

中長期的な地震防災対策のあり方に関する研究

—徳島県を事例に—

照本清峰¹・望月利男²

¹ 正会員 修士 (都市科学) 東京都立大学都市科学研究科 博士課程 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

² 工博 東京都立大学都市科学研究科教授 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

活断層調査技術等の進展により、中長期的な地震の発生予測の精度は今後ますます高くなると考えられる。そしてこれらの中長期的な予測をふまえた防災計画を立てることが社会経済的にも望まれる。本研究では徳島県を事例として、地震による建物被害の期待値を地震被害予測とその発生確率の推定から時系列で評価することにより防災計画の指標となる関数を導出し、防災対策のあり方について考察することを目的としている。また、地区ごとの危険性を相対的に評価し、防災対策を優先的に行うべき地区を算出した。

本研究で示した評価は、地震防災対策についての計画目標やその水準、住民の合意形成等の手がかりになるものと考ええる。

Keywords: Measure to prevent earthquake disaster, Probability of earthquake occurrence, A time series estimation

1. 研究の背景と目的

阪神・淡路大震災では多くの既存不適格建築物において、またいわゆるインナーエリアで特に大きな被害が生じた。これらのことを踏まえ、建築物の地震に対する安全性の向上を目的として平成7年に耐震改修促進法が、また密集市街地の整備の推進を目的として平成9年に密集市街地整備法が制定された。しかし、全国的に建築物の耐震改修や密集市街地の整備はなかなか進まない状況がある。

しかしながら我が国においては地震の危険性が多く内在していることは事実である。このため、いずれは巨大地震が起こることを想定した上で被害を軽減するために対策を講じていかなければならない。そこで、いつ起こるかかわからないという地震発生の不確実性を何らかの形で顕在化させることにより、防災対策の目標年数の目安となるような指標を出すことが有効になると考えられる。その方法として、時系列で危険性の推移を表せられるような評価関数を示すことが考えられる。これによって防災対策の目標がみえ、計画が立てやすくなるとともにその実行力が伴われると考えられる。

ところで、平成7年に地震防災対策特別措置法が施行され、新たな地震調査研究として本格的に長期の発生確

率を評価する動きが見られる¹⁾。これらは今後の科学技術の進展によりデータが蓄積されれば評価精度もそれに伴って向上し、中長期的な地震の発生予測の精度も高まることが期待される。そしてこれらの中長期的な予測をふまえた防災計画を立てることが社会経済的にも望まれる。

そこで本研究では、長期的な地震の発生確率予測を取り入れ、耐震改修や防災対策の指標となる関数を導出し、行っていくべき防災対策を検討することを目的とする。また、ケーススタディとして徳島県を対象として行う。

2. 地震が地域に及ぼす被害

本研究での評価の前提条件として、地震が発生した場合の地域に及ぼす危険性を把握しておく必要がある。筆者は、徳島県において多くの被害を及ぼすと考えられる3ケースの地震を想定して被害予測を行っている。想定地震1は南海トラフ沿いを震源とする海溝型地震タイプ、想定地震2は、中央構造線活断層系の県東部の断層及び鮎喰川断層が連動する内陸型地震タイプ、想定地震3は中央構造線活断層系の県西部の断層が活動することを想定した内陸型地震タイプである。想定地震の設定データとその建物被害率の予測結果を表1に示す。

表-1 想定地震データと被害予測結果

想定地震名	長さ(km)	幅(km)	走行	傾斜	M	建物棟数	被害予測棟数	建物被害率
想定地震 1	150	120	ENE	20°	8.4	495900	17200	3.5%
	150	70	250°	10°				
想定地震 2-A	54	20	ENE~EW	90°	7.7	495900	109200	22.1%
想定地震 2-B	42	20	ENE	90°	7.5			
想定地震 3	52	20	ENE~EW	90°	7.7	495900	95300	19.2%

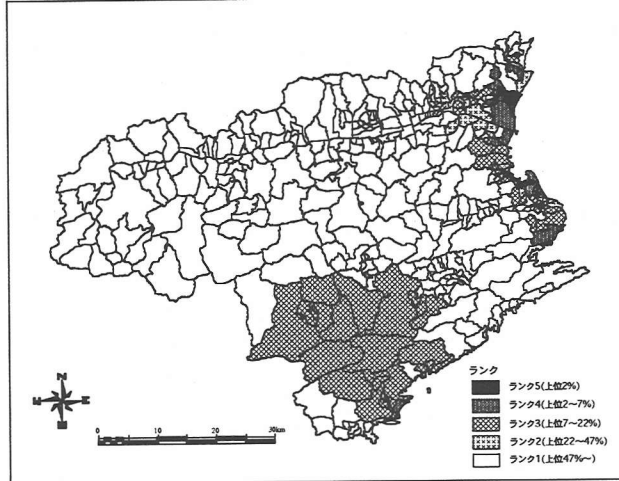


図-1 想定地震 1 建物被害率ランク分布図

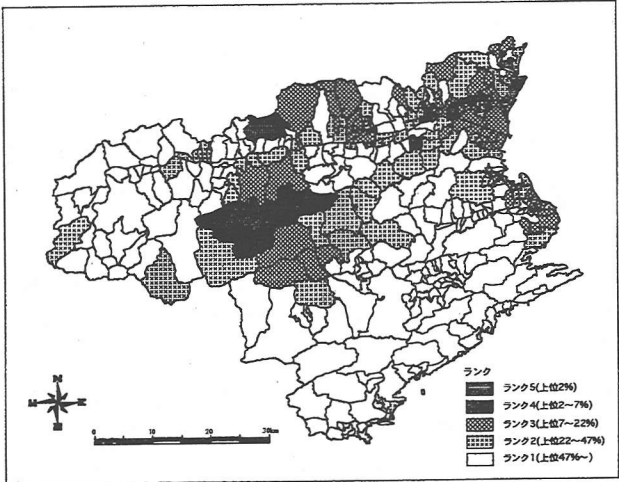


図-2 想定地震 2 建物被害率ランク分布図

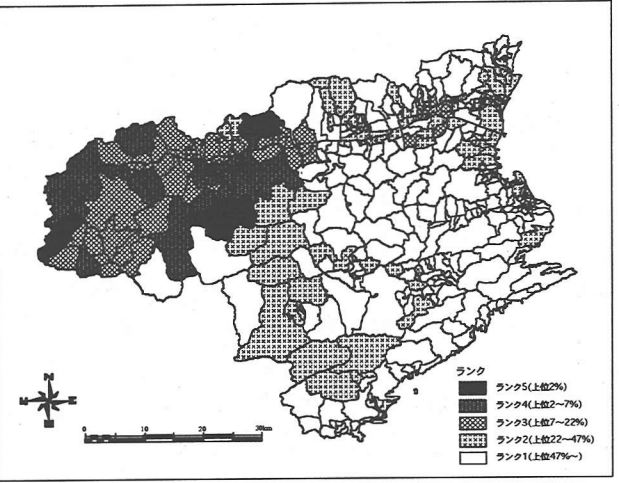


図-3 想定地震 3 建物被害率ランク分布図

建物被害は全壊棟数と半壊棟数を予測している。被害率は、全壊棟数と半壊棟数を 2 で除した数を足し、それを全棟数で除した値である。また、図 1～3 に想定地震 1～3 の被害ランク図を示す。

地震被害は想定地震 1 に比べて想定地震 2 及び想定地震 3 の内陸型地震で大きくなることが予測された。想定地震 1 の被害予測においては、県南部及び県北東部で被害率が高くなった。県南部では震源域に近いとともに、県北東部で被害率が高い地区は河口部に位置し、軟弱地盤で形成されているためである。また、想定地震 2、想定地震 3 では震源断層近傍を中心として激甚な被害になることが予測された。

3. 被害期待値の時系列評価

時系列で危険性の推移をみるためには地震の発生確率を推定する必要がある。そのために、解明されているパラメータや海溝型地震、内陸活断層による地震といったケースに応じて、それぞれの想定地震について断層データと確率密度関数のモデルを設定した。

(1)断層データの設定

断層データは、更新過程により発生確率を求めるために、想定地震の平均再来間隔、最新活動時期を現状で知られているものをもとにして設定した。

想定地震 1 は歴史的に知られているデータをもとに²⁾、想定地震 2 は岡田・堤(1992)にしたがって設定した³⁾。想定地震 3 については現状での活動履歴に関する調査結果は見られないが、平均変位速度の関係から平均再来間隔は想定地震 2 と同様と仮定し⁴⁾、最新活動時期は不明なまま設定した。表 2 に設定データを示す。

表-2 設定断層データ

想定地震	最新活動時期 (年)	平均 再来間隔 (年)
想定地震 1	1946	114.0
想定地震 2	1596	1600
想定地震 3	不明	1600

(2)確率密度関数モデルの設定

次に、想定地震ごとのデータの性質に応じてモデルを

設定し、それをもとに発生確率を求めた。

a) 想定地震 1

想定地震 1 の海溝型地震は、Working Group on California Earthquake Probabilities(1988)にしたがって確率密度関数を用いた⁵⁾。このモデルは、Nishenko & Buland(1987)が世界の海溝型地震のデータを調査・分析したものがもとになっており、ログノーマル関数で表される⁶⁾。

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{\{\ln(t) - (\ln \bar{T} + w)\}^2}{2\sigma^2}\right] \quad \dots \textcircled{1}$$

$$\ln(\bar{T}) = \ln(T_{ave}) + w \quad \sigma : \ln(T/\bar{T}) \text{の標準偏差}$$

t は最新活動時期からの経過年、 T_{ave} は観察された地震の発生 の平均再来間隔、w は Nishenko & Buland(1987) が求めた値で-0.0099 である。

b) 想定地震 2

想定地震 2 は、隈元(1998)にしたがって確率密度関数を用いた。隈元は日本の内陸の活断層調査に関して活動履歴が記述されている文献を調査し、そのデータをもとに内陸活断層の確率密度関数を次式のワイブル関数で表している⁷⁾。

$$g(t/T_{ave}) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} (t/T_{ave})^{\alpha-1} \exp\left\{-\left((t/T_{ave})/\beta\right)^\alpha\right\} \quad \dots \textcircled{2}$$
$$\alpha = 2.04 \quad \beta = 1.13$$

c) 想定地震 3

想定地震 3 は最新活動時期が不明なため、地震の発生確率は時間的に不変とした次式で表されるポアソン過程を適用した。

$$h(t) = \frac{\exp(-t/T_{ave})}{T_{ave}} \quad \dots \textcircled{3}$$

(3) 評価関数

求める時系列の評価関数は、建物被害率と地震の発生確率に基づく被害の期待率の累積分布で表す。また、建物被害率は時間経過とともに老朽化、改築や市街地の変遷等により変化すると考えられるが、ここでは不変と仮定して行う。発生確率は、最新活動時期から T 年経過後の条件付き確率として次式のように表すことができる。

$$\Pr_1\{T \leq t \leq T+d \mid t > T\} = \frac{\int_T^{T+d} f(t) dt}{\int_T^\infty f(t) dt} \quad \dots \textcircled{4}$$

$\Pr_n$ は想定地震 n の発生確率、d は T からの経過年、f(t) は確率密度関数である。これらより、評価関数は次式で表される。

$$E(t) = \sum_{n=1}^3 \Pr_n \{T_n \leq t \leq T_n + d \mid t > T_n\} H_n(x) \quad \dots \textcircled{5}$$

E(t)は被害期待率、 H_n は想定地震 n の建物被害率を表す。

図 4 に徳島県全体の被害期待率の推移を示す。

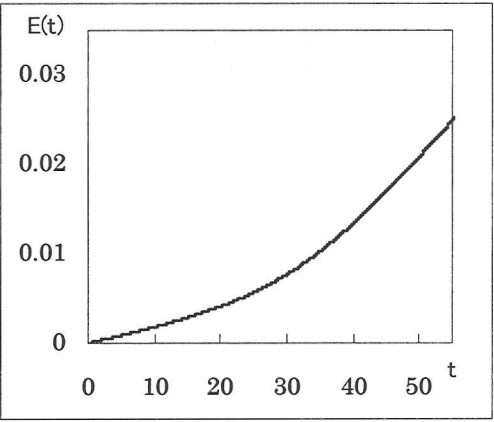


図-4 徳島県全体被害期待率の推移

(4) 地区別の被害危険性の相対評価

図 4 では徳島県全体についての建物被害率の危険性の推移を示したが、地区別にみるとその危険性の割合や推移には違いがある。そこで、地区別の危険性を相対的に評価するために、⑤より E(t)の値を固定し、その値に到達するまでの年数を地区ごとに求めた。被害の期待値については、危険水準になるような適当な基準はないが、ここでは徳島県全体の 50 年間の期待率を固定し、地区別に値を求めてランク分けを行った。図 5 にランク分布図を示す。

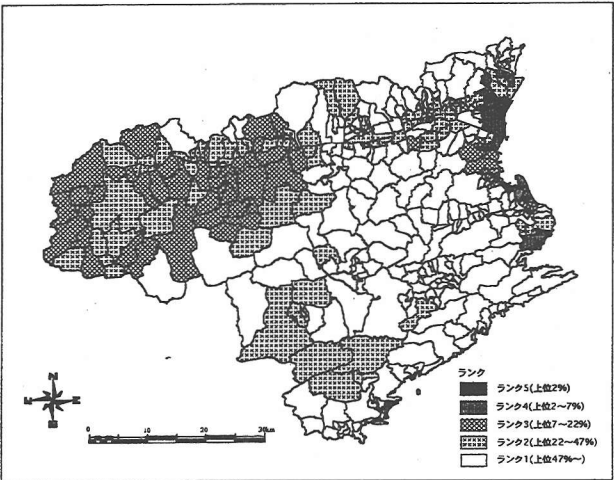


図-5 地震被害危険ランク分布図

4. 防災対策のあり方に関する考察

ハード面の地震防災対策は、その特性からも一朝一夕にはなしえないことが多い。そのため、目標となる水準をもって、時間をかけながら安全な街区を形成していくことが望まれる。徳島県の場合、図 4 より、被害の危険

性は現在からおよそ 30 年後に高まっていくことが予測される。これは想定地震 1 の平均再来間隔が比較的小さいため、その周期性から地震発生の危険性が現在からおよそ 30 年後において急激に高まっていくことが推定されるためである。被害率では想定地震 2 や想定地震 3 の方が危険性は高いが、時間経過とともに想定地震 1 の発生確率が他と比べて高まるため、相対的な重みは増す。そのため、総合的に評価した結果では、一つの考えとしておよそ 30 年以内を中長期的な整備目標年として対策を講じていくことが有効になると考えられる。しかしこれらは徳島県全体で見た場合であり、地区別に見ると個々の地区ではそれぞれの特性がある。そのため、地区の状況に応じて対策を行っていくことが望まれる。

また、地震防災対策を全ての地区において同様に行うことは経済性から見て非効率である。このため、地震被害を軽減するためには、優先的に防災対策を行っていくべき地区を抽出することが有効になる。その一つの方法として、例えば地区内の老朽木造建物率（昭和 45 年以前に建築された建物の割合）を求め、その値の高い地区から整備していくことが考えられる。図 6 に徳島県全体の老朽木造建物率の分布図を示す。図 6 より、県の南東部周辺において老朽木造建物率が高いことがわかる。しかし、図 5 の評価結果では県の北東部において危険性が高く評価される。断層データを考慮しないで評価したときの地区の危険度が低くても、その地区が断層近傍にあり、その断層が活動する可能性の高い場合、近くに断層がないと考えられる地区よりも優先的に整備されることが対策上、有効になると考えられる。このため、断層データを総合的に考慮した図 5 のランクの高い地区を優先的に整備していくことが望まれる。また、危険性を地区別に評価しても地区内ではそれぞれに個別の状況がある。このため、防災計画においてはこれらをもとにして協議していくことが望まれる。

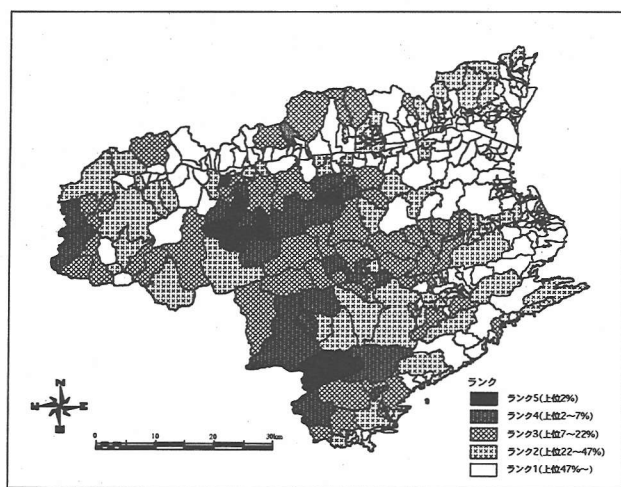


図-6 老朽木造建物率ランク分布図

5. おわりに

本研究では、地震の被害予測と発生確率の推定値から被害の期待率を時系列の評価関数で表し、防災対策のあり方について若干の考察を試みた。ここで示した評価方法は、地震防災対策についての計画目標やその水準、住民の合意形成等の手がかりになるものと考えられる。

地震被害予測は多数の自治体で行われているが、その発生確率の推定についてはまだほとんど行われていない状況である。これは全国の活断層の最新活動時期や平均再来間隔、さらにはセグメントやグルーピングなど未解明な部分が多く、まだ評価方法も検討されている段階であるためである。

本研究で使用したデータも不明な部分が含まれるため、結果の不確実性は残される。不確実性については、それをより確からしくしていくことが望まれるとともに、科学的に、また社会がその不確実なものをどのように扱っていくか、目標水準、安全水準をどのように定めるか、それをふまえてどのように防災対策を行っていくかということが問題になる。これらは今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会：（試案）長期的な地震発生確率の評価手法について、1999.
- 2) 宇佐美龍夫：日本被害地震総覧，東京大学出版会，1987.
- 3) 岡田篤正：中央構造線活断層系の活動区の分割試案，地質学論集，vol.40,pp.15-30,日本地質学会，1992.
- 4) 活断層研究会編：新編日本の活断層，東京大学出版会，1991.
- 5) Working Group on California Earthquake Probabilities : Probabilities of large earthquakes occurring in California on the San Andreas fault, U.S.G.S. Open-File Report 88-398, 62pp.,1988.
- 6) S.P.Nishenko and R.Buland : A generic recurrence interval distribution for earthquake forecasting, Bulletin of the seismological society of America,vol.77,No.4,pp.1382-1399,1987.
- 7) 隈元崇：活断層のトレンチ調査結果を用いて推定した日本の内陸地震の長期危険度評価，地震第 2 輯 50 巻別冊，pp.53-71,1998.