

非専門家に対する建物被災度判定訓練の効果検証

Effectiveness of Building Damage Assessment Training for Non-Experts

堀江 啓¹, 重川 希志依², 牧 紀男³, 田中 聡², 林 春男⁴

Kei HORIE¹, Kishie SHIGEKAWA², Norio MAKI³,
Satoshi TANAKA² and Haruo HAYASHI⁴

¹ 防災科学技術研究所 地震防災フロンティア研究センター・神戸大学大学院自然科学研究科

Earthquake Disaster Mitigation Research Center, NIED/ Graduate School of Science and Technology, Kobe University

² 富士常葉大学環境防災学部

College of Environment and Disaster Research, Fuji Tokoha University

³ 防災科学技術研究所 地震防災フロンティア研究センター

Earthquake Disaster Mitigation Research Center, NIED

⁴ 京都大学防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

This paper verifies the effectiveness of Damage Assessment Training System which was designed for disaster responders in local government to contribute to expedite the work involved in building damage assessment for issuing the Victim Certificate. The training is conducted by repetitive judgment using both photographs of damaged buildings and damage pattern charts for assessment, which provide visual illustrations by schematics of building damage patterns. The system is made sure from the respects of time and accuracy. The applicability of the damage pattern charts and the effectiveness of training are also confirmed through the operations by non-expert of building structure.

Key Words : damage pattern, damage photo, training, visual inspection, victim certificate, disaster responder

1. はじめに

未曾有の大災害であった阪神・淡路大震災以降、2000年鳥取県西部地震、2001年芸予地震、2003年宮城県沖地震や2003年宮城県北部連続地震など、各地において次々と地震災害が発生している。それらの災害が発生するたびに課題として挙げられる自治体の災害対応の一つに「り災証明書」の発行がある。この「り災証明書」は住家の被災程度を調査し、その結果を根拠として自治体が発行するという方法が定着している。したがって、自治体が発行するという性格上、この被害認定調査には建築の専門家ではない職員が多く関わっていた。

阪神・淡路大震災では、そのような調査に熟練していない職員が実施したことに加えて、明確な調査基準、調査方法が規定されていなかったなどの事由により、公正な判定の実施が困難であった¹⁾²⁾³⁾。この「り災証明書」は様々な支援を受けるための判断基準となり、被災者の生活再建に長期間に渡って大きな影響を及ぼすものとなったため、調査結果に対して不満を持った被災者からの再調査依頼が殺到した。その結果、本来取り組むべき多くの課題や対応があったにもかかわらず、自治体は調査に奔走させられることとなった。また、阪神・淡路大震災以降においても、同様の課題が発生していることを著

者ら⁴⁾は指摘してきた。

そのような背景の中、2001年に内閣府⁵⁾において、被害認定基準の見直しが行われ、この基準の的確かつ円滑な運用を目的として、「災害に係る住家の被害認定基準運用指針（以下、被害認定運用指針）」が作成された。しかし、2章で事例を挙げるように、近年に発生した地震災害時において、この被害認定運用指針は十分に機能していたとは言えない。これは、一般の自治体職員のような建築の専門家ではない者が理解し、また実行する際にも相当の時間を要する複雑な評価・算定過程が一因と分析される。さらにそうした理解を助け、円滑な実行に結びつけるための訓練の仕組みがないことも要因の一つであると考えられる。

上記の課題を踏まえ、著者ら⁶⁾⁷⁾はこれまでに自治体を対象とした効率的な被害調査システムを提案し、それを運用するための訓練システムとして、Damage Assessment Training System（建物被災度判定トレーニングシステム、以下、DATSと呼ぶ）の開発を行ってきた。DATSでは、自治体による調査を複数の目的に応じて一元的かつ一貫して行うために、図1に示すように調査目的の時間フェーズと調査対象建物をマトリクスとした枠組みを構築している。この枠組みでは、自治体職員がやむを得ず調査を行わなければならなくなったというこれ

までの状況を自然に受け止めるのではなく、むしろそのような職員を有効な資源として積極的に活用しようという考え方を導入している。さらにこの枠組みは、専門家をその技術が必要な非木造建物や判定の難しい建物の調査に集中させることを狙いとしている。

このような仕組みの実現に向けて、著者ら^{2) 3) 4) 6) 7)}はこれまでに自治体職員による調査を支援するための調査方法や、訓練手法、調査ツールの開発、および住民の自己診断による建物の危険度判定の実施に関する提案を行ってきた。ここで、これらを実現する前提条件として、自治体職員や一般住民などの建築の専門家以外の人（以下、非専門家）が、こうした訓練や調査ツールの利用などにより、専門家と同等程度の被害査定能力を身につける事ができるということを仮定していた。しかし、これまでに建物被害調査の専門家である応急危険度判定士を対象とした研修会などは行われてきているが、専門家以上に訓練が必要となる非専門家を対象としては実施されておらず、非専門家の能力やその訓練効果は明らかになっていない。

本研究では、図1に示すようにDATSの一要素である「被害認定調査」に焦点を当て、自治体職員の運用を想定した簡便で迅速かつ公正な判定を可能とするトレーニングシステムを開発することを目的とする。そこで、これまでに提案してきた調査方法、訓練手法の効果を明らかにするために、①被害認定調査の方法に対応した調査効率のモデル化を時間経過を考慮して行い、②そのモデルを用いたシミュレーション結果と過去の災害における実務経験とを照らし合わせ、被害認定調査全体の効率化を図るための要所を考察する。③その結果として得られた実務に要求される調査効率と精度を、非専門家が調査を行った場合に、訓練によって満足させることが可能かどうかについて、非専門家である大学生を対象として行った判定訓練の結果から効果の検証を行う。

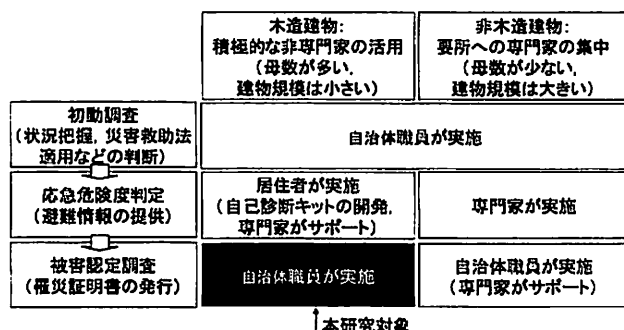


図1 DATSの枠組み

2. 2003年宮城県沖地震時の建物被害認定調査

(1) 自治体へのヒアリング調査

2003年5月26日に発生した宮城県沖地震において自治体では、罹災証明書発行のための被害認定調査をどのように実施したのかを把握するため、震度5強を記録した岩手県釜石市を対象としてヒアリング調査を行った。調査は2003年7月17日に被害認定調査に従事した担当者3名を対象として行った。ヒアリング項目は、全体の流れ、実施体制、調査対象、基準、方法、調査票の内容、結果の集計方法、集計単位、使用地図の種類、住民への対応、罹災証明書の発行時期、発行部局、発行方法、利

用範囲、再調査の受付機関、件数、判定が難しい建物の有無、応急危険度判定との関係である。

(2) 被害認定調査の実施プロセス

調査全体の流れを図2に示す。調査は、地震発生翌日の5月27日から行われ、災害警戒本部が廃止となる6月5日までの間に、税務課の職員を主体として10班程度の調査班を編成し、延べ約200名を動員して実施された。7月15日時点の被害は全壊0棟、半壊1棟、一部損壊117棟であった。調査は独自に急遽作成した調査票を用いて行われた。調査票は、地震発生当日の夜間に固定資産調査を参考にして調査項目を決定し作成された。調査基準は、国の被害認定基準である。調査項目は大きく5つあり、①建物（屋根、天井、壁、窓、床、その他）、②外回り（庭、塀、門、その他）、③家具、④電化製品、⑤その他（道路、法面、その他）で、それぞれについて被害があれば被害状況¹⁾を記入するようになっていた。

調査は電話通報²⁾による被害届けがあった住家を対象として、調査の前日に同方向の建物をまとめてグループ分けし、調査票と住宅地図を準備して行われた。今回の地震では再調査依頼は発生しなかった。

罹災証明書³⁾は、住民が罹災状況を自己申告し、証明願いという形で申請してきた場合に、それを確認して証明するという方法で市民課から随時発行された。

応急危険度判定は行われていないが、7月8日からは都市計画課が主体となり、家屋や擁壁に不安を持つ住民に対して、専門家による「住まいの安心アドバイス」を開始した。

釜石市の対応の中で着目すべき点は、住民への対応サービスの向上のため、被害・復旧状況記録表を作成し試験的ではあるが運用したことである。この復旧状況記録票とは、電話の受付から被害調査を経て復旧までの過程において、これまでどのような対応をとってきたのかを記録するものである。この記録により、たとえ担当者が変わったとしてもスムーズな対応が可能になるものと考えられる⁴⁾。

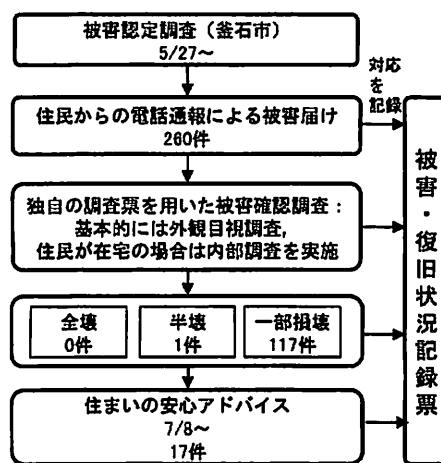


図2 被害認定調査の流れ（岩手県釜石市）

(3) 被害認定調査に対する自治体のニーズ

今回の地震では、幸いにも釜石市には大きな被害は発生せず、被害認定調査には深刻な混乱はなかった。しかしヒアリングの結果、調査方法については、内閣府⁵⁾による被害認定運用指針は用いられず、国の被害認定基準

を反映するような形で作成した独自の調査票を使用して
いたことが明らかとなった。その理由として、内閣府に
よる被害認定運用指針は、国の基準を反映した標準的な
調査手法として、調査項目、測定方法、判定方法などが
明記されたものであるが、基準を可能な限り反映するた
めに複雑となり、理解と実行に時間を要するため、被害
調査に必要以上に拘束されてしまうことが挙げられた。

また、この問題は釜石市に限らず、例えば 2003 年宮
城県北部連続地震において、宮城県矢本町⁸⁾では、調査
基準、マニュアルは被害認定運用指針を準用しつつも、
調査項目を屋根、外壁、柱の 3 項目に集約し簡易化して
認定調査を実施している。また、矢本町では課題として
緊急対応に追われる中で、被害調査のみに集中すること
ができず、必要最小限の人数で公平性と迅速性の確保に
向けた調査内容の吟味の必要性を掲げている。

このように自治体では、被害認定運用指針の考え方を
踏襲しつつ、且つ明瞭簡潔な調査手法を望んでいる。

3. 非専門家のための調査手法

2 章で述べたように自治体では、公平性と迅速性と兼
ね備えた調査手法を求めている。且つその調査を実施す
るのは自治体職員のような非専門家であることも被害認
定調査のための手法を開発するための重要な要件となる。

阪神・淡路大震災以降、著者らの研究グループ¹⁾では
以上の要件を満たすための効率的な調査プロセスとして、
迅速性を確保するための外観目視調査と、公正性を保ち
被災者の納得を得るための建物内部を含めた詳細調査を
組み合わせた段階的な方法を提案してきた。また、外観
目視調査において、非専門家による調査が実施されても
公平性を確保するために、岡田・高井⁹⁾が開発した建物
被害パターンチャートの活用を提案した。さらにパターン
チャートの被害認定調査への適用性について検討を行

ってきた⁶⁾。以降にその詳細を説明する。

(1) 被害認定調査のための段階的な調査プロセス

段階的な調査の考え方は被害認定運用指針においても
取り入れられており、判定は第 1 次判定から第 3 次判定
までの 3 段階で実施される。図 3 に判定の流れを示す。
第 2 次判定までは建物の被災度の判断を外観目視によっ
て行い、第 3 次判定で内部立ち入り調査を行う。したが
って、外観目視調査の効率化を図るとともに、より時間
と労力を要する再調査件数を減らすことが目標となる。
被害認定運用指針では、この外観目視調査時にはチェッ
クリストを用いて、基本的には柱や壁などの被害要素に
ついて被害を査定し、それらを積み上げて総合評価を行
う部分被害調査型の手法をとっている。このチェックリ
ストを用いた評価部分について被害パターンチャートを
発展して開発した図 4 の被災度判定チャートを適用す
るところが本提案手法の特徴の一つである。

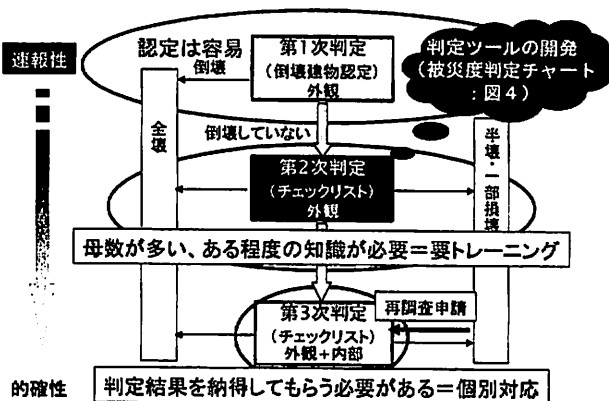


図3 内閣府の被害認定運用指針による判定の流れ
(文献 6) から一部修正の上、再掲)

建物損傷の損失の目安 （補修や再利用に付する経費の割合）		0%	0%～20%	20%～50%	50%以上		
国（内閣府）の被害認定基準 による損傷の判断の目安		補修・再使用可能			補修困難・修復不可能		
国（内閣府）の被害認定基準 による被害程度の目安		無被害	一部損壊	半壊	全壊 （低壊以外）	全壊 （低壊）	
建物損傷度 （ダメージレベル）		D0	D1	D2	D3	D4	D5 D6
被害の特徴		被害なし。	壁面の亀裂・剥落、 屋根瓦のずれ・落下。 （ただし、構造的な被害なし）	屋根瓦が大部分 剥落する。 小屋組が壊れる。 軸組材（柱やはり）が折れる。	構造的な被害が 大きく、住宅に傾 きが見られる。	ある陥がつぶれる。 瓦礫状態になる。	
被害箇所の特徴							
○屋根被害型 屋根瓦が大部分剥落するなどの被害。							
○2階被害型 2階の被害が1階より大きい。							
○1階被害型 1階の被害が2階より大きい。 最も典型的な被害。							
○全体被害型 1階、2階ともに同程度の被害を受ける。							

(岡田、高井⁹⁾による被害パターンチャートをもとに作成)

図4 被害認定調査のための被災度判定チャート
(木造2階建ての場合)

(2) 非専門家による調査のための被災度判定チャート

建物被害パターンチャートは岡田・高井⁹⁾によって開発された主として震動による構造物の上部構造の被害に着目したものや、著者らの研究グループ¹⁾が開発した木造建物の液状化による被害パターンチャートがある。これらのパターンチャートを外観目視による調査を行う際に用いることで、自治体職員のような専門家以外でも比較的簡便に、ばらつきの小さい判定の実施が可能になると考えている。しかし、このチャートは被害認定基準の考え方である経済的被害を考慮して開発されたわけではなく、実際の被害認定調査へ適用するためには、このチャートによる判定が被害認定基準をどのような形で反映しているのか把握する必要があった。

そこで著者ら⁶⁾は、阪神・淡路大震災時に撮影された被害建物の写真をもとに、パターンチャートによる分類結果と被害認定運用指針による判定結果との対応について分析を行った。その結果、いくつかの課題を残しているものの、パターンチャートのダメージグレードと被害認定運用指針の被災度との関係について、D4とD3の間に全壊と半壊の境界が位置し、D3とD2の間に半壊と一部損壊の境界が位置しており、両者に良好な対応が得られたことを明らかにしている。

その結果から、被害パターンチャートを図4に示すような被害認定調査仕様として改良を行い、被害認定調査のための被災度判定チャートを開発した。これは、岡田・高井のチャートをもとに、非専門家が扱うことを考慮して被害パターンの集約化を行うとともに、それぞれの被害について補修の可能性と経済被害程度の意味づけを行っている。

ただし、この被災度判定チャートは厳密に経済被害を評価し、認定基準に相当するのかといった部分では更なる検討の余地を残している。しかし、本研究範囲ではこのようなチャートを非専門家が扱えるかどうか、また扱うことによって専門家と同等の判定を下せるかどうかに着目しているため、大きな問題とはならない。従って、この課題については稿を改めて今後検討していきたい。

4. 被災度判定チャートを用いた調査手法の効果

本章では、被災度判定チャートを用いた調査手法の効果を検証するために、調査の迅速性と正確性を数値化し、被害認定運用指針と比較した場合に、調査全体としてどのような効果や有効性を有しているのかについて、シミュレーションによる検討を行う。

(1) 迅速性と正確性の指標化

検証にあたり、まず調査手法がどのくらいの迅速性と正確性を有しているかを数値化する必要がある。そこで本研究では迅速性の指標として調査効率を、正確性の指標として再調査発生率を採用する。

調査効率とは、通常の建物被害調査の場合、2人1組のように組単位で実施することになるが、この1組の1日あたりの調査可能な建物棟数として定義する。例えば、図5は2003年宮城県北部地震時における応急危険度判定の実施実績を宮城県¹⁰⁾が整理した結果を用いて求めた1組・1日あたりの調査建物数である。この縦軸を調査効率と呼ぶ。

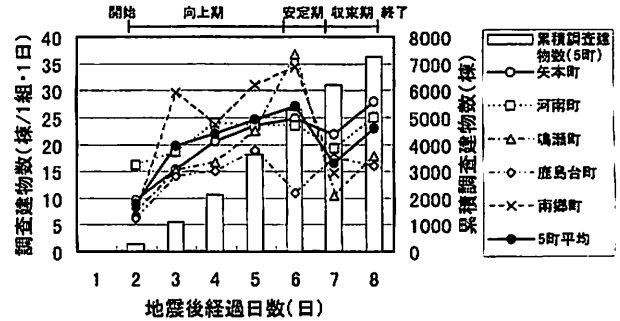


図5 2003年宮城県北部連続地震における宮城県¹⁰⁾の応急危険度判定の実施実績から算定した1組・1日あたりの調査建物数

図5をみると、5町平均の調査開始時の調査建物数は9棟と少ないが、調査を重ねていくと、判定や結果の記入および移動などの最適化が行われ、調査の効率が上がっていく。この時期を調査効率の向上期と呼ぶこととする。その後、5町平均では調査開始後5日目にピークを迎え、27棟まで増加している。本研究では、調査開始直後の効率を開始時調査効率、ピーク時を最大調査効率と定義する。ここで、矢本町を見ると、最大調査効率付近から効率の変動が小さい時期が存在する。この時期を安定期と定義するが、今回の災害では調査対象建物が少ないため、5町平均では明確に確認することができず、ピーク後すぐに効率の低下が始まる。これは調査対象建物の残存数が少なくなると、建物が分散するため効率が低下するものと思われる。この時期を収束期とする。

また、再調査発生率 P_R とは、 N 棟を外観目視で調査した際にエラーが発生して R 棟の再調査依頼があったとき、次式[1]で定義する。

$$P_R = \frac{R}{N} \quad [1]$$

(2) 調査効率のモデル化

前項で説明したように調査効率は時間 t の関数として $f(t)$ で表現することができる。この $f(t)$ を求めることができると、調査に必要な1日あたりの平均人員数や、全調査に必要な延調査人員数を推定することが可能となる。また、さらにそれらの資料からトレーニングの対象者数の推定や、どの程度の精度を確保すべきかなどの設定も可能となる。具体事例は後述のシミュレーションにおいて説明することとし、まずはこの $f(t)$ のモデル化を考える。調査効率関数 $f(t)$ を決定するパラメータとしては以下が考えられる。

- ・ 調査範囲（広いと移動量が増えるなど）
- ・ 調査時期（夏季と冬季など）
- ・ 災害規模
- ・ 調査方法
- ・ 調査建物密度
- ・ 調査人員数（組数）
- ・ 調査員の属性（能力など）

これらのパラメータと調査効率との関係はデータが乏しく不明な点が多いため、今回は調査方法のみを考慮し、

被害認定運用指針と被害判定チャートによる調査方法について調査効率関数のモデル化を行った。

モデル化にあたり、厳密には向上期や収束期における効率の変化率（勾配）は一定ではない。また、安定期においても、調査に熟練した人が途中で不慣れな人と交替するなどの影響により、必ずしも一定とはならないが、今回の検討ではこうした点は考慮していない。また、収束期は残り調査建物の配置に大きく影響を受けるため、今回はモデル化の対象から除いた。したがって、モデル化には、開始時調査効率、最大調査効率、調査期間、向上期の期間に関する設定が必要となった。

図6にモデル化した3種類の調査効率関数を示す。以下に各モデルの構築方法の詳細を記す。

a) 被害認定運用指針による調査方法のモデル化

図6のモデル a), b)は被害認定運用指針による調査方法の調査効率をモデル化したものである。モデル化にあたり、この調査方法は3段階にわかれるが、ここでは1次調査と2次調査を合わせて外観目視調査とした。向上期の有無が与える調査全体の効果への影響度を後述のシミュレーションにおいて比較するため、モデル a)は、向上期の効率変化を考慮した効率変動型、モデル b)は事前の訓練などによって、常に最大効率を発揮できると想定して効率一定型とした。

被害認定運用指針の外観目視調査の開始時調査効率、最大調査効率は、図5の応急危険度判定の5町平均の実施実績を参考にしてそれぞれ9棟と27棟⁽⁵⁾と設定した。2000年鳥取県西部地震時に米子市⁽⁶⁾では、神戸市⁽¹⁾が作成した被害家屋調査要領の一部を改良した方法で調査を行っている。神戸市の被害家屋調査要領による調査方法は、被害認定運用指針の方法とほぼ同様で、チェックリストを用いた部分被害調査型の方式で行われる。米子市では、その方法を用いて外観調査を行った場合、1組・1日あたりの調査棟数は十数棟程度であり、それを考え合わせると最大調査効率が27棟という数字は決して少なくはない。向上期の期間は、今回は図5を参考に調査開始から5日までと設定した。

再調査の最大調査効率は、米子市⁽⁶⁾の内部被害を含めた調査実績を参考にして10棟⁽⁷⁾と設定した。開始時調査効率は図5を参考にして、最大調査効率の約1/3の3棟とした。

調査期間⁽⁸⁾について外観目視調査は約1ヶ月の30日間とした。これは、被災者の情報ニーズとして、地震後1ヶ月程度までに解体か補修かの判断をしている⁽¹²⁾ことを踏まえて設定した。その後、再調査受付期間を約1週間設けて再調査を開始し、その期間は外観目視調査開始から約3ヶ月後に完了するとして54日間とした。

b) DATSによる調査方法のモデル化

図6のモデル c)は被災度判定チャートを用いたDATSによる調査方法の調査効率をモデル化したものである。トレーニングにより常に最大効率を発揮できると想定し、モデル b)と比較するため効率一定型とした。外観目視調査の最大調査効率は60棟とした。これは、著者が写真に撮影された被害建物をパターン分類した場合に、1時間あたり約100棟程度であった実績から、1棟あたりの調査時間を1分、結果の記入や次の建物への移動の時間を5分として1時間あたり10棟程度と設定し、1日6時間の調査で約60棟と推定した結果を用いた。実際に2003年宮城県北部連続地震において日本建築学会⁽¹³⁾の調査隊が岡田・高井⁽⁹⁾の建物被害パターンチャートを用いて調査を行った結果から算定すると、この調査

では、2,617棟の建物を11日間、延37組で判定しており、この場合の調査効率は70.7棟/組・日となる。したがって、60棟は現実的に確保可能な数値と考える。再調査については内閣府の方法を用いるとし、モデル a), b)と同様とした。調査期間についてもモデル a), b)と同じに設定した。

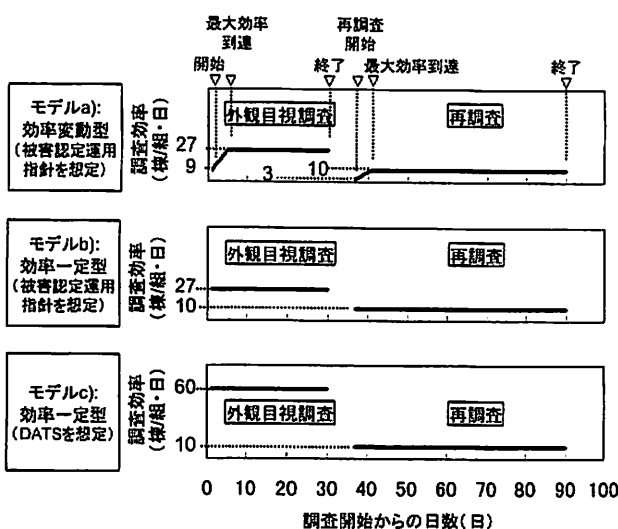


図6 調査方法を考慮した調査効率関数モデル
(モデル a), b)は、被害認定運用指針を想定。モデル c)は DATS を想定。またモデル a)は向上期を考慮。)

(3) 調査人員量に関するシミュレーション

a) シミュレーション条件の設定

前項で構築した調査効率関数を用いて、それぞれの調査手法においてどの程度の調査人員が必要なシミュレーションを行った。シミュレーション条件を表1に示す。調査対象建物数は阪神・淡路大震災時の芦屋市と神戸市の調査棟数に相当する1万6千棟と40万棟の2パターンを想定した。再調査発生率について、被害認定運用指針の場合は前述の米子市⁽⁶⁾での実績に基づいて5.7%とした。被災度判定チャートを用いた場合は、調査を簡略化したことにより、被害認定運用指針よりも精度が低下すると仮定し、10%、20%、30%の3ケースを設定した。

シミュレーション結果を表1に併せて示す。1日あたりに必要な平均調査組数 NPd は、想定調査対象建物数を N 棟とし、調査効率関数を $f(t)$ とすると、次式[2]で求めることができる。

$$NPd = \frac{N}{\int_S^E f(t) dt} \quad [2]$$

ここで、S: 開始時間 (日), E: 終了時間 (日)

b) シミュレーション結果

表1にシミュレーション結果を併せて示す。外観目視調査について、シミュレーション結果を比較するとモデル a)と b)ではほとんど差が見られない。すなわち、調査期間を30日間程度と設定した場合では、最初の向上期を無視してもその影響は小さい。ただし、調査期間をより短く設定した場合はその影響が大きくなる。モデル b)とモデル c)を比較すると、最大調査効率の比がそのまま必要人員の比となり、その結果、40万棟のケースでは、

表1 シミュレーションに関するシミュレーションの条件と結果

シミュレーションモデル			外観目視調査				再調査(内部被害を含む詳細調査)						総合評価
想定調査対象建物数(棟)	モデル名	ケース	調査効率: 開始-最大 (棟/組・日)	設定必要調査日数 (日)	必要調査組数 (1日あたり平均)	必要延調査員数 (人)	再調査発生率 (%)	再調査対象建物数 (棟)	調査効率: 開始-最大 (棟/組・日)	設定必要調査日数 (日)	必要調査組数 (1日あたり平均)	必要延調査員数 (人)	総必要延調査員数 (人)
16,000	a	-	9 - 27	30	20.9	1,255	5.7	912	3 - 10	54	1.75	189	1,443
	b	-	27 - 27	30	19.8	1,185	5.7	912	10 - 10	54	1.69	182	1,368
	c	1	-	-	-	-	10	1,600	-	-	2.96	320	853
	c	2	60 - 60	30	8.89	533	20	3,200	10 - 10	54	5.93	640	1,173
400,000	a	-	9 - 27	30	523	31,373	5.7	22,800	3 - 10	54	43.6	4,713	36,085
	b	-	27 - 27	30	494	29,630	5.7	22,800	10 - 10	54	42.2	4,560	34,190
	c	1	-	-	-	-	10	40,000	-	-	74.1	8,000	21,333
	c	2	60 - 60	30	222	13,333	20	80,000	10 - 10	54	148	16,000	29,333
		3					30	120,000			222	24,000	37,333

表2 阪神・淡路大震災における被害認定調査の実績

実績		外観目視調査				再調査(内部被害を含む詳細調査)						総合評価
調査棟数(棟)	自治体名	調査効率 (棟/組・日)	調査日数 (日)	調査組数 (1日あたり平均)	延調査員数 (人)	再調査発生率 (%)	再調査対象建物数 (棟)	調査効率 (棟/組・日)	調査日数 (日)	調査組数 (1日あたり平均)	延調査員数 (人)	総延調査員数 (人)
16,775	芦屋市	55.9	3	100	600	31.0	5,198	10.0	402	1	1,040	1,640
398,000	神戸市	221.1	6	300	3,600	15.3	61,000	8.7	54	130	14,000	17,600

1ヶ月間の延調査人員数で約1万6千人の差が生じる事になる。

次に再調査を加えて調査全体の効率を比較する。外観目視調査での調査精度が高いと仮定した被害認定運用指針では、再調査単独では件数が少なく、必要な調査人員も少なくなるが、総合評価では、再調査率を20%に設定したモデルc)-2よりも多くの人員を必要とすることが分かる。

c) 阪神・淡路大震災での調査実績

では、実際にはどのくらいの人員を要したのであろうか。表2に阪神・淡路大震災での芦屋市⁽⁹⁾と神戸市⁽¹⁴⁾の実績を示す⁽¹⁰⁾。芦屋市における外観目視調査の調査効率は、55.9棟で、再調査発生率は31.0%であった。すなわち、シミュレーションの1万6千棟を対象とした場合のモデルc)-3とほぼ同程度である。したがって、シミュレーションで推定された必要人員数とほぼ同じ人員を要したわけであるが、再調査に1年以上を費やしており、なかなか収束しなかったケースであったことがうかがえる。

神戸市の調査効率は文献14)から算定したものであるが、1日に1組あたりの調査棟数が約221棟と驚異的な数字が求められた。これは1日8時間調査を行ったとして1時間あたりでは30棟程度実施したことになる。その結果、大幅に人員を削減することができ40万棟を対象とした場合のモデルc)-1よりも効率が良かった事になった。ただし、再調査に動員された延人数は1万4千人で、外観目視調査の3.8倍と負担が大きく、芦屋市に比較すると再調査発生率は低かったものの、調査母数が多い大都市では、一層の再調査発生率の低減が求められる。

d) シミュレーション結果の考察

以上の結果を考察すると、段階的な調査全体の効率化を図るためには、外観目視調査の効率を下げて精度を必要以上に上げるよりも、ある程度の精度を確保して誤差を許容しながら調査効率を上げるといった考え方が重要であることが明らかとなった。したがって、今後トレーニングを行う際には、再調査の負担を外観目視調査よりも軽減するために、調査効率を損なわない範囲で阪神・淡路大震災時よりも外観目視調査の精度を向上させる必要がある。その精度の数値目標として、非専門家が調査

しても再調査発生率で10%以下程度を確保できるようにしたいと考える。

e) 必要トレーニング対象者数の推定

表1より最低限必要なトレーニングの対象者数を推定することができる。40万棟を対象とした場合のモデルc)では、外観目視調査の1日あたりの平均必要調査組数は222組である。2人1組と考えると1日平均444人が調査に必要となる。さらに調査員の健康や安全性を考慮して3交代制を設定すると、1,332人以上に対してトレーニングが必要となる。また、再調査では被災者の納得を得るために専門家の同行が望ましいが、その場合の必要な専門家の人数は、モデルc)-1のケースで1日あたり1組に1人が必要と算定すると、平均で74人必要となる。このような推定を被害想定結果を踏まえて行うことで、事前の調査計画の策定や体制づくりにも役立ち、それが更なる効率化に結び付くものと思われる。ただし、今回の検討では調査方法のみを考慮して調査効率のモデル化を行っている。また、実際に行われた調査事例に基づいて構築しているものの、モデル化には様々な仮定を設定している。したがって、調査体制を検討するにあたり、高精度な推定が必要となる場合には、より精緻なモデルを構築することが課題となる。

5. 非専門家による判定の精度に関する実験

前章では、調査全体の効率化を図るために、外観目視調査において、ある程度の精度は確保する必要があることが明らかとなった。目標としては、効率を損失させることなく、再調査発生率で10%以下となるようにしたい。そこで、非専門家がどのような判定能力を有しているのかを把握するために、被災度判定の精度に関する実験を行った。

(1) 実験の概要

阪神・淡路大震災時に撮影された建物の被害写真を見て、①被災度判定チャートを用いて判定を行うことによ

り、専門家ではない人が専門家と同じ判定を下すことが可能かどうか、②判定ポイントをトレーニングして判定を繰り返すことによりどの程度の効果が得られるのか、を把握するために実験を実施した。実験は大学生を対象に計3回実施した。計3回の実験結果から、判定の正確性と判定のばらつきといった判定精度に関する測定を行い、被災度判定チャートを用いたトレーニング効果の検証を行った。また、実験を通してトレーニング全体に関する時間配分や判定ツールの適用性に関する情報を得ることを併せて目的とした。写真1に実験風景を示す。

(2) 実験条件と測定項目

各実験条件を図7に示す。実験1、実験2は2003年9月25日に14名の学生に対して、実験3は2003年12月2日に158名の学生に対して富士常葉大学において実施した。主な使用器具類はノートパソコン1台、プロジェクター1台、判定用被害写真セット、図4の被災度判定チャート、および判定結果記入用のシートである。

(3) 実験手順と測定項目

実験フローを図8に示す。

標準刺激はプロジェクターを通して、比較刺激は写真1枚ずつをA4用紙に印刷して提示した。標準刺激の提示時間は、1枚あたり2秒である。被災度は、図4の被災

度判定チャートを用いて無被害(D0)、一部損壊(D1、D2)、半壊(D3)、全壊(D4)、層破壊(D5以上)の5段階の被害レベルに分類した。

実験に使用した写真セットの構成を表3に示す。標準刺激用の写真セットは30枚であり、D0～D4および、D5以上の被害レベルから各5枚ずつで構成されている。比較刺激用の写真セットは1セット60枚で計4セットを構築し、D0～D4および、D5以上の被害レベルから各10枚ずつを含んでいる。これらの写真セットは、1,536枚のトレーニング用被害写真群⁶⁾から木造2階建てを無作為に抽出して構築されたものである。

測定項目について、図7に示すように実験1は3グループに別れ、表3のようにグループA～Cは使用写真の内容は同じで写真の提示順序のみを変え、刺激の提示順序の影響を測定することを目的とした。実験2は実験1に引き続いて行い、実験1に対する解答・討議を通して、専門家の判定ポイントをトレーニングし、その効果を測定した。実験2のグループDに使用した写真は、グループA～Cとは異なる写真をトレーニング用被害写真群から無作為に選定した。実験3では実験1、実験2の結果を考慮して手法の改良を行い、実験1、実験2とは異なる学生を対象として、改良判定手法の効果を測定した。実験3のグループEに使用した写真は、内容、提示順序ともにグループAと同じである。

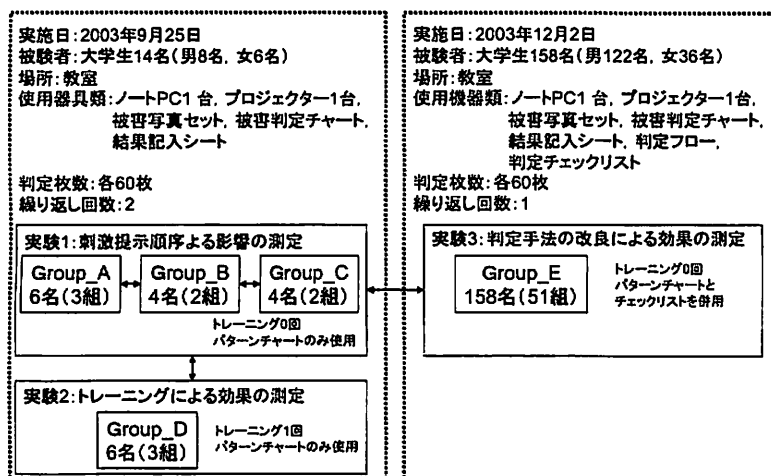


図7 実験条件

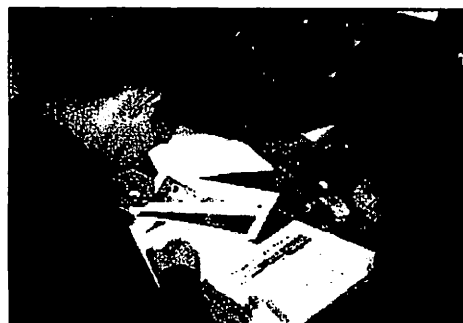


写真1 実験（トレーニング）の様子

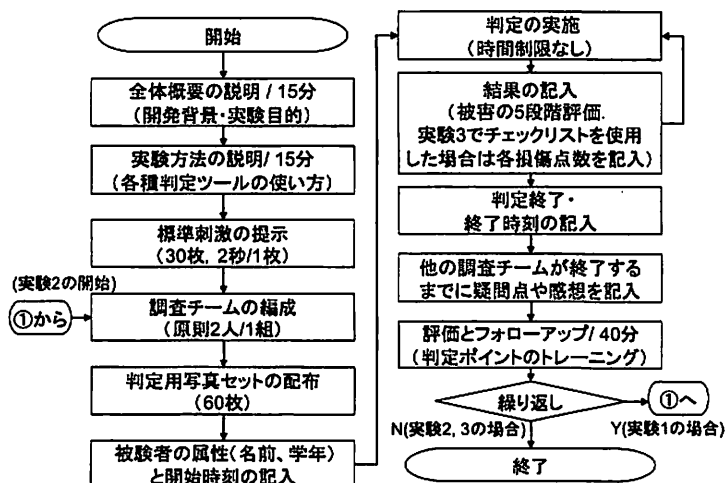


図8 実験フロー

表3 使用写真セットの構成

実験 Group	標準刺激	比較刺激
A	30枚。(各被害レベル5枚)	60枚。(一部損壊のみ20枚、他は各10枚)
B	Aと同じ。	Aと同じ写真。提示順序をA,Cと変更。
C	Aと同じ。	Aと同じ写真。提示順序をA,Bと変更。
D	-	実験1と異なる写真60枚。
E	Aと同じ。	Aと同じ。

(4) 実験結果

a) 実験 1

グループ A～C の判定結果について、専門家の判定と一致した場合を正解とみなし、各グループの正解率を被害レベル (D0～D5) 別にまとめたものを図 9 に示す。図をみると、このグループ間では大きな差は見られない。サンプル数が少ないという問題があるが、グループ間で有意な差がみられるのかどうかについて、この平均正解率をもとに分散分析を行った。その結果、分散比は 0.028 で、5%有意水準の F 境界値は $F_{(2,4)}=6.944$ であるため、差がないという帰無仮説が支持された。以上の結果より、写真の提示順序を変えたグループ A～C の判定結果には差がないと判断した。

実験 1 の全結果について、建築の専門家 2 名が判定した結果との対応を表 4 に示す。平均正解率は 68.3%であった。被害レベル別に専門家との判定が一致した正解率をみると、D0 (無被害) が最も高く、次いで D4 (全壊)、D5 以上 (層破壊) となった。

判定の被害レベル毎のばらつきをみるため、判定結果の数量化を行った。数量化を行うにあたり、無被害から層破壊までのそれぞれの経済被害を、被害認定基準³⁾が定義している経済被害を損害割合で表した指標を参考にして、表 5 のように読み替えた。その上で平均、分散、標準偏差を以下の式[3],[4],[5]を用いて算出した。

$$\text{平均経済被害} = (\Sigma 0.01 \text{無被害} + \Sigma 0.10 \text{一部損壊} + \Sigma 0.35 \text{半壊} + 0.65 \text{全壊} + \Sigma 0.90 \text{層破壊}) / \text{全判定棟数} \quad [3]$$

$$\text{分散} = \frac{\Sigma (\text{各損害割合} - \text{平均経済被害})^2}{\text{全判定数} - 1} \quad [4]$$

$$\text{標準偏差} = \sqrt{\text{分散}} \quad [5]$$

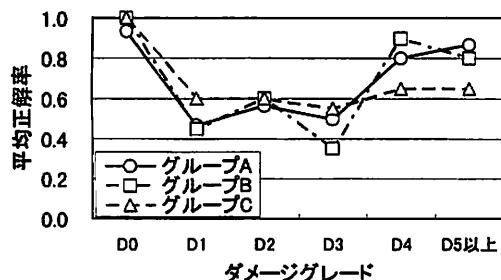


図 9 グループ A～C のダメージグレード別平均正解率

表 4 実験 1 の結果一覧

		無被害	一部損壊	半壊	全壊	層破壊	不明	正解率	標準偏差
専門家による判定	D0	68	0	0	2	0	0	0.97	0.11
	D1	24	35	5	6	0	0	0.50	0.18
	D2	0	41	24	4	1	0	0.59	0.18
	D3	0	21	33	14	2	0	0.47	0.21
	D4	1	1	11	55	2	0	0.79	0.15
	D5以上	0	0	3	12	55	0	0.79	0.14

表 5 被害程度の経済的被害度への読み替え

被害程度 (損害割合※)	経済的被害
無被害 (0%)	0.01
一部損壊 (0%以上～20%未満)	0.10
半壊 (20%以上～50%未満)	0.35
全壊 (50%以上～80%未満)	0.65
層破壊 (80%以上～100%)	0.90

※被害認定基準では全壊と層破壊の区別がなく、損害割合は不明であるため、岡田・高井⁹⁾のダメージインデックスを参考にして決定した。

標準偏差を判定のばらつきを表す指標とみると、最も大きいのは D3 (半壊) であり、ついで D1, D2 (一部損壊) となった。なお、実験 1 で要した判定時間は、60 棟の判定で 20 分～40 分であった。

b) 実験 2

実験に先立ち、図 10 を用いて専門家の判定ポイントを説明し、そのポイントの視点から実験 1 の結果について解答と解説および質疑討論を行った。実験 2 の判定結果について、建築の専門家が判定した結果との対応を表 6 に示す。判定時間は実験 1 と同程度であった。

精度については、D1～D3 の正解率が上がり、標準偏差 (ばらつき) が小さくなった。また、判定が専門家と 2 段階以上異なるケースが見られなくなった。平均正解率は 78.9%と向上している。

しかし、他と比較すると依然として D3 の正解率が低くばらつきが大きい。この原因を分析すると D3 を D2 と過小評価してしまうケースが多いことが判明した。D2 と D3 の境界は支援を受けられるかどうかの境界であるため、実務ではこのエラーが最も問題になる。本実験では、この D2 と D3 の判別を建物全体のゆがみから判断することとし、最終的には図 4 の被災度判定チャートと照合して、より近いものに判別するようにしていた。図 4 のチャートではこの境界を構造的被害の有無で区分しているが、木造建物の構造的被害を外観目視から判断する場合、基礎の埋まっている部分や内壁、あるいは外部から見えない柱は評価することができない。そこで外部から判断可能な部材の被害から客観的に構造被害の有無を推察する方法を検討する必要がある。

c) 実験 3

実験 2 の結果から、図 10 の専門家の判定ポイントをフロー化したツールは有効であったと思われる。そこで、本実験では判定を開始する前にそのポイントの説明を行った。また、D2 と D3 の境界を客観的に判別するために、手法を改良し、図 11 に示すチェックリストを作成した。

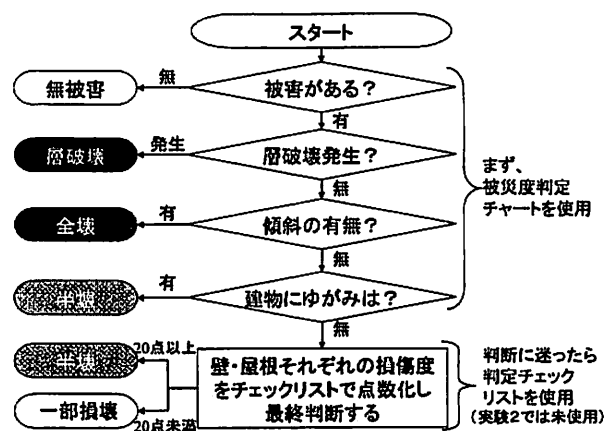


図 10 専門家の判定ポイント

表 6 実験 2 の結果一覧

		無被害	一部損壊	半壊	全壊	層破壊	不明	正解率	標準偏差
専門家による判定	D0	30	0	0	0	0	0	1.00	0.00
	D1	3	28	1	0	0	0	0.87	0.05
	D2	0	25	5	0	0	0	0.83	0.09
	D3	0	13	18	1	0	0	0.53	0.15
	D4	0	0	5	23	2	0	0.77	0.14
	D5以上	0	0	0	8	22	0	0.73	0.11

屋根	屋根として機能していない部分(損傷部分)の屋根全体に対する割合	損傷の具体的様子	損傷点数
	10%以下	棟や軒先にわずかにずれやはがれが見られるもの	1
	10%を超え20%以下	棟や軒先の一部にずれやはがれが見られるもの	2
	20%を超え30%以下	棟や軒先の各所にずれやはがれが見られるもの	4
	30%を超え60%以下	棟や軒先にずれやはがれが著しく、葺材(瓦など)の一部に落下が見られるもの	7
	60%を超え90%以下	棟や軒先にずれやはがれが著しく、葺材(瓦など)の落下が各所にかなり見られるもの	11
	90%を超える	屋根全体の形状と葺材(瓦など)の落下が著しく見られるもの	15
壁	壁として機能していない部分(損傷部分)の壁全体に対する割合	損傷の具体的様子	損傷点数
	10%以下	ひびわれや剥落が一部に見られるもの	4
	10%を超え20%以下	ひびわれや剥落が一部にかなり見られるもの	13
	20%を超え30%以下	ひびわれや剥落が各所に見られるもの	21
	30%を超え60%以下	ひびわれや剥落が各所にかなり見られるもの	38
	60%を超え90%以下	ひびわれや剥落が各所に著しく見られるもの	63
	90%を超える	ひびわれや剥落が全面的に見られるもの	85

図 11 判定チェックリスト

このチェックリストは、被害パターンチャートを用いた判定と対応が良かった神戸市¹¹⁾の被害家屋調査要領を参考に作成した⁶⁾。このチェックリストでは、調査効率を損なわないため、チェックポイントを簡単にし、今回評価する構造部材は屋根と壁のみとした。使用方法について、まず、それぞれの構造部材として機能していない部分の全体に対する割合(損害割合)を写真から判断し、または、被害の具体的様子と最も一致している状態を判断して、損傷点数を求める。被害の具体的様子は日本損害保険協会¹⁵⁾の地震保険損害査定指針を参考にして作成した。損傷点数は、損害割合に構成比を乗じて算定したものである。構成比は、柱と基礎の被害は壁に含む形とした結果、屋根と壁についてそれぞれ15%と85%とした。最終的に屋根と壁の損傷点数を合算した総合点から半壊と一部損壊を判別する。総合点50点以上では全壊となるが、今回は被災度判定チャートで判断可能な部分とチェックリストが機能した効果を明確に区別するため、50点以上の場合でも半壊として判定するようにした。ここで専門家がこの手法で判定した場合、D3には50点以上となるケースは存在しておらず、専門家により被災度判定チャートを用いて一部損壊または半壊と判定された建物は、このチェックリストを用いても同じ被災度となる。

なお、この方法では、チェックリストの評価項目や評価点数を内閣府の被害認定運用指針に合わせて変更することにより、内閣府の基準に準じた判定結果を導出することが可能となる利点を有している。

実験3の判定結果を表7に示す。実験3では、表4の実験1の結果と比較すると、D1～D3について正解率の向上が見られた。標準偏差(ばらつき)については、同程度であった。また、被災度判定チャートのみで判断可能な被害レベルであるD0、D4、およびD5以上の正解率は下がり、標準偏差が大きくなっている。これは実験1に比べて、被験者人数が多くなり、実験方法やポイントの説明などが聞き取りにくくなり、あるいは標準刺激として映写した写真が見えにくくなるなどの実験条件の影響が要因として考えられる。

51組の調査チーム別の正解率を分析すると、最低正解率は28.3%、最高正解率は85.0%であり、同じ条件で実施したにもかかわらず大きな差が見られた。平均正解率は62.5%であった。判定時間は15～47分、平均31分であり、平均時間は実験1、実験2と同程度であった。

表 7 実験3の結果一覧

	無被害	一部損壊	半壊	全壊	層破壊	不明	正解率	標準偏差
専門家による判定								
D0	419	18	20	47	2	4	0.83	0.20
D1	124	254	51	66	7	8	0.51	0.22
D2	24	326	103	45	7	5	0.65	0.19
D3	5	128	261	97	11	8	0.52	0.20
D4	12	43	94	329	23	9	0.66	0.21
D5以上	10	15	37	92	348	8	0.69	0.23

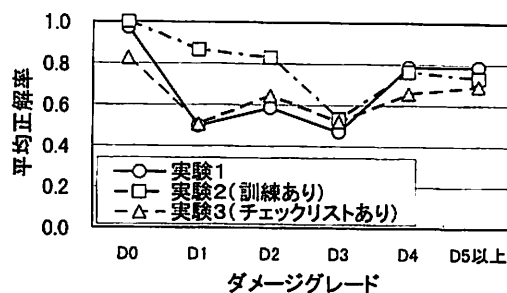


図 12 実験1～3のダメージグレード別平均正解率

(5) トレーニング効果の検証

図12に実験1～3の実験結果について、被害レベル毎の正解率を示す。ここで、トレーニングおよびチェックリストを用いた効果を検証するために、正解率を従属変数とした2要因の分散分析をおこなった。要因は被験者内要因としてD0～D5の被害レベルを設定し、被験者間要因としてトレーニングの有無(実験1と実験2)および図11のチェックリストの有無(実験1と実験3)として分析を行った。

a) トレーニングの効果

実験1と実験2に関して、2要因の分散分析を行った結果、トレーニングによる効果はF値3.77で、自由度(1, 60)の10%有意水準で棄却され、有意傾向はみられた。被害レベルについては、F値は5.53であり、自由度(5, 60)の5%水準で有意であった。トレーニングと被害レベルの交互作用はF値1.54であり5%水準で有意な差は確認できなかった。

以上より、トレーニングによる効果は確認されたものの十分な効果までは得られなかった。図12をみると、1回限りのトレーニングでは、半壊以上(D3以上)の被害に対して効果が現れておらず、今後、この部分の精度を強化するために、トレーニング回数を増やすなど訓練手法を改善する必要がある。

b) 判定チェックリストの効果

実験1と実験3に関して、同様の検証を行った。チェックリストによる効果について、検定の結果、F値は1.75で、有意傾向はみられなかった。また、被害レベルについては、F値は12.3であり、5%水準で有意となった。チェックリストと被害レベルの交互作用はF値1.03で、5%水準で有意ではなかった。

このように、チェックリストを用いた改良手法については効果が確認できず、本手法において正解率を高めるには訓練が不可欠であるということが明らかとなった。

6. まとめ

自治体では、建物の非専門家である自治体職員が実施するり災証明書発行のための被害認定調査に関して、被害認定運用指針の考え方を準用しつつ、明瞭簡潔で公平性と迅速性と兼ね備えた調査手法の利用を希望している。

この相矛盾するニーズを踏まえて、本研究では、これまで開発を進めてきた DATS の調査手法や訓練手法の効果を、シミュレーションおよび非専門家に対する訓練を通して検証を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 非専門家でも比較的簡便に調査の実施を可能とするため、非専門家が扱うことを考慮した被害認定調査のための被災度判定チャートを提案した。
- (2) 迅速性の指標として調査効率に着目し、被害認定運用指針と被災度判定チャートによる調査方法について、時間経過を考慮した調査効率関数のモデル化を行った。
- (3) 構築した調査効率関数を用いて、調査人員に関するシミュレーションを行った結果、段階的な調査プロセスによる調査方法の場合、外観目視調査の精度を必要以上に上げるよりも精度を確保しながら効率を上げることが、調査全体の効率を図る上で重要であることを明らかにした。
- (4) 調査精度の指標となる再調査発生率について、トレーニングにより非専門家が確保しなければならない数値目標を、実務の要求に合うように設定した。
- (5) トレーニングの対象者数や、再調査で必要とされる専門家数の推定方法を提示した。
- (6) 被災度判定チャートを使用して非専門家が判定した場合、無被害、全壊、半壊に関する判定精度は良好な結果が得られた。一方、一部損壊と半壊の判別が難しいことが明らかになった。
- (7) 訓練による判定精度の向上を確認することができた。
- (8) 非専門家の判定精度を向上し、ばらつきを小さくするためには繰り返しによるトレーニングが不可欠であることを明らかにした。

今後、より効果的なトレーニングを実施するための検討課題として、①標準刺激の提示量と提示時間の最適化、②比較刺激内容と比較刺激量の最適化、③繰り返し回数の最小限化、④トレーニング順序の最適化、⑤トレーニング人数の最適化などに取り組む予定である。

謝 辞

本論の執筆にあたり、2 章のヒアリングでは釜石市総務企画部消防防災課山崎義勝課長、菊池久彦防災係長、松井英士主事より貴重な資料とご意見を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

補 注

- (1) 全壊、半壊などの判断は、建物の被害状況を根拠として、最終的に家が壊れていて住めなければ全壊、修復しなければ住めない場合は半壊、建物に何らかの被害が発生していれば一部損壊とした。判定が難しいケースは、一部損壊と半壊の境界や、地盤崩壊を伴う場合が挙げられた。
- (2) 電話通報は計 260 件あったが、共同住宅やアパートなどの集合住宅からの調査依頼はなく、戸建て住宅が主体であった。
- (3) リ災証明書は原則として 1 世帯あたり 1 枚の発行であったが、同世帯で別人が申請してきた場合は発行するケー

スもあった。リ災証明書の利用について、支援策が被害と連動したのは、見舞金の支給、国民年金保険料の免除、介護保険料の減免であった。

- (4) ヒアリング後に実施した補足調査によると、この記録票は被害が比較的小さかった事由により、実際には追跡調査を行って復旧状況まで記録された世帯は無い。
- (5) 最大調査効率の 27 棟とは、1 日の調査時間を 6 時間とすると、1 時間あたり約 4.5 棟、1 棟あたりの調査は 15 分程度に相当する。
- (6) 2001 年 2 月に米子市総務部に対して実施した被害調査に関するヒアリング結果およびご提供いただいた資料による数値である。米子市では、申請ベースで調査を実施しており、再審査件数は半壊以上の自己申告があった 2,275 件（罹災証明発行件数 6,849 件）に対し 130 件（約 5.7%）発生している。
- (7) 再調査時における最大調査効率の 10 棟とは、1 日の調査時間を 6 時間とすると、1 時間あたり 1.7 棟という計算になる。
- (8) 調査期間の設定は調査と関連する他の計画を考慮して、各自治体において適切に設定することになる。ここで例えば、期間を本研究よりも短く設定した場合は、1 日あたりに必要な平均調査組数は増加するが、延調査員数については効率一定型の場合、期間の影響を受けない。
- (9) 1999 年 10 月に芦屋市総合本部に対して実施した被害調査に関するヒアリング結果から算定した数値である。
- (10) 芦屋市、神戸市ともに調査棟数は木造建物以外を含む市内全域の調査建物数である。

参考文献

- 1) 小椋山雅之他：災害対応としての建物被害認定過程に関する研究，日本建築学会構造系論文集，No.531，pp.189-196，2000。
- 2) 堀江啓他：震災時における木造建物の被害調査手法の開発－調査目的と調査項目－，地域安全学会論文集，No.2，pp.139-144，2000。
- 3) 堀江啓他：震災時における建築物の被害調査手法の開発－公的機関による建物被害調査の課題－，比較防災学ワークショップ，No.1，pp.195-202，2001。
- 4) 堀江啓他：液状化を誘因とする木造戸建住宅の被害に関する調査手法の開発－鳥取県西部地震における被害形態と補修費用－，地域安全学会論文集，No.3，pp.73-80，2001。
- 5) 内閣府：災害に係わる住家の被害認定基準運用指針，2001。
- 6) 堀江啓他：外観目視による建物被災度評価手法の検討－建物被災度判定トレーニングシステムの構築－，地域安全学会論文集，No.4，pp.167-174，2002。
- 7) Horie, K. et al.: Framework for Damage Assessment Training System, Proceedings of 8th International Conference on Structural Safety and Reliability, 2001. (CD-ROM)
- 8) 豊島榮一：罹災証明の発行について，建築防災，日本建築防災協会，通巻 312 号，pp.36-41，2004。
- 9) 岡田成幸，高井伸雄：地震被害調査のための建物分類と破壊パターン，日本建築学会構造系論文集，No.524，pp.65-72，1999。
- 10) 樋口政志：宮城県北部連続地震における応急危険度判定業務，建築防災，日本建築防災協会，通巻 313 号，pp.14-25，2004。
- 11) 神戸市防災会議：被害家屋調査要領
- 12) 木村玲歌他：阪神・淡路大震災の被災者の移動とすまいの決定に関する研究，地域安全学会論文集，No.1，pp.93-112，1999。
- 13) 佐藤健：建築物被害調査報告－悉皆調査による面的な被害分布－，建築防災，日本建築防災協会，通巻 312 号，pp.31-35，2004。
- 14) 神戸市震災復興本部総括局復興推進部企画課：神戸復興誌，2000。
- 15) 日本損害保険協会：地震保険損害査定指針，1991。

(原稿受付 2004.5.21)