

地震防災を対象とした 学校の室内環境評価に関する研究

Study on Earthquake Risk Assessment of School' Indoor Environment

建部 謙治*1 , 谷口 仁士*2 , 成瀬 聖慈*3
Kenji TATEBE Hitoshi TANIGUCHI Seiji NARUSE

Damage caused by overturned furnitures during earthquakes in the indoor space have been relatively increasing due to the decrease of the frequency of other serious damages as collapse of building and loss of lives. In recent years, these characteristics has been remarkable in indoor spaces of schools.

On the basis of the human behavior at earthquake and the actual conditions of furnitures investigated at 25 elementary schools, an earthquake risk assessment method was proposed.

In this method, the risk of damage in the classrooms and the risk of obstacle passage at evacuation routes are assessed in order to achieve a total earthquake risk assessment at schools. The assessment is based on a data base of the arrangement and size of furnitures in a classroom and along the evacuation routes.

The result of earthquake risk assessment in elementary schools reveals the following tendency : most of the schools presented a high risk, though in some cases the risk of damage is higher than the risk of obstacle passage and in some others, the opposite occurs.

1. はじめに

学校建築は、学習（教育）環境と生活（安全）環境の2条件を満たすように計画・立案されているが、この他に災害時の一次避難場所に指定されるなど地域社会にとっても重要な施設である。

ところで、地震に対する防災性の観点から、この生活環境下における1950年以降の被害地震の事例分析を行うと、構造体が崩壊するような被害は急減し

ているが校舎内部を構成する仕上げ材、家具、設備などの被害が相対的に大きくなっている（以下、このような被害の集中する構造体以外の校舎内部を室内環境と呼ぶ）。このような現状から、室内環境整備の必要性や防災教育の重要性が指摘されている。また、地震による室内環境の急変は人的被害発生の直接原因となるばかりでなく、避難行動障害になり得る危険性も秘めている。谷口ら¹⁾による1984年長

*1 愛知工業大学 建築学科（豊田市）

*2 JICA（メキシコ）

*3 愛知教育大学（刈谷市）

野県西部地震時における学校の対応行動調査によれば、多くの学校の責任者は家具類の転倒、TV、電灯の落下防止など室内環境の整備の他、防災教育も今後必要であると指摘している。

このような背景から学校防災の問題を捉えると、大きく環境整備と防災教育とに分けることができる。前者は校舎の耐震性や室内環境整備の充実などハード的な対策であり、後者は地震災害に関する防災教育や避難訓練などソフト的な対応である。

以上のような学校における地震被害発生の危険性は、概念として、「潜在的危険性」、「工学的危険性」、「人為的危険性」の3つに分類できる。ここで、「潜在的危険性」とはその学校の自然環境（地形・地質）や地震環境（地震活動度）に依存した危険性であり、「工学的危険性」とは建物の耐震性や地盤構造（地盤の良否）による危険性である。「人為的危険性」とは防災意識や知識の欠如、室内環境整備の不備などによる人的被害発生の危険性である。

ところで、学校防災の現状は事後対応である避難訓練に重点を置いた防災体制を主眼としている。しかし、この避難訓練は対応策として基本的に重要な方法であるが、防災体制といった巨視的視野に立てば消極的な方法である。本来、積極的な防災体制とは教室内の安全、避難通路の安全など学校内の空間の安全性向上を計ると共に震後の的確な行動・対応を考慮した一貫性のある体制である。

以上の被害事例や現状を踏まえ、本研究では3つ

の危険性の中の「人為的危険性」に重点を置き、小学校（以下、学校と記す）の室内環境について地震防災的観点からその危険度評価方法について論じる。

2. 学校における地震被害の特徴

学校における地震被害の実態や特徴を考察するため既往の地震災害を分析した。被害分析に用いた既往の地震は、1964年新潟地震から1987年千葉県東方沖地震にいたる10個の地震である^{2)~9)}。なお、これらの地震は、その規模は異なるが被災した学校付近での震度は5程度とほぼ同一である。

表-1は被害発生の場所を校舎内部、体育館、校舎外部そして人的の4つに分類し、その程度についてまとめたものである¹⁰⁾。ここで、被害の発生数である被害件数を集計するにあたって対象とした項目は、天井・壁などの内装材の剥離、窓ガラスの破損、照明設備の落下、家具の転倒、備品の破損などである。被害程度は表中の下段に示したように、被害件数の5段階区分で整理した。なお、分析対象とした校舎の構造の多くはRC造であるが、新潟地震、十勝沖地震では木造校舎も含まれている。ところで、新潟地震や十勝沖地震では全壊にいたる甚大な被害を受けた学校がいくつか存在していた。これらの学校のほとんどは地盤破壊（液状化、造成地の崩壊）に起因した被害であったことや、全壊した学校についての室内環境の被害分析は不可能なので、これら

表-1 地震別・場所別被害件数の集計

	地震概況				校舎内部	体育館	校舎外部	人的被害	備考
	規模	発生年月日	時間	震度					
新潟地震	7.5	1964.06.16	16:13	5	■	■	■		木造全壊多数、細部の被害報告不明
十勝沖地震	7.9	1968.05.16	09:49	5	■	■	■	4	避難階段倒壊、集合煙突の倒壊、グラウンドの崩壊
伊豆半島沖地震	6.9	1974.05.09	08:33	5					被害報告無し
大分県中部地震	6.4	1975.04.21	02:35	3-4					被害報告無し
伊豆大島近海地震	7.0	1978.01.14	12:24	5	■	■	■	3	ガラスの破損により負傷
宮城県沖地震	7.4	1978.06.12	17:14	5	■	■	■		
蒲河沖地震	7.1	1982.03.21	11:32	5	■	■	■		
日本海中部地震	7.7	1983.05.26	11:59	5	■	■	■		津波による児童の死亡（13名、遠足時）
長野県西部地震	6.8	1984.09.14	08:48	5	■	■	■	2	体育館の電灯落下により負傷
千葉県東方沖地震	6.7	1987.12.17	11:08	4-5	■	■	■		

凡例 □:無(0) ■:微少(1~20) ■:小数(21~40) ■:中(41~60) ■:多数(61~)

() 内は件数

の学校については分析対象から除外した。

被害件数の集計結果によれば、室内環境の被害は地震によってかなり異なっている。特に、十勝沖、宮城県沖、千葉県東方沖地震では被害程度が「多数」である。

以上のことから、近年では構造体が崩壊するような甚大な被害に比べて室内環境被害の発生が相対的に大きくなっている。また、この被害が直接的被害の発生に関与する危険性もあるものと推察される。

3. 室内環境の現状調査

学校における室内環境の実態を把握するため以下のような現地調査を行った。調査は児童が日常活動する教室・廊下・昇降口などでの家具を対象に、その形状や固定状況、配置状況を詳細に記録した。ただし、児童用机・椅子は調査対象外とした。

3-1. 調査校と調査時期

調査対象地域は、最近、地震に遭遇した地域、北海道や南関東における大地震の発生で被害が危惧されている地域、そして、比較的地震活動度の低い地域が選定されるように、図-1に示す9都市計25校を対象校とした。調査時期は千葉県については千葉県東方沖地震後の1988年7月、その他については1987年9～12月である。

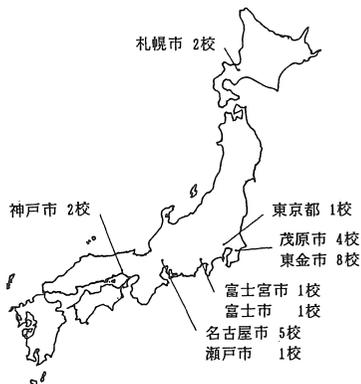


図-1 調査対象校

3-2. 室内環境の状況

現地調査結果の一例として、普通教室における家具の配置および固定状況を図-2に示した。このように壁面に沿った家具配置で、教室背面の児童用ロッカーと掃除用具入れは壁体と一体化したものとなっているが、その他の家具については未固定となっている。

こうした家具の固定状況はいずれの学校でもほとんど変わらない。表-2は現地調査を行った各校の普通教室、表-3は廊下・昇降口などに配置された家具の数とその固定状況の一例を示したものである。また、表-4は家具の寸法と配置場所の例を示したものである。

普通教室内の家具は種類や数で学校による差がなく、壁体と一体化した家具を除くとほとんど未固定である。

図-3は廊下・昇降口などに配置された家具数とクラス数の関係を示したものである。家具数とクラス数とはふれ幅はあるが線形の関係にある。廊下・昇降口などに配置された家具は学校規模が大きくなるほど増加する傾向がありほとんど未固定である。

4. 室内環境評価法

4-1. 評価の対象となる学内空間

家具の転倒による被害発生及びその波及形態とし

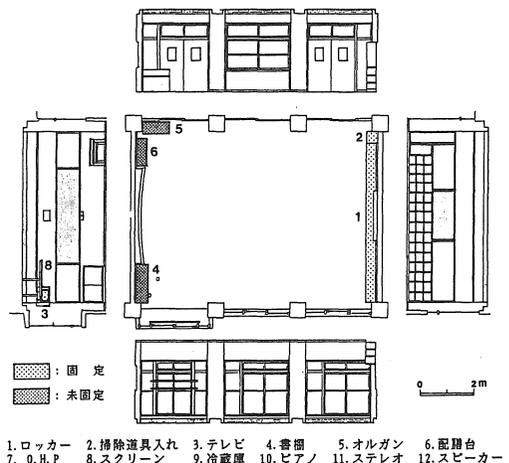


図-2 普通教室の平面図および展開図例

表-2 普通教室における家具配置例<1教室分>

学校 No.	教卓	机 担任用	引違い 書庫	開き戸 書庫	いぶつ 書庫	児童用 ロッカー	整理棚	本 棚	掃除用 具入れ	映写台 OHP用	配膳台	オルガン	テレビ	その他	合計
1	1	3	0	1	1	[1]	1	0	[1]	0	1	1	1	0	12
2	1	2	0	0	[1]	[1]	2	1	[1]	1	1	0	1	0	12
3	1	1	1	0	1	[2]	0	0	0	1	1	1	1	2	12
4	1	1	1	2	0	[1]	1	1	1	1	1	1	1	0	13
5	1	2	[1]	0	[1]	[1]	0	1	0	0	1	1	1	0	10
16	1	2	1	0	0	[1]	0	1	1	1	1	1	1	0	11
17	1	2	1	0	0	[1]	0	1	[1]	1	1	1	1	0	11
18	1	1	[3]	0	0	[1]	1	0	0	1	0	1	1	1	11
19	0	1	0	1	[1]	1	2 [1]	0	[1]	1	0	1	1	[1]	12
20	1	2	0	1	[1]	[1]	1 [1]	0	[1]	0	0	0	1	[1]	11
21	1	1	1	0	0	[2]	1	1	1	1	1	1	1	2	14
22	1	2	2 [1]	0	2	[1]	0	0	[1]	0	1	1	1	0	13
23	1	1	[1]	0	[1]	[1]	3	1	[1]	0	0	1	1	0	12
24	0	3	1	1	0	[1]	1	1	1	0	1	1	1	0	12
25	1	2	0	1	0	1 [1]	0	2	[1]	1	1	1	1	0	13

- 注) ① 児童の机と椅子は除外している。
 ② []: 固定、< >: チェーンによる簡易な固定
 ③ 数字は家具数を示す。

表-3 廊下・階段室・昇降口等における配置家具例<学校全体>

学校 No.	戸付き 書庫	いぶつ 書庫	いぶつ 整理棚	本 棚	掃除用 具入れ	映写台 OHP用	配膳台	オルガン	賞保管 ケース	キャビ ネット	展示物 類	いぶつ 類	いぶつ 下駄箱	下駄箱 ロッカー	その他	合計
1	1	0	0	0	0	2	5	1	1	0	1	1	2	2	1	17
2	2	0	0	0	4	0	11	10	1	0	0	7	1	0	2	38
3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	5
4	4	0	1	1	0	0	9	0	1	1	3	4	0	2	7	33
5	3	5	0	0	2	0	1	1	0	0	1	8	3	0	1	25
16	4	0	5	0	14	0	12	0	1	0	0	2	8	8	0	54
17	49	1	13	17	22	1	3	0	0	4	0	7	7	2	4	130
18	2	0	0	0	9	0	0	0	1	0	3	10	0	3	2	30
19	7	0	2	33	1	1	6	1	0	0	0	3	17	1	0	72
20	0	0	1	0	1	3	16	0	1	0	0	0	0	0	0	22
21	0	0	0	2	3	0	1	0	2	0	0	3	6	0	0	17
22	9	1	13	1	1	0	15	0	6	0	3	11	4	4	0	68
23	2	1	22	0	0	0	30	0	1	1	1	5	1	0	0	64
24	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
25	4	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0	10

- 注 ① 傘置き、雑巾掛け、ごみ箱、固定された児童用下駄箱ロッカー、小さなスリッパ入れは除外している。
 ② []: 固定
 ③ 数字は家具数を示す。
 ④ いぶつ類: 電話・黒板消し・水槽、 展示物: 御輿・優勝旗・大鏡
 その他: 黒板入れ・楽器入れ・テレビ台・車椅子・台車・踏台・ミシン

ては、発生時に居た場所における家具の転倒や落下によって負傷する人的被害と、転倒した家具が避難通路をふさぐことによる継続的かつ広域にわたる避難障害がある。

負傷などの直接的な人的被害を受ける危険性は学校内全体に存在しているが、その確率が高いのは児童が一日の生活の内、約6割以上の時間を過ごす普通教室である。一方、避難時に障害となる被害は避難通路上で発生することは明らかである。

このような児童の生活形態や避難時の行動を考慮

し、本研究では「普通教室」と「避難通路」を室内環境評価の対象とした。したがって、理科室や音楽室などの特別教室及び体育館は今回の室内環境評価から除外されている。

4-2. 家具の形状による転倒条件

家具の形状による転倒条件を検討するため、石山による2つの転倒条件式¹⁴⁾ (1)、(2)に水平加速度 a_0 、速度 v_0 を代入し、図-4の家具の転倒予測図を作成した。

表-4 家具の寸法と配置場所

家具名	寸法例 (cm)			配置場所			備考
	W	B	H	教室	廊下 ¹⁾	昇降 ²⁾	
教卓	90	45	90	○	×	×	
担任用机	105	73	75	○	×	×	
戸付き書庫	176	40	185	○	○	○	2段積み他各種戸無し特注品多い
ワード書庫	140	50	140	○	○	×	
児童用ロッカー	180	50	90	○	×	×	
整理棚	140	50	150	○	○	×	特注品多い
本棚	80	35	145	○	○	×	
掃除用具入れ	46	52	179	○	○	○	木製とスチール製
OHP用ロッカー	45	50	70	○	○	×	キスター付あり
配膳台	100	45	60	○	○	×	
オルガン	90	40	80	○	○	×	
テレビ	53	41	41	○	×	×	
テレビ台	76	50	130	○	×	×	
賞保管ケース	120	53	210	×	○	○	
テーブル類	120	60	60	×	○	○	上部に物あり
ワード下駄箱	100	30	110	×	×	○	戸無し
下駄箱ロッカー	180	35	152	×	×	○	戸無し

凡例 W:幅 ○ 配置されている
 B:奥行き × ほとんど配置されていない
 H:高さ

注 1) 廊下・階段室
 2) 昇降口・非常口・玄関

$$a_0 = (B/H)g \quad (1)$$

$$v_0 = 10(B/\sqrt{H}) \quad (2)$$

ここでH、Bは物体の高さ、奥行きを、gは重力加速度を表している。図-4では $a_0 = 250\text{cm/sec}^2$ とし、この a_0 に対応する v_0 は村松¹²⁾による提案を参考に $v_0 = 32\text{cm/sec}$ とした。なお、(2)式については物体の重心と底辺を結ぶ線、それと側面とのなす角度 θ が小さい場合に成り立つとされている。そこで、調査された学校家具の θ を計算したところ、10数度以内と微少であったので(2)式は成り立つものと判断した。

物体の挙動は2つの式で求まる直線によって、図中に示したように「ロッキングも転倒もしない領域」「ロッキングするが転倒しない領域」「ロッキングして転倒の可能性がある領域」の3つに区分される。

本論では、ロッキングして転倒の可能性がある領域にある家具を「転倒家具」(図にスクリーンを付した部分)と呼び、この領域内のすべての家具は転倒するものとして扱った。また、図-4には後述する $a_0 = 400\text{cm/sec}^2$ 、 $v_0 = 100\text{cm/sec}$ の場合に求まる2つの直線についても併記した。

4-3. 人的被害危険度評価法

普通教室内の人的被害危険度(Dr)は地震動によ

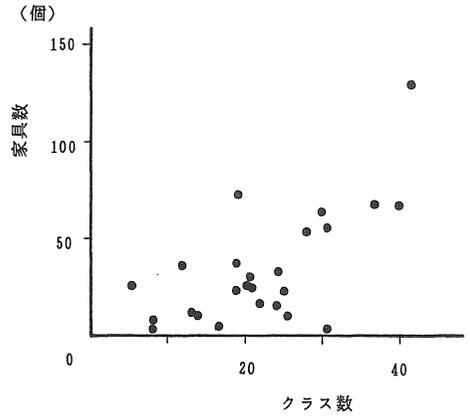


図-3 学校規模と廊下に配置された家具数<対象校25校>

って転倒した家具の直撃を受けて児童が負傷する被害危険度と定義する。この人的被害危険度は、一般に、家具転倒の可能性(対象とする家具が転倒するかしらないか)If、家具の危険性 α 、場所の危険性 β 、転倒家具数nの4つの要因より、

$$Dr = f (If, \alpha, \beta, n) \quad (3)$$

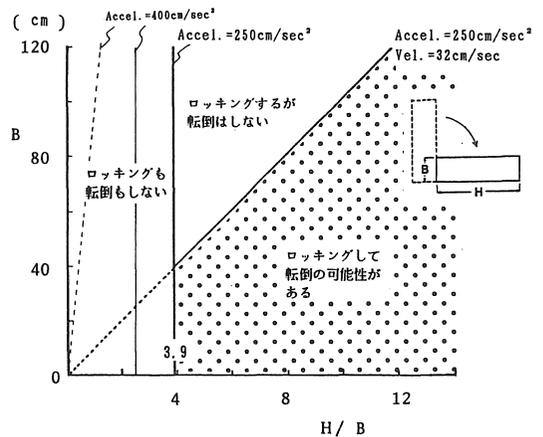


図-4 家具の形状による転倒条件 <石山¹¹⁾による>

表-5 家具の規模別散乱面積例

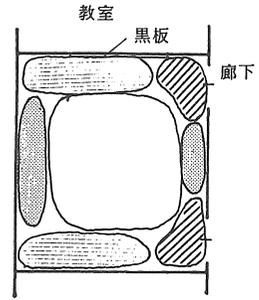
	転倒物			落下物
	本棚	整理棚	賞保管 ケース	テレビ
幅 W (cm)	90	140	120	53
奥行 B "	40	50	53	41
高さ H "	110	150	210	200*
散乱面積 A (㎡)	3.2	6.5	9.6	6.3
散乱面積比	1	2	3	2

転倒物

$$A_1 = [\pi (H^2 + W^2) + 6H(W + \sqrt{2(H^2 + W^2)})] / 8$$

落下物

$$A_2 = \pi H^2 / 2, * H \text{ は床面からの高さを表す。}$$



児童の分布密度

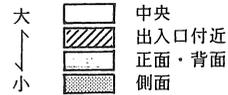


図-5 教室内の区分と児童の分布密度

で表すことができる。

まず、家具転倒の可能性 I_f は対象とした家具の形状と図-4に示した判定法により判断することができる。

次に、家具の危険性 α は、家具および収納物の散乱によって受ける児童の負傷程度を表すものである。そこで、この危険性は家具の大きさや収納物の散乱面積（以下、家具の散乱面積と記す）に比例するものと考えられる。一方、家具の散乱面積の算定は、初道・鈴木による実験式¹³⁾を適用すれば、家具高さHと幅Wからその面積を求めることができる。この結果は表-5のとおりで、家具の散乱面積と高さはほぼ比例関係にある。そこで家具の危険性については、調査された家具の高さを参考に3段階に区分した。すなわち、家具の危険性 α は、 $120\text{cm} > H$ の場合は $\alpha=1$ 、 $180\text{cm} > H \geq 120\text{cm}$ の場合は $\alpha=2$ 、 $H \geq 180\text{cm}$ の場合は $\alpha=3$ とした。なお、落下物は転倒物より負傷程度がさらに増大すると考えられるため、テレビについては形状と設置されている高さより計算されたランクに1ランク増分した値とした。

場所の危険性 β は転倒する家具の近傍にどの程度の児童がいるかを表すものである。教室における児童の分布密度が高い場所ほど家具の直撃を受ける確率が高くなることは明かである。分布密度の高くなる場所は、教育及び生活面での行動形態から考えて「教室中央」が一番高く、次いで「教室正面・背面」、「教室側面」の順になる。また「出入口付近」は出入りの頻度が高いため「教室正面・背面」以上に分布密度は高いと考えられる（図-5）。このように児童の分布密度の特性に基づいて、最も危険となる

「出入口付近」では $\beta=3$ 、「教室正面・背面」の場合 $\beta=2$ 、「教室側面」の場合 $\beta=1$ とした。なお、教室中央は児童用机・椅子を除いて家具が配置されていないため対象から除外した。

以上のような家具の規模と設置場所に関わる2つの危険性の組み合わせは表-6に示したような合計9種類である。すなわち、転倒する家具 ($I_f=1$) 1個が児童に与える危険度の最大値は $\alpha=3$ ($H \geq 180\text{cm}$) と $\beta=3$ (出入口付近) の組合せによる9で、最小値は $\alpha=1$ ($120\text{cm} > H$) と $\beta=1$ (教室側面) の組合せによる1である。

したがって、 n 個の転倒家具による教室全体的人的被害危険度 D_r は

$$D_r = \sum_{i=1}^n \alpha_i \times \beta_i \quad (4)$$

ただし、 α_i 、 β_i は家具 i の規模、配置場所によって決まる値である。

4-4. 避難障害危険度評価法

避難通路における児童の被災危険度は、転倒した家具によって避難行動が阻害される避難障害危険度 (D_c) と定義する。したがって、通路内において前述のような人的被害は発生しないものとして考えている。さて、この避難障害危険度 D_c は、主に、家具の転倒の可能性 I_f 、避難通路の閉塞程度 γ 、通路の

表-6 人的被害危険度の得点表
 <転倒家具1個分>

家具の危険性 α	場所の危険性 β		
	$\beta = 3$ 出入口	$\beta = 2$ 正背面	$\beta = 1$ 側面
$\alpha = 3$ ($180 \leq H$)	9	6	3
$\alpha = 2$ ($120 \leq H < 180$)	6	4	2
$\alpha = 1$ ($H < 120$)	3	2	1

ただし、H:家具高さ(cm)

表-7 避難障害危険度の得点表
 <転倒家具1個分>

通路閉塞程度 γ	通路の重要性 δ		
	$\delta = 3$ 出入口	$\delta = 2$ 経路上	$\delta = 1$ 経路外
$\gamma = 3$ ($180 \leq H$)	9	6	3
$\gamma = 2$ ($120 \leq H < 180$)	6	4	2
$\gamma = 1$ ($H < 120$)	3	2	1

ただし、H:家具高さ(cm)

重要性 δ 、転倒家具数 n の4つの要因から構成されていると考えると D_c は、

$$D_c = f(I_f, \gamma, \delta, n) \quad (5)$$

で表すことができる。

ここで、通路の閉塞程度 γ は家具が転倒して避難行動が阻害されるもので、通路幅員と家具の高さの相互関係で決まる値である。学校の廊下幅員は一般に190cmから210cm(最大350cm程度)に集中している。このため通路の閉塞程度は家具の高さを考慮して、人的被害危険度評価と同様、3段階に区分した。すなわち、通路の閉塞する割合 γ は、 $H < 120$ cm の場合は $\gamma = 1$ 、 $120 \text{cm} \leq H < 180 \text{cm}$ の場合は $\gamma = 2$ 、 $H \geq 180 \text{cm}$ の場合は $\gamma = 3$ とする。

避難通路の重要性 δ は、その場所が避難経路に指定されている特定の通路か、あるいはその可能性があるかどうかで決まる。そこで、通路の重要性 δ は、「避難経路に面した出入口付近」、「避難経路上」、「避難経路以外の通路」の順に高いものとして、 δ をそれぞれ3、2、1とした。

以上のように避難通路における避難障害危険度は、前述の人的被害危険度と同様に、上記の2つの危険性を組み合わせることによって表-7に示したように区分できる。したがって、 n 個の転倒家具による避難通路全体の避難障害危険度 D_c は、

$$D_c = \sum_{i=1}^n \gamma_i \times \delta_i \quad (6)$$

ただし、 γ_i 、 δ_i は家具 i の規模、配置場所によって決まる値である。

5. 室内環境評価法の適用事例分析と考察

学校に配置された家具が、地震時にどの程度の人的被害や避難障害の危険性をはらんでいるかを推定するため、学校の家具配置図を基に各校の危険度評価を行った。対象とした学校は表-2、表-3に示した25校である。対象とする場所は、人的被害については普通教室1室、避難障害については学校全体の廊下・昇降口などとする。ただし、家具の地震時の挙動に関しては、地震の強さ、地盤の性状、建物の高さ、構造、床面の仕上げなども考えられるが、ここではすべて同一条件とした。

5-1. 転倒家具の予測

図-6は最大水平加速度 400 cm/sec^2 、最大速度 100 cm/sec を与えたときの家具の転倒予測結果である。家具全体の4割位が転倒し、転倒家具が少ない学校では1割位、多い学校では7割位である。家具高さが180cm以上の転倒家具には戸付き書庫、賞保管ケースなど種類は限られる。180cm未満120cm以上の転倒家具の種類は戸のないオープン書庫、整理棚、下駄箱ロッカーなど数多い。120cm未満のものとしては本棚や戸のないオープン下駄箱などがある。

調査校全体の普通教室における最大水平加速度 400 cm/sec^2 での転倒家具の配置状況を示したのが図-7である。家具の半数近くは教室正面・背面に配置されているが、出入口付近や側面にも配置されている。また、家具の配置場所ごとの家具の規模の割合を示したものが図-8である。規模が大きい転倒家具は教室正面か出入口付近に置かれ、規模が小さい家具は教室側面に置かれる傾向を示している。

一方、避難通路内における家具については、図-9に示したように転倒家具の約7割が避難経路上に、その内の4割弱が出入口に面した避難経路上に配置されている。また、全体のおよそ3割が避難経路以

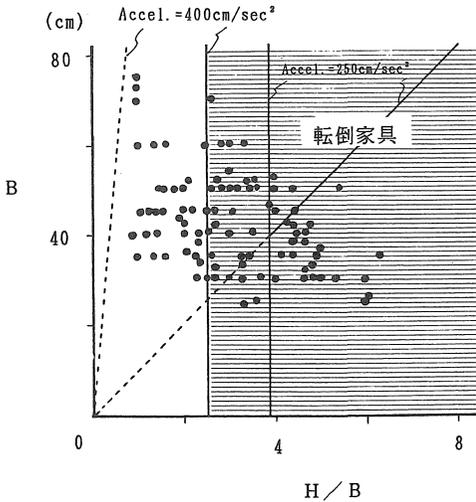


図-6 学校家具の転倒予測

外の通路に配置される。配置場所ごとの家具規模の割合を見ると、図-10に示したように規模の大きい家具は避難経路以外の通路に置かれる傾向も見られるものの、場所の重要性を考慮した家具配置になっているとは言い難い。

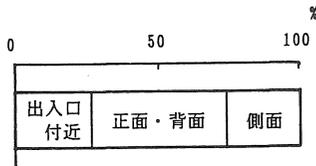


図-7 普通教室内の家具配置

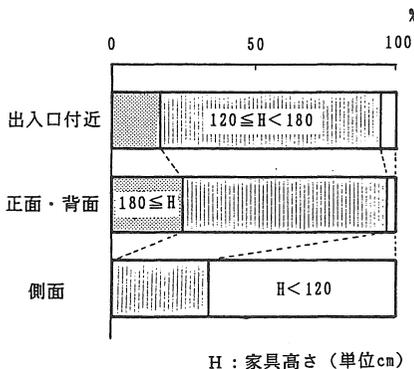


図-8 普通教室の配置場所別家具規模の割合

5-2. 危険度評価結果

① 人的被害危険度

(4)式を基に人的被害危険度Drを求めた。最高点は33点で、最低点は1点である。0点すなわち転倒家具のない教室は今回見あたらなかった。図-11はDrの相対度数分布を見たもので、Drは5ごと(例えば、5以上、10未満)に区分して示してある。全体のほぼ半数の学校が5以上10未満で、これは教室正面に中規模の家具が2個程度あることに相当する。

② 避難障害危険度

(6)式を基に避難障害危険度Dcを求めた。最高点は303点、最低点は6点で、ここでも転倒家具のない学校は見あたらなかった。図-12はDcの相対度数分布を見たものである。Dcは50ごと(例えば、50以上、100未満)に区分して示してある。学校の数はDcが0以上50未満のものが全体の半数以上を占め、Dcが大きくなるほど減少する傾向を示している。

5-3. 室内環境評価と考察

ここでは、人的被害と避難障害の両方を踏まえた室内環境の総合的な危険度評価を行う。

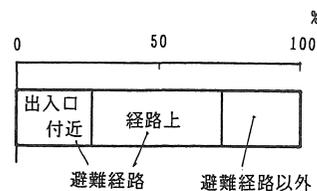


図-9 避難通路内の家具配置

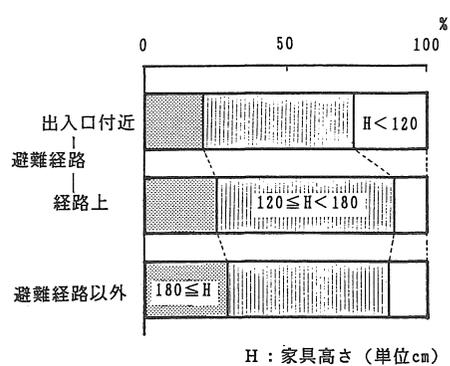


図-10 避難通路の配置場所別家具規模の割合

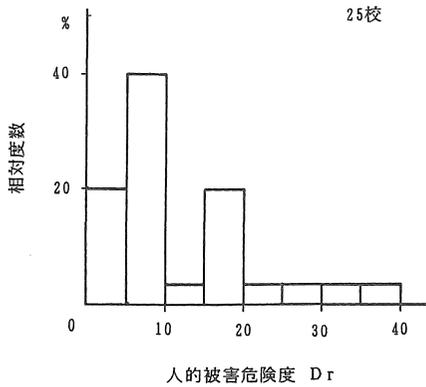


図-11 人的被害危険度の相対度数分布
< 1 教室分、対象校25校 >

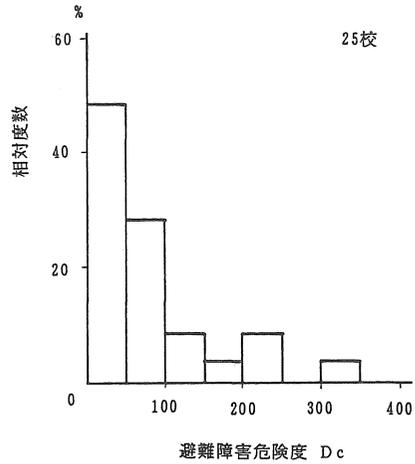


図-12 避難障害危険度の相対度数分布
< 学校全体、対象校25校 >

①危険度の得点分布と分類

図-13は各校の危険度の得点分布を示したものである。分布はDrとDcの両方が高くなる場合はほとんどなく、いずれかに偏る傾向がある。このことは、学校では教室内に転倒するような家具を置かないか、あるいは廊下に置かないようしていると考えられることができる。

また、危険度がいずれかに偏るため、人的被害に偏るグループ1、避難障害に偏るグループ2、いずれにも偏らないグループ3の3つ（図中点線で囲んだまとまり）に分類した。

②危険度を高める要因

普通教室内の家具数は、3-2.項で述べたように、学校間に差はない。ところが、Drの得点差はかなり大きい。この危険度を高める要因を分析するため、危険度が高い教室内の得点構成例を見たのが図-14である。高さ方向は得点の累計を表しており、家具の危険性（規模）と場所の危険性（配置場所）の組み合わせよる得点に家具数を乗じて求められる。No.4の学校は、転倒家具数7個、Drが33で多大な人的被害の発生が懸念される。この学校では出入口付近に120≦H<180cm規模の転倒家具が4個あり、Drの得点結果に最も影響している。また、教室正面コーナーには2段積み家具があることも大きい。

このように家具の配置場所及び数、さらに家具の規模が全て絡んで危険度を極端に高めていることが

分かる。こうした分析を通して室内環境悪化の要因を明らかにすることができる。

③総合な危険度評価

図-11、図-12を参考に、Drを5点刻み（例：6～10）、Dcを40点刻み（例：41～80）で共に6区分した。次に、図-13に示すように区分した同ランクの値を直線で結び、さらに6つの領域に区分すること

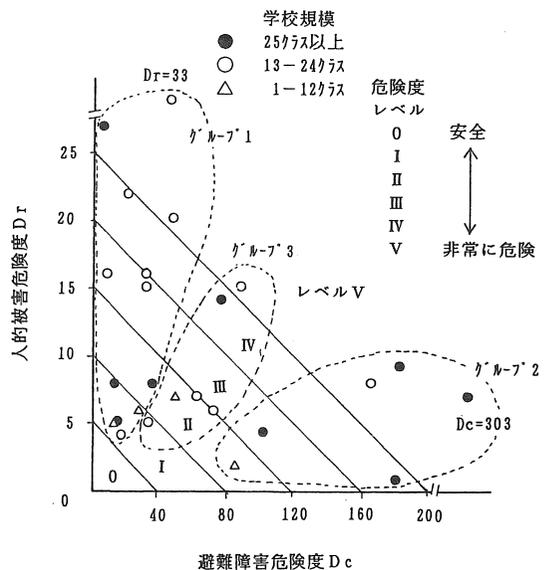


図-13 各校の危険度の得点分布と総合評価

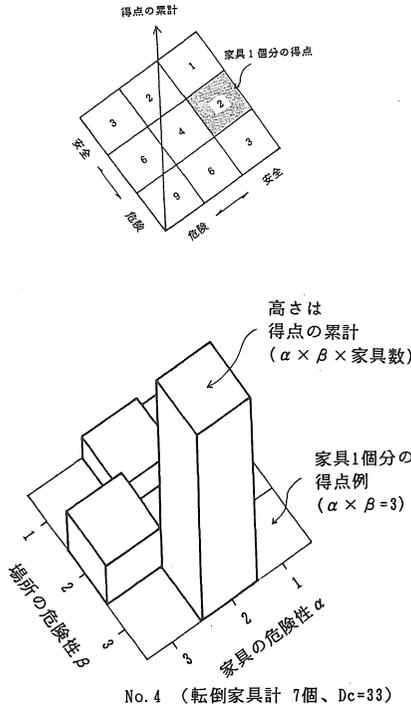


図-14 危険度の高い学校における得点の構成例<人的被害危険度>

とで総合的な危険度評価を行う。危険度はレベル0からVまでとし、図-13に示すようにレベル0は安全、レベルVは非常に危険であるとした。

レベルIの学校は全体の2割程度で、レベル0の学校は1校もなかった。レベルII以上の学校はほぼ8割で、レベルIII以上の学校でも6割以上にも上る。また、危険度レベルが高い学校は学校規模が大きいものが多い。

6. 危険度要因の分析と環境整備の方法

ここでは、グループと危険度レベルの関係から危険度要因の分析を行うと共に、これに基づく今後の環境整備の方法を考察する。

図-15は得点構成例を危険度レベルと各グループの関係で示したものである。家具数が危険度を高める最も有力な要因であることが分かる。

危険度レベルの変化によって得点構成が大きく変化するの、どのグループ共レベルIVからVに変化する場である。特に、グループ1に属する人的被害と

危険度レベル	グループ1 人的被害 危険度大	グループ2 避難障害 危険度大	グループ3 両方の 危険度大
III			該当校なし
IV			
V 非常に危険			

注) ①危険度レベルII以下については省略
②左図：人的被害危険度、右図：避難障害危険度

図-15 危険度レベルと各グループの関係例

グループ3の避難障害が該当する。また、家具数が危険度レベルを左右しているのはグループ1に属する人的被害のレベルVである。家具数はほぼ同じで危険度レベルが異なるのはグループ3の避難障害である。これは家具の規模と配置場所が影響した結果である。

このように危険度評価の得点構成は、グループ分類や危険度レベルのそれぞれの特徴をよく表現していて、転倒家具数、家具の規模、配置場所の各要因がどのように関与しているかが分かる。

以上のことから、室内環境評価法の開発による成果は、現在の学校の危険度がどの程度あり、家具の規模、配置場所、家具数のいずれを改善すればどの程度の危険度の低減に有効かを具体的に捉え、分かりやすい形で検討することができると考えられる。

7. 結論

本研究は地震防災を対象とした学校の室内環境について、評価方法の考え方とその適用事例の分析を行ったものである。室内環境評価法は、普通教室内

の人的被害及び避難通路で発生する避難障害危険度を個々に評価し、これらを総合することで学校全体の室内環境評価を行うものである。本研究で得られた主な結果を示すと以下のとおりである。

1. 近年の地震被害によれば、家具の転倒や落下などの室内環境の急変による被害が相対的に大きくなっており、負傷などの直接的被害に関与する危険性が高くなっている。
2. 実態調査によれば、家具・備品類などは規模が大きい学校ほど多くなっている。また、学校の規模に関係なく転倒防止など地震対策が施されていない。
3. 地震の発生から避難までの一連の行動を考慮して、教室内部で被災する「人的被害危険度」と避難通路で起こる「避難障害危険度」を家具の規模とその配置場所から評価する方法を構築し、この2つの評価値を比較することで学校の室内環境を総合的に評価する方法を提案した。
4. 実態調査を行った学校に室内環境評価法を適用し地震に対する防災性を評価した結果、全体の8割の学校で総合的な危険度が高く、また、その危険度は人的被害と避難障害のいずれかに偏る傾向にあることが明らかとなった。
5. 危険度を高めている最も大きな要因は家具数であるが、家具の規模や配置場所を考慮することで危険度レベルは低減できる。こうした要因の関与の程度を表す得点構成図を有効に活用すれば、学校においても室内環境整備の有力な指針を得ることができることを示した。

最後に、調査で全面的な御協力を頂いた各市の教育委員会・学校の先生方、また貴重なご助言、御指導を頂いた名古屋大学辻本誠助教授と愛知工業大学曾田忠宏助教授、ならびに調査の実施に際してご協力を得た愛知工業大学学生(当時)の丹下和政氏、中村一也氏、山本英貴氏、小浦洋平氏に対して心から感謝の意を表します。

なお、本研究は昭和62、63年度、平成2年度文部省科学研究費(重点領域(1))の助成による研究の一部である。

る学校の行動意識と対応、1984年長野県西部地震の地震および災害の総合調査、文部省科学研究費自然災害特別研究突発災害研究成果、PP.263-296、1985

- 2) 新潟市：新潟地震誌、1966
- 3) 青森県：青森県大震災の記録—昭和43年の十勝沖地震—、1969
- 4) 日本建築学会：1968年十勝沖地震災害調査報告、1968
- 5) 日本建築学会：1974年伊豆半島沖地震・1978年伊豆大島近海地震災害調査報告、1980
- 6) 日本建築学会：1975年大分県中部地震によるRC建物の被害調査報告、1976
- 7) 日本建築学会：1978年宮城県沖地震災害調査報告、1980
- 8) 日本建築学会：1982年浦河沖地震・1983年日本海中部地震災害調査報告、1984
- 9) 長野県：長野県西部地震の記録、1985 他
- 10) 田口ルミ子：地震時にける学校の災害危険度評価と環境整備に関する総括的研究、愛知工業大学建築学科卒業論文、1990.3
- 11) Yuji Ishiyama : CRITERIA FOR OVERTURNING OF BODIES BY EARTHQUAKE EXCITATIONS、日本建築学会論文報告集第317号、PP.1~14、1982.7
- 12) 村松郁栄：震度階の定義拡大への試み、文部省科学研究費研究成果報告書、地震災害事象の通信・面接・現地調査法にもとづく組織的研究、1986
- 13) 初道銃介、鈴木有：居住空間の地震被害を測る尺度の提案と計量、日本建築学会大会学術講演梗概集、PP.711-712、1989.10
- 14) 建部謙治、谷口仁士、曾田忠宏：地震時における学校防災力向上のための校内環境評価法の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集、PP.349-350、1988.10
- 15) 成瀬聖慈、建部謙治、谷口仁士：地震防災を対象とした学校の内部環境評価に関する基礎的研究、愛知教育大学研究報告、No.41、PP.121-131、1992.3

(受理 平成4年3月20日)

参考文献

- 1) 谷口仁士、正木和明、飯田汲事：地震時におけ