

地震防災研究を踏まえた
退避行動等に関する作業部会
報告書
(案)

＜第 4 章までの部分＞

平成 22 年 3 月 日
科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
防災分野の研究開発に関する委員会
地震防災研究を踏まえた退避行動等に関する作業部会

地震調査研究を踏まえた退避行動等に関する作業部会 報告書目次案

1. はじめに
 - 1.1 背景
 - 1.2 目的
2. 基本的考え方
 - 2.1 検討範囲 ※ 時間、場所
 - 2.2 検討手法
3. 地震時におけるこれまでの推奨行動の分類と整理図
 - 3.1 地震時におけるこれまでの推奨行動の分類
 - 3.2 推奨行動の整理図
4. 地震の揺れによる室内環境の変容と人間行動に関するこれまでの研究成果
 - 4.1 地震の揺れによる室内環境の変容
 - 4.1.1 地震の揺れによる物品等の挙動についてのこれまでの研究
 - 4.1.2 地震の揺れによる室内環境の変容についてのまとめ
 - 4.2 地震の揺れが人間の行動能力に及ぼす影響
 - 4.2.1 地震発生時における人間行動についての文献調査
 - 4.2.2 地震時における人間の行動についてのまとめ
 - 4.3 地震の揺れによる人間の行動と負傷の関係
 - 4.3.1 人間行動と負傷の関係についての文献調査
 - 4.3.2 人間行動と負傷の関係についてのまとめ
5. 推奨されてきた退避行動の検証
 - 5.1 地震時における退避行動等の考え方及び検討手法
 - 5.2 推奨されてきた退避行動等の妥当性の検討と問題点の抽出
 - 5.2.1 「大きな家具に身を寄せる」行動について
 - 5.2.2 「身を隠して頭を保護する」行動について
 - 5.2.3 「地震を感じて慌てて外へ飛び出さない」行動について
 - 5.2.4 「火を消す」行動について
6. 地震時に人命を守るための適切な退避行動等の提言と今後の課題
 - 6.1 地震時に人命を守るための退避行動等についての基本的考え方
 - 6.1.1 基本認識

- 6.1.2 安全空間の考え方
- 6.2 事前対策等も含めた地震時に人命を守るための退避行動等（提言）
 - 6.2.1 事前対策
 - 6.2.2 主要動到達直前（緊急地震速報時、初期微動時）
 - 6.2.3 揺れの最中
 - 6.2.4 揺れが収まった直後
 - 6.2.5 避難および正しい情報の入手
- 6.3 地震時に人命を守るための退避行動等についての今後の課題
 - 6.3.1 適切な退避行動等に向けて必要な姿
 - 6.3.2 課題解決に向けた研究内容
 - (1) 基礎的研究の充実
 - (2) 複合的な研究
 - (3) 利活用促進のための研究

7. おわりに

用語

付 参考資料

1. はじめに

我が国は世界の中でも有数の地震国であり、これまでに甚大な被害を発生させる大地震を幾度も経験してきた。大地震が発生するたびに当時の研究者や防災関係者により調査が行われ、それらの調査から得られた貴重な教訓を後世で生かすために「地震時における心得」がまとめられ、国民に伝えられてきた。

例えば、関東大地震（1923年）では、今村明恒等が著書「星と雲・火山と地震」（1930年）で「地震に会ったときの心得」として10カ条をまとめており、火の元に用心し、広場へ出られる見込みがあれば機敏に飛び出すことや堅牢な家具に身を寄せ、机の下に一時避難を行うことを推奨している。

それ以降、被害地震の経験や科学技術の進歩等を踏まえて、心得や推奨行動はいくつかの変遷を経て、多くの防災関係機関から提案されているところであるが、建物の耐震性の向上や緊急地震速報の実現、都市ガスの自動遮断装置の普及等の社会構造や生活様式の変化、新たな研究成果が心得や推奨行動に十分には反映されているとは言い難い面がある。

一方、防災分野の研究者による地震被害調査や実大三次元振動破壊実験施設（E-ディフェンス）などを用いた実験研究により地震時の状況について知見が蓄積しつつあり、このような研究成果を活用して、住居や学校、オフィスにおいて、地震発生時に人がどのような行動をとり、どのような対策を行うべきかについて検討することは、時宜を得ているといえる。

このような状況を踏まえ、防災分野の研究開発に関する委員会（科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会）は、平成21年5月に地震防災研究を踏まえた退避行動等に関する作業部会（主査：田中淳 東京大学大学院情報学環総合防災情報研究センター長・教授）を設置し、地震発生時の退避行動についてその有効性を検証し、課題を抽出するとともに、どのような行動をとるのが望ましいか検討を行った。

本報告書は、地震防災研究を踏まえた退避行動等に関する作業部会（以下、「作業部会」）が平成21年度に行った計〇回の会合において検討した結果を報告書としてとりまとめたものである。

2. 基本的考え方

2.1 検討範囲

本作業部会では、地震の揺れによる建物の損壊や室内状況の変容から人命を守るための行動について検討を行うこととし、以下の時間と場所を検討対象とした。

(1) 検討対象とした時間の範囲

地震による揺れもしくは地震情報により人間の行動が制約される以下の時間を中心に検討対象とした。

- ・緊急地震速報により地震発生を感知する、もしくは初期微動が到達してから主要動が到達するまでの時間
- ・主要動により揺れている時間（揺れが収まるまでの時間）

また、余震や津波の発生を想定した行動は、防災・減災の観点から有効であることから、揺れが収まった直後の時間についても必要に応じ検討を行った。

(2) 検討対象とする場所

多くの人間が日常的に生活し、また研究成果や作業部会での検討結果が防災対策へ反映されやすいという観点から、以下の場所を中心に検討を行った。

- ・一般的な室内空間（居室、教室、事務室）
- ・屋内から屋外に向かう空間（廊下）

2.2 検討手法

本作業部会では、以下の手法で検討を行った。

(1) 現在推奨されている地震時の行動についての整理（3章）

地方公共団体で公表されている「地震時の心得 10ヶ条」を収集し、類似性やその場の状況、時間、行動目的等の視点から整理・分類し、これまでの地震時における推奨行動を一般化し、関連図にまとめた。

(2) 地震時の揺れによる室内環境の変容と人間行動についての文献調査（4章）

地震時の揺れによる室内環境の変容や人間の行動に与える影響、さらには揺れの環境下での行動と負傷の関係について文献を調査し、一般化してまとめられる内容と特殊な状況下で成立する事項について整理を行った。

(3) 推奨されている地震時の退避行動の検証と問題点の抽出（5章）

(1)で分類・整理を行った現在の推奨行動のうち以下に示すものについて、(2)で行った文献調査から得られた事実関係をもとに、これまで推奨されてきた退避行動の妥当性を検証し、問題点の抽出を行った。

- ① 大きな家具に身を寄せる

- ② 身を隠して頭を保護する
- ③ 地震を感じて慌てて外へ飛び出さない
- ④ 火を消す

(4) これまでの地震防災研究を踏まえた退避行動の提言と今後の課題（6章）

(3)を踏まえ、地震時に人命を守るための行動についての基本的な考え方を示し、地震発生前後の以下に示す時間的な区分毎に、現状において適切と考えられる推奨行動を示した。

- ・地震発生前（事前対策）
- ・主要動到達直前（緊急地震速報時、初期微動時）
- ・揺れの最中（主要動時）
- ・揺れが収まった直後
- ・避難および正しい情報の入手

また、地震時に人命を守るために防災関係者等が目指すべき将来の姿について記述し、それを達成するために必要となる研究内容を、「基礎的研究」および「複合的研究」、「利活用促進のための研究」に分類・整理し、提示を行った。

3. 地震時におけるこれまでの推奨行動の分類と整理図

3.1 地震時におけるこれまでの推奨行動の分類

地方公共団体等で現在推奨されている「地震時の心得」とそれに関連した「具体的な行動指針」(参考)について目的等で整理し、(Ⅰ)「命を守る」、(Ⅱ)「火を消す」、(Ⅲ)「隣近所で助け合う」、(Ⅳ)「デマやうわさに惑わされない」、の4つに分類した。

(Ⅰ)「命を守る」 (図1上)

災害を起こす原因である地震等の「HAZARD」、その HAZARD により人間の危険となり得る家具等の「危険要因」、その危険要因が地震動により引き起こす「人が体験する困難な状況」、その状況を回避するための目的ごとに「具体的対応行動」を明確にした上で、行動を行う場所、順序の関係が理解しやすいように配置した。

(Ⅱ)「火を消す」 (図1下)

地震が発生した際の火を消すタイミングごとに退避行動を整理した。第1のタイミングは、揺れはじめの初期微動時で、「火を消す」または「火を消せと皆で声を掛け合う」、大きく揺れ始めたら「揺れが収まるまで身の安全を確保する」が該当する。ここで、「揺れが収まるまで身の安全を確保する」は(Ⅰ)「命を守る」に準じる。

第2のタイミングは地震後で、「火を消す」または「避難の際にブレーカを切る」が該当する。このタイミングで火が消せない場合は、第3のタイミングの出火直後で、「直ぐに火を消す」、「火事だと大声で叫ぶ」が該当する。

(Ⅲ)「隣近所で助け合う」 (図1下)

概ね地震動が収まった後の対応で、近隣の安全を確認し、救出したり声を掛け合ったり、秩序を守って行動する等、近隣で協力して助け合うというものが該当する。

(Ⅳ)「デマやうわさに惑わされない」 (図1下)

概ね地震動が収まった後の対応であり、非常事態によりデマやうわさに惑わされやすくなり、「ラジオや TV 等で正しい情報を入手」、「市役所・消防署・警察署等からの情報に注意」「不要・不急の電話をかけない」が該当する。

(参考)【地震時の心得 10ヶ条】(具体的行動指針は一例)

(1) わが身と家族の身の安全

【具体的行動指針】 揺れを感じたら、丈夫なテーブルや机の下に隠れ、身を守りましょう。

(2) グラツきたら火の始末、火が出たらすばやく消火

火が出たらすばやく消火しましょう。火の始末が大災害を防ぎます。小さな地震でもすぐ火を消す習慣をつけることが大切です。

(3) あわてて外に飛び出さない

地震が起きたからといって、むやみに外に飛び出すのは危険です。身の安全と火の始末を図った上で周囲の状況をよく確かめて、落ち着いて行動しましょう。

(4) 窓や扉を開けて出口の確保

地震によって建物が歪み、部屋に閉じ込められることがあります。いち早く扉や窓を開けて出口を確保しましょう。

(5) 戸外では頭を保護し危険なものから身をさける

屋外にいるとき地震が起きたら、ブロック塀が倒れたり看板が落ちてきたりします。安全な建物か近くの広い場所へ避難しましょう。

(6) 百貨店・劇場などでは係員の指示に従う

大勢の人が集まる場所ではパニックが起きる心配があります。巻き込まれないように、冷静な行動を心がけましょう。

(7) 自動車は左側に寄せて停車、規制区域では運転禁止

ハンドルをしっかりつかみ、徐々にスピードを落として車を道路の左側に停めましょう。車を停めたら、カーラジオの情報により行動をとりましょう。車から降りて避難をするときは、車のキーを付けたまま、ドアをロックせずに。

(8) 山崩れ・がけ崩れ・津波に注意

山崩れ・がけ崩れ・津波の危険のある地域ではすばやく避難しましょう。

(9) 避難は徒歩で、持ち物は最小限に

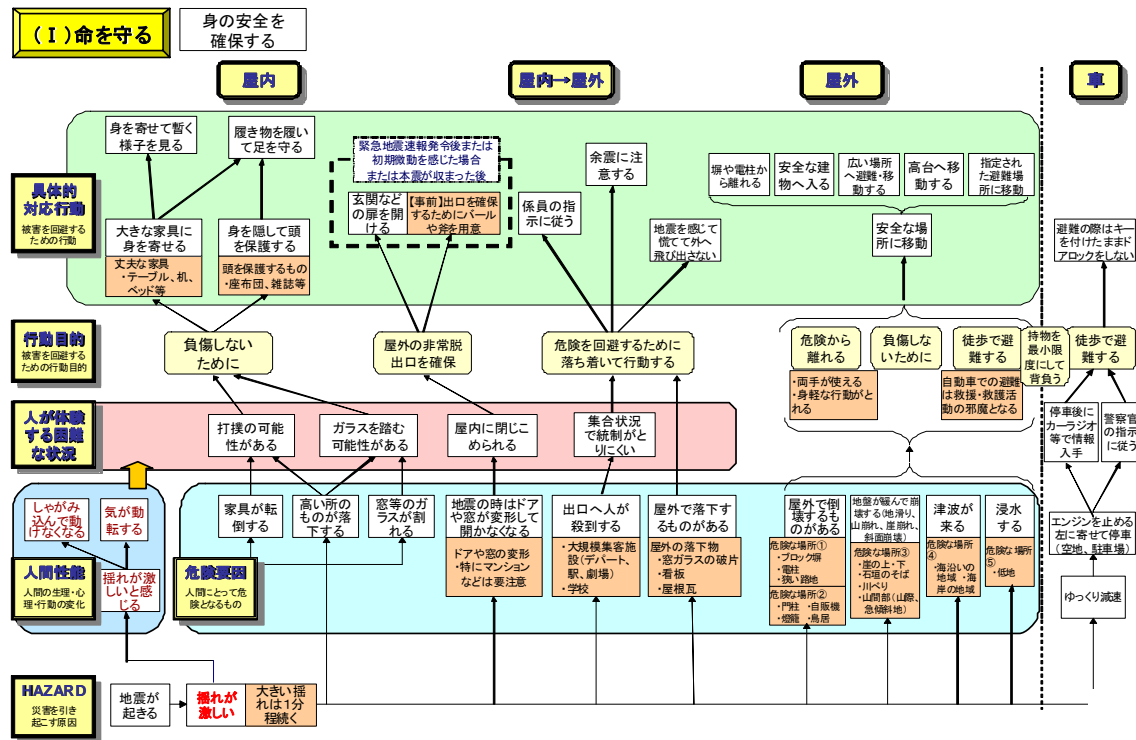
自動車を使うと、渋滞を引き起こし、消火活動や救助活動の妨げになります。避難は徒歩で、荷物は必要最小限のものだけにしましょう。

(10) デマで動くな、正しい情報で行動

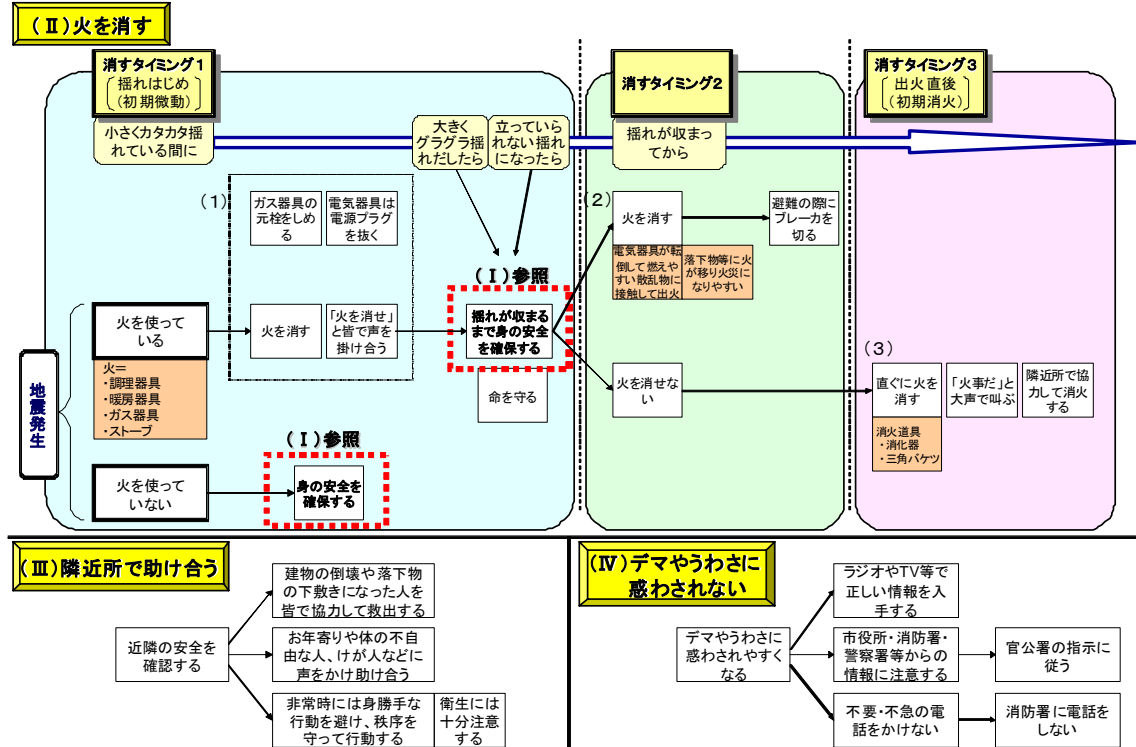
災害時はうわさやデマでパニックに陥りやすくなります。報道機関や市、消防・警察からの情報に注意しましょう。

3.2 推奨行動の整理図

現在推奨されている退避行動の整理 (I)



現在推奨されている退避行動の整理 (II) (III) (IV)



現在推奨されている退避行動の整理図 (図1)

4. 地震の揺れによる室内環境の変容と人間行動に関するこれまでの研究成果

4.1 地震の揺れによる室内環境の変容

4.1.1 地震の揺れによる物品の挙動についてのこれまでの研究

地震時の物的被害に関する研究としては、(1)「家財等室内被害状況に関する研究」、(2)「建物被害状況等に関する研究」、(3)「室内および家財等の被害状況の定量的把握に関する研究」、(4)「家財等の振動台実験に関する研究」に大別される。これらは、3.2 推奨行動の整理図における「危険要因」と「人が体験する困難な状況」の部分に該当し、(1)は「危険要因」の研究として、(2)は屋外の「危険要因」や整理図には含まれていない建物被害等に関する研究として、(3)は「危険要因」がどのように「人が体験する困難な状況」になるのかを定量的に把握する研究として、(4)は(1)から(3)を実験により明らかにする研究として、それぞれ位置づけられる。

(1) 地震時の家財等室内被害状況に関する研究

① 1978年宮城県沖地震

志賀ほか¹⁾は、1978年宮城県沖地震の際、東北大学工学部において家具の転倒被害についての調査を行った。その結果、7～9階の単体の家具の転倒率は35～38%であり、1～3階では、移動した家具はあったが転倒した家具はなかったとしている。

金子・田村²⁾は、1978年宮城県沖地震の実態調査(志賀ほか¹⁾)を活用して、設置状況が家具の転倒に及ぼす影響について検討している。その結果は以下のとおりである。

- ・「独立」の家具では、家具のB/H(奥行/高さ)が床との摩擦係数を下回る場合に転倒しており、床の滑りやすさと転倒しやすさには相関がある。
- ・「壁際」の家具の転倒しやすさは、「独立」の家具と同程度である。これは、床が滑りやすく、初期の揺れで家具が滑って壁から離れるためと考えられる。
- ・「背中合わせ」の家具の場合には、互いに衝突することにより、「独立」の家具より転倒しやすい傾向がある。

② 1987年千葉県東方沖地震

岡田³⁾は、1987年千葉県東方沖地震について、千葉市内の14階建て高層住宅の全世帯に対するアンケートにより、ガラス食器類の被害、家具の移動・転倒、地震時の行動の調査を実施している。その結果、階数が高いほど被害が大きく、震度が高いほど、階数が高いほど行動に支障が生じる人が増えている。また、ガラス食器類の落下・破損は3階(震度4.5程度)以上で発生し、大きな家具の落下・転倒は9階(震度5程度)以上で発生しているとしている。

③ 1993年釧路沖地震

清水・岡田ほか⁴⁾は、釧路沖地震後に釧路市内の集合住宅において実施した戸別被害

調査により、室内被害散乱状況に関するデータベースを作成し、これをもとに、散乱促進・抑制要因を抽出し、重回帰分析によりその影響の大きさを分析した。その結果、震度・家具数は危険度促進要因として、面積、開口率は危険度抑制要因として働いているが、特に強いものではなく、それぞれが複雑に影響しあっているものと考えられている。

また、ある住戸の家具の配置をもとにマイクロゾーネーション手法（岡田²⁴⁾）による推計を行った結果、実際の被害の結果と概ね一致しており、この手法の有用性にも言及している。

翠川・佐藤ほか⁵⁾は、1993年釧路沖地震で震度6が観測された釧路市内にある釧路市役所と釧路地方気象台を対象としたヒアリング調査及び現地調査により、事務室内の家具の設置状況と転倒率の関係を調査し、以下の結果を得ている。

- ・「単体」の家具より「二段積み」の家具の方が転倒しやすい。
- ・「二段積み」の家具は上段のみが転倒するケースが多いが、建物上階では、下段から転倒する例が見られる。
- ・「単体」の家具の場合、「背中合せ」は「壁際」より転倒しやすい。
- ・「二段積み」の場合、「背中合せ」と「壁際」の転倒のしやすさに明瞭な違いは見られない。

この結果から、家具の積み重ね方や背後の状況など、家具の設置状況は防災対策として考慮すべき重要な要素であるとしている。

また、翠川・佐藤ほか⁶⁾は、1993年釧路沖地震で震度6が観測された釧路市内にある釧路市役所と釧路地方気象台での家具の転倒調査に基づき、事務室内の家具の転倒率と床応答の最大速度値との関係を検討している。その結果、東京都防災会議による震度階の解説表に基づいて設定された岡田・鏡味²²⁾の家具転倒率の式は、住宅内の家具の転倒危険度は評価できるであろうが、本調査結果のような事務室内の家具の転倒危険度を説明せず、家具の転倒限界速度はその設置条件で大きく異なることを指摘した。具体的には、多段積みの家具を上下に連結するだけでも高い効果が得られること、家具を背中合わせに配置する場合には、さらに背後の家具を連結することが望ましいことが指摘されたとしている。

さらに、村上・岡田⁷⁾は、釧路支庁管内の全小学校の児童の保護者を対象にアンケート調査を実施し、震度と室内の散乱程度との関係を調査している。調査結果をもとに数量化I類で室内の被害関数を算定した結果、台所、居間、子供室等の散乱被害が大きく、浴室・トイレ、玄関・階段等のユーティリティ・通路空間の被害が小さいとしている。

④ 1995年兵庫県南部地震

日本建築学会近畿支部⁸⁾は、1995年兵庫県南部地震において、建物被害や室内被害等について、アンケート調査を行い、居室の散乱について検討を行っている。その結果は

以下の通りである。

1) 震度による差異

震度 7 の地域では約 6 割の居室が大きく散乱し、散乱を免れた居室は 2 割弱だった。

2) 住宅形式・構造による差異

室内の散乱被害は、高層の住宅ほど、より広い地域に被害が及んでいた。

3) 建物の高さによる差異

高層の建物の散乱は低層の建物の 2 倍に及んでいる。

4) 建築年数による差異

震度 7 の地域以外の災害救助法適用地域（震度 7 の周辺部）では、築 15 年以上の住宅に被害がやや大きくなっていったが、震度 7 地域では大きな差はなかった。

5) 床材料の違いによる差異

震度 7 地域では有意な差はなかったが、その周辺部では、床の摩擦係数の大きいもののほど散乱が大きかった。

6) 建物の被害との関係

居室の被害の大きいものは建物被害も大きい。建物被害がなくても散乱被害があったものが 1.5 割あった。一方で、建物被害があっても散乱のない居室もあり、物の置き方等住まい方も散乱の要因になっている。

また、山本・佐伯⁹⁾は、阪神地区の金融機関従業員へのアンケート調査により、兵庫県南部地震における阪神地区の家財被害の様相について報告している。その結果はサンプルの代表性の検討が必要としながらも以下のとおりであるとしている。

1) 建物被害の少ない地域でも家財被害が発生している。

2) 被害率の高い品目は、転倒しやすい食器戸棚 (50.3%)、本棚 (38.7%) 等と、転落しやすい仏壇 (37.2%) や電子レンジ (30.2%) である。

3) 建物被害が大きくなると家財被害は大きくなるが、負傷率はそんなに際だって大きくなることはなかった。

4) 建物タイプ毎の家財の被害状況としては、以下のとおりである。

- ・木造構造の場合、在来型と 2×4 などでは被害率に大きな差がある。
- ・鉄筋コンクリート造では、在来木造と同じ程度の被害率であるが、中高層建物が多いことから床応答の増幅が原因と考えられる。

⑤ 2003 年十勝沖地震

名知・岡田ほか¹⁰⁾、岡田・田村¹¹⁾は、2003 年十勝沖地震の主要被災地で行った実態調査を基に、人的被害発生事象を室内変容と人間行動の集積・連鎖として解析を行っている。その結果、転倒率 10%以下が約半数を占めており、震度 6 弱で重量家具の約 50%が転倒するという全国平均に比べ、計測震度が 6 弱の地域としては転倒率がやや低いとしている。また、全ての家具が転倒したとしても安全空間が確保される閾値として、床面積

に対する家具数 0.3 個/m²、壁長に対する家具数 0.5 個/mを示している。さらに、負傷率は、家具転倒率や室内散乱率、建物被害程度とは比例関係にはなく、震度とは概ね正の相関がある。この理由として、震度の増加は行動随意性を低下させるもので、震度は被害率と行動困難性を総合的に評価し得る指標であるからとしている。

⑥ 2004 年新潟県中越地震

名知・岡田ほか¹²⁾は、2004 年新潟県中越地震の被災事例における室内人的被害を把握し、室内変容・人間行動と負傷の関係を明らかにするとともに、当該地震の被災特徴を抽出することを目的として、個別聞き取り調査を行った。その結果、他の地震より負傷率が低い傾向があるのは、床面積あたりの家具数が少なく、各部屋が中廊下につながっているというこの地域特有の間取りが多く退避が容易であったためとしている。また、地震発生時刻が夕食時であり、台所は家具密度が高い(0.8 個/m²)という用途特性から、女性の負傷率が高くなっていると推測している。

結論として、2004 年新潟県中越地震による負傷者が少なかった理由は、地震時の安全空間のみならず、避難・救助経路として、廊下の存在は有効であるなど、間取りと家具配置が関係しているとしている。

⑦ 2003 年十勝沖地震と 2004 年新潟県中越地震との比較

名知・岡田ほか¹³⁾は、2003 年十勝沖地震と 2004 年新潟県中越地震との比較により、負傷発生の一般的要因と地域的要因の抽出を行った。両地域ともに最大の建物被害は建物が傾く程度で構造的内部空間損失はほぼ見られなかったが、中越地震が建物被害率に比較して負傷率が低いのは、建物家具密度が地域平均で、十勝 0.41 個/m²に比して中越 0.35 個/m²と低かったこと、また、中越地域は中廊下という特徴的な間取りが多く、諸室が中廊下(安全空間)と直結しており、安全な避難経路が常時確保されており、地震時に安全空間への移動や屋外避難がより容易であったことによるもので、さらに、北海道は熱効率のため廊下のない居室隣接型の間取りのため散乱室内を通過して避難せざるを得なく、その結果避難時負傷率が高くなっていると考察している。すなわち、室内環境の変化と人間行動の連鎖によるものであり、結論として、低い家具密度や広い中廊下という地域特性が負傷発生抑制に大きく寄与したとしている。

⑧ 福岡県西方沖地震

花井¹⁴⁾は、福岡市で被害の大きかったとされる、玄界島、志賀島勝馬、西区宮浦地区を対象に聞き取り調査を行い、主に木造住宅における平地やミニ開発された斜面など地形の異なる所および造成の有無での建物内部の揺れの違い等について考察している。その結果は以下の通りであるとしている。

- ・本調査では公表されている震度より 1 段低い震度 5 強が 6 割近くと多い。

- ・盛土、切土盛土混在の敷地にある住宅は揺れが大きくなり、被害が甚大である。
- ・東石基礎の場合、布基礎に比べて揺れは大きくなる。

⑨ 2007年能登半島地震

岡田・名知¹⁵⁾は、能登半島地震における被害の概要を被害統計資料等から把握し、主要被災地である輪島市および穴水町でのアンケート調査により詳細を分析している。結果として、被害統計から当該地域の住家耐震性は日本平均的かやや低いと推察され、調査により耐震性は全国平均より低く、筋交いや一階壁量の不足に起因していることが見てとれたとしている。室内については、統計資料により床面積が広いため相対的に負傷危険領域率が低く負傷率も低かったと推察されたとしている。また、石川県は周囲を廊下に囲まれた田の字型の間取りが特徴で、中越と十勝の中間の危険度であると考察されている。

⑩2005年兵庫県南部地震・2003年十勝沖地震・2004年新潟県中越地震・2007年能登半島地震の各地震における安全領域および危険領域と負傷危険性の関係

青木¹⁶⁾は、2005年兵庫県南部地震・2003年十勝沖地震・2004年新潟県中越地震・2007年能登半島地震の被災世帯への聞き取り調査の結果に基づき、家具の転倒等による空間損失等を考慮して負傷の発生の検討を行っている。その結果、危険領域での保持（静止）が最も負傷率が高く、次いで危険領域での作業となっている。危険領域での作業の割合が低くなっているのは、家具保持や弱者介護がプラスに働いたためとしている。逆に、負傷割合が低いのは安全領域での作業と保持であり、この2つの負傷割合は5%未満であり、また、その負傷原因は本人の転倒や柱に衝突等であり、地震時に無理な行動をしなければ負傷割合は限りなくゼロに近づくことが予想されるとしている。このことから、安全領域と危険領域を居住者が把握し、安全領域内での落ち着いた行動が地震時の負傷を防ぐために重要であるとしている。

(2) 地震時の建物被害状況等に関する研究

①2005年兵庫県南部地震

早坂・石田ほか¹⁷⁾、嘉嶋・高田ほか¹⁸⁾は、神戸市内の9地域を選定し、兵庫県南部地震による地域内の建物属性と建物被害との関係および地表最大加速度との関係について調査・分析を行っており、結果は以下の通りであるとしている。

- ・各築年代において、木造の被害率がS（鉄骨造）、RC（鉄筋コンクリート造）、SRC（鉄骨鉄筋コンクリート造）より高い。
- ・構造形式によらず年代の古い建物の方が全壊率が高い。
- ・木造建物全体で比較すると、瓦葺の全壊率が瓦葺以外より高い。ただし、昭和56年以降の建物だと瓦葺とそれ以外では無被害の比率には差があるが全壊率には大差は

ない。

- ・ S, RC, SRC 造の階数別では、8～16 階建かつ年代の古い建物に全壊が集中している。
- ・ 400gal 強で被害が発生し始め、500gal 程度で全壊が発生し始める。600gal を越えると急激に被害率が上昇し、600gal で 50%の被災対象建物が何らかの被害を受けている。
- ・ 同一の被害率に対する加速度は、木造の方が S, RC, SRC 造より 100gal 程度低い。
- ・ 古い木造だと 400gal 程度で全壊が認められるが、1972 年以降の建物では 650gal 程度まで全壊が発生しない。

②2005 年福岡県西方沖地震

山口¹⁹⁾ は、福岡市中心部の建築物について、窓ガラス、外壁の表面に張られている仕上げ材、外部の天井材などを中心とする非構造部材について目視及び聞き取りによる被害調査を行い、以下の結果を得たとしている。

- ・ 福岡市中央区の建物 A (昭和 36 年竣工、RC10 階建て) は、構造体の破損はほとんどないが、全 1608 枚のガラスのうち 444 枚が破損した。また、この建物の可動窓の破損率は 1%未満で、はめ殺し窓ガラスの被害が大きく、これは各階の層間変形によるものであるとしている。
- ・ この窓ガラスの破損率は中間階 (4～6 階) が比較的高く、方向的な特性は見られない。網入りガラスは破損しても落下しておらず、熱対策フィルムのガラス飛散抑制効果は見られなかった。
- ・ ショーウィンドウのガラス被害について、ガラスの対角以外の箇所から起こっており、どの位置で層間変形角が最大となるか等ガラスとサッシの間のクリアランス (隙間) について検討する必要がある。
- ・ 薄い大判の石材をセメント系団子や樹脂のみで接着する構法の部分の被害が大きい。
- ・ 躯体が破損している場合は表面に張られているタイルにも破損や剥落が見られた。
- ・ タイルが水平打継ぎ部を跨ぐように張られている場合のタイルの破損率が高く、垂直方向の伸縮調整目地の位置を検討すべきである。
- ・ 外壁が湿式表面仕上げされた建物の老朽化が進行しており、被害率も大きい。
- ・ 空中連絡通路の仕上げ材など、都市の中心部の公道上空に設けられる建築部分の被害も大きい。

また、寺西・菊池²⁰⁾ は、福岡県中心市街地におけるブロック塀の悉皆調査を行い、伊藤・菊池²¹⁾ は、その調査結果等に基づき塀の構造と被害の関係について検討し、以下の結果を得たとしている。

- ・ 金属製フェンスを有するものも含めたブロック塀の倒壊率は 4%であった。
- ・ 無補強のれんが塀の倒壊率は 36%と非常に高い。
- ・ 倒壊した塀は警固断層上またはその東側に多く分布し、南北方向に倒壊した塀が多い。

- ・倒壊したブロック塀はいずれも基礎や縦筋などに関して構造欠陥が見られた。
- ・いずれの調査地域でも、ブロックを半分から 1 段程度地中に埋め込んで基礎代わりとしたブロック塀が非常に多いのが特徴である。このタイプの塀は壁体脚部やブロック 2 段目下部から転倒しているケースが多く、地中に根入れされたブロックが上部壁体と一体となって転倒しているケースは少なかった。これは、壁体の曲げ応力が著しく低いためであり、縦筋が入っていないまたは縦筋の配筋密度が低い等の理由が考えられる。
- ・鉄筋の腐食やそれに伴うブロックのひび割れなどが多く見られるなど、倒壊した塀は古い物が多い。

(3) 室内および家財等の被害状況の定量的把握に関する研究

① バルナラビリティ関数（正規分布に基づく統計的被害関数）

岡田・鏡味²²⁾は、東京都防災会議（1980）の「地震の震度階解説表」に記載されている震度階ごとの定性的な被害内容を定量化し、建物被害、屋内被害、人間行動能力についての正規分布の累積密度関数に基づく被害関数（バルナラビリティ関数）を提示している。これと実被害データ（1978年宮城県沖地震、1982年浦河沖地震、1983年日本海中部地震、1987年千葉県東方沖地震）から算出した結果との整合性が確認され、被災対象の耐震性に関する平均像としてのバルナラビリティ関数の有効性が示されたとしている。また、各種の屋内収容物についての関数も提示されている。さらに、屋内被害だけではなく、人間行動能力の低下についての関数も示され、両者の積によりケガ等の人的被害の評価が可能となるとしている。

今後は、実際の被害例に基づく各種の詳細なバルナラビリティ関数を早急に整備していくべきであるとしている。

② アンケートに基づく被害関数の導出

村上・岡田⁷⁾は、1993年釧路沖地震について、アンケート調査により、震度と部屋の散乱状況の関係を調査した。アンケートでは、震度に関する質問と、部屋毎の室内被害の状況、家具固定の状況、使用火気と出火危険、家族の負傷状況、地震時の行動についての質問を実施した。結果として、台所、居間、子供室などの居室系が散乱被害が大きく、浴室・トイレ、玄関・階段などのユーティリティ・通路系の空間が被害が小さいことが示されている。また、岡田・鏡味²²⁾のバルナラビリティ関数を用いて被害関数を求め、部屋毎に家具の散乱率と震度との関係が系統的に説明されたとしている。

また、村上・竹内ほか²³⁾は、1995年兵庫県南部地震のアンケート調査（既存）に基づき、家具の被害率を集計した結果、部屋別散乱しやすさの順序や負傷率の変化は1993年釧路沖地震の結果（村上・岡田⁷⁾）と共通する傾向が見られたとしている。さらに、震度を独立変数として正規分布関数をあてはめ、回帰分析及び数量化Ⅰ類により家具被害関

数を求めている。

③ (室内の) マイクロゾーニング手法

岡田²⁴⁾は、従来の室内被害の研究は、過去の地震の被害事例に基づく統計的推測式についてのもが多かったが、場所、人、時間で地震時の人的被害発生の危険度は異なるため、既存の被害統計資料に基づく統計的被害予測では詳細な検討は困難であり、ミクロな視点から発生事象を捉え、影響要因の抽出とそれらの関係性をモデル化して評価する住居空間個別の評価法(マイクロゾーネーション手法)開発の必要があるとしている。

具体的には、空間を n 分割し、それぞれの空間におけるバルナラビリティ関数(岡田・鏡味²²⁾)である「家具散乱等による危険度」と「人間の災害回避能力」及び、家具や人間がそこに存在する確率等の積によりその空間における人のもつ危険度を算出している。これを面的にプロットすると、様々な条件下における居室の安全性の比較考察が可能となるとしている。

しかし、要因の関係性、特に被災者の人間特性との関係において被震下の行動を精査するには、個々の事例をヒアリングし実態を詳細に書き留め、整理していく必要があるとしている。

また、翠川・佐伯²⁵⁾は、このマイクロゾーニング手法(岡田²⁴⁾)を簡略化した手法を提案している。これは、室内を n 分割せずに、建物各階の床応答速度から、転倒時の家具占有面積、地震時室内閉塞率を求め、バルナラビリティ関数(岡田・鏡味²²⁾)から人間の災害回避行動能力を求め、その両者から負傷率を求めるというものである。併せて、この手法について、米国のオフィスビルの事例でその妥当性を検証している。さらに、川崎市中心部のオフィスビル群に対し、この手法を適用し、直下地震を想定して室内の負傷者数を予測している。調査した全部屋の傾向として、倒れやすい家具は古い建物に集中的に存在するなど事務室の属性により家具の設置状況が大きく異なることを把握している。この状況の下、家具の設置状況に影響を及ぼす因子として「建物用途」、「利用形態」、「建築年代」、「部屋面積」、「業務形態」を検討しており、その結果として、広い部屋ほど家具類が占める割合が低下しており、また、建築年代が古いものでは家具量が多く、またそれらを積み上げる傾向があるとしている。その理由として、古い建物は竣工当時に比べ業務量が増大し収納部分が不足していると考察している。この他、「建物用途」では、民間より官公庁の方が多くの家具類に囲まれて仕事をしていることが分かるとしている。このような結果を踏まえ、倒れやすい家具を固定する等して倒れない家具にするなどの対策を講じると室内の被害が大きく削減できるとしている。

④ 論理的に導出した被害関数及びシミュレーション

金子²⁶⁾は、地震時における家具転倒率を、家具の寸法(B/H)、床仕上げ、床応答、剛体の転倒率曲線を用いて簡便に推定する方法を提案し、その方法を用いて各種地震・建

物内の家具転倒率を推定した。床の滑りやすさを考慮できることが利点としている。

さらに、初岡・翠川²⁷⁾は、高層住宅の上階で生じる長周期・大振幅の揺れに対するキッチンでの家具類の挙動について検討を行った。振動実験でキッチン家具単体での挙動を把握し、その結果に基づき、想定東海・東南海地震時 (M8.3) の名古屋三の丸における計算波形を用いて、キッチン空間を想定してシミュレーションを行った。その結果、食器棚は30秒後にロッキングを始め、40秒後に転倒し食卓に衝突した。同様に40秒後にシステムキッチンの扉が開閉した。80秒後には家具全体が大きく移動し、冷蔵庫は40秒後にロッキングを始め、50秒後に転倒して食卓に衝突した。70秒後頃に食卓にもたれかかっていた食器棚と冷蔵庫が落下した。また、システムキッチンの引出しは開閉し食卓や椅子と繰り返し衝突し、家具類の移動や扉等の開閉は約100秒続いたとしている。このように、震動中に家具は大きく移動、転倒し、扉・引出しも大きく開閉し、危険な状態になることを定量的に示したとしている。

⑤ 統計的モデルによる被害関数

名知・岡田²⁸⁾は、1993年釧路沖地震、1995年兵庫県南部地震、2003年7月宮城県北部の地震、2003年十勝沖地震および2004年新潟県中越地震の調査結果に基づき、兵庫県南部地震では保持状態が67%、宮城県北部の地震では行動不能が46%など、多くの地震では、揺れている最中は静止あるいは動けなかったとしている。また、負傷要因については、家具の転倒落下が、兵庫県南部地震で46%、鳥取県西部地震で33%、新潟県中越沖地震で29%と、負傷の約3割を占めているとしている。このようなことから、揺れている最中の居住者の負傷の一般的要因は、居住者が静止状態にあるときの家具の転倒落下であるとしている。

そこで、2003年十勝沖地震および2004年新潟県中越地震の被災世帯への聞き取り実態調査(岡田・田村¹¹⁾等)に基づく解析により、建物が倒壊しないという前提で、揺れの最中の室内で居住者が静止していた場合の家具転倒落下に伴う負傷確率は、ある閉区間で負傷者数 k となる確率 $P[X=k]$ として、その空間内人数 n および家具転倒落下領域 R_{tr} をパラメータとした二項分布で近似できるとしている。この意味は、居住者1人の負傷確率は家具転倒落下領域率 R_{tr} に等しく、ある閉空間に n 人が存在している場合、各人における負傷発生確率を独立と見なし、ベルヌーイ試行でモデル化できると仮定したものである。

実態調査を基に、この式から、負傷顕在化家具密度(負傷発生確率が50%)を求めると、建物で 0.25 個/ m^2 、部屋で 0.42 個/ m^2 となり、この値を日本の室内安全化基準の適正家具密度上限値として提案している。

また、名知・岡田²⁹⁾は、既往の負傷評価式を概観した上で、2003年十勝沖地震と2004年新潟県中越地震の被災事例との比較から、上記の二項分布による確率モデルは、被害実態を記述するのに十分な精度をもっており、室空間がもつ負傷確率および危険ポテン

シヤルの評価は可能であることを実証したとしている。

⑥ 負傷危険度診断法

名知・岡田³⁰⁾は、負傷危険度の確率モデル(名知・岡田²⁹⁾を用いて、負傷危険度診断法を検討し、現状危険度や家具固定対策による効果の評価が可能であることを示した。このような定量評価可能な室内危険度診断法は建物耐震診断と同様、安全化対策推進への重要なインセンティブとなり得るとしている。

(4) 家財等の振動台実験に関する研究

① 家具等の挙動への壁による影響

北原ほか³¹⁾は、実際の住宅の部材(壁、床、天井など)を用いて室内空間を再現し、振動台実験により家具の最大応答変位に関する考察を行った。その結果は以下の通りである。

- ・洋服タンスと本棚との比較では、洋服タンスの方が滑りやすくロッキング振動が起こりにくい。
- ・「壁際」と「独立」の比較では、0.5Hzの振動では「壁際」の方が転倒しにくい、2Hzの振動に対しては違いが見られなかった。
- ・壁の剛性の影響では、0.5Hzの振動では違いが見られなかったが、2Hzの振動では壁の剛性が高い方が転倒しやすかった。

結論として、家具の応答は、家具のプロポーシオンだけではなく、家具と地震動の振動数の関係、壁の剛性、入力の多方向性などに影響を受けることが明らかとなったとしている。

② 家具等の挙動に対する家具配置の影響

金子・田村ほか³²⁾は、カーペット床上に設置されたオフィス家具を対象に、家具配置の違い(「独立」「壁際」「背中合せ」「二段重ね」)が転倒挙動および転倒限界に及ぼす影響を振動台実験により調査を行った。結果は以下の通りであるとしている。

- ・カーペット床上では、静的な転倒限界加速度以下でも家具が転倒する可能性がある。
- ・「壁際」の家具は、境界振動数以下の場合に、壁と衝突することにより「独立」の家具より転倒しにくくなった。ただし、境界振動数以上では、逆の傾向も見られた。
- ・「背中合せ」の家具は「独立」の家具とほぼ同じ加速度で転倒し、互いの家具の影響は小さい。
- ・「二段重ね」の家具は、入力波の振動数が2Hz以下の場合には上下一体で挙動し、2.5Hz以上の場合には上下別々にロッキング振動し、上段のみが落下・転倒した。このときの上段の転倒限界加速度は「独立」の場合より小さかった。

また、金子・田村ほか³³⁾は、上記で行った実験結果が数値解析で再現できることを確

認し、ランダム波入力による解析を行い、家具配置の違いが転倒挙動および転倒限界に及ぼす影響について以下の知見を得たとしている。

- ・「壁際」の家具の転倒限界加速度は、「独立」の家具よりも大きかった。正弦波入力の場合には、「壁際」の家具の方が転倒しやすいケースも見られたが、ランダム波入力ではそのようなケースは見られなかった。
- ・「背中合せ」の家具の転倒限界加速度は、正弦波入力の場合と同様、「独立」の家具と同程度だった。
- ・「二段重ね」の家具の転倒限界加速度は、一体で転倒する場合も上段のみが転倒・落下する場合も、「独立」の場合と同程度だった。
- ・「独立」「背中合せ」「二段重ね」の家具の転倒限界加速度は、独立剛体の転倒率関数の中央値のまわりに、「壁際」の家具の転倒限界加速度は、中央値の約2倍の加速度のまわりにばらついていていた。

③ 家具転倒防止器具の効果

金子・中村³⁴⁾は、食器戸棚を対象とし、家具転倒防止器具（5種類：L字金具、ベルト式、ポール式、ストッパー式、マット式）の効果を振動台実験により確認している。床材はフローリングと塩ビシートの2種類である。

L字金具やベルト式は効果が高く、次いでポール式、ストッパー式の順に効果が高い。床材の違いにより、転倒防止器具の効果が異なる場合があるとしている。

④ 家具等の挙動への家具の形状や各種転倒防止器具の影響

目黒ほか³⁵⁾は、特別な技術がなくても簡単に家具を固定できるシステムを提案し、振動台による固定効果の検証実験を行っている。この結果、ハニカムボード、チェーン式、ポール式、L字金具式等がどの程度の地震動まで効果を発揮するのか、地震動の加速度と周波数で示した。また、Web上で部屋の大きさや家具の配置等を設定でき、地震時の部屋の家具等の挙動がイメージとして分かるように表示するシミュレーターの開発を行っている。これにより、地震で揺れている最中および避難時における安全空間と危険空間を居住者に事前に認知させ、安全空間確保のための室内診断および改善のための室内利用計画支援として利用できるとしている。

酒入・福和ほか³⁶⁾は、高さや重量が異なる3種類の本棚形状家具と11種類の転倒防止器具を用いて戸建て住宅の室内を再現した振動台実験を行い、家具転倒の有無、損傷する部分などの実験結果を得た。また、既往の実験とあわせて、戸建て住宅における強震時（震度6強）の転倒防止器具の有効性を以下の通りまとめている。

器具タイプ	器具例	有効性
足元固定	マット式 ストッパー式	・ 単独使用では有効ではない
家具上部固定	L型金具 プレート式 ベルト式(上方固定)	・ 家具は側面に固定する方が有効 ・ カーペット床の場合有効 ・ フローリング床では足元ストッパー併用で有効 ・ 緩みがなければ有効 ・ 器具にも強度が必要
	ベルト式(下方固定)	・ 緩みがなければ有効 ・ 器具にも強度が必要
	ボール式	・ ストッパーを併用しても天井面、家具天面の剛性が不足すると有効ではない ・ 器具にも強度が必要
	隙間収納	・ 隙間収納を家具及び天井面と密着させることができれば有効 ・ フローリング床では足元ストッパー併用で有効 ・ 天井面の剛性、強度が不足すると有効ではない
家具背面固定 家具側面固定	階高レール式 背面レール式 背面固定式 側面固定式	・ カーペット床の場合有効 ・ フローリング床の場合は足元ストッパー併用で有効 ・ 家具の重心に近い位置で固定するため有効

また、耐震性以外にも、経済性、意匠性、家具傷リスク、下地対応性、設置難易度の評価を行い、レーダーチャートで表現している。これを参考に、転倒防止器具を使い分けることが可能になるとしている。

⑤ 高層建物でのキッチン家具の挙動

初岡・翠川²⁷⁾は、高層建物上階で生じる長周期・大振幅の揺れによるキッチン家具（冷蔵庫、システムキッチン、食卓、椅子、食器棚）を対象として、周期2～4秒、加速度50gal～450galの正弦波で振動実験を行っている。実験結果は、食卓と椅子は400galで、冷蔵庫は300galから大きく変位し、食器棚は250galでロッキング、300galで転倒した。システムキッチンの扉は300gal、引出しは350galで開閉し、冷蔵庫、食器棚の扉・引出しでは、収納物が無い場合は開閉しないが、収納物がある場合は350galから開閉が見られた。地震動の加速度と周期で整理されている。

4.1.2 地震の揺れによる室内環境の変容についてのまとめ

(1) 地震時の室内被害状況把握についての調査・研究のまとめ

①揺れの大きさと室内環境の関係

震度が大きいほど、上階でゆれが大きいほど室内被害は大きくなる傾向があり、加速度が大きくなれば家具の移動等の室内環境の変化が拡大する。

各転倒防止器具は家具の転倒防止に効果があるが、転倒防止器具ごとに効果には限界がある。

②床の摩擦係数との関係

床の摩擦係数が大きいと家具等の転倒が発生しやすいことが、実態調査、振動台実験で明らかにされており、「独立」の家具では、家具のB/H（奥行／高さ）が床との摩擦係数を下回る場合に転倒しており、床の滑りやすさと転倒しやすさには相関がある。

③家具の密度との関係

家具が多いほど室内の被害が大きく、浴室、トイレ、玄関、階段等のユーティリティ・通路空間の被害が小さい。全ての家具が転倒した場合に安全空間が確保される閾値を示した研究がある。

④家具の配置・間取りとの関係

家具の積み重ね方や背後の状況など、家具の設置状況により家具の転倒率が異なるが、床の滑りやすさ、地震動によっても転倒率が異なるため、壁際、独立、背中合わせなど家具の配置方法について一概にどれが良いかは言えない。二段重ねについては、振動数により上下一体で挙動する場合もあるが、上段のみ転倒する場合もあり、この場合、転倒限界加速度は独立よりも小さい。

地震時の安全空間のみならず、避難・救助経路として廊下の存在は有効であるなど、間取りが負傷の軽減に関係している。

⑤家具転倒防止器具の効果

家具転倒防止器具の効果は、L字金具やベルト式は効果が高く、次いでポール式、ストッパー式の順に効果が高い。

(2) 地震時の建物被害状況等に関する研究のまとめ

建物被害については、木造と鉄骨造、鉄筋コンクリート造等との比較では、木造の被害率が高い、構造形式によらず古い建物の全壊率が高い、昭和56年以前の建物では瓦葺きの全壊率が高いなどの調査結果が得られているが、倒壊した建物の空隙の状況等についての知見は入手できていない。

また、ガラス被害については、はめ殺し窓ガラスの被害が大きい、中間階の窓ガラスの破損率が高い等の調査結果があるが、その原因等に関する知見は入手できていない。

建物の外壁の被害については、タイルの破損状況は外壁の施工方法と被害率に関する知見を得るにとどまり、ブロック塀についても倒壊率の高いブロック塀（古い、無補強、構造欠陥）に関する知見を得たにとどまった。

(3) 室内および家財等の被害の定量的把に関する研究のまとめ

家具や人の行動等室内の各要素の危険率の把握手法については、

- ・震度と建物被害率、屋内被害率、人間行動能力の低下率等との関係を示した正規分布の累積密度関数に基づく被害関数（バルナラビリティ関数）
- ・家具の寸法（B/H）、床仕上げ、床応答等から、家具の転倒率を簡便に推定する方法が提案されている。

また、室内の面的な危険度把握手法については、

- ・空間をn分割し、それぞれの空間におけるバルナラビリティ関数を用いて算出される「家具散乱等による危険度」と「人間の災害回避能力」の積によりその空間における人のもつ危険度を算出する手法（マイクロゾーニング法）

- ・ 建物が倒壊しないという前提で、揺れの最中の室内で居住者が静止していた場合の家具転倒落下に伴う負傷確率をその空間内人数および家具転倒落下領域をパラメータとした二項分布で近似する手法
- ・ 負傷危険度の確率モデルを用いた負傷危険度診断法

が提案されている。

さらに、既存研究を踏まえた総合的な評価ツールとして、Web 上で部屋の大きさや家具の配置等を設定でき、地震時の部屋の家具等の挙動がイメージとして分かるように表示するシミュレータが開発されている。

※ 参考文献

- 1) 志賀敏男：地震による家具の転倒に関する調査と解析，日本建築学会東北支部研究発表会，pp97-100，1979. 3
- 2) 金子美香・田村和夫：大地震時における家具の転倒被害の分布，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）；2000. 9
- 3) 岡田成幸：地震に伴う室内環境変容と人的被害の発生危険性との関係 -1987年千葉県東方沖地震の高層建物の震度調査にもとづく-，日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）；1989. 10
- 4) 清水浩史・岡田成幸ほか：1993年釧路沖地震による室内変容に関する戸別調査解析，日本建築学会北海道支部研究報告集，No. 67，1994. 3
- 5) 翠川三郎・佐藤俊明ほか：1993年釧路沖地震での釧路市役所および釧路気象台での家具の転倒調査 -家具転倒率と設置状態の関係-，日本建築学会構造系論文集，第461号，pp11-17，1994. 7
- 6) 翠川三郎・佐藤俊明：1993年釧路沖地震での釧路市役所および釧路気象台での家具の転倒調査 -家具転倒率と床応答の関係-，日本建築学会構造系論文集，第469号，pp53-60，1995. 3
- 7) 村上ひとみ、岡田成幸：1993年釧路沖地震による住宅室内被害の評価-アンケート資料にもとづく被害関数-，日本建築学会構造系論文集，第512号，pp99-104，1998
- 8) 日本建築学会近畿支部：兵庫県南部地震に関する日本建築学会近畿支部所属会員アンケート調査，日本建築学会近畿支部，1996. 8
- 9) 山本晃司・佐伯琢磨：家財の地震被害に関する調査研究-第1報：兵庫県南部地震の被害調査報告-，日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿），1996. 9
- 10) 名知典之・岡田成幸ほか：被震下建物内の負傷危険性及び家族構成の影響-2003年十勝沖地震の被災事例ミクロ解析-，日本建築学会大会学術講演梗概集，2005. 9
- 11) 岡田成幸・田村篤：被震下建物内で発生する人的被害の軽減化対策規範構築を目的とした被災事例ミクロ解析，東濃地震科学研究所報告，No. 15，pp88-120，2005. 4
- 12) 名知典之・岡田成幸ほか：2004年新潟県中越地震における室内人的被害の地域的解釈，日本建築学会東海支部研究報告集，第44号，2006. 2
- 13) 名知典之・岡田成幸ほか：2004年新潟県中越地震における室内人的被害要因の考察-実態調査に基づく被害の地域性-，日本建築学会大会学術講演梗概集，2006. 9
- 14) 花井徳寶：2005年福岡県西方沖地震における住宅地の被害について，日本建築学会九州支部研究報告，第45号，2006. 3
- 15) 岡田成幸・名知典之：2007年能登半島地震における建物・室内・人的被害に関する調査，東濃地震科学研究所報告，No22，pp89-124，2008
- 16) 青木俊典：解剖学的外傷重傷度指標の導入による地震時人体損傷評価と行動確率モデル，名古屋工業大学卒業論文，2008
- 17) 早坂浩・石田寛ほか：兵庫県南部地震による建物被害の分布 その1：建物属性と建物被害の分析，日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿），1996. 9
- 18) 嘉嶋崇志・高田至郎ほか：兵庫県南部地震による建物被害の分布 その2：建物フラジリティ曲線の

- 評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), 1996. 9
- 19) 山口謙太郎: 2005 年福岡県西方沖地震による窓ガラス・外壁仕上げ材・外部天井材の被害, 日本建築学会九州支部研究報告, 第 45 号, 2006. 3
 - 20) 寺西優子・菊池健児ほか: 2005 年福岡県西方沖地震によるブロック塀被害の調査研究 (その 1), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), 2006. 9
 - 21) 伊藤麻衣子・菊池健児ほか: 2005 年福岡県西方沖地震によるブロック塀被害の調査研究 (その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), 2006. 9
 - 22) 岡田成幸、鏡味洋史: 震度による地震被害系統評価のためのバルナラビリティ関数群の構成, 地震, 第 2 輯, 第 44 巻, pp93-108, 1991
 - 23) 村上ひとみ・竹内吉弘・尾崎昌弘: 兵庫県南部地震アンケートデータに基づく家具被害関数の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北), 2000. 9
 - 24) 岡田成幸: 地震時の室内変容に伴う人的被害危険度評価に関する研究 -その 1 居住空間危険度マイクロゾーニングの提案-, 日本建築学会大会構造系論文報告集, 第 454 号, 1993. 12
 - 25) 翠川三郎・佐伯琢磨: オフィスビル群における地震時の室内負傷者発生予測, 日本建築学会構造系論文集, 第 476 号, pp49-56, 1995. 10
 - 26) 金子美香: 地震時における家具転倒率の簡易推定法の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), 2003. 9
 - 27) 初岡徹朗・翠川三郎ほか: 高層住宅におけるキッチン家具の地震時挙動に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北), 2009. 8
 - 28) 名知典之・岡田成幸: 確率モデルによる被震下室内負傷発生事象の考察と負傷危険度簡易評価指標の提案, 日本建築学会構造系論文集, No616, pp97-104, 2007
 - 29) 名知典之・岡田成幸: 被震下室内負傷発生危険度評価のための確率モデルの適用範囲に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 73 巻, 第 623 号, pp71-78, 2008. 1
 - 30) 名知典之・岡田成幸: 被震下室内での負傷に関する研究 (その 3) 負傷危険度診断法, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 2008. 9
 - 31) 北原昭男ほか: 3 次元地震動の作用する家具の振動性状に関する研究, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 1998
 - 32) 金子美香・田村和夫ほか: 配置の違いが家具の転倒挙動に及ぼす影響 (その 1) 振動台実験による検討, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2003a
 - 33) 金子美香・田村和夫ほか: 配置の違いが家具の転倒挙動に及ぼす影響 (その 2) シミュレーション解析による検討, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2003b
 - 34) 金子美香・中村豊: 家具転倒防止器具の振動台実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), 2005. 9
 - 35) 目黒公郎ほか: 2. 室内の安全性向上の実現に関する研究, 大都市大震災軽減化特別プロジェクト 総括成果報告書 (文部科学省), 2007. 3
 - 36) 酒入行男、福和伸夫ほか: 家具転倒防止対策促進のための振動実験・シミュレータウェブの作成, 日本建築学会技術報告集, 第 13 巻, 第 26 号, pp463-468, 2007. 12

4.2 地震の揺れが人間に及ぼす影響

4.2.1 地震発生時における人間行動についての文献調査

(1) 人間行動のアンケート調査をまとめた文献例

地震時の人間行動については、1974年伊豆半島沖地震やえびの・吉松地震の調査報告があり、それ以来、地震発生後には多くの研究者により地震発生時の人間行動について調査が行われてきた。

ここでは、表4.2.1に示す11の地震を対象として、人間行動についての問いを含むアンケート調査の結果とその概要を示す。

表 4.2.1 アンケート調査が行われた地震

発生時間			地震名	最大震度	死者数
1978年	6月12日	17時14分	宮城県沖地震	5	28
1984年	9月14日	8時48分	長野県西部地震	—	29
1987年	12月17日	11時8分	千葉県東方沖地震	5	2
1993年	1月15日	20時06分	釧路沖地震	6	1
1995年	1月17日	5時46分	兵庫県南部地震	7	6434
2001年	3月24日	15時28分	芸予地震	6弱	2
2003年	9月26日	4時50分	十勝沖地震	6弱	1
2003年	5月26日	18時24分	宮城県沖の地震	6弱	0
2004年	10月23日	17時56分	新潟県中越地震	7	68
2005年	3月20日	10時53分	福岡県西方沖地震	6強	0
2007年	3月25日	9時41分	能登半島地震	6弱	1

① 1978年宮城県沖地震（1978年6月12日17時14分）における調査例

太田・大橋等^{1), 2)}は、地震後にアンケート調査と面接による調査を行っている。まず、アンケート調査結果より、各地の震度分布を算定し、その震度毎に地震時における行動の出現頻度をまとめている。本人の意志とは無関係な受け身の行動（倒れる、けがをする等）は、震度IVより出現し始め、震度V～VIくらいで50%の割合となり、震度VIIで100%に近づいている。一方で、本人の意志に基づく能動的な行動については、震度のみで行動を説明することは難しいとしている。さらに、面接調査では、地震時に屋外に避難する行動が少なくないとしているが、主婦に関しては、夕食の支度時間であったこともあり、火を消す、もしくは子どもを守る行動を活発に行っているとしている。

近江・等^{3), 4)}は、地震時のとっさの行動と揺れに応じた行動に分けてアンケート調査を行っている。自宅でのとっさの行動は、火の始末、様子を見た、子供・老人などの保護が多く、揺れに応じた行動では、屋外に飛び出した、物陰に身を寄せた、じっとしてい

たが多かった。職場・学校では、様子を見たが多く、揺れに応じた行動では、机の下に隠れた、じっとしていたが多かった。さらに、数量化法による分析から、人間の行動に結びつく要因として、「地震時の状況とそこでの役割・編成」、「人のいた場所の性格の違い」、「要介護者の存在」、「していた行為」等が主要なものであるとしている。年齢・性別による行動の特徴としては、若年女性が火の始末・乳幼児保護の行動をとり、また学童が机の下に隠れる行動が特徴的となっていた。

② 1984年長野県西部地震（1984年9月14日8時48分）における調査例

廣井等⁵⁾は、地震時における住民の心理ととっさの3番目までの行動について調査を行っている。最初の行動としては、じっと様子をみていたが27.9%、動けなかったが23.7%、火の始末をしたが15.8%となっている。2番目の行動としては、安全な場所に隠れるが12.1%、まわりの人に声をかけたが12.7%、家の外に飛び出したが10.7%となっている。3番目の行動では、まわりの人と声をかけあったが18.0%、まわりの方の安全を確かめたが15.5%となっている。調査対象中、地震時に火を使っていた人は20.8%であり、そのうち82.5%の人が火を消していた。

③ 1987年千葉県東方沖地震（1987年12月17日11時8分）における調査例

廣井等⁶⁾は、とっさの行動について市原市、長南町、長生村の市町村別に調査結果を整理している。長生村では様子を見ていた人は34%と他の市町と同程度であったが、動くことも歩くこともできなかったが14.0%、外に飛び出したが23.0%と動と静が比較的明確に別れる傾向が特徴であり、また同じ調査内での驚愕度調査で非常に驚いた人の割合が85.0%と最も多かった。

④ 1993年釧路沖地震（1993年1月15日20時6分）における調査例

村上等⁷⁾は、高層マンションと団地を対象に戸別訪問し、面接により調査を行っている。地震時の行動としては、火を消す・家具をおさえる・子供を守る・避難路を確保するが多かった。初期微動の10秒弱の時間の中に、危険防止行動や退避移動を行い、停電後に動けなくなった場合が多かった。

岡田⁸⁾は、35世帯の面接による調査より、揺れの最中の人間の行動に加えて、おおよその地震時の床応答加速度の算出とその際の行動能力について検討を行っている。初期微動中の人間の行動は、各世代とも活発に家具保持、弱者介護、火気始末、退避移動を行っていたが、主要動時には停電したこともあって状態保持が多かった。また、初期微動中の行動の年代・性別の特徴としては、30代女性は幼児介護、40代女性は火気始末の行動が多かった。地震時の床応答加速度と行動能力の関係については、200gal以下の初期微動時では、1つの行動に2.5～5秒の時間を要し、移動速度は0.3～0.8m/秒であったとしている。

是永等⁹⁾は、地震発生時の被害や避難についての調査の中で、とっさの行動について調査を行っている。じっとして様子を見ていたが23.6%、動くことができなかったが17.5%と静止していた人が約4割を占め、ドアや窓を開いた32.0%、家具などが倒れないように押さえたが23.6%となっていた。また、揺れている最中の行動で、自宅の中の石油ストーブを消した人が73.8%と多かった。

⑤ 1995年兵庫県南部地震（1995年1月17日5時46分）における調査例

翠川¹⁰⁾は、被災者の体験談等の資料と震度分布のデータから、震度毎の揺れの最中の人の行動について詳細にまとめている。震度5程度では自己の安全をはかる能動的な行為が可能であるが、震度6強程度以上になると能動的な行為は非常に困難であるとしている。また、震度5程度までは、冷静さが保てるが、それ以上になると大きな恐怖心を感じるとしている。

金等は¹¹⁾、日本建築学会近畿支部会員を対象にアンケート調査を行っている。揺れが続いている間の行動としては、様子を見ながら待った、何もできなかった、飛び起きた、家族に声をかけた、が多く見られたとしている。

大津等¹²⁾は、建物全壊率・死者発生率の最も高い魚崎地区・本山地区を対象に調査を行っている。激しく揺れている最中の行動は、何もできなかったが約70%、自分の身を守るのに精一杯が約20%となっており、2つの行動をあわせて考えると何かをすることが非常に困難であることを示している。また、被災者の多くは、家族に声をかけることはできても、家族をかばうこともできず、また机の下に隠れることも極めて困難であったとしている。

飯島等¹³⁾は、アンケート調査から地震時の震度の推定と揺れている最中に何もできなかった人の割合について検討している。アンケート震度4では30%超、同震度5では55%程度、同震度7では75%程度の人が何もできなかったとしている。

金等は¹⁴⁾、地震時における家族の役割にもとづいた行動について分析を行っているが、妻が意識的に乳幼児を守る行動以外に明確な役割分担は見られなかったとしている。

岡崎等¹⁵⁾は、震度7の地域のひとつである淡路島の北淡町でのアンケート調査を行っている。大半が就寝中であつたこともあり、何もできなかった人が86%と最も多く、家族の安否確認、自分を守る、火を消す行動が多かったとしている。

⑥ 2001年芸予地震（2001年3月24日15時28分）における調査例

廣井等¹⁶⁾は、地震時のとっさの行動と能動的な対応行動に分けて調査を行っている。地震直後のとっさの行動では、様子を見たが6割、動くことができなかったが2割となっており8割の人が行動を中断・動けなかったとしている。また、机の下に隠れたとした人は7%程度であつた。地震時の対応行動では、子ども・老人・病人の安全を気遣う行動をした人が1割強でもっとも多かったが、同様に1割の人が屋外に飛び出した結果

となっている。

⑦ 2003年十勝沖地震（2003年9月26日4時50分）における調査例

金子¹⁷⁾は、地震時の行動の分類と地震観測網による地表面速度と行動の可否について検討を行っている。地震時の行動としては、移動・外に出る・机の下に隠れるが最も多く、21～40歳で弱者保護、61歳以上で火気始末が多かった。また、揺れの最中に行動をおこした人の割合と地表面最大速度を整理すると、やはり速度が小さい場合に行動を起こす人の割合が多い傾向が見られる一方で、最大速度が76cm/秒でも半数の人が行動をおこしていた。

岡田等¹⁸⁾は、人の負傷は室内散乱状況に加えて人間の行動が主要因であるとし、人間行動の調査とそれを通して得られた知見から負傷を防ぐための規範行動を提案している。発生時刻が未明の時間帯であったため、多くが睡眠中で行動できず静止状態で留まっていた。また、就学前の幼児は、地震の揺れにもかかわらず気づかず眠り続けていたとの事例が多かった。この調査からは家具の転倒や家屋の損傷と人間の負傷に必ずしも比例関係が成立していない結果となった。

⑧ 2003年宮城県沖の地震（2003年5月26日6時24分）における調査例

金子等¹⁹⁾は、震度5弱の比較的小さい地震ではあるが、高層建物の上層部にいた人の行動について調査・研究を行っている。住宅では、倒れそうな物を抑えた、扉を開けた、家族に声をかけた・かばった、火を消した等の積極的な行動が見られ、一方でオフィスでは、身構えた、何もできなかった人が多く、机の下にかくれた、扉を開けたという人は多くはなかった。また、震度4～5程度の揺れであっても、行動に支障が生じると答えた人が6割程度いたとしている。

田中等²⁰⁾は、仙台市と大船渡市の津波危険地域で調査を行っている。落ち着いて様子を見た人が最も多く、殆ど動けなかった人を含めると約7割となる。一方で、火の始末をした、戸や窓を開けた、子どもや老人を保護したなどの防災行動も比較的多く取られている結果となっている。防災行動をとったひとは女性に多く、また火の始末は大船渡市で47%、仙台市で26%となっている。

⑨ 2004年新潟県中越地震（2004年10月23日17時56分）における調査例

岡田等²¹⁾は、個別聞き取り調査により人間行動が負傷に与えた影響を考察している。調査対象71名中44名が主要動の揺れでは状態保持（静止）していた。揺れの最中に、移動、家具支持、火気始末の行動を取った者が負傷している。また、サンプル数が少なかったが、子どものいる家庭で弱者介護に伴う負傷が見られた。

小山等²²⁾は、地震の本震だけでなく、余震時における行動についても調査を行っている。本震の初期微動時には、余裕なし、じっとしている、安全確保のための行動を取る

人が各々3分の1ずつとなっていたが、主要動の際には、外に避難する人の割合が多くなっている。また、余震の初期微動時および主要動時には、余裕なしの回答が減り、じっとしている、外へ避難する行動の割合が増えている。

⑩ 2005年福岡県西方沖地震（2005年3月20日10時53分）における調査例

金子等²³⁾は、地震時における調査結果を建物の上層・中層・下層に分けて整理している。地震で揺れている間は、呆然とした人が最も多く、上層ほど多い傾向にあった。上層の方が揺れが大きく、家具転倒や散乱被害が大きかったこととも関連して、物や人につかまった人も同様に上層や中層で多い結果となった。

⑪ 2007年能登半島地震（2007年3月25日9時41分）における調査例

岡田等²⁴⁾は、地震時における人間行動が負傷に与えた影響を検討している。行動については、初期微動時には地域差があるものの、さらに静止していた人の割合が高く、火気始末、外への避難が多かったが、主要動時には、静止の割合が高くなると同時に屋外への避難の傾向も高くなっている。子どものいる家族では、揺れの最中には静止する人が多い中で、子どもと他室への移動や家族保護の積極的な行動が見られた。

(2) 地震時における人間行動の研究について

これまでに地震時における人の行動調査や人の負傷原因、家具の転倒等の研究は、被害地震発生ごとに実施されてきているが、一方で地震時の揺れが人間の行動に与える研究については少ない。地震時の行動調査では、人の記憶をもとにした研究であるため定量的な評価が難しく、また人の行動の定量的評価のための振動台実験については、実験中の安全確保や倫理面の問題からその実験数は極めて少ない。また、人間行動については、人の運動能力的側面、生理的側面、心理的側面等から論ずる必要があり、研究の困難さゆえに未着手の分野の一つとなっている。

ここでは、数少ない研究例のうち

- ① 地震時における人間行動のシミュレーションモデルの構築
- ② 振動台を用いた人間の行動能力の実験的研究

についての概要を示す。

① 地震時における人間行動のシミュレーションモデルの構築

岡田等²⁵⁾は、地震時における人間行動は時間フェーズごとにパターン化されることに着目し、地震時における人的被害危険度評価の中で、人の行動についてモデル化を行っている。室内のいくつかの避難ルートのうち危険性が最も低い移動ルートによるものをその空間の避難危険度とし、室内での避難のネットワークモデルによりその値を求めている。パラメーターは、歩行困難性や平均歩行速度としているが、研究結果は釧路沖地

震での人の行動パターンと負傷についての調査結果と良い対応を示している。

② 振動台を用いた人間の行動能力の実験的研究について

小島等^{26),27)}は、超高層建築に生じる振動の居住者に及ぼす影響を実験的に捉えるために、各年代・男女を被験者とし、周期 1~10 秒、振幅 1~100cm のパラメーターとした振動台を用いた実験を行っている。感応度、生理変化、作業性、行動能等の観点から被験者からデータを取得している。実験結果を揺れの周期と加速度を軸としたグラフでまとめている。人は 10cm/sec² 程度で揺れを感じ始め、40cm/sec² 程度で作業に困難が伴うようになる。さらに、40cm/sec² 程度で行動に対する周期の影響が出現し、50cm/sec² を超過すると行動に対する周期の影響が顕著となり、人の行動への影響の大きい周期 4 秒近傍の周期では振動に耐えられず、行動にも支障がでてくるとしている。

高橋・斉藤・小豆畑等^{28~31)}は、一連の実験を通じて振動数 0.1~5.0Hz(周期 0.2~10 秒)、加速度 0.22~15.0m/sec² の範囲で振動台を用いた実験を行い、行動難度や不安度、行動不可能度について調査を行っている。実験結果を揺れの周期と速度を軸とした行動困難性および不安度に関する限界曲線によるグラフでまとめている。人間行動の困難性については、揺れの周期が 0.2~3.3 秒では速度に比例し、それ以上の周期では加速度に比例しているとし、1Hz(周期 1 秒)近傍での振動が人の行動難度に影響を与えている。不安度については、歩行動作中よりも起立動作中の方が大きく、全体的に女性の方が高い値を示している。また、東海・東南海・南海地震の想定床応答を等価な定常振動評価に置き換え、行動限界曲線の周波数特性についての研究を行っている。

4.2.2 地震時における人間の行動についてのまとめ

4.2.1 で示した人間の行動についての調査・研究を踏まえて、それらの内容を以下の通り分類し、項目ごとに内容をまとめる。

(1) 各地震調査で共通項目の抽出と集計

① 震度毎の人間の行動難度等の調査

- ・震度 5 程度の揺れで人は行動に困難さを感じるようになり、震度 6 弱・強レベルの揺れになると能動的な行為は非常に困難であるとし、机の下に隠れることも困難であった。
- ・実際の地震時における行動能力として、床の揺れが 200cm/sec² 以下の初期微動では、一つの行動に 2.5~5 秒を要し、移動速度は床の散乱度合いにもよるが 0.3~0.8m/sec となっていた。

② 震度毎の人間の不安度等の調査

- ・震度 5 程度までなら冷静さが保てるが、それ以上の揺れになると大きな恐怖心を感じ

る。

- ・本震後の余震では、地震発生に対する構えた心理状態であるため、冷静に様子を見る、もしくは外に飛び出す人の割合が増える。
- ・同じ建物内でも、上層部の方は揺れが大きくなることから物につかまる人が多く、また呆然とする人も下層部の人に比べて多かった。

③ 地震の揺れ最中に静止・様子を見ていた人等の調査

- ・一般的に初期微動時には積極的に動き回り、家具保持や弱者保護、避難行動をとる人が多い一方で、主要動時には様子を見るか、静止している人が多い。しかし、初期微動時間がほとんどない地震では、主要動が始まると同時に動けずに様子を見る人が多い中で、外に飛び出す人も多い。

④ 地震発生時刻の違いによる人の行動の特徴等の調査

- ・早朝・未明に発生する地震では、多くの方が就寝中であるため目が覚めるものの様子を見る、もしくは動けないとする人が多い。また、成人が目を目を覚ますような地震でも、未就学児は眠り続けるとの事例が報告されている。

⑤ 年齢・性別による行動の特徴等の調査

- ・女性は、家庭での役割を意識して、積極的に火を消したり、子どもを守る行動をとったりする際に負傷することが多い。しかし、職場では、指示を受けて業務を行うことが多いことから、地震が発生した際にも上司の指示を受ける姿勢が見られ、様子を見る、何もできない、静止する人が多い。
- ・学童は日頃の訓練結果から地震時に机の下に隠れる場合が多い。

⑥ 怪我・負傷をした人等の調査

- ・主要動による揺れの最中に、無理に行動を取ろうとして負傷する例が多く、何もしない人の怪我・負傷が少なかった。

(2) 振動環境下での人間の運動能力等の共通項目と概要

① 人間の運動能力・動作に類する研究

- ・振動実験より人間は 10cm/sec^2 程度で揺れを感じ始め、 40cm/sec^2 で作業・行動に困難さを感じ、 50cm/sec^2 の揺れレベルから揺れの周期による影響が出現し始める。また、周期 4 秒程度の揺れに対しては、人間の行動・運動能力について他のレンジに比べて影響を受けやすい。
- ・人間の行動の困難さは、周期が小さい範囲（0.2～3.3 秒）では揺れの速度に比例し、周期が大きい範囲（3.3～10.0 秒）の範囲では加速度に比例する。

② 人間の不安度に類する研究

- ・不安度については、歩行動作中よりも起立動作中の方が大きく、全体的に女性の方が高い値を示している。

※ 参考文献

- 1) 太田裕・大橋ひとみ：地震に伴う人間行動の実態調査(1)―アンケートによる資料の収集と整理―，地震第2輯第32巻，pp.399-413, 1979
- 2) 大橋ひとみ・太田裕：地震に伴う人間行動の実態調査(2)―面接による資料の収集と整理―，地震第2輯第33巻，pp.199-214, 1980
- 3) 近江隆・他：'78宮城県沖地震における被震時人間行動の研究(I)―課題と方法及び数量化II類による行動分析―，日本建築学会論文報告集第307号，pp.122-134, 1981.9
- 4) 近江隆・他：'78宮城県沖地震における被震時人間行動の研究(II)―行為者要因による行動分析―，日本建築学会論文報告集第314号，pp.154-165, 1982.4
- 5) 廣井脩・他：1984年9月長野県西部地震における災害情報の伝達と住民の対応，東京大学新聞研究所「災害と情報」研究班，pp.82-89, 1985.9
- 6) 廣井脩・他：1987年千葉県東方沖地震における災害情報の伝達と市町村・住民の対応，東京大学新聞研究所「災害と情報」研究班，pp.168-180, 1989.1
- 7) 村上ひとみ・岡田成幸・坂井忍：1993年釧路沖地震の人間行動調査―集合住宅における空間変容と負傷危険度ケーススタディー―，日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)，pp.39-40, 1993.9
- 8) 岡田成幸：地震時の室内変容に伴う人的被害危険度評価に関する研究―その2 1993年釧路沖地震にみる揺れている最中の災害回避行動―，日本建築学会構造系論文集第481号，pp.27-36, 1996.3
- 9) 是永諭・他：平成5年釧路沖地震における住民の対応と災害情報の伝達，東京大学社会情報研究所「災害と情報」研究会，pp.13-24, 1993.7
- 10) 翠川三郎：兵庫県南部地震での体験談にみられる激震時の人間行動，地域安全学会論文報告集 No.7, pp.22-27, 1997.11
- 11) 金丙坤・舟橋國男：地震時の行動とその要因，兵庫県南部地震に関する日本建築学会近畿支部所属会員アンケート調査第2次集計結果，pp.45-97, 1996.8
- 12) 大西一嘉・等：1995年兵庫県南部地震における人的被害 その3 東灘区における典型地区アンケート調査，日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)，pp.5-6, 1996.9
- 13) 飯島良子・宮野道雄：兵庫県南部地震における人間行動アンケート震度との関係，日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)，pp.845-836, 1997.9
- 14) 金丙坤・等：家族パターンによる地震時の役割行動に関する研究，日本建築学会計画系論文集第507号，pp.135-142, 1998.5
- 15) 岡崎信弘・他：兵庫県南部地震激震域―北淡町―における人間行動と死傷―アンケート調査から―，地域安全学会論文報告集 No.7, pp.384-387, 1997.11
- 16) 廣井脩・田中淳・等：2001年芸予地震における住民の対応と災害情報の伝達，東京大学社会情報研究所調査研究紀要18, pp.195-278, 2002
- 17) 金子美香：2003年十勝沖地震における負傷要因の検討―室内被害・人間行動との関連―，日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)，pp.741-742, 2004.8

- 18) 岡田成幸・田村篤：被震下建物内で発生する人的被害の軽減化対策規範構築を目的とした被災事例ミクロ解析, 東濃地震科学研究所報告 No.15, pp.88-120, 2005
- 19) 金子美香・他：2003年5月26日に発生した宮城県沖の地震に関するアンケート調査—仙台市内の高層建物を対象にして—, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp.175-178, 2003.
- 20) 田中淳・他：2003年5月宮城県沖の地震における住民の行動に関する調査, 東京大学社会情報研究所, pp.27-35, 2004.3
- 21) 岡田成幸・他：2004年新潟県中越地震における室内人的被害調査, 東濃地震科学研究所報告 No.18, pp.65-93, 2006.3
- 22) 小山真紀・他：小千谷市を対象とした2004年新潟県中越地震に関する全世界帯調査(2)—総合解析：住居・人間被害、生活再建—, 東濃地震科学研究所報告 No.22, pp.55-87, 2008.3
- 23) 金子美香・田村和夫：地震時の高層住宅からの避難行動と室内被害に関するアンケート調査—2005年福岡県西方沖地震を対象として—, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp.109-112, 2005
- 24) 岡田成幸・名知典之：2007年能登半島地震における建物・室内・人的被害に関する調査, 東濃地震科学研究所報告 No.22, pp.89-124, 2008.3
- 25) 岡田成幸・黒田誠宏：地震時の室内変容に伴う人的被害危険度評価に関する研究—その3 室外への避難脱出経路の危険度評価法の提案—, 日本建築学会構造系論文報告集第563号, pp.83-89, 2003.1
- 26) 小島信男・後藤剛史・山田水城：超高層建築に生じる振動の居住者に及ぼす影響(1), 建築界 vol.23 No.8, pp.37-44, 1974.8
- 27) 小島信男・後藤剛史・山田水城：超高層建築に生じる振動の居住者に及ぼす影響(2), 建築界 vol.23 No.9, pp.51-58, 1974.9
- 28) 高橋徹・他：大地震時における建築室内での人間挙動と避難行動限界に関する振動台実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp.865-866, 2003.9
- 29) 鈴木稔子・他：避難行動限界の周波数特性に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), pp.809-810, 2009.8
- 30) 鈴木典子・他：大ストローク振動台実験における等価定常振動波の評価—東海・東南海・南海地震の想定床応答との比較—, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), pp.601-602, 2009.8
- 31) Toru Takahashi・et al. : SHAKING TABLE TEST ON INDOOR HUMAN PERFORMANCE LIMIT IN STRONG MOTION FOR HIGH-RISE BUILDING, 8TH Pacific Conference on Earthquake Engineering, paper number 131, 2007.12

4.3 地震の揺れによる人間の行動と負傷の関係

4.3.1 人間行動と負傷の関係についての文献調査

地震時の揺れにより人間は、本能的なとっさの行動や冷静に身を守るための行動を行うが、その行為は結果的に身の安全を確保することにつながらなければならない。

ここでは、地震時に人間のおこす行動と負傷の発生について調査を行った文献を整理する。

(1) 人間行動と負傷についてのアンケート調査をまとめた文献例

地震時における負傷の原因についての調査は継続的に行われているが、負傷した際の行動についての調査は数少ない。ここでは、表 4.3.1 に示す 3 つの地震を対象として、負傷した際の行動についての問いを含むアンケート調査の結果とその概要を示す。

表 4.3.1 アンケート調査が行われた地震

発生時間			地震名
2003 年	9 月 26 日	4 時 50 分	十勝沖地震
2004 年	10 月 23 日	17 時 56 分	新潟県中越地震
2007 年	3 月 25 日	9 時 41 分	能登半島地震

① 2003 年十勝沖地震（2003 年 9 月 26 日 4 時 50 分）における調査例

金子¹⁾は、負傷要因とそれに関連する家具の転倒や人間の行動についてアンケート調査を行っている。そのアンケート調査では、回答者 300 人のうち 21 人が負傷し、その中の約 1/3 が移動中に脚などをくじいた人で、また約 1/3 の人が落下・転倒物にぶつかったとしている。その中で行動と負傷原因が詳しく分かる事例を表 4.3.2 のように示している。いずれも軽傷であったとしている。

表 4.3.2 地震中に負傷した人の地震時の行動と負傷原因

No.	地点	年齢	性別	地震発生時の状況	地震時の行動	負傷原因
1	樺似	31~40	女	静かにしていた	子供の世話→別室へ移動→持ち出し品捜す	寝室の照明が落下し、足を打撲
2	樺似	61~70	男	眠っていた	じっとしている	倒れたもの下敷き
3	大榎	51~60	女	眠っていた	じっとしている→布団かぶる→家具の下敷き	タンスが倒れ、膝、腰、腕を打撲
4	浦幌	51~60	男	眠っていた	じっとしている→家具の下敷き→移動→外へ出る	タンスが倒れ、腰を打撲
5	浦幌	41~50	女	眠っていた	じっとしている→立つ→座る→家具の下敷き→移動→外に出る	タンスが倒れ、脚を打撲
6	森川	71~80	女	眠っていた	立つ→移動→外に出る	外に出た時、脚をくじいた
7	大榎	11~20	女	不明	立つ→階段降りる→老人保護→ガス・火の始末→扉・窓開放	階段を降りた時、脚をくじいた
8	大榎	41~50	女	動いていた	廊下立つ→移動→子供保護→タンス押さえる	廊下に立っている時、脚をくじいた
9	浦幌	11~20	女	眠っていた	立つ→階段降りる	階段を降りた時、脚をくじいた
10	池田	51~60	女	眠っていた	立つ→階段降りる→扉・窓開放→人につかまる	階段を降りた時、落下物や壁にぶつかり打撲

最も揺れが大きいと感じた時の行動をゴシックで示した

岡田・等²⁾は、地震時における負傷者発生の要因は室内の散乱状態と人間の行動であるとし、負傷発生メカニズム解明のためのヒアリング調査を行っている。その調査結果として図 4.3.1 のとおりまとめている。上段が居住者の取った行動頻度の総数で、下段が相対頻度となっている。特に主要動時には揺れのため約 70%の人が静止状態にあり、激しい揺れの中で行動し約 30%の人に負傷が集中している。中でも避難行動をおこした約

40%の人の負傷率が高くなっている一方で、静止していた人の負傷率が極めて低くなっている。

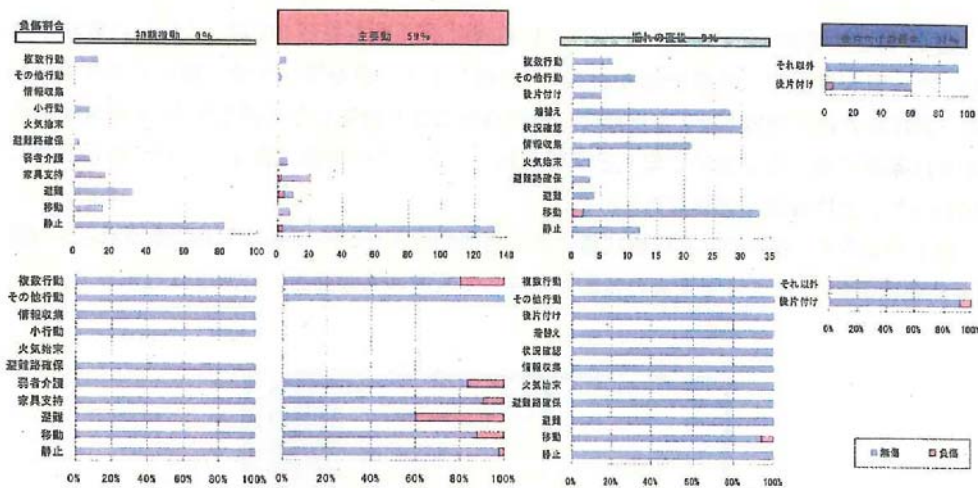


図 4.3.1 地震時時間帯別行動内訳と負傷率

② 2004年新潟県中越地震（2004年10月23日17時56分）における調査例

岡田等³⁾は、地震時における負傷を低減するための対策に資する個別聞き取り調査を行う中で、揺れの最中の行動と負傷の有無についての結果を図 4.3.2 のとおりまとめている。上段が居住者の取った行動頻度の総数で、下段が相対頻度となっている。表の示すとおり、ゆれ最中の無理な行動は負傷へとつながっており、移動、家具支持、火気始末で負傷が発生している。静止している人も負傷しているが、家具の密度が比較的高い部屋にいたことが分かっている。

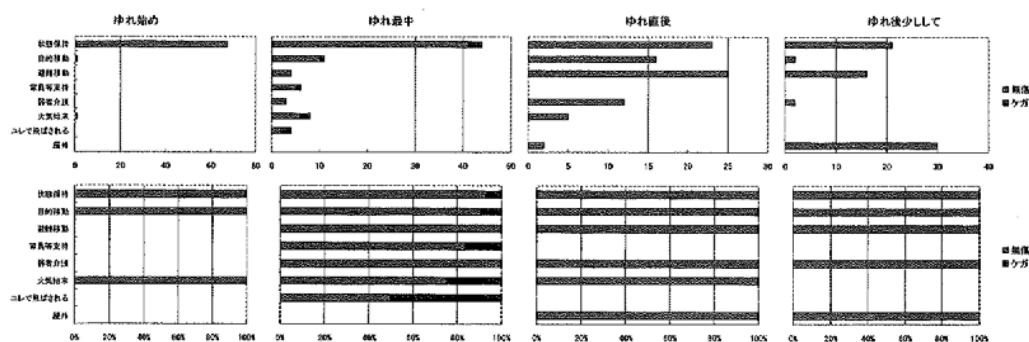


図 4.3.2 室内における本震時の行動と負傷の有無

小山等⁴⁾は、本震に加えて余震について、それぞれゆれの前と最中、直後について、行動とけがの有無について調査を行っている。全般にじっとしているより積極的な安全行動をとった方が負傷の発生率は高くなっているが、行動により負傷の危険性が増すということと危険を回避することができずに負傷する2つの視点から考えるべきとしている。

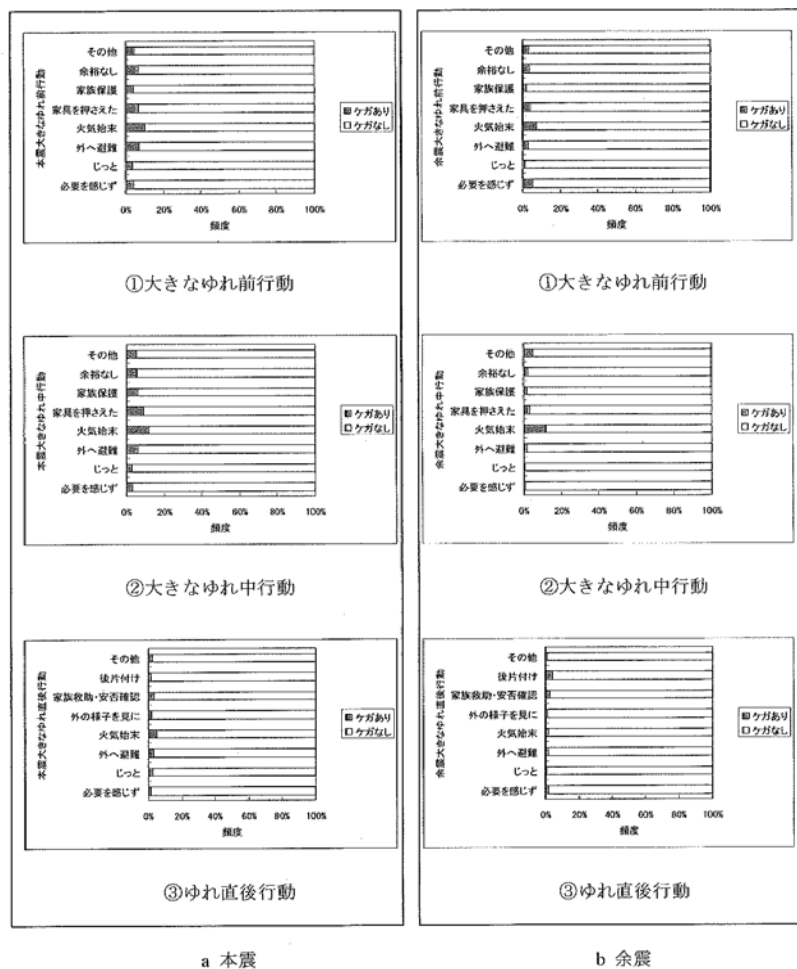


図 4.3.3 ゆれ前後の行動とケガ

③ 2007年能登半島地震（2007年3月25日9時41分）における調査例

岡田等⁵⁾は、被災地の地域特性の傾向を把握するために対象地域ごとに行動と負傷について図 4.3.4 のとおり結果をまとめている。住戸の間取り等の影響により地域差が見られるが、概ね同様の傾向を示している。初期微動時は火気始末や家族保護のための行動で負傷率が高くなっている。主要動時にも同様に火気始末や身の安全確保で負傷率が高いが、屋外避難で負傷率が低い地域も見られる。

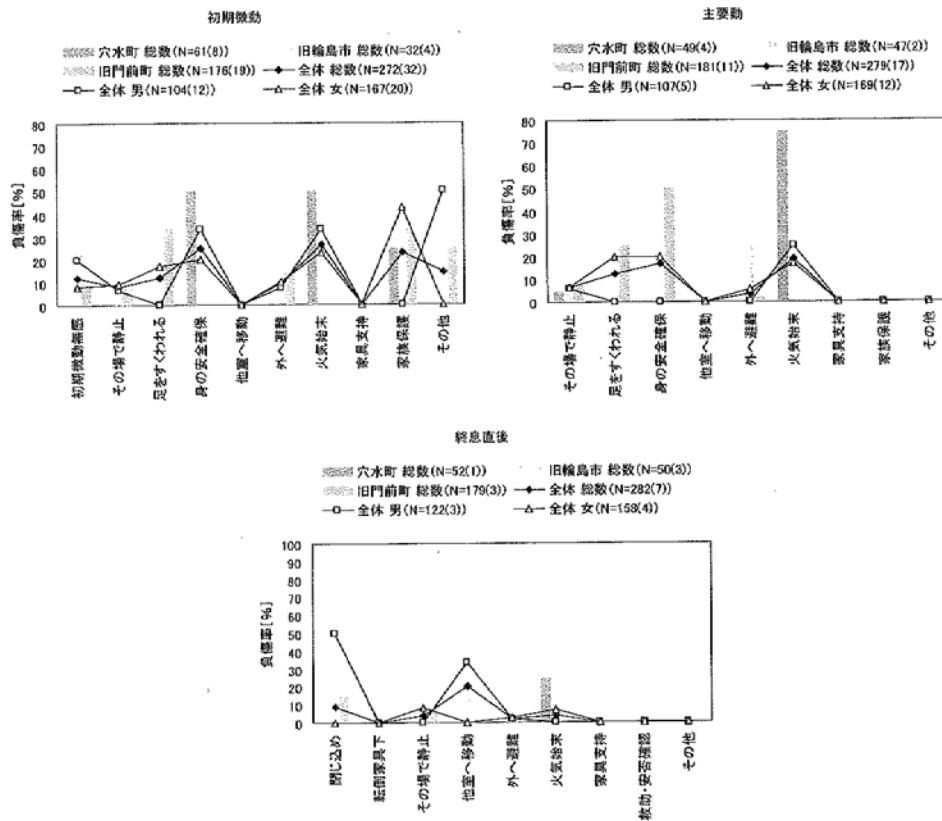


図 4.3.4 時間フェーズ別の行為と負傷率

(2) 兵庫県南部地震における被害者（死亡者）についての文献調査

兵庫県南部地震では、10万棟以上の全壊、6千名以上の死者を出す未曾有の災害となった。当時の被災地域の混乱のため被害等の調査は困難であったが、その中で死者とその関連について行われた調査例を示す。

宮野等は⁶⁾、神戸市東灘区の被害著差の中で死者発生家屋に対する聞き取り調査を行い、200名の死亡者に関する事例を得ている。死亡原因としては、窒息死(60.0%)が最も多く、全身打撲(21.5%)、圧死(8.5%)とつづき、3つの原因で全体の90%を占めているとしている。また、死者発生家屋については、1階建ておよび2階建ての家屋による死者が182人(91.0%)で、建築年代ごとの死者数は表4.3.3のとおりとなり、調査対象に限っては1985年以降の建物で死者はなかった。さらに、死者発生家屋に限った階別居住者数(死者138名・生存者130名)を表4.3.4に示す。1階での死者数および死亡率が高くなっている。

表 4.3.3 建築年代と死者数

建築年代	～1948	1949～ 1961	1962～ 1974	1975～ 1984	1985～	合計
死者数(人)	58	49	57	18	0	182

表 4.3.4 建築年代と死者数

建物階数		死者数 (人)	生存者数 (人)	死亡率
2階建	2階	12	61	16.4
	1階	113	59	65.7
1階建	1階	13	10	56.5
合計		138	130	51.5

高岡等⁷⁾は、188棟(324世帯)の908名の調査データを元に分析を行っている。死者発生棟数は15棟(8.0%)であり、死亡者は男女あわせて22名(2.4%)であった。死亡者はすべて建物の1階で亡くなっており、11名が就寝中であったことが分かっている。死亡原因は、圧死が最も多く17名(77.3%)となっており、家具転倒などの全身打撲が4人(18.2%)となっている。建設年代別に死者発生建物・死者数を見ると、1956～65年の建物で死者の発生数が多く、また1986年以降建設の建物で死者は発生していないとしている。

表 4.3.5 建築年代と死者数 (建築年代の分かったもののみ)

建築年代	～1945	1946～ 1955	1956～ 1965	1966～ 1975	1976～ 1985	1986～	合計
調査棟数	19	21	32	38	21	29	160
死者発生棟数	3	1	6	2	2	0	14
死者数(人)	4	1	10	4	2	0	21

大西等⁸⁾は、死者発生世帯の調査の中で被害者死亡時の状態についての報告を行っている。アンケート調査(1023件)における当時の在宅者は2743人となっており、死者の割合は4.6%となっている。そのうち詳細なデータを得ることができた81名分の当時の状況からは、布団で寝ていた(64.2%)、ベッドで寝ていた(21.0%)と就寝中に犠牲になったとしている。また、死者発生家屋については全壊および1階崩壊が約半数ずつで、回答者の約7割以上が一瞬にして倒れたと回答している。

生田等⁹⁾は、各分野で行われた兵庫県南部地震の被害調査をとりまとめ統合データベースを構築し、それらに基づいて人的被害の発生メカニズムについて研究を行っている。その中で、戸建住宅で亡くなった犠牲者2344人の家屋の被災度を調べているが、全壊

の住宅内で亡くなった犠牲者は 1782 人となっており、全壊住宅の 5.6%の家屋で死者がでていいる。また、半壊住宅で亡くなった犠牲者は 142 人で、半壊住宅の 0.5%の家屋で死者がでていいるとしている。さらに、神戸市内の地域で町通単位での年齢層ごとの死亡率と全壊率について回帰分析を行っているが、65 歳以上での相関が高く、また高齢者の被害は建物の被災度の高さに影響を受けていいることを示した。

4.3.2 人間行動と負傷の関係についてのまとめ

4.3.1 で人間行動と負傷の関係についての調査・研究を踏まえて、それらの内容を以下の項目ごとに内容をまとめる。

(1) 人間行動と負傷の関連性について

- ・地震時の揺れの大小による影響はあるものの揺れの最中に移動することは負傷につながるが多い。
- ・地震後の火災を防ぐために火気始末は重要であるが、本震だけでなく初期微動中においても、火を消す行為は負傷につながる可能性が高い。
- ・地震の揺れにより家具転倒を防ぐための支持行為は、地震によっては負傷者が見られないこともあるが、高い負傷率となることが多い。
- ・4.3.1 にも見られるように地震による室内変容から住居内の子どもや老人を守るための家族保護の行動による負傷率が高くなっており、特に女性の負傷率が高くなっている。

(2) 兵庫県南部地震における被害者(死者)の調査

- ・地震時に目が覚めたかどうかの調査⁹⁾においても、揺れにより殆どの方が目を覚ましたとしているが、建物の倒壊が一瞬であったため布団もしくはベッドの中での犠牲者が多かったと見られる。
- ・全壊もしくはそれに近い状態の死者発生建物においても、家屋内の全員が必ずしも死亡するとは限らず、死者と生存者が約半数ずつの事例があった。
- ・1階建てもしくは2階建ての1階部分での死者の割合が高くなっている。
- ・各々の調査に限っては、1986年前後以降の建物での死者はなかった。

※ 参考文献

- 1) 金子美香：2003年十勝沖地震における負傷要因の検討－室内被害・人間行動との関連－，日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)，pp.741-742, 2004.8
- 2) 岡田成幸・田村篤：被震下建物内で発生する人的被害の軽減化対策規範構築を目的とした被災事例ミクロ解析，東濃地震科学研究所報告 No.15, pp.88-120, 2005
- 3) 岡田成幸・他：2004年新潟県中越地震における室内人的被害調査，東濃地震科学研究所報告 No.18, pp.65-93, 2006.3
- 4) 小山真紀・他：小千谷市を対象とした2004年新潟県中越地震に関する全世帯調査(2)－総合解析：住居・人間被害、生活再建－，東濃地震科学研究所報告 No.22, pp.55-87, 2008.3
- 5) 岡田成幸・名知典之：2007年能登半島地震における建物・室内・人的被害に関する調査，東濃地震科学研究所報告 No.22, pp.89-124, 2008.3
- 6) 宮野道雄・他：1995年兵庫県南部地震による人的被害 その2.神戸市東灘区における聞き取り調査，日本建築学会近畿支部研究報告集, pp.325-328, 1996.
- 7) 高岡秀樹・他：個別調査データに基づく兵庫県南部地震における人的被害発生要因の分析，日本建築学会近畿支部研究報告集, pp.437-440, 1997.
- 8) 大西一嘉・他：1995年兵庫県南部地震における人的被害 その3 東灘区における典型地区アンケート調査，日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.5-6, 1996.9.
- 9) 生田英輔・他：統合データベースに基づく兵庫県南部地震による人的被害の発生機構に関する分析，日本建築学会計画系論文集第590号, pp.117-123, 2005.4
- 10) 高田至郎・鹿嶋崇志：兵庫県南部地震に関するアンケート調査－集計結果報告書－，神戸大学工学部建設学科土木系教室耐震工学研究室兵庫県南部地震アンケート調査分析グループ, pp.140-142, 1996.11.