

地震動予測マップの活用 —その2：震度曝露人口の試算—

能島暢呂¹・杉戸真太²・久世益充³・石川 裕⁴・奥村俊彦⁴・宮腰淳一⁴

¹ 岐阜大学工学部社会基盤工学科（〒501-1193 岐阜市柳戸1-1）E-mail:nojima@cive.gifu-u.ac.jp

² 岐阜大学流域圏科学研究センター（同上）E-mail: sugito@cive.gifu-u.ac.jp

³ 岐阜大学産官学融合センター（同上）E-mail: kuse@cive.gifu-u.ac.jp

⁴ 清水建設（株）技術研究所（〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17）

E-mail: yutaka.ishikawa@shimz.co.jp, oku@shimz.co.jp, miya@shimz.co.jp

本研究は、地震動予測マップの活用方法の一例として、人口分布との重ね合わせによって震度曝露人口を求め、マップが示す面的情報を簡潔に集約し、比較検討に役立てる方法とその試算例を示すものである。エリアスタディーの対象としては岐阜県を選び、地震動シミュレーションによるシナリオ型地震動予測マップと、地震ハザード解析による確率論的地震動予測マップを500mメッシュで作成した。これに基づいて、複数ケースのシナリオ地震マップの震度曝露人口の比較、および、複数の確率レベルでの地震ハザードマップの震度曝露人口の比較考察を行った。

Key Words : population exposure, seismic instrumental intensity, scenario earthquake, probabilistic seismic hazard, Gifu prefecture

1. はじめに

地震動予測手法の高度化や地盤データベースの充実によって、想定される地震による地震動分布を詳細に予測することが可能となっている。また、地震ハザード解析を面的に実施して得られる地震ハザードマップも地震リスク分析の基礎情報として活用されている。マップ表現の第一の利点は、面的分布を可視化したものであることから、見る者の視覚的理解を助けることであるが、それだけでなく、他種類のマップとの重ね合わせによって、様々な分析や集計が可能になることも大きな利点である。

例えば筆者らは、震度分布と人口分布とを重ね合わせて集計することで震度曝露人口を定義し、震災ポテンシャル指標とすることを提案した¹⁾。いくつかの既往地震および想定東海・東南海地震を対象とした事例を通じて、地震災害の相互比較に有用な情報となりうることを示すとともに¹⁾、震度情報ネットワークを用いたリアルタイム推計システムの開発も進めている²⁾。

本研究は、地震調査研究推進本部によって「確率論的地震動予測地図」の作成プロジェクト³⁾が進められていることを背景として、「シナリオ型地震動予測地図」ならびに「確率論的地震動予測地図」の活用方法の一例として、マップが示す面的情報を震度曝露人口として簡潔に集約し、比較検討に役立てる方法とその試算例を示すものである。

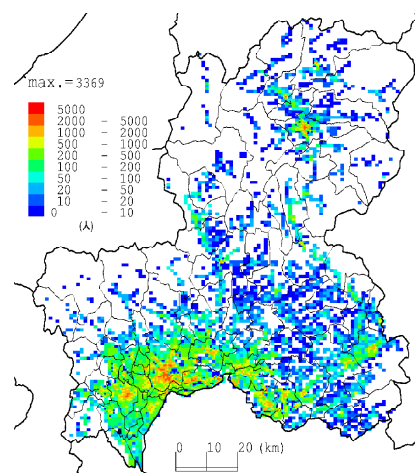


図-1 岐阜県内の2分の1地域メッシュ人口（約500m）

本研究でエリアスタディーの対象とするのは岐阜県である。各種の地震動予測マップと重ね合わせるのは、平成7年国勢調査に基づく人口分布であり、図-1に示すように、2分の1地域メッシュ（1メッシュ約500m四方）で整備されたデータである。岐阜市周辺ではDID（人口集中地区）が多い一方で、人口ゼロ（白色の部分）の面積も広く、人口の偏在状況を把握することができる。

以下、2. においてはシナリオ型地震動予測マップを活用した震度曝露人口の試算例を示す。久世ら⁴⁾による想定東海地震の地震動シミュレーションにおいて、条件設定の相違がもたらす震度分布への影響評価について考

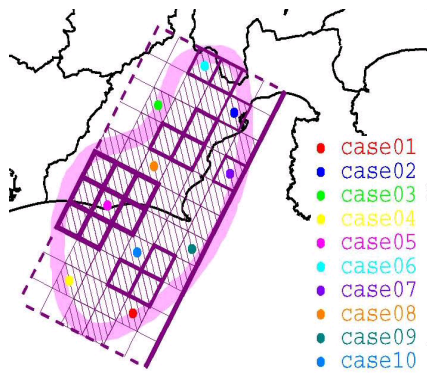


図-2 想定東海地震の断層破壊開始点の設定

察するため、震度曝露人口を応用する。また3.においては確率論的地震動予測マップを活用した試算例を示す。石川ら⁹⁾により作成された岐阜県の地震ハザードマップを用いて、確率レベルと地震ハザードの面的分布の関係を、震度曝露人口によって定量的に評価する。

2. シナリオ型地震動予測マップの不確定性評価

シナリオ地震による被害推定を行うため地震動を予測する場合、条件設定の相違により様々に異なった震度マップが得られる。断層運動の動力学的な特性を考慮して地震動シミュレーションを行う場合には、距離減衰式を用いた簡易手法に比べると、条件の相違によって生じる差異はより顕著なものとなる。仮に、震源断層の幾何形状やアスペリティの設定を同一に設定したとしても、破壊伝播パターンが異なれば、断層破壊の進行方向に強震動域の分布が偏る方向性（forward directivity）の影響で、震度分布は異なったものとなる。

このような条件設定の相違による震度分布の不確定性を考慮するには、複数の震度マップをすべて利用して、被害予測を網羅的に実施する方法もある。ところが、予測すべき被害項目は多岐にわたることが多いため、必ずしも合理的な方法とはいえない。そこで、複数の震度マップを一つに集約したり、あるいはいずれか一つを選択することによって、代表的な震度マップとして採用する方法がとられる場合がある。

その際に、最終的に採用される震度マップが、複数の震度マップの中でどのような位置付けで、どのような意味を持つのかを検証しておくことは、集約あるいは選択の方法に関わらず重要な検討事項である。ここでは震度曝露人口を用いて、複数のシナリオ型地震動予測マップを相互比較する簡便な方法を示すとともに、その適用事例を示す。

想定東海地震による地震動予測を行うため、久世ら⁴⁾は中央防災会議による震源モデル（図-2）に基づいて非定常スペクトル合成法による地震動シミュレーションを行った。断層の破壊開始点は断層の南端付近（図-2のケース1）に設定されたが、本研究では震源域上に計10点の破壊開始点を配置して、各ケースによる地震動予測シ

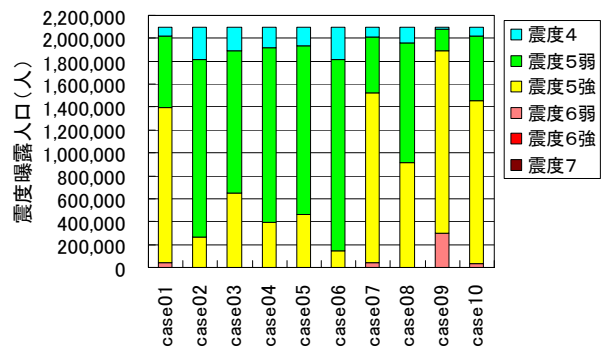


図-3 10 ケースの震度分布による震度曝露人口

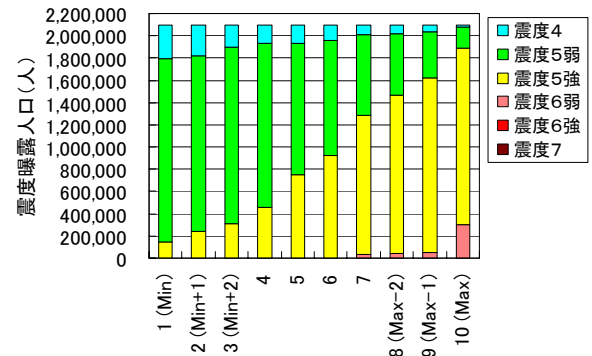


図-4 各メッシュの*i*番目最小値に基づく震度曝露人口

ミュレーションを実行し、岐阜県内の2分の1地域メッシュ単位での震度予測を行った。その結果を図-1の人口分布と重ね合わせて集計し、各ケースによる震度曝露人口を震度階で表示したものが図-3である。

ケース9では、御前崎沖に設定した震源と、浜名湖周辺の大きなアスペリティを結ぶ延長線上に、人口の多い美濃地方が位置するパターンとなるため、震度6弱の震度曝露人口が10ケース中で最大となり、約30万人に達している。これとは逆にケース6では、震源を断層の北端部に設定したため、地震動が相対的に強くなる地域が陸域になく、震度曝露人口は低い震度領域にシフトしている。岐阜県被害想定⁹⁾においては、ケース1の震度分布が採用されている。震度曝露人口による序列で比較すると、全10ケースのうちケース9に次いで大きな規模で、ケース7およびケース10とほぼ同等の規模に相当している。

次に、ケース1～ケース10の震度マップを用いて、メッシュごとに震度を小さな値の順番に並べ替え、最小値ばかりを選択した場合から、最大値ばかりを選択した場合までの10種類のマップを作成した。これらに基づいて震度曝露人口を求めたものが図-4である（図-3を単に並べ替えたものではないことに注意されたい）。最小値を選択した1番目と最大値を選択した10番目を比較すると、震度階で「強弱」の差に相当する違いが見られる。また、岐阜県被害想定⁹⁾で採用された図-3のケース1は、震度曝露人口による序列の大きい方から3番目ないしは4番目を採用したことに相当することがわかる。

以上のように、震度曝露人口を比較すれば、シナリオ地震の条件設定の相違がもたらす影響について、多岐に

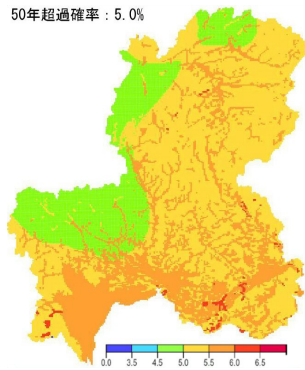


図-5 50年超過確率5%に対するハザードマップ

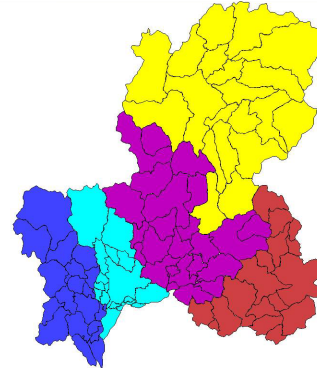


図-6 岐阜県内の5つのエリア区分

わたる被害予測を行なうことなく、おおよそのインパクトの見当をつけることが可能である。

震源特性がある程度明らかにされた地震については、確率論的地震動予測マップの作成の際に用いられる距離減衰式の代用として、シナリオ型地震動予測マップの成果を活用すれば、不確定性の低減につながるものと考えられる。石川ら⁹⁾による地震ハザード解析においては、メッシュごとの震度のばらつきを正規分布でモデル化して、距離減衰の不確定性を評価している。

3. 確率論的地震動予測マップへの応用

確率論的地震動予測マップは、地震発生（位置・時期・規模）や揺れの強さと分布に関する種々の不確定性を評価して得られる一種のハザードマップである。特定の地震の発生によって同時に発生する揺れの分布を表わすのではなく、確率レベルと関連付けられた地震ハザードの面的分布を視覚的に表現したものである。耐震設計や地震リスクマネジメントなどの工学分野で活用されているほか、防災行政など多分野における活用が進められようとしている。

ここでは、確率論的地震動予測マップにより提供される地震ハザードの地図情報を、前章2.と同様に人口分布と重ね合わせ、震度曝露人口を集計した応用例について述べる。本研究で用いるのは、岐阜県内の地震ハザード解析により得られた確率論的地震動予測マップであり、2004年を起点とした将来50年間における地震ハザードを地図化したものである⁹⁾。

確率レベルは、50年超過確率が79%から1%の範囲で、対数軸上で等間隔になるような20種類（79%, 63%, 50%, 40%, 32%, 25%, 20%, 16%, 13%, 10%, 7.9%, 6.3%, 5.0%, 4.0%, 3.2%, 2.5%, 2.0%, 1.6%, 1.3%, 1.0%）を採用した。

図-5はこのうち50年超過確率5%に対するハザードマップを示している。また図-6は岐阜県内のエリア区分である。県北西部に震度5弱が見られるものの、ほとんどが震度5強以上で、人口の多いところでは震度6弱となっており、一部では震度6強も見られる。

図-7は、20種の確率レベルに対する岐阜県全域での震度曝露人口を、震度階単位でまとめたものである。前述

のように確率論的地震動予測マップは、ある一つの地震で同時に発生する震度分布ではないので、図-3および図-4とは異なった解釈が必要である。つまり基本的に「点情報」である地震ハザードの評価結果に人口を投影したものであるから、確率レベルにより規定される地震環境（=地震ハザードの評価結果）下にある地域の広がりを人口単位で表現したものであるといえる。以下で「震度〇〇相当の地震ハザードに曝露される人口」と表現しているのは、このような解釈上の違いを表わそうとしたものである。

図-7より、確率レベルを低下させるに従って、高震度の地震ハザードへの曝露人口がほぼ一貫して増加する傾向が認められる。50年超過確率16%以上の領域では震度5強が最多数を占めるのに対して、13%以下の領域では逆転して震度6弱が最多となっている。さらに50年超過確率6.3%以下の領域で現れる震度6強は、1.0%では県全体のほぼ半数を占めるようになる。

次に50年超過確率5%に着目して、図-5のハザードマップで示される震度の広がり方と、震度曝露人口の評価との比較を行う。図-7より、50年超過確率5%では全人口の83%は震度6弱に相当する地震ハザードに曝露されることとなり、震度5強に相当する地震ハザードへの曝露人口は14%に過ぎない。マップにより視覚的に認識されるよりも高い震度に曝露人口が集中するのは、人口の多い平野部や谷筋では一般に震度増幅率が高く、人口の少ない山間部では一般に震度増幅率が低いことによる。

以上においては、震度階単位で岐阜県全域の震度曝露人口を比較したが、集計単位や表示方法を変えることにより、多面的な考察が可能となる。ここでは図-6のエリア区分を用いて、計測震度0.1を単位として集計した例を示す。岐阜県全域での人口は約209万人であり、5つのエリアでの内訳は、岐阜エリア約79万人、西濃エリア約39万人、中濃エリア約38万人、東濃エリア約36万人、飛騨エリア約17万人である。

図-8(a)は、50年10%確率のハザードマップに対する震度曝露人口である。各エリア内で期待される計測震度のおおまかな範囲を、曝露人口を単位として比較することができる。岐阜エリアにおいては計測震度4.8から5.7の範囲であり、東濃エリアにおいては5.0から5.9の範囲となっている。岐阜県全体でみた場合、おおむね計測震度5.3から5.7の範囲が主体であることがわかる。

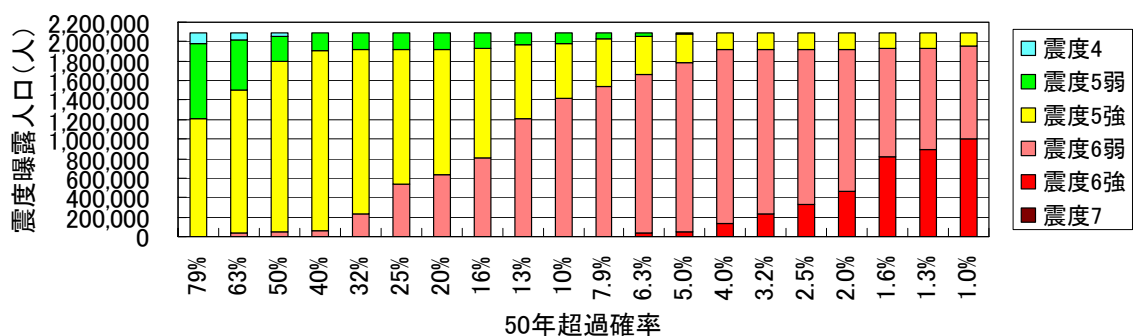
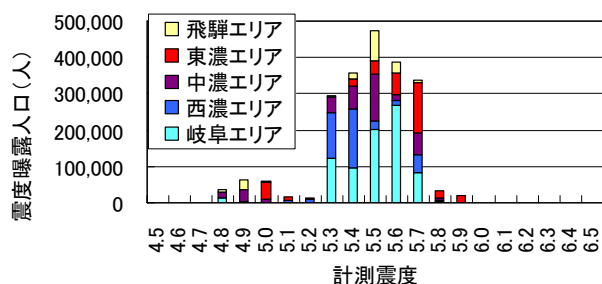
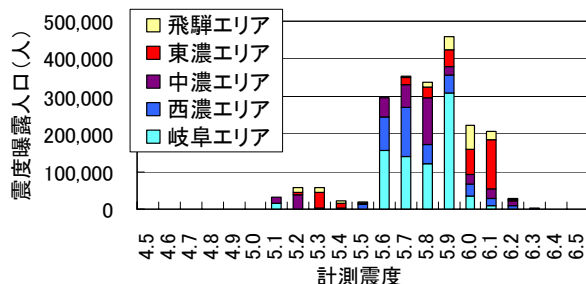


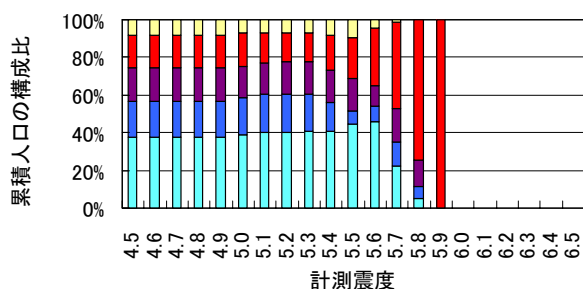
図-7 50年超過確率レベルごとの震度曝露人口



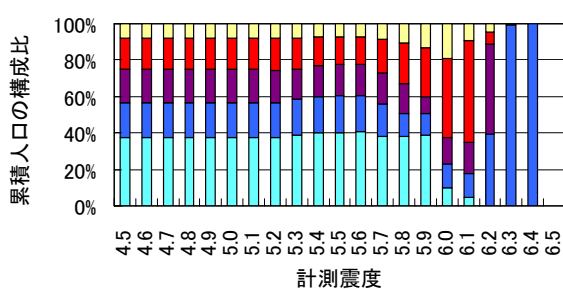
(a) 計測震度0.1単位の曝露人口の内訳



(a) 計測震度0.1単位の曝露人口の内訳



(b) 特定震度以上の累積人口の構成比



(b) 特定震度以上の累積人口の構成比

図-8 50年超過確率 10%のエリア別震度曝露人口

図-9 50年超過確率 2%のエリア別震度曝露人口

また図-8(b)は、ある特定の震度を上回る領域に含まれる人口のエリア別の構成比を示す。例えば計測震度5.5の欄には、計測震度5.5以上の地震ハザードに曝される人口を求め、その中での各エリアの割合を示したものであり、低震度領域では上記の人口比と同じであるが、高震度領域になるほど特徴的な傾向が現れ、計測震度5.7以上の多くは東濃エリアが占めている。同様に、図-9(a)(b)は、同様に50年2%確率のハザードマップを用いた場合である。震度は全体的に約0.3ほど高い方へシフトしている。わずかながら計測震度6.3以上の曝露人口が存在し、それは西濃エリア内であることがわかる。

5. おわりに

本研究では地震動予測マップの活用例として、人口分布との重ね合わせによって得られる震度曝露人口を用いた考察を行った。集計方法によっては面的な位置情報の解像度が低下したり損なわれたりすることになるが、地図情報の補助的情報として用いれば、有益な情報となり

うる。例えば、複数の確率レベルに対するハザードマップのアニメーション表示など、高度な活用によって多面的で詳細な考察ができるよう検討を進めている。

参考文献

- 1) 能島暢呂・杉戸真太・久世益充・鈴木康夫：震災ポテンシャル評価のための震度曝露人口指標の提案，第21回日本自然災害学会学術講演会概要集，pp.61-62，2002。
- 2) 能島暢呂・杉戸真太・久世益充・濱本剛紀：震度情報ネットワークを利用したリアルタイム震度曝露人口推計，第22回日本自然災害学会学術講演会概要集，pp.209-210，2003。
- 3) 文部科学省・防災科学技術研究所：地震動予測地図ワークショップー地震調査研究と地震防災工学・社会工学との連携ー 予稿集，2003。
- 4) 久世益充・杉戸真太・能島暢呂：南海トラフの巨大地震を想定した広域震度予測，自然災害科学，Vol.22，No.1，pp.87-99，2003。
- 5) 石川 裕・奥村俊彦・宮腰淳一・能島暢呂・杉戸真太・久世益充：地震動予測マップの活用ーその1：ハザード情報の利用ー，土木学会地震工学論文集，Vol.27，2003。(投稿中)。
- 6) 岐阜県：岐阜県東海地震被害想定調査報告書，2002。

(2003. 10. 10 受付)