は1.0を適用した。図-5は各区で求めた推定値をまとめ、正解値との対応をとった結果である。対象地域全体の推定値と正解値の決定係数は0.713と良い精度を得ることができ、おおよそ1:1の直線に乗る結果となった。残るばらつきの地域のほとんどが港区であり、原因としては商業施設や病院など出火率の高い用途の建物の存在が考えられる。この推定法で求めた出火件数と、東京消防庁の正解を視覚的に比較するため、出火件数を自然分類で6段階に区分したものをGIS上に示した(図-6)。対象とした3区とも推定と正解で概ね同じランク分布になることが確認でき、相対的な出火の危険性の把握が本推定法で可能であることが示された。また、ここで全壊棟数として用いた地域危険度の建物倒壊量は、本検討の前半で重回帰による推定が可能であることが示されていることから、建物の構造・築年代が分かれば全壊棟数の代用として説明変数に組み込むことが出来る。以上、世帯数および事業所数を基礎データとして出火率を用いる手法を基本とし、提案した。地域間の相対的な危険度把握には十分といえるような高い精度を得られた。しかし、地震で建物が倒壊(全壊)した際に起こりうる出火の考慮、および建物高さによって揺れが増幅される分の出火件数の加算も必要であることが示された。

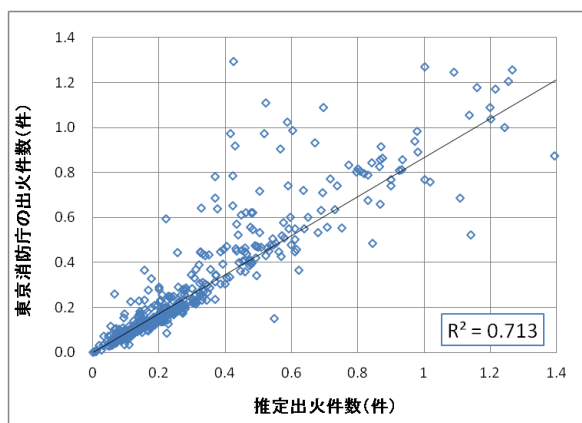
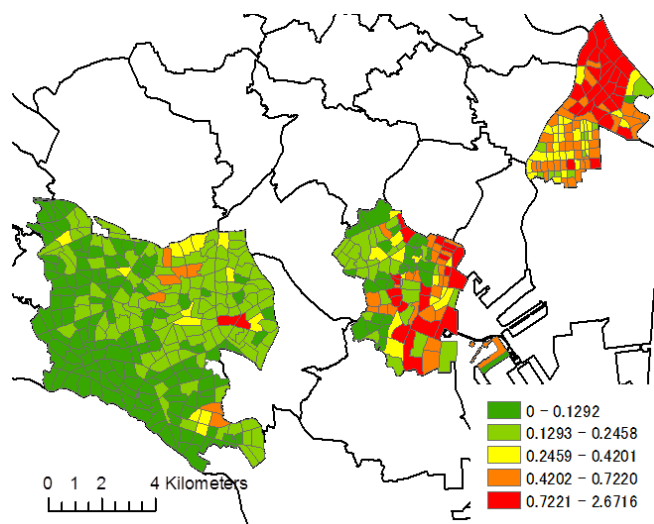


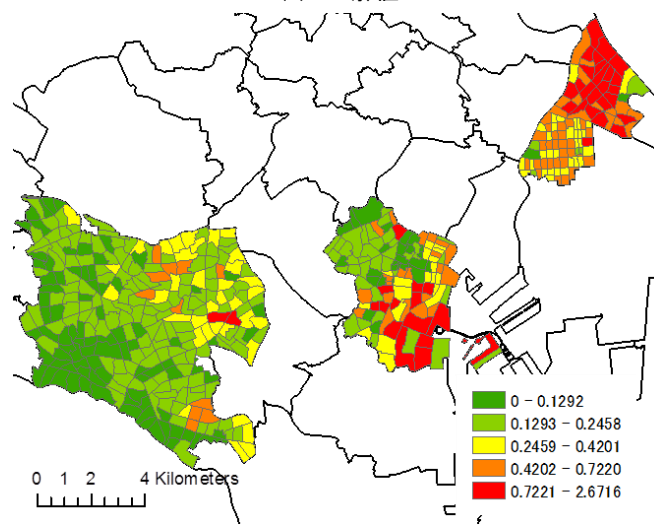
図-5 建物高さを考慮した推定値と正解の比較

## 5. 結論

本研究では、東京都地域危険度調査、東京消防庁出火危険度調査のデータをもとに、町丁目を単位として簡易な建物倒壊量と火災の出火件数を推定する方法を検討した。建物倒壊量は、古い年代の建物密度と地盤増幅率が支配的であることが明らかとなった。東京都全域を地盤増幅率の値で町丁目を2分化し、各地域での重回帰分析による推定で高い精度が得られた。次に、出火危険度調査データをもとに、地域特性を踏まえた出火件数の簡易な推定法を3通り検討した。揺れによる器具等の転倒からの出火に加え、全壊建物からの出火および建物高さを考慮した出火件数を合算した場合に全体での推定精度が向上することが示された。実際の調査の値に近似させたい場合には、地域特性によってこのような条件付けが必要であるが、いずれの地域でも出火危険性の高い地域の抽出のみであれば世帯数と事業所数のみによって概ね精度良く推定できることが確認できた。建物倒壊、出火件数の両推定とも、少数のパラメータで実調査と同程度の精度を得ることができた点で簡易化が図られたといえる。



(a) 正解値



(b) 推定値

図-6 ランク付けによる出火件数の比較

しかし、建物、出火の両者とも地盤増幅率の値が被害数に大きな影響を与えることから、今後は増幅率に依存しないような推定や、延焼被害の検討を進めることで、より汎用性の高いモデルとなりえる。

**謝辞：**本研究で使用した「第7回地域危険度調査」基礎データは東京都都市整備局より、また、「出火危険度測定」出火データは、東京消防庁より提供いただきました。記して感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 東京都都市整備局：地震に関する地域危険度測定調査報告書(第7回)、2013。  
[http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/bosai/chousa\\_6/home.htm](http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/bosai/chousa_6/home.htm).
- 2) 丸山喜久、伏岡里志、山崎文雄：東京都地域危険度測定調査における地盤増幅率の再評価、地域安全学会論文集、No. 16、2012年、pp. 21-29.
- 3) 東京消防庁：東京都の地震時における地域別出火危険度測定(第8回)、2011.
- 4) 東京都：.東京都の統計 国勢調査、2010。  
<http://www.toukei.metro.tokyo.jp/index.ht>
- 5) 総務省統計局：平成24年経済センサス 活動調査、2012。  
<http://www.stat.go.jp/data/e-census/2012/>