

大規模地震時における国土スケールの 災害リスク・地域災害対応力評価のための ミクロな空間データの基盤整備

秋山 祐樹¹・小川 芳樹²・仙石 裕明³・柴崎 亮介⁴・加藤 孝明⁵

¹非会員 東京大学助教 東京大学地球観測データ統融合連携研究機構
(〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1 東京大学生産技術研究所Cw-503号室)
E-mail:aki@iis.u-tokyo.ac.jp

²非会員 大学院生 東京大学大学院新領域創成科学研究科
(〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1 東京大学生産技術研究所Cw-503号室)
E-mail:ogawa@csis.u-tokyo.ac.jp

³非会員 大学院生 東京大学大学院新領域創成科学研究科
(〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1 東京大学生産技術研究所Cw-503号室)
E-mail:xianshi@csis.u-tokyo.ac.jp

⁴正会員 東京大学教授 東京大学空間情報科学研究センター
(〒277-8568 千葉県柏市柏の葉5-1-5 総合研究棟4階414号室)
E-mail:shiba@csis.u-tokyo.ac.jp

⁵正会員 東京大学准教授 東京大学生産技術研究所
(〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1 東京大学生産技術研究所Bw-605号室)
E-mail:kato-t@iis.u-tokyo.ac.jp

今後、日本では、東海・東南海・南海の3連動(場合によっては4連動)の巨大地震が起こることが予想されている。こうした背景から、日本全土を対象に大規模地震に伴う広域災害発生時における被災リスクと初期対応力を、任意のスケールで定量的かつ高い信頼性をもって評価・比較できる環境を整備することは、大規模地震発生時の被害軽減に向けた防災政策の策定に貢献出来る。しかし現在行政が出している地震被害想定や地震危険度は、当該自治体に限定、即ち自治体単位で発表されている上に、町丁目やメッシュの集計データになっている。即ち、現在の広域災害への備えと身近な防災力の向上という社会的課題に対応できていない。この課題を解決するためには、日本全土をシームレスに、尚且つ建物が見えるスケールでその被災状況が推定できる空間情報プラットフォームを実現することが望ましい。

そこで本研究ではメッシュ単位や市区町村単位で集計された各種統計データの統計値を、住宅地図の建物データに配分し、建物ごとの耐火性能、構造(木造・非木造)、築年代、居住者の情報の推定を行う技術を開発した。また同手法を用いて災害リスク・地域災害対応力評価のためのミクロな空間情報データの整備を日本全土を対象に実施した。本手法で得られた結果を真値と比較したところ、高い信頼性があることが認められた。最後に将来的に発生すると予測される地震の確率論的地震動を本データに与えることで、その地震動に応じた被災状況の推定を行い、地域間の相対的なリスクと災害対応力の可視化を試みる。

Key Words : *disaster prevention, large-scale earthquake, damage estimation, micro geo data, building collapse, building fire*

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災は、東北・関東地方の広い範囲に甚大な被害をもたらした。今後も日

本では、東海・東南海・南海の3連動(場合によっては4連動)の巨大地震が起こることが予想されている。そのため、現在日本各地の自治体では各々に地震被害想定や地震危険度に関する情報を公開・提供している。しかし

そうした情報の多くは当該自治体に限定されたものであり、尚且つ町丁目や地域メッシュで集計されたものとなっている。このような情報からでは、広域災害への備えや身近な防災力を高めるといった、今日の社会的課題には十分に対応出来ないと言える。これを打破するためには「都道府県を越えるようなスケール、建物が見えるスケールまで使えるスケールフリーの空間情報のプラットフォーム」を実現することが望ましい。このような空間データが実現すれば、日本全土を対象に大規模地震に伴う広域災害発生時における地域ごとの災害リスクや、災害への初期的な対応力を、定量的かつ高精度に評価・比較する環境が実現する。

そこで本研究では、国勢調査等の各種統計情報、緯度経度座標付き電話帳データベース、デジタル住宅地図などの一般に公表・利用可能な汎用性の高い、日本全土をカバー出来る様々な統計・空間データを用いて、地震災害のリスク（より具体的には地震による建物倒壊と火災のリスク）と初期対応力を評価するための建物単位のマクロな空間データの基盤整備を行う。またそれらを用いた地震災害リスクと初期対応力の簡易的な評価手法を提案し、その手法を日本全国を対象に適用することで、地域間の相対的なリスクと災害対応力の可視化を試みる。

(1) 本研究の新規性

上記と類似した研究は既に存在するものの（中村ほか¹⁾）、本研究は以下の2点について新規性がある。

第一に既往の研究では前述した災害リスク・防災対応力の評価を行う集計単位が市区町村や地域メッシュ（多くは3次メッシュ）であったものを、建物単位の非集計データを整備することにより、任意の空間単位で集計できるようにした点である。同じ市区町村内でも災害リスクや防災対応力が地域によって大きく異なる上に、平成の大合併に伴い1つの市区町村が広域になる場合も多い。また地域メッシュ集計の場合、実際の行政区画や地域コミュニティ（町内会・小学校区等）などの空間単位を無視した集計結果となっている。以上のように市区町村単位や地域メッシュ単位の評価では、大規模地震による広域災害時の災害リスク・防災対応力の評価に最適に対応出来ないものと考えられる。

第二に本研究では地震による倒壊・火災リスクに加えて、初期的な対応力として地域住民によって期待される倒壊建物からの救助力（本研究では「共助力」と呼ぶ）と、消防組織による消火力（本研究では「公助力」と呼ぶ）、これら全てを対象にし、総合的な地震被害評価を行うことが出来る環境を実現した点である。総合的な被害評価によって大規模地震発生時の高精度な災害対応力の評価が可能となる。

上記のデータが実現することにより、大規模地震発生

時の被害推定と災害対応力を、任意の集計単位を持って国土スケールでの定量化・可視化が可能となり、同結果は地震災害軽減に向けた国・地方自治体の広域防災計画等の政策策定の支援や、住民間のリスクコミュニケーション促進に大きく寄与するものと期待できる。

2. データ整備

(1) データ整備の流れ

本研究では既存統計の集計単位（市区町村・町丁字等・地域メッシュ等）にとらわれない、任意の集計単位を可能にすることを目的に、2008～2009年頃のデジタル住宅地図（Zmap-TOWN II：株式会社ゼンリン）から日本全土の建物約6,000万棟の位置情報（各建物ポリゴンの重心経緯度）を取得し、ポイントデータ化することで、建物1棟1棟の分布を観察できるデータ（以下「建物ポイントデータ」）を整備する。同データを用いることで建物毎の重心経緯度、面積、階数、建物用途（戸建住宅・戸建事業所・共同ビル・目標物・その他）が観察できる。そのデータに対して既存の各種統計情報やマイクロな空間データ（マイクロジオデータ）を配分することで、建物1棟1棟の災害リスクと災害への初期対応力を計算出来る環境を実現する（図-1）。

建物1棟1棟には2種類のリスク情報（地震動による倒壊リスク情報、地震後に発生する火災リスク情報）が付加される。またそれらのリスクにより被災する人々の情報（人的リスク）が付加される。さらに地震発生直後にこれらのリスクをどの程度軽減出来るか、ということの評価するための情報（初期対応力）も付加される。

図-2は上述した様々な属性情報を住宅地図から得られた建物ポイントデータに付加していく流れを示したものである。建物ポイントデータに対して様々な属性情報を連続的に付加していくことで、最終的には建物1棟1棟に図-2に示す様々な属性が付加される。それらを任意の空間単位で集計することで、任意の地域の災害リスクの計算（3章）と災害への初期対応力の計算（4章）が可能になる。またそれらを組み合わせることでその地域の被害



図-1 本研究におけるデータ整備の全体像

推定が可能になる。集計単位が高精細なため、災害リスク、初期対応力、被害推定の結果を地域間で定量的に比較評価することが可能になる。

以下では図-2の流れに従い、建物ポイントデータに、出火率、耐火性能、構造（木造・非木造）、居住者情報、築年代、消防施設からの距離を与えていく。

(2) 建物毎の出火率の推定

建物毎の出火率はその地域が将来見舞われる可能性のある地震による地震動と、その建物の用途（業種）に応じて推定出来る。即ち建物1棟1棟にこれらの情報を付加した上で、建物毎にその出火率を計算していく。

a) 確率論的地震動の結合

将来見舞われる可能性のある地震による地震動の空間的分布は、全国地震動予測地図²⁾から得られる確率論的地震動予測地図を用いて収集した。確率論的地震動予測地図は標準地域メッシュの第5次メッシュ（250m四方）単位で集計されたデータであり、メッシュ毎に表-1に示す確率的地震動が格納されている。なお地震動の超過確率とは、着目地点において、その地点に影響を与える様々な地震について、ある期間内に少なくとも1回地震動の強さがあるレベルを超える確率のことをいう。

一方、建物ポイントデータは建物1棟1棟の重心経緯度が与えられているため、全ての建物に地域メッシュコードを与えることが出来る。そのためこの地域メッシュコードを用いて、全ての建物に確率的地震動を与えた。

b) デジタル電話帳の結合

表-2は、東京消防庁が公開している地震動別の出火確率（東京都第16期火災予防審議会答申）である。表2が示すように建物の用途に応じてその建物の出火率を決定

することが出来る。即ち建物の用途が判明すれば、その建物の出火率を明らかにすることが出来る。

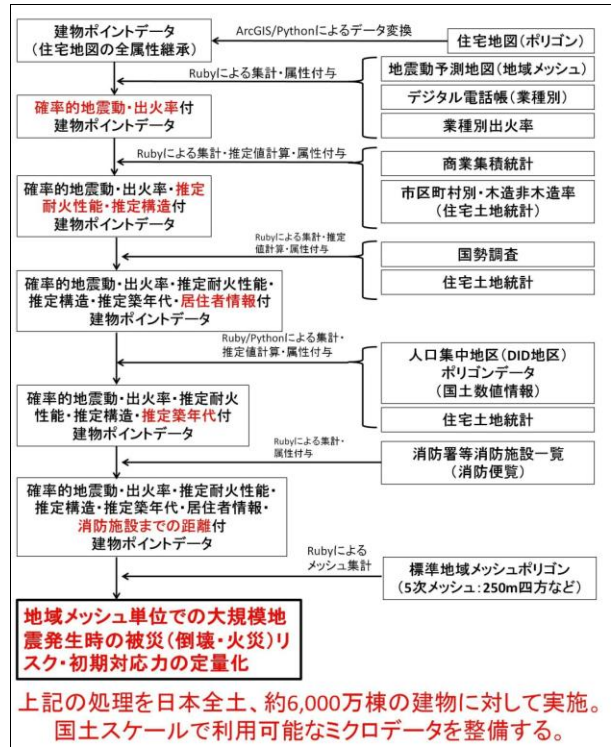


図-2 本研究におけるデータ整備の流れ

表-1 地震動予測地図で得られる確率的地震動

n年以内	超過確率[%]
30	3
	6
50	2
	5
	10
	39

表-2 震度別・建物用途別の出火確率

用途	震度5弱		震度5強		震度6弱		震度6強		震度7	
	夏昼	冬夕	夏昼	冬夕	夏昼	冬夕	夏昼	冬夕	夏昼	冬夕
映画館	0.0043%	0.0039%	0.0116%	0.0125%	0.0300%	0.0305%	0.0832%	0.1005%	0.1865%	0.2956%
キャバレー	0.0000%	0.0041%	0.0000%	0.0100%	0.0000%	0.0242%	0.0006%	0.0860%	0.0229%	0.2902%
料理店	0.0044%	0.0058%	0.0044%	0.0086%	0.0131%	0.0231%	0.0323%	0.0771%	0.0954%	0.2292%
飲食店	0.0069%	0.0073%	0.0096%	0.0106%	0.0291%	0.0306%	0.0808%	0.0858%	0.2058%	0.2168%
百貨店	0.0271%	0.0211%	0.1000%	0.0774%	0.2513%	0.1928%	0.7232%	0.5694%	1.8200%	1.6071%
物品販売店舗	0.0017%	0.0014%	0.0041%	0.0042%	0.0107%	0.0105%	0.0384%	0.0458%	0.3243%	0.3866%
旅館・ホテル	0.0148%	0.0151%	0.0644%	0.0653%	0.1600%	0.1618%	0.4566%	0.4752%	0.9663%	1.0709%
共同住宅	0.0007%	0.0012%	0.0011%	0.0027%	0.0031%	0.0070%	0.0090%	0.0249%	0.0349%	0.0757%
病院	0.0046%	0.0035%	0.0093%	0.0089%	0.0247%	0.0222%	0.0701%	0.0759%	0.2191%	0.4329%
診療所	0.0013%	0.0014%	0.0013%	0.0034%	0.0040%	0.0082%	0.0106%	0.0282%	0.0495%	0.1250%
寄宿舎	0.0014%	0.0016%	0.0028%	0.0025%	0.0075%	0.0068%	0.0228%	0.0244%	0.1116%	0.1456%
保育所	0.0025%	0.0002%	0.0033%	0.0009%	0.0095%	0.0019%	0.0246%	0.0094%	0.0694%	0.0393%
幼稚園	0.0019%	0.0013%	0.0019%	0.0042%	0.0056%	0.0109%	0.0137%	0.0594%	0.0431%	0.1772%
小学校	0.0083%	0.0022%	0.0136%	0.0058%	0.0374%	0.0142%	0.1002%	0.0612%	0.2989%	0.2175%
大学	0.0037%	0.0007%	0.0062%	0.0020%	0.0170%	0.0050%	0.0458%	0.0155%	0.1263%	0.0604%
公衆浴場	0.0006%	0.0009%	0.0009%	0.0027%	0.0026%	0.0064%	0.0073%	0.0225%	0.0282%	0.0874%
工場・作業場	0.0016%	0.0013%	0.0046%	0.0046%	0.0118%	0.0117%	0.0330%	0.0564%	0.0796%	0.1529%
事務所	0.0024%	0.0012%	0.0069%	0.0038%	0.0176%	0.0095%	0.0496%	0.0307%	0.1208%	0.0980%
住宅	0.0007%	0.0016%	0.0007%	0.0035%	0.0021%	0.0094%	0.0058%	0.0505%	0.0274%	0.1521%

※東京都第16期火災予防審議会答申

そこで本研究ではデジタル電話帳（テレポイントデータ：株式会社ゼンリン 以下「テレポイントデータ」）から得られる業種情報を建物ポイントデータに結合することで、建物ごとにそこに入居する店舗・事業所の業種を明らかにし、その建物の用途を明らかにした。テレポイントデータには全件に経緯度が付加されているため、それらを用いて最近隣の建物ポイントデータにテレポイントデータが持つ業種情報を結合させた。建物によっては複数のテレポイントデータが結合する場合もある。例えば雑居ビルのように同一の建物内に複数の店舗・事業所が入居している建物などが該当する。このように複数の業種が入居する場合は、それらを全てその建物に継承するようにした。なおテレポイントデータは約2,200種類の業種が含まれる。そこで表-2の用途に合うようにテレポイントデータの業種を整理・置換した。

c) 出火率の推定方法

以上で全ての建物の用途が明らかになった。一方、確率論的地震動の情報も保有するため、各シナリオ（表-1の6シナリオ）で発生が予想される震度も明らかである。以上より建物毎の出火率を推定することが出来る。なお複数の業種を持つ場合はそれらの出火率の和を与えた。またテレポイントデータの情報を持たない建物については、住宅地図が元々持つ属性情報である建物用途（戸建住宅・戸建事業所・共同ビルで分類する。何れも表-2に含まれる。）に応じて出火率を与えた。用途不明の建物については、全業種の出火率の平均値を割り当てた。

以上により日本全土全ての建物の出火率の推定が実現した。図-3に本手法で推定した建物出火率の例を示す。複数の店舗や世帯が分布するとみられる建築面積の大きい建物で出火率が大きくなっていることが分かる。

(3) 建物毎の耐火性能の推定

建物の耐火性能には、一般的に耐火造・準耐火造・防火造が挙げられる。主な商業地域や業務地区に分布する中高層建築物や占有面積の広い大規模商業施設・公共施設の多くは耐火造、あるいは準耐火造となっている。

一方、多くの低層建築物や一般住宅は防火造である。このような建物構造の違いにより地震時の火災リスクは大きく異なるため、建物毎の耐火性能が推定出来れば、この目的を達成することが出来る。建物毎の耐火性能の推定はこれまでに加藤ほか³⁾により実施されている。本研究では同手法を発展・改良したものとなっている。

a) 商業地域の内外判定

まず建物ポイントデータに対して商業集積統計を空間結合することで、建物1棟1棟が商業地域の内部にあるか外部にあるかを明らかにする。これは商業地域の多くが建築基準法により防火地域や準防火地域に指定されていることから、こうした地域には耐火造および準耐火造の建

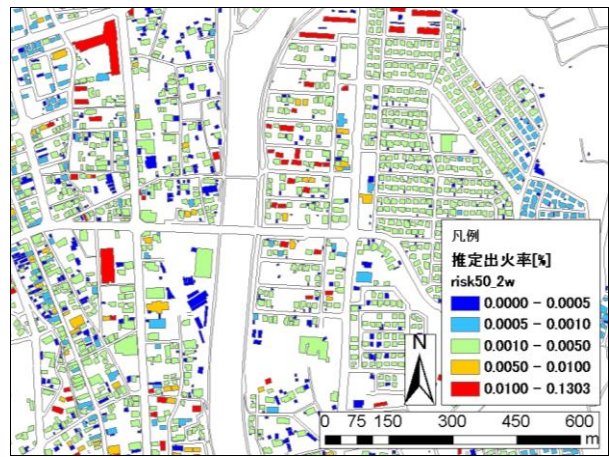


図-3 建物毎の出火率推定結果（50年以内超過確率2%の地震動入力を与えた場合・例）

物が多くなっているという仮定に基づいている。なお「商業集積統計」とは日本全土の商店街・商業地域の分布、形状（広がり）、規模（店舗数）を観察できるデータセットである⁴⁾。

b) 市区町村毎の非木造率の計算

本研究では耐火性能の推定の際に、耐火造と準耐火造を非木造と仮定する。そこで市区町村毎に戸建・非戸建別の非木造戸数が掲載されている住宅土地統計調査（2008）を用いて、市区町村毎の木造・非木造の建物棟数を明らかにする。住宅土地統計で得られる値は木造・非木造建物に入居する「世帯数」である。そこで図-4の方法で住宅土地統計から得られる世帯数を、住宅地図を用いて建物棟数に変換する。

まずから住宅地図からは建物棟数と戸数両方が分かるため、対象とする市区町村の棟数と戸数の合計から、建物1棟当たりの戸数（拡大係数C）を戸建・非戸建各々算出する。続いて拡大係数Cで住宅土地統計調査の値を除することで棟数単位の統計値に変換する。最後に戸建・非戸建の木造・非木造棟数から市区町村毎の非木造率Qを算出する。用途不明の建物については、戸建と非戸建の双方の可能性のあることから、棟数ベースの平均値を用いて非木造率Qを算出した。

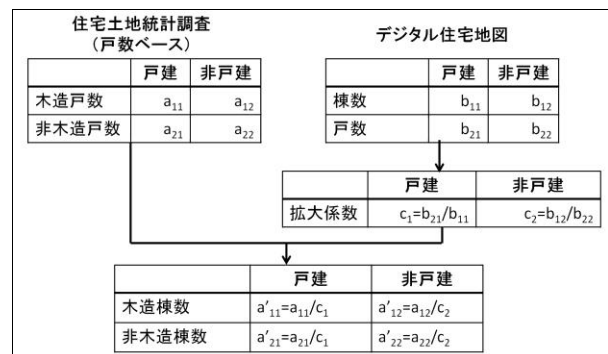


図-4 住宅土地統計の世帯数を建物棟数に変換する方法

c) 耐火性能の推定方法

建物毎の耐火性能の割り当てを表-3に示す。

3階建以上の耐火性能の割り当ては、建物の階数、商業集積地域の内外判定、建物用途により決定する。これは東京都世田谷区の即知のGISデータ⁶⁾および、著者らによる静岡県沼津市での現地調査の結果から決定した。配分方法は該当する建物の棟数分の耐火造(1)・準耐火造(2)・防火造(3)の数列を発生させ、それをランダムにシャッフルしてから該当する建物に配置していく。なおこの際に建物側も建築面積による重み付けが行なわれており、建築面積が大きい建物ほど耐火性能が高くなりやすくなる処理を行なっている。

2階建以下の耐火性能の割り当てについては、地域による耐火造・準耐火造の多寡を考慮するために地域係数 k を定義する。地域係数 k は式(1)で定義する。

$$k = \frac{(\sum n_{ij})Q_i}{\sum (n_{ij}(r_{ij} + s_{ij}))} \quad (1)$$

n_{ij} は面積区別の建物棟数 (i は戸建・非戸建の種別), r_{ij} は j での耐火造率 (j は面積区分), s_{ij} は j での準耐火造率である。地域係数 k は、商業集積内外か、戸建・非戸建・不明別に6つのパターンで各々において算出される。 n_{ij} の面積区分は、0~75 m², 75~100 m², 100~200 m², 200 m²以上の4区分である。

r_{ij} , s_{ij} は東京都世田谷区の即知のGISデータとの比較から得られた耐火・準耐火の構造比を用いることにする。 Q_i は、表-4の6つ地域で算出する。地域による耐火造率、

は、2階建て以下の推定非木造率である。また地域係数 k 準耐火造率の多寡を市区町村別の2階建て以下の非木造比率 Q_i と表4に示す面積区分別総数 n を用いて重み付けして補正するための係数である。2階建て以下の非木造非率 Q_i に合うように地域係数 k を定めることで、戸建・非戸建の面積別、耐火・準耐火構造の棟数が推定することが可能になる。地域係数 k を用いて、耐火造率は $k \times r_{ij}$ 、準耐火造率は $k \times s_{ij}$ となる。2階建て以下の非木造率 Q_i は式(2)で与えられる。

$$Q_i = \frac{Q \cdot M - \sum (R^{(3)} + S^{(3)})}{\sum n_{ij}} \quad (2)$$

M は住宅地図から得られる市区町村別の建物総棟数, $R^{(3)}$ は3階以上の耐火造の棟数, $S^{(3)}$ は3階以上の準耐火造の棟数である。よって耐火造の棟数 $R^{(2)}$ 及び、準耐火造の棟数 $S^{(2)}$ は、式(3)及び式(4)で与えられる。

$$R^{(2)} = n_{ij} \cdot k \cdot r_{ij} \quad (3)$$

$$S^{(2)} = n_{ij} \cdot k \cdot s_{ij} \quad (4)$$

また防火造の棟数 $T^{(2)}$ は式(5)で与えられる。

$$T^{(2)} = Q' \cdot M - (R^{(2)} + S^{(2)}) \quad (5)$$

最後に以上の方法で得られた耐火造・準耐火造・防火造の建物棟数に応じて建物構造を、3階建以上の建物と同様の手法でランダムに割り当てる。図-5に本手法で得られる耐火性能の推定結果を示す。建築面積の大きい建

表-3 建物の属性に応じた耐火性能の推定方法

階数	商業集積内外判定	建物用途	耐火造率 (%)	準耐火造率 (%)	防火造率 (%)
5>	全て	全て	100	0	0
4	集積内	全て	97	3	0
4	集積外	全て	98	2	0
3	集積内	戸建住宅	30	60	10
3	集積内	戸建事業所	50	45	5
3	集積内	共同ビル	68	30	2
3	集積内	目標物	0	0	100
3	集積内	その他	40	20	40
3	集積外	戸建住宅	15	60	25
3	集積外	戸建事業所	40	45	15
3	集積外	共同ビル	67	30	2
3	集積外	目標物	0	0	100
3	集積外	その他	60	10	30
2<	集積内	戸建住宅	それぞれの場合に対して地域係数 k を算出し構造比率により配分。		
2<	集積内	共同ビル			
2<	集積内	不明			
2<	集積外	戸建住宅			
2<	集積外	共同ビル			
2<	集積外	不明			

表-4 構造別面積別の建物構造比 (耐火造及び準耐火造)

商業集積	建物用途	建物面積 [m ²]	耐火造	準耐火造
商業集積内	戸建	0-75	$r_{11}=2.0$	$s_{11}=8.0$
		75-100	$r_{12}=2.0$	$s_{12}=1.0$
		100-200	$r_{13}=3.0$	$s_{13}=1.0$
		200-	$r_{14}=3.0$	$s_{14}=3.0$
	非戸建	0-75	$r_{21}=4.0$	$s_{21}=3.0$
		75-100	$r_{22}=4.0$	$s_{22}=5.0$
		100-200	$r_{23}=6.0$	$s_{23}=6.0$
		200-	$r_{24}=12.0$	$s_{24}=6.0$
	不明	0-75	$r_{31}=3.0$	$s_{31}=5.5$
		75-100	$r_{32}=3.0$	$s_{32}=3.0$
		100-200	$r_{33}=4.5$	$s_{33}=3.5$
		200-	$r_{34}=7.5$	$s_{34}=4.5$
商業集積外	戸建	0-75	$r_{11}=2.0$	$s_{11}=4.0$
		75-100	$r_{12}=2.0$	$s_{12}=10.0$
		100-200	$r_{13}=3.0$	$s_{13}=1.0$
		200-	$r_{14}=3.0$	$s_{14}=2.0$
	非戸建	0-75	$r_{21}=4.0$	$s_{21}=10.0$
		75-100	$r_{22}=4.0$	$s_{22}=10.0$
		100-200	$r_{23}=6.0$	$s_{23}=13.0$
		200-	$r_{24}=12.0$	$s_{24}=12.0$
	不明	0-75	$r_{31}=3.0$	$s_{31}=10.0$
		75-100	$r_{32}=3.0$	$s_{32}=7.0$
		100-200	$r_{33}=4.5$	$s_{33}=7.0$
		200-	$r_{34}=7.5$	$s_{34}=7.0$

物の多くは耐火造や準耐火造となっていることが分かる。また中央の川を挟んで西側の道路沿いは商業地域になっており、こうした地域の主に道路沿いで耐火や準耐火造の建物が多くなる。このような地域は、防火地域として指定されている場合が多いためであり、本研究で用いた商業集積統計の分布と建物用途が反映されている事がわかる。

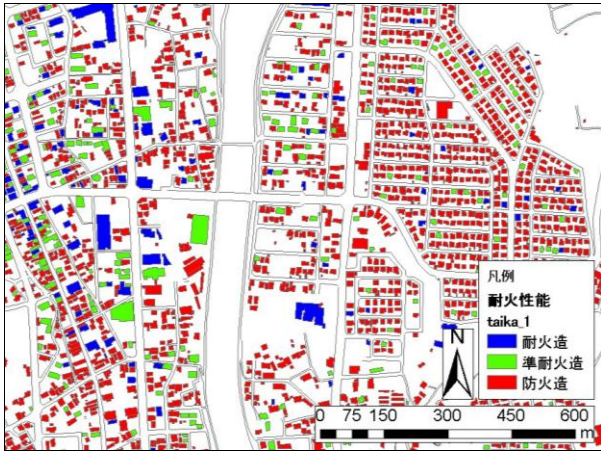


図-5 建物毎の耐火性能推定結果(例)

d) 耐火性能推定結果の信頼性検証

まず建物1棟1棟の耐火性能の推定結果を、耐火性能の真値が得られる東京都世田谷区の一部地域(世田谷区豪徳寺・三軒茶屋・北沢)の8,419棟及び、東京都八王子市の7,034棟を対象に真値との比較を行った。表-5に世田谷区における建物単位の推定値と真値の突合による信頼性検証結果を示す。また表-6に八王子市における同様の結果を示す。耐火造と防火造は何れの地域も多くの建物が真値と一致することが分かる。一方、準耐火造はその多くが耐火造や防火造と判定されている。これは、耐火造と準耐火造の建物構造が類似していることが原因と考えられ、本研究の手法だけで耐火と準耐火を十分に判別することは難しいと言える。また住宅地図の問題として、建物階数に屋根裏部屋や半地下などを含んでしまう場合があるために、実際の階数とは違う階数の属性が付与されていることも信頼性に影響を与えていた。

続いて本研究で得られた推定値と真値を、第4次地域メッシュ(約500m四方)でそれぞれ集計し、メッシュ毎に耐火性能別の棟数比較を実施した。これは本研究で得られるデータは、任意の集計単位に集計することで、信頼性の高い結果を得られることを目的としているためである。加えて我が国では個人情報保護的な観点から、本研究で推定した地震時の火災被害リスクを建物1棟1棟単位で公開することは難しいものと考えられる。

図-6 東京都世田谷区における耐火造・準耐火造・防火造それぞれの建物棟数の比較結果を示す。何れの耐火性能においても決定変数=0.8以上の強い相関が見られることがわかる。先の検証では信頼性がそれほど高くはな

表-5 東京都世田谷区における耐火性能推定結果の信頼性

		検証データ(真値)				信頼性(%)
		耐火	準耐火	防火	合計	
推定データ	耐火	1191	158	82	1431	83.23
	準耐火	284	483	379	1146	42.15
	防火	341	694	4807	5842	82.28
	合計	1816	1335	5268	8419	76.98

表-6 東京都八王子市における耐火性能推定結果の信頼性

		検証データ(真値)				信頼性(%)
		耐火	準耐火	防火	合計	
推定データ	耐火	907	94	146	1147	79.08
	準耐火	329	88	356	773	11.38
	防火	447	507	4160	5114	81.35
	合計	1683	689	4662	7034	73.29

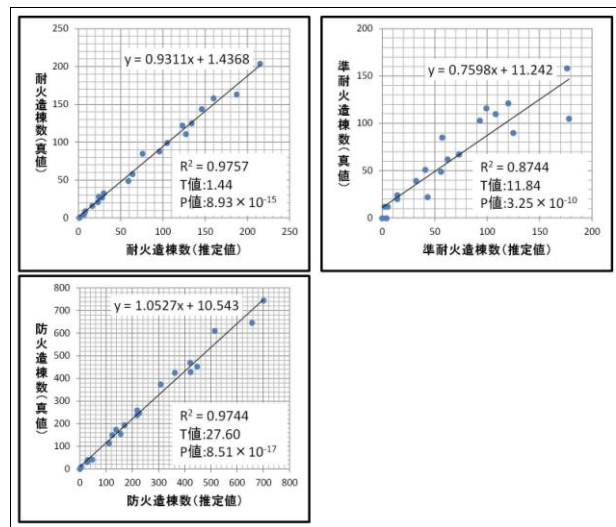


図-6 東京都世田谷区における耐火性能の推定値と真値の比較(第4次地域メッシュ集計)

った準耐火造についても、4次メッシュ集計では高い信頼性が得られている。なお八王子市においても、何れの耐火性能においても同程度の信頼性となった。

以上より、我々の耐火性能の推定データは地域メッシュ単位でその地域の耐火性能を評価する目的においては、充分信頼出来る性能があることが確認された。

(4) 建物毎の構造(木造・非木造)の推定

地震による倒壊リスクは、建物の構造により大きく左右される。1995年の阪神淡路大震災時の神戸市の調査によれば、全壊率および全半壊率ともに木造が最も高く、次いで鉄骨造(以下S造)、軽量鉄骨造(以下軽量S造)、鉄筋コンクリート(以下RC造)の順で低くなっている。そこで本研究では建物毎の構造推定する手法を開発した。ただしS造とRC造の判別は、公開されている情報から実施することが困難であるため、本研究では木造と非木造(S造、軽量S造、RC造)の2区分で推定を行った。

a) 建物構造の推定方法

前節(3)で得られた耐火性能付きの建物ポイントデータと、市区町村ごとに戸建・非戸建別の非木造戸数が掲載されている住宅土地統計調査データ(2008)を併用することで建物構造を推定する。なお我が国の場合、建築基準法の定めるところにより、非木造建築は耐火造及び準耐火造にする必要があるとされている。ただし必ずしも全ての非木造建築がこの条件を満足しているとは限らない点に注意されたい。

まず住宅土地統計調査データから得られる市区町村別の戸建・非戸建の非木造率 Q を前節(3)と同様に算出し、木造・非木造棟数を推定して配分する。用途不明の建物については、戸建と非戸建の双方の可能性があることから、非木造率は戸建と非戸建の非木造率の平均値を用いる。我が国の建築基準法では建物面積と階数に応じて建築可能な建物が定められている。そこで本研究では同法に従い図-7の方法で構造の推定を行う。

ただし、建築基準法で定められていない状態にある建物については、木造・非木造棟数を前節(3)と同様に建物構造を建物データにランダムに配分していく。この配分では重み付けを行い、防火造、商業集積外、容積の小さい建物ほど木造に配分されやすいようにしている。

図-8に本手法による建物構造の推定結果の例を示す。耐火性能と同様に建築面積の大きい建物で非木造構造が多いことが分かる。また中央の川を挟んで西側の道路周辺に非木造構造の建物が多くなっている。このような地域は、防火地域として指定されている場合が多いためであり、非木造化が進んでいると考えられる。

b) 建物構造推定結果の信頼性検証

静岡県沼津市の606棟を対象として、前節(3)の信頼性検証と同様に、建物1棟1棟単位及び第4次地域メッシュ単位で集計した場合の信頼性を検証する。検証データは静岡県沼津市の複数地域において現地調査を実施し、目視により建物1棟1棟の構造を確認することで作成した。表-7に現地調査を実施した地区とその地区の棟数を示す。

まず建物単位の信頼性検証結果を表-8に示す。木造・非木造ともに高い信頼性が得られていることが分かる。なお地域別に見ると漁山村地域(内浦重寺・西浦河内)では棟数は非常に少ないものの、非木造建物がやや過剰に分布してしまう傾向が見られた。これは構造推定のために用いた統計値が沼津市全体のものであるため、非木造建物が真に多い地域の影響を受けているものと考えられる。同様の理由で建築面積の小さい小規模な工場・事業所が数多く分布する春日町・蓼原町・千本港町では、非木造の建物が木造に判別されている割合が高かった。このように地域の特性に応じてその信頼性に多少のばらつきが見られることは今後改善すべき点といえる。

続いて構造推定の結果と、上記検証で利用した真値を

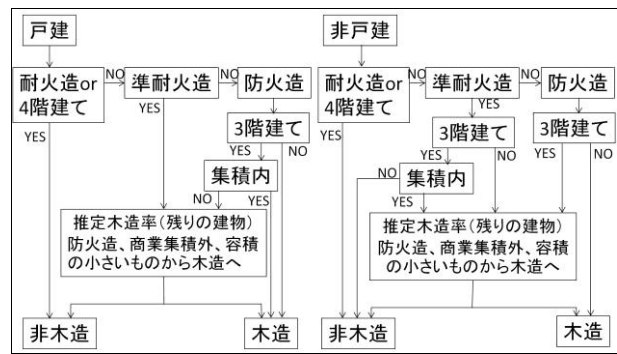


図-7 建物構造の推定方法

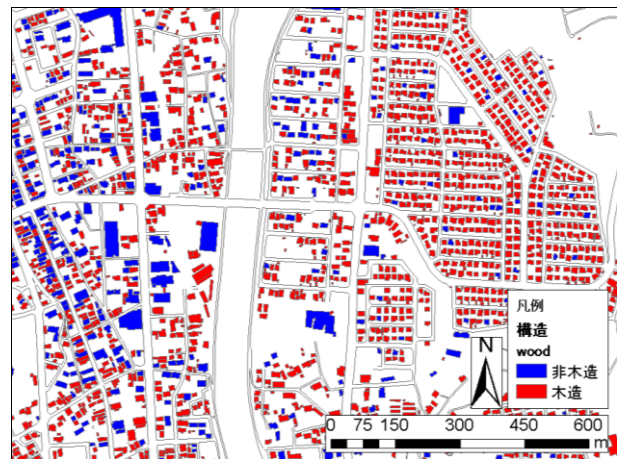


図-8 建物毎の構造推定結果(例)

表-7 静岡県沼津市において建物構造の真値を得るために現地調査を実施した地域

地区名	調査棟数	うち構造確認が出来た棟数	地区の特徴
大手町5丁目	213	144	沼津駅前の古くからの繁華街・商店街。
住吉町	236	193	市役所近くの住宅街。新旧建物が混在。
春日町・蓼原町・千本港町(一部)	183	110	沼津港至近の地域。工場・倉庫が多数分布。
内浦重寺(一部)	115	91	古くからの漁村。
西浦河内(一部)	114	94	山間部の集落。茶や果樹を栽培。

表-8 静岡県沼津市における構造推定結果の信頼性

推定結果	現地調査結果(真値)				信頼性[%]
	合計	判定可	非木造	木造	
非木造	200	158	129	29	81.65
木造	661	474	57	417	87.97
合計	861	632	186	446	86.39

それぞれ第4次地域メッシュで集計し、構造別に棟数の比較を行なった。図-9にその比較結果を示す。両者の間には何れの構造においても決定変数=0.8以上の強い相関が見られることがわかる。特に非木造については決定係数=0.96と両者の値の分布の傾向が一致しているだけでなく、回帰直線の傾き=0.98となることより、その棟数もほぼ一致していることが分かる。

以上より、我々の構造推定データは地域メッシュ単位でその地域の建物構造を評価する目的においては、充分信頼出来る性能があることが確認出来た。

(5) 建物毎の居住者情報の推定

ここでは建物ごとにそこに入居する世帯と、それを構成する居住者の情報の推定値を与える方法を説明する。

現在、我が国における全国規模の居住者分布情報として広く公開されているものは、国勢調査である。しかし公開されている国勢調査は、市区町村単位や地域メッシュ単位に集計されているため、ここで目的としているより詳細な人口の分布状況の把握は困難である。またメッシュ等への集計により、実際には人口がそのメッシュ内で空間的には偏在している地域においても、その分布が均質化してしまう課題もある⁷⁾。

そこで本研究では、ここまでに整備してきた建物ポイントデータに対し、国勢調査の世帯・居住者データを国勢調査から得られる複数の統計表を組み合わせることにより、確率的に配分することで世帯・居住者の推定分布データを整備する。即ち建物1棟1棟に世帯と居住者の分布情報の推定値を与えるということである。この手法は既に秋山⁸⁾や Akiyama et al⁹⁾により実現しており、同手法で整備された高精細な推定人口分布データは「マイクロ人口統計」と呼ばれている。本研究でも同手法を適用して、国勢調査(2005年・第4次地域メッシュ集計)を非集計化することで、建物1棟1棟にそこに分布する世帯と居住者の情報を与えた。

図9に同手法で整備したマイクロ人口統計の例を示す。世帯が分布すると考えられる建物にそこに分布する世帯の推定情報を与えられている。また各世帯に居住する居住者の情報(年齢・性別・間柄)も格納されている。ただし本データはあくまでも推定値であるため、建物1棟1棟に割り当てられた世帯の情報が、実際の世帯情報と建物単位で確実に一致するというものではない。ある程度のサイズの集計単位で集計することで、実際の分布状況の集計値と良好に一致する性能を持つデータである。即ち任意の集計単位で集計可能な国政調査データと言える。なお集計単位を様々な単位に変更して集計しても、同手法で得られる結果は高い信頼性を得られることが分かっている⁹⁾。

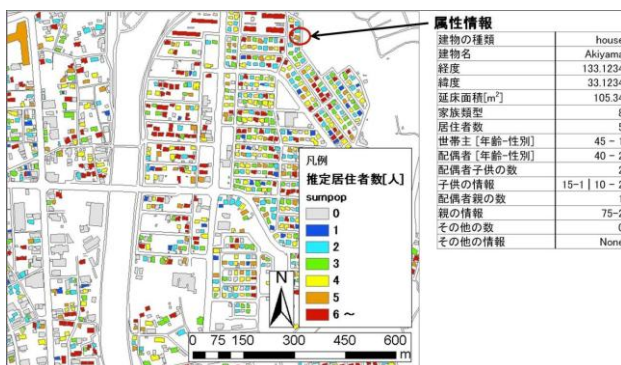


図9 マイクロ人口統計(例)

(6) 建物毎の築年代の推定

建物倒壊リスクを評価する際には、建物構造に加え、築年代が大きな影響を与える。特に1981年6月1日の建築基準法施行令改正(新耐震)が行われたことで、その前後で建物倒壊に対する地震の耐力が大きく異なる。しかしながら建物の築年代のデータについては市区町村単位の集計値でしか公開されておらず、建物単位での築年代のデータは多くの場合公開されていない。建物毎の倒壊確率の多様性を被害推定に反映させるためには、市区町村単位の集計値ではなく、建物毎の築年代情報を利用できるのが理想的である。

そこで本研究では統計データからマイクロシミュレーションを用い、建物ポイントデータに築年代の情報を追加する。マイクロシミュレーションの手法は、マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いる。同手法により~1970年、1971~1980年、1981~1990年、1991~2000年、2001年~現在までの5区分の築年代を建物1棟1棟に与える。

本研究では、住宅土地統計データ(2008)、国土数値情報から得られるDID地区(人口集中地区)ポリゴンデータ、前節(5)で推定した世帯主年齢及び、住宅地区から得られる建物階数を用いて、築年代の推定を行う。

a) 住宅土地統計の整理

住宅土地統計からは市区町村別の建物用途と建物構造(木造・非木造)、建物構造と世帯主年齢、世帯主年齢と築年代、それぞれの組み合わせの統計表を得ることが出来る。これらをクロス集計することで、建物用途×建物構造×世帯主年齢×築年代のクロス表を作成出来る。また建物用途と建物構造、建物構造と建物階数、建物階数と築年代、それぞれの組み合わせの統計表もクロス集計することで、建物用途×建物構造×建物階数×築年代のクロス表を作成する。

以上のクロス集計を用いて、築年代を推定する理由は以下の通りである。まず建物の築年代と世帯主年齢の間には相関が見られるためである。即ち高齢者ほど地区年代の古い建物に分布している傾向が見られる。また同様に地区年代と建物階数の間にも相関が見られ、建物階数が高い建物ほど近年建てられた新しい建物である傾向が見られる。以上のように築年代と世帯主年齢、あるいは建物階数の間に有意な相関が見られることから上述したクロス集計を採用している。

b) DID地区ポリゴンデータの結合

続いて過去及び現在のDID地区ポリゴンデータを、建物ポイントデータに結合し、建物毎にDID地区の内外判定を行う。DID地区の指定を受けた地域は、指定を受けた年代以降に大きく開発・発展したと考えられることから、その地域の建物の多くはその年代以降のものが多くと推定出来る。

本研究では1970年、1980年、1990年、2000年、2005年

のDID地区ポリゴンデータを国土数値情報から取得した。これらのポリゴンデータを建物ポイントデータと結合して、建物1棟1棟どの年代にDID地区指定されたか、という情報を与えた。なおDID地区指定の時期と都市化された時期との関係は表-9を参考にされたい。

なお DID 地区の指定解除を受けた建物も存在するが、過去のある時期に DID 地区に指定されている場合、過去の DID 地区指定を受けた時期にその地域が都市化されていることは明らかであると考えられるため、最初に DID 地区の指定を受けた時期を、その建物が分布している地域が都市化した時期とする。

c) 建物属性別条件付き確率の算出

a)で作成した住宅土地統計データの建物用途×建物構造×世帯主年齢×築年代のクロス表と、建物用途×建物構造×建物階数×築年代のクロス表から、築年代に対する建物用途×建物構造×建物階数×世帯主年齢の条件付き確率を算出する(図-10)。

上記確率を算出する際にはDID地区指定時期による重み付けを行うことで、より市区町村内の地域特性を反映させることが可能になる。DID地区に指定された時期から表-9に示すようにその建物が分布する地域が開発された年代が分かる。そこで表-10に示すように、DID指定時期に対して築年代ごとに重み付けを行なう。

d) マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いた築年代推定

以上の方法で算出された条件付き確率を元に、マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いた築年代の推定を行う。本研究ではマルコフ連鎖モンテカルロ法の一つであるメトロポリス法を用いた。メトロポリス法とはモンテカルロ法において、乱数発生により作った新しい状態を確率的に置き換えて棄却するか採択するかの基準の与え方の一つである。この手法を用いた最適化アルゴリズムとしては焼きなまし法が知られている^{10) 11)}。即ち本手法はあるランダムに与えられた属性を、ある与えられた条件(ここでは図-10で与えられる複数の条件付き確率)に合致するように、その属性値を最適化していくことを意味している。

本研究におけるメトロポリス法の適用は以下の通りである。まず推定対象の建物 x_i に対して任意の初期状態(適当な築年代)を与えた上で、以下の処理を誤差が1/100オーダーとなるように1000回繰り返す。

1. 推定対象 x_i を 10 ステップおきにランダムに選ぶ。
2. 選んだ変数 x_i の値を x'_i に置き換え、他の x_i はそのままにした状態を次の「候補」とする。
3. 「候補」の確率と現在の状態の確率比 r を計算する。ある変数 x_i の確率比 r は、式(6)で与える。

$$r = \frac{p(x'_i)}{p(x_i)} \tag{6}$$

表-9 DID地区指定の時期と都市化された時期の関係

DID地区	都市化された時期
1970年	～1970年
1980年	1971～1980年
1990年	1981～1990年
2000年	1991～2000年
2005年	2001～現在

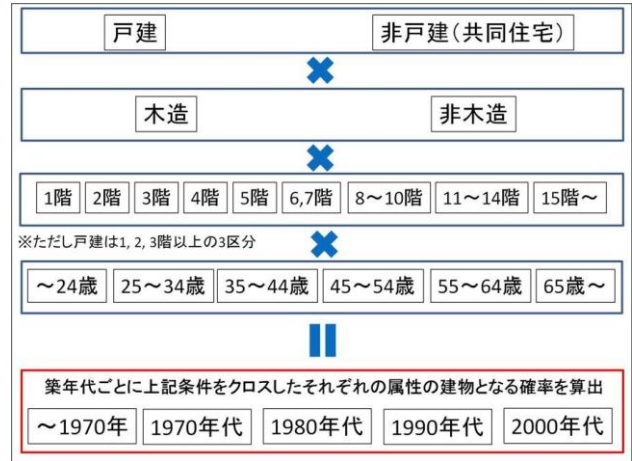


図-10 住宅土地統計を用いた建物属性別の条件付き確率の算出方法

表-10 DID地区指定時期と重み付けの関係

DID地区	都市化された時期	重み付け
1970年	～1970年	1.1
1980年	1971～1980年	1.2
1990年	1981～1990年	1.3
2000年	1991～2000年	1.4
2005年	2001～現在	1.5

4. $0 \leq R \leq 1$ の一様乱数 R を発生させる。

5. $R < r$ の場合、2 の候補を次の状態として採用する。 $R \leq r$ の場合、現状維持とする。

図-11 に本手法による築年代の推定結果の例を示す。古くから都市化されている地域、即ち 1970 年に既に DID 地区に指定されていた地域(図中黄色の地域)では、より古い年代の建物が数多く分布していることが分かる。一方、その周辺の 2005 年に DID 地区に指定された地域では新しい年代の建物が多くなっている。

本手法で得られた築年代の信頼性検証については、建物1棟1棟の築年代が分かる情報が全国的には公開されていないため、広域で実施することは困難であり、本論文執筆の段階では十分な信頼性検証は実施出来ていない。なお我々は民間の不動産企業から不動産取引に関するデータを取得しており、同データからは南関東地方で近年不動産取引があった建物については、その竣工年を観察することが出来る。そこで現在、同データの整理と本研究で得られたデータの位置と建物名称に基づいた結合、及び両データの築年代の突合検証が進みつつあるところである。

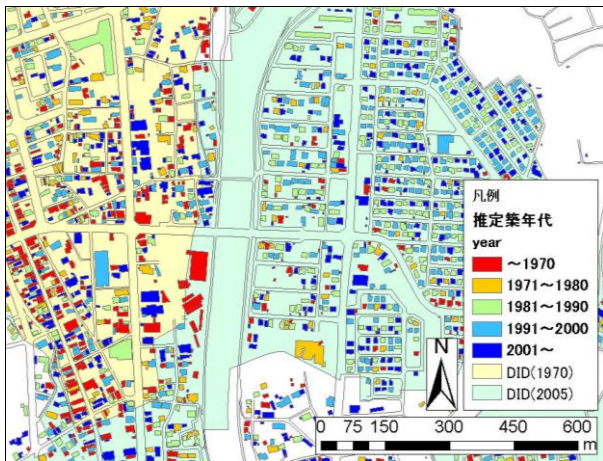


図-11 建物毎の築年代推定結果 (例)

(7) 建物毎の消防施設からの距離の計算

本研究では大規模地震災害発生直後の初期対応力として、倒壊建物における周辺住民による救助期待人数と、火災建物における公的消防力（消防ポンプ車、消防職員および消防団による建物火災の消火力）による消火期待棟数を建物1棟1棟で計算する（詳細は次章参照）。ここではその計算を実施するための準備として、各建物に最近隣の消防施設（消防署・出張所等）の情報を与える。

a) 消防施設ポイントデータの整備

各建物の最近隣の消防施設（消防署やその出張所等。ここでは消防施設と呼ぶ。）を明らかにするためには、日本全国の消防施設の所在地が分かれば良い。また消防施設ごとに保有していると予想される消防力（消防ポンプ車台数・消防職員数）も明らかにする必要がある。

まず全国の消防施設の所在地（住所・経緯度）、消防施設名、その消防施設が所属する消防本部名が分かるデータを整備した。2011年の全国消防便覧から全国の消防施設に関する上記の情報を収集し、アドレスマッチングを行なって経緯度情報を取得した。位置精度の低いデータについては、デジタル電話帳及び住宅地図との結合（施設名称・住所を用いたマッチング）を実施し、全ての施設に詳細な位置情報を与えた。なおポイントデータ化する際、同一地点に複数の施設が分布する場合は1つの地点に集約する処理を実施した。

b) 消防本部毎の消防能力の集計

続いて消防本部毎に保有する消防ポンプ車の台数、消防職員数、管轄内の消防団員数から、消防本部毎の消防能力を明らかにした。消防本部ごとの以上の情報は全国消防長会ホームページ¹⁰⁾にて取得することが出来る。消防ポンプ車の台数については消防本部ごとに保有する装備の数が取得できるため、表-11に示す装備をその消防本部が持つ消火能力を持つ車両数として集計した。消防職員数、消防団員数については消防本部別に集計されているため、それらをそのまま採用した。

表-11 全国消防長会ホームページにて確認出来る装備一覧とそのうち本研究において消火能力有りとした車両

装備名	消防ポンプ車として集計
ポンプ車	○
はしご自動車	○
屈折はしご車	○
化学消防車	○
大型化学消防車	○
高所放水車	○
泡原液搬送車	×
排煙高発泡車	○
林野工作車	×
救助工作車	×
電源車	×
救急車	×
高規格救急車	×
消防艇	×
ヘリコプター	×
指令指揮車	×
査察広報車	×
防災教室車	×
起震車	×
救急指導車	×
救援車	×

c) 消防施設ポイントデータへの消防能力の割り当て

全ての消防施設は何れかの消防本部に所属している。また消防力は消防本部毎にそれらが管轄する消防施設に、概ね均等に配置されるとされている¹³⁾。そこで本研究では消防本部毎にそれらが管轄する消防施設数で消防ポンプ車数、消防職員数、消防団員数を除すことで、各消防施設に消防ポンプ車数、消防職員数、消防団員数をそれぞれ割り当てた。例えばある消防本部が消防ポンプ車を12台保有しており3箇所の消防施設を管轄している場合、それら3箇所の消防施設に配備される消防ポンプ車の数はそれぞれ4台となる。

d) 各消防施設が管轄する建物棟数の計算

最後に各消防施設が管轄する建物数を明らかにする。各消防施設が管轄する建物数が分かることで、その消防施設がカバーすべき建物の棟数が明らかになる。管轄する建物数が多い消防施設ほど、その管轄圏内に分布する建物にその消防力が到達することが困難になることが予想される。そこで本研究では管轄範囲内の建物棟数で各消防施設に割り当てられた消防ポンプ車台数、消防職員数、消防団員数を除すことで、それらが管轄範囲内の各建物に到達する期待値とした。

理想的には各消防施設の管轄範囲が分かるデータがあれば、その消防施設が管轄する建物棟数を正確に把握することが出来る。しかしそのようなデータは現在のところ公開されていない。そこで本研究では各建物からユークリッド距離で最近隣の消防施設を検索することで、各消防施設の管轄する建物の棟数を決定した。なおこの際、都道府県をまたいだ消防力の移動は無いものと仮定した。即ちこの計算は都道府県単位で行う。表-12に消防施設毎に割り当てられた消防ポンプ車台数、消防職員数、消防団員数とそれらがそれぞれ管轄する建物棟数を整理したデータの例を示す。

表-12 消防施設ポイントデータに消防能力・管轄建物数を追加した例（静岡県の場合・一部）

消防本部	消防署等名	出張所等名	住所	経度	緯度	ポンプ車数	消防職員数	消防回員数	管轄建物数
静岡市消防局	/調整室/追手町消防署	//	静岡県静岡市葵区追手町6-2	138.3817	34.97606	1.4782609	33.652174	128.26087	7839
静岡市消防局	追手町消防署	平和出張所	静岡県静岡市葵区平和1丁目3-58	138.3653	34.98829	1.4782609	33.652174	128.26087	20989
静岡市消防局	追手町消防署	南田町出張所	静岡県静岡市葵区南田町1-1	138.3707	34.96414	1.4782609	33.652174	128.26087	9683
静岡市消防局	追手町消防署	山崎出張所	静岡県静岡市葵区山崎2丁目3-8	138.3547	34.97762	1.4782609	33.652174	128.26087	16679
静岡市消防局	追手町消防署	井川出張所	静岡県静岡市葵区井川	138.243	35.22343	1.4782609	33.652174	128.26087	4335
静岡市消防局	石田消防署		静岡県静岡市駿河区石田3丁目12-	138.3987	34.95647	1.4782609	33.652174	128.26087	18105
静岡市消防局	石田消防署	東豊田出張所	静岡県静岡市駿河区聖一色206-3	138.4263	34.98925	1.4782609	33.652174	128.26087	16135
静岡市消防局	石田消防署	稲川出張所	静岡県静岡市駿河区稲川1丁目5-1	138.3909	34.96706	1.4782609	33.652174	128.26087	11083
静岡市消防局	石田消防署	鎌田出張所	静岡県静岡市駿河区鎌田54-4	138.3602	34.94611	1.4782609	33.652174	128.26087	16150
静岡市消防局	石田消防署	用宗出張所	静岡県静岡市駿河区用宗2丁目7-8	138.3657	34.92577	1.4782609	33.652174	128.26087	10155
静岡市消防局	石田消防署	大谷出張所	静岡県静岡市駿河区水上28-10	138.4284	34.95564	1.4782609	33.652174	128.26087	12913
静岡市消防局	千代田消防署		静岡県静岡市葵区東千代田2丁目1-	138.4077	35.00112	1.4782609	33.652174	128.26087	13577
静岡市消防局	千代田消防署	城東出張所	静岡県静岡市葵区城東55-10	138.3907	34.98736	1.4782609	33.652174	128.26087	16628
静岡市消防局	千代田消防署	瀬名出張所	静岡県静岡市葵区瀬名1丁目19-1	138.4238	35.01397	1.4782609	33.652174	128.26087	21221
静岡市消防局	清水消防署		静岡県静岡市清水区東大曲町6-8	138.473	35.02147	1.4782609	33.652174	128.26087	23239
静岡市消防局	清水消防署	高部出張所	静岡県静岡市清水区押切1587	138.455	35.03058	1.4782609	33.652174	128.26087	15393
静岡市消防局	清水消防署	有度出張所	静岡県静岡市清水区吉川507-1	138.4587	35.01533	1.4782609	33.652174	128.26087	16460
静岡市消防局	湾岸消防署		静岡県静岡市清水区横砂408-13	138.5042	35.04181	1.4782609	33.652174	128.26087	12074
静岡市消防局	湾岸消防署	庵原分署	静岡県静岡市清水区由比716-1	138.5706	35.11116	1.4782609	33.652174	128.26087	12448
静岡市消防局	湾岸消防署	興津出張所	静岡県静岡市清水区八木間町409-	138.5245	35.06198	1.4782609	33.652174	128.26087	8121
静岡市消防局	湾岸消防署	小島出張所	静岡県静岡市清水区小河内3445-	138.5134	35.10739	1.4782609	33.652174	128.26087	8263
静岡市消防局	日本平消防署		静岡県静岡市清水区村松625-4	138.4865	34.98893	1.4782609	33.652174	128.26087	19665
静岡市消防局	日本平消防署	三保出張所	静岡県静岡市清水区三保3503-47	138.52	35.00555	1.4782609	33.652174	128.26087	8446
浜松市消防局	消防局/中消防署	/	静岡県浜松市中区下池川町19-1	137.727	34.71583	1.6666667	33.037037	120.92593	11264
浜松市消防局	中消防署		静岡県浜松市中区鴨江2丁目1-11	137.7167	34.70486	1.6666667	33.037037	120.92593	12232
浜松市消防局	中消防署	相生出張所	静岡県浜松市中区相生町9-7	137.7177	34.70078	1.6666667	33.037037	120.92593	10001

なお理想的には各建物から消防施設までの距離は道路データを用いたネットワーク距離で計算するべきである。本研究では対象となる建物が膨大なためユークリッド距離を用いて計算の高速化を図ったが、今後はより信頼性の高い結果を得るためにネットワーク距離による計算を実施していく予定である。

e) 各建物の消防施設までの距離計算

前項までの処理で各建物から最近隣の消防施設までの距離は計算済みである。その値を用いることで各建物の最近隣の消防施設と消防施設までの距離を明らかにすることができる。最近隣の消防施設が分かるため、そこからその建物に到達が期待出来る消防ポンプ車台数、消防職員数及び消防団員数も計算出来る。

以下により日本全国約6,000万棟の建物ポイントデータに、出火率、耐火性能、構造（木造・非木造）、居住者情報、築年代、消防施設からの距離に関する情報が与えられた。次章からはここまでで得られたデータを用いて、大規模地震発生に伴う倒壊と火災による人的リスクと、それに対する初期対応力を計算し、さらにそれらの結果を用いて、我が国の大規模地震発生による被害推定を行う簡易的な手法を提案していく。

3. 大規模地震発生に伴う倒壊・火災リスク評価

本章では前章までに整備した様々な属性情報を持つ建物ポイントデータを用いて、大規模地震発生に伴う倒壊と火災のリスクを評価する簡易的な手法を提案する。本研究では日本全土という広域をまとめて評価するために、これらの結果を第4次地域メッシュ（500m四方）で集計する。なお本研究におけるリスクとは地域メッシュごとの倒壊及び火災による死者率と定義する。

(1) 建物倒壊リスクの推定

本研究の「倒壊リスク」とは、地震による建物倒壊に伴う死者の発生確率のことをいう。これは各建物の倒壊確率、各建物の倒壊に伴う死者の発生確率、そこに分布する居住者の情報が分かれば明らかに出来る。

a) 建物倒壊確率の計算

地震の揺れによる建物倒壊確率は、PGVと建物被害の関係式を利用することで建物1棟1棟において算出可能である。PGVとは地震動の強さを示す地表最大速度である。地震動に関する情報は、建物の出火率を推定する際に建物1棟1棟に付加されている確率的地震動の情報を利用する。

地表最大速度対応の建物被害予測式は、日本の被害想定で多く用いられている式を用いる¹⁴⁾。この予測式は阪神・淡路大震災時の罹災証明に基づいて作成されており、ある建物がある地震動 x のときに被災ランク R 以上の被害が発生する確率 $P_{Ri}(x)$ は、標準正規分布の累積確率分布関数 $\phi(x)$ を用いて式(7)で定義される。

$$P_{Ri}(PGV) = \phi((\ln(PGV_i) - \lambda_i) / \xi_i) \quad (7)$$

λ , ξ は $\ln(x)$ の平均値及び標準偏差であり、建物の構造とその被害状況により表-13で与えられる。また木造と非木造の築年代別のPGVと建物倒壊確率の関係を図-12、図-13に示す。なお本研究での建物構造の判定は木造非木造判定のみである。そこで本研究では非木造の λ および ξ の値を表-13のRC造、S造、軽量S造のそれぞれの地区年代別に平均した値を用いる。

以上により建物毎にその建物の倒壊確率が与えられる。なおここで与えるPGVは、表-1に示すシナリオで計算を行うことが出来る。なお任意のPGVを建物毎に与えることで、表-1以外のシナリオで計算することも可能である。

表-13 地表最大速度対応の建物被害予測式に用いる構造別・築年代別の λ および ξ の値 (村尾ほか¹⁴⁾)

		全壊			全半壊			
		λ	ξ	R^2	λ	ξ	R^2	
木造	-1951	4.36	0.411	0.957	3.66	0.674	0.880	
	1952-61	4.44	0.353	0.976	3.97	0.490	0.952	
	1962-71	4.45	0.342	0.977	4.02	0.456	0.966	
	1972-81	4.73	0.378	0.974	4.25	0.395	0.976	
	1982-1994	5.12	0.496	0.881	4.61	0.474	0.969	
	全年代	4.51	0.410	0.983	4.07	0.514	0.983	
RC造	-1971	5.12	0.646	0.954	4.72	0.691	0.929	
	1972-81	5.33	0.575	0.941	4.85	0.612	0.944	
	1982-94	6.00	0.789	0.902	5.33	0.789	0.917	
		全年代	5.50	0.705	0.968	4.99	0.716	0.924
	S造	-1971	4.64	0.619	0.718	4.25	0.712	0.788
1972-81		4.97	0.490	0.941	4.49	0.549	0.797	
1982-94		5.64	0.731	0.893	5.01	0.733	0.824	
		全年代	5.14	0.628	0.752	4.69	0.672	0.686
軽量S造		-1971	4.70	0.550	0.928	4.41	0.504	0.913
	1972-81	5.82	0.972	0.728	4.95	0.855	0.783	
	1982-94	6.19	1.101	0.858	5.28	0.865	0.849	
		全年代	5.03	0.564	0.944	4.73	0.601	0.970

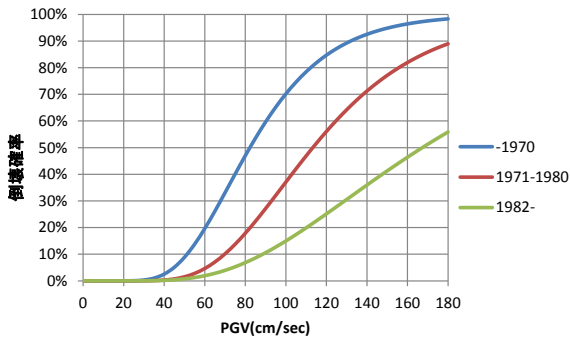


図-12 PGVと建物倒壊確率の関係 (木造の場合)

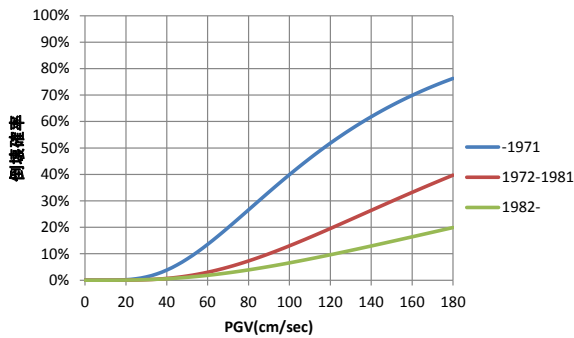


図-13 PGVと建物倒壊確率の関係 (非木造の場合)

b) 建物倒壊に伴う死者数の計算

続いて建物倒壊に伴い、その建物で発生すると考えられる死者数を推定する。先の計算で建物毎に倒壊確率が与えられている。また建物毎の推定居住者数も明らかになっている。これらを組み合わせることで建物1棟1棟の建物倒壊に伴う死者数の推定が可能となる。また木造建物と非木造建物では、死者等の発生の様相が異なることから、木造建物と非木造建物を区別する。以上をまとめると、ある建物*i*で建物倒壊によって死者が発生する確率 DC_{ri} は式(8)により推定できる。

$$DC_{ri} = P_{Ri} (PGV_i) \cdot P_{di} \quad (8)$$

P_{di} は近年において300人以上の死者が発生した5地震(鳥取地震, 東南海地震, 南海地震, 福井地震, 阪神・淡路大震災)の被害事例から算出した全壊棟数と死者数との関係の値であり¹⁵⁾, 木造および非木造建物に

おける地震による建物倒壊時の死者率(木造:6.76%, 非木造:1.67%)である。

更に建物*i*の居住者数 n_i を与えることで、式(9)により建物*i*における倒壊による死者数 DC_i を推定出来る。

$$DC_i = DC_{ri} \cdot n_i = P_{Ri} (PGV_i) \cdot P_{di} \cdot n_i \quad (9)$$

c) 建物倒壊による地域メッシュ毎の死者率推定

最後にこの結果を地域メッシュに集計し、地域メッシュ毎に建物倒壊による死者率の推定を行う。建物1棟あたりの死者数 DC_i に対し、任意の集計単位における1人あたりの死者率の予測値 DCr は、集計単位に含まれる建物の死者数 DC_i と居住者数 n_i の総和の比に等しくなることから、式(10)で与えられる。

$$DCr = \frac{\sum DC_i}{\sum n_i} \quad (10)$$

(2) 建物火災リスクの推定

本研究の「火災リスク」とは、地震による建物倒壊に伴う死者の発生確率のことをいう。これは各建物の出火に伴う焼失確率, 建物焼失に伴う死者率, そこに分布する居住者の情報が分かればその値を明らかに出来る。

a) ある地震動に対する建物の焼失確率の計算

まず建物毎にその建物にある地震動が与えられた際の建物の焼失確率を明らかにする。ある建物における焼失確率 Pp_i は加藤ほか⁹⁾より式(11)で与えられる。

$$Pp_i = 1 - \exp(-p \cdot (1 + s)) \quad (11)$$

p は前章(2)で与えられた建物毎の地震動入力シナリオごとの出火率, s は建物の延焼確率である。 s は平成19年度版消防白書の建物構造別延焼率(耐火造:1.0320%, 準耐火造:1.1295%, 防火造:1.2175%)を用いた。

b) 建物焼失に伴う死者数の計算

続いて建物焼失に伴い、その建物で発生すると考えられる死者数を推定する。先の計算で建物毎に焼失確率が与えられている。そこでまず式(12)により、ある建物*i*の建物焼失に伴う死者率 DF_{ri} を推定する。

$$DF_{ri} = Pp_i \cdot P_{df} \quad (12)$$

P_{df} は火災1件当たりの死者率(0.046人/件)である。これは平成17年~平成22年の5年間の全国における1建物出火当たりの死者数を採用している¹⁶⁾。

更に建物*i*の居住者数 n_i を与えることで、式(13)により建物*i*の建物焼失による死者数 DF_i を推定出来る。

$$DF_i = DF_{ri} \cdot n_i = Pp_i \cdot P_{df} \cdot n_i \quad (13)$$

c) 建物火災による地域メッシュ毎の死者率推定

最後にこの結果を地域メッシュに集計する。建物 1 棟あたりの死者数 DE_i に対し、任意の集計単位における 1 人あたりの死者率の予測値 DFr は、集計単位に含まれる建物の死者数 DE_i と居住者数 n_i の総和の比に等しくなることから、式(14)で与えられる。

$$DFr = \frac{\sum DF_i}{\sum n_i} \quad (14)$$

(3) 建物倒壊・火災の複合リスクの推定

以上により地震発生による倒壊および火災のリスク評価が可能になった。一方、ここまでは倒壊と火災がそれぞれ独立に発生すると考えて評価をしているため、この評価方法では倒壊と火災によるリスクがダブルカウントされる。倒壊確率と火災の焼失確率は独立であるため、ある建物 i における倒壊および火災による焼失が発生する確率 D_{ri} は式(15)で算出できる。

$$D_{ri} = DC_{ri}(1 - DF_{ri}) + DF_{ri}(1 - DC_{ri}) \quad (15)$$

更に居住者数 n_i を与えることで、式(16)により建物 i における建物焼失による死者数 D_i を推定できる。

$$D_i = D_{ri} \cdot n_i = \{DC_{ri}(1 - DF_{ri}) + DF_{ri}(1 - DC_{ri})\} \cdot n_i \quad (16)$$

続いて倒壊・火災リスク推定の場合と同様に、この結果を地域メッシュに集計する。建物 1 棟あたりの死者数 D_i に対し、任意の集計単位における 1 人あたりの死者率の予測値 Dr は、集計単位に含まれる建物の死者数 D_i と居住者数 n_i の総和の比に等しくなることから、式(17)で与えられる。

$$Dr = \frac{\sum D_i}{\sum n_i} \quad (17)$$

以上により地域メッシュ毎にその地域の建物倒壊及び火災による焼失に伴う死者率が明らかになった。

(4) 我が国の大規模地震時における倒壊・火災リスク

図-14 に日本全土（沖縄県を除く・以下同様）における倒壊・火災のリスクを複合して評価した死者率を 4 次メッシュ集計した結果を示す。また図-15 には同結果の中京地方を拡大したものを示す。なお入力した地震動は 50 年超過確率 2% という発生する可能性が小さい、即ち被害が大きくなると予想される地震が冬期夕刻に発生した場合を想定している。東海地方の太平洋沿岸や神奈川県西部で特にその値が大きい。また中央構造線沿いの地域、特に和歌山平野、奈良盆地、徳島平野、高知平野等や、糸魚川静岡構造線周辺でもその値が大きくなっている。三大都市圏を見てみると、中京圏の場合、名古屋

屋市の西部に広く被害の大きくなる地域が広がっていることが分かる。阪神都市圏では大阪市中心部を挟んでその東西に被害が大きくなる地域が見られる。一方、東京は耐震化・耐火性能向上が進んでいることから、その値は小さくなっている。しかしながら 23 区東部にはその値が大きい地域も分布している。ただしこの数字はあくまでも「死者率」であるため、その地域に居住する人口が大きければ死者の数も大きくなる点に注意されたい。

図-16 には地震動入力を 50 年超過確率 39% という比較的発生する可能性が大きい地震に変更した場合の中京地方の結果を示す。地震動入力が変わることで被害状況も大きく異なることが分かる。このように任意の地震動入力を建物毎に与えることが出来るため、様々な地震動シナリオに対応したリスク評価が出来るようになった。

以上より建物倒壊・火災のリスクを複合的に評価した場合のリスクを日本全土で明らかにすることが出来た。その結果、その値は空間的にかなり偏りが見られ、また同じ都市の中でもその値が大きく異なる場合があることが分かった。このような結果は、従来の研究で見られたような市区町村単位での集計結果からでは、十分に把握することが困難であったものである。同じ自治体内でも特にどこが危険な地域なのか、またそれは建物の倒壊によるものなのか、火災によるものなのかを評価することが出来るようになった。

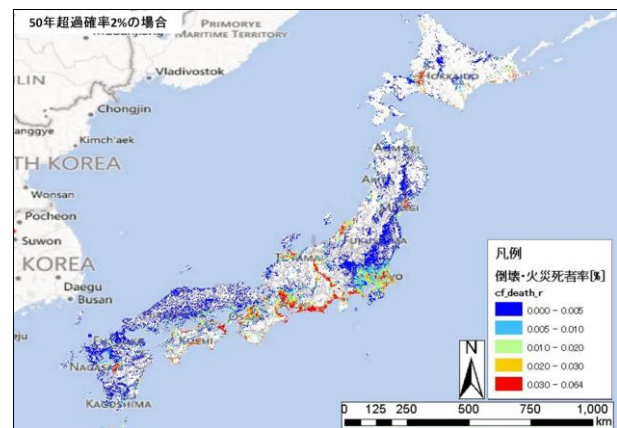


図-14 日本全土における倒壊・火災リスクを複合して評価した死者率（4次メッシュ集計）

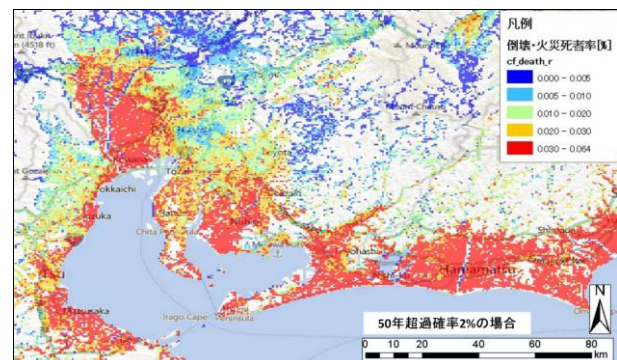


図-15 中京地方における倒壊・火災リスクを複合して評価した死者率（4次メッシュ集計）

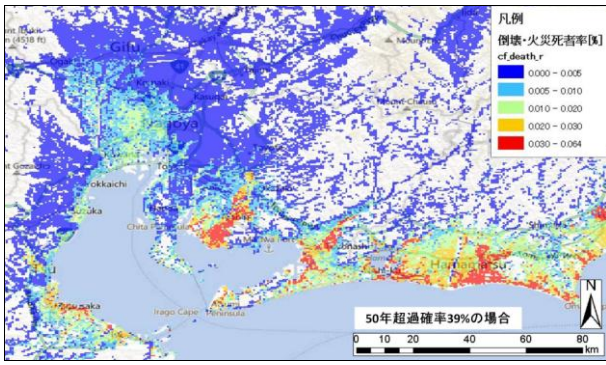


図-16 中京地方における倒壊・火災リスクを複合して評価した死者率（4次メッシュ集計・地震動入力を変更した場合）

4. 大規模地震発生直後の初期対応力評価

本章では大規模地震発生直後の初期対応力を評価する簡易的な手法を提案する。前章同様、日本全土という広域をまとめて評価するために、これらの結果を第4次地域メッシュ（500m四方）で集計する。

本研究では初期対応力を、地震発生に伴う倒壊建物からの救助期待人数（以下「共助力」）と、火災建物の消火期待棟数（以下「公助力」）によって評価する。

(1) 共助力の評価

阪神淡路大震災時の調査から、倒壊建物から救助された住民の8割はその地域の住民により救助されているとされる¹⁶⁾。そこで本研究ではある建物の周辺に居住する住民がその建物の住民を救助すると仮定する。地域住民による救助能力として、住民1人1人の性別、年齢、体力、救助要員となる周辺住民がいる建物からの距離を考慮する。

a) 各建物が持つ共助力の計算

ある周辺住民による救助到達人数はその年齢・性別により決定する。年齢・性別による住民の救助活動状況は阪神大震災時の調査結果から表-14となることになっている¹⁷⁾。またある建物*i*から周辺の建物に救助に駆けつけることが期待される救助到達人数 Rr_i 、即ち共助力は、その建物に居住する居住者全員の救助到達人数を表-14より求め、それらを合計することで得られる。

b) 倒壊建物に到達する共助力の計算

建物*i*における救助期待人数 RS_i は式(18)で与えられる。

$$RS_i = \frac{\sum Rr_j \cdot dw_j}{5} \quad (18)$$

Rr_j はある建物*j*からの建物*i*への救助到達人数、 dw_j は建物*i*~*j*間の距離に応じた重みである。また阪神大震災時の調査より¹⁷⁾、救助に到達した人が平均5人いれば1人

救助出来る事が分かっているため、本研究でもこの値を採用し、救助に到達した人数を5で除すことで、建物からの救助期待人数を算出した。

建物*i*~*j*間の距離に応じた重みづけ dw_j が必要な理由は以下の通りである。建物*i*が倒壊した場合、その建物の周辺の建物に居住する住民が初期対応を行う。ただし建物*i*からある程度距離が離れた建物から住民が建物*i*に救助に到達する可能性は小さい。即ちある建物に期待される救助到達人数はある範囲内からしか到達し得ないと仮定し、距離が離れているほど、認知に時間が掛かると仮定する。そこで本研究では建物から100m圏内の建物に分布する居住者が救助に来るものと仮定し、建物*i*から離れるほど救助期待人数が低下するように重み付けを行う。建物*i*から離れるほどその到達期待人数は対数的に減少し、100mまで離れた場合は、そこから建物*i*に到達する救助期待人数が半減するような重み付けを行う。建物*i*から d_j [m]離れた建物*j*の居住者に与えられる重み dw_j は式(19)で与えられる。

$$dw_j = \frac{1.502}{\log(1+d_j)+1} \quad (0 \leq d_j \leq 100) \quad (19)$$

c) 地域メッシュ毎の共助力の推定

最後にこの結果を地域メッシュに集計する。建物1棟あたりの救助期待人数 RS_i に対し、建物1棟あたりの救助期待人数の予測値 RSr は、集計単位に含まれる建物の救助期待人数 RS の総和と建物総数 N の比に等しくなることから、式-20で与えられる。

$$RSr = \frac{\sum RS_i}{N} \quad (20)$$

以上により地域メッシュ毎にその地域の共助力、即ち建物あたりの建物倒壊からの平均救助期待人数が明らかになる。

(2) 公助力の評価

公助力、即ち火災状態の建物を消火出来る力である消火期待棟数は、その建物が立地する地域の消防力により推定できる。既に全ての建物にそこに到達が期待される消防ポンプ車台数と消防職員数、およびそれらが配置されている消防施設からの距離が与えられている。また消防団員数も同様に与えられている。そこでこれらの値を利用して、各建物の消火期待棟数を求める。

a) 消防ポンプ車、消防職員、消防団員による消火期待棟数の計算

消防ポンプ車については消防ポンプ車2台で1棟消火できるものと仮定する¹⁷⁾。また同様に消防職員、消防団員については20人で1棟消火出来るものと仮定する¹⁸⁾。ただし消防ポンプ車を1台稼働させるためには、

消防職員を 5 人動員する必要があるため¹⁸⁾、実際に動員出来る消防職員の数にはポンプ車の台数×5 を差し引いた人数となる。

b) 火災建物に到達する共助力の計算

ある建物 i の消火期待棟数 RF_i は式(21)で与えられる。

$$RF_i = \left\{ \frac{NP_i}{2} + \frac{(NF_i - 5NP_i)}{20} \right\} \cdot dw_i + \frac{ND_i}{20} \quad (21)$$

NP_i は建物 i に到達が期待される消防ポンプ車の台数、 NF_i は消防職員の数、 ND_i は消防団員の数である。

ただし NP_i と NF_i については消防施設からの距離に応じて、 dw_i でその到達台数・人数に重み付けを行う。なお阪神大震災時の調査より消防団員の平均動員完了時間は約 11.7 分とされている。そこで本研究ではこの値を採用し、消防ポンプ車が消防施設から 11.7 分以内に到達した場合は消防力の減衰無しとし、到達時間がそれ以上になった場合は、対数的に減衰させていくものとした。ある建物 i の最近隣の消防施設からの距離に応じた重み dw_i は式(22)及び式(23)で与えられる。

$t_i \geq 11.7$ の場合

$$dw_i = \frac{1}{\log\left(\frac{d_i}{s_i} - 11.7 + 1\right) + 1} = \frac{1}{\log(t_i - 10.7) + 1} \quad (22)$$

$0 < t_i < 11.7$ の場合

$$dw_i = 1 \quad (23)$$

d_i は建物 i から最近隣の消防施設までの距離[m]、 s_i は消防ポンプ車の平均走行速度[m/分]である。 s_i は政令指定都市では 15km/h、その他の地域では 25km/h と仮定した¹⁹⁾。

c) 地域メッシュ毎の公助力の推定

最後に以上の結果を地域メッシュに集計する。建物 1 棟あたりの消火期待棟数 RF_i に対し、建物 1 棟あたりの消火期待棟数の予測値 RFr は、集計単位に含まれる建物の消火期待棟数 RF_i の総和と建物総数 N の比に等しくなることから、式(24)で与えられる。

$$RFr = \frac{\sum RF_i}{N} \quad (24)$$

以上により地域メッシュ毎にその地域の公助力が明らかになった。

(3) 我が国の大規模地震発生直後の初期対応力

以上により地域メッシュ単位でその地域の共助力と公助力が明らかになった。これらを組み合わせて可視化することで、その地域の共助と公助の比較・検討が可能となり初期対応力の評価が可能になる。

図-17 に日本全土の大規模地震発生直後における初期

対応力を示す。また図-18 には中京地方の初期対応力を示す。都市部を除く多くの地域では共助力・公助力共に小さい値となっている。これは図-14 を見ても分かるように、こうした地域の多くは地震によって発生が予想される被害が小さい都市郊外や農村部である。主な都市の中心部とその周辺ではその多くで共助力が大きく、公助力は小さいことが分かる。一方山間部では共助力は小さいが公助力が大きい。共助力・公助力共に高い水準にある地域は東京 23 区内や大阪市の中心部など一部で見られるに留まっている。

以上より我が国における大規模地震発生直後における初期対応力は、都市部では共助力は比較的充実しているが、公助力が不十分な地域が多く分布しており、一方山間部では公助力は充実しているものの、共助力は不足している事が分かった。それ以外の地域は共に比較的低い状態にあることが分かった。これは想定されている被害が小さいことや、居住者の少ない地域であるためと見られるが、今後想定外の大規模地震がこうした地域で発生した場合、被害が大きくなる可能性があるものと考えられる。

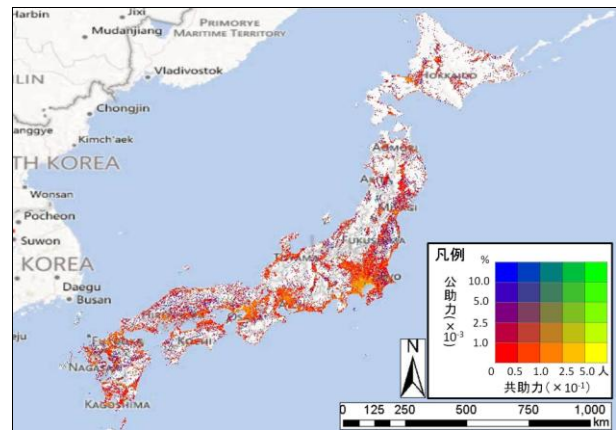


図-17 日本全土における初期対応力

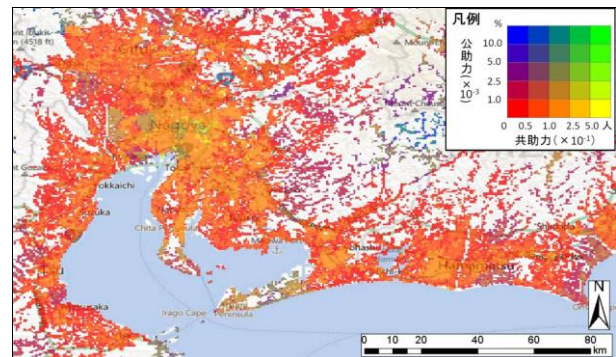


図-18 中京地方における初期対応力

5. 我が国の大規模地震による被害推定

第3章において地震による建物倒壊及び火災に伴う死者数が建物毎に与えられた。また第4章において共助力、公助力、即ち前者は建物倒壊時に救助が期待される人数、後者は出火した建物が消火される確率が建物毎に与えられた。これらの値を組み合わせることで、その建物の被害状況とそこに与えられる共助・公助力を考慮した上での被害状況を明らかにすることができる(図-19)。

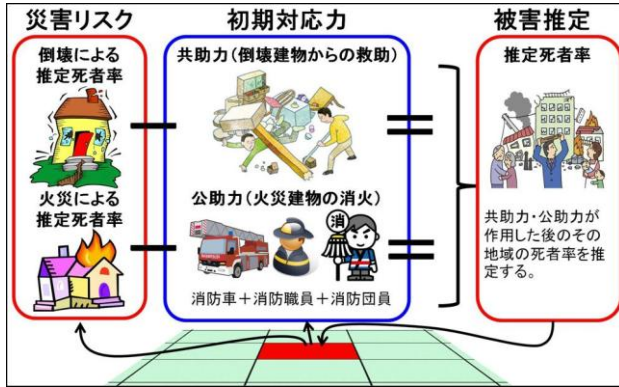


図-19 地震災害リスクと初期対応力を考慮した被害推定の結果を得るためのデータ処理イメージ

(1) 被害推定方法

a) 建物倒壊による推定死者率の計算

ある建物*i*の建物倒壊による推定死者率 EDC_{ri} は式(25)で与えられる。

$$EDC_{ri} = \frac{(DC_i - RS_i)}{n_i} \quad (25)$$

DC_i は建物*i*における倒壊による死者数(式(9))、 RS_i は共助力、即ち倒壊からの救助期待人数(式(18))、 n_i は居住者数である。ただし $EDC_{ri} < 0$ の場合、その建物では倒壊建物から全員が救助される、即ち倒壊によって死者が発生する確率は0と見なし、 $EDC_{ri}=0$ とする。

b) 建物火災による推定死者率の計算

ある建物*i*の建物火災による推定死者率 EDF_{ri} は式(26)で与えられる。

$$EDF_{ri} = \frac{(DF_{ri} - RF_i) \cdot n_i}{n_i} = DF_{ri} - RF_i \quad (26)$$

DF_{ri} は建物*i*における火災による死者率(式(12))、 RF_i は公助力、即ち火災建物の消火期待棟数(式(21))、 n_i は居住者数である。ただし $EDF_{ri} < 0$ の場合、その建物では消失前に消火される、即ち火災によって死者が発生する可能性は0と見なし、 $EDF_{ri}=0$ とする。

c) 建物倒壊及び火災による推定死者率の計算

ある建物*i*の建物倒壊および火災による推定死者率 ED_{ri} は式(25)及び式(26)で与えられる建物倒壊による推

定死者率 EDC_{ri} 、及び建物火災による推定死者率 EDF_{ri} を用いて式(27)で与えられる。

$$ED_{ri} = EDC_{ri} \cdot (1 - EDF_{ri}) + EDF_{ri} \cdot (1 - EDC_{ri}) \quad (27)$$

以上により地域メッシュ毎にその地域の被害状況と初期対応力を考慮した、被害推定結果を得ることが出来た。

(2) 被害推定結果

図-20、図-21、図-22に50年超過確率2%の地震動(冬期夕刻発生)による日本全土、太平洋ベルト地帯、中京地方それぞれの被害想定の結果を示す。特に被害が大きくなることが予想される地域は静岡県から愛知県の太平洋沿岸、三重県北部沿岸、奈良盆地、徳島平野、高知平野、糸魚川静岡構造線沿い、越後平野、富山平野、仙台平野、石狩平野南部、根釧台地、房総半島北東部等である。これらの地域は想定される被害の大きさ(第3章で算出)に対する初期対応力(第4章で算出)が不十分な地域である。特に静岡県の太平洋沿岸は被害の大きくなると考えられる地域が連続的に分布しているため、3連動地震等で想定される広域災害となった場合には、現状では被害が大きくなることが予想される。

3大都市圏に注目してみると、それぞれの都市圏で状況が異なることがわかる。第3章の結果では阪神都市圏で倒壊と火災による複合的な被害が大きくなることが明らかになっていた。また中京都市圏では特にその西部で被害が大きくなる地域が広域に広がっていることが分かった。一方東京都市圏では耐震化・耐火性能の向上が進んでいることから何れの被害も比較的低いものに抑えられることが分かった。これらに初期対応力を作用させた結果をみてみると、東京都市圏では東京23区東部の一部を除いて、死者率はかなり低い水準に抑えられていることが分かる。これは前述した耐震化に加えて、東京都市圏の初期対応力も全国的に見て高い水準にあることが影響している。大阪も初期対応力が広域に渡って比較的高い水準にあることから、東京ほどでは無いものの、人的被害の発生をかなり食い止めることが出来ている。一方、中京都市圏では特にその西部の木曾三川流域で被害が大きくなることが確認できる。この地域では先の結果でも耐震化、初期対応力共に低い水準にあるため、早急な対策が必要であると考えられる。

なお本論文では50年超過確率2%の地震動を与えた場合の結果のみを示したが、データ利用者が任意の地震動入力を任意の地域に与えることも出来る。即ち様々な地震動入力のシナリオに応じた被害推定を行うことが可能となった。

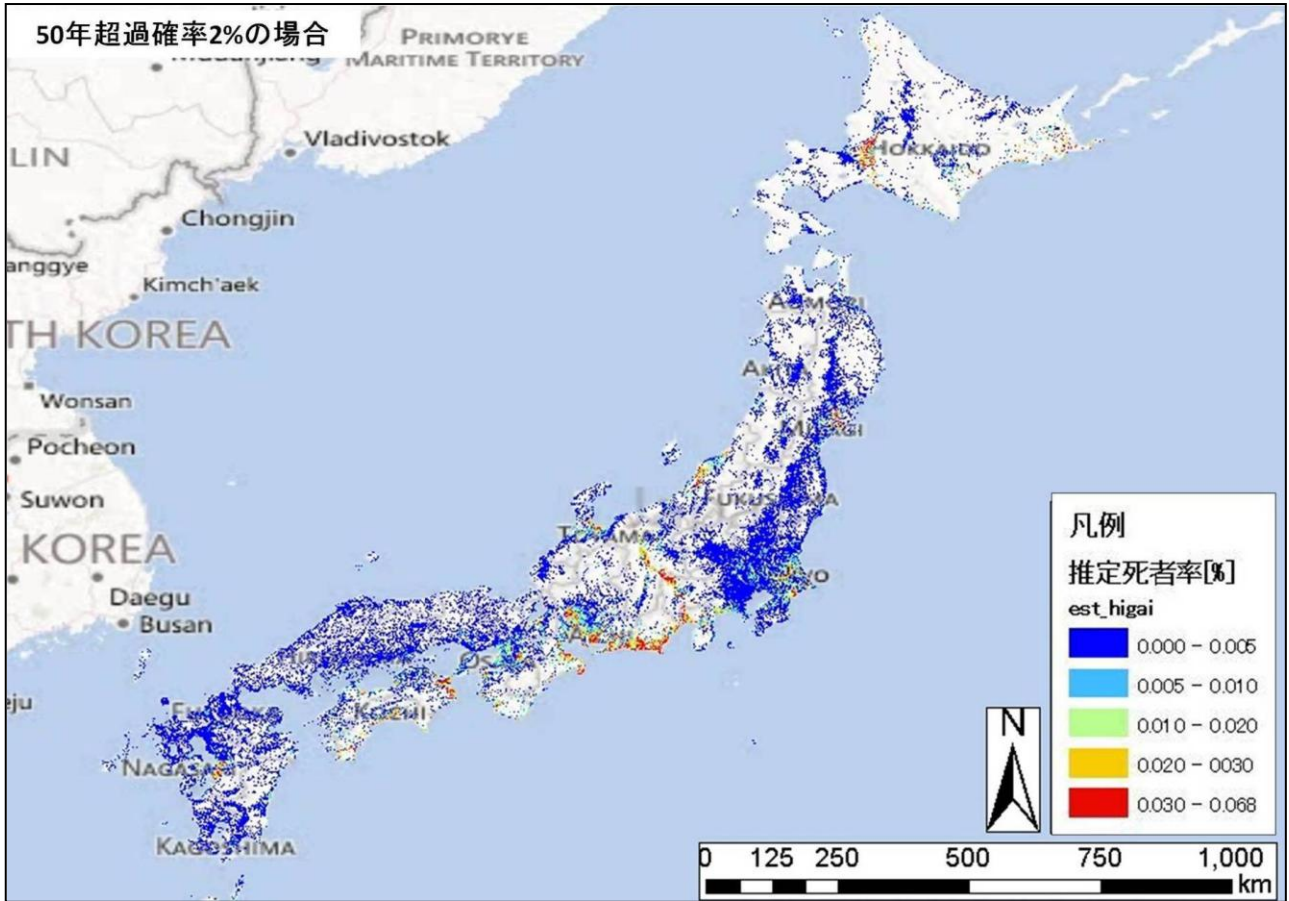


図-20 日本全土における大規模地震時の被害推定
(4次メッシュ集計・50年超過確率2%の地震が冬期夕刻に発生した場合)

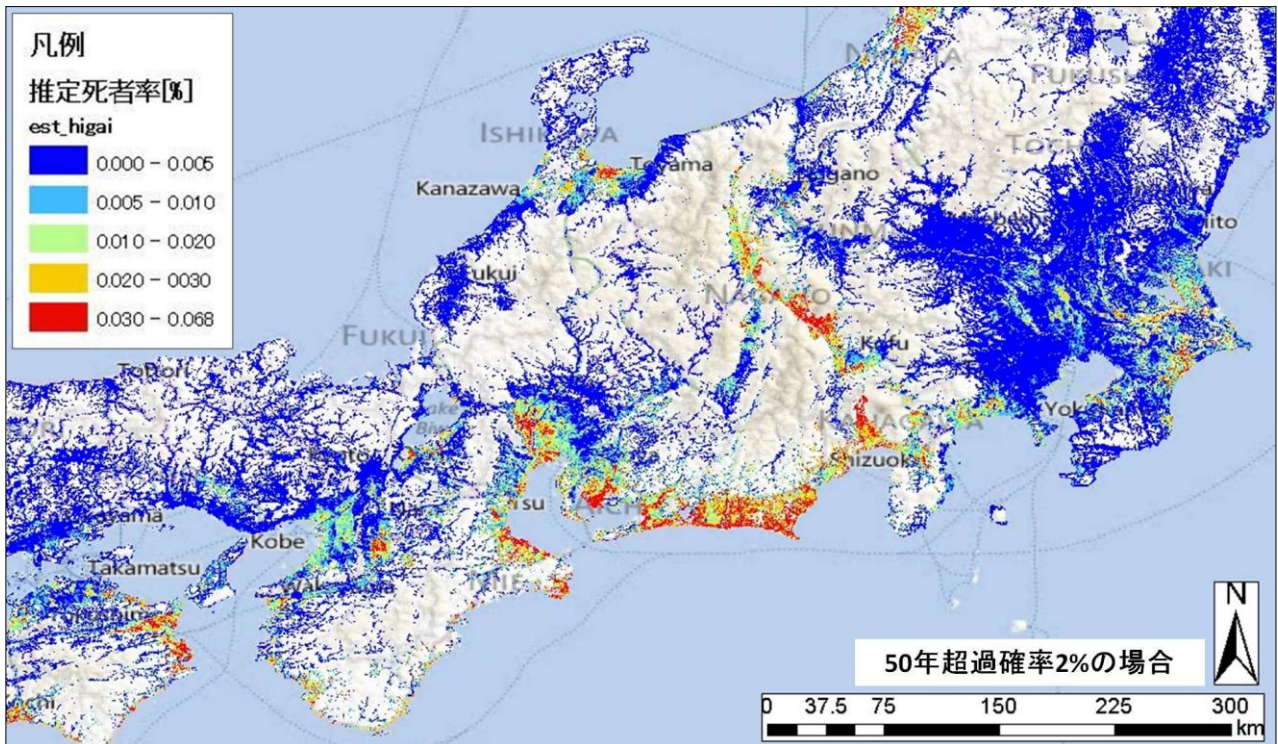


図-21 太平洋ベルト地帯における大規模地震時の被害推定
(4次メッシュ集計・50年超過確率2%の地震が冬期夕刻に発生した場合)

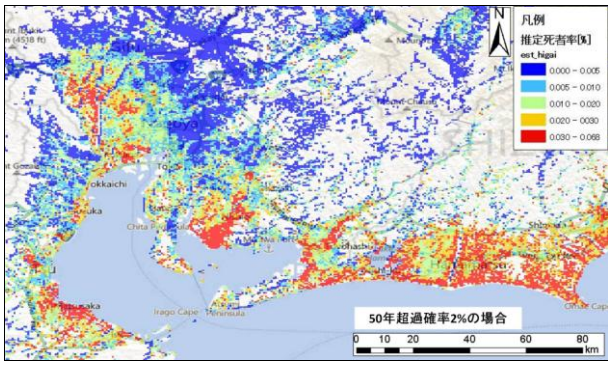


図-22 中京地方における大規模地震時の被害推定（4次メッシュ集計・50年超過確率2%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

(3) 住民の防災意識向上のための同データ提供の可能性について

以上の結果は都道府県や市区町村という広域なスケールで防災政策を議論する際の資料として利用できるだけでなく、住民が自分達の地域の状況を把握し、防災意識の向上、住宅の耐震化、地域コミュニティのあり方の議論等をする上で有意義な情報となる可能性がある。

任意の集計単位でその地域の被害状況や、初期対応力を把握することが出来るため、例えば町丁目や小学校区などある種の地域コミュニティ単位で現状の把握が出来る。集計単位ごとに倒壊と火災による被害がどの程度発生する恐れがあるか把握できるため、建物の耐震化・不燃化いずれの対策がより重要か明らかに出来る。また同様に共助力と公助力がそれぞれどの程度の水準にあるかも把握できる。例えばある地域で倒壊による死者率が非常に高く、共助力が不足していることが分かった場合には、その地域の地域コミュニティの防災意識の向上、防災訓練の実施等を通して共助力を強化すると共に、建物の耐震化も推進すべきであることが分かる。

以上のように本研究で得られた成果は、大字・町丁目という地域コミュニティ単位で、その地域のリスクと初期対応力のあり方を議論することにも有意義であると考えられる。今後は地域住民にもより分かりやすい表現方法を検討していくことで、本研究で整備したデータは住民の防災意識の向上、地域コミュニティの防災に対する機能強化に貢献していけるものと期待できる。ただし同時に同データで得られる結果は極めてセンシティブな情報であるため、適切な公開・共有の方法を議論していく必要もあるだろう。

6. おわりに

本研究では日本全土を対象に、各種統計情報やデジタル住宅地図等の大規模空間データを複合的に利用することで、大規模地震災害に伴う建物の倒壊・火災リスクと共助力・公助力による初期対応力を評価するための基盤

データを整備した。また本研究で整備したデータは推定値であるため、真値との誤差は見られるものの、集計することで真値に近い結果が得られることも明らかになった。更にそれらを用いて任意の地震動入力に対する災害リスクと初期対応力を、任意の集計単位で定量的に評価する簡易的な手法を提案した。

任意の集計単位として本研究では第4次地域メッシュを用いた。地域メッシュ単位で上記の評価を行うことで、同一の市区町村内でも災害リスクや初期対応力が場所によって大きく異なることが分かった。

更に本研究では建物倒壊と建物火災による被害を複合的に考慮するとともに、地震災害発生直後にそれらへの対処として作用することが期待される、初期対応力を考慮した総合的な地震災害評価が実現した。この結果から地域ごとに現状の課題と必要な対策の検討を行う資料としても有意義であることが分かった。

日本全土を対象としたデータ整備と被害推定から、我が国ではどの地域が危険な状態にあるのか、またそれは倒壊・火災何れによるものなのか、という情報が日本全土で明らかになった。また初期対応力についても同様に日本全土で評価することが出来た。

今後この成果が適切に公開・共有されることで、地方自治体における防災計画策定の支援や、住民の防災意識の向上が期待される。また真に危険度の高い地域が分かることで、危険度の高い地域の耐震化促進が期待される。

なお現状ではひとまず基盤となるデータの整備が日本全土で完了したに過ぎず、本研究で整備したデータには依然として数多くの課題が残されている。例えば消防施設からの距離のネットワーク距離化、建物延焼率の計算方法の改善（現状は一律の値）、冬期夕方以外に発生する地震への対応（昼間の詳細な人口分布データが必要）などが挙げられる。また大規模地震発生後には津波による被害も予想されるため、津波についても任意のシナリオを与えることで、その被害状況を推定し、本研究で得られる倒壊・火災被害と複合して被害状況を推定出来る環境を整備するのが望ましい。更に前述したように結果の公開・共有方法についても適切な方法を議論すると共に、集計データの元になっている、センシティブな情報である建物単位の非集計データの流出、一人歩きが起らないような管理が必要である。

以上のように現状では様々な課題は残されているものの、国土スケールで将来発生しうる地震の被害とその対応力を評価出来るデータ基盤が整ったことは、我が国の国土防災政策・国家戦略の立案に大いに貢献出来る可能性があると言えよう。

謝辞：本研究は平成24年度国土政策関係研究支援事業（国土交通省国土政策局）の支援を受けて実施した。ま

た文部科学省のグリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス (GRENE) 事業 環境情報分野「環境情報技術を用いたレジリエントな国土のデザイン」の一環として実施したものである。ここに記して謝意を表したい。

参考文献

- 1) 中村仁, 加藤孝明: 地震災害における自治体間の相対的な地域災害対応力評価, 地域安全学会論文集, pp.47-55, 2011.
- 2) 地震調査研究推進本部: http://www.jjshin.go.jp/main/p_hyoka04.htm
- 3) 加藤孝明, 程洪, 垂力坤玉素甫, 山口亮, 名取晶子: 建物単体データを用いた全スケール対応・出火確率統合型の地震火災リスクの評価手法の構築, 地域安全学会論文集, 8, pp.279-288, 2006.
- 4) 秋山祐樹, 仙石裕明, 高田裕之, 田村賢哉, 柴崎亮介: 日本全土の商業集積統計の開発に関する研究, CSIS DAYS 2011 研究アブストラクト集, pp.22, 2011.
- 5) Akiyama, Y., Sengoku, H., Hiroyuki, T., and Shibasaki, R.: Development of Commercial Accumulation Polygon Data Throughout Japan Based on the Digital Classified Telephone Directory, CUPUM2011, F-TC-3(1), 2011.
- 6) せたがや i-map: <http://www.sonicweb-asp.jp/setagaya/>
- 7) 高阪宏行: 国勢調査小地域統計による都市地域分類に関わる諸問題, エストレーラ, 202, pp.2-9, 2011.
- 8) 秋山祐樹: 住宅地図を用いた国勢調査の非集計化データの開発と活用, 研究集会「官庁統計データの公開における諸問題の研究と他分野への応用」講演資料, <http://shiba.iis.u-tokyo.ac.jp/member/akiyama/paper/2012/tokei20121026.pdf>, 2012.
- 9) Akiyama, Y., Takada, H., and Shibasaki, R.: Development of Micro Population Census through Disaggregation of National Population Census, CUPUM2013, Unpublished. (2013/07/02以降に発行予定), 2013.
- 10) Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., and Vecchi, M. P.: Optimization by Simulated Annealing, Science, New Series, Vol. 220, No. 4598, pp.671-680, 1983.
- 11) Kohn, S., Gottlieb, A., and Kohn, M.: A Generating Function Approach to the Traveling Salesman Problem, ACM Annual Conference, ACM Press, pp. 294-300, 1977.
- 12) 全国消防長会ホームページ: <http://www.fcj.gr.jp/>
- 13) 総務省消防庁: 消防力の整備指針に関する答申(平成16年12月28日消防審議会), 2004.
- 14) 村尾修・山崎文雄: 自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数, 日本建築学会構造系論文集, 527, pp.189-196, 2000.
- 15) 中央防災会議: 南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要, 2012.
- 16) 河田恵昭: 大規模地震災害による人的被害の予測, 自然災害科学, 16(1), pp.3-13, 1997.
- 17) 愛知県: 愛知県被害想定資料2003, 2003.
- 18) 東京消防庁: 東京都第16期火災予防審議会答申 地震時における人口密集地域の災害危機要因の解明と消防対策について, 2005.
- 19) 損害保険料率算定協会: 地震調査研究46, 1998. (2013.3.20 受付)

DEVELOPMENT OF MICRO GEO DATA FOR EVALUATION OF DISASTER RISK AND READINESS BY LARGE-SCALE EARTHQUAKES THROUGHOUT JAPAN

Yuki AKIYAMA, Yoshiki OGAWA, Hiroaki SENGOKU, Ryosuke SHIBASAKI and Takaaki KATO

In the near future, it is expected to hit catastrophic large-scale earthquakes called Tokai, Tonankai, and Nankai earthquakes in Japan. Against this background, development of environment that risk and initial readiness against damage by large-scale earthquakes can be evaluated in arbitrary spatial unit quantitatively throughout Japan can make a contribution for policy planning of disaster prevention. To realize this environment, development of data which can estimate damage status of each building is ideal.

Therefore, this paper develops methods to estimate fire-resistance performance, structure (wooden or non-wooden), building age, and residents of each building to disaggregate various census data aggregated into grid or administrative areas into building locations collected from the Japanese residential maps. In addition, we develop micro geo data for evaluation of risk and initial readiness of large-scale earthquakes throughout Japan by these methods. Reliabilities of our data are fine by comparison of our data with actual data. Finally, we estimate damage by earthquakes to give probabilistic seismic motions expected to hit in the future for our data.