

### 3.1.3.2 室内総合安全診断ソフトウェアの開発

#### 目 次

##### (1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5 ヶ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
- (e) 平成18年度業務目的

##### (2) 平成18年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
- (c) 業務の成果
  - 1) Web 簡易版室内危険度診断ソフトウェアのバージョンアップ
  - 2) 負傷者発生確率モデルと室内安全化規準の提案
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (e) 引用文献
- (f) 成果の論文発表・口頭発表等
- (g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

## (1) 業務の内容

(a) 業務題目 室内総合安全診断ソフトウェアの開発

(b) 担当者

所属	役職	氏名
名古屋工業大学大学院工学研究科	教授	岡田成幸
(株) 日立東日本ソリューションズ ビジネスソリューション本部 ナレッジソリューショングループ	技師	高梨勝敏
同	主任技師	佐藤俊也
(株) 日立東日本ソリューションズ 事業企画本部 事業企画部	技師	阿部郁男
同	技師	小野さおり
同	部長	村上仁
(株) 日立東日本ソリューションズ 技術本部 情報システム部		小林 正忠
北海道大学大学院工学研究科	大学院生	名知典之

(c) 業務の目的

地震時において室内が家具転倒等により乱雑化することが原因の人的被害を軽減するための手法として、地震で揺れている最中及び避難時における安全空間／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そして改善のための室内利用計画支援のソフトウェアを開発することを目的とする。室内危険度は揺れの強さ・家具配置・居住者の災害対応行動能力・ライフスタイル等々の総合として測られるべきものである。本研究はそれらの総合性に斟酌した実用性の高いソフトウェアとして完成させる。

(d) 5 (あるいは計画年数) ヲ年の年次実施計画 (過去年度は、実施業務の要約)

1) 平成14年度：(実施業務の要約)

室内安全診断ソフトウェアのプロトタイプ提案

初年度は、上記業務目的にかなう室内危険度診断ツールの開発を目的とし、その基本となる診断アルゴリズムを提案した。地震による負傷を防ぐには、「揺れている最中の身を守る行為」と「揺れ停止後の避難移動行為」に関し、その安全性・危険性に配慮する必要がある。本研究では、前者に関し家具転倒と人間の災害回避行動能力との関係で室内の危険箇所をゾーニングする「室内ゾーニング法」を提案し、後者に関しては避難移動する際の避難ルートの危険性をネットワーク解析する「避難路ネットワーク法」を提案した。

## 2) 平成15年度：(実施業務の要約)

### 診断ソフトウェアの精緻化。特に人的被害評価のバージョンアップ

地震時の室内危険に関する診断結果を、住人にとり分かり易くかつ減災対策へ繋がる効果的な情報のあり方を検討した。従来、室内のあるグリッドにおける危険度を確率として与えていたが、地震時にそのグリッドにいたとしたならどのような被害状況が発生し、それに伴ってどのようなけがをする可能性が高いかを負傷内容で表現し、その負傷に対する必要な医療行為を併せて表示することを試みた。そのための新しい負傷尺度と家具に関する損傷度関数を提案した。さらに、診断ソフトウェアのWeb化に向けて、Java アプレットにより画面構成を検討した。加えて、年度中に発生した十勝沖地震の主要被災地において、室内被害と住人の行動の実態調査を行い、室内散乱に伴う負傷の発生閾値を確認した。これにより、地震から安全に暮らすための基準を設定することが可能となった。

## 3) 平成16年度：(実施業務の要約)

### 診断ソフトウェアのWeb版の開発

地震で揺れている最中の室内における家具転倒・散乱による負傷危険度低減を目的とし、安全な家具レイアウトをシミュレーションするソフトウェアの開発を進める一方、インターネットウェブ上で公開できるよう、Web版のプログラム開発を行った。また、地震時の室内危険は家具転倒という物理的側面のみならず、住人の即座の行動の如何が大きな要因として働いていることを、昨年度実施した2003年十勝沖地震の室内行動実態調査の収集資料を用いてマイクロ解析より検証し、より安全に暮らすための対策規範を探り、室内の安全性向上の実現のための次なる策の検討を行った。

## 4) 平成17年度：(実施業務の要約)

### 診断ソフトウェアのWeb版の開発と公開

地震で揺れている最中の室内における家具転倒・散乱による負傷危険度低減を目的とし、安全な家具レイアウトをシミュレーションするソフトウェアの開発を進めた。診断システムをインターネット上で公開すべく、従来版に種々の工夫を加え2005年9月1日に株式会社日立東日本ソリューションズのホームページに公開した。アクセス数は公開後6ヶ月を経てもなお月平均4,000件以上維持しており、その関心の高さが伺われる。

また、2004年発生の新潟県中越地震の被災世帯聞き取り調査を実施し、適正な室内家具配置密度や中廊下型間取り計画の負傷回避優位性が検証され、室内の安全性向上の実現に果たす建築計画的側面の重要性が確認された。

## 5) 平成18年度：

診断ソフトウェアのWeb版のバージョンアップと室内安全化の規準提案、およびその理論的裏付けとなる負傷発生確率モデルの構築。

### (e) 平成18年度業務目的

室内診断ソフトウェアのWeb版の改良を行う。防災教育上の活用性を高めるべく操作性の向上に加え、当該地域の揺れの強さを地震ハザードステーションで公開されている日本

を概観した確率論的地震動予測図から取得できるように、Web 間の連携を試みる。また、建物構造・階数・建築年による建物の揺れの違いを自動的に考慮し、診断結果に反映できるように工夫を行う。また、建物の簡易耐震診断も行えるようにし、揺れの大きさを考慮することにより住家の損傷状態も診断することができる総合ソフトウェアとして完成度を高める（この機能は、本事前対策プロジェクトの 3.1.2.1 章「木造建築物を対象とした簡便かつ高精度な耐震診断技術の開発の成果を Web 化したものである」）。

さらに、安全に暮らすための室内安全化の規準を提案し、その理論的裏付けとなる負傷発生確率モデルを構築する。

## (2) 平成 18 年度の成果

### (a) 業務の要約

昨年度、ホームページ上で無償公開した Web 簡易版室内危険度ソフトウェアについて、ユーザの利便性向上や防災教育での活用性を進めるため、操作性の改善と機能追加を行った。地震ハザードステーション J-SHIS や電子国土とも連携させ、地域で想定される地震の情報を容易に取得できるようになった。更に、住家の簡易被害診断のソフトウェアもホームページ上で公開し、“防災お役立ちネット”として総合的な診断を行えるソフトウェアとなった。

また、室内散乱による負傷発生を避けるためには家具密度を押さえる必要があり、その閾値を 0.3 個/m<sup>2</sup>（建物延べ床面積当たり 0.25 個/m<sup>2</sup>、部屋床面積当たり 0.42 個/m<sup>2</sup>）とする安全化規準を提案し、その理論的背景と閾値が意味するところを考察し、室内が散乱することによる負傷者発生を低減するための規準づくりの根拠を提示した。

### (b) 業務の実施方法

業務を円滑かつ遅滞なく遂行すべく、以下のごとく業務分担を行った。次節からの業務の成果の執筆分担者も同様である。

- ・ Web 簡易版室内危険度診断ソフトウェアのバージョンアップ
  - 阿部郁男（(株) 日立東日本ソリューションズ）
  - 高梨勝敏（同上）
  - 佐藤俊也（同上）
  - 小野さおり（同上）
  - 小林正忠（同上）
  - 村上仁（同上）
  - 岡田成幸（名古屋工業大学大学院工学研究科）
- ・ 負傷者発生確率モデルと室内安全化規準の提案
  - 岡田成幸（名古屋工業大学大学院工学研究科）
  - 名知典之（北海道大学大学院工学研究科）

(c) 業務の成果

1) Web 簡易版室内危険度診断ソフトウェアのバージョンアップ

a) Web 簡易版室内危険度ソフトウェア開発の概要

平成 18 年度は、2005 年 9 月 1 日からホームページ上 (<http://www.hitachi-to.co.jp>) で無償公開した Web 簡易版室内危険度ソフトウェアの機能追加を行った。特に、ユーザの利便性向上や防災教育での活用性を考慮した機能追加を行い、地震ハザードステーション J-SHIS や電子国土と連携した“防災お役立ちネット”として地域で想定される地震被害に対応したソフトウェアとなった。更には、住家の簡易被害診断（「木造建築物を対象とした簡便かつ高精度な耐震診断技術の開発」における損傷度関数導出の成果）も行うことがホームページ上でもできるようになり、室内から建物までを総合的に危険度診断が行えるソフトウェアとなった。

b) Web 簡易版室内危険度ソフトウェア機能の追加と改良

i) 想定される地震データとの連動

昨年度公開版ではユーザが任意の震度情報を設定していたが、今回の開発で（独）防災科学技術研究所 地震ハザードステーション J-SHIS から公開されている地震データとの連携を実現させた。更には、国土地理院の電子国土ポータルと連携することによって、地域で想定される地震（震度）を容易にシステムの入力データとして取り込むことが可能となった。

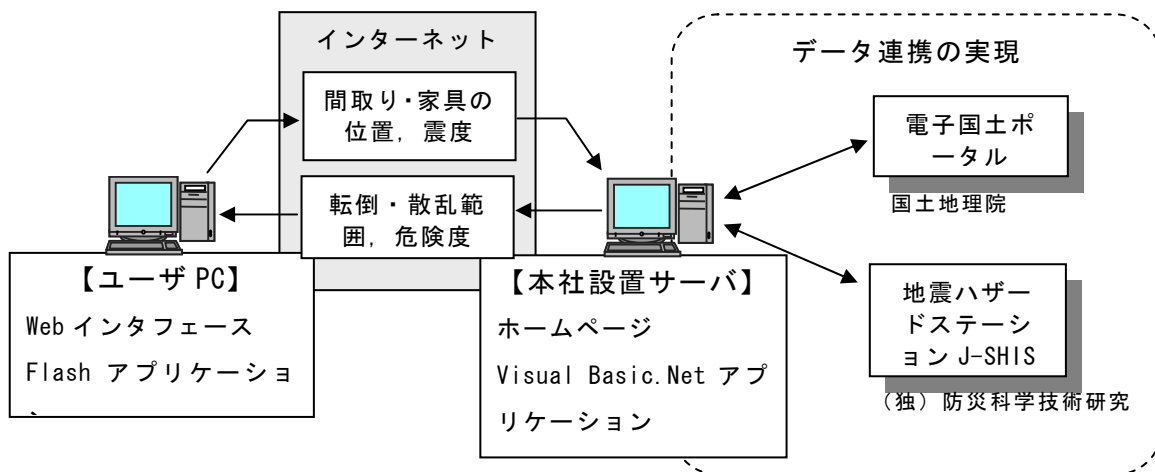


図 1. 地震ハザードステーション・電子国土との連携

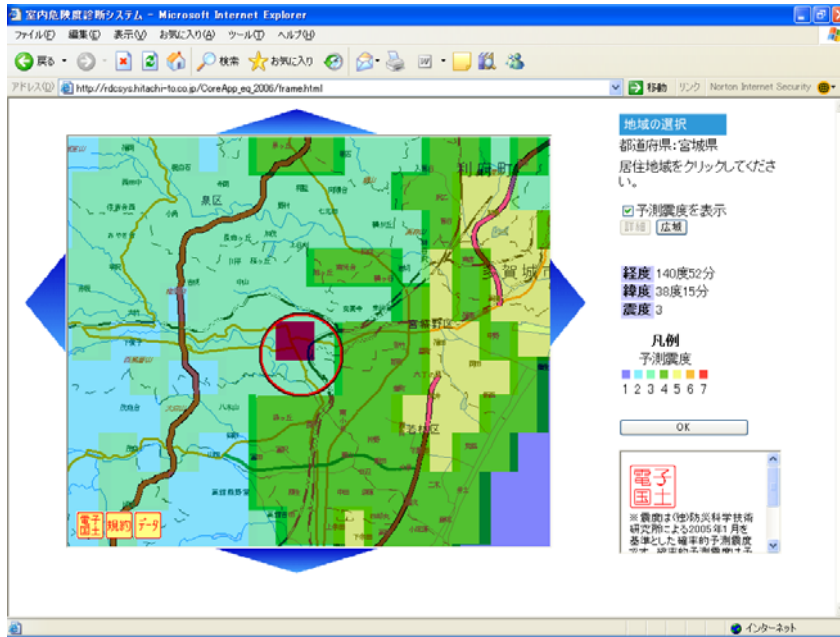


図2. 地震ハザードステーション・電子国土と連携した震度情報取り込み画面例

ii) 階数・構造・建築年代の設定

地震の揺れは建物の階数や構造、建築年代によっても異なるため、室内被害の実態もそれにあわせて変化する。このため、今年度は室内危険度診断に、階数、構造、建築年代の設定を行えるようにした。

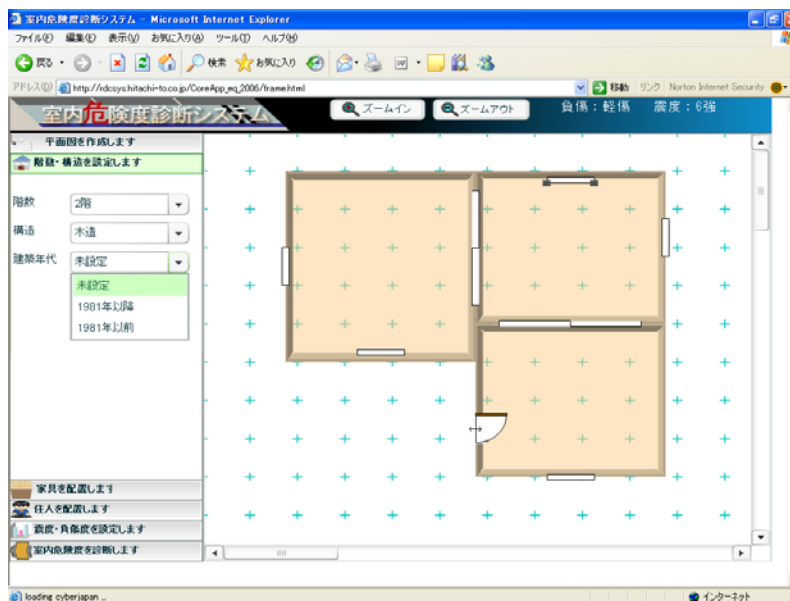


図3. 階数・構造・建築年代の設定画面例

iii) 窓の脱出特性

昨年度公開版では、窓の全てが脱出可能開口部と判断され、避難経路算定の対象となっていた。しかし、実際は、その大きさや開閉の仕組みなどによって、脱出経路に適さない窓も存在する。そこで、今年度の公開版では、「脱出可能」な窓と「脱出不可能」な窓の二通りの窓を設定できるようにした。

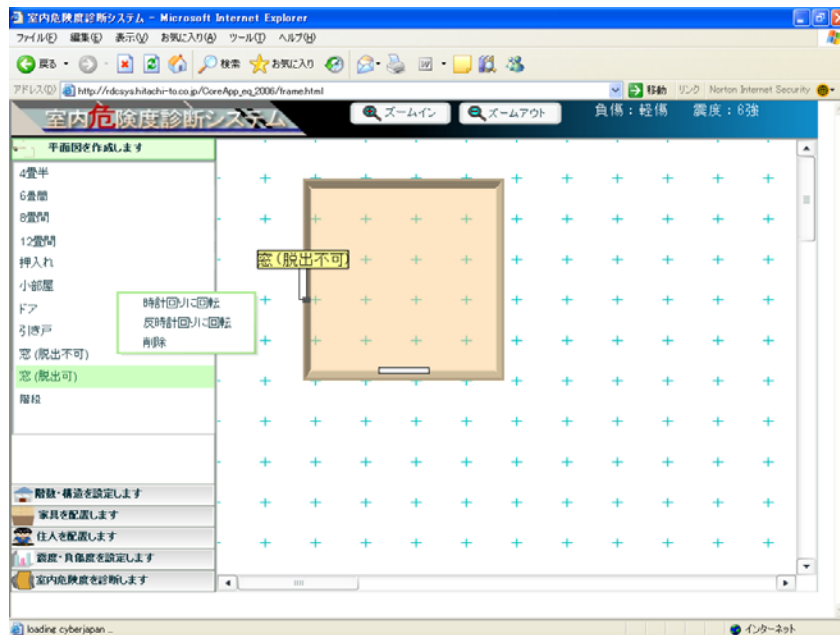


図 4. 窓の設定画面（脱出可・脱出不可）例

#### iv) 家具位置決め操作性の向上

昨年度公開版では、間取り作成や家具配置の際に位置あわせがしにくいという課題があった。例えば、壁に接するように配置されている家具があっても、システム上では家具を壁に接するように配置できないというように、家具の位置あわせが細かく行えなかった。今年度は、その操作性を改良し、細かい位置あわせができるようにした。

#### v) 負傷内容の表示およびアニメーション機能等の強化

今年度の更なる機能追加および改良として、「より視覚的に危険度を訴えるアニメーション技術の実装」および「居住者の負傷種別（打撲、切り傷、骨折など）の表示」を行った。

「視覚的に危険度を訴えるアニメーション」においては、部屋、家具、居住者の画像をより直感的にイメージできるものに改良したほか、家財の散乱範囲の表示においても、例えば、本棚の場合は本が散乱する、食器棚の場合は食器が散乱するといったように、散乱するものの実態に合わせたアニメーション機能を追加した。また、家具の転倒範囲の表示においても、家具が倒れるイメージにあわせて転倒範囲が動くようなアニメーション機能も追加した。

「居住者の負傷種別の表示」においては、負傷内容（打撲、切り傷、骨折）に応じて表示する画像を変更することによって、その内容が直感的に分かるようにした。



図5. 負傷内容およびアニメーション機能強化の画面例

### c) Web版住家簡易被害診断ソフトウェア

今年度は、室内危険度診断ソフトウェアだけではなく、「木造建物を対象とした簡便かつ高精度な耐震診断技術の開発」における損傷度関数導出の成果を利用した『住家簡易被害診断』のソフトウェア Web版を開発し、ホームページ上で公開した。更には、室内から住家までの総合的な安全対策を検討するためのソフトウェアとしての機能の充実を目指して、“防災お役立ちネット”を立ち上げて、地震や防災に関する知識の普及を進めている。防災お役立ちネットでは、室内危険度診断ソフトウェア、住家簡易被害診断ソフトウェアの公開だけではなく、地震に関する歴史データや防災に関する専門家のコラムを定期的に掲載している。



図6. 防災お役立ちネット



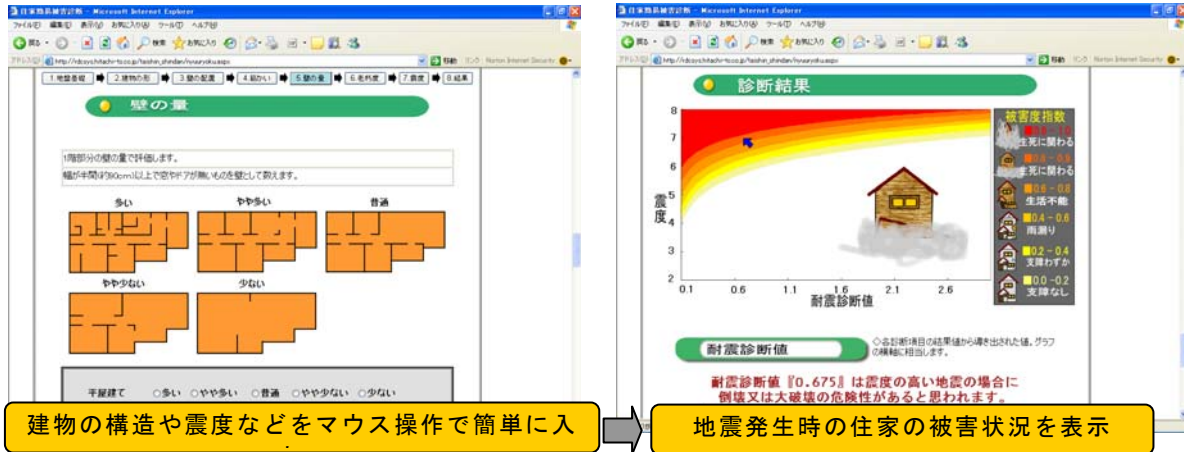


図7. 住家簡易被害診断ソフトウェア

## 2) 負傷者発生確率モデルと室内安全化規準の提案

### a) はじめに

地震動が原因の人的被害には、津波・山崩れ・火災等の付随外乱によるものを除けば通常の生活環境においては、建物が倒壊しその瓦礫により死傷する場合と、建物は倒壊しないものの室内が家財等の転倒により散乱しそれにより負傷する場合とがある。但し、関連死は本論の対象外とする。前者の建物倒壊が伴う場合に対する対策は建物耐震化が一つの方向として打ち出されており、想定入力地震動の大きさを与条件とした場合の建物に必要な保有強度（建物耐震診断値）を算定する関数が提案されている<sup>1)</sup>など、一定の対策規準が示されている。しかし、建物が無被害あるいは軽微被害にもかかわらず室内散乱により負傷する後者の場合については、家具転倒防止を訴えるのみであり、負傷を避けるための理論的背景が希薄である。

図8は2003年十勝沖地震と2004年新潟県中越地震において、筆者らのグループが行った被災世帯調査の資料を基に、震度5強以上の揺れに見舞われた住家における家具密度と負傷者発生との関係をプロットしたものである。横軸に住家の床面積に対する家具密度を、縦軸に各部屋の床面積に対する家具密度を配している。両地震共にある家具密度を超えるとその世帯で負傷者が発生する頻度が高くなる事が分かる。この図からはその閾値が0.3個/m<sup>2</sup>周辺にあるように見える。家具の数が多くなるほどその空間は地震時に散乱が激しくなり、負傷者が発生する可能性が高くなることは直感的に理解できる。本論では、その理論的背景と閾値が意味するところを考察し、室内が散乱することによる負傷者発生を低減するための規準づくりの根拠を提示する。

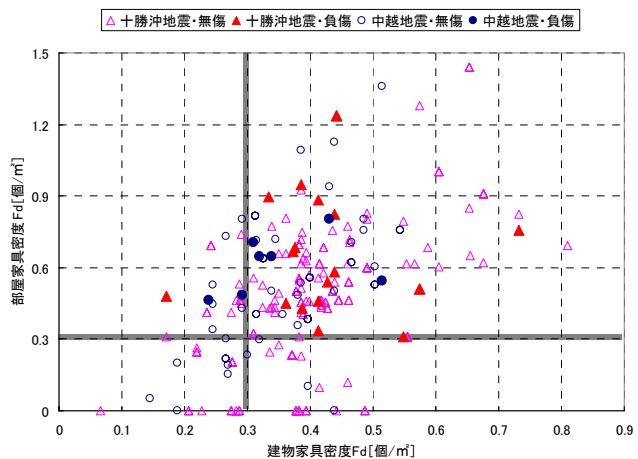


図8 家具密度と負傷者発生の関係

b) 家具転倒領域率と負傷発生確率

家具が転倒し、その下敷きとなって負傷する状況を考える。家具を直方体でモデル化しその幅を  $W$ ・奥行きを  $D$ ・高さを  $H$  とするとき、家具が転倒して床面と設置する面積（すなわち、在室者に負傷を与える面積）は  $W \times H$  で与えられる。面積が  $A_r$  のある閉空間に設置されている家具の数を  $m$  とするとき、その閉空間における家具転倒領域率  $T_r$  を以下で定義する。

$$T_r = \sum_{i=1}^m (W_i \times H_i) / \left\{ A_r - A_r^- - \sum_{i=1}^m (W_i \times D_i) \right\} \quad \dots (1)$$

上式中の分母は閉空間面積  $A_r$  からトイレ・風呂・押し入れ等の収納を含む居室外面積  $A_r^-$  と家具専有総面積を除いた面積であり、在室者が閉空間内で移動できる面積を意味し、分子は閉空間内で負傷する総面積を意味している。すなわち、家具転倒領域率は閉空間内に占める危険面積割合に等しい。

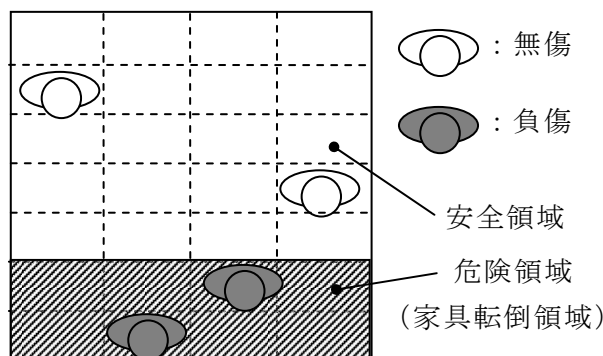


図9 転倒領域率の理解のしかた

ここで対象とする家具は耐久消費財に定義されるものである。但し、

ベッドとソファは在室者が避難移動できる場所であるので、分母の家具専有面積からは除く。転倒領域率は図9に示すように、一人の在室者が占める面積を単位とするグリッドで閉空間を分割し、転倒した家具が重なり合わないことを仮定すれば、一人の在室者のその閉空間における負傷確率  $p$  に一致することが分かる。

閉空間において負傷者が発生するか否かは、事象が二つの場合からなるベルヌーイ試行であり、その確率は二項分布で与えられる。すなわち、一人の在室者が負傷する確率を  $p$ 、負傷しない確率を  $q$  とし、その閉空間に在室する人数  $n$  人のうち負傷する人数を  $k$  人とした場合の負傷発生確率を  $P(k)$  とすると

$$P(k) = {}_n C_k \cdot p^k \cdot q^{n-k} = {}_n C_k \cdot p^k \cdot (1-p)^{n-k} \quad \dots (2)$$

ここに、 ${}_n C_k = n! / (k! \cdot (n-k)!)$ 。また、負傷確率  $p$  は家具転倒領域率で与えられる。

c) 算定例

式(2)を用いて、図10に示すモデルケースの負傷発生確率を計算する。それぞれの部屋の床面積 [m<sup>2</sup>] と家具サイズ [m] 及びそこから計算される転倒領域率（1人当たり負傷確率）、およびこのモデルケースの滞在人数を3人と仮定したときの、それぞれの在室人数についての負傷者発生確率（1人以上の負傷者が発生する確率）の計算結果を同図表に示す。但し、同表には各部屋の想定滞在人数に対する負傷者発生確率のみ示す。この住家の場合、DK（ダイニングキッチン）の負傷発生確率が最も高く、3人が団欒中に地震が発生した場合98%の確率で負傷者が発生することが分かる。同図中には、家具ごとの転倒領域率も示してある。これは、滞在者1人に対する負傷発生確率であり、その家具が部屋に

対して保持する危険ポテンシャル密度、すなわち危険度の寄与率を示すものであり、この値が大きい家具ほど、その部屋における固定効果（または撤去効果）が高いことを意味し、家具対策の優先順位（対策の方向性）を与えてくれるものである。

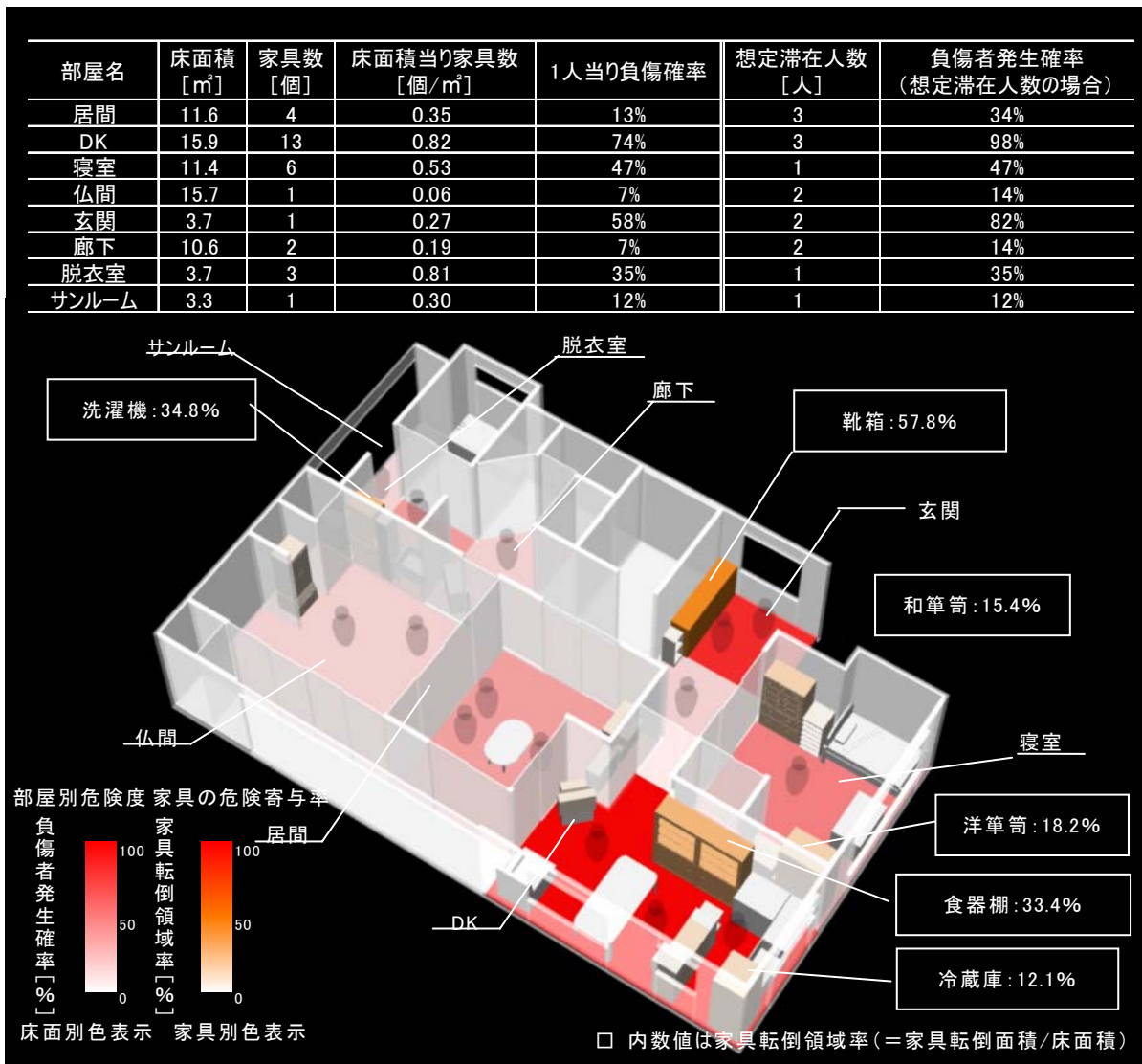


図 10 モデル住家の負傷発生確率算定例

d) 実測値との比較

式(2)で与えた負傷確率モデルの妥当性を検証する。このモデルは、揺れている最中には住人は避難行動が不可能という状況を仮定している。このモデルはこの空間が持つ危険確率ポテンシャルを表していることになる。実際には回避行動や無理な行動等により負傷発生は左右され、ポテンシャル廻りにある確率分布をすることになる。十勝沖地震及び新潟県中越地震の調査から避難行動をとらなかったケースを選び出し、それらについて在室者を分母とする負

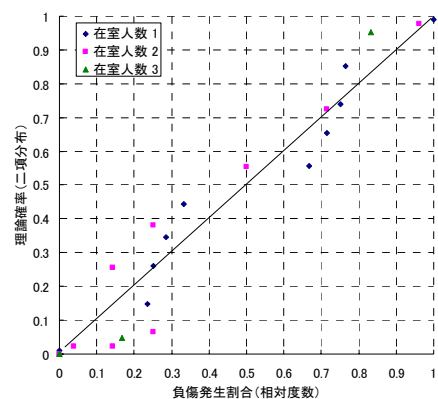


図 11 モデル理論値と実測値との比

傷発生割合を算定し、モデルとの比較を行ったのが図 11 である。極めてよい相関が認められモデルの妥当性が確認される。

#### e) 室内安全化規準

家具転倒領域率の計算は煩雑なので、家具密度と家具転倒領域率の関係を両地震から住家ごとに求めプロットしたのが図 12 である。建物を一単位とした延べ床面積に対する転倒領域率は家具密度に 0.956 を、また部屋を一単位とした部屋床面積に対する転倒領域率は 0.890 の重みを考慮することで概算できる。さらに、平均世帯として日本の平均家族数 2.70 人を、また一部屋の平均居室人数 1.47 人を仮定し、負傷発生確率が 0.5 以上となる家具密度を式(2)より計算すると建物延べ床面積に対しては 0.25 個/m<sup>2</sup>、また一部屋に対しては 0.42 個/m<sup>2</sup>が求まる。すなわち、図 8 に示された閾値は平均世帯における負傷発生確率 50%を与えたものと解釈でき、家具保有数に関する負傷回避規準としての意味を持つ。

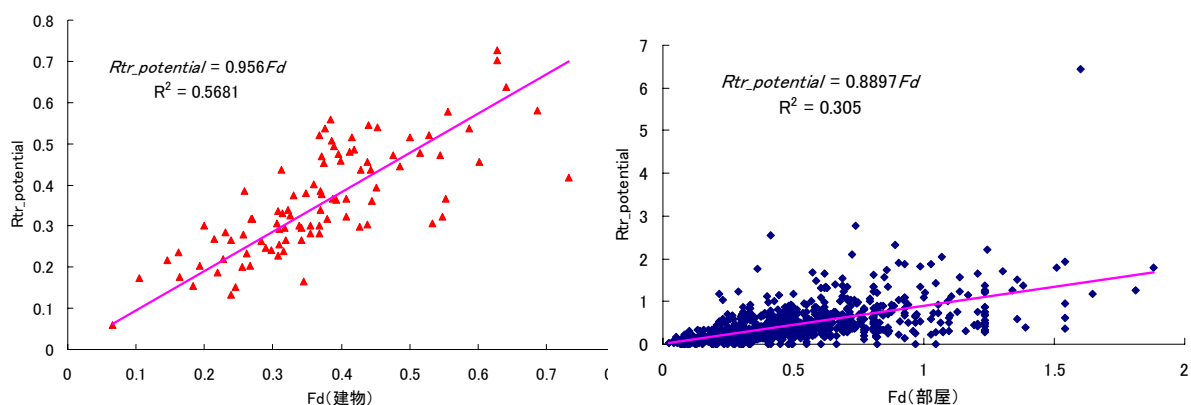


図 12 家具転倒領域率と家具密度との関係

#### (d) 結論ならびに今後の課題

昨年度ホームページ上で無償公開した Web 簡易版室内危険度診断ソフトウェアについて、ユーザの利便性向上や防災教育での活用性を進めるため、操作性の改善と機能追加を行った。地震ハザードステーション J-SHIS や電子国土とも連携させ、地域で想定される地震の情報を容易に取得できるようになった。更に、住家の簡易被害診断のソフトウェアもホームページ上で公開し、“防災お役立ちネット”として総合的な診断を行えるソフトウェアとなった。今後ともこのホームページの運用を継続し、防災意識の更なる高揚に務めるほか、これまでと同様に記事やインターネット上での書き込みを分析することで社会の関心事項を整理し、機能の改善点についての検討を進める予定である。

また、室内散乱による負傷発生を避けるためには家具密度を押さえる必要があり、その閾値を 0.3 個/m<sup>2</sup> (建物延べ床面積当たり 0.25 個/m<sup>2</sup>、部屋床面積当たり 0.42 個/m<sup>2</sup>) とする安全化規準を提案し、その理論的背景と閾値が意味するところを考察し、室内が散乱することによる負傷者発生を低減するための規準づくりの根拠を提示した。これは、室内安全化に対する【診断】の段階から、それを踏まえての次の【対策】の段階への一里塚

であり、その普及に向けて次なる策を考えていきたい。

(e) 引用文献

- 1) 岡田成幸・高井伸雄：木造建築物の損傷度関数の提案と地震防災への適用，日本建築学会構造系論文集，582, 31-38, 2004.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 論文発表

著者	題名	発表先	発表年月日
高梨勝敏・阿部郁男・佐藤俊也・小野さおり・村上仁	室内危険度診断システムWeb版の公開と効果	日立 TO 技報 第 12 号	平成 18 年 11 月
阿部郁男・高梨勝敏・佐藤俊也・岡田成幸	室内危険度診断システムWeb版の公開と効果	第 12 回 日本地震工学シンポジウム	平成 18 年 11 月
岡田成幸・名知典之	地震時の室内散乱による負傷者発生確率モデルと室内安全化規準	第 25 回 日本自然災害学会学術講演会講演概要集	平成 18 年 11 月
名知典之・岡田成幸	被震下室内における負傷発生事象の確率論的考察と簡易負傷危険度評価指標の提案	日本建築学会東海支部論文報告集 45 号	平成 19 年 2 月

2) マスコミ発表

#	掲載誌・番組	番組タイトル・掲載内容	掲載（放送）日
1	新建ハウジング Web <住宅ニュースページ>	システム、URL 紹介	平成 18 年 8 月 30 日
2	NIKKEI NET <IT+PLUS ページ>	システム、URL 紹介	平成 18 年 8 月 30 日
3	NIKKEI NET <プレスリリースページ>	システム、URL 紹介	平成 18 年 8 月 30 日
4	Nikken Times <ニュースページ>	システム、URL 紹介	平成 18 年 8 月 31 日
5	河北新報 Web サイト <宮城・社会ページ>	システム、URL 紹介	平成 18 年 8 月 31 日
6	日刊工業新聞 <建築・物流面>	システム、URL 紹介	平成 18 年 8 月 31 日

7	河北新報 <社会面>	システム、URL紹介	平成 18 年 9 月 1 日
8	電波新聞 <地域総合面>	システム、URL紹介	平成 18 年 9 月 6 日
9	日経 MJ <家電・ビジネス面>	システム、URL紹介	平成 18 年 9 月 8 日

### 3) 一般講演

発表者	題名	発表先・主催者	発表年月日
阿部郁男	地震発生時の危険度診断	うめの木フェスタ 2006【人間と環境】 宮城沖大地震に備える・館うめの木	平成 18 年 11 月 19 日

### (g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

#### 1) 特許出願

- ①特許出願番号 : 2004-21996  
出願日 : 平成 16 年 1 月 29 日  
特許出願公開番号 : 2005-215998  
公開日 : 平成 17 年 8 月 11 日  
発明の名称 : 建設の振動に関する危険対策の支援システム及び建物の振動に関する危険対策の支援のためのコンピュータプログラム  
発明者 : 阿部郁男、村上仁、佐藤博信、岡田成幸
- ②特許出願番号 : 2006-280249  
出願日 : 平成 18 年 10 月 13 日  
発明の名称 : 地震発生時における室内散乱に伴う負傷発生軽減支援のための危険確率診断コンピュータプログラム  
発明者 : 岡田成幸、名知典之

#### 2) ソフトウェア開発

名称	機能
室内経験度診断システム (Web 版)	地震時の室内散乱状態および人的危険度を評価する。

#### 3) 仕様・標準等の策定

なし