

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ヵ年の年次実施計画
- (e) 平成14年度業務目的

(2) 平成14年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
 - 1) 室内ゾーニング法
 - 2) 避難路ネットワーク法
- (c) 業務の成果
 - 1) 室内ゾーニングによる揺れている最中の危険度
 - 2) 避難路ネットワーク法による避難時危険度
- (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

(3) 平成15年度業務計画案

(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
北海道大学大学院工学研究科	助教授	岡田成幸
東北大学金属材料研究所		黒田誠宏
北海道大学大学院工学研究科	修士2年	菅 正史

(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カ年の年次実施計画

1) 平成14年度：

室内安全診断ソフトウェアのプロトタイプ提案

2) 平成15年度：

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

3) 平成16年度：

診断ソフトウェアのWeb版の開発

4) 平成17年度：

家具最適配置計画支援ソフトウェアのプロトタイプ提案

5) 平成18年度：

室内安全確保のための総合ソフトウェアの提案

(e) 平成14年度業務目的

既往研究をまとめ室内危険度に関する問題点を明らかにする。室内危険度に関わる要因及びその影響度をモデル化し、診断のプロトタイプモデルを提案する。

(2) 平成14年度の成果

(a) 業務の要約

地震で人が傷つくのは建物が倒壊したときだけではなく、室内に設えられた家具や置物、内容物の散乱が原因によるものも、見逃すべきではない。件数的にはむしろ多く、またそれによる負傷程度も無視できるものではない。また、揺れが収まったあとに室外への避難行動をとる際にも負傷者が多く発生している。わが国における地震時の居住空間の安全性確保のための対策は、構造物の耐震化に重点が置かれている。しかしながら、上記に上げた室内が散乱することに伴う人的被害発生メカニズムは、住家倒壊による死傷メカニズムとはまったく異なるものであり、住家耐震化対策は室内散乱に伴う負傷危険度低減に効果的な対策とは成り得ていないことに、注意を喚起すべきである。図1及び2は、そのことを端的に物語っている。図1は釧路沖地震(1993年)の時の釧路市内における住家被害の分布を示したものであり、図2は人的被害の分布を示したものである。

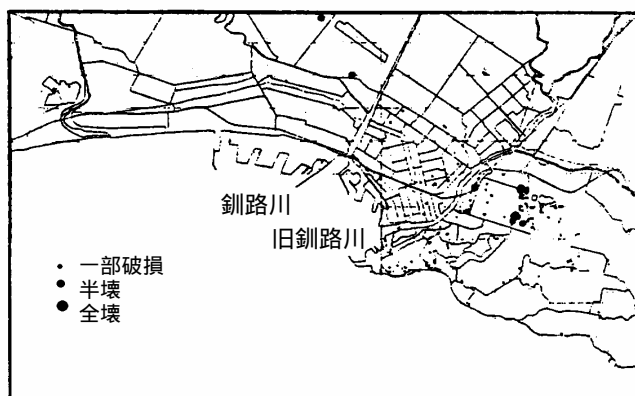


図1 釧路沖地震の釧路市内の住家被害分布

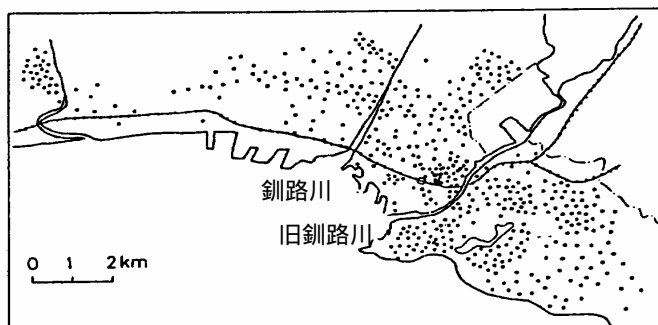


図2 釧路地震の釧路市内の人的被害分布

釧路市内で発生した住家被害は、災害対策本部の最終報告によれば全壊が42棟、半壊が191棟、一部破損が2,427棟である。概ね、震度の大きい旧釧路川東側に位置する材木町と緑ヶ岡地区に全・半壊被害は分布しているのが図1より分かる。一方で、釧路市内の人的被害は死者が2名、重傷者が52名、軽傷者が426名であり、住家被害が地域的にあるまとまった分布傾向を示しているのに対し、人的被害は図2より市内一様で発生しているように見える。人的被害は住家破壊に伴って発

生したものではないことが、これらの図からも理解できる。すなわち、住家の耐震性を向上させるのみでは地震時の人的被害軽減には寄与しないことを示す事例である。

家具転倒から身を守るための事前対策として「家具の壁面への固定」が推奨されている。もちろん、重要な対策であり家具の固定をキャンペーンする運動は積極的に行っていくべきであろう。まずは住人の意識改革が根本になくなくてはならないからである。しかし、これで全てが解決するとは思われない。その有効性がいわれているにも拘らず、実施率は極めて低い（静岡県防災局調査・平成11年度の県民の意識調査によると、東海地震が懸念されており、地震に関心があると答えた者は93%にもかかわらず、家具固定の実施率は「大部分が固定してある」と「一部を固定してある」を合わせても49.5%であった）。家具固定の実施が進まない理由として、

固定は技術的にかなり難しい。

家具に傷をつけることもあり、心理的に実施したくない。

防止措置は日常生活に不便あるいはなじまない細工となってしまうことがある。

配置場所に固定すべき有効な構造体がない。間仕切り壁に固定したならば、壁ごと倒れてくることも考えられかえって危ない。

などが、考えられる。家具は壁に固定しておけば良いと断言できるほど事柄は単純ではない。そこで、対策として浮上してくるのが、家具の配置法による危険空間と安全空間の峻別である。行動不能になる場所は危険空間にしない、危険と安全空間を住人にしっかりと把握させ、地震時には危険空間から遠ざかって、身を守るような仕掛けを作る。このようなソフト的対策も併せて実行することにより効果的な対策となっていくと思われる。さらに、地震による負傷発生は揺れている最中のみではない。筆者らによる調査によれば、揺れが収まって散乱下から安全な場所への移動時にも、混乱の中での負傷が多い。

本研究では、地震で負傷しないためには、普段の生活において安全な住空間を広く確保し、かつ安全な場所と危険な場所を峻別し、地震時には危険な空間を避けるような行動を取ることが肝要であるとの観点より、個人ベースでの防災対策を支援する一環とし、住空間の地震時の危険度を予め総合的に診断する方法を提案し、簡易に実施できるツールとして開発することを目的とする。以下は、筆者らによるこれまでの研究のダイジェストである^{1, 2, 3}）。

(b) 業務の実施方法

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診断アルゴリズムとして提案する。

1) 室内ゾーニング法

室内での負傷者発生メカニズムフローを図3のように設定する。室内を単位区画（たとえ

ば一辺50cm区画)に分割し、区画(x_i)ごとに図のモデルで危険性を評価する。

区画ごとの負傷危険性D_i(x_i)は以下の式で表される。

$$D_i(x_i) = Prob[Be/x_i] \sum \{V_j(I)S_j(x_i)(1-H(I, time, age, sex, morbidity))\} \quad \dots(1)$$

ここに、Prob[]は算定対象となる居住者が地震時に空間x_iに存在する可能性、V_j(I)は家具jが転倒または散乱する確率、S_j(x_i)は家具jが散乱することで空間x_iにその家具が倒れるか否かを示すブール関数、Hは居住者の災害回避行動能力で床震動(震度I)及び住人属性の関数である。所与の条件下でこれらの確率関数は既知として与えられる。関数の例を図4に示す。

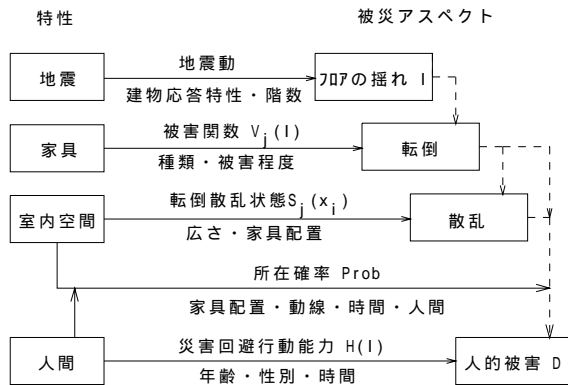


図3 室内の地震で揺れている最中の人的被害発生フロー

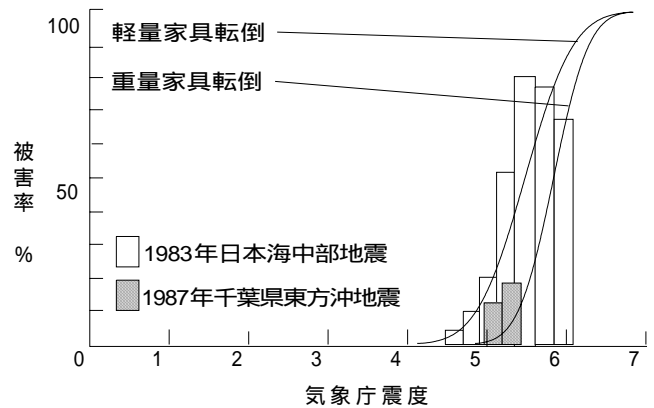


図4 家具の転倒率

2) 避難路ネットワーク法

揺れ終息後、居住者は避難等の目的を持って室内から室外へ脱出を試みる。その脱出ルートを追跡し、そのルートごとの避難危険度を評価する。この場合、居室空間を複数からなる用途の定まった機能空間の集合として捉え、それらを節点で代表し、全ての節点について隣接節点との間を枝で連結させる(図5参照)。このモデルにおいて、居住者の移動行為を点と点を結ぶ枝としての図式表現が可能であり、これをネットワークモデルとする。この時、枝(ルート)ごとに負傷危険度を枝の距離として数値表現(ルート障害度として定義)できれば、最短経路問題として危険度の算定を定式化できる。

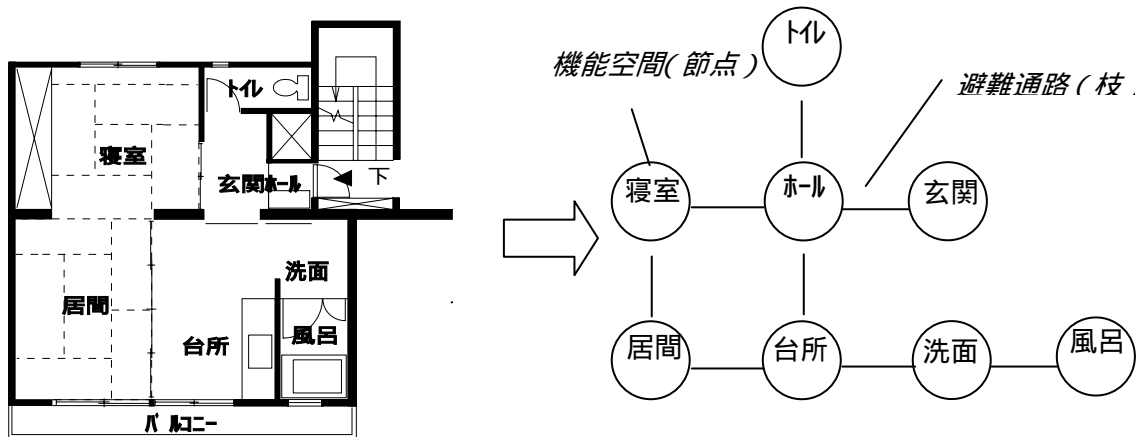


図5 避難路のネットワークモデル化

移動元の節点を i 、移動先の節点を j 、それをつなぐ避難通路の危険度を e_{ij} とすると、 $[e_{ij}]$ は枝に方向性を持たない無向グラフの点対点結合行列として以下で表すことができる。この行列をここでは避難危険度行列と称することとする。

$$[e_{ij}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} i \setminus j \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & e_{12} & 0 & e_{14} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ e_{21} & 0 & e_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e_{32} & 0 & e_{34} & 0 & e_{36} & 0 & 0 \\ e_{41} & 0 & e_{43} & 0 & e_{45} & 0 & 0 & e_{48} \\ 0 & 0 & 0 & e_{54} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e_{63} & 0 & 0 & 0 & e_{67} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & e_{76} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_{84} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad \dots (2)$$

ある避難開始点（機能空間） i の避難危険度 F_i は、開始点から室外までのルートに沿って通路（枝）の避難危険度 e_{ij} の総和として計算し、それを各移動ルートごとに求め、その中でもっとも避難危険度の小さな移動ルートをもってその機能空間の避難危険度とする。

$$F_i = \min_{route} \sum \{e_{ij}\} \quad \dots (3)$$

ルート障害度を枝の重みとし以下に定義する。

$$\text{枝の重み} = \text{避難路の危険度} \times F[\text{所要時間}] \quad \dots(4)$$

すなわち、そのルートを歩行する所要時間が長いほど危険なルートと考える。所要時間は以下で与えられる。

$$\text{所要時間}(I) = \text{歩行距離}(I) \times \text{障害度}(I) / \text{歩行速度}(I; \text{属性}) \quad \dots(5)$$

節点から節点までの距離が歩行距離であるが、地震時は家具散乱等により回り道をしなくてはならなくなるなど震度（ I ）の関数として距離が変わる。障害度とは歩行経路の状態であり以下のように表す。

$$\text{障害度}(I) = F[\text{受傷可能性}(I), \text{危険物状態}(I), \text{扉の開閉状況}(I), \text{ルート遮断}(I), \text{障害物}(I)] \dots(6)$$

さらに歩行速度は以下の式で与えられる。

$$\text{歩行速度} = \text{平均歩行速度}(\text{歩行空間幅}, \text{屈曲点数}, \text{傾斜}) \times \text{低減係数}(\text{時間}, \text{震度}; \text{性別}, \text{年齢}) \quad \dots (7)$$

低減係数は室内ゾーニング法で用いたものと同様の関数を採用する。このようにして得られた危険度の重み付きネットワークモデルに最短経路探索を適用し、脱出ルート全体の所要時間、すなわち危険度を求める。最短経路探索にはダイクストラ法が応用できる。

(c) 業務の成果

1) 室内ゾーニングによる揺れている最中の危険度

以上のアルゴリズムを使って、危険度を評価する。図6は都市整備公団（旧：日本住宅公団）が供給している共同住宅の住戸平面例である。一戸当たりの専有面積はベランダを含め41.6m²である。2居室（6畳と4.5畳）に食堂と台所が一室となった2DKタイプである。この住宅を例に、地震発生を午後5時とし、健常な主婦30歳代についての人的被害発生危険度を診断する。

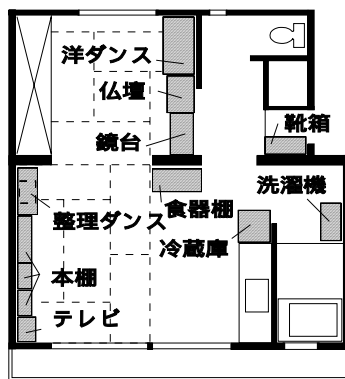


図6 住戸平面図の例

室内を70cmの単位区画に分割し、その区画ごとに式(1)により算定した受傷可能性が図7～10中の数値である。床応答震度は4.8から6.2で計算し、コンターを引いて危険度領域を示している。この住宅では震度4.8程度で30代主婦にとりすでに居間に危険空間が発生している。震度が大きくなるに連れ、危険度領域も広がり、かつ空間的に大きな偏りのあるのが分かる。風呂・トイレが地震時に安全な空間を保持しているのに対し、生活の中心となる居間・寝室が危険である。更に、外界への唯一の脱出口である玄関も散乱が激しいことが分かる。

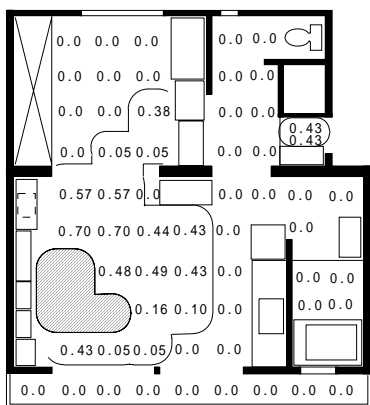


図7 震度4.8の時

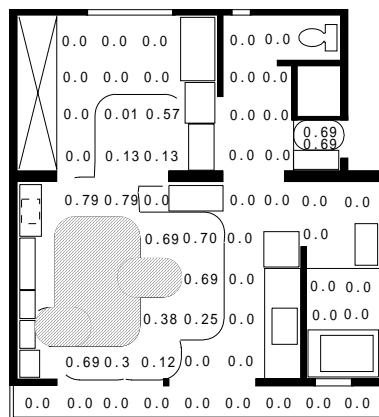


図8 震度5.0の時

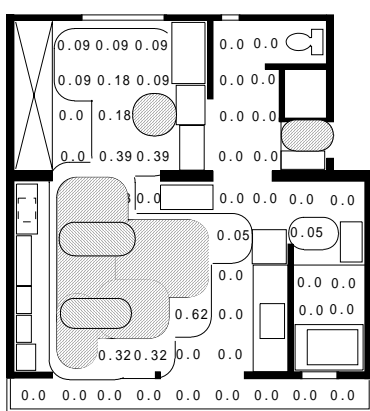


図9 震度5.4の時

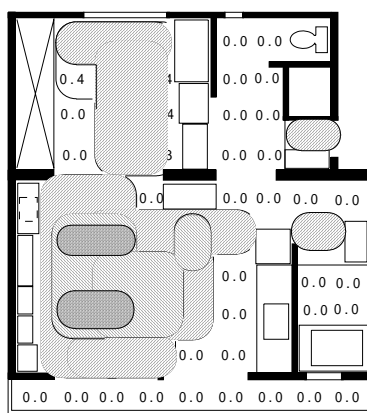


図10 震度の6.2の時

2) 避難路ネットワーク法による避難時危険度

先の例の避難ルートをトレースする。図11には参考までに、震度5.8（気象庁震度6弱）の場合の室内散乱危険度が表示されている。各居室で滞留する位置を節点に設定し、図中に楕円で表示する。それらに順位の任意番号を与える。これが機能空間番号（節点番号）である。玄関および窓は避難脱出口として設定する（図6において丸囲い数字で与えている）。次に避難ルートを考慮し節点とおしを枝で結ぶ。但し避難の際、部屋の扉等の開口部に向かい移動することになるので、開口部の中心位置を機能空間とおしを連結する枝の経由点として与える。これにより節点 - 枝のネットワークモデルがトレースされる。家具や散乱物で迂回する必要があるので、任意に経路を調整する。この操作により避難通路は屈曲することとなり屈曲点が発生する（同図において小円で示されている）。提案の方法に従い、各避難通路の危険度（避難所要時間）をある条件（震度、地震発生時間、居住者属性）を設定し、計算する。表1に図11の中から代表的な避難通路についての危険度を震度別に示す。計算例は日中発生した地震に対する成人男子の場合である。

平常時は入力震度0の場合である。入力震度が4.0（気象庁震度4）では、家具の転倒散乱がないために平常時と変わらぬ避難時間である。入力震度が5.3（気象庁震度5弱）から5.8（気象庁震度6弱）と上昇するにつれ、特に台所 から台所開口部 へ抜ける通路の危険度が食器棚の散乱のため急激に上がるのが分かる。

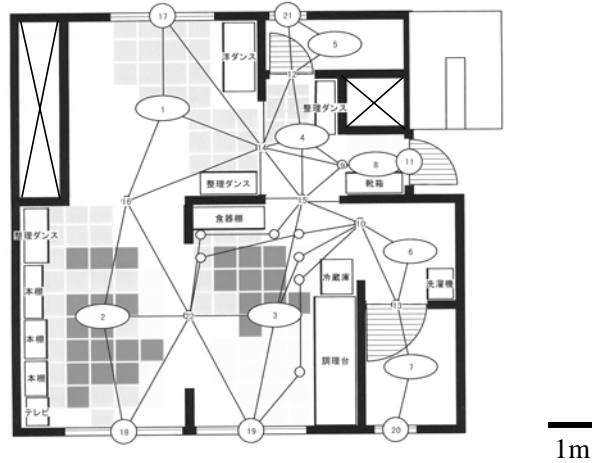


図 11 避難経路表示例

表1 避難通路の危険度（避難時間 [秒]）

移動元節点	移動先節点	平常時	震度 4.0 (4)	震度 5.3 (5弱)	震度 5.8 (6弱)
1 寝室	16 寝室開口部	1.9	1.9	3.1	4.5
2 居間	22 居間開口部	1.6	1.6	5.2	7.7
22 居間開口部	3 台所	1.6	1.6	2.7	5.7
3 台所	15 台所開口部	2.3	2.3	6.2	19.5
15 台所開口部	9 ホール開口部	1.0	1.0	1.0	1.0
9 ホール開口部	8 玄関	0.6	0.6	1.0	2.2
8 玄関	11 玄関脱出口	0.6	0.6	1.0	2.2

このネットワークモデルにダイクストラ法を適用し、最短避難経路の所要時間を総和することにより、各居室からの避難危険度を算定することができる。平面プランがやや複雑な例を図12に示す。成人男子の場合の、各居室からの避難危険度を震度別に表2に示す。

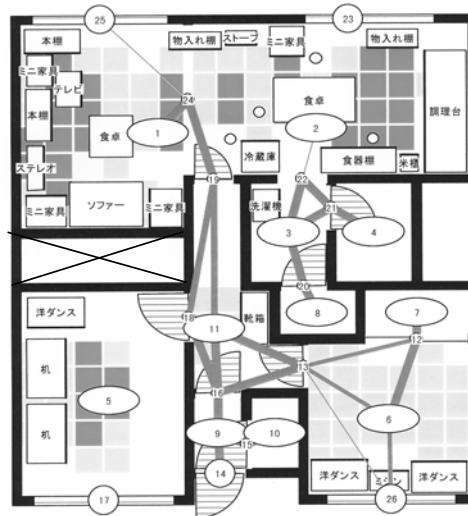


図12 避難通路の表示（震度5.8の場合）

表2 各居室の避難危険度：成人男子の場合（脱出所要時間[秒]）

出発点	平常時	震度 4.0 (4)	震度 5.0 (5弱)	震度 5.3 (5強)	震度 5.5 (6弱)	震度 5.8 (6強)
1 居間	7.4	7.4	10.4	16.2	22.2	22.9
2 DK	7.2	7.2	10.0	9999.9	9999.9	9999.9
3 UTT	9.1	9.1	12.2	9999.9	9999.9	9999.9
4 風呂	9.6	9.6	12.7	9999.9	9999.9	9999.9
5 子供室	4.6	4.6	5.0	9999.9	9999.9	9999.9
6 主寝室	4.4	4.4	7.3	14.8	19.9	23.4
11 廊下	2.1	2.1	2.2	3.4	3.8	4.1
9 玄関	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

(d) 結語ならびに今後の課題

室内散乱に伴う危険度の診断アルゴリズムについて提案した。このアルゴリズムをコンピュータ上で構築し、実用システムとする予定である。また、システムの利用者にとり、ここで用いた負傷危険度は分かりにくい。実際の負傷種類・程度、医療措置との対応を情報として与えることにより、危険度をより具体的にイメージでき、対策の実効性を上げるものと思われる。次年度以降に純二進めていく。

(e) 引用文献

- 1) 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わる研究 - その1 居住空間危険度マイクロゾーニングの提案 - , 日本建築学会構造系論文集 , 454 , 39-49, 1993.12
- 2) 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わる研究 - 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 , 481 , 27-36, 1996.3 .
- 3) 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集, 563, 83-89, 2003.1.

(f) 成果の論文発表・口頭発表など

1) 論文発表

著者	題名	発表先	発表年月日
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わる研究 - その1 居住空間危険度マイクロゾーニングの提案 -	日本建築学会構造系論文集	1993年3月
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わる研究 - 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	1996年3月

岡田成幸・黒田誠宏	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実装プログラム	第2回比較防災学ワークショップ	2002年2月
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集	2003年1月
岡田成幸・菅正史	医学的外傷重症度指標の導入による地震時室内散乱に伴う人体損傷の評価法	第3回比較防災学ワークショップ	2003年
岡田成幸・菅正史	地震時の室内家具転倒を機転とする人体損傷評価 - 家具の損傷度関数と多発外傷重症度指標の導入 -	日本建築学会大会梗概集	2003年

(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

予定あり

2) ソフトウェア開発

室内危険度診断ソフトウェア（web上で診断可能）を開発予定

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成15年度業務計画案

(a) 業務計画、実施計画

地震時室内危険度診断アルゴリズムの改善、とくに、家具転倒/散乱と人的被害との関係を明確にし、居住者への危険度情報をより分かりやすいものにする。

(b) 目標とする成果

上記計画に則り、成果をソフトウェアに構築する。