

震災対策意思決定のための多種想定地震の戦略的選択法
名古屋市がターゲットにすべき地震はどれか

STRATEGIC CHOICE APPROACH FOR SCENARIO EARTHQUAKES IN NAGOYA CITY

2. 構造 - 2. 振動

想定地震 クラスタ分析 死者
震度分布 耐震改修 被害想定

正会員

中嶋唯貴*

Nakashima Tadayoshi

正会員

岡田成幸**

Okada Shigeyuki

1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震以後、断層モデルによる強震動予測手法に関する研究が精力的に進められており、この成果をうけて、広域における地震防災戦略立案のための地震動予測が中央防災会議¹⁾や地震調査研究推進本部²⁾及び各自治体で実施されはじめています。これら一つ一つの地震動予測結果は、地震動予測時の各種パラメータに大きく左右され、防災計画立案時にはそれらパラメータの選定法が大変重要になることが知られている。たとえば、建物の性能設計に用いるための各種パラメータの検討³⁾や、被害分布に着目しパラメータによる不確定性を含めた地震防災計画策定指針に関する研究⁴⁾など、単一または複数の地震動予測結果の扱い方に関する研究は徐々に行われてきている。しかし当該地域において複数の地震動予測結果がある場合、一般には地震防災計画立案に際し自治体は、これらのうち一つの地震動予測結果のみを地域防災計画の拠り所としている場合が多く、想定地震とは地震動分布の特徴の異なる地震が発生すると、防災計画が有効に働かないことが危惧される。これを避けるためには、既往の地震予測結果すべてを使用し、それぞれに対する地域防災計画を複数立案するには被害想定に多大な時間・資金・労力を必要とするため、できれば当該地域にとり重要と思われる地震動を絞り込むことが望まれる。そこで、本論では名古屋市を検討エリアとし、各種機関から作成された地震動予測結果を用い、地震動分布をパターン化し絞り込みを行うことで、自治体が想定すべき地震動の選定を防災戦略的に行い、当該地域にとりターゲットとすべき重要な地震を絞り込む手法について考察する。

2. 名古屋市における地震動想定結果

名古屋市を想定範囲に含む地震動予測結果のすべてを入手するのは不可能であるため、本論では当研究室にて入手した中央防災会議作成の中部圏・近畿圏の内陸地震

の震度分布¹⁾、愛知県作成の地震動予測結果⁵⁾、岐阜大作成の地震動予測結果⁶⁾の41の地震動予測結果を用いる。作成機関と想定地震を表1に示す。

3. 名古屋市における高影響地震の抽出

(1)地震動想定結果の調整とDB化

3つの機関によって作成された41種類の地震動予測結

表1 作成機関と想定地震

作成機関	地震番号	地震名
中央防災会議	1	猿投-高浜断層
	2	加木屋断層
	3	布引山地東縁断層帯東部
	4	名古屋直下M6
	5	四日市-桑名-養老断層
	6	花折断層帯
	7	中央断層帯
	8	伊那谷断層帯
	9	清内陸峠断層
	10	木曾山脈西縁断層帯主部震度
	11	佐見断層帯
	12	白川断層帯
	13	赤河断層帯
	14	恵那山猿投山北断層
	15	武儀川断層
	16	伊勢湾断層帯主部
	17	白子-野間断層
	18	養老山地西縁断層帯
	19	鈴鹿東縁断層帯震度
	20	布引山地東縁断層帯
	21	柳ヶ瀬-関が原断層帯
	22	鈴鹿西縁断層帯
	23	頓宮断層
	24	名張断層帯
	25	大鳥居断層帯
	26	湖北山地断層帯北西部
	27	琵琶湖西岸断層帯
	28	京阪奈丘陵曲断層
	29	上林断層帯
	30	三峠断層帯
	31	山田断層帯主部
	32	御所谷断層
	33	大坂湾断層帯震度
	34	中央構造線断層帯
愛知県	35	愛知県作成東海地震
	36	愛知県作成東南海地震
	37	愛知県作成東海・東南海地震
	38	養老断層帯
岐阜大	39	岐阜大作成東海地震
	40	岐阜大作成東南海地震
	41	岐阜大作成東海・東南海地震

* 名古屋工業大学院工学研究科 大学院生・修士(学術)

** 名古屋工業大学大学院工学研究科 教授・工博

Grad.student,Grad.School of Eng.,Nagoya Institute of Tech.,M.ph.

Prof.,Grad.school of Environ.Eng.,Nagoya Institute of Tech.,Dr.Eng.

果（震度分布図）は、中央防災会議による地震動予測は1km×1kmメッシュで作成されており、愛知県と岐阜大によって行われた地震動予測は500m×500mメッシュで作成されている。そこで、愛知県と岐阜大の地震動予測結果を1km×1kmに揃え、メッシュ内の最大震度を採用することで統一化した。

また、地震動の影響を死者数で代表指標化することとし、関連のDBを以下のように整理した。

- ①名古屋市を1km×1kmで区切った各メッシュの人口は平成12年国勢調査を用いる。
- ②上記メッシュには41の想定地震により計算された震度を対応させる。

(2) クラスタ分析を用いた41想定地震の分類

41ある地震動予測結果は、各機関がおのの個別に行った予測であり、断層の位置や用いたパラメータは異なっている。そのため、当然震度分布は異なる。また、人々が住んでいる地域も均一に広がっていないため、同一程度の規模の地震でも名古屋市がうける影響は異なってくる。そこで、似たものどおしをグルーピングするクラスタ分析を用いて、影響度の異なる地震を選別することを試みる。クラスタ分析とは、対象間の距離を定義して、距離の長さによって対象を分類する方法である。ここでは距離として、名古屋市内におけるそれぞれの地震の影響度をとる。影響度はメッシュ内で発生する死者数を擬似的に再現できるよう、震度分布にそのメッシュ内の人口で重みを付けたものを距離とする。クラスタ分析の流れを簡易的に記述すると以下となる。

- ①個々の対象間の近似の程度をはかるための距離、及びクラスタとして併合する際の距離を決める。
- ②個々の対象間の距離をすべて計算し、距離が最小となる対象を統合してクラスタとする。
- ③新しく形成されたクラスタと対象間の距離をすべて計算し、対象間の距離のうち最小値をとる対象どうしを統合する。これらすべてのクラスタが統合されるまで繰り返す。
- ④クラスタの統合過程を示すデンドログラム（樹形図）を描き適当な距離で切断することによりいくつかのグループに分ける。各グループに含まれる対象を調べ、グループの特徴を把握する。

クラスタ分析にはいくつかの手法が提案されており、用いるクラスタ間距離によって手法定義されているが、ここでは鎖効果がおきにくいWard法を用いることとする。Ward法を前章(1)で作成したDBに適用すると、地震tと地震k間の距離 d_{tk} は、全メッシュ数をnとし、非類

似係数を $d(t,k)$ とすると、式(1)のように与えられる。

$$d_{tk} = \frac{n^2}{2n} d(t,k) \quad (1)$$

非類似係数の算出に当たっては、地震が各メッシュに与える震度の違いを基本距離とし、死者分布に関わるメッシュ内人口による重みつきユークリッド距離を用いることとする。地震tと地震kの非類似性はメッシュiにおける人口を P_i 、メッシュiにおける地震tの震度を I_t 、メッシュiにおける地震kの震度を I_k とすると式(2)のように与えられる。

$$d(t,k) = \left(\sum_{i=1}^n P_i (I_t - I_k)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

この d_{tk} を41地震すべてで算出し、二つの地震の距離が最小のものから統合し、その統合過程を樹形図で記述することで41地震を分類する。

(3) 名古屋市を対象とした41地震の分類結果

名古屋市における41の地震予測結果をメッシュで整理したデータベースを用い、式(1)(2)を用いて解析を行った結果を図1に示す。

図1を、太線の部分で切断すると地震動予測は4つのクラスタに分類される。この樹形図は、人口で重み付け

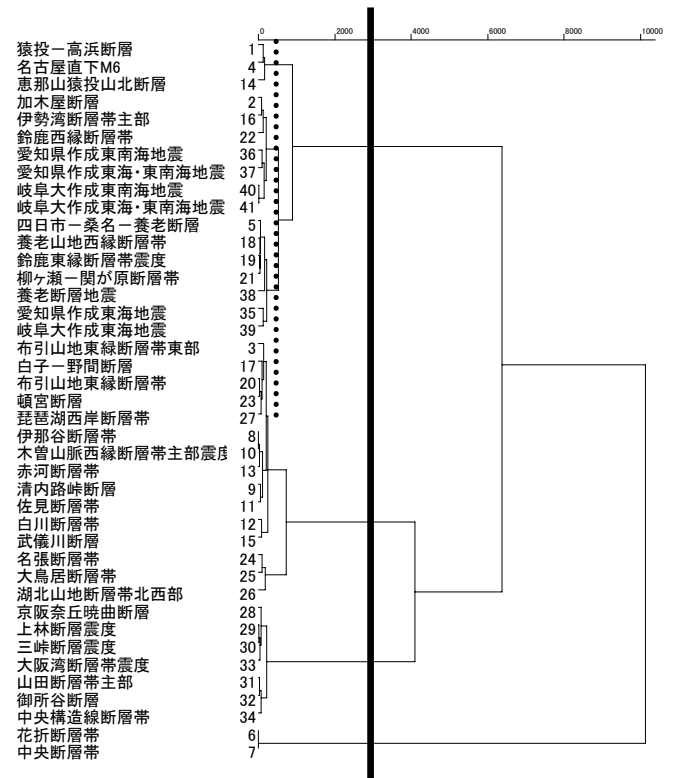


図1 41地震の分類結果

した非類似性係数を使用して作成しており、上部から人々が被る震度が高い想定地震がクラスターとして抽出される。そこで一番震度が高い地震の集合を第一クラスターとし、残りを無視する。第一クラスターを図1の点線部で再び分類すると、3つのクラスターに分類される。この3つのクラスター中、同様に上部に位置する地震が住人に大きな震度を与える想定地震であり、クラスターの中で代表的な地震とすることができる。よってそれぞれのクラスターから、猿投-高浜断層、加木屋断層、四日市-桑名-養老断層を名古屋市の代表的想定地震とする。抽出した3地震の震度分布を図2-4に示す。猿投-高浜断層による震度分布は名古屋市の東側に震度6強のエリアが広がっている。加木屋断層では名古屋市の南から南西方向に6強から6弱のエリアが広がっている。四日市-桑名-養老断層では西側に6弱のエリアが存在している。このように、3地震において高震度のエリアに分布上の違いが明確に出ている。また、加木屋断層と同じクラスターに分類された東海・東南海地震の震度分布(図5)を加木屋断層(図3)と比較すると、南から南西の震度が高いという分布上の共通点が見てとれ、震度強度でみるなら加木屋断層のほうが大きく、直接被害という観点からは、名古屋市にとり加木屋断層のほうがより影響の大きな地震であることが分かる。

4. 耐震化戦略への応用

選択した3地震の名古屋市に与える影響度の違いを、それぞれの死者数及びその分布の違いから検討し、選択の適否を考察する。防災戦略において地域の耐震改修が地震による死者数の効率的軽減に寄与することが重要である。すなわち現状では次に発生する地震予測が難しい状況にあることに鑑みるなら、想定地震以外の地震が発生した場合においても進めている耐震化戦略が死者軽減に効果を持つことが要求される。そのためには、耐震化戦略を検討する地震動想定で算出した死者数が現在考える死者数の大半を含むような想定地震であることが望ましい。この観点より、名古屋市内で木造住居の倒壊により発生しうる死者を、各メッシュ41地震の最大震度を用いることで算出したものをベースに、選定された3地震が死者数及びその分布においてどの程度をカバーしているかを検討し、選択の適否を判断する。なお、参考までに名古屋市が現在採用している東海・東南海を想定地震とした場合の死者数も比較してみる。

(1) 死者数の算出方法と使用データ

筆者らは、時間軸を考慮した耐震化戦略の死者軽減効果を検討する式を作成し、東海・東南海地震を対象に耐震改修促進法の効果や損傷度に着目した耐震化戦略の死者

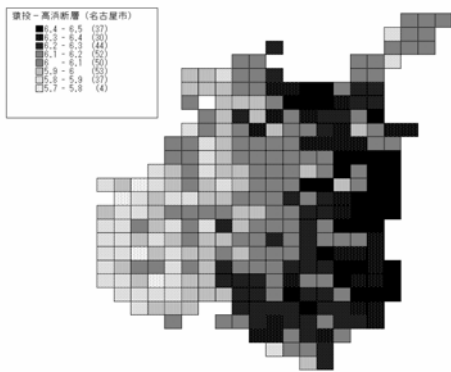


図2 猿投-高浜断層

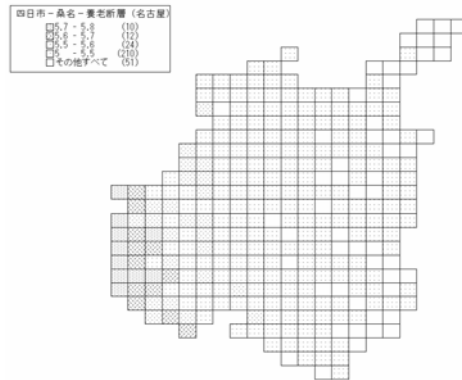


図4 四日市-桑名-養老断層

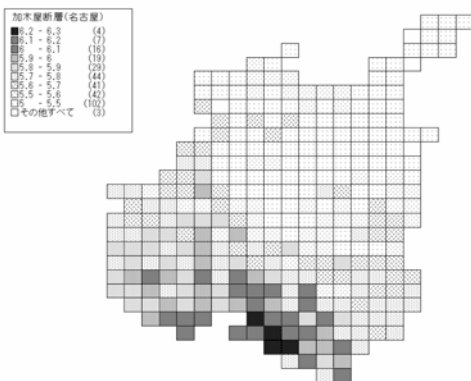


図3 加木屋断層

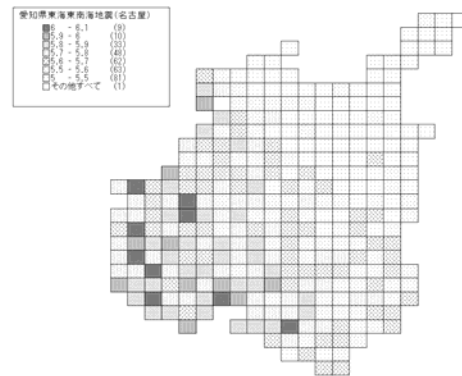


図5 東海東南海連動型地震

軽減効果を検討⁷⁾しており、ここで使用した地域死者算出式を式(3)に示す。

$$Dn = \sum_{x=0.6}^1 \sum_{l=0}^1 Dnk(x,y) \times Mf(I, \Delta x) \times kf + Dnt(x,y) \times Mf(I, \Delta x) \times tf \quad (3)$$

ここに Dn は死者数、x は木造住居の損傷度、y は周辺全壊率、Dnk(x,y)は戸建の死者発生率、Dnt(x,y)は長屋・共同の死者発生率、Mf(I, Δx)は木造住居損傷度曝露人口、kf は木造戸建人口率、tf は長屋共同戸建人口率を示す。

名古屋市における平成 15 年の住宅土地統計による建築年代分布と各係数は表 2、3 のようになる。(詳細な算出方法に関しては、参考文献 7 参照)

(2)死者数の比較

式(3)を使用し、41 地震による各メッシュの最大死者数を合計したものと東海・東南海地震の死者数及びクラスター分析により決定した 3 地震の死者数との割合を表 4 に示す。41 地震での死者数は 1,228 人なのに対し、クラスター分析で抽出された 3 想定地震での死者数は 1,160 人と 41 地震の死者数の 94%を含んでいることとなる。現在の地震防災対策を行う上で想定地震として度々使われている東海・東南海地震での死者の割合は 2%程度で、最悪状況に比較し 98%の死者を見逃していることにな

表 2 木造住居の築年代分布

築年代分布	
1950以前	11%
1951～1960	8%
1961～1970	16%
1971～1980	23%
1981～1990	20%
1991～	22%

表 3 死者算出使用データ

	木造人口	木造戸建人口率	木造長屋共同人口率	在宅率
使用したデータ	936408	84%	16%	92%

表 4 死者数の検討結果

	41 地震	3 想定地震	愛知県作成東海・東南海地震
死者数	1,228	1,160	30
包含率	100%	94%	2%

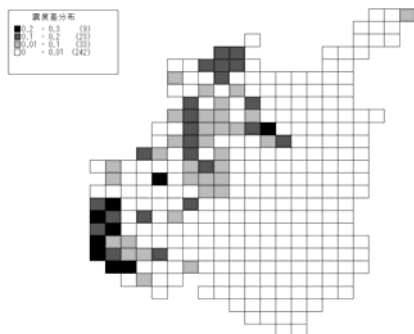


図 6 41 地震と 3 地震との震度差

る。図 6 に各メッシュの全 41 地震による最大震度と選択した 3 地震による震度との差を分布表示したものを示す。これによれば、名古屋市の南西 (港区、中村区) 及び北西 (西区) に一部震度で最大 0.3 の差が認められる。41 地震を 3 地震に絞り込んだ結果の過小評価はその程度に留まり、しかも地域は限定的である。メッシュ数にして、78.8%は最大震度をカバーしていることが分かり、選択法の妥当性が確認された。これにより当該地域に有意に影響し検討すべき地震は、その影響をミスリードすることなく大幅に減少することが可能となった。防災戦略上の有効性は極めて高い。

5. おわりに

本論では、多数ある想定地震動を、人口で重み付けをしたクラスター分析で分類することにより、3 つの代表的な地震に絞り込むことが出来ることを示した。複数のハザードマップを机上に置き、この中から当該市域に影響が大きく、かつ問題を抱える地域を見落とさないための対策を効率的かつ効果的に進めていくための、一つの有力なアプローチであろう。今後は、この選択した想定地震に対して、早期の死者軽減戦略のあり方を市の保有資源量の適正配分との関係で検討していく所存である。また、本論では死者軽減の観点から人口を用いた重み付けによる地震分類を試みたが、重み付け要素を種々変化させることで、死者以外の直接・間接被害に高い影響を与える地震の抽出も可能である。今後の検討課題である。

参考文献

- 1) 中央防災会議「東南海、南海地震に関する専門調査委員会」: 中部圏・近畿圏の内陸地震の震度分布について、2006、12。
- 2) 地震調査推進本部地震調査委員会: 全国を概観した予測地図報告書、2005。
- 3) 壇一男、神原浩、藤川智、菊池優: 断層破壊のシナリオとその生起確率を考慮した地震ハザードの解析に関する研究—断層モデルによる予測地震動を建物の性能設計法に実装するために—、日本建築学会構造系論文集、602、119—128、2006、4。
- 4) 岡田成幸、戸松誠: 都市直下地震を想定した入力地震動の考え方と地震防災計画への指針—震源パラメータの不確実性がもたらす地震動入力及び被害評価への影響—日本建築学会論文集、530、37-44、2000、4。
- 5) 愛知県防災会議地震専門部会: 愛知県東海地震・東南海地震等被害予測調査報告書—想定地震に基づく被害想定—、2003
- 6) 久世益充・能島暢呂・杉戸真太: 南海トラフ巨大地震を想定した広域震度予測、自然災害科学、22—1、87—99、2003
- 7) 中嶋唯貴・岡田成幸: 時間軸上の死者低減率最大化を主目標とした木造住宅耐震化戦略の策定—東海・東南海連動型地震を対象とした東海 4 県への適用事例—、日本建築学会構造系論文集、623、2008。