

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

平成22年 5月31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

1. はじめに	1
2. 基本的考え方	2
2.1 検討範囲	2
2.2 検討手法	2
3. 地震時におけるこれまでの推奨行動の分類と整理図	4
3.1 地震時におけるこれまでの推奨行動の分類	4
3.2 推奨行動の整理図	6
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	7
4.1 地震の揺れによる室内環境の変容	7
4.1.1 地震の揺れによる室内環境の変容についてのこれまでの研究	7
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	19
4.2 地震の揺れが人間の行動に及ぼす影響	23
4.2.1 地震時における人間の行動についてのこれまでの研究	23
4.2.2 地震時における人間の行動についてのまとめ	28
4.3 地震の揺れによる人間の行動と負傷の関係	33
4.3.1 人間行動と負傷の関係についてのこれまでの研究	33
4.3.2 人間行動と負傷の関係についてのまとめ	38
5. 推奨されてきた退避行動の検証	41
5.1 地震時における退避行動等の検証方法	41
5.2 推奨されてきた退避行動等の妥当性の検証と留意点の整理	41
5.2.1 「丈夫な家具に身を寄せる」行動について	41
5.2.2 「身を隠して頭を保護する」行動について	42
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	43
5.2.4 「グラッときたら火の始末」行動について	44
6. 地震時に人命を守るための適切な退避行動等と今後の課題	46
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	46
6.1.1 基本認識	46
6.1.2 安全空間の考え方	46
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	47

6.2.1 事前対策	47
6.2.2 主要動到達直前（緊急地震速報時、初期微動時）	49
6.2.3 揺れの最中	50
6.2.4 揺れが収まった直後	50
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	51
6.3.1 適切な退避行動等に向けて克服すべき課題および必要な将来の姿	51
6.3.2 課題解決に向けた研究内容	52
7. おわりに	55
委員名簿	57
検討経緯	58
用語解説	59
付 参考資料	
（参考資料1）大正関東地震等を教訓とした「地震時における行動の10箇条」について	60
（参考資料2）実大建物振動実験における建物内の震度階級について	63

1. はじめに

我が国は世界の中でも有数の地震国であり、これまでに大被害が発生した大地震を幾度も経験してきた。大地震が発生するたび、研究者や防災関係者により調査が行われ、得られた貴重な教訓を後世で生かすため、「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）に「地震に出会ったときの心得」として10箇条をまとめており、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、心得や推奨行動は、被害地震の経験や科学技術の進歩等につれて、いくたびかの変遷を経て現在に至っているが、建物の耐震性の向上や緊急地震速報の実現、都市ガスやLP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、新たな研究成果等を踏まえ、十分に検証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建物や家具等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、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、また、より適切な被害軽減策を導出するため、どのような研究開発を行う必要があるかについて検討を行った。

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」）が行った計7回の会合において検討した結果を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範囲とした。

(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。

- ① 緊急地震速報を見聞きする、もしくは初期微動を感知してから主要動が到達するまでの時間
- ② 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) 検討対象とした場所

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、以下の場所を検討対象とした。

- ① 一般的な室内空間（居室、教室、事務室）
- ② 屋内から屋外に向かう空間（廊下など）

また、建物の倒壊などの危険を回避することを考慮して、屋外の危険要因、安全空間の考え方等についても検討した。

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 箇条」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、相関図にまとめた。

(2) 地震時の揺れによる室内環境の変容と人間行動等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留意点の整理（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、留意点の整理を行った。

- ① 丈夫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 グラッときたら火の始末

(4) 地震時に人命を守るための適切な退避行動等と今後の課題 (6章)

(3)を踏まえ、地震時に人命を守るための適切な退避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。

- ① 事前対策
- ② 主要動到達直前（緊急地震速報時、初期微動時）
- ③ 揺れの最中（主要動時）
- ④ 揺れが収まった直後

また、ここで示された推奨行動等を踏まえ、現段階でできる事前対策の実施や退避行動等の検証・確立、国民への情報提供等現状における課題を示すとともに、より適切な退避行動等の実現に向けて必要な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「被害軽減を目指した実践的研究」、「研究成果の社会普及促進のための研究」に分類・整理し、提示した。

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 10 箇条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 3.2.1 上)

災害を起こす原因である地震、その地震により人間の行動に影響を及ぼす心理や生理の変化等の「人間の性質」および人間の危険となり得る家具等の「危険要因」、その人間の性質と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の「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 3.2.1 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 3.2.1 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 3.2.1 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 箇条と具体的行動指針

(1) わが身と家族の身の安全

【具体的行動指針例】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) グラッときたら火の始末、火が出たらすばやく消火

【具体的行動指針例】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

【具体的行動指針例】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

【具体的行動指針例】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

【具体的行動指針例】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

【具体的行動指針例】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

【具体的行動指針例】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

【具体的行動指針例】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

【具体的行動指針例】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

【具体的行動指針例】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

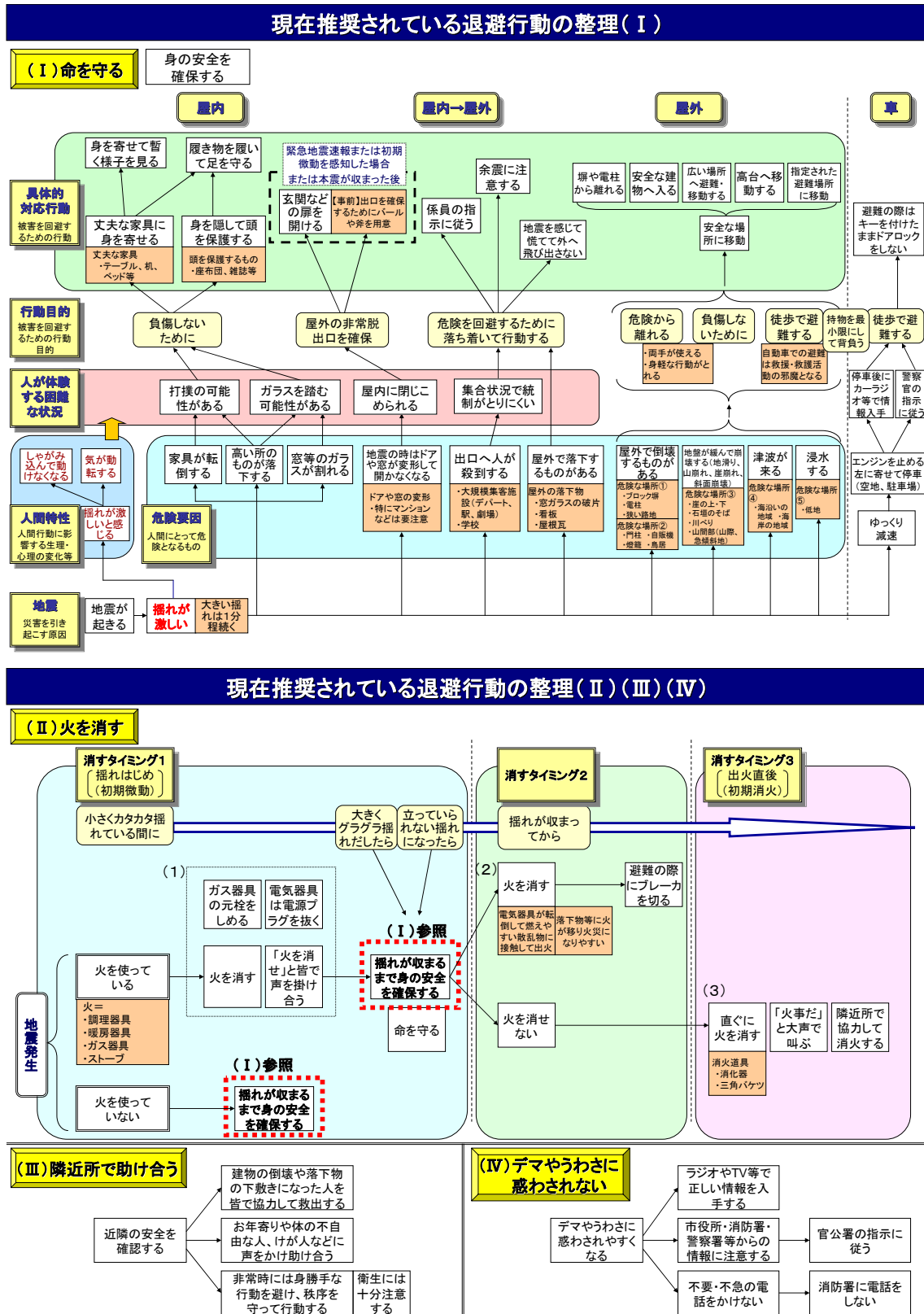


図 3.2.1 現在推奨されている退避行動の整理図

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 地震の揺れによる室内環境の変容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)「家財等室内の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)「家財等室内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、推奨行動の整理図（図 3.2.1）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係する研究として、(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の被害状況に関する研究

① 1978年宮城県沖地震（マグニチュード（以下「M」）7.4、最大震度5）

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（M6.7、最大震度5）

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（M7.8、最大震度6）

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るとしている。

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²⁵⁾）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²³⁾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るとしている。

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（M7.3、最大震度7）

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。「震度 7 の地域以外の災害救助法適用地域」では、大きく散乱した居室が 2 割弱、半分散乱を含めると約 3 割となる。「その他の地域」においても、半分以上散乱した居室が約 1 割見られた。散乱被害があった居室は「震度 7」では約 8 割、「適用地域」では約 6 割、「その他の地域」においても約 3 割であった。

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 (M8.0、最大震度 6 弱)

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の被害率関数による結果に比べ、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 (M6.8、最大震度7)

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 2005年福岡県西方沖地震（M7.0、最大震度6弱）

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。

東京消防庁¹⁵⁾は、2003年宮城県北部地震、2003年十勝沖地震、2004年新潟県中越地震における負傷原因の3割から5割が家具の転倒・落下であったことから、福岡市内中高層建物事業所・住宅（非木造建物）（配布数1,020、回収数311）及び福岡県内一般世帯（回答数533）に対して、地震時における屋内の被害や日頃の地震対策の実態把握のため、アンケート調査を実施した。その結果、オフィス家具・冷蔵庫等の転倒被害や、テレビ・電子レンジ等の落下被害は、震度が大きくなるほど、階数が高くなるほど被害発生率が大きく、高層建物の4階～5階を境に室内被害が多くなる傾向が見られた。また、オフィス家具・冷蔵庫等の転倒被害について、震度5弱の低層階の被害を基準として比較すると、地表で同震度の高層階（11階以上）の被害は約12倍、さらに地表震度が6弱の地域の高層階被害は約21倍にも上ることが判明したとしている。

⑨ 2007年能登半島地震（M6.9、最大震度6強）

岡田・名知¹⁶⁾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。

⑩ 1995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¹⁷⁾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

① 1995年兵庫県南部地震（M7.3、最大震度7）

早坂・石田ほか¹⁸⁾、嘉嶋・高田ほか¹⁹⁾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。

② 2005年福岡県西方沖地震（M7.0、最大震度6弱）

山口²⁰⁾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²¹⁾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²²⁾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) 家財等室内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²³⁾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²⁴⁾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²⁵⁾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。

なお、岡田・黒田ほか²⁶⁾は、この室内のマイクロゾーニング手法と揺れが収束した直後の居住者の避難ルートの危険性をネットワーク解析する手法を統合し、室内から屋外への避難経路の負傷危険度を診断できるシステムを提案している。

また、翠川・佐伯²⁷⁾は、このマイクロゾーニング手法（岡田²⁵⁾）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²⁸⁾ 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²⁹⁾ 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 秒後にロックを始め、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 秒後にロックを始め、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³⁰⁾ 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）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/m²、部屋で0.42個/m²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³¹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ャ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³²は、負傷危険度の確率モデル（名知・岡田³¹）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³³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、家具のプロポーションだけではなく、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³⁴⁾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³⁵⁾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た。

③ 家具転倒防止器具の効果

金子・中村³⁶⁾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³⁷⁾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³⁸⁾は、高さと重量が異なる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表4.1.1の通りまとめている。

表 4.1.1 転倒防止器具の有効性

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
	ポール式	・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	・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	・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
	背面固定式 側面固定式	・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²⁹⁾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としている。また、キッチン家具の挙動が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) 家財等室内の被害の定量的把握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に及ぼす家族構成の影響-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) 東京消防庁：オフィス家具・家電製品の転倒・落下防止対策に関する調査研究委員会における検討結果，家具類（オフィス家具・家電製品）の転倒・落下防止策に関する調査研究委員会，2006. 3
- 16) 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
- 17) 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
- 18) 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
- 19) 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
- 20) 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
 - 21) 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
 - 22) 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
 - 23) 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 卷, pp93-108, 1991
 - 24) 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
 - 25) 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ーゼーニングの提案-, 日本建築学会大会構造系論文報告集, 第 454 号, 1993. 12
 - 26) 岡田成幸・黒田誠宏・菅正史室内ゾーニング法と避難路ネットワーク法による地震時居住空間危険度診断システムの開発, 日本建築学会技術報告書, 第 19 号, pp55-60, 2004. 6
 - 27) 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
 - 28) 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
 - 29) 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
 - 30) 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
 - 31) 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 卷, 第 623 号, pp71-78, 2008. 1
 - 32) 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
 - 33) 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
 - 34) 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
 - 35) 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
 - 36) 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
 - 37) 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
 - 38) 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 卷, 第 26 号, pp463-468, 2007. 12

4.2 地震の揺れが人間の行動に及ぼす影響

4.2.1 地震時における人間の行動についての文献調査

(1) 地震時における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	マグニチュード (M)	最大震度	死者数
1978年	6月12日	17時14分	宮城県沖地震	7.4	5	28
1984年	9月14日	8時48分	長野県西部地震	6.8	—	29
1987年	12月17日	11時8分	千葉県東方沖地震	6.7	5	2
1993年	1月15日	20時06分	釧路沖地震	7.8	6	1
1995年	1月17日	5時46分	兵庫県南部地震	7.3	7	6434
2001年	3月24日	15時28分	芸予地震	6.7	6弱	2
2003年	9月26日	4時50分	十勝沖地震	8.0	6弱	1
2003年	5月26日	18時24分	宮城県沖の地震	7.1	6弱	0
2004年	10月23日	17時56分	新潟県中越地震	6.8	7	68
2005年	3月20日	10時53分	福岡県西方沖地震	7.0	6強	0
2007年	3月25日	9時41分	能登半島地震	6.9	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、じっと様子を見ていたが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つたとしている。

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るとしている。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い。

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、多くの人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これまでの研究

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	様似	31~40	女	静かにしていた	子供の世話—別室へ移動—持ち出し品探す	寝室の照明が落下し、足を打撲
2	様似	61~70	男	眠っていた	じっとしている	倒れたものの下敷き
3	大樹	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	鶴川	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	大樹	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	階段を下りた時、脚をくじいた

8	大樹	41～50	女	動いていた	廊下に立つー移動ー子供保護ーダンス押さえる	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	立つー階段降りる	階段を下りた時、脚をくじいた
10	池田	51～60	女	眠っていた	立つー階段降りるー扉・窓開放ー一人につかまる	階段を下りた時、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。

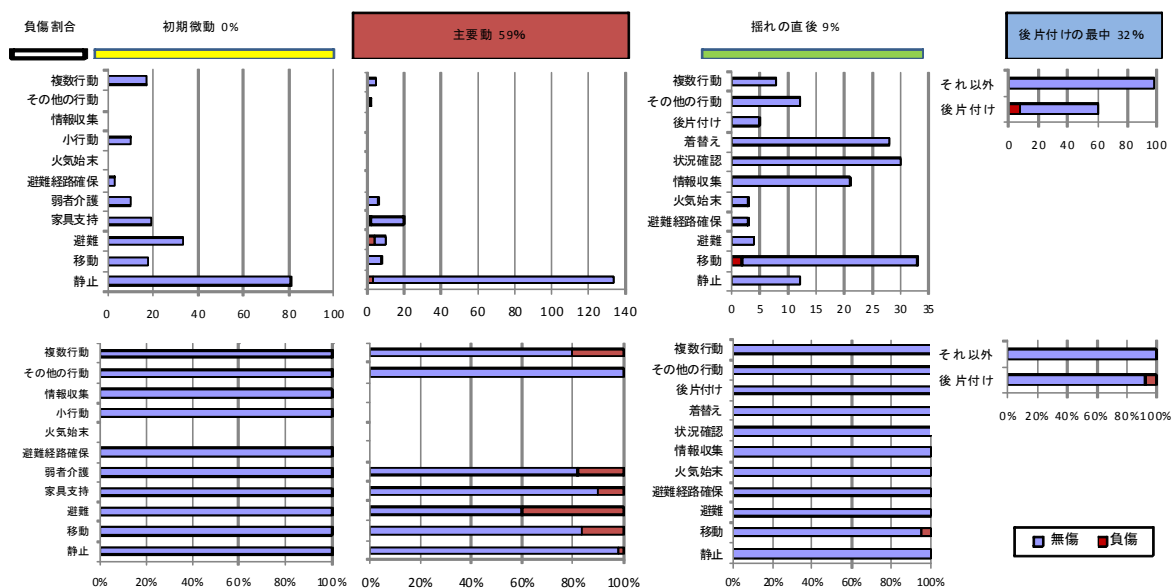


図 4.3.1 地震時時間帯別行動内訳と負傷率

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。

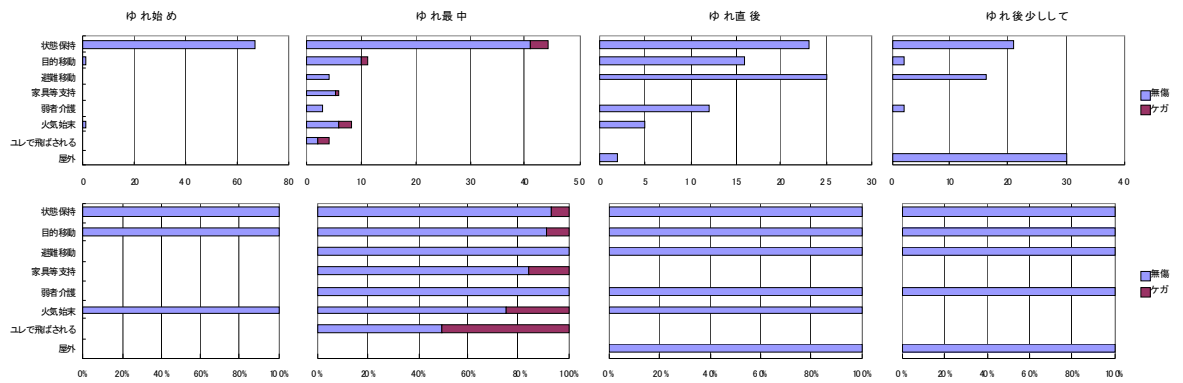


図 4.3.2 室内における本震時の行動と負傷の有無

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。

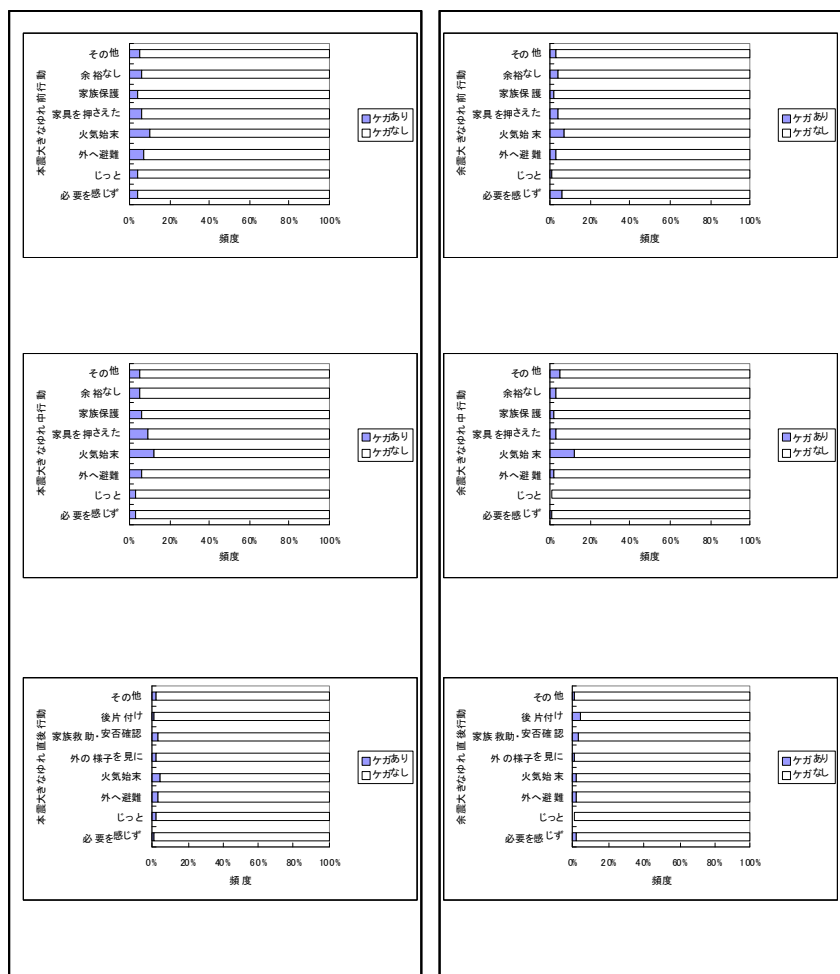


図 4.3.3 ゆれ前後の行動とケガ

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。

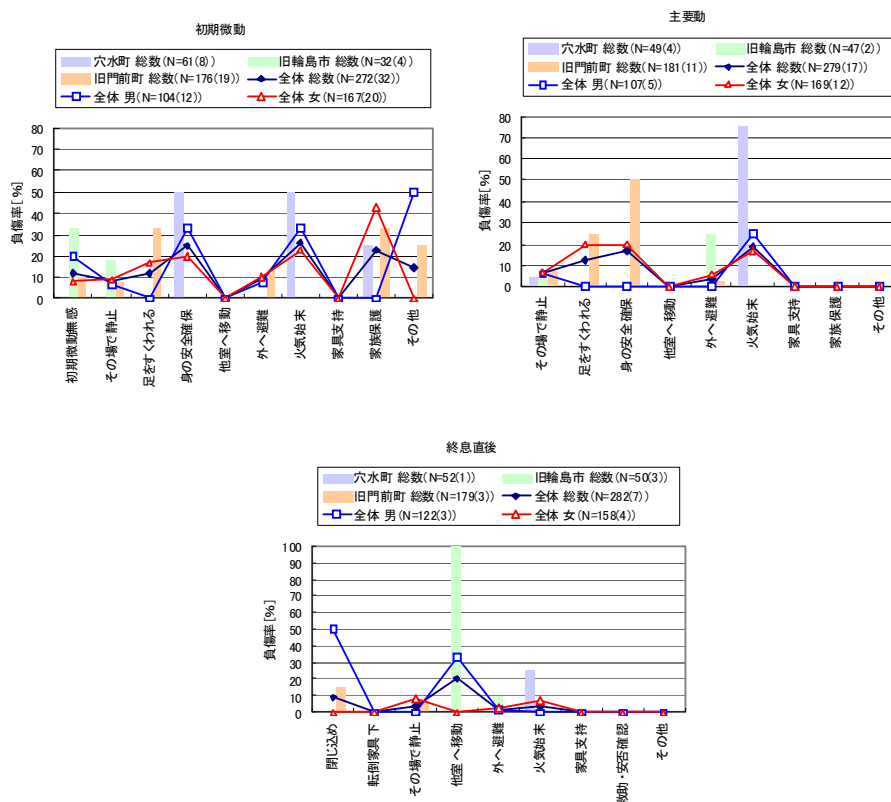


図 4.3.4 時間フェーズ別の行為と負傷率

(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、また高齢者の被災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。

呂等¹⁰⁾は、阪神・淡路大震災における西宮市での死者の年齢や性別、死者発生建物の建築年数の関連について検討を行っている。人間の死亡率がワイブル分布に従うものとして、平常時は 15 歳以下と 45 歳以上の死亡率が高いことを示す一方で、地震時にはほとんど死亡率が全年齢層で一定であり、50 歳以上の死亡率が他の年齢層より多少高めとなっている程度であることから、地震時の死亡率は年齢の影響が少ないことを示している。また、建築年が古い建物の倒壊率が新しいものよりも大きいことを示しつつ、地震時における 51 歳以上の死亡率が高い原因が古い建物に居住していたことを明らかにしている。また、西宮市における死者の死因調査では圧迫などの直接的な打撃による死亡率が 96%以上であったとしている。

大津等¹¹⁾は、兵庫県南部地震における東灘区の死者に関する分析をアンケートと兵庫県監察医の死体検案結果に基づいて行っている。調査対象地域では家屋火災が比較的少なかったために、死亡原因については、建物の下敷きが 74.1%、タンス・水屋などの下敷きが 12.4%となっている。また、兵庫監察医による死因分布からの推定でも建物半壊以下で家具を主因とする割合が 9%となっていることをあわせ考えて、約 1 割の人が家具が主因で死亡したと推定できるとしている。

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¹²⁾においても、揺れにより殆どの人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。
- 通常時の死亡率は、若年層・高齢者層で増加するが、地震時には全年齢層を通じて概ね一定の死亡率となっている。
- 地震による死亡者に高齢者が多いのは、古い家に居住していることが一因となっている調査結果もあった。

※ 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) 呂恒儉・他：阪神・淡路大震災における西宮市の人的被害発生実態に関する研究，地域安全学会論文集 No.1, pp.151-156, 1999.11.
- 11) 大津俊雄・他：1995年兵庫県南部地震における人的被害 その4 死者発生状況に関する調査，日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.7-8, 1996.9.
- 12) 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.

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検証方法

2章で述べたように、まず、家庭等の室内空間における被害について先行して検討するため、3章で整理した「これまで推奨されてきた地震時の退避行動」における該当部分である、「丈夫な家具に身を寄せる」、「身を隠して頭を保護する」、「地震を感じて慌てて外へ飛び出さない」及び「グラッときたら火の始末」について、4章の既往研究の内容と比較し、その妥当性を検討し、留意点を整理する。

5.2 推奨されてきた退避行動等の妥当性の検証と留意点の整理

5.2.1 「丈夫な家具に身を寄せる」行動について

「丈夫な家具」とは、固定されていたり、形状的に安定していて地震時にも比較的安定して倒れにくい頑強な家具を意味し、その中には、倒れにくいタンス、テーブル、机、ベッド等が含まれ、地震時に身を守ることができるものと考えられる。

(1) 地震の揺れによる室内環境の変容に関する研究のうち該当するもの

① 危険要因（家具が転倒する、高い所のものが落下する）

- ・タンス等の家具については、4.1.2のとおり、地震動、居住階の階数、床の摩擦係数、家具密度、家具の形状、積み上げ方、配置等により転倒率が異なる。
- ・高い所のものについては、家具、調度品等の飛散として言及されており、地震動の性質や置かれている家具類の挙動等の影響を受ける。
- ・建物が倒壊した場合については、木造・瓦葺・古い建物など耐震性が低い建物ほど全壊率が高いという調査結果があるが、倒壊した際の室内の危険要因等についての研究はレビューされていない。

② 人が体験する困難な状況（打撲の可能性、ガラスを踏む可能性）

- ・「打撲の可能性」については、家具類の転倒・飛散による直接的なものと家具類の転倒・飛散により室内が散乱し退避行動中につまずくなどによるものがある。
- ・地震被害の調査や実験等も含めた室内被害の定量的な把握の研究等が進んできており、発生する地震動の性質による室内及び家財等の被害については、大凡ではあるが定量的に記述される方向で進展している。
- ・建物が倒壊した場合については、木造・瓦葺・古い建物など耐震性が低い建物ほど全壊率が高いという調査結果があるが、倒壊した際の室内の状況等についての研究はレビューされていない。

(2) 地震の揺れが人間に及ぼす影響に関する研究のうち該当するもの

- ・震度 5 程度の揺れで半数の人が行動の困難さを感じることから、遠くに家具がある

場合には、近づくことが困難となる場合がある。

- ・震度 6 以上の揺れになると、ほとんど動くことができないので、遠くに家具がある場合には、近づくことは極めて困難である。
- ・近くに家具がある場合には、低い姿勢でゆっくりでも近づくことができる。

(3) 地震の揺れによる人間の行動と負傷の関係に関する研究のうち該当するもの

- ・地震で揺れている最中の移動により、負傷する事例が多く報告されている。
- ・地震の揺れにより倒れそうな家具等を支持することにより負傷する事例が多く見られるが、その行為により負傷を回避したとの報告もある。
- ・兵庫県南部地震においては、犠牲者の約 10%の死亡原因が、転倒した家具等の下敷きによるものであったとされている。
- ・テーブルの下に隠れようとして負傷した例も見られる。

○「丈夫な家具に身を寄せる」行動についての留意点

- ・平時には転倒しないと思っている家具でも転倒する可能性があり、安易に近づくと危険性が增大する場合がある。
- ・地震時に動けない場合、「丈夫な家具に身を寄せる」べきであるという先入観が、遠くの家具に身を寄せる等の無意味な行動につながるなど、マイナスに働く場合がある。
- ・その場の特性に合わせて、「丈夫な家具に身を寄せる」ことよりも安全な行動があるか事前に検討しておく必要がある。
- ・丈夫な家具の近くを安全領域として事前に準備した場合を除いて、現実的には固定していない家具もあること、家具の強度に関する情報がない場合もあること等から、退避行動としては、妥当性が低い。

5.2.2 「身を隠して頭を保護する」行動について

「身を隠して頭を保護する」行動は、身近にある机の下に隠れたり、座布団や雑誌等により瞬時に頭を保護したりするものである。

(1) 地震の揺れによる室内環境の変容に関する研究のうち該当するもの

- ・5.2.1 で述べたこととほぼ同じ内容となるが、身近に頭を保護できるものの位置等を把握しておく等の対策も考えられる。

(2) 地震の揺れが人間に及ぼす影響に関する研究のうち該当するもの

- ・地震の揺れの中で、別の場所に移動することが困難な場合が多く、一つの動作に通常よりも多くの時間を要するが、身を隠すためにその場に伏せることは可能であると考えられる。
- ・地震の揺れの大きさによっては、身を隠すための安全な場所へ移動することが困難

な場合がある。

- ・頭部を保護する布団や雑誌、ヘルメット等が近くにない場合には、その場から移動して入手する必要がある。

(3) 地震の揺れによる人間の行動と負傷の関係に関する研究のうち該当するもの

- ・地震の揺れの最中に静止していることで負傷を免れる事例が多く報告されている。
- ・身を隠す場所が安全な領域でなく危険な領域であると負傷する。
- ・建物の倒壊により人命が損なわれることがあるため、屋内に身を隠しても安全とはならない場合がある。

○「身を隠して頭を保護する」行動についての留意点

- ・頭を保護するものが近くに無い場合、それを取りに動く危険が増大する可能性があるものの、行動としては妥当と考えられる。しかしながら、状況によっては、机の下に身を隠すといったようなものを除いて、具体的な行動がイメージできない場合がある。

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

(1) 地震の揺れによる室内環境の変容に関する研究のうち該当するもの

<室内>

- ・5.2.1 で述べたこととほぼ同じ内容となるが、屋外への経路の安全領域、危険領域を把握しておく等の対策も考えられる。

<屋外>

- ・屋外の「危険要因」については、建物のガラスの落下、外壁タイル等の落下、ブロック塀の倒壊が触れられており、それぞれ特徴的な条件下で被害が発生している。
- ・屋外の「人が体験する困難な状況」については、建物のガラスの落下、外壁タイル・看板等の落下、ブロック塀の倒壊によるものが触れられているが、どのような状況になったかには触れられていない。

(2) 地震の揺れが人間に及ぼす影響に関する研究のうち該当するもの

- ・震度 5 程度で約半分の人が行動に困難さを感じ、震度 6 程度で 7~8 割の人が動けなくなる。
- ・火を消す、机の下に隠れる、子どもを守る等の能動的な行動が見られる一方で、地震の揺れによる驚愕度等の調査結果では大多数の人が非常に驚いていることが分かっている。
- ・地震の揺れ方により、全く動けず外に出ることができなかったとする調査結果や 10~20%程度のひとが外に飛び出したとする調査結果も見られた。
- ・余震時に、本震時の恐怖から外に飛び出す人が多いとの調査結果がある。

(3) 地震の揺れによる人間の行動と負傷の関係に関する研究のうち該当するもの

- ・地震の揺れ方にもよるが、大きな揺れの最中に移動することで10～30%程度の人が負傷している。
- ・兵庫県南部地震における調査では、全壊住宅の5.6%、半壊住宅の0.5%で死者が発生しているとしている。
- ・兵庫県南部地震における調査では、死者発生家屋において居住者の生存者・死者の数が判明したケースで、死者138名で生存者が130名であった。

○「地震を感じて慌てて外へ飛び出さない」行動についての留意点

- ・建物が倒壊して生存できる空間がなくなるような場合には、死傷につながる可能性がある。
- ・旧耐震基準で建築された建物等耐震性の低い建物の場合、地震時に倒壊して圧死してしまう場合がある。
- ・新耐震基準に適合した建物では、建物が倒壊することによる危険性より、外に飛び出す行動に伴う危険性の方が大きい。

5.2.4 「グラッときたら火の始末」行動について

(1) 地震の揺れによる室内環境の変容に関する研究のうち該当するもの

- ・該当無し

(2) 地震の揺れが人間に及ぼす影響に関する研究のうち該当するもの

- ・食事の支度中に地震の揺れを感じて特に女性（主婦）はとっさにコンロの火を消すことが多い。
- ・「グラッときたら火の始末」の標語の影響により、反射的にストーブ類の火を消す行動に移ってしまう。
- ・子どもを火から守るために火元へ移動し消火行為を行ってしまう。

(3) 地震の揺れによる人間の行動と負傷の関係に関する研究のうち該当するもの

- ・反射的に火を消す行動に移ってしまい、コンロの火や高温の調理器具・材料により火傷を負ってしまう。
- ・火から子どもを守るための行動により負傷してしまう。

○「グラッときたら火の始末」行動についての留意点

- ・自動的に消火する機器が装備（都市ガスやLPガスは震度5弱程度以上の揺れでガスを遮断する装置が100%装備）されているにもかかわらず、とっさの行動で火を消し

に行ってしまう、本来行うべき命を守る退避行動が行えない可能性が高まる。

- 火を消しに行って、負傷や火傷を負う可能性がある。
- 「グラッときたら」との表現は主要動を意味していると考えられ、大きな揺れの際には火を始末する行動は負傷や火傷を誘発する懸念があり、推奨行動としては妥当とは言えない。
- 目前に火があり簡単に消火ができる場合に限り、小さい揺れのうちに火の始末をした方が良い場合もある。

6. 地震時に人命を守るための適切な退避行動等と今後の課題

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

地震時に、安全な場所にいたにもかかわらず、退避しようとして危険な場所に移動し負傷する等の事例がある一方で、動けないような大きな揺れの際に、たまたま安全な場所にいたために、家屋が倒壊しても命は助かったという事例もある。

地震時に適切な退避行動を行うには、自分のいる場所の状況を適切に把握した上で、揺れの大きさ、個人の役割、直前の行動等や、地震時の揺れによるその場の物理的環境の変容と自分の生理的・心理的な変化を踏まえて、その場所がどの程度、安全または危険なのかを判断し、最も人的被害が軽減されると判断される行動をとることが望ましい。

しかし、物理的環境の変容や人間の生理的・心理的な変化は様々な条件によって異なり、それらの複合的な結果である死傷等の人的被害は一律ではなく、現状ではこの退避行動の方がその退避行動より被害率が低いなど確率論的な説明しかできない。地震時の退避行動は、建物の耐震化や家具の固定、消火設備の設置等の事前対策の実施状況によっても異なるものである。

一方、退避行動を細かく場合分けして示すことは、覚えることが困難になる上に、とっさの場合に望ましい行動を選択できないことが予想されるため、助かる（死傷しない）確率の高いものをできるだけ端的に整理することが重要である。

このように、推奨する退避行動は万能なものではなく、条件によっては不適切となるものを含むものであり、退避行動を行う際にはこの点を十分に踏まえることが必要である。

また、地域によって、特徴的な建築様式や間取り等が異なり安全な空間が異なる場合があること、地震に伴って津波、地盤の液状化、地すべりなどのハザードが発生し、主要動が収まった後のとるべき退避行動が異なることに留意する必要がある。

6.1.2 安全空間の考え方

地震時に安全な場所にいた場合には負傷率が低く、危険な場所にいた場合や、地震時に安全な場所から危険な場所に移った場合に負傷率が高いことから、地震時の退避行動を考える際には、安全な場所（安全空間）とセットで考えておくことが重要である。これまでに安全空間についての研究事例が少なく、現状における危険空間と安全空間の定性的な考え方を示す。

① 屋内

屋内の危険空間とは、倒れやすい家具の周辺、什器・調度品等が飛散する範囲、落下物が想定される範囲、窓ガラスの周辺、人が殺到する場所等（家具類や物の多い台所や居間等）が考えられ、安全空間とは、倒れやすい家具、什器・調度品等が周囲になく、天井や家具の上から落下物が飛んで来たり窓ガラスの破片が飛んで来たりしないような

場所等（廊下等）を指す。しかし、地震時の人間の行動能力の低下により、廊下等で、つまずいて転ぶなど安全空間でも危険空間になり得る。

また、ヘルメットを地震時にすぐに活用できるよう事前に備えておくことにより、危険空間でも安全性が増加する。

② 屋外

屋外の危険空間とは、倒壊する可能性が高い建物の周辺、落下物が想定される範囲、地すべり、山崩れ、崖崩れ、斜面崩壊が想定される範囲またはその周辺、津波および津波による浸水が想定される範囲等が考えられ、安全空間とは倒壊する可能性が高い建物が周囲になく、落下物が想定されない場所や、地すべり、山崩れ、崖崩れ、斜面崩壊、津波等の影響を受けない場所を指す。

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

6.2.1 事前対策

<p>標語例 備えあれば憂いなし！ 事前の備えを十分に！ 作ろう自分の心得を！</p>
--

地震時に激しく揺れている最中には、その置かれた状況に関わらず何も行動できなかつたという結果が数多く報告されている。これは、退避行動を事前に認識していても、実際には恐怖心等により行動することができない可能性を示唆している。また、一般に、強い揺れとなる場合ほど震源に近い場所であり、初期微動継続時間が短く、すぐに強い揺れに見舞われ翻弄されることとなることも関係していると考えられる。その一方で、周囲の環境は改善していくことが可能であり、事前対策を充実させることにより、退避行動の選択肢を増やすことにつながる。

事前対策は、防災・減災という体系の中では退避行動の前提として密接不可分な事象であり、「備えあれば憂いなし」との考えのもと、一人ひとりが取組む必要がある。

① 建物の耐震化

阪神・淡路大震災での死者の約 8 割が建物倒壊によるものであった。したがって、地震による建物倒壊の防止や安全空間の確保のため建物の耐震化対策を講じておくことは最優先すべき課題である。自宅をはじめ自分が滞在する建物については、その耐震性を十分に認識しておくことが必要である。適切な耐震化を施すことにより、建物倒壊による圧死等が減少し、主要動時にあわてて屋外に飛び出す必要性がなくなり、負傷率の低減につながる。特に、旧耐震基準（1981 年より前の基準）で建築され、必要な耐震化が施されていない建物については、耐震化を早急に行う必要がある。

② 家具の固定、什器・調度品の飛散防止対策等

建物が全半壊しなくても、地震時の室内での負傷率は低いとは言えず、その負傷の最大の原因は家具類の転倒や什器等の飛散である。このようなことから、事前に、家具の

固定や什器・調度品の飛散防止対策等を講じておくことにより、安全空間や退避行動を安全に行うことができる空間が広がり、死傷率の低減につながる。

なお、マンションなどの集合住宅等においては、家具の固定が困難な場合があるが、建物管理者等と協議し、対策の検討を行うべきである。

③ 消火設備の設置等

阪神・淡路大震災では、死者の約 1 割が火災によるものであった。また、地方公共団体等が作成する被害想定においても、火災被害の発生確率が高くなっているため、火災被害軽減のための取組は非常に重要である。

都市ガスでは、震度 5 弱以上の揺れを感知した際に自動的にガスをストップするシステムを各家庭や事業所等に装備しており、地震時に「火を消す」行動を考えることなく、命を守る退避行動に専念できるという利点を持つ。このように、以前に比べて退避行動の優先順位が変わってきており、地震時にとることができる退避行動の幅が広がっている。なお、地震によりガスが自動遮断された後の復旧の操作等を事前に確認しておくことが望ましい。

LP ガス（プロパンガス）についても、震度 5 弱以上の揺れを感知した際に自動的にガスをストップするシステムを各家庭や事業所等のガスボンベ付近に装備しており、都市ガスと同様、地震時に「火を消す」行動を考えることなく、命を守る退避行動に専念できる。なお、地震によりガスが自動遮断された後の復旧の操作等を事前に確認しておくことが望ましい。また、携帯用ガスボンベや卓上カセットコンロ等、揺れを感知した際には消火するような機能が付いていないものも存在することに留意する必要がある。

さらに、ストーブ等の暖房器具についても、現在、販売されているものについては、転倒する際や揺れを感知した際には消火するような機能が装備されているが、古いものには装備されていないものも存在するので、事前に確認しておくことが重要である。

なお、自動消火装置が装備されているからといって、消火活動の重要性が低下するものではないことに十分留意する必要がある。自動消火装置が作動しない場合もあることを意識しておくことが重要である。

また、学校においても、理科室の薬品、アルコールランプ等の取扱や保管等については、教師等の指導の下、適切に行われることが重要である。

④ 適切な退避行動の事前の検討

地震時には、自分の命を自分で守ることが基本であり、事前に建物の耐震性や安全空間を認識しておき、地震時には速やかに安全空間に移動し、場合によっては屋外に避難するなど、一人ひとりが事前に退避行動を検討し、実際に行動をイメージしておくことが重要である。例えば、住居であれば、建物により耐震性が異なり、地域により特徴的な建築様式や間取り、家具の置き方など住まい方等が異なり、室内の危険度等はその室内の実情に応じて異なるため、適切な退避行動自体が異なる。また、地域や学校、職場等の組織においても、適切な退避行動を検討する際、地域の実情や集団で行動する機会

の多い学校、職場の特性、部屋ごとの特徴等を十分に考慮した上で、検討結果は地域や組織内等で十分に情報共有し、学校では教師、職場では管理職等が中心となって、事前に集団で訓練しておく必要がある。これらの検討にあたって、強い揺れの場合ほどすぐに襲ってくることを認識すべきであるのは言うまでもない。

なお、退避行動を検討するに当たっては、災害時要援護者に配慮することが必要であるととも、ヘルメット等を地震時にすぐに活用できるよう事前に備えておくことが効果的である。

6.2.2 主要動到達直前（緊急地震速報時、初期微動時）

標語例 緊急地震速報だ！ 周りに声かけ、安全な場所へ！

揺れが大きくなってから行動し負傷したという報告が数多くあり、緊急地震速報を見聞きしたり初期微動を感知してから主要動が到達するまでの間は、時間は短い、退避行動を行う時間として非常に貴重な時間である。緊急地震速報や初期微動の特性を十分に踏まえた上で、命を守る行動を行うことが重要である。

① 主要動到達までの時間が不明な場合

現在、来る地震の時間と大きさが分からないような緊急地震速報がマスコミ等から知られることが一般的であり、この速報を見聞きした場合、主要動がすぐに到達するとの想定のもと、「地震だ！」と周囲の者に声をかけ、手近なもので頭を保護しながら丈夫な机の下も含め安全空間に速やかに移動するなど自分の命を守る退避行動を行う。

緊急地震速報がなく初期微動を感じた際も、主要動が来るまでの時間が不明なので、主要動がすぐに到達するとの想定のもと、「地震だ！」と周囲の者に声をかけ、手近なもので頭を保護しながら丈夫な机の下も含め安全空間に速やかに移動するなど自分の命を守る退避行動を行う。

② 主要動到達までの時間が知らされた場合

いづれどれくらいの大きさの地震動が来ることを知らせる緊急地震速報は、契約を締結した者のみに報知されるものであるが、この速報を見聞きした場合、その地震動が来るまでの時間の長さや予想された揺れの強さを勘案し、「『地震だ！』と周囲の者に声をかける」、「目の前の火を消す」、「脱出のため扉を開ける」、「履物をはく」等の地震後の二次災害の回避につながるような事項を可能な限り処理した上で、速やかに安全空間に移動するなど自分の命を守る退避行動を行う。

その際、例えば、「目の前の火を消した後、頭部を守りつつ、廊下につながる扉を開け、靴をはき、屋内の安全空間に移動する」など、地震が来るまでの時間に応じて、取るべき行動の合理的な優先順位等を事前に検討しておいたり、履物を用意しておくことが必要である。

なお、高層階では地上より揺れが大きくなること、緊急地震速報は予測された主要動

到達時間や揺れの強さ等に誤差等を含み得ること等を念頭に置いて行動することが必要である。

6.2.3 揺れの最中

標語例 動けなければ、姿勢を下げて、頭を守る。
動けるならば、落ち着いて、身近な安全な場所へ。

前兆もなく大きな揺れが襲来した場合だけでなく、緊急地震速報や初期微動の後に大きな揺れが襲来した場合においても、非常に大きな揺れの場合には、人間は動くことが困難となったり判断能力が低下したりする。大きな揺れの最中の退避行動に多くを期待することはできない。しかし、事前に、何をするか、何ができるか、考えておくことで、とっさによりよい行動が可能となり、命を落とさずにすむ可能性は高まる。

① 揺れが非常に大きい場合（動けない場合：震度6弱以上）

ほとんどの人が動けなくなるため、その場で姿勢を低くして頭部を守る等の行動を行い、無理に行動しない。余裕がある場合は、安全空間に逃げ込む。

② 揺れが大きい場合（動ける場合：震度5強以下）

ある程度動けるため、その場の状況を適切に判断し、耐震性が低い建物内にいる場合は頭部を守って安全空間を通過して慌てず屋外へ退避し、耐震性が高い建物内にいる場合は頭部を守って安全な空間に逃げ込む等の退避行動を行う。

なお、超高層建物の場合、長時間揺れが続き、揺れ始めてしばらくしてから揺れが最大となるケースもあることを念頭に置いて行動することが必要である。

6.2.4 揺れが収まった直後

標語例 揺れがとまれば、火消し、靴はき、ドアあける。
ブレーカー落として火災を回避。

揺れが収まった直後は、何が起きたのか、何をすべきか、分からない状況に陥る可能性がある。また、命を守る退避行動を優先して行い、火を消していなかったり扉を開け脱出路を確保していなかったりした場合、地震後の火災発生や余震で閉じこめられるなど二次災害の可能性がある。特に、火災については、隣接した建物等に燃え移り大火災に発展する可能性がある。このようなことから、揺れが収まった直後は、二次災害回避等のために必要な行動を行うことが重要である。なお、その場における適切な行動を検討する際には、室内の散乱状況など大きな揺れの後のその場の状況を、実際にイメージしておく必要がある。

慌てずに、周囲の状況を適切に判断し、火気消火をしていない場合には速やかに消火する。また、余震により扉が開かなくなり避難が困難となることを避けるために扉を開

け、負傷を回避するために履物をはく。さらに、周囲の人の安全を確認しつつ、可能な場合、ブレーカーをおとすなどの二次災害回避のための行動を取った上で、余震に備えて屋外の安全な場所に移動する。

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克服すべき課題および必要な将来の姿

(1) 現状における課題

安全空間については、現状では定性的にはイメージできるが、定量的に安全だと判断することは困難であり、例示することも難しい状況にある。また、安全空間の確保を効果的に行う方法は確立されておらず、具体的に何をを行うべきか分からない場合が多い。さらに、これまで推奨されてきた退避行動についても場合により適否が分かれるなど、明確にベストな選択を提示できる状況にはない。

一方、地震による人的被害を最小限にとどめるには、一人ひとりが自分の身は自分で守るという意識を持って退避行動を行うことが重要であることは間違いのないところである。これまで行われてきた研究成果をとりまとめた本報告を参考として、自らを取り巻く環境を把握し、耐震性の向上、家具の固定など、現状よりもベターな事前対策や自身の退避行動の策定が行われることが望ましい。

しかしながら、一人ひとりが本報告を十分理解して対応を検討することは難しく、個人でなし得る範囲には限界がある。防災・減災に関係している機関は、それぞれが連携しつつ、6.2の提言を十分に踏まえ、既存の退避行動の検証を行い、適切な退避行動の確立や国民への普及等に取り組むとともに、地域や組織（企業、学校等）に対して退避行動の検証を行うよう働きかけることが重要である。

(2) より適切な退避行動の実現に向けて必要な将来の姿

より確実に国民の生命を守り、より適切で効果的・効率的な退避行動を実現するためには、適切な退避行動の決定が誰でもどこでも容易に行うことが可能となる判断支援のための仕組みの構築が必要である。例えば、事前に退避行動の検討を行う際に、建物の耐震性や家具の配置等から安全空間を解析するシステムや、地震発生時に、自分がいる場所から安全な場所まで、とるべき退避行動が連続的な流れとして示されるようなシステムの構築が考えられる。また、平常時から、これらのシステムを用いて、適切な退避行動をとれるように教育・訓練することも重要である。

一方、退避行動を効率的・効果的なものとするためには安全空間を増加させることが重要である。例えば、家具の強度や家具の固定等の効果について、その固定法も含め定量的に評価し認証する仕組みやそれを判断する専門的な人材を育成する仕組み、現状では家具の固定が困難な建物においても容易に固定が可能となる仕組みの構築が考えられる。

現状では、その前提となる建物の倒壊や家具類の挙動についての基礎的な知見の蓄積が十分には進んでおらず、上記のような仕組みの構築を実現可能な目標とするためには、当面、以下のような研究開発を進める必要がある。

6.3.2 課題解決に向けた研究内容

(1) 基礎的研究の充実

① 室内の危険要因の挙動に関する研究

室内環境の変容に関する研究については、これまで、

- 1) 「室内および家財等の被災の実態把握」、
- 2) 「建物被害の実態把握」、
- 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」

に大別して、主に室内の家具類の転倒・飛散等について進められてきているが、家具類、什器、調度品、窓ガラス、照明等、研究が行われていない他の室内の「危険要因」となり得る事象も含め、どのように危険要因となるか、知見の蓄積が必要である。

② 屋外の危険要因の個別の挙動に関する研究

屋外の危険要因に関する研究は、建物のガラスの落下、外壁タイル等の落下、ブロック塀の倒壊等について、いくつかの研究が見られるが、それらは定性的な原因究明にとどまっており、今後は、他の危険要因も含めて、地震時の挙動を予測できるよう、知見の蓄積が必要である。

③ 建物倒壊に関する研究

建物倒壊時における梁や柱の位置、空間の残存状況、倒壊直前の挙動等について知見を蓄積する必要がある。

④ 振動環境下での人の行動に影響を与える生理的要因の研究

振動環境下で人間が身体能力としてどの程度動けるか把握するとともに、夜間に発生する地震では室内が停電となった場合に明るさが乏しいため著しく行動が制約されるなど、環境要因が振動環境下での人の運動能力や行動に与える影響について研究を進める必要がある。

⑤ 振動環境下での人の行動に影響を与える心理的要因の研究

地震時のとっさの行動については、物理的要因や生理的要因に加えて心理的要因が強く影響すると考えられる。心理的な影響について実験的に研究を進めることは困難であると指摘されているが、とっさの行動が危険な行為につながらないように心理的な要因について研究を進める必要がある。

⑥ 実際の地震を想定した3次元振動環境下での行動能力の実験研究

これまでに1次元の振動による人の行動能力について基礎的実験研究が行われてきたが、人の運動能力や体の制御行動については、多次元の振動について研究を進め、地震

時の揺れの最中に避難の可否を判断するための多次元振動環境下での人の行動能力を把握する必要がある。

(2) 被害軽減を目指した実践的な研究

① これまでの地震による被害調査の統合とそれによる人の行動と負傷の関連調査研究

これまでに地震が発生する毎に研究者や防災関係者により被害調査が行われてきたが、それらのデータが統一的にまとめられることはなかった。各地震の被害調査結果を統合し、その中から行動と負傷の関連性に関するデータを抽出して、行動と負傷の関連性について研究を進める必要がある。

② 地震時における危険空間と安全空間の研究

地震被害の実調査では、建物が倒壊したにもかかわらず無傷の人がいる一方で、建物の被害はないものの転倒した家具の下敷きになり死亡する事例も見られる。地震が発生した際に安全空間にいたことが身の安全を確保する重要な条件となるが、実例や実験的研究により、地震時に室内がどのような状況になり、どこが危険空間になるのか、さらに、人間の行動能力の低下も考慮して、その空間の人間の負傷危険性を容易に予測できる手法を構築することも含め、人が退避すべき安全空間について研究を進める必要がある。

③ 家具の効果的な固定方法等空間の安全性を高めるための研究

家具等の地震時の挙動の研究成果を踏まえ、その部屋の性質に応じた家具の効果的な配置方法や固定・転倒防止策およびその効果等について定量的な研究を進める必要がある。

④ 屋内から屋外への連続的な危険評価の研究

屋内、屋外の危険度把握の手法の統合により屋内から屋外へシームレスな時系列的被害予測が可能となり、地震時の安全空間の時系列的把握を行い、地震時の退避・避難誘導が可能なシステムを構築するために必要な研究を行っていくことが必要である。

(3) 研究成果の社会普及促進のための研究

① 利用しやすいツールの研究開発

耐震性が低いと事前に分かっている建物については、建物内の比較的安全な空間を事前に把握しておき、地震発生時にはその空間に逃げ込むか、そこを通過して外に脱出することを想定しておくことが重要である。また、耐震性の高い建物内についても地震時の適切な退避行動につなげるため安全空間を事前に把握しておくことが重要である。このようなことに対応できるよう、危険度を容易に把握できるツールの研究開発と、個人がどこでも防災情報に容易にアクセスできるようなシステムの構築および学校での防災教育等で活用できるツールの開発など普及のための方法について研究を進める必要がある。

このように、利用しやすいツールを活用した危険領域の特定を通して個人の防災意識

を高め、地域社会全体での防災に対する取組や被害発生率の低い空間の在り方に関する検討が可能となり、安全・安心な地域社会の形成が促進されることが考えられる。

② 家具の固定等が容易に行われるための制度等の研究

家具等の固定方法やその効果等について定量的に評価・認証し、家具等の効率的・効果的な固定が容易に進められる制度等、事前対策が容易に促進されるための適切な仕組みの在り方について研究を進める必要がある。

7. おわりに

本部会では、主に室内空間をはじめとした屋内空間について、関係する知見や研究成果等を踏まえ、現在推奨されている退避行動の検証および留意点の整理を行った。さらに、現時点において妥当と考えられる退避行動を、関係する事前対策等も含め概括し、今後克服すべき課題や進めていくべき研究課題等を整理した。

地震時における退避行動の、防災・減災の体系の中での重要性に鑑み、関係行政機関は、本報告書の内容を十分に踏まえ、防災関係業務を推進していくことが重要である。

また、大学や研究機関等においては、従来からの個別要素の研究開発だけではなく、関係分野が複合した領域やリスクの高い領域についても研究開発を進め、社会還元が容易になされるよう取り組んでいくことが重要である。

さらに、民間団体においては、独自の研究開発はもとより、その経済活動を通して研究成果等を社会に普及していく等の活動に取り組んでいくことが重要である。

このような取組を踏まえ、さらに防災を身近なものとし、国及び地域の防災力向上につながるため、学校や地域において、防災を体系的かつ実践的に教育していく機会を設けることが重要である。

人間は、地震に遭遇した場合、それまでにとっていた行動、役割、経験、その場の状況等により、うずくまったり身を隠す等の「護身行動」、他に覆い被さる等の「愛他行動」、家具を抑えたり火を消す等の「制御行動」、助けを求めたり様子を見る等の「情報行動」、飛び出したり安全な場所に移る等の「避難行動」をとる傾向がある。こうした行動は、人間が本来有する性質であると考えられ、退避行動の検討に当たっては、この性質に配慮することが望まれる。

また、地震動が収まった後、周囲の安全を確かめ、緊急避難場所等の安全な場所に避難し、正しい情報の入手に努めるという段階については、本部会では扱わなかったが、復旧・復興につながる防災上重要な部分であり、適切な対応を望むものである。

本報告書が、個人や防災担当者等が実際の地震時の退避行動を考える際の、また、防災科学技術の研究開発の方向性を考える上での参考となり、その結果として、地震時の被害の軽減につながることを望む。

謝辞

最後に、本報告書を取りまとめるにあたり、以下の有識者に、ご助言・ご協力をいただきました。記して感謝の意を表します。

(五十音順)

岩田孝仁 静岡県危機管理部危機報道監
太田 裕 財団法人地震予知総合研究振興会東濃地震科学研究所副主席主任研究員
岡田成幸 北海道大学大学院工学研究院教授
金子美香 清水建設株式会社技術研究所次世代構造技術センター
次世代耐震構造グループ長
黒田洋司 財団法人消防科学総合センター研究開発部調査研究第2課長
斉藤大樹 独立行政法人建築研究所国際地震工学センター上席研究員
高橋 徹 千葉大学大学院工学研究科教授
翠川三郎 東京工業大学大学院総合理工学研究科教授

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 委員名簿

(専門委員)

- 田中 淳 (主査) 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
- 荒巻 照和 横浜市神奈川消防署長 消防正監
- 国崎 信江 危機管理アドバイザー
- 小林 元子 港区教育委員会適応指導教室つばさ 指導員
- 首藤 由紀 株式会社社会安全研究所代表取締役所長
- 中埜 良昭 東京大学生産技術研究所教授
- 林 春男 京都大学防災研究所巨大災害研究センター長 教授
- 福和 伸夫 名古屋大学大学院環境学研究科教授
- 室崎 益輝 関西学院大学教授

検討経緯

第1回 部会 平成21年7月1日（水）

- （1）作業部会における検討事項について
- （2）地震発生時に推奨される退避行動等の現状について
- （3）E-ディフェンスによる実験映像について

第2回 部会 平成21年7月15日（水）

- （1）地方自治体における地震時の防災・減災に向けた取り組みについて
- （2）作業部会における検討内容について
- （3）今後取り組むべき研究課題および調査内容について

第3回 部会 平成21年8月13日（木）

- （1）統合型地震応答体感環境について
- （2）阪神・淡路大震災に学ぶ地震時退避行動の可能性と限界性について
- （3）地震発生時に身を守る方法や退避行動の検討に活用できる知見について
- （4）検証の具体的進め方について

第4回 部会 平成21年10月6日（火）

- （1）推奨されている退避行動の整理と今後の検討方針について

第5回 部会 平成22年2月10日（水）

- （1）地震時における退避行動等に関する既往研究の調査結果について
- （2）退避行動等における課題・留意点について

第6回 部会 平成22年3月9日（火）

- （1）作業部会報告書案の検討

第7回 部会 平成22年5月25日（火）

- （1）作業部会報告書のとりまとめ

用語解説

初期微動	地震が発生した際に、大きな揺れ（主要動）が始まるまでの小さな揺れを示す。揺れはじめてから主要動による大きな揺れが発生するまでの時間を初期微動継続時間という。震源までの距離が小さい場合には、初期微動継続時間が短くなる。
主要動	地震が発生した際に、小さな揺れ（初期微動）の後に生じる大きな揺れを示す。建築物や土木構造物は、主要動により倒壊・損傷の被害を受ける。
丈夫な家具	固定されていたり、形状的に安定していて地震時にも比較的安定して倒れにくい頑強な家具を意味し、その中には、倒れにくいタンス、テーブル、机、ベッド等が含まれ、地震時に身を守ることができるものと考えられる。
緊急地震速報	地震発生時に震源を中心とした地震観測網でとらえたデータを解析し、推定された震源や地震規模に基づいて各地での主要動の到達時刻や震度を予測し、迅速にそれらの情報を伝達する予報・警報システムを示す。
危険要因	家具等の転倒物や落下物、建物倒壊、地すべり、津波等、地震時において、人を死に至らしめたり、負傷させたりする要因を指す。
床応答加速度	実際の地震動や振動実験、振動シミュレーションにより建物床面に生じる加速度のことを指す。
耐震基準	建築物もしくは土木構造物が地震時において定められた状態を保持するのに満足しなければならない内容のことで、当報告書では特に断りがない限り建築基準法・建築基準法施行令における耐震関連項目を指す。1981年6月1日に改正された建築基準法施行令の内容に基づくものを新耐震基準、改正以前のを旧耐震基準と呼んでいる。
安全空間	地震が発生する前に、身体の安全性を確保するための検討が十分に行われた空間を指す。検討項目としては、建築物の倒壊・層崩壊や室内の家具の転倒・散乱等が挙げられる。

(参考資料 1) 大正関東地震等を教訓とした「地震時における行動の 10 箇条」について

1. 概要

東京消防庁をはじめ、各地方自治体等では、地震時における行動の在り方を 3 か条や 10 か条の標語や提言にとりまとめて、市民に向けた広報や防災活動に広く活用している。ここでは、それらの提言で最初のものと思われる「星と雲・地震と火山」(今村明恒著 昭和 5 年発行) に示される「地震に出会った時の心得」を紹介し、それら心得の注釈について本作業部会の検討範囲に係わる部分についての概要をまとめる。

2. 星と雲・地震と火山出て維持される地震時に出会った時の心得

今村は、大正関東地震など各地で発生する地震による被害を見るにあたり、当時の国民の地震に対する誤解や備えの不十分さの周知・啓発の必要性を認識し、当時の東京帝国大学地震学教室の助言に基づいて次のとおり「地震に出会ったときの心得」を示している。

- ① 最初の一瞬間に於て非常の地震なるか否かを判断し、機宜に適する目論みをたてること、但しこれには多少の地震知識を要す。
- ② 非常の地震たるを覚るものは自ら屋外に避難せんと力めるであらう。数秒間に広場へ出られる見込みがあらば機敏に飛び出すがよい。但し火元用心を忘れざること。
- ③ 二階建、三階建当の木造家屋では、階上の方却って危険が少ない、高層建物の上層に居合わせた場合には屋外へ避難することを断念しなければなるまい。
- ④ 屋内の一時避難所としては堅牢な家屋の傍がよい。教場内に於ては机の下が最も安全である。木造家屋内にては桁、梁の下を避けること、また洋風建物内にては、梁壁、暖炉用煉瓦、煙突等の落ちて来さうな所を避け、止むを得ざれば出入り口の枠構への直下に身を寄せること。
- ⑤ 屋外に於ては屋根瓦、壁の墜落、或は石垣、煉瓦塼、煙突等の倒壊し来る恐れある区域から遠ざかること。特に石灯籠に近寄らざること。
- ⑥ 海岸に於ては津波襲来の常習地を警戒し、山間においては崖崩れ、山津波に関する注意を怠らざること。
- ⑦ 大地震にあたり凡そ最初の一時間を凌ぎ得たら、最早危険を脱したものと見なし得られる。余震を恐れるに足らず、地割れに吸い込まれる事はわが国にては絶対になし。老若男女、総て力あらん限り災害防止に力むべきである。火災の防止を真先にし、人命救助をそのつぎとすること。これは即ち人命財産の損失を最小にする手段である。
- ⑧ 潰家からの発火は地震直後に起ることもあり、一二時間の後に起ることもある。油断なきことを要する。
- ⑨ 大地震の場合には水道は断水するものと覚悟し、機敏に貯水の用意をなすこと。また水を用いざる消防法をも応用すべきこと。

- ⑩ 余震はその最大なるものも最初の大地震の十分の一以下の勢力である。最初の大地震を凌ぎ得た木造家屋は、たとひ多少の破損をなしても、余震に対しては安全であらう。但し地震でなくとも壊れそうな程度に損したものは例外である。
(旧字体漢字は、常用漢字に修正しています。)

3. 地震時に出会った時の心得の注釈

ここでは、上記の 10 か条にかかわる注釈のうち、屋内・屋外での避難にかかわる部分を抽出し、その概要を示す。

(1) とっさの判断について

心得①では、地震の最初の一瞬にて非常なる地震であるかどうかの判断を求め、その判断の方法については、次のように示している。

1) 当時の木造家屋の構造から初期微動時には「びりびり」、主要動時には「ゆさゆさ」との揺れを感じるが多かったことから、初期微動継続時間から震源の遠近を判断し、居る場所の地震の非常か否かを判断する。

2) 初期微動を感じることなく、地震の初動が木造家屋等の土壁を落とし、器物が棚の上から転落するようなことがあれば、最初から非常な地震であると判断する。

さらに、非常の地震である場合には、自分の居所によって処置方法は変わるべきものであり、臨機の処置をなすべきであるとしている。すなわち、自ら考えることを求めている。

(2) 屋外への避難と階下（1階）の危険性について

当時の木造家屋では、地震時に階下（1階）が層崩壊することが多く見られたことが背景となり、階下（1階）に居る者は屋外へ飛び出すことが最も安全であるとしている。しかし、屋外に避難しようとしても倒壊する建物の下敷きになる犠牲者がいるため、地震で揺れ始めてから 2～3 秒程度で軒下を十分に離れることができる場合のみ有効であるとしている。

木造建物の 2 階や 3 階にいる人は、避難の最中に 1 階の層崩壊による犠牲となる可能性が高いことから、屋外への避難の行動は排斥すべきとしている。また、高層建物内にいる人は地震の揺れの最中に屋外に出ることは困難であることから、屋内の比較的 안전한場所へ移動することが得策であるとしている。

さらに、地震後の火災の危険性について指摘し、地震の揺れを感じたら、「僅に一挙手の動作によって火が消されるようならば、さういう処置は望ましい」として、容易に消火が可能なものは実行すべきとしている。

(3) 屋内にての避難について

屋外への避難ができない場合には、家屋の倒壊を覚悟して、崩壊や墜落物の打撃から逃れるために、椅子や箆筒、火鉢、碁盤などの堅牢な家具（※ 高さの低い家具）に身を寄

せることが良いとしている。

また、学校の教室内では机の下が最も安全であるとしている。教室に在る者への致命傷を与えるのは梁や桁であるが、机が連合して梁や桁、小屋組を支持することで安全な空間を確保しうるものとしている。好例として、姉川大地震（明治 42 年 8 月 14 日）における田根小学校の事例を紹介している。

しかし、机の下への避難が有効な場合とは、比較的軽量の建物の倒壊部分を支持しうる場合のみであり、洋風建築物のように建物の各部分が重いものの場合には、その限りではないとしている。墜落物から逃れうる場所や部屋の中央、室の出入り口の枠構（柱梁の枠）近くに移動することを勧めている。

(4) 屋外における避難について

建物の倒壊による圧死を免れるため屋外にうまく逃げ出せても、必ずしも安全ではないと注意を促している。石垣、煉瓦塼、煙突等の倒壊によるそれらによる下敷き、家屋に近接している場合には、屋根瓦・壁の崩壊物に打たれることの危険性について指摘している。

また、神社内に設けられている石灯籠の地震時の危険性についても言及し、児童が犠牲となった事例が多いことから特に注意を喚起している。

(5) 火災の防止について

家屋の下敷きになっている人の救出は最も大事なものとしているが、当時の家屋では耐火・防火性能が乏しかったために、但馬地震（大正 14 年 5 月 23 日）で消火活動を優先して多くの人命を確保した事例を引用し、先ずは消火活動を優先し、延焼による被害の拡大を防止してから、瓦礫の下から人を救出するようにするように提言している。

また、地震発生により火災が発生した場合には、座布団を水に浸して頭部を被って炎の下をくぐることを推奨している。

4. その他

約 80 年前の社会環境や生活様式を前提とした、地震時における国民の取るべき行動についての提言であるが、現在の社会においても有効なものは多い。「3. 地震時に出会った時の心得の注釈」で示した事例のうち、机の下に隠れる行動については、当初崩れ落ちてくる屋根（小屋組）を教室に在る全ての机で支持することで、机の下の安全空間を確保して退避することを意図して提言されていたが、現在では、地震時に落下する天井や電灯の衝撃から身を守るための標語として残されている。

しかし、現在の小学校で広く用意されている防災頭巾については、戦時中の防空頭巾の名残りとして今もなお使用されているものと推定されるが、そもそも戦前の今村の提言では火災の炎から身を守るために、座布団を水に浸して利用することを勧めているため、地震時の落下物から頭部を守る目的で提言を行ってはいないことに留意すべきである。

(参考資料2) 実大建物振動実験における建物内の震度階級について

1. 検討概要

独立行政法人防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センター内に設けられた実大三次元震動破壊実験施設（以下、E-ディフェンス）では、平成17年より実大建物を試験体とした振動実験が41プロジェクト（平成22年3月31日現在）において行われている。ここでは、それらの実験のうち、直下地震による地震動と海溝型巨大地震による長周期成分を含む地震動（以下、長周期地震動）、建物構造（耐震構造・免震構造）や高さの違う実験を5つ抽出して、各実大建物試験体内の各階床上の震度階級を算定し、地表面の震度階級との違いを明らかにする。

それらの結果から、地震時における建物内の階数により、各家庭・職場で求められる防災対策が異なることの理解を促すものである。

2. 検討対象とした実験および地震動

2.1 検討対象とした実験

検討対象とする振動実験は、次の5つ実験プロジェクトによるものとする。

- 1) 実大6階建て鉄筋コンクリート造建物の破壊実験¹⁾
- 2) 2階建て住宅の移築補強・無補強建物実験¹⁾
- 3) 大振幅を生じる地震時高層建物(30階建て)の居室内安全確保に関する実験研究²⁾
- 4) 高層建物(20階建て)の長周期地震動による被害軽減対策の研究開発^{3)~4)}
- 5) 重要機能施設(4階建て)の震災時における建物の機能保持に関する研究開発^{3)~4)}

2.2 実験で採用した入力地震動

各実験において次の直下地震による地震動もしくは長周期地震動を採用している。

(直下地震による地震動)

JMA 神戸波：兵庫県南部地震において神戸海洋気象台で観測された地震動

JR 鷹取波：兵庫県南部地震においてJR鷹取駅で観測された地震動

エルセントロ波：Imperial Valley地震でのEl Centroの観測波をもとにした地震動

※ エルセントロ波は、震源近傍にて観測された地震動であるが、ここでは便宜的に直下地震による地震動に分類する。

(長周期地震動)

南海地震神戸波：南海地震を想定した神戸市内における模擬地震動

三の丸波：東海・東南海地震を想定した名古屋市内の模擬地震動

3. 振動実験における震度階級算定結果

5つの実験プロジェクトでは、直下地震による地震動または長周期地震動を用いて、耐

震構造もしくは免震構造の実大規模試験体にて実験を実施している。ここでの実験時の各階震度階級の算定は、2つに分類した地震動と試験体建物の構造形式（耐震構造・免震構造）を組み合わせた次の通りの設定により行っている。

① 直下地震の地震動による耐震構造建物試験体の震度階級算定

ガタガタとゆれる短い周期の直下地震の揺れに共振して揺れやすい耐震構造建物の震度階級を算定した。

② 直下地震の地震動による免震構造建物試験体の震度階級算定

ガタガタとゆれる短い周期の直下地震の揺れに共振しにくい免震構造建物の震度階級を算定した。

③ 長周期地震動による免震および高層耐震構造建物試験体の震度階級算定

ガタガタとゆれる短い周期の直下地震の揺れに共振せず、ゆさゆさと長時間にわたり揺れ続ける長周期地震動に共振して強い振動に発展しやすい免震および高層耐震構造建物の震度階級を算定した。

①から③による各震度階級算定結果を 3.1 から 3.3 に示す。

3.1 直下地震の地震動による（低層）耐震構造建物の各階震度

(1) 実大 6 階建て鉄筋コンクリート造建物の破壊実験

試験体：6 階建て鉄筋コンクリート造建物

地震動：JMA 神戸波

地表面では、はわないと動けない程の揺れであり、固定していない家具のほとんどが移動したり、倒れたりするが、建物の上階ではさらに震度が大きくなり、家具が飛ぶこともあるような状況となる。

表 1 震度算定結果(JMA 神戸波)

	計測震度	震度階級
6 階	6.9	7
5 階	6.8	7
4 階	6.7	7
3 階	6.7	7
2 階	6.6	7
地表面	6.4	6 強

(2) 移築補強・無補強建物実験

試験体：2 階建て木造建物

地震動：JR 鷹取波

震度階級の算定結果としては、地表面および2階とも震度7となっているが、計測震度は2階の方が大きくなっており、2階の方が人の行動は困難で、室内が散乱はひどい状況となると見られる。いずれの階も人ははわないと動けず、固定していない家具などは移動・転倒し、家屋はひび割れが発生し、耐震性が低いものは傾いたり、倒壊する可能性が高くなる。

表2 震度算定結果(JR 鷹取波)

	計測震度	震度階級
2階	6.8	7
地表面	6.5	7

(3) 震災時における建物の機能保持に関する研究開発

試験体：4階建て鉄筋コンクリート造建物

地震動：エルセントロ波、JMA 神戸波（加速度 80%）

2つの地震動の実験において地表面では、震度6弱と6強となっているが、4階ではいずれも震度7となっている。地表面および低層階では、固定していない家具が移動・転倒するが、震度7となる階では、さらに家具が飛ぶこともあり十分な対策が求められる。

表3 震度算定結果(エルセントロ波)

	計測震度	震度階級
4階	6.5	7
3階	6.2	6強
2階	5.9	6弱
地表面	5.7	6弱

表4 震度算定結果(JMA 神戸波(80%))

	計測震度	震度階級
4階	6.7	7
3階	6.5	7
2階	6.4	6強
地表面	6.3	6強

3.2 直下地震の地震動による免震構造建物の各階震度

(1) 震災時における建物の機能保持に関する研究開発

試験体：4階建て鉄筋コンクリート造建物

地震動：エルセントロ波、JMA 神戸波（加速度 80%）

直下地震による地震動の揺れを低減することを目的とした免震構造建物であることから、地表面にくらべて建物内の震度階級は小さくなっている。地表面では、はわないと歩くことも困難な状況と見られるが、建物内では物につかまればかろうじて歩くことが可能な状況になると見られる。

表 5 震度算定結果(エルセントロ波)

	計測震度	震度階級
4 階	5.4	5 強
3 階	5.4	5 強
2 階	5.4	5 強
地表面	5.8	6 弱

表 6 震度算定結果(JMA 神戸波(80%))

	計測震度	震度階級
4 階	5.6	6 弱
3 階	5.6	6 弱
2 階	5.6	6 弱
地表面	6.2	6 強

3.3 長周期地震動による高層耐震構造建物と免震構造建物の各階震度

(1) 大振幅を生じる地震時高層建物の居室内安全確保に関する実験研究

試験体：30 階建て（100m）建物と同等な試験体（高層耐震建物試験体）

地震動：南海地震神戸波

地表面では、棚の食器や本が落下し、物につかまらなると歩けない状況であるが、30 階の床上では、はわないと動くこともできず、飛ばされることもあるような状況となり、固定されていない家具のほとんどが移動・転倒するものと見られる。同一の建物であっても高層建物では地震対策に建物内の階数を考慮しなければならないことを示している。

また、当実験では、計測震度の計算は、各算定値とも水平 2 方向のデータのみを採用している。

表 7 震度算定結果(南海地震神戸波)

	計測震度	震度階級
30 階(相当)	6.2	6 強
地表面	5.4	5 強

(2) 震災時における建物の機能保持に関する研究開発

試験体：4階建て鉄筋コンクリート造建物（免震構造建物試験体）

地震動：三の丸波

直下地震による地震動においては、免震構造建物は性能を十分に発揮し、各階の震度を小さくしていたが（3.2）、長周期地震動においては、長い地震の継続時間の中で、建物と地震動が共振して、地表面よりも建物内の揺れの方が大きくなることをこの実験では示している。

表 8 震度算定結果(三の丸波)

	計測震度	震度階級
4階	5.7	6弱
3階	5.6	6弱
2階	5.6	6弱
地表面	5.2	5強

(3) 長周期地震動による被害軽減対策の研究開発

試験体：20階建て（80m）建物と同等な試験体（高層耐震構造建物試験体）

地震動：三の丸波

長周期地震動により高層建物では、長い地震継続時間の中で共振により建物のゆれが増幅され、その傾向は上層階に顕著にあらわれる。当実験でも、地表面では震度5強でかろうじて人の行動は可能であるが、最上階（20階）では震度6強となりはわないと動けないような状況となり、室内の家具も転倒対策が施されていないものは移動したり、転倒したりする見られる。

また、当実験では、計測震度の計算は、各算定値とも水平2方向のデータのみを採用している。

表 9 震度算定結果(三の丸波)

	計測震度	震度階級
20階(相当)	6.3	6強
地表面	5.2	5強

4. まとめ

E-ディフェンスの実験結果をもとに、地表面（震動台面）と実大試験体各階の震度階級を算定した。低層耐震構造建物では、直下地震の地震動による建物の揺れの増幅があり、上階となるにつれて各階床面での震度階級が大きくなっていた。また、直下地震の地震動に対して免震構造建物では、その期待する性能が発揮され、地震による揺れが低減されていることが震度階級の減少からも示された。

高層耐震構造建物および免震構造建物では、地表面（震動台面）の震度は比較的小さな地震でも、長周期地震動との共振により上層階では非常に強い揺れとなっていた。

これらの結果から、地震動の性質や建物の構造種別によっては、地表面よりも大きな震度となることから、建物の上層階に居住する場合には、地震の揺れの増幅を考慮した地震対策を施すことが必要である。

※ 資料作成において、独立行政法人防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センターにデータ提供等の協力をいただいた。

（参考文献・URL）

- 1) E-ディフェンスによる地震防災への貢献,防災科研ニュース, No.163, 2008, 4
- 2) 大地震を受ける超高層建物内部の被害様相と防災啓発, 建築防災, 2009年8月号,
- 3) E-ディフェンスによる地震防災への挑戦,防災科研ニュース, No.170, 2010, 7
- 4) <http://www.bosai.go.jp/hyogo/syuto-pj/index.html>