

都市直下地震に対する住宅復旧のための
経済的支援システム構築に関する研究

防衛大学校理工学研究科後期課程

装備・基盤工学系専攻 防災工学教育研究分野

坂場 律和

令和3年3月

目 次

| | | |
|-------|--------------------------|------|
| 第1章 | 序論 | |
| 1.1 | 研究の背景..... | 1-1 |
| 1.2 | 既往の住宅復旧における対策の諸制度..... | 1-4 |
| 1.2.1 | 日本における防災対策, 財政支援制度..... | 1-4 |
| 1.2.2 | 海外における経済的支援システムの制度..... | 1-17 |
| 1.3 | 既往の研究と本研究の位置づけ..... | 1-20 |
| 1.3.1 | 耐震対策に関する既往研究..... | 1-20 |
| 1.3.2 | 財政支援制度に関する既往研究..... | 1-20 |
| 1.3.3 | 耐震対策と財政支援制度に関する既往研究..... | 1-21 |
| 1.4 | 研究の目的..... | 1-22 |
| 1.5 | 本研究の構成と内容..... | 1-23 |
| 第2章 | 復旧費用分析のための被害関数構築 | |
| 2.1 | はじめに..... | 2-1 |
| 2.2 | 建物の被害と復旧過程..... | 2-3 |
| 2.2.1 | 建物被害の区分..... | 2-3 |
| 2.2.2 | 被災建物の再建過程..... | 2-5 |
| 2.3 | 建物の復旧過程に着目した被害関数の構築..... | 2-8 |
| 2.3.1 | イベントツリーの作成..... | 2-8 |
| 2.3.2 | 被害関数の作成..... | 2-11 |
| 2.3.3 | 分岐確率の感応度解析..... | 2-15 |
| 2.4 | まとめ..... | 2-18 |
| 第3章 | 都市直下地震に対する復旧費用の現状分析 | |
| 3.1 | はじめに..... | 3-1 |
| 3.2 | 復旧費用分析の評価手法..... | 3-3 |
| 3.2.1 | 曝露モデルの評価..... | 3-5 |
| 3.2.2 | 地震イベントの評価..... | 3-11 |
| 3.2.3 | 地震ハザードの評価..... | 3-13 |
| 3.2.4 | 被害関数の評価..... | 3-27 |

| | | |
|-------|--------------------------|------|
| 3.2.5 | 復旧費用の計算..... | 3-28 |
| 3.2.6 | 財政支援制度の評価..... | 3-29 |
| 3.3 | 復旧費用分析の評価結果..... | 3-31 |
| 3.3.1 | 地震動分布..... | 3-31 |
| 3.3.2 | 被害世帯数, 必要復旧費用..... | 3-32 |
| 3.3.3 | 財政支援金..... | 3-35 |
| 3.4 | 必要復旧費用に対する財政支援制度の効果..... | 3-37 |
| 3.5 | 復旧費用調達に関する分析..... | 3-39 |
| 3.6 | まとめ..... | 3-43 |

第4章 耐震対策制度と財政支援制度を組み合わせた経済的支援システム

| | | |
|-------|--------------------------|------|
| 4.1 | はじめに..... | 4-1 |
| 4.2 | 経済的支援システムのケース設定..... | 4-4 |
| 4.3 | 経済的支援システムの効果分析の評価手法..... | 4-6 |
| 4.3.1 | 曝露モデルの評価..... | 4-8 |
| 4.3.2 | 地震イベントの評価..... | 4-12 |
| 4.3.3 | 復旧費用の計算..... | 4-17 |
| 4.3.4 | 不足復旧費用の定義..... | 4-20 |
| 4.4 | 経済的支援システムの効果分析の評価結果..... | 4-21 |
| 4.4.1 | 地震動分布..... | 4-21 |
| 4.4.2 | 耐震対策の効果分析..... | 4-24 |
| 4.4.3 | 保険条件の効果分析..... | 4-29 |
| 4.4.4 | 経済的支援システムの効果分析..... | 4-33 |
| 4.5 | まとめ..... | 4-35 |

第5章 結論

謝 辞

参考文献

発表論文

第1章 序論

1.1 研究の背景

2016年4月の熊本地震、2018年6月の大阪府北部地震、2018年9月の北海道胆振東部地震と、近年内陸活断層による地震が多く発生した。特に2016年4月の熊本地震による被害は甚大である。総務省消防庁の報告^[1-1]によると、死者273名、負傷者3,809名、全壊住家8,667棟、半壊住家34,719棟、一部損壊住家163,500棟であった。また内閣府の月例経済報告等に関する関係閣僚会議資料^[1-2]によると、建築物や社会インフラ、電気・ガス・上下水道他の社会資本のストックへの毀損額は約2.4~4.6兆円であった。この内建物の毀損額は約1.6~3.1兆円と全体の約2/3を占めている。熊本市をはじめ都市部で震度6以上の強い揺れを観測しており、都市部に集積する住宅や企業ストックへの被害が大きかったものと考えられる。一方、熊本地震は、地震調査研究推進本部の長期評価^[1-3]において今後発生が予想される活断層が活動した初めてのケースであった。熊本県被害想定(2013)^[1-4]においても、「長期評価を参照し、地震規模や活動区間は異なるものの「布田川-日奈久断層帯(中部・南西部連動:M7.9)」というシナリオにて被害想定や対策を実施していた(図1-1参照)。予め地震が予想され、対策が為されていた貴重な体験であった。従って、本地震を対象に災害対策の妥当性を検証することは、今後の防災対策を策定する上で大変有意義であると考え。その意味で再度被害を振り返ると、表1-1に示す過去の地震被害実績^[1-5]に比べ、全壊棟数に対する死傷者数の割合は小さく、また同じような都市直下で地震が発生した兵庫県南部地震に比べると、建物被害棟数も減少している。地震による災害経験をj得るたびに日本は耐震・免震技術の向上や建築基準法の改定などにより人命を守るための対策が行われてきた。死者が発生したことは残念であるが、熊本地震では防災減災において一定の成果を示したと考える。しかし、災害発生時の経済被害に関する対策は未だ不十分である。ミュンヘン再保険会社のレポート^[1-6]によれば(図1-2参照)、熊本地震の発生によって2016年の世界の自然災害の被害額は過去4年間の中で最も大きかった年になった。熊本地震による被害額はこのうち約18%を占めている。またこのレポートによれば世界的にみて災害による直接経済損失は増加傾向にあり、災害発生時の経済的視点での研究は、我が国の早期の復旧復興のために重要性を増している。近年では、人命の保護が最大限図られることは当然として、財産の保護や迅速な経済の復興も強く望まれる傾向にある。政府・自治体においても被災者の生活を早期に再建することが喫緊の課題とされており、復旧復興への取組みが、より重要な課題となっている。

地震による早期の復旧復興における主要な要素として住宅復旧があるが、過去の大規

模地震では住宅復旧に長期の時間を有している。熊本地震のアンケート調査^[1-7]によれば約47.8%の人が住宅復旧に2年以上かかっており、その理由としては金銭的なものが半数に及ぶ。多くの被災者が住宅復旧費用を調達できずに避難生活を余儀なくされた。今後発生が予想される都市直下地震では、膨大な世帯が被害に遭うことが予想される。内閣府の都心直下地震対策検討ワーキンググループ^[1-8]によると、都心南部直下地震等の地殻内の浅い地震による被害想定では、揺れによる全壊棟数は17万5千棟、住宅の経済被害額は23.8兆円との予測が為されている。しかし、ここでの経済的被害は、全壊と半壊の物的被害を経済的損失に置き換えた被害額を示すに留まっている。過去の地震被害を見ると、「全壊」判定された建物においても補修を選択する事例や、「半壊」判定された建物においても建替を選択する事例があり、被害額と復旧費用は必ずしも一致しない。特に集合住宅では建物規模が大きいため、ある所有者の区分が全壊相当で、ある所有者の区分が半壊相当という状態もありえ、各区分所有者で被害程度の捉え方が様々になる。これより、建替や修復等の復旧方法選択に多様性が生まれやすく、被害額と復旧費用が乖離する傾向がみられる。政府や自治体の被害想定被害額では、被災地域で必要とする住宅の復旧費用を十分に評価できていないと考える。更に、被害想定では被害額を示すに留まり、被災地域全体で必要とする復旧費用をどのように調達すべきかの検討に至っていないことも課題である。住宅復旧は生活基盤を支える重要な要素である。復旧費用の過度な不足は、住宅復旧計画の遅れを招き、被災地域の復旧復興に大きく影響する。特に、集合住宅は区分所有法及び被災マンション法に則り建物復旧が決定されるため、協議に時間を要する。復旧費用の調達が困難である場合、協議に更なる時間が掛かることが容易に想像できる。自己資金による自助、地震保険制度等による共助、被災者生活再建支援金等による公助によって、復旧費用をどのように調達するのか十分に検討する必要がある。

今後発生が予想される都市直下地震では、莫大な復旧費用が必要になることが予想される。特に、東京都のように集合住宅が多い都市構造では、既存の財政支援制度が十分な効果を発揮しないことも懸念される。この点を踏まえ、集合住宅や戸建住宅の住宅区分や被害区分ごとの復旧費用の傾向を明らかにし、今後の住宅復旧対策を講じる必要がある。

| 名称 | 発生日時 | 断層 | 地震規模Mj |
|---------|-------------------|----------------|--------|
| 熊本地震 前震 | 2016/4/14 PM21:26 | 布田川断層帯 布田川区間 | 6.5 |
| 熊本地震 本震 | 2016/4/16 AM01:25 | 日奈久断層帯 高野-白旗区間 | 7.3 |



図 1-1 熊本地震の活断層

表 1-1 過去の地震災害による被害

| 発生日年月日 | 地震名 | 地震規模 Mj | (住家) 建物被害 | | | 人的被害 | | |
|---------------|-----------------|------------|-----------|---------|---------|--------|--------|--------|
| | | | 全壊 | 半壊 | 一部損壊 | 死者 | 重傷者 | 軽傷者 |
| 1995年1月17日 | 平成7年兵庫県南部地震 | 7.3 | 104,906 | 144,274 | 390,506 | 6,434 | 10,683 | 33,109 |
| 2000年10月6日 | 平成12年鳥取県西部地震 | 7.3 | 435 | 3,101 | 18,544 | 0 | 39 | 143 |
| 2001年3月24日 | 平成13年芸予地震 | 6.7 | 70 | 774 | 48,994 | 2 | 43 | 245 |
| 2003年9月26日 | 平成15年十勝沖地震 | 8.0 | 116 | 368 | 1,580 | 0 | 69 | 780 |
| 2004年10月23日 | 平成16年新潟県中越地震 | 6.8 | 3,175 | 13,810 | 105,682 | 68 | 633 | 4,172 |
| 2005年3月20日 | 平成17年福岡県西方沖地震 | 7.0 | 144 | 353 | 9,338 | 1 | 198 | 1,006 |
| 2007年3月25日 | 平成19年能登半島地震 | 6.9 | 686 | 1,740 | 26,958 | 1 | 91 | 265 |
| 2007年7月16日 | 平成19年新潟県中越沖地震 | 6.8 | 1,331 | 5,710 | 37,633 | 15 | 330 | 2,016 |
| 2008年6月14日 | 平成20年岩手・宮城内陸地震 | 7.2 | 30 | 146 | 2,521 | 17 | 70 | 356 |
| 2011年3月11日 | 平成23年東北地方太平洋沖地震 | 9.0 | 121,744 | 279,107 | 744,328 | 19,475 | 699 | 5,337 |
| 2016年4月14,16日 | 平成28年熊本地震 | 7.3 | 8,677 | 34,640 | 162,399 | 255 | 1,189 | 1,606 |

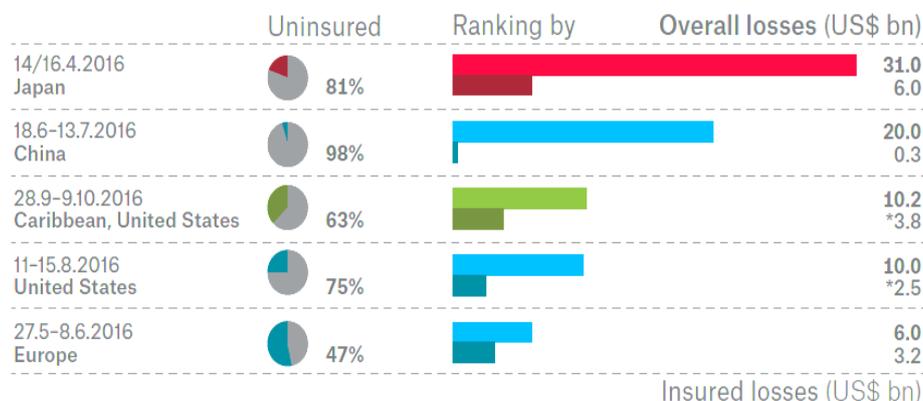


図 1-2 2016年の自然災害の被害額

1.2 既往の住宅復旧における対策の諸制度

耐震対策制度と財政支援制度を組み合わせた経済的支援システムを論じるため、本節では自然災害に対する現行の防災・減災対策制度、財政支援制度を概括する。

1.2.1 日本における防災対策、財政支援制度

内閣府では日本における防災の方針を防災白書として纏めている^[1-9]。ここで防災白書とは、災害対策基本法（昭和36年法律第223号）第9条第2項の規定に基づき第201回国会（常会）に報告を行った「防災に関してとった措置の概況」及び「令和2年度の防災に関する計画」について取りまとめたものである。本白書では、日本における災害対策の方針として下記が掲げられている。

- ① 国土強靱化の推進のための取組
- ② 防災体制・災害発生時の対応及びその備え
- ③ 自助・共助による事前防災
- ④ 発生が危惧される災害への対応
- ⑤ 多様な主体の連携による防災活動の推進
- ⑥ 国際防災協力

被災者の復旧は住宅の復旧と仕事の確保といわれている。そのため被災後に、個人が生活を再建する上では住宅の確保が重要であり、住宅復旧の困難さは再起意欲や将来への希望をなくすなどの課題が指摘されている。防災白書では、災害時には人命の保護が図られることが最優先であることに加え、保険・共済などリスクファイナンスを活用した備えを行い、被災による経済的損失を速やかに回復することが重要と述べている。そこで本研究では、上記①～⑥の施策のうち、住宅復旧に関係する対策である、①の建物の耐震化による減災、②の財政支援制度による備え、③の保険制度による備えを対象とする。以降ではこれら3つの現行施策について纏める。

1.2.1.1 国土強靱化に関する住宅・建築物の耐震化の促進

国土強靱化とは、大規模自然災害等に備えるために事前防災・減災と迅速な復旧復興に資する施策を、総合的な取組として計画的に実施・推進するものである。その取組みの一つとして住宅・建築物の耐震化の促進を行っている。例えば、東京都は東京都耐震改修促進計画^[1-10]を策定している。計画の位置づけは図 1-3 に示すとおりである。国土強靱化年次計画^[1-11]によれば 2025 年までに住宅の耐震性の不足を概ね解消するものとしている。この計画は建築物の耐震改修の促進に関する法律第 5 条第 1 項に基づき策定するものであり、市区町村が計画を策定するための指針となっている。東京都の耐震化率の現状と目標については図 1-4 に示すとおりである。2015 年の時点ではすでに住宅の 83.8%が耐震化を行っており、2025 年までに耐震性が不十分な住宅を概ね解消することを目標としている。ただこの耐震化率は、新築や建替え、除却などによっても上昇するものであり、耐震改修だけで上昇した数値でないことに注意が必要である。

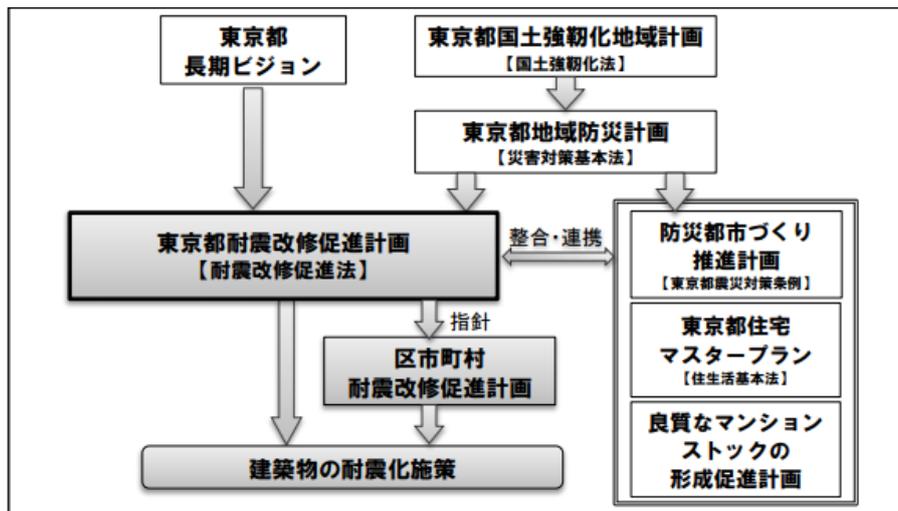


図 1-3 東京都耐震改修促進計画の位置づけ

| | | | | | |
|----|---------|---------|-------|------|----|
| 住宅 | 平成27年3月 | 83.8% | 95% | ※3 | |
| | マンション | — | — | 95% | ※3 |
| | 主な公共住宅 | 平成27年3月 | 83.7% | 95% | ※3 |
| | 都営住宅等 | 平成27年3月 | 82.7% | 100% | |

図 1-4 東京都の耐震化の現状と目標

1.2.1.2 被災者生活再建支援金制度

被災者生活再建支援法は、1995年の兵庫県南部地震をきっかけに、1998年10月5月22日法律第66号に制定された。自然災害によりその生活基盤に著しい被害を受けた者であって、経済的理由等によって自立して生活を再建することが困難なものに対し、自立した生活の開始を支援することを目的とする。その支援金は、都道府県が相互扶助の観点から拠出した基金を財団法人都道府県会館が取り扱っている。

被災者生活再建支援制度^[1-12]は、表 1-2 に示す支援金を支給する制度である。表 1-3 に示すような対象となる自然災害が発生した市町村に対して、表 1-4 に示す被災世帯が全壊・解体・長期避難の場合には100万円、大規模半壊の場合には50万円が基礎支援金として支給される。また、住宅の再建にもその方法に応じて加算支援金が給付され、建設・購入の場合には200万円、補修の場合には100万円、賃借の場合には50万円が支給される。世帯人数が1人の場合、支援金は3/4の額となる。また、33都道府県で独自の生活再建支援制度が45存在する^[1-13]。都道府県ごと対象とする自然災害の規模内容が異なり、対象とする被害程度によって支給額が変動する。また、財源負担割合も各都道府県によって異なる。

被災者生活再建支援金による実績^[1-14]を表 1-5 に示す。東北地方太平洋沖地震では、約20万世帯に約3700億円の支援金支給を実施し、被害者の住宅復旧の下支えとして役立った。ただ、住宅復旧を行うには支援金は十分でないとの指摘もある。その背景として、自然災害により個人の私有財産が被害を受けた場合には、自助努力による回復が原則であり、公費を投じる施策に抵抗があることが挙げられる。

被災者生活再建支援金の原資となる基金は、表 1-6 に示すように、1999年に300億円の拠出があり、2004年に追加で300億円、合計で600億円が拠出されている^[1-12]。しかし、これ以降、大規模災害が多く発生したことから基金の一部が支援金支給に充当されており、現在の基金残高は600億円より減少している。被災者生活再建支援制度に関する検討結果報告^[1-15]では、現行制度を前提とした必要額として年間60億円が必要であるとの報告が為されている。しかし、近年の災害は激甚化しており、支給額が年間60億円を越える場合も考えられる。支給推移が想定を上回る場合は、現行の拠出額が不足することが想定され、追加拠出の必要がある。

表 1-2 支援金の支給額

<基礎支援額>

| | | | | |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| 住宅の被害程度 | 全壊 | 解体 | 長期避難 | 大規模半壊 |
| 支給額 | 100万円 | 100万円 | 100万円 | 50万円 |

<加算支援額>

| | | | |
|---------|-------|-------|------------------|
| 住宅の再建方法 | 建設・購入 | 補修 | 賃借 ^{※1} |
| 支給額 | 200万円 | 100万円 | 50万円 |

※1 公営住宅以外

表 1-3 制度の対象となる自然災害

- ①災害救助法施行令第1条第1項第1号又は第2号に該当する被害が発生した市町村
- ②10世帯以上の住宅全壊被害が発生した市町村
- ③100世帯以上の住宅全壊被害が発生した都道府県
- ④①又は②の市町村を含む都道府県で、5世帯以上の住宅全壊被害が発生した市町村（人口10万人未満に限る）
- ⑤①～③の区域に隣接し、5世帯以上の住宅全壊被害が発生した市町村（人口10万人未満に限る）
- ⑥①若しくは②の市町村を含む都道府県又は③の都道府県が2以上ある場合に、5世帯以上の住宅全壊被害が発生した市町村（人口10万人未満に限る）または2世帯以上の住宅全壊被害が発生した市町村（人口5万人未満に限る）

表 1-4 制度の対象となる被災世帯

- ①住宅が「全壊」した世帯
- ②住宅が半壊、又は住宅の敷地に被害が生じ、その住宅をやむを得ず解体した世帯
- ③災害による危険な状態が継続し、住宅に居住不能な状態が長期間継続している世帯
- ④住宅が半壊し、大規模な補修を行わなければ居住することが困難な世帯（大規模半壊世帯）

表 1-5 過去の地震による被災者生活再建支援金の支払い

| 発生年 | 対象災害 | 支給世帯数 | 支援金支給額 (千円) |
|------|---------------|---------|----------------|
| 2011 | 東北地方太平洋沖地震 | 203,794 | 372,380,875 |
| 2016 | 熊本地震 | 36,899 | 67,001,375 |
| 2004 | 新潟県中越地震 | 5,207 | 7,351,435 |
| 2007 | 新潟県中越沖地震 | 3,033 | 6,623,639 |
| 2018 | 北海道胆振東部地震 | 1,250 | 1,784,375 |
| 2007 | 能登半島地震 | 841 | 1,747,061 |
| 2003 | 宮城県北部を震源とする地震 | 516 | 397,907 |
| 2000 | 鳥取県西部地震 | 386 | 298,249 |
| 2005 | 福岡県西方沖で発生した地震 | 238 | 291,587 |
| 2014 | 長野県北部を震源とする地震 | 122 | 227,000 |
| 2016 | 鳥取県中部地震※ | 83 | 171,375 |
| 2018 | 大阪府北部を震源とする地震 | 72 | 154,750 |
| 2008 | 岩手・宮城内陸地震 | 55 | 114,500 |
| 2001 | 芸予地震 | 52 | 42,508 |
| 2018 | 島根県西部地震 | 25 | 39,375 |
| 2003 | 十勝沖地震 | 56 | 30,477 |

表 1-6 基金の推移 (単位：億円)

基金の推移 (単位：億円)

| | H11.4 (基金設置) | H12.3 | H13.3 | H14.3 | H15.3 | H16.3 |
|------|-----------------|-------|-----------------|------------------|-------|-------|
| 基金残高 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| | H16.7 (追加拠出) | H17.3 | H17.7 (取り崩し) | H17.10 (取り崩し) | H18.3 | H19.3 |
| | 600 | 600 | 590 | 565 | 565 | 565 |

※当初300億円。平成16年7月に追加拠出300億円

1.2.1.3 地震保険制度

地震保険制度は、地震・噴火・津波による災害で発生した損失を補償する損害保険である。1966年に「地震保険に関する法律」の制定を受け、国が主体で運用する制度として誕生した^[1-16]。地震保険制度は、民間保険会社が負う地震保険責任の一定額以上の巨額な地震損害を政府が再保険することにより成り立っている。保険の対象は住宅及び生活用動産に限られ、保険事故は地震・噴火またはこれらによる津波を原因とする火災、損壊、埋没、流出による全損、大規模半損、半損、一部損である。この保険制度は、地震保険として単独で加入できるものではなく、火災保険契約に付帯するオプションになっている。火災保険の保険金額の30%～50%の範囲内で地震保険の保険金額を決めることが可能である。保険金支払い限度額は建物が5000万円、家財が1000万円である。保険金の支払いの段階については表 1-7 それぞれの判定方法については表 1-8 のとおりである。構造また都道府県ごとに保険料は異なっており表 1-9 に示すとおりである。この表から分かるように、都市部の方が保険料は高く設定されている。また長期契約程保険料、建築年数・耐震等級・免振建築物・耐震診断等によって保険料は割引される。

地震保険加入率の推移と各都道府県の加入率を図 1-5 および表 1-11 に示す^[1-18]。ここで、地震保険加入率とは、地震保険の普及度合いを示す一つの指標であり、地震保険保有契約件数を住民基本台帳に基づく世帯数で除した数値である。図に示すように、地震保険制度は1995年の兵庫県南部地震をきっかけに保険加入の動きが広まっている。しかし、2019年時点で全国平均33.1%に留まっている。なお、この数値は世帯の加入率であり、集合住宅共用部の地震保険加入率は更に低いといわれている。また表に示すように、太平洋沿岸の地震の多い都道府県は加入率が高く、日本海沿岸の地震が少ない都道府県は加入率が低い傾向がある。内陸活断層による地震の発生確率は全国でさほど大差がなく、都市直下型地震に対する保険の備えは十分といえない。

地震保険制度は、ノーロスノープロフィットの原則で運用されており、保険契約者が支払う地震保険料は、保険会社として一切手を付けることなく全てがため続けられている。この基金は、民間の日本地震再保険株式会社と政府の地震保険特別会計によって運用され、地震が発生した際にのみこの基金から保険金が支払われる。また、1回の地震等により支払われる保険金の総額には、あらかじめ限度額が定められている。これは、関東大震災規模の地震が再来した場合においても保険金の支払いに支障がないように設定されており、現在11兆7,000億円とされている^[1-17]。総支払限度額は過去、阪神淡路大震災、東日本大震災においても保険金の総支払額は限度内であった(表 1-10 参照)^[1-19]。地震保険金の支払においては、民間が負う地震保険責任を政府が再保険することで、巨額な支払時のリスクを担保している。この保険金支払いの民間、政府のそれぞれ

の分担方法，責任限度額の取決めを図示したものが図 1-6 になる．1 回の地震等により支払われる保険金の額が 871 億円に達するまで（1st レイヤー）は民間が負担する．871 億円を超え 1,537 億円に達するまで（2nd レイヤー）は政府・民間が 50%ずつ負担する．1,537 億円を超える部分（3rd レイヤー）については政府がその大半（約 99.9%）を負担する．これまでも兵庫県南部地震や東北地方太平洋沖地震などの巨大地震が発生した際にも，保険金の支払額は総支払限度額内であり円滑に保険金が支払われている．しかし，今後発生が予想される関東周辺の都市直下地震では更なる巨額支払いが発生することも懸念されている．その際は財源の確保も含め，保険金支払に判断が必要になる．

表 1-7 地震保険割合

| 被害区分 | 支払率 |
|------|-----------------|
| 全損 | 地震保険の保険金額の 100% |
| 大半損 | 地震保険の保険金額の 60% |
| 小半損 | 地震保険の保険金額の 30% |
| 一部損 | 地震保険の保険金額の 5% |

表 1-8 建物及び家財の判定

<建物>

| 被害区分 | 支払率 |
|------|---|
| 全損 | 地震等により損害を受け、主要構造部（土台、柱、壁、屋根等）の損害額が、時価額の 50%以上となった場合、または焼失もしくは流失した部分の床面積が、その建物の延床面積の 70%以上となった場合 |
| 大半損 | 地震等により損害を受け、主要構造部（土台、柱、壁、屋根等）の損害額が、時価額の 40%以上 50%未満となった場合、または焼失もしくは流失した部分の床面積が、その建物の延床面積の 50%以上 70%未満となった場合 |
| 小半損 | 地震等により損害を受け、主要構造部（土台、柱、壁、屋根等）の損害額が、時価額の 20%以上 40%未満となった場合、または、焼失もしくは流失した部分の床面積が、その建物の延床面積の 20%以上 50%未満となった場合 |
| 一部損 | 地震等により損害を受け、主要構造部（土台、柱、壁、屋根等）の損害額が、時価額の 3%以上 20%未満となった場合、または建物が床上浸水もしくは地盤面より 45cm をこえる浸水を受け、建物の損害が全損・大半損・小半損に至らない場合 |

<家財>

| 被害区分 | 支払率 |
|------|---|
| 全損 | 地震等により損害を受け、損害額が保険の対象である家財全体の時価額の 80%以上となった場合 |
| 大半損 | 地震等により損害を受け、損害額が保険の対象である家財全体の時価額の 60%以上 80%未満となった場合 |
| 小半損 | 地震等により損害を受け、損害額が保険の対象である家財全体の時価額の 30%以上 60%未満となった場合 |
| 一部損 | 地震等により損害を受け、損害額が保険の対象である家財全体の時価額の 10%以上 30%未満となった場合 |

表 1-9 関東における保険金額 1000 万円当たりの保険期間 1 年の保険料(単位 : 円)

| 都道府県 | イ構造 | ロ構造 |
|------|------------------|-----------|
| | 主として鉄骨・コンクリート構造等 | 主として木造建築等 |
| 茨城県 | 15,500 | 32,000 |
| 栃木県 | 7,100 | 11,600 |
| 群馬県 | 7,100 | 11,600 |
| 埼玉県 | 17,800 | 32,000 |
| 千葉県 | 25,000 | 38,900 |
| 東京都 | 25,000 | 38,900 |
| 神奈川県 | 25,000 | 38,900 |

表 1-10 過去の地震による保険金の支払い

| No | 地震名等 | 発生年月日 | 支払保険金 十億円 | 世帯加入率 全国:% | 世帯加入率 被災県:% |
|----|-----------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| 1 | 東北地方太平洋沖地震 | 2011年03月11日 | 12,706 | 23.7 | 33.6 |
| 2 | 熊本地震 | 2016年04月14,16日 | 3,621 | 29.5 | 29.8 |
| 3 | 兵庫県南部地震 | 1995年01月17日 | 783 | 9.0 | 4.8 |
| 4 | 宮城県沖を震源とする地震 | 2011年04月07日 | 324 | 23.7 | 33.6 |
| 5 | 福岡県西方沖を震源とする地震 | 2005年03月20日 | 170 | 18.5 | 16.6 |
| 6 | 芸予地震 | 2001年03月24日 | 169 | 16.0 | 15.5 |
| 7 | 新潟県中越地震 | 2004年10月23日 | 149 | 17.2 | 11.2 |
| 8 | 新潟県中越沖地震 | 2007年07月16日 | 82 | 20.8 | 13.7 |
| 9 | 福岡県西方沖を震源とする地震 | 2005年04月20日 | 64 | 18.5 | 16.6 |
| 10 | 十勝沖地震 | 2003年09月26日 | 60 | 16.4 | 15.5 |
| 11 | 岩手・宮城内陸地震 | 2008年06月14日 | 55 | 21.4 | 10.5 |
| 12 | 駿河湾を震源とする地震 | 2009年08月11日 | 52 | 22.4 | 23.8 |
| 13 | 静岡県東部を震源とする地震 | 2011年03月15日 | 46 | 23.7 | 24.8 |
| 14 | 岩手県沿岸北部を震源とする地震 | 2008年07月24日 | 40 | 21.4 | 10.5 |
| 15 | 福島県浜通りを震源とする地震 | 2011年04月11日 | 37 | 23.7 | 14.6 |
| 16 | 長野県中部を震源とする地震 | 2011年06月30日 | 33 | 23.7 | 12.9 |
| 17 | 鳥取県西部地震 | 2000年10月06日 | 29 | 15.4 | 11.4 |
| 18 | 能登半島地震 | 2007年03月25日 | 27 | 20.8 | 13.3 |
| 19 | 淡路島付近を震源とする地震 | 2013年04月13日 | 23 | 27.1 | 22.2 |
| 20 | 宮城県北部を震源とする地震 | 2003年07月26日 | 22 | 16.4 | 16.7 |

表 1-11 地震保険の加入率

| 都道府県 | 加入率 | 都道府県 | 加入率 |
|------|------|------|------|
| 北海道 | 26.7 | 滋賀県 | 32 |
| 青森県 | 22.5 | 京都府 | 33.8 |
| 岩手県 | 25.3 | 大阪府 | 35.6 |
| 宮城県 | 52 | 兵庫県 | 31 |
| 秋田県 | 23.5 | 奈良県 | 32.2 |
| 山形県 | 23.7 | 和歌山県 | 29.4 |
| 福島県 | 31.8 | 鳥取県 | 28.7 |
| 茨城県 | 30.4 | 島根県 | 19.2 |
| 栃木県 | 30.5 | 岡山県 | 27.0 |
| 群馬県 | 24.7 | 広島県 | 32.2 |
| 埼玉県 | 32.7 | 山口県 | 27.9 |
| 千葉県 | 34.4 | 徳島県 | 30.9 |
| 東京都 | 37.3 | 香川県 | 34.5 |
| 神奈川県 | 36.4 | 愛媛県 | 27.3 |
| 新潟県 | 24.3 | 高知県 | 27.5 |
| 富山県 | 24.4 | 福岡県 | 37.6 |
| 石川県 | 27.4 | 佐賀県 | 26.1 |
| 福井県 | 31.1 | 長崎県 | 18.8 |
| 山梨県 | 34.7 | 熊本県 | 42.8 |
| 長野県 | 24.8 | 大分県 | 27.6 |
| 岐阜県 | 38.5 | 宮崎県 | 28.3 |
| 静岡県 | 32.3 | 鹿児島県 | 29.5 |
| 愛知県 | 43.0 | 沖縄県 | 16.6 |
| 三重県 | 30.5 | | |
| | | 全国平均 | 33.1 |

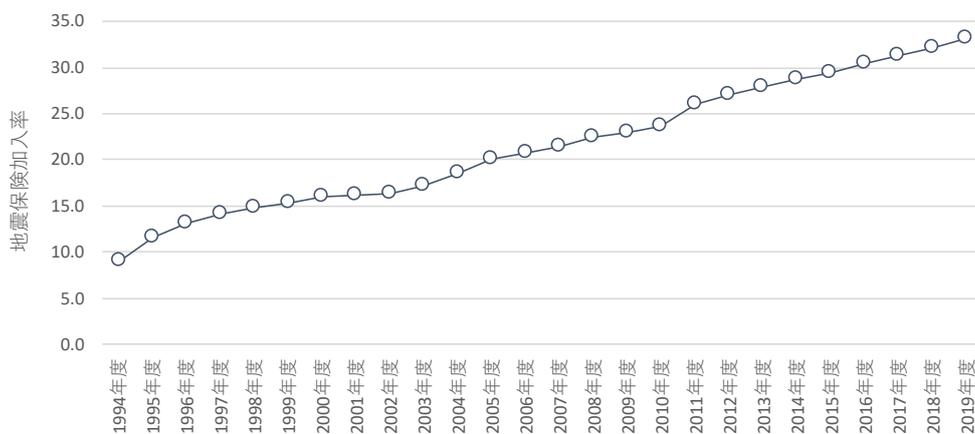


図 1-5 全国の加入率の推移

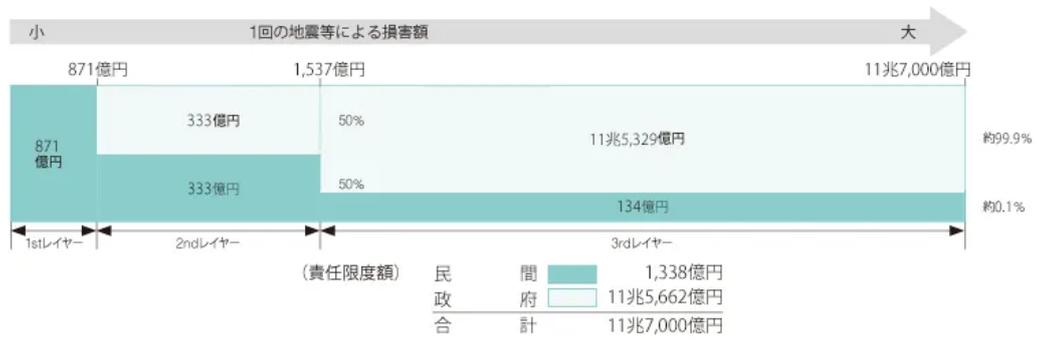


図 1-6 地震保険のスキーム

1.2.2 海外における経済的支援システムの制度

海外における防災対策は種々あるが、本研究で検討する防災・減災による事前対策と財政支援制度による事後補償が一体となった事例として、アメリカの国家洪水保険プログラム（National Flood Insurance Program：以下 NFIP と略称する）がある。本制度が対象とする自然災害は洪水であり本研究が対象とする地震とは異なるが、地震と洪水は低頻度巨大災害を対象とした自然災害であり共通項も多い。防災・減災による事前対策と財政支援制度を一体とした運用方法は参考にすべきと考える。以下に NFIP の制度を概観する^[1-20]。

NFIP は、アメリカ合衆国連邦危機管理庁（FEMA）参加の連邦保険局（FIA）が運営する洪水保険制度であり、1969年に制度の運用が開始している。保険制度検討当初は、洪水被害者の保険制度による救済と、洪水危険度の高い地域での土地利用規制による洪水被害軽減策をそれぞれに検討していた。しかしこれら対策は洪水対策上密接に繋がっているため、最終的には両者を一体のものとして実現しようとする動きになった。

洪水被害は、広域かつ甚大な被害であるため、全ての世帯に対して十分な対策を講じることが難しい。かつ、一部地域に甚大な被害を及ぼす洪水保険は下記の3つの障壁があるとされている。

- ①大数の法則の不成立（低頻度かつ広域に同時期に発生）
- ②逆選択による加入者確保の困難（洪水リスクの高い人しか加入しない）
- ③大規模災害時の保険制度の不安定化（多額の支払いを担えない）

上記理由により、保険として成立することが困難であり、保険会社はその引受を嫌う傾向にある。しかし、NFIP ではこれらの障壁に対応するための工夫がなされている。まず、自治体がこの保険制度に加入したければ、土地利用規制等の洪水対策を実施し、洪水被害リスクを軽減することを義務づけている。自治体単位の加入とすることで、大数の法則の不成立によるデメリットを抑制している。また、各自治体の洪水危険度に応じた保険料率の設定が可能となることで、逆選択の問題を解消している。災害時の保険の不安定化に対しては、洪水被害リスクの軽減と共に、連邦政府が保険支払いを完全保証することで対応している。

このように、本制度は単に洪水被害者の救済のみを目的とするにとどまらず、洪水被害の防止・軽減をもその目的としている。一体となって制度を運用することで、事前対策と財政支援制度の課題を相互に補っている。

NFIP では、前述のように自治体ごとにプログラムへの参加の意思表示を為す必要がある。NFIP に参加する自治体は、定められた基準以上の氾濫原管理を実施しなければならない。特に、洪水危険度が高い自治体は、新たな地域開発が洪水による脅威を増大させることがないように、また新規建物や既存建物が洪水から保護されるように計画する必要がある。NFIP では、自治体により自発的かつ強固な氾濫原管理を奨励するため、防災努力を促すインセンティブが設けられている。NFIP が示す洪水被害軽減のための取組項目を表 1-12 に示す^[1-20]。洪水被害軽減のための取組は、堤防やダム の保全等の直接的な対策や、リスク情報の開示や建築規制等による緩やかな移設による対策等、様々である。表に示すように各項目でポイントが設けられており、総合ポイントによって各自治体をクラス 1 から 10 までの 10 段階にクラス分けする。各自治体の地域住民は、このクラス分けに応じて表 1-13 に示す保険料の割引を受けることができる^[1-22]。

表 1-12 自治体の洪水被害軽減のための取組項目

| 評価項目 | 理論上の 最高点 | 実績（2005年5月1日現在） | | |
|--------------|-------------|-----------------|-------|------------------|
| | | 平均得点 | 最高得点 | 評価を受けた 自治体の割合 |
| 広報活動 | | | | |
| ① 標高証明 | 162 | 69 | 142 | 100% |
| ② 地図情報サービス | 140 | 138 | 140 | 95% |
| ③ 普及活動 | 380 | 90 | 290 | 86% |
| ④ 洪水危険の開示 | 81 | 19 | 81 | 61% |
| ⑤ 洪水予防情報 | 102 | 24 | 66 | 87% |
| ⑥ 洪水予防援助 | 71 | 53 | 71 | 48% |
| マッピングおよび建築規制 | | | | |
| ⑦ 追加洪水データ | 1,346 | 86 | 521 | 29% |
| ⑧ 空地の確保 | 900 | 191 | 734 | 83% |
| ⑨ より高い規制水準 | 2,740 | 166 | 1,041 | 85% |
| ⑩ 洪水データの管理 | 239 | 79 | 218 | 68% |
| ⑪ 暴風雨水管理 | 670 | 98 | 490 | 74% |
| 洪水被害軽減措置 | | | | |
| ⑫ 氾濫原管理企画 | 359 | 115 | 270 | 20% |
| ⑬ 買収と移設 | 3,200 | 213 | 2,084 | 13% |
| ⑭ 洪水予防 | 2,800 | 93 | 813 | 6% |
| ⑮ 排水設備管理 | 330 | 232 | 330 | 69% |
| 災害準備 | | | | |
| ⑯ 洪水警報制度 | 255 | 93 | 200 | 30% |
| ⑰ 堤防の保全 | 900 | 198 | 198 | 1% |
| ⑱ ダムの保全 | 175 | 66 | 87 | 81% |

（出典：“CRS Coordinator’s Manual”, Edition :2006 をもとに作成）

表 1-13 自治体評価による保険料割引率

| 総合ポイント | クラス | 特別洪水危険地帯 (SFHA) 内の割引率 | その他地域における割引率 |
|-------------|-----|--------------------------|--------------|
| 4,500 以上 | 1 | 45% | 10% |
| 4,000~4,499 | 2 | 40% | 10% |
| 3,500~3,999 | 3 | 35% | 10% |
| 3,000~3,499 | 4 | 30% | 10% |
| 2,500~2,999 | 5 | 25% | 10% |
| 2,000~2,499 | 6 | 20% | 10% |
| 1,500~1,999 | 7 | 15% | 5% |
| 1,000~1,499 | 8 | 10% | 5% |
| 500~999 | 9 | 5% | 5% |
| 0~499 | 10 | 0% | 0% |

（出典：FEMA ウェブサイトをもとに作成）

1.3 既往の研究と本研究の位置づけ

本節では、耐震対策制度に関する既往研究、財政支援制度に関する既往研究、耐震対策制度と財政支援制度を組み合わせた制度に関する既往研究について概括する。

1.3.1 耐震対策に関する既往研究

小桧山ら^[1-23]は、耐震化状況による住宅ローン減税や地震保険料率への反映を行い、災害リスク管理の総合支援制度として耐震診断や改修を計画することを提案している。個人では災害に対処しえないという諦観を除くため地域全体で対策を講じることを述べている。中嶋、目黒、吉村ら^{[1-24],[1-25]}は、自助の取組みによる減災の第一であることを述べ、耐震補強を実施することにインセンティブを与える被災者支援システムを提案している。提案のシステムは、耐震補強を施した高い耐震性能を有する建物を補償の対象にすることで、負担額が少額であっても被災時に十分な支援が受けられる仕組みにしている。これら研究は耐震化を促進させるための検討であり、耐震化が進んだ結果、被災時の住宅復旧にどのような影響を及ぼすかについては述べていない。住宅ローン減税や地震保険料率への反映、支援制度の拡充を行うことで自発的な改善に繋がると考えるが、対策投資に見合うだけの効果が得られるかを検討する必要がある。目黒、高橋^[1-26]は、耐震施策を促進するための制度として、耐震補強を済ませた建物が被災した場合に、建て直しを含めて補修費用の一部を行政が負担することを保障することを提案している。住民側からは対策投資に見合う効果が見えやすい。また、行政側からは事前の費用を用意する必要もなく、耐震補強効果によって被災建物が減少し、事後に必要な仮設住宅費用や解体費用等の費用も軽減できる利点がある。住民側、行政側の双方によって利点を感じる優れた制度と考える。一方、本制度で想定する事後の補償金額は全壊時で300万円/棟、半壊時で150万円/棟である。全壊時または半壊時に必要とする復旧費用に対して十分でないため、補償金額を除いた後の復旧費用が調達可能か否かを検討することが望ましい。また本制度の有効性検討は簡易的なものであり、地震動強度を一律変動させることを行っている。より現実に近づけた有効性検討を為すために、中小地震～大地震に対して空間的な地震動強度分布を捉え、ポートフォリオでの費用分析を行うことが望ましい。

1.3.2 財政支援制度に関する既往研究

被災地域の住宅再建の復旧費用の既往研究として、岡田^[1-27]は、被災者生活再建支援制度による支援金は建物新築補修費用に対して十分でないことを述べている。札幌市において地震被害想定を行い、仮に住宅再建に必要な不足額を札幌市自治体が支援した場

合、自治体の財政を大きく超える多額の準備金が必要であることを示している。また乾^[1-28]は、東日本大震災における茨城県の住宅被害と再建支援を整理している。住宅復旧費用に対する支援金の割合は20%未満になる世帯が41.2%に上り、現行制度の給付額は住宅再建に非常に不十分であることを示している。

復旧費用と対策の先行研究として、岡田ら^[1-29]、Nakashima et al^[1-30]は、現在の住宅再建支援の枠組みが全国一律であることの課題指摘を行っている。住宅の建替え費用や年収等の地域格差を考慮して被害想定を行うことで、地域ごとに復興の難易度や世帯の経済的負担に大きな格差があることを定量的に示している。地域的な不均衡を考慮した経済支援制度を行うことで震災後の世帯負債を軽減し、震災復興の速度と質を向上させると述べている。これら研究は、必要復旧費用に対する財政支援制度の検討として有用である。しかし、研究で対象とする地域は札幌市や茨城県の一部地域が対象であり被害世帯数は多くない。今後発生が予想される都市直下地震では、人口密集地帯でより多くの世帯が被害に見舞われるため、必要となる復旧費用や財政支援制度も異なるものになることが予想される。特に、東京都のように集合住宅が多い都市構造では、既存の財政支援制度が十分な効果を発揮しないことも懸念される。集合住宅や戸建住宅の住宅区分や被害区分ごとの復旧費用の傾向を明らかにした上で今後の対策を講じる必要がある。

1.3.3 耐震対策と財政支援制度に関する既往研究

耐震対策制度と財政支援制度を組み合わせた検討に関する研究は少ないが、その中で、永松ら^[1-31]は、従来の事後補償制度では住宅復旧費用の全てを調達できない課題を示している。事前の被害軽減策と事後補償制度を連携させて運用することを提案し、住宅復旧費用の抑制が支援の充実に繋がることを提示している。研究では、被害軽減策を行ったことで得られる事後補償制度の余剰金を算出し、その余剰金と事前の被害軽減策の比較を行うことで、両者制度の連携の可能性を示している。本知見は、耐震対策制度と財政支援制度を組み合わせた先駆的な研究であり非常に有用である。しかし、制度を検討にあたり、大地震しか対象としていないことは課題である。制度を検討する上では中小地震から大地震に至るまで多くの地震に対する効果を把握する必要がある。

1.4 研究の目的

今後発生が予想される東京都の直下地震では、膨大な世帯が被害に遭うことが予想されている。都市直下型の地震の特徴は多くの集合住宅が被災対象となることであり、既存の財政支援制度が十分な効果を発揮しないことも懸念される。災害に強い社会の構築と事前の準備による被害軽減なくしては達成できない。政府や自治体では、被害想定を実施することで建物の物的被害や経済的被害の把握を行い、防災・減災対策を講じているが、ここでの経済的被害は建物の被害額の把握に留まっており、被災した建物の復旧費用や各種財政支援制度を活用した復旧費用の調達を十分に把握できていない。被災後の速やかな復旧復興を計画するのであれば、被災地域全体で住宅復旧費用を把握し、その費用をどのように調達すべきか対策を講じることが重要である。集合住宅や戸建住宅の住宅区分や被害区分ごとの復旧費用の傾向を明らかにした上で今後の対策を講じなければ早期の復旧が難しいと考える。

本研究では、被害地域が迅速かつ円滑な住宅復旧を為せるための新たな経済的支援システムを提案することを目的とする。本研究で検討する経済的支援システムは、建物の耐震化および自己資産を用いた復旧による自助、被災者生活再建支援制度による公助、地震保険制度による共助で構成される。公助による下支えを基盤に、自助と共助のより一体化した経済的支援システムの施策を検討する。具体的には、建物の耐震化率の向上による取組みと、被災者生活再建支援制度、地震保険制度を組合せた制度策定を検討する。耐震化対策が復旧費用や財政支援制度に及ぼす効果や、耐震化対策を軸にした財政支援制度の拡充を検討する。集合住宅や戸建住宅の住宅区分によって発生する一部損壊～全壊の被害区分ごとの必要復旧費用および不足復旧費用の傾向を定量的に明らかにすることで、今後の効果的な経済的支援システムに向けての提案を行う。本研究では、はじめに、被災地で必要とする復旧費用を把握するため、復旧費用分析のための被害関数を構築する。次に、復旧費用分析のための被害関数を用いて、東京都を対象に、立川断層帯による地震の復旧費用分析を行い、住宅区分や被害区分ごとの必要復旧費用や不足復旧費用の傾向、および、現行の財政支援制度による効果を分析し、現行の財政支援制度の課題を明らかにする。最後に、復旧費用分析から得られた知見をもとに、効果的な経済的支援システムの提案を行う。東京都を対象に都市直下地震に対する確率論的地震リスク解析を実施し、経済的支援システムを利用した際の復旧費用分析を行うことで、提案したシステムが有効に機能するかの検討を行い、今後の展望について述べる。

1.5 本研究の構成と内容

本研究は全5章で構成される。第1章「序論」に続いては、第2章「復旧費用分析のための被害関数構築」により、住宅復旧費用把握のための被害関数を構築・提案する。第3章「立川断層を対象とした復旧費用の現状分析」では、2章で構築した被害関数を用いて東京都を対象に被害シミュレーションを行い、現行制度下における必要復旧資金、各種財政支援制度による支援金、不足復旧費用を定量的に示す。本分析より得られた知見をもとに、第4章「耐震対策と財政支援制度を組み合わせた経済的支援システムの評価」にて、経済的支援システムのケーススタディを行い、今後の望ましい経済的支援システムの在り方について考察を行う。第5章「結論」では得られた成果を統括する。本研究の構成フローを図1-7に示し、以下に各章の概要を述べる。

2章の「復旧費用分析のための被害関数構築」では、住宅復旧費用把握のための被害関数を構築する。被害関数構築では、被害区分と被災マンション法に基づく再建過程に着目し、実体に即した復旧過程をイベントツリーで作成する。構造による被害区分や再建による被害区分によるイベント分岐は熊本県のアンケート調査等を参考に設定を行う。またこれら分岐確率はばらつきがあるため、感度解析を行うことで、分岐確率によって発生する被害関数のばらつきを、被害関数の変動係数として評価に反映する。これら検討によって、従来の全壊や半壊等の物的被害を経済的損失に置き換えた被害額ではなく、被災した建物が復旧に必要なとする費用を評価する。

3章の「立川断層を対象とした復旧費用の現状分析」では、2章で構築した被害関数を用いて東京都を対象に都市直下地震による被害シミュレーションを行い、地震発災時の住宅復旧資金分析を行う。被害シミュレーションでは、集合住宅や戸建住宅の住宅区分や一部損壊～全壊の被害区分ごとの必要復旧資金、各種財政支援制度による支援金を定量的に示す。これら各区分の各種財政制度の効果分析を行い、被災地域全体で不足する必要復旧費用を明らかにすると共に、今後の効果的な対策・対応について議論する。

4章の「耐震対策と財政支援制度を組み合わせた経済的支援システムの評価」では、3章での分析に基づき、耐震対策制度、財政支援制度を組み合わせた経済的支援システムの提案を行い、その効果について分析を行う。経済的支援システムの効果分析では、確率論的地震リスク評価を行うことで、中小地震から大地震に至るまでの、耐震対策制度が財政支援制度に及ぼす効果や、耐震対策制度が為された上での財政支援制度の拡充効果についての定量評価を行う。その上で、今後実施が望ましい経済的支援システムの在り方や今後の展望について述べる。

5章の「結論」では、本研究の全内容を総括し、得られた成果を要約する。

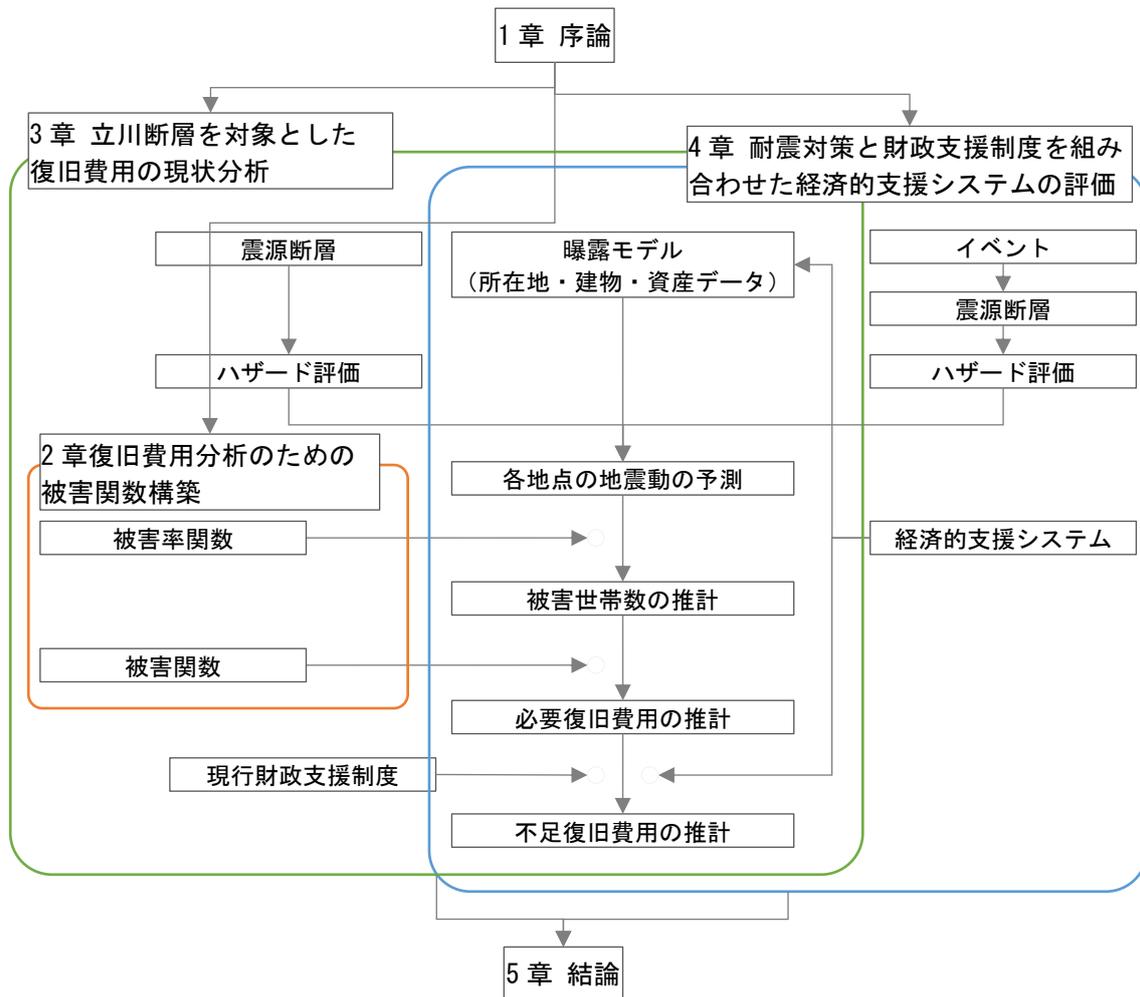


図 1-7 本研究の構成

第2章 復旧費用分析のための被害関数構築

2.1 はじめに

被害想定や確率論的リスク評価では、数万～数十万の建物群、数百万のハザード群を対象として扱う。このような評価では、個別に各建物、各ハザードに対してその都度詳細な地震応答解析等を行うことは解析負荷的に難しい。そこで、予めハザード指標と経済的損失の関係をモデル化しておくことで、リスク解析を効率化している。このモデル化を被害関数といい、横軸にハザード指標、縦軸に経済的被害率を示した曲線で表される^[2-1]。政府や自治体では、被害想定でもこの被害関数を用いて建物の物的被害や経済的被害の評価を行っている^[2-2]。しかし、ここでの経済的被害は、全壊と半壊の物的被害を経済的損失に置き換えた被害額であり、被災した建物が復旧に要する費用ではない。従って、これら被害想定では被災地域で必要とする復旧費用を十分に把握できていないと考える。過去の地震被害を見ると、全壊判定された建物においても補修を選択する事例や、半壊判定された建物においても建替を選択する事例があり、被害額と復旧費用は必ずしも一致しない。もちろん、被害想定で用いる被害関数構築は、イベントツリーを用いて確率的に被害額期待値を計算しており、その不確実性は一定程度考慮されている。しかし、建物規模が大きい場合は同じ建物であっても各箇所の被害程度に差異が生じる。特に集合住宅では、ある所有者の区分が全壊相当で、ある所有者の区分が半壊相当という状態もありえる。各区分所有者で被害程度が様々になることで、建替や修復等の復旧方法選択に多様性が生まれやすく、被害額と復旧費用が乖離することが懸念される。

また、政府や自治体の被害想定は、物的被害の被害区分を全壊と半壊の2区分としており、罹災認定で用いられる被害認定調査や、地震保険で用いられる損害調査の被害区分と整合しないことも課題である。被害区分が異なるため、各被害世帯における必要復旧費用と各種財政支援制度による支援金を比較することができず、各種財政支援制度の効果を十分に把握できていない。住宅復旧は生活基盤を支える重要な要素であり、被災地域の復旧復興に大きく影響する。被災後の速やかな復旧復興を計画するのであれば、被災地域全体で住宅復旧費用を把握し、その費用をどのように調達すべきか対策を講じることが重要である。

本研究では、住宅再建資金に不確実性を与える集合住宅の評価を見直し、特に、集合住宅の住宅復旧の多様性を考慮した被害関数の構築を行う。被害関数の構築に際しては、各種支援制度による定量評価を見据え、各種支援制度の被害区分と調和した被害関数を作成する。被害関数の作成フローを図 2-1 に示す。図に示すように、対象物の設定を行った後、対象物の分類や区分による細分化を行う。各対象物や区分について統計的手法

によって被害率関数を設定する。イベントツリーと被害率関数を組み合わせ、イベントごとの生起確率を算出後、分岐確率、被害率等に乗じることで被害関数を作成する。

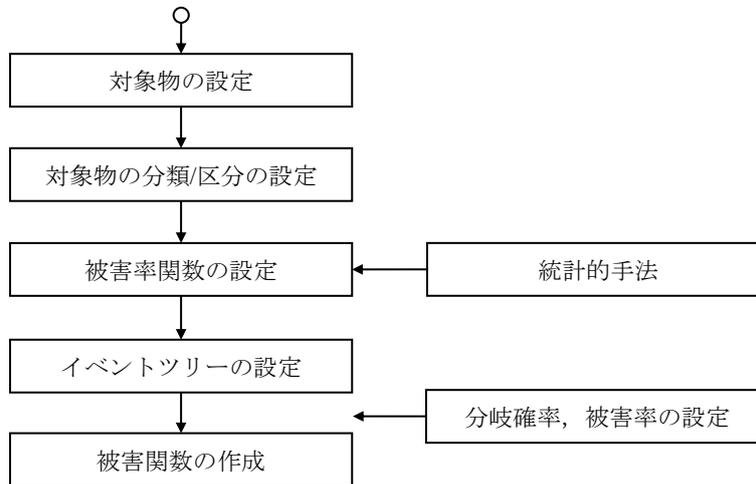


図 2-1 被害関数の作成フロー

2.2 建物の被害と復旧過程

本節では、復旧費用分析のための被害関数構築にあたり、建物の被害と復旧過程について概観する。

2.2.1 建物被害の区分

地震災害が発生した際、建物被害を把握するために各種調査が実施される。災害時に実施されている主な調査と被害区分を表 2-1 に纏める。表に示すように調査の目的や方法によって建物被害の捉え方は様々である。また、これら調査は専ら調査員による目視で行われるためその判断には曖昧さを有していることに注意が必要である。表の No.1 の調査は、被災者住宅再建支援法や応急修理制度の利用時に実施される。被災者住宅再建支援法は全壊～大規模半壊の建物を、応急修理制度は全壊～半壊を対象に支援金が支払われる。No.2 の調査は地震保険の利用時に実施される。地震保険では全損～一部損に対して保険金額が支払われる。No.3, 4 の調査は建物の安全性を確認するために実施される。No.5 の調査は集合住宅が被災し、再建方法の決議を行う際に実施される。被害区分ごとに再建方法の選択肢や再建方法の決議に必要な票数が異なる。No.6, 7 の調査は学会や自治体の自主的な調査である。この調査は全壊と半壊の被害区分を対象に実施されることが多い。上記に示すように同じ被害程度であっても調査主体によって被害区分の名称や定義、区分数が異なる。政府や自治体の被害想定で用いている被害関数は、No.6, 7 の調査結果をもとに作成されたものである。

これら各被害調査における纏めとして、各被害区分と想定している経済被害率の違いを表 2-2 に纏める。図に示す経済被害率は、岡田ら^[2-3]や被害想定資料^[2-4]で示される被害認定調査と被災度区分判定の損失率の比較表をもとに整理を行った。図に示すように、罹災認定で用いられる被害認定調査と地震保険で用いられる損害調査は、被害区分名称は異なるがどちらも4つの被害区分を設定しており、経済被害率も同程度である。他方、政府や自治体を実施する被害想定は全壊と半壊の2つの被害区分しか考慮しておらず、半壊の経済被害率が広く設定されている。甚大な被害に見舞われる世帯を把握する上ではこの2つの被害区分でも問題ないと考えますが、被災者住宅再建支援法や地震保険制度等の財政支援制度も含めて復旧費用分析を行う際は、これら制度の被害区分数と整合させないと各支援制度に必要な資金を把握することができない。被害想定に用いる被害区分は、各種制度における被害区分と平仄を整えることが望ましい。

表 2-1 地震時における被害調査

| No. | 調査名 | 目的 | 調査員 | 被害区分 |
|-----|-------------------|--------------------|------------------|-------------------------------|
| 1 | 被害認定調査 | り災証明書発行 | 自治体 | 半壊, 大規模半壊, 全壊 |
| 2 | 損害調査 | 地震保険 | 損害保険会社 | 一部損, 小半損, 大半損, 全損 |
| 3 | 被災度区分調査 | 被災度の把握, 継続使用のための判断 | 建築士 | 軽微, 小破, 中破, 大破, 倒壊 |
| 4 | 応急危険度判定 | 二次被害防止 | 応急危険度判定士 | 安全, 要注意, 危険 |
| 5 | 区分所有法 被災マンション法 | 建物の管理 | 建築士, 弁護士, 不動産鑑定士 | 軽微損傷, 小規模一部滅失, 大規模一部滅失, 全部滅失 |
| 6 | 建築学会や土木学会等による研究調査 | 被災原因の解明等の研究 | 研究者 | 小破, 中破, 大破, 倒壊または一部損壊, 半壊, 全壊 |
| 7 | 自治体統計調査 | 被害量の把握 | 自治体 | 一部損壊, 半壊, 全壊または半壊, 全壊 |

表 2-2 各被害調査における経済的被害率

| 経済的被害率 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 |
|-------------------|-----|-----|---------|-------|-----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 内閣府被害想定 | 無被害 | — | 半壊 | | | 全壊 | | | | | |
| 被害認定調査 | 無被害 | — | 半壊 | 大規模半壊 | 全壊 | | | | | | |
| 損害調査 | 無被害 | 一部損 | 小半損 | 大半損 | 全損 | | | | | | |
| 区分所有法 被災マンション法 | 無被害 | — | 小規模一部滅失 | | | 大規模一部滅失 | | 全滅失 | | | |

2.2.2 被災建物の再建過程

被災建物の迅速な復旧復興を為すためには、復旧方法の早期決定と復旧資金確保が必要である。戸建住宅が被災した場合、所有者は被害程度や復旧資金に応じて自らの意思決定で復旧方法を定めることが可能である。居住を目的とした場合、生活再建を第一に建替もしくは補修の復旧判断を為すことになる。他方、集合住宅が被災した場合、所有者は建物の一区分を所有しているに過ぎないため、各区分所有者と協議の上で復旧資金と復旧方法を定める必要がある。特に集合住宅の場合は、居住だけでなく資産形成を目的として所有を行うことも多い。資産形成を目的とする場合、ただ補修するのではなく、今後の転売等を視野に入れてより多くの補修や建替を行うことで資産価値の維持を行うことも考えられる。多くの意思が入り込むため、被害程度や復旧資金に応じて自らの意思決定で復旧方法を定めることは困難といえる。

ここで、被害した集合住宅は区分所有法または被災マンション法の協議過程に則り復旧方法を定めることになる。区分所有法および被災マンション法による再建決議の流れを図 2-2 に、区分所有法および被災マンション法による被災区分とその基準を表 2-3 に示す。図表に示すように、被災レベルに応じて決議事項や決議に必要な同意の数が異なる。全員同意が望ましいが、議決権の2分の1～5分の4以上の多数決によって決議をすることが可能である。復旧方法の合意形成を図るためにいくつもの決議を重ねる必要があり、決定には多くの時間が必要である。

例えば、熊本地震を例に挙げると^[2-5]、熊本市の集合住宅全722棟のうち、倒壊1棟、大破5棟、中破46棟であった。これに対して熊本県に公費解体を申請した集合住宅は18棟であった。なお、公費解体は罹災証明にて半壊以上と認定された建物が申請可能である。すなわち、倒壊や大破に至った集合住宅は全6棟であったので、中破程度の被害程度に収まった集合住宅も補修を選択せず公費解体を行っての建替を選択したことになり、被害程度以上の復旧方法が選択されていることを示している。しかし、これら公費解体を行ったとしても復旧が円滑に為されるとは限らない。熊本地震による被災建物の復旧事例と知られているのが上熊本ハイツである^[2-6]。上熊本ハイツは5棟100戸の集合住宅であり、2016年4月に全ての棟が全壊認定された。2017年9月に建替え決議が成立し、2020年7月に竣工予定の運びとなった。上熊本ハイツは、復旧の好事例として知られているが、それでも被災から復旧の道筋をつけるのに約1年半を要している。多くの被災マンションは区分所有者が復興に向けた活動に取り掛かるまでに時間がかかり、合意形成を為すことが困難な場合が多い。熊本地震で公費解体申請を行った半数近くの8棟が震災1年を経てなお所有者の合意形成が難航したという。

これら事例に示すように、集合住宅は合意形成が難航するため復旧復興の障壁となる。

特に日本の都市部は集合住宅の割合が大きいため、被災地域全体の復旧復興に大きな影響を及ぼす。大きな問題復旧資金についても意見がまとまらなければ更なる障害になりかねない。今後発生が予想される都市直下型地震ではこれら集合住宅による障害が顕在化する可能性が高い。迅速な復旧復興を為すためには集合住宅の復旧資金への対策対応に十分な検討が必要である。

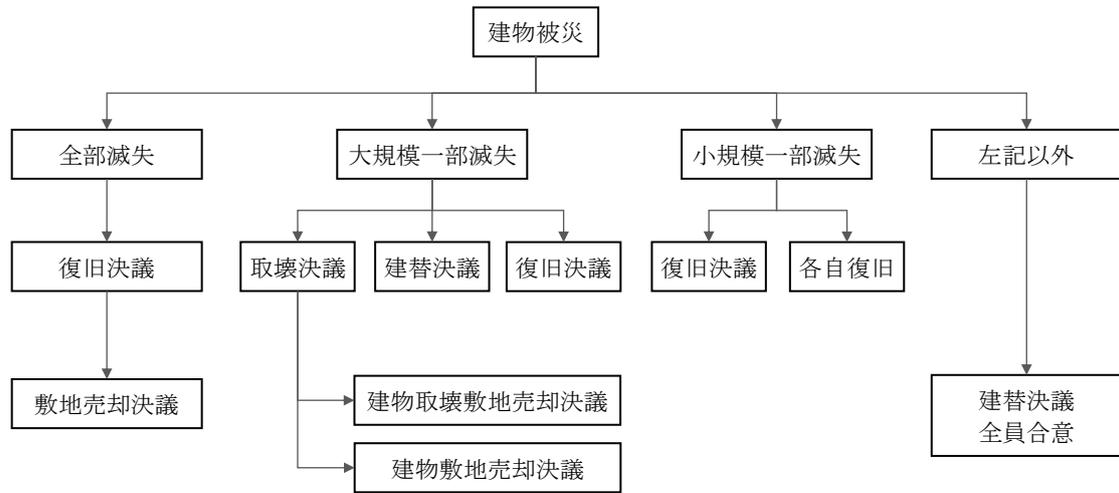


図 2-2 区分所有法，被災マンションの決議の流れ

表 2-3 区分所有法，被災マンション法による被害区分判定

| 区分 | 状態 | 要件 | 区分所有法 | 被災マンション法 |
|---------|--|-----------|------------|------------|
| 全部滅失 | 主要な部分が消失し，社会的，経済的にみて建物の全体としての効用が失われた状態 | 再建 | 全員の同意が必要 | 5分の4の同意が必要 |
| 大規模一部滅失 | 建物価格の2分の1以上に相当する部分が滅失した場合 | 再建 | 5分の4の同意が必要 | |
| | | 復旧 | 4分の3の同意が必要 | |
| | | 建物と敷地の売却 | 全員の同意が必要 | 5分の4の同意が必要 |
| | | 取壊しと敷地の売却 | 全員の同意が必要 | 5分の4の同意が必要 |
| 小規模一部滅失 | 建物価格の2分の1以下に相当する部分が滅失した場合 | 再建 | 全員の同意が必要 | 全員の同意が必要 |
| | | 復旧 | 2分の1の同意 | |

2.3 建物の復旧過程に着目した被害関数の構築

2.3.1 イベントツリーの作成

本研究で扱う被害関数は、住宅の必要復旧資金算出のための被害関数であり、住宅の復旧過程に着目してイベントツリーを用いて構築する。本研究で構築したイベントツリーを図 2-3、図 2-4 に示す。

図の構造による被害区分であるが、被害の前節で示すように罹災認定で用いられる被害認定調査と地震保険で用いられる損害調査は、被害区分名称は異なるがどちらも4つの被害区分を設定しており、経済被害率も同程度である。現在、住宅再建に利用できる主な制度は、生活再建支援と地震保険の2つであり、被害想定後に地震被害からの復旧復興の対策・対応の方針を策定することを踏まえ、本研究では、全壊、大規模半壊、小規模半壊、一部損壊の4つの区分設定を行う。

次に、住宅の復旧方法に目を向ける。戸建住宅が被災した場合、まずは現状復帰を目標に復旧が検討される。従って、住宅復旧に要する費用は構造的に損傷を受けた被害程度に対して良い対応を示すと考える。一方、集合住宅では、復旧方法を区分所有者間の協議にて定める必要がある。前節で示したように集合住宅では区分所有者による多様な価値観によって様々な住宅復旧方法が選択されるため、住宅復旧方法は構造的な損傷と異なる対応を示すことが考えられる。そこで、図にイベントツリーでは、構造による被害区分の後に、住宅再建による被害区分を設けた。この住宅復旧による被害区分は区分所有法、被災マンション法に基づいている。更に、各被害区分に応じて取り得る復旧方法を分岐した。これより、全壊であっても補修が、半壊であってももの建替が選択されるように設定した。このイベントツリーを用いることで復旧方法選択の多様性を考慮でき、より実態に即した復旧費用の算出が可能になる。

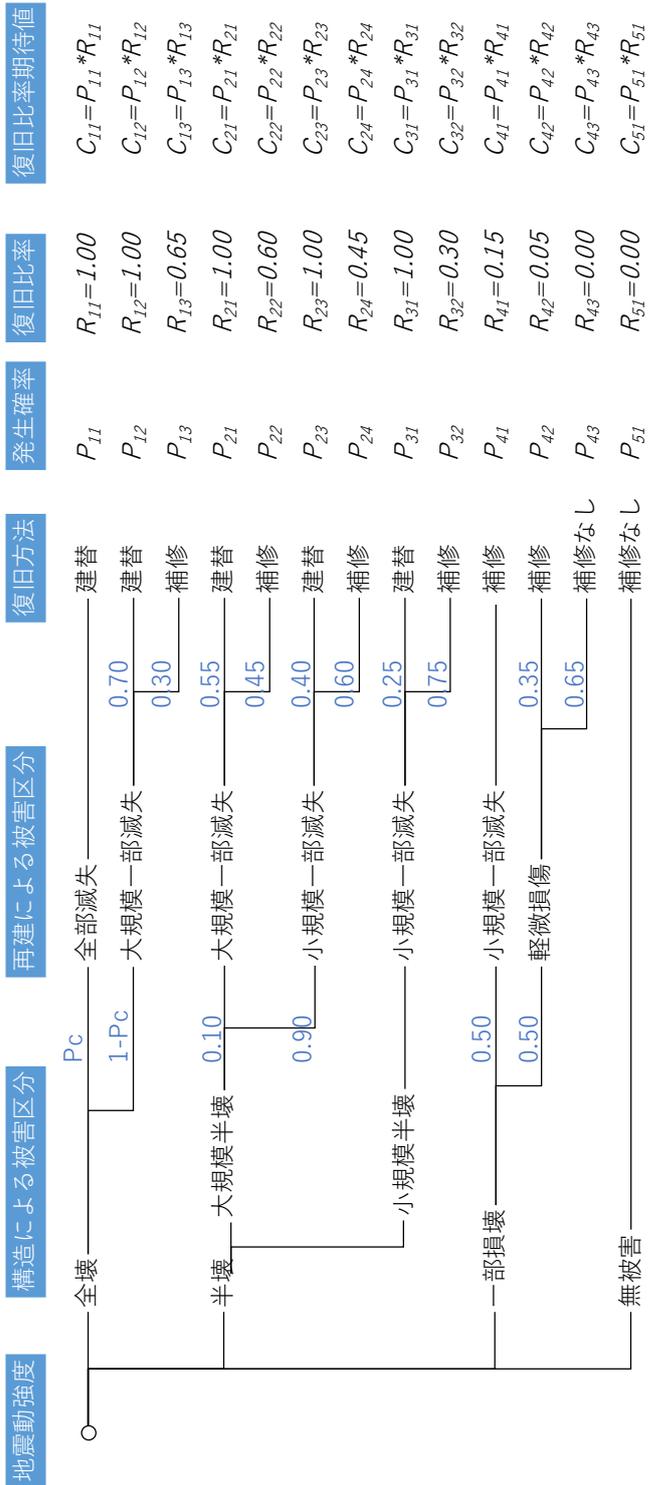


図 2-3 復旧過程に着目したイベントツリー（集合住宅）

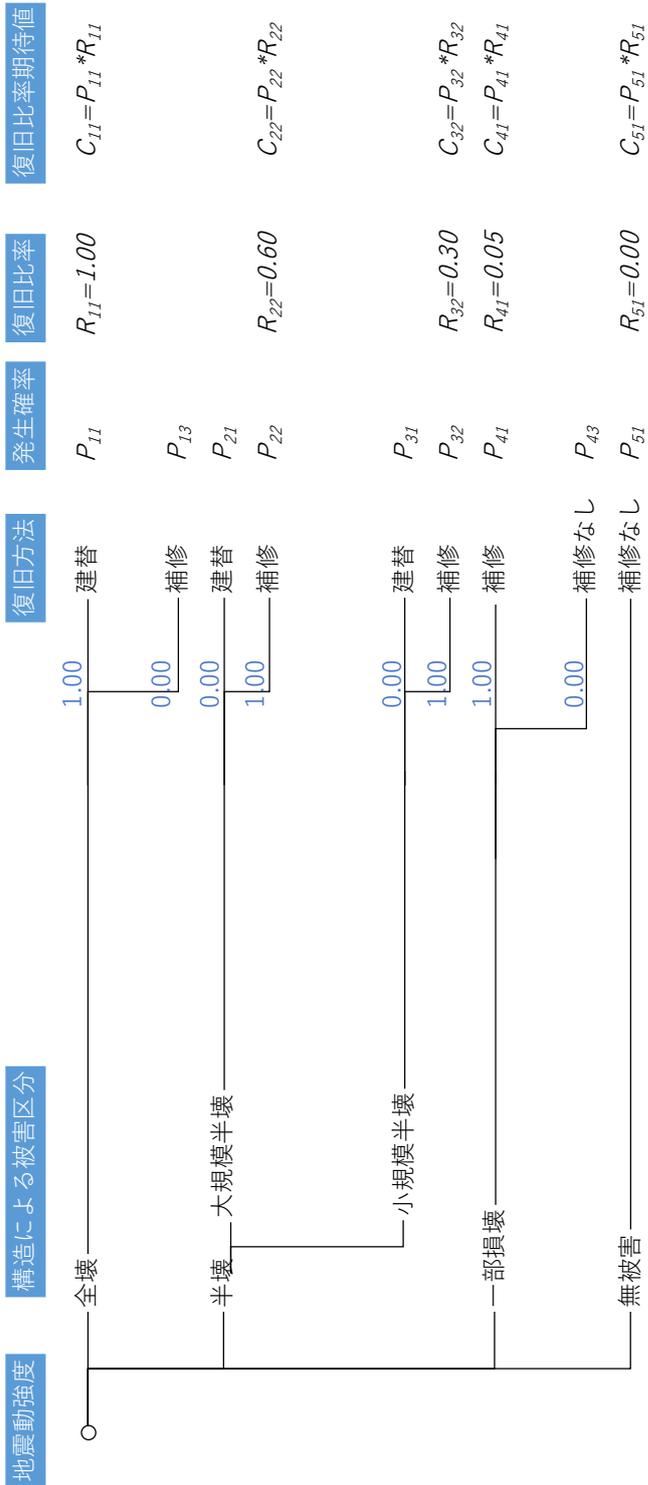


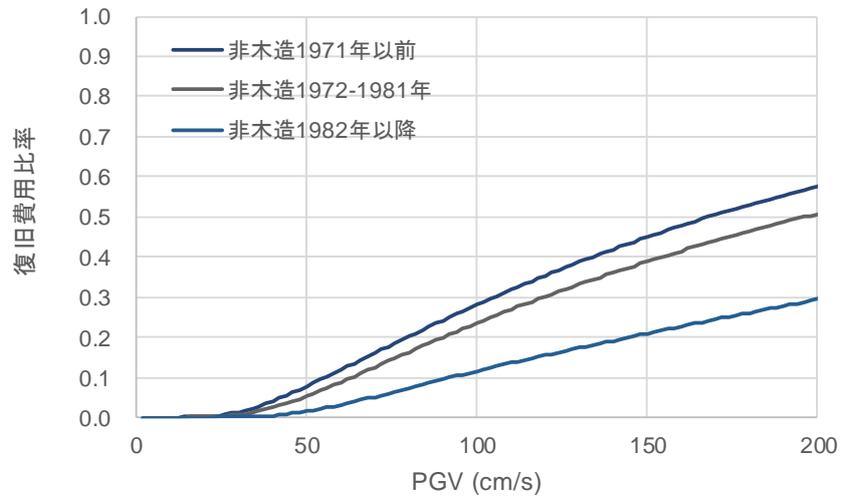
図 2-4 復旧過程に着目したイベントツリー（戸建住宅）

2.3.2 被害関数の作成

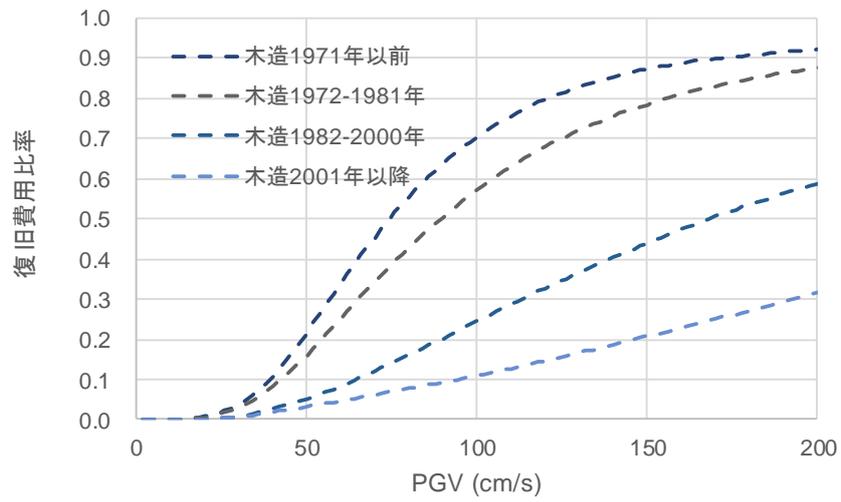
前節のイベントツリーに基づき被害関数を作成する。はじめに、構造による被害区分で用いる全壊、大規模半壊、小規模半壊、一部損壊の被害率関数を定める。本研究では、一部損壊の被害率関数として損害保険料率算出機構^[2-7]を、半壊と全壊の被害率関数として内閣府被害想定^[2-4]を用いる。また、半壊を大規模半壊と小規模半壊に按分する際は、長尾、山崎^[2-8]が提示する被害区分ごとの建物被害棟数データを用いる。文献に示される全壊と大規模半壊、半壊の被害棟数の比率を用いて、全壊と半壊の被害関数を組み合わせることで大規模半壊の被害関数を作成する。続いて、住宅復旧によるイベントツリーの各分岐確率を定める。全壊後の全部滅失と大規模滅失の分岐確率 P_c は、建物の全部が滅失して建物が存在しない状態であることを想定し、岡田ら^[2-3]による **Damage Grade** を援用し、D4 レベル以上の被害（全壊相当）に対する D5 レベルの被害（圧壊相当）の比率を用いて設定する。復旧方法の分岐確率は、Table 2 に示す熊本地震の被害実績^[2-10]を参考に、イベントツリーの図中に示す値を設定する。その他の分岐確率や復旧費用比率は、表 2-2 に示す経済被害率との関係を参考に設定する。次に、戸建住宅の被害関数の構築について記す。戸建住宅は自らで復旧方法を選択できるため、復旧方法選択の多様性は集合住宅よりも低いと考える。そこで復旧費用は構造被害と良い対応を示すと考え、構造による被害区分に復旧費用比率を乗じることで復旧費用比率の期待値を評価する。復旧費用比率は、佐伯ら^[2-11]を参考に地震保険支払と良い対応を示すと考え、全壊で 1.0、大規模半壊で 0.6、小規模半壊で 0.3、一部損壊で 0.05 を設定する。これらの数値は今後、被害実績等の統計データ等を用いて更新することが考えられる。

以上より、得られた被害関数を図 2-5～図 2-6 に示す。図 2-7 には参考として内閣府の被害想定で用いている被害関数も併せて示す。図 2-5～図 2-7 より、集合住宅の被害関数は、地震動強度が小さい領域で、戸建住宅や内閣府の被害関数よりも被害率がやや大きく、地震動強度が大きい領域で、戸建住宅や内閣府の被害関数よりも被害率が小さくなっている。これは一部損壊や半壊時に建替が選択されることや全壊時に補修が選択される等の再建方法の多様性を考慮したことによる影響である。

なお、本研究にて構築した被害関数を用いて精度検証を行えるとよいが、過去の地震災害において地震動強度と被害額や復旧費用の関係性を導くだけの統計的なデータは蓄積されていない。これら検証については今後の課題と考える。

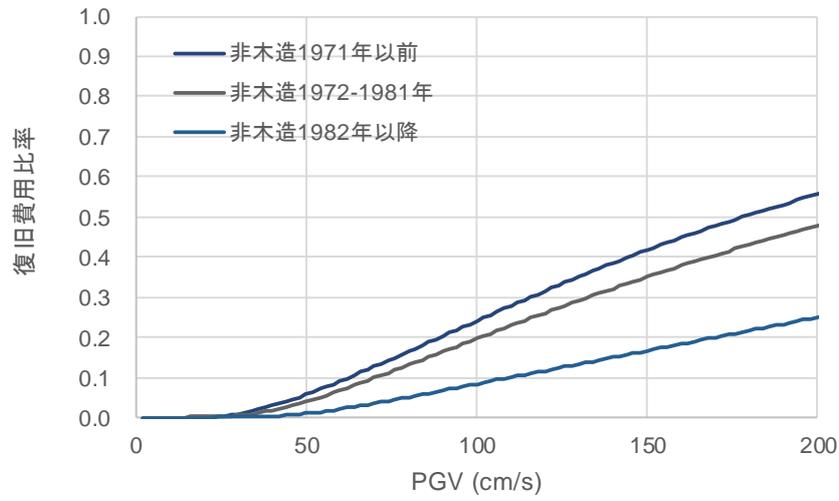


(a) 非木造

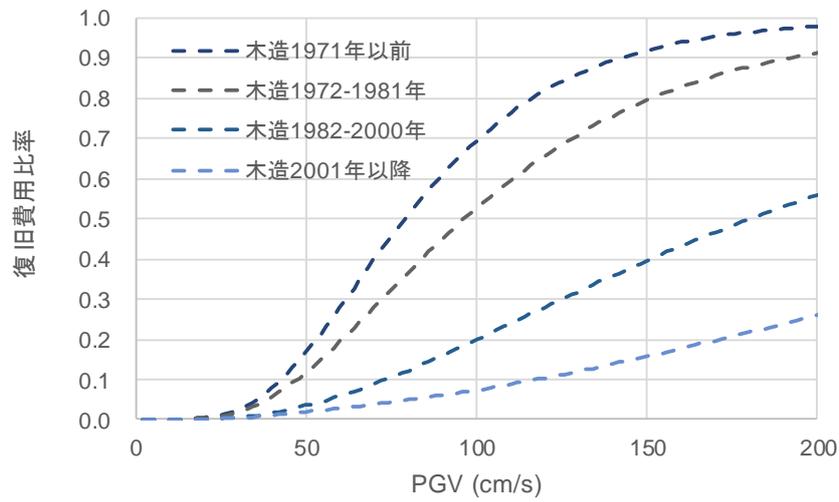


(b) 木造

図 2-5 集合住宅の復旧費用比率の被害関数

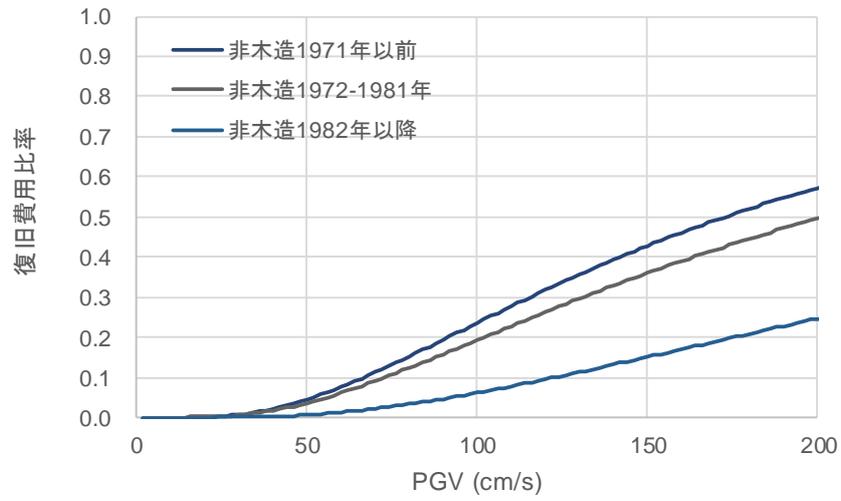


(a) 非木造

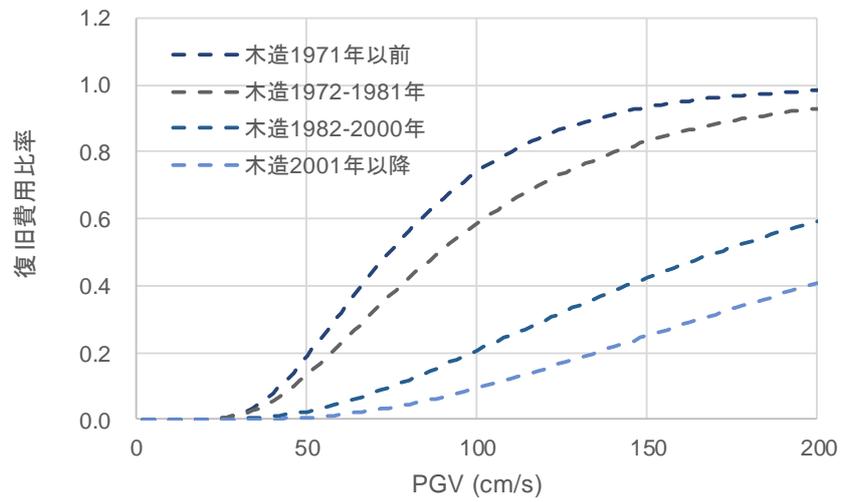


(b) 木造

図 2-6 戸建住宅の復旧費用比率の被害関数



(a) 非木造



(b) 木造

図 2-7 内閣府の経済的被害率の被害関数 (参考)

2.3.3 分岐確率の感応度解析

被害関数の導出過程である各イベントの分岐確率設定は、過去の地震における被害統計データ等を参考に定めている。例えば、構造による被害区分に用いた内閣府被害想定
の被害率関数は、1995年の兵庫県南部地震や2000年の鳥取県西部地震、2001年の芸予
地震の被害統計データを用いて関数を作成している。またその他分岐確率の設定では、
2007年の新潟県中越沖地震や2016年の熊本地震による被害統計データを用いている。
一部の地震や地域による被害統計データを用いているため、地震や地域の特性や傾向が
内在されていることになる。しかし、使用した各データは現在精度が高いと考える提案
式の1つであり、構造区分ごとの被害棟数は2016年の熊本地震の被害統計データとの
比較検証を行って良い対応を示すことを確認している^[2-12]。対象とする地震や地域は異
なるものの、今後の対策対応を検討する上では十分な精度を有すると考える。

一方で、イベントツリーにおける分岐確率は、今後データの蓄積によって数値を更新
することが望ましく、値の決定については不確実性を有している。本研究で作成した被
害関数が分岐確率によってどの程度の変更幅を有するかの確認として、各分岐確率を一
律以下にすることで被害関数の感度解析を行う。

- 最小ケース、建替 0.0 : 修復 1.0
- 平均ケース、建替 0.5 : 修復 0.5
- 最大ケース、建替 1.0 : 修復 0.0

図 2-8～図 2-14 に分岐確率を変更した際の被害関数の一覧を示す。図の青線は前項
で示した被害関数を示す。図より、いずれの被害関数の立ち上がりも最大速度 PGV が
50cm/s 程度になっている。最大速度 PGV が 50cm/s 以降、各被害関数の復旧費用比率の
発生に違いがあり、最大速度 PGV=200cm/s 点では青線に対して約-50%～50%の差異が
発生している。しかし、大きな形状の違いは発生していない。次に、図の青線の被害関
数を平均値として、各被害関数の標準偏差から変動係数を得た結果を図 2-9 に示す。図
より、変動係数は約 0.1～0.2 程度に収まっている。本結果より、分岐確率の影響はある
ものの、全体の分析傾向に影響を及ぼすほどは大きくないと考える。

今後の研究では、分岐確率を最新の知見で更新するほか、得られた分岐確率のばらつ
きを認識論的不確実性としてリスク評価に反映する等が考えられる。

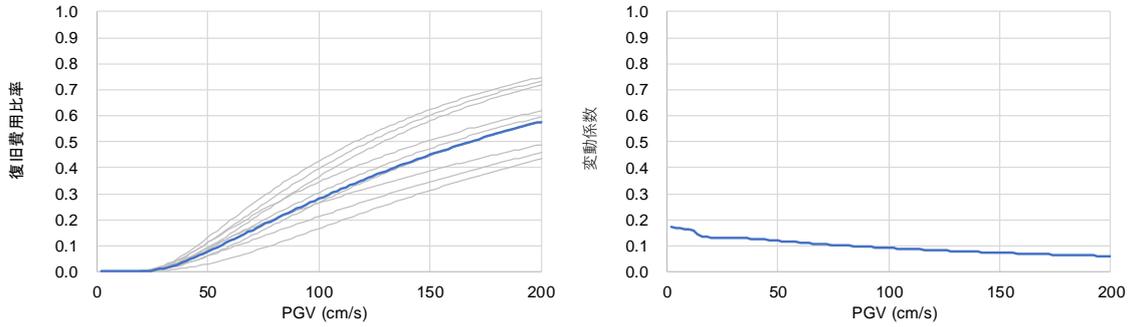


図 2-8 分岐確率変更に伴う被害関数のばらつき：集合住宅非木造 1971 年以前

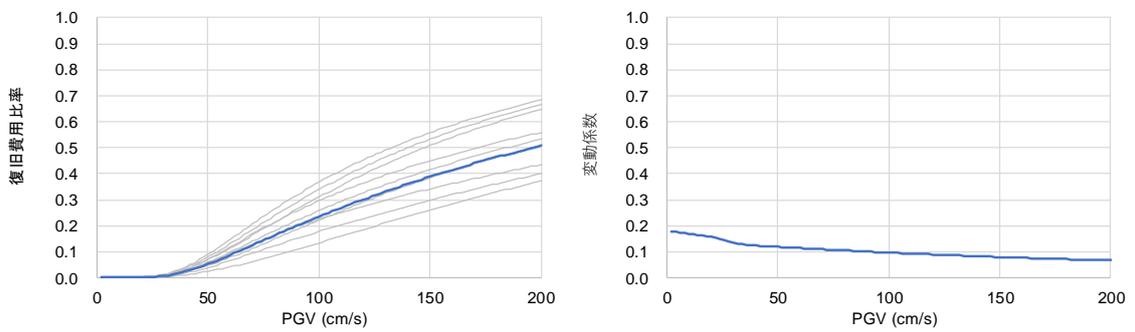


図 2-9 分岐確率変更に伴う被害関数のばらつき：集合住宅非木造 1972～1981 年

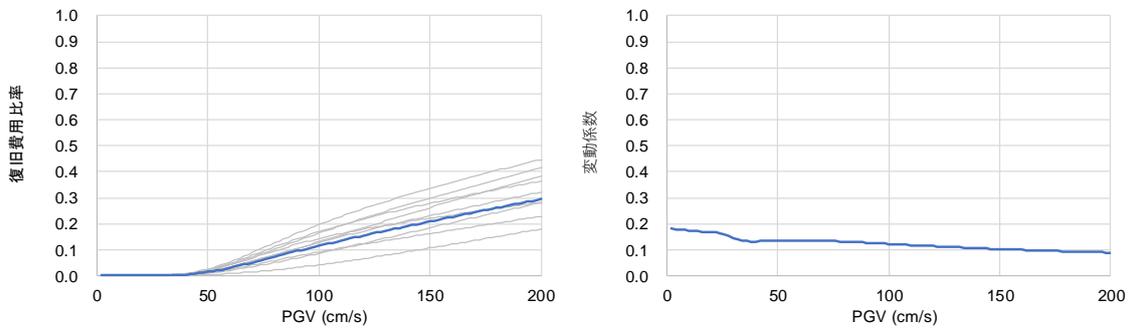


図 2-10 分岐確率変更に伴う被害関数のばらつき：集合住宅非木造 1982 年以降

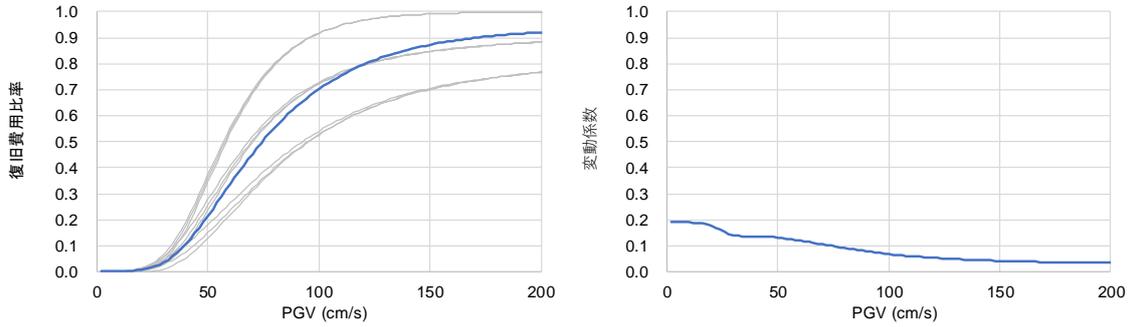


図 2-11 分岐確率変更に伴う被害関数のばらつき：集合住宅木造 1971 年以前

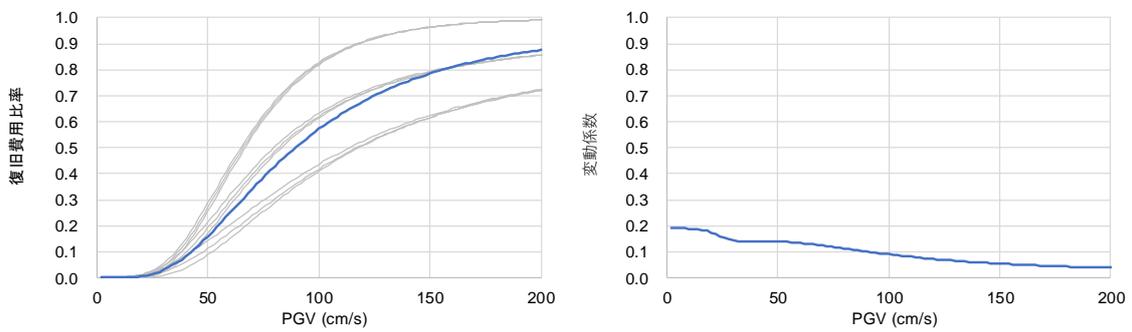


図 2-12 分岐確率変更に伴う被害関数のばらつき：集合住宅木造 1972～1981 年

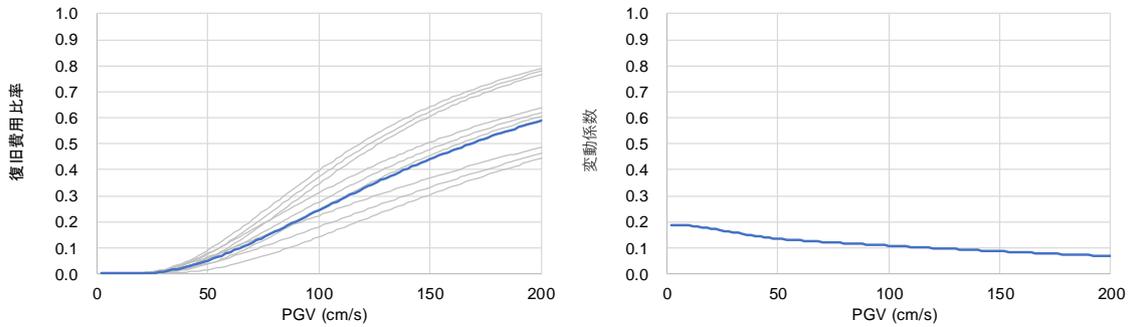


図 2-13 分岐確率変更に伴う被害関数のばらつき：集合住宅木造 1982～2000 年

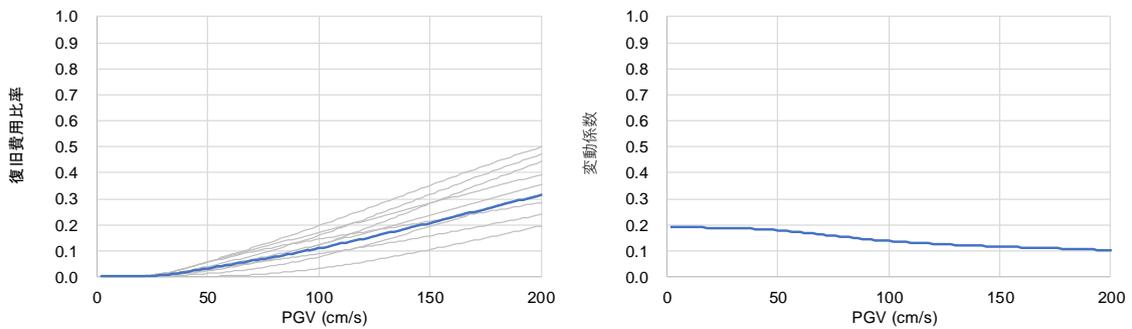


図 2-14 分岐確率変更に伴う被害関数のばらつき：集合住宅木造 2001 年以降

2.4 まとめ

本章では、被災地で必要とする復旧費用をより精度良く予測するために必要復旧費用分析のための被害関数を構築した。得られた結果を以下に纏める。

- 被害関数構築に際しては、建物の構造被害と建物の復旧方法に着目したイベントツリーを提案し、必要再建資金を推定する被害関数の構築した。
- 建物の構造被害の区分設定では、被災者生活再建支援法や地震保険制度と、被災時に利用可能な財政支援制度の被害区分と一致させることで、必要復旧費用および各種財政支援制度による支援金、不足復旧費用の分析精度を向上させた。
- 集合住宅のイベントツリーでは、建物の復旧方法として、区分所有法や被災マンション法の復旧過程に着目し、その区分や分岐確率を提案した。
- イベントツリーの分岐確率は今後データの蓄積によって更新が望まれる。分岐確率の不確実性の影響を把握した結果、その変動係数は概ね0.1~0.2程度であることを示した。分岐確率の影響はあるものの、全体の分析傾向に影響を及ぼすほどは大きくないことを示した。

3章、4章では、本章で作成した被害関数を用いて復旧費用の分析を実施する。

第3章 都市直下地震に対する復旧費用の現状分析

3.1 はじめに

本章では、第2章で構築した被害関数を用いて復旧費用分析を行う。前章に示したように、被災した集合住宅は、区分所有法および被災マンション法による住宅再建決議に多くの時間を必要とする。復旧費用調達が十分に為せない場合、その合意形成はより困難になることが予想される。図3-1に示すように、日本の都市部は集合住宅の割合が大きく、特に東京都は世帯数の70%が集合住宅である^[3-1]。今後発生が予想される都市直下型地震では、これら集合住宅の復旧遅延による問題が顕在化する可能性が高い。被災地域の迅速な復旧を為すためには集合住宅の復旧について対策を講じることが重要である。

1章で記したように、既往研究においても住宅復旧費用に対する各種財政支援制度の支援金が不十分であることが指摘されている。しかし、既往研究では不足復旧費用が定量的に示されていないことや、札幌市や茨城県の一部地域が対象としており被害世帯数が大規模でないことが課題である。今後発生が予想される東京都の都市直下地震では、人口密集地帯でより多くの世帯が被害に見舞われるため、必要となる復旧費用が異なり、既存の財政支援制度が十分な効果を発揮しないことも懸念される。

そこで本章では、評価対象として東京都を、都市直下地震として立川断層帯の地震を事例として扱い、災害時における必要復旧費用の推計を行い、集合住宅や戸建住宅の住宅区分によって発生する一部損壊～全壊の被害区分ごとの必要復旧費用の傾向を明らかにする。併せて、被災世帯に対する各種財政支援金を推計し、被害区分ごとの各種財政支援制度の効果分析を行うと共に、被災世帯の自己調達必要額に対する必要復旧費用を比較することで、被災地域全体で不足する必要復旧費用を明らかにする。これら分析を実施することで、円滑な復旧復興に向けた、各種財政支援対策の課題と今後の効果的な対策・対応についての考察を記す。

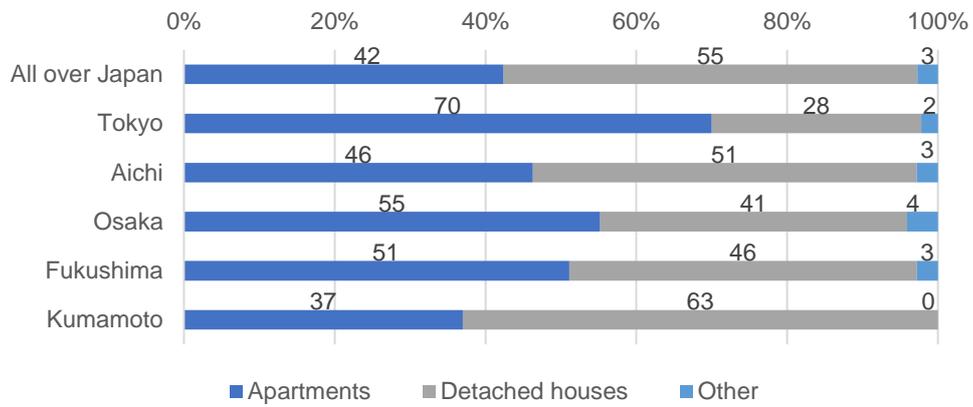


図 3-1 日本における住宅区分の割合

3.2 復旧費用分析の評価手法

被災地域全体で必要とする復旧費用の把握と、復旧費用を調達するための各種財政支援制度の効果、および、不足復旧費用を検討するにあたり、個々の建物や世帯をモデル化し、復旧費用分析のシミュレーションを行う。復旧費用分析の評価の流れを図 3-2 に示す。図に示すように、各世帯の復旧費用や各種財政支援金を積み上げることで、集合住宅や戸建住宅の住宅区分や一部損壊～全壊の被害区分ごとの復旧費用と各種財政支援金を定量的に評価する。本研究で用いる復旧費用分析のシミュレーションは、曝露モデル評価、地震イベント評価、地震ハザード評価、評価対象物の被害関数評価の過程に分かれる。各過程では評価誤差があるため、被災地域全体で算出した復旧費用の推計結果には不確実性が伴う。ただ、筆者らが熊本地震による物的被害を対象に手法の検証を行った結果、モデル予測値と被害実績値は良い対応を示すことを確認している^[3-2]。また被害関数で用いた復旧方法選択の分岐確率は、熊本地震のアンケート調査結果^[3-3]を用いて設定している。熊本地震と本研究で検討する都心直下地震とでは、対象とする地域や地震は異なるものの、今後の対策対応を検討する上では十分な精度を有すると考える。以降では、シミュレーションに用いた各評価手法を記す。

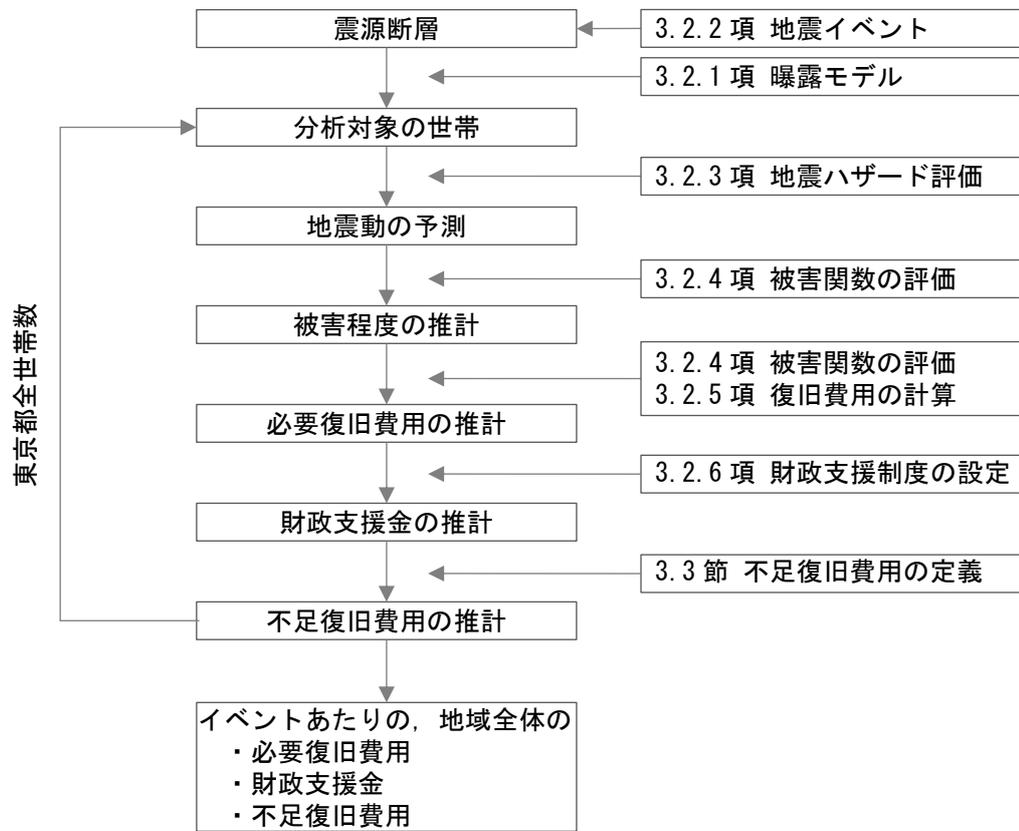


図 3-2 分析評価の流れ

3.2.1 曝露モデルの評価

復旧費用分析を行う際は、広域を対象とした曝露モデルの作成が必要となる。ここで曝露モデルとは、ハザードに曝される建物や世帯数を示す。建物においては、住宅区分や構造種別、建築年代等の建物属性が被害に大きく影響する。よって、これら区分ごとの建物数や世帯数を把握することが望ましい。また、東京都全域のように広域を対象とした被害分析を行う際は、各地域の解析結果の傾向が一致するよう、データ作成の解像度や手法の平仄を合わせることが望ましい。本研究では、国勢調査や住宅・土地統計調査等の全国広域を対象とした調査データを活用して曝露モデルの作成を行う。本研究で用いる曝露モデルの作成要領を図 3-3 に、曝露モデルを作成した際に用いたデータの一覧を表 3-1 に示す。

はじめに、国勢調査^[3-4]のメッシュデータを用いて 500m メッシュ単位の住宅種類別構造別の世帯数データを作成する。次に、住宅・土地統計調査^[3-1]の都道府県別または市区別の住宅種類別建築年代別の住宅数を基にして、世帯数データを按分し、500m メッシュ単位の住宅種類別構造別年代別の世帯数データを作成する。次に、建物の資産額を定める。本研究では復旧に要する費用を算定するため、建物資産額は時価ではなく新価で設定する。ここで新価とは、同等のものを再築・再購入するのに必要な金額を示し、時価とは、新価から経過年数や使用による損耗を差し引いた金額を示す。

各世帯の建物資産は、国税庁の「損失額の合理的な計算方法」に倣い^[3-5]、構造別の床面積あたりの工事費単価^[3-5]に 1 世帯あたりの専有部延べ面積^[3-1]を乗じることで算出する。ただ、集合住宅の建物資産は、専有部に加え共有部も含まれる。1 世帯あたりの共用部の延べ面積は開示されたデータがないため、専有部と共有部の資産割合をもとに計算する。一般にマンション管理組合向けの火災保険では共用部評価額を建物全体評価額の 40%~60%程度にする。本研究では専有部分と共用部分との境界を定める基準として上塗基準を採用し、専有部を 40%、共用部を 60%として資産価値を見込む。これより、専有部と共有部の資産比率を専有部面積に乗ずることで 1 世帯あたりの共有部延べ面積を算出する。1 世帯あたりの住宅種類別構造別の建物資産額を表 3-2 に示す。

曝露モデルの作成結果として、住宅種類別の世帯数分布を図 3-4 と図 3-5 に示す。集合住宅世帯は東京都東部に集中しており、戸建住宅世帯は東京都に一様に分布する。続いて、構造別建築年代別の世帯数割合を図 3-6 に示す。集合住宅は非木造の 1981 年以降が全体の 68%を占め、戸建住宅は木造の 1981 年~2000 年および 2001 年以降が全体の 69%を占めている。集合住宅は非木造、戸建住宅は木造に代表され、どちらも新耐震

相当の耐力を有する建物に居住する世帯が多い。

続いて、東京都全体の住宅種類別構造別の建物資産額を表 3-3 に示す。表に示すように、集合住宅の資産額は 113,583,264 百万円で東京都全体の約 76%である。集合住宅は戸建住宅に比べて建物資産額が高いこともあり、東京都全体の建物資産額全体に占める割合が大きい。

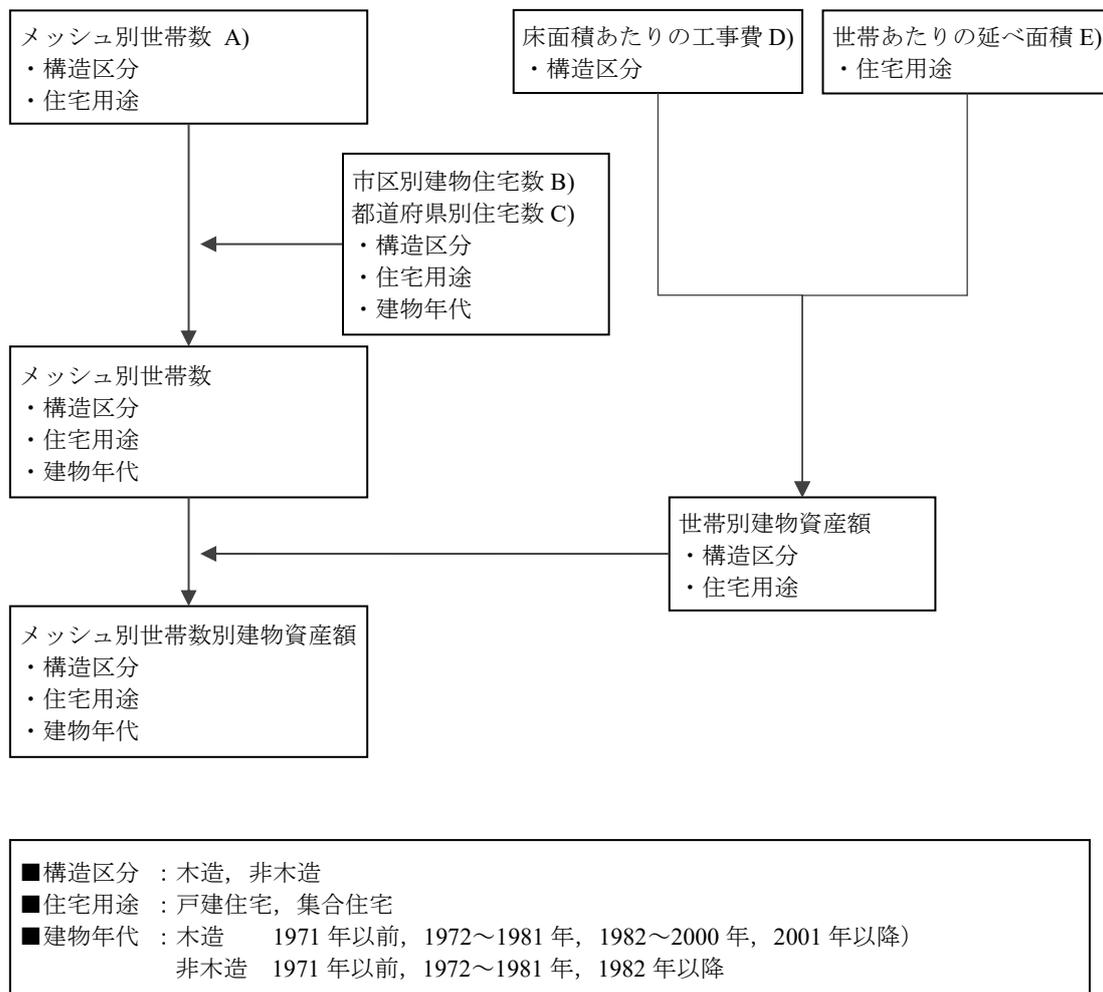


図 3-3 曝露モデルの作成要領

表 3-1 使用データ一覧

| No. | データ | 出典 | 資料 | 主な目的 |
|-----|-------|--------------------|---|------------------------|
| A | 世帯数数量 | 平成 22 年度国勢調査 | 平成 22 年度国勢調査 世界測地系 500m メッシュ | 500m メッシュの世帯数を把握 |
| B | 建物年代 | 平成 25 年度住宅・土地統計調査 | 第 11 表 住宅の所有の関係 (2 区分), 構造 (5 区分), 建築の時期 (7 区分), 建て方 (4 区分), 階数 (4 区分) 別住宅数—市区 | 市区町村別の構造別年代別住宅数を把握 |
| C | 建物年代 | 平成 25 年度住宅・土地統計調査 | 第 7 表 住宅の所有の関係 (2 区分), 構造 (5 区分), 建築の時期 (7 区分), 建て方 (4 区分), 階数 (4 区分) 別住宅数—都道府県, 21 大都市 | 都道府県別の構造別年代別住宅数を把握 |
| D | 工事費 | 国税庁「災害に関する所得税の取扱い」 | 損失額の合理的な計算方法 | 構造別の床面積あたりの工事費を把握 |
| E | 延べ面積 | 平成 25 年度住宅・土地統計調査 | 第 23-2 表 住宅の種類(2 区分), 住宅の所有の関係 (5 区分), 建て方(4 区分), 構造(2 区分)別 1 住宅当たり延べ面積—全国, 大都市圏, 都市圏, 都道府県, 21 大都市 | 世帯あたりの住宅用途別構造別の延べ面積を把握 |

表 3-2 世帯あたりの資産額

| 区分 | | 延べ面積 (m ²) | | | 工事単価 | 建物資産額 |
|------|------|------------------------|-------|-----|--------|--------|
| 用途区分 | 構造区分 | 専有部面積 | 共用部面積 | 合計 | (千円/米) | (千円) |
| 集合住宅 | 非木造 | 51 | 77 | 128 | 220 | 28,050 |
| | 木造 | 39 | 59 | 98 | 174 | 16,965 |
| 戸建住宅 | 非木造 | 107 | — | 107 | 220 | 27,720 |
| | 木造 | 126 | — | 126 | 174 | 18,618 |

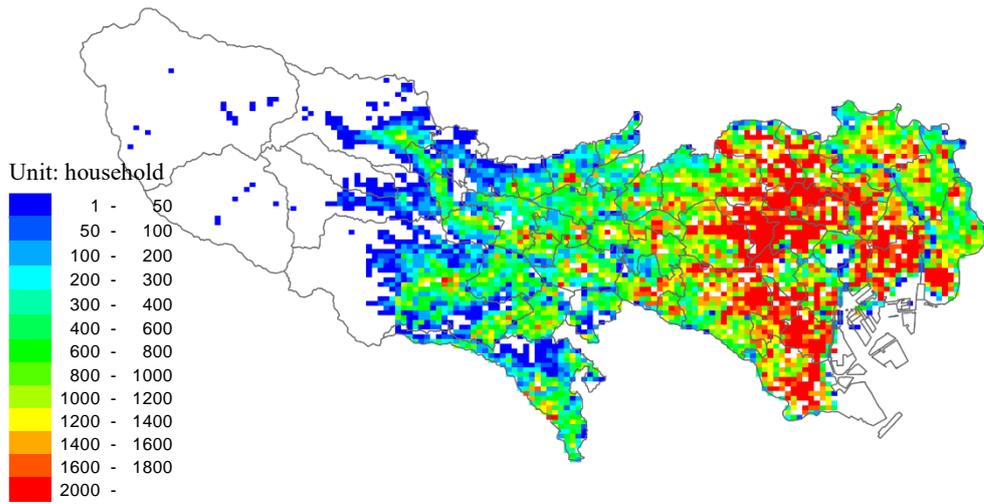


図 3-4 集合住宅の世帯数分布

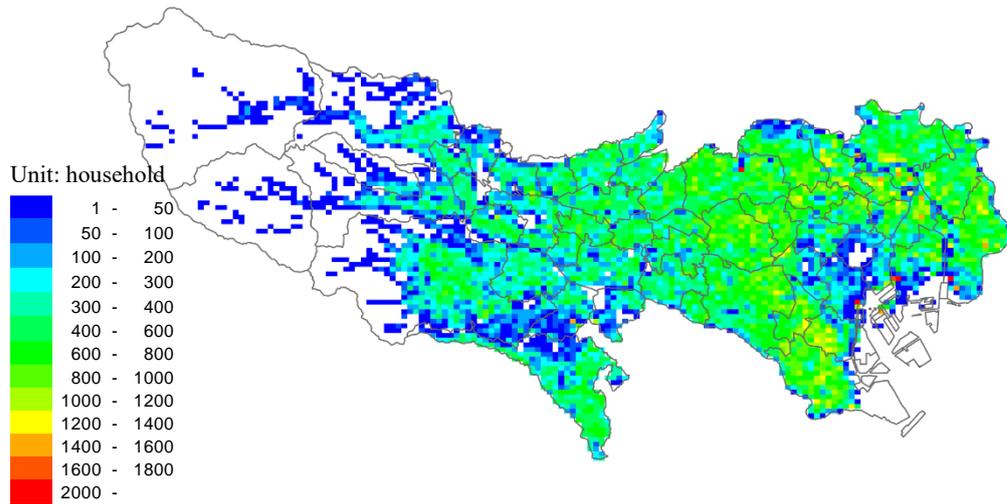


図 3-5 戸建住宅の世帯数分布

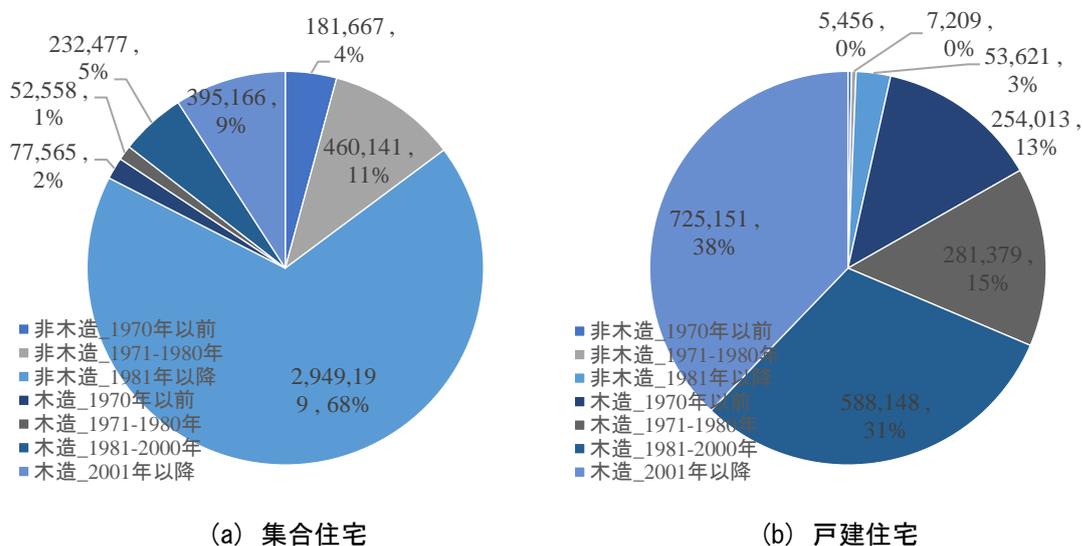


図 3-6 構造別建築年代別の世帯数割合

表 3-3 東京都全体の世帯数, 資産額

単位：世帯, 兆円

| 区分 | | 世帯数 | | | 建物資産額 | | |
|-------|------------|-----------|-----------|-----------|---------|--------|---------|
| 用途区分 | 年代区分 | 非木造 | 木造 | 合計 | 非木造 | 木造 | 合計 |
| 集合住宅 | 1971年以前 | 181,667 | 52,558 | 234,225 | 8,194 | 1,808 | 10,002 |
| | 1972~1981年 | 460,141 | 77,565 | 537,706 | 20,754 | 2,690 | 23,444 |
| | 1982年以降 | 2,949,199 | 627,643 | 3,576,842 | 132,967 | 21,753 | 154,720 |
| | 小計 | 3,591,007 | 757,766 | 4,348,773 | 161,915 | 26,251 | 188,166 |
| 戸建住宅 | 1971年以前 | 5,456 | 254,013 | 259,469 | 211 | 6,836 | 7,047 |
| | 1972~1981年 | 7,209 | 281,379 | 288,588 | 279 | 7,573 | 7,852 |
| | 1982年以降 | 53,621 | 1,313,299 | 1,366,920 | 2,077 | 35,345 | 37,422 |
| | 小計 | 66,286 | 1,848,691 | 1,914,977 | 2,567 | 49,754 | 52,321 |
| 東京都全体 | | 3,657,293 | 2,606,457 | 6,263,750 | 164,482 | 76,005 | 240,487 |

3.2.2 地震イベントの評価

3.2.2.1 震源断層

本研究では、都市直下地震として立川断層帯の地震を対象とする。地震の揺れは、平面的な広がりをもって岩盤が連続的に破壊することで発生する。このように震源を含む破壊領域全体を震源断層と呼ぶ。本研究でモデルとする立川断層帯のモデルは地震調査研究推進本部（以降、地震本部）の確率論的地震動予測地図（以降、予測地図）より引用する^[3-6]。予測地図では、震源断層の諸元として以下を公開している。本研究で用いた震源断層の諸元の概要を図 3-7 に示す^[3-7]。また、研究に用いた立川断層帯の諸元を表 3-4 に、立川断層帯の位置を図 3-8 の赤線に示す。

【震源断層の諸元】

- 震源断層の位置と構造（位置、走向、セグメント）
- 震源断層の大きさ（長さ、幅、深さ、傾斜角）
- 地震規模
- 発生確率

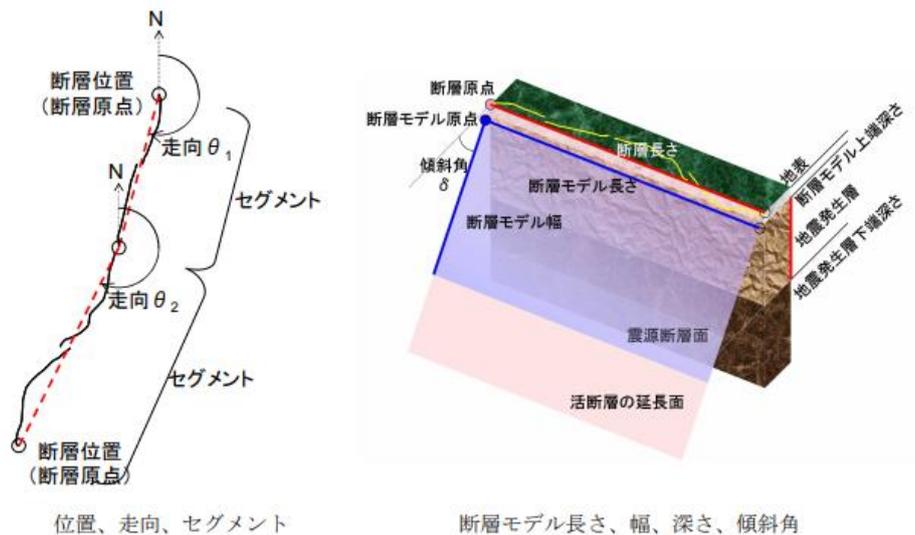


図 3-7 震源断層の諸元

表 3-4 立川断層帯の震源断層の諸元（平均ケース）

| 項目 | 値 |
|---------------|-------------|
| 地震規模 | 6.8(Mw) |
| 確率モデル | BPT |
| 平均発生間隔 | 12500 年 |
| 最新活動時期 | 16500 年前 |
| 断層モデル原点 | 北緯 35.663° |
| | 東経 139.454° |
| 走向 θ | N314.9°E |
| 傾斜角 δ | 90° |
| すべり角 γ | 90° |
| 断層モデル上端深さ | 2km |
| 断層モデル長さ L | 34km |
| 断層モデル幅 W | 18km |
| 平均発生間隔 | 12500 年 |
| 最新活動時期 | 16500 年前 |
| 30 年発生確率 | 1.35% |
| 50 年発生確率 | 2.24% |

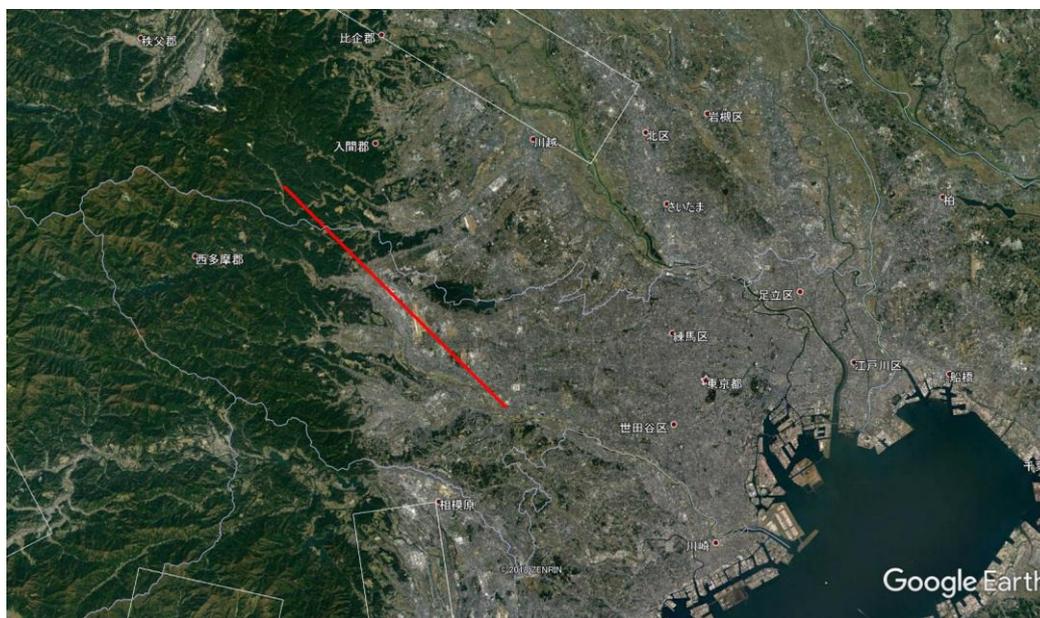


図 3-8 立川断層帯の位置

3.2.3 地震ハザードの評価

震源位置から評価地点位置での地震動強度を計算するには、震源から工学的基盤面までの評価、工学的基盤面の地域特性の評価、工学的基盤面から地表面までの評価の3つの要素が含まれる。本研究では、それぞれ地震動予測式、深部地盤増幅、浅部地盤増幅で評価を行う。ここで地震動予測式とは、地震規模と震源深さ、震源断層から評価地点までの距離等を変数として地震動強度の中央値とばらつきを推定するもので、地震観測記録を回帰することで作成される。評価に使用するパラメータが少なく、簡便に評価できるため、多震源多評価地点を評価する際に適している。また、本研究で採用する地震動強度は最大速度 PGV とする。最大速度 PGV は、不特定多数の一般構造物との被害の相関も高く、被害の全体像を把握することに適している。地震本部の予測地図での採用や被害率関数の提案も多くなされており、日本で広く普及した地震動強度指標といえる。

以降では、本研究で用いた地震動予測式、深部地盤増幅評価式、浅部地盤増幅評価式をそれぞれ記す。

3.2.3.1 地震動予測式

本研究では、Morikawa, Fujiwara (2013)の地震動予測式を用いる^[3-8]。Morikawa, Fujiwara (2013)は、東北地方太平洋沖地震等の近年の観測記録を用いていること、海溝型地震、内陸地殻内地震等の様々な地震タイプ別に回帰を行っていること、深部地盤構造や浅部地盤構造の地域ごとの特性を取り入れていることに特徴がある。本研究で評価対象とする東京都は、関東平野南西部の内陸地であり、山地、丘陵、台地および低地によって構成されている。この低地は沖積層が厚く堆積しており、工学的基盤以深の深部地盤が地震動の揺れの大きさに影響を及ぼすといわれている。これらを踏まえ、深部地盤構造の地震環境を適切に考慮できる本予測式を採用する。

Morikawa, Fujiwara (2013)の地震動予測式を以下に記す。なお、本評価式は $V_s=350\text{m/s}$ 相当の地盤位置での地震動強度が定義されているため、地表面の地震動強度を評価するためには 3.2.3.2 項の深部地盤増幅項および 3.2.3.3 項の浅部地盤増幅項を別途考慮する必要がある。

$$\log PGV_b = a \cdot (M'_{w1} - M_{w1})^2 + b_k \cdot X + c_k - \log(X + d \cdot 10^{e \cdot M'_{w1}}) \quad (3-1)$$

$$M'_{w1} = \min(M_w, M_{w01}) \quad (3-2)$$

ここで、

PGV_b : $V_s=350\text{m/s}$ における最大速度

X : 震源からサイトまでの距離 (km)

M_w : モーメントマグニチュード

G_d : 深部地盤による補正項

G_s : 浅部地盤による補正項

H : 震源の深さ (km)

※ 他のパラメータは、表 3-5、表 3-6 を参照

3.2.3.2 深部地盤地盤増幅評価式

工学的基盤位置での地震動強度は、工学的基盤以深の堆積層によって地域ごとに差異が発生する。この地域ごとの増幅の程度の予測として、本評価では Morikawa, Fujiwara (2013)を採用する。本評価式では $V_s=1400\text{m/s}$ 以上の岩盤までの深さ D_l を用いて簡易的に増幅率を評価する。Morikawa, Fujiwara (2013)の深部地盤地盤増幅項を以下に記す。

$$\log PGV_b' = \log PGV_b + G_d \quad (3-3)$$

$$G_d = p_d \cdot \log(\max(D_{lmin} - D_l)/D_0) \quad (3-4)$$

ここで、

PGV_b' : $V_s=350\text{m/s}$ における深部地盤による補正を考慮した最大速度

PGV_b : $V_s=350\text{m/s}$ における最大速度

G_d : 深部地盤による補正項

D_l : $V_s=1400\text{m/s}$ 以上の岩盤までの深さ(km)

※ 他のパラメータは、表 3-5, 表 3-6 を参照

3.2.3.3 浅部地盤地盤増幅評価式

地震によって生成された地震動は、岩盤または地殻から地表面の土壌を通過するときに増幅または減少する可能性がある。この増幅の程度の予測として、本評価では Morikawa, Fujiwara (2013) を採用する。本評価の地震動予測式は、 $V_s=350\text{m/s}$ の工学的基盤面でのハザード評価であるため、本評価式では $V_s=350\text{m/s}$ の地盤から地表面までの増幅効果を考慮する。この評価式は、表層 30m の平均せん断波速度（以下、 V_{s30} と記す）を用いて簡易的に増幅率を評価する。Morikawa, Fujiwara (2013) の浅部地盤地盤増幅項を以下に記す。

$$\log P G V_b'' = \log P G V_b' + G_s \quad (3-5)$$

$$G_s = p_s \cdot \log(\min(V_{s_{max}}, V_{s30})/V_0) \quad (3-6)$$

ここで、

$P G V_b''$: 地表面における最大速度

$P G V_b'$: $V_s=350\text{m/s}$ における深部地盤による補正を考慮した最大速度

G_s : 浅部地盤による補正項 s

V_{s30} : 表層 30m の平均せん断波速度(m/s)

※ 他のパラメータは、表 3-5, 表 3-6 を参照

表 3-5 Morikawa, Fujiwara (2013)のパラメータ (1)

| ID | Pd | Dlmin | Do | Ps | Vsmax | Vo | γ NEJapan | γ SWJapan |
|-----------|---------|--------|-----|---------|---------|-----|------------------|------------------|
| PGV | 0.2317 | 60.00 | 250 | -0.5546 | 1100.00 | 350 | 4.690.E-05 | 3.720.E-05 |
| PGA | 0.0663 | 100.00 | 250 | -0.3709 | 1950.00 | 350 | 7.600.E-05 | 6.330.E-05 |
| INT | 0.1575 | 55.00 | 250 | -0.5898 | 1900.00 | 350 | 6.070.E-05 | 5.910.E-05 |
| SA_0.05s | -0.0043 | 15.00 | 250 | -0.2513 | 2000.00 | 350 | 8.770.E-05 | 6.640.E-05 |
| SA_0.06s | -0.0205 | 15.00 | 250 | -0.1966 | 2000.00 | 350 | 8.670.E-05 | 6.630.E-05 |
| SA_0.07s | -0.0335 | 15.00 | 250 | -0.1393 | 2000.00 | 350 | 8.590.E-05 | 6.620.E-05 |
| SA_0.08s | -0.0396 | 15.00 | 250 | -0.1279 | 2000.00 | 350 | 8.510.E-05 | 6.610.E-05 |
| SA_0.09s | -0.0383 | 15.00 | 250 | -0.1517 | 2000.00 | 350 | 8.450.E-05 | 6.600.E-05 |
| SA_0.10s | -0.0315 | 15.00 | 250 | -0.1819 | 2000.00 | 350 | 8.390.E-05 | 6.590.E-05 |
| SA_0.11s | -0.0236 | 15.00 | 250 | -0.2067 | 2000.00 | 350 | 8.340.E-05 | 6.590.E-05 |
| SA_0.12s | -0.0176 | 15.00 | 250 | -0.2436 | 2000.00 | 350 | 8.290.E-05 | 6.580.E-05 |
| SA_0.13s | -0.0088 | 15.00 | 250 | -0.2815 | 2000.00 | 350 | 8.250.E-05 | 6.570.E-05 |
| SA_0.15s | 0.0072 | 15.00 | 250 | -0.3454 | 2000.00 | 350 | 8.170.E-05 | 6.560.E-05 |
| SA_0.17s | 0.0235 | 15.60 | 250 | -0.4150 | 2000.00 | 350 | 8.100.E-05 | 6.550.E-05 |
| SA_0.20s | 0.0460 | 17.00 | 250 | -0.4943 | 2000.00 | 350 | 8.020.E-05 | 6.540.E-05 |
| SA_0.22s | 0.0583 | 17.90 | 250 | -0.5235 | 2000.00 | 350 | 7.960.E-05 | 6.530.E-05 |
| SA_0.25s | 0.0746 | 19.10 | 250 | -0.5598 | 2000.00 | 350 | 7.890.E-05 | 6.530.E-05 |
| SA_0.30s | 0.1006 | 21.00 | 250 | -0.6217 | 2000.00 | 350 | 7.710.E-05 | 6.510.E-05 |
| SA_0.35s | 0.1206 | 22.80 | 250 | -0.6654 | 2000.00 | 350 | 7.640.E-05 | 6.500.E-05 |
| SA_0.40s | 0.1418 | 24.40 | 250 | -0.6945 | 2000.00 | 350 | 7.340.E-05 | 6.490.E-05 |
| SA_0.45s | 0.1599 | 25.90 | 250 | -0.7129 | 2000.00 | 350 | 7.080.E-05 | 6.480.E-05 |
| SA_0.50s | 0.1760 | 27.40 | 250 | -0.7160 | 1950.00 | 350 | 6.610.E-05 | 6.470.E-05 |
| SA_0.60s | 0.2023 | 30.10 | 250 | -0.7134 | 1795.00 | 350 | 8.250.E-05 | 6.460.E-05 |
| SA_0.70s | 0.2207 | 32.70 | 250 | -0.7224 | 1673.60 | 350 | 6.230.E-05 | 5.870.E-05 |
| SA_0.80s | 0.2370 | 35.00 | 250 | -0.7116 | 1575.10 | 350 | 5.890.E-05 | 5.360.E-05 |
| SA_0.90s | 0.2532 | 37.20 | 250 | -0.6982 | 1493.00 | 350 | 5.590.E-05 | 4.910.E-05 |
| SA_1.00s | 0.2744 | 39.30 | 250 | -0.6755 | 1423.20 | 350 | 5.320.E-05 | 4.510.E-05 |
| SA_1.10s | 0.2917 | 41.30 | 250 | -0.6447 | 1362.90 | 350 | 5.080.E-05 | 4.140.E-05 |
| SA_1.20s | 0.3062 | 43.20 | 250 | -0.6270 | 1310.10 | 350 | 4.860.E-05 | 3.810.E-05 |
| SA_1.30s | 0.3175 | 45.10 | 250 | -0.6156 | 1263.30 | 350 | 4.660.E-05 | 3.500.E-05 |
| SA_1.50s | 0.3391 | 48.60 | 250 | -0.5929 | 1183.80 | 350 | 4.300.E-05 | 2.960.E-05 |
| SA_1.70s | 0.3552 | 51.80 | 250 | -0.5648 | 1118.40 | 350 | 3.980.E-05 | 2.490.E-05 |
| SA_2.00s | 0.3759 | 56.40 | 250 | -0.5283 | 1038.80 | 350 | 3.570.E-05 | 1.860.E-05 |
| SA_2.20s | 0.3846 | 59.30 | 250 | -0.4995 | 994.70 | 350 | 3.330.E-05 | 1.490.E-05 |
| SA_2.50s | 0.3916 | 63.40 | 250 | -0.4661 | 938.60 | 350 | 3.010.E-05 | 1.000.E-05 |
| SA_3.00s | 0.3996 | 69.70 | 250 | -0.4398 | 864.00 | 350 | 2.550.E-05 | 3.100.E-06 |
| SA_3.50s | 0.4085 | 75.50 | 250 | -0.4168 | 805.60 | 350 | 2.160.E-05 | -2.800.E-06 |
| SA_4.00s | 0.4108 | 81.00 | 250 | -0.3976 | 758.20 | 350 | 1.820.E-05 | -7.900.E-06 |
| SA_4.50s | 0.4120 | 86.10 | 250 | -0.3653 | 718.70 | 350 | 1.520.E-05 | -1.200.E-06 |
| SA_5.00s | 0.4109 | 90.90 | 250 | -0.3443 | 685.10 | 350 | 1.520.E-05 | -1.200.E-06 |
| SA_5.50s | 0.4078 | 95.60 | 250 | -0.3370 | 656.00 | 350 | 1.520.E-05 | -1.200.E-06 |
| SA_6.00s | 0.4088 | 100.00 | 250 | -0.3374 | 630.60 | 350 | 1.520.E-05 | -1.200.E-06 |
| SA_6.50s | 0.4020 | 100.00 | 250 | -0.3251 | 608.10 | 350 | 1.520.E-05 | -1.200.E-06 |
| SA_7.00s | 0.3910 | 100.00 | 250 | -0.3294 | 588.00 | 350 | 1.520.E-05 | -1.200.E-06 |
| SA_7.50s | 0.3783 | 100.00 | 250 | -0.3252 | 569.80 | 350 | 1.520.E-05 | -1.200.E-06 |
| SA_8.00s | 0.3671 | 100.00 | 250 | -0.3267 | 553.40 | 350 | 1.520.E-05 | -1.200.E-06 |
| SA_8.50s | 0.3553 | 100.00 | 250 | -0.3271 | 538.30 | 350 | 1.520.E-05 | -1.200.E-06 |
| SA_9.00s | 0.3438 | 100.00 | 250 | -0.3332 | 524.50 | 350 | 1.520.E-05 | -1.200.E-06 |
| SA_9.50s | 0.3320 | 100.00 | 250 | -0.3409 | 511.80 | 350 | 1.520.E-05 | -1.200.E-06 |
| SA_10.00s | 0.3202 | 100.00 | 250 | -0.3501 | 500.00 | 350 | 1.520.E-05 | -1.200.E-06 |

表 3-6 Morikawa, Fujiwara (2013)のパラメータ (2)

| ID | Mw01 | Mw1 | a1 | b1_1 | b1_2 | b1_3 | c1_1 | c1_2 | c1_3 | d1 | e1 | σ_1 |
|-----------|------|------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|-----|------------|
| PGV | 8.2 | 16.0 | -0.0325 | -0.0027 | -0.0024 | -0.0035 | 5.6952 | 5.6026 | 6.0030 | 0.0023 | 0.5 | 0.3399 |
| PGA | 8.2 | 16.0 | -0.0321 | -0.0053 | -0.0050 | -0.0056 | 7.0830 | 7.1181 | 7.5035 | 0.0116 | 0.5 | 0.3761 |
| INT | 8.2 | 16.0 | -0.0321 | -0.0037 | -0.0033 | -0.0042 | 6.9301 | 6.9042 | 7.2975 | 0.0051 | 0.5 | 0.3493 |
| SA_0.05s | 8.2 | 16.0 | -0.0321 | -0.0059 | -0.0057 | -0.0062 | 7.2151 | 7.2759 | 7.6801 | 0.0128 | 0.5 | 0.3938 |
| SA_0.06s | 8.2 | 16.0 | -0.0321 | -0.0061 | -0.0059 | -0.0064 | 7.2852 | 7.3523 | 7.7504 | 0.0145 | 0.5 | 0.4039 |
| SA_0.07s | 8.2 | 16.0 | -0.0321 | -0.0061 | -0.0060 | -0.0065 | 7.3397 | 7.4152 | 7.8127 | 0.0156 | 0.5 | 0.4149 |
| SA_0.08s | 8.2 | 16.0 | -0.0323 | -0.0061 | -0.0060 | -0.0066 | 7.4122 | 7.4929 | 7.8938 | 0.0165 | 0.5 | 0.4219 |
| SA_0.09s | 8.2 | 16.0 | -0.0325 | -0.0061 | -0.0061 | -0.0067 | 7.4817 | 7.5649 | 7.9649 | 0.0174 | 0.5 | 0.4259 |
| SA_0.10s | 8.2 | 16.0 | -0.0327 | -0.0061 | -0.0061 | -0.0067 | 7.5396 | 7.6214 | 8.0219 | 0.0184 | 0.5 | 0.4266 |
| SA_0.11s | 8.2 | 16.0 | -0.0324 | -0.0060 | -0.0060 | -0.0066 | 7.5072 | 7.5947 | 7.9960 | 0.0174 | 0.5 | 0.4256 |
| SA_0.12s | 8.2 | 16.0 | -0.0322 | -0.0059 | -0.0059 | -0.0064 | 7.4920 | 7.5837 | 7.9782 | 0.0165 | 0.5 | 0.4243 |
| SA_0.13s | 8.2 | 16.0 | -0.0321 | -0.0058 | -0.0058 | -0.0063 | 7.4788 | 7.5645 | 7.9644 | 0.0156 | 0.5 | 0.4229 |
| SA_0.15s | 8.2 | 16.0 | -0.0321 | -0.0056 | -0.0056 | -0.0061 | 7.4630 | 7.5471 | 7.9360 | 0.0141 | 0.5 | 0.4193 |
| SA_0.17s | 8.2 | 16.0 | -0.0321 | -0.0054 | -0.0054 | -0.0058 | 7.4577 | 7.5245 | 7.9097 | 0.0129 | 0.5 | 0.4162 |
| SA_0.20s | 8.2 | 16.0 | -0.0321 | -0.0052 | -0.0050 | -0.0055 | 7.4307 | 7.4788 | 7.8719 | 0.0113 | 0.5 | 0.4152 |
| SA_0.22s | 8.2 | 16.0 | -0.0322 | -0.0050 | -0.0048 | -0.0052 | 7.4139 | 7.4461 | 7.8311 | 0.0104 | 0.5 | 0.4130 |
| SA_0.25s | 8.2 | 16.0 | -0.0321 | -0.0048 | -0.0045 | -0.0049 | 7.3736 | 7.3728 | 7.7521 | 0.0092 | 0.5 | 0.4089 |
| SA_0.30s | 8.2 | 16.0 | -0.0321 | -0.0045 | -0.0041 | -0.0046 | 7.2924 | 7.2797 | 7.6656 | 0.0077 | 0.5 | 0.4063 |
| SA_0.35s | 8.2 | 16.0 | -0.0321 | -0.0044 | -0.0037 | -0.0043 | 7.2417 | 7.1832 | 7.5796 | 0.0064 | 0.5 | 0.4043 |
| SA_0.40s | 8.2 | 16.0 | -0.0321 | -0.0041 | -0.0033 | -0.0040 | 7.1785 | 7.0883 | 7.4889 | 0.0055 | 0.5 | 0.4029 |
| SA_0.45s | 8.2 | 16.0 | -0.0321 | -0.0040 | -0.0031 | -0.0039 | 7.1202 | 7.0100 | 7.4287 | 0.0047 | 0.5 | 0.4033 |
| SA_0.50s | 8.2 | 16.0 | -0.0321 | -0.0038 | -0.0028 | -0.0038 | 7.0604 | 6.9439 | 7.3615 | 0.0040 | 0.5 | 0.4019 |
| SA_0.60s | 8.2 | 16.0 | -0.0321 | -0.0034 | -0.0025 | -0.0034 | 6.9357 | 6.8166 | 7.2161 | 0.0029 | 0.5 | 0.4032 |
| SA_0.70s | 8.2 | 16.0 | -0.0321 | -0.0030 | -0.0021 | -0.0030 | 6.8272 | 6.6957 | 7.0854 | 0.0022 | 0.5 | 0.4038 |
| SA_0.80s | 8.2 | 16.0 | -0.0321 | -0.0026 | -0.0017 | -0.0026 | 6.7325 | 6.5864 | 6.9659 | 0.0016 | 0.5 | 0.4053 |
| SA_0.90s | 8.2 | 16.0 | -0.0325 | -0.0023 | -0.0014 | -0.0024 | 6.6845 | 6.5349 | 6.9211 | 0.0012 | 0.5 | 0.4085 |
| SA_1.00s | 8.2 | 16.0 | -0.0327 | -0.0021 | -0.0013 | -0.0023 | 6.6284 | 6.4748 | 6.8605 | 0.0009 | 0.5 | 0.4091 |
| SA_1.10s | 8.2 | 16.0 | -0.0331 | -0.0019 | -0.0011 | -0.0022 | 6.5971 | 6.4383 | 6.8304 | 0.0007 | 0.5 | 0.4074 |
| SA_1.20s | 8.2 | 16.0 | -0.0337 | -0.0018 | -0.0011 | -0.0022 | 6.5912 | 6.4200 | 6.8224 | 0.0006 | 0.5 | 0.4061 |
| SA_1.30s | 8.2 | 16.0 | -0.0339 | -0.0017 | -0.0010 | -0.0022 | 6.5588 | 6.3848 | 6.7827 | 0.0005 | 0.5 | 0.4046 |
| SA_1.50s | 8.2 | 16.0 | -0.0347 | -0.0015 | -0.0008 | -0.0020 | 6.5419 | 6.3510 | 6.7540 | 0.0004 | 0.5 | 0.4035 |
| SA_1.70s | 8.2 | 16.0 | -0.0352 | -0.0015 | -0.0007 | -0.0019 | 6.5209 | 6.3011 | 6.7004 | 0.0005 | 0.5 | 0.4007 |
| SA_2.00s | 8.2 | 16.0 | -0.0359 | -0.0016 | -0.0007 | -0.0016 | 6.4982 | 6.2617 | 6.6087 | 0.0007 | 0.5 | 0.3927 |
| SA_2.20s | 8.2 | 16.0 | -0.0365 | -0.0015 | -0.0006 | -0.0013 | 6.4920 | 6.2463 | 6.5766 | 0.0007 | 0.5 | 0.3883 |
| SA_2.50s | 8.2 | 16.0 | -0.0375 | -0.0015 | -0.0006 | -0.0013 | 6.4964 | 6.2485 | 6.5667 | 0.0008 | 0.5 | 0.3831 |
| SA_3.00s | 8.2 | 16.0 | -0.0382 | -0.0013 | -0.0005 | -0.0011 | 6.4414 | 6.1858 | 6.4858 | 0.0012 | 0.5 | 0.3775 |
| SA_3.50s | 8.2 | 16.0 | -0.0384 | -0.0013 | -0.0005 | -0.0010 | 6.3464 | 6.0849 | 6.3681 | 0.0016 | 0.5 | 0.3713 |
| SA_4.00s | 8.2 | 16.0 | -0.0385 | -0.0011 | -0.0006 | -0.0010 | 6.2459 | 6.0035 | 6.2727 | 0.0021 | 0.5 | 0.3646 |
| SA_4.50s | 8.2 | 16.0 | -0.0389 | -0.0009 | -0.0006 | -0.0011 | 6.1868 | 5.9423 | 6.2145 | 0.0025 | 0.5 | 0.3603 |
| SA_5.00s | 8.2 | 16.0 | -0.0393 | -0.0007 | -0.0006 | -0.0012 | 6.1466 | 5.8960 | 6.1817 | 0.0028 | 0.5 | 0.3552 |
| SA_5.50s | 8.2 | 16.0 | -0.0398 | -0.0006 | -0.0006 | -0.0013 | 6.1084 | 5.8725 | 6.1566 | 0.0031 | 0.5 | 0.3494 |
| SA_6.00s | 8.2 | 16.0 | -0.0402 | -0.0005 | -0.0007 | -0.0013 | 6.0920 | 5.8536 | 6.1257 | 0.0034 | 0.5 | 0.3428 |
| SA_6.50s | 8.2 | 16.0 | -0.0405 | -0.0003 | -0.0008 | -0.0014 | 6.0636 | 5.8218 | 6.0778 | 0.0036 | 0.5 | 0.3366 |
| SA_7.00s | 8.2 | 16.0 | -0.0410 | -0.0002 | -0.0009 | -0.0014 | 6.0586 | 5.8197 | 6.0652 | 0.0037 | 0.5 | 0.3300 |
| SA_7.50s | 8.2 | 16.0 | -0.0412 | -0.0001 | -0.0009 | -0.0014 | 6.0367 | 5.7971 | 6.0388 | 0.0038 | 0.5 | 0.3242 |
| SA_8.00s | 8.2 | 16.0 | -0.0417 | -0.0001 | -0.0009 | -0.0015 | 6.0378 | 5.7885 | 6.0381 | 0.0039 | 0.5 | 0.3185 |
| SA_8.50s | 8.2 | 16.0 | -0.0419 | -0.0001 | -0.0009 | -0.0015 | 6.0238 | 5.7674 | 6.0180 | 0.0039 | 0.5 | 0.3130 |
| SA_9.00s | 8.2 | 16.0 | -0.0420 | -0.0001 | -0.0010 | -0.0015 | 5.9972 | 5.7463 | 5.9881 | 0.0039 | 0.5 | 0.3090 |
| SA_9.50s | 8.2 | 16.0 | -0.0423 | -0.0001 | -0.0011 | -0.0015 | 5.9880 | 5.7507 | 5.9807 | 0.0039 | 0.5 | 0.3047 |
| SA_10.00s | 8.2 | 16.0 | -0.0427 | -0.0001 | -0.0012 | -0.0015 | 5.9820 | 5.7595 | 5.9869 | 0.0038 | 0.5 | 0.3007 |

3.2.3.4 深部および浅部地盤のデータ

深部地盤増幅評価式、浅部地盤増幅評価式では、せん断波速度 $V_s=1400\text{m/s}$ までの深さ $D_{1400}(\text{m})$ と、地表 30m の平均せん断波速度 V_{S30} を用いて地域的な影響を考慮する。本研究で対象とする評価地点は東京都全域であるため、これらデータを網羅的に準備する必要がある。そこで本研究では、日本全国を対象として評価を行っている予測地図が公開する深部、浅部地盤データを用いて評価を行う^[3-9]。予測地図が公開する深部地盤のデータは、藤原他 (2012)によって開発されたマップに基づいている^[3-10]。浅部地盤のデータは、若松、松岡 (2013)によって開発されたマップに基づいている^{[3-11], [3-12]}。これらデータは、深部地盤は 1km、浅部地盤は 250m の解像度を有しているが、本研究の利用に際しては、曝露モデルの解像度にあわせて 500m の解像度に平均化したものを用いる。本研究で使用する深部地盤データ $D_{1400}(\text{m})$ を図 3-9 に、浅部地盤データ V_{S30} を図 3-10 にそれぞれ示す。

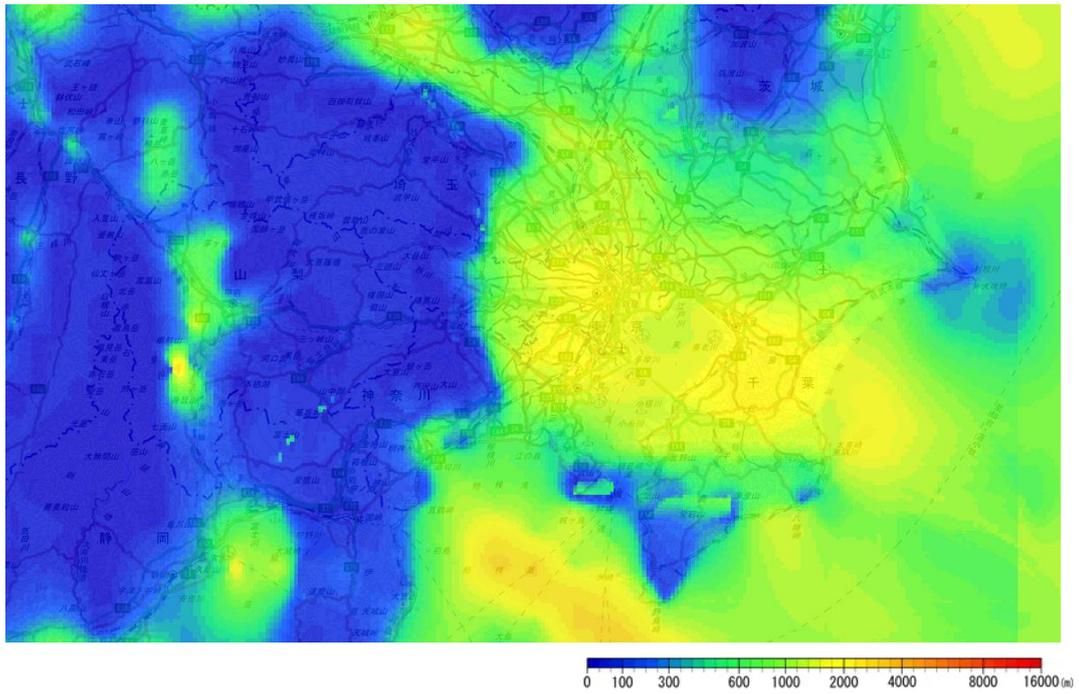


図 3-9 深部地盤の D1400 分布 (予測地図 2014 より引用)

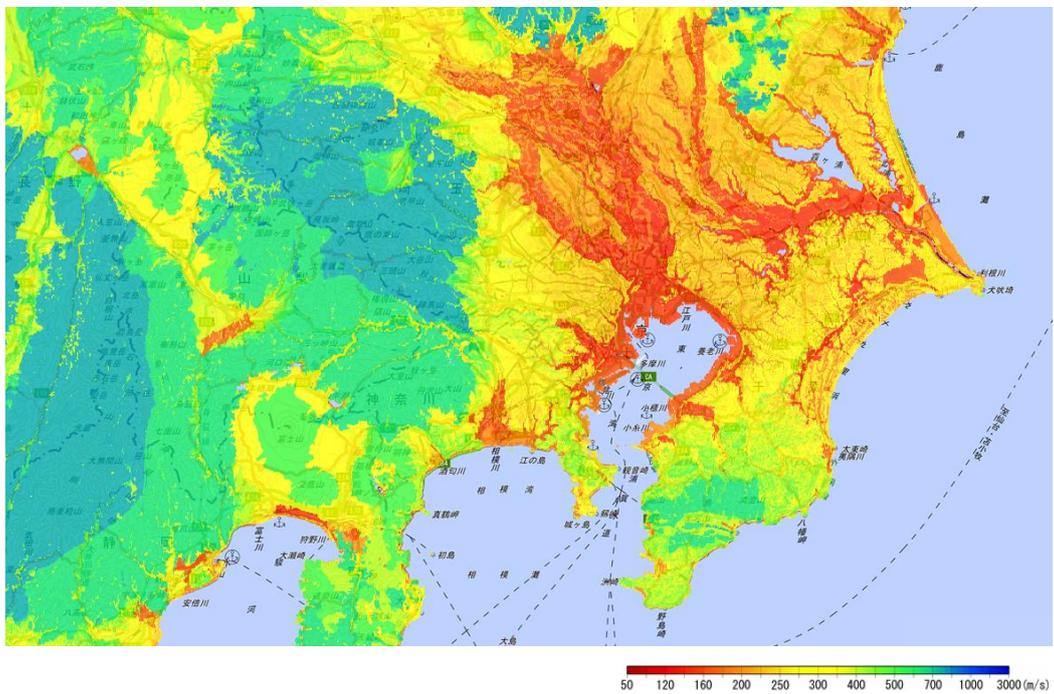


図 3-10 浅部地盤の V_{s30} 分布 (予測地図 2014 より引用)

3.2.3.5 地震動の不確実性

本研究では、予測地図に準じて偶発的な不確実性のみを取り扱う。地震動予測の標準偏差 σ は距離依存および振幅依存性を考慮して 0.16~0.24 の数値を採用する。この際、地盤増幅率の標準偏差や地震規模や断層形状、位置の標準偏差は取り扱わない。また、無限大の地震動強さが生じないようにするため、工学的基盤における最大速度の標準偏差の分布形状を対数正規分布と仮定し、分布の裾において対数標準偏差の $-3\sigma\sim 3\sigma$ より外側を打ち切る。

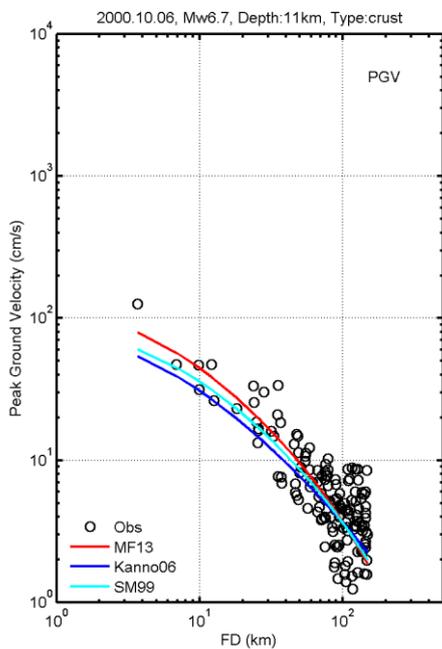
3.2.3.6 地震動ハザード評価の検証

地震動予測式は、日本においてデファクトスタンダードになっている予測地図の十震動予測式から変更を行っている。そこで、検証として過去に発生した10個の地震を対象に、観測記録を用いて地震動予測式の精度比較を行う。検証に用いる地震は、防災科学技術研究所が運営する地震観測網 K-NET が稼働以降、最大震度6弱以上を観測した地震を対象とした。地震動予測式を網羅的に検証することを目的に、地震タイプ(Crustal, Inter, Intra) や震源深さが様々な条件になるように10地震を選択した。表3-7に検討対象とした地震を示す。地震観測記録は K-NET から取得するが、地震動強度が一定以上の大きさとなる範囲を検証対象とするため、各地震について断層最短距離が150km以内の観測記録の収集を行った。なお、震源距離を計算する断層モデルは、No.1~9については Rami et al. (2016)で使用されている断層モデルと同じものを使用し^[3-13]、No.10の熊本地震については Kobayashi et al. (2017)による断層モデルを使用した^[3-14]。

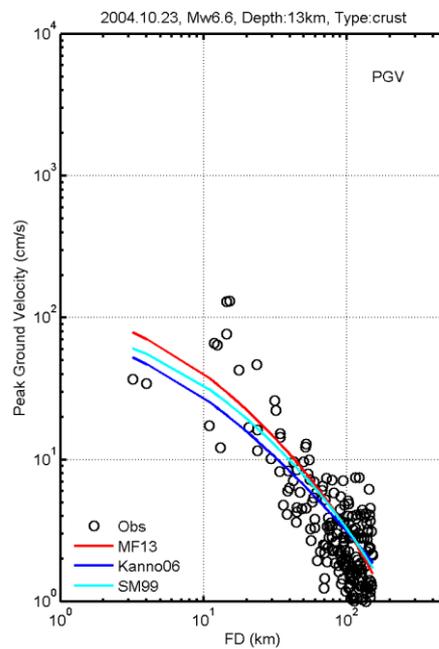
V S 400m/s の工学的基盤における観測記録との比較を図3-11~図3-15に示す。図では、本研究で用いている MF13 式、予測地図で用いている SM99 式^[3-15]、および、予測地図の参考として用いられている Kanno06^[3-16]式を示す。図より、今回対象とする内陸地殻内の地震において、MF13 式は SM99 式よりも観測記録に調和的な傾向を示す。

表 3-7 検討地震の諸元

| ID | Earthquake Name | Origin time | Lon | Lat | Depth | M _w | type | No. of records |
|----|-----------------|------------------|--------|-------|-------|----------------|-------|----------------|
| 1 | 鳥取県西部地震 | 2000.10.06 13:30 | 133.55 | 35.27 | 11 km | 6.7 | 内陸地殻内 | 143 |
| 2 | 新潟県中越地震 | 2004.10.23 17:56 | 138.87 | 37.29 | 13 km | 6.6 | 内陸地殻内 | 225 |
| 3 | 岩手・宮城内陸地震 | 2008.06.14 08:43 | 140.88 | 39.03 | 8 km | 6.9 | 内陸地殻内 | 150 |
| 4 | 熊本地震 | 2016.04.16 01:25 | 130.76 | 32.76 | 12 km | 7.0 | 内陸地殻内 | 192 |
| 5 | 十勝沖地震 | 2003.09.26 04:50 | 144.08 | 41.78 | 42 km | 8.3 | プレート間 | 130 |
| 6 | 宮城県沖地震 | 2005.08.16 11:46 | 142.28 | 38.15 | 42 km | 7.2 | プレート間 | 119 |
| 7 | 東北地方太平洋沖地震 | 2011.03.11 14:46 | 142.86 | 38.10 | 24 km | 9.1 | プレート間 | 270 |
| 8 | 芸予地震 | 2001.03.24 15:27 | 132.71 | 34.12 | 51 km | 6.8 | プレート内 | 188 |
| 9 | 宮城県沖地震 | 2003.05.26 18:24 | 141.68 | 38.80 | 71 km | 7.0 | プレート間 | 95 |
| 10 | 駿河湾地震 | 2009.08.11 05:07 | 138.50 | 34.78 | 23 km | 6.2 | プレート間 | 221 |

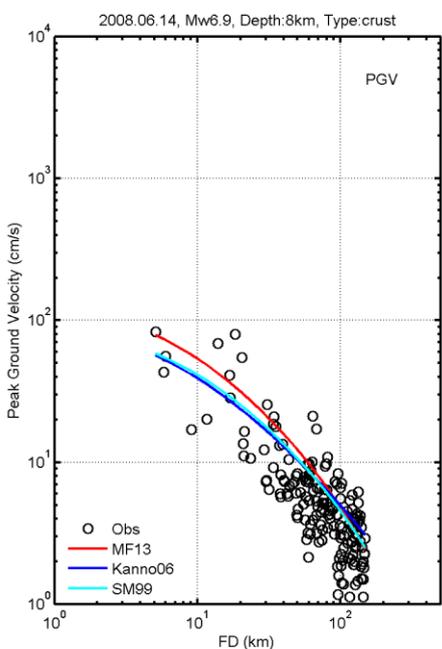


(a) 2000年鳥取県西部地震

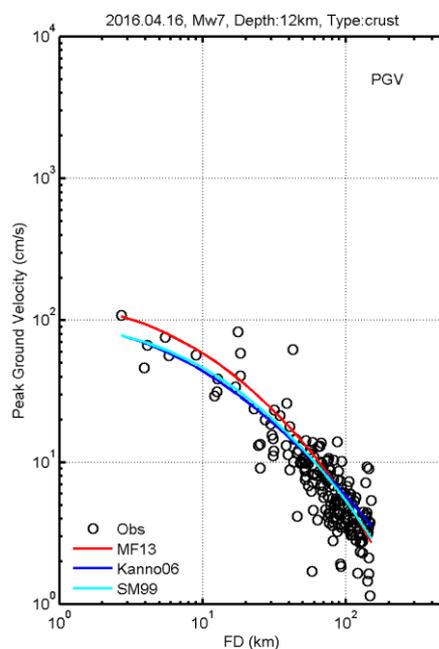


(b) 2004年新潟県中越地震

図 3-11 地震動予測式の検証 (1)

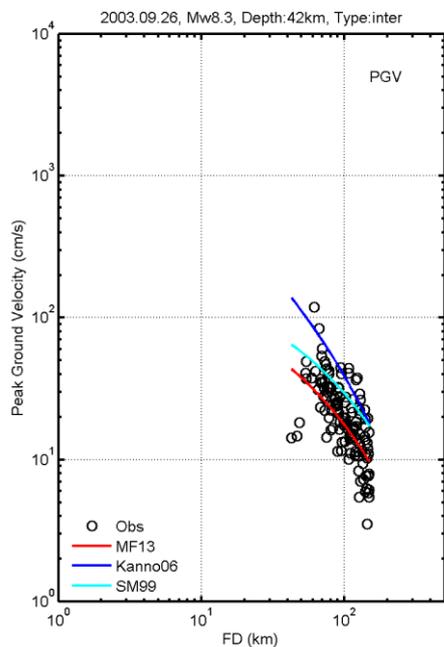


(a) 2008年岩手・宮城内陸地震

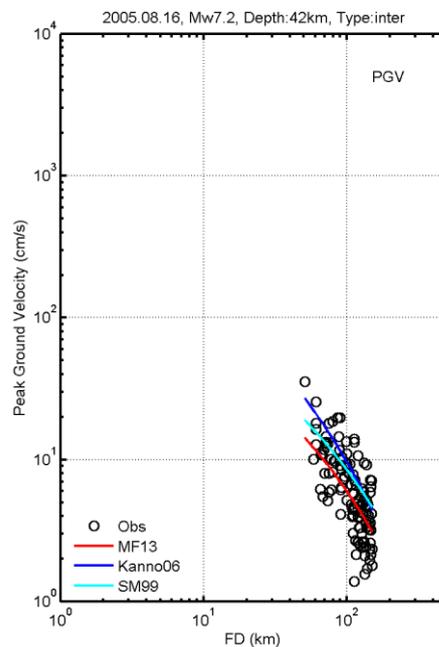


(b) 2016年熊本地震

図 3-12 地震動予測式の検証 (2)

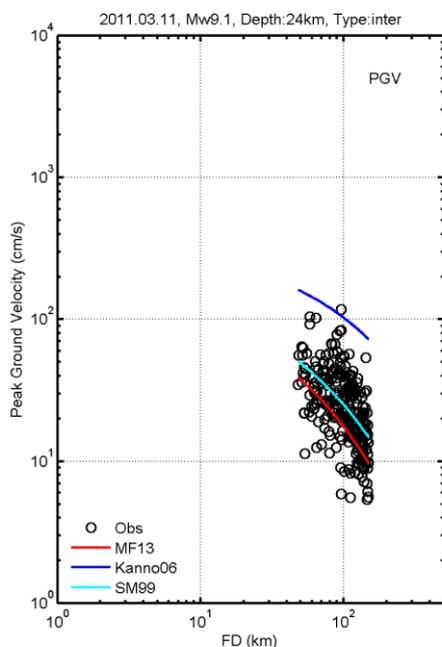


(a) 2003 年十勝沖地震

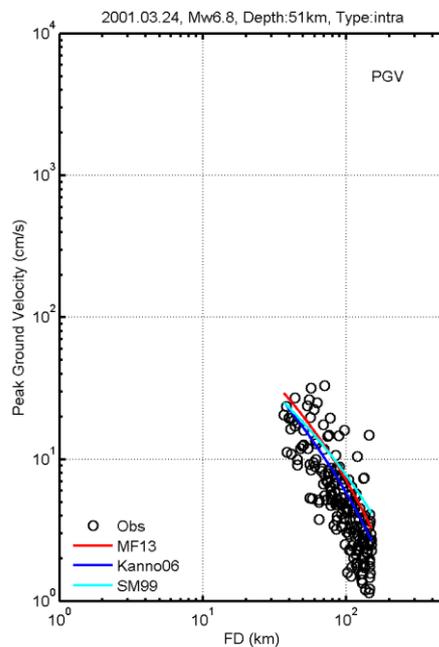


(b) 2005 年宮城県沖地震

図 3-13 地震動予測式の検証 (3)

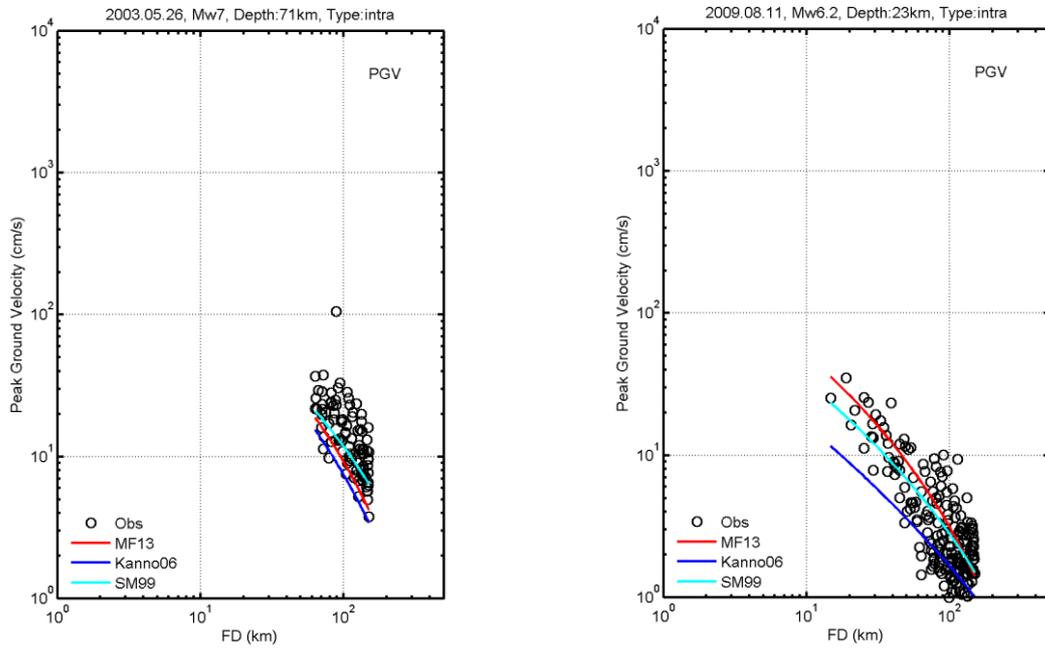


(a) 2011 年東北地方太平洋沖地震



(b) 2001 年芸予地震

図 3-14 地震動予測式の検証 (4)



(a) 2003年宮城県沖地震

(b) 2009年駿河湾地震

図 3-15 地震動予測式の検証 (5)

3.2.4 被害関数の評価

本研究では、建物の経済的被害額ではなく、建物の復旧費用の推計を目的とする。そこで評価に際しては、第2章で構築した住宅の復旧費用分析のための被害関数を用いる。この被害関数は、横軸に地震動強度、縦軸に復旧費用比率（再取得価格に対する復旧費用の比）として、地震によって発生する住宅の復旧費用を確率的に評価している。被害関数で用いる区分は、曝露モデルと併せ以下の14種類とする。

- 集合住宅, 非木造, 1971年以前
- 集合住宅, 非木造, 1972～1981年
- 集合住宅, 非木造, 1982年以降
- 集合住宅, 木造, 1971年以前
- 集合住宅, 木造, 1972～1981年
- 集合住宅, 木造, 1982～2000年
- 集合住宅, 木造, 2001年以降
- 戸建住宅, 非木造, 1971年以前
- 戸建住宅, 非木造, 1972～1981年
- 戸建住宅, 非木造, 1982年以降
- 戸建住宅, 木造, 1971年以前
- 戸建住宅, 木造, 1972～1981年
- 戸建住宅, 木造, 1982～2000年
- 戸建住宅, 木造, 2001年以降

3.2.5 復旧費用の計算

3.2.5.1 一世帯の復旧費用の計算

ある世帯のある地震動強度に対する復旧費用の期待値および標準偏差は、3.2.3 項の地震ハザード評価と 3.2.4 項の被害関数を用いて得られる。復旧費用の期待値 μ_c および標準偏差 σ_c の算出方法を次式に示す。地震動強度 PGV の値を x とした際に、地震動強度は対数正規分布の確率密度関数 $f_{LN}(x|\mu_{PGV}, \sigma_{PGV})$ で与えられる。ここで、期待値 μ_{PGV} は 3.2.3.1~3.2.3.4 の評価で、標準偏差 σ_{PGV} は 3.2.3.5 の評価で算出される。被害関数の期待値の累積分布関数を $F_{DF}(x)$ とすると、ある地震が発生した際の復旧費用は両者の確率変数の積で表現される。

$$\mu_c = \int_A^B (F_{DF}(x) \cdot f_{LN}(x|\mu_{PGV}, \sigma_{PGV})) dx \times AssetValue \quad (3-7)$$

$$\sigma_c = \sqrt{\int_A^B [(F_{DF}(x) - \mu_c)^2 \cdot f_{LN}(x|\mu_{PGV}, \sigma_{PGV})] dx \times AssetValue} \quad (3-8)$$

上式において、 A 、 B は積分範囲の下限と上限であり、本研究では $-3\sim+3\sigma$ と設定する。

3.2.5.2 全世帯の復旧費用の計算

東京都全世帯の復旧費用の集計方法を次式に示す。復旧費用の期待値は、全世帯の復旧費用の期待値を合算することで求められる。また標準偏差は、完全独立および完全相関と仮定し、復旧費用の標準偏差をそれぞれ足し合わせ、相関係数による重みを考慮して平均したものをを用いる。ここで λ は経験的に 0.2 を採用する。

$$\mu_{c_{all}} = \sum_{n=1}^N \mu_{c_n} \quad (3-9)$$

$$\sigma_{c_{all}} = \lambda \cdot \sum_{n=1}^N \sigma_{c_n} + (1 - \lambda) \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N \sigma_{c_n}^2} \quad (3-10)$$

3.2.6 財政支援制度の評価

本研究では、被災時の主要な財政支援制度として、生活再建支援制度と地震保険制度の2つを検討する。各制度の概要については1.2.1項に記載したとおりである。本項では、検討に用いた各財政支援制度の条件を記載する。

3.2.6.1 被災者生活再建支援制度

被災者生活再建支援金は、基礎支援金及び加算支援金からなる。本研究では各被災世帯数に表3-8の支援金を補償する。

基礎支援金の対象となる世帯は、①全壊、②解体、③長期避難、④住宅が半壊し大規模な補修を必要とする場合である。支援額については①と②が100万円、③と④が50万円となっている。本研究では、倒壊及び全壊世帯は①に該当、大規模半壊世帯または半壊世帯で、かつ、復旧方法で建替を選択した世帯は②に該当、大規模半壊世帯、かつ、復旧方法で修復を選択した世帯は④に該当とする。

加算支援金の対象となる世帯は、①建替・購入で200万円、②補修で100万円、③賃借で50万円である。本研究では復旧方法に併せ、建替を選択した世帯は①に該当、補修を選択した世帯は②に該当とする。

本研究では避難の概念を設けていないため、③長期避難は該当なしとする。また持家と賃借の区分も置いていないため、③賃貸は該当なしとする。

表 3-8 被災者生活再建支援金の設定

| 被害区分 | 復旧方法 | 基礎支援額 | 加算支援額 | 総額 |
|-------|------|-------|-------|-------|
| 全壊 | 建替 | 100万円 | 200万円 | 300万円 |
| | 補修 | 100万円 | 100万円 | 200万円 |
| 大規模半壊 | 建替 | 100万円 | 200万円 | 300万円 |
| | 補修 | 50万円 | 100万円 | 150万円 |
| 半壊 | 建替 | 100万円 | 200万円 | 300万円 |

3.2.6.2 地震保険制度

地震保険制度は、火災保険と合わせて加入することになっており、保険金額は火災保険の保険金額の30%から50%の範囲内と定められている。本研究では、戸建住宅、集合住宅の専有部、集合住宅の共有部の各箇所に対して、表3-9に示す地震保険金の支払率を設定する。なお、各箇所の建物資産額は、3.2.1項の表3-2に示す値を使用する。

次に、世帯の地震保険の加入率を設定する。ここで、加入率とは全世帯のうち地震保険に加入している世帯の割合を示す。地震保険加入率は、戸建住宅および集合住宅の専有部で36.7%、集合住宅の共有部で18.2%に設定する。戸建住宅および集合住宅の専有部の地震保険加入率は、損害保険料算出機構の地震保険の都道府県別加入率の推移を参考とした^[3-17]。また、集合住宅の共有部の地震保険加入率は財務省のマンション共用部分の加入促進に関する取組みに示されている付帯率を用いて設定する^[3-18]。ここで付帯率とは当該年度に契約された火災保険のうち地震保険を付帯した世帯の割合を示す。平成27年度の集合住宅の専有部の付帯率71.9%と集合住宅の共有部の付帯率38.1%の比をもとに、集合住宅の専有部の地震保険加入率36.7%に乗じることで、集合住宅の共有部の地震保険加入率18.2%を設定する。

表 3-9 地震保険金の設定

| 被害区分 | 保険金額 | 支払率 | 支払率合計 |
|-------|----------|------|-------|
| 全損 | 建物資産の50% | 100% | 50% |
| 大規模半損 | | 60% | 30% |
| 半損 | | 30% | 15% |
| 一部損 | | 5% | 2.5% |

3.3 復旧費用分析の評価結果

3.3.1 地震動分布

地震動分布として、立川断層帯の地震による震度分布を図 3-16 に示す。図には併せて断層形状も記載している。断層近傍の立川市、国立市等では震度 7 程度、断層から離れた東京都東部でも震度 5 強程度の震度分布となる。この地震に対し、復旧費用の推計と各分析結果を示す。

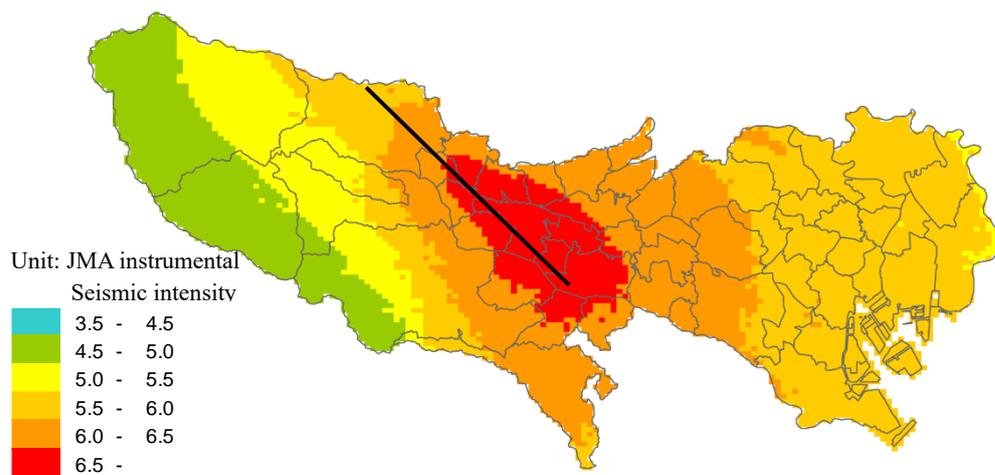


図 3-16 立川断層帯の地震による震度分布

3.3.2 被害世帯数、必要復旧費用

被害世帯分布を図 3-17 に示す。断層直下の立川市だけでなく 23 区部の西方の杉並区や世田谷区でも多く発生している。ここで、被害世帯数の被害区分ごとの内訳を表 3-10 に示す。被害世帯数は 2,811,075 世帯となり東京都の世帯数全体の約 45%が被害を受ける。被害を受ける世帯数のうち、一部損壊世帯数が最も多く、2,116,107 世帯と被害世帯数全体の約 68%を占めている。被害世帯数の多さは続いて半壊、全壊、大規模半壊の順となる。大規模半壊世帯数は全壊世帯数よりも少ないが、これは大規模半壊が損失額の 40%~50%と限られた被害率の区間で定義されるためである。また、被害世帯数 2,811,075 世帯において、集合住宅世帯は約 62%、戸建住宅世帯は約 38%を占めている。総世帯数の住宅別比率と同様、被災世帯も集合住宅の割合が大きい。

最後に、必要復旧費用の分布を図 3-18 に示す。必要復旧費用の分布は被害世帯数の分布と同様の傾向を示すが、被害世帯数の分布に比べると、建物資産が集中する 23 区部の中心~東方も必要復旧費用が高くなっている。23 区部の中心~東方は震度 5 強~6 弱エリアであるが多くの必要復旧費用が発生する。ここで、必要復旧費用の被害区分ごとの内訳を表 3-11 に示す。立川断層帯による必要復旧費用は 15,999,405 百万円になり、東京都の建物資産額の約 11%に相当する。必要復旧費用 15,999,405 百万円のうち、集合住宅世帯の復旧費用は約 63%、戸建住宅世帯の復旧費用は約 37%を占める。復旧費用の住宅別内訳は、被害世帯数の内訳と同様、集合住宅世帯の割合が大きい。集合住宅世帯の被害区分ごとの必要復旧費用の内訳を見ると、一部損壊や半壊が約 26%~28%、全壊が約 37%を占める。集合住宅世帯は、高い耐震性能をもつ非木造構造が多いため、全体として軽微な損傷の割合が大きい。一方、戸建住宅世帯の被害区分ごとの必要復旧費用の内訳を見ると全壊が約 62%を占めている。これより、集合住宅世帯と戸建住宅世帯では、必要復旧費用に占める被害区分の分布が大きく異なる。戸建住宅世帯では全壊への対策対応が重要になるのに対し、集合住宅世帯では、全壊への対策対応に加えて一部損壊~半壊への対策対応も重要になる。

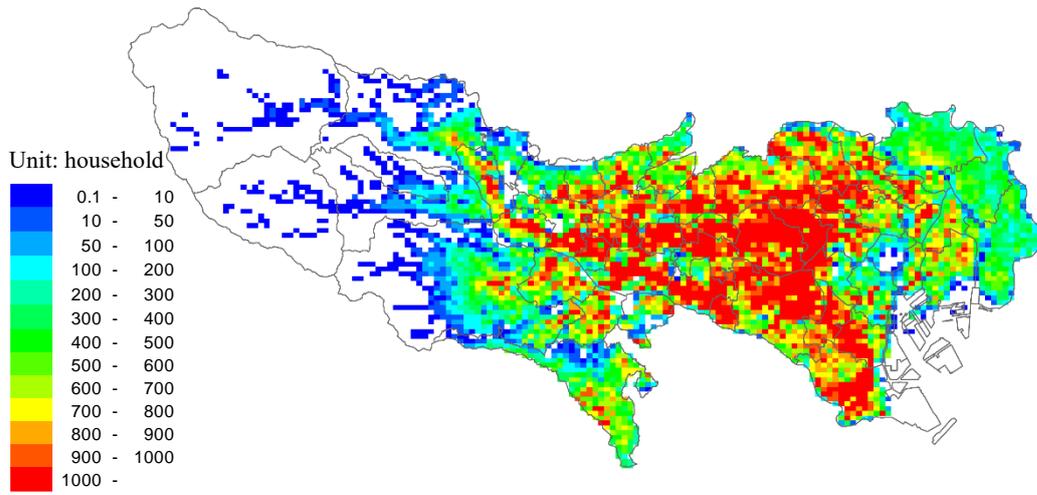


図 3-17 被害世帯数の分布

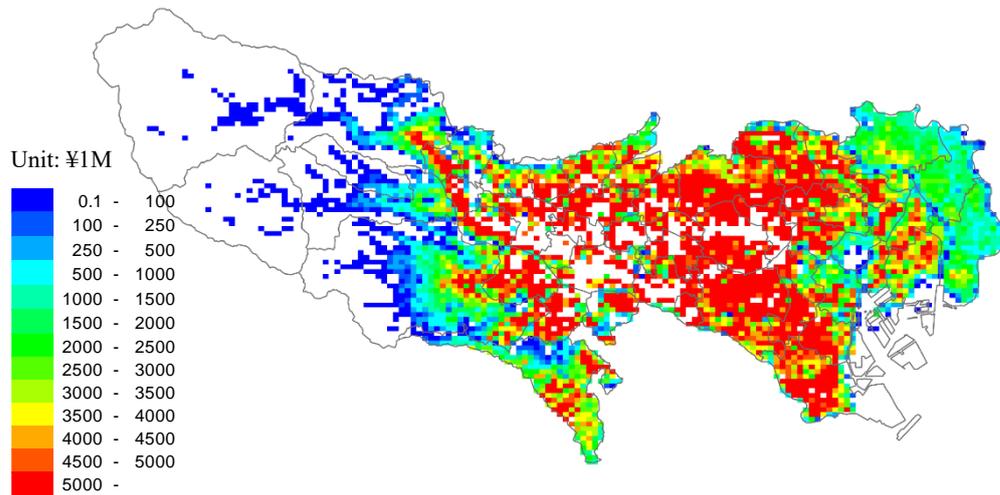


図 3-18 必要復旧費用の分布

表 3-10 被害世帯数

単位：世帯

| 区分 | 被害区分 | | | | 合計 |
|-------|-----------|---------|---------|---------|-----------|
| | 一部損壊 | 半壊 | 大規模半壊 | 全壊 | |
| 集合住宅 | 1,307,365 | 220,127 | 52,578 | 166,775 | 1,746,843 |
| 戸建住宅 | 617,644 | 199,168 | 48,083 | 199,336 | 1,064,231 |
| 東京都全体 | 1,925,009 | 419,295 | 100,661 | 366,110 | 2,811,075 |

表 3-11 必要復旧費用

単位：百万円

| 区分 | 被害区分 | | | | 合計 |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | 一部損壊 | 半壊 | 大規模半壊 | 全壊 | |
| 集合住宅 | 2,817,773 | 2,574,914 | 895,875 | 3,738,960 | 10,027,521 |
| 戸建住宅 | 583,411 | 1,119,688 | 540,770 | 3,728,015 | 5,971,884 |
| 東京都全体 | 3,401,184 | 3,694,602 | 1,436,645 | 7,466,974 | 15,999,405 |

3.3.3 財政支援金

はじめに、被害区分ごとの被災者生活再建支援金を表 3-12 に示す。被災者生活再建支援金の総額は 1,412,609 百万円であり、必要復旧費用の約 9%に相当する。住宅復旧に必要なとする費用に対する被災者生活再建支援金の効果は低く、この制度だけでは復旧費用を賄えないことがわかる。

住宅区分の内訳より、集合住宅世帯の被災者生活再建支援金は 742,577 百万円で必要復旧費用の約 5%に相当する。対して、戸建住宅世帯の被災者生活再建支援金は 670,032 百万円で必要復旧費用の約 10%に相当する。被災者生活再建支援制度の支援金は住宅区分に関わらず一定であるが、集合住宅の建物資産額は戸建住宅に比べて高い。そのため、集合住宅は戸建住宅に比べて被災者生活再建支援金の効果が低くなる。

被害区分の内訳より、被害区分の中で最も多くの被災者生活再建支援金が発生しているのは全壊世帯である。次いで大規模半壊世帯、半壊世帯となっている。半壊世帯は解体および建替を選択した場合に限り支援金が発生する。本研究の被害関数のイベントツリーでは、集合住宅に限り半壊時の建替を考慮している。そのため、集合住宅世帯にのみ支援金が発生している。また、一部損壊世帯は制度対象外であるため支援金は発生していない。集合住宅、戸建住宅ともに被災者生活再建支援金の大半は全壊世帯への支給であり、大規模半壊および半壊世帯の占める割合は小さい。

次に、被害区分ごとの地震保険金を表 3-13 に示す。地震保険金の総額は 2,135,580 百万円であり、必要復旧費用の約 13%に相当する。被災者生活再建支援金に比べると住宅復旧に必要なとする費用に対する地震保険金の効果は大きい。しかし、こちらもこの制度だけでは必要復旧費用を賄えないことがわかる。

住宅区分でみると、集合住宅世帯の地震保険金は 1,039,739 百万円で必要復旧費用の約 10%に、戸建住宅世帯の地震保険金は 1,095,841 百万円で必要復旧費用の約 18%に相当する。集合住宅は戸建住宅に比べて地震保険金の効果が低くなっているが、これは共用部の地震保険加入率が低いためである。集合住宅の共用部は専有部よりも資産価値が高いにも関わらず、専有部に比べて地震保険の加入率が低く、地震保険制度が十分に活用されていない。

被害区分ごとの内訳をみると、被害区分の中で最も多くの地震保険金が発生しているのは全壊世帯であり、全体の約 56%を占めている。次いで半壊世帯、一部損壊世帯、大規模半壊世帯の地震保険金が多い。一部損壊の支払い率は 5%であり、他の被害区分の支払い率と比べて低い値であるが、一部損壊に該当する世帯が多いため、地震保険金の約 15%を占めている。

表 3-12 被災者生活再建支援金

単位：百万円

| 区分 | 被害区分 | | | | 合計 |
|-------|------|---------|---------|-----------|-----------|
| | 一部損壊 | 半壊 | 大規模半壊 | 全壊 | |
| 集合住宅 | 0 | 165,095 | 111,596 | 465,887 | 742,577 |
| 戸建住宅 | 0 | 0 | 72,025 | 598,007 | 670,032 |
| 東京都全体 | 0 | 165,095 | 183,621 | 1,063,893 | 1,412,609 |

表 3-13 地震保険金

単位：百万円

| 区分 | 被害区分 | | | | 合計 |
|-------|---------|---------|---------|-----------|-----------|
| | 一部損壊 | 半壊 | 大規模半壊 | 全壊 | |
| 集合住宅 | 215,328 | 208,161 | 100,443 | 515,807 | 1,039,739 |
| 戸建住宅 | 107,056 | 205,463 | 99,231 | 684,091 | 1,095,841 |
| 東京都全体 | 322,384 | 413,624 | 199,674 | 1,199,898 | 2,135,580 |

3.4 必要復旧費用に対する財政支援制度の効果

本節では、前節より得られた結果をもとに、財政支援制度の効果を把握する。必要復旧費用に対する被災者生活再建支援金と地震保険金および自己負担の割合を図 3-19、図 3-20 に示す。図より、財政支援制度を利用することで自己負担の割合は減少する。集合住宅世帯の自己負担の割合は約 74%~92%、戸建住宅世帯の自己負担の割合は約 66%~82%になる。集合住宅世帯と戸建住宅世帯共に、住宅の被害規模が甚大になるほど自己負担の割合が減少している。被害規模が甚大で復旧が困難な世帯に対してより多くの支援が為されていることがわかる。また、集合住宅世帯の方が戸建住宅世帯に比べて自己負担の割合が大きい。これは先に記述したように、集合住宅世帯は、戸建住宅に比べて建物資産額が高く、かつ、建物資産額が高い共用部の地震保険加入率が低いため、財政支援制度の効果が低いためである。集合住宅世帯は、戸建住宅世帯ほどに財政支援制度の効果を得られず、住宅復旧が為しにくい状況にある。

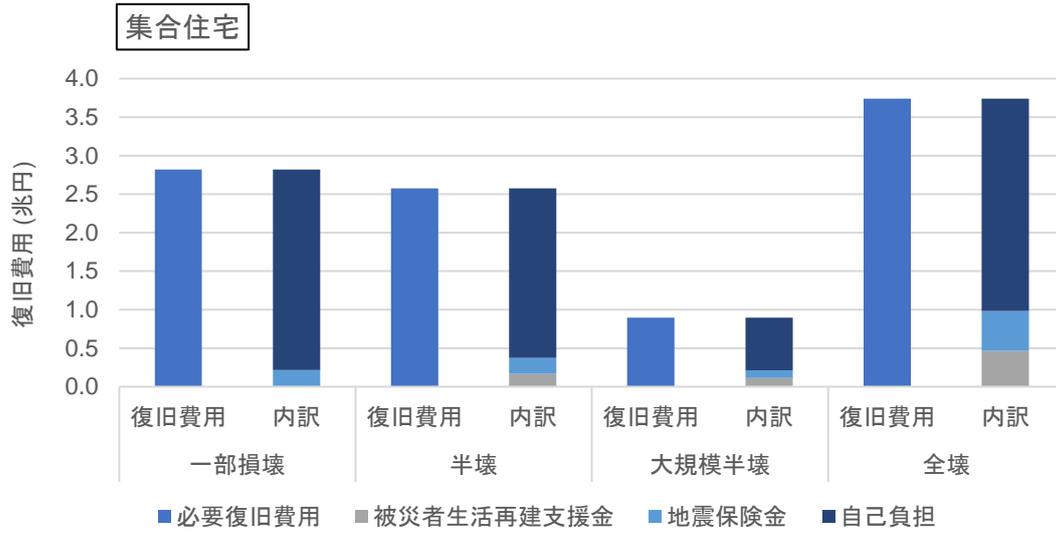


図 3-19 集合住宅世帯の被害区分別の必要復旧費用と財政支援金

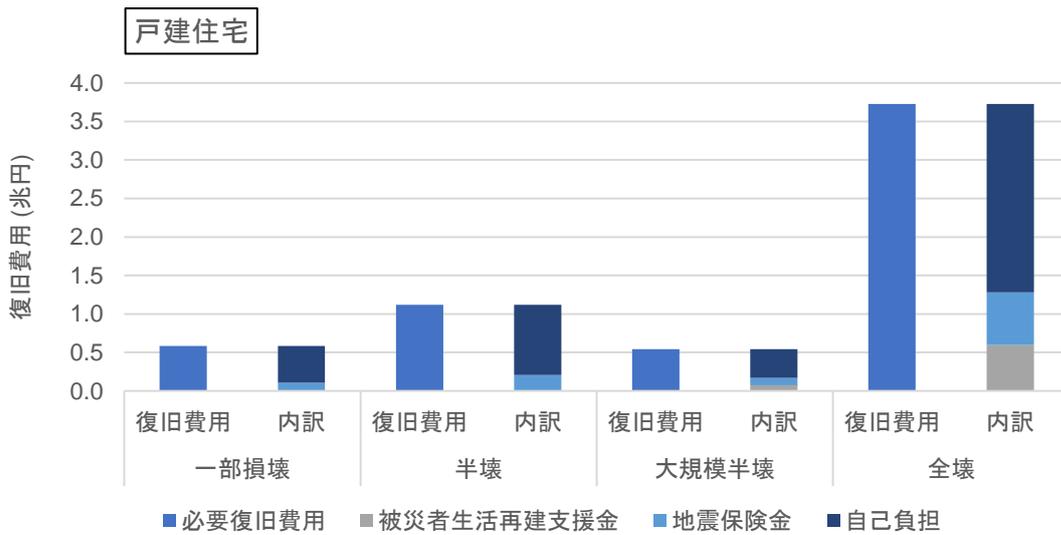


図 3-20 戸建住宅世帯の被害区分別の必要復旧費用と財政支援金

3.5 復旧費用調達に関する分析

被災世帯が必要復旧費用を十分に調達できない場合、金融機関から借り入れることになる。既に住宅に関する借入を保有している場合は二重負債になることも多く、借り入れ限度額が限られる。このような状況下で、各被災世帯は住宅の復旧水準を決定し、復旧費用の調達を行う。しかし、集合住宅の場合は自己資金の有無に関わらず、区分所有者の合意形成のもとで復旧水準が決定されるため、復旧費用が不足しやすい状況にある。そこで本研究では、被災世帯が建物を復旧させるため必要とする自己負担金と現実に調達可能な金額を分析することで復旧費用の不足を明らかにする。住宅区分、被害区分別に不足復旧費用を示すことで、今後重点的に対策対応が必要な被害世帯対象を明らかにする。

不足復旧費用を表す指標として、次式の不足復旧費用比率 S_j を定義する。被災に見舞われた世帯を対象として被害区分 j の被災世帯 i の必要復旧費用を $C_{i,j}$ とする。財政支援対策として住宅再建支援制度による支援金を $SC_{i,j}$ 、地震保険制度による支援金を $SI_{i,j}$ とし、各被害世帯が復旧のために自己調達できる金融資産を $AI_{i,j}$ とする。不足復旧費用比率 S_j は、値が小さいほど復旧しやすいことを示し、理想的には 1.0 を下回ることが望ましい。

$$s_j = \sum_{i=1}^N \frac{(C_{i,j} - SC_{i,j} - SI_{i,j})}{AI_{i,j}} \quad (3-11)$$

次に、自己調達できる金融資産をパラメータとして、被害区分ごとの不足復旧費用比率を示す。自己調達できる金融資産は、世帯の預金残高と保有する有価証券を用いて算出する。総務省の家計調査報告^[3-19]によると二人以上世帯の関東の金融資産の中央値は 5,170 千円であるが、これら金融資産は 1,000 千円未満～30,000 千円以上と大きなばらつきを有する。そこで本研究では、各世帯の金融資産を 1,000 千円～10,000 千円に一律変動させて、不足復旧費用比率の把握を行った。分析結果を図 3-21～図 3-24 に示す。図の横軸は世帯あたりの金融資産を、図の縦軸は不足復旧費用比率を示す。不足復旧費用比率が高いほど住宅復旧が困難であることを示す。

図より、不足復旧費用比率が高いのは、全壊世帯、大規模半壊世帯、半壊世帯、一部損壊世帯の順である。前節の図 3-19～図 3-20 に示したように、全壊世帯や大規模半壊

世帯は、半壊世帯や一部損壊世帯に比べて被災者生活再建支援金や地震保険金等の財政支援を受けるものの、必要復旧費用が高額なため、住宅再建に必要な復旧費用調達ができている。これに対し一部損壊世帯は、不足復旧費用比率は低い。前節の表 3-11 に示したように、一部損壊世帯全体で発生する復旧費用は大きいですが、世帯あたりの金融資産が一定金額確保できれば、不足復旧費用比率は 1.0 を下回る。

集合住宅世帯と戸建住宅世帯の不足復旧費用比率を比べると、集合住宅の不足復旧費用比率の方が高い。集合住宅世帯の大規模半壊と、戸建住宅の全壊世帯は同程度の不足復旧費用比率となっており、集合住宅世帯は全壊に至らずとも復旧費用調達が困難といえる。

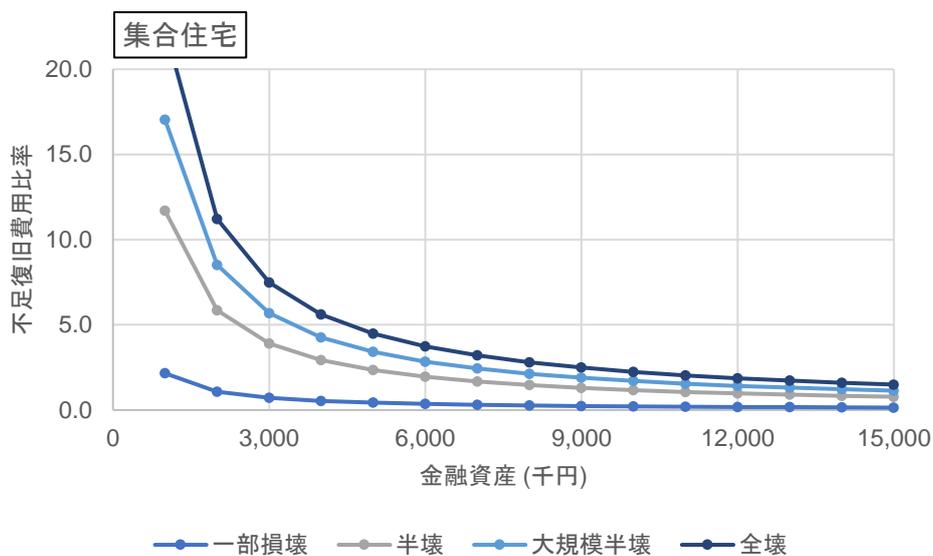


図 3-21 集合住宅世帯の不足復旧費用比率 (財政支援制度の考慮前)

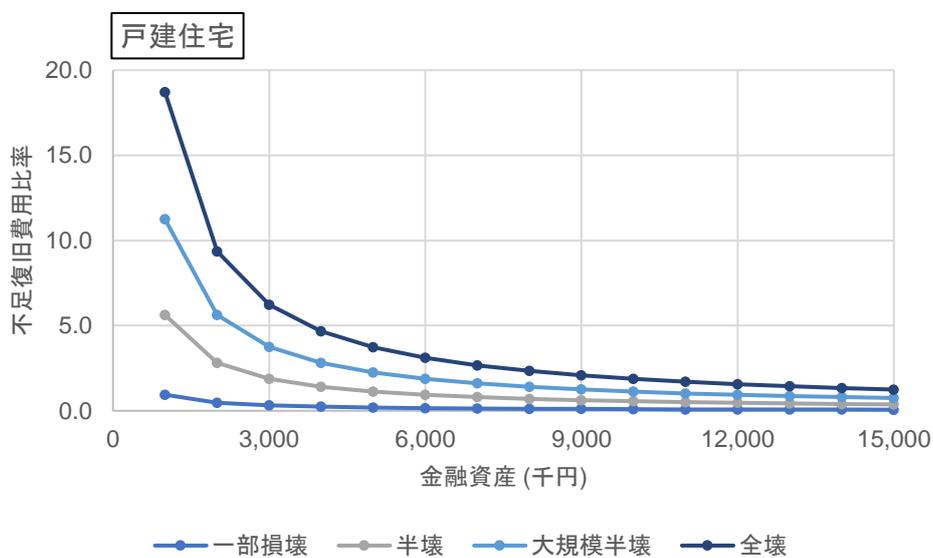


図 3-22 戸建住宅世帯の不足復旧費用比率 (財政支援制度の考慮前)

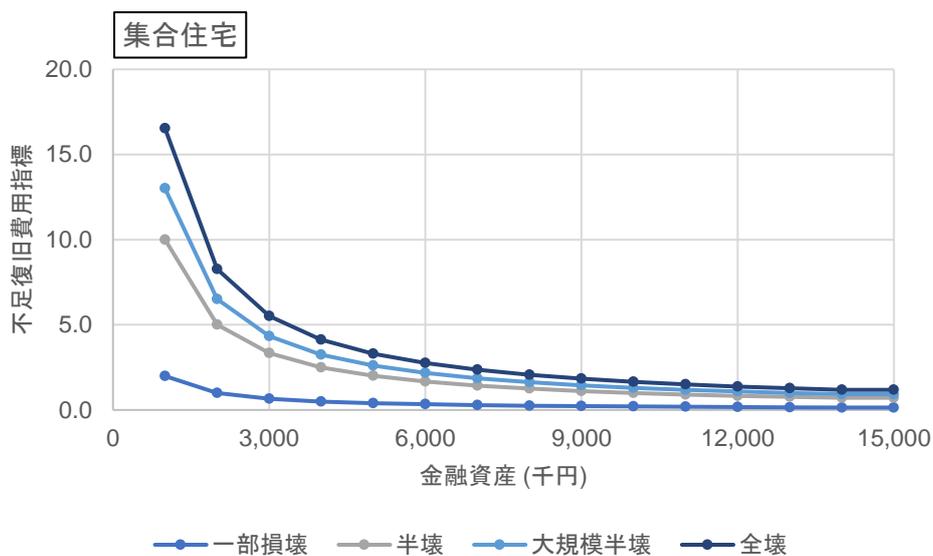


図 3-23 集合住宅世帯の不足復旧費用比率 (財政支援制度の考慮後)

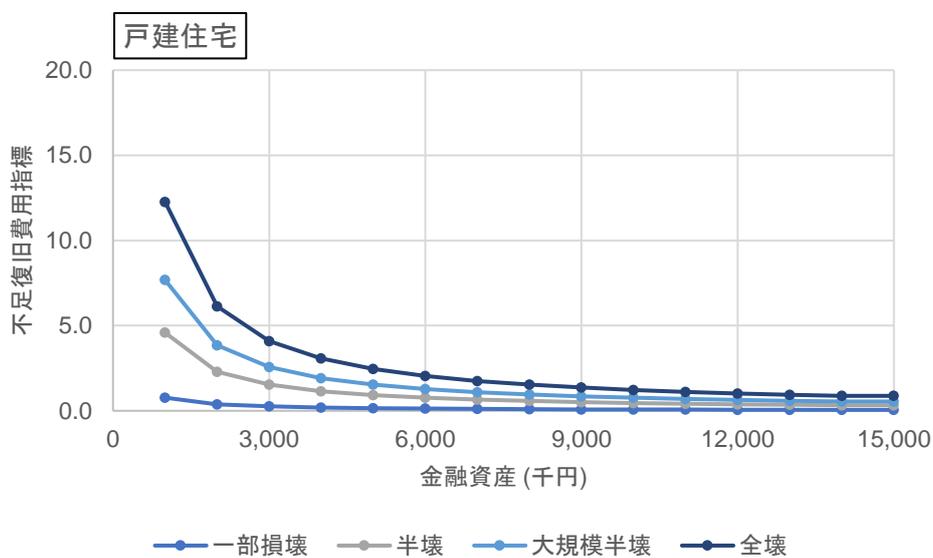


図 3-24 戸建住宅世帯の不足復旧費用比率 (財政支援制度の考慮後)

3.6 まとめ

本章では、評価対象として東京都を、都市直下地震として立川断層帯の地震を事例として扱い、住宅復旧費用の分析を行った。集合住宅や戸建住宅の住宅区分や、一部損壊～全壊の被害区分ごとの必要復旧費用、各種財政支援制度の効果および傾向を明らかにした。一定の条件下の検討ではあるが、各分析より得られた結果をもとに迅速な住宅復旧に向けた各種財政支援対策の課題と、今後の効果的な対策・対応についての考察を以下に記す。

- 立川断層帯の地震に対する被災者生活再建支援金の総額は 1,412,609 百万円となった。現在の被災者生活再建支援制度の基金は、近年の災害の多発によって 205,000 百万円にまで減少している^[3-20]。被災者生活再建支援制度の支援金は、国が半分を負担することになっており、東日本大震災時では5分の4を負担している。国が東日本大震災と同様の負担を行ったとしても 282,522 百万円は拠出する必要があり、被災者生活再建支援の基金は不足する。被災者生活再建支援金が必要復旧費用に対して十分でないとしても、現状以上の支援金拡大を行うことは困難である。
- 必要復旧費用に対する被災者生活再建支援金の割合は、集合住宅世帯で最大 12%程度、戸建住宅世帯で最大 16%程度である。集合住宅世帯は戸建住宅世帯に対して被災者生活再建支援制度の効果が低いことを明らかにした。今後発生が予想されている都市直下地震に向けて、集合住宅世帯に適した被災者生活再建支援制度の在り方を検討する必要がある。集合住宅への被災者生活再建支援制度の効果を上げるためには、地震保険のように建物資産額の対する比率で支援金を定めることや、住宅区分に応じて制度を定め、専有部と共用部のそれぞれに支援金を支給することが挙げられる。ただし、これらは支援額の拡大に繋がるため、併せて財政負担の検討が必要である。
- 立川断層帯の地震に対する地震保険金の総額は 2,592,302 百万円となった。本地震による保険の支払いは現行制度で定められている限度額 11 兆 5662 億円を下回っており^[3-21]、現行制度内で調達できる範囲内であることを明らかにした。
- 地震保険金の支援効果は被災者生活再建支援金よりも大きく、復旧費用の財政支援制度として果たす役割は大きい。必要復旧費用に対する地震保険金の割合は、集合住宅世帯で最大 14%程度、戸建住宅世帯で最大 18%程度である。集合住宅世帯は戸建住宅世帯に対して地震保険制度の効果が低いことを明らかにした。集合住宅の地震保険制度の効果が低い理由は、集合住宅の共用部にある。集合住宅の共用部は建物資産の 60%を占めるにも関わらず、対策のないままリスクに曝されており、地震

保険加入率向上の施策が必要である。

- 各種財政支援制度を利用することで自己負担の割合は、集合住宅世帯で約 74%～92%、戸建住宅世帯で約 66%～82%となる。集合住宅世帯と戸建住宅世帯共に、被害規模が甚大になるほど自己負担の割合は減少する。全壊世帯や大規模半壊世帯等の住宅復旧が困難な世帯へ対して、より大きな支援を行うことは災害対策として望ましい方向と考える。ただ、全壊世帯や大規模半壊世帯の復旧費用不足指標をみると、財政支援制度後も復旧費用不足指標は高く、依然と住宅復旧が為しにくい状態にある。
- 一部損壊世帯や半壊世帯は、一定の金融資産を調達することで復旧費用不足指標が 1.0 を下回ることを明らかにした。一部損壊世帯や半壊世帯は被害世帯数が多いため、これら世帯への支援金は大きな額になる。本検討結果では、一部損壊世帯の地震保険金は全保険金の約 20%を、半壊世帯の地震保険金は全保険金の約 19%を、半壊世帯の被災者生活再建支援金は全支援金の約 10%を占めている。しかし、これら世帯が自助によって復旧が可能ならば、これら世帯を財政支援制度の対象外とすることで基金を抑制することができ、大規模半壊や全壊の支援制度の拡充が行える。被災世帯の復旧費用不足指標の平滑化を図ることで、地域全体の迅速な住宅復旧を促進できる。ただし、全壊世帯や大規模半壊世帯に対して無条件に多くの支援を行うことは、自助努力を怠ることに繋がりがねない。制度利用にあたり、被害防止・低減対策の義務を負う等の条件が必要である。

被災した集合住宅は、区分所有法および被災マンション法による住宅再建決議に多くの時間を必要とするが、復旧費用調達が十分に為せない場合はその合意形成はより困難になる。特に都市部では、集合住宅の割合が高く、住宅復旧の遅れは被災地域全体の震災復興に大きく影響する。4章では、得られた知見に基づき、耐震化等の防災対策と被災者生活再建支援制度、地震保険制度等の財政支援対策を組み合わせた経済的支援システムを検討する。

第4章 耐震対策制度と財政支援制度を組み合わせた経済的支援システム

4.1 はじめに

近年の地震災害では、建物が甚大な被害を受け、多くの被災者が住宅復旧費用を調達できずに避難生活を余儀なくされた。住宅復旧は生活基盤を支える重要な要素であり、被災地域の復旧復興に大きく影響する。被災後の速やかな復旧復興を計画するのであれば、被災地域全体で住宅復旧費用を把握し、その費用をどのように調達すべきかの対策を講じることが重要である。前章の検討によって現状制度の課題は明らかになったが、今後に向けてどのような施策が有効であるかの定量的評価には至っていない。また、財政支援制度の充実と共に、自助による減災や復旧の取組みを促進させることもまた重要である。例えば、アメリカの国家洪水保険プログラム^[4-1]（National Flood Insurance Program：以下 NFIP と略称する）は財政支援制度の拡充と自助努力の取組みを一体で運用している。本制度は、自治体単位で加入し、本制度に加入する自治体は、各種の洪水対策を講じる義務を負っている。事前対策を為すことで洪水被害の軽減し、大規模災害時の保険の不安定化（多額の保険金支払いで保険制度の不安定化・破綻）を抑制し、かつ、被災者へ充実した補償を図っている。しかし、日本においては、財政支援制度の拡充と自助努力の取組みを一体とした制度は未だない。

そこで本章では、被災時の早期復旧復興を目的とし、自助、共助、公助による各制度を一体とした経済的支援システムを提案する。建物の耐震化による減災、被災者生活再建支援制度による住宅復旧への下支えをベースとして、地震保険制度と自己資金による復旧の各連携を検討する。莫大な費用が必要となる全壊や大規模全壊世帯に対しての支援を集中し、それよりも被害の少ない世帯はなるべく自助による復旧を目指すことで、全壊世帯や大規模半壊世帯も諦観せずに自助で住宅再建ができる社会を目指す。

また前章では甚大な被害を発生させる立川断層帯の地震を対象として検討を行っていた。しかし、経済的支援システムの有効性の検討は特定の地震に限らず多くの地震に対して行われることが望ましい。そこで本検討では、地域において今後発生が予想される中小地震～大地震、巨大地震までの幅広い災害を評価可能な確率論的地震リスク評価にて経済的支援システムの効果分析を行う。確率論的地震リスク解析を行うことで、Average Annual Loss（以下、AAL）や Value at Risk（以下、VaR）のリスク指標を得ることができる（図 4-1 参照）。ここで、AAL とは 1 年間で発生が予想される損失の期待値を示し、将来災害が発生したときの補償を行うために毎年充当すべき費用を表す。所謂、保険料率に該当し、制度成立に向けた費用便益の検討で重要な指標である。VaR とは一定の期間において発生が予測される損失を示す。将来発生が予想され、その際に必要と

する費用を表す。再現期間ごとの費用を算出するため、対策の必要性・重要性が把握できる。一例として、98%VaRは再現期間50年（年超過確率2%）、99.8%VaRは再現期間500年（年超過確率0.2%）、99.95%VaRは再現期間2000年（年超過確率0.05%）の費用を示す。各年超過確率に対し、日本建築構造技術者協会の性能メニュー（図4-2）を参考にすると、概ね、98%VaRは稀に作用する地震、99.8%VaRは極めて稀に作用する地震、99.95%VaRは巨大地震の時の被害に相当する。本リスク指標を用いることで、年平均、中小地震時または大地震時、巨大地震時に必要とする必要復旧費用や不足復旧費用を検討できる。

これら検討を行うことで、中小地震～大地震、巨大地震に対する経済的支援システムの効果を分析し、減災・復旧対策が財政支援制度に及ぼす効果や、財政支援制度の拡充が減災・復旧対策に及ぼす効果を把握することで、今後の効果的な経済的支援システムに向けての考察を行う。

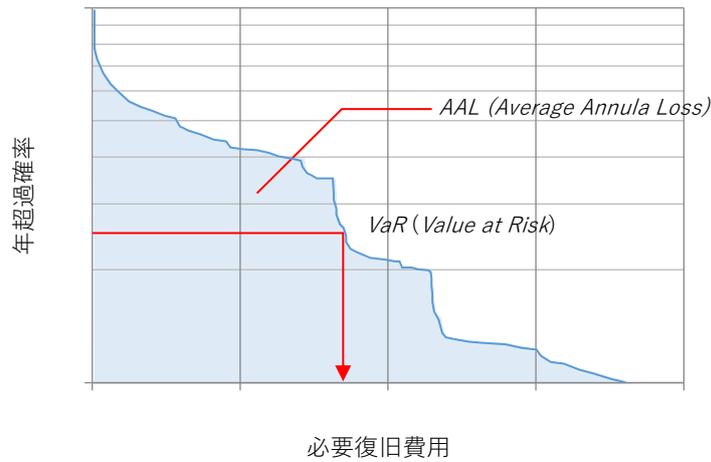


図 4-1 イベントリスクカーブとリスク指標の一例

| 性能グレード | | 稀に作用する荷重 | 極めて稀に作用する荷重 | 余裕度の検証 |
|--------|-------|---------------|--------------|---------------|
| 特級 | 免震 | 機能維持/無被害/修復不要 | | |
| | 耐震/制震 | 無被害 | | |
| 上級 | | 修復不要 | 軽微な被害 | 小破 中破 大破 |
| 基準級 | | 軽微な修復 | 小規模修復 中規模修復 | 大規模修復 |
| 地震の程度 | | 中地震 | 大地震 | 巨大地震 |
| 震度階 | | 5弱 5強 | 6弱 6強 | 7 |
| 再現期間 | | 1 in 30year | 1 in 500year | 1 in 1000year |
| 備考 | | | 関東大震災 | 阪神・淡路大震災 |

図 4-2 日本建築構造技術者協会の性能メニュー

4.2 経済的支援システムのケース設定

日本建築構造技術者協会が提示する性能メニュー（図 4-2）を参考にすると、一般的な新耐震相当の耐震性能である基準級の建物であれば、震度 5 弱や震度 5 強時の建物被害は修復不要～軽微、小規模修復に留まることが期待されている。また前章では、これら軽微な被害であれば自己の金融資産で復旧できる可能性が高いことが明らかになった。そこで本章で提案する経済的支援システムは、NFIP で見られるように、加入する世帯は自助による減災の取組みとして建物の耐震化の推進を担うものとする。一定の震度以下の世帯を補償対象世帯から外し、一定の震度以下の軽微な被害を補償対象外にして自助による復旧を期待することで、より大きい震度下の被害世帯への支援拡充につなげることを検討する。

検討する経済的支援システムのケースを表 4-1 に示す。表に示すように建物の耐震化率と地震保険の条件設定をパラメータとして設定している。なお、被災者生活再建支援制度は住宅復旧への下支えとしての役割を期待して現行同様とする。本稿では、集合住宅および戸建住宅の耐震化率を 85%とした Case1 を基準として検討を行う^[4-2]。

Case2A～2C は、集合住宅および戸建住宅の耐震化率を 5%刻み 100%まで上げたケースである。ここで、耐震化率とは全建物棟数に対する新耐震相当の耐震性能を有する建物棟数の割合を示す。本研究で提案する経済的支援システムは、建物の耐震化を前提とした制度を想定するが、耐震化を進めるにあたっては、耐震改修をどこまで積極的に行うかの検討が必要である。耐震化率は耐震改修だけでなく、新築や建替え、除却などによっても上昇する値であり、耐震補強を積極的に行わずとも、立地誘導や土地利用規制等による緩やかな建替を行うことで耐震化を促進させることが可能である。耐震改修費用とその効果の費用便益性を分析することで、耐震化についての方針を検討する。

Case3A～3B は、地震保険の条件設定を変更したケースである。Case3A では震度 5 弱を支援対象外、Case3B では震度 5 強を支援対象外とし、これによって得られる余剰金を用いて他の被害世帯への支援拡充を検討する。地震保険制度の条件は、戸建住宅、集合住宅の専有部、共有部含め全世帯加入とし、全ての建物資産に対して経済的支援システムを設定する。また地震保険制度の支払条件は現行制度通りとする。

Case4A～Case4B は、耐震化と地震保険の条件設定を変更したケースであり、理想とする耐震化が為された際の経済的支援システムの効果について検討する。

表 4-1 経済的支援システムの検討ケース

| CaseNo. | 耐震化率 | 地震保険の条件 | | 被災者生活再 建支援制度 |
|---------|------|---------|----------------|-----------------|
| | | 保険加入 | 免責条件 | |
| 1 | 85% | 全世帯加入 | 条件なし | 現行通り |
| 2A | 90% | | 条件なし | |
| 2B | 95% | | 条件なし | |
| 2C | 100% | | 条件なし | |
| 3A | 85% | | 震度 5 弱以下は補償対象外 | |
| 3B | 85% | | 震度 5 強以下は補償対象外 | |
| 4A | 100% | | 震度 5 弱以下は補償対象外 | |
| 4B | 100% | | 震度 5 強以下は補償対象外 | |

4.3 経済的支援システムの効果分析の評価手法

前節で設定した経済的支援システムの効果を把握するにあたり、第3章同様、個々の建物や世帯をモデル化し、復旧費用分析のシミュレーションを行う。復旧費用分析の評価の流れを図4-3に示す。図に示すように、前章との主な違いは確率論的地震リスク評価を行うため、1年間に複数の地震イベントを発生させ、それを10万回試行するところである。また、地震ハザード評価および被害関数の評価は第3章と同様である。

以降では、シミュレーションに用いた各評価手法を記す。

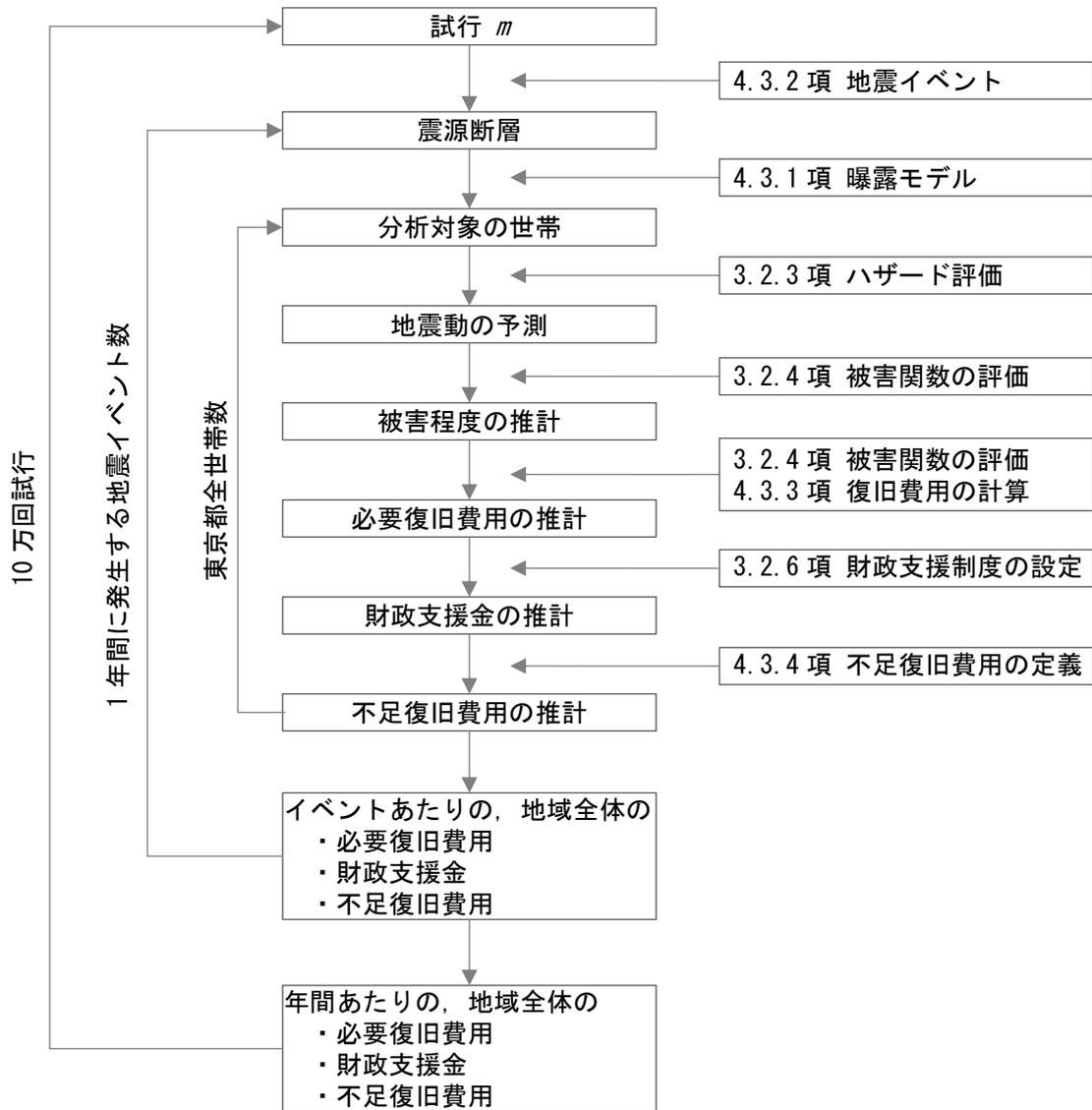


図 4-3 分析評価の流れ

4.3.1 曝露モデルの評価

曝露モデルの評価は、3.2.1 項と同様とする。ただし、経済的支援システムを検討するにあたり、集合住宅世帯、戸建住宅世帯の耐震化率を4.2 節に示す値に設定する。耐震化率を85%、90%、95%、100%にした際の住宅種類別の構造別建築年代別の世帯数および資産額を表4-2～表4-5にそれぞれ示す。表に示すように、建物の耐震化によって1980年以前の建物に居住する世帯を新耐震の建物（1981年～2001年）に居住する世帯にする。これより1981年以降の建物に居住する世帯が世帯全体の85%になるように設定する。また建物の資産額は耐震補強前後で変化しないと設定とした。

また耐震化に掛かる工事費用は、東京都耐震ポータルサイト^[42]等を参考に1,500千円/m²とする。この単位面積あたりの耐震工事費に3.2.1 項の表3-2で定めた延べ面積を乗じることで1世帯あたりの耐震工事費を算出する。1世帯あたりの住宅種類別構造別の耐震工事費を表4-6に示す。また4.2 節に示す各耐震化を達成するために必要な耐震対策費用を表4-7に示す。表より、90%の耐震化率を達成するためには約0.5兆円が、95%の耐震化率を達成するためには約1.1兆円が、100%の耐震化率を達成するためには約1.7兆円が必要である。

表 4-2 東京都全体の世帯数, 資産額 (耐震化率 85%)

単位: 世帯, 十億円

| 区分 | | 世帯数 | | | 建物資産額 | | |
|-------|------------|-----------|-----------|-----------|---------|--------|---------|
| 用途区分 | 年代区分 | 非木造 | 木造 | 合計 | 非木造 | 木造 | 合計 |
| 集合住宅 | 1971年以前 | 152,468 | 45,911 | 198,378 | 4,293 | 783 | 5,076 |
| | 1972～1981年 | 386,183 | 67,754 | 453,938 | 10,875 | 1,155 | 12,030 |
| | 1982年以降 | 3,052,356 | 644,102 | 3,696,458 | 85,954 | 10,983 | 96,938 |
| | 小計 | 3,591,007 | 757,767 | 4,348,774 | 101,123 | 12,921 | 114,044 |
| 戸建住宅 | 1971年以前 | 4,283 | 131,565 | 135,848 | 119 | 2,449 | 2,568 |
| | 1972～1981年 | 5,659 | 145,739 | 151,398 | 157 | 2,713 | 2,870 |
| | 1982年以降 | 56,343 | 1,571,387 | 1,627,730 | 1,562 | 29,256 | 30,818 |
| | 小計 | 66,285 | 1,848,691 | 1,914,976 | 1,837 | 34,419 | 36,256 |
| 東京都全体 | | 3,657,293 | 2,606,457 | 6,263,750 | 102,960 | 47,340 | 150,301 |

表 4-3 東京都全体の世帯数, 資産額 (耐震化率 90%)

単位: 世帯, 十億円

| 区分 | | 世帯数 | | | 建物資産額 | | |
|-------|------------|-----------|-----------|-----------|---------|--------|---------|
| 用途区分 | 年代区分 | 非木造 | 木造 | 合計 | 非木造 | 木造 | 合計 |
| 集合住宅 | 1971年以前 | 101,645 | 30,607 | 132,252 | 2,862 | 522 | 3,384 |
| | 1972～1981年 | 257,456 | 45,170 | 302,625 | 7,250 | 770 | 8,020 |
| | 1982年以降 | 3,231,907 | 681,990 | 3,913,897 | 91,010 | 11,629 | 102,640 |
| | 小計 | 3,591,007 | 757,767 | 4,348,774 | 101,123 | 12,921 | 114,044 |
| 戸建住宅 | 1971年以前 | 2,856 | 87,710 | 90,565 | 79 | 1,633 | 1,712 |
| | 1972～1981年 | 3,773 | 97,159 | 100,932 | 105 | 1,809 | 1,913 |
| | 1982年以降 | 59,657 | 1,663,822 | 1,723,478 | 1,654 | 30,977 | 32,631 |
| | 小計 | 66,285 | 1,848,691 | 1,914,976 | 1,837 | 34,419 | 36,256 |
| 東京都全体 | | 3,657,293 | 2,606,457 | 6,263,750 | 102,960 | 47,340 | 150,301 |

表 4-4 東京都全体の世帯数, 資産額 (耐震化率 95%)

単位: 世帯, 十億円

| 区分 | | 世帯数 | | | 建物資産額 | | |
|-------|------------|-----------|-----------|-----------|---------|--------|---------|
| 用途区分 | 年代区分 | 非木造 | 木造 | 合計 | 非木造 | 木造 | 合計 |
| 集合住宅 | 1971年以前 | 50,823 | 15,304 | 66,126 | 1,431 | 261 | 1,692 |
| | 1972~1981年 | 128,728 | 22,585 | 151,313 | 3,625 | 385 | 4,010 |
| | 1982年以降 | 3,411,457 | 719,878 | 4,131,335 | 96,067 | 12,275 | 108,342 |
| | 小計 | 3,591,007 | 757,767 | 4,348,774 | 101,123 | 12,921 | 114,044 |
| 戸建住宅 | 1971年以前 | 1,428 | 43,855 | 45,283 | 40 | 816 | 856 |
| | 1972~1981年 | 1,886 | 48,580 | 50,466 | 52 | 904 | 957 |
| | 1982年以降 | 62,971 | 1,756,256 | 1,819,227 | 1,746 | 32,698 | 34,444 |
| | 小計 | 66,285 | 1,848,691 | 1,914,976 | 1,837 | 34,419 | 36,256 |
| 東京都全体 | | 3,657,293 | 2,606,457 | 6,263,750 | 102,960 | 47,340 | 150,301 |

表 4-5 東京都全体の世帯数, 資産額 (耐震化率 100%)

単位: 世帯, 十億円

| 区分 | | 世帯数 | | | 建物資産額 | | |
|-------|------------|-----------|-----------|-----------|---------|--------|---------|
| 用途区分 | 年代区分 | 非木造 | 木造 | 合計 | 非木造 | 木造 | 合計 |
| 集合住宅 | 1971年以前 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 1972~1981年 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 1982年以降 | 3,591,007 | 757,767 | 4,348,774 | 101,123 | 12,921 | 114,044 |
| | 小計 | 3,591,007 | 757,767 | 4,348,774 | 101,123 | 12,921 | 114,044 |
| 戸建住宅 | 1971年以前 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 1972~1981年 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 1982年以降 | 66,285 | 1,848,691 | 1,914,976 | 1,837 | 34,419 | 36,256 |
| | 小計 | 66,285 | 1,848,691 | 1,914,976 | 1,837 | 34,419 | 36,256 |
| 東京都全体 | | 3,657,293 | 2,606,457 | 6,263,750 | 102,960 | 47,340 | 150,301 |

表 4-6 世帯あたりの耐震工事費用

| 区分 | | 延べ面積 (m ²) | | | 工事単価 (千円/米) | 工事費 (千円) |
|------|------|------------------------|-------|-----|----------------|-------------|
| 用途区分 | 構造区分 | 専有部面積 | 共用部面積 | 合計 | | |
| 集合住宅 | 非木造 | 51 | 77 | 128 | 150 | 1,920 |
| | 木造 | 39 | 59 | 98 | | 1,470 |
| 戸建住宅 | 非木造 | 107 | — | 107 | | 1,890 |
| | 木造 | 126 | — | 126 | | 1,605 |

表 4-7 世帯あたりの耐震工事費用

| 耐震化率 | 構造区分 | 耐震工事対象世帯数 (世帯) | 工事費 (百万円) |
|------|------|-------------------|--------------|
| 85% | 集合住宅 | 217,438 | 400,431 |
| | 戸建住宅 | 95,749 | 154,622 |
| | 合計 | 313,187 | 555,053 |
| 90% | 集合住宅 | 434,878 | 800,866 |
| | 戸建住宅 | 191,498 | 309,244 |
| | 合計 | 626,376 | 1,110,110 |
| 95% | 集合住宅 | 652,316 | 1,201,297 |
| | 戸建住宅 | 287,247 | 463,865 |
| | 合計 | 939,563 | 1,665,163 |
| 100% | 集合住宅 | 217,438 | 400,431 |
| | 戸建住宅 | 95,749 | 154,622 |
| | 合計 | 313,187 | 555,053 |

4.3.2 地震イベントの評価

4.3.2.1 震源断層

東京都の都市直下地震として想定する地震は、予測地図に示される陸域の浅い地震とする^[4-4]。本地震は、立川断層帯による地震等の内陸活断層や、震源断層をあらかじめ特定しない地震で構成される（表 4-8）。震源断層をあらかじめ特定しない地震は、0.1 度刻みで東京都全域に一律に震源断層を設定している。本検討で用いた地震の一例として、主要活断層、および、その他の活断層の断層形状を図 4-4、図 4-5 にそれぞれ示す。

表 4-8 想定する地震イベント

| 大分類 | 中分類 | 震源 | 震源形状 | イベント数 |
|-----------------|---------------------------------|-----------------------------|------|---------|
| 陸側プレート の浅い地震 | 活断層で発生 する地震 | 主要活断層帯で発生する固有地震 | 矩形震源 | 360 |
| | | その他の活断層で発生する地震 | 矩形震源 | 149 |
| | | 地表の証拠からは活動の痕跡を認めにくい地震 | 矩形震源 | 1,160 |
| | 長期評価され た地震のうち、繰り返 し発生する地震 | 北海道北西沖の地震 | 矩形震源 | 6 |
| | | 北海道西方沖の地震 | 矩形震源 | 1 |
| | | 北海道南西沖の地震 | 矩形震源 | 1 |
| | | 青森県西方沖の地震 | 矩形震源 | 1 |
| | | 秋田県沖の地震 | 矩形震源 | 2 |
| | | 山形県沖の地震 | 矩形震源 | 1 |
| | | 新潟県北部沖の地震 | 矩形震源 | 1 |
| | | 佐渡島北方沖の地震 | 矩形震源 | 6 |
| | 震源断層を予 め特定しにく い地震 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震 | 点震源 | 276,768 |
| | | 日本海東縁部の震源断層を特定しにくい地震 | 点震源 | 31,850 |
| | | 伊豆諸島以南の震源断層を特定しにくい地震 | 点震源 | 63,908 |

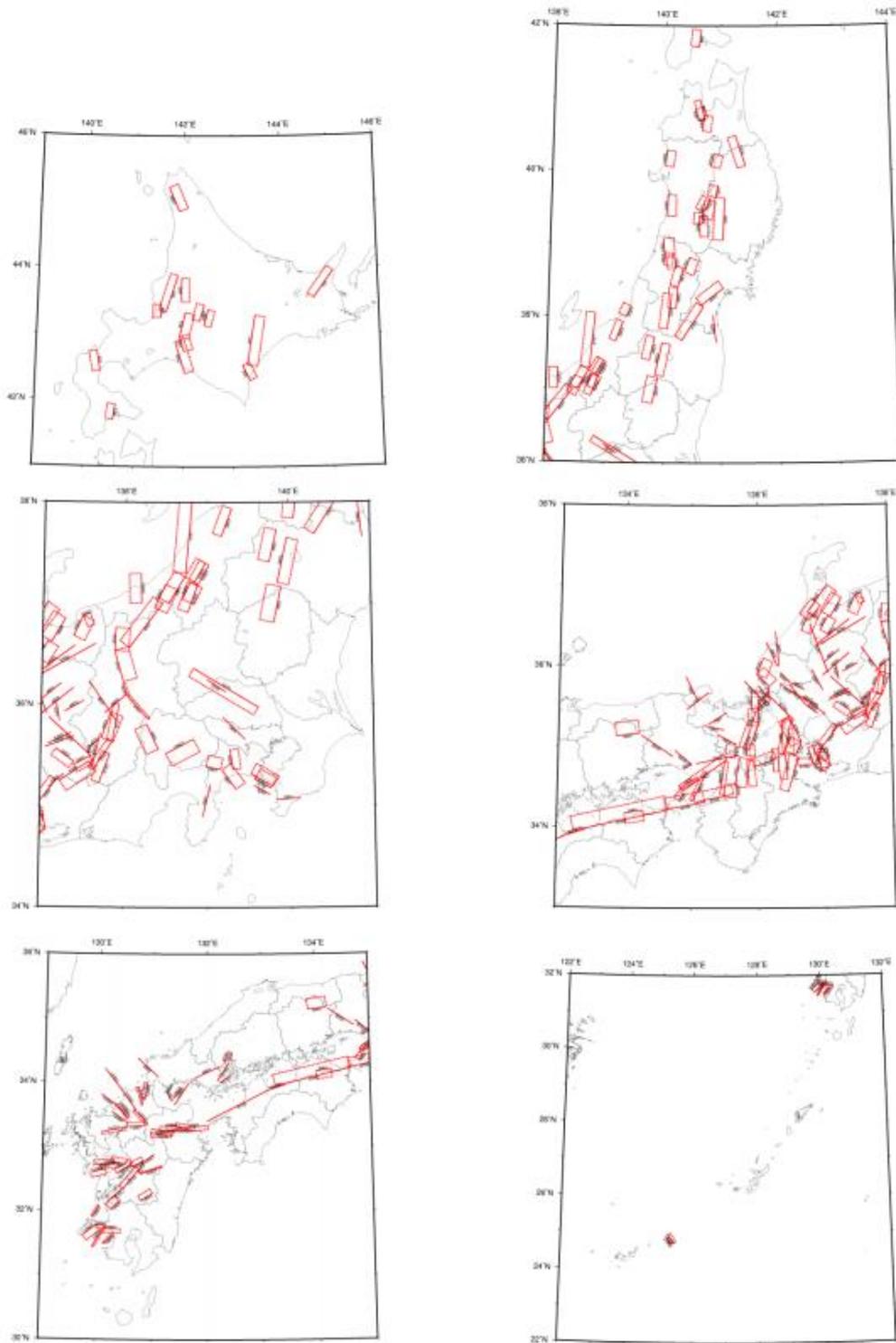


図 4-4 主要活断層帯で発生する固有地震の断層モデル

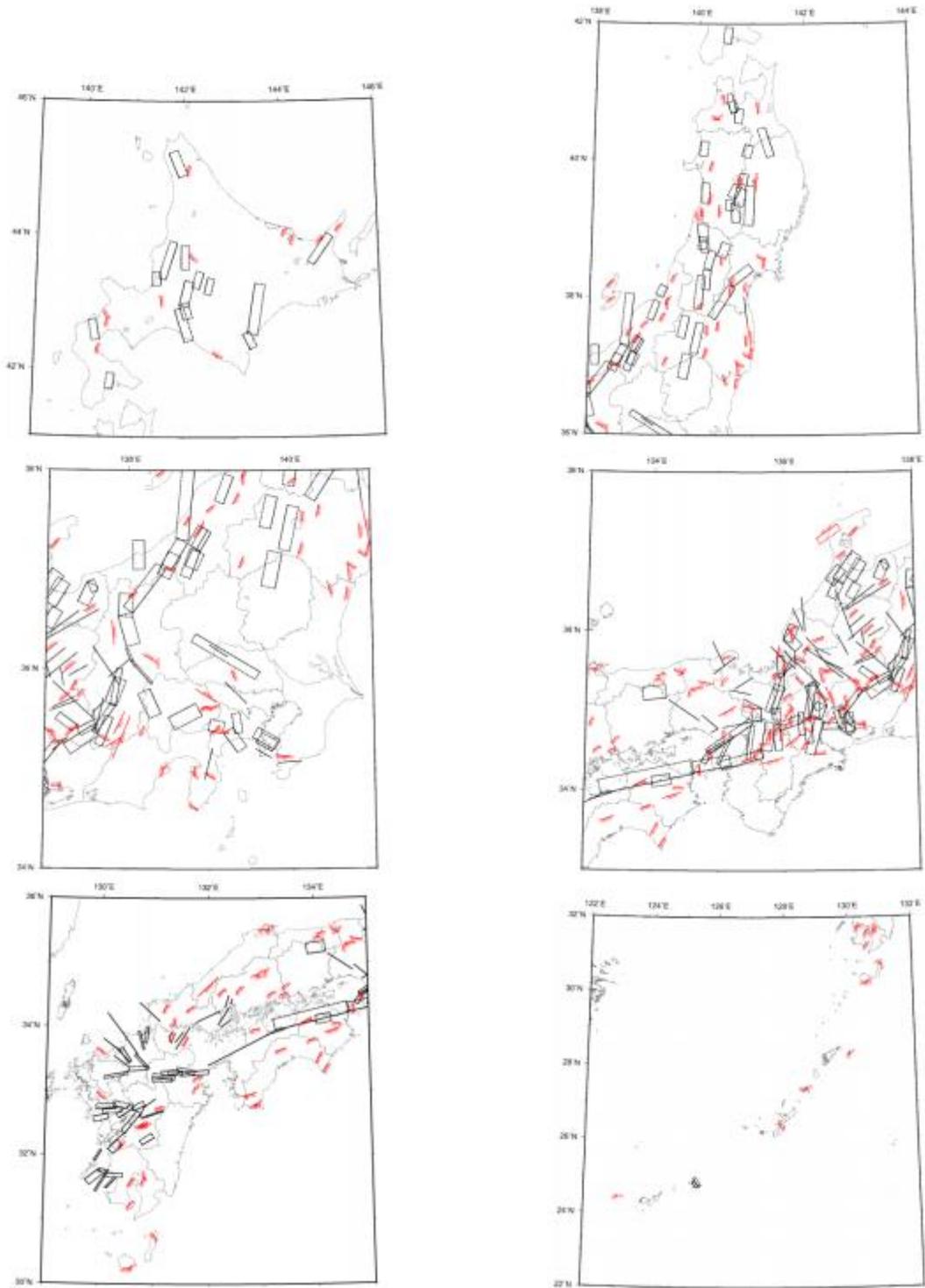


図 4-5 その他の活断層で発生する地震の断層モデル

4.3.2.2 地震活動度

地震活動度（発生確率）モデルについても震源形状同様、予測地図に基づいて設定する。内陸活断層の確率過程は、BPT 分布もしくは Poisson 分布、震源断層をあらかじめ特定しない地震は Poisson 分布で設定する。BPT 分布の発生確率の算出に際しては、算定基点を 2014 年 1 月 1 日基点、算定期間を今後 30 年と設定する。

4.3.2.3 イベントの作成

本研究では、1 年間で発生する地震イベントを設定し、それを 10 万回試行して確率計算を行う。イベントの作成方法を以下に記す。

はじめに、1 年で発生する地震イベント数を定める。地震イベントの ID を $i = 1, 2, 3 \dots I$ とし、各地震イベントの頻度を $freq_i$ とする。この時、地震イベント全体の頻度 F を次式で算出する。

$$F = \sum_{i=1}^I freq_i \quad (4-1)$$

頻度 F によって指定された Poisson 分布による乱数発生を用いて、試行回数 $n = 1, 2, 3 \dots N$ における 1 年間の地震発生個数 M_n を次式で算出する。

$$M_n = \text{poissrnd}(F) \quad (4-2)$$

続いて、1 年間で発生する地震イベントを定める。各地震イベントの累積発生頻度 cF_i を次式で算出する。

$$cF_i = \sum_{i=1}^i freq_i \quad (4-3)$$

地震発生個数 M_n の合計数 M_{all} の数だけ、0 から 1 の一様乱数を発生させる。その行列を \mathbf{R} とおく。以下の条件を満たす cF_i を求め、 i に対応する地震イベントを発生させる。

$$\mathbf{R} = [r_1 \quad \dots \quad r_M] \quad (4-4)$$

$$cF_{i-1} < r_M \leq cF_i \quad (4-5)$$

以上で得られたイベントの一例を表 4-9 に示す。

表 4-9 地震イベントの作成の一例

| No | Trial | Sequence | EventID | EventName |
|---------|---------|----------|---------|-----------------------------------|
| 1 | 1 | 1 | 47,974 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:1944 |
| 2 | 1 | 2 | 201,843 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:8250 |
| 3 | 1 | 3 | 187,965 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:7672 |
| 4 | 1 | 4 | 256,276 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:10371 |
| 5 | 1 | 5 | 166,641 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:6791 |
| 6 | 1 | 6 | 177,153 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:7224 |
| 7 | 1 | 7 | 124,402 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:5073 |
| 8 | 2 | 1 | 272,267 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:10986 |
| 9 | 2 | 2 | 207,450 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:8483 |
| 10 | 2 | 3 | 130,610 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:5323 |
| 11 | 2 | 4 | 161,351 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:6574 |
| 12 | 2 | 5 | 222,352 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:9066 |
| 13 | 2 | 6 | 46 | 神縄・国府津—松田断層帯 |
| 14 | 2 | 7 | 258,073 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:10440 |
| 15 | 2 | 8 | 164,798 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:6716 |
| 16 | 2 | 9 | 272,972 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:11013 |
| 17 | 3 | 1 | 99,606 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:4076 |
| 18 | 3 | 2 | 76,565 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:3136 |
| 19 | 3 | 3 | 264,807 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:10699 |
| 20 | 3 | 4 | 291,012 | 日本海東縁部の震源を予め特定しにくい地震:498 |
| 21 | 3 | 5 | 192,199 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:7848 |
| 22 | 3 | 6 | 163,258 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:6652 |
| 23 | 3 | 7 | 130,679 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:5326 |
| 24 | 3 | 8 | 150,859 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:6145 |
| 25 | 3 | 9 | 241,849 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:9816 |
| 26 | 3 | 10 | 55,730 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:2268 |
| 27 | 4 | 1 | 244,742 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:9927 |
| 28 | 4 | 2 | 230,979 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:9398 |
| 29 | 4 | 3 | 144,404 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:5881 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| 976,755 | 99,999 | 4 | 53,234 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:2164 |
| 976,756 | 99,999 | 5 | 84,890 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:3482 |
| 976,757 | 99,999 | 6 | 309,552 | 日本海東縁部の震源を予め特定しにくい地震:1211 |
| 976,758 | 99,999 | 7 | 189,018 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:7716 |
| 976,759 | 99,999 | 8 | 277,028 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:11169 |
| 976,760 | 99,999 | 9 | 263,818 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:10661 |
| 976,761 | 100,000 | 1 | 131,021 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:5340 |
| 976,762 | 100,000 | 2 | 83,694 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:3433 |
| 976,763 | 100,000 | 3 | 124,061 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:5059 |
| 976,764 | 100,000 | 4 | 196,084 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:8010 |
| 976,765 | 100,000 | 5 | 243,906 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:9895 |
| 976,766 | 100,000 | 6 | 169,506 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:6909 |
| 976,767 | 100,000 | 7 | 48,435 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:1964 |
| 976,768 | 100,000 | 8 | 203,332 | 陸域で発生する地震のうち震源断層が特定されていない地震:8312 |

4.3.3 復旧費用の計算

4.3.3.1 一世帯の復旧費用の計算

(1) 単独イベントの復旧費用

単独イベントの復旧費用の計算は、3.2.5.1にも記載した通り以下とする。ある世帯のある地震動強度に対する復旧費用の期待値および標準偏差は、3.2.3項の地震ハザード評価と3.2.4項の被害関数を用いて得られる。復旧費用の期待値 μ_c および標準偏差 σ_c の算出方法を次式に示す。地震動強度PGVの値を x とした際に、地震動強度は対数正規分布の確率密度関数 $f_{LN}(x|\mu_{PGV}, \sigma_{PGV})$ で与えられる。ここで、期待値 μ_{PGV} は3.2.3.1～3.2.3.4の評価で、標準偏差 σ_{PGV} は3.2.3.5の評価で算出される。被害関数の期待値の累積分布関数を $F_{DF}(x)$ とすると、ある地震が発生した際の復旧費用は両者の確率変数の積で表現される。

$$\mu_c = \int_A^B (F_{DF}(x) \cdot f_{LN}(x|\mu_{PGV}, \sigma_{PGV})) dx \times AssetValue \quad (4-6)$$

$$\sigma_c = \sqrt{\int_A^B \{F_{DF}(x) - \mu_c\}^2 \cdot f_{LN}(x|\mu_{PGV}, \sigma_{PGV}) dx \times AssetValue} \quad (4-7)$$

上式において、 A 、 B は積分範囲の下限と上限であり、本研究では $-3\sim+3\sigma$ と設定する。

(2) 年間イベントの復旧費用

年間に発生した M 個の地震イベントの復旧費用の期待値 μ_c および標準偏差 σ_c の算出方法を次式に示す。期待値は、年間に発生する全ての地震イベントの復旧費用の期待値を合算することで求められる。また標準偏差は、完全独立を仮定し、復旧費用の標準偏差をそれぞれ足し合わせる。また、年間に複数の地震イベントが発生し、前の地震によって被害を受けた後に次の地震が発生した際には、建物は完全復旧して元の建物資産額に戻っていると設定する。

$$\mu_{c_{all}} = \sum_{m=1}^M \mu_{c_m} \quad (4-8)$$

$$\sigma_{ca_{all}} = \sqrt{\sum_{m=1}^M \sigma_{c_m}^2} \quad (4-9)$$

4.3.3.2 全世帯の復旧費用の計算

(1) 単独イベントの復旧費用

単独イベントの復旧費用の計算は、3.2.5.2にも記載した通り以下とする。東京都全世帯の復旧費用の集計方法を次式に示す。復旧費用の期待値は、全世帯の復旧費用の期待値を合算することで求められる。また標準偏差は、完全独立および完全相関と仮定し、復旧費用の標準偏差をそれぞれ足し合わせ、相関係数による重みを考慮して平均したものをを用いる。ここで λ は経験的に0.2を採用する。

$$\mu_{c_{all}} = \sum_{n=1}^N \mu_{c_n} \quad (4-10)$$

$$\sigma_{c_{all}} = \lambda \cdot \sum_{n=1}^N \sigma_{c_n} + (1 - \lambda) \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N \sigma_{c_n}^2} \quad (4-11)$$

(2) 年間イベントの復旧費用

年間に発生した M 個の地震イベントの復旧費用の期待値 μ_c および標準偏差 σ_c の算出方法を次式に示す。期待値は、年間に発生する全ての地震イベントの復旧費用の期待値を合算することで求められる。また標準偏差は、完全独立とし、復旧費用の標準偏差をそれぞれ足し合わせる。また、年間に複数の地震イベントが発生し、前の地震によって被害を受けた後に次の地震が発生した際には、建物は完全復旧して元の建物資産額に戻っているとす。

$$\mu_{c_{all}} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \mu_{c_{n,m}} \quad (4-12)$$

$$\sigma_{c_{all}} = \sqrt{\sum_{m=1}^M \sigma_{c_n}^2} \quad (4-13)$$

4.3.4 不足復旧費用の定義

本研究では、被災世帯が建物を復旧させるために必要とする費用と現実に調達可能な金融資産を分析することで復旧費用の不足を明らかにする。自己調達できる金融資産は、世帯の預金残高と保有する有価証券を用いて設定する。3.5節では、金融資産を変動させて検討を行ったが、本検討では住宅を保有する可能性の高い30代における金融資産の中央値を参考に^[4-5]、1世帯が調達できる金融資産として2,500千円を設定する。

被災地域における不足復旧費用 IC は、被害区分ごと世帯ごとに次式で算出する。被災に見舞われた世帯を対象として被害区分 j の被災世帯 i の必要復旧費用を $NC_{i,j}$ とする。住宅再建支援制度による支援金を $SMD_{i,j}$ 、経済的支援システムによる支援金を $SMI_{i,j}$ 、各被害世帯が復旧のために自己調達できる金融資産を $AI_{i,j}$ とする。

$$IC = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N \min(NC_{i,j} - SMD_{i,j} - SMI_{i,j} - AI_{i,j}, 0) \quad (4-14)$$

不足復旧費用 IC は、値が小さいほど復旧しやすいことを示す。

4.4 経済的支援システムの効果分析の評価結果

4.4.1 地震動分布

地震動分布として、再現期間ごとの震度分布を図 4-6 に示す。東京都 23 区では、再現期間 50 年では震度 4 程度、再現期間 100 年では震度 5 弱程度、再現期間 200 年～1000 年では震度 5 弱～5 強程度、再現期間 2000 年では震度 6 弱程度になる。また立川市、国立市近辺では立川断層の影響によって再現期間 2000 年になると震度 6 強になる。

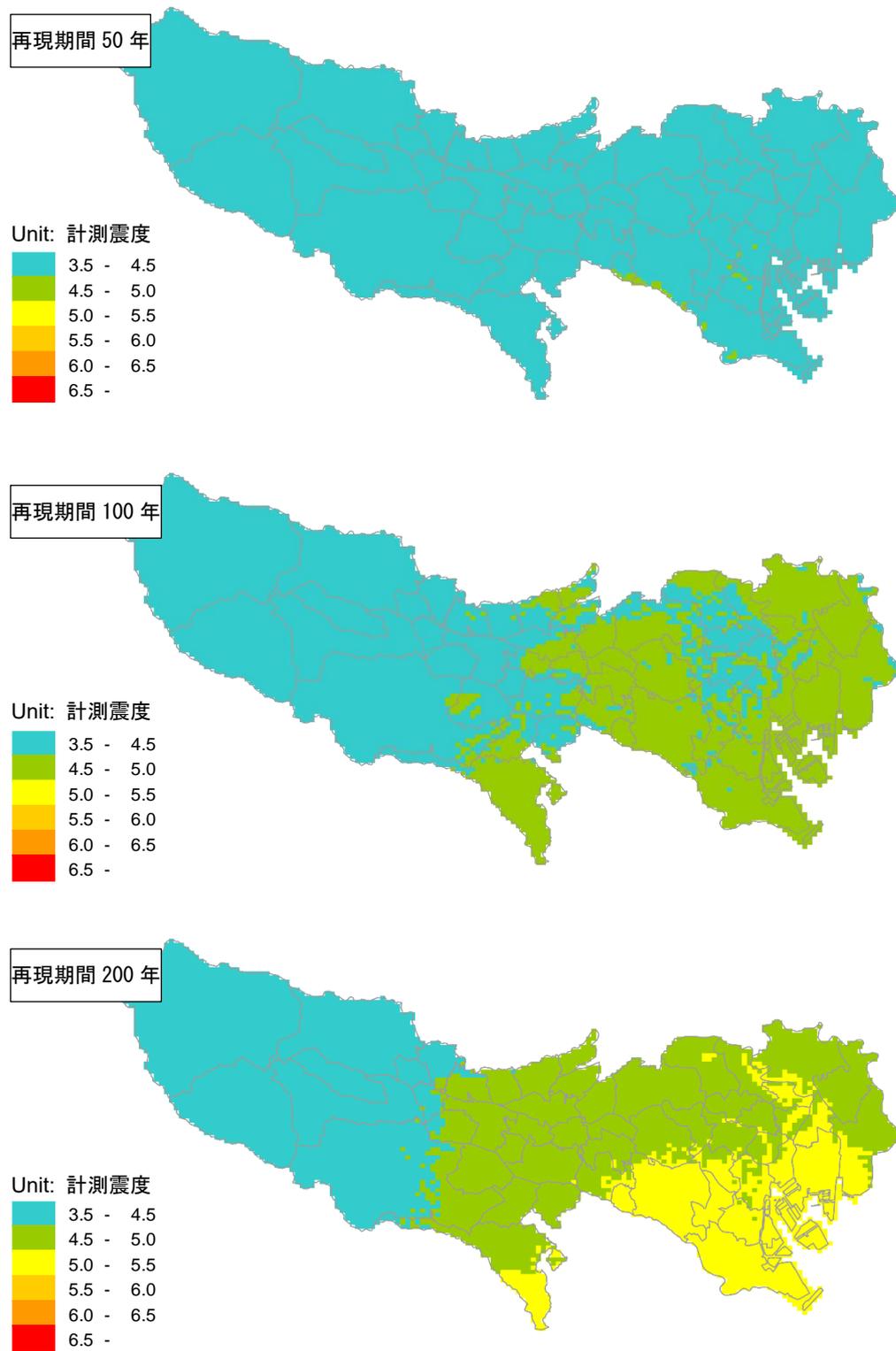


図 4-6 再現期間ごとの震度分布 (1)

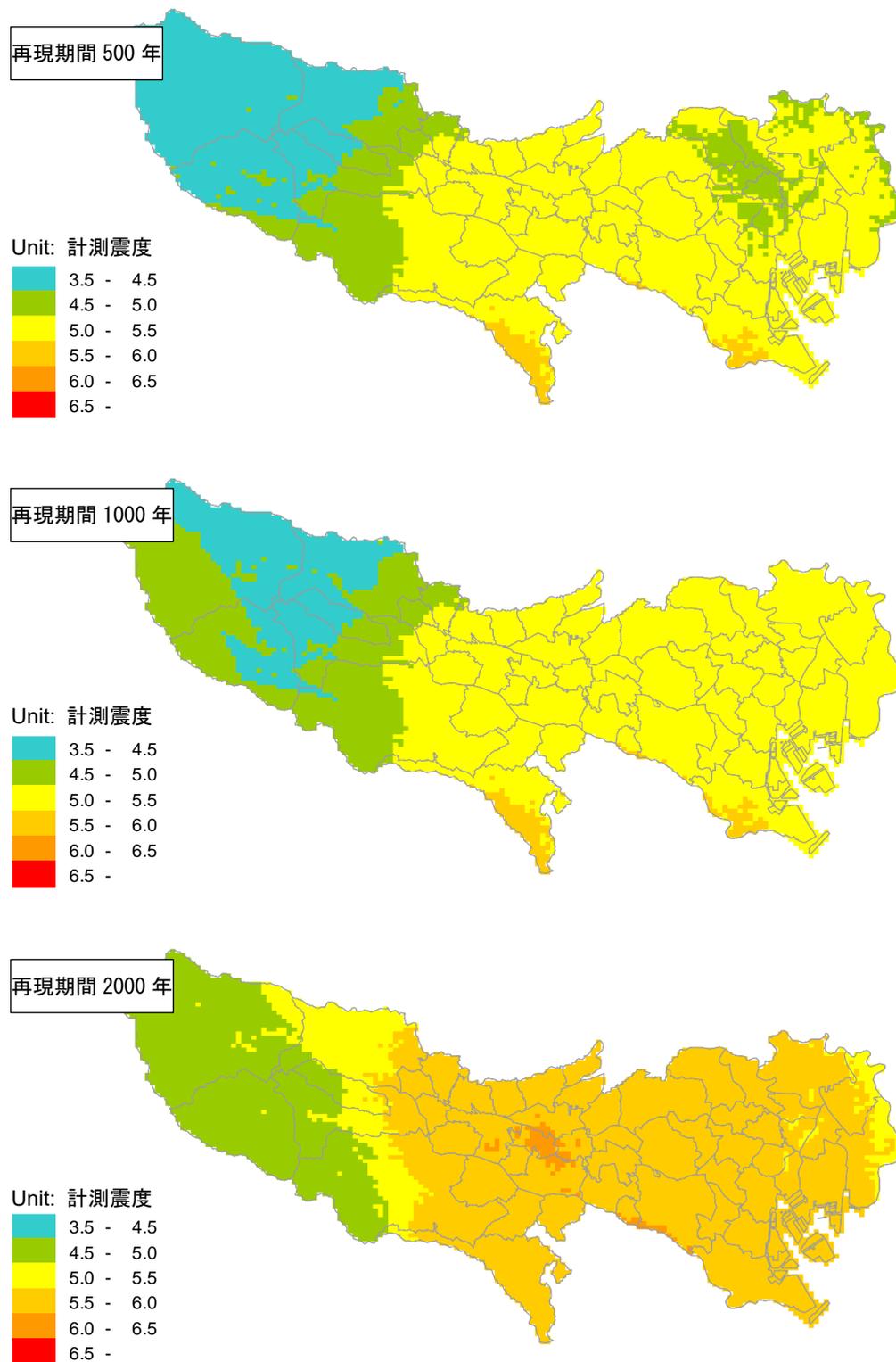


図 4-6 再現期間ごとの震度分布 (2)

4.4.2 耐震対策の効果分析

本項では、表 4-1 の Case1 および Case2A～2C の解析ケースを対象に、建物の耐震対策が復旧費用や不足復旧費用の削減にどのような影響を与えるかを評価し、耐震改修費用とその効果の費用便益性を分析する。はじめに、必要復旧費用の EP カーブを図 4-7 に示す。地震災害は、低頻度で甚大な被害を発生することが特徴の一つであるが、図でもその特徴が表れている。集合住宅、戸建住宅共に 99.95%VaR まではさほど大きな必要復旧費用は発生していないものの、99.95%VaR 以上になると急激に必要復旧費用が増加する。Case1 の耐震化率 85%時から Case2A, B, C と耐震化を上げるにつれて EP カーブの全ての VaR の点で必要復旧費用が減少している。続いて、不足復旧費用の EP カーブを図 4-8 に示す。必要復旧費用から各種財政支援制度、自己の金融資産を除いた金額が不足復旧費用である。被災地域の迅速な復旧復興を為すためには、地域社会全体でこの不足復旧費用を調達する必要がある。不足復旧費用も、必要復旧費用と同様、Case1 の耐震化率 85%時から Case2A, B, C と耐震化を上げるにつれて EP カーブの全ての VaR の点で不足復旧費用が減少している。Fig. 5, Fig. 6 より、耐震化率を 100%にした Case2C 時において、いずれの VaR 時でも費用が発生している。耐震対策を行ったからといって、必要復旧費用や不足復旧費用を完全に抑制できていないことがわかる。

図 4-9, 図 4-10 は不足復旧費用の EP カーブの AAL, 98%VaR, 99.8%VaR, 99.95%VaR 時の被害区分ごと耐震化率ごとの値を示す。耐震化率を進めることで不足復旧費用は低下し、集合住宅では、Case1 から Case2C にすることで AAL で約 69%, 98%VaR で約 46%, 99.8% VaR で約 61%, 99.95%VaR で約 78%になる。被害区分ごとの内訳をみると不足復旧費用の半数以上を半壊世帯が占めている。耐震化率を進めることで特に全壊世帯の不足復旧費用が低下する。戸建住宅では、Case1 から Case2C にすることで AAL で約 63%, 98%VaR で約 43%, 99.8%VaR で約 50%, 99.95%VaR で約 71%になる。集合住宅に比べると耐震率による不足復旧費用の低減が大きい。被害区分ごとの内訳をみると、集合住宅と異なり、不足復旧費用の半数以上を全壊世帯が占めている。集合住宅、戸建住宅共に、耐震化によって被害が発生し難くなり、全壊に至る被害を軽減することができる。しかし、地震動が大きい場合は何かしらの被害を受け、必要復旧費用や不足復旧費用が発生する。集合住宅世帯は半壊世帯、戸建住宅は全壊世帯への不足復旧費用の調達が課題であり、耐震化だけでは必要復旧費用や不足復旧費用を抑制できない。

次に、耐震改修費用とその効果を比較する。ここで、耐震改修による効果は、耐震化前後における必要復旧費用、被災者生活再建支援金、地震保険金の減少額の合計を示す。図 4-11, 図 4-12 に耐震改修費用と効果の比較を示す。図より、集合住宅の耐震改修費用は、耐震化率 90%で 4000 億、95%で 8010 億円、100%で 1 兆 2010 億円が必要になる。

これに対し、AAL, 98%VaR, 99.8%VaR 時の効果は耐震改修費用の 1%未満～43%程度、99.95%VaR 時の効果は耐震改修費用の 157%となる。99.95%VaR 時になると耐震改修費用を上回る効果となる。効果の内訳をみると、必要復旧費用の占める割合が全体の約 60%を占めるが、地震保険の減少額の占める割合も約 30%を占める。耐震改修によって、必要復旧費用の抑制だけでなく、各種財政支援制度で必要とする支援金の抑制も行える。戸建住宅の AAL, 98%VaR, 99.8%VaR 時の効果は耐震改修費用の 1%未満～69%程度、99.95%VaR 時の効果は耐震改修費用の 299%となる。耐震化による効果は集合住宅よりも大きい、それでも AAL 時の対策効果は耐震改修費用の 1%未満である。しかし、費用便益を検討する上では AAL を用いて検討することが一般的であり、集合住宅、戸建住宅いずれも AAL 時の効果は耐震改修費用よりも小さい。現状、耐震改修を促進させ、積極的な投資を行うことは費用便益的には有効でないといえる。

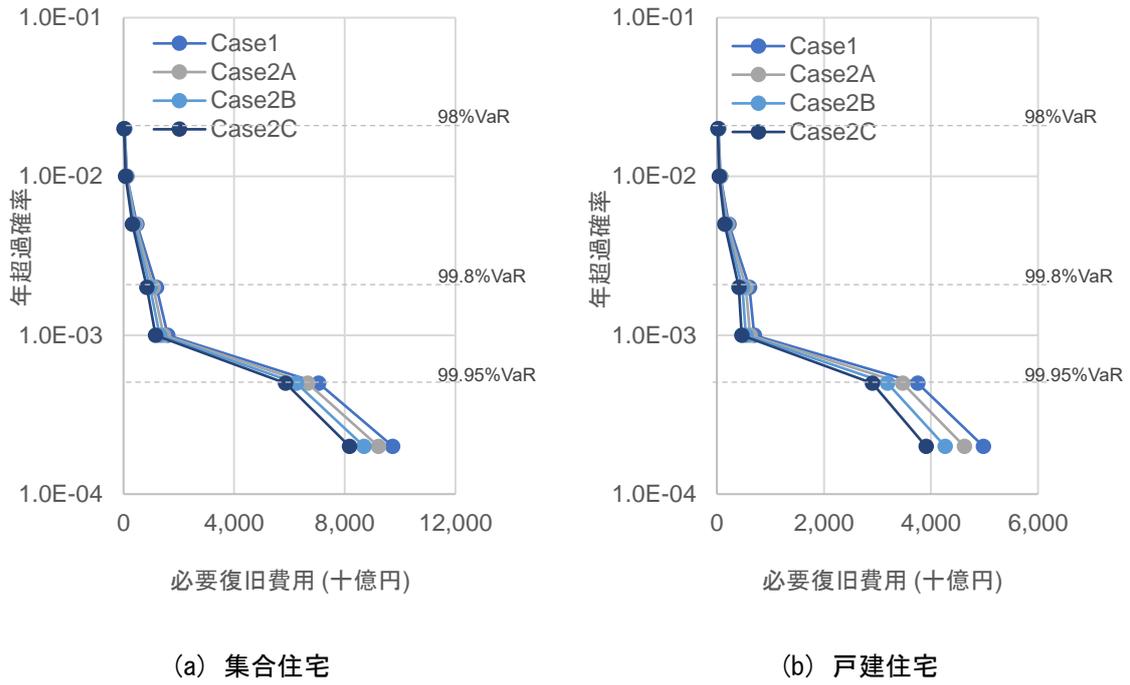


図 4-7 必要復旧費用の EP カーブ

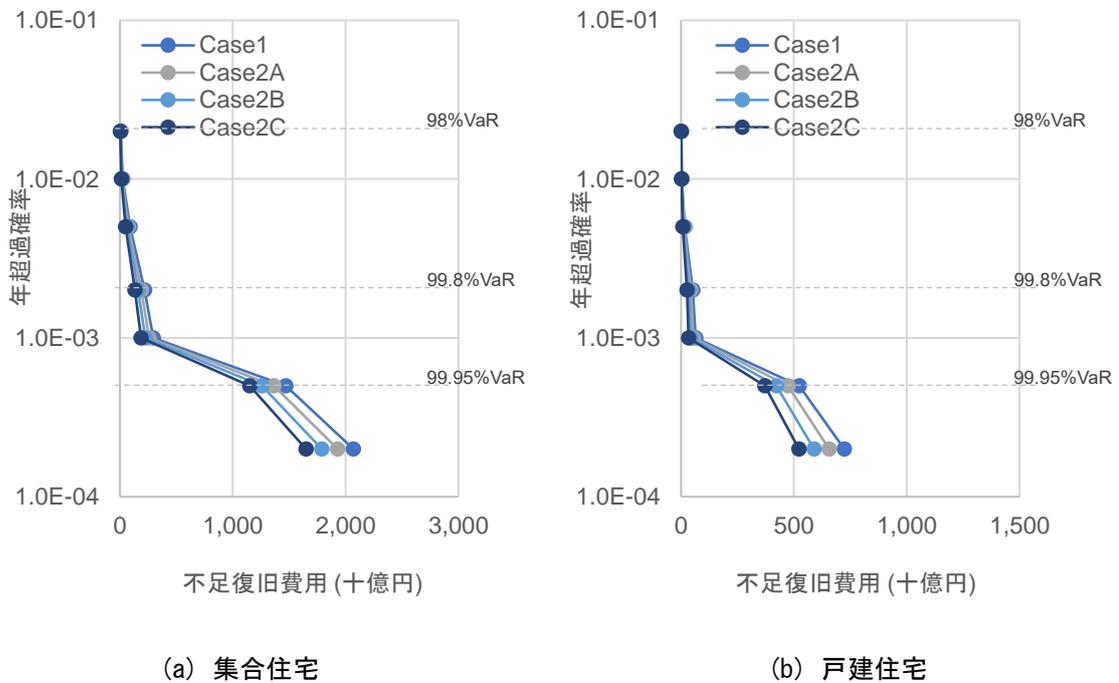


図 4-8 不足復旧費用の EP カーブ

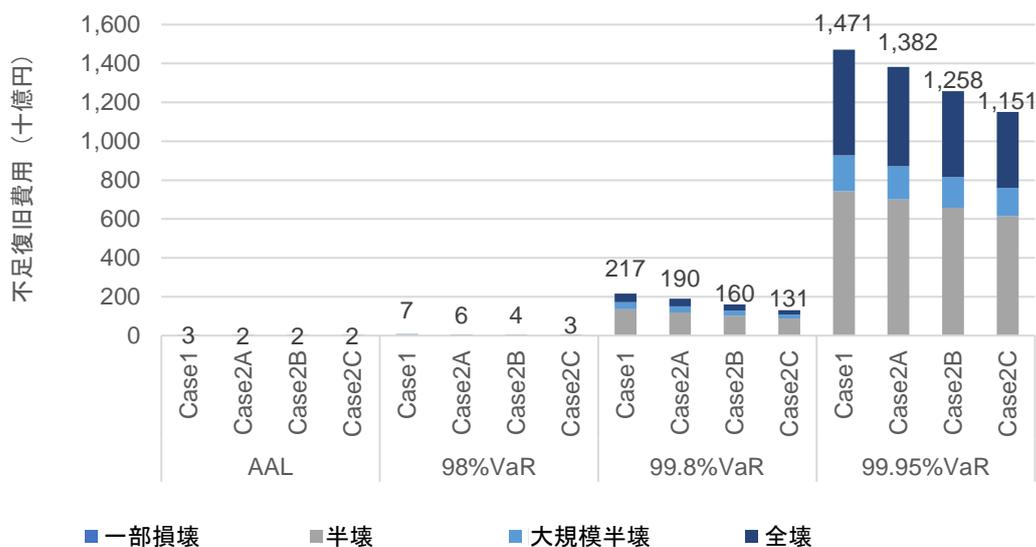


図 4-9 VaR ごとの被害区分別の不足復旧費用（集合住宅）

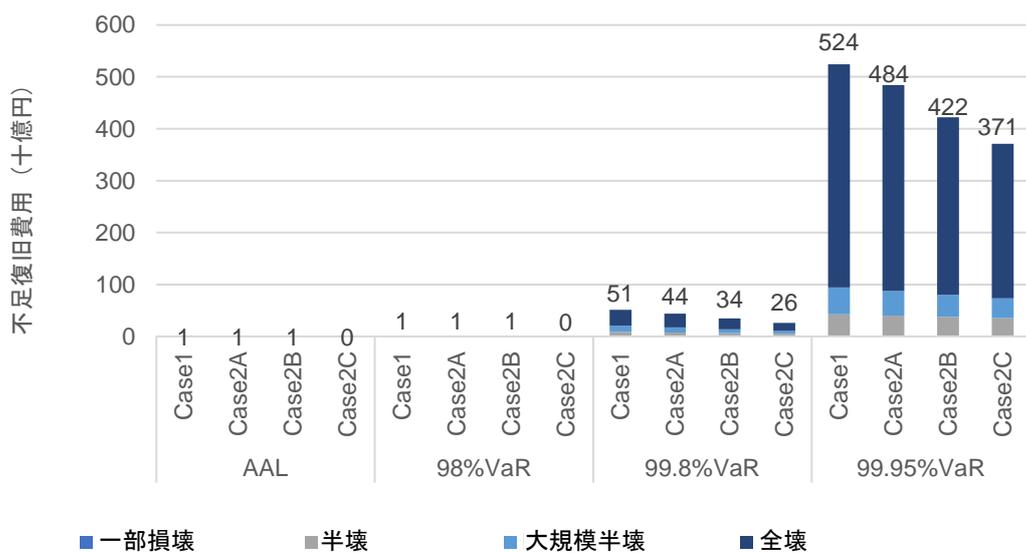


図 4-10 VaR ごとの被害区分別の不足復旧費用（戸建住宅）

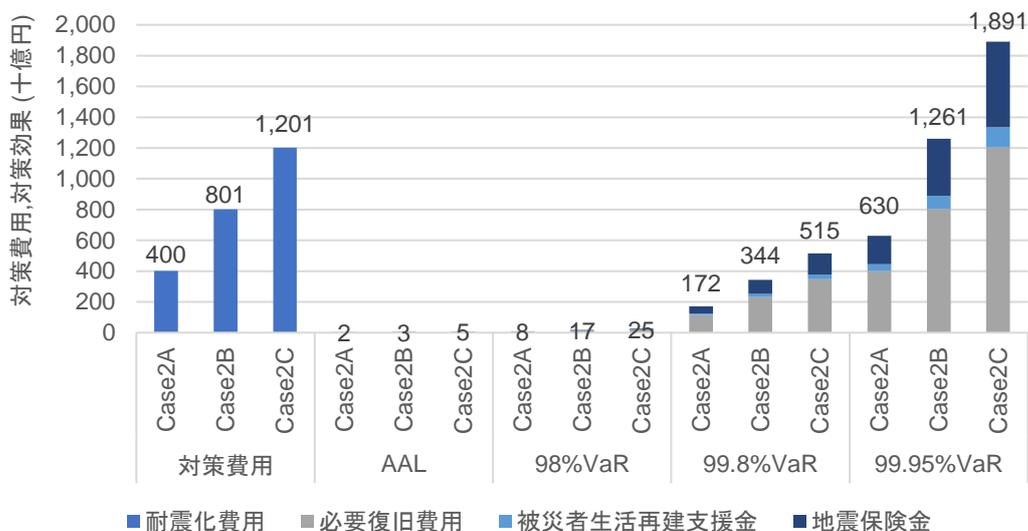


図 4-11 耐震化費用と AAL, VaR ごとの対策効果の比較 (集合住宅)

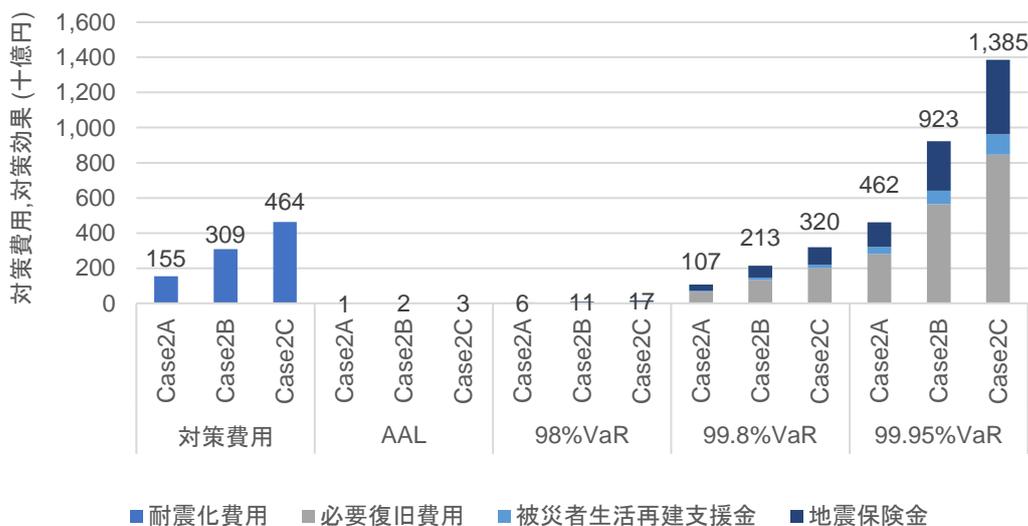


図 4-12 耐震化費用と AAL, VaR ごとの対策効果の比較 (戸建住宅)

4.4.3 保険条件の効果分析

本項では、表 4-1 の Case1 および Case3A～3B の解析ケースを対象に、地震保険制度の条件設定の変更によって、より甚大な地震に見舞われる被害世帯への支援拡充を検討する。はじめに、一定の震度以下を支援対象外とした際の地震保険金の EP カーブを図 4-13 に示す。集合住宅、戸建住宅共に、支援対象外を設けたことで VaR ごとの地震保険金は減少する。集合住宅、戸建住宅共に、Case3A, 3B の 98%VaR 以下は地震保険金が 0 になる。また Case3B は 99.8%VaR の地震保険金も大きく減少する。ただ、99.95%VaR を超えると EP カーブは Case1 の値に近づく。98%VaR 以下のような中小地震時は地震ハザードも小さく、支援対象外の条件設定の影響が大きい。一方、99.95%VaR のような大地震、巨大地震時は地震ハザードも震度 6 弱を超え、甚大な被害に至る世帯が多くなるため、支援対象外の条件設定の影響が小さくなる。また、支援対象外を設けることで、Case1 に対する Case3A, 3B の AAL の比は、集合住宅ではそれぞれ 83%、51%、戸建住宅ではそれぞれ 78%、47%になる。AAL は発生確率と地震保険金の積の累積値であるため、高い発生確率の地震保険金を小さくすることで AAL は大きく減少する。AAL は経済的支援システムの制度の平均年間支出に該当する数字であるため、AAL が減少するということは補償額に対して余力が発生することと同義である。そこで、AAL が等価になるように Case3A, 3B の EP カーブに係数を乗ることで被害世帯への支援拡充を行う。係数を乗じた後の EP カーブを図 4-14 に示す。Case1 の AAL と等価になるように、Case3A では約 1.2 倍、Case3B では約 2.3 倍を行った。集合住宅、戸建住宅共に、Case3A の地震保険金は 99%VaR 以上になると Case1 の地震保険金よりも大きく、Case3B の地震保険金は 99.98%VaR 以上になると Case1 の地震保険金よりも大きくなる。

続いて、図 4-14 における地震保険制度を適用した際の不足復旧費用の EP カーブを図 4-15 に示す。図より、集合住宅の不足復旧費用は、震度 5 強以下を支援対象外にすることで、98%VaR で約 211%、99.8%VaR で約 215%、99.95%VaR で約 29%になる。一方、戸建住宅の不足復旧費用は、震度 5 強以下を支援対象外にすることで、98%VaR で約 564%、99.8%VaR で約 430%、99.95%VaR で約 0%になる。集合住宅、戸建住宅共に、一定の震度以下を支援対象外にすることで現行制度以上の補償を行うことが可能になる。98%VaR 以下のような中小地震時は不足復旧費用が増加するものの、99.95%VaR 以上の巨大地震時は復旧費用が大きく減少する。特に Case3B では 99.95%VaR 以上の時に発生する莫大な復旧費用のほとんどをシステムの支援金で補償することが可能になり、不足復旧費用がほとんど発生していない。集合住宅と戸建住宅の Case1 に対する不足復旧費用を比較すると、98%VaR 以下のような中小地震時は戸建住宅の増加率が大きい。戸建住宅は木造、集合住宅は非木造の世帯が大半を占めているが、各被害関数形状を比

較した際、戸建住宅木造は震度5弱や5強の小さい地震動から復旧費用が発生する傾向にある。これら世帯が経済的支援システムによる支援金を受けられないことで不足復旧費用が増加した。一方、99.95%VaR以上の巨大地震時は集合住宅の増加率が大きい。集合住宅非木造は全壊に至る世帯が少なく一部損壊～半壊に留まる世帯が多い。必要とする復旧費用に対して一部損壊～半壊に対する地震保険金の支援金が小さく、不足復旧費用が増加した。

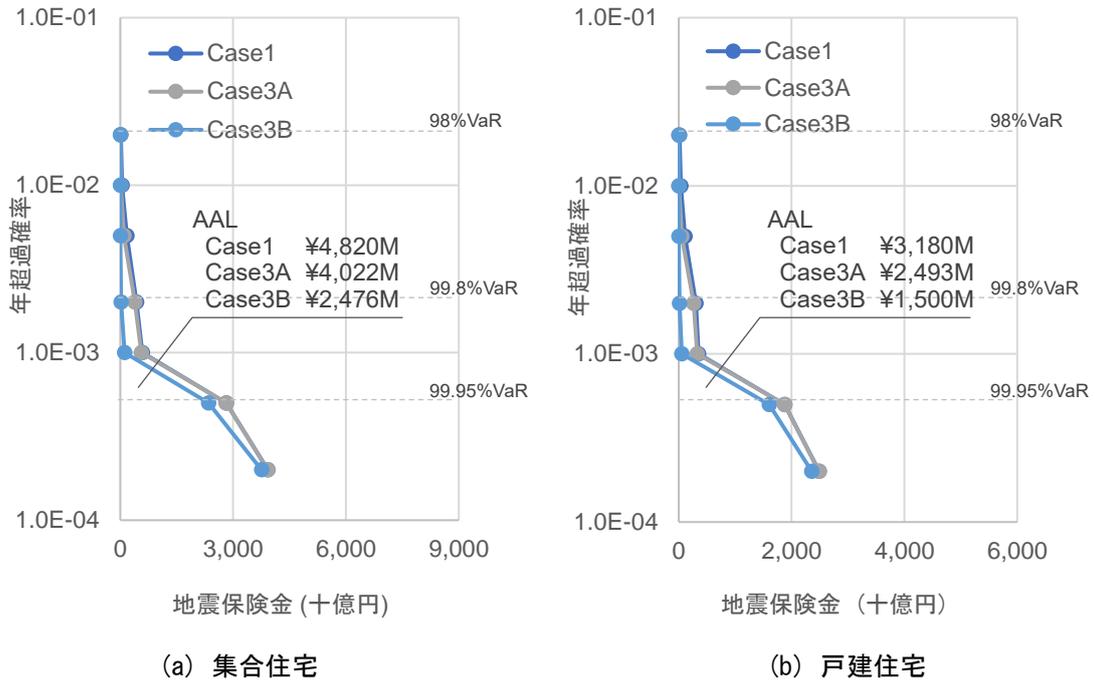


図 4-13 地震保険金の EP カーブ (補正前)

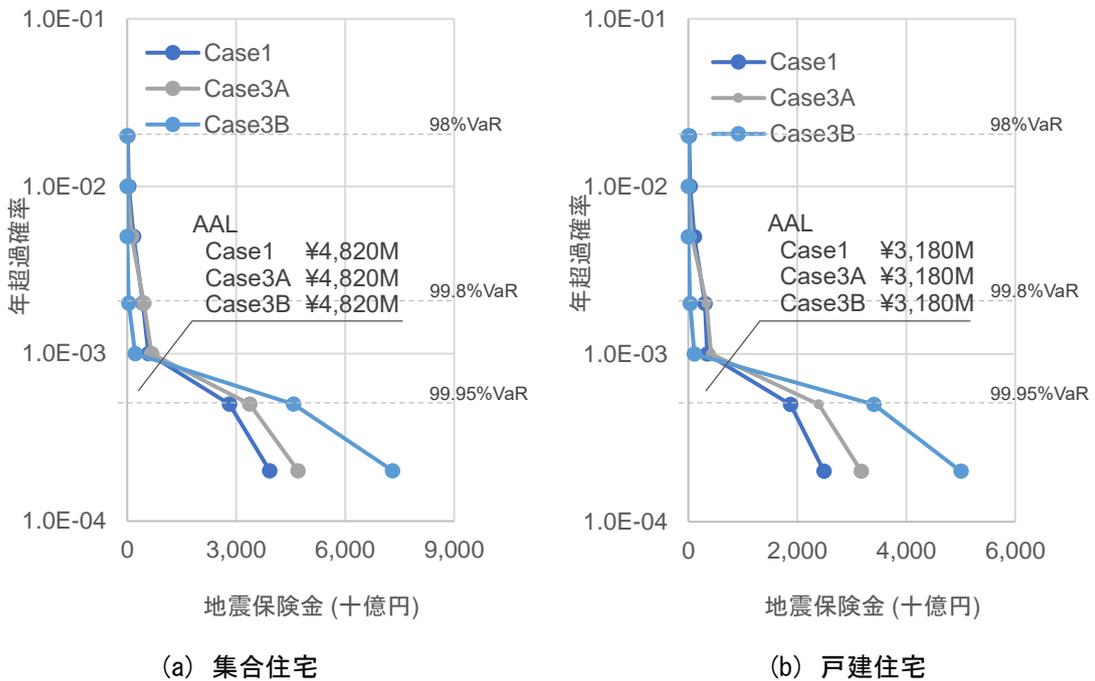


図 4-14 地震保険金の EP カーブ (補正後)

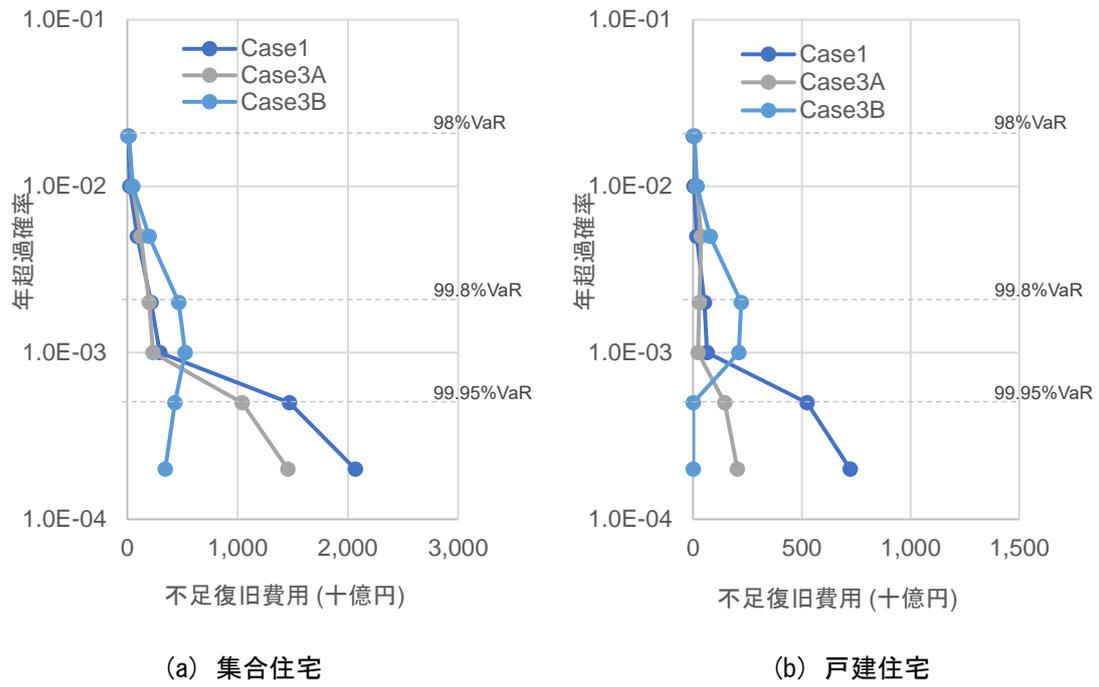


図 4-15 不足復旧費用の EP カーブ

4.4.4 経済的支援システムの効果分析

本項では、表 4-1 の Case1 および Case3A～3B, Case4A～4B を対象に理想とする耐震化が為された際の経済的支援システムの効果について検討する。Case3A～3B および Case4A～4B の不足復旧費用算出にあたり、前節と同様に、各ケースの地震保険金の EPカーブをもとに Case1 の地震保険金の AAL と等価になるように被害世帯への支援拡充を行う。不足復旧費用の AAL, 98%VaR, 99.8%VaR, 99.95%VaR 時の被害区分ごとの値を図 4-16, 図 4-17 に示す。図より、耐震化率が現行の 85%である Case3A～3B の不足復旧費用は、Case1 に対して 98%VaR 時は増加し、99.95%VaR 時は減少する。また 99.95%VaR 時の甚大な不足復旧費用が減少することで AAL も減少する。経済的支援システムが試行され耐震化率が 100%となった Case4A～4B の不足復旧費用は、Case4B の 99.8%VaR を除き、Case1 に対して全ての VaR, AAL で減少する。耐震化が為されることで必要復旧費用が減少すると共に、災害時に必要とする地震保険金が抑制され、その資金を用いてより多くの支援拡充が可能になった。被害区分ごとの内訳をみると、全壊や大規模半壊世帯に対してより多くの支援金が補償されることで、これら被害世帯の不足復旧費用が大きく減少した。一方で、集合住宅の半壊世帯は、Case4A～B でも不足復旧費用が発生している。Table 2 に示すように、全壊世帯や大規模半壊世帯に比べて半壊世帯は支払率が低い。一方で復旧方法の選択によっては半壊でも建替が選択されることもあり、必要とする復旧費用に対して支援金が不足した。

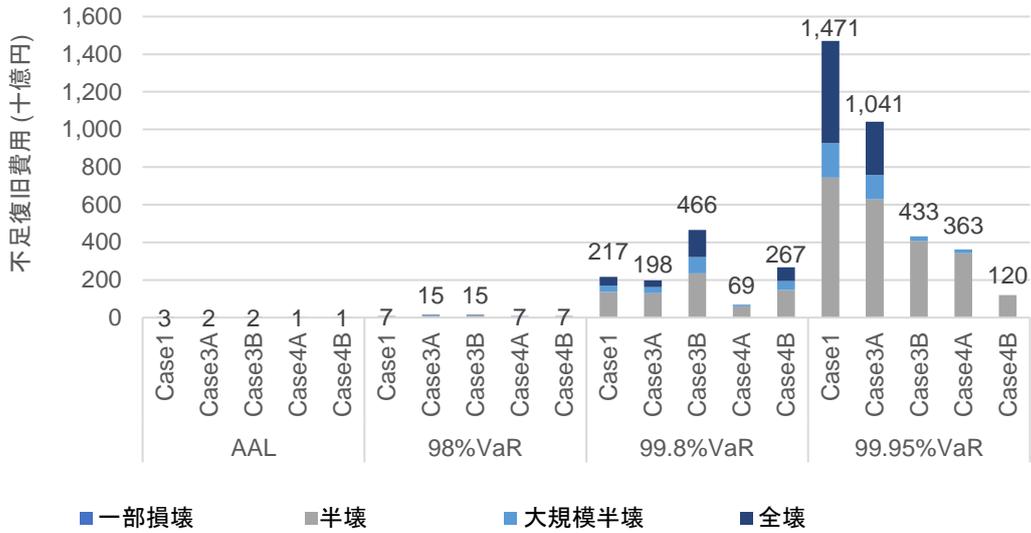


図 4-16 VaR ごとの被害区分別の不足復旧費用（集合住宅）

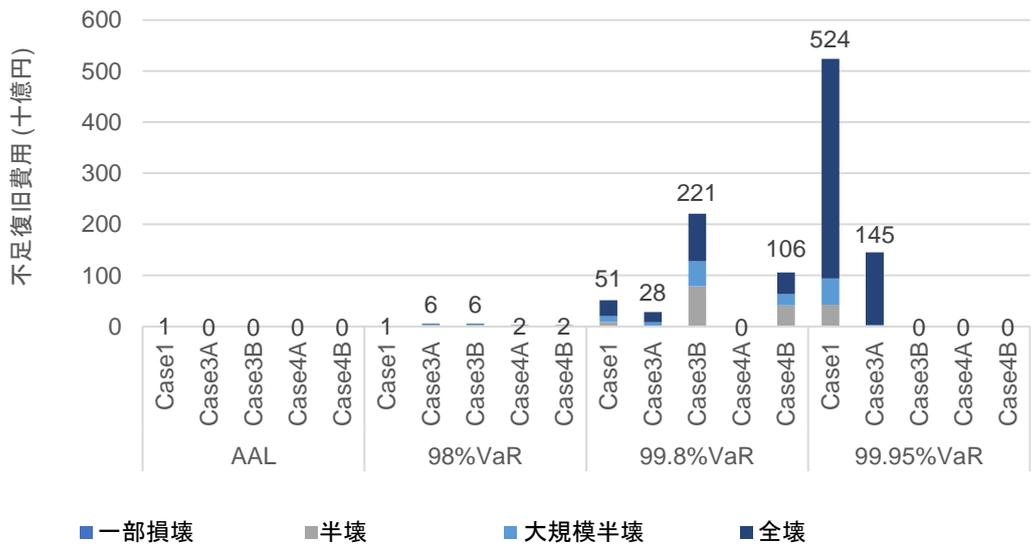


図 4-17 VaR ごとの被害区分別の不足復旧費用（戸建住宅）

4.5 まとめ

本研究では、被害地域が迅速かつ円滑な住宅復旧を為せるための新たな経済的支援システムの提案を行った。東京都を評価対象として確率論的地震リスク評価を行い、中小地震～大地震、巨大地震に対する経済的支援システムの効果について検討した。一定の条件下の検討ではあるが、各分析より得られた結果をもとに今後の効果的な対策・対応についての考察を以下に記す。

- 耐震化率 100%にした際の耐震改修対象世帯は、集合住宅、戸建住宅併せて約 940 千世帯になり、耐震改修費用は約 1.7 兆円を必要とする。これに対し、AAL 時の効果は約 0.008 兆円であり、費用便益的には有効でないことを示した。永松ら 10)が提案するように、耐震改修への投資を考える際には各種財政支援制度の余剰金も含めて総合的に効果を見込むことで費用便益は向上し、甚大な被害が発生する地震シナリオに対しては耐震改修投資が有効となる。その一方で、甚大な地震が発生する確率は低く、発生確率が高い中小地震に対する耐震改修の効果は限定的である。本稿で行った確率的な評価の条件下では、財政支援制度の余剰金により耐震改修費用を賄うことは難しいことが明らかになった。耐震改修を行うのであれば、経済的被害の軽減ではなく人的被害の軽減を目的にすべきである。この際は静岡県住宅耐震改修等促進方策検討委員会⁴⁶⁾が示すように、人命を守るための部分的な耐震改修等に留め、費用を抑制することで耐震改修を推進していくことが考えられる。
- 建物の耐震化が 85%から 100%に推進することで、不足復旧費用は中小地震時で約 46～63%程度、巨大地震時で約 71～78%程度に減少する。耐震改修費用に対する効果は見合わないものの、建物の耐震化が必要復旧費用や不足復旧費用に与える影響は大きい。耐震化率が建物の耐震化率の向上は建物の耐震改修に限らず、新築や建替え、除却などによっても上昇する。現況の耐震化率の下で耐震改修が費用便益的に有効でないのであれば、立地誘導や土地利用規制等の施策によって、建物の建替や除去等の促進を行い、緩やかに耐震化率を向上させることが考えられる。
- 地震保険において一定の震度以下の世帯を支援対象外とした場合、巨大地震時における地震保険金はさほど変化しないが、中小地震時における地震保険金は大きく減少した。中小地震による保険金が AAL に及ぼす影響は極めて大きく、震度 5 弱以下を支援対象外とした場合の AAL は約 78～83%程度、震度 5 強以下を支援対象外とした場合の AAL は約 47～51%程度になった。経済的支援システムの平均年間支出である AAL が減少することで補償額に余力が発生し、大地震時や巨大地震時により多くの支援拡充が可能になることを明らかにした。被災地域において、時間を

通じて平準化された復旧費用の調達ならばまだしも、一時期に発生する巨大地震時の莫大な復旧費用を調達することは困難である。そこでは一時期の復旧費用に耐え得るだけの十分な資本をもたなければならない。支援対象の選択と集中を行うことで、莫大な必要復旧費用の多くを支援金で調達することが可能になり、復旧・復興計画が為しやすくなる。

- 耐震化率向上と保険条件の変更，自己の金融資産による復旧を組合せることで，中小地震から大地震、巨大地震に対して不足復旧費用を減少できることを明らかにした。特に，耐震化率向上によって中小地震時の不足復旧費用を，保険条件の変更によって大地震～巨大地震時の不足復旧費用を減少することができる。現行の地震保険制度は1966年に制定されたものであるが，当時の建物は耐震性能も十分でなく，全ての被害世帯に対して支援を行う必要があった。しかし，現在は建物の耐震性能も向上し地震時の被害も軽減している。NFIPのように被害軽減対策を前提とした保険制度を設けることで，より甚大な被害時の支援拡充を為すことができることを明らかにした。
- 集合住宅の不足復旧費用の被害区分ごとの内訳より，半壊世帯は経済的支援システム適用後も不足復旧費用が多く発生することを明らかにした。熊本地震等の過去の被害事例をみると半壊でも建替を選択する事例も多く，このような場合は復旧費用と地震保険金による補償額との乖離が発生する。特に，集合住宅世帯は区分所有者の協議によって住宅復旧方法が選択されるため，必要とする復旧費用と調達できる費用の乖離が発生しやすい状況にある。調達できる費用が大きく不足した場合は住宅復旧により多くの時間が必要になり，さらには被災地域全体の復旧・復興計画に支障をきたす恐れがある。地震保険制度においても，被災者生活再建支援制度のように，被害程度に応じた基礎支援金と復旧方法に応じた加算支援金を設定する等の対策・対応が必要と考える。

近年の地震災害では，住宅復旧が為せずに長期の避難所や応急仮設住宅での生活を余儀なくされている。生活基盤の要である住宅復旧を為すことは，被災地域の復旧復興の重要事項である。しかし，住宅復旧費用は莫大であり，被害軽減対策だけでは復旧費用を抑制することはできない。また財政支援制度も基金が限られており，被災地域で必要とする復旧費用の全てを補償することは不可能である。しかし，被害軽減対策と財政支援制度を相互に連携し，財政支援システムの機能を最大限に引き出すことで復旧費用調達の困難さを緩和することが可能となる。今後の都市直下型地震への復旧費用調達の対策・対応として，本稿で提案する経済的支援システムが有効と考える。

第5章 結論

今後発生が予想される都市直下地震では、膨大な世帯が被害に遭うことが予想される。都市直下型の地震の特徴は多くの集合住宅が被災対象となることであり、既存の財政支援制度が十分な効果を発揮しないことも懸念される。災害に強い社会の構築と事前の準備による被害軽減なくしては達成できない。そこで本研究では、被害地域が迅速かつ円滑な住宅復旧を為せるための新たな経済的支援システムの検討を行った。本研究で検討する経済的支援システムは、建物の耐震化および自己資産を用いた復旧による自助、被災者生活再建支援制度による公助、地震保険制度による共助で構成される。公助による下支えを基盤に、自助と共助のより一体化した経済的支援システムの施策を検討する。はじめに、被災地で必要とする復旧費用を把握するために、復旧費用分析のための被害関数を構築した。次に、復旧費用分析のための被害関数を用いて、東京都を対象に、立川断層帯による地震の復旧費用分析を行い、住宅区分や被害区分ごとの必要復旧費用や不足復旧費用の傾向、および、現行の財政支援制度による効果を分析し、現行の財政支援制度の課題を明らかにした。最後に、復旧費用分析から得られた知見をもとに、効果的な経済的支援システムの提案を行った。東京都を対象に都市直下地震に対する確率論的地震リスク解析を実施し、経済的支援システムを利用した際の復旧費用分析を行うことで、提案したシステムが有効に機能するかの検討を行った。

以下に、本研究の成果を要約する。

第1章「序論」では、本研究の背景を述べ、既存の制度や研究を概観することにより、本研究の位置づけを示した。次に本研究の目的、構成と内容を記述した。

第2章「復旧費用分析のための被害関数構築」では、被災地で必要とする復旧費用をより精度良く予測するために必要復旧費用分析のための被害関数を提案した。被害関数構築に際しては、建物の構造被害と建物の復旧方法に着目したイベントツリーを作成し、必要再建資金を推定する被害関数の構築した。特に、集合住宅のイベントツリーでは、建物の復旧方法として、区分所有法や被災マンション法の復旧過程に着目し、その区分や分岐確率を提案した。イベントツリーの分岐確率は、熊本地震のアンケート調査をもとに定めた、今後被災データの蓄積によって更新を行うことで評価精度が行える。ただ、分岐確率の不確実性の影響を把握した結果、その変動係数は概ね0.1~0.2程度であることを確認しており、分岐確率の影響が全体の分析傾向に影響を及ぼすほどは大きくないことを明らかにした。また、この被害関数は、構造被害の区分設定において、被災者生

活再建支援法や地震保険制度の財政支援制度の被害区分と整合させている。本被害関数を用いることで、必要復旧費用、財政支援金、不足復旧費用の分析を一貫して行うことが可能になり評価精度が高くなると考える。

第3章「都市直下地震に対する復旧費用の現状分析」では、評価対象として東京都を、都市直下地震として立川断層帯の地震を事例として扱い、住宅復旧費用の分析を行った。集合住宅や戸建住宅の住宅区分や、一部損壊～全壊の被害区分ごとの必要復旧費用、各種財政支援制度の効果および傾向を明らかにした。検討の結果、被災者生活再建支援金は莫大な額となり、現在の被災者生活再建支援制度の基金が不足することを明らかにした。被災者生活再建支援金が必要復旧費用に対して十分でないとしても、現状以上の支援金拡大を行うことは困難であることを示した。地震保険金も、被災者生活再建支援金同様、莫大な額となるが、基金に範囲に収まることを確認した。また地震保険制度の支援効果は被災者生活再建支援制度よりも大きく、復旧費用の財政支援制度として果たす役割が大きいことを示した。一方で、被災者生活再建支援制度、地震保険制度ともに、集合住宅世帯は戸建住宅世帯に比べて支援制度の効果が低いことを定量的に明らかにした。集合住宅世帯の効果が低い理由は、集合住宅の共用部にある。集合住宅の共用部は建物資産の多くを占めるにも関わらず、被災者生活再建支援制度の支払対象に含まれておらず、地震保険加入率も低い。現状、都市部において多くの建物資産が対策のないままリスクに曝されていることが明らかになった。また、一部損壊世帯や半壊世帯は、一定の金融資産を調達することで不足復旧費用が生じない可能性があることを示した。一部損壊世帯や半壊世帯は被害世帯数が多いため、これら世帯への支援金は大きな額になる。これら世帯が自助によって復旧が可能ならば、これら世帯を財政支援制度の対象外とすることで基金を抑制することができ、大規模半壊や全壊の支援制度の拡充が行える。全壊世帯や大規模半壊世帯は財政支援制度を利用し、かつ、一定の金融資産を調達できたとしても不足復旧費用が多額であり、住宅復旧が為しにくい状態にあることを示した。

第4章「耐震対策制度と財政支援制度を組み合わせた経済的支援システム」では、3章で得られた知見をもとに、耐震対策制度と財政支援制度を組み合わせた経済的支援システムの提案を行った。東京都を対象に、都市直下地震に対する確率論的地震リスク評価を行い、中層地震から大地震に対して経済的支援システムが有効に機能するかの分析を行った。耐震対策制度が進んだ際に、必要復旧費用や財政支援金がどのように推移するのか把握し、耐震対策投資とその効果を分析した。また、耐震対策を前提とした財政

支援制度を設定し、財政支援制度の改定が復旧にどのような効果を及ぼすかについて評価した。分析の結果、建物の耐震化を進めることで、被害は発生し難くなり、中小地震時における必要復旧費用を大きく減少させることができることを明らかにした。特に、戸建住宅を中心とした1981年以前の木造建物は、中小地震から全壊等の甚大な被害に至る可能性があるため、耐震化による効果が大きい。しかし、大地震や巨大地震では、被害の発生を抑制し難く、中小地震に比べると耐震化の効果が低減し、必要復旧費用は耐震化前と大きく変わらないことを示した。しかし、耐震化前後による必要復旧費用、被災者生活再建支援金、地震保険金の減少額の合計は、耐震化の対策費用の数%に過ぎず費用便益的には有効でないことを明らかにした。一方で、建物の耐震性能が十分であれば、震度5弱や震度5強時では大規模半壊や全壊等の甚大な被害に至らないことが期待される。そこで、一定の震度以下を地震保険制度の支払対象外にすることで、被害の少ない世帯はなるべく自助による復旧を、復旧費用が必要となる全壊や大規模全壊世帯に対しての支援を集中させることを検討した。一定の震度以下を制度の支払対象外にすることで、中小地震の地震保険金の支払が発生しなくなり、地震保険金のAALが大きく減少することを明らかにした。中小地震は発生確率が高いためAALに及ぼす影響は極めて大きいといえる。AALを等価になるように補償額を増加させると、大地震や巨大地震時において、現行制度の約1.2~2.3倍の補償が可能になることを示した。また、耐震化施策と財政支援制度を組み合わせた経済的支援システムは、中小地震から大地震、巨大地震に対して有効に機能することを示した。経済的支援システムによって、各地震に対して復旧費用を大きく低減させることが可能である。

本研究では自助・共助・公助を組み合わせた経済的支援システムの有効性について示したが、今後の課題について以下に記載する。経済的支援システム的前提となる耐震化対策を進めるにあたり、立地誘導や土地利用規制等による緩やかな建替を行うことで耐震化を促進させることが望ましい。これら耐震化対策の具体的な実施策については今後より詳細な検討が必要である。地震保険制度の条件設定では、500mメッシュごとの計測震度を用いて支援条件を定めたが、実際にこの情報を取得することは難しい。制度設計を行うとすれば公的機関である気象庁が発表している市区町村単位の計測震度の利用等が考えられる。今後の制度設計の展望としては、NFIPのように市区町村単位の自治体ごとの経済的支援システムの運用が考えられる。経済的支援システムの導入について今後より詳細な検討が必要である。

謝 辞

本研究文は筆者が防衛大学理工学研究科装備・基盤工学系専攻防災工学教育研究分野の後期課程に在籍中の研究成果をまとめたものです。同専攻教授矢代晴実先生には指導教官として本研究の実施の機会を与えてくださると共に、終始あたたかいご指導と激励を賜りました。矢代晴実先生のご指導のもと、自分では気が付かなかった新たな視点を発見し、何とか一つの形に整えることができました。これも矢代晴実先生の熱心なご指導のお陰だと感謝しております。ここに深謝の意を表します。

中間審査および最終審査では、横浜国立大学の佐土原聡教授、防衛大学校の別府万寿博教授、八木宏教授、黒田一郎准教授より貴重なご指導とご助言を賜りました。本研究文の細部にわたり丁寧なご指導を戴いたこと感謝申し上げます。

私が社会人博士の道に進むことを許してくださいました、東京海上日動リスクコンサルティング株式会社の庄子憲義氏、佐藤一郎氏、林孝之氏に心よりお礼申し上げます。庄子憲義氏、佐藤一郎氏には、研究に限らず日頃より業務や生活の悩みについて親身になって相談にのっていただきました。お二人の力添えがなければ最後まで到達することはできませんでした。林孝之氏には、研究に向かう姿勢や研究に関する困難克服のための具体的な方策まで丁寧に指導頂きました。研究に向き合う時間を配慮頂く等、多大なご協力とご支援をいただきました。ここに記して深く感謝の意を表します。

大学学部学生、修士学生時代の私に、研究の楽しさと難しさを教えてくださいました、東京理科大学の北村春幸教授、東京都市大学の大鳥靖樹教授、香川大学の梶谷義雄教授に深くお礼申し上げます。北村春幸教授、大鳥靖樹教授と梶谷義雄教授には大学学部学生時代より永年にわたり多大なるご指導をいただいてまいりました。ここに記して深く感謝の意を表します。

研究テーマ設定に際して、福島誠一郎氏には貴重なご意見や具体的な考えまで丁寧にご指導頂きました。福島誠一郎氏のあたたかいご指導とお力添えのおかげで本研究を纏めることができました。ここに記して深く感謝の意を表します。

社会人博士の研究生活にあたり、喜納啓さん、松本虎衛門さんには共に研究を行う仲間として多岐にわたるご協力を頂きました。心から感謝致します。喜納啓さんには有意

義な議論や指摘を頂くと共に、励まし合い、精神的にも多く支えられました。松本虎衛門さんとは共同で研究を進め、多くの刺激と示唆を得ることができました。共に研究を行えたこと嬉しく思います。

本研究は、ここに記しきれない多くの方々のご支援を得て成立していることを記し、ここに深く感謝いたします。

最後に、これまで私をあたたく応援してくれた両親、研究生活を支えてくれた義父母、家族とほとんど過ごすことができないにも関わらず、終始明るく励まし続けてくれた妻の由佳子、息子の祐瑚と祐真に心から感謝します。

2021年1月15日 坂場 律和

参考文献

第1章の参考文献

- [1-1] 総務省消防庁, 熊本県熊本地方を震源とする地震 (第 121 報), 平成 31 年 4 月 12 日, <https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/kumamoto.pdf>
- [1-2] 内閣府, 経済財政政策, 平成 28 年熊本地震の影響試算について, 2016 年 8 月
<https://www5.cao.go.jp/keizai3/kumamotoshisan/index.html>
- [1-3] 文部科学省, 地震調査研究推進本部, 布田川・日奈久断層帯の評価, 2002 年 5 月
https://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/93_futagawa_hinagu.pdf
- [1-4] 熊本県, 熊本県 地震津波被害想定調査結果の概要について, 2013.3
https://www.city.kumamoto.jp/common/UploadFileDsp.aspx?c_id=5&id=1073&sub_id=6&flid=134244
- [1-5] 総務省消防庁, 災害情報, <https://www.fdma.go.jp/disaster/>
- [1-6] Munch RE, TOPICS Geo Natural catastrophes, 2017,
<https://www.munichre.com/en/risks/natural-disasters-losses-are-trending-upwards.html>
- [1-7] 熊本市, 平成 28 年熊本地震にかかるアンケート調査報告書, 2016
https://www.city.kumamoto.jp/hpKiji/pub/detail.aspx?c_id=5&id=14545&e_id=9
- [1-8] 内閣府, 首都直下地震対策検討ワーキンググループ, 2013.12
http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/
- [1-9] 内閣府, 平成 22 年度版防災白書,
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h22/index.htm>
- [1-10] 東京都, 東京都耐震改修促進計画, 2016
https://www.taishin.metro.tokyo.jp/pdf/tokyo/sokushinkeikaku_5.pdf?ver=20200330
- [1-11] 内閣官房, 国土強靱化基本計画, 2018.12
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/pdf/kk-honbun-h301214.pdf
- [1-12] 公益財団法人都道府県センター, 自然災害による被災者のための被災者生活再
建支援制度, https://www.tkai.jp/Portals/0/pdf/reconstruction/2019_5_pamph.pdf
- [1-13] 内閣府, 都道府県独自支援制度, 2018
http://www.bousai.go.jp/taisaku/hisaisyagyousei/pdf/R1_dokuji.pdf
- [1-14] 内閣府, 被災者生活再建支援制度に係る支援金の支給について, 2018.7
http://www.bousai.go.jp/taisaku/seikatsusaiken/pdf/shienkin_shikyujoukyou300731.pdf
- [1-15] 内閣府, 被災者生活再建支援制度に関する検討会, 2018
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/kentokai/saikenshien/index.html>

- [1-16] 財務省, 地震保険制度の概要
https://www.mof.go.jp/financial_system/earthquake_insurance/jisin.htm#1
- [1-17] 日本地震再保険株式会社, 地震保険のしくみ,
<https://www.nihonjishin.co.jp/insurance/>
- [1-18] 損害保険料算出機構, 地震保険の都道府県別加入率の推移
- [1-19] 日本損害保険協会, 地震による保険金の支払い,
https://www.sonpo.or.jp/report/statistics/disaster/ctuevu000000530r-att/c_jishin.pdf
- [1-20] FEMA, The National Flood Insurance Program, 2017.7.31,
<https://www.fema.gov/flood-insurance>
- [1-21] 松岡順, 米国連邦洪水保険制度 (NFIP) の現状, 損保総研レポート, 第 93 号
2010.10
- [1-22] 黒木松男, 全米国家洪水保険の現状と諸課題, 生命保険論集第 183 号
- [1-23] 小檜山雅之, 吉村美保, 目黒公郎: 耐震補強の誘因と阻害要因 : 地震防日本建築学会環境系論文集, 第 606 号, pp.89-96, 2006.8
- [1-24] 中嶋朋子, 吉村美保, 目黒公郎, 耐震補強を誘導する共済による新しい被災者支援システムの研究, 土木学会学術年次講演会, 60, pp.201-202, 2005
- [1-25] 吉村美保, 目黒公郎, 既存不適格建造物の耐震改修を推進させるインセンティブ導入制度に関する一考察, JCOSSAR 2003, Vol.5, 2003. 11
- [1-26] 目黒公郎, 高橋健, 既存不適格建物の耐震補強推進策に関する基礎研究, 地域安全学会論文集, No.3, 2011.11, pp.81-86
- [1-27] 岡田成幸, 被災者生活再建支援に必要な地方自治体の地震リスクファイナンス試算, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, pp.1223-1224, 2012.7
- [1-28] 乾康代, 東日本大震災における被害型から見た茨城県の住宅被害の特徴と再建支援課題, 都市計画論文集, Vol.47, No.3, 2012. 10
- [1-29] 岡田成幸, 中嶋唯貴: 震後復旧費用個人負担の地域格差, 日本地震学会予稿集, 2016 年秋季大会, S15-18, 2016. 10
- [1-30] Tadayoshi Nakashima, Shigeyuki Okada: Financial Imbalances in Regional Disaster Recovery Following Earthquakes - Case Study Concerning Housing- Cost Expenditures in Japan, Sustainability, 10(9), 3225, 1-23, 2018
- [1-31] 永松伸吾, 秦康範: 住宅被害の軽減策の推進と事後補償の充実～両立可能な制度の提案～, 地域安全学会論文集, 5, pp.353-362, 2003

第2章の参考文献

- [2-1] 金融庁, 自然災害リスクに係る外部調達モデルの構造等に関する調査, 2012.7,
<https://www.fsa.go.jp/common/about/research/20120706/01.pdf>
- [2-2] 損害保険料率算出機構, 地震保険研究, No.27, 国・自治体の地震被害想定における被害予測手法の調査, 2014.5
https://www.giroj.or.jp/publication/earthquake_research/No27_all.pdf#view=fitV
- [2-3] 岡田成幸, 高井伸雄: 地震被害調査のための建物分類と破壊パターン, 日本建築学会構造系論文集, 第 524 号, pp.65-72, 1999.10
- [2-4] 内閣府, 首都直下地震対策検討ワーキンググループ, 2013.12
http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/
- [2-5] 東京カンテイ: 熊本地震マンション被災度調査報告書, 2017.7.31,
<https://www.kantei.ne.jp/report/92kumamoto-survey.pdf>
- [2-6] 旭化成不動産レジデンス株式会社, 上熊本ハイツマンション建替組合, プレスリリース, 2018.2
<https://www.asahi-kasei.co.jp/asahi/jp/news/2017/ho180221.html>
- [2-7] 損害保険料率算出機構: 余震の影響を考慮した建物被害予測手法の研究, 2010
- [2-8] 長尾拓真, 山崎文雄: 2007 年新潟県中越沖地震における柏崎市の建物被害分析, 土木学会年次学術講演会, 2011
- [2-9] 岡田成幸, 高井伸雄, 地震被害調査のための建物分類と破壊パターン, 日本建築学会構造系論文集, 第 524 号, pp.65-72, 1999.10
- [2-10] 熊本市, 平成 28 年熊本地震にかかるアンケート調査報告書, 2016
https://www.city.kumamoto.jp/hpKiji/pub/detail.aspx?c_id=5&id=14545&e_id=9
- [2-11] 佐伯琢磨, 翠川三郎: 住宅建物の経済被害評価のための被害関数の作成, 日本建築学会構造系論文集, 第 545 号, pp.79-85, 2001.7
- [2-12] 坂場律和, 林孝幸, 佐藤一郎, 矢代晴実: 平成 28 年熊本地震を対象とした自治体の地震被害想定手法の検証, 地震工学会大会, 2016

第3章の参考文献

- [3-1] 総務省統計局, 平成 25 年住宅・土地統計調査
- [3-2] 坂場律和, 林孝幸, 佐藤一郎, 矢代晴実: 平成 28 年熊本地震を対象とした自治体の地震被害想定手法の検証, 地震工学会大会, 2016
- [3-3] 熊本市, 平成 28 年熊本地震にかかるアンケート調査報告書, 2016
https://www.city.kumamoto.jp/hpKiji/pub/detail.aspx?c_id=5&id=14545&e_id=9
- [3-4] 総務省統計局, 平成 22 年国勢調査
- [3-5] 国税庁, I-2 雑損控除の適用における「損失額の合理的な計算方法」,
<https://www.nta.go.jp/taxes/shiraberu/saigai/h30/0018008-045/01-2.htm>
- [3-6] 地震調査研究推進本部: 全国地震動予測地図 2014 年版
- [3-7] 地震調査研究推進本部 地震調査委員会, 震源断層を特定した地震の強震動予測手法, 2017.4
- [3-8] Morikawa and Fujiwara: A new ground motion prediction equation for Japan applicable up to M9 mega-earthquake, Journal of Disaster Research, 2013
- [3-9] 防災科学技術研究所: J-SHIS 地震ハザードステーション
<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- [3-10] 藤原広行他: 東日本大震災を踏まえた地震ハザード評価の改良に向けた検討, 防災科学技術研究所研究資料, 第 379 号, 2012
- [3-11] 若松加寿江, 松岡昌志: 全国統一基準による地形・地盤分類 250m メッシュマップの構築とその利用, 地震工学会誌, No.18, pp.35-38, 2013
- [3-12] Wakamatsu, K. and Matsuoka, M.: Nationwide 7.5-Arc-Second Japan Engineering Geomorphologic Classification Map and Vs30 Zoning, Journal of Disaster Research, Vol.8, No.5, pp.904-911, 2013
- [3-13] Ibrahim, R., H. Si, K. Koketsu and H. Miyake, Long-period ground-motion prediction equations for moment magnitude estimation of large earthquakes in Japan, Bull. Seism. Soc. Am., 106, 54-72, 2016.
- [3-14] Kobayashi, H., K. Koketsu and H. Miyake: Rupture processes of the 2016 Kumamoto earthquake sequence: Causes for extreme ground motions, Geophys. Res. Lett., 44, 6002-6010, 2017
- [3-15] 司宏俊, 翠川三郎: 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, 第 523 号, pp.63-70, 1999
- [3-16] Kanno, T., Narita, A., Morikawa: N., Fujiwara, H., and Fukushima Y.: A new attenuation relation for strongground motion in Japan based on recorded data, Bull. Seism. So. Am.,

96, 2006, pp.879-897

- [3-17] 日本損害保険協会: 地震保険の都道府県別加入率の推移
http://www.sonpo.or.jp/news/statistics/syumoku/pdf/kanyu_jishin.pdf
- [3-18] 財務省: 地震保険制度に関するプロジェクトチームフォローアップ会合, マンション共用部分の加入促進に関する取組み, 2015
https://www.mof.go.jp/about_mof/councils/jisinpt_fu/proceedings/material/270204-gosanko3.pdf
- [3-19] 金融広報中央委員会, 家計の金融行動に関する世論調査 [二人以上世帯調査], 2019
- [3-20] 全国知事会: 被災者生活再建支援制度に関する検討結果報告, 2019.7,
<http://www.nga.gr.jp/ikkrwebBrowse/material/files/group/2/20180725-04-3shiryou.pdf>
- [3-21] 日本地震再保険株式会社: 地震保険再保険スキーム,
<https://www.nihonjishin.co.jp/insurance/>

第4章の参考文献

- [4-1] FEMA: The National Flood Insurance Program, 2017.7.31,
<https://www.fema.gov/flood-insurance>
- [4-2] 東京都, 東京都耐震改修促進計画, 2016.3
- [4-3] 東京都耐震ポータルサイト
<https://www.taishin.metro.tokyo.jp/>
- [4-4] 地震調査研究推進本部: 全国地震動予測地図 2014年版
- [4-5] 金融広報中央委員会, 家計の金融行動に関する世論調査 [二人以上世帯調査],
2019
- [4-6] 静岡県: 静岡県住宅耐震改修等促進方策検討委員会報告書
<http://www.pref.shizuoka.jp/bousai/e-quakes/shiraberu/higai/jyutaku/index.html>

発表論文

【学術論文】

- 坂場律和, 矢代晴実: 集合住宅の再建に着目した被害関数構築と都市直下型地震による住宅再建資金の分析, 構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム JCOSAR2019
- Norikazu Sakaba, Harumi Yashiro: Development of economic damage estimation considering diversity of housing reconstruction methods in apartments, Internet Journal of Society for Social Management Systems, Vol.12, Issue 2, sms19-3802, pp.45-54, 2019, 7
- 坂場律和, 矢代晴実, 松本虎衛門: 都市直下地震に対する住宅復旧資金と災害リスク対策に関する研究, 集合住宅に着目した財政支援制度の効果分析, 日本建築学会計画系論文集, 第 777 号, pp.2491-2500, 2020.11
- Norikazu Sakaba, Harumi Yashiro: Construction of damage function for an analysis of the economic damage by earthquakes with a focus on the reconstruction of shared housing, International Journal of GEOMATE, Geotec. Const. Mat. & Env., Vol.20, Issue 78, pp.135-141, 2021.2
- Norikazu Sakaba, Harumi Yashiro: Research on Housing Restoration Costs And Disaster Risk Management For Urban Earthquakes, International Journal of GEOMATE, Geotec. Const. Mat. & Env., 2021 (投稿中)
- 坂場律和, 矢代晴実: 都市直下地震に対する住宅復旧のための経済的支援システムに関する研究, 確率論的地震リスク評価を用いた効果分析, 日本建築学会計画系論文集, 2021 (投稿中)

【国際会議】

- Norikazu Sakaba, Ichiro Sato, Harumi Yashiro: Effectiveness of the fault-zoning act on the 2016 Kumamoto earthquake, 16th European Conference on Earthquake Engineering, 2018.6
- Norikazu Sakaba, Harumi Yashiro: Financial Procurement for Earthquake Disaster Recovery and The Effects of Financial Support Measures, 17th World Conference on Earthquake Engineering, 2020

【学会発表等】

- 坂場律和, 林孝幸, 佐藤一郎, 矢代晴実: 平成 28 年熊本地震を対象とした地方自治体の地震被害想定手法の検証, 日本地震工学会大会, 2016

- 坂場律和, 佐藤一郎, 矢代晴実: 2016 年熊本地震を対象とした防災型土地利用規制の検討, 日本地震工学会大会, 2017
- 坂場律和, 佐藤一郎, 矢代晴実: 断層近傍における地震リスクコントロールについての基礎検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, 2018
- 坂場律和, 地域防災における建物の目標耐震裕度の評価, 第 25 回信頼性設計技術 WS & 第 38 回最適設計研究会, 2018 (口頭発表)
- 坂場律和, 地震災害における復旧資金と各種財政支援対策の効果分析, 第 26 回信頼性設計技術 WS & 第 39 回最適設計研究会, 2019 (口頭発表)
- 坂場律和, 佐藤一郎, 矢代晴実: 集合住宅の住宅再建方法に着目した被害関数の構築とその適用事例, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 都市計画, 2019
- 松本虎衛門, 矢代晴実, 坂場律和, 松崎裕: 都心直下地震発生時の住宅再建費用と支援制度に関する研究, 第 47 回土木学会関東支部技術研究発表会
- 坂場律和, 矢代晴実, 松本虎衛門: 都市直下地震に対する住宅復旧資金と災害対策の効果分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 都市計画, 2020